

# 基于不同基层弹性模量的沥青路面加铺厚度设计案例分析

袁耀波

(佛山市交通运输工程质量监督站, 广东 佛山 528200)

**摘要:** 中国以沥青路面结构为主导的公路路网已基本建成并开始进入全面养护维修阶段。文中针对现阶段常使用的加铺设计方法, 通过案例探讨如何确定半刚性基层沥青路面结构层的有效模量, 进而确定沥青路面加铺层设计厚度。结果表明采用现行规范方法进行加铺层设计存在一定局限性, 按 3 层沥青面层的旧路基层在最有利和最不利状态下的弹性模量计算出的适宜加铺厚度相差约 3 cm, 基层弹性模量的变化对加铺厚度的影响不大。

**关键词:** 公路; 沥青路面; 加铺厚度; 基层弹性模量; 弯沉

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)04-0099-03

20 世纪 80 年代后中国逐渐形成了以半刚性基层沥青路面结构为特征的路面铺装。随着时间的推移, 沥青路面性能逐渐降低并发生不可避免的损坏, 加上超重车增多、前期准备不足、工期不合理、技术人员水平较低和规范执行不力, 自下而上的路面破损现象较为突出, 适时加铺罩面有利于减缓路面病害的发展。

根据 JTJ 50-2006《公路沥青路面设计规范》, 沥青路面加铺设计以旧路面的弯沉为设计指标。武建民等认为该方法无法指导路面病害较严重时所需进行的路面加铺设计, 参考 AASHTO 设计方法中旧沥青路面层系数建议值, 根据模量和结构层系数的关系, 结合中国沥青路面设计方法, 提出基于结构层有效模量的半刚性基层沥青路面加铺层设计方法, 其中半刚性基层弹性模量基本按照杨振丹根据半刚性基层在使用过程中的状态所分成的 3 个阶段对应 AASHTO 设计方法中的分类确定取值范围。而 AASHTO 设计方法是按照路面表面状况进行分类的, 基层的使用状况并不能通过沥青面层表面状况反映出来, 所以旧路基层的弹性模量取值仍值得研究。该文以佛山一环为例, 探讨现有路面结构下路面加铺设计中不同基层弹性模量取值对加铺厚度的影响。

## 1 工程概况

佛山一环原沥青路面厚度为 75 cm, 主要采用“强基薄面”的方案(见表 1), 各面层均采用 C 型密

级配沥青混合料, 其中上面层和中面层采用改性沥青, 下面层采用重交沥青。半刚性基层从上到下的强度分别为 4.0、2.5、1.5 MPa。

表 1 佛山一环主路原路面典型结构方案 cm

结构层	厚度	结构层	厚度
上面层	4	上基层	18
中面层	6	下基层	18
下面层	8	底基层	20
封层	1		

根据其 2017-2032 年预测交通量, 计算设计年限内(15 年)主路中 4 个路段累计车道交通量, 结果见表 2。

表 2 佛山一环主路各路段累计车道交通量 次

路段编号	起讫点	累计车道交通量
1	陈村—林上路	470 460 978
2	林上路—北滘	453 875 325
3	北滘—马龙	337 015 419
4	马龙—大罗	325 074 393

## 2 路面结构设计验算方案

路面结构厚度设计应满足结构整体承载力要求, 旧路改造设计须满足抵抗疲劳开裂的要求, 轮隙中心处路表计算弯沉  $l_s$  应小于或等于设计弯沉  $l_d$ 。

对佛山一环路面结构采用以下 4 种方案进行设计与验算, 计算不同加铺厚度时顶面设计弯沉值, 找出适宜加铺厚度: 方案 1 为按规范新建沥青路面设

计进行计算,考虑承受巨大交通量后材料的损伤,旧路面各结构层在材料设计参数的取值上采用规范推荐范围的下限值。方案2为按沥青层模量衰减至规范推荐值的下限值、半刚性基层模量衰减30%后计算。方案3为考虑基层处于最不利状态(即基层已完全破碎),统一将旧沥青路面上基层视为级配碎石(500 MPa),旧沥青路面其余各层的模量均认为衰减至材料参数取值下限,重新进行路面结构设计。方案4为按规范改建路面设计方法,根据现有弯沉检测值反算各结构层弹性模量。方案1~3中各结构层的弹性模量见表3。

### 3 加铺后设计弯沉计算

按上述计算方案,根据公路等级、设计年限内累计标准当量轴次、面层和基层类型,按下式计算确定加铺后的设计弯沉值:

$$l_d = 600 N_e^{-0.2} A_c A_s A_b \quad (1)$$

式中: $l_d$ 为设计弯沉值(0.01 mm); $N_e$ 为设计年限内一条车道累计当量轴次; $A_c$ 为公路等级系数,取1.0; $A_s$ 为面层类型系数,取1.0; $A_b$ 为路面结构类

表3 各结构层的弹性模量

材料类别及结构	抗压模量 $E(20\text{ }^\circ\text{C})/\text{MPa}$		
	方案1	方案2	方案3
AC-13	1 200	1 200	1 200
AC-20	1 000	1 000	1 000
AC-25	800	800	800
水泥级配碎石上基层	1 400	1 100	500
水泥稳定碎石下基层	1 350	1 050	500
水泥稳定碎石底基层	1 300	1 000	500
土基	40	40	40

型系数,半刚性基层取1.0,柔性基层取1.6。

以路表弯沉值为设计指标时,其设计弯沉必须考虑不同路面结构的影响,采用路面结构系数确定设计弯沉。该项目沥青路面采用4 cm上面层+6 cm中面层+8 cm下面层(共18 cm厚)的面层结构,进行加铺计算时,根据沥青层不同加铺厚度,路面结构类型系数采用线性内插法确定。按加铺厚度2~12 cm分别计算主路各路段的设计弯沉值,结果见表4。

表4 不同加铺厚度下主路各路段的设计弯沉计算结果

路段编号	不同加铺厚度(cm)下的设计弯沉 $l_d/(0.01\text{ mm})$											
	0	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	11.1	12.2	12.7	13.3	13.8	14.4	14.9	15.5	16.0	16.6	17.1	17.7
2	11.1	12.3	12.8	13.4	13.9	14.5	15.0	15.6	16.1	16.7	17.3	17.8
3	11.8	13.0	13.6	14.2	14.8	15.4	16.0	16.5	17.1	17.7	18.3	18.9
4	11.9	13.1	13.7	14.3	14.9	15.5	16.1	16.7	17.3	17.9	18.5	19.0

## 4 各路面结构设计验算方案下的加铺厚度

### 4.1 方案1

按方案1即旧沥青路面各结构层模量衰减至规范推荐值的下限值计算加铺厚度。按新建沥青路面设计计算不同加铺厚度下顶面计算弯沉,得到不同加铺厚度下轮隙中心处路表计算弯沉 $l_s$ (见表5)。

表5 不同加铺厚度下轮隙中心处路表计算弯沉(方案1)

加铺厚度/ cm	计算弯沉 $l_s$ / (0.01 mm)	加铺厚度/ cm	计算弯沉 $l_s$ / (0.01 mm)
2	17.3	6	16.2
3	17.0	7	15.9
4	16.7	8	15.6
5	16.4		

以计算弯沉为控制指标,选择满足要求的最小加铺厚度作为适宜加铺厚度,结果见表6。

表6 各路段主路适宜加铺厚度(方案1)

路段 编号	不同加铺厚度(cm)时的 设计弯沉 $l_d/(0.01\text{ mm})$					适宜加铺 厚度/cm
	6	7	8	9	10	
1	14.4	14.9	15.5	16.0	16.6	9
2	14.5	15.0	15.6	16.1	16.7	8
3	15.4	16.0	16.5	17.1	17.7	7
4	15.5	16.1	16.7	17.3	17.9	7

### 4.2 方案2

按方案2即沥青层模量衰减至规范推荐值的下限值、半刚性基层模量衰减30%计算加铺厚度。

此时不同加铺厚度下轮隙中心处路表计算弯沉  $l_s$  见表 7。

表 7 不同加铺厚度下轮隙中心处路表计算弯沉(方案 2)

加铺厚度/ cm	计算弯沉 $l_s$ / (0.01 mm)	加铺厚度/ cm	计算弯沉 $l_s$ / (0.01 mm)
6	17.7	9	16.8
7	17.4	10	16.5
8	17.1	11	16.2

以计算弯沉为控制指标,选择满足要求的最小加铺厚度作为适宜加铺厚度,结果见表 8。

表 8 各路段主路适宜加铺厚度(方案 2)

路段 编号	不同加铺厚度(cm)时的 设计弯沉 $l_d$ /(0.01 mm)					适宜加铺 厚度/cm
	8	9	10	11	12	
1	15.5	16.0	16.6	17.1	17.7	10
2	15.6	16.1	16.7	17.3	17.8	10
3	16.5	17.1	17.7	18.3	18.9	9
4	16.7	17.3	17.9	18.5	19.0	9

### 4.3 方案 3

按方案 3 即旧沥青路面上基层视为级配碎石(500 MPa),旧沥青路面其余各层的模量均认为衰减至材料参数取值下限计算加铺厚度。此时不同加铺厚度下轮隙中心处路表计算弯沉  $l_s$  见表 9。

表 9 不同加铺厚度下轮隙中心处路表计算弯沉(方案 3)

加铺厚度/ cm	计算弯沉 $l_s$ / (0.01 mm)	加铺厚度/ cm	计算弯沉 $l_s$ / (0.01 mm)
5	19.4	9	17.8
6	19.0	10	17.4
7	18.6	11	17.1
8	18.2	12	16.7

以计算弯沉为控制指标,选择满足要求的最小加铺厚度作为适宜加铺厚度,结果见表 10。

表 10 各路段主路适宜加铺厚度(方案 3)

路段 编号	不同加铺厚度(cm)时的 设计弯沉 $l_d$ /(0.01 mm)					适宜加铺 厚度/cm
	8	9	10	11	12	
1	15.5	16.0	16.6	17.1	17.7	11
2	15.6	16.1	16.7	17.3	17.8	11
3	16.5	17.1	17.7	18.3	18.9	10
4	16.7	17.3	17.9	18.5	19.0	10

### 4.4 方案 4 下的加铺厚度计算

按方案 4 即规范改建设计方法计算加铺厚度。确定旧路面的当量回弹模量时,应根据路段划分,分别按照贝克曼弯沉值计算各路段的当量回弹模量值。计算公式为:

$$E_t = 1\ 000 \frac{2p\delta}{l_0} m_1 m_2$$

式中:  $E_t$  为旧路面的当量回弹模量(MPa);  $p$  为接地压强(MPa);  $\delta$  为当量圆半径(cm);  $l_0$  为旧路面的计算弯沉(0.01 mm);  $m_1$  为轮板对比值,取 1.1(轮隙弯沉法);  $m_2$  为旧路面当量回弹模量扩大系数,取 1。

根据计算弯沉代表值反算当量回弹模量,结果见表 11。

表 11 按计算弯沉代表值反算的当量回弹模量

起止桩号	车道	计算弯沉代 表值/(0.01 mm)	当量回弹 模量/MPa
K34—K35	1	11.4	1 439
K37—K38	1	11.0	1 491
K46—K47	4	13.0	1 262
K49—K50	4	12.2	1 344

按照旧沥青路面弯沉检测数据满足设计弯沉的要求,无需进行加铺补强层设计;按照由弯沉代表值反算的模量结果,也无需进行加铺补强层设计。

### 4.5 不同沥青路面结构设计方案验算结果对比

根据以上沥青路面结构设计方案计算出的适宜加铺厚度见表 12。

表 12 各路段主路适宜加铺厚度

路段编号	适宜加铺厚度/cm		
	方案 1	方案 2	方案 3
1	9	10	11
2	8	10	11
3	7	9	10
4	7	9	10

## 5 结论

(1) 中国现行规范的旧路加铺设计方法根据路面实测弯沉确定路面的当量回弹模量,而弯沉和路面破损程度无明显对应关系,按该方法进行加铺层设计存在一定局限性。

(2) 按常规 3 层沥青面层的旧路基层在最有利

(下转第 105 页)

性能。试验温度为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,加载速率为 $5\text{ cm/min}$ ,对规定尺寸的小梁试件进行加载,试验结果见表9。

表9 沥青混合料小梁低温弯曲试验结果

混合料类型	破坏强度/MPa	破坏应变/ $(\times 10^{-6})$	劲度模量/MPa
普通热拌沥青	8.76	2 788	3 142.04
Evotherm <sup>TM</sup> 温拌沥青	8.66	2 779	3 116.23
Sasobit <sup>®</sup> 温拌沥青	8.52	2 556	3 333.33

由表7可以看出:相比于普通热拌沥青混合料,Evotherm<sup>TM</sup>、Sasobit<sup>®</sup>温拌沥青混合料的破坏应变分别降低 $0.32\%$ 和 $8.32\%$ ,表明温拌剂可减小混合料的低温性,其中Sasobit<sup>®</sup>更明显,Evotherm<sup>TM</sup>温拌剂对低温变形的影响甚小。这是因为混合料低温性能主要受沥青低温劲度的影响,而粘度又对沥青劲度有较大影响,如果沥青粘度过高,沥青会呈现脆硬的特点,一旦沥青硬脆,就会对低温性能产生较大负面影响。从沥青粘度方面考虑,相比于Evotherm<sup>TM</sup>,Sasobit<sup>®</sup>可大幅度增加沥青的粘度,故Sasobit<sup>®</sup>温拌沥青混合料的低温破坏应变比Evotherm<sup>TM</sup>降低更显著。

#### 4 结论

(1) 相比于Sasobit<sup>®</sup>,沥青粘度受Evotherm<sup>TM</sup>的影响更小;当温度小于Sasobit<sup>®</sup>熔点时粘度增加,大于其熔点时粘度降低。

(2) 在路用性能方面,不同温拌剂带来的效果与性能差异很大。Sasobit<sup>®</sup>和Evotherm<sup>TM</sup>温拌剂都在一定程度上增强了混合料的高温抗变形特性,Sasobit<sup>®</sup>温拌剂更显著;但Sasobit<sup>®</sup>温拌剂会降低

混合料的低温和水稳性能;Evotherm<sup>TM</sup>温拌剂对于低温变形和抗水损坏特性的影响较小。

(3) 对于实体工程,应根据其实际情况及当地气候综合优选温拌剂。

#### 参考文献:

- [1] 刘至飞,吴少鹏,陈美祝,等.温拌沥青混合料现状及存在问题[J].武汉理工大学学报,2009,31(4).
- [2] 许菲菲,刘黎萍,唐海威,等.温拌沥青混合料与热拌沥青混合料性能对比[J].公路工程,2009,34(3).
- [3] 张宜洛,王涛,李晨.不同温拌沥青混合料降温效果研究[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2016,35(6).
- [4] 林敏,那日苏,郑学文,等.基于降粘技术的温拌沥青混合料的路用性能[J].武汉理工大学学报,2015,37(5).
- [5] 贺华刚,郝付军.温拌沥青混合料降温机理及路用性能对比[J].中外公路,2015,35(5).
- [6] 张丽宏.温拌沥青混合料性能研究[J].环境工程,2014(增刊1).
- [7] 郭平,祁峰,弥海晨.温拌沥青混合料的路用性能[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(3).
- [8] 刘双.不同机理温拌沥青混合料应用性能评价研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2012.
- [9] 王礼志,王亮,杨殊,等.一种新型温拌沥青混合料SMA-13路用性能研究[J].湖南交通科技,2016,42(1).
- [10] JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [11] 严超,方杨,张国民.GAC-20型温拌沥青混合料水稳定性及高温性能研究[J].广东公路交通,2016(5).
- [12] 王文奇,罗忠贤,谢远新,等.Sasobit温拌沥青混合料路用性能试验[J].西华大学学报:自然科学版,2016,35(1).

收稿日期:2017-04-14

(上接第101页)

和最不利状态下的弹性模量计算出的适宜加铺厚度和相差约 $3\text{ cm}$ ,基层弹性模量的变化对加铺厚度的影响不大,建议按规范下限值进行计算后根据施工适宜摊铺厚度进行加铺厚度设计。

#### 参考文献:

- [1] 张争奇.高速公路沥青路面维修养护技术[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [2] JTG D50-2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [3] 武建民,杜荣耀,王笑风.基于有效模量的沥青路面加

铺层设计方法[J].长安大学学报:自然科学版,2012,32(4).

- [4] 杨振丹.半刚性基层沥青路面加铺层设计方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.
- [5] 佛山路桥建设有限公司.佛山一环建设及养护设计文件[Z].佛山:佛山路桥建设有限公司,2015.
- [6] 广东省公路勘察设计院有限公司.广明高速二期工程可行性研究报告[R].广州:广东省公路勘察设计院有限公司,2015.

收稿日期:2017-03-15