

多孔竖井滑模混凝土施工技术

文 / 孙东收 中铁十四局集团第二工程有限公司

摘要: 在电力、水利等基础设施建设中，多孔竖井作为重要的结构形式，广泛应用于各种工程领域。然而，多孔竖井的施工面临着诸多挑战，如结构复杂、施工难度大、安全风险高等。传统的施工方法往往效率低下，难以满足现代工程对工期和质量的高要求。因此，研究先进的施工技术对于提高多孔竖井的施工效率和质量具有重要意义。滑模施工技术作为一种高效、连续的混凝土浇筑方法，在多孔竖井施工中具有显著优势。该技术通过液压提升系统实现模板的平稳上升，同时完成混凝土的浇筑和养护，大大缩短了施工周期，提高了工程质量。基于此，本文旨在通过多孔竖井滑模混凝土施工技术的各个方面，以期为同类工程提供有益的参考和借鉴。

关键词: 多孔竖井; 滑模; 施工; 缓降器

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.041

Slipform concrete construction of porous shaft in Wendeng Hydropower Station

SUN Dongshou China Railway 14th BureauGroup2nd Engineering Co.Ltd.

Abstract: Wendeng Pumped Storage Power Station is the pumped storage power station project with the largest installed capacity in Shandong Province at present. This paper introduces the application of porous sliding form of outlet shaft of Wendeng Power Station and the concrete lining method of shaft.

Key words: slipform construction retarder for multi-hole shaft

引言

水利水电建设的蓬勃发展，对施工技术 with 质量提出了更高要求。出线竖井作为水电站的关键组成部分，其施工技术的优劣直接关系到水电站的安全稳定运行。然而，出线竖井结构复杂、施工难度大，传统施工方法难以满足现代水电站的建设需求。文登抽水蓄能电站作为山东省装机容量最大的抽水蓄能电站项目，其出线竖井的施工更是面临诸多挑战。为了克服这些挑战，引入了多孔竖井滑模施工技术，并结合缓降器等先进设备的应用，对出线竖井的施工方法进行了深入研究与实践。本文旨在详细介绍文登电站出线竖井多孔滑模的应用和竖井混凝土衬砌方法，以期为同类工程提供借鉴与参考。

一、工程概况

出线竖井，作为电力传输系统的关键设施，其结构复杂且规模宏大。该竖井底部与出线洞紧密相连，井口则延伸至地面的开关站。其设计采用了圆角矩形断面，整体高度显著，衬砌结构坚固。竖井内部采用了钢筋混凝土衬砌，厚度为50cm，确保结构的稳定性和耐久性。井身及隔墙采用C25混凝土，而内部预制板、梁则使用C30混凝土。此外，竖井还配备了大量的预留槽、预埋件以及预制平台和梁，以满足各种设备和管线的安装需求。竖井共分为78层，层高统一且合理，仅在最后三层有所变化。在竖井的底部区域，还分别与交通廊道和出线下平洞相交，进一步提升了其功能和实用性。因此，该出线竖井的设计与施工均体现了高超的技术水平和严谨的工艺要求。如下图1所示：

二、滑模结构及原理

(一) 滑模结构

出线竖井采用了爬杆埋入式滑模技术，实现了高效的液压滑动施工。其滑模装置构成复杂，但各系统协同工作，确保了施工过程的顺利进行。模板系统提供了施工所需的形状和尺寸；支撑调节系统则保证了模板的稳定性和调整能力。操作平台系统为施工人员提供了安

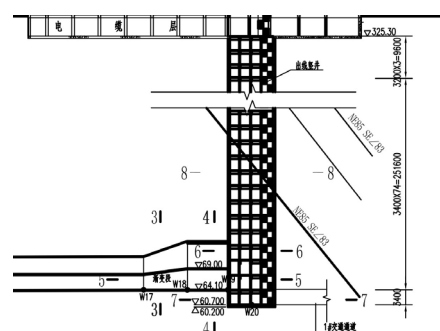


图1 出线竖井纵剖面图

全、便利的工作环境。液压提升及控制系统是滑模技术的核心，通过液压动力实现模板的平稳上升。混凝土下料和中心旋转混凝土布料系统则确保了混凝土的均匀浇筑。施工精度控制系统则确保了整个施工过程的准确性和可靠性。如下图2所示：

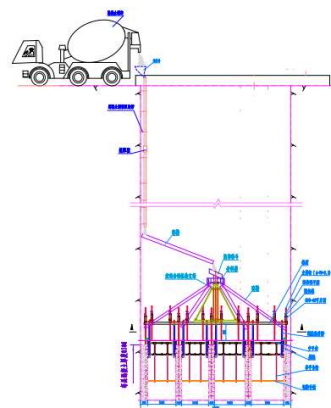


图2 滑模系统布置图

(二) 滑模安装准备

在竖井滑模安装之前，竖井底板混凝土已完成浇筑，为滑模安装提供了坚实的基础。同时，井口的井架、卷扬机等吊装设备也已安装调试完毕，确保了吊装作业的安全与效率。滑模零件通过出线平洞顺利运至竖井底部，减少了安装过程中的运输难度。整个滑模的安装工作直接在竖井底板上进行，充分利用了已完成的底板结构，提高了安装效率和准确性。这一系列准备工作为竖井滑模的成功安装奠定了坚实的基础。

(三) 多孔竖井滑模结构特点

竖井滑模技术通常在单个孔洞的施工中应用普遍，然而，在同一个竖井内部利用滑模技术连续滑升以形成多个孔洞的结构则相对罕见。这种多孔结构的施工技术要求更高的精度和控制能力，以确保每个孔洞的准确位置和结构完整性。文登电站采用了多孔竖井滑模技术，实现了整体滑升的模板系统，能够同时滑升多个孔，显著提高了施工效率。该技术还具有诸多优点，如各孔滑模整体滑升，能够轻松保证孔间隔墙尺寸的精度；同时，模板系统总重量较轻，安装运用方便，进一步提升了施工的可操作性和灵活性。文登电站的多孔竖井滑模技术为同类工程提供了有益的参考和借鉴。如下图3所示：

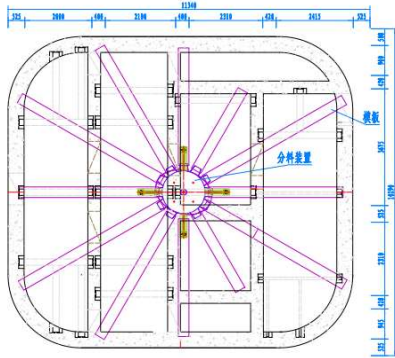


图3 滑模结构平面布置图

三、施工步骤及方法

施工步骤包括基础表面处理—外层钢筋安设—模板安装—内层钢筋初安设—仓面清理—混凝土浇筑、滑升、内层钢筋安设—养护等遥方面。

(一) 基础表面处理

岩面清理工作沿井身从上至下有序进行，确保每个部分都得到妥善处理。施工人员人工清撬松动岩块，使用冲毛机自上而下地冲除岩壁上的青苔、水锈以及破碎块，以保证岩面的清洁和平整。经过这一系列清理步骤，基础面达到无欠挖和无松动岩石的标准，为后续工作提供了坚实的基础。完成岩面冲洗后，将进行基础验收，确保清理工作满足设计和施工要求，为竖井的后续建设奠定坚实基础。

(二) 钢筋安设

竖井施工面临场地狭小及滑模结构限制，为提高施工效率并便于吊运安装，采取了针对性的钢筋下料策略。钢筋长度被合理控制，不宜过长，遵循“先用先送”的原则，确保材料有序供应。在外层钢筋的处理上，选择一次或分阶段完成绑扎，以提高工作效率。而对于内层钢筋，则随着模板的滑升逐步进行绑扎，既保证了施工进度，又确保了结构安全与质量。这一系列措施有效应对了场地限制，提升了竖井施工的整体效率。

(三) 模板安装

在滑模装置准确安装和调整完毕后，施工人员按顺序加装了千斤顶、爬升杆和液压系统等主要构件，并对千斤顶进行了精密调试，通过3-5个行程的试滑来检验其性能。在确保一切正常后，再次对模板进行精细调校与定位，并加固爬杆以确保安全稳定。此外，每次浇筑前，模板表面都会仔细涂刷脱模剂，以减少混凝土与模板之间的黏附力，提高浇筑效率和模板的重复使用率，为竖井施工的高质量完成提供了有力保障。

(四) 仓面清理

模板停滑后，必须及时对冲缝面进行冲毛处理。若已浇筑混凝土的缝面和基础岩面因停歇过长形成水锈或有污物沉积，或缝面处理不达标，则需使用冲毛机进行冲除，必要时采取人工凿除，确保表面干净无积水。对于岩面渗水，需及时引排，集中渗水可通过钻孔埋管引出，钻孔沿裂隙布置，间距2m，孔深1m，内插PVC管并密封管口，管壁上密布孔眼，周围用水泥砂浆或水玻璃封堵。不集中的细微渗水可在仓面挖排水沟并设集水坑，浇筑时人工及时排除。这些措施确保了竖井施工的顺利进行和混凝土质量。

(五) 混凝土入仓

竖井混凝土施工主要依赖于溜管和溜槽系统。混凝土首先被输送到滑模的分料平台上，随后通过溜槽或带有缓降器的溜筒直接进入仓内。缓降器在溜管中每隔30米设置一个，以确保混凝土平稳下降。在井口部位，混凝土则采用泵送入仓的方式。分料平台以下的混凝土入仓设备，包括溜槽和溜桶，都被固定在滑模平台架上，随着滑模的上升而上升。为了确保混凝土入仓的均匀性和强度要求，下料点需要均匀布置，浇筑层厚度控制在35厘米，且需沿井的四周按对称方式逐层均匀下料。两侧混凝土的浇筑高差不应超过30厘米，以防止模板偏移。溜管的上部受料漏斗由6毫米厚的钢板焊制而成，漏斗用钢管架固定在井口锁口混凝土上。入口处设有10厘米×10厘米的格筛网，由φ12钢筋焊制，以防止超径石进入溜管。溜管本身由φ219毫米的钢管分段制作，相互间用法兰连接。每趟溜管用两根钢丝绳同步拴挂于井口，并每隔6米用钢筋焊于井壁锚杆上，以确保其稳定性溜管下端连接溜槽进行分料，溜槽由钢管架支撑，搭设坡度一般为30°至45°。在溜槽末端设有挡板，并挂上溜筒，溜筒与混凝土浇筑面垂直，出口至浇筑面的距离不超过1.5米，以确保混凝土能够准确、平稳地落入浇筑面。如下图4、图5所示：

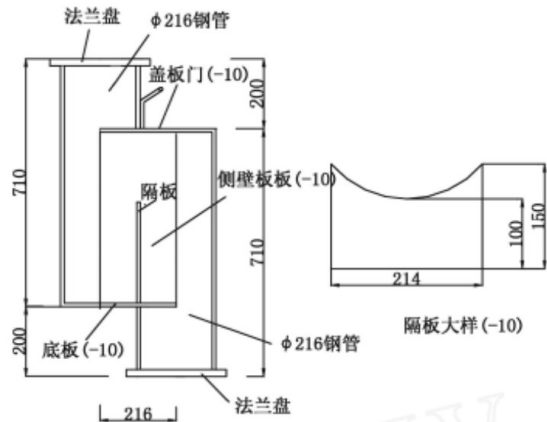


图4 自制缓降器剖面(单位: mm)



图5 自制缓降器实体图

(六) 混凝土平仓振捣

在滑模施工技术中，混凝土的特性需与浇筑效率同步，其初凝时间宜保持在4至6小时左右。在浇筑首层混凝土前，需在旧混凝土表面均匀铺设一层2至3厘米厚的水泥砂浆层，以确保新旧混凝土的有效黏结。进行混凝土铺设时，应由人工操作，振动作业时需按照特定顺序进行，避免振捣不均。振动器的使用应保持与模板至少20厘米的距离，严格禁止其直接接触模板、钢筋以及预埋件。在混凝土浇筑的过程中，必须指派专人持续监控模板和预埋件的状态，防止出现任何变形或移位情况。

(七) 模板滑升

滑升前的检查工作至关重要，需确认爬杆铅直、千斤顶油阀开启且油路无漏油、总阀正常、控制柜运行无误、模板与围楞及滑杆无牵连、无障碍物、模板定位支撑已解除且限位卡调整到位。每次滑升前，需用限位卡调整定位好滑升高度，初滑时可先滑3-5cm，无异常后转入正常滑升，每次正常滑升高度为35cm。滑升后，需检查千斤顶是否都已到位，并及时更换滑升不正常的千斤顶。为保持提升架水平，每滑升两次需对平台进行水平调整。滑升过程中，执行浇筑一层混凝土、滑升一层、测量一次位置、纠正一次偏差的措施，确保平台不偏移。若发生偏移，应及时采用外力纠偏或改变混凝土入仓顺序、位置等方法进行纠正。

(八) 纠偏保证措施

在模板组装、滑升及混凝土浇筑过程中，需严格注意以下方面以确保施工质量和安全。每次组装模板后，必须检查其中心和形状，校正位置后，再安装爬杆和千斤顶，以保障爬杆与底板垂直，避免一开始就进行纠偏。在滑升过程中，每上升3m需对模板上口进行校核，并根据测量结果及时采取纠偏措施，特殊部位及偏差过大时需加强测量次数。同时，混凝土队需配备水准仪，对千斤顶爬杆进行监测，随时掌握千斤顶高差情况并及时调整。在混凝土布料过程中，通常应保持对称布料，但遇到模板偏移情况时，应调整布料策略，优先在模板外移较大的区域下料，以防止模板进一步偏离设计位置。每次模板提升后，应使用千斤顶确保模板平台紧贴岩面，并对偏移部位进行微调，逐渐纠正偏差。如果通过调整模板平台高低来纠偏，必须精确控制各千斤顶的升降差异，防止平台过度倾斜。混凝土施工队应配备专职纠偏人员，负责分析测量数据、监控控制点、维护模板、千斤顶、爬杆和液压系统，确保这些设备的完好，并执行滑升和纠偏任务。如果在滑升过程中采取多种措施仍未成功纠偏，应停止浇筑，查明原因，并采取有效措施后才能继续滑升。在浇筑过程中，若发现爬杆失

稳，应立即加固，确保加固好后方能继续滑升。因此，通过这些措施有助于确保渐变恢复式纠偏的有效实施，避免局部变形过大及施工质量问题。

四、滑模运行与维护

(一) 运行注意事项

滑模施工需高度重视安全，设置安全网并常检，清理平台上杂物以防坠落。钢筋等材料不得集中堆放，吊运时要避免冲击平台，及时清理多余物品。要定期检查液压箱内油位、油温，处理漏油现象，确保油温适宜。滑升前须全面检查，排除故障后方可作业，爬杆表面禁止涂抹油脂。液压控制台需妥善防护，接地可靠，免受雨淋和暴晒。保持液压千斤顶清洁，防止混凝土流入。常检滑模连结部位，及时紧固螺栓。施工电源线要确保安全，发现损坏或漏电立即报告处理。这些措施是滑模施工安全和质量的重要保障。

(二) 滑模维护

为了确保液压系统的稳定运行，需要采取一系列维护措施。定期对油液和油位进行监测，维持其清洁状态，并定期清洁油滤器，确保油泵吸油无障碍。在存放液压系统时，应选择干燥通风的地方，注意防水防潮，避免剧烈震动和碰击。此外，联轴块需要经常注入润滑油，以确保其正常运转。同时，要定期检查液压系统的各类阀接头、管接头和高压软管，发现漏油或损坏时要及时更换密封圈。在拆装外接胶管时，应避免泥沙、碎块等异物进入管内。施工中千斤顶应保持清洁，及时清除溅粘的泥浆和砂土。因此，通过这些措施能够延长液压系统的使用寿命，确保其高效稳定运行。

结语

总之，滑模系统在多孔竖井施工中的成功运用，带来了显著的效益。通过多功能区同时施工，有效缩短了后期隔墙二次混凝土浇筑的工期，实现了24小时不间断作业，显著加快了施工进度，大幅节约了施工成本。这一创新应用不仅有效保证了施工工效和质量，还为类似工程的施工提供了宝贵的借鉴经验。可以说，滑模系统的成功应用是运用新技术提升工程进度和质量方面的一次重大革新，展现了现代工程技术的卓越能力和无限潜力，为未来的竖井施工树立了新的标杆。

参考文献

- [1] 曹莉, 浅析水利水电工程施工中滑模技术的应用. 河南水利与南水北调, 2014 (14): 33-34.
- [2] 韩世明, 浅谈水利水电施工中滑模技术的应用. 水利工程, 2015 (2): 100.
- [3] 山东文登抽水蓄能电站输水发电系统土建及金属结构安装工程实施性施工组织设计
- [4] 刘芳明, 侯禹同. 方形断面深竖井滑模施工测量控制技术[J]. 云南水力发电, 2023, 39 (10): 150-153.
- [5] 任开富. 子母岩隧道通风竖井二次衬砌模板结构验算及施工方案分析[J]. 交通世界, 2023, (25): 159-161.
- [6] 李学辉, 余俊思, 陈杰, 何涛. 出线竖井滑模混凝土施工质量控制[J]. 云南水力发电, 2023, 39 (05): 127-130.
- [7] 王强, 陈强. 深竖井向下送料连续浇筑混凝土施工技术研究[J]. 江西建材, 2023, (04): 178-179+184.
- [8] 樊春喜, 宋美丽. 超深竖井衬砌混凝土施工技术与配合比试验研究[J]. 水电与新能源, 2023, 37 (03): 14-17.