

浅析大型竖井混凝土电脱模技术

鲁鑫乐, 边瑾博, 关建勋, 孙佳伟

西京学院土木工程学院, 陕西 西安

收稿日期: 2024年11月23日; 录用日期: 2024年12月18日; 发布日期: 2024年12月25日

摘要

为了探究大型竖井混凝土电脱模技术, 论文基于国内外大量相关文献资料和工程经验, 分析了滑模施工技术、电脱模技术、大型竖井结构的传统脱模技术和电脱模技术研究现状。研究结果表明, 电渗方法在大型竖井混凝土滑模施工技术中的应用是可行的, 且应用效果较传统滑模施工技术对混凝土外观质量保证度高, 但目前混凝土电脱模技术在理论基础、技术参数研究上仍然存在困难, 制约了电脱模技术的应用和推广。

关键词

大型竖井混凝土施工, 电脱模, 电渗机理, 室内试验方法

Brief Analysis of Electric Demolding Technology for Large Shaft Concrete

Xinle Lu, Jinbo Bian, Jianxun Guan, Jiawei Sun

School of Civil Engineering, Xijing University, Xi'an Shaanxi

Received: Nov. 23rd, 2024; accepted: Dec. 18th, 2024; published: Dec. 25th, 2024

Abstract

In order to explore the electric demolding technology for large shaft concrete, based on a large number of relevant literature and engineering experience at home and abroad, this paper analyzes the sliding form construction technology, electric demolding technology, traditional demolding technology of large shaft structure and electric demolding technology research status. The results show that the application of the electroosmotic method in sliding form construction technology of large shaft concrete is feasible, and the application effect is higher than that of traditional sliding form construction technology on the appearance quality of concrete, but there are still difficulties in the research of the theoretical basis and technical parameters of the electric demolding technology of

concrete, which restricts the application and promotion of the electric demolding technology.

Keywords

Concrete Construction of Large Shaft, Electric Demolding, Electroosmotic Mechanism, Laboratory Test Method

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

发展水电是我国 2035 年远景目标实现的重要基础,对于达成 2030 年碳排放峰值和 2060 年碳中和的目标同样至关重要。在这个过程中,能源转型被视为核心战场。我国丰富的水能资源主要分布在西南地区的几条主要河流上游,如金沙江、雅砻江、大渡河、怒江、澜沧江和黄河,这些地方的特点是山脉连绵起伏、河谷深邃,提供了极佳的自然条件,包括高的落差、大的蓄水量和高度集中的水流能量,是水电站建设的最佳选择之一。

在这些地形崎岖的西部河流上游区域,采用大型深埋竖井和斜井等地下工程成为了水电项目建设的标准做法。这类竖井和斜井深度大、跨度广、形状不规则、结构复杂,混凝土衬砌浇筑工作是保证这类地下工程安全性和功能性最为重要的施工过程。在混凝土滑模施工中,一个常见的挑战是确保混凝土表面的质量。特别是在大型竖井的滑模施工中,由于难以均匀涂抹脱模剂,常常会出现表面划痕或裂缝的问题,这不仅影响了混凝土的外观质量,还会增加后续修复的成本。为了克服这一难题,北京中建建筑科学技术研究院率先提出了“DT-A 型电脱模器和电脱模技术”[1]。然而,电脱模的效果受到多种因素的影响,如技术参数的选择、施工现场方案的设计以及施工过程中的控制措施等,在一定程度上限制了该技术的广泛应用和发展。因此,开展大型竖井混凝土电脱模技术研究,对大型竖井混凝土结构表观质量的保障等具有非常重要的工程指导意义。

2. 电脱模技术背景

混凝土从浇筑到完成滑模提升直至完全硬化,这一过程中包含了诸多复杂的科学现象,涉及到多种因素之间的相互作用。水泥的水化反应、混凝土内自由水的电解、电渗过程中离子的迁移、电极的氧化与腐蚀等反应几乎是同步发生的,并且彼此之间存在着密切的联系。一旦开始通电,混凝土内部的水分子会发生电解并移动,这会直接影响水泥的水化进程;水泥的水化也会反过来作用于电解和电渗过程。除此之外,外部条件的变化,通电的电压和电流强度、通电持续的时间、滑模提升的速度、电极的材质及其放置的位置、电极插入混凝土中的深度、以及混凝土本身的流动性能等,都会对电解和电渗的效果产生影响,从而进一步影响到最终的脱模质量[2]。

上世纪 70 年代初,滑升模板在贮仓、筒塔一类等截面结构中应用已较普遍,经验也较成熟。而后又在烟囱、水塔等变截面结构中应用,也取得了很好的效果。同时期,滑升模板在民用建筑中也陆续开始得到广泛应用[3]。

经过十年的发展,滑模施工技术在上世纪 70 年代末开始在我国水利水电工程、煤炭工程、桥梁工程建设中兴起,如苇子水水库双曲拱坝液压滑模、密云水库白河泄空隧洞闸门井液压滑模、煤泥沉淀池池墙横向滑模施工、大型沉井滑模施工、三峡、向家坝、溪洛渡、乌东德等大型水电工程[4]-[7]。

直至上世纪 90 年代末,北京中建建筑科学技术研究院率先研制成功混凝土电脱模技术,改变了传统模板与混凝土涂刷隔离剂隔离的做法。利用浇灌后尚未初凝的混凝土中水泥胶体粒子和自由水的电渗、电解原理。在新浇混凝土中插入一导体,在该导体与金属模板之间的界面上形成薄薄的一层水和水混合的润滑隔离层,由于这一层水膜的存在,减少了混凝土与模板之间的粘结力,达到易脱模的效果,这与对模板涂刷混凝土隔离剂的传统工艺相比,有经济、方便、不污染混凝土表面等优点。对于无法涂刷隔离剂的混凝土滑模工艺来说,减小了混凝土表面与模板的粘结,减少了滑模时模板对混凝土的摩擦力,从而减少了混凝土表面的拉裂裂缝,提高了滑模工程的外观质量,也提高了混凝土的耐久性[8]。

此外,国内有关混凝土滑模的研究文献共 4400 余篇,其中,针对国内大型竖井滑模的研究仅 40 余篇,且其研究起步较晚,近二十年才涌现,大多为中国水利水电某工程局、中国葛洲坝集团某工程公司、中国电建集团某设计研究院、中铁某局等生产企业的滑模施工经验总结。其中,混凝土电脱模技术近 20 年来工程应用也微乎其微,尤其国内研究文献可寻踪迹更少之甚少,特别是电脱模技术中的电流、作用面积控制等参数测定仍然存在问题,制约着电脱模技术的应用和推广。

3. 大型竖井结构电脱模技术应用

滑模施工工艺结构简单,滑升速度快、质量易保证、工期短、成本低,在竖井混凝土施工中具有明显的施工优势和经济效益。但在混凝土浇筑过程中,因混凝土强度较低,在滑模爬升后,易造成混凝土表面不光滑或出现裂纹。模板滑升后,若出露的混凝土表面不平整,可用抹子在其表面作原浆压平、修补处理。这时通过及时抹面来改善混凝土外观质量,如果抹面及时,能够消除气泡、麻面错台等外观缺陷,提高混凝土外观质量。喷水养护到位可使新浇筑混凝土具备适宜硬化条件,减少裂缝生成,可通过在辅助盘上布设花管,对混凝土持续喷水,确保养护到位。表面修整及时,可影响混凝土结构外表和保护层质量的好坏[9]。

压力竖井在采用滑模施工衬砌完成后,需检查混凝土表面质量,主要存在表面不平整、气泡、麻面、蜂窝、错台、局部塌落等缺陷。井壁表面有长短不一的裂缝,裂缝一般呈水平,且有微量渗水和白钙质流出[10]。其它竖井情况类似,且前期滑模施工竖井的质量相对要差些,与施工经验和操作方式有关。

闸门井室混凝土浇筑方案一般采用混合模板。低高程以下混凝土,采用钢木组合模板外贴高密度纤维板,由支洞运输混凝土,用混凝土泵车浇筑。较高高程井筒混凝土改用液压式滑模,同时设置真空溜管输送混凝土浇筑。在此过程中,还会涉及滑模停滑现象,包括正常停滑及特殊情况下的停滑。停滑后,须在混凝土达到脱模强度时,将模体全部脱离混凝土面,防止模体与混凝土粘在一起,并清理好模板上的混凝土、涂刷脱模剂[11]。

经过对以往竖井滑模施工经验总结,并参考两河口、溪洛渡等类似竖井的施工经验,诞生了一种分格式矩形竖井滑模,可在保证施工安全、质量的前提下,使得竖井整体衬砌速度得到了大大提高。

综上所述,传统涂刷隔离剂滑模施工速度快,滑升高度大时相对成本降低,但也存在以下问题:

- 1) 传统滑升模板难以涂刷,模板容易粘结混凝土块,导致出现崩角现象,特别是门槽等方形棱角处,混凝土更易脱落;
- 2) 需派专人在滑模提升后铲除模板周围粘结的混凝土块,若在模板表面涂刷隔离油,容易污染钢筋;
- 3) 由于模板粘结混凝土,相比普通模板施工,混凝土外观质量严重下降。

对于水电站、泵房的调压井及交通竖井等较高的筒体薄壁结构,电脱模技术成为了新技术。2004 年,广东水电二局股份有限公司在广西融江古顶水电站工程拦污栅中墩滑模施工中,较早将电脱模技术应用到大型竖井施工现场,采用了 3~30V 电解器输出电压,设计了阳极钢筋圆管保护套筒,解决了电极接头问题,根据混凝土的坍落度和级配等,综合确定电极布设技术参数方案。同时,为了达到绝缘效果,采

用了粘胶纸将门槽二期插筋与钢模板连接处包裹。从施工现场情况来看,采用电脱模技术的混凝土墩体表面,比未采用电脱模处理的表面光滑,模板表面无大面积粘结现象,无明显拉裂,混凝土外观质量优良,墩槽棱角保持度好,总体取得了良好效果[12]。

在取水竖井工程中,一般采用整体钢结构设计,在进行竖井滑模设计过程中,首先确定千斤顶和支撑杆的数量,后进行竖井混凝土浇筑和滑模提升。实践证明,采用滑模技术进行竖井衬砌施工,显著提升了施工速度,降低了成本。在混凝土施工过程中,各工序紧密配合,严格按照分层平起、对称均匀的原则浇筑混凝土,有效减少了施工冷缝的出现。混凝土表面光滑且有光泽,质量得到了有效控制。尤为重要的是,滑模施工配备了专门的操作平台,确保了工作人员的安全。在此类滑模施工过程中,常见的问题有:滑模操作平台倾斜、滑模平台平移、扭转、模板变形、混凝土表面缺陷以及爬杆弯曲等。这些问题主要是由于千斤顶工作不同步、荷载分配不均匀、浇筑不对称以及纠偏措施过于急促所引起的[13][14]。

在四川省凉山彝族自治州的雅砻江干流锦屏二级水电站上游4号调压井井筒施工中,选取1654~1675 m高程段作为电脱模施工技术应用试验段,电脱模技术得到较为成功的应用(研究)。项目通过理论研究、模型试验、数值模拟及现场试验开展了电脱模技术相关技术参数(具体)的选取、随模滑升装置的设计、技术方案的设计研究,形成了一些实用性成果[15]。主要结论有:通电时间过长会增大侧摩阻力,提升后混凝土表面有拉裂现象;电极间距越远,电脱模效果越不理想;提升时间越早侧摩阻力越小;也积累了大量工程经验,保证了滑模施工效果。

综上所述,电脱模技术在施工过程中仍存在一些有待深入发掘的问题:

1) 基于电极间距、电极位置、通电时间与提升时间对电脱模效果的影响规律,如何进一步探究通电电流、电压变化对电解、电渗过程的影响。何时开始通电最合适。电极材料不同对混凝土电解、电渗过程的影响。电解、电渗过程对混凝土力学性能是否有影响。另外,仍需进一步研究塌落度变化对提模侧摩阻力的影响规律。

2) 电极长时间在混凝土中,出现混凝土包裹电极的现象,影响通电效果,另外电极腐蚀问题也是工程应用中面临的一个难题。因此,电极的清洁方法与防腐问题也是需要持续重点研究的问题。

4. 结论

1) 电渗方法在混凝土结构滑模施工技术中的应用是可行的,且应用效果较传统滑模施工技术对混凝土外观质量保证度高。

2) 目前电脱模施工技术在理论基础、技术参数选取上仍然存在困难,限制了电脱模技术在大型竖井等混凝土结构中的推广使用。

3) 在电滑模实际操作中发现,电极长时间浸没于混凝土中,会导致混凝土包裹电极的现象,不仅影响了电极的通电效果,还可能引起电流分布不均,进而影响施工质量和效率。电极腐蚀问题同样是一个不容忽视的挑战,长期暴露于潮湿环境下的电极容易发生化学反应,导致材料性能下降,缩短使用寿命,增加维护成本。

4) 如何实现滑模(电脱模)施工过程的智能控制可能是未来的研究趋势。滑升系统需要能够精确地定位滑模的位置,并提供导航信息,确保滑模沿着预定路径移动,考虑借助高精度的GPS、激光扫描仪或其他定位技术。同时,为了提高施工效率和减少人工干预,滑升智能控制系统应能自动调整滑模的速度、方向和高度等参数,监控并调节混凝土浇筑的过程。

基金项目

国家级大学生创新创业训练计划资助项目(202412715001)。

参考文献

- [1] 孙建薇, 王竹强, 卫学文. 竖井混凝土衬砌滑模施工法在引黄工程中的应用[J]. 山西水利科技, 2003(3): 62-63.
- [2] 浦友繁, 初成波. 滑模技术在洪家渡水电站竖井混凝土施工中的应用[J]. 贵州水力发电, 2005(4): 66-69.
- [3] 阙丕林. 液压滑模在深竖井混凝土衬砌中的应用[J]. 水电站设计, 2007(2): 49-52.
- [4] 陶用滨, 张奇. 瀑布沟水电站电梯电缆竖井混凝土施工工期保障措施与施工协调[J]. 水电站设计, 2011, 27(1): 99-101.
- [5] 谭华, 唐明酉. 溪洛渡水电站左岸引水压力管道深竖井混凝土施工技术[J]. 水利建设与管理, 2012, 32(10): 16-19.
- [6] 田亮. 滑模在洪屏抽水蓄能电站上水库闸门竖井混凝土施工中的应用[J]. 水利水电技术, 2015, 46(5): 50-53+56.
- [7] 智高杰, 孙全, 熊旭晨, 李远强. 乌东德水电站出线竖井滑模施工测量控制技术[J]. 人民黄河, 2019, 41(S2): 260-263.
- [8] 混凝土电脱模技术[Z]. 北京: 北京中建建筑科学技术研究院, 2000-01-01.
- [9] 赵洪仓, 何旭. 超深竖井施工技术简介[J]. 科技信息, 2011(11): 677-678+657.
- [10] 罗加贵, 陈勇, 杨松. 特大型竖井混凝土滑模施工[J]. 云南水力发电, 2011, 27(3): 73-75+93.
- [11] 王志. 某枢纽地下厂房通风竖井混凝土衬砌滑模施工措施[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(S2): 215-220.
- [12] 大型调压井混凝土满管垂直溜送与电脱模新技术研究报告[R]. 中国水利水电第五工程局有限公司, 2021-6-10.
- [13] 陶燕丽, 周建, 龚晓南. 电极材料对电渗过程作用机理的试验研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2014, 48(9): 1618-1623.
- [14] 张豆豆. 基于电渗技术的混凝土衬砌隧道(井巷)慢渗控制机理与试验研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2023.
- [15] 黄辉, 王晋明. 雅砻江两河口水电站地下厂房 241.00 m 通风竖井施工技术[J]. 水电与新能源, 2016(5): 13-17.