

筒仓滑模施工技术及质量控制研究

靳东伟

五冶集团上海有限公司, 上海 201900

[摘要]滑模施工技术凭借其连续成型、施工高效、结构整体性好的优势,在筒仓工程中得到广泛应用。文中系统分析了滑模施工的技术优势与应用特点,深入探讨了测量控制精度不足、混凝土表面质量缺陷、滑模提升不同步、钢筋及预埋件偏位等典型质量问题,并针对性地提出了加强测量放线与垂直度控制、提高混凝土施工质量控制水平、优化滑模提升系统运行管理、强化钢筋及预埋件安装质量管理等控制措施,以期为筒仓滑模施工质量提升提供参考。

[关键词]筒仓;滑模施工;质量控制;技术措施

DOI: 10.33142/ect.v4i6.19946

中图分类号: TU755.2

文献标识码: A

Research on Sliding Mode Construction Technology and Quality Control of Silos

JIN Dongwei

MCC Group Shanghai Co., Ltd., Shanghai, 201900, China

Abstract: Sliding mode construction technology has been widely used in silo engineering due to its advantages of continuous forming, efficient construction, and good structural integrity. The article systematically analyzes the technical advantages and application characteristics of sliding mode construction, and deeply explores typical quality problems such as insufficient measurement control accuracy, concrete surface quality defects, unsynchronized sliding mode lifting, and deviation of steel bars and embedded parts. Targeted control measures are proposed to strengthen measurement and verticality control, improve the quality control level of concrete construction, optimize the operation and management of sliding mode lifting system, and strengthen the installation quality management of steel bars and embedded parts, in order to provide reference for improving the quality of silo sliding mode construction.

Keywords: silo; sliding mode construction; quality control; technical measures

引言

筒仓是粮食、煤炭、水泥等大宗物料储存的主要场所,筒仓施工质量的好坏直接影响到储存的安全性和运行效率。滑模施工技术由于施工速度快、结构整体性好、机械化程度高,已经成为筒仓建设的主要工艺。但是滑模施工是多工序连续作业,容易产生垂直度偏差、混凝土表面缺陷、提升不同步等质量问题。形象地说,滑模施工就是“套着模具往上爬”,依靠液压千斤顶把模板沿着仓壁连续向上滑动,工人24h轮班浇筑,8天就可以使筒仓达到设计高度。该道工艺决定着仓体垂直度、密封性以及整体强度,任何一个偏差都会对今后几十年的储粮安全造成影响。因此,对筒仓滑模施工技术特点进行系统的研究,准确找到质量控制的难点,提出科学合理的管控措施,有重要的理论价值和工程实践意义。

1 滑模施工技术优势与应用特点

滑模施工技术属于现浇混凝土连续成型的先进工艺,其基本原理就是依靠液压千斤顶推动模板系统沿结构壁面不断向上滑动,混凝土从模板上口浇筑,下口出模时就

形成符合设计要求的混凝土结构。滑模施工相对于常规施工方法来说,施工速度快、整体结构性能好、机械化程度高、可节省支模和搭设脚手架所用的工料、便于拆模、灵活组装、可重复使用。滑模工艺可以24h不间断地连续作业,混凝土在模板内连续成型,保证筒体整体性、无施工缝、垂直度和圆度控制好。以石河子市粮食物流园项目为例,120台液压千斤顶同时工作,不到10个小时就可以将立筒仓主体提升1m,10天就可以完成立筒仓主体施工,比常规工艺缩短工期50%以上。在应用上,连体筒仓同步滑模技术用统一的液压系统控制所有的千斤顶,在模板之间设刚性拉杆连接,使各个筒仓像“手拉手”一样一起上升,从系统角度保证整体同步。随着智能建造技术的发展,研发团队对智能液压同步控制系统进行了升级,实现了多站点协同控制和高精度同步滑升,保证了筒体结构质量。目前滑模施工集模板滑升、混凝土浇筑、振捣、钢筋绑扎等功能于一体,可以提高施工效率、减少作业人员劳动强度,保证结构整体外观质量。

2 筒仓滑模施工质量控制存在的问题

2.1 测量控制精度不足

测量控制属于滑模施工质量保证的基础,它直接影响到仓壁垂直度以及圆度的达成情况。测量控制精度不够在实际施工中比较明显。目前大多数筒状建筑结构仓壁采用滑模施工的过程不能实现垂直度实时监测,只能在滑模施工完成后对仓壁进行垂直度复查,复查多采用传统经纬仪多点位多角度多次测量,测量效率低,无法进行施工过程的垂直度纠偏。传统的人工测量方法受操作人员的水平、仪器的精度以及环境的影响比较大,随着筒仓的高度增大,误差的累积效应也越明显^[1]。中建安装一公司为了改善浅圆仓滑模施工行业的痛点问题,创造性地融合了诸多传感系统,不间断地获取垂直度、平整度、混凝土出模强度等数据,历时三个小时之后经由物联网平台传达至终端设备,依靠 7 个分布式传感阵列搭建起的平台对水平度以及扭转度展开观测,借助深度学习算法进行三维目标识别,相较于人工测量而言误差下降了 90%。由此可知传统的测量方法已经不能满足现代大型筒仓施工的精度要求。

2.2 混凝土表面质量缺陷问题

混凝土表面质量是筒仓滑模施工质量的直接反映,也是质量验收的主要指标。常见的有蜂窝、麻面、裂缝、错台等,不但会影响美观,还会降低结构的耐久性以及防水性。蜂窝麻面主要是由于振捣不密实、模板漏浆或者配合比不合理造成的;裂缝大多和滑升速度过快、混凝土出模强度不够或者温差应力有关。这些问题是表面上看小,实际上隐患很大。表面不平整会造成雨水积存,缩短结构寿命;蜂窝麻面会造成混凝土渗漏的风险,从而造成煤炭受潮结块,还会造成漏料浪费。虽然表面上看这些缺陷很小,但是它们会对筒仓的长期使用功能造成很大的影响。因此施工过程中要加强质量巡检、过程控制,及时发现并处理缺陷,防止小问题发展成影响结构安全、使用性能的严重隐患表 1 为常见的混凝土表面质量缺陷种类、表现、原因及危害汇总表。

表 1 筒仓滑模施工常见混凝土表面质量缺陷

缺陷类型	主要表现	常见产生原因	主要危害
蜂窝	表面孔洞、骨料外露	振捣不密实、模板漏浆、配合比不当	强度下降、渗漏风险
麻面	表面粗糙、缺浆、气孔密集	模板不光滑、脱模剂不均、振捣不充分	耐久性降低、外观差
裂缝	竖向或环向不规则裂纹	滑升过快、强度不足、温差应力大	完整性破坏、气密性受损
错台	层间明显台阶、接缝不平顺	模板变形、滑升不同步、围圈水平度差	物料流动受阻、受力不均

2.3 滑模提升不同步问题

滑模提升系统同步性好,可以保证仓壁几何尺寸准确、结构均匀。多千斤顶液压系统中,千斤顶顶升不同步、油

路压力不均、支承杆垂直度偏差等都会造成提升不同步。滑模施工时,操作平台上的荷载分布不均,施工操作人员、设备等活荷载过重,操作平台整体刚度小、易变形,造成千斤顶不能同步上升,产生偏扭扭矩,使整体结构发生偏扭位移。操作平台没有足够的强度、刚度,支承杆弯曲失稳,滑模装置组装不规范是造成滑模施工过程中精度控制不佳的最直接的表现形式;液压千斤顶顶升不同步、外界温度过高或过低是影响施工精度的最重要的因素。传统滑模系统中由于各个千斤顶和控制台的油路长度不同,造成提升行程、速度不一致,产生滑模倾斜、偏移、扭转,造成仓壁弧度、内径、壁厚偏离设计要求,出现接缝错台、漏浆等问题。

2.4 钢筋及预埋件偏位问题

钢筋和预埋件安装质量直接影响筒仓结构承载能力及设施功能性。滑模施工连续作业时,钢筋绑扎、预埋件定位等都会遇到很多困难。钢筋偏位主要是指竖向钢筋倾斜、环向钢筋间距不均、保护层厚度偏移。大直径浅圆仓筒仓仓壁结构施工时,竖向钢筋定位不到位会造成滑模施工各工序不能有序穿插,钢筋位移、保护层偏差等施工质量问题。钢筋安装不到位,产生偏移,也会造成滑模模板装置卡模、偏位、滑模不同步,从而引发仓壁偏移或者质量事故。滑模提升过程中,由于振动、外力扰动等会使已定位的钢筋、预埋件产生位移,而且施工处于连续上升的状态,因此很难及时发现并纠正偏差^[2]。按照滑模施工中钢筋绑扎质量要求,质量控制点应包含原材料质量、钢筋规格、下料长度、保护层、间距、搭接长度和位置、骨架筋位置及安装质量、防雷引上线焊接质量、预埋件规格和位置等九项内容,任何一个管控不到位都会造成偏位问题。骨架筋安装若径向倾斜,随着滑模上升,骨架筋一侧超出模板造成搁栅挂模;若安装不垂直于库壁,会造成内、外层钢筋距离变小、保护层加大。

3 筒仓滑模施工质量控制措施

3.1 加强测量放线与垂直度控制

测量控制属于滑模施工质量保证的第一步。施工准备阶段要建立高精度施工控制网,合理布置基准点、观测点。滑模提升时,采用内控法和外控法相结合的方式对垂直度进行双向校核。经过实践证明,初凝时间为 4.5h 的混凝土配合比可以稳定出模强度为 0.3MPa,采用内控法测量和平台调平技术,把 44m 筒仓垂直度偏差控制在 25mm 以内。海则滩选煤厂原煤仓施工中,项目部用全站仪和施工线坠,每两小时测一次筒仓垂直度和直径,保证偏差在规范范围内。大型筒仓滑模施工要大力推广智能化监测技术,创建起“监测-预警-调整”的全流程闭环管理体系。中交一公局集团郑州粮储项目为解决仓壁垂直度控制问

题而研制出自适应调平装置,将垂直偏差控制在3厘米之内,引进无人机巡检和蜂鸟监控系统,实现了高危作业零事故。建议在滑模平台上安装水平度检测装置,每提升一个行程就做一次水平度校核,发现偏差及时通过调节对应油路压力进行纠偏。

3.2 提高混凝土施工质量控制水平

混凝土施工质量控制包含原材料检验、配合比设计、拌制运输、浇筑振捣、养护验收等各个过程。首先要经过反复试验来确定合适的混凝土配合比,控制初凝时间和坍落度,保证混凝土有较好的工作性及适当的出模强度。在滑升速度控制上,要按照混凝土凝结时间及气温状况来调节。海则滩选煤厂原煤仓施工时,采用实时检测混凝土凝结时间的方式,及时调整滑模上升速度为 $0\sim 35\text{cm/h}$,使出模强度保持在 $0.2\sim 0.4\text{MPa}$ 。为了保证混凝土连续供应,必须设置专用生产线,并实行备供双保险制度,防止断料事故的发生。振捣工艺应严格执行分层振捣、严禁漏振和过振。模板密封是防止表面缺陷的又一重要手段,可以将传统的平口模板换成企口式模板,采用准锚工艺使模板紧密咬合,在缝隙处加贴30毫米宽的遇水膨胀胶条,再用钢压条加固^[3]。对已经出现的表面缺陷,应根据不同的类型采取相应的修补措施,保证修补后的结构与原结构协调一致。正常滑升时两次滑升时间间隔不得小于2h,混凝土出模强度应大于 $0.2\sim 0.4\text{MPa}$,每层浇筑高度不大于300mm。

3.3 优化滑模提升系统运行管理

滑模提升系统的运行管理是保障同步滑升的核心环节。系统配置时应合理计算、布置千斤顶数量,保证各个千斤顶受力均匀,千斤顶间距一般控制在1.2m左右,对壁柱等特殊部位要增加千斤顶。施工过程中要建立严格的抄平、找正制度,保证每次滑升高度一致、速度稳定。新一代液压智能滑模机依靠传感器、电磁阀对油缸行程速度实行集中智能操控,使用PLC控制系统和站点识别扫描系统,达成实时的安全监测以及一键应急处置,保证全过程的智能滑升。该装备的核心部件有精确连续爬升和安全防坠两个功能,可以达到“毫米级”的同步爬升,大大提高了滑升系统的同步性。连体筒仓施工时,用统一的液压系统控制所有的千斤顶,在模板之间设置刚性的拉杆联结,使各个筒仓同步上升,从系统上保证整体的同步性。在模板滑升接近顶标高时,应逐渐减慢滑升速度,同时进行抄平、找正工作,在滑升到距顶标高最后一模前完成抄平、找正。为了防止出模混凝土强度和摩阻力不同造成平台滑升过程中受力不均,混凝土应分层交圈闭合浇筑,避免模板长期受同一方向力而产生扭转,各分层混凝土应按顺时针、逆时针变换循环浇筑。

3.4 强化钢筋及预埋件安装质量管理

钢筋及预埋件安装质量要从设计交底、现场布置、过程检查、成品验收四个方面开展全过程控制。施工前应仔细阅读施工图纸,确定钢筋的规格、间距、搭接形式、预埋件的位置、标高、尺寸。钢筋绑扎时要设定位装置,避免竖向钢筋在混凝土浇筑时出现倾斜。质量控制点应包含原材料质量、钢筋规格、下料长度、保护层、间距、搭接长度和位置、骨架筋位置和安装质量、防雷引上线焊接质量、预埋件规格和位置等九个方面。骨架筋设计的主要目的就是控制内、外圈钢筋间距、保护层厚度、环筋间距,骨架筋的作用很大,必须严格按照图示骨架制作,安装要竖直^[4]。某粮食储备库建设工程针对大直径浅圆仓竖向钢筋定位不准确的问题,在滑模套组体系支架上加装定位装置,较好地解决了钢筋位移和保护层偏差等问题。预埋件安装要严格按照可视化、可追溯管理的理念,做到一物一牌、责任到人,方便现场施工操作和巡检复核。混凝土浇筑时应有专人旁站监督,防止振捣作业影响钢筋、预埋件位置,浇筑完成后及时复测,发现问题限期整改。在现场建立全过程复核机制,严格控制安装精度,保证每一道工序有据可查、责任到人。

4 结语

筒仓滑模施工技术由于具有高效连续、结构整体性好等特点,在工业筒仓的建设中起着重要的作用。针对测量控制精度低、混凝土表面质量缺陷、滑模提升不一致、钢筋及预埋件偏移等常见质量问题,加强测量放线及垂直度控制、提高混凝土施工质量控制水平、改善滑模提升系统运行管理、加强钢筋及预埋件安装质量控制,可以明显提高筒仓滑模施工质量。目前新一代智能液压滑模机已经进行了多次筒壁模拟滑升施工工艺的实验,实验结果表明该套装备比传统的装备具有更好的滑升稳定性、承载能力强、施工安全性高等特点。未来依靠物联网以及人工智能的全过程智能监控系统将会成为质量控制的新走向,促使筒仓滑模施工向着更高的精度、更好的品质前进。

[参考文献]

- [1]程金.混凝土筒仓滑模施工关键技术研究与实践[J].水泥工程,2026,39(1):65-69.
- [2]杨龙.浅谈筒仓滑模施工技术[J].石油化工建设,2025,47(11):105-108.
- [3]王喜红,张雷,邓建芳,等.筒仓滑模施工技术研究[J].工程质量,2022,40(8):55-58.
- [4]王瀚博.筒仓滑模施工中常见质量问题及对策分析[J].居业,2022,12(3):174-176.

作者简介:靳东伟(1993—),男,吉林东丰县人,工程师,长春建筑学院土木工程(建筑工程)专业毕业,现就职于五冶集团上海有限公司,从事现场施工管理工作。