



YANTU GONGCHENG SHEJI YU GONGCHENG ANQUAN

# 岩土工程设计与工程安全

谢东 许传道 丛绍运◎主编

非  
外  
借

吉林科学技术出版社

# 岩土工程设计与工程安全

谢 东 许传道 丛绍运 主编

## 图书在版编目 (CIP) 数据

岩土工程设计与工程安全 / 谢东, 许传迺, 丛绍运  
主编. -- 长春: 吉林科学技术出版社, 2018.4  
ISBN 978-7-5578-3950-5

I. ①岩… II. ①谢… ②许… ③丛… III. ①岩土工  
程—建筑设计②岩土工程—安全管理 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第075989号

## 岩土工程设计与工程安全

---

主 编 谢 东 许传迺 丛绍运  
出 版 人 李 梁  
责任编辑 孙 默  
装帧设计 孙 梅  
开 本 889mm×1194mm 1/16  
字 数 280千字  
印 张 19.75  
印 数 1-3000册  
版 次 2019年5月第1版  
印 次 2019年5月第1次印刷

---

出 版 吉林出版集团  
吉林科学技术出版社  
发 行 吉林科学技术出版社  
地 址 长春市人民大街4646号  
邮 编 130021  
发行部电话/传真 0431-85635177 85651759 85651628  
85677817 85600611 85670016  
储运部电话 0431-84612872  
编辑部电话 0431-85635186  
网 址 www.jlstp.net  
印 刷 三河市天润建兴印务有限公司

---

书 号 ISBN 978-7-5578-3950-5  
定 价 128.00元  
如有印装质量问题 可寄出版社调换  
版权所有 翻印必究 举报电话: 0431-85659498

## 前 言

公路工程建设中要遇到地基、基础、边坡、支挡结构、挖方、填方等岩土工程技术问题,由于岩石和土是大自然产物,它不像钢铁、混凝土等人工材料那样可人为控制,而有许多不确定因素,如岩土体结构及其材料性能的不确定性,裂隙水和孔隙水压力的多变性,岩土体信息的随机性,模糊性和不完善性,信息处理和计算方法的不确切性和不精确性等,因此,刚进入设计单位的毕业生或年轻的土木工程师,面对此类设计问题往往底气不足,不知如何下手,为帮助他们尽快摆脱这种局面,结合工作实践,编写了本书。

为提升设计者解决实际工程问题的能力,书中还增加大厚度加筋土挡土墙面的计算、人工硬壳层理念——加筋软土路基的稳定计算、刚性桩复合地基的沉降计算等岩土工程中的热点问题,而这些又是岩土工程必须面对的实际问题,但尚无合适的计算办法,本书的方法,值得一试。

随着国家经济的发展,对房屋、厂房、桥梁、隧道等建设项目安全的内涵提出了新的要求,由过去的狭义概念延伸为现在的广义概念,除了结构的安全外,还包括消防、用电、燃气、地质、生态等方面的安全。建筑物、构筑物等在设计、施工及使用过程中,无时无刻不存在有形或无形的损伤、缺陷等安全隐患。一方面,如果维护不及时或维护不当,其安全可靠就会严重降低,使用寿命也会大幅度缩短,如使用中正常老化,耐久性就会逐渐失效,可靠性就会逐渐降低,相应的安全系数也会逐年降低。另一方面,周围环境、使用条件和维护情况的改变,自然灾害(地震、火灾、台风等)或人为灾害的突发,地基的不均匀沉降和结构的温度变形等,在设计时都是难以预计的不确定因素,因而难以判断建筑物、构筑物等是否可以继续使用或者需要维修加固,甚至拆除。

土木工程安全检测与鉴定就是通过使用设备、运用技术采集处理数据和分析结果,得到检测对象本身的特征及周边环境的情况,以便对当前检测对象的使用安全做出分析与鉴定,并提出合理的处理意见,保证检测对象的使用安全。

由于编者水平有限,书稿难免存在一定的不足与缺陷,希望广大读者多提宝贵意见,以便我们不断改进和完善。

## 目 录

第一章 边坡工程.....	001
第一节 概 述.....	001
第二节 边坡工程基本地质知识.....	002
第三节 边坡稳定性分析.....	005
第四节 边坡设计.....	007
第五节 锚拉格构的设计与计算.....	012
第二章 轻型支挡结构(上).....	014
第一节 基本概念.....	014
第二节 桩板式挡土墙的设计.....	017
第三节 锚杆挡土墙的设计.....	020
第四节 土钉墙的设计.....	021
第三章 轻型支挡结构(下).....	023
第一节 加筋土挡土墙的设计.....	023
第二节 预应力锚索抗滑桩的设计.....	030
第三节 困难地段道路轻型支挡结构的设计.....	031
第四章 软弱地基处理.....	034
第一节 加筋土垫层法与人工硬壳层理念.....	034

第二节	堆载预压、塑料带排水固结法.....	037
第三节	强夯法.....	040
第四节	水泥土搅拌桩法.....	047
第五节	水泥土高压旋喷桩法.....	056
第六节	桩承加筋土垫层法——刚性桩复合地基.....	071
<b>第五章</b>	<b>地基与基础.....</b>	<b>075</b>
第一节	概 述.....	075
第二节	地基土的分类及工程特性.....	076
第三节	工程地质勘察.....	078
第四节	地 基.....	082
第五节	基础工程.....	090
<b>第六章</b>	<b>土木工程施工.....</b>	<b>095</b>
第一节	基础工程施工.....	096
第二节	结构工程施工.....	099
第三节	施工组织设计.....	108
第四节	施工技术的发展趋势.....	112
<b>第七章</b>	<b>土木工程安全检测.....</b>	<b>114</b>
第一节	检测的基础知识.....	114
第二节	资料搜集及现场调查.....	119
第三节	地基基础检测.....	123
第四节	木结构检测.....	126
第五节	砌体结构检测.....	128
第六节	混凝土结构检测.....	133

第七节	钢结构检测 .....	144
第八节	桥梁检测 .....	148
第九节	隧道检测 .....	152
<b>第八章</b>	<b>土木工程安全鉴定 .....</b>	<b>155</b>
第一节	鉴定的基础 .....	155
第二节	建筑可靠性鉴定 .....	157
第三节	抗震鉴定 .....	179
第四节	危房鉴定 .....	186
第五节	公路桥梁技术状况评定 .....	191
第六节	隧道技术状况评定 .....	192
<b>第九章</b>	<b>桩基础施工 .....</b>	<b>194</b>
第一节	概 述 .....	194
第二节	施工准备 .....	196
第三节	灌注桩的施工 .....	202
第四节	混凝土预制桩与钢桩 .....	219
<b>第十章</b>	<b>地下连续墙施工 .....</b>	<b>235</b>
第一节	概 述 .....	235
第二节	施工前的准备工作 .....	237
第三节	槽段开挖 .....	240
第四节	清 槽 .....	246
第五节	接头处理 .....	247
第六节	钢筋笼的制作和吊放 .....	249
第七节	混凝土的配制与灌注 .....	250

第八节	地下连续墙工程验收 .....	252
第九节	地下连续墙其他施工方法 .....	253
<b>第十一章</b>	<b>非开挖施工技术 .....</b>	<b>259</b>
第一节	概 述 .....	259
第二节	顶管法 .....	261
第三节	微型隧道法 .....	269
第四节	气动夯管锤施工技术 .....	272
第五节	导向钻进法 .....	280
第六节	振动法铺设管道技术 .....	282
第七节	其他非开挖施工技术 .....	285
<b>第十二章</b>	<b>其他岩土工程施工方法 .....</b>	<b>291</b>
第一节	脉冲放电法 .....	291
第二节	管幕钢管施工法 .....	293
第三节	能量桩技术 .....	297
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>305</b>

# 第一章 边坡工程

## 第一节 概 述

### 一、边坡的认识

边坡一般由坡底、坡角、坡面、坡肩和坡顶组成。

### 二、边坡的类型

- (一) 自然边坡：自然地质作用形成的边坡，如山坡、岸坡。
- (二) 人工边坡：人为开挖、填筑而成的边坡，如路堑、堤坝。
- (三) 土质边坡：由土构成的边坡。
- (四) 岩质边坡：由岩石构成的边坡。
- (五) 永久性边坡：使用年限 2 年以上。
- (六) 临时性边坡：使用年限不足 2 年。

### 三、边坡工程的安全等级

边坡工程的安全等级是按边坡破坏后的严重性、边坡类型和坡高等因素划定的，其目的是为了确定支护构件（如锚索）受力计算的分项系数。表 1-1 为《建筑边坡工程技术规范》所确定的边坡工程安全等级。

表 1-1 边坡工程安全等级

边坡类型		边坡高度 H (m)	破坏后果	安全等级
岩质边坡	岩体类型为 1 或 2 类	$H \leq 30$	很严重	一
			严重	二
			不严重	三
	岩体类型为 3 或 4 类	$15 < H \leq 30$	很严重	一
			严重	二
		$H < 15$	很严重	一
严重	二			
		不严重	三	

土质边坡	$10 < H \leq 15$	很严重	一
		严重	二
	$H \leq 10$	很严重	一
		严重	二
		不严重	三

#### 四、设计原则

(一) 考虑影响边坡稳定的各种因素, 如工程地质条件、水文地质条件、边坡高度、坡顶荷载等。

(二) 有完整的排水系统。

(三) 锚杆和支挡结构按承载能力极限状态设计, 采用荷载效应基本组合。

(四) 以人为本, 尽力维护自然生态环境。

(五) 树立“以防为主, 防治结合”的地质灾害防患意识。

(六) 满足现行规范(程)要求。

## 第二节 边坡工程基本地质知识

### 一、边坡工程地质勘察基本要求

(一) 要求查明的内容

1. 场地地形地貌特征。

2. 岩土的类型、成因、性状以及岩土出露的厚度、基岩面的形态和坡度、岩石的风化程度。

3. 主要结构面(特别是软弱结构面)的类型及等级、产状、发育程度、延伸程度、闭合程度、风化程度、充填状况、充水状况、组合关系、力学属性和临空面关系。

4. 地下水的类型、水位、水压、水量补给和动态变化, 岩土的透水性以及地下水的出露情况和腐蚀性。

5. 不良地质现象的范围和性质。

6. 地区的气象条件(特别是雨期、降雨量及强度、坡面植被、水对坡面坡脚的冲刷情况)及其对坡体稳定性的影响。

7. 边坡邻近建(构)筑物的荷载、结构、基础形式及埋深, 地下设施的分布及埋深。

## (二) 要求提供的参数

1. 边坡的最优开挖坡形和坡率。

2. 验算边坡稳定性、变形和设计所需的边坡岩、土的物理力学性质指标与计算参数值, 如每层岩土的  $c$ 、 $\phi$  值和地基系数随深度变化的比例系数  $m$  值以及锚固体与岩土的黏结强度  $\tau$  值等。

## (三) 勘探点布置

1. 勘探线应垂直于边坡走向, 勘探范围应不小于设计坡高(即坡脚处开挖深度)的 1.5 倍; 钻孔深度应低于路基面以下 5 m, 或进入中风化岩层不小于 5 m。

2. 勘探线间距 20 ~ 30 m, 勘探点间距 25 m, 每条勘探线上的勘探点不少于 3 个。

3. 钻孔布置并附图。

## (四) 提交成果

1. 工程地质详勘报告(必须包含边坡稳定性评价, 并提出潜在的不稳定边坡整治措施的建议);

2. 边坡工程地质平面图(1:500 ~ 1:1000), 可利用线路平面图绘制;

3. 与路基横断面相对应的工程地质横剖面图(1:200);

4. 提交的成果均应有电子文本。

## 二、第四纪堆积物的特征

第四纪堆积物的特征见表 1-2。

表 1-2 第四纪堆积物的特征

成因类型	堆积方式与条件	堆积物特征
残积	岩石经风化作用而残留在原地的碎屑堆积物	碎屑物自表层向深处由细变粗, 一般不具层理, 碎块多呈棱角状, 土质不均, 具有较大孔隙, 山坡顶部厚度较薄, 低洼处较厚
坡积或崩积	风化碎屑物由雨水或融雪水沿斜坡搬运, 或由本身重力作用堆积在斜坡上或坡脚处而成	碎屑物岩性成分复杂, 与高处的岩性组成有直接关系, 从坡上往下碎屑变细, 分选性差, 层理不明显, 斜坡较陡处厚度较薄, 坡脚处较厚
洪积	由暂时性洪流将山区或高地的大量风化碎屑携带至沟口或平缓地带堆积而成	颗粒具有分选性, 但往往大小混杂, 碎屑多呈亚棱角状, 冲积扇顶部颗粒较粗, 层理紊乱交错, 边缘处颗粒较细, 层理清楚, 高山区或高地处厚度较大
冲积	由长期的地表水流搬运, 在河流阶地、冲积平原和三角洲地带堆积而成	河流上游颗粒较粗, 下游变细, 分选性及磨圆度均好, 层理清楚, 厚度较稳定

## 三、岩体结构

结构面: 指岩体中各种地质界面, 包括物质分界面和不连续面, 也可将裂隙概化为

结构面。

结构体：各种结构面将岩体切割而成的单元体。

岩体结构的类型及其特征见表 1-3。

表 1-3 岩体结构的类型及其特征

岩体结构类型	岩体地质类型	主要结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特征	可能发生的岩土工程问题
整体状结构	巨块状岩浆岩、变质岩、巨厚层沉积岩	巨块状	以层面和原生结构节理为主，结构面间距大于 1.5 m，无危险结构面组成的落石、掉块	整体强度高，岩体稳定，可视为均质弹性各向同性体	要注意由结构面组合而成的不稳定结构体的局部滑动或坍塌，对深埋洞室要注意岩爆
块状结构	厚层状沉积岩、块状岩浆岩、变质岩	块状柱状	具有少量贯穿性节理裂隙，结构面间距 0.7 ~ 1.5 m，有少量分离体	整体强度较高，结构面互相牵制，岩体基本稳定，接近均质弹性各向同性体	
层状结构	多韵律的薄层及中厚层状沉积岩、副变质岩	层状板状	层理、片理、节理裂隙，以风化裂隙为主，常有层间错动面	岩体接近均一的各向异性体，变形及强度特性受层面控制，可视为弹塑性体，稳定性较差	可沿结构面滑塌，可产生塑性变形
岩体结构类型	岩体地质类型	主要结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特征	可能发生的岩土工程问题
破碎状结构	构造影响严重的破碎岩层	碎块状	层理及层间结构面发育，结构面间距 0.25 ~ 0.5 m，一般在 3 组以上，有许多分离体	完整性破坏较大，整体强度很低，并受软弱结构面控制，稳定性很差	易引起规模较大的岩块失稳，地下水加剧岩体失稳
散体状结构	断层破碎带、强风化及全风化带	碎肩状	构造及风化裂屑密集，结构面错综复杂，并多充填黏性土形成无序小块和碎屑	完整性遭到极大破坏，稳定性极差，岩体接近松散体介质	

#### 四、裂隙（节理）

裂隙（节理）是两侧岩块没有显著位移的小型断裂构造。裂隙发育程度及对工程的

影响见表 1-4。

表 1-4 裂隙发育程度及对工程的影响

发育程度	基本特征	对工程的影响
裂隙较发育	裂隙 2~3 组, 较规则, 多数间距大于 0.4m, 少有填充物, 岩体被切割成大块状	对基础工程影响不大, 对其他工程可能产生相当影响
裂隙发育	裂隙 3 组以上, 不规则, 多数间距小于 0.4 m, 部分有填充物, 岩体被切割成小块状	产生很大影响
裂隙很发育	裂隙 3 组以上, 杂乱, 多数间距小于 0.2 m, 一般有填充物, 岩体被切割成碎石状	产生严重影响

### 五、岩石分类

按风化程度, 岩石分类情况见表 1-5。

表 1-5 岩石分类情况

风化程度	结构与构造	破碎程度	强度
未风化	保持岩体的原有结构、构造	除构造裂隙外, 不见其他裂隙	保持岩石原有强度
微风化	结构、构造未变	有少数风化裂隙, 但不易与新鲜岩石区别	比新鲜岩石略低, 但不易区别
中等风化	结构、构造大部分完好	风化裂隙发育, 完整性较差	抗压强度仅为新鲜岩石的 1/3 ~ 2/3
强风化	结构、构造大部分破坏	岩块上裂纹密布, 岩体呈干砌块石状, 疏松易碎, 完整性很差	抗压强度仅为新鲜岩石的 1/3
全风化	结构、构造完全破坏, 矿物晶粒间失去胶结联系, 石英松散成砂	用手可折断、捏碎	很低

## 第三节 边坡稳定性分析

### 一、边坡失稳的形态

#### (一) 滑坡 (landslide)

1. 圆弧滑动: 发生于黏性土、碎裂结构岩质边坡。

2. 直线形滑动：发生于砂土边坡。
3. 沿界面滑动：沿软弱结构面（裂隙）或岩土分界面滑动。
4. 折线滑动面：发生于岩质边坡。

## （二）崩塌（collapse）

巨大岩块突然脱离母体向下倾倒、翻滚、崩落的现象。

## 二、边坡失稳的原因

内因：岩土性质、岩层结构、构造。

外因：人为活动、降雨、震动。

## 三、稳定分析的目的

稳定分析的目的是确定合理的边坡形状（坡高、坡率）及所需支护力。

## 四、边坡稳定分析方法

常用边坡稳定分析方法有圆弧滑动法、推力传递系数法、数值分析法。

### （一）圆弧滑动法

#### 1. 原理及计算

（1）假定边坡的滑动面为圆弧，滑动体绕圆心旋转下滑；

（2）按平面受力问题考虑滑面上的静力平衡。

#### 2. 边坡稳定系数定义表达式

$$K_s = \text{抗滑力矩 } M_R / \text{下滑力矩 } M_s$$

#### 3. 稳定系数的求解

采用条分法分析单个土条滑面上的受力，但不考虑条间力的作用，则整个边坡稳定系数计算式为

$$K_s = \sum (W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i + c_i l_i) / \sum W_i \sin \alpha_i$$

式中： $W_i$ ——第*i*块土条重；

$c_i$ 、 $\phi_i$ ——第*i*块土滑面上的黏聚力、内摩擦角，均取标准值；

$l_i$ ——第*i*块土条滑面长。

#### 4. 计算软件

常用计算软件有理正岩土计算、GEO-SLOPEOffice 等。

### （二）推力传递系数法

#### 1. 原理及计算

（1）当边坡由多层岩土或不同结构面组成时，假定边坡的滑动面为折线形；

（2）滑动体由若干刚性铅直条块构成，由后向前传递下滑力作整体滑动，不计两侧

摩阻力,但考虑与滑面平行的条间下滑力;

(3) 按平面受力问题考虑滑面上的静力平衡。

$K_s$  为边坡的整体稳定系数,是最后一个滑块的阻滑力 ( $T_{Rn}$ ) 加上上面所有滑块传递下来的阻滑力与最后一个滑块的下滑力 ( $T_n$ ) 加上上面所有滑块传递下来的下滑力之比。边坡的整体稳定系数应满足要求,如不满足要求,应计算最后一个滑块的剩余下滑力。

## 2. 剩余下滑力计算表达式的建立

在平面问题中,以条块的底边为 X 轴,则:

$$\sum X = 0T_{is} + T_{Ri} - W_i \sin \alpha_i - T_{i-1} \cos (\alpha_{i-1} - \alpha_i) = 0$$

$$\sum Y = 0R_i - W_i \cos \alpha_i - T_i - T_{i-1} \sin (\alpha_{i-1} - \alpha_i) = 0$$

然后联解消去  $R_i$ , 即可得第  $i$  块土的剩余下滑力  $T_{is}$ 。

$$T_{is} = F_s \times W_i \sin \alpha_i + T_{i-1} \phi_i - W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i - c_i l_i$$

在实际工程中,求得的稳定系数往往大于 1,则剩余下滑力为零或负值,但不一定满足规范要求。因此,实际工程中采用了下滑力超载安全系数,以增大剩余下滑力。

## 3. 计算软件

常用计算软件有理正岩土计算、电子表格 (Excel)。

# 第四节 边坡设计

## 一、设计内容

### (一) 边坡形状

#### 1. 直线形

坡高 10 m 以内,土质均匀的边坡,所谓一坡到顶。

#### 2. 台阶形

(1) 坡高大于 12 m,台阶高 8 ~ 10 m,台阶宽 2 m,困难条件下,石质边坡台阶宽可适当减少;

(2) 对于由多层岩土构成的边坡,岩土界面处宜设台阶。

对于多层岩土边坡,可按不同坡率放坡。

## （二）边坡排水系统

边坡排水系统有：

1. 坡顶截水沟。
2. 平台排水沟。
3. 竖向跌水沟、集水井。
4. 坡脚侧沟（道路边沟）。
5. 仰斜式排水孔：孔径 75 ~ 150 mm，仰角不小于  $6^\circ$ ，内插钢塑软式透水管或速排龙。

钢塑软式透水管是以防锈弹簧圈支撑管体，形成高抗压软式结构，无纺布内衬过滤，使泥沙杂质不能进入管内，从而达到净渗水的功效。丙纶丝外绕被覆层具有优良吸水性，能迅速收集土体中多余水分。橡胶筋使管壁被覆层与弹簧钢圈管体成为有机一体，具有很好的全方位透水功能，渗透水能顺利渗入管内，而泥沙杂质被阻挡在管外，从而达到透水、过滤、排水一气呵成的目的。

## （三）边坡绿化

1. 湿法喷播：以水为载体，喷播种子，适用于土坡。
2. 客土混植生喷播：以客土为载体，喷播混植生种子，适用于岩质边坡。

## 二、设计步骤

- （一）收集道路平、纵、横设计图。
- （二）收集边坡专项地质勘察资料。
- （三）初拟设计边坡典型横断面图。
- （四）上机计算，调整有关参数及初拟横断面图，形成计算书。
- （五）绘图。

1. 边坡平面设计图：以道路平面图为基础，绘制边坡设计平面图，主要内容如下。

（1）边坡的平面投影，包括各级平台、边坡轮廓界面线和主要变化点的坐标、设计边坡的起止里程；

（2）排水系统及流向；

（3）支护类型的标注；

（4）图说内容：坐标系、边坡全长、排水系统的设置、支护结构类型与规格等不用图表达的设计内容。

2. 边坡横断面设计图：以道路横断面图为基础，绘制边坡设计横断面图，主要内容如下。

（1）各级台阶高、平台宽及水沟、坡脚起坡点高程及其与线路中心的关系；

- (2) 原地面线及地层分界线;
- (3) 护坡结构类型及坡率的标注;
- (4) 锚索(杆)的竖向布置和长度及其与水平面的夹角;
- (5) 图说内容:护面结构材料和规格、锚杆(索)规格、纵向间距、孔径、设计承载力等不使用图表达的设计内容。

3. 各种大样图:锚索(杆)构造、护面结构构造、跌水沟等。

(六) 主要工程数量统计。

(七) 编写设计总说明, 主要内容包括:

1. 前言:道路梗要, 边坡位置、长度、最大高度。

2. 设计依据。

3. 设计标准与原则:边坡等级、稳定系数、生态环境和地质灾害意识。

4. 设计范围与规模:边坡设计起止点里程、总长、最大高度、台阶级数及分级高。

5. 工程地质条件和水文地质条件。

6. 边坡设计:

(1) 边坡形状。

(2) 边坡稳定分析与计算:失稳形态的推断、计算方法、计算结果。

(3) 边坡支护结构:结构类型、构造、材料、规格、锚索(杆)设计承载力。

(4) 边坡排水:各种水沟的规格、材料。

(5) 边坡绿化。

7. 边坡监测:

(1) 监测项目与内容。

(2) 测点布置。

(3) 监测频率与周期。

(八) 质量验收:按《建筑边坡工程技术规范》和其他相关规范(程)执行。

### 三、边坡设计

(一) 边坡形状

边坡拟采用多级, 坡率分别为  $1:0.4$ 、 $1:0.5$ 、 $1:0.75$ 、 $1:1.0$ 、 $1:1.25$  的台阶形状, 单级台阶高原则上取  $10.0\text{ m}$ , 台阶宽  $1.5\text{ m} \sim 2.0\text{ m}$ , 台阶内侧设平台截水沟。

(二) 边坡稳定分析与计算

1. 边坡失稳形态推断:边坡大部分由残积土和强、弱、微风化混合花岗岩组成, 边坡失稳形态在岩质边坡中考虑结构面的影响, 按折线滑面进行验算, 在土层中按圆弧滑