

文章编号: 0451-0712(2005)07-0122-05

中图分类号: U416.217

文献标识码: B

# 长寿命沥青路面设计方法与实践综述

李 峰<sup>1</sup>, 孙立军<sup>2</sup>, 胡 晓<sup>2</sup>

(1. 交通部公路科学研究所 北京市 100088; 2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室 上海市 200092)

**摘 要:** 长寿命沥青路面是国际道路工程界提出的新技术。评述了长寿命沥青路面的概念及结构特点, 着重阐述了基于力学的长寿命路面结构设计和各结构层的材料设计的特点, 介绍了国内外的一些长寿命沥青路面试验路。

**关键词:** 长寿命沥青路面; 结构设计; 材料设计; 试验路

## 1 长寿命沥青路面的概念

长寿命沥青路面(perpetual asphalt pavement)是国际沥青路面界提出的新技术。国外20世纪60年代以来修建了大量全厚式路面和深层高强沥青路面; 其中设计、施工良好的路面表现了很好的性能, 提供了良好的长期服务性能。

全厚式路面是指沥青路面层直接建筑在处治的或未处治的土基上, 深层高强沥青路面则直接铺筑在粒料基层上。这类路面的特点是路面的总厚度小于传统上采用的沥青面层较薄的路面结构的厚度, 基本上消除了传统上普遍存在的疲劳损坏, 路面的损坏只发生在路面的上部。以此为基础, 提出了长寿命的概念。

长寿命路面并不是一直不损坏, 而是指路面的损坏仅发生在路面的上层, 维修时不需要进行结构性的处理, 只需将表层混合料铣刨、并换成等厚度的新混合料便可, 维修十分方便。国外的长寿命路面追求的寿命是50年, 即50年不进行结构性维修。

典型的长寿命沥青路面结构特点如图1所示。

图1结构要点如下:

(1) 轮载下100~150 mm区域是高受力区域, 也是各种损坏(主要是轮辙)的发生区域;

(2) 面层40~75 mm高质量沥青混凝土为车辆提供良好的行驶界面, 应具有足够的表面构造深度, 抗车辙、水稳定性好;

(3) 中间层100~175 mm高模量抗车辙沥青混凝土起到连接和扩散荷载的作用, 应具有高模量(刚

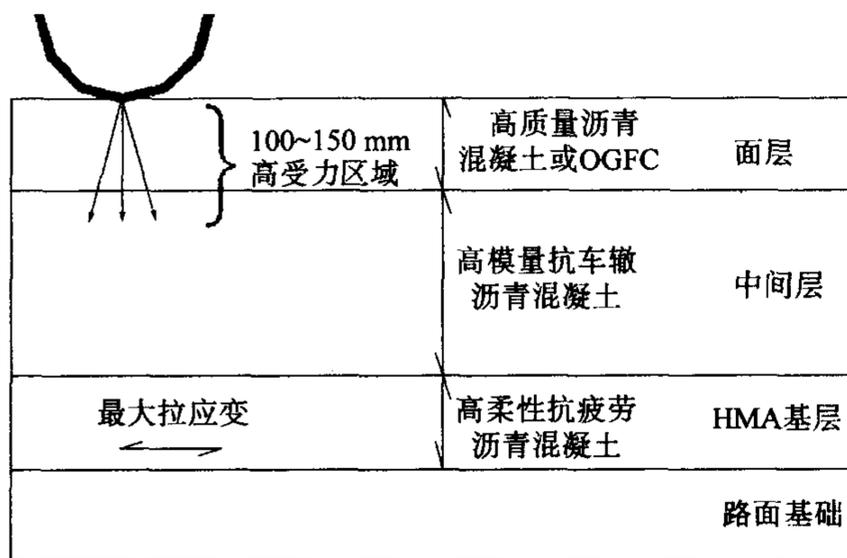


图1 长寿命路面的结构特点

度)、抗车辙特性;

(4) 最大拉应变产生在HMA基层底部, 该区域最易发生疲劳破坏;

(5) HMA基层75~100 mm高柔性抗疲劳沥青混凝土起到消除疲劳破坏的作用, 应具备高柔性、抗疲劳、水稳定性好等特性;

(6) 路面基础不仅为沥青面层的铺筑提供良好的界面, 而且对于路面的变形、抗冻都是至关重要的。

## 2 基于力学的长寿命路面结构设计方法

足够厚的HMA面层和稳定基础是获得长寿命路面的基本前提, 这能防止源于面层底部的结构性损坏, 而这种损坏需要昂贵的维修或重建费用。从结构整体上来说, 面层必须有合适的厚度和刚度以抵抗基层材料和路基的变形。同时, 面层也必须有足够

的厚度和良好的材料性能以抵抗源于结构层底部的疲劳开裂。Monismith 和 Long 建议控制沥青层底的弯拉应变 $\leq 60 \mu\epsilon$ , 基顶压应变 $\leq 200 \mu\epsilon$ 。

当前各国的沥青路面结构设计方法大多都没有考虑路面结构各层在抵抗疲劳、车辙和温缩裂缝中各自所起的作用。在道路的服务期中,各结构层有其各自的特性,因此需要运用一种改进的结构设计方法对各结构层进行分析。但是诸如加州承载比(CBR)及美国公路运输协会(AASHTO)结构系数法这类的经验方法,都不能有效地考虑沥青各面层的各自作用。

20世纪60年代,道路工作者就开始运用力学方法进行沥青路面结构设计,但真正的发展和广泛的运用始于20世纪80年代。在美国,伊利诺斯州、肯塔基州、明尼苏达州和华盛顿州现在都已经采用了这类设计方法,美国道路科研院(NCHRP)正在研究制定一种新的基于力学的设计指南,它很可能被AASHTO采纳。

这种方法很像用于桥梁、房屋建筑和水坝的工程方法,就实质而言,就是运用力学方法来分析路面结构对气候和荷载的响应。如果确定了结构的某一临界状态,就能针对这类损坏来选择合适的材料和层厚。

Monismith 于1992年在TRB会议上完整地提出了这种设计方法,整个设计流程如图2所示。材料、交通、环境以及服务性能相互影响并共同决定了所需要的路面结构组合。

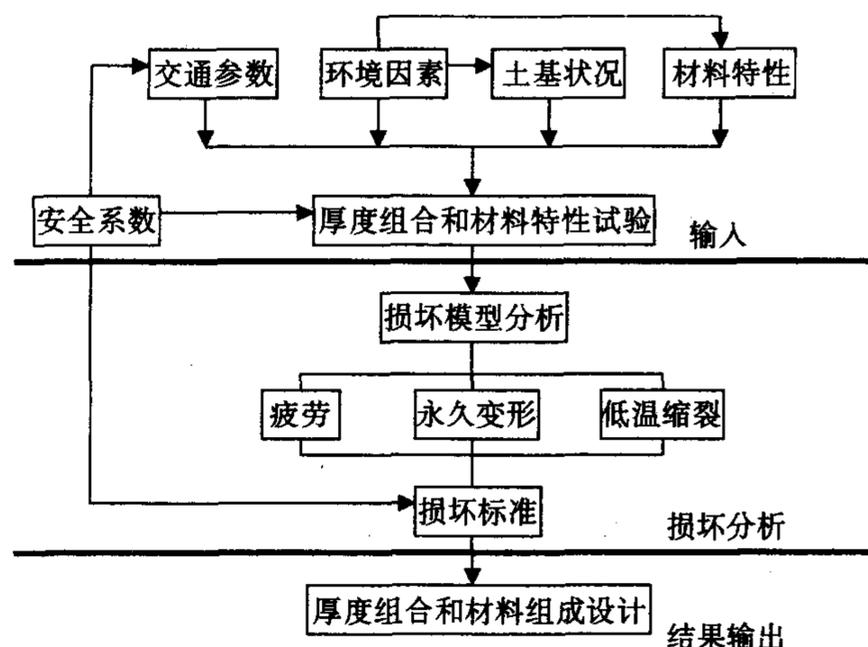


图2 基于力学的路面设计流程(Monismith, 1992)

伊利诺斯州的基于力学的路面结构设计方法是由伊利诺斯大学制定的。这一方法以ILLI-PAVE

程序的有限元分析结果为基础,采用了一个控制应变的疲劳方程,这个疲劳方程可以用来控制HMA层的配合比、拉应力和路用性能。这种设计方法已经被伊利诺斯州交通运输部(IDOT)所采纳。

以明尼苏达公路研究课题采集的数据为基础,明尼苏达州制定了一种力学设计方法。这种层状弹性理论计算机程序WESLEA被用于计算路面结构在荷载下的响应。从明尼苏达公路研究工程的数据分析中获得了关于材料性质的季节变化和服务标准的一些建议。现在,这种方法正在被评估和修改以备为明尼苏达州交通部门所采纳。

英国的设计方法是由Powell等人于1984年提出的,以计算结构层中临界位置的响应为理论基础。早期这种方法假设路面结构损坏源于车辆的重复荷载作用,不管面层多厚,它认为开裂或者结构性的车辙最终将不可避免。然而,Nunn等人在1997年发现,沥青路面面层存在一个厚度极限,在施工良好的道路中,超过这个厚度限值,由下到上的疲劳开裂和结构性的车辙都可避免。他们认为,当累计标准轴载作用次数(ESAL)超过8 000万次时,沥青面层厚度不再需要增加。这意味着交通量的增大并不需要沥青面层厚度的无限增加。这是因为在沥青面层层底存在一个极限弯拉应变水平,当层底应变处于这个水平以下时疲劳损坏就不会发生,再增加厚度是多余的,而这一应变水平即为疲劳极限。

不管采用何种力学设计方法,都必须认识到长寿命路面的特性,包括沥青面层中与疲劳开裂相关的疲劳极限值以及避免结构性车辙的各项特性。

### 3 长寿命路面各结构层的材料设计

#### 3.1 路基

设计和修筑高强、稳定和均匀的路基对长寿命路面极为重要。在筑路期间,路基为筑路机械设备提供了操作平台;同时,它也提供抗力以抵抗压路机造成的变形,从而使上层铺面能得到紧密的压实。在整个服务期,路基在承受路面荷载和减少由于季节变化引起的诸如冻融、湿度变化造成的承载能力下降方面起着重要作用。

路基可由密实路基、化学稳定路基或粒料,或者非稳定类粒料(例如碎石或砂砾)构成。不管使用何种材料,路基必须具有最基本的刚度要求以满足整个施工阶段和服务阶段的需要。

英国TRL规定了对路面基础的最低要求,包括

在施工时和施工后的要求。根据荷载为40 kN的落锤式弯沉仪试验,路基顶面的模量要求不小于40 MPa,基层顶面的模量要求不小于65 MPa。

德国交通部根据300 mm静力承载板试验,认为路基顶面模量值应不小于48 MPa。下基层顶面模量值对轻交通应不小于120 MPa,对重交通为应不小于180 MPa。

法国对修筑路基有强制性的规范。施工时期,必须满足以下规定:路基在轴载为13 t的荷载作用下变形小于2 mm或承载板试验所得模量值大于50 MPa。

### 3.2 沥青层

长寿命路面各沥青层都有其特定的损坏模式,各层材料的选择、配合比的设计以及性能试验也各有其特点。磨耗层混合料的性能需要优化以抵抗车辙或开裂,而耐久性则是对所有面层材料的共同要求。

#### (1)HMA 基层。

沥青基层需要抵抗由于行车荷载反复作用造成的弯拉应力引起的疲劳开裂。高沥青含量的混合料有利于抵抗疲劳开裂。总之,通过增加沥青含量有助于增加混合料柔性以阻止变形和疲劳开裂的发展,再加以合适的沥青层厚度,这就能确保源于底部的疲劳开裂不发生。这种富含沥青的沥青基层或者说高沥青含量的基层已经在美国的加利福尼亚州和伊利诺斯州使用。

另一种增加疲劳寿命的方法就是为路面结构设计一个适当的厚度,让底部的拉应变低于积累破坏可能发生的程度。沥青基层应尽量减小孔隙率,以确保在集料空隙间沥青结合料的较高填充量,这对增加基层的耐久性和柔性是非常有利的。细级配沥青混合料也被证实有助于改善疲劳寿命(Epps and Monismith, 1972)。沥青等级应满足沥青各层对其高温性能的要求,沥青低温性能应当与中间层相同。如果施工时期道路交通是开放的话,就应该对材料的车辙试验做出规定,以确保施工时的服务性能。同时也应考虑材料的疲劳试验。

HMA 基层设计必须使底面的弯拉应变低于材料的疲劳极限。疲劳极限是指,当应变小于此值时材料不会产生疲劳破坏的临界应变水平,这样才可预防或减缓路面结构性破坏。

沥青基层极易受水影响,所以必须考虑湿度因素。显然高含量沥青混合料能抵抗湿度的影响,但是

在配合比设计时最好仍然进行水稳定性能测试,例如使用AASHTO-T-283方法。

#### (2)HMA 中间层。

中间层必须同时具有耐久性和稳定性,稳定性可以从粗骨料间的骨架结构及采用合适的高温等级沥青来获得,这对面层上部150 mm区域是至关重要的。因为此区域是承受车轮荷载作用的高应力区,极易产生剪切损坏。

内部的摩阻力通过集料获得,可采用碎石和砂砾以确保形成集料骨架,选择之一就是采用最大公称直径较大的集料。对最大公称直径达到37.5 mm的混合料,可以使用Superpave混合料设计方法。只要集料间保持接触,使用小粒径的集料也可以达到同样效果。粗集料混合料的离析也必须考虑,在制造、运输和铺筑过程中需要进行合理的操作。

中间层沥青结合料所要求的高温等级与表面层一致,以抵抗车辙。由于面层中温度的梯度相当陡,并且中间层温度不可能像表面层那样低,所以中间层的低温等级便可放宽一个等级。例如表面层用的沥青等级为PG70-28,则中间层可用PG70-22。

#### (3)磨耗层。

长寿命路面对于磨耗层的性能要求期一般规定为10年,每次更换磨耗层即为一个寿命周期。磨耗层的具体要求依赖于交通条件、环境因素、当地的经验和经济条件。性能要求包括抗车辙性能、抗表面开裂性能、良好的抗滑性能、缓解水雾的影响并能减小噪声。基于这些考虑,可以选择SMA、密级配混合料或OGFC等。

在一些对抗车辙性能、耐久性、抗渗性、抗磨损性要求高的地区,往往选择SMA,在交通量大且载重车多的城市区域尤为适用。在交通量小且载重车比例较少的情况下,使用密级配混合料更为适合。与SMA一样,它也必须满足抗车辙、抗渗、抗磨耗及气候状况的要求。开级配抗滑磨耗层(OGFC)有利于水从路表面迅速排除。这种结构层常用于美国的西部和南部地区以改善降雨时路面的摩擦性能。OGFC通常的孔隙率为15%,但据报道孔隙率在17%~22%之间能提供更好的长期性能。

## 4 国内外长寿命沥青路面的实践

近年来,国内外都在进行长寿命沥青路面的实践探索。以下介绍一些地方的长寿命沥青路面的实践概况。

#### 4.1 美国加州

加利福尼亚州在I-710州际公路上修筑了一条长寿命沥青路面。这条公路被称作Long Beach高速路,设计年限40年,累计轴载作用次数1~2亿次。旧的路面结构由上到下为:200 mm水泥混凝土层,100 mm水泥处治材料层,100 mm粒料基层,200 mm底基层。新的设计要求大部分旧水泥混凝土面层开裂且与基层材料紧密接触,其上铺筑200 mm的HMA。整个路面都将铺设25 mm OGFC。如图3。

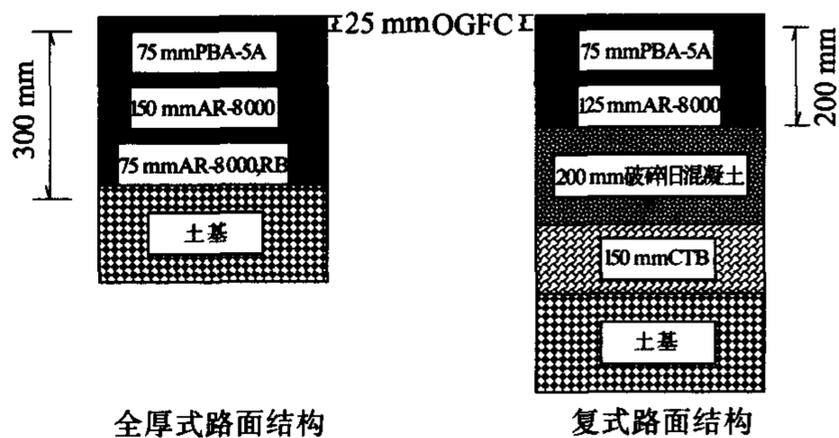


图3 加州 I-710 州际公路

全厚式路面结构HMA部分总厚300 mm。采用75 mm的抗疲劳层,该层的沥青用量将超过最佳用量0.5%达到5.2%,增加的沥青将提高HMA的疲劳寿命。150 mm厚的中间层所用材料的级配和沥青与HMA基层相同,但沥青含量为4.7%。中间层采用针入度较低的沥青将有助于抵抗车辙。上部的75 mm面层结构采用聚合改性结合料PBA-5A,上覆25 mm OGFC。

复合式路面结构的HMA总厚200 mm,不再包括抗疲劳底层。旧面层开裂且与基层材料紧密接触的旧水泥混凝土层为沥青层提供了刚性基础,并能防止过度的弯拉应力造成的由下而上的疲劳开裂。除此之外,用于复合式路面结构的材料与全厚式路面结构的材料完全相同。和全厚式路面结构一样,磨耗层采用25 mm OGFC。

所设计全厚式沥青路面结构是否合理,可根据单轴载为80 kN时HMA沥青层的弯拉应变是否小于 $70 \mu\epsilon$ ,及路面顶面垂直应变是否小于 $200 \mu\epsilon$ 来判定。同时需观测HMA表面层的剪切应变,以确保HMA层不发生车辙。该工程于2001年夏开工,2002年夏完工。

#### 4.2 美国威斯康辛州

威斯康辛州也修筑了长寿命路面试验路段。2000年,在该州50号高速公路上已经建成了5个试验段;2002年,在2个卡车称重站附近建成2个试验路段。见表1。

Geneva Lake路20年单向累计轴载作用次数为200万次,该路段上建成的5个实验段中有3个长寿命路段及2个传统路段。前者的3个路段区别主要在于沥青结合料的等级和压实度要求。

卡车站路段20年累计标准轴载作用次数为7500万次。沥青层下的结构层由100 mm的开级配基层和430 mm的碎石集料基层构成。相对高速公路主干道而言,这里的交通状况更糟,因为重型卡车以较慢的车速通过关卡,更易造成车辙。

#### 4.3 美国密西根州

密西根州沥青路面协会与Fugro-BRE有限公司合作,研究出一种用于长寿命路面结构选择的表。Von Quintus运用力学方法并使用ELSYM5计算机程序来计算路面结构的应力和应变。这种方法提出了一种观念,即设计年限超过40年的面层结构的选择决定于累计损坏。Von Quintus采用了这一方法来确定长寿命路面各结构层厚度的合理范围。

表2即为上述路面结构厚度设计表。

密西根州路面基层由1 m厚的抗冻层及上覆盖层构成。设计年限为20年时,当设计累计标准轴载作用次数为300万~1000万次时,上覆层为碎石集料底基层。当设计累计标准轴载作用次数为2000万~3000万时,上覆层采用碎石基层。

表2对HMA混合料的类型选择提供了指导性意见。四种不同交通水平的道路,其面层总厚度范围为290~425 mm。Von Quintus建议HMA基层需保证3%的间隙率以缓解由下而上的疲劳开裂。面层混合料的选择根据设计年限20年累计标准轴载作用次数进行选择,在累计标准轴载作用次数为300万或1000万时,采用密级配;累计标准轴载作用次数为2000万或3000万时,选用SMA。

#### 4.4 广梧高速长寿命试验路

为了实践长寿命沥青路面的设计思想,同济大学与广东省云浮市广云高速公路有限公司签订了“长寿命沥青路面结构行为研究”的合作科研项目。2003年~2004年间,在广梧(广州—梧州)高速公路广东省云浮市境内修筑了1000 m试验路段。该研究项目针对当前我国沥青路面的主要病害,从结构设计、材料设计、施工控制三方面综合考虑,力图在统一的设计思想下实现三方面的整体协调,提出理论上先进、实际上可行的具体措施,严格控制原材料性质和设计施工的各个环节,从而达到提高路面质量的最终目的。

表 1 威斯康辛州的长寿命试验路段的结构组合

试验路位置	试验路段	结构层	厚度/mm	沥青 PG 分级	孔隙率/%
Lake Geneva	长寿命路段 (Illinois 大学)	磨耗层	50	58—28	6
		中间层	90	64—22	6
		HMA 基层	90	64—22	4
		沥青层总厚	230	—	—
	长寿命路段 (WisDOT)	磨耗层	50	64—28	6
		中间层	90	58—28	6
		HMA 基层	90	58—28	4
		沥青层总厚	230	—	—
	长寿命路段 (WAPA)	磨耗层	50	58—28	6
		中间层	90	70—22	6
		HMA 基层	90	70—22	4
		沥青层总厚	230	—	—
	传统路段 (沥青层 230 mm)	磨耗层	50	58—28	—
		中间层	90	58—28	
		HMA 基层	90	58—28	
		沥青层总厚	230	—	
传统路段 (沥青层 180 mm)	磨耗层	40	58—28	—	
	中间层	70	58—28		
	HMA 基层	70	58—28		
	沥青层总厚	180	—		
Truck Station	1	磨耗层	50	76—28	研究决定
		中间层	130	70—22	
		HMA 基层	100	58—28	
		沥青层总厚	230	—	
	2	磨耗层	50	70—28	
		中间层	130	70—22	
		HMA 基层	100	64—22	
		沥青层总厚	230	—	

表 2 密西根州长寿命路面结构层厚度选择表

20 年交通量 ESAL/( $\times 10^6$ )	3	10	20	30
HMA 层厚度/mm	290	345	370	405
SMA/mm	—	—	65	65
Superpave/mm	50	50	—	—
中间层/mm	115   90	140   110	140   125	150
HMA 基层/mm	125   150	155   180	165   180	190
粒料基层/mm	—	—	330	430
粒料底基层/mm	380	250	—	—
不受霜冻影响的土/mm	345	315	220	200
第一次	年份	20	15	15
维修	铣刨/置换/(mm)	50/50	50/100	65/115
第二次	年份	32	30	30
维修	铣刨/置换/(mm)	50/50	50/50	50/75

所设计的 2 种试验路结构如下。

结构 A 为半刚性基层厚沥青层路面,磨耗层为 4 cm 的高质量沥青混合料,起到抗滑磨耗的作用,同时应具有足够的抗剪切作用,采用 SBS 改性沥青 SMA-13;沥青中间层的厚度为 13 cm,采用 AC16-I,并使用橡胶粉改性沥青;沥青基层的厚度为 8 cm,设计成抗疲劳的沥青混合料,采用 AC25-I。沥青层的总厚度为 25 cm,采用水泥稳定碎石底基层,厚度 32 cm,土基的模量达到 35 MPa 以上。

结构 B 为柔性基层厚沥青层路面,磨耗层为 4 cm 的高质量沥青混合料,同样采用 SBS 改性沥青 SMA-13;沥青中间层的厚度为 13 cm,同样采用 AC16-I;沥青基层的厚度为 15 cm,同样采用 AC25-I。沥青层的总

文章编号: 0451-0712(2005)07-0127-04

中图分类号: U412.222

文献标识码: B

# 侧向限制法软土处理技术研究

柏松平<sup>1,2</sup>, 陈兴培<sup>2</sup>, 李勇林<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 昆明市 650093; 2. 云南省公路规划勘察设计院 昆明市 650011)

**摘要:** 结合工程实际, 经分析和探索, 采用了一种新的深层软土地基处理方法——侧向限制法软土处理技术, 取得了较好效果。本文主要介绍侧向限制法软土处理技术的应用、施工及施工工艺、施工注意事项、观测结果等实施情况, 以及在其他类似工程的应用结果。

**关键词:** 公路工程; 软土地基; 侧向限制; 处治技术

随着高等级公路建设的飞速发展, 设计速度的提高, 对线形指标的选用也随之提高, 从而不可避免地带来公路路基穿过软土地区的情况。因此, 在软土地基上修筑路基已非常普遍。对公路软土地基的成功处理, 往往也成为提高建设速度、确保工程质量、降低工程造价的十分重要的措施之一。

目前, 公路软土地基的处理方法非常多。在公路软土路基处理规范中, 将软土路基的处理分为两

大类。

(1) 浅层处治。软土厚度  $H \leq 3$  m 的软土路基一般采用浅层处治。比如: 碎石垫层、换填土、抛石挤淤、反压护道等, 这种浅层处治方法最大处理厚度不得超过 5 m, 否则很不经济且效果不理想。

(2) 深层处治。软土厚度  $H > 3$  m 的软土地基往往采用深层处治。比如: 塑料排水板、碎石桩、粉喷桩等。

收稿日期: 2005—03—20

厚度为 32 cm, 采用级配碎石底基层, 厚度 40 cm, 土基的模量达到 35 MPa 以上。

## 参考文献:

[1] Asphalt Pavement Alliance. Perpetual Pavements A Synthesis. Asphalt Pavement Alliance Order Number APA 101 1/02, 2002.

[2] Transportation Research Circular. Perpetual Bituminous Pavements, Number 503, December 2001.

[3] 李峰, 张宏超, 孙立军. 长寿命沥青路面结构力学响应的三维有限元分析[J]. 上海公路, 2004, (2).

[4] 李峰. 长寿命沥青路面设计中的结构组合分析[D]. 同济大学硕士学位论文, 2005.

## A Study on Perpetual Bituminous Pavement Design and Construction

LI Feng<sup>1</sup>, SUN Li-jun<sup>2</sup>, HU Xiao<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Highways, Beijing 100088, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Perpetual pavements are present newly in the international road-engineering field. The perpetual pavement concept and structural characters are discussed, structural design and material design based on mechanics expounded mainly, and some perpetual test pavements in the world introduced in the end.

**Key words:** perpetual bituminous pavements; structural design; material design; test pavements