

# 塔贝拉水电站超大型压力钢管的技术优化

张桥<sup>1</sup>, 岳廷文<sup>2</sup>, 金胜<sup>2</sup>

(1. 中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610081;

2. 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:**塔贝拉水电站压力钢管属于EPC项目,对施工图设计、材料采购、制作安装及水压试验等进行了介绍,特别是对通用性较强的几个事件进行了阐述,可供同行施工时参考。

**关键词:**超大型压力钢管;技术优化;塔贝拉水电站

**中图分类号:**TV7;TV51;TV547

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2018)03-0100-02

## 1 概述

塔贝拉水电站位于巴基斯坦印度河干流上,四期扩建工程是通过将现有的4号灌溉隧洞改为引水发电洞,扩容1410 MW(3×470 MW混流式水轮机)机组,使现有电站的装机容量3478 MW增大到4888 MW。

压力钢管布置在厂房上游侧,设计为明管,部分外包钢筋混凝土、部分由细砂覆盖,由一条直径为13 m的主管经4个岔管岔分为3条直径为7.5 m的发电支管和2条直径为8 m的泄洪支管,两条泄洪支管末端均由圆管变为6 m(宽)×7.65 m(高)的矩形管,其中一条泄洪支管在厂房安装间底部再由1个卜形贴边岔管分支出1条直径为2.8 m、厚16 mm的泄水减压管。钢管总长为792.3 m,所用钢板主要厚度为22 mm、36 mm、48 mm、56 mm、60 mm等。

## 2 压力钢管的设计优化

塔贝拉水电站四期扩建压力钢管设计、采购及安装均由承包商负责,业主及咨询工程师提供单线布置图,我公司技术人员根据单线布置图进行详图设计,经工程师批准后实施。招标时,公司召开了专题会议,对招标文件中压力钢管管壁设计厚度、加劲环的设计结构进行了分析计算。

### 2.1 加劲环的优化

业主招标时其加劲环为T形结构形式:翼缘宽度为400 mm、板厚为45 mm;腹板高度为700 mm,板厚为20 mm。这种加劲环T形结构形式在我国极少采用,且T形结构形式的焊缝条数和

焊接量将会加大,从而出现焊接变形、焊接内应力和焊接缺陷的概率均会加大,对钢管结构质量不利。鉴于该工程钢管为回填钢管,外水临界压力很小,故应按明管设计计算。结合以往大多数工程设计的已有经验,设计时由T形改为I形加劲环型式,再根据加劲环抗外压稳定性计算并结合钢板的屈服强度、加劲环的有效截面面积等参数,最终获得工程师批复,将加劲环的重量大幅度减少。

### 2.2 钢管管壁的优化

由于世界钢铁冶炼技术和轧制技术的不断优化和改进,新技术不断涌现。为此,ASCE79标准(The American Society of Civil Engineers,美国土木工程师学会标准)设计允许强度1993旧版本第3.5.3条“本设计允许强度等于抗拉强度标准下限值除以3的安全系数”改为2012年新版本第3.5.3条“钢管的基本允许应力应采用抗拉强度标准下限值除以2.4或者屈服强度标准下限值除以1.5,取二者的较小值”,即设计允许强度等于抗拉强度标准下限值除以2.4的安全系数。由此得: $(3-2.4)/3 \times 100\% = 20\%$ ,即钢管壁厚减薄了20%,钢管壁重量同时亦减少了20%。

## 3 TOFD 替代 X 射线探伤

在国外水电工程施工中,合同条款一般均采用FIDIC条款,施工标准采用ASME、ASCE、BS-EN、C. E. C. T等美国标准和欧洲标准,这些标准相对比较早出版,与现阶段的科学技术相比存在一定的滞后。塔贝拉水电站四期扩建标准亦存在同样的问题,施工合同要求按照此类标准进行钢

收稿日期:2018-06-18

管的焊缝检测,除进行100%的UT探伤外,需要用射线对焊缝进行5%~20%的抽检。众所周知,射线探伤对环保的要求较高,对操作人员有伤害,且因其安全操作工艺致使施工进度在很大程度上受到制约,施工成本相对较高,在中国,近10a内已基本上由TOFD取代,为此,在项目策划阶段项目部就申请将射线探伤改为TOFD,并列出了在工程中的技术运用和其他水电站施工积累的经验,并将工程师和业主邀请到国内正在用TOFD检测的项目进行现场观摩,重点讲解TOFD的优点和射线探伤的不足,经过多次探讨、比对和齐全的资料举证后,最终,业主同意采用TOFD代替X射线对焊缝进行抽检。不言而喻,此次检测设备的替换在保证质量的前提下会节约成本、增加收益,而且工期会缩短、进度目标能确保。

#### 4 采用石英砂替代钢砂

塔贝拉项目压力钢管施工方案确定在制作现场做防腐,在惯用的防腐磨料方面,很多国际项目均采用钢砂而较少采用石英砂,这主要是从环保角度出发。在巴基斯坦国,如果选用钢砂,则需要从中国或第三国进口,采购费、关税及海陆运费用成本高昂,而在巴基斯坦本国,石英砂则比较普遍,当然,费用方面也便宜很多。根据具体情况,项目部多次去函件以及面对面地和工程师沟通交流,最终,监理工程师要求通过样品试验证明:既要保证施工对环境无大的影响,又要保证打砂后的粗糙度满足要求。在密闭的防腐车间内严格控制工艺,用石英砂做出了防腐试验板,测定了其表面粗糙度、油漆的抗拉拔能力以及电火花等各项试验后,监理工程师信心满满地同意我们采用石英砂代替惯例的钢砂用于防腐喷砂磨料,既对环境无大的影响、保证了质量,还节省了成本。

#### 5 超大型岔管群水压试验

该项目岔管群由4个超大型岔管组成,主管直径为13 m,2条泄洪支管直径为8 m,3条发电支管直径为7.5 m。由于是超大型岔管群施工,在世界范围内均是第一次,没有任何经验可以借鉴,只能依靠自身不断发现问题、分析问题和解决问题,最终完成了13 m直径的岔管群1.5倍运行压力值的水压试验。

##### 5.1 合并为超大型岔管群进行水压试验

根据岔管分布的密集程度,4个超大型岔管

布置在长度只有82 m的管线上,钢管中心线均在同一高程上(高程460.462 m)。合同明确要求需要进行运行压力165 m水头的1.5倍(即2.475 MPa)水压试验,如果每个岔管各进行一次水压试验,占用项目的关键工期特别长,而且在成本耗费上也是巨大的。经过前期策划并报工程师批准,将4个岔管合并为一体进行水压试验,同时检验4个岔管的设计、施工质量,上下游共采用6个钢闷头进行封闭,这样实施,即有利于成本的节约,又保障了进度。

##### 5.2 由渐变管将主管13 m直径变为8 m直径进行封堵

岔管群上游主管直径为13 m,如果采用13 m直径的闷头,在同样的压强下其受力为8 m直径闷头的2.6倍,对于闷头强度要求是非常难以实现的。针对这种情况,技术人员经过详细计算和论证,采用长度为5 m的锥管将13 m直径渐变为8 m的直径,在锥管和13 m直径钢管连接处设计了一道加强环板,加强环板的材质为610 MPa高强度钢,厚度 $\delta = 60$  mm,高度为1 m,内外各500 mm,主要用于抵抗拐角焊缝的抗撕裂能力,从而将大闷头变成了小闷头,与其余闷头施工方法一致。

##### 5.3 岔管群水压试验的支撑采用永久混凝土支墩

超大型岔管的水压试验需要保证岔管的自由度,通过计算得知,水压试验时,岔管连带水体的重量达到15 000 t,对于其底部支撑则是一个巨大的挑战。如果采用常规的钢结构支撑,则在稳定性和强度方面面临严峻的考验,安全风险极大;如果采用临时混凝土支墩进行支撑,后期混凝土拆除所占用的工期和耗费的费用也是无法面对的一个数字,经过混凝土强度计算、多次的商讨和工程师的沟通,最终决定采用永久混凝土浇筑成圆弧形支墩,支墩的轴向厚度和管节的长度相匹配且避开了加劲环包裹在混凝土中,将钢管的环缝暴露在混凝土之外,支墩总数达到34个,最小支墩厚度为500 mm,弦长为6 m,平均分布在整个岔管群底部,这样实施既保证了岔管水压试验中的安全支撑、整体处于自由状态、方便水压试验中的焊缝检测,又能够在水压试验结束后立即进行

(下转第170页)

接影响工程整个工期的直线工期。

必须综合考虑以下不可避免的不利因素：

- (1) 施工索道安装影响开挖工作面。
- (2) 支护材料吊运对开挖工作面的影响。
- (3) 开挖爆破时, 施工机械避炮以及爆破后进工作面吊运的影响。
- (4) 爆破后进行边坡安全处理的影响。
- (5) 恶劣天气影响施工: 该工程施工时段为一年多时间, 各种恶劣天气气候均将遭遇到。

从客观考虑, 遵循合理安排工期的原则, 高程 2 400 m 以上(40 m 高) 的人工开挖工期为 4.5 个月, 高程 2 400 m 以下(120 m 高) 的机械开挖工

(上接第 101 页)

后续混凝土的施工。

### 5.4 岔管群水压试验采用声发射监控及应力应变检测

岔管群在水压试验过程中, 为监测焊缝受力情况, 确保其安全可控, 采用声发射监控以及应力应变监测。对于如此庞然大物进行水压试验, 对其结构的薄弱环节和关键部位均需进行监控。由于岔管现场焊接量大, 为监控焊缝的受力情况以及岔管水压试验中膨胀位移的数据, 声发射监控以及应力应变检测均能够做到实时动态的数据采集, 经过数据的收集和整理, 可以分析出岔管水压试验中各个受力点的受力情况以及对薄弱部位的重点监控, 以免出现大的质量安全事故。

期为 10 个月。DR2 危岩体开挖工期为 14.5 个月。最终决定将右岸坝肩开挖的时间安排在枯水期, 而在汛期进行 DR2 危岩体的开挖。

### 6 结 语

对于较大岩体的开挖, 需要综合考虑岩体的地形、分层面积及岩体本身的稳定性, 采取不同的开挖方案。危岩体开挖与坝肩开挖交叉进行, 可以确保施工工期。

作者简介:

庄海龙(1974-), 男, 吉林敦化人, 工程师, 从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑: 李燕辉)

### 6 结 语

塔贝拉水电站压力钢管已成功实施完毕, 笔者重点列举了几项项目设计实施过程中的优化事项, 既取得了良好的经济效益, 又取得了一定的社会效益, 同时为下一个相类似项目的实施推出了强有力的施工业绩和经验依据。

作者简介:

张 桥(1969-), 男, 四川成都人, 教授级高级工程师, 从事企业管理和水动专业技术工作;

岳廷文(1977-), 男, 四川巴中人, 高级工程师, 二级建造师, 从事金属结构和机电设备安装技术工作;

金 胜(1977-), 男, 重庆梁平人, 工程师, 从事金属结构制作安装技术工作。

(责任编辑: 李燕辉)

## 绩溪抽水蓄能电站上库大坝填筑到顶

由中水五局公司承建的绩溪抽水蓄能电站上水库大坝顺利填筑到顶, 累计完成填筑方量 222 万立方米。

绩溪抽水蓄能电站是目前安徽省最大的抽水蓄能电站, 为安徽省“十二五”规划重点工程, 地处皖南山区绩溪县境内。中水五局公司承担建设该电站上、下水库土建工程、金结安装、环库公路等项目。大坝采用混凝土面板堆石板, 最大坝高 117.7 米, 坝顶长 336 米, 宽 10 米。

## 麻窝水电站首台机组转子吊装成功

5 月 1 日, 麻窝水电站首台机组转子顺利吊装成功。

麻窝水电站设计为两台水斗冲击立式机组, 单机容量为 18 兆瓦, 总装机容量为 36 兆瓦。发电机转子外径为 2 716 毫米, 高 6 185 毫米, 设计重量 72 吨。

在麻窝水电站转子吊装准备过程中, 水电五局项目部坚持以质量为本, 以安全文明施工为重点, 以规范管理为导向, 精心组织, 统筹规划, 项目部广大员工克服了安装过程中遇到的诸多困难, 不断优化施工方案, 发扬五局不畏艰辛、奋勇拼搏的精神, 安全顺利地完成了麻窝水电站首台机组转子吊装。

麻窝水电站工程位于甘孜州九龙县子耳乡杜公村和庙子坪村境内, 属于子耳河干流水电规划中的第二级水电站。