

2018 年全国电力可靠性 年度报告

国家能源局
中国电力企业联合会
2019 年 5 月

目 录

第一章	2018 年全国电力工业基本情况.....	1
第一节	发电机组基本情况.....	1
第二节	电网输变电设施基本情况.....	4
第三节	供电设施基本情况.....	5
第二章	2018 年全国 100 兆瓦及以上火电机组、40 兆瓦及以上水 电机组、核电机组运行可靠性.....	8
第一节	2018 年纳入可靠性指标统计评价的发电机组装机容量 构成.....	8
第二节	1000 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性.....	11
第三节	600 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性.....	14
第四节	300 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性.....	18
第五节	200 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性.....	23
第六节	超临界及以上燃煤机组运行可靠性	26
第七节	100 兆瓦及以上容量燃气轮机组运行可靠性	26
第八节	100 兆瓦及以上容量燃煤机组备用时间分析	27
第九节	2017 年新投产机组可靠性指标.....	30
第十节	非计划停运分析	32

第十一节 按地区分类的 100 兆瓦及以上容量燃煤机组运行可靠性	34
第十二节 40 兆瓦及以上容量水电机组运行可靠性	35
第十三节 700 兆瓦等级水电机组运行可靠性	45
第十四节 核电机组运行可靠性	46
第三章 2018 年全国 200 兆瓦及以上容量燃煤机组主要辅助设备运行可靠性	48
第一节 磨煤机运行可靠性	51
第二节 给水泵组运行可靠性	56
第三节 送风机运行可靠性	60
第四节 引风机运行可靠性	62
第五节 高压加热器运行可靠性	65
第六节 国产、进口辅助设备可靠性对比分析	68
第七节 电除尘、脱硫系统运行可靠性	70
第四章 2018 年全国 220 千伏及以上电压等级变压器、断路器、架空线路等十三类输变电设施运行可靠性	72
第一节 2018 年全国十三类输变电设施统计数量	72
第二节 输变电设施运行可靠性总体情况	73
第三节 变压器运行可靠性	74
第四节 断路器运行可靠性	87
第五节 架空线路运行可靠性	99
第六节 我国与北美 NERC 类主要设施指标对比分析	109
第五章 2018 年全国直流输电系统运行可靠性	111

第一节	直流输电系统概况	111
第二节	可靠性指标总体情况	113
第三节	强迫停运及降额运行情况	122
第四节	计划停运情况	127
第五节	我国与国外直流输电系统可靠性对比分析	130
第六章	2018 年全国 10 千伏供电系统用户供电可靠性	135
第一节	全国供电可靠性总体情况	135
第二节	各区域供电可靠性	137
第三节	各省级电力企业供电可靠性	138
第四节	地市级供电企业供电可靠性	142
第五节	全国 52 个主要城市供电企业指标	143
第六节	停电原因分析	148
第七节	我国与国外供电可靠性对比分析	154
附表 1	2018 年全国火电 100MW 及以上容量机组运行可靠性主要指标 ..	156
附表 2	2018 年全国水电 40MW 及以上容量机组运行可靠性主要指标	161
附表 3	2018 年全国 220kV 及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器、 断路器 等 13 类输变电设施运行可靠性主要指标	162
附表 4	2018 年全国点对点直流输电系统运行可靠性主要指标	167
附表 5	2018 年全国背靠背直流输电系统运行可靠性主要指标	169
附表 6	2018 年全国各区域供电可靠性主要指标	170
附表 7	2018 年全国各区域故障停电原因分类	172
附表 8	2018 年全国各区域预安排停电原因分类	173

第一章 2018 年全国电力工业基本情况

2018 年，全国电力供需总体平衡，全年全社会用电量 6.84 万亿千瓦时，同比增长 8.5%，增速比上年增加 1.9 个百分点。

截至 2018 年底，全国发电装机容量达 19.0 亿千瓦，同比增长 6.5%。其中火电装机 11.4 亿千瓦，占 60.2%；水电装机 3.5 亿千瓦，占 18.5%；核电装机 4466 万千瓦；风电装机 1.8 亿千瓦；并网太阳能发电装机 1.7 亿千瓦。2018 年，我国非化石能源发电装机占全国总装机的 40.8%，同比提高 2.0 个百分点；非化石能源发电量同比增长 11.1%，占全年发电量的 30.9%，同比提高 0.6 个百分点。2018 年，人均装机和年人均用电量分别达到 1.38 千瓦、4956 千瓦时。

2018 年，全国 220 千伏及以上输电线路回路长度 73.3 万千米，220 千伏及以上公用变电设备容量 40.2 亿千伏安，分别同比增长 7.0%、6.2%。

2018 年，全国 10 千伏用户总容量 33.90 亿千伏安，同比增长 16.22%。10 千伏线路总长度 477.52 万千米，其中架空线路和电缆线路长度分别为 399.82 万千米、77.70 万千米，同比分别增长 4.24%、12.07%。架空线路绝缘化率 23.83%，线路电缆化率 16.27%，同比分别增加 2.34 和 0.62 个百分点¹。

2018 年，全国全口径发电量为 6.994 万亿千瓦时，同比增长 8.4%。全国发电设备利用小时 3862 小时，同比提高 63 小时。全国 6000 千瓦及以上电厂供电标准煤耗 307.6 克 / 千瓦时，同比降低 1.8 克 / 千瓦时。全国电网输电线路损失率 6.21%，同比降低 0.27 个百分点。

第一节 发电机组基本情况

近五年，全国发电设备总装机容量、发电量及其增长情况见表 1-1。

¹ 按照可靠性统计口径，统计范围包括：国家电网、南方电网、内蒙古电力、陕西地电、山西地电、广西水利

表 1-1 近五年全国发电设备总装机容量及发电量情况

分类		统计年度				
		2014	2015	2016	2017	2018
装机容量	总装机容量 (兆瓦)	1364630	1521211	1652085	1784180	1899670
	装机净增容量 (兆瓦)	112980	156581	130874	132095	115490
	比上年增长的比例 (%)	9.03	11.47	8.60	8.00	6.47
装机容量构成	火电装机容量 (兆瓦)	918190	1000499	1060944	1110090	1143670
	占总装机容量比例 (%)	67.28	65.77	64.22	62.22	60.20
	火电净增容量 (兆瓦)	53230	82309	60445	49146	33580
	比上年增长的比例 (%)	6.15	8.96	6.04	4.63	3.02
	水电装机容量 (兆瓦)	304440	319526	332070	343770	352260
	占总装机容量比例 (%)	22.31	21.00	20.10	19.26	18.54
	水电净增容量 (兆瓦)	24690	15086	12544	11700	8490
	比上年增长的比例 (%)	8.83	4.96	3.93	3.52	2.47
	核电装机容量 (兆瓦)	20080	27167	33642	35819	44660
	占总装机容量比例 (%)	1.47	1.79	2.04	2.02	2.35
	核电净增容量 (兆瓦)	5470	7087	6475	2177	8841
	比上年增长的比例 (%)	37.44	35.29	23.83	6.47	24.68
风电装机容量构成	风电装机容量 (兆瓦)	96860	131302	148174	163673	184260
	占总装机容量比例 (%)	7.10	8.63	12.85	9.21	9.70
	风电净增容量 (兆瓦)	23250	31440	16872	15499	20587
	比上年增长的比例 (%)	31.59	35.56	12.85	10.46	12.58
燃煤装机比例	燃煤 100 兆瓦及以上:					
	台数	1950	2033	2121	2157	2097
	装机容量 (兆瓦)	739584	789683	835784	864014	879484
	占火电装机比例 (%)	80.77	78.93	79.30	77.83	76.90
	燃煤 200 兆瓦及以上:					
	台数	1656	1732	1822	1863	1902
	装机容量 (兆瓦)	700094	749197	795438	824522	852507
	占火电装机比例 (%)	76.46	74.88	75.48	74.55	74.54
	燃煤 300 兆瓦及以上:					
台数	1450	1534	1623	1666	1719	
装机容量 (兆瓦)	657743	708506	754512	783716	814526	
占火电装机比例 (%)	71.83	70.81	71.59	70.86	71.22	

分类		统计年度				
		2014	2015	2016	2017	2018
水电 装机 比例	水电 40 兆瓦及以上： 台数	1099	1160	1215	1257	1300
	装机容量（兆瓦）	209614	219382	228908	236573	244464
	占水电装机比例（%）	69.45	68.66	68.93	68.82	69.40
	水电 200 兆瓦及以上： 台数	366	376	392	416	427
	装机容量（兆瓦）	151405	156938	163473	170397.5	171760
	占水电装机比例（%）	50.16	49.12	49.22	49.94	48.76
发电 量	总发电量（亿千瓦时）	55725	56938	60248	64529	69940
	比上年增长比例（%）	4.10	2.18	5.81	7.11	8.39
发电 量 构成	火电发电量（亿千瓦时）	41955	41868	43273	45877	49231
	占总发电量比例（%）	75.29	73.53	71.82	71.10	70.39
	水电发电量（亿千瓦时）	10601	11117	11748	11947	12329
	占总发电量比例（%）	19.02	19.52	19.50	18.51	17.63
	核电发电量（亿千瓦时）	1332	1714	2132	2481	2944
	占总发电量比例（%）	2.39	3.01	3.54	3.84	4.21

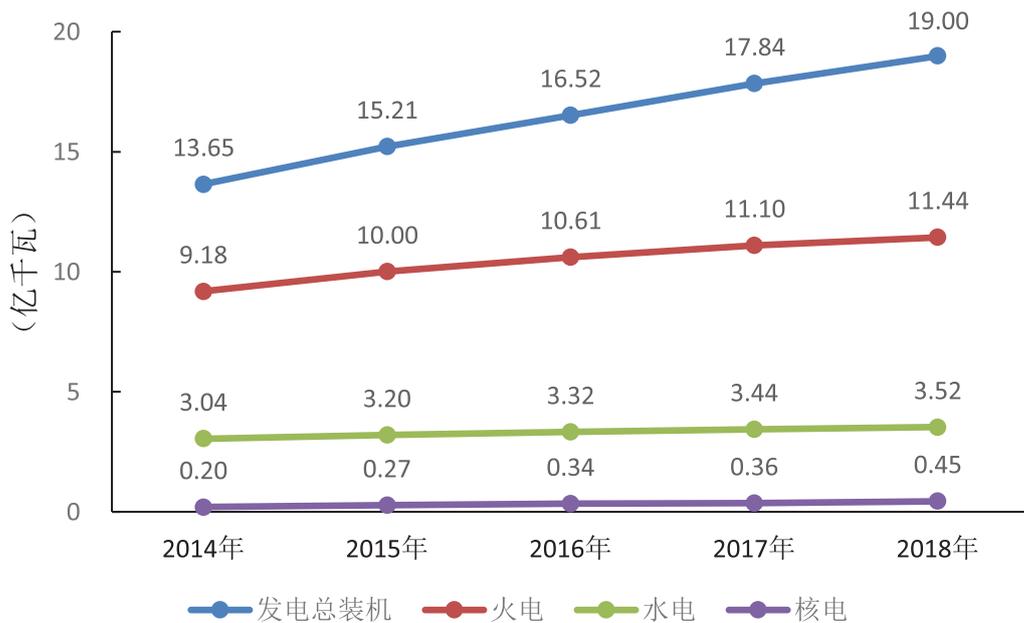


图 1-1 近五年全国发电设备总装机容量变化

第二节 电网输变电设施基本情况

近五年，220 千伏及以上电压等级的输电线路长度、变电设备容量情况见表 1-2。

表 1-2 近五年全国输电线路长度及变电设备容量情况

分类	统计年度	2014	2015	2016	2017	2018
220 千伏及以上输电线路回路长度（千米）		577142	607643	645609	685567	733393
其中：直流部分		24818	25429	28808	37399	41979
±1100 千伏		-	-	-	-	3232
±800 千伏		9966	10580	12295	20874	22219
±660 千伏		1336	1336	1334	1334	1334
±500 千伏		11875	11872	13539	13552	13554
±400 千伏		1640	1640	1640	1640	1640
其中：交流部分		552325	582213	616801	648168	691414
1000 千伏		3111	3114	7245	10073	10142
750 千伏		13881	15665	18266	18830	20174
500 千伏		152107	157984	165875	173772	191089
330 千伏		25146	26811	28366	30183	30817
220 千伏		358080	378639	397050	415311	439192
220 千伏及以上公用变电设备容量（万千伏安）		291132	333791	345970	378934	402255
其中：直流部分		17551	18383	22449	31657	33566
±1100 千伏		-	-	-	-	600
±800 千伏		3180	3180	4882	11879	12933
±660 千伏		-	-	-	947	947
±500 千伏		14230	15203	17567	18831	18944
±400 千伏		141	-	-	-	-
其中：交流部分		273581	315408	323521	347277	368689
1000 千伏		5700	5700	9900	13800	14700
750 千伏		8090	10850	13570	14540	16130
500 千伏		99842	106857	116501	125133	135316
330 千伏		8704	9364	9766	10897	11497
220 千伏		151245	164254	173784	182906	191046

* 数据摘自中电联行业发展与环境资源部 2018 年全国电力工业统计快报

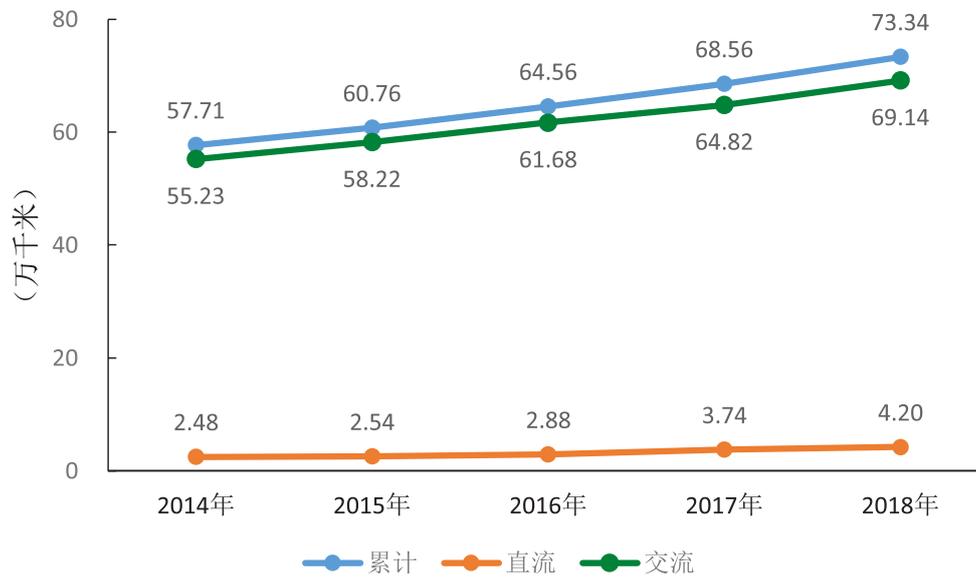


图 1-2 近五年 220 千伏及以上输电线路回路长度变化

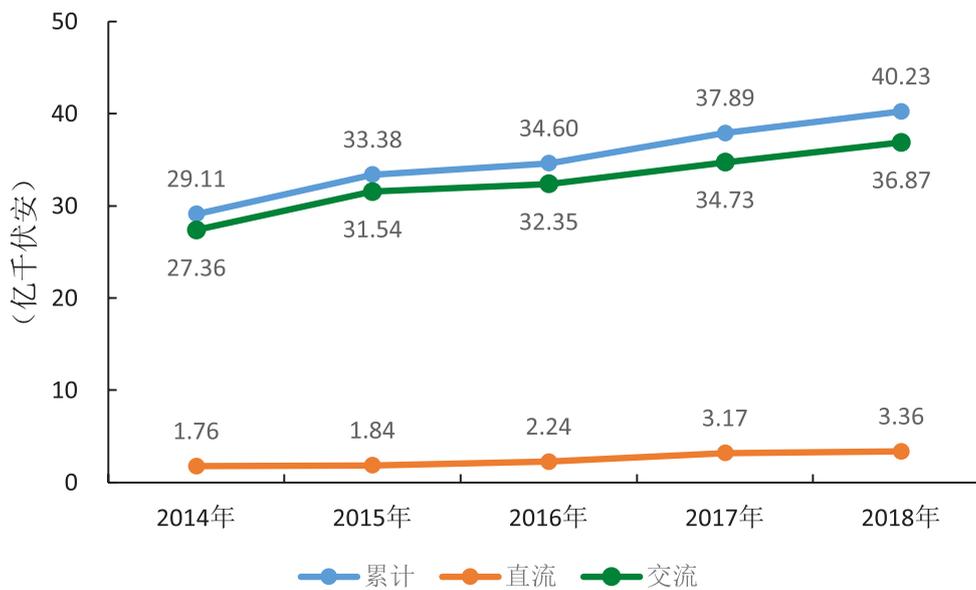


图 1-3 近五年 220 千伏及以上公用变设备容量变化

第三节 供电设施基本情况

近五年, 10 千伏线路长度及 10 千伏用户总容量情况见表 1-3。

表 1-3 近五年 10 千伏线路长度及 10 千伏用户总容量情况²

分类	统计年度	2014	2015	2016	2017	2018
10 千伏线路长度 (千米)						
全口径		4224529	3959835	4138412	4430699	4475236
城市		717192	665628	717372	856510	912826
农村		3498337	3294207	3421040	3574189	3862410
其中：架空线路						
全口径		3598513	3409092	3650515	3835366	3398234
城市		343957	328939	368594	441529	425724
农村		3254556	3080153	3281921	3393836	3572910
其中：电缆线路						
全口径		611745	550743	594529	693333	777031
城市		370518	336689	379804	444703	487210
农村		241227	214054	214725	248630	289821
10 千伏用户总容量 (万千伏安)						
全口径		210458	230149	260437	291710	339026
城市		107275	112839	127138	132118	164132
农村		103183	117310	133289	159592	174893

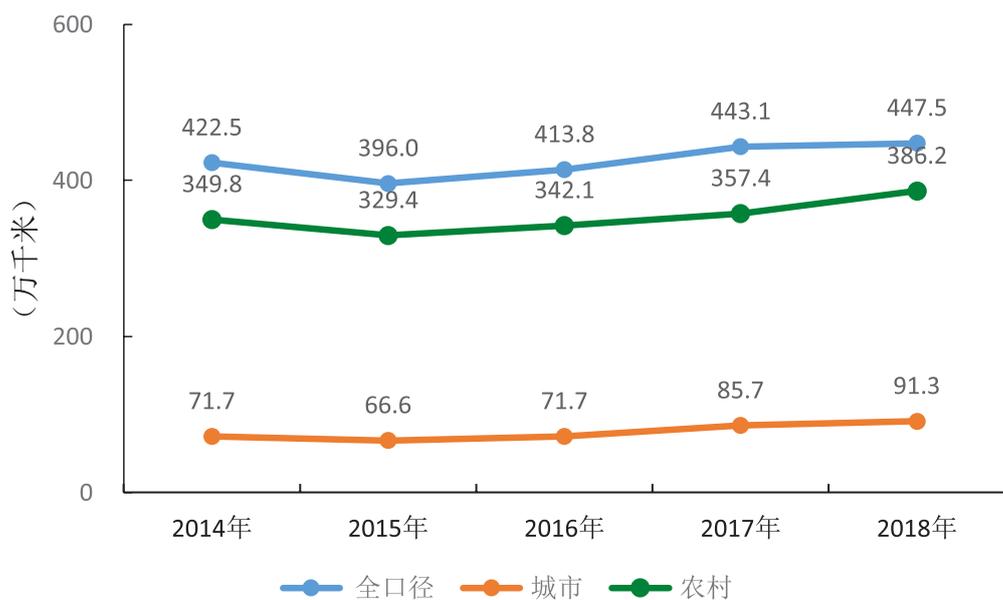


图 1-4 近五年 10 千伏线路长度变化

² 按照可靠性统计口径，统计范围包括：国家电网、南方电网、内蒙古电力、陕西地电、山西地电、广西水利

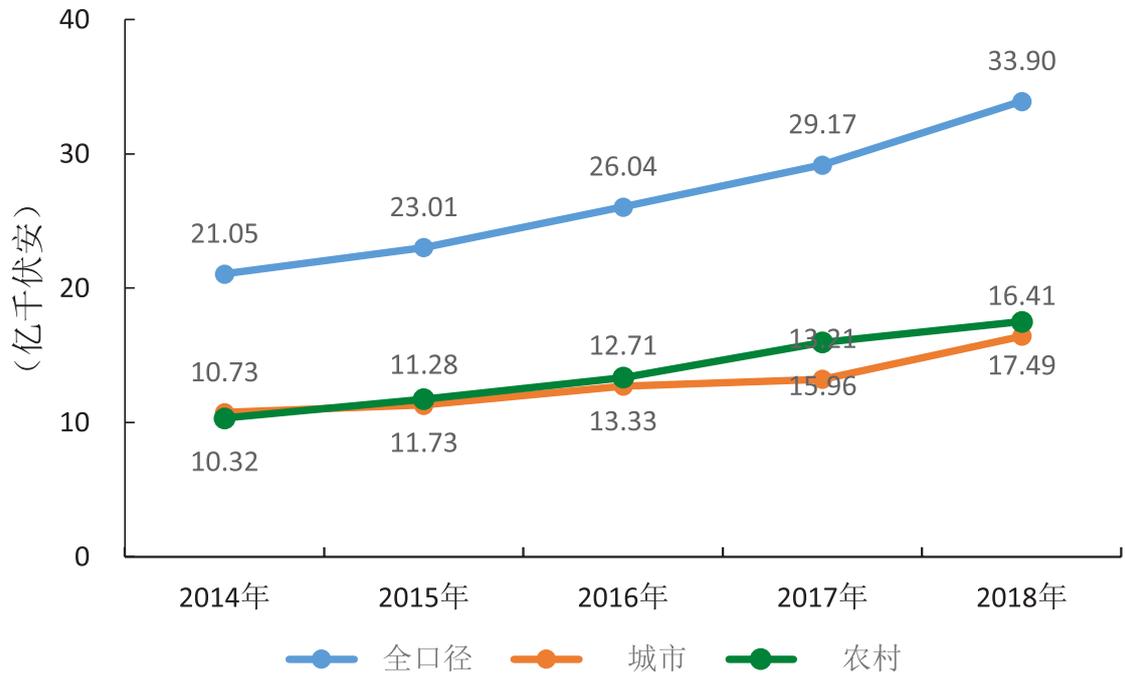


图 1-5 近五年 10 千伏用户总容量变化

第二章 2018年全国100兆瓦及以上火电机组、40兆瓦及以上水电机组、核电机组运行可靠性

第一节 2018年纳入可靠性指标统计评价的发电机组装机容量构成

纳入2018年电力可靠性统计的发电机组为100兆瓦及以上火电、40兆瓦及以上水电和核电机组（本章均为此统计口径），共2978台，总装机容量10.38亿千瓦（占全国总装机的54.63%），分别比2017年增加67台、0.33亿千瓦。2018年全国火电机组运行可靠性综合指标见附表1，水电机组运行可靠性综合指标见附表2。

一、纳入可靠性统计的发电机组构成

2018年，纳入可靠性统计的火电机组1946台（含180台燃气轮机组），总装机容量8.02亿千瓦，占火电总装机容量的70.1%，占应统计容量的84.1%；水电机组1015台，总装机容量为2.21亿千瓦，占水电总装机容量的62.78%，占应统计容量的90.4%；核电机组17台，总装机容量为0.15亿千瓦，占核电总装机容量的33.59%。发电机组装机容量类型构成见图2-1，占应统计容量的比例见图2-2。

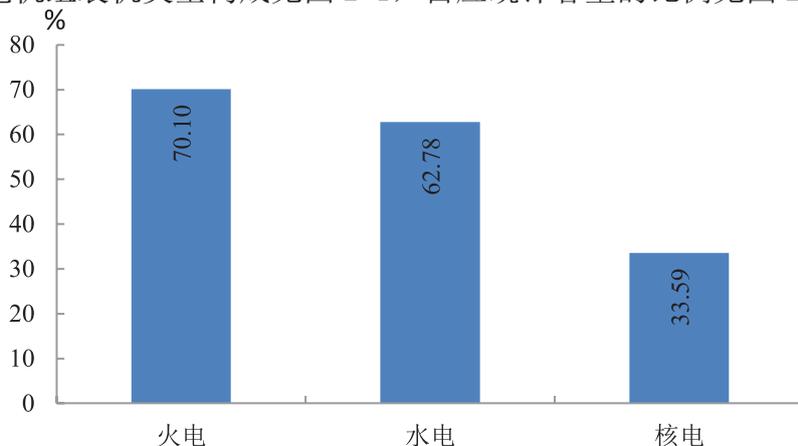


图 2-1 2018 年发电机组统计装机容量与总装机容量占比图

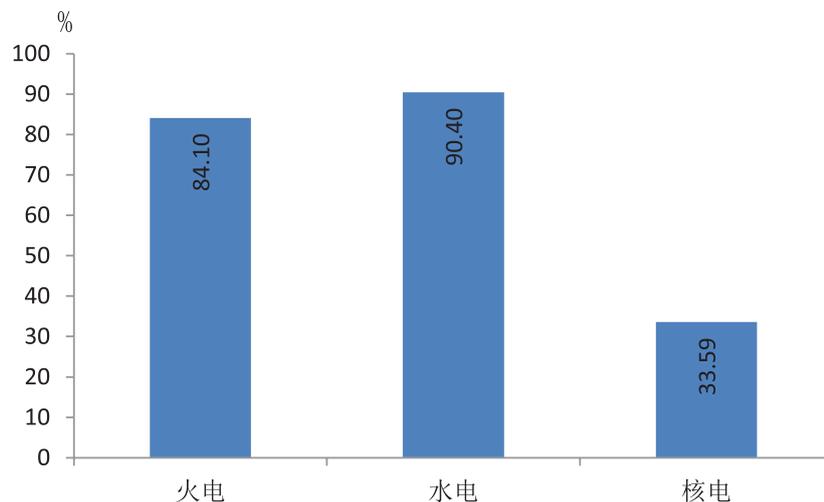


图 2-2 2018 年发电机组统计装机容量与应统计装机容量的占比

二、纳入可靠性统计的火电机组装机构成

2018 年，纳入可靠性统计的火电机组中燃煤机组 1766 台，总装机容量 7.5 亿千瓦，占比 93.44%；燃气轮机组 180 台，总装机容量 0.53 亿千瓦，占比 6.56%。

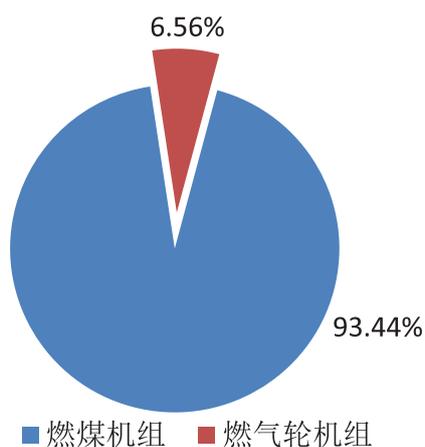


图 2-3 2018 年 100 兆瓦及以上容量火电机组装机构成

三、100 兆瓦及以上容量燃煤机组装机容量构成

2018 年，纳入可靠性统计的 1000 兆瓦容量燃煤机组 99 台，总容量 0.999 亿千瓦，占统计燃煤机组装机容量的 13.32%；600-699 兆瓦容量机组 503 台，总容量 3.15 亿千瓦，占 42.06%；300-399 兆瓦容量机组 836 台，总容量 2.68 亿千瓦，占 35.77%；200-299 兆瓦容量机组 152 台，总容量 0.31 亿千瓦，占 4.19%；100-199

兆瓦容量机组 156 台，总容量 0.22 亿千瓦，占 2.89%。燃煤机组装机容量构成见图 2-4。

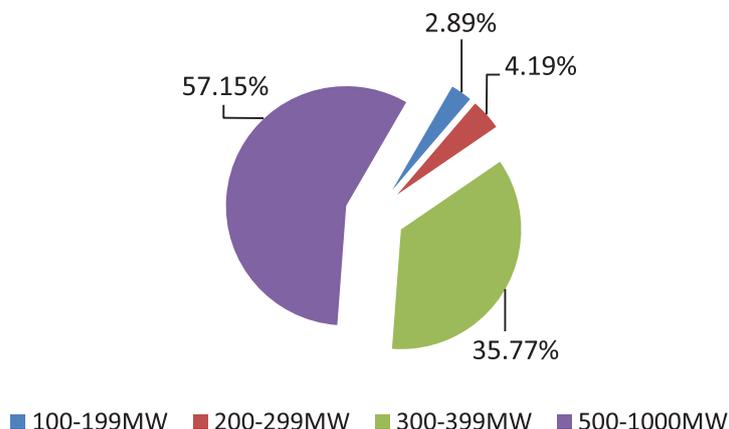


图 2-4 2018 年 100 兆瓦及以上容量燃煤机组装机容量构成

四、40 兆瓦及以上容量水电机组装机容量构成

按机组类型分：轴流机组 158 台，总容量 0.16 亿千瓦，占统计水电总装机容量的 7.4%；混流机组 754 台，总容量 1.77 亿千瓦，占 80.29%；抽水蓄能机组 103 台，总容量 0.27 亿千瓦，占 12.31%。水电机组装机按机组类型构成见图 2-5。

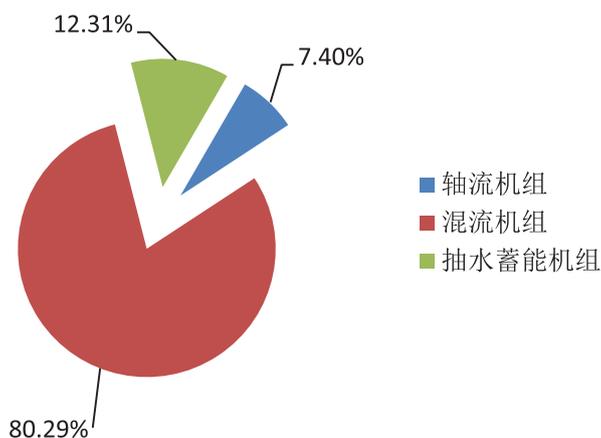


图 2-5 2018 年 40 兆瓦及以上容量水电机组按类型分类装机容量构成

按单机容量分：40-99 兆瓦机组 397 台，总容量 0.24 亿千瓦，占水电总装机容量的 10.88%；100-199 兆瓦机组 216 台，总容量 0.29 亿千瓦，占 13.29%；200-299 兆瓦机组 120 台，总容量 0.28 亿千瓦，占 12.77%；300-399 兆瓦机组 125 台，总容量 0.39 亿千瓦，占 17.84%；400 兆瓦及以上容量机组 157 台，总容量 1 亿千瓦，占 45.22%。水电机组装机按单机容量构成见图 2-6。

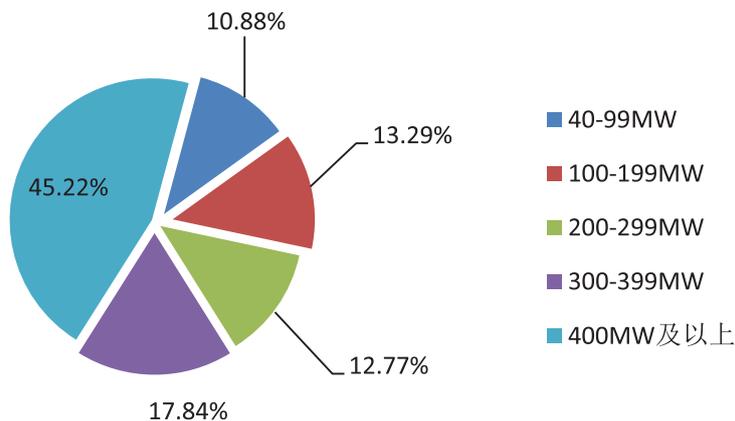


图 2-6 2018 年按机组容量分类的水电机组装机容量构成

第二节 1000 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性

2018 年，纳入可靠性统计的 1000 兆瓦等级火电机组 99 台，均为燃煤机组，同比增加 8 台，容量增加 0.08 亿千瓦。2018 年台年平均利用小时数 5096.55 小时，同比增加 89.13 小时。等效可用系数 92.6%，同比下降 0.12 个百分点。发生强迫停运共 61 次，同比增加 23 次；停运时间共 5158.97 小时，同比增加 2691.83 小时。

一、2014-2018 年 1000 兆瓦等级燃煤机组主要运行可靠性指标

表 2-1 2014-2018 年 1000 兆瓦等级燃煤机组主要运行可靠性指标

分类	年份	指标				
		统计台数 (台)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)
1000 兆瓦	2014	60	83.13	90.91	0.26	0.44
	2015	67	78.82	91.24	0.52	0.23
	2016	80	75.77	91.61	0.18	0.33
	2017	91	78.31	92.72	0.20	0.42
	2018	99	80.46	92.60	0.52	0.60

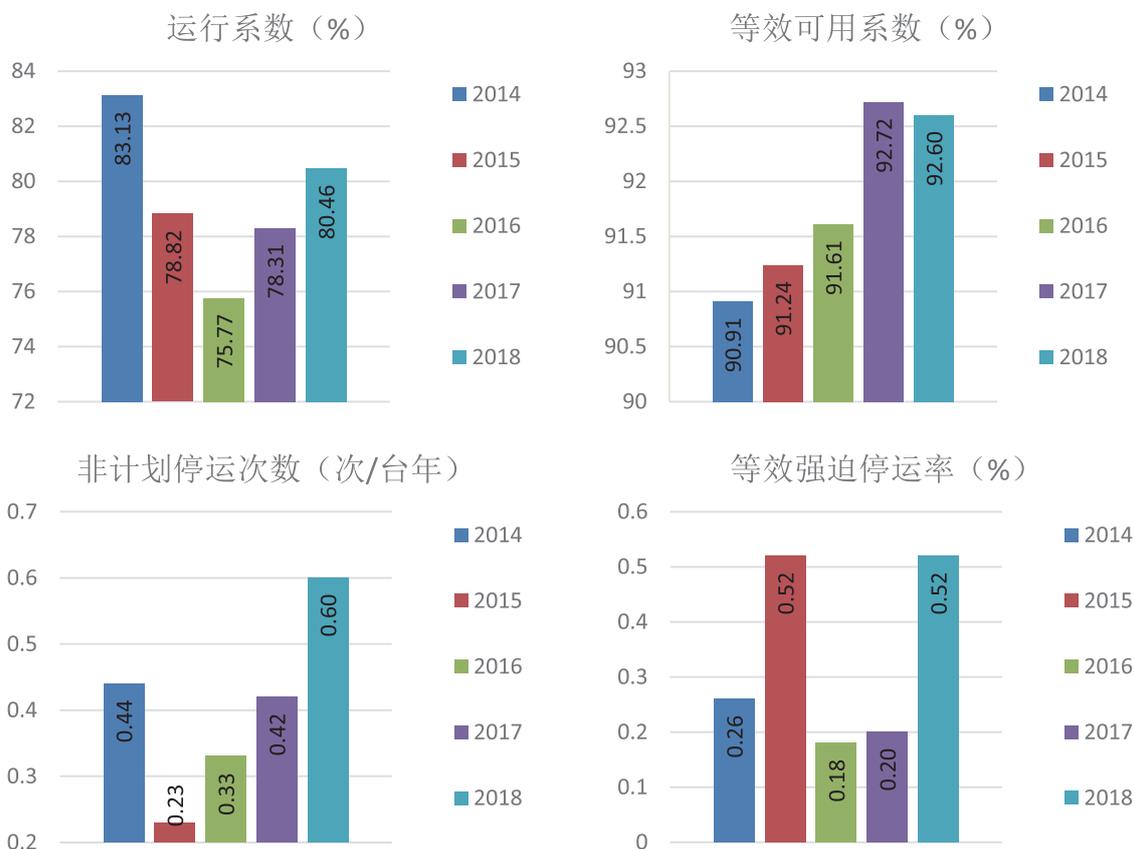


图 2-7 2014-2018 年 1000 兆瓦燃煤机组主要可靠性指标

二、锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机等效可用系数的影响

表 2-2 2018 年 1000 兆瓦等级机组锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家		统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时 / 台年)		影响整机等效可用系数的百分点 (%)	
			总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
锅炉	上海锅炉	38	31.64	13.79	0.36	0.16
	东方锅炉	38	49.88	28.65	0.57	0.33
	哈尔滨锅炉	19	69.56	43.29	0.79	0.49
	北京巴威	4	51.42	0.64	0.59	0.01
汽机	上海汽机	61	1.55	1.12	0.02	0.01
	东方汽机	26	0.63	0.00	0.01	0.00
	哈尔滨汽机	8	0.49	0.00	0.01	0.00
	上海电气	2	0.00	0.00	0.00	0.00
	北重电	2	6.17	0.00	0.07	0.00

制造厂家		统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
			总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
发电机	上海电机	61	3.46	0.00	0.04	0.00
	东方电机	25	26.47	26.47	0.30	0.30
	哈尔滨电机	8	1.20	1.20	0.01	0.01
	北重电	2	0.00	0.00	0.00	0.00
	上虹桥	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	日立	1	0.00	0.00	0.00	0.00

全国 99 台燃煤 1000 兆瓦机组可靠性指标分布情况见表 2-3 及图 2-8，运行较好的机组见表 2-4。

表 2-3 2018 年 1000 兆瓦等级燃煤机组可靠性指标分布

指标 对标值	等效可用系数 (%) EAF	运行系数 (%) SF	出力系数 (%) OF	等效强迫停运率 (%) EFOR	非计划停运次数 UOT	非计划停运小时 UOH
最优值	100.00	100.00	82.32	0.00	0	0.00
第 5% 值	100.00	96.27	80.63	0.00	0	0.00
第 25% 值	98.54	88.1	75.45	0.00	0	0.00
中位值	91.90	80.94	72.20	0.00	0	0.00
第 75% 值	88.77	75.39	70.45	0.30	1	21.88
末位值	80.82	45.44	55.81	8.19	4	799.22
总平均值	92.60	80.46	72.31	0.52	0.60	52.33

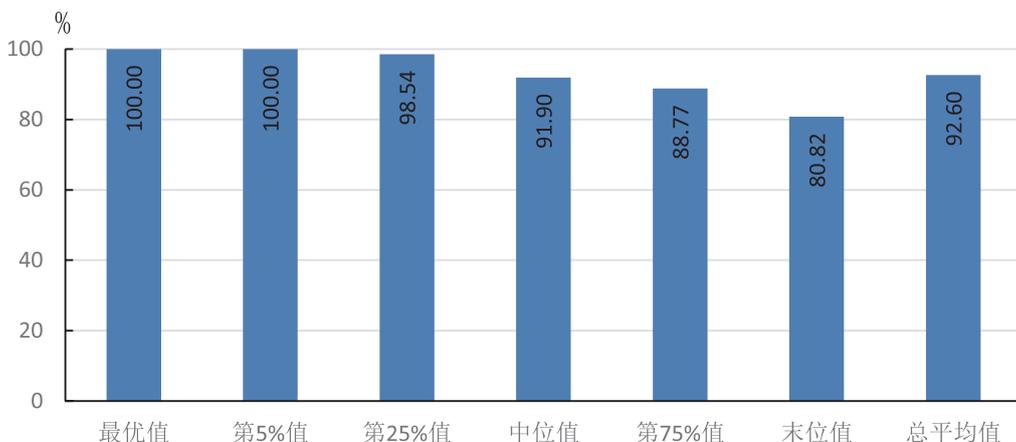


图 2-8 2018 年 1000 兆瓦等级燃煤机组等效可用系数指标分布

表 2-4 2018 年 1000 兆瓦等级运行指标较好的燃煤机组

机组名称	运行暴露率 EXR (%)
国家能源国电泰州发电有限公司 3 号机组	97.11
江西大唐国际抚州发电有限责任公司 2 号机组	96.63
国家能源广东国华粤电台山发电有限公司 7 号机组	96.27
国家能源国电浙江北仑第三发电有限公司 7 号机组	95.71
华能南方分公司海门电厂 4 号机组	94.98
华电国际邹县发电厂 7 号机组	94.70
国家能源广东国华粤电台山发电有限公司 6 号机组	94.12
华能河南分公司沁北电厂 5 号机组	90.96
国家电投江苏常熟发电有限公司 6 号机组	90.75
华能江苏分公司金陵燃煤电厂 1 号机组	90.69

第三节 600 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性

2018 年，纳入可靠性统计的 600 兆瓦等级机组 503 台，均为燃煤机组。其中国产 478 台，进口 25 台。

一、2014-2018 年 600 兆瓦等级燃煤机组主要可靠性指标

2018 年，600 兆瓦等级机组等效可用系数同比下降了 0.06%，主要因素是非计划停运次数和等效强迫停运率均高于 2017 年。发生强迫停运共 308 次，停运时间共 21934.88 小时，同比分别增加 26 次、6473.68 小时。600 兆瓦等级燃煤机组主要可靠性指标见表 2-5。

表 2-5 2014-2018 年 600 兆瓦等级燃煤机组主要可靠性指标

分类	年份	指标				
		统计台数 (台)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数(次/台年)
600-699 兆瓦	2014	429	78.09	92.42	0.43	0.43
	2015	442	72.55	92.35	0.42	0.40
	2016	474	69.08	91.86	0.23	0.37
	2017	489	71.29	92.54	0.57	0.71
	2018	503	77.52	92.48	0.70	0.79

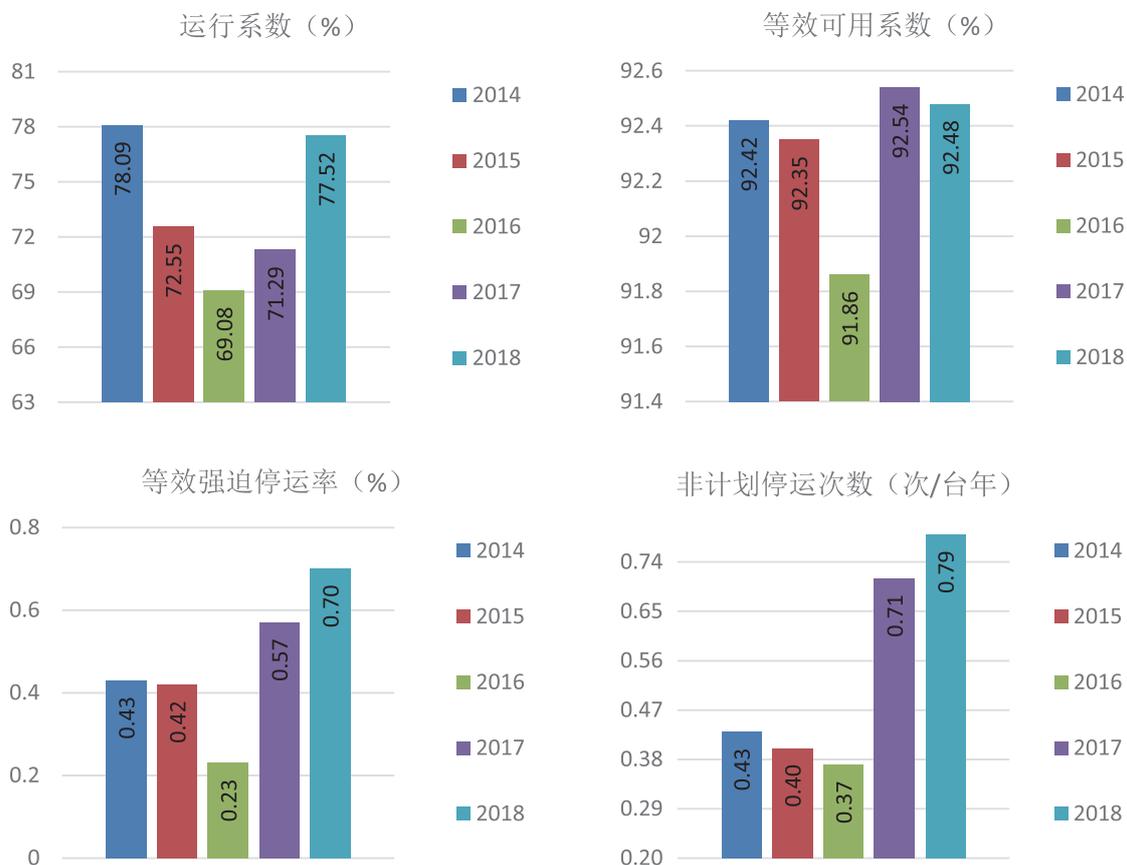


图 2-9 2014-2018 年 600 兆瓦等级机组主要可靠性指标

按投运年份分类，投运十年以下的机组 297 台，占 600 兆瓦等级机组的 59.45%，平均等效可用系数 92.7%，高于 600 兆瓦等级燃煤机组平均等效可用系数 0.22 个百分点。具体见图 2-10。

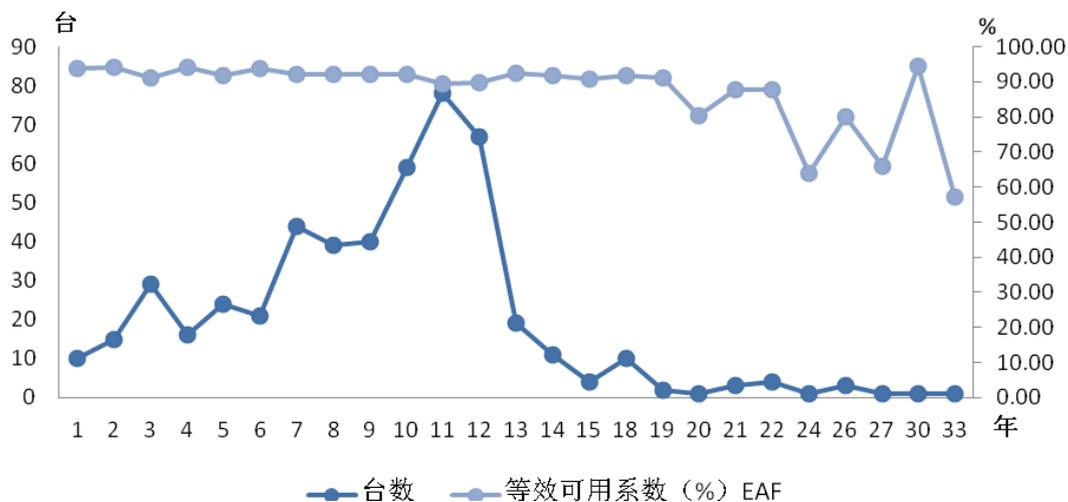


图 2-10 2018 年 600 兆瓦等级机组按投运年份和台数分类的平均等效可用系数

二、锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机等效可用系数的影响

(一) 600 兆瓦等级机组的锅炉

表 2-6 2018 年 600 兆瓦等级机组锅炉的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨锅炉	157	47.87	17.98	0.55	0.38
东方锅炉	142	47.09	12.07	0.54	0.23
上海锅炉	135	75.94	14.68	0.87	0.19
北京巴威	44	35.24	2.09	0.40	0.02
美国巴威	6	50.01	0.00	0.57	0.00
福斯特·惠勒公司	4	119.77	90.15	1.37	1.03
三井巴布科克	4	53.43	0.00	0.61	0.00

(二) 600 兆瓦等级机组的汽机

表 2-7 2018 年 600 兆瓦等级机组汽机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
东方汽机	164	6.95	3.11	0.08	0.04
上海汽机	160	10.93	1.27	0.12	0.01
哈尔滨汽机	140	14.88	1.69	0.17	0.02
北重电	9	1.62	0.00	0.02	0.00
日本东芝	6	0.00	0.00	0.00	0.00
法国阿尔斯通	5	42.54	0.00	0.49	0.00
日立	5	1.52	0.00	0.02	0.00

(三) 600 兆瓦等级机组的发电机

表 2-8 2018 年 600 兆瓦等级机组发电机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
东方电机	159	15.84	8.11	0.18	0.09
上海电机	151	2.68	0.38	0.03	0.00

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨电机	142	9.05	3.63	0.10	0.04
北重电	11	4.32	0.00	0.05	0.00
日本东芝	6	0.00	0.00	0.00	0.00
德国西门子	6	0.00	0.00	0.00	0.00
日立	5	0.00	0.00	0.00	0.00
东风电机厂	5	0.00	0.00	0.00	0.00
美国西屋	4	0.00	0.00	0.00	0.00

全国 503 台燃煤 600 兆瓦等级机组可靠性指标对标情况见表 2-9 及图 2-11，运行指标较好机组见表 2-10。

表 2-9 2018 年 600 兆瓦等级燃煤机组可靠性指标分布

指标 对标值	等效可用系数 (%) EAF	运行系数 (%) SF	出力系数 (%) OF	等效强迫停运率 (%) EFOR	非计划停运次数 UOT	非计划停运小时 UOH
最优值	100.00	100.00	89.11	0.00	0	0.00
第 5% 值	100.00	95.58	79.34	0.00	0	0.00
第 25% 值	99.83	86.93	72.94	0.00	0	0.00
中位值	93.56	78.79	69.11	0.00	0	0.00
第 75% 值	88.31	66.76	65.29	0.27	1	55.70
末位值	0.00	0.00	0.00	23.01	7	2797.33
总平均值	92.48	75.52	69.10	0.70	0.79	96.90

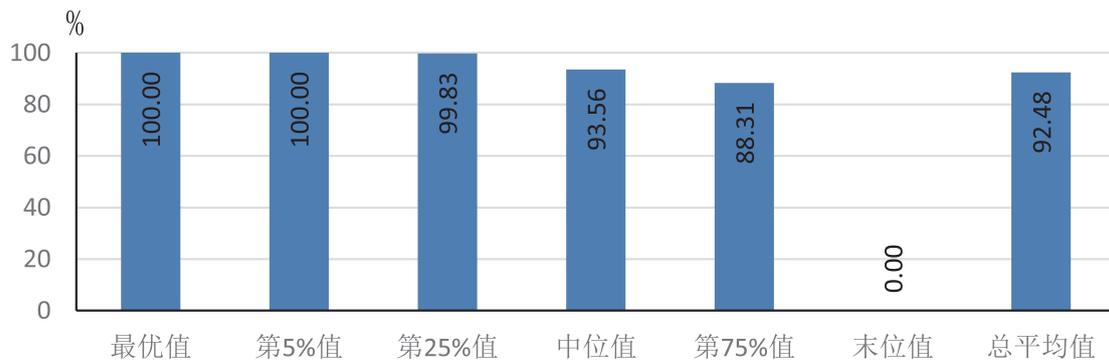


图 2-11 2018 年 600 兆瓦等级燃煤机组等效可用系数指标分布

表 2-10 2018 年 600 兆瓦等级运行指标较好燃煤机组

机组名称	运行暴露率 EXR (%)
华能山东分公司威海电厂 5 号机组	100.00
国家能源浙江国华浙能发电有限公司 3 号机组	100.00
淮浙煤电有限责任公司凤台发电分公司 1 号机组	100.00
国家能源江苏国华陈家港发电有限公司 1 号机组	100.00
浙江浙能兰溪发电有限责任公司 2 号机组	100.00
国家能源河北国华定州发电有限责任公司 4 号机组	100.00
国家能源河北国华沧东发电有限责任公司 3 号机组	100.00
大唐淮南洛河发电厂 5 号机组	99.10
浙江大唐乌沙山发电有限责任公司 2 号机组	98.90
天津大唐国际盘山发电有限责任公司 3 号机组	98.11
大唐阳城发电有限责任公司 7 号机组	98.05
大唐贵州发耳发电有限公司 4 号机组	97.28
大唐黄岛发电有限责任公司 5 号机组	96.70
国家电投田集第二发电厂 3 号机组	96.37
国家电投贵溪发电有限公司 1 号机组	96.35
华能福建分公司福州电厂 6 号机组	96.04
国家能源国华太仓发电有限公司 7 号机组	95.65
国家能源陕西国华锦界能源有限责任公司 2 号机组	95.33
华润电力菏泽发电公司 1 号机组	94.80
大唐信阳发电有限责任公司 4 号机组	94.66

第四节 300 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性

2018 年，纳入可靠性统计的 300 兆瓦等级燃煤机组共 836 台，其中国产燃煤机组 770 台，进口燃煤机组 66 台。

一、2014-2018 年 300 兆瓦等级燃煤机组主要可靠性指标

300 兆瓦等级燃煤机组运行系数保持总体平稳，等效可用系数连续两年略有下降，等效强迫停运率和非计划停运次数从 2016 年开始呈上升趋势，2018 年计划停运和非计划停运时间同比均有所增加，分别增加了 11.61 小时 / 台年和 76.92 小时 / 台年。具体见表 2-11 及图 2-12。

表 2-11 2014-2018 年 300 兆瓦等级燃煤机组主要可靠性指标

分类	年份	指标				
		统计台数 (台)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫 停运率 (%)	非计划停运次数 (次 / 台年)
300 兆瓦等级	2014	748	87.02	91.92	0.38	0.47
	2015	787	69.42	93.07	0.27	0.31
	2016	819	67.36	93.86	0.31	0.35
	2017	825	69.62	93.16	0.63	0.65
	2018	836	73.72	92.15	1.32	0.80

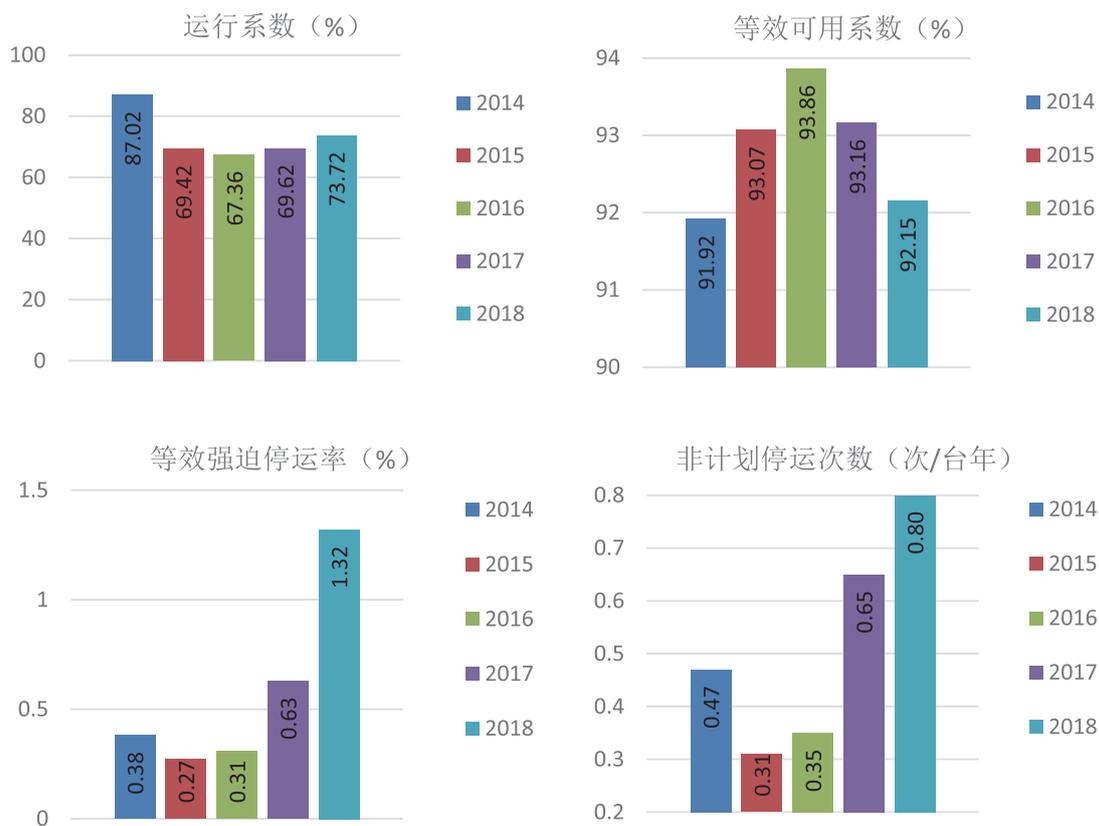


图 2-12 2014-2018 年 300 兆瓦等级燃煤机组主要可靠性指标

按投运年份分类，投运年份在 30 年以上的机组有 22 台；投运 15 年以上的机组 279 台，占 300 兆瓦级燃煤机组的 33.25%，平均等效可用系数 92.68%，高于全部 300 兆瓦等级燃煤机组等效可用系数 0.53 个百分点。300 兆瓦等级燃煤机组等效可用系数 92.15%，低于全国 100 兆瓦及以上容量燃煤机组。具体见图 2-13。

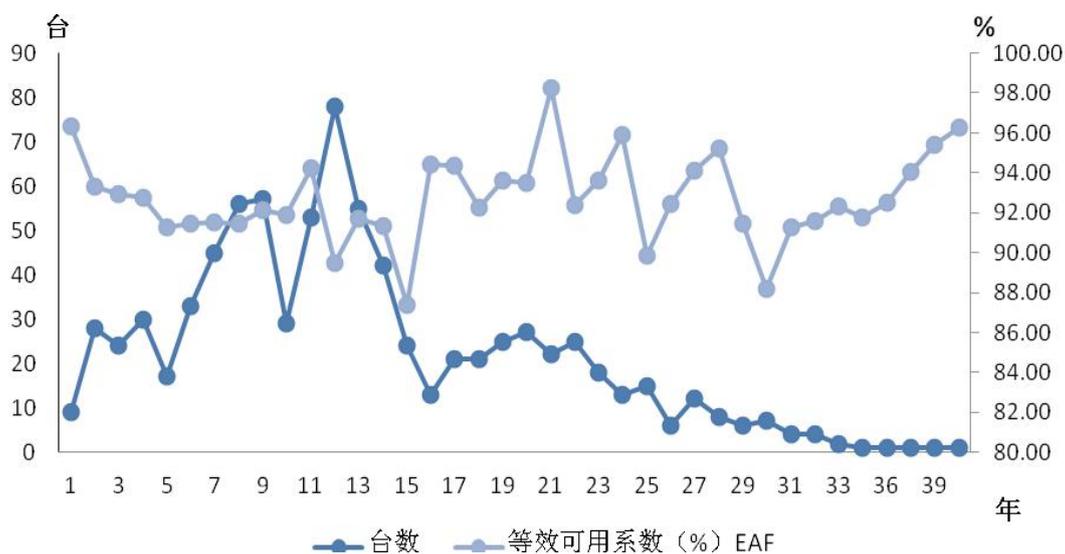


图 2-13 2018 年 300 兆瓦等级机组按投运年份和台数分类的平均等效可用系数

二、锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机等效可用系数的影响

(一) 300 兆瓦等级燃煤机组的锅炉

表 2-12 2018 年 300 兆瓦等级机组锅炉的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时 / 台年)		影响整机等效可用系数的百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨锅炉	225	67.71	9.57	0.77	0.10
上海锅炉	218	41.57	12.06	0.47	0.13
东方锅炉	213	30.95	10.64	0.35	0.12
北京巴威	61	102.08	17.98	1.17	0.21
武汉锅炉	51	51.62	5.87	0.59	0.07
福斯特·惠勒公司	12	33.20	0.00	0.38	0.00
日本三菱	12	48.82	10.68	0.56	0.12
三井巴布科克	6	0.00	0.00	0.00	0.00
法国斯坦因	6	23.73	0.55	0.27	0.01
巴布科克·威尔科克斯	4	29.04	0.00	0.33	0.00
西班牙福斯特·惠勒公司	4	18.60	0.00	0.21	0.00
俄罗斯塔干罗格	4	51.98	21.78	0.59	0.25
德国巴布科克	4	164.81	50.17	1.88	0.57

(二) 300 兆瓦等级燃煤机组的汽机

表 2-13 2018 年 300 兆瓦等级机组汽机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
上海汽机	274	7.45	1.72	0.09	0.02
东方汽机	233	7.45	1.67	0.09	0.02
哈尔滨汽机	196	6.16	3.04	0.07	0.03
北重电	61	9.21	4.74	0.11	0.05
日本三菱	11	0.22	0.00	0.00	0.00
德国西门子	10	0.26	0.00	0.00	0.00
英国阿尔斯通	10	0.38	0.00	0.00	0.00
美国通用电气	8	0.00	0.00	0.00	0.00
意大利安沙尔多	6	0.00	0.00	0.00	0.00
日立	6	0.00	0.00	0.00	0.00
美国西屋	6	0.00	0.00	0.00	0.00

(三) 300 兆瓦等级燃煤机组的发电机

表 2-14 2018 年 300 兆瓦等级机组发电机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
上海电机	278	3.03	1.33	0.03	0.02
东方电机	224	2.45	1.65	0.03	0.02
哈尔滨电机	196	6.45	4.05	0.07	0.05
北重电	56	5.47	0.10	0.06	0.00
日本三菱	11	0.00	0.00	0.00	0.00
英国阿尔斯通	10	0.00	0.00	0.00	0.00
德国西门子	10	0.00	0.00	0.00	0.00
美国通用电气	8	0.00	0.00	0.00	0.00
济发设备	8	9.00	0.00	0.10	0.00

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时 / 台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
意大利安沙尔多	6	0.00	0.00	0.00	0.00
美国西屋	6	0.00	0.00	0.00	0.00
俄罗斯列宁格勒	4	0.00	0.00	0.00	0.00

全国 836 台 300 兆瓦等级燃煤机组可靠性指标分布情况见表 2-15 及图 2-14，运行指标较好机组见表 2-16。

表 2-15 2018 年 300 兆瓦等级燃煤机组可靠性指标分布

指标 对标值	等效可用系数 (%) EAF	运行系数 (%) SF	出力系数 (%) OF	等效强迫停 运率 (%) EFOR	非计划停运 次数 UOT	非计划停运 小时 UOH
最优值	100.00	100.00	94.42	0.00	0	0.00
第 5% 值	100.00	94.70	79.84	0.00	0	0.00
第 25% 值	97.95	86.68	73.48	0.00	0	0.00
中位值	93.91	78.35	69.44	0.00	0	0.00
第 75% 值	88.96	65.33	64.42	0.54	1	69.00
末位值	25.21	0.00	0.00	100.00	10	6552.00
总平均值	92.15	73.72	68.93	1.32	0.8	124.62

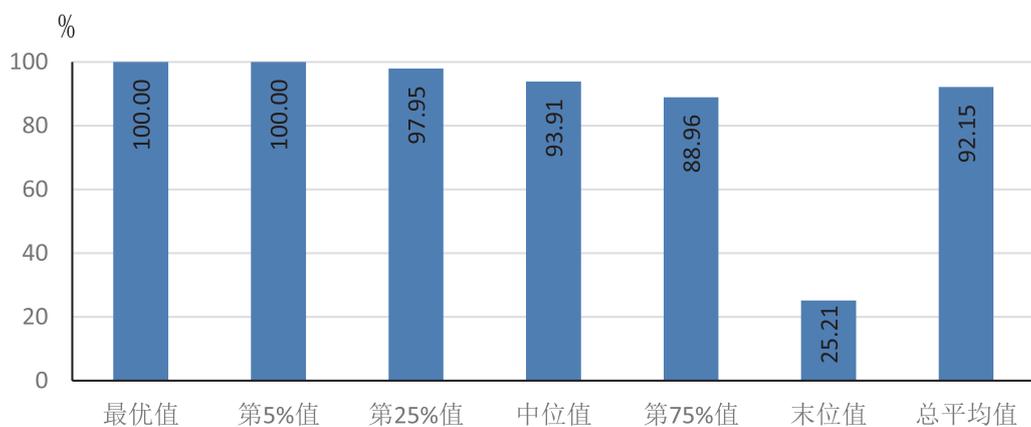


图 2-14 2018 年 300 兆瓦等级燃煤机组等效可用系数指标分布图

表 2-16 2018 年 300 兆瓦等级运行指标较好燃煤机组

机组名称	运行暴露率 EXR (%)
国家电投霍煤自备 8 号机组	100.00
华能山东分公司白杨河电厂 6 号机组	100.00
协鑫集团太仓港发电公司 5 号机组	100.00
华能江苏分公司南通电厂 3 号机组	100.00
京能内蒙古京宁热电有限责任公司 2 号机组	100.00
华能江苏分公司淮阴电厂 3 号机组	100.00
国家能源内蒙古国华准格尔发电有限责任公 4 号机组	100.00
华能海南分公司海口电厂 9 号机组	100.00
华能湖南分公司岳阳电厂 4 号机组	100.00
华能北方公司蒙达电厂 1 号机组	100.00
大唐阳城国际发电有限责任公司 6 号机组	98.13
内蒙古大唐国际呼和浩特热电有限责任公司 11 号机组	97.37
国家能源内蒙古国华准格尔发电有限责任公司 2 号机组	96.73
大唐江苏徐塘发电有限责任公司 6 号机组	96.54
华能江苏分公司太仓电厂 1 号机组	96.19
大唐阳城国际发电有限责任公司 5 号机组	94.81
华能海南分公司东方电厂 3 号机组	94.72
华能河南分公司洛阳热电厂 1 号机组	94.70
国家能源国电蓬莱发电有限公司 1 号机组	94.39
大唐国际发电股份有限公司张家口发电厂 1 号机组	94.11

第五节 200 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性

2018 年，纳入可靠性统计的 200 兆瓦火电机组共 152 台，均为燃煤机组，其中国产 144 台，进口 8 台。

一、2014-2018 年 200 兆瓦等级燃煤机组主要可靠性指标

200 兆瓦等级燃煤机组台数呈下降趋势。等效非计划停运率和非计划停运次数

同比上升幅度较大，导致 2018 年平均等效可用系数同比下降 2.24 个百分点。具体见表 2-17 及图 2-15。

表 2-17 2014-2018 年 200 兆瓦燃煤机组主要可靠性指标

分类	年份	统计台数 (台)	运行系数 (%)	等效可用 系数 (%)	等效强迫 停运率 (%)	非计划停运 次数 (次/台年)
200 兆瓦等级	2014	184	67.48	91.34	0.40	0.39
	2015	171	63.39	92.51	0.17	0.27
	2016	174	61.67	94.32	0.17	0.20
	2017	164	61.01	94.09	0.44	0.44
	2018	152	67.56	91.85	0.92	0.80

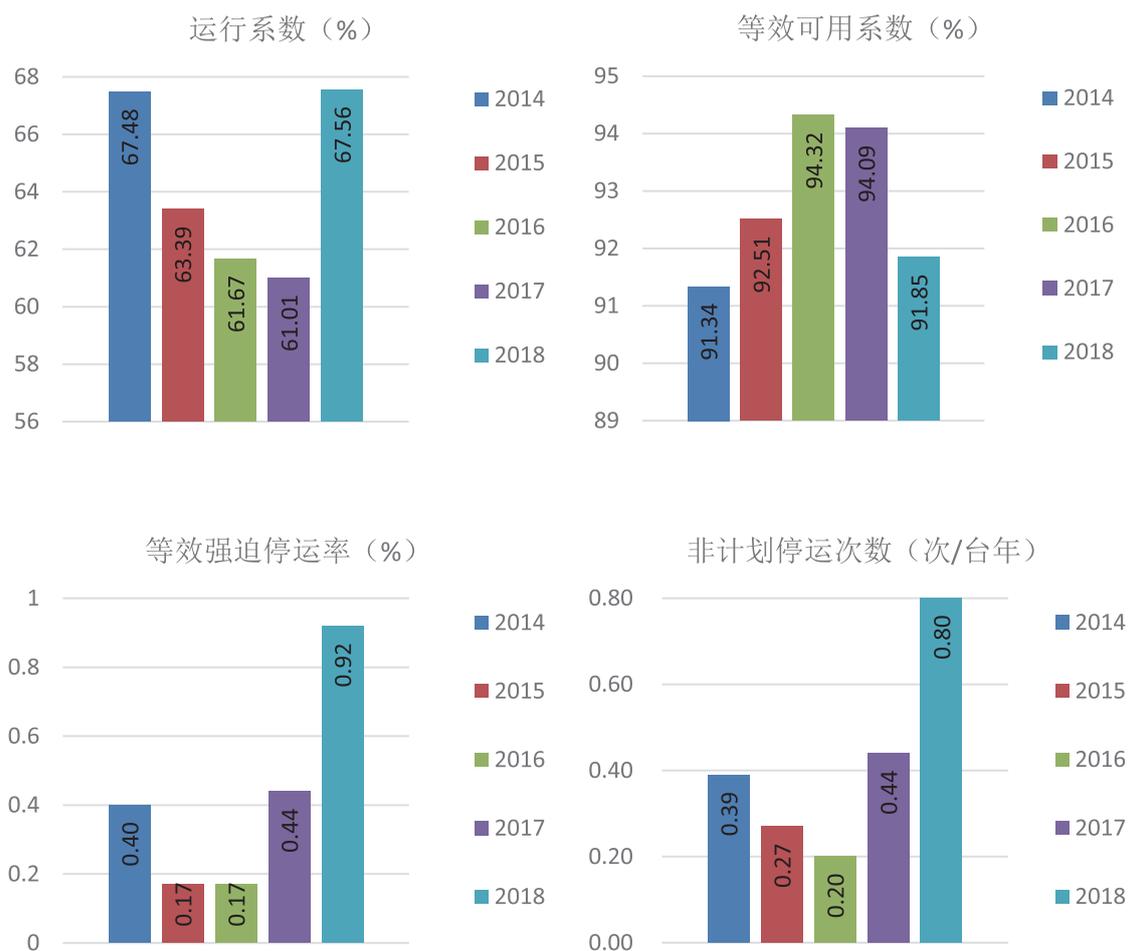


图 2-15 2014-2018 年 200 兆瓦等级燃煤机组主要可靠性指标趋势

二、锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机等效可用系数的影响

(一) 200 兆瓦等级燃煤机组的锅炉

表 2-18 2018 年 200 兆瓦等级机组锅炉的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨锅炉	55	39.19	25.44	0.45	0.29
东方锅炉	41	18.24	3.47	0.21	0.04
武汉锅炉	26	66.46	18.63	0.76	0.21
无锡锅炉	7	77.48	40.82	0.88	0.47
上海锅炉	6	0.13	0.00	0.00	0.00
北京巴威	5	0.19	0.00	0.00	0.00
四川锅炉	4	316.48	23.77	3.61	0.27

(二) 200 兆瓦等级燃煤机组的汽机

表 2-19 2018 年 200 兆瓦等级机组汽机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨汽机	88	37.90	4.59	0.43	0.05
东方汽机	35	5.43	0.55	0.06	0.01
北重电	18	73.61	0.01	0.84	0.00

(三) 200 兆瓦等级燃煤机组的发电机

表 2-20 2018 年 200 兆瓦等级机组发电机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数 (台)	等效非计划停运小时 (小时/台年)		影响整机等效可用系数的 百分点 (%)	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨电机	80	14.49	4.70	0.17	0.05
东方电机	27	0.00	0.00	0.00	0.00
北重电	17	23.39	2.71	0.27	0.03
济发设备	9	6.72	0.00	0.08	0.00
山电设备	4	0.00	0.00	0.00	0.00

第六节 超临界及以上燃煤机组运行可靠性

2018年，纳入可靠性统计的超临界及以上燃煤机组共518台，运行可靠性主要综合指标见表2-21。超临界及以上燃煤机组与10万千瓦及以上容量燃煤机组近五年平均等效可用系数趋势见图2-16。

表2-21 2014-2018年超临界及以上燃煤机组运行可靠性指标

统计年份	统计台数(台)	利用小时(小时/台年)	非计划停运次数(次/台年)	非计划停运小时(小时/台年)	等效可用系数(%)
2014	379	5009.54	0.51	36.92	91.98
2015	415	4564.89	0.38	28.49	91.88
2016	454	4406.45	0.34	16.96	91.50
2017	481	4557.57	0.69	56.80	92.20
2018	518	4761.90	0.81	80.04	92.68

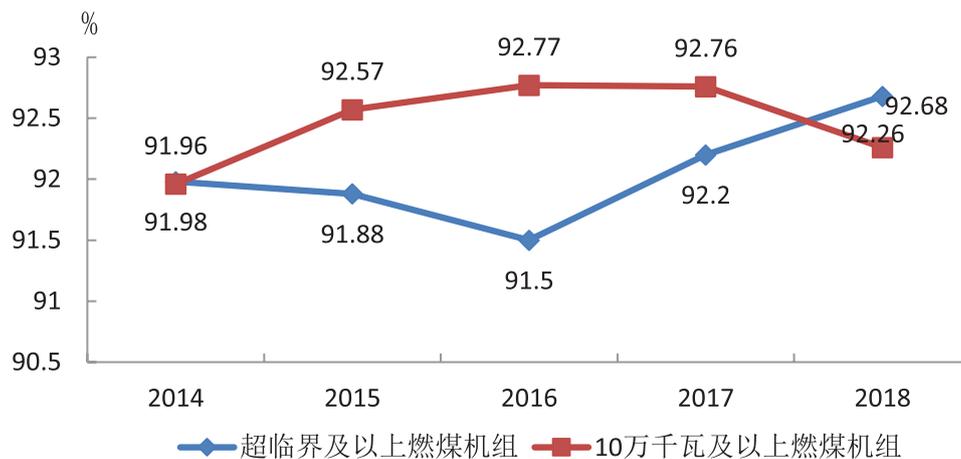


图 2-16 2014-2018 年超临界及以上燃煤机组等效可用系数趋势

第七节 100 兆瓦及以上容量燃气轮机组运行可靠性

2018年，纳入可靠性统计的100兆瓦及以上燃气轮机组共180台，总容量0.53亿千瓦。2014-2018年燃气轮机组主要可靠性指标见表2-22。2014-2018年燃气轮机组与燃煤机组等效可用系数趋势见图2-17。

表 2-22 2014-2018 年燃气轮机组主要可靠性指标

统计年度	统计台数 (台)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)
2014	112	46.41	92.60	0.08	0.26
2015	145	45.89	92.82	0.49	0.37
2016	152	44.65	92.30	1.63	0.39
2017	167	46.50	92.60	0.24	0.35
2018	180	48.50	92.47	0.30	0.45

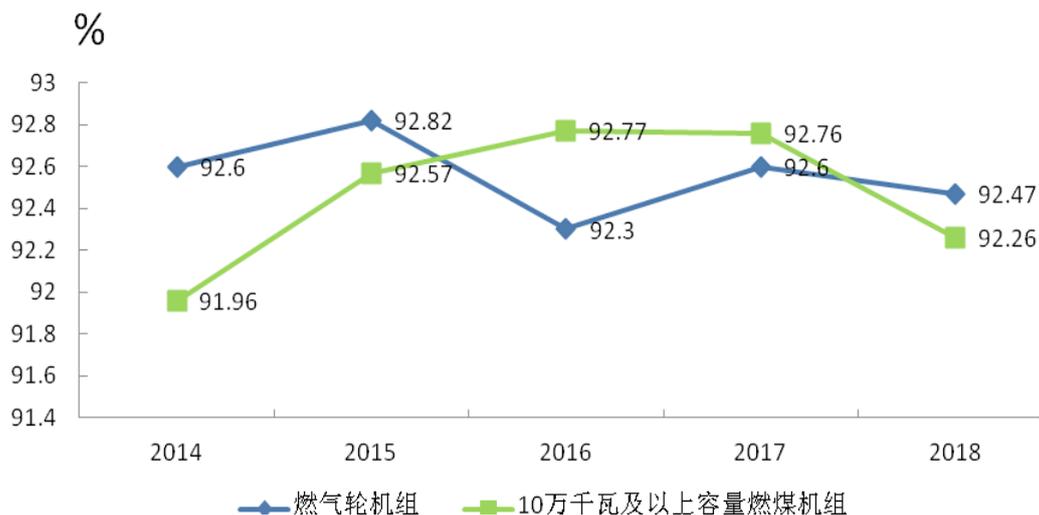


图 2-17 2014-2018 年燃气轮机与燃煤机组等效可用系数趋势

第八节 100 兆瓦及以上容量燃煤机组备用时间分析

2018 年，各区域电网燃煤机组备用时间均有不同幅度的降低。全国平均备用时间同比降低 410.78 小时。西南电网备用时间降低最多，同比降低 1134.67 小时。西南电网备用时间最长，为 3583.68 小时，南方电网其次为 2005.12 小时，内蒙电网机组备用时间最短，为 917.51 小时。具体见表 2-23 及图 2-18。

表 2-23 2014-2018 年按区域电网分类的火电机组备用时间

区域电网	2014 年备用 (小时/台年)	2015 年备用 (小时/台年)	2016 年备用 (小时/台年)	2017 年备用 (小时/台年)	2018 年备用 (小时/台年)
华北电网	1014.80	1482.58	1768.24	1506.91	1053.82
东北电网	1890.77	2145.91	2169.27	1848.08	1362.18
华东电网	1050.12	1508.57	1567.30	1525.46	1420.00

区域电网	2014 年备用 (小时/台年)	2015 年备用 (小时/台年)	2016 年备用 (小时/台年)	2017 年备用 (小时/台年)	2018 年备用 (小时/台年)
华中电网	1917.86	2579.75	2732.66	2376.83	1724.84
西北电网	1019.24	1666.37	1994.36	1865.58	1635.31
西南电网	2724.52	3794.50	4521.09	4718.35	3583.68
南方电网	1587.55	2447.62	3075.04	2420.20	2005.12
内蒙电网	1010.89	1533.63	2070.64	1634.49	917.51
全国	1321.65	1867.55	2115.88	1922.04	1511.26

注：华北电网-北京、天津、冀北、河北、山东和山西；东北电网-辽宁、吉林和黑龙江；华东电网-上海、江苏、浙江、安徽和福建；华中电网-湖北、湖南、河南和江西；西北电网-陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆；西南电网-四川、重庆和西藏；南方电网-广东、广西、云南、贵州和海南；内蒙电网-蒙东和蒙西。

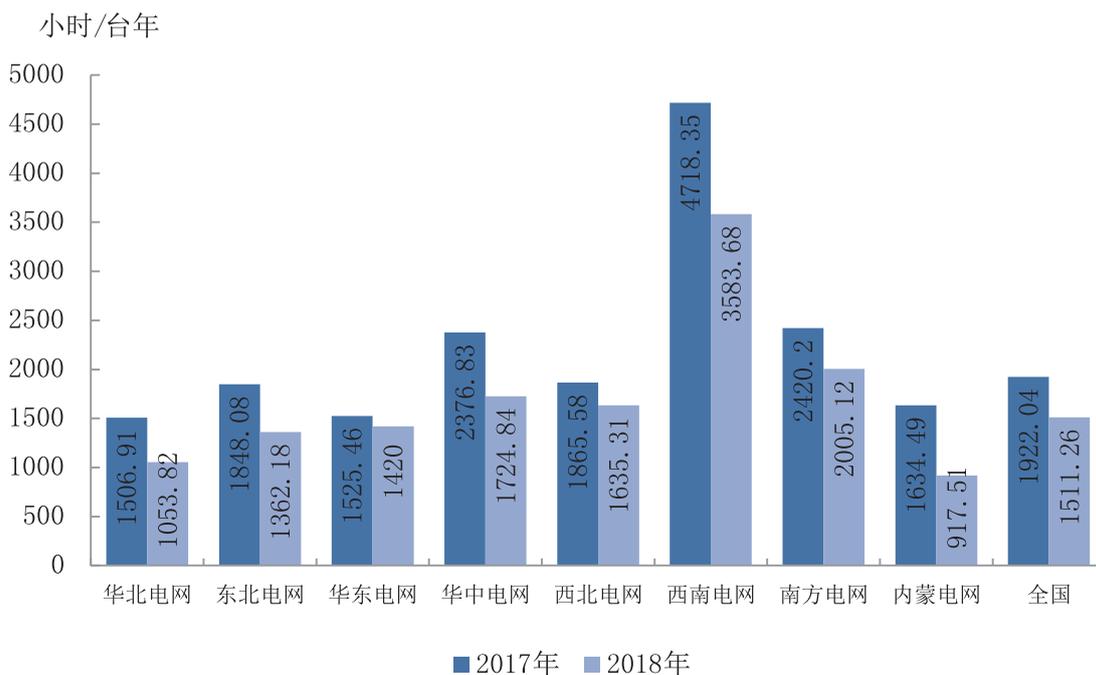


图 2-18 2017、2018 年各大区域备用小时

备用时间较少的五个省份分别是海南省 353.43 小时、宁夏回族自治区 680.41 小时、河北省 734.31 小时、江西省 841.03 小时、内蒙古自治区 917.51 小时；备用时间相对较长的五个省份分别是云南省 5919.88 小时、北京市 5473.65 小时、四川省 3990.4 小时、青海省 3377.91 小时、重庆市 3169.95 小时。具体见表 2-24。主要发电集团备用小时见图 2-19。

表 2-24 2018 年各省（市、区）燃煤机组备用及运行时间

电网分类	统计台数 (台)	平均容量 (兆瓦/台)	利用小时 (小时/台年)	运行小时 (小时/台年)	备用小时 (小时/台年)
北京市	4	192.50	2257.50	2995.79	5473.65
河北省	95	350.84	5349.91	7402.43	734.31
山西省	119	364.59	4708.74	6717.73	1289.47
内蒙古自治区	171	365.44	5157.14	7273.98	917.51
天津市	20	441.70	4930.84	7056.02	1140.48
山东省	142	367.64	5298.92	7033.28	1004.89
辽宁省	62	385.32	4308.32	7055.09	1035.14
吉林省	50	302.10	3692.93	6254.47	1731.02
黑龙江省	51	317.84	3974.25	6640.26	1500.96
江苏省	133	519.02	4784.65	6568.38	1576.09
浙江省	72	584.80	4895.64	6926.67	1163.79
安徽省	77	543.25	4856.73	6773.52	1401.76
上海市	27	531.48	4278.38	6393.08	1589.18
福建省	36	516.78	4969.41	6645.14	1329.77
河南省	109	444.68	3894.79	6247.82	1955.00
湖北省	48	467.92	4716.26	6288.36	1887.25
湖南省	39	459.62	4104.41	6211.56	1733.56
江西省	33	513.33	5183.13	7209.39	841.03
四川省	25	426.40	3147.46	4277.20	3990.47
重庆市	22	455.91	3185.08	4912.70	3169.95
陕西省	61	415.08	4674.73	6395.99	1602.01
甘肃省	34	337.79	3569.22	5222.20	2952.10
青海省	6	436.67	3493.80	4746.79	3377.91
宁夏回族自治区	42	444.29	5106.24	7238.36	680.41
新疆区	58	325.86	4044.48	6505.62	1603.98
广东省	101	505.27	4599.27	6708.25	1452.77
广西区	19	518.42	3417.77	5562.50	2774.14
云南省	32	387.50	1763.10	2653.02	5919.88
贵州省	68	408.97	4062.96	5981.96	1275.20
海南省	10	303.60	5220.76	7817.05	353.43

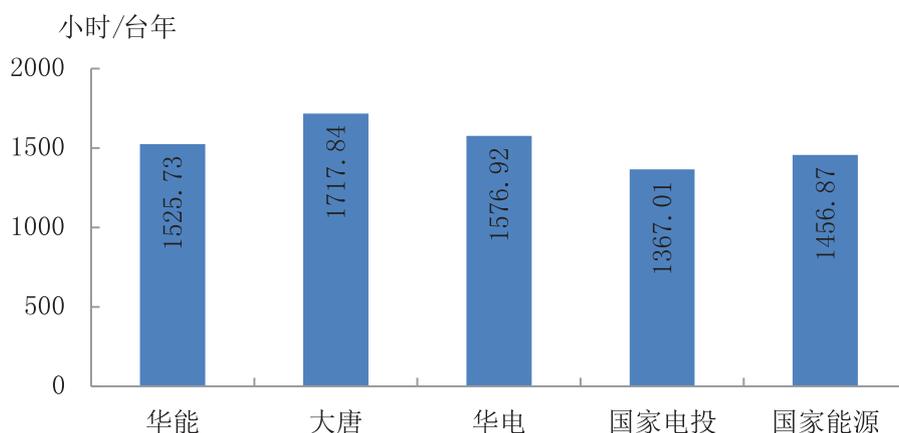


图 2-19 2018 年主要发电集团备用小时

第九节 2017 年新投产机组可靠性指标

2017 年投产、纳入 2018 年可靠性指标统计的燃煤机组共 29 台，总容量为 0.18 亿千瓦。近五年来燃煤机组投产后第一年运行可靠性指标见表 2-25。

表 2-25 2014-2018 年燃煤机组投产后第一年运行可靠性指标

指标年份	投产年份 (年)	统计台数 (台)	平均容量 (MW)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)
2014	2013	44	552.05	78.43	93.07	1.28	1.50
2015	2014	93	540.86	71.87	92.20	0.86	0.72
2016	2015	64	598.13	67.61	92.02	0.48	1.20
2017	2016	48	571.79	69.31	94.70	1.29	1.33
2018	2017	29	634.83	79.47	92.89	1.02	1.38

2017 年投产的燃煤机组 2018 年等效可用系数同比下降 1.81 个百分点，高于全国 10 万千瓦及以上容量燃煤机组平均值 0.63%；等效强迫停运率同比下降 0.27%；非计划停运次数增加 0.05 次/台年，高于全国 10 万千瓦及以上容量燃煤机组平均值 0.6 次/台年。具体见图 2-20。

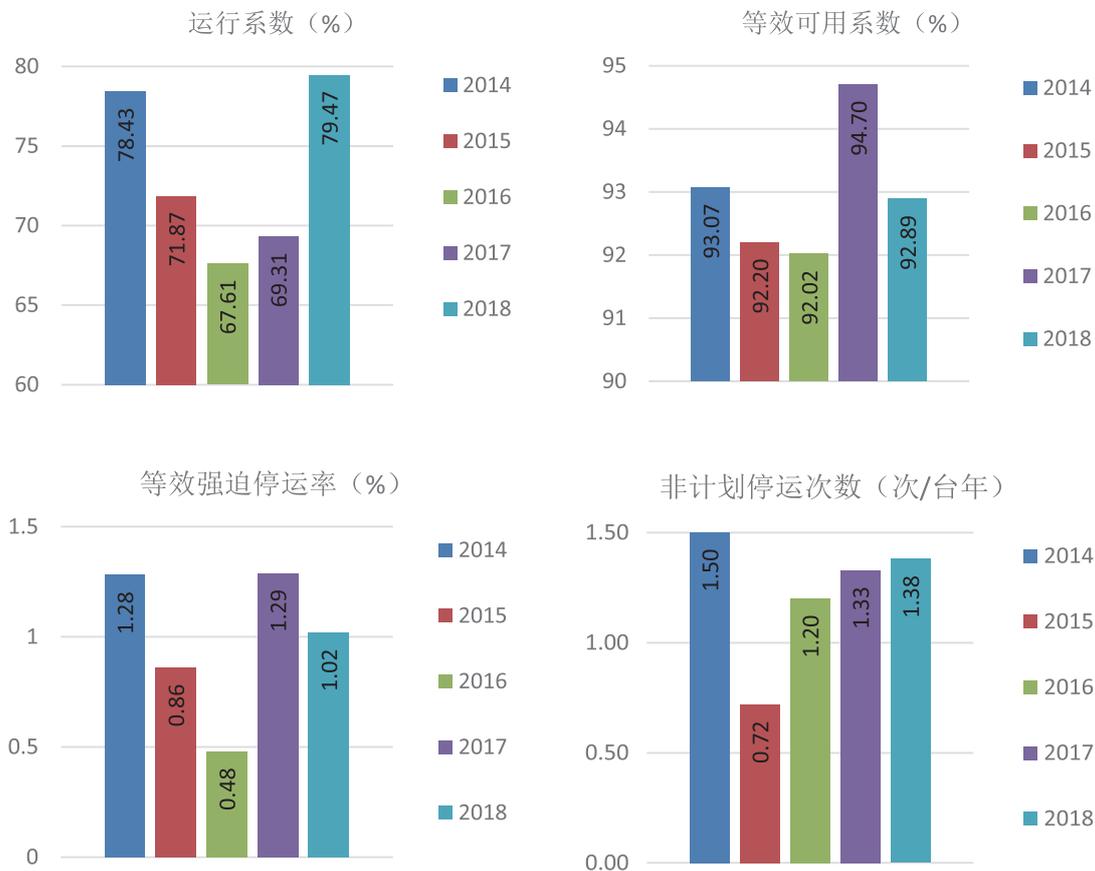


图 2-20 2014-2018 年燃煤新投产机组投产后第一年可靠性指标趋势

按照机组容量分析，2017 年新投产主要容量等级燃煤机组可靠性指标同比情况见图 2-21 及图 2-22。由图可见，2017 年新投产 300 兆瓦容量等级机组等效可用系数同比略有升高，600 兆瓦及 1000 兆瓦容量等级的机组有所下降；非计划停运次数同比增加。

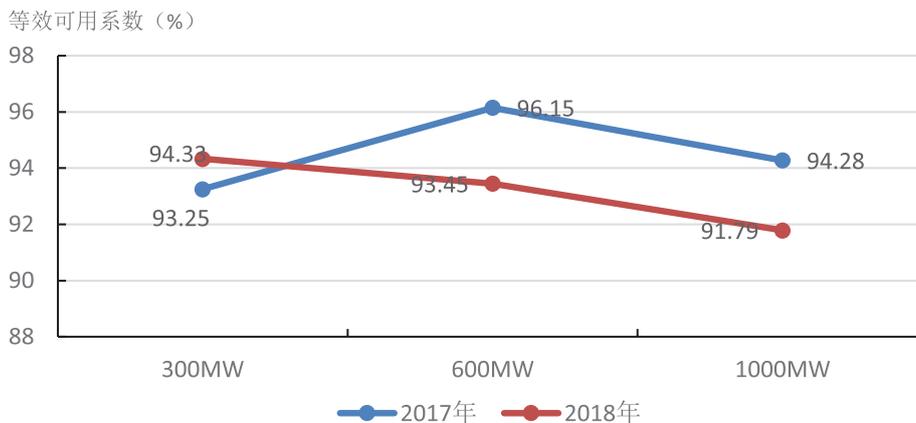


图 2-21 2017、2018 年统计新投产机组按容量划分等效可用系数

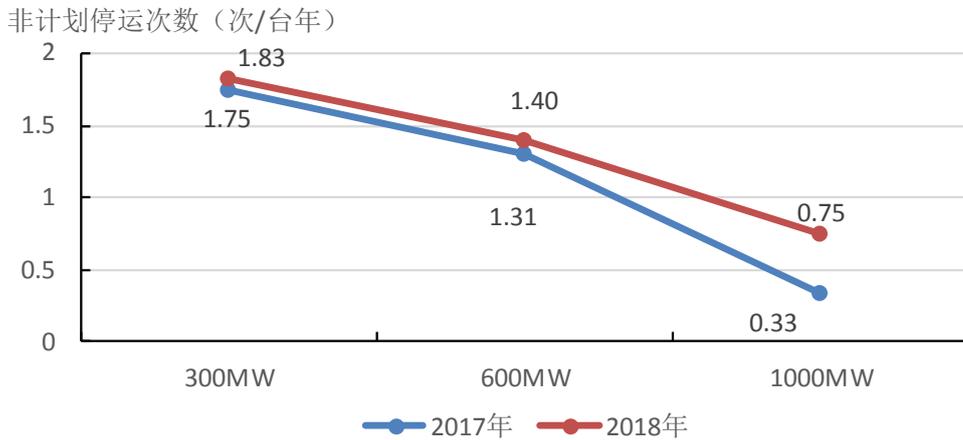


图 2-22 2017、2018 年统计新投产机组按容量划分等效可用系数

第十节 非计划停运分析

2018 年，全国 1766 台燃煤机组共发生非计划停运 1366 次，非计划停运总时间为 192441.04 小时，台年平均停运 0.78 次和 101.78 小时，同比增加 0.13 次和 49.19 小时。其中持续时间超过 300 小时的非计划停运共 129 次，非计划停运时间 112852.93 小时，占全部燃煤机组非计划停运总时间的 39.24%。

发生强迫停运 1096 次，强迫停运总时间 117635.14 小时，台年平均值分别为 0.63 次和 59.07 小时，同比增加 0.06 次和 23.48 小时。强迫停运占全部燃煤机组非计划停运总时间的 61.13%。

三大主设备中，锅炉引起的非计划停运台年平均为 0.28 次和 38.59 小时，占全部燃煤机组非计划停运总时间的 33.35%，为主要的非计划停运部件。锅炉、汽轮机、发电机三大主设备引发的非计划停运占到了全部燃煤机组非计划停运总时间的 46.13%。具体见表 2-26。

表 2-26 2018 年三大主设备引发非计划停运的比重

序号	主设备	停运次数（次 / 台年）	停运时间（小时 / 台年）	* 百分比
1	锅炉	0.28	38.59	33.35
2	汽轮机	0.10	8.55	7.39
3	发电机	0.06	6.24	5.39

* 百分比：占机组非计划停运时间的百分比

按照造成发电机组非计划停运的责任原因分析，燃料影响为第一位，台年平均为 0.08 次和 39.29 小时。前五位主要责任原因占全部燃煤机组非计划停运总时间的

80.91%。具体见表 2-27。

表 2-27 2018 年非计划停运的前五位责任原因

序号	责任原因	停运次数 (次/台年)	停运时间(小时/台年)	* 百分比
1	燃料影响	0.08	39.29	36.05
2	产品质量不良	0.21	20.81	19.10
3	设备老化	0.09	10.80	9.91
4	检修质量不良	0.09	9.96	9.14
5	施工安装不良	0.08	7.31	6.71

* 百分比: 占机组非计划停运时间的百分比

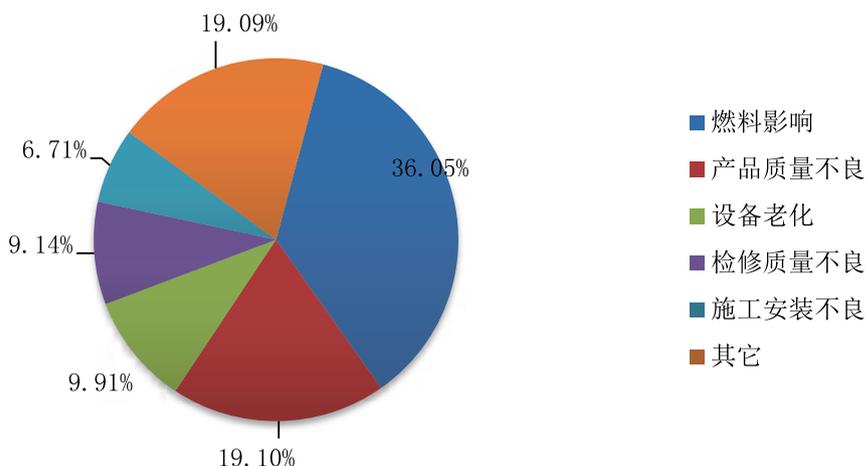


图 2-23 2018 年非计划停运的前五位责任原因占机组非计划停运时间的百分比

2018 年, 按照燃煤机组非计划停运事件持续时间长短分类, 停运次数最多的是 10-100 小时区间的非计划停运事件, 并且大部份是强迫停运事件, 占燃煤机组总非停次数的 34.26%; 其次在小于 10 小时的区间内, 占燃煤机组总非停次数的 32.14%; 超过 1000 小时的有 26 次, 其中有 15 次由于缺少发电用煤造成机组长时间非计划停运, 应当引起企业的重视。具体见表 2-28。

表 2-28 2018 年非计划停运事件按持续时间划分表

火电机组非计划停运时间(小时)	停运总次数(次)	占停运次数百分比(%)
<10	439	32.14
10-100	468	34.26
100-500	377	27.60
500-1000	56	4.10
1000	26	1.90

备注: 各分级数值范围中, 下限值包含, 上限值为不包含。

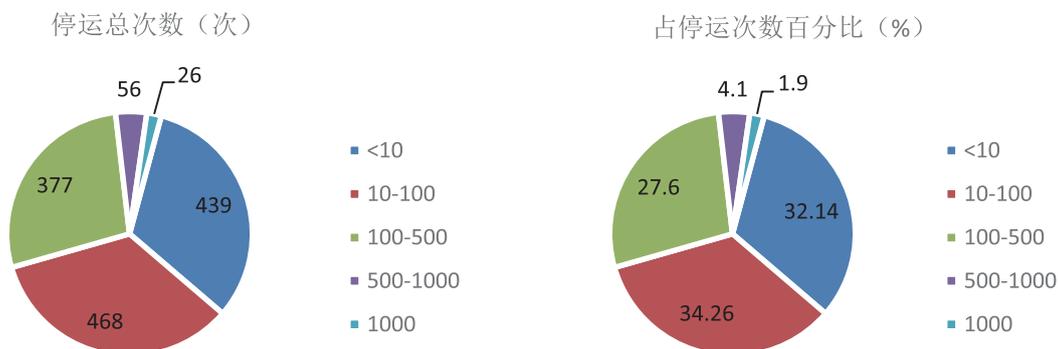


图 2-24 2018 年非计划停运事件按持续时间划分停运总次数和占比

第十一节 按地区分类的 100 兆瓦及以上容量燃煤机组运行可靠性

2018 年各地区 100 兆瓦及以上容量燃煤机组运行可靠性指标见表 2-29。

表 2-29 2018 年各地区 100 兆瓦及以上容量燃煤机组运行可靠性指标

地区	统计台数 (台)	平均容量 (兆瓦 / 台)	每千瓦装机发电量 兆瓦 h/kW	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	非计划停运次数 (次 / 台年)
华北	551	364.82	5.11	80.9	92.46	0.88
东北	163	338.68	4.04	76.64	92.12	0.80
华东	345	538.90	4.81	76.37	92.53	0.40
华中	276	458.28	4.13	69.8	92.87	0.60
西北	201	383.01	4.42	73.07	91.73	1.14
南方	230	452.73	4.05	68.33	91.09	1.02
全部	1766	424.54	4.57	75.06	92.26	0.78

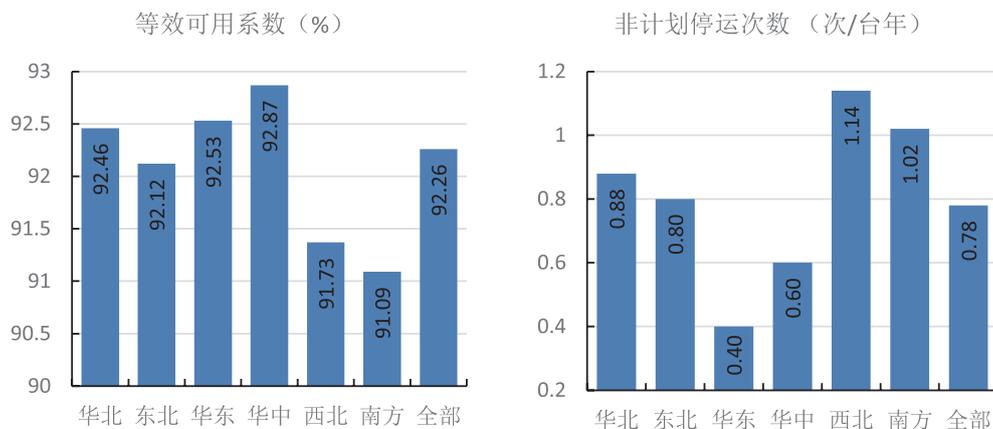


图 2-25 2018 年各地区 100 兆瓦及以上容量燃煤机组等效可用系数、非计划停运次数

第十二节 40 兆瓦及以上容量水电机组运行可靠性

一、2014-2018 年 40 兆瓦及以上容量水电机组运行可靠性指标

2018 年水电机组的等效可用系数同比下降 0.25%；运行系数为 55.68%，同比上升了 0.72%；非计划停运次数为 0.21 次/台年，同比增加了 0.02 次/台年；等效强迫停运率为 0.10%，同比下降了 0.04%。具体见表 2-30 及图 2-27。

表 2-30 2014-2018 年 40 兆瓦及以上容量水电机组主要可靠性指标

年	统计台数 (台)	平均容量 (兆瓦/台)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)	强迫停运次数 (次/台年)	强迫停运时间 (小时/台年)
2014	827	213.86	51.74	92.6	0.11	0.3	0.22	4.87
2015	885	218.62	51.8	92.05	0.08	0.27	0.19	3.41
2016	945	214.14	54.19	92.44	0.09	0.26	0.22	4.09
2017	971	218.07	54.96	92.55	0.14	0.19	0.14	6.91
2018	1015	217.63	55.68	92.3	0.10	0.21	0.14	4.95

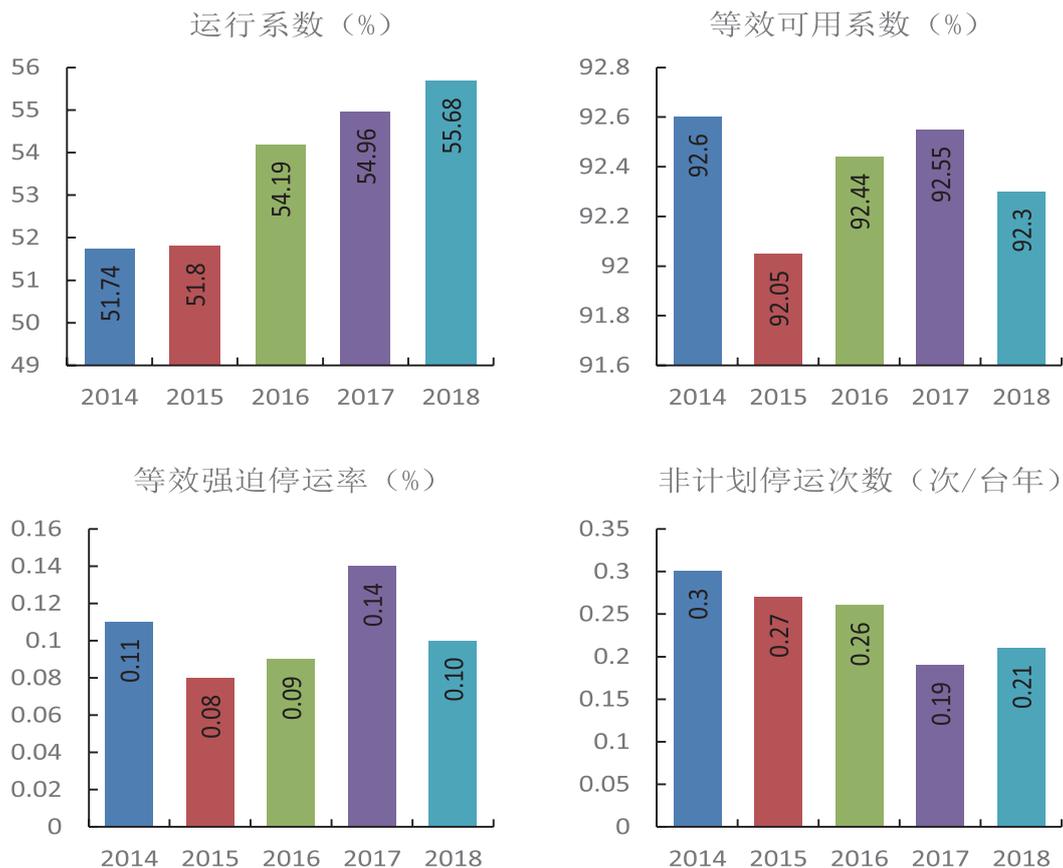


图 2-26 2014-2018 年 40 兆瓦及以上水电机组主要可靠性指标趋势

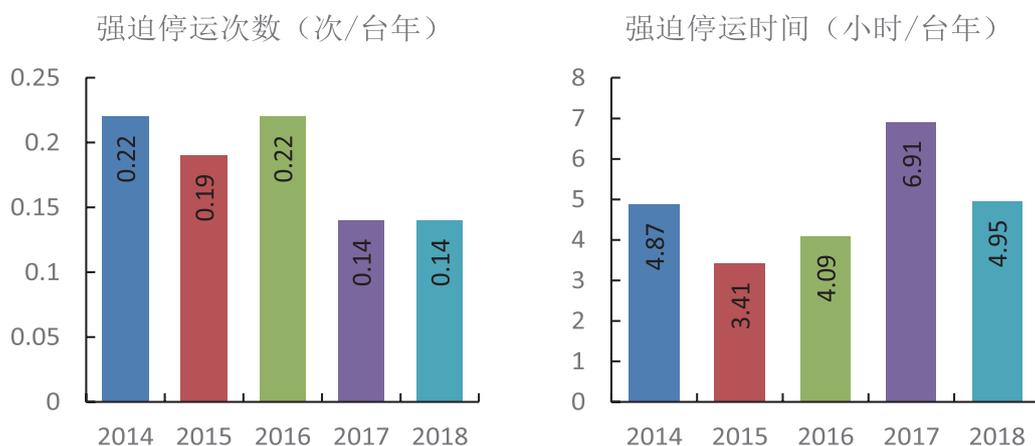


图 2-27 2014-2018 年水电机组强迫停运次数和时间趋势

二、2018 年 40 兆瓦及以上各容量水电机组运行可靠性指标分布

表 2-31 2018 年 40 兆瓦及以上各容量水电机组运行可靠性指标分布

分类	指标	统计台数 (台)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)
水电轴流机组		158	63.02	92.58	0.08	0.15
40-99 兆瓦		74	55.05	91.79	0.29	0.26
100-199 兆瓦		75	70.10	93.29	0.01	0.05
200-299 兆瓦		9	43.03	90.57	0.04	0.11
水电混流机组		754	58.66	93.09	0.09	0.11
40-99 兆瓦		316	53.93	93.54	0.03	0.06
100-199 兆瓦		135	49.29	92.14	0.61	0.07
200-299 兆瓦		84	48.32	92.85	0.01	0.11
300-699 兆瓦		143	64.55	92.29	0.07	0.22
700-750 兆瓦		76	60.08	94.36	0.01	0.15
抽水蓄能机组		103	32.03	87.02	0.26	1.06
40-99 兆瓦		7	20.36	60.88	0.25	1.00
100-199 兆瓦		6	27.12	91.00	0.00	0.17
200-299 兆瓦		27	27.55	87.12	0.20	0.56
300 兆瓦及以上		63	34.06	87.44	0.28	1.37
全部		1015	55.68	92.30	0.10	0.21

三、2014-2018 年 40 兆瓦及以上水电机组运行可靠性指标

表 2-32 2014-2018 年 40 兆瓦及以上水电机组主要可靠性指标

分类	年份	统计台数	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)
轴流机组	2014	140	61.68	93.35	0.02	0.13
	2015	144	64.01	92.75	0.00	0.11
	2016	151	64.19	93.14	0.02	0.13
	2017	149	61.03	92.24	0.00	0.10
	2018	158	63.02	92.58	0.08	0.15
混流机组	2014	602	55.49	92.85	0.07	0.09
	2015	656	54.57	92.38	0.06	0.09
	2016	709	55.47	92.76	0.08	0.07
	2017	725	57.47	92.99	0.15	0.05
	2018	754	58.66	93.09	0.09	0.11
抽水蓄能机组	2014	85	20.27	90.50	0.89	2.05
	2015	85	22.83	89.18	0.43	1.98
	2016	85	37.02	89.45	0.29	2.08
	2017	97	34.28	89.75	0.25	1.33
	2018	103	32.03	87.02	0.26	1.06
全部	2014	827	51.74	92.60	0.11	0.30
	2015	885	51.80	92.05	0.08	0.27
	2016	945	54.19	92.44	0.09	0.26
	2017	971	54.96	92.55	0.14	0.19
	2018	1015	55.68	92.30	0.10	0.21

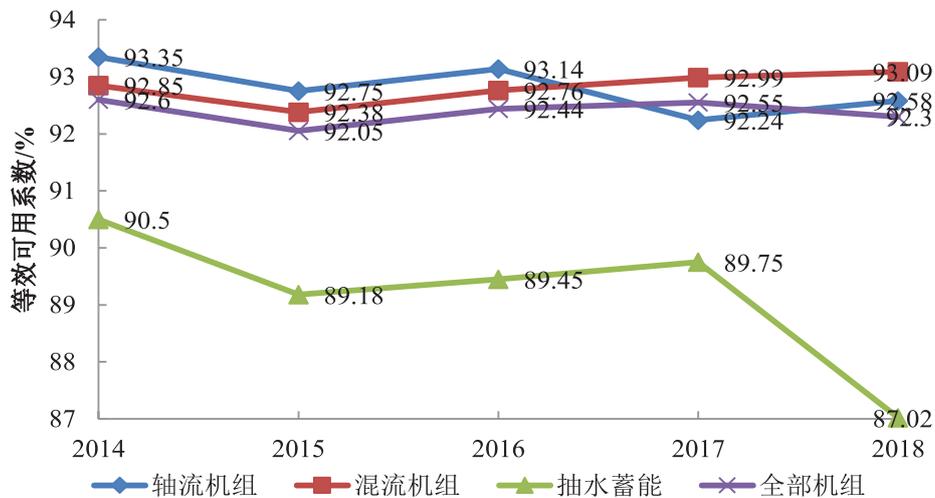


图 2-28 2014-2018 年 40 兆瓦及以上水电机组等效可用系数

四、2014-2018年40兆瓦及以上各容量等级水电机组运行可靠性指标

表 2-33 2014-2018年40兆瓦及以上各容量等级水电机组主要可靠性指标

机组型式	指标分类	年份	统计台数	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)
轴流机组	40-99兆瓦	2014	67	50.28	92.59	0.09	0.24
		2015	69	51.17	91.63	0.01	0.21
		2016	68	51.10	91.19	0.03	0.25
		2017	65	49.70	90.38	0.01	0.16
		2018	74	55.05	91.79	0.29	0.26
	100-199兆瓦	2014	64	68.26	93.28	0.00	0.02
		2015	66	69.32	94.06	0.00	0.02
		2016	74	67.58	94.12	0.02	0.03
		2017	75	66.50	93.16	0.00	0.03
		2018	75	70.10	93.29	0.01	0.05
	200-299兆瓦	2014	7	62.10	92.39	0.00	0.14
		2015	7	68.15	91.17	0.00	0.00
		2016	9	74.50	92.14	0.00	0.00
		2017	9	54.70	91.05	0.00	0.22
		2018	9	43.03	90.57	0.04	0.11
混流机组	40-99兆瓦	2014	246	55.22	94.56	0.06	0.06
		2015	267	55.29	92.93	0.00	0.06
		2016	301	56.39	93.01	0.11	0.05
		2017	305	55.47	93.59	0.02	0.04
		2018	316	53.93	93.54	0.03	0.06
	100-199兆瓦	2014	108	43.89	92.77	0.02	0.07
		2015	114	46.06	92.92	0.04	0.11
		2016	125	47.14	93.49	0.37	0.12
		2017	128	47.11	92.09	1.41	0.05
		2018	135	49.29	92.14	0.61	0.07
	200-299兆瓦	2014	76	53.27	91.76	0.01	0.11
		2015	82	51.06	91.65	0.12	0.18
		2016	84	50.66	91.17	0.01	0.06
		2017	82	48.72	91.77	0.08	0.11
		2018	84	48.32	92.85	0.01	0.11
	300兆瓦及以上	2014	172	57.79	92.96	0.09	0.13
		2015	193	56.37	92.35	0.07	0.07
		2016	199	57.48	92.89	0.05	0.07
		2017	210	60.83	93.24	0.03	0.04
		2018	219	62.58	93.21	0.05	0.19

机组型式	指标分类	年份	统计台数	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)
抽水蓄能机组	40-99 兆瓦	2014	9	40.46	92.98	0.11	1.44
		2015	9	36.57	92.54	0.09	1.22
		2016	9	43.61	86.86	0.44	2.99
		2017	9	31.00	66.57	0.74	0.89
		2018	7	20.36	60.88	0.25	1.00
	100-199 兆瓦	2014	6	20.49	89.82	0.21	0.83
		2015	6	19.83	84.97	0.34	1.17
		2016	6	30.43	84.94	0.16	1.50
		2017	6	30.02	86.57	0.10	0.67
		2018	6	27.12	91.00	0.00	0.17
	200-299 兆瓦	2014	20	18.59	90.88	0.24	0.90
		2015	20	20.16	90.24	0.36	1.05
		2016	20	40.72	88.85	0.27	1.65
		2017	20	32.66	89.21	0.32	0.80
		2018	27	27.55	87.12	0.20	0.56
	300 兆瓦及以上	2014	50	20.02	90.33	1.19	2.76
		2015	50	23.34	88.96	0.47	2.58
		2016	50	35.98	90.01	0.30	2.15
		2017	62	35.00	90.74	0.23	1.63
		2018	63	34.06	87.44	0.28	1.37

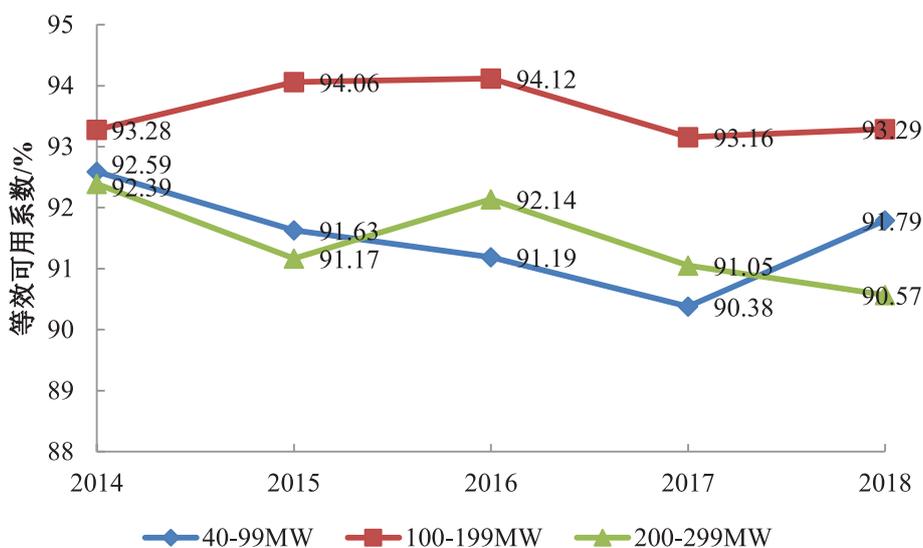


图 2-29 2014-2018 年 40 兆瓦及以上水电轴流机组等效可用系数

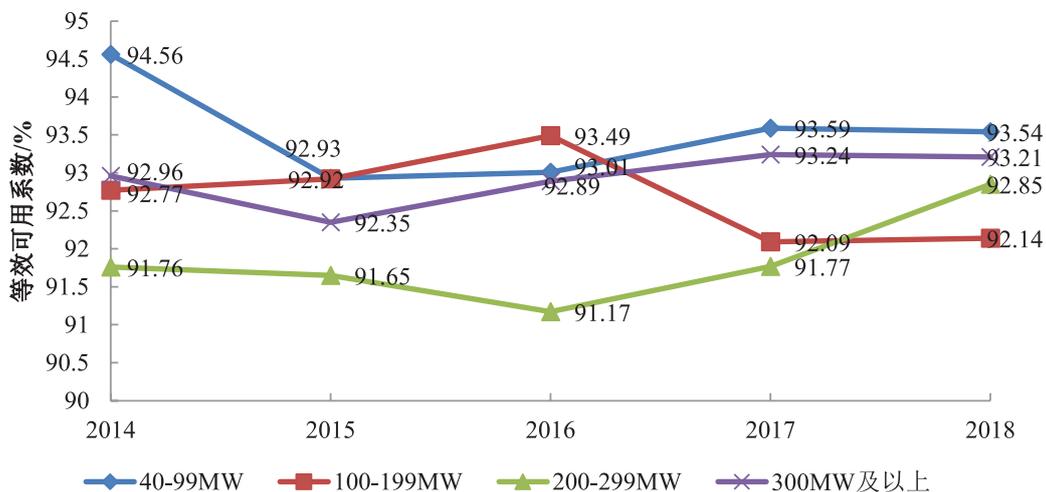


图 2-30 2014-2018 年 40 兆瓦及以上水电混流机组等效可用系数

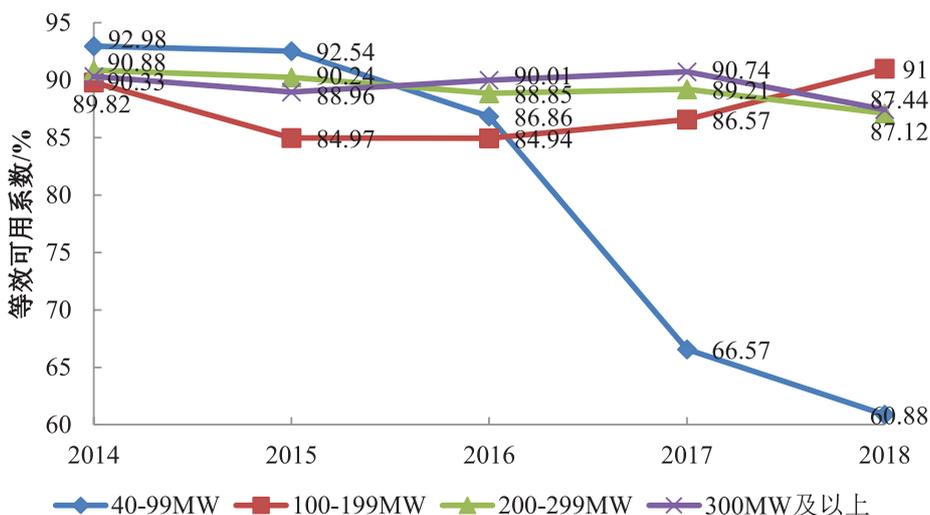


图 2-31 2014-2018 年 40 兆瓦及以上抽水蓄能机组等效可用系数

2018 年全国 754 台水电 40 兆瓦级以上混流机组可靠性指标分布情况见表 2-34。

表 2-34 2018 年水电 40 兆瓦级以上混流机组可靠性指标分布

指标	等效可用系数 (%)	运行系数 (%)	出力系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次 / 台年)	非计划停运时间 (小时 / 台年)
最优值	100.00	100.00	99.57	0.00	0	0.00
第 5% 值	100.00	87.42	96.51	0.00	0	0.00
第 25% 值	97.81	70.00	86.93	0.00	0	0.00
中位值	95.64	56.92	78.58	0.00	0	0.00
第 75% 值	90.95	42.28	67.23	0.00	0	0.00
最末值	45.53	1.37	19.74	72.11	4	4609.37
总平均值	93.09	58.66	77.59	0.09	0.11	10.96

2018 年全国 158 台水电 40 兆瓦级以上轴流机组可靠性指标分布情况见表 2-35。

表 2-35 2018 年水电 40 兆瓦级以上轴流机组可靠性指标分布

指标	等效可用系数 (%)	运行系数 (%)	出力系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)	非计划停运时间 (小时/台年)
最优值	100.00	100	99.55	0.00	0	0.00
第 5% 值	100.00	93.7	97.51	0.00	0	0.00
第 25% 值	96.65	81.42	90.18	0.00	0	0.00
中位值	94.19	63.90	79.91	0.00	0	0.00
第 75% 值	91.34	42.87	70.43	0.00	0	0.00
最末值	38.05	10.18	38.03	29.35	4	991.03
总平均值	92.58	63.02	78.7	0.08	0.15	4.92

2018 年全国 103 台抽水蓄能机组可靠性指标分布情况见表 2-36。

表 2-36 2018 年抽水蓄能机组可靠性指标分布

指标	等效可用系数 (%)	运行系数 (%)	出力系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)	非计划停运时间 (小时/台年)
最优值	98.87	64.95	99.68	0.00	0	0.00
第 5% 值	95.36	48.47	99.51	0.00	0	0.00
第 25% 值	92.59	39.43	97.42	0.00	0	0.00
中位值	89.35	33.16	93.37	0.00	0	0.00
第 75% 值	85.28	23.05	82.69	0.25	1	10.07
最末值	39.01	5.59	54.00	5.09	11	513
总平均值	87.02	32.03	92.15	0.26	1.06	23.13

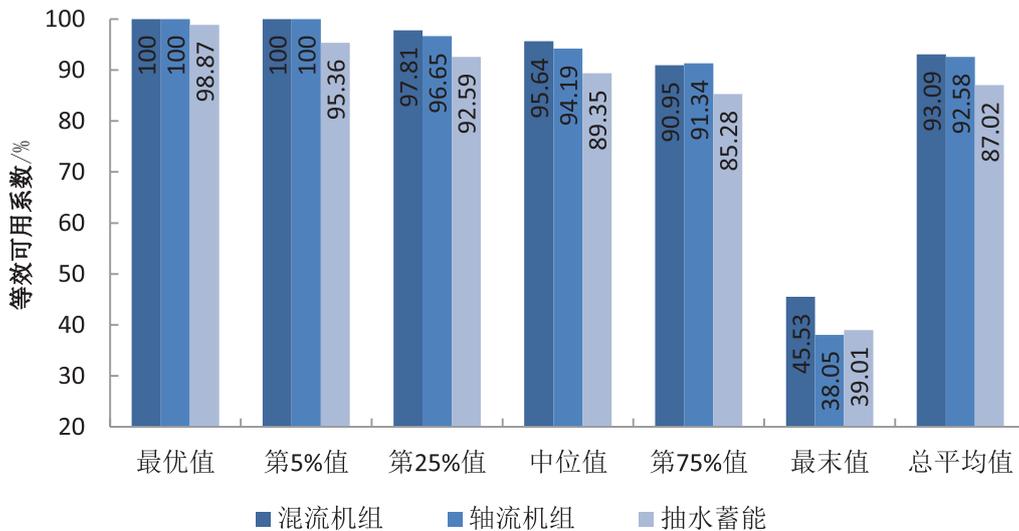


图 2-32 2018 年水电机组等效可用系数分布图

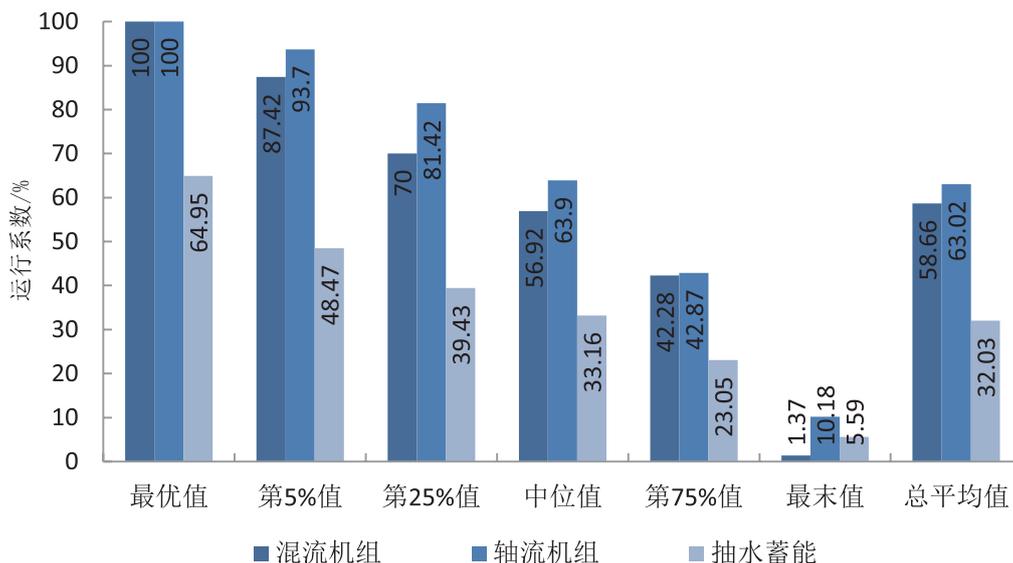


图 2-33 2018 年水电机组运行系数分布图

五、新投产 40 兆瓦及以上水电机组投产后第一年运行可靠性指标

2017 年新投产水电机组纳入 2018 年可靠性指标统计的共 24 台，总容量为 7150.1 兆瓦，2018 年等效可用系数为 94.44%。

表 2-37 新投产 40 兆瓦及以上水电机组投产后第一年运行可靠性指标

年份	投产年	统计台数	平均容量 (兆瓦)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)
2014	2013	61	404.55	58.34	93.91	0.18	0.38
2015	2014	48	329.44	57.07	91.91	0.29	0.10
2016	2015	44	192.63	55.28	94.26	0.04	0.16
2017	2016	26	293.23	48.77	89.66	0.16	0.85
2018	2017	24	297.92	46.17	94.44	0.16	0.84

* 对应指标为该年度新投产机组在下一年度的运行可靠性指标





图 2-34 新投产 40 兆瓦及以上水电机组投产后第一年运行可靠性指标

六、水电机组非计划停运

2018 年水电机组（1015 台）共发生非计划停运 214 次，非计划停运总时间 11904.5 小时，台年平均分别为 0.21 次和 12.02 小时，其中非停次数平均值同比增加了 0.02 次，非停时间同比增加了 3.93 小时 / 台年。其中持续时间超过 300 小时的非计划停运 5 次，非计划停运的总时间 7481.96 小时，占全部非计划停运总时间的 62.85%。

强迫停运共发生 146 次，总计 8076.4 小时，占全部非计划停运总时间的 67.84%。强迫停运台年平均值为 0.14 次和 4.95 小时，其中强迫停运次数同比持平，强迫停运小时数同比减少了 1.96 小时。

水电厂主设备中，水轮机引起的非计划停运台年平均次数和时间分别为 0.03 次和 0.83 小时，累计停运时间占非计划停运总时间的 7.09%；变压器引起了 5 次非停，总非停时间为 25.7 小时，折算台年平均值为 0.03 小时，累计停运时间占非计划停运总时间的 0.22%；发电机引起的非计划停运台年平均次数和时间分别为 0.01 次和 0.65 小时，累计停运时间占非计划停运总时间的 5.57%。具体见表 2-38 及图 2-35。

表 2-38 2018 年主设备引发非计划停运的比重

序号	主设备	停运次数 (次 / 台年)	停运时间 (小时 / 台年)	* 百分比 (%)
1	水轮机	0.03	0.83	7.09
2	变压器	0.00	0.03	0.22
3	发电机	0.01	0.65	5.57

* 百分比：占机组非计划停运时间的百分比

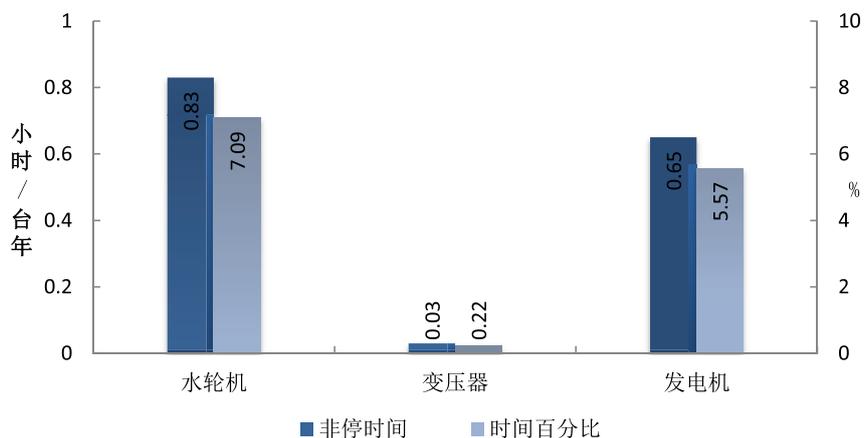


图 2-35 2018 年主设备引发非计划停运的比重

引发非计划停运的责任原因中外部原因为第一位，尽管只发生了 1 次，台年平均次数为 0.00 次，但其引起的非计划停运时间达到了 4.53 小时 / 台年，占非计划停运总时间的 38.67%，经调查，该次非停为洪水淹没厂房所致；其次是产品质量不良，引起的非计划停运台年平均次数和时间分别为 0.09 次和 2.49 小时，累计停运时间占非计划停运总时间的 21.24%；排在第三位的是江河水质差、杂质多，引起的非计划停运台年平均次数和时间分别为 0.01 次和 1.44 小时，累计停运时间占非计划停运总时间的 12.27%。表 2-39 及图 2-36 为非计划停运的前三位责任原因。

表 2-39 2018 年非计划停运的前三位责任原因

序号	责任原因	停运总次数 (次)	停运时间 (小时 / 台年)	* 百分比 (%)
1	外部原因	0.00	4.53	38.67
2	产品质量不良	0.09	2.49	21.24
3	江河水质差、杂质多	0.01	1.44	12.27

* 百分比：占机组非计划停运时间的百分比

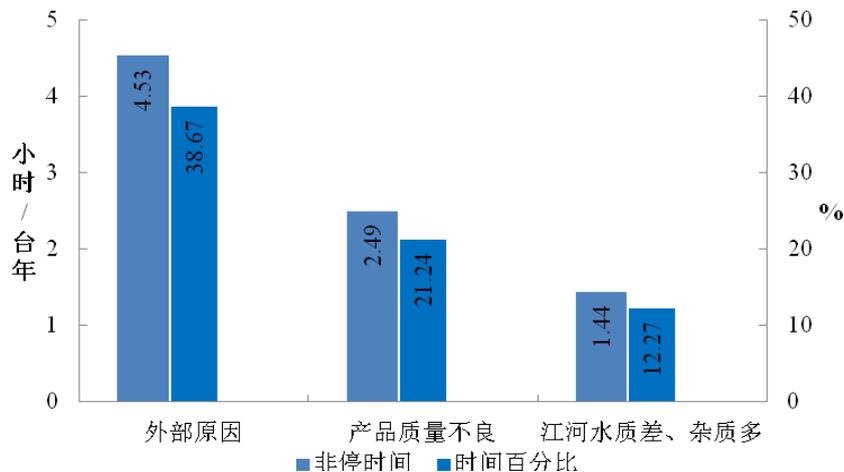


图 2-36 2018 年非计划停运的前三位责任原因

第十三节 700 兆瓦等级水电机组运行可靠性

一、700 兆瓦等级水电机组运行可靠性指标

2018 年，纳入统计的 700 兆瓦等级水电机组为 76 台，均为混流机组，与 2017 年相同。2018 年等效可用系数 94.36%，同比下降 0.52 个百分点；利用小时台年平均 4586.93 小时，同比增加 171.07 小时；备用时间 3003.05 小时，同比减少 220.3 小时；计划停运时间 487.53 小时，同比增加 39.54 小时；非计划停运次数 0.15 次 / 台年，非计划停运时间 6.14 小时 / 台年，同比分别增加 0.11 次 / 台年、5.62 小时 / 台年。

2014-2018 年 700 兆瓦等级常规水电机组主要运行可靠性指标见表 2-40，变化趋势见图 2-37。

表 2-40 2014-2018 年 700 兆瓦等级常规水电机组主要可靠性指标

年份	统计台数(台)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次 / 台年)
2014	68	56.00	94.42	0.00	0.06
2015	76	53.68	94.57	0.01	0.04
2016	76	56.36	95.23	0.02	0.04
2017	76	58.09	94.88	0.01	0.04
2018	76	60.08	94.36	0.01	0.15

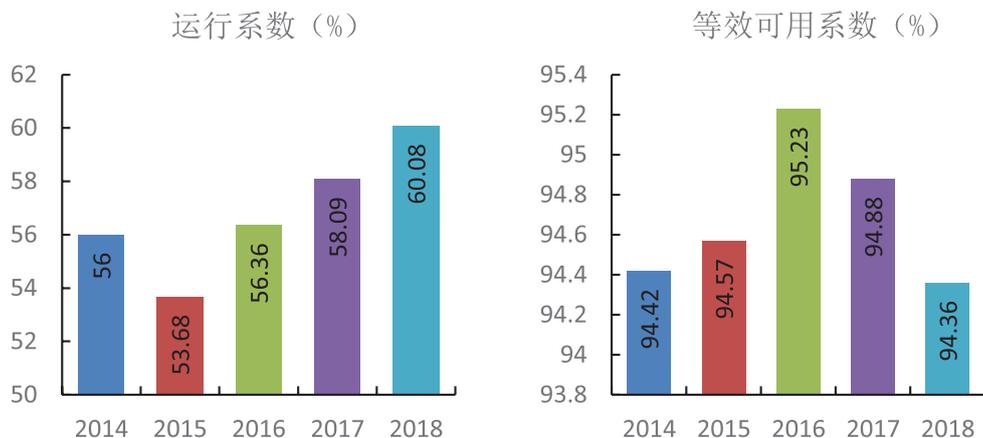




图 2-37 2014-2018 年 700 兆瓦等级常规水电机组可靠性指标趋势

二、700 兆瓦等级常规水电机组非计划停运

2018 年，700 兆瓦等级水电机组共发生非计划停运 11 次，非计划停运事件的台年平均值为 0.15 次和 6.14 小时，其中三峡水力 03 号机组、小湾 01 号机组以及小湾 05 号机组均发生 2 次，累计非计划停运时间分别为 256 小时、4.78 小时、6.1 小时。非停总次数同比增加 8 次，累计非停时间同比增加了 427.12 小时。

在这 11 次非停中，断路器二次回路引发 4 次，非停时间累计 10.88 小时；水轮发电机引发 3 次，非停时间累计 257.72 小时。引发 11 次非计划停运的责任原因中，8 次为产品质量不良，累计时间 453.25 小时；2 次为设备老化，累计时间 5.4 小时；1 次为规划设计不周，持续时间 1.72 小时。

第十四节 核电机组运行可靠性

纳入 2018 年可靠性统计的核电机组共 17 台，总容量 0.15 亿千瓦，占全国已投产核电机组的 33.58%。核电机组的综合可靠性主要指标见表 2-41 及图 2-38。

表 2-41 2014-2018 年核电机组主要可靠性指标

年份	统计台数 (台)	平均容量 (兆瓦/台)	运行系数 (%)	等效可用系数 (%)	等效强迫停运率 (%)	非计划停运次数 (次/台年)
2014	15	830.01	91.35	90.60	0.17	0.40
2015	16	846.2	89.41	89.07	0.79	0.50
2016	17	860.48	88.32	88.77	0.77	0.23
2017	17	860.48	91.24	91.10	0.09	0.24
2018	17	870.60	91.50	91.84	0.33	0.59

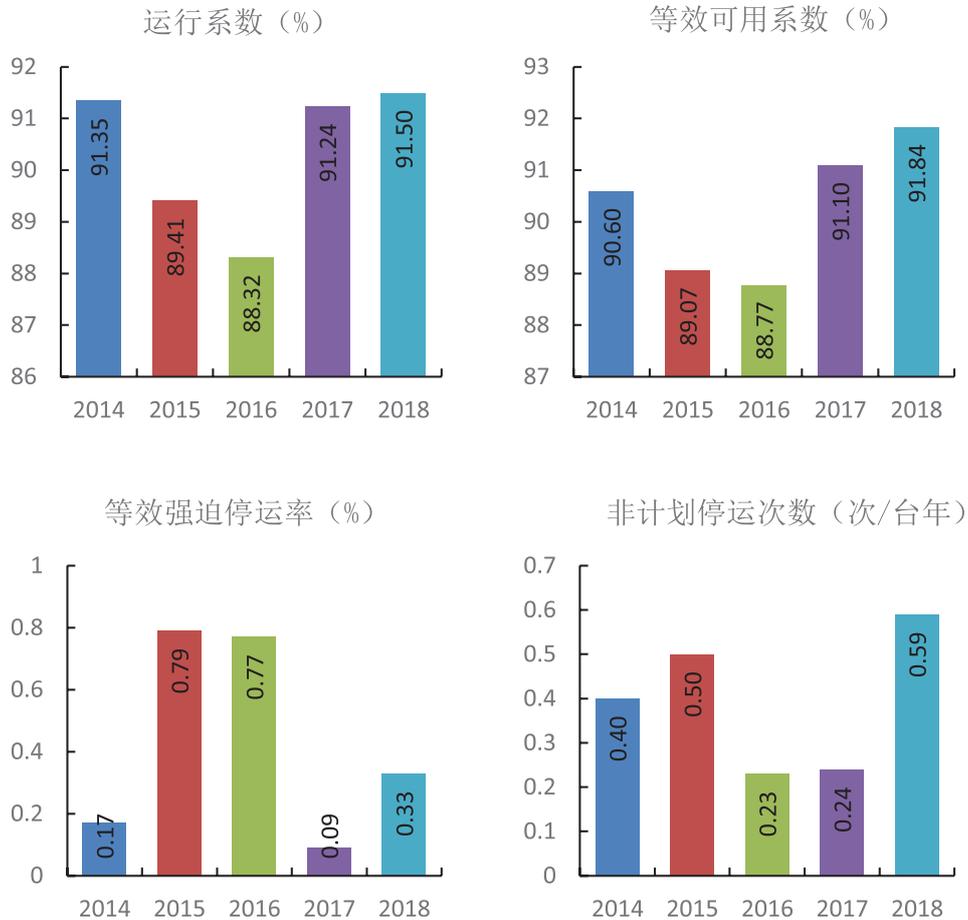


图 2-38 2014-2018 年核电机组主要可靠性指标趋势

2018 年，核电机组共发生 10 次非计划停运事件，同比上升 6 次。累计非计划停运时间为 593.33 小时，同比增加 469.21 小时。等效可用系数同比上升 0.74 个百分点，主要因素是计划停运时间降低。非停主要发生在核辅助系统、汽轮机、反应堆芯和反应堆冷却系统、汽轮机辅机、核电控制和保护系统等部位。

第三章 2018 年全国 200 兆瓦及以上容量燃煤机组主要辅助设备运行可靠性

200 兆瓦及以上容量燃煤机组主要辅助设备包含磨煤机、给水泵组、送风机、引风机和高压加热器。2014-2018 年，磨煤机非计划停运率自 2015 年同比下降后，总体保持平稳水平；给水泵组非计划停运率近两年持续下降；送风机非计划停运率连续几年处于较低水平；引风机非计划停运率波动较大；高压加热器非计划停运率持续下降。

2018 年，磨煤机、给水泵、送风机、引风机、高压加热器可用系数同比均有所提高，分别提高 0.62%、0.46%、0.49%、0.52% 和 0.57%；运行系数同比均有大幅提高，分别提高 5.71%、5.77%、6.33%、6.41% 和 6.73%；设备台年运行小时分别增加了 500.2 小时、505.45 小时、554.51 小时、561.52 小时和 589.55 小时。磨煤机非计划停运率同比增加 0.01%，给水泵、引风机、高压加热器同比分别降低 0.03%、0.01% 和 0.03%，送风机同比持平。

具体见表 3-1 及图 3-1、图 3-2、图 3-3。

表 3-1 2014-2018 年燃煤机组主要辅助设备可靠性指标

辅助设备分类	统计台数(台)	运行系数(%)	可用系数(%)	计划停运系数(%)	非计划停运系数(%)	非计划停运率(%)	
磨煤机	2014	5509	60.61	92.68	7.78	0.02	0.13
	2015	5830	56.11	93.71	6.23	0.05	0.09
	2016	6211	53.73	92.94	7.01	0.05	0.09
	2017	6700	55.15	93.73	6.23	0.05	0.09
	2018	6932	60.86	94.35	5.59	0.06	0.10
给水泵组	2014	3110	51.62	93.29	6.36	0.02	0.09
	2015	3332	48.14	94.29	5.68	0.03	0.06
	2016	3495	46.31	93.99	5.97	0.04	0.08
	2017	3721	46.42	94.29	5.67	0.03	0.07
	2018	3831	52.19	94.75	5.22	0.02	0.04

辅助设备分类	年份	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	计划停运系数 (%)	非计划停运系数 (%)	非计划停运率 (%)
送风机	2014	2244	75.23	93.22	6.60	0.01	0.01
	2015	2388	70.17	94.10	5.89	0.01	0.01
	2016	2511	66.69	93.50	6.50	0.00	0.00
	2017	2669	67.72	94.18	5.82	0.00	0.01
	2018	2779	74.05	94.67	5.32	0.01	0.01
引风机	2014	2257	75.12	93.17	6.54	0.01	0.03
	2015	2418	70.20	94.03	5.93	0.03	0.05
	2016	2556	66.73	93.60	6.39	0.02	0.00
	2017	2734	67.58	94.06	5.92	0.03	0.04
	2018	2846	73.99	94.58	5.40	0.02	0.03
高压加热器	2014	3423	75.17	93.13	6.81	0.17	0.10
	2015	3626	69.97	94.22	5.73	0.05	0.07
	2016	3854	66.37	93.82	6.13	0.05	0.07
	2017	4121	67.44	94.13	5.83	0.04	0.06
	2018	4291	74.17	94.7	5.28	0.03	0.03

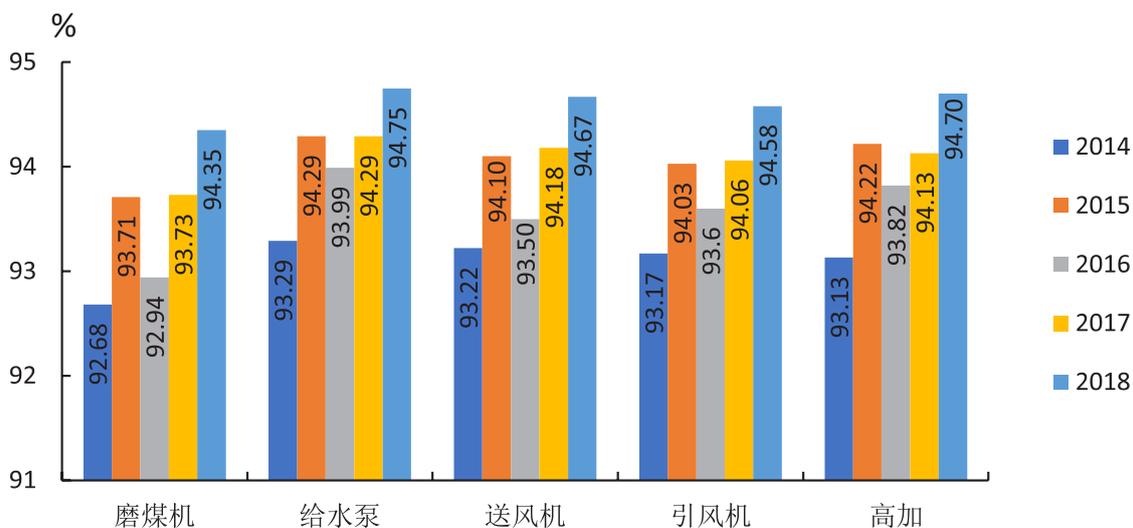


图 3-1 2014-2018 年五种辅助设备可用系数

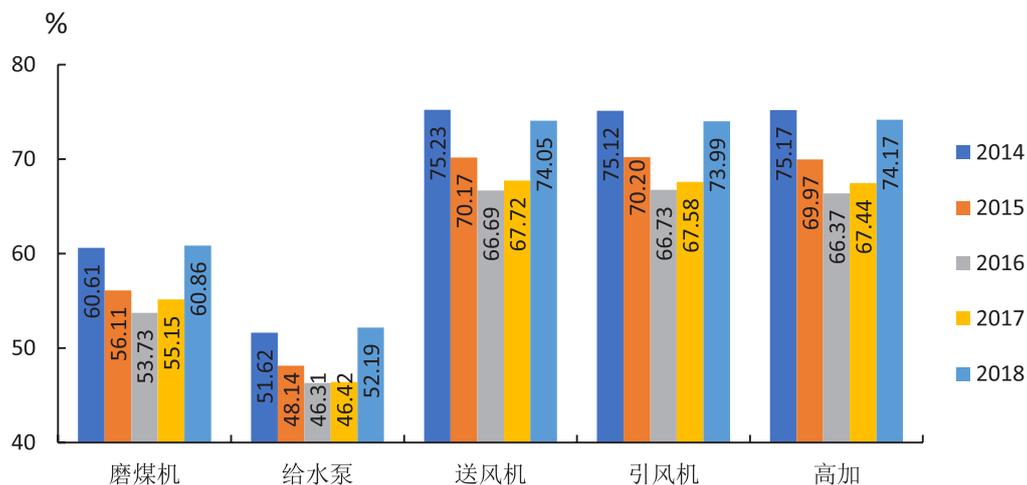


图 3-2 2014-2018 年五种辅助设备运行系数

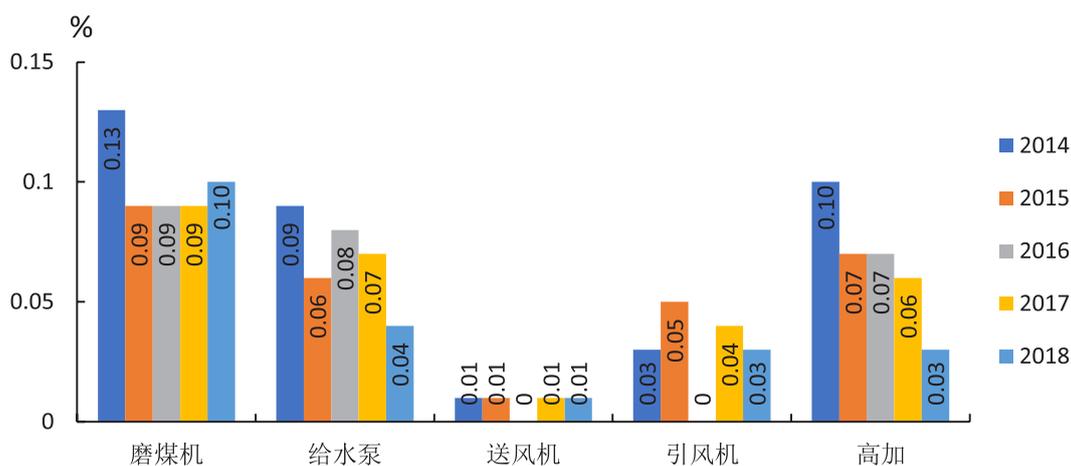


图 3-3 2014-2018 年五种辅助设备非计划停运率

2018 年五种辅助设备可用系数指标分布情况见表 3-2，可用系数对标值分布见图 3-4。

表 3-2 2018 年五种辅助设备可用系数指标分布情况 (单位: %)

设备	磨煤机	给水泵	送风机	引风机	高压加热器
总台数	6932	3831	2779	2846	4291
最优值	100	100	100	100	100
最优值占比	32.62	41.14	41.49	40.48	42.97
中间值	95.86	96.47	96.10	96.08	96.43
最末值	58.36	33.42	57.79	57.79	33.42
平均值	94.35	94.75	94.67	94.58	94.70

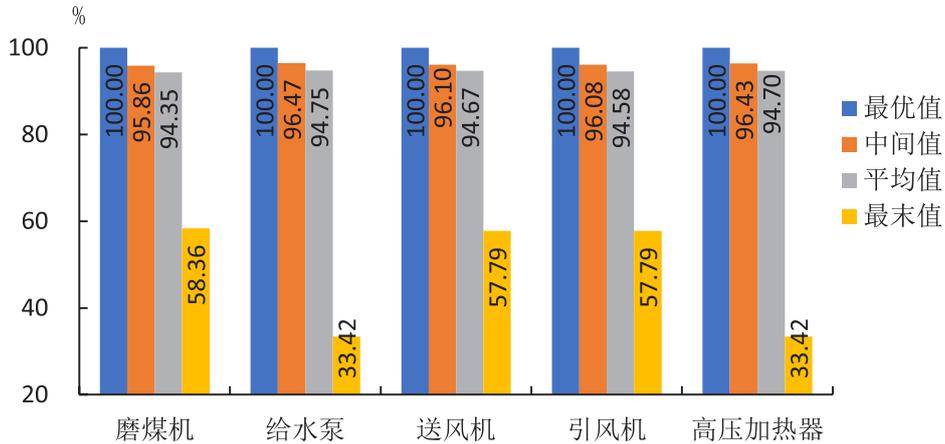


图 3-4 2018 年五种辅助设备可用系数对标值分布图

第一节 磨煤机运行可靠性

一、2018 年磨煤机按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-3 2018 年磨煤机按主机容量分类运行可靠性指标分布

主机容量 (兆瓦)	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	计划停运系数 (%)	非计划停运系数 (%)	非计划停运率 (%)
200-299	448	52.32	94.21	5.76	0.03	0.05
300-399	3183	60.42	94.42	5.53	0.06	0.09
500-599	56	55.00	95.58	4.42	0.00	0.00
600-699	2651	61.73	94.32	5.62	0.06	0.10
1000-1100	510	66.35	94.45	5.46	0.09	0.14

二、2018 年磨煤机按转速分类运行可靠性指标

2018 年，低、中、高速磨可用系数分别为 94.38%、94.40%、93.08%，同比分别提高 0.08%、0.79%、0.66%；平均台年可用小时分别增加 7.01 小时、69.2 小时、57.82 小时，具体见表 3-4 及图 3-5。运行系数同比分别提高了 7.54%、5.19%、3.86%；平均台年运行小时分别增加了 660.5 小时、454.64 小时、338.14 小时，具体见表 3-4 及图 3-6。

表 3-4 2018 年磨煤机按转速分类运行可靠性指标分布

磨煤机分类	统计台数(台)	运行系数(%)	可用系数(%)	计划停运系数(%)	非计划停运系数(%)	非计划停运率(%)
低速磨	1500	57.56	94.38	5.53	0.09	0.16
中速磨	5195	62.28	94.40	5.55	0.05	0.08
高速磨	237	50.84	93.08	6.92	0.00	0.00

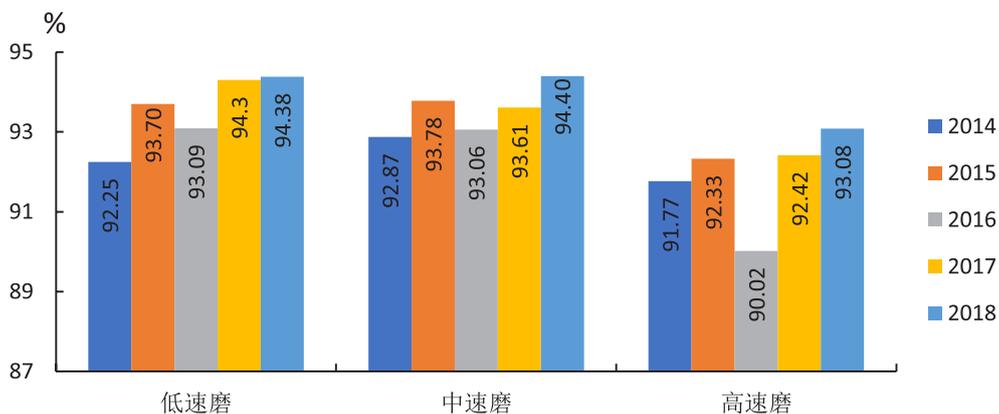


图 3-5 2014-2018 年低、中、高速磨煤机可用系数

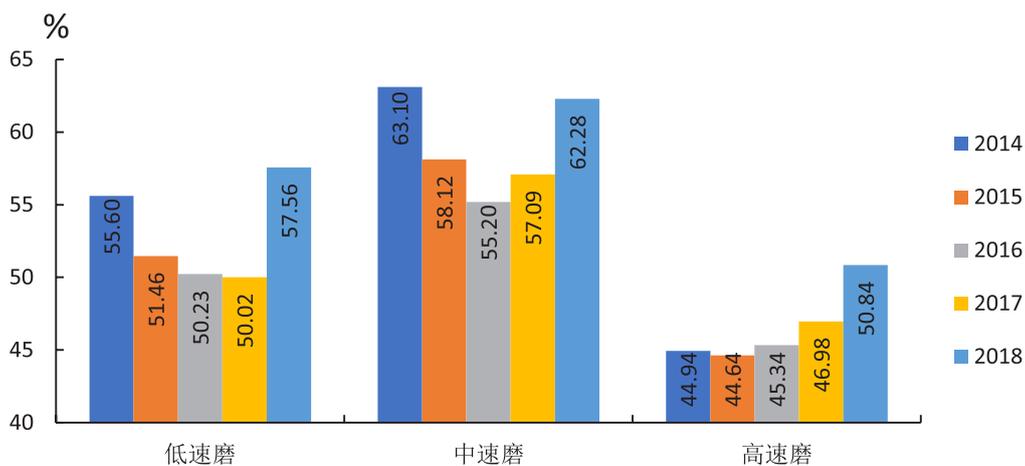


图 3-6 2014-2018 年低、中、高速磨煤机运行系数

三、2018 年按制造厂分类运行可靠性指标（按 10 台及以上统计台数排序，下同）

（一）低速磨煤机

表 3-5 2018 年低速磨煤机按制造厂分类运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划停运率 (%)	设备因素影响	
					非停小时*	%**
沈阳重型机械厂	692	55.45	94.45	0.13	2.45	67.15
上海重型机器厂	244	62.86	93.70	0.04	0.17	1.61
福斯特·惠勒公司	112	68.81	92.64	0.07	0.22	0.99
北京电力设备总厂	86	57.04	94.39	0.00	0.01	0.04
西安电力机械厂	77	53.78	96.35	0.24	9.89	30.21
焦作矿山机械厂	49	57.49	95.31	0.00	0.00	0.00
三井巴布科克能源有限公司	20	69.83	94.74	0.00	0.00	0.00
济南发电设备厂	20	38.17	94.77	0.05	0.00	0.00
洛阳中信重型机械公司	16	41.43	95.86	0.01	0.00	0.00
长春发电设备总厂	12	67.35	94.83	7.13	0.00	0.00
东方锅炉(集团)股份有限公司	12	39.9	86.07	0.00	0.00	0.00
济南锅炉厂	10	58.1	88.56	0.00	0.00	0.00
济南重工股份有限公司	10	58.63	95.83	0.00	0.00	0.00

* 此项为由于设备因素造成的非计划停运小时,单位:小时/台年(本章下同);

** 此项为设备因素造成的非计划停运小时占同类磨煤机全部非计划停运时间的百分比(本章下同)

(二) 中速磨煤机

表 3-6 2018 年中速磨煤机按制造厂分类运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划停运率 (%)	设备因素影响	
					非停小时*	%**
上海重型机器厂	1894	62.83	94.91	0.08	0.68	30.53
北京电力设备总厂	1892	61.85	94.80	0.09	1.09	49.27
长春发电设备总厂	570	66.64	93.55	0.05	0.61	8.32
沈阳重型机械厂	298	62.60	94.55	0.03	0.10	0.75
巴布科克公司	55	63.46	93.36	0.10	0.00	0.00
石川岛播磨株式会社	40	52.64	95.78	0.89	0.48	0.46
三菱公司	37	51.71	86.61	0.00	0.00	0.00
北京重型机器厂	28	66.58	94.33	0.03	0.47	0.31

制造厂家	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划 停运率 (%)	设备因素影响	
					非停小时*	%**
上海电力机械厂	24	60.43	87.99	0.18	4.30	2.46
福斯特·惠勒公司	20	62.05	88.84	0.00	0.00	0.00
上海电机厂	18	40.52	92.88	0.00	0.00	0.00
燃烧工程公司	18	57.98	84.90	0.07	1.12	0.48
ABB 瑞士公司	18	47.18	96.63	0.54	17.27	7.42
美国	16	61.92	92.81	0.00	0.00	0.00
湘潭电机股份有限公司	13	64.49	92.26	0.00	0.00	0.00
阿尔斯通公司	12	61.47	89.13	0.00	0.00	0.00
哈尔滨重型机器厂	12	49.04	90.04	0.00	0.00	0.00
塔干罗格锅炉厂	12	59.91	85.82	0.00	0.00	0.00
北方工程公司	12	57.79	91.51	0.00	0.00	0.00
上海锅炉厂有限公司	12	56.46	90.78	0.01	0.00	0.00
太原重型机器厂	12	83.14	96.71	0.00	0.00	0.00
德国	10	34.85	80.32	0.00	0.00	0.00
沈阳重型机械厂 (北方重工集团有限公司)	10	81.89	91.10	0.00	0.00	0.00
北方重工集团有限公司电站 设备分公司	10	43.17	97.09	0.00	0.00	0.00
北方重工有限公司	10	56.85	99.99	0.00	0.00	0.00
上海电力修造总厂有限公司	10	78.06	90.43	0.00	0.00	0.00

(三) 高速磨煤机

表 3-7 2018 年高速磨煤机按制造厂分类运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划 停运率 (%)	设备因素影响	
					非停小时*	%**
长春发电设备总厂	96	50.33	91.64	0.00	0.00	0.00
沈阳重型机械厂	84	52.17	93.42	0.00	0.00	0.00
新西伯利亚动力机械厂	16	51.16	88.15	0.00	0.00	0.00
北方工程公司	12	57.18	97.45	0.00	0.00	0.00

四、2018 年磨煤机非计划停运

(一) 非计划停运原因分析

2018 年，磨煤机非计划停运主要技术原因排在前五位的分别是：开焊、堵塞、漏粉、磨损（机械磨损）和温度高。造成故障的前五位主要设备部件是辊—盘式中速磨煤机本体磨盘、辊—碗式（HP）中速磨本体出口管、双进双出低速钢球磨、磨煤机电动机轴承、辊—碗式（HP）中速磨煤机本体分离器。前五位主要责任原因是产品质量不良、设备老化、燃料影响、检修质量不良及施工安装不良，其造成非计划停运小时分别占有非计划停运小时的 35.72%、18.91%、14.89%、10.45%、7.76%。具体见表 3-8。

表 3-8 2018 年磨煤机非计划停运原因分析

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非计划停运次数百分数 (%) *	非计划停运小时百分数 (%) *
	累计	平均每台年	累计	平均每台年	平均每次		
开焊	22	0.00	5525.75	0.78	251.17	0.83	15.63
堵塞	1076	0.15	4075.17	0.58	3.79	40.77	11.53
漏粉	239	0.03	3016.7	0.43	12.62	9.06	8.53
磨损（机械磨损）	106	0.02	2731.55	0.39	25.77	4.02	7.73
温度高	61	0.01	2703.91	0.38	44.33	2.31	7.65

* 指此原因引起的非计划停运次数（小时数）占全部非计划停运次数（小时数）的百分数（本章下同）

在近五年磨煤机经常发生的故障中，开焊、堵塞、磨损、温度高、断裂等因素造成的设备停运小时同比不同程度的增加，因漏粉、振动大造成的设备停运小时同比降低。2014-2018 年由于漏粉、开焊、磨损、堵塞、断裂、振动大等原因造成磨煤机非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见图 3-7。

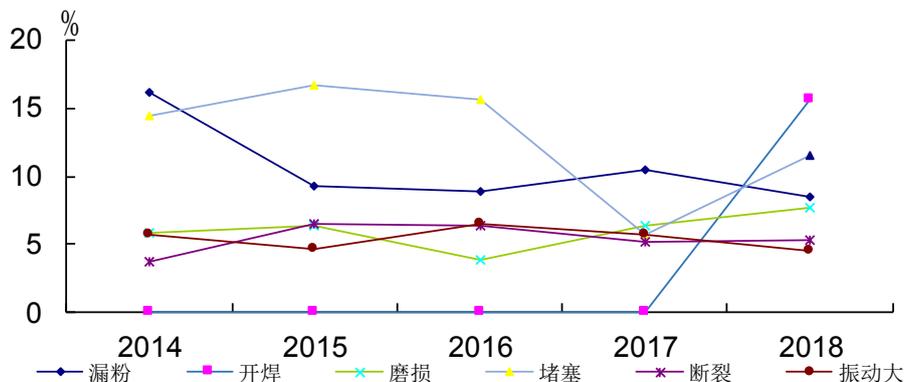


图 3-7 2014-2018 年磨煤机主要非停技术原因停运小时百分数

(二) 低、中、高速磨煤机非计划停运主要原因

表 3-9 2018 年低、中、高速磨煤机非计划停运主要原因

磨煤机分类	主要原因	停运次数百分数 (%)	停运小时百分数 (%)
低速磨煤机	开焊	1.23	43.33
中速磨煤机	漏粉	14.81	11.63

注：因本年高速磨未发生非停事件，故表内未列入

(三) 单台全年非计划停运时间最长的三台设备

表 3-10 2018 年前三名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
郑州热 03 号机组 04 号磨煤机	1992.08	2251	筒体衬板脱落	焦作矿山机械厂	设备老化
石咀山第二 01 号机组 02 号磨煤机	2002.12	1196	电动机轴承温度高	北京电力设备总厂	施工安装不良
华电土默特 02 号机组 2A 号磨煤机	2016.06	1067.9	磨盘开焊	长春发电设备总厂	产品质量不良

第二节 给水泵组运行可靠性

一、2018 年给水泵组按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-11 2018 年给水泵组按主机容量分类运行可靠性指标分布

主机容量 (兆瓦)	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	计划停运系数 (%)	非计划停运系数 (%)	非计划停运率 (%)
200-299	305	34.58	95.42	4.58	0.00	0.01
300-399	2058	50.66	94.78	5.19	0.03	0.06
500-599	22	41.65	97.19	2.81	0.00	0.00
600-699	1192	56.18	94.54	5.45	0.01	0.02
1000-1100	208	69.00	94.84	5.16	0.00	0.00

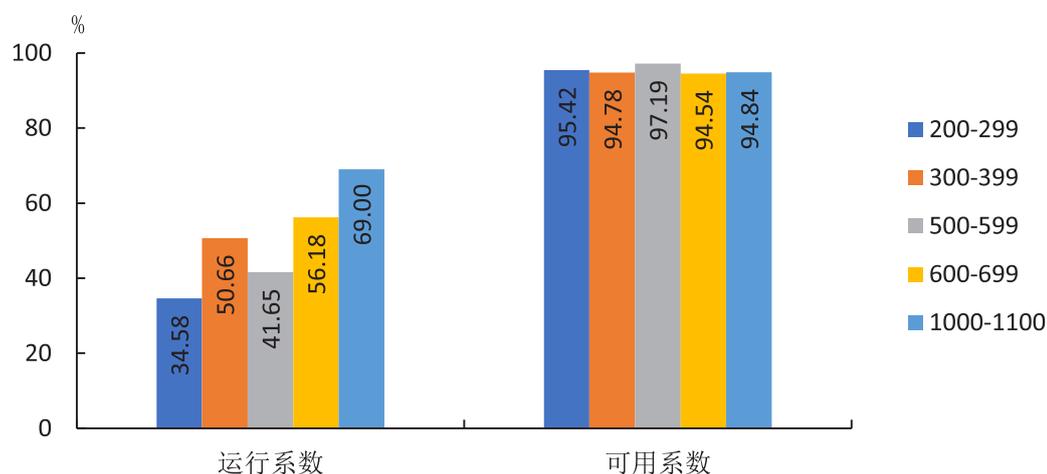


图 3-8 2018 年给水泵按机组容量分类运行系数和可用系数

二、2018 年给水泵组按制造厂分类运行可靠性指标

表 3-12 2018 年给水泵组按制造厂分类运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划停运率 (%)	设备因素影响	
					非停小时 *	% **
上海电力修造总厂有限公司	1603	52.96	94.89	0.02	0.41	24.31
沈阳水泵厂	735	50.09	94.45	0.13	1.78	48.54
上海水泵厂	167	48.19	95.21	0.01	0.13	0.78
KSB	157	48.36	94.09	0.00	0.02	0.09
北京电力设备总厂	93	49.26	94.28	0.01	0.00	0.00
郑州电力机械厂	78	49.4	95.69	0.00	0.00	0.00
苏尔寿公司	76	56.95	96.01	0.00	0.00	0.00
日本	58	62.81	97.2	0.25	0.00	0.00
威尔泵有限公司	56	49.65	94.35	0.00	0.21	0.44
东方汽轮机厂	54	63.62	97.18	0.01	0.20	0.41
华北电力设备成套公司	42	56.25	95.62	0.26	12.67	19.70
上海凯士比泵有限公司	38	53.68	95.97	0.01	0.40	0.57
杭州发电设备集团公司	37	47.5	95.02	0.00	0.00	0.00
沈阳风机厂	36	67.02	97.03	0.00	0.00	0.00
上海汽轮机有限公司	33	68.23	94.05	0.00	0.00	0.00

制造厂家	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划停运率 (%)	设备因素影响	
					非停小时*	%**
英格索兰水泵厂	30	60.38	92.59	0.00	0.00	0.00
上海电机厂	29	26.47	97.83	0.00	0.00	0.00
三菱公司	25	52.07	88.49	0.00	0.00	0.00
英国	24	55.69	92.25	0.00	0.00	0.00
上海电建修造厂	23	49.55	92.53	0.00	0.17	0.14
上海电气集团公司	23	56.21	92.46	0.00	0.00	0.00
湘潭电机股份有限公司	22	49.74	97.65	0.00	0.00	0.00
日立公司	22	60.29	94.40	0.00	0.00	0.00
哈尔滨汽轮机厂有限责任公司	20	68.49	91.94	0.08	4.80	3.55
沈阳电机股份有限公司	20	48.77	92.59	0.00	0.00	0.00
苏尔寿公司	18	49.75	95.53	0.00	0.00	0.00
上海第一水泵厂	17	63.22	95.04	0.00	0.00	0.00
荏原博泵泵业有限公司	16	59.32	97.22	0.01	0.57	0.34
上海凯士比泵公司	16	69.07	99.46	0.00	0.96	0.57
EBARA 公司	12	55.22	90.96	0.00	0.00	0.00
阿尔斯通公司	12	18.63	93.30	0.00	0.00	0.00
沈阳透平机械股份有限公司	10	62.72	95.70	0.01	0.00	0.00
上海凯士比泵业有限公司	10	60.07	97.26	0.00	1.53	0.57
前苏联	10	43.32	96.25	0.00	0.00	0.00

三、2018 年给水泵非计划停运

(一) 非计划停运原因

2018 年，给水泵非计划停运主要技术原因排在前五位的分别是：振动超标、漏水、振动大、磨损（机械磨损）、卡涩。造成故障的前五位主要设备部件是给水泵本体轴、给水泵本体机械密封组件、给水泵小汽轮机、给水泵其它、给水泵本体叶轮等。前五位主要责任原因是检修质量不良、产品质量不良、设备老化、调整试验不当、管理不当等。具体见表 3-13。

表 3-13 2018 年给水泵非计划停运原因

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非停次数百分数 (%) *	非停小时百分数 (%) *
	累计	平均每台年	累计	平均每台年	平均每次		
振动超标	1	0.00	1451	0.37	1451	0.32	19.76
漏水	51	0.01	1234.98	0.31	24.22	16.14	16.82
振动大	24	0.01	702.48	0.18	29.27	7.60	9.57
磨损（机械磨损）	15	0.00	448.03	0.11	29.87	4.75	6.10
卡涩	11	0.00	408.15	0.10	37.11	3.48	5.56

2018 年因振动超标、卡涩、更新、漏油等造成设备故障停运小时同比不同程度的增加，因设备漏水、磨损（机械磨损）、振动大等造成设备故障同比不同程度的减少。2014-2018 年由于漏水、更新、振动超标、振动大、漏油、卡涩、磨损（机械磨损）等原因造成给水泵非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见图 3-9。

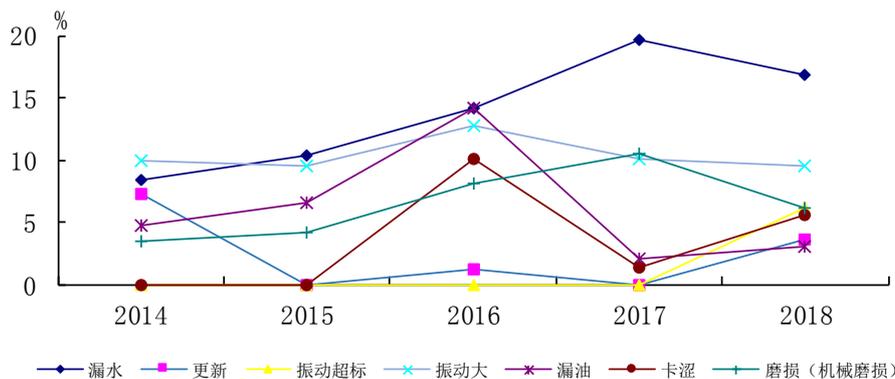


图 3-9 2014-2018 年给水泵非停主要技术原因停运小时百分比

(二) 单台全年非计划停运时间最长的三台设备

表 3-14 2018 年前三名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
青铜峡铝业 #1 号机组 0C 号给水泵组	2010.11	1451	轴振动超标	沈阳水泵厂	检修质量不良
渭河有限 06 号机组电 0 号给水泵组	1996.03	342.9	机械密封组件磨损	沈阳水泵厂	产品质量不良
珠江 01 号机组 0A 号给水泵组	1993.04	332.17	叶轮卡涩	沈阳水泵厂	检修质量不良

第三节 送风机运行可靠性

一、2018 年送风机按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-15 2018 年送风机按主机容量分类运行可靠性指标

主机容量 (兆瓦)	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	计划停运系数 (%)	非计划停运系数 (%)	非计划停运率 (%)
200-299	252	66.84	94.51	5.49	0.00	0.00
300-399	1409	73.84	94.62	5.38	0.00	0.01
500-599	16	73.42	97.24	2.76	0.00	0.00
600-699	890	74.85	94.88	5.11	0.01	0.01
1000-1100	180	80.71	94.45	5.55	0.00	0.00

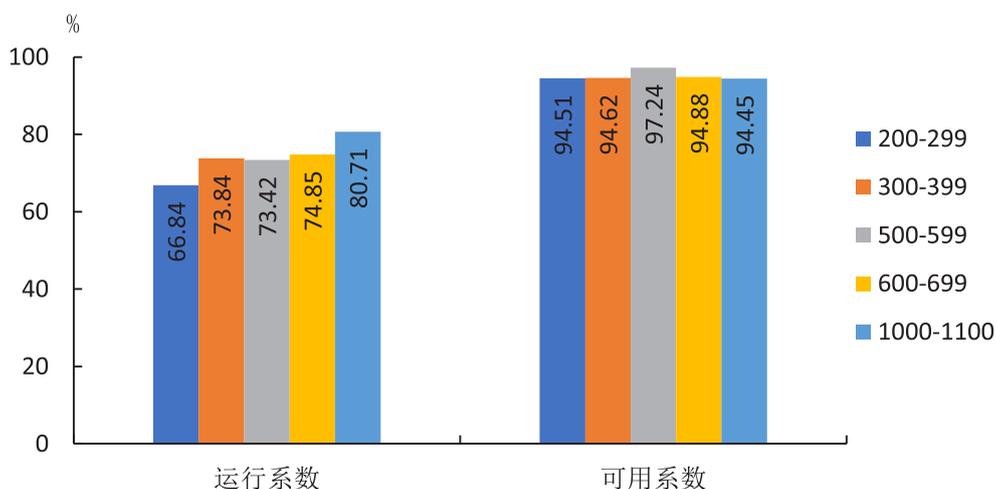


图 3-10 2018 年 200 兆瓦及以上燃煤机组按主机容量分类送风机运行系数和可用系数

二、2018 年送风机按制造厂分类运行可靠性指标

表 3-16 2018 年送风机按制造厂分类运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划停运率 (%)	设备因素影响	
					非停小时 *	% **
上海鼓风机厂有限公司	1192	74.85	94.70	0.01	0.09	26.52
成都电力机械厂	506	75.33	94.97	0.00	0.05	6.76
沈阳风机厂	456	71.75	94.17	0.01	0.56	65.00

制造厂家	统计台数(台)	运行系数(%)	可用系数(%)	非计划停运率(%)	设备因素影响	
					非停小时*	%**
武汉鼓风机厂	46	77.62	96.38	0.00	0.00	0.00
成都风机厂	46	78.54	95.47	0.00	0.15	1.72
豪顿华工程有限公司	36	73.73	95.27	0.00	0.00	0.00
英国	36	80.52	93.28	0.00	0.00	0.00
丹麦	34	81.58	95.48	0.00	0.00	0.00
山东电力设备厂	24	75.38	92.29	0.00	0.00	0.00
美国	16	59.45	95.13	0.00	0.00	0.00
华北电力设备成套公司	15	71.00	94.87	0.00	0.00	0.00
三菱公司	14	67.32	86.73	0.00	0.00	0.00
德国	14	53.15	95.12	0.00	0.00	0.00
沈阳电机股份有限公司	12	50.53	92.83	0.00	0.00	0.00
ABB 德国公司	12	78.60	93.84	0.00	0.00	0.00

三、2018 年送风机非计划停运

(一) 非计划停运原因

2018 年，送风机非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是：断裂、胀差超限、温度高、振动、损坏；造成设备故障的前五位主要设备部件是动叶可调轴流送风机本体动叶片、动叶可调轴流送风机本体轴承、离心送风机本体轴承、送风机电动机电源装置变频器、送风机电动机轴承等；前五位主要责任原因是规划 / 设计不周、产品质量不良、检修质量不良、设备老化、气候因素等。具体见表 3-17。

表 3-17 2018 年送风机非计划停运原因

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非停次数百分数 (%) *	非停小时百分数 (%) *
	累计	平均每台年	累计	平均每台年	平均每次		
断裂	5	0.00	618.52	0.22	123.7	6.25	48.98
胀差超限	1	0.00	117.48	0.04	117.48	1.25	9.30
温度高	9	0.00	114.08	0.04	12.68	11.25	9.03
振动	2	0.00	64.98	0.02	32.49	2.50	5.15
损坏	1	0.00	60.32	0.02	60.32	1.25	4.78

从 2014-2018 年频发故障情况看，断裂逐渐成为造成的设备非停的主要因素，温度高、胀差超限、振动、漏油造成的设备故障同比均有不同幅度上升，损坏造成的设备故障同比减少。2014-2018 年由于振动、温度高、断裂、胀差超限、漏油等原因造成送风机非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见图 3-11。

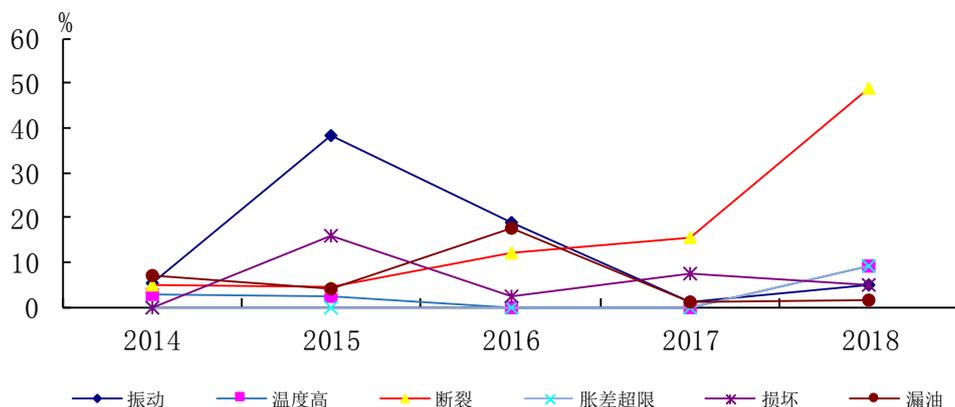


图 3-11 2014-2018 年送风机主要非停技术原因停运小时百分数

(二) 单台全年非计划停运时间最长的三台设备

表 3-18 前名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
金湾 03 号机组 A0 号送风机	2007.02	537.4	动叶片断裂	上海鼓风机厂有限公司	规划、设计不周
嘉祥 02 号机组 02 号送风机	2006.09	117.48	轴承胀差超限	沈阳风机厂	产品质量不良
杨柳青 07 号机组 21 号送风机	2007.01	60.32	轴承损坏	沈阳风机厂	产品质量不良

第四节 引风机运行可靠性

一、2018 年引风机按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-19 2018 年引风机按主机容量分类运行可靠性指标分布

主机容量 (兆瓦)	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	计划停运系数 (%)	非计划停运系数 (%)	非计划停运率 (%)
200-299	265	66.93	94.66	5.34	0.00	0.00
300-399	1449	73.65	94.58	5.40	0.02	0.03
500-599	16	74.26	96.97	3.02	0.01	0.02
600-699	896	74.98	94.63	5.34	0.03	0.04
1000-1100	186	80.71	94.42	5.54	0.04	0.04

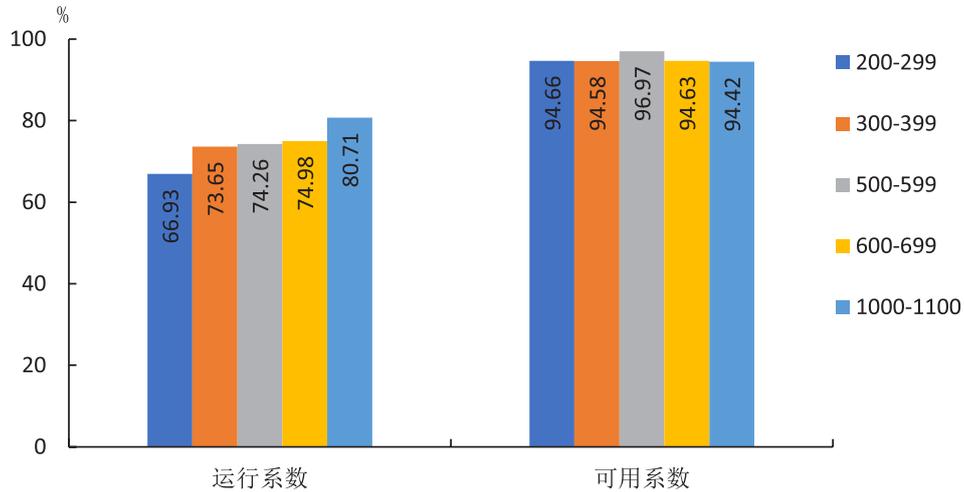


图 3-12 2018 年 200 兆瓦及以上燃煤机组按主机容量分类引风机运行系数和可用系数

二、2018 年引风机按制造厂分类运行可靠性指标

表 3-20 2018 年引风机按制造厂分类运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划停运率 (%)	设备因素影响	
					非停小时 *	% **
成都电力机械厂	1474	73.77	94.56	0.03	0.37	33.55
上海鼓风机厂有限公司	544	74.80	95.74	0.03	1.37	45.88
沈阳风机厂	183	73.09	94.18	0.14	1.80	20.24
成都风机厂	149	75.55	93.22	0.00	0.04	0.33
山东电力设备厂	36	77.84	90.59	0.00	0.00	0.00
成都凯凯凯电站风机有限公司	30	77.58	92.44	0.00	0.00	0.00
武汉鼓风机厂	24	81.55	92.73	0.00	0.00	0.00
丹麦	21	82.94	94.12	0.00	0.00	0.00
英国	20	79.14	95.98	0.00	0.00	0.00
三菱公司	16	68.57	87.59	0.00	0.00	0.00
豪顿华工程有限公司	14	59.28	93.47	0.00	0.00	0.00
泰勒公司	14	71.9	95.71	0.05	0.00	0.00
美国	12	72.00	92.00	0.00	0.00	0.00
豪顿华工程有限公	12	78.00	97.12	0.00	0.00	0.00
成都电力修造厂	10	58.20	97.19	0.00	0.00	0.00
德国	10	53.55	96.41	0.00	0.00	0.00
华北电力设备成套公司	10	68.46	90.15	0.00	0.00	0.00

三、2018 年引风机非计划停运

(一) 引风机非计划停运原因

2018 年，引风机非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是：断裂、振动大、温度高、磨损（机械磨损）、裂纹（开裂）。造成设备故障的前五位主要设备部件是动叶调节轴流引风机本体动叶片、动叶调节轴流引风机本体轴承座、动叶调节轴流引风机本体轴承、动叶调节轴流引风机本体轴、离心引风机本体轴承等；前五位主要责任原因是产品质量不良、设备老化、规划 / 设计不周、管理不当、检修质量不良等。具体见表 3-21。

表 3-21 2018 年引风机非计划停运原因

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非停次数百分数(%) *	非停小时百分数(%) *
	累计	平均 每台年	累计	平均 每台年	平均 每次		
断裂	9	0.00	1880.28	0.66	208.92	8.04	34.68
振动大	14	0.01	1651.43	0.58	117.96	12.50	30.46
温度高	6	0.00	297.53	0.10	49.59	5.36	5.49
磨损 (机械磨损)	11	0.00	293.57	0.10	26.69	9.82	5.41
裂纹(开裂)	5	0.00	215.89	0.08	43.18	4.46	3.98

从 2014-2018 年追踪的情况看，因断裂、振动大等原因造成的设备故障同比上升幅度较大，因温度高、磨损（机械磨损）、裂纹（开裂）等原因造成设备故障基本维持在较均衡的水平。由断裂、振动大、温度高、磨损（机械磨损）、裂纹（开裂）等原因造成引风机非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见图 3-13。

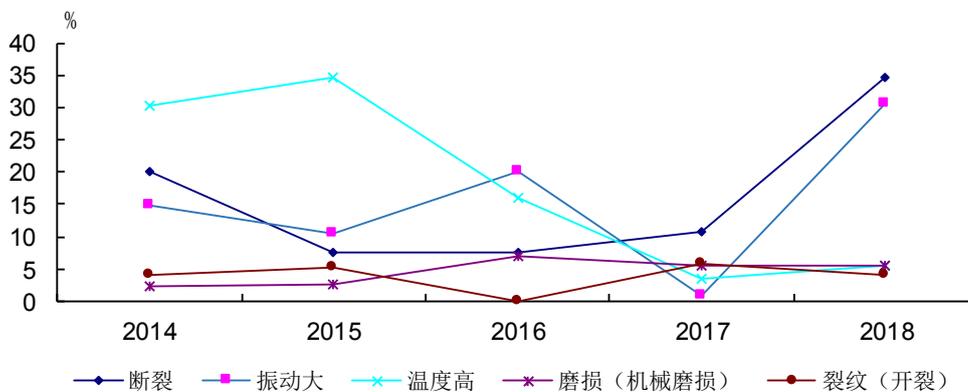


图 3-13 2014-2018 年引风机主要非停技术原因停运小时百分数

(二) 单台全年非计划停运时间最长的三台设备

表 3-22 2018 年前三名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
黄埔 06 号机组 02 号引风机	1975.07	1061.8	轴承振动大	沈阳风机厂	设备老化
金湾 03 号机组 B0 号引风机	2007.02	1048.1	动叶片断裂	成都电力机械厂	规划、设计不周
舟山煤电 01 号机组 1A 号引风机	2014.07	417.83	轴承断裂	成都电力机械厂	产品质量不良

第五节 高压加热器运行可靠性

一、2018 年高压加热器按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-23 2018 年高压加热器按主机容量分类运行可靠性指标分布

主机容量 (兆瓦)	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	计划停运系数 (%)	非计划停运系数 (%)	非计划停运率 (%)
200-299	326	66.06	95.02	4.87	0.11	0.17
300-399	2167	73.49	94.71	5.27	0.02	0.03
500-599	22	72.15	97.36	2.22	0.41	0.57
600-699	1323	75.06	94.65	5.34	0.01	0.01
1000-1100	395	80.88	94.46	5.52	0.02	0.02

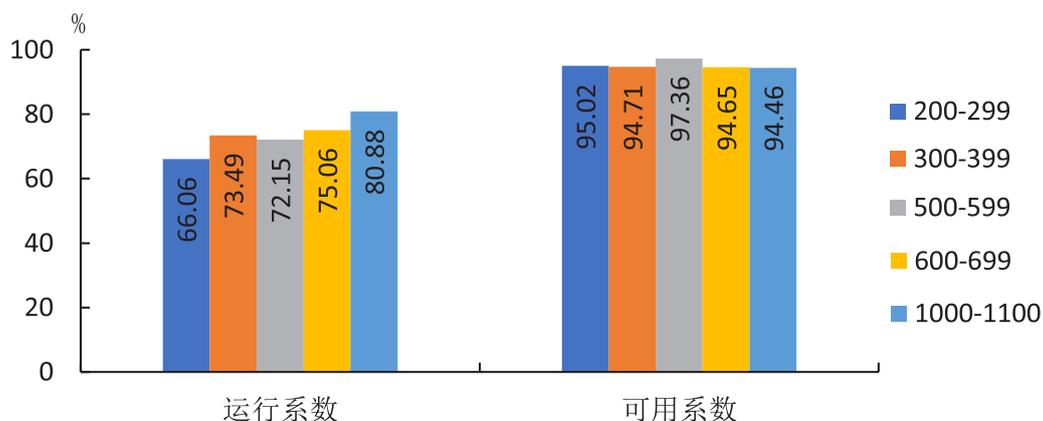


图 3-14 2018 年 200 兆瓦及以上燃煤机组按主机容量分类高压加热器运行系数和可用系数

二、2018 年高压加热器按制造厂分类运行可靠性指标

表 3-24 2018 年高压加热器按制造厂分类运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数(台)	运行系数(%)	可用系数(%)	非计划停运率(%)	设备因素影响	
					非停小时*	%**
上海动力设备有限公司	1170	72.85	94.95	0.02	0.96	23.58
哈尔滨锅炉厂有限责任公司	661	73.73	94.52	0.01	0.14	1.94
东方锅炉(集团)股份有限公司	627	72.02	94.92	0.05	0.14	1.84
上海电气集团公司	488	79.4	95.06	0.00	0.12	1.23
杭州富春锅炉容器有限公司 (杭州锅炉厂)	379	77.71	94.19	0.06	2.78	22.12
青岛锅炉辅机厂	88	71.69	94.53	0.09	5.43	10.03
哈尔滨汽轮机厂有限责任公司	73	77.99	94.82	0.00	0.00	0.00
东方汽轮机厂	47	67.32	95.89	0.18	10.67	10.53
上海电力修造总厂有限公司	45	74.17	91.23	0.16	0.00	0.00
四川锅炉厂	42	75.39	97.57	0.00	0.00	0.00
华北电力设备成套公司	41	76.97	94.79	0.21	13.93	11.99
福斯特·惠勒公司	38	74.94	95.59	0.00	0.00	0.00
德国	30	79.72	92.98	0.00	0.00	0.00
上海汽轮机有限公司	24	75.29	89.05	0.00	0.00	0.00
上海电力机械厂	24	72.29	95.9	0.00	0.00	0.00
东方电气集团公司	23	79.56	97.91	0.00	0.00	0.00
列宁格勒金属工厂	22	77.36	95.24	0.00	0.00	0.00
阿尔斯通公司	21	51.9	92.23	0.00	0.00	0.00
青岛汽轮机厂	15	72.63	97.02	0.00	0.00	0.00
三菱公司	15	61.74	85.73	0.02	0.00	0.00
大连日立机械设备有限公司	14	78.61	95.62	0.00	0.00	0.00
杭州锅炉集团有限公司	12	72.97	93.69	0.13	0.00	0.00
杭州发电设备集团公司	12	37.47	91.34	0.00	0.00	0.00
上海发电设备成套设计研究所	12	95.2	100	0.00	0.00	0.00
日立公司	12	78.6	90.67	0.00	0.00	0.00
美国	12	79.87	92.06	0.00	0.00	0.00
ABB 德国公司	12	84.76	96.53	0.56	0.00	0.00
济南市压力容器厂	12	70.11	93.45	0.00	0.00	0.00
济南变压器厂	10	82.31	94.94	0.00	0.00	0.00

三、2018 年高压加热器非计划停运

(一) 非计划停运原因

2018 年，高压加热器非计划停运的主要技术原因排在前五位的是：磨损爆（泄）漏、漏水、冲蚀、磨损（机械磨损）、漏汽。造成设备故障的前五位主要设备部件是高压加热器 U 型管、高压加热器其它、高压加热器管板、高压加热器盘香管、高压加热器疏水管道等；前五位主要责任原因是产品质量不良、设备老化、检修质量不良、管理不当、规划 / 设计不周等。具体见表 3-25。

表 3-25 2018 年高压加热器非计划停运原因

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非停次数百分数 (%) *	非停小时百分数 (%) *
	累计	平均每台年	累计	平均每台年	平均每次		
磨损爆（泄）漏	17	0.00	1633.23	0.38	96.07	9.88	17.41
漏水	26	0.01	1443.82	0.33	55.53	15.12	15.39
冲蚀	7	0.00	1019.64	0.24	145.66	4.07	10.87
磨损（机械磨损）	7	0.00	984.67	0.23	140.67	4.07	10.50
漏汽	28	0.01	825.77	0.19	29.49	16.28	8.80

近五年高压加热器非计划停机技术原因中，因磨损爆（泄）漏、冲蚀、磨损（机械磨损）、裂纹（开裂）等原因造成设备故障同比有不同程度的上升，因漏汽、漏水造成设备故障同比有所降低。2014-2018 年由于漏水、漏汽、冲蚀、磨损爆（泄）漏、裂纹（开裂）原因造成高压加热器非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见图 3-15。

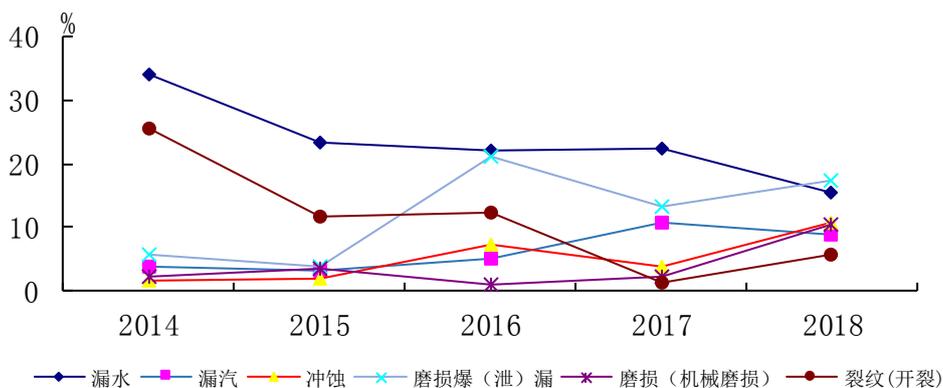


图 3-15 2014-2018 年高加主要非停技术原因停运小时百分数

(二) 单台全年非计划停运时间最长的三台设备

表 3-26 2018 年前三名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
大同第二 02 号机组 01 号高压加热器	1984.12	590.02	高加组泄漏	东方锅炉(集团)股份有限公司	产品质量不良
安庆 #4 号机组 #1 号高压加热器	2015.06	314.17	高压加热器管板冲蚀	华北电力设备成套公司	产品质量不良
沙角 A02 号机组 01 号高压加热器	1988.07	303.25	高加疏水冷却器有漏	哈尔滨锅炉厂有限责任公司	检修质量不良

第六节 国产、进口辅助设备可靠性对比分析

一、200 兆瓦及以上容量辅助设备

2018 年, 200 兆瓦及以上容量纳入可靠性统计的磨煤机、给水泵组、送风机、引风机和高压加热器中, 国产化率分别为 90.97%、84.29%、89.2%、92.52% 和 92.71%, 2017 年为 90.84%、84.33%、88.80%、92.21%、92.62%, 除给水泵组国产化率同比有所降低外, 其余均有所提高。

国产五种辅机的可用系数分别为 94.51%、94.95%、94.77%、94.66% 和 94.84%, 比进口设备可用系数分别高 1.94、1.29、1.01、1.4、2.15 个百分点。具体见图 3-16。

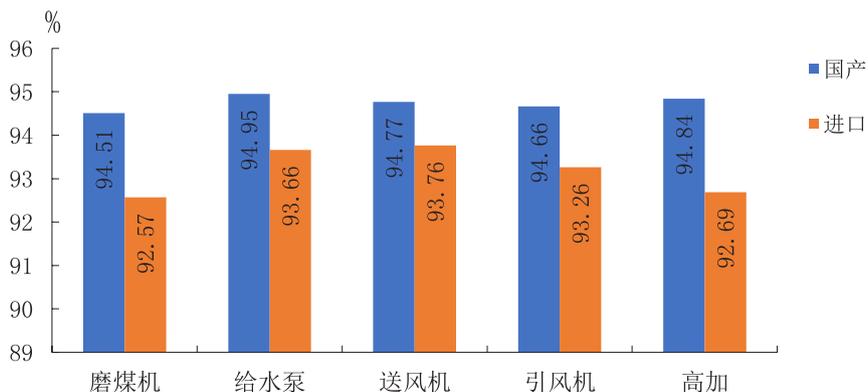


图 3-16 2018 年 200 兆瓦及以上容量燃煤机组五种辅助设备
国产、进口可用系数比较

2018 年, 200 兆瓦及以上容量燃煤机组五种辅机国产设备的非计划停运率分别为 0.09%、0.04%、0.01%、0.03%、0.03%, 与进口设备相比, 磨煤机、高压加热器

均低 0.04 个百分点；给水泵、送风机、引风机分别高 0.01、0.01、0.03 个百分点。具体见图 3-17。

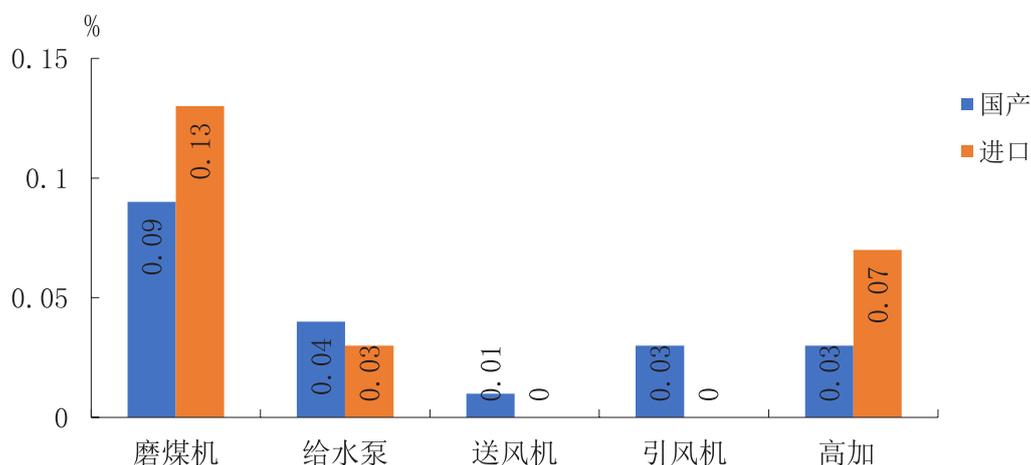


图 3-17 2018 年 200 兆瓦及以上容量燃煤机组五种辅助设备
国产、进口非计划停运率比较

二、300 兆瓦容量等级辅助设备

2018 年，300 兆瓦容量等级燃煤机组的五种辅助设备国产化率分别为：89.95%、87.03%、90.21%、92.13% 和 90.36%，2017 年为 89.44%、86.90%、89.25%、91.24% 和 90.17%，五种辅助设备国产化率同比均有所增长，分别增长了 0.51、0.13、0.96、0.89、0.19 个百分点。

国产五种辅机运行系数均高于进口设备。国产磨煤机、给水泵、高压加热器非计划停运率低于进口设备，送风机、引风机非计划停运率国产高于进口设备。具体见表 3-27。

表 3-27 2018 年 300 兆瓦容量等级燃煤机组五种辅助设备
按国产、进口分类主要可靠性指标

指标	磨煤机		给水泵		送风机		引风机		高加	
	国产	进口								
台数	2863	285	1791	266	1271	130	1335	104	1958	203
运行系数 (%)	60.43	59.31	51.78	43.35	74.08	71.90	73.81	71.60	73.58	72.75
可用系数 (%)	94.65	92.00	94.93	93.72	94.73	93.61	94.63	93.65	94.78	93.90
计划停运系数 (%)	5.30	7.87	5.03	6.25	5.27	6.39	5.35	6.35	5.20	6.07
非计划停运率 (%)	0.08	0.21	0.06	0.08	0.01	0.00	0.03	0.01	0.03	0.04

三、600 兆瓦容量等级辅助设备

2018 年, 600 兆瓦容量等级燃煤机组的五种辅助设备国产化率分别为 93.29%、86.74%、87.19%、93.42% 和 96.15%, 2017 年为 93.54%、87.10%、87.03%、93.40% 和 95.91%。磨煤机、给水泵组同比略有降低, 送风机、引风机、高压加热器同比均有提高。国产五种辅助设备除给水泵外, 运行系数均高于进口设备。可用系数、非计划停运率国产设备均高于进口设备。具体见表 3-28。

表 3-28 2018 年 600 兆瓦容量等级的五种辅助设备
按国产、进口分类主要可靠性指标

指标	磨煤机		给水泵		送风机		引风机		高压加热器	
	国产	进口								
台数	2473	178	1034	157	776	102	837	48	1272	51
运行系数 (%)	62.01	57.81	56.05	56.89	74.90	73.35	75.20	69.59	75.38	67.19
可用系数 (%)	94.41	93.08	94.76	93.12	94.94	94.24	94.69	93.49	95.01	85.77
计划停运系数 (%)	5.53	6.89	5.22	6.88	5.05	5.76	5.28	6.51	4.98	14.23
非计划停运率 (%)	0.11	0.05	0.03	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00

第七节 电除尘、脱硫系统运行可靠性

2018 年纳入可靠性统计的电除尘设备、脱硫系统分别为 1618 台、1300 套, 同比分别增加 15 台、176 套。电除尘设备、脱硫系统台年平均运行小时分别增加 715.69 小时、657.88 小时, 运行系数同比分别上升 8.17%、7.51%, 与前三年相比有较大涨幅。电除尘设备、脱硫系统可用系数同比分别提高 0.25%、1.17%, 台年平均可用小时分别增加 21.9 小时、102.49 小时。具体见表 3-29 和表 3-30。

表 3-29 2014-2018 年 200 兆瓦及以上燃煤机组电除尘设备主要可靠性指标

年份	台数	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划停运率 (%)
2014	1482	79.42	92.57	0.11
2015	1586	68.73	93.20	0.14
2016	1597	68.11	93.13	0.05
2017	1603	65.58	93.89	0.01
2018	1618	73.75	94.14	0.00

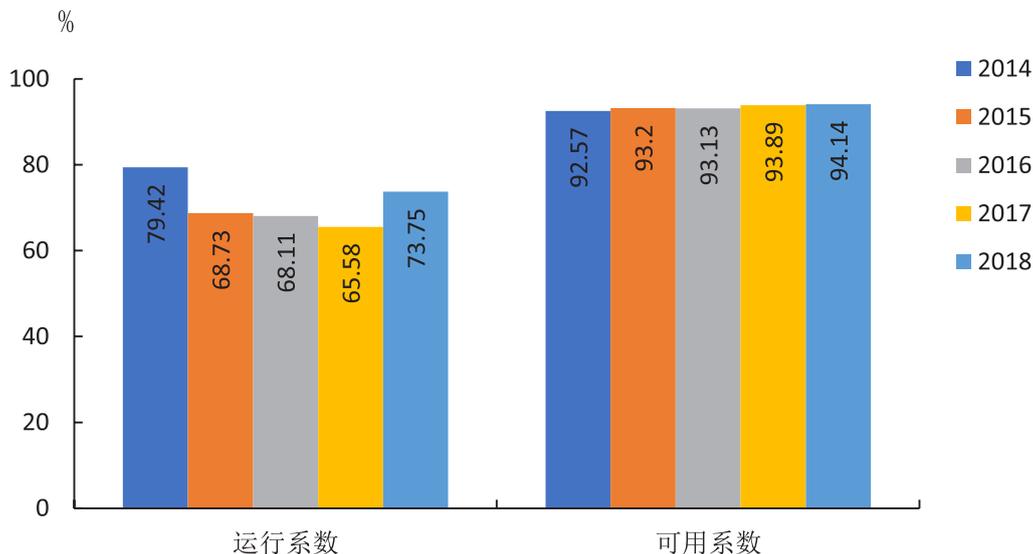


图 3-18 2014-2018 年 200 兆瓦及以上燃煤机组电除尘运行系数、可用系数

表 3-30 2014-2018 年 200 兆瓦及以上燃煤机组脱硫设备主要可靠性指标

年份	台数	运行系数 (%)	可用系数 (%)	非计划停运率 (%)
2014	1003	79.53	92.75	0.01
2015	1081	69.69	93.96	0.01
2016	1087	68.23	93.31	0.01
2017	1124	66.49	93.29	0.03
2018	1300	74.00	94.46	0.01

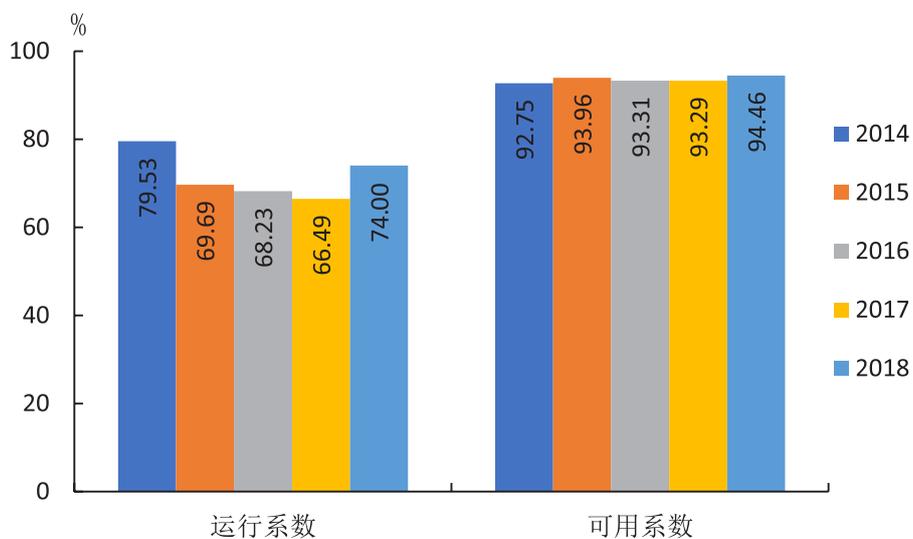


图 3-19 2014-2018 年 200 兆瓦及以上燃煤机组脱硫设备运行系数、可用系数

第四章 2018 年全国 220 千伏及以上电压等级变压器、断路器、架空线路等十三类输变电设施运行可靠性

十三类输变电设施包括：架空线路、变压器、断路器、电抗器、电流互感器、电压互感器、隔离开关、避雷器、耦合电容器、阻波器、组合电器、电缆线路、母线。

第一节 2018 年全国十三类输变电设施统计数量

2018 年，纳入可靠性统计的电网企业包括国网、南网、内蒙古电力集团及所辖 384 个地市级供电公司和发电厂，发电企业包括华能、大唐、华电、国能电投、国家能源等 9 家发电集团及所辖 107 个发电厂。报送范围涵盖了 220kV 及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器等十三类输变电设施的可靠性统计数据。

2018 年全国纳入可靠性统计的十三类输变电设施数量见下表。

表 4-1 2018 年全国十三类输变电设施统计数量情况

类别	220kV	330kV	400kV	500kV	660kV	750kV	800kV	1000kV	综合
架空线路	4671.522	299.257	8.458	2221.793	26.667	189.197	386.866	98.758	7902.518
变压器	11670	475	0	5232	0	300	7	161	17845
电抗器	208	136	0	2143	0	431	0	181	3099
断路器	37172	1886	0	7172	0	380	0	14	46624
电流互感器	109814	3513	0	16708	0	60	0	1	130096
电压互感器	56917	4821	0	18917	0	1077	0	442	82174
隔离开关	139337	4356	0	17866	0	970	0	17	162546
避雷器	103995	4553	0	20289	1	1565	0	519	130922
耦合电容器	9507	124	0	380	0	0	0	0	10011
阻波器	13811	717	0	2523	0	4	0	0	17055
电缆线路	57.063	4.885	0	1.146	0	0.028	0	0	63.122
组合电器	3766	101	0	1782	0	27	0	52	5728
母线	10539	320	0	1581	0	67	1	19	12527

注：上表中统计数量单位：架空线路、电缆线路为百千米，其它设备为台（段）

第二节 输变电设施运行可靠性总体情况

2018 年，除电缆线路外，其他设施计划停运时间均高于 2017 年，其中电抗器、架空线路、变压器增幅较大，同比分别增加 9.577 小时、9.061 小时、7.620 小时。受计划停运时间增加影响，十三类输变电设施可用系数均低于 2017 年，其中电缆线路、架空线路、电抗器降幅较大，同比分别下降 0.289、0.170、0.109 个百分点。母线、电缆线路、变压器、组合电器、架空线路强迫停运率高于 2017 年，其中母线、电缆线路、变压器增幅较大，同比分别增加 0.108 次/百段年、0.082 次/百千米年、0.050 次/百台年，电抗器、耦合电容器 2018 年没有发生强迫停运，其他设施强迫停运率同比不同幅度下降。具体指标见以下图表。

表 4-2 2017 年、2018 年全国十三类输变电设施主要可靠性指标

类别	可用系数 %		强迫停运率		非计划停运时间		计划停运时间	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
架空线路	99.498	99.328	0.055	0.062	0.452	2.439	41.463	50.524
变压器	99.835	99.741	0.138	0.188	0.124	0.116	14.043	21.663
电抗器	99.829	99.720	0.210	0	0.491	0.382	14.370	23.947
断路器	99.931	99.908	0.133	0.121	0.018	0.047	5.996	7.516
电流互感器	99.977	99.972	0.010	0.006	0.004	0.009	1.934	2.321
电压互感器	99.966	99.948	0.022	0.019	0.004	0.010	2.907	4.468
隔离开关	99.981	99.977	0.008	0.005	0.001	0.007	1.634	1.883
避雷器	99.974	99.962	0.010	0.009	0.002	0.003	2.282	3.232
耦合电容器	99.990	99.982	0.010	0	0.001	0	0.725	1.421
阻波器	99.988	99.977	0.034	0.006	0.001	0.007	0.908	1.793
电缆线路	99.901	99.612	0	0.082	0	1.296	4.779	4.672
组合电器	99.990	99.978	0.016	0.024	0.020	0.011	0.801	1.913
母线	99.962	99.940	0.158	0.266	0.014	1.003	3.265	4.009

注：上表中强迫停运率单位：架空线路、电缆线路为次/百千米年，其它设备为次/百台（段）年；非停、计停时间单位：架空线路、电缆线路为小时/百千米年，其它设备为小时/台（段）年

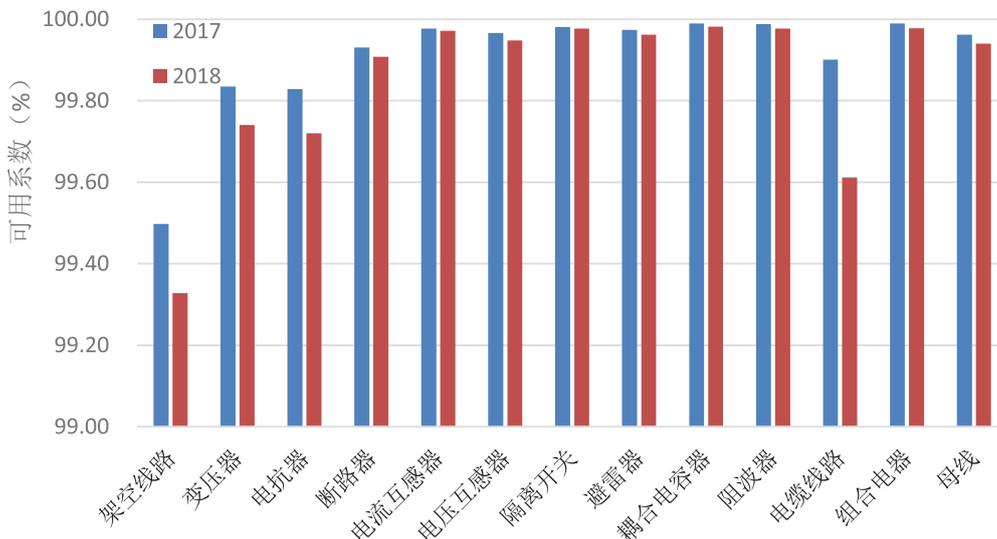


图 4-1 2017 年、2018 年全国十三类输变电设施可用系数对比

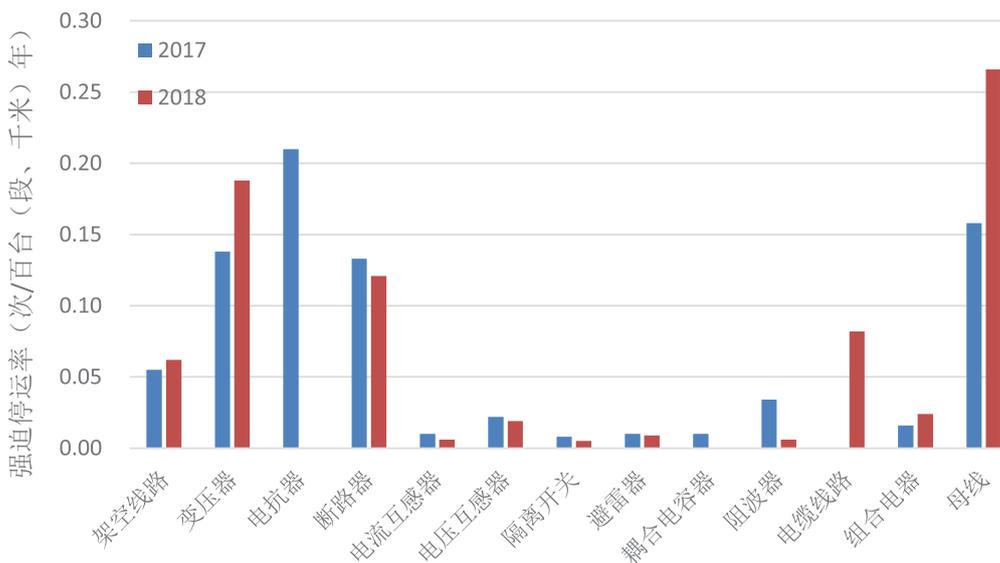


图 4-2 2017 年、2018 年全国十三类输变电设施强迫停运率对比

第三节 变压器运行可靠性

一、2014-2018 指标对比

2018 年，变压器的统计数量较 2014 年增加 36.098 百台年，五年来年均增长率达到 4.71%。变压器可用系数近五年总体保持在较高水平，但受计划停运时间逐年增加影响，近五年呈逐年下降趋势，2018 年变压器可用系数较 2014 年下降 0.087

个百分点。变压器强迫停运率 2014-2018 年保持平稳，一直维持在 0.2 次 / 百台年左右。2014-2018 年变压器主要可靠性指标及对比见下图。

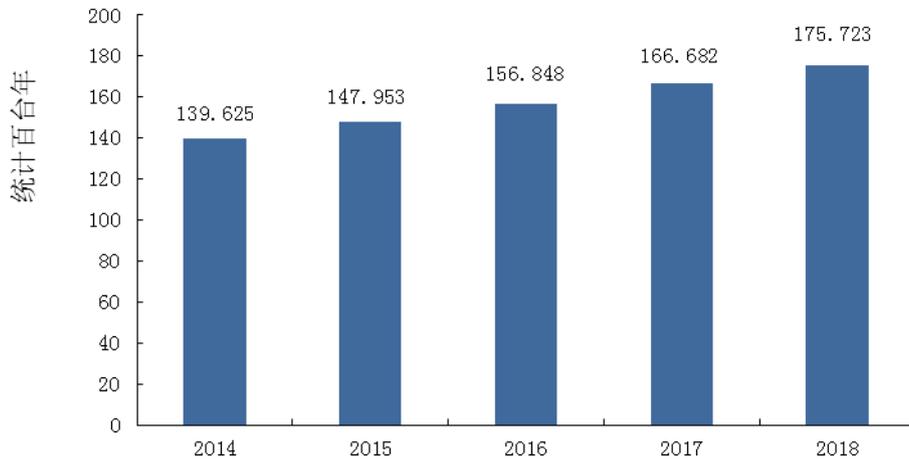


图 4-3 2014-2018 年变压器统计百台年数对比

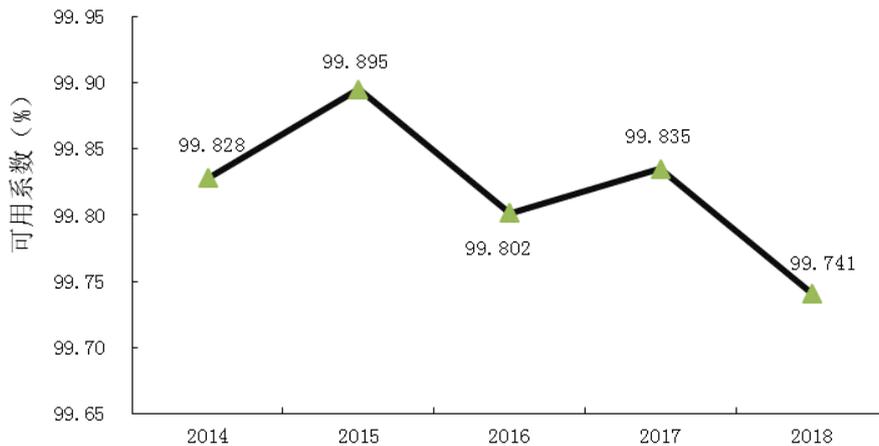


图 4-4 2014-2018 年变压器可用系数对比



图 4-5 2014-2018 年变压器强迫停运率对比

二、按运行单位分析

2018 年，可用系数前五名的集团公司分别是中国南方电网有限责任公司 99.924%、国家电网有限公司 99.780%、内蒙古电力（集团）有限责任公司 99.762%、国家能源投资集团有限责任公司 99.587%、国家电力投资集团有限公司 99.565%。2018 年变压器按运行单位分类运行可靠性指标见下表。

表 4-3 2018 年变压器按运行单位分类运行可靠性指标

单位	统计数量 (百台年)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	强迫停运时间 (小时/台年)	计划停运率 (次/百台年)	计划停运时间 (小时/台年)
国家电网有限公司	123.475	99.780	0.170	0.008	26.985	17.962
中国南方电网有限责任公司	28.730	99.924	0.209	0.007	16.324	6.165
中国华能集团有限公司	4.969	99.223	0.402	0.346	14.892	67.693
中国大唐集团有限公司	2.960	98.999	0	0	26.014	87.711
中国华电集团有限公司	2.080	99.536	0	0	5.288	40.641
国家电力投资集团有限公司	2.850	99.565	0	0	8.070	38.081
国家能源投资集团有限责任公司	3.027	99.587	0	0	5.616	36.188
中国长江三峡集团有限公司	0.390	94.562	0	0	100.000	476.335
内蒙古电力（集团）有限责任公司	5.160	99.762	0.775	0.058	56.395	20.475
广东省能源集团有限公司	0.690	97.588	0	0	66.667	211.319
浙江省能源集团有限公司	0.410	99.294	0	0	21.951	61.879
北京能源集团有限责任公司	0.692	97.535	0	0	44.798	215.968

三、按投运时间分析

2018 年，全国变压器投运时间在 10 年以上、20 年以内的数量最多，达 6563 台。可用系数较好的是 5 年以内和 5 年以上、10 年以内的变压器，可用系数分别为 99.796%、99.790%。非计划停运率较低的是 10 年以上，20 年以内和 5 年以内的变压器，非计划停运率分别为 0.244 次/百台年、0.368 次/百台年。2018 年变压器按投运时间可靠性指标情况见以下图表。

表 4-4 2018 年变压器按投运时间可靠性指标

投运时间 (年)	电压等级	台数	可用系数 (%)	计划停运率 (次/百台年)	非计划停运率 (小时/台年)
< 5	综合	4105	99.796	23.101	0.368
	220	2304	99.857	23.381	0.559
	330	112	99.774	28.323	0.000
	500	1416	99.821	18.395	0.155
5-10	综合	5568	99.790	24.406	0.611
	220	3596	99.803	27.746	0.473
	330	144	99.844	20.833	0.000
	500	1652	99.811	16.471	1.029
10-20	综合	6563	99.710	26.425	0.244
	220	4472	99.771	28.743	0.156
	330	179	99.751	15.642	0.000
	500	1893	99.558	22.176	0.475
≥ 20	综合	1606	99.572	26.068	0.676
	220	1295	99.665	25.355	0.536
	330	40	99.304	28.983	0.000
	500	271	99.175	28.963	1.430

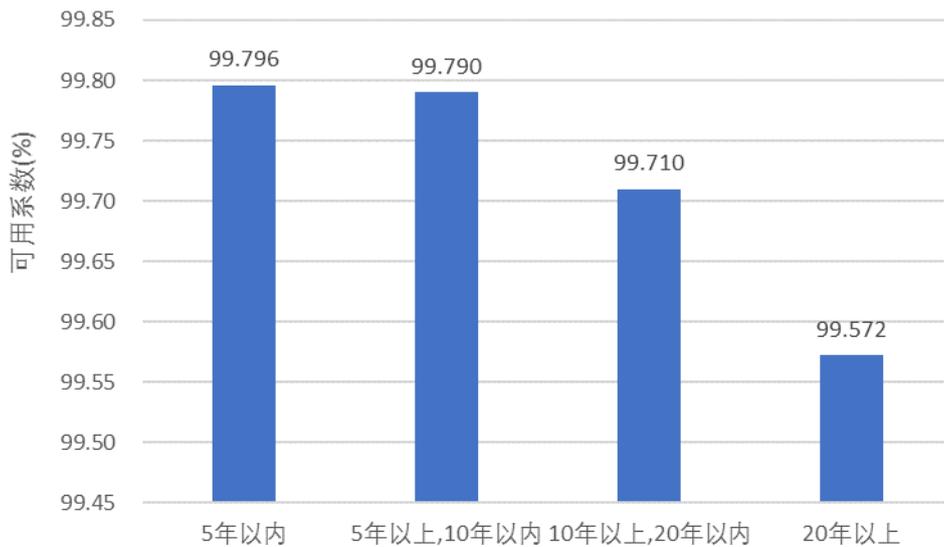


图 4-6 2018 年变压器按投运时间可用系数对比

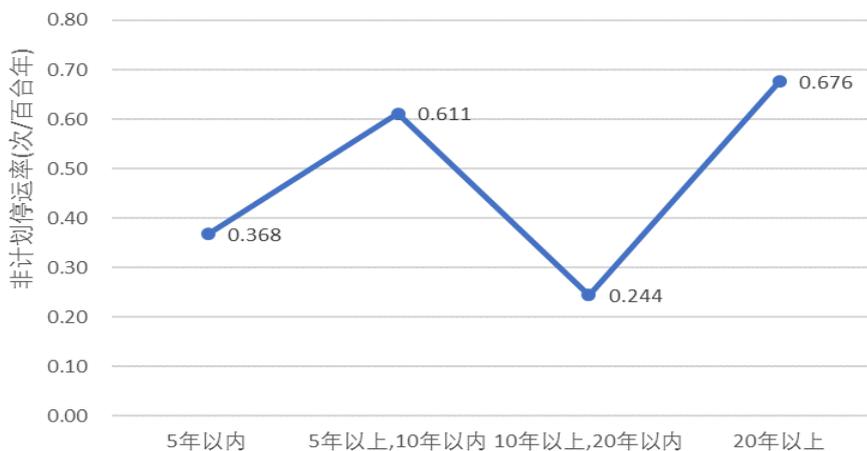


图 4-7 2018 年变压器按投运时间非计划停运率对比

四、计划停运、非计划停运影响可用系数比较

2018 年，变压器可用系数同比下降 0.094 个百分点。计划停运影响可用系数占比为 99.47%，较 2017 年上升 0.35 个百分点。非计划停运影响可用系数占比为 0.53%，较 2017 年下降 0.32 个百分点。计划停运对变压器可用系数影响持续上升。2017 年、2018 年变压器计划停运、非计划停运影响可用系数比较见下表。

表 4-5 2017 年、2018 年变压器计划停运、非计划停运影响可用系数比较

指标	年份	变压器
可用系数 %	2017	99.835
	2018	99.741
	比较	-0.094
计划停运影响可用系数占比 %	2017	99.12
	2018	99.47
	比较	0.35
非计划停运影响可用系数占比 %	2017	0.88
	2018	0.53
	比较	-0.35

五、非计划停运事件分析

2018 年，变压器共发生非计划停运 75 次，比 2017 年增加 7 次。其中 220kV43

次，同比增加 7 次；500kV32 次，同比减少 10 次；其他电压等级变压器未发生非计划停运。2018 年累计非计划停运 0.116 小时/台年，比 2017 年减少 0.009 小时/台年。

（一）按停运时间分析

2018 年，全国变压器发生的 75 次非计划停运，按停运时间分析情况见下表。

表 4-6 2018 年变压器非计划停运按停运时间分级分析情况

变压器非计划停运时间（小时）	非停次数（次）
< 5	13
5-100	54
100-500	7
500-800	1
≥ 800	0
各数值范围中，下限值为包含，上限值为不包含	

2018 年全国变压器发生 100 小时以上非计划停运事件 8 次，典型事件如下：

2018 年 10 月，南网贵阳供电局 220kV 田坝变电站 #3 主变由于产品质量不良，导致操作机构变形，发生 1 次第四类非计划停运，非停时间为 526.80 小时。

2018 年 6 月，南网潮州供电局 220kV 卧岭站 #3 主变由于产品质量不良，发生 1 次第三类非计划停运，非停时间为 394.85 小时。

2018 年 5 月，国网常德供电公司 220kV 同心变电站 #1 主变由于产品质量不良，导致引流线故障，发生 1 次第四类非计划停运，非停时间为 298.58 小时。

2018 年 4 月，国网哈密供电公司 220kV 山北变电站 #2 主变由于施工安装不良，导致充油式套管故障，发生 1 次第三类非计划停运，非停时间为 235.51 小时。

（二）按部件因素分析

2018 年，充油式套管、一次系统、继电保护装置分别是引起 220kV 及以上变压器非计划停运次数较多的前三位部件因素，分别引起非计划停运 12 次、8 次和 6 次。分电压等级来看，引起 220kV 变压器非计划停运的主要部件是充油式套管 5 次、高压线圈 4 次、一次系统 4 次；引起 500kV 变压器非计划停运的主要部件是充油式套管 7 次、一次系统 4 次、温度表 3 次。2018 年各电压等级变压器非计划停运按部件分类情况见下表。

表 4-7 2018 年 220kV 变压器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
充油式套管	5	97.550	8.10
高压线圈	4	10.867	0.90
一次系统	4	6.883	0.57
引流线	2	212.250	17.62
继电保护	2	20.283	1.68
灭火装置	2	19.300	1.60
有载分接开关	1	23.250	1.93
有载开关绝缘油	1	9.000	0.75
纯瓷套管	1	4.350	0.36
套管	1	3.517	0.29
有载开关储油柜	1	3.250	0.27
远动系统	1	2.217	0.18
油纸电容式套管	1	1.950	0.16
二次回路公用设备	1	0.050	0.004
其它	16	790.067	65.58

表 4-8 2018 年 500kV 变压器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
充油式套管	7	28.900	3.99
一次系统	4	5.317	0.73
温度表	3	0.200	0.03
储油柜	2	11.433	1.58
纯瓷套管	1	162.200	22.38
继电保护	1	7.600	1.05
放油阀	1	6.250	0.86
压力释放器(防爆筒)	1	2.217	0.31
其它	6	500.600	69.08

表 4-9 2018 年 220kV 及以上变压器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
充油式套管	12	126.450	6.50
一次系统	8	12.200	0.63
继电保护	6	55.766	2.86
温度表	3	0.200	0.01
引流线	2	212.250	10.90
纯瓷套管	2	166.550	8.56
灭火装置	2	19.300	0.99
储油柜	2	11.433	0.59
有载分接开关	1	23.250	1.19
有载开关绝缘油	1	9.000	0.46
放油阀	1	6.250	0.32
套管	1	3.517	0.18
有载开关储油柜	1	3.250	0.17
远动系统	1	2.217	0.11
压力释放器(防爆筒)	1	2.217	0.11
油纸电容式套管	1	1.950	0.10
二次回路公用设备	1	0.050	0.004
其它	22	1290.667	66.31

(三) 按责任原因分析

2018 年,产品质量不良、气候因素、施工安装不良是造成 220kV 及以上变压器非计划停运次数较多的前三位责任原因,分别引起非计划停运 14 次、11 次和 10 次。分电压等级来看,引起 220kV 变压器非计划停运的主要责任原因是施工安装不良 9 次、产品质量不良 6 次、气候因素 5 次;引起 500kV 变压器非计划停运的主要责任原因是产品质量不良 8 次、气候因素 6 次、自然灾害 3 次。2018 年各电压等级变压器非计划停运按责任原因分类情况见下表。

表 4-10 2018 年 220kV 变压器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
施工安装不良	9	111.170	9.23
产品质量不良	6	240.700	19.98
气候因素	5	59.530	4.94
自然灾害	3	23.630	1.96
设备老化	2	10.750	0.89
检修质量不良	2	6.300	0.52
动物事故	1	13.670	1.13
规划、设计不周	1	1.900	0.16
运行不当	1	0.080	0.01
待查	13	737.05	61.18

表 4-11 2018 年 500kV 变压器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
产品质量不良	8	269.133	31.80
气候因素	6	38.300	4.53
自然灾害	3	16.200	1.91
电力系统影响	3	2.850	0.34
施工安装不良	1	8.833	1.04
调整试验不当	1	7.600	0.90
设备老化	1	2.600	0.31
待查	9	500.80	59.17

表 4-12 2018 年 220kV 及以上变压器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
产品质量不良	14	509.833	24.86
气候因素	11	97.830	4.77
施工安装不良	10	120.003	5.85
自然灾害	6	39.830	1.94
设备老化	3	13.350	0.65
电力系统影响	3	2.850	0.14
检修质量不良	2	6.300	0.31

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
动物事故	1	13.670	0.67
调整试验不当	1	7.600	0.37
规划、设计不周	1	1.900	0.09
运行不当	1	0.080	0.01
待查	22	1237.850	60.35

(四) 按制造厂家分析

变压器按制造厂家分类 (按统计台数排序, 下同) 的运行可靠性指标见下表。

表 4-13 2018 年 220kV 变压器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
扎布罗什变压器厂 (II A III)	20	100	0	0	0	0
阿尔斯通公司	13	100	0	0	0	0
广州电力设备厂	19	99.995	0	0	0	0
伊林 (ELIN) 联合公司	12	99.987	0	0	0	0
中山 ABB 变压器有限公司	296	99.961	0	0	0	0
(BRUSH) 电气机械公司	15	99.96	0	0	0	0
上海 ABB 变压器有限公司	16	99.955	0	0	0	0
东芝 (TOSHIBA) 公司	53	99.938	0	0	0	0
西电济南变压器股份有限公司	70	99.929	0	0	0	0
长春三鼎变压器有限公司	67	99.908	0	0	0	0
江苏南通晓星变压器有限公司	84	99.897	0	0	0	0
ELTA 变压器厂	10	99.894	0	0	0	0
常州东芝变压器有限公司	190	99.891	0	0	0	0
重庆 ABB 变压器有限公司	67	99.889	0	0	0	0
上海 AREVA 变压器有限公司	39	99.888	0	0	0	0
太原变压器厂	29	99.883	0	0	0	0
广州西门子变压器有限公司	361	99.876	0.277	0	0	0
云南变压器厂	88	99.876	1.142	0	0	0
泰安泰山电气有限公司	236	99.871	0	0	0	0

制造厂家	统计台数(台)	可用系数(%)	强迫停运率(次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间(小时/台年)*	占该厂非停总时间比例(%)**	强迫停运率(次/百台年)
西门子(SIEMENS)公司	169	99.870	0	0	0	0
山东泰开变压器有限公司	197	99.859	0	0	0	0
山东达驰电气有限公司	338	99.851	0	0.634	100	0
江苏华鹏变压器有限公司	436	99.849	0.235	0	0	0
济南志友集团股份有限公司	26	99.836	0	0	0	0
合肥ABB变压器有限公司	827	99.835	0	0	0	0
济南西门子变压器有限公司	332	99.833	0.307	0	0	0
卧龙电气烟台东源变压器有限公司	68	99.822	0	0	0	0
上海电力变压器厂	22	99.813	0	0	0	0
三变科技股份有限公司	62	99.808	1.613	0.003	100	1.613
青岛青波变压器股份有限公司	121	99.805	0.813	0	0	0
哈尔滨变压器厂	188	99.802	0	0	0	0
西安西电变压器有限责任公司	509	99.799	0.199	0	0	0
重庆市亚东亚集团变压器有限公司	12	99.798	0	0	0	0
特变电工(沈阳)变压器集团公司	1042	99.794	0	0	0	0
南通变压器厂	50	99.783	0	0	0	0
特变电工衡阳变压器有限公司	907	99.765	0	0	0	0
山东电力设备有限公司	643	99.754	0.159	0	0	0
常州西电变压器有限责任公司	815	99.701	0	0.029	100	0
保定天威保变电气股份有限公司	1142	99.688	0.176	0.005	27.55	0
葫芦岛电力设备厂	238	99.672	0	0	0	0
江西变压器厂	41	99.648	0	0	0	0
特变电工股份有限公司新疆变压器厂	433	99.647	1.415	0.014	7.472	0
天威保变(合肥)变压器有限公司	34	99.497	0	0	0	0
三菱(MHISUBISHI)公司	14	99.244	0	0	0	0
重庆重变电器有限责任公司	23	99.237	0	0	0	0
南京立业电力变压器有限公司	12	94.948	0	0	0	0
GEC-阿尔斯通公司	11	91.186	0	0	0	0

* 此项为由于设备因素造成的非计划停运小时;

** 此项为设备因素造成的非计划停运小时占该制造厂提供产品的全部非计划停运时间的百分比(下同);

另: 统计台数少于末行台数的制造厂家未列入上表(下同)。

表 4-14 2018 年 330kV 变压器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
特变电工衡阳变压器有限公司	21	100	0	0	0	0
山东电力设备有限公司	20	99.931	0	0	0	0
特变电工(沈阳)变压器集团公司	43	99.845	0	0	0	0
常州西电变压器有限责任公司	21	99.765	0	0	0	0
西安西电变压器有限责任公司	170	99.745	0	0	0	0
保定天威保变电气股份有限公司	50	99.718	0	0	0	0
特变电工股份有限公司新疆变压器厂	60	99.552	0	0	0	0
济南西门子变压器有限公司	10	99.433	0	0	0	0

表 4-15 2018 年 500kV 变压器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
三菱东芝	11	100	0	0	0	0
济南西门子变压器有限公司	127	99.942	0	0	0	0
上海 AREVA 变压器有限公司	27	99.925	0	0	0	0
广州西门子变压器有限公司	46	99.857	0	0	0	0
常州东芝变压器制造有限公司	22	99.839	0	0	0	0
山东电力设备有限公司	174	99.822	0	0	0	0
重庆 ABB 变压器有限公司	384	99.819	1.049	0.012	0.945	0
特变电工股份有限公司新疆变压器厂	68	99.806	0	0	0	0
西安西电变压器有限责任公司	376	99.805	0.272	0.007	11.161	0.272
ABB 德国公司	16	99.786	0	0	0	0
常州西电变压器有限责任公司	303	99.784	0	0	0	0
三菱 (MITSUBISHI) 公司	79	99.772	1.266	0.028	100	1.266
特变电工衡阳变压器有限公司	515	99.761	0	0	0	0
特变电工(沈阳)变压器集团公司	626	99.744	0.49	0	0	0
常州东芝变压器有限公司	299	99.737	1.012	0.021	27.84	0

制造厂家	统计台数(台)	可用系数(%)	强迫停运率(次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间(小时/台年)*	占该厂非停总时间比例(%)**	强迫停运率(次/百台年)
上海阿尔斯通有限公司	26	99.717	0	0	0	0
保定天威保变电气股份有限公司	722	99.712	0	0	0	0
山东达驰电气有限公司	60	99.711	0	0	0	0
南通变压器厂	12	99.648	0	0	0	0
特变电工康嘉(沈阳)互感器有限公司	21	99.642	0	0	0	0
安沙尔多(ANSAIDO)公司	12	99.621	25	0	0	0
山东泰开变压器有限公司	42	99.545	0	0	0	0
法国阿海珐(AREAVA)公司	12	99.514	0	0	0	0
重庆重变电器有限责任公司	239	99.459	0	0	0	0
扎布罗什变压器厂(II A III)	51	99.447	0	0	0	0
阿尔斯通公司	13	99.414	0	0	0	0
东芝(TOSHIBA)公司	171	99.304	0	0	0	0
西门子(SIEMENS)公司	122	98.801	0.82	1.33	100	0.82
GEC-阿尔斯通公司	13	98.530	0	0	0	0
上海ABB变压器有限公司	11	98.193	0	0	0	0
日立(HITACHI)公司	31	96.496	0	0	0	0

表 4-16 2018 年 750kV 变压器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数(台)	可用系数(%)	强迫停运率(次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间(小时/台年)*	占该厂非停总时间比例(%)**	强迫停运率(次/百台年)
重庆ABB变压器有限公司	12	99.995	0	0	0	0
西安西电变压器有限责任公司	70	99.860	0	0	0	0
特变电工股份有限公司新疆变压器厂	17	99.624	0	0	0	0
特变电工(沈阳)变压器集团公司	49	99.492	0	0	0	0
保定天威保变电气股份有限公司	86	99.272	0	0	0	0
特变电工衡阳变压器有限公司	28	99.145	0	0	0	0
山东电力设备有限公司	36	98.512	0	0	0	0

表 4-17 2018 年 1000kV 变压器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
特变电工衡阳变压器有限公司	10	99.932	0	0	0	0
保定天威保变电气股份有限公司	36	99.044	0	0	0	0
特变电工(沈阳)变压器集团公司	51	99.016	0	0	0	0
西安西电变压器有限责任公司	33	98.908	0	0	0	0
山东电力设备有限公司	31	98.432	0	0	0	0

第四节 断路器运行可靠性

一、2014-2018 年指标对比

2018 年，断路器的统计数量较 2014 年增加 62.800 百台年，五年来年均增长率达到 2.96%。断路器可用系数近五年总体保持在较高水平，但受计划停运时间增加影响，近四年呈逐年下降趋势，2018 年断路器可用系数较 2014 年下降 0.013 个百分点。断路器强迫停运率近五年保持平稳，一直维持在 0.12 次/百台年左右。2014-2018 年断路器主要可靠性指标及对比见下图。

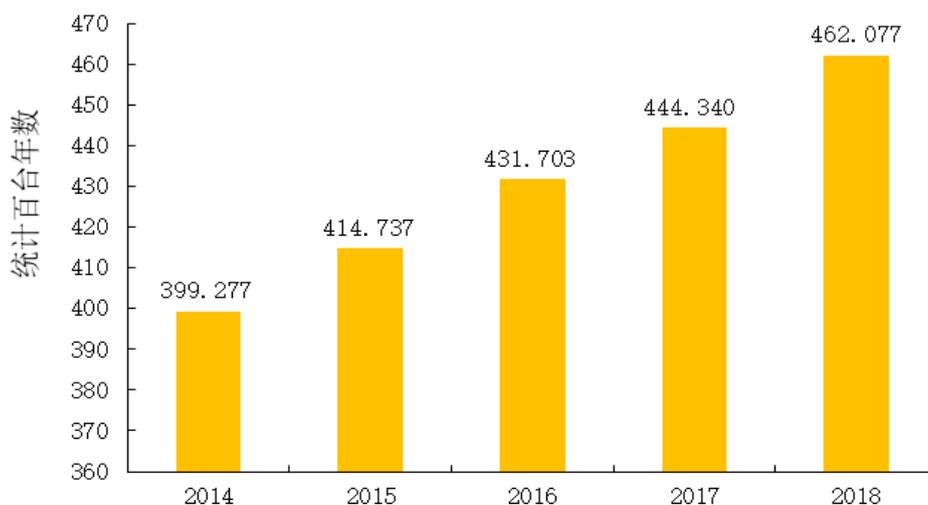


图 4-8 2014-2018 年断路器统计百台年数对比

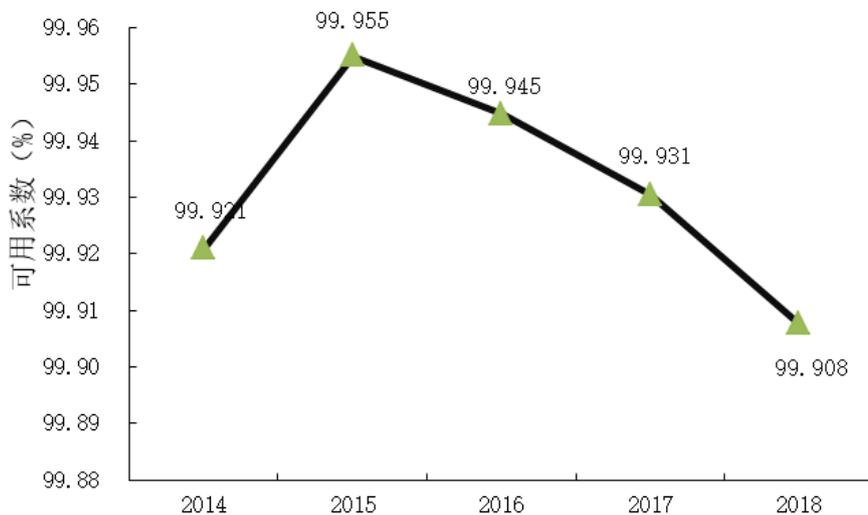


图 4-9 2014-2018 年断路器可用系数对比

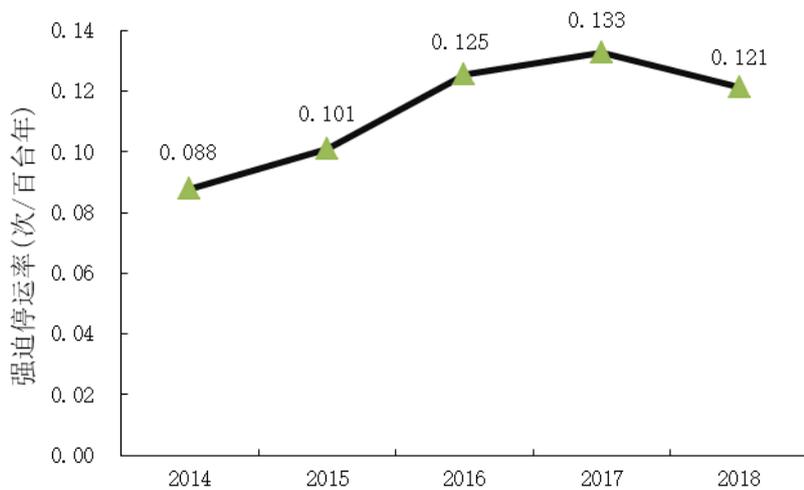


图 4-10 2014-2018 年断路器强迫停运率对比

二、按运行单位分析

2018 年，可用系数前五名的集团公司分别是中国南方电网有限责任公司 99.953%、国家电网有限公司 99.919%、内蒙古电力（集团）有限责任公司 99.849%、中国华电集团有限公司 99.835%、国家能源投资集团有限责任公司 99.816%。2018 年断路器按运行单位分类运行可靠性指标见下表。

表 4-18 2018 年断路器按运行单位分类运行可靠性指标

单位	统计数量 (百台年)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	强迫停运时间 (小时/台年)	计划停运率 (次/百台年)	计划停运时间 (小时/台年)
国家电网有限公司	329.706	99.919	0.076	0.007	12.978	6.391
中国南方电网有限责任公司	84.471	99.953	0.130	0.007	13.235	3.949
中国华能集团有限公司	6.210	99.501	0.322	0.045	13.527	43.200
中国大唐集团有限公司	5.090	99.631	0	0	14.342	32.324
中国华电集团有限公司	4.060	99.835	0	0	3.695	14.486
国家电力投资集团有限公司	4.510	99.727	0	0	11.973	23.916
国家能源投资集团有限责任公司	5.600	99.816	0	0	3.929	16.099
内蒙古电力(集团)有限责任公司	18.233	99.849	0.878	0.235	39.599	12.723
广东省能源集团有限公司	1.290	99.334	0.775	0.007	24.031	58.356
浙江省能源集团有限公司	0.703	99.007	1.422	0.013	27.027	86.976
北京能源集团有限责任公司	1.114	99.255	0	0	29.623	65.289

三、按投运时间分析

2018 年, 全国断路器投运时间在 10 年以上、20 年以内的数量最多, 达 22450 台。可用系数较好的是 5 年以内和 5 年以上、10 年以内的断路器, 可用系数分别为 99.914% 和 99.912%。非计划停运率较低的是 20 年以上和 10 年以上、20 年以内的断路器, 非计划停运率分别为 0.194 次/百台年和 0.209 次/百台年。2018 年断路器按投运时间可靠性指标情况见以下图表。

表 4-19 2018 年断路器按投运时间可靠性指标

投运时间	电压等级	台数	可用系数 (%)	计划停运率 (次/百台年)	非计划停运率 (小时/台年)
< 5	综合	7198	99.914	13.928	0.270
	220	5672	99.939	13.953	0.227
	330	348	99.931	7.758	0.000
	500	1005	99.893	13.284	0.549
5-10	综合	14426	99.912	15.192	0.236
	220	11331	99.922	15.256	0.159
	330	647	99.864	11.283	0.309
	500	2228	99.894	15.336	0.628

投运时间	电压等级	台数	可用系数 (%)	计划停运率 (次/百台年)	非计划停运率 (小时/台年)
10-20	综合	22450	99.911	13.509	0.209
	220	18086	99.918	13.724	0.160
	330	729	99.903	10.294	0.275
	500	3634	99.877	13.055	0.440
≥ 20	综合	2547	99.844	9.067	0.194
	220	2080	99.829	9.053	0.190
	330	162	99.958	7.822	0.602
	500	305	99.888	9.836	0.000

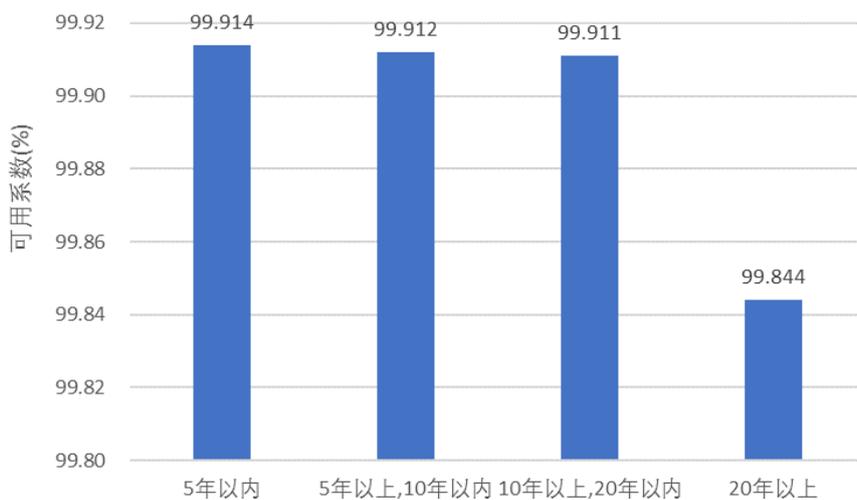


图 4-11 2018 年断路器按投运时间可用系数对比

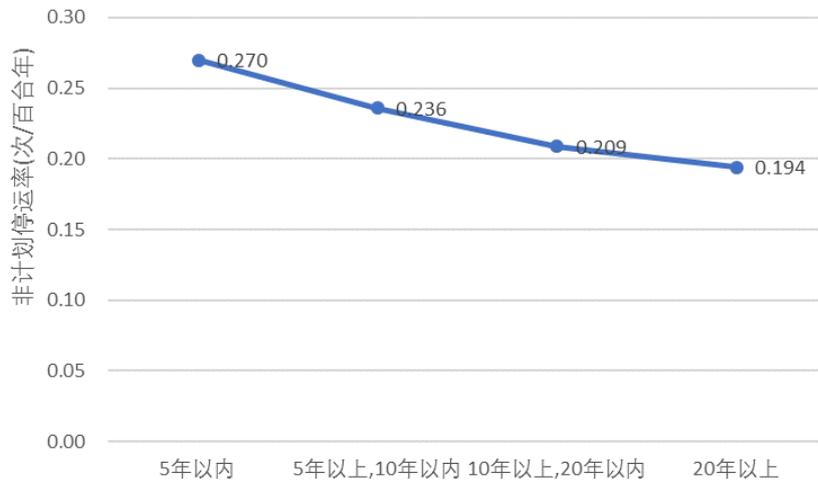


图 4-12 2018 年断路器按投运时间非计划停运率对比

四、计划停运、非计划停运影响可用系数比较

2018 年，断路器可用系数比 2017 年下降 0.023 个百分点。计划停运影响可用系数占 99.47%，较 2017 年上升 0.35 个百分点。非计划停运影响可用系数占 0.53%，较 2017 年下降 0.32 个百分点，计划停运对断路器可用系数影响持续上升。2017 年、2018 年断路器计划停运、非计划停运影响可用系数比较见下表。

表 4-20 2017 年、2018 年断路器计划停运、非计划停运影响可用系数比较

指标	年份	断路器
可用系数 %	2017	99.931
	2018	99.908
	比较	-0.023
计划停运影响可用系数占比 %	2017	99.70
	2018	99.38
	比较	-0.32
非计划停运影响可用系数占比 %	2017	0.30
	2018	0.62
	比较	0.32

五、非计划停运事件分析

2018 年，断路器共发生非计划停运 104 次，同比增加 9 次。其中 220kV63 次，同比增加 14 次；330kV5 次，同比增加 1 次；500kV35 次，同比减少 5 次；750kV1 次，同比减少 1 次；1000kV 断路器未发生非计划停运。2018 年累计非计划停运 0.047 小时 / 台年，比 2017 年增加 0.029 小时 / 台年。

(一) 按停运时间分析

2018 年，全国断路器发生的 104 次非计划停运，按停运时间分析情况见下表。

表 4-21 2018 年断路器非计划停运按停运时间分级分析情况

断路器非计划停运时间 (小时)	非停次数 (次)
< 5	35
5-100	54
100-300	15
300-500	0
≥ 500	0
各数值范围中，下限值为包含，上限值为不包含	

2018 年全国断路器发生 100 小时以上非计划停运事件 15 次，典型事件如下：

2018 年 1 月，国网辽宁省电力有限公司检修分公司 500kV 沙河营变电站 500kV 五串联络 5052 C 相断路器由于 I 母线侧灭弧室瓷套产品质量不良，从机构连接部位以上断裂，发生 1 次第一类非计划停运，非停时间为 270.70 小时。

2018 年 1 月，国网蒙东检修公司兴安运维分部 500kV 江城变电站红兴 1 号线 5011 断路器由于设备厂内装配环节存在瑕疵，检测手段不完备，现场安装后内壁卫生不彻底，发生 1 次第一类非计划停运，非停时间为 134.58 小时。

（二）按部件因素分析

2018 年，操作机构、灭弧部分、端子箱分别是引起 220kV 及以上断路器非计划停运次数较多的前三位部件因素，分别引起非计划停运 49 次、19 次和 9 次。分电压等级来看，引起 220kV 断路器非计划停运的主要部件是操作机构 27 次、灭弧部分 11 次、端子箱 7 次；引起 330kV 断路器非计划停运的主要部件是操作机构 4 次、继电保护 1 次；引起 500kV 断路器非计划停运的主要部件是操作机构 17 次、灭弧部分 8 次、端子箱 2 次；引起 750kV 断路器非计划停运的主要部件是操作机构 1 次。2018 年各电压等级变压器非计划停运按部件分类情况见下表。

表 4-22 2018 年 220kV 断路器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
操作机构	27	337.433	24.83
灭弧部分	11	520.300	38.29
本体其他部件	7	335.850	24.72
端子箱	7	112.817	8.30
继电保护	5	26.633	1.96
二次回路公用设备	2	22.567	1.66
引流线	2	2.250	0.17
一次系统	2	0.917	0.07

表 4-23 2018 年 330kV 断路器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
操作机构	4	12.883	90.62
继电保护	1	1.333	9.38

表 4-24 2018 年 500kV 断路器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
操作机构	17	346.217	43.84
灭弧部分	8	304.667	38.58
本体其他部件	6	94.483	11.96
端子箱	2	37.700	4.77
继电保护	1	3.700	0.47
二次回路公用设备	1	3.000	0.38

表 4-25 2018 年 750kV 断路器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
操作机构	1	26.083	100

表 4-26 2018 年 220kV 及以上断路器非计划停运按部件分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
操作机构	49	722.616	33.01
本体其他部件	13	430.333	19.66
灭弧部分	19	824.967	37.69
端子箱	9	150.517	6.88
继电保护	7	31.666	1.45
二次回路公用设备	3	25.567	1.17
引流线	2	2.250	0.10
一次系统	2	0.917	0.04

(三) 按责任因素分析

2018 年，产品质量不良、气候因素、自然灾害是造成 220kV 及以上断路器非计划停运次数较多的前三位责任原因，分别引起非计划停运 25 次、17 次和 8 次。分电压等级来看，引起 220kV 断路器非计划停运的主要责任原因是产品质量不良 10 次、自然灾害 8 次、气候因素 6 次；引起 330kV 断路器非计划停运的主要责任原因是气候因素 5 次；引起 500kV 断路器非计划停运的主要责任原因是产品质量不良 15 次、气候因素 5 次；引起 750kV 断路器非计划停运的主要责任原因是气候因素 1 次。

2018 年各电压等级变压器非计划停运按责任原因分类情况见下表。

表 4-27 2018 年 220kV 断路器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
产品质量不良	10	66.567	4.90
自然灾害	8	171.450	12.62
气候因素	6	24.200	1.78
设备老化	5	35.417	2.61
施工安装不良	4	42.017	3.09
运行不当	2	10.183	0.75
检修质量不良	2	8.117	0.60
外力损坏	2	3.783	0.28
电力系统影响	2	1.017	0.07
待查	22	996.017	73.30

表 4-28 2018 年 330kV 断路器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
气候因素	5	14.210	100

表 4-29 2018 年 500kV 断路器非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
产品质量不良	15	441.267	55.87
气候因素	5	231.000	29.25
待查	15	117.500	14.88

表 4-30 2018 年 750kV 断路器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
气候因素	1	26.083	100

表 4-31 2018 年 220kV 及以上断路器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
产品质量不良	25	507.834	23.20
气候因素	17	295.493	13.50
自然灾害	8	171.450	7.83
设备老化	5	35.417	1.62
施工安装不良	4	42.017	1.92
运行不当	2	10.183	0.47
检修质量不良	2	8.117	0.37
外力损坏	2	3.783	0.17
电力系统影响	2	1.017	0.05
待查	37	1113.517	50.87

(四) 按制造厂家分析

断路器按制造厂家分类 (按统计台数排序, 下同) 的运行可靠性指标见下表。

表 4-32 2018 年 220kV 断路器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
烟台东源开关设备制造有限公司	35	100	0	0	0	0
江苏省如高高压电气有限公司	28	100	0	0	0	0
美国公司	19	100	0	0	0	0
施普列舍尔·舒 (S&S)	18	100	0	0	0	0
勃朗·鲍威利 (BBC)	18	100	0	0	0	0
西安西电变压器有限责任公司	14	100	0	0	0	0
明电舍 (郑州) 电气工程有限公司	14	100	0	0	0	0
扬州苏源电气设备有限公司	14	100	0	0	0	0
马格林尼 (MAG)	32	99.996	0	0	0	0
瑞士公司	31	99.989	0	0	0	0
河北电力设备厂	22	99.987	0	0	0	0
北京北开电气股份有限公司	159	99.978	0	0	0	0

制造厂家	统计台数(台)	可用系数(%)	强迫停运率(次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间(小时/台年)*	占该厂非停总时间比例(%)**	强迫停运率(次/百台年)
上海思源高压开关有限公司	13	99.975	0	0	0	0
电力规划设计总院	14	99.969	0	0	0	0
上海思源电气有限公司	27	99.968	0	0	0	0
德国公司	20	99.968	0	0	0	0
日本日新电气(NIS)公司	10	99.967	0	0	0	0
维奥输配电(广州)有限公司	54	99.966	0	0	0	0
江苏省如高高压电器有限公司	664	99.961	0.167	0	0	0
苏州开关厂	246	99.957	0	0	0	0
法国阿海珐(AREAVA)公司	303	99.945	0	0	0	0
山东泰开高压开关有限公司	1118	99.942	0.095	0	0	0
宁波慈溪电器开关总厂	88	99.939	0	0	0	0
许继高压开关厂	29	99.935	0	0	0	0
西门子(杭州)高压开关有限公司	5393	99.927	0.075	0	0.43	0.019
河南平高电气股份有限公司	5202	99.926	0.039	0.002	34.979	0
(BRUSH)电气机械公司	31	99.926	0	0	0	0
上海西门子高压开关有限公司	77	99.924	0	0	0	0
西安西电高压开关有限责任公司	3476	99.921	0.203	0	0.177	0.029
北京ABB高压开关设备有限公司	7607	99.917	0.119	0.006	17.227	0.026
GEC-阿尔斯通公司	178	99.913	0	0	0	0
西门子(SIEMENS)公司	3236	99.906	0.062	0	0	0
阿尔斯通公司	381	99.906	0.263	0	0	0
上海华通开关厂有限公司	84	99.903	1.199	0	0	0
通用电气(GEC)阿尔斯通(ALSTHOM)公司	42	99.903	0	0	0	0
苏州阿海珐高压电气开关有限公司	1549	99.902	0.065	0	0	0
阿海珐输配电隔离开关(无锡)有限公司	20	99.902	0	0	0	0
苏州阿尔斯通有限责任公司	1371	99.888	0.074	0	0	0
新东北电气(沈阳)高压开关有限公司	1081	99.886	0	0	0	0
法国公司	19	99.878	0	0	0	0

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
通用电气 (AGE) 公司	11	99.859	0	0	0	0
ABB 瑞士公司	255	99.791	0	0	0	0
河南平高东芝高压开关有限责任公司	42	99.761	0	0	0	0
ABB 德国公司	76	99.759	0	0	0	0
三菱 (MHISUBISHI) 公司	85	99.619	0	0	0	0
厦门 ABB 华电高压开关有限公司	22	99.530	0	0	0	0
河南省电力试验研究所	11	99.005	0	0	0	0
梅兰日兰 (MG)	23	98.986	0	0	0	0
列宁格勒金属工厂 (Л I M 3)	17	97.666	0	0	0	0
瑞典公司	12	97.129	0	0	0	0

表 4-33 2018 年 330kV 断路器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
ABB 瑞士公司	38	100	0	0	0	0
瑞士公司	13	100	0	0	0	0
三菱 (MHISUBISHI) 公司	8	100	0	0	0	0
西门子 (杭州) 高压开关有限公司	130	99.971	0	0	0	0
西门子 (SIEMENS) 公司	42	99.959	0	0	0	0
阿尔斯通公司	42	99.946	0	0	0	0
北京 ABB 高压开关设备有限公司	250	99.927	0	0	0	0
西安西电高压开关有限责任公司	809	99.916	0	0	0	0
GEC- 阿尔斯通公司	11	99.897	0	0	0	0
苏州阿尔斯通有限责任公司	102	99.889	0	0	0	0
苏州阿海珐高压电气开关有限公司	31	99.889	0	0	0	0
苏州开关厂	38	99.828	0	0	0	0
河南平高电气股份有限公司	276	99.813	0	0	0	0
法国公司	9	99.681	0	0	0	0
法国阿海珐 (AREAVA) 公司	45	99.586	0	0	0	0

表 4-34 2018 年 500kV 断路器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停 总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
瑞典公司	49	100	0	0	0	0
勃朗·鲍威利 (BBC)	33	100	0	0	0	0
瑞典公司	21	100	0	0	0	0
法国公司	14	100	0	0	0	0
上海思源电气有限公司	12	100	0	0	0	0
瑞士公司	11	100	0	0	0	0
西安西电高压电瓷有限责任公司	9	100	0	0	0	0
上海西门子开关有限公司	9	100	0	0	0	0
阿海珐输配电隔离开关(无锡)有限公司	9	100	0	0	0	0
中国电力工程顾问集团公司	9	100	0	0	0	0
施耐德 (SHEINDER) 公司	11	99.998	0	0	0	0
河南平高东芝高压开关有限责任公司	34	99.996	0	0	0	0
厦门 ABB 华电高压开关有限公司	63	99.992	1.983	0	0	0
新东北电气(沈阳)高压开关有限公司	264	99.985	0	0.031	100	0
瑞典 ABB 公司	41	99.985	0	0	0	0
梅兰日兰 (MG)	26	99.977	0	0	0	0
西门子(杭州)高压开关有限公司	765	99.971	0	0	0	0
GEC-阿尔斯通公司	46	99.966	0	0	0	0
法国阿海珐 (AREAVA) 公司	125	99.956	0	0	0	0
日立 (HITACHI) 公司	8	99.946	0	0	0	0
北京 ABB 高压开关设备有限公司	1693	99.940	0.119	0.071	37.838	0.059
山东泰开高压开关有限公司	46	99.938	0	0	0	0
苏州阿尔斯通有限责任公司	252	99.931	0	0	0	0
美国公司	22	99.921	0	0	0	0
三菱 (MHISUBISHI) 公司	171	99.920	0	0	0	0
西门子 (SIEMENS) 公司	766	99.906	0.262	0	0	0
日本日新电气 (NIS) 公司	12	99.900	0	0	0	0
日本公司	16	99.894	0	0	0	0

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
江苏省如高高压电器有限公司	11	99.886	0	0	0	0
西安西电高压开关有限责任公司	736	99.817	0.689	0.003	2.808	0
苏州阿海珐高压电气开关有限公司	278	99.812	0	0	0	0
ABB 瑞士公司	225	99.756	0	0.02	100	0
阿尔斯通公司	153	99.726	0	0	0	0
ABB 德国公司	35	99.710	0	0	0	0
河南平高电气股份有限公司	430	99.702	0.72	0.032	100	0.720
苏州开关厂	43	99.629	0	0	0	0
通用电气 (GEC) 阿尔斯通 (ALSTHOM) 公司	9	99.171	0	0	0	0
上海思源高压开关有限公司	8	98.542	13.062	32.485	100	13.062

表 4-35 2018 年 750kV 断路器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数 (台)	可用系数 (%)	强迫停运率 (次/百台年)	设备因素影响		
				非停时间 (小时/台年)*	占该厂非停总时间比例 (%)**	强迫停运率 (次/百台年)
西安西电高压开关有限责任公司	93	99.839	0	0	0	0
新东北电气 (沈阳) 高压开关有限公司	66	99.639	0	0	0	0
北京 ABB 高压开关设备有限公司	58	99.513	0	0	0	0
河南平高电气股份有限公司	124	98.993	0	0	0	0
山东泰开高压开关有限公司	17	98.314	0	0	0	0

第五节 架空线路运行可靠性

一、2014-2018 年指标对比

2018 年, 架空线路的统计数量较 2014 年增加 2252.521 百千米年, 五年来年均增长率达到 7.05%。架空线路可用系数近五年总体保持在较高水平, 但受计划停运时间增加影响, 近四年呈逐年下降趋势, 2018 年架空线路可用系数较 2014 年下降 0.163 个百分点。架空线路强迫停运率近三年保持平稳, 一直维持在 0.06 次/百千米年左右。2014-2018 年架空线路主要可靠性指标及对比见以下图表。

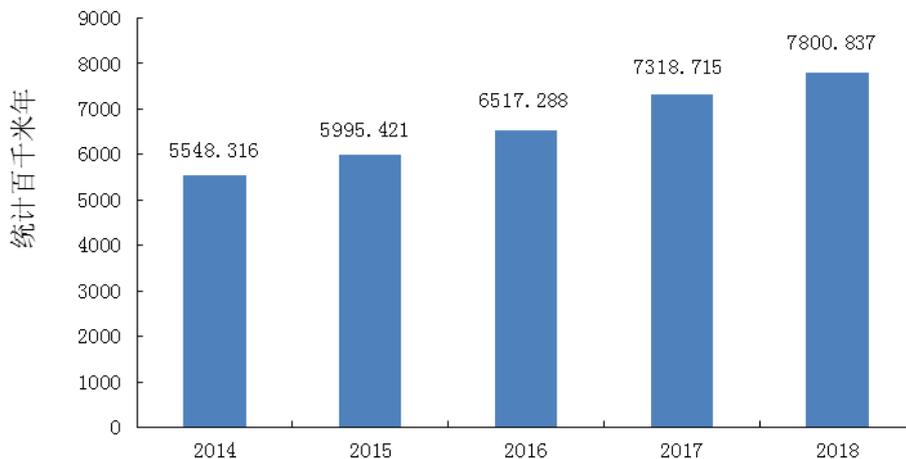


图 4-13 2014-2018 年架空线路统计百千米年数对比



图 4-14 2014-2018 年架空线路可用系数对比

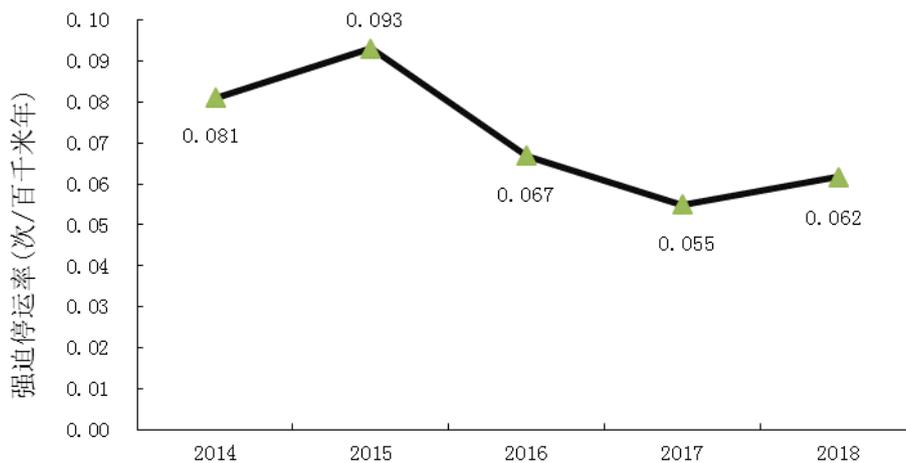


图 4-15 2014-2018 年架空线路强迫停运率对比

二、按运行单位分析

2018 年， 国网、南网、内蒙古电力集团公司架空线路可用系数分别是 99.147%、99.774%、99.756%。2018 年架空线路按运行单位分类运行可靠性指标见下表。

表 4-36 2018 年架空线路按运行单位分类的运行可靠性指标

单位	统计数量 (百台年)	可用 系数 (%)	强迫 停运率 (次/百台年)	强迫停运 时间 (小时/台年)	计划 停运率 (次/百台年)	计划停运 时间 (小时/台年)
国家电网有限公司	5547.828	99.147	0.061	2.768	0.879	65.576
中国南方电网有限责任公司	1958.453	99.774	0.060	0.220	0.251	13.243
内蒙古电力(集团)有限责任公司	232.478	99.756	0.108	6.079	1.518	15.134

三、按投运时间分析

2018 年，全国架空线路投运时间在 5 年以上、10 年以内的数量最多，达 3094 百千米。可用系数较好的是 20 年以上和 5 年以上，10 年以内的架空线路，可用系数分别为 99.441%、99.440%。非计划停运率较低的是 5 年以上，10 年以内和 10 年以上，20 年以内的架空线路，非计划停运率分别为 0.059 次/百千米年、0.082 次/百千米年。2018 年架空线路按投运时间可靠性指标情况见以下图表。

表 4-37 2018 年架空线路按投运时间可靠性指标

投运时间(年)	电压等级	长度 (百千米)	可用系数 (%)	计划停运率 (次/百千米年)	非计划停运率 (小时/百千米年)
< 5	综合	2443	99.075	0.738	0.089
	220	1332	99.712	1.023	0.106
	330	91	99.678	0.570	0.058
	500	608	99.065	0.522	0.093
5-10	综合	3094	99.440	0.662	0.059
	220	1974	99.829	0.842	0.058
	330	131	98.548	0.466	0.023
	500	693	99.252	0.422	0.091
10-20	综合	1883	99.414	0.859	0.082
	220	1014	99.783	1.186	0.078
	330	62	97.608	0.336	0.048
	500	805	99.080	0.484	0.092

投运时间 (年)	电压等级	长度 (百千米)	可用系数 (%)	计划停运率 (次/百千米年)	非计划停运率 (小时/百千米年)
≥ 20	综合	482	99.441	0.693	0.088
	220	351	99.547	0.839	0.073
	330	15	99.252	0.227	0.057
	500	115	99.140	0.312	0.139

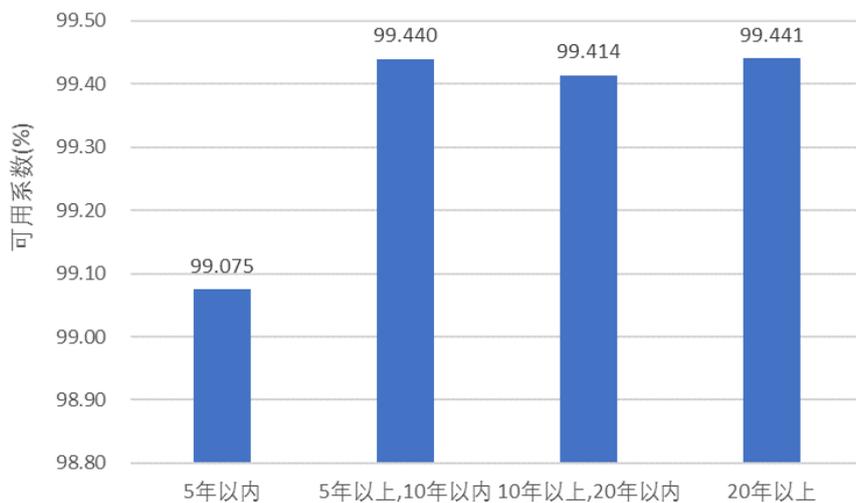


图 4-16 2018 年架空线路按投运时间可用系数对比

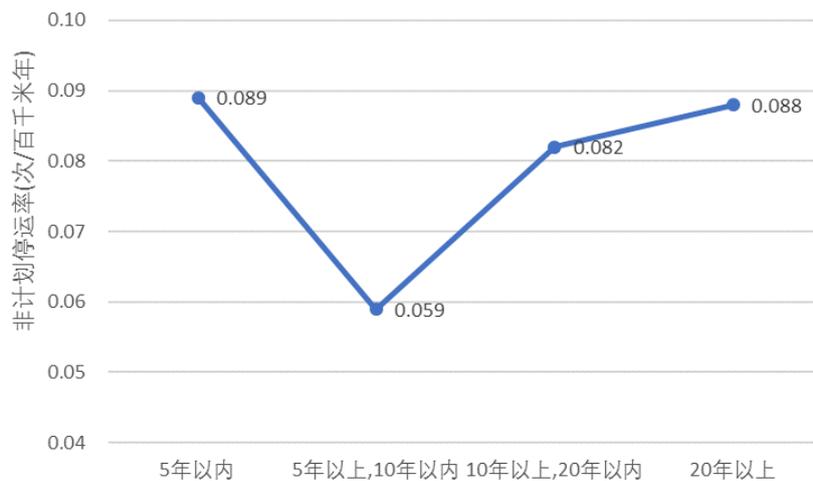


图 4-17 2018 年架空线路按投运时间非计划停运率对比

四、计划停运、非计划停运影响可用系数比较

2018 年，架空线路可用系数比 2017 年下降 0.170 个百分点。计划停运影响

可用系数占 95.39%，较 2017 年下降 3.53 个百分点。非计划停运影响可用系数占 4.61%，较 2017 年上升 3.53 个百分点。2017 年、2018 年架空线路计划停运、非计划停运影响可用系数比较见下表。

表 4-38 2017 年、2018 年架空线路计划停运、非计划停运影响可用系数比较

指标	年份	架空线路
可用系数 %	2017	99.498
	2018	99.328
	比较	-0.170
计划停运影响可用系数占比 %	2017	98.92
	2018	95.39
	比较	-3.53
非计划停运影响可用系数占比 %	2017	1.08
	2018	4.61
	比较	3.53

五、非计划停运事件分析

2018 年，架空线路共发生非计划停运 585 次，同比增加 99 次。其中 220kV353 次，同比增加 69 次；330kV12 次，同比减少 16 次；500kV204 次，同比增加 46 次；750kV6 次，与去年持平；800kV5 次，同比增加 1 次；800kV5 次，同比增加 1 次；400kV、660kV 架空线路 2018 年未发生非计划停运。2018 年累计非计划停运 2.439 小时 / 百千米年，同比增加 1.987 小时 / 百千米年。

（一）按停运时间分析

2018 年，全国架空线路发生的 585 次非计划停运，按停运时间分析情况见下表。

表 4-39 2018 年架空线路非计划停运按停运时间分级分析情况

架空线路非计划停运时间（小时）	非停次数（次）
< 1	266
1-5	178
5-100	119
100-300	14
≥ 300	8
各数值范围中，下限值为包含，上限值为不包含	

2018 年全国架空线路发生 100 小时以上非计划停运事件 24 次，典型事件如下：

2018 年 1 月，国网湖北省电力公司荆门供电公司管辖宜兴二回线、宜兴一回线，由于严重冰灾导致杆塔损毁，各发生 1 次第一类非计划停运，非停时间分别为 1673.67 小时、436.93 小时。

2018 年 7 月，内蒙古超高压供电局管辖坤德 I 线，由于暴雨导致导线故障，发生 1 次第二类非计划停运，非停时间为 194.75 小时。

2018 年 3 月，南网广东电网公司肇庆供电局管辖 220kV 都睦线，由于设备老化，#70 塔-#119 塔更换线路绝缘子，#99 塔引流板裂纹处理，发生 1 次第四类非计划停运，非停时间为 133.58 小时。

2018 年 8 月，南网云南电网公司普洱供电局管辖 220kV 墨龙线，N62 塔 C 相大号侧外串整串绝缘子被雷击，发生 1 次第一类非计划停运，非停时间分别为 109.33 小时。

（三）按部件因素分析

2018 年，导线、绝缘子、铁塔分别是引起架空线路非计划停运次数较多的前三位部件因素，分别引起非计划停运 446 次、58 次、23 次。分电压等级来看，引起 220kV 架空线路非计划停运的主要部件是导线 263 次、绝缘子 35 次、铁塔 16 次；引起 330kV 架空线路非计划停运的主要部件是导线 11 次、绝缘子 1 次；引起 500kV 架空线路非计划停运的主要部件是导线 160 次、绝缘子 22 次、架空地线 6 次；引起 750kV 架空线路非计划停运的主要部件是铁塔 3 次、导线 2 次、木杆 1 次；引起 800kV 架空线路非计划停运的主要部件是导线 5 次；引起 1000kV 架空线路非计划停运的主要部件是导线 5 次。2018 年各电压等级架空线路非计划停运按部件分类情况见下表。

表 4-40 2018 年 220kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
导线	263	2616.683	63.80
绝缘子	35	520.517	12.69
铁塔	16	638.333	15.56
架空地线	15	109.867	2.68
金具	11	73.000	1.78
一次系统	10	133.433	3.25
通讯系统	1	5.967	0.15
木杆	1	1.800	0.04
砼杆	1	1.483	0.04

表 4-41 2018 年 330kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
导线	11	24.467	88.75
绝缘子	1	3.100	11.25

表 4-42 2018 年 500kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
导线	160	3466.683	51.86
绝缘子	22	282.483	4.23
架空地线	6	42.117	0.63
金具	5	59.667	0.89
铁塔	4	2432.550	36.39
木杆	3	381.267	5.70
ADSS 光缆	2	17.850	0.2
一次系统	2	1.667	0.02

表 4-43 2018 年 750kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
铁塔	3	1.900	17.33
导线	2	7.183	65.50
木杆	1	1.883	17.17

表 4-44 2018 年 800kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
导线	5	40.683	100

表 4-45 2018 年 1000kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
导线	5	16.383	100

表 4-46 2018 年 220kV 及以上架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
导线	446	6172.082	56.72
绝缘子	58	806.100	7.41
铁塔	23	3072.783	28.24
架空地线	21	151.984	1.40
金具	16	132.667	1.22
一次系统	12	135.100	1.24
木杆	5	384.950	3.54
ADSS 光缆	2	17.850	0.16
通讯系统	1	5.967	0.05
砼杆	1	1.483	0.01

(三) 按责任因素分析

2018 年, 自然灾害、气候因素、外力损坏是造成架空线路非计划停运次数较多的前三位责任原因, 分别引起非计划停运 262 次、122 次、115 次。分电压等级来看, 引起 220kV 架空线路非计划停运的主要责任原因是自然灾害 143 次、气候因素 74 次、外力损坏 72 次; 引起 330kV 架空线路非计划停运的主要责任原因是自然灾害 6 次、外力损坏 3 次、气候因素 2 次; 引起 500kV 架空线路非计划停运的主要责任原因是自然灾害 109 次、气候因素 41 次、外力损坏 33 次; 引起 750kV 架空线路非计划停运的主要责任原因是自然灾害 4 次、气候因素 2 次; 引起 800kV 架空线路非计划停运的主要责任原因是外力损坏 4 次、气候因素 1 次; 引起 1000kV 架空线路非计划停运的主要责任原因是外力损坏 3 次、气候因素 2 次。2018 年各电压等级架空线路非计划停运按责任原因分类情况见下表。

表 4-47 2018 年 220kV 架空线路非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
自然灾害	143	2045.683	49.88
气候因素	74	564.933	13.78
外力损坏	72	220.167	5.37

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
设备老化	13	60.733	1.48
运行不当	12	28.367	0.69
动物事故	9	16.300	0.40
产品质量不良	3	15.300	0.37
电力系统影响	3	3.533	0.09
规划、设计不周	2	88.717	2.16
管理不当	1	6.867	0.17
待查	21	1050.483	25.61

表 4-48 2018 年 330kV 架空线路非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
自然灾害	6	8.550	31.02
外力损坏	3	4.233	15.36
气候因素	2	14.367	52.12
待查	1	0.417	1.51

表 4-49 2018 年 500kV 架空线路非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的百分比 (%)
自然灾害	109	5965.250	89.24
气候因素	41	89.350	1.34
外力损坏	33	69.283	1.04
产品质量不良	4	64.500	0.96
施工安装不良	3	63.633	0.95
动物事故	2	14.417	0.22
规划、设计不周	2	4.933	0.07
管理不当	1	373.317	5.58
运行不当	1	2.733	0.04
电力系统影响	1	0.067	0.00
待查	7	36.800	0.55

表 4-50 2018 年 750kV 架空线路非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
自然灾害	4	3.783	34.50
气候因素	2	7.183	65.50

表 4-51 2018 年 800kV 架空线路非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
外力损坏	4	40.667	99.96
气候因素	1	0.017	0.04

表 4-52 2018 年 1000kV 架空线路非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
外力损坏	3	14.383	87.79
气候因素	2	2.000	12.21

表 4-53 2018 年 220kV 及以上架空线路非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数 (次)	非计划停运时间 (小时)	占非计划停运总时间的 百分比 (%)
自然灾害	262	8023.266	73.74
气候因素	122	677.85	6.23
外力损坏	115	348.733	3.20
设备老化	13	60.733	0.56
运行不当	13	31.1	0.29
动物事故	11	30.717	0.28
产品质量不良	7	79.8	0.73
规划、设计不周	4	93.65	0.86
电力系统影响	4	3.6	0.03
施工安装不良	3	63.633	0.58
管理不当	2	380.184	3.49
待查	29	1087.7	10.00

第六节 我国与北美 NERC 类主要设施指标对比分析

选取我国 2018 年 220kV、500kV 电压等级变压器、架空线路、电缆线路三类主要设施与 2017 年北美 NERC 相近电压等级 200-299kV、400-599kV 设施进行对比。

从变压器、架空线路、电缆三类设施的指标比对情况来看，我国输变电设施规模远大于北美 NERC，受计划停运等影响，可用率普遍低于北美 NERC。其中 220kV 等级变压器、架空线路和电缆的可用系数我国分别低于北美 NERC 0.182、0.168、0.260 个百分点，500kV 等级变压器、架空线路和电缆的可用系数我国分别低于北美 NERC 0.082、0.708、1.635 个百分点。2018 年中国与 2017 年北美 220kV、500kV 等级三类设施数量和可用系数对比见以下图表。

表 4-54 2018 年我国三类输变电设施构成及总量

设施类型	电压等级 (kV)	设施总数
变压器	220	11670 台
	500	5232 台
架空线路	220	467152 千米
	500	222179 千米
电缆线路	220	5706 千米
	500	115 千米

表 4-55 2017 年北美 NERC 三类输变电设施构成及总量

设施类型	电压等级 (kV)	设施总数
变压器	200-299	2298 台
	400-599	681 台
架空线路	200-299	177095 千米
	400-599	55089 千米
电缆线路	200-299	1001 千米
	400-599	137 千米

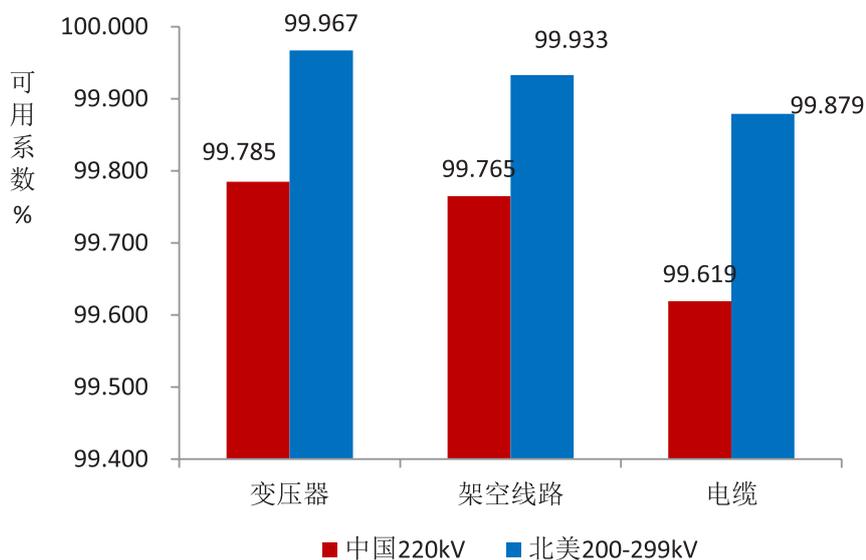


图 4-18 2018 年中国与 2017 年北美 220kV 等级三类设施可用系数对比

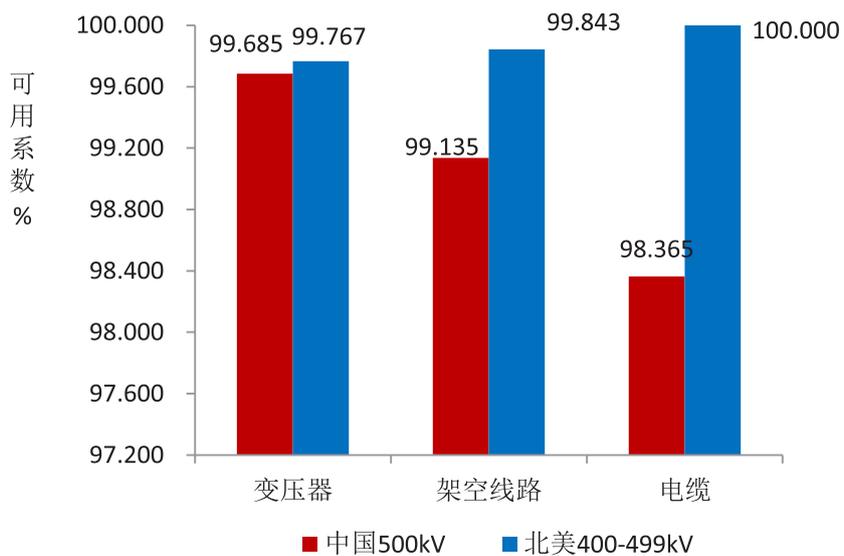


图 4-19 2018 年中国与 2017 年北美 500kV 等级三类设施可用系数对标

第五章 2018 年全国直流输电系统运行可靠性

第一节 直流输电系统概况

2018 年，全国纳入可靠性统计的直流输电系统数量为 31 个，包括 15 个点对点超高压直流输电系统、12 个点对点特高压直流输电系统和 4 个背靠背直流输电系统。额定输送容量总计 139624 兆瓦，线路总长度达到 36033.21 千米。2018 年纳入可靠性统计的直流输电系统基本情况见表 5-1。

表 5-1 2018 年纳入可靠性管理的直流输电系统基本情况

序号	系统名称	极 (单元)	投运日期	额定电压 (千伏)	额定输送容量 (兆瓦)	线路长度 (千米)	电网 集团
点对点超高压直流输电系统							
1	葛南直流 输电系统	极 I 极 II	1989-9-1 1990-8-1	±500	582 582	1110.05	国家 电网
2	天广直流 输电系统	极 I 极 II	2000-12-26 2001-6-26	±500	900 900	963	南方 电网
3	龙政直流 输电系统	极 I 极 II	2003-6-1 2003-6-1	±500	1500 1500	860.44	国家 电网
4	江城直流 输电系统	极 I 极 II	2004-6-1 2004-6-1	±500	1500 1500	940.72	国家 电网
5	高肇直流 输电系统	极 I 极 II	2004-9-24 2004-5-31	±500	1500 1500	891	南方 电网
6	宜华直流 输电系统	极 I 极 II	2006-12-1 2006-12-1	±500	1500 1500	1048.51	国家 电网
7	兴安直流 输电系统	极 I 极 II	2007-12-3 2007-6-21	±500	1500 1500	1194	南方 电网
8	德宝直流 输电系统	极 I 极 II	2010-4-21 2010-4-21	±500	1500 1500	534.34	国家 电网
9	伊穆直流 输电系统	极 I 极 II	2010-9-30 2010-9-30	±500	1500 1500	906.49	国家 电网
10	银东直流 输电系统	极 I 极 II	2011-3-25 2011-3-25	±660	2000 2000	1334.01	国家 电网
11	林枫直流 输电系统	极 I 极 II	2011-5-2 2011-5-2	±500	1500 1500	978.4	国家 电网
12	柴拉直流 输电系统	极 I 极 II	2012-6-10 2012-6-10	±400	300 300	1033.6	国家 电网

序号	系统名称	极 (单元)	投运日期	额定电压 (千伏)	额定输送容量 (兆瓦)	线路长度 (千米)	电网 集团
13	牛从甲直流 (溪洛渡-广东)	极 I 极 II	2014-4-11 2013-10-12	±500	1600 1600	1224.69	南方 电网
14	牛从乙直流 (溪洛渡-广东)	极 I 极 II	2014-6-29 2014-6-29	±500	1600 1600	1224.69	南方 电网
15	金中直流 输电系统	极 I 极 II	2016-6-18 2016-6-18	±500	1600 1600	1105.09	南方 电网
点对点特高压直流输电系统							
16	楚穗直流 输电系统	极 I 极 II	2010-6-18 2009-12-28	±800	2500 2500	1374	南方 电网
17	复奉直流 输电系统	极 I 极 II	2010-7-26 2010-7-26	±800	3200 3200	1891.3	国家 电网
18	锦苏直流 输电系统	极 I 极 II	2012-7-19 双极低端投运 2012-12-6 全面投运	±800	3600 3600	2057.86	国家 电网
19	天中直流 输电系统	极 I 极 II	2014-1-25 2014-1-25	±800	4000 4000	2210	国家 电网
20	宾金直流 输电系统	极 I 极 II	2014-7-3 2014-7-3	±800	4000 4000	1705	国家 电网
21	普侨直流 输电系统	极 I 极 II	2015-5-30 2014-1-29	±800	2500 2500	1412.38	南方 电网
22	灵绍直流 输电系统	极 I 极 II	2016-8-24 2016-8-24	±800	4000 4000	1720	国家 电网
23	祁韶直流 输电系统	极 I 极 II	2017-6-23 2017-6-23	±800	4000 4000	2383	国家 电网
24	雁淮直流 输电系统	极 I 极 II	2017-6-30 2017-6-30	±800	5000 5000	1119	国家 电网
25	鲁固直流 输电系统	极 I 极 II	2018-1-1 2018- 1-1	±800	5000 5000	1234	国家 电网
26	锡泰直流 输电系统	极 I 极 II	2018-1-1 2018- 1-1	±800	5000 5000	1620	国家 电网
27	新东直流 输电系统	极 I 极 II	2018-5-28 2018-5-28	±800	2500 2500	1957.64	南方 电网
背靠背直流输电系统							
28	灵宝背靠背 换流站	单元 I 单元 II	2005-7-1 2009-12-15	120 167	360 750	0	国家 电网
29	高岭背靠背 换流站	单元 I 单元 II 单元 III 单元 IV	2008-11-1 2008-11-1 2012-11-13 2012-11-13	±125	750 750 750 750	0	国家 电网

序号	系统名称	极 (单元)	投运日期	额定电压 (千伏)	额定输送容量 (兆瓦)	线路长度 (千米)	电网 集团
30	黑河背靠背 换流站	单元 I	2012-1-7	±125	750	0	国家 电网
31	鲁西背靠背 换流站	单元 I	2016-6-30	±160	1000	0	南方 电网
		单元 II	2016-8-29	±350	1000		
		单元 III	2017-6-30	±160	1000		

第二节 可靠性指标总体情况

2018 年，全国直流输电系统运行情况平稳，30 个系统¹ 能量可用率和能量利用率分别为 92.15% 和 44.11%，同比分别下降 3.20 和 10.31 个百分点；总计强迫停运 35 次，同比增加 2 次。具体指标见表 5-2。

表 5-2 2017 年、2018 年全国纳入可靠性统计的直流输电系统指标比较

可靠性指标	年份	直流系统类型			合计
		点对点超高压	点对点特高压	背靠背	
系统数量 (个)	2017 年	15	7	3	25
	2018 年	15	11	4	30
额定输送容量 (兆瓦)	2017 年	41164	47600	4860	93624
	2018 年	41164	85600	7860	134624
能量可用率 (%)	2017 年	95.808	94.885	96.030	95.350
	2018 年	96.321	89.768	96.216	92.148
强迫停运次数 (次)	2017 年	19	11	3	33
	2018 年	18	13	4	35
强迫能量不可用率 (%)	2017 年	0.172	0.208	0.015	0.182
	2018 年	0.158	1.486	0.041	0.996
计划能量不可用率 (%)	2017 年	4.022	4.908	3.955	4.469
	2018 年	3.520	8.745	3.743	6.855
总输送电量 (亿千瓦时)	2017 年	1891.86	2240.89	330.16	4462.90
	2018 年	1988.77	2784.62	428.75	5202.14
能量利用率 (%)	2017 年	52.46	53.74	77.55	54.42
	2018 年	55.15	37.14	62.27	44.11

注：本报告中多个系统的能量可用率、强迫能量不可用率、计划能量不可用率、能量利用率等可靠性评价指标计算方法为各系统指标按照额定输送容量加权计算

¹ 2018 年新投运直流系统（新东直流），运行时间不满一年，未纳入本报告中可靠性指标的计算和分析

一、点对点超高压直流输电系统可靠性指标

(一) 能量可用率与强迫停运次数

2018 年纳入可靠性统计的 15 个点对点超高压直流输电系统合计能量可用率 96.321%，同比增加 0.513 个百分点；强迫能量不可用率 0.158%，同比减少 0.014 个百分点；计划能量不可用率 3.520%，同比减少 0.502 个百分点；强迫停运次数 18 次，同比减少 1 次。其中，林枫系统的能量可用率最高，为 99.124%；柴拉系统最低，为 89.762%。德宝系统的强迫能量不可用率最低，为 0%，葛南系统最高，为 1.338%。葛南系统的计划能量不可用率最低，为 0.009%；柴拉系统最高，为 9.404%。

与 2017 年相比，天广、龙政、江城、高肇、兴安、德宝、银东、柴拉系统的能量可用率分别下降 3.089、0.520、4.665、2.281、2.246、0.190、0.752、3.078 个百分点；葛南、宜华、伊穆、林枫、牛从甲、牛从乙、金中系统的能量可用率分别上升 6.363、3.162、1.719、7.751、2.281、2.148、0.553 个百分点。

2018 年 15 个点对点超高压直流输电系统全年累计双极强迫停运 2 次，同比减少 1 次；单极强迫停运 16 次，与上一年持平。江城、高肇、德宝 3 个系统全年未发生强迫停运，葛南系统发生 2 次双极强迫停运，龙政、柴拉系统单极强迫停运次数最多，均达到 3 次。具体指标见表 5-3。

表 5-3 2018 年纳入可靠性统计的点对点超高压直流输电系统指标

系统	能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	单极强迫停运		双极强迫停运	
				次数	小时	次数	小时
葛南	98.653	1.338	0.009	0	0	2	117.17
天广	94.169	0.007	5.824	1	1.27	0	0
龙政	95.400	0.091	4.510	3	15.90	0	0
江城	92.785	0.000	7.215	0	0	0	0
高肇	96.843	0.000	3.157	0	0	0	0
宜华	94.542	0.773	4.685	1	135.45	0	0
兴安	96.092	0.084	3.824	2	14.67	0	0
德宝	95.500	0	4.500	0	0	0	0
伊穆	97.359	0.011	2.629	1	1.98	0	0
银东	95.738	0.104	4.158	1	18.18	0	0
林枫	99.441	0.060	0.499	1	10.57	0	0

系统	能量可用率 (%)	强迫能量 不可用率 (%)	计划能量 不可用率 (%)	单极强迫停运		双极强迫停运	
				次数	小时	次数	小时
柴拉	89.762	0.834	9.404	3	146.18	0	0
牛从甲	98.858	0.005	1.142	1	0.80	0	0
牛从乙	98.355	0.005	1.640	1	0.83	0	0
金中	96.519	0.298	3.184	1	52.13	0	0
合计	96.321	0.158	3.520	16	397.96	2	117.17

(二) 能量输送情况

2018年,纳入可靠性统计的15个点对点超高压直流输电系统总输送电量1988.773亿千瓦时,同比增加96.916亿千瓦时;能量利用率为55.15%,同比提高2.69个百分点。其中银东系统的能量利用率最高,达到87.60%,龙政系统最低,仅为30.38%。

与2017年相比,天广、龙政、江城、宜华、兴安、伊穆、金中系统的能量利用率分别下降11.29、10.03、0.33、0.57、1.65、0.52、0.59个百分点;葛南、高肇、德宝、银东、林枫、柴拉、牛从甲、牛从乙系统的能量利用率分别上升7.44、3.96、22.88、1.41、15.19、1.72、4.21、5.51个百分点。具体见表5-4。

表5-4 2018年纳入可靠性统计的点对点超高压直流输电系统能量输送情况

系统	额定输送容量(兆瓦)	总输送电量(亿千瓦时)	能量利用率(%)
葛南	1164	62.774	61.56
天广	1800	69.892	44.33
龙政	3000	79.852	30.38
江城	3000	170.082	64.72
高肇	3000	125.022	47.57
宜华	3000	105.602	40.18
兴安	3000	147.991	56.31
德宝	3000	177.714	67.62
伊穆	3000	152.450	58.01
银东	4000	306.946	87.60
林枫	3000	120.495	45.85
柴拉	600	17.011	32.37

系统	额定输送容量 (兆瓦)	总输送电量 (亿千瓦时)	能量利用率 (%)
牛从甲	3200	159.063	56.74
牛从乙	3200	162.663	58.03
金中	3200	131.218	46.81
合计	41164	1988.773	55.15

(三) 换流站可靠性指标

2018 年, 葛洲坝站和肇庆站的能量可用率最高, 为 100%。拉萨站的能量可用率最低, 仅为 90.451%, 其强迫能量不可用率和计划能量不可用率均为最高, 分别为 0.491% 和 9.057%。

2018 年, 纳入可靠性统计的点对点超高压直流输电系统中各换流站发生强迫停运 5 次, 均为单极强迫停运, 同比, 减少 7 次。

华新换流站连续八年未发生强迫停运; 政平和胶东换流站连续七年未发生强迫停运; 枫泾换流站连续五年未发生强迫停运; 鹅城和银东两个换流站连续四年未发生强迫停运; 南桥换流站、广州换流站、高坡换流站、牛寨换流站(牛从甲)、从西换流站(牛从乙)、牛寨换流站(牛从乙) 6 个换流站连续三年未发生强迫停运; 葛洲坝换流站、江陵换流站、宜都换流站等 25 个换流站 2018 年当年未发生强迫停运。各换流站具体指标见表 5-5。

表 5-5 2018 年纳入可靠性统计点对点超高压直流输电系统换流站指标

换流站	能量可用率	强迫能量	计划能量	强迫停运次数		
	(%)	不可用率 (%)	不可用率 (%)	单极	双极	合计
葛洲坝换流站	100	0	0	0	0	0
南桥换流站	99.991	0	0.009	0	0	0
天生桥换流站	98.243	0	1.757	0	0	0
广州换流站	94.659	0	5.341	0	0	0
龙泉换流站	97.167	0.044	2.789	1	0	1
政平换流站	95.749	0	4.251	0	0	0
江陵换流站	96.123	0	3.877	0	0	0
鹅城换流站	94.758	0	5.242	0	0	0
高坡换流站	99.246	0	0.754	0	0	0
肇庆换流站	100	0	0	0	0	0
宜都换流站	96.213	0	3.787	0	0	0

换流站	能量可用率	强迫能量	计划能量	强迫停运次数		
	(%)	不可用率 (%)	不可用率 (%)	单极	双极	合计
华新换流站	95.315	0	4.685	0	0	0
兴仁换流站	97.788	0.053	2.159	1	0	1
宝安换流站	96.514	0	3.486	0	0	0
德阳换流站	95.887	0	4.113	0	0	0
宝鸡换流站	95.682	0	4.318	0	0	0
伊敏换流站	97.458	0	2.542	0	0	0
穆家换流站	97.371	0	2.629	0	0	0
银东换流站	96.007	0.104	3.890	0	0	0
胶东换流站	97.660	0	2.340	0	0	0
团林换流站	99.868	0.060	0.072	1	0	1
枫泾换流站	99.770	0	0.230	0	0	0
柴达木换流站	91.057	0.268	8.675	1	0	1
拉萨换流站	90.451	0.491	9.057	1	0	1
从西换流站（甲）	99.763	0	0.237	0	0	0
牛寨换流站（甲）	99.475	0	0.525	0	0	0
从西换流站（乙）	99.244	0	0.756	0	0	0
牛寨换流站（乙）	99.298	0	0.702	0	0	0
合计强迫停运次数				5	0	5

二、点对点特高压直流输电系统可靠性指标

（一）能量可用率与强迫停运次数

2018年，纳入电力可靠性统计的11个点对点特高压直流输电系统合计能量可用率89.768%，同比下降5.117个百分点；强迫能量不可用率1.486%，同比上升1.260个百分点；计划能量不可用率8.745%，同比上升3.837个百分点；全年共发生强迫停运13次，同比增加2次，其中单极强迫停运2次，双极强迫停运1次。

2018年，5个点对点特高压直流输电系统的能量可用率同比下降，其中天中系统下降幅度最大，下降28.246个百分点；共有2个点对点特高压直流输电系统较上一年的能量可用率上升，其中灵绍系统上升幅度最大，上升2.535个百分点。

2018年，点对点特高压直流输电系统中雁淮系统发生1次双极强迫停运事件，鲁固系统发生2次单极强迫停运事件。具体指标见表5-6。

表 5-6 2018 年纳入可靠性统计点对点特高压直流输电系统指标

系统	能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	单极强迫停运		双极强迫停运	
				次数	小时	次数	小时
楚穗	95.408	0.147	4.445	0	0	0	0
复奉	90.437	0.036	9.527	0	0	0	0
锦苏	90.236	0	9.764	0	0	0	0
天中	67.716	14.638	17.601	0	0	0	0
宾金	87.564	0.074	12.362	0	0	0	0
普侨	95.936	0	4.065	0	0	0	0
灵绍	96.125	0.092	3.783	0	0	0	0
祁韶	86.626	0.000	13.374	0	0	0	0
雁淮	95.331	0.027	4.643	0	0	1	2.33
鲁固	84.147	0.695	15.159	2	39.18	0	0
锡泰	100	0	0	0	0	0	0
合计	89.768	0.115	10.116	2	39.18	1	2.33

(二) 能量输送情况

2018年,纳入可靠性统计的点对点特高压直流输电系统有11个,同比增加4个;总输送电量2784.62亿千瓦时,同比增加543.73亿千瓦时;能量利用率37.14%,同比下降16.60个百分点;其中锦苏系统能量利用率最高,为61.40%,锡泰系统能量利用率最低,为6.41%。具体见表5-7。

表 5-7 2018 年纳入可靠性统计的点对点特高压直流输电系统能量输送情况

系统	额定输送容量 (兆瓦)	总输送电量 (亿千瓦时)	能量利用率 (%)
楚穗	5000	254.41	58.08
复奉	6400	306.95	54.75
锦苏	7200	387.28	61.40
天中	8000	324.81	46.35
宾金	8000	316.23	45.12
普侨	5000	252.47	57.64
灵绍	8000	377.75	53.90

系统	额定输送容量（兆瓦）	总输送电量（亿千瓦时）	能量利用率（%）
祁韶	8000	177.26	25.29
雁淮	10000	181.12	20.68
鲁固	10000	150.20	17.15
锡泰	10000	56.15	6.41
合计	85600	2784.62	37.14

（三）各换流站可靠性指标

2018 年，纳入可靠性统计的所有点对点特高压直流输电系统的换流站均未发生双极强迫停运。其中，锡盟站和泰州站的能量可用率最高，为 100%；天山站的能量可用率最低，为 67.742%，其计划能量不可用率和强迫能量不可用率也最高，分别为 17.601%、14.683%。具体指标见表 5-8。

表 5-8 2018 年纳入可靠性统计的点对点特高压直流输电系统换流站指标

换流站	能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	强迫停运次数		
				单极	双极	合计
楚雄换流站	95.408	0.147	4.445	0	0	0
穗东换流站	97.913	0.033	2.055	0	0	0
复龙换流站	94.222	0	5.778	0	0	0
奉贤换流站	95.092	0.036	4.872	0	0	0
锦屏换流站	91.571	0	8.429	0	0	0
苏州换流站	94.084	0	5.916	0	0	0
天山换流站	67.740	14.683	17.601	0	0	0
中州换流站	93.568	0	6.432	0	0	0
宜宾换流站	87.654	0.004	12.342	0	0	0
金华换流站	96.770	0	3.230	0	0	0
普洱换流站	99.771	0.051	0.178	0	0	0
侨乡换流站	99.318	0	0.682	0	0	0
灵州换流站	96.348	0.092	3.560	0	0	0
绍兴换流站	96.771	0	3.229	0	0	0
祁连换流站	88.526	0	11.474	0	0	0
韶山换流站	92.328	0	7.672	0	0	0

换流站	能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	强迫停运次数		
				单极	双极	合计
雁门关换流站	95.839	0	4.161	0	0	0
淮安换流站	95.428	0	4.572	0	0	0
扎鲁特换流站	91.586	0.471	7.943	0	0	0
广固换流站	86.247	0	13.753	0	0	0
锡盟换流站	100	0	0	0	0	0
泰州换流站	100	0	0	0	0	0
合计强迫停运次数				0	0	0

三、背靠背直流输电系统可靠性指标

(一) 能量可用率与强迫停运次数

2018年，纳入可靠性统计的4个背靠背直流输电系统合计能量可用率96.216%，同比上升0.186个百分点；强迫能量不可用率0.041%，同比上升0.026个百分点；计划能量不可用率3.743%，同比降低0.212个百分点；强迫停运次数为4次，同比增加1次。

2018年，背靠背直流输电系统共发生强迫停运4次，其中黑河换流站发生单极强迫停运1次，鲁西换流站发生单元强迫停运3次。

高岭换流站2018年未发生强迫停运，I、II、IV三个单元的能量可用率同比分别上升0.405个百分点、0.017个百分点、1.748个百分点，单元III的能量可用率同比降低0.739个百分点。

灵宝换流站2018年未发生强迫停运，单元I、单元II的能量可用率同比分别上升0.964个百分点、0.380个百分点。具体指标见表5-9。

表5-9 2018年纳入可靠性统计的背靠背直流输电系统指标

统计对象		能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	单元强迫停运	
					次数	小时
灵宝	换流站	96.923	0	3.077	0	0
	单元 I	96.060	0	3.940	0	0
	单元 II	97.340	0	2.660	0	0

统计对象		能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	单元强迫停运	
					次数	小时
高岭	换流站	96.671	0	3.329	0	0
	单元 I、II	97.046	0	2.954	0	0
	单元 I	97.365	0	2.635	0	0
	单元 II	96.727	0	3.273	0	0
	单元 III、IV	96.296	0	3.704	0	0
	单元 III	96.432	0	3.568	0	0
	单元 IV	96.160	0	3.840	0	0
黑河	单元 I	94.492	0.018	5.490	1	1.57
鲁西	换流站	95.931	0.102	3.967	0	0
	单元 I	95.018	0	4.982	0	0
	单元 II	96.760	0.009	3.231	0	0
	单元 III	96.016	0.296	3.688	0	0
背靠背换流站合计		96.216	0.041	3.743	1	1.57

(二) 能量输送情况

2018 年, 纳入可靠性统计的 4 个背靠背直流输电系统总输送电量 428.75 亿千瓦时, 与 2017 年在运的 3 个背靠背直流输电系统相比, 输送电量增加了 98.59 亿千瓦时; 能量利用率为 62.27%, 同比下降 15.28 个百分点。

2018 年, 灵宝背靠背换流站的能量利用率最高, 达 91.13%; 黑河背靠背换流站能量利用率最低, 为 39.44%。与 2017 年相比, 有 2 个背靠背换流站的能量利用率下降, 其中高岭换流站能量利用率下降幅度最大, 下降 4.71 个百分点; 灵宝背靠背换流站能量利用率上升 1.73 个百分点。

2018 年, 纳入可靠性统计的背靠背直流输电系统共含有 10 个单元, 其中, 灵宝站单元 I 能量利用率最高, 达 92.22%; 鲁西站单元 I 和单元 II 能量利用率最低, 为 34.85%。与 2017 年相比, 仅有灵宝站单元 II 的能量利用率上升, 上升 2.81 个百分点; 其余 6 个单元的能量利用率下降, 其中高岭站单元 III 的能量利用率下降幅度最大, 下降 6.27 个百分点; 鲁西站三个单元今年第一次纳入可靠性统计。各换流站能量输送情况见表 5-10。

表 5-10 2018 年纳入可靠性统计的背靠背直流输电系统能量输送情况

统计对象		额定输送容量 (兆瓦)	总输送电量 (亿千瓦时)	能量利用率 (%)
灵宝	换流站	1110	88.608	91.13
	单元 I	360	28.679	90.09
	单元 II	750	59.929	91.22
高岭	换流站	3000	202.838	77.18
	单元 I、II	1500	88.608	75.56
	单元 I	750	49.497	75.34
	单元 II	750	49.794	75.79
	单元 III、IV	1500	103.547	78.80
	单元 III	750	51.480	78.36
	单元 IV	750	52.067	79.25
黑河	单元 I	750	25.909	39.44
鲁西	换流站	3000	111.394	42.39
	单元 I	1000	61.056	34.85
	单元 II	1000		
	单元 III	1000	50.337	57.46
背靠背换流站合计		7860	428.748	62.27

第三节 强迫停运及降额运行情况

一、强迫停运情况

2018 年，全国纳入可靠性统计的直流输电系统共发生 35 次强迫停运，其中双极强迫停运 3 次、单极强迫停运 18 次、阀组强迫停运 10 次、单元强迫停运 4 次。具体情况见表 5-11。

表 5-11 2018 年纳入可靠性统计的直流输电系统强迫停运情况

系统	阀组强迫停运		单极强迫停运		双极强迫停运		单元强迫停运		强迫停运合计	
	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	等效停运小时
葛南	-	-	0	0	2	117.17	-	-	2	117.17
天广	-	-	1	1.27	0	0	-	-	1	0.63
龙政	-	-	3	15.90	0	0	-	-	3	7.95

系统	阀组强迫停运		单极强迫停运		双极强迫停运		单元强迫停运		强迫停运合计	
	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	等效停运小时
江城	-	-	0	0.00	0	0	-	-	0	0
高肇	-	-	0	0.00	0	0	-	-	0	0
宜华	-	-	1	135.45	0	0	-	-	1	67.73
兴安	-	-	2	14.67	0	0	-	-	2	7.33
德宝	-	-	0	0	0	0	-	-	0	0
伊穆	-	-	1	1.98	0	0	-	-	1	0.99
银东	-	-	1	18.18	0	0	-	-	1	9.09
林枫	-	-	1	10.57	0	0	-	-	1	5.28
柴拉	-	-	3	146.18	0	0	-	-	3	73.09
牛从甲	-	-	1	0.80	0	0	-	-	1	0.40
牛从乙	-	-	1	0.83	0	0	-	-	1	0.42
金中	-	-	1	52.13	0	0	-	-	1	26.07
楚穗	2	25.83	0	0	0	0	-	-	2	6.46
复奉	2	12.59	0	0	0	0	-	-	2	3.15
锦苏	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0
天中	2	5144.95	0	0	0	0	-	-	2	1286.24
宾金	2	26.03	0	0	0	0	-	-	2	6.51
普侨	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0
灵绍	1	32.27	0	0	0	0	-	-	1	8.07
祁韶	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0
雁淮	0	0	0	0	1	2.33	-	-	1	2.33
鲁固	1	165.08	2	39.18	0	0	-	-	3	60.86
锡泰	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0
灵宝	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
高岭	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
黑河	-	-	-	-	-	-	1	1.57	1	1.57
鲁西	-	-	-	-	-	-	3	26.72	3	26.72
全国累计	10	264.26	18	437.15	3	119.50.10	4	28.28	35	432.42

与 2017 年相比, 2018 年双极强迫停运减少 1 次, 单极强迫停运减少 3 次, 总计强迫停运次数和累计各系统强迫停运等效停运小时均有所增加。2014-2018 年强迫停运次数比较见表 5-12、图 5-1。

表 5-12 2014-2018 年全国纳入可靠性统计的直流输电系统强迫停运次数比较

停运类型	指标类别	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
双极强迫停运	点对点双极数量 (个)	16	17	20	22	26
	次数 (次)	0	3	1	4	3
	平均次数 (次 / 双极 · 年)	0	0.18	0.05	0.18	0.12
单极强迫停运	点对点单极数量 (个)	32	34	40	44	52
	次数 (次)	24	22	27	21	18
	平均 (次 / 极 · 年)	0.75	0.65	0.68	0.48	0.35
单元强迫停运	背靠背单元数量 (个)	7	7	7	7	10
	次数 (次)	1	0	6	3	4
	平均次数 (次 / 单元 · 年)	0.14	0	0.86	0.43	0.40
阀组强迫停运	双阀组系统数量 (个)	4	5	6	7	11
	次数 (次)	1	3	9	5	10
	平均次数 (次 / 系统 · 年)	0.25	0.60	1.50	0.71	0.91

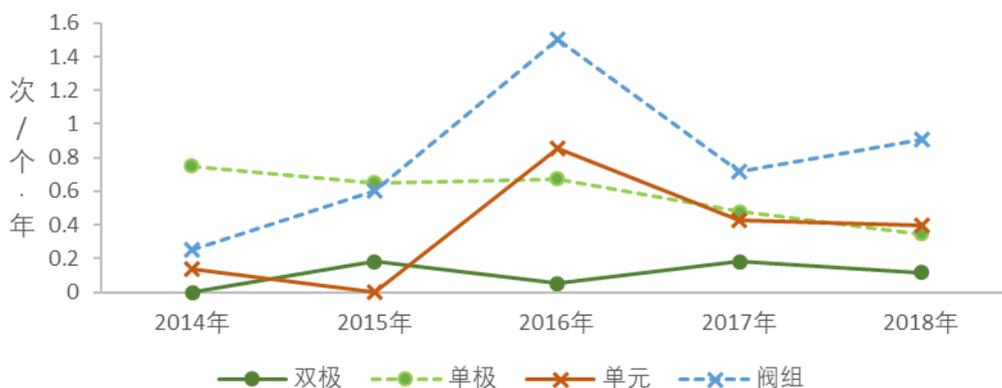


图 5-1 2014-2018 年全国参与可靠性统计直流输电系统平均强迫停运次数

二、强迫停运主要原因分析

2018 年, 全国直流输电系统强迫停运总计 35 次, 强迫停运的各系统累计等效停运时间 (以下简称等效强迫停运小时) 为 432.42 小时, 其中直流输电线路原因占 59.44%, 换流站原因占 40.56%。

直流输电系统强迫停运和降额运行按照交流及其辅助设备 (AC-E)、阀设备 (V)、控制和保护系统 (C & P)、直流一次设备 (DC-E)、换流站内其他原因 (O)、直流输电线路 (TL) 等六大类原因分类统计。主要分类原因见表 5-13。

表 5-13 2018 年全国纳入可靠性统计的直流输电系统强迫停运和降额运行的主要分类原因

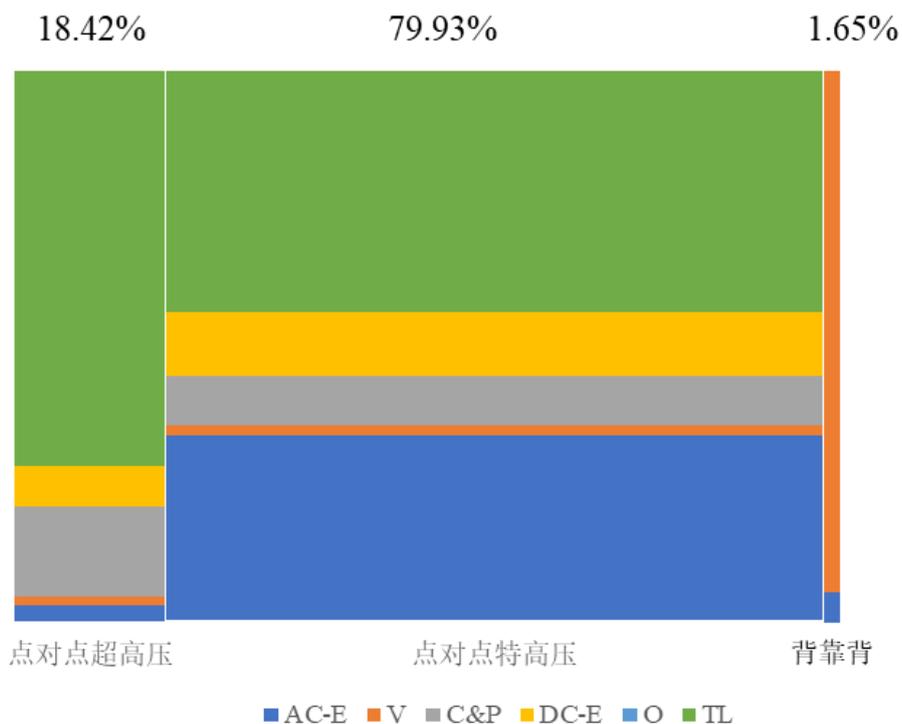
系统	AC-E		V		C&P		DC-E		0		TL	
	次数	等效时间	次数	等效时间	次数	等效时间	次数	等效时间	次数	等效时间	次数	等效时间
葛南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
天广	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.63
龙政	0	0	0	0	1	3.83	0	0	0	0	2	4.12
江城	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高肇	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
宜华	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	67.73
兴安	0	0	1	4.62	0	0	0	0	0	0	1	2.72
德宝	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
伊穆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.99
银东	1	9.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林枫	0	0	0	0	1	5.28	0	0	0	0	0	0
柴拉	0	0	0	0	1	43.02	1	23.48	0	0	1	6.58
牛从甲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.80
牛从乙	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.42
金中	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	26.07
楚穗	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
复奉	0	0	0	0	1	1.19	0	0	0	0	1	1.96
锦苏	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
天中	2	1286.24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
宾金	1	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6.18
普侨	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
灵绍	0	0	0	0	0	0	1	8.07	0	0	0	0
祁韶	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
雁淮	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.33
鲁固	1	41.27	0	0	0	0	0	0	0	0	2	19.59
锡泰	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
灵宝	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高岭	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
黑河	1	1.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
鲁西	0	0	3	26.72	0	0	0	0	0	0	0	0
合计	6	1338.50	5	32.76	5	58.36	2	31.55	0	0	17	257.27

注：1. 单位：小时；2. 交流及其辅助设备（AC-E），阀设备（V），控制和保护系统（C & P），直流一次设备（DC-E），其他原因（0），直流输电线路（TL）

2018 年，点对点超高压、特高压直流输电系统以及背靠背直流输电系统累计等效强迫停运小时的分类原因构成见表 5-14 和图 5-2。

表 5-14 2018 年三类直流输电系统累计等效强迫停运小时的分类原因构成

系统类型	指标	AC-E	V	C&P	DC-E	0	TL	合计
点对点超高压	时间影响百分比	0.53	0.27	3.03	1.37	0	13.22	18.42
	等效停运小时	9.09	4.62	52.14	23.48	0	227.22	316.55
点对点特高压	时间影响百分比	77.27	0.08	0.36	0.47	0	1.75	79.93
	等效停运小时	1327.84	1.43	6.22	8.07	0	30.06	87.99
背靠背	时间影响百分比	0.09	1.55	0	0	0	0	1.65
	等效停运小时	1.57	26.72	0	0	0	0	28.28
全国累计	时间影响百分比	77.89	1.91	3.40	1.84	0	14.97	100
	等效停运小时	1338.50	32.76	58.36	31.55	0	257.27	432.83



注：交流及其辅助设备（AC-E），阀设备（V），控制和保护系统（C & P），直流一次设备（DC-E），其他原因（O），直流输电线路（TL）

图 5-2 2018 年三类直流输电系统累计等效强迫停运小时分类构成

2018 年，全国直流输电系统由于交流及其辅助设备故障导致的强迫停运比例最高，达 77.89%，同比大幅上升 37.93 个百分点；其次为直流输电线路导致的强迫停运影响占 14.97%，同比下降 0.40 个百分点；控制和保护系统导致的强迫停运影响占 3.40%，同比下降 7.45 个百分点。

第四节 计划停运情况

2018 年，全国纳入可靠性统计的直流输电系统计划停运总计 233 次，其中双极计划停运 28 次、单极计划停运 93 次、阀组计划停运 83 次、单元计划停运 29 次。

2018 年，全国纳入可靠性统计的直流输电系统计划停运等效停运小时累计 14626.15 小时。时间最长的是天中系统，等效停运时间达 1541.87 小时；时间最短的是葛南系统，等效停运时间仅 0.79 小时。具体情况见表 5-15。

表 5-15 2018 年纳入可靠性统计的直流输电系统计划停运情况

系统	阀组计划停运		单极停运		双极计划停运		单元计划停运		计划停运合计	
	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	等效停运小时
葛南	-	-	1	1.58	0	0	-	-	1	0.79
天广	-	-	12	798.57	2	110.92	-	-	14	510.20
龙政	-	-	3	73.51	1	358.28	-	-	4	395.04
江城	-	-	3	424.63	3	419.77	-	-	6	632.08
高肇	-	-	6	124.65	3	214.26	-	-	9	276.58
宜华	-	-	0	0	1	410.42	-	-	1	410.42
兴安	-	-	2	57.85	2	306.10	-	-	4	335.02
德宝	-	-	3	81.40	1	353.47	-	-	4	394.17
伊穆	-	-	1	12.65	1	224.02	-	-	2	230.34
银东	-	-	1	6.90	2	360.80	-	-	3	364.25
林枫	-	-	7	87.43	0	0	-	-	7	43.72
柴拉	-	-	1	60.65	2	793.44	-	-	3	823.77
牛从甲	-	-	3	152.03	1	24.00	-	-	4	100.02
牛从乙	-	-	8	205.08	2	41.13	-	-	10	143.67
金中	-	-	2	18.55	1	269.63	-	-	3	278.91
楚穗	0	0	12	778.72	0	0	-	-	12	389.36

系统	阀组计划停运		单极停运		双极计划停运		单元计划停运		计划停运合计	
	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	等效停运小时
复奉	11	641.78	2	302.18	1	523.07	-	-	14	834.60
锦苏	9	1458.55	2	16.73	1	482.32	-	-	12	855.33
天中	20	6167.48	0	0	0	0	-	-	20	1541.87
宾金	14	3170.10	5	580.77	0	0	-	-	19	1082.91
普侨	0	0	12	694.58	1	8.75	-	-	13	356.04
灵绍	6	250.36	2	537.62	0	0	-	-	8	331.40
祁韶	14	4470.73	1	64.02	1	21.83	-	-	16	1171.52
雁淮	3	189.72	0	0	1	359.61	-	-	4	407.04
鲁固	6	2146.22	4	1569.83	1	6.42	-	-	11	1327.89
锡泰	3	1679.44	3	1569.83	0	0	-	-	6	1204.78
灵宝	-	-	-	-	-	-	4	578.55	4	269.52
高岭	-	-	-	-	-	-	10	1166.52	10	291.63
黑河	-	-	-	-	-	-	2	480.95	2	480.95
鲁西	-	-	-	-	-	-	13	848.92	13	347.12
全国累计	83	18494.93	93	6649.94	28	5288.22	29	3074.94	233	14626.15

2018年，纳入可靠性统计的直流输电系统中，年度检修的等效停运小时最长的为天中系统，达到了841.23小时；此外柴拉、复奉、祁韶系统年度检修的等效停运小时也较长，分别为793.44小时、655.87小时、643.74小时；其他点对点系统和背靠背换流单元的年度检修计划停运等效停运小时都在600小时以内。葛南、天广、高肇、德宝、伊穆、林枫、牛从甲、牛从乙、鲁固、灵宝、高岭、鲁西系统年度检修等效停运小时较短，均在十天以内。

葛南、天广、高肇、德宝、林枫、牛从甲、牛从乙、宾金、鲁固、鲁西系统年度检修等效停运小时占计划停运等效停运小时比例低于50%，宜华系统的占比最高，达到100%。

除年度检修之外，宾金系统其他计划停运的等效停运小时最长，达到778.66小时；此外天中、祁韶、天广系统其他计划停运的等效停运小时也较长，分别为700.64小时、527.78小时、510.20小时；其他点对点系统和背靠背换流单元的其他计划停运的等效停运小时都在500小时以内。

表 5-16 2018 年纳入可靠性统计的直流输电系统年度检修状况

统计对象	次数	系统等效停运小时 (h)	时间百分比 (%)	其他计划停运等效停运小时 (h)
葛南	0	0	0	0.79
天广	0	0	0	510.20
龙政	1	358.28	90.70	36.76
江城	2	419.77	66.41	212.32
高肇	0	0	0	276.58
宜华	1	410.42	100	0
兴安	1	288.82	86.21	46.21
德宝	1	2.00	40.00	3.00
伊穆	1	224.02	97.25	6.33
银东	2	360.80	99.05	3.45
林枫	0	0	0	43.72
柴拉	2	793.44	96.32	30.33
牛从甲	0	0	0	100.02
牛从乙	0	0	0	143.68
金中	1	269.63	96.68	9.28
楚穗	3	321.35	82.53	68.01
复奉	1	655.87	78.58	178.74
锦苏	1	482.32	56.39	373.00
天中	1	841.23	54.56	700.64
宾金	1	304.25	28.10	778.66
普侨	2	250.27	70.29	105.78
灵绍	1	268.81	81.11	62.59
祁韶	1	643.74	54.95	527.78
雁淮	1	359.61	88.35	47.43
鲁固	1	0	0	0
锡泰	1	784.92	65.15	419.86
灵宝	1	231.50	85.89	38.02
高岭	1	230.41	79.01	61.22
黑河	1	473.45	98.44	7.50

统计对象	次数	系统等效停运小时 (h)	时间百分比 (%)	其他计划停运等效停运小时 (h)
鲁西	0	0	0	347.12
全国累计	29	8974.89	63.59	5138.98

注：时间百分比是直流输电系统因年度检修系统等效停运小时与计划停运等效停运小时之比的百分数，其他计划停运等效停运小时是除去年度检修之外其他计划停运的等效停运小时

第五节 我国与国外直流输电系统可靠性对比分析

2015 年、2016 年，部分国外在运的直流输电系统基本情况见表 5-17。

表 5-17 部分国外在运直流输电系统基本情况

系统	国家	电压等级 (千伏)	类型	投运年份	额定容量 (兆瓦)	线路长度 (千米)
Skagerrak 1 & 2	挪威 & 丹麦	250	点对点	1976/77	550	230(130/100)
Skagerrak 3 & 4	挪威 & 丹麦	350/500	点对点	1993/15	1215	474(230/244)
Square Butte	美国	250	点对点	1977	550	749
Nelson River BP1	加拿大	450	点对点	1973//04	1855	895
Nelson River BP2	加拿大	500	点对点	1978/83	2000	940
Hokkaido-Honshu	日本	250	点对点	1979/93	600	193
CU(Great River)	美国	400	点对点	1979	1138	687
Gotland 2 & 3	瑞典	150	点对点	1983/87	320	197.5(99.5/98)
Itaipu BP1	巴西	600	点对点	1984/85	3150	785
Itaipu BP2	巴西	600	点对点	1987	3150	805
Highgate	美国	56	背靠背	1985	225	0
Virginia Smith	美国	50	背靠背	1988	200	0
Konti Skan 2	丹麦 & 瑞典	285	点对点	1988	300	147
Vindhyachal	印度	176	背靠背	1989	500	0
McNeill	加拿大	42	背靠背	1989	150	0
Fenno-Skan 1	芬兰 & 瑞典	400	点对点	1990	500	233
Fenno-Skan 2	芬兰 & 瑞典	500	点对点	2011	830	303
Rihand-Dadri	印度	500	点对点	1991	1650	814
SACOI	意大利 & 法国	200	点对点	1992	300/300/50	905(483/422)

系统	国家	电压等级 (千伏)	类型	投运年份	额定容量 (兆瓦)	线路长度 (千米)
New Zealand Pole 2	新西兰	350	点对点	1992	500	611
New Zealand Pole 3	新西兰	350	点对点	2013	700	611
Sakuma	日本	125	背靠背	1965/93	300	0
Kontek	德国 & 丹麦	400	点对点	1998	600	170
Chandrapur	印度	205	背靠背	1998	1000	0
Minami-Fukumitsu	日本	125	背靠背	1999	300	0
SwePol	瑞典 & 波兰	450	点对点	2000	600	245
Vizag I East-South	印度	205	背靠背	2000	500	0
Vizag II East-South	印度	176	背靠背	2005	500	0
Kii Channel	日本	250	点对点	2000	1400	100
Malaysia-Thailand	马来西亚 & 泰国	300	点对点	2001	300	110
Grita	意大利 & 希腊	400	点对点	2001	500	310
Talcher-Kolar	印度	500	点对点	2003	2000	1450
Sasaram	印度	205	背靠背	2003	500	0
Higashi-Shimizu	日本	125	背靠背	2006	300	0
EstLink 1	芬兰 & 爱沙尼亚	150	点对点	2007	350	105
EstLink 2	芬兰 & 爱沙尼亚	450	点对点	2013	450	171
NorNed	挪威 & 荷兰	450	点对点	2008	700	580
Al Fadhili	沙特阿拉伯	222	背靠背	2009	1800	0
Cahora Bassa	南非 & 莫桑比克	533	点对点	1977/09	1920	1420
SAPEI	意大利	500	点对点	2009	1000	435
Caprivi	纳米比亚	350	点对点	2009	300	950
Storebaelt	丹麦	400	点对点	2010	600	56
Ballia-Bhiwadi	印度	500	点对点	2010	2500	800
WATL	加拿大	500	点对点	2016	1000	485
EATL	加拿大	500	点对点	2016	1000	350
NER-Agra	印度	800	点对点	2016	6000	1728

注：1. 投运年份和额定输送容量（最大持续输送容量）数据取自国际大电网会议报告，其他系统参数为补充信息。

2. 投运年份中“/”前年份表示初始投运年份，“/”后年份表示最近一次改建或扩建投运年份。如纳尔逊河双极 1 于 1973 年投运，当时采用的是汞弧阀，1993 年极 I 改造为晶闸管阀，2004 年极 II 改造为晶闸管阀，投运年份在表中表示为“1973//04”。

3. Nelson River BP1 为每极 3 阀组串联，Nelson River BP2、Itaipu BP1、Itaipu BP2 为每极双阀组串联。

4. Vindhyachal、Chandrapur 为双单元背靠背系统，其他背靠背系统均为一个单元。

5. Skagerrak 3 & 4 一极为柔性直流。

6. SACOI 系统为三端单极系统。

7. Caprivi 为柔性直流系统。

部分国内外在运的直流输电系统 2015 年、2016 年可靠性指标比较见表 5-18。

表 5-18 国内外直流输电系统 2015 年、2016 年可靠性指标比较

系统	国家	能量可用率		能量利用率		强迫停运率	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Skagerrak 1 & 2	挪威 & 丹麦	-	96.5	-	35.9	-	0.52
Skagerrak 3 & 4	挪威 & 丹麦	-	97.2	-	64.3	-	0.27
Square Butte	美国	95.7	68.4	62.8	48.4	2.45	15.99
Nelson River BP1	加拿大	89.8	93.4	66.2	67.1	1.92	0.84
Nelson River BP2	加拿大	98.2	96.7	78.1	74.2	0.26	0.1
Hokkaido-Honshu	日本	94.8	96.8	16.9	20.3	0	0
CU(Great River)	美国	97.5	94.8	82.3	75.4	0.02	0.01
Gotland 2 & 3	瑞典	99.4	99.6	18.1	20.7	0.02	0.04
Itaipu BP1	巴西	91.6	97.4	69.2	77.7	6.01	0.01
Itaipu BP2	巴西	96.1	95	69.2	77.7	0	0.03
Highgate	美国	97.5	97.5	85	91.3	0.04	0
Virginia Smith	美国	74.5	92.8	6.1	4.4	12.85	1.27
Konti Skan 2	丹麦 & 瑞典	-	95.2	-	60.2	-	0.32
Vindhyachal	印度	83.7	76.5	41.5	50.3	15.5	22.87
McNeill	加拿大	95.3	95.6	13.7	16.8	1.32	0.54
Fenno-Skan 1	芬兰 & 瑞典	97.4	98.3	95.3	92.6	0.68	0.26
Fenno-Skan 2	芬兰 & 瑞典	97.5	98.6	75.5	70.4	0	0.29
Rihand-Dadri	印度	97.1	96	80.9	69.8	0.52	0.63
SACOI	意大利 & 法国	91.3	89	45.4	60	0.85	0.82
New Zealand Pole 2	新西兰	98.8	99.2	33.1	43.9	0.09	0.01
New Zealand Pole 3	新西兰	98.9	99	23.9	32.7	0.09	0
Sakuma	日本	97.6	100	0	0	0.36	0

系统	国家	能量可用率		能量利用率		强迫停运率	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Kontek	德国 & 丹麦	-	89.8	-	66.8	-	0.02
Chandrapur	印度	98.3	97.2	95.8	83.2	0.87	2.49
Minami-Fukumitsu	日本	95	89.3	3.8	4.3	0	1.73
SwePol	瑞典 & 波兰	95.5	95.5	67.2	55.8	0.63	0.12
Vizag I East-South	印度	99.8	99.3	62.2	52.7	0.01	0.68
Vizag II East-South	印度	99.9	100	68.7	55.2	0.03	0
Kii Channel	日本	97.2	97.8	78.8	74.1	0	0
Malaysia-Thailand	马来西亚 & 泰国	91.6	93.5	9.7	10.2	5.01	3.29
Grita	意大利 & 希腊	72.2	71.2	51.7	53.1	0.33	1.68
Talcher-Kolar	印度	99.3	98.8	90.9	90.7	0.04	0.24
Sasaram	印度	94.4	95.5	55.9	55.9	5.62	2.33
Higashi-Shimizu	日本	94.5	96.6	50.8	52.5	0	0
EstLink 1	芬兰 & 爱沙尼亚	98.2	98.6	29.3	22.3	0.41	0.12
EstLink 2	芬兰 & 爱沙尼亚	91.1	95.7	73.1	53.8	5.04	0.02
NorNed	挪威 & 荷兰	98.7	97.8	94.3	72.7	0.04	0.08
Al Fadhili	沙特阿拉伯	98.4	98.4	6.2	8.9	0.74	0.67
Cahora Bassa	南非 & 莫桑比克	-	76.5	-	61.5	0	9.99
SAPEI	意大利	94	96	31.8	31.3	0.12	0.62
Caprivi	纳米比亚	-	98.3	-	42.8	-	0.11
Storebaelt	丹麦	-	98.7	-	78	-	0.05
Ballia-Bhiwadi	印度	98.8	96.3	13	13.6	0.05	2.64
WATL	加拿大	-	81.3	-	25.7	-	14.77
EATL	加拿大	-	62.5	-	14.3	-	30.85
NER-Agra	印度	-	82.3	-	33	-	9.36
葛南	中国	94.63	84.12	46.50	45.66	0.050	0.029
天广	中国	96.59	96.76	55.65	44.01	0.069	0.141
龙政	中国	78.48	95.97	34.48	37.82	0.020	0
江城	中国	97.56	97.51	55.71	60.98	0	0
高肇	中国	99.44	99.68	67.66	57.55	0.027	0
宣华	中国	94.23	96.49	36.53	45.63	0	0.048

系统	国家	能量可用率		能量利用率		强迫停运率	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
兴安	中国	96.52	99.15	60.03	63.70	0.004	0.005
德宝	中国	97.28	95.81	45.67	29.16	0	0
伊穆	中国	95.37	97.41	58.72	56.45	1.130	0.023
银东	中国	97.51	95.17	84.4	83.27	0.010	0.127
林枫	中国	97.66	94.10	26.65	28.21	0	0.046
柴拉	中国	90.66	90.47	16.64	27.34	1.060	0.251

2018年，我国15个点对点超高压直流输电系统强迫停运平均1.20次，合计强迫能量不可用率3.520%，国外同类系统2016年强迫停运平均9.74次，合计能量强迫不可用率为4.941%。我国的点对点超高压直流输电系统可靠性水平普遍好于国际同类系统。

第六章 2018 年全国 10 千伏供电系统用户供电可靠性

第一节 全国供电可靠性总体情况

一、供电可靠性指标

2018 年，全国平均供电可靠率为 99.820%，同比上升 0.006 个百分点；用户平均停电时间为 15.75 小时 / 户，同比减少 0.52 小时 / 户；用户平均停电频率 3.28 次 / 户，同比持平。其中，全国城市平均供电可靠率为 99.946%，农村平均供电可靠率为 99.775%，城市、农村供电可靠率相差 0.171 个百分点；全国城市用户平均停电时间为 4.77 小时 / 户，农村用户平均停电时间为 19.73 小时 / 户，城市、农村用户平均停电时间相差 14.96 小时 / 户；全国城市用户平均停电频率为 1.11 次 / 户，农村用户平均停电频率为 4.07 次 / 户，城市、农村用户平均停电频率相差 2.96 次 / 户。

表 6-1 2018 年全国供电系统用户供电可靠性指标汇总

可靠性指标		全口径 (1+2+3+4)	城市 (1+2+3)	市中心 (1)	城镇 (2+3)	农村 (4)
等效总用户数 (万户)		951.01	252.99	27.00	226.02	698.01
用户总容量 (亿千伏安)		33.90	16.41	2.50	13.91	17.49
线路总长度 (万千米)		477.52	91.28	10.97	80.31	386.24
架空线路绝缘化率 (%)		23.83	56.57	60.63	56.29	19.93
线路电缆化率 (%)		16.27	53.37	75.01	50.42	7.50
供电可靠率 (%)	*	99.820	99.946	99.974	99.942	99.775
	**	99.825	99.948	99.974	99.945	99.781
平均停电时间 (时 / 户)	*	15.75	4.77	2.31	5.07	19.73
	**	15.30	4.58	2.24	4.86	19.18
平均停电频率 (次 / 户)	*	3.28	1.11	0.54	1.17	4.07
	**	3.22	1.08	0.53	1.15	3.99

可靠性指标		全口径 (1+2+3+4)	城市 (1+2+3)	市中心 (1)	城镇 (2+3)	农村 (4)
故障平均停电时间 (时/户)	*	6.46	1.78	0.85	1.89	8.16
	**	6.01	1.59	0.78	1.69	7.61
预安排平均停电时间 (时/户)		9.29	2.99	1.46	3.17	11.58

注：1: 市中心区； 2: 市区； 3: 城镇； 4: 农村

*: 剔除重大事件前指标； **: 剔除重大事件后指标

二、2014-2018 年供电可靠性趋势情况

2014-2018 年，全国供电可靠性指标逐步趋于稳定。城市用户的平均供电可靠率在 99.95% 左右，用户平均停电在 4 到 5 个小时，用户平均停电频率低于 2 次，基本满足了经济社会对电力安全可靠供电的需求。与城市相比，农村用户的供电可靠性起伏较大，平均停电时间在 20 小时左右，平均停电频率超过 4 次。

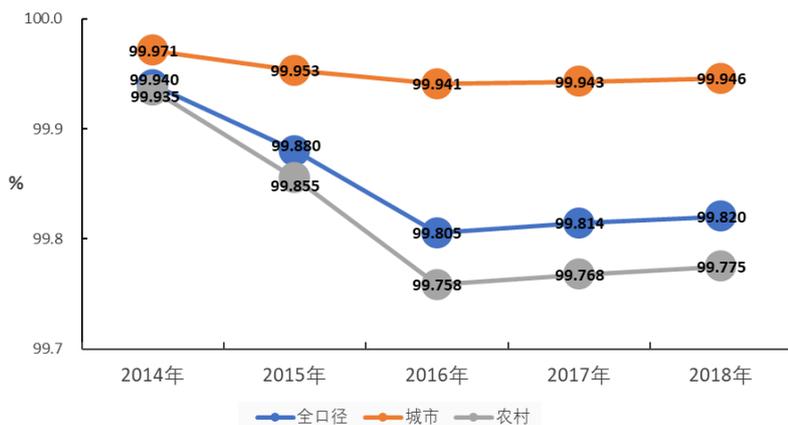


图 6-1 2014-2018 年全国供电系统供电可靠率变化

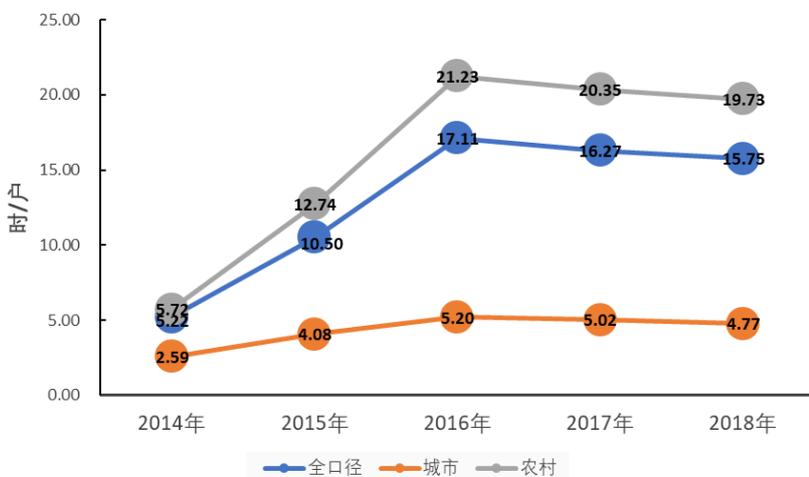


图 6-2 2014-2018 年全国供电系统平均停电时间变化

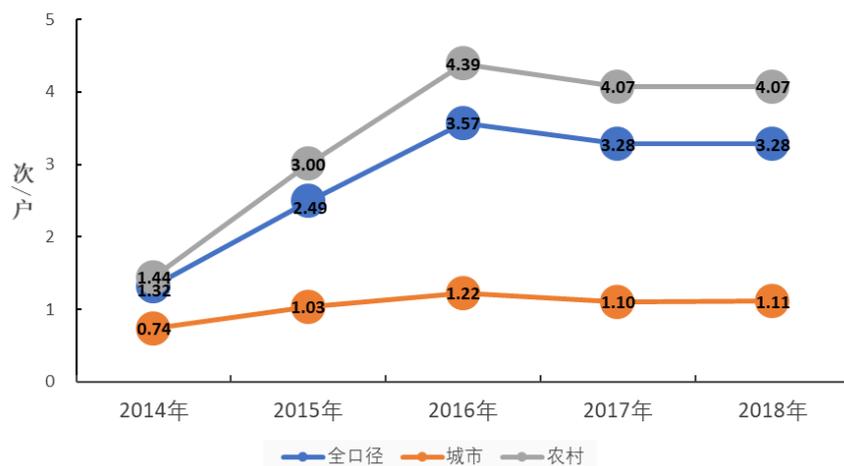


图 6-3 2014-2018 年全国供电系统平均停电频率变化

第二节 各区域供电可靠性

一、用户平均停电时间

2018年，全国六个区域中¹，南方及华北区域的系统平均供电可靠率同比有较大幅度上升。华北、华东的系统平均供电可靠性指标优于全国平均值，其中，用户数最多、用户总容量最高的华东区域的供电可靠性平均水平领先其他区域，西北地区供电可靠性水平明显低于其他区域。

华北、华东、华中三个区域的城市用户平均停电时间低于全国平均值（4.77 小时/户），华北、华东两个区域的农村用户平均停电时间低于全国平均值（19.73 小时/户）。其中区域内城市与农村用户平均停电时间相差最小的是华东地区，为 8.54 小时/户，区域内城市与农村用户平均停电时间相差最大的是西北地区，为 21.45 小时/户。

¹ 华北区域包括：北京、天津、河北、山西、山东、内蒙古；东北区域包括：黑龙江、吉林、辽宁；华中区域包括：江苏、浙江、上海、安徽、福建；华中区域包括：河南、湖北、湖南、江西、四川、重庆；西北区域包括：陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏；南方区域包括：广东、广西、云南、贵州、海南

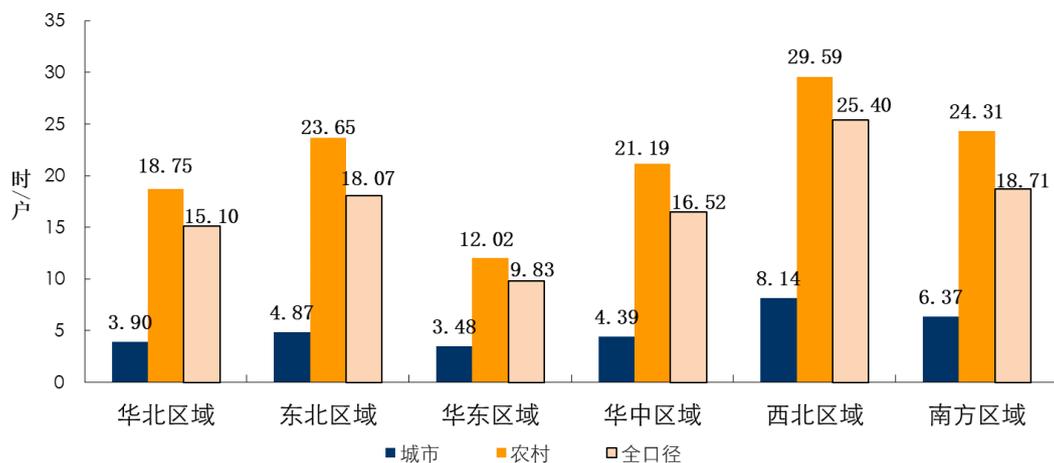


图 6-4 2018 年各区域城市、农村、全口径用户平均停电时间对比

二、用户平均停电频率

华北、东北、华东、华中四个区域的城市、农村用户平均停电频率均低于全国平均值 (1.11 次 / 户、4.07 次 / 户)。其中区域内城市与农村用户平均停电频率相差最小的是华东地区，为 2.10 次 / 户，区域内城市与农村用户平均停电频率相差最大的是南方地区，为 4.43 次 / 户。

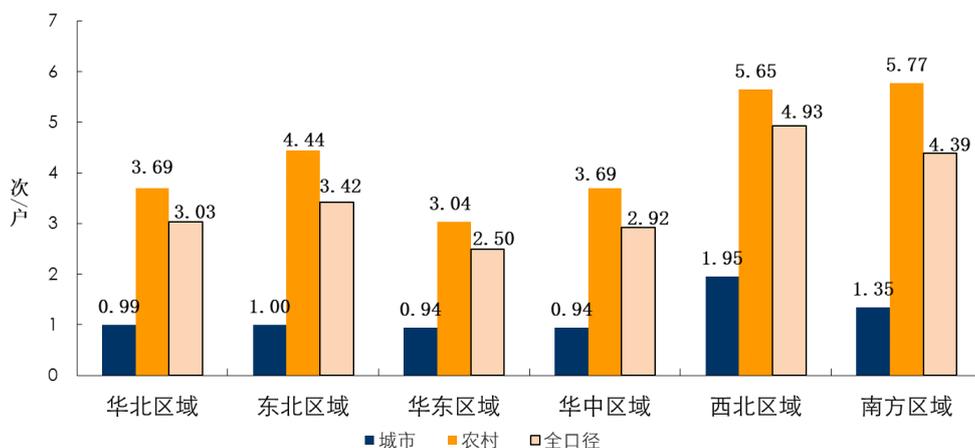


图 6-5 2018 年各区域城市、农村、全口径用户平均停电频率

第三节 各省级电力企业供电可靠性

一、用户平均停电时间

36 个省级电力企业中，上海、北京、天津、江苏的用户平均停电时间低于 10 小时 / 户，广西水利电业、西藏、山西地电等 11 个公司的用户平均停电时间高于

20 小时 / 户。其中，北京、上海所属城市用户平均停电时间低于 1 小时 / 户，西藏、广西水利电业等 6 个公司所属城市用户平均停电时间超过了 10 小时 / 户，最短与最长停电时间相差 50.36 小时 / 户；上海、北京、江苏所属农村用户平均停电时间低于 10 小时 / 户，西藏、广西水利电业等 7 个公司所属农村用户平均停电时间超过了 30 小时 / 户，最短与最长停电时间相差 100.70 小时 / 户。

36 个省级电力企业中，23 个公司的平均供电可靠率同比有所上升，提升幅度超过 10% 的有 6 个公司。其中上海、北京、陕西地电用户平均停电时间降幅较大，

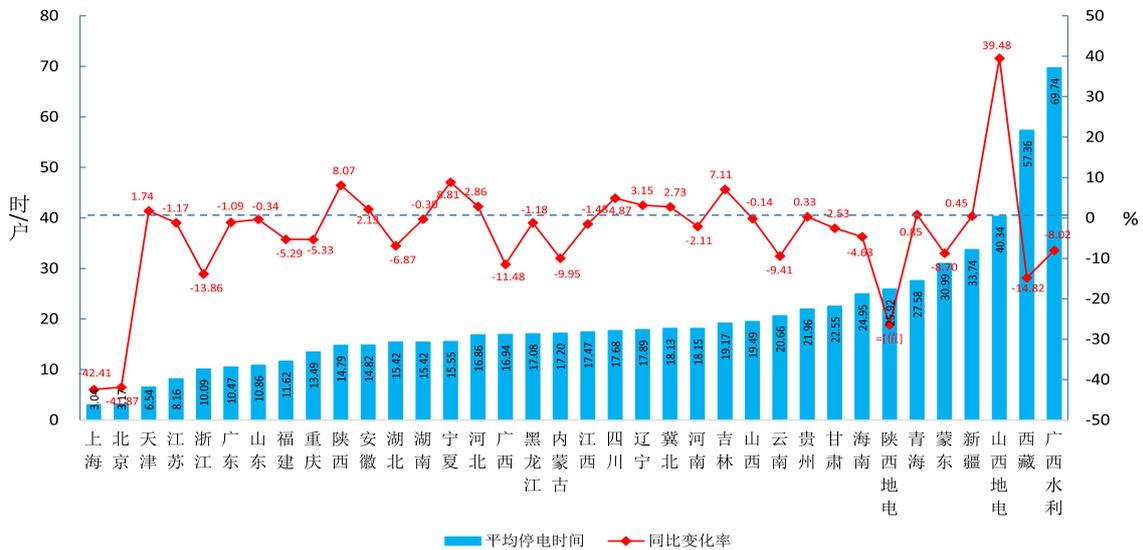


图 6-6 2018 年各省级电力企业用户平均停电时间分布（全口径）

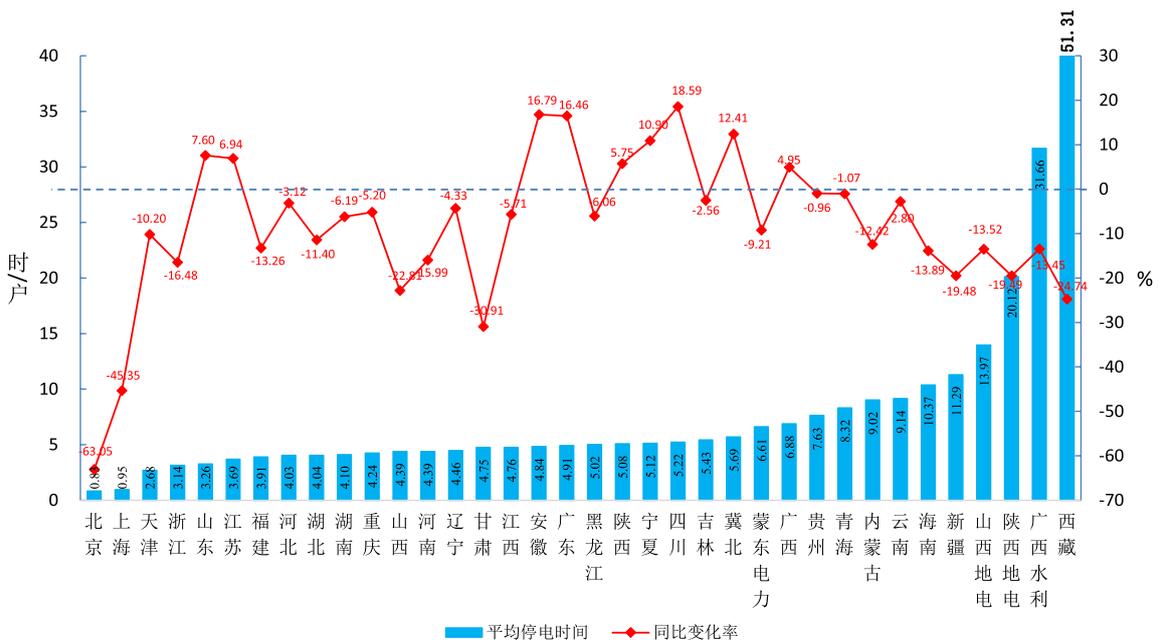


图 6-7 2018 年各省级电力企业用户平均停电时间分布（城市）

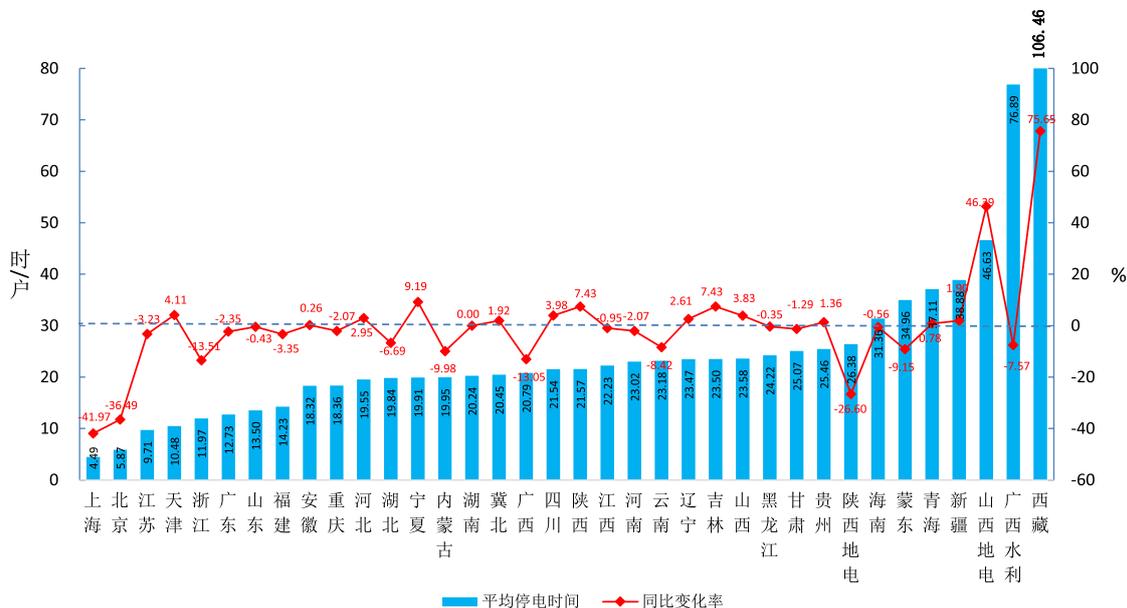


图 6-8 2018 年各省级电力企业用户平均停电时间分布（农村）

二、用户平均停电频率

36 个省级电力企业中，上海、北京的用户平均停电频率少于 1 次 / 户，广西水利电业、西藏等 8 个公司的用户平均停电频率高于 5 次 / 户。其中，上海、北京等 13 个公司所属城市用户平均停电频率低于 1 次 / 户，西藏和广西水利电业所属城市用户平均停电频率超过了 5 次 / 户；上海、北京等 9 个公司所属农村用户平均停电频率低于 3 次 / 户，广西水利电业、西藏、山西地电所属农村用户平均停电频率超过了 10 次 / 户。

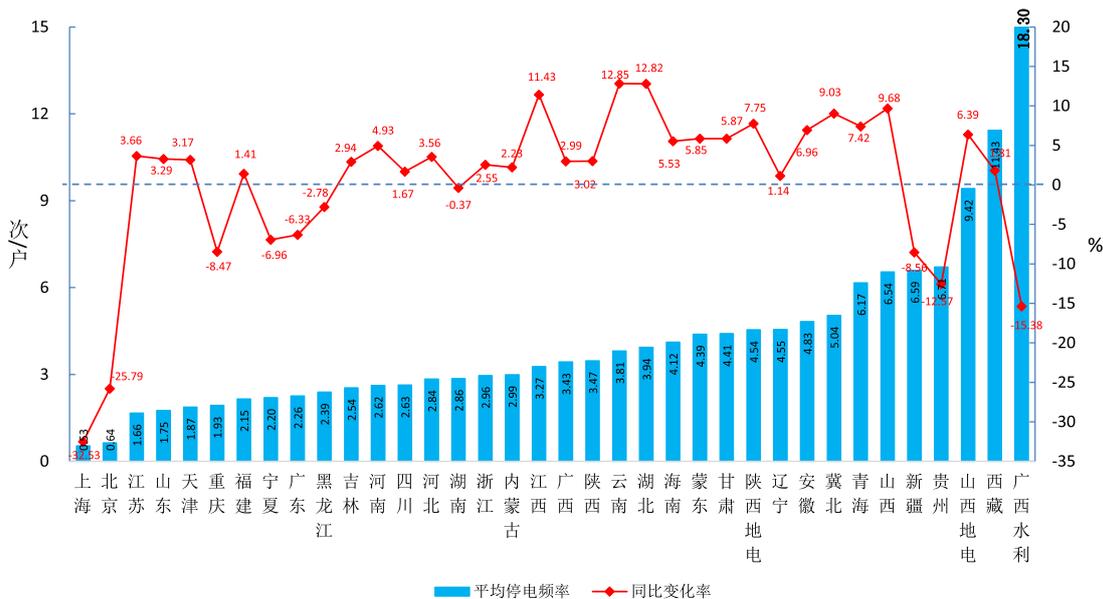


图 6-9 2018 年各省级电力企业用户平均停电频率分布（全口径）

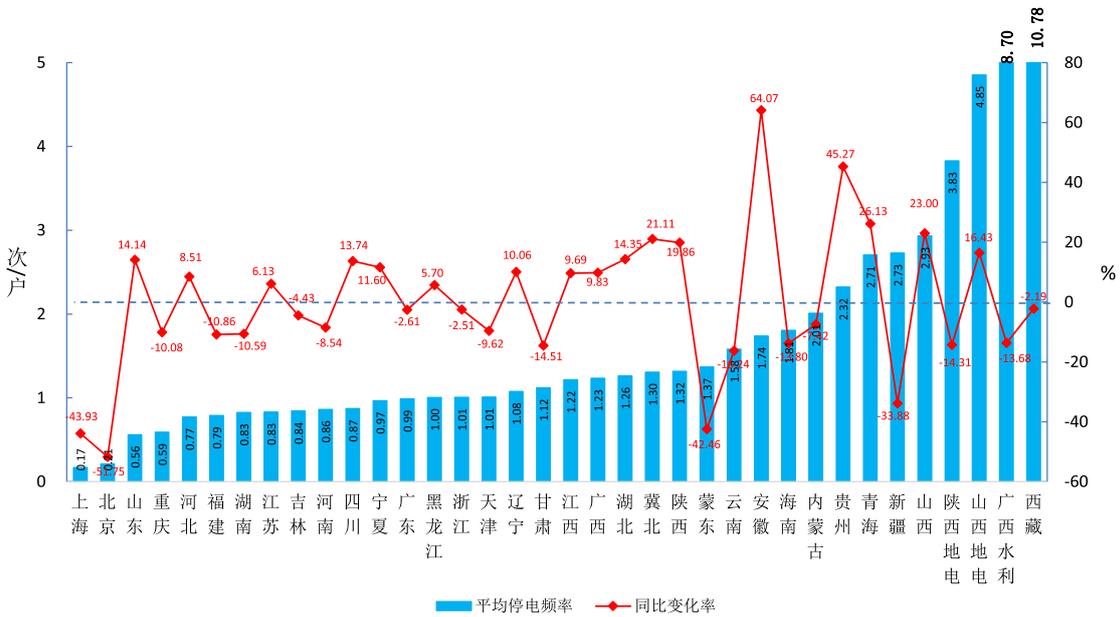


图 6-10 2018 年各省级电力企业用户平均停电频率分布（城市）

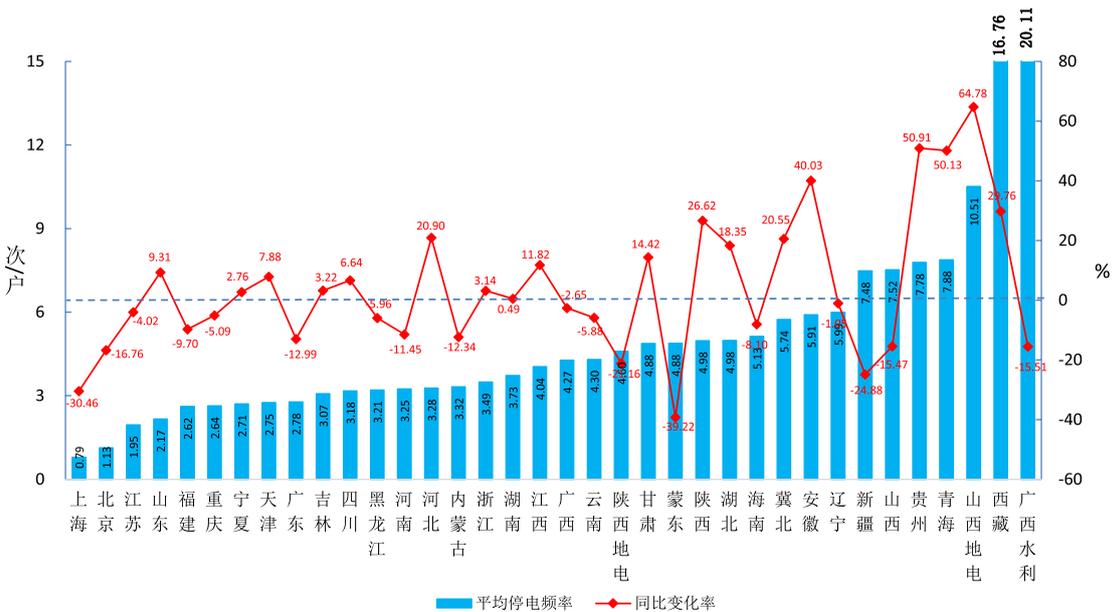


图 6-11 2018 年各省级电力企业用户平均停电频率分布（农村）

各省级电力企业城乡用户供电可靠性差异水平较为明显，其中城乡差距较小的是上海、北京、江苏，用户平均停电时间分别相差 3.54 小时 / 户、5.04 小时 / 户、6.02 小时 / 户，用户平均停电频率分别相差 0.62 次 / 户、0.92 次 / 户、1.12 次 / 户；城乡差距较大的是山西地电、广西水利、西藏，用户平均停电时间分别相差 32.66 小时 / 户、45.23 小时 / 户、55.16 小时 / 户，用户平均停电频率分别相差 5.65 次 / 户、11.40 次 / 户、5.99 次 / 户。

第四节 地市级供电企业供电可靠性

2018年,全国四百多个地市级供电企业按所属用户平均停电时间分为四个梯队。处于第一梯队(112个)的用户平均停电时间低于10.89小时/户,城市用户平均停电时间低于3.80小时/户,农村用户平均停电时间低于15.05小时/户。其中,城市用户的平均停电时间范围为0.14~82.27小时/户,14个供电企业(占3.11%)所属城市用户的供电可靠率达到了99.99%,39个供电企业(占8.67%)的城市用户平均停电时间低于2小时/户,262个供电企业(占58.22%)城市用户平均停电时间高于全国平均水平(4.77小时/户);农村用户的平均停电时间范围为1.21~159.36小时/户,47个供电企业(占11.06%)的供电可靠率达到99.9%,246个供电企业(占57.88%)农村用户平均停电时间高于全国平均水平(19.73小时/户)。

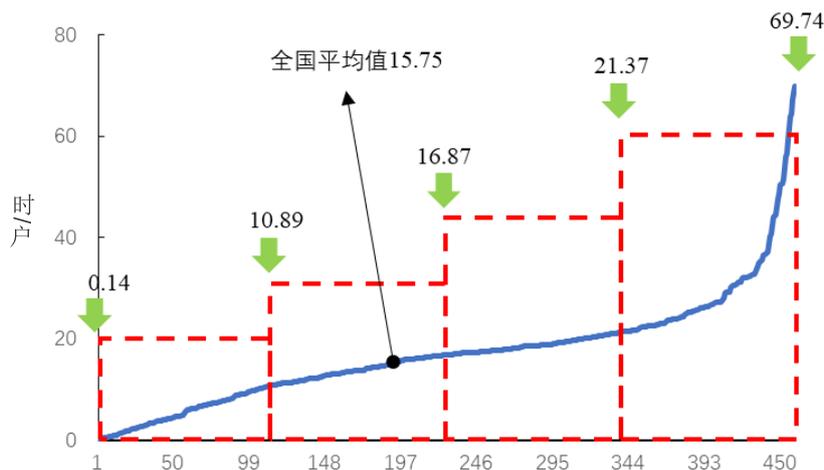


图 6-12 2018 年全国地市级供电企业用户平均停电时间分布（全口径）

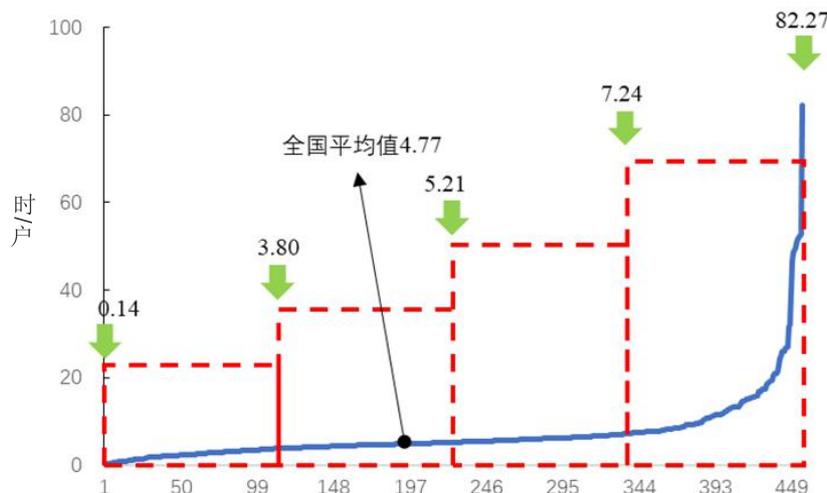


图 6-13 2018 年全国地市级供电企业用户平均停电时间分布（城市）

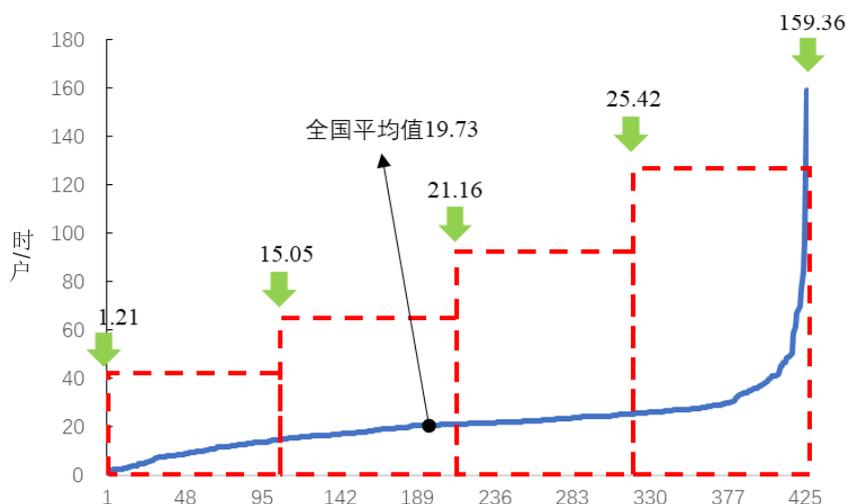


图 6-14 2018 年全国地市级供电企业用户平均停电时间分布（农村）

第五节 全国 52 个主要城市供电企业指标

一、用户平均停电时间

52 个主要城市（即 4 个直辖市、27 个省会城市及其它 GDP 排名前 40 的城市）用户数占全国总用户数的 34.07%，用户总容量占全国用户总容量的 49.04%。其所属用户平均停电时间为 8.44 小时/户，比全国平均值低 7.31 小时/户；所属城市用户平均停电时间为 3.00 小时/户，比全国平均值低 1.77 小时/户；所属农村用户平均停电时间为 11.63 小时/户，比全国平均值低 8.10 小时/户。

52 个主要城市中，佛山、厦门、深圳的用户平均停电时间低于 3 小时/户，拉萨、长春、沈阳、徐州、成都的用户平均停电时间超过 15 小时/户；北京、上海所属城市用户平均停电时间低于 1 小时/户，拉萨、呼和浩特、徐州、海口所属城市用户平均停电时间超过 5 小时/户；佛山、东莞、上海、厦门所属农村用户平均停电时间低于 5 小时/户，拉萨、西宁等 7 市所属农村用户平均停电时间超过 20 小时/户。

52 个主要城市中有 18 个城市的用户平均停电时间同比减少超过 10%；13 个城市的用户平均停电时间波动超过 20%，其中，厦门、上海、北京的用户平均停电时间同比分别减少 45.65%、42.41%、41.87%；徐州、昆明的用户平均停电时间同比分别增加 64.20%、32.43%。

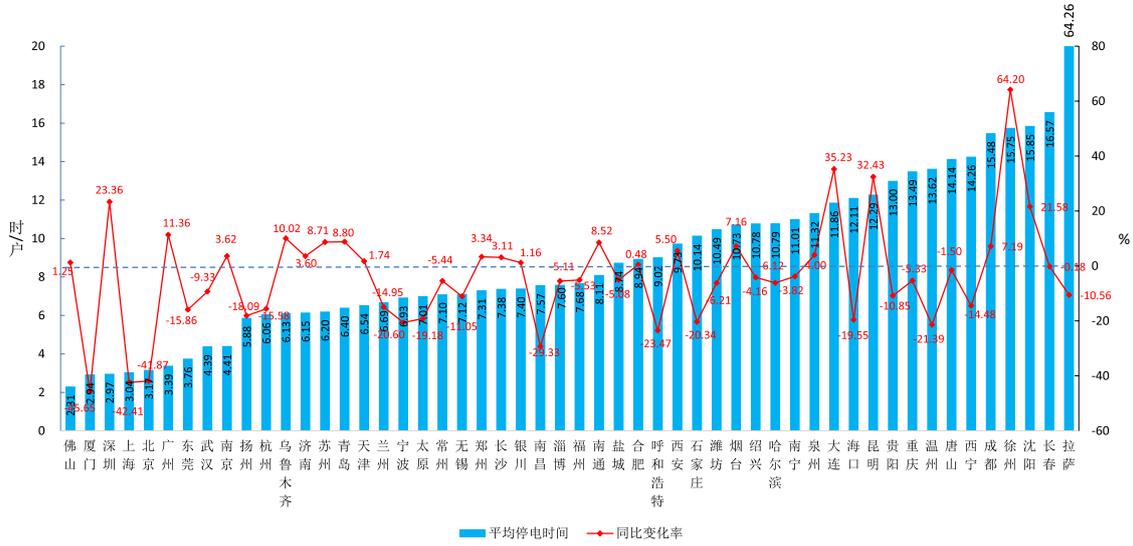


图 6-15 2018 年主要城市用户平均停电时间对比（全口径）

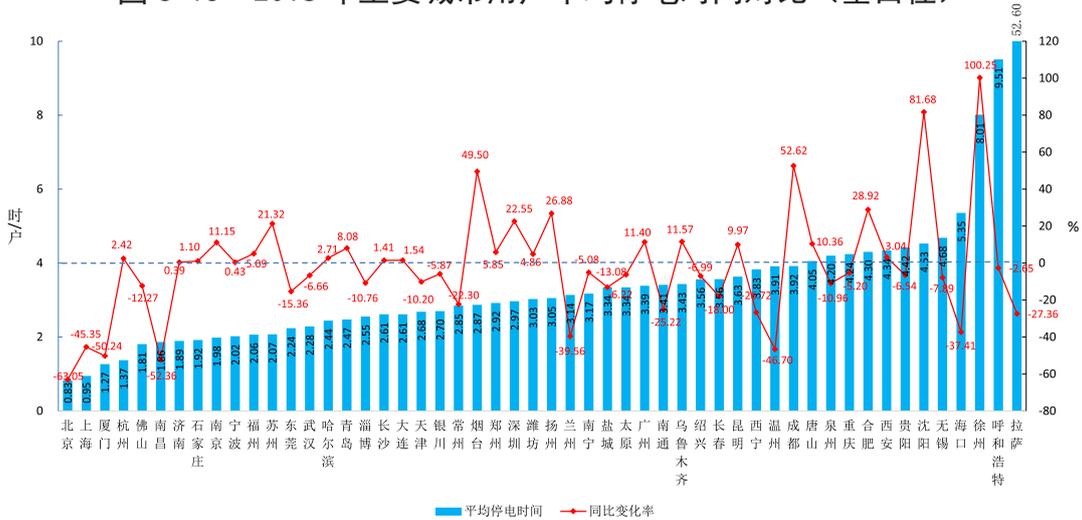


图 6-16 2018 年主要城市用户平均停电时间对比（城市）

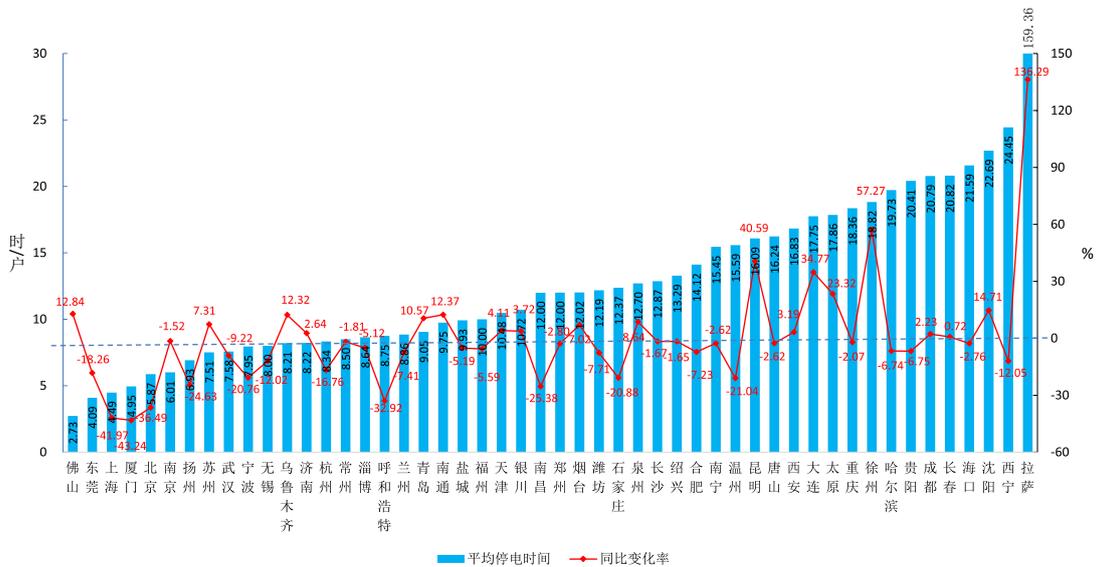


图 6-17 2018 年主要城市用户平均停电时间对比（农村）

二、用户平均停电频率

2018年,52个主要城市所属用户平均停电频率1.84次/户,比全国平均值低1.44次/户;所属城市用户平均停电频率为0.69次/户,比全国平均值低0.42次/户;所属农村用户平均停电频率为2.51次/户,比全国平均值低1.56次/户。

52个主要城市中,深圳、广州、上海等10个城市的用户平均停电频率低于1次/户,拉萨、沈阳、唐山等8个城市的用户平均停电频率超过3次/户;上海、北京、厦门等14个城市所属城市用户平均停电频率低于0.5次/户,拉萨、太原所属城市用户平均停电频率超过2次/户;佛山、东莞、上海所属农村用户平均停电频率低于1次/户,拉萨、沈阳、太原、西宁、合肥所属农村用户平均停电频率超过5次/户。

52个主要城市中,有14个城市的用户平均停电频率同比减少超过10%;22个城市的用户平均停电频率波动超过15%,其中,厦门、东莞、上海的用户平均停电频率同比分别减少35.41%、33.47%、32.53%,郑州、合肥、拉萨的用户平均停电频率同比分别增加61.45%、52.97%、52.31%。

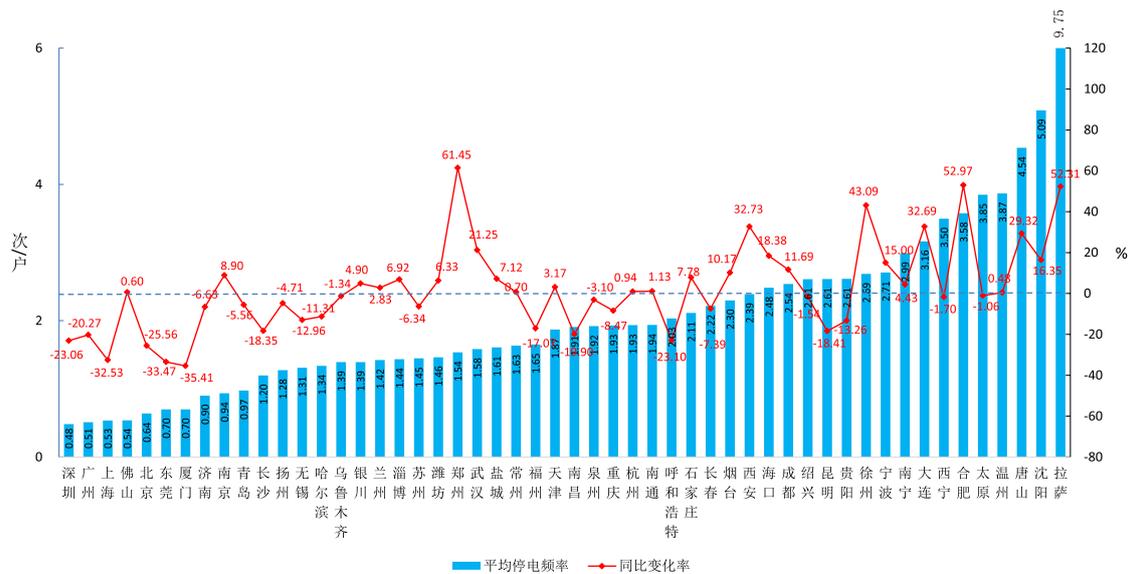


图 6-18 2018 年主要城市用户平均停电频率对比（全口径）

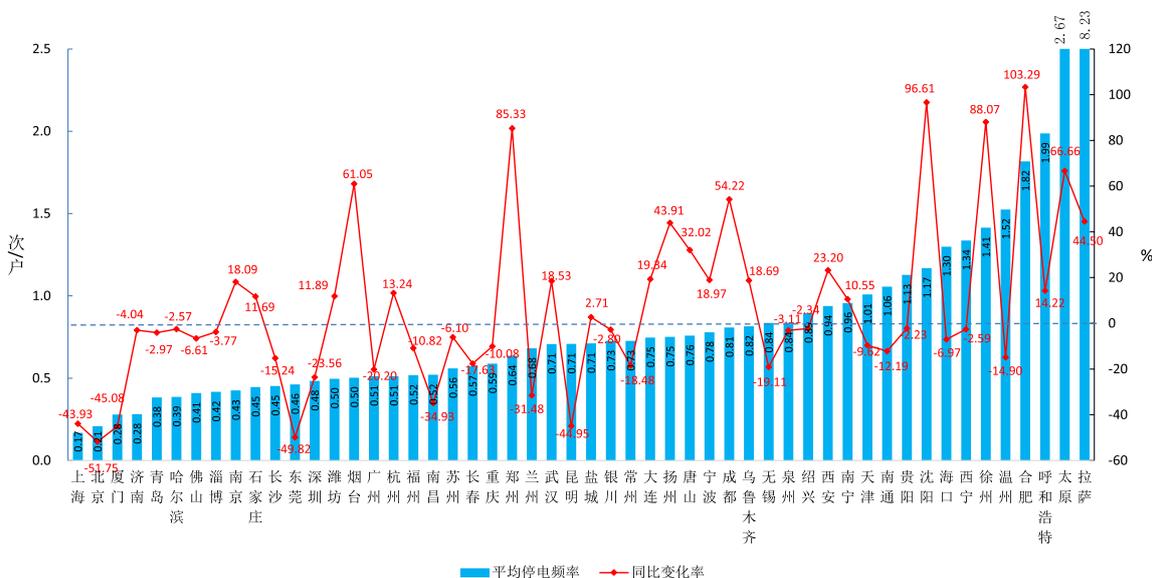


图 6-19 2018 年主要城市用户平均停电频率对比（城市）

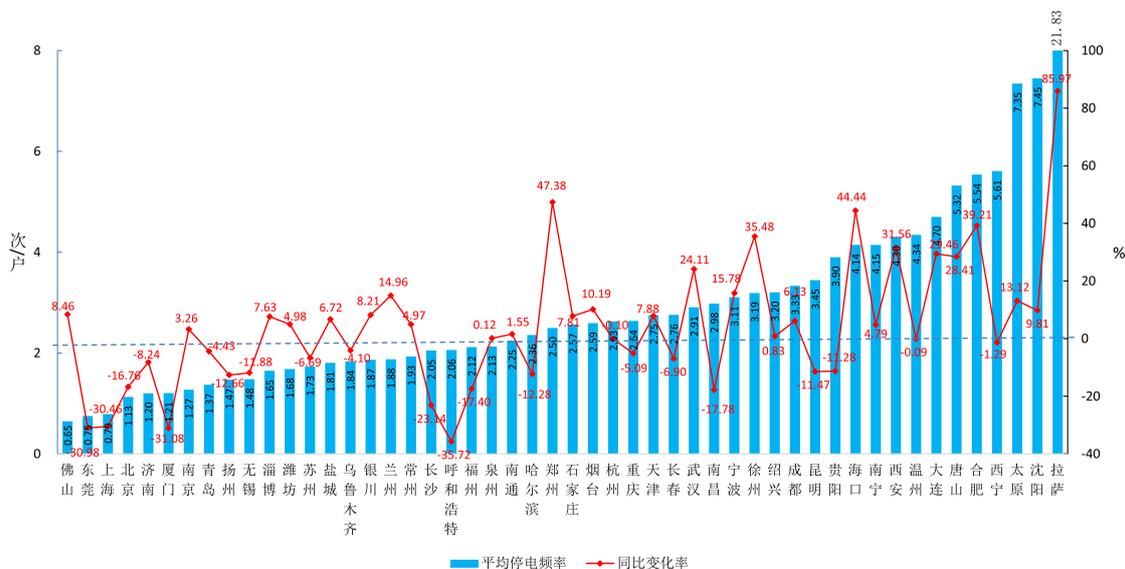


图 6-20 2018 年主要城市用户平均停电频率对比（农村）

2018 年排名前十的主要城市，所属城市用户平均停电时间均低于 2 小时 / 户，全口径范围大部分低于 5 小时 / 户；所属城市用户平均停电频率大部分低于 0.5 次 / 户，全口径范围大部分低于 1 次 / 户；重大事件对部分城市的供电可靠性影响较大。

表 6-2 2018 年排名前十的主要城市供电企业

排名	全口径范围			城市范围		
	单位	平均停电时间	平均停电频率	单位	平均停电时间	平均停电频率
1	佛山	2.31	0.54	北京	0.83	0.21
2	厦门	2.94	0.70	上海	0.95	0.17
3	深圳	2.97	0.48	厦门	1.27	0.28
4	上海	3.04	0.53	杭州	1.37	0.51
5	北京	3.17	0.64	佛山	1.81	0.41
6	广州	3.39	0.51	南昌	1.86	0.52
7	东莞	3.76	0.70	济南	1.89	0.28
8	武汉	4.39	1.58	石家庄	1.92	0.45
9	南京	4.41	0.94	南京	1.98	0.43
10	扬州	5.88	1.28	宁波	2.02	0.78

注：平均停电时间单位为小时 / 户；平均用电频率单位为次 / 户

供电系统配网业务指标反映了配电网规划、建设、运行、管理及技术进步的总体情况，直接影响着供电系统供电可靠性水平的提升。2018 年排名前十的主要城市供电系统的配网业务指标具体如下：

表 6-3 2018 年主要城市供电系统配网业务指标

城市	售电量 (亿千瓦时)	供电 可靠率 (%)	故障平均停 电持续时间 (小时/次)	馈线平均 供电长度 (千米)	馈线平均 负载率 (%)	馈线 电缆化率 (%)	配网 环网率 (%)	配网自动 化线路覆 盖率 (%)	带电作业 次数 (次 / 百千米)
佛山	647.1	99.9737	7.03	6.66	18.20	62.19	98.20	99.40	38
厦门	258.6	99.9665	3.24	3.37	34.60	66.36	94.26	100.00	34.36
深圳	862.4	99.9662	8.32	4.56	27.00	83.60	99.64	91.10	50.35
上海	1314.3	99.9653	2.82	4.25	23.40	65.91	100.00	80.08	11
北京	1037.0	99.9638	2.99	4.89	26.74	53.73	100.00	100.00	8.03
广州	830.8	99.9614	3.70	6.29	41.70	76.31	97.55	94.00	33
东莞	798.9	99.9571	5.88	6.38	35.33	78.06	92.25	83.48	40.6
武汉	497.5	99.9498	2.38	8.69	42.13	51.20	84.68	63.84	114
南京	528.4	99.9497	4.70	7.62	38.50	57.65	99.82	100.00	18.31
扬州	227.0	99.9329	3.24	11.69	29.36	2.93	99.04	100.00	31.42

第六节 停电原因分析

2018 年，全国用户故障平均停电时间 6.46 小时 / 户，预安排平均停电时间 9.29 小时 / 户，分别占总停电时间的 41.01%、58.99%；用户故障平均停电频率 2.01 次 / 户，预安排平均停电频率 1.27 次 / 户，分别占总停电频率的 61.37%、38.62%。

表 6-4 2018 年故障、预安排停电指标

可靠性指标	全口径 (1+2+3+4)	百分比	城市 (1+2+3)	百分比	农村 (4)	百分比
故障平均停电时间 (小时 / 户)	6.46	41.01%	1.78	37.35%	8.16	41.33%
预安排平均停电时间 (小时 / 户)	9.29	58.99%	2.99	62.65%	11.58	58.67%
故障平均停电频率 (次 / 户)	2.01	61.37%	0.64	57.92%	2.51	61.70%
预安排平均停电频率 (次 / 户)	1.27	38.63%	0.47	42.08%	1.56	38.30%
故障停电平均持续时间 (小时 / 次)	3.36	—	3.16	—	3.40	—
预安排停电平均持续时间 (小时 / 次)	6.35	—	6.11	—	6.44	—
故障停电平均用户数 (户 / 次)	18.75	—	9.81	—	20.11	—
预安排停电平均用户数 (户 / 次)	18.12	—	8.81	—	20.03	—

一、故障停电分析

(一) 用户故障平均停电指标分析

2018 年，我国用户故障平均停电时间 6.46 小时 / 户，同比升高 13.97%；用户故障平均停电频率 2.01 次 / 户，同比升高 14.38%。其中，城市、农村用户故障平均停电时间分别为 1.78 小时 / 户、8.16 小时 / 户，同比分别升高 10.05%、14.35%；城市、农村用户故障平均停电频率分别为 0.64 次 / 户、2.51 次 / 户，同比分别升高 15.83%、14.31%。

六个区域中，西北、南方区域的故障平均停电时间高于全国平均值，华东区域故障平均停电时间最短，为 4.43 小时 / 户；西北、南方区域故障平均停电频率均高于全国平均值，华中区域故障平均停电频率最少，为 1.35 次 / 户；华东区域故障平均停电用户数最少，为 9.39 户 / 次；东北区域故障平均停电持续时间最短，为 2.86 小时 / 户。

表 6-5 2018 年全国、各区域故障停电指标

区域		全国	华北区域	东北区域	华东区域	华中区域	西北区域	南方区域
用户故障平均停电时间 SAIDI-F (小时/户)	全口径	6.46	6.39	6.16	4.43	5.02	7.63	10.97
	城市	1.78	1.31	1.35	1.58	1.23	2.75	2.96
	农村	8.16	8.05	8.20	5.42	6.47	8.81	14.61
用户故障平均停电频率 SAIFI-F (次/户)	全口径	2.01	1.88	1.95	1.60	1.35	2.62	3.40
	城市	0.64	0.59	0.49	0.60	0.40	1.11	0.92
	农村	2.51	2.30	2.57	1.95	1.72	2.99	4.53
故障平均停电持续时间 MID-F (小时/户)	全口径	3.36	3.40	2.86	3.09	3.54	2.89	4.45
	城市	3.16	2.81	2.82	3.05	3.38	3.07	4.02
	农村	3.40	3.51	2.87	3.11	3.58	2.88	4.49
故障平均停电用户数 MIC-F (户/次)	全口径	18.75	31.49	14.34	9.39	17.93	21.15	33.48
	城市	9.81	15.79	6.33	5.54	8.70	11.81	19.79
	农村	20.11	33.71	15.77	9.96	19.49	22.32	35.02

(二) 故障重复停电分析

2018年,全国有40.50%的用户未发生过故障停电。在发生故障停电用户中,有近38.58%的用户故障停电1次;21.36%的用户故障停电次数在5次及以上;6.11%的用户故障停电次数超过10次。

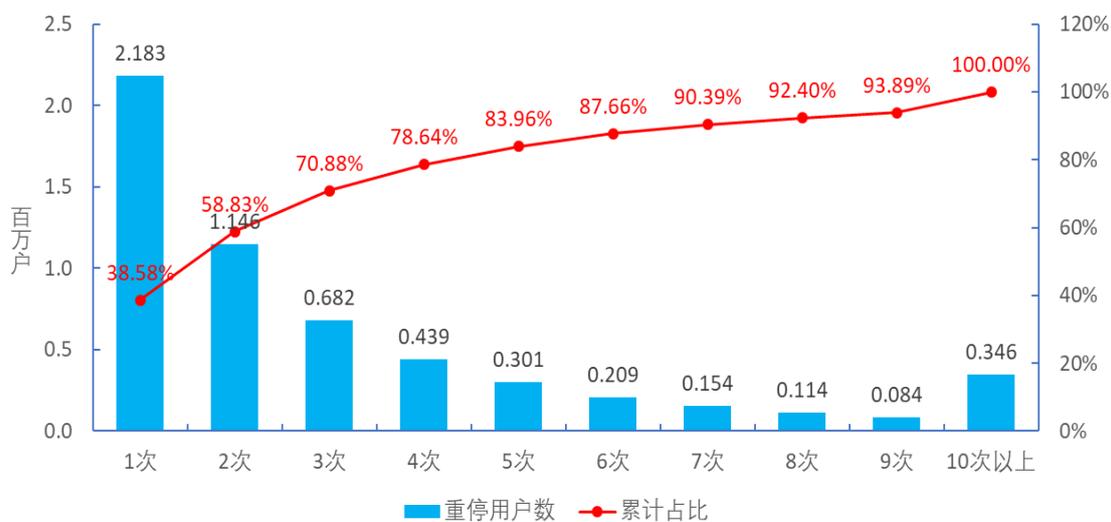


图 6-21 2018 年用户故障重复停电次数分布

（三）故障停电复电时间分析

2018 年，用户故障停电平均持续时间 3.36 小时 / 次，同比减少 0.33 小时 / 次。其中，城市用户故障停电平均持续时间 3.16 小时 / 次，同比减少 0.36 小时 / 次；农村用户故障停电平均持续时间 3.40 小时 / 次，同比减少 0.33 小时 / 次。其中，31.08% 的故障停电能够在 1 小时以内排除并恢复供电；55.39% 的故障停电能够在 2 小时以内排除并恢复供电；6.26% 的故障停电恢复时间超过了 10 个小时。

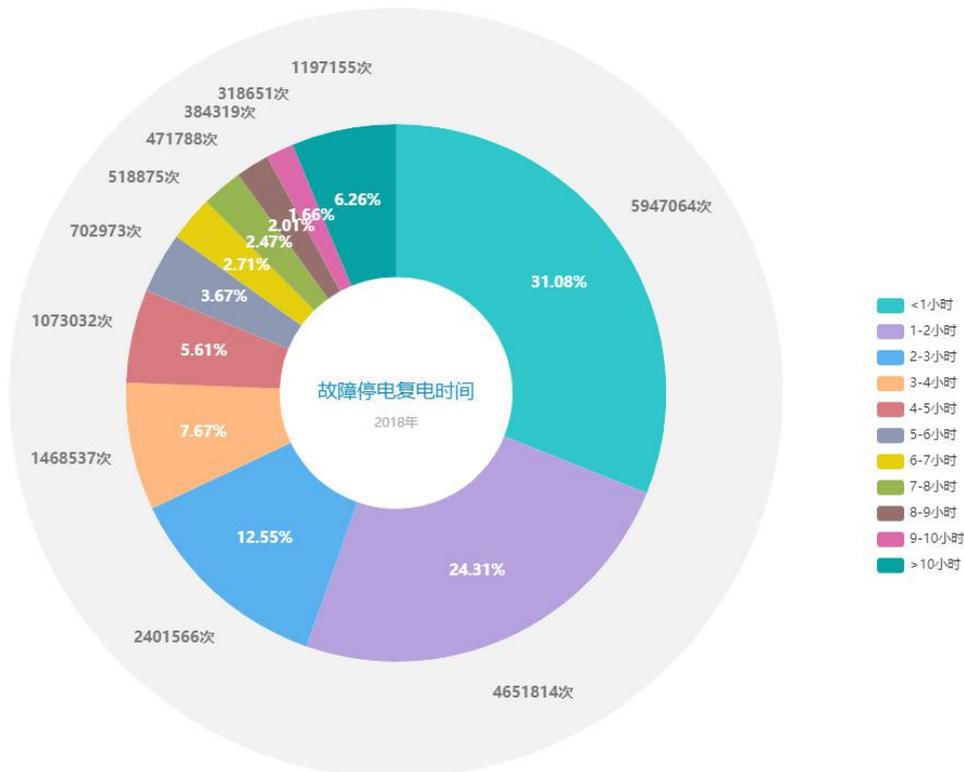


图 6-22 2018 年故障停电复电时间分析

（四）故障停电原因分析

2018 年，全国故障停电主要责任原因为：自然因素占 30.98%，引起用户故障平均停电时间 2.00 小时 / 户，同比增加 0.30 小时 / 户；外力因素占 25.59%，引起用户故障平均停电时间 1.65 小时 / 户，同比增加 0.47 小时 / 户，其中异物短路影响最多；设备原因占 16.19%，引起用户故障平均停电时间 1.05 小时 / 户，同比减少 0.14 小时 / 户，其中设备老化是主要原因。

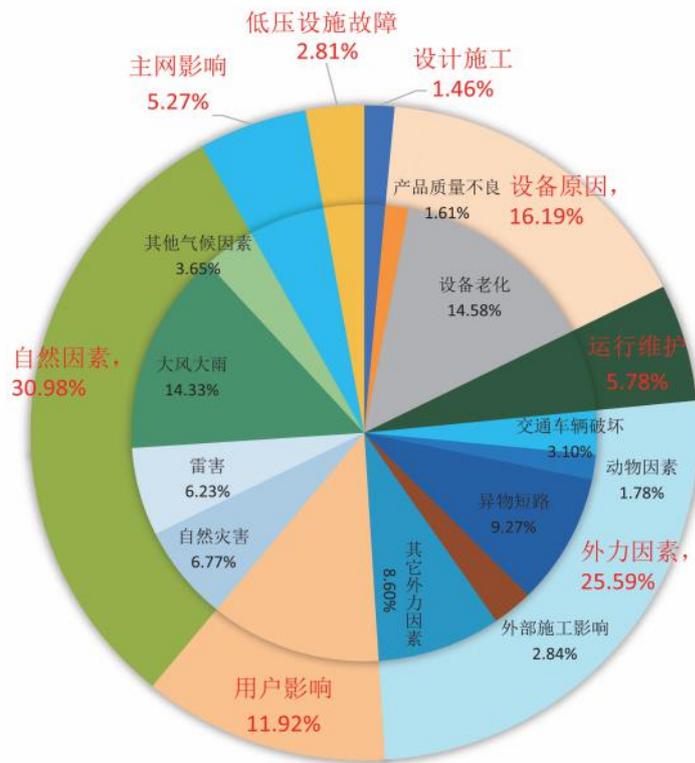


图 6-23 2018 年故障停电主要原因占比分布

(五) 故障停电设施分析

2018 年，10 千伏配网四类主要设施（架空线路、电缆线路、变压器、断路器）故障率都有所上升。架空线路故障率为 11.05 次 /100 千米·年，同比上升 7.97%；变压器故障率为 0.30 次 /100 台·年，同比上升 23.25%；断路器故障率为 0.56 次 /100 台·年，同比上升 6.99%。电缆的故障率上升趋势尤为明显，达 5.47 次 /100 千米·年，同比上升 2.10 次 /100 千米·年，上升幅度达到 62.17%。



图 6-24 2014-2018 年配网四类主要设施故障率变化

二、预安排停电分析

(一) 用户预安排平均停电指标分析

2018 年,我国用户预安排平均停电时间 9.29 小时/户,同比降低 12.39%;用户预安排平均停电频率 1.27 次/户,同比降低 16.63%。其中城市、农村用户预安排平均停电时间分别为 2.99 小时/户、11.58 小时/户,同比分别降低 11.95%、12.40%;城市、农村用户预安排平均停电频率分别为 0.47 次/户、1.56 次/户,同比分别降低 14.97%、16.67%。

六个区域中,华东、华北、南方区域的预安排平均停电时间低于全国平均值,华东区域预安排平均停电时间最短为 5.39 小时/户;华北、华东、南方区域预安排平均停电频率均低于全国平均值,华东区域预安排平均停电频率最少为 0.90 次/户;华东区域预安排平均停电用户数、平均停电持续时间均为最少,分别为 8.93 户/次、5.79 小时/户。

表 6-6 2018 年全国、各区域预安排停电指标

区域		全国	华北区域	东北区域	华东区域	华中区域	西北区域	南方区域
用户预安排平均停电时间 SAIDI-S (小时/户)	全口径	9.29	8.71	11.91	5.39	11.50	17.77	7.74
	城市	2.99	2.59	3.52	1.90	3.16	5.40	3.41
	农村	11.58	10.70	15.45	6.60	14.71	20.78	9.71
用户预安排平均停电频率 SAIFI-S (次/户)	全口径	1.27	1.15	1.47	0.90	1.57	2.30	0.99
	城市	0.47	0.41	0.51	0.34	0.54	0.84	0.43
	农村	1.56	1.39	1.88	1.09	1.97	2.66	1.24
预安排平均停电持续时间 MID-S (小时/户)	全口径	6.35	6.85	6.57	5.79	6.03	6.43	7.59
	城市	6.11	6.08	6.05	5.85	5.77	6.10	7.29
	农村	6.44	7.08	6.78	5.80	6.14	6.51	7.69
预安排平均停电用户数 MIC-S (户/次)	全口径	18.12	36.19	31.23	8.93	19.60	26.56	14.21
	城市	8.81	15.16	12.23	4.52	9.07	13.29	9.02
	农村	20.03	40.64	36.93	9.80	21.82	28.29	15.26

(二) 预安排重复停电分析

2018 年,全国有 40.94% 的用户未发生预安排停电。在发生预安排停电用户中,有近 49.69% 的用户预安排停电 1 次;26.15% 的用户预安排停电次数在 3 次及以上,对预安排停电总时户数的影响为 35.04%;0.96% 的用户预安排停电次数超过 10 次。

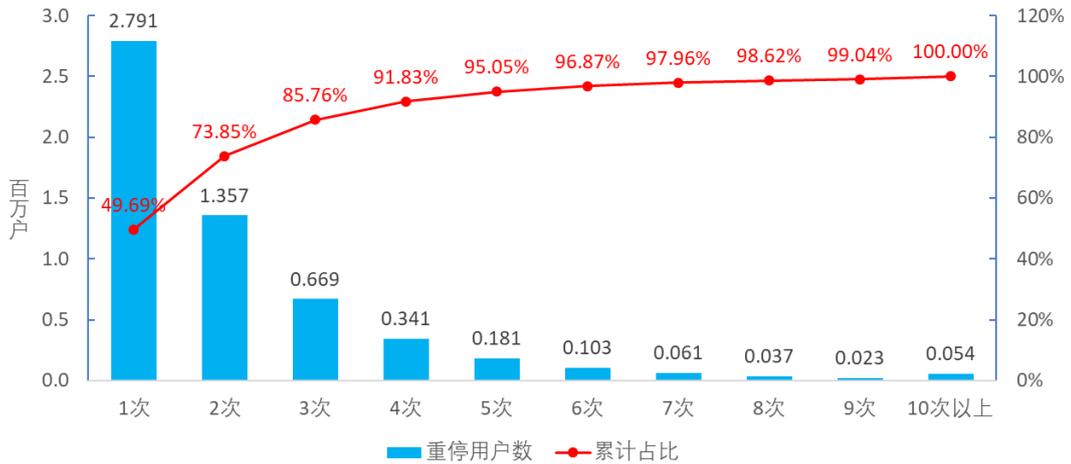


图 6-25 2018 年用户预安排停电次数分布

(三) 预安排停电复电时间分析

2018 年，预安排停电平均持续时间为 6.35 小时 / 次，同比增加 0.19 小时 / 次。其中，城市为 6.11 小时 / 次，同比增加 0.32 小时 / 次；农村为 6.44 小时 / 次，同比增加 0.17 小时 / 次。其中，9.03% 的预安排停电能够在 1 小时以内恢复供电；16.41% 的预安排停电能够在 2 小时以内恢复供电；30.35% 的预安排停电恢复时间超过 10 个小时。

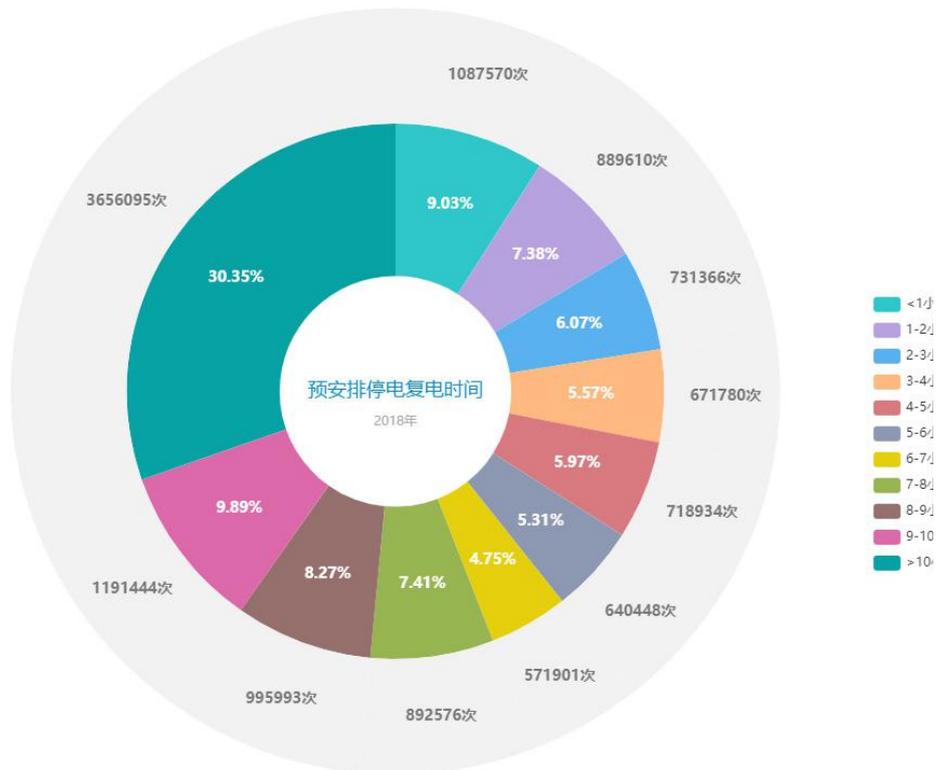


图 6-26 2018 年预安排停电复电时间分析

（四）预安排停电原因分析

2018 年，所有预安排停电事件中，检修停电是最大因素，占预安排停电的 53.94%，同比下降 2.52 个百分点，引起用户的平均停电时间为 5.01 小时 / 户，同比减少 0.98 小时 / 户；工程停电是第二因素，占预安排停电的 44.10%，同比增加 3.09 个百分点，引起用户的平均停电时间为 4.10 小时 / 户，同比减少 0.37 小时 / 户；用户申请、调电、限电及低压作业引起的停电占预安排停电的 1.95%，引起用户的平均停电时间为 10.92 分钟 / 户。

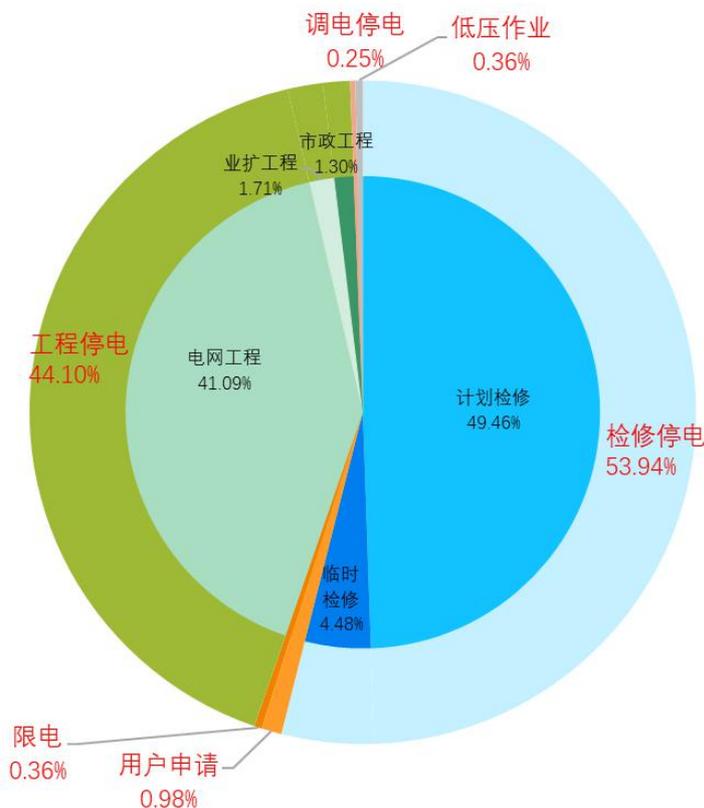


图 6-27 2018 年预安排停电主要责任原因分布

第七节 我国与国外供电可靠性对比分析

发达国家的配电网系统较为完善，日本和欧美国家尤为领先，供电可靠性已经达到很高水平。而我国供电可靠性水平处于第二梯队，与我国经济发展水平相对应，优于大多数亚洲、非洲、南美洲国家，落后于欧洲、北美等可靠性国际领先水平国家和地区。



图 6-28 我国与世界部分国家用户平均停电时间对比

附表1

2018年全国火电100MW及以上容量机组运行可靠性主要指标

机组分类	机组容量 (MW)	台数	台年数	平均容量 (MW/台)	利用小时 UTH	可用小时		不可用小时及次数				降低出力等效 停运小时	等效可用系数 EAF (%)	等效强迫停运 率 EFOR (%)		
						运行 SH	备用 RH	次数	小时	次数	小时				次数	小时
100-120MW	燃煤全部	11	11	102.73	4241.32	5464.67	3102.43	0.45	172.71	0.91	20.19	0.91	20.19	0	97.8	0.37
	燃煤国产	8	8	103.75	3935.88	5317.95	3272.36	0.38	144.01	0.5	25.68	0.5	25.68	0	98.06	0.48
	燃煤进口	3	3	100	5086.35	5870.59	2632.32	0.67	252.11	2	4.98	2	4.98	0	97.07	0.08
125MW	燃煤全部	15	14.42	125	4387.06	6786.58	1311.27	0.9	634.29	0.55	27.85	0.42	16.47	3.79	92.4	0.3
	燃煤国产	11	10.66	125	4316.28	6578.04	1450.74	0.84	693.53	0.75	37.69	0.56	22.29	5.13	91.59	0.42
	燃煤进口	4	3.76	125	4587.48	7377.1	916.35	1.06	466.56	0	0	0	0	0	94.67	0
130-138MW	燃煤全部	55	54.49	135.22	4066.81	5835.13	2193.95	1.17	642.59	0.83	88.33	0.77	84.6	0.32	91.65	1.43
	燃煤国产	55	54.49	135.22	4066.81	5835.13	2193.95	1.17	642.59	0.83	88.33	0.77	84.6	0.32	91.65	1.43
	燃煤全部	64	62.63	147.28	4356.15	6005.96	1995.11	1.21	621.58	0.69	137.34	0.51	89.24	6.6	91.26	1.57
140-150MW	燃煤国产	61	59.63	147.21	4332.53	5929.12	2096.49	1.14	590.07	0.72	144.32	0.54	93.78	6.94	91.54	1.67
	燃煤进口	3	3	148.64	4821.07	7518.23	0	2.67	1241.77	0	0	0	0	0	85.82	0
	燃煤全部	11	10.88	163.64	4349.5	6344.83	2013.21	0.55	367.59	0.46	34.37	0.46	34.37	0.24	95.41	0.54
160-185MW	燃煤国产	5	5	162	4976.83	6988.43	1642.15	0.4	106.55	0.6	22.87	0.6	22.87	0	98.52	0.33
	燃煤进口	6	5.88	165	3825.47	5807.2	2323.18	0.68	585.65	0.34	43.97	0.34	43.97	0.44	92.81	0.76

附表1-续表1

机组分类	机组容量 (MW)	台数	台车数	平均容量 (MW/台)	利用小时 UTH	可用小时		不可用小时及次数				降低出力 停运小时	等效可用系数 EAF (%)	等效强迫停运率 EFOR (%)		
						运行SH	备用RH	不可用小时及次数		非计划停运					强迫停运	
								次数	小时	次数	小时				次数	小时
100-199MW	燃煤全部	156	153.42	138.9	4252.04	6012.52	2066.28	1.07	584.89	0.72	96.31	0.62	73.23	3.31	92.19	1.26
	燃煤国产	140	137.78	138.8	4239.05	5956.46	2120.86	1.06	577.67	0.75	105.01	0.63	79.3	3.67	92.16	1.37
	燃煤进口	16	15.64	139.75	4365.59	6502.78	1588.95	1.15	648.09	0.51	20.19	0.51	20.19	0.19	92.37	0.31
200MW	燃煤全部	92	89.51	200	4252.3	6163.6	1887.27	0.84	591.88	0.79	117.25	0.67	64.93	0.14	91.9	1.04
	燃煤国产	91	88.51	200	4277.66	6204.99	1837.89	0.85	598.57	0.79	118.55	0.67	65.64	0.14	91.81	1.05
	燃煤进口	1	1	200	2007.69	2500.45	6257.25	0	0	1	2.3	1	2.3	0.27	99.97	0.1
205-250MW	燃煤全部	60	58.05	216.67	3797.19	5570.09	2472.41	1.02	645.42	0.79	72.08	0.48	38.52	3.01	91.77	0.73
	燃煤国产	53	52.01	215.38	3935.56	5799.64	2233.67	1.04	659.01	0.75	67.67	0.44	32.92	3.38	91.67	0.61
	燃煤进口	7	6.04	226.43	2676.26	3710.48	4406.42	0.83	535.32	1.16	107.78	0.83	83.91	0.05	92.66	2.21
200-299MW	燃煤全部	152	147.56	206.58	4064.46	5918.64	2128.78	0.91	613.98	0.79	98.61	0.6	54.03	1.33	91.85	0.92
	燃煤国产	144	140.52	205.66	4145.09	6047.92	1991.26	0.92	621.99	0.78	98.84	0.58	52.96	1.39	91.76	0.89
	燃煤进口	8	7.04	223.13	2591.76	3557.55	4640.34	0.71	467.66	1.14	94.45	0.85	73.59	0.08	93.58	2.03
300MW	燃煤全部	357	353.28	300	4393.99	6268.93	1728.62	0.89	541.56	0.83	220.88	0.68	146.49	4.21	91.25	2.34
	燃煤国产	351	347.28	300	4403.54	6264.64	1734.63	0.88	539.13	0.82	221.6	0.68	147.16	3.48	91.28	2.34
	燃煤进口	6	6	300	3841.14	6517.36	1381.02	1	682.12	1.5	179.5	0.67	107.53	46.74	89.63	2.23
310-328.5MW	燃煤全部	62	60.95	320.15	4296.87	6246.03	2053.76	0.69	437.14	0.41	23.07	0.3	11.03	2.07	94.72	0.21
	燃煤国产	56	54.95	319.86	4289.93	6209.6	2111.36	0.71	418.84	0.38	20.2	0.29	10.62	2.3	94.96	0.21
	燃煤进口	6	6	322.83	4359.83	6576.55	1531.16	0.5	603.14	0.67	49.14	0.33	14.79	0	92.55	0.22

附表1-续表2

机组分类	机组容量 (MW)	台数	台年数	平均容量 (MW/台)	利用小时 UTH	可用小时		不可用小时及次数				降低出力 等效力 停运小时	等效可用系数 EAF (%)	等效强迫停运率 EFOR (%)		
						运行SH	备用RH	不可用小时及次数		非计划停运					强迫停运	
								次数	小时	次数	小时				次数	小时
330-340MW	燃煤全部	248	246.44	330.4	4455.46	6453.19	1599.04	0.88	629.8	0.81	77.98	0.65	53.62	5.11	91.86	0.89
	燃煤国产	241	239.44	330.41	4477.73	6489.03	1566.66	0.88	627.48	0.79	76.84	0.63	51.77	4.73	91.91	0.85
	燃煤进口	7	7	330	3692.87	5225.59	2708.01	0.86	709.3	1.43	117.1	1.43	117.1	18.23	90.36	2.52
350-352MW	燃煤全部	159	158.21	350.03	4641.23	6937.65	1236.3	0.77	533.74	0.88	52.32	0.73	34.21	2.63	93.28	0.52
	燃煤国产	120	119.61	350	4711.6	7079.46	1154.05	0.77	468.68	0.99	57.81	0.81	35.62	3.41	93.95	0.54
	燃煤进口	39	38.6	350.1	4423.27	6498.36	1491.07	0.78	735.25	0.54	35.31	0.47	29.84	0.22	91.2	0.46
360-380MW	燃煤全部	10	9.94	362.9	3959.79	5886.83	2332.56	0.7	532.11	0.4	8.5	0.4	8.5	0	93.83	0.14
	燃煤国产	2	2	370	5810.53	7799.43	72.53	1	888.03	0	0	0	0	0	89.86	0
	燃煤进口	8	7.94	361.13	3481.99	5393.05	2916.03	0.63	440.22	0.5	10.7	0.5	10.7	0	94.85	0.2
300-399MW	燃煤全部	836	828.82	320.78	4451.29	6457.76	1618.46	0.85	559.16	0.8	124.62	0.65	82.86	3.94	92.15	1.32
	燃煤国产	770	763.28	318.94	4476.69	6478.34	1602.36	0.85	548.11	0.81	131.19	0.65	86.68	3.78	92.2	1.37
	燃煤进口	66	65.54	342.27	4175.54	6234.28	1793.16	0.76	679.2	0.73	53.36	0.58	41.31	5.76	91.57	0.74
500MW	燃煤全部	8	7.88	507.5	4847.68	6723.63	1325.5	1.4	585.52	0.89	125.35	0.51	119.29	5.3	91.82	1.74
	燃煤进口	8	7.88	507.5	4847.68	6723.63	1325.5	1.4	585.52	0.89	125.35	0.51	119.29	5.3	91.82	1.74
	燃煤全部	248	241.7	600	4509.88	6484.78	1581.75	0.74	576.9	0.82	116.57	0.61	40.65	5	92.03	0.67
600MW	燃煤国产	235	229.19	600	4490.95	6478.84	1623.47	0.73	550.07	0.8	107.62	0.6	40.2	5.28	92.43	0.66
	燃煤进口	13	12.52	600	4856.5	6593.56	817.78	0.88	1068.16	1.2	280.5	0.72	48.79	0	84.6	0.73

附表1-续表3

机组分类	机组容量 (MW)	台数	台车数	平均容量 (MW/台)	利用小时 UTH	可用小时		不可用小时及次数				降低出力 停运小时	等效可用系数 EAF (%)	等效强迫停运率 EFOR (%)		
						运行 SH	备用 RH	不可用小时及次数	非计划停运	强迫停运	次数				小时	次数
630-650MW	燃煤全部	78	77.44	635.13	4525.64	6570.93	1500.38	0.74	643.88	0.57	44.81	0.45	26.68	3.74	92.1	0.44
	燃煤国产	76	75.44	635.26	4534.91	6582.66	1492.95	0.73	638.4	0.58	45.99	0.46	27.38	3.84	92.14	0.45
	燃煤进口	2	2	630	4172.84	6124.63	1782.83	1	852.54	0	0	0	0	0	90.27	0
660-680MW	燃煤全部	177	176.87	661.22	4666.26	6796.31	1371.27	0.69	497.99	0.84	94.42	0.71	56.7	3.16	93.2	0.84
	燃煤国产	167	166.87	661.29	4678.58	6805.34	1384.66	0.67	486.23	0.84	83.78	0.73	56.94	3.14	93.46	0.84
	燃煤进口	10	10	660	4460.34	6645.43	1147.41	1.1	694.76	0.7	272.4	0.4	52.6	3.56	88.92	0.84
600-699MW	燃煤全部	503	496.01	626.99	4571.15	6615.49	1489.78	0.72	557.83	0.79	96.9	0.62	44.47	4.11	92.48	0.7
	燃煤国产	478	471.5	627.02	4568.07	6617.47	1513.23	0.71	540.57	0.78	88.74	0.62	44.37	4.25	92.77	0.7
	燃煤进口	25	24.52	626.4	4630.34	6577.39	1038.44	0.98	890.14	0.9	254.02	0.53	46.43	1.53	86.92	0.72
700MW	燃煤全部	8	8	700	5090.85	7021.89	526.02	1.5	1049.03	1.5	163.06	1.38	162.29	26.1	85.87	2.61
	燃煤国产	4	4	700	5318.46	7291.57	422.61	1.75	1020.65	0.5	25.18	0.25	23.63	0	88.06	0.32
	燃煤进口	4	4	700	4863.24	6752.21	629.42	1.25	1077.42	2.5	300.95	2.5	300.95	52.19	83.67	4.97
800MW	燃煤全部	2	1.75	880	4381.54	7156.82	146.72	2.85	1143.82	2.28	312.65	1.14	17.05	16.97	83.18	0.39
	燃煤进口	2	1.75	880	4381.54	7156.82	146.72	2.85	1143.82	2.28	312.65	1.14	17.05	16.97	83.18	0.39
	燃煤全部	2	2	900	4527.98	6384.32	1423.9	0.5	946.72	0.5	5.07	0.5	5.07	0	89.13	0.08
900MW	燃煤全部	2	2	900	4527.98	6384.32	1423.9	0.5	946.72	0.5	5.07	0.5	5.07	0	89.13	0.08
	燃煤进口	2	2	900	4527.98	6384.32	1423.9	0.5	946.72	0.5	5.07	0.5	5.07	0	89.13	0.08
	燃煤全部	99	98.73	1009.11	5096.55	7048.55	1070.15	0.78	588.97	0.6	52.33	0.51	33.13	7.2	92.6	0.52
1000MW	燃煤国产	99	98.73	1009.11	5096.55	7048.55	1070.15	0.78	588.97	0.6	52.33	0.51	33.13	7.2	92.6	0.52

附表1-续表4

机组分类	机组容量 (MW)	台数	台年数	平均容量 (MW/台)	利用小时 UTH	可用小时		不可用小时及次数				降低出力 等效力 停运小时	等效可用系数 EAF (%)	等效强迫停运率 EFOR (%)		
						运行 SH	备用 RH	不可用小时及次数	非计划停运	强迫停运	次数				小时	次数
500-1000MW	燃煤全部	622	614.38	688.9	4703.29	6724.69	1371.66	0.76	575.69	0.77	87.96	0.61	43.8	5.17	92.37	0.69
	燃煤国产	581	574.23	692.63	4705.57	6730.06	1394.71	0.73	556.05	0.75	79.18	0.6	41.41	4.95	92.69	0.65
	燃煤进口	41	40.15	636.1	4667.73	6640.92	1011.88	1.15	882.23	1.1	224.97	0.75	81.09	8.51	87.26	1.31
100-1000MW	燃煤全部	1766	1744.18	424.54	4573.68	6575.36	1511.26	0.84	571.6	0.78	101.79	0.63	59.07	4.52	92.26	0.93
	燃煤国产	1635	1615.81	426.33	4588.35	6591.18	1513.14	0.83	556.61	0.78	99.08	0.63	58.93	4.35	92.47	0.93
	燃煤进口	131	128.37	402.22	4377.96	6364.36	1486.17	0.93	771.59	0.84	137.89	0.64	61.04	6.71	89.54	1.04
燃气轮机组		180	179.84	292.51	2713.39	4248.21	3853.03	1.06	644.67	0.45	14.08	0.42	11.61	0.54	92.47	0.28

附表 2

2018年全国水电40MW及以上容量机组运行可靠性主要指标

机组分类	机组容量 (MW)	台数	台年数	利用小时 UTH	可用小时		不可用小时及次数						降低出力 等效 停运小 时	等效可 用系数 EAF (%)	等效强迫 停运率 EFOR (%)
					运行 SH	备用 RH	计划停运		非计划停运		强迫停运				
					小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时		
抽水蓄能 机组	全部	103	103	2585.83	2806.2	4816.87	7.82	1113.8	1.06	23.13	0.84	7.28	0	87.02	0.26
	40-99MW	7	7	1806.63	1783.97	3549.04	6.14	3418.2	1	8.79	0.86	4.45	0	60.88	0.25
	100-199MW	6	6	2506.47	2375.62	5596.24	8.5	788.1	0.17	0.05	0.17	0.05	0	91	0.00
	200-299MW	27	27	2298.06	2413.73	5217.85	7.3	1121.16	0.56	7.26	0.52	4.81	0	87.12	0.20
300MW及以上	63	63	2705.33	2983.22	4676.46	8.16	1070.42	1.37	29.9	1.05	8.51	0	87.44	0.28	
水电轴流 机组	全部	158	156.07	4344.52	5520.6	2589.49	1.65	644.99	0.15	4.92	0.09	4.24	0	92.58	0.08
	40-99MW	74	73.75	3844.71	4822.25	3218.29	1.99	703.09	0.26	16.38	0.15	13.94	0	91.79	0.29
	100-199MW	75	73.31	4872.07	6140.48	2031.66	1.16	587.19	0.05	0.68	0.03	0.62	0	93.29	0.01
	200-299MW	9	9	2635.35	3769.06	4164.88	2.89	824.61	0.11	1.46	0.11	1.46	0	90.57	0.04
水电混流 机组	全部	754	749.92	3986.98	5138.42	3022.9	1.32	587.75	0.11	10.96	0.06	4.66	6.31	93.09	0.09
	40-99MW	316	313.62	3488.24	4724.56	3527.74	1.22	505.47	0.06	2.24	0.05	1.31	58.06	93.54	0.03
	100-199MW	135	135	3332.65	4317.58	3754.12	1.38	661.36	0.07	26.94	0.04	26.63	0	92.14	0.61
	200-299MW	84	83.85	3359.92	4232.82	3901.01	1.35	623.85	0.11	2.57	0.02	0.6	0	92.85	0.01
300MW及以上	219	217.45	4272.05	5481.74	2683.24	1.4	583.71	0.19	11.31	0.11	2.51	0	93.21	0.05	
全部机组		1015	1008.98	3839.66	4877.54	3213.32	2.03	657.13	0.21	12.02	0.14	4.95	5.07	92.3	0.10

附表 3

2018年全国220kV及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器、断路器、电抗器等13类
输变电设施运行可靠性主要指标

设施类型	电压等级 (kV)	设施总数/ 线路全长 *1	统计百台 (段、公里) 年数	强迫 停运率 *2	可用系数 (%)	连续 可用小时 (小时/次)	非计划 停运次数 (次)	非计划 停运时间 *3	计停次数 (次)	计停时间 *3
架空线路	综合	7902.517	7800.837	0.062	99.328	27466	585	2.439	5725	50.524
架空线路	220	4671.522	4623.658	0.060	99.765	29681	353	0.327	4472	15.627
架空线路	330	299.257	298.960	0.033	98.718	37743	12	0.032	136	111.395
架空线路	400	8.458	11.283	0	100	9470	0	0	0	0
架空线路	500	2221.793	2168.907	0.083	99.135	18813	204	7.81	1006	64.872
架空线路	660	26.667	26.667	0	96.809	8480	0	0	2	279.518
架空线路	750	189.197	193.355	0.026	98.260	21669	6	0.139	49	151.118
架空线路	800	386.866	382.248	0.013	97.221	6331	5	1.292	27	195.167
架空线路	1000	98.758	95.757	0.052	95.632	10960	5	0.466	33	382.182
变压器	综合	17845	175.723	0.188	99.741	34315	75	0.116	4398	21.663
变压器	220	11670	115.299	0.147	99.785	31884	43	0.104	3118	17.811
变压器	330	475	4.668	0	99.745	41199	0	0	99	22.296
变压器	500	5232	51.189	0.313	99.685	42857	32	0.165	1011	26.368
变压器	750	300	2.913	0	99.401	32521	0	0	78	52.497
变压器	800	7	0.070	0	100	61200	0	0	0	0

附表3-续表1

设施类型	电压等级 (kV)	设施总数/ 线路全长 *1	统计百台 (段、公里) 年数	强迫 停运率 *2	可用系数 (%)	连续 可用小时 (小时/次)	非计划 停运次数 (次)	非计划 停运时间 *3	计停次数 (次)	计停时间 *3
变压器	1000	161	1.585	0	98.945	14928	0	0	92	92.408
电抗器	综合	3099	30.288	0	99.720	65181	13	0.382	391	23.947
电抗器	220	208	1.964	0	99.930	52109	3	0.128	30	6.032
电抗器	330	136	1.396	0	100	1222984	0	0	0	0
电抗器	500	2143	21.018	0	99.841	89670	6	0.423	199	13.264
电抗器	750	431	4.177	0	99.135	34219	1	0.037	105	75.424
电抗器	1000	181	1.733	0	99.197	25097	3	1.304	57	69.046
断路器	综合	46624	462.077	0.121	99.908	62195	104	0.047	6398	7.516
断路器	220	37172	368.778	0.098	99.917	61943	63	0.037	5148	6.562
断路器	330	1886	18.640	0	99.899	85404	5	0.008	186	8.701
断路器	500	7172	70.844	0.282	99.885	61803	35	0.110	968	9.918
断路器	750	380	3.695	0	99.419	33871	1	0.071	94	50.810
断路器	1000	14	0.121	0	99.955	52850	0	0	2	3.976
电流互感器	综合	130096	1290.925	0.006	99.972	195494	41	0.009	5740	2.321
电流互感器	220	109814	1090.437	0.007	99.973	190271	33	0.009	4986	2.153
电流互感器	330	3513	34.284	0	99.936	111163	5	0.054	265	5.527
电流互感器	500	16708	165.594	0	99.968	294743	3	0	489	2.775
电流互感器	750	60	0.600	0	100	525600	0	0	0	0
电流互感器	1000	1	0.010	0	100	8760	0	0	0	0
电压互感器	综合	82174	808.801	0.019	99.948	175550	28	0.010	4004	4.468

附表3-续表2

设施类型	电压等级 (kV)	设施总数/ 线路全长 *1	统计百台 (段、公里) 年数	强迫 停运率 *2	可用系数 (%)	连续 可用小时 (小时/次)	非计划 停运次数 (次)	非计划 停运时间 *3	计停次数 (次)	计停时间 *3
电压互感器	220	56917	562.300	0.012	99.986	247118	16	0.014	1977	1.119
电压互感器	330	4821	46.953	0	99.868	115060	0	0	357	11.478
电压互感器	500	18917	185.004	0.032	99.882	119287	10	0.003	1347	10.177
电压互感器	750	1077	10.311	0.194	99.658	50008	2	0.001	178	29.665
电压互感器	1000	442	4.233	0	99.306	25397	0	0	145	60.783
隔离开关	综合	162546	1611.759	0.005	99.977	289723	54	0.007	4816	1.883
隔离开关	220	139337	1382.878	0.005	99.984	322474	26	0.006	3730	1.266
隔离开关	330	4356	43.039	0.023	99.912	189292	15	0.041	184	7.561
隔离开关	500	17866	176.189	0	99.958	201670	10	0.010	755	3.625
隔离开关	750	970	9.482	0	99.616	56288	3	0.015	144	33.588
隔离开关	1000	17	0.170	0	99.855	49568	0	0	3	12.706
避雷器	综合	130922	1287.99	0.009	99.962	221575	27	0.003	5060	3.232
避雷器	220	103995	1025.519	0	99.98	287785	9	0.002	3112	1.623
避雷器	330	4553	44.525	0.022	99.904	123312	1	0.028	315	8.311
避雷器	500	20289	197.992	0.056	99.922	136784	17	0.005	1250	6.668
避雷器	660	1	0.010	0	100	8760	0	0	0	0
避雷器	750	1565	14.946	0	99.761	61322	0	0	213	20.794
避雷器	1000	519	4.998	0	98.863	25461	0	0	170	99.561
耦合电容器	综合	10011	101.017	0	99.982	593278	0	0	148	1.421
耦合电容器	220	9507	95.937	0	99.985	646373	0	0	130	1.145

附表3-续表3

设施类型	电压等级 (kV)	设施总数/ 线路全长 *1	统计百台 (段、公里) 年数	强迫 停运率 *2	可用系数 (%)	连续 可用小时 (小时/次)	非计划 停运次数 (次)	非计划 停运时间 *3	计停次数 (次)	计停时间 *3
耦合电容器	330	124	1.279	0	99.933	186681	0	0	6	5.866
耦合电容器	500	380	3.800	0	99.921	277182	0	0	12	6.889
阻波器	综合	17055	172.629	0.006	99.977	446363	8	0.007	329	1.793
阻波器	220	13811	140.008	0.007	99.988	685097	4	0.008	175	0.891
阻波器	330	717	7.246	0	99.881	137822	0	0	46	9.388
阻波器	500	2523	25.335	0	99.947	198049	4	0.005	108	4.609
阻波器	750	4	0.040	0	100	35040	0	0	0	0
电缆线路	综合	63.121	61.223	0.082	99.612	136028	6	1.296	72	4.672
电缆线路	220	57.063	55.210	0.072	99.619	140128	5	0.175	68	5.112
电缆线路	330	4.885	4.885	0	99.810	131400	0	0	0	0
电缆线路	500	1.146	1.101	0.909	98.365	105977	1	63.283	4	3.477
电缆线路	750	0.028	0.028	0	100	17520	0	0	0	0
组合电器	综合	5728	52.905	0.024	99.978	8331	48	0.011	5512	1.913
组合电器	220	3766	34.146	0.023	99.983	9405	29	0.005	3151	1.462
组合电器	330	101	0.956	0.294	99.936	3563	6	0.032	229	5.180
组合电器	500	1782	17.030	0.006	99.978	9133	4	0.004	1629	1.889
组合电器	750	27	0.256	0.114	99.972	3997	4	0.135	52	2.286
组合电器	1000	52	0.518	0.102	99.694	991	5	0.540	451	26.229
母线	综合	12527	124.050	0.266	99.940	128985	37	1.003	803	4.009
母线	220	10539	104.603	0.287	99.951	147246	33	1.186	589	2.983

附表3-续表4

设施类型	电压等级 (kV)	设施总数/ 线路全长 *1	统计百台 (段、公里) 年数	强迫 停运率 *2	可用系数 (%)	连续 可用小时 (小时/次)	非计划 停运次数 (次)	非计划 停运时间 *3	计停次数 (次)	计停时间 *3
母线	330	320	3.150	0	99.950	212136	0	0	13	4.242
母线	500	1581	15.490	0.129	99.882	70961	3	0.023	188	10.049
母线	750	67	0.655	1.526	99.796	57300	1	0.034	9	17.800
母线	800	1	0.010	0	100	8760	0	0	0	0
母线	1000	19	0.142	0	98.333	30596	0	0	4	32.583

注：*1 架空线路、电缆线路单位为：百公里；其它设备单位为：台（段）。

*2 架空线路、电缆线路单位为：次/百公里年；其它设备单位为：次/百台（段）年。

*3 架空线路、电缆线路单位为：小时/百公里年；其它设备单位为：小时/百台（段）年。

附表 4

2018年全国点对点直流输电系统运行可靠性主要指标

系统名称	额定电压 (kV)	额定输送 容量 (MW)	投运时间		能量 可用率 (%)	能量 利用率 (%)	强迫能量 不可用率 (%)	计划能量 不可用率 (%)	强迫停运 次数	总输送电量 (MWh)
葛南	±500	1164	极 I	1989-9-1	98.653	61.56325025	1.338	0.009	2	6277383
			极 II	1990-8-1						
天广	±500	1800	极 I	2000-12-26	94.169	44.32527017	0.007	5.824	1	6989209
			极 II	2001-6-26						
龙政	±500	3000	极 I	2003-6-1	95.400	30.38495434	0.091	4.510	3	7985166
			极 II	2003-6-1						
江城	±500	3000	极 I	2004-6-1	92.785	64.71913242	0.000	7.215	0	17008188
			极 II	2004-6-1						
高肇	±500	3000	极 I	2004-9-24	96.843	47.57307078	0.000	3.157	0	12502203
			极 II	2004-5-31						
宜华	±500	3000	极 I	2006-12-1	94.542	40.18325342	0.773	4.685	1	10560159
			极 II	2006-12-1						
兴安	±500	3000	极 I	2007-12-3	96.092	56.31298663	0.084	3.824	2	14799053
			极 II	2007-6-21						
德宝	±500	3000	极 I	2010-4-21	95.500	67.62335236	0.000	4.500	0	17771417
			极 II	2010-4-21						
伊穆	±500	3000	极 I	2010-9-30	97.359	58.00975266	0.011	2.629	1	15244963
			极 II	2010-9-30						
银东	±660	4000	极 I	2011-3-25	95.738	87.59874429	0.104	4.158	1	30694600
			极 II	2011-3-25						
林枫	±500	3000	极 I	2011-5-2	99.441	45.85041857	0.060	0.499	1	12049490
			极 II	2011-5-2						
柴拉	±400	600	极 I	2012-6-10	89.762	32.36548706	0.834	9.404	3	1701130
			极 II	2012-6-10						

附表4-续表

系统名称	额定电压 (kV)	额定输送 容量 (MW)	投运时间		能量 可用率 (%)	能量 利用率 (%)	强迫能量 不可用率 (%)	计划能量 不可用率 (%)	强迫停运 次数	总输送电量 (MWh)
牛从甲	±500	3200	极 I	2014-4-11	98.858	56.74329302	0.005	1.142	1	15906280
			极 II	2013-10-12						
牛从乙	±500	3200	极 I	2014-6-29	98.355	58.02773759	0.005	1.640	1	16266335
			极 II	2014-6-29						
金中	±500	3200	极 I	2016-6-18	96.519	46.80991545	0.298	3.184	1	13121755
			极 II	2016-6-18						
楚穗	±800	5000	极 I	2010-6-18	95.408	58.085	0.147	4.44	2	25441017
			极 II	2009-12-28						
复奉	±800	6400	极 I	2010-7-26	90.437	54.749	0.036	9.53	2	30694600
			极 II	2010-7-26						
锦苏	±800	7200	极 I	2012-7-19	90.236	61.403	0.000	9.76	0	38727806
			极 II	2012-12-6						
天中	±800	8000	极 I	2014-1-25	67.716	46.349	14.683	17.60	2	32481058
			极 II	2014-1-25						
宾金	±800	8000	极 I	2014-7-3	87.564	45.125	0.074	12.36	2	31623289
			极 II	2014-7-3						
普侨	±800	5000	极 I	2015-5-30	95.936	57.642	0.000	4.07	0	25247141
			极 II	2014-1-29						
灵绍	±800	8000	极 I	2016-8-24	96.125	53.90198916	0.092	3.783	1	37774514
			极 II	2016-8-24						
祁韶	±800	8000	极 I	2017-6-23	86.626	25.29383562	0	13.374	0	17725920
			极 II	2017-6-23						
雁淮	±800	10000	极 I	2017-6-30	95.331	20.67615753	0.027	4.643	1	18112314
			极 II	2017-6-30						
鲁固	±800	10000	极 I	2018-1-1	84.147	17.14556849	0.695	15.159	3	15019518
			极 II	2018-1-1						
锡泰	±800	10000	极 I	2018-1-1	100.000	6.409817352	0	0	0	5615000
			极 II	2018-1-1						

附表 5

2018年全国背靠背直流输电系统运行可靠性主要指标

系统名称	换流站/单元	额定输送容量(MW)	投运时间	能量可用率(%)	能量利用率(%)	强迫能量不可用率(%)	计划能量不可用率(%)	强迫停运次数	总输送电量(MWh)
灵宝背靠背	换流站	1100	2005-7-1	96.923	91.127	0.000	3.077	0	8860797
	单元 I 120kV	360	2005-7-1	96.060	90.094	0.000	3.940	0	2867916
	单元 II 167kV	750	2009-12-15	97.340	91.216	0.000	2.660	0	5992881
	换流站	3000	2008-11-1	96.671	77.183	0.000	3.329	0	20283790
高岭背靠背	单元 I ± 125kV	750	2008-11-1	97.365	75.338	0.000	2.635	0	4949685
	单元 II ± 125kV	750	2008-11-1	96.727	75.790	0.000	3.273	0	4979407
	单元 III ± 125kV	750	2012-11-13	96.432	78.357	0.000	3.568	0	5148033
	单元 IV ± 125kV	750	2012-11-13	96.160	79.249	0.000	3.840	0	5206666
黑河背靠背	换流站	750	2012-1-07	94.492	39.435	0.018	5.490	1	2590853
	单元 I 125kV	750	2012-1-07	94.492	39.435	0.018	5.490	1	2590853
鲁西背靠背	换流站	3000	2016/6/30	95.931	42.387	0.102	3.967	0	11139866
	单元 I ± 125kV	1000	2016/6/30	95.018	34.850	0.000	4.982	0	6105645
	单元 II ± 125kV	1000	2016/8/29	96.760		0.009	3.231	0	
	单元 III ± 125kV	1000	2017/6/30	96.016	57.463	0.296	3.688	0	5033721

附表6

2018年全国各区域供电可靠性主要指标

区域	统计口径	供电可靠率 (%)	系统平均 停电频率 (次/户*年)	系统平均 停电时间 (小时/户*年)	系统平均故障 停电时间 (小时/户*年)	系统平均预安排 停电时间 (小时/户*年)	等效总户数	用户总容量 (kVA)
华北区域	全口径	99.828	3.03	15.10	6.39	8.71	2278048	701209248
	城市	99.956	0.99	3.90	1.31	2.59	559721	354336320
	农村	99.786	3.69	18.75	8.05	10.70	1718327	346872928
东北区域	全口径	99.794	3.42	18.07	6.16	11.91	708143	166167463
	城市	99.944	1.00	4.87	1.35	3.52	210205	99371122
	农村	99.730	4.44	23.65	8.20	15.45	497939	66796341
华东区域	全口径	99.888	2.50	9.83	4.43	5.39	2281488	998943865
	城市	99.960	0.94	3.48	1.58	1.90	586073	400450770
	农村	99.863	3.04	12.02	5.42	6.60	1695415	598493095
华中区域	全口径	99.811	2.92	16.52	5.02	11.50	1967389	593568821
	城市	99.950	0.94	4.39	1.23	3.16	546962	321744564
	农村	99.758	3.69	21.19	6.47	14.71	1420427	271824257
西北区域	全口径	99.710	4.93	25.40	7.63	17.77	743299	166818567
	城市	99.907	1.95	8.14	2.75	5.40	145516	81324655
	农村	99.662	5.65	29.59	8.81	20.78	597783	85493912

附表6-续表

区域	统计口径	供电可靠率 (%)	系统平均 停电频率 (次/户*年)	系统平均 停电时间 (小时/户*年)	系统平均故障 停电时间 (小时/户*年)	系统平均预安排 停电时间 (小时/户*年)	等效总户数	用户总容量 (kVA)
南方区域	全口径	99.786	4.39	18.71	10.97	7.74	1527190	762184121
	城市	99.927	1.35	6.37	2.96	3.41	477425	382815293
	农村	99.722	5.77	24.31	14.61	9.71	1049765	379368828
全国	全口径	99.820	3.28	15.75	6.46	9.29	9510068	3390257124
	城市	99.946	1.11	4.77	1.78	2.99	2529918	1641323295
	农村	99.775	4.07	19.73	8.16	11.58	6980149	1748933829

2018 年全国各区域故障停电原因分类

区域 Area	影响指标 Influenced indices	自然因素		设备原因		外力因素		运行维护		用户影响		主网影响		设计施工		低压设施故障	
		*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
华北区域	AIHC	1.3487	10.09	1.0715	8.02	1.9366	14.49	0.1357	1.02	1.8954	14.19	0.0007	0.01	0.0966	0.72	0.6130	4.59
	AITC	0.0106	11.21	0.0112	11.79	0.0187	19.75	0.0014	1.47	0.0302	31.91	0.0000	0.01	0.0009	0.94	0.0089	9.37
东北区域	AIHC	2.6426	12.90	1.1973	5.85	1.5369	7.50	0.0347	0.17	1.8026	8.80	0.0002	0.00	0.0379	0.19	0.3974	1.94
	AITC	0.0212	13.22	0.0194	12.09	0.0200	12.46	0.0003	0.17	0.0852	53.13	0.0000	0.02	0.0002	0.11	0.0234	14.56
华东区域	AIHC	1.4094	14.34	0.8817	8.97	1.2431	12.65	0.1326	1.35	0.7478	7.61	0.0026	0.03	0.0255	0.26	0.2018	2.05
	AITC	0.0278	10.27	0.0359	13.27	0.0422	15.56	0.0057	2.11	0.0633	23.36	0.0001	0.03	0.0008	0.28	0.0326	12.04
华中区域	AIHC	1.3408	8.12	1.0496	6.36	1.2930	7.83	0.2153	1.30	0.7954	4.82	0.0005	0.00	0.1604	0.97	0.4708	2.85
	AITC	0.0165	10.60	0.0171	10.99	0.0164	10.54	0.0025	1.63	0.0158	10.14	0.0000	0.01	0.0008	0.51	0.0172	11.04
西北区域	AIHC	2.2381	8.85	0.6978	2.76	1.7294	6.84	0.6704	2.65	4.3444	17.18	0.0007	0.00	0.1119	0.44	0.3514	1.39
	AITC	0.0261	11.59	0.0140	6.20	0.0210	9.31	0.0128	5.68	0.1011	44.84	0.0001	0.02	0.0005	0.20	0.0237	10.49
南方区域	AIHC	3.3323	21.69	0.8930	5.81	1.9172	12.48	0.7534	4.90	1.9352	12.60	0.0025	0.02	0.1260	0.82	0.1628	1.06
	AITC	0.0272	17.76	0.0104	6.77	0.0203	13.25	0.0092	6.04	0.0221	14.48	0.0000	0.01	0.0012	0.76	0.0039	2.56
全国	AIHC	1.9589	12.44	1.0235	6.50	1.6178	10.27	0.3655	2.32	1.5078	9.57	0.0015	0.01	0.0921	0.58	0.3554	2.26
	AITC	0.0209	11.79	0.0193	10.90	0.0245	13.81	0.0053	3.00	0.0430	24.29	0.0000	0.02	0.0008	0.45	0.0175	9.89

* 指标的影响值 (AIHC: 小时 / 户, AITC: 次 / 户, ** 受影响占全部停电总值的百分数 (%).

附表8

2018年全国各区域预先安排停电原因分类

区域	影响指标	检修停电		电网建设施工		业扩工程 施工停电		市政工程建设 施工停电		调电		限电		用户申请停电		低压作业影响	
		*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
华北区域	AIHC	5.0080	37.48	0.0382	0.29	0.2240	1.68	0.1512	1.13	0.0149	0.11	0.0673	0.50	0.0319	0.24	0.0916	0.69
	AITC	0.0196	20.64	0.0001	0.14	0.0013	1.40	0.0011	1.15	0.0007	0.78	0.0005	0.49	0.0005	0.52	0.0014	1.52
东北区域	AIHC	8.7639	42.79	0.0754	0.37	0.4360	2.13	0.1576	0.77	0.0210	0.10	0.0230	0.11	0.0927	0.45	0.0266	0.13
	AITC	0.0280	17.44	0.0003	0.17	0.0019	1.18	0.0006	0.36	0.0002	0.11	0.0001	0.06	0.0027	1.67	0.0015	0.93
华东区域	AIHC	1.5944	16.23	0.0064	0.07	0.1976	2.01	0.2258	2.30	0.0169	0.17	0.0038	0.04	0.0333	0.34	0.0620	0.63
	AITC	0.0323	11.93	0.0001	0.04	0.0047	1.73	0.0018	0.67	0.0028	1.05	0.0001	0.05	0.0020	0.72	0.0084	3.10
华中区域	AIHC	5.7512	34.82	0.2262	1.37	0.3972	2.40	0.2702	1.64	0.0442	0.27	0.0301	0.18	0.1552	0.94	0.1070	0.65
	AITC	0.0422	27.12	0.0010	0.65	0.0030	1.95	0.0015	0.94	0.0033	2.11	0.0004	0.23	0.0027	1.73	0.0061	3.92
西北区域	AIHC	9.5010	37.57	0.0926	0.37	0.2384	0.94	0.2136	0.84	0.0420	0.17	0.0614	0.24	0.1869	0.74	0.0502	0.20
	AITC	0.0483	21.44	0.0003	0.12	0.0017	0.75	0.0015	0.68	0.0022	0.99	0.0008	0.34	0.0054	2.38	0.0057	2.53
南方区域	AIHC	3.8276	24.91	0.2128	1.38	0.3348	2.18	0.3388	2.21	0.0075	0.05	0.0058	0.04	0.0896	0.58	0.0204	0.13
	AITC	0.0432	28.25	0.0010	0.65	0.0048	3.15	0.0026	1.67	0.0001	0.09	0.0000	0.03	0.0016	1.07	0.0012	0.77
全国	AIHC	5.0134	31.83	0.1190	0.76	0.3176	2.02	0.2418	1.54	0.0236	0.15	0.0337	0.21	0.0911	0.58	0.0672	0.43
	AITC	0.0346	19.51	0.0005	0.29	0.0033	1.89	0.0016	0.90	0.0017	0.97	0.0003	0.18	0.0021	1.17	0.0044	2.49

* 指标的影响值 (AIHC: 小时 / 户, AITC: 次 / 户), ** 受影响占全部停电总值的百分数 (%)。