

潼南航电枢纽工程金属结构设备布置及设计优化

陆伟

(中水珠江规划勘测设计有限公司,广东广州 510610)

摘要:潼南航电枢纽工程金属结构设备布置是否合理,直接影响到工程的正常运行和今后的维护。对金属结构设备的设计作了简要介绍,对设备布置等问题进行了分析和探讨,提出了设计优化方案。

关键词:金属结构;布置;优化;设计;潼南航电枢纽

中图分类号:TV7;TV22;TV51

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)增1-0048-04

1 概述

涪江干流梯级渠化潼南航电枢纽工程位于潼南县城区涪江大桥下游约3 km处,坝址以上控制流域面积达28 916 km²。潼南航电枢纽金属结构设备布置是否合理,直接影响到工程的正常运行和今后的维护。笔者对金属结构设备的设计作了简要介绍,对设备布置等问题进行了分析和探讨,提出了设计优化方案。

2 金属结构设备的设计

2.1 泄水闸金属结构设备

泄水闸布置在河床中部,共设18孔泄水表孔,堰顶高程225 m,孔口宽度为14 m,设有工作闸门、上下游检修闸门及相应的启闭设备。

(1) 泄水闸工作闸门。

该工作闸门为平面定轮式,上游止水,分4节制作,现场拼焊成整扇。门叶结构主要材料为Q345B,主轮采用偏心轴结构,轮径φ950,轴承采用铜基镶嵌自润滑关节轴承;反向支承采用弹性滑块。启闭设备为固定卷扬机,1门1机配置,用电功率为75 kW。闸门启闭采用现地控制与远程集中控制相结合,除配有柴油发电机作为备用电源外,每台启闭机另配有应急操作装置和动力单元,以确保在失电情况下紧急启闭闸门。在机房内设置了一套100 kN双梁桥机,以便于设备检修。

(2) 泄水闸上游检修闸门。

上游检修闸门为18孔共用2扇,门型为平面滑动叠梁式,下游止水。每扇闸门分为3节相同叠梁,可互换使用,顶节兼有排漂功能。门叶结构主要材料为Q345B,主滑块采用工程塑料合金。

收稿日期:2017-10-28

闸门平时分节锁定在孔口上方。闸门操作方式为静水启闭,小开度提顶节门充水平压。启闭设备为2×400 kN-8/30 m单向门机,轨距4 m,基距10.5 m,用电功率为30 kW,轨道型号QU80。

(3) 泄水闸下游检修闸门。

下游检修闸门为18孔共用2扇,门型为平面滑动浮体叠梁式,上游止水。每扇闸门分为5节相同叠梁,可互换使用,每节可在水中自由浮起,顶节作为压重使用。门叶结构主要材料为Q235-B,主滑块采用工程塑料合金。闸门平时分节锁定在孔口上方。闸门操作方式为静水启闭,小开度提顶节门充水平压。启闭设备为移动式直联启闭机,用电功率为37 kW,轨道为型号工字钢56b。

2.2 电站厂房金属结构设备

电站厂房位于枢纽左侧,装设3台贯流式灯泡机组,每台机组均设有独立的进水口和尾水道。电站金属结构设备根据机组特点布置设计,电站厂房前沿水域设置了一道自浮式拦污排,厂房顺水流方向依次设置进口拦污栅、进口检修闸门、尾水事故门及相应的启闭、清污设备。

(1) 拦污排。

拦污排共1跨,轴线长度227.2 m,与水流方向夹角7.5°,矢高21 m,主要材料为Q345B。排体采用浮箱式,单个浮箱长7.3 m,吃水深0.6 m,干弦高0.3 m。浮箱上部设有人行桥和栏杆;前部设有拦污栅,拦污栅吃水深1.5 m。浮箱背水侧设有配重块。上、下游锚头为自浮式,可随水位变化而自动升降;中部设固定式拉锚,用钢丝绳与排体连接。排前污物使用清污船或人工打捞处理。

(2) 进口拦污栅。

每个流道设有 2 扇拦污栅,栅型为露顶滑动倾斜式,倾角为 80° ,按 4 m 水头差设计。每扇闸门分为 11 节,单节高 3.56 m。栅叶结构主要材料为 Q345B,主滑块采用工程塑料合金。提栅、清污设备为 2×160 kN 液压耙斗式清污机,轨距 4 m,基距 8.6 m,用电功率 60 kW,轨道型号为 P43。

(3) 进口检修闸门。

进口检修闸门兼作施工期挡洪门,孔口尺寸为 $12.64\text{ m} \times 15.66\text{ m}$,3 孔设 3 扇,其中 1 扇为永久设备,2 扇为临时设备。门型为潜孔平面滑动式,下游止水,最大挡水水头 31.28 m。门叶结构主要材料为 Q345B,分 7 节制作,现场拼焊成 3 大节。主滑块采用工程塑料合金。永久闸门平时分节锁定在孔口上方。闸门操作方式为静水启闭,充水阀充水平压。启闭设备为 $2 \times 630\text{ kN} - 16/50\text{ m}$ 双向门机,轨距 10.5 m,基距 10 m,用电功率 60 kW,轨道型号 QU100。

(4) 尾水事故闸门。

考虑到灯泡机组具有导叶自关闭及重锤关闭等可靠的防飞逸措施,故尾水闸门按事故闸门设计,兼作施工期挡洪门,孔口尺寸为 $13.08\text{ m} \times 11.04\text{ m}$,3 孔设 3 扇。门型为双向支承的潜孔平面滑动定轮式,上游止水,最大挡水水头 29.25 m,事故闭门时最大水头差 8.2 m。门叶结构的主要材料为 Q345B,分 5 节制作,现场拼焊连接成整扇。上游主滑块采用工程塑料合金,下游主轮采用偏心轴结构,轮径 $\varphi 700$,轴承采用铜基镶嵌自润滑关节轴承。闸门平时可悬挂或锁定在孔口上方。闸门操作方式为静水启闭,充水阀充水平压。启闭设备为固定卷扬机,1 门 1 机配置,用电功率为 150 kW。闸门启闭采用现地控制与远程集中控制相结合,除配有柴油发电机作为备用电源外,每台启闭机另配有应急操作装置和动力单元,用以确保在失电情况下紧急关闭,保护机组。

2.3 船闸金属结构设备

船闸布置在枢纽右侧,为单线单级船闸,闸室有效尺寸为 $120\text{ m} \times 12\text{ m} \times 3\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 檐上水深),通航净空 8 m。船闸系统金属结构设备包括上、下闸首工作门、上、下闸首检修门、输水廊道工作阀门及其上、下游检修阀门、浮式系船柱及其相应的启闭设备。

(1) 上、下闸首工作闸门。

上、下闸首工作闸门门型为人字型,上闸首工作门兼有挡洪功能。工作闸门孔口净宽 12 m,关门时门轴线与闸室横轴线夹角为 22.5° 。上闸首人字门设计水头差 4 m,门高 17.805 m;下闸首人字门设计水头差 9 m,门高 14.655 m。门叶结构主要材料为 Q345B,分节制造,现场拼焊连接成整扇。门轴柱和斜接柱采用连续式支枕垫,兼做刚性止水,材料为 ZG270-500。底枢采用固定式,蘑菇头直径为 400 mm,材质为 35 锻钢表面堆焊不锈钢,球瓦采用铜基镶嵌自润滑材料。顶枢采用三铰联板式,设有花篮调节螺母。对于底枢检修,考虑采用低位顶门方案,底止水在靠近底枢处设有活动底止水座板,底枢蘑菇头可从此处抽出。闸门操作方式为静水启闭,由输水廊道工作阀门充水平压,启闭设备为 $2 \times 630/2 \times 400$ kN 卧式液压启闭机,活塞杆表面镀铬防腐,行程检测采用外置钢丝绳型式。液压控制系统左、右各设 1 套,分别与左、右充水廊道工作门液压启闭机共用一套液压泵站,每个泵设 2 套油泵电机组,互为备用。闸门启闭采用现地控制与远程集中控制相结合方式,上闸首右侧机房第三层作为船闸中控室。

(2) 上、下闸首检修闸门。

上、下闸首检修闸门门型为平面滑动叠梁式,每扇闸门分为 2 节相同叠梁,每节长 2.6 m,可互换使用。门叶结构主要材料为 Q345B,主滑块采用工程塑料合金。闸门平时分别存放在上、下闸首右侧门库里。闸门操作方式为静水启闭,小开度提顶节门充水平压。上闸首检修闸门启闭设备与泄水闸共用单向门机,下闸首检修闸门启闭设备为 $2 \times 160\text{ kN} - 18\text{ m}$ 移动式直联启闭机,用电功率为 37 kW,轨道为型号工字钢 56b。

(3) 输水系统工作阀门。

输水系统采用双侧闸墙长廊道侧支管出水输水方式,工作阀门孔口尺寸均为 $2.2\text{ m} \times 2\text{ m}$,4 孔设 4 扇。门型为潜孔式平面定轮式,上游止水,最大挡水水头 9 m。门叶结构的主要材料为 Q345B,主轮轮径 $\varphi 500$,轴承采用铜基镶嵌自润滑关节轴承。闸门平时悬挂在孔口上方。闸门操作方式为利用水柱动水启闭,启闭设备为 400 kN 液压启闭机,活塞杆表面镀铬防腐,行程检测采用外置钢丝绳型式。液压控制系统左、右各设 1 套,分别与左、右人字门液压启闭机共用一套液压泵站。

(4) 输水系统检修阀门。

工作阀门上、下游均设置检修阀门,充水廊道检修阀门孔口尺寸均为 $2.2\text{ m} \times 2.5\text{ m}$,泄水廊道检修阀门孔口尺寸均为 $2.2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 。检修阀门门型为潜孔平面滑动式,最大挡水水头 15.5 m 。门叶结构主要材料为Q345B,主滑块采用工程塑料合金。闸门平时锁定在孔口上方。闸门操作方式为静水启闭,充水阀充水平压。启闭设备为 $160\text{ kN} - 16\text{ m}$ 移动式直联启闭机,用电功率 18.5 kW ,轨道为型号工字钢56b。

(5) 浮式系船柱。

在闸室两侧闸墙上各设7个可随闸室水位变化而自动升降的浮式系船柱,挂钩和缆绳的缆索力为 50 kN 。系船柱内径为 970 mm ,上部设有进人孔。主轮轮径 $\varphi 300$,轴承采用工程塑料合金。浮筒升降幅度按满足最高、最低通航水位时的通航要求设定,以保证在充泄水过程中闸室内停泊船只的安全。

3 金属结构设备的布置及设计优化

3.1 排污系统

目前国内水电站对水库污物的排放主要是通过泄水建筑物上设置的排漂闸门控制,排漂闸门在布置上通常采用两种型式:(1)利用工作闸门排漂,适用于污物较多的河段。当工作闸门为弧形闸门时,为减少弃水,通常在工作闸门上部中间区域设舌瓣门,舌瓣门和主门共同挡水。当需要排漂时,舌瓣门向下游卧倒,可根据需要调整舌瓣开度,舌瓣门一般由液压启闭机操作,与主门共用液压泵站;当工作闸门为平面闸门时,通常在工作闸门上部中间区域设插板门,插板门和主门共同挡水。当需要排漂时,插板门全开排漂(插板门一般由卷扬式启闭设备操作)。(2)利用检修闸门排漂,适用于污物较少的河段。检修闸门一般为平面叠梁闸门,根据排漂要求设计各节叠梁的高度,排漂时根据水位情况提起一节或多节叠梁排漂。

闸坝上游经其他枢纽的拦截,库区污物平时不多,仅在汛期污物量较多。潼南航电枢纽工程在电站进水口前沿水域设有自浮式拦污排,污物集中在1#泄水孔排放。在排漂方案选择上比选了工作闸门和检修闸门作为排漂通道两种方案。工作闸门为平面定轮门,但闸门全开排漂显然不

经济且在调度上不允许单独1孔全开运行。若设插板门则需单独设1套启闭设备,其操作复杂且插板门的高度难以保证在低水位情况下的有效排漂。若利用上游叠梁检修闸门排漂,将使其布置大大简化。为此,设计单位对上游检修闸门采取了以下优化措施:将闸门设计成3节叠梁,每节叠梁高度为 4 m ,顶节叠梁最大排漂高度为 3.5 m 。需要排漂时,将2节叠梁放入1#孔,再提起1#工作闸门。排漂闸门设计时需按门顶过水考虑一定的动水压力。

3.2 电站进水口门机

该工程电站进水口设有1台独立式清污机和1台双向门机,双向门机的功能是启闭进水口检修闸门及安装、检修清污机。为减小进水口前缘长度,将清污机布置在双向门机跨内,门机轨距按最经济布置,取 10.5 m 。这种布置型式大大缩短了进水口前缘,节约了土建投资,但在设计中应注意门机、清污机具有的各自功能和运行空间要求,避免出现干扰。该工程在两台设备安装后出现了设备间以及设备与水工建筑物间的布置干扰问题。门机与清污机下游轨道间的距离为 1.9 m ,当清污机行至门机跨内时,清污机机房下游面外侧与门机下游支腿内侧几乎相碰。针对该情况,建设方在现场进行了以下处理:将清污机机房下游面向上游调整并适当降低机房高度,使两设备错位安全距离达到 100 mm 以上。

安装间左岸连接段为填土基础,考虑到节约投资,未设进水口双向门机安装、试验平台,未将轨道延伸到左岸连接段,从而造成门机自身安装、荷载试验和设备吊运非常不利:门机运行至极限位只能到达吊物孔处,仅能满足机电设备垂直进出厂的吊运要求,设备转运需另租吊车完成。机组安装过程中,设备进厂频繁,因此,在有条件时,应将轨道延长到岸边,从而将大大提高设备的吊运效率。

3.3 拦污栅与清污机

该工程电站进水口拦污栅采用倾斜布置,设1台斜面耙斗式清污机,清污机轨距为 4 m 。清污机是集清污、卸污、提栅等多功能于一体的复杂设备,与拦污栅、水工建筑物应协调布置。该工程在清污机的布置设计上出现了以下问题:①清污机耙斗和吊梁在清污和提栅工位处在不同位置,机

架上需要的导向架的常规设计是通过油缸前后平移到清污和提栅两个工位,引导耙斗和吊梁上行。该工程厂家的设计方案是将导向架兼做卸污翻板,上部用铰轴固定,下部设计成活动式,导向架在提栅工况时与栅面平行,在提栅工况时与栅面呈一折角。耙斗运行过程中,导轮在经过此折角位置时会出现轻微振动。我们在拦污栅设计时对其进行以下优化:在清污耙斗导向轮对应位置设置了粗栅条承受耙斗轮压,同时将上节栅的粗栅条顶部切斜角以减小耙斗运行到该处的振动。
②清污耙斗由主起升钢丝绳通过机架上的定滑轮转向,清污耙斗在下行时钢丝绳与拦污栅主梁发生摩擦。我们在现场做了以下处理:重新放样,将定滑轮向上游调整 750 mm,按耙斗运动轨迹线与栅面平行原则重新调整了定滑轮位置,确保了钢丝绳与栅面和胸墙等不受干扰。
③清污机通过集污斗向下游卸污,集污斗出口距下游轨道中心线水平距离仅 1.02 m,不便于运污车集污。运污车需按该要求专门设计,必要时应对集污斗出口另作改造。
④拦污栅孔口段的清污机下游混凝土轨道梁顶宽 900 mm,动力电缆行走至孔口段时电缆极易悬空。我们在现场进行了以下处理:在混凝土梁顶部增设了 200 mm 宽的钢飘台和挡板,用膨胀螺栓固定,以确保动力电缆行走时电缆落不悬空。

3.4 人字闸门检修方案

人字闸门检修最困难的部位在底枢,底枢检修必须抽干闸室中的水,将门叶整扇顶起。传统的检修方法一般采用高位顶门,即拆除顶枢 A、B 拉杆,将门叶整扇顶起,再将蘑菇头拉出。该方法因拆除了门叶上部约束,对门叶需采取一定的拉锚固定措施。高位顶门工作量大、耗时长、安全措施繁琐。该工程上闸首人字门单扇门叶重 105 t,高度大,高位顶门方案时间长、风险大。该工程人字门设计之初即考虑了低位顶门方案,不需拆除顶枢拉杆,仅将门叶顶升少许即可拉出蘑菇头。为适应该要求,闸门设计时采取了以下优化方案:
①在两侧闸墙上埋设锚环,作为检修时的拉绳锚碇。
②检修时将门叶旋转至与闸墙夹角 15°,此位置闸底板埋设有两排检修安装座,用于放置千斤顶。
③在顶枢轴套和门叶耳板间上、下各留有 13 mm 间隙,其间各设一块隔环。底枢蘑菇头与

下盘间垫有 50 mm 厚的钢垫板,顶门前先松开底枢上盖与底主梁间的连接螺栓,门叶被稍顶起、后垫板上的压力消除,垫板即可抽出,底枢蘑菇头连同轴瓦、上盖一起的下落量可达 63 mm。
④底枢下盘开口方向和开口尺寸亦是底枢能否顺利出槽的关键。下盘开口方向与闸墙夹角取 45°,开口处设 4°扩口。
⑤由于门叶上的底止水座板下缘比底枢上盖低,高位顶门时每次拉出底枢时均需将碍事的底止水座板割除。因该段止水压板为弧面、还原及定位具有一定难度且经多次割焊后焊口质量难以得到保证,座板不能反复利用。此次优化设计将影响底枢出槽部分的底止水座板改为活动式,与底主梁腹板间用螺栓联接并设有抗剪板。
⑥底枢、底止水和门叶连接所用的螺栓均为不锈钢材质,以便于拆卸,螺栓拆除后,底枢蘑菇头连同上盖、轴瓦整体出槽。底枢处二期混凝土顶面比底枢下盘低 20 mm,以方便底枢从此间拉出。

3.5 机房检修桥吊试验方案

泄水闸机房内设 1 台 100 kN 检修桥吊作为工作闸门启闭机的检修设备,桥吊运行距离为 340 m。桥机作为特种设备在安装完毕应进行现场荷载试验,但许多工程设计中未考虑试验场地和试重块,致使荷载试验难以进行,进而影响到设备取证使用。该工程对机房检修吊试验方案进行了以下优化:
①由于泄水闸 7#闸墩为中隔墩,宽 6 m,设计时将桥机试验场地选在 7#闸墩顶部,相应地在 7#闸段启闭机房左侧楼板上开设了 1 个 2.09 m × 1.2 m 的吊物孔。
②桥机吊钩最大扬程按到达闸顶设计,除满足荷载试验要求外,还需将零星部件和工具直接吊到机房内以便于设备维护检修。
③试重块利用闸门配重块和钢筋放在现场临时设置的吊篮内进行荷载试验,不需另租试重块。

4 结语

设计单位在潼南航电枢纽工程金属结构设备的设计、制造、安装过程中,及时与业主、监理、制造、安装等单位做好沟通与协调工作,设计之初即充分考虑了优化方案,对后续出现的问题及时进行了处理。目前电站已发电,金属结构设备运行正常,使用安全。

作者简介:

陆伟(1973-),男,江苏宿迁人,高级工程师,从事水电站设计工作。
(责任编辑:李燕辉)