

半刚性基层沥青路面弯沉验收标准研究

皇甫铤, 李豪, 王树杰

(苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210017)

摘要: 有文献表示以设计弯沉值作为路面弯沉验收标准值存在不适。文中结合 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》对路面弯沉检测标准值的规定, 提出半刚性基层沥青路面弯沉验收标准值的计算方法。通过室内试验分析发现土基回弹模量—含水量、水泥稳定碎石回弹模量—养护龄期之间存在相关度较高的函数关系, 据此得到任意时间的土基回弹模量和水泥稳定碎石模量; 再结合试验得到的其他路面结构实际参数和层状弹性理论计算交工验收时路面的实际弯沉值, 以此作为路面验收弯沉标准值判断路面弯沉是否满足要求。

关键词: 公路; 沥青路面; 半刚性基层; 弯沉验收标准值

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)02-0076-04

弯沉作为评价沥青路面性能的重要指标之一, 其大小表征沥青路面结构强度情况, 是道路交竣工验收的核心检测项目。根据 JTJ 014—1997《公路沥青路面设计规范》, 若路面整体刚度以设计弯沉值为控制指标, 在道路竣工验收时路面代表弯沉值必须小于路面设计弯沉值; 而根据 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》, 路表弯沉的检测标准值需按照最后确定的路面结构厚度与材料模量计算确定。两规范对于交工验收弯沉标准值存在差异, 主要原因是对路面进行弯沉检测时未充分考虑各结构层材料的实际参数(模量和强度等)和外界条件(温度和雨季等)对检测结果的影响。文献[2]认为采用设计弯沉值作为交工验收标准值过于宽松, 会使路基路面强度在一定程度上得不到保证, 影响道路使用的安全性和耐久性。而目前仍将设计弯沉值作为交工验收弯沉标准值。该文依托实体工程, 通过室内试验分析土基回弹模量与含水量、半刚性基层回弹模量与龄期间的关系, 以确定各结构层材料参数, 结合层状弹性体系理论, 通过 BISAR 软件计算路面弯沉验收标准值, 据此提出适用于任意检测时间的路表弯沉验收标准的确定方法, 为道路交工验收提供依据。

1 服役期内路表弯沉变化规律

路表弯沉表征路面的整体承载力, 是沥青路面设计的重要指标。目前中国沥青路面设计采用破坏状态设计法, 其失效准则以容许弯沉为指标, 设计标准以设计弯沉为指标, 后者是通过前者表征的破坏

准则与弯沉的衰变规律所建立的, 并且设计弯沉和容许弯沉的计算公式是经过大量路面调查及路表弯沉数据统计分析得到的, 设计弯沉以沥青路面出现纵向裂缝为标准, 容许弯沉以沥青路面表面出现大量网状裂缝为标准。

在道路竣工验收通车后, 随着行车荷载和外界条件的作用, 路表弯沉值不断变化。根据对实际工程路面弯沉的监控检测, 路表弯沉随使用年限的变化见图 1。

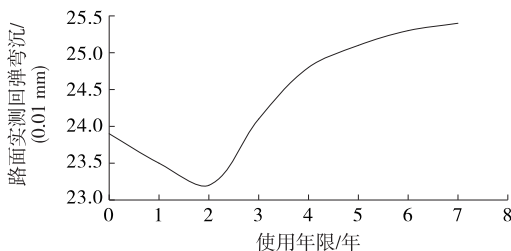


图 1 路面弯沉与使用年限的关系

根据图 1, 整个服役期内路面弯沉随使用年限的变化分为 3 个阶段: 1) 在路面竣工通车的前两年, 路面弯沉逐年降低, 并在第 2 年底达到整个道路服役期内的最小弯沉值。这是因为路面在行车荷载的反复作用下, 面层沥青混合料和基层材料被碾压得更密实, 强度增大, 并且材料的回弹模量处于增长阶段, 使道路结构强度与刚度增大, 路面弯沉减少。2) 在道路使用的第 3、4 年, 路表弯沉呈现快速增加趋势。究其原因, 主要是因为随着行车荷载和环境因素对路面的作用, 沥青老化, 粘结力降低, 沥青混合料发生一定程度的剥落、脱离, 加之雨水冲刷, 渗

入路面结构内部对基层造成破坏,并由基层反射作用至面层,造成沥青路面产生早期病害,路面整体结构刚度下降,路表弯沉变大。3) 从道路使用第 5 年开始直至路面发生破坏而丧失路面使用性能,路面弯沉依然在增加,但增加幅度逐渐减小,并有趋于平稳的态势。这是由于路面局部病害逐步发展成大面积破坏,路面结构的整体刚度和强度减小,路用性能逐渐下降,但局部区域集中的高密度能力逐步扩散到整个路面,基层材料模量随着龄期的增长而变得更大,形成一个新的能力平衡和稳定状态,路表弯沉平稳、缓慢地增加。

2 土基回弹模量与含水量的关系

路基作为整个路面结构的基础,其材料性能对路面结构刚度、强度、稳定性及服役性能有着重大影响。在中国路面设计中,土基回弹模量是表征土基抵抗变形能力的主要力学参数,对路面结构层厚度设计有着直接影响。路表回弹弯沉是路面各结构层和路基回弹变形之和,其中路基回弹变形占回弹变形之和的比例超过 90%,土基回弹模量越大,表明土基的抵抗变形能力越强,路基层顶的压应变越小,路表回弹弯沉减小。因此,获得准确的土基回弹模量尤为重要。有研究表明不同含水量条件下土基回弹模量不同,土基回弹模量与含水量之间存在一定的函数关系,并且路面设计时采用的土基回弹模量是最不利季节的模量值。下面通过试验研究海南地区不同含水量与土基回弹模量的关系,建立两者间的函数关系,从而得到不同季节下的土基回弹模量值,为道路工程交工验收提供较准确的数据。

通过室内试验得出重型击实标准下不同含水量对应的土基回弹模量,并进行线性拟合,结果见表 1 和图 2。

表 1 重型击实标准下的含水量与土基回弹模量

含水量/%	回弹模量/MPa	含水量/%	回弹模量/MPa
10.0	48.7	12.5	62.3
11.0	56.1	13.0	59.5
11.5	58.5	14.0	55.3
12.0	63.1	15.0	50.0

由图 2 可看出:土基回弹模量随着含水量的增大先增大后减小,在试验含水量范围内,土基回弹模量存在一个峰值,从数值上看存在最佳含水量。另外,含水量与土基回弹模量之间存在函数关系,经拟

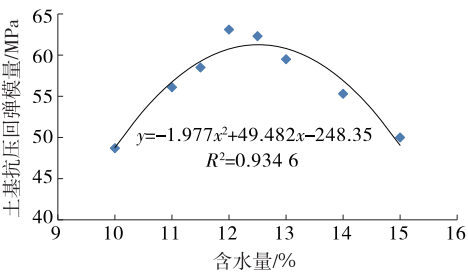


图 2 不同含水量下的土基回弹模量

合得到如下函数关系式:

$$E = -1.977w^2 + 49.48w - 248.3, R^2 = 0.934 \tag{1}$$

式中: E 为土基回弹模量(MPa); w 为土基含水量(%).

式(1)的相关度较高,说明土基回弹模量与含水量之间存在较为紧密的关系。在交工验收时,可通过路段所处地区的土基含水量,利用该拟合公式求出对应的土基回弹模量。

3 基层回弹模量随龄期的变化及模量折算

3.1 基层回弹模量随龄期的变化

目前,中国沥青路面等级公路绝大部分采用半刚性基层,半刚性基层材料主要有水泥稳定碎石和二灰碎石等,这些材料的强度形成基本通过无机结合料的化学反应及结晶过程,最终形成具有较高强度的无机结合料体。但由于无机结合料受外界条件(种类、含量、集料级配及含水量)的影响不同,不同条件下半刚性基层材料的强度及模量随龄期的变化规律有所不同。某路段沥青路面基层为水泥稳定碎石,下面以该路段为依托,通过试验分析水泥稳定碎石抗压回弹模量随养生龄期的变化。水泥稳定碎石混合料均在标准条件下养生,养生温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,养护湿度不小于 95%。试验结果见表 2 和图 3,试验所得回弹模量通过多组平行试验得出。

表 2 不同龄期下水泥稳定碎石混合料的抗压回弹模量

龄期/d	抗压回弹模量/MPa	龄期/d	抗压回弹模量/MPa
7	876	60	1 457
14	1 146	90	1 523
28	1 343	180	1 597

由图 3 可看出:水泥稳定碎石的抗压回弹模量随着养生龄期的增加而逐渐增大,两者间存在相关性较高的对数函数关系:

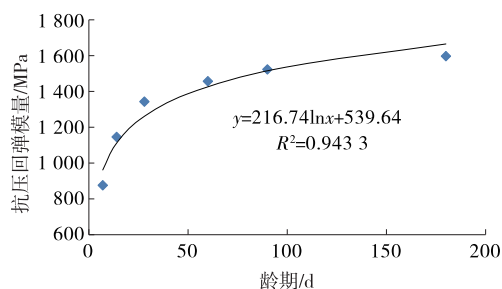


图3 水泥稳定碎石抗压回弹模量随龄期的变化

$$E = 216.7 \ln t + 539.6, R^2 = 0.943 \quad (2)$$

式中: E 为水泥稳定碎石的抗压回弹模量(MPa); t 为水泥稳定碎石的养生龄期(d)。

利用式(2)即可计算出相应龄期下水泥稳定碎石基层的回弹模量。但上述试验结果的函数关系是在室内标准养生条件下得到的,而水泥稳定碎石强度的形成、增长与外界环境有很大的相关性,实际交工验收时的温度、湿度条件与室内养生标准条件往往存在很大差别,在某同一龄期自然条件下养生的水泥稳定碎石模量与室内标准养生条件下的模量存在差异。为了较准确地得到路段交工验收时的水泥稳定碎石模量,对自然养生条件下的半刚性基层模量进行折算。

3.2 基层模量折算

在一定湿度条件下,半刚性基层材料的强度是温度和时间的函数,即对于同一湿度状态的试件,以不同温度、龄期形成的强度,总有可能等于标准养生条件下某一龄期的结果。文献[10]建立了温度—龄期换算公式,将自然养生条件下的龄期换算为标准养生条件下的龄期,换算公式如下:

$$\frac{D_{20}}{D_T} = \left(\frac{T - 4}{20 - 4} \right)^a \quad (3)$$

式中: D_{20} 为标准养生温度 20℃ 的养生时间(d); D_T 为自然养生温度 T 的养生时间(d); a 为与 T 有关的系数, $\log a = 0.0593 + 0.00634T$ 。

根据式(3)可将水泥稳定碎石在温度 T 下的养生龄期换算成标准养生温度 20℃ 下的养生龄期,再将换算后的龄期带入式(2),即可计算出水泥石稳定碎石的抗压回弹模量。

4 路面弯沉验收标准值计算

4.1 工程概况

该路段为半刚性基层沥青路面,原沥青路面各结构层设计厚度及材料参数见表3。

表3 原沥青路面结构层设计材料参数及厚度

结构层	回弹模量设计值/MPa	厚度/cm
细粒式改性沥青砼	1 200	4
中粒式改性沥青砼	1 200	6
粗粒式改性沥青砼	1 000	8
水泥稳定碎石	1 500	36
低剂量水泥稳定碎石	800	18
路基	40	—

对该路段进行交通量调查,得到累计当量轴次 $N_e = 1.02 \times 10^7$ 次,根据《沥青路面设计规范》中设计弯沉公式,得到设计弯沉为:

$$l_d = 600 \times (1.02 \times 10^7)^{-0.2} \times 1 \times 1 \times 1 = 23.8 \text{ (0.01 mm)}$$

该路段于 2014 年 10 月底土基竣工,于 2015 年 3 月进行基层和底基层施工,并在当年 11 月组织交工验收。

4.2 各结构层实际材料参数的确定

(1) 该路段在 11 月组织交工验收,根据所采集的数据,项目所在地该月的土基含水量为 12.9%,将其带入式(1),计算得到土基回弹模量为 61 MPa。

(2) 该路段从水泥稳定碎石基层开始施工到路表弯沉交工验收的时间约为 240 d,根据温度调查结果,该时间段的平均温度为 22℃。通过式(3),将自然条件下养生时间 240 d 换算成标准养生条件下的龄期为 289 d。将换算得到的时间带入式(2),得到水泥稳定碎石的抗压回弹模量为 1 767.5 MPa。

(3) 底基层材料为低剂量水泥稳定碎石,参照水泥稳定碎石回弹模量确定方法,通过室内试验检测得到其抗压回弹模量为 800 MPa,与原路面设计模量取值相同。

(4) 沥青混合料属于柔性材料,沥青在不同荷载应力、频率、温度作用下表现出的流变性能(复数剪切模量、屈服应力、结构松弛等)不同,而沥青对沥青混合料性能的影响非常大,故在一定条件下沥青混合料的回弹模量与作用在其表面的荷载应力有着密切关系。根据现有试验条件,通过 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的沥青混合料单轴压缩试验,模拟在路表弯沉验收时荷载车对路面产生的应力,测得细粒式改性沥青砼、中粒式改性沥青砼、粗粒式改性沥青砼的抗压回弹模量分别为 1 350、1 300、1 060 MPa。

(5) 沥青路面各结构层厚度通过雷达测试仪测定。经测试,该路段交工验收时各层厚度与路面设

计厚度一致。

4.3 路表弯沉验收标准值计算

根据沥青路面结构层参数(见表4),结合层状弹性理论,运用 BISAR 软件对路表弯沉进行计算,计算结果即为路表弯沉验收标准值。采用的轴载为 BZZ-100,荷载方式为双圆均布荷载,轮胎接地压强为 0.7 MPa,当量圆半径为 10.65 cm,层间接触条件为不完全光滑接触。

表4 路表弯沉验收标准值计算所用沥青路面结构参数

结构层	回弹模量设计值/MPa	厚度/cm
细粒式改性沥青砼	1 350.0	4
中粒式改性沥青砼	1 300.0	6
粗粒式改性沥青砼	1 060.0	8
水泥稳定碎石	1 767.5	36
低剂量水泥稳定碎石	800.0	18
路基	61.0	—

按表4所示路面结构参数进行计算,得到路表弯沉验收标准值为 15.1 (0.01 mm);按表3所示原设计路面结构参数进行计算,路表弯沉值为 17.5 (0.01 mm)。两个弯沉值都远小于路表设计弯沉值 23.8 (0.01 mm),并且采用文中方法得到的弯沉值最小,表明以设计弯沉值作为交工验收弯沉标准值不合适。以设计弯沉值作为交工验收弯沉标准值对于路面施工质量控制过于宽泛,而采用文中方法得到的路表弯沉值更符合实际条件,对交工验收弯沉控制更具准确性和参考性,且该方法可操作性较强,适用条件较理想,受交工验收时间的限制很小。

5 结语

该文针对目前国内在沥青路面交工验收时采用设计弯沉作为弯沉验收标准值的情况,提出了更合

理、更具参考性的计算路表弯沉验收标准值的方法。该方法通过室内试验分析土基回弹模量与含水量、水泥稳定碎石基层抗压回弹模量与养生龄期之间的关系,经数据回归分析得出相关性较好的函数关系,由此计算交工验收时土基、基层的实际回弹模量值,再结合室内试验得出的面层材料的实际回弹模量和雷达测试仪检测的各结构层厚度,经 BISAR 软件计算得出弯沉验收标准值。

参考文献:

- [1] JTG D50—2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [2] 林榕.沥青路面弯沉指标验收标准的探讨[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [3] 郑健龙.基于状态设计法的沥青路面弯沉设计标准[J].中国公路学报,2012,25(4).
- [4] 柳志军.河南省路基路面设计参数研究[D].西安:长安大学,2004.
- [5] 刘维民,李志勇,董城,等.不同湿度粘性路基土动态回弹预估研究[J].公路工程,2013,38(6).
- [6] 陶文平.南方红粘土公路路基设计与修筑技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2010.
- [7] 姚祖康.沥青路面结构设计[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [8] 郝冠军,王树杰.重载作用下半刚性基层不同龄期弯沉测试标准[J].中外公路,2015,35(6).
- [9] 吕松涛,郑健龙,仲文亮.养生期水泥稳定碎石强度、模量及疲劳损伤特性[J].中国公路学报,2015,28(9).
- [10] 王崇涛,郑木莲,王选仓.半刚性基层不同龄期弯沉检验标准[J].长安大学学报:自然科学版,2008,28(6).
- [11] 陈体华,曾明水.沥青路面结构层厚度与弯沉验收值的确定[J].公路与汽运,2003(2).

收稿日期:2016-07-25

(上接第75页)

- 2010(4).
- [3] 何会成,杨奇竹,吴旷怀.乳化 SBS 改性沥青和 SBR 改性乳化沥青对比试验[J].石油沥青,2007,21(4).
- [4] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [5] 曹海琳,朗海军,孟松鹤.连续玄武岩纤维结构与性能试验研究[J].高科技纤维与应用,2007,32(5).
- [6] 胡东.玄武岩纤维沥青混合料性能试验研究[J].公路交通科技:应用技术版,2012(7).
- [7] 胡显奇.我国连续玄武岩纤维的进展及发展建议[J].高

科技纤维与应用,2008,33(6).

- [8] 赵振东.掺加抗车辙剂沥青混合料技术性能研究[J].公路交通科技:应用技术版,2009(2).
- [9] 曾志威.掺抗车辙剂沥青混合料路用性能研究[D].长沙:长沙理工大学,2009.
- [10] 张杰.排水性沥青路面材料特性及施工技术研究[J].公路与汽运,2016(1).
- [11] 于良溟.排水性沥青路面防水粘结层研究[D].南京:东南大学,2006.

收稿日期:2016-08-06