



公路交通科技 **新论**

New views on Traffic Science and Technology of Highway

STRUCTURAL DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS

沥青路面 结构设计

姚祖康 著



人民交通出版社
China Communications Press



沥青路面结构设计

姚祖康 著

人民交通出版社

前 言

在行将退休的 2002 年,阴差阳错地踏入了沥青路面结构设计的研究领域。这一涉足,历经了三个项目研究阶段:2002~2003 年、2005~2007 年和 2009~2011 年,度过了 9 年多的退休生涯。虽然以往曾经担任过多年的路面工程课程的教学工作,对沥青路面结构设计的内容并不陌生,但一旦涉及研究工作,仍需花费时日对这一领域各个方面的研究历史、现状和发展趋势进行深入的了解、学习、分析和思考。为此,参与研究工作期间,尽可能广泛地搜集和阅读已有的科技文献,在分析和总结已有研究成果的基础上,对我国沥青路面结构设计的现状进行评析,并结合国外的研究现状和趋势提出相应的研究思路和技术路线或方案。本书即是作者在近 10 年期间所撰写的学习和思考文章的结集。

进行路面结构设计的第一步是拟订路面结构组合,特别是路面结构层组合的方案。本书第 1 章综合了国内外在沥青路面结构和结构层组合方面的经验,阐述了各结构层的定义、功能和使用性能要求以及结构层组合的原则。建国以来,从不同国家引进的技术术语采用了不同的译名,各地在生产实践过程中也创建了多种技术术语,使路面工程界对结构层的概念和认识存在着一些混淆的现象。本章的一个目的是想廓清结构层的定义或概念,明晰结构层的功能或作用,明确结构层组合的原则或要求,以便设计人员拟订出合理的路面结构层组合。

沥青路面结构设计方法是为了确定初拟的路面结构在满足使用性能要求下的结构层厚度,因而,也可称之为厚度设计方法。而实际上,在拟订路面结构层组合时,也同时设定了各结构层的初拟厚度,因此,结构设计方法实质上是评定预估初步拟订的路面结构的使用性能是否满足预定的要求。沥青路面结构设计方法有经验法和力学—经验法(解析法)两大类。本书第 2 章简要介绍采用这两类方法的国内外主要结构设计方法的要义、特点、组成以及所采用的设计指标和参数。我国的沥青路面结构设计方法,采用路表弯沉作为主要设计指标,已沿用了半个多世纪,形成了习惯和传统。这一指标虽然有便于实际量测的优点,但它并不能真实反映路面结构的使用性能,有时还会阻碍人们对路面材料性质和结构性能的探究和认识。本章在介绍我国沥青路面结构设计方法时,着重分析了路表弯沉设计指标的特性以及采用它进行结构设计的局限性。

采用力学—经验法进行沥青路面结构设计时,需要提供各项设计参数和路面结构使用性能(损坏)的分析或预估模型。前者包括环境(路基湿度和沥青层

温度)参数、交通荷载参数和材料性质(模量、强度等)参数;后者则包括各种路面结构损坏类型(沥青类结构层疲劳开裂、无机结合料类结构层疲劳开裂、沥青面层低温缩裂、沥青层永久变形、粒料层永久变形和路基永久变形)的分析或预估模型。本书第3章和第4章分别介绍路基湿度状况和沥青路面温度状况,阐述路基平衡湿度和沥青层温度场的概念以及预估方法和模型的建立。第5章、第6章和第7章(部分)分别讨论土和粒料的回弹模量、沥青混合料的劲度以及无机结合料类材料的力学性质,分析各类材料模量指标的特性和相应的测试方法,并介绍各类材料模量已有的经验预估模型和相应的参考值。第7章(部分)、第8章、第9章、第10章和第11章则分别讨论无机结合料类材料的疲劳特性、沥青混合料和结构层的疲劳特性、沥青面层的低温缩裂特性、粒料层和路基的永久变形以及沥青层的永久变形的机理,并阐述了各类损坏的分析或预估模型的建立。这9章较为详尽、系统、综合地评述了国外在相应领域内已有的认知和研究成果以及今后的发展趋势。

基于对国内外沥青路面结构设计方法的评析以及对各项设计参数和使用性能分析或预估模型的论述,作者在第12章对我国沥青路面结构设计方法提出了改进意见,意图为构建一个更为合理的新结构设计方法提供框架和思路。许多院校、科研院所、设计部门参与了各阶段研究项目的科研工作,经过多年的努力,进行了大量的试验和分析工作,积累了宝贵的经验和数据,取得了丰硕的成果,本章介绍和引用了其中部分主要研究成果。

由于行车荷载作用的不确定性,环境因素影响的随机性,路基土和路面材料组成和性质的多变性及其对湿度、温度和应力依赖性,路面结构使用寿命和使用性能验证的长时段性等特点,建立一个能较准确地反映路面结构真实使用性能,并得到可靠验证的路面结构设计的方法,具有很大的难度,需要花费更长的时日,投入更多的精力,做出更大的努力。作者将对沥青路面结构设计理论和方法的学习心得和认知撰写成书出版,期望它能为有志于研究和建立合理的沥青路面结构设计方法的同仁们提供启示和帮助。

姚祖康

2011年12月

目 录

第1章 沥青路面结构组合	1
1.1 路面结构的层次	1
1.2 面层	3
1.3 基层	8
1.4 底基层.....	10
1.5 路基.....	11
1.6 路面结构层组合原则.....	12
1.7 国外沥青路面结构层组合方案示例.....	13
1.8 沥青路面结构层组合方案.....	17
1.9 路面内部排水.....	23
1.10 路肩.....	25
1.11 结构层组合与路面损坏类型.....	25
1.12 小结.....	26
本章参考文献	27
第2章 沥青路面结构设计方法的演变	28
2.1 经验法.....	28
2.2 力学—经验法.....	31
2.3 我国沥青路面设计规范方法.....	43
2.4 对我国沥青路面设计规范方法的评析.....	48
2.5 小结.....	58
本章参考文献	59
第3章 路基湿度状况	62
3.1 湿度来源与变化.....	62
3.2 土的湿度与基质吸力.....	64
3.3 路基土基质吸力预估.....	69
3.4 小结.....	74
本章参考文献	75
第4章 沥青路面温度状况	77
4.1 沥青路面的温度变化.....	77
4.2 路面温度场的解析模型.....	80

4.3 路面温度的经验预估模型·····	83
4.4 小结·····	89
本章参考文献·····	90
第5章 土和粒料的回弹模量 ·····	92
5.1 土和粒料的应力—应变性状·····	92
5.2 回弹模量室内测试方法·····	94
5.3 影响因素分析·····	98
5.4 回弹模量本构模型·····	106
5.5 现场测试方法·····	116
5.6 经验模型与参考值·····	120
5.7 回弹模量的季节性变化·····	123
5.8 小结·····	126
本章参考文献·····	128
第6章 沥青混合料的劲度 ·····	133
6.1 沥青混合料的应力—应变性状·····	133
6.2 劲度模量测试方法·····	134
6.3 影响因素分析·····	146
6.4 劲度模量预估模型·····	149
6.5 小结·····	161
本章参考文献·····	162
第7章 无机结合料类材料的力学性质 ·····	166
7.1 应力—应变性状·····	167
7.2 强度特性·····	175
7.3 疲劳特性·····	176
7.4 小结·····	179
本章参考文献·····	180
第8章 沥青混合料的疲劳特性 ·····	182
8.1 疲劳开裂·····	182
8.2 室内试验研究·····	183
8.3 影响疲劳特性的材料因素·····	191
8.4 疲劳试验分析·····	193
8.5 沥青层疲劳损坏预估模型·····	206
8.6 小结·····	210
本章参考文献·····	212

第 9 章 沥青面层的低温开裂	218
9.1 影响因素	219
9.2 沥青低温性能评定	223
9.3 沥青混合料低温性能评定	228
9.4 开裂量预估	233
9.5 小结	237
本章参考文献	239
第 10 章 粒料层和路基的永久变形	242
10.1 永久变形性状	242
10.2 试验方法	244
10.3 影响因素	245
10.4 永久应变本构模型	252
10.5 安定理论	257
10.6 路面设计中的应用	265
10.7 小结	271
本章参考文献	272
第 11 章 沥青层的永久变形	278
11.1 车辙形成机理	278
11.2 影响因素	280
11.3 测试和评定方法	285
11.4 永久应变模型	296
11.5 车辙量预估	298
11.6 小结	303
本章参考文献	304
第 12 章 我国沥青路面结构设计方法的改进	308
12.1 技术方案	309
12.2 路面结构层组合方案和损坏类型	310
12.3 使用性能标准、设计寿命和设计可靠度	313
12.4 交通荷载作用	318
12.5 环境因素影响	325
12.6 材料性质参数	333
12.7 设计结构的使用性能分析	350
12.8 小结	368
本章参考文献	371

第 1 章 沥青路面结构组合

路面结构设计包含 3 部分内容:①路面结构组合设计;②结构层材料的性质指标和要求;③结构层厚度设计(宜更确切地称为路面结构使用性能的评定或预估)。

路面构造物由行车道路面结构(以下通称路面结构)、路基、路面内部排水和路肩四部分组成。

路面结构是一种由多个层次、各层由不同类型和性质的材料组成的层状复合结构。按面层材料的类型和性质以及结构特性的不同,可以将路面分为:沥青路面、水泥混凝土路面、粒料路面以及由沥青面层和水泥混凝土面层组合而成的复合式路面 4 类。由于复合式路面的表面层为沥青类层,它有时归于沥青路面类;而由于所包含的水泥混凝土下面层具有与沥青类上面层不相同的力学特性,复合式路面在结构计算和设计时可归于水泥混凝土路面一类。无机结合料稳定粒料的弹性模量低于水泥混凝土,但仍具有整体性(或板体性)和刚度大的特性,有的国家有时也将它归于复合式路面一类,而我国则称之为半刚性基层沥青路面,归于沥青路面类。这里,我们将表面层由沥青类材料组成的各种路面结构归并在一起进行讨论。

按交通荷载特性和当地环境条件,将路面构造物的各个组成部分以及路面结构的各个层次组合成满足使用性能要求的路面,是路面结构设计首要的内容和任务。本章着重讨论沥青路面构造物组成及结构层组合的内容、要求和方案。

1.1 路面结构的层次

行车荷载的作用和环境因素的影响,随距离路表面深度的不同而变化;路面结构的使用性能要求以及对组成材料的性质要求,也相应地随距离路表面深度的不同而变化。因此,路面结构是个多结构层次体系。各结构层分别承担不同的使命和任务,应具备不同的性能,满足不同的要求,并可由不同性质的材料组成。

表 1-1 列出了中国、美国和欧洲国家对沥青路面结构层次的划分和采用的术语,表中还附注了相应的英语术语。

常用沥青路面的结构层次,通常自上而下地分为面层、基层和路基 3 大层次,其中,面层和基层统称为路面结构。而在路面各层的厚度较大时,又再细分为若干个层次,如面层分为表面层(或磨耗层)和联结层(我国分为上面层、中面层和下面层),基层分为基层和底基层等。

各国沥青路面结构层次划分和术语

表 1-1

国 家	中国 ^[1]	美国 ^[3]	欧洲国家 ^[4]	
路面结构 pavement structure	面层	面层 surface course	面层 surfacing	表面层或磨耗层 surface layer or wearing course
	基层	基层 base course		联结层或结合层 binder course (base course-UK)
	底基层	底基层 subbase	基层 base layer	基层或上基层 base course (road base-UK)
	垫层			底基层或下基层 subbase
路基 subgrade	路基	改善路基层 prepared roadbed	改善路基层或盖顶层 (capping layer-UK)	
		路床土 roadbed soil	路基 subgrade	

注:UK 指该英文术语为英国所采用。

比较国内外的路面结构层次划分和技术术语,可以看出的区别有两点:

(1)路基和路面结构的分界线划分在哪个层次——我国对处于过湿或潮湿状态的湿软路基要求设置垫层^[1],并将它归入路面结构的范围内,同时又对路基提出了承载能力(回弹模量值)要求。而国外对路基提出较明确的承载能力要求,在不满足承载能力要求的天然路基或路床上要求设置“盖顶层”(英国)、“改善路基层”(美国和法国)层次,并归入路基范畴内。湿软路基显然不可能符合对路基承载能力的要求,需要进行处理(改善)才可以达到要求。将这个改善层次作为垫层放在路面结构内,必然会模糊对路基的要求。因而,分界线的划分问题,主要涉及路面结构对路基的要求以及此要求体现或落实在何处。

(2)垫层的作用——我国设有垫层这个层次,在《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006)中,垫层的主要作用为排水、隔水和防冻等,以确保路面结构处于干燥或中湿状态^[1]。上面的分析表明,湿软路基要满足承载能力的要求,必须对其湿度状况进行改善,而改善后的路基不再需要设置起排水或隔水作用的垫层了。季节性冰冻地区的不均匀冻胀,也是路基的问题。当冰冻线深度达到中湿或潮湿路基的易冰冻土层内时,必须选用不易冻胀土(包括粒料和各种稳定土)置换冰冻线深度范围内的易冰冻土,以保证冰冻线内的路基不产生湿度积聚和冻胀病害。被置换层实际上是路基为了满足路面使用要求而设置的一个改善

水温状况的层次,也可称作防冻层。它理应归入路基的范畴内,不宜单独列作路面结构的一个层次——垫层。

面层、基层和底基层是常用沥青路面结构的基本结构层次。此外,路面结构内有时还设置起特殊作用(发挥特定功能)的层次,例如,起路面结构内部排水作用的排水层、缓解反射裂缝影响的应力吸收层或土工织物夹层、防止自由水下渗的封层或隔离层等。防冻层如果不作为路基的改善层,也可以作为起特定功能的层次放在路面结构内。

1.2 面 层

1.2.1 使用性能要求

路面结构的使用性能要求包括功能性能和结构性能两方面。面层的使用性能要求主要为功能性能方面。

面层直接承受行车荷载的作用并感受温度和湿度变化对其性质的影响,同时,也直接影响到行车的舒适性、安全性及运行的效率(速度)和效益(经济性)。因此,对沥青面层的性能和面层材料的性质提出了多方面的要求。这些要求包括:

(1)表面功能方面——平整、抗滑、耐磨损、低噪声、排水等。

(2)结构性能方面——抗剪切变形(车辙和推移)、抗疲劳开裂(自下而上或自上而下)、抗低温缩裂、抗反射裂缝等。

(3)耐久性方面——抗老化、抗剥落、抗渗水等。

随着公路技术等级和交通荷载等级的提高以及环境条件(温度和降水)的严酷,对上述各方面的要求在内容和程度上也相应地增加和提高。

面层可为单层或多层。最上层称为表面层或磨耗层,需采用优质材料以满足上述各项性能要求。表面层下设置联结层或结合层。联结层的作用是:

(1)改善或提高路表面的平整度。

(2)增加表面层的结构性能。

(3)减缓反射裂缝的产生(基层采用无机结合料类混合料时)。

(4)阻止表面水向下渗漏(表面层为开级配磨耗层或多空隙沥青透水路时)等。

联结层不直接同行车和外界环境接触,上述性能要求中,抗滑、耐磨损、低噪声的要求可以免除,抗老化、抗剥落、抗剪切推移、抗低温缩裂和抗疲劳开裂(基层采用无机结合料类混合料时)的要求可以适当降低。联结层厚度较大时,需分

层铺筑。

轻交通荷载和低等级公路,表面层下可不设联结层。

1.2.2 混合料类型

通常用作表面层或磨耗层的热拌沥青混合料类型有:

(1)密级配沥青混合料——按密实级配原理组合而成的级配优良(集料由粗到细均匀分布)的沥青混合料,透水性小,可适用于各种交通等级,也可用于路面结构的各个层位;密级配沥青混合料可细分为粗级配型和细级配型。细型密级配沥青混合料具有透水性小、和易性好、可以摊铺成薄层和平整度好的特点,而粗型密级配沥青混合料可提高路表面的粗构造和增加摊铺层的厚度。

(2)沥青玛蹄脂碎石(SMA)——由间断级配集料构成粗集料嵌挤骨架,并由沥青玛蹄脂(沥青、填料、砂和纤维稳定剂)填充骨架空隙而组成的沥青混合料,具有良好的抗剪切变形性能、抗疲劳开裂性能和耐久性,并具有较好的抗滑和降低噪声的性能,但工程造价较高,适用于承受特重和重交通荷载等级的公路。

(3)开级配沥青磨耗层(多空隙沥青透水层)——由开级配集料、改性沥青和纤维组成的嵌挤骨架型多空隙沥青混合料(空隙率15%~18%),用于提高车辆高速行驶时的抗滑能力,减少溅水和水雾,适用于重或中等交通荷载等级的高速公路。

热拌沥青混合料类型的选择,主要依据交通荷载等级和工程造价。对于轻交通荷载等级,仅考虑选用密级配沥青混合料;对于中等交通荷载等级,首先考虑选用密级配沥青混合料,在接近重交通荷载等级时,可以考虑选用沥青玛蹄脂碎石;对于重和特重交通荷载等级,则三种混合料均可选用,按照功能要求和经济考虑进行抉择。

在轻或中等交通荷载的三级和四级公路上,可以选用层铺法沥青表面处治作为表面层。

用作联结层的沥青混合料,主要是密级配沥青混合料。在特重和重交通荷载等级的公路上,为提高面层的抗剪切变形能力(减少车辙量),可以考虑选用沥青玛蹄脂碎石作为联结层。

1.2.3 厚度

沥青面层的厚度,依据公路等级、交通荷载等级、基层类型、气候条件和使用经验,经技术论证并结合当地实践经验选定。表1-2为《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)所列的沥青面层推荐厚度^[2],供初选厚度时参考。表1-3和

表 1-4 为欧洲各国所采用的沥青路面结构厚度的统计数值^[4], 其中, 表 1-3 为采用沥青结合料类或粒料类基层的沥青路面结构的厚度(共 30 个国家), 表 1-4 为采用无机结合料类基层的沥青路面结构的厚度(共 10 个国家)。由于气候条件(影响到防冻层厚度的要求)、服务水平要求以及经验、技术和质量的差异, 各国在相同交通荷载等级下的沥青路面结构厚度变动范围较大(厚薄相差一倍以上)。粗略比较两类基层沥青路面总厚度, 可以看出, 无机结合料类基层沥青路面的总厚度要比沥青结合料类基层沥青路面的总厚度薄一些(20~30mm)。而欧洲无机结合料类基层沥青路面的沥青面层平均厚度, 在相近交通荷载等级情况下, 要比我国的沥青面层推荐厚度厚一些, 如欧洲 80kN 设计轴载作用 10×10^6 次时的平均厚度为 164mm, 而我国对 100kN 设计轴载作用 $(4 \sim 8) \times 10^6$ 次时的推荐厚度仅为 120mm(1 次 80kN 大约相当于 0.45 次 100kN 的作用)。

《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)推荐的沥青面层厚度(mm) 表 1-2

100kN 标准轴载累计作用次数 ($\times 10^6$)	<1	1~2	2~4	4~8	8~12	>12
沥青面层(半刚性基层) 推荐厚度	20~40	50~80	80~100	120	150	160~180
沥青面层(级配碎石基层) 推荐厚度	40~60	80~100	100~120	140~200*	—	—

注: * 为采用沥青碎石基层, 数字为沥青层的厚度。

欧洲各国沥青路面结构的厚度(沥青结合料类或粒料类基层)(mm) 表 1-3

厚 度		80kN 标准轴载累计作用次数($\times 10^6$)		
		1	10	100
沥青层厚度	平均	128	222	295
	最厚	300	425	375
	最薄	25	150	190
路面总厚度	平均	529	618	626
	最厚	1 030	1 110	1 050
	最薄	210	280	330
当量沥青层厚度	平均	261	354	392
	最厚	383	497	527
	最薄	140	260	320

注: 1. 沥青层包括沥青面层和沥青类基层。

2. 当量沥青层厚度为 100mm 厚的粒料层相当于 30mm 厚的沥青层。

3. 路基 CBR=5% (奥地利为 7%; 法国相当于 PF1 条件, 即 20~50MPa, 计算时采用 20MPa)。

欧洲国家沥青路面结构的厚度(无机结合料类基层)(mm)

表 1-4

厚 度		80kN 标准轴载累计作用次数($\times 10^6$)		
		1	10	100
沥青层厚度	平均	101	164	220
	最厚	146	240	289
	最薄	36	120	147
无机结合料类基层	平均	184	219	236
	最厚	242	329	302
	最薄	150	151	152
路面总厚度	平均	394	498	599
	最厚	498	598	700
	最薄	268	400	480

注:路基 CBR=5%(奥地利为 7%;法国相当于 PF1 条件,即 20~50MPa,计算时采用 20MPa)。

1.2.4 集料粒径和适宜层厚

各类沥青混合料的集料粒径大小的选择,主要考虑交通荷载大小和层位。沥青混合料的抗剪切变形能力随集料粒径的增大而增加。因此,交通荷载越重,所选混合料的公称最大粒径应越大。但混合料的均匀性和结构层的平整度随集料粒径的增大而下降。所以,层位越低,所选混合料的公称最大粒径可以越大。此外,集料粒径较大的混合料,表面较粗糙,易出现离析,不宜用于外观要求较高的道路的表面层。

为保证沥青混合料形成均匀而压实稳定的结构层次,各结构层必须具有一定的厚度。各层所用各类沥青混合料的最小厚度不宜小于公称最大粒径的 2.5~3 倍(密级配沥青混合料)或 2~2.5 倍(沥青玛蹄脂碎石和开级配沥青磨耗层)^[5]。而为了保证压实度沿层厚分布的均匀性,压实层的厚度不能太大。各结构层的适宜厚度范围,随混合料的最大公称粒径的增大而增加,见表 1-5^[5,6]。依据交通荷载和层位选定集料公称最大粒径后,可参照表 1-5 所列的适宜层厚范围选取合适的层厚。在设计层厚超出适宜层厚范围时,需分层铺设。

沥青面层厚度和混合料类型选择,可以参照下述步骤进行^[6]:

- (1)按公路等级、交通荷载等级和基层类型,选定面层的总厚度。
- (2)按交通荷载特点和使用要求,选择表面层(磨耗层)的混合料类型,并参照表 1-5 选取集料公称最大粒径和相应的适宜层厚。

沥青路面结构层的各类沥青混合料的适宜层厚(mm)

表 1-5

结构层位	混合料类型	公称最大粒径(mm)					
		4.75	9.5	12.5	19.0	25.0(26.5)	37.5
表面层	密级配沥青混合料(细型)	12.5~19	25~37.5	30~62.5	50~70	—	—
	密级配沥青混合料(粗型)	—	30~50	37.5~75	57.5~75	—	—
	沥青玛蹄脂碎石	—	25~37.5	37.5~50	50~62.5	—	—
	开级配沥青磨耗层	—	19~25	25~37.5	—	—	—
联结层	密级配沥青混合料(细型)	—	—	—	50~70	75~100	—
	密级配沥青混合料(粗型)	—	—	—	57.5~75	75~100	—
	沥青玛蹄脂碎石	—	—	—	50~62.5	—	—
基层	密级配沥青混合料(细型)	—	—	—	50~70	75~100	100~150
	密级配沥青混合料(粗型)	—	—	—	57.5~75	75~100	100~150
	半开级配沥青碎石	—	—	—	—	60~80	80~120
	开级配沥青稳定碎石	—	—	25~50	37.5~75	—	—

注:粗型和细型密级配沥青混合料按表 1-6 的标准划分。

粗型和细型密级配沥青混合料划分标准^[6]

表 1-6

混合料最大粒径(mm)	粗 型	细 型
37.5	4.75mm 筛孔通过率<35%	4.75mm 筛孔通过率>35%
25	4.75mm 筛孔通过率<40%	4.75mm 筛孔通过率>40%
19	2.36mm 筛孔通过率<35%	2.36mm 筛孔通过率>35%
12.5	2.36mm 筛孔通过率<40%	2.36mm 筛孔通过率>40%
9.5	2.36mm 筛孔通过率<45%	2.36mm 筛孔通过率>45%

(3)按交通荷载特点选择联结层的混合料类型,参照表 1-5 选取集料公称最大粒径和相应的适宜层厚;当总厚度扣除表面层后的联结层厚度超出了适宜层厚范围,联结层须分两层铺筑,再按两层的厚度分配,调整各层的集料公称最大粒径和相应的适宜层厚。

沥青表面处治可以选用单层式(厚 10~15mm)、双层式(厚 15~25mm)或三层式(厚 25~30mm)。

1.3 基 层

基层的使用性能要求主要为结构性能方面。基层是路面结构的主要承重层,要求具有足够的强度(承载能力)、良好的抗永久变形和抗疲劳开裂性能以及耐久性和水稳定性(抗剥落、耐冲刷)。

基层可采用单层或多层,所用材料可以按结合料的类型归纳为3类:①无机结合料类;②沥青结合料类;③无结合料类。

1.3.1 无机结合料类基层

无机结合料类材料主要有:贫混凝土、水泥稳定粒料(级配碎石、级配砾石、未筛分碎石、天然砂砾等)、石灰—粉煤灰稳定粒料(级配碎石、级配砾石、未筛分碎石、天然砂砾等)、水泥土、石灰土、石灰—粉煤灰土等。

无机结合料类基层具有强度大、变形小、能承受较重交通荷载的优点。然而,无机结合料类混合料为具有板体性的脆性材料,易产生温度收缩和干燥收缩裂缝,使沥青面层出现反射裂缝;同时,路表水易沿反射裂缝下渗,并冲刷这类基层的顶面,产生唧泥病害。

无机结合料类基层的强度和刚度,随混合料中结合料含量的增加而增大。在温度和湿度变化引起的收缩变形受阻时产生的温缩应力和干缩应力,随无机结合料类混合料中结合料含量的增大,细料含量的增多,施工时混合料含水率的增多以及路面最低温度与基层施工时温度之间温度差的增加而增大。而无机结合料类混合料中结合料含量越少、细料含量越多,基层顶面的耐冲刷性能就越差。因此,选用无机结合料类材料时,一方面应保证足够的结合料用量,以满足对基层承载能力和耐冲刷的要求,另一方面要考虑对温缩应力和干缩应力的控制,减少基层的收缩裂缝和沥青面层的反射裂缝。

贫混凝土的强度、刚度和抗冲刷能力在无机结合料类材料中属最佳,可以用作特重和重交通等级沥青路面的基层。为控制收缩裂缝出现的位置和缝隙宽度,贫混凝土基层必须锯切横缝和纵缝。

水泥稳定级配碎石和石灰—粉煤灰稳定级配碎石,其强度、刚度和抗冲刷能力低于贫混凝土,这类材料可以用作重交通荷载等级及以下沥青路面的基层。对于结合料用量较大的这类基层,也可采用锯切横向缩缝的措施,以控制收缩裂缝出现的位置。

其他各种水泥稳定粒料和石灰—粉煤灰稳定粒料(砾石、未筛分碎石、天然砂砾等)以及水泥土、石灰土和石灰—粉煤灰土,由于强度和刚度较低以及

抗冲刷能力较差,仅适宜于用作轻交通荷载等级和低等级公路沥青路面的基层。

无机结合料材料的最小结构层厚度为 100(细粒)~125mm(粗粒)。其最大压实层厚不宜超过 200mm(在采用能量大的振动压路机和轮胎压路机碾压时可适当增厚)。因此,此类材料的结构层适宜厚度为 150~200mm。贫混凝土基层的适宜厚度为 120~200mm。基层的设计厚度大于该类基层的适宜厚度时,须分多个层次铺筑。

1.3.2 沥青结合料类基层

沥青结合料类基层,可以选用密级配沥青混合料、半开级配沥青碎石或者沥青贯入碎石。前两种混合料的沥青类基层具有较高的强度和刚度,适用于特重或重交通荷载等级的沥青路面。我国常把无机结合料类基层称作半刚性基层,把沥青结合料类基层称作柔性基层,实际上前两种沥青混合料的动态模量接近或高于无机结合料类混合料的弹性模量,因此,这种定名是不确切的,容易造成误解。沥青贯入碎石基层适用于中等或轻交通荷载等级的沥青路面。

基层的层位较面层低,因而,密级配沥青混合料或半开级配沥青碎石可以选用公称最大粒径较大的集料,如表 1-5 所示,集料公称最大粒径可为 19.0mm、26.5mm 或 37.5mm。集料粒径的增大,可以增加混合料的抗剪切变形能力,减少车辙量。随着集料粒径的增大,适宜层厚也相应增加。采用大粒径时(如 37.5mm),适宜层厚最大可以达到 150mm。基层的设计厚度超过适宜层厚时,须分层铺筑。

沥青贯入碎石层的适宜厚度范围为 40~80mm。

1.3.3 无结合料类基层

用作基层的无结合料类材料(粒料)主要有级配碎石、级配砾石和填隙(水结)碎石等。

级配碎石由优质石料轧制而成,可用作重或中等交通荷载等级和高等级公路上沥青路面的基层。级配砾石由符合级配要求的天然砂砾组成,或者由天然砂砾掺配部分碎石或轧制砾石组成,可用作中等或轻交通荷载等级和低等级公路上沥青路面的基层。填隙(水结)碎石由单一粒径的粗碎石和石屑组成,可用作低等级公路沥青路面的基层。

级配碎石或砾石的最小结构层厚度为 80mm。其最大压实层厚为 150~180mm(在采用能量大的振动压路机和轮胎压路机碾压时可达 200mm)^[8]。因此,这类结构层的适宜厚度为 100~200mm。填隙(水结)碎石的最小结构层

厚度为 100mm。其压实层厚度为碎石最大粒径的 1.5~2.0 倍,因而,这类结构层的适宜厚度为 100~120mm^[8]。基层的设计厚度超过适宜层厚时,须分层铺筑。

1.4 底 基 层

底基层是位于基层与路基之间的过渡性结构层次,由单层或多层组成。设置底基层的主要作用分别有:

(1)增强基层的承载能力——承受特重和重交通荷载等级的路面,要求提供较高的承载能力,设置材料性质和规格要求稍低于基层的底基层,可以增加路面结构的承载能力,或者减少对基层厚度的要求。

(2)缓和基层与路基之间的刚度差——强度和刚度较高的无机结合料类基层或沥青结合料类基层与路基之间的刚度差(模量比)较大,基层底面容易产生较大的拉应力或拉应变,设置底基层可以降低基层底面的拉应力或拉应变,增加基层的疲劳寿命。

(3)防止路床的细粒土进入基层——基层采用大粒径的密级配或半开级配沥青碎石时,设置密级配料底基层,可以隔离基层和细粒土路基,避免细粒土进入基层。

(4)为基层施工机具提供坚实的工作平台。

(5)作为排水层排除渗入路面结构内的路表水,防止它们下渗到路基或积滞在路面结构内。

(6)在季节性冰冻地区,增加路面结构的总厚度(作为防冻层),使冰冻线深度达不到路基的易冰冻土层,以减轻冰冻作用对路基的危害。

底基层可采用单层或多层,所用材料有无结合料类、无机结合料类和沥青结合料类,按不同的功能要求选用。

无结合料类材料,包括级配碎石、未筛分碎石、级配砾石、天然砂砾等,是最常用作底基层的材料。须按上述不同功能要求,分别规定合适的级配和细料含量要求。其适宜厚度为 100~200mm。

无机结合料类材料,包括水泥稳定粒料(级配碎石、级配砾石、未筛分碎石、天然砂砾等)、石灰—粉煤灰稳定粒料(级配碎石、级配砾石、未筛分碎石、天然砂砾等)、水泥土、石灰土、石灰—粉煤灰土等。由于这类材料的底基层会产生收缩裂缝,渗入路面结构内的路表水有可能继续下渗,引起路床顶面的冲刷和出现唧泥病害,因此,用作底基层的无机结合料的含量不宜过大,强度不宜过高,以降低层底拉应力和减少收缩裂缝,并且,在上路床为不耐冲刷的细粒土时,不宜选用