

石景山热电厂 4 号发电机增容改造

郭永红

(北京京能热电股份有限公司)

摘要: 结合石热 4 号发电机组设备特点, 对国产 200MW 汽轮发电机增容改造进行技术总结, 望同类改造能借鉴。

关键词: 发电机; 增容; 改造

2007 年 4 月石热 4 号发电机、封闭母线进行了相关增容改造, 结合常规增容改造项目及石热 4 号机组设备具体特点, 就发电机增容改造技术部分总结分析如下:

1 发电机改造前设备情况、改造目的及改造前试验情况:

1.1 改造前设备参数结构简介:

型号: QFSN-200-2	额定功率: 235MVA/200MW	额定电压: 15750V
额定电流: 8625A	功率因数: 0.85	额定转速: 3000r/min
额定频率: 50Hz	额定氢压: 0.3Mpa (表压)	定子相数: 三相
定子接法: 2-Y	绝缘等级: B 级	励磁方式: 三机励磁
励磁电压 (计算值): 453V	励磁电流 (计算值): 1749A	效率: 98.6%
冷却方式: 水氢氢	制造厂: 东方电机厂	

该发电机为三相两极同步发电机, 采用封闭式自循环通风系统, 冷却方式为水氢氢: 定子绕组及引出线采用水内冷; 转子绕组采用氢内冷, 转子槽内部分采用气隙取气铣孔斜流氢内冷, 转子绕组端部采用纵横两路铣槽氢内冷; 定子铁芯和其它结构采用氢表面冷却。集电环采用空气冷却。

1.2 改造目的:

经与原设备制造厂 (东方电机厂) 进行技术论证及借鉴相关厂的同类改造经验, 为提高社会效益与经济效益, 在原设备基础上进行适宜改造, 能使最终发电能力提高, 设备可靠性提高, 以适宜的投入获得最大的经济回报。

为确保整机增容目的的实现, 发电机增容改造应达到如下目的:

- 增加 10% 发电机容量。
- 消除设备缺陷, 有效延长发电机使用寿命, 提高安全可靠性。
- 满足机网协调、电网要求。
- 提高经济效益、节能降耗。

针对石景山热电厂所处特殊电网位置, 改造应结合如下特点完成:

- 石热电厂处在北京电网负荷中心, 要起到电压支撑作用, 要具有无功储备, 改造后功率因数仍应是 0.85。
- 调峰机组, 适应调峰和机网协调的要求。

- c. 低谷时进相运行。
- d. 地处北京供电供热要求安全可靠高。

综上所述，提高发电机容量首先要提高发电机的散热能力，解决电流增加后各部位的温升问题，除常规的增容改造方案外，本次改造在哈电老专家的建议下，计划对提氢压能带来的直接温升裕度进行探索，故在增容改造前进行了相关试验。

1.3 改造前试验情况：

1.3.1 温升试验：

2006 年 5 月 30 日，根据发电机及励磁机各部分在发电机有功负荷 100MW、140MW、160MW、200MW 下的温度分布特性，确定温升裕度及改造范围，各部位温升裕度不大的有：发电机集电环温升 68.17K（限值 80K），主励转子绕组平均温升 68.75K（限值 80K）。

2007 年 3 月 19 日机组停机改造前又进行整体温升试验，发电机集电环与主励转子绕组平均温升仍偏高。

1.3.2 降氢压试验：

2007 年 3 月 21 日又进行降氢压温升试验，目的为推测提氢压运行对发电机各部位温升的影响。降氢压前后温升比较见下表 1：

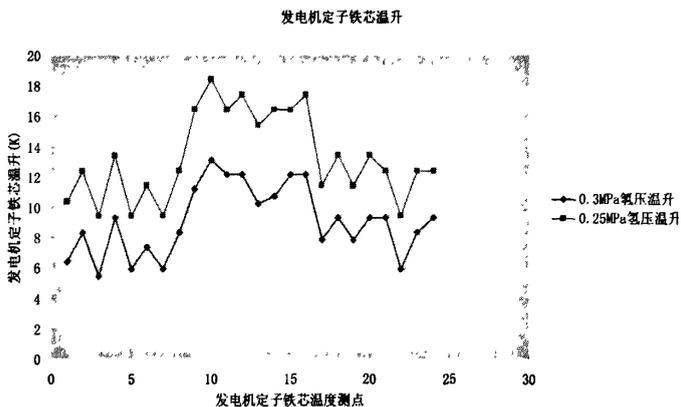
表 1 降氢压各部位温升比较表

序号	有功功率 (kW)	氢气压力 (Mpa)	定子电流 (kA)	转子电流 (A)	定子线圈最高温升 (K)	定子铁芯最高温升 (K)	转子平均温升 (K)
1	188.575	0.3	7.3405	1421	7.3534	10.685	11.2481
2	182.615	0.249	7.1617	1410.05	11.375	16.375	14.395
差值	5.96	0.051	0.1788	10.95	4.0216	5.69	3.1469

由上表可见氢压降 0.05Mpa，换算同一电流后定子铁芯最高温升提高 5.69K，转子平均温升提高 3.15K，可见提氢压对降低增容后定子铁芯温升与转子温升提高都有利。

对于氢气为主要冷却介质的定子铁芯在氢压变化前后的温升比较如下图 1：

图 1 氢压变化前后发电机定子铁芯温升变化比较



1.3.3 停机后 0.35Mpa 风压试验:

停机后为了解发电机在充压 0.35Mpa 下, 发电机主轴瓦、大端盖下沉变化状况, 在风压压力 0.1Mpa、0.15 Mpa、0.2 Mpa、0.25 Mpa、0.3 Mpa、0.325 Mpa、0.35 Mpa 时分别对汽、励侧大盖进行了位置变化情况测试。0.35Mpa 时汽侧大盖下沉 0.88mm、励侧大盖下沉 1.08mm; 0.3Mpa 时汽侧大盖下沉 0.74mm、励侧大盖下沉 0.90mm, 可见变形量不大。

2 改造范围与内容简介:

结合改造前试验情况及国内同类机组增容改造经验, 对 4 号发电机进行了特殊设计, 完成了如下项目的增容改造(由于 4 号机组已运行约 10 年, 考虑设备整体状况, 确定本次不实施提高氢压运行改造, 仅进行相关试验留存技术资料):

2.1 发电机定子部分:

2.1.1 为减少气隙中冷、热风区混风, 提高气体冷却效果, 降低转子温度不均匀系数, 在定子铁芯内圆每个冷热风区之间加装径向风区隔板, 汽、励侧加装整圈气隙隔板。为确保发电机检修抽穿转子, 对风区隔板进行了特殊设计, 选用耐油耐高温绝缘性能高弹性好的特殊材料做适形设计, 经改造后穿转子施工检验满足现场要求。

2.1.2 因加装定子径向气隙隔板, 定子槽楔全部更换。为适应加装风区隔板尺寸要求, 全部膛内直线部分槽楔进行了重新设计计算, 确保每风区槽楔安装稳固。

2.2 发电机转子部分:

2.2.1 为适应机组调峰运行的要求, 将转子护环下扇形绝缘瓦更换为带滑移层的扇形绝缘瓦。

2.2.2 为降低线速度将发电机集电环由原 $\Phi 550$ 更换为新型集电环 ($\Phi 400$), 同时将碳刷架更换为 DQG320 安全型盒式刷架(一握三刷), 解决电流增大的发热问题。

2.2.3 发电机转子返厂改造完毕进行了相关动平衡试验、金相检验、通风、绝缘、气密等相关试验项目检验改造效果。

2.3 氢气冷却器部分:

为了提高发电机散热效果, 将 4 组氢气冷却器更换为 KJL14*105-3180 型翅片式冷却器, 原冷却器换热效率为 500kW, 新型冷却器对散热元件进行了重新设计, 换热效率提高到 550kW。

2.4 其它部分:

4 号发电机定子绕组出水测温元件由原来的 Cu50 更换为三线制 PT100 型铂电阻元件, 提高了测量精度, 改善了原测温元件相差大无法正确分析判断发电机状况的现象。安装前进行了元件筛查, 全部选用 A 级元件。由于原测温接线板端子冗余不能满足更换三线制 PT100 型铂电阻元件要求及彻底解决原接线板漏氢问题, 改造六个接线板为 AGS 型接线端子板, 同时更换了就地端子箱。

3 改造后设备参数与带 210MW、200MW 负荷温升情况:

3.1 改造后设备参数:

型号: QFSN-220-2	额定功率: 258.8MVA/220MW	额定电压: 15750V
额定电流: 9487A	功率因数: 0.85	额定转速: 3000r/min
额定频率: 50Hz	额定氢压: 0.3Mpa (表压)	定子相数: 三相
定子接法: 2-Y	绝缘等级: B 级	励磁方式: 静态励磁
励磁电压 (计算值): 488V	励磁电流 (计算值): 1887A	效率: 98.6%

3.2 改造后带负荷温升试验情况:

通过对 4 号发电机增容改造后带 220MW、200MW、180MW 负荷温升试验数据的分析, 确定改造后各部位温升情况。同时与改造前(2007 年 3 月 19 日)同等负荷时温升试验数据进行比较:

3.2.1 发电机各部位在 200MW 负荷时温升改造前后比较见下表 2:

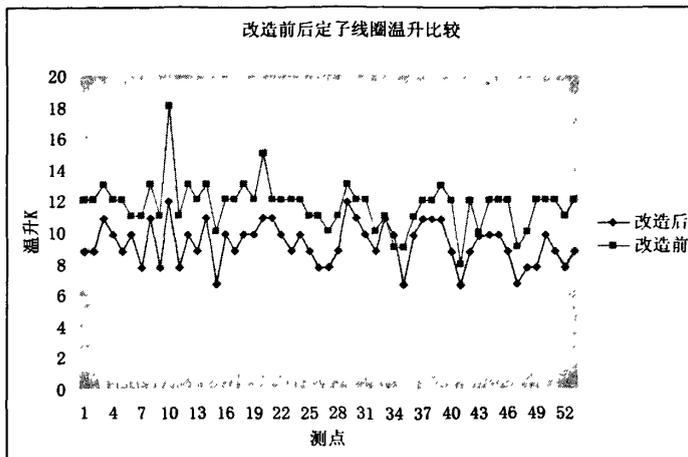
比较项目		2007 年 3 月 19 日温升试验	2007 年 7 月 3 日温升试验
转子	发电机转子电压 V	314	317.97
	发电机转子电流 A	1531.2	1592.46
	平均冷风温℃	38	38.28
	转子计算平均温度℃	56.52	49.88
	发电机转子温升 K	18.52	11.6
定子线圈	发电机定子电流 A	8008.9	7780.23
	定子冷却水入口温度℃	42	40
	发电机定子线圈温度℃	60	49
	发电机定子线圈温升 K	18	9
定子铁芯	发电机定子铁芯温度℃	59	55
	发电机定子铁芯温升 K	21	16.72
集电环	发电机转子集电环温度℃	73.5	75
	环境温度℃	30.5	33
	发电机转子集电环温升 K	43	42

根据上述数据比较, 可见发电机转子、定子线圈、铁芯、集电环各部位最高温度的温升在近似负荷电流情况下都比增容改造前有所降低, 初步分析, 更换冷却器、加装风取隔环、更换集电环后改造效果良好。具体分项比较如下:

3.2.1.1 发电机定子线圈温升:

定子线圈槽部测温元件放置在定子铁芯第 100 段处槽部上、下线棒之间, 引出 54 个定子线圈温度测点, 其中 24 号定子线圈温度测点为历史坏点, 该测点埋设在线棒下无法进行更换, 故本次比较仅对 1#~23#、25#~54 号定子线圈温度进行, 增容改造后线圈温升比改造前整体降低, 具体数据比较图见下图 1:

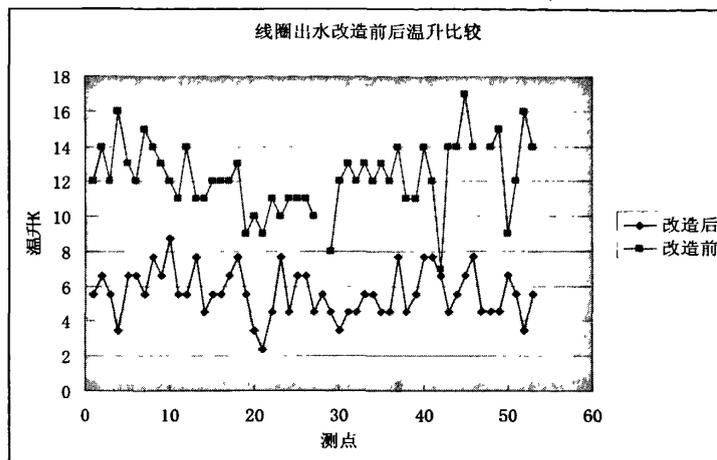
图 1 发电机定子线圈温升比较



3.2.1.2 发电机定子线圈出水温升:

定子线圈槽出水测温元件装在汽端绝缘引水管与汇流管之间的测温接头上, 原为 54 个端面铜热电阻 WZCM-004-A (0℃, 50Ω) (29#、48#定子线圈槽出水测温元件为历史坏点), 改造更换 PT100 型铂电阻元件后整体温差比原来大幅度降低, 减小了测量误差。具体数据比较图见下图 2:

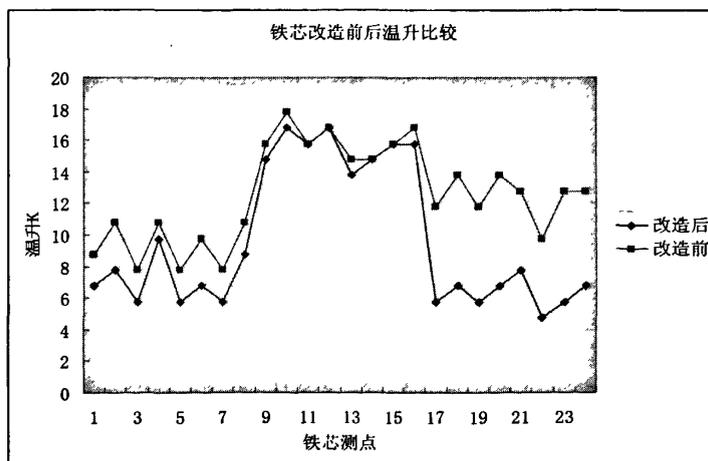
图 2 发电机定子线圈出水温升比较



3.2.1.3 发电机定子铁芯温升:

定子铁芯测温元件安装于第 6、50、97 段铁芯的相关齿、轭部, 共 24 个平面铜热电阻, 主要测试汽、励侧及中部铁芯温度。改造后汽、励侧端部铁芯温升明显降低, 轭部铁芯由于处于中部热风区改造后温升降低趋势不显著, 如采用提高氢压运行方式, 可显著提高该部位的温升降低程度, 具体数据比较图见下图 3:

图 3 发电机定子铁芯温升比较



3.2.2 发电机扩容改造后带 220MW、200MW、180MW 负荷温升试验数据的分析

根据试验数据可以绘出 4 号发电机定子绕组和铁芯温升试验曲线 (横座标为定子电流的平方) 和转子绕组平均温升试验曲线 (横座标为转子电流的平方)。由于发电机发热与电流的平方成正比, 所以温升曲线基本均为直线。由于 4# 发电机为机组单元出线, 带 220MW 温升试验时受 220kV 系统

电压限制定子电流最大仅到 7780.23A，为真实反映机组增容后额定工况 ($\cos\phi$ 为 0.85 时) 发电机各部位温升情况，将发电机定子线圈温升和定子铁芯温升的直线分别延长到额定电流 9487A 的平方，可以得到此时定子线圈的最高温升为 18.24K (限制值 50K)，铁芯最高温升为 23.78K (限值 80K)，可见裕度较大。同样，将转子绕组平均温升的直线延长到转子额定电流 1887A 的平方，可得到此时转子绕组平均温升为 36.91K (限值 70K)，均在规范范围以内。详见图 4、图 5。

图 4 定子线圈、铁芯温升额定工况推算

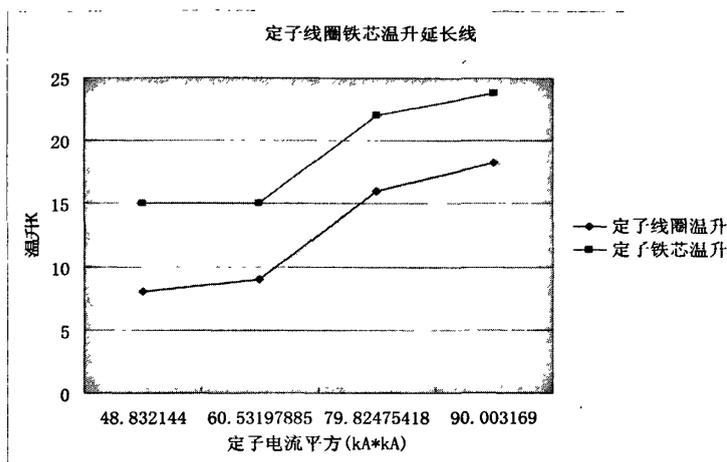
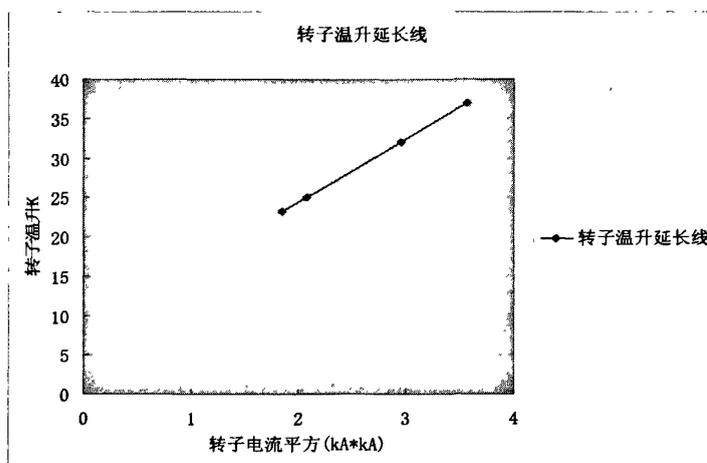


图 5 转子温升额定工况推算



4 小结:

改造后相同工况发电机各部位温升都比改造前有不同程度降低，220MW 工况发电机各部位温升均满足 GB/T 7064-2002《透平型同步电机技术要求》标准的相关要求，并有足够裕度，改造较成功。按照每年 6、7、8、9 月为大负荷期，每日 8:00 至 12:00、15:00 至 22:00 为高峰负荷点，4 号发电机有功出力达 220MW (平均售电价 0.339 元/度) 计算，增容改造后每年增加售电量收入为

910 万元。改造后机组出力增加,运行的灵活性得到了提高,提高了机组适应能力,对电网日益增大的峰谷差也有较大的社会效益。

改造过程中结合 4#发电机具体特点进行了针对性特殊设计,并未仅仅局限于常规增容改造的典型项目,改造实施前进行了相关提氢压与温升变化试验,在国内同类改造中首次尝试,从理论与试验数据上都较为明显地说明了提高氢压对发电机定子铁芯、转子、定子线圈等温升降低的贡献,尤其可弥补常规改造对定子铁芯中段温升影响不大的缺憾,建议在同类改造整机设备条件允许的情况下积极进行尝试。

参考文献:

- [1] 《火力发电厂技术改造指南》——中国电机工程学会
- [2] 《中国电机工程学报》——中国电机工程学会
- [3] 《QFSN-200-2 汽轮发电机的增容改造》——大电机技术