



21 世纪精品教材系列

# 路基路面工程

LU J I LU MI AN GONG CHENG

主编◎王付洲 徐双

 吉林大学出版社

21 世纪精品教材系列

# 路基路面工程

主 编 王付洲 徐 双

副主编 刘 浩 杜红伟

 吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

路基路面工程 / 王付洲, 徐双主编. — 长春: 吉林大学出版社, 2014. 12  
ISBN 978-7-5677-3010-6

I. ①路… II. ①王… ②徐… III. ①路基工程②路面—道路工程 IV. ①U416

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 304746 号

书 名: 路基路面工程  
作 者: 王付洲 徐双 主编

责任编辑: 李伟华 责任校对: 魏丹丹  
吉林大学出版社出版、发行  
开本: 787×1092 毫米 1/16  
印张: 20.5 字数: 480 千字  
ISBN 978-7-5677-3010-6

封面设计: 可可工作室  
北京楠海印刷厂印刷  
2015 年 1 月 第 1 版  
2015 年 1 月 第 1 次印刷  
定价: 42.00 元

版权所有 翻印必究  
社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021  
发行部电话: 0431-89580028/29  
网址: <http://www.jlup.com.cn>  
E-mail: [jlup@mail.jlu.edu.cn](mailto:jlup@mail.jlu.edu.cn)

# 前 言

“路基路面工程”是高等学校交通土建工程(道路工程)专业的必修课程,是以近年来在路基路面工程的基本理论、设计方法、施工技术等方面的新成果,并结合新建本科高校的转型,依据全国高等学校土木工程学科专业指导委员会对本专业的要求,编写本教材。

本教材主要介绍公路的发展概况,公路的基本组成部分,对路基、路面的基本要求和影响路基路面稳定性的因素;路基工程概论,一般路基设计,路基边坡稳定性设计,路基排水设计,路基防护与加固设计,挡土墙设计;路面工程概论,行车荷载、环境因素,路面基层与垫层,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。在编写过程中以力求作到使学生能够掌握路基路面工程的基本理论和方法,并结合了国家最新颁布的技术标准和规范,把大量的最新理论和技术融入到本教材之中去。

本教材在每章开头都有内容提要和学习重点,指导学生阅读教材内容;每章结尾均有小结,帮助学生掌握本章内容的主要知识点;每章后均有复习思考题,供学生进一步消化巩固所学的知识。

本教材编写分工如下:王付洲负责总论和第一、二、六、十二、十三章的编写,并对全书进行了统稿,刘浩负责第四、五章的编写,杜红伟负责第三、九章的编写,袁可佳负责第七、八章的编写,李森森负责第十、十一章的编写。

限于作者编著水平和经验,书中难免有错误和不足之处,敬请读者见谅和指正。

编 者  
2014 年 9 月



# 目 录

|     |                      |      |
|-----|----------------------|------|
| 0   | 总论 .....             | (1)  |
| 0.1 | 公路的发展概况 .....        | (1)  |
| 0.2 | 公路的基本组成部分 .....      | (2)  |
| 0.3 | 影响路基路面稳定性的因素 .....   | (3)  |
| 0.4 | 本课程的性质、任务、学习方法 ..... | (4)  |
| 1   | 路基工程概论 .....         | (5)  |
| 1.1 | 路基设计的基本内容 .....      | (5)  |
| 1.2 | 路基的强度 .....          | (6)  |
| 1.3 | 路基用土的工程性质 .....      | (10) |
| 1.4 | 公路自然区划与路基干湿类型 .....  | (12) |
| 2   | 一般路基设计 .....         | (23) |
| 2.1 | 概述 .....             | (23) |
| 2.2 | 路基的类型 .....          | (24) |
| 2.3 | 路基的构造 .....          | (27) |
| 2.4 | 路基的附属设施 .....        | (32) |
| 2.5 | 路基变形破坏现象、原因 .....    | (34) |
| 3   | 路基边坡稳定性设计 .....      | (37) |
| 3.1 | 概述 .....             | (37) |
| 3.2 | 边坡稳定分析方法 .....       | (39) |
| 3.3 | 浸水路堤边坡稳定性验算 .....    | (46) |
| 3.4 | 陡坡路堤稳定性验算 .....      | (49) |
| 4   | 路基排水设计 .....         | (53) |
| 4.1 | 概述 .....             | (53) |
| 4.2 | 路基地表排水设备的构造与布置 ..... | (54) |
| 4.3 | 路基地下排水设备的构造与布置 ..... | (63) |
| 4.4 | 路基排水的综合设计 .....      | (67) |
| 5   | 路基防护与加固设计 .....      | (70) |
| 5.1 | 概述 .....             | (70) |
| 5.2 | 坡面防护 .....           | (71) |
| 5.3 | 冲刷防护 .....           | (76) |
| 5.4 | 湿软地基加固 .....         | (78) |
| 6   | 挡土墙设计 .....          | (82) |
| 6.1 | 概述 .....             | (82) |
| 6.2 | 重力式挡土墙的构造与布置 .....   | (86) |



|      |                       |       |
|------|-----------------------|-------|
| 6.3  | 挡土墙土压力计算 .....        | (92)  |
| 6.4  | 挡土墙设计原则 .....         | (112) |
| 6.5  | 重力式挡土墙设计 .....        | (115) |
| 6.6  | 浸水路堤挡土墙设计 .....       | (134) |
| 6.7  | 地震地区挡土墙设计 .....       | (139) |
| 6.8  | 加筋土挡土墙设计 .....        | (141) |
| 7    | 路面工程概论 .....          | (162) |
| 7.1  | 路面的功能及要求 .....        | (162) |
| 7.2  | 路面结构及层次划分 .....       | (165) |
| 7.3  | 路面的分类 .....           | (169) |
| 8    | 行车荷载、环境因素 .....       | (173) |
| 8.1  | 行车荷载 .....            | (173) |
| 8.2  | 汽车的轴型 .....           | (173) |
| 8.2  | 环境因素 .....            | (182) |
| 9    | 路面基层垫层 .....          | (189) |
| 9.1  | 概述 .....              | (189) |
| 9.2  | 碎砾石基层 .....           | (189) |
| 9.3  | 无机结合料稳定类基层与垫层 .....   | (192) |
| 10   | 沥青路面 .....            | (203) |
| 10.1 | 概述 .....              | (203) |
| 10.2 | 沥青路面材料的结构与力学特性 .....  | (209) |
| 10.3 | 沥青路面材料的原材料 .....      | (218) |
| 10.4 | 沥青混合料组成设计 .....       | (225) |
| 11   | 沥青路面设计 .....          | (232) |
| 11.1 | 概述 .....              | (232) |
| 11.2 | 沥青路面结构组合设计 .....      | (237) |
| 11.4 | 我国新建沥青路面设计方法 .....    | (243) |
| 11.5 | 设计计算示例 .....          | (257) |
| 12   | 水泥混凝土路面 .....         | (262) |
| 12.1 | 概述 .....              | (262) |
| 12.2 | 水泥混凝土路面的构造 .....      | (265) |
| 12.3 | 路面混凝土 .....           | (279) |
| 13   | 水泥混凝土路面设计 .....       | (292) |
| 13.1 | 概述 .....              | (292) |
| 13.2 | 水泥混凝土路面结构组合设计 .....   | (296) |
| 13.3 | 普通混凝土路面板厚度的设计方法 ..... | (301) |
| 13.4 | 其它类型混凝土路面 .....       | (316) |
|      | 参考文献 .....            | (321) |

0 总论

本章内容提要:公路的发展概况,公路的基本组成部分,对路基、路面的基本要求、影响路基路面稳定性的因素及本课程的性质、任务、学习方法。

本章学习重点:公路的基本组成部分,对路基的基本要求,对路面的基本要求,影响路基路面稳定性的因素。

0.1 公路的发展概况

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、林区道路及乡村道路等。

公路是联结城市、乡村和工矿基地等,主要供汽车行驶,具有一定技术条件和设施的道路。公路按使用性质可分为:国家公路、省公路、县公路和乡公路(简称为国、省、乡道),以及专用公路五个行政等级。一般把国道和省道称为干线,县道和乡道称为支线。

国道是指具有全国性政治、经济意义的主要干线公路,包括重要的国际公路,国防公路、连接首都与各省、自治区、直辖市首府的公路,连接各大经济中心、港站枢纽、商品生产基地和战略要地的公路。

省道是指具有全省(自治区、直辖市)公路主管部门负责修建、养护和管理。国道中跨省的高速公路由交通部批准的专门机构负责修建、养护和管理。

县道是指具有全县(县级市)政治、经济意义,连接县城和县内主要乡(镇)、主要商品生产和集散地的公路,以及不属于国道、省道的县际间公路。县道由县、市公路主管部门负责修建、养护和管理。

乡道是指主要为乡(镇)村经济、文化、行政服务的公路,以及不属于县道以上公路的乡与乡之间及乡与外部联络的公路。乡道由人民政府负责修建、养护和管理。

专用公路是指专供或主要供厂矿、林区、农场、油田、旅游区、军事要地等与外部联系的公路。专用公路由专用单位负责修建、养护和管理。也可委托当地公路部门修建、养护和管理。

我国公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迟至上世纪初才开始,并且旧中国发展十分缓慢。

旧中国的公路交通极为落后,1949年全国公路通车里程仅8.07万公里,公路密度仅0.8公里/百平方公里。建国初期,公路交通经历一段时期的恢复后开始获得长足发展,1952年公路里程达到12.67万公里。20世纪50年代中后期,为适应经济发展和开发边疆的需要,我国开始大规模建设通往边疆和山区的公路,相继修建了川藏公路、青藏公路,并在东南沿海、东北和西南地区修建国防公路,公路里程迅速增长,1959年达到50多万公里。

20世纪60年代,我国在继续大力兴建公路的同时,加强了公路技术改造,有路面道路里



程及其高级、次高级路面比重显著提高。20 世纪 70 年代中期我国开始对青藏公路进行技术改造,20 世纪 80 年代全面完成,建成了世界上海拔最高的沥青路面公路。随着公路事业的发展,公路桥梁建设也得到发展,建成了一批具有中国特色的石拱桥、双曲拱桥、钢筋混凝土拱桥以及各式混凝土和预应力梁式桥。在 1949—1978 年的 30 年间,尽管国民经济发展道路曲折,但全国公路里程仍基本保持持续增长,到 1978 年底达到 89 万公里,平均每年增加约 3 万公里,公路密度达到 9.3 公里/百平方公里。

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。特别是 1993 年以来,我国政府采取一系列政策措施加大了道路的投资和建设力度,运输化过程明显加快,公路长度年增长速度均在 2.5% 以上,长期以来道路运输对国民经济的瓶颈制约得到初步缓解。虽然近年来我国公路建设取得了重大进展,但以国土面积计算的公路密度,尤其是高速公路密度与国外发达国家还存在着较大差距。自 1988 年我国大陆第一条高速公路上海至嘉定高速公路的建成通车,实现了我国大陆高速公路零的突破之后,我国的高速公路建设步入了加速发展的快车道。“十五”期间,我国高速公路通车里程以年均 0.5 万公里的速度递增,先后跃上了 2 万公里、3 万公里和 4 万公里三大台阶。2013 年底我国高速公路通车里程已突破 10 万公里,除西藏外共有 30 个省份通高速公路,其中有 7 个省份的高速公路通车里程超过了 5000 公里,且国家规划的“五纵七横”国家主干公路网已经建设形成。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。

## 0.2 公路的基本组成部分

公路是一种暴露于自然界中的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、排水设备、山区特殊构造物(如半山桥、明洞)等。此外,还有各种沿线交通安全、管理、服务、环保等设施。

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。

路面是用各种筑路材料铺筑在公路路基上供汽车行驶的层状构造物。

路床是路面的基础,是指路面底面以下 0.80m 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(0~0.30m)及下路床(0.30~0.80m)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的总称叫护坡。

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型式。

为保持路基稳定和强度而修建的地表和地下排水措施称为路基排水设备,包括边沟、截

水沟、排水沟、急流槽、跌水、蒸发池、渗沟、渗水井等。

### 0.3 影响路基路面稳定性的因素

路基路面结构的主体裸露在大气中,并具有路线长、与大自然接触面广的特点,其稳定性在很大程度上由当地自然条件所决定。因此,应在深入调查道路沿线从总体到局部,从大区域到具体路段的自然情况的基础上,分析研究掌握各有关自然因素的变化规律及对路基路面结构稳定性的影响,从而针对当地实际情况,采取有效的工程措施,以保证路基路面具有足够的强度和稳定性。

#### 0.3.1 影响路基路面稳定性的自然因素

##### 1. 地质和地理条件

道路沿线的地形、地貌及海拔高度,不仅影响到道路的路线走向和线形设计,还影响到路基路面设计。平原、丘陵及山岭区地势各不相同,水温情况各异,平原区地势平坦,易积聚地面水,地下水位高,路基需保证最小填土高度,路面结构层则需选择水稳定性良好的材料,并采用适当的结构排水设施;丘陵区地势起伏,山岭区地势陡峭,如路基路面排水设计不当,易导致路基路面稳定性下降,出现各种变形和破坏现象。

道路沿线的地质条件,如岩石的种类、成因、节理、风化及裂隙情况,岩层的走向、倾向和倾角、层理和厚度以及有无软弱层或遇水软化的夹层,有无断层或其他特殊的地质现象(岩溶、冰川、泥石流、地震带)等,都对路基路面的稳定性有一定影响。

##### 2. 气候条件

气候条件如气温、降水、空气湿度、冰冻深度、日照、蒸发、风向、风力等,都将影响道路沿线地面水和地下水的状况,并影响到路基路面的水温状况。

一年之中气候的季节性变化,使路基路面的水温状况也发生季节性周期变化。气候还受到地形的影响,如山南与山北、山顶与山脚的气候差别等因素,都将影响路基路面的稳定性。

##### 3. 水文及水文地质条件

水文条件如道路沿线地表水的排泄情况,河流洪水位、常水位的高低,有无地表积水和积水期的长短,河岸的冲刷和淤积情况等;水文地质条件如地下水位、地下水的移动情况,有无泉水、层间水、裂隙水等,所有这些地面水与地下水都将影响路基路面的稳定性,如处理不当,极易引起各种病害。

##### 4. 土的种类和强度

土是修筑路基路面的基本材料,不同类别的土具有不同的工程性质,将直接影响到路基路面的强度和稳定性。不同类别的土含有不同的颗粒成分,砂粒成分较多的土,由内摩擦力构成其主要强度,强度较高且不易受水的影响,但施工时压实困难;颗粒直径较细的砂,在渗流的情况下易流动而形成流砂;黏粒成分较高的土,由黏聚力构成其主要强度,强度随密实度的不同有较大的变化,且随水分的增加而降低;粉土类土毛细作用强烈,其强度和承载能力随毛细水上升高度增加、湿度加大而降低,在负温的情况下,水分通过毛细作用移动并积



聚,发生冻胀,最后导致路基翻浆、路面结构层断裂等。

### 0.3.2 影响路基路面稳定性的人为因素

1) 荷载作用 包括静载、动载的大小及重复作用次数。

2) 路基路面结构 包括路基填土或填石的类别与性质、路基的断面形式、路面的等级与结构类型、排水构筑物的设置情况、路面表层是否渗水等。

3) 施工方法与质量 包括不同类别的土是否分层填筑、路基压实方法及质量、面层的施工质量与水平等。

4) 养护措施 包括一般措施及在设计、施工中未及时采用而在养护过程中加以补充的改善措施。

此外,还有沿线附近的人为设施,如水库、排灌渠道、水田及人为的活动等。

## 0.4 本课程的性质、任务、学习方法

本课程是公路与桥梁专业、监理专业、道路检测专业的一门专业课,主要介绍一般路基设计、路基边坡稳定性设计、路基排水设计、路基防护与加固设计、挡土墙设计、路面基层设计、沥青路面及设计、水泥混凝土路面及设计等。

本课程具有多方面的内容,涉及其他学科较多,因而要求有较广泛的先修课知识,如地质与土质、土力学与地基基础、道路材料、桥涵水力水文、公路勘测设计等,应注意紧密联系。

在学习中,应抓住重点,掌握基本概念和基本原理,搞清方法步骤,其中路基边坡稳定性设计、挡土墙设计、沥青路面设计、水泥混凝土路面设计应掌握其设计原理和具体计算方法。由于课程内容与工程实践联系密切,并有地区的差异,在学习时还应注意理论与实际的关系,认真做好课程设计,认真参加实验及实习,做到理论结合实践,提高运用基本理论解决实际问题的独立工作的能力,成为适应我国公路建设需要的懂理论、会设计,又能组织公路工程施工和管理的复合型人才。

### 本章小结

本章主要介绍公路的发展概况和路基路面的基本概念、要求同学掌握对路基、路面的基本要求、了解影响路基路面稳定性的自然因素和人为因素,能深刻认识到本课程的性质、学习任务,掌握良好的学习方法来学习本课程。

### 复习思考题

1. 公路的基本组成部分包括哪些内容?
2. 对路基的基本要求有哪些?
3. 对路面的基本要求有哪些?
4. 影响路基路面稳定性的因素有哪些?



# 1 路基工程概论

本章内容提要:路基设计的基本内容,路基的强度,路基用土的工程性质,公路自然区划与路基干湿类型。

本章学习重点:工作区的概念、路基干湿类型及其判定方法。

## 1.1 路基设计的基本内容

### 1.1.1 路基工程的特点

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型结构物,它的结构型式比较简单,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 $7\sim 11$ 万 $\text{m}^3$ ,四车道山岭重丘区高速公路每公里土石方数量可达 $25$ 万 $\sim 30$ 万 $\text{m}^3$ 。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,必须妥善处理好同农业生产的关系。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。

### 1.1.2 路基工程与其他有关工程项目的关系

#### 1. 路基设计与路线设计的关系

路线设计中,线形的布置和设计标高的控制,必须考虑路基的稳定性、工程难易、土石方数量大小和占用农田多少及环境保护等因素。比如,在多雨的平原区,地面平坦,地下水源充沛,地下水位较高,河沟纵横交错,因此,保证路基稳定性的最小填土高度是路线设计标高的主要控制因素之一;在山岭区,地形变化大,地面自然坡度大,路线设计标高主要由纵坡和坡长所控制,但也要从土石方尽量平衡和路基附属工程合理等方面综合考虑。因此,路基设计与路线设计是相辅相成的。

#### 2. 路基工程与路面工程的关系

在路面结构设计时,应把土基和路面各结构层看作是一个有机整体,因为路基是路面的基础,路基的强度与稳定性,是保证路面强度与稳定性的基本条件,提高路基的强度与稳定



性,可以适当减薄路面厚度、降低路面造价。因此,路基设计与路面设计应作综合考虑。

### 3. 路基工程与桥涵工程的关系

桥头引道路基,与桥位选择和桥孔设计关系密切,其勘测与设计两者应相互配合,路基与涵洞等结构物,亦应配合恰当。故在路线纵断面设计中,应考虑路基与桥涵在布置与标高方面的关系,处在河滩的桥头引道路基,还应进行稳定性设计与验算。

#### 1.1.3 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型式、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,以及地面排水设备和地下排水设备的设计。

##### 3. 路基防护与加固

路基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

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。

## 1.2 路基的强度

### 1.2.1 路基受力状况与工作区

#### 1. 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,使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,以保持路基的相对稳定,不致引起路面破坏。

路基土在车轮荷载作用下所引起的垂直应力  $\sigma_1$  可以用近似公式(1-1)计算。

并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 1-1 所示。

$$\sigma_1 = K \frac{P}{Z^2} \quad (1-1)$$

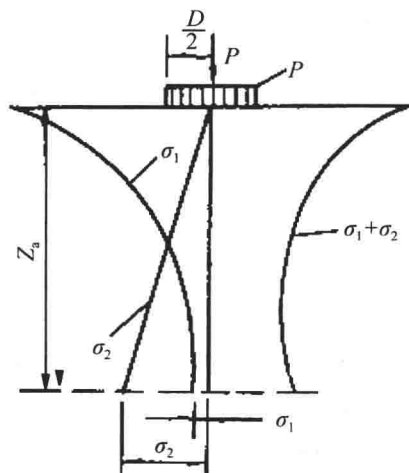


图 1-1 土基应力分布示意图

式中:  $P$ ——车轮的单位压力, (kPa);



$K$ ——计算系数,可查有关手册选取;

$Z$ ——圆形均布荷载中心下应力作用点的深度,(m)。

自重土基中引起的压应力,考虑到在一定深度以下,同路基自重相比较,路面重力的影响不大,所以在研究荷载作用最大深度时,为简化计算,近似地将路面材料相当于土基材料,则路基土自重土基内深度为  $Z$  处所引起的压应力可用式(1-2)计算:

$$\sigma_z = \gamma \cdot Z \quad (1-2)$$

式中: $\gamma$ ——土的容重,( $\text{kN}/\text{m}^3$ )

$Z$ ——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  $\sigma_1$ ,土基自重引起的垂直应力  $\sigma_z$  及两者的应力曲线如图 1-1 所示。

## 2. 路基工作区

根据图 1-1 分析,在路基某一深度  $Z_a$  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,故而可略去不计。因此,我们把车轮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。可根据式(1-1)和式(1-2),路基工作深度按下式计算:

$$Z_a = \sqrt[3]{\frac{KnP}{\gamma}} \quad (1-3)$$

几种汽车车型的路基工作区深度的近似值见表 1-1。

表 1-1 路基工作区深度

| 汽车型号           | 每侧后轮重 $P/\text{kN}$ | 工作区深度 $Z_a/\text{m}$ |
|----------------|---------------------|----------------------|
| 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  $\sigma_1/\sigma_z = 1/5$  和  $\rho = 18\text{kN}/\text{m}^3$  计算而得。

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。

当工作区深度大于路基填土高度时,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 1-2 所示。

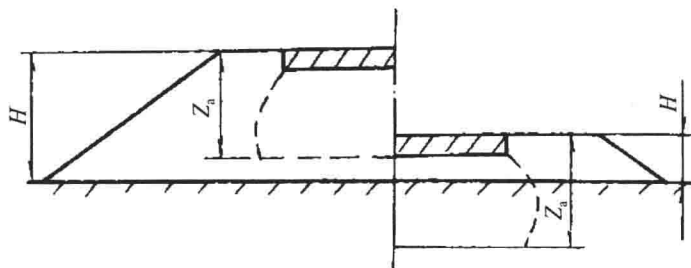


图 1-2 路基高度与工作区深度的关系

(a)路堤高度大于  $Z_a$ ; (b)路堤高度小于  $Z_a$ 

## 1.2.2 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作用下抵抗变形的能力。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。

### 1. 回弹模量

定义: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,称为土基回弹模量。

以回弹模量表征土基的荷载—变形特性,可以反映土基在瞬时荷载作用下的可恢复变形性质。

对于各种以半空间弹性体模型来表征土基特性的设计方法,无论柔性或是刚性路面,都以回弹模量  $E$  作为土基的强度或刚度指标。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。为了模拟车轮印迹的作用,通常都以圆形承载板压入土基的方法测定回弹模量。

测定土基回弹模量的承载板有两种,即柔性压板和刚性压板。用柔性压板测定回弹模量,土基与压板之间的接触压力为常数,如图 1-3(a)所示,即

$$P(r) = \frac{P}{\pi a^2} \quad (1-4)$$

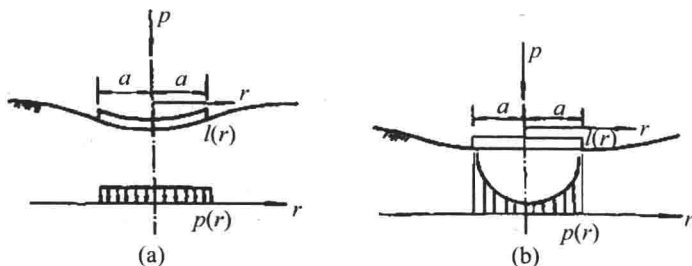


图 1-3 土基在圆形承载板下的压力与挠度分布曲线

(a)柔性承载板; (b)刚性承载板



承载板的挠度  $l(r)$  与坐标  $r$  有关,在压板中心处( $r=0$ )

$$l_{r=0} = \frac{2pa(1-\mu^2)}{E} \quad (1-5)$$

在压板边缘处( $r=a$ )

$$l_{r=a} = \frac{4pa(1-\mu^2)}{E} \quad (1-6)$$

因此,当测得压板中心或者压板边缘处的挠度之后,假如  $\mu$  这已知值,即可通过式(1-5)或式(1-6)反算,得到回弹模量。

用刚性承载板法测定土基回弹模量,压板下土基的挠度为等值,不随坐标  $r$  而变化,但是板底接触压力则随  $r$  值而变化,成鞍形分布,如图 1-3(b)所示。其挠度  $l$  值与接触压力  $p$  值可按下式计算。

$$l = \frac{2pa(1-\mu^2)}{E} \frac{\pi}{4} \quad (1-7)$$

$$p(r) = \frac{1}{2} \frac{pa}{\sqrt{a^2 - r^2}} \quad (1-8)$$

在实际测定中,由于刚性承载板挠度易开量测,压力容易控制,用得较多。试验时:一般采用直径  $D=30\text{cm}$  钢质刚性承载板,以逐级加载卸载法,每级增加  $0.04\text{MPa}$ ,待卸荷  $1\text{min}$  后读取回弹弯沉值,再加下一级荷载,回弹变形值超过  $1\text{mm}$  时,即停止加载,将结果点绘出荷载—回弹变形曲线。试验曲线大多情况下呈非线性,少数(土较干而密实时)接近线性关系。

路基回弹模量值是随荷载压力增大而减小的变量,应按路基实际受到的压力或可能产生的回弹弯沉大小来取值;柔性路面设计时,通常按  $1.0\text{mm}$  (对于较干密的土路基,可取  $0.5\text{mm}$ ) 弯沉值来确定路基回弹模量值:

$$E_0 = \frac{\pi D}{4} (1 - \mu_0^2) \frac{\sum P_i}{\sum l_i} \quad (1-9)$$

## 2. 地基反应模量 $K$

温克勒地基模型描述土基工作状态,用地基反应模量表征土基承载力,根据温克勒地基假定,土基顶面任一点的弯沉  $l$  仅同作用于该点的垂直压力  $p$  成正比,而同其相邻点处的压力无关。即

$$K = \frac{p}{l} \quad (1-10)$$

温克勒地基又称为稠密液体地基,地基反应模量  $K$  值相当于该液体的比重,路面板受到的地基反力相当开液体产生的浮力。

地基反应模量  $K$  值用承载板试验确定,承载板直径规定为  $76\text{cm}$ 。测定方法与回弹模量测定方法相类似,但是采取一次加载到位的方法,施加荷载的量值根据不同的工程对象,有两种方法选用。当地基较为软弱时,用  $0.127\text{cm}$  的弯沉量控制承载板荷载,因为通常情况下水泥混凝土路面板的弯沉不会超出这一范围。假如地基较为坚实,弯沉值难以达到  $0.127\text{cm}$  时,以单位压力  $p=70\text{kPa}$  控制承载板荷载。这也是考虑到水泥混凝土路面板下土基受到的压力通常不会超出这一范围。

承载板直径的大小对  $K$  值有一定的影响,直径越小  $K$  值越大。但是由试验得知,当承



载板直径大于 76cm 时,  $K$  值的变化范围很小。因此, 规定以直径为 76cm 的承载板为标准, 当采用直径为 30cm 的承载板测定时, 可按下式进行修正, 即

$$K_{76} = 0.4K_{30} \quad (1-11)$$

按上述方法确定的  $K$  值是一定荷载或沉降条件下的荷载应力与总弯沉之比, 包括回弹弯沉和残余弯沉。如果只考虑回弹弯沉, 则可以得到地基回弹反应模量  $K_R$ , 通常  $K_R$  与总弯沉时的地基反应模量  $K$  之间有如下关系, 即

$$K_R = 1.77K \quad (1-12)$$

### 3. 加州承载比(CBR)

加州承载比是早年由美国加利福尼亚州(California)提出的一种评定土基及路面材料承载能力的指标。承载能力以材料抵抗局部荷载压入变形的能力表征, 并采用高质量标准碎石为标准, 以它们的相对比值表示 CBR 值。

CBR 值可按下式计算, 计算 CBR 值时, 取贯入深度为 0.254cm, 但是当贯入深度为 0.254cm 时的 CBR 值小于贯入深度为 0.508cm 时的 CBR 值, 应采用后者, 即

$$CBR = \frac{p}{p_s} \times 100 \quad (1-13)$$

式中:  $p$ ——对应于某一贯入深度的土基单位压力, kPa;

$p_s$ ——相应贯入深度的标准压力(见表 1-2), kPa。

表 1-2 CBR 试验标准压力值

| 贯入值/cm   | 0.254 | 0.508 | 0.762 | 1.016 | 1.270 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 标准压力/kPa | 7.03  | 10.55 | 13.36 | 16.17 | 18.23 |

试验时, 用一个端部面积为  $19.35\text{cm}^2$  的标准压头, 以  $0.127\text{cm/min}$  的速度压入土中, 记录每贯入 0.254cm 时的单位压力, 直至压入深度达到 1.27cm 时为止, 标准压力值是用高质量的标准碎石由试验求得, 其值如表 1-2 所示。

CBR 试验设备有室内试验与室外试验两种。室内试验试件按路基施工时的含水量及压实度要求在试筒内制备。并在加载前浸泡在水中, 泡水 4 天。为了模拟路面结构对土基的附加压力, 在浸水过程中及压入试验时, 在试件顶面施加环形砝码, 其重量应根据预计的路面结构重量来确定。

CBR 值野外试验方法基本与室内试验相同, 但其压入试验直接在土基顶面进行。有时, 野外试验结果与室内试验不完全相同, 这主要是由于土壤含水量不一样, 室内试验时, 试件处于饱和状态; 野外试验时, 土基处于施工时的湿度状态。所以, 对野外试验结果必须加以修正, 换算成饱和状态的 CBR 值。

## 1.3 路基用土的工程性质

按照《公路土工试验规程》(JTJ051-93)中土的工程分类方法, 将土分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土四大类, 分类总体系如图(1-4)所示。各类土组具有不同的工程性质, 在选择其作为路基填筑材料, 以及修筑稳定土路面结构层时, 应分别采取不同的工程技术措施。各土组的主要工程性质如下:

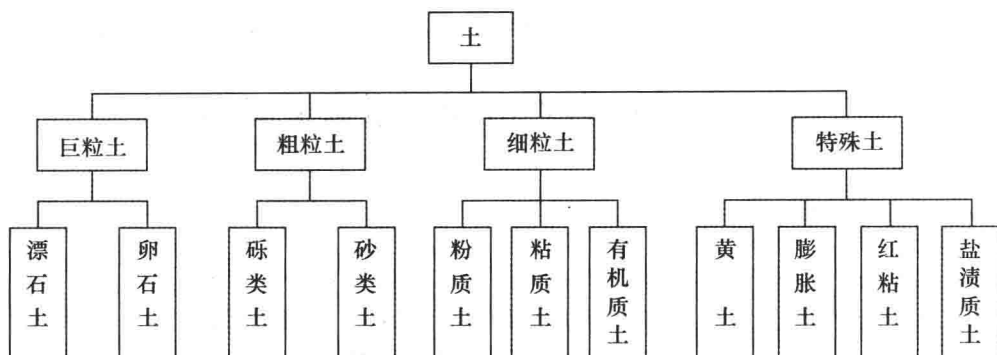


图 1-4 土分类总体体系

### 1.3.1 巨粒土

巨粒土有很高的强度及稳定性，是填筑路基的很好材料。漂石还可用于砌筑边坡。

### 1.3.2 粗粒土

砾类土由于粒径较大，内摩擦力亦大，因而强度和稳定性均能满足要求，是良好的路基填筑材料。级配良好时，或人工处理后，可用于高级路面的基、垫层。

砂类土又可分为砂、含细粒土砂（或称砂土）和细粒土质砂（或称砂性土）三种。

砂和含细粒土砂无塑性，透水性强，毛细上升高度很小，具有较大的摩擦系数，强度和水稳定性均较好。但由于黏性小，易于松散，压实困难，需用振动法或灌水法才能压实。为克服这一缺点，可添加一些黏质土，以改善其使用质量。

细粒土质砂既含有一定数量的粗颗粒，使路基具有足够的强度和水稳性，又含有一定数量的细颗粒，使其具有一定的黏性，不致过分松散。一般遇水干得快，不膨胀，干时有足够的黏结性，扬尘少，容易被压实。因此，细粒土质砂是修筑路基的良好材料。

### 1.3.3 细粒土

粉质土为最差的筑路材料。它含有较多的粉土粒，干时稍有黏性，但易被压碎，扬尘性大，浸水时很快被湿透，易成稀泥。粉质土的毛细作用强烈，上升速度快，毛细上升高度一般可达 0.9~1.5m，在季节性冰冻地区，水分积聚现象严重，造成严重的冬季冻胀，春融期间出现翻浆，故又称翻浆土。如遇粉质土，特别是在水文条件不良时，应采取一定的措施，改善其工程性质。

黏质土透水性很差，黏聚力大，因而干时坚硬，不易挖掘。它具有较大的可塑性、黏结性和膨胀性，毛细管现象也很显著，用来填筑路基比粉质土好，但不如细粒土质砂。浸水后黏质土能较长时间保持水分，因而承载能力小。对于黏质土如在适当的含水量时加以充分压实和有良好的排水设施，筑成的路基也能获得稳定。

有机质土（如泥炭、腐殖土等）不宜作路基填料，如遇有机质土均应在设计和施工上采取适当措施。

### 1.3.4 特殊土

黄土属大孔和多孔结构，具有湿陷性；膨胀土受水浸湿发生膨胀，失水则收缩；红黏土失