

研究生教学用书

路面设计原理与方法

(第三版)

Principles and Design Methods of Pavement

黄晓明 高 英 等 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

研究生教学用书

路面设计原理与方法

(第三版)

黄晓明 高 英 等 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书介绍了交通、环境、土基等路面结构功能的外部条件及路面结构本身的内在特性。另外,还介绍了道路路面与机场道路的设计方法。本书对第二版所涉及的新规范、新材料、新方法和新技术等做了相应的修订和补充。

本书为教育部研究生工作办公室推荐用书,适用于“道路与铁道工程”二级学科硕士研究生的必修学位课程和“交通运输工程”一级学科中其他二级学科的非学位选修课程,也可供公路、城市道路、铁道、机场等部门从事科研与设计的工作人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

路面设计原理与方法 / 黄晓明等编著. — 3 版. —

北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015. 6

ISBN 978-7-114-12263-7

I. ①路… II. ①黄… III. ①道路工程—路面设计—高等学校—教材 IV. ①U416.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 115117 号

研究生教学用书

书 名:路面设计原理与方法(第三版)

著 作 者:黄晓明 高 英 等

责任编辑:郑蕉林 牛家鸣

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:28.5

字 数:676 千

版 次:2001 年 4 月 第 1 版, 2007 年 2 月 第 2 版 2015 年 12 月 第 3 版

印 次:2015 年 12 月 第 3 版 第 1 次印刷 总计第 4 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12263-7

定 价:68.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

第三版前言

《路面设计原理与方法》作为“道路与铁道工程”二级学科研究生的主要教学用书,2002年被教育部研究生工作办公室批准为“交通运输工程”一级学科的研究生教学推荐用书,也是路面类第一本研究生教育推荐用书。为了适应当今研究生的教育要求,同时自2007年第二版出版以来,我国许多路基路面工程新规范、新方法、新材料和新技术等得到推广与应用,有必要结合实际对原版教材进行修订、补充和完善,同时根据研究生教学的特点,对很多内容进行了删减。

全书共分为十四章,主要章节没有变化,但对第二版主要进行了以下几方面的修订。第一章更新了最新数据;第二章简化了沥青路面轴载换算的分析;第四章补充了路基基质吸力的概念;第六章简化了沥青路面应力分析;第七章简化了水泥混凝土路面应力分析;第九章沥青与沥青混合料特性,由于新的沥青路面施工技术规范颁布和实施,相应的沥青分级、沥青混合料类型、沥青混合料设计指标和标准、沥青混合料级配选择方法等均按新规范的要求进行了修改;第十章水泥混凝土材料特性,主要结合新的公路水泥混凝土路面施工技术规范对水泥混凝土的配合比设计方法进行了修改;第十一章公路沥青路面设计方法,则结合新的公路沥青路面设计规范的送审稿,对路面结构设计中的弯沉和弯拉验算采用同一参数的缺陷进行了修改,同时对AI、Shell设计方法进行了修正,并增加了AASHTO 2002沥青路面力学经验设计方法的主要内容,使国外设计方法的介绍更加完善;第十二章公路水泥混凝土路面设计方法,则按照新的公路水泥混凝土路面设

计规范进行了全面的修订,使之与新的公路水泥混凝土路面设计方法相匹配。由于路面设计的基本原理,对沥青路面仍然是层状体系理论,对水泥混凝土路面仍然是弹性地基上的小挠度薄板理论和有限元法,因此,其他各章只是进行了简单的错误修正,并补充了相关图表。

本书作为“交通运输工程”一级学科研究生教学推荐用书,是“道路与铁道工程”二级学科的学位课程用书,也可作为“交通运输工程”一级学科中其他二级学科的非学位选修课程的主要参考用书。同时也可供公路、城市道路、铁道、机场等部门从事科研与设计的工作人员参考使用。

本书采用国家法定计量单位,即国际单位制(SI)。在引用外国文献资料时,为了完整表达原作的意见,也有部分仍保留原有的计量单位制。

在本书的编写过程中,得到赵永利、马涛、李昶、廖公云、陈俊、张久鹏、张军辉等人的帮助,在此一并表示衷心感谢!

本书如有未尽善之处,希望有关院校师生及广大读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

黄晓明

2015年5月于东南大学

第二版前言

《路面设计原理与方法》作为“道路与铁道工程”二级学科研究生的主要教学用书,自2001年5月第一版出版发行以来,受到相关院校的重视和选用。同时,经申请和教育部组织的遴选,2002年被教育部研究生工作办公室批准为“交通运输工程”一级学科的研究生教学推荐用书,也是路面类第一本研究生教育推荐用书。为了适应新世纪研究生的教育要求,以及路面工程新规范、新方法、新材料和新技术等的推广与应用,路面技术有了更新的发展,为此必须结合实际进行修订、补充和完善。

全书仍为十六章,主要章节没有变化,但在第二版修订过程中主要进行了以下几方面的修订。第9章沥青与沥青混合料特性,由于新的沥青路面施工技术规范颁布和实施,相应的沥青分级、沥青混合料类型、沥青混合料设计指标和标准、沥青混合料级配选择方法等均按新规范的要求进行了修改;第10章水泥混凝土材料特性,主要结合新的公路水泥混凝土路面施工技术规范对水泥混凝土的配合比设计方法进行了修改;第11章公路沥青路面设计方法,则结合新的公路沥青路面设计规范的送审稿,对路面结构设计中的弯沉和弯拉验算采用同一参数的缺陷进行了修改,同时对AI、Shell设计方法进行了修正,并增加了AASHTO 2002沥青路面力学经验设计方法的主要内容,使国外设计方法的介绍更加完善;第12章公路水泥混凝土路面设计,则按照新的公路水泥混凝土路面设计规范进行了全面

的修订,使之与新的公路水泥混凝土路面设计方法相匹配。由于路面设计的基本原理,对沥青路面仍然是层状体系理论,对水泥混凝土路面仍然是弹性地基上的小挠度薄板理论和有限元法。因此,其他各章只是进行了简单的错误修正,并补充了相关图表。

本书作为“交通运输工程”一级学科研究生教学推荐用书,它是“道路与铁道工程”二级学科的学位课程用书,也可作为“交通运输工程”一级学科中其他二级学科的非学位选修课程的主要参考用书。同时也是公路、城市道路、铁道、机场等部门从事科研与设计的工作人员参考使用。

本书采用国家法定计量单位,即国际单位制(SI)。在引用外国文献资料时,为了完整表达原作的意见,也有部分仍保留原有的计量单位制。

本书如有未尽善之处,希望有关院校师生及广大读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

邓学钧 黄晓明

2007年1月于东南大学

第一版前言

“路面设计原理与方法”是道路与铁道工程二级学科研究生培养计划中的主要学位课程。东南大学自 1979 年恢复研究生招生以来,对这一门课程的教学内容和教学方法作了多次改进。1983 年作者自美国进修回国,直接引进了美国多所大学采用的教材“Principles of Pavement Design”。在教学内容方面全面阐述了与路面设计有关的基本原理,即力学分析、材料特性、土基特性、环境影响等;设计方法着眼于介绍世界各国有影响的方法,使得学生能够从历史的高度,客观地从现实出发评述各国的现行设计方法。通过第七个五年计划和第八个五年计划,我国公路运输进入高速公路发展阶段,有关路面设计基本理论与设计方法有了许多突破和创新,同时积累了极为丰富的实践经验。国内各高等院校相继发表了许多有关路面设计方面的重要专著,如“柔性路面结构设计方法”、“柔性路面设计理论与方法”、“刚性路面设计”等。作者在教学过程中不断将这些新的内容充实到教学内容之中,经过十八年教学实践积累形成了目前出版的“路面设计原理与方法”教材体系和全部内容。在教学方法方面,不再采用传统的以教师讲授为主的方法,而是采用启发教学与专题讨论相结合的教学方法,采用划分专题、课前阅读、课堂讨论、教师总结、重点讲解、书写心得等具体的方式组织教学。

全书共分为十六章,第一章为概述;第二、三、四章介绍交通、环境、土基,是路

面结构功能的外部条件;第五、六、七、八、九、十章介绍路面结构本身的内在特性,即排水、力学、材料特性;第十一、十二、十三、十四章介绍道路路面与机场道面设计方法;第十五、十六章介绍与路面设计密切相关的两个专题。

本书为“道路与铁道工程”二级学科硕士研究生的必修学位课程和“交通运输工程”一级学科中其他二级学科的非学位选修课程的主要参考教材,也可以供公路、城市道路、铁道、机场等部门从事科研与设计的工作人员参考使用。

本书采用国家法定计量单位,即国际单位制(SI)。在引用外国文献资料时,为了完整表达原作的意见,也有部分仍保留原有的计量单位制。

本书如有未尽善之处,希望有关院校师生及广大读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

邓学钧 黄晓明

2001年3月于东南大学

目录

CONTENTS

第一章 概论	1
第一节 历史的回顾	1
第二节 路面类型与结构分层	8
第三节 路面结构功能与使用品质	12
第四节 路面设计方法简述	22
第五节 机场道面简介	26
第六节 国家公路网规划	27
思考与分析	29
第二章 车辆与交通	31
第一节 车辆对路面的作用及动力效应	31
第二节 当量单轮荷载	39
第三节 当量轴载系数(EALF)	41
第四节 美国道路试验	56
第五节 交通统计与分析	62
思考与分析	68
第三章 气候与环境	69
第一节 自然因素对路面的影响	69
第二节 我国公路自然区划	71
第三节 公路路面的温度状况	74

第四节 公路路面温度场分析 78
 第五节 公路路面的湿度状况 95
 第六节 我国公路沥青路面气候分区 97
 思考与分析 97
 第四章 路基材料特性 99
 第一节 土的工程分类 99
 第二节 土基的变形特性..... 102
 第三节 土基的强度指标..... 106
 第四节 土基的干湿类型..... 112
 第五节 土基压实..... 123
 第六节 土基的稳定与处理..... 127
 思考与分析..... 129
 第五章 路面结构排水..... 130
 第一节 一般原理..... 130
 第二节 路表排水..... 134
 第三节 排水结构层..... 136
 第四节 路面结构排水系统..... 139
 思考与分析..... 146
 第六章 沥青路面应力分析..... 147
 第一节 古典应力分析..... 147
 第二节 沥青路面层状体系理论分析..... 149
 第三节 沥青路面结构的非线性分析..... 160
 第四节 沥青路面结构层的黏弹性分析..... 172
 思考与分析..... 179
 第七章 水泥混凝土路面应力分析..... 180
 第一节 早期荷载应力分析..... 180
 第二节 威斯特卡德荷载应力分析..... 182
 第三节 弹性地基板的荷载应力..... 188
 第四节 混凝土路面板荷载应力的有限元分析..... 191
 第五节 有接缝混凝土路面板的有限元分析..... 201

第六节 水泥混凝土路面的温度应力分析·····	208
思考与分析·····	219
第八章 无机结合料稳定材料特性·····	220
第一节 概述·····	220
第二节 无机结合料稳定材料的强度特征·····	231
第三节 无机结合料稳定材料的疲劳特性·····	237
第四节 无机结合料稳定材料的干缩特性·····	240
第五节 无机结合料稳定材料的温度收缩特性·····	243
思考与分析·····	245
第九章 沥青与沥青混合料特性·····	246
第一节 概述·····	246
第二节 沥青材料性能及试验·····	249
第三节 沥青混合料性能及试验·····	269
第四节 沥青混合料配合比设计·····	276
第五节 沥青与沥青混合料新技术·····	294
思考与分析·····	303
第十章 水泥混凝土材料特性·····	304
第一节 概述·····	304
第二节 水泥混凝土混合料性能及试验·····	305
第三节 普通水泥混凝土混合料配合比设计·····	318
第四节 特种水泥混凝土简介·····	325
思考与分析·····	326
第十一章 公路沥青路面设计方法·····	327
第一节 沥青路面损坏的极限状态及设计原则·····	327
第二节 AASHTO 沥青路面设计方法·····	334
第三节 CBR 设计法·····	346
第四节 美国地沥青学会(AI)设计法·····	351
第五节 Shell(壳牌)设计法·····	358
第六节 我国沥青路面设计·····	362
第七节 沥青路面可靠度设计方法·····	367

思考与分析..... 374

第十二章 公路水泥混凝土路面设计方法..... 375

第一节 水泥混凝土路面损坏的极限状态及设计原则..... 375

第二节 水泥混凝土路面平面及接缝设计..... 377

第三节 美国水泥混凝土路面设计方法..... 385

第四节 我国水泥混凝土路面设计方法..... 392

思考与分析..... 407

第十三章 机场道面设计方法..... 408

第一节 CBR 机场沥青混凝土道面设计 408

第二节 美国地沥青学会(AI)机场沥青混凝土道面设计方法 411

第三节 美国波特兰水泥协会(PCA)水泥混凝土道面设计方法..... 415

第四节 美国工程师兵团设计方法..... 418

第五节 我国机场水泥混凝土道面设计方法..... 420

思考与分析..... 424

第十四章 路面使用品质及路况评定..... 425

第一节 路面功能及路况评价..... 425

第二节 路面结构承载力评定..... 426

第三节 路面结构损坏状况评定..... 429

第四节 路面行驶质量评定..... 432

第五节 路面抗滑安全性能评定..... 435

第六节 机场道面强度的通报方法..... 437

思考与分析..... 441

参考文献..... 442

第一章

概 论

第一节 历史的回顾

公路,在我国历史上习称为“道路”。早在公元前 2000 年,我国已出现可行驶牛、马车的道路。秦朝时期的这种道路称为“驰道”,较长时期称为“驿道”,并强调“车同轨、书同文”。公元前 2 世纪,我国通往中亚细亚和欧洲的丝绸之路开始发展起来。唐代是我国古代道路发展的鼎盛时期,初步形成了以城市为中心的四通八达的道路网。元明时有“大道”之称。清代道路网系统分为三等,即由京都通往各省会间的道路称为“官马大路”、由各省会通往各地城市的联络支线称为“大路”、市区内街道称为“马路”。“官马大路”分东北路、东路、西路和中路四大干线,共长 2 000 多公里。到了清代末期和民国初期,由于汽车和近代筑路法的输入,开始有了“汽车路”的名称。其后随着外文资料的输入,将英语“Public Road”译为“公路”,并将“highway”一词也译为“公路”。国民政府成立后,一般将城市以外的汽车路称为“公路”,将市内和市郊的汽车路称为“道路”。在某些情况下,“公路”与“道路”两词互为通用。

近代出现的公路与古代的土路功能截然不同。公路作为近代交通工具的载体,在交通流量和行驶速度日益增长的情况下,建设要求不断提高,这是古代道路无法比拟的。近代公路建筑,随着测量技术、筑路技术、筑路材料和检测技术的发展,其结构不断完善和发展,内容包括了由路基、路面、桥梁、涵洞、隧道、渡口、防护、景观及交通工程等构成的公路建设。

汽车工业的发展,促进了公路建设的发展。相较铁路、水运、航空、管道等运输方式,公路运输有其独特的特点,即直达、迅速、适应性强和服务面广。因此,汽车运输一出现,就在经济、政治、军事、文化和旅游等方面占有重要的地位。为了提高汽车运输的服务质量,公路的通车里程在不断增长,路基路面的建设质量、公路的等级也在不断提高。

1949年新中国成立以来,我国进入了社会主义建设的伟大时代。由于工农业生产迅速发展,人民生活水平逐步提高,尤其是建立和发展了汽车工业和石油工业,我国公路交通事业得到了迅速的发展。特别是1978年以后,国家执行了以经济建设为中心的政策,开始了建设有中国特色的社会主义新时期,公路建设开创了崭新的局面。1990~2014年,公路总里程由103万km增加到446.39万km(包括从2006年开始纳入统计的155万km村道),公路密度由10.7km/百平方公里增加到46.50km/百平方公里,是新中国成立以来增长最快的时期,尤其是高速公路从无到有,发展到11.19万km。全国等级公路里程390.08万km,等级公路占公路总里程的87.4%,其中,二级及以上公路里程54.56万km,占公路总里程的12.2%。至2014年年底,全国有铺装路面和简易铺装路面公路里程294.42万km,占公路总里程的66.0%。各类型路面里程分别为:有铺装路面229.51万km,其中沥青混凝土路面64.19万km,水泥混凝土路面165.32万km;简易铺装路面50.35万km;未铺装路面143.89万km。“五纵七横”国道主干线基本建成通车,初步形成了连接重要城市及地区的高速公路通道,许多经济发达地区高速公路干线网络正在形成。2014年年底,全国拥有公路营运汽车1537.93万辆,拥有载货汽车1453.36万辆、10292.47万吨位,平均吨位7.08t/辆。其中,普通载货汽车1091.32万辆、5241.45万吨位,平均吨位4.80t/辆;专用载货汽车45.58万辆、490.59万吨位,平均吨位10.75t/辆。拥有载客汽车84.58万辆、2189.55万客位,平均客位25.88客位/辆。其中,大型客车30.67万辆、1326.24万客位,平均客位43.24客位/辆。高速公路成为经济社会发展的重要助推器,不仅显著提高了运输能力,降低了运输成本,增强了运输安全性,节约了国土资源,而且在改善投资环境、优化产业布局、促进资源开发利用、提高国家经济的机动性、增强国家竞争力以及保障国防安全等方面发挥着越来越重要的作用。高速公路的建设和使用,为汽车快速、高效、安全、舒适地运行提供了良好的条件,标志着我国的公路运输事业和科学技术水平进入了一个崭新的时代。

路基路面直接承受行驶车辆的作用,是道路工程的重要组成部分,通常都根据车辆行驶的需要,选用优质材料建成。如我国古代曾以条石、块石或石板等铺筑道路路面,以提供人畜以及人力、兽力车辆的运行。欧洲在公元前3500年,在美索不达米亚(Mesopotamia),继发明了车轮后不久,即用石料修筑了第一条有硬质路面的道路。在古罗马的范·阿派(Via Appia),公元前312年修筑的道路(图1-1)目前仍然在使用。大约公元前3000年,闪族人(Sumerians)开始使用沥青胶结贝壳或石料作为行车路面(图1-2,图1-3)。

进入20世纪后,随着汽车工业和交通运输的发展,现代化公路的路基路面工程逐步形成了新的学科分支。它主要研究公路、城市道路和机场跑道路基路面的合理结构、设计原理、设计方法、材料性能要求,以及施工、养护、维修和管理技术等。

半个世纪以来,广大道路工程科技工作者,经过刻苦钻研、反复实践,在路面工程建设和科学研究中取得了许多突破性的系列成果。

我国幅员辽阔,各地自然条件和道路的工程性质差异很大,为此将自然条件大致相近者划分为区,在同一区划内从事公路规划、设计、施工、管理时,有许多共性因素可以相互参照。我

国现行的《公路自然区划标准》(JTJ 003—1986)分三级区划,一级区划是根据地理、地貌、气候、土质等因素将我国划分为七个大区,二级区划以气候和地形为主导因素,三级区划以行政区域作为界限。

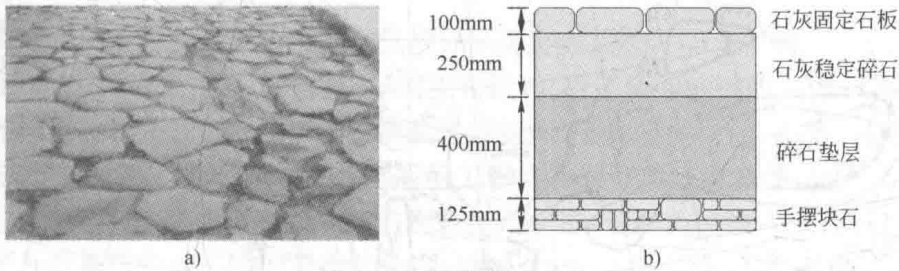


图 1-1 古罗马道路和结构
(Collins and Hart, 1936)

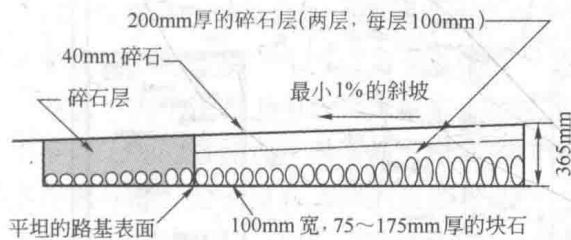


图 1-2 典型的 Telford 路面结构
(Collins and Hart, 1936)

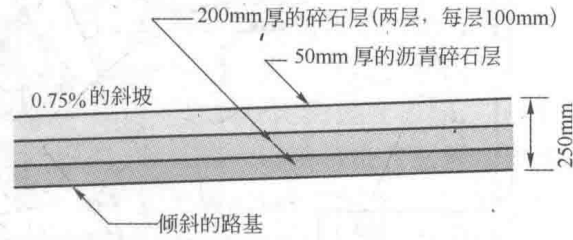


图 1-3 典型的沥青碎石路面结构
(Collins and Hart, 1936)

同时,根据沥青路面的使用要求,对沥青路面的温度及降雨进行分区,见图 1-4、图 1-5。

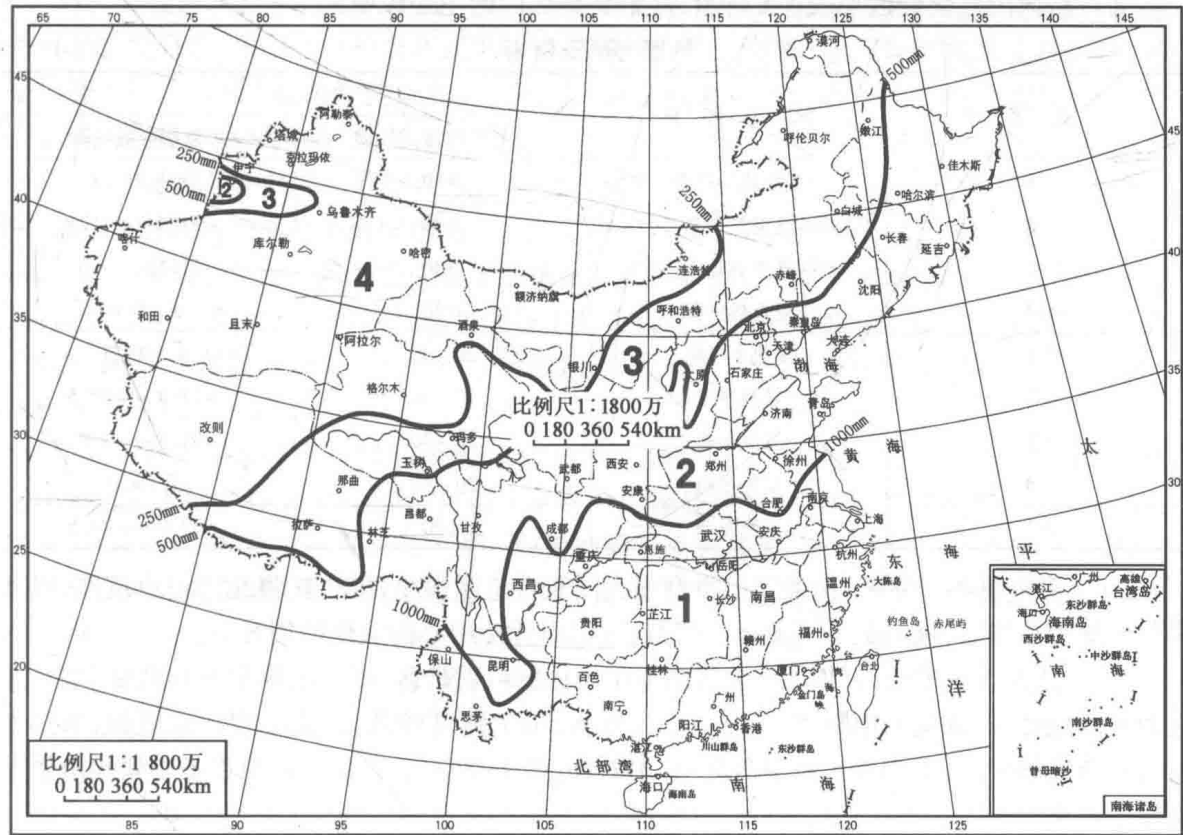


图 1-4 沥青路面气候分区——降雨
注:1-潮湿区;2-湿润区;3-半干区;4-干旱区。

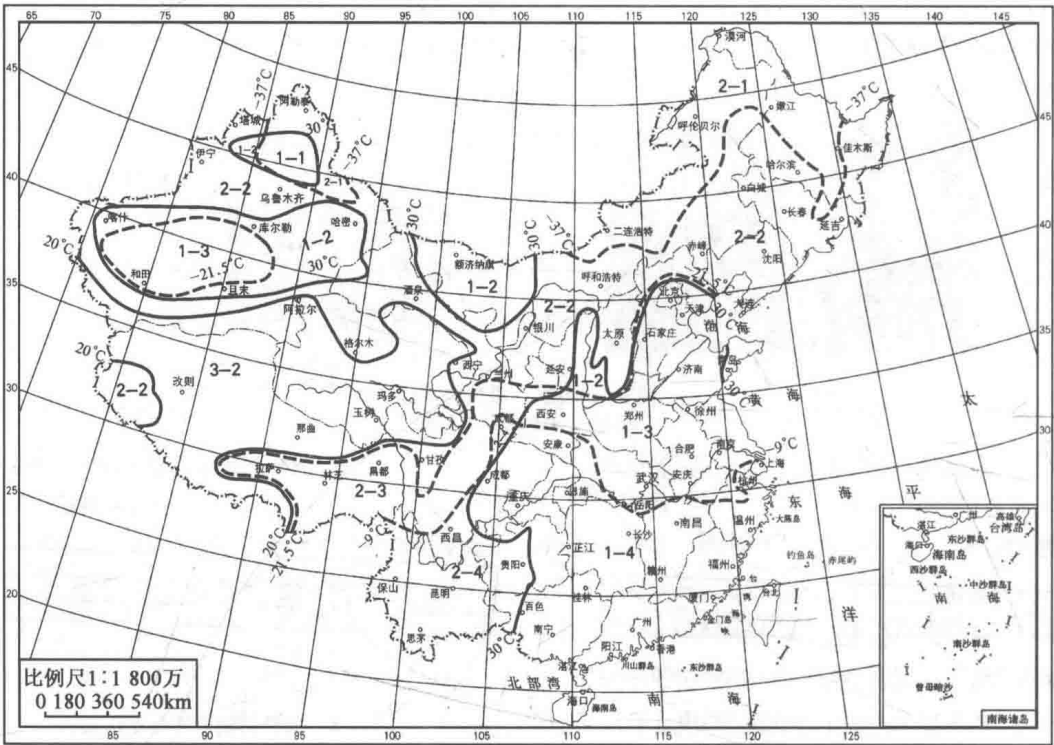


图 1-5 沥青路面气候分区——温度

沥青路面的气候分区如表 1-1 所示，其中夏炎热区的主要说明如下。

气候分区指标 表 1-1

气候类型	类型名称	温度(℃)	
		七月平均最高气温	年极端最低气温
1-1	夏炎热冬严寒	>30	<-37.0
1-2	夏炎热冬寒	>30	-37.0~-21.5
1-3	夏炎热冬冷	>30	-21.5~-9.0
1-4	夏炎热冬温	>30	>-9.0
2-1	夏热冬严寒	20~30	<-37.0
2-2	夏热冬寒	20~30	-37.0~-21.5
2-3	夏热冬冷	20~30	-21.5~-9.0
2-4	夏热冬温	20~30	>-9.0
3-2	夏凉冬寒	<20	-37.0~-21.5

- 1-1 夏炎热冬严寒区,这种气候类型在我国所占范围很小,仅在新疆北部很小范围,以准噶尔盆地为中心,极端最低气温<-37℃,气温由此冷中心向盆地四周升高。
- 1-2 夏炎热冬寒区,它包括内蒙古高原阴山山脉以西地区、西北准噶尔盆地西部、塔里木盆地东部地区,南疆受天山阻挡,冷空气不易侵入,加上纬度较低,因此南疆比北疆暖,塔里木盆地夏季炎热干燥,冬季冷。新疆东部、甘肃西部,由于冷空气可以侵入,所以冬季要比塔里木盆地冷。
- 1-3 夏炎热冬冷区,分布在燕山以南、太行山以东的华北平原,浙江北部、苏、鲁、皖、鄂、秦岭以北、渭水以南地区。