

桥巩水电站大型灯泡贯流式水轮发电机组的安装

韩 强

(水电七局机电安装分局,四川 彭山 620860)

摘要 鉴于单机容量 57 MW 超大型灯泡贯流式水轮发电机组安装的特殊性和难度,结合安装实践,阐述桥巩水电站灯泡贯流式水轮发电机组高效安装采取的新技术、新工艺,如管形座安装打破常规工艺和程序,采用整体吊装、空中翻身,导水机构的安装采用内外配水环上游侧朝下放置的方式进行组装,并采取了合理的防变形措施。转轮带叶片翻身吊装,定子消除吊装变形工艺,基础环安装工艺的改进等,减小了安装难度,提高安装工效。

关键词 灯泡贯流式机组;安装程序;工艺改进;桥巩水电站

中图分类号 TK730.6

文献标识码 B

文章编号 1006-7647(2009)S2-0055-04

桥巩水电站工程是赤水河规划开发的第 9 个梯级水电站,是一座以发电为主,兼有航运等综合利用效益的大型水电站,枢纽布置从左到右分别布置有左岸接头土坝、左岸混凝土重力坝、船闸、发电厂房、开关站、泄水闸、右岸混凝土重力坝和右岸接头土坝。电站装设 8 台单机容量为 57 MW 的灯泡贯流式水轮发电机组,总装机容量 456 MW,其中 1 号、2 号、5 号、6 号机组为东方电机股份有限公司(以下简称东电厂)生产,3 号、4 号、7 号、8 号机组为天津 ALSTOM 公司(以下简称天阿厂)生产。电站以 220 kV 一级电压接入广西电网,220 kV 出线 3 回。采用计算机监控,按无人值班(少人值守)设计。

该工程于 2005 年 3 月正式开工,1 号水轮发电机组 2008 年 2 月 1 日进行导水机构吊装,于 2008 年 6 月 30 日完成了与 1 号机组发电有关的所有施工项目,经业主、监理、设计、厂家技术服务人员联合检查验收合格后,于 2008 年 7 月 1 日向 1 号机组流道充水,进入有水调试阶段,于 2008 年 7 月 27 完成 72 h 带负荷试运行试验,机组运行稳定,各部位、各系统工作正常,振动、噪音、瓦温均满足设计及规范要求。3 号水轮发电机组 2008 年 9 月 9 日进行导水机构吊装,于 2008 年 11 月 19 日完成了与 3 号机组发电有关的所有施工项目,经业主、监理、设计、厂家技术服务人员联合检查验收合格后,于 2008 年 11 月 20 日向 3 号机组流道充水,同时进入有水调试阶段,于 2008 年 11 月 30 完成 72 h 带负荷试运行试验,机组

运行稳定,各部位、各系统工作正常,振动、噪音、瓦温均满足设计及规范要求。3 号机组作为桥巩水电站天阿厂的第 1 台机组,设备结构和施工程序与东电厂的机组存在较大差异,现场合理地优化施工方案、施工流程、施工工艺,利用 83 d 完成了单机容量 57 MW 的大型灯泡贯流式水轮发电机组的安装调试工作,实现了投产发电的目标,提高了大型灯泡机组的安装工效。

1 桥巩水电站机组结构特点和技术参数

1.1 57 MW 的大型灯泡贯流式水轮发电机组结构特点

该电站装设 8 台 57 MW 的灯泡贯流式水轮发电机组结构为典型的前置灯泡贯流式,水轮机与发电机共用 1 根大轴,采用直接联接,卧式布置,2 个导轴承,1 个双向推力轴承,形成两支点双悬臂布置方式。管形座作为机组主支承,承受整个机组的重量、正反推力扭矩、厂房荷重、水压力以及机组各工况的静动载荷,并将以上载荷传至混凝土基础。发电机侧设有垂直支撑,承受流道充水前的发电机重量及充水后的水浮力,在灯泡体两侧分别设有流线型侧向支撑,承受机组运行工况下的不平衡侧向力。

1.2 机组的主要部件

a. 水轮机 尾水管、管形座、主轴、主轴密封、水导轴承、转轮、转轮室、导水机构、受油器、调速器及辅助设备。

b. 发电机 定子、转子、组合轴承、冷却套、灯泡头、垂直及侧支撑、封水盖板、润滑油系统、制动装置、灭火装置、通风冷却系统及发电机辅助设备。

1.3 2个厂家设备结构的不同点

a. 东电厂生产的尾水管带法兰面,在尾水管预埋后实测法兰面的中心高程与土建施工的基准偏差应满足规范要求。然后以尾水管的实际位置为基准进行机组其他部件的安装。天阿厂生产的尾水管不带法兰,其在尾水管和转轮室之间设1个基础环,待转轮及转轮室安装完毕后,再进行安装。基础环与尾水管采取焊接结构,最后浇筑基础环三期混凝土。

b. 东电厂生产的水导轴承采用筒式瓦结构。天阿厂生产的水导轴承采用分块瓦结构,底部2块瓦,顶部1块瓦,并设置了油槽,在机组运行过程中,3块水导瓦浸泡在润滑油里,润滑油采取低进高排的循环方式。

1.4 57 MW 灯泡贯流式水轮发电机组主要技术参数
水轮机及发电机主要技术参数见表 1、表 2。

表 1 水轮机主要技术参数									
厂家	水轮机型号	最大水头/m	最小水头/m	转轮直径/m	额定水头/m	额定流量/(m³·s⁻¹)	额定转速/(r·min⁻¹)	安装高程/m	水轮机额定出力/MW
东电厂	GZ(758)-WP-740	24.3	5.5	7.40	13.8	466.96	83.3	52.6	58.5
天阿厂	GZ5B38M-WP-745	24.3	5.5	7.45	13.8	466.64	83.3	52.6	58.5

表 2 发电机主要技术参数									
厂家	发电机型号	额定容量/MW	额定电压/kV	额定电流/A	额定功率因数	额定励磁电流/A	额定励磁电压/V	额定转速/(r·min⁻¹)	飞逸转速/(r·min⁻¹)
东电厂	SFWG57-72/9000	57	10.5	3 407	0.92	980	390	83.3	265
天阿厂	SFWG57-72/9000	57	10.5	3 407	0.92	980	390	83.3	275

2 机组安装程序及安装特点

水轮发电机组安装程序见图 1、图 2。

该工程建设工期短,留给机电安装的有效工期更短。同时还存在设备结构尺寸大、单件设备起吊重量大、安装场地狭窄等问题。针对以上特点,首先在工程施工组织中,合理安排各分部工程和单元工程的施工进度,选择最优的施工程序,采取了新技术、新工艺,减小施工难度,提高安装工效。以下介绍主要部件安装采取的新工艺特点。

2.1 管形座安装工艺改进

2.1.1 内环安装工艺

管形座由内环(4瓣)、外环(含法兰)、外环里衬、过渡里衬、上下导流板等部件组成,总重260t。

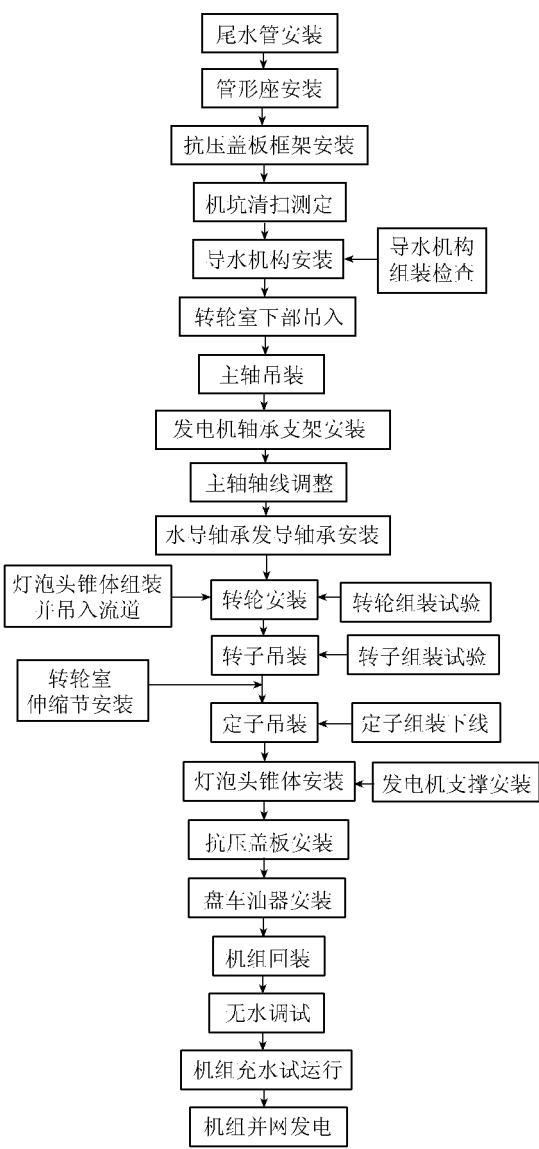


图 1 东电厂水轮发电机组安装程序

其中上、下立柱与内环厂内焊接为整体,内环呈 45°分缝,整体重量为 154t。管形座常规的安装程序为:吊入下内环(含下立柱)→吊入水平位置 2 瓣内环并就位临时加固→吊入上内环(含上立柱)→内壳体组合焊缝的焊接→吊装外环→吊装外环里衬→吊装过渡里衬→管形座整体调整。

安装程序的特点是 内环采用分块吊装,吊装方便,但工期较长,调整加固工程量大,临时施工平台的搭设量大,使用率低。内环焊缝的焊接在机坑内进行,施工条件差,焊接质量难以保证。为此提出了在安装间进行内环组装焊接加固,再整体吊装的方案,内环整体吊装重量 154 t,长度 20.38 m。该方案征得监理、厂家同意后实施,具体安装过程如下:在安装间进行内环清扫及拼装,4 条组合缝螺栓打紧后,对内环法兰面的平面度进行检查调整,合格后利用型钢进行加固(防止翻身变形),对组合缝进行焊接。利用 2 台桥机将组焊完成后的内环整体抬吊至

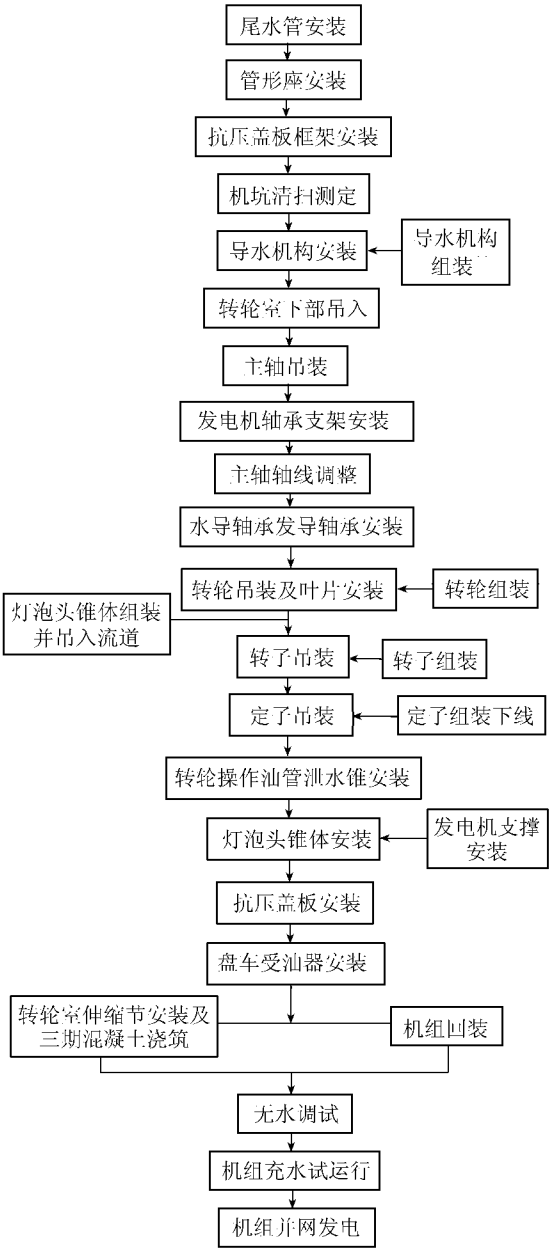


图2 天阿厂水轮发电机组安装程序

安装位置上方,进行整体翻身和吊装,在整个翻身过程中必须保证2台桥机吊钩钢丝绳的垂直。吊入机坑就位并调整其中心高程及中心线偏差至合格。吊装外环(含法兰)、外环里衬,过渡里衬并进行调整加固。管形座整体调整及数据测量,管形座整体加固,验收交接。此方案的实施,确保了管型座的施工质量,缩短了安装工期。

2.1.2 外环焊接工艺

在管型座安装过程中发现,外环与外环里衬之间的环缝焊接对管形座外环法兰波浪度影响很大,很难达到规范要求(规范标准:小于1.2mm)。为确保管形座的施工质量,决定改变厂家的工艺要求,将外环与外环里衬之间的焊缝背面贴1块L50X5的扁铁防止混凝土漏浆,再将焊缝留在二期混凝土浇筑

完后再进行焊接。

管形座土建浇筑后对座环高程、中心及各法兰垂直度、圆度进行测量,各关键数据符合国家规范及厂家技术要求,未出现打磨法兰面的现象。

2.2 导水机构安装改进

导水机构采用安装间进行组装、整体吊装的方法。厂内组装采用内、外配水环上游侧朝上放置的方式,该方案不合理之处在于各部件的重心偏上,容易产生设备倒塌现象,控制环很难安装。有利之处在于16个导叶便于安装。经过协商考虑,最后采取了内、外配水环上游侧朝下放置的方式进行组装。在安装16个导叶时,由于吊装不能到位,另外制作了拔导叶专用工具。

安装间预装完毕后,为了确保顺利吊装,采取了防变形措施:①所有导叶均应推至与外配水环内壁接触严密,然后在每片导叶与内配水环之间安装楔子板,以保持外配水环的圆度,对称打紧导叶与内配水环间楔子板并点焊固定;②用槽钢把导叶相互搭焊在一起,防止导叶在吊装过程中转动;③在内、外配水环的下游侧装焊支撑工具,防止内、外配水环在起吊过程中产生相对位移和变形;④控制环和外配水环利用钢板对称焊接固定。

1号导水机构于2008年2月1日正式吊入机坑安装调整,于2月4日完成吊装任务。导水机构预装及安装过程中,严格按厂家安装说明书及规范要求施工,及时合理地处理设备存在的缺陷,导水机构安装的所有检查验收项目均一次性验收合格,并达到优良。

2.3 主轴系统安装

主轴系统包括主轴、水导轴承及吊具,总重120t。将主轴置放在安装间支墩上,清扫导轴承段轴颈及主轴法兰、大轴内腔。将水导轴承解体清扫,先将水导瓦下半块放置在水导瓦下部,并用支撑块垫住使其与主轴接触,将上半块水导瓦吊装在下半块上并用螺栓将2块组合成整体,检查轴瓦的间隙满足设计要求(0.60~0.75mm)。将内外操作油管按图纸要求安装在主轴内部。

主轴的吊装就位采用厂房桥机的主副钩两吊点进行吊装,主轴就位从发电机吊物孔成坝轴线水平吊入,然后大轴旋转90°,将大轴插入管形座,直至主钩位于极限位置时,用设在水导下游法兰处的吊点将大轴往下游提拉,使主轴成水平状态落在临时支撑上,松开主钩,将导水机构吊装就位后,利用主钩及电动葫芦把大轴吊至最终位置。在垂直支墩上架设经纬仪,利用测量杆检查主轴法兰面的轴向位置及平行度,调整法兰面使其中心高程及轴向位置均合格。

2.4 转轮安装工艺改进

转轮由转轮轮毂及 5 片桨叶组成,总重量为 121 t。根据天阿厂的设计图纸及安装说明书的要求,转轮内部操作油管及泄水锥需在转子和定子安装完成后,再进行安装。转轮叶片也在机坑内安装。

由于现场工期紧,为了缩短机组安装的工期,采取转轮叶片坑外安装,转轮带叶片翻身吊装的施工方案。转轮带叶片总重量约 115 t,现场桥机的小钩额定起重为 50 t,按照厂家设计的翻身吊装工具无法满足大、小钩联合空翻的吊装要求。因此,制作 1 个吊装钢梁,采取桥机大、小钩抬吊的方式,解决小钩额定起重有限的矛盾,完成翻身吊装工作。

3 号机组转轮于 2008 年 10 月 15 日吊装开始,10 月 20 日完成最后 1 个叶片的坑内安装工作,具备下道工序施工条件(即吊装转子的条件),机坑内的施工工期为 6 d,缩短机组安装工期 14 d。同时,确保了转轮安装的施工质量和施工安全。

2.5 发电机转子安装

转子整体到货,在安装间挂装磁极。转子装配主要有转子支架(1F6329)、制动环(3F15330)、磁极(1F6331)、转子引线(3F10509)。装配后总重约 146 t。转子磁极挂装过程中,严格按照规程规范和厂家安装说明书的要求对转子磁极的中心、高程、弦距进行控制,但由于该转子磁极连接为螺栓连接结构,非传统的键连接,螺栓孔存在一定的偏差,导致磁极中心、高程超差,而且无法调整,经厂家技术服务人员确认,并经厂家设计部门下发技术修改通知单,决定只控制磁极弦距,不考虑中心、高程,最终磁极挂装满足厂家技术要求。转子整体耐压合格后,吊入机坑与主轴连接,连轴螺栓采取液压拉伸的方法进行紧固。转子安装满足设计要求,经监理人与厂家代表检查合格。

2.6 定子组装改进

定子由东电厂整体供货,定子重约 147 t,外形尺寸为 $\varnothing 9\,550\text{ mm} \times 2\,950\text{ mm}$ 。定子起吊重量为 154 t(包括定子起吊工具及翻身工具),定子与转子之间的空气间隙为 10 mm。定子的翻身和吊装采用顶部 1 个吊点,因此定子的变形较大,1 号机定子在安装间翻身离地后,测量定子铁芯水平方向的直径,比转子的外径仅大 4 mm,显然不利于定子套装。针对这种情况考虑采取在流道内垂直支撑处的混凝土导流支墩上预先布置 2 条大工字钢轨道、滚筒、支架等,将定子落至支架上,慢松主钩,减少定子变形,测量定子铁芯内径,利用 2 个手拉葫芦将定子慢慢拖进套入转子,此工艺可确保定子吊装的顺利进行。

2.7 3 号机组基础环安装工艺改进

根据机组设备结构特点和安装程序,天阿厂生产的尾水管为不带法兰结构,而是在尾水管和转轮室之间设 1 个基础环,待转轮及转轮室安装完毕后再进行安装,利用基础环消除机组固定部分的安装偏差,基础环与尾水管焊接完毕后,最后浇筑基础环三期混凝土。由于基础环三期混凝土施工工期长,如果等到转轮室安装完毕后再进行施工,将会导致 3 号机组发电时间推迟 1 个月。为此,只能改变原设计方案,利用导水机构下游法兰面作为安装基准,在转轮室和转轮未安装之前,提前安装基础环,基础环三期混凝土在机组安装完成前浇筑完毕。大幅度缩短了 3 号机组的发电时间。但也存在一定的问题,伸缩节为不可调整的结构要求伸缩节与转轮室的间隙必须均匀控制在 1.5 ~ 1.8 mm 范围内,否则就会漏水。在调整伸缩节与转轮室的间隙时,发现间隙无法调整,采取了打磨基础环的止口以及扩大伸缩节连接螺栓孔直径的方法,从而增大了伸缩节的调整量,基本满足安装要求。

3 结 论

- a. 管形座安装打破常规工艺和程序,采用整体吊装、空中翻身,缩短了安装工期,确保了安装质量。
- b. 导水机构的安装,采用内、外配水环上游侧朝下放置的方式进行组装,有效避免了安全风险,提高了施工效率,采取了合理的防变形措施,缩短了机坑内安装工期。
- c. 转轮带叶片翻身吊装,缩短机组安装工期,确保了转轮安装的施工质量和施工安全。
- d. 定子消除吊装变形工艺可提高施工进度,确保定子吊装的顺利进行。
- e. 基础环安装工艺改进大幅度缩短了灯泡贯流式水轮发电机组的发电工期。

参考文献:

- [1] 于合春,周玉龙.大顶子山航电枢纽工程灯泡贯流式机组主轴组装、吊装及轴线调整工艺浅析[J].水利水电技术,2008(12):78-80.
- [2] 付杰,王欢.灯泡贯流式发电机定子机座和转子支架加工工艺的改进[J].东方电机,2009(3):39-42.
- [3] 张秀红,徐光辉.尼那水电站灯泡贯流式机组安装[J].四川水利,2008(3):23-25.
- [4] 于泉海,王吉栋.大顶子山水电站灯泡贯流式机组安装实践[J].水运工程,2008(5):136-140.

(收稿日期 2009-12-01 编辑 方宇彤)