

超薄罩面层间黏结性能评价指标与检测方法分析^{*}叶康¹, 张毅², 李杰³

(1.长沙理工检测咨询有限责任公司, 湖南 长沙 410076; 2.中建西部建设湖南有限公司, 湖南 长沙 410004; 3.湖南省高速公路集团有限公司, 湖南 长沙 410026)

摘要: 层间黏结性能是保障路面层间协同工作的重要基础。为提高超薄罩面层间黏结性能检测评价的准确性与全面性, 文中阐述普通路面加铺层与超薄罩面层结构特点及黏结层受力的差异, 对比分析现有层间黏结性能评价指标与检测方法, 结合超薄罩面特点, 提出超薄罩面层间黏结性能评价指标、检测方法的建议。

关键词: 公路; 超薄罩面; 黏结受力; 层间黏结性能; 检测方法

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)01-0091-04

超薄罩面作为一种预防性养护技术, 可有效提高高原路面的功能性(如降噪、防滑、平整度等), 阻止裂缝、水损害等病害发展, 并修复车辙等病害^[1], 被广泛应用于各类道路的养护。然而实际应用中常因层间黏结性能失效而导致拥包、滑移等病害发生, 不仅严重影响道路行驶舒适性, 还给行车带来较大安全隐患。与普通路面加铺层相比, 超薄罩面在材料、配合比、路面结构形式、施工方法上存在显著差异, 在层间黏结行为上也表现出明显差异^[2], 采用普通路面层间黏结性能检测方法和评价指标能否有效评价超薄罩面的层间黏结性能存在不确定性。为此, 本文对比分析超薄罩面与普通路面结构及层间受力情况的异同, 对现有层间黏结性能评价指标与检测方法进行对比分析, 结合工程项目应用给出超薄罩面层间黏结性能测试指标与方法的建议, 为超薄罩面层间黏结性能检测与评价提供参考。

1 加铺结构及层间黏结受力分析

1.1 普通加铺层结构及层间受力分析

普通路面加铺层结构通常包括原路面、黏结层和加铺层, 由于材料、工艺及设备等方面的原因, 普通路面的加铺层厚度通常在 4.0 cm 以上。加铺层替代原路面结构的上面层, 直接承受外部荷载(车辆行驶、启动和制动)和环境(温度、湿度)的作用, 并起到荷载传递作用, 主要受到较大水平力、垂直力和冲击力。原路面的上面层则转而成为路面结构的中面

层(未铣刨上面层的情形), 主要起到将荷载向下传递的作用, 受力以垂直力为主。黏结层将加铺层和原路面黏结为一个整体, 使之在外部荷载和环境作用下能协同受力和变形而不发生破坏, 保证作用力能有效传导至下承层。通常路面结构主要受竖直方向压应力和水平方向剪应力的作用^[3-4], 其中压应力主要是结构在受到拉伸、变形时产生的作用方向在同一直线上的力, 剪应力是上下结构层或黏结层上下表面有沿层间相对位移或趋势时产生的作用方向不在同一直线上但相互平行的力(见图 1)。

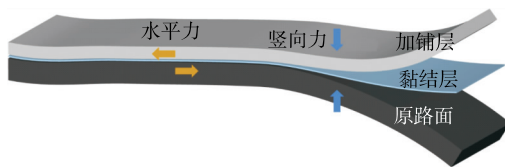


图 1 路面加铺结构及受力示意图

当层间黏结力不够时, 黏结层将成为整个路面结构的薄弱部位, 路面结构容易发生剪切滑移破坏, 在宏观上表现为路面拥包、推移、裂缝等^[5]。针对这一问题, JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》给出了提高路面层间界面抗剪(水平方向)和混凝土抗剪能力(竖直方向)的设计建议^[6]。此外, 增大加铺层厚度也能明显降低外部环境中温度、湿度对黏结层的影响, 有利于提高层间黏结性能和路面整体性能^[4,7]。

1.2 超薄罩面层间黏结行为及对比分析

从路面结构与组成来看, 超薄罩面的典型结构

^{*} 基金项目: 湖南省交通运输厅科技进步与创新计划项目(201910)

同样分为原路面、黏结层(实际厚度可忽略)和加铺层(磨耗层),和普通加铺路面结构相比,其加铺层厚度减小,一般为 1.5~2.0 cm,因而超薄罩面在承受外部荷载及环境作用时表现出与普通加铺路面不一样的特点。

为分析普通加铺层与超薄罩面的受力差别,依据弹性层状体系理论,采用 BISAR 软件对两种路面结构进行受力分析,模拟竖向和水平作用时在行车方向上单圆荷载中心点以下 2 cm 和 4 cm 点位的受力情况,考察厚度变化对黏结层(实际为加铺层层底)竖向应力和水平应力的影响。基本条件设置为:双圆均布荷载、标准轴载为单轴双轮 100 kN,当量圆半径和间隙分别为 10.65 cm 和 31.95 cm;假设层间为完全黏结状态,结构层参数见表 1。应力计算结果见表 2。

表 1 结构层计算参数

结构层	厚度/cm	弹性模量/ MPa	泊松比	密度/ (t·m ⁻³)
加铺层	2/4	1 900	0.35	2.50
原路面	—	1 200	0.30	2.40

表 2 结构层水平、竖向应力计算结果

结构类型	深度/cm	竖向应力/MPa	水平应力/MPa
超薄罩面	2	0.70	0.40
普通加铺	4	0.66	0.14

从表 2 可以看出:在其他条件不变的情况下,黏结层深度(加铺层厚度)的变化将引起水平应力(黏结层受到的剪切应力)波动,而竖向应力(黏结层受到的拉、压应力)变化较平缓。对于普通加铺层结构,较大厚度的加铺层使黏结层下移,可有效降低传导至层间黏结层的应力,其中竖直应力作用的拉、压应力对黏结层起主要控制作用。相比而言,超薄罩面无论是竖向还是水平方向都受到较明显的应力作用,在超薄罩面技术应用的各环节中都应考虑这一

差异。与此同时,由于使用的黏结层材料通常为沥青类温度敏感性材料,厚度减小,其在夏季高温季节的层间黏结力会有所降低,即夏季高温与荷载的耦合作用对超薄罩面结构黏结性能的影响更明显^[8]。为保证超薄罩面在较小厚度下仍能提供良好的层间黏结性能和路面功能等,在材料、配合比及施工方法方面均应有所变化,如要求黏结层使用的乳化沥青和混合料使用的改性沥青具有较高的高温性能,其 60 ℃动力黏度应大于 20 kPa·s。

综上,无论是何种形式的路面结构,层间黏结性能是影响其耐久性和使用寿命的关键因素,在应用中需重点控制。普通路面加铺层的层间黏结层与超薄罩面结构的受力区别主要是由加铺层厚度不同所引起,超薄罩面不仅承受较大的竖向作用力(拉、压应力),还受到明显的水平剪切应力作用,且受温度和荷载耦合作用影响较大。

2 层间黏结性能评价与检测方法对比分析

2.1 黏结性能指标要求与检测方法

JTG/T 5142—01—2021《公路沥青路面预防养护技术规范》和 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》仅对路面压实度、平整度、厚度及宽度等有质量控制要求,对超薄罩面等加铺结构的黏结性能并未给出明确的要求和测试方法。超薄罩面地方性标准,如辽宁省 DB21/T 1995—2012《超薄磨耗层设计与施工技术规范》和浙江省 DB33/T 2113—2018《公路沥青路面超薄磨耗层施工技术规范》,同样未对层间黏结性能提出工程质量与验收要求。JTG 3450—2019《公路路基路面现场测试规程》T0985—2019 中规定了层间黏结强度测试方法,包括抗扭剪切强度和拉拔强度。JTG/T 3364—02—2019《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》对防水黏结材料的层间黏结强度和试验方法提出了要求。相关指标和参考检测方法见表 3。

表 3 现有层间黏结性能指标及检测方法对比

试验名称	适用场地	评价对象	受荷工况	参考标准和规范
拉脱试验	室内	黏结层	垂直荷载	GB/T 34011—2017《建筑用绝热制品》外墙外保温系统抗拉脱性能测定(泡沫块试验)
扭剪黏结强度试验	现场、室内	黏结层—结构层	水平荷载	JTG 3450—2019《公路路基路面现场测试规程》T0985—2019 层间黏结强度测试方法
剪切黏结强度 (直剪/斜剪)试验	室内	结构层—黏结层—结构层	水平荷载、 垂直荷载	DB32/T 2285—2012《水泥混凝土桥面水性环氧沥青防水黏结层施工技术规范》附录 A10 剪切强度测试方法

续表3

试验名称	适用场地	评价对象	受荷工况	参考标准和规范
拉拔试验	现场、室内	结构层—黏结层—结构层	垂直荷载	JTG 3450—2019《公路路基路面现场测试规程》T0985—2019 层间黏结强度测试方法; JTG/T 3364—02—2019《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》附录 B 黏结强度试验方法; DB 32/T 2285—2012《水泥混凝土桥面水性环氧沥青防水黏结层施工技术规范》A11、A12 黏结强度测试方法
重复/压缩剪切强度试验	室内	黏结层—结构层	水平荷载、垂直荷载	GB 11177—1989《无机胶黏剂套接压缩剪切强度试验方法》
三点弯曲/多点弯曲试验	室内	混合料	水平荷载、垂直荷载	JTG F40—2011《公路沥青路面施工技术规范》T0715—2011 沥青混合料弯曲试验(弯曲破坏的力学性质)、T0739—2011 四点弯曲疲劳寿命试验(变形)、T0737—2011 旋转压实和剪切性能试验(抗剪强度、抗剪模量等)

注:三点弯曲/多点弯曲试验通过组合试件试验进行间接评价。

从相关规范、标准及工程实施情况来看,层间黏结性能评价指标主要分为抗剪切强度和黏结强度。其中:抗剪切强度表征路面结构所能抵抗的由层间位移产生的剪切应力大小,主要检测指标包括扭剪黏结强度、剪切黏结强度等;黏结强度主要检测黏结层抵抗垂直荷载(受拉)的能力,检测方法包括拉脱试验、拉拔试验等。此外,还可通过组合试件的多点弯曲试验(弯拉试验)等评价层间黏结性能(变形协调能力)。重复/压缩剪切强度试验目前主要用于科学研究领域。

2.2 评价指标与检测方法的对比分析

从表 3 来看,普通路面层间黏结性能的直接或间接评价指标与方法较多,各有特点,有的方法对仪器设备要求高,不适合现场检测;有的方法的评价对象从混合料本身到黏结层、结构层各不相同;有的方法检测时的荷载工况存在区别。根据上文对超薄罩面层间受力的分析,超薄罩面由于加铺层厚度显著减小,在外部荷载作用下其受水平方向的剪切应力

和垂直方向的拉应力都较显著,并受到高温与荷载的耦合作用。在选择超薄罩面层间黏结性能评价指标与检测方法时应充分考虑超薄罩面层间黏结行为的特点,优先选择现场检测方法,结合室内检测方法,进行水平、垂直荷载作用下黏结强度检测,并考虑黏结材料的高温稳定性能。可采用扭剪黏结强度试验和拉拔试验进行超薄罩面层间黏结性能现场检测,并通过室内黏层材料 60 ℃动力黏度和加铺层混合料车辙试验等对黏结材料、加铺层沥青混合料进行黏结性能、高温稳定性能检测与评价,进而综合评价超薄罩面的层间黏结性能。

3 工程项目实例

某道路原路面采用 AC—13 沥青混凝土,使用 SBS 改性乳化沥青作为黏结层材料(洒布量为 1.0 kg/m²),对裂缝、坑槽病害等处理后加铺 2.0 cm 厚高黏高弹改性沥青磨耗层。施工结束后进行黏结性能检测与评价,检测结果见表 4。

表 4 某超薄罩面项目层间黏结性能检测结果

检测对象		检测指标	检测结果	技术要求
室内检测	乳化沥青(蒸发残留)	60℃动力黏度/(Pa·s)	36 260	≥20 000
	沥青混合料	动稳定度/(次·mm ⁻¹)	7 418	≥4 000
现场检测(温度 25℃)	超薄罩面	扭剪黏结强度/MPa	1.03	≥0.60
		拉拔强度/MPa	0.53	≥0.30

测试结果表明,该超薄罩面在水平方向扭剪和竖直方向拉应力作用下表现出较好的性能,层间具

有良好的黏结性能,均满足设计或规范要求。在开放交通 3 个月后进行现场观测,超薄罩面无脱落和

明显裂缝产生。

4 结论

(1) 超薄罩面由于加铺层厚度显著减小,其受力情况与普通路面加铺层存在明显差异,在外部荷载及环境作用下,其水平方向的剪切应力和垂直方向的拉应力都较显著,且高温与荷载耦合作用明显。

(2) 在进行超薄罩面层间黏结性能检测时,应同时进行水平和垂直荷载作用下黏结强度检测,并考虑加铺层自身黏结能力和温度稳定性(尤其是高温稳定性)。推荐通过扭剪黏结强度试验和拉拔试验,采用黏层材料 60℃ 动力黏度、面层沥青混合料动稳定度等指标进行超薄罩面层间黏结性能检测。

(3) 实际工程应用表明,薄罩面层黏结层具有较好的扭剪黏结强度和拉拔强度,黏结层和加铺层具有良好的高温性能,超薄罩面层间黏结性能良好。

参考文献:

[1] 徐鸥明,曹志飞,李明月,等.超薄罩面沥青混凝土应用

与发展综述[J].中国科技论文,2020,15(4):425—431.

[2] CHEN D H, SCULLION T. Very thin overlays in texas [J]. Construction and Building Materials, 2015, 95: 108—116.

[3] 刘红坡,邱延峻.基于层间状态的沥青路面结构响应分析[J].路基工程,2008(1):34—35.

[4] 吴玉,蒋鑫,梁雪娇,等.轮载作用下典型沥青路面结构力学行为分析[J].西南交通大学学报,2017,52(3): 563—570.

[5] 柯能信.基于 FWD 旧沥青路面加铺层设计方法研究[J].中外公路,2021,41(3):30—35.

[6] 中交路桥技术有限公司.公路沥青路面设计规范: JTG D50—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.

[7] 黄晚清,游宏,曹明明.层间黏结和模量衰减对路面加铺结构的影响[J].公路,2020,65(11):9—16.

[8] 牟压强,郭大进,马永,等.环氧沥青超薄罩面层间抗剪强度的影响因素研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2021,53(2):208—216.

收稿日期:2022—07—06

(上接第 85 页)

[11] LIU Z N, ZHANG R, LIU Z J, et al. Experimental study on swelling behavior and its anisotropic evaluation of unsaturated expansive soil [J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2021, 2021: 1—13.

[12] IKIZLER S B, VEKLI M, DOGAN E, et al. Prediction of swelling pressures of expansive soils using soft computing methods [J]. Neural Computing and Applications, 2014, 24(2): 473—485.

[13] 杨庆,焦建奎,栾茂田.膨胀岩土侧限膨胀试验新方法 与膨胀本构关系[J].岩土工程学报,2001,23(1): 49—52.

[14] ABBAS M F, ELKADY T Y, AL-SHAMRANI M A. Evaluation of strain and stress states of a compacted highly expansive soil using a thin-walled oedometer

[J]. Engineering Geology, 2015, 193: 132—145.

[15] 刘祖德,王园.膨胀土浸水三向变形研究[J].武汉水利电力大学学报,1994,27(6):616—621.

[16] AVSAR E, ULUSAY R, SONMEZ H. Assessments of swelling anisotropy of Ankara clay [J]. Engineering Geology, 2009, 105(1—2): 24—31.

[17] 张颖钧.三向胀缩特性仪的研制[J].路基工程,1990 (5):53—58.

[18] 谢云,陈正汉,孙树国,等.重塑膨胀土的三向膨胀力 试验研究[J].岩土力学,2007,28(8):1636—1642.

[19] 秦冰,陈正汉,刘月妙,等.高庙子膨润土 GMZ001 三 向膨胀力特性研究[J].岩土工程学报,2009,31(5): 756—763.

收稿日期:2022—02—21

(上接第 90 页)

[10] 俞晓,宋雷.空间效应下不规则深基坑的支护体系变形 分析[J].武汉科技大学学报,2020,43(5):384—389.

[11] 深圳市勘察研究院有限公司.公常路中山大学深圳校 区段下穿改造工程岩土工程详细勘察报告[R].深圳: 深圳市勘察研究院有限公司,2018.

[12] 中国建筑科学研究院.建筑基坑支护技术规程: JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[13] 郑毅,施鑫竹.对弹性支点法的认识[J].有色金属设计,2016,43(3):34—37.

收稿日期:2021—12—09