

渔潭水利水电工程高强压力隧道施工技术

罗松明

(湖南省隧道工程总公司, 湖南 益阳 413000)

摘 要:介绍了渔潭水利水电工程中 3 个高强压力引水隧道的施工技术措施, 总结出高强压力隧道的特点及施工的经验教训。

关键词:高强压力隧道; 泵送混凝土; 预缩砂浆; 回填固结灌浆

中图分类号:TV554 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2004)04-0059-03

1 工程概况

渔潭水利水电工程是湖南省张家界市澧水流域上游的一个集发电、泄洪、灌溉、通航及旅游的综合性的中型水利水电工程。库水容量为 1.215 亿 m^3 , 装机容量为 4 机 7 万 kW, 是湖南省首座地下式厂房的发电站。我公司承建了左岸 3 个引水洞、3 个尾水闸门竖井、集水井的施工以及右岸尾水工程(尾水洞及尾水闸门竖井)、护坡工程等项目。

3 个引水洞为圆形的高水头($H_{\max} = 53 \text{ m}$)大流速的过水通道, 属于高强压力隧道。其结构复杂, 由上平段(方形变圆形段)、上弯段、斜线段、下弯段和钢管段构成, 过水净断面半径为 4.5 m , 最大水头为 53 m 。衬砌结构为 30 cm 厚 C25 钢筋混凝土, 双层钢筋网布筋, 详见图 1。

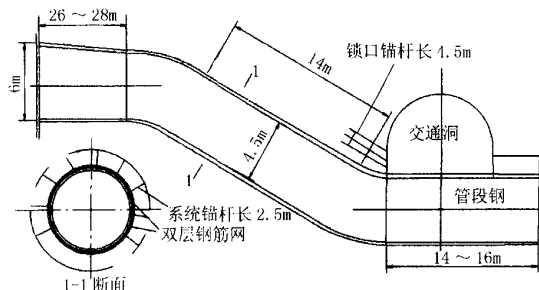


图 1 引水洞结构示意图

所处地层为中厚层砂岩地层, 岩石为泥质石英砂岩, 岩石级别以 III - IV 类围岩为主, $f = 6 \sim 8$ 。岩层为中厚层, 块状结构。地下水比较活跃, 个别地方裂隙发育, 岩石破碎。

3 个引水洞的特点为: (1) 结构受力复杂, 不仅要承受强大的水力压应力, 更要承受停机时产生的

强大的拉应力; (2) 由于压力水头高, 隧道的压力拱圈要求大, 所以不仅要利用围岩的结构强度, 还要改善围岩的受力状况; (3) 由于水流的流速大, 对结构表面的冲刷厉害, 所以衬砌混凝土表面的糙率要求高, 水流阻力要控制在 0.15μ 以下; (4) 混凝土强度设计要求高, 抗压强度 $< 28 \text{ MPa}$, 抗拉强度 $< 5 \text{ MPa}$; (5) 钢管与结构混凝土的连接处设有 2 道铜片止水带, 施工质量要求高。

针对引水洞的特殊要求, 我们除了在管理上采用了全面质量管理方法以外, 还在技术上采用了先进的“新奥法”、泵送混凝土施工新技术、混凝土离析处理技术、预缩砂浆技术、回填固结灌浆技术等施工新技术, 顺利完成了首次施工此类高强压力隧道的施工任务。

2 施工技术措施

2.1 “新奥法”施工原则指导施工

引水洞的开挖直径为 6.5 m , 在开挖时为保证围岩的稳定性, 我们遵循“新奥法”的施工原则: 短开挖、弱爆破、强支护的原理进行掘进。

爆破采用光面爆破, 循环进尺控制在 2 m 以内, 光爆眼间距 $E = 0.5 \text{ m}$, 最小抵抗线 $W = 0.65 \text{ m}$, 用 $\varnothing 25 \text{ mm}$ 药径进行装药, 装药系数 $q = 0.15 \text{ kg/m}$, 反向起爆, 用非电塑料导爆管一次性起爆。下平段因离厂房太近(约 12 m), 采用了特殊的控制爆破技术, 控制单响药量 $> 150 \text{ g}$ 。这样使围岩的爆破破坏程度得到了很好的控制, 保证了围岩的稳定性。

临时支护采用锚喷支护方法, 岩石破碎的部位用 $\varnothing 25 \text{ mm}$ 、长 2.5 m 的锚杆进行锚固, 间、排距均为 1 m ; 在此基础上挂网喷射混凝土, 钢管网为 $\varnothing 8 \text{ mm}$

收稿日期: 2003-05-21

作者简介: 罗松明(1963-), 男(汉族), 湖南娄底人, 湖南省隧道工程总公司副总工程师、高级工程师, 掘进工程专业, 从事地下工程施工技术与管理工作, 湖南省益阳市朝阳路 5 号, (0737)2615203。

的圆钢,间、排距均为 200 mm,喷射混凝土厚为 10 cm。为改善围岩的受力条件,沿轮廓线还安装了 Ø25 mm、长 2.5 m 的系统锚杆,其间、排距为 2 m,从而增大了隧道压力拱圈的作用半径,改善了隧道的承载条件。所有锚杆全部为水泥药卷锚杆。

二次衬砌是现浇钢筋混凝土。

2.2 泵送混凝土施工技术

永久衬砌是现浇的钢筋混凝土,为保证混凝土的质量,采用了先进的泵送混凝土施工技术。

2.2.1 施工方法

施工方法为:人工清基、钢模架立模、机械搅拌、泵送混凝土、机械振捣。

施工顺序为:上平段→斜坡段→上弯段→下弯段→钢管段。

施工工序为:安制外层钢筋→安制内层钢筋→立模→搅拌混凝土→泵送混凝土→机械振捣→拆模→养护。

2.2.2 泵送混凝土配合比

泵送混凝土的配合比除了要满足水工混凝土的强度要求和耐久性要求以外,还应满足混凝土的施工要求,特别是可泵送性要求。根据现场的条件,通过试验试配出了比较合理的混凝土配合比为:525 水泥:砂:小石:中石:水:掺和料=1: 1.77: 1.92: 1.57: 0.61: 0.2。

掺和剂的主要原料为粉煤灰和木钙。粉煤灰可改善混凝土的和易性和输送性能,减少混凝土的析水和离析现象;木钙是减水剂,可改善其凝固性能。

2.2.3 混凝土的拌制

由于场地的限制,我们采用的是量具人工上料,用 GJ-350 型搅拌机进行搅拌,用溜筒直接送入泵机料斗,自动计量器进行加水。出料混凝土塌落度控制在 8~11 cm。

2.2.4 混凝土的泵送浇筑

2.2.4.1 泵送技术措施

(1)检查泵机的“三漏”及输料系统的状况;(2)先泵送适量的水或稀砂浆,以湿润输料管道,防止出现因部件和管路的干涸而堵管的现象;(3)开始泵送料时要慢而均匀,泵机处于随时可停机的状态,运行正常后加大入料量正常工作;(4)有下坡的管路时要注意管路的布置尽量趋于平缓,尽量避免断料的现象出现;(5)泵送完后机器和管路要彻底清理干净。

2.2.4.2 混凝土的浇筑

(1)由远而近地进行浇筑;(2)同区域的混

土,先浇筑竖向结构后浇筑水平结构,分层连续浇筑;(3)浇筑间歇时间不能超过混凝土的初凝时间;(4)使用强力振动泵进行振捣;(5)浇筑竖向结构混凝土时,出料口离模板内侧面距离≤5 cm,且料不能直接冲向内侧面,也不能直接冲向钢筋网;(6)浇筑水平结构的混凝土时,应注意混凝土的密度。

2.2.5 泵送混凝土的效果

在该工程中泵送混凝土方量达到 20000 m³,混凝土的强度及外观质量全部达到优良,如表 1。

表 1 混凝土抗压强度试验鉴定结果

部位	抗压强度 X/MPa	离差 系数	强度保证率 P/%	质量 等级
1 号引水洞 C25	30		99.18	优
2 号引水洞 C20	22	0.083	96.43	优
3 号引水洞 C20	21.7		95.8	优
1 号闸门竖井 C25	28.9	0.093	99.97	优
集水井	20.5		94.5	优

混凝土表面质量检查项目全部达到优良标准,无任何麻面、蜂窝、露筋、裂缝、孔洞和渗水及台阶的现象存在;表面光滑,达到了其过水糙率的要求。

各部位结构尺寸误差<1 cm,保证了结构的尺寸要求。

2.3 预缩砂浆技术的应用

该项技术是水工建设中新推行的一项新技术,其特点是表面强度高,应用领域广,效果好,见效快。

砂浆的制作方法:选用 FM=1.8~2.0 的细砂;选用合理的配合比[525 水泥:砂:水:木钙=1:(2~2.2):0.28:0.1‰]进行拌制。先干拌 3~4 次,加入渗了汽剂的水后再拌 3~4 次,在干燥阴凉处存放 30~90 min,达到手一握就紧、一松则散为度,然后再使用。

其施工工艺为:拌制砂浆→清理缺陷混凝土→安置导水胶管→涂水泥浆(1~2 mm、水灰比为 0.5)→充填砂浆面(木锤捣实,以出现少量浆液为度,2~3 cm 为一层)→刷毛表面→进行下一层→检查(施作 2~3 h 后进行检查,以敲击声清脆为佳)。

拌制的混凝土必须在 2~4 h 内用完,否则会影响其质量。

其应用效果见表 2。

表 2 预缩砂浆应用效果汇总

部位	用量/m ³	效果
1 号引水洞钢管接口处	0.5	封水成功,无漏水
1 号引水洞下湾段渗水处	0.8	封水成功,无漏水
1,2 号引水洞连接洞封堵处	2	封水成功,无漏水
2 号引水洞钢管处	1.5	封水成功,无漏水

2.4 混凝土离析的预防技术

整个工程混凝土浇筑部位均在泵机高程以下,有的高达 40 多米,混凝土在输送过程中会出现严重的离析现象,如不采取措施则出现混凝土表面的蜂窝、麻面、露筋、烂根等质量缺陷,同时也会冲动模板而无法保证结构的尺寸和表面的糙率,更会降低混凝土对钢筋的握裹力,结构受力性能降低。为此采取了一系列措施防止混凝土的离析。

(1)使用合理的混凝土级配和配合比,经实验室反复试验,最后确定了合理的级配和配合比(见 2.2.2),实践中采用二级配;

(2)掺入 20% 的粉煤灰和 0.5‰ 的木钙以改良其流动性;

(3)选用了合理的塌落度,以 8~11 cm 为佳;

(4)施工中适当增加了水泥和砂的含量、减少了粗骨料的含量,增减量均经实验室实验确定,最后实际的增减量为水泥加 20~80 kg,砂加 50~200 kg,粗骨料减 100~300 kg。

(5)抬高输料管的出口,使管内混凝土不出现空段,使料连续均匀的输送,不至出现离析;在闸门竖井中,因输送高度太大,我们在仓位上部另设了一个平台,混凝土送至此平台后用溜筒入仓,保证了混凝土的均匀性。

2.5 回填、固结灌浆措施

为了加大压力圈的范围和改善压力圈的受力条件,采取了回填灌浆和固结灌浆的措施。

回填灌浆主要是在隧道的顶部,其部位主要是在上平段及上弯段,用水泥浆填充了混凝土与围岩之间的所有间隙。

固结灌浆是沿轮廓线呈放射状布置的,每 60° 方位上布置一个灌浆孔,深 5 m,注浆压力采用 2 MPa。全方位的灌浆使隧道周围的围岩得到很大的改善,从而使隧道周围形成了一个半径 ≤ 5 m 的压力拱圈,增大了整个隧道的抗压能力和抗拉能力。

2.6 其它措施

2.6.1 结构钢筋系统制安

在钢筋制安时把钢筋网与所有锚杆进行焊接,使结构钢筋的受力能最大限度地传递到围岩身上,使锚杆所伸及的围岩与结构混凝土形成一个大直径的受力拱圈,从而增大了结构的抗压、抗拉能力。

对所有钢筋和锚杆进行了二次处理,重点清理钢筋及锚杆上的污垢、铁锈,使钢筋与混凝土的胶结状态达到最佳。

2.6.2 紫铜止水带制安

引水洞的下平段是钢管的,它与混凝土的搭接处是一个非常薄弱的环节,特别注意了其施工技巧。

(1)向设计部门建议把接口设在围岩里面,并且用混凝土予以回填,使这一位置的受力得到改善,如图 2 所示。

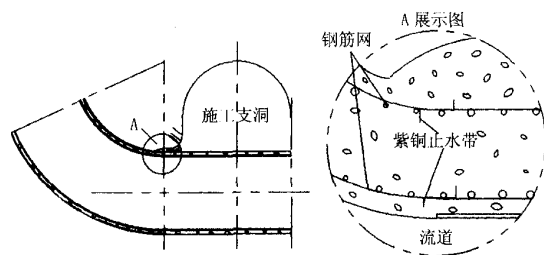


图 2 紫铜止水带结构布置图

(2)因钢管段的接口刚好在与交通洞的交叉口,建议在引水洞的洞口设置锁中锚杆,改善接口位置的受力条件。

(3)在接口处刚好有一浸水层采用了管导再预缩砂浆补强的技术措施,使接口的表面抗压强度达到 180 MPa,保证了此处的混凝土是最强的。

(4)采用双层 40 cm 的 N 型紫铜止水带,以完全防止浸漏水。

2.6.3 锁口锚杆的安装

从图 1、2 均可看出,钢管与混凝土的连接处是在施工支洞上游侧的岩壁里,离支洞壁只有 80 cm,为保证接口的安全性(主要是爆管),在此围岩上沿上部轮廓安装了 3 圈锁口锚杆,锚杆规格为 $\varnothing 32$ mm, $l=4500$ mm,间、排距为 500 mm $\times$ 500 mm 的梅花形布置。

3 经验与体会

(1)施工完成的 3 个高压压力引水隧道经 4 年的运行证明:采取的技术措施保证了引水流道及钢管接口处的安全,据电厂观察所知,整修引水流道未出现过任何缺陷。

(2)人为扩大隧道的压力拱圈,能达到改善隧道受力条件和承载能力的要求。

(3)在今后的混凝土工程施工中要积极采用泵送混凝土施工技术,与传统的浇筑方法相比,快速、经济、有效、先进,混凝土质量保证程度高。

(4)预缩砂浆技术是修复混凝土表面质量、治理混凝土渗漏水和提高混凝土表面强度的一种有效方法,应积极推广应用。

(5)固结灌浆是改善围岩性能的一种有效方法。