

再生骨料混凝土结构的长期性能及耐久性提升措施

蒋云姬

广西保诚工程检测有限公司 广西 玉林 537000

摘要：随着建筑行业的可持续发展需求日益增长，再生骨料混凝土作为一种绿色环保材料受到广泛关注。然而，再生骨料混凝土结构在长期性能和耐久性方面存在一定不足。本文深入探讨了再生骨料混凝土结构长期性能的影响因素，分析了其耐久性面临的问题，并从材料优化、结构设计、施工工艺以及防护措施等方面提出了针对性的提升措施，旨在为再生骨料混凝土结构的广泛应用提供理论支持和实践指导。

关键词：再生骨料混凝土；长期性能；耐久性；提升措施

1 引言

在当今社会，建筑行业的高速发展带来了大量的建筑垃圾，对环境造成了严重压力。与此同时，天然骨料的过度开采也导致了资源短缺和生态破坏。再生骨料混凝土的出现为解决这些问题提供了有效途径，它将废弃混凝土破碎、筛分后作为骨料重新用于混凝土制备，实现了建筑垃圾的资源化利用，符合可持续发展的理念。然而，再生骨料与天然骨料在物理和化学性质上存在差异，导致再生骨料混凝土结构在长期使用过程中，其性能会逐渐劣化，耐久性也面临诸多挑战。这些问题限制了再生骨料混凝土在工程中的大规模应用。因此，深入研究再生骨料混凝土结构的长期性能及耐久性提升措施具有重要的现实意义。

2 再生骨料混凝土结构长期性能的影响因素

2.1 再生骨料自身特性

再生骨料是由废弃混凝土加工而成，其表面附着有旧水泥砂浆，这使得再生骨料的孔隙率较高、吸水率较大、强度较低。这些特性会影响再生骨料混凝土的工作性能和力学性能。高孔隙率和大吸水率会导致混凝土在拌合过程中需水量增加，坍落度损失较快，影响施工性能。同时，在长期使用过程中，水分更容易进入混凝土内部，为有害物质的侵入提供通道，加速混凝土的劣化。较低的骨料强度也会限制再生骨料混凝土整体强度的提升，影响其长期承载能力。

2.2 新旧水泥浆体界面过渡区

再生骨料混凝土中存在新旧水泥浆体界面过渡区，这是再生骨料混凝土结构中的薄弱环节。旧水泥砂浆与新拌水泥浆体之间的粘结性能较差，在荷载作用下，裂缝容易在该区域产生和扩展。而且，界面过渡区的微观结构疏松，孔隙较多，水分和有害离子更容易在此处聚集和渗透，进一步降低了混凝土的耐久性。随着使用时

间的延长，界面过渡区的性能劣化会逐渐加剧，导致再生骨料混凝土结构的长期性能下降。

2.3 环境因素

环境因素对再生骨料混凝土结构的长期性能有着重要影响。温度变化会引起混凝土的热胀冷缩，产生温度应力。当温度应力超过混凝土的抗拉强度时，就会产生裂缝。而且，反复的温度变化会使裂缝不断扩展和延伸，影响混凝土结构的完整性和耐久性。湿度变化会导致混凝土内部水分蒸发或吸收，引起混凝土的干缩和湿胀^[1]。干缩裂缝是混凝土常见的缺陷之一，它会降低混凝土的抗渗性和抗碳化能力，加速钢筋的锈蚀。此外，冻融循环、化学侵蚀等环境作用也会对再生骨料混凝土结构造成损害，影响其长期性能。

2.4 荷载作用

再生骨料混凝土结构在使用过程中会承受各种荷载作用，包括静荷载和动荷载。长期持续的荷载作用会引起混凝土的徐变变形，导致结构变形增大，甚至产生裂缝。而且，荷载的反复作用会使混凝土内部产生疲劳损伤，裂缝不断积累和扩展，降低混凝土的强度和耐久性。特别是在一些承受较大动荷载的结构中，如桥梁、道路等，荷载的疲劳作用对再生骨料混凝土结构的长期性能影响更为显著。

3 再生骨料混凝土结构耐久性面临的问题

3.1 抗渗性差

由于再生骨料的高孔隙率和大吸水率，以及新旧水泥浆体界面过渡区的存在，再生骨料混凝土的抗渗性通常较差。抗渗性是衡量混凝土耐久性的重要指标之一，它直接影响水分和有害离子在混凝土中的渗透速度。通过渗透系数来评价混凝土的抗渗性，普通混凝土的渗透系数一般在 1×10^{-11} ~ 1×10^{-10} m/s之间，而再生骨料混凝土的渗透系数可达 1×10^{-10} ~ 1×10^{-9} m/s，比普通混凝土高1-2个数

量级。水分和有害离子容易通过混凝土内部的孔隙和裂缝渗透到结构内部,引发钢筋锈蚀、碱骨料反应等一系列耐久性问题。钢筋锈蚀会导致钢筋体积膨胀,使混凝土产生顺筋裂缝,进一步降低结构的抗渗性,形成恶性循环,严重威胁结构的安全性和耐久性。

3.2 抗碳化能力弱

碳化是混凝土耐久性劣化的重要原因之一。空气中的二氧化碳会渗透到混凝土内部,与水泥水化产物氢氧化钙发生化学反应,生成碳酸钙,导致混凝土的碱性降低。当混凝土的碱性降低到一定程度时,钢筋表面的钝化膜会失去保护作用,从而引发钢筋锈蚀。再生骨料混凝土的孔隙结构使得二氧化碳更容易进入混凝土内部,加速碳化过程。

3.3 抗冻性不足

在寒冷地区,再生骨料混凝土结构会受到冻融循环的作用。如前文所述,再生骨料混凝土的孔隙率较高,内部可冻水含量较多,而且其抗渗性差,水分更容易进入混凝土内部,使得冻融破坏更加严重。经过一定次数的冻融循环后,再生骨料混凝土会出现表面剥落、骨料外露等现象,导致混凝土的强度和耐久性显著降低^[2]。相关标准规定,在严寒地区,混凝土结构需要满足一定的抗冻等级要求,如F300(表示混凝土在饱和状态下能经受300次冻融循环而不破坏)。然而,再生骨料混凝土往往难以达到较高的抗冻等级,一般只能达到F100-F200左右,这限制了其在寒冷地区的应用。

3.4 抗化学侵蚀能力低

在一些化学腐蚀环境中,如工业废水、海水等,再生骨料混凝土结构会受到化学侵蚀的作用。化学侵蚀介质会与混凝土中的水泥水化产物发生化学反应,破坏混凝土的结构,降低混凝土的强度和耐久性。例如,在硫酸盐侵蚀环境下,硫酸盐会与混凝土中的氢氧化钙和水化铝酸钙反应生成钙矾石和石膏等膨胀性产物,导致混凝土开裂和剥落。

4 再生骨料混凝土结构长期性能及耐久性提升措施

4.1 材料优化措施

4.1.1 再生骨料改性处理

对再生骨料进行改性处理是提高再生骨料混凝土性能的有效方法。常见的改性方法包括物理改性和化学改性。物理改性方法主要有机械研磨、加热烘干等。机械研磨可以去除再生骨料表面的旧水泥砂浆,降低骨料的孔隙率和吸水率,提高骨料的强度。加热烘干可以减少再生骨料的含水率,改善其工作性能。化学改性方法是通过在再生骨料表面涂覆化学溶液,如硅烷偶联剂、聚

合物乳液等,来改善骨料与水泥浆体之间的界面粘结性能,提高混凝土的强度和耐久性。

4.1.2 掺加矿物掺合料

在再生骨料混凝土中掺加适量的矿物掺合料,如粉煤灰、矿渣粉、硅灰等,可以改善混凝土的性能。矿物掺合料具有火山灰活性,能够与水泥水化产物氢氧化钙发生二次水化反应,生成具有胶凝性质的水化硅酸钙凝胶,填充混凝土内部的孔隙,提高混凝土的密实度和强度。粉煤灰是一种常用的矿物掺合料,其细度较小,表面光滑,可以改善混凝土的和易性。当粉煤灰掺量为20%-30%时,再生骨料混凝土的28天抗压强度可比不掺粉煤灰的混凝土提高5%-10%,抗渗性也有明显提高。矿渣粉的活性较高,掺加矿渣粉可以显著提高混凝土的后期强度。硅灰的粒径极小,比表面积大,具有很高的活性。掺加硅灰可以显著提高混凝土的强度和耐久性,但硅灰的价格较高,一般掺量控制在5%-10%之间。同时,矿物掺合料的掺入还可以降低混凝土的水化热,减少温度裂缝的产生,提高混凝土的抗渗性和抗碳化能力。此外,矿物掺合料还可以吸附有害离子,减缓钢筋锈蚀的速度,提高混凝土的耐久性。

4.1.3 添加外加剂

合理添加外加剂可以改善再生骨料混凝土的工作性能和耐久性。减水剂可以减少混凝土的用水量,提高混凝土的流动性和强度,降低混凝土的孔隙率,从而提高混凝土的抗渗性和抗碳化能力。高效减水剂的减水率可达20%-30%,在保持混凝土坍落度不变的情况下,可显著降低混凝土的用水量。引气剂可以在混凝土中引入大量微小、封闭的气泡,改善混凝土的和易性,提高混凝土的抗冻性和抗化学侵蚀能力。引气剂的掺量一般控制在混凝土体积的3%-6%之间。阻锈剂可以抑制钢筋的锈蚀,延长结构的使用寿命。常见的阻锈剂有亚硝酸盐类、有机胺类等。阻锈剂可以通过在钢筋表面形成一层保护膜,阻止氯离子等有害离子与钢筋接触,从而抑制钢筋锈蚀^[3]。防腐剂可以防止化学侵蚀介质对混凝土的破坏,提高混凝土的抗化学侵蚀能力。例如,在海水侵蚀环境中,掺加防腐剂可以显著降低混凝土中氯离子的渗透速度,提高混凝土的耐久性。

4.2 结构设计措施

4.2.1 合理选择结构形式和尺寸

在进行再生骨料混凝土结构设计时,应根据工程的使用要求和环境条件,合理选择结构形式和尺寸。对于承受较大荷载或处于恶劣环境中的结构,应采用强度较高、耐久性较好的结构形式,如框架结构、剪力墙结构

等。同时,适当增加结构的截面尺寸,可以提高结构的承载能力和耐久性。例如,在基础结构设计中,增加基础的厚度和宽度可以提高基础的承载能力,减少不均匀沉降对结构的影响。此外,还应考虑结构的构造要求,合理设置伸缩缝、沉降缝等,以减少温度应力和不均匀沉降对结构的影响。伸缩缝的间距应根据结构类型、所处环境等因素确定,一般框架结构的伸缩缝间距为55-75m。

4.2.2 加强结构构造设计

加强结构构造设计是提高再生骨料混凝土结构耐久性的重要措施。在结构的关键部位,如梁柱节点、梁板交接处等,应采取加强措施,如增加钢筋配置、设置箍筋加密区等,提高结构的局部承载能力和抗裂性能。对于梁柱节点,应保证节点核心区的混凝土强度和钢筋锚固长度,增加箍筋的配置,提高节点的抗剪能力。对于容易受到环境侵蚀的部位,如基础、地下室等,应采取防水、防腐等防护措施,防止水分和有害离子的侵入。例如,在基础表面涂刷防水涂料、设置防水卷材等,可以有效提高基础的防水性能。此外,还应合理设置排水系统,及时排除结构表面的积水,减少水分对结构的侵蚀。

4.3 施工工艺措施

4.3.1 严格控制施工质量

施工质量是影响再生骨料混凝土结构长期性能和耐久性的关键因素之一。在施工过程中,应严格按照设计要求和施工规范进行操作,确保混凝土的质量。加强对再生骨料的质量检验,严格控制其含泥量、粒径级配等指标。再生骨料的含泥量应不大于3%,粒径级配应符合相关标准要求。准确控制混凝土的配合比,保证混凝土的用水量、水泥用量等参数符合设计要求。在混凝土搅拌过程中,应严格控制搅拌时间和搅拌速度,确保混凝土的均匀性。加强混凝土的运输、浇筑和养护等环节的管理,确保混凝土的密实性^[4]。在混凝土浇筑过程中,应采用分层振捣的方法,避免出现漏振和过振现象。混凝土浇筑完成后,应及时进行养护,养护时间一般不少于14天。在养护过程中,应保持混凝土表面的湿润,防止混凝土表面出现干裂。

4.3.2 采用先进的施工技术

采用先进的施工技术可以提高再生骨料混凝土结构的施工质量和耐久性。例如,采用泵送混凝土技术可以提高混凝土的输送效率和施工质量,减少混凝土的离析和泌水现象。泵送混凝土的坍落度一般控制在120-180mm之间,通过合理选择泵送设备和泵送工艺,可以确保混凝土顺利泵送至浇筑部位。采用喷射混凝土技术可以用

于结构的修补和加固,提高结构的整体性和耐久性。喷射混凝土具有施工速度快、密实性好等优点,适用于各种复杂形状的结构表面修复。采用预制装配式施工技术可以提高施工效率,减少施工现场的湿作业,降低环境因素对混凝土质量的影响。预制装配式结构构件在工厂内生产,质量可控性高,通过合理的连接方式将构件组装成整体结构,可实现快速施工和高质量建造。

4.4 防护措施

4.4.1 表面涂层防护

在再生骨料混凝土结构表面涂刷防护涂层是提高其耐久性的常用方法。防护涂层可以阻止水分和有害离子的侵入,保护混凝土结构不受环境的侵蚀。常见的防护涂层材料有环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸等。在选择防护涂层材料时,应根据结构的使用环境和防护要求进行合理选择。同时,在涂刷防护涂层前,应对混凝土表面进行清理和处理,确保涂层与混凝土表面的粘结性能良好。

4.4.2 电化学防护

电化学防护是利用电化学原理对再生骨料混凝土结构中的钢筋进行防护的方法。常见的电化学防护方法有阴极保护和电化学除盐。阴极保护是通过外加电流或牺牲阳极的方法,使钢筋成为阴极,从而抑制钢筋的锈蚀。电化学除盐是通过施加电流,将混凝土中的氯离子等有害离子迁移出混凝土,降低钢筋锈蚀的风险。电化学防护方法具有防护效果好、适用范围广等优点,但需要专业的设备和技术人员进行操作。

结语

再生骨料混凝土绿色环保,前景广阔,但长期性能和耐久性存问题,需采取提升措施。本文从材料、结构、施工、防护等方面提出针对性策略,如骨料改性、掺加外加剂、优化结构设计等。综合应用这些措施可提升其性能,促进工程应用,推动建筑行业可持续发展。实际工程中应依具体条件选择并组合措施,加强监测评估。未来研究可深入探讨性能劣化机理,开发更高效环保的技术和材料,为其应用提供坚实支撑。

参考文献

- [1]邵洪雷,谢园新.再生骨料混凝土在建筑二次结构中的应用[J].居舍,2025,(14):35-37.
- [2]沈诚.再生骨料混凝土在房建结构中的力学性能探讨[J].中国建材,2025,(01):122-124.
- [3]彭立港.再生骨料混凝土结构长期性能劣化机理及低碳强化技术[D].浙江大学,2024.
- [4]彭立港,赵羽习.再生骨料混凝土结构构件研究进展(Ⅱ)——长期服役性能[J].工业建筑,2024,54(08):114-125.