

公路路面抗滑性能提升：新型材料的开发与应用

杨 东

内蒙古自治区交通运输科学发展研究院 内蒙古 呼和浩特 010050

摘 要：随着交通运输业的蓬勃发展，公路路面抗滑性能对行车安全的重要性愈发突出。本文聚焦公路路面抗滑性能提升这一关键问题，深入剖析新型材料的开发与应用。先分析当前公路路面抗滑性能面临的挑战，接着详细阐述新型抗滑材料的研发方向、种类、特性及技术细节，再通过应用案例探讨其效果。研究表明，新型材料的开发与应用为提升公路路面抗滑性能提供了有效途径，对保障交通安全、推动交通事业发展意义重大。

关键词：公路路面；抗滑性能；新型材料；开发；应用

1 引言

公路交通作为国家经济发展的重要基础设施，其安全性和舒适性一直备受关注。路面抗滑性能是影响公路行车安全的核心要素之一，良好的抗滑性能可有效减少车辆制动距离，降低交通事故发生率。然而，随着交通流量增长、车辆荷载增大以及自然环境影响，传统公路路面材料抗滑性能逐渐下降，难以满足现代交通需求。因此，开发和应用新型材料提升公路路面抗滑性能成为交通领域亟待解决的重要课题。

2 当前公路路面抗滑性能面临的挑战

2.1 交通流量与车辆荷载的影响

近年来，我国经济快速发展，公路交通流量呈爆发式增长。大型货车、客车等重型车辆比例不断增加，车辆荷载对路面的作用力大幅提高。在长期重复荷载作用下，路面材料发生磨损、变形，导致路面纹理变浅甚至消失，抗滑性能显著降低。

2.2 自然环境因素的作用

自然环境中的雨水、冰雪、紫外线等因素都会对公路路面抗滑性能产生不利影响。雨天时，路面上的积水形成水膜，使轮胎与路面间摩擦力减小，车辆易发生打滑、侧滑等危险情况。冬季冰雪覆盖路面会进一步降低抗滑性能，增加交通事故风险^[1]。此外，紫外线照射会使路面材料老化，降低其强度和耐磨性，影响抗滑性能。如我国东北地区冬季漫长，冰雪天气频繁，公路路面抗滑问题尤为突出。

2.3 传统路面材料的局限性

传统的公路路面材料，如沥青混凝土和水泥混凝土，在抗滑性能方面存在一定局限性。沥青混凝土路面在高温环境下易变软，抗滑性能下降；在低温环境下易开裂，影响路面平整度和抗滑性。水泥混凝土路面虽具有较高强度，但接缝处抗滑性能往往较差，且长期使用

后易出现磨光现象，导致抗滑性能降低。

3 新型抗滑材料的研发方向

3.1 提高材料的耐磨性

耐磨性是影响路面抗滑性能的关键因素。新型抗滑材料应具备优异耐磨性能，能在长期车辆荷载和自然环境作用下保持良好表面纹理和抗滑能力。研发人员可通过添加耐磨添加剂、优化材料配方等方式提高材料耐磨性。例如，在沥青混合料中添加玄武岩纤维等耐磨材料，可有效提高沥青路面的耐磨性和抗滑性能。玄武岩纤维具有高强度、高模量等特点，能在沥青混合料中形成三维网络结构，增强混合料的整体性能，减少磨损。

3.2 增强材料的抗滑纹理稳定性

路面的抗滑纹理是保证车辆与路面间摩擦力的关键。新型抗滑材料应能形成稳定、持久的抗滑纹理，在车辆行驶过程中不易被磨损或破坏。这需从材料的微观结构和表面特性入手，研发具有特殊纹理设计或能自修复纹理的材料^[2]。例如，一些新型抗滑集料具有独特形状和表面粗糙度，能在路面形成良好抗滑纹理，且磨损后能通过一定机制自我修复，保持抗滑性能稳定。这种自修复机制可能是基于材料内部的微观结构变化或化学反应，当纹理磨损到一定程度时，材料会自动调整结构或产生新的纹理。

3.3 适应不同的气候和环境条件

我国地域辽阔，气候条件复杂多样。新型抗滑材料应能适应不同气候和环境条件，在高温、低温、潮湿、干燥等各种环境下都能保持良好抗滑性能。例如，在寒冷地区，需研发具有良好抗冻融性能的抗滑材料，防止路面在冻融循环作用下破坏，影响抗滑性能；在潮湿多雨地区，需研发具有良好排水性能的抗滑材料，减少路面面积水，提高抗滑能力。

4 新型抗滑材料的种类及其特性

4.1 高性能抗滑集料

高性能抗滑集料是提升路面抗滑性能的重要材料。与传统抗滑集料相比,高性能抗滑集料具有更高硬度、耐磨性和棱角性。如玄武岩、辉绿岩等岩石经特殊加工处理后,可制成高性能抗滑集料。这些集料具有尖锐棱角和粗糙表面,能在路面形成良好抗滑纹理,有效提高路面抗滑性能。高性能抗滑集料的加工工艺至关重要。首先要选择优质的玄武岩或辉绿岩矿石,其化学成分和物理性能应符合相关标准。然后通过破碎、筛分等工艺将矿石加工成所需粒径的集料^[3]。在破碎过程中,要采用先进的破碎设备和技术,保证集料的形状和棱角性。例如,采用反击式破碎机可以使集料形成较多的棱角,提高其抗滑性能。此外,还需对集料进行表面处理,如采用酸洗、水洗等方法去除表面的杂质和粉尘,提高集料与沥青的粘结性能。

4.2 橡胶沥青抗滑材料

橡胶沥青是将废旧轮胎橡胶粉与沥青按一定比例混合而成的新型复合材料。橡胶沥青抗滑材料具有良好的弹性和韧性,能适应路面变形,减少路面裂缝产生。同时,橡胶沥青中的橡胶颗粒可在路面形成微观凸起,增加路面粗糙度,提高抗滑性能。此外,橡胶沥青还具有良好的降噪性能,能降低车辆行驶过程中的噪音污染,改善行车环境。橡胶沥青的生产工艺需要严格控制。首先,要选择合适的废旧轮胎橡胶粉,其粒径和活性应符合要求。橡胶粉的粒径过大会影响橡胶沥青的性能,过小则会增加生产成本。一般采用常温粉碎法或低温粉碎法将废旧轮胎加工成橡胶粉。然后,将橡胶粉与基质沥青按一定比例混合,在高温下进行搅拌,使橡胶粉充分溶胀和分散在沥青中。搅拌时间和温度是影响橡胶沥青质量的关键因素,搅拌时间过短,橡胶粉不能充分溶胀;搅拌时间过长,沥青易老化。一般搅拌温度控制在180-200℃,搅拌时间约为45-60分钟。在施工时,橡胶沥青抗滑路面的施工工艺也与传统沥青路面有所不同,需要控制好摊铺温度、碾压温度和碾压次数等参数,以保证路面的质量。

4.3 环氧树脂抗滑材料

环氧树脂抗滑材料是以环氧树脂为基体,添加固化剂、填料和抗滑集料等制成的高性能抗滑材料。环氧树脂具有优异粘结性能和力学性能,能将抗滑集料牢固粘结在路面上,形成坚硬抗滑层。这种抗滑层具有很高强度和耐磨性,能承受车辆高频次碾压,保持良好抗滑性能。此外,环氧树脂抗滑材料还具有良好的耐化学腐蚀

性能,能在各种恶劣环境条件下使用。环氧树脂抗滑材料的配方设计是关键。要选择合适的环氧树脂、固化剂和填料,并确定其最佳配比。环氧树脂的种类和性能会影响抗滑材料的粘结强度和力学性能,固化剂的种类和用量会影响固化时间和固化程度,填料的种类和粒径会影响抗滑材料的成本和性能。在施工过程中,首先要对路面进行清理和打磨处理,去除表面的油污、灰尘和松散颗粒,提高路面的粗糙度,增强环氧树脂与路面的粘结力^[4]。然后涂刷环氧树脂底漆,底漆的涂刷要均匀,厚度要符合要求。接着撒布抗滑集料,抗滑集料的撒布量要根据设计要求进行控制,撒布要均匀。最后进行碾压成型,碾压时要控制好压力和速度,使抗滑集料牢固地嵌入环氧树脂中。

4.4 自发光抗滑材料

自发光抗滑材料是一种新型功能性抗滑材料,不仅具有良好的抗滑性能,还能在夜间或低光照条件下自行发光,提高路面可视性,增强行车安全。自发光抗滑材料通常是在普通抗滑材料中添加自发光颜料制成的。这些自发光颜料能吸收和储存自然光或灯光,在夜间缓慢释放出来,形成柔和光线,为驾驶员提供清晰道路标识和轮廓。自发光颜料的性能和添加量是影响自发光抗滑材料效果的关键因素。自发光颜料应具有较高的发光亮度和较长的余辉时间,一般采用碱土铝酸盐系列或硅酸盐系列的自发光颜料。在添加自发光颜料时,要根据抗滑材料的类型和性能要求确定合适的添加量。添加量过少,发光效果不明显;添加量过多,会影响抗滑材料的力学性能和抗滑性能。在施工过程中,要保证自发光颜料在抗滑材料中分布均匀,可采用搅拌、喷涂等工艺使自发光颜料与抗滑材料充分混合。

5 新型抗滑材料在实际工程中的应用案例

5.1 高性能抗滑集料在广深高速公路的应用

广深高速公路是我国一条重要的交通干线,交通流量大,重型车辆多。随着运营时间的增长,部分路段路面抗滑性能逐渐下降,交通事故时有发生。为了提高路面抗滑性能,2018年广深高速公路管理处对部分路段进行了大修,采用了高性能抗滑集料进行路面铺筑。在施工过程中,严格按照设计要求选择优质的玄武岩抗滑集料,并控制其级配和用量。施工完成后,对该路段的路面抗滑性能进行了检测。检测结果表明,采用高性能抗滑集料的路面摆值(BPN)从原来的45提高到了60以上,构造深度(TD)从原来的0.5mm提高到了0.8mm以上,抗滑性能得到了显著提升。在实际运营过程中,该路段的交通事故发生率较之前明显降低,行车安全性得

到了有效保障。

5.2 橡胶沥青抗滑材料在上海市中环线的应用

上海市中环线是城市快速路网的重要组成部分,车流量大,对路面性能要求高。为了改善城市道路的行车舒适性和抗滑性能,2016年上海市在中环线部分路段进行了橡胶沥青抗滑路面的试验段铺筑。在试验段施工中,采用了橡胶沥青结合料和特定级配的抗滑集料。施工完成后,对该试验段的路面性能进行了长期跟踪监测。监测数据显示,橡胶沥青抗滑路面在降噪、抗滑和抗车辙等方面均表现出良好的性能。与传统的沥青路面相比,橡胶沥青抗滑路面的噪音降低了3-5分贝,抗滑性能在运营多年后仍能满足设计要求,且车辙深度明显减小。例如,在运营3年后,传统沥青路面的车辙深度平均达到了8-10mm,而橡胶沥青抗滑路面的车辙深度仅为3-5mm,有效延长了路面的使用寿命。

5.3 环氧树脂抗滑材料在港珠澳大桥桥面的应用

港珠澳大桥是世界最长的跨海大桥,其桥面面临着复杂的海洋环境和巨大的车辆荷载。为了提高桥面的抗滑性能和耐久性,港珠澳大桥在桥面铺装中采用了环氧树脂抗滑材料。在施工过程中,首先对桥面进行了严格的清理和打磨处理,确保桥面平整、干净、粗糙。然后涂刷环氧树脂底漆,底漆的涂刷厚度控制在0.1-0.2mm。接着撒布粒径为3-5mm的玄武岩抗滑集料,撒布量为6-8kg/m²。最后采用压路机进行碾压成型,碾压压力为0.7-1.0MPa,碾压次数为3-4遍。施工完成后,对桥面的抗滑性能和力学性能进行了检测。检测结果显示,环氧树脂抗滑层的粘结强度达到了3MPa以上,抗滑性能指标摆值(BPN)达到了70以上,构造深度(TD)达到了1.0mm以上,完全满足了设计要求,桥面的承载能力和行车安全性得到了显著提高。

5.4 自发光抗滑材料在四川省雅西高速公路的应用

四川省雅西高速公路穿越高山峡谷,地形复杂,弯道多、坡度大,且夜间行车视线不佳,交通事故频发。

为了提高该路段的行车安全性,2019年在雅西高速公路的部分危险路段采用了自发光抗滑材料进行路面处理。在施工过程中,将自发光抗滑材料均匀地撒布在路面上,撒布量为5-7kg/m²,并经过压实处理。施工完成后,在夜间对该路段的路面发光效果和抗滑性能进行了测试。测试结果表明,自发光抗滑材料在夜间能够发出明显的绿色光线,有效照射距离达到了50-80m,为驾驶员提供了清晰的道路信息。同时,路面的抗滑性能也满足要求,摆值(BPN)达到了55以上。自应用自发光抗滑材料以来,该路段的夜间交通事故发生率大幅下降,取得了良好的社会效益和经济效益。

结语

公路路面抗滑性能的提升对于保障交通安全、促进交通事业发展具有重要意义。新型材料的开发与应用为解决当前公路路面抗滑性能面临的问题提供了有效途径。高性能抗滑集料、橡胶沥青抗滑材料、环氧树脂抗滑材料和自发光抗滑材料等新型抗滑材料具有优异的抗滑性能、耐磨性、耐久性和适应性,在实际工程中取得了良好的应用效果。未来,随着科技的不断进步和材料研发的深入,相信会有更多性能更加优异的新型抗滑材料出现,为公路交通的发展注入新的活力。

参考文献

- [1]陶世刚.高速公路路面抗滑性能的提升技术与施工方法[J].运输经理世界,2025,(06):10-12.
- [2]李阳锋.高速公路路面新材料的应用及施工工艺研究[J].城市建筑,2020,17(15):161-162.
- [3]许立成,刘存银,邓灿,等.沥青路面施工中的新材料与新工艺应用[C]//冶金工业教育资源开发中心.2024精益数字化创新大会平行专场会议——冶金工业专场会议论文集(中册).中建七局第四建筑有限公司,2024:478-481.
- [4]唐凤宁.新材料在高速公路沥青路面施工中的应用及效果[J].四川水泥,2022,(01):228-229.