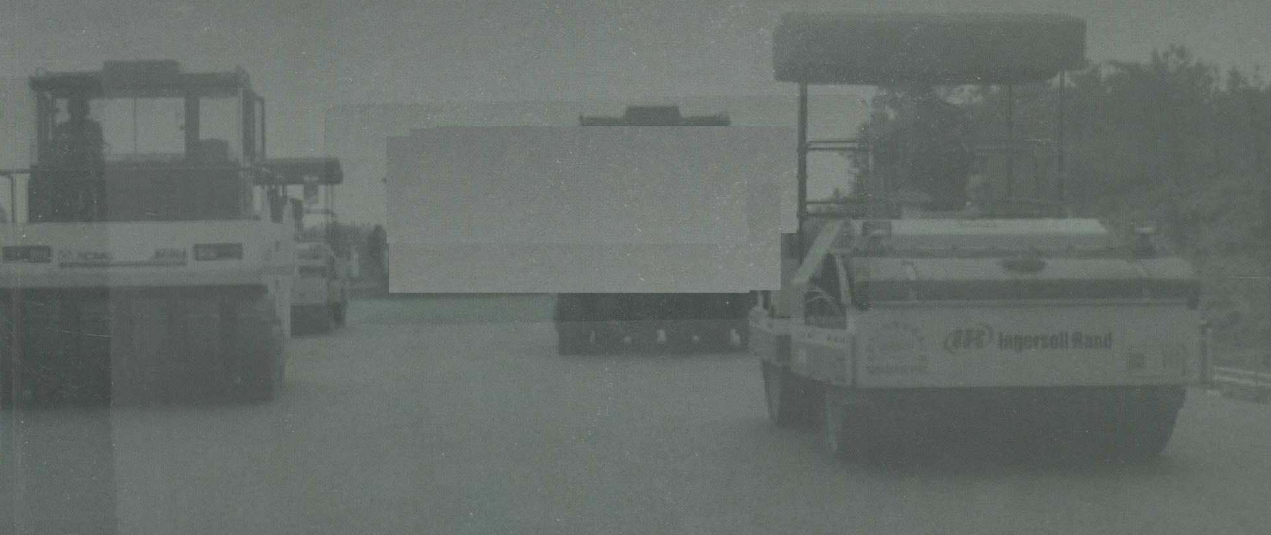


Quality Control Techniques for Asphalt  
Pavement Construction Process

# 沥青路面施工质量 过程控制技术

郭大进 沙爱民 等 著



人民交通出版社  
China Communications Press

交通科技丛书

# 沥青路面施工 质量过程控制技术

郭大进 沙爱民 等 著

人民交通出版社

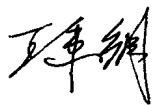
# 序

沥青路面具有平整度好、噪声低、舒适性高等特点,是我国高等级路面的主要形式。沥青路面施工涉及面广,影响因素多,管理难度大,是决定路面最终质量的关键过程。施工质量控制不良则是导致路面早期病害的主要原因之一。

2003年开始,交通运输部公路科学研究所和长安大学联合国内数十家建设、管理、科研单位依托交通运输部西部交通科技项目“沥青路面工程质量过程控制研究”,开展了沥青路面施工质量过程控制技术系统研究。通过对路用材料的变异性分析和质量控制、路面质量快速无损检测手段应用、施工管理水平评估、质量过程控制系统开发等内容的深入研究,解决了困扰沥青路面施工人员多年的施工质量稳定性控制问题,为施工单位和监理单位有效组织施工和监理提供了参考,为质量监督和业主部门实时监督和管理提供了有利支撑。该项目成果率先在江苏、安徽等省区进行了试点,又在贵州、云南、陕西、山西、河北等省的二十余条高速公路施工中推广应用,取得了良好的经济和社会效益,项目成果获得2008年度中国公路学会一等奖。

本书内容是项目研究者科学求实态度的体现,是项目研究成果的荟萃,是我国沥青路面施工过程研究不可多得的重要文献。希望通过本书的出版发行,能够激发广大沥青路面工程技术人员的责任感和使命感,促进他们加强管理,精心施工,铺筑出更高质量、更高水平的沥青路面,切实提高道路的质量和道路运行的安全性与舒适性,为促进我国公路交通事业发展做出更大的贡献。

是为序,以飨读者。



2010年12月

# 前 言

近年来,我国高速公路迅猛发展,高速公路通车里程迅速增加。截至 2009 年底,我国已修建了 6.51 万公里的高速公路,其中绝大多数为沥青路面。在交通行业快速发展和深刻变革的新形势下,公路建设发生了许多变化。筑路材料不断推陈出新,筑路机械不断升级换代,施工工艺不断创新。世界各国对沥青路面进行了更加深入的研究,包括我国在内的许多国家都对沥青路面相关规范和技术标准做了修订和完善。

本书在总结我国现有高速公路建设的成功管理经验基础上,运用理论分析、数理统计、无损检测和工程实际相结合的手段与方法,从材料、设备、人员、工艺等多角度、全方位地对沥青路面原材料、沥青混合料、沥青路面拌和、运输、摊铺、碾压过程中的过程控制手段和方法进行了系统的研究,力图为修订、完善技术规范中有关过程控制的措施提供强有力的依据,保证沥青路面施工质量,减少路面早期损坏。本书既注重实用性,又注重内容的深度和广度;既强调重点,又兼顾系统性。

作为沥青路面施工质量过程控制的一部分,我们开展的研究仅是沧海一粟,真正实现全过程质量控制任重道远。希望本书能够促使广大施工技术人员和管理人员清楚地面对质量过程控制科学和技术的现状,努力提高施工质量和施工技术及管理水平。

本书依托西部交通建设科技项目“沥青路面工程质量过程控制的研究”项目(项目号:200331822334)的研究成果,从沥青路面施工质量变异性、沥青路面施工全过程控制、新型快速无损检测技术的应用、质量过程控制管理等角度进行阐述,以期为广大沥青路面设计、施工、监理及管理人员提供有益的参考。

本书共 7 章,其中第 1 章、第 7 章由郭大进、孙建华、郝中海(交通运输部公路科学研究院)撰写;第 2 章由路凯冀(交通运输部公路科学研究院)、余崇俊(贵州省教科所)、扈惠敏(合肥工业大学)撰写;第 3 章由沙爱民(长安大学)、扈惠敏撰写;第 4 章由彭余华(长安大学)、沙爱民撰写;第 5 章由郭大进、杭伯安撰写;第 6 章由

李海滨、沙爱民、周文欢撰写。全书由郭大进、沙爱民、周文欢修改和定稿,并由美国佐治亚理工学院赖森荣教授、同济大学孙立军教授审阅。北京路桥通国际工程咨询有限公司李兴海、喻东晓、吴文娟、荆禄波同志对本书也有所贡献,感谢他们的辛勤劳动。

本书撰写历时两年,慨叹我国沥青路面质量过程控制技术研究的发展日新月异,书中参考和引用了一些研究成果,在此对相关研究者表示感谢。由于作者的水平和时间有限,书稿中的错误在所难免,敬请大家批评指正!

作 者

2010年3月

# 目 录

<b>第 1 章 沥青路面施工质量过程控制技术概论</b> .....	1
1.1 沥青路面施工质量变异性 .....	2
1.2 沥青路面施工新设备与工艺 .....	3
1.3 快速无损检测设备的应用 .....	3
1.4 路面施工质量管理技术 .....	4
<b>第 2 章 沥青路面原材料质量过程控制</b> .....	8
2.1 集料质量过程控制 .....	8
2.2 沥青质量过程控制.....	35
2.3 矿粉质量过程控制.....	44
<b>第 3 章 沥青混合料生产质量过程控制</b> .....	50
3.1 沥青含量变异性.....	50
3.2 矿料级配变异性.....	55
3.3 沥青混合料出场温度变异性.....	74
3.4 沥青混合料生产质量过程控制措施.....	81
<b>第 4 章 沥青混合料运输和摊铺质量过程控制</b> .....	87
4.1 沥青混合料运输过程质量控制.....	87
4.2 沥青混合料摊铺过程质量控制.....	91
4.3 沥青混合料离析 .....	106
4.4 红外热像技术在沥青混合料温度离析监控中的应用 .....	111
4.5 转运技术在沥青混合料摊铺中的应用 .....	118
<b>第 5 章 沥青路面压实成型质量过程控制</b> .....	136
5.1 沥青路面压实度变异性分析 .....	136
5.2 沥青路面压实成型质量过程控制措施 .....	147
5.3 沥青路面平整度变异性分析 .....	153
5.4 无核密度仪(PQI)的应用 .....	157
5.5 智能压路机的应用 .....	163

## 沥青路面施工质量过程控制技术

<b>第 6 章 沥青路面工程质量过程控制指标体系与评价方法</b> ·····	170
6.1 沥青路面工程质量过程控制指标体系的建立 ·····	170
6.2 沥青路面质量过程评价方法 ·····	178
6.3 沥青路面工程质量过程评价系统软件编制 ·····	186
<b>第 7 章 沥青路面施工质量过程控制在监督管理中的应用</b> ·····	193
7.1 概述 ·····	193
7.2 沥青路面施工质量监督管理模式的发展现状 ·····	194
7.3 施工过程质量监督的基本方法 ·····	195
7.4 沥青路面施工质量控制图在质量管理和监督中的应用 ·····	206
7.5 沥青路面工程质量过程控制发展展望 ·····	214
<b>参考文献</b> ·····	216

# 第 1 章 沥青路面施工质量过程 控制技术概论

改革开放 30 年来,我国的交通基础设施建设,尤其是高速公路建设得到迅猛发展。截至 2009 年年底,全国高速公路通车里程达 6.51 万公里,仅次于美国,位居世界第二。由于沥青路面具有行车舒适、噪声小、易于机械化施工及维护等优点,因此成为我国高速公路路面结构的主要形式。

在沥青路面理论研究和工程应用领域,我国广大道路工程科技工作者从我国建设实际需要出发,在路面设计理论、施工技术、路用材料、维修养护等领域进行了较为深入的研究。在路面设计方面,随着计算机技术的飞速发展,有限元数值分析水平大大提高,新的结构设计分析理论进一步提高了结构设计的可靠性。在材料方面,沥青混凝土级配类型大大改进,许多性能优良的新型沥青混凝土级配,如 SMA(沥青玛蹄脂碎石)、OGFC(开级配磨耗层)、SAC(多碎石)、ARAC(橡胶沥青混合料)相继应用,大大丰富了沥青混凝土类型。在施工方面,大量先进的拌和、摊铺和碾压设备使沥青路面施工水平得到大幅提升。拌和设备趋于大型化,高产量的拌和楼得到应用;摊铺机由液压手动控制发展为全液压电脑自动化控制;碾压设备则向着重型化、智能化的方向发展。

然而,我国在沥青路面施工质量控制和管理方面相对薄弱,严重制约了沥青路面施工水平的提高。施工质量控制既是一个技术问题,也是一个管理问题。如何保证施工单位在路面施工过程中贯彻设计意图,保持施工质量的均匀性与稳定性是提高沥青路面工程质量,延长路面使用寿命的关键,也是目前公路界面临的一个重大挑战。

施工质量控制一般分为事前控制(正式施工前进行的质量控制)、事中控制(施工过程中进行的质量控制)和事后控制(对施工各阶段产品进行的质量检验)三个阶段,体现了全面质量管理的特点。我国沥青路面施工中各项指标的质量检测和评定标准都是遵照规范的要求进行的。规范中确定的指标基本上都是基于路面形成最终的产品而确定的衡量指标,因此往往检测到不合格指标时已于事无补,错过了在路面施工生产过程中进行改进的最佳时机。对于沥青路面施工质量控制而言,确定有效的质量过程控制参数,通过先进的检测方法和反馈改进措施,针对沥



青路面施工进行全过程质量控制,对提高沥青路面工程质量具有非常重要的现实意义。

沥青路面施工质量过程控制就是通过同步采集沥青路面施工过程中直接影响工程质量的重要检测数据,如关键工序、主要工艺、重要人员及主体设备的相关评价参数等,并及时进行分析,根据判别出的施工质量结果,实时判定操作者相关的各项指标是否符合要求,及时反馈、改进以减少施工过程中的质量变异性,变事后返工为过程中有效控制的一种方法。因此,沥青路面工程质量过程控制与设计、施工、监理、科研、业主等诸多单位有着密切的联系,从多个角度认真分析影响沥青路面工程质量的因素,加强过程控制,必将促进沥青路面工程质量的提高。

### 1.1 沥青路面施工质量变异性

沥青路面施工质量变异性控制是提高沥青路面施工水平、防止路面早期破坏的重要环节。在沥青路面施工过程中,油石比、矿料级配及压实度等是变异性较大的指标,同时也是沥青路面施工过程控制中最重要的控制指标。施工单位通常是按照现行的施工规范将这些指标控制在规定的范围内,并没有统计这些指标的变异性对施工质量的影响。指标变异性的增大反映出路面施工后的实际结构与设计的结构间差异的增大。大量工程实践和统计分析表明,即使是路面交竣工验收合格的高速公路,指标变异性大的路段通常比指标变异性小的路段更早发生路面损坏的情况。

检测指标的变异性是指由于试验条件与试验误差及材料和施工过程中各因素的影响,使各次测定值有所不同的性质。对于沥青路面施工,变异性是各种变异性的总和,它包括取样的不均匀(缺乏代表性)、试验方法的问题以及材料和施工过程的变异性等。检测指标的总的变异性可用下式表示:

$$S_{QC/QA}^2 = S_S^2 + S_t^2 + S_{mat./con.}^2 \quad (1-1)$$

式中: $S_{QC/QA}$ ——检测指标的总的变异性;

$S_S$ ——取样代表性不足造成的变异性;

$S_t$ ——试验方法精度方面造成的变异性;

$S_{mat./con.}$ ——材料及施工过程本身的变异性。

美国国家沥青研究中心(NCAT)的一项研究指出,在总的变异性中,取样变异性占 23%,试验方法带来的变异性占 43%,材料和施工变异性本身占 34%。

沥青路面参数变异性分析过程,首先需要参数样本进行长期而有计划地采集,然后采用数理统计方法进行数据处理。这种分析过程有助于对整个施工过程

进行系统的研究和大范围、长期的质量评价。本书对沥青路面施工变异性进行了系统的研究,在后续各章中相应介绍了一些关键指标的变异性分析及减小参数的变异性的措施。

### 1.2 沥青路面施工新设备与工艺

沥青路面质量的提高是一个系统工程,涵盖了路面材料质量的保证、施工机械的选型与合理配置、先进的施工工艺、完善的施工管理等诸多方面。近年来,随着沥青路面施工规模化、集成化及信息化,各学科的融合交叉使公路施工设备正向大型化、自动化及智能化发展。

在压实过程监测技术方面,德国 BOMAG 公司已将网络传输和卫星定位系统(GPS)应用于相应的产品上。通过此系统,压路机的位置可以被非常精确地记录下来。它通过安装在压路机上的 GPS 脉冲装置,将整机的工作情况,如整机的工作区域、工作轨迹、碾压压实度等 GPS 信号,传输到空间卫星上;空间卫星将汇集到的信息形成图像或数据信息重新发送到安装在压路机上的 GPS 接收装置上,并在 PC 机上显示;并可同时通过地面的 GPS 信号装置向压路机发出指令,启动自动调幅机构,随时调节工作激振力的大小,以达到路面规定的密实度要求。

智能化和系统化不仅是未来工程机械发展的重要趋势,也是解决当前施工中存在的设备配置不合理、过程控制反馈改进措施不及时等问题的有效途径。本书主要结合目前我国沥青路面施工装备的水平,开展了新设备和新工艺应用的相关研究。

### 1.3 快速无损检测设备的应用

近 20 年来,国际上路面检测与评价技术的发展十分迅速。其总体趋势是:由人工检测向自动化检测技术发展,由破损类检测向无损检测技术发展,由一般技术向高新技术发展。例如,机电一体化技术及高精度传感器被应用于路面弯沉检测;激光技术被应用于路面断面检测;雷达技术被应用于路面厚度检测;模式识别与图像处理技术被应用于路面病害观测等。

弯沉是反映沥青路面结构性能的重要指标,因此路面弯沉检测技术的研究开发一直在国际上得到广泛的重视。传统的贝克曼梁已逐步被自动弯沉仪、振动式弯沉仪和落锤式弯沉仪 FWD 所取代,特别是测速快、精度高、操作方便的 FWD 测试系统,已经在世界上 60 多个国家得到广泛应用。FWD 与实用化的路面结构反算软件相结合,使路面弯沉检测与承载力评价的科学化水平提高到一

个新的阶段。

近年来,我国大量引进了国外的一些先进的路面断面测试设备,如丹麦的单激光断面仪、澳大利亚的ARRB手推式断面仪等。随着测试设备的发展,IRI值和VBI值在我国也开始大量采用,同时各指标之间的相关关系的研究也在大量进行。许多研究表明,不同平整度测试指标之间具有良好的线性关系,但各种不同测试设备在不同研究中的回归系数存在差异。

路面雷达是利用电磁波在路面结构层和路基中的传播和反射,根据回波的传播时间、波幅与波形,确定目标体的空间位置或结构。路面雷达用于路面测试最早出现于20世纪70年代,20世纪80年代后期在设备技术上和应用水平上有了很大的进步。目前,国内约有200余台路面雷达,且数量逐年增加。这些设备的品牌不同,主要产于美国和欧洲,但测试原理基本相同。可以说,路面雷达为路面厚度测试、相对高含水区域检测、结构层完整性判定等提供了有效的手段。

在压实度检测方面,目前国内外常用的压实度检测方法主要有钻孔取芯法和核子密度仪法。钻孔取芯法效率低,对沥青路面结构造成破损,且代表性差;核子密度仪能够对路面实行无损的快速检测,但是由于含有放射源,使用保管不当会对人体健康造成一定危害,测试结果误差较大。近年来,基于材料介电常数快速测量的无核密度仪PQI(Pavement Quality Indicator,PQI)逐渐得到应用。

PQI根据电磁波测试沥青混合料介电常数的原理进行压实度检测,具有快速无损的优点;PQI法与现场钻芯法检测的压实度误差一般小于1%,说明PQI具有较高的测试精度;由于PQI的检测频率可大大提高,其检测结果更具代表性。因此,PQI可用于沥青面层压实质量的快速、可靠、安全和无损的检测与评价。有研究表明,PQI检测结果很好地反映了沥青路面的压实质量及均匀性。横向压实度检测结果对比分析表明,摊铺机两侧的压实度较中部的压实度低,二者之差可有效地反映沥青路面施工的离析程度。因此,PQI快速检测评价沥青路面压实质量方法可广泛应用于沥青路面施工过程的质量控制。

随着我国公路建设的迅速发展,道路检测技术越来越受到有关部门的重视。检测水平的提高对实现路面质量过程控制起着非常重要的作用。本书对上述几种新型检测设备在沥青路面质量过程控制中的应用进行了研究和分析。

### 1.4 路面施工质量管理技术

沥青路面施工质量管理的技术体系由质量策划、质量控制和质量保证三个部分组成。它涵盖了沥青路面施工质量的过程控制、完工路面的质量验收、评定等方面的内容,涉及材料性能、施工机械、施工工艺过程的质量控制、检查和验收等方面

的问题。

有关路面施工质量管理技术的研究,美国一直处于世界领先水平。1951年,美国首先推出了原材料质量控制的规范手册。该规范将统计学原理引入材料质量的评价体系,这为材料质量评价的科学性提供了理论依据。1956年,美国 AASTO(现为 AASHTO)铺筑了沥青路面试验路,记录了大量的有效数据。这一系列试验数据的整理、分析与研究,为后期质量保证规范的推出提供了可靠的现场分析数据。

到20世纪60年代,基于统计学原理的质量控制方法得到较大的发展和应用,美国许多州的交通部门、科研单位与院校都开展了与质量控制相关的研究工作。例如,Edward R. Oglio 等人采用数理统计算法分析了混合料的试验方法、取样程序和材料的变异性;Stephens 开展了取样变异性的研究。

1968年,在美国新泽西州出现了第一个具有现代意义的质量控制/质量保证 QC/QA(Quality Control/Quality Assurance)的规范纲要,并付诸于应用。这一纲要明确了质量控制和质量保证的责任方。其中,质量控制由承包商来完成,而业主主要负责质量验收(质量保证)。这样做的主要目的是将更多的管理权利下放给承包商,让承包商主动参与到质量管理中来,有助于提高沥青路面的施工质量。与此同时,质量控制图也被引入到沥青路面施工质量控制中,虽然在当时人们对这类质量控制方法的应用效果持一定的保留态度。

20世纪70年代,基于统计学方法的质量保证规范的应用逐渐在美国受到重视。其中,在康涅狄格,Bowers 和 Lane 应用统计规范(基于随机取样和相关统计参数的一种)进行了路面施工质量控制,并取得了很好的效果。

在20世纪80年代,美国国内已经有许多州建立了相应的 QC/QA 规范纲要,但是由于受到各方面原因的限制,特别是由路面质量评价指标和路用性能的相关性不好,QC/QA 规范并没有得到实际应用。

进入20世纪90年代,美国 SHRP 研究成果的应用和基于使用性能规范的出现,使质量评价指标和道路使用性能在一定程度上得到统一,这才使 QC/QA 规范得到肯定和接受,并逐步应用于沥青路面的工程实践之中。

国外沥青路面质量管理体系主要是指质量控制和质量保证(QC/QA)规范,也被简称为质量保证 QA(Quality Assurance)规范。根据美国交通研究中心 TRC(Transportation Research Center)的 E-C074 号通告函《公路质量保证条款术语表》(Glossary of Highway Quality Assurance Terms)中的定义,质量保证 QA 是为保证产品和服务能够正常服务和运行所采取的有计划性、系统性的方法和措施。这个定义表达了质量保证一个整体的观念,包括质量控制、验收和独立保证。

2002年,美国怀俄明州立大学的调查研究显示,在45个受调查的州交通部门中有40个州拥有自己的QC/QA规范纲要,并已经应用到沥青路面施工建设中,有24个州已进行了该项目体系的评价。大部分评价结果认为,QC/QA规范纲要的应用使本州的沥青路面质量得到了提高。其中,科罗拉多州则从各项单一指标的角度分析了QC/QA体系对沥青路面质量提高的效果,认为QC/QA体系的使用显著提高了沥青路面的生产施工质量。

2005年,美国NCHRP联合攻关项目的调查结果显示,美国有一半以上的州交通局以满足规范的比率PWL(Percent Within Limits)或损坏的比率PD(Percent Defective)作为主要的质量度量方法,进行路面质量的评价。

我国沥青路面施工质量控制最早在京津塘高速公路修建时,在世界银行聘用的外国监理工程师的指导下得到应用,工程结束后对施工质量控制有详细的介绍。在此基础上,1994年交通部<sup>①</sup>将质量控制技术列入《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032—94),对该方法原理及应用进行了简要介绍,并称之为施工质量动态管理方法。2004年出台的《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004),对与工程质量有关的管理和检查验收的技术方面作出了要求。

为确保公路工程施工质量,交通部于1994年颁布了质量评定行业标准《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—94)。该规范经过1998年和2004年两次修订,形成了《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2004)。该规范详细规定了沥青路面质量验收评定指标及相应检测方式,完善了质量分级方法及标准。

现在几乎所有的道路建设项目都建有自己的QC/QA系统。然而,由于各方面的原因,大多数QC/QA系统不完善,其运作效果不理想,主要表现在体系和方法不规范,指标设置不合理和指标水平定位依据不足,检测频率的设定不能反映施工水平的影响,评价方法采用点对比的方法不能反映保证率的概念,有些检测指标和数据不能真实反映实际施工质量等方面。

本书将重点阐述质量保证体系和运用统计学方法进行质量控制和质量保证的手段。

本书的结构如图1-1所示。第1章概述了沥青路面施工质量过程控制技术内容组成。第2章~第5章阐述了沥青原材料和混合料生产、拌和、运输、摊铺和碾压过程的质量过程控制方法。第6章介绍了沥青路面质量过程指标体系与评价方法及控制软件的情况。第7章介绍了有关沥青路面工程质量控制在监督管理中的应用。

---

<sup>①</sup>现为交通运输部。全书同。

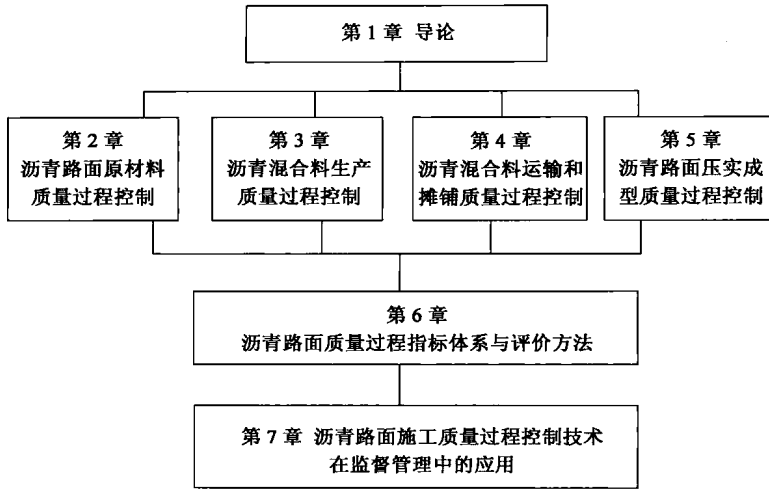


图 1-1 本书的结构

## 第2章 沥青路面原材料质量过程控制

本章以沥青路面原材料质量变异性分析为基础,通过对我国部分省区高速公路原材料的开采和加工过程的研究以及对原材料的质量过程控制指标的分析,研究了沥青路面原材料质量过程控制指标对路用性能的影响,对比了影响沥青路面施工质量不同指标的变异水平,揭示了产生变异性的原因。

### 2.1 集料质量过程控制

集料作为沥青混合料的重要组成部分,是沥青混合料力学性能的主要来源,同时也是影响沥青路面质量的重要因素。路用集料以 2.36mm 粒径为界,分为粗集料与细集料。粗集料通过颗粒的嵌锁作用和骨架作用在沥青混合料中提供结构自身稳定性以及抵抗外力作用产生的变形。粗集料通常要求采用石质坚硬、清洁、不含风化颗粒、形状接近立方体颗粒的碎石。我国沥青路面中,下面层多采用石灰岩石料,上面层多采用玄武岩、辉绿岩等强度高、耐磨性能好的石料。细集料通过增加颗粒间的嵌锁作用和减少粗集料间的空隙来增加沥青混合料的抗变形的整体稳定性。常见的细集料有机制砂、石屑等。

决定集料质量好坏的两个重要因素:一是集料的资源特性;二是集料的生产加工特性。集料的资源特性是岩石的矿物组成、结构和构造的综合反映,是决定岩石路用性能的根本内因;集料的加工特性是保证集料具有满足最终产品性能要求的特性,二者缺一不可。与资源特性相关的技术指标包括压碎值、洛杉矶磨耗损失、视密度、对沥青的黏附性、坚固性、软石含量、石料磨光值等;与加工特性相关的指标受工艺流程影响,包括级配、针片状颗粒含量、含泥量等,其数值与加工质量及加工过程有关,具有较大的变异性。因此,集料的变异性分析主要针对加工性指标。

#### 2.1.1 集料资源特性控制

集料的资源特性是集料自身物理特性的描述,集料资源特性与其自身的岩性密切相关。本书选择了一些常见岩石,如碳酸盐岩等,对容易导致沥青混合料性能

变化的集料指标的变异性进行分析,确定过程控制的关键指标,从而进行快速有效的检测和评定。

以西南某省集料情况为例,通过分析集料特性的关键指标,研究集料资源特性的控制。

### (1)集料表观密度

在该省多地的集料开采进行调查的基础上建立统计表。通过研究该省不同类型碳酸盐岩石加工集料的表观密度值统计表(表 2-1)发现:

①该省各类碳酸盐岩集料的密度值均较稳定,变异系数均在 5%以下,一般为 1%~3%;

②全部碳酸盐岩集料表观密度为 2.573~2.812g/cm<sup>3</sup>,平均为 2.692g/cm<sup>3</sup>,满足沥青路面工程集料表观密度大于 2.50g/cm<sup>3</sup> 的要求。

某省碳酸盐岩集料表观密度值统计表

表 2-1

岩石类型	样品数 (件)	变化范围 (g/cm <sup>3</sup> )	平均值 (g/cm <sup>3</sup> )	标准差 (g/cm <sup>3</sup> )	变异系数 (%)
石灰岩	5	2.573~2.650	2.611	0.029	1.10
白云岩	10	2.697~2.812	2.762	0.046	1.67
石灰岩及白云岩	6	2.566~2.744	2.653	0.094	3.53
过渡性碳酸盐岩	31	2.684~2.799	2.695	0.066	2.44
含燧石碳酸盐岩	14	2.610~2.722	2.682	0.032	1.18
全部碳酸盐岩样品	66	2.573~2.812	2.692	0.068	2.53

研究表明,同一类碳酸盐岩石的表观密度变异性不大。对于选定的具体料场而言,只要岩性变化不大,表观密度的变异性更小。对具体的某一材料而言,不同的岩石类型之间,其表观密度存在较大的差别。属于同一岩石类型而岩石种类不同的,其表观密度也有较为明显的差异。

### (2)集料压碎值

集料压碎值是表征集料在混合料碾压过程中以及开放交通后抵抗压碎能力的指标。实践证明,压碎值大于 25%的粗集料在沥青混合料碾压过程中常产生较多颗粒压碎现象。根据经验,粗集料的压碎值偏大将明显影响沥青面层的使用寿命。

表 2-2 是沥青路面面层用碳酸盐岩 36 件试样集料压碎值试验数据统计表。由表可知,该省分布范围较大的碳酸盐岩强度指标可以满足现行规范压碎值小于 26%的要求。从压碎值指标来看,碳酸盐岩集料用作各级各类公路底基层、基层和面层均是适宜的。



沥青路面面层结构用碳酸盐岩集料压碎值统计表

表 2-2

岩石类型	样品数 (件)	变化范围 (%)	平均值 (%)	标准差 (%)	变异系数 (%)
白云岩	13	16.4~22	18.6	2.99	16.08
过渡性碳酸盐岩	17	15.2~24.0	19.8	2.59	13.03
含燧石碳酸盐岩	14	17.6~22.0	19.7	1.47	7.44
全部碳酸盐岩样品	36	15.2~24.0	19.6	2.17	11.10

### (3)集料的吸水率

集料的吸水率是表征集料孔隙率和质量的重要指标。用于沥青路面面层结构的集料要求致密和低孔隙率。使用吸水率过大的集料,特别是孔隙率不一致的集料,较难将沥青混合料的孔隙率保持在稳定的水平上。孔隙率大的集料吸收较多的沥青,为了补偿被集料吸收的沥青,需要使用较多的沥青。不同岩石类型其吸水率会有较大的差异,如多孔玄武岩吸水率可能大于 2.5%,而致密玄武岩吸水率可能小于 1.5%。

通过取样试验,石灰岩集料吸水率结果如表 2-3 所示。从表中可见,石灰岩加工的集料吸水率都小于 2.5%,能满足规范要求。

沥青路面用碳酸盐岩集料的吸水率(单位:%)

表 2-3

岩石类型	一标 白云岩	二标 石灰岩	十标 白云岩	十标 石灰岩	十一标 石灰岩	K112+000 石灰岩
粗集料	1.336/1.937	0.300	0.503	0.638	0.749	0.309
细集料	2.176	—	1.657	1.265	1.719	1.709

注:表中某高速一标料场中,前者是 10~31.5mm 粗集料吸水率,后者是 5~10mm 粗集料吸水率。

### (4)与沥青的黏附性

矿料与沥青的黏附性是选择矿料的又一个重要指标。集料与不同品种沥青的黏附性可达 3~5 级,但是碳酸盐岩种类复杂,其中某些品种(如硅质灰岩和硅质白云岩)与沥青的黏附性可能只有 3 级,在材料选择时应引起高度重视。此外,对于表面层沥青混合料用玄武岩等火成岩,应特别注意其与沥青的黏附性。如表 2-4 所示,石灰岩类岩石(粗)集料与沥青的黏附性平均为 4 级,白云岩类岩石(粗)集料与沥青的黏附性平均为 3 级,不能满足高速公路及一级公路表面层对(粗)集料与沥青黏附性不小于 5 级的技术要求。