

Super High Concrete Pumping Construction Technology

Baihong Chen Wei Tian Jianxun Wei Weiwei E Xiande Zou

China Construction Eighth Engineering Bureau Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116023, China

Abstract

High-performance concrete ultra-high pumping has the characteristics of long distance, complex influencing factors, high pumping pressure, and high construction difficulty. Based on the previous experience of super high-rise pumping construction, this paper combines the actual pumping technology of the Egyptian New Capital Tower Project to analyze the characteristics and laws of high-performance concrete pumping, it provides reference for optimization of concrete mix ratio design, selection of pumping machines and equipment, site pipeline layout and anti-blocking pipe measures, so as to provide reference for the optimization of concrete mix design, the selection of pumping machines and tools, the on-site pipeline layout, and the anti blocking measures.

Keywords

high performance concrete; super high pumping; optimization of concrete mix design; anti-blocking measures

超高层混凝土泵送施工工艺

陈柏宏 田伟 魏建勋 鄂巍巍 邹仙德

中国建筑第八工程局有限公司, 中国·辽宁 大连 116023

摘要

高性能混凝土超高泵送存在距离长、影响因素复杂、泵送压力大、施工难度高等特点。论文从以往的超高层泵送施工经验出发, 结合了埃及新首都标志塔项目实际泵送工艺, 对高性能混凝土泵送的特点和规律做以分析, 为混凝土配合比设计的优化, 泵送机具选型与现场管线布置以及防堵管措施等提供参考。

关键词

高性能混凝土; 超高泵送; 配合比优化; 泵送防堵管

1 引言

早在 2004—2010 年, 迪拜哈利法塔施工过程中, 混凝土就曾被成功泵送至位于 160 层的 611m 高处。近年来, 随着超高层建筑施工技术的发展, 300m 以上的超高层建筑越来越多, 混凝土超高泵送技术渐趋成熟。但实际施工过程中, 仍面临配合比设计优化、现场施工堵泵风险等问题需解决。在泵送压力损失估算与泵送机械设备选型中, 现有规范对于高性能混凝土, 尤其是以扩展度表征其流动性能的混凝土, 其压力损失计算仍以坍落度为计算参数。随着高强高性能混凝土配合比设计经验不断丰富, 现有泵送压力损失计算公式有待完善。泵送施工过程中, 项目层级的改进措施有

【基金项目】中国建筑科技研发项目(项目编号: CSCEC-2019-Z-22); 中建八局2019年度科技研发项目(项目编号: 2019-2-08)。

【作者简介】陈柏宏(1991-), 男, 中国辽宁大连人, 本科, 工程师、国家一级注册建造师, 从事超高层建筑工程施工和普通工民建工程施工质量管理等研究。

许多, 论文将简要阐述超高层泵送施工技术, 为超高层泵送施工策划提供一些经济合理的施工建议。

2 工程设计概况

埃及新首都 CBD 标志塔项目, 工程建筑高度 385.800m, 地下 2 层, 地上 78 层。主体结构类型为钢管混凝土框架+钢筋混凝土核心筒结构。核心筒剪力墙 BS 层—L04 层砼标号为 C80, L05 层以上剪力墙砼标号为 C60; 梁、混凝土楼板、压型钢板组合楼板与筏板基础混凝土标号为 C45; 钢管混凝土圆柱混凝土标号为下部 C80, 上部 C60。

3 混凝土配合比设计与优化

3.1 混凝土组成成分与基本要求

混凝土主要由水泥浆和骨料组成, 骨料的主要组成:
粗骨料: 天然砂, 人工砂。

细骨料: 普通骨料(碎石、卵石)石子最大粒径限值参照 GB50204 混凝土结构工程施工质量验收规范要求。混凝土配合比设计与优化要求合理的石子的颗粒级配, 比表面积与孔隙率的平衡。具体见图 1。

JGJ52 — 2006《普通混凝土用砂石质量及检验方法标准》 ——碎石、卵石			
混凝土强度等级	≥C60	C55~C30	≤C25
含泥量	≤0.5	≤1.0	≤2.0
泥块含量	≤0.2	≤0.5	≤0.7
针、片状含量	≤8	≤15	≤25
JGJ52 — 2006《普通混凝土用砂石质量及检验方法标准》 ——天然砂			
混凝土强度等级	≥C60	C55~C30	≤C25
含泥量	≤2.0	≤3.0	≤5.0
泥块含量	≤0.5	≤1.0	≤2.0

图 1 规范中对粗细骨料的材料要求

3.2 混凝土配合比设计难点与监管重点

高强高性能混凝土配合比设计的难点和挑战主要有以下几点：

- ①各地区掺合料质量，性能差别大；
- ②现行规范不能直观判断胶凝材料对需水量，外加剂的适应性；
- ③区域不同，混凝土配合比没有可复制性；
- ④材料选择因地制宜；
- ⑤对于大体积混凝土，高性能配合比设计方案尚需考虑当地搅拌站粉体材料的储备能力，选择与搅拌站储备能力相适应的配合比方案；
- ⑥通过综合筛选，选择质量稳定、经济效益最高的配合比用于施工。

4 泵车选型和管线布置

4.1 泵车选型

- ①泵车选用三一重工 HBT90CH-2135D 拖泵。
- ②理论最大出口压力分别达到 35MPa（一般储备 30~40% 压力余量）。
- ③最大理论泵送排量为 100m³/h。
- ④理论泵送压力为 35MPa。
- ⑤柴油机功率为 546kW。
- ⑥理论最大水平泵送距离为 3991m。
- ⑦理论垂直泵送高度为 835m。

4.2 耐高压输送管道

- ①使用内径 150mm、壁厚 12mm 的输送管道以及 125mm、壁厚 9mm 的输送管道两种（壁厚较普通高压管加厚 4mm）。
- ②钢材 45Mn，高频淬火处理，保障管道的抗爆能力，寿命比普通泵管提高 2~3 倍。
- ③泵管连接处采用 O 形密封圈密封，以保证高压水洗

的密封性。

4.3 液压混凝土布料机

根据核心筒截面尺寸及布料机布设位置，本工程拟采用两台三一重工品牌 HGY18 II 移动式布料机，直接固定在智能整体顶升平台上，与爬模同步顶升。

4.4 爬升式布料机支撑平台

根据爬模机位空间位置及布料机工作荷载，按筒支条件设计制作钢平台，钢平台主梁与爬模顶部接触部位做成橡胶隔震支座。吊装钢平台落位于爬架顶部后，进行布料机吊装，布料机四脚通过螺栓与焊接在钢平台上的柱脚底板相连。

为增加安全系数，对承载布料机的爬架立柱进行适当加固。爬升过程中，两片架体同步爬升，尽量保证平台的稳定性。

待钢平台就位后，根据平台重心位置，放线定出四块布料机柱脚底板的位置。起吊前，布料机四脚和底板螺栓孔眼对上，紧固螺栓。按照放线位置吊装落位后，校验调平，最后对柱脚底板和花纹钢板的接触部位施以满焊。

4.5 泵送管线布置

底层管线布置：底层布置水平泵送管线，水平管线长度应为泵送高度的 1/5~1/4，另在泵车旁设置沉淀池，清水池用于洗泵余料回收，见图 2。

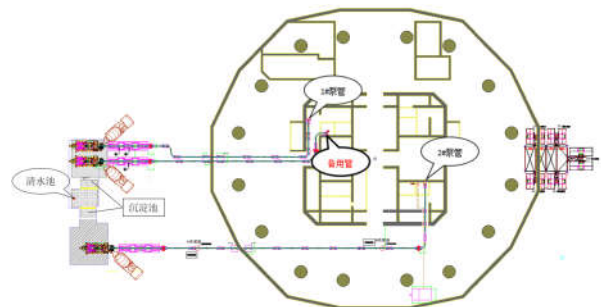


图 2 标志塔项目混凝土泵送底层平面布置图

在混凝土泵机出料口设置一道截止阀，用于防止拖泵停机时混凝土回流，以及洗泵后泵管清洗的废水残渣清理及回收；在首层地面水平管和垂直管的弯管处设置一道截止阀，用于拖泵长时间停机时防止立管内的混凝土回流^[1]。

地面水平管的长度不宜小于垂直泵送高度的 1/5，因现场因素所限，可增加若干 90° 弯管来折算水平长度，弯管个数不宜过多，控制在 3~5 个；在地面管道需安装截止阀。垂直管道应在楼层设置 1 道弯管，减缓混凝土自重对管道的冲击，转换层设置在 L50 塔楼收截面处。布置在电梯井。

5 混凝土泵送工艺

5.1 超高层泵送压力变化与研究

作为中建技术研发课题项目，项目在混凝土泵送过程中进行了压力监测，并将所得数据用以分析泵送过程压力变化规律。

与常规混凝土相比, 高强高性能混凝土单位体积水泥用量多, 用水量少, 粘度高; 泵送输出压力较高, 对于超高层建筑, 混凝土泵的输出压力一般在 15Mpa 以上, 超高压泵管的使用较多, 堵泵风险大, 泵送操作过程把控非常重要。

超高层泵送压力损失计算各项参数: 现行 JGJ-T10—2011《混凝土泵送施工技术规程》对于泵送沿程压力损失的计算公式仍使用坍落度计算, 对于高性能混凝土在超高层泵送中的工作性能, 泵送时的压力损失等缺乏系统性研究。高性能混凝土超高层泵送沿程压力损失的影响因素和相应计算方法尤为重要。中联重科和三一重工经过大量的经验积累, 各自形成了一定的经验计算方法, 其中中联重科经验计算方法, 水平管压力损失按经验取为 0.017~0.021MPa/m, 三一重工经验计算方法每米水平管压力损失 $\Delta P_1=0.02\text{MPa/m}$, 每米垂直管的压力损失为 $\Delta P_2=0.045\text{MPa/m}^2$ 。上述厂家经验公式实践性较强, 但缺乏理论依据, 且经验公式对其特定泵送设备与管线的依赖性较强。

5.2 泵送系统清洗及余料处理技术

5.2.1 海绵塞水洗方式

- ①混凝土泵送完毕后, 关闭输送管路液压截止阀。
- ②拆水平管靠近泵机的弯管或泵机出料口后端的直管。
- ③向管道中塞入海绵塞并接好管路。
- ④向料斗内加入净水池内的水, 并正泵操作, 保证料斗内有足够的清水供应, 直至输送管末端出现含水量较多的混凝土。
- ⑤将输送管末端移至预先准备好的废料斗内, 继续泵送, 将海绵塞泵出后, 继续泵送直至输送管末端出现清水。
- ⑥采用反泵操作将水抽回料斗或关闭截止阀, 拆管, 将管路中的水放出流回沉淀池, 完成管路的清洗。

5.2.2 砂浆隔离水洗方式

- ①混凝土泵送完毕后, 直接泵送 1~2m³ 砂浆 (视楼层高度而定)。
- ②紧接着采用潜水泵将净水池中的水抽向泵机料斗, 进行正泵操作。
- ③当顶楼出现砂浆、混凝土及水混合物时, 将泵管末端接入楼顶的废料斗中, 并继续泵送直至出现水流。
- ④停止泵送, 并打开泵机料斗卸料门, 进行反泵操作, 将输送管道内的水放出并流回沉淀池, 直至管道内水放干净; 或者关闭截止阀, 拆管后将管道内的水放回沉淀池。
- ⑤关闭泵机卸料门并继续用潜水泵将水抽入料斗, 进行正泵操作, 再次清洗、停泵、开卸料门反泵, 如此反复 2~3 次, 直至管道清洗干净。

除以上方法外, 以往工程施工经验中还有牛皮纸、砂浆隔离水洗, 水气联洗等洗泵方法, 施工中应结合项目实际选择最为经济合理的洗泵方式。

5.2.3 余料处理技术

- ①在拖泵旁设置沉淀池和净水池。

②洗泵用水经沉淀池沉淀后, 使用水泵将水存储于清水储存池, 做水洗及冷却循环水使用。

③沉淀池和清水池中设置潜水泵, 清水池中潜水泵设置的数量及功率与洗泵过程中的用水速率相匹配。

关于混凝土超过泵送余料处理的建议:

①混凝土泵送时, 严格控制现场混凝土用量。泵管内的混凝土量与现场实际所用混凝土量做对比, 当浇筑部位所需的混凝土略小于泵管内混凝土量时停止浇筑混凝土, 尽量减少泵送余料和废水的产生;

②当现场条件允许时, 可以可考虑设置多个沉淀池。

当泵送高度增高, 受现场条件限制泵送管线长度增加, 线路增多, 产生废料增加时, 可以通过设置砂石分离机, 将混凝土余料分离成砂, 石和水泥浆; 砂、石分离出装入容器用于其他工序施工, 水泥浆通过管道流入沉淀池, 经过多级沉淀池沉淀后通过水泵抽至清水储存池, 用于泵送系统清洗重复使用, 更大效率地实现余料回收和绿色施工^[1]。

5.3 超高层泵送防堵管措施

5.3.1 堵泵发生原因分析

一方面, 操作人员操作不当, 如放入混凝土材料的时候要实时观察, 余料不能低于搅拌轴, 而且余料不能太少, 否则容易发生堵管。另一方面, 地泵停止作业的时间过长, 也会发生堵管, 操作人员在进行施工的时候要结合实际的环境进行作业。混凝土在搅拌过程中如果加入的水过多, 会出现离析现象, 混凝土中的石头、沙砾容易集结在一起, 造成堵管。

泵送设备的原因: 在泵管和管链连接的地方, 因为长时间的使用会出现封闭胶圈损坏或者是螺栓松动的现象, 接头的部位没有密封好, 会影响混凝土在管内的流动性, 混凝土材料中的颗粒会集结到一起, 并且泵送的压力太小, 从而造成堵管。一些泵送设备在对混凝土进行泵送的时候难以避免地会出现泄露现象, 这会导致混凝土的质量下降, 还会使泵送的压力降低和坍落度减小, 容易造成堵管。施工单位在进行施工之前要对施工现场进行考察, 对泵管的布置进行设计, 尽量减少弯管的数量。此外, 应对水平管的长度进行有效的控制, 水平管过长过短都会对施工造成一定的阻碍, 形成堵管。

5.3.2 一些防堵管的具体措施

提高混凝土质量, 在保证强度的基础上尽可能降低粘度; 控制用水量和原材温度, 提高砼质量。

科学合理的处置措施: 堵管的时候, 施工人员要结合实际的情况, 采取合适的方法。施工人员在检查堵塞部位的时候可以对输送管进行排查, 当发现堵塞部位的时候可以使用木槌进行敲击, 将混凝土击松然后在进行正泵反泵, 堵管现象得到解决。如果还不能解决堵管, 就应该在混凝土卸压后, 对堵管发生的部位进行拆除, 对管内的混凝土进行清理后接上方可使用。

合理运用洗泵方法做好洗泵和管线清理工作。

定期排查管线接头密封和固定,泵送混凝土施工之前做好安全技术交底,对操作人员进行岗前考核。

6 结语

随着超高层建筑施工技术的发展,更多新材料、新工艺、新设备将被应用于超高层混凝土泵送施工。有效控制混凝土配合比,增加其泵送性能,顺利、稳定地完成泵送是保证超高层工程施工质量的前提。不断发现问题、解决问题的过程,

就是建筑施工技术发展创新的过程。相信随着经验的积累,未来的施工将向着更高、更快、更好的方向不断发展。

参考文献

- [1] 邓伟华,武超,周杰刚,等.武汉中心混凝土超高泵送关键施工技术[J].施工技术,2015,44(23):23-26.
- [2] JGJT 10—2011混凝土泵送施工技术规范[M].北京:建筑工业出版社,2011.
- [3] 高辉,李享,王丙泽,等.超高层建筑泵送系统清洗及余料处理技术[J].施工技术,2017(36):32-33.

(上接第30页)

3.5 完善施工监管,规范施工工序

在深基坑工程建设期间,除了要打好基础工作之外,还需要重视监管工作,以此来提高工程建设的规范性和安全稳定性。然而,在实际的监管过程中,可能会出现监管力度不足或者监管效果不好等情况。在这种情况下,就需要施工单位建立监管的小组,由不同岗位的工作人员组成,共同对深基坑建设工作进行监管,从而提高监管工作的效果。除此之外,监管部门还应当建立健全监管的制度,并配合相关的监管技术,从而实现监管质量的有效提升。

4 结语

通过上述分析可知,深基坑施工在建筑物建设工作中具有重要价值,由于其工序较多也使得深基坑施工存在许多

问题,这就需要相关工作人员明确深基坑施工的问题,并从监测、勘察、设计、统筹完善等不同的方面来解决这些问题,从而提高深基坑建设的整体质量和安全稳定性。

参考文献

- [1] 张蕾,李佳炜,闫吉祥.复杂环境下深基坑支护工程优化施工措施[J].中国住宅设施,2021(5):22-23.
- [2] 李军主.探究深基坑支护技术在建筑工程施工中的应用[J].广西城镇建设,2021(5):103-104.
- [3] 王帅,刘泽飞,王争光,等.深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用[J].中国新技术新产品,2021(8):108-110.
- [4] 李福祥.建筑工程施工中深基坑支护施工管理分析[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2021(3):146-147.