

高流动度混凝土配制关键技术及预制构件泵送应用研究

江 明

台州市广天构件有限公司 浙江 台州 318020

【摘要】：本文聚焦高流动度混凝土配制关键技术及预制构件泵送应用展开研究。配制技术上，剖析水泥、骨料、外加剂和掺合料等原材料对混凝土性能的影响。优化配合比时综合考量流动性、强度，确定适配不同工程需求的最佳配合比。性能分析方面，高流动度混凝土工作性能良好，流动性、粘聚性和保水性佳；力学性能上，抗压强度随龄期增长，抗拉强度等符合设计需求。在预制构件泵送应用领域，探究泵送工艺原理与流程，明确关键问题及解决举措。通过合理选型设备和布置管道，解决管道堵塞和混凝土离析等难题。结合实际案例分析，验证其在预制构件泵送应用中的可行性与有效性，提高施工效率，保障工程质量。

【关键词】：高流动度混凝土；配制技术；预制构件；泵送应用；性能分析

DOI:10.12417/2705-0998.25.21.032

1 引言

随着现代建筑行业发展，建筑结构复杂，对施工效率和质量要求提高，高流动度混凝土在建筑领域重要性凸显。大型复杂建筑结构中，普通混凝土难以满足施工要求，高流动度混凝土凭借良好流动性和填充性，无需振捣就能充满模板，解决复杂结构施工难题，确保密实度和施工质量。

在施工效率上，高流动度混凝土可快速浇筑，减少时间和人力投入。如某大型商业综合体地下室底板施工，使用高流动度混凝土后，浇筑时间从数天缩至一天以内，加快进度、降低成本，还能减少噪音污染，符合绿色施工理念。

从材料科学看，研究高流动度混凝土配制关键技术，有助于理解混凝土微观结构与宏观性能关系，推动材料科学发展。通过研究原材料选择、配合比优化和外加剂使用等，可提高混凝土性能，开发高性能、多功能材料。在工程应用方面，其广泛应用能拓展建筑结构设计空间，促进新型结构形式发展，支持建筑工业化、预制化，提高建筑工程整体质量和可靠性。

2 高流动度混凝土配制关键技术

2.1 原材料的选择

2.1.1 水泥

高流动度混凝土配制中，水泥选择很重要，常用普通硅酸盐水泥，其密度约 2.9g/cm^3 ，容重约 1.4kg/l ，强度等级分 42.5、42.5R、52.5、52.5R 四级。它强度高、水化反应快，能使混凝土早后期强度较好发展，适用于对早期强度有要求的工程工。

2.1.2 骨料

骨料对高流动度混凝土性能影响关键。粗骨料应选坚硬、耐久、无害的石料，河卵石最大粒径一般 25mm ，碎石 20mm ，预制混凝土接合处等狭小部位宜用 15mm 以下碎石。合适粒径能提高抗压强度和均匀密实性，粒径过大易离析，过小增加成本、降低强度。

2.1.3 外加剂

外加剂对高流动度混凝土不可或缺。高效减水剂是提高流动性的关键，通过分散、润滑和空间位阻作用增加流动性。缓凝剂能延缓水泥水化、延长凝结时间，适用于高温或长距离运输施工。但外加剂掺量需严格控制，过少达不到效果，过多有负面影响，要试验确定最佳掺量。

2.1.4 掺合料

粉煤灰和矿渣粉等掺合料能改善高流动度混凝土性能。粉煤灰球形颗粒可改善和易性、提高流动性，活性成分二次反应填充孔隙、提高密实度和抗渗性。矿渣粉活性高，能参与水泥水化反应，提高混凝土后期强度，还可改善其微观结构，降低孔隙率，提高耐久性。

2.2 配合比设计

2.2.1 设计原则

高流动度混凝土配合比设计需综合考虑流动性、强度和耐久性等因素以满足工程需求。流动性是关键指标，要保证混凝土在自重下自由流动且不发生离析，这要求合理调整水胶比、砂率及外加剂掺量。水胶比影响流动性和强度，需在保证强度和耐久性前提下选择合适水胶比以获良好流动性。强度是结构安全保障，配合比设计要根据工程要求确定水泥用量和等级，通过优化骨料级配等提高强度。耐久性关系结构寿命，设计时要考虑环境条件，通过控制水胶比等提高抗渗、抗冻和抗侵蚀性，如海洋工程需增加掺合料用量、降低水胶比。

2.2.2 设计方法与步骤

高流动度混凝土配合比设计先确定水胶比，根据设计强度等级和水泥实际强度，参考经验公式或试验初步计算，再考虑耐久性要求进行调整。确定砂率也很重要，砂率影响工作性能和强度，过大流动性降低、水泥用量增加，过小易离析、工作性能变差，一般通过试验或参考经验数据确定合适范围并微调。确定各材料用量时，先根据水胶比和单方用水量计算胶凝

材料用量，再根据砂率计算砂和石子用量，外加剂用量按产品说明书或试验结果确定。实际设计中需不断试配和调整，优化各材料用量，直至各项性能指标符合要求。

3 性能分析

3.1 工作性能

3.1.1 流动性

流动性是高流动度混凝土工作性能关键指标，影响施工效率和质量。工程中常用坍落度和坍落扩展度衡量，坍落度试验是填满坍落度筒后提起，测坍落高度，越大流动性越好；坍落度大于220mm时，测坍落扩展度。高流动度混凝土一般要求坍落度200mm以上、坍落扩展度500mm以上，以确保自由流动、填充模板，适用于钢筋密集、结构复杂部位。

混凝土流动性受多种因素影响。水胶比在一定范围内越大，流动性越好，但过大则粘聚性和保水性变差，影响质量。水泥品种和用量也有影响，用量过多黏性增大、流动性降低，过少无法保证强度和耐久性。骨料性质如级配、粒径等与流动性密切相关，级配良好等的骨料能提高流动性。合理使用外加剂和掺合料能改善流动性，高效减水剂可提高流动性，粉煤灰等掺合料可降低浆体内部摩擦阻力。

3.1.2 粘聚性和保水性

粘聚性和保水性是高流动度混凝土工作性能重要组成部分，影响施工质量和硬化后性能。粘聚性指各组分粘结力好，施工中不分层、不离析；保水性指施工和硬化中能保持内部水分。

施工中，良好粘聚性使混凝土泵送时整体流动，避免堵塞，确保填充均匀；粘聚性不好则易分离，影响强度和耐久性。保水性好利于正常水化，提高强度和耐久性；保水性差则流动性降低，表面出现质量问题。

通过合理选原材料和优化配合比可保证粘聚性和保水性。增加水泥用量、改善砂石级配等能提高性能。选择级配良好骨料可增强粘聚性，控制水胶比可避免保水性变差。外加剂种类和用量也有重要影响，引气剂可改善和易性，但过量降低强度；增稠剂可防止离析和泌水。配合比设计要综合考虑，通过试验确定最佳组合和配比。

3.2 力学性能

3.2.1 抗压强度

抗压强度是高流动度混凝土力学性能重要指标，关系到混凝土结构承载与安全。其发展规律与普通混凝土有相似也有自身特点。早期，因水泥水化快，生成大量水化产物填充孔隙，结构致密，强度增长快；随龄期增长，水化减缓，强度增速变慢但仍增长。标准养护下，高强混凝土24小时内强度增速明显高于普通混凝土，可达60%-80%甚至更高，随后几天增速减

慢但仍高于普通混凝土。某工程用高流动度混凝土基础施工，7天龄期抗压强度达设计强度60%左右，28天达95%以上，90天比28天增长10%-15%。

龄期、配合比等因素影响抗压强度。龄期增加，强度提高；水胶比越小强度越高，但过小会使流动性变差；高强度等级水泥和适当增加用量能提高强度；强度高、级配好的骨料可提高强度，反之降低；合理使用外加剂和掺合料能改善强度，早强剂提高早期强度，粉煤灰等提高后期强度。

3.2.2 抗拉强度及其他力学性能

除抗压强度，高流动度混凝土的抗拉强度等其他力学性能也重要。抗拉强度衡量抵抗拉伸破坏能力，虽相对抗压强度低，但在受拉或受弯结构中作用大。其与抗压强度相关，抗压强度高则抗拉强度相应提高。高流动度混凝土因组成和微观结构特点，抗拉强度与普通混凝土有差异，掺合料使用可改善微观结构，提高抗拉强度。

4 预制构件泵送应用

4.1 泵送工艺原理与流程

4.1.1 泵送原理

混凝土泵送利用泵送设备压力，将混凝土沿管道送至指定位置。泵送设备由泵体、输送管道和动力装置等构成。动力装置为泵体活塞提供动力使其往复运动，活塞后移，工作腔容积增大、压力降低，混凝土被吸入；活塞前移，工作腔容积减小、压力升高，混凝土被挤入输送管道，如此连续输送。

4.1.2 泵送流程

泵送施工流程包括准备、操作和清洗。泵送前，要全面检查设备液压、电气、泵送机构等，检查管道连接、密封性、布置等，检查混凝土配合比、坍落度等。如某工程因未仔细检查管道，泵送时连接处松动漏浆，影响进度和质量。

泵送时，严格按规程操作。先空载试运行，正常后泵送，密切关注压力、速度、供应等参数，及时调整，观察泵送状态，防堵塞、离析。供应不及时，降低速度或暂停，防混凝土干硬。

泵送完成后，及时清洗设备和管道，先排余料，再用清水冲洗至水清澈，难清洗处用专用清洗剂。

4.2 泵送过程中的关键问题及解决措施

4.2.1 管道堵塞问题

解决措施：配合比设计阶段，合理确定砂率、水胶比等参数，砂率35%-45%较合适，控制粗骨料粒径和级配；控制坍落度在180-220mm。泵送前全面检查维护设备，定期保养，更换磨损零件。管道布置减少弯头，选合适内径，确保连接牢固密封，合理规划走向。

4.2.2 混凝土离析问题

混凝土离析指拌合物组成材料粘聚力不足，导致成分分离、结构不均。预制构件泵送中，会使工作性能变差，造成粘罐、堵管等，降低效率、增加成本；还会影响外观质量和耐久性，产生收缩裂缝，影响承载和安全性能。

原因：一是运输时间过长，混凝土受颠簸振动，粘结力减弱。如某工程运输超 3 小时，混凝土离析。二是外加剂使用不当，减水剂掺量过大或与水泥适应性差，影响和易性。如某工程用新外加剂未试验，离析严重。三是配合比不合理，砂率低、水泥用量不足、水胶比大，粘聚性和保水性差。

防止措施：运输中合理安排路线，缩短时间，选经验丰富的驾驶员；改进搅拌车，增加防离析装置。使用外加剂严格按说明和试验确定掺量，先进行适应性试验。优化配合比，确定合理砂率、水泥用量和水胶比，适当增加水泥用量，改善砂石级配。

4.3 应用案例分析

4.3.1 工程概况

某大型住宅小区项目，总建筑面积 50 万平方米，含 20 栋 50-80 米高层住宅楼，采用装配式建筑施工，大量用预制构件。施工中需泵送高流动度混凝土到各楼层浇筑构件，因建筑高、泵送距离长且场地狭窄，对泵送施工要求高。

4.3.2 混凝土配制与泵送施工

高流动度混凝土配制按设计和标准进行。水泥选 42.5 级普通硅酸盐水泥；粗骨料用 5-20mm 连续级配碎石，细骨料选细度模数 2.6 中砂；外加剂用聚羧酸系高性能减水剂；掺合料用 I 级粉煤灰和 S95 级矿渣粉，经试配调整，配合比为水泥：砂：石子：水：减水剂：粉煤灰：矿渣粉=350: 700: 1050: 160: 4.2: 70: 52.5，配制的混凝土坍落度 200mm，坍落扩展度 550mm，满足泵送要求。

泵送施工方案依工程和现场条件制定。选两台 HBT80.18.160S 型输送泵，输送管道用内径 125mm 耐磨钢管。

参考文献：

- [1] DU Jiegui,WANG Xiongfeng,CHEN Bo,et al. 纤维混杂超高性能混凝土流动性与抗压强度研究 [J]. 施工技术 (中英文),2023,52(15):73-78.
- [2] 赵华磊,张倩倩.高强大流动度混凝土黏度影响因素研究[J].新型建筑材料,2015,42(8):21-23,30.
- [3] 杨久俊,刘俊霞,韩静宜,等.大流动度超高强钢纤维混凝土的试验研究[J].混凝土与水泥制品,2008(3):35-39.
- [4] 施旗,洪海禄,梁金成,等.大流动度超高强混凝土配制技术[J].混凝土,2001(9):59-64.

管道布置减少弯头，垂直管道用专用支架固定。泵送前检查调试设备、清洗润滑管道。泵送中控制速度和压力，加强混凝土质量检测。

4.3.3 应用效果评价

该工程高流动度混凝土泵送应用在施工效率和质量方面表现出色。施工效率上，泵送提高浇筑速度，每小时浇筑量 60-70m³，缩短施工周期，主体施工进度提前 20%，节省时间和人力成本。工程质量上，混凝土工作性能好，确保预制构件浇筑质量，构件表面平整、强度达标且离散性小，保证结构安全可靠。

通过实践总结经验教训，配制混凝土要严控原材料质量和配合比；泵送前合理选设备、布置管道并做好准备；泵送中加强监控，及时解决问题。不断总结优化，发挥高流动度混凝土优势，提高建筑工程质量和效率。

5 结论

本文深入研究高流动度混凝土配制关键技术及预制构件泵送应用。配制技术上，明确了水泥、骨料、外加剂和掺合料等原材料对高流动度混凝土性能的影响规律。普通硅酸盐水泥常用；粗骨料最大粒径、细骨料粒形和粒度分布等影响显著；高效减水剂提高流动性，缓凝剂延缓水泥水化；粉煤灰和矿渣粉等改善和易性、抗渗性和耐久性等。通过优化配合比设计，综合考虑多因素确定最佳配合比以满足不同工程需求。

性能分析方面，高流动度混凝土工作性能良好，流动性、粘聚性和保水性佳，施工中不易离析和泌水。力学性能上，抗压强度随龄期增长，其他力学性能也满足结构设计要求。

预制构件泵送应用方面，研究了泵送工艺原理与流程，明确关键问题及解决措施。合理选择设备和布置管道，解决了管道堵塞和混凝土离析等问题。实际工程案例验证了其可行性和有效性，提高了施工效率，保证了工程质量。高流动度混凝土能在复杂环境下高效、高质量浇筑，为装配式建筑发展提供支持，有显著经济效益和社会效益。