

# 高压隧洞在插草坪电站中的应用

郭 静, 张 中 兵

(四川省内江水利电力建筑勘察设计研究院, 四川 内江 641000)

**摘要:**高压隧洞的衬砌是在围岩条件较好的情况下,由围岩来承受内外水荷载,衬砌材料不承受或较少承受荷载,而洞线的埋深也不会增加衬砌上的荷载,从而达到既经济又安全的工程目标。

**关键词:**高压隧洞;衬砌;问题;高压与常规的比较

中图分类号:TV732.3;TV7;O434.19

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)03-0138-03

## 1 引 言

插草坪水电站位于甘孜州丹巴县境内,属磨子沟干流水电规划三级开发的第二级水电站,引水式开发,在前期设计中,引水系统是由有压隧洞、调压井及压力管道组成,隧洞虽为有压隧洞,但是在调压井之前,隧洞承担的内水压力较小,属于低压隧洞。

近年来,山区电站特别是临近自然风景保护区的电站,由于对生态环境保护的要求越来越高,布置常规式调压井将会受到环境保护及选址位置的制约。插草坪电站水头高达400多m,厂区部位水头更为集中,而厂区后坡地形陡峻,修建至调压井、压力管道及各施工支洞的公路困难,前期考虑的索道出碴量小,工效低,对生态环境影响也很大,因此,选择高压隧洞一坡到底至厂房后山体,在山体内修建气垫式调压室进入厂房的方案,既能满足生态环境保护的要求,也可减少各支洞施工道路的修建,提高施工期的工期保证率。

## 2 高压隧洞的布置

高压隧洞线路原则上根据河道比降顺河布置,且必须遵循“挪威准则”和“初始应力场最小应力准则”,保证洞身垂直和侧向岩体最小覆盖厚度,充分利用围岩的承载力承担隧洞内、外水压;同时为防止施工期洪水从支洞进入主洞,考虑在跨沟时洞底高程高于主沟施工期水位,结合支洞以及施工进度的安排,布置隧洞纵坡,并在适当的位置布置斜井,保证围岩上覆盖厚度;高压隧洞在各水平洞段都应预留检修洞,方便对隧洞洞身的检修。

收稿日期:2014-05-15

插草坪电站引水隧洞采用“一坡到底”的高压引水隧洞形式,因受斯潘干沟、无名沟、冬特尔沟及森工局三段沟控制,平面上共设置5个控制点,隧洞全长10 844 m,其中有694 m为洞内埋管。隧洞进口底板高程3 375.50 m,至隧洞出口处底板高程为2 911.60 m,整个洞段根据河道比降及施工支洞布置情况共设5个坡段和4个斜井段,断面为圆形,直径为4.5 m。

为运行管理及检修方便,在2号、3号、5号施工支洞设置了手推式钢闸门作为隧洞对外永久交通检修通道,1号、4号施工支洞设置堵头封堵。同时为运行安全,拦截由取水口进入的稀少粗粒径泥沙,防止不衬砌和锚喷掉块进入机组,在桩号+366 m处设置集石坑。

## 3 高压隧洞的衬砌

水电站的引水隧洞分为高压洞段和低压洞段,有关技术规范规定,原则上砼结构是不能承受拉应力的,故低压洞和高压洞在结构设计上存在显著差别。对于低压隧洞,I、II类围岩,基本可以不衬砌,直接承载;III类围岩,可采用喷砼或素砼衬砌结构承载;IV、V类围岩,必须采用钢筋砼衬砌结构承受隧洞内外水的水压力和围岩压力,防止渗漏。插草坪电站高压引水方案桩号0+000 m~2+366 m段内水压力低于20 m,属于低压隧洞段,采用的以上隧洞衬砌结构进行设计。

电站桩号2+366 m~10+151 m段内水压力高于100 m,属于高压隧洞段。对于高压隧洞,常规方式是采用钢板衬砌,即压力管道来承受内外水压力和围岩压力,防止高压渗漏。根据上述高

压隧洞衬砌概念,高压隧洞引水方式投资远远高于常规有压隧洞,没有优越性,因此,国内外水电专家对高压隧洞提出了新的设计概念:在围岩条件较好的情况下,由围岩来承受内外水荷载,衬砌材料不承受或较少承受荷载,而洞线的埋深也不会增加衬砌上的荷载。

高压隧洞必须遵循前述的“挪威准则”和“初始应力场最小应力准则”。挪威准则是经验准则,其原理是要求隧洞上覆岩体重量不小于洞内水压力。早年,在挪威当压力隧洞地表岩体坡度变陡时,设计者只是简单地把所需的围岩覆盖厚度从静水头的0.6倍增加到1.0倍,结果导致一些工程的失败。根据工程失败情况进一步研究,从而在1971年产生了挪威准则。

$$C_{RM} = \frac{hr_w F}{r_R \cos \alpha}$$

式中  $C_{RM}$  为岩体最小覆盖厚度(不包括强风化层),  $h_s$  为洞内部水压力水头(m),  $r_w$  为水的重度( $N/m^3$ ),  $r_R$  为岩体重度( $N/m^3$ ),  $\alpha$  为地表岩体坡度,  $\alpha > 60^\circ$  时取  $\alpha = 60^\circ$ ,  $F$  为经验系数。关于经验系数  $F$  的取值问题,根据围岩情况确定。

挪威按照上述准则设计的水工有压隧洞已达40余个工程,在四川省也有所尝试,因此,挪威准则的可靠性在实际工程中得到了充分的证实。

最小地应力准则是建立在“岩体在地应力场中存在预应力”的基础上的,其原理是要求不衬砌高压隧洞沿线任一点的围岩最小主应力  $\sigma_3$  大于该点洞内静水压力,并有1.2~1.3倍的安全系数。

$$Fr_w H < \sigma_{min}$$

式中  $F$  为安全系数,一般取1.3~1.5,  $r_w$  为水的重度( $N/m^3$ ),  $H$  为最大内水压力水头(m),  $\sigma_{min}$  为隧洞周边围岩应力场最小主应力。该准则由挪威得隆汉姆大学提出,它需要通过测试了解地应力分布规律,然后根据实测成果用有限元回归分析得出隧洞沿线的地应力分布,据此调整隧洞的埋深和布置。

基于上述理论,插草坪电站高压段隧洞衬护:Ⅱ类围岩洞身采用80 mm厚C25砼喷锚,设置随机锚杆,锚杆长3.0 m;Ⅲ类围岩洞身采用120 mm厚C25砼喷锚,每个断面设置8根系统锚杆,锚杆长3.0 m,排距1.5 m,梅花形布置;Ⅳ类围岩

段洞身采用600 mm厚C25钢筋砼的衬砌。Ⅳ类顶拱120°范围内回填灌浆,灌浆孔深入基岩0.1 m,排距2.5 m,单双孔交替布置;Ⅱ、Ⅲ类围岩段进行高压固结灌浆,固结灌浆孔,深入基岩3 m,排距3.0 m,每排8孔,梅花型布置。所有隧洞衬砌砼均添加聚丙烯抗裂纤维。

#### 4 高压隧洞应注意的问题

采用两准则进行设计的水工隧洞,还应注意以下几点。一是隧洞的固结灌浆,根据已建水工隧洞的经验教训,虽然设计时满足上述两项准则,但某些高压引水隧洞可能沿围岩裂隙发生水力劈裂,因此,研究表明,高压引水隧洞的高压固结灌浆尤为重要,尤其是进、出口段、不同衬砌的连接处以及地质缺陷段。二是高压压水试验,上述设计概念国内刚刚发展,该理论并没有与具体的岩石力学指标和节理、裂隙发育特征联系起来,而高压压水试验可以很好的获取相关数据资料,解决围岩裂隙发生水力劈裂的问题。

对于完整的Ⅱ类围岩,主要承载区约为隧洞开挖直径的0.75倍,这也是一个经济合理的灌浆深度,因此,Ⅱ类围岩可不进行固结灌浆;但是,在不良地质洞段固结灌浆是必要的,根据隧洞断面进行灌浆孔布置,在不同衬砌的连接处以及透水率大于1 Lu的薄弱洞段需加强。

#### 5 高压隧洞与常规隧洞的比较

在插草坪电站中,对采用常规隧洞和高压隧洞进行了比较。

根据地形地质条件,两方案从布置上均可行,除隧洞埋深有差异外,线路长度差异不大。

从施工条件看:常规式调压井方案引水隧洞坡度较缓,施工期排水问题不突出,施工难度相对较小;新建临时公路20.1 km,其中至调压室顶部施工道路沿线地形险峻,施工难度较大。高压隧洞方案施工道路较短,但施工支洞较长。施工临时工程费用方面,高压隧洞方案略低于常规方案。

从环境影响方面看:常规式调压井方案上山公路沿线地形险峻,开挖量和弃渣量较大,对沿线地表植被的损坏和地形地貌的改变较大,也增加了水土流失治理难度与工程量,上山公路施工对工程区环境影响较大;高压隧洞方案不需要修建难度较高的上山施工公路,比常规调压井方案大大减少了开挖量和弃渣量,从而降低了对地表植

被的损坏和地形地貌的改变,水土流失治理难度与工程量也大大降低。

从工程发电效益看:通过动能计算,在采用相同的装机规模前提下,两方案的年发电量相差不大。但常规式调压井方案工期长4个月,也就晚4个月发电,发电量为9454万kWh左右。

综上所述,常规式方案虽施工简单,但投资略高,工期长,占地大,征地相对较为困难;高压隧洞方案虽施工相对复杂,但投资略低,工期短,最主要的是对环境影响小。

## 6 结语

挪威是最早使用无衬砌隧洞的国家,到1982年,已建成150m水头以上的无衬砌隧洞66座,在建的13座;我省也有多座高压隧洞引水发电的成功案例,如瓦斯河流域的小天都电站、巴郎沟流域的巴郎口电站以及索子沟流域谢家沟电站等均采用的高压无衬砌隧洞。从已经实施的高压隧洞

(上接第137页)

### 3.6 抗震性能好

玻璃钢夹砂管本身具有自振频率低、阻尼特性好、弹性模量低等特点,再配以柔性接头,能抵御外界重压和基础沉降所引起的破坏,在地震或其他振动灾害发生时,其抗破坏性能明显优于其它传统管材。

### 3.7 自重轻,运输、安装方便

采用纤维缠绕生产的玻璃钢夹砂管,其相对密度为1.65~2.0,只有钢管的1/4,混凝土的1/5,运输、安装十分方便。玻璃钢夹砂管采用承插式的连接方式,接头处采用双O型橡胶圈,适应热胀冷缩。

### 3.8 使用寿命长、运行维护费用低

玻璃钢夹砂管使用寿命长,根据资料,一般给、排水玻璃钢夹砂管道的寿命可达50年以上,是钢管和混凝土管的2倍。由于玻璃钢夹砂管自身具有很好的耐腐蚀性,不需要进行专门的防锈、防污、绝缘、保温等处理措施,可节约大量维护费

来看,挪威的地质条件一般较好,是典型的硬岩地区,岩体完整坚硬、节理裂隙不十分发育,岩体表面风化层的厚度一般不深,岩石的物理力学指标均较高;而我省小天都的地质围岩主要是晋江~澄江期花岗岩,因此,在地质条件较好的地区修建高压隧洞,同时应对围岩的初始应力场最小应力进行实验,确保围岩能满足不衬砌条件是可行的。

### 参考文献:

- [1] 侯靖胡敏云.水工高压隧洞结构设计中若干问题的讨论.水力学报 2001(7)
- [2] 谢晓刚.新概念在谢家沟电站高压隧洞衬砌结构设计中的应用.吉林水利 2010(3)

### 作者简介:

郭静(1977-),女,四川内江人,本科学历,工程师,从事水利水电工程水工设计工作;  
张中兵(1979-),男,重庆江津人,本科学历,工程师,从事水利水电工程水轮机及金属结构设计工作。(责任编辑:卓政昌)

用。

## 4 结语

玻璃钢夹砂管道自上世纪40年代问世以来,在欧美发达国家发展很快。我国于上世纪80年代引进了玻璃钢夹砂管道的生产技术,目前,玻璃钢夹砂管道已在石油、化工、市政供水等工程中被推广应用,尤其是在市政给排水领域的应用得到迅速发展,近年来在中小型水电站中也开始逐步使用。从玻璃钢夹砂管道在往子沟水电站压力引水道中的应用看到,玻璃钢夹砂管道能适应三州地区气候环境恶劣、地质条件复杂等外部环境,能显著加快施工进度,降低工程造价。

### 参考文献:

- [1] 孟玉生.玻璃钢夹砂管在小型水电站工程的研究与应用.水利水电技术,2010年第2期。
- [2] 左向利.玻璃钢夹砂管道的技术特点及水力学性能分析.科技信息,2013年21期。

### 作者简介:

王刚(1978-),男,汉族,四川安岳人,本科学历,工程师,主要从事水利水电工程建筑设计工作。(责任编辑:卓政昌)

## 华能飞仙关水电站首台机组投产发电

5月27日,华能飞仙关水电站首台机组(1号机组)完成72小时试运行,进入商业运行,成为“4·20”芦山强地震重灾区首个投产发电的四川省重点建设项目。华能飞仙关水电站位于四川省雅安市境内青衣江上,距雅安市约15千米,上游接灵关河水电站,下游连雨城水电站。飞仙关水电站采用河床式开发方式,装机容量2×5万千瓦,多年平均发电量4.6亿千瓦时。