

# 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, 北京 100041)

**摘要:** 结合石景山热电厂4号发电机组设备特点, 进行了增容技术改造; 对发电机进行了特殊设计。

**关键词:** 发电机; 增容; 改造

**中图分类号:** TM311 **文献标识码:** A

## 0 引言

石景山热电厂4号发电机为东方电机厂制造: 型号为QFSN-200-2; 额定功率为235 MV·A/200 MW; 额定电压为15 750 V; 额定电流为8 625 A; 功率因数为0.85; 额定转速为3 000 r/min; 额定频率为50 Hz; 额定氢压为0.3 MPa(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; 三机励磁电压(计算值)为453 V; 励磁电流(计算值)为1 749 A; 效率为98.6%; 冷却方式, 水-氢-氢。

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: 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, 定子铁心和其他结构采用氢表面冷却, 集电环采用空气冷却。

2007年4月, 石景山热电厂对4号发电机、封闭母线进行了相关增容改造。

## 1 改造目的

为确保整机增容目的的实现, 发电机增容改造应达到: (1) 增加10%发电机容量。(2) 消除设备缺陷, 有效延长发电机使用寿命, 提高安全性。(3) 满足电网协调、电网要求。(4) 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

结合以下特点完成: (1) 石景山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, 改造后功率因数仍是0.85。(2) 适应调峰和电网协调的要求。(3) 低谷时进相运行。(4) 因有对北京供电供热任务, 所以要求安全可靠性高。

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。

## 2 改造前试验

### 2.1 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100 MW, 140 MW, 160 MW, 200 MW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68.17 K(限值80 K), 主励转子绕组平均温升68.75 K(限值80 K)。

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。

### 2.2 停机后0.35 MPa风压试验

停机后, 为了解发电机在充压0.35 MPa下发电机主轴瓦、大端盖下沉变化状况, 在风压压力分别为0.1 MPa, 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。0.35 MPa时汽侧大盖

收稿日期: 2008-05-10。

作者简介: 郭永红, 北京京能热电股份有限公司高级工程师。

下沉 0.88 mm、励侧大盖下沉 1.08 mm；0.3 MPa 时汽侧大盖下沉 0.74 mm、励侧大盖下沉 0.90 mm，可见变形量不大。

3 改造过程

3.1 发电机定子部分

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，在定子铁心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，穿转子施工经检验满足现场要求。

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。

3.2 发电机转子部分

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。

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。

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，以检验改造效果。

3.3 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 $\times$ 105-3180 型翅片式冷却器。原冷

却器换热效率为 500 kW，新型冷却器对散热元件进行了重新设计，换热效率提高到 550 kW。

3.4 其他部分

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，解决了原测温元件相差大无法正确分析判断发电机状况的问题。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，同时，为彻底解决原接线板漏氢问题，改造 6 个接线板为 AGS 型接线端子板，同时更换了就地端子箱。

4 改造后试验结果

4.1 改造后设备参数

改造后设备参数如下。

额定功率为 258.8 MV·A/220 MW；额定电压为 15 750 V；额定电流为 9 487 A；功率因数为 0.85；额定转速为 3 000 r/min；额定频率为 50 Hz；额定氢压为 0.3 MPa（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）为 488 V；励磁电流（计算值）为 1 887 A；效率为 98.6%。

4.2 改造后带负荷温升试验

通过对 4 号发电机增容改造后带 220 MW，200 MW，180 MW 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，发电机各部位在 200 MW 负荷时温升改造前后比较见表 1。

表 1 发电机各部位在 200 MW 负荷时温升改造前后比较

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	314.00	317.97
	发电机转子电流/A	1 531.20	1 592.46
	平均冷风温/℃	38.00	38.28
	转子计算平均温度/℃	56.52	49.88
	发电机转子温升/K	18.52	11.60
定子线圈	发电机定子电流/A	8 008.90	7 780.23
	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
定子铁心	发电机定子铁芯温度/℃	59	55
	发电机定子铁芯温升/K	21.00	16.72
集电环	发电机转子集电环温度/℃	73.5	75.0
	环境温度/℃	30.5	33.0

根据上述数据比较,可见发电机转子、定子线圈、铁心、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。

#### 4.2.1 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心第100段处槽部上下线棒之间,共引出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号、3号、25号、4号定子线圈。增容改造后,线圈温升比改造前整体降低,具体数据比较见图1。

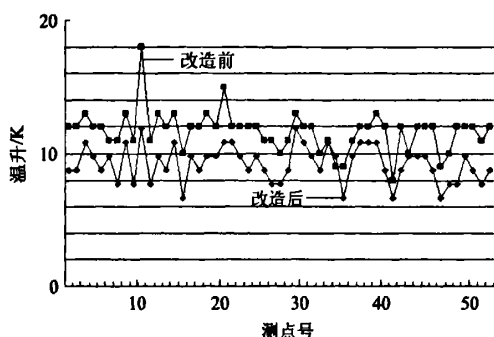


图1 发电机定子线圈温升比较

#### 4.2.2 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号、48号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。具体数据比较见图2。

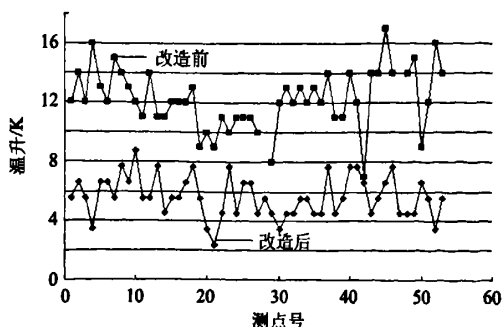


图2 发电机定子线圈出水温升比较

#### 4.2.3 发电机定子铁心温升

定子铁心测温元件安装于第6, 50, 97段铁

心的相关齿、轭部,共24个平面铜热电阻,主要测试汽、励侧及中部铁心温度。改造后汽、励侧端部铁心温升明显降低,轭部铁心由于处于中部热风区改造后温升降低趋势不显著。具体数据见图3。

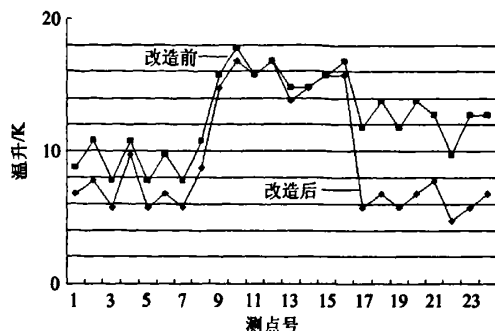


图3 发电机定子铁心温升比较

#### 4.3 试验数据分析

根据试验数据可以绘出4号发电机定子绕组和铁心温升试验曲线(横坐标为定子电流的平方)和转子绕组平均温升试验曲线(横坐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号发电机为机组单元出线,带220 MW温升试验时受220 kV系统电压限制,定子电流最大仅到7780.23 A,为真实反映机组增容后额定工况( $\cos\phi$ 为0.85时)以及发电机各部位温升情况,将发电机定子线圈温升和定子铁心温升的直线分别延长到额定电流9487 A的平方,可以得到此时定子线圈的最高温升为18.24 K(限制值50 K),铁心最高温升为23.78 K(限值80 K),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1887 A的平方,可得到此时转子绕组平均温升为36.91 K(限值70 K),均在规定的范围内。具体结果见图4、图5。

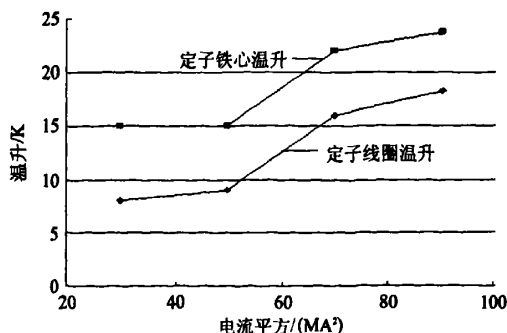


图4 定子线圈、铁心温升额定工况试验曲线

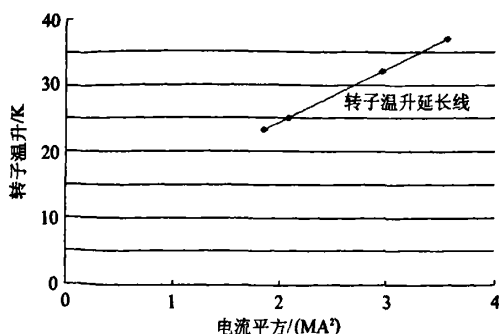


图 5 转子温升额定工况试验曲线

## 5 结 论

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, 220 MW 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 220 MW (平均售电价 0.339 元/kW·h) 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 号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。改造实施前进行了相关提氢压与温升变化试验, 在国内同类改造中属首次尝试, 使得从试验数据上可较为明显地说明提高氢压对发电机定子铁心、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心中段温升影响不大的不足。

(责任编辑: 马坤英)

## Capacity Expanding Rebuilding for No.4 Generator in Shijingshan Thermoelectric Plant

Guo Yonghong

(Beijing Jingneng Thermoelectric Investment Co., Ltd, Beijing 100041, China)

**Abstract:** Combining with the characteristics of the equipment of no. 4 generator units in Shijingshan thermoelectric plant, the rebuilding of capacity expanding is processed, and special design is introduced to generator.

**Key words:** generator; capacity expansion; rebuilding

## 地区电力市场分析及营销方案分析软件系统

研究内容:

(1) 此课题是国电公司发电部资助立项的科技项目。

(2) 系统基于经济学理论中的生产、需求函数, 市场学中的目标市场、细分市场理论, 数理统计理论, 以及计算机信息技术; 可对各类市场进行预测分析, 可对各类营销方案进行成本、效益、与风险分析, 可为电力营销策划人员提供辅助决策支持。

(3) 将普通市场营销理论和方法应用于电力营销中, 实现了对电力营销战略的策划和具体营销方案制定的定量化和信息化。

(4) 适用于各省电力公司营销部、各地市供电公司营销部, 以及县级电力公司营销部门。几个省试点使用经验证明, 该技术已达到成熟程度。

市场预测: 需要建立本地区用电信息管理数据库。

主要完成人: 曾鸣 完成单位: 工商学院