探究再生混凝土骨料在干混砂浆中的应用

乐　勇

舟山市汇邦建材有限公司　浙江　舟山　316054

摘　要：再生混凝土骨料在建筑领域应用意义重大。其物理特性上，表面粗糙、吸水率高等影响砂浆性能；化学特性上，旧砂浆及残留外加剂影响粘结与性能；力学特性相对较弱。在干混砂浆中应用具有资源利用、性能改善、经济成本等方面的可行性。再生骨料取代率、配合比设计、再生骨料质量是影响其应用的关键因素，需综合考量以制备高性能再生混凝土砂浆。

关键词：再生混凝土骨料；干混砂浆；基本特性；可行性；影响因素

引言

在建筑行业蓬勃发展的当下，建筑垃圾产量与日俱增，其中废弃混凝土占比颇高。传统处理方式不仅占用土地，还污染环境。与此同时，天然骨料资源日益紧缺，开采成本不断攀升。在此背景下，再生混凝土骨料在干混砂浆中的应用成为研究热点。它既能解决建筑垃圾处理难题，又能缓解天然骨料短缺压力，对推动建筑行业可持续发展意义重大，值得深入探究其应用特性与影响因素。

1 再生混凝土骨料的基本特性

1.1 物理特性

再生混凝土骨料的物理特性与天然骨料存在明显差异。从外观上看，其表面粗糙且棱角较多。这种形态特征在拌制砂浆时会产生较大影响。在搅拌与浇筑过程中，粗糙的表面和众多棱角会使拌和物之间的摩擦力显著增大，进而降低砂浆的流动性，给施工操作带来一定困难。孔隙率（≤ 53%）和吸水率（≤ 14%）是再生混凝土骨料物理特性的重要指标[1]。与天然骨料相比，再生骨料的孔隙率较大，吸水率也较高。在相同水灰比的条件下，随着再生骨料取代率的增加，砂浆的稠度会明显下降。相关研究表明，当再生骨料取代率从 10% 增加到 50%时，砂浆的稠度会显著降低，严重影响施工的和易性。这是因为再生骨料内部的大量孔隙会吸收砂浆中的水分，导致用于润滑颗粒和填充孔隙的有效水分减少，从而使砂浆的流动性变差。此外，再生骨料的表观密度和堆积密度通常小于天然骨料。这一特性会使由其制备的砂浆的表观密度和自重随之降低。在建筑结构设计中，较低的建筑物自重有助于减少地基承载压力，提高构件的跨度，在一定程度上为建筑结构的设计提供了更多的灵活性。

1.2 化学特性

再生骨料有害物质、放射性需符合 GB 6566 要求，再生混凝土骨料表面包裹着一层旧的水泥砂浆，这层砂浆的化学成分与天然骨料截然不同。旧水泥砂浆中的水泥水化产物会对再生骨料与新砂浆之间的粘结性能产生重要影响。由于旧砂浆的存在，再生骨料与新砂浆之间容易形成粘结薄弱区，降低两者之间的粘结强度，从而影响再生混凝土砂浆的整体性能。原生混凝土在生产过程中可能添加了不同种类的减水剂、掺合料等外加剂。当废弃混凝土被处理成再生骨料后，这些外加剂会残留在再生骨料中。在再生骨料二次用于制备砂浆时，这些残留的外加剂可能会与新添加的外加剂发生相互作用，对再生砂浆的性能产生不利影响。例如，可能导致砂浆的凝结时间异常、强度发展不均匀等问题。另外，原生混凝土在长期使用过程中，会受到各种外部环境的侵蚀，如雨水冲刷、化学物质腐蚀等。这些侵蚀作用会使原生混凝土的各组分品质下降，进而导致再生骨料的化学性能存在较大差异，增加了再生混凝土砂浆性能的不确定性。

1.3 力学特性

再生混凝土骨料的力学性能相对天然骨料较弱。再生细骨料压碎指标≤ 30%，干混砂浆用骨料必须满足此限值，压碎指标值是衡量骨料强度和易碎性的重要指标，再生骨料的压碎指标值明显高于天然骨料，这表明再生骨料比天然骨料更易碎。在承受轴向应力时，再生骨料内部存在的微裂缝以及与新旧砂浆之间粘结薄弱等问题，容易形成应力集中现象[2]。应力集中会导致裂缝迅速扩展，从而使再生砂浆的强度降低。一般来说，再

生混凝土砂浆的强度比普通砂浆低 15%-30%左右。不过，具体的强度差异会受到多种因素的影响，如基体混凝土的强度、再生骨料品质、再生骨料替代率以及再生砂浆配合比等。通过合理调控再生骨料取代率、优化砂浆配合比设计以及严格把控再生骨料质量，能有效提升其强度，适配多样工程。

2 再生混凝土骨料在干混砂浆中应用的可行性

2.1 资源利用与环保需求

建筑行业的迅猛扩张带来了建筑垃圾的大量堆积，其中废弃混凝土占据相当大的比重。这些废弃混凝土若得不到妥善处理，不仅占用大量土地资源，还会对土壤、水源等生态环境造成严重污染。而将再生混凝土骨料应用于干混砂浆中，开辟了一条资源化利用建筑垃圾的有效途径。通过专业的破碎、筛分等工艺，废弃混凝土能够被转化为可再次利用的骨料，大量消纳了建筑垃圾，减轻了环境负担，国家鼓励再生骨料用于干混砂浆等预拌建材，实现固废减量。同时，这一举措显著降低了对天然骨料的依赖。天然砂石的开采不仅会破坏自然地貌，导致水土流失等生态问题，而且在开采过程中需要消耗大量的能源和费用。以天然骨料资源紧缺的地区为例，传统建筑模式下，由于天然骨料供应不足，建筑成本居高不下，且工程建设进度常因骨料短缺而受到影响。而再生混凝土骨料的应用，有效缓解了骨料供求矛盾，为当地建筑行业提供了稳定可靠的骨料来源，降低了建筑成本，实现了经济效益与环境效益的双赢，完全契合可持续发展的理念。

2.2 性能改善的可能性

尽管再生混凝土骨料存在一些固有性能缺陷，如吸水率高、表面粗糙、内部存在微裂缝等，但现代科技为其性能改善提供了多种有效手段。在骨料处理方面，改性技术发挥了重要作用。机械活化通过特定设备对再生骨料进行物理处理，能够破坏较弱的再生碎石颗粒，去除粘附在碎石上低强度的水泥石残渣，从而优化再生骨料的级配，改善其表面状况，使其更接近天然骨料的性能。化学改性则是利用聚合物、防水剂等外加剂对再生骨料进行处理，这些外加剂能够在骨料表面形成一层保护膜，降低其吸水性，增强与新砂浆的粘结性能，有效克服了再生骨料因吸水率高而影响砂浆工作性能的问题。在砂浆配合比设计上，通过合理选择水泥品种、掺合料和外加剂等，能够全方位调整砂浆的性能[3]。例如，添加适量的粉煤灰、硅灰等掺合料，这些微细颗粒能够填充砂浆中的孔隙，改善砂浆的微观结构，提高其密实度，进而增强砂浆的强度和耐久性。高效减水剂的使用则可以显著降低砂浆的用水量，在保证砂浆强度的同时，提高其流动性和保水性，使砂浆更易于施工操作，满足不同工程场景的需求。

2.3 经济成本考量

从经济层面分析，再生混凝土骨料在干混砂浆中的应用具有显著的可行性。虽然再生骨料的初期处理需要投入一定成本，涵盖破碎、筛分、清洗等设备的购置与运行费用，但从长远和综合角度来看，其规模化稳定生产带来的经济优势不容忽视。在天然骨料资源紧缺、价格较高的地区，使用再生骨料能够节省大量的天然骨料采购费用，直接降低建筑材料的成本。同时，建筑垃圾的清运和处理一直是城市管理中的难题，需要耗费大量的人力、物力和财力。再生混凝土骨料的应用减少了建筑垃圾的产生量，相应地降低了建筑垃圾的清运和处理费用，减轻了城市垃圾处理的负担。此外，随着技术的不断进步和规模化生产的推进，再生骨料的生产工艺将更加成熟，生产效率大幅提高，生产成本有望进一步降低，从而增强其在干混砂浆市场中与天然骨料的竞争力，推动再生混凝土骨料在建筑行业的广泛应用。

3 再生混凝土骨料在干混砂浆中应用的影响因素

3.1 再生骨料取代率

再生骨料取代率，即再生骨料替代天然骨料的比例，是影响再生混凝土砂浆性能的关键因素之一。再生细骨料取代率不宜大于 50%。为深入探究再生骨料取代率对砂浆性能的影响，进行了相关试验，试验采用 M10 干混砌筑砂浆，固定配合比，仅调整再生细骨料取代率（质量取代），测试稠度、稠度损失、保水率、28d 抗压强度、凝结时间等性能指标，具体试验数据如下表所示：

表 1 再生细骨料取代率对砂浆性能影响的试验数据表

再生细骨料取代率	稠度（**mm**）	**2h** 稠度损失（**mm**）	保水率（%）	**28d** 抗压强度（**MPa**）	凝结时间（**h:min**）	表观密度（**kg/m³**）
0%（天然砂基准）	85	8	92.5	11.2	5:10	2010

续表：

再生细骨料取代率	稠度（mm）	2h 稠度损失（mm）	保水率（%）	28d 抗压强度（MPa）	凝结时间（h:min）	表观密度（kg/m³）
10%	82	10	91.8	10.9	5:15	1990
20%	78	13	90.6	10.5	5:28	1970
30%	74	16	89.2	10.1	5:40	1950
40%	70	19	88.5	9.8	5:55	1930
50%	65	23	87.1	9.2	6:10	1910
60%	58	28	85.3	8.5	6:30	1890
70%	52	34	83.6	7.8	6:55	1870
80%	45	40	81.2	7.0	7:20	1850
100%	36	47	78.5	6.1	7:50	1820

3.1.1 稠度与稠度损失

从试验数据可以看出，在工作性能方面，当取代率在 0%-50%时，稠度下降平缓，2h 损失≤ 23mm，满足施工要求；而当取代率 > 50%时，稠度快速下降，流动性变差，施工困难。规程要求砌筑砂浆稠度宜 70-90mm，综合来看，推荐取代率≤ 50%。

3.1.2 保水率

保水率随取代率升高逐步降低，当取代率为 100%时，保水率降至 78.5%。规程限值规定干混砂浆保水率≥ 88%，由此可知，取代率≤ 40%时可满足该要求。

3.1.3 抗压强度

力学性能上，通常情况下，再生混凝土砂浆的抗压强度会随着再生骨料取代率的上升而降低。从试验数据可知，取代率每提高 10%，强度约降低 0.3-0.7MPa。30%取代时强度为 10.1MPa，仍满足 M10 设计要求；但当取代率 > 30%时，强度不足。

3.1.4 凝结时间

由于再生骨料吸水率高，会延长砂浆的凝结时间。试验表明，当取代率为 100%时凝结时间延长约 2h40min。

3.1.5 耐久性能推测

虽然试验未直接涉及耐久性能测试，但根据再生骨料特性及上述性能变化规律推测，再生骨料取代率的增加往往会对砂浆的抗渗性、抗冻性等产生不利影响。再生骨料内部的微裂缝和粘结薄弱区为水分和有害物质的侵入提供了通道，加速了砂浆内部的侵蚀和破坏过程，降低了其耐久性。

3.2 配合比设计

再生混凝土砂浆配合比设计是其性能优劣的关键，需综合考量水灰比、砂率、掺合料及外加剂用量等因素。水灰比影响砂浆强度与工作性，鉴于再生骨料吸水率高，确定水灰比时要考虑其吸水特性，既要保证工作性，又要避免强度降低。砂率选择同样重要，合适砂率使砂浆和易性好、强度足够，砂率过小易离析，过大则强度降低。掺合料如粉煤灰、硅灰等，可改善微观结构，填充孔隙，发生二次反应，提高密实度与强度，但掺量需合理。外加剂能调节砂浆凝结时间、流动性等性能，根据再生骨料特点与工程要求选种类和用量，如减水剂可提高强度，引气剂可改善抗冻抗渗性。

3.3 再生骨料质量

再生骨料质量对干混砂浆性能起决定性作用，其质量指标含含泥量、泥块含量、颗粒级配、压碎指标等，要求含泥量≤ 3.0%，泥块含量≤ 1.0%，颗粒级配符合 II 区砂。颗粒级配是重要指标，合理粒径分布能让砂浆形成紧密结构，减少内部孔隙，提高密实度与性能；不合理则影响性能。含泥量和泥块含量影响显著，泥土和杂质阻碍水泥浆体与骨料接触，降低粘结强度，影响砂浆强度和耐久性。

结束语

再生混凝土骨料于干混砂浆中应用潜力巨大。虽面临如性能缺陷、应用技术待完善等挑战，但通过对其特性深度剖析，精准调控再生骨料取代率，精心优化配合比，严格把关骨料质量，可显著提升砂浆性能。既能实现建筑垃圾的资源化利用，又能减少天然骨料开采对环境的破坏。未来，随着技术持续革新，其应用必将更广泛，有力推动建筑行业可持续发展。

参考文献

[1] 王贵美. 砖混建筑废弃物再生碎砖混凝土耐久性研究 [J]. 混凝土,2024(6):161-165.

[2] 林晓春. 砖砂的掺量对干混砂浆性能的影响 [J]. 江西建材,2024(6):50-52.

[3] 刘勇. 再生骨料水泥混凝土在绿色建筑墙体结构中的耐久性提升技术 [J]. 水泥,2025(12):89-91.