

还原铬渣替代黄砂用于土建道路, 地面工程的可行性探讨

黄江龙¹ 宋媛媛²

1. 长江勘测规划设计研究有限责任公司 湖北武汉 430000
2. 中冶南方城市建设工程技术有限公司 湖北武汉 430000

【摘要】本文旨在探讨铬渣经还原处理后替代传统黄砂应用于土建道路及地面工程中的可行性。通过对铬渣的化学成分与物理特性进行分析, 并评估其潜在危害的基础上, 介绍了几种常见的还原处理技术及其工艺优化措施。进一步从物理力学性能、环境影响以及经济性三个维度对比了还原铬渣与黄砂的应用效果, 结果表明, 在严格控制铬渣中重金属含量的前提下, 还原铬渣作为黄砂的替代品在特定条件下是可行的。然而, 考虑到铬渣本身的毒性, 实际应用还需遵循严格的环保标准以确保生态安全。

【关键词】铬渣; 还原处理; 黄砂; 可行性分析

1 引言

铬渣作为一种工业废弃物, 主要来源于金属铬或铬化合物生产过程中产生的废渣, 含有较高浓度的六价铬(Cr(VI))等有害物质。随着环保意识的增强及资源回收利用的需求日益增长, 如何有效处理并合理利用铬渣成为亟待解决的问题之一。近年来, 研究发现通过还原方法可将Cr(VI)转化为毒性较低的三价铬(Cr(III)), 进而提高铬渣的安全性, 为其实现再利用提供了可能途径。

2 铬渣的特性和危害

2.1 铬渣的化学成分和物理特性

2.1.1 铬渣的主要化学成分

铬渣作为工业生产过程中不可避免的副产品, 其主要化学成分包括氧化铁与硅酸盐两大类物质, 此外还含有微量但不容忽视的重金属元素。氧化铁的存在赋予铬渣红色或棕色外观, 并对其物理性质产生重要影响; 硅酸盐则主要来自生产过程中使用的耐火材料残留物, 增加了铬渣的复杂性。然而, 最为关键且备受关注的成分莫过于六价铬Cr(VI), 因其强氧化性与高毒性而成为环境与健康领域的重点监管对象。Cr(VI)在铬渣中的存在形式多样, 包括但不限于铬酸盐、铬酸复合物等, 这些化合物不仅对生态系统构成潜在威胁, 也使得铬渣处理与利用面临诸多挑战。值得注意的是, 铬渣中还包含锌、铜、镍等其他重金属元素, 尽管含量相对较低, 但同样可能对环境造成不利影响。因此, 在探讨铬渣资源化利用途径时, 必须对其复杂化学成分进行全面考量, 确保采取合适措施去除或固定有

害物质, 从而保障最终产品的环境友好性与应用安全性。

2.1.2 铬渣的物理特性及其工程应用潜力

铬渣的物理特性主要体现在其颗粒形态与机械性能上, 通常呈现为不规则颗粒状结构, 表现出一定机械强度与耐磨性, 这两大特点使得铬渣在经过适当处理后具备作为建筑材料替代品的潜力。颗粒尺寸分布广泛, 从微米级细粉至毫米级粗粒均有分布, 这一特性意味着铬渣可以根据不同应用场景需求通过筛分或其他物理加工手段调节至所需粒径范围。此外, 铬渣的密度、孔隙率等参数也影响其作为填料或基材时的表现, 例如较高密度赋予其良好承载力, 而适度孔隙率则有利于排水透气功能。尽管如此, 铬渣用于工程建设之前仍需克服诸多技术障碍, 特别是如何在引入额外污染前提下有效分离有害成分, 并通过改性或其他手段改善其化学稳定性, 确保长期服役过程中不会释放有毒物质。

2.2 铬渣的危害

2.2.1 六价铬 Cr(VI) 对生物体的急性与慢性毒性

六价铬 Cr(VI) 作为铬渣中最活跃且最具毒性的成分之一, 能够通过空气传播以粉尘形式被吸入人体呼吸道, 进而渗透至肺部组织引发急性呼吸道刺激症状, 包括但不限于咳嗽、气喘以及支气管炎。当 Cr(VI) 伴随食物或饮水进入消化系统时, 亦可引起胃肠道不适甚至腐蚀性损伤。更重要的是, 长期暴露于含 Cr(VI) 环境之中, 累积效应会导致更为严重的健康问题, 诸如呼吸系统疾病恶化、肾脏功能减退以及增加罹患肺癌与皮肤癌的风险。Cr(VI) 的致

癌机制与其强氧化性密切相关，易与细胞内 DNA、蛋白质等重要生物大分子发生交互作用，干扰正常生理代谢过程，从而诱发基因突变与细胞恶性转化。

2.2.2 铬渣中重金属对土壤环境的污染

铬渣内除 Cr(VI) 外，还包含锌、铅、镉等重金属元素，这些物质即使在较低浓度下也能对土壤生态系统造成不可逆转的损害。重金属离子通过雨水冲刷或地表径流作用逐渐渗入地下，累积于土壤颗粒间隙之中，干扰植物根系吸收必需营养元素的过程，导致作物生长受限甚至死亡。此外，受污染土壤中重金属可通过食物链传递给人类及其他高等生物，形成生物富集现象，加剧健康风险。值得注意的是，土壤中累积的重金属难以自然降解，其长期存在将破坏土壤微生物群落结构与功能，削弱土地生产力，对农业可持续发展构成严峻挑战。

2.2.3 铬渣对水体生态系统的影响

铬渣排放不当或处理设施失效时，其中所含 Cr(VI) 及其他重金属污染物极易随雨水径流或地下水流动进入河流湖泊等水体环境，造成水质恶化。重金属离子溶入水体后，不仅抑制水生植物光合作用，降低水体溶解氧含量，而且干扰鱼类及其他水生生物正常生理机能，严重时可导致大规模死亡事件。此外，受污染水域中重金属沉积物会在特定条件下重新释放回水体，形成持续性污染源。对于依赖水体资源的人类社会而言，铬渣污染不仅威胁饮用水安全，还影响渔业资源开发利用，进而对区域经济发展和福祉产生深远影响。

3 铬渣的还原处理技术

3.1 还原法的原理

还原法作为处理铬渣中六价铬 Cr(VI) 的关键技术手段，其核心原理在于运用特定化学试剂将 Cr(VI) 转化为毒性显著降低的 Cr(III)，这一过程不仅消除了 Cr(VI) 强烈氧化性所带来的环境危害，同时也改善了铬渣的物理化学特性，增强了其作为建筑材料再利用的可能性。具体而言，还原反应涉及 Cr(VI) 在还原剂作用下失去电子转变为 Cr(III) 的化学变化，该反应通常在水溶液中进行，并且要求维持一定 pH 值以促进反应向有利方向进行。在此基础上，通过调节溶液酸碱度、温度、反应时间以及还原剂与 Cr(VI) 的摩尔比等参数，可以有效地提高 Cr(VI) 向 Cr(III) 转化率，从而实现对铬渣中有害成分的有效控制。此外，还原过程中伴随产生的副产物需加以处理，避免因处理不当而导致二次污染现象发生，因此在设计还原工艺时必须充分考虑反应后处理步骤，确保整个流程符合环保

要求。

3.2 常用的还原剂

在众多可用于还原 Cr(VI) 的化学试剂中，硫酸亚铁、亚硫酸钠以及硫脲等物质因其操作简便、成本低廉且还原效率较高而被广泛采用。硫酸亚铁作为常见还原剂之一，其优势在于价格便宜且易于获取，通过与 Cr(VI) 发生氧化还原反应，可有效将其转化为 Cr(III) 形式；然而，使用硫酸亚铁时需注意控制溶液 pH 值，过高或过低均不利于反应顺利进行。亚硫酸钠作为一种强还原剂，在较低 pH 条件下同样能够实现对 Cr(VI) 的高效转化，但由于其自身易被空气氧化，因此储存及运输过程中需特别注意防潮防氧化处理。硫脲则因其能够在较宽 pH 范围内保持活性而受到青睐，适用于处理含有多种金属离子的复杂体系，但其价格相对较高，可能限制大规模工业化应用。针对不同来源铬渣的具体组成特点以及所期望达到的处理效果，在选择还原剂时需综合考虑各种因素，以确定最适方案。

3.3 还原工艺的优化

为提高铬渣还原处理过程中 Cr(VI) 向 Cr(III) 转化率，并最大限度减少二次污染风险，对还原工艺进行系统优化显得尤为重要。优化工作主要包括以下几个方面：首先，精确调控反应体系的温度区间，过低温度会抑制还原速率，而过高则可能导致副产物增多；其次，合理设定初始溶液 pH 值及反应过程中 pH 控制策略，以创造有利于还原反应发生的微环境；再次，根据实际需要调整搅拌速度与方式，保证反应物充分混合接触，提高反应均匀性与传质效率；最后，还需考虑反应时间长短对转化率的影响，过短无法完成完全转化，过长则可能造成不必要的资源浪费。

4 还原铬渣替代黄砂的可行性分析

4.1 物理力学性能比较

从颗粒大小分布、密度以及孔隙率等关键物理力学性能参数考量，经过科学还原处理的铬渣与传统黄砂相比，在满足特定土木工程项目需求方面展示出相似甚至部分优越特性。粒度分布作为直接影响材料填充效果与稳定性的重要指标，在铬渣与黄砂之间呈现出较为一致的趋势，表明通过适当筛分与混合手段，能够使两者在颗粒级配上达到相当水平。这一相似性意味着，在铺设路基或构筑地基时，铬渣与黄砂均能确保良好密实度与均匀承载力，从而为建筑物提供稳固基础。此外，密度作为衡量单位体积质量的关键参数，铬渣经还原处理后，其密度与黄砂相近，这表明在同等体积用量条件下，两种材料均能提供相似的

支撑强度与抗压性能，这对于保证工程建设质量至关重要。具体而言，高密度赋予铬渣优异的承载能力，使其能够在承受重载荷时保持稳定，减少沉降风险。至于孔隙率这一评价材料透水性与透气能力的重要指标，铬渣经过处理后与黄砂之间存在的细微差异并不显著影响其在道路建设或地面工程应用中表现出来的整体性能。铬渣合理孔隙率确保了其在作为填料使用时既能有效分散应力，又能保持良好排水透气功能，为构建耐用且生态友好的基础设施提供了坚实基础。

4.2 环境影响评估

尽管通过还原技术手段已显著降低铬渣中六价铬 Cr(VI) 含量，使其毒性降至可控范围内，但鉴于铬渣本身固有属性及可能携带的其他有害物质，在将其作为建筑材料广泛应用之前，必须对其在整个生命周期内的环境影响进行全面评估。尽管还原处理能够有效将 Cr(VI) 转化为毒性较低的 Cr(III)，然而，仍需警惕在处理过程中可能产生的副产物及未完全转化的残留物对周边空气、土壤与水体造成的潜在污染风险。还原过程中使用的化学试剂及其副产物需得到妥善处理，以防其通过大气传输、地表径流或地下水渗透途径进入环境介质，进而对生态系统造成负面影响。此外，对于那些未完全转化成 Cr(III) 的 Cr(VI)，需采取额外措施确保其不会在环境中释放，避免对公众健康及环境安全构成威胁。此外，铬渣作为建筑填料或基层材料使用期间，须定期监测周围环境中重金属离子浓度变化趋势，特别是在降雨频繁或地质条件不稳定地区，需加强对渗滤液流向与土壤侵蚀状况监控力度，确保不会因自然因素引发二次污染问题。频繁降雨可能加速铬渣中残留重金属离子的迁移，增加其进入地下水体的风险；而在地质条件不稳定区域，铬渣填埋区可能发生位移或破裂，导致重金属泄露。因此，在这些敏感区域内应用铬渣时，应强化环境监测网络建设，确保能够及时发现并处理任何异常情况，有效控制潜在环境风险，保障周边居民健康与生态安全。与此同时，考虑铬渣在不同气候条件下可能发生化学变化或物理风化作用，有必要建立长期跟踪机制，持续评估其对当地生态系统健康状况可能带来的长远影响。在湿润气候区域，需密切关注铬渣在水分作用下可能发生的溶解迁移现象；而在干燥或温差较大的地区，则应重视铬渣在极端温度变化下是否会发生物理破碎，导致原有固定化效果减弱甚至失效。

4.3 经济性分析

就经济层面而言，铬渣能否成功替代黄砂作为土建道路及地面工程项目中不可或缺的原材料之一，关键在于综合考量还原处理成本与后期运营管理支出之间的权衡关系。还原铬渣所需投入不仅涵盖直接消耗能源与化学品费用，还包括设备折旧、人工成本以及可能涉及的技术改造开支等间接开销，这些都将直接影响最终产品市场价格竞争力。相较于传统黄砂开采加工流程相对简单且资源分布广泛的特点，铬渣处理过程复杂性与不确定性因素较多，因此在初期阶段，其市场售价可能会高于常规砂石材料。但从长远角度来看，随着还原技术进步及规模化应用推广，预期成本有望逐步降低，加之铬渣资源化利用有助于缓解天然砂石资源日益紧缺现状，对于推动循环经济体系构建具有积极意义。此外，形成涵盖原料供应、加工生产、物流配送及终端应用在内的完整产业链条，将进一步提升铬渣作为替代建材的整体经济效益，实现环境治理与经济增长双重目标。

5 结论

综上所述，铬渣经由科学合理的还原处理后，在某些情况下确实可以作为黄砂的有效替代材料来用于土建道路及地面工程项目中。然而，鉴于铬渣本身的复杂性及其潜在风险，实际操作中必须采取有效措施监控其安全性，确保在不对生态环境造成负面影响的前提下发挥其积极作用。此外，还需不断探索更加高效低成本的处理技术以促进铬渣资源化利用的发展。

参考文献：

- [1] 李洲. 铝铬渣基还原刚玉的基本性能及其应用基础研究[D]. 武汉科技大学, 2023.
- [2] 宋瑶. 硫酸亚铁还原的铬渣中六价铬的释放机制及提取机理研究[D]. 华南理工大学, 2019.
- [3] 李晨晨, 梁永和, 聂建华, 等. 还原铝铬渣作为耐火原料取代白刚玉的可行性研究[J]. 耐火材料, 2018, 52(04): 280-283+287.
- [4] 张大磊, 李公伟, 李卫华, 等. 聚乙烯塑料/铬渣共热解还原 Cr(VI) 的实验研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(05): 1852-1857.

作者简介：

黄江龙, 男(1992.01.30—), 汉族, 安徽安庆人, 学历: 研究生, 职称: 中级, 研究方向: 道路;

宋媛媛, 女(1992.03.27—), 汉族, 湖北武汉人, 学历: 研究生, 职称: 中级, 研究方向: 工程管理。