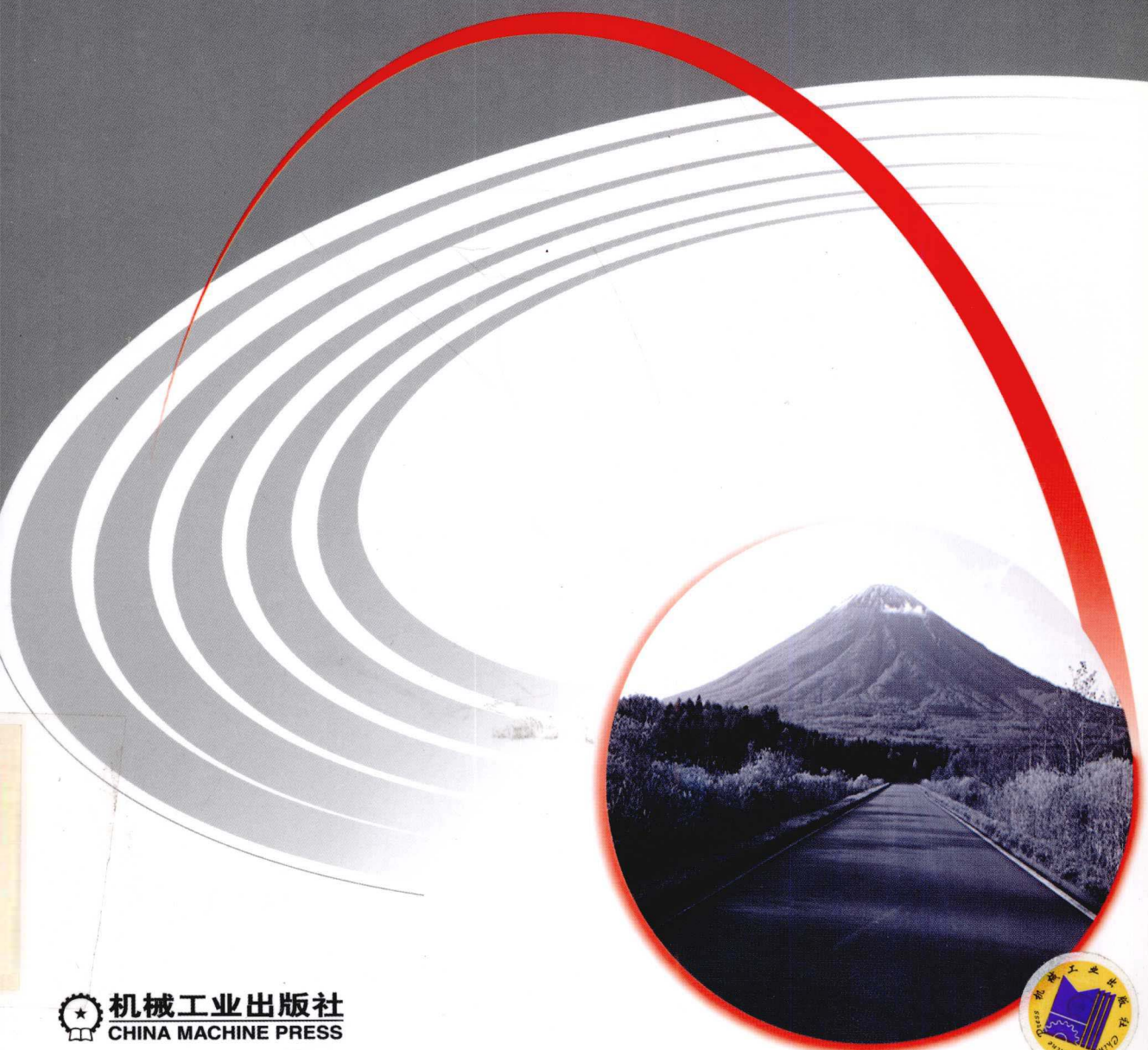




高等职业教育“十一五”规划教材

路基路面工程

李维勋 主编



高等职业教育“十一五”规划教材

路基路面工程

主 编 李维勋

副主编 刘颀楠

参 编 康 成 李永成 王淑红 张庆宇

主 审 陈国垣



机械工业出版社

本书分两篇共 18 章, 主要内容包括: 路基、路面工程总论, 一般路基设计, 路基边坡稳定性设计, 路基路面排水设计, 路基防护与加固, 挡土墙设计, 路基施工, 路基工程质量检测, 路面基(垫)层设计, 沥青路面设计, 水泥混凝土路面设计, 路面基(垫)层施工, 沥青路面及水泥混凝土路面施工, 路面评定等。

本书作为高职高专道路与桥梁工程、公路与城市道路等专业的教材, 同时也可供有关专业人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

路基路面工程/李维勋主编. —北京: 机械工业出版社, 2005.8
高等职业教育“十一五”规划教材
ISBN 7-111-17257-4

I. 路... II. 李... III. ①路基—道路工程—高等学校: 技术学校—教材 ②路面—道路工程—高等学校: 技术学校—教材 IV. U416

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 096000 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: 李俊玲

责任编辑: 覃密道 版式设计: 张世琴 责任校对: 张 媛

封面设计: 姚 毅 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2005 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·15.75 印张·385 千字

定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

路基路面工程是一门理论和实践并重，实践性较强的专业课程。其教材内容通俗易懂，理论融于实践，便于学生自学，拓宽了教材的适用性，突出理论与实践相结合的要求，以达到学用结合的目的。教材全部采用交通部颁布的最新工程技术标准和规范，符合先进性、科学性、实用性的要求。此外在更新设计理念，提高设计质量，体现公路与自然环境、人文环境的和谐统一方面提出了一定的看法，突出了重视施工过程的特点。

该课程的目的，在于使学生了解路基路面工程的基本知识和技能，培养适应我国公路建设需要的有理论、会设计，又能组织公路工程施工和管理的复合型人才。

本书内容包括路基工程和路面工程两篇共 18 章。第一、二章由江西交通职业技术学院李维勋编写；第三、四、五章由四川建筑职业技术学院康成编写；第六、七、八章由南京交通职业技术学院李永成编写；第九、十、十八章由黄河水利职业技术学院王淑红编写；第十一、十四、十七章由河北交通职业技术学院张庆宇编写；第十二、十三、十五、十六章由徐州建筑职业技术学院刘頔楠编写。本书由李维勋任主编，江西省交通设计院陈国垣任主审。

本课程实际教学学时分配建议表如下：

学时分配建议表

章号	章名	教学时数			
		小计	讲课	实践	课程设计
1	路基工程总论	4	4		
2	一般路基设计	6	4		2
3	路基边坡稳定性设计	8	6		2
4	路基排水设计	4	4		
5	路基防护与加固	4	4		
6	挡土墙设计	6	4		2

(续)

章号	章名	教学时数			
		小计	讲课	实践	课程设计
7	路基施工	2	2		
8	土质路基施工	8	6	2	
9	石质路基施工	4	4		
10	路基工程质量检测	4	2	2	
11	路面工程总论	4	4		
12	路面基（垫）层设计	6	4		2
13	沥青路面设计	6	4		2
14	水泥混凝土路面设计	4	4		
15	路面基（垫）层施工	8	6	2	
16	沥青路面施工	10	6	4	
17	水泥混凝土路面面层施工	4	4		
18	路面的评定	4	2	2	
	机动	4	4		
合计		100	78	12	10

由于编者的业务水平有限，时间较紧，书中难免存在缺点或错误，诚请读者批评指正。

编者

目 录

出版说明

前言

第一篇 路基工程

第一章 路基工程总论	1
第一节 道路工程概述	1
第二节 路基的强度	3
第三节 公路自然区划与路基干湿类型	7
第四节 路基土的分类与工程性质	16
小结	17
思考与练习	17
第二章 一般路基设计	18
第一节 路基的典型横断面	19
第二节 路基的构造	20
第三节 路基的附属设施	25
小结	27
思考与练习	27
第三章 路基边坡稳定性设计	28
第一节 边坡稳定性分析方法	28
第二节 陡坡路堤稳定性验算	37
第三节 浸水路堤边坡稳定性验算	39
小结	42
思考与练习	42
第四章 路基排水设计	43
第一节 路基排水要求及一般规定	43
第二节 地表排水设施的构造与布置	43
第三节 路基地表排水沟渠的加固	49
第四节 路基地下排水设施的构造与布置	50
第五节 路基排水的综合设计	53
小结	55
思考与练习	55
第五章 路基防护与加固	56
第一节 基本概念	56
第二节 坡面防护	57
第三节 冲刷防护	61

第四节 湿软地基加固	63
小结	65
思考与练习	65
第六章 挡土墙设计	66
第一节 挡土墙的分类、用途及使用条件	66
第二节 挡土墙构造及土压力计算	69
第三节 挡土墙稳定性验算	73
第四节 挡土墙的布置与设计示例	76
小结	80
思考与练习	80
第七章 路基施工	81
第一节 概述	81
第二节 施工前的准备工作	82
第三节 公路工程的施工过程	86
小结	90
思考与练习	90
第八章 土质路基施工	91
第一节 土质路基填挖基本方案	91
第二节 土质路堤填筑	94
第三节 土质路堑开挖	98
第四节 土方机械化施工	99
第五节 路基整修与维修	105
小结	106
思考与练习	106
第九章 石质路基施工	107
第一节 填石路堤施工	107
第二节 石质路堑施工	109
小结	117
思考与练习	117
第十章 路基工程质量检测	118
第一节 路基工程质量检查验收方法及要求	118
第二节 路基压实原理与压实质量控制	122
第三节 路基压实质量的检测方法	125
小结	130
思考与练习	130

第二篇 路面工程

第十一章 路面工程总论	132
第一节 路面工程的特点与等级分类	132
第二节 路面工程的功能要求与结构组成	134
第三节 影响路面结构稳定的因素分析	137
小结	138
思考与练习	138
第十二章 路面基(垫)层设计	139
第一节 路面基(垫)层分类及特点	139
第二节 碎(砾)石基(垫)层	141
第三节 无机结合料稳定类基(垫)层	144
小结	152
思考与练习	152
第十三章 沥青路面设计	153
第一节 沥青路面的设计与原则	153
第二节 沥青路面的分类及特点	154
第三节 标准轴载与交通量分级	155
第四节 沥青路面结构设计	158
第五节 其他沥青路面简介	162
小结	164
思考与练习	164
第十四章 水泥混凝土路面设计	165
第一节 水泥混凝土路面的分类与特点	165
第二节 普通水泥混凝土路面的构造	166
第三节 面层混凝土材料的要求	173
第四节 混凝土路面设计方法简介	175
小结	176
思考与练习	177
第十五章 路面基(垫)层施工	178
第一节 水泥稳定土基(垫)层施工	178

第二节 石灰稳定土基(垫)层施工	184
第三节 石灰粉煤灰稳定土施工	187
第四节 级配碎石基(垫)层施工	190
第五节 级配砾石基(垫)层施工	193
第六节 路面基(垫)层施工质量控制	194
小结	196
思考与练习	196
第十六章 沥青路面施工	197
第一节 沥青表面处治与封层施工	197
第二节 沥青贯入式面层施工	199
第三节 热拌沥青混合料面层施工	200
第四节 沥青路面施工质量问题处治方法简介	207
第五节 沥青路面施工质量控制	213
小结	217
思考与练习	218
第十七章 水泥混凝土路面面层施工	219
第一节 施工准备	219
第二节 水泥混凝土路面面层施工	220
第三节 水泥混凝土路面施工质量控制	225
小结	229
思考与练习	229
第十八章 路面的评定	230
第一节 路面行驶质量评定	230
第二节 路面结构承载能力评定	233
第三节 路面抗滑性能评定	235
第四节 路面结构损坏状况评定	237
小结	239
思考与练习	239
参考文献	241

第一篇 路基工程

第一章 路基工程总论

● 学习目标:

1. 了解道路工程的发展概况。
2. 熟悉公路的主要组成部分及一般特点。
3. 了解影响路基强度和稳定性的各种因素及分析方法。
4. 初步掌握路基干湿类型及路基临界高度的划分方法。
5. 能根据路基用土的工程性质选择路基用土。

● 本章重点:

公路主要组成部分的名称、功能及组合形式,路基的干湿类型划分。

● 本章难点:

路基干湿类型及临界高度的划分。

第一节 道路工程概述

一、道路工程的发展情况

道路是供各种车辆(无轨)和行人等通行的工程设施。按其使用特点分为公路、城市道路、林区道路、厂矿道路及乡村道路等。

公路是连接城市、乡村和工矿基地等的,主要供汽车行驶的,具有一定技术条件和设施的道路。我国道路的发展有着漫长的历史,曾经创造了领先于世界的古代道路文化。但是,由于长期的封建制度和近百年帝国主义列强的侵略和掠夺,束缚了生产力的发展,导致中国公路的兴建直至上世纪初才开始。旧中国的公路建设发展十分缓慢,至1949年中国解放,全国只有13万km公路,而且这些公路大多标准很低,设施简陋,路况很差,能维持通车的仅有8万km,全国有1/3的县不通公路。

1949年新中国成立以后,我国进入了社会主义建设的伟大时代。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的新时期。公路建设也开创了崭新的局面。到2004年底,全国通车里程达到了185.6万km,其中高速公路3.42万km,居世界第二位,并以每年接近11%的速度在增长。到“十五”末,我国公路里程要达到195万km,高速公路4万km,公路通乡率达99.8%,通村率达96%。空前的公路事业发展必将带动公路运输,而公路运输已渗入到经济建设和社会生活的各个方面,可见,公路建设在国民经济中占有越来越重要的地位。

二、公路的主要组成部分

公路是一种带状的三维空间实体，它的中心线是一条空间曲线。公路中线及沿线地貌、地物在水平面上的投影图称为路线平面图。沿路线中线的竖向断面图称为路线纵断面图。中桩处垂直于公路中心线方向的剖面图称为路线横断面图。

公路的基本组成部分包括：路基、路面、桥梁、涵洞、隧道、防护与加固工程、排水设施、山区特殊构造物等。此外，为保证汽车行驶的安全、畅通和舒适，还需要有各种附属工程，如公路标志、路用房屋、加油站及绿化栽植等。

路基是按照路线位置和一定技术要求修筑的带状构造物，是路面的基础，承受由路面传递下来的行车荷载，并承受自然因素的作用。路基横断面示意图如图 1-1 所示。

路面是用各种筑路材料铺筑在公路路基上供汽车行驶的构造物。

路床是路面的基础，是指路面底面以下 80cm 范围内的路基部分，承受由路面传来的荷载。在结构上分上路床（0~30cm）及下路床（30~80cm）两层。

路肩是指位于行车道外缘至路基边缘，具有一定宽度和横坡度的带状结构部分（包括硬路肩与土路肩），用以保持行车道的功能和供临时停车使用，并作为路面的横向支承。

路基边坡是指为保证路基稳定，在路基两侧做成的具有一定坡度的坡面。为了防止水流对边坡的冲刷，在坡面上所做的各种铺砌和栽植总称为护坡。

为防止路基填土或山坡土体坍塌而修筑的承受土体侧压力的墙式构造物称为挡土墙。它是路基加固工程的一种结构形式。

为保持路基稳定和强度而修建的地表和地下排水设施称为路基排水设施，包括边沟、截水沟、排水沟、急流槽、跌水、蒸发池、渗沟、渗水井等。

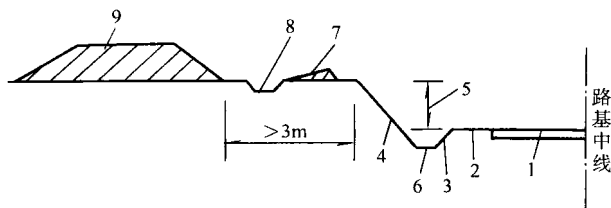


图 1-1 路基横断面示意图

1—路面 2—路肩 3—内侧边坡 4—外侧边坡 5—边坡高度
6—边沟 7—土埂 8—截水沟 9—弃土堆

三、路基工程的一般特点

公路路基是路面的基础，它的作用是保证路面平整，并具有足够的强度与稳定性。为此，要求路基在行车荷载和自然因素的综合作用下，具有良好的使用品质。

从工程性质和结构特点来说，公路路基主要是用土壤或石块修筑而成的一种线形结构物。它的结构形式比较简单，但工程数量很大，而且往往比较集中，以山重区二级公路为例，每公里土石方数量可达 7~11 万 m^3 ，四车道山重区高速公路每公里土石方数量可达 25 万~30 万 m^3 。因此，工程量的大小是控制公路施工进度的关键。特别是由于路基长距离地修筑在地面上，同地面及大气的接触面积很大，它的稳定性受到地形、地质、土壤、水文和气候的影响极大，如果设计和施工不当，容易产生经常性的各种病害，导致路基路面破坏，影响交通和行车安全，需耗费较大的投资进行修复。此外，由于公路路线较长，如果设置在平坦地带，往往会占用农田和影响原有的排灌设施，必须妥善处理同农业生产的关系。搞好路基工程，并非是轻而易举的事，对此，要有充分的认识。

搞好路基工程的关键在于加强调查研究,摸清沿线的自然条件,尤其是地质和水文状况,了解沿线地方城镇建设规划和农业发展规划,因地制宜,抓住重点,综合改造,确保设计与施工质量。

四、路基设计的基本内容

路基设计的任务是根据公路和性质、等级和技术标准,结合当地自然条件,综合考虑与路线、路面和桥涵的关系后,拟定正确的路基设计方案,作为施工的依据。路基设计的内容一般包括以下几个方面:

(1) 路基主体工程 路基主体设计包括选择路基横断面形式,确定路基宽度、路基高度、路基边坡坡度等。

(2) 路基排水 根据沿线地表水流及地下水埋藏情况,进行沿线排水系统的总体布置,以及地面排水设施和地下排水设施的设计。

(3) 路基防护与加固 防护与加固设计内容有坡面防护、冲刷防护及支挡结构物的布置、构造设计与计算等。

(4) 路基工程的附属设施 包括取土坑与弃土堆、护坡道与碎落台、堆料坪与错车道等的布置与计算。

第二节 路基的强度

一、路基受力与工作区

(一) 路基受力状况

路基在工作过程中,同时承受两种荷载:一种是路面和路基自重引起的静力荷载;另一种是车轮荷载引起的动力荷载。在两种荷载的共同作用下,路基土处于受力状态。理想的设计应使路基受力时只产生弹性变形,车轮驶过以后恢复原状,以确保路基的相对稳定,不致引起路面破坏。

假设车轮荷载为圆形均布垂直荷载,路基为一弹性均质半空间体,如图 1-2 所示。路基土在车轮荷载作用下所引起的垂直应力 σ_1 可以用近似式 (1-1) 计算。

$$\sigma_1 = P/[1 + 2.5(Z/D)^2] \quad (1-1)$$

式中 P ——车轮的单位压力 (kPa);

D ——圆形均布荷载作用面积的直径 (m);

Z ——圆形均布荷载中心下应力作用点的深度 (m)。

路基土自重在地基内深度为 Z 处所引起的压应力可用式 (1-2) 计算:

$$\sigma_2 = \gamma Z \quad (1-2)$$

式中 γ ——土的重度 (kN/m³);

Z ——应力作用深度 (m)。

路基内任一点处的车轮荷载所产生的垂直力 σ_1 、土基自重引起的垂直应力 σ_2 及两者的应力曲线如图 1-2 所示。

1. 路基工作区

根据图 1-2 分析, 路基在某一深度 Z_a 处, 车轮荷载所产生的应力仅为自重应力的 $1/5 \sim 1/10$, 在此深度 Z_a 以下, 车轮荷载对土基强度和稳定性影响甚小, 可略去不计。因此, 我们把车辆荷载在土基中产生应力作用较大的 Z_a 范围内的路基称为路基工作区, Z_a 称为路基工作深度。几种汽车车型的路基工作区深度的近似值见表 1-1。

由表 1-1 可以看出, 轻、重型汽车车轮荷载的影响深度相差很大, 设计时应予注意。

路基工作区内, 土基的强度与稳定性对于保证路面的强度与稳定、满足行车要求极为重要。因此, 对应力作用区内的土质选择、路基的压实度应提出较高的要求。

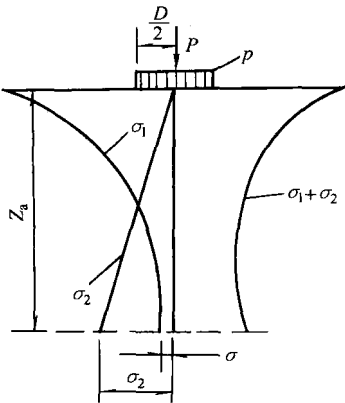


图 1-2 土基应力分布示意图

表 1-1 路基工作区深度

汽车型号	每侧后轮重 P/kN	工作区深度 Z_a/m
解放 CA-10B 载重汽车	$1/2 \times 60.85$	1.6
东风 EQ-140 载重汽车	$1/2 \times 69.20$	1.7
黄河 JN-150 载重汽车	$1/2 \times 101.60$	1.9
北京 BJ-130 倾卸汽车	$1/2 \times 27.18$	1.2
黄河 QD-351 倾卸汽车	$1/2 \times 97.15$	1.9
上海 SH-380 载重汽车	$1/2 \times 360.00$	2.9
天津 TJ-644C 大客车	$1/2 \times 75.30$	1.7
红旗 CA-773 小客车	$1/2 \times 15.75$	1.0

注: 该表系以 $\sigma_1/\sigma_2 = 1/5$ 和 $\rho = 18\text{kN/m}^3$ 计算而得。

当工作区深度大于路基填土高度, 即 $Z_a > H$ 时, 车轮荷载不仅作用于路堤, 而且作用于天然地基的上部土层, 此时, 天然地基上部土层和路堤应同时满足路基工作区的设计要求。路基高度与工作区深度的关系如图 1-3 所示。

(二) 路基的强度

路基在外力作用下, 将产生变形。路基强度是指路基抵抗外力作用的能力, 亦即抵抗变形的能力。在一定应力作用下, 变形愈大, 路基强度愈低; 反之, 则表明路基强度愈高。因此, 路基作为路面结构的基础, 它抵抗车轮荷载能力的大小, 主要取决于路基顶面在一定应力级位下抵抗变形的能力。经分析研究, 用于表征路基强度的参数指标主要有回弹模量和抗剪强度。

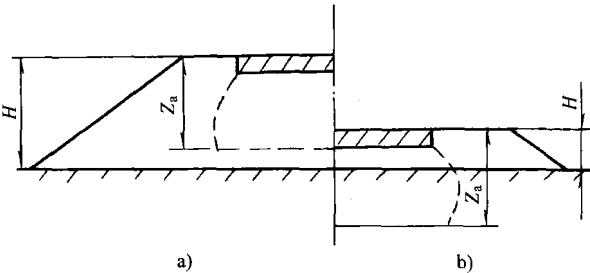


图 1-3 工作区深度

a) 路堤高度大于 Z_a 。 b) 路堤高度小于 Z_a 。

1. 回弹模量

回弹模量是指路基、路面及筑路材料在荷载作用下产生的应力与其相应的回弹应变的比值。

通过路面传至土基的垂直压力，使土基产生一定程度的竖向位移变形。假定土基为均质的弹性体，在圆形垂直均布荷载作用下，在应力与应变成直线关系时，可用弹性理论来建立荷载与变形之间的关系式：

$$l_r = \frac{2p\delta(1 - \mu_0^2)}{E_0} \alpha \quad (1-3)$$

式中 l_r ——路表距离荷载中心轴为 r 的某点处的垂直位移，亦称弯沉值 (cm)；

p ——圆形垂直均布荷载 (MPa)；

δ ——圆形均布荷载面积半径 (cm)；

E_0 ——土基回弹模量 (MPa)；

μ_0 ——土的泊松比，一般取 0.35；

α ——竖向位移系数，是 γ/δ 的函数， $\gamma/\delta = 0$ 时， $\alpha = 1$ ； $\gamma/\delta = 1.5$ 时， $\alpha = 0.356$ 。

由式 (1-3) 可知，土基回弹模量表示土基在弹性变形阶段内，在垂直荷载作用下，抵抗竖向变形的能力。如果垂直荷载为定值，土基的回弹模量值愈大，则产生的垂直位移就愈小；如果竖向位移是定值，回弹模量值愈大，则土基承受外荷载作用的能力就愈大。因此，路面设计中采用回弹模量作为土基抗压强度的指标。回弹模量值的大小取决于荷载的作用形式、竖向垂直位移的大小以及土的性质与状态。土基的回弹模量可通过试验或在路面设计规范附录中提供的参考值中选择确定。

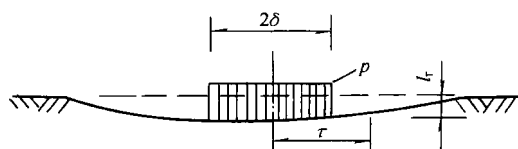


图 1-4 在圆形均布荷载作用下土基表面的垂直位移

2. 抗剪强度

当路基土强度不足以抵抗切应力的作用时，其相邻两部分土体将沿某一剪切面（滑动面）产生相对移动，最后导致滑坡或崩塌。这种沿剪切面使土体破坏的现象称为剪切破坏。土体所具有的抵抗剪切破坏的能力称为抗剪强度。土的抗剪强度按式 (1-4) 计算：

$$S = \sigma \tan \phi + c \quad (1-4)$$

式中 S ——土的抗剪强度 (kPa)；

σ ——作用于剪切面上的法向压应力 (kPa)；

c ——土的凝聚力 (kPa)；

ϕ ——土的内摩擦角 (°)。

由式 (1-3) 可知，土体的抗剪强度是由凝聚力 c 及内摩擦力 $\sigma \tan \phi$ 组成的。凝聚力 c 和内摩擦角 ϕ 称为抗剪强度指标，是路基稳定性验算和挡土墙设计中必不可少的参数。

3. 路基的变形、破坏及其原因

路基在工作过程中，承受着土体的自重、行车荷载和各种自然因素的作用，如设计和施工不当，必然产生各种病害，严重时，危及路基的整体性和稳定性。

路基变形、破坏的形式主要有以下几种：

(1) 路基沉陷 路基沉陷是指路基表面在垂直方向产生的不均匀的竖向变形。如图 1-5

所示。



图 1-5 路基沉陷

a) 堤身下陷 b) 地基下陷

路基沉陷可能有两种情况：一是路基本身的压缩沉陷，产生原因一般是由于填料选择不当，填筑方法不合理，压实不足，在荷载和水、温度综合作用下引起的；二是由于路基下部天然地面承载能力不足，在路基自重的作用下引起的沉陷，如图 1-5 b 所示，产生原因一般是原地面为软弱土层，例如泥沼、流沙或有机质堆积等，填筑前未经换土或压实处理，造成承载力不足，从而引起路堤下陷。

(2) 路基边坡的坍方 路基边坡因坡度过陡，或受水冲刷，或岩土风化，或地震造成边坡土体坍塌的现象叫坍方。按其破坏规模与原因的不同，路基边坡的坍方可分为剥落、碎落、滑坍、崩坍等，如图 1-6 所示。

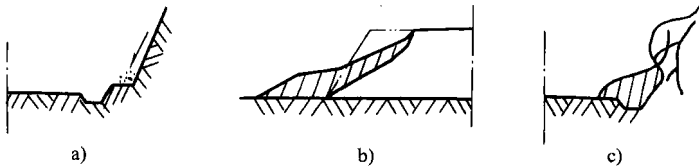


图 1-6 路基边坡坍方

a) 剥(碎)落 b) 滑坍 c) 崩坍

剥落是指边坡土层或风化岩层表面在大气的干湿或冷热的循环作用下，表面不断风化，使表层土或岩石成片状或带状从坡面上剥落下来的现象，而且老的脱落后，新的又不断产生。

碎落是坡面岩体风化，破碎比较严重时的一种碎落现象。

滑坍是指路基边坡土体或岩石沿着一定的滑动面整体向下滑动，其规模与危害程度较碎落更为严重，有时滑动体可达数百立方米以上。

崩坍是岩体或土体脱离母岩而沿边坡倾落下来的现象。

坍塌（亦称堆坍）主要是由于土体（或土石混杂的堆积物）遇水软化，而边坡又在 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间，且边坡无支撑情况下产生。

路基边坡坍方的主要原因有：挖方边坡过陡，覆盖土体比较松散，顺向坡，填筑路堤方法不当，土体过于潮湿，坡脚被水冲刷，岩石破碎和风化严重等。

(3) 路基沿山坡滑动 在较陡的山坡上填筑路基，如果原有地面较光滑，未作必要的处理，如未进行凿毛或人工开挖台阶，或植被未清除，坡脚又未进行必要的支撑，特别是在受到水的浸润后，填

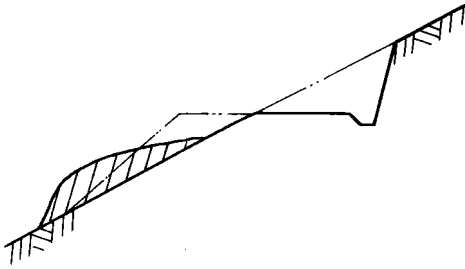


图 1-7 路堤沿山坡滑动

方路基与原地面之间摩擦阻力减小,路基整体或局部沿地面向下移动,如图 1-7 所示。

(4) 不良地质水文条件造成的路基破坏 公路通过不良地质水文地区,或遭受较大的自然灾害作用,如巨型滑坡、泥石流、地震及特大暴雨等,均能导致路基的大规模破坏。

综上所述,路基发生变形、破坏的主要原因可归纳为如下几个方面:

- 1) 不良的工程地质与水文地质条件。
- 2) 不利的水文与气候因素。
- 3) 设计不合理。
- 4) 施工不符合设计图样和施工规范规定要求。

上述原因中,地质和水文条件是影响路基工程质量和产生病害的主要因素。为此,必须强调设计前应详细地进行地质与水文的勘察工作,针对具体条件及各种因素的综合作用,采取正确的设计方案和施工方法,消除或尽可能减少路基病害,确保路基工程达到规定的质量要求。

4. 保证路基强度和稳定性的措施

路基因大面积裸露于大气之中,其强度和稳定性很大程度上受到当地地形、地质、气候等自然条件的影响。此外,设计、施工质量的好坏也将成为影响路基强度和稳定性主要原因。因此,为保证路基的强度和稳定性,必须深入进行调查研究,仔细分析各种自然因素与路基的关系,抓住主要问题,采取有效措施。一般有如下措施:

- 1) 合理选择路基横断面形式,正确确定边坡坡率。
- 2) 选用工程性质良好的土填筑路基。
- 3) 严格执行施工规范、规程,选择正确的施工方法。
- 4) 充分压实土基,提高土基的强度和水稳定性。
- 5) 正确地进行地面和地下的排水设计。
- 6) 合理选用边坡加固与防护措施,以及修筑支挡结构物;对存在稳定性隐患的边坡,应进行稳定性分析,采用加固、防护措施。
- 7) 特殊地质环境地段的路基,必须与该特殊工程整治措施相结合,进行综合设计。

第三节 公路自然区划与路基干湿类型

一、公路自然区划

我国因地域辽阔,各地气候、地形、地貌、水文地质等自然条件相差很大,为区分不同地理区域自然条件对公路工程影响的差异性,并在路基、路面的设计、施工和养护中采取适当的技术措施和采用合适的设计参数,以保证路基、路面的强度和稳定性,特制定公路自然区划。

为使自然区划便于在实践中应用,结合我国地理、气候特点,将全国的公路自然区划分为三个等级。一、二级区划的具体位置与界限,详见《公路自然区划标准》(JTJ003—1986)所附“中华人民共和国公路自然区划图”。

(一) 一级区划

根据不同地理、气候、构造、地貌界限的交错和重叠,将我国分为七个一级自然区。即

- I：北部多年冻土区；
- II：东部湿润季冻区；
- III：黄土高原干湿过渡区；
- IV：东南湿热区；
- V：西南潮湿区；
- VI：西北干旱区；
- VII：青藏高寒区。

(二) 二级区划

二级区划仍以气候和地形为主导因素，但具体标志与一级区划有显著差别。一级自然区有其共同标志，即气候因素是潮湿系数 K 值（即年降水量与年蒸发量之比），地形因素是独立的地形单元。二级区划的划分则需因区而异，将上述标志具体化或加以补充，其标志是以潮湿系数 K 为主的一个标志体系。

根据二级区划的主导因素与标志，在全国七个一级自然区内又分为 33 个二级区和 19 个副区（亚区），共有 52 个二级自然区。它们的名称见表 1-2 所列，各二级区的区界、自然条件对工程的影响详见有关标准及其附录。

(三) 三级区划

三级区划是二级区划的进一步划分。三级区划的划分方法有两种，一种是按照地貌、水文和土质类型将二级自然区进一步划分为若干类型单元；另一种是继续以水热、地理和地貌等为标志将二级区划细分为若干区域。各地可根据当地的具体情况选用。

表 1-2 公路自然区划名称表

I 北部多年冻土区	III ₄ 黄渭间山地、盆地轻冻区
I ₁ 连续多年冻土区	IV 东南湿热区
I ₂ 岛状多年冻土区	IV ₁ 长江下游平原润湿区
II 东部湿润季冻区	IV _{1a} 盐城副区
II ₁ 东北东部山地润湿冻区	IV ₂ 江淮丘陵、山地润湿区
II _{1a} 三江平原副区	IV ₃ 长江中游平原中湿区
II ₂ 东北中部山前平原重冻区	IV ₄ 浙闽沿海山地中湿区
II _{2a} 辽河平原冻融交替副区	IV ₅ 江南丘陵过湿区
II ₃ 东北西部润干冻区	IV ₆ 武夷南岭山地过湿区
II ₄ 海滦中冻区	IV _{6a} 武夷副区
II _{4a} 冀热山地副区	IV ₇ 华南沿海台风区
II _{4b} 旅大丘陵副区	IV _{7a} 台湾山地副区
II ₅ 鲁豫轻冻区	IV _{7b} 海南岛西部润干副区
II _{5a} 山东丘陵副区	IV _{7c} 南海诸岛副区
III 黄土高原干湿过渡区	V 西南潮湿区
III ₁ 山西山地、盆地中冻区	V ₁ 秦巴山地润湿区
III _{1a} 雁北张宣副区	V ₂ 四川盆地中湿区
III ₂ 陕北典型黄土高原中冻区	V _{2a} 雅安、乐山过湿副区
III _{2a} 榆林副区	V ₃ 三西、贵州山地过湿区
III ₃ 甘东黄土山地区	V _{3a} 滇南、桂西润湿副区

(续)

V ₄ 川、滇、黔高原干湿交替区	VI _{4b} 伊犁河谷副区
V ₅ 滇西横断山地区	VII 青藏高寒区
V _{5a} 大理副区	VII ₁ 祁连—昆仑山地区
VI 西北干旱区	VII ₂ 柴达木荒漠区
VI ₁ 内蒙草原中干区	VII ₃ 河源山草原甸区
VI _{1a} 河套副区	VII ₄ 羌塘高原冻土区
VI ₂ 绿洲—荒漠区	VII ₅ 川藏高山峡谷区
VI ₃ 阿尔泰山地冻土区	VII ₆ 藏南高山台地区
VI ₄ 天山—界山山地区	VII _{6a} 拉萨副区
VI _{4a} 塔城副区	

二、路基的干湿类型

路基的强度与稳定性和路基的干湿状况有密切关系，并在很大程度上影响路面结构设计。为此，在进行路基设计时应严格区分其干湿类型。

(一) 路基干湿类型及湿度来源

路基按其干湿状态可分为干燥、中湿、潮湿和过湿四类。为了保证路基路面结构的稳定性，一般要求路基处于干燥或中湿状态。过湿状态的路基必须经过处理后方可铺筑路面。

路基土所处的状态是由土体的含水量决定的，含水量取决于湿度的来源及作用的延续时间。导致路基湿度变化的水源见图 1-8。

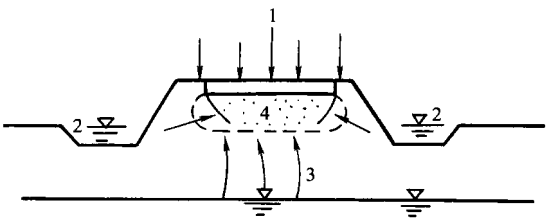


图 1-8 路基湿度来源示意图

1—大气降水 2—地面水 3—毛细水 4—凝结水

(1) 大气降水 大气降水通过路面、路肩和边坡渗入路基。

(2) 地面水 边沟水及排水不良时的地表积水，以毛细水的形式渗入。

(3) 地下水 靠近地面的地下水，通过毛细管作用上升到路基内部。

(4) 凝结水 在土颗粒空隙中流动水蒸汽，遇冷凝结为水。

(二) 路基干湿类型划分

1. 根据平均稠度划分

我国现行沥青路面设计规范中规定，路基干湿类型根据实测不利季节路槽底面以下 80cm 深度内的平均稠度 W_e 按表 1-3 和表 1-4 确定。干燥、中湿、潮湿和过湿四类干湿类型以分界稠度 W_{e1} 、 W_{e2} 和 W_{e3} 来划分。土的平均稠度 W_e 定义为土的含水量 W 与土的液限 W_L 之差与土的塑限 W_p 与液限 W_L 之差的比值。即

$$W_e = (W_L - W) / (W_L - W_p) \tag{1-5}$$

式中 W_e ——土的平均稠度；

W_L ——土的液限；

W ——土的平均含水量；

W_p ——土的塑限。

土的稠度较准确地表示了土的各种形态与湿度的关系，稠度指标综合了土的塑性特性，包含了液限与塑限，全面直观地反映了土的硬软程度，物理概念明确。

- 1) $W_e = 1.0$ ，即 $W = W_p$ ，为半固体与硬塑状的分界值。
- 2) $W_e = 0$ ，即 $W = W_L$ ，为流塑与流动状的分界值。
- 3) $1.0 > W_e > 0$ ，即 $W_L > W > W_p$ ，土处于可塑状态。

以稠度作为路基干湿类型的划分标准是合理的，路面设计应根据路基土的分界稠度确定路基的干湿类型。土基干湿状态的稠度建议值详见表 1-3。

表 1-3 各自然区划路基干湿分界稠度

分 界 稠 度 自然区划	土质砂				粘质土				粉质土				附注
	w_{c0}	w_{c1}	w_{c2}	w_{c3}	w_{c0}	w_{c1}	w_{c2}	w_{c3}	w_{c0}	w_{c1}	w_{c2}	w_{c3}	
Ⅱ _{1,2,3}	1.87	1.19	1.05	0.91	$\frac{1.29}{1.20}$	$\frac{1.20}{1.12}$	$\frac{1.03}{0.94}$	$\frac{0.86}{0.77}$	$\frac{1.12}{1.04}$	$\frac{1.04}{0.96}$	$\frac{0.96}{0.89}$	$\frac{0.81}{0.73}$	粘质土：分母适用于Ⅱ _{1,2} 区 粉质土：分母适用于Ⅱ _{2a} 区
Ⅱ ₄ 、Ⅱ ₅	1.87	1.05	0.91	0.78	1.29	1.20	1.03	0.86	1.12	1.04	0.89	0.73	
Ⅲ	2.00	1.19	0.97	0.78					$\frac{1.12}{1.04}$	$\frac{1.12}{1.04}$	$\frac{0.96}{0.89}$	$\frac{0.81}{0.73}$	分子适用于粉土地区；分母适用于粉质亚粘土地区
Ⅳ	1.73	2.32	1.05	0.91	1.20	1.03	0.94	0.77	1.04	0.96	0.89	0.73	
Ⅴ					1.20	1.08	0.86	0.77	1.04	0.96	0.81	0.73	
Ⅵ	2.00	1.19	0.97	0.78	1.29	1.12	0.98	0.86	1.20	1.04	0.89	0.73	
Ⅶ	2.00	1.32	1.10	0.91	1.29	1.12	0.98	0.86	1.20	1.04	0.89	0.73	

注： w_{c0} 干燥状态路基常见下限稠度。

w_{c1} 、 w_{c2} 、 w_{c3} 分别为干燥和中湿、潮湿和过湿状态的分界稠度。

在新建公路勘测设计中，确定路基的干湿类型需要在现场进行勘查，根据当地稳定的平均天然含水量、液限、塑限计算平均稠度，并考虑填土高度、有无地下水、地表积水的影响，论证地确定路基土的干湿类型。对于原有公路，按不利季节路槽底面以下 80cm 深度内土的平均稠度确定。路槽底面以下 80cm 内，每 10cm 取土样测定其天然含水量、塑限含水量和液限含水量，以下式求算：

$$w_{ci} = (w_{Li} - w_i)/(w_{Li} - w_{pi}) \tag{1-6}$$

$$w_e = \sum_{i=1}^8 w_{ci}/8 \tag{1-7}$$

式中 w_i ——路槽底面以下 80cm 内，每 10cm 为一层，第 i 层上的天然含水量；
 w_{Li} ——同一层土的液限含水量（76g 平衡锥）；
 w_{pi} ——同一层土的塑限含水量；