

沥青路面 JTJ 014 与 AASHTO 设计方法比较

曾梦澜, 刘 涛, Aaron D. Mwanza
(湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082)

[摘 要] 现行 JTJ 014 规范与 AASHTO 指南两种沥青路面结构设计方法是不同的体系, 对两者作一定量的比较。分析和讨论表明, 虽然两种结构设计方法有重要区别, 但结果高度相关, 区别主要体现在可靠度上。在标准排水条件下, JTJ 014 规范定值设计大体与 AASHTO 指南标准差 $S_0 = 0.50$ 、可靠度水平 $R = 90\%$ 的结果相当; 对于高速、一级公路, 这个水平偏低, 而对于三、四级公路可能不必要。可靠度的要求可以近似地用 BZZ-100 累计作用次数的倍数表达; 如果需要, 可以采用放大或缩小设计累计轴次的方式考虑可靠度作为过渡措施。可靠度可以在很大程度上影响路面的设计结果; 研究开发反映实际情况的沥青路面可靠度标准, 应当可以提到议事日程。

[关键词] 沥青路面; 设计方法; JTJ 014 规范; AASHTO 指南; 可靠度

[中图分类号] U 416.217 [文献标识码] A [文章编号] 1002-1205(2004)04-0014-06

Comparison between JTJ 014 and AASHTO Methods for Asphalt Pavement Design

ZENG Menglan, LIU Tao, Aaron D. Mwanza

(College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China)

[Abstract] Current JTJ 014 Specification and AASHTO Guide for the design of asphalt pavement structures are different systems. This paper attempts to compare the two methods. Analysis and discussion show that, although different, results of the two methods are highly related. The most important difference is the reliability. Under standard sub drainage conditions, the results of the fixing valued JTJ014 is roughly equivalent to those of the AASHTO at standard deviation $S_0 = 0.50$ and reliability $R = 90\%$. For freeways and Grade 1 highways, this level is on the low side, while for Grades 3 and 4, it may not be necessary. The requirement for reliability can approximately be expressed with the multiplication of cumulative BZZ-100 applications. When necessary, magnification or reduction of the applications can be used for the consideration of reliability as a tentative measure. The reliability significantly affects the results of pavement design. In view of the significance, research and development of the reliability standard, which reflects specific conditions, should be in the agenda.

[Key words] asphalt pavement; design method; JTJ 014 Specification; AASHTO Guide; reliability

20 世纪 80 年代以来, 随着经济的增长和社会的进步, 我国公路建设迅速发展。截至 2002 年底, 公路总里程已经达到 176.5 万 km, 居世界第四位, 其中高速公路 2.51 万 km, 仅次于美国, 位于世界第二^[1]。沥青路面施工期短、表面平整、养护维修方便, 是路面的主要形式之一。然而, 由于种种原因, 沥青路面早期损坏现象普遍存在, 其中包括各种表

现形式的水损坏、车辙、泛油、不同种类的开裂等等。诸多调查表明, 虽然高级沥青路面的设计年限通常为 15 a, 有些公路通车 2~3 a, 甚至仅几个月, 就出现损坏, 严重影响公路通行能力、行车安全和投资效益, 直接和间接经济损失巨大。

沥青路面早期损坏的原因众多, 其中设计是根本的原因之一。良好的设计应当达到路面设计年限

[收稿日期] 2004-11-01

[基金项目] 湖南大学“沥青材料流变性质与沥青路面使用性能关系的研究”项目资助。

[作者简介] 曾梦澜(1954-), 男, 湖南汉寿人, 教授, 主要从事道路沥青、沥青混合料、沥青路面, 以及流变学、粘弹性力学应用的教学与研究。

转载

与实际使用寿命的一致,即主观与客观的一致,是路面良好使用性能的前提。在正常情况下,任何大的偏差,说到底都是设计问题。世界各国沥青路面设计方法大体分为两类,一类是以试验为依据的经验法,另一类是以力学分析为依据的理论法。我国1997年版的现行《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014-97)以力学分析为基础,属于理论法。尽管不排除柔性路面,现行规范主要应用于半刚性路面。半刚性路面在我国应用时间不长,世界上也不多见于,其源于理论的强基层、薄面层的观点尚需实践的检验。

美国的大规模公路建设始于20世纪50年代中期,截至2001年底,公路总里程已经达到637.8万km,其中高速公路9.00万km,均居世界第一^[2]。美国绝大部分公路都是用各州公路与运输官员协会(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)的《AASHTO路面结构设计指南》(AASHTO Guide for Design of Pavement Structures)设计的。AASHTO指南源于试验,是20世纪五六十年代大规模现场试验的产物,属经验法。AASHTO自首次发行1961版中间指南试用以来,每若干年修订一次,现行的是1993版。1996年启动,迄今已耗费700万美元的2002版正在修订,计划于2004年底完成;完成后,还计划通过独立审查、地方标定等步骤,方能最后颁布实施。应当指出的是,指南的基本考虑是首先满足使用要求,把理论解释留给未来,每次修订都仅致力于理论的解释、适用范围的扩展和新概念新技术(如可靠度、计算机等)的融合,其基本方法和核心内容始终未变。

鉴于中、美两国相仿的自然条件,两种路面设计方法的显著的区别和可能的互补,一个对两者相对全面的比较无疑对完善我国的路面设计方法可以是重要的借鉴。本文试图对现行AASHTO指南与JTJ 014规范沥青路面结构设计作一定量的比较。

1 背景

1.1 JTJ 014 规范

1997版的现行JTJ 014规范的标准轴载为BZZ-100,指双轮组、单轴、轴重 $P=100\text{ kN}$ 、轮胎接地压强 $p=0.7\text{ MPa}$ 、单轮传压面当量圆直径 $d=2\delta=21.3\text{ cm}$ 、两轮中心距 $1.5d$ 的轴载。不同的车辆荷载,根据弯沉等效或拉应力等效的原则换算为标准轴载的当量作用次数,以公式表达。路面弯沉表征路面整体刚度指标,是路面厚度设计的主要依据。路面厚度根据多层弹性理论、层间接触条件为完全

连续体系,在双圆均布荷载作用下,轮隙中心处实测路表弯沉值等于设计弯沉值的原则计算, $l_s=l_d$,其力学计算图式如图1(a)。对高速、一级和二级公路的沥青混凝土面层和半刚性基层、底基层应还需进行拉应力验算。结构层底拉应力的力学计算图式如图1(b),计算B、D、E、C4点,以最大值作为层底拉应力,要求小于或等于容许拉应力, $\sigma_m \leq \sigma_R$ 。由于沥青混合料的感温性,计算弯沉时规定采用 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时的材料性质,验算拉应力时为 $15\text{ }^\circ\text{C}$ 。

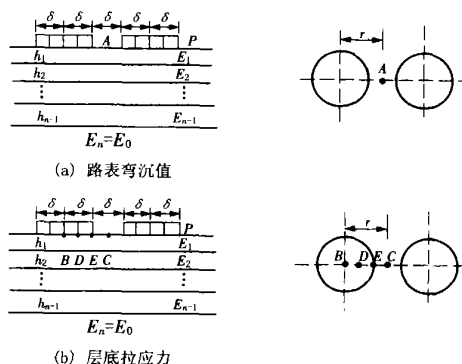


图1 力学计算图式

Figure 1 Models for mechanical computations

1.2 AASHTO 指南

2003版的AASHTO指南包括柔性路面和刚性路面两大部分,其中柔性路面包括粒料基层和无机结合料稳定基层的沥青路面,主要应用于粒料基层的沥青路面,不使用半刚性术语。

AASHTO时称AASHO(American Association of State Highway Officials),因而作为指南基础的现场试验称AASHO道路试验(Road Test),于1958~1960年在伊利诺斯州的渥太华(Ottawa, Illinois)附近实施,后有少量补充,耗资当时的2700万美元。试验采用了各种底基层、基层、面层材料和厚度组合的道路共548段,其中柔性288段、刚性260段,获得14000多观测数据。AASHTO指南是在这些观测数据的基础上,通过大量回归分析导出的一个系统。

与JTJ 014规范类似,AASHTO指南中将不同的车辆荷载换算为标准轴载的当量作用次数。与规范不同,指南标准轴载为18-kip ESAL(18-kip Equivalent Single Axle Load),即单轴、轴重 $P=18\text{ 千磅力} \approx 80.0\text{ kN}$ 的轴载。轮组、轮胎接地压强、单轮传压面当量圆直径、两轮中心距等均不考虑。ESAL当量作用次数根据荷载对路面损害等效的原则确定,等效

系数以列表的形式给出,是轴数、轴重、 p_t 和 SN 的函数(定义见下文),其中轴数、轴重是主要因素, p_t 、 SN 的影响不大。路面厚度设计的依据是无量纲的现实可服务性指数(Present Serviceability Index, PSI)的变化。 PSI 的值从 0 到 5, $PSI = 0$ 表示不可能的道路, $PSI = 5$ 表示完美道路。实际柔性路面开放交通时的初始 PSI , $p_0 = 4.2 \sim 4.5$; 一定时间以后,经过交通荷载与环境因素的作用,需要大修或重建时允许的末期 PSI , $p_t = 2.5 \sim 3.0$ 。 PSI 的变化 $\Delta PSI = p_0 - p_t = 1.2 \sim 2.0$ 。路面的 PSI 最初由主观试验确定,后与各种路面状况的客观试验结果建立了相关关系。路基在环境因素的作用下,可能发生膨胀和冻胀,造成 PSI 的损失,由试算确定。

与 JTJ 014 规范定值设计不同, AASHTO 指南采用可靠度设计,考虑交通荷载预测与使用性能变量的不确定性;与此对应,包括材料性质在内的输入量均采用平均值。可靠度定义为路面在设计年限给定交通与环境条件下满足使用性能的概率。路面整体可靠度用无量纲的可靠度水平(Reliability Level) R 表示,与可靠度相关的变异用无量纲的、独立的标准差(Standard Deviation) S_0 表示; $R = 50\% \sim 99.9\%$, 根据道路的重要性确定; $S_0 = 0.40 \sim 0.50$, 根据实际情况分析确定。柔性路面抵抗荷载的能力用无量纲的结构数(Structural Number, SN) 表达,对于典型的三层结构,结构数定义为:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \tag{1}$$

表 1 典型路面结构及材料性质

Table 1 Typical pavement structure and material properties

| 结构层 | 材 料 | 抗压模量/MPa | | 泊松比 | | 劈裂强度 15℃/MPa | 层系数 |
|-----|---------------|----------|-------|------|-----|-----------------|------|
| | | 20℃ | 15℃ | 20℃ | 15℃ | | |
| 上面层 | 5 cm 细粒式沥青混凝土 | 1 400 | 2 000 | 0.35 | 0.3 | 1.4 | 0.44 |
| 中面层 | 6 cm 中粒式沥青混凝土 | 1 200 | 1 800 | 0.35 | 0.3 | 1.0 | |
| 下面层 | 7 cm 粗粒式沥青混凝土 | 1 000 | 1 400 | 0.35 | 0.3 | 0.8 | |
| 基层 | 25 cm 水泥碎石 | 1 500 | | 0.25 | | 0.5 | 0.20 |
| 底基层 | 石灰土(设计层) | 550 | | 0.25 | | 0.225 | 0.18 |
| 土基 | 填土 | 40 | | 0.35 | | — | — |

AASHTO 指南是指导性的文件,设计所需各参数的取值,在给出推荐意见的同时,建议使用者根据不同的具体条件确定。材料的层系数是沥青路面重要的设计参数,是材料回弹模量的函数,也可以通过材料的其他参数与回弹模量的关系确定。但是,指南要求的材料回弹模量是动力测试的结果,与 JTJ 014 规范要求的拟静力条件下的结果不具可比性。因此,本文参考维吉尼亚州交通厅(Virginia Depart-

式中: a_1 、 a_2 、 a_3 为面层、基层、底基层层系数(Layer Coefficient); D_1 、 D_2 、 D_3 为各层厚度(inches, 英寸); m_2 、 m_3 为基层、底基层排水系数(Drainage Coefficient)。式(1)的表达可以调整适应不同层数的结构。AASHTO 指南柔性路面诸设计变量之间由式(2)联系:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \tag{2}$$

式中: M_R 为土基回弹模量, psi(pounds per square inch, 磅/平方英寸),取与季节有关的加权平均; W_{18} 为累计 18-kip ESAL; Z_R 为标准正态分布对应于所选可靠度水平 R 的偏差值,例如 $R = 90\%$ 时 $Z_R = -1.282$, $R = 95\%$ 时 $Z_R = -1.645$, $R = 99\%$ 时 $Z_R = -2.327$ 等。式(2)是 SN 的隐式,指南采用诺模图求解。厚度设计不但要满足路面整体的 SN 要求,而且要满足自上而下每一结构层相应的 SN 要求。

1.3 典型结构与设计参数

本文的比较在一典型结构的基础上进行。表 1 所示是参考 JTJ 014 规范附录 A 采用的路面结构及附录 D 的材料性质,其中石灰土底基层为设计层,取为变量。

ment of Transportation, VDOT) 补充指南数层系数的取值^[3],列于表 1 末列。类似地,参考 VDOT 补充指南,斟取土基回弹模量 $M_R = 40 \text{ MPa} \approx 5\,800 \text{ psi}$ 不变。 $\Delta PSI = p_t - p_0 = 4.2 - 3.0 = 1.2$,不考虑环境因素的损失,假定 ΔPSI 仅与交通荷载相关联。各结构层的排水系数是设计的又一重要参数,排水条件的不同,可导致排水系数在 0.40 到 1.40 之间变化;排水条件对路面的影响拟另文讨论,计算均取标准值 m

= 1.0。本文的讨论中,可靠度水平 R 和标准差 S_0 取为变量。

对于两种设计方法的不同标准轴载,本文的比较采用 BZZ-100 作为基准,18-kip ESAL 用四次幂定律式(3)换算成 BZZ-100:

$$F_i = \left(\frac{P_i}{P_s}\right)^4 \tag{3}$$

式中: F_i 为轴载等效系数, P_s 为任意标准轴载; P_i 为待换算轴载。式(3)是在大量统计的总结,适用于任意同轴数、同路面结构的轴载换算,得到广泛认同^[4]。取 $P_s=100$ kN, $P_i=80$ kN, 有 $F_i \approx 0.41$, 即 18-kip ESAL 作用一次相当于 BZZ-100 作用 0.41 次。

2 计算结果及分析

JTJ 014 规范要求的计算采用 KENLAYER 程序^[5],计算量包括弯沉和各层层底拉应力。AASHTO 指南方法的计算通过用 Excel 自编的程序实现。公路等级假定为高速或一级公路。

表 2 所示为按 JTJ 014 规范要求计算的理论弯沉值、实测弯沉值及设计年限内一个车道上的累计当量

轴次。变量底基层厚度取 20~ 38 cm,间隔 2 cm。实测弯沉值由其与理论弯沉的关系式(4)求得:

$$l_s = l_1 \left[1.63 \frac{1}{(2000 \delta)^{0.38}} \left(\frac{E_0}{p} \right)^{0.36} \right]^{\left(\frac{1}{0.62} \right)} \tag{4}$$

式中: l_s 为 BZZ-100 作用下轮隙中心处实测路表弯沉值,0.01 mm; l_1 为理论弯沉值,0.01 mm; E_0 为土基回弹模量,MPa; $p=0.7$ MPa; $\delta=10.65$ cm。由理论弯沉和实测弯沉,可求得表 2 中的综合修正系数,定义为 $F=l_s/l_1$ 。累计当量轴次由其与路面弯沉关系反推的式(5)求得:

$$N_e = \left(\frac{l_s}{600 A_c A_s A_b} \right)^{-5} \tag{5}$$

式中: A_c 、 A_s 、 A_b 分别为公路等级系数、面层类型系数、基层类型系数,均取单位值。对沥青混凝土面层和半刚性基层、底基层拉应力验算结果显示,假定累计轴次与由路面弯沉关系反推的值相同,底基层厚度在 20~ 38 cm 之间变化时,面层全部受压;基层、底基层均满足 $\sigma_m \leq \sigma_R$, 基层 $\sigma_R/\sigma_m=4.08\sim 5.04$, 底基层 $\sigma_R/\sigma_m=2.48\sim 3.20$ 。

表 2 还列出了 AASHTO 方法的计算结果,包括

表2 JTJ 014 方法弯沉、累计轴次和 AASHTO 方法结构数、累计轴次计算结果

Table 2 Deflections and cumulative axle loads with JTJ014, and SN and cumulative axle loads with AASHTO methods

| 规 范 | 指 标 | 底 基 层 厚 度/ cm | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | |
| JTJ014 规范 | 理论弯沉(0.01 mm) | 47.93 | 46.99 | 46.08 | 45.20 | 44.39 | 43.57 | 42.81 | 42.08 | 41.38 | 40.72 | |
| | 综合修正系数 | 0.549 | 0.542 | 0.536 | 0.530 | 0.524 | 0.518 | 0.512 | 0.507 | 0.502 | 0.497 | |
| | 实测弯沉(0.01 mm) | 26.32 | 25.49 | 24.69 | 23.94 | 23.25 | 22.57 | 21.93 | 21.33 | 20.76 | 20.23 | |
| | BZZ-100 累计次数(10 ⁶) | 6.16 | 7.23 | 8.47 | 9.89 | 11.45 | 13.29 | 15.32 | 17.62 | 20.17 | 22.96 | |
| AASHTO 指南 | 结 构 数 | | 6.504 | 6.646 | 6.787 | 6.929 | 7.071 | 7.213 | 7.354 | 7.496 | 7.638 | 7.780 |
| | | $S_0=0.40$ | 8.68 | 10.21 | 11.99 | 14.05 | 16.43 | 19.17 | 22.33 | 25.96 | 30.11 | 34.87 |
| | | $R=90\%$ | | | | | | | | | | |
| | $S_0=0.45$ | | 7.49 | 8.81 | 10.35 | 12.12 | 14.18 | 16.54 | 19.27 | 22.40 | 25.98 | 30.08 |
| | | $S_0=0.50$ | 6.46 | 7.60 | 8.93 | 10.46 | 12.23 | 14.27 | 16.62 | 19.32 | 22.42 | 25.95 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | BZZ-100 累计次数 (10 ⁶) | $S_0=0.40$ | 6.22 | 7.31 | 8.58 | 10.06 | 11.76 | 13.73 | 15.99 | 18.58 | 21.56 | 24.96 |
| | | $R=95\%$ | | | | | | | | | | |
| | | $S_0=0.45$ | 5.14 | 6.05 | 7.10 | 8.32 | 9.73 | 11.36 | 13.23 | 15.38 | 17.84 | 20.65 |
| | $S_0=0.50$ | | 4.26 | 5.01 | 5.88 | 6.89 | 8.05 | 9.40 | 10.95 | 12.72 | 14.76 | 17.09 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | $S_0=0.40$ | 3.32 | 3.90 | 4.58 | 5.37 | 6.28 | 7.32 | 8.53 | 9.91 | 11.50 | 13.32 |
| | $R=99\%$ | $S_0=0.45$ | 2.54 | 2.98 | 3.50 | 4.11 | 4.80 | 5.60 | 6.52 | 7.58 | 8.80 | 10.19 |
| | | $S_0=0.50$ | 1.94 | 2.28 | 2.68 | 3.14 | 3.67 | 4.29 | 4.99 | 5.80 | 6.73 | 7.79 |

对应不同底基层厚度按式(1) 计算的结构数 SN 和根据已知 SN 按式(2)、式(3) 计算的 BZZ-100 累计作用次数。累计轴次包括了选择的可靠度水平 $R=90\%$ 、 95% 、 99% , 标准差 $S_0=0.40$ 、 0.45 、 0.50 时的计算结果。

图 2 直观地表示了按 AASHTO 指南各可靠度水

平与标准差值,以及 JTJ 014 规范计算的 BZZ-100 累计作用次数随底基层厚度变化。由图 2 可见,对于给定的底基层厚度, AASHTO 指南设计的累计轴次随 R 增大而减小、也随 S_0 增大而减小;换言之,对于给定的交通荷载,较大的变异可以或需用较大的可靠度弥补。对于两种设计方法,随着底基层厚度

的增加, 累计轴次增加, 累计轴次的对数与底基层厚度有近似直线关系。JTJ 014 规范定值设计的累计轴次包括在 AASHTO 指南所选诸 R 和 S_0 组合的累计轴次中, 斜率相近。事实上, 指南的 9 种组合的任意一种与 JTJ 014 规范结果均有相关系数平方 $R^2 = 0.999\ 3$ 。这说明, 虽然两种设计方法出发点不同, 细节也有诸多差异, 但结果高度相关, 两者的区别主要体现在可靠度上。

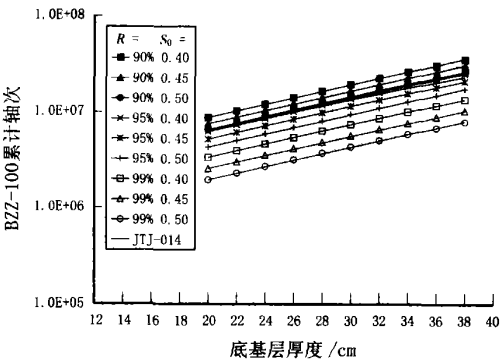


图 2 AASHTO 不同 R 、 S_0 值及 JTJ014 方法 BZZ -100 累计轴次随底基层厚度的变化

Figure 2 Variations of cumulative BZZ -100 with subbase thickness using AASHTO at various R and S_0 values and JTJ 014 methods

图 3 直接比较了 JTJ 014 规范与 AASHTO 指南计算的 BZZ -100 累计作用次数。由图可见, 在双对数坐标下, 指南 9 种组合的结果均近似地与等值线成平行直线; 其中, 规范大体相当于指南在 $R = 90\%$ 和 95% 时的结果; 与 $R = 99\%$ 相比, 规范累计轴次远高于指南累计轴次, 高估了路面的实际承受荷载的能力或使用年限。事实是, AASHTO 指南的 9

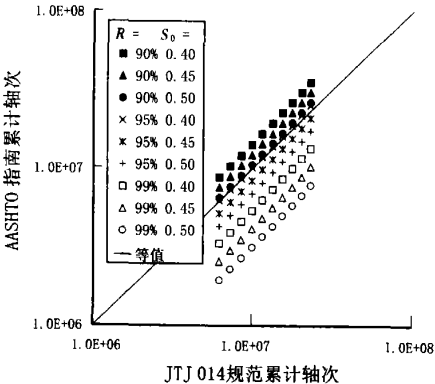


图 3 JTJ 014 与 AASHTO 方法 BZZ -100 累计轴次比较

Figure 3 Comparison between cumulative BZZ -100 with AASHTO and JTJ 014 methods

种组合中, $R = 95\%$ 、 $S_0 = 0.40$ 与 JTJ 014 规范结果之差的平方和最小, $R = 90\%$ 、 $S_0 = 0.50$ 次之。考虑到交通量预测和公路建设的实际水平, $S_0 = 0.50$ 或更高应当接近我国实际情况 (VDOT 补充指南取 $S_0 = 0.49$), 因此可以认为 JTJ 014 规范设计的实际可靠度水平应当不高于 $R = 90\%$ 。

图 4 所示为 $S_0 = 0.50$, $R = 90\%$ 、 95% 、和 99% , JTJ 014 规范与 AASHTO 指南 BZZ -100 累计作用次数的比值随设计层底基层厚度的变化。图 4 显示, 对不同的可靠度水平, 两种设计方法累计轴次数的比值随设计层底基层厚度的变化均近似常数。当 $R = 90\%$, 两种设计方法的累计轴次相近, 指南的结果略高。当 $R = 95\%$, 规范方法结果平均为指南的 141% ; 换言之, 规范高估了道路的能力或寿命 41% 。而当 $R = 99\%$ 时, 规范与指南结果的比值为 308% , 相比 AASHTO 指南, JTJ 014 规范对累计轴次的高估达 208% 。由此可见, 可靠度可以在很大程度上影响路面的设计结果。由于 JTJ 014 规范与 AASHTO 指南 BZZ -100 累计作用次数的比值近似为常量, 可靠度的要求可以用累计轴次的倍数表达。如果需要, 可以采用放大或缩小设计累计轴次的方式考虑可靠度作为过渡措施。本例中, 可将实际预测的 BZZ -100 累计作用次数乘以一个常数 1.4 , 使 JTJ 014 设计的路面达到 95% , 乘以 3.1 达到 99% 的可靠度。

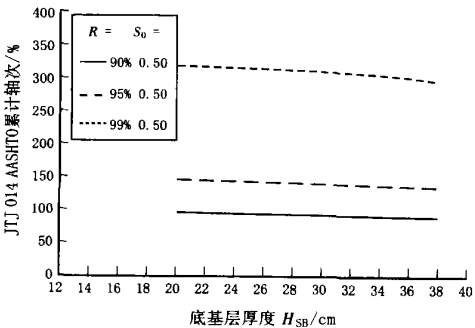


图 4 AASHTO 在 $S_0 = 0.50$ 与 JTJ 014 方法 BZZ -100 累计轴次比

Figure 4 Ratios of cumulative BZZ -100 with AASHTO

3 讨论

为探讨沥青路面合理的可靠度, 表 3 列出了 AASHTO 指南建议的、VDOT 补充指南采用的以及我

国新近颁布的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2002)规定的可靠度水平。由表可见, AASHTO 指南建议的可靠度水平是很宽的范围, 是原则性的; VDOT 补充指南采用的是具体的, 可以认为代表了美国人口稠密地区的情况; 而 JTJ D40 规范规定的可靠度水平大体与 VDOT 补充指南的相当。对于州际公路, VDOT 采用 95 % 的可靠度; 如前所述, 这个要求, 比 JTJ 014 规范高速公路、一级公路要求高大约 40 %。JTJ 014 规范事实上的对高等级公路偏低的可靠度, 应当是沥青路面早期损坏的重要原因之一。对于主要公路, VDOT 要求 85 % ~ 90 % 的可靠度, 与规范大体相当。对于次要公路, VDOT 要求 70 % ~ 90 % 的可靠度, 很可能大部分低于规范相应等级公路设计标准。

表 3 AASHTO、VDOT 与 JTJ D40 的可靠度水平

Table 3 Reliability levels in AASHTO, VDOT, and JTJ D40

| | | % | |
|-------------------|-------------|-----------|-----------|
| 规范 | 公路分类 | 市区 | 郊区 |
| AASHTO | 州际公路及其他高速公路 | 85~ 99. 9 | 80~ 99. 9 |
| | 主干公路 | 80~ 99 | 75~ 95 |
| | 支线公路 | 80~ 85 | 75~ 95 |
| | 地方公路 | 50~ 80 | 50~ 80 |
| VDOT | 州际公路 | 95 | 95 |
| | 分隔的主要公路 | 90 | 90 |
| | 未分隔的主要公路 | 90 | 85 |
| | 大流量次要公路 | 90 | 85 |
| | 农场至市场次要公路 | 85 | 75 |
| | 住宅/次要街道道路 | 75 | 70 |
| JTJ D40 - 2002 | 高速公路 | | 95 |
| | 一级公路 | | 90 |
| | 二级公路 | | 85 |
| | 三、四级公路 | | 80 |

应当指出, 相比其他一些发达国家, 美国的公路设计标准并不是很高, 这是由其强调路网的建设、相对人口密度小因而人均支持的道路车道-公里数大决定的。还应指出, 沥青路面的变异性较水泥混凝土路面大, AASHTO 指南中归纳沥青路面 $S_0=0.40\sim0.50$, 而水泥混凝土路面 $S_0=0.30\sim0.40$ 。鉴于可靠度对路面设计结果的重要影响, 研究开发反映各地实际情况、区分公路重要性的沥青路面设计可靠度标准, 完成从定值向可靠度设计的转变, 应当可以提到议事日程。这个标准似应比 AASHTO 指南的要求高, 也比现行水泥路面规范高。沥青路面变异可以采用无量纲的、独立的量表示, 以方便客观实际

的反映。合理可靠度的确定牵涉方方面面, 是技术问题, 更是经济问题、还是政策问题, 需要大量深入细致的研究。综合表 3 和以上讨论, 表 4 试图建议我国沥青路面可以考虑的可靠度水平范围, 作为进一步研究的参考。

表 4 建议的沥青路面可靠度水平

Table 4 Recommended levels of reliability for asphalt pavements

| | | % | |
|--------|--------|--------|--|
| 公路分类 | 市 区 | 郊 区 | |
| 高速公路 | 95~ 99 | 95~ 99 | |
| 一级公路 | 90~ 95 | 90~ 95 | |
| 二级公路 | 90~ 95 | 85~ 90 | |
| 三、四级公路 | 80~ 90 | 75~ 85 | |

4 结 语

- ① 现行 JTJ 014 规范与 AASHTO 指南两种沥青路面结构设计方法是不同的体系, 有重要区别; 但是, 两者设计结果高度相关, 区别主要体现在可靠度上。
- ② 在标准排水条件下, JTJ 014 规范定值设计结果大体与 AASHTO 指南标准差 $S_0=0.50$ 、可靠度水平 $R=90\%$ 的结果相当; 对于高速、一级公路, 这个水平偏低; 对于三、四级公路, 可能不必要。
- ③ 可靠度的要求可以近似地用 BZZ-100 累计作用次数的倍数表达; 如果需要, 可以采用放大或缩小设计累计轴次的方式考虑可靠度作为过渡措施。
- ④ 可靠度可以在很大程度上影响路面的设计结果; 研究开发反映实际情况的沥青路面可靠度标准, 完成从定值向可靠度设计的转换, 应当可以提到议事日程。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国交通部. 2002 中国道路运输发展报告 [R]. 北京: 中华人民共和国交通部, 2004.

[2] Federal Highway Administration (FHWA). Highway Statistics 2002 [R]. FHWA, U. S. Department of Transportation, 2004.

[3] Virginia Department of Transportation (VDOT), Materials Division, Pavement Design and Evaluation Section. Guidelines for 1993 AASHTO Pavement Design (First Printing May 2000, Revised October 2001, Revised January 2003, Revised May 2003) [S]. VDOT, 2003.

[4] Yoder, E. J. , and M. W. Witzak. Principles of Pavement Design (Second Edition) [M]. John Wiley & Sons, Inc. , 1975.

[5] Huang, Y. H. Pavement Analysis and Design [M]. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1993.