

# 路面结构承载能力合理量化评定标准研究

梁斌

(山西省交通科技研发有限公司, 山西 太原 030006)

**摘要:** 通过分析国内外路面结构承载能力检测及评价资料, 结合中国路面养护决策需求, 研究符合中国公路实际的路面结构承载能力检测方法、评价方法和量化评定标准, 建议直接采用 FWD 弯沉评价路面结构承载能力, 并提出了路面结构承载能力的 FWD 弯沉评定量化标准, 为路面养护决策提供依据。

**关键词:** 公路; 路面; 结构承载能力; 评定标准; FWD 弯沉

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)03-0062-02

## 1 路面结构承载能力评定指标及检测

### 1.1 路面结构承载能力评定指标

路面结构承载能力是路面抵抗荷载、水温变化等作用的能力, 取决于结构层厚度、材料力学性能和路面损坏情况。在寿命周期内, 路面结构厚度变化基本可忽略不计, 故路面结构承载能力基本上可用结构层材料弹性模量来评定。另外, 根据材料弹性模量可预估疲劳强度, 因而路面结构承载能力还可用剩余疲劳寿命来评定, 这对路面资产管理可能更实际。传统上, 现有路面材料力学性能的确定大多采用钻孔取芯法, 经过芯样力学试验确定其力学性能如弹性模量、抗压强度或抗折强度等。众所周知, 现场路面取芯不仅耗时耗力, 如果没有适当的交通控制, 还可能产生交通安全问题。因此, 大规模进行网级路面取芯检测是不实际的。

迄今, 落锤式弯沉仪(FWD)已被公路部门广泛用于路面结构承载能力检测评价。该方法通过测定路表弯沉, 根据弯沉反算各层材料模量。根据检测目的, 可进一步从材料模量确定结构层强度和路面结构剩余疲劳寿命。也就是说, 借助 FWD 检测, 可确定运营期路面的弯沉、弹性模量和剩余疲劳寿命 3 个强度指标, 其中任何一个指标都可用于评定路面结构的承载能力。通过大量分析比较, 建议直接采用 FWD 荷载中心弯沉评定路面结构承载能力, 主要理由如下: 1) 公路路面尤其是沥青路面结构均为多层结构, 而现行的基于弯沉的模量反算方法不能提供各层模量的精确解, 且对弯沉的误差较敏感; 2) 对于网级路面结构承载能力评价, 用户更关心的是路面整体结构承载能力, 而荷载中心弯沉不仅和

各层结构强度有关, 还和路面损坏状况有关, 用其作为评价指标简单明了。

### 1.2 网级路面 FWD 检测

理论上, 无论是沥青路面多层体系, 还是水泥砼路面弹性地基板理论, 路表弯沉均取决于各层厚度、材料力学性能、荷载大小及其接触和边界条件。在现场 FWD 检测时, 沥青材料性能和水泥砼板翘曲将受环境条件的影响。另外, 现场路面损坏状况将影响 FWD 弯沉大小。为此, 建议现场网级路面 FWD 弯沉检测位置取沥青路面行车道中央或水泥砼板中心, 检测荷载和路面标准轴载一致; 参照检测温度为 20 °C, 其他温度的弯沉换算成 20 °C 弯沉。另外, 沿行车方向的检测间隔为 0.5~1 km, 每 3 年检测一次。

## 2 路面结构承载能力评定标准

### 2.1 现行 FWD 弯沉评定标准

根据 JTG H20-2007《公路技术状况评定标准》, 路面结构强度采用路面结构强度指数 PSSI 评价, 计算公式如下:

$$PSSI = \frac{100}{1 + a_0 e^{a_1 SSI}} \quad (1)$$

式中:  $a_0$ 、 $a_1$  为模型参数,  $a_0 = 15.71$ ,  $a_1 = -5.19$ ; SSI 为路面结构强度系数, SSI = 检测代表弯沉/路面设计弯沉。

现行路面结构强度评价把一个客观、可测定的参数即弯沉换算成一个虚拟的参数 PSSI, 实际意义不大。另外, PSSI 的计算引入了一个和路面设计弯沉有关的路面结构强度系数 SSI, 这不符合水泥砼路面结构设计理论和方法。根据 JTG D40-

2011《公路水泥混凝土路面设计规范》,板厚确定标准是在行车荷载和温度梯度综合作用下砧板不产生疲劳断裂。这也进一步说明直接采用荷载中心的 FWD 弯沉更符合实际。

2.2 FWD 弯沉累计分布曲线

路面结构承载能力评定涉及因素多,如在重交通下结构承载能力评定“中”的路面,对于轻交通来说可能是“良”甚至“优”。根据山西灵石—南关二级公路、朔州高速公路及美国高速公路和普通公路的平均实测弯沉分布(见图 1),朔州和美国高速公路的弯沉分布曲线变化趋势相似,且近 80% 的弯沉值小于 0.125 mm;灵石—南关二级公路和美国普通公路的弯沉分布趋势正好相反,前者 60% 以上的弯沉值大于 0.25 mm,后者 60% 以上的弯沉小于 0.120 mm。

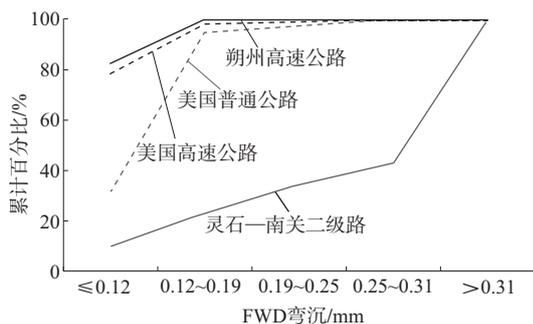


图 1 路表实测弯沉累计分布

仔细分析图 1 中曲线形状,朔州高速公路、美国高速公路及美国二级公路的弯沉分布曲线均呈上凸形状,而灵石—南关二级公路的弯沉分布曲线呈下凸形状。如表 1 所示,灵石—南关二级公路的平均弯沉值为 0.414 mm,远大于其他 3 条公路的平均弯沉值。现场调查也表明,灵石—南关二级公路的路况很差,病害多,路面坑坑洼洼。根据以上观察和分析结果,可推断当路面结构承载能力较差时,弯沉累计分布曲线下凸;当路面结构承载能力较好时,弯沉累计分布曲线上凸。弯沉的累计分布曲线特征对路面养护维修具有一定的指导意义。

表 1 路表实测弯沉统计特征值

路名	弯沉均值/mm	变异系数/%
朔州高速公路	0.101	27
灵石—南关二级路	0.414	60
美国高速公路	0.105	30
美国普通公路	0.136	25

2.3 推荐的路面结构承载能力评定量化标准

美国的有关研究人员通过大量 FWD 现场检

测,提出了表 2 所示路面结构承载能力的 FWD 弯沉评定量化标准。其中弯沉位置为荷载中心,荷载大小为 40 kN,参照温度为 20 °C。由于成本和检测要求,中国 FWD 检测主要用于项目级路面结构承载能力评价,网级路面 FWD 检测及其数据均非常有限。另外,中国的标准轴载为 100 kN,相应的一侧轮载为 50 kN;美国的标准轴载为 80 kN,相应的一侧轮载为 40 kN。为了对 FWD 弯沉标准进行荷载换算,近似地采用圆形刚性承载板作用下的弹性半空间模型:

$$\omega_0 = \frac{\pi p a}{2E} \times (1 - \mu^2) \tag{2}$$

式中: $\omega_0$ 为荷载中心板底弯沉; $a$ 、 $p$ 分别为圆形承载板半径及板底分布压力; $E$ 、 $\mu$ 分别为弹性半空间体材料的弹性模量和泊松比。

从式(2)来看,荷载中心板底弯沉和荷载大小成线性关系,将标准轮载 40 和 50 kN 分别代入式(2),得  $\omega_{0.50\text{ kN}} = 1.25 \times \omega_{0.40\text{ kN}}$ ,从而得到推荐的路面结构承载能力 FWD 弯沉评定标准(见表 2)。

表 2 路面结构承载能力的 FWD 弯沉评定量化标准

结构承载能力	美国 FWD 弯沉评定标准(40 kN)/mm		推荐 FWD 弯沉评定标准(50 kN)/mm	
	高速公路	普通公路	高等级公路	普通公路
优	<0.10	<0.15	≤0.12	≤0.20
良	0.10~0.15	0.15~0.20	0.12~0.20	0.20~0.25
中	0.15~0.20	0.20~0.25	0.20~0.25	0.25~0.30
次	0.20~0.25	0.25~0.30	0.25~0.30	0.30~0.40
差	>0.25	>0.30	>0.30	>0.40

3 结论

(1) 现场网级路面 FWD 弯沉检测位置为沥青路面行车道中央或水泥砧板中心,检测荷载和路面标准轴载一致。

(2) 《公路技术状况评定标准》关于路面结构承载能力的评价采用虚拟的指数 *PSSI* 和 *SSI*,而实际上这些指数是通过相对独立的客观参数即弯沉计算得到的,推荐直接采用 FWD 弯沉评价路面结构承载能力,并提出了路面结构承载能力的 FWD 弯沉评定量化标准。

(3) 路面结构承载能力较差时,弯沉累计分布曲线下凸;路面结构承载能力较好时,弯沉累计分布

(下转第 68 页)

接近,误差大部分控制在 1.5~6 mm,最大误差 8.37 mm,最小误差 0.13 mm,误差较小,说明运用双曲线模型法预测路基沉降合理。 $t \rightarrow \infty$ 时,由  $S_t = S_0 + 1/\beta$  计算得路基的最终沉降量为 278 mm。根据 JTG/T D30-02-2013《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》,桥头路段容许工后沉降为 100 mm。该工程监测期沉降量为 209 mm,工后沉降为 69 mm,符合规范要求。

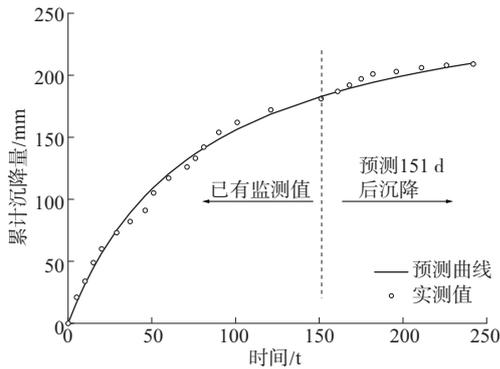


图9 沉降预测结果与实测值对比

#### 4 结语

该文通过沉降板法对甬台温高速公路进行沉降监测,分析不同填土阶段的沉降情况,阐述地基变形和加载速率之间的关系;对比分析不同路基处理方式对沉降的影响,得出水泥搅拌桩处理桥头地基可改善路基沉降,塑料排水板处理一般路段地基可减缓路基沉降的发生;采用双曲线模型法预测路基最终沉降,预测结果与实测值的误差很小,采用该方法预测路基沉降具有相当高的可靠性。

#### 参考文献:

[1] 吉力此且,宋吉荣.高速公路路基沉降与施工控制研究[J].公路工程,2018,43(2).  
 [2] 王金明,陈昌彦,张建坤.不同类型填方路基沉降监测及沉降分析[J].工程勘察,2019,47(1).

(上接第 63 页)

曲线上凸。

#### 参考文献:

[1] Li S, White T D. Falling-weight deflectometer sensor location in the backcalculation of concrete pavement moduli [J]. Journal of Testing and Evaluation, 2000, 28(3).  
 [2] JTG H20-2007, 公路技术状况评定标准[S].

[3] 陈勇,黄泽春,张增强.填埋场沉降监测技术研究现状及其发展[J].环境科学与技术,2009,32(4).  
 [4] 钟志旺,陈建译.基于 CMOS 面阵的道岔缺口定位监测研究[J].铁道学报,2016,38(12).  
 [5] 刘尧军,赵玉成,冯怀平.路基沉降监测方法应用研究[J].公路交通科技,2004,21(1).  
 [6] 贾亮,徐国双.路基沉降监测中几种监测方法的应用[J].北京测绘,2010(3).  
 [7] 徐实.基于激光准直特性的隧道整体道床沉降图像监测技术[J].中国铁路,2012(5).  
 [8] 樊振.高速公路路基沉降分析与监测技术研究[D].西安:长安大学,2018.  
 [9] Maheshwari M, Yang Y, Upadrashta D, et al. Fiber Bragg Grating (FBG) based magnetic extensometer for ground settlement monitoring[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2019, 296.  
 [10] 蒋建国,梁洪涛,何金龙.双曲线法预测技术在地下工程沉降观测中的应用[J].路基工程,2013(2).  
 [11] 胡振南.双曲线法在路基沉降预测中的应用研究[J].公路工程,2011,36(3).  
 [12] 张军辉.软土地基上高速公路加宽变形特性及差异沉降控制标准研究[D].南京:东南大学,2006.  
 [13] Oliveira P J V, Santos S L, Correia A A S, et al. Numerical prediction of the creep behaviour of an embankment built on soft soils subjected to preloading [J]. Computers and Geotechnics, 2019, 114.  
 [14] Providakis S, Rogers C D F, Chapman D N. Predictions of settlement risk induced by tunnelling using BIM and 3D visualization tools[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2019, 92.  
 [15] 肖硕.南方湿热地区典型路基土干法与湿法击实试验对比研究[D].长沙:长沙理工大学,2014.  
 [16] 魏建国,李洋,王晶.驻信高速改扩建工程路基沉降观测研究[J].湖南交通科技,2016,42(2).  
 [17] 刘珣.软土路基沉降变形监测及预测方法的研究[D].长沙:长沙理工大学,2017.

收稿日期:2019-10-21

[3] JTG D40-2011, 公路水泥混凝土路面设计规范[S].  
 [4] Noureldin A S, Zhu Karen, Li Shengbo Eben, et al. Network pavement evaluation with falling-weight deflectometer and ground-penetrating radar [J]. Transportation Research Record, 2003, 1860.  
 [5] 冀冠宇. FWD 荷载作用下路面动弯响应试验研究[J].山西交通科技,2019(1).

收稿日期:2019-08-16