

桥巩水电站机电安装工艺

赵显忠 韩 强 刘

(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 介绍桥巩水电站机电安装中的突出难点:部件尺寸大、吊装和焊接过程中的变形问题;浇筑混凝土后的温变形问题;机组大轴两支点双悬臂结构自身的挠度对机组转动不平衡的影响;灯泡头上浮量、转轮上浮量、转轮室的下沉量正确估算问题;灯泡贯流式机组受油器特殊结构易造成高低压腔窜油的问题。详细介绍针对上述问题在该电站机电安装中采取的安装工艺:采取分段间隔焊接的创新工艺解决焊接变形问题;采取内装支撑固定和缩短吊装时间的方法解决吊装中的变形问题;通过分层浇捣混凝土、延长养护时间的方法减小温度变形;通过两支点双悬臂的梁应力计算方法精确确定轴自身的挠度;通过水动力学计算精确确定灯泡头和转轮的上浮量及转轮室的下沉量;合理分配组合轴承的间隙方法。

关键词 灯泡贯流式水轮机;管型座;机电安装;温度变形;悬臂梁;桥巩水电站

中图分类号 TK730.6 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2008)S2-0009-03

灯泡贯流式水轮机自 20 世纪 30 年代问世以来,因其优良的技术经济特性和适用性而得到广泛应用和迅速发展,灯泡贯流式水电站的开发、设计、制造、安装技术与经验日益丰富,国外水头 25 m 以下的水电开发已出现取代轴流式水轮机的局面,最大单机容量达 65.8 MW(日本只见),最大水轮机直径达 8.2 m(美国墨累),最大工作水头达 22.45 m(日本新乡)。我国灯泡贯流式机组的开发、设计、制造、安装技术都还与国外存在较大的差距,国内贯流式机组设备技术和供给能力还不能满足水电建设的需要,许多关键设备以及关键设备的试验还依赖于国外厂家。近年来,我国在成功制造 30 MW 灯泡贯流式水轮发电机组的基础上才开始制造 40 MW 的灯泡贯流式机组。因此,在我国,超大型灯泡贯流式水轮发电机组的设计、制造、安装均还处在起步阶段,目前国内最大的灯泡贯流式水轮发电机组是安装于湖南洪江电站的 45 MW 机组,其次是安装于青海尼那电站的 40 MW 机组,但关于超大型灯泡贯流式水轮发电机组的安装技术总结方面的文献资料目前还相当少。因此,超大型灯泡贯流式水轮发电机组安装技术难度大,可借鉴的经验少。

我国适用于贯流式水轮机开发的低水头水能资源蕴藏巨大,贯流式水轮机应用前景广阔,需求巨

大。贯流式机组大型化是国际贯流式水轮机技术发展的趋势,也和我国低水头水电站开发对大型贯流式机组的应用需求相吻合。

1 桥巩水电站水轮机安装工艺

桥巩水电站位于广西来宾市境内红水河上,是 1980 年《红水河综合利用规划报告》推荐的十级开发方案中的第九级,与上游乐滩水电站尾水位衔接,两电站之间河段长约 75.2 km,下游与大藤峡水电站正常蓄水位衔接。电站坝址距来宾市迁江镇约 1 km,距合山市 26 km,距来宾市 40 km,距柳州市 128 km,距南宁市 180 km。

桥巩水电站安装 8 台灯泡贯流式水轮发电机组,水轮机主要参数如下:型号为 GZ5B038M-WP-745,额定水头为 13.8 m,主轴布置形式为卧式,额定出力为 58.5 MW,机组支撑方式是主支撑为管形座、发电机侧设辅助支撑,水轮机转轮直径为 7.45 m,水轮机转轮出口直径为 7.147 7 m,水轮机额定转速为 83.3 r/min,最大飞逸为 275 r/min。桥巩水电站水轮机组是我国目前单机容量最大的灯泡贯流式机组。

1.1 水轮机安装程序

桥巩水电站水轮机安装程序如图 1 所示。

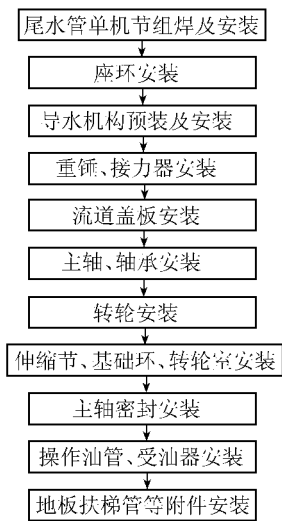


图1 桥巩水电站水轮机安装程序

1.2 水轮机安装的难点

a. 内外环 $\varnothing 5400/10550\text{mm}$ 、最大高度 21350mm 、总质量 320t 的管型座施工中的难点如下:①在起吊设备无法满足整体吊装的情况下,管型座整体精确调整;② $\varnothing 10550\text{mm}$ 的管型座外环法兰面变形的预防措施;③管型座二期混凝土浇筑过程中的法兰面变形监测控制措施。

b. 灯泡贯流式机组5个叶片的转轮,在机坑内不对称叶片安装。

c. $\varnothing 2600 \times 8750\text{mm}$ 、质量 125t 、两支点双悬臂结构主轴自身的挠度对机组转动部分水平调整的影响,安装调整工艺。

d. 采用分块瓦结构的灯泡贯流式机组水导轴承安装调整工艺。

e. $\varnothing 9.6\text{m}$ 的灯泡贯流式机组定子吊装变形控制措施,针对定子变形采取的安装调整工艺。

f. 水推力为 1040t 、镜板与主轴为一体结构的灯泡贯流式机组推力瓦受力调整工艺。

g. 灯泡头上浮量、转轮上浮量、转轮室下沉量的正确估算,以及大型灯泡贯流式机组转动部分的最终调整工艺。

h. 灯泡贯流式机组轴电流的产生原因,防止产生轴电流过大的措施。

i. 灯泡贯流式机组受油器结构,造成高低压腔窜油的原因分析,防漏油措施。

1.3 水轮机关键部件安装工艺

1.3.1 座环安装

座环由内锥体、外锥体和固定导叶组成,采用Q235钢板焊接结构。座环宜便于运输,在厂内分瓣制作后运到工地,组合面坡口在制造厂内加工好并设有组合定位销钉。在施工现场进行组合、焊接调整。座环是灯泡贯流式机组最重要的埋入件,是整个

个机组的安装基准,发电机定子、推导组合轴承和水轮机导水机构均直接把合在座环上,座环又是整个机组基础,整个机组的各种力几乎均通过座环的固定导叶传至混凝土基础,因此座环应具有足够的强度和刚度。

一期混凝土成型后,测定机组高程、中心、轴向距高测点。标点准确牢固可靠。按照图纸尺寸安装座环地角螺栓并进行浇筑,混凝土强度达到设计要求后进行座环安装。在安装间按照公司内预装的标记对座环内锥、外锥分别进行检查。清理修磨内锥、外锥组合面、销孔、焊角(水封焊)及把合螺栓。按顺序分别把内锥吊入机坑进行把合组装。安装座环定位工具、座环与尾水管定位工具、加固支撑及拉锚。安装焊接水平支撑、外锥Ⅱ进主筒延伸段和导流板。座环把合面进行封水焊。安装测压管路。调整、测量、固定座环。各项尺寸符合设计要求。验收并填写检验记录卡,准备进行混凝土浇筑。水平支撑焊接后,作UTⅡ(B级检查)并磨平。座环安装完成后塞堵好各处螺孔,防止水泥浆流进。为了防止座环变形,需严格按标准执行。浇筑时派专职人员进行检测,并按实际情况随时调整混凝土的浇筑顺序。

1.3.2 导水机构安装

导水机构安装分预装和正式安装2个步骤。

a. 预装。安装间按照公司内预装的标记对座环各部分零件分别进行检查清理。在安装间内放置支承。支承面是2个水面,外平面经内平面高出地面 $980 \pm 0.25\text{mm}$,将2瓣外配水环和2瓣内配水环放于平台上,检查骑缝销是否定好,在把合面上装橡皮条,拧紧把合螺栓,检查把合面的间隙是否满足国家标准。然后使整个外配水环中心处的高度比设计值低些。按编号分别将上密封环、导叶(下密封环已装上)、导叶臂、端盖、销等分别装入外配水环的16个孔内。吊起内配水环,用手拉葫芦调整内配水环水平,与外配水环同心(包括内外配水环导叶孔同心)及高度(内外配水环两平面之差 $980 \pm 0.25\text{mm}$)。按编号分别将导叶下轴等装入内配水环。调整导叶端面及立面间隙,使之达到设计要求。将4瓣控制环在平台上组合好。在外配水环适当位置焊好临时撑,按XT标记把控制环放置在临时支撑上并调好水平。再分别将钢珠(涂上黄油)放置在V形槽内、安装压环(4/4),拧紧螺栓,控制环应转动灵活。最后安装16个弹簧连杆。在内外配水环之间安装支撑,防止座环翻身起吊时移动。安装翻身起吊工具。

b. 正式安装。座环二期混凝土水泥强度达到设计要求后拆去内部支撑,修磨高点并进行补漆。清理各工作面和螺孔。按设计要求,最终测量验收

座环各项并填写检验纪录。符合要求后,准备导水机构安装。按设计要求座环进行翻身并清理检查把合面,安装好橡胶条。吊入机坑与座环把合。进一步调整测量导叶端面和产面间隙。符合设计要求后,测量配置安装补偿环。导水机构吊装前仔细检查桥机机械电气关键部位,吊装过程中派专职人员在桥机的关键部位进行监控。

1.3.3 重锤、接力器安装

在安装间按图纸把重锤装配完成,然后吊入机坑安装在控制环上。在安装间开箱清洗检查接力器,接力器应作密封渗漏等异常现象检查并测量活塞的行程,填写安装检验纪录,吊入机坑与控制环接力,按标准调整验收后,准备二期混凝土浇筑。接力器工作油压为 6.3 MPa,行程 1524.6 mm,预留压紧行程 6.4 mm。工地安装时用顶起螺栓代替调整板,待调整压紧行程后,配做调整板厚度后再装入调整板。接力器试验时清洗干净小油泵,不得有异物。试验油质合格。接力器试验完成后,封堵好接口,防止异物掉入。接力器基础二期混凝土浇筑时覆盖好水轮机部位,防止水泥浆撒落在机组上。

1.3.4 主轴、轴承安装

在安装间解体主轴。清洗检查主轴,主轴放置在支撑架上,调整其水平度,一般不大于 0.5 mm/m,首先把下游密封油箱安装完成(4120917 法兰 2/2 在安装间不装)。法兰在安装间组装后吊入下游处,清洗检查前密封油箱全部零件,然后吊入座环内。把轴承工具清洗后也吊入座环内并进行安装固定。组合轴承安装完成后,把主轴吊进座环内放置在支撑上。调整主轴水平不应大于 0.02 mm/m,装上密封条、销钉安装法兰。安装上下导瓦,调整测量间隙,使达到设计要求,然后依次安装前密封油箱。安装时分半件合缝面涂密封胶油箱。安装时注意测温引线的固定。密封及密封进出油接口封堵好,严禁掉入异物。

1.3.5 转轮安装

此转轮为缸动设计,体积小,叶片摆动灵活,叶片不易渗漏。在安装间按照公司内预装的标记对转轮各部分零件分别进行解体检查清洗,清洗工作结束后把转轮体水平放在支撑和试验底座上分别进行回装。转轮装配合格后,按设计要求做耐压和动作试验。安装坑磨环和围板(安装螺栓用乐泰胶止动),用刀口尺仔细检查转轮及主轴组合面,然后参照设计要求对转轮进行翻身、吊装。转轮安装前,主轴(下游侧)上的环板必须安装完成。转轮和主轴连接后,组后面用 0.03 塞尺检查,不得通过。转轮解体时工作场面要干净,严禁尘土。清洗好的零件放

在木板或橡胶板上,上面要覆盖好,严防尘土异物落在零件上。转轮安装试验时,试验油质是否合格。转轮安装时搭建的脚手架要合适牢固,装配转轮时起吊工具要合理,严禁磕碰拉伤。

1.3.6 伸缩节基础环、转轮室安装

在安装间清理转轮室。在主轴吊装前把转轮室下半部吊入机坑,临时固定在外配上。在安装间,清理基础环节组圆、测量调整(加临时支撑)焊接(水封焊)。焊接工作完成后吊入机坑临时在尾水管上。水轮机转轮和发电机转子全部安装完成后,再安装转轮室上半部,经过盘车调整转轮室,确定转室与叶片间隙达到设计要求。然后与外配水环把合并同钻销钉孔。调整基础环使基础环与转轮室间隙达到 25 mm,调整尾水管圆度使能达到焊接要求并进行固定。在安装间,先进行伸缩节预装,组圆测量合格后再解体分瓣吊入机坑,套入转轮室进行组圆。用项 7 调整隙后用项 8 锁紧,配置并固定压板(此时 2 处橡胶条暂时不装)。检查合格后,准备基础环三期混凝土浇筑。尾水管与基础环并坡口焊接。水泥强度达到设计要求后松开调整固定螺栓,安装橡胶条,再重新安装。

1.3.7 主轴密封安装

在安装间,检修密封通 0.05 MPa 的压缩空气,在水中做漏气试验,应无漏气现象。清理清洗主轴密封全部零件,在转轮室上半部未吊下之前,把主轴密封零件放置在转轮室下半部和座环内,待安装。转轮、发电机转子安装完、机组轴线确定后,按图纸主轴密封依次安装完。工作密封弹簧安装调整初始按设计理论值 160 mm,试运行根据不同工况漏水量的多少,可以适当调整。参照水气管路图、自动化图对照设计院图纸安装水、气管路及测温电阻。各合缝面应涂乐泰胶 515,以形成封闭封密。检修密封压缩空气的压力为 0.7 MPa,主轴密封清洁水压力为 0.3 MPa,清洁水用水量为 240 L/min,自动化元件检测合格后再进行安装。

1.3.8 操作油管、受油器安装

在安装,检查清洗内中外操作油管,在转轮室上半部未安装前先把操作油管及其他零件吊入转室下半部。操作油管电站装配时其相互连接的螺纹表面须涂 1 层二硫化钼,并施加预紧力矩,内管 40 kg·m,中管 80 kg·m。各节操作油管电站装配后,按图须加焊限位块。操作油管吊装时使用操作油和吊装工具,先吊装中管,后吊装内管,吊装时中管和内管须摆吊水平。受油器解体检查清洗,然后吊入泡头内。受油器操作油管应参加盘车检查,期摆动不大于 0.1 mm。操作油管检查合格后 (下转第 36 页)

3.2 组合轴承

a. 发电机的正、反向推力轴承和径向轴承组装在同一个轴承座内,设在转子下游侧。

b. 推力轴承正、反推力瓦采用巴氏合金瓦。

c. 在各种正常工况运行时,推力轴承瓦的温度不超过 70°C ,径向轴承瓦的温度均不超过 65°C 。

d. 应允许水轮发电机组在停机后能够立即启动,并允许在事故发生时(包括飞逸转速时)不投入高压油顶起装置停机从而不损害推力轴承和导轴承。

e. 如果轴承油冷却器冷却水中断,应允许机组在额定工况下无损运行 5 min。

f. 推力、径向组合轴承及埋入式检温计均应对地绝缘,其绝缘电阻在 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时用 1000 V 兆欧表测量,其值应大于 $1.0\text{ M}\Omega$ 。

g. 镜板与主轴一起进行锻压加工,并经过足够的时效(调质)精加工完后镜板的镜面应无任何缺陷,加工技术应符合下列规定:①镜板硬度不低于 170 HB;②镜板各部位硬度差值小于 30 HB;③两平行面平行度小于 0.02 mm ;④镜板平面度小于 0.02 mm ;⑤镜面粗糙度小于或等于 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 。

h. 径向轴承应配有一套高压油顶起装置,在机组启动和停止时使用。

i. 推力轴承瓦面和径向轴承瓦面的巴氏合金应无夹渣、缩孔和气孔,用超声波检查轴承无脱壳现象。

j. 发电机轴承和水轮机轴承共用一套润滑油系统和润滑油冷却系统。

k. 在拆卸、调整或检修轴承时,顶轴装置应能顶起发电机的旋转部分。

l. 推力轴承应有防轴电流措施。

3.3 支撑

a. 机组支撑采用管形座为主支撑,发电机侧设辅助支撑。

b. 管形座既是流道又是机组的主支撑,必须具备足够的刚度和强度。应计算管形座固有频率,并使其固有频率与扰动力频率之间有足够的距离,以避免共振的发生。

c. 管形座由内管形壳、外管形壳、前锥体、上部竖井和下部竖井等组成。上、下竖井内应设有不锈钢爬梯和花纹钢板平台,并须考虑管道、电缆的通过。上部竖井顶部应与运行层地面齐平。

d. 内管形壳采用分瓣或整体结构,外管形壳采用钢板分瓣结构,应延伸至发电机盖板下游端。两

者在工厂内预装并在现场组装,其与混凝土接触面应设有锚具及拉杆(包括拉紧用的螺旋扣)。下部竖井支撑与基础之间应设有安装调整装置。

e. 管形座埋设在混凝土中的全部筋板和锚具、浇筑混凝土时内外管形壳之间的支撑、供敷设管路和电缆的各加强肋板与内配水环连接。

f. 管形壳底部应开一定数量的混凝土浇筑孔和灌浆孔,并带堵板。

g. 内配水环、水封座、导水锥三者之间均采用螺栓连接,接合面应有止漏措施。

4 结 语

灯泡贯流式水轮机组轴系采用双支点双悬臂梁,由于重力和转动不平衡,使轴承间隙在周向上不一致,转轮室充水后转轮由于浮力作用会上浮,而转轮室则会由于重力作用下沉,灯泡头在浮力作用下也会上浮,这样如果发电组合轴承和水轮机组组合水导轴承间隙调整不好,必然造成发电机转子和水轮机转轮扫膛及机组产生水力振动的问题。灯泡贯流式水轮机组轴系间隙调整的关键是分析整个轴系的受力以及充水前后受力发生的变化,考虑间隙发生变化的余量,这样机组的轴系调整才能容易满足要求。

(收稿日期 2008-11-15 编辑 方宇彤)

(上接第 11 页)

按图纸依次安装受油器,确保受油器与操作油管同轴度不大于 0.2 mm 。对照调速器油管路图配置受油器管路。操作油管受油器零件清洗后,放置在木板或橡胶板上,用白布包好。吊装时采用麻绳或尼龙绳吊装,防止零件拉伤。受油器管路焊接必须采用亚弧焊,然后进行酸洗、耐压试验。受油器安装时随时检查,防止异物落入。

2 结 语

广西桥巩水电站灯泡贯流式水轮发电机组是我国目前单机容量最大的灯泡贯流式机组,由于灯泡贯流式机组本身适用于低水头电站,流道尺寸较大,所以机电安装中部件的变形问题,双向止推组合轴承、双支点双悬臂主轴的挠度问题,以及灯泡头、转轮的上浮和转轮室的下沉问题等都是世界级的难题,通过科技人员的攻关和努力,解决了这些难题,经过试运行,证明桥巩水电站特大型灯泡贯流式机组整体安装质量优良。

(收稿日期 2008-11-28 编辑 高建群)