

文章编号:1671-8879(2008)05-0014-04

## AASHTO 法中土基模量取值对沥青路面的影响

武红娟<sup>1,2</sup>, 王选仓<sup>1</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 甘肃省交通科学研究所, 甘肃 兰州 730075)

**摘要:**为了考虑一年中季节含水量(含水质量分数)变化对土基强度的影响,保证土基强度设计取值的可靠性,在美国 AASHTO 沥青路面设计方法中采用有效回弹模量作为土基强度设计值。通过分析不同土基设计强度取值对沥青路面设计弯沉值、路面结构设计厚度及所能承受的交通荷载的影响,提出用有效回弹模量代替最不利季节模量作为土基强度设计值。研究结果表明,考虑季节变化的有效回弹模量值作为土基强度的设计取值,能够保证路面的整体结构强度,降低成本,使设计取值更具有合理性。

**关键词:**道路工程;土基强度;土基有效回弹模量;路面厚度;路表弯沉

**中图分类号:**U416.217 **文献标志码:**A

### Influence of design value of soil base's modulus in AASHTO on asphalt pavement design

WU Hong-juan<sup>1,2</sup>, WANG Xuan-cang<sup>1</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Gansu Province Institute of Transportation Research, Lanzhou 730075, Gansu, China)

**Abstract:** In order to consider the influence of the changes of water content to soil base's intensity, and guarantee the design value of soil base's intensity reliability, the soil base's effective modulus of resilience value is adopted in the asphalt pavement design of AASHTO. Through analyzing the impact on road surface deflection value, the thickness of road and transportation load in different seasons of modulus value, this paper proposes that the design value of soil base's intensity to replace the most disadvantage season module with soil base's valid modulus of resilience. The result shows that the soil base's effective modulus of resilience as soil base's intensity has more rationality when taking the seasonal change into consideration. 4 tabs, 1 fig, 9 refs.

**Key words:** road engineering; soil base's intensity; soil base's effective modulus of resilience; road thickness; road surface deflection

## 0 引言

目前,在中国沥青路面设计中,无论采用什么方

法来确定土基回弹模量值,都没有考虑一年中含水量(含水质量分数)变化对土基强度的影响,而是选用定值法来确定土基回弹模量值。在国外沥青路面

收稿日期:2007-10-20

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200131882594)

作者简介:武红娟(1980-),女,山西曲沃人,甘肃省交通科学研究所工程师,长安大学工学博士研究生,E-mail:whj0116@163.com。

设计中,加州承载比法、壳牌设计法和美国的沥青协会设计法,虽然用不同的力学指标来表征土基的强度,但其基本与中国确定土基强度设计值方法一样,是采用定值法来确定土基的强度参数。在美国沥青路面 AASHTO 设计方法中,考虑了一年中土基回弹模量的变化,采用路基土的有效回弹模量  $E_{se}^{[1]}$  作为设计参数,能够真实反映路基土的工作状态,为考虑土基强度的设计取值提供了一种新的思路。为此,本文通过美国 AASHTO 设计方法中的给定公式,计算得出有效回弹模量值,并将不同季节模量值和有效回弹模量值作为土基强度设计值进行沥青路面结构层设计计算,并分析了不同土基强度取值对路面结构承载力的影响<sup>[2-9]</sup>。

1 AASHTO 法的有效回弹模量计算

美国 AASHTO 推荐的设计法,是通过直接修筑试验路,以实际行车作用下路况变化的实测资料为依据,建立了路面服务指数与路面结构数和标准轴载(80 kN)作用次数  $N_{18}$  的经验关系式,即

$$\lg(N_{18}) = 9.36\lg(S_N + 1) - 0.20 + \frac{\lg[I_{\Delta PSI}/(4.2 - 1.5)]}{0.4 + 1.094/(S_N + 1)^{5.19}} + 2.32\lg(E_{se}) - 8.07 \quad (1)$$

式中: $N_{18}$  为标准轴载(80 kN)作用次数; $S_N$  为结构数, $S_N = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$ ;  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  均为道路试验中确定的系数; $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  分别为沥青面层、基层和垫层的厚度; $I_{\Delta PSI} = p_0 - p_1$ ,为路面服务指数; $p_0$  为路面的平均起始服务指数,取为 4.2(设想是中等施工水平的典型状态); $p_1$  为最终服务能力指数; $E_{se}$  为路基土的有效回弹模量。

有效路基土回弹模量相当于应用实际季节模量

值产生同样损伤的当量模量。下面介绍路面相对损伤  $u_i$  的计算式和计算  $E_{se}$  的方法。

$$\text{由式(1), } E_{se} \text{ 对 } N_{18} \text{ 的影响可表示为}$$
$$\lg(N_{18}) = \lg(C) - \lg(E_{se}^{-2.32}) + 8.07 \quad (2)$$

式中: $C$  为式(1)中除最后两项之外的总和。

$$\text{将式(2)进行整理,可得}$$
$$\lg(N_{18}) = \lg(C) - \lg(1.18 \times 10^8 E_{se}^{-2.32}) \quad (3)$$
$$N_{18} = \frac{C}{1.18 \times 10^8 E_{se}^{-2.32}} \quad (4)$$

若  $N_T$  为预期的总交通量,损伤率  $D_i$  为预期的和允许的荷载重复作用数之比,则可表示为

$$D_i = \frac{N_T}{C/(1.18 \times 10^8 E_i^{-2.32})} \quad (5)$$

若  $N_T$  在  $n$  个时期均匀分布,则累积损伤率为

$$D_i = \sum_{i=1}^n D_n = \sum_{i=1}^n \frac{N_T/n}{C/(1.18 \times 10^8 E_i^{-2.32})} = \frac{N_T}{C} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1.18 \times 10^8 E_i^{-2.32}) \quad (6)$$

令式(5)与式(6)相等,可得

$$1.18 \times 10^8 E_{se}^{-2.32} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1.18 \times 10^8 E_i^{-2.32}) \quad (7)$$

式(7)可用来确定用季节路基土回弹模量  $E_i$  表示的有效路基土回弹模量  $E_{se}$ ,并定义相对损伤  $u_i$  计算式为

$$u_i = 1.18 \times 10^8 E_{se}^{-2.32} \quad (8)$$

一年内不同时期(一个月或半个月)测定的季节路基土回弹模量  $E_i$ ,按它们对路面服务能力的相对损伤程度,分别赋予相应的权系数  $u_i$ ,叠加各月的相对损伤,除以月数后求平均损伤;利用式(8)计算得到 AASHTO 方法推荐的  $E_{se} = 34.8 \text{ MPa}$ 。计算结果见表 1。

表 1 路基土有效回弹模量计算

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_i/\text{MPa}$	139.20	139.20	17.40	27.84	27.84	48.72	48.72	48.72	48.72	48.72	27.84	139.20
$u_i$	0.01	0.01	1.51	0.51	0.51	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.51	0.01

$\overline{u_i} = \sum u_i/n = 3.72/12 = 0.31, E_{se} = 34.8 \text{ MPa}$

由表 1 可以看出,3 月份春融季节路基土的模量值最低,对有效回弹模量取值的影响也最大,其对路面服务能力的相对损伤程度达到 12 个月总和的 40.59%。若按照中国最不利的原则进行取值,土基强度的设计取值为 17.4 MPa;而按 AASHTO 法考虑一年中不同模量取值对路面服务能力相对损伤的原则进行取值,土基强度的设计取值为 34.8 MPa。由此可见,用有效回弹模量值作为土基强度的设计

值比最不利季节的土基回弹模量值有所提高,并且由于考虑了一年中季节变化对路面服务能力的影响,所以更能真实地反映路基随季节变化的情况。

2 不同土基强度取值对沥青路面厚度及弯沉的影响

路基土在一年中由于不同季节含水量的差异,会引起土基回弹模量  $E_0$  较大的变化。对于同一种

路面结构,在不同的  $E_0$  条件下,计算的路面弯沉会随之变化,因此也就涉及到路面使用年限的问题。根据表 1 不同季节的路基土有效回弹模量,可以对路基湿度状况进行分类,分类结果见表 2。

表 2 路基湿度状况

路基湿度状况	路基土回弹模量/MPa
潮湿	27.84
干燥	48.72
春融	17.40
冻结	139.20

由表 2 可以看出,不同季节路基土回弹模量的取值差异比较大。现拟定一高速公路其路面结构层如图 1 所示,累积当量轴次为 450 万次,设计弯沉值为 28(0.01 mm),通过 APDS97 沥青路面设计程序,可计算不同季节的土基回弹模量(17.40 MPa、27.84 MPa、48.72 MPa 和 139.20 MPa)和有效回弹模量(34.8 MPa)对应的底基层厚度和竣工验收弯沉,结果见表 3。

		$E_{20}^{\circ}\text{C}$	$E_{15}^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{sp}$
上面层:细粒式密级配沥青混凝土	$h_1=5\text{ cm}$	1 200	1 800	1.00
下面层:粗粒式密级配沥青混凝土	$h_2=7\text{ cm}$	1 000	1 400	0.80
基层:水泥稳定级配碎石	$h_3=18\text{ cm}$	1 500	1 500	0.50
底基层:水泥石灰砂砾土	$h_4=?$	1 000	1 000	0.35

$E_0=34.8\text{ MPa}$

图 1 路面结构层

注: $E_{20}^{\circ}\text{C}$ 、 $E_{15}^{\circ}\text{C}$  分别为 20℃ 和 15℃ 时的土基回弹模量(单位为 0.069 MPa); $\sigma_{sp}$  为 15℃ 时的材料劈裂强度(MPa); $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$  分别为各层的厚度。

表 3 不同土基回弹模量值对应的底基层厚度和竣工验收弯沉

累积当量轴次 $N_e$ /万次	设计弯沉 $l_d$ /(0.01 mm)	土基回弹模量 $E_0$ /MPa	底基层厚度/cm	竣工验收弯沉 $l$ /(0.01 mm)
450	28	17.40	38	27.9
450	28	27.84	30	27.6
450	28	34.80	26	27.4
450	28	48.72	23	25.4
450	28	139.20	10	21.7

从表 3 可以看出,随着土基回弹模量的增加,所需底基层厚度和竣工验收弯沉值都在减小。并且当土基回弹模量值较低时,土基强度的变化对底基层厚度的影响较敏感,即土基回弹模量由 17.4 MPa 增大到 34.8 MPa 时,底基层厚度减小了 12 cm;当土基回弹模量由 34.8 MPa 增大到 139.2 MPa 时,底基层厚度减小了 16 cm。而当土基回弹模量值分别为 48.72 MPa 和 139.2 MPa 时,对应竣工验收弯沉值分别为 25.4(0.01 mm)和 21.7(0.01 mm),与设计弯沉值 28(0.01 mm)相差较大,说明在此模量

下该路面结构可以承受更大的交通荷载。

3 同一路面结构下不同模量取值对路面承载力的影响

在累积当量轴次为 450 万次、设计弯沉值为 28(0.01 mm)时,按图 1 给出了路面结构层次和模量计算,所需底基层厚度为 26 cm,即有效回弹模量值为 34.8 MPa 对应的底基层厚度。若选取 26 cm 为底基层的厚度,那么当土基回弹模量随季节变化时,整个路面结构能承受多大的交通荷载,路表弯沉值将怎样变化呢。这里仍用 APDS97 计算程序进行试算,结果如表 4 所示。

表 4 路面结构所能承受的交通荷载

底基层厚度/cm	土基回弹模量 $E_0$ /MPa	累积当量轴次 $N_e$ /万次	路表弯沉/(0.01 mm)
26	17.40	100	37.9
26	27.84	200	33.0
26	34.80	450	27.4
26	48.72	1 000	23.9
26	139.20	7 500	16.0

由表 4 可知,当土基回弹模量值由最不利季节(春融季节模量值为 17.4 MPa)变化到冰冻季节最大模量值(139.2 MPa)时,路表弯沉值也随之减小。在保持底基层厚度不变的情况下,土基回弹模量小于 34.8 MPa 对应的路表弯沉值大于 28(0.01 mm),其中春融季节所能承受的轴载为 100 万次,对应路表弯沉值为 37.9(0.01 mm),即在春融季节,由于路基湿度过大、强度不足,导致路面整体结构强度下降,路面易于损坏。当土基回弹模量取一年中最不利季节(春融时期)的模量值为 17.4 MPa 时,按预先设计好的路面结构层厚度进行计算,其能承受的交通荷载为 100 万次,即在春融季节一次轴载的作用相当于正常季节(土基模量取值为 34.8 MPa)作用的 4.5 次;而冬季土基模量取值为 139.2 MPa 时,按预先设计好的路面结构层厚度进行计算,其能承受的交通荷载为 7 500 万次,即冬季一次轴载的作用相当于正常季节的 1/16.67。由于相同的轴载在不同季节对路面结构产生的疲劳损坏是不同的,即当外界条件不利(如春融季节或雨季路基土壤湿度增加)时,轴载对路面结构的疲劳损害要比有利季节时大得多,不利季节的持续时间直接影响路面结构的疲劳损坏量。因此,在进行路面结构设计中,应考虑不同季节路基模量值变化对路面疲劳损坏的影响。

由表4还可以看出,当土基回弹模量取最不利值17.4 MPa时,路表弯沉值为37.9(0.01 mm)。若取17.4 MPa作为路面结构设计值,势必要加强路面底基层的厚度,即由26 cm增加到38 cm。对于上述12个月的道路土基回弹模量变化情况来讲,春融期的作用时间较短(出现17.4 MPa的模量值仅在一个月),使用38 cm的底基层对于整个使用周期的路面会造成不必要的浪费。并且在较小的回弹模量计算出的弯沉值偏大,若以此弯沉值作为施工检验无疑会人为降低路面的强度指标,与实际情况不符。若采用正常季节土基回弹模量值48.72 MPa作为路面结构的设计值,需要路面底基层的厚度为23 cm,使得路面结构偏薄、偏经济。但从道路具体的使用情况来讲,选用底基层为23 cm的厚度是不安全的,即一年中仅有5个月的模量值为正常情况。AASHTO方法推荐使用有效回弹模量值34.8 MPa作为土基强度的代表值,考虑了一年内季节变化引起土基回弹模量变化对路面的损伤问题,既保证了路面的整体结构强度,又减少了不必要的浪费,更具有合理性。因此,可以引用AASHTO方法中考虑季节变化的有效回弹模量值代替最不利季节的模量值,作为土基强度的设计值。

#### 4 结 语

(1)土基回弹模量按不同季节取值差异比较大,对路面设计厚度和路表弯沉的影响差异也较大。

(2)由于相同轴载在不同季节对路面结构产生的疲劳损坏是不同的,因此在路面结构设计中,应考虑不同季节路基模量变化对路面疲劳损坏的影响。

(3)用有效回弹模量代替最不利季节模量作为土基强度的设计取值,既考虑了一年内季节变化对路面损伤的影响,又保证了路面的整体结构强度,减少了不必要的浪费,因此更具有合理性。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 姚祖康.公路设计手册:路面[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [2] 沈金安.国外沥青路面设计方法汇总[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 杨永红,王选仓,韩国杰,等.甘肃黄土地区土基回弹模量[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(3):7-10.
- [4] 刘巍然,高江平.压实黄土路基中水分迁移的数值模拟[J].长安大学学报:自然科学版,2006,26(4):5-7.
- [5] 侯曙光,汪双杰.基于相空间重构及PLS法的冻土路基变形预测[J].交通运输工程学报,2007,7(2):65-69.
- [6] 沙爱民,陈开圣,邓湘河.公路工程湿陷性黄土地基评价方法[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(4):1-5.
- [7] 易伟建,周云,张望喜.弹性地基板模态试验及地基动参数识别[J].中国公路学报,2007,20(2):1-6.
- [8] 董忠红,吕彭民.轴载与速度对半刚性沥青路面动力响应的影响[J].长安大学学报:自然科学版,2008,28(1):32-36.
- [9] 李莲.在工程实践中对土基回弹模量的思考[J].山西建筑,2003,29(15):20-21.
- YANG Yong-hong, WANG Xuan-cang, HAN Guo-jie, et al. Rebound module of subgrade in Gansu loess area[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(3): 7-10.
- LIU Wei-ran, GAO Jiang-ping. Numerical modelling on water migration in loess subgrade[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(4): 5-7.
- HOU Shu-guang, WANG Shuang-jie. Permafrost subgrade deformation forecast based on phase space reconstruction and partial least squares regression[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(2): 65-69.
- SHA Ai-min, CHEN Kai-sheng, DENG Xiang-he. Evaluation method of highway subgrade at collapsed loess[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(4): 1-5.
- YI Wei-jian, ZHOU Yun, ZHANG Wang-xi. Modal experiment on elastic foundation slab and identification of dynamic foundation parameters[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(2): 1-6.
- DONG Zhong-hong, LU Peng-min. Influence of axis's load and speed on dynamic response of semi-rigid base of asphalt pavement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(1): 32-36.
- LI Lian. Considerations on resilient modulus of earth foundation[J]. Shanxi Architecture, 2003, 29(15): 20-21.