

基于出模强度阈值的混凝土滑模施工工序衔接技术研究

刘小鹏

中国五冶集团有限公司, 四川 成都 610000

[摘要]滑模施工具有成型质量好、效率高等诸多优势在混凝土滑模施工中得到了广泛的使用。若工序衔接不合理,易出现一系列质量隐患,如混凝土表面平整度超标、混凝土表面坍塌等。在滑模施工中,出模强度阈值是判定滑模各工序衔接时机的关键要素。文中对出模强度阈值与滑模各工序的内在关联进行阐述,建立围绕出模强度阈值展开的工序衔接控制机制,推进混凝土滑模施工工序衔接的标准化、精细化控制,以供参考。

[关键词]混凝土;滑模施工;出模强度阈值;工序衔接;施工控制

DOI: 10.33142/ect.v4i1.18840

中图分类号: TU67

文献标识码: A

Research on the Connection Technology of Concrete Sliding Mode Construction Process Based on the Threshold of Formwork Strength

LIU Xiaopeng

China MCC5 Group Corp. Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: Sliding mode construction has many advantages such as good forming quality and high efficiency, and has been widely used in concrete sliding mode construction. If the process connection is not reasonable, a series of quality hazards may occur, such as excessive flatness of the concrete surface, collapse of the concrete surface, etc. In sliding mode construction, the threshold of mold strength is a key factor in determining the timing of the connection between each process of sliding mode. The article elaborates on the intrinsic relationship between the mold strength threshold and each process of the sliding mode, establishes a process connection control mechanism centered around the mold strength threshold, and promotes standardized and refined control of the connection of concrete sliding mode construction processes for reference.

Keywords: concrete; sliding mode construction; mold strength threshold; process connection; construction control

引言

随着我国基础设施建设朝着高效化、规模化方向发展,混凝土滑模施工技术凭借其施工连续性极强、机械化程度高、工期缩短以及结构整体性卓越等突出优势在烟囱等结构的施工中得到了广泛应用。滑模施工各工序间衔接的及时性与合理性,对施工安全与质量起着直接决定性的作用。在当前滑模施工的实际开展过程中普遍存在工序衔接不合理的问题,容易致使混凝土表面产生蜂窝、拉裂等质量缺陷以及严重的质量安全事故。当下,国内外针对滑模施工所开展的研究,大多聚焦于滑升设备优化、模板结构设计等范畴,未高度重视出模强度阈值与工序衔接关联性,相关研究较少。基于上述情况,本文开展对工序衔接技术的优化研究,建立标准化的工序衔接控制流程。

1 混凝土滑模施工核心工序及出模强度阈值影响机制

1.1 滑模施工核心工序组成

混凝土滑模施工是不断连续循环进行作业的一个过程,核心工序包括混凝土制备与运输、浇筑布料、养护等,各工序之间环环相扣,衔接精度要求较高,流程见图1。

1.2 出模强度阈值的确定及影响因素

1.2.1 出模强度阈值的定义与确定标准

混凝土滑模施工出模强度阈值,指混凝土从模板中脱出时能够承受自身重量、滑升过程中产生的摩擦力以及施工荷载,且不存在流淌等缺陷,还要满足后续工序作业要求。考虑到滑模施工所具备的特殊性质,出模强度阈值的确定标准是:混凝土的抗压强度值不得低于 0.2MPa,可避免流淌、坍塌。确保抗压强度不超过 0.8MPa,防止混凝土表面拉裂和模板变形问题的产生,经全面综合考量,最优出模强度阈值区间确定为 0.3~0.5MPa,可保障成型质量与工序衔接。

1.2.2 出模强度阈值的主要影响因素

混凝土出模强度阈值受混凝土配合比、施工环境温度、振捣工艺、滑升速度等多种因素影响,其中混凝土配合比会影响混凝土出模强度阈值,水泥用量、水胶比数值大小是影响混凝土强度增长的关键因素,水泥多、水胶比数值较小时,早期强度增长快,能够更快地达到出模强度阈值。施工环境温度是影响混凝土水化反应速度的关键因素之一,在较高温度条件下,水泥水化反应的活性增强,混凝土早期强度增长快,达到出模强度阈值的时间缩短。振捣

时间、频率对混凝土的密实程度以及强度分布的均匀性有着关键影响,出现振捣不足的情况时,混凝土内部会形成较多空隙,无法满足出模强度阈值。当振捣的程度超过适宜范围,混凝土内部成分会分离,表面强度低,在出模后,混凝土结构极易出现质量问题。此外,滑升速度与出模强度阈值相互影响,滑升速度过于缓慢时混凝土在出模阶段强度将超过阈值标准,导致混凝土表面出现拉裂现象。滑升速度过快时,混凝土在出模瞬间强度未达阈值标准,混凝土结构稳定性欠佳。滑升慢,强度超阈值,滑升阻力大,易表面拉裂。

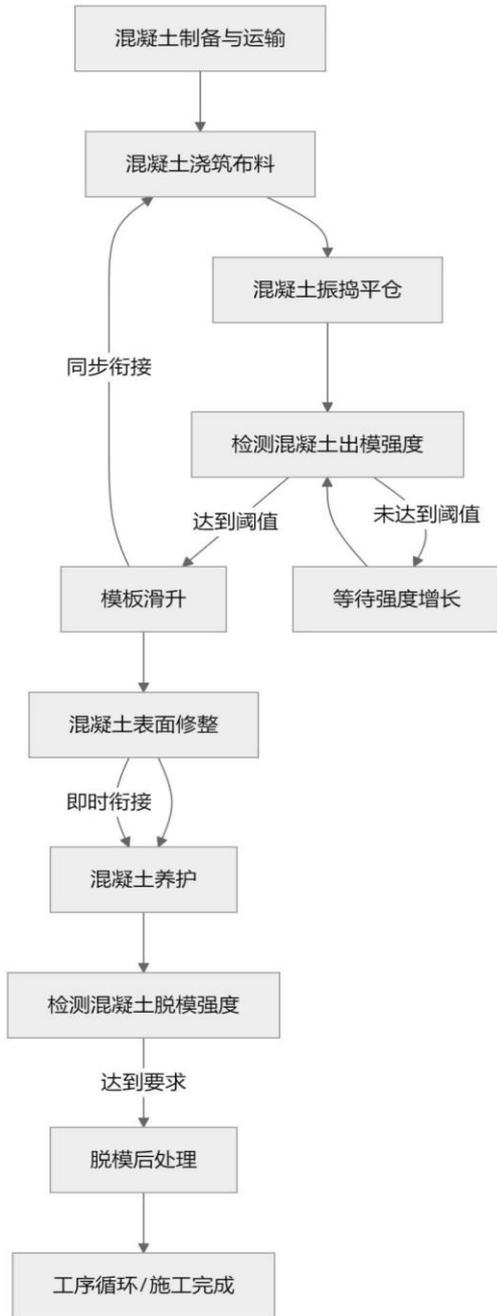


图1 混凝土滑模施工核心工序衔接逻辑图

2 基于出模强度阈值的滑模施工工序衔接技术优化

2.1 出模强度阈值精准控制技术优化

2.1.1 检测方法优化

在传统的施工过程中,对于出模强度的检测,主要采用试块抗压试验法,然而传统的检测方法周期较长,通常需要 24h 以上才能获得检测结果,无法实现对工序衔接的实时精准控制。为有效突破这一局限,本文优化采用“实时回弹检测+试块校准”方法,实现对混凝土出模强度的精准、实时检测,具体流程如下:

在滑模模块的外侧区域间隔两米设置一个检测点,同时,在每个预设的检测点上布置 3 个回弹测点。在完成混凝土浇筑工作之后、达到预先设定的滑升间隔时间这一关键节点后,对各个检测点进行实时回弹检测,检测过程中采用专业的回弹仪,严格按照规范要求进行相关操作,记录回弹值,通过预设的回弹值-强度换算公式,从而计算出混凝土出模的强度。在混凝土施工过程中制作 100mm×100mm×100mm 的混凝土标准试块,对于施工现场的混凝土采用相同的养护方式,针对每一批次浇筑的混凝土制作 3 组标准试块,并且在浇筑后 6h, 12h、24h 及时开展相应的抗压试验,从而获得检测数据,与前期采用回弹仪进行实时回弹检测所获得的回弹检测值进行对比校准,基于对比分析结果,修正回弹值-强度换算公式。检测的频率主要以施工环境温度为依据进行合理的调整,当温度范围在 10~20℃或 30~35℃时,每次检测的间隔时间为 20min,环境温度在 20~30℃时,则每半小时检测一次;当温度高于 35℃或低于 10℃时,通常每 15min 钟进行检测一次。

2.1.2 强度控制措施优化

基于触摸强度阈值的相关影响因素,从施工环境控制、混凝土配合比及制造工艺三个方面对出模强度控制措施进行合理的优化。

为了确保混凝土施工质量的可靠性与稳定性,采用先进的数据采集系统以及传感器技术对施工现场的环境温度进行实时监测的监测。若监测到环境温度低于 5℃,为了避免影响混凝土的早期强度增长,及时采取相应的升温措施或保温措施,具体而言,可在施工现场搭建保温棚,尽可能的减少热量的散失,必要时可以采用蒸汽升温的方式以提高环境温度,以更好地促进混凝土早期强度的稳步增长。而发现环境温度高于 35℃时,及时采取相应的降温措施,在施工现场搭建遮阳网或遮阳棚尽可能的阻挡阳光直射,适时进行洒水作业,实现局部的降温。与此同时,在混凝土浇筑时间选择上尽可能的避开正午阳光最为强烈、温度最高的时段。

以出模强度阈值要求为依据,对于水泥的用量、骨料级配以及水胶比进行合理的优化。在水泥选型上建议选择普通硅酸盐水泥,同时要严格控制水泥的用量,通常在

380~420kg/m³；水胶比是影响混凝土耐久性与强度的重要因素，因此，为了确保混凝土在搅拌过程中具有适宜的流动性，水胶比精准控制在 0.45~0.50，从而保证水泥充分水化以及确保混凝土早期强度增长速度；骨料的级配以及质量对混凝土的性能有着直接的影响，建议选用连续级配碎石(5~25mm)作为骨料，进而提高混凝土的密实度，同时含泥量不超过 1%。掺入适量的粉煤灰，其取代率为 15%~20%，改善混凝土的性能，减少离析和泌水现象，控制早期强度增长速度。在混凝土浇筑施工环节采用插入

式振捣器进行振捣，频率控制在 200~250Hz，要求振捣器插入下层混凝土的深度达到 50~100mm，每个振捣点的振捣时间控制在 20~30s，间距控制在 300~400mm，促使混凝土中的骨料和水泥浆充分混合。

2.3 基于出模强度阈值的工序衔接流程优化

以出模强度处于 0.3~0.5MPa 这一阈值范围作为核心的调控参数，对各工序的衔接流程进行优化，对于衔接的时机、衔接要求以及作业参数进行明确，优化后的工序衔接流程如图 2 所示：

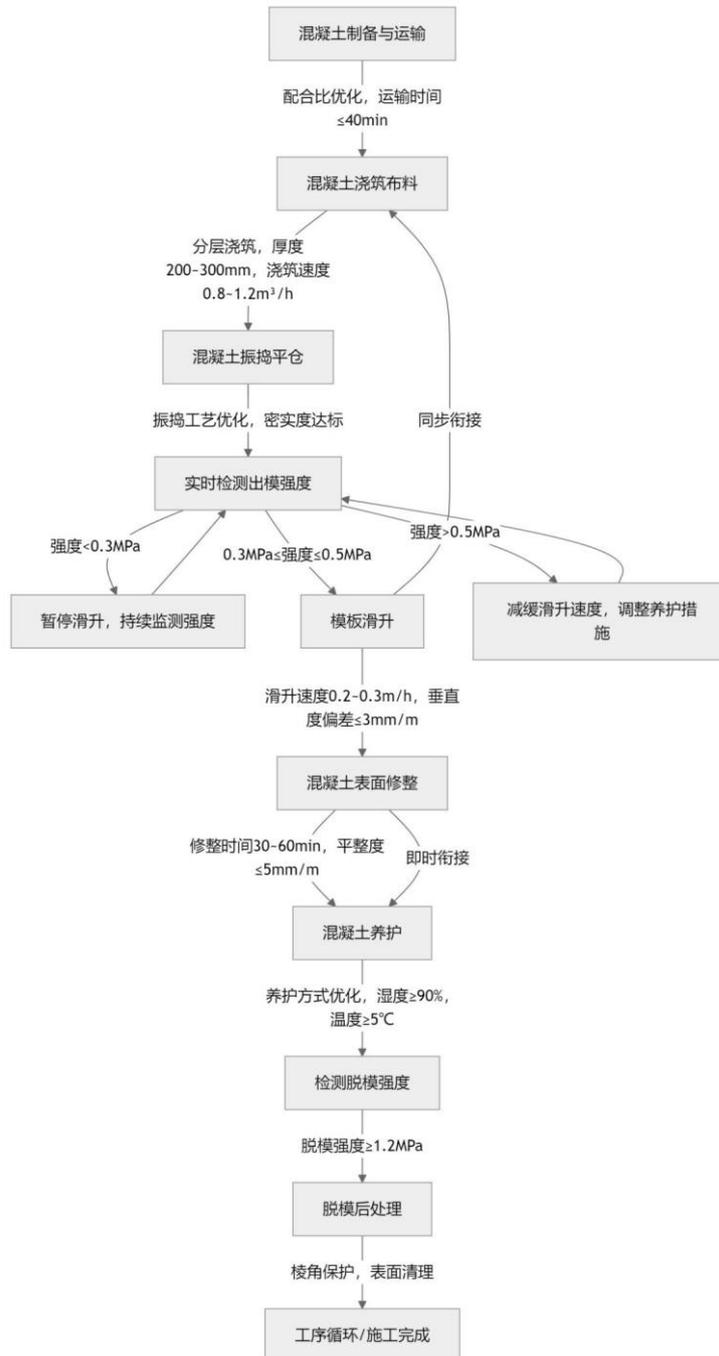


图 2 优化后基于出模强度阈值的滑模施工工序衔接流程图

2.3.1 浇筑与滑升工序衔接优化

浇筑与滑升工序有效衔接的关键在于实现“速度匹配、强度同步”，时检测结果判定混凝土出模强度达到 0.3~0.5MPa 这一范围时启动滑升工序。混凝土浇筑速度需精准控制在 0.8~1.2m³/h，滑升速度控制在 0.2~0.3m/h，确保经浇筑作业形成的混凝土，在强度达到既定的出模强度阈值标准时刚好完成滑升。滑升期间对出模强度变化进行实时的监测，当监测到混凝土强度产生波动，立即对滑升速度做出相应调整，同时检查振捣工艺和养护措施的执行状况，避免强度出现增长过快的异常情况。

2.3.2 滑升与表面修整工序衔接优化

混凝土表面修整工序需在出模后、终凝前的时段内完成操作，衔接时机以出模强度阈值为参考依据。模板滑升工序完成之后，全面检查混凝土表面的情况，经检测确认混凝土出模强度处于 0.3~0.5MPa 的区间范围时启动表面修整工序，通过机械修整以及人工修整的方式确保表面不存在麻面、气泡等任何缺陷，垂直度偏差需满足 ≤3mm/m 的标准，表面平整度应控制在 ≤5mm/m 的范围内。在修整期间对混凝土的强度进行实时监测，并合理调整修整的速度。混凝土强度低于 0.3MPa 时暂停表面修整作业，并在混凝土表面均匀喷洒适量清水预防表面开裂问题，待强度自然增长至适宜范围再开展表面修整作业。混凝土强度高于 0.5MPa 的标准值，加快修整作业的速度。

2.3.3 表面修整与养护工序衔接优化

养护工序和表面修整工序衔接的核心要点是做到“即时衔接、保湿保温”，表面修整完成且质量验收合格后启动养护工序，二者衔接间隔时间严格控制 1h 内，以此确保混凝土后续质量良好。结合施工的环境温度条件，实施相应的养护方法，当环境温度高于 5℃时建议采用洒水养护与保湿膜覆盖的方式，洒水作业的频率控制在每 2~3h 进行一次，是确保混凝土表面维持在湿润的状态。当环境温度低于 5℃时，及时采用保温被覆盖与蒸汽养护策略，值得注意的是，养护过程中需要严格把控温度与湿度，避免因混凝土受冻而影响混凝土的耐久性。

2.3.4 养护与脱模后处理工序衔接优化

脱模后处理工序的衔接时机主要以混凝土脱模强度的动态变化为依据，然而出模强度阈值与脱模强度的增长存在紧密联系，因此，在养护期间对混凝土脱模强度进行实时的监测，当脱模强度达到规范要求时，通常为 1.2MPa，即刻启动脱模工序，脱模完成之后立即开展脱模后处理工序，两种工序之间的间隔时间不可超过 24h。值得注意的是，在脱模时杜绝暴力脱模行为，避免因外力冲击而导致混凝土表面拉裂或棱角破损等质量问题。脱模期间若发现混凝土表面有质量缺陷，应该及时进行针对性的修补。后处理的工作涵盖表面的清理、棱角保护以及缺陷的修补，采用塑料护角条包裹混凝土的棱角，防止在后续施工或

使用过程中因受到碰撞发生质量问题，采用高压水枪将表面的杂物以及浮浆进行彻底清理干净，对于表面存在的缺陷，采用配合比的水泥砂浆进行修补，为了确保修补部位的强度与耐久性，需要对修补部位进行二次养护。

2.4 工序衔接质量控制体系优化

为了可以有效确保工序衔接优化技术的高效落实，加强完善出模强度阈值的工序衔接质量控制体系。由项目经理、技术负责人、质检员、施工员等成立工序衔接质量控制小组，对小组人员的职责进行明确，确保各环节责任落实到位。将出模强度检测、滑升时机的精准判定、表面修整工作的开展、养护工序的启动以及脱模强度的检测设定为整个施工流程中的核心控制节点，经过检验后确认合格后，方可进入下一道工序。此外，基于出模强度阈值要求，优化各工序衔接的验收标准，如表 1 所示。

表 1 基于出模强度阈值的滑模施工工序衔接验收标准表

控制节点	验收项目	验收标准	检测方法
出模强度检测	出模强度	0.3~0.5MPa	回弹检测+试块校准
浇筑与滑升衔接	浇筑速度、滑升速度	浇筑速度 0.8~1.2m ³ /h，滑升速度 0.2~0.3m/h	现场实测、秒表计时
滑升与表面修整衔接	表面平整度、垂直度	平整度 ≤5mm/m，垂直度偏差 ≤3mm/m	2m 靠尺、经纬仪检测
表面修整与养护衔接	衔接间隔、养护湿度	衔接间隔 ≤1h，养护湿度 ≥90%	秒表计时、湿度计检测
养护与脱模衔接	脱模强度	≥1.2MPa	试块抗压试验
脱模后处理	表面质量、棱角保护	无麻面、裂缝、错台，棱角完好	现场目测、尺量检测

3 结论与展望

3.1 结论

依据出模强度阈值优化后的工序衔接操作流程，对各核心工序的作业参数、衔接时间以及衔接要求进行了明确，通过“实时回弹检测搭配试块校准”的方式，从而实时监测出膜的强度，进一步提高施工的质量与工序衔接的效率。经优化后的工序衔接技术方案，具备切实可行的操作特性，能够充分满足滑模施工对于质量达标以及效率提升的具体要求，为滑模施工工序衔接的标准化、精细化控制提供了可靠的技术支撑。

3.2 展望

本文聚焦于常温环境下混凝土滑模施工工序衔接技术展开研究，未来的研究中可充分结合不同施工环境的特点优化出模强度阈值的控制措施和工序衔接流程，增强技术对于不同工况与条件的适配能力。同时，引入传感器、物联网等智能化监测技术，运用先进的智能监测系统实现对出模强度、施工环境指标和工序衔接参数的实时监测，通过智能算法实现自动调控。推动滑模施工技术向智能化、

数字化发展;此外,能够进一步开展关于出模强度阈值与混凝土长期力学性能二者关系的研究工作,为滑模施工结构的耐久性设计提供依据,拓宽技术拓展该技术在不同领域、不同场景下的应用范畴。

[参考文献]

- [1]梁永记.多联体粮食筒仓施工技术[J].粮油食品科技,2006,14(5):18-20.
- [2]崔芳.滑模技术在联体筒仓施工中的应用[J].建筑技术,2011,42(8):723-724.
- [3]左海林.钢筋混凝土立筒仓滑模施工质量控制[J].四川水泥,2016(9):21-22.
- [4]张庆章,王振清.滑模施工混凝土粮食筒仓结构承载力分析[J].施工技术,2016,45(2):4.
- [5]李明堂.筒仓滑模装置分阶段设计及其施工工艺研究[D].河北:河北工程大学,2012.

作者简介:刘小鹏(1991.8—),毕业院校:山西大学,所学专业:建筑环境与设备工程,当前就职单位:中国五冶集团有限公司,职务:技术负责人,职称级别:工程师。