

冶勒水电站发电机转子装配

刘鹏让, 覃国茂

(中国水利水电第七工程局机电安装分局, 四川 彭山 620860)

摘要 介绍冶勒水电站发电机转子的现场装配工艺和质量控制过程。1 号机组采用的是法国 ALSTOM 公司的安装工艺, 在叠片开始时先安装永久螺杆, 由于磁轭高度为 2 582 mm, 永久螺杆的高度更高, 叠片过程十分困难, 需要的人力较多, 安装难度比国内常用的方法要大得多。2 号机组改用国内常规安装工艺, 安装质量有所提高, 而且缩短了工期。据此总结出适用于类似电站的发电机转子现场装配的工序和方法。

关键词 发电机转子 现场装配 质量控制 冶勒水电站

中图分类号 : TM312

文献标识码 : B

文章编号 : 1006-7647(2006)S2-0021-03

冶勒水电站地下厂房内安装了 2 台法国 ALSTOM 公司供货的冲击式水轮发电机组, 发电机结构形式为立轴悬吊式机组, 额定容量为 133.33 MVA, 额定转速为 375 r/min, 发电机冷却方式为密闭径向循环空气冷却, 励磁方式为自并励可控硅静止, 制动方式为电气制动和机械制动。发电机主要由定子、转子、上下机架、发电机转子轴、下导轴承、推力上导轴承以及外循环系统、制动系统等组成。

1 转子结构概况

冶勒水电站发电机转子由其中心体(包括单根发电机主轴、转子支架、立筋等)、磁轭、磁极等组成。转子中心体与支臂在工厂焊接成整体运输至现场, 在安装间进行磁轭叠片和磁极挂装工作。

发电机转子轴由浇铸合金钢制成空心轴, 主轴外径为 $\varnothing 800$, 中孔内径 $\varnothing 200$, 总长 6 490 mm, 直接焊接在转子支架上, 该中心孔用于水轮机转轮的吊装, 发电机没有上端轴。发电机轴底部与水轮机轴的连接法兰外径为 $\varnothing 1 420$, 在法兰 $\varnothing 1 180$ 的圆周上布置 10 个 $\varnothing 140$ 的销钉螺栓孔, 用于与水轮机轴连接。转子支架下方为下导轴承, 主轴顶部外径为 $\varnothing 699$, 布置 8 个 M42 的高强螺孔, 用于与转子平衡梁连接吊装转子时使用。

转子磁轭高度为 2 528 mm, 磁轭外径 $\varnothing 3 539$, 由高强度冷扎薄钢片叠成, 通过磁轭键与支架连接固定, 转子磁极共 8 对 16 个, 片状结构, 绝缘等级 F

级, 磁极在机坑拆装时可以不吊转子和上机架。转子中心体与磁轭、磁极等组成整体后, 总质量 200 t, 最大外径为 $\varnothing 4 150$, 高度为 6 480 mm。

2 转子装配的主要特点

冶勒水电站的转子尺寸不大, 但转子组装有其独特的地方, 主要体现在以下几个方面:

a. 国内转子叠片时通常有工具螺杆, 随着叠片高度的不断增加需不断更换工具螺杆, 待叠片工作全部完成之后将临时工具螺杆更换为永久螺杆。而冶勒水电站的转子组装在叠片开始时, 首先安装永久螺杆, 由于磁轭高度为 2 582 mm, 永久螺杆的高度更高, 所以叠片过程十分困难, 需要的人力比较多, 安装难度比国内常用的方法要大得多。

b. 国内以往的转子在组装时要对上下磁轭压板进行焊接, 焊接必须仔细地控制焊接变形, 对焊接要求比较高。而冶勒水电站的转子磁轭压板不进行焊接, 首先对磁轭压板水平调整合格后加固, 穿入永久螺栓后进行叠片, 叠片完成后直接用扭力扳手分几次拧紧所有的连接螺栓。

c. 厂家提供的磁轭铁片与磁极在抵达现场后, 按照国内以往的习惯首先进行磁轭与磁极的称重与平衡配重工作, 对有些机组还进行了动平衡检测。而 ALSTOM 冶勒水电站的磁轭与磁极不进行平衡配重, 磁极安装时只注意磁极极性, 整体配重在机组启动后进行动平衡试验。

d. 国内机组在进行磁轭键和磁极键打紧之前,首先对各自键槽进行铣削,确保键与磁轭的接触面积 而冶勒水电站转子组装时,由于直接采用永久螺杆,磁轭与永久螺杆的间隙配合很小,通过叠片时对铁片的校形来保证磁轭叠装的平整度与垂直度,因此不进行磁轭磁极键槽的铣削工作。另外磁轭键不是与整段磁轭进行接触,而是分为上、下两段各 800 mm 分别进行上下打紧并点焊。

e. 国内以往在转子磁轭叠装完成后,对磁轭的涨紧方式采用冷打键和热打键两种方式;而冶勒水电站转子组装对磁轭的涨紧不经过热打键的过程,它是通过保证转子磁轭的绝对半径来保证磁轭的紧度,在绝对半径合格的情况下,对上、下两对磁轭键进行对称打紧。

3 现场组装主要工序

3.1 组装前的准备工作

转子工位的布置主要包括转子中心体和转子磁轭处基础件埋设和相应支墩的准备,这些基础埋件对于转子中心体的固定和调整十分重要。支墩的布置要求不影响磁轭铁片的叠装和永久螺杆的定位。

在转子中心体放置于基础板上之前再次仔细清扫基础板,并检查基础板的水平度,当基础板水平度超过 0.3 mm/m 时应在适当的位置加薄垫,以保证大轴在放置后的垂直度。合格后在基础板的 4 个方位上铺上 4 块 3 mm 的铜皮,用于保护联轴法兰面。

在大轴法兰面离基础板距离约 1 m 时,拆除法兰保护包装板,检查法兰表面情况,并在法兰面上涂抹凡士林保护法兰面。继续下落大钩,在大轴法兰离基础板约 300 mm 左右时,移动桥机大车以及桥机小车,调整中心体方位,使法兰上的销钉螺栓孔和预埋基础螺栓中心基本一致,然后再缓慢地将大轴法兰安放在基础板上。

转子中心体在安装间基础板上的最终放置如图 1 所示。

中心体就位以后,检查转子中心体的水平,如果水平超标,则利用桥机进行调整加垫,水平合格后打紧基础预埋螺栓固定,然后移走厂房桥机。

转子叠片前首先研配磁轭键,检查清洗干净的磁轭键配合面,要求严密无间隙,用游标卡尺检查配对键的厚度,每隔 100 mm 检测 1 点,各厚度差不得大于 0.2 mm ,否则应用锉刀进行处理。将配对好的磁轭键放入轮臂键槽中试装,使其能在键槽中滑动,且侧向不能有过大的晃动,太紧时可处理磁轭键的侧面,将试装合格后的配对键与键槽打上相同的钢号,放置在一起。

在安装间地面高程上的转子支墩基础板上摆放叠片支墩和磁轭压板,周向位置如图 2 所示,利用支墩上的顶丝调整压板的高程及水平。

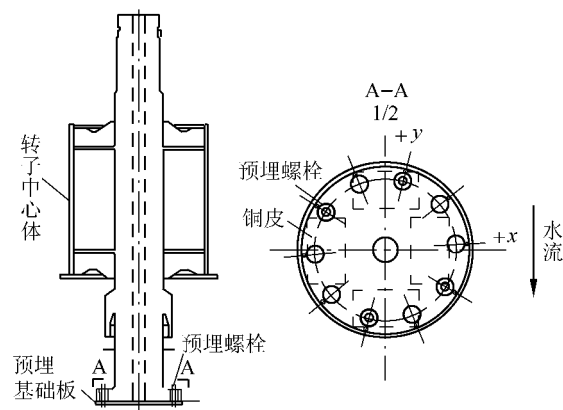


图 1 发电机转子安装布置示意图

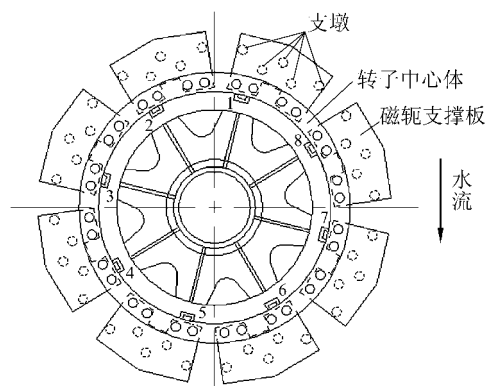


图 2 发电机转子安装平面布置

将所有下磁轭压板上拉紧螺杆,拉紧螺杆上均匀涂抹二硫化钼,以便铁片顺利叠装,并带上磁轭压板下部螺母。检查并调整磁轭下压板的高程、水平度(注意防止由于螺杆太高而造成下压板倾倒)。由于拉紧螺杆比较长,而且在叠片的初期拉紧螺杆无法固定,致使前期叠片工作十分困难。但由于永久拉紧螺杆的直径与铁片孔径配合尺寸很小,螺杆的加工精度为 $\varnothing 39$,磁轭孔加工精度为 $\varnothing 39(+0.2 \sim +0.4)$,所以减小了转子铁片叠装过程中的矫形工作和以往永久螺栓安装孔和磁极挂装孔的铣削工作。

3.2 转子叠片、压紧

转子磁轭铁片包括普通铁片和通风槽片。每层由 8 片组成 1 圈,每张铁片厚度为 4 mm ,磁轭总高度设计为 2528 mm ,共 632 层,其中通风槽片和普通铁片各 316 层。

叠片过程中每层片间错开 $1/2$ 磁极,铁片在叠装时按逆时针顺序进行。第 1 张铁片从 1 号磁轭键开始(第 1 层铁片和第 2 层铁片叠装如图 3 所示)。叠装高度达到 $80 \sim 100\text{ mm}$ 时采用研配完成的磁轭键进行磁轭外径的检查调整,以保证铁片叠装的紧度。

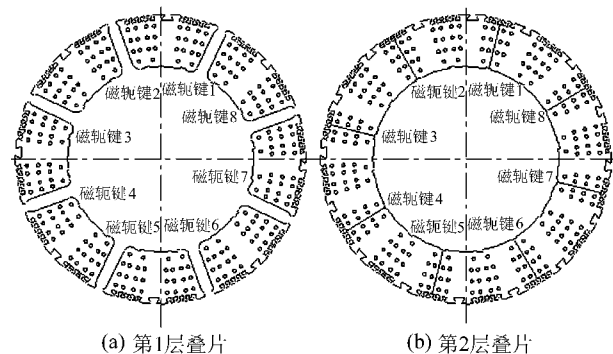


图3 发电机转子叠片安装示意图

铁片外径符合厂家要求后方可进行下一步的叠片工作。铁片叠装过程中用铜锤或橡胶棒敲击铁片的磁轭键,拉紧螺栓周围位置,使铁片下沉密实,以转子支臂上的校准面为参考,检查铁片的水平程度以及铁片同一断面内、外侧高差,使符合要求。

叠片过程中应经常检查压板的高度和水平变化,在变化超过 2 mm 时利用支柱顶丝调整其高度,使磁轭垂直度满足要求。

整个转子磁轭铁片共分 5 段进行叠装并分段进行预压紧,在叠片过程中采用研配过的成对磁轭键进行转子磁轭圆度半径检查,合格后即对整个已叠装的铁片全面整形 1 次,然后对这些磁轭键进行打紧。

每叠装 1 段后进行预压紧时安装压紧工具套管以及各套管间连接板、带上拉紧螺栓顶部的螺母,压紧的叠压系数不低于 0.99,另外为磁轭叠片准备了 2 种调整垫片,用来对压紧后磁轭内外高差超标时进行调整。

铁片压紧时采用扭力扳手分若干次从内圆侧开始,对称地、逐步均匀地把紧螺栓,逐渐把紧至外圆侧,扭力扳手的力矩最终应达到 $2\,500\text{ N}\cdot\text{m}$ 。全部完成 1 次后,再按同样的顺序从内向外均匀地进一步把紧。把紧过程中要随时注意磁轭叠装压板与磁轭底面的间隙及铁片倾倒、弯曲,最后用力矩扳手均匀地把紧至指定的压紧力矩。

磁轭分段打紧完成后,根据所测磁轭内外高差及波浪度决定是否加入调整垫片以及调整垫片的厚度、形状。按压紧相反的顺序对称松开拉紧螺栓顶部螺母,取出需加入调整垫片位置以上的已叠铁片,加入调整垫片。

铁片中间压紧、调整完毕后,继续叠片,直至铁片叠装完毕。

磁轭铁片经过第 5 次预压紧并调整完毕后,将所有拉紧螺栓全部安装在磁轭铁芯上,进行最终压紧。计算铁片的叠压系数应不小于 0.99,磁轭平均高度与设计高度偏差不超过 10 mm,磁轭沿圆周方向的高度偏差不超过 10 mm,同一纵截面上的高度

偏差不应大于 5 mm。压紧完成后,将拉紧螺栓与螺母、螺母与上下压板点焊牢固,打紧磁轭键并锁定。

4 磁极及附件安装

冶勒水电站发电机转子磁极共 8 对 16 个,为片装结构,绝缘等级 F 级。利用安装在磁极上、下 T 形键与磁轭磁极键槽间的楔块调整所有磁极的圆度及半径。检查磁轭磁极键槽的平整度,并用锉刀将槽内的高点锉平,清扫所有磁极键槽内的铁屑。

磁极正式安装前,清扫磁极并检查所有磁极的绝缘电阻是否在 $5\text{ M}\Omega$ 以上,达不到要求的要进行干燥处理。经干燥处理后的磁极还达不到绝缘要求的则应仔细分析其原因并会同厂家代表和现场监理共同协调处理。

确定有励磁引出线的磁极的安装位置以及所有磁极的对应安装位置编号,并在磁轭上做相应的标记。在转子磁轭外围磁极安装位置摆放支墩,并调整支墩高度,使其满足支撑磁极要求(支墩顶部应注意放置木块或其他软质垫块)。

在磁极耐压试验合格后,利用厂家提供的吊装工具,按编号将磁极逐个吊装至磁轭安装位置,装入磁轭鸽尾槽中。吊装时,带励磁引线的磁极应先装,且应注意磁极的挂装极性。其余的磁极挂装应以励磁引线磁极为准按对称、对应的原则进行挂装。

用水准仪根据磁轭的中心高度调整磁极,使磁极中心位置至大轴下法兰的距离控制在 $3\,380\text{ mm}$,偏差不应大于 $\pm 2\text{ mm}$,对称方向上的两磁极高差不大于 1.5 mm 。每调整完毕一磁极高度就利用磁极底部支墩临时将其撑住,在磁极上、下的两侧 T 形键与磁轭键槽间打入调整楔块,并用螺栓暂时压紧。利用框式水平仪测量磁极的垂直度,利用安装于大轴上的测圆架和吊装钢琴线以及内径千分尺测量磁极绝对半径,用楔块压紧螺栓调整上下楔块的楔入深度,以达到调整磁极的垂直度和半径要求。用同样的方法调整所有磁极,使磁极垂直度和半径均满足设计要求。

磁极挂装调整完毕后,测量转子(磁极上下位置)圆度,各半径与平均半径之差不应大于设计空气间隙的 $\pm 2\%$ 。按图纸要求进行磁极的极间连接,控制磁极接头错位不应超过接头宽度的 10%,接头接触面电流密度应符合设计要求,极间连接片应清理和平整。根据图纸要求安装转子励磁引线,按图纸要求的力矩扭紧引线固定螺栓,并锁定。在引线安装过程中,注意引线角度位置、引线支柱以及绝缘部件的安装要求。

(下转第 44 页)

b. 连接线组别测试。采用直流感应法进行测试,结果表明连接线正确。

c. 变压比测试。使用变比测试仪对变压器的 5 个档位进行测试,测试结果与额定变比进行比较,误差均小于 0.2%,符合规范要求。

d. 绝缘电阻及介质损耗测试。分别测量高、低压绕组及铁芯对地及各绕组之间的绝缘电阻值,并记录 15 s 和 1 min 时的阻值,以便进行变压器的吸收比计算。介质损耗的测量与外部相对湿度有一定的关系,一般情况下要求不大于 85%,试验电压为 10 kV。介质损耗测试结果见表 3,测试结果证明该变压器绝缘良好。

表 3 介质损耗测试结果

测试绕组	$R_{15s}/$ MΩ	$R_{60s}/$ MΩ	R_{15s}/R_{60s}	$\tan\delta/\%$
高压对低压及地	30 000	40 000	1.33	0.33
低压对高压及地	16 000	22 000	1.37	0.42

注 表中 δ 为介质损失角。

e. 直流泄漏电流测试,测试结果见表 4。

表 4 直流泄漏电流测试结果

测试绕组	试验电压/kV	1 min 泄漏电流值/A
高压绕组	40	5
低压绕组	10	1

f. 外施耐压试验及感应耐压试验。这两项试验是考验变压器绝缘情况的试验,也是绝缘破坏性的试验。鉴于试验设备容量只针对低压侧绕组实施外施耐压试验,试验电压为 38 kV,持续时间为 1 min。对高压绕组实施感应耐压试验,为了减少感应耐压对变压器绝缘损害的累积效应,经多方讨论将耐压值确定为出厂值的 70%,即 270 kV,为额定运行电压的 2.12 倍,已足够考验变压器的绝缘情况。试验时变压器档位置 1 档,低压侧施加电压为 38 kV,高压侧感应耐压为 270 kV,感应倍率为 1.36,试验时间为 40 s。

g. 局部放电测试。该试验分阶段进行,变压器分接档位置 1 档,首先施加 218 kV 电压并在该电压

等级下停留 5 min,然后将电压增至 252 kV,在该电压等级下停留 5 s,测取该电压下的三相放电量;最后将电压降至 218 kV,在该电压等级下停留 30 min,测取有效三相放电量。试验结果见表 5。

表 5 局部放电试验结果

试验电压			局部放电量/PC		
低压侧/ kV	高压侧/ kV	倍数	A 相	B 相	C 相
13.7	218	$1.5/\sqrt{3}$	180	165	165
15.9	252	1	192	174	176
13.7	218	$1.5/\sqrt{3}$	180	165	165

3 安全措施

试验过程中,应仔细检查变压器本体及铁芯是否与地可靠联结、高压升高座上的高压电容式套管末屏蔽端是否可靠接地。升高座内的电流互感器二次绕组、主变测温元件应短接接地,相关试验高压设备应可靠接地。高压试验期间,在变压器周围设置警戒围栏,并设安全警示告示。

4 投运结果

经过 5 次从系统倒送电实施主变压器冲击后,各组件带电运行正常,无异常状态,在机组 72 h 试运行期间主变压器运行状态稳定。

5 结 语

随着我国水电事业的不断发展,水电站的装机容量不断增大,相应地,主变压器的容量也在增大,同时电网的电压等级也在增高,这就对主变压器的技术要求进一步提高。冶勒水电站电气主接线采用单机单变输电形式,机组出口电压为 13.8 kV,线路电压为 220 kV,主变压器采用国内西安西电变压器有限公司的产品。针对该一次设备按照国家规范要求进行现场相关电气试验,总结出一套行之有效的方法和程序,可供其他电站参考。

(收稿日期 2006-07-06 编辑 骆超)

(上接第 23 页)

转子部件安装完毕,各锁锭及要求焊接部位经检查合格后,进行整体磁极耐压试验及绝缘电阻测定。全面清理转子内外杂物、灰尘,按厂家技术资料要求对转子表面进行喷漆,喷漆之前先用纸或塑料膜包扎阻尼环、励磁引线的电气连接部位,以防喷漆时油漆进入。

5 结 语

冶勒水电站发电机转子安装工作中,1 号机组

采用的是法国 ALSTOM 公司的安装工艺,在叠片开始时,首先安装永久螺杆,由于磁轭高度为 2 582 mm,永久螺杆的高度更高,所以叠片过程十分困难,需要的人力也比较多,安装的难度比国内常用的方法要大得多。而 2 号机组采用国内通常的安装工艺,安装质量有所提高,而且节约了工期,获得较好的经济效益。

(收稿日期 2006-07-06 编辑 高建群)