

建筑施工过程中混凝土工艺缺陷的检测与修复技术

陈海森

440981*****2210

摘要:在建筑施工过程中,受原材料性能波动、施工工艺控制不当、环境条件变化等多重因素影响,混凝土常出现蜂窝麻面、孔洞、裂缝、露筋等工艺缺陷,这些缺陷不仅削弱了结构的承载能力,还可能成为耐久性隐患。本文围绕建筑施工中混凝土工艺缺陷的检测与修复技术展开系统研究,首先分析了常见工艺缺陷的类型特征与形成机理,包括材料因素、工艺因素、环境因素等具体成因;在此基础上,从无损检测与破损检测两个维度,详细阐述了混凝土工艺缺陷的检测技术原理与适用场景,涵盖超声波检测、回弹法、钻芯取样等核心方法;随后,针对不同类型的工艺缺陷,提出了差异化的修复技术策略,包括表面封闭处理、压力灌浆、结构加固等具体措施;最后,从检测与修复技术的协同应用、施工质量控制体系的完善等角度,探讨了混凝土工艺缺陷综合防治的技术路径。

关键词:建筑施工;混凝土工艺缺陷;检测技术;修复技术;无损检测;结构加固

DOI: 10.69979/3029-2727.25.12.012

引言

传统的混凝土工艺缺陷处理主要依赖经验判断与局部修补,缺乏系统化的检测技术与针对性的修复方法,导致缺陷识别不全面、修复效果不佳。随着检测技术的进步与修复材料的研发,混凝土工艺缺陷的检测与修复正朝着精准化、科学化方向发展。因此,深入研究混凝土工艺缺陷的检测与修复技术,对保障建筑施工质量、延长工程使用寿命具有重要现实意义。本文从缺陷成因分析入手,系统探讨检测与修复技术的原理、方法及应用要点,旨在为工程实践提供技术参考。

1 建筑施工中混凝土工艺缺陷的类型特征与形成机理

1.1 常见工艺缺陷的类型与外观特征

建筑施工中混凝土工艺缺陷可根据其表现形式与危害程度分为表面缺陷、深层缺陷及结构性缺陷三类。表面缺陷主要包括蜂窝麻面、露筋、起砂等,这类缺陷通常位于混凝土表层,虽不直接显著削弱结构承载力,但会影响外观质量并可能成为耐久性隐患。蜂窝表现为混凝土表面局部出现酥松、石子外露的孔洞群,类似蜂窝状结构;麻面则是混凝土表面密布细小凹坑,触感粗糙;露筋指钢筋未被混凝土完全包裹,部分钢筋暴露在外;起砂则是混凝土表面砂浆层脱落,露出骨料颗粒,导致表面耐磨性下降。深层缺陷主要包括孔洞、夹渣、

疏松等,这类缺陷存在于混凝土内部一定深度,会显著降低结构的有效截面面积与密实性。孔洞是指混凝土中存在的较大空隙,可能贯穿构件截面或局部聚集;夹渣是施工过程中混入的泥土、木屑等杂物未被清除,残留在混凝土内部;疏松则表现为混凝土局部区域骨料与水泥浆体分离,形成松散结构,密实度明显不足。结构性缺陷主要包括裂缝、强度不足等,这类缺陷直接影响结构的承载能力与安全性能。裂缝是最常见的结构性缺陷,按形态可分为收缩裂缝、温度裂缝、荷载裂缝等;强度不足则表现为混凝土实际抗压强度低于设计值,可能由配合比失调、养护不当或施工振捣不密实等原因导致。

1.2 工艺缺陷的形成机理分析

混凝土工艺缺陷的形成是材料、工艺及环境因素综合作用的结果。材料因素方面,水泥安定性不良(如游离氧化钙含量过高)会导致混凝土硬化后体积膨胀,产生裂缝;骨料级配不良会降低混凝土的密实性,增加孔隙率;水胶比过大将使混凝土拌合物过于稀软,硬化后强度降低且易产生收缩裂缝;外加剂掺量不当会影响混凝土的工作性能与均匀性。工艺因素方面,振捣不密实是导致蜂窝麻面、孔洞等缺陷的主要原因。混凝土浇筑后,若振捣棒插入深度不足、振捣时间过短或漏振,会使混凝土中的气泡与多余水分无法有效排出,形成蜂窝状孔洞;模板拼接缝隙过大或固定不牢,在混凝土浇

筑时会出现漏浆现象，导致接缝处形成麻面或夹渣；钢筋保护层垫块设置不当，会使钢筋紧贴模板，造成露筋缺陷。环境因素方面，温度应力与湿度条件对混凝土工艺缺陷的形成具有重要影响。高温环境下，混凝土表面水分蒸发过快，内部水分补充不足，易产生塑性收缩裂缝；低温环境下，水泥水化反应减缓甚至停滞，导致混凝土强度增长缓慢，若未采取保温措施，可能引发冻融破坏；干燥环境会加速混凝土表面水分散失，使表层水泥浆体脱水，形成起砂或疏松缺陷。

2 混凝土工艺缺陷的检测技术原理与方法

2.1 无损检测技术的原理与应用

无损检测技术是在不破坏混凝土结构完整性的前提下，通过物理方法检测内部缺陷与性能参数的技术，主要包括超声波检测、回弹法、雷达检测等。超声波检测是利用超声波在混凝土中的传播特性判断内部缺陷的技术。当混凝土内部存在孔洞、裂缝等缺陷时，超声波传播路径会发生折射、反射或散射，导致声速降低、波幅衰减及频率变化。通过测量超声波在混凝土中的传播时间与接收信号特征，可定位缺陷的位置与大致范围，适用于检测深层孔洞、不密实区域及裂缝深度。回弹法是通过回弹仪测量混凝土表面硬度，间接推定其抗压强度的无损检测方法。回弹仪的弹击锤撞击混凝土表面后反弹的距离与混凝土表面硬度相关，而硬度又与抗压强度存在一定相关性。该方法操作简便、成本低廉，适用于大面积混凝土强度的快速检测，但受混凝土表面状态影响较大，需结合其他方法综合判断。雷达检测利用高频电磁波在混凝土中的传播与反射特性，检测内部缺陷与结构分层。当电磁波遇到不同介质界面时，会产生反射信号，通过分析反射波的时间与强度，可识别内部空洞、钢筋位置及保护层厚度偏差。雷达检测具有分辨率高、检测速度快的特点，适用于检测浅层缺陷与结构构造问题。

2.2 破损检测技术的原理与适用场景

破损检测技术是通过局部破坏混凝土结构获取内部材料样品，通过实验室分析确定缺陷性质与程度的技术，主要包括钻芯取样、压痕试验等。钻芯取样是直接从混凝土构件中钻取圆柱形芯样，通过测量芯样的抗压强度、密实性及内部缺陷，直观判断混凝土的实际质量。芯样可进行抗压强度试验（确定实际强度值）、切片观

察（分析内部孔隙率与裂缝分布）及矿物成分分析（判断水泥水化程度），是检测混凝土强度与内部缺陷最可靠的方法，但会对结构造成局部损伤，通常用于无损检测结果异常时的验证或关键部位的精确检测。压痕试验是通过特定压头在混凝土表面施加压力，根据压痕的深度与形状评估混凝土的硬度与密实性。该方法适用于现场快速检测混凝土表面的局部缺陷（如起砂、疏松），但无法检测内部深层问题，常作为辅助检测手段。

2.3 检测技术的协同应用策略

单一检测技术存在局限性（如无损检测难以精确判断缺陷性质，破损检测会破坏结构），实际工程中常采用多技术协同应用策略。例如，先通过超声波检测或回弹法初步判断混凝土内部是否存在缺陷及大致范围，再对可疑区域采用钻芯取样进行精确验证；对于表面缺陷（如麻面、起砂），可结合目视观察与压痕试验快速评估损伤程度；对于裂缝检测，可先用雷达检测确定裂缝分布与深度，再通过取芯观察裂缝内部的扩展情况。通过多种技术的优势互补，可实现对混凝土工艺缺陷的全面、准确检测^[1]。

3 混凝土工艺缺陷的修复技术策略与实施要点

3.1 表面缺陷的修复技术

表面缺陷（如蜂窝麻面、露筋、起砂）主要影响混凝土的外观质量与耐久性，修复以恢复表面密实性与防护功能为目标。对于蜂窝麻面，首先用钢丝刷或压力水清除表面松动颗粒与杂质，然后用清水冲洗并充分湿润，再采用与原混凝土强度等级一致的水泥砂浆（或聚合物改性砂浆）进行填补，填补后用抹刀压实抹光，确保与周边混凝土表面平齐。对于露筋缺陷，需先清除钢筋表面的锈迹与污染物（如采用钢丝刷除锈、化学除锈剂处理），然后用细石混凝土或水泥砂浆包裹钢筋，包裹厚度不小于 20mm，确保钢筋与混凝土之间有良好的粘结力，防止进一步锈蚀。对于起砂缺陷，可采用表面涂层修复（如涂刷混凝土密封固化剂）或薄层砂浆修补（厚度 3~5mm），提高表面耐磨性与抗渗性^[2]。

3.2 深层缺陷的修复技术

深层缺陷（如孔洞、夹渣、疏松）会显著降低混凝土的有效截面面积与密实性，修复需采用压力灌浆或局部置换的方法。对于较小孔洞（直径小于 100mm），可采用压力灌浆技术，将高强度灌浆料（如环氧树脂灌浆

料、水泥基灌浆料)通过注浆管注入孔洞内部,灌浆料在压力作用下充满空隙并固化,恢复结构的整体性。灌浆前需清理孔洞内的杂物并湿润表面,灌浆后需养护至灌浆料达到设计强度。对于较大孔洞(直径大于100mm)或夹渣严重的区域,可采用局部置换法,凿除缺陷部位的松散混凝土至密实层,清理干净后浇筑与原混凝土同强度等级的新混凝土,新混凝土需加强振捣以确保与周边混凝土良好结合。

3.3 结构性缺陷的修复技术

结构性缺陷(如裂缝、强度不足)直接影响结构的承载能力与安全性能,修复需根据裂缝类型与强度损失程度采取针对性措施。对于非结构性裂缝(如收缩裂缝、温度裂缝),若裂缝宽度小于0.2mm且无扩展趋势,可采用表面封闭法,用环氧树脂或聚合物砂浆涂刷裂缝表面,阻止水分与有害介质侵入,防止钢筋锈蚀;若裂缝宽度大于0.2mm,需采用压力灌浆法,将灌浆料注入裂缝内部,恢复结构的整体性。对于结构性裂缝(如荷载裂缝)或强度不足问题,需结合结构加固技术,如增大截面加固(在原构件周边浇筑附加混凝土)、粘贴钢板加固(在混凝土表面粘贴高强度钢板)、碳纤维布加固(在混凝土表面粘贴碳纤维复合材料)等,通过提高构件的截面承载力或增强材料强度,恢复结构的承载能力^[3]。

4 混凝土工艺缺陷综合防治的技术路径

4.1 检测与修复技术的协同应用

混凝土工艺缺陷的综合防治需实现检测与修复技术的协同联动。检测是修复的前提,通过精准定位缺陷类型、位置与程度,为修复方案的选择提供依据;修复是检测的延伸,通过科学处理缺陷,恢复结构的性能与功能。在实际工程中,应建立“检测-评估-修复-验证”的闭环流程:首先通过无损检测与破损检测技术全面识别缺陷,然后根据缺陷的危害程度与修复可行性制定针对性方案,修复后再次检测验证修复效果(如采用回弹法复核强度、超声波检测检查密实性),确保缺陷得到彻底消除。

4.2 施工质量控制体系的完善

混凝土工艺缺陷的预防比修复更为重要,完善施工

质量控制体系是减少缺陷发生的关键。材料控制方面,需严格检验原材料质量(如水泥安定性、骨料级配、外加剂性能),优化配合比设计(控制水胶比在合理范围、合理掺量外加剂),确保混凝土拌合物的工作性能与均匀性。工艺控制方面,需规范施工操作流程,如模板安装需保证拼接严密、支撑牢固,钢筋保护层垫块需设置合理且间距均匀,混凝土浇筑需分层连续进行并充分振捣(振捣棒插入下一层5-10cm,每点振捣时间15-30秒),避免漏振、过振或欠振。环境控制方面,需根据施工环境条件(如高温、低温、干燥)采取相应措施(如高温时覆盖遮阳网、低温时覆盖保温材料、干燥时喷雾保湿),确保混凝土在适宜的条件下硬化^[4]。

5 结论

建筑施工中混凝土工艺缺陷的检测与修复是保障工程质量安全的重要环节。本文系统分析了常见工艺缺陷的类型特征与形成机理,从无损检测与破损检测两个维度阐述了检测技术的原理与方法,针对不同类型的缺陷提出了差异化的修复技术策略,并探讨了检测与修复技术的协同应用及施工质量控制体系的完善路径。研究表明,通过精准检测缺陷、科学选择修复方法及强化施工过程控制,可有效识别与消除混凝土工艺缺陷,提升工程结构的可靠性与耐久性。未来,随着检测技术的智能化(如基于人工智能的缺陷自动识别)与修复材料的绿色化(如环保型灌浆料、再生混凝土的应用),混凝土工艺缺陷的防治技术将向更高效、更可持续的方向发展,为建筑工程高质量发展提供更有利的技术支撑。

参考文献

- [1] 张明华.超声波检测混凝土构件缺陷的研究进展[J].江西建材,2021(10):12-15.
- [2] 江建华.建筑工程混凝土典型质量缺陷及处理技术[J].中国建筑装饰装修,2022(16):164-166.
- [3] 陈劲,陈晓东,赵辉,等.基于红外热成像法和超声波法的钢管混凝土无损检测技术的试验研究与应用[J].建筑结构学报,2021,42(S02):444-453.
- [4] 郝兆峰,张戎令,李志杨,等.钢管混凝土构件不同缺陷率注浆补强前后承载能力试验研究[J].建筑结构学报,2019,40(S01):241-250.