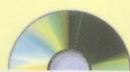


普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

路基路面 工程

● 李伟 主编

EDUCATION



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

014011931

U416
13

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

路基路面工程

主 编 李 伟
副主编 朱广山 廖明军
参 编 田 帅 赵中华 张 晏
耿 琳 朱陈欣
主 审 王晓初



机械工业出版社



北航

C1698424

U416

13

132110410

本书以我国现行的相关工程技术标准和规范为依据,吸取目前国内外最新的研究成果和工程实践经验,重点阐述路基路面的基本概念、基本理论和基本方法,并且尽可能地融入这一领域内的新技术、新理论和新进展。本书分为总论、路基工程、路面工程三大部分,共16章。路基工程部分包括路基工程概论、一般路基设计、路基边坡稳定性分析、路基防护与加固设计、挡土墙设计、路基排水设计、路基施工;路面工程部分包括路面工程概论、路面基层、沥青路面、沥青路面设计、水泥混凝土路面、水泥混凝土路面设计、路面结构排水设计、路面施工、路面养护与管理。

本书可作为高等院校土木工程类交通土建工程方向、道路桥梁与渡河工程、道路与交通工程、公路与城市道路工程、市政工程、桥梁与隧道工程、机场、港口及航道工程等专业的本科教材,也可作为成人教育有关专业教材,还可供道路交通行业有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

路基路面工程 / 李伟主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 9
普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材
ISBN 978-7-111-43718-5

I. ①路… II. ①李… III. ①路基工程-高等学校-教材 ②路面-道路工程-高等学校-教材 IV. ①U416

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 195427 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 马军平

责任编辑: 马军平

责任校对: 张 征 肖 琳 封面设计: 张 静

责任印制: 张 楠

北京玥实印刷有限公司印刷

2013 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·28 印张·696 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-43718-5

定价: 49.90 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前言

路基路面工程是高等学校土木工程领域中道路桥梁与渡河工程、道路与交通工程、公路与城市道路工程、市政工程、桥梁与隧道工程、机场、港口及航道工程等专业的专业重要必修课，是一门理论与实践并重、工程性较强的课程。该课程涉及内容广泛，与工程实践联系紧密并具有一定的区域特点。

为使读者掌握路基和路面工程的特点和技术要领，了解其发展趋势，本书以当前我国现行的有关公路和城市道路的工程技术标准和规范为依据，吸取目前国内外最新的研究成果和工程实践经验，重点阐述路基路面的基本概念、基本理论和基本方法，并且尽可能地融入这一领域内的新技术、新理论和新进展。读者通过学习和掌握本书介绍的基本概念、理论和方法要点后，结合有关规范，能自如地从事路基路面工程方面的技术工作，分析和解决路基路面工程中的问题。

与路基路面工程学科有关的课程较多，包括道路建筑材料、工程地质、土质与土力学、桥涵水文、道路勘测设计、结构力学、材料力学和弹性力学等课程。从高等学校本科教育的培养目标出发，本书尽量对相关学科的基本概念、基本理论叙述清楚，若需引用更为深刻的内容，则授课时，可在保证主干教学内容的前提之下，适当补充加强。

本书编写注重内容的实用性、知识的先进性以及编排的系统性。为方便读者使用，每章均设置了相应的思考题。

全书共分16章，第1章、第3章、第5章由沈阳大学李伟编写；第9章至第11章、第14章由沈阳建筑大学朱广山编写；总论、第4章由北华大学廖明军及沈阳建筑大学耿琳共同编写；第7章、第15章由辽宁科技大学田帅编写；第8章、第16章由沈阳城市建设学院赵中华编写；第2章、第6章由辽宁科技大学张晏编写；第12章、第13章由沈阳建筑大学朱广山和朱陈欣编写。全书由李伟主编，李伟和廖明军统稿。

沈阳大学王晓初教授审阅了书稿，并提出了许多好的意见和建议，在此深表感谢。

沈阳大学研究生刘洪涛、聂红宾、王军伟、张建鹏为本书的文字录入、图形绘制及校对做了大量工作，在此深表感谢。

鉴于本书涉及的内容跨度较大、学科门类较多，限于编者的技术和业务水平，疏漏之处在所难免，不妥之处恳请各位专家和读者批评指正。本书在编写过程中，参考了有关的标准、规范、教材和论著等，在此向有关编著者表示衷心的感谢！因各种条件所限，未能与有关编著者取得联系，引用与理解不当之处，敬请谅解！

编者

目 录

总论	1	0.3 路基路面稳定性分析	7
0.1 道路工程发展概况	1	0.4 行车荷载与交通分析	8
0.1.1 国内道路工程发展	1	0.4.1 行车荷载	8
0.1.2 国外道路工程发展	2	0.4.2 交通分析	13
0.2 路基路面工程的特点及基本要求	4	0.5 自然环境因素影响	15
0.2.1 路基路面工程的特点	4	0.5.1 温度的作用	16
0.2.2 路基设计的一般要求	5	0.5.2 水分的作用	17
0.2.3 路面设计的一般要求	6	本章小结	18
		思考题	18
第一篇 路基工程			
第1章 路基工程概论	19	2.2.1 路堤	43
1.1 路基土的分类及工程性质	19	2.2.2 路堑	44
1.1.1 路基土的分类	19	2.2.3 半填半挖路基	45
1.1.2 路基土的工程性质	22	2.3 路基设计	46
1.2 公路的自然区划	23	2.3.1 路基宽度	46
1.3 路基的水温状况及干湿类型	26	2.3.2 路基高度	48
1.3.1 路基湿度的来源	26	2.3.3 路基边坡坡度	48
1.3.2 大气温度对路基水温状况的影响	26	2.3.4 路基填料	53
1.3.3 路基干湿类型及划分方法	26	2.3.5 路基压实	54
1.4 路基材料力学特性及评价指标	32	2.4 路基附属设施	55
1.4.1 路基受力	32	2.4.1 取土坑与弃土堆	55
1.4.2 路基工作区	32	2.4.2 护坡道与碎落台	56
1.4.3 路基土的应力—应变特性	33	2.4.3 堆料坪与错车道	57
1.4.4 路基土承载能力的评价	34	2.4.4 护栏	58
1.5 路基的变形、破坏及防治	37	本章小结	58
1.5.1 路基的变形、破坏形式	38	思考题	58
1.5.2 路基变形、破坏原因综合分析	39	第3章 路基边坡稳定性分析	59
1.5.3 路基病害防治	40	3.1 边坡稳定性分析原理	59
本章小结	40	3.2 边坡稳定性分析的计算参数	59
思考题	40	3.2.1 土的计算参数	59
第2章 一般路基设计	42	3.2.2 边坡稳定性分析边坡的取值	60
2.1 概述	42	3.2.3 汽车荷载当量换算	61
2.2 路基的类型与构造	43	3.3 边坡稳定性分析方法	61
		3.3.1 路基边坡稳定性分析方法	61
		3.3.2 直线滑动面法	62

3.3.3 圆弧滑动面法	63	5.4.1 概述	112
3.3.4 表解法	66	5.4.2 重力式挡土墙设计	114
3.4 浸水路堤边坡稳定性验算	68	5.5 设计计算示例	119
3.4.1 渗透动水的作用	68	5.5.1 设计资料	119
3.4.2 渗透动水压力的计算	69	5.5.2 挡土墙稳定性验算	120
3.4.3 浸水路堤边坡稳定性分析	69	本章小结	121
3.4.4 浸水路堤边坡稳定措施	71	思考题	121
3.5 陡坡路堤稳定性验算	71	第6章 路基排水设计	123
3.5.1 概述	71	6.1 概述	123
3.5.2 分析方法	72	6.1.1 排水的目的与要求	123
本章小结	73	6.1.2 路基排水设计的一般原则	124
思考题	73	6.2 路基排水设施的构造与布置	124
第4章 路基防护与加固设计	75	6.2.1 地面排水设备	124
4.1 概述	75	6.2.2 地下排水设备	132
4.2 坡面防护	76	本章小结	136
4.2.1 植物防护	76	思考题	136
4.2.2 工程防护	79	第7章 路基施工	137
4.3 冲刷防护	81	7.1 土质路基施工	137
4.3.1 直接防护	81	7.1.1 路基施工方法及施工准备	137
4.3.2 间接防护	85	7.1.2 土质路堤填筑	138
4.4 软土地基加固处理	87	7.1.3 土质路堑开挖	145
4.4.1 软土地基加固方法	87	7.1.4 土方机械化施工	147
4.4.2 软土地基加固工程监测	88	7.2 石质路基施工	151
本章小结	90	7.2.1 填石路堤施工	151
思考题	91	7.2.2 石质路堑开挖	154
第5章 挡土墙设计	92	7.2.3 路基石方爆破	155
5.1 挡土墙类型及使用条件	92	7.3 防护工程施工	161
5.1.1 挡土墙概述	92	7.3.1 坡面防护	161
5.1.2 挡土墙类型	93	7.3.2 沿河路基防护	163
5.1.3 挡土墙的使用条件及要求	95	7.3.3 边坡锚固防护	165
5.2 挡土墙的构造与布置	96	7.3.4 挡土墙防护	166
5.2.1 挡土墙的构造	96	7.3.5 地基加固	167
5.2.2 挡土墙的布置	100	7.4 路基工程质量评定及验收	175
5.3 挡土墙土压力计算	102	7.4.1 土质路基质量评定及验收	175
5.3.1 作用在挡土墙上的力系	102	7.4.2 石质路基质量评定及验收	175
5.3.2 一般条件下库仑主动土压力计算	102	7.4.3 防护工程质量评定及验收	176
5.3.3 其他情况土压力计算简述	108	7.4.4 交工验收	178
5.3.4 车辆荷载的换算及计算参数	110	本章小结	178
5.4 挡土墙的设计	112	思考题	179

第二篇 路面工程

第8章 路面工程概论	180	9.4.4 石灰粉煤灰类基层	207
8.1 路面的结构与层位功能	180	本章小结	208
8.1.1 路基横断面	180	思考题	208
8.1.2 路拱横坡度	180	第10章 沥青路面	209
8.1.3 路面结构层及其功能	181	10.1 概述	209
8.2 路面的等级与分类	182	10.1.1 沥青路面的基本特性	209
8.2.1 路面的等级	182	10.1.2 沥青路面的分类	209
8.2.2 路面的分类	183	10.1.3 沥青路面类型的选择	211
8.3 路面材料的力学强度特性	183	10.1.4 沥青路面对路基及 基层的要求	211
8.3.1 抗剪强度	184	10.2 沥青路面材料的结构 与力学特性	212
8.3.2 抗拉强度	185	10.2.1 三相体系与压实性能	213
8.3.3 弯拉强度	186	10.2.2 沥青混合料的结构力学特性	214
8.4 路面材料的累积变形 与疲劳特性	186	10.2.3 沥青混合料的黏弹性 性质与力学模型	217
8.4.1 路面材料的累积变形	187	10.2.4 沥青混合料的模量	223
8.4.2 路面材料的疲劳特性	188	10.2.5 沥青混合料的强度	225
本章小结	190	10.3 沥青路面的稳定性与耐久性	227
思考题	191	10.3.1 沥青路面的高温稳定性	227
第9章 路面基层	192	10.3.2 沥青路面的低温抗裂性	231
9.1 碎(砾)石基层	192	10.3.3 沥青路面的水稳定性	233
9.1.1 强度形成原理	192	10.3.4 沥青路面的抗疲劳性能	235
9.1.2 碎(砾)石基层	195	10.3.5 沥青路面的耐老化性能	235
9.1.3 级配砾(碎)石基层 厚度和材料	196	10.4 沥青路面的原材料	237
9.2 石灰稳定类基层	197	10.4.1 沥青材料	237
9.2.1 强度形成原理	197	10.4.2 粗集料	242
9.2.2 影响石灰土强度的因素	198	10.4.3 细集料	244
9.2.3 石灰土基层的应用	200	10.4.4 填料	245
9.2.4 石灰稳定土基层缩裂防治	200	10.5 沥青混合料组成设计	245
9.2.5 石灰稳定土混合料设计	200	10.5.1 沥青混合料分类	245
9.2.6 碎(砾)石灰土底基层	201	10.5.2 沥青混合料的选用	246
9.3 水泥稳定类基层	202	10.5.3 沥青混合料的配合比设计	247
9.3.1 强度形成原理	202	本章小结	256
9.3.2 影响强度的因素	204	思考题	256
9.3.3 材料要求及混合料组成设计	204	第11章 沥青路面设计	257
9.4 工业废渣稳定基层	205	11.1 概述	257
9.4.1 对材料的要求	206	11.2 弹性层状体系理论分析	257
9.4.2 混合料组成设计	207	11.2.1 基本假设与解题方法	257
9.4.3 石灰煤渣类基层	207		

11.2.2 主应力计算	259	12.3.6 混凝土小块铺砌路面	299
11.3 沥青路面结构设计		12.3.7 碾压混凝土路面	299
年限及轴载	259	本章小结	300
11.3.1 路面设计年限	259	思考题	300
11.3.2 标准轴载及轴载当量换算	260	第13章 水泥混凝土路面设计	301
11.3.3 设计年限累计当量		13.1 水泥混凝土路面设计理论	301
标准轴载数	260	13.1.1 概述	301
11.3.4 交通等级	261	13.1.2 混凝土路面交通等级	302
11.4 沥青路面结构组合设计	261	13.2 水泥混凝土路面可靠度设计	304
11.4.1 沥青面层结构	262	13.2.1 路面可靠度的定义和	
11.4.2 沥青路面基层结构	263	极限状态函数	304
11.4.3 沥青路面垫层结构	265	13.2.2 路面结构的目标可靠度	305
11.4.4 沥青路面层间结合	266	13.2.3 设计参数均值的取值和	
11.5 沥青路面设计	266	变异系数范围	306
11.5.1 设计指标与极限标准	266	13.2.4 路面结构可靠度的计算	307
11.5.2 路面结构厚度设计方程式		13.2.5 路面结构的	
与设计参数	269	可靠性设计	308
11.5.3 新建路面厚度设计	272	13.3 水泥混凝土路面	
11.5.4 新建沥青路面厚度计算示例	273	结构组合设计	309
11.5.5 路面交工验收指标	277	13.3.1 混凝土面层板	309
11.5.6 沥青路面改建设计	278	13.3.2 混凝土路面基层结构	310
本章小结	280	13.3.3 混凝土路面垫层结构	311
思考题	280	13.3.4 混凝土路面的路基结构	311
第12章 水泥混凝土路面	281	13.4 我国水泥混凝土	
12.1 概述	281	路面设计方法	311
12.1.1 水泥混凝土路面的分类	281	13.4.1 目标可靠度与疲劳	
12.1.2 水泥混凝土路面的特点	281	极限状态方程式	311
12.2 水泥混凝土路面的构造	281	13.4.2 弯拉应力分析及厚度设计	312
12.2.1 土基	281	13.4.3 混凝土路面厚度计算示例	317
12.2.2 基层	282	本章小结	321
12.2.3 混凝土面板	283	思考题	322
12.2.4 接缝的构造与布置	283	第14章 路面结构排水设计	323
12.2.5 特殊部位混凝土路面的处理	287	14.1 概述	323
12.2.6 接缝材料及技术要求	290	14.2 路面排水设计	323
12.2.7 对面层混凝土材料的要求	290	14.2.1 路面表面排水	323
12.3 其他类型混凝土路面简介	296	14.2.2 中央分隔带排水	326
12.3.1 钢筋混凝土路面	296	14.2.3 路面内部排水	328
12.3.2 连续配筋混凝土路面	296	14.2.4 路面边缘排水系统	330
12.3.3 装配式混凝土路面	297	14.2.5 路面基层的排水系统	331
12.3.4 组合式(双层式)		本章小结	333
混凝土路面	298	思考题	333
12.3.5 钢纤维混凝土路面	298		

第15章 路面施工	334
15.1 概述	334
15.2 碎(砾)石基层施工	334
15.2.1 级配碎石施工	334
15.2.2 级配砾石施工	338
15.2.3 填隙碎石施工	340
15.3 半刚性基层施工	342
15.3.1 水泥稳定土施工	343
15.3.2 石灰稳定土施工	349
15.3.3 石灰工业废渣稳定土施工	352
15.4 沥青路面施工	355
15.4.1 热拌沥青混合料路面施工	355
15.4.2 沥青表面处治与封层的施工	365
15.4.3 沥青贯入式路面施工	369
15.4.4 冷拌沥青混合料路面施工	371
15.4.5 透层、黏层	372
15.5 水泥混凝土路面施工	374
15.5.1 施工前的准备工作	374
15.5.2 水泥混凝土路面配合比设计	377
15.5.3 混凝土拌合物搅拌与运输	383
15.5.4 滑模式摊铺机施工	386
15.5.5 轨道摊铺机铺筑施工	389
15.5.6 三辊轴机组铺筑施工	395
15.5.7 小型配套机具铺筑施工	396
15.5.8 特殊气候条件下施工	399
15.6 质量评定及验收	401
15.6.1 基层施工质量评定及验收	401

15.6.2 沥青路面施工质量 评定及验收	405
15.6.3 水泥混凝土路面施工 质量评定及验收	411
本章小结	413
思考题	414
第16章 路面养护与管理	415
16.1 概述	415
16.2 路面病害、防治与养护	415
16.2.1 沥青路面主要病害、 防治与养护	415
16.2.2 水泥混凝土路面主要病害、 防治与养护	421
16.3 路面功能与评价	427
16.3.1 路面功能	427
16.3.2 路面评价	429
16.4 路面管理系统	433
16.4.1 路面管理系统的基本概念	433
16.4.2 路面管理系统的分级	434
16.4.3 路面管理系统的结构与组成	436
16.4.4 路面管理系统的数据库	437
16.4.5 路面损坏的预测模型	438
16.4.6 路面管理系统的功能	438
本章小结	439
思考题	439
参考文献	440

总 论

0.1 道路工程发展概况

0.1.1 国内道路工程发展

我国是一个历史悠久的文明古国,道路业发展很早。我国早在 4000 多年前,就有了车和行车的路。商代开始有驿道传送。西周时期以都市为中心的道路体系十分发达,已建立了比较完善的道路管理制度。秦代修建直道、驰道,建立了规模宏大的道路交通网,总里程达 1.2 万 km,秦直道被誉为人类“第一条高速公路”,是可与兵马俑和长城相媲美的伟大工程,如图 0-1 所示。西汉时期设有驿站 3 万多处,道路交通呈现出十分繁荣的景象,特别是连接欧亚大陆的“丝绸之路”的开通,为当时东西方各国的经济文化交流作出了重要贡献。唐代是中国古代经济和文化发展的鼎盛时期,也是我国古代道路发展的鼎盛时期,初步建立了以都城为中心的四通八达的道路网,并在道路结构、施工方法等方面作了许多创新。宋、元、明各代道路交通均有不同程度的发展。到了清代,已经将道路分成了“官马大路”“大路”“小路”三个等级,其中仅“官马大路”就已超过 2000km。

1901 年我国输入了第一辆汽车,汽车运输在我国开始发展。1908 年建成了我国历史上第一条公路,即广西龙州至那堪公路,全长 30km。1912~1949 年是我国近代公路的发展时期,全国先后共修建了 13 万 km 公路,但这些公路大多标准低、质量差,到 1949 年,能够勉强维持通车的公路仅 8 万 km,汽车保有量约 5 万台,但大多分布在沿海及中部地区,而大部分山区、农村和边疆仍然交通闭塞,行路艰难。



图 0-1 秦直道遗址

新中国成立以后,我国的公路交通事业得到了迅速的发展。主要经历了三个阶段:

- (1) 起步阶段(1950~1960 年) 为了发展经济和保护国家领土完整,修建了举世闻名的青藏公路、康藏公路及海南岛公路、成都至阿坝公路等 10 余条重点公路,并积累了在自然条件复杂、工程艰巨、工期要求短的公路建设经验,同时创造了土石方大爆破、泥结碎石路面、泥结碎石路面加铺级配磨耗层和保护层、软土地基处理等一系列公路设计施工新技术,使我国的公路工程技术水平有了一个整体上的提高。
- (2) 普及阶段(1960~1980 年初) 这期间共修建公路 80 多万 km,其中高级、次高级公路达 10 万 km。
- (3) 高速发展阶段(1980 年代中期~至今) 随着 20 世纪 80 年代中期我国改革开放的步伐开始加快,公路建设也得到飞速发展,开创了公路历史崭新的局面。

虽然我国高速公路建设起步较晚,但发展迅速。自1988年中国修建第一条沪嘉(上海—嘉定)高速公路以来,中国高速公路建设经历了三个发展阶段:

1) 起步阶段(1988~1992年)。这期间每年高速公路通车里程为50~250km。

2) 发展阶段(1993~1997年)。这期间高速公路发展有了明显的加快,年通车里程保持在450~1400km。

3) 大发展阶段(1998年~至今)。在国家积极财政政策的推动下,这一阶段年通车里程基本保持在3000~5000km。2000年以来,我国高速公路通车里程一直保持较高的增长速度,“五纵七横”国道主干线于2007年全线贯通。截至2012年年底,不包括台湾省,我国高速公路的通车总里程达9.56万km,已超过美国,跃居世界第一位,如图0-2所示。到2020年,将基本建成国家高速公路网(简称为“7918网”)。

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。

半个多世纪以来,广大道路工程科技工作者从我国实际和建设需要出发,引进外国的先进技术,刻苦钻研,反复实践,在路基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,如公路自然区划、土的工程分类、沥青路面结构、水泥混凝土路面结构、柔性路面设计理论与方法、刚性路面设计理论与方法和路面养护管理等。



图0-2 中国高速公路

0.1.2 国外道路工程发展

拿破仑时代法国工程师特雷萨盖首先用科学方法改善了道路施工技术,由于他的努力,筑路技术向科学化和近代化迈出了第一步。特雷萨盖于1764年发明了新的筑路方法,10年后在法国获得普遍采用,建成了著名的法国道路网,因而当时法国尊称特雷萨盖为“现代道路建设之父”。

英国的苏格兰工程师特尔福德于1815年建筑道路时,采用层式大石块基础的路面结构,这种大块石基础称为特尔福德基层。1816年英国的另一名苏格兰工程师马克当,对碎石路面作了认真的研究,马克当主张取消特尔福德所发明的笨重的大石块基础而代之以小尺寸的碎石材料,今天道路工程界仍将这种碎石路面称为马克当路面。马克当首先科学地阐述了路面结构的两个基本原则,至今仍为道路工程的工作者所肯定:一是道路承受交通荷载的能力主要依靠天然土基,并强调土基要具备良好的排水,当土基处于干燥状态下,才能承受交通荷载而不致发生过大沉降;二是用有棱角的碎石,互相咬紧锁结成为整体,形成坚固的路面。1858年发明了轧石机后,促进了碎石路面的发展,后来又用马拉的滚筒进行压实工作。1860年在法国出现了蒸汽压路机,进一步促进并改善了碎石路面的施工技术和质量,加快了施工进度。在20世纪初,世界上公认碎石路面是当时最优良的路面而推广于全球。马克当还为汽车时代交通与道路的关系提出了正确的见解。他认为:道路的建设应该适应交通的

发展,而不应该为了维持落后的道路而限制交通。这个主张为以后公路发展起了很大的促进作用。

1883年戴姆勒和1885年本茨分别发明汽车,1888年邓洛普发明充气轮胎,加上马克当发明的碎石路面,成为近代道路交通的三大支柱。与此同时,特尔福德以道路工程师的身份首先创办了土木工程师学会,并担任了终身主席,逐渐发展成为国际上群众性学术团体。

汽车发明后,其性能不断改善,在速度、安全性和舒适性方面有很大的提高,原来的道路条件已不能适应,因而出现了高速公路,自第二次世界大战以后,高速公路在各国相应的发展,高速公路已成为公路现代化的标志。

回顾历史,发达国家公路的发展大致都已经历了三个发展阶段,目前正处于第四个发展阶段。

(1) 公路普及阶段(19世纪末~20世纪30年代) 这期间随着汽车的大量使用,大多是在原有乡村大道的基础上,按照汽车行驶的要求进行改建与加铺路面,构成基本的道路网,达到大部分城市都能通行汽车的要求。

(2) 公路改善阶段(20世纪30年代~20世纪50年代) 这期间由于汽车保有量的迅速增加,公路交通需求增长很快,各国除进一步改善公路条件外,开始考虑城市间、地区间公路的有效连接,着手高速公路和干线公路的规划,各国都相继提出了以高速公路为主的干线公路发展规划,并通过立法,从法律和资金来源等方面给予保障。

(3) 高速公路和干线公路高速发展阶段(20世纪50年代~20世纪80年代) 这期间各国大力推进高速公路和干线公路规划的实施与建设,并基本形成以道路使用者税费体系作为公路建设资金来源的筹资模式,各国经过几十年的发展,已基本形成了以高速公路为骨架的干线公路网,为公路运输的发展奠定了基础。

(4) 公路综合发展阶段(20世纪80年代末90年代初~至今) 这期间各国在已经建成发达的公路网络的基础上,维护改造已有的道路、桥梁设施,进一步完善公路网络系统,重点解决车流合理导向、车辆运行安全以及环境保护等问题,以提高公路网综合通行能力和服务水平,重视公路环保设施的建设,在公路建设和运营过程中对环境和生态进行保护。

目前,国外高速公路呈现出了新的发展趋势,主要表现在以下几个方面:

(1) 国际高速公路网的形成 相邻国家之间合作修建高速公路,形成国际高速公路网,促成了国际高速公路网的形成。为了更好地发挥高速公路效益,加强国际之间的公路运输联系,一些发达国家正在把主要的高速公路联结起来,构成国际高速公路网。

(2) 信息化公路的逐步实现 信息化公路将着眼于道路的多功能利用,不仅使用路面,还要利用空间,这就使公路不仅具有运输人和物资的固有交通功能,还有输送电力等能源及各种信息,美化环境、抗灾避险及作为建造其他建筑物的基础等空间功能。

(3) 卫星检测及控制系统得到广泛利用 信息时代的到来,各类检测及监测系统普遍使用,交通控制中心将充分利用卫星地面系统转发的交通信息,按新的交通流理论,指挥汽车按最优路线行驶,既节约时间,又创造最大效益。

路基路面工程作为道路工程的一个学科分支,在我国随着交通运输的快速发展,正在以较快的速度逐步接近国外同类学科的前沿。进入21世纪,交通运输不论是在我国,还是在其他技术发达国家,仍然是一个重要的科技领域。我国道路科技工作者将会从实际出发,不断吸取交叉学科的新成就以及世界各国的有用经验,全面推动路基路面工程学科的发展,为

我国交通运输现代化作出贡献。根据当前路基路面工程科学技术的发展趋势,材料科学、岩土工程学、结构分析理论、机电工程、自动控制与量测技术和现代管理科学等学科的交叉与发展,将有利于路基路面工程学科的进一步发展。

0.2 路基路面工程的特点及基本要求

公路是一个空间带状建筑物,由各种各样的构造物组成。根据各构造物的特点和用途,公路一般可以分为路基工程、防护与加固工程、排水工程、路面工程、隧道工程、桥梁工程、交通安全设施和绿化工程等。

0.2.1 路基路面工程的特点

路基与路面是构成公路的主体构造物。路基是在天然地表面按照道路的设计线形(位置)和设计横断面(几何尺寸)的要求开挖或堆填而成的岩土结构物。路面是在路基顶面的行车部分用各种混合料铺筑而成的层状结构物。

路面按照层位功能的不同,划分为面层、基层和垫层,路面底面以下 80cm 范围内的路基部分称为路床,如图 0-3 所示。

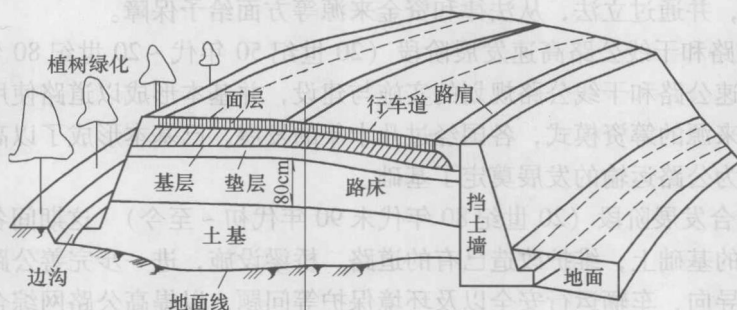


图 0-3 路基路面基本构造示意图

路基是路面结构的基础,坚强而又稳定的路基为路面结构长期承受汽车荷载提供了重要的保证,而路面结构层的存在又保护了路基,使其免受车辆和大气的直接破坏,长期处于稳定状态。路基和路面相辅相成,是不可分离的整体,应综合考虑它们的工程特点,综合解决两者的强度、稳定性等工程技术问题。

路基路面工程的特点大致归纳如下:

(1) 工程量大、投资大 路基与路面工程是道路工程的主要组成部分,工程量十分可观。例如,微丘区的三级公路每千米土石方数量为 $8000 \sim 16000 \text{ m}^3$,山岭、重丘区的三级公路每千米可达 $20000 \sim 60000 \text{ m}^3$,对于高速公路,数量更为可观。路面结构在道路造价中所占比重很大,一般都要达到 30% 左右。因此,精心设计,精心施工,使路基路面能长时期具备良好的使用性能,对节约投资、提高运输效益具有十分重要的意义。

(2) 涉及面广、占地范围大 路基路面是一项线形工程,有的公路延续数百公里,甚至上千公里,占用土地范围大。我国是一个人口多、土地资源并不丰富的国家,在设计时要尽可能少占用农田,注意农田的保护和恢复。路基穿越地带,会切断原来路基两侧的农田灌

溉系统,有时会占用河道、溪流等,需要经过充分技术论证,以不破坏原有的水利系统为原则。公路除应满足行车要求外,也是一个建筑构造物,是一件艺术品,搞好路基路面的美观设计,对改善行车条件、保护生态平衡有着重要的意义,应尽量避免路基的大填大挖,注意原地貌的保护和恢复,对路基开挖的弃方要妥善处理,尽量减少路基施工对周边环境的不良影响。

(3) 结构复杂多变 公路沿线地形起伏,地质、地貌和气象特征多变,再加上沿线城镇经济发达程度与交通繁忙程度不一,路基断面形式、防护构造物应根据不同的情况设置。路面要根据公路使用要求、当地材料来源和条件,根据不同路段的地质水文条件和路基状况,采用相应不同的结构类型和厚度。工程技术人员必须掌握广博的知识,善于识别各种变化的环境因素,恰当地进行处理,建造出理想的路基路面工程。

(4) 路基与路面相互制约 路基要为路面提供稳固的地基,路基必须有足够的强度和稳定性。路基是保证路面强度和稳定性的必要前提,合理设计路基,可以减少路面的厚度,降低路面造价。随着我国高等级公路建设的迅速发展,行车荷载、车辆密度和车速增大,对路基的强度、稳定性和沉降控制等要求也越来越高,因此,路基设计要与路面设计结合起来综合考虑。

(5) 直接影响公路的使用性能 路基与路面的强度和稳定性直接影响公路的质量和造价。许多公路出现各种各样的病害,相当多的情况是路面损坏、路基坍塌,有些软土地基地段出现过大的路基沉陷,严重影响车辆通行和行车安全,增加了养护费用,路基路面在公路工程中占有重要的地位。

路基路面工程是一门多学科密切结合的技术学科,不仅有理论知识,还包括许多实际应用知识,包括技术要求、技术标准,蕴涵着许多技术知识的运用能力和技能培养。由于路基路面修建在自然环境中,影响其强度、稳定性和使用性能的因素多且复杂。路基路面工程的研究方法主要包括概念判断和理论分析两种。概念判断建立在试验、工程经验积累和大量的调查统计基础上,考虑路基路面的各种影响因素,作出正确的判断和采取相应的技术措施;理论分析建立在相关的力学理论知识基础上,借助于各种计算手段,特别是应用计算机对路基路面进行分析和计算。概念判断和理论分析两者相辅相成、缺一不可。

0.2.2 路基设计的一般要求

路基除断面尺寸应符合设计规范要求外,还应满足下列基本要求:

1) 具有足够的整体稳定性。路基是直接在地面上填筑或挖去一部分地面建成的。路基建成后,改变了原地面的天然平衡状态。在工程地质不良的地区,修建路基可能加剧原地面的不平衡状态;开挖路堑使两侧边坡土体失去支撑力,可能导致边坡坍塌或滑坡;天然坡面特别是陡坡面上的填方路堤可能因自重而下滑。对于上述种种情况,都必须因地制宜地采取措施保证路基的整体稳定性。

2) 具有足够的承载力。公路上的行车荷载通过路面传递给路基,对其产生一定压力,路基自重及路面的重力也给予路基和地基一定压力。这些压力都可以使路基产生一定的变形,使路面变形而遭到破坏,直接影响路面的使用品质。因此,要求路基具有足够的承载力,抵御外力产生的各种应力,并不产生超过容许范围的变形。

3) 具有足够的水温稳定性和耐久性。路基在地面水和地下水作用下,其强度将显著地

降低。特别是在季节性冰冻地区,由于水温状况(湿度与温度状况)的变化,路基将发生周期性冻融破坏,使路基强度急剧下降。因此,路基不仅应具有足够的强度,而且还应保证在最不利的水温状况下,强度不会显著降低,即要求路基具有足够的水温稳定性与耐久性。

4) 应符合环境保护要求,避免引发地质灾害,减少对生态环境的影响。

0.2.3 路面设计的一般要求

为了保证道路最大限度地满足车辆行驶的要求,提高行车速度,增强安全性和舒适性,降低运输成本和延长道路的使用年限,路面应满足下述基本要求:

(1) 具有足够的承载力 行驶在路面上的车辆通过车轮把荷载传给路面,在路面结构内部产生应力、应变及位移。如果路面结构整体或某一组成部分的强度或抗变形能力不足以抵抗这些应力、应变及位移,则路面会出现断裂、沉陷,路表面会出现波浪或车辙,使路况恶化,服务水平下降。因此,要求路面结构整体及其各组成部分都具有与行车荷载相适应的承载能力。结构承载能力包括强度和刚度两方面。路面结构应具有足够的强度以抵抗车辆荷载引起的各个部位的各种应力,如压应力、拉应力、剪应力等,保证不发生压碎、拉断、剪切等各种破坏。路面整体结构或各个结构层应具有足够的刚度,使其在车辆荷载作用下不发生过量的变形,保证不发生车辙、沉陷或波浪等各种病害。

(2) 具有足够的稳定性 路面结构暴露在大气之中,经常受到大气温度、降水和湿度变化的影响。结构的物理、力学性质将随之发生变化,处于另外一种不稳定状态。路面结构能否经受这种不稳定状态,而保持工程设计所要求的几何形状及物理力学性质,称为路面结构的稳定性。路面的稳定性包括高温稳定性、低温稳定性和水稳定性。

大气温度周期性的变化对路面结构的稳定性有重要影响,高温季节沥青路面软化,在车轮荷载作用下产生永久变形;水泥混凝土路面在高温季节因结构物变形产生过大内应力,导致路面被压曲破坏。在北方冰冻地区的低温冰冻季节,水泥混凝土路面、沥青路面、半刚性基层由于低温收缩产生大量裂缝,最终失去承载力。

大气降水使路面结构内部的湿度状态发生变化,水泥混凝土路面如果不能及时将水分排出结构层,会发生唧泥现象,冲刷基层,导致结构层被提前破坏。沥青混凝土路面中水分的侵蚀会引起沥青结构层剥落,结构松散。因此,路面的防水、排水是确保路面稳定的重要方面。

(3) 具有足够的耐久性 路面工程投资大,从规划、设计、施工至建成通车需要较长的时间,对于这样的大型工程都应有较长的使用年限,一般的道路工程使用年限至少为数十年,承重并经受车辆直接碾压的路面部分要求使用年限在20年以上,因此路基路面工程应具有耐久的性能。路面在车辆荷载的反复作用与大气水温周期性的重复作用下,使用性能将逐年下降,强度与刚度将逐年衰变。路面材料的各项性能也可能由于老化衰变而引起路面结构的损坏。因此,提高路面的耐久性,保持其强度、刚度、几何形态经久不衰,除了进行精心设计、施工和选材之外,要把长年的养护、维修、恢复路用性能的工作放在重要的位置。

(4) 具有足够的表面平整度 路面表面平整度是影响行车安全、行车舒适性以及运输效益的重要使用性能。不平整的路表面会增大行车阻力,并使车辆产生附加的振动作用。这种振动作用会造成行车颠簸,影响行车的速度和安全,驾驶的平稳和乘客的舒适感。同时,振动作用还会对路面施加冲击力,从而加剧路面和汽车机件的损坏和轮胎的磨损,并增大油

料的消耗。另外,不平整的路面还会积滞雨水,加速路面的破坏。因此,为了减少振动冲击力,提高行车速度和增强行车舒适性、安全性,路面应保持一定的平整度。路面的平整度同整个路面结构和路基顶面的强度、抗变形能力有关,同结构层所用材料的强度、抗变形能力以及均匀性有很大关系。强度和变形能力差的路面结构和面层混合料经不起车轮荷载的反复作用,极易出现沉陷、车辙和推挤破坏,从而形成不平整的路面表面。

(5) 具有足够的表面抗滑性能 路面表面要求平整,但不宜光滑,汽车在光滑的路面上行驶时,车轮与路面之间缺乏足够的附着力或摩擦力。雨天高速行车,或紧急制动,或突然起动,或爬坡、转弯时,车轮易产生空转或打滑,致使行车速度降低,油料消耗增多,甚至引起严重的交通事故。对于高速公路的高速行车道,要求具有较高的抗滑性能。路面表面的抗滑能力可以通过采用坚硬、耐磨、表面粗糙的粒料组成路面表层材料来实现,有时也可以采用一些工艺措施来实现,如水泥混凝土路面的刷毛或刻槽等。

0.3 路基路面稳定性分析

路基路面暴露在大气中,其稳定性在很大程度上由当地的自然条件所决定。因此,深入调查公路沿线的自然条件,从总体到局部,从大区域到具体路段的自然情况,对其进行分析研究,掌握其规律及对路基路面稳定性的影响,因地制宜地采取有效的工程措施,以确保路基路面具有足够的强度和稳定性。

路基路面的稳定性通常与下列因素有关:

(1) 地理条件 公路沿线的地形、地貌和海拔高度不仅会影响到路线的选定,也会影响到路基与路面的设计。平原、丘陵、山岭各区地势不同,路基的水温情况也不同。平原区地势平坦,排水困难,地表易积水,地下水位相应较高,因而路基需要保持一定的最小填土高度,路面结构层应选择水稳定性良好的材料,并采取一定的结构排水设施;丘陵区 and 山岭区地势起伏较大,路基路面的排水设计至关重要,否则会导致稳定性下降,出现破坏现象,影响路基路面的稳定性。

(2) 地质条件 沿线的地质条件,如岩石的种类、成因、节理,风化程度,岩石产状、层理和岩层厚度,有无夹层或遇水软化的夹层,以及有无断层或其他不良地质现象(岩溶、冰川、泥石流、地震等)都会对路基路面的稳定性产生一定的影响。

(3) 气候条件 气候条件如气温、降水、湿度、冰冻深度、日照、蒸发量、风向、风力等都会影响公路沿线地面水和地下水的状况,并且会影响路基路面的水温情况。在一年之中,气候有季节性的变化,因此路基路面的水温情况也随之变化。气候还受地形的影响,如山顶与山脚、山南坡与山北坡的气候有很大的差别,这些因素都会严重影响路基路面的稳定性。

(4) 水文和水文地质条件 水文条件如公路沿线地表水的排泄,河流洪水位、常水位,有无地表积水和积水时期的长短,河岸的淤积情况等。水文地质条件如地下水位,地下水移动的规律,有无层间水、裂隙水、泉水等。所有这些地面水及地下水都会影响路基路面的稳定性,如果处理不当,常会引起各种病害。

(5) 土的类别 土是建筑路基和路面的基本材料,不同的土类具有不同的工程性质,因而将直接影响路基和路面的强度与稳定性。不同的土类含有不同粒径的土颗粒砂粒成分多

的土,强度构成以内摩擦力为主,强度高,受水的影响小,但施工时不易压实。较细的砂在渗流情况下容易流动,形成流沙。黏粒成分多的土,强度形成以黏聚力为主,其强度随密实程度的不同变化较大,并随湿度的增大而降低。粉土类土毛细现象强烈,路基路面的强度和承载力随着毛细水上升,湿度增大而下降,在负温度坡差作用下,水分通过毛细作用移动并积聚,使局部土层湿度大幅度增加,造成路基冻胀,最后导致路基翻浆、路面结构层断裂等各种破坏。

0.4 行车荷载与交通分析

0.4.1 行车荷载

路基路面结构的主要功能是保证汽车安全、舒适、高速、经济地运行。汽车是路基和路面的服务对象,汽车荷载是造成路基和路面结构损伤的主要原因。为了使设计的路基路面结构具有良好的结构性能,达到预计的功能,首先应对行驶汽车的作用荷载分析,包括汽车轮重与轴重的大小与特性,不同车型车轴的布置,设计期限内汽车轴型的分布以及车轴通行量逐年增长的规律,汽车静态荷载与动态荷载特性比较等。

1. 车辆类型

道路运输使用的汽车大致可以分为载客汽车和载货汽车两类。

(1) 载客汽车 载客汽车又分为轿车(小客车)和客车(大客车)两种。

1) 轿车是除驾驶人外乘坐2~8人的小型客车。轿车按发动机的工作容积大小分为微型(1L以下)、轻型(1~1.6L)、中型(1.6~2.5L)和大型(2.5L以上)轿车。它们的车速高,空车质量和满载质量都较小,总质量一般大于1.2t,最高车速一般大于100km/h。

2) 客车是除驾驶人外乘坐9人以上的载客汽车。客车有单层和双层两种形式,并按总质量、总长度分为不同类型,见表0-1。它们的满载质量一般大于10t,最高车速通常不小于60km/h。

表0-1 客车类型

类 型	小 型	中 型	大 型	铰 接 式	双 层
总质量/t	<4	4~11	11~16	>18	>15
总长/m	<6	6~9	9~12	>14	9~12

(2) 载货汽车 载货汽车包括一般载货汽车、自卸汽车、牵引车及被牵引的挂车、平板车和集装箱车等。其中,自卸车、集装箱车、混凝土搅拌车等往往也叫专用汽车。专用汽车是具有专业使用用途的载货汽车,可以较好地实现载运工具与货运间的相互配合。专用汽车在工业发达国家的载货汽车的保有量中已占很大比重。

载货汽车一般总质量为5~15t,最高车速为70~80km/h。自卸汽车总质量在15~50t以上,最高车速仅为40~50km/h。牵引车自重约为5t,被牵引的拖挂车、平板车、集装箱车的最大质量大于100t。在路面设计中,一般将专用汽车视作为载货汽车。

载货汽车按其载质量的大小分为三类:载质量4t以下的为轻型,4~8t为中型,载质量8t以上为重型。运输批量大,运距长的货物,采用的车辆载质量越大,运输生产率越高、