

李家峡导流隧洞快速掘进施工中的新技术

张光敏

(中国水利水电第四工程局, 青海 西宁 810006)

摘要:李家峡水电站导流洞地质情况十分复杂, 施工中在国内首次成功地采用新奥法——悬吊顶拱混凝土衬砌的施工技术, 开发和应用了错缝开挖、错缝浇筑等施工工艺, 取得了良好的效果, 最大限度地制止了软弱地质导流洞的塌方, 将大断面、软弱地质导流隧洞的掘进速度提高到国内较高水平。

关键词:导流洞; 软弱地质; 支护; 错缝开挖; 错缝浇筑; 李家峡水电站

中图分类号:TV52

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)01-0047-02

李家峡水电站位于青海省尖扎和化隆两县交界的李家峡峡谷中段, 导流洞布置在坝址的右岸。导流洞中心穿越的地层为前震旦系深变质的黑云母更长质条带状混合岩, 其间夹有片岩和花岗伟晶岩脉, 岩石破碎, 裂隙发育。其中岩体Ⅳ、Ⅴ类围岩占34.1%, 开挖成洞条件极差。

导流洞按20年一遇的洪水设计, 流量为 $2000\text{ m}^3/\text{s}$, 校核流量为 $2500\text{ m}^3/\text{s}$, 导流洞由进口明渠、进水塔、洞身、出口明渠4部分组成, 总长为1332m。导流洞断面为圆拱直墙型, 开挖断面为 $16.0\text{ m} \times 19.0\text{ m}$ 至 $12.0\text{ m} \times 16.0\text{ m}$ 不等, 衬砌断面为(宽 $\times$ 高) $11.0\text{ m} \times 14.0\text{ m}$ 至 $11.0\text{ m} \times 15.0\text{ m}$ 不等, 底板纵坡 $i_0 = 0.73953\%$, 顶拱纵坡为 $i_1 = 0.65076\%$ 。

对于中型断面尺寸的隧洞, 60年代凿岩钻架台车平均月进尺约80m, 70年代改用凿岩多臂钻车, 并在80年代由风动凿岩改进为液压凿岩, 以灵活、装载量大的装载机代替短臂挖掘机, 使月进尺提高到100m以上。水电系统中型断面开挖隧洞的月进尺记录, 由60年代的80m提高到了120m。目前国内外施工单位都在摸索保障工程质量, 进一步提高隧洞成洞速度的先进施工工艺。

1 施工新技术的开发和应用

根据工程特点, 在李家峡水电站导流洞施工中, 引进先进的隧洞掘进施工技术, 同时大力开发应用新工艺、新技术、新材料, 为整体快速开凿软地质导流洞的施工积累了经验。

1.1 新奥法的推广和运用

新奥法是以控制爆破、支护、监测相结合的科学

的地下工程建造法。它的基本出发点是利用自身承载能量来支撑自己, 把岩体视为连续介质, 根据岩体具有的粘性、弹性、塑性的力学性质, 并利用在岩体开挖隧洞后产生变形—过大变形—松动破坏, 有一个时间效应的动态特性, 适时地采用薄壁柔性支护结构与围岩紧密贴合起来加固和保护围岩, 调动了天然围岩的承载能力, 使围岩从荷载转化为承载结构的主要组成部分。

根据李家峡水电站导流洞地质特点, 施工中实施喷锚支护工艺, 以深孔长锚(桩)杆和悬吊拱混凝土支护为主来处理破碎岩体地段, 取得了良好的效果。

1.1.1 喷锚支护施工

喷锚支护及挂网作为新奥法施工的精华部分, 在整个导流洞施工中应用十分广泛, 发挥了较大作用。采用新奥法喷锚支护, 依照喷—锚—网—喷的施工程序, 边开挖、边喷混凝土、边打设深孔锚桩(杆)、挂网喷混凝土等措施, 使洞顶成拱, 有效地控制了塌方。

洞身混凝土衬砌中, 采取先浇顶拱、后浇边墙“吊顶”浇筑新工艺, 形成的反缝作灌浆处理, 最大限度地制止了顶拱软弱围岩的变形, 提高了边墙软弱围岩的稳定能力, 保证了施工安全, 加快了施工进度。

顶拱喷混凝土, 从导流洞桩号0+004~1+146.5m, 总长1150.5m。其中网喷混凝土434m, 占设计轴线长度的38%, 素喷混凝土近700m, 占设计轴线长度的60%左右。对于洞身两侧边墙部分, 局部进行了喷混凝土施工。网喷混凝土厚度为15~20cm, 素喷混凝土厚度为10cm。

网喷混凝土顶拱布设系统锚杆($\varnothing 22$, $\textcircled{a} = \textcircled{b} = 120\text{ cm}$, 入岩3.5~4.0m, $L = 4.0 \sim 4.5\text{ m}$), 系统长锚

杆(桩)($2\phi 28$, $\textcircled{A} = \textcircled{B} = 240\text{ cm}$, $L = 11.5\text{ m}$, 入岩 11 m)或随机长锚杆(桩),素喷混凝土顶拱为随机锚杆.顶拱喷混凝土后,均打设排水孔($\phi 45 \sim 65\text{ mm}$, 入岩 3 m , 间排距为 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$).IV, V类围岩顶拱设有固结灌浆孔($\phi 65\text{ mm}$, 入岩 4 m , 间排距为 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$.固结灌浆孔与排水孔交错布设).

1.1.2 深孔锚固在施工中的应用及效果

作为深孔长锚(桩)杆,不仅具有一般短锚杆的特点,又具有锚固深度长、锚固范围大、锚固力量强的优势.李家峡导流洞开挖施工中, $0+755 \sim 0+850$ 桩号段出现绿泥石片岩,节理面光滑如镜,无粘结,地下水作用也十分明显.对此岩体破碎部分,仅采用短锚杆对表面层 $2 \sim 3\text{ m}$ 进行加固是远远不够的,尚需采用深锚措施.

实际施工中采用的长锚杆规格为 $1\phi 36$, $L = 10 \sim 11\text{ m}$.锚桩规格为 $3\phi 28$, $L = 10 \sim 11\text{ m}$.技术要求为:长锚杆(桩)均为全粘结式,浆液强度不低于 20 MPa ,水灰比为 $0.48 \sim 0.50$,注浆压力为 $0.3 \sim 0.5\text{ MPa}$.

锚杆(桩)钻孔机械主要以 YGZ-100 型圆盘钻为主,灌浆泵选用 C-232 和 250/50 两种,搅拌机械为 200 kL 立式搅拌机.

1.1.3 悬吊拱混凝土支护

按常规施工方法,洞室开挖成型后应“先墙后拱”,而李家峡导流洞地质软弱、开挖断面大,喷锚支护不能完全控制洞室.采用“先拱后墙”以减小软弱围岩产生的变形,可提供较大的支护抗力.顶拱混凝土的稳定,一是靠混凝土与岩壁之间的粘结力,二是锚桩所提供的剪力等,由此确保上扩围岩的稳定.

施工中将长锚杆、锚桩、系统锚杆与内外两层钢筋相联,使之形成一个受力整体.经现场抗拔试验:系统锚杆入岩深度 5 m ,抗拔力均在 50 kN/根 以上;长锚桩入岩深度一般在 12 m ,抗拔力均在 100 kN/根 以上;锚桩入岩深度 $10 \sim 15\text{ m}$,抗拔力均在 200 kN/根 ,足以满足悬吊重量要求.

悬吊拱混凝土支护是中国水利水电第四工程局当时率先引进应用的技术,详见文献[1].

1.2 错缝开挖和错缝浇筑工艺

在导流洞下部开挖过程中,为防止由于爆破振动使悬吊混凝土塌下,在施工过程中,工程技术人员经过周密的设计,大胆采用错缝开挖和错缝浇筑施工技术亦取得了很好的效果.其具体方法如下:

如图 1 所示,导流洞上部开挖完毕后,将导流洞下半部分为若干个段 A 和 B,导流洞下半部分若干个 A 段或 B 段可同时开挖(这里指 A 段),开挖段与上半部悬吊混凝土缝 C 错开二分之一.

下半部分 A 段开挖合格后,将左右边墙按设计要求进行混凝土衬砌,这样 A 段边墙混凝土可同时顶住上下游各两段悬吊拱混凝土的二分之一.

A 段开挖、衬砌完后,再进行 B 段的开挖和混凝土衬砌.

通过在李家峡水电站导流洞中的成功应用证明:错缝开挖和错缝浇筑工艺技术,能有效地防止软弱地质隧洞由于爆破振动使悬吊混凝土塌下,在破碎带岩体施工中,值得推广.

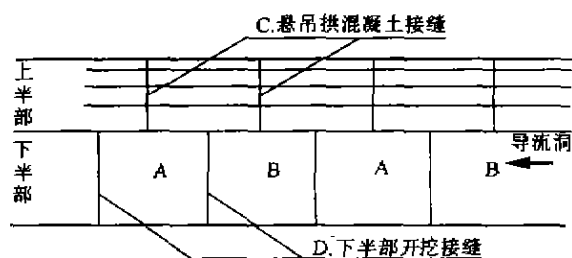


图 1 错缝开挖和错缝浇筑施工示意图

1.3 其它工艺技术的应用

为保证施工进度中开挖超欠在允许范围内及确保洞轴线方向的准确性,采用激光技术进行测量.同时对岩体的应力变化进行观测;系统地对导流洞在施工期、运行期及下闸蓄水后永久堵头的工作状态进行监测.

上部石方开挖中,普遍采用光面爆破的方法,一次成形获得光滑平整的壁面,形成完整拱形,为喷锚支护和环形支承创造条件.由于保留的岩体完整,减少了开挖壁面的超欠挖,使得壁面稳定、平整,符合设计要求.

为了提高混凝土的早期强度和抗冲耐磨能力,在导流洞混凝土中掺加硅粉这一新型实用材料,为提高施工进度,保证工程质量提供了基础.李家峡水电站导流洞硅粉混凝土的大面积应用,节约水泥 20% ,混凝土施工中水化热温升降低 3.8°C 左右,为硅粉混凝土的大体积应用推广展示了广阔的前景.

2 工程进度和质量

李家峡水电站导流洞分上下两层施工,上层开挖为全断面掘进,高 $5.5 \sim 6.5\text{ m}$,断面面积 $60 \sim 80\text{ m}^2$.导流洞身总长 1336.5 m ,施工进度 II, III 类围岩段月平均 120 m ,最大达到 178 m (上半部).月进尺与地质条件有很大关系,如果是 II, III 类围岩,每天放 2.5 茬炮,即日进尺 7.4 m (每茬进尺 $2.8 \sim 3.0\text{ m}$),则月进尺可超过 200 m ,但李家峡导流洞 II, III 类围岩连续未超出 200 m ,因此遇到地质条件差的地段,施工速度不得不降下来.

(下转第 52 页)

$$\eta = 1 - C_{p1}/C_{p2} \quad (2)$$

式中: C_{p1} 为同部位爆破前波速, cm/s; C_{p2} 为同部位爆破后波速, cm/s. 当 $\eta > 10\%$ 时判断为爆破破坏或混凝土质量较差^[2].

为了评价发电洞外壁围岩爆破对混凝土井壁的影响程度, 在第一段竖井下弯段开挖时, 分别在 594 ~ 597 m 高程段, 北、东、南壁各选取了一个抽样检测区, 每区由 5 个风钻孔组成, 孔深 0.8 m, 孔距 1.5 m 左右, 呈菱形布孔, 在爆破开挖前后, 利用两钻孔进行跨孔声波测试(见图 6, 其中 t_p, t_s 为纵横波在两孔间的传播时间). 共测得 32 组纵横波值. 从爆破前后的波速变化率分析, 爆后除北壁 3 组钻孔的波速由 4000 ~ 4200 cm/s 下降到 3500 ~ 3700 cm/s, 波速变化率为 12% 外, 其余各钻孔的波速变化率均小于 10%.

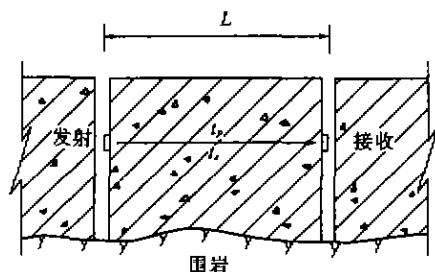


图 6 竖壁钻孔声波测试示意图

北壁个别钻孔波速变化率大于 10% 的主要原因, 一是北壁测区直接布置在混凝土井壁外侧侵蚀较严重的地带; 二是爆前井壁内表面就有两条微细裂缝. 因此, 认为波速变化率较大主要是由于局部混凝土质量较差所致.

虽然抽样检测的面积只有 6.16 m², 仅占整个开挖区面积(95 m²)的 6.5%, 但由于井壁混凝土和围岩条件比较均一, 爆破方案和爆破参数一致性强, 且便于控制, 因此, 抽样测试的结果具有较强的代表性, 可以作为判定爆破影响大小的依据.

鉴于竖井段局部混凝土浇筑的质量较差, 加之侵蚀破坏等原因, 为了进一步减轻爆破对混凝土井壁的影响, 实际操作中还研究增设了一些其它减震措施, 如: ①合理选取微差起爆的间隔时间和起爆方案, 保证爆破后的岩石既能得到充分松动, 又能最大限度地减小振动波的强度. ②将岩石爆破的最小抵抗线控制在 20 cm 左右, 防止由于抵抗线过大, 起爆药量较小而造成岩石松动不落等影响爆破效果, 并不致于使大部分能量消耗在弹性波的传播振动上. ③将混凝土井壁的保留厚度由原爆破设计方案的 70 cm 增加到 80 ~ 100 cm(浇筑断面岩石的超挖量一般为 30 ~ 40 cm), 进一步降低竖井内壁质点振动速

度. ④在岩石和混凝土的接合部位钻凿密集的减震孔. 通过以上加强保护措施完全可以确保混凝土井壁的安全.

4 结 语

a. 通过爆破试验确定爆破参数, 严格控制质点振动速度, 并通过爆破前后井壁混凝土波速变化率的对比分析, 是评价爆破方案和爆破效果的科学手段.

b. 微差分段起爆、炮孔布置、最大起爆药量和各种加强性减震措施是爆破方案的实质性内容. 实践证明, 由于没有岩石爆破的临空面, 第一段竖井底部环形巷道的开挖是整个爆破开挖工程的难点. 环形巷道开凿完成后, 形成向下的临空面, 自下而上的围岩崩落控制爆破就相对容易多了. 这也是借鉴有色采矿中“溜矿”采矿施工技术成功范例.

c. 爆破开挖施工组织设计方案合理可行, 爆破开挖的效果比较理想, 日开挖量(3 个工日)平均为 15 ~ 20 m³, 并且使竖井混凝土的质量得到了切实保障.

参考文献:

- [1] 张其中. 爆破安全法规标准选编[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [2] SL47-94, 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范[S].
- [3] 陶颂霖. 爆破工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979.
- [4] 舒大强. 爆破震动对新浇混凝土质量的影响及控制[J]. 武汉水利电力大学学报, 1999, 32(4): 5 ~ 8.

(收稿日期: 1999-12-17 编辑: 熊水斌)

(上接第 48 页)

导流洞的工程质量, 经电站业主、原电力部西北管理局和黄河上游水电工程建设局严格检测认定: 李家峡水电站导流洞的开挖、锚固、喷混凝土、混凝土衬砌、固结灌浆、闸门金属结构制造安装等六个单项工程, 均被评为优良工程, 即李家峡导流洞工程被综合评为优质工程(由中国水利水电第四工程局李家峡施工局完成的《(软地质)导流隧洞快速掘进施工技术》, 已通过青海省科委的成果鉴定, 1999 年获青海省科技进步三等奖).

导流洞快速掘进为整体工程赢得了时间, 使河道及时而顺利地实现截流, 为枢纽工程基础开挖以及混凝土浇筑创造了良好的条件.

参考文献:

- [1] 方绍信. 大断面丰富地下水软地质水工隧洞的“新奥法”悬吊拱施工技术[J]. 青海水力发电, 1992(4): 1 ~ 11.

(收稿日期: 1999-09-03 编辑: 马敏峰)