

高落差长溜管在长隧洞混凝土运输中的应用

杨选波¹, 曹劝绩¹, 李伟泉², 李双兰³

(1. 云南水投牛栏江滇池补水工程有限公司, 昆明 650051; 2. 中国水利水电第十四工程局有限公司, 昆明 650041;
3. 云南禹川工程造价咨询有限公司, 昆明 650051)

摘要: 在地形复杂的山区, 水利水电工程隧洞普遍存在单条隧洞长、施工支洞间距大、断面小、施工干扰因素多等不利于施工组织的情况。采用竖井溜管进行隧洞混凝土垂直运输, 在不增加施工支洞的前提下增加了混凝土衬砌工作面、减少了施工干扰, 从而可以有效地解决上述问题, 加快工程进度。研究发现, 利用 H 型缓降器能有效控制高落差条件下的混凝土下落速度, 因此解决了混凝土拌和物对溜管及受料搅拌车的磨损及击打破坏问题, 保证了设备使用寿命、施工安全及混凝土工程质量。

关键词: 长隧洞; 混凝土; 垂直运输; 溜管; H 型缓降器

中图分类号: TV 554.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0211-04

Application of High drop Long Articulated Chute in Concrete Transportation within a Long Tunnel

YANG Xuan bo¹, CAO Quan ji¹, LI Wei quan², LI Shuang lan³

(1. Niulanjiang Dianchi Lake Water Supplement Project Co. Ltd., Kunming 650051, China;

2. China Water Resources and Hydropower Fourteenth Construction Bureau Co. Ltd., Kunming 650041, China;

3. Yunnan Yuchuan Engineering Cost Consulting Co. Ltd., Kunming 650051, China)

Abstract: In the mountain area with complex terrain, the water conservancy and hydropower engineering tunnel generally has the following unfavorable characteristics for construction including the existence of a long single tunnel, large spacing between construction adits, small cross section, and construction interference. The application of shaft articulated chute for vertical transportation of concrete within the tunnel can effectively solve the above problems and expedite the construction progress, because it can increase the working face of concrete lining and decrease construction interference without adding construction adits. Moreover, the utilization of H-type descent control device can effectively control the descending velocity of concrete under high drop conditions; therefore it can solve the problems of wearing, impacting, and damaging of articulated chute and the receiving mixer truck caused by concrete mixture, and can guarantee the equipment service life, construction safety, and concrete engineering quality.

Key words: long tunnel; concrete; vertical transportation; articulated chute; H-type descent control device

1 工程简介

牛栏江一滇池补水工程是一项水资源综合利用工程, 工程任务是近期每年向滇池流域补水 5.66 亿 m³, 远期兼顾向曲靖市和昆明市供水。工程主要由德泽水库、干河泵站和输水线路组成。输水线路全长 115.6 km, 设计流量为 23 m³/s, 其中隧洞总长 103.59 km, 占线路总长的 89.61%, 设计纵坡 $i=0.05\%$ 。本文选择的大五山隧洞即为此输水线路中的隧洞之一。

大五山隧洞全长 36.135 km, 共设置 15 条施工支洞, 其中 3 条为平洞、其余 12 条为斜井。0、0 类围岩开挖断面为

城门形, 开挖断面(宽×高)分别为 5.0 m×5.5 m、5.3 m×5.75 m; 采用 C25 钢筋混凝土衬砌, 衬砌断面为马蹄形, 最大净空(宽×高)为 4.0 m×4.6 m。

大五山隧洞 3 号施工支洞为斜井, 长度 119 m、高差 46.76 m、角度 23.14°, 主洞开挖期间采用无轨运输结合整体提升方式来完成运输任务, 即在支洞与主洞交叉处设置载车平台, 汽车装载弃渣或材料后直接开到平台上, 再通过洞外的卷扬机将载车平台连同汽车一起提升至洞外; 4 号施工支洞为平洞, 兼作运行期间的永久检修支洞, 长度为 553 m、开挖断面为 5.0 m×6.0 m 的城门洞形, 纵坡为 6.68%, 主洞开挖期间全部采用无轨运输的方式。

收稿日期: 2013-03-12 修回日期: 2013-06-13 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.038.html>

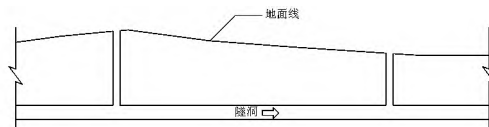
作者简介: 杨选波(1983-), 男, 云南双柏人, 工程师, 主要从事水利水电工程施工管理方面研究。E-mail: yx bhappy@163.com

3 号~ 4 号施工支洞间距为 3 163 259 m, 由于此段隧洞存在施工支洞间距大、断面狭小、使用无轨出渣方式等原因, 导致通风散烟较为困难。为了加强通风效果, 早在开挖期间就设置了两个通风竖井。该段隧洞 C25 混凝土耗量约为 $4.4 \times 10^4 \text{ m}^3$, 在 3 号、4 号施工支洞口附近分别建有一套混凝土拌和系统。混凝土配合比见表 1。工程所在地靠近村镇, 交通条件较为便利, 可充分利用现有乡村道路及场内道路实现洞外运输。

表 1 C25 混凝土施工配合比

Table 1 The mix proportion of C25 concrete construction

W/C	砂率 (%)	坍落度 /cm	材料用量/(kg·m ³)						
			水	水泥	粉煤灰	砂	小石	中石	减水剂
0.43	41	16~18	165	307	77	779	561	561	2.496



部位(里程)	3号支洞(井口) 9+675.748	1号斜井井口 10+233.000	11015.900	2号斜井井口 12+144.650	4号支洞(井口) 12+839.007
工作面编号	①	②	③	④	
工作面长度	557.252m	782.700m	1128.900m	694.407m	
混凝土运输方向	←	→	←	←	←
混凝土浇筑方向	→	→	←	→	→
洞内水平运输距离	279m	391m	564m	880m(含支洞)	
垂直运输距离	50.2m		32.774m	0	
洞内混凝土搅拌车数量	2辆		1辆	1辆	

图 1 工作面划分示意图

Fig. 1 Schematic diagram of working face partitioning

2 混凝土洞内运输方式选择

2.1 施工条件

由于 3 号~ 4 号施工支洞之间实际地质情况与地质勘察成果偏差较大(地质勘察报告显示以 $\bar{0}$ 、 $\bar{0}$ 类围岩为主, 但开挖后揭露的情况是 $\bar{0}$ 、 $\bar{0}$ 类围岩的比例超过 75%), 导致实际开挖进度严重滞后于计划进度, 在总工期不能顺延的条件下, 只能以优化混凝土衬砌工序的施工组织来实现按期完工的目标。衬砌时间由投标时计划的 10 个月压缩到 4 个月, 如果还按照原来的施工组织设计(从支洞进料, 从主洞正中往支洞方向浇筑)进行施工, 施工强度将高达 400 m/月, 可以说是不可能实现的, 必须增加浇筑工作面才能保证按期完工。

2.2 方案设计

根据类似工程以往的施工经验, 衬砌强度在 150~ 200 m/月之间较为适宜, 故该段隧洞宜划分为 4 个工作面同时进行浇筑。在隧洞狭窄、模板支撑系统密集的现实条件下, 增加混凝土浇筑工作面的难点在于如何解决混凝土拌和物的洞内运输问题, 在此提出“高压混凝土泵接力输送并直接入仓”及“溜管进洞结合搅拌车运输、泵送入仓”两个方案供选择。

方案一为高压混凝土泵接力输送。将混凝土分别通过溜槽及搅拌车运至 3 号、4 号施工支洞与主洞交叉处, 将若干台高压混凝土输送泵串联在一起, 以接力的方式将混凝土输送至工作面上并直接入仓。以目前市场上普遍使用的 HB30B 型液压混凝土输送泵为例, 其理论水平输送距离为 720 m, 但以其他工程施工经验, 当输送距离超过 550 m 时压力衰减严重、堵管频率明显增加。因此在实际应用中, 此类混凝土泵只能按 550 m 的输送距离来使用。经计算, 若 3 号、4 号施工支洞之间同时开设 4 个衬砌工作面需要投入 10 台混凝土泵、1 辆混凝土搅拌车、约 4 800 m 泵管。

方案二为溜管进洞结合搅拌车运输、泵送入仓。靠近 4 号支洞的 1 个工作面用搅拌车直接运至工作面附近, 泵送入仓; 其余 3 个工作面则充分利用开挖阶段设置的通风竖井, 混凝土通过溜管直接溜入井底的搅拌车内, 运至工作面附近后用混凝土泵入仓, 见图 1、图 2。经计算, 若 3 号、4 号施工支洞之间同时开设 4 个衬砌工作面需要投入 4 台混凝土泵、约 400 m 泵管、4 辆搅拌车。

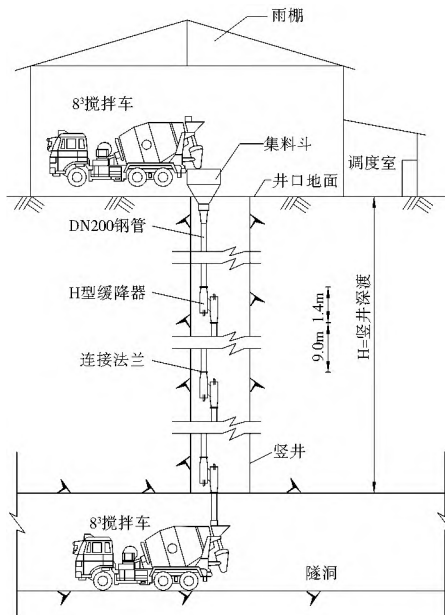


图 2 溜管运输系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of articulated chute transportation system

2.3 方案对比

通过反复讨论, 列出两个方案实施过程中可能出现的各种问题并分析其优缺点, 见表 2。

从表 2 可看出, 两个方案都各有优缺点: 方案一的优点是施工干扰小、施工强度均衡、洞内作业环境好等。其缺点有三: 一是使用长距离接力泵送的方案, 投入的混凝土输送泵较多, 并且要保证同一条输送线上的所有输送泵全部具备正常运行条件, 若其中一台输送泵出现故障将会导致该工作面停工, 其可靠性存在质疑; 二是需要从 3 号支洞斜井搭溜槽, 溜槽长、坡度陡, 因此混凝土飞溅及骨料离析等影响质量的问题难以解决; 三是一旦在实施过程中发现失败, 将导致工期失控、补救成本高、难度大等后果。

由于方案一与方案二的洞外运输方式及成本相差不大, 故仅对方案二的洞内运输部分可行性进行论证。

(1) 成本方面。方案一须投入混凝土输送泵 10 台、搅拌车 1 辆、泵管约 4 800 m, 方案二须投入混凝土输送泵 4 台、搅拌车 4 辆、泵管约 400 m、溜管 2 套。在当前的市场行情下, 明显可见方案二的设备用量及成本均低于方案一。

表2 备选方案可行性对比

Table 2 Comparison of the feasibility of alternative schemes

方案	优点	缺点
方案一	1. 施工干扰小	1. 混凝土泵用量多、资源投入大、成本高
	2. 各工作面施工进度较均衡	2. 泵送距离长、堵管机率大、对设备要求高
	3. 施工准备工作简单	3. 远距离接力泵送须保证所有输送泵同时具备正常运行条件, 可靠度低
	4. 洞内无机动车, 空气质量较好	4. 3号支洞溜槽坡度达23.14°、长度达119m
		5. 在溜槽输送过程中可能发生骨料离析及飞溅
		6. 过程中一旦发现不可行, 补救难度较大
		7. 中间工作面的钢筋、模板等大件材料需提前到位
方案二	1. 设备及资源投入小、成本低	1. 需专题研究高落差长溜管投料的可行性
	2. 泵送距离短、不易堵管	2. 受竖井位置制约、工作面长度划分不均衡
	3. 搅拌车运输配合泵送入仓, 可靠度高	3. 洞内搅拌车导致空气质量下降、作业环境差
	4. 有其它成功安全可借鉴	4. 相对于方案一, 搅拌车可能带来施工干扰
	5. 避免了大坡度长溜槽运输	5. 中间工作面的钢筋、模板等大件材料需提前到位

(2) 可靠性方面。搅拌车水平运输结合混凝土泵入仓属常规施工工艺, 有大量工程案例可参考, 不可预见的风险较少, 唯一的难点在于控制混凝土下落速度, 以保证溜完好及混凝土质量。

(3) 工期方面。虽然受洞外现有道路及竖井位置制约而导致工作面划分长度不均衡, 最长工作面为1128.9m(平均衬砌强度282m/月), 但是按分仓长度15m、每个工作面配2套钢模台车来计算, 每套台车的循环时间为76h, 属于合理范围内, 可满足工期要求。

(4) 混凝土质量及安全文明施工方面。混凝土进入溜管后重力加速度导致的溜管磨损及骨料离析问题可以通过加装缓降装置及洞内搅拌车二次拌和来弥补, 机动车行驶导致的洞内空气质量下降问题可以通过增加轴流风机解决。其它缺点也都可以通过加强施工组织管理来克服。

经充分论证, 从技术可行性角度对方案一予以排除, 而选择方案二为实施方案, 并对高落差长溜管条件下的混凝土缓降措施进行专题研究。

3 溜管设计

3.1 溜管布置

为防止雨水影响混凝土质量以及满足现场管理需要, 在原有通风竖井井口用钢管及彩钢瓦搭建雨棚, 雨棚一侧设一间活动板房作为调度室。为保持口与井底作业人员讯息畅通, 除对讲机以外, 再配置电铃及电话各一套, 信号装置安放在调度室内。原有竖井直径为1.4m, 为了便于溜管加固以及为其他可能布置在竖井内的水、电、通讯等管路预留通道, 溜管沿井壁布置。

3.2 溜管设计

溜管由集料斗、钢管、缓降器及其它附件组成。搅拌车

将混凝土料卸入集料斗, 通过溜管直接到达井底的搅拌车内, 最后运送至工作面附近并通过混凝土输送泵入仓。为了控制混凝土下落速度, 避免骨料离析及溜管、搅拌车受冲击破坏, 在溜管上每隔一定距离设置一个缓降器, 见图2。

3.3 溜管加工及安装

溜管采用DN200mm、 $\delta=5$ mm钢管加工, 为了便于安装和检修, 按3m长一段进行制作, 每三段之间连接一组H型缓降器, 钢管与钢管、钢管与缓降器之间全部通过法兰盘利用M20螺栓连接, 接头处用橡胶垫圈密封防止浆液外流。

缓降器筒身采用DN200mm/300mm、 $\delta=5$ mm无缝钢管加工。变径钢管长300mm, 壁厚 $\delta=5$ mm为标准件, 可以直接在市场上采购或用钢板自行加工。筒底采用 $\delta=20$ mm钢板制作, 确保其不受混凝土冲击破坏。根据其它类似工程经验, 缓冲连接斜管与主筒交角为 $40^\circ \sim 50^\circ$ 为宜, 交角太小则缓冲效果不好, 在高落差工况下会导致溜管磨损较、缓降器筒底易击穿或变形、受料设备易被击坏等事故; 若交角太大, 则容易导致混凝土在缓降器内堆积而堵塞溜管。本工程使用的缓降器按 45° 交角进行设计及加工。为了避免混凝土下落后连续击打缓降器导致钢板击穿事故, 在缓降器直筒下部连接管以下预留15cm空间, 这样一来, 首先进入缓降器的砂浆或混凝土可以堆积在此空间内, 避免了混凝土连续直接击打筒底钢板, 增强了缓冲效果, 有效延长了缓降器的寿命及缓冲效果, 见图3。

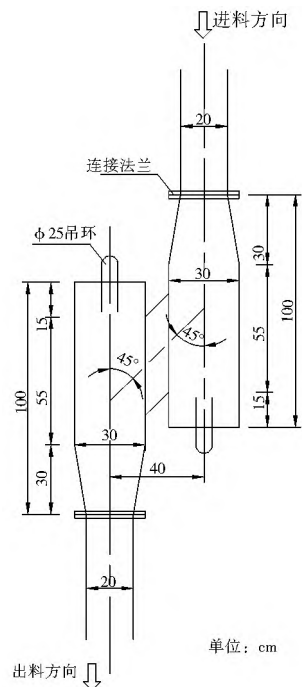


图3 H型缓降器结构示意图

Fig. 3 Structural diagram of H-type descent control

溜管制作所用的钢管及板材全部为Q235钢材。由于工况较为恶劣, 在溜管加工及安装过程中必须严格保证原材料及焊接质量符合相关规范。因竖井断面尺寸小, 操作空间有限, 因此仅在井口及井底部位进行加固。在井口, 溜管使用 $\delta 20$ mm连接板与[20槽钢连接固定, [20槽钢通过 $\phi 25$, $L=1.5$ m插筋固定在地面上, 插筋入岩1.0m, 同侧插筋间

距为 30 cm。在井底,使用两根长 2 4 m 及两根长 30 cm 的 [20 槽钢焊接组成一个边长 30 cm 的正方形框架以固定溜管,框架与岩面采用 $\Phi 25, L=1.5$ m 插筋固定。

4 溜管使用效果

大五山 3 号、4 号施工支洞之间绝大部分混凝土均采用溜管实现垂直运输,利用 H 型缓降器来控制混凝土下落速度、保证溜管使用寿命及混凝土拌和物质量。施工过程中发生过 3 次堵管事故,经检测及分析,其中两次是由于坍落度偏大、骨料离析并堆积在缓降器内而引发的,另一次是由于水灰比过小、坍落度偏小而引发的。至目前为止,该段混凝土浇筑已完成 65% (约 $2.9 \times 10^4 \text{ m}^3$),耗时 67 d,施工强度在合理范围内,若能断续保持之前的施工强度,则工期压力不大,甚至可实现提前完工。

与此相类似的溜管运输方案在大五山隧洞其他部位混凝土浇筑施工中也得到了普遍推广应用。目前已投入使用的 5 套溜管中最大落差 82 m、平均落差 48 m,均取得了良好的使用效果。可以说明此方案在技术及经济两方面都是可行的。

5 结语

大五山 3 号、4 号施工支洞之间利用竖井溜管来实现混凝土的垂直运输,在隧洞长、施工支洞数量有限的约束条件下,最大限度地增加了衬砌工作面,保证了工期。利用 H 型缓降器有效控制了混凝土下落速度,解决了高落差情况下混凝土拌和物对溜管及受料设备的磨损及击打破坏问题,保证了混凝土质量。但是,为了保证溜管使用寿命及混凝土质量,在安装及使用溜管过程中应充分重视以下问题。

(1) 溜管安装时应垂直于水平面,以减小混凝土对管壁的摩擦破坏,有效保证溜管的使用寿命。

(2) 溜管安装及使用过程中,必须保证统一指挥调度,井底工作人员与井口工作人员应保持通信畅通。下料应连续均匀,下料速度不应大于 $12 \sim 15 \text{ m}^3/\text{h}$ 。由于溜管上未设置阀门,建议井口及井底使用相同容量的搅拌车,以便生产调度及避免混凝土满罐后溢出。

(3) 严格控制混凝土拌和物质量,对不合格混凝土拌和物应果断废弃或采取补救措施,直至各项指标合格后方可进入溜管,避免因坍落度超标、骨料离析等因素导致管路堵塞及引发混凝土质量事故。

(4) 每次投料前,应先投放不少于 5 m^3 的砂浆,其作用是润滑溜管及混凝土输送泵管,减少都管机率,同时也有利于新旧混凝土之间更好地结合。

(5) 由于溜管较长,在混凝土下落过程中可能会产生骨料离析情况,因此受料搅拌车应保持连续搅拌,以保证混凝土拌和物各项指标保持合格。

(6) 混凝土浇筑结束后,溜管必须清洗干净,防止砂浆黏附在管壁上而导致下次使用时发生堵管事故。

(7) 在今后的实践过程中应不断地进行总结及改进,探索溜管运输方案在更大落差条件下使用的可行性,并不断研

究和开发各种新型缓降装置及流量控制装置。

参考文献(References):

- [1] 宋名辉,雷文训,钟春海. 满管溜槽输送混凝土技术在弋兰滩工程的应用[J]. 云南水力发电, 2008, 24(S1): 63-64. (SONG Minghui, LEI Wenxuan, ZHONG Haichun. The Full Chute-based Concrete Delivery Technology in the Construction of the Celatan Hydropower Project[J]. Yunnan Water Power, 2008, 24(Supp. 1): 63-64. (in Chinese))
- [2] SL 352 2006, 水工混凝土试验规程[S]. (SL 352 2006, Test Code for Hydraulic Concrete[S]. (in Chinese))
- [3] DL/T 5144 2001, 水工混凝土施工规范[S]. (DL/T 5144 2001, Specifications for Hydraulic Concrete Construction[S]. (in Chinese))
- [4] 杨选波. 基独河四级水电站引水明渠混凝土运输方式选择及实践[J]. 水电能源科学, 2013, 31(1): 138-140. (YANG Xuanbo. Choice and Practice of Concrete Transportation Mode of Open Channel in Level 4 Hydropower Station of Jidu River[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(1): 138-140. (in Chinese))
- [5] 汪永剑,丁仕辉,何育文,等. 高陡坡运输碾压混凝土抗分离溜管的研制与应用[J]. 水利水电技术, 2010, 42(10): 91-93. (WANG Yongjian, DING Shihui, HE Yurwen, et al. Development and Application of Antiseparating Chute tube for Transport of Roller Compacted Concrete on High Steep Slope[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010, 42(10): 91-93. (in Chinese))
- [6] 王志刚,刘元广. 负压溜槽在南阳回龙抽水蓄能电站下库工程中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2009, 20(1): 40-42. (WANG Zhigang, LIU Yuan Guang. Application of Negative Pressure Chute to Nanyang Huilong Pumped Storage Power Station Lower Reservoir[J]. Henan Water Resources & South to North Water Diversion, 2009, 20(1): 40-42. (in Chinese))
- [7] 张涛,徐一民,李振龙. 负压溜槽在晒北滩水电站大坝工程施工中的应用[J]. 云南水力发电, 2009, 25(5): 80-82. (ZHANG Tao, XU Yimin, LI Zhenlong. Use of a Suction Pressure Chute in Dam Construction of Saibeitan Hydropower Project[J]. Yunnan Water Power, 2009, 25(5): 80-82. (in Chinese))
- [8] 沈崇刚. 中国碾压混凝土坝技术的进展与运行经验[J]. 水力发电, 1999, (10): 41-44. (SHEN Chonggang. Technological Advance and Operation Experience of RCC Dam in China[J]. Water Power, 1999, (10): 41-44. (in Chinese))
- [9] 张政权,韩伟,李广英. 南水北调箱涵混凝土入仓方式的成本控制[J]. 云南水力发电, 2012, 28(6): 111-114. (ZHANG Zhengquan, HAN Wei, LI Guangying. Pressure Box Culvert Thir wall Concrete Placement Temperature Control of the South to North Water Diversion Project[J]. Yunnan Water Power, 2012, 28(6): 111-114. (in Chinese))
- [10] 黄岗,杨天吉,董发俊. 龙滩水电站地下引水发电系统混凝土施工技术浅析[J]. 水力发电, 2007, (4): 46-48. (HUANG Gang, YANG Tianji, DONG Fajun. Analysis on Concrete Construction Techniques for Underground Water Diversion and Power Generation System of Longtan Hydropower Station[J]. Water Power, 2007, (4): 46-48. (in Chinese))