

# 沥青路面结构设计方法综述

贾理杰

(重庆市市政设计研究院, 重庆 400020)

**摘要:** 针对沥青路面结构设计方法进行调研, 重点对AASHTO沥青路面设计法、壳牌(SHELL)设计法和我国沥青路面结构设计法进行深入分析, 对沥青路面结构设计方法的形成及发展、各沥青路面设计方法的特点进行评述。

**关键词:** 沥青路面; 结构设计; AASHTO; 路面力学模型

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

文章编号: 1002-4786(2012)09-0138-04

## Asphalt Pavement Structure Design Method

JIA Li-jie

(Chongqing Municipal Engineering Design & Research Institute, Chongqing 400020, China)

**Abstract:** Based on design method of asphalt pavement structure, this paper deeply analyzes AASHTO asphalt pavement design method, SHELL design method and design method of asphalt pavement structure in China, discusses the formation, development as well as characteristics of various design methods for asphalt pavement structure.

**Key words:** asphalt pavement; structure design; AASHTO; pavement mechanics model

### 1 沥青路面设计方法的形成及发展

沥青路面设计方法随着路面技术、交通状况及人们对路面破坏状态认识的变化而不断发展, 经历了古典理论法、经验设计法和理论分析法三个阶段。

从1901年美国麻省道路委员会第八年年会上提出的第一个路面设计方法的公式, 至1940年的Goldbeck公式, 沥青路面设计法均属于古典理论法, 其特点是以土基顶面的应力大小为依据设计路面厚度。随着路面结构形式、施工技术水平、以及路面力学理论和计算手段的发展, 古典理论法逐渐被淘汰。经验法和理论分析法是目前常用的路面设计方法。

经验法是一种建立在大量实

际道路和试验路调查基础上的设计方法, 典型的有AASHTO沥青路面设计法、CBR设计法等。经验法通过路面调查提出路面破坏标准、设计指标以及交通作用与设计指标的关系, 以此为基础进行厚度计算。经验法建立在实践的基础上, 因此在路面设计因素变化不大的情况下, 经验法的设计结果比较容易接近实际要求。但是, 由于经验法设计曲线或设计公式是由一定时期的路面调查得到的, 随着路面结构、材料、施工养护以及交通情况的变化, 其对以后路面设计的适用性往往受到限制, 需要根据各种影响因素的变化不断修订, 但由于其参数、指标有很大的主观性, 理论基础模糊, 修订工作比较困难。

随着路面力学和计算技术的发展逐渐产生了理论分析法。理论分析法典型的有壳牌(SHELL)法、美国地沥青协会(TAI)法等, 我国沥青路面设计法也属于理论法的范畴。当然, 沥青路面设计中任何理论分析法都不是纯理论的, 都必须与路面调查、室内试验结论相结合, 包含有经验法的部分成果。理论分析法的特征是通过路面力学模型计算结构层厚度, 其优点是理论基础清晰, 便于修订更新, 缺点是路面模型对实际路面的大量简化会引起一些误差, 而误差的修正系数与经验法的指标一样, 是比较模糊的, 带有一定的经验性。同经验法一样, 理论分析法也要随着路面实践的发展而修订。

近年来,随着人们对路面破坏特性认识的深入,逐渐产生了长寿命路面的设计思想。长寿命路面的设计思路是:保证路面足够的整体强度,把病害限制在路面表层,通过定期(10~20年)的表面修复,防止表面病害影响路面结构安全,保证路面在相当长的设计年限内不发生结构性损坏(40年以上)。以下针对国内外主流的沥青路面设计方法做介绍和评述。

## 2 美国AASHTO93沥青路面设计方法

### 2.1 AASHTO93沥青路面设计方法简介

AASHTO93设计方法是在20世纪50年代美国AASHTO试验路成果的基础上提出的路面设计指南。AASHTO于1961及1962年分别提出柔性路面与水泥混凝土路面的中期设计指南,1972年出版第一版《AASHTO路面中期设计指南》,经过1986年和1993年两次修改,正式推出《AASHTO路面设计指南》(1993),开始推广应用。

经验性路面结构设计方法存在诸多的缺点,既没有结合道路等级提出明确的损坏标准,又没有解决交通荷载类型与交通量关系等问题,应用受到诸多限制。AASHTO于20世纪50年代末60年代初,在渥太华和伊利诺斯州修筑了大规模的试验路进行研究,探索路面结构设计与路用性能之间的关系,其研究成果成为AASHTO设计方法的实践基础,并对各国路面设计都产生了重要影响。AASHTO试验路提出了路面状况的评价指标——路面服务性指数 $PSI$ ,路面服务性指数 $PSI$

随着车辆荷载的作用而衰减,以 $PSI=1.5$ 做为路面的极限破坏标准。

以AASHTO试验路结果为基础,1972年出版第一版《AASHTO路面中期设计指南》,经过1986年和1993年两次修改,正式推出《AASHTO路面设计指南》。93版AASHTO设计法对86版做了进一步的修订,在路面设计中引入了可靠度分析,在考虑交通情况对路面服务能力损失影响的同时,考虑了自然条件对路面服务能力损失的影响。

### 2.2 AASHTO93路面设计方法的主要优点

2.2.1 首次将耐用性指数引进路面设计方法,而且提出不同道路等级应有不同的设计标准,使路面设计与使用要求形成密切联系。

2.2.2 建立了不同轴载间的等效关系,使轴载轻、重与交通量多寡对路面的作用建立了合理的关系,解决了过去设计方法中一直未能解决的交通荷载问题。

2.2.3 提出了路面结构数 $SN$ 与加权轴载通过次数 $N$ 之间关系的基本方程,此结果是AASHTO方法的精华。

### 2.3 AASHTO93路面设计方法的主要不足

#### 2.3.1 缺少科学合理的材料强度指标

AASHTO试验路面面层材料采用高稳定性的厂拌沥青混凝土,底基层用的是砂砾料,基层则用4种基本材料:碎石、砾石、水泥稳定砾石、沥青稳定砾石。经过研究提出结构数 $SN$ 的结构层系数,后来AASHTO设计委员会又推广到其他材料,提出建议值。

路面各层材料的结构层系数

反映各层材料的相对强度或相对耐久性,是一个比较模糊的概念,缺少定量的研究。当各层材料本身的材质、组成及施工工艺发生变化时,材料的强度、耐久性都会发生变化时,结构层系数也应随之变化,但材料的强度或耐久性与其结构层系数之间的关系并不明确。这样,AASHTO设计法就缺少了对新材料、新工艺、新结构的适应性。

#### 2.3.2 路面服务性指数( $PSI$ )问题

AASHTO设计法以路面服务性指数 $PSI$ 作为标准,它主要反映不平整度、裂缝与修补面积和车辙这些表面状况。因此,以 $PSI$ 为标准进行路面设计,实际上是假设路面结构损坏与其表面状况有必然的联系。事实并非如此,例如西方国家对一些具有较厚沥青面层的沥青路面进行调查时发现,一些路面虽然表面损坏严重,但仍然保持良好的结构性,经过表面恢复可继续使用,并未像AASHTO法假设的那样 $PSI$ 达到了设计标准,路面便达到了使用寿命。

#### 2.3.3 经验性设计方法

AASHTO93路面设计方法是以AASHTO试验路为基础,经过多次改进后提出的设计方法,AASHTO93设计方法在交通量(ESAL)、土基强度、设计可靠度与路面结构系数之间的模型,是建立在50年代交通量及试验路所在地区气候特点基础上,存在很大的局限性,同时AASHTO93设计方法对路面结构缺乏理论分析计算、缺乏对路面破损模型的预测,是一种经验性的设计方法。

近年来,AASHTO将力学分

析引入经验法的设计过程,实现了经验、理论法的融合,与以前的纯经验法相比有如下优点:

a)可以模拟荷载条件变化对路面的影响;

b)可以对现实中实际存在和使用的材料与其将来的使用性能建立联系;

c)在预测路面使用性能时能考虑材料老化的影响;

d)路面结构设计性能预估与沥青混合料性能评价联系起来;

e)可以预估环境因素对路面性能的影响。

### 3 壳牌(SHELL)设计法

1943年, Burmister发表的弹性层状体系理论,为沥青路面设计理论分析法奠定了基础。1963年英荷壳牌石油公司(SHELL)把理论计算结果和WASHO、AASHO试验路成果相结合,提出了第一个以理论分析为基础的沥青路面设计方法,从此,理论分析法在全世界范围内得以推广和发展。其分别在1967年和1978年进行了修订,1978年修订后的壳牌设计法成为理论分析法的代表。

#### 3.1 计算模型

采用弹性层状体系进行计算,但材料参数取值时充分考虑材料的非线性。荷载一般采用标准的双轮荷载,轴重80kN,用“双圆图式”进行模拟。

#### 3.2 设计标准

SHELL沥青路面设计方法的设计标准分为主要标准、次要标准和再次要标准,共三个层次。主要标准为路基表面垂直压应变(控制路面车辙)和沥青层内水平拉应变(控制路面开裂);次要标准为基层底面拉应变(防止基层疲劳开裂)和车辙深度指标;

再次要标准是沥青层低温缩裂和基层或底基层材料的最小模量要求。

#### 3.3 设计步骤

首先,根据土基表面容许压应变计算路面厚度。然后,计算沥青面层水平容许拉应变,拟订各层模量,计算沥青面层厚度和基层厚度,如基层为水泥稳定类材料,为保证在车辆荷载作用下,其拉应力小于容许拉应力,将容许拉应力代入电算程序,可以求得沥青层厚度和基层厚度。最后,验算车辙深度。对确定的路面厚度,计算设计年限末的车辙深度,当车辙深度大于容许值时,则变更结构设计,重新计算,直至各项指标都满足要求。

#### 3.4 SHELL设计方法评述

壳牌设计法作为理论分析法的代表,提出了明确的路面破坏标准和结构破坏与材料特性、荷载的量化关系。从路面模型、结构体系、受力上更加明确,从而可以提出一套与路面结构破坏相适应的设计指标,进一步揭示路面破坏的因果关系,使路面设计更趋合理,同时也便于设计方法的修定更新。当然,理论分析法也存在不足,其最大的缺陷在于设计中对实际情况的简化和假设带来的误差,主要表现在路面模型、材料参数、结构破坏准则等几个方面。路面力学和计算方法的局限使得这些简化和假设成为必然,对于这些简化和假设带来的误差只有通过引入修正系数予以消除。而误差的修正系数与经验法中的指标一样,是比较模糊的,带有一定的经验性。虽然理论分析法存在不足,但其设计思想代表着路面设计的方向。

### 4 我国现行规范沥青路面设计方法

我国的现行沥青路面设计规范是1997年在86版的基础上修订而成的,采用弹性层状体系进行计算,以路表设计弯沉值作为设计指标,并进行基层底面拉应力验算。简介如下。

#### 4.1 路面计算模型

97版沥青路面设计规范采用多层的弹性层状体系理论进行计算,对模型假设如下:

a)各层材料为均匀、连续、各向同性的弹性材料;

b)各层水平方向上为无限大,土基为半无限体;

c)各层在水平方向上无限远处,土基在竖直方向上无限深处,应力、应变和位移为零;

d)层间完全连续。

#### 4.2 路面破坏标准和设计指标

##### 4.2.1 设计弯沉值

沥青路面设计以路表弯沉值表征路面结构的整体强度,以路表弯沉达到容许弯沉值为路面破坏标准。设计弯沉值对应于路面竣工后第二年夏季的路表弯沉值,为路面各年弯沉的最小值,此时路面整体强度处于最高状态。第二年后,路面强度逐年下降,路表弯沉逐年增加,直至达到容许弯沉。

##### 4.2.2 结构层底拉应力

结构层疲劳破坏是我国沥青路面设计规范的又一破坏标准。车辆荷载作用下,面层底部和半刚性材料基层、底基层底部会受到弯拉应力作用,随着交通量的增加,会导致结构层的疲劳破坏。为了防止沥青混凝土层和半刚性材料层发生疲劳破坏,我国沥青路面设计规范规定,高速公



路、一级公路、二级公路的沥青混凝土面层或半刚性材料基层、底基层必须进行层底拉应力验算。

#### 4.2.3 厚度计算

结构层厚度采用弹性层状体系理论, 根据设计弯沉值计算, 高等级公路需要对计算的结构进行层底拉应力验证。可以采用交通部沥青路面设计专用软件进行计算。

#### 4.2.4 我国沥青路面设计方法评述

我国沥青路面设计方法是一种以理论分析为基础的设计方法, 其主要是针对半刚性基层沥青路面提出的。在设计参数、路面模型等方面存在一些不足, 表现为:

a) 路面是多层次复合结构, 可以由不同的结构层组合, 选择不同类型的材料组成, 具有不同的应力和应变状况和相应的损坏形态, 因而, 路面结构设计宜采用多个单项指标, 分别针对和控制相应的特定损坏类型;

b) 路表弯沉是一项整体性、综合性和表观性的指标, 对于结构层组合和材料类型多样化的路面结构, 采用路表弯沉作为主要设计指标, 无法反映和包容路面结构的多样性及各种损坏类型, 也难以协调平衡各单项设计指标;

c) 沥青面层底面或半刚性基层底面的应力状况和大小, 主要随上下层的刚度比和层间接触条件而变, 它们受路表弯沉大小的影响很小; 因而, 路表弯沉指标无法控制面层底面或基层底面的应力状况和大小;

d) 半刚性基层上的沥青路

面, 在层间接触为连续的情况下, 沥青面层底面的应力处于受压状态; 在层间接触为滑动的情况下, 沥青面层底面的应力虽有可能处于受拉状态, 但沥青面层的疲劳寿命仍大于半刚性基层, 因而, 沥青面层底面拉应力验算指标在设计中不会起控制作用, 对于半刚性基层沥青路面结构厚度起控制作用的是半刚性基层底面的拉应力指标;

e) 柔性基层上沥青路面结构的面层底面拉应力验算指标, 由于现行规范公式概念和推演上的不正确, 须重新建立;

f) 路表弯沉指标的作用主要在于控制路基顶面的竖向压应变(永久变形), 但二者并不能在不同路面结构组合时完全对应, 因而, 不如直接采用路基顶面的竖向压应变作为设计指标。

### 5 长寿命沥青路面设计

前述的各种沥青路面设计方法, 在设计理念上有一个共同点: 交通量与路面寿命存在确定的关系。不管是经验法还是理论分析法, 都将交通重复荷载作用视为路面破坏的主要原因, 结构层厚度由设计年限内累计交通量确定, 根据这种设计理念, 路面在设计使用年限末将达到路面的设计破坏标准, 往往需要彻底的翻修。路面大修, 不仅带来直接的经济损失, 而且还会造成严重的社会影响。人们于是期望能够修建“长效”的、不会发生结构性损坏的路面, 一些长期保持良好结构性能的沥青路面的成功实例, 证明这种设想是可以实现的, 这就是长寿命路面设计理念产生的背景。

通过对国外长寿命沥青路面

情况的调研, 可以看出长寿命沥青路面已成为欧美发达国家进行沥青路面结构设计的一种趋势, 而且路用研究及试验研究表明长寿命沥青路面结构确实比传统路面结构具有更为优良的路用性能。从上述调研的国外已建或在建的按长寿命沥青路面思路设计的沥青路面结构来看, 要使所设计的沥青路面真正达到长寿命的效果, 各结构层按其在整体路面结构中的功能来设置是关键。纵观美国各州及英国的长寿命沥青路面结构层的设置可以看出主要包括以下几个特点:

a) 长寿命沥青路面基于力学——经验设计方法进行路面结构设计, 基于弹性层状体系理论分析各结构层应力应变情况, 并通过控制沥青层层底拉应变及地基顶面压应变等来确定各结构层所需的回弹模量和厚度, 并根据各结构层所要求满足的回弹模量等性能指标进行沥青混合料类型选择和级配设计;

b) 长寿命沥青路面的基层或底基层一般采用较厚的级配碎石或沥青碎石等柔性基层, 这可以有效防止反射裂缝的产生; 而且长寿命沥青路面的基层应具有很好的抗疲劳性能, 所以一般采用油石比较大的沥青混合料;

c) 欧洲国家大部分的长寿命沥青路面都是在原来水泥混凝土路面的基础上, 破碎了老的水泥混凝土路面作为基层, 再在其上铺筑较厚的沥青面层的形式, 这种长寿命沥青路面没有过多的强调设置抗疲劳层的概念, 沥青面层下部的高劲度的原水泥混凝土破碎压实层可以有效减轻沥青混凝土层层底的过分弯拉应变;

# 涵洞施工技术探讨

韩 锋

(新疆交通建设管理局项目执行三处, 新疆 乌鲁木齐 830021)

**摘要:** 涵洞施工是项繁琐的工程, 在准备阶段除了要调查地形条件外, 还要调查所经过的道路情况, 包括道路宽度、路面状况、弯道半径等, 以便解决挖槽机械、重型机械进场的问题, 以提高涵洞工程的施工质量。涵洞开工前应根据设计文件, 结合现场实际地形、地质情况, 对其位置、长度、出入口高程以及排灌系统的连接等进行校对, 发现问题及时报监理工程师及设计单位以尽早解决。

**关键词:** 涵洞施工; 施工技术; 质量; 控制措施

中图分类号: U449.5

文献标识码: B

文章编号: 1002-4786(2012)09-0142-03

## Culvert Construction Technology

HAN Feng

(3rd Project Execution Agency, Xinjiang Transportation Construction Administration Bureau, Urumchi 830021, China)

**Abstract:** Culvert construction is a fussy project. On preparation stage, besides making investigation on terrain condition, it also has to make survey on road situation, street width, pavement condition and turning radius, so as to solve the possibility of channelling machine and heavy machine recession, which can improving culvert construction quality. Before construction, according to design document, the location, length, passageway elevation and connection of drainage and irrigation system should be proofread combined with practical terrain and geologi-

d)英国的长寿命沥青路面还没有提出系统的路面结构设计方法, 其提出的上部沥青层厚度不小于180mm的界限也更多的是在调查统计的基础上提出的。

### 6 结语

我国目前高等级公路的路面结构型式千篇一律采用半刚性基层的沥青路面结构, 但多年来的半刚性基层路面实际使用表明, 众多的半刚性基层沥青路面耐久性不满意, 达不到设计年限。半刚性基层沥青路面的设计年限是以基层的疲劳寿命作为设计年

限, 即使半刚性基层沥青路面的使用寿命能满足设计要求, 半刚性基层路面在使用过程中基层的强度、模量会不断衰减, 而且会受干湿循环和冻融循环的影响而衰减, 冻融循环10次, 强度只剩下10%~20%, 达到设计寿命就意味着基层需要重新修建。

高等级公路在达到设计使用年限, 甚至使用寿命没有达到设计年限, 就需要进行大修和重建, 这将引起极大的社会负面影响, 而且从建设资金投入、道路使用及建设材料逐渐减少等方

面, 也是不允许的。这就要求我国道路工作者, 不但要确保路面的使用寿命达到设计要求, 而且要尽量延长路面的使用寿命。目前国内已经开始着手进行沥青碎石基层的应用研究, 部分省市已开展了长寿命沥青路面的科研课题的研究, 但目前还未形成系统的研究成果和研究结论。

作者简介: 贾理杰(1970—), 男, 四川西充人, 高级工程师, 主要研究方向为道路工程。

收稿日期: 2012-02-01