

# 道路用固废基绿色胶凝材料的研发

智程洋 智广询 智程程 智程琳 智程龙  
洛阳绿筑建筑材料有限公司 河南洛阳 471000

**摘要:** 随着人们环保意识的提升,道路用环保胶凝材料的研究与开发受到高度重视。废弃物的处置与资源化是一个迫切需要解决的问题,将工业副产品、建筑废弃物、城市生活垃圾等固废转变成“绿色胶凝材料”,既能有效地解决垃圾堆放问题,又能代替一些传统材料,减少资源消耗,减少对环境的污染。将固体废弃物基绿色胶凝材料用于道路,既可改善道路质量,又可提升其耐久性与强度,具有广泛的应用前景与经济价值。基于此,本文探讨了一种硅铝基再生胶凝材料及其制备方法;涉及硅铝基再生胶凝材料技术领域;解决现有技术中的硅铝基再生胶凝材料早期强度不够的问题;所述硅铝基再生胶凝材料由以下组分制成:硅铝基胶40%~50%,超高细矿渣粉5%~15%,无害化二次铝灰渣粉20%~30%,添加剂15%~25%;所述硅铝基再生胶凝材料早期强度较高,且含碳量低,符合绿色胶凝材料的要求。

**关键词:** 道路用固废基;绿色胶凝材料;研发

道路用固废基绿色胶凝材料是在物理和化学作用下,将塑料浆体转变为硬质固体,并与其他材料结合形成具有一定强度的复合材料。主要包括硅酸盐水泥、石灰、石膏以及硅铝基的再生胶凝材料。虽然硅酸盐水泥对现代建筑环境有重大影响,但同时也是大气中二氧化碳的主要排放源。根据IEA的估算,单是水泥工业,就造成了全世界大约7%的二氧化碳排放量。这使得水泥工业成为继钢铁业之后,全球第二大二氧化碳排放行业。“低碳经济”这一术语自从2009年在哥本哈根举行的联合国气候变化大会上就已经被提上了议事日程,“低碳”在环境保护方面的重要性早已深入人心,但作为一种不可缺少的建材——预拌混凝土,“低碳水泥”的出现可以说是它今后的“一片春天”。低碳胶凝材料是指通过对胶凝材料的制备过程进行改造,达到减少胶凝材料生产、使用过程中碳排放的目的。低碳胶凝复合材料可使碳排放降低50%以上,获得高品质和长使用寿命的胶凝复合材料。硅铝基再生胶凝材料以天然矿物、固废和人造硅铝化合物为主要原料,合成出三维网络结构的硅铝基可再生胶凝材料,其制备过程可实现废弃物资源化,减少碳排放,符合低碳胶凝材料的需求。

## 一、绿色胶凝材料的组分

### (一) 硅铝基胶

硅铝基胶是一种以硅和铝为主的无机物质,其中化学成分决定了其耐高温、耐化学侵蚀能力强、耐腐蚀性

好等特点。硅铝基胶的生产工艺包括原材料的选择、配比、搅拌和高温烧成<sup>[1]</sup>。首先,原料的选择是非常重要的,一般选择富含硅、铝的高岭土和膨润土等矿物,并将其粉碎,然后再进行下一道工序。材料配比的科学与否,对材料的综合性能有着重要的影响,合理的硅铝配比可以有效地改善材料的强韧性和耐久性。在搅拌过程中,必须掌握各成分的均匀度,才能使物料的综合性能保持一致性。高温烧成是硅-铝基胶粘剂制备过程中最重要的一步,其烧结温度及时间对材料的组织及宏观力学性能有重要的影响。硅铝基胶在使用时,可与矿渣、铝粉等其他组分发生化学作用,生成高强、耐久的固化材料。该复合胶凝材料既可满足道路施工对材料强度、耐久性等方面的需求,又可有效降低传统水泥生产中的CO<sub>2</sub>排放量,且环境友好<sup>[2]</sup>。硅铝树脂在公路工程中的广泛使用,既可提高公路施工材料的综合性能,又可促进建材工业向绿色转变,具有重大的社会效益与经济效益。

### (二) 超高细矿渣粉

超高细矿渣粉是一种重要的绿色胶凝材料组分,对材料性能的优化具有重要意义。炉渣是高炉冶炼的副产物,经超细研磨后,可得到细小的炉渣。超高细矿渣粉由于其比表面大、活性高,可起到填充、激活等功能。超高细矿渣粉的充填效应可有效改善胶凝材料的致密性、降低孔隙率,进而提高胶凝材料的强度与耐久性<sup>[3]</sup>。利用超高细矿渣粉的激发效应,在胶凝体水化反应中生成

的大量水化产物,可填补微细孔隙,进而提升混凝土的密实度与强度。超高细矿渣粉还可以充分利用工业废料,减少资源消耗,减少CO<sub>2</sub>排放量,具有环境友好的优点。将超高细矿渣粉用于胶凝材料,既可改善其物理性质,又可大幅提高其耐久、耐化学侵蚀能力。尤其是将超高细矿渣粉应用于道路,可有效地延长路面使用年限,降低养护费用,经济、社会效果显著。

### (三) 无害化二次铝灰渣粉

二次无害化铝灰渣粉对资源的回收与环保有着十分重要的意义。铝灰是电解铝生产中产生的固体废物,传统的处置方法为填埋、堆放,既浪费了大量的土地资源,又带来了二次污染<sup>[4]</sup>。将粉煤灰无害化,可使其成为环保胶凝材料的重要组分,从而达到资源回收的目的。二次处理是一种无害化的铝灰渣粉处理方式,它包括预处理、分离、净化和粉碎。首先,对铝灰进行预处理,消除其中的重金属、氟化物等有害成分,保证其“无害化”。在此基础上,对其进行分离纯化,将其有效组分进行萃取,获得具有胶凝材料要求的理化性质。其次,对经处理的铝灰进行破碎,得到具有较好分散、反应活性的超细粉。最后,将二次无害化粉煤灰掺入到胶凝材料中,可明显改善其抗压、耐久、耐化学侵蚀能力。由于铝灰中富含Al、Si等元素,在与其他组分作用时,会产生较多的水化产物,从而使其具有更高的强度和密实度。采用二次无害化处理的铝灰渣粉,可以有效地减少铝灰的填埋,减少对环境的污染,从而达到节能减排的目的。

### (四) 添加剂

添加剂是绿色胶凝材料研究开发的一个重要环节,不仅可以优化材料的性能,还可以使其具有特殊的功能。按性能可分为减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂和防水剂。每一种添加剂都有各自的机理和适用场合。如减水剂可有效地减少用水量,改善材料的工作性能与强度。减水剂能有效地减少水的用量,其主要机理是通过改变水泥粒子的表面电荷分布,削弱其对水的吸附能力。引气剂是指在胶凝材料中掺入微细气泡,从而改善胶凝材料的耐冻性与耐久性。引气剂主要作用是利用混凝土中的微气泡来减缓混凝土冻融时的内应力,达到增强材料耐久性的目的。而缓速剂、早强剂等,可根据不同的施工条件,调整材料的凝结硬化时间。缓凝剂可使水泥的初凝时间延长,便于长距离输送及大体积混凝土的施工;早强剂可以加速材料早期强度的提高,以满足建筑施工及应急抢险的需要。防水剂是指通过改变材料的微结构

来改善材料的致密性、抗渗性、阻湿性等,达到增强材料耐久性的目的。通过合理应用添加剂,可以有效地改善绿色胶凝材料的各项性能,从而更好地适应各种工程的需要。

## 二、制备原理

本文所述硅铝基再生胶凝材料由以下组分制成:硅铝基胶40% 50%,超高细矿渣粉5 15%,无害化二次铝灰渣粉20 30%,添加剂15 25%;所述硅铝基再生胶凝材料早期强度较高,且含碳量低,符合绿色胶凝材料的要求。

研究开发道路用固废基绿色胶凝材料,对环保、经济都有重大意义。它的合成机理是以硅-铝基胶结材料(简称土聚合物)的生成机理为基础的。地聚合物是以富含Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>为主要原料,经高碱性激发剂诱导,在其表面形成三维网状聚合物结构,获得高强、高稳定性的凝胶。矿渣粉由高炉冶炼后产生的副产物,其主要成分为硅酸盐、硅酸铝等熔融物。在淬火过程中,熔融物质会快速降温并变成粒状,并由此生成具有潜在胶凝能力的玻璃状粒子。掺入高碱性激发剂后,矿渣微粉能明显改善胶凝材料的早龄期强度及耐久性。在此基础上,以二次无害化铝灰粉和铝灰渣粉为主体组分,与普通水泥助剂相结合,研制出铝硅再生胶凝材料。铝工业产生的二次铝灰、铝灰粉等固体废物,如不加以妥善处置,既浪费了大量的土地资源,又带来了严重的环境污染。通过对其进行合理的处置与回收,可使其资源化,并作为一种新型的高性能胶凝材料。所制备的硅铝基再生胶凝材料,既可提高其早强,延长寿命,又能满足低碳环境要求。相对于传统的胶凝材料,硅铝基可再生胶凝材料因其原料为工业废弃物,无需高温煅烧,可大幅降低CO<sub>2</sub>排放。该材料的制造工艺低能耗,有利于降低制造成本,既可用于公路建设,又可实现固废的高效回收,符合可持续发展思想。

## 三、具体应用场景

### (一) 市政道路建设

市政道路工程是固体废弃物基绿色胶凝材料的典型应用领域。城市道路既是城市的“大动脉”,又关系到城市的面貌与居民的生活品质。以沥青、水泥等为代表的传统公路建筑材料在生产、使用时,会释放出大量的CO<sub>2</sub>,给环境带来了极大的污染。固废基绿色胶凝材料的使用,为解决上述难题开辟了一条新途径。首先,基于固体废弃物的绿色胶凝材料能够极大地降低对自然能

源的依赖。以工业废物、建筑废弃物等为主体材料,既可减少对自然资源如石灰石、粘土等的开发要求,又可有效降低固废的堆放与处置困难。其次,以固体废弃物为原料的绿色胶凝材料,不仅可以大幅度降低能源消耗,而且可以降低碳排放,对于我国应对气候变化、推进低碳城市的发展都有着十分重要的作用。更关键的是,这种新型的环保胶凝材料,在性能上并不比传统的胶凝材料差多少。其抗压、抗折强度优良,耐磨、耐久性能也十分出色,可满足重载、频繁使用的市政道路的多种需求。另外,固废基环保胶凝材料的组成及制备方法可因需而异,弹性大、适应性强。如:在严寒地区,可加入抗冻剂,增强其抗冻能力;在较高温度地区,可通过改变配方来改善材料的耐热性。总之,将固体废弃物基绿色胶凝材料用于市政道路建设,既能达到资源回收、环境保护的目的,又能提高公路的服役年限,促进城市可持续发展。

### (二) 农村道路建设

农村道路是推进城乡融合、乡村振兴的关键环节。农村道路在建造、养护等方面的投资要比城市公路低,但对材料的耐久性、环保性能的要求却要高得多。固废基绿色胶凝材料在该领域有着特殊的优势与广泛的应用前景。首先,以农作物秸秆、建筑垃圾等为原料,以生物物质为原料,制备基于固废的绿色胶凝材料,既可降低原料成本,又可有效解决我国农村生活垃圾的处置问题。其次,固废基绿色胶凝材料对各种气候变化具有较强的适应能力,可在各种气候环境中维持较高的使用寿命。我国北方地区气候多变,部分地区夏热冬冷,传统胶凝环保胶凝材料在高温、低温、潮湿等环境中易出现开裂变形等问题。第三,固体废弃物环保胶凝材料的施工方法较为简便,适于乡村建设。目前,我国农村道路建设普遍存在着大量的机械设备及人才匮乏的问题,而基于固体废弃物的绿色胶凝材料,其施工工艺简单,便于推广和应用。固废基绿色胶凝材料维修费用低,服役寿命长,可有效降低农村道路养护维修次数,减少长期养护费用。总之,在农村道路推广固废基绿色胶凝材料,具有重大的社会意义。通过推广绿色建筑材料在乡村的推广,可以有效地改善农村基础设施,增强农民的环境保护意识,促进乡村经济与环境的和谐发展。

### (三) 高速公路建设

高速公路是我国公路网中最主要的一环,其原材料质量要求是非常严苛的。将固体废弃物基绿色胶凝材料用于高速公路施工,不仅可以达到高标准,而且可以产生明显的环境效益和经济效益。首先,高速公路对路基及路面的承载能力及耐久性能提出了极高的需求,而固废基绿色胶凝材料经配方优化及工艺改良后,可实现高强度性能,可充分达到高速公路施工的技术标准。其次,高速公路的建造与养护费用高昂,固废基绿色胶凝材料在降低成本方面的优势十分突出。利用工业废渣、炉渣和粉煤灰等固体废物,既可节约原料,又可节约处理垃圾的费用,经济效益十分明显。第三,高速公路建设周期长,传统材料在运输、贮存、服役等环节易受环境污染,而固废基绿色胶凝材料因其稳定、环保等特点,可在多种复杂环境中保持优良的使用性能,保证了工程的顺利实施与质量。第四,由于我国高速公路的高频次、大流量,使得道路的磨耗与损伤是不可避免的。固废基绿色胶凝材料因其优良的耐磨、耐疲劳等特性,可有效提高道路使用寿命、缩短养护用时、降低养护费用。

### 结束语

总之,硅铝基再生胶凝材料是采用天然矿物或固体废弃物及人工硅铝化合物为原料,制备的硅氧四面体与铝氧四面体三维网络聚合胶凝体,具有优良的耐久性,其生产工艺废物利用,对固体废弃物进行了再生利用,因此释放的碳含量较少,满足低碳胶凝材料的要求。

### 参考文献

- [1] 勒治华, 张金来, 周宝炉, 汪光鑫, 汪杰, 叶光祥, 聂亚林. 钨、锡、锂冶炼渣基胶凝材料的制备研究[J]. 中国钨业, 1-19.
- [2] 张志华. 利用低碳胶凝材料制备干混砂浆的试验研究[J]. 江西建材, 2024, (S1): 127-129.
- [3] 王洲杰, 黄艳妮. 建筑用绿色环保胶凝材料的研制及性能评价[J]. 化学工程师, 2024, 38(08): 89-93.
- [4] 单社. 低收缩固废基胶凝材料在大霍公路半刚性基层中的规模化推广应用[J]. 甘肃科技, 2024, 40(07): 18-22.