小洞径水工隧洞施工中错车洞的应用

杨发宝， 刘 英
（中国水利水电第七工程局有限公司，四川 成都 610213）

摘 要：水利水电工程中的小洞径隧洞的施工组织一直以来都是施工中的难点，同时亦为项目经营管控的重点。然而，利用有限的施工资源，合理地进行现场组织能够减小隧洞开挖、支护、衬砌、灌浆等每道工序的施工时间，进而大大提高施工资源的利用率，缩短了施工工期。阐述了李家岩水库工程城乡供水隧洞施工过程中，通过在洞内设置错车洞并在隧洞施工全过程中充分利用，解决了小洞径隧洞内无法错车的问题，使施工效率得到了有效提高，所取得的经验对类似小洞径隧洞施工具有一定的参考价值。

关键词：小洞径；水工隧洞；错车洞；施工效率；李家岩水库工程
中图分类号：TV7；TV52；TV554 **文献标志码**： B **文章编号**：1001-2184(2024)05-0087-03

Application of Staggered Tunnel in the Construction of Small Diameter Hydraulic Tunnels

YANG Fabao, LIU Ying
(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: The construction organization of small-diameter tunnels in water conservancy and hydropower projects has always been a difficult point in the construction process, and it is also a focus of project management and control. By utilizing limited construction resources for reasonable on-site organization and reducing the construction time of each process cycle such as tunnel excavation, support, lining, and grouting through organizational means, the utilization rate of construction resources can be greatly improved and the construction period can be shortened. In the construction process of the urban and rural water supply tunnel in the Lijiayan Reservoir project, a staggered tunnel was set up inside the tunnel, and it was fully utilized throughout the tunnel construction process, solving the problem of the inability to staggered in small diameter tunnels. At the same time, the construction efficiency was effectively improved, which has certain reference significance for the construction of similar small diameter tunnels.

Key words: Small tunnel diameter; Hydraulic tunnel; Staggered tunnels; Construction efficiency; Lijiayan Reservoir Project

1 概 述

李家岩水库位于四川省成都市崇州市境内，该工程的开发任务系以城乡供水为主，并具有为城市供水提供应急备用水源，兼顾灌溉、发电等综合利用功能。其主要建筑包括挡水大坝、泄洪消能建筑物、引水发电系统和供水建筑物等。在水库挡水大坝上游左岸设有城乡供水隧洞，全长 1 332 m，其断面为全圆型，隧底纵坡坡比为 0.1%。其中 K0+995～K1+025 段为明挖洞段，K0+000～K0+995 段、K1+025～K1+332 段为暗洞段，K0+119 桩号设有一条施工支洞接入大坝下游。隧洞的开挖洞径为 5.2～4.4 m，衬砌厚度为 0.5～0.6 m，衬砌后的洞径为 4.0～3.4 m。洞内围岩类别主要为Ⅳ类围岩和Ⅴ类围岩。根据洞内围岩的软弱程度，Ⅳ类围岩选择“锚杆＋挂钢筋网＋10 cm 厚喷混凝土＋50～60 cm 厚钢筋混凝土的衬砌”形式；Ⅴ类围岩选择“锚杆＋挂钢筋网＋15 cm 厚喷混凝土＋钢管＋60 cm 厚外包微膨胀混凝土的衬砌”形式。隧洞内Ⅳ类围岩和Ⅴ类围岩交替分布，导致隧洞的衬砌形式亦交替分布，从而进一步增加了隧洞的施工组织难度。

2 所采用的隧洞开挖支护施工方案

2.1 总体施工程序

(1)开挖支护施工程序。根据隧洞 K0+995～K1+025 段为明挖洞段的结构特点，将隧洞分

收稿日期：2024-06-26

为上游隧洞和下游隧洞两个施工区。上游隧洞长 995 m，作为城乡供水隧洞的主要施工区，按照两头掘进、中间贯通的方式组织施工；下游隧洞长 307 m，作为上游隧洞施工过程中的资源调节施工区，按单头掘进、洞口附近贯通的方式组织实施。

(2)衬砌施工程序。隧洞的衬砌施工选择在隧洞贯通后实施。隧洞的衬砌结构分布形式为：中 K0＋000～K0＋418 段、K0＋529～K0＋750 段的衬砌结构为钢筋混凝土；K0＋418～K0＋529 段、K0＋750～K1＋332 段的衬砌结构为“钢管＋外包微膨胀混凝土”。根据衬砌结构交替分布的特点，衬砌施工从 K0＋418 桩号向洞口方向由内至外进行施工。

2.2　开挖支护施工工艺

(1)根据设计要求及隧洞全圆型开挖断面的结构特点，为保证隧洞开挖施工过程中围岩的整体稳定性，最终采用台阶法开挖，将隧洞底部 120°范围作为二次开挖范围预留；同时，将该区域作为上台阶开挖支护施工期间的施工通道。隧洞开挖支护典型断面情况见图 1。

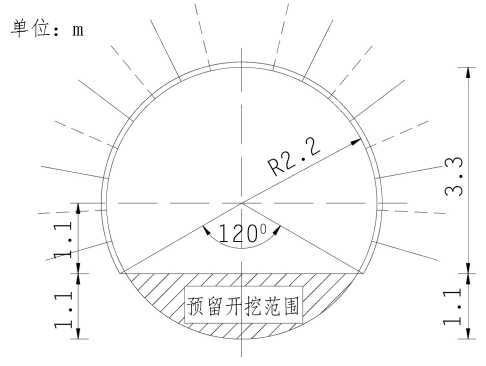

图 1　隧洞开挖支护典型断面示意图

(2)隧洞断面的爆破孔采用 YT－28 气腿式钻机钻孔，钻孔台车由洞内运渣车加装钢结构支架改制而成，每循环开挖进尺为 1.0～2.0 m[1]。

(3)洞内出渣前期采用 2 m^3 小型装载机单向行驶出渣，后期采用 ZWY 履带式扒渣机配合 2 m^3 小型运渣车出渣。出渣车通过洞内设置的错车洞形成双向行驶通道。

(4)锚喷支护利用钻孔台车完成洞内锚杆、钢支撑、钢筋网、喷混凝土等工序的施工[2]。

2.3　衬砌施工工艺

(1)隧洞内的钢筋混凝土衬砌段均为直线段，衬砌所用的钢筋在洞外加工后运输至洞内安装，混凝土衬砌采用全圆针梁台车一次浇筑成型。

(2)“钢管＋外包混凝土衬砌”段按照钢管的分节长度及混凝土的浇筑水平，按照每仓长度 25 m 进行施工。每节钢管通过装载机运输至洞内进行焊接安装，混凝土通过在拱顶预埋混凝土浇筑泵管的方式进行浇筑，每仓浇筑的长度为 25 m，钢管端头预留 0.5 m 作为下一节钢管焊接的工位。

3　错车洞设计方案

3.1　错车洞设置的必要性

(1)隧洞开挖支护阶段，受小洞径隧洞施工机械无法在洞内调头的限制，施工机械只能单向行驶。掌子面爆破时，需要将钻孔台车移至洞外；装载机出渣时，只能允许单台设备正向行驶进洞，倒车出洞，导致施工效率不高。通过在洞内设置错车洞，爆破时可以将钻孔台车移至错车洞内；出渣时出渣车辆可以正向行驶至错车洞处，调头倒车至掌子面；同时，另一台出渣车亦可在错车洞内等候，使施工效率得到明显提高[3]。

(2)“钢管＋微膨胀混凝土衬砌”施工时，每仓混凝土浇筑完成后需要将混凝土浇筑设备移至洞外，以便为钢管安装提供施工通道和工位。通过在洞内设置错车洞，可以将浇筑设备移至错车洞放置，能够缩短浇筑设备移位的时间。

(3)洞内衬砌混凝土浇筑时，每台混凝土运输车进洞后，下一台混凝土运输车需要在洞外等候，待洞内车辆卸料完成后下一台车辆方能进洞浇筑，导致混凝土浇筑间歇时间较长。通过在洞内设置错车洞，在每台车辆浇筑时，下一台车辆可在错车洞内等候，从而有效缩短了浇筑间歇时间，能够更好地保证浇筑质量。

3.2　错车洞的设计参数

(1)选择在地质条件良好、地下水不发育的洞段设置错车洞[4]。

(2)错车洞的设置位置需要综合考虑其使用周期，既要保证在开挖支护阶段能够有效提高开挖支护的效率，又要保证在衬砌施工阶段能够尽可能地为施工设备提供错车通道。考虑到上游隧洞总长为 995 m，根据工期安排，贯通桩号为 K0＋340，最终确定在贯通桩号至洞口的中间部位设置错车洞。进口工作面利用 K0＋119 桩号的施工支洞作为错车洞使用，出口工作面在 K0＋670 桩号附近设置错车洞，该桩号的衬砌类型为钢筋

混凝土衬砌，围岩类别为Ⅳ类，地层岩性为新鲜砂岩，地下水及裂隙不发育。

(3)错车洞的断面采用城门洞型，其断面高度、宽度与主洞保持一致，底板高度略低于隧洞一次开挖面高度，以便于引排洞内的渗水。

(4)错车洞的方向需要综合考虑洞内设备的转弯半径及错车洞的爆破开挖对已开挖隧洞的影响。根据该隧洞施工设备的特性，将错车洞与主洞的夹角确定为 60°。

(5)错车洞的长度按各使用阶段施工设备均能全部放入错车洞内进行控制。对于开挖支护阶段，需要考虑扒渣设备、喷浆设备、钻孔台车同时放置；对于衬砌施工阶段，需要考虑混凝土运输车辆能够完全驶入错车洞内。扒渣机长约 6.0 m，喷浆设备长约 2.0 m，钻孔台车长约 4.0 m，混凝土运输车辆长约 7.0 m，考虑到设备停放的间隙，最终将错车道的长度确定为 14.0 m。

(6)错车洞的支护方式与主洞的支护方式保持一致，洞口与主洞相接位置按洞内Ⅴ类围岩的支护方式进行加强支护[5]。错车洞底板整平后采用混凝土硬化 20 cm，以便于施工材料、设备的存放；同时在底板两侧设置排水沟及积水坑，将洞内的渗水及施工废水引排至错车洞内，再利用水泵抽排至洞外以减少洞内的积水。错车洞平面布置情况见图 2。

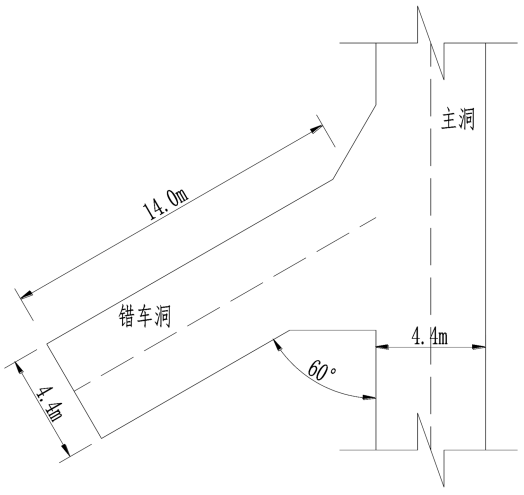

图 2　错车洞平面布置示意图

4　结　语

在小断面隧洞施工过程中，错车洞的设置需要根据隧洞的长度、地质条件、结构形式、施工工艺、工期要求、使用要求等因素综合分析错车洞设置的必要性、合理性与经济性。通过在李家岩水库工程城乡供水隧洞施工过程中设置错车洞，有效地解决了隧洞开挖支护过程中出渣效率低、循环时间长、衬砌施工过程中混凝土浇筑不连续、设备利用率低的问题，使该工程的施工进度、施工质量、施工成本均得到了有效控制，所取得的经验值得后续类似工程借鉴。

参考文献：

[1] 水工建筑物地下开挖工程施工规范：SL 378-2007 [S].
[2] 水利水电工程锚喷支护技术规范：SL 377-2007[S].
[3] 代军伟. 长距离小断面隧道避车洞的设置[J]. 内蒙古煤炭经济，2015，33(6)：170-171.
[4] 李铭华，梅争贵. 长隧洞不良地质段错车洞施工[J]. 云南水力发电，2013，29(3)：60-62.
[5] 杨廷海. 应急供水工程中的隧洞洞身开挖及支护施工技术[J]. 四川建材，2023，49(6)：123-125.

作者简介：

杨发宝(1992-)，男，甘肃武威人，项目技术质量部副主任，助理工程师，学士，从事水利水电工程施工技术与质量管理工作；

刘　英(1974-)，女，四川仁寿人，工程系统专业技术带头人，正高级工程师，从事建设工程项目施工技术与管理工作.

(编辑：李燕辉)

(上接第 66 页)

出，降低了污水处理的规模，亦有效降低了环境的污染风险。

参考文献：

[1] 傅鹤林，安鹏涛，李凯，等. 深埋富水隧道衬砌压力与变形影响因素研究[J]. 武汉大学学报(工学版)，2022，55(2)：144-152.
[2] 彭春花，周启刚，孟浩斌，等. 基于 LECI 的三峡库区重庆段景观生态敏感性分析及关键修复区识别[J]. 水土保持研究，2021，28(3)：325-330.
[3] 汪晓勤. 长大富水隧道大坡度辅助导坑反坡排水施工技术[J]. 交通建设，2018，9(8)：235-236.
[4] 唐明秀，何小江，唐志. 大坡度长隧道斜井反坡排水施工技术[J]. 云南水力发电，2021，37(6)：77-80.
[5] 张栋. 长大富水隧道反坡排水施工技术研究[J]. 价值工程，2012，29(22)：68-70.
[6] 张玉印. 隧道施工的水环境问题及预防措施[J]. 铁道建筑技术，2015，55(8)：56-60.

作者简介：

李　信(1993-)，男，四川成都人，项目工程部主任，工程师，学士，从事隧道工程施工技术与管理工作；

王　杰(1997-)，男，重庆铜梁人，助理工程师，学士，从事隧道工程施工技术与管理工作.

(编辑：李燕辉)