

首钢京唐 2 250 mm 热连轧机电气新技术

宋道锋 吕冬梅

(北京首钢国际工程技术有限公司电气自动化设计室, 100043, 北京)

【摘要】 首钢京唐 2 250 mm 热连轧机在供配电和电气传动中采用了多项新技术，并进行了技术创新：主变压器采用三绕组有载调压变压器；轧线主传动全部采用双 PWM 控制 AFE（有功前端）结构的全数字大功率交直交变频装置；从加热炉入炉辊道到地下绕组取机运输链，所有辊道电动机和辅传动电动机全部采用 660 V 电压等级的电动机；粗轧电动机的安装采用液压提升装置，节省了主电动机室的桥式起重机。技术创新有：主辅传动及公用系统均未安装滤波装置和电容补偿装置，主电动机采用节能风机冷却。投产几年中，节能效果显著，钢耗电量一直保持在 100 kWh/t 以下。

关键词 供电 电气传动 节电 冶金机械

首钢京唐钢铁联合有限责任公司是国家“十一五”规划的重点建设项目，是由国家正式批准的一个大型、全新、临海建设的精品冷热带板材生产基地。其中，2 250 mm 热连轧生产线采用了国内外多项新技术，关键的机械设备由德国 SMSD 公司设计并制造；电气自动化硬件设备，L1、L2 级的工艺控制模型及传动设备由日本 TMEIC 公司制造并技术负责；供配电、介质系统和全厂的工厂设计由北京首钢国际工程技术有限公司技术总负责。

在已投产的首钢迁钢 2 160 mm 热连轧和首秦 4 300 mm 宽厚板轧机成功经验的基础上，2 250 mm 热连轧供配电和电气传动设计又进一步优化。现就供配电和传动方面采用的新技术和技术创新作一介绍。

1 新技术的应用

1.1 主变压器采用三绕组有载调压变压器

目前，在国内已投产的热连轧机主变压器多采用双绕组变压器，一般为 110 kV/35 kV。35 kV 给主传动整流变压器供电，然后再由 35 kV/10 kV 为辅传动和介质系统供电。这种方案的缺点：一是投资大，比三绕组变压器的方案多 6 台 35 kV/10 kV 20 MVA 的电力变压器，多 6 台 35 kV 高压开关柜；二是损耗大，35 kV/10 kV 6 台单台变压器 35 kV 侧是重复容量，损耗增加，年运行费增加；三是要增加 6 座 35 kV/10 kV 变压器室，占地加大，建筑面积加大。

经过调查研究，在 2 250 mm 热连轧设计中直接采用了 3 台 90 MVA、110 kV/35 kV/10 kV 的三绕组变压器。采用该型式的变压器，虽然节省了近千万元的投资，但在技术上要解决以下两个方面的难题。

(1) 三绕组变压器绕组之间 (110 kV/35 kV、110 kV/10 kV、35 kV/10 kV) 的阻抗须合理匹配。阻抗比即轧机工作时绕组间的相互干扰要降到最小，制造成本又要降低。通过多方案比较和计算机仿真计算，确定变压器的短路阻抗 110 kV/35 kV 侧 (对应 90 MVA), $U_d = 8\%$; 110 kV/10 kV 侧 (对应 50 MVA), $U_d = 10.5\%$; 35 kV/10 kV 侧 (对应 50 MVA), $U_d = 6\%$ 。

(2) 在主变压器一、二次侧之间增加电气隔离层 (铁心接地)，使变压器一、二次侧绕组中间的分布电容减小，有效防止操作过电压对传动装置功率元件的损伤。

1.2 轧线主传动全部采用双 PWM 控制 AFE (有功前端) 结构的全数字大功率交直交变频装置

2 250 mm 热连轧主传动主要包括 SSP (定宽压力机)、E1 (立辊)、R1 (二辊粗轧机)、E2 (立辊)、R2 (四辊粗轧机)、CS (切头剪)、F1 ~ F7 (精轧机)、DC (绕组取机) 的电动机和主传动。其中，SSP、R1、R2、CS、F1 ~ F7 采用了 TMEIC 公司生产的 TMD - 70 双 PWM 控制的交直交变频器，工作电压 3 300 V，电气元件为 IGBT；

主传动的 E1、E2、DC 采用了 TMEIC 公司在日本市场推出不久的 TMD - 50，输出电压 3 300 V，双 PWM 控制，其功率器件采用大功率高电压的 IGBT 绝缘栅双极晶体管。

对于双 PWM 控制 AFE 结构的交直交变频器而言，其电动与发电状态可以实现平滑转换，具有本征四象限能力，100% 能量再生能力且无换相失败，还可以实现功率因数的调节和进行无功补偿等。

双 PWM 控制 AFE 结构的交直交变频器最突出的优点是：低能耗、低电磁干扰和低谐波干扰；轧钢时不发生无功冲击，不需要任何补偿设备；符合能源和环保的要求。

2 250 mm 热连轧全线共采用 30 套大功率全数字交直交变频设备，采用双 PWM 控制 AFE 结构的变频器，在技术装备上达到了国际先进水平。

1.3 从加热炉入炉辊道到地下绕组取机运输链，所有辊道电动机和辅传动电动机全部采用 660 V 电压等级的电动机

从加热炉入炉辊道到地下绕组取机运输链，全线共有 1 125 台电动机。其中，加热炉区 244 台，装机容量 7 266 kW；主轧线辊道电动机和辅传动电动机 881 台，装机容量 29 000 kW，全部采用变频调速，并且电动机的端电压采用了 660 V 电压等级。

660 V 与 380 V 电压等级电动机的费用比较如表 1 所示。

表 1 采用 660 V 与 380 V 电压等级电动机的费用比较

项目	380 V 电动机	660 V 电动机
电缆主材费用	100%	54%
低压断路器费用	100%	70%
变频器及变频器柜的费用 (以 TMEIC 产品为例)	100%	110%
电动机	100%	108%
年运行费	100%	59%

2 250 mm 热连轧工程电动机电缆的费用占整个电气投资的比例很高，虽然变频器和电动机的费用略有增加，但与电缆节省的投资相抵后，还节省投资 500 万元左右。

660 V 电动机性价比高，整条轧线采用 660 V 电动机在国内尚属首次（该项技术在 2009 年获“中国企业新纪录（第十四批）证书”，也是一次尝试。实践证明，在连续生产的大型自动化生产线上，变频装置采用公共直流母线方式，逆变器采用 690 V 电压等级，电动机采用 660 V 电压等级是一

个既节约投资又节能的优化方案。

1.4 粗轧电动机的安装采用液压提升装置，节省了主电动机室的桥式起重机

粗轧 4 台主电动机安装采用了引进的液压提升装置（43 A 型），该装置的性能：提升高度 3 337 mm 时，提升质量 272 t；提升高度 4 442 mm 时，提升质量 253 t；提升高度 5 572 mm 时，提升质量 180 t。

本工程 R1、R2 电动机共 4 台，外形尺寸、质量完全相同：电动机转子质量 96.7 t，定子质量 70 t；门型架顶梁质量 5 t/个，2 个共 10 t；导链及钢丝绳质量约 2.4 t。

安装电动机时，最高提升高度 4 442 mm 允许提升质量 253 t。现总质量为 179.1 t，完全满足电动机吊装要求。

继首秦 4 300 mm 宽厚板 2 × 8 000 kW 主电动机采用液压提升装置，这次是第二次采用。本次选用的提升装置是从国外引进的，性能更好，安装一台主电动机仅需 6~8 h，更加快捷。

采用液压提升装置的优点有：省去 120 t 的双梁桥式起重机一部，粗轧电气室省去桥式起重机梁，节省大量投资；由于不考虑吊车的行走，主电室可以设两层紧凑布置，节省了占地，节约了土建费用；安装 R1、R2 主电动机时间缩短为原来的 1/10，更加方便，更加快捷。

2 技术创新

2.1 主辅传动及公用系统均未安装滤波装置和电容补偿装置

2 250 mm 热连轧工程主辅传动的绝大部分负荷是从车间 110 kV 变电站 35 kV 母线上供电的，只有 R1、R2、F1~F7 同步电动机的励磁电源、加热炉区域的负荷、后部托盘运输的负荷、水处理系统的负荷是 10 kV 供电的。为了节省工程投资、节约能源、减少建筑面积、减少维护工作量，在 35 kV 和 10 kV 母线上均未安装滤波装置和电容补偿装置。

我们采取的主要措施如下。

- (1) 调整主变压器绕组阻抗，使主副绕组和两副边绕组在轧钢时相互的电磁干扰最小。
- (2) 将 TMD - 70 和 TMD - 50 共 30 套变频器计 18 台整流变压器短路阻抗百分比由 15% 改为 18%。

高压引线绝缘不良引起电容式电压互感器故障

张治武¹ 曹小龙² 李宏伟² 曹小虎¹ 高建军²

(1. 甘肃省电力公司检修公司,730000,甘肃兰州;2. 甘肃天水供电公司,741020,甘肃天水)

某变电站3513出线仅在B相装设一台35 kV电容式电压互感器(CVT), CVT型号为TYD35/ $\sqrt{3}$ -0.01FH, 为用于中性点非有效接地系统的户外防污型CVT, 其结构如图1所示。图1中, 主电容C1和分压电容C2组成电容分压器, TV为中间变压器, Z为阻尼器, J为载波耦合装置, F为避雷器。

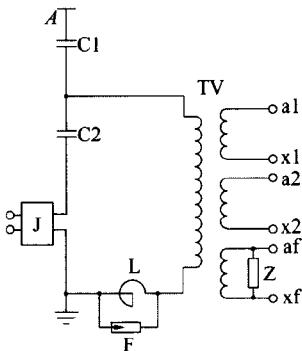


图1 CVT的结构

CVT的一次额定电压为 $35/\sqrt{3}$ kV, 二次额定电压: U_{a1x1} 、 U_{a2x2} 都为 $0.1/\sqrt{3}$ kV; U_{afxf} 为0.1 kV。

1 现场情况

该CVT于2005年6月投入运行。2010年8月, 3513出线保护发出异常报警及TV断线信号。测量CVT端子箱二次回路, 电压偏低, 现场可听到B相CVT的中间变压器伴有间歇性异常声响和

(3) 所有接在35 kV和10 kV母线上整流变压器的联结组别相位差相互错开30°电气角, 从电源侧看等效十二相。

(4) 利用AFE结构的交直交变频器功率因数等于1、可向电网发出容性无功的特性, 可以补偿辅传动TMD-10变频器产生的感性无功。

采取上述措施后, 110 kV车间总降10 kV母线功率因数I段母线是0.854, II段母线为0.865; 谐波电压总畸变率I段母线为2.395%, II段母线为2.16%。35 kV母线上功率因数I段母线为0.99, II段母线为0.99; 谐波电压总畸变率I段母线为2.35%, II段母线为2.12%。110 kV母线

油流声音。CVT底部油箱的底座严重过热, 温度达115 °C(环境温度为18 °C)。

2 检查分析

为了查找故障原因, 工作人员及时将故障设备退出运行。

2.1 外观检查

CVT外表清洁、连接可靠、无损伤痕迹。未发现CVT有闪络、渗油及其他异常情况。但油箱手感温度明显过高, 用手触及CVT下部油箱外壳, 外壳发烫。

2.2 电气试验

2.2.1 分压电容器试验

测试CVT的主电容C1、分压电容C2的绝缘电阻、介质损耗因数、电容量。试验数据与交接试验及上次测量结果相比没有明显变化, 判定电容分压器单元正常。

2.2.2 中间电磁单元试验

该CVT为整体式结构, 分压器和中间变压器合装在一个瓷套内, 所以无法断开变压器同电容分压器端子, 无法直接测量中间变压器一次绕组绝缘电阻、介质损耗因数和电容量。

(1) 用数字万用表对各二次绕组进行测试, 未见异常。

(2) 采用在顶部A点处加压10 000 V、在各二次绕组处测量电压的方法。测试时, 电流表指示电

上功率因数I段母线为0.93, II段母线为0.95; 谐波电压总畸变率I段为0.67%, II段为0.60%。它们完全符合标准规定的电能质量要求。

在整个2 250 mm热连轧工程中, 主辅传动及公用系统不安装滤波装置和固定补偿电容装置, 这在国内已投产和正在建设的冷热轧工程中不曾有过。这项新技术的自主研发和技术创新处于国内领先水平。

2.2 主电动机采用节能风机冷却

R1、R2、F1~F7主电动机的冷却风机共44台, 其中,R1、R2电动机16台, 装机容量592 kW, F1~F7电动机28台, 装机容量518 kW。主电动

流迅速上升，断路器过流跳闸，无法加压。

(3) 测量二次绕组对地绝缘电阻、中间变压器末端的绝缘电阻，测量结果与交接试验数据相比无明显变化。

(4) 测试 CVT 中间变压器油样，结果如表 1 所示。

表 1 CVT 中间变压器绝缘油试验数据

项目	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	总烃
气体组分 / (μL · L ⁻¹)	924	417	947	289	65	73	198	625
油介质损耗因数 (90 °C 时)				0.055				
击穿电压/kV				28				

三比值判断：故障编号 210，故障性质为电弧放电。油中各项指标严重超标，油耐压值及油介质损耗因数超出规定值（油耐压标准值为 ≥ 3 kV，油介质损耗因数标准值为 ≥ 0.01 ）。电磁单元的油中气体组分超标（标准值为总烃不大于 100 μL/L，H₂ 不大于 150 μL/L，C₂H₂ 不大于 2 μL/L）严重，其中，C₂H₂ 达到 198 μL/L，说明中间变压器内部存在相当严重的过热性放电故障，必须进一步解体检查和处理。

2.3 解体检查

解体发现，变压器内部油箱中的油已不为应有的淡黄色，变色较严重，有刺鼻的油烟味，箱底沉有积炭。变压器内部一次侧引线的绝缘材料全部烧焦，漆包线的漆膜被烤掉。中间变压器绕组外层的白布带有烧伤痕迹（黑炭状），变压器内部铁心铁轭有明显的烧伤放电痕迹。

解体检查结论为高压引线绝缘不良（线绝缘材料脆化）造成引线对铁轭放电，油中气体大量

机是根据电动机的效率，按电动机的发热量不超过允许温升值来选择冷却风机容量的，但在实际运行中，不管主电动机的负荷是满载、过载还是空载，冷却风机都是同一个转速，用的是同一个风量，显然不合理。

为了节能、降低运行成本，本次设计选择了变频调速风机，即根据电动机的 RMS 值（电动机负载方均根值），通过两级数学模型，算出电动机发热量，给出调速风机转速的设定值，然后再通过所采集的电动机实际温度值及进出口风温的实际值，对调速风机进行闭环控制。经初步推算，冷却风量有 20% 的节省空间。风量与电动机转速成正比，功率与转

分解，引发电弧放电故障。

中间变压器一次线圈高压引线为普通塑料外皮多股铜线。引线过长，逐步移位，引线外皮碰到金属壳。在高压作用下，引线外皮击穿导致中间变压器一次线圈高压引线接地放电，引起 B 相电压下降、油温过热。

3 措施

变电站工作人员更换了 CVT 的电磁单元部分。在进行全项试验且数据合格后，CVT 投入运行，现工作正常。

4 预防措施

CVT 是全密封设备，除了对渗漏油、声响等易于直观发现的异常外，对较难直观发现的早期缺陷必须采取一定的技术手段，防患于未然。

(1) 运行中的 CVT 出现温度、二次电压、电容值等异常情况时，应及时组织分析，采取必要措施，防止事故发生。

(2) 定期对运行中的 CVT 进行红外热成像测试，及时发现缺陷。

(3) 设备制造厂家应加强管理，严格筛选设备零部件，提高产品质量。

参考文献

- [1] 李杨,余鹏,王健,等.35 kV 电容式电压互感器的故障分析及改进[J].电力学报,2003(1):51~52.
- [2] 倪学锋,盛国钊,林浩.CVT 使用中应注意的几个问题[J].高电压技术,2002(4):18~20.

(编辑 叶帆)

【变电站 电压互感器 故障 绝缘】

速的三次方成正比，降低转速可以大幅度降低功率。年工作小时按 6 500 h 考虑，每年可节电 360 万 kWh，合计 180 万元，两年左右的时间就可收回投资。

3 结语

首钢京唐 2 250 mm 热连轧机在供配电和电气传动设计中采用了多项国内外先进技术并进行了自主创新，该项目已于 2008 年 12 月 10 日建成投产。经过几年的运行证明，所采用的热连轧机电气新技术节能效果显著，钢耗电量一直保持在 100 kWh/t 以内。

(编辑 叶帆)