



“十二五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列

沥青混合料及其设计与应用

Asphalt Mixes & Its Design and Applications

● 编著 张金升 郝秀红 张旭 李超

哈尔滨工业大学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列

沥青混合料及其设计与应用

Asphalt Mixes & Its Design And Applications

张金升 郝秀红 张 旭 李 超 编著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书全面论述了沥青混合料设计与应用的相关技术问题。内容包括:沥青混合料概述、沥青混合料的主要类型和性质、沥青混合料的材料组成、沥青混合料的组成结构和特性、沥青混合料的路用性能及评价方法、矿质混合料级配组成设计、马歇尔试验、沥青混凝土配合比设计及工程实例、沥青玛蹄脂碎石混合料配合比设计及工程实例、大粒径透水性混合料配合比设计及工程实例、沥青路面的施工等内容。

本书可作为高等院校材料专业、土木工程专业及其他相关专业本科生和研究生的教材,也可供从事沥青混合料研究和生产的科技人员参考,还可作为从事公路工程建设、公路工程试验、公路工程监理、公路工程维护和其他沥青混合料应用的工程技术人员的工具书。

图书在版编目(CIP)数据

沥青混合料及其设计与应用/张金升等编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2013. 12
ISBN 978-7-5603-3855-2

I. ①沥… II. ①张… III. ①沥青拌和料—教材
IV. ①U414. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 283353 号



责任编辑 范业婷 何波玲
封面设计 卞秉利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 22 字数 508 千字
版 次 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-3855-2
定 价 43.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

交通是物资、文化交流的重要渠道,从自古至今,人们一直十分重视交通网的规划和建设。据历史资料和考古发掘,4 600 多年前,法老统治的古埃及吉萨地区的金字塔通往湖边 12 公里长的路,堪称世界上最古老的铺敷公路。我国有文字记载的最早的较完善的交通网出现于西周(据《周礼》,传为周公所撰),此后历朝历代不断完善。现代社会的发展更加依赖交通的建设,“要想富,先修路”,交通建设已成为地区经济建设的重要制约因素。

目前的公路建设,除乡村低等级公路外,大体分为两类,一类是沥青混凝土路面,一类是水泥混凝土路面,前者在建设成本、路面耐久性、路面养护等方面占有优势,在我国公路建设中占有主导地位。沥青路面的建设,主要是利用各种不同组成和性能的沥青混合料,铺筑公路的各个结构层,以确保路面的使用功能。沥青路面可广泛应用于各种道路、桥梁、隧道等交通设施。

沥青混合料是用具有一定黏度和适当用量的沥青材料,与一定级配的矿质集料,经过充分拌和形成的混合物。沥青混合料是交通建设的基础材料,是保证实现路面使用功能的关键,要求其具有良好的高温性能、低温性能、水稳定性、抗渗性能、疲劳性能和抗老化性能等,并且要求其服役寿命长、便于维修养护。国内有关“沥青混合料”的教材,基本上都与“沥青材料”混合编写,这种编排的优点在于,将联系密切的“沥青材料”和“沥青混合料”放在一起,有利于相互参照和知识的系统化,但其缺点是,在有限的篇幅里二者都不能论说透彻,尤其是“沥青材料”,在有些教材中存在介绍偏于简略的弊端。鉴于此,我们将“沥青材料”和“沥青混合料”分别编撰,力求全面反映公路建设所用材料的技术状况。

本书在总结前人经验的基础上,融合作者多年的工程实践经验和教学经验,系统地介绍了沥青混合料的类型和性质、沥青混合料的材料组成、沥青混合料的结构和特性、沥青混合料的路用性能及评价方法、沥青混合料的配合比设计方法及设计实例、各种特性沥青混合料、沥青混合料的路面施工等内容,并对矿质混合料级配组成设计、马歇尔试验设计方法、沥青混凝土配合比设计、沥青玛蹄脂碎石混合料配合比设计、大粒径透水性混合料配合比设计做了专门论述。本书的特点是:

- ①对于沥青混合料的组成、结构、性能和沥青混合料的配合比设计,论述得更加全面透彻,并注重设计实例和沥青混合料在公路、桥梁设计中应用的介绍;
- ②介绍了一些新颖的国际上流行的设计方法,以便于参照和借鉴;
- ③融入了最新的研究成果,包括作者近几年的科研、教学成果和经验;
- ④采用国家最新的技术规范和技术标准,尽量采用更新的技术数据;
- ⑤在内容编排上力求系统完整,文字通俗易懂,前后呼应,理论知识严密成熟,工程实例适用性强。

本书主要由山东交通学院材料科学与工程学院张金升教授、郝秀红讲师、张旭实验

师、李超博士编著,撰写过程中得到李志高级实验师、贺中国主任实验师、王彦敏副教授、徐静副教授、庄传仪博士、葛颜慧博士、庞传琴副教授、李月华讲师、谢亚丽讲师等的大力帮助,在此一并表示诚挚的谢意。本书在编著过程中参考了大量国内外专家学者的文献,对所有作者一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,还望广大同行不吝赐教,以便再版时修订完善。

编者著
2013年7月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 沥青混合料概述	1
1.2 沥青混合料应具备的路面工程性质	5
1.3 沥青混合料试验方法和技术标准	14
第2章 沥青混合料的主要类型和性质	24
2.1 (连续密级配)沥青混凝土(AC)	24
2.2 大粒径沥青碎石混合料(LSAM)	27
2.3 沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)	30
2.4 其他沥青混合料	34
第3章 沥青混合料的材料组成	62
3.1 组成材料概述	62
3.2 石料的种类和基本性质	64
3.3 沥青混合料用粗集料	71
3.4 沥青混合料用细集料	75
3.5 沥青混合料用填料	77
3.6 沥青混合料用纤维稳定剂	79
3.7 沥青混合料用沥青	79
第4章 沥青混合料的组成结构和特性	89
4.1 沥青混合料的结构类型及特点	89
4.2 沥青混合料的强度理论	94
4.3 沥青混合料的强度影响因素	95
4.4 沥青与填料(矿粉)相互作用	99
4.5 沥青混合料的破坏特性强度特性	104
4.6 沥青混合料的黏弹性特性	114
4.7 沥青混合料的劲度特性	118
第5章 沥青混合料的路用性能及评价方法	126
5.1 高温稳定性能	126
5.2 低温性能	139
5.3 水稳定性	155
5.4 表面特性	171
5.5 抗渗性能	183
5.6 动态性能	184
5.7 疲劳性能	188
5.8 老化性能	208

5.9 沥青混合料的技术标准	216
第6章 矿质混合料级配组成设计	219
6.1 矿质混合料的级配类型	219
6.2 矿质混合料级配理论	221
6.3 矿质混合料的配合比组成设计	223
6.4 矿质混合料的合成级配工程实例	230
第7章 马歇尔试验	238
7.1 马歇尔概述	238
7.2 马歇尔试验项目和方法	239
7.3 马歇尔试验的试件体积特征参数和配合比设计技术校准	248
第8章 沥青混凝土(AC)配合比设计及工程实例	254
8.1 沥青混合料配合比设计方法概述	254
8.2 沥青混凝土(AC)目标配合比设计	268
8.3 生产配合比设计	280
8.4 生产配合比验证	281
8.5 AC-25 工程实例	281
第9章 沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)配合比设计及工程实例	288
9.1 SMA 混合料目标配合比设计	288
9.2 生产配合比设计及验证	292
9.3 SMA-13 工程实例	292
第10章 大粒径透水性混合料(LSPM)配合比设计及工程实例	298
10.1 LSPA 目标配合比设计	298
10.2 生产配合比设计及验证	302
10.3 LSPM-30 工程实例	302
第11章 沥青路面的施工	308
11.1 沥青路面概述	308
11.2 热拌沥青混合料路面施工	311
11.3 其他沥青混合料沥青路面施工	322
11.4 沥青路面质量控制	331
参考文献	345

第1章 绪 论

1.1 沥青混合料概述

我国道路建设具有悠久的历史。早在西周就将城乡道路按不同等级进行统一规划,修建了从镐京(今西安市长安区境内)通往各诸侯城邑的牛、马车道路,形成了以都市为中心的的道路体系;秦始皇统一中国后,颁布“车同轨”法令,大修驰道、直道,使得道路建设得到较大发展;公元前2世纪的西汉,开通了连接欧亚大陆的丝绸之路,由长安出发,经河西走廊、塔里木盆地直达中亚和欧洲,对当时东西方各国的交往起到了重要的沟通作用;唐代是我国古代道路发展的极盛时期,初步形成了以城市为中心四通八达的道路网;到清代全国已形成了层次分明、功能较完善的“官马大路”、“大路”、“小路”系统,分别为京城到各省城、省城到各地方重要城市及重要城市到市镇的三级道路,其中“官马大路”长达四千余华里。

民以食为天,以行为先。行是通过交通实现的。交通是货物的交流和人员的往来,交通运输是劳动者使用运输工具,有目的地实现人和物空间位移的过程。道路是为国民经济、社会发展和人民生活服务的公共基础设施,道路运输在整个交通运输系统中也处于基础地位;道路是物资交流和文化交流的动脉,道路交通对于繁荣经济和文化发展,对于维护民族团结和国家统一,有着重要的意义。道路运输系统是社会经济和交通运输系统的重要组成部分,社会经济水平和交通运输需求决定着道路的发展进程,而道路也会影响并制约社会经济和交通运输的发展水平。在国家宏观调控时,会将资金重点投入到基础设施建设上,包括道路建设,以促进国民经济的增长。随着国家经济和科学技术的发展,道路的地位越来越重要。

近代汽车的出现,为公路建设注入了极大的活力。以沥青混合料为基本结构形式的沥青路面,因其优异的性能而风靡全球,至今仍是主要的交通运输载体之一。

1.1.1 沥青混合料基本概念

沥青混合料[Bituminous Mixtures(英), Asphalt(美)]是用具有一定黏度和适当用量的沥青材料与一定级配的矿质集料,经过充分拌和形成的混合物。将这种混合物加以摊铺、碾压成型,即成为各种类型的沥青路面。通常根据沥青混合料中材料的组成特性、施工的方式不同而将沥青混合料分成不同类型。

按照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)的定义,沥青混合料是由矿料与沥青结合料拌和而成的混合料的总称。

我国以前将沥青混合料分为沥青混凝土及沥青碎石,用 LH 及 LS 表示,后来改为 AC 及 AM。在 AC 中又根据级配粗细的不同分为 I 型和 II 型。沥青混凝土与沥青碎石的区

别仅在于是否加矿粉填料及级配比例是否严格,其实质是混合料的空隙率不同。

欧洲共同体(CEN)的分类按欧洲各国实际使用的类型分为:连续级配的沥青混合料(EN 13108—1,在各国都普遍应用)、超薄面层混合料(EN 13108—2,在法国等作为磨耗层使用)、软质混合料(EN 13108—3,在寒冷地区使用)、浇筑式混合料(HRA9EN 13108—4,在德国等国使用)、沥青玛蹄脂碎石混合料(SVIA, EN 13108—5,在欧洲普遍使用)、沥青玛蹄脂混合料(EN 13108—6,在英国作为嵌压式混合料的载体)、排水性混合料(EN 13108—7,在欧洲普遍使用)等7种。

1.1.2 沥青混合料的分类

1. 按混合料拌和与摊铺温度分类

(1) 热拌热铺沥青混合料

通常将沥青加热至 $150 \sim 170\text{ }^{\circ}\text{C}$,矿质集料加热至 $160 \sim 180\text{ }^{\circ}\text{C}$,在热态下拌和,在热态下摊铺、压实成型的混合料称为热拌热铺沥青混合料。由于在高温下拌和,沥青与矿质集料能形成良好的黏结,具有较高的强度。一般高等级公路和城市干道多采用这种混合料。

(2) 冷拌冷铺沥青混合料

采用乳化沥青、稀释回配沥青或低黏度的液体沥青,在常温下与集料直接拌和而成,且在常温下摊铺、碾压成型的沥青混合料,称为冷拌冷铺沥青混合料。由于冷态下拌和摊铺,沥青与集料裹覆性差、黏结不良,路面成型慢、强度低,一般只适用于低等级交通道路,或路面局部修补。

(3) 热拌冷铺沥青混合料

热拌冷铺沥青混合料是用黏度较低的沥青与集料在热态下拌和成混合料,在常温下贮存,使用时在常温下直接在路面上摊铺、压实,一般作为沥青路面的养护材料。

2. 按集料的公称最大粒径分类

按照公称最大粒径分类,可将混合料分为特粗粒式、粗粒式、中粒式、细粒式和砂粒式等几类,与之相对应的最大粒径和公称最大粒径见表1.1。

通常,粗粒式混合料用于沥青面层的中层或下层,中粒式混合料用于中层或上层,细粒式混合料用于上层,砂粒式混合料多用于城市道路路面表面局部维修。在实际工程中应根据具体情况进行选择,比如为了增强沥青路面的抗车辙性能和抗滑性能,上面层也可采用中粒式混合料。在热带地区,同样为提高路面的高温稳定性,在上面层也有少数地区直接采用粗粒式密级配沥青混合料。特粗粒式混合料也称大粒径沥青混合料,目前应用较少,为增强沥青路面的抗车辙能力,国内外正对这种混合料性能及其设计方法开展研究。

表 1.1 常见沥青混合料的类型

沥青混合料类型	公称最大粒径/mm	最大粒径/mm	密级配			半开级配	开级配(间断级配)	
			连续级配		间断级配	沥青碎石混合料(AM)	排水式沥青磨耗层(OGFC)	排水式沥青稳定碎石(ATPB)
			沥青混凝土(AC)	沥青稳定碎石(ATB)	沥青玛蹄脂碎石(SMA)			
砂粒式	4.75	9.5	AC-5	—	—	AM-5	—	—
细粒式	9.5	13.2	AC-10	—	SMA-10	AM-10	OGFC-10	—
	13.2	16	AC-13	—	SMA-13	AM-13	OGFC-13	—
中粒式	16	19	AC-16	—	SMA-16	AM-16	OGFC-16	—
	19	26.5	AC-20	—	SMA-20	AM-20	—	—
粗粒式	26.5	31.5	AC-25	ATB-25	—	—	—	ATPB-25
	31.5	37.5	—	ATB-30	—	—	—	ATPB-30
特粗粒式	37.5	53.0	—	ATB-40	—	—	—	ATPB-40
设计空隙率/%			2~6	3~6	3~4	6~12	>18	>18

3. 按矿质混合料的级配类型分类

根据矿料级配组成的特点及压实后剩余空隙率的大小,可以将沥青混合料分为以下几类。

(1) 连续密级配沥青混凝土混合料

该类沥青混合料主要特点是级配采用连续密级配,空隙率比较低,主要有密级配沥青混凝土混合料(Dense Asphalt Coarse-Graded Mixes, AC)和密级配沥青稳定碎石(Asphalt-Treated Permeable Base, ATB)混合料。前者设计空隙率通常为2%~6%,具体应根据不同的交通类型、气候特点而定(如重载路段、炎热区可采用4%~6%的空隙率,对人行道路为2%~5%),可适用于任何面层结构;后者设计空隙率一般为3%~6%,最大不超过8%,与前者主要区别是公称最大粒径较大,通常大于或等于26.5 mm,主要适用于基层,当公称最大粒径等于或大于37.5 mm时,也称为大粒径沥青混合料(Large Stone Asphalt Mixes, LSAM)。

在美国,按照4.75 mm或2.36 mm筛孔的通过率大小经常将沥青混合料分为粗型密级配、细型密级配。这两种级配都离开最大密度线一定距离,否则空隙率太小。还有一种称为密式密级配,其级配曲线基本上是沿最大密度线走,空隙率往往偏小,其集料公称最大粒径通常为9.5~26.5 mm。

(2) 连续半开级配沥青混合料

该混合料的主要特点是空隙率较大,一般为6%~12%,粗细集料的含量相对密级配的要少,填料较少或不加填料。主要代表混合料是沥青碎石混合料(Asphalt Macadam Mixes, AM),适用于三级及三级以下公路、乡村公路的中低级公路,此时最好在表面设置致密的上封层。

(3) 开级配沥青混合料

开级配沥青混合料的主要特点是矿料级配主要由粗集料组成,细集料和填料较少,沥

青结合料黏度要求较高,所以通常采用优质的改性沥青材料。主要代表混合料是用于表面层的排水式沥青磨耗层(Open Graded Friction Course, OGFC, 即开级配抗滑磨耗层)混合料和用于基层的排水式沥青稳定碎石基层(Asphalt-Treated Porous Base, ATPB, 即排水式开级配基层)混合料。OGFC 沥青混合料公称最大尺寸通常为 13.2 ~ 19 mm, 而 ATPB 沥青混合料公称最大尺寸通常大于 26.5 mm。设计空隙率都较大,一般大于 18%, 而 OGFC 用于表面,有时设计空隙率可高达 25%。

(4) 间断级配沥青混合料

间断级配沥青混合料的特点是矿料级配组成中缺少一个或几个档次而形成的所谓的间断级配,形成“三多一少”的结构,即粗集料和填料含量较多,沥青用量多,中间集料含量较少。最具代表性的混合料是沥青玛蹄脂碎石(Stone Mastic Asphalt, SMA)混合料。

这些混合料各有其特点,在选择沥青混合料的类型时,必须根据其功能特点,选择适宜的混合料类型。例如,OGFC 是专为提高抗滑性能、减少溅水和水雾并降低噪声而设计的混合料,它的设计空隙率一般在 18% 以上,用作夹层就不合理。而且如果公路很脏,高速行驶车少,大空隙非常容易被灰尘堵塞,很快就会失去功能,沥青很快老化,缩短使用寿命。

4. 按结合料的类型分类

根据沥青混合料中所用沥青结合料的不同,可分为石油沥青混合料和煤沥青混合料,但煤沥青对环境污染严重,一般工程中很少采用煤沥青混合料。

普通沥青未加处理和改性高温性能和低温性能不高,一般只用于普通公路或低等级公路。城市道路和高等级公路、高速公路必须用质量更高的改性沥青。目前改性沥青应用越来越广,即便乡村公路也很少用普通沥青修筑。通常所用的沥青混合料基本上都是改性沥青混合料。改性沥青混合料是用改性沥青与集料拌和而成的沥青混合料,以提高其路用性能。根据改性沥青品种不同又有多种不同性能的改性沥青混合料。

5. 根据强度形成原理分类

沥青混合料的组成材料不同,其强度形成原理也不同,一般可以按嵌挤原则和密实原则分类。按嵌挤原则构成的沥青混合料主要是以矿料颗粒之间的嵌挤力和内摩阻力为主,以沥青结合料的黏聚力为辅,如沥青灌入式、沥青(微)表处和沥青碎石等路面结构均属于此类。按密实原则构成的沥青混合料则主要是以沥青与矿料之间的黏聚力为主,矿料间的嵌挤力和内摩阻力为辅,一般的沥青混凝土都属于此类。

6. 按沥青混合料的特性和用途分类

上面提及的热拌热铺型、冷拌冷铺型、热拌冷铺型,特粗粒式、粗粒式、中粒式、细粒式、砂粒式,连续级配、半开级配、开级配、间断级配,石油沥青属、煤沥青属,嵌挤原则类、密实原则类等都是按不同方法进行的分类,在公路工程中还常按混合料的性质分类,强调道路的某种特定用途和要求。在道路工程中主要采用热拌热铺沥青混合料,称为路用沥青混合料。如用于机场道面,则称为机场道面沥青混合料;用于大桥桥面铺装,则称为桥面铺装沥青混合料,等等。

1.1.3 沥青混合料在公路工程中的应用

概括起来讲,在公路工程中,沥青混合料主要用于沥青路面的建设、路面的维护、路面

的修补。

1. 沥青混合料在沥青路面结构中的使用

沥青路面的结构,大体可分为面层、基层以及垫层、土基。面层又分为上面层、中面层、下面层;基层又分为上基层、下基层、底基层,按其力学行为又可分为柔性基层、半刚性基层、刚性基层。

沥青路面结构设计和结构类型选择的依据是交通条件、气候条件、交通等级。交通条件主要指设计交通量、重载车的比例、车速等。气候条件主要是指夏季高温和冬季低温、年温差、雨量等。交通等级,即预测交通轴载作用次数,是确定路面结构的设计层厚和 HMA 混合料类型的依据。其中货车或重载交通工具是最主要的考虑因素。

沥青混合料主要用于上面层、中面层、下面层和柔性基层中。

(1) 表面层(Surface Layer)

表面层一般采用优质材料,要求具有如抗滑、平整、降低噪声、抗车辙、抗推拥等功能。它必须避免路表水进入 HMA 下层、基层和路基。在表面层上也可以再铺筑磨耗层,如 OGFC、抗滑表层、稀浆封层。但是它一般不作为路面的承重结构参加受力计算,仅仅起到表面的功能性作用。在我国,新建高速公路等一般不专设磨耗层,表面层实际上起到双重的作用。

(2) 中间层(Intemaediate Layer)或称黏结层(Binder)

中间层由表面层之下的一层或多层 HMA 构成。该层提高了表面层的结构强度,在将交通荷载向下层传递的同时,又不致产生永久变形。在我国,中间层经常分为中面层、下面层(双层式没有中面层)。

(3) 基层(Base Course)

基层是置于 HMA 结构层下面的一层或多层的 HMA 基层、粒料基层或结合料稳定性基层,是路面结构的主要承重层。该层应使用耐久的集料,避免水损害或冻融破坏。基层分为沥青稳定基层(采用沥青结合料),或者大空隙排水式沥青基层;有时粒径特别大,称为大粒径沥青稳定基层。采用水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定的称为半刚性基层。在国外,水泥混凝土或者贫混凝土、碾压混凝土也用来作基层,称为刚性基层。刚性基层在我国使用较少。由于其上面的沥青面层较薄,常称为白加黑的复合式路面。采用这种做法铺筑的路面目前还缺乏成功的经验。

(4) 整平层(Leveling Course)

整平层是铺筑路面前对纵、横断面上的细小偏差进行调平的一个 HMA 薄层。

2. 沥青混合料用作路面维护材料

主要是细粒式沥青混合料,用于透层喷洒。

3. 沥青混合料用于路面修补材料

主要有面层修补沥青混合料、沥青稀浆封层混合料等。

1.2 沥青混合料应具备的路面工程性质

沥青混合料是公路、城市道路以及机场道面的主要铺面材料,它直接承受车轮荷载和

各种自然因素——日照、温度、空气、雨水等的作用,其性能和状态都会发生变化,以至影响路面的使用性能和使用寿命。为了保证沥青路面长期保持良好的使用状态,沥青混合料必须满足路用性能。沥青混合料的技术要求主要可分为高温稳定性和低温稳定性,路面使用性能可分为耐久性(抗疲劳性能和抗老化性能)、抗水损害性、抗滑性等。

1.2.1 沥青路面的损害类型

在《公路路基路面现场测试规程》(JTJ 059)中,T0974 规定了沥青路面破损类型为:①裂缝类破损:包括龟裂、块裂及各类单根裂缝等;②变形类破损:包括车辙、沉陷、壅包、波浪等;③松散类破损:包括掉粒、松散、剥落、脱皮等引起的集料散失、坑槽等;④其他破损:包括泛油、磨光(抗滑性能差)等。

按破损严重程度可分为轻微、中度、严重三种不同情况。其中高等级公路沥青路面上常见的损坏现象主要有裂缝(横向、纵向及网状裂缝)、车辙、松散剥落和表面磨光等。

1. 裂缝

沥青路面上出现的裂缝十分常见,其成因各种各样,从表现形式看可分为横向裂缝、纵向裂缝和网状裂缝三种类型。裂缝是沥青路面最主要的破损形式之一。裂缝主要是在低温下产生的,由于吸附和污染等原因,即使在高温时也不能自动愈合,并逐渐扩大造成路面病害。

(1) 横向裂缝

横向裂缝是指基本上垂直于行车方向的裂缝。按其成因不同,横向裂缝又可分为荷载型裂缝和非荷载型裂缝两大类。

① 荷载型裂缝

荷载型裂缝是路面承载能力下降,强度不足以承担车辆荷载或者反复循环荷载作用引起的疲劳所产生的。由于路面结构设计不当、配合比不当、拌和不均、施工质量低劣,或者由于车辆严重超载,致使半刚性基层沥青路面在反复的交通荷载作用下,沥青面层或半刚性基层内产生的拉应力超过其疲劳强度而断裂。荷载型裂缝首先在路面的底面发生,在车辆荷载的反复作用下,裂缝逐渐向上扩展至表面。也可能因为下层开裂造成顶面应力集中而引起开裂,或上下同时延伸而开裂。由车轮荷载引起的裂缝反映在面层上,往往不是单独的、稀疏的或较有规则的裂缝,而是稠密的、有时互相联系的网状裂缝。我国试验规程定义裂缝与裂缝连接成龟甲状的不规则裂缝,且其短边不大于 40 cm 者称为龟裂。在路面纵向有平行密集的裂缝,虽未成网但其距离不大于 30 cm 者也属龟裂。

“车辙裂缝”是另一类荷载裂缝,“车辙裂缝”的观点现在受到了国内外学者的重视。它最早是由日本的松野三郎提出的,其特点是车辙裂缝发生在高速公路行车车道两侧轮辙带边缘,由沥青面层表面开始并向下延伸。这种裂缝在车辙部位相当严重,但在跨线桥(即立交桥)下不见太阳的阴影下无车辙的部位裂缝消失,证明裂缝源于高温形成的车辙。

② 非荷载型裂缝

非荷载型裂缝是横向裂缝的主要形式。非荷载型裂缝的形成原因复杂,可以是温缩裂缝、反射性裂缝、不均匀沉降裂缝、冻胀裂缝、施工裂缝(接缝或发裂)、构造物接头(伸

缩缝等)裂缝、老化裂缝等。其中最主要的是温缩裂缝和半刚性基层开裂引起的反射性裂缝。

沥青面层缩裂多发生在冬季气温较低的地区或易发生温度骤变的地区。当沥青面层中的平均温度低于其断裂温度时,或者说在降温过程中沥青面层的应力松弛性能降低,所产生的温度应力积聚超过其在该温度时的抗拉强度时,沥青面层即发生断裂。另外,当骤然降温(如南方高温天气突然降雨或北方寒流袭击)时,也会导致沥青面层的开裂。应当指出,沥青面层的温缩裂缝经常是在温度应力的反复作用下,裂缝逐渐发展与扩张而形成的温度疲劳裂缝。温缩裂缝是沥青路面低温损害的主要原因,是低温性能的主要表现。

非荷载型横向裂缝一般比较规则,每隔一定的距离产生一道裂缝,其间距大小取决于当地的气温和路面各层材料的抗裂性能。间距短的可能为6~10 m,长的可达100 m甚至更长。气温高、日温差变化小、路面材料抗裂性能好的路段,一般间距较大,且出现裂缝的时间也较晚。

a. 严冬期温度骤降出现的横向收缩裂缝

位于路面面层的沥青混合料结构层,直接受到气温变化的影响,一方面当温度下降时,沥青混合料就会产生收缩变形,但和水泥混凝土路面不同,沥青路面没有收缩缝,这种变形会受到基层对路面的内摩阻力和路面无限连续板体对收缩变形的约束作用,使沥青面层内部产生拉应力。另一方面,沥青混合料具有应力松弛性能,当给沥青混凝土一定的应变时,由此产生的应力会随时间延长而松弛,在一般的温度范围内,由温度降低而产生的拉应力,会由于应力松弛而减小,将不产生出现裂缝那么大的应力。可是当出现寒流或寒潮时,过快的降温速率将使路面内部的应力来不及松弛,出现过大的应力积累。与此同时,由于温度降低,沥青混合料的应力松弛模量逐渐增大,应力松弛性能降低,也导致应力积聚过大,待温度应力积累到超过沥青混合料的极限抗拉强度时,路面就将出现裂缝,以便将应力释放出去。因此温缩裂缝往往并不发生在当地的极端温度条件下,而经常大量发生在寒流和寒潮到来时。例如,在我国北方11月份是一年之中首次出现寒冷的月份,沥青路面经常会在寒流到来的一夜之间出现大量的温缩裂缝。

也就是说,温缩裂缝是由于温度骤降,混合料的应力松弛性能不能适应温度剧降产生的收缩。即收缩过大,来不及松弛,温度下降产生的应力超过了材料的极限抗拉强度而产生的。或者说,在常温条件下,沥青混合料的劲度较低,气温下降后,材料的应变能力急剧降低,导致材料的劲度模量急剧增大,超过了产生开裂的极限劲度,便产生开裂。这种情况在沥青面层与基层黏聚力不好,可允许有一定自由收缩时更易发生。

由于降温来自于冷气流,路表温度肯定低于路面内部温度,温缩裂缝当然是从表面开始的,这在20世纪60年代国外的大量调查中已经得到证实。当温度下降时,因为沥青路面的表面温度比底面低,沿深度方向的温度梯度如图1.1(a)所示。应力的产生本来应该与温度梯度一致,可是实际路面中沥青混凝土层是连续的,没有接缝,不能自由地收缩,且与路面基层紧密黏着,不能自由翘曲,其结果如图1.1(b)所示。在表面出现了拉应力(与基层联结成整体的也会出现拉应力),在底面出现了压应力,这些应力与其他应力相叠加,就会在表面出现更大的拉应力,一般认为这就是表面容易出现裂缝的原因。

另外,接近表面的沥青比内部沥青更易老化,沥青混合料的极限拉伸应变小,应力松弛性能差,也是容易产生裂缝的一个重要因素。

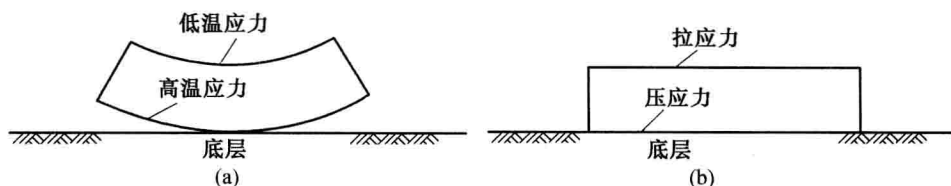


图 1.1 由温度梯度产生的应力

路面开裂以后,温度继续下降便有了自由收缩的可能,此时裂缝宽度将会增加,但是由于沥青面层与基层之间有联结,实际上收缩不是自由的。以后随着使用年限的增加,沥青混合料的劲度模量也同时增加,所以还会产生新的裂缝,使裂缝间距缩短,裂缝不断加宽,开裂越来越严重。

当沥青面层宽度较大时,在横向开裂的同时,也会产生纵向开裂,从而成为块裂。试验规程中块裂定义为裂缝与裂缝联结成网,其短边长度达 40 cm,但长边长度小于 3 m。这在我国广场和城市道路中普遍发生。

b. 温度疲劳裂缝

产生低温裂缝的沥青混凝土层,春天气温回升时裂缝弥合,到了冬天,沥青混凝土层再次出现收缩。若基层摩擦力小,在实际收缩时,裂缝就变宽了,若基层摩擦力大,沥青混合料不会收缩,但会产生新的裂缝,裂缝数量也将增加,这是由于温度疲劳造成的。除了温度疲劳作用以外,温度的日循环、短时间内的温度循环、冷热交替,都能在混合料内部出现疲劳损坏现象。

即使没有发生开裂的路面,温度反复升降循环产生的温度应力作用,同样也会使路面开裂。由于温度应力的疲劳作用使沥青混合料的极限拉伸应变或劲度模量变小,而且沥青老化使沥青劲度提高,应力松弛性能下降,故温度疲劳裂缝可能在比一次性降温开裂温度高的温度下开裂,所以温度疲劳裂缝可能发生在冬季最低气温并不太低的地区,同时裂缝随着路龄增加而不断增加。

基层反射裂缝是指半刚性基层先与沥青面层开裂,在荷载应力和温度应力的共同作用下,在基层开裂处的面层底部产生应力集中而导致面层底部在上方大体相对应的位置开裂,然后逐渐向上或向下扩展而使裂缝贯穿。半刚性基层的开裂通常由温缩或干缩引起,多数情况是在基层铺筑后,由于未及时按规定进行养生或由于未及时铺筑沥青面层,使基层长期暴露在大气中,在降温和水分蒸发联合作用下而开裂。当然也可能在铺筑沥青面层后,路面在使用过程中,由于温度骤变,当基层内的日温差超过某一范围,致使其温度应力超过其抗拉强度而开裂。后者一般发生在沥青面层相对较薄且日温差较大的地区。

c. 反射裂缝

在我国,实际上还存在第三种模式的裂缝,那就是由于水泥、石灰、粉煤灰稳定类的半刚性基层的收缩(温缩和干缩),或者已经开裂了的半刚性基层在裂缝部位的应力集中与沥青面层的低温收缩、荷载作用产生的综合作用,使温缩裂缝较多地产生。其中,沥青面层的收缩起了最主要的引发作用。裂缝大部分是从路面表面产生,向下发展;也可能是

上、下面对应地产生;或者由下向上延伸,这些裂缝实际上是温缩裂缝和半刚性基层收缩裂缝的反射性裂缝的综合裂缝。在已经开裂的沥青路面上的加铺层,情况也相同,或在旧水泥路面上罩面都有类似裂缝产生。

单纯的路面反射裂缝是由于沥青面层的下卧层已经开裂,裂缝处的应力集中现象使交通荷载产生在面层下部的拉应力比没有裂缝的部位要大,容易超过沥青混合料的极限强度,致使沥青面层跟着开裂。在温度收缩应力的共同作用下,交通荷载作用下的主拉应力(或剪应力)和温度变化下的收缩应力是反射裂缝形成的根本原因。

在冬季低温下,基层开裂后,由于基层失去抵抗拉应力的能力,在开裂位置将应力传递给面层,形成面层在开裂缝处的应力集中。而且在低温下,沥青面层的模量较大,它仅能承受较小的温度应力,因而极易产生反射裂缝,此时如果再加上偏荷载主拉应力的作用,其应力值就可能超过材料的极限强度,从而使面层发生开裂。反射裂缝是沥青面层早期劣化的根源,它缩短了路面的维修周期,减少了路面的服务年限。

d. 冻缩裂缝

冻缩裂缝主要是路基冻胀及收缩产生的开裂。表面看来,它可以一直延伸到路基范围之外的田野里,或者本来就是路外开裂延伸到路面上的,其裂缝宽度大,深度也深。这种开裂在路面与路肩交界处最常见。

e. 综合原因造成的横向裂缝

横向裂缝是我国高速公路最主要的裂缝形式,也是国外沥青路面的主要病害之一。在北欧、北美、日本,温缩裂缝只发生在严寒的北方,并不发生在南方,而我国的横向裂缝则是从南到北都较普遍。虽然许多学者为此进行了大量的调查研究,但具体看法存在着严重分歧。一种认为横向裂缝都是(或大部分是)沥青面层的温缩裂缝;另一种认为主要是半刚性基层收缩引起的反射裂缝。由于沥青路面所在地区的气候、路面结构、沥青层的厚度及沥青性质、基层含水量及收缩性能、铺筑时间及施工方法等各种因素千变万化,究竟是以沥青面层的温度收缩为主要原因,还是半刚性基层收缩开裂反射为主,或者以路堤收缩为主,实际上很难判断,必须通过实际调查才能下结论。

之所以说是多种原因综合作用的结果,是因为这些裂缝主要发生在急剧降温的过程中,首当其冲的沥青面层内当然要产生很大的温度应力,它是造成开裂的一个直接的主要原因。另一方面,如果建筑在柔性基层上,或者下边有级配碎石过渡层,仅仅沥青面层的温度应力还不一定达到开裂的程度。但如果下面是半刚性基层,则其本身也将产生较大的收缩(干缩与冷缩的叠加),它将使沥青面层的收缩应力增大,从而造成开裂。如果半刚性基层上原先已经有了裂缝,沥青面层的温度应力将在基层的裂缝部位造成很大的应力集中,半刚性基层的收缩应力与沥青之间的传递在裂缝自由端中断,面层与基层的附着力使基层的收缩应力集中于裂缝部位的沥青面层内,从而使沥青面层的温度应力明显增大,在裂缝部位或其附近首先开裂。

如上所述,沥青面层中的低温收缩开裂是横向开裂的主要形式,主要是由于温度降低出现的沥青面层收缩、应力松弛特性、基层的内摩阻力、降温速率以及荷载应力反射裂缝、路基冻缩等多种因素相互影响的复杂现象。从总体情况看,从南方到北方,温缩裂缝成为主要原因的比例越来越大,而半刚性基层收缩裂缝的反射裂缝的比例则越来越少。

为了减少半刚性基层收缩裂缝的反射裂缝,应该从以下方面努力:

- ①沥青面层必须有一定厚度,能对基层起到足够的保温作用;
- ②半刚性基层的组成中应有较多数量的粗集料,而且无机结合料的剂量也不能太高,即有适宜的刚度,使半刚性基层材料的收缩性大为减少;
- ③半刚性基层施工时含水量不能太大,并有良好的养生,沥青面层在当年基层尚未开裂之前必须铺上。

我国高速公路建设的现状表明,实际上这些方面不可能都做好。有的高速公路沥青面层较薄,有的半刚性基层养生不充分,铺筑后不久便开裂了。还有不少半刚性基层铺完后来不及铺筑沥青面层便过冬,或只能铺一层联结层进行“保护”,无法保证冬天基层不裂。还有的半刚性基层施工不好,或者习惯于用较多的含水量,或者仍有过高的细粒土比例,还有的片面追求强度,水泥剂量较高。诸如此类,在这样的半刚性基层的沥青面层上,就难免有半刚性基层收缩裂缝的反射裂缝存在。

(2) 纵向裂缝

纵向裂缝产生的原因有多种,除了荷载作用过大,承载力不足引起的纵向开裂外,还有由于沥青面层分路幅摊铺时,施工纵向接缝没有做好而产生的裂缝;路基压实度不均匀或由于路基边缘受水侵蚀产生不均匀沉陷而引起的裂缝。

(3) 网状裂缝

网状裂缝是由单根裂缝发展而引起的,除了由于路面的整体强度不足而产生外,路面开始出现裂缝后未及时封填,致使水分渗入下层,尤其是在融雪期间冻融交加,更加剧了路面的破坏。沥青在施工期间以及在长时期使用过程中的老化也是导致沥青路面形成网裂的原因之一。

2. 车辙

车辙是渠化交通的高等级公路沥青路面的主要损坏形式之一。当车辙达到一定深度时,由于车槽内积水,极易发生汽车飘滑而导致交通事故。车辙是沥青混合料高温稳定性不良的主要病害形式,在正常情况下,沥青路面的车辙有三种类型(或三种机理)。

(1) 结构性车辙

结构性车辙由路面基层及路基变形引起。荷载作用传播扩散后仍超过路面各层的强度,车辙主要发生在沥青面层以下,包括路基在内的各结构层的永久性变形,即为结构性车辙。这种车辙的宽度较大,两侧没有隆起现象,横断面成浅盆状的U字形(凹形)。

(2) 失稳性车辙

在高温条件下,由于车轮碾压的反复作用,荷载产生的剪应力超过沥青混合料的抗剪强度,即稳定度极限,使流动变形不断累积形成车辙,俗称流动性车辙,或失稳性车辙。这类车辙的路面上,一方面车轮作用部位下凹,另一方面车轮作用甚少的车道两侧向上隆起,在弯道处还明显在向外推挤,车道线及停车线因此可能成为曲线,两侧伴有隆起现象,内外侧呈非对称形状。在主要行驶双轮车的路段,车辙断面成W形;在主要行驶宽幅单轮车(国外出现的一种新型轮胎,只有一个轮子)的路段,车辙成非对称形状。失稳性车辙尤其容易发生在上坡路段、交叉口附近,即车速慢、轮胎接地产生的横向应力大的地方。