

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2022.05.017

水泥混凝土梁桥沥青铺装层铺筑时机评价指标研究

陈楚鹏^{1,2}, 许新权¹, 李浩¹, 罗雪平², 聂桂海²

(1. 广东华路交通科技有限公司, 广东 广州 510420; 2. 广州大学, 广东 广州 510000)

摘要:为了解决水泥混凝土梁桥沥青铺装层铺筑时机评价指标缺乏的问题,采用回弹试验和莫氏硬度试验对混凝土表面硬度状况进行了评价,提出了回弹比 λ 和硬度值 f 指标;通过拉拔试验和45°斜剪试验,分析回弹比 λ 和硬度值 f 与层间黏结强度之间的关系,确定沥青铺装层铺筑时机;依托实体工程,对沥青铺装层铺筑时机进行工程验证。结果表明:水泥混凝土梁桥沥青铺装层铺筑时机可根据 λ 和 f 进行评价,当 $\lambda \geq 75\%$ 或 $f \geq 4$ 时可进行水泥混凝土梁桥沥青铺装层铺筑。

关键词:桥面整体化层; 沥青铺装层; 时机; 回弹; 莫氏硬度

中图分类号: U443.33

文献标志码: A

近年来,因沥青铺装层与混凝土梁桥层间黏结不足,导致铺装层通车后坑槽、脱皮等病害频发,严重影响了沥青铺装层的使用寿命。经实地调查,病害特点往往表现为“三多一少”:轮迹处多、主车道多、上坡路段多、养生时间少^[1-4]。进一步分析可得,桥面整体化层养生时间不足、强度不够,交通荷载作用下产生的微裂缝造成层间黏结力不足,从而导致了病害发生^[5-9]。

目前,CJJ 139—2010《城市桥梁桥面防水工程技术规程》规定混凝土龄期应 ≥ 7 d,方可进行上部结构施工^[10]。而交通环境、养生条件、配合比等均会影响混凝土的表面状况,统一采用7 d龄期的铺筑时机不合理。此外,工期紧张路段,7 d养生龄期通常不能满足。可见,在通车时间和质量保障的双重要求下,亟需确定合理的沥青层铺筑时机。

(2) 通过主梁刚度恢复判断准则,合理预测了主梁刚度完全恢复(拐点)的位置,并通过顶升力与顶升位移关系曲线以及裂缝宽度发展两方面验证了该准则的有效性,进一步表明了该模拟方法具有适用性。

参考文献:

- [1] 王磊,杨飞,董水英.基于阶梯刚度模式的PC梁开裂后挠度分析方法[J].公路交通科技,2018,35(10):63-68,81.
- [2] 黄义涛,王永光,张建,等.有粘结预应力混凝土梁裂后抗弯刚度评估[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2017,41(5):890-894.
- [3] 杜进生,刘西拉.无粘结部分预应力混凝土梁的挠度、裂缝宽度计算[J].中国公路学报,2000,13(4):72-75.
- [4] 胡志坚,王云阳,胡钊芳,等.预应力混凝土梁开裂后抗弯刚度试验研究[J].桥梁建设,2012,42(5):37-43.
- [5] 叶见曙,张峰.预应力混凝土连续箱梁开裂后的刚度退化模型[J].中国公路学报,2007,20(6):67-72.

- [6] 孙尧州.预应力混凝土简支梁的挠度与刚度研究[D].武汉:华中科技大学,2006.
- [7] 杜拱辰.现代预应力混凝土结构[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [8] 过镇海,时旭东.钢筋混凝土原理和分析[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [9] 李国平.预应力混凝土结构设计原理[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [10] 林同炎, NED H. Bums. 预应力混凝土结构设计[M]. 3版.北京:中国铁道出版社,1983.
- [11] BRANSON D E. Deformation of Concrete Structures [M]. New York: McGraw-Hill, 1965.
- [12] BRANSON D E. Short-Time Deflections of Flat Plates, Flat Slabs, and Two-Way Slabs[J]. Journal of the American Concrete Institute, 1976, 73(12): 686-690.
- [13] 中交公路规划设计院有限公司.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG 3362—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.

收稿日期: 2020-04-29

基金项目: 广东省科技计划项目(编号: 2018B020207003)

作者简介: 陈楚鹏,男,博士研究生,工程师. E-mail: 1242466136@qq.com

针对此类问题,彭官友^[11]通过室内拉拔和剪切试验,研究了水泥混凝土桥面与沥青铺装层间界面特性,结果表明层间黏结强度随着温度增大而降低;许新水等^[12]研究了广东省内水泥混凝土桥面铺装的病害及结构特点,建议单层桥面铺装时采用高黏改性沥青作为防水黏结层使用材料;吴文佑^[13]研究了水泥混凝土桥梁桥面防水黏结层破坏原因,建议提高桥面防水黏结层材料高温环境下的力学性能指标;黄晓明^[14]和杨忠胜^[15]均认为水泥混凝土桥面板养生不足将造成防水黏结层产生脱皮、鼓包等病害。

综上所述,现有研究主要集中于铺装结构、材料设计及层间黏结特性等方面,未见有关沥青铺装层铺筑时机的相关研究,无法较好地指导施工。因此,该文通过大量室内试验、现场实测,提出通过回弹比 λ 和硬度值 f 指标来确定铺筑时机,以便为水泥混凝土梁桥沥青铺装层合适铺筑时机的选择提供参考和借鉴。

1 试件制备及试验方案

1.1 试件制备

(1) 水泥板试件成型:采用原材料室内成型车辙板试件,尺寸为 30 cm×30 cm×5 cm,成型完成后将水泥混凝土板表面抹平,并采用扫帚拉毛,拉毛过程中保证每块板表面粗糙程度一致,然后在室内标准养护室养护,水泥混凝土配合比如表 1 所示。

(2) 在不同龄期时,按照 1.2 kg/m³ 的 SBS 改性沥青用量对混凝土板进行涂抹处理,然后按照 9 kg/m³ 的撒布量撒布 5~10 mm 碎石。

(3) 完成步骤(2)后,立即按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》操作方法在水泥混凝土板上加铺 5 cm GAC—20C 型沥青面层。

1.2 试验方案

采用莫氏硬度试验和回弹试验测试混凝土表面的状况及其变化规律,提出评价指标 λ 和 f ,采用室内拉拔试验和 45°斜剪试验确定层间黏结强度与评价指标 λ 和 f 的关系,最后在室内试验的基础上,根据实体工程验证室内提出的评价指标 λ 和 f 的合理性,试验方案如表 2 所示。

(1) 莫氏硬度试验

莫氏硬度分为:金刚石(10)、刚玉(9)、黄玉(8)、石英(7)、长石(6)、磷灰石(5)、萤石(4)、方解石(3)、石膏(2)和滑石(1),采用不同硬度的石头对混凝土表面进行刻划,当出现明显划痕时说明石头硬度比混凝土大,当出现石头磨损时,说明混凝土硬度比石头硬度大,当石头和混凝土均发生磨损时,说明混凝土和石头的硬度处于同等水平,则采用该石头硬度代表混凝土表面硬度。

(2) 回弹试验

回弹仪法是采用弹击杆弹击混凝土表面,通过测出的回弹值来推定混凝土强度的一种方法,而回弹值

表 1 水泥混凝土配合比

水泥标号	设计等级	水胶比	坍落度/ mm	材料用量/(kg·m ⁻³)						
				水泥	砂	大石	小石	水	外加剂	矿粉
P. O42. 5R	C40	0. 38	180	424	708	720	387	161	4. 660	—

表 2 试验方案

试验项目	检验频率
室内莫氏硬度试验	每块板测试 16 个点
室内回弹试验	每块板测试 16 个点
室内拉拔试验	室内将板切割成 16 个小块,取其中 8 块进行测试
室内 45°斜剪试验	室内将板切割成 16 个小块,取其中 8 块进行测试
现场莫氏硬度试验	每 100 m 检验 2 处,每处测试 16 个点
现场回弹试验	每 100 m 检验 2 处,每处测试 16 个点
现场拉拔试验	每 100 m 检验 2 处,测试位置和回弹或硬度试验位置相同
现场 45°斜剪试验	每 100 m 检验 2 处,测试位置和回弹或硬度试验位置相同

与混凝土表面硬度成一定的比例关系,因此采用回弹值来测定混凝土的表面硬度是非常合理的评价指标,从而为定量确定沥青铺装层铺筑时机提供参考依据。试验时采用标准养生方法,不对试件进行脱模,将混凝土试块划分为 16 个区域,严格按照 DBJ/T13-71-2015《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》操作方法在每个板块进行回弹值测试,并按照规程进行数据处理。

(3) 拉拔试验

① 对试件进行清洁,然后将拉头底部涂抹一层 AB 胶,快速将拉头粘贴在试件表面,并养生 30 min;
② 采用游标卡尺测量试件实际直径,准确至 0.1 mm;
③ 将拉拔头和试件置于(20±1)℃保温 4 h,然后开始试验,拉伸速率为 10 mm/min;④ 试验拉断时,记录最大拉力 F ,精确至 0.1 N,按照式(1)计算层间拉拔强度 σ :

$$\sigma = F / S \tag{1}$$

(4) 45°斜剪试验

① 将切割成 10 cm×10 cm 的试件放入 20℃恒温箱中保温 4 h 以上;② 将保温好的试件,安放于试模中,放置在万能试验机中,开启试验机以 50 mm/min 速度向下移动,记录应力-位移曲线及峰值,当试件破坏或应力-位移曲线出现峰值时停止试验;③ 记录试验机垂直最大向下压力 F ,精确至 0.1 N,按照式(2)计算层间剪切强度 τ :

$$\tau = 0.707 \times F / S \tag{2}$$

2 沥青铺装层铺筑时机评价指标

2.1 回弹比 λ

采用回弹仪测试成型试块的表面硬度(以回弹值表征)随龄期的增长规律如图 1 所示。由图 1 可以看出,混凝土板表面硬度随龄期的增长规律可分为 3 个阶段:

第一阶段:快速增长(0~48 h),混凝土表面硬度快速增长,此时混凝土中水泥快速水化,水泥水化产物快速增加,表面逐渐变成致密结构,凝结成一个整体,从而引起水泥混凝土表面硬度快速增长。

第二阶段:慢速增长(48~96 h),表面硬度慢速增长,一方面是由于混凝土中水泥水化基本完成,水泥水化产物增加速率明显变慢;另一方面是因为快速增长阶段结束后,混凝土表面形成一个致密的表面,后续水泥水化对表面致密结构的增加作用相对较小。

第三阶段:平稳阶段(96 h 后),表面硬度几乎不

再增长,水泥水化基本完成,混凝土表面形成完全致密结构,平稳阶段后测试混凝土表面的回弹值,测试结果不再出现明显的变化。

根据上述分析,定义回弹比 λ 为测试的回弹值 R_i 与最大回弹值 R_{\max} 之比,如式(3)所示:

$$\lambda = R_i / R_{\max} \times 100 \% \tag{3}$$

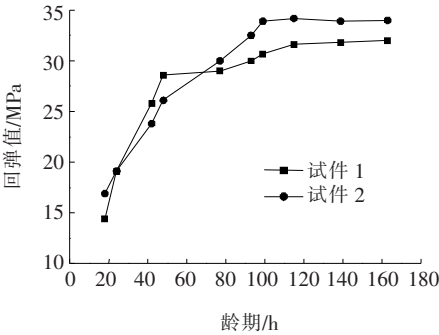


图 1 回弹值随龄期的增长

2.2 硬度值 f

采用莫氏硬度计对成型的水泥混凝土板表面进行划痕试验,测试结果如表 3 所示。由表 3 可以看出:水泥混凝土板莫氏硬度可分为两个阶段:

第一阶段:龄期在 48 h 之前时,随龄期的增长,莫氏硬度值快速增长,此规律和回弹值测试规律一致。

第二阶段:龄期增长到 48 h 后,从莫氏硬度指标看,随龄期的增加,莫氏硬度值几乎不再增加,不能从该指标上看出混凝土表面硬度的变化。

因此,定义硬度值 f 为混凝土表面的莫氏硬度测试值。测试结果如表 3 所示。

表 3 莫氏硬度测试结果

龄期/h	硬度值		龄期/h	硬度值	
	试件 1	试件 2		试件 1	试件 2
18	1	1	93	4	4
24	2	2	99	5	5
42	3	3	115	5	5
48	4	4	139	5	5
77	4	4	163	5	5

3 层间黏结强度与评价指标的关系

3.1 拉拔强度与评价指标的相关性分析

(1) 回弹比 λ

不同回弹比 λ 时,在水泥混凝土板上加铺沥青层,

测试其拉拔强度结果如图2所示。

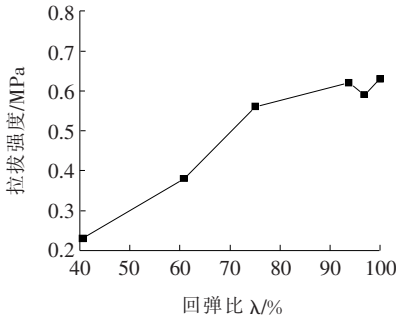


图2 不同回弹比试件的拉拔强度

由图2可知:拉拔强度和 λ 存在较为明显的线性增长关系,拉拔强度随 λ 的不断增长而增长,但存在明显的转折点,当 $\lambda \geq 75\%$ 时,拉拔强度的增长速率明显下降,不再明显增长。当 $\lambda < 75\%$ 时,拉拔强度随 λ 的增加而显著增长。这主要是当 $\lambda < 75\%$ 时,由于水泥混凝土表面未完全水化形成一定的致密结构即开始加铺上部沥青层,混凝土表面微小空隙较多,此时加铺会造成空隙扩大形成较多微小的裂缝,从而引起拉拔强度较低;当 $\lambda \geq 75\%$ 时,混凝土表面已形成致密结构,在上部铺筑沥青层,对其表面的影响较小,从而对拉拔强度的影响较小。

(2) 硬度值 f

不同硬度值时,试块的拉拔强度结果如图3所示。

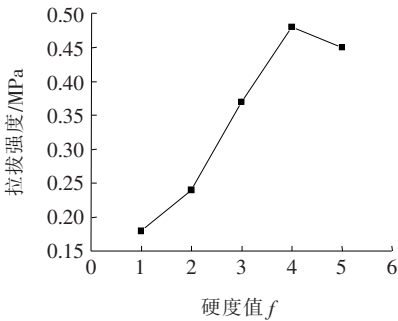


图3 不同硬度值试块的拉拔强度

由图3可知:当 $f \leq 4$ 时,拉拔强度和 f 为线性增长关系,随莫氏硬度增加,拉拔强度逐渐增加;当 $f = 5$ 时,此时拉拔强度相比莫氏硬度 $f = 4$ 时还略有下降,但没有显著的数据差异,因此可以认为 $f \geq 4$ 时,拉拔强度不再明显增长。

3.2 45°剪切强度与评价指标的相关性分析

(1) 回弹比 λ

不同回弹比试块的45°剪切强度结果如图4所示。

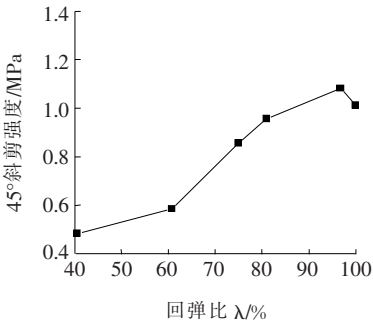


图4 不同回弹比试块的45°剪切强度

由图4可知:45°剪切强度和 λ 存在3阶段增长关系:当 $\lambda \leq 60\%$ 时,45°剪切强度随 λ 增加而略有增长;当 $60\% < \lambda \leq 80\%$ 时,45°剪切强度随 λ 增加而显著增长;当 $\lambda > 80\%$ 时,45°剪切强度随 λ 增加不再显著增长。

(2) 硬度值 f

不同硬度值试块的45°剪切强度结果如图5所示。

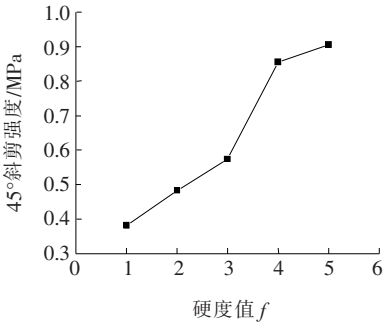


图5 不同硬度值试块的45°剪切强度

由图5可知:当 $f \leq 4$ 时,随着 f 的增加,45°剪切强度显著增长,当 $f = 5$ 时,其45°剪切强度和 $f = 4$ 时的45°剪切强度没有较大差异。

综上所述,当 $\lambda \geq 75\%$ 或 $f \geq 4$ 时,经过室内试验研究,桥面整体化层与上部沥青层层间黏结强度满足规范要求,混凝土梁桥沥青铺筑结构可以开始铺筑上部沥青层。

4 工程验证

依托广州市某高速公路,通过上文建立的铺筑时机评价指标,指导了上部沥青层铺筑,铺筑完成后,在测试回弹值和莫氏硬度指标区域内进行现场拉拔试验,以验证该方法的合理性。

对桥面整体化层进行回弹值和莫氏硬度测试,结果如图6所示。

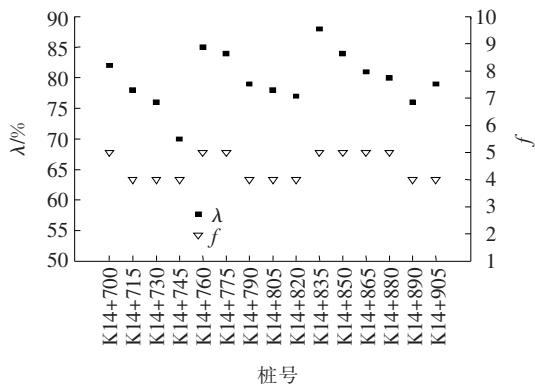


图 6 桥面整体化层回弹及莫氏硬度测试值

由图 6 可知:上述测试区域的测试点基本都满足 $\lambda \geq 75\%$ 或 $f \geq 4$ 的要求,且桥面测试段 λ 和 f 具有很好的关联性,因此现场实际操作时可以选择其中一个方法作为评价指标,满足后即可进行沥青铺装层铺筑。桥面整体化层上部沥青铺装层铺筑完成后,在测试回弹值和莫氏硬度区域进行现场拉拔试验,结果如图 7 所示。

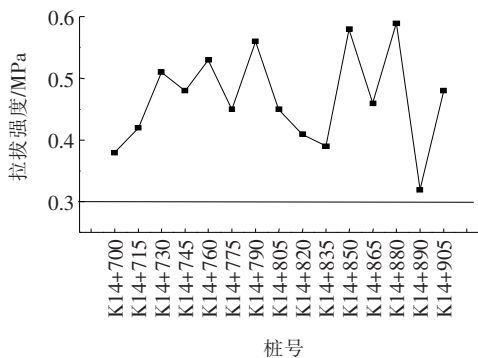


图 7 现场拉拔试验测试结果

由图 7 可知:现场拉拔强度 ≥ 0.3 MPa,符合《广东省高等级公路沥青路面施工技术规范》(试用)的规定,该段路在经过 5 个月通行后,路面未发现早期损坏。

5 结论

(1) 回弹和莫氏硬度试验结果表明,随着混凝土龄期的增加,表面回弹值和硬度值先快速增长后逐渐稳定,在此基础上,提出了回弹比 λ 和硬度值 f 指标,

用于评价沥青铺装层铺筑时机。

(2) 建立了评价指标与层间黏结强度的关系,当 $\lambda < 75\%$ 或 $f < 4$ 时,拉拔强度和 45° 剪切强度随 λ 和 f 的增加而增长;当 $\lambda \geq 75\%$ 或 $f \geq 4$ 时,随 λ 和 f 的增加,拉拔强度和 45° 剪切强度不再有明显变化。

(3) 室内试验和某高速公路实体工程验证表明,当 $\lambda \geq 75\%$ 或 $f \geq 4$ 时,桥面整体化层与沥青铺装层层间黏结强度满足要求,提出的评价指标合理。

参考文献:

- [1] 李明国. 混凝土梁桥沥青铺装结构分析与材料优化研究[D]. 西安:长安大学,2010.
- [2] 魏文鼎. 桥面铺装热接式防水粘结层关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- [3] 李一鸣. 复合式沥青路面水泥混凝土基层面层处理技术研究[D]. 成都:西南交通大学,2018.
- [4] 刘红琼. 水泥砼桥面铺装防水粘结层性能研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2008.
- [5] 柏园. 桥面铺装粘结层的研究[D]. 西安:长安大学,2005.
- [6] 徐世法. 沥青铺装层病害防治与典型实例[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [7] 王京元. 水泥混凝土桥面沥青混凝土铺装早期病害原因分析和结构设计方法[D]. 大连:大连理工大学,2003.
- [8] 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40—2004[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [9] 朱贤明. 既有混凝土桥梁桥面结构开裂与防水的耐久性研究[D]. 北京:北京交通大学,2004.
- [10] 北京市市政工程设计研究总院. 城市桥梁桥面防水工程技术规程: CJJ 139—2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [11] 彭官友. 水泥砼桥面与沥青铺装层间界面特性研究[J]. 公路与汽运,2018(6):116—118.
- [12] 许新水,许新权. 广东省水泥混凝土桥面单层沥青铺装层使用状况调查与分析[J]. 广东公路交通,2017(1):1—4.
- [13] 吴文佑. 水泥混凝土桥梁桥面防水粘结层破坏原因分析[J]. 江西建材,2016(23):147—148.
- [14] 黄晓明. 水泥混凝土桥面沥青铺装层技术研究现状综述[J]. 交通运输工程学报,2014,14(1):1—10.
- [15] 杨忠胜. 高速公路混凝土桥梁桥面铺装早期病害防治探讨[J]. 中外公路,2008,28(1):116—119.