

老挝南湃水电站高水头外包钢筋混凝土压力钢管 施工技术研究

屈江昆, 魏兴存, 黄兴

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川成都 610072)

摘要:老挝南湃水电站明管段压力管道全长648.5 m, 管内设计最大水头为735 m, 属于高水头压力管道的布置方式。工程地质情况复杂, 在水利工程历史上较少见。为减少高强钢的用量, 压力管道采用钢筋混凝土包WDB620低合金高强钢管的布置方式。总结了高压水头、高强钢外包钢筋混凝土压力管道在复杂地质条件下的施工技术方法及方法, 可为类似工程应用研究提供参考。

关键词:高水头; 高强钢; 外包钢筋混凝土; 压力钢管; 南湃水电站

中图分类号:TV7; TV52; TV547

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)05-0046-03

1 工程概述

南湃(Nam Phay)水电站为长引水式电站, 额定水头700 m, 设计引用流量 $14.03 \text{ m}^3/\text{s}$, 总装机容量为86 MW, 工程规模为二等大(2)型工程。压力管道明管段外包钢筋混凝土长648.5 m, 钢管内径为2 m, 主管材质为WDB620D低焊接裂纹敏感性低合金高强钢, 壁厚为30~46 mm。

明管段分为上斜管段和下斜管段, 上斜管段长350.98 m, 共布置3个镇墩, 明管起点到1#镇墩为水平段, 1#镇墩到3#镇墩为斜坡段, 坡度 $i=0.286\sim0.563$, 其中3#镇墩处为空间弯管; 下斜管段长297.52 m, 共布置3个镇墩, 末端为岔、支管, 3#镇墩末尾到6#镇墩坡度 $i=0.225\sim0.483$ 。

压力钢管外包混凝土最小厚度为0.5 m, 管槽混凝土强度等级为C30, 镇墩混凝土强度等级为

C25。

压力管道明管段位于两侧沟夹持的山脊上, 覆盖层以崩积、残坡积碎石土为主, 薄层状粉砂岩间夹于紫色泥岩中。1#~2#镇墩之间的管槽基础及其两侧坡均由缓倾岸里的黑色泥岩夹碳质板岩构成, 2#~3#镇墩之间的管槽基础及其两侧坡均由缓倾岸里的砂质板岩(2#镇墩附近)、白色泥岩(3#镇墩附近)构成, 3#~4#镇墩之间的管槽基础及其两侧坡均由缓倾岸里的紫色泥岩夹黄色泥岩构成, 4#~6#镇墩之间的管槽基础及其两侧坡均由缓倾岸里的紫色泥岩夹黄色泥岩构成。

2 压力钢管的制作与安装

2.1 压力钢管的制作

压力管道制作采用的施工工艺为: 下料→卷板→焊接→焊缝检测及防腐, 具体制作工艺见图1。

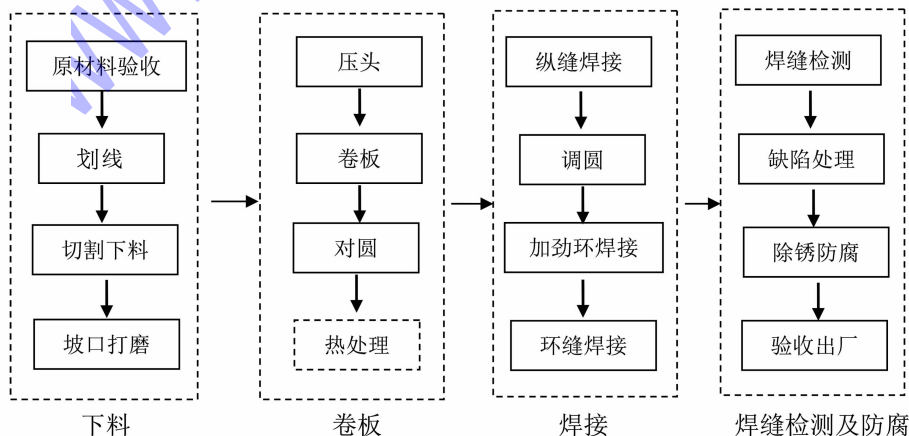


图1 压力钢管制作施工工艺图

2.1.1 下料切割

钢板划线经检查合格后,采用数控切割机下料,用 CG1-30 型半自动切割机切割坡口。切割时,随时调整割嘴使其与切割线吻合,切割后打磨清除棱边上的毛刺、氧化铁等,修出钝边。

2.1.2 卷板

通常,钢板两端头部有一段长度在卷板机上受不到上辊压力、不能产生弧度,故卷板前先在 2×630 t 框型压力机上用定型的胎膜压制出符合要求的板端弧段预弯,即为压头。

卷板方向和钢板的压延方向一致,卷制成的管节瓦块用规范规定的弦长的样板检查弧度,根据弧度,逐渐调整上辊下压的程度。

根据卷板机的型号及板材的材质、板厚等采用分段、分次的方法进行卷制,钢管卷制原则上采用冷卷法,按照《水电水利工程压力钢管制造安装及验收规范》(DL/T 5017-2007)规定,当钢管内径和壁厚关系超过冷卷范围时,卷制完成后,在焊接前进行热处理,将热处理温度控制在 150℃~250℃,保温 1.5 h,然后自然降温。

2.1.3 焊接

焊接钢管直管的纵缝、环缝均采用埋弧自动焊,弯管采用手工电弧焊,加劲环的焊接主要采用二氧化碳气体保护焊。

施焊前清除坡口及其两侧 10~20 mm 范围内的水份、油污、铁锈、氧化层等并将其打磨出金属光泽。所有焊接材料(除气体保护焊外)均按说明书要求进行烘烤,现场先进行试板焊接,焊接方法采用自动焊及手工焊(平、立、横、仰),焊缝正面焊接完成后,背面采用碳弧气刨清根后再进行焊接。

2.1.4 焊缝的检测及防腐

钢管焊接完毕进行焊缝外观检查,对于焊缝表面有咬边、焊瘤的部位用砂轮打磨,使其表面光滑平整。焊缝内部的质量检测采用超声波检测、射线抽检的方法进行,检测比例应符合相关规范要求。检测后对发现的缺陷需进行记录,按程序

进行返修并再次进行检测,直至其达到合格要求。

钢管内外壁表面涂装前,其表面采用喷砂枪除锈,除锈要达到相关标准规定的 Sa2¹/₂ 级标准,钢管外壁除锈后达到 Sa1 级标准。钢管段内壁涂刷环氧煤沥青涂料,涂刷后干漆膜厚度不小于 450 μm,外壁涂刷改性水泥胶浆。

2.2 钢管的安装

2.2.1 运输就位

采用汽车吊装、拖车运输钢管至现场,卸车架或吊车直接卸车,管槽内运输时采用在管槽内敷设轨道滑行至安装位置,最后自下而上逐节锁定。

2.2.2 钢管对接及环缝焊接

调整钢管中心轴线并加固,加固位置在钢管底部及侧面,最后自下而上顺序进行环缝焊接对接,钢管安装中心的极限偏差均符合表 1 的规定。

表 1 钢管安装中心极限偏差表

钢管内径 D /m	始装节管口中心的 极限偏差 /mm	其它部位管节的管口 中心极限偏差 /mm
$D \leq 2$	±5	±15

始装节两端管口垂直度偏差不得超过 ±3 mm。安装后管口圆度偏差小于 5D/1 000,且不大于 40 mm。测量了八个点,共四个方向的直径,确认其直径偏差小于 2 mm。

环缝焊接不能出现跳越和强行组装,以减少现场环缝焊接造成的残余应力。

2.2.3 现场焊缝的检测及防腐

压力钢管的安装几何尺寸、焊接材料、焊缝外观质量需符合《水电水利工程压力钢管制造安装及验收规范》DL/T5017—2007 要求,安装后采用超声波检测,共检测了 1 938.6 m,一次合格率为 99.9%,经返修后合格率达 100%,最后采用 X 射线检测进行抽检,全部合格。油漆涂装控制厚度为 500~530 μm,涂装质量合格率为 100%。

3 压力钢管外包混凝土施工

3.1 外包混凝土施工程序(图 2)



图 2 外包混凝土施工程序图

3.2 镇墩地基处理和管槽基础处理

基础岩面的处理需先撬挖松动石块,清除浮

渣、泥沙和污物,并用压力风、水冲洗干净,排干积水。对于因地质原因造成超挖的深坑部位,按设计和规范要求进行处理。

3.3 一期钢筋混凝土工程

镇墩及管槽基础锚杆及锚筋桩施工完成经验收并合格后进行一期混凝土钢筋的安装。钢筋在钢筋厂加工,使用8 t平板车运输至现场施工平台,人工辅助25 t汽车吊垂直运输至工作面,现场环向主筋接头采用一头焊接、另一头机械连接,纵向分布筋采用绑扎连接。混凝土分仓按设计要求长12 m,纵向分布钢筋过缝,过缝钢筋接头错开,错开距离应满足规范要求。混凝土立模浇筑采用常规方法施工,一期混凝土施工完成后缝面严格进行100%凿毛处理,以充分确保新老混凝土的良好结合。

3.4 二期外包钢筋混凝土施工

二期外包钢筋混凝土施工紧跟钢管安装进度,二者施工工作面距离不超过5个安装管节,从而有效降低了因钢管安装过长而对下部已焊接完成的环缝产生的压应力。

混凝土由厂区拌和站集中拌制,采用6~8 m³混凝土罐车运至施工现场操作平台。采用HTB80混凝土泵机泵送入仓。

4 外包混凝土外部防水及回填覆盖处理

外包混凝土及镇墩表面粘贴SBS改性沥青防水卷材,与填土相邻部位采用5 mm厚泡沫板保护,上部采用原土覆盖回填,按照设计要求通过碾压试验确定的碾压参数进行。覆盖土回填的目

的是为了降低压力钢管充水后外界环境温度变化对外包混凝土及钢管外壁产生多余的应力约束,使压力钢管外包混凝土处于一个相对稳定的外部环境温度中。

5 充水试验及安全监测

5.1 充水试验

5.1.1 预充水试验

为了尽可能地消除压力管道可能存在的残余应力,为整个引水系统提供充水检验,为工程运行前的安全性评估、顺利投入运行提供技术支撑和保障进行了预充水试验。预充水试验步骤:充水准备工作→3#镇墩以下充水→稳压24 h→1#镇墩-3#镇墩充水→稳压240 h,结果分析→1#镇墩-3#镇墩放水→稳压12 h→3#镇墩以下放水→结果分析判定合格→临时设施拆除。

5.1.2 引水系统充水试验

在预充水试验满足要求后进行了引水系统充水试验,充水试验时对压力钢管段充水过程进行了简化,一次连续充水至下平段,最终充水水头为735 m,钢管最大水压达到设计压力7.13 MPa。

5.2 安全监测设备的布置及监测成果

该工程在压力管道外壁安装了钢板计用于监测管道受力,在管道周围混凝土布置了钢筋计用于监测混凝土钢筋应力变化,在管道外壁与混凝土之间安装了缝隙计用于观测管道与混凝土之间的接缝变化,在管道混凝土与基岩间安装了测缝计用于监测基岩与混凝土之间的接缝变化。

充水监测成果见表1。

表1 钢管安装充水监测成果表

仪器名称	仪器量程	监测结果	备注
测缝计	0~12 mm	0.03 mm	监测混凝土与基岩之间的缝隙开合度
缝隙计	0~12 mm	0.04 mm	缝隙开合度均呈现张开变化
钢板计	压1 500 με、拉1 000 με	14.71~500.55 με	呈拉应变变化,换算应力变幅为3.03~103.11 kPa
钢筋计	拉300 MPa、压100 MPa	4.16~25.59 MPa	呈拉应力变化
渗压计	3 MPa	0.38 MPa	最高孔隙水压力值

从监测结果看,使用测缝计监测混凝土与压力钢管之间的缝隙开合度未发生变化,混凝土与基岩之间的缝隙开合度满足要求。缝隙计监测缝隙开合度均呈现张开变化,变化范围在0.04 mm以内,符合充水规律,混凝土与压力钢管之间的缝隙开合度满足要求。钢板计应力呈拉应变变化,

应变变幅在5.18~856.85 με之间。从充水开始至结束,呈增大趋势,未出现异常变化。钢筋计监测应力变化呈拉应力变化,应力值变幅为46.45~188.12 MPa,渗压计变化幅度不大,均在正常变化范围内,各项监测数据和指标均符合充水规

(下转第65页)

员不得运行钢模台车;合闸前,必须对电源进行检查,确定无问题后方可合闸;应对驱动装置、液压装置、制动装置进线检查,严禁带病工作;钢模台车运行时,操作人员不得擅自离开操作台,如需离开时必须经现场负责人同意;同时,操作人员应听从指挥人员的信号进线操作,如指挥人员所发信号不够清楚或将引起事故时可拒绝执行,并通知指挥人员。

台车在浇筑施工时,混凝土在台车两侧的人仓速度必须受控。浇筑时,混凝土最大下落高度不能超过3 m,两侧混凝土面的高差不得大于0.5 m,模板纵向前后混凝土高差要求不超过0.4 m。混凝土顶拱满仓时,封拱泵送要稍缓慢、压力不可太大,以免台车受损,台车施工衬砌后的混凝土洒水养护按规定进行。

钢模台车行走时,必须在其前后15 m的范围内设置安全警示带,禁止行人通行,并挂“禁止通行”的标示牌。台车前进方向20 m范围内严禁从事任何施工作业,并派专人负责主电源电缆的收放工作,以免造成电缆车轮压断或障碍物挤压或损坏,台车工作时,配备4~5名人员观察模板是否与洞壁、混凝土浇筑面接触、碰撞,协助指挥

(上接第15页)

通过研究南立1工程上游土石过水围堰的安全度汛应用,为河道流量季节性变化悬殊的地域采用类似过水围堰提供了参考。

作者简介:

黄兴(1986-),男,湖南麻阳人,工程师,学士,从事水利水电工

(上接第48页)

律,达到了充水预期和运行要求。

6 结 语

老挝南湃水电站压力钢管设计最大水头为735 m,且该电站压力钢管所处地质边坡及开挖基础地质条件非常复杂,经设计单位采用弹性力学有限元结构分析和充水试验检验,严格把控每一个施工环节,保证了工程施工质量。2017年4月整个引水系统安全鉴定通过并顺利完成了充水试验及阶段验收,2017年5月并网发电进入商业运行。目前电站运行情况良好、稳定,压力钢管各项仪器监测数值变化符合运行规律,工程施工达到了设计及规范要求,对类似高水头且地质条件复

人员完成钢模台车的行走。

钢模台车立模时,先调节横移装置使钢模对中,然后升顶模装置至指定位置,顶紧上下螺旋撑杆,再由侧模装置撑开侧模到位,顶紧上下螺旋丝杆,然后将侧模装置撑开侧模到位,顶紧侧部螺旋撑杆后再封堵浇筑。脱模时,先松开螺旋撑杆、收回侧模,然后再降下顶模。

5 结 语

通过马蹄形钢模台车在老挝南椰Ⅱ水电站引水隧洞混凝土衬砌工程中的实际应用发现,钢模台车经过重新设计和修改后,可适用于其它不同类型的洞段工程,该方案能够很好地弥补传统钢模台车具有的单一性、独特性不足,经过合理的改造、设计、优化等措施,可更好地体现材料、工艺、制作价值。

作者简介:

邓斌(1980-),男,四川威远人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

吴勇(1987-),男,四川资中人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

熊潇(1988-),男,湖北咸宁人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

程施工技术与管理工

马东阳(1992-),男,河南禹州人,技术员,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

黄开江(1974-),男,四川开县人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

刘慧芳(1987-),女,湖南益阳人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

杂的压力钢管安装及外包钢筋混凝土施工具有借鉴及指导意义。

参考文献:

[1] 水工混凝土钢筋施工规范,DL/T 5169-2013[S].

[2] 水电水利工程压力钢管制造安装及验收规范,DL/DL T 5017-2007[S].

作者简介:

屈江昆(1985-),男,陕西商洛人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

魏兴存(1987-),男,河北邯郸人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

黄兴(1986-),男,湖南麻阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)