

超薄磨耗层在城市道路中的抗滑应用研究

李冬晨

(成都市城市道路桥梁监管服务中心, 四川 成都 610000)

摘要: 随着我国城市化进程加快, 汽车保有量增多, 对城市道路服役耐久性尤其是抗滑性能提出了更高的要求。如何快速提升在役城市道路的抗滑性能成为城市道路的养护重点之一。为探究超薄磨耗层对城市道路沥青路面抗滑性能的提升作用, 以某市政养护项目为依托, 通过选择路面抗滑性能表征指标、原材料组成、混合料级配、施工工艺、质量控制等, 明确了超薄磨耗层改善路面抗滑性能的施工技术方案。结果表明, 加铺超薄磨耗层可显著提高路面抗滑性能, 实际应用效果优异。

关键词: 城市道路; 超薄磨耗层; 沥青路面; 抗滑性能; 施工工艺; 质量控制

中图分类号: U415; TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)04-0113-05

Research on Anti-Skid Application of Ultrathin Wearing Course in Urban Roads

LI Dongchen

(Chengdu Urban Road and Bridge Supervision Service Center, Chengdu 610000, China)

Abstract: With the acceleration of urbanization and the increase in the number of automobiles in China, higher requirements have been put forward for the durability of urban roads, especially the anti-skid performance. How to rapidly enhance the anti-skid performance of existing urban roads has become one of the key focuses on the maintenance of urban roads. To explore the enhancing effect of ultra-thin wearing course on the anti-skid performance of asphalt pavement in urban roads, based on a municipal maintenance project, and by selecting the characterization indicators of the anti-skid performance of the pavement, the composition of raw materials, the gradation of mixtures, the construction techniques and the quality control, the construction technical scheme for improving the anti-skid performance of the pavement with an ultra-thin wearing course is clarified. The results show that the overall effect after the overlaying of the ultra-thin wearing course is good, which can significantly improve the anti-skid performance of the pavement, and the practical application effect is excellent.

Keywords: urban road; ultrathin wearing course; asphalt pavement; anti-skid performance; construction technology; quality control

0 引言

由于中国车辆拥有量增加, 城市道路车辆荷载增大, 城市道路沥青路面的质量标准随之提高。其中, 沥青道路的抗滑能力对道路运输的安全影响非常重要^[1]。调查表明, 我国81%的道路事故与道路抗滑能力相关, 道路抗滑能力提高10%, 道路事故概将减少13%^[2]。中国城市道路大多使用沥青路面, 而由于城市快速路、主干道等车流量大、重载车辆多、红绿灯多引起汽车频繁启停, 所以沥青路面的结构深度和摩擦系数将逐步减少。有资料证明, 沥青

路面在竣工验收后的抗滑能力通常满足规范需要, 但通车运营后会急剧下降^[3]。因此, 城市道路的沥青路面抗滑性不但关系到行驶的安全, 而且关系到道路使用时间和养护决策。改善城市道路沥青路面的抗滑功能, 确保行驶安全, 是城市道路养护管理中不可忽略的关键问题之一。王元元^[4]的研究表明, 间距、密集度等微观纹理直接影响轮胎与路面的真实接触范围, 进而对道路抗滑性能产生极为关键的作用。职雨风等^[5]提出撒布机制砂增加路面表面粗糙度, 以提升道路抗滑能力的方式。江照伟等^[6]对SMA沥青路面采取撒布磨损料的方法改善其早期抗滑功能。陈申广^[7]在某高速上运用Novachip磨耗层、抗滑超表处、微罩面3种方法提高道路的抗滑效果, 经过3年的跟踪检测后做出判断: Novachip磨耗

收稿日期: 2025-08-11

作者简介: 李冬晨(1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事城市道路桥梁养护管理工作。

层的抗滑效果好于微罩面,而抗滑超表处最差。这些方法都表明加铺或撒布磨损物(层)能改善沥青路面的抗滑效果。因此,本文基于某市政工程案例,从道路抗滑性能特征指标选取、材料选用、施工技术、质量控制等多个方面,系统性地对超薄磨耗层在城市公路沥青路面中的抗滑运用进行探讨。

1 工程概况

某城市道路养护项目长约3 km。道路始建于2016年,为城市快速路,交通流量等级为特重,设计时速80 km/h。道路面层结构为4 cm SBS改性沥青玛蹄脂碎石混合料 SMA-13C+6 cm 中粒式密级配沥青混合料 AC-20C+6 cm 中粒式密级配沥青混合料 AC-20C。经养护部门检查,该道路综合评价指数(PQI)总体评价为“A”,局部路段为“B”,不用进行大中修。但该道路弯道较多,行车速度快,道路服役时间长,路面抗滑性能衰减严重,急需采取一定的养护措施恢复抗滑能力,以确保行车安全。考虑到对交通及周边居民生活的影响,拟采用加铺1.5 cm 超薄磨耗层对该路段路面抗滑性能进行恢复。

2 路面抗滑性能表征指标

目前,沥青路面抗滑性能表征指标和检测方法较多,不同的表征指标和检测方法均有其使用范围。娄禹岚等^[8]对完工投入运行的公路进行了跟踪检测,提出了路面抗滑性能与检测方法不匹配会造成抗滑性能标准不稳定的观点。说明路面抗滑性能的表征指标及检测方法需与道路实际情况相匹配。《城镇道路养护技术规范》(CJJ 36—2016)^[9]规定:“城镇快速路和主干路应进行路面抗滑性能检测,次干路和支路宜进行路面抗滑性能检测,检测项目宜包括摆值(BPN)、构造深度(TD)和横向力系数(SFC),可采用摆式仪、铺砂法和横向力系数自动检测车等进行检测。”因此,本工程主要在构造深度(TD)、摆值(BPN)和横向力系数(SFC)中选择指标表征路面抗滑能力。

2.1 构造深度

构造深度一般使用铺砂法检测。铺砂法是利用路面的结构特点来反映道路抗滑特性的主要间接测试技术。铺砂法利用体积置换理论^[10],把已知体积的沙子铺设在待测地面上,铺设形式为圆形,沙子的体积与铺设圆形区域面积的比例就是构造深度。刘钱丰等^[11]通过对沥青道路路表的宏观结构和路面抗

滑特性进行研究,表明了平均构造深度与沥青道路抗滑特性有着较大的相关性。运用铺砂法测量结构深度比较方便,结果清晰,但是该方法的单点检测取值范围很小,只能检测小部分路段,容易产生抽样偏差,所以可作为辅助测试方法。

2.2 摆值

利用摆式摩擦系数测定仪检测,用于评估道路在潮湿情况下的防滑性能。原理是基于摆的位能等于安装在摆臂端部橡胶片滑过路面过程中克服道路阻力所产生的能量,从而算出试验道路的摩擦系数^[12]。试验中要求对被测试路面洒水以维持道路潮湿,但规范中未对具体洒水量做出规定。钱钊栋^[13]的研究发现,各种洒水量对摆值测定结果有重要影响,测试中水膜的厚度应控制在0.3 mm左右。所以这个参数对操作人员要求很高,容易产生计量错误。同时有研究发现,这种方法适合测定低速(10 km/h以下)道路的摩擦系数,而对高速道路的摩擦系数检测不够准确^[14],该指标更适用于人行道路面的表征。此外,该技术只能对单一点位实施测定,检测范围较小,代表性不够。

2.3 横向力系数

主要使用横向力系数测定车法,通过测定试验轮所承受的侧向力与垂直荷载比值,即SFC,直接表示道路与轮胎间的静摩擦性质,也用于表征道路的抗滑功能,特别是反映汽车转向时的防侧滑功能。测量时不影响车辆行驶,而且能够连续、高效地完成检测。所以,常用于高等级道路的抗滑功能测试。孔令云等^[15]研究许多案例后看到,在降雨量充足的地方,公路路面的横向力系数和道路交通事故之间的联系密切。所以,横向力系数是衡量沥青路面车行道防滑效果最直接的参数之一。同时有研究显示,使用横向力系数测量车测量横向力值时,测量速度宜为50~60 km/h^[16]。

因此,本工程选用横向力系数(SFC₆₀)来表征路面抗滑性能,选用构造深度(TD)来辅助验证。经检测,路面抗滑性能整治前,SFC₆₀平均值为27.31,路面抗滑能力评价等级为“D”级;TD平均值为0.84 mm,路面抗滑能力评价等级为“A”级。

3 超薄磨耗层材料组成

3.1 沥青结合料

热拌超薄磨耗层应具有优良的黏结力、抗水剥落特性和耐老化特性,同时考虑到项目所在地夏天

气温较高、车辆多且启停频繁,本项目采用高黏改性沥青。高黏改性剂的添加采取湿法工艺,即将高黏改性剂投入成品 SBS 改性沥青制备高黏改性沥青,投入量为沥青用量的 8.0%。制备后的高黏改性沥青性能指标见表 1。

表 1 高黏改性沥青性能指标

指标名称	指标值	试验方法
25℃针入度/0.1 mm	40~60	T 0604
软化点/℃	≥75	T 0606
5℃延度/cm	≥30	T 0605
60℃动力黏度/(Pa·s)	≥100 000	T 0620
150℃运动黏度/(Pa·s)	≤3.0	T 0625
溶解度(三氯乙烯)/%	≥99	T 0607
弹性恢复(25℃)/%	≥90	T 0662
离析,48 h 软化点差/℃	≤2.5	T 0661
旋转薄膜 烘箱老化	质量变化/%	≤±0.5 T 0609
	25℃针入度比/%	≥75 T 0604
	5℃延度/cm	≥20 T 0605

3.2 粗集料

研究表明,粗集料的棱角性、磨光值对沥青路面的抗滑性能影响显著^[17]。本项目粗集料采用玄武岩轧制碎石,性能指标及规格要求见表 2、表 3。

表 2 粗集料的技术要求

指标名称	指标值	测试方法
压碎值/%	≥18	T 0316—2005
磨光值(PSV)	≤42	T 0321—2005
洛杉矶磨耗损失(LA)/%	≥20	T 0317—2005
表观相对密度	≤2.6	T 0304—2005
吸水率/%	≥2	T 0304—2005
坚固性硫酸钠/%	≥8	T 0314—2000
软弱颗粒含量/%	≥1	T 0320—2000
对沥青的黏附性(掺抗剥落剂后)/级	≤5	T 0616—1993
针片状颗粒含量(混合料)/%	≥10	
	其中粒径大于 9.5 mm	≥8 T 0312—2005
	其中粒径小于 9.5 mm	≥12
水洗法<0.075 mm 颗粒含量/%	≥1	T 0310—2005

表 3 粗集料规格要求

规格	公称 粒径/ mm	通过各个筛孔的质量百分率/%					
		19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6
S12	5~10		100	90~100	0~15	0~5	
S14	3~5			100	90~100	0~15	0~3

3.3 细集料

采用由 10~20 mm 规格、洁净、干燥、无风化、无杂质的玄武岩经由机械加工而成的机制砂,细集料在制造过程中必须经过吸尘或水洗。细集料性能指标及规格要求见表 4、表 5。

表 4 细集料性能指标要求

指标名称	指标值	试验方法
表观相对密度	≥2.60	T 0328
坚固性(>0.3 mm 部分)/%	≥3	T 0340
砂当量/%	≤65	T 0334
亚甲蓝值/(g·kg ⁻¹)	≥1.5	T 0349
棱角性(流动时间法)/s	≤30	T 0345

表 5 沥青混合料用细集料规格

规格	公称 粒径/ mm	通过各个筛孔的质量百分率/%						
		4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
S16	0~3	100	90~100	60~90	25~60	8~45	0~25	0~10

3.4 矿粉

矿粉的性能指标见表 6。

表 6 矿粉性能指标

指标名称	指标值	试验方法
表观相对密度	≤2.6	T 0352—2000
含水量/%	≥1	T 0332—1994
外观	无团粒结块	观察
亲水系数	≤0.8	T 0353—2000
塑性指数/%	≥4.0	T 0354—2000
加热安定性	无明显变化	T 0355—2000
颗粒范围/%	<0.6 mm	100
	<0.30 mm	95~100
	<0.15 mm	90~100
	<0.075 mm	75~100
		T 0351—2000

3.5 抗剥落剂

抗剥落剂可进一步保证沥青与集料的黏结力,提高磨耗层耐水能力。本项目采用长期性能优良、耐热、耐水且施工方便的抗剥落剂,加入后沥青与集料的黏附性不低于 5 级。

3.6 混合料

超薄磨耗层混合料级配及性能指标见表 7、表 8。

表 7 超薄磨耗层混合料的级配范围

通过各个筛孔的质量百分率/%				
4.75	2.36	1.18	0.60	0.075
100	18~43	12~35	11~19	8~15

3.6 黏结防水层

本项目黏结防水层采用符合要求的稀释特种沥青,性能指标见表 9。

4 超薄磨耗层施工工艺

4.1 施工准备

超薄磨耗层实施前应对施工场地进行充分踏勘,编制详细的施工方案。应对原路面病害进行处理合格并清扫干净,以保证保基面干燥、平整。并应

表8 超薄磨耗层混合料技术要求

指标名称	指标值	试验方法
击实次数(双面)/次	75	T 0702
试件尺寸/mm	φ101.6×63.5	T 0702
孔隙率VV/%	13~18	T 0708
矿料间隙率VMA/%	≥18	T 0709
沥青饱和度VFA/%	20~50	T 0709
稳定度/kN	≥6	T 0709
残留稳定度/%	≥85	T 0709
冻融劈裂强度比/%	≥80	T 0729
车辙试验动稳定度/(次·mm ⁻¹)	≥4 000	T 0719
沥青析漏试验的结合料损失/%	≤0.1	T 0732
飞散试验的沥青混合料损失(20℃)/%	≤10	T 0733
油膜厚度/μm	≥9	—

表9 黏结防水层性能指标

指标名称	指标值	测试方法
黏度,25℃/(mPa·s)	50~150	T 0625—2011
储藏稳定性试验,24 h/%	≤0.5	T 0656—1993
筛上剩余量试验,0.3 mm/%	≤0.1	T 0652—1993
黏结强度/MP	≥0.7	CJJ 139—2010
20℃直接拉拔强度/MPa	≥0.4	AASHTO T 361—16

实时关注天气预报,避开雨天施工。

4.2 拌合

高黏改性沥青湿拌工艺:将高黏改性剂按比例(添加量为沥青质量的8%)直接加入到带搅拌器的沥青储存罐中,持续搅拌15 min,温度保持在180~190℃。混合均匀后即成为特殊高黏添加剂改性沥青。

混合料拌合工艺:采用厂拌法。拌合楼的拌合力不得低于240 t/h,且可以自动打印拌合记录、自动检测拌合温度等。将符合质量要求的原材料放入拌合楼后,在180~190℃的温度下拌合45~60 s,确保拌合的均匀性。混合料出厂温度不低于160℃。

4.3 运输、摊铺及碾压

拌合好的沥青混合料通过自卸卡车运输至摊铺现场,运输过程中应有保温措施。开级配高黏沥青混合料细集料比较少,散热快,沥青黏度较大,因此应防止较长时间的存放和运输。

摊铺选用有自动找平装置、有预压实装置的摊铺机。摊铺时要严格掌握厚度、平整度和路拱,严格控制路面标高。检查井和雨水井周围、隔离带边缘、机械摊铺的接头和死角等位置只能人工摊铺。这些位置摊铺时要特别注意精心施工,铺料应用铁锹“扣锹”抛出混合料,不能“扬锹”,避免材料离析。松浦系数应保持在1.3左右,人工摊铺后,必须抓紧时间,

在混合料温度降至碾压温度之前用平板振动及其他小型设备压实。每次夯击应与前次重叠1/3左右,防止漏压。

由于超薄磨耗层混合料厚度薄、冷却快,现场必须及时碾压。因此本项目现场采用单车道施工,压路机以不黏轮为准紧随摊铺机。现场配备双钢轮振动压路机2台(静态不小于9 t),静压模式碾压;胶轮压路机1台。混合料初碾温度不低于130℃,终压温度不低于70℃。沥青混合料碾压后必须自然冷却,路面温度低于40℃方可开放交通。

5 超薄磨耗层质量控制及检测评价

5.1 质量控制标准

施工过程中的质量控制及验收标准见表10。

表10 超薄罩面质量验收检测项目

检测项目	检测频率	质量要求	检测方法
现场空隙率/%	5个点/km	13~18	现场取芯
厚度	均值	不小于设计值	T 0902,每个断面挖坑3点
	合格值	-10%	
渗水系数/(mL·min ⁻¹)	5个点/km	不小于600	T 0971
平整度	最大间隙	3 mm	T 0931
	标准差σ值/mm	≤1.5	T 0934
	国际平整度指数IRI/(m·km ⁻¹)	≤2.5	T 0934
抗滑性能	横向力系数	≥50	T 0965或T 0967
	构造深度	≥0.8	T 0961

5.2 施工检测与评价

此次加铺超薄磨耗层完工后照片如图1所示。对照表10进行检测的结果显示,加铺后的超薄磨耗层厚度、渗水系数、平整度、抗滑效果均符合预期要求。



图1 超薄磨耗层加铺后照片

经抗滑性能检测,该路段沥青路面的平均横向力系数达到了58.66,较实施前提高了114.8%,构造深度平均值为1.35 mm,较实施前提高了60.7%,路面抗滑能力评价等级“A”级。结果表明,加铺超薄磨

耗层后,路面抗滑性能有了明显改善。

超薄磨耗层加铺运行18个月后,再次对其横向力系数和构造深度进行检测,该路段沥青路面的平均横向力系数为37.86,较实施前提高了38.6%,构造深度平均值为1.02 mm,较实施前提高了21.4%。路面整体抗滑能力仍较加铺前有明显改善,表明加铺超薄磨耗层进行沥青路面抗滑性能整治具有较好的耐久性。

6 结 论

城市道路沥青路面抗滑性能整治是城市道路养护的重要部分。本文依托某城市道路养护项目,选用横向力系数标准路面抗滑性能,针对超薄磨耗层对沥青路面的抗滑性能恢复进行研究,围绕超薄磨耗层原材料性能、施工工艺、质量控制标准等进行展开,通过实施前后横向力系数对比可知:

(1)用构造深度表征路面抗滑性能,超薄磨耗层实施前后路面抗滑等级均为“A”级;用横向力系数表征路面抗滑性能,路面抗滑等级从实施前的“D”级提升至“A”级,说明对于城市道路车行道沥青路面,选用横向力系数表征其路面抗滑性能更具有代表性。

(2)采用加铺超薄磨耗层可有效改善路面抗滑性能,同时可提高沥青路面耐久性,具有较高的可行性和实用性。

参考文献:

- [1] 黄晓明,郑彬双.沥青路面抗滑性能研究现状与展望[J].中国公路学报,2019,32(4):32-49.
- [2] 甫尔海提·艾尼瓦尔,陈思宇,郝小堂,等.基于路表纹理的沥青路面抗滑性能研究[J].公路交通科技,2023,40(1):127-133.
- [3] 徐欧明,金林通,郭嘉,等.沥青路面抗滑耐久性研究与发展[J].公路,2024,3(3):6-13.
- [4] 王元元.沥青路面抗滑特性与其表面粗糙特性之关系研究[D].南京:东南大学,2017.
- [5] 职雨风,苏堪祥.南方多雨地区SMA路面摩擦系数变化规律研究[J].公路工程,2019,44(3):176-180.
- [6] 江照伟,韦金城,刘航,等.基于撒布磨耗料的SMA沥青路面早期抗滑性能改善研究[J].中外公路,2023,43(3):56-60.
- [7] 陈申广.预防性路面抗滑养护技术应用与对比分析[J].交通世界,2023,4(2):104-106.
- [8] 娄禹岚,李伟.SMA-13 沥青混合料使用初期摩擦系数发展规律的研究[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(12):155-157.
- [9] CJJ 36—2016 城镇道路养护技术规范[S].
- [10] 张栋.沥青路面抗滑性指标与测试方法评价研究[D].济南:山东建筑大学,2018.
- [11] 刘钱丰,韩育刚,李岷,等.沥青路面路表宏观纹理参数与路面抗滑性能关系研究[J].公路工程,2025,50(2):135-142.
- [12] 陈博.基于胎/路有效接触特性的沥青路面抗滑性能评价方法研究[D].广州:华南理工大学,2018.
- [13] 钱钊栋.公路工程沥青路面抗滑性能检测方法及应用分析[J].交通科技与管理,2025,6(4):79-81.
- [14] 张璐,彭勃,朱宇,等.现代沥青路面抗滑检测方法综述[J].工程机械,2024,,55(1):159-164.
- [15] 孔令云,尹果果,林雄伟,等.基于集料力学指标的沥青路面抗滑性能衰减模型[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2017,14(3):13-20.
- [16] 谭忆秋,肖神清,熊学堂.路面抗滑性能检测与预估方法综述[J].交通运输工程学报,2021(4):32-47.
- [17] 刘亚敏,汪磊,杨振.沥青路面抗滑性能衰减规律及预测模型[J].长安大学学报(自然科学版),2023,43(5):1-10.