

岩土工程及路基

罗嘉运 编著

中国铁道出版社

1997年·北京

U	总固结度、	δ	外摩擦角、变位、岩块翻转角
U_z	竖向排水的固结度	ϵ	应变、落石速度系数
U_r	有径向排水的固结度	ϵ_v	应变率、压缩比
U_t	在 t 时的固结度	$\zeta_{c(q,r)}$	地基承载力修正系数
u	孔隙水压力	η	地震角、孔隙压力系数、潜流系数、 爆破指数、粘滞系数
u_a	孔隙气压力	θ	角, 破裂角, 中心角
$\bar{u}$	平均孔隙压力	μ	泊桑比, 爆破压缩系数
u_w	静水压力	ρ	密度、电阻
uu	不固结不排水剪	ρ_d	干密度
V	体积、电压	ρ'	浮密度、水下密度
V_s	土粒体积、灌沙量	ρ_s	颗粒密度
$V_v(V_w, V_a)$	孔隙(水、空气)体积	ρ_{sat}	饱和密度
v	流速、渗流速度	ρ_w	水的密度
v_m	泥石流流速	σ_d	动应力
v_p	纵波波速	σ_n	法向应力, 正应力
v_x	x 方向速度分量	$[\sigma]$	地基容许承载力
W	体积力、断面系数	σ_r	径向应力、残余应力
w	天然含水量、最小抵抗线	σ_c, σ^*	屈服应力
w_l	液限含水量	σ_{ul}	极限应力
w_{op}	最佳含水量	$\sigma_{1,2,3}$	主应力
w_p	塑限、(爆破)底板抵抗线	σ_z	竖向附加应力、自重应力
w_{sat}	饱和含水量	τ	剪应力
X_c	节理切割率	$[\tau]$	容许剪应力
x	水平向坐标	τ_{xy}	垂直 x 平行 y 轴的剪力
Z	岩体质量系数	τ_{rz}	垂直水平面平行 z 轴的剪力
z	深度、竖向坐标	τ_{zr}	垂直 z 轴的横向剪力
z_o	冻结深度	τ_r	残余剪应力
α	倾角、墙背倾斜角、压缩应力比、抗 滑桩变形系数、加速度	τ_u	不排水抗剪强度
α'	视倾角	φ	内摩擦角
α_i	外破裂角	φ'	有效内摩擦角
β	角、边坡角、安息角、跃起角、地面 横坡角、变形系数	φ_o	综合 φ 角, 总抗剪强度角
β_i	内破裂角	φ_{cu}	固结不排水剪 φ 角
γ	单位体力(力度)、平角	φ_{un}	不固结、不排水剪 φ 角
γ_o	剪应变	φ_r	残余内摩擦角
γ_w	水的单位体力	$\varphi_s(\varphi_d)$	慢剪(排水剪) φ 角
Δ	增量、势降、变位	Ψ	角度、偏差系数
λ	瞬间摩擦系数	ω	角度

京新登字(063)号

内 容 简 介

本书分十章,综述岩土工程的基本理论,路基设计养护和土石方的实践经验,以及近30年来土工构造物的新技术、新材料和新发展。可作为路基设计、施工和养护人员的参考用书。也可作为有关土工和地基专业的工程技术人员和大专院校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程及路基/罗嘉运编著.-北京:中国铁道出版社,

1996

ISBN 7-113-02488-2

I. 岩… II. 罗… III. 铁路路基-岩土工程 IV. U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 19808 号

岩 土 工 程 及 路 基

罗嘉运 编著

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑 王俊法 封面设计 薛小卉

各地新华书店经售

河北省遵化市胶印厂

开本 787×1092 1/16 印张:21.25 印张 字数:509 千

1997 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—1500 册

ISBN 7-113-02488-2/TU·520 定价:58.00 元

序

路基和地表岩土广泛接触,受到地质构造、岩土性质、地下水和地形、气候等因素的影响。为此,路基工程设计必须符合地质及岩土的实际情况,才能保证安全与经济。修建完工后发生意外变形坍滑既要抢修通车,又要根本整治,养护工作十分繁重。所以路基工程的设计、施工与养护是息息相关的。

早年修建路基,虽也采用古代礅工夯实等方法,但未应用土力学、工程地质学等学科,遇到问题多凭经验处理,缺乏理论上探讨,因而发生过许多破坏与错误,延误工期、影响运输、浪费资金。

自 Coulomb 创造土压力理论, Fellenius 提出土坡稳定圆弧法分析,特别是本世纪初, Terzaghi 从工程实际需要出发,扩大试验研究,奠定了经典的土力学理论基础。工程师们通过加强工程地质勘探,应用土力学理论,改进了路基设计与施工技术,减少了工程失败。但是由于地质调查常未重视局部上小的细节,以及缺乏量的概念,所以近年来发展了岩土工程学,促进了工程师与地质工作者密切合作,使路基工程技术不断创新,有了广阔的前途。

岩土工程综合土力学、岩体力学、岩石力学、钻探技术及工程学、地貌学、水力学、水文学等知识,来解决路基及其它工程问题。实际应用岩土技术理论,采取工程措施是否得当,取决于路基技术人员是否具有充分的知识与鉴别复杂情况的能力。大秦铁路重视应用岩土技术,指导设计与施工,所以通车后很快即能担负起重载煤运,路基病害较少。

铁路每年自然灾害约有 80% 发生在路基上。我们不可能在铁路沿线都配备工程地质及岩土技术专家,因此充实提高铁路广大路基技术人员的岩土工程理论知识,联系实际工作,从而起到减少路基病害与破坏的作用,是十分重要的。

罗嘉运高级工程师从事路基养护及防洪工作 40 余年,又参加过复线及新线施工,理论和实践经验具优。现本其多年心得,写成《岩土工程及路基》一书。作者将书稿见示,嘱为序言。经过阅读感到本书既阐述基本理论,又列举工程措施及计算实例,取材内容周详,算例简明实用,有益于提高路基技术水平和工作实践中应用。

目前国内虽已出版若干土力学或工程地质以及有关路基方面的著作,但专门系统地介绍岩土工程应用于路基尚不多见。为此,乐于推荐这一本土建技术人员的良好参考书。相信本书的出版,对增进路基工程技术裨益铁路建设,将会作出应有的贡献,达到作者致力编写的目的。是为序。

吴钰

1996 年 6 月

前 言

路基是轨道的基础,又是铁路的关键工程,其状态如何对运输效率和行车安全关系极大。路基土石方是三相不均质材料,兼具弹性、塑性和粘性,其性质复杂多变,材料强度和结构问题都难于准确掌握。路基又处在自然环境中,受各种不良地质现象和强风、暴雨、冻胀、洪水的影响,这些都造成了路基工程的复杂性。

50年代以来,铁路勘测设计注意了工程地质工作,在加强路基养护和病害整治方面比过去大有进步。如用造林种草等办法巩固沙漠路基,用砂井处理软土地基,在整治滑坡崩塌及基床翻浆冒泥等方面,也取得很大的成绩,积累了不少的经验,促进了路基工程的发展和技术进步。作者在此基础上,试图进一步将岩土工程和路基设计施工与养护的实践结合起来,编写一本在理论和技术上都较为实用的书,供工务工程技术人员和院校教学的参考。现在铁路的重载及高速,加大了钢轨轨枕和道床路基的压力,要求提高线路包括路基的技术标准,还要求改进路基的施工质量和养护方法,作者希望本书对此也有所帮助。

书中对岩土工程的基本理论和主要公式多有推导,以利我们对它的理解和应用,特别是库伦、朗肯、布辛涅斯克和太沙基的公式。这些经典理论至今还是岩土工程的基础,并被应用到现代许多复杂的问题和较高深的理论上去。本书共列464个公式应用性强,易于计算,为定量分析所必需。各章都有工程实用算例,以助对理论的理解。

本书对近30年来的新技术,如加筋土、锚定板、喷射混凝土、锚杆锚索工程、土工聚合物、土工排水板、EPS轻质填料和强夯法、粉喷搅拌法、真空预压法等均有简要的介绍,便于推广应用。

书中有些章节是作者的见解和做法,如小面积暴雨迳流计算方法、综合内摩擦角的换算办法、岩体结构分析法、软土地基中点圆破坏分析和第二破裂面土压力数解法等,稍具新意计算简便,希望读者给予指正俾臻完善。新技术方面如台后特别填土、地陷注浆、边坡喷射混凝土、坡脚排水垫层和基面沙沟边坡渗沟等,都经实践证明行之有效,便利施工省力省钱。

在岩土分类方面采用国标分类法,既具我国特点,又和发达国家基本上一致。如何在工地鉴别土质亦有详细叙述。计量单位采用法定单位、符号及角标皆英文代号,也接近于国际标准。附表101个乃摘自国内外权威著作和科研单位的试验成果,具有参考价值。

本书重视水在岩土中的运动。除五、六两章有专门论述外,其他各章多少还要提到。如在边坡稳定检算中,多处提到水对稳定的影响及计算。另在错落体、液化土和泥石流中也着重水力作用机理的说明。

全书共分十章。前四章为岩土工程的基础知识,内容涉及较多学科。所介绍的土工试验和监测办法,是路基工程师所必须了解,在工地上也是常用的。其他各章都是将基本原理结合工程实践加以论述。总的说我们研讨的问题有两个:(1)边坡的稳定性和抗洪抗冻抗风沙抗暴风雨的能力;(2)路基和地基的压实特性沉降量和承载能力。

作者十分感谢铁道部技术顾问吴钰同志为本书写序,对书稿宏观上过目,提出宝贵意见,解答一些难题,使我受益不浅。作者还感谢我的几位朋友吴自迪大师、孙明漳教授、何连生副研究员、龚绍为高工和出版社的同志,感谢他们惠寄一些资料给我及对本书出版的支持。作者理论水平和工程实践都有限,编写本书是希望对路基工程与养护尽一得之愚。错误之处在所难免,甚盼读者指正。

作 者

1996年10月 于珠海

本书主要符号表

A	断面积	$e_{\max}$	最大孔隙比
a	力臂、间距、长边	$e_{\min}$	最小孔隙比
a_v	压缩系数	e_o	初始孔隙比
B, b	宽度、排距、底边、短边	F	力、函数、细粒土、汇水面积
C, c	粘土、粘聚力、系数	F_s	安全系数
C'	有效粘聚力	f	摩擦系数、锚杆粘结力
C_c	曲率系数、压缩指数	G	相对密度、砾石、剪切模量
cd	固结排水剪	G_s	粗粒土
cu	固结不排水剪	g	重力加速度
C_k	快剪粘聚力	H, h	高度、水位
C_r	残余粘聚力、次固结指数	H_c	(斜坡)极限高度
C_s	地震系数、回弹指数	$H_{\min}$	路堤最小高度
C_u	(颗粒)不均匀系数	h	降雨量、全水头
C_v	竖向固结系数	h_c	毛细水上升高度
C_{vr}	径向(横向)固结系数	h_{cp}	塑限毛细水上升高度
D, d	直径、深度、距离	h_{cc}	饱和毛细水上升高度
d_c	有效集水直径	h_o	换算土柱高、裂缝深度、冻前积水高度
d_{10}	有效粒径	h_p	压力水头
d_{50}	平均粒径、中值粒径	h_z	位置水头
d_{60}	控制粒径	I	惯性矩、岩体完整系数、梯形荷载影响系数
d_s	砂井直径	I_c	稠度指数
D_r	粗粒土相对密实度	I_l	液性指数
E	主动土压力、弹性模量	I_p	塑性指数
E_p	被动土压力	i	降雨强度、孔隙指数、水力梯度、速度系数
E_o	静止土压力、变形模量	i_c	临界水力坡度
E_s	压缩模量	J	动水压力、渗透力
$E_t(E_l)$	初始切线模量(切线模量)	K	布氏系数、压实系数、荷载系数、地基系数、山坡阻力特性系数
E_s	割线模量	K_i, K_a	主动土压力系数
E_u	不排水模量	K_c	抗滑稳定系数,角点法系数
E_d	排水模量、动弹性模量		
E_r	再加荷模量		
e	孔隙比、偏心距、自然对数底、炸药换算系数		

K_0	静止土压力系数、倾覆稳定系数
K_p	被动土压力系数
K_s	均布荷载下应力系数
k	渗透系数、裂隙率、炸药单耗
K_d	冻胀率
$k_v(k_z)$	竖向渗透系数
$k_r(k_r)$	径向(横向)渗透系数
K_{30}	$\phi 30$ cm 荷载板的地基系数
L	长度、距离、深度
l	滑弧长、井深、孔深
l_e	有效长度(锚杆、筋带)
l_o	无效长度
M	粉土、弯矩
m	质量、边坡坡度、糙率、地基抗力比例系数、置换率
m_s	干土质量、土粒质量
m_v	体积压缩系数
m_w	水的质量
N	竖向力、击数
$N_{2.5}$	2.5 kg 小型贯入击数
$N_{63.5}$	标准贯入击数
N_r, N_c, N_q	浅基承载力系数
N_s	边坡稳定系数
n	孔隙率、井径比、糙率、爆破作用指数、桩土应力比
n_d	地基深度系数
n_x	破坏圆弧距离系数
O_o	坐标原点、圆心
OCR	超固结比
P	集中荷载、力
p	均布荷载、压力、贯入比、漏斗深度
p_a	主动压力强度、大气压力、容许荷载
p_c	先期固结压力
p_h	水平应力、压力强度
p_o	有效自重应力
p_s	比贯入阻力、枕底压力
p_r	道床压力

p_t	有机土
p_v	竖向压力
P_w	水压力
Q	剪力、轴向力、流量、装载量
Q_{ul}	极限荷载
q	均布荷载、轴差应力、单位渗流量、单孔装药量
q'	线装药密度
q_o	搅动土的抗压强度
q_u	无侧限抗压强度
q_{ul}	极限均布荷载
R	反力、岩块、岩石、极限抗压强度
r	半径、径向坐标
R_c	饱和抗压强度、爆破保护层半径
R_g	卵石
$R_{h(h')}$	坚石(次坚石)
R_k	渗透系数比
R_s	软石、岩体固有剪切强度爆破松动圈半径
R_y	十字板扭力、压缩圈半径
RQD	岩体质量系数
S	沙、抗剪力、岩块坚强系数、沉降量
s	抗剪强度、间距、距离
S_o	岩石固有剪切强度
$S_c(S_d, S_s)$	固结(初始、次固结)沉降
S_f	地震力
S_q	直剪、快剪强度
S_r	饱和度、剩余沉降量
S_t	灵敏度
S^+	十字板抗剪强度
S_{90}	固结度为 90% 时的沉降量
S_{∞}	总沉降、最终沉降
T	拉力、锚固力
t	时间、历时、温度、厚度
T_v	竖向排水固结的时间因素
T_r	水的表面张力、有径向排水的时间因素

目 录

第一章 工程地质和岩土分类

1.1	岩石分类及性质	1
1.2	岩石的结构	1
1.3	岩石的风化	2
1.4	岩体构造——褶皱、断裂和节理	3
1.5	结构面、结构体和岩体质量评定	8
1.6	地表流水的地质作用	14
1.7	其他表生地质作用	15
1.8	天然土层的来源和分类	17
1.9	土的结构和构造	18
1.10	土的统一分类和野外鉴别	19
1.11	地层和地质年代	23
1.12	大地构造单元和地层接触关系	25

第二章 岩土的物理性质和勘探

2.1	勘探方法	29
2.2	标准贯入和触探试验	32
2.3	土的三相组成和物性基本指标	34
2.4	岩土密度	35
2.5	岩土的空隙性	36
2.6	细粒土的物理状态指标	37
2.7	粗粒土的级配和相对密实度	39
2.8	软弱夹层的物性指标	41
2.9	粘土粒组的特性	41

第三章 岩土中应力

3.1	自重应力和侧压力	48
3.2	基础和地基的接触应力	50
3.3	路基面上换算荷载及附加应力——换算土柱法	51
3.4	路基面上换算线荷载及附加应力——弹性介质法	51
3.5	集中荷载下的附加应力——布辛涅斯克法	54
3.6	线荷载和条形荷载下的附加应力——荷载系数法	56

3.7	矩形荷载下的附加应力——角点法	59
3.8	梯形荷载下的附加应力——奥特伯格法	61
3.9	主应力和莫尔圆	66
3.10	应力途径	67
3.11	孔隙压力和有效应力	68
3.12	岩石的应力-应变关系	69

第四章 岩石的抗剪强度和试验

4.1	抗剪强度和破坏理论	72
4.2	室内剪切试验	74
4.3	十字板和抗拔原位测试	76
4.4	大中型直剪和荷载试验	79
4.5	粘性土的抗剪强度	80
4.6	沙性土的抗剪强度	82
4.7	岩石和岩体的破坏及其强度特性	83

第五章 地下水、地表水及路基排水

5.1	地下水和岩溶概述	87
5.2	土中液相	90
5.3	岩石的渗透性和达西定律	93
5.4	非均质和不同土层的渗透性	95
5.5	渗透试验	96
5.6	渗流连续方程式	99
5.7	流网图解法	100
5.8	动水压力和渗透变形	102
5.9	饱和沙的液化	104
5.10	孔隙压力和上浮力	107
5.11	浸水路基与浸润线	111
5.12	冻胀及其防治	112
5.13	降雨与排水	115
5.14	小面积地面径流计算	116
5.15	水沟设计及水力计算	118
5.16	地表和站场的排水设备	119
5.17	地下排水设备	122

第六章 渗透固结理论和软土地基

6.1	软土地基和沉降	128
6.2	固结试验和沉降计算(一)	129
6.3	由 $\sqrt{t}$ 和 $\lg t$ 法求固结系数 C_v	132

6.4	固结土层的沉降计算(二).....	133
6.5	一维固结理论.....	136
6.6	竖向渗透固结的计算.....	138
6.7	三维固结理论.....	140
6.8	砂井设计一般规则.....	143
6.9	砂井施工和监测.....	145
6.10	袋装砂井和塑料排水板.....	148
6.11	堆载预压、真空预压和排水预压	149
6.12	降低地下水位和井点法.....	151
6.13	粉体喷射搅拌法.....	152
6.14	振冲法.....	154
6.15	浅层处理方法.....	155

第七章 路堤填方和连接结构

7.1	填料和土方调配.....	160
7.2	压实方法与质量要求.....	161
7.3	击实试验和土的击实特性.....	163
7.4	施工控制和检测方法.....	165
7.5	路堤连接结构.....	167
7.6	高填和陡坡路基.....	169
7.7	风沙地区路堤防护和防风措施.....	170
7.8	盐渍土地区路基.....	172
7.9	岩溶地区路基和地陷处理.....	173
7.10	压力灌浆和喷射灌浆.....	175
7.11	滨海路堤.....	180
7.12	稳定土和轻质填料.....	181

第八章 边坡稳定、防护和施工

8.1	边坡破坏的原因和类型.....	187
8.2	安全系数和稳定计算.....	189
8.3	无粘性岩土斜坡稳定检算——直线破裂法.....	190
8.4	无摩擦软粘土斜坡稳定计算——圆弧法.....	191
8.5	有粘性有摩擦斜坡稳定计算——条分法.....	194
8.6	摩擦圆法和极限分析法.....	196
8.7	毕肖普法.....	198
8.8	滑坡推力法.....	202
8.9	图解法.....	203
8.10	碎块体理论和岩体结构分析.....	204
8.11	危石稳定性和落石计算.....	209

8.12	地震和地震区路基	214
8.13	浸水路基稳定计算	215
8.14	草皮护坡	218
8.15	护墙及护坡	220
8.16	喷射混凝土	223
8.17	冲刷防护	225
8.18	崩塌落石防治和锚索工程	227
8.19	滑坡防治和抗滑桩	232
8.20	泥石流和防治措施	242
8.21	爆破作用及基本算式	245
8.22	路堑爆破一般方法	249

第九章 土压力和挡土墙

9.1	极限平衡和土压力状态	255
9.2	朗肯土压力理论——水平地面	257
9.3	朗肯土压力理论——斜坡地面	260
9.4	库伦土压力理论	262
9.5	库尔曼图解法	268
9.6	第二破裂面土压力数解法	269
9.7	复杂情况下土压力计算	270
9.8	挡土墙结构类型及检算方法	274
9.9	悬臂式挡土墙	279
9.10	扶壁式挡土墙	279
9.11	加筋土挡土墙	282
9.12	锚杆挡土墙	285
9.13	锚定板挡土墙	288

第十章 地基承载力和基床病害

10.1	地基的变形和破坏模式	297
10.2	极限荷载和容许承载力	298
10.3	按规范和试验确定的承载力	303
10.4	复合地基	308
10.5	强夯法	310
10.6	基床变形原因和破坏模式	312
10.7	轨道应力计算	314
10.8	基床病害的防治	316
10.9	土工聚合物的类型、性能和应用	317
主要参考文献		322

第一章 工程地质和岩土分类

1.1 岩石分类及性质

岩石由矿物在地质作用下形成。矿物指元素的单质或化合物。自然界的矿物多达 3000 种，但常见的造岩矿物只有 20 多种。如石英、云母、长石、角闪石、橄榄石、辉石、方解石、白云石、赤铁矿和粘土矿物等。岩石中的矿物成分及其组合特征是区别岩石的一个重要标志。据成因类型，一般将岩石分为三大类：

1. 岩浆岩——由岩浆侵入地壳上部而形成，如花岗岩、正长岩、闪长岩、辉长岩等是。岩浆喷出地表后冷凝成为喷出岩，如流纹岩、花岗斑岩、安山岩、玄武岩等属之。岩浆岩强度很高，孔隙率和透水性很小，软化性弱抗冻性高，结构均匀较耐风化，是良好的天然材料和地基。但如角闪石、辉石、黑云母等深色矿物愈多就愈易风化，有的已风化成土。岩浆岩视岩体的大小、形状及其与围岩的关系构成产状。

2. 沉积岩——由先成岩石经风化、剥蚀、搬运沉积后固结而成，在地表的分布面积约占 75%。由于沉积作用的不同，其成分和结构也不一样。常见的碎屑沉积岩有砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩和火山角砾岩、凝灰岩等。由于生物化学作用形成的沉积岩有石灰岩、泥灰岩、白云岩、石膏岩、煤层和炭质页岩、油页岩等。沉积岩最明显的特征是具有层理和化石。

3. 变质岩——先成岩石在构造运动或岩浆活动中，经高温高压或新矿物加入后生成的新岩石。因高温接触变质生成的岩石如：石英砂岩变为石英岩，石灰岩变为大理岩等。由高压生成的区域变质岩石如：花岗岩变为片麻岩、页岩变为千枚岩、片岩，泥岩变为板岩。由动力变质形成的有角砾岩、压碎岩、糜棱岩等。变质岩分布广泛，几乎各个时代都有，尤其寒武纪以前的岩石，绝大多数是变质岩。

变质岩多具有牢固的结晶联结，结构致密，强度较高，孔隙较少透水性差。但变质岩中如有云母、绿泥石等片状矿物和片理构造特别发育者，颗粒间的联结就明显降低，表现出各向异性。受动力作用的变质岩，折皱强烈裂隙较多渗透性较大，对强度不利。动力变质的岩石受构造运动强烈挤压，有的成角砾状有的成粉末碎块状，常见于断层挤压带和破碎带，胶结及强度差，透水性大。

1.2 岩石的结构

岩石的结构特征和岩石的物理力学性质有密切的关系。岩石结构是指岩石中矿物的结晶程度、晶粒形状大小及其排列情况，和岩体结构有所不同。工程地质将岩石的结构分为三种。

1. 晶质结构——岩石全部由结晶矿物所组成，常见于岩浆岩。如显晶等粒结构是深成岩在温度缓慢下降的环境下，矿物晶粒粗细一致肉眼可见。斑晶结构由于结晶先后不同，在较细

物质间散布有较大晶粒,常见于浅成岩。喷出岩岩浆急速冷却形成隐晶结构肉眼不能辨认。变晶结构为变质过程中,矿物重结晶所形成。在晶质结构中结晶越大越易受温差影响风化较快,而显晶等粒结构较见稳定,工程性质较好。

2. 胶质结构——是沉积岩和接触变质岩所具有的特征。碎屑岩类的致密和坚固程度,决定于胶结物质。由硅质(SiO_2)胶结的如石英岩、砂岩常很坚硬。由钙质(CaCO_3)胶结的如石灰岩、白云岩易溶于水可用盐酸识别。铁质胶结的若为 Fe_2O_3 ,岩石多呈红色或褐色,若为 FeO 多呈黄色易风化。以上几种胶结物通常是混合出现,但有主次之别,以一种为主。很多岩石按胶结物命名的,如钙质砂岩、铁质砂岩或泥质砂岩等。

3. 泥质结构——指碎屑和胶结物质均为粘土矿物而形成的沉积岩和变质岩,如碳质页岩、泥质页岩、板岩、千枚岩等,其力学性质决定于岩石本身压密硬化的程度。泥结岩石一般质地松软易碎易裂,缺乏粒间胶结物。粘土岩含有机质时呈灰黑色。含高岭石、蒙脱石成分较单一的多呈浅色。

1.3 岩石的风化

接近地表的岩石受温差、风雨、空气、水和生物活动等影响,使原岩崩裂破碎或分解破坏的过程过称为风化作用,是表生地质作用的第一阶段。风化壳厚度各地不一,自地表以下一般深达30~90m,并分为几层风化带。自堆积坡积层以下,风化极严重的称为全风化带,以后为强风化带和弱风化带,深者可达50多米。覆盖土愈薄越靠近地面者风化越严重,深色的岩石、含不稳定矿物或含有多种矿物的岩石和胶结差的岩石风化都较快。因此铁路路基如为石质路堑也无一不是风化带,最好的只是岩质较能抗风化或微风化而已。

风化作用有三种类型:(1)物理风化作用是指岩石在风雨阳光、昼夜季节和 0°C 上下反复的温度变化中,岩石的结构和构造被胀缩应力破坏的作用。物理风化的结果使岩石开裂破碎、冻胀崩解为岩屑和不同的矿物颗粒,粗大者残留坡面上或剥落坍塌,细小者为雨水冲掉(2)化学风化作用是指矿物和岩石在氧气、碳酸气等气体和水的化学作用下,所产生的溶解、氧化、淋滤、水解等一系列破坏作用,它不仅使岩石破碎成非常细小的颗粒,而且形成的矿物与原岩成分显然不同。化学分解后主要是一些次生的粘土矿物,如高岭石、绿泥石、伊利石和蒙脱石等。化学风化又将造岩矿物中易于移动的元素,如氯化物、碳酸盐和硫酸盐等被水溶解带走或蒸发掉,又会将二氧化硅、碳酸钙和氧化铁等沉淀下来,形成松散层下面一个硬层。(3)风化作用的进一步发展往往有生物参与,对岩石有一定的破坏作用称为生物风化作用。在化学方面如动植物和细菌分泌和排泄出的有机酸,能溶解和吸收岩石矿物中某些化学成分。在岩浆岩和变质岩的风化物中,因生物化学风化可形成绢云母、水云母、方解石等次生矿物。在机械方面如:植物根对岩石裂隙的根劈作用,山鼠和野猪等动物的扒土钻洞,以及人类活动不恰当的开荒砍树等。

一般将岩体的风化程度分为5个风化带如表1.1。斜坡的安全稳定须否防护加固,和岩体的风化程度等因素有密切关系。

岩体风化程度表

表 1.1

代号	风化程度	地质状态	破碎程度	RQD %	节理间距 cm	岩体完整 系数
W_1	未风化带	岩质坚硬、不易击碎、矿物新鲜、结构大块、整体性好、裂隙密闭不发育	裂隙闭合	>90	>100	>0.9
W_2	微风化带	岩石及矿物颜色较暗淡, 结构未破坏, 有少量风化裂隙, 无松散物质	中等缝隙化	$75\sim90$	$40\sim100$	$0.9\sim0.75$
W_3	中等(弱)风化带	岩石风化颇重, 矿物失去光泽, 部分结构已破坏, 风化裂隙发育夹有松散物质	完全缝隙化	$50\sim75$	$10\sim40$	$0.75\sim0.45$
W_4	强风化带	大部岩石和矿物已完全变色, 结构已大部破坏, 岩体成碎裂状, 风化裂隙很发育, 完整性很差	完全破碎	$25\sim50$	$5\sim10$	$0.45\sim0.1$
W_5	全风化带	岩石完全变色, 矿物皆蚀变, 结构全部破坏, 风化成粒状或土状。花岗岩以次生矿物为主要组成, 手捏即散	碎屑和土状	<25	<5	<0.1

注: 1. RQD 表岩体质量指数, 见 2.1.2 节。

2. 岩体完整系数乃岩体纵波与岩石纵波平方比, 见 1.5.3。

1.4 岩体构造——褶皱、断裂和节理

具有一定的岩石成分, 结构特征, 在某种地质环境中形成的地质体称为岩体。岩体的地质构造是指因地壳的构造变动造成岩体的变形, 它有二个基本类型。

1.4.1 褶皱构造

岩体在构造应力和较高温度作用下, 发生的连续弯曲和塑性变形称为褶皱, 其中以层状岩体的表现最为明显。褶皱岩层中的一个弯曲叫做褶曲, 是褶皱构造的基本单位。褶曲的各部名称如图 1.1 所示。

褶曲常按其外型分为二种基本构造: (1)背斜构造——两翼岩层倾向相背, 顶点在上, 两翼向下扩展, 核部为较老岩层。(2)向斜构造——两翼岩层相向, 顶点在下, 两翼向上扩展, 核部为最新的岩层, 以下及两侧逐层变老。相邻的背斜和向斜构造, 具有一个共同翼。两种构造都是岩体在水平挤压下形成的永久变形, 其规模有大有小形式也多种多样。如图 1.2 所示, 按褶曲轴面产状分类时可分为:

- 直立褶曲——轴面近于垂直, 两翼大致对称。
- 倾斜褶曲——轴面倾斜, 两翼倾角不等。
- 倒转褶曲——轴面倾角更小, 两翼向同一方向倾斜, 其中一翼岩层层位倒转。
- 平卧褶曲——轴面近于水平, 一翼几乎覆于另一翼之上, 故有上下翼之称。

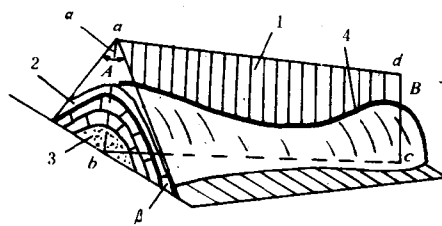


图 1.1 褶曲各部的名称

A、B 顶点; 1 轴面; 3 核部; α 顶角;
abcd 轴面; 2 翼部; 4 轴部; β 倾角。

向斜构造易于聚集地下水,岩层易沿隔水层滑动。背斜轴部张节理发育,容易渗水和充填泥质物,常有崩塌落石发生。在软硬相间的岩组,软层中往往有小型的层间褶曲,在褶曲轴部挤压最强烈,岩层也最破碎。

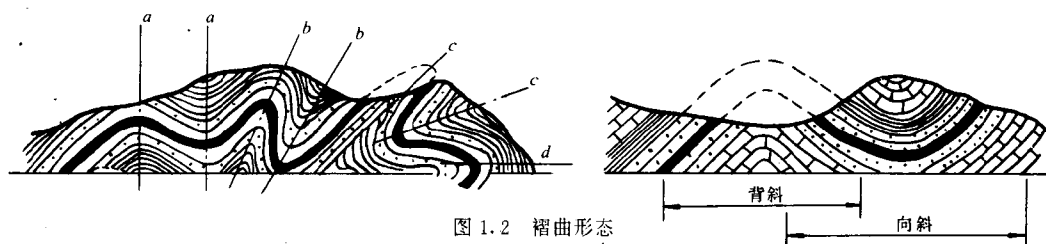


图 1.2 褶曲形态
a. 直立褶曲; b. 倾斜褶曲; c. 倒转褶曲; d. 平卧褶曲。

1.4.2 断裂构造

岩体受力的进一步发展,就要超过其极限强度,沿一定的破裂面错断。由于构造变动造成的断裂,分布很广为数甚多,一般据岩体受压变位的大小分为节理(裂隙)和断层两大类。

(一) 节理

岩体中没有显著错位的断裂称为节理亦称裂隙。广义上说凡分割岩块的断裂面不论位移多少都称为裂隙。在岩体结构中有更概括的名称,称为结构面,其地质类型如表 1.5 所示。结构面或裂隙按成因分为原生裂隙、次生裂隙和构造裂隙三种。这里仅述由于构造作用发生的没有位移或位移很微小的断裂即节理,它按受力性质分为:

1. 剪节理——岩层受剪力作用形成的破裂面,常见 α 节理的剪裂角 $\beta \approx 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$, 亦即最大主应力与最大剪应力的夹角,如图 1.7 所示。随着岩石温度和塑性的加大, $\varphi \rightarrow 0$, β 也渐趋于 45° 。剪节理的特点是:产状稳定不变,节理面平直而光滑,疏密有规则多是密闭的并且延伸很远,能切断粗沙岩和砾岩的颗粒,常有擦痕擦光面等痕迹。

2. 张节理——由张力作用形成,往往追踪 X 节理而发育,走向一般与最大主应力方向一致。其特点是节理面粗糙不平直延伸短而浅;裂缝张开呈锯齿状常有泥质物充填,在砾岩砂岩中常绕粒而过不能切断粗粒。张节理普遍发育在脆性岩层、褶曲的顶端和断层的两侧岩体受张应力的部位。

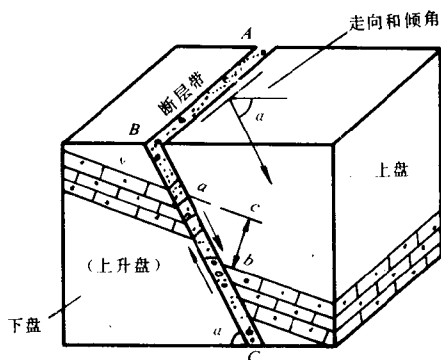


图 1.3 断层的结构要素
ab. 总断距; bc. 地层断距。

3. 羽状节理——伴生在张节理和断层附近多成羽状排列。其走向如与断层斜交则为张性的,如与断层平行则是扭性的,故亦称为羽状剪切理。

4. 劈理——岩石在构造应力作用下,由塑性变形或构造变形产生的剪切破裂面称为劈理。如岩石中片状、板状或条状矿物因塑性流动重新定向排列,因而易于劈开称流劈理。如片岩的片理,板岩的板劈理。若沿最大剪应力方向形成一组密集的剪裂面者称为破劈理。若受力后沿劈理面有微小的位移者称为滑劈理。

节理按成因又分为：(1)构造节理——由构造运动引起者，即按受力性质分类已如前述。(2)原生节理——如沉积岩的层理，岩浆岩冷凝收缩而产生的节理和变质岩的片理等。(3)风化节理——由于外营力风化作用，使岩石破裂而产生的节理，裂隙无明显规律，延伸和深度都有限。多数在构造节理的基础上风化扩大，在地表风化带内发育。

(二) 断层

断层是岩体受构造力超过塑性极限有明显错位的断裂。错动的面称为断层面，它与地面的交线称为断层线，表示断层的延伸方向，可以是直的也可以是弯曲的。断层面厚薄不一，挤压最为破碎的称为主断层，两侧还有上下盘的挤压带和影响带。规模小者断层面只有摩擦镜面和不厚的压碎带。

位于断层上方的断块称为上盘，位于下方者称为下盘。上盘顺重力方向下降的称为正断层，逆重力方向上升的称为逆断层。逆断层中倾角 $\alpha > 45^\circ$ 的称为冲断层， $\alpha < 45^\circ$ 的称为逆掩断层如图 1.4 所示。断层面两侧岩体仅有相对平移的称为平推断层。

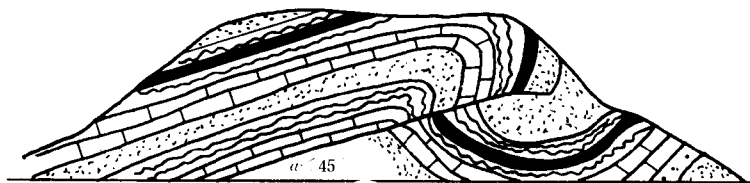


图 1.4 逆掩断层

断层两盘发生相对位移的实际距离称为总断距，垂直岩层面的断距称为地层断距。若相对位移在水平或垂直方向上量取，则称为水平或垂直的断距。

自然界大断层往往成组出现，在一个有限的条带内出现几组产状相近的断层，构成一个断层带。若两组断层间的断块相对下降者称为地堑，相对上升者称为地垒。

按断层的受力性质又分为：

1. 张性断层——在拉力和重力作用下形成的断层。其特点是断层面粗糙不平整，破碎带充填有角砾，孔隙率较大，常为地下水通道和储存的场所。正断层大都属于张性断层。
2. 压性断层——在压力作用下形成的断层。其特点是断层面呈舒缓波状，两侧岩石挤压成破碎带，并有断层泥、糜棱岩，故封闭性较好，地下水不易渗透而形成隔水层。
3. 扭性断层——在剪力作用下形成的断层，其特点是断层面平整光滑，封闭性好，断层线平直而且延伸较远。

构造力往往不是单一和不变的，岩体经历数次构造运动后会有二种力学性质兼有的断层，如张扭断层、压扭断层，也兼有两种断层的特点。

断层与地面的交线称为断层线。但是这些断层现象常由于风化作用而失去原来面貌，又有第四系土层覆盖而不易辨认。为此在钻孔之外还要注意考察岩石露头、构造点和人工边坡上的形迹。寻找断层证据一般方法有：

1. 地层标志——地层的重复或缺失，岩脉的移动，岩层突然中断被另一组截切。
2. 构造标志——断层面两壁可见擦痕、镜面、断层破碎带，断层角砾岩和断层泥。在正断层中角砾岩多棱角，逆断层中多磨圆。
3. 地貌标志——山坡呈悬岩陡壁，山峰中断地形突变河流急弯，地形上常常急转直下无