

# 凿毛台车在复合式路面界面处治中的应用研究<sup>\*</sup>

刘静

(四川南渝高速公路有限公司, 四川 成都 610031)

**摘要:** 复合式沥青路面层间粘结效果不佳是其主要病害形式之一。文中依托南渝(南充—重庆)高速公路, 采用凿毛台车, 对试验路段水泥砼基面进行喷砂打毛和凿毛台车凿毛处理, 处理后测试水泥砼基面的露骨率、构造深度及摆式摩擦系数, 并用剪切仪、拉拔仪测试复合式路面层间剪切和拉拔强度, 最后对两种界面处理方法的经济效益进行对比分析。结果表明, 凿毛台车处理的凿毛界面露骨率在 85% 以上, 构造深度为 1.17 mm, 剪切强度为 0.8 MPa, 拉拔强度为 0.54 MPa, 均高于喷砂处理界面; 摆式摩擦系数不能用于评价水泥砼界面处理效果; 凿毛法能有效除去表面浮尘, 增加界面粗糙度, 增强层间粘结效果, 具有较好的打毛效果和经济性能。

**关键词:** 公路; 凿毛台车; 复合式路面; 喷砂打毛; 界面处治

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)04-0109-03

水泥砼与沥青混合料之间的粘结效果不佳, 会导致在外力作用下应力与变形的不连续, 造成铺装层的抗剪强度不足, 是桥梁路段、“白+黑”等复合式路面拥包推移及唧浆等病害的形成原因之一。近年来, 四川高速公路的修筑主要集中在甘孜等川西山区, 如雅康(雅安—康定)、汶马(汶川—马尔康)等高速公路多以桥梁、隧道为主, 层间处理方式和防水粘结层材料选择是提高复合式路面层间粘结的重要途径。该文在介绍不同界面处治方法的基础上, 对凿毛台车和常用界面处治方法喷砂打毛法进行对比分析, 测试试验路段两种界面的处治效果和层间粘结效果, 并对两种界面的经济效益进行分析。

## 1 界面糙化方式介绍

### 1.1 不同界面处治方式概述

目前, 四川省常用的水泥砼界面处治方式为喷砂打毛, 防水粘结层采用聚合物反应型防水粘结涂料。另外, 精铣刨、人工拉毛、高压水喷射和露石剂等基面处理方式在一些路面工程中也有所应用。

精铣刨效率较高, 基面形成 45°斜向刻槽, 深度在 6 mm 左右, 但铣刨机价格较高, 四川应用较少; 喷砂打毛法抛射钢珠, 容易对人造成伤害, 且抛丸机价格昂贵, 工作效率较低; 人工拉毛成本低, 但表面均匀性较差, 效率较低, 易造成路面平整性较差; 高压水喷射虽然效率较高, 对路面损伤较小, 均匀性较

好, 但成本较高, 技术成熟性较差, 应用局限性较大; 露石剂等化学方法环境污染较大, 费用较高, 工程应用相对较少。综上, 目前常用的界面处治方法中, 有些不能完全凿除水泥砼表面的浮尘, 有些价格昂贵, 应用范围受限, 有些则易对环境造成污染。为此, 设计开发凿毛台车, 在有效除去表面浮尘的同时降低凿毛费用。

### 1.2 喷砂打毛法介绍

喷砂打毛法是最常用的一种水泥砼界面处治方式。其基本原理为抛丸机发射直径 2~3 mm 的钢珠在水泥砼表面形成深浅不同的小坑, 以形成粗糙的表面和除去表面浮尘, 并采用吸尘器将打毛过程中产生的废渣和碎钢珠吸进废料仓。喷砂打毛处理一般要求露骨率在 20% 以上, 尽可能除去表面浮尘, 加强沥青混合料和水泥砼层间的粘结性能。南渝(南充—重庆)高速公路采用佰锐泰克(Blastrac)® 2-20DT 手扶式自行走抛丸清理设备进行水泥砼界面处治, 其技术参数见表 1。

表 1 抛丸机的技术参数

项目	技术参数
抛丸宽幅/mm	550
抛丸效率/(m <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	400
行走速度/(m·min <sup>-1</sup> )	0.5~33
抛丸电机功率/kW	2×11

<sup>\*</sup> 基金项目: 四川省交通科技项目(2015 自 4-1)

续表 1

项目	技术参数
电源要求	400 V, 50 Hz, 63 A
外观尺寸/mm	1 950×720×1 400
设备重量/kg	560
配套吸尘器	BDC854

### 1.3 凿毛台车

(1) 凿毛台车的组成。空压机→连通器→气压电子阀系统→储气罐→台车支架→驱动电机(可调变速箱)→后桥驱动齿盘→驱动连接链条→前方向转向系统→液压油泵→液压升降装置→多个凿毛机(矩阵排列)组合→凿毛机上下滑动蝶形装置→钻杆→钎头→灰尘挡板→吸尘装置→灰尘处理容器→封闭隔音箱式结构箱。

(2) 动力原理。1) 凿毛机。采用空压机产生压缩空气作为动力,通过特制连通器、气压电子阀控制系统控制进入储气罐,再通过储气罐高压接头、高压气管与多个凿岩机进气口紧密连接。启动气压电子阀控制系统,输送高压压缩气体使其驱动凿毛机活塞在缸体中高频垂直、旋转运动,进而带动钻杆及钎头旋转、上下冲击工作面。2) 凿毛台车。采用驱动电机(可调变速箱,可根据凿毛的实际情况调整行走速度)、驱动连接链条与后桥驱动齿盘相连接产生行走驱动力。

(3) 使用原理。调整台车液压升降装置的高度、启动空压机,打开气压电子阀控制系统、吸尘装置电源开关及驱动电机(可调变速箱)开关,将前方向转向系统方向盘移动到要操作的位置实施操作。

## 2 现场测试试验指标

欧美发达国家从设计理论、试验方法等方面对桥面铺装体系进行了深入研究,但国内在这方面还没有相关施工技术规范,防水层及界面处理随意性较大,以人为经验为主,缺乏专业质量判别标准和技术指标。在查阅国内外相关文献的基础上,通过对水泥砼基面处治效果评价指标及层间粘结性能评价指标的筛选,采用构造深度和露骨率评价水泥砼基面处治效果,通过剪切试验和拉拔试验评价层间结合性能。其中:构造深度测试依据 JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》中手工铺砂法测定路面构造深度的试验方法;剪切试验采用南京路达生产的 JHY—A 结构材料剪切仪;拉拔试验采用南京

路达生产的 LGZ—1 结构层材料强度拉拔仪。

露骨率指标虽然很早就有学者提出,但测试方法无统一标准。参考文献[3],提出以下露骨率测试方法:1) 清除已打毛的水泥砼表面的尘土及残留废渣;2) 随机选取水泥砼表面,用粉笔画出一个 10 cm×10 cm 的方框,人工计数得到该方框内粒径在 5 mm 以上的粗颗粒个数,即露石度;3) 根据级配最大粒径查表 2 得到最大露石度;4) 实际露石度与最大露石度的百分比即为露骨率。

表 2 最大露石度

公称最大粒径/mm	最大露石度/个
9.5	74
16.0	47
26.5	25

## 3 测试效果分析

### 3.1 界面处治效果对比

在南渝高速公路月华互通铺筑长约 30 m、宽约 6 m 的试验段(见图 1),测试其构造深度、摆式摩擦系数及露骨率等界面处治效果评价指标,结果如表 3、表 4 所示。

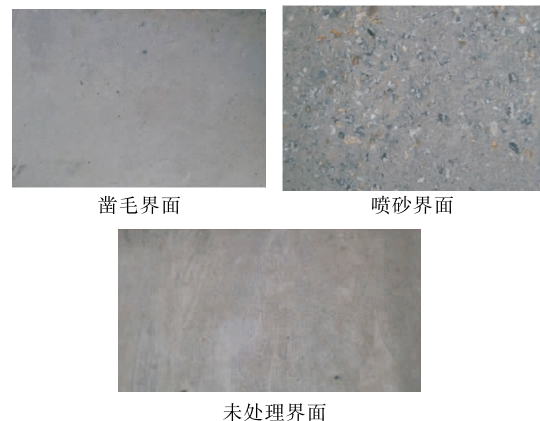


图 1 试验路段界面处治效果放大图

表 3 构造深度和摆式摩擦系数测试结果

界面处理方式	平均构造深度/mm	摆式摩擦系数
凿毛	1.17	71.4
喷砂	0.37	74.9
不处理	—	61.9

由表 3 可知:凿毛区的平均构造深度大于喷砂区,约为喷砂区的 3.2 倍;但摆式摩擦仪测定的 3 种界面的摆式摩擦系数差别不大,不处理界面的摩擦

表 4 露骨率测试结果

界面处 理方式	各测点的露骨率/%								露骨率平 均值/%	露骨率标 准差/%	变异系 数/%
	1	2	3	4	5	6	7	8			
凿毛	85	89	91	85	89	96	96	96	91	4.38	4.82
喷砂	40	16	32	52	28	24	48	28	34	11.48	34.26

系数略小于凿毛界面和喷砂界面,建议不采用摆式摩擦系数评价水泥砼基面的打毛效果。由于凿毛台车采用蝶形装置进行凿毛,通过升降装置可调整凿毛深度,同时蝶形头打毛的深度大于抛丸机发射的钢珠,形成凹凸不平的表面,相同砂量下,打毛深度越大,砂摊铺的面积越小,构造深度也越大。

由表 4 可知:凿毛区的露骨率大多在 85% 以上,8 个测点的平均值为 91%;喷砂区的露骨率较低,最低为 16%,平均为 34%,远低于凿毛区,说明喷砂法对清除基面浮尘的效果较差。喷砂打毛法 8 个测值的离散性较大,变异系数为 34.26%,远高于凿毛法的 4.82%,说明凿毛法处治水泥砼界面的均匀性高于喷砂打毛法。凿毛台车通过空压机提供外力,蝶形装置对水泥砼表面施加作用力,打毛深度和范围均大于喷砂打毛法,连续的多个蝶形头对通过区域形成全覆盖,可有效清除水泥基面浮浆,达到 85% 以上的露骨率;而喷砂采用抛丸机抛射钢珠,具有一定的离散性,可能导致局部无法抛射到,无法完全清除水泥基面浮浆。

综上所述,凿毛法较喷砂法更能有效清除水泥基面浮浆,提高界面粗糙度,增加界面间咬合力和抗剪切性能。

3.2 层间粘结性能对比

对南渝高速公路吴家坝大桥、铜钵河大桥右幅试验路进行剪切强度和拉拔强度测试,测试温度为 10~20℃。吴家坝大桥右幅基面处治方式为凿毛法,铜钵河大桥右幅基面处治方式为喷砂打毛法,粘结层材料均采用聚合物反应型防水粘结涂料。测试结果见表 5。

由表 5 可知:凿毛法处理的复合路面的剪切强度和拉拔强度高于喷砂法,剪切强度约为喷砂法的

1.6 倍,拉拔强度约为 1.54 倍。凿毛界面由于界面粗糙度较大,凿毛深度较大,施工过程中集料易嵌挤在顶面的凹下区域,形成更大的接触面,在与沥青混合料接触处能提供更大的摩擦力和粘结力。而喷砂界面表面仍有一部分浮浆,使防水粘结材料不能与水泥砼基面有效粘结,在外力作用下容易剪坏或拉坏。总体而言,凿毛法处治的复合路面层间粘结性能高于喷砂法,为其 1.5~1.6 倍。

4 经济效益分析

以目前四川省设计要求的喷砂打毛法作对比,分析凿毛法(假设施工质量正常,复合式路面在界面处出现破坏)的经济效益。

采用凿毛台车处理水泥砼界面,可延长复合式路面使用寿命 3~5 年,在路面设计使用周期内至少可减少 1 次养护,则两种处理技术(取双幅 1 km 桥面,桥面宽度取 8.5 m)的初期和设计周期内的经济成本为:

(1) 喷砂打毛技术。桥梁路面结构为 4 cm 改性沥青 SMA-13+6 cm 改性沥青 AC-20C+防水粘结层+喷砂打毛。喷砂打毛的单价为 10 元/m<sup>2</sup>,防水粘结层的单价为 18 元/m<sup>2</sup>,6 cm 改性沥青 AC-20C 的单价为 72 元/m<sup>2</sup>,4 cm 改性沥青 SMA-13 的单价为 68 元/m<sup>2</sup>,铣刨 6 cm 沥青砼的单价为 12 元/m<sup>2</sup>,铣刨 4 cm 砼的单价为 8 元/m<sup>2</sup>,初期成本为(10+18+72+68)×8.5×1 000×2÷10 000=285.6 万元。桥面若产生推移等病害,养护时必须铣刨后重新进行喷砂打毛、洒防水粘结层,恢复路面结构。养护 1 次的成本为(12+8+10+18+72+68)×8.5×1 000×2÷10 000=319.6 万元。预计设计周期内采用喷砂打毛技术需养护 2 次(根据现有通车项目调查结果),则 1 km 桥面总成本为 285.6+319.6×2=924.8 万元。

(2) 凿毛技术。凿毛处治的单价为 12 元/m<sup>2</sup>,其余计算单价同上。初期成本为(12+18+72+68)×8.5×1 000×2÷10 000=289 万元。养护 1 次的

(下转第 133 页)

表 5 层间粘结性能测试结果

桥名	界面处 治方式	剪切强 度/MPa	拉拔强 度/MPa
吴家坝大桥	凿毛	0.80	0.54
铜钵河大桥	喷砂	0.50	0.35

解方法的正确性和可靠性。由于应力影响因子函数只适用于微小裂纹,随着裂纹深度的扩展,所得结果的误差增大。此外,比较裂纹处于不同位置时的前三阶固有频率,并未呈现明显的变化规律,说明利用固有频率进行裂纹损伤定位不具有唯一性。

#### 4 结论

该文引入裂纹影响因子函数模拟裂纹的影响,推导得到了含裂纹砼简支梁的自由振动控制方程;采用多项式展开的数值方法求解含裂纹砼梁的动力学控制方程,得到了裂纹梁的前三阶固有频率,并与已有文献比较,验证了方法的可行性。主要结论如下:1)随着裂纹深度的增加,含裂纹砼梁的前三阶固有频率减小;2)裂纹位置的变化对含裂纹砼梁的固有频率有影响,对于简支梁,当相同深度的裂纹在对称位置出现时,梁的固有频率也相同;3)利用固有频率进行裂纹损伤定位不具有唯一性。

#### 参考文献:

- [1] 王丹生,朱宏平.基于弯曲弹簧模型的裂纹混凝土梁动力特性分析[J].世界地震工程,2006,22(1).
- [2] Yokoyama T, Chen M C. Vibration analysis of edge-cracked beams using a line-spring model[J]. Engineer-

ing Fracture Mechanics,1998,59(3).

- [3] 张炜,毛崎波,聂彦平.含任意数目裂纹梁的振动分析[J].机械设计与制造,2012(10).
- [4] Ruotolo R, Surace C, Crespo P, et al. Harmonic analysis of the vibrations of a cantilevered beam with a closing crack[J]. Computers & Structures, 1996, 61(6).
- [5] 杨鄂川,秦营,赵翔,等.含轴向运动效应的裂纹梁横向振动频率研究[J].力学季刊,2016,37(1).
- [6] 李兆军,龙慧,刘洋,等.基于有限元位移模式的含裂纹梁结构动力学模型[J].中国机械工程,2014,25(12).
- [7] 苟兵旺,刘永寿,何洁,等.轴向压力影响下裂纹梁振动特性分析[J].机械设计与制造,2009(12).
- [8] D Chen, F Liu. Free vibration of a single-edge cracked RC beam strengthened with FRP[J]. Journal of Engineering Mechanics, 2014, 140(6).
- [9] S Christides, A D S Barr. One-dimensional theory of cracked Bernoulli-Euler beams[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1984, 26(84).
- [10] M H H Shen, C Pierre. Free vibrations of beams with a single-edge crack[J]. Journal of Sound and Vibration, 1994, 170(2).
- [11] 汪亚运,彭旭龙,陈得良.轴向功能梯度变截面梁的自由振动研究[J].固体力学学报,2015,36(5).

收稿日期:2017-03-02

(上接第 111 页)

成本为 $(12+8+12+18+72+68) \times 8.5 \times 1\,000 \times 2 \div 10\,000 = 323$ 万元。预计设计周期内采用凿毛技术最多需养护 1 次,则 1 km 桥面总成本为 $289+323=612$ 万元。

采用凿毛技术,预计设计周期内 1 km 桥面可节约费用 $924.8-612=312.8$ 万元。

#### 5 结论

(1)通过对水泥砼基面处治效果评价指标及层间粘结性能评价指标的筛选,选取露骨率和构造深度评价界面处理效果,层间剪切强度和拉拔强度评价复合式路面层间粘结效果。

(2)通过现场试验路水泥砼基面处治指标测试,得出摆式摩擦系数不能用于评价水泥砼界面处治效果;凿毛方法得到的露骨率和构造深度比喷砂打毛法更高,界面粗糙度更大。

(3)喷砂法处理的复合路面的剪切强度和拉拔

强度远低于凿毛法,凿毛界面粗糙度更大,能提供比喷砂界面更大的抗剪强度和粘结强度,有助于提高刚柔界面的粘结性能。

(4)与喷砂法相比,凿毛界面具有更好的经济性和性能优势。

#### 参考文献:

- [1] 徐国强,金兆国,赵士辉.水泥混凝土路面糙化处治对比研究[J].吉林交通科技,2013(2).
- [2] 刘海川,迟鹏.抛丸工艺在桥面工程的应用[J].公路,2011(11).
- [3] 袁振中,吴春颖.水泥混凝土桥面板常见病害分析及喷砂抛丸处理工艺试验[J].公路交通科技:应用技术版,2014(6).
- [4] 陈志刚.柔性基层在某市政道路“白改黑”工程中的应用[J].公路与汽运,2015(4).

收稿日期:2017-03-27