

抗滑环氧沥青混凝土超薄面层设计与施工

殷建军,彭馨彦,洪 晶

(广州市市政工程维修处,广东 广州 510100)

摘 要:传统环氧沥青混凝土虽然具有强度高、黏结性好、耐久性好等优点,但构造深度小、摩擦性能差是钢桥面环氧沥青混凝土铺装的一大缺陷。依托江顺大桥钢箱梁桥面铺装工程,研究了抗滑环氧沥青混凝土超薄面层的设计与施工工艺。江顺大桥铺装层采用KD-BEP环氧沥青混凝土,依据表面抗滑要求创新采用FAC-10级配进行设计,通过施工工艺匹配研究与级配调整,成功实现了抗滑环氧沥青混凝土超薄面层的施工。检测结果表明,在满足空隙率<3%的情况下,马歇尔稳定度、极限弯拉应变、面层构造深度、抗滑系数等完全满足重载交通下的钢箱梁桥面铺装层的使用要求,成功解决了传统环氧沥青混凝土面层雨天抗滑能力差的缺陷。

关键词:桥面铺装;KD-BEP环氧沥青混凝土;抗滑级配;超薄面层;施工工艺

中图分类号: U 443.33 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7767(2017)01-0051-04

Design and Construction of Ultrathin Skid Epoxy Asphalt Concrete Surface Layer

Yin Jianjun, Peng Xinyan, Hong Jing

传统的EA-10级配面层构造深度较小,雨天抗滑能力较差一直备受诟病^[1-2],有的学者提出采用“面层SMA+底层EA-10”的铺装方式,但通过后续的工程实践发现,不同的强弱面结合,面层的SMA和层间黏层油提前发生破坏而导致桥面铺装的行车舒适性下降,且由于SMA 3%~4.5%的空隙率存在着降低铺装层寿命的风险^[3]。采用双层环氧沥青混凝土,上面层采用抗滑环氧沥青混凝土超薄面层,能有效兼顾强度与抗滑的要求。笔者依托江顺大桥钢箱梁桥面铺装工程,研究和探索了抗滑环氧沥青混凝土超薄面层的设计与施工工艺。

广东江顺大桥起点位于顺德区杏坛镇,跨越西江干流,终点位于蓬江区棠下镇,主桥采用双塔双索面钢-混凝土混合梁斜拉桥,桥跨布置为60 m+176 m+700 m+176 m+60 m,全长1 172 m,桥跨钢-混凝土结合点设在边跨离主塔158 m处。主跨700 m和两边跨主塔附近158 m范围采用钢箱梁,边跨距主塔158 m范围外及岸上均采用预应力混凝土箱梁。钢桥面总长1 016 m(158 m+700 m+158 m),桥宽39 m。通车后预计行车流量较大,设计中采用KD-BEP环氧沥青混凝土进行桥面铺装,以延长湿热、重载交通条件下桥梁的服役寿命。

针对江顺大桥桥面较高的抗滑要求,按照路面功能设计了双层的环氧沥青混凝土,上面层为FAC-10厚度25 mm;下面层为EA-10厚度30(34) mm,总厚度为55(59) mm。但是由于面层较薄,为该公称粒径混合料的极限厚度,同时为了保证铺装层的寿命,面层的空隙率需要控制在3%以下,这在环氧沥青混凝土钢桥面铺装中尚属首次。

1 原材料

1.1 胶结料

1)采用泰普克70号基质沥青;环氧树脂养生固化后的物理性能见表1。

表1 环氧树脂养生固化后的物理性能

物理性能	技术指标
质量比(主剂:固化剂)	56:44
拉伸强度(23℃)/MPa	4.12
断裂延伸率(23℃)/%	64

注:表中拉伸强度与断裂延伸率为60℃的烘箱里养生4 d后的试验值。

2)环氧沥青养生固化后的技术指标需满足表2的要求。

表 2 环氧沥青养生固化后的技术指标

物理性能	技术指标
质量比(基质沥青:环氧树脂)	50:50
相对密度(23℃)	1.02
针入度/(0.1 mm)	15
软化点/℃	>100
拉伸强度(23℃)/MPa	3.07
断裂延伸率(23℃)/%	1.64

注:表中拉伸强度与断裂延伸率为60℃的烘箱里养生4d后的试验值(试验时将基质沥青加热到150℃,环氧树脂加热到60℃,两者放入搅拌机里搅拌4min后制成试件,然后在150℃烘箱里放置3h,在60℃烘箱里养生4d,在常温下放置1d后进行试验)。

1.2 矿料

选用惠州博罗产的辉绿岩与闪长岩。粗集料为辉

绿岩,细集料为闪长岩机制砂,填料采用普通石灰石矿粉。

2 环氧沥青混凝土面层配合比设计与试验

钢桥面混凝土铺装的重点是耐流动性、抗裂缝性和防水性^[1]。环氧沥青混凝土的使用,可以使耐流动性和抗裂缝性得到飞跃性的提高^[4-6],而在防水性方面,则还需要结合混合料的骨料粒径进行综合性的设计和比选。

传统的EA-10级配为悬浮密实型级配,而FAC是基于CAVF法提出的一种偏骨架密实型级配,其介于AC与SMA型级配之间,可以有效解决面层抗滑能力不足的问题,而不会过多地降低混合料的弯拉性能,两者级配范围见表3及图1。

为了让面层实际施工时铺装层构造深度足够大,

表 3 环氧沥青混凝土 EA-10 与 FAC-10 级配范围

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%								
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
EA-10	100	95~100	65~85	50~70	39~55	28~40	21~32	14~23	7~14
FAC-10	100	95~100	45~75	30~58	20~44	15~32	11~23	8~16	6~12

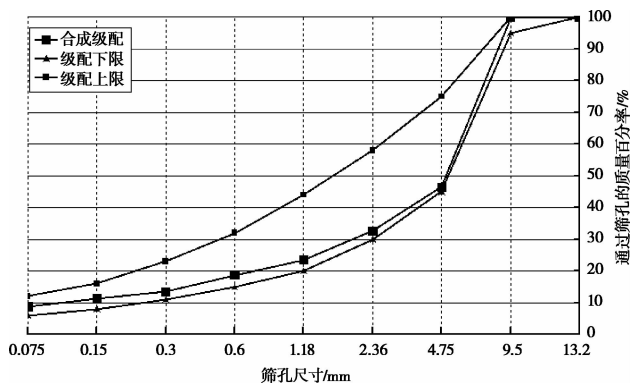


图 1 环氧沥青混凝土面层级配范围

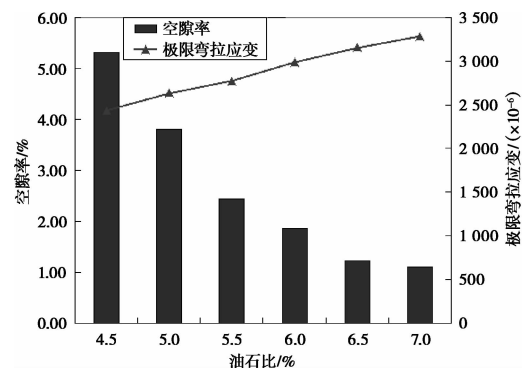


图 2 初试油石比确定

笔者选择了接近FAC-10下限的级配,初试级配接近FAC级配范围的下限,0.075、2.36、4.75 mm筛孔的通过率分别控制在8.8%、32.6%、46.4%。根据经验加入KD-BEP环氧树脂后,马歇尔稳定度很容易达到40.4 kN,所以油石比的确定主要以控制空隙率<3%、-10℃低温极限弯拉应变(ϵ) $\geq 3000 \times 10^{-6}$ 为主要目标,以0.5%为间隔对油石比为4.5%~7%的混合料进行了试验,双面各击实50次,结果见图2。

从图2可以看出,当油石比大于5.5%后,混合料的空隙率在3%以内,且当油石比达到6.3%以后,空隙

率变化很小,这说明混合料中结构沥青已经达到饱和;同时从极限弯拉应变的变化可以看出,随着油石比的提高,混合料的抗弯拉能力逐渐增大,当油石比为6.1%时,混合料的极限弯拉应变(ϵ)超过 3000×10^{-6} ,已经满足桥面抗裂缝性需求。故综合考虑,最终确定初试最佳油石比为6.3%。采用该油石比的混合料试验空隙率为1.43%,极限弯拉应变(ϵ)为 3090×10^{-6} 。

3 施工工艺匹配研究与级配调整

钢桥面铺装层一般不允许进行钻芯检测^[7-8],因此试验段的选择通常放在混凝土引桥上或者沥青拌合

厂内,而且面层 FAC-10 的铺装厚度仅为 2.5 cm。为保证铺装效果,笔者在拌合厂内选择了合适的场地进行不同压实方案的工艺试铺,以确保实际铺筑的压实度满足要求,压实方案对比见表 4。

表 4 试铺段不同压实方案对比

压实方案	初压	复压	终压
1	12 t 双钢轮静压 3 遍	16 t 胶轮压路机碾压 3 遍	12 t 双钢轮静压 3 遍
2	16 t 胶轮压路机碾压 3 遍	12 t 双钢轮静压 3 遍	12 t 双钢轮静压 3 遍
3	16 t 胶轮压路机碾压 3 遍	16 t 胶轮压路机碾压 3 遍	12 t 双钢轮静压 3 遍

对不同压实方案的压实效果进行钻芯取样、试验,对压实度、构造深度(铺砂法)进行了对比,对压实外观进行了分析,压实效果对比见表 5。

表 5 试铺段不同压实方案压实效果对比

压实方案	压实度/%	构造深度/mm	压实外观
1	94.3	0.79	大部分粗集料表面压碎泛白
2	95.8	0.76	部分粗集料表面压碎泛白
3	98.8	0.23	出现不同程度的油斑

从表 5 可以看出,由于 25 mm 为 FAC-10 的极限铺装厚度,初压和复压中采用钢轮静压很容易造成混凝土的推移而造成压实空隙率偏大,无法满足空隙率 < 3% 的要求,而且由于不能加振,面层粗料较多极易压碎而泛白影响外观,故说明该级配初压和复压不宜采用钢轮压路机进行碾压;而方案 3 初压和复压利用胶轮压路机的揉搓作用,可以将胶浆完全提升至表面,但会形成许多不规则的油斑,所以构造深度也较小,达不到提高面层抗滑性能的初衷。因此需要对原有

级配进行相应调整,在控制 0.075 mm 筛孔通过率不变的同时,分别提高 2.36、4.75 mm 筛孔的通过率至 38.9%、53.3%,油石比不变,采用该油石比的混合料试验空隙率为 1.28%,极限弯拉应变(ϵ)为 $3\ 180 \times 10^{-6}$ 。级配调整对比图见图 3。

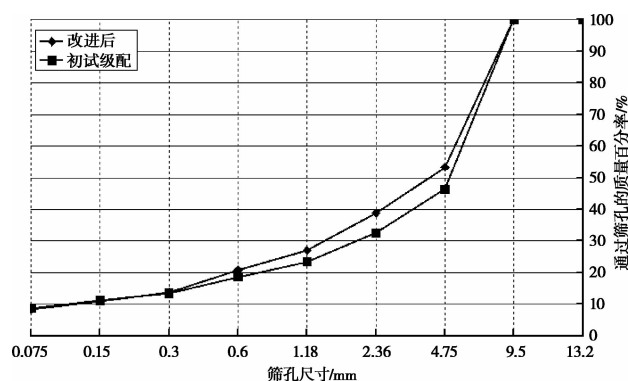


图 3 级配调整对比图

在拌合厂内对级配改进后不同压实方案进行工艺试铺,以确保实际铺筑的压实度满足要求,压实方案对比见表 6。

表 6 级配改进后不同压实方案对比

压实方案	初压	复压	终压
1	12 t 双钢轮静压 3 遍	16 t 胶轮压路机碾压 3 遍	12 t 双钢轮静压 3 遍
2	16 t 胶轮压路机碾压 3 遍	16 t 胶轮压路机碾压 3 遍	12 t 双钢轮静压 3 遍
3	16 t 胶轮压路机碾压 3 遍	26 t 胶轮压路机碾压 3 遍	12 t 双钢轮静压 3 遍

同样,对级配改进后不同压实方案的压实效果进行钻芯取样、试验,对压实度、构造深度(铺砂法)进行对比,对压实外观进行分析,压实效果对比见表 7。

表 7 级配改进后不同压实方案压实效果对比

压实方案	压实度/%	构造深度/mm	压实外观
1	94.3	0.56	大部分粗集料表面压碎泛白
2	97.5	0.48	表面平整,无泛白、泛油现象
3	98.3	0.46	表面平整,无泛白、泛油现象

从表 7 可以看出,初压和复压仍不宜使用钢轮压路机进行碾压,而采用方案 2 和方案 3 均可以达到理想的压实效果,虽然构造深度有所降低,但远远大于 EA-10 级配的构造深度(0.2 mm 以内),雨天安全性能更好,且复压使用 26 t 胶轮压路机使路面更加密实。考虑到桥面风大且钢板极易导热,因此实际施工选择方案 3 作为最终压实方案。初压采用 16 t 胶轮压路机给予混合料足够的压实功且不推移,复压采用 26 t 胶轮压路机进一步将混合料胶浆揉搓至面层到达密实状

态,采用 12 t 双钢轮压路机静压 3 遍收光表面以满足面层平整度要求。胶轮压路机采用紧跟原则,钢轮压路机则以温度下降至不破坏面层外观时进行终压。

4 施工效果

江顺大桥钢桥面铺装经过 14 d 的施工于 2015 年 1 月 28 日结束,施工过程中和施工后的试验检测结果表明,环氧沥青混凝土铺装层摊铺效果良好,完全满足重载交通下的钢箱梁桥面铺装层的使用要求,现场试验检测结果见表 8。

表 8 现场试验检测结果

试验项目	试验结果	技术要求
马歇尔稳定度/kN	84.30	≥40.4
冻融劈裂强度比/%	98.53	≥70.0
残留稳定度/%	99.02	≥85.0
动稳定度(70 ℃)/(次/mm)	15 342	≥3 000
极限弯拉应变/(×10 ⁻⁶)	3 200	≥3 000
面层构造深度/mm	0.45	≥0.2
抗滑系数(BPN)	70	≥45

江顺大桥钢桥面环氧沥青混凝土铺装改变了传统环氧沥青混凝土面层抗滑能力不足的状况,在国内创造了钢桥面单次摊铺环氧沥青混凝土量的最大记录,达到 1 020 m/1.5 万 m²,摊铺结构采用了 30~34 mm+25 mm(极限厚度)的方式,是国内外第 1 次成功应用

(上接第 50 页)

从表 1 可知,对于软黏土地层,不论覆土厚度大小,采用全土柱法计算的土压力与实测值较为接近;在砂性、黏性地层中,采用太沙基法计算的垂直荷载值与实测压力值较为接近,修正的太沙基法具有一定的安全系数,更加合理。另外,在覆土厚度与地道外径接近时,采用全土柱法计算的土压力与实测值也较为接近,这也印证了前面提出的浅埋与超浅埋界限是合理的。

4 结论

基于压力差的太沙基土压力公式的修正方法,保持了原公式土压力荷载随埋深变化的速度,实现了埋深分界处的平顺过渡,力学机制上也更合理。笔者认为:在进行城市人行地道结构设计时,竖向土压力荷载的确定应考虑地道埋深、跨度、地层条件等因素;在淤泥、饱和软黏土地层,不论地道埋深大小,竖向土压力可按全土柱法计算;在砂性土和硬质黏土层,当覆土厚度小于地道跨度时,可采用全土柱法,反之则采用修正的太沙基公式计算地道的垂直土压力较为合理。MET

的环氧沥青混凝土粗级配薄层摊铺结构形式。该次施工将铺装层性能与经济效益完美结合,是一次大胆的尝试和探索,具有深远的社会和经济效益。MET

参考文献:

- [1] 关永胜,迟占华,宗海.大跨径钢桥桥面铺装早期病害分析及对策[J].中外公路,2005(6):99-102.
- [2] 黄卫,张晓春,胡光伟.大跨径钢桥面铺装理论与设计的研究进展[J].东南大学学报(自然科学版),2002(5):480-487.
- [3] 逯彦秋,陈宜言,孙占琦,等.钢桥桥面铺装层的温度场分布特征[J].华南理工大学学报,2009,37(8):116-121.
- [4] 李继果.环氧沥青混合料及其在桥面铺装上的应用研究[D].西安:长安大学,2008.
- [5] 黄卫,钱振东,程刚,等.大跨径钢桥面环氧沥青混凝土铺装研究[J].科学通报,2002,47(24):1894-1897.
- [6] 王晓,程刚,黄卫.环氧沥青混凝土性能研究[J].东南大学学报,2001,31(6):21-24.
- [7] 杨若冲,程刚.环氧沥青混合料性能及应用[J].中外公路,2004,24(2):81-83.
- [8] 周国强,梁勇,卢聪华.珠江黄埔大桥钢桥面环氧沥青混凝土铺装层施工[J].广东公路交通,2009(1):127-131.

收稿日期:2016-07-21

基金项目:广东省公路管理局科研课题项目(2015-5)

作者简介:殷建军,男,高级工程师,博士,主要从事市政工程维修管理工作。

参考文献:

- [1] 北京市市政工程研究院.城市人行天桥与人行地道技术规范:CJJ 69-1995[S].北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [2] 重庆交通科研设计院.公路隧道设计规范:JTG D70-2004[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 铁道部第二勘测设计院.铁路隧道设计规范:TB 10003-2005[S].北京:中国铁道出版社,2005.
- [4] 北京城建设计研究总院有限责任公司.地铁设计规范:GB 50157-2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [5] 李文博,陶连金,蔡东明,等.地铁隧道竖向土压力计算公式探讨与改进[J].铁道建筑,2013(3):78-81.
- [6] 宋玉香,贾晓云,朱永全.地铁隧道竖向土压力荷载的计算研究[J].岩土力学,2007,28(10):2240-2244.
- [7] 孙文昊.土质地层中盾构隧道垂直荷载计算方法探讨[J].铁道工程学报,2009(10):69-73.
- [8] 日本土木学会.隧道标准规范(盾构篇)及解说[M].朱伟,译.北京:中国建筑工业出版社,2001:38-41.

收稿日期:2016-08-17

作者简介:陈军,男,高级工程师,主要研究方向为道路工程施工技术。