

中国工程建设协会标准

岩石与岩体鉴定和描述标准

Standard for identification and description of
rock & rock mass

CECS 239 : 2008

主编单位：建设综合勘察研究设计院

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2008年9月1日

中国计划出版社

2008 北 京

中国工程建设标准化协会公告

第 21 号

关于发布《岩石与岩体鉴定 和描述标准》的公告

根据中国工程建设标准化协会[2003]建标协字第 27 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2003 年第一批标准制、修订项目计划的通知》的要求,由建设综合勘察研究设计院等单位编制的《岩石与岩体鉴定和描述标准》,经勘测专业委员会组织审查,现批准发布,编号为 CECS 239:2008,自 2008 年 9 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会
二〇〇八年五月二十日

中国工程建设协会标准 岩石与岩体鉴定和描述标准

CECS 239:2008

☆

建设综合勘察研究设计院 主编

中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

850 × 1168 毫米 1/32 2,125 印张 49 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印数 1 5100 册

☆

统一书号:1580177·084

定价:18.00 元

前 言

根据中国工程建设标准化协会[2003]建标协字第27号文《关于印发中国工程建设标准化协会2003年第一批标准制、修订项目计划的通知》的要求,制定本标准。

本标准适用于建筑、市政、水利、交通、能源、矿山等各类建设工程中岩石与岩体的鉴定和描述。标准规定了各类工程的共性技术要求,也为各类工程做出各自的专门规定留有余地。与本标准适用行业相同并同时批准的协会标准还有:《工程地质测绘标准》CECS 238、《工程地质钻探标准》CECS 240、《工程建设水文地质勘察标准》CECS 241。

本标准吸收和总结了国内外工程建设中岩石学及工程地质研究和实践的成果与经验,首次提出了劣质岩的鉴定与描述标准,符合实际需要,对工程建设具有指导意义。

根据国家计委[1986]1649号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,推荐给工程地质与岩土工程勘察单位和工程技术人员采用。

本标准由中国工程建设标准化协会勘测专业委员会(CECS/TC 18)归口管理,由建设综合勘察研究设计院(北京市东直门内大街177号,100007;guifan@cigis.com.cn)负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

主 编 单 位: 建设综合勘察研究设计院

参 编 单 位: 中国水电工程顾问集团公司水电水利规划设计总院

中国科学院地质与地球物理研究所
水利部黄河勘察规划设计有限公司

中国铁路工程总公司
中兵勘察设计研究院
中交第一公路勘察设计研究院
中交第一航务工程勘察设计院有限公司
主要起草人：彭 涛 曲永新(以下按姓氏笔画排列)
马国彦 何振宇 杨鸿钧 项 勃 徐 前
顾宝和 郭义华 喻文学

中国工程建设标准化协会
2008 年 5 月 20 日

目 次

1 总 则	(1)
2 术 语	(2)
3 基本规定	(4)
4 岩石的鉴定和描述	(6)
4.1 岩石分类和地质时代	(6)
4.2 矿物成分	(6)
4.3 结构和构造	(7)
4.4 物理力学特征	(10)
5 岩体结构面与结构体的鉴定和描述	(12)
5.1 结构面	(12)
5.2 结构体	(13)
5.3 岩体结构类型	(14)
6 劣质岩的鉴定和描述	(16)
6.1 一般规定	(16)
6.2 极软岩和膨胀岩	(17)
6.3 断层岩	(19)
6.4 片状变质岩和粘土化蚀变岩	(20)
6.5 含盐岩	(21)
6.6 疏松岩	(21)
6.7 风化岩	(22)
本标准用词说明	(25)
附：条文说明	(27)

1 总 则

1.0.1 为了统一工程地质和岩土工程勘察的基本技术要求,保证工程勘察质量,提高效率,保护环境,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于建筑、市政、水利、交通、能源、矿山等各类建设工程中岩石与岩体的鉴定和描述。

1.0.3 进行工程地质测绘、钻探、槽探、井探、洞探、室内试验和原位测试、现场检测和监测、岩土工程分析和评价时,凡涉及岩石与岩体(包括自然状态和样品)的鉴定和描述,应按本标准执行。

1.0.4 岩石与岩体的鉴定和描述除执行本标准外,尚应符合国家现行的法律、法规及有关工程地质和岩土工程勘察的技术标准。工程岩体质量分级、隧道和地下洞室围岩分类,应按国家现行有关标准执行。

2 术 语

2.0.1 岩石 rock

自然形成的颗粒间具有较强联结作用的矿物或碎屑集合体。

2.0.2 岩体 rock mass

由结构面和被其切割的结构体组成的岩石固体组分以及储存于其中的水、气构成的天然地质体。

2.0.3 结构面 structural plane of rock mass

也称不连续面,是岩体内分割固相组分的地质界面或开裂面的统称,包括断层面、节理面、层理面、劈理面、片理面等。

2.0.4 结构体 structural block of rock mass

被结构面分割的大小不等的岩块。

2.0.5 岩体结构 structure of rock mass

岩体中结构面与结构体的组合方式。

2.0.6 膨胀性 expansibility

富含膨胀性矿物(包括膨胀性粘土矿物和膨胀性盐类矿物)的岩石具有随含水量增高而发生体积增大的特性。

2.0.7 劣质岩 problem rock

具有不良工程特性、易引发工程问题或地质灾害的岩石或岩体。

2.0.8 岩石质量指标 rock quality designation(RQD)

钻探时使用 N 型(75mm)双层管金刚石钻头获取的大于 10cm 的岩芯段长度与该回次进尺之比。

2.0.9 蚀变岩 altered rock

在与岩浆活动,特别是中小型岩浆侵入作用伴生的残余热液(包括成矿热液)和挥发分作用下,化学成分、矿物成分、结构、构造

发生变化的岩石。

2.0.10 断层岩 fault rock

断层带中或断层两盘岩石在断层作用中被改造形成的,具有特征性结构、构造和矿物成分的岩石。

2.0.11 膨胀岩 swelling rock

富含膨胀性矿物,环境湿度变化时因水岩作用产生较大体积变化,变形受约束时产生较大内应力的岩石。

2.0.12 含盐岩 saliferous rock

易溶盐含量高于总质量的 0.3% 或中溶盐含量高于总质量的 1.5%,但易溶盐和中溶盐的含量不超过总质量 50% 的岩石。

3 基本规定

3.0.1 对岩石的鉴定和描述应包括下列内容:

- 1 岩石学名称;
- 2 地质时代和地层学名称;
- 3 矿物成分或物质组成;
- 4 结构和构造;
- 5 颜色、含水量或湿度状态、密度、硬度、裂隙发育程度等物理性质;
- 6 风化和蚀变程度。

3.0.2 对岩体结构面的鉴定和描述应包括下列内容:

- 1 结构面的成因和性质;
- 2 结构面的组数和产状;
- 3 结构面的宽度、间距和延伸长度;
- 4 结构面的粗糙度、起伏差、充填及蚀变情况;
- 5 结构面之间的切割关系。

3.0.3 对岩体结构体的鉴定和描述应包括下列内容:

- 1 结构体岩性或岩性组合性状;
- 2 结构体的大小、形状和镶嵌情况;
- 3 层状岩体的单层厚度及总厚度。

3.0.4 对岩体的鉴定和描述应包括下列内容:

- 1 岩层产状和地质构造;
- 2 岩体的风化类型和风化程度;
- 3 岩体中的空隙、裂隙和洞穴;
- 4 岩体中的地下水;
- 5 必要时,应对岩体赋存地质因子的特性进行鉴定和描述

(如岩体赋存的地应力场、水、气、温度以及地质历史遗迹等)。

3.0.5 对岩体基本质量分级为Ⅳ级和Ⅴ级的岩体,鉴定和描述应符合下列规定:

1 对软岩和极软岩,应注意是否具有膨胀性、崩解性等特殊性质;

2 对破碎岩体,应说明破碎的原因,如断层带、节理密集带、劈理化、风化等;

3 岩体基本质量等级的确定应按《工程岩体分级标准》GB 50218 执行。

3.0.6 根据岩石质量指标 RQD,可将岩石质量分为:很好($RQD > 90$)、好($RQD = 75 \sim 90$)、中等($RQD = 50 \sim 75$)、差($RQD = 25 \sim 50$)和极差($RQD < 25$)。

3.0.7 岩石与岩体的鉴定,在野外除肉眼观察外,还可借助数码相机、放大镜、地质锤、罗盘、回弹仪、点荷载仪等进行;必要时,应取样在试验室通过偏光显微镜分析、X 射线衍射分析(XRD)、化学分析、物理力学试验和水理性质试验等进一步鉴定和判别。

4 岩石的鉴定和描述

4.1 岩石分类和地质时代

4.1.1 岩石按其成因应分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。

1 岩浆岩按产状可分为喷出岩(火山岩)和侵入岩(浅成岩和深成岩)；

2 沉积岩按沉积相可分为陆相沉积、海陆过渡相沉积和海相沉积。陆相沉积分为残积相、坡积相、冲积扇相、河流相、湖泊相、沼泽相、沙漠相、冰川相等；海陆过渡相沉积包括三角洲相、河口湾相等；海相沉积包括滨海相、浅海相、半深海相、深海相等；

3 沉积岩按物质来源可分为火山碎屑岩、陆源沉积岩、内源沉积岩；陆源沉积岩包括碎屑岩与泥质岩；内源沉积岩包括蒸发岩、非蒸发岩、可燃有机岩；

4 沉积岩按沉积作用方式和岩石成分分为碎屑岩、泥质岩(粘土岩)、化学岩和生物化学岩；

5 变质岩可分为区域变质岩、热接触变质岩、动力变质岩、混合岩、交代变质岩等。

4.1.2 岩石的地质时代和地层学名称可按下列规定鉴定：沉积岩和变质岩宜鉴定到“阶”或“组”，喷出岩在需要时可鉴定到“段”；侵入岩宜鉴定到“期”；古老岩层可适当放宽。

4.2 矿物成分

4.2.1 鉴定岩石的矿物成分时，在野外可借助放大镜、小刀、地质锤、稀盐酸等进行鉴定。必要时，可取样切片进行偏光显微镜鉴定；对粘土矿物应提取小于0.002mm粒级的样品进行X射线衍射分析(XRD)、差热分析(DTA)；对可溶盐可进行酸提取和水提

取液的化学分析。

4.2.2 对岩浆岩和变质岩，应鉴定其主要矿物成分和重要的次要矿物成分。对隐晶质岩石和斑状岩石的基质，可用浅色矿物或暗色矿物描述。必要时，宜做镜下鉴定。

4.2.3 对碎屑岩，应鉴定碎屑颗粒的主要矿物成分和胶结物成分。

4.2.4 对化学岩，应鉴定主要矿物成分及其含量，确定其岩石学名称。

4.2.5 对泥岩和页岩，一般现场难以鉴定其矿物成分，但要观察其干燥收缩和在水中崩解性状，必要时(如为了确定其膨胀性)，应通过X射线衍射分析(XRD)、差热分析(DTA)，鉴定其粘土矿物成分。

4.2.6 岩石的矿物成分鉴定，应注意鉴定膨胀性矿物、易溶性和中溶性盐类矿物以及易风化物。

4.3 结构和构造

4.3.1 岩浆岩的结构可按下列特征进行分类：

1 按矿物的结晶程度分为：全晶质结构、半晶质结构、玻璃质结构；

2 按矿物颗粒绝对大小分为：显晶质结构、隐晶质结构、非晶质结构。显晶质结构又可进一步分为：粗粒结构、中粒结构、细粒结构和微粒结构。

3 按矿物颗粒相对大小分为：等粒结构、不等粒结构、斑状结构、似斑状结构；

4 按矿物颗粒形状分为：粒状、片状、板状、柱状、纤维状、针状；

5 按矿物相互关系分为：交生结构、反应结构。

4.3.2 岩浆岩的构造可分为：块状构造、斑杂构造、带状构造、球状构造、气孔和杏仁构造、晶洞和晶腺构造、枕状构造、流纹状构造

造、流面和流线状构造、原生片麻状构造、冷缩节理构造等。

4.3.3 沉积岩的结构可按下列特征分类:

1 碎屑岩的结构按碎屑粒径大小可分为:砾状结构($>2\text{mm}$)、砂状(粗砂、中砂、细砂)结构($0.05\sim 2\text{mm}$)、粉状结构($0.005\sim 0.05\text{mm}$)、泥状结构($<0.005\text{mm}$)。

2 碎屑岩的结构按碎屑磨圆度可分为:棱角状、次棱角状、次圆状、圆状。

3 碎屑岩的结构按胶结物结构和成分可分为:非晶质胶结、隐晶质胶结、微晶质胶结、显晶质胶结、栉壳状或丛生状胶结、连生胶结、带状与薄膜状胶结、再生胶结、凝块状胶结、斑点状胶结。

4 碎屑岩的结构按胶结类型可分为:基底式胶结、孔隙式胶结、接触式胶结、溶蚀胶结。

5 泥质岩的结构按粘土矿物、粉砂和砂的相对含量可分为:泥状结构、粉砂泥状结构、含砂泥状结构和砂泥状结构;按粘土矿物集合体的形态可分为:鲕粒结构、豆粒结构、同生泥屑结构(又可分为砾状结构及角砾状结构)和生物泥屑结构。

6 化学岩和生物化学岩的结构按成因和特点可分为:晶粒结构、生物骨架结构、粒屑结构、交代残余结构。晶粒结构按结晶程度可分为显晶质结构、隐晶质结构、非晶质结构等。显晶质结构可进一步细分为巨晶质结构、粗晶质结构、中晶质结构、细晶质结构和微晶质结构。

7 生物岩的结构可分为:栉壳结构、珊瑚结构等生物骨架结构。

4.3.4 沉积岩的构造可按下列特征分类:

1 沉积岩的构造按成因可分为机械成因的构造、化学成因的构造、生物成因的构造;

2 机械成因的构造可分为层理构造、层面构造、变形构造;

3 层理构造可分为:水平层理、斜层理、波状层理、交错层理、粒序层理(韵律层理、递变层理)、块状层理、压扁层理;

4 层面构造可分为:顶面构造与底面构造,顶面构造包括波痕、干裂、雨痕、冰雹痕、晶体印痕、渠痕、虫痕等,底面构造包括底冲刷、泥砾及槽模、沟模等;

5 变形构造可分为:包卷层理、重荷模(负荷印模)、球状及枕状构造、碎屑岩脉、滑坡构造;

6 化学成因构造可分为:缝合线、溶洞、溶孔、结核、晶簇、叠瓦、龟背石、鸟眼构造等;

7 生物成因构造可分为:生长层理构造(叠层构造)、生态构造(虫迹、虫孔)。

4.3.5 变质岩的结构可按下列特征分类:

1 碎裂结构可分为:角砾状结构、碎裂结构、碎斑结构、糜棱结构;

2 变晶结构可按下列特征进一步划分:

1)按变晶矿物颗粒相对大小可分为:等粒变晶结构、不等粒变晶结构、斑状变晶结构;

2)按变晶矿物颗粒绝对大小可分为:粗粒变晶结构、中粒变晶结构、细粒变晶结构、隐晶变晶结构(显微变晶结构);

3)按变晶矿物颗粒形状可分为:粒状变晶结构、鳞片变晶结构、纤状变晶结构、角岩变晶结构;

4)按变晶矿物颗粒相互关系可分为:包含变晶结构、筛状变晶结构、残缕变晶结构。

3 变余结构可分为:原岩为岩浆岩的变余结构、原岩为沉积岩的变余结构、原岩为变质岩的变余结构;

4 交代结构可分为:交代蚕蚀结构、交代残留结构、交代假象结构、交代净边结构、交代穿孔结构、交代蠕虫结构、交代斑状结构。

4.3.6 变质岩的构造可分为:变余构造、变成构造。

1 变余构造可分为:变余气孔构造、变余杏仁构造、变余流纹

构造、变余枕状构造、变余斑杂构造、变余层状构造、变余层理构造、变余结核构造、变余波痕构造等；

2 变成构造可分为：斑点状构造、板状构造、千枚状构造、片状构造、片麻状构造、条带状构造、块状构造、瘤状构造、千糜状构造。

4.3.7 混合岩的构造可分为：眼球状构造、网脉状构造、角砾状构造、条带状构造、肠状构造、片麻状构造、雾迷状构造。

4.4 物理力学特征

4.4.1 岩石颜色的描述应包括颜色的名称、深浅、亮暗和浓淡程度。

4.4.2 岩石的密度应描述为致密、密实、中密、稍密、疏松。

4.4.3 岩石的湿度状态应描述为很湿、湿、稍湿、稍干、干燥。

4.4.4 岩石中如有孔洞，应鉴定其成因（火山喷出造成的气孔、地下水溶蚀造成的溶洞），描述其大小、形状、充填和连通情况。

4.4.5 岩石的坚硬程度应在现场进行定性描述，并与天然湿度单轴抗压强度试验结果核对，必要时，可进行现场点载荷试验。定性描述与单轴抗压强度的关系可按表 4.4.5 确定。

表 4.4.5 岩石坚硬程度的定性描述与单轴抗压强度关系

定性描述	野外特征	天然湿度单轴抗压强度 R (MPa)
极软	锤击有印痕	$R < 1$
很软	锤击可粉碎，刀可切削	$1 \leq R < 5$
软	刀用力能切削，锤击原岩出现浅窝	$5 \leq R < 15$
较软	刀切削困难，锤击样品可开裂	$15 \leq R < 30$
中等	刀切削不动，锤猛击样品可开裂	$30 \leq R < 60$
强	锤击数次样品才劈开	$60 \leq R < 100$
很强	锤击样品许多次才开裂	$100 \leq R < 250$
极强	锤击样品只能出现缺口	$R \geq 250$

4.4.6 岩石的抗风化稳定性可根据岩石暴露在空气中和浸没在水中的性状，按表 4.4.6-1 及表 4.4.6-2 鉴定。

表 4.4.6-1 岩石在空气中的稳定性

稳定程度类别	样品暴露在空气中
稳定	无变化
较稳定	表面掉碴，裂解
不稳定	分散状破坏

表 4.4.6-2 干燥岩石在水中的稳定性

稳定程度类别	样品浸没在水中 24h	等级
稳定	无变化	1
较稳定	少量裂隙，表面轻微掉碴	2
	大量裂隙，表面严重掉碴或碎成小块	3
不稳定	样品碎裂或整个样品表面不断产生屑粒状脱落	4
	整个样品呈泥状或分解成砂状	5

5 岩体结构面与结构体的鉴定和描述

5.1 结 构 面

5.1.1 对结构面应鉴定和描述其成因类型、结构面分级、结构面产状、结构面几何形态、结构面粗糙度、结构面张开度和充填物质等。

5.1.2 岩体结构面的成因类型可按表 5.1.2 进行划分。

表 5.1.2 结构面成因类型和主要特征

成因类型	含 义	地 质 类 型
原生结构面	沉积结构面	沉积和成岩过程中形成
	岩浆结构面	岩浆侵入及冷凝过程中形成
	变质结构面	变质过程中形成
构造结构面	构造运动中形成	片理、板理、劈理、层间错动
次生结构面	表生作用下形成	风化裂隙、风化夹层、卸荷裂隙、爆破裂隙、泥化夹层

5.1.3 岩体结构面可按表 5.1.3 进行分级。

表 5.1.3 结构面分级

分级	结构面长度	地 质 类 型
I 级	>10km	对区域构造起控制作用的断裂带,如区域性深大断裂等
II 级	1~10km	延展性较强而宽度有限的区域性地质界面,如不整合面、假整合面、原生软弱夹层、层间错动带、中等规模断层、侵入岩接触带等
III 级	100~1000m	小断层、原生软弱夹层、层间错动带、开裂的层面等
IV 级	10~100m	节理、片理、劈理、卸荷裂隙、风化裂隙等
V 级	<10m	微小节理、隐微裂隙、线理、片理等

5.1.4 应测量结构面的产状,走向、倾向和倾角可用地质罗盘测量,精度至两位有效数字,用方位角表示。

5.1.5 结构面几何形态应描述为平直、波浪状起伏、锯齿状、不规则状。

5.1.6 结构面起伏度应进行描述。常用起伏角 i 和起伏高度 h 描述。

5.1.7 结构面粗糙度可分为极粗糙、粗糙、一般、光滑、镜面五个等级,并可用粗糙度系数 JRC 进行描述。

5.1.8 结构面的密集程度可用线密集度 k 和结构面间距 d 表示。

5.1.9 结构面的连续性可用连续长度进行描述。

5.1.10 结构面的张开度可按表 5.1.10 划分。

表 5.1.10 结构面的张开度分级

张开度分级	张开度大小 $K(\text{mm})$
密闭	$K < 0.2$
微张	$0.2 \leq K < 1.0$
张开	$1.0 \leq K < 5.0$
宽开	$K \geq 5.0$

5.1.11 对结构面是否有充填及充填物性质应进行描述。

5.2 结 构 体

5.2.1 对结构体应描述其尺寸、形状和物理力学性质。

5.2.2 结构体的形状可分为:柱状、块状、板状、楔状、锥状、菱形、板状、鳞片状等。

5.2.3 对结构体的物理力学性质应进行试验分析,包括密度、单轴抗压强度、内聚力、内摩擦角、弹性模量、泊松比等。

5.2.4 岩层厚度可按表 5.2.4 分类。

表 5.2.4 岩层厚度分类

层厚分类	单层厚度 $h(m)$	层厚分类	单层厚度 $h(m)$
巨厚层	$h > 1.0$	中厚层	$0.5 \geq h > 0.1$
厚层	$1.0 \geq h > 0.5$	薄层	$h \leq 0.1$

5.3 岩体结构类型

5.3.1 岩体结构类型可按表 5.3.1 分类。

表 5.3.1 岩体结构类型

类型	亚类	岩体结构特征
整体块状结构	整体结构	岩体完整,呈巨块状,结构面不发育,间距大于 100cm
	块状结构	岩体较完整,呈块状,结构面轻度发育,间距为 50~100cm
	柱状结构	岩体较完整,呈柱状,结构面中等发育,间距 30~50cm
层状结构	巨厚层状结构	岩体完整,呈巨厚层状,结构面不发育,间距大于 100cm
	厚层状结构	岩体较完整,呈厚层状,结构面轻度发育,间距为 50~100cm
	中厚层状结构	岩体较完整,呈中厚层状,结构面中等发育,间距为 30~50cm
	互层状结构	岩体较完整或完整性差,呈互层状,结构面较发育或发育,间距为 10~30cm
	薄层状结构	岩体完整性差,呈薄层状,结构面发育,间距小于 10cm
碎裂结构	镶嵌碎裂结构	岩体完整性差,岩块镶嵌紧密,结构面较发育~很发育,间距为 10~30cm
	层状碎裂结构	软弱破碎带与完整性较好的岩体相间存在,结构面间距小于 30cm
	碎裂结构	岩体较破碎,结构面密集,间距小于 10cm
散体结构	碎块状结构	岩体破碎,岩块夹岩屑或泥质物
	碎屑状结构	岩体破碎,岩屑或泥质物夹岩块

5.3.2 岩体裂隙发育程度可按表 5.3.2 分级。

表 5.3.2 岩体裂隙发育程度的分级

等级	裂隙发育程度	裂隙间距 $L(m)$
I	不发育	$L > 1.0$
II	稍发育	$1.0 > L \geq 0.5$
III	较发育	$0.5 > L \geq 0.3$
IV	发育	$0.3 > L \geq 0.1$
V	很发育	$L < 0.1$

6 劣质岩的鉴定和描述

6.1 一般规定

6.1.1 具有下列性质之一的岩石或岩体应属于劣质岩:

- 1 天然湿度单轴抗压强度小于等于 5MPa;
- 2 岩体极为破碎;
- 3 结构疏松;
- 4 暴露在空气中易裂解,易风化剥落;
- 5 吸水膨胀、崩解,失水收缩;
- 6 遇水明显软化;
- 7 结构面密集,力学性质高度各向异性的软弱岩体;
- 8 含有易溶盐大于或等于 0.3%、中溶盐大于或等于 0.5%

的岩石;

9 具有其他对工程不利的特性,如强溶解性,富含黄铁矿等硫化矿物。

6.1.2 劣质岩应根据岩石成分、结构、构造、物理力学特性,结合地质成因和演化过程以及工程环境条件,进行综合判定。

6.1.3 劣质岩按成因可分为沉积类、构造类、变质类、蚀变类、风化类等;按成分和结构可分为泥质岩、碎屑岩、碎裂岩、蚀变岩、含盐岩等;按性质可分为易软化岩、易溶和中溶岩、崩解岩、膨胀岩、易风化岩等。

6.1.4 天然湿度不扰动试样的单轴抗压强度大于 0.3MPa、小于 1.0MPa 的过渡型岩土,应结合其具体性状确定为极硬土或极软岩,其物理力学性质应同时按岩石和土的试验方法进行试验。

6.1.5 对浸水后强烈软化的岩石,应分别进行天然湿度和饱和状

态下的单轴抗压强度试验,确定岩石的软化系数。

注:天然湿度小于 2% 的岩石,可用风干状态的单轴抗压强度指标代替天然湿度单轴抗压强度指标。

6.1.6 进行工程地质和岩土工程勘察时,应着重对劣质岩进行鉴定、描述和评价。

6.2 极软岩和膨胀岩

6.2.1 对极软岩和膨胀岩的鉴定和描述,应包括下列内容:

- 1 成岩胶结程度;
- 2 节理、裂隙、劈理及层理、页理的分布和密度;
- 3 暴露在空气中的收缩性、裂解性和耐久性;
- 4 浸水后的软化性;
- 5 吸水后的膨胀性、崩解性;
- 6 形成时代与成因。

6.2.2 对崩解后呈泥状和似泥状的极软岩与膨胀岩,除进行一般物理力学试验外,尚应测定界限含水量、岩块干燥饱和吸水率、崩解耐久性和膨胀性、天然湿度和干燥后饱和单轴抗压强度,对层理发育的页岩,尚应做垂直于层理和平行于层理的力学试验。对重大工程,应根据需要进行小于 0.002mm 粒级的粘土矿物分析和物理、化学性质分析。

6.2.3 对膨胀岩膨胀势的鉴定,宜结合天然露头 and 现场开挖后岩石干燥失水后在水作用下的性状,特别是干燥岩块的浸水崩解试验、岩块干燥饱和吸水率以及岩石的粘土矿物成分、成因环境、工程实例等综合判定。

6.2.4 泥质岩和粘土化蚀变岩的膨胀势可用不规则干燥岩块崩解试验和岩块干燥饱和吸水率判别,并按表 6.2.4 确定膨胀势的等级。

表 6.2.4 泥质岩膨胀势分级

岩块干燥饱和吸水率 $SP(\%)$	膨胀势
$SP < 10$	非膨胀
$10 \leq SP < 20$	微膨胀
$20 \leq SP < 50$	弱膨胀
$50 \leq SP < 100$	强膨胀
$SP \geq 100$	剧膨胀

6.2.5 膨胀岩的膨胀性还可通过取样做粘土矿物分析,测定蒙脱石及伊利石/蒙脱石、绿泥石/蒙脱石等膨胀性粘土矿物的含量,结合其他指标进一步判别膨胀岩的膨胀势。对于弱胶结的泥质膨胀岩,还可根据有效蒙脱石含量按表 6.2.5 判别膨胀势。

表 6.2.5 根据有效蒙脱石(M)含量判别膨胀势

有效蒙脱石含量 $M(\%)$	膨胀势
$M < 10$	非膨胀
$10 \leq M < 15$	微膨胀
$15 \leq M < 20$	弱(中)膨胀
$20 \leq M < 30$	强膨胀
$M \geq 30$	剧膨胀

注:有效蒙脱石(M)含量指单矿物的蒙脱石和混层矿物中蒙脱石在干燥岩石中的绝对含量。

6.2.6 极软岩和膨胀岩的岩土工程分析与评价,应包括下列内容:

- 1 极软岩与膨胀岩的低强度、低模量对工程稳定和变形的影响;
- 2 极软岩与膨胀岩的层理、页理、节理、劈理对边坡稳定和围岩强度与变形的影响;

3 极软岩与膨胀岩的膨胀性对工程稳定和变形的影响;

4 极软岩与膨胀岩遇水的软化特性对强度的影响,崩解耐久性对边坡稳定的影响;

5 环境的干湿交替变化对极软岩与膨胀岩工程性质的影响。

6.2.7 评价膨胀岩的工程问题时,应根据膨胀势的强弱和膨胀岩所处环境的变化,结合工程要求,着重分析下列问题:

1 胀缩变形对工程的影响;

2 吸水导致膨胀岩强度降低,对围岩变形、边坡稳定、地面工程变形和稳定的影响;

3 裂隙、微裂隙和膨胀力对围岩压力、边坡稳定、工程稳定的影响。

6.2.8 粘土化蚀变岩和硫酸盐类膨胀岩的鉴定应按本标准第 6.4 节、6.5 节执行。

6.3 断层岩

6.3.1 对断层岩的鉴定和描述应包括下列内容:

1 调查断裂活动的地质时代、断裂作用的强度、性质、演化过程和空间分布;

2 构造运动与断层岩形成的关系;

3 确定断层破碎带的错动方向、宽度或厚度,断层岩的分带性和各带的物质组成等,确定断层岩形成的力学性质(如挤压、走滑、张裂)和力学性质转化过程;

4 根据需要,在现场和室内分别测定平行于主剪切面、垂直于主剪切面的力学性质和渗透性质;

5 调查地下水的赋存和运移条件,确定地下水与断层岩的相互作用及地下水对断层岩性质的影响;

6 工程开挖对断层岩工程性质的影响。

6.3.2 断层岩宜按表 6.3.2 分带。

表 6.3.2 断层岩分带

名 称	性 状
断层影响带	岩块性状与原岩相似,节理比原岩发育,节理走向不同于原岩
断层碎裂岩带	岩体裂隙发育,岩块尺度较大,以裂隙间连接力连接
断层角砾带	块体棱角分明,大小不一,常有挤压迹象
断层泥带	颗粒定向排列,挤压迹象明显,常呈鳞片状分布,有擦痕、镜面分布

6.3.3 断层岩可分为断层角砾岩、碎裂岩或碎斑岩、糜棱岩或超糜棱岩、碎粉岩、玻化岩、断层泥、片理化岩等类型。

6.3.4 对断层影响带、断层碎裂岩带,应鉴定原岩和断层的时代、地层学和岩石学名称,除按一般岩石鉴定外,尚应鉴定其块度大小,块体间充填、胶结情况,断层影响带的节理组数、走向、力学性质、与断层运动的关系。

6.3.5 对糜棱岩和断层泥,在野外除应进行详细的描述外,必要时,宜取样鉴定其矿物成分和结构,特别注意粘土矿物的存在和矿物的定向排列,并进行物理、水理和力学性质监测。

6.4 片状变质岩和粘土化蚀变岩

6.4.1 对片状变质岩进行鉴定和描述应包括下列内容:

- 1 片理、板理的走向;
- 2 矿物成分、结构、构造及其风化情况,必要时取样做镜下鉴定;
- 3 进行强度测定时,应分别做平行于片理、垂直于片理的试验,必要时做原位测试。

6.4.2 对片状变质岩进行分析与评价时,地面工程应注意片理产状与开挖面关系、片状岩风化状况及对工程的危害、反坡向片状岩边坡上的倾倒变形现象,分析评价平行和垂直片理面的稳定性。当作为深埋隧道围岩时,应注意大变形问题。

6.4.3 对粘土化蚀变岩进行鉴定和描述时,除包括一般岩石的鉴定描述项目外,尚应关注粘土化蚀变岩在开挖后的快速风化现象,并着重鉴定其膨胀性和崩解耐久性,鉴定方法按本标准第 6.2.3~6.2.7 条

执行。

6.5 含 盐 岩

6.5.1 当岩石中的 NaCl 、 Na_2SO_4 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 CaSO_4 、 $(\text{Mg}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等易溶盐、中溶盐含量不足岩石总质量的 50%,且易溶盐含量高于岩石总质量的 0.3% 或中溶盐含量高于岩石总质量的 0.5% 时,属于含盐岩,命名时应反映主体岩石名称及所含盐类,如含石膏泥灰岩、含芒硝泥岩等。

6.5.2 对含盐岩的鉴定和描述应包括下列内容:

- 1 盐类矿物的赋存状态,如层状、薄层状、透镜体状、脉状、分散状、团块状等;
- 2 是否有溶洞、溶孔、溶陷坑盐溶角砾岩、膏溶角砾岩存在及其分布;
- 3 化学和矿物成分分析,确定含盐量和盐类矿物类型;
- 4 为评价溶陷变形、盐胀变形对建筑材料的腐蚀性而进行的专项测试。

6.5.3 鉴定和评价含盐岩时,应根据其含盐类型、含盐量、气候条件、水文地质条件及其变化等,结合工程要求,重点分析下列问题:

- 1 是否存在溶洞及溶洞的大小和分布;
- 2 易溶岩溶陷的评价,工程建设及环境变化导致盐溶灾害的预测;
- 3 硬石膏、无水芒硝等的吸水盐胀性;
- 4 对富含芒硝、无水芒硝、泻盐、六水泻盐等硫酸盐岩石,应特别关注结晶水的数量、体积变化与环境温度、湿度变化的关系;
- 5 盐类对建筑材料的腐蚀性和对环境的污染。

6.6 疏 松 岩

6.6.1 疏松岩主要包括贝壳岩、硅藻岩、白垩、珊瑚、疏松砂岩等类型。

6.6.2 对疏松岩进行鉴定和描述时,应根据情况分别鉴定其矿物

成分、化学成分、生物种群、结构性、孔隙性、透水性、软化性、可溶性、结构不稳定性及其他特征,并结合工程环境变化评价其变化趋势,必要时应进行镜下鉴定。

6.7 风 化 岩

6.7.1 花岗岩、花岗片麻岩、混合岩等坚硬岩石的全风化岩、强风化岩属于劣质岩,其余岩石何种风化程度属于劣质岩,应根据工程具体情况确定。

6.7.2 对风化岩的鉴定和描述应包括下列内容:

- 1 风化类型及风化程度;
- 2 母岩的时代、岩石学名称和工程性质;
- 3 风化岩体的分带性及破碎带、软弱带、岩脉、风化囊、球状风化体的分布;

4 对强风化和全风化岩,应描述颗粒组成;

5 古风化壳应鉴定其形成时代、厚度和工程性质。

6.7.3 岩石的风化程度可按表 6.7.3 划分。

表 6.7.3 岩石的风化程度划分

岩石类别	风化程度	野外特征	风化程度参考指标		
			声波速度 v_p (m/s)	波速比 k_v	风化系数 k_f
硬质岩石	未风化	岩质新鲜,未见风化痕迹	$v_p > 5000$	$0.9 < k_v \leq 1.0$	$0.9 < k_f \leq 1.0$
	微风化	组织结构基本未变,仅节理面有铁锰质渲染或矿物略有变色。有少量风化裂隙	$4000 < v_p \leq 5000$	$0.8 < k_v \leq 0.9$	$0.8 < k_f \leq 0.9$
	中等风化	组织结构部分破坏,矿物成分基本未变化,仅沿节理面出现次生矿物。风化裂隙发育。岩体被切割成 20~50cm 的岩块。锤击声脆,且不易击碎。不能用镐挖掘,岩芯钻方可钻进	$2000 < v_p \leq 4000$	$0.6 < k_v \leq 0.8$	$0.4 < k_f \leq 0.8$

续表 6.7.3

岩石类别	风化程度	野外特征	风化程度参考指标		
			声波速度 v_p (m/s)	波速比 k_v	风化系数 k_f
硬质岩石	强风化	组织结构已大部分破坏,矿物成分已显著变化。长石、云母已风化成次生矿物。风化裂隙很发育,岩体破碎。岩体被切割成 2~20cm 的岩块,用手可折断。用镐可挖掘,干钻不易钻进	$1000 < v_p \leq 2000$	$0.4 < k_v \leq 0.6$	$k_f < 0.4$
	全风化	组织结构已基本破坏,但尚可辨认,并且有微弱的残余结构强度。可用镐挖,干钻可钻进	$500 < v_p \leq 1000$	$0.2 < k_v \leq 0.4$	
	硬岩三	组织结构已破坏,可用镐挖,干钻可钻进	$v_p < 500$	$k_v < 0.2$	
中硬岩石	微风化	岩质新鲜,未见风化痕迹	$v_p > 4000$	$0.9 < k_v \leq 1.0$	$0.9 < k_f \leq 1.0$
	微风化	组织结构基本未变,仅节理面有铁锰质渲染或矿物略有变色。有少量风化裂隙	$3000 < v_p \leq 4000$	$0.8 < k_v \leq 0.9$	$0.8 < k_f \leq 0.9$
	中等风化	组织结构部分破坏,矿物成分未发生变化,节理面附近的矿物已风化成土状。风化裂隙发育。岩体被切割成 20~50cm 的岩块。锤击易碎。用镐难挖掘。岩芯钻方可钻进	$1500 < v_p \leq 3000$	$0.5 < k_v \leq 0.8$	$0.3 < k_f \leq 0.8$
软质岩石	强风化	组织结构已大部分破坏,矿物成分已显著变化,含大量粘土矿物。风化裂隙很发育,岩体破碎。岩体被切割成碎块,干时可用手折断或捏碎,浸水或干湿交替时可较迅速地软化或崩解。用镐或锹可挖掘,干钻可钻进	$700 < v_p \leq 1500$	$0.3 < k_v \leq 0.5$	$k_f < 0.3$

续表 6.7.3

岩石类别	风化程度	野外特征	风化程度参考指标		
			声波速度 $v_p(\text{m/s})$	波速比 k_v	风化系数 k_f
软质岩石	全风化	组织结构已基本破坏,但尚可辨认,并且有微弱的残余结构强度。可用镐挖,干钻可钻进。	$300 < v_p \leq 700$	$0.1 < k_v \leq 0.3$	
软质岩石残积土		组织结构已全部破坏,并已风化成土状。锹镐易挖掘,干钻易钻进。具有可塑性。	$v_p < 300$	$k_v < 0.1$	

注:1 波速比 k_v 为风化岩石与新鲜岩石压缩波速度之比;

2 风化系数 k_f 为风化岩石与新鲜岩石饱和单轴抗压强度之比;

3 岩石风化程度除按本表所列野外特征和定量指标划分外,也可根据当地经验划分;

4 全风化、强风化花岗岩类岩石可采用标准贯入试验划分, $N \geq 50$ 为强风化, $50 > N \geq 30$ 为全风化, $N < 30$ 为残积土;

5 泥岩和半成岩可不进行风化程度划分,但应通过工程性质对比确定风化带厚度和工程性质蜕化(劣化)程度。

6.7.4 对风化岩分析与评价时应注意下列事项:

- 1 岩体的分带性及不均匀性、破碎带、球状风化、岩脉等对工程的影响;
- 2 岩体深层风化和占风化壳的存在;
- 3 开挖暴露后岩体继续风化的趋势;
- 4 浸水、降雨造成岩体强度降低、水土流失、地面和坡面侵蚀(冲刷)、边坡失稳的可能性。

本规程用词说明

一、为便于执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1 表示很严格,非这样做不可的:
正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。
- 2 表示严格,在正常情况下均应这样做的:
正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。
- 3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:
正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”。
- 4 表示有选择,在一定条件下可以这样做的:
正面词采用“可”;反面词采用“不可”。

二、条文中指定应按其他有关标准执行时,写法为“应按……执行”或“应符合……的要求(或规定)”。非必须按所指定的标准执行时,写法为“可参照……执行”。

中国工程建设协会标准

岩石与岩体鉴定和描述标准

CECS 239 : 2008

条 文 说 明

目 次

一、 概 论	(31)
二、 岩石的鉴定和描述	(32)
1. 岩石分类和地质时代	(32)
2. 矿物成分	(32)
3. 结构和构造	(32)
三、 岩体结构面与结构体的鉴定和描述	(33)
1. 结构面	(33)
四、 变质岩的鉴定和描述	(36)
1. 一般规定	(36)
2. 极软岩和膨胀岩	(39)
断层岩	(47)
片状变质岩和粘土化蚀变岩	(49)
3. 含盐岩	(51)
4. 页 岩	(53)
5. 交代岩	(54)

2 术 语

2.0.7 自然界的岩石和岩体,成分和性状千差万别,但对工程而言,最值得注意的是劣质岩。这类岩石或岩体,包括工程作用下表现低强度、大变形的极软岩和极破碎岩,性质极不稳定的膨胀岩、易解性岩石、易溶岩、易风化岩等。无论边坡、隧洞、地基,绝大多数工程事故均由这些劣质岩引起,因而是勘察、设计、施工、检测、监测的重点。劣质岩原无统一名称,有称“复杂岩石”、“特殊岩石”、“问题岩石”、“半坚硬岩石”、“软岩”等,本标准将所有具有不良工程特性的岩石和岩体统称“劣质岩”,并专列一章,以引起工程地质和岩土工程界的重视。

俄罗斯 ГОСТ 25100-95 岩土分类规范专列半坚硬岩石类,包括火山碎屑岩、泥质岩、疏松砂岩、蛋白石、硅藻岩、白垩、石膏、硬石膏、岩盐等。本标准对劣质岩范围及性质进行了分类,包括“膨胀岩”、“断层岩”、“片状变质岩和粘土化蚀变岩”、“疏松岩”、“含盐岩”、“风化岩”等一切具有不良工程特性的岩石和岩体。

4 岩石的鉴定和描述

4.1 岩石分类和地质时代

4.1.2 地质构造活动时期可分为吕梁期、加里东期、华力西期或海西期、印支期、燕山期、喜马拉雅期等。

4.2 矿物成分

4.2.3 碎屑岩的胶结物成分主要包括硅质、钙质、铁质、泥质等。

4.2.4 化学岩的主要矿物成分主要包括方解石、白云石、石膏、岩盐、芒硝等。

4.2.5 粘土矿物成分包括高岭石、蒙脱石、伊利石、伊利石和蒙脱石等混层矿物等。

4.2.6 膨胀性矿物包括蒙脱石、伊利石和蒙脱石混层矿物、硬石膏、无水芒硝等盐类矿物。易溶性和中溶性盐类矿物包括岩盐、芒硝、无水芒硝、石膏、硬石膏等。易氧化水解矿物主要包括黄铁矿、黄铜矿等有害矿物。

4.3 结构和构造

4.3.1 交生结构包括文象结构、条纹结构、蠕虫结构、嵌晶结构、含长结构等。反应结构包括反应边结构、暗化边结构、熔蚀港湾结构、环带结构等。

4.3.4 生态构造包括爬行痕迹、居住痕迹、停顿痕迹、生长痕迹等。

5 岩体结构面与结构体的鉴定和描述

5.1 结构面

5.1.5 结构面起伏形态划分示意图见图 1。

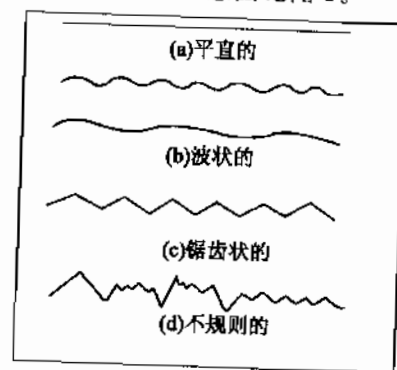


图 1 结构面起伏形态示意

5.1.6 结构面起伏度是衡量结构面总体起伏程度的指标。其描述见图 2。

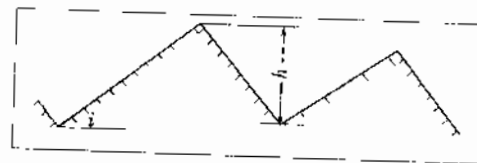


图 2 结构面的起伏度

5.1.7 结构面粗糙度是结构面表面的粗糙程度。一般多根据手摸时的感觉而定,也可用粗糙度系数 JRC (Joint roughness coefficient) 进行描述。随粗糙度的增加,结构面的摩擦角也增大。奎二顿 (Barton, 1977) 的研究,可将结构面的粗糙度系数划分为图 3 三 级。

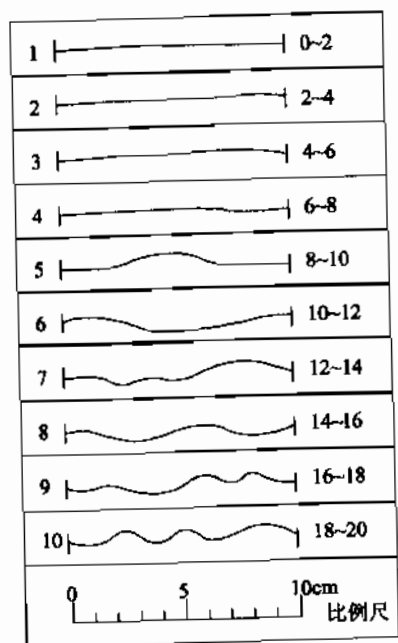


图3 标准粗糙程度剖面及其 JRC 值

5.1.8 结构面的密集程度反映了岩体的完整性,它决定了岩体的变形和破坏力学机制。岩体结构面越密集,岩体变形越大,强度越低,而渗透性越高。

线密集度可按式(1)计算:

$$k = n/L \quad (1)$$

式中 k ——线密集度(条/m);

L ——测线长度(m);

n ——在 L 长度内结构面的总数(条)。

在实际测定线密集度时,测线长度可为 20~50m。如果测线不能沿结构面法线方向布设时,应使测线水平并与结构面走向垂直。

5.1.9 结构面的连续性是指结构面在其走向和倾斜线方向二维

平面上的长短程度,其划分见图 4。

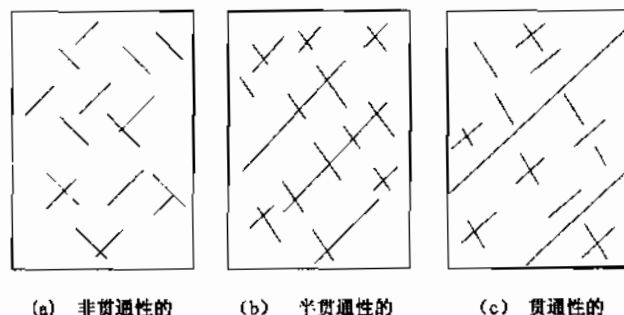


图4 结构面贯通类型

5.1.11 当结构面完全张开时,其抗剪强度取决于充填情况及胶结情况。结构面内夹有软弱物质时,其强度显著降低。据此可将结构面分为硬性结构面和软弱结构面两种。前者结构面两壁结合紧密或无软弱物质充填,后者夹有软弱物质。结构面间常见的充填物质成分有粘土质、砂质、角砾质、钙质、铁质、硅质及石膏沉淀物和含水蚀变矿物等,其相对强度的次序为:

硅质>铁质>钙质>角砾质>砂质>石膏质>含水蚀变矿物>粘土质。

6 劣质岩的鉴定和描述

6.1 一般规定

6.1.1 世界各国工程建设中都遇到了介于土与岩石之间的过渡性岩土体及其引起的工程问题。例如:在瑞士北部,许多超固结粘土沉积物由于修建公路而引起大量边坡失稳;在日本,上第三系泥质沉积物常引起大量滑坡和隧洞变形和破坏;在巴西东南部,修建公路开挖路堑时,硬粘土坍塌引起的工程问题也相当普遍;在希腊,发育于格林斯(Corinthian)、帕特雷湾(Pataikos)和莱昂德(London)盆地的上第三系泥质沉积物常导致滑坡、泥石流的发生;在英国,下第三系伦敦硬粘土滑坡的危害早已闻名于世。在我国,各种类型的工程建设中都遇到了类似问题,例如:南水北调中线工程从陶岔渠首经南阳盆地至宝丰渠段以及邯郸西北部等渠段中新世(N_1)裂隙化泥质沉积物,大型渠道在开挖和运营期间的工程和环境问题;鲁西南隐蔽型煤田巨厚覆盖层中上第三系泥质沉积物在煤矿竖井开挖、运营过程中的大变形问题;北京西客站地铁及地铁九号线军事博物馆—白堆子段建设中也遇到上第三系泥质沉积物及其引起的工程问题;攀枝花市城市建设中频繁发生的昔格达层($N-Q_3$)滑坡问题;石太客运专线(高速铁路)27.8km长的太行山隧道至少有1/3洞段开挖在中奥陶系(O_2)马家沟组及峰峰组分布的,单轴抗压强度小于或等于1MPa的膨胀性角砾状泥灰岩中,成为太行山隧道建设中最重要工程地质问题。

上述问题无一不与劣质岩有关。

以往国内常把第四纪以前形成的沉积物都称为岩石,因此,常导致这些过渡性岩土体的定名与工程性质不协调,与此有关的取样、试验、计算、评价是采用土力学方法还是岩石力学方法也处于

混乱状态。“劣质岩”之“劣”,表现在以下两方面:一是特别软弱,介于岩石和土之间,“似土非土,似岩非岩”;二是物理力学性质不稳定,表现在低强度、崩解性、膨胀性、易溶性、强软化性等。这类岩石或岩体,无论成因、成分和结构,都极为多样,测试和研究均有其特殊性。但这类岩石或岩体的工程意义非常重大,经常是对工程安全和工程设计起控制作用,特别是边坡工程和地下工程。因此,岩土工程师和工程地质学家、岩石力学和土力学家都很重视这方面的研究。这类岩石或岩体叫什么名称,目前尚不统一。1975年D·U·Deere将其称为“软弱岩石”(Weak Rock),1981年在日本举行的“软弱岩石国际会议上,把软岩(Soft Rock)、风化岩(Weathered Rock)和碎裂岩(Fractured Rock)”作为软弱岩石的三种类型,但其内涵和外延与本标准的劣质岩并不完全一致。此外,还有称“复杂岩石”、“半坚硬岩石”、“问题岩石”、“特殊岩石”、“硬土-软岩”等。

软弱岩石的工程性质问题,是D·U·Deere在第五届全美土力学与基础工程会议上提出的,1979年在瑞士举行的第四届国际岩石力学大会上再次强调,1981年在东京举行的软弱岩石国际会议上得到广泛认可。1986年在布宜诺斯艾利斯举行的第五届国际工程地质会议上,将软弱岩石的工程性质列为第二专门议程,1991年在伦敦举行的软弱岩石工程地质会议进一步推动了国际工程地质界的研究。对于性质介于软岩和硬土之间的“硬土/软岩”,1995年和1998年两次专门召开国际会议讨论(Geotechnical Engineering of Hard Soils-Soft Rocks)。对于膨胀岩,1979年瑞士召开膨胀岩岩石力学会议上作为专门问题提出,并成立膨胀岩专门委员会,开展膨胀岩定义、类型、判别、试验、设计等方面的工作。

我国对劣质岩的专门研究始于20世纪70年代,许多专家结合实际工程做了大量工作,研究范围不但涉及东京国际会议上的碎裂岩、风化岩,而且包括了含盐岩、含煤岩系等;研究内容不仅是劣质岩的工程性质,还涉及它们的成分、性状、分布以及成

因和演化规律。我国对膨胀土的研究始于 20 世纪 50 年代末 60 年代初,至 20 世纪 70 年代对建筑地基膨胀土的研究形成热潮,20 世纪 80 年代以后更注意边坡、路堤以及作为填筑材料的研究。当年焦枝铁路、襄渝铁路等经过膨胀土路段,几乎“逢堑必滑,无堤不塌”,在治理膨胀土的过程中,铁路系统的科研人员提出了膨胀土的“三性”,即裂隙性、胀缩性、超固结性,并研究了它们对膨胀土边坡工程问题的控制作用。膨胀岩的大量研究要晚一些,但 20 世纪 90 年代以后,随着一大批中、新生代煤矿软岩巷道的开拓以及新的铁路、公路、水利和油气管道的建设,中国科学院地质研究所、中国矿业大学等单位对膨胀岩做了大量专门研究。曲永新等在国家自然科学基金的资助下系统研究了中国东部泥质岩、北方三趾马红土、上第三系裂隙化硬粘土的不良工程特性及其形成,并提出了中国膨胀岩土一体化工程地质分类方案。

6.1.3 劣质岩的成因多种多样。从岩土工程角度对劣质岩的鉴定和描述,当然主要着眼于岩石或岩体的工程特性,但如果仅仅停留在工程特性的研究上,其认识肯定是肤浅的。只有在对这些特殊岩石或岩体的成分、结构、成因和演化、水岩相互作用深入研究的基础上,开展地质特征和工程特性的鉴定与描述,才能得到科学的结论。

归纳起来,劣质岩的成因有以下 6 种:

- 1 弱胶结、弱成岩的中新生代碎屑岩和泥质岩;
- 2 泥质岩的蜕化作用(Degredation);
- 3 地质构造作用形成的节理化碎裂岩、断层泥、层间剪切带;
- 4 蒸发作用和干旱环境下盐类次生充填作用形成的含盐岩石;
- 5 泥质岩变质作用形成的片岩化、千枚岩化片状岩;热液蚀变形成的髯岭石化、伊利石化、蒙脱石化粘土蚀变岩;
- 6 强烈风化作用形成的风化岩。

6.1.4 国内外现行技术标准均无岩石和土之间的明确分界标准。对我国极软岩无下限,对极硬土无上限,客观上存在“似岩非岩、似土非土”的过渡性岩土。对极软岩,国家标准《工程岩体分级标准》

GB 50218-94 及《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 规定饱和单轴极限抗压强度小于或等于 5.0MPa。国际岩石力学学会规定小于 1.25MPa;ISO14689-2003 规定小于 1.0MPa;DCT25100-2003 规定小于 1.0MPa,均无下限。对于极硬土,ISO14688-2003 规定不排水抗剪强度大于 300kPa(相当于无侧限抗压强度 600kPa)者很高;国际岩石力学学会规定单轴抗压强度大于 300kPa 为极硬土,均无上限。国际上流行将介于岩石和土之间,似土非土、似岩非岩的过渡性岩土称为硬土/软岩(Hard Soils-Soft Rocks)。标准视具体性状有时可称“土”,有时可称“岩”。

表 1 为硬土/软岩的划分标准。

表 1 硬土/软岩的划分标准一览表

名称	划分标准	划分者
硬土	$R_c > 0.1 \text{ MPa}$	Fezaghi & Peck(1967)
极硬的土	$R_c > 0.21 \text{ MPa}$	中国《工程地质手册》(1992)
硬土	$R_c > 0.3 \text{ MPa}$ $E > 50 \text{ MPa}$	C. S. Otco(1993)
岩土分界	$R_c = 1.0 \text{ MPa}$	Bienawsky(1981)
岩土分界	$R_c = 1.0 \text{ MPa}$	曲永新(1986)
岩土分界	$R_c = 3.6 \text{ MPa}$ 浸水强度降低 40%	Morgenstern(1974)
岩土分界	$R_c = 3.6 \text{ MPa}$ 崩解耐久性 90%	Grainger(1981)
硬土 或软岩	$0.6 \text{ MPa} < R_c < 2.0 \text{ MPa}$ $2.0 \text{ MPa} < R_c < 6.0 \text{ MPa}$	E. Maranha des Neve(1993)
极硬土 或软岩	$R_c > 0.3 \text{ MPa}$ $R_c < 1.25 \text{ MPa}$	国际岩石力学学会(1981)
极硬土 或软岩	$R_c > 0.3 \text{ MPa}$ $R_c < 1.25 \text{ MPa}$	英国标准 BS 5930(1981)
极软岩	$R_c < 5 \text{ MPa}$	中国《工程岩体分级标准》
极软岩	$1.5 \text{ MPa} < R_c < 5 \text{ MPa}$	Deere(1986)
软岩	$1.25 \text{ MPa} < R_c < 5 \text{ MPa}$	伦敦地质学会(1977)
软岩	$1.5 \text{ MPa} < R_c < 15 \text{ MPa}$	国际工程地质学会(1979)
极软岩	$2 \text{ MPa} < R_c < 6 \text{ MPa}$	Rochat(1977)
硬土 或极软岩	$0.6 \text{ MPa} < R_c < 1.25 \text{ MPa}$ $R_c > 0.3 \text{ MPa}$	Anon(1977)

注:1 R_c 为岩石的饱和单轴抗压强度。

2 本表由张永双、曲永新整理、汇总

6.2 极软岩和膨胀岩

6.2.1 因环境湿度变化而发生的随含水量增加体积膨胀的岩石称为膨胀岩,与含水量变化无关的塑性挤出、底鼓和扩容的岩石不属于膨胀岩。

对极软岩和膨胀岩时代、成因进行鉴定,主要基于以下考虑:

- 1 沉积年代对成岩胶结作用的影响;
- 2 沉积环境对成岩胶结作用的影响;
- 3 表生脱化作用和热液蚀变作用对工程特性的影响。

“似岩非岩,似土非土”的土岩过渡类型在我国分布很广,其成因一种是时代新,一般为上第三纪,成岩胶结作用弱;另一种虽时代较老,母岩强度较高,但经过卸荷风化而脱化。前者据曲永新研究,在我国黄土高原和内蒙高原的上新世(N_2)三趾马红土,系炎热干旱环境下形成,强度较高,单轴极限抗压强度达 0.8~1.0MPa;而华北盆地、苏北盆地、南阳盆地的下草湾组灰绿色粘土沉积(N_1),含蒙脱石高,单轴极限抗压强度约 0.4~0.5MPa,且有较高的膨胀势;在云南省的蒙自、曲靖、昭通、开远、红河、玉溪、潞西、弥勒等上新世沉积盆地分布的泥质和泥灰质沉积层均属此种过渡类型岩土。此外,西南的普格达组岩质松软,性质复杂,工程事故较多。

泥质岩富含粘土矿物,特别是膨胀性粘土矿物,因此,泥质岩强度低、变形大、崩解耐久性差,易于膨胀,属于典型的对工程不利的岩石。但泥质岩时代新老不同,成岩程度高低不同,工程性质有很大差别。一般情况下,时代较老,随着成岩作用的增加,含水量减小,密度提高,强度、模量和崩解的耐久性都随之增高。中国东部古生代泥岩单轴抗压强度达 15~35MPa,而中、新生代地层则明显降低,上新世泥质沉积物含水量达 20%~30%,无侧限强度仅 0.45~1.25MPa,处于硬粘土和极软岩之间。弱胶结泥质岩的

成岩作用主要是固结作用。此外,在强氧化条件下形成的泥质沉积物常有铁质胶结作用,在强还原条件下常有机质胶结作用;下古生界泥质岩在温度和压力作用下,不仅岩石固结程度高,而且发生了粘土矿物的再结晶作用,使泥质岩工程性质发生较大变化。

泥质岩的脱化作用(Degredation)是使岩石劣化的重要原因。脱化作用是指由于剥蚀、侵蚀和卸荷风化作用引起的泥质岩工程性质的脱化,表现在强度降低,崩解性和膨胀性增强。这种作用不仅发生在埋深数米、十数米的浅表层和古风化壳中,甚至埋深在数十米、上百米的泥质岩也有显现。广西南昆铁路百色、田东盆地所谓的“膨胀岩”边坡实际上是下第三系泥岩脱化后的产物。

据华遵孟等报导:兰州地区第三系和白垩系地层中,有泥岩、砂岩、砂砾岩,泥质和铁质胶结,岩芯不能成柱状,浅部手可捻碎,强度差别较大。载荷试验表明,软化系数只有 0.1~0.3,浸水附加沉降不超过 0.5mm,不具湿陷性。地基承载力一般取 500~700kPa,变形模量取 400~800MPa。兰州地区极硬土/极较岩主要特征指标见表 2。

表 2 兰州地区极硬土/极软岩主要特性指标

工程名称	时代及岩性	天然含水率 (%)	吸水率 (%)	内摩擦角 (°)	粘聚力 (kPa)	极限抗压强度 (kPa)	
						天然	饱和
兰州工区中心	第三纪细砂岩 (强风化)	8~20 平均 12		33~42 平均 40	60~330 平均 170	490~900 平均 715	200~500 平均 306
兰州 I 区中心	第三纪细砂岩 (中风化)	8~12 平均 10		37~46 平均 41	100~430 平均 214	700~2200 平均 1505	100~1050 平均 724
石化综合办公楼	第三纪砂质页岩	6~9	18~21	36~38	620~920	5000~5000	
可口煤矿	白垩纪页岩		18~21	30~38	1800~3500	1600~5600	2000~3000
可口煤矿	白垩纪粘土岩		8.18			1000	200

注:本表摘自《西北勘察技术》1994 年第 3 期。

南京地区建筑地基基础设计规范》DB 32/112—95 将天然单轴极限抗压强度 5~30MPa 定为软岩,小于 5MPa 定为极软岩。

白垩纪、侏罗纪的泥岩、泥质砂岩主要特性指标见表3。

表3 泥岩、泥质砂岩主要特性指标

岩石名称 指 标	泥 岩	泥质砂岩
天然密度(g/cm ³)	2.2~2.4	2.3~2.5
天然弹性模量(MPa)	100~400	300~1000
软化系数	0.1~0.3	0.3~0.6
粘聚力(MPa)	0.1~0.5	0.5~0.9
内摩擦角(°)	30~40	35~52
天然抗压强度(MPa)	1.5~5.0	8.0~15.0
纵波波速(m/s)	2100~2500	2300~2900
横波波速(m/s)	500~700	600~1000

由表3可知,泥岩应划为极软岩,泥质砂岩应划为软岩,均不属于“极硬土/极软岩”。

顾宝和收集了若干极软岩、极硬土/极软岩、残积土的载荷试验资料(当时均未做单轴抗压强度)摘录如下:

邯郸水泥厂石炭、二叠系风化砂质页岩,手可折断,用镐可挖掘。风干后,分解成了3~10cm表面较平整的碎块。天然含水量4.8%~8.1%,孔隙度18.0%~22.6%,载荷试验最大荷载0.8MPa,未出现拐点,变形模量 $E_{0.1-2}=21.0\text{MPa}$, $E_{0.2-8}=35.0\text{MPa}$,应属于极软岩。石炭二叠系紫色风化泥岩,用手可折断,用镐可挖掘,裂隙弯曲,发育,水中崩解快,开挖数日后分裂成球状,贝壳状碎块,直径1~5cm。天然含水量4.8%~5.1%,孔隙度14%~16%。载荷试验加荷至0.8MPa,未出现拐点。荷载0.1~0.3MPa阶段,变形模量23~34MPa;荷载0.3~0.8MPa阶段,变形模量35~65MPa,浸水与不浸水差别不大。

内蒙卓资山上第三系红土,天然含水量15.1%~18.7%,孔隙比0.405~0.527,塑性指数17,液性指数小于0。载荷试验加

荷至0.9MPa,呈直线,无拐点,变形模量24.8~36.9MPa。

上述这些泥质岩,载荷试验结果承载力都相当高,加荷至0.8MPa左右呈直线,未出现拐点。因此对于泥质岩,在基坑开挖采取防风化措施的前提下,作为一般建筑物地基的承载力可提供经验值,重型建筑物应做载荷试验。作为边坡和地下洞室的围岩,则应特别注意。

泥质岩的应力、应变特性有自己的特点,据许宝田等对南京长江二桥地基(未说明时代)的研究,泥质岩裂隙发育,失水干裂,浸水软化崩解,岩样重度 23.9kN/m^3 ,含水量6%~8%,泥质岩天然单轴抗压强度1.86~4.68MPa。刚度和强度均随侧压增加而增加,破坏压力和弹性模量均随侧压线性增长,低围压时脆性破坏,高围压时塑性破坏。

泥质岩的应力应变发展可分为四个阶段:

- 1 裂隙闭合阶段,孔隙压密,曲线呈上凹形态;
- 2 弹性变形阶段,应力应变呈线性;
- 3 微裂隙扩大阶段,曲线为下凹形态,呈双曲线;
- 4 微裂隙贯通,达峰值强度,塑性变形,破坏。

影响泥岩工程特性的主要因素:一是含水量,它对强度、模量、风化崩解有着重要影响;二是蒙脱石含量,它影响强度、模量,特别是膨胀性;三是层理、页理、劈理等结构面,造成高度各向异性,结构面性状和密度成为影响泥岩工程特性的主要因素。

在工程建设中,泥质岩的主要问题:一是强度低,边坡易失稳,尤其是膨胀性泥岩;二是有流变性,泥岩巷道,尤其是深埋巷道,常发生三大变形,持续变形和“四面来压”,巷道越深,变形越大,支护越困难。何满潮提出了“软岩软化临界荷载”和“软化临界深度”的概念,即超过了临界荷载或临界深度,软岩将发生大变形、大地压,巷道难以支护。

保有天然含水量的完整泥质岩,在天然状态下完整而坚固,但在工程暴露后,会因风干失水,而体积收缩、裂隙扩大,遇水后崩解

成泥状和碎块状。因此,边坡工程、地基工程和地下工程开挖后如不及时对泥质岩进行封闭,会因泥质岩体积膨胀和强度衰减或风化剥落而导致工程事故的发生。

6.2.2 现有标准均是以岩石的饱和单轴抗压强度为判别依据,且以往我国绝大部分测试数据均是天然湿度的测试结果,本标准以天然湿度单轴抗压强度为依据。理由是岩土工程评价和设计时,软岩和极软岩最为重要,常常是工程稳定的控制性因素。但软岩和极软岩易风干,浸水后一般呈不稳定状态,产生崩解、膨胀或沿裂隙面开裂,在侧向无约束的条件下抗压强度极低,甚至根本无法进行试验。如像原状土那样,取样后蜡封,保持天然湿度,再进行抗压强度试验,取得的指标,直接反映天然状态的岩石强度,是一项非常有用的指标,用以划分岩石坚硬程度比较合理。且土的无侧限抗压强度用的也是天然湿度原状土,可使土和岩石软硬程度的划分统一起来。

岩石的饱和单轴抗压强度仍需测定,也是一项有用指标。建议将“软化系数”的定义改为“岩石饱和单轴抗压强度与天然湿度单轴抗压强度的比值”。考虑到对于硬质岩石天然湿度单轴抗压强度与风干含水量单轴抗压强度差别极小,取样后蜡封并非必要,故可规定“对天然湿度小于2%的硬质岩石,可用风干状态岩石单轴抗压强度代替天然湿度单轴抗压强度”。

泥质岩中的粘土矿物,如高岭石、埃洛石、伊利石、蒙脱石及其混层矿物等,具有不同的晶格结构特征,不同的比表面积,不同的吸附特性,其物理化学活性和吸水能力差别很大,是泥质岩变形、强度性质及崩解、膨胀性质等工程性质较差的内在因素,因此,在重大工程或岩石性质复杂时,应进行粘土矿物分析。粘土矿物分析最基本、最常用的方法为对小于0.002mm粒级的提纯样品进行X射线衍射分析。由于蒙脱石对有机染料次甲基蓝具有选择吸附特性,因此,可据此原理进行泥质岩有效蒙脱石含量测定。该方法具有简单、快速、经济的特点。

6.2.3 关于膨胀岩的类型,国际岩石力学协会膨胀岩委员会将其分为以下几种:

- 1 泥质膨胀岩;
- 2 含硬石膏、无水芒硝类膨胀岩;
- 3 断层泥类膨胀岩;
- 4 含黄铁矿等硫化矿物膨胀岩。

曲永新将我国膨胀岩的成因类型分为:

- 1 沉积型泥质膨胀岩(我国北方最老的膨胀岩为上二叠统,南方为中泥盆统。我国最主要的膨胀性地层为上侏罗统、白垩系、下第三系、上第三系地层);
- 2 蒙脱石化等粘土化蚀变岩类膨胀岩(低温热液中小型中基性侵入体易于形成);
- 3 蒙脱石化凝灰岩类膨胀岩(即沉积在水盆地中形成的蚀变凝灰岩);
- 4 断层泥类膨胀岩;
- 5 含硬石膏、无水芒硝类膨胀岩(含黄铁矿等硫化矿的岩石,只在黄铁矿呈分散状态时才会发生氧化水解而产生体积膨胀)。

6.2.4 研究表明,膨胀岩土的活性、膨胀、崩解等性质与干燥失水程度有密切关系。未经扰动和未失水的膨胀性泥岩在水中可长期保持天然性状而不发生崩解,但随着干燥失水程度增加,膨胀和崩解特性强烈显现。阴干后的样品与天然湿度样品相比,膨胀力和膨胀变形量增大5~10倍,这就是干燥活化效应。

为了识别膨胀岩和估计膨胀性的强弱,测定蒙脱石含量是十分重要的,但目前一般工程勘察单位难以完成。为了寻找快速简便的判别指标,国际岩石力学学会于1994年提出了一个现场快速判别方法,但没有定量判别指标。曲永新在研究泥质岩成岩胶结与干燥活化作用的基础上,提出了泥质岩膨胀势的“不规则岩块干燥饱和和吸水率判别方法”。该方法简单、快捷。干燥岩块在水中吸水膨胀、崩解破坏现象和岩块干燥饱和吸水率大小,是泥质岩粘土

矿物组成和成岩胶结作用的综合反映。经全国 20 多个省市,不同地质时 2000 千多个样品的试验,提出了表 6.2.4 的判别指标,并已在煤矿、铁路、公路、水利等部工程中广泛应用。

6.2.5 泥质岩有无膨胀性以及膨胀性的强弱,通常是由蒙脱石及其中高混层比的混层矿物的含量控制。纯蒙脱石的比表面积为 $810\text{m}^2/\text{g}$,伊利石为 $67\sim 100\text{m}^2/\text{g}$,高岭石为 $7\sim 30\text{m}^2/\text{g}$ 。据曲永新研究,弱胶结泥质膨胀岩与非膨胀岩之间的蒙脱石临界含量为 10% 左右,随着有效蒙脱石含量增高,膨胀势显著增大。

粘土和泥质岩的膨胀有两类:一类是粒间膨胀,由静电吸水产生,为一般粘土矿物共有,通常不会发生什么大的工程问题;另一类是膨胀性粘土矿物的晶格膨胀,吸水后,水作为晶格的一部分进入矿物晶层,产生很大的膨胀力和膨胀量。在各类粘土矿物中,以钠蒙脱石膨胀性为最强,但膨胀速度缓慢。

蒙脱石在富镁和微碱性水环境下易于生成,富钾环境有利于伊利石的生成,酸性环境有利于埃洛石和高岭石的生成。因此,中基性岩石有利于蒙脱石生成。水盆地中火山灰的蚀变、中小型侵入体和超浅成侵入体低温热液蚀变,在富镁的水环境下,均可产生蒙脱石化。在干热的低纬度地带易于蒙脱石的富集,在湿热的南方,浅表层虽然红土化程度高并有大量高岭石形成,但强风化层的中下部仍可能大量形成蒙脱石。

除了蒙脱石含量这个重要因素外,粘土岩的成岩胶结作用也很重要。成岩胶结包括胶结物的胶结作用和温度、压力作用下矿物重结晶作用,蒙脱石向伊利石转化。在这两种作用下,泥质岩不仅密度和强度得到提高,且可使膨胀性弱化或丧失。胶结的强弱不仅取决于胶结物的成分、含量和存在形式(晶质、非晶质),而且与粘土矿物的活性有关,高岭石、伊利石活性弱,胶结强;蒙脱石活性强,胶结弱。曲永新建议用成岩胶结系数,即小于 0.5mm 粒级的岩粉吸水率和岩块干燥饱和吸水率的比值来表示:1~2 为弱胶结,2~5 为中等胶结;5~10 为强胶结;大于 10 为极强胶结。胶

结系数越大,强度越高,水稳定性越强。

6.2.8 膨胀岩土的不良工程特性对工程所造成的影响主要表现在以下方面:

- 1 地基、路基胀缩变形,破坏轻型建筑;
- 2 裂隙性和强度衰减导致边坡失稳;
- 3 高膨胀力导致挡土结构变形和破坏;
- 4 裂隙性、强度衰减和高膨胀力导致矿井、隧洞变形、破坏;
- 5 膨胀岩土填料导致堤坝和高路堤碾压夯筑不实、强烈变形、失稳;地坪开裂、破坏建筑物。

例如云南小龙潭电站,三叠系及第三系粘土岩及粘土,自由膨胀率为 47%~80%,天然湿度载荷试验的承载力为浸水的 3 倍,天然边坡坡度不大于 10° 。再如南昆线膨胀岩,蒙脱石含量为 50%,放坡 1 比 5 仍不稳,极易产生滑坡,基坑较深时很难支护。

6.3 断层岩

6.3.1 断层岩是在断裂构造作用下产生的呈带状分布的不同破碎程度的岩石,是机械破坏、热动力作用和水岩相互作用的综合产物。断层带规模大小不一,区域性大断层的规模长度达数百公里,宽数百米,小断层的宽度仅 10cm 左右。断层带碎裂岩的特征不仅是强烈的破碎和各向异性,而且因强烈构造碾磨、剪切变形、热液和地下水的参与而发生矿物成分的转化,形成断层泥,使原岩强度大大削弱,变形量增大,透水性、吸水性显著变化,成为工程地质和岩土工程主要问题。

断层岩的最显著特点是延展性、分带性和碎裂化,最常见的断层岩类型是断层泥、糜棱岩、断层角砾岩、碎裂岩等。

层间剪切带在性质上属于顺层断裂,是伴生岩层褶皱作用产生的。层内剪切带的厚度分带性和性状受岩层组合、褶皱程度、原岩层性质及上覆岩层厚度所控制。

火成岩侵入体形成时,常对围岩产生挤压和剪切破坏,后期的

构造活动常常使软弱破碎带产生构造破碎。因此,按工程地质学的观点,应从成因和性质上把这类带归为断层岩。

在 20 世纪 80 年代以前,层间剪切带被工程地质界称为软弱夹层。通过对长江葛洲坝和其他大型水电工程软弱夹层的深入研究发现,所谓的软弱夹层就是层间剪切带。层间剪切带通常是软硬相间或硬层夹软层的岩层组合成层状岩体,在岩层褶皱的同时发生层间剪切作用,在软层的上下界面或软层内部形成主滑面控制的层间剪切带。当软岩层的厚度较大时,可形成劈理带、节理带等分带现象。劈理频度大小取决于原岩性质,原岩性质越软,频度越高,性状越差。若软层母岩为脆性岩石,则剪切带内岩石发生脆性破坏,形成角砾状层间剪切带。主滑面形态受原生界面控制,因而,有平面光滑型、波状起伏型,前者是剪切带强度最低的界面。在河谷两岸和斜坡坡脚部位分布的层间剪切带,由于坡脚部位局部应力集中和斜坡卸荷、地下水强烈作用,常常形成泥化夹层。低倾角的泥化夹层往往影响坝基的抗滑稳定性。顺坡向分布的层间剪切带常常是边坡滑动的控制性地质因素。

断层角砾岩、断层泥和作为层间剪切带的软弱夹层,最突出的特点是强烈的各向异性,边坡和地下开挖极易沿剪切带破坏,地下水沿剪切带渗流,对工程设计、施工和事故的防范极为重要,故专列一节。火成岩侵入体挤压形成的围岩碎裂,各向异性不如上面的明显,但如有蒙脱石化作用和构造剪切作用发生,使岩体力学性质恶化,应予以注意。

层间剪切带的鉴定,应与褶皱构造和工程地质岩组划分相结合,查明其分布与岩层组合关系、与原生软层的关系、与岩层褶皱程度的关系,剪切带构造破坏形式与工程性状的关系,泥化夹层的分布与卸荷带和地下水的关系。

6.3.2 断层岩的空间分布有不同的分带模式,其中之一是四分模式,即断层泥带、劈理带、节理带和原岩。但实际上,受地质、力学环境和多期断裂活动影响,各带重叠交叉,极为复杂。断层泥塑流

可挤入距主断裂数米的裂隙中。

断层泥在断层带的分布形式有全泥型,单面充泥型(对称、不对称);双面充泥型(中间夹角砾),复杂充泥型(多层泥、不规则)。断层泥中常夹有母岩的“磨砾”。

6.3.5 断层泥富含粘土矿物,是“构造粘土”,有密集的、定向分布的鳞片状剪切构造和明显的各向异性。断层泥新开挖时呈坚硬或硬塑状态,卸荷松弛后因含水量明显增高而软化。断层泥还有明显的流变特性,是工程上最需重视的薄弱环节。

6.4 片状变质岩和粘土化蚀变岩

6.4.1、6.4.2 “片状变质岩”是指高度片理化、面理化,富含片状变质矿物的云母片岩、绿泥石片岩、滑石片岩及部分千枚岩、板岩等易于剥裂、变形、风化的变质岩。这类岩石最显著的特点是高度各向异性,沿片理、面理,强度很低,浅表层分布的片状岩易风化剥落,极易失稳,故列入“劣质岩”。

片状变质岩产生在区域变质带或造山带中。区域变质作用范围大,片状变质岩是其中最常见岩石之一。区域变质带中的片麻岩及混合岩,发育条带状的片麻理,因石英、长石含量高,各向异性相对不十分显著,故不列入劣质岩。板岩、千枚岩和片岩由绢云母(白云母)、黑云母、金云母等片状矿物组成,各向异性十分显著,在浅表层极易开裂或松弛,性质恶化,其中,浅变质板岩的原岩一般是泥岩或页岩,地表开挖极易开裂成板状。千枚岩的原岩与板岩类似,片理面上分布有具有强烈丝绢光泽的绢云母,也极易开裂和变形。以云母(包括绢云母、白云母、黑云母、金云母)、绿泥石、滑石等矿物成分为主构成的云母片岩、滑石片岩、绿泥石片岩等变质岩,片理面光滑,强度很低,是工程特性最“劣”的一种变质岩。至于千枚岩、板岩是否列入劣质岩,则视其风化程度和工程类型而定。

中、基性岩浆侵入和中低温热液矿床形成过程中的热液活动,

引起火成岩本身或围岩化学及矿物成分变化,形成蚀变岩。蚀变作用和蚀变岩类型多种多样,然而,对岩石工程性质变化来说,最重要的是蒙脱石化、高岭石化、伊利石化、绿泥石化的等粘土化蚀变岩,特别是蒙脱石化蚀变岩。

6.4.3 蒙脱石化蚀变作用形成的蚀变岩有多种情况,举例如下:

1 与中基性侵入岩有关的热液蚀变。

超浅层侵入体或中小型侵入体在侵入过程中的残余热液和挥发分,与围岩交代而发生蚀变,造成内外接触带化学、矿物的变化,如矽卡岩化、绢云母化、绿泥石化、高岭石化、蒙脱石化等。蚀变作用使坚硬稳定的岩浆岩变成性状各异的软弱岩石。由于侵入体成分的不同和围岩成分的不同,形成的粘土化蚀变岩也多种多样,而其中蒙脱石化形成的蚀变岩性质最差,最应注意,在地面和地下开挖条件下,在地下水的作用下产生强烈的膨胀变形和强度衰减。产生蒙脱石化的条件,一是侵入体或围岩中镁的含量高,如中基性岩的侵入体,白云岩、白云质灰岩构成的围岩,二是存在热液或地下热水作用。

2 蒙脱石化凝灰岩。

在火山喷发活动中,随火山灰的沉积环境不同其矿物化学稳定性是不同的。沉积在湖沼和海岸环境中的火山灰通常蚀变形成蒙脱石化凝灰岩或软质凝灰岩。蒙脱石含量很高时形成有工业价值的膨润土矿。多数情况蒙脱石含量虽然小于等于50%,但因强度很低,干燥活化特性显著,对边坡和地下工程造成严重危害。沉积在非水体上的凝灰岩,因蚀变而不具上述不良工程特性,不属于劣质岩。

3 蒙脱石化砂岩。

砂岩通常稳定而坚硬,但也有的砂岩成岩后因地下水中富镁长石蚀变,形成蒙脱石化砂岩。山西某工程钻探发现,三叠系二马营组砂岩岩芯完整,但强度不足10MPa,风干后在水中发生强烈崩解现象,岩块干燥饱和吸水率高达17.0%~22.6%,长石碎屑

已蒙脱石化。

4 玄武岩蚀变。

玄武岩、辉绿岩的蚀变(绿泥石化、蒙脱石化)现象并不罕见,如沈北矿区、山东三山岛金矿、抚顺西露天矿、大冶铁矿普遍有分布。但二滩水电站在峨眉山玄武岩中开挖平洞时发现一种不良岩体,质软、光滑、劈理发育、擦痕明显,张性裂隙内有暗绿色充填物,曲永新分析研究表明,这是富镁的玄武岩浆在成岩过程中在残余热液作用下自变质作用的产物,即玄武岩中的斜长石变成透闪石,辉石透闪石化和绿泥石化,并伴有滑石、绿泥石的裂隙充实作用。滑感来自滑石的影响,同时,卸荷裂隙中地下水的作用形成了皂石化泥化膜。这种蚀变虽然少见,但有很大的理论意义和实际意义。有的研究者认为,二滩蚀变破碎软弱带是正长岩体侵入挤压,使围岩玄武岩破碎,热液侵入产生蚀变的结果。该软弱带蚀变程度不一,向围岩过渡,无明确分界,呈块裂和碎裂状,节理杂乱,含大量绿泥石、滑石、皂石、阳起石等,三向都有很高的地应力,最大达30~40MPa,天然状态紧密,开挖后极易松弛,形成发育的松动圈,且有减速流变效应。对该类岩体,关键是保持原围压,保持天然结构,严格控震爆破,快速封闭。

6.5 含盐岩

6.5.1 当岩石中的 NaCl 、 Na_2SO_4 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 CaSO_4 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等易溶盐、中溶盐含量超过总质量的50%时,应分别定名为岩盐、硬石膏、石膏、无水芒硝、芒硝或其他相应的岩石名称。岩盐、石膏、硬石膏、芒硝、无水芒硝等盐类矿物,是在干旱气候环境下,在海湾、泻湖或内陆盆地中形成的,此外,在干旱区还有裂隙充填型。除呈层状、厚层状外,还有呈分散状、团块状、薄层状、透镜状、脉状等分布的岩盐、石膏、芒硝、无水芒硝等中溶盐、易溶盐矿物。当砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩中盐的含量超过0.5%时,可能对工程造成不利影响。因此,这里所述的含盐岩石,既包括与

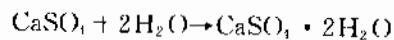
白云岩、泥灰岩等共生的含盐岩,也包括盐类矿物充填在裂隙或空洞中的次生充填含盐岩石。

以上氯化盐和硫酸盐都属于强溶解性和中溶解性盐类,对工程的危害主要是:

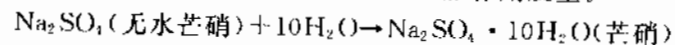
- 1 对金属材料、混凝土材料等的腐蚀性;
- 2 易溶盐和中溶盐的溶陷变形;
- 3 无水硫酸盐的吸水膨胀性(盐胀性);
- 4 对环境水的污染。

易溶岩、中溶岩在我国分布很广,在地质时代上从元古界到第四系,地域上从西部边疆到东部沿海均有分布。如上元古界宜宾灯影组的石膏、硬石膏;下寒武统重庆永川、江津清虚洞组的岩盐;中、下三迭系南充凹陷、威西凹陷、成都凹陷的岩盐、硬石膏,奉节、巫山和石柱盆地的石膏;湖北、湖南白垩系、第三系的石膏、硬石膏、芒硝等。

6.5.2 易溶盐和中溶盐类的问题首先是溶蚀性,由于溶蚀而产生孔洞,威胁场地和建(构)筑物地基的稳定。与石灰岩地区的溶蚀不同;其溶蚀性在工程使用期内还会发展。溶蚀还会导致地基、坝基渗漏和溶陷,造成工程失稳。此外,硫酸盐的膨胀性或称盐胀性也不容忽视。下面以硬石膏为例,对这个问题做些说明:



硬石膏吸水变成石膏,体积增加 61%,地下开挖、岩体松动、地下水渗流、气态水的作用将导致吸水膨胀作用发生。



无水芒硝吸水变成芒硝,产生的膨胀更为严重。无水芒硝的溶解度在 32.4℃ 时最高,32.4℃ 以下随温度降低,溶解度迅速降低,并伴随大量芒硝晶体的形成,即吸水膨胀,使体积增至原体积的 3.1 倍,密度由原来的 2.68 降至 1.48。芒硝含量 0.5% 时,体积便会显著膨胀,土体松散,且反复性很强,对工程危害很大,对混凝土材料具有强烈腐蚀性。

6.5.3 易溶岩的危害主要是:溶陷作用、膨胀作用、腐蚀作用和污染影响。例如,成昆铁路百家岭隧道遇到的嘉陵江组硬石膏岩,路基、边墙、拱顶衬砌均发生膨胀变形,溶蚀坍塌,强烈腐蚀。20 世纪 60 年代,天山南麓戈壁滩上的哈密某机场因场道下、地基中有大量无水芒硝等盐类分布,冬季引起盐胀变形,夏季则产生溶陷变形,建筑墙体严重腐蚀,导致工程无法使用。再如敦煌机场跑道,地基以山前粗粒土为主,浅层含盐量平均 0.75%,最高达 3.1%,砂砾层底和粉土层顶富集芒硝和石膏,厚 10cm,无水芒硝膨胀变形造成跑道路面破坏,该工程始建于 1982 年,1984 年开始鼓胀,多次翻修无效,2000 年重建时进行了系统研究,发现芒硝的反复性很强,石膏较弱,跑道的道面覆盖减少了蒸发和水分聚集,提供了水源,助长了路基的鼓胀,重建时采用换填措施,做土工膜隔离层,切断水源,解决了跑道路基的盐胀问题。

6.6 疏松岩

6.6.1 贝壳岩、硅藻岩、珊瑚等生物化学沉积岩因形成的年代短,结构极为疏松,强度很低,性质很不稳定,是一类很特殊的劣质岩。应仔细描述、鉴定,结合工程要求进行专门研究。

以珊瑚为例,据调查,南海珊瑚礁可分为下列 4 带:

- 1 外礁坪冲刷带:半成岩,结构性好,标准贯入锤击数大于 70;
- 2 中礁坪堆积带:珊瑚藻粘结、包裹,胶结程度不一,标准贯入锤击数 40~65;
- 3 内礁坪生长带:胶结弱,标准贯入锤击数 25~40;
- 4 泻湖:生物碎屑,基本无胶结,标准贯入锤击数 6~20,也称钙质砂。特点是:孔隙比高,内摩擦角较大,低应力下剪胀,高应力下剪缩,易压碎,压缩回弹极小。

在内蒙古东部、辽宁、吉林一些中新生界陆相地层中,常分布有未胶结和弱胶结的疏松砂岩。饱和的疏松砂岩在地下开挖中,常

产生溃砂工程问题。

在含石膏沉积盆地的浅表部,因石膏的溶蚀也可形成疏松砂岩。

6.7 风 化 岩

6.7.2 风化作用包括物理风化、化学风化和生物风化,是在表生地质环境下母岩成分、结构、性质发生蜕化的地质过程,使坚硬完整的母岩变松、变软、变碎,形成劣质岩。风化岩的性状极为多样,随母岩成分、气候环境和风化程度而异。在亚热带的我国东南沿海花岗岩分布地区,全、强风化带常常在暴雨作用下发生滑坡、泥石流地质灾害。

风化作用分为物理风化、化学风化和生物风化,由于生物风化也是物理和化学过程,故仅对物理风化和化学风化做一简单说明:

物理风化包括:

1 干湿作用:泥岩、页岩,尤其是膨胀岩等,失水下裂,浸水膨胀、崩解,在地面水流作用下导致水土流失;

2 冷热作用:各向异性显著的岩石(如页岩、板岩、片岩)和斑状花岗岩易在热胀冷缩作用下产生岩石变松和开裂,在高山和极高山区,寒冻风化作用十分强烈;

3 冻融作用:水冻结的膨胀率为0.09,裂隙岩石、孔隙岩石中水冻结融化导致岩石变松和破碎,因此可以用吸水率大小来评价冻胀性危害。

化学风化包括:

1 溶解作用:溶于水中的 CO_2 形成 HCO_3^- ,溶解碳酸盐岩石,尤其热带、亚热带湿润区不仅降雨量高,而且大气降水呈弱酸性,对碳酸盐岩的溶蚀作用比温带强烈很多。随着当今世界 CO_2 、 SO_2 等气体排放量的急剧增加,雨水的酸化作用普遍发生,现今工业化国家雨水溶解作用明显加剧。

2 水化作用:如硬石膏水化为石膏,体积增61%,产生膨胀

力。

3 水解作用:常与水化、碳酸盐化同时进行,如水解导致硅酸盐岩中的Na、K、Ca、Mg淋失,使长石,尤其是斜长石转化为高岭石、埃洛石。

4 氧化作用:工程开挖、岩石裸露导致岩石氧化,常与水化作用伴生,使 Fe^{2+} 转化为高价铁的氧化物或氢氧化物,使硫化物和有机化合物分解。

关于母岩成分的影响,表生地质环境下生成的碎屑岩、泥质岩、化学沉积岩,一般风化时化学成分和矿物成分的改变不显著;各种粗结晶岩(岩浆岩、变质岩)由于不同矿物成分抗风化能力各异,导致风化过程中不同矿物的差异风化。如我国广东、福建一带的二长花岗岩,在全风化带斜长石全部成为埃洛石、高岭石等粘土矿物,石英不风化,正长石、黑云母弱风化,形成的风化岩表现为高透水性、高内摩擦角、低粘聚力。由于不同岩石的抗风化能力不同,故同一地区的岩石其风化程度和风化岩的厚度差别很大,例如,花岗岩中的辉绿岩脉可形成很深的风化沟槽,而石英岩脉、正长石岩脉往往不易风化而形成岩墙,使岩体强度极不均匀。

气候环境的控制作用也称纬度效应,地处亚热带,尤其南亚带的我国南方化学风化远比北方强烈,风化岩和残积土的厚度远比北方大。断裂构造的控制作用也很明显,断层带和节理密集带可形成很深很厚的风化槽,即使小规模的节理也会使两侧强烈风化。花岗岩的“球状风化”现象就是沿节理切割风化的结果。

除了第四纪风化壳外,还有古风化壳。按风化壳的出露条件,分为裸露型风化壳和埋藏型风化壳。深埋的古风化壳对地下工程的影响很大,应予注意。

6.7.3 一般风化岩位于岩体的顶部,上覆残积土及其他第四系沉积物,下接新鲜岩石。风化程度大体上由深而浅加剧,因此可将风化壳按风化程度分级(分带)。风化岩的特点是成分、结构、性质极不均匀,分布很不规律,勘探、测试和评价都有相当难度。按风化

程度分级(分带)是简易而实用的方法。但应注意,不同风化分带之间是逐渐过渡的,并无明确界限,且常有交叉、穿插的复杂变化。

6.7.4 对风化岩进行分析评价时主要存在两个方面的困难:一是岩性空间分布的极不均匀性,如花岗岩中的辉绿岩脉形成风化沟槽,石英岩脉形成“岩墙”,使岩体强度极不均匀;二是工程特性指标难以准确测定。故强调加强野外描述和原位测试。由于钻探对岩芯的扰动和代表性不强,故应注意天然露头、人工露头的描述和开挖探井、探槽鉴定。

作为建筑地基,风化岩的承载力还是不低的。如秦皇岛花岗岩残积土,筛分结果为中粗砂,天然含水量 $12.9\% \sim 15.1\%$,天然孔隙比 $0.59 \sim 0.72$,载荷试验加载至 0.5MPa ,呈直线,未出现拐点,天然含水量的变形模量为 $13.7 \sim 17.3\text{MPa}$,浸水状态为 $5.4 \sim 7.3\text{MPa}$,降低幅度很大。再如山东南墅石墨矿太古代片麻岩,全风化~强风化带,未扰动时为整体状,镐可挖动,手可捻成片。挖开暴露后浸水崩解,呈土状或碎块状。天然含水量 $7.1\% \sim 18.8\%$,孔隙比 $0.30 \sim 0.80$ (平均 0.48),载荷试验加荷至 0.8MPa ,成直线,无拐点,变形模量 $19.6 \sim 40.0\text{MPa}$,浸水影响不大。柬埔寨某水泥厂石灰、二叠系砂岩,全风化成土状,含少量岩块,局部有铁质结核,稍湿至湿,天然含水量 $5.8\% \sim 12.1\%$,孔隙比 $0.12 \sim 0.58$,平均 0.30 ,载荷试验加荷至 $0.4 \sim 0.42\text{MPa}$,均未出现拐点,变形模量为 $19.1 \sim 35.2\text{MPa}$ 。

香港地处亚热带热湿气候区,花岗岩风化层厚达百米,全风化和强风化带厚 $30 \sim 40\text{m}$ 。暴雨入渗时,基质吸力丧失,强度急剧降低,常导致浅层滑坡和泥石流的发生,香港称之为“山泥倾泻”,往往造成严重的人员伤亡和经济损失。经多年研究,探索出一套斜坡整治技术措施和安全管制制度,使边坡失稳得以有效控制。

古风化壳可以北京西山为例,二叠系硬绿泥石板岩,风化成厚层高岭上化红色粘土岩,单轴抗压强度小于 5MPa ,致使某地下工程报废。此外,徐淮、鲁西南一带,数十座煤矿竖井运营中,沿上第

三系硬粘土底和二叠系顶的砂页岩蒙脱石化、高岭石化古风化壳部位,因剪切变形导致井筒破坏。

近年来,有专家提出抗风化设计的理念,这个问题涉及岩石工程的耐久性。工程建设改变了岩石的赋存环境,开挖使岩体暴露,加速浅表层岩体的风化进程,带来边坡和围岩的长期稳定问题。此外,以土石为材料的文物,如石窟类建筑的保护问题,目前主要是采取防水、隔离等措施,尚未建立完整的工程处理理论和实用体系,应加强岩石风化耐久性测试和预测,对风化过程进行定量描述。研究风化历史,预测风化趋势,研究工程设施对风化速度的影响,进而做抗风化设计。

最后应当指出的是,劣质岩的成因、类型多种多样,性质、性状极为复杂,是世界各国岩土工程建设中共同面临的世界性科学技术难题。以下的总结仅是根据已有的研究成果和工程经验提出的,因此,可能不够全面和深入,需要全国的工程地质和岩土工程专家结合自己的研究给予不断的补充、修改、完善和深化。