

DOI :10.3880/j. issn. 1006-7647. 2010. 01. 017

特大型灯泡贯流式机组机电安装技术难点

黄中良¹ 赵显忠² 程云山³

(1. 广西方元电力股份有限公司 , 广西南宁 530022 ; 2. 中国水利水电第七工程局机电安装分局 , 四川彭山 620860 ;
3. 河海大学水利水电学院 , 江苏南京 210098)

摘要 通过桥巩水电站工程建设实践 , 分析特大型灯泡贯流式机组机电安装中的技术难点 : ①尾水管里衬、座环、导水机构的吊装变形和焊接变形以及浇筑混凝土引起的尾水管里衬、座环变形 ; ②发电组合轴承和水轮机径向导轴承间隙调整。介绍克服这些技术难点的工艺措施 : 缩短起吊部件滞空时间 , 加大起吊部件整体刚度是减少吊装变形的有效方法 ; 改进焊接工艺是减少焊接变形的有效方法 ; 分层、分步浇筑混凝土并注意浇筑速度是控制混凝土浇筑变形的有效方法。正确估计组合轴承和水轮机径向导轴承在静止和运行状态间隙变化量是调整轴承间隙的重要依据。该工艺措施为提高我国大型灯泡贯流机组的设计、制造和安装水平提供了宝贵的经验。

关键词 灯泡贯流式水轮机 ; 吊装变形 ; 焊接变形 ; 间隙调整

中图分类号 : TV547 ; TV734 文献标识码 : A 文章编号 : 1006-7647(2010) 01-0072-04

Technical difficulties of installation of mechanical and electrical equipment for large scale bulb tubular turbine units//
HUANG Zhong-liang¹, ZHAO Xian-zhong², CHENG Yun-shan³(1. Guangxi Fangyuan Electric Power Co., Ltd., Nanning 530022, China ; 2. Mechanical and Electrical Erection Company of China 7th Water Conservancy and Hydropower Bureau, Pengshan 620860, China ; 3. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : Based on the construction practices of Qiaogong Hydropower Station , the technical difficulties of installation of mechanical and electrical equipment for large scale bulb tubular turbine units were analyzed : one is the hoisting and welding deformations of linings of draft tubes , stay rings and water guide mechanism and the deformation of linings of draft tubes and stay rings caused by concrete filling ; the other is the adjustment of the gap between the combined bearing of generator and the radial guide bearing of water turbine . The corresponding technological measures were introduced as follows : to reduce the air staying time and to strengthen the whole rigidity of hoisting equipment were the effective method to reduce the hoisting deformation ; to improve welding procedures was the effective method to reduce the welding deformation ; to fill concrete step by step and layer by layer and to control filling speed were the effective way to control the deformation induced by concrete filling ; to correctly evaluate the gap variations between the combined bearing of the generator and the radial guide bearing of the water turbine under static and running conditions was the important basis for the adjustment of bearing gap . The solution to the technical difficulties of installation of mechanical and electrical equipment for large scale bulb tubular turbine units of Qiaogong Hydropower Station is very useful for the design , fabrication and installation of large scale bulb turbine units in China .

Key words : bulb tubular turbine ; hoisting deformation ; welding deformation ; gap adjustment

低水头水电站建设 , 淹没土地少、移民工程小、投资少、建设周期短 , 在平原地区是一种良好的水能资源开发方式。灯泡贯流式机组具有运行平均效率高、运行稳定等特点 , 是低水头电站中应用最多的机组形式。但是灯泡贯流式机组发电机必须安装在灯泡头内部 , 由于安装空间的限制和机组通风冷却等原因 , 灯泡贯流式机组的容量一般都比较小 , 目前灯泡贯流式机组单机容量最大的机组安装在日本的只见电站 , 单机容量为 65 MW。我国广西桥巩水电站

选用单机容量为 57 MW 的灯泡贯流式机组 , 就其单机容量来讲 , 目前居世界第二位^[1]。世界上目前单机容量超过 40 MW 的灯泡贯流式机组见表^[2]。作为特大型灯泡贯流式机组由于其结构上的特点 , 在机电安装上有许多技术难点。

1 大型部件吊装时引起的塑性变形

特大型灯泡贯流式机组各个部件的几何尺寸大 , 虽然在吊装过程中各个大型部件都采取了加固

表 1 单机容量超过 40MW 的灯泡贯流式机组

电站名称	国家	台数/台	功率/MW	水头/m	转速/(r·min ⁻¹)	转轮直径/mm	生产厂家
石岛	美国	8	52.90	12.10	85.7	7400	阿尔斯通
科拉斯托姆	葡萄牙	3	40.00	11.30	83.3	6800	阿尔斯通
只见	日本	1	65.00		100.0	6700	日立
贝莱	法国	4	46.70	17.02	107.10	6400	GEC
CAKOVEC	南斯拉夫		42.00	18.90	125.0	5400	阿尔斯通
尼拉	中国	4	40.00	12.20	100.0	5500	天阿
萨拉托夫	苏联	2	47.30			7500	
阿尔腾沃尔特	奥地利	9	46.70			6000	伏依特/依林
易卜斯	奥地利	3	46.00			7500	V.M.S/依林
洪江	中国	5	45.00			5400	日立/HEC
长洲岛	中国	15	42.94	9.50	75.0	7500	天阿/东电

措施 ,但是由于吊装在空中的滞空时间长 ,部件塑性变形将不可避免。所以在大型部件的吊装过程中应重视各部件的加固 ,尽量缩短吊装滞空时间。吊装引起塑性变形的部件主要包括尾水管里衬、座环、导水机构^[3]。

1.1 尾水管里衬吊装变形

桥巩水电站的尾水管里衬分为前段、中前段、中后段和后段共 4 段 ,每一段采用分瓣结构。前段法兰是整个机组的安装基准 ,其法兰面与水轮机转轮室连接 ,安装精度要求高 ,安装调整难度大。在基坑中组圆 ,由于尺寸太大 ,虽然在分瓣中焊有支撑钢支架 ,但是滞空时间一长 ,容易产生变形 ,尤其是尾水管里衬的进口端与水轮机转轮室的出口端要用螺栓连接 ,调整尾水管里衬的高程、圆度、中心和波浪度需要耗费大量的时间。所以应尽量缩短尾水管里衬的滞空时间 ,在吊装重量许可的情况下尽量将尾水管在基坑外组圆后再吊入基坑。在尾水管内部加焊钢支撑是防止尾水管吊装变形的有效措施。桥巩水电站尾水管里衬结构尺寸见图 1。

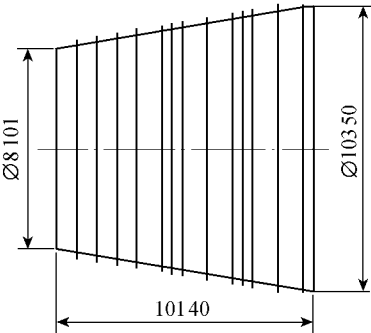


图 1 尾水管里衬结构(单位 :mm)

1.2 座环吊装变形和解决措施

座环是灯泡贯流式机组的主支撑 ,它是整个机组的安装基准 ,其上游侧的内环与发电机的定子及灯泡连接 ,下游侧内、外环分别与导水机构的内外环连接。由于尺寸庞大 ,安装调整时间长 ,所以滞空时间很长 ,容易变形 ,应尽量缩短座环滞空时间 ,在座

环的内、外环之间加焊各个方向的钢支撑是防止座环吊装变形的有效措施。

1.3 导水机构吊装变形和解决措施

灯泡贯流式水轮机的导水机构是水轮机的重要组成部分。为保证导叶在内、外环中正常转动 ,导叶的轴端必须与内、外环之间留有一定的间隙 ,再加上导水机构的尺寸比较大 ,在起吊过程中内、外环必然会发生变形。由于导水机构进口法兰与座环的出口法兰连接 ,而导水机构的出口法兰与水轮机转轮室的进口法兰连接 ,所以导水机构吊在空中的时间比较长 ,极易产生塑性变形。

为了减少吊装变形 ,导水机构正式安装时 ,应把导水机构的导叶置于全关位置 ;将导叶轴沿其轴向向导水机构外环方向拉 ,使导叶外端顶住导水机构外环内壁 ;在导叶内端面与导水机构内环壁的间隙插入楔子板 ,并将其焊接固定 ;用搭板焊接相邻的导叶 ,将导水机构整体吊入安装位置 ,并与管形座把固 ;将导水机构安装到位后 ,割去搭板 ,卸下楔子板 ;将导水机构的导叶作为支撑件用以固定内、外环 ,使内、外环不发生形变。

在导水机构下游侧内、外环设计安装定位架 ,由钢材焊接构成大“ # ”字架和小“ # ”字架 ,大、小“ # ”字架的端部分别与导水机构下游侧外环、内环的端面固定连接 ,大“ # ”字架与小“ # ”字架之间通过支架固定连接成一体。安装定位架 ,通过与导水机构下游侧的内、外环端面固定连接的方式 ,将导水机构的内、外环固定为一体 ,加强了整个导水机构的结构强度 ,确保在吊装过程中内、外环相对位置保持不变 ,降低了安装难度 ,提高了安装质量 ;并且大、小“ # ”字架加强了外环、内环的强度 ,保证了导水机构外环和内环的圆度 ,减少了吊装过程中的形变 ,进一步提高了安装的精度。

2 焊接引起的变形

焊接引起的变形主要包括尾水管里衬的焊接变

形、座环的焊接变形和导水机构的焊接变形^[3]。

2.1 尾水管里衬焊接变形和解决措施

桥巩水电站尾水管里衬由 4 节构成,每节又分为 3 瓣或 4 瓣。分瓣首先要组成节,这样产生 3 道或 4 道纵向焊缝。4 节相连产生 3 道环形焊缝,由于尺寸较大,所以 3 道环形焊缝尺寸较长,而且尾水管里衬具有一定的厚度,焊接过程中容易产生变形。采用对称、分步、退步焊接法是有效减少环形焊缝变形的有效措施。

2.2 座环焊接变形和解决措施

桥巩水电站水轮机座环由内环、外环、外环里衬、上部竖井和下部竖井、上下导流板等组成。内环 X-X 方向分上、下 2 瓣结构到货,外环和外环里衬为分瓣结构到货。座环与混凝土接触面设有锚具及拉杆,下部竖井支撑与基础之间设有安装调整装置。座环使用普通钢材(Q235A/B)焊接而成。座环外环直径分别为 10 870 mm 和 12 806 mm,上、下梯形柱的柱端面相距 21 350 mm,管形座的总质量约为 235 t。座环分为 12 大件运至工地进行组装和焊接。上、下梯形柱各一件,内环分 2 瓣,外环分为 4 瓣,外环里衬分为 4 瓣。内环与上、下梯形柱采用螺栓组合,并焊接组合焊缝。2 瓣内环组合缝采用螺栓连接,并封焊组合缝。4 瓣外环组合缝采用螺栓连接结构,封焊组合缝。4 瓣外环里衬组合缝及与外环连接的环缝均采用焊接结构。外环及外环里衬在安装时采用支撑钢管固定在内环上。座环的焊接主要包括内环与梯形柱焊接、外环里衬和过渡里衬的纵缝、环缝焊接。由于外环由 3 个环组成,有 2 道大的环形焊缝,即使采用对称、分步、退步的焊接工艺,也不可避免会产生焊接变形,一旦变形,其调整难度非常大。

针对这 2 道环形焊缝,桥巩水电站采用了新的工艺,组装内环,将分别组成过渡里衬、外环里衬、外环的圆弧吊入安装位置,并组装成圆环,调整三者的位置,使圆环端面对应,形成 2 条环形焊缝,在过渡里衬与外环里衬之间、外环里衬与外环之间焊接连接板;调整管形座内、外环的同心度、圆度、中心高程,管形

座内、外环之间焊接支撑架,浇筑混凝土,待混凝土养护完成后,对环形焊缝中未被连接板挡住的部分进行焊接,割去连接板,对环形焊缝中被连接板挡住的部分进行焊接,割去支撑架。这样大幅度降低了由热应力产生的形变,确保了座环外环的圆度,减小了安装难度,降低了安装风险,提高了安装精度。

2.3 导水机构焊接变形和解决措施

导水机构内、外环各分 2 瓣,到现场需焊接整圆。由于强度的需要,导水机构的内、外环具有一定的厚度,虽然焊接时采用一定的焊接工艺,但是焊接过程中容易产生变形。导水机构内、外环一旦发生变形,那么导水机构进口端与座环出口端连接的法兰以及导水机构出口端与水轮机转轮室进口端连接的法兰均会发生变形;同时,安装在内、外环之间的导叶极易产生卡阻。所以导水机构内、外环分瓣焊缝施焊时要采用对称、分步、退步焊接法,可有效地减少焊接变形。

3 浇筑混凝土引起的变形

混凝土浇筑温度变形对尾水管埋设件、座环均有影响。灯泡贯流式机组,尤其是有法兰面的尾水锥管是整台水力机组安装的一个重要基准,故对尾水锥管的安装精度要求很高,特别是水平度偏差,如果尾水锥管的水平度超差,将会影响整台水力机组的安装质量。故浇筑混凝土时应特别注意进度和温度的控制^[4]。

4 组合轴承和水轮机径向轴承间隙调整

灯泡贯流式机组采用双支点双悬臂大轴受力,如图 2 所示。在发电机部分有 1 个组合轴承,在水轮机部分有 1 个径向轴承。组合轴承位于发电机的下游侧,由正向推力轴承、反向推力轴承和径向轴承组成,径向轴承在水轮机大轴密封的上游侧^[5]。

4.1 发电机组组合轴承间隙调整

4.1.1 发电机组组合轴承

发电机的正、反向推力轴承和径向轴承组装在

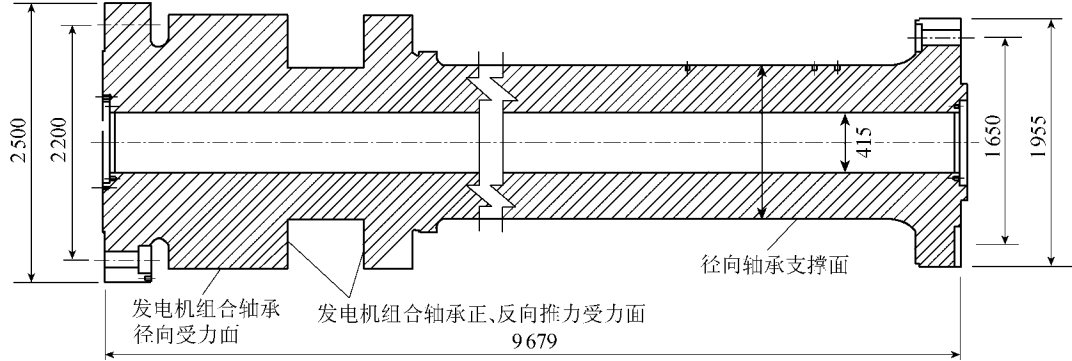


图 2 双支点灯泡贯流式机组大轴受力示意图(单位:mm)

同一个轴承座内,设在转子下游侧。推力轴承正、反推力瓦采用巴氏合金瓦。在各种正常工况运行时,推力轴承瓦的温度不超过 70°C ,径向轴承瓦的温度不超过 65°C 。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而不损害推力轴承和径向轴承。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 。镜板与主轴一起进行锻压加工,并经过足够的时效(调质)精加工结束后镜板的镜面应无任何缺陷。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。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,用超声波检查轴承应无脱壳现象。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。

4.1.2 发电组合轴承间隙调整

发电组合轴承间隙调整要经过轴系计算,得出绕度。同时要考虑到轴承间隙在静止状态和运行状态会出现变化。灯泡头和发电机定子 in 流道充水后会发生“抬头”现象^[6],轴承间隙会发生变化,如果估计不足,就有可能发生转子“扫膛”或发电机空气间隙不均匀,造成电磁力不均,从而引起机组振动,影响整个机组的安装质量。

4.1.3 正向推力轴承受力调整

发电机转子以及水轮机转轮与主轴连接,机组定子、转子平均磁力中心线符合要求后,方能进行推力轴承受力调整。先在正向推力瓦背的4个角与推力支撑之间临时固定4个顶丝,用顶丝将正向推力瓦贴在正推镜板上,调整、检查各正向推力瓦与镜板的接触情况,确保其接触良好;旋转调整板,使支柱螺钉顶上正向推力瓦;在使用顶丝时应保证主轴没有轴向位移,同样调整支柱螺钉时也必须保证主轴未产生轴向位移;要求以相同大小的力锤击正向推力瓦支柱螺钉1遍,其锁定板上的标记位移偏差在 1 mm 以内为合格(打受力时,须用千分表监视主轴镜板面的垂直度)。

4.1.4 反向推力轴承受力调整

利用千斤顶及高压油顶起装置将机组转动部分向上游侧平移 $1.0\sim 1.2\text{ mm}$,用顶丝将反向推力瓦贴在反推镜板上,调整、检查各反向推力瓦与镜板的接触情况,确保其接触良好。按照正向推力瓦受力的调整检查方式,进行各反向推力瓦受力调整。反向推力轴承受力调整合格后,应利用制动器及高压油顶起装置将机组转动部分归位。

4.2 水轮机径向轴承间隙调整

4.2.1 水轮机径向轴承

由于水轮机径向轴承是双支点双悬臂梁其中的

一个支点,轴承间隙在周向上不一致,而且最根本的问题是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,如果间隙调整不好,必然造成转轮扫膛^[1]和水力振动的问题。

水轮机径向轴承采用分块瓦结构^[7],运行可靠、便于检修。在运行中保证不漏油、不用油。水轮机径向轴承必须能承受机组任何运行工况(包括飞逸工况)下的径向荷载。轴瓦表面衬以巴氏合金材料。轴承的设计要允许主轴出现微小的轴向位移。轴承支撑采用球面支撑自调心结构,以适应主轴挠度的变化。下部设有调整块,用于主轴轴线调整,并可调整转轮和转轮室之间的间隙。轴承应设置高压油顶起装置、轴承回油箱和高位油箱。

4.2.2 水轮机径向轴承间隙调整

由于水轮机径向轴承是双支点双悬臂梁其中的一个支点,轴承间隙在周向上不一致,流道充水后,在浮力和重力的影响下,转轮会上浮,而转轮室会整体下沉变形,造成静态下调整好的水轮机径向轴承的间隙发生变化,加上机组运行后桨叶在水力作用下会带动整个转动部分轴向“窜动”,容易与转轮室发生扫膛,轻度扫膛会加大机组振动和机组运行的噪音,过大的扫膛会使桨叶卡阻甚至损坏。调整水轮机径向轴承间隙时要预先估计这些变化,这样变形后正好使机组轴承间隙均匀。

5 结 语

桥巩水电站装设的灯泡贯流式水轮发电机组其单机容量目前居世界第二位,机电安装中许多难题的攻克促成了许多原创性成果的诞生,必将为今后同类机组的水电站机电安装留下宝贵的经验。

参考文献:

- [1] 黄中良,程云山.桥巩水电站工程建设管理实践与创新[J].水利水电科技进展,2008,28(S2):1-4.
- [2] 黄中良,程云山.桥巩水电站机组选型设计与实践[J].水利水电科技进展,2008,28(S2):5-8.
- [3] 韩强,钟小华.桥巩水电站机电安装中的变形问题[J].水利水电科技进展,2008,28(S2):12-13.
- [4] 崔永焕,李滨,马杰,等.大型灯泡贯流式水轮机管型座装焊新工艺[J].大电机技术,2001(3):52-55.
- [5] 赵道利,梁武科,万天虎,等.灯泡贯流式水轮机轮缘间隙流动的数值模拟[J].西安理工大学学报,2007,23(3):246-247.
- [6] 王学信.大河家水电站2号机组发电机转子扫膛的修复[J].甘肃水利水电技术,2003,39(1):55-56.
- [7] 陶红,姜剑锋.大中型灯泡贯流式水轮机结构简介[J].电站系统工程,2003,19(6):39-40.

(收稿日期:2008-12-30 编辑:方宇彤)