

# 重交通沥青路面材料与结构一体化技术

李彦伟 周卫峰 史增朝 编著



科学出版社

# 重交通沥青路面材料与结构 一体化技术

李彦伟 周卫峰 史增朝 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书在充分分析国内半刚性基层沥青路面现状的基础上,通过半刚性基层沥青面结构层位分工和材料参数分析,对重交通沥青路面材料与结构进行了一体化研究。详细介绍了高速公路沥青路面主要病害及原因、典型半刚性基层沥青路面结构层位分工、基于振动成型的半刚性材料设计与特性、基于振动成型的级配碎石混合料设计及施工、基于 GTM 的沥青路面面层材料设计及路用性能、基于材料与结构一体化技术的典型沥青路面结构设计指南等内容。

本书适合公路工程技术人员、相关院校师生及科研人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

重交通沥青路面材料与结构一体化技术/李彦伟,周卫峰,史增朝编著.  
—北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-037444-8

I. ①重… II. ①李…②周…③史… III. ①沥青路面-路面材料-研究  
②沥青路面-工程结构-研究 IV. ①U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 095602 号

责任编辑:余 丁 高慧元 / 责任校对:刘亚琦  
责任印制:张 倩 / 封面设计:蓝 正

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 6 月第一次印刷 印张:17 1/4 彩插 6

字数:334 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 半刚性基层沥青路面现状与发展 .....	1
1.2 高速公路质量控制理念的现状与发展 .....	2
1.3 沥青路面设计方法、材料及结构形式的现状与发展 .....	4
1.4 本书内容概要 .....	4
<b>第 2 章 高速公路沥青路面主要病害及原因</b> .....	7
2.1 车辙病害调查及原因 .....	7
2.2 水损害调查及原因 .....	17
2.3 裂缝调查及原因 .....	23
<b>第 3 章 典型半刚性基层沥青路面结构层位分工</b> .....	34
3.1 黏弹性层状理论体系 .....	34
3.2 半刚性基层沥青路面结构层疲劳特性 .....	36
3.3 半刚性基层沥青路面结构层高温车辙变形特性 .....	46
3.4 半刚性基层沥青路面结构层低温开裂特性 .....	53
3.5 半刚性基层沥青路面典型结构层位分工 .....	62
<b>第 4 章 基于振动成型的半刚性材料设计与特性</b> .....	64
4.1 半刚性材料设计现状与存在问题 .....	64
4.2 基于振动成型的半刚性材料设计优化 .....	66
4.3 基于振动成型的半刚性材料路用性能 .....	78
<b>第 5 章 基于振动成型的级配碎石混合料设计及施工</b> .....	92
5.1 振动成型级配碎石设计方法 .....	92
5.2 振动压实级配碎石混合料结构与路用性能 .....	109
5.3 基于振动压实成型的级配碎石施工与质量管理 .....	130
<b>第 6 章 基于 GTM 的沥青路面面层材料设计及路用性能</b> .....	137
6.1 GTM 设计方法概述 .....	137
6.2 基于 GTM 的 AC-25 型沥青混合料级配优化 .....	154

---

6.3	基于 GTM 的 AC-20 型沥青混合料级配优化 .....	163
6.4	基于 GTM 的 AC-16 型沥青混合料级配优化 .....	172
6.5	基于 GTM 的 AC-13 型沥青混合料级配优化 .....	180
6.6	沥青路面面层材料不同设计方法及路用性能对比 .....	196
<b>第 7 章</b>	<b>基于材料与结构一体化技术的典型沥青路面结构设计</b>	
	<b>指南</b> .....	242
7.1	一般规定 .....	242
7.2	结构层与典型结构组合设计 .....	243
7.3	沥青面层 .....	248
7.4	基层、底基层 .....	254
7.5	应力吸收层 .....	256
7.6	路基与垫层 .....	256
7.7	路面结构厚度 .....	257
7.8	设计指南相关说明 .....	258
<b>参考文献</b>	.....	265
<b>彩图</b>		

# 第 1 章 绪 论

1949 年,我国仅有公路 8.07 万千米,至 2011 年年底,全国公路总里程达到 410.14 万千米,经过 60 年的发展,公路里程增长了近 51 倍。随着公路里程的增长,道路质量的要求也随之提高。特别是从 1988 年沪嘉高速公路通车开始,中国高速公路建设进入了跨越式发展的阶段,随着公路技术的发展,路面结构设计技术、材料设计技术及质量控制技术都得到了质的提升。

## 1.1 半刚性基层沥青路面现状与发展

1978 年年底,我国一、二级公路总里程约 2 万千米,其中一级公路仅 200km。在一、二级公路建设中,基层材料主要以石灰土、水泥石为主,面层材料以薄层沥青(3~5cm)为主;设计理论以满足三级公路表面处治的双层弹性体系理论为基础;基层及面层材料基本上是按照经验进行材料生产。由于技术落后,沥青路面“当年修当年坏、一年修两年坏”的“极早破坏”现象极为普遍。

1980 年年底,针对极早破坏问题,为确保较高的路面质量,交通部公路科学研究所完成了《高等级公路路面修建技术的研究》工作,该研究成果为我国半刚性基层沥青路面结构的广泛应用奠定了基石,使半刚性材料由“一个石灰剂量到处用”的阶段,进入系统设计阶段。

1991 年年底,交通部公路科学研究所完成《高等级公路半刚性基层沥青路面成套技术》,并成功应用在京津塘高速公路中;1994 年完成的《半刚性基层沥青路面典型结构的研究》,这些成果使半刚性基层沥青路面成为我国高等级公路的主要路面结构形式,在此基础上修订《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014-1997)，“强基薄面”的设计理念初步形成。半刚性基层沥青路面的成功应用有效解决了路面承载能力不足、水稳定性和冰冻稳定性问题,尤其是与柔性路面相比,能节省大量的建设资金。同时,随着《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014-1997)、《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032-1994)、《公路沥青路面基层施工技术规范》(JTJ 034-1993)、《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-1994)的相继颁布实施,95% 的高等级公路都采用了半刚性基层沥青路面结构。

从 20 世纪 90 年代中期开始,我国高速公路建设速度一直保持高速增长,1996 年我国高速公路总里程仅 4771km,到 2011 年年底,高速公路通车里程以

8.5 万千米位居世界第二。“我们在 15 年的时间里，达到了美国 40 年的建设里程”，在高速公路建设过程中，我国经济一直保持高速增长，交通量的增加远远超过了预估水平，一个显著的特点是超载相当严重。虽然我国对半刚性基层沥青路面进行了深入的研究，但对半刚性基层的特点并未全面认识，如对半刚性基层沥青路面的裂缝问题、对半刚性基层沥青路面的寿命问题等。基于惯性思维，半刚性基层的优点被过于放大而缺点却被隐藏起来，导致我国高速公路路面结构过于单一。

1999 年后，以半刚性基层沥青路面为代表的高速公路路面早期破坏问题凸显，水损害、车辙和开裂等问题暴露出来。2003 年后，以寿命短为代表的破坏问题更加明显。

## 1.2 高速公路质量控制理念的现状与发展

沪嘉高速公路、沈大高速公路和京津塘高速公路的顺利通车，标志着中国高速公路的建设进入了黄金时期，以“强基薄面”为理念的半刚性基层沥青路面结构，引领了近 7 万千米高速公路路面结构的研究与建设。经过这些年的研究，对于路面结构的基本要求有了共识，即路面必须有足够的强度、耐久性、平整性及抗滑性能。

总体来说，我国高速公路质量控制理念经历了 3 个发展阶段，即以平整度为主的理念、以抗滑性能为主的理念和以耐久性为主的理念。

### 1. 以平整度为主要控制指标的理念

1999 年年末，我国高速公路里程达到 11650km，当时我们对高速公路的建设、管理、破坏模式及破坏机理只是窥豹之一斑，对高速公路质量的认识基本限于平整度，于是平整度成为路面质量控制的主要指标，甚至有的高速公路建设提出的口号是“成也平整度、败也平整度”。

2002 年河北工业大学吴秋正的《关于高等级公路路面平整度的研究》开始了我国对高速公路平整度的系统研究，随着研究的深入，使平整度的概念从朴素的工程经验走向理论指导。为了保证平整度，减少压实、增加沥青用量、采用悬浮密实级配等各种施工措施被广泛使用，却带来了严重的车辙、泛油等病害。

### 2. 以抗滑为主要控制指标的理念

随着高速公路通车里程的增加，交通量急剧上升，交通事故也大幅攀升。因此，遏制交通事故成为公路部门的重要任务，提高路面抗滑能力成为路面材料设计的主攻方向。以抗滑为主要目标的 AK 型沥青混合料被写入了《沥青路面设计

规范》及《公路沥青路面施工技术规范》。但统计结果表明,AK型沥青混合料对减少交通事故作用甚微,却带来了另一类大规模的破坏,即“一场大雨,千疮百孔”形式的水破坏。为了增加路面抗滑能力,与原有沥青混合料相比,AK型沥青混合料增加了大量的粗集料,导致沥青路面内部孔隙率过大,难以压实,水进入AK型沥青混合料后难以蒸发而滞留于路面,沥青路面很快出现坑洞、松散、推移等水破坏现象。

2003年长安大学李剑的《高速公路沥青路面早期水损害防治措施研究》及笔者于2002年完成的《沥青与集料界面黏附性研究》,使高速公路水损害问题的解决方法系统化、规范化。随后,AK型沥青混合料于2005年实施的《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)被取消。

### 3. 以耐久性为主要控制指标的理念

2005年年末,中国高速公路总里程达到4.1万千米,仅次于美国。通过对高速公路设计及施工进行深入研究,我们积累了丰富的经验,对平整度差、车辙、水损害等破坏现象有了比较深刻的认识。但我们发现修建的路面普遍达不到设计寿命。设计使用年限为15年的路面,早则一、两年,晚则七、八年就要普遍进行“开膛破肚”式的大修。因此,部分高速公路修建过程中提出的目标口号是“确保八年不大修”。客观分析,这种破坏的损失比车辙、水损害、裂缝等带来的损失更大。

按照目前工程实践及科学研究成果总结耐久性不足的原因大致有两个:一是中国高速公路超载、重载现象比较严重,半刚性基层沥青路面对重载交通比较敏感;二是基于对半刚性路面破坏机理的研究,交通部公路科学研究所对半刚性路面35种结构进行了研究,认为半刚性路面在荷载作用下不可能耐久,要解决耐久性问题,加厚沥青面层是必然选择。

但我国是发展中国家,经济承受能力有限,靠增加沥青面层厚度来保证路面结构长寿命必然受经济条件的制约。柔性路面的研究在我国处于起步阶段,许多问题需要解决,不能确保在短期内从根本上解决早期破坏问题。半刚性基层沥青路面在我国已使用多年,积累的科研成果丰富,施工经验全面,新材料、新工艺及新设计方法层出不穷,只是与之相应的材料参数、路面结构组合及力学分析并没有被系统的结合,若抛弃这些成果,实属半途而废。在我国有相当一部分半刚性基层沥青路面运行良好,这说明半刚性基层沥青路面结构形式本身并不是早期破坏的根源,这种路面结构形式需要在目前研究成果的基础上进一步完善。

2006年,长安大学王选仓教授完成了《高速公路长寿命路面典型结构研究》,同年,“长寿命路面关键技术研究”列入《公路水路交通“十一五”科技发展规划》重点研发方向。沙庆林院士完成的《重载交通长寿命路面关键技术研究



究》，开发了 SAC 型沥青混凝土级配及 CBG 型水泥稳定碎石级配。这些研究成果为提高我国高速公路路面的耐久性奠定了坚实的基础。

由平整到抗滑再到耐久，是中国高速公路路面质量控制理念的历程，也是我们对高速公路路面质量控制认识程度逐渐深入的过程。

### 1.3 沥青路面设计方法、材料及结构形式的现状与发展

我国解放前路面等级很低，路面结构设计参照美国 CBR 设计方法，主要依据 1940 年颁布的《公路工程设计准则草案》进行。中华人民共和国成立后，分别于 1951 年、1954 年、1958 年、1978 年、1986 年、1997 年及 2007 年完善并发布实施了 7 次沥青路面设计规范。

对于设计荷载，为不断满足交通量和交通荷载的增长，设计标准从 1958 年的 60kN 提高到 100kN，轮胎压力从 0.5MPa 提高到现行的 0.7MPa。

对于路面设计指标，从 1978 年规范建立了以回弹弯沉作为设计指标至今，虽然不断提高其设计标准，但对回弹弯沉作为路面设计指标是否适用一直存在着争议。

对于设计理论，虽然弹性层状体系理论在路面设计的应用中不断完善，但是弯沉指标仍是依据当时大量的低等级公路的使用经验确定的。尽管多次修订并增加了路面类型系数  $A_1$ ，公路等级系数  $A_2$  以及基层类型系数  $A_3$ ，但对于目前高等级公路和重载交通道路，现行沥青路面设计指标的标准仍未得到很好的验证。

对于路面材料，面层经历了泥结碎石、渣油路面、热拌普通混凝土、重交沥青混凝土和改性沥青混凝土阶段，设计方法经历了从根据经验确定油石比到马歇尔设计方法、Superpave 设计方法及 GTM 设计方法的阶段。基层材料则经历了天然砂砾、级配碎石、石灰土、水泥稳定土、石灰工业废渣综合稳定土等阶段，设计方法经历了从经验确定胶结料剂量到轻型击实法、重型击实法及振动击实法等的发展阶段。

### 1.4 本书内容概要

本书以半刚性基层沥青路面为主要研究对象，系统总结不同设计方法（马歇尔方法、Superpave 方法、GTM 方法；重型击实法、振动成型法等）设计的沥青混合料、水泥稳定碎石混合料路用性能、力学参数及适用条件，完善材料设计参数；提出半刚性基层沥青路面层位分工分析方法，系统研究黏层油品种与用量；提出半刚性基层沥青路面结构计算方法，并以此评价目前半刚性基层沥青路

面耐久性,提出基于耐久性的重载交通半刚性基层沥青路面材料设计方法、结构设计方法及典型路面结构。

### 1. 关于路面病害调查

公路建设者留给我们的是合格的资料和很快破坏的路面,为了针对性确定路面早期病害的成因,必须进行大量的病害调查工作并进行分析,因此,钻芯、坑探等成为分析破坏原因的重要手段。从病害调查得出以下结论。

(1) 任何一种破坏形式都很难说是单一原因造成的,表面上的车辙、裂缝、沉陷、松散等破坏与交通荷载、施工质量及地基处理是有关系的,而且任何路面的稳定离不开路基的稳定。

(2) 在软土地基上修建的半刚性基层沥青路面,其结构性早期破坏与疲劳破坏有直接联系,如何防止底基层疲劳破坏是在软土地基上修建半刚性基层沥青路面的一个关键点。

(3) 坑槽、裂缝、网裂、推移甚至结构性破坏等破坏现象与沥青路面孔隙率偏大有直接关系。给我们的启示是沥青路面早期破坏的预防应注意提高压实度,降低施工后路面的孔隙率,防止水的渗入。

### 2. 关于沥青混凝土

(1) 依据国内高速公路的实践,总结基于GTM的沥青混合料配合比设计新方法。主要表现:确定新的GTM设备参数、新的设计标准和设计指标、确定GTM方法设计沥青混合料的级配范围、提出了基于GTM的沥青混合料配合比计算方法、形成了GTM方法施工技术指南。

(2) 对目前国内流行的3种方法即马歇尔方法、Superpave方法及GTM方法进行沥青混凝土设计并对其路用性能进行全面比较。在原材料相同的前提下,GTM方法设计的沥青混合料抗车辙能力及抗水破坏能力较强,Superpave方法设计的沥青混凝土抗疲劳能力较强。

(3) 通过3种设计方法的比较,我们得到的认识:每种沥青混合料配合比设计方法设计的混合料密度、级配及胶结料含量各不相同,相应地,其路用性能也有差别。我们认为每一种方法都有其完整的设计理论体系,都是公路工作者智慧的结晶,都是从不同的方面、用不同的手段去认识沥青混合料及其性质,各有特点。目前没有任何一种方法设计的沥青混合料性能是完好无缺的,每种方法设计的沥青混合料表现出来的性质只是沥青混合料性能的一部分,只有在结构设计中充分吸收各自的优点,才能确保优点的充分发挥及缺点的有效避免。

(4) 提出沥青浸渍法实测沥青混合料最大理论相对密度及集料有效相对密度的实验方法。

(5) 系统比较常用的乳化沥青、乳化改性沥青、基质沥青及 SBS 改性沥青作为黏层的性质, 通过对比其抗车辙能力、抗剪能力及抗拉拔能力, 最终确定 SBS 改性沥青作为黏层无论从力学性质还是施工的方便程度都是最优的。

### 3. 关于水泥稳定碎石

(1) 提出基于振动成型的半刚性材料配合比设计新方法。主要表现: 提出了振动成型参数; 提出了新的设计标准和设计指标; 提出了基于振动成型的水泥稳定碎石级配范围; 在浙江、河北、天津等省市形成了振动成型方法的施工技术指南。

(2) 对比振动成型方法和传统设计方法设计的水泥碎石路用性能。特别是对不同设计方法、不同胶结料剂量、不同级配的水泥稳定碎石进行了大规模的抗疲劳能力对比研究。振动成型方法下, 二灰碎石抗疲劳能力较强; 其次是高水泥剂量的悬浮密实结构的水泥稳定碎石; 骨架密实结构的水泥稳定碎石抗疲劳能力较差, 但抗裂能力较强。

### 4. 关于级配碎石

(1) 提出基于振动成型的级配碎石配合比设计新方法。主要表现: 提出了振动成型参数、提出了新的设计标准和设计指标、提出了基于振动成型的级配碎石级配范围、形成了施工技术指南。

(2) 提出基于振动成型方法设计的重载交通级配碎石的柔性路面典型结构。

### 5. 材料与结构一体化思想及实现途径

(1) 根据沥青路面层位分工以及不同的设计方法设计的材料性质各有优劣的特点, 提出不同配合比设计方法设计的材料根据其功能充分发挥其优点的想法, 提出不同层位根据其分工采用不同配合比设计方法的思想。

(2) 以往的路面结构设计对材料性能考虑较少, 材料许多性能(如强度、抗疲劳、抗水破坏、抗冲刷、抗车辙、抗裂等)都无法体现在设计成果中。而现行设计方法需要的材料参数(其中最核心的参数是模量)与早期破坏的关系并不密切, 因此材料性能难以反映到结构设计中。本书从不同设计方法应用于路面结构不同层位的角度, 提出材料与结构一体化思想, 并提出基于一体化思想的重载交通沥青路面设计指南。

## 第 2 章 高速公路沥青路面主要病害及原因

我国高速公路沥青路面主要存在两种性质不同的病害现象。第一类病害是在沥青路面建成通车后不久发生的不同程度的早期破坏,这些病害表现为局部的坑槽、松散等水破坏和局部的车辙、推拥的流动性变形,这些破坏主要由桥面铺装损坏、路基不均匀沉降和构造物接头开裂等引起。第二种类型的病害是指沥青路面的使用寿命远远达不到设计年限,甚至在更短的年限内就发生基层松散的结构破坏,需要进行大修,而且这种大修不仅是对沥青面层维修,还必须同时维修基层和底基层,这种情况具有一定的普遍性和全局性,对社会和交通的影响较大。高速公路病害调查是研究高速公路病害类型、病害特征的前提和基础,通过分析几条有代表性的高速公路的病害情况,明确典型的半刚性基层沥青路面结构在重载交通条件下的病害产生原因。

### 2.1 车辙病害调查及原因

#### 2.1.1 车辙调查

A 高速公路是某地区煤炭及钢材运输主干线,属于重载交通,于 2008 年年底建成通车。该高速公路采用的沥青混凝土路面结构:4cm 细粒式 AC-13C 型沥青混凝土上面层+6cm 细粒式 AC-20C 型沥青混凝土中面层+7cm 粗粒式 AC-25C 型沥青混凝土下面层+36cm 水泥稳定碎石+18cm 石灰粉煤灰碎石,路面结构总厚度为 71cm。

2009 年夏季在局部路段出现较为严重的车辙、拥包等早期病害。重载车辆较少的半幅路段,车辙以压密变形为主;而对于重载车辆较多的半幅路段,失稳型车辙是永久变形的主要表现,而磨耗型车辙和结构性车辙较少,局部路段存在轻微的泛油现象。调查中还发现:由于道路横坡原因,外侧轮迹的车辙普遍大于内侧轮迹,差距一般在 20%左右;坡道上由于车辆爬坡速度较慢,车辙明显高于平缓路段。该高速公路车辙破坏典型照片见图 2-1。

##### 1. 主要调查内容

该高速公路病害特征明显,主要进行以下内容检测:①对路面破损状况进行描述;②对失稳型车辙进行断面切槽取样;③采用钻芯法检测沥青面层压实度;



图 2-1 A 高速公路车辙破坏类型典型照片

④取芯检查沥青面层和水稳碎石芯样的完整性和连续性；⑤对取得的沥青混合料进行沥青含量和矿料级配检测。

### 2. 车辙部位断面切槽观察

取代表性较强的失稳型车辙部位进行切槽，观察车辙横、纵断面及基层情况，该车辙切槽断面情况见图 2-2。由车辙部位切槽断面图可以明显看出：①该处车辙属于明显的失稳型车辙，半刚性基层没有发生任何病害，车辙主要发生在沥青路面的中上层；②沥青路面上面层厚度较薄，仅为 3.2cm，难以抵抗重载交通的反复作用，抗剪强度较低；③中面层空隙率较大，明显不密实，混合料整体强度偏低且容易在车辆荷载作用下补充压实。

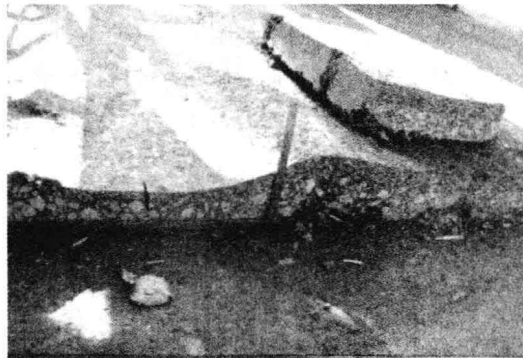


图 2-2 A 高速公路失稳型车辙切槽断面图

### 3. 取芯位置及芯样状态描述

在调查过程中，取代表性芯样 8 个，取芯位置及芯样描述见表 2-1，病害芯样照片如图 2-3~图 2-5 所示。

表 2-1 A 高速公路典型芯样外观描述及厚度汇总表

序号	桩号	位置	车道	路况、芯样外观及厚度描述	
1	K1+3000 路况较好	右幅	二车道	面层总厚度 16.5cm (上面层 3.8cm、中面层 5.6cm、底面层 7.1cm), 芯样完整且较密实。水泥稳定碎石层厚度 18.0cm, 芯样完整。沥青面层与水泥稳定碎石基层之间联结紧密	
2	K1+350 压密型车辙	左幅	二车道	面层总厚度 15.7cm (上面层 3.2cm、中面层 5.3cm、底面层 7.2cm), 芯样完整, 中下面层空隙较多。水泥稳定碎石层厚度 18.2cm, 芯样完整。沥青面层与水泥稳定碎石基层之间脱层	
3	K3+120 路况较好	右幅	二车道	面层总厚度 16.3cm (上面层 3.7cm、中面层 5.6cm、底面层 7.0cm), 芯样完整, 下面层空隙较多。水泥稳定碎石层厚度 17.8cm, 芯样完整。沥青面层与水泥稳定碎石基层之间脱层	
4	K3+420 压密型车辙	左幅	二车道	面层总厚度 15.8cm (上面层 3.4cm、中面层 5.2cm、底面层 7.2cm), 芯样完整, 中、下面层空隙较多。水泥稳定碎石层厚度 17.4cm, 芯样完整。沥青面层与水泥稳定碎石基层之间脱层	
5	K6+120 磨耗型车辙	左幅	二车道	面层总厚度 15.9cm (上面层 3.3cm、中面层 5.6cm、底面层 7.0cm), 芯样完整且密实。水泥稳定碎石层厚度 17.6cm, 芯样完整。沥青面层与水泥稳定碎石基层之间联结紧密	
6	K7+078 失稳型车辙	左幅	二车道	面层总厚度 15.9cm (上面层 3.5cm、中面层 5.6cm、底面层 6.8cm), 芯样完整, 中下面层空隙较多。水泥稳定碎石层厚度 17.5cm, 芯样下部松散。沥青面层与水泥稳定碎石基层之间脱层	
7	K9+000 失稳型车辙	左幅	二车道	面层总厚度 15.9cm (上面层 3.5cm、中面层 5.6cm、底面层 6.8cm), 芯样完整, 中下面层空隙较多。水泥稳定碎石层厚度 17.6cm, 芯样上部及下部松散。沥青面层与水泥稳定碎石基层之间脱层	
8	K15+000 压密型车辙	左幅	二车道	面层总厚度 15.7cm (上面层 3.3cm、中面层 5.6cm、底面层 6.8cm), 芯样完整, 中下面层空隙较多。水泥稳定碎石层厚度 17.8cm, 芯样完整。沥青面层与水泥稳定碎石基层之间脱层	
厚度平均值/cm	上面层		中面层	下面层	水稳碎石上基层
	3.5		5.5	7.0	17.7

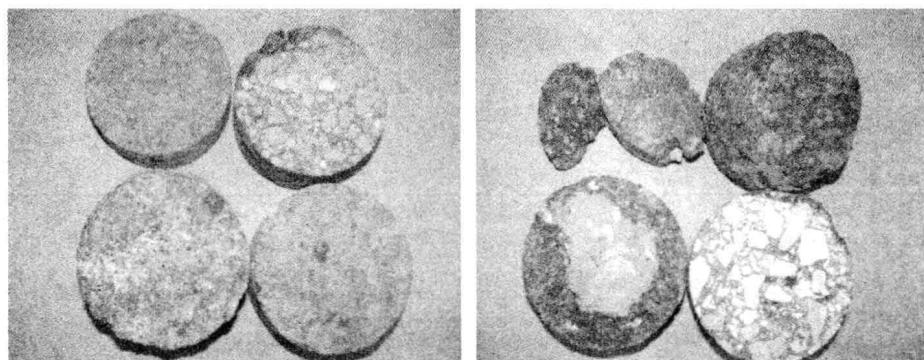


图 2-3 芯样断面图 (与水稳碎石基层脱层) (见彩图)

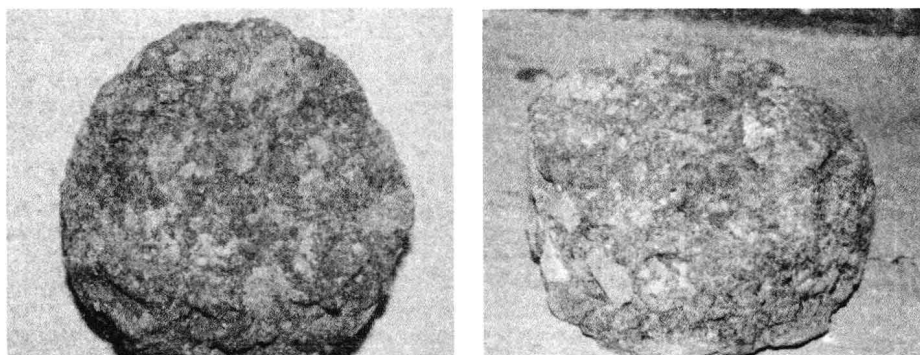
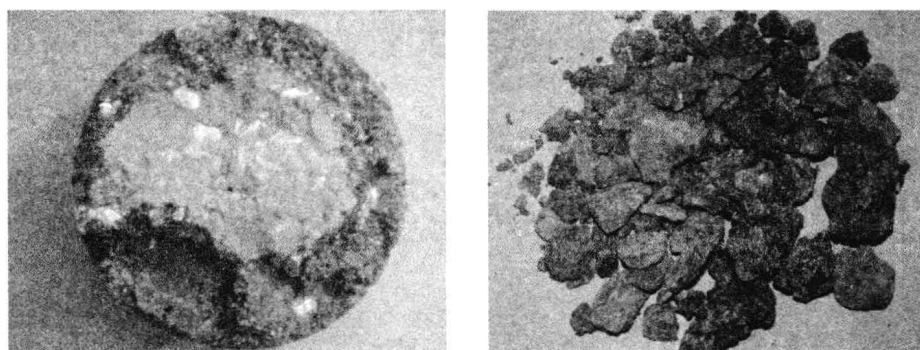


图 2-4 底面层芯样图 (含泥量大且空隙明显) (见彩图)



(a) 下面层与基层间黏结不连续

(b) 混合料内部黏结力弱

图 2-5 A 高速公路芯样破坏类型典型照片 (见彩图)

#### 4. 面层压实度及空隙率推算

对钻取的 8 个芯样分别测定毛体积相对密度, 根据施工单位提供的部分标准密度计算出各层压实度, 同时采用沥青浸渍法在室内实测每个芯样的理论最大相对密度, 由此计算出各个芯样的实际空隙率。施工单位提供的标准密度和沥青浸渍法实测得到的理论最大相对密度见表 2-2, 芯样毛体积相对密度、压实度、空隙率测试结果见表 2-3。

表 2-2 施工单位提供的标准密度及沥青浸渍法实测得到的理论最大相对密度

序号	桩号	位置	车道	施工方提供标准密度 (马歇尔击实密度)			沥青浸渍法实测理论最大相对密度		
				AC-13	AC-20	AC-25	AC-13	AC-20	AC-25
1	K1+3000	右幅	二车道	2.415	2.441	2.479	2.591	2.650	2.675
2	K1+350	左幅	二车道	2.422	2.450	2.472	2.593	2.652	2.662
3	K3+120	右幅	二车道	2.418	2.449	2.477	2.594	2.648	2.672

续表

序号	桩号	位置	车道	施工方提供标准密度 (马歇尔击实密度)			沥青浸渍法实测理论最大相对密度		
				AC-13	AC-20	AC-25	AC-13	AC-20	AC-25
4	K3+420	左幅	二车道	2.421	2.453	2.479	2.594	2.655	2.673
5	K6+120	左幅	二车道	2.419	2.457	2.481	2.602	2.661	2.681
6	K7+078	左幅	二车道	2.417	2.449	2.471	2.601	2.655	2.673
7	K9+000	左幅	二车道	2.420	2.451	2.476	2.596	2.649	2.673
8	K15+000	左幅	二车道	2.424	2.447	2.480	2.604	2.652	2.683

表 2-3 沥青面层芯样毛体积相对密度、压实度、空隙率测试结果

序号	桩号	位置	车道	毛体积相对密度			压实度/%			空隙率/%		
				AC-13	AC-20	AC-25	AC-13	AC-20	AC-25	AC-13	AC-20	AC-25
1	K1+3000	右幅	二车道	2.415	2.428	2.445	100.0	99.5	98.6	6.8	8.4	8.6
2	K1+350	左幅	二车道	2.382	2.376	2.388	98.3	97.0	96.6	8.1	10.4	10.3
3	K3+120	右幅	二车道	2.401	2.429	2.443	99.3	99.2	98.6	7.4	8.3	8.6
4	K3+420	左幅	二车道	2.371	2.393	2.381	97.9	97.6	96.0	8.6	9.9	10.9
5	K6+120	左幅	二车道	2.419	2.387	2.368	100.0	97.2	95.4	7.0	10.3	11.7
6	K7+078	左幅	二车道	2.381	2.368	2.369	98.5	96.7	95.9	8.5	10.8	11.4
7	K9+000	左幅	二车道	2.378	2.377	2.401	98.3	97.0	97.0	8.4	10.3	10.2
8	K15+000	左幅	二车道	2.388	2.392	2.379	98.5	97.8	95.9	8.3	9.8	11.3
平均值				—	—	—	98.9	97.7	96.8	7.9	9.8	10.4
变异系数/%				—	—	—	0.81	1.07	1.28	8.89	9.65	11.73

由表 2-2 及表 2-3 整理可得表 2-4 和表 2-5。

表 2-4 以施工方提供的马歇尔击实成型试件标准密度计算压实度结果

层位	压实度范围/%	压实度平均值/%	变异系数/%
上面层	97.9~100.0	98.9	0.81
中面层	96.7~99.5	97.7	1.07
下面层	95.4~98.6	96.8	1.28

表 2-5 沥青浸渍法实测各个芯样的理论最大相对密度来计算空隙率结果

层位	空隙率范围/%	空隙率平均值/%	变异系数/%
上面层	6.8~8.6	7.9	8.89
中面层	8.3~10.8	9.8	9.65
下面层	8.6~11.7	10.4	11.73

### 5. 沥青混合料沥青用量及级配检测

取其中有代表性的 4 个芯样在室内对其实际沥青用量和矿料级配进行检测, 将检测数据整理绘制级配曲线图见图 2-6~图 2-8。



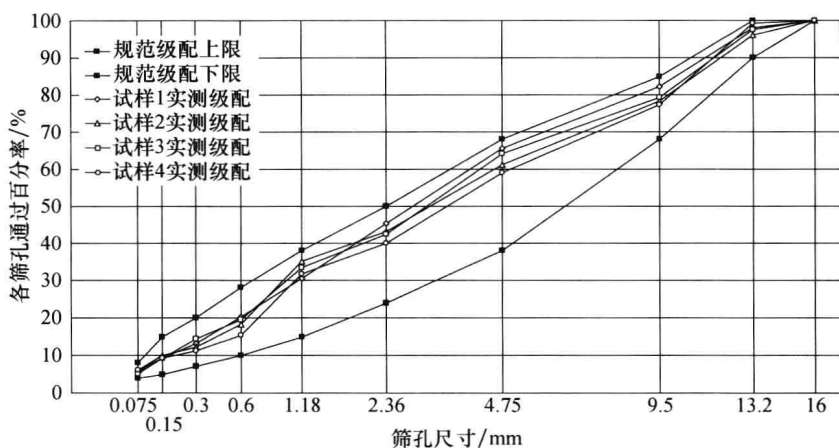


图 2-6 A 高速公路上面层实际矿料级配图

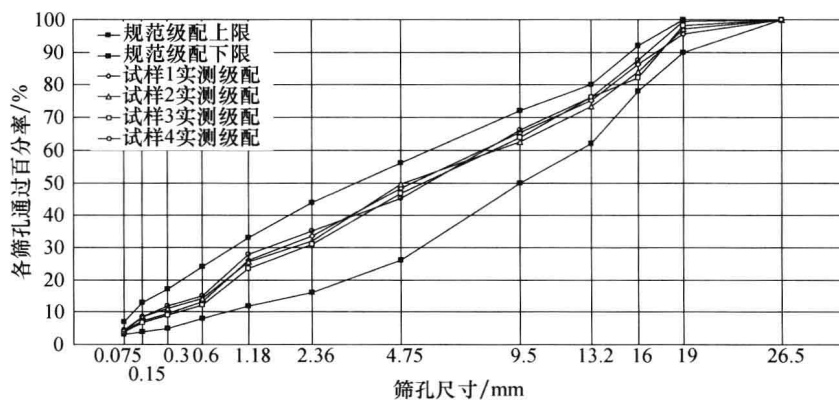


图 2-7 A 高速公路中面层实际矿料级配图

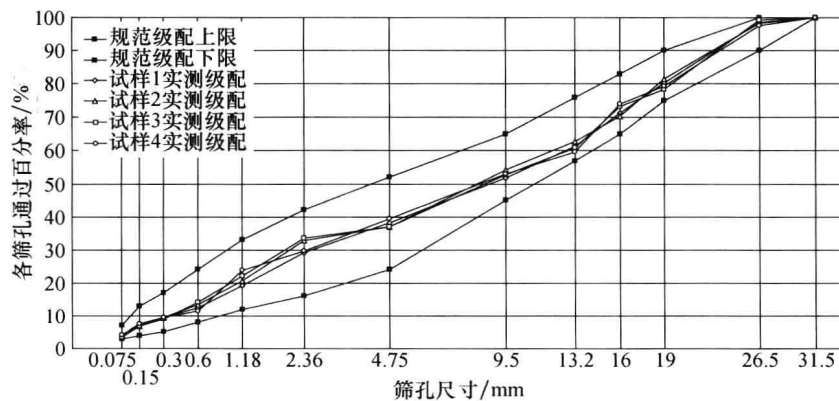


图 2-8 A 高速公路下面层实际矿料级配图