

大断面圆形隧洞底拱滑模混凝土施工技术

田 斌

四川二滩国际工程咨询有限责任公司 四川 成都 611130

【摘要】：巴拉水电站引水隧洞为大断面圆形地下洞室，其中底拱 90° 范围采用钢筋混凝土衬砌，常规翻模混凝土施工工艺人工投入大，成型效果不佳，针梁台车施工往往存在混凝土表面气泡多、施工进度慢的问题。本文对巴拉水电站引水隧洞底拱采用滑模混凝土工艺进行技术总结，克服了成型效果不佳、混凝土表面气泡多的质量问题，也极大的提高了施工效率，可为类似工程提供借鉴。

【关键词】：底拱；滑模；针梁；台车；混凝土

DOI:10.12417/2811-0528.26.06.070

1 引言

由于圆形断面隧洞受力条件好，大量工程在引水隧洞的设计上均采用圆形断面，为增加隧洞的抗冲刷能力和过流能力，底拱往往采用钢筋混凝土衬砌。底拱混凝土施工过程中，会导致浇筑仓号两端交通中断，因而在实际施工中，底拱混凝土施工工期往往较短，并且由于模板位于混凝土上部，导致混凝土振捣过程中的气泡、水泡排除困难，在拆模后混凝土表面往往存在较多的孔洞，严重影响混凝土的外观质量。

本文巴拉水电站引水隧洞底拱滑模混凝土施工为例，从滑模台车的设计、安装到现场混凝土的浇筑，总结出一套适合地下大断面圆形隧洞底拱混凝土施工的经验，为类似工程提供参考。

2 工程概况

巴拉水电站位于四川省马尔康市境内大渡河东源主干流脚木足河上，是大渡河干流水电规划“3库28级”自上而下的第2级电站。工程采用混合式开发，开发任务为水力发电并兼顾生态用水，由首部大坝泄洪枢纽、引水系统和厂区枢纽等组成。巴拉水电站引水隧洞长度 6715.145m，隧洞除进出口段外，其余洞段开挖断面均为圆形断面，隧洞纵坡 $i=3.594\%$ 。III类围岩顶拱 270° 范围采用喷 20cm 厚 C25 混凝土做为永久支护，底拱 90° 范围浇筑 C25F100W6 混凝土，混凝土衬砌厚度 30cm；IV类、V类围岩均为全断面钢筋混凝土衬砌，混凝土强度为 C25F100W6，其中IV类围岩混凝土衬砌厚度 80cm；V类围岩混凝土衬砌厚度 100cm。

3 底拱滑模台车设计

引水隧洞底拱滑模为沿隧洞轴线方向的纵向滑模，台车型

式为针梁式，滑模模体采用液压油缸行走，可前后两个方向行走，底拱滑模台车总长 31m。针梁滑模台车构造见图 1、图 2。

(1) 模板长度为 6m，面板钢板厚度 10mm，环向分为底模和两侧小边模三段，模体尺寸按设计衬砌断面尺寸。(2) 底模上开设工作窗，用以辅助进行混凝土入仓和振捣以及观察，底模上同时设置附着式振捣器，用以辅助进行振捣。(3) 台车两端设置抗浮支架，两侧设置水平支架，可防止混凝土浇筑振捣过程中模体的上浮和侧移。(4) 台车前端配置卷扬机，台车前方设置地锚点，用钢丝绳配合葫芦连接针梁台车对台车进行固定，在针梁异常难以推动模体行走时，也可辅助行走油缸拖动模板。(5) 针梁上设置活动支腿，用于针梁行走时的支撑，保持前后平衡。(6) 底拱滑模后端间隔模板 0.55m 布置收面及修补平台，用于人工对混凝土进行压光并及时处理缺陷。

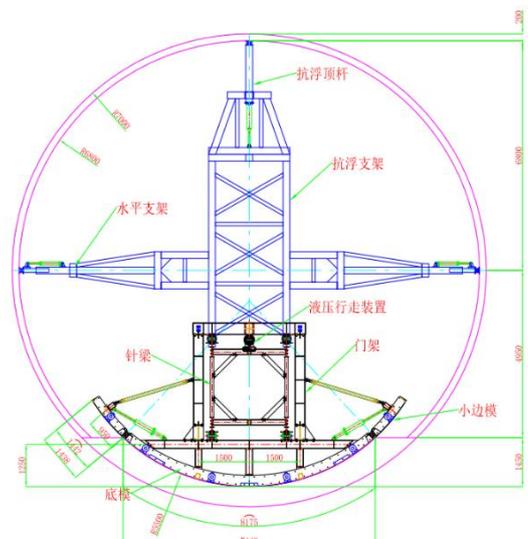


图 1 针梁滑模台车主视图

田斌 (1980-)，湖北赤壁人，四川二滩国际工程咨询有限责任公司巴拉电站主体工程项目监理部，高级工程师，现从事工程监理工作。

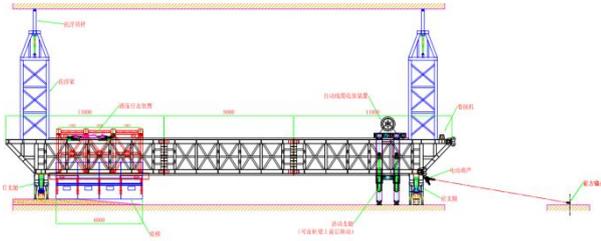


图2 针梁滑模台车侧视图

4 底拱滑模台车安装

圆形洞室组装机需求，高度预留空间 $\geq 1\text{m}$ ，两侧各预留宽度 $\geq 0.7\text{m}$ ，长度预留 $\geq 10\text{m}$ 。

(1) 首先将两侧边模运至洞内安装部位，从内到外依次置于隧道两侧，并进行适当固定。

(2) 将底模放在工字钢上按编号依次由内到外进行拼装，然后安装底模小立柱和底模弦梁。

(3) 安装框架纵梁和下托轮架。拼装片式针梁，然后将拼好的针梁依次吊装到底模托轮架上，确保两段针梁接头牢靠（拼装针梁时，将液压行走机构安装在其中）。

(4) 由内向外依次安装框架，然后安装上托轮架，两侧工作平台及拉杆、剪刀架等。

(5) 吊装两侧模板，依次对称安装。

(6) 安装针梁两端支腿、支座、活动支腿、平移小车、针梁顶升油缸。

(7) 安装抗浮架及两侧水平支架。

(8) 安装针梁液压系统、模板及行走液压系统、活动支腿液压系统。

(9) 安装电动葫芦、卷扬机、钢绳、滑轮等。

(10) 安装布料溜槽、工作平台、护栏爬梯、附着式振捣器及电器控制系统。

(11) 整体调试。

5 底拱混凝土滑模施工

(1) 技术准备：按照设计要求完成配合比设计，滑模混凝土对塌落度要求较高，塌落度过小难以泵送，容易堵管，塌落度过大容易导致混凝土在滑模行走后产生变形，影响体型质量。巴拉水电站引水隧洞底拱混凝土施工中，通过现场调整，最终确定滑模混凝土塌落度采用 $140\text{--}160\text{mm}$ 为宜，既满足混凝土的泵送要求，也便于现场入仓、振捣和滑模行走。

(2) 仓面准备：现场仓面需提前进行备仓，包括基础清理、钢筋和止水及其他预埋件安装，现场验收等，备仓长度应大于底拱针梁滑模台车总长度，混凝土输送泵在满足泵送条件的情况下可置于相对较远位置，以便在混凝土浇筑过程中，混凝土输送泵与针梁滑模台车之间仍可进行备仓作业。在混凝土浇筑过程中，随着针梁滑模台车的行走，可适当调整混凝土输送泵的位置，以提供相应的工作面进行备仓作业，如此循环可实现连续不间断的作用。

(3) 混凝土浇筑：混凝土浇筑之前，模板外表面均匀涂抹脱模剂，以减少滑模滑动时的表面粘力，完成后即可进行混凝土入仓浇筑。引水隧洞底拱采用HBT80混凝土泵泵送入仓，混凝土入仓之前，在底板处利用作业窗口先均匀摊铺一层富浆混凝土。再通过溜槽引导从两侧边模或者作业窗口入仓，混凝土入仓混凝土最大下落高度不超过 1.5m ，左右两侧混凝土应保持持平，高差不超过 0.3m ，浇筑的同时使用插入式振动棒和模板上的附着式振捣器进行振捣，待滑模后端浇筑一定范围后，即可操作液压行走系统使模板向前滑行，滑行速度与浇筑速度应保持协调跟进。

混凝土入仓强度：混凝土入仓强度过低将导致滑模不具备滑行条件，同时先入仓的混凝土可能会粘接模板或形成初凝，对模板滑行不利，因而需提高混凝土生产和运输强度，并根据混凝土的初凝时间和滑模的行走时间来匹配混凝土的入仓强度。现场实际施工中，由于开挖断面不一致，混凝土延米工程量偏差较大，通过多次调整后，以滑模每30分钟滑行一次，单次滑行距离约 $50\text{--}80\text{cm}$ 为宜，据此安排混凝土的入仓浇筑，当混凝土浇筑量小时，浇筑过程中需适当待凝，以满足滑行需要。混凝土浇筑过程中滑模滑行平均速度宜为 $1.5\text{m/h}\text{--}2.5\text{m/h}$ ，至少每1小时滑动一次，混凝土的出仓强度宜控制在 $0.15\text{--}0.25\text{Mpa}$ 。

滑模的行走：操作液压系统控制行走机构，通过行走油缸收/顶，同时两支锁止油缸交替配合锁止，使模板在针梁上平稳向前移动。

针梁的行走：在浇筑中或浇筑完成后（平均每浇筑 12m ，针梁移动一次），以模板和活动支腿为支撑，启动液压系统控制行走机构，通过行走油缸收/顶，同时两支锁止油缸交替配合锁止，针梁在模板框架内平稳向前移动至下一工位，就位后操作锁止油缸锁紧，并将针梁前方通过钢丝绳与前方锚点固定。需注意由于针梁后方支座将置于新浇筑的混凝土面上，因而支座与模板之间的距离不应小于 3m ，且需在支座底部铺设厚度 $\geq 2\text{cm}$ 的橡胶垫块，防止支座受力后损失新浇筑的混凝土。

底拱混凝土表面压光处理及养护：底拱滑模后端间隔模板

0.55m 布置收面及修补平台,人工对出模的混凝土进行压光处理,消除表面气泡和孔洞,使混凝土表面平整、光滑、无抹痕,提高混凝土成型面的光洁度。脱模收面后的混凝土,及时做好覆盖养护工作,以防止混凝土因干缩而产生裂缝。养护通过在混凝土表面铺设土工布,人工洒水养护至设计龄期,由专人负责做好养护记录。

6 施工应用成效

引水隧洞采用滑模混凝土施工后,有效解决了传统底拱针梁台车浇筑后混凝土存在的气泡水泡导致孔洞的问题,同时加快了施工进度,实际施工过程中,单天(24小时)最高强度为32米,单月高峰强度完成550m(受备仓影响未实现连续作业)。如现场施工进度紧张,在增加备仓速度的情况下,滑模混凝土浇筑可实现连续作业,月施工强度仍有大幅的提升空

间。

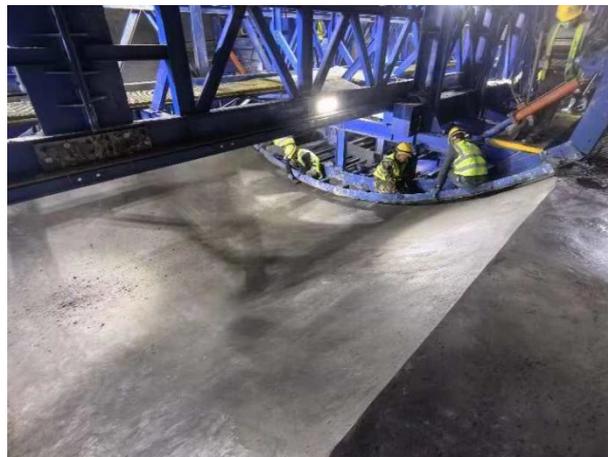


图3 引水隧洞底拱滑模混凝土施工实际效果

参考文献:

- [1] 宋威.杨水兵.仰供滑模在引水隧洞底拱混凝土衬砌施工中的应用.2014.
- [2] 《水工建筑物滑动模板施工技术规范》(DL/T5400-2016).
- [3] 杜立强.唐艳青.王纪胜.乌东德水电站泄洪洞龙落尾底板滑模施工技术.2020.