

超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺

徐桂兴¹, 曹红运², 陈明³, 樊振通², 李清华³

(1.天津市市政工程设计研究总院有限公司, 天津市 300392; 2.长安大学公路学院, 陕西 西安 710064;

3.天津中交津石高速公路建设发展有限公司, 天津市 31600)

摘要:为进一步改善超宽桥面现浇混凝土平整度,提升桥面行车舒适性,全面调查了超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺、相关规范和实体工程,系统对比了振动梁整平机配合抹面设备、三辊轴整平机配合抹面设备、悬架式整平机配合抹面设备和四机联动4种超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺。结果表明,悬架式整平机配合座驾式抹面设备和四机联动的平整度施工效果优于振动梁整平机配合抹面设备、三辊轴整平机配合抹面设备,且施工工序简便,可降低人为因素的影响。最终推荐采用悬架式整平机配合座驾式抹面设备和四机联动施工方式。

关键词:道路工程;超宽桥面;现浇混凝土;平整度;铺装;施工工艺

中图分类号:U415.6

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)05-0172-05

0 引言

随着国民经济的不断增长,道路交通需求愈来愈大。为保障道路行车畅通,丹本高速、石黄高速及石首长江大桥、官渡黄河大桥、漳沱河特大桥等相继进行了加宽改进^[1-3]。加宽道路和超宽(大于10 m)桥面除了满足使用性能要求外,还要与原路面或原桥面保持相应的平整性。作为桥面铺装质量验收重要指标之一,现浇混凝土平整度关系着桥面铺装层使用性能、行车舒适度、行车安全及桥梁使用寿命^[4-7]。桥面铺装现浇混凝土的不平整不仅会降低桥面行车的服务水平,还会引起车辆的随机振动,导致桥面在车辆荷载作用下产生附加荷载^[8],从而影响其耐久性能。根据调查数据发现,路面平整度基本能够满足路面技术要求,但桥面铺装平整度普遍较差^[9-11]。由于桥面铺装平整度影响因素众多,其已然是桥面铺装的施工难点^[7,12]。

基于此,本文就桥面铺装现浇混凝土平整度的施工工艺、相关技术规范以及工程实例、研究动态进行调查,对比了振动梁整平机、三辊轴整平机、悬架式整平机配合抹面设备和四机联动等4种超宽桥面现浇混凝土平整度施工效果。

1 现浇混凝土平整度施工工艺

1.1 现浇混凝土平整度施工工艺流程

重点施工工序决定着施工质量的优劣,严格把

控施工工序的正确性与合理性,才能保证超宽桥面现浇混凝土平整度满足规范要求。为此建议严格控制施工工艺流程中6项重点工序,尤其是整平施工和抹面施工,具体施工工艺流程见图1。



图1 超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺流程

1.2 常见现浇混凝土平整度施工工艺

现浇混凝土桥面铺装的平整度,主要取决于其施工工艺及施工设备组合。目前,国内超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺主要有以下4类。

1.2.1 振动梁整平机配合抹面设备

振动梁整平机又称为振捣梁、振捣轨道梁等。在进行桥面整平施工时,具体工序是混凝土摊铺、振动梁整平、提浆、铝合金直尺刮平、抹面设备精平、拉毛。桥面混凝土浇注前,先将桥面冲洗干净。摊铺高度要略高于角钢高度,振动棒与平板振动器同步摊铺整平混凝土。先采用振动梁振捣密实并初平,滚筒顺桥向滚压混凝土面,后用铝合金直尺沿横桥向匀速拉动混凝土面,同时采用手扶式抹面设备精平及检查混凝土表面质量。待混凝土稍硬,顺横桥向往返拉毛,拉毛深度控制在1~2 mm,最后用土工布覆盖洒水,养护不少于10 d。振动梁整平机施工效果如图2所示。

振动梁整平机配合抹面设备施工工艺可一次性完成桥面全宽铺装,无接缝且整体性良好,可提高桥面铺装路用性能,有助于延长桥梁使用寿命。但振动梁因自重出现梁体下垂,易在铺装中部形成凹槽;摊铺布料宽度、重力及桥面横坡容易导致混凝土产生离

收稿日期:2020-09-02

作者简介:徐桂兴(1981—),男,硕士,高级工程师,从事道路桥梁设计工作。



图 2 振动梁施工效果

析现象;人工拉毛导致铺装层表面纹理不美观,浮浆难以清除;同时控制人员操作抹面设备施工过程中易在混凝土表面踩踏脚印并难以抹平,影响桥面铺装平整度。

1.2.2 三辊轴整平机配合抹面设备

三辊轴整平机又称为三轴仪、三轴提浆整面机、三轴提浆整平等。目前又发展出一种悬挂式三辊轴整平机,较传统三辊轴整平机性能更好。在进行桥面整平施工时,就是利用三辊轴整平机具有高频激振提浆、自行滚动碾压整平振动密实的功能,先将混凝土摊铺均匀,并高出模板 2 mm,边角处用振捣棒振实。然后开动该机,振动辊为逆时针旋转,向前振实并摊料前进,将混凝土碾平,如此往返,直至铺装混凝土密实平整。对有轻微不平之处,在混凝土泌水基本结束但尚未初凝时配合抹面设备抹平,并立即用 3 m 直尺进行平整度检查,直至达到设计要求的高程和平整度。三辊轴施工效果如图 3 所示。



图 3 三辊轴施工效果

三辊轴整平机配合抹面设备的摊铺宽度为 4~6 m,可有效解决凹槽、布料高度和混凝土离析等问题。但分幅摊铺导致施工过程中出现纵向施工缝,难以抹平,破坏了桥面整体性,降低了桥面铺装的使用性能,进而影响桥梁使用寿命,严重影响行车舒适性;同时人工抹平不能有效控制桥面铺装平整度。

1.2.3 悬架式整平机配合抹面设备

悬架式整平机又称为桁架式整平机、框架式整平机、悬架行走型整平等。该设备依靠整平机辊轴振动将混凝土振动密实,作业循环长度 5 m,往返振动 3 次。混凝土初凝前,使用座驾式抹面设备抹面,

高效率的机械化施工解决了人工操作踩踏脚印问题。轨道沟、铺装两侧模板、端头位置及轨道痕迹采用人工钢抹子抹平。该工艺可一次性铺装桥面全宽,保障了桥面铺装的整体效果与平整度。悬架式整平机的桁架结构具有较强抗变形能力,可有效避免因挠度过大而影响桥面平整度等问题。

1.2.4 “四机联动”施工工艺

“四机联动”施工工艺采用钢筋标高控制水泥混凝土铺装层设计高程,先采用振动梁将混凝土振捣密实,然后采用全自动三辊轴摊铺机反复碾压水泥混凝土,整平后采用驾驶型抹光机二次旋转压实、精平混凝土,最后利用手推式铣刨机铣刀横纵向反复铣刨,以清除表面浮浆。手推式铣刨机施工效果见图 4。



图 4 手推式铣刨机施工效果

2 现浇混凝土平整度施工相关规范

(1)《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30—2014)。《公路水泥混凝土路面施工技术细则》中对于水泥混凝土桥面铺装层的质量要求,除抗压强度外,其质量标准及检查项目、频率和方法应符合表 1 的规定。

表 1 水泥混凝土桥面铺装层质量标准及检查项目、频率和方法

检查项目	质量标准		检查频率	检查方法
	高速、一级	其他		
动态平整度 σ/mm	≤ 1.50	≤ 2.50	所有桥面车道连续检测,每 100 m 测 1 次	车载平整度检测仪
纵向平整度 IRI $/(m \cdot km^{-1})$	≤ 2.50	≤ 4.20		
3 m 直尺最大间隙 h/mm (合格率应 $\geq 90\%$)	≤ 3	≤ 5	每车道、每 100 m 测 2 次,每处测 10 次	3 m 直尺

注: σ 与 IRI 可选测 1 项。

(2)《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2017)。《公路工程质量检验评定标准》中对于水泥混凝土桥面的基本要求同水泥混凝土路面,其实测项目见表 2。另外,复合桥面的水泥混凝土铺装实测项目见表 3,其中平整度也必须作为关键检查项目,用 3 m 直尺检查。

表2 水泥混凝土桥面铺装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率	权值
1	强度或压实度	在合格标准内	按附录 B 或 D 检查	3
2	厚度 /mm	+10, -5	对比桥面浇筑前后标高检查;每 100 m 测 5 次	2
3	平整度	沥青混凝土	平整度仪;每车道连续检测,每 100 m 计算 IRI 或 σ	2
		水泥混凝土		
		高速一级 IRI/($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)		
		σ/mm		
		IRI($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)		
	其他	σ/mm	3 m 直尺;每 100 m 测 3 处,每处测 3 次	
		最大间隙 h/mm		
4	横坡	水泥混凝土面层	水准仪;每 100 m 检查 3 个断面	1
		沥青混凝土面层		
5	抗滑构造深度	符合设计要求	砂铺法;每 200 m 检查 3 处	1

注:桥长不满 100 m 者,按 100 m 处理。

表3 复合桥面水泥混凝土铺装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率	权值
1	混凝土压实度 /MPa	在合格标准内	按附录 D 检查	3
2	厚度 /mm	+10, -5	对比桥面浇筑前后标高检查;每 100 m 测 5 次	2
3	平整度 /mm	5	3 m 直尺;每 100 m 测 3 处,每处测 3 次	2
4	横坡	$\pm 0.15\%$	水准仪;每 100 m 检查 3 个断面	1

(3)《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)。《公路桥涵施工技术规范》中对于混凝土桥面的基本要求见表 4。

表4 混凝土桥面铺装施工允许偏差

项次	检查项目	规定值或允许偏差
1	强度或压实度	在合格标准内
2	厚度 /mm	+10, -5
3	平整度	沥青混凝土
		水泥混凝土
		高速一级 IRI/($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)
		σ/mm
		IRI($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)
	其他	σ/mm
		最大间隙 h/mm
4	横坡	水泥混凝土面层
		沥青混凝土面层
5	抗滑构造深度	符合设计要求

分析表 1~表 4 可知,《公路水泥混凝土路面施工技术细则》、《公路工程质量检验评定标准》与《公路桥涵施工技术规范》对桥面铺装平整度施工控制指标有一定的差异,其中《公路工程质量检验评定标准》和《公路桥涵施工技术规范》对强度或压实度、桥面铺装横坡及抗滑构造深度作出了规定。

对于动态平整度和国际平整度指数,《公路水泥混凝土路面施工技术细则》可选择其中 1 项进行评

定,其余 2 个规范对这 2 项指标均需要评定;同时《公路水泥混凝土路面施工技术细则》和《公路工程质量检验评定标准》均对平整度的检测方法和频率做出了要求。

对于最大间隙,《公路水泥混凝土路面施工技术细则》、《公路工程质量检验评定标准》与《公路桥涵施工技术规范》均做出了规定,但是对于检测方法与频率,《公路水泥混凝土路面施工技术细则》要求每 100 m 测 2 处,《公路工程质量检验评定标准》要求每 100 m 检查 3 处。

3 超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺调查

系统梳理国内超宽桥面现浇混凝土平整度施工的质量控制措施、整平设备及实际应用效果,具体结果见表 5,不同超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺及其效果见表 6。

结合表 5、表 6 可知,悬架式整平机的工程应用占 42.3%,其应用效果较好,合格率均在 90%以上;同时悬架式整平机配合座驾式抹面设备大大简化了表面抹平的工序。对于设备特点,三辊轴整平机施工行走速度高于悬架式整平机,三辊轴整平机的推进速度可达 17.5 m/min,悬架式整平机行进速度均不超过 3 m/min;振动梁整平机可改变作业宽度,实现分幅和全幅初平。

4 结 语

悬架式整平机配合座驾式抹面设备这一超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺效果较好。另外,四机联动施工工艺是近年来针对超宽桥面现浇混凝土平整度施工过程中存在问题而提出的机械化连续施工方式,降低了施工劳动强度和人为因素对桥面铺装品质的影响,提高了桥面施工效率,保障了水泥

表 5 超宽桥面现浇混凝土平整度处治措施

序号	实体工程 / 工程单位	桥宽 /m	时间	整平设备	设备特点	质量控制措施		质量评价	
						钢筋安装 / 模板支护	摊铺整平	间隙高度 /mm	合格率 /%
1	丹本高速 刘沙河大桥	10.75	2001	美国 MBW 摊铺 整平机	三角形桁架结构	3 m×3 m 网格式 点焊短钢筋头立柱 工艺布设钢筋网		4.81	83.13
2	宜径路 新二号桥	11	2001	振动梁	宽度 4.5 m	木条分仓法,分仓 距 4 m			
3	潇湘高架桥		2002	三轴提浆整面机	作业宽度 3~9 m, 振动频率 2 000 次 /min,最大推进速度 17.5 m/min		三轴提浆整面机整 平,木烫子抹平,铁 烫子精平,4 m 直尺 检查	3.00	95
4	温州工程机械有 限公司	12	2005	辊轴式摊铺机		纵向铺设 2 条 φ30 mm 的螺纹钢 筋,底部设支撑架	铺装完成取出螺纹 钢筋,人工抹平		
				悬架行走型辊轴 式摊铺机	钢架与摊铺整平机 同步行走	摊铺机悬吊于钢 架上,行走轮设在支 架下部、护栏外侧	简化人工抹平的工 序		
				框架式整平机	分阶段拼装,可调 节长度		耐磨冷轧钢板前后 整平,传动轴上设置 偏心块		
				牵引式钢架振动梁	激振力为 12 kN, 振频为 50 Hz	纵向铺设 2 条 φ30 mm 的螺纹钢 筋,底部设支撑架	钢板与槽钢焊成底 座,上部设振动器, 中间设索引机构		
5	吴忠黄河大桥		2005	三轴提浆整平机			三轴式提浆整平 机整平		≥90
6	山东高速公路 集团		2007	振动梁、磨光机			终凝后磨光机收面		
7	宁夏路桥工程股 份有限公司	10.75	2007	振动梁	宽度 5.4 m	左、中、右各设 25 cm 宽标高控制 带兼作行走带	分幅浇筑	3.30 (σ=1.81)	
		11	2007	振动梁	宽度 10.8 m	贴护栏内边缘布 设 2 条宽 30 cm 的 行走带	全宽式推进	2.90 (σ=1.69)	
		11	2007	振动梁	宽度 10.8 m	不设行走带,以钢 管辅以钢筋支架代 替,布设 3 条,以跨 为单元	分幅浇筑	1.94(σ=0.92, IRI=1.53 m/km)	
8	京津客运专线		2008	提浆收面机				3 mm/4 m	
9	舟山大陆连岛 工程	23	2009	悬架式整平机					95
10	中铁十三局 集团第一工程 有限公司		2010	提浆整平机			提浆整平机整平, 人工收面,1 m 靠尺 进行检查	3 mm/4 m, 2 mm/1 m	≥90
11	阿伦河特大桥	26	2013			钢筋必须精确定 位,并与箱梁顶板预 埋钢筋进行点焊或 绑扎	4 个作业面交替施 工;先木抹子抹面找 平,6 m 铝合金尺逐 一检查;后铁抹子收 面		
12	谷竹高速公路桥		2013	三辊轴整平机		防护栏内侧安装 钢导轨		≤10	
13	安和垵特大桥	23.5	2013	悬轨式提浆整平机	行走速度 0.65 ~ 1 m/min		全幅一次施工,钢 抹子收浆		≥90
14	山西振兴公路监 理有限公司	11	2013	悬挂式宽幅辊轴 整平机			磨光机提浆整平, 座驾式抹光机抹光	1.78	100

续表 5

序号	实体工程 / 工程单位	桥宽 /m	时间	整平设备	设备特点	质量控制措施		质量评价	
						钢筋安装 / 模板支护	摊铺整平	间隙高度 /mm	合格率 /%
15	石家庄市公路桥梁建设集团		2013	三轴混凝土提浆整平机			三轴混凝土提浆整平机整平, 铝合金刮尺反复整平		
16	成武高速公路桥		2014	悬挂式双辊轴调平提浆整平机	整平机前进速度大于 3 m/min				
17	渭河特大桥	10.5 ~ 11.5	2015	悬架式高速提浆整平机	多支点支撑, 整平腿和抹光腿振动影响深度 0.3 m				
18	石家庄市公路桥梁建设集团	12	2015	悬挂式双辊轴调平提浆整平机		自制卡具定位绑扎钢筋网, 8 cm × 0.5 cm 钢带	2 道塑料抹 +1 道铁抹		
19	关门岭 2 号大桥	11.1	2016	悬架式滚筒提浆整平机	行走速度为 2.4 ~ 3.0 m/min				90.6
20	武汉天河机场墨水湖特大桥		2016	悬挂式三辊轴提浆整平机	焊接定位钢筋时绑扎混凝土垫块				
21	登汝高速黄窑桥	左线 12.0 右线 14.7	2016	四机联动			全自动桁架式三辊轴摊铺机整平, 初凝后座驾式抹光机提浆、抹平及压实; 强度达到 40% 时, 铣刨、清洗		
22	石首长江大桥	16.45	2017	桁架式辊轴摊铺机、座驾式磨光机		钢筋网下设十字撑控制保护层厚度			
23	河南郑州机场至周口西华高速公路混凝土桥	12	2017	液压式整平机、全自动三辊轴摊铺机、座驾式抹光机、手推式铣刨机“四机联动”	液压式整平机行进 3 ~ 5 m/min, 全自动桁架式三辊轴摊铺机行进 3 m/min		全幅施工, 槽钢轨道控制高程, 振动棒振捣; 振动梁、三辊轴配合全幅整平, 自动磨光机收光	0~2	
24	滹沱河特大桥	15.75	2017	整体桁架式整平机、座驾式双盘抹平机		采用与桥面铺装同厚度的钢管将混凝土布料划分为较小单元格	整平机大面积整平, 初凝之前, 座驾式双盘抹平机抹平		97.1
25	重庆交通大学		2017	悬架式提浆整平机、磨光机			悬架式提浆整平机整平, 终凝后磨光机收面		

表 6 不同超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺及其效果

序号	施工工艺	初平设备	精平设备	实施效果(平整度评价)		
				σ /mm	IRI /(m·km ⁻¹)	间隙 h /mm
1	振动梁整平机配合抹面设备	振动梁整平机	手扶式抹面设备 / 木抹子、钢抹子	0.9 ~ 1.8	1.5	1.9 ~ 3.3
2	三辊轴整平机配合抹面设备	三辊轴整平机	手扶式抹面设备 / 木抹子、钢抹子			3
3	悬架式整平机配合抹面设备	悬架式整平机	手扶式抹面设备 / 座驾式抹光机			≤ 10
4	四机联动	液压式整平机、全自动三辊轴摊铺机	座驾式抹光机、手推式铣刨机			0 ~ 2

混凝土桥面铺装层的平整度、密实效果以及结构层厚度均匀性。基于此, 针对超宽桥面现浇混凝土平整度施工工艺, 推荐采用悬架式整平机配合座驾式抹面设备或四机联动施工方式。

参考文献:

- [1] 吴庆雄, 陈宝春, 奚灵智. 路面平整度 PSD 和 IRI 评价方法比较[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(3): 36-41.
- [2] 韩飞. 随机荷载作用下混凝土桥梁铺装层力学行为分析[D]. 西安: 长安大学, 2016.
- [3] 蒋春阳, 韩晓霞, 王朝辉. 现浇混凝土超宽桥面铺装的平整度控制方法[J]. 筑路机械与施工机械化, 2018(35): 106-110.

(下转第 179 页)

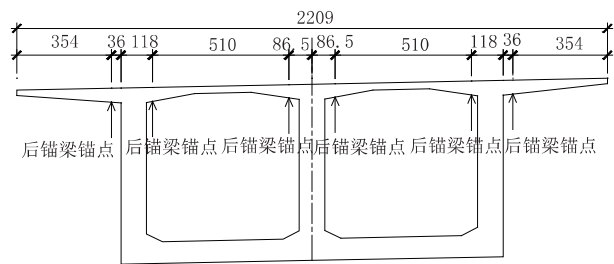


图 11 计算模型加载示意图(后锚梁处)(单位:cm)

4.4 计算结果

按设计要求,对横、竖向预应力滞后两个节段进行张拉,即现浇该节段时,刚完成的上节段尚未张拉横、竖向预应力,故横向框架按普通钢筋混凝土构件进行验算。短暂状况下,混凝土及钢筋应满足以下要求^[4]:

(1)受压区混凝土边缘的压应力:

$$\sigma_{cc}^t = \frac{M_k^t x_0}{I_{cr}} \leq 0.8 f_{ck} \quad (1)$$

(2)受拉钢筋的应力:

$$\sigma_{st}^t = \alpha_{ES} \frac{M_k^t (h_0 - x_0)}{I_{cr}} \leq 0.75 f_{ck} \quad (2)$$

(3)中性轴处主拉应力:

$$\sigma_{tp}^t = \frac{V_k^t}{b z_0} \leq f_{ctk} \quad (3)$$

箱梁横向框架最不利受力在吊点及锚固点处的承托倒角位置,计算高度 $h_c = h_j + \tan \alpha$ ($\tan \alpha \leq 1/3$)。计算结果如表 2 所列。

5 结论及建议

通过对大跨径预应力混凝土连续梁挂篮施工时短暂状况的横向框架构件进行计算,结果表明:箱梁横向框架构件在挂篮施工过程中的受力均满足规范要求。结合分析结果,建议如下:

(1)顶底板横向配筋相同情况下,横向框架由后锚梁处的顶板受力控制,建议结构设计时,顶板厚度

表 2 各控制工况下顶底板验算结果一览表

工况	位置	最大应力 /MPa	限值 /MPa	结果
工况 1	顶板	9.4	22.72	(1)满足
		197.3	300	(2)满足
		0.76	2.192	(3)满足
	底板	2.7	22.72	(1)满足
		84.4	300	(2)满足
		0.21	2.192	(3)满足
工况 2	顶板	9.7	22.72	(1)满足
		248.6	300	(2)满足
		0.60	2.192	(3)满足
	底板	3.3	22.72	(1)满足
		121.4	300	(2)满足
		0.2	2.192	(3)满足
工况 3	顶板	6.3	22.72	(1)满足
		159.8	300	(2)满足
		0.40	2.192	(3)满足
	底板	5.0	22.72	(1)满足
		132.7	300	(2)满足
		0.22	2.192	(3)满足

不宜过薄,并适当增加顶板的承托倒角尺寸。

(2)挂篮悬浇时,前 3~4 个节段相对较重,顶底板受力较大,后锚梁处的挑臂根部下翼缘亦承受较大拉力,建议加强其横向配筋。

(3)箱梁横向框架计算时,除应考虑成桥运营状态下的受力状态,尚需对后续实际施工方案下的短暂状况进行验算,而后者容易被遗漏。

参考文献:

[1] 乔虎虎.公路桥梁施工中挂篮悬浇施工技术[J].交通世界,2020(9).
[2] 上海建工四建集团有限公司.府河大桥上部结构预应力混凝土连续箱梁施工专项方案[Z],2018.
[3] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[4] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

(上接第 176 页)

[4] 张培培.高速公路沥青路面平整度的施工控制[J].河南建材,2018(4):281-282.
[5] 顾晓伟.刍议如何提高沥青混凝土桥面铺装平整度[J].科技创新与应用(路桥科技版)2015(16):208.
[6] 刘立斌.施工中提高桥面铺装平整度的几点措施[J].交通世界,2009(15):203-204.
[7] 周晓晴,孙立军,颜利.各国路面平整度验收规范[J].中外公路,2006(26):52-56.
[8] 韩飞,王虎,谈丹辉,等.考虑桥面不平平整度的铺装层动力响应研究

[J].同济大学学报(自然科学版),2017(9):1284-1289.
[9] 苏曼曼,张洪亮.路桥过渡段沥青路面平整度的评价方法[J].江苏大学学报(自然科学版),2018(39):362-367.
[10] 邢国彬.如何提高桥面铺装平整度[J].桥梁与隧道工程,2016(9):72-74.
[11] 严志刚,盛洪飞,陈彦江.桥面平整度对大跨度钢管混凝土拱桥车辆振动的影响[J].中国公路学报,2004(17):41-44.
[12] 吴建方.公路水泥混凝土路面平整度控制措施[J].工程建设与设计,2017(12):129-131.