

路基设计原理与计算

周宪华
姚代禄 合编
李峻利

人民交通出版社

路基设计原理与计算

Luji Sheji Yuanli Yu Jisuan

周	宪	华	
姚	代	禄	合编
李	峻	利	

人 民 交 通 出 版 社

内 容 简 介

本书较全面地阐述了保证公路路基有足够强度和稳定性的设计原理与方法，列举了计算示例，并介绍了国内外有关路基工程方面的新理论、新方法和新技术。

全书共六章，有路基设计概论、土基的应力应变和强度、路基排水设计、路基稳定性的分析与计算、路基防护及软弱地基处理、挡土墙设计等。

本书可供从事公路与城市道路的工程技术人员和科研人员参考，也可供有关专业，大、中专学校师生参阅。

路基设计原理与计算

周宪华

姚代禄 合编

李峻利

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张：17 字数：140千

1989年2月 第1版

1989年2月 第1版 第1次印刷

印数：0001—4,450册 定价：10.60元

前 言

路基是公路的主体工程，是路面的基础，它的工程数量大，边界条件杂，质量要求高。随着我国公路建设事业迅速发展，提高路基工程的质量和效益已成当务之急。本书为适应客观需要，试图从路基强度与稳定性的基本理论出发，阐明路基的设计原理和计算方法。为便于读者对书中所述原理与方法的理解和运用，对主要方法均列举计算示例。

本书既有选择地概括总结了国内外一些成熟的经验和常用的方法，也扼要介绍了国内外一些主要的新理论和新方法，如有限元、塑性理论上限解、振动固结（强夯）、土工布及加筋土等。

本书由南京工学院周宪华负责主持编写工作，并进行全书的统稿。本书编写人员：周宪华（第一、三、四及第五章的第1~3节）、姚代禄（第二章及第五章的第4~7节）、李峻利（第六章）。各章初稿敬请方福森教授（第一、三章）、方左英教授（第六章）、唐念慈教授（第二章）、庄海涛副教授（第四章）审阅，并提出修改意见，在此表示感谢。

由于水平有限，书中难免有欠妥和错误之处，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 路基设计概论	1
第一节 路基工程的特点.....	1
第二节 路基的典型断面.....	1
第三节 路基的常见病害.....	5
第四节 路基设计的基本任务.....	7
第二章 土基的应力、变形和强度	8
第一节 路基土中的应力状态.....	8
一、微分体上的应力.....	9
二、四面棱体的应力.....	11
三、应力圆.....	13
四、土中的自重应力.....	15
五、土中的附加应力.....	16
第二节 土中应力和变形的关系.....	42
一、土的变形特性指标.....	45
二、有效应力原理及应力路径.....	53
第三节 土基沉降量计算.....	64
一、分层总和法.....	64
二、考虑前期固结压力的沉降计算方法.....	71
三、司开普顿-贝伦方法.....	78
第四节 固结理论.....	80
一、固结微分方程.....	80
二、一维固结微分方程的解.....	83
三、二维固结微分方程的解.....	96
第五节 路基压实.....	99
一、土的压实过程.....	99

二、最佳含水量及最大密实度	100
三、压实土的水稳定性	102
四、路基压实度的要求	102
第六节 土的抗剪强度	104
一、土的抗剪强度指标及其表达式	105
二、土的极限平衡条件	108
三、根据极限平衡原理建立的试验——三轴压力仪	112
四、粘性土的抗剪强度	121
五、砂性土的抗剪强度	122
第七节 地基承载力	123
一、地基的临塑荷载公式	124
二、地基的极限荷载公式	129
第八节 平面问题的有限单元法	144
一、三角形单元	145
二、矩形单元	154
三、材料的非线性分析	158
四、土的非线性分析	168
五、接触面单元	172
第三章 路基排水设计	177
第一节 常用的路基排水设施	177
一、地面排水	177
二、地下排水	187
三、路基排水系统的总体布置	191
四、排水沟渠的加固	192
第二节 沟渠的水力水文计算	193
一、设计流量	193
二、水力计算	196
三、沟渠断面设计方法与示例	200
四、图解方法	204
第三节 特种沟渠的水力计算	207

一、跌水	207
二、急流槽	211
三、倒虹吸管	216
第四节 暗沟的水力水文计算	218
一、地下水流量及降落曲线方程	218
二、水力计算	222
三、几个主要参数	228
第四章 路基稳定性的分析与计算	231
第一节 直线滑动面的边坡稳定性计算	233
一、试算法	233
二、解析法	235
第二节 曲线滑动面的边坡稳定性计算	238
一、圆弧滑动面的条分法	238
二、条分法的表解和图解	242
三、圆弧滑动面的解析法	245
四、对数曲线滑动面的解析法	257
五、对数螺旋线滑动面的解析法	261
第三节 折线滑动面的边坡稳定性计算	262
一、水平力法	263
二、剩余下滑力法	265
第四节 软土地基的路基稳定性计算	269
一、临界高度的计算	270
二、路基稳定性的计算方法	271
第五节 浸水路堤的稳定性计算	275
一、假想摩擦角法	276
二、悬浮法	277
三、条分法	278
第六节 岩石路堑边坡的稳定性计算	283
一、工程地质法	284
二、力学分析法	286

三、岩体结构分析法	290
四、综合分析	296
第七节 滑坡地段路基的稳定性计算	297
一、工程地质调查法	299
二、力学分析法	301
三、滑坡推力的计算	303
第八节 地震区路基的稳定性分析	306
一、震害与震力	306
二、边坡抗震稳定性的计算	308
三、塑性理论的上限解	310
第五章 路基防护及软弱地基处理	316
第一节 坡面防护	317
一、植物防护	317
二、封闭防护	319
三、砌石防护	321
第二节 冲刷防护	322
一、直接防护	322
二、间接防护	325
三、坝体的构造与设计	332
第三节 路基防护的有关计算	336
一、动水压力	336
二、波浪要素与作用力	338
三、壅水高度	342
四、冰的作用力	343
五、冲刷计算	344
六、抛石	349
七、砌石	352
八、计算示例	353
第四节 换土法处理软基	355
一、砂石垫层厚度的决定	355

二、垫层的宽度	356
三、沉降计算	357
第五节 砂桩与砂井加固地基	357
一、砂(灰土、土)桩	357
二、砂井	360
第六节 强夯法	370
一、强夯法的试夯工作	371
二、强夯法的施工	372
三、强夯振动对邻近建筑物的影响	373
四、强夯法的优缺点	374
五、工程实例	374
第七节 软弱地基处理的其它方法	374
一、反压护道	375
二、土工布法	378
三、铺网法及加筋法	384
四、生石灰桩	385
五、碎石桩	388
六、化学加固法	388
七、桩基	389
第六章 挡土墙设计	391
第一节 挡土墙的用途及类型	391
一、挡土墙的用途	391
二、挡土墙的类型	391
第二节 挡土墙的构造与布置	391
一、挡土墙的构造	391
二、挡土墙的布置	400
第三节 挡土墙的土压力计算	402
一、概述	402
二、库伦方法	405
三、朗金方法	420

四、第二破裂面的土压力计算	428
五、折线形挡土墙的土压力计算	440
六、粘性土土压力计算	452
七、有限范围填土的土压力计算	457
八、车辆荷载换算及计算参数	458
第四节 挡土墙验算	460
一、作用于挡土墙的力系	460
二、抗滑动稳定性验算	461
三、抗倾覆稳定性验算	464
四、基底应力及偏心距验算	465
五、墙身截面强度验算	468
六、基础埋置深度的计算	480
七、浸水条件下挡土墙的验算	487
八、地震条件下挡土墙的验算	495
第五节 钢筋混凝土悬臂式挡土墙	499
一、概述	499
二、土压力计算	500
三、底板宽度的确定	501
四、立壁及底板厚度的确定	504
五、弯矩和剪力计算	505
第六节 加筋土挡土墙	519
一、概述	519
二、加筋土挡土墙的基本构造和原理	520
三、加筋土挡土墙的各组成部分及其要求	523
四、加筋土挡土墙的设计	524

第一章 路基设计概论

第一节 路基工程的特点

公路路基是路面的基础，其基本作用是承受由路面传递而来的荷载，确保路面强度与稳定性。

路基是公路的一个重要组成部分，是线型结构物，其位置和标高由公路线形设计所决定，并与公路的其他组成部分，如桥涵、路面及附属设施等，密切相关，相互制约。因此，路基设计是公路整体设计中的一个环节，既有其自身的特点和要求，亦必须考虑到与之相关的工程需要。

公路路基的主体，是由岩土构筑而成，结构形式简单，工程数量很大，而且沿线分布不匀，其强度与稳定性，受自然因素的影响极大。如果路基设计不当，不仅施工难度增加，工程费用提高，而且路基病害隐患多，难以轻易消除。此外，路基用地面积大，势必要占用较多耕地，拆迁原有建筑物，改变沿线自然环境。由此可见，研究路基设计理论，剖析路基工程特点，不断完善设计方法，对于发展公路交通事业，提高路面使用品质，降低工程造价，是不可忽视的一个重要环节。

第二节 路基的典型断面

路基横断面的形式，变化极大，按填挖条件的不同，可归纳为：路堤（全填）、路堑（全挖）和填挖结合三种类型。

图 1-1 为路堤的几种断面形式。当填筑高度小于路基临界高度或小于 1.0m 时，可视为低路堤。低路堤的质量关键取决于土

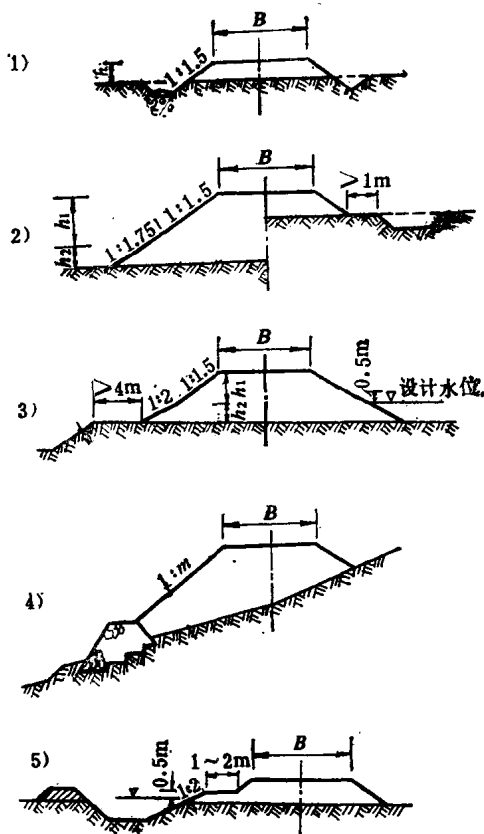


图1-1 路堤的典型断面图

1)低路堤；2)一般路堤；3)沿河路堤；4)护脚路堤；5)挖渠填筑路堤

基的水温状况与调节，且要求地基具有一定的强度。低路堤设计时，应权衡路堤高低的利弊，如提高填土，虽对路基强度与稳定性有利，但路基用土的数量和占地的面积增大，因而存在着工程质量和经济效益的择优问题。通常应优先考虑路基的使用品质，按规定标准严格控制最小填土高度，搞好路基排水设施，并力求不用较高的填土。

填筑高度大于临界高度，而且未超过6~8m，属于一般路

堤，其边坡对于填土时，采用 $1:1.5$ ，填石时可采用 $1:1$ 。填筑高度超高 8.0m （填土）或 12.0m （填石）时，按规定采用折线形的边坡。沿河路堤或路旁取土成沟渠时，除浸水部分（包括 0.5m 以上的安全高度）的边坡放缓至 $1:2$ 外，必要时还应予以加固，有时还须设置宽度不小于 1.0m 的护坡道。

原地面倾斜的路堤，填筑前需采取抗滑措施，如清除植被、开挖人工台阶或凿毛等。原地面陡于 $1:2$ ，可设置石垛式的护脚。

填筑高度超 20m ，或由于其他原因时，路堤应作特殊设计，进行稳定性的检算。

各种路堤的质量关键，除断面设计合理外，还取决于选择良好的填料，按规定分层填筑和人工压实，同时要搞好路基排水，重视路基的防护与加固。

图1-2为路堑的几种典型断面。路堑开挖后，在一定范围内改变了原地层的自然平衡状态，其质量关键取决于地质与水文条件，以及开挖深度，而且集中表现在边坡的稳定性程度上。

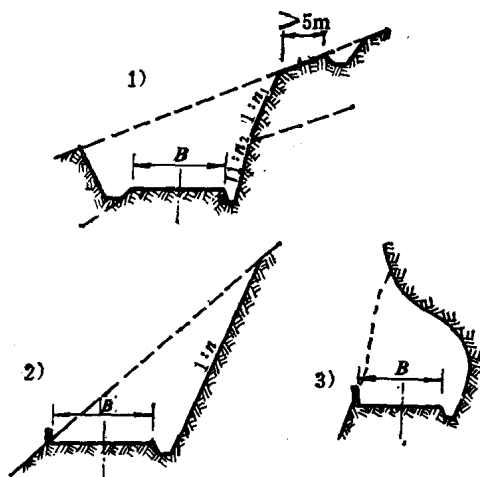


图1-2 路堑的典型断面图

1)全挖式路基；2)台口式路基；3)半山洞路基

路堑的边坡度，主要取决于地质与水文条件，亦因挖方深度而异。深路堑的边坡，因地质条件变化而可采用折线形；陡峭山坡上的路堑，可挖成台口式或半山洞的断面。挖方路基必须设置边沟，必要时还应设置边坡上方的截水沟。

路堑地段的土质路床，要注意其顶部约1.0m深范围内的强度和气温变迁情况，视需要予以人工压实、换土、加固或设置地下排水设施。

图1-3为填挖结合的路基典型断面，此种型式主要设置在比较陡峻的山坡上，其填挖部分的比例，与路基中心的填挖尺寸和山坡的横坡度密切相关。

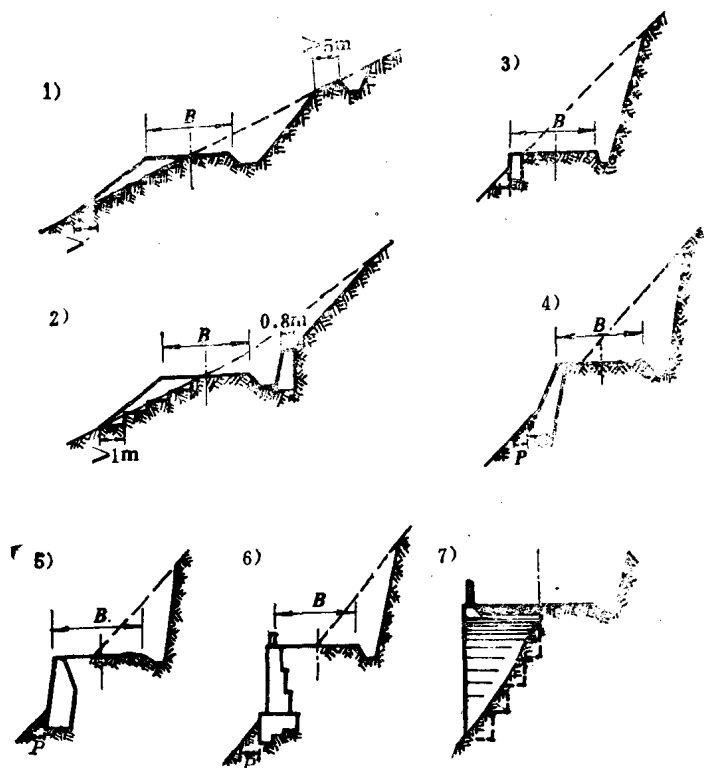


图1-3 填挖结合路基的典型断面

1)一般路基；2)矮挡墙路基；3)护肩路基；4)砌石路基；5)护墙路基；6)挡土墙路基；7)半山桥路基

第三节 路基的常见病害

路基的病害甚多，其成因错综复杂。由于特殊的地质不良条件或遭受特大自然灾害（如滑坡、错落、岩溶、泥石流、雪崩、地震及特大暴雨山洪等）而造成的路基破坏，规模较大，后果严重。此类特大病害的形态、成因及防治措施，见有关专著，这里不赘述。对于路基的常见病害，可大致归纳为：沉陷、坍落和翻浆三类。这些病害主要取决于路基的水温状况与调节，一般情况下通过合理的设计、施工和养护，能够防治与改善。

（一）路堤沉陷

路基填料不良，填筑方法不当，人工压实不足，在荷载及自然因素作用下，均可能发生沉陷。原地基软弱，承载力不足，受力后产生沉降变形，亦会导致路堤沉陷。

路堤沉陷，将直接导致路面破坏。当在新填路堤上修建较高等级的路面时，必须对路基质量提出较高要求，采取相应技术措施。

（二）边坡坍落

路基边坡的坍方和脱落，形态多样，遍及各地，而且多以水毁的形式出现。按其规模和形态的不同，路基边坡的坍落，可以分为：剥落、碎落与坠落，以及滑坍、塌坍与崩坍等。

剥落主要发生在挖方边坡表面。如果挖方坡面为性质不均和易溶盐类含量较大的土层，或为极易风化的软弱岩层，而且由于边坡岩体受到干湿和冷热反复循环作用，表皮碎裂成块状薄片，从边坡上不断剥落下来。剥落的规模不大，但持续时间较长，易堵塞边沟，有碍排水。

碎落主要产生于土夹石或严重破碎岩层的挖方边坡上，其规模和危害程度比剥落严重，是水毁现象的常见形式。

坠落（落石）是碎落的一种形态，但通常是指岩块粒径较大（可达40cm以上），成单块或多块下落，而且下落速度快，冲击

力大，具有爆发性，危害性亦比剥落和碎落更为严重。

滑坍是指边坡的部分岩土，在下滑力（剪切力）超过抗滑力的情况下，滑动体沿着一定的滑动面向下滑移的破坏形式，此乃较陡较高路基边坡不稳定的主要病害之一，路基边坡稳定性计算，常以此种病害为依据。

塌坍（堆塌）与滑坍相似，一般是指土质边坡（或碎砾石土）部分土体，遇水软化，失去支撑而塌坍，其变形速度缓慢，滑动土体很少有翻滚现象，亦无定型的滑动面。

崩坍是一种具有爆发性的坍落病害，无固定的滑动面，亦无下挫现象（坡脚线以下地基无移动），崩坍体各部分相对位置，在移动中完全扰乱，其中较大的硬块翻滚较远，边坡底部形成倒石堆（岩堆）。

上述的三落三坍，形态上往往难以划分清晰，但在防治措施上，前者（三落）以坡面防护为主，后者往往需要加固或支挡。

（三）路基翻浆

在季节性冰冻地区，对于水温条件不利的土质路基，由于负温度的作用，产生水分聚流现象。冬季开始，土基由上向下逐渐冻结，聚冰层下部的水分，在结晶力和渗透压力差（吸引力）的综合作用下，以薄膜水和毛细作用的移动方式，不断向上积聚，聚冰层增厚和发展成多层次。春融季节，气温回升，土基上层解冻，水分滞留在上部，土基过湿软化，强度降低，在行车荷载作用下，路面开裂、松散或鼓包，以致泥浆受压外冒，造成翻浆病害。直到夏季，土基全部解冻，湿度恢复正常状态，翻浆病害停止。

翻浆病害与冬季冻胀病害，往往伴随形成。

无负温度作用时，如果填土过湿，路基压实过程中，可能产生填土，成弹簧现象，亦是土质路基的隐患之一，但在成因上和处治方法上，不能与上述翻浆病害相提并论。

第四节 路基设计的基本任务

以上简析表明，路基工程深受各种自然条件所制约，如果说路基的位置和造型，主要取决于公路线形和沿线地形，则其强度与稳定性在很大程度上，决定于岩土性质、水文状况及气温等条件。路基设计的基本任务，在于从工程实际需要出发，研究与掌握影响路基工程质量的各种自然条件及其变化规律，因地制宜，因势利导，高质量和最优化地搞好路基设计工作。

生产过程中的路基设计，大量工作是在公路勘测设计时进行，其中包括沿线综合调查、选定位置（定线）、确定标高（纵坡设计）、测绘横断面，以及计算和调配土石方等。与此同时，还要进行路基的排水、防护与加固工程设计。此外，还应对修建路基所必需的设施，如取土坑、弃土堆、护坡道或碎落台等，进行布置和处治，对于某些特殊条件下的路基，尚需作出相应的特殊设计。