

# 米亚罗水电站有压引水隧洞衬砌设计探讨

吴建军, 徐应中

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

**摘要:**结合阿坝州理县米亚罗水电站有压引水隧洞的衬砌设计、优化及各种观测分析结果, 阐述了对隧洞围岩进行科学分类、分别采用适合的衬砌方法, 在保证洞室安全稳定的情况下, 不仅能缩短施工工期, 而且能有效降低工程造价, 取得安全、经济的综合效益。

**关键词:**米亚罗水电站; 引水隧洞; 衬砌设计; 观测分析

**中图分类号:** TV7; TV22; TV544

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2018)03-0027-03

## 1 工程概况

米亚罗水电站位于四川省阿坝州理县米亚罗镇, 上接十八拐电站, 下接芦杆桥电站, 是杂谷脑流域上游河段梯级开发的第二级电站。电站开发方式为引水式, 无调节性能, 项目的主要功能为发电, 无其它综合利用要求。电站发电引用流量为  $14.82 \text{ m}^3/\text{s}$ , 额定水头 121 m, 总装机容量为 15 MW, 多年平均年发电量为 8 347 万  $\text{kW} \cdot \text{h}$ , 年发电利用小时数为 5 565 h, 保证出力 3 588 kW。最大闸坝高度为 11 m, 闸坝顶全长 59.8 m; 引水隧洞全长 6 953.752 m, 后接调压室和压力管道以及地面厂房。

## 2 引水隧洞的布置

米亚罗水电站有压引水系统布置在杂谷脑河右岸, 由进水闸、无压沉沙洞、排沙道、有压引水隧洞、调压室及压力管道组成。从河道地形可以看出, 开发河段呈“S”型, 整个隧洞受垂直埋深和侧向埋深、施工支洞的长度以及大小磨子沟的控制, 平面上共设 5 个转折点。

有压隧洞的主洞段从桩号引 0 + 308.5 到桩号引 6 + 953.752, 长 6 645.252 m, 底板起坡点高程为 2 857.44 m, 纵坡为 2.621‰, 止点为底板高程 2 840 m, 采用洞径 3 m 的马蹄形断面, 初步设计全隧洞为钢筋混凝土衬砌, 其中 II、III 类围岩衬厚 30 cm, IV、V 类围岩衬厚 40 cm。对全隧洞顶拱 150° 范围内进行回填灌浆, IV、V 类围岩洞段需进行固结灌浆。II、III 类围岩衬砌结构见图 1。IV、V 类围岩衬砌结构见图 2。

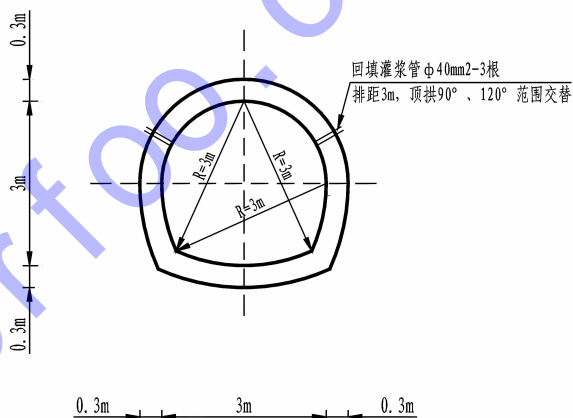


图 1 有压隧洞衬砌结构图(II、III类围岩)

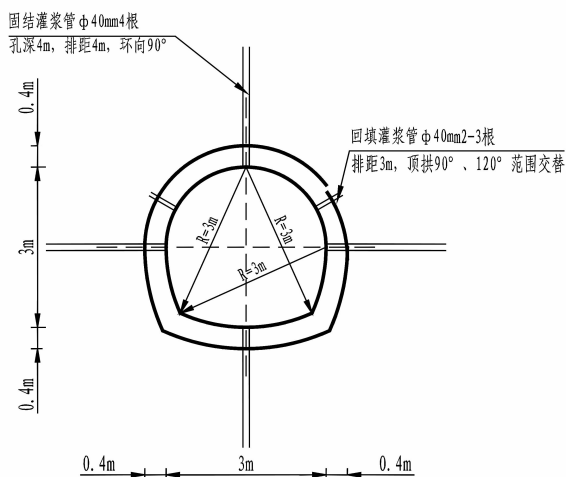


图 2 有压隧洞衬砌结构图(IV、V类围岩)

## 3 引水隧洞工程地质情况

米亚罗水电站引水隧洞地质条件复杂, 地层

及岩性不连续且多变,受地质构造影响严重,节理裂隙发育,山体有区域性的断层通过并且有磨子沟等两条冲沟的切割。隧洞山体植物茂密,围岩结构面及裂隙发育,因此,裂隙水及地下水十分丰富。另外,施工区域位于米亚罗大断裂带范围,该断裂带是隧洞穿越的最大断层,宽度约150 m。米亚罗断裂带呈破碎断裂结构,稳定性非常差,在一些洞段清晰可见主断裂带呈现一定宽度,裂隙中夹泥明显,两侧影响带亦十分破碎且夹杂大量的黑色煤状破碎土石。该断裂带地下水埋藏亦十分丰富,岩体挤压强烈,主要发育层面裂隙以层状、片状为主,局部渗水较大。尽管变质砂岩含量较高,但其多风化破碎且没有规则性,砂岩和变质板岩交替出现,结合带长度较大且十分破碎,围岩大部分为Ⅳ类和Ⅴ类。

#### 4 隧洞衬砌的设计

按照在安全可靠、结构合理的前提下尽量降低工程造价的原则,有压引水主洞段采用分类衬砌的方法。Ⅱ、Ⅲ类岩体采用挂网喷混凝土与钢筋混凝土相结合的衬砌方法,Ⅳ、Ⅴ类岩体及特殊地质断面采用全断面钢筋混凝土衬砌的方法。

##### 4.1 Ⅱ、Ⅲ类围岩的衬砌设计

引水隧洞全长6 953 m,尽管多处洞段的岩层变化明显,围岩风化破碎,但毕竟砂岩和板岩也会单一存在,该类洞段的围岩较为稳定,初步分析属于Ⅱ、Ⅲ类围岩,该类围岩占整个隧洞长度的30%,且大多数分布于隧洞上游段,隧洞下游段亦有少量分布。对于此类洞段的衬砌设计,考虑到安全、稳定的因素,初步设计中采用30 cm衬厚的钢筋混凝土全断面衬砌方法。钢筋采用单层,主筋直径为16 mm,分布筋采用 $\phi 12$ 。但是,在施工过程中发现此类断面开挖面比较光滑、完整,很少有岩层剥落及碎石掉落等现象,围岩自身较为稳定。在这种情况下,如果继续采用初步设计的全断面钢筋混凝土衬砌效果当然不错,但耽误工期、增大投资而造成不必要的浪费。另外,考虑到隧洞为有压引水式,过水断面应尽量保证平整光滑,因此对洞中边墙及顶拱采用打入锚杆、挂网喷混凝土的衬砌方式。锚杆采用 $\phi 20$ ,长度为1.5 m的钢筋,间排距均为1.5 m,梅花形布置,钢筋网采用 $\phi 8$ 、间距为250 mm $\times$ 250 mm的钢筋,喷C25混凝土厚度为8~15 cm。底板浇筑30 cm厚的钢

筋混凝土,配置 $\phi 16$ 主筋和 $\phi 12$ 分布筋。

进行该设计优化后,不仅能维持隧洞的安全、稳定运行,而且极大地缩短了施工工期,节约了工程成本。但需要注意的是,在挂网喷混凝土施工过程中,一定要严格控制施工质量,喷混凝土外表面一定要覆盖最少3 cm厚的钢筋网,并且保证混凝土表面尽量光滑平整,减少过水表面的粗糙程度,最大限度地利用水资源。

##### 4.2 Ⅳ类围岩的衬砌设计

该引水隧洞的Ⅳ类围岩占全洞总长度的40%,此类围岩软弱结构面分布较多,岩体基本成碎石状镶嵌结构,局部呈碎石状压碎结构。岩性多变,没有规则性,变质砂岩和变质板岩交替出现。在这种情况下,必须进行超前支护,边开挖边支护。预先打入超前锚杆,紧跟着安装花拱架进行强支护。锚杆采用 $\phi 22$ ,长度为2.5 m的钢筋,间排距均为1.5 m,梅花形布置,花拱架主筋采用 $\phi 22$ ,箍筋采用 $\phi 8$ ,间距为1 m。随后,在岩层表面喷C25混凝土,厚5 cm。如此实施初期支护后,基本上维持了洞室在开挖期间的稳定,保证了洞挖工作的安全推进。

但是在这种地质状况下,严格的按照马蹄形设计断面开挖施工难度非常大。因此,需对开挖断面进行优化设计,采用城门洞型,顶拱不变,两边采用竖直、底板采用水平的方式。这种设计方式使开挖断面尺寸的超挖和欠挖都能很好地掌控在规范允许的范围内,亦能加快施工进度。

待开挖完成后,采用40 cm衬厚的全断面钢筋混凝土衬砌。双层布筋,配置 $\phi 20$ 主筋和 $\phi 14$ 分布筋(图3)。

##### 4.3 Ⅴ类围岩的衬砌设计

Ⅴ类围岩占到引水隧洞总长度的20%,此类围岩受地质构造影响非常严重,节理裂隙极为发育,断层破碎带分布较多,宽度多为2~4 m。岩层性质较为模糊、不易判断,多为变质砂岩和变质板岩综合体,呈岩屑状分布且夹杂大量黑色煤状破碎土石。因此,围岩稳定性差,特别是变质砂岩段有较大的地下涌水,开挖阶段经常会出现洞顶大面积坍塌现象,给施工造成了极大的困难。

此类围岩的开挖断面尺寸与Ⅳ类围岩相同,但必须加强支护,以保证花拱架不被岩层挤压变形,边开挖、边支护、边观测。一定要短进尺、弱爆

破、强支护、勤观测。预先打入超前锚杆,紧跟着安装钢拱架。锚杆采用 $\varphi 22$ ,长度为3 m的钢筋,间排距均为1.5 m,梅花形布置,将钢拱架做成城门洞型,开挖1 m,强行支护一榀,钢拱架底脚坐落在坚硬的基础上,钢拱架之间采用排距30 cm、 $\varphi 22$ 的螺纹钢筋进行电焊连接,以保证钢拱架之间的联系性和整体稳定性。在钢拱架与钢拱架之间挂钢筋网,直径为8 mm,间距150 mm $\times$ 150 mm,然后在其表面喷C25混凝土,厚度要覆盖钢拱架至少3 cm厚。尽管采用这种方式衬护,围岩的稳定时间也比较短,一般两个星期就会继续变形而造成破坏。因此,按10 m一段在进行完强支护后立即安装衬砌钢筋,双层布筋,配置 $\varphi 22$ 主筋和 $\varphi 16$ 分布筋,全断面进行隧洞浇筑。

采用改进后的设计维持了洞室的稳定。但需要注意的是:在绑扎钢筋及混凝土浇筑的施工过程中,一定要抓紧时间,争取在围岩变形破坏之前完成此类洞段的衬砌施工,以阻止其自身破坏。另外,还需做好排水管的埋设,及时引导岩层渗水的外泄,以减少对衬砌结构的内水压力(图3)。

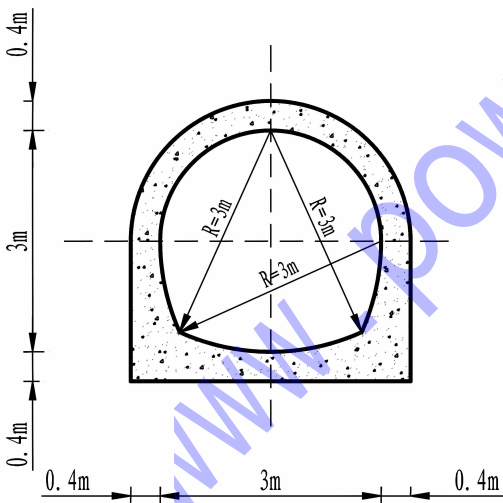


图3 有压隧洞结构优化图(IV、V类围岩)

#### 4.4 穿越冲沟段与断裂带的衬砌设计

米亚罗大断裂带是隧洞开挖的最大威胁,断层宽度约为150 m,呈破碎断裂结构,稳定性非常差。穿越该断层的洞段围岩岩性变化、风化特别严重,裂隙发育,地下水十分丰富,围岩破碎且夹杂大量黑色煤状破碎土石,开挖期间必须高度谨

慎。在初步设计阶段,对两处断裂带采用了钢板衬护,钢板衬护两侧采用伸缩节和混凝土衬砌过渡,衬砌段之间设置双层紫铜片止水,其余洞段采用与V类围岩衬砌相同的施工工艺。

#### 5 隧洞变形的观测与分析

按照衬砌设计,在该引水隧洞的衬砌施工期间进行了外观观测洞内围岩变形。在II、III类围岩已经完成挂网喷混凝土衬砌的洞段,经过几个月的观测,未发现混凝土裂缝、剥落和围岩变形等现象。IV类围岩完成花拱架挂网喷混凝土临时支护后的洞段经过几个月的观测,仅仅发现很少量的混凝土裂缝、剥落现象,并未发现围岩变形等现象。V类围岩和穿越冲沟段与断裂带在完成钢拱架挂网喷混凝土临时支护后的洞段在短时间内并未发现围岩变形等现象,从而有充足的时间进行全断面钢筋混凝土衬砌。

对IV、V类围岩和穿越冲沟段与断裂带在完成全断面钢筋混凝土衬砌后的部分代表性断面实施了外水压力测试,测试结果表明:此处钢筋处于受压状态,但其压力值远远小于钢筋的设计抗压值。另外,该处并未出现明显的混凝土裂纹。

#### 6 结语

对于引水隧洞,其衬砌和支护施工往往是制约工程工期和成本的关键因素,因此,为了缩短工期和减少投资,对隧洞衬砌进行合理的优化十分重要。针对不同性质的围岩、采用不同的方法会得出不同的结论,涉及不同的造价。对隧洞围岩进行科学的分类并且分别采用适合的衬砌方法,能够在保证洞室安全稳定的情况下缩短施工工期,降低工程造价,最终取得安全而经济的综合效益。

#### 参考文献:

- [1] 陈雷. 水工设计手册(第二版)[M]. 北京:中国水利水电出版社,2012.
- [2] SL279-2002,水工隧洞设计规范[S].

#### 作者简介:

吴建军(1967-),男,四川简阳人,工程师,硕士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

徐应中(1973-),男,四川巴中人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)