

官地水电站水轮发电机转子磁轭加温技术

冯培均, 魏吉峰

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局, 四川 彭山 620860)

摘要:详细介绍了官地水电站1号发电机转子磁轭加温技术,包括电热器功率的计算方法,加热片数量的确定、布置及接线方式,电缆、断路器的选择,磁轭加温方法、磁轭加温步骤及要求。通电试验结果表明,采用该技术后加温电流和温升速度均按预定要求进行,膨胀量在规定时间内达到要求,转子运行稳定,加热垫工作顺利完成。

关键词:水轮发电机;加热器;转子磁轭加温;电热法;官地水电站

中图分类号:TV547.3

文献标志码:B

文章编号:1006-7647(2013)S2-0015-02

1 官地水电站转子磁轭结构

官地水电站为地下式厂房,共装设4台混流式水轮发电机组,单机额定容量600 MW,是西部大开发的标志性工程。官地水电站转子磁轭质量约为717.8 t,磁轭铁心高度达3215 mm(含通风槽片),转子支架为斜立筋圆盘式结构,转子磁轭部分通过24个磁轭键与转子支架连接,磁轭键采用径向、切向复合键连接结构,径向键为凸键,用垫片调节热打键紧量,使磁轭在1.4倍额定转速的分离转速下能够保持整体的稳定性和同心度。切向键为2个长楔形键,它可以补偿支架立筋键槽与磁轭之间的装配公差,并能有效传递扭矩。1号机转子磁轭冲片整体叠压完成后,将对磁轭整体进行加温膨胀,并在磁轭凸键径向处加垫,冷却后磁轭与转子支架之间产生必要的紧量,从而达到增强转子运行稳定性的目的。

2 加热器功率的计算

加热温差 Δt 计算公式为

$$\Delta t = \delta / R_0 \alpha \quad (1)$$

式中: δ 为磁轭单边膨胀量, $\delta = 2.5 \text{ mm}$ (磁轭单侧紧量)+ $0.5 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$; R_0 为磁轭的重心半径, $R_0 = 6782 \text{ mm}$; α 为线膨胀系数,取 $\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。由式(1)计算得出 $\Delta t \approx 40 \text{ K}$ 。

电热功率计算经验公式为

$$P = K_0 \Delta t G C / T \quad (2)$$

式中: P 为电热器总功率; K_0 为保温系数,一般取

2~4,本次加热取3; Δt 为计算温差,取40 K; G 为磁轭总质量,约为717 800 kg; C 为磁轭材料的比热容,钢的比热容取 $0.50 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; T 为预计所需加热时间,取11 h。由式(2)计算得出 $P \approx 1087 \text{ kW}$ 。

3 加热器数量的确定、布置以及接线方式

a. 加热器数量的确定。官地水电站履带式加热片($4 \text{ kW}/220 \text{ V}$)尺寸为 $885 \text{ mm} \times 295 \text{ mm}$ (长 $\times$ 宽),加热片总长为 1300 mm (含连接线长度),根据电热片总功率、加热片单片功率及布置分布情况,整个转子磁轭加温共需294片加热片。

b. 加热器的布置^[1]。沿 x, y 轴线将转子1~60号磁极划分为4个区域:1~16号磁极为1区,17~32号磁极为2区,33~48号磁极为3区,49~60号磁极为4区。转子底部单独为5区。在1~60号磁极之间,每临近2个磁极部位(转子轭部上、中、下位置)分别布置3片加热片,总计288片加热片,每层加热片上下部位用 $\varnothing 8 \text{ mm}$ 铁丝环绕转子一周,以保证加热片和转子轭部充分接触,同时在磁轭下部距压板下方约150 mm处放置24片加热片。每个区域分别配置1个电源控制箱,并在箱体上粘贴区域标识。1~4区箱内设置1个总断路器,3个分支断路器,分支断路器分别控制该区域上部、中部、下部,并在断路器上方粘贴标识;5区仅设1个断路器即可满足要求。

c. 接线方式。每3片加热片为1组,采用Y形连接。因为加热片额定功率均为4 kW,三相负载较

为对称,所以可以省去中线,但在实际接线时,考虑到可能会因加热片的损坏而影响三相负载的不对称,因此在接线中仍把中线牢固连接,以保证三相不对称负载的每相电压维持对称不变。

4 电缆、断路器的选择

a. 整个转子加温时为全封闭状态,保温棚内温度高,故采用型号为 GN500,截面积为 10 mm^2 的高温耐火线作为从加热片引自分支电缆的导线。

b. 每区分支电缆的选择。1 区上、中、下各部位加热片功率 $P_1 = 4\text{ kW} \times 24 = 96\text{ kW}$,由线路接线方式知 $I_{\text{线}} = \sqrt{3} I_{\text{相}}$,推导出 $I_{\text{相}} = P/U_{\text{线}}/\sqrt{3} = 96\text{ kW}/0.38\text{ kV}/\sqrt{3} \approx 146\text{ A}$,在高温条件下,选用 70 mm^2 导线可满足要求,即支线选用 YJV-ZR-3×75+1×50 电缆。

1 区总功率: $P_{\text{总}} = 96\text{ kW} \times 3 = 288\text{ kW}$, $I_{\text{总}} = P/U_{\text{线}}/\sqrt{3} = 288\text{ kW}/0.38\text{ kV}/\sqrt{3} \approx 438\text{ A}$,在高温条件下,选用 240 mm^2 导线可满足要求,即干线选用 YJV-ZR-3×240+1×120 电缆。2 区、3 区电缆选型和 1 区相同。

4 区上中下各部位加热片功率: $P_4 = 4\text{ kW} \times 18 = 72\text{ kW}$, $I_{\text{相}} = P/U_{\text{线}}/\sqrt{3} = 72\text{ kW}/0.38\text{ kV}/\sqrt{3} \approx 109\text{ A}$,在高温条件下,选用 50 mm^2 导线可满足要求,即支线选用 YJV-ZR-3×50+1×35 电缆。

4 区总功率: $P_{\text{总}} = 72\text{ kW} \times 3 = 216\text{ kW}$, $I_{\text{总}} = P/U_{\text{线}}/\sqrt{3} = 216\text{ kW}/0.38\text{ kV}/\sqrt{3} \approx 328\text{ A}$,在高温条件下,选用 185 mm^2 导线即可满足要求,即干线选用 YJV-ZR-3×185+1×95 电缆。

5 区电缆选型与 1 区支线相同,即选用 YJV-ZR-3×75+1×50 电缆。

c. 断路器的选择。①1 区支线断路器选择:根据单相电流 145 A ,按照 1.25 倍回路电流选择断路器额定电流,即 $145\text{ A} \times 1.25 = 181\text{ A}$,可选用壳架等级额定电流(I_{nm})为 250 A 、额定电流(I_{n})为 200 A 、极数为 4P 的塑料外壳断路器。②1 区总断路器选择:根据 1 区总电流 436 A ,按照 1.25 倍回路电流选择断路器额定电流,即 $436\text{ A} \times 1.25 = 545\text{ A}$,可选用壳架等级额定电流(I_{nm})为 630 A 、额定电流(I_{n})为 600 A 、极数为 4P 的塑料外壳断路器。2 区、3 区支路断路器和总断路器的选择与 1 区相同。③4 区支线断路器选择:根据单相电流 109 A ,按照 1.25 倍回路电流选择断路器额定电流,即 $109\text{ A} \times 1.25 = 136\text{ A}$,可选用壳架等级额定电流(I_{nm})为 250 A 、额定电流(I_{n})为 160 A 、极数为 4P 的塑料外壳断路器。④4 区总断路器选择:根据 1 区总电流 327 A ,按照 1.25 倍回路电流选择断路器额定电流,即 $327\text{ A} \times 1.25 = 409\text{ A}$,可选

用壳架等级额定电流(I_{nm})为 630 A 、额定电流(I_{n})为 500 A 、极数为 4P 的塑料外壳断路器。5 区断路器选型与 1 区支路断路器选择相同。

5 磁轭加温步骤

步骤 1 搭设保温棚架。①为提高磁轭加热时的保温效果,需现场安装 1 套保温棚。保温棚由保温棚支架、阻燃篷布等组成。保温棚架主撑管采用 16 根 $\varnothing 70$ 普通钢管,其他构件采用 $50\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 扁铁和 $\varnothing 20$ 圆钢。②现场安装时先将转子叠片平台拖离磁轭外表面约 500 mm 处,按副立筋键槽位置把棚架顶部构件摆放调整好,临时固定,然后把主撑管立上,调整主撑管的位置且顶部构件搭焊。③在主撑管外侧、主立筋挂钩下部围焊 2 圈扁铁,扁铁之间用圆钢固牢。

步骤 2 挂装加热片。棚架安装好后,由电气人员开始布置加热片并接线;加热片引出线向下,上端用铁丝将两端穿入加热片孔中,悬挂在转子磁轭顶部螺栓上。

步骤 3 电缆敷设及接线。①为方便接线,在每 2 个区域交汇处离转子边缘约 2 m 的位置放置 1 个电源控制箱,在电源控制箱安装前先配置完善各区所需的塑壳短路器。②从电源控制箱至与另一区域交汇处围绕转子边缘约 1 m 处敷设该区域分支电缆。③每区干线分别从该区的电源控制箱引至安装间 400 V 盘柜中。④接线时,先采用 Y 形接法将加热片接至各区分支干线上,每组 3 片加热片分别接 A、B、C 三相,中线接零线上,要求接头牢靠,并用绝缘带包扎良好。再分别将支线电缆接入电源控制箱中,最后将干线电缆分别接入电源控制箱以及 400 V 盘柜中。

步骤 4 通电试验。通电试验前,必须确保各区域电源控制箱内所有断路器全部处于断开状态,确定无误后开始通电试验。通电试验先后顺序为:先合 400 V 盘柜开关,无异常后,用万用表检查电源控制箱总断路器上线是否带电,三相电压是否均匀;再按该区域上、中、下部各自的支线断路器分别试通电,当分支短路器合上时,看有无异常情况;无异常时用钳形表检测分支线路三相电流是否平衡,若相差较大,需检查加热片是否损坏;该支路检查无问题后断开断路器再进行下一支路通电工作。依此类推,进行所有区域的通电试验。

步骤 5 盖保温棉。为减少加热时热空气对转子支架的影响,在磁轭内侧的保温被尽量保证敷严,保温棉铺设时由上而下轻放,不能随便将保温棉来回拖动,以免加热片引线接头松懈,引起接地或短路。

(下转第 19 页)

上3等分均布2~3 cm长的铅条,将导叶上下端面间隙调整到满足要求,此时端盖板与拐臂连接螺栓已按设计扭矩对称把紧。取出铅用游标卡尺测量其厚度,根据厚度计算间隙调整板的加工量。此方法优点在于简单实用,且解决了测量误差大的问题。

b. 导叶立面间隙调整。根据设计图纸,将导叶处于全关位置的理论分布圆在底环圆周方向上做标记,对称选择4个导叶使其处于全关分布圆上,然后将4个区域内的导叶逐个关闭,当区域内最后关闭的导叶存在较大间隙时,重新调整原4个导叶的关闭位置,直到所有相邻导叶间都有接触时,采用钢丝绳捆绑导叶,再利用手拉葫芦对导叶进行适当预紧,对导叶间隙局部不符合要求的可进行手工打磨,直到满足要求。

c. 按要求进行导水机构附件的安装。

3 结 语

官地水电站1号机组运行至今,导水机构工况良好。导水机构的安装实践和安全可靠运行表明,

(上接第16页)

步骤6 加热片投入工作。在磁轭键槽上、中、下对应位置的保温被上开出豁口,方便加热时能够用红外线测温仪对磁轭表面温度进行监控;因为转子磁轭加温时上部温度上升快,故在加热片投入时,先投运5区即转子底部以及1~4区磁轭下部的加热片,根据所测温度情况,依次投运其他部位加热片。

步骤7 打键。随时观测加温情况,当符合打键要求时,断开所有短路器,确保人员的安全。

步骤8 转子保温,并拆除保温棚及保温棉。

6 磁轭加温要求

磁轭加温需满足以下要求^[2-3]:①用塞块分别测量各副立筋与磁轭键之间的间隙,记录转子支架和磁轭各位置的温度初始值。②加温过程中,必要时采用水源、水桶、拖把等对转子支架冷却降温,便于产生温差,并对中心体精加工表面做好防护。③检查线路及接地装置,试投加温电源,检查电加热设施无断线、短路、冒烟等异常现象后,即可合闸对磁轭进行加温,记录好加热开始时间。④根据磁轭实测膨胀量投运,加热转子磁轭到规定的温度,每隔30 min记录1次温度。⑤经常检查电缆与磁轭接触部分是否有异常过热现象,对加温电流、电压全过程进行监控。⑥加热过程中,温度约升高10℃时检查1次每个副立筋和磁轭键之间的间隙。最终膨胀间隙必须比垫片大1 mm。⑦待间隙达到规定值时,将所有调

导水机构的预装和安装过程是水轮发电机组中关键的一环。底环、顶盖同心度和导叶轴套同心度安装调整结果直接决定了导水机构最终质量的好坏,现场机加工中顶盖与座环紧固螺栓孔的加工更涉及机组安全运行。通过充分的技术准备和合理的现场组织,官地水电站导水机构的预装和安装质量均达到优良,为1号机组的安全、稳定运行提供了有力保障。

参考文献:

[1] 杨振先. 龙滩水电站700 MW水轮发电机组结构综述[C]//李菊根. 大型水轮发电机组技术论文集. 北京:中国电力出版社,2008:124-129.
[2] 何保忠,刘青. 公伯峡水电站导水机构安装工艺[J]. 2010(1):104-106.
[3] 李长春,王国辉,周炜,等. 龙滩水电站导水机构特点及现场安装[J]. 水电站机电技术,2008(5):35-38.
[4] 彭德超,曾思波,张玲. 锦屏一级水电站导水机构安装[J]. 四川水力发电,2012(5):45-46.

(收稿日期:2013-07-22 编辑:熊水斌)

整垫片在同一时间内迅速对称插入到副立筋和磁轭键之间。⑧用卡块临时固定磁轭凸键,在各磁轭凸键两侧对称插入切向键并用手的力量楔紧,确认无其他异常情况即可切断电源。磁轭自然冷却后拔出副键,检查并修磨其接触面应达70%以上,在其各工作面涂上二硫化钼,再用大锤在凸键两侧均匀打紧,复查其小头插入深度,应与凸键下端(磁轭压板)平齐,多余部分切除,在冷态下用大锤检查切向键是否有足够的紧量。⑨每隔30 min记录1次温度,将温度缓慢降低至室温,72 h后将保温棚拆除。

7 结 语

本文详细介绍了官地水电站1号发电机转子磁轭加温技术,通电试验结果表明加温电流和温升速度都按照预定的要求进行,膨胀量也在规定的时间内一次性达到了设计要求,转子运行稳定,顺利完了成热加垫工作。

参考文献:

[1] 王晓敏,陶恒林. 大型发电机转子磁轭热加垫技术方案分析[J]. 机电一体化,2009(11):90-92.
[2] 王承,李佳佳,王光彬. 锦屏二级水电站转子磁轭热加垫工艺应用分析[J]. 水电站设计,2012(28):88-89.
[3] 雷京祥. 向家坝水电站800 MW机组转子磁轭热加垫工艺研究[J]. 水利水电技术,2013,44(4):90-91.

(收稿日期:2013-07-22 编辑:骆超)