

权威 · 实用 · 全面



全国筑路养护特有技术系列国家标准编写专家巨献

公路路基路面 施工技术

全国筑路养护特有技术
工程师与高级技师培训和考试用书

刘培文 邢凤岐 王振清 编著

马文瀚 查旭东 张学 参编



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>



全国道路交通筑路养护特有技术工程师与高级技师培训和考试用书

公路路基路面施工技术

刘培文 邢凤岐 王振清 编著
马文瀚 查旭东 张学 参编

清华大学出版社
北京交通大学出版社
· 北京 ·

全书共分9章, 主要内容包括: 路基路面施工技术基础与施工准备, 路基施工与病害防治技术(包括土质路基施工技术, 石质路基施工技术, 湿软土地区、膨胀土地区、盐渍土地区、冻土地区、滑坡路段、沙漠地区等特殊路基施工技术), 路基排水与防护工程施工技术, 路面常用三大胶结料与混合料技术, 路面垫层和基层施工技术, 沥青路面施工技术, 水泥混凝土路面施工技术, 路基路面施工质量管理与检查验收, 路基路面培训技术总结与创新。此外, 书后安排了中华人民共和国最新设立并实施的筑路养护工国家职业标准——公路路基路面工报批稿供广大读者参考。

本书围绕全国道路交通筑路养护特有技术工程师与高级技师上岗考试大纲编写, 可作为考试用书, 也可作为高等学校路基路面工程学的教学参考用书, 还可供广大一线从事路基路面工程施工的工程师学习参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

公路路基路面施工技术/刘培文, 邢凤岐, 王振清编著. —北京: 清华大学出版社; 北京交通大学出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-5121-0752-6

I. ①公… II. ①刘… ②邢… ③王… III. ①路基工程—道路施工 ②路面—道路施工
IV. ①U416.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第185656号

责任编辑: 陈跃琴 贾慧娟 特邀编辑: 宋英杰

出版发行: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 010-62776969

北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686414

印刷者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 203×280 印张: 34.5 字数: 1021千字

版次: 2012年1月第1版 2012年1月第1次印刷

书号: ISBN 978-7-5121-0752-6/U·74

印数: 1~3000册 定价: 88.00元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

出版说明

进入 21 世纪以来,我国的各类公路、城市道路、厂矿道路、林区道路、专用道路建设的规模和投资力度十分可观。其中,在 2001—2005 年的第十个五年计划期间,每年用于公路建设方面的投资分别达到 2 946 亿、3 491 亿、4 136 亿、5 314 亿、6 445 亿元。之后,几乎是每年以 1 000 亿元的投资增加幅度递增。2010 年,全国仅用于公路建设的投资就达到了 10 000 亿元。高速公路里程以每年 3 000 ~ 5 000 km 的速度递增。与此同时,大量的施工单位和不同层次的人员进入道路施工现场从事道路工程施工。而这些人员中,有数百万的人员需要技术培训和国家级职业资格上岗资格考核认定。

职业资格考试之职业内涵是指从业人员为获取主要生活来源而从事的社会性工作类别,它是一组或一种特定工作的总称。其中,工种岗位实质上就是将职业按不同需要或要求进行具体划分。一个职业包括一个或几个工种。一个工种又包括几个岗位。职业资格是对从事某一职业必备的学术、技术和能力的基本要求。职业资格包括从业资格和执业资格。从业资格是从事某一职业的专业要求、学术、技术和能力的起点标准,执业资格是政府对某些责任较大、社会通用性较强、关系公共利益的职业实行的准入控制制度,是依法独立开业或从事某一特种职业(专业)学识、技能、技术和能力的必备标准。职业资格证书制度是一种特殊形式的国家考试,它是按照国家制定的职业标准,通过政府认定的考试鉴定机构,对劳动者的技能水平和职业资格进行客观公正的评价和鉴定,对合格者授予相应国家职业资格证书的政策规定和实施办法,职业资格证书表明劳动者从事某一职业所必备的学术、技术和能力的证明,是劳动者求职、任职和开业资格凭证,是用人单位用人的依据。

从目前全国有关部门划分资格认定部门的权限和实际情况来讲,从事一线工程设计、施工行业的人员的技术等级和类别大体上可以分为两大类:一类是一般技术职务等级,它的级别划分为技术员、工程师、高级工程师、教授级高级工程师五个级别;在高等学校,划分为助教、讲师、副教授、教授。此外,还有经济系列、研究系列等相应各级技术职称;上述各类资格的评定工作一般由国家行业部委同人力资源和社会保障部或其授权机构考核评定。另一类属于行业技术和上岗资格认定,它划分为技术型职业资格技术等级和技能型职业资格技术等级两种。技术型职业资格技术等级一般由原人事部(现人力资源和社会保障部)会同国家行业部委或其授权机构考核评定,主要是一些专项工程师上岗资格认定。例如,由建设部考核颁发的监理工程师、造价工程师、结构工程师、试验检测工程师等,再如,由交通运输部考核颁发的监理工程师、造价工程师、结构工程师、试验检测工程师等;还有,由铁道部考核颁发的监理工程师、造价工程师、结构工程师、试验检测工程师等。上述这些证书往往具有行业特性,一般不一定在全国各行业之间通用。技能型职业资格技术等级级别划分为初级工、中级工、高级工、技师、高级技师五个级别。这两类资格只代表从事相应工作的能力和资历,并不代表从业者的身份。也就是说,工种不是说持证者一定是工人或干部身份。同时也不代表学历。只要是从事相应工作多年并符合相应的报考条件,任何学历的人都可以参加任何系列及其相应任何级别的考试和上岗认定工作。

交通部(现交通运输部)与劳动和社会保障部(现人力资源和社会保障部)联合于 2007 年启动了交通行业特有技术工种的考试认定工作。公路筑路和养护系列共有公路路基路面工、公路桥梁与隧道工、公路交通工程与沿线设施工、公路测量工等数个国家标准,于 2007 年编写完成。每个工种分别从初级工、中级工、高级工到技师直至高级技师五个级别。参加考试并合格的一线技术人员将获得由人力资源和社会保障部、交通运输部共同颁发的全国通用的职业资格技术等级和上岗证书。全国考试已经试点两年,但因教材仍然在计划编写过程中,目前还没有相应的考试用书可供参考。鉴于此,本书作者刘培文教授(研究生导师)结合主持和参加筑路养护系列国家最新职业标准的编写工作体会,以及多次参与技师及以上级别考试的国家命题经验,编写此书,书中有许多内容为作者实际工作中的创新。希望为考生参加上岗考试起到重要的参考作用。

前 言

现代道路的路基路面工程具有战线拉得较长、涉及因素诸多、技术含量较高、投资变异较大等特点，在施工中占有十分重要的地位。如何把握施工质量、减少投资变异已经成为当今需着力解决的课题。编写本书的目的，试图从创新或全新的观点，并从系统工程思维来阐述路基路面传统的和最新的施工技术，为广大一线从事路基路面施工的工程技术人员提供全方位的实用性、系统性和工具性俱强的参考书籍。与此同时，结合作者主持公路筑路养护国家职业标准编写的经历和参与考试命题的经验，尽力体现最新国家职业资格考试的标准，同时满足各类技术人员参加全国最新公路交通行业特有技术《公路路基路面国家职业标准》统一考试的需要。

本书在策划编写当初，已对全国交通系统公路工程施工的一线施工现场的技术人员的结构现状进行了摸底调研，并对2010年全国公路交通系统一项人才战略研究报告进行了综合分析。调研和分析表明：由于历史上人们对实用技能型人才认知不够，各地有关部门没有很好地重视技能型人才的发展，未解决好技能型人才与同类管理和技术型人才的待遇关系等诸多原因，致使施工现场的技能型人才十分短缺，同时技能型人才、管理型人才和技术型人才的比例严重失衡。例如，2010年全国交通系统从业人员为3 650多万人，其中大专院校毕业生及以上学历已经从2007年占17.50%的比例上升到占60%以上，而技师和高级技师只占到2.8%左右的比例，其中高级技师只占到0.1%左右的比例。加快培育技能型人才已是迫在眉睫，这也是编写本书的背景。

编写本书时，作者大量地拜读了当今所有交通类院校通用大学专业课程教材和为数不少的路基路面工程学专著以及论文，同时征求了部分同行专家 and 学者的意见和建议。综合各种情况，明确了本书必须突出的4个方面的特点：首先，要力图体现工程一线施工需要的且有别于一般路基路面大学教材的体例结构。众所周知，路基路面工程是位于自然界中供车辆安全、舒适、经济地运行的结构物，其施工质量的优劣，取决于社会地理、材料因素、水文地质、气候环境、施工机械及施工中的合理组织、施工人员的技术素质等多方面因素，在诸多因素中，人力能够克服的因素最终归结为设计和施工两个方面。近半个多世纪以来，在设计中，人们试图从路面的某些破坏中研制出许多设计指标来限制路面的这些损坏，这些指标大都是针对路面的破坏而提出。而归根结底，路面破坏归纳为内部结构性破坏和表面使用功能性破坏两大类，由此实施的理论法、经验法、标准结构法等都是为了解决这两大问题。为此，设计项目也已经从最初的只注重结构设计，逐步形成了融材料设计、结构设计、应力验算、厚度计算、排水设计等一套较为完整的设计体系。在设计中，设计者还强调了将土基、基层和面层看成一个整体并按照“土基稳定、基层坚实、面层耐用”的原则进行综合设计。在施工中，同时受到的各方面的因素影响更加突出，施工变异性更大，最大的因素是受到施工组织、施工机械和施工用材料的影响，要想使施工尽量满足对应的设计模型和假定，必须在施工中运用系统工程思想解决问题，而不能孤立地注重某一方面。即路基路面施工已经成为一个系统工程，这就决定了本书必须按照系统工程思想编写。按此原则，书中提出了施工中的“72字方针”，适当增加了施工材料、施工组织和工程定位控制等方面的与施工密不可分的内容。其次，符合未来人才结构所需的知识跨度。从现在施工现场的人才结构和目前高等学校的人才培养规模考虑，得到的一个重要启示是：未来技能型人才队伍中将有大量的高学历人员涌入。这是由于从2010年开始，我国的公路建设投资已经突破1万亿元人民币，在建的高速公路和农村公路任务仍然十分艰巨。而相比之下，由于本世纪初各省市的中技学校全部改为交通高等职业院校或本科院校，加之各省市的工业大学相继设立了交通建设和养护专业，每年招收数以万计的同类专业大学生，甚至有不少的研究生。另外，还有为数不少的自学考试和函授院校在不断提高在职职工的学历层次。与此同时，2010年全国普通高等学校年计划招生数量已突破657万；研究生年计划招生数量已超过53.4万

人。而事实也证明了现在有为数不少的非专业人员进入公路施工现场工作，在未来将有大量的非本专业人员、特别是高学历人员需要进入施工现场工作，而这里会有为数不少的大学甚至是研究生学历的人员，交通系统从业人员中的学历文化层次不断提高，学历和技能的矛盾日益突出，因而必然要求本书的知识跨度能满足上述人员的参考、学习和技术晋级需要。再次，体现各类级别知识模块的涵盖原则。国家职业考试的重要原则是涵盖原则，即参加高一级的考生要包括以下各级的考试内容。例如，参加晋升高级技师考试的技术人员的考试命题范围，包含技师和高级工及中级工甚至是初级工的全部知识考点。鉴于此，决定本书的编写起点必须从基础知识着手，为此本书还编入了在校大学生教学大纲必备的专业基础知识，以适应各个不同级别的人员参加各级考试的需要。第四，高新技术应用和缺失规范的补充原则。施工中机械化和自动化程度是今后发展的必然趋势，为此在路基施工技术中编入了在路面施工中还编入了滑模、轨道机械施工技术等高新技术内容。另外，对特殊路基施工和病害处理给予较多的篇幅叙述，如软基处理、沙漠路基施工和病害处理等技术，这是基于我国未来有不少道路是修建在沙漠地区，而至今为止还没有健全特殊路基施工规范，如沙漠路基路面施工规范等缘故；此外，书中还编入有关文明和安全施工技术和现代以人为本的施工中人文管理等内容。

本书由刘培文教授执笔编著，在编写过程中，得到有关专家和学者的大力支持和帮助。其中，马文瀚专家对本书的编写提出建设性的宝贵意见，王振清编写了第二章中七至九节；邢凤岐编写了第二章中二至五节内容；查旭东教授协同编写第六章的部分内容；赵卫平教授和张学协助编写第八章有关路基路面工程质量管理 and 检查验收的内容。

在这一年多来夜以继日的编写和钻研苦读过程中，也深深地感觉到编写内容比较齐全且要求具有较高实用价值的书籍，不但是一个全新的课题，而且从某种意义上讲，对作者来说也是一个再学习、再提高、再深造的过程，参考的近百位专家和学者的著作和论文，都是作者新的良师益友。在这些书籍中，本人进一步学到了不少难能可贵的知识。在此，再次对参与本书编写的专家学者和被参考的学术作品的作者表示衷心感谢，特别是张登良教授、方福森教授、朱照宏教授、王秉纲教授、许志鸿教授、沙庆林教授、邓学均教授等博士生导师们的严谨认真的工作作风和他们的专著伴作者一路走来，在此遥祝他们健康长寿，并表示最诚挚的敬意。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中缺点乃至错误之处在所难免，恳请同行专家和学者以及广大读者批评指正。

作 者
2011 年 8 月于北京

目 录

第一章 施工技术基础与施工准备	1
第一节 路基路面施工相关知识.....	1
第二节 路基路面施工绘图基础.....	9
第三节 路基路面施工相关计算	25
第四节 试验路段与施工组织设计	49
第五节 路基路面施工前的准备工作	58
第六节 路基路面施工定位放样技术	63
第七节 施工用材料技术指标与实验	81
第八节 安全和文明施工及环保技术.....	107
第二章 路基施工与病害防治技术	124
第一节 一般土质路基施工技术.....	124
第二节 一般石质路基施工技术.....	145
第三节 路堤施工常见病害处理.....	167
第四节 湿软土地区路基施工技术.....	177
第五节 膨胀土与黄土地地区路基施工技术.....	184
第六节 盐渍土地区路基施工技术.....	193
第七节 冻土地地区路基施工技术.....	198
第八节 滑坡路段路基施工技术.....	205
第九节 沙漠地区路基施工技术.....	211
第十节 软土地基加固与处理技术.....	248
第三章 路基排水与防护工程施工技术	277
第一节 地面排水设施施工技术.....	277
第二节 地下排水设施施工技术.....	288
第三节 路基防护设施施工技术.....	296
第四节 路基挡土墙施工技术.....	309
第四章 路面常用三大胶结料与混合料技术性能	328
第一节 水泥胶结料及其技术性能.....	328
第二节 沥青胶结料及其技术性能.....	333
第三节 石灰胶结料及其技术性能.....	341
第四节 稳定土类混合料及其技术性能.....	343
第五节 路面用水泥混凝土混合料及其技术性能.....	352
第六节 面层用沥青混合料及其技术性能.....	360
第五章 路面基层与垫层施工技术	376
第一节 施工作业方式与筑路机械的选择.....	376
第二节 整体型基层施工技术.....	380
第三节 嵌锁型基层施工技术.....	392
第四节 级配型基层施工技术.....	399
第五节 路面基层冬季施工措施与病害防治	404

II 目 录

第六章 沥青路面施工技术	408
第一节 沥青路面施工要求与施工机械选择.....	408
第二节 沥青表面处治和沥青贯入式路面施工.....	420
第三节 沥青混凝土与沥青碎石路面施工.....	424
第四节 路面结构层间结合层与封闭层施工.....	439
第五节 沥青路面常见病害防治.....	443
第七章 水泥混凝土路面施工技术	453
第一节 水泥混凝土路面构造.....	453
第二节 人工与小型机械配合施工技术.....	457
第三节 机械化施工的摊铺机械选择.....	466
第四节 水泥混凝土面层滑模铺筑技术.....	472
第五节 水泥混凝土路面轨道机铺筑技术.....	480
第八章 路基路面施工质量管理与检查验收	484
第一节 施工质量保证体系与制度措施.....	484
第二节 路基施工质量管理与检查验收.....	490
第三节 水泥混凝土路面施工质量检查.....	497
第四节 沥青路面施工质量管理与检查验收.....	502
第九章 路基路面培训和技术总结与创新	511
第一节 技术培训与技术管理.....	511
第二节 施工技术总结的撰写.....	513
第三节 技术革新与技术推广.....	520
第四节 技术攻关与技术改进.....	523
附录 A 中华人民共和国公路路基路面工国家职业标准（报批稿）	531
参考文献	544

第一章 施工技术基础与施工准备

为确保工程的施工质量，几乎所有土木工程的施工，包括道路、桥梁、隧道等，都要做好下述几个方面的工作：第一是施工准备充分；第二是施工组织合理；第三是工程定位正确；第四是施工尺寸准确；第五是各部标高合适；第六是工程用料合格；第七是施工程序得当；第八是施工工艺精湛；第九是质量检查及时；第十是确保施工安全；第十一是保护景观环境；第十二是合同承诺有效。在此将上述十二项要求，称为工程施工“七十二字”方针。其中，施工准备工作包括组织准备、物质准备、技术准备等。

在实际工作中，要做到与上述“七十二字”方针对应的相关工作内容，不但要求一线各级施工技术人员具有相应各级必然要求的工作经历、经验和业务能力，而且还要有相应不同级别要求的坚实的基础理论功底和熟练的相关业务知识，只有这样才能正确有序地把握施工中的各个环节，有的放矢地完成各项工作。

本章主要介绍施工准备和技术准备中的图纸审核和技术交底工作中经常用到的路基路面相关知识。

第一节 路基路面施工相关知识

一、道路的基本类型与公路的基本组成

道路包括公路、城市道路、厂矿道路、林区道路、专用道路五种。各种道路的路基路面工程构造与施工，具有共性的方面，也有各自不同的特点。为鉴定各种道路，下面先介绍道路的基本类型，然后再阐述公路路基路面及其要求。

（一）道路的基本类型

1. 公路

公路是道路的一种。自古定义公路为由公众自由出行的道路，如今它涵盖了由国家和地方政府统一修建和管理的道路。公路分为国道、省道、县道、乡道。具有全国性的政治、经济、开放、开发、国防意义的公路叫国道。国道由国家统一规划，并确定为国家主要干线的公路；省道、县道、乡道分别具有全省性、全县性、全乡性的政治、经济、旅游、开发等意义，分别由省、县、乡统一规划，并确定为省、县或乡主要干线的公路。

国道、省道、县道、乡道根据走向等因素编号。国道用汉语拼音字母 G 代表；省道用汉语拼音字母 S 代表；县道、乡道用汉语拼音字母 X 代表。根据国道走向，将国道的编号分为三类：以北京为中心的放射国道，北京出发 1 开头，其编号为 1××；如北京到沈阳的干线为 101，这类国道共有 12 条，其中，通向东北的 3 条，通向华北的 2 条，通向华东的 1 条，通向中南的 2 条，通向西北 1 条；南北干线 2 开头；东西干线 3 开头。高速公路单独编号已经实施，其编号是根据《国家高速公路网命名和编号规则》(JTJ A03—2007)，高速公路牌采用汉字红底白线的国家高速字样以及“字母标识 + 数字”组成。字母标识采用汉语拼音，国家高速公路采用“G + 数字”编号，与国道一致；地方高速公路（即省、市、自治区的高速公路）采用“S + 数字”的形式，与省道一致；数字编号采用 1 位数、2 位数、3 位数、4 位数，首都放射线采用 1 位数，如北京到哈尔滨的京哈高速，冠以“国家高速”，代号 G1；纵线和横线采用 2 位数；如沈海高速为 G15；普通国道和地方高速公路采用 3 位数，以北京为起点的国道采用 1 字开头的 3 位编号，如 G107 国道；城市绕城环线和联络线采用 4 位编号，如东莞到佛山高速为 G9411。另外，高速公路转其他高速公路的匝道出口编号为该高速公路起点到该出口的距离。例如，某

高速公路 S2 沪芦高速公路的匝道出口由原连续编号改为 45，代表该出口距离该高速公路起点 45 km。所有公路应具有公益属性，必须服务于国家的国民经济整体发展，服务于人民的方便出行。农村公路还要服务于社会主义新农村建设的需要。

2. 城市道路

城市道路是指在城市范围内，供车辆及行人通行的、具备一定技术条件和设施的道路。城市道路是城市组织生产、安排生活、搞活经济、物质流通所必须的交通设施。城市道路设计使用原建设部出台的各种标准、规范和规程。城市道路应将城市各主要组成部分如居民区、市中心、工业区、车站、码头、文化福利设施之间联系起来，形成一个完整的道路系统，方便城市的生产和生活活动，从而充分发挥城市的经济、社会和环境效益。通常，城市道路组成部分如下。

① 机动车道：包括供汽车行驶的机动车道、供有轨电车行驶的有轨车道。

② 非机动车道：供自行车、三轮车等行驶的车道称非机动车道。

③ 人行步道：专供行人步行交通用的地面人行道、地下人行通道、人行天桥。

④ 交叉路口：道路与道路在同一平面内相交的地方。

⑤ 公共站场：交通广场、停车场、公共汽车停靠站台。

⑥ 交通设施：交通安全设施，如交通信号灯、交通标志、交通岛、护栏等。

⑦ 排水系统：如街沟、边沟、雨水口、窨井、雨水管等。

⑧ 地上设施：沿街地上设施，如照明灯柱、电杆、邮筒、给水栓等。

⑨ 地下管线：地下各种管线，如高压电缆、煤气管、给水管、污水管、热力管、雨水方沟等。

⑩ 各种绿带：具有卫生、隔离、防护和美化作用的绿带。

⑪ 地下铁路：交通发达的现代化城市，建有地下铁道网等。

⑫ 高架道路：交通流量极大的城市环线和城内外交通快速疏散道路，可根据情况修建高架道路，如一层高架、两层高架、三层高架等。

上述城市道路设施，决定了城市道路施工中与公路等其他道路的不同的施工特点。

3. 厂矿道路

厂矿道路是指主要为工厂、矿山运输车辆通行的道路，通常分为厂内道路、厂外道路和露天矿山道路三种。厂外道路为厂矿企业与国家公路、城市道路、车站、港口相衔接的道路或是连接厂矿企业分散的车间、居住区之间的道路。

4. 林区道路

林区道路是指修建在林区，供林业运输车辆通行的道路。

5. 专用道路

一般指专为某项工程建设（或项目）或某种特殊需要而修建的道路。如引水专用道路、旅游路等。

特别指出，上述各类道路在设计 and 施工时相应的依据及具体要求也不相同，使用的规范、标准、规程的出处和内容不同。一般而言，公路设计、施工、监理要采用交通运输部出台和颁发的相应规范、标准和规程及其拓展延伸的国家规范、标准和规程；城市道路则采用住房和城乡建设部出台和颁发的相应规范、标准和规程及其拓展延伸的国家规范、标准和规程；林区道路则是采用林业部出台和颁发的相应规范、标准和规程及其拓展延伸的国家规范、标准和规程。关于这一点要特别注意，切莫“张冠李戴”。

（二）公路的基本组成

公路的基本组成由线型组成和结构组成两个部分。由于路基路面工程施工中，经常要涉及到道路线型和路面结构的问题，因此，一线相关技术人员需要明确线型组成和结构组成的若干技术问题。

1. 线型组成

公路是一个空间线形带状构筑物。在设计中用平面、纵断面和横断面表达。在设计与施工中的道路平面问题主要是研究道路中心线的若干技术问题。道路中心线是一条空间曲线，其平面投影是由直线和曲线构成。无论曲线还是直线都要与汽车行车轨迹相适应，并满足速度连续和视觉连续的

现代道路设计理论。根据轮印实地轨迹调查、理论轨迹分析（司机操作方向盘的方式的动作的分析）和面轴关系研究（前轮旋转面和车身纵轴关系研究）结果，分析得出汽车直行时轮印和车体的运行轨迹为一条连续直线，汽车转弯时有圆弧曲线和回旋曲线两种轨迹，也就是说，汽车行驶轨迹是由连续直线、圆弧曲线、回旋曲线这三种线型组成，将这三种线型叫做公路的基本线型。因此，各国道路线型不论如何复杂，均是由连续直线、回旋曲线和圆弧曲线这三种基本线型构成的。由这三种线型构成的道路实际线型多达十几种。由这三种基本线型组成的道路中心线有单曲线和复曲线两类，无论是道路勘测设计还是施工放线，规范做法通常都是按照“先控制，后碎部”的原则进行，按此原则，先设置路线导线，而后再布置中线。导线有两类：一类叫做自由导线；另一类叫做顺路导线。自由导线是专门为控制路线设置的控制点连成的导线，一般不与路线重合，与路线横向有一定的距离，有时可横穿路线，每个导线点间距较大，一般为 500 ~ 1 000 m 设一个导线点，点位采用混凝土包芯桩，设置要求与水准点类似。顺路导线是在顺路方向布置的折线，折线上的点有转点（我国以 ZD 表示，国外以 TP 表示）和交点（我国以 JD 表示，国外以 IP 表示）。转点是设置在导线同一方向上的导向点，通常在两点不通视，或虽然通视但为低洼地段或距离较远时设置；交点是指道路路线方向发生偏转的转折点，通常曲线都是设置在交点处。顺路导线点（即交点和转点）桩一般采用方木桩，桩顶钉小钉打与地面平齐，桩顶染红，以便寻找。

由基本线型构成的实际采用的曲线类型，大体上可分为单曲线和复曲线两类。

单曲线是指一个或多个交点处设一个半径的曲线。单曲线可分为简单型单曲线、基本型单曲线和凸型单曲线。在直线型定线法中，复曲线是指两个或两个以上的交点设两个曲线或两个以上曲线并相互对接。由单曲线和复曲线可派生和归纳为：简单型、基本型、凸型、C 型、卵型、复合型、S 型等数种。最常用的是简单型、基本型曲线。

复曲线通常是设置在两个（或两个以上）相邻同向或反向较近的交点处，设置不同半径或不同参数的曲线并相互对接后，再与导线连接的曲线形式。复曲线分同向复曲线和反向复曲线两类。同向复曲线有简单型复曲线、基本型复曲线、卵型复曲线、复合型复曲线和 C 型复曲线等几种；反向复曲线有简单 S 型复曲线和基本 S 型复曲线两种。

公路中线在设计中是用连续顺滑的粗实线条叠画在带状地形图上；而在实地一般用桩来标定。用桩标定在原地面上的中心线和道路建设过程中及建成以后的中心线的平面投影是一致的。这是因为，尽管桩点是在具有高低起伏的原地面上布置，但因测角使用的是经纬仪或全站仪，故只能测出水平角且量距是水平距离，即操作的结果实质上是水平投影。因此道路建设过程中任何一次放线及其建成后的中心线桩号与原地面桩号要一一对应。

道路路基路面的设计和施工顺序是：首先，设计确定道路平面（即中线），施工时预先放出施工中心线；其次，设计确定纵断面（即路顶面），施工控制路顶面标高；再次，设计确定各断面形状和尺寸，进行各断面施工放样；最后，设计出路面各层材料和厚度，施工各层厚度和标高。道路平面设计结果表达的技术文件很多，其中《道路平面设计图》、《导线点坐标表》、《直线、曲线和转角一览表》和《逐桩坐标表》是其主要文件，将在本章第二节专门介绍。

2. 结构组成

公路的结构组成主要包括：路基工程、路面工程、排水工程（桥涵、渗水路堤、过水路面等）、防护工程（挡土墙、护坡、护栏等）、特殊构造物、交通服务设施（标志、标牌、标线）。另外，公路的植树绿化与美化工程也是公路环境的必要组成部分，它为道路使用者提供一个安全、舒适的行车环境。环境绿化有利于净化空气、舒畅人们的心情，且可提高行车的安全。下面重点介绍路基工程和路面工程。

1) 路基工程

路基是按照路线位置和一定技术要求修筑的作为路面基础的带状构造物，它承受由路面传递下来的行车荷载，贯穿公路全线，与桥梁、隧道相连，构成公路的整体。由于路基是行车部分的基础，设计时必须保证其稳定性、坚实并符合规定的尺寸，以承受汽车和自然因素的作用。为确保路基稳定，不受自然水的侵蚀，道路还应修建排水结构物。排水结构物有地面排水设施和地下排水设施两类。地面排水设

施有如边沟、截水沟、排水沟、桥涵等。地下排水设施，如渗沟、渗井、暗沟等。为保证路基稳定或行车安全所修筑的工程设施，如挡土墙、护坡、护栏等。

道路路基工程实体是一个空间带状工程，如图 1-1 (a) 所示。

设计和施工中是用断面图表达，如图 1-1 (b) 所示，断面形状一般有路堤、路堑、半填半挖三种路基形式。有时要有更为详细的设计图，如图 1-1 (c) 所示。路基与路面的关系和路基一般断面如图 1-1 (d) 所示。

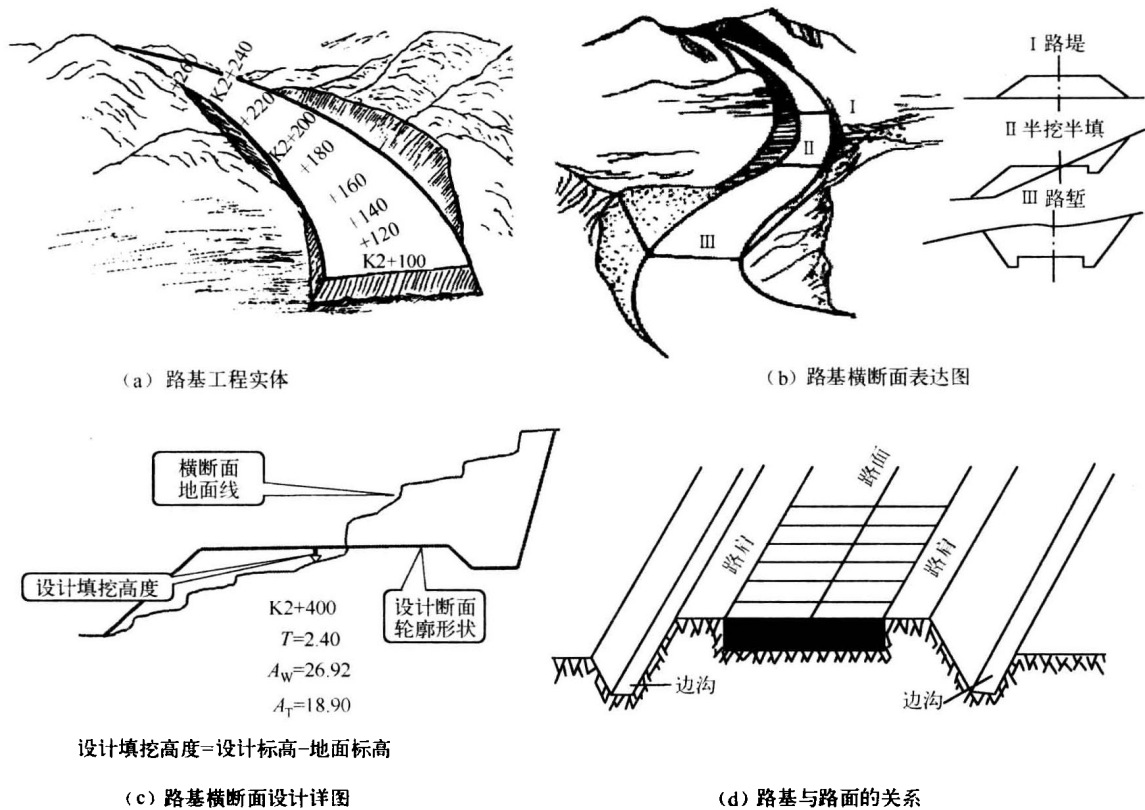


图 1-1 路基实体及其设计表达

2) 路面工程

路面是用各种筑路材料铺筑于路基顶面的单层或多层供汽车直接行驶的层状结构物。通常路面由垫层、基层及面层三部分组成。

路面按其使用品质、材料组成和结构强度可有高级、次高级、中级、低级之分。按其力学性质可分为柔性路面和刚性路面两大类。常用材料有沥青、水泥、碎（砾）石、砂、黏土等。

路面结构按其层位置和功能、材料的不同，可分为面层、基层和垫层。各层根据需要又可详细划分，如面层可为面层上面、中面层、底面层。基层又可分为上基层、中基层和底基层，如图 1-2 所示。

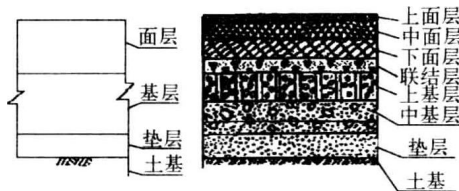


图 1-2 路面结构及其层次划分

面层是直接同行车和大气接触的表面层次，它承受较大的行车荷载的垂直力、水平力和冲击力的作用，同时还受到降水的浸蚀和气温变化的影响。因此与其他层次相比，面层应具有较高的结构强度，抗变形能力，较好的水温稳定性，而且应当耐磨、耐久和不透水；其表面还应有良好的抗滑性和平整度。

现代道路、特别是高等级公路上常用的面层类型可归纳为黑色和白色两大类。前者主要有沥青表面处治、沥青混凝土、厂拌沥青碎石、沥青贯入碎石、路拌沥青碎石、沥青上拌下贯式等；后者主要有水泥混凝土、碾压混凝土、连续配筋混凝土、混凝土砌块、整齐的条石和块石面层。

基层主要用来承受由面层传来的车辆荷载的垂直力，并将力扩散到下面的垫层和土基中去。基层类型可归纳为三大类：第一类是整体型基层，这类基层亦称为半刚性基层，通常是指稳定土类，如石灰稳定土基层、水泥稳定土基层、石灰粉煤灰综合稳定土基层、石灰或水泥稳定工业废渣、水泥稳定碎砾石等；整体型基层强度通常是由离子交换作用、结晶作用和碳化作用等化学作用形成，因此，其最大的优点是力学强度高、板体性好，最大的缺点是容易产生干或冷缩裂缝。第二类是嵌锁型基层，通常是指干压碎石基层、填隙碎石基层等，其强度构成原则是由材料颗粒之间的嵌挤和锁结作用形成。第三类是级配型基层，如级配碎石、级配砾石基层等，其强度构成原则是由密实级配原则构成的强度。

垫层介于土基和基层之间，它的功能是改善土基的湿度和温度状况，以保证面层和基层的强度、刚度和稳定性不受土基水文状况所造成的不良影响，另一方面的功能是将基层传递来的车辆荷载应力加以扩散，以减小土基产生的应力和变形；同时也能阻止路基土挤入土基层中而影响路基结构性能。垫层一般采用水稳定性和隔温性好的材料修筑。常用的垫层材料分为两类，一类是由松散粒料（如砂、砾石、炉渣等）组成透水性垫层；另一类是用水泥或石灰稳定土等修筑的稳定土类垫层。需要指出的是，垫层的设置是有条件的，只有路面结构需要防冻、防污、隔水、排水时才考虑设置垫层，并非所有的路面结构都需要垫层。

二、对路基路面工程的基本要求

我们做任何工作，都要明确所做工作要实现的最终目的或目标。路基路面施工也不例外，专业上将要达到的最终目的或目标称之为“基本要求”。这些要求就是路基路面设计和施工要达到的共同宗旨。在这里，有必要对路基路面的基本要求加以介绍。

在路基路面施工中，要按照“路基稳定，基层坚实，面层耐用”的综合设计和施工的指导思想进行综合设计和施工。

（一）对路基工程的基本要求

对路基的总体要求是：正常使用，不能损坏。路基破坏可归纳为地质灾害、气象破坏和水的损坏。对路基的具体要求概括如下。

1. 整体稳定坚固

路基设计和施工必须达到整体稳定坚固。所谓整体稳定是指路基在整个使用过程中，保持其设计并按要求施工后的整体形状和各部尺寸不改变的性能，即在路基竣工后的使用过程中，不能发生各种破坏，或即使是有轻微的破坏，其破坏的强度和幅度应在允许范围之内。

在路基设计和施工中，一般是针对路基的地质灾害、气象破坏和水的损坏采取相应的各项技术措施。对路堤和路堑采取的措施通常是避让各种不良地质地段，如有困难可采取边坡防护或支挡工程等工程技术措施；对于高路堤或陡坡上路堤，首先要进行稳定性验算后，再采取相应的措施；对于有可能影响路基稳定性时的水损坏，作好必要的地面和地下排水设施，如对沿河路基要采取的冲刷防护等；对于由气象破坏，如路基冻胀和翻浆等，要作好防止冻胀和翻浆的技术措施。

2. 承载能力强

承载能力是指路基具有足够的强度和刚度，能够抵抗在车辆载荷作用下的变形和破坏能力。路基强度是指路基抵抗外力作用的产生变形和破坏的能力，这里主要指抵抗变形的能力。在一定应力作用下，变形越大，土基强度越低；反之，则表明土基强度越高。

土的力学性质指标也就是表征土基强度指标。根据土基简化的力学模型不同，以及土体破坏的原因不同，国内外表征土基强度的指标主要有以下几种：路基路面设计中常用弹性模量 E_0 、土基反应模量 K_0 、用于设计和施工并用的 CBR 值（最弱强度指标）、路基稳定性验算和挡土墙设计中土压力计算的抗剪强度指标等。

1) 弹性模量 E_0

把土基简化为一弹性半空间体，用弹性模量 E_0 表征其应力应变特性，并作为土基的强度指标。为

模拟车轮印迹的作用,通常以圆形承载板压入土基的方法测定其弹性模量 E_0 。

根据弹性力学原理,用圆形承载板测试计算土基弹性模量的公式如下:

$$E_0 = \frac{\pi p D}{4l} (1 - \mu_0^2) \quad (1-1)$$

式中: E_0 ——土基的弹性模量, MPa;

l ——承载板的沉降值, m;

D ——承载板的直径, 一般取 30cm 或 76cm;

μ_0 ——土的泊松比, 一般取 0.35;

p ——承载板压强, MPa。

由于承载板测试弹性模量的野外测试速度较慢, 因此工程中常用标准试验车作试验, 根据测得的回弹变形 (回弹弯沉 l_0) 计算土基回弹模量值, 公式如下:

$$E_0 = \frac{pd}{l_0} (1 - \mu_0^2) \times 0.712 \quad (1-2)$$

式中: p ——标准试验车的轮胎压力, kPa;

d ——试验车轮迹当量圆直径, cm;

μ_0 ——土基的泊松比, 取 0.35;

l_0 ——土基不利季节的计算弯沉值。

与用承载板作加载测试相比, 两者结果相差不大, 但后者测试工作大为简化。

2) 土基反应模量 K_0

在刚性路面设计中, 除用弹性模量 E_0 表征土基强度外, 亦常用土基反应模量 K_0 作为指标。该力学模型是假设地基上任一点的反力与该点的挠度成正比, 而与其他点无关, 即土基相当于由互不联系的弹簧组成。这种地基力学模型首先由捷克工程师文克勒 (E. Winkler) 提出, 因此, 又叫文克勒地基。土基反应模量 K_0 为压力 p 与沉降 l 之比 (式 1-3), 即

$$K_0 = \frac{p}{l} \quad (1-3)$$

土基反应模量 K_0 值, 通常用承载板试验确定, 承载板的直径规定为 76 cm。测试方法与弹性模量测试方法相类似, 但采用一次加载法。施加的荷载由两种方法控制: 当地基较为软弱时, 用 0.127 cm (即 0.05 英寸) 的沉降控制承压板的荷载; 若地基较为坚硬, 沉降难以达到 0.127 cm 时, 以单位压力 $p = 0.07$ MPa 控制承载板的荷载。

3) CBR 值 (最弱强度指标)

CBR 值, 也叫加州承载比, 是早年由美国加利福尼亚州提出的一种评定土基及其他路面材料承载力的指标。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, 它们的相对比值即为 CBR 值。

在试验时, 用一个端部面积为 19.35 cm^2 的标准压头, 以 0.127 cm/min 的速度压入土中, 直至压入深度达到 1.27 cm 为止。记录每贯入单位压力与达到该贯入深度时的标准压力之比即得土基的 CBR 值 (式 1-4), 即

$$\text{CBR} = \frac{P}{P_s} \times 100 \quad (1-4)$$

式中: p ——对应于某一贯入度的土基单位压力, MPa;

p_s ——与土基贯入相同的标准单位压力, MPa。

CBR 设备有室内试验与室外试验两种。试件按路基施工时的含水率及压实度要求在试筒内制备, 并在加载前浸泡在水中泡水 4d。为模拟路面结构对土基的附加应力, 在浸水过程中及压入试验时, 在试件顶面施加环形法码, 其重量根据预计的路面结构重量确定。试件浸水至少淹没顶部 2.54 cm 。CBR 值的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。

以上 3 项指标, 都表征特定力学模型下土基的应力与应变关系。但由于土基是非线弹性体, 还

随土质、密实度、水温状况及自然条件而变。因此，在应用各项指标进行路面设计和对路基强度进行评价时，必须与路面结构设计方法相配合，把路基路面的设计力学模型与具体条件和要求联系起来。

4) 抗剪强度指标

抗剪强度指标指土体抵抗剪切破坏的能力。土的抗剪强度对分析土坡稳定，以及挡土墙后土压力计算中使用广泛。

土的抗剪强度通常用库仑公式（式 1-5）表示：

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1-5)$$

式中： τ ——土的抗剪强度，kPa；

c ——土的单位黏聚力，kPa；

σ ——剪切破坏面上的法向总应力，kPa；

φ ——土体的内摩擦角。

c 、 φ 值即为土的抗剪强度指标，它反映了土体抗剪强度的大小，是土体非常重要的力学指标。

土的抗剪强度测试有多种方法。若用三轴压缩试验测定，在一定围压下进行轴向加载，可以模拟土体受荷时发生的应力情况。如果试验时可以完全控制排水，水分可以从孔隙流出或排出，则土的性质完全可以用库仑公式表示。

5) 压实度（间接强度指标）

压实度可以认为是间接表征路基路面强度的指标。它是指现场干密度与标准干密度的比值百分率。其中，标准干密度亦称最大干密度，通常用击实试验确定。击实试验可分为锤重为 5.0kg 的重型击实试验和锤重为 2.5kg 的轻型击实试验两种，分别用于二级及其以上公路以及二级以下公路。对现场干密度测定方法通常有核子湿度密度仪法、灌砂法、环刀法、水袋法、蜡封法等，可视路基或路面结构层的材料等因素采用相应的方法。有条件时，可同时采用多种方法，以便对比。

6) 回弹弯沉（整体强度指标）

在压实的土基表面，使用杠杆弯沉仪（贝克曼梁）或弯沉车，置于标准车（后轴重为轴载 100 kN，轮胎气压 0.7 MPa）的后轴双轮组的轮隙中心，测定压实路基土体的回弹弯沉，用杠杆弯沉仪使用前进卸载法测定轮间隙中心的最大回弹变形（即回弹弯沉）。

在施工现场，路基承载能力（强度和刚度）指标通常控制三项，即回弹弯沉、压实度和 CBR 值。

3. 水温稳定

路基要有良好的水温稳定性。所谓水温稳定是指在水和温度变化作用下保持整体稳定和承载能力，强度不至于下降或强度变化幅度不得超过允许范围。目前路基稳定性指标还尚需深入研究，大都只是模仿自然因素做一些强度对比实验来判定。

（二）对路面工程的基本要求

对路面工程总的要求是能够承载，不宜变形，不得破坏，利于行车。对路面的具体要求如下。

1. 路面结构高强、稳定、坚实且耐久

路面结构高强、稳定、坚实且耐久是针对路面直接承受车辆荷载和自然因素影响所造成的疲劳断裂、塑性变形累计和表面磨损而提出的技术要求。

路面结构的强度是指路面抵抗变形的能力。从广义上讲，路面强度应由各层强度和整体强度之分。归纳目前国内外表达路基路面整体强度的方法不外乎两种：一种是，一定变形下的荷载（如国外的 CBR）；另一种是一定荷载下的变形（如我国的回弹弯沉）。

路面结构稳定性是指路面结构在自然因素作用下保持强度和完好性的能力，即强度降低的幅度不能太大或不超过允许范围。这是因为，路面直接暴露在大气层中，因自然界有水圈和水循环，故路面稳定性受自然因素影响较大。大量试验证明：路基与路面材料随温度和湿度变化而导致路基路面材料和结构的体积、几何性质和物理性质变化，即随温度升降和湿度变化而引起胀缩，致使强度和刚度大幅度降低。理论研究还表明：路表温度变化与气温变化同步，且路表温度高于气温，这是

由于部分太阳辐射热被路面所吸收,导致路表温度比气温高。尤其是沥青路面,由于其吸热高,温度增值的幅度超过水泥混凝土路面。路面结构内温度会沿着结构深度呈不均匀分布,而且在一天不同时刻,路面温度经历正负循环变化,路面内温度梯度与气温变化同步且有周期性。对这种温度状况的评估,可通过外部和内部影响因素之间的联系来预估。通常有统计法和理论法两种。统计法是指在路面结构层不同深处理设测温元件连续观测,收集当地气象资料(气温、辐射热),对记录的路面温度和气象因素进行逐年回归分析。理论法是应用热传导理论方程式推导出各种气象资料和路面材料热物理特性参数组成的温度预估方程,缺点是参数确定难度大,理论假设理想化,结果与实测有一定的出入。气温的周期性变化,导致不同时期和不同温度路面材料和结构的胀缩不同,当受到约束不能释放,就产生温度应力和湿度应力,往往引起路面出现早期破坏。这些因素使得设计和施工复杂化。目前,对路面结构的水温稳定性评判,是模拟自然因素作用做强度对比试验,如水泥稳定土或石灰稳定土基层的冻融循环试验等。

2. 路面表面平整、抗滑性好且耐磨

针对路面高速、安全、舒适行车的要求,提出了路面表面平整、抗滑和耐磨性能指标。抗滑性目前用构造深度和专门的抗滑试验测定。平整度使用三米直尺或平整度测定仪测定。路面的抗滑性一般是通过选择面层材料的质量和规格来控制;耐久性一般是采用一些新型结构等,如沥青路面采用的 SMA 等路面或改性路面结构,并通过混合料的车辙实验来控制。

(三) 路基路面工程设计与施工的主要内容

1. 路基工程设计与施工内容

路基工程设计包括路基的各部组成、路基断面形式、路基宽度和高度、边坡坡率、路基防护、路基挡土墙、路基排水设计理论和基本方法。路基施工包括土质和石质路基正确的施工程序和施工工艺。

2. 路面工程设计与施工内容

1) 路面的分层与各层技术指标

路面结构的基本层次是由面层、基层、垫层组成的。路面的分层与各层技术指标是指,在设计中,根据地理、地质、土质、荷载、气候等情况,设计路面总共安排几个层次,面层是否安排面层上层、中层和下层。基层是否安排上基层、中基层和底基层,是否设置垫层等。每层采用何种材料,分别采用何种技术指标等。

2) 各层材料的选择和组成设计

当各层选定后,确定控制指标分别取样试验,确定出合格的料场和原材料生产厂家,并对混合料的理论配合比、试验配合比(或目标配合比)、施工配合比做出设计。

3) 路面的分层和结构组合设计

路面分层结构设计是指哪一种(或几种)面层与哪一种(或几种)基层(或底基层)与哪一种垫层(当有必要设置垫层时)组合起来,最有效地抵抗自然因素和车辆荷载的作用,而且是经济合理的。结构组合设计实际上是对各层的层位安排。

4) 路面厚度计算与应力验算

在设计路面厚度前,首先应确定出路面的合理宽度。归纳世界各国路面厚度计算的方法不外乎有两种:即理论法和经验法,我国采用的是理论法。对柔性路面的设计,通常采用弹性层状体系理论模型上承受的双圆荷载图式下的帕斯瓦尔斯公式的理论结果进行设计。过去常用弹性层状体系理论三层体系解算的诺莫图的图算法;目前借助计算机程序计算,可以算到 15 层。值得注意的是,厚度计算只能在拟定各层厚度并满足路面整体强度要求的前提下,计算出其中一层的厚度。显然,各层的厚度拟定必须科学合理。否则路面厚度计算毫无意义。

5) 路面内、外排水与路拱设计

为迅速排除路面积水,防止在湿滑的路面上高速行驶打滑和发生水垫现象,路面表面应做成中间高、两边低的按一定形状过渡的表面拱形,称为路拱。常用路拱形状有抛物线形以及折线叠加圆弧形两种形式。在设计时要确定合适的路拱方程及断面控制点标高。另外,有时根据需要常常做路面结构层

内部排水设施,同时也要做好相应设计。

6) 正确的施工程序与工艺措施

在路面施工中,通常有针对外观、外形和尺寸的控制和内在质量控制两个核心环节。因此要严格按照如前提到的“七十二字”方针,合理组织工、料、机,科学安排各工序,严格控制原材料,正确把握各工艺。

第二节 路基路面施工绘图基础

在公路路基路面施工过程中,要涉及各类相关的图纸文件。会时常根据设计的图、文、表文件资料,进行各部位置、尺寸和标高的放样。有时,还根据施工的需要,在现场进行设计文件复核或做设计变更,这些工作,都离不开重新绘制或审核、校对部分设计图的工作。因此,对于从事路基路面施工的高级技术人员来说,在日常工作中绘图工作是不必可少的。

常用的路基路面施工图,主要有路线平面设计图、纵断面图和横断面图等。这些图纸既是道路实体设计的主要技术文件,同时也是施工的依据之一。

道路平面设计图、纵断面设计图和横断面设计图相结合,用来表达道路实体的具体位置、基本形状及相关尺寸。本节在阐述道路设计表述的基础上,介绍这几种图的识读、绘制方法及其技术要求。

一、道路实体设计表述图

(一) 道路平面设计图

我们知道,工程建筑物以主视图、俯视图和侧视图来表达。而道路是位于自然界中的空间线形带状构筑物,难以用以上办法表达,但可借鉴用三面视图表达工程结构物的思路,将道路实体设计结果用其平面、纵断面和横断面表达,如图 1-3 所示。

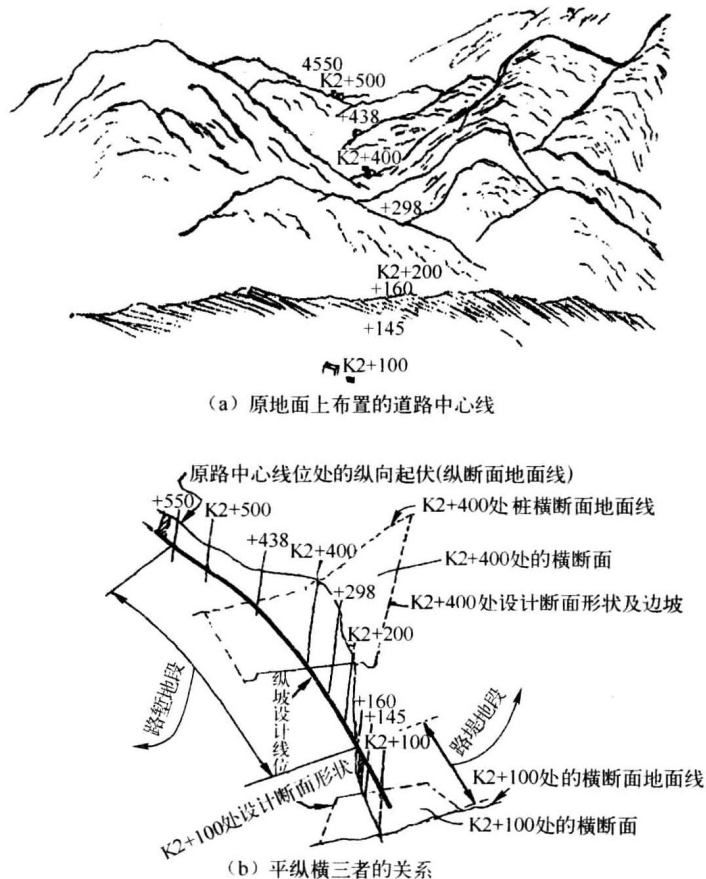


图 1-3 带状公路实体及设计中分解为平、纵、横三面图示