

再生骨料混凝土的质量控制与工程应用探讨

张源明

浙江大东吴集团建材构配件有限公司 浙江湖州 313100

DOI:10.32629/ems.v8i3.18682

[摘要] 本文围绕再生骨料混凝土展开,探讨其质量控制与工程应用。阐述了再生骨料混凝土质量控制的关键因素,如原材料性能、生产工艺等。分析了其在不同工程领域的应用优势与挑战。通过研究,旨在为再生骨料混凝土的质量提升和更广泛工程应用提供理论支持,推动绿色建筑材料的发展。

[关键词] 再生骨料混凝土; 质量控制; 工程应用

引言:

随着建筑行业的发展,对绿色环保材料的需求日益增长。再生骨料混凝土作为一种可循环利用的建筑材料,具有显著的环境效益。然而,其质量控制和工程应用仍面临诸多问题。深入探讨再生骨料混凝土的质量控制要点和工程应用情况,有助于提高其性能和应用范围,促进建筑行业的可持续发展。

1. 再生骨料混凝土概述

1.1 定义与分类

再生骨料混凝土是以再生骨料为部分或全部骨料,与水泥、水及外加剂按一定比例配制而成的混凝土材料。再生骨料源于废弃混凝土、砖石等建筑废弃物,经破碎、筛分、清洗及强化处理后形成,按来源可分为混凝土再生骨料、masonry 再生骨料两类,按取代率可分为低取代率($\leq 30\%$)、中取代率($30\% \sim 50\%$)、高取代率($> 50\%$)再生骨料混凝土。国内规范明确,再生骨料需满足颗粒级配、含泥量、压碎指标等技术要求,其中混凝土再生骨料压碎指标不应大于 30% ,masonry 再生骨料压碎指标不应大于 35% 。不同取代率混凝土适配场景不同,低取代率适用于承重结构,高取代率多用于非承重部位,分类标准为工程应用提供了明确依据。

1.2 发展背景

再生骨料混凝土的发展与国内建筑垃圾资源化利用政策、环保需求及建材资源短缺现状密切相关。我国每年产生建筑垃圾超20亿吨,其中废弃混凝土占比达 40% 以上,传统填埋、堆放方式不仅占用土地资源,还易造成环境污染。伴随“双碳”目标推进及绿色建筑理念普及,建筑垃圾资源化成为必然趋势。国家先后出台《建筑垃圾资源化利用行业规范条件》《再生骨料应用技术规程》等文件,明确再生骨料混凝土推广要求。同时,天然骨料过度开采导致资源枯竭、生

态破坏问题日益突出,再生骨料作为替代材料,可减少天然骨料消耗,契合可持续发展战略,推动建筑行业向绿色低碳转型。

1.3 研究意义

再生骨料混凝土的研究与应用具有重要的环境、经济和社会意义。环境层面,可大幅减少建筑垃圾填埋量,降低对生态环境的破坏,每利用1吨再生骨料可减少约0.8吨二氧化碳排放,助力“双碳”目标实现。经济层面,再生骨料生产成本低于天然骨料,尤其在天然骨料资源匮乏地区,能显著降低工程建材成本,同时带动建筑垃圾回收处理产业发展,创造就业岗位。社会层面,可推动建筑行业转型升级,完善绿色建材产业链,提升工程建设的生态可持续性。此外,通过优化再生骨料混凝土性能,扩大其应用范围,能缓解天然骨料供需矛盾,为基础设施建设提供稳定建材保障,具有深远的行业影响。

2. 再生骨料混凝土质量影响因素

2.1 原材料特性

原材料特性是决定再生骨料混凝土质量的核心因素,主要包括再生骨料自身性能及胶凝材料、外加剂适配性。再生骨料表面附着老旧砂浆,孔隙率比天然骨料高 $5\% \sim 10\%$,吸水率是天然骨料的 $3 \sim 5$ 倍,高孔隙率会导致混凝土流动性下降、强度降低。老旧砂浆含量越高,再生骨料压碎指标越大,混凝土力学性能越差,国内试验表明,砂浆含量超过 20% 时,混凝土抗压强度降幅可达 15% 以上。胶凝材料方面,水泥强度等级、矿物掺合料(粉煤灰、矿渣粉)质量直接影响界面粘结强度,优质矿物掺合料可填充孔隙、改善界面结构。外加剂需适配再生骨料高吸水性,高效减水剂能提升混凝土流动性,缓凝剂可调节凝结时间,避免因水分快速被骨料吸收

导致开裂。

2.2 生产工艺参数

生产工艺参数对再生骨料混凝土质量稳定性影响显著,核心包括搅拌制度、骨料预处理方式及计量精度。搅拌时间需比普通混凝土延长 20~30 秒,确保新旧砂浆与胶凝材料充分融合,搅拌不足易导致界面粘结不牢固,出现分层、离析现象。再生骨料预处理常用预湿处理法,提前洒水使骨料达到饱和面干状态,可避免其在搅拌过程中过度吸收混凝土内部水分,保证水化反应充分。计量精度直接影响配合比落实,水泥、外加剂计量误差不应超过±1%,骨料、水计量误差不应超过±2%,误差过大会导致混凝土强度波动超标。此外,运输过程中的和易性保持也至关重要,运输时间过长或搅拌不充分,会导致混凝土坍落度损失过大,影响施工质量。

2.3 养护条件

养护条件决定再生骨料混凝土强度发展及耐久性,核心影响因素包括养护温度、湿度及养护周期。再生骨料混凝土孔隙率高,水分易散失,养护湿度需保持在 90%以上,湿度不足会导致表面开裂、内部水化反应不完全,强度提升受阻。养护温度以 20℃±2℃为宜,温度低于 5℃时,水化反应速率大幅降低,需采取保温措施;温度高于 30℃时,水分蒸发过快,易产生干缩裂缝,需加强洒水养护。养护周期不应少于 14 天,前 7 天为强度快速发展期,需确保持续湿润,后期养护可采用洒水与覆盖结合方式,提升混凝土抗渗、抗冻性能。国内工程实践表明,规范养护的再生骨料混凝土,28 天抗压强度比养护不当的试件高 20%~30%。

3. 质量控制方法

3.1 原材料质量把控

原材料质量把控需遵循国内相关标准,建立全流程检验机制。再生骨料进场前,需检测颗粒级配、含泥量、压碎指标、吸水率等指标,不符合《再生骨料应用技术规程》要求的严禁进场,对高吸水率骨料可采用强化处理技术,通过机械打磨去除表面老旧砂浆,或采用界面剂改善性能。胶凝材料需选用符合国家标准的水泥、矿物掺合料,水泥强度等级不应低于 42.5 级,粉煤灰需达到 II 级及以上标准。外加剂需进行适配性试验,确定最佳掺量,避免与胶凝材料发生不良反应。进场原材料需按批次检验,每批次再生骨料检验数量不应少于一次,水泥、外加剂每 50 吨检验一次,确保原材料质量稳定。

3.2 配合比设计优化

配合比设计需结合再生骨料特性优化,核心是调整水胶比、胶凝材料用量及外加剂掺量,弥补再生骨料性能缺陷。需根据再生骨料吸水率调整用水量,采用饱和面干用水量算法,确保混凝土和易性与强度需求,低取代率再生骨料混凝土水胶比宜控制在 0.45~0.55,高取代率宜控制在 0.40~0.50。胶凝材料用量比普通混凝土增加 5%~10%,其中矿物掺合料掺量不宜超过胶凝材料总量的 30%,可通过矿物掺合料填充孔隙,改善界面过渡区结构。根据工程需求确定再生骨料取代率,承重结构取代率不宜超过 50%,非承重结构可适当提高,同时通过试配调整配合比,确保混凝土 28 天抗压强度、坍落度等指标满足设计要求,适配工程实际工况。

3.3 生产过程监控

生产过程监控需建立标准化流程,覆盖搅拌、运输、浇筑全环节。搅拌阶段实时监控搅拌时间、原材料计量精度,采用自动化计量设备,减少人为误差,搅拌完成后检测混凝土坍落度、扩展度,每工作班检测次数不应少于 2 次,坍落度损失过大时及时调整外加剂掺量。运输阶段控制运输时间,常温下运输时间不应超过 1.5 小时,避免混凝土离析、初凝,运输车辆需配备搅拌装置,保持混凝土和易性。浇筑前检测混凝土工作性能,不符合要求的混凝土严禁浇筑,浇筑过程中振捣密实,避免漏振、过振导致结构缺陷。同时建立生产台账,记录原材料批次、配合比参数、检测结果等信息,实现质量可追溯。

4. 工程应用领域

4.1 道路工程

再生骨料混凝土在道路工程中应用成熟,主要用于路基填料、路面基层及非机动车道面层。路基填料采用高取代率再生骨料混凝土,需经过压实处理,压实度达到 95%以上,可替代天然砂石填料,降低工程成本,国内多条城市支路、乡村公路已成功应用,如北京、上海等城市将再生骨料用于道路路基,每公里可减少建筑垃圾填埋量约 5000 吨。路面基层采用中低取代率再生骨料混凝土,配合比优化后抗压强度可达 30MPa 以上,满足基层承载需求,适用于二级及以下公路。非机动车道、人行道面层可采用低取代率再生骨料混凝土,表面增设耐磨层,提升使用性能,该应用既解决建筑垃圾处置问题,又契合道路工程绿色建设需求。

4.2 建筑结构

再生骨料混凝土在建筑结构中主要用于非承重结构及承重结构次要部位,非承重结构包括砌块、隔墙板、楼板垫层等,采用高取代率再生骨料混凝土,可大幅降低建材成本,国内住宅工程中已广泛应用再生骨料混凝土砌块,符合绿色建筑评价标准。承重结构次要部位如基础垫层、地下室侧墙回填层,采用低取代率再生骨料混凝土,28天抗压强度不低于25MPa,满足承载要求。部分试点工程将低取代率再生骨料混凝土用于框架结构填充墙、次梁,经检测结构安全性符合规范要求。随着性能优化技术发展,其在承重结构中的应用范围正逐步扩大,助力建筑行业低碳转型。

4.3 水工工程

再生骨料混凝土在水工工程中适用于次要水工建筑物,如渠道衬砌、护坡、挡土墙等,需重点优化抗渗、抗冻性能。渠道衬砌采用中取代率再生骨料混凝土,添加引气剂提升抗冻性,抗渗等级达到P6以上,可有效减少渗漏,降低维护成本,国内北方地区多条灌溉渠道已采用该材料,适应寒冷地区气候条件。护坡、挡土墙采用再生骨料混凝土预制块,施工便捷,可减少现场浇筑工作量,同时利用再生骨料的良好耐久性,抵抗水流冲刷、侵蚀。应用时需严格控制配合比及养护质量,避免因孔隙率高导致抗渗性能不足,确保水工建筑物使用寿命。

5. 应用中存在的问题与对策

5.1 性能稳定性问题

性能稳定性不足是再生骨料混凝土应用的核心问题,主要表现为强度波动大、抗渗抗冻性能较差,根源在于再生骨料质量不均、界面粘结薄弱。对策方面,建立再生骨料分级管理制度,按性能指标分级使用,对质量较差的骨料采用强化处理技术,提升性能一致性。优化界面结构,添加界面调节剂、纳米材料,增强再生骨料与胶凝材料的粘结强度,减少界面裂缝。通过掺加引气剂、防水剂,提升混凝土抗渗抗冻性能,针对不同使用环境调整配合比,寒冷地区重点强化抗冻性,潮湿地区提升抗渗等级。同时加强性能检测,确保混凝土各项指标满足工程需求。

5.2 设计规范缺失

设计规范不完善制约再生骨料混凝土在承重结构中的广泛应用,现有规范对高取代率再生骨料混凝土在承重结构中

的设计参数、构造要求规定不明确,缺乏针对性计算模型。对策方面,完善规范体系,结合国内试验研究及工程实践,修订《再生骨料混凝土结构设计规程》,明确不同取代率再生骨料的力学参数、抗震性能要求及构造措施。编制专项设计指南,针对不同工程类型提供适配的设计方案,为设计人员提供技术支撑。加强规范宣贯与培训,提升设计人员对再生骨料混凝土性能的认知,规范设计流程,确保结构安全性与可靠性。

5.3 推广应用障碍

再生骨料混凝土推广面临认知偏差、产业链不完善等障碍,部分建设单位对其性能存在疑虑,优先选用天然骨料混凝土;再生骨料生产企业规模小、技术水平低,导致骨料质量参差不齐。对策方面,加强示范工程建设,推广成功应用案例,通过实际工程数据验证其性能可靠性,转变行业认知。加大政策扶持力度,对再生骨料生产企业及应用工程给予补贴,鼓励企业升级生产技术,提升再生骨料质量。完善产业链布局,建立建筑垃圾回收、处理、再生利用一体化体系,降低再生骨料生产成本,提高市场竞争力,推动再生骨料混凝土规模化应用。

结束语:

综上所述,再生骨料混凝土在质量控制与工程应用方面有重要研究价值。虽然目前在应用中存在一些问题,但通过严格的质量控制方法和针对性对策,能有效提升其性能。未来应进一步完善相关规范标准,加强推广应用,充分发挥再生骨料混凝土的环保优势,为建筑行业可持续发展贡献力量。

[参考文献]

- [1]王宁,郭虹亮.再生骨料混凝土的力学性能与工程应用研究[C]//河南省豫商经济文化交流协会.2025中国城建经济研讨会论文集.浙江交通资源投资集团有限公司矿业分公司;浙江交投路信新材料科技有限公司;2025:279-281.
- [2]彭大龙.生态混凝土材料在绿色建筑中的应用[J].居舍,2025,(21):50-52.
- [3]再生骨料混凝土技术[J].北方建筑,2022,7(06):52.
- [4]许维洁.人行道透水混凝土垫层应用施工[J].四川水泥,2021,(11):229-230.
- [5]张凯建,肖建庄,袁俊发,等.再生混凝土质量控制及梁时变可靠度分析[J].建筑结构,2019,49(S1):688-692.