

市政预制构件浇筑成型工艺优化研究

王健萍 易贵恩

中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 611730

摘要：市政预制构件浇筑成型，主要有固定台座、流水线移动、立式密闭三种工艺，工序上离不开模具装配、浇筑振捣、收面养护这三块。现行工艺的问题不少：拌合料入模容易离析，振捣有盲区，模具排气不顺畅，各工序之间也缺少统一标准。针对这些毛病，可以从四个方面做全流程优化：一是调整拌合料的级配，二是规范模具排气和脱模剂使用，三是改用限流导流加复合振捣的方式，四是分时段收面并配合恒温养护。

关键词：市政预制构件；浇筑成型工艺；混凝土拌合料

引言：市政预制构件是城市基础设施建设的核心材料，浇筑成型质量直接决定工程安全性和使用寿命。当前主流工艺有固定台座、流水线移动、立式密闭三种，但在入模浇筑、振捣密实、模具养护和工序协同这几个环节，离析、气孔、裂缝、能耗偏高等问题仍然突出。围绕混凝土拌合、模具配套、浇筑振捣、收面养护这四大环节做全流程工艺优化，再建立起系统化的管控标准，是提升构件成型质量和生产效能的关键。

1 市政预制构件浇筑成型基础工艺及影响因素

1.1 市政预制构件主流浇筑成型工艺类型

现阶段市政预制构件的主流浇筑成型工艺分三类。第一类是固定式台座浇筑，模具固定在专用台座上，混凝土输送和振捣都在固定工位完成，适合大型或异形构件。第二类是流水线移动式浇筑，模具顺着轨道或滚轮系统依次经过各个工位，不同工序在不同模具上同步进行，适合批量大、规格统一的构件。第三类是立式密闭浇筑，模具竖直放置，混凝土在密闭模腔内填满，主要用于薄壁、高瘦型构件。

1.2 浇筑成型完整工序流程

完整浇筑成型工序分三大环节。第一环节是模具预处理与装配：清理模具、涂脱模剂、拼装紧固，目的是让模具内表面平整、好脱模。第二环节是混凝土入模浇筑振捣：按设定速度和高把拌合物注入模腔，再用机械振捣把它填实，把气泡排出来。第三环节是构件收面定型和原位养护：混凝土初凝前把表面抹平，然后在模具原位保持合适的温湿度，让构件硬化到可以脱模的程度^[1]。三个环节一环扣一环，前一道工序没做好，后一道会跟着放大。各环节之间的过渡时间和环境控制，直接决定构件成型完不完整。

1.3 浇筑成型工艺核心影响因素

影响浇筑成型效果的核心要素有四个。第一是混凝土拌合料的性能：骨料级配、胶凝材料用量、水胶比、外加剂掺量，这几个决定了拌合物的流动性、黏聚性和凝结硬化速度。第二是模具构造和预处理工艺：模具几何形状、内表面粗糙度、拼缝间隙、脱模介质涂覆质量，这些影响混凝土怎么充填、脱模时阻力多大。第三是现场浇筑振捣的作业参数：浇筑速度、落料高度、分层厚度、振动频率、振幅、振动时间，它们控制气泡排不排得干净、骨料分布匀不匀。第四是成型养护的环境工艺参数：环境温度、湿度、养护时间，这些影响水泥水化进程和早期收缩行为。

2 现有浇筑成型工艺现存问题及成因分析

2.1 入模浇筑工序工艺问题及成因

入模浇筑工序的工艺问题主要有三个。下料方式不合理，拌合料离析。混凝土落料时骨料和浆体分开了，粗骨料堆在落料点正下方，细颗粒和浆体往四周流，同一构件不同部位材料分布差别很大。主要原因是落料高度太大，或者落料点固定不动、没跟着模具形状调整位置；分层浇筑管控不当，构件密实度不均匀。上层混凝土振捣时没和下层充分融到一起，层间结合面有些地方粘结弱。原因在于分层厚度超过了振捣的有效范围，或者上下层浇筑间隔时间超过了混凝土初凝时间；异形构件浇筑填充不完整^[2]。混凝土在模具的深凹、拐角、狭窄部位流动受阻，有些地方填不满。

2.2 振捣密实工序工艺问题及成因

振捣密实工序的工艺短板主要有三个。振捣模式单一，气泡排不干净。构件表面和内部残留不少气孔，孔径大小不一，主要集中在构件上表面和侧壁区域。原因

是只用了一种振捣方式,没针对不同部位和不同拌合物特性把几种振捣手段组合起来用;振捣参数把控失衡,骨料偏聚。振捣时间太长,粗骨料往下沉、浆体往上浮,构件厚度方向出现明显的材料分层,表层砂浆太厚、底层骨料太密。原因是振动频率、振幅和振动时间的设定,没跟构件尺寸、配筋密度对应起来;构件边角存在振捣盲区,局部疏松。构件边缘、棱角和钢筋密集区振捣能量衰减得厉害,水泥颗粒没能充分分散,硬化后这些区域的强度达不到设计值。

2.3 模具及定型养护工序工艺问题及成因

模具及定型养护工序的问题主要有三个。模具密封排气结构不完善,表面容易出缺陷。混凝土充填模腔时,里面的空气排不出去,就滞留在构件上表面或端部,形成蜂窝状的孔洞群。原因是模具在最高点或充填末端没留排气通道,空气被混凝土封死在模腔的死角里;脱模剂施工工艺不规范,影响外观成型。脱模剂涂得有厚有薄,或者有些地方漏涂了,脱模时构件表面的砂浆层被模具粘掉,出现麻面或剥皮状的缺陷。原因是涂脱模剂这件事没有标准化的操作流程,也没人检验质量;收面和养护衔接不当,构件早期变形开裂。表面收光处理和覆盖养护之间间隔太久,表层水分蒸发太快,内部水分来不及往外走,就产生了塑性收缩裂缝。

2.4 全流程工序协同工艺短板

全流程工序协同层面有两个主要短板。工序作业时没有标准化管控。各工序之间的等待时间、过渡条件、交接标准,全看现场作业人员的经验判断,同一生产条件下不同批次的构件成型质量波动很大。比如下料结束到开始振捣的间隔时长不固定,振捣完成到收面的起止时点也不统一,各工序衔接处缺少可量化的工艺指标。问题出在工艺规程里没有明确各工序之间的时序约束条件;工艺能耗和人工干预成本偏高。现场作业中为了弥补工序衔接的偏差,经常要重复振捣、二次补料,设备多耗了能,操作人员也更累。因为没有工序间的质量反馈机制,前一道工序的偏差没法及时传给后一道去补偿调整,只能靠增加人工检查次数和返工来保证最终质量,整体作业效能跟着往下掉^[3]。

3 市政预制构件浇筑成型全流程工艺优化设计

3.1 适配浇筑工况混凝土拌合工艺优化

适配浇筑工况的混凝土拌合工艺优化,主要从三个方面入手。骨料级配精细化配比。调整粗骨料和细骨料的比例及粒径分布,让骨料颗粒堆得连续又紧密,颗粒之间的空隙小一点,填充空隙需要的浆体也就少一些。

同时控制骨料最大粒径,让它跟构件最小截面尺寸、钢筋间距匹配,别让大粒径骨料在狭窄区域堵住;外加剂定量掺加。根据现场浇筑作业持续时间和环境温度,算好减水剂、缓凝剂等外加剂的准确掺量,调整拌合物的流动度经时损失速率和凝结时间窗口,让拌合物从入模到振捣完成一直处在合适的工作状态;拌合料抗离析与和易性定向调控。控制好水胶比下限和细骨料含量下限,提高拌合物的黏聚性,让骨料和浆体在落料和振动过程中一起移动,减少分层离析的倾向。

3.2 模具配套成型工艺优化

模具配套成型工艺优化主要从三个方面入手。模具排气导流结构优化。在模具模腔的最高点和充填末端位置开排气通道或排气孔,混凝土入模时模腔里的空气有地方跑。同时在模具的深凹和拐角部位加辅助排气构造,别让空气被混凝土封在死角里,免得表面出气泡或蜂窝缺陷;标准化脱模剂涂刷工艺。定一套涂脱模剂的作业流程,明确用什么工具、涂几遍、每次用多少量^[4]。涂层要均匀覆盖模具内表面,不能有积液、漏涂、流挂。涂完后留出干燥时间,等溶剂挥发差不多了再浇混凝土;模块化防漏浆模具装配工艺。在模具拼合面装密封嵌条或定位台阶,把拼缝间隙控制住,保证模具组装后接缝处密贴合。紧固件锁紧时按对称顺序慢慢加预紧力,别因为局部太紧把模具挤变形或把密封件挤移位。

3.3 浇筑振捣核心成型工艺优化

浇筑振捣核心成型工艺主要有三项优化措施。限流导流封闭式下料。在落料管出口装一个限流装置,控制混凝土的出料速度,再配上导流槽,把料流引到模具侧壁或提前设好的缓冲位置,让拌合物顺着模腔边缘慢慢流到底部,别让料流直接砸到模腔底部或钢筋骨架,免得骨料和浆体分开;对称分层匀速浇筑。对于平面尺寸大或形状对称的构件,从模具中心或对称轴线位置开始向两边同步浇筑,两边的料面高度保持一致。分层厚度不要超过振捣的有效作用范围,每层浇筑速度均匀,别让局部料面突然涨起来导致那一块骨料扎堆;分时联动复合振捣密实。在同一构件浇筑过程中,插入式振捣和附着式振捣交替或同时使用。插入式的管混凝土内部,附着式的通过模壁传递振动。两种方式按设定的时间顺序启停,让气泡在不同方向的振动下能有地方跑出去。

3.4 收面定型及养护配套工艺优化

收面定型及养护配套工艺主要有三项措施。分时二

次精细化收面。混凝土初凝前先收一次面,把表面露出来的粗骨料和不平整的地方抹平。等表面水分蒸发一部分、混凝土有了一定支撑强度,再收第二次面,把细微裂缝和收痕进一步抹掉,让构件表面平整光洁;恒温密闭同步定型养护。收面完成后马上盖养护罩或密封膜,把构件表面和外部干燥环境隔开。同时用加热或控温装置把养护空间的温度稳住,让相对湿度保持在饱和状态,水泥水化反应就能在稳定的环境里一直进行;成型应力缓释防形变工艺。养护初期控制好升温速率和最高温度的持续时间,养护结束前把养护温度慢慢降到接近环境温度,让构件内部的温度梯度平缓变化,温差引起的收缩应力就会小一些^[5]。脱模前延长原位养护时间,等构件有了足够的抗变形能力再脱模。

4 优化工艺管控标准及工艺效益分析

4.1 优化后浇筑成型工艺全过程管控要点

优化后浇筑成型工艺全过程管控分为三大环节:前置工艺核验、浇筑振捣动态管控、成型阶段工艺偏差修正。前置工艺核验:混凝土入模前检查模具密封性、脱模剂涂覆质量和拌合物工作性能参数,各项都满足工艺设定要求再启动浇筑。浇筑振捣动态管控:作业过程中盯着浇筑速度、分层厚度和振动参数的实际执行值,根据拌合物流动性随时的变化调整参数,把工艺稳定性维持住。成型阶段工艺偏差修正:收面和养护初期发现表面气泡、局部缺料等早期缺陷,及时补振或补浆,别等硬化后固化,这样全流程工艺就能控得住。

4.2 优化前后构件成型质量对比分析

优化前后构件成型质量对比,靠数据从两个方面看。构件外观缺陷改善效果:对比优化前后单位面积表面气泡数量、蜂窝分布范围和裂缝发生频率的变化,看工艺调整对构件外观完整性提升了多少。构件内部密实度与尺寸精度:对比优化前后构件断面孔隙率分布的均匀性、构件几何尺寸实际值与设计值的偏差范围,看优化工艺对内部结构致密性和外形稳定性改善到什么程

度。综合这两个方面,就能确定工艺优化后构件成型质量整体提升了多少。

4.3 优化工艺作业效能与损耗对比分析

优化工艺的作业效能与损耗对比主要看两项指标。构件成型作业效率与能耗:对比优化前后单件构件的平均作业耗时、单位产量的设备总能耗,看工艺调整对生产节拍和能源消耗的影响有多大,判断优化工艺在时间和能源两个维度上省了多少。原材料及辅材物料损耗:对比优化前后混凝土拌合料浇筑过程中的浪费量、脱模剂单位面积实际消耗量、缺陷构件返工导致的补料用量,算出各项物料的节约比例。综合这两项指标,就能判断优化工艺比原工艺划算多少。

结束语:市政预制构件浇筑成型质量取决于拌合料性能、模具构造、振捣参数及养护环境四大维度的协同控制。针对现行工艺中离析、振捣盲区、排气不足及工序协同缺失等问题,从骨料级配优化、模具排气标准化、限流导流浇筑与复合振捣、分时收面与恒温养护四方面实施全流程优化,并建立前置核验、动态管控与偏差修正的全过程管控体系,可有效降低构件缺陷率,提升密实度与尺寸精度,同时降低能耗与物料损耗,实现质量与效能的双重提升。

参考文献

- [1] 张斌,宁亮.生态护坡混凝土预制构件浇筑与施工工艺分析[J].建材与装饰,2025,21(28):16-18.
- [2] 王文涛.房建施工中预制构件的生产与运输技术研究[J].中国建筑装饰装修,2025(5):144-146.
- [3] 陈敏,岳询,赵艳琳.装配式多腔钢混结构施工工艺关键技术探讨[J].中国建筑装饰装修,2026(9):114-116.
- [4] 曹冬明,王永超.高性能混凝土在预制构件生产中的应用与性能评估[J].建设科技,2025(14):49-51,92.
- [5] 徐长柱,陈珂.智慧建筑中预制构件施工技术与优化措施[J].新城建科技,2024,33(7):155-157.