

TB 水电工程水轮机埋件关键点控制

兰东宏, 咎亚锋, 齐巨涛, 文仁学, 师 永

(华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 云南 迪庆 674608)

摘要:在介绍 TB 水电工程水轮机基本参数的基础上, 详细梳理了尾水管、座环、蜗壳、机坑里衬等水轮机埋件的关键控制点, 包括基准点的确定、关键尺寸控制、焊接控制及混凝土浇筑过程控制等, 并给出了具体的控制措施。

关键词:水轮机埋件; 基准点; 尺寸; 焊接; 混凝土浇筑; TB 水电工程

中图分类号:TK730.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2024)S1-0060-06

Key point control of turbine embedded parts in TB Hydropower Project//LAN Donghong, ZAN Yafeng, QI Jutao, WEN Renxue, SHI Yong (*Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diding 674608, China*)

Abstract: On the basis of introducing the basic parameters of the TB Hydropower Project turbine, the key control points of the turbine embedded parts such as the draft pipe, stay ring, spiral case, and pit liner pit lining are detailed, including determination of the reference points, control of key dimensions, control of welding and control of the concrete pouring process. Specific control measures are also provided.

Key words: turbine embedded parts; reference point; dimension; welding; concrete pouring; TB Hydropower Project

TB 水电工程水轮机埋件为“精品机组”实施的重要控制部分, 其安装质量会直接或间接影响“精品机组”的结果及工程施工整体进度, 因此对水轮机埋件质量控制需进行严格把关。本文对水轮机埋件的关键控制点进行分析梳理, 并提出相应的控制措施。

1 基本参数

TB 水电工程水轮机埋件主要由尾水管、座环、蜗壳、机坑里衬及接力器基础等部件组成。其中尾水管由 11 节肘管和 3 节锥管组成, 进水口断面为直径 7938.0 mm 的圆形, 出水口断面为高 6442 mm、宽 13493 mm 的椭圆形, 肘管高度(顶部到底部)为 11912 mm, 长度(肘管中心线到出水边)为 11000 mm, 总质量约 144.335 t(含附件), 最大管节尺寸为 13493 mm×6442 mm×1883.9 mm; 锥管出水口直径 7938.0 mm, 进水口直径 6230.18 mm, 高 7528 mm, 总质量 57.62 t, 在第二段设有 360 mm×240 mm 尾水进入门。座环由上法兰、上围板、上环板、固定导叶、下环板、上下过渡板、下围板、下法兰、基础法兰、基础环等组成, 座环下法兰上设有浇捣孔、压力灌浆孔, 下环板设有灌浆排气孔, 上围板上

设有压力灌浆孔, 基础环上设有压力灌浆孔, 分 4 瓣到货, 最大直径约 10230 mm, 最大高度 5173 mm, 单瓣质量约 66 t, 总质量约 250 t。蜗壳由 23 节蜗壳节和 4 节进口节组成, 进口最大直径 7690.0 mm, 最大板厚 36 mm, 蜗壳总质量约 224.5 t。机坑里衬分上、下两段, 每段分两瓣, 内径 9400 mm, 高 5725 mm, 总质量约 61.1 t。

2 水轮机各埋件关键点控制

2.1 尾水管安装关键点控制

尾水管的作用是将转轮出口水流引向下游, 利用下游水面至转轮出口处的高程差, 形成转轮出口处的静力真空, 利用转轮出口的水流动能将其转化为转轮出口的动力真空从而提高转轮的稳定性和效率。尾水管包括尾水肘管和锥管, 由于尾水肘管为肘弯不规则形状的薄壁钢板且是尾水埋件的基准, 因此尾水管安装的关键控制点在肘管安装的基准确定、尺寸控制和混凝土浇筑过程变形控制。

2.1.1 基准确定

肘管安装的基准是整个水轮机埋件安装的基准, 因此确定肘管安装的基准尤为重要。

肘管安装前, 在厂房内设置两个基准测量桩

(点)(若足够长还应间隔增加设置),基准测量桩(点)应设置牢固且分别布置在厂房两端便于观察和不易碰撞的地方,以便于相互校对。基准测量桩(点)设置并测量好后需由第三方测量机构进行复核校对并形成主厂房安装控制网成果表,作为机组安装后续测量放点基准和依据。

此外,还需要对肘管定位节基准进行精准控制,只有定位精准才能确保肘管安装的位置尺寸正确。因此肘管定位节安装前还应在机坑内放好定位节出口边线和y轴中心线(图1),利用钢琴线或棉线和膨胀螺栓拉出定位节出口边线和y轴中心线,便于调整时比对,提高效率(当然也可以利用全站仪对定位节进行调整测量)。另外还需同时放出机组基准高程点,便于安装调整高程。

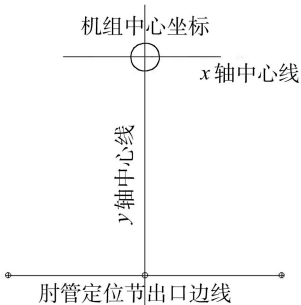


图1 肘管安装放样示意图

2.1.2 尺寸控制

肘管为肘弯不规则形状薄壁钢板,除出口定位节外,其余管节尺寸控制只能通过全站仪和水准仪对进水管口边线的顶、底和两腰坐标点及高程进行控制。同时,在肘管挂装前需对肘管到货的两腰点、顶点及底点标记尺寸进行复测并对周长进行检查核对,便于肘管组装压缝。另外肘管的肘弯在焊接时由于焊缝收缩可能造成上游或下游收缩不对称,让肘弯向上游或下游偏移(图2),若不及时纠正容易向一个方向偏移,造成整个管口中心“跑偏”,因此在肘管焊接时必须组拼一节焊接一节,不能挂装多节后集中焊接,须根据焊接后的尺寸方向在挂装或焊接过程中及时调整,便于中心偏差的控制(已有多个电站由于焊接控制不当出现肘管中心向上游或

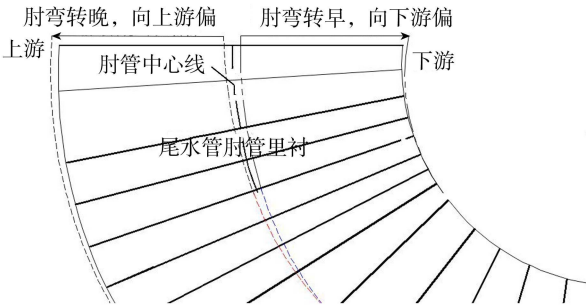


图2 肘管中心偏移示意图

下游跑偏的问题)。

2.1.3 混凝土浇筑过程控制

肘管为肘弯薄壁钢板结构,在混凝土浇筑时有较大面积承受混凝土浇筑时的上浮力以及热膨胀带来的变形。因此,肘管在混凝土浇筑前需加固牢靠,同时在混凝土浇筑时,严格按照设计要求层高进行分层对称下料浇筑,并在浇筑500~700mm高度时需暂停施工,待混凝土有一定强度后(肘管所有加固拉锚能吃上力)再浇筑,浇筑至离肘管底部约400mm后,采用管泵从肘管过流面灌浆孔(直径150mm)部位用自密实混凝土浇筑,浇筑时禁止高压强行压入混凝土。浇筑过程中需埋设冷水管对混凝土进行降温冷却,降低热膨胀带来的变形。混凝土浇筑过程中须严格监视上升速度(不大于0.3m/h),每次浇筑厚度按不大于0.3m要求控制,下料时从肘管四周均匀、对称下料。

另外在混凝土浇筑过程中应每隔1h监测一次,监测可采用全站仪或另搭设支架用百分表对上管口4个轴线点和出水口底板高程进行监测,并及时记录反馈,土建施工人员根据反馈数据及时调整浇筑速度和下料顺序。

2.2 座环安装关键点控制

座环具有承重部件和通流部件的作用,即将顶盖上的重量及压力传递给蜗壳,再通过蜗壳传递到混凝土基础上;同时座环也保证了水流均匀轴对称流入导水机构。座环也是整个水轮发电机组的安装基准,其中心、高程决定了后续整个机组安装的中心和高程,因此其焊接质量和尺寸控制均尤为重要。

2.2.1 焊接控制

座环材质特殊、板材厚,施焊难度大,因此座环焊接是埋件安装的一个难点。

2.2.1.1 焊前准备

- a. 人员要求。①对焊工要求:对焊工资质进行复核检查,满足厂家要求后批准入场,并在现场进行焊接考试,考试应满足仰焊、立焊和横焊等无损检测质量要求,即须满足TOFD、UT、MP/PT和VT检测要求。对于考试合格的焊工进行编号并登记备案。
- ②无损检测人员:无损检测人员资质应满足要求。
- ③焊条加温、保温、发放以及焊接过程检查、测量人员均需专人负责,并交底到位。

- b. 焊条存放及加温使用要求。①焊条存放:焊条必须存放在干燥且通风良好的仓库内,仓库的相对湿度必须小于60%,且温度不低于5℃。焊条应存放在货架上,货架离地和墙的距离均不小于300mm。焊接材料相应质量保证书应与焊接材料同时提交。
- ②焊条使用前准备:焊条必须按照焊条

说明书上要求的温度和时间进行烘干、保温。焊条烘干后放入 100~150℃ 焊条保温箱内,登记发放,随用随取。③焊条使用:焊工领焊条时,须佩戴保温筒,保温筒在使用时应接通电源。焊条在烘箱外的时间不超过 4h,否则须重新烘烤。未经烘干的焊条禁止使用。当天用不完的焊条要退回焊条库,重新烘干处理。注意焊条的烘干数量与每天使用的数量尽可能相同,避免焊条多次重复烘干,焊条重复烘干的次数不得超过 3 次。

c. 电源保证。座环焊接前需认真检查梳理焊接及加温电源的可靠性,有必要准备一套备用电源,且能保证在第一套电源断电后 2h 内恢复供电。

d. 复核尺寸满足规范要求,各焊接设备(焊条加温、保温设备及焊缝加温、保温设备,照明设备(电压不大于 36 V,照度足够),检测装置等)、设施(焊接平台)等满足厂家焊接工艺要求。

e. 对焊接环境进行检查,不满足条件的须采取防风(不大于 6m/s)、防雨、防潮及保温措施。

f. 焊缝本体进行清扫检查以满足焊接要求,对坡口宽度不满足要求部位须采用合金磨头打磨。

g. 对焊工技术进行交底并检查合格。焊工需清楚焊接工艺顺序、焊接电压、焊接电流、摆速、焊条材质、焊条大小等,必要时须在焊缝处进行张贴。

所有准备工作完成后由厂家及监理共同签字确认才可转序焊接。

2.2.1.2 焊接

a. 总体原则:严格按照厂家焊接工艺守则进行焊接。

b. 加温方式:点焊采用烤枪加温,焊接加温采用温控柜控制,履带式加热片加温。

c. 加固焊要求:长度 100 mm,间距 400 mm,焊缝高度不超过正式焊缝高度的一半,最大不超过 8 mm。

d. 焊接应力控制:焊接过程中除底层、表层焊缝不进行锤击外,对其余各层焊缝逐层进行锤击,以减少残余应力。焊接过程中上、下层焊缝的接头要错开 30~50 mm,焊道宽度不大于焊条直径的 4 倍。

e. 过程控制:焊接过程中加强对焊条加温、保温、发放管控,安排专职人员对焊接工艺顺序、焊接电压、焊接电流、摆速以及预热温度和层间温度进行检查,并间隔 1 h 进行记录。每天焊接完成后需对座环焊缝收缩及半径、水平等进行测量分析,根据分析数据适时调整焊接顺序。监理工程师需对预热温度、线能量、焊条加温保温、锤击等情况进行旁站检查,发现违规施焊则应立即要求整改。

f. 消氢处理:焊接完成后注意对上、下环板及过渡段进行加温 150~200℃ 保温 2h 消氢处理,随后

使用保温材料对焊缝及相邻 400 mm 区域进行覆盖并缓慢冷却至室温。

g. 第三方检测控制:在施工单位探伤人员对焊缝进行检查、监理单位对其抽查完成后,再由焊缝第三方检测机构随机抽取检测。

2.2.2 尺寸控制

座环安装前,应使用全站仪对安装的坐标点进行重新校核,将机组中心轴线及高程等设置在机坑内固定且牢靠的钢筋上,并由第三方测量机构复核确认。

吊装前,应先将座环基础螺栓置于各支墩预埋孔内,并通过计算在混凝土支墩上调整好楔子板高程及水平。在机坑座环混凝土支墩旁对称设置 4 个钢支墩,并在钢支墩上均布 4 个 100 t 千斤顶,调整千斤顶顶面高程略高于基础楔子板顶部高程。采用 550 t 桥机整体将座环吊入机坑,吊装时应使座环方位轴线与机组轴线一致,当座环下法兰面距基础螺杆顶面约 20 cm 时,人工提起基础螺栓,并穿入座环下法兰,缓慢下落至千斤顶上。

根据测量计算确定座环固定导叶平均中心线,通过千斤顶将其调整到设计高程(允许偏差控制在 ± 2.0 mm 内),检查上法兰和底环把合面法兰水平(控制在 1 mm 内)。

根据预设机组基准线 x 、 y 轴线挂十字钢琴线,利用其他千斤顶或链条葫芦配合桥机调整座环的中心及方位。使座环法兰面上的 x 、 y 标记线与十字钢琴线重合(或使用全站仪对座环上法兰中心进行检测),单个值的偏差应不超过 ± 2.5 mm。

2.2.3 加固牢靠

复查座环的中心、方位及高程、水平等调整合格后,打紧基础楔子板,按设计要求将相应的基础螺栓预紧到设计值。再次复查座环的各安装参数(应满足规范要求)。应对基础螺栓的拉紧程度、焊接质量以及楔子板与支墩及座环基础法兰的接触面积等进行重点检查,必要时须增加拉锚进行加固。

2.2.4 混凝土浇筑过程控制

座环混凝土浇筑与蜗壳一起浇筑,具体见蜗壳混凝土浇筑过程控制。

2.3 蜗壳安装关键点控制

蜗壳为引水部件,其作用是保证水流以最小的水力损失把水引向导水部件,从而提高水轮机效率并尽可能保证沿导水部件周围的进水流量均匀,水流对称于轴线,以使转轮受力均匀,提高工作的稳定性,为转轮提供具有一定环形能量的水流。因此蜗壳为承压部件,其尺寸控制、焊接质量控制和混凝土浇筑过程控制均尤为重要。

2.3.1 尺寸控制

蜗壳尺寸控制的关键主要在定位节和凑合节控制,因此定位节的尺寸控制、加固和凑合节的配割尤为重要。

2.3.1.1 定位节安装

a. 定位节设置。TB 水电工程蜗壳定位节根据凑合节及现场实际情况进行设置,共设 3 个定位节,以定位节为蜗壳挂装的基准向凑合节方向依次挂装蜗壳管节。由于 TB 水电工程蜗壳进口第 4 节设计为锥形,不便于作为凑合节,因此设计将其设置为定位节,但考虑到进口第 2 节与大舌板焊接量大,造成焊接变形且容易把原来设计作为定位节的进口第 4 节拉扯变形,因此将进口第 2 节作为定位节,可在两边通过其他管节进行调整,确保进口第 4 节与压力钢管接口位置不变,最终将定位节设在进口第 2 节。另外在蜗壳尾部及中间段再分别设置 1 个定位节。TB 水电工程蜗壳定位节的设置及挂装顺序见图 3。

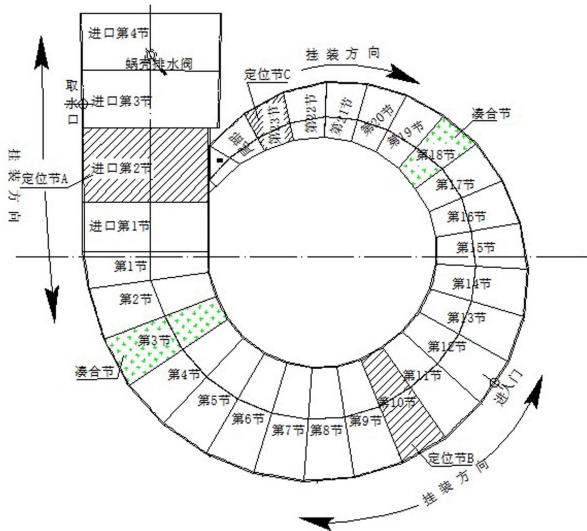


图 3 蜗壳挂装顺序示意图

b. 定位节安装基准点设置。通过蜗壳装配断面尺寸计算定位节安装基准坐标,并用全站仪放出蜗壳定位节进、出水管口中心坐标和进、出水管口边线及最远点坐标(图 4),采用钢琴线拉出定位节中心线,进、出水管口边线通过吊线锤调整远点坐标。尤其要控制好进水口第 2 节定位节位置坐标,因为

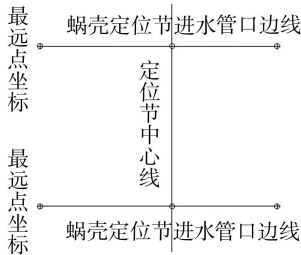


图 4 蜗壳定位节尺寸控制示意图

此管节与座环舌板相连,定位节基准坐标点必要时应由第三方测量机构进行复核,另外由于进水管口还有两节就与压力钢管相连,因此也需对进口第 3、4 节的进水管口中心线、边线和最远点坐标进行放点控制,确保压力钢管最后管节与其精准对接。

c. 定位节尺寸控制。提前在定位节处布置好支墩、楔子板等,在上下过渡板预热后分别焊接两块限位搭接块,将定位节吊装到位后,用千斤顶或拉紧器等进行精确调整,通过已放好的基准线精确调整管节边线位置,采用水准仪确定定位节顶、底及最远点高程,采用铅垂线测量调整定位节进、出水管口边线垂直度和最远点坐标。调整合格后通过钢管或支墩将定位节加固牢靠,并按工艺要求将定位节预热后点焊牢固。调整和验收定位节管口的倾斜值不大于 3 mm;定位节管口基准线偏差不超过 ± 4 mm;最远点半径偏差不超过 ± 3 mm;定位节最远点高程偏差不超过 ± 4 mm;蜗壳与过渡板中心错位不大于 2 mm,焊缝间隙为 2~4 mm,如达不到要求可长焊处理。

2.3.1.2 凑合节安装

在凑合节两边的管节挂装、焊接完成后进行凑合节的安装。凑合节采取在现场划线配割的方法进行精准控制。

a. 凑合节配割。瓦块吊装前,测量凑合节相邻两断面对应部位(按间隔 200 mm 一段)坡口钝边的间距,并绘制草图做好记录。在凑合节对应瓦片上根据所测数据描点绘线,用磁力切割机配割凑合节并修磨出相应的坡口,并用角磨机打磨出金属光泽。

b. 凑合节挂装。凑合节按照从下向上的顺序依次挂装(图 5)。

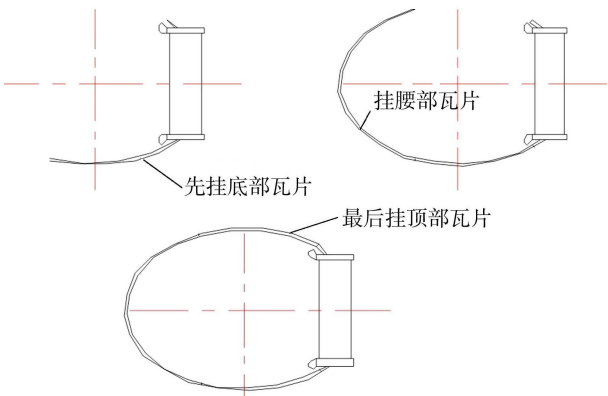


图 5 凑合节挂装示意图

2.3.2 焊接质量控制

a. 蜗壳焊接通用要求。蜗壳焊接通用要求同座环焊接要求。

b. 温度要求。①采用电加热器进行预热,在焊缝两侧各 100 mm 处布置加热片。预热在坡口两侧均匀进行,防止局部过热,预热升温不超过

2℃/min。②预热设备采用 5~10 kW 履带式加热板,测温设备采用红外线测温仪。预热区的宽度为焊缝中心线两侧各 3 倍板厚,且不小于 100 mm。③与座环相连蜗壳(上下过渡段、蝶形边及尾部)焊缝预热温度不低于 80℃,现场挂装蜗壳焊缝温度不低于 120℃。④层间温度:现场挂装蜗壳最高层间温度不大于 160℃,与座环相连蜗壳最高层间温度不大于 220℃。⑤蜗壳定位焊温度比正式焊预热温度高 20℃。⑥蜗壳焊接线能量应控制在 20~30 KJ/cm。⑦蜗壳焊缝在焊接后应立即加热升温到 150~200℃,保温至少 2 h,并缓慢冷却至室温,冷却速度应控制在 30~50℃/h 之内。

c. 焊接。①焊接顺序:蜗壳管节环缝焊接→蜗壳与座环上、下过渡板环缝焊接→凑合节纵缝焊接→凑合节环缝焊接。②蜗壳各节的挂装与对接环缝的焊接可交叉进行,每个工位挂装 4 节后可开始焊接第一节与第二节的对接环缝,以此类推,挂装、焊接其余蜗壳,保证每次焊接环缝时,此环缝两侧各有不少于 2 节已挂装的蜗壳,相邻两条环焊缝焊接完成后,可焊接此管节蜗壳与过渡段之间的焊缝。焊接蜗壳与过渡段焊缝时,需注意将焊缝接头避开“丁”字焊缝交叉位置。③对于蜗壳进口直管段,在装配时,需为每条环缝预留 2~3 mm 焊接收缩缝,以保证焊后各节管口至-x 轴线距离满足图纸要求。④蜗壳焊接时由 4~8 名焊工分别在蜗壳内、外表面分段焊接(腰线以上主缝在蜗壳外面,腰线以下主缝在蜗壳里面)。⑤蜗壳焊接主要采用单道镶边多道多层分段退步焊,在主坡口侧焊满坡口深度 2/3 后,背面清根,打磨之后进行 PT 或 MT 检查,检查合格之后焊接背缝,最后完成主缝焊接(如图 6 所示:1→2→3)。⑥环缝焊接采用多层多道分段退步焊,层间接头应错开 50 mm 以上(图 7)。⑦上、下过渡板与蜗壳焊接采用多层多道分段退步焊,每段长度 200~400 mm,上下过渡板同时对称施焊。⑧凑合节焊接(图 8),按 1→2→3 顺序,焊接方法与环缝焊接相同,应注意在焊接 1、2 时,3 不能定位焊,保持横向自由状态。凑合节第二条环缝 3 焊接时,预热温度需提高 20℃(不低于 120℃)。

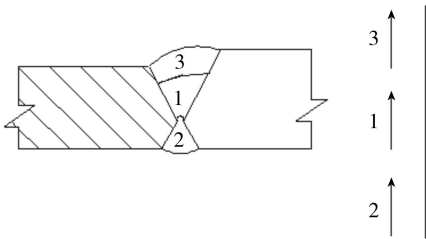


图 6 蜗壳主焊缝焊接示意图

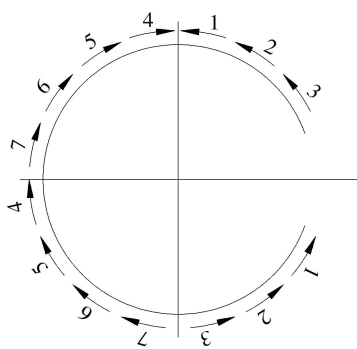


图 7 蜗壳环缝焊接布置及焊接方法

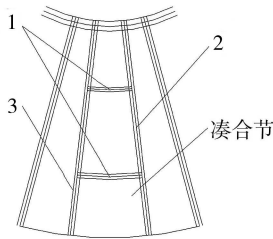


图 8 凑合节焊接示意图

2.3.3 混凝土浇筑过程控制

2.3.3.1 混凝土浇筑前的准备

- a. 埋件整体加固:根据上部基础埋件图和设计院提供的图纸将所有埋入部件的加固锚栓、拉紧器与钢筋网搭焊牢固,检查拉紧器是否拉紧、拉正,若有必要可增设拉紧器进行拉紧加固。
- b. 封堵:对座环下环板及下法兰面的灌浆排气孔等进行封堵,对蜗壳层所有管口进行临时封堵。
- c. 灌浆埋件安装:结合蜗壳结构,以象限为单元进行编号(编号包括灌浆区编号、灌浆管类型编号、同类灌浆管的连接顺序编号等),填写标签牌并粘贴在该灌浆管或部件上。各灌浆埋件安装完成后,应加固牢靠并注意保护。
- d. 灌浆管的连接:灌浆管间的连接采用“三通”和“弯头”等接头进行连接。各接头应固定牢靠,浇筑时注意保护。
- e. 其他灌浆部件安装:按土建浇筑灌浆工艺要求对灌浆盒、升浆管、止浆片和冷却水管及温度计等进行安装埋设。

2.3.3.2 混凝土浇筑

按照审定后的方案进行混凝土浇筑。浇筑时应注意:①严格控制浇筑速度和浇筑高度;②在浇筑过程中严格控制泵送压力不大于 0.2 MPa,以确保泵送过程中抬动变形小于厂家允许范围;③重点监控蜗壳内侧浇筑,但同时蜗壳外侧浇筑也要满足要求,有序平仓,合理下料,及时进行接头覆盖;④混凝土浇筑接触蜗壳和座环后,应严格控制混凝土垂直浇筑上升速度,不应大于 0.30 m/h,未初凝混凝土高

度不超过 0.6 m,在蜗壳钢支撑或蜗壳本体上标识坏层线,便于控制层高及浇筑速度;⑤注意在混凝土与座环、蜗壳结合部位,须按一定顺序和时间间隔逐点进行振捣,其间距为振捣棒作用半径的一半,振捣棒要快插慢抽,应插入下层混凝土 5 cm,振捣至表面停止明显下沉,周围无气泡冒出、泛浆为止;⑥阴角浇筑完成后,对脱空较大区域提前灌注水泥砂浆;⑦利用超声波检测,单个脱空部位面积应小于或等于 0.5 m²。

2.3.3.3 监测

监测主要通过全站仪或加设百分表监控座环、蜗壳在混凝土浇筑及灌浆过程中是否有位移,以确定混凝土浇筑过程中座环的水平、中心和高程是否变化,变形过程是否受控。

a. 监测点布置。①座环监测点布置:从锥管内支撑上焊接监测支架,分别布置在座环+y、+x、-y、-x 4 个轴线方向,可监测上法兰径向和轴线变化数据。②蜗壳监测点布置:在蜗壳顶部均布 8 点,做好油漆标记,采用全站仪进行监测。

b. 监测要求。①座环抬动和变形最大不超过 0.2 mm。当座环轴向和径向变化量小于 0.1 mm 时,每隔 30 min 监测一次;当座环轴向和径向变化量大于 0.1 mm 且小于 0.15 mm 时,应向现场监理及相关人员汇报提示,根据现场监理指令加密监测次数,同时降低混凝土浇筑速度;当座环轴向和径向变化量大于 0.15 mm 时,应向监理及相关人员报警,同时上报监测领导小组,暂停混凝土浇筑。②浇筑过程中每 8 h 用全站仪对上法兰水平度进行测量对比。③浇筑(灌浆)时,蜗壳最大偏移不超过 2.0 mm。正常情况下,每隔 30 min 监测一次;当蜗壳位移大于 1.0 mm 时,应向现场监理及相关人员汇报提示,根据现场监理指令加密监测次数,同时降低混凝土浇筑速度;当蜗壳位移大于 2.0 mm 时,应向监理及相关人员报警,同时上报监测领导小组,暂停混凝土浇筑(全站仪监测时,易出现零点漂移现象,测量结果出现异常时应及时与基准点校对,并与座环百分表监测结果进行比对验证,避免偶然误差引起的误判)。④座环、蜗壳第一层混凝土浇筑或底部灌浆监测过程中,监测人员应轮班作业,做好交接班,确保监测工作的连续性和及时性。⑤在监测部位布置足够的照明设施,禁止无关人员在监测部位附近活动,防止百分表被碰撞、损坏和掉落丢失。⑥在布置百分表的支架上焊接定位螺母,在浇筑(灌浆)前采用塞尺测出螺母平面距座环上法兰加工面的间隙,用油漆笔在下法兰上标记,以备百分表被碰撞后有

应急监测手段。⑦浇筑过程中,通过测量的数据来分析座环位移变化规律,因此必须如实记录测量成果,判断座环和蜗壳位移是否正常。⑧所有测量点和基准点都需用红油漆标出醒目标识,必要时可加设保护装置。⑨所有的测量仪器、量具都应校验合格后方可使用。⑩从浇筑开始时进行首次测量,当混凝土浇筑至蜗壳底部时正式开始测量。⑪浇筑过程中,监测仪器和器具不允许任何形式的碰撞。⑫要求每仓混凝土浇筑后对座环、蜗壳进行复测,并根据浇筑前后测点的数据记录进行对比分析。⑬混凝土浇筑过程中严禁加压强行灌注。

2.4 机坑里衬安装关键点控制

机坑里衬用于隔开承载发电机及转动部件重量的混凝土与水轮机室设备,为水轮机控制部件留出空间,其本身质量控制没有特殊要求,但由于接力器基础板设置在机坑里衬上,所以接力器基础板的尺寸控制及其下面的混凝土浇筑质量就尤为重要。

2.4.1 接力器基础板尺寸控制

a. 首先将机坑里衬吊装调整合格后进行焊接并验收合格。

b. 根据座环实际轴线,用钢琴线将 x、y 轴线引至接力器基础板中线高程所在平面。

c. 通过千斤顶、楔子板、链条葫芦等将接力器基础板初步就位。

d. 以座环固定导叶平均中心线为基准高程,调整接力器基础板中心高程(测量两边高程),与设计值的偏差应不超过±1.0 mm。

e. 根据座环上法兰面上的 x、y 标记挂十字钢琴线,按图 9 调整接力器基础板法兰面到 x-x 钢琴线的距离,与设计值偏差应不超过±1.5 mm,同时相对于 x-x 钢琴线的平行度不超过 1.0mm;调整接力器基础板法兰中心到 y-y 钢琴线的距离,与设计值偏差应不超过±1.5 mm。

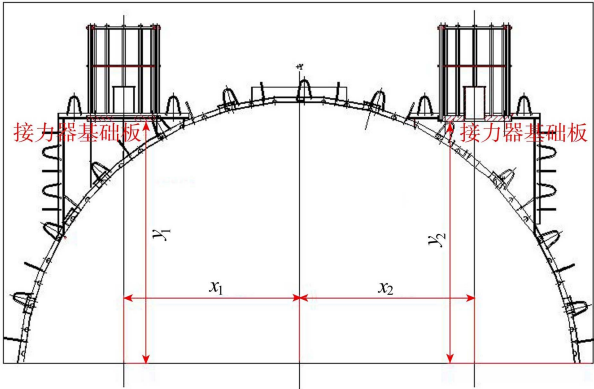


图 9 接力器基础板布置示意图

(下转第 70 页)

雾、智能通水、智能养护等“一条龙”式的全方位智能化温控系统。在智能导引、压实度预测、智能喷雾、无人碾压等方面,TB 大坝取得了创新性突破,实现了全时空的智能化应用。这不仅显著提升了工作效率,还有效解决了因人口老龄化所引发的平仓碾压等技能工种短缺的问题,从而确保了混凝土的高质量。得益于智能建造技术的强大助力,TB 大坝在 2023 年创造了令人瞩目的施工纪录:全年上升 128 m,且在一次性连续上升 18 m 时大坝内部最高温度依旧可控,成功取出长达 26.5 m 的世界上最长碾压混凝土芯样。这些成就充分展示了 TB 大坝在智能建造领域的先进性和卓越成效。

参考文献:

[1] 矫勇. 中国大坝 70 年[M]. 北京:中国三峡出版社, 2021.

[2] 朱伯芳. 混凝土坝的数字监控[J]. 水利水电技术, 2008,39(2):15-18. (ZHU Bofang. Numerical monitoring of concrete dams[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2008,39(2):15-18. (in Chinese))

[3] 张国新,刘有志,刘毅. “数字大坝”朝“智能大坝”的转变-高坝温控防裂研究进展[C]//水库大坝建设与管理中的技术进展:中国大坝协会 2012 学术年会论文

集. 郑州:黄河水利出版社,2022:74-84.

[4] 钟登华,王飞,吴斌平,等. 从数字大坝到智慧大坝[J]. 水力发电学报,2015(10):1-13. (ZHONG Denghua, WANG Fei, WU Binping, et al. From digital dam toward smart dam [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2015(10):1-13. (in Chinese))

[5] 钟登华,时梦楠,崔博,等. 大坝智能建设研究进展[J]. 水利学报,2019,50(1):38-61. (ZHONG Denghua, SHI Mengnan, CUI Bo, et al. Research progress of the intelligent construction of dams[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2019,50(1):38-61. (in Chinese))

[6] 李庆斌,马睿,胡昱,等. 大坝智能建造研究进展与发展趋势[J]. 清华大学学报(自然科学版),2022,62(8):1252-1269. (LI Qingbin, MA Rui, HU Yu, et al. A review of intelligent dam construction techniques [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology),2022,62(8):1252-1269. (in Chinese))

[7] 郭万里,杨琦,郭燕. 数字监控系统在黄登水电站建设中的应用[C]//国际碾压混凝土坝技术新进展与水库大坝高质量建设管理论文集:中国大坝工程学会 2019 学术年会论文集. 北京:中国三峡出版社,2019:540-551.

(收稿日期:2024-09-18 编辑:雷燕)

(上接第 65 页)

- f. 通过框式水平仪测量接力器基础板两侧垂直度,控制在 0.25 mm/m 以内(只允许接力器基础板法兰面相对于机组中心后仰)。
- g. 接力器基础板调整合格后,将其加固牢靠后再与机坑里衬点焊固定。
- h. 采用分段、对称焊接的方法将接力器基础板焊在机坑里衬上。焊接过程中应严密监视接力器基础板的变形,根据接力器基础板的变形情况对焊接顺序进行必要的调整以保证接力器基础板焊后的变形最小或朝有利的方向变形。
- i. 检查接力器基础板支撑加固是否牢靠。

2.4.2 混凝土浇筑过程控制

机坑里衬混凝土按照常规混凝土浇筑工艺浇筑,在浇筑过程中需对接力器基础板加强监测,若浇筑过程中基础板相关参数(主要是垂直度)出现显著变化时应及时调整浇筑顺序。另外,由于接力器基础板下面为阴角,面积较大,混凝土浇筑时不可能一次性浇筑密实,因此应在混凝土凝固后对阴角水平坑衬部位进行检查,在脱空部位开孔灌浆,灌浆时也应对接力器基础板垂直度等进行监测,以保证接力器基础板及下部的阴角部位浇筑密实,确保后续接力器的安全稳定运行。

3 结 语

水轮机埋件安装虽没有后期机组安装那么高的精度,但若是对关键位置把控不到位,很容易造成重大质量缺陷,如肘管管口跑偏、座环浇筑变形、蜗壳定位跑偏、接力器基础板严重变形等都在其他电站施工过程中出现过。因此为提高水轮发电机组安装质量,减少不必要的质量缺陷,提高水轮机埋件安装效率,对本文提及的关键点进行重点把控,将会起到事半功倍的效果。

参考文献:

[1] 电力行业水电施工标准化技术委员会. 水电水利工程施工测量规范: DL/T 5173—2012[S]. 北京:中国电力出版社,2012.

[2] 中国电力企业联合会标准化中心. 水轮发电机组安装技术规范:GB/T 8564—2023[S]. 北京:中国标准出版社,2023.

[3] 中国电力企业联合会标准化中心. 水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准第 3 部分:水轮发电机组安装工程:DL/T5113. 3—2012[S]. 北京:中国电力出版社,2012.

(收稿日期:2024-09-15 编辑:熊水斌)