

桥巩水电站灯泡贯流式水轮机结构特点

韩 强,王贵清

(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 :总结大型灯泡贯流式水轮发电机组水轮机的结构特点。特大型灯泡贯流式水轮机由于机组尺寸偏大,必然带来机组零部件刚性和强度的不足。灯泡贯流式机组一般都是卧轴布置的,这样整个轴系的受力情况就与立轴布置的机组完全不同。灯泡贯流式机组的支撑一般采用两点支撑或三点支撑的方式,两点支撑机组的轴系受力是一个双悬臂双支点的受力结构,加之重力和水的浮力影响,轴系的受力和转动部分和固定部分之间的间隙在静止状态和运行状态会发生变化。指出大型灯泡贯流式机组这些机组结构上的特点给机组的安装带来许多困难,很多难点甚至是世界级的难题。详细介绍了机组各结构部分的安装及运行技术要求。

关键词 :灯泡贯流式水轮机;机组结构;安装技术要求;运行技术要求;桥巩水电站

中图分类号 :TK733+.8

文献标识码 :B

文章编号 :1006-764X(2008)S2-0018-04

灯泡贯流式水轮机适用于低水头电站,由于要求的征地少、移民工程小、水轮机高效率区域宽广,所以应用范围很广。灯泡贯流式水轮机结构上一般包括:转轮与转轮桨叶操作机构、转轮室、主轴、主轴密封、径向轴承、导水机构、导叶接力器、受油器、支撑、尾水管、轴承润滑油系统和冷却系统、巡视和检修平台、超速保护装置等。

1 结构特点和技术要求

1.1 转轮与转轮桨叶操作机构

a. 转轮桨叶与桨叶枢轴 ①转轮桨叶采用可焊性好、耐磨蚀的不锈钢 VOD 或 AOD 精炼铸造。在承受重量、最大水压力以及在最大负载或最大飞逸转速时叶片应力应不超过规定的数值。②转轮桨叶要满足铸造质量标准,并做无损探伤试验。③桨叶表面型线与模型相似,桨叶应能互换,其形状应用样板或控制装置来检查。④桨叶表面必须采用数控加工,其内端侧应加工成与轮毂良好配合的球形,并把轮毂与叶片的间隙减至最小。桨叶加工后不允许有空穴、凹陷、裂缝或凸出物,表面粗糙度不大于 3.2 Ra。桨叶加工后均应探测气孔,所有表面气孔均应铲除并修复。⑤转轮装配的所有螺栓和销子,要确实保证防止由于运行时震动及其他原因引起松动和破坏。⑥桨叶枢轴的最大扭应力应满足规定,桨

叶轴及叶片应能精确地装配到轮毂上,保证相等的叶片间距与转角,并保证原型与模型相似。

b. 转轮轮毂 ①轮毂可采用抗磨蚀和具有良好焊接性能的碳钢铸造,叶片内端侧转动范围的球形轮毂表面至少堆焊 2 层不锈钢,加工打磨后的不锈钢层厚度不小于 5 mm。轮毂表面型线应与模型相似。与水接触的表面粗糙度不大于 6.3 Ra。②桨叶内端侧活动范围内的轮毂表面应加工成球形,减少桨叶与轮毂之间的间隙,以降低通过此间隙的漏水量。③桨叶密封应便于安装、拆卸,不需拆卸叶片即可更换叶片密封、密封形式及结构。④轮毂内部油压应高于最高尾水位,应设置轮毂高位油箱,轮毂上应设有排油阀。

c. 泄水锥 用螺栓连接到轮毂的下游端,泄水锥拆卸后可检修轮毂内部的桨叶操作机构。

d. 转轮装配好后应在车间做静平衡试验,不允许在轮毂的外侧过流表面做偏心切割,用于平衡的塞孔必须设在不靠近过流的表面。

e. 转轮桨叶、轮毂、泄水锥等部件安装和检修时,拆卸、吊运及装配要有相应的专用工具。

f. 桨叶接力器操作应采用活塞缸运动的方式。

1.2 转轮室

a. 转轮室采用厚壁结构,应有足够的刚度和强

度,并根据运输条件决定分瓣,内表面型线与模型相似,为避免间隙空蚀,转轮室顶部 90° 叶片转角范围内采用不锈钢板制造。在转轮周围的转轮室内表面应加工成球面,转轮室内壁与叶片外缘的间隙应均匀,单边间隙值不大于 $0.0008D$ 。转轮室内壁表面粗糙度不大于 12.5 Ra 。

b. 转轮室分瓣结合面采用法兰连接,并应有可靠的止漏措施。转轮室与外配水环采用法兰连接,结合面应有可靠的止漏措施。

c. 转轮室与基础环之间应设伸缩节,其可调节间隙为 $15\sim 25\text{ mm}$ 。

d. 转轮室应设有测量导叶后压力的不锈钢测头4个,沿圆周方向均布,测咀位置应与模型试验时的测咀位置相对应。

1.3 主轴

a. 主轴必须用锻钢锻制,带有锻制法兰。主轴与发电机转子及转轮采用法兰连接。主轴为空心结构。

b. 应计算水轮机和发电机连接起来的主轴临界转速,计算要考虑水轮机和发电机的轴承支座及其位置、发电机尺寸和发电机的飞轮效应,所计算的临界转速至少是最大非协联工况飞逸转速的 125% 。

c. 主轴应具有足够的强度和刚度,其尺寸应能适当发电功率因数 $\cos\varphi=1.0$ 时满出力 and 发电机最大出力的扭矩传递要求,并且需能够在包括最大飞逸转速在内的任何转速下运行而不产生有害的振动和摆动,主轴的最大应力符合规定。主轴内腔为桨叶操作油管的通道,主轴的内、外表面在最后一道机械加工后必须同心。

d. 主轴应全部精加工,表面粗糙度不大于 3.2 Ra ;主轴与轴承配合的表面要抛光,其粗糙度不大于 0.8 Ra 。主轴在精加工后应做超声波检查。

e. 主轴的连接和拆卸的设计和配合应保证精确装配。主轴应利用预应力装置连接转轮和发电机转子。

f. 主轴保护罩采用钢板卷制,分成2瓣,采用法兰连接。

1.4 主轴密封

a. 主轴密封应严密、耐磨、结构简单和便于检修,其密封元件为进口件。要求在不拆卸水轮机径向轴承的情况下可以调整和更换密封。

b. 主轴密封为自调整轴向密封,管道、阀门、细滤水器、示流信号器等自动化元件及所有附件必须成套。

c. 主轴密封应设有密封压紧量的自动调整装置。

d. 主轴密封的漏水量(包括润滑水)不大于 120 L/min ,漏水应集中用管路排出。

e. 除主轴密封外还应设有充气围带式检修密封,用于检修、更换主轴密封。紧固工作密封和检修密封的压板、螺栓、螺母等均用不锈钢制作。

1.5 径向轴承

a. 水轮机径向轴承采用分块瓦结构,其运行可靠和便于检修。

b. 水轮机径向轴承必须能安全承受机组任何运行工况(包括飞逸工况)下的径向荷载。

c. 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。

d. 巴氏合金瓦衬通过楔形结合和采用分子黏合剂固定在轴瓦体上,应进行 100% 超声波检查,至少有 95% 的面积接触才能确认为合格,如果仅采用分子黏合剂固定,则超声波检验时至少有 99% 的面积黏合。

e. 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。

f. 轴承要设置高压油顶起装置、轴承回油箱和高位油箱。

g. 水轮机在各种运行工况下,轴瓦温度不得超过 65°C ,轴承油温不超过 55°C ,并设有温度信号计。

h. 轴承应能安全承受最大飞逸转速 5 min 而不被破坏。在额定负荷正常运行且冷却水中断的情况下能安全运行 10 min 而不损坏轴瓦。应允许必要时不投入高压油顶起装置从最大飞逸转速工况至停机,导轴承能安全承受。

1.6 导水机构

导水机构由内、外配水环、导叶、导叶轴承、导叶操作环、重锤、连杆拐臂及保护、限位装置等组成。操作机构应有足够的强度和刚度。在满足水轮机允许吸出高度要求的条件下,应尽量加大导叶开度,以增加低水头下的输出功率。

a. 导叶的设计应使导叶从额定开度位置至空载开度位置范围,具有自关闭趋势。导叶最大可能开度应不小于额定开度的 1.10 倍,并有限位装置。

b. 导水机构采用弹簧连杆作为保护装置,使导叶在关闭过程中当两导叶之间卡有异物时能保证其他导叶可以全关。该保护装置应能在机组运行中更换。一个保护元件破坏应不会引起其他保护元件的

连续破坏,每个保护元件应装有信号装置,保护装置应具有互换性。

c. 导叶的形线、尺寸、数量和位置应和验收的模型水轮机相似,并保证水轮机运行时不发生水流诱发共振。导叶成圆锥形布置,各轴颈处应堆焊不锈钢保护层,加工后的厚度应不小于 5 mm。

d. 导叶轴颈的轴承为自润滑式而不需设润滑系统。外配水环上的导叶轴承采用球铰结构。各轴颈处应设置切实可靠的导叶轴颈密封。

e. 内、外配水环为分瓣结构,如用钢板焊接则需要退火。分瓣结合面及上游和下游侧均采用法兰连接,应设有可靠的止漏装置,内、外配水环应具有足够的刚度。

f. 外配水环上应布置压力测咀,以供压力测量,测咀位置和数量应与模型相对应。外配水环上还应设有导叶转角指示装置。

g. 经机械加工后,在相邻导叶之间的接触立面上均应有厚度不小于 4 mm 的不锈钢焊层。导叶应有足够的强度和刚度。应提供不受其他导叶制约而能单独调整任何一个导叶转角的措施,以实现相邻导叶的接触面能在导叶关闭状态下精确调整以减少漏水量,导叶立面允许局部最大间隙 0.15 mm,其总长度不应超过导叶高度的 1/4。

h. 导叶应有互换性。导叶轴承在不吊出外配水环的条件下可就地拆装。

i. 每台机的导水机构应在厂内连同全部零件一起进行组装,检查导叶间隙,做导叶动作试验,并做操作环行程及导叶开度关系的试验。

j. 应有导叶与桨叶协联关系曲线、导叶开度位置图及导叶型线检查样板。

k. 控制环采用铸焊或焊接结构,具有足够的刚度。如受运输限制必须分瓣时,分瓣面应设在应力最低的部位。控制环与外配水环之间采用滚动摩擦,干油润滑,并便于拆装。控制环上设有悬挂重锤的吊环。规定的水头和出力运行范围内重锤的质量应满足机组过速保护装置动作时导叶可在水力矩和重锤配合作用下自行关闭,在决定重锤的质量时必须考虑接力器与调速器油压装置之间的压力损失。

l. 导水机构设有机液液压锁锭装置。锁锭装置的额定操作油压为 6.3 MPa,该装置可现地手动,自动操作和远方控制,在全开、全关锁锭装置有锁锭投入和拔出 2 个行程开关。

m. 每个导叶处应设导叶行程限制装置,以限制导叶的最大可能开度。限制装置不宜设在流

道中。

1.7 导叶接力器

a. 水轮机应设置 2 个油压操作的导叶接力器,其额定操作油压为 6.3 MPa。导叶接力器直立布置在导水机构下方。

b. 接力器容量:在油压装置事故低油压下,全部接力器的容量应满足导叶承受最大水力矩和摩擦力矩时调速器能按规定的时间关闭或开启导叶至额定开度的需要,包括必要时破坏 1 个或多个保护元件,并最后压紧导叶。在决定接力器最小有效油压差时,必须考虑接力器与调速器油压装置之间的压力损失。

c. 接力器应配有缓冲节流装置,使导叶关到空载位置后减小关闭速度,但该装置不应限制空载和全开位置之间的正常移动速度。

d. 接力器应设置填料箱和密封,以防止漏油。接力器应设若干个活塞环,使通过活塞的漏油量最小。接力器活塞杆应用高精度加工的锻钢(表面镀铬)制造,应设置漏油接收和排油装置,以及从接力器缸排除空气的针阀。接力器缸两端应设有压力表。活塞杆应设有双重青铜导轴承,以便使活塞没有侧向负载。外侧轴承应为青铜自润滑的。

e. 接力器基础埋件和接力器的安装、调整应有专用工具,防止接力器在操作时发生滑动和摆动,此时,需提供必要的安装和检修措施(包括工作平台和梯子)。

f. 接力器行程应满足导叶最大可能开度和压紧行程的要求,并设有行程指示标尺。

g. 接力器应在工厂整体组装和做耐压试验,充油运输,包装严密,在工地不需拆洗。

h. 接力器设计要合理,防止导杆、接力器缸和活塞等部件的拉毛现象。

1.8 受油器

a. 受油器安装在发电机前面的灯泡头内,包括受油器支架、操作油管、传输桨叶位置的回复杆和转轮接力器的位移传感器。

b. 受油器结构应满足漏油量小、安装方便和运行可靠的要求。应设有漏油收集和排出装置,并用管路将漏油排至漏油箱。任何情况下必须杜绝漏油向发电机。

c. 操作油管采用无缝钢管,螺纹连接,密封可靠。其轴承采用自整位结构,在机组主轴内不少于 3 个。操作油管可作为转轮接力器的回复杆,受油器上应设有桨叶接力器位移指示器,在受油器开、关腔压力油管上应装设压力表。

d. 受油器与发电机所有连接处都应设双重绝缘,以防止轴电流及漏电。

e. 受油器转动与固定部分应留有一定的反向推力位移裕量。

f. 受油器的操作油与轴承润滑油不应串通,应严格分开。

1.9 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。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。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)。现场组装所需焊条由卖方供货,下部竖井支撑与基础之间应设有安装调整装置。

d. 管形壳底部应开一定数量的混凝土浇注孔和灌浆孔,并带堵板。

e. 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。

1.10 尾水管

a. 尾水管应进行优化设计和试验,并提供与验收合格的模型水轮机相似的包括尾水管在内的流道图。

b. 尾水管从进口至锥管过水断面的流速为 6 m/s 处之间应设钢板里衬,里衬厚度不小于 18 mm 。里衬应能安全承受各种尾水位的内外水压力、运行中的压力脉动以及混凝土浇筑中出现的内外压力。

c. 尾水管里衬进口与基础环连接。在靠近转轮室的尾水管处应设有 $\varnothing 630$ 进入孔 1 个及不锈钢爬梯,进入门的转动轴及螺栓用不锈钢制造。

d. 尾水管进口及出口各设 4 个不锈钢测头,分别测量尾水管的压力、真空值。

e. 尾水管上设有单独引出的压力脉动测头 4 个,沿圆周方向均布(具体位置应与模型相似),测头用不锈钢制作。

f. 尾水管里衬外壁应配有与混凝土结合的锚

具、拉杆(包括拉紧用的螺旋扣)以及止水筋板,里衬内应有浇筑混凝土用的支撑。

g. 尾水管里衬应有足够的强度和刚度,里衬外侧应设与水流方向垂直的筋板和型钢补强,应特别注意加强筋的位置,在加强筋中应设置足够的孔洞,以便里衬和混凝土之间不产生气腔。

h. 里衬的分节数在满足装卸及运输条件下应尽可能少,以减少现场的组装工作量。里衬表面应平滑,没有波浪凸凹及其他可能引起局部空蚀的不规则形状。

i. 尾水管底部应开一定数量的混凝土浇注孔、灌浆孔和排气孔,并带堵板。

j. 在尾水管里衬外壁应设有一定数量的供调整用的支脚,以便安装调整。

1.11 巡视、检修平台

a. 转轮室上部应设巡视、检修平台,平台周围设有栏杆,转轮室两侧设有扶梯。

b. 所有栏杆和扶梯采用不锈钢材料制作成装配式,以便于拆装。

c. 工作、巡视、检修平台及其通道用防滑花纹钢板制作。

d. 管形座内应设巡视用的平台。

1.12 过速保护装置

每台机应配置 1 台套图拉博(TURAB)机械液压式过速保护装置,包括固定在轴上的分半结构的紧固圈、柱塞式离心过速摆、配重块、机械换向阀和安装支架等。该装置应能承受机组飞逸转速。

2 结 语

我国的水电开发正进入一个蓬勃发展的大好时机,但是经过 10~20 年的开发,技术容易开发的高水头电站将越来越少,而低水头电站将有非常广阔的资源,目前世界最大的单机容量灯泡贯流式机组安装在日本只见电站,只有 1 台,并且是试验性质的,单机容量 65 MW。我国正在建设的桥巩水电站将安装 8 台单机容量 57 MW 的灯泡贯流式机组,单机容量居于世界第二。灯泡贯流式机组结构上的特点明显,机电安装难度较大,这就要求对机组结构进行深入研究,安装过程中要强调高度的责任心,一丝不苟,精益求精,严把质量关,尽快形成大型灯泡贯流式机组的安装工法,为我国未来的水电事业作贡献。

(收稿日期 2008-12-01 编辑 高建群)