

大型工业厂房钢管柱泵送混凝土顶升施工工艺研究

刘建波¹, 许可俊², 乔凯龙³, 郭林生⁴

1. 甘肃省建材科研设计院有限责任公司, 甘肃兰州
2. 甘肃三轮建设项目管理有限公司, 甘肃白银
3. 甘肃东方钛业有限公司, 甘肃白银
4. 白银旭德建筑劳务有限责任公司, 甘肃白银

摘要: 当前, 在钢管柱泵送混凝土顶升施工工艺中, 如何确保混凝土通过泵送顶升方式均匀且密实地填充钢管内部, 从而形成高强度的钢管混凝土构件, 是该工艺面临的一项核心技术与重大挑战。针对此问题, 以天水星火数控重型机床制造加工车间厂房的钢管柱泵送混凝土顶升施工为例, 从顶升浇灌泵送混凝土的施工方法、工艺流程、工艺原理以及关键技术的控制等方面, 深入探讨机械加工车间中钢管柱泵送混凝土顶升浇灌施工工艺。旨在深入剖析工业厂房钢管柱泵送混凝土顶升施工工艺的关键技术和方法。通过该工程的实际应用, 发现该工艺不仅显著提升了施工效率, 缩短了工期, 还有效降低了施工成本, 提高了工程质量。

关键词: 钢管混凝土; 泵送顶升; 工艺原理; 工艺流程

Research on Construction Process of Pumped Concrete Jacking of Steel Pipe Columns for Large Industrial Buildings

Jianbo Liu¹, Kejun Xu², Kailong Qiao³, Linsheng Guo⁴

1. Gansu Province Building Materials Research and Design Institute Limited Liability Company, Lanzhou, Gansu
2. Gansu Sanlun Construction Project Management Co., Ltd., Baiyin, Gansu
3. Gansu Dongfang Titanium Industry Co. Ltd., Baiyin, Gansu
4. Baiyin Xude Construction Labor Service Co., Ltd., Baiyin, Gansu

Abstract: Currently, in the steel pipe column pumped concrete jacking construction process, how to ensure that the concrete through the pumping jacking method uniformly and densely filled with the steel pipe inside, so as to form a high-strength steel pipe concrete components, is a core technology and a major challenge facing the process. In order to address this issue, taking the steel pipe column pumping concrete jacking construction of Tianshui Xinghuo CNC heavy machine tool manufacturing workshop as an example, the steel pipe column pumping concrete jacking construction process in machining workshop is discussed in depth from the aspects of jacking and pumping concrete construction method, process flow, process principle and control of key technologies. It aims to deeply analyze the key technologies and methods of steel pipe column pumped concrete jacking construction process in industrial workshop. Through the practical application of the project, it is found that the process not only significantly improves the construction efficiency and shortens the construction period, but also effectively reduces the construction cost and improves the project quality.

Keywords: Steel pipe concrete; Pumping jacking; Process principle; Process flow

1 引言

在现代工业厂房建设中, 钢管柱凭借其高承载能力、卓越的抗震性能及施工便捷性, 已成为一种至关重要的结构形式。尤其在大型、高层或需承受重荷载的厂房中, 钢管柱更是扮演着不可或缺的角色[1,2]。随着建筑科技的日新月异, 钢管柱的施工方法亦在不断革新与优化, 其中泵送混凝土顶升施工工艺便是近年来备受瞩目的一种高效、先进的施工手段。

钢管柱泵送混凝土顶升施工工艺, 即利用混凝土输送泵的强大压力, 将混凝土从钢管柱底部的预留孔或进料口泵入钢管内部, 直至其完全充满。此工艺能确保混凝土在钢管内均匀、密实地分布, 进而形成高强度、高稳定性的钢管混凝土构件[3-6], 满足工业厂房对结构强度和稳定性的严苛要求。

然而, 该工艺在实施过程中亦面临诸多挑战。如何确保混凝土在泵送时的流动性和填充性, 避免离析和泌水[7,8]; 如何精确调控泵送压力和顶升速度, 以保障混凝土填充质量和钢管柱的稳定性; 以及如何在整个施工过程中强化质量控制和安全监管[9-11], 防止安全事故的发生, 均是亟待解决的问题。这些问题需要在施工前进行详尽的研究与规划, 并在施工过程中予以严格监控与管理。

鉴于此, 本研究以天水星火数控重型机床制造加工车间厂房的钢管柱泵送混凝土顶升施工为例, 深入剖析钢管柱泵送混凝土顶升浇灌施工工艺的各个方面, 包括施工方法、工艺流程、工艺原理及关键技术控制等。研究成果为大型工业厂房钢管柱泵送混凝土顶升施工和研究提供参考借鉴。

2 工程概况

天水星火数控重型机床制造基地项目机械加工车间为四跨钢结构主厂房, 建筑面积约23517.2m², 厂房建筑标高27.05m。加工车间为A—B—CD—EF—G四连跨, 其中, A、B、G轴为焊接实腹H型钢柱, CD、EF构件采用斜腹杆连接的格构式钢管柱结构, 上部柱体为实腹式焊接H型钢, 柱脚为承插式杯口基础固定, 其中CD—EF跨的最大起吊重量160T。

本工程采用34根钢管混凝土柱, 钢柱结构体系由下节柱、中间柱和上节柱构成。其中下节柱采用并列双肢钢管柱设计, 钢管规格为外径 $\Phi 610\text{mm}$ 、壁厚12mm, 柱体长度19.5m, 柱顶面标高+10.230—16.800; 中间柱为H1000 $\times$ 450 $\times$ 14 $\times$ 22型钢实腹柱, 长度7.706m; 上节柱采用H1000 $\times$ 340 $\times$ 12 $\times$ 18型实腹式工字钢柱, 柱体长度4.105m, 柱顶绝对标高+26.276m; 钢管内混凝土为C40高标号无收缩细石混凝土, 混凝土浇筑方量: 285m³。

3 顶升浇灌泵送砼施工方法及工艺流程

机械加工车间采用混凝土泵送顶升浇筑工艺, 于钢管接近地面设计标高位置预设灌浆孔, 配置带插板控制阀的进料支管与泵车输送管实现直连, 通过泵车压力将混凝土连续自底部泵送至钢管顶端, 全程无需人工振捣。在下节柱顶按设计图纸要求在钢管顶部设置两个孔径 $\Phi 80\text{mm}$ 溢流排气卸压孔。每根肢管混凝土需采用一次性连续浇筑工艺, 确保无施工缝留置; 每根钢管混凝土柱的浇筑作业应在24小时内连续完成, 顶升浇灌泵送砼施工工艺流程如图1所示。

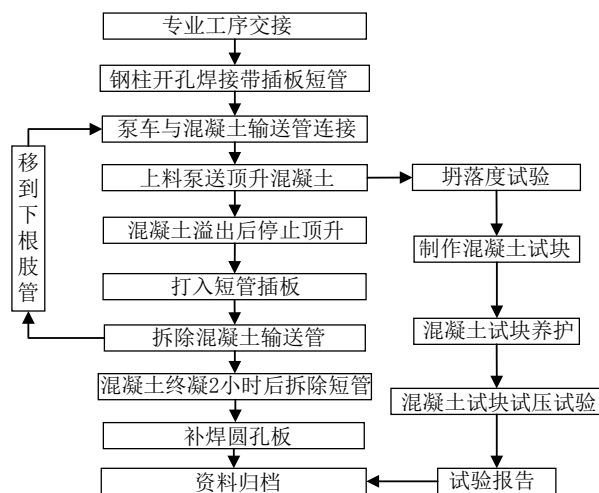


图1 顶升浇灌泵送砼施工工艺流程图

该施工工艺具有创新性特点, 与传统施工方式相比, 混凝土密实度指标显著提升。通过采用无高空脚手架的现代化施工方法, 有效降低了高空作业风险, 使施工安全保障水平得到质的提升。同时, 该工艺在缩短施工周期、控制施工成本方面展现出

显著优势。

4 顶升浇灌泵送砼施工工艺原理

钢柱混凝土顶升浇筑工艺是通过在钢柱下部柱壁预设混凝土浇筑孔，该孔洞直径略大于输送管外径，利用混凝土泵产生的泵压将混凝土连续注入钢柱内，直至柱体完全填充。在钢管柱顶部设置溢流排气装置，其孔径不小于输送管直径，有效调节泵送压力，确保施工安全性。

机械加工车间，在CD、EF轴斜腹杆格构式钢管柱+0.500m标高处开孔，孔径 $\Phi 150\text{mm}$ ，短管与钢管柱通过制作的专业环形卡箍连接（图2），并在开口处垫设橡胶密封圈，同时在短管的进料口上设置止流闸防止砼倒流。混凝土泵送顶升施工过程（图3）。



图2 短管与钢管柱及泵管连接方法



图3 混凝土泵送顶升施工过程

5 顶升浇灌泵送砼施工工艺关键技术控制

（1）泵送混凝土配合比控制

钢管内混凝土强度等级为C40。配合比为：水泥：细骨料：粗骨料：水：掺合料：泵送剂：膨胀剂为1:1.42:2.29:0.35:0.13:0.04:0.05。混凝土配合比设计需满足可泵性要求，采用低水灰比（0.4-0.6）、大坍落度设计原则，在确保施工和易性的同时减少收缩。其强度、均匀性和凝聚性应通过优化骨料级配（粗骨料最大粒径与输送管径比：碎石 $\leq 1:3$ ，卵

石 $\leq 1:2.5$ ；细骨料采用中砂，细度模数2.0）并掺入Ⅱ级粉煤灰来提升，使综合性能优于普通同强度等级塑性混凝土。配制无收缩混凝土时，需添加泵送剂改善流动性和易性，同时掺入5%膨胀剂补偿收缩，并严格控制坍落度经时变化量以保证施工质量。

（2）送泵砼工作压力控制

顶升浇筑时，混凝土在钢管内呈现“泉涌状”流动形态，其输送泵的工作压力受泵机性能参数、泵送高度、水平距离及混凝土和易性（包括坍落度、粘聚性、保水性）综合影响。本工程选用SY5125THB型车载泵，设备额定输出压力14MPa，理论排量 $95\text{m}^3/\text{h}$ ，通过控制输送泵与钢柱间距，确保有效工作压力维持在10~12MPa区间。

（3）钢管柱肢与砼输送管的连接控制

钢管柱肢与输送管采用短管连接工艺，具体做法为：短管外缘与钢柱灌浆口通过卡箍组件进行密封连接，并加设专用垫圈增强密封性；短管外径与混凝土输送管内径相匹配，便于使用标准管卡进行固定。钢管混凝土浇筑完成后，在短管中部设置止流插板，其另一端通过管卡与输送管连接。

（4）混凝土顶升施工关键技术控制

1）混凝土强度控制杯口内细石混凝土需经标准养护达到设计强度的75%后，方可进行钢管内混凝土浇筑。

2）安全防护措施下节柱顶应设置标准化防护栏杆，材料需要坚固耐久且表面进行防腐处理，采用正装式或侧装式锚固，确保与建筑结构可靠连接。

3）施工前要检查泵的状况和性能，保证泵送正常进行。每一根钢管柱芯砼浇灌最好连续泵送完成，其间不宜停顿，如果必须中断，时间尽量缩短，最多不能超过半小时，否则，由于砼在输送管及钢管柱内停留时间过长，有可能导致管内砼泵不上去，造成工程质量事故。当混凝土供应数量不能确保连续浇筑一根钢柱时就不浇筑，以免出现堵塞现象。砼顶升浇灌至钢管柱顶部从排气孔溢出后，输送泵停止工作，待砼沉实一段时间后（约5~6分钟），再泵送顶升一次，排气孔溢出砼，顶升浇灌

砼结束。

4) 顶升作业完成后, 应在混凝土初凝前(通常指浇筑后1.5~4小时)及时使用插入式振动棒, 对距钢管顶2米范围内的混凝土进行二次振捣。振捣应遵循快插慢拔、均匀布点原则, 移动间距不大于振捣半径的1.5倍, 确保无漏振区域。振捣至混凝土表面泛浆、无显著下沉且不再产生气泡时停止, 随后清除表层浮浆。最后在管顶补充同配比混凝土, 采用人工抹面工艺使混凝土表面与钢管顶平滑过渡, 确保结构完整性。

5) 为预防输送管拆除时发生混凝土回流现象, 应在连接短管部位安装止流闸板装置。混凝土泵送顶升浇筑作业完成后, 需维持泵压稳定2~3分钟, 待确认混凝土无流动趋势后, 立即插入止流闸板并确保密封效果, 方可进行输送管拆除作业。混凝土达到终凝状态后(终凝时间以贯入阻力达28MPa为准), 应解除环形卡箍连接。当混凝土强度发展至设计强度的70%时, 采用与母材匹配的焊接工艺对预留洞口进行补焊处理, 焊缝质量应符合焊接要求。补焊材料应优先选用原开洞作业切除的钢板, 以保证材质一致性; 焊接完成后需进行表面打磨处理, 并补涂防锈漆以恢复结构完整性。

(5) 泵送砼顶升浇灌作业注意事项

1) 顶升前必须全面检查进料短管、弯头、止流板, 卡箍必须固定牢靠, 进料短管与钢管柱灌浆口须贴紧并加橡胶垫圈密封, 以免顶升时因水平管颤动而漏浆, 造成顶升失败。

2) 当出现停电或机械故障混凝土浇筑工作中断时, 将采取紧急的施工技术措施保证混凝土连续浇筑。

3) 浇筑过程中, 要派专人在柱顶进行观察, 砼顶升接近柱顶标高时, 要加大泵送压力, 但要放缓泵送频率, 避免出现“爆管”现象。

4) 施工中断时, 应采用敲击检测法精确定位已浇筑混凝土的顶面标高。当检测结果显示混凝土表面距管口高度 $>6\text{m}$ 时, 可在钢管柱表面实施混凝土开洞工艺, 通过预设孔洞继续泵送顶升施工; 当混凝土表面距管口高度 $\leq 6\text{m}$ 时, 应采用分层浇筑工艺, 通过控制每层浇筑厚度(建议 $\leq 500\text{mm}$)及振

捣参数, 确保混凝土振捣密实度符合相关要求。

5) 在混凝土施工过程中, 应及时进行坍落度及坍落扩展度检测, 确保混凝土工作性能符合设计要求; 顶升作业前及首次顶升后续接混凝土管时, 必须采用与混凝土同标号的水泥砂浆进行管道润滑; 严禁进行外部振捣, 以避免泵压急剧上升导致浇筑被迫中断; 顶升作业完成后, 应及时清理被水泥浆污染的钢结构表面, 确保结构清洁; 同时, 应全面落实施工质量控制及安全措施, 确保工程质量和施工安全。

综上所述, 天水星火数控重型机床制造基地项目机械加工车间在构建钢管混凝土柱时, 创新性地采纳了泵送顶升法进行混凝土浇灌作业。这一先进施工工艺的应用, 不仅彰显了其在提高施工效率、保障工程质量方面的显著优势, 还确保了混凝土能够在钢管内部实现均匀且密实的填充。施工结束后, 项目团队严谨地采用了敲击法对钢管混凝土的密实性进行了全面检测, 结果显示所有检测部位均未出现空鼓现象, 混凝土密实度高, 完全符合既定的工程质量标准。

这一成功案例不仅有力证明了工业厂房钢管柱泵送混凝土顶升施工工艺的科学性与合理性, 还进一步验证了该工艺在实际应用中的可行性和可靠性。它表明, 通过精确调控泵送压力、合理控制顶升速度以及采取严格的质量控制措施, 可以确保钢管混凝土柱达到预期的强度和稳定性要求, 从而满足大型工业厂房对结构安全的严苛需求。

此外, 天水星火数控重型机床制造基地项目的这一实践探索, 也为相关领域的研究人员和施工人员提供了极具价值的参考与借鉴。它启示在未来的工业厂房建设中, 应更加关注施工工艺的创新与优化, 不断提升施工效率与工程质量, 以推动整个建筑行业的持续健康发展。同时, 这一成功案例也为钢管混凝土柱泵送混凝土顶升施工工艺的进一步推广与应用奠定了坚实的基础。

6 结论

以天水星火数控重型机床制造加工车间厂房的钢管柱泵送混凝土顶升施工为例, 全面而深入

地探讨了该工艺在机械加工车间环境下的施工方法、工艺流程、核心原理及关键技术控制要点。研究的核心目的在于细致剖析并揭示工业厂房钢管柱泵送混凝土顶升施工工艺的关键技术和实施策略。实践结果不仅有力证明了该工艺的科学性与合理性，还充分验证了其在实际工程应用中的高度可行性和可靠性。通过精细调控泵送压力、科学安排顶升速度，并结合严格的质量控制措施，该工艺能够确保钢管混凝土柱达到设计要求的强度和稳定性，完美契合大型工业厂房对结构安全性的高标准需求。此外，该工程实例还展示了泵送混凝土顶升施工工艺在提升施工效率、缩短建设周期、降低施工成本及提升工程质量方面的显著优势。这一成功案例无疑为钢管混凝土柱泵送混凝土顶升施工工艺的广泛推广与深入应用提供了强有力的支撑与示范效应。

参考文献

- [1] 孙秋波, 刘长荣, 常天义. 大型工业厂房钢管混凝土应用一例[J]. 低温建筑技术, 2000, (04): 39-40.
- [2] 卢祯君. 钢混结构厂房混凝土施工技术研究[J]. 城市住宅, 2021, 28(03): 235-236.
- [3] 赵洪斌. 厂房钢管混凝土组合结构泵送混凝土与节点施工技术[J]. 科学技术创新, 2024, (17): 209-212.
- [4] 李战国, 张浩, 王子赓, 等. 基于正交试验的超高层泵送混凝土配合比优化研究[J]. 混凝土, 2022(12): 110-116.
- [5] 马亮, 刘亮, 于玲. 掺粉煤灰泵送混凝土的配制技术研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2008, (04): 28-29.
- [6] 张铁. 天铁冷轧薄板工程主厂房钢管柱混凝土泵升施工技术[J]. 内蒙古科技与经济, 2011, (03): 105-106+108.
- [7] 胡勇强, 陈柏坤. 工业厂房特殊地坪混凝土施工质量控制要点[J]. 江西建材, 2024, (S1): 139-141.
- [8] 于庆, 周锐锋, 蒲秀媛. 厂房管型座和尾水管混凝土自密实技术研究[J]. 四川水利, 2024, 45(S1): 12-16.
- [9] 李瑞. 钢管混凝土组合结构工业厂房施工技术[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(04): 34-36.
- [10] 魏建林. 大型厂房混凝土施工技术质量控制策略[J]. 散装水泥, 2023, (06): 167-168+172.
- [11] 陈德. 厂房混凝土浇筑工程技术管理[J]. 居舍, 2023, (26): 40-43.

