



# 路面管理系统原理

## Pavement Management System

潘玉利 主编

人民交通出版社

交通科技丛书

# 路面管理系统原理

**Lumian Guanli Xitong Yuanli**

潘玉利 主编

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书阐述了路面管理系统的基本组成和其原理。内容包括:路面破损分类、路面检测设备和检测方法、数据库管理系统、地理信息系统、路面使用性能评价、使用性能预测、车流速度预测、通行能力分析、油耗及用户费用预测、工程经济效益分析、路面养护决策、网级系统和项目级系统。本书还结合“八五”国家重点新技术推广项目“路面管理系统(CPMS Vn2.2)”的推广实例,讨论了14个省(区)市7.6万公里沥青路面的路网养护现状和养护需求。

### 图书在版编目(CIP)数据

路面管理系统原理/潘玉利主编. —北京:人民交通出版社,1997.8

(公路科技丛书)

ISBN 7-114-02850-4

I. 路… II. 潘… III. 路面-道路管理-管理信息系统-理论 IV. U418.6-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 27915 号

交通科技丛书

### 路面管理系统原理

潘玉利 主编

责任印制:孙树田

插图设计:高静芳 版式设计:崔凤莲 责任校对:尹 静

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京京东印刷厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张:19.75 字数:351千

1998年6月 第1版

1998年6月 第1版 第1次印刷

印数:0001—4500册 定价:38.00元

ISBN 7-114-02850-4

U·02033

## 序

“七五”以来是公路、水路交通发展最快的时期。在此期间，交通科技工作紧密结合运输生产、工程建设、技术改造和技术引进中的关键技术问题，通过软科学研究、科技攻关、工业性试验、重大装备开发、引进技术消化吸收、成果推广应用、国际科技合作与交流等多种形式，为公路、水路交通发展提供了相应的技术和装备。近十二年来获交通部科技进步奖的有 754 项，获国家奖励的有 66 项，已批准发布的国家和行业标准共 1000 余项。

在公路交通领域，交通科技工作面向高速公路建设和道路运输的主战场，组织进行了“新型客运汽车技术开发”、“公路运输技术开发”、“高等级公路混凝土路面施工机械及路用材料的研究”、“国道主干线设计集成系统”、“高等级公路路面施工机械引进消化吸收”等一系列重点科技攻关和研究开发项目，对公路交通事业起到了保证、促进和先导的作用。

在水路交通领域，交通科技工作以解决内河航运建设、港口建设、运输方式改革、水上安全管理等关键技术为主攻方向，组织进行了“分节驳顶推技术工业性试验”、“内河航运技术开发”、“河口航道整治技术研究”、“内河航道疏浚设备与疏浚技术开发”、“内河快速客船关键技术研究”、“深水枢纽港建设关键技术研究及示范工程”、“国际集装箱运输（多式联运）工业性试验”、“国际集装箱运输电子信息传输和运作系统及示范工程”等一批大型研究开发项目，在一些方面取得了突破性的进展。

各省、自治区、直辖市交通厅局，在当地人民政府领导下，普遍加强了科技管理工作，结合实际情况，认真组织科技攻关和推广应用具有显著效益的成熟技术，保证了公路、水路交通建设和运输生产的迅速发展。交通系统大中型企业（集团）依靠技术进步，创造了许多有效的经验和做法，取得了明显的效益。

为了贯彻邓小平同志“科学技术是第一生产力”的思想，实施科教兴国战略，中心环节是要加大科技成果的应用规模和范围，加速科技成果的产业化进程，积极推进科技成果转化为现实的生产力。人民交通出版社针对近十多年来在公路、水路交通领域所形成的一批先进适用的成套技术，组织有关单位编撰交通科技丛书，这是总结和加强科技成果的推广应用，拓

宽技术成果的应用范围，促进交通科技工作与交通建设发展紧密结合的一件有意义的工作。

值此丛书开始陆续出版之际，谨以此序向十多年来为我国交通科技事业的发展，辛勤拼搏的广大科技人员和各级科技管理人员致以诚挚的敬意！丛书的出版得到了人民交通出版社特别是李家本、吴德心、韩敏等同志的大力支持，在此一并表示感谢。

希望本丛书的出版，在进一步推进我国交通科技事业的发展中，起到抛砖引玉的作用。

張叔輝

一九九八年五月

---

## 出版说明

为了贯彻落实科教兴国的发展战略，我社组织编写的《交通科技丛书》，被国家新闻出版署列为“八五～九五”期间重点图书，将于1998年开始陆续出版。这套丛书针对“七五”以来，在公路、水运交通领域内一系列重点科技攻关和研究开发项目的成果为主要内容进行编写出版，以达到进一步总结和推广应用的目的。

参加丛书编写的专家、教授、工程技术人员和管理人员，都有较深的理论造诣，而且都是科技成果的直接研究开发和组织管理者。他们对成果有深刻的了解，掌握了第一手的资料，积累了宝贵的实践经验。由他们对有关成果进行系统总结，对于促进最新科研成果转化为现实生产力具有重要意义。丛书内容丰富，论述系统，针对性强，具有很高的参考使用价值。本套丛书适用于科研和工程技术人员对有关技术的进一步开发和推广应用，也可作为高等院校师生教学参考用书。

在组织编写丛书的过程中，得到了交通部科学技术司各方面的大力支持，特别是张叔辉、陈锁祥、刘家镇、李彦武等同志，他们从选题和编写单位的确定，以及内容的覆盖范围等方面都给予了具体的指导和帮助。各参加编写单位和编写人员，对丛书的出版认真负责，热情支持。每本书的编写提纲和主要内容都经有关专家审查确定，保证了丛书的先进性、科学性和实用性。值此丛书出版之际，我社对关心和支持这套丛书出版的各有关单位和人员，致以诚挚的感谢和敬意。

人民交通出版社  
一九九八年五月

## 前 言

本世纪 70 年代,公路研究人员最重要的贡献之一就是提出了路面管理系统概念并在 25 年之内迅速地发展和推广到了几乎所有国家。我国从 1984 年引进英国 BSM 系统开始,经过“七五”国家重点科技攻关,“八五”国家重点推广和交通部二期工程开发,“九五”国家重点全面推广应用,开发了一套成熟的路面管理系统,形成了一个完整的推广体系,培养了一大批路面管理系统工程师。为了让更多的公路计划和养护技术人员了解现代化的路面养护管理技术,本书系统地介绍了路面管理系统的基本组成、原理和方法。

全书分 14 章。第一章简要介绍了路面管理系统的概念、作用、研究历史、国内外概况和路面管理系统的基本组成。第二章讨论了路面破损及分类。第三章介绍了路面检测设备和检测方法。第四章分析了用于存贮路面检测数据的数据库和地理信息系统 (GIS)。第五章介绍了路面评价方法和评价模型。第六章在回顾国内外预测方法和模型的基础上讨论了路面使用性能预测模型。第七章讨论了自由流稳态速度预测模型。第八章分析了非自由流速度及道路通行能力。第九章讨论了作为车辆运营费用重要组成部分的油耗预测模型。第十章介绍了经济效益分析的基本方法和 CPMS 效益分析过程。第十一章分析回顾了国内外常用的路面养护决策技术。第十二章和第十三章分别讨论了路面管理系统网级系统及项目级系统原理。最后,在第十四章讨论了一个路面管理系统分析实例。

本书第四章、六章、十一章和十三章分别由边庄力、赵延东、刘春水和朱障东编写。山东省公路局王松根和刘海共同编写了第七章第二节、第八章第二节和第九章第二节。其余章节由潘玉利编写。全书由朱红兵打印和整理。路面管理系统的研究和推广工作得到了交通部张叔辉、杨盛福和各省、市、自治区交通厅(局)及公路局的大力支持,特此谨致谢意。时间仓促,书中缺点、错误在所难免,敬请读者批评指正。

潘玉利

1996 年 10 月北京

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....          | 1  |
| 第一节 概念及背景.....               | 1  |
| 第二节 路面管理系统组成和作用.....         | 2  |
| 参考文献.....                    | 5  |
| <b>第二章 路面破损及分类</b> .....     | 6  |
| 第一节 路面损坏分析.....              | 6  |
| 第二节 路面破损分类 .....             | 11 |
| 结论 .....                     | 13 |
| 参考文献 .....                   | 14 |
| <b>第三章 路面检测设备及检测方法</b> ..... | 15 |
| 第一节 路面弯沉检测 .....             | 15 |
| 第二节 路面抗滑性能测试 .....           | 19 |
| 第三节 道路平整度检测 .....            | 21 |
| 第四节 路面表面破损检测 .....           | 30 |
| 第五节 路线几何数据检测 .....           | 34 |
| 参考文献 .....                   | 37 |
| <b>第四章 数据库管理系统</b> .....     | 39 |
| 第一节 数据库的作用 .....             | 39 |
| 第二节 路网参照系统 .....             | 40 |
| 第三节 数据库分类 .....              | 42 |
| 第四节 系统基本编码 .....             | 43 |
| 第五节 系统基本数据库 .....            | 51 |
| 第六节 数据库管理 .....              | 55 |
| 第七节 地理信息系统 (GIS) 应用 .....    | 61 |
| 参考文献 .....                   | 68 |
| <b>第五章 路面使用性能评价</b> .....    | 70 |
| 第一节 国外路面评价模型回顾分析 .....       | 70 |
| 第二节 路面使用性能评价模型的建立 .....      | 76 |



|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 第三节 路面养护技术规范采用的评价模型 .....    | 88         |
| 结论 .....                     | 91         |
| 参考文献 .....                   | 91         |
| <b>第六章 路面使用性能预测 .....</b>    | <b>93</b>  |
| 第一节 预测方法分析 .....             | 93         |
| 第二节 预测模型回顾分析 .....           | 97         |
| 第三节 CPMS 使用性能预测模型 .....      | 102        |
| 结论 .....                     | 109        |
| 参考文献 .....                   | 109        |
| <b>第七章 自由流稳态速度预测 .....</b>   | <b>113</b> |
| 第一节 HDM—III 稳态速度预测模型原理 ..... | 113        |
| 第二节 速度数据采集 .....             | 115        |
| 第三节 希望速度 .....               | 118        |
| 第四节 上坡自由流稳态速度 .....          | 121        |
| 第五节 下坡路段自由流稳态速度 .....        | 127        |
| 第六节 平整度对稳态速度影响 .....         | 129        |
| 第七节 综合道路条件下稳态速度预测模型 .....    | 131        |
| 结论 .....                     | 134        |
| 参考文献 .....                   | 135        |
| <b>第八章 车流速度及通行能力预测 .....</b> | <b>138</b> |
| 第一节 文献分析结果 .....             | 138        |
| 第二节 车速观测 .....               | 139        |
| 第三节 速度—交通量模型 .....           | 143        |
| 第四节 道路通行能力估计 .....           | 147        |
| 结论 .....                     | 152        |
| 参考文献 .....                   | 152        |
| <b>第九章 汽车发动机油耗预测 .....</b>   | <b>155</b> |
| 第一节 理论模型推导 .....             | 156        |
| 第二节 野外油耗实验 .....             | 158        |
| 第三节 理论油耗模型标定 .....           | 165        |
| 第四节 模型分析 .....               | 173        |
| 第五节 与世界银行 HDM-4 油耗模型比较 ..... | 179        |
| 结论 .....                     | 181        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 参考文献                         | 181 |
| <b>第十章 经济效益分析</b>            | 185 |
| 第一节 费用与效益                    | 185 |
| 第二节 经济评价方法及指标                | 189 |
| 第三节 CPMS 经济效益预测              | 194 |
| 参考文献                         | 209 |
| <b>第十一章 路面养护决策</b>           | 211 |
| 第一节 养护决策历史                   | 212 |
| 第二节 养护项目选择                   | 213 |
| 第三节 排序方法                     | 218 |
| 第四节 优化决策                     | 221 |
| 结论                           | 236 |
| 参考文献                         | 237 |
| <b>第十二章 网级路面管理系统</b>         | 239 |
| 第一节 路网使用性能评价及分析              | 240 |
| 第二节 路网车速、通行能力和改建需求分析         | 242 |
| 第三节 路网养护需求分析                 | 244 |
| 第四节 路网养护需求分析 (达到需求的水平)       | 251 |
| 第五节 养护资金 (优化) 分配             | 256 |
| 第六节 敏感性 & 风险性分析              | 262 |
| 第七节 新建和改建公路项目投资效益分析          | 265 |
| 参考文献                         | 267 |
| <b>第十三章 项目级系统原理</b>          | 269 |
| 第一节 路面补强设计过程                 | 269 |
| 第二节 路面计算弯沉                   | 269 |
| 第三节 路面容许弯沉                   | 271 |
| 第四节 路面补强优化设计                 | 277 |
| 参考文献                         | 279 |
| <b>第十四章 路网养护分析 (CPMS 应用)</b> | 280 |
| 第一节 CPMS 应用范围及数据调查里程         | 280 |
| 第二节 路网路面养护现状分析               | 284 |
| 第三节 中长期路网养护需求分析              | 289 |
| 第四节 中长期路网路面养护分析              | 292 |

---

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第五节 年度养护需求及资金缺口分析..... | 296 |
| 参考文献.....              | 299 |
| 附录 常用缩写符号.....         | 300 |

## 第一章 绪 论

进入 90 年代,随着经济的高速发展,公路已成为人们普遍关心的问题。人们利用公路,关心公路,同时,对公路特别是路面质量提出了更高的要求。

我国现有公路 118 万公里。90 年代以前,公路管理部门对这些公路的路面管理缺少系统的检测、评价和科学的养护决策管理。公路路面的养护管理主要依靠对路面状况的定性了解和工程师的经验来进行。在决策过程中,常常由于经验限制及缺乏对路面破损和程度的定量掌握,使路面养护方案不尽合理,由此造成了养护资金浪费、路面质量下降及使用者费用上升。为了改变传统落后的公路管理方式,适应现代化、大规模、高速度和高质量的公路养护管理要求,交通部在长期、大规模研究的基础上,于 1991 年实施了为期 10 年的国家重点新技术推广项目——路面管理系统,计划 2000 年以前在全国所有省(区)市全面推广现代化的路面管理系统。

为了配合交通部的推广工作,作者编写了本书,重点介绍交通部正在全国推广应用的路面管理系统(CPMS)的基本原理。

### 第一节 概念及背景

路面管理技术的研究始于 70 年代初期的北美。美国在经历了大规模的公路建设后,面临着大量的、同时到来的路面养护工作。为了准确地了解公路网的破损状况,把有限的养护资金分配到最需要养护的路段上,研究人员开发了路面破损数据检测设备,建立了数据库,制定了评价方法、标准和优先养护排序模型。这种以计算机为工具的路面管理技术被称为路面管理系统(简称 PMS: Pavement Management System)。80 年代以后,路面管理系统的内容得到了扩充,技术也初步成熟。发达国家,如欧洲和澳大利亚等先后对其进行了研究并在实际公路管理中应用。

路面管理系统有不同的定义。美国在 AASHTO 路面管理系统指南(AASHTO, 1990)<sup>[1]</sup>中,把 PMS 定义为:用于决策者在公路评价养护中寻求

投资有效分配方案 (Cost-Effect) 的工具。澳大利亚道路研究所把 PMS 定义成: 用于优化利用路面养护可用资源, 包含信息采集、信息分析和方案决策的管理方法 (Mulholland, 1991)<sup>[2]</sup>。在上述定义的基础上 PMS 又可分为网级系统和项目级系统。网级 PMS 是涉及整个公路网的、用于制定路网养护政策、确定路网养护需求和养护费用优化分配的宏观分析系统。项目级 PMS 则是以路段为对象, 从技术和经济角度分析养护方案的系统。两种系统具有不同的作用。

我国从 1984 年开始陆续引进了英国的 BSM (Snaith, 1984)<sup>[3]</sup>路面评价系统, 芬兰 FPMS 路面管理系统及世界银行 HDM-III (Watanatada, 1987)<sup>[4]</sup>公路投资效益分析模型。“七五”期间在引进消化的基础上, 通过国家重点攻关项目“干线公路路面评价养护系统成套技术”的研究, 建立了我国的干线公路路面评价养护系统 (曾, 1990)<sup>[5]</sup>即路面管理系统 CPMS (China Pavement Management System)。

CPMS 是包括硬件设备和计算机软件系统的技术实体, 它包括路面数据库及为数据库提供数据信息的数据采集设备、网级系统 (用于了解路网质量、长期路面性能、长期养护资金需求及战略养护标准和方案) 和项目级系统 (用于养护工程项目设计及经济分析)。CPMS 是一个复杂的决策系统, 它涉及了道路工程、工程经济、系统工程及计算机技术, 是公路养护工程师路网评价、路况性能分析、养护资金需求及养护资金优化分配的辅助决策工具。

## 第二节 路面管理系统组成和作用

综合的路面管理系统从功能上划分一般由数据采集系统、数据库管理系统、网级系统和项目级系统 4 部分组成 (见图 1-1)。不同的组成部分有不同的作用, 以下通过 CPMS Vn97 实例说明 PMS 各组成部分的作用。

### 一、数据采集系统

路面管理系统决策的依据是大量、精确的数据信息。数据信息的取得依赖于高效、快速的检测设备。“七五”攻关期间, 交通部结合国内情况引进开发了一套公路路面数据检测设备, 用于采集公路几何、路面破损、平整度、弯沉、摩擦系统、交通量、车速和轴重等数据。高效设备和传统设备 (如贝克曼梁) 共同组成了一个完整的数据采集系统 (见表 1-1)。

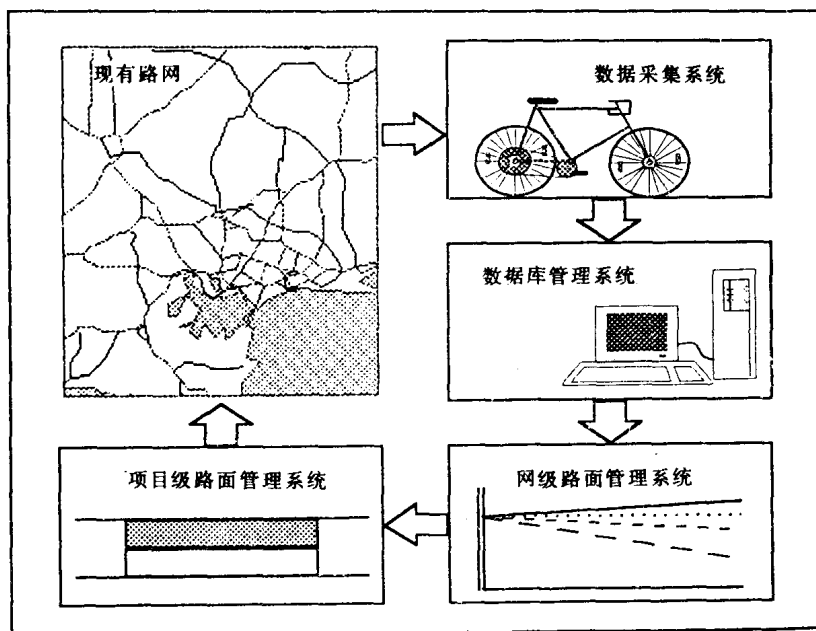


图 1-1 路面管理系统基本组成

CPMS 数据采集系统

表 1-1

| 指 标    | 高 效 设 备  | 传统设备 (仪器) |
|--------|----------|-----------|
| 路面几何数据 | 几何数据检测仪  |           |
| 路面弯沉   | 路面自动弯沉仪  | 贝克曼梁      |
| 路面平整度  | 平整度自动检测仪 |           |
| 表面破损   | 路面病害摄影仪  | 人工目测/记录器  |
| 抗滑性能   | 横向力系数仪   | 摆式仪       |
| 交通量    | 交通量自动记录仪 |           |
| 轴重     | 轴重仪      |           |
| 车速     | 雷达测速仪    |           |

## 二、数据库管理系统

数据库管理系统一般由路网参照系统、数据文件和数据管理三部分组成。为了对路网各项数据进行有效的管理,需要建立路网参照系统。参照系统由各类不同形式的编码组成。其中路网由路线组成,路线又分成若干个 10km~30km 长的区间,区间再进一步分成 1km 长的路段,给路线、区

间和路段不同编码,从而使不同的数据存放在不同的层次上。例如,交通量数据以区间为单位可以节省计算机资源,弯沉则需要以路段为单位才能满足系统中项目级分析的要求。

数据库数据一般包括四大类,即几何属性、路面状况、交通量和路面养护历史数据。

数据库一般具备如下基本功能:

- 1) 数据编辑打印;
- 2) 数据检索查询;
- 3) 数据统计分析;
- 4) 为网级系统提供决策数据;
- 5) 为项目级系统提供工程分析数据。

### 三、网级路面管理系统

利用数据库中数据信息,通过路面状况评价、路面使用性能预测、道路使用者费用预测、养护方案效益分析和优化决策,网级系统将实现:

- 1) 路网当前使用性能评价;
- 2) 路面未来养护需求分析;
- 3) 路网车速预测和评价;
- 4) 路面养护水平(标准)优化分析;
- 5) 养护预算优化分配;
- 6) 养护投资敏感性 & 风险性分析;
- 7) 新建、改建项目投资效益分析。

在路面使用性能评价模块中,网级系统将给出当前路网各项评价指标的评价结果,结果常以百分比的形式出现。养护需求分析模块提供未来10年内路面大中修养护的时间、费用、地点和方案。车速预测评价模块是从行驶质量评价角度分析预测路网车速在未来10年内的变化情况,为道路改建、拓宽提供依据。养护水平(标准)优化分析模块则给道路养护工程师提供达到要求的养护水平所需要的最小投资。养护预算优化分配模块将分析不同投资水平给路网带来的变化,建立投资水平与路况的关系,用以确定最佳的路网投资方案和计划。养护投资敏感性 & 风险性分析模块提供了分析推迟或提前养护对路面使用性能、养护费用和用户费用影响的功能。

路面管理系统的分析决策一般以路网不变更路线位置为前提条件。如果改建路线,PMS很难提出准确的分析结果,原因是一般的PMS不具备线

形评价模型。CPMS Vn97 Windows 版本增加了速度预测模型。用户费用模型也反映了几何参数（坡度、弯道）的影响，因而可进行新、改建项目的投资效益分析。这个功能由新改建项目投资效益分析模块实现。

#### 四、项目级路面管理系统

项目级系统的主要作用是补强设计方案优化分析和罩面方案选择。当路面强度不足时，项目级 CPMS 可利用我国《公路沥青路面设计规范》(JTJ014—97) (交通部, 1997)<sup>[6]</sup>规定的理论方法进行路面补强设计，建立可选方案。对可选方案利用经济模型进行经济效益分析，通过经济指标确定最佳的补强方案。罩面设计方案选择则是根据 CPMS 评价结果和路面处治标准，选择一种合理的、以修复路面表面破损为目的的罩面方案。罩面方案选择不涉及路面强度问题，罩面的厚度取决于道路等级和路面状况。

#### 参 考 文 献

- [1] AASHTO [1990]. AASHTO guidelines for pavement management systems, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 444 North Capital Street, N. W. Suite 225, Washington, D. C. 20001, USA, 1990.
- [2] Mulholland P. J [1991]. Pavement Management Systems (PMS) for local Government guidelines report, Research report ARR 188, Australian Road Research Board (ARRB), Australia, January 1991.
- [3] Snaith M. S. [1984]. Pavement Maintenance and Management System Manual, The University of Birmingham, UK, 1984.
- [4] Watanatada T. et al [1987]. The highway design and maintenance standards model, HDM-III Series, the World Bank, 1987.
- [5] 曾沛霖. 干线公路（省、市级）路面评价养护系统技术开发. 曾沛霖等. “七五”国家重点科技攻关项目研究报告. 北京：交通部公路科学研究所，1990.
- [6] 交通部. 公路沥青路面设计规范 (JTJ014—97). 北京：人民交通出版社，1997.



## 第二章 路面破损及分类

在交通荷载和自然环境的综合作用下,道路路面会逐渐变得凹凸不平,表面也会出现形形色色的破损现象。这些破损会随着时间的推移而日趋严重,到达一定程度后会影响到汽车行驶速度、旅行时间、行驶安全性和道路运输费用。为了评估和预测这些损坏对路面使用性能和汽车运输费用及行驶舒适性的影响效果,需要研究各种损坏产生的原因并合理地对它们进行分类,以便精确地测量和计算它们对路面性能和寿命的影响。

本章将对我国公路路面上常见损坏类型产生的原因进行分析和归类。最后,讨论 CPMS 系统中采用的分类方法。

### 第一节 路面损坏分析

道路工程师在路面结构设计时,要根据道路等级、预期使用寿命和交通量大小来选择面层和基层材料,计算各层厚度,使之满足规范要求。竣工后的路面,随着时间的推移在交通荷载反复作用下慢慢破损,路面逐渐失去服务能力。由此产生的损坏也会因路面类型、地区和交通差别而不同。根据国内外资料分析,路面破损从大的方面可分为如下二类:结构性破损和功能性破损(JRCA, 1986)<sup>[1]</sup>。结构性破损是由于路面各层的承载能力降低引起的,反映在表面上往往是裂缝。功能性损坏是由于路面提供给道路用户的服务能力下降引起的,反映在路面上则是平整度降低和车辙加深。正确认识这些破损的差别有助于道路工程师对其进行合理评价分析,找出破损的原因并及时处理,避免上述现象的出现及加剧。通过文献(潘, 1987)<sup>[2]</sup>分析认为,造成路面结构和功能性破损的因素有如下六类:

- 1) 交通条件;
- 2) 气象条件;
- 3) 排水条件;
- 4) 材料因素;
- 5) 施工水平;