

国家铁路局关于发布铁道行业标准的公告

(工程建设标准 2019 年第 1 批)

国铁科法〔2019〕19 号

现公布《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2019)等 8 项铁路工程建设标准(详见附表 1),自 2019 年 8 月 1 日起实施。《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2007)等 7 项铁路工程建设标准(详见附表 2)同时废止。

以上标准由中国铁道出版社出版发行。

附表 1 新发布标准目录

| 序号 | 标准名称 | 标准编号 |
|----|------------------|---------------|
| 1 | 铁路工程地质勘察规范 | TB 10012—2019 |
| 2 | 铁路工程岩土分类标准 | TB 10077—2019 |
| 3 | 铁路瓦斯隧道技术规范 | TB 10120—2019 |
| 4 | 铁路工程基桩检测技术规程 | TB 10218—2019 |
| 5 | 铁路工程爆破振动安全技术规程 | TB 10313—2019 |
| 6 | 铁路建设工程监理规范 | TB 10402—2019 |
| 7 | 铁路工程结构混凝土强度检测规程 | TB 10426—2019 |
| 8 | 客货共线铁路工程动态验收技术规范 | TB 10461—2019 |

附表 2 废止标准目录

| 序号 | 标准名称 | 标准编号 |
|----|----------------------|----------------|
| 1 | 铁路工程地质勘察规范 | TB 10012—2007 |
| 2 | 铁路工程岩土分类标准 | TB 10077—2001 |
| 3 | 铁路瓦斯隧道技术规范 | TB 10120—2002 |
| 4 | 铁路工程基桩检测技术规程 | TB 10218—2008 |
| 5 | 铁路建设工程监理规范 | TB 10402—2007 |
| 6 | 铁路工程结构混凝土强度检测规程 | TB 10426—2004 |
| 7 | 客货共线铁路工程竣工验收动态检测指导意见 | 铁建设〔2008〕133 号 |

国家铁路局

2019 年 4 月 18 日

前 言

《铁路工程岩土分类标准》统一了铁路工程岩土分类标准,充分发挥了基础性标准的支撑作用。在总结近年来我国铁路岩土工程实践经验,吸纳国内外相关研究成果的基础上,本次对《铁路工程岩土分类标准》TB 10077—2001 进行了全面修订。

本标准内容包括总则、术语和符号、岩石和岩体的分类及土的分类 4 章。

本标准修订的主要内容如下:

1. 明确了岩石、岩体、土的分类基本原则。
2. 增加了岩体基本质量分级、盐岩和盐渍岩等内容。
3. 调整了岩层层厚划分。
4. 修订了土的颗粒分组及碎石类土的划分。
5. 细化了中压缩性黏性土的分级。
6. 增加了碎石土密实度定量判定指标。
7. 增加了软土十字板和扁铲侧胀试验评判标准。
8. 修订了软土的灵敏度分类和静力触探评判指标。
9. 修订了盐渍土判定标准。
10. 增加了季节冻土和季节融化层冻胀性分级。

在执行本标准过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见和有关资料寄交中铁第一勘察设计院集团有限公司(陕西省西安市西影路 2 号,邮政编码:710043),并抄送国家铁路局规划与标准研究院(北京市西城区广莲路 1 号建工大厦 B 座,邮政编码:100055),供

今后修改时参考。

本标准由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位：中铁第一勘察设计院集团有限公司。

参编单位：中铁第六勘察设计院集团有限公司、西南交通大学、中国铁道科学研究院。

主要起草人：巨小强、刘晓东、孟祥连、李 响、舒 磊、杜世回、王春雷、巫锡勇、张千里。

主要审查人：顾湘生、许再良、肖道坦、杜文山、王永国、孟庆文、曹化平、余 鹏、周诗广、杨常所、杨鹏健、刘好正、刘 椿、刘 珣、戴 颖、李鸿江、柴冠华。

本标准的历次版本发布情况：《铁路工程岩土分类标准》TB 10077—2001。

目 次

| | | |
|-----|------------------------|----|
| 1 | 总 则 | 1 |
| 2 | 术语和符号 | 2 |
| 2.1 | 术 语 | 2 |
| 2.2 | 符 号 | 2 |
| 3 | 岩石和岩体的分类 | 5 |
| 3.1 | 岩石的分类 | 5 |
| 3.2 | 岩体的分类 | 8 |
| 4 | 土的分类 | 16 |
| 4.1 | 一般规定 | 16 |
| 4.2 | 一般土的分类 | 16 |
| 4.3 | 特殊土的分类 | 22 |
| | 本标准用词说明 | 35 |
| | 《铁路工程岩土分类标准》条文说明 | 36 |

1 总 则

- 1.0.1 为统一铁路工程岩土分类的技术标准,制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于铁路工程的岩土分类。
- 1.0.3 岩土分类应采用现场鉴定与室内外试验,定性划分与定量评定相结合的方法。
- 1.0.4 岩石应按其坚硬程度、软化性和抗风化能力进行分类。当岩石中含有特殊的矿物成分或结构,具有特殊的物理、力学和化学性质,并影响工程地质条件时,应定为特殊岩石。
- 1.0.5 岩体应按结构类型、岩层厚度、节理发育程度、受地质构造影响程度、完整程度、风化程度及岩体基本质量等进行分类或分带。
- 1.0.6 土应按堆积时代、地质成因、土颗粒的形状、级配或塑性指数等进行分类。当土中含有特殊的矿物成分或结构,具有特殊的物理、力学和化学性质,并影响工程地质条件时,应定为特殊土。
- 1.0.7 本标准未涉及的岩土分类,可按国家现行有关标准执行。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 岩石 rock

指单一的不包含明显结构面的岩石块体。

2.1.2 岩体 rock mass

工程影响范围内,有相当体积的岩石天然地质体。

2.1.3 结构面 structural plane

岩体内具有一定方向、一定规模、一定形态和特性的面、缝、层和带状的地质界面。

2.1.4 岩体基本质量 rock mass basic quality

由岩石坚硬程度和岩体完整程度所决定,是岩体固有的和影响岩体稳定性的基本属性。

2.1.5 特殊土 special soil

含有特殊的矿物成分或结构,具有特殊的物理、力学和化学性质,并影响土的工程性质的土。

2.1.6 一般土 general soil

不具有特殊结构和特殊性质,不含或所含特殊成分不影响土的工程性质的土。

2.2 符 号

$a_{0.1\sim 0.2}$ ——压缩系数;

BQ ——岩体基本质量指标;

$CEC(NH_4^+)$ ——阳离子交换量;

C_u ——不排水抗剪强度;

D_r ——相对密实度；
 e ——天然孔隙比；
 F_s ——自由膨胀率；
 I_L ——液性指数；
 I_P ——塑性指数；
 I_r ——液塑比；
 I'_r ——界限液塑比；
 I_D ——土类指数；
 k ——渗透系数；
 K_f ——风化系数；
 K_p ——波速比；
 K_r ——软化系数；
 K_v ——岩体完整性指数；
 M ——蒙脱石含量；
 N ——标准贯入试验实测击数；
 $N_{63.5}$ ——重型动力触探实测击数；
 N_{120} ——特重型动力触探实测击数；
 P_s ——静力触探比贯入阻力；
 P_p ——膨胀力；
 q_c ——静力触探端阻；
 R_c ——岩石单轴饱和抗压强度；
 S_r ——饱和度；
 S_t ——灵敏度；
 S_u ——十字板剪切强度；
 S'_u ——十字板重塑强度；
 q_u ——原状土的无侧限抗压强度；
 q'_u ——与原状土密度和含水率相同，但结构彻底破坏的
 重塑土的无侧限抗压强度；
 v_p ——纵波速度；

w ——天然含水率；
 w_A ——总含水率；
 w_{sa} ——饱和吸水率；
 w_L ——土的液限含水率,简称液限；
 w_P ——土的塑限含水率,简称塑限；
 W_u ——有机质含量；
 a_w ——含水比；
 δ_s ——湿陷系数；
 \overline{DT} ——土层的平均含盐量；
 δ_0 ——平均融化下沉系数；
 η ——平均冻胀率。

3 岩石和岩体的分类

3.1 岩石的分类

3.1.1 岩石坚硬程度的定性划分可按表 3.1.1 划分。

表 3.1.1 岩石坚硬程度的定性划分

| 名 称 | | 定性鉴定 | 代表性岩石 |
|-------------|-----|--------------------------------------|---|
| 硬 质 岩 | 极硬岩 | 锤击声清脆,锤击有回弹,震手,难击碎,浸水后大多无吸水反应 | 未风化或微风化的花岗岩、玄武岩、片麻岩、闪长岩、石英岩、硅质灰岩、硅质胶结的砂岩或砾岩等 |
| | 硬岩 | 锤击声较清脆,锤击有轻微的回弹,稍震手,较难击碎,浸水后有轻微的吸水反应 | 弱风化的极硬岩;未风化或微风化的熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、灰岩、钙质胶结的砂岩等 |
| 软 质 岩 | 较软岩 | 锤击声不清脆,锤击无回弹,较易击碎,吸水明显,浸水后指甲可划出印痕 | 强风化的极硬岩;弱风化的硬岩;未风化或微风化的千枚岩、云母片岩、砂质泥岩、钙泥质胶结的粉砂岩和砾岩、泥灰岩、页岩、凝灰岩等 |
| | 软岩 | 锤击声哑,锤击无回弹,有凹痕,易击碎,浸水后手可掰开 | 强风化的极硬岩;弱风化~强风化的硬岩;弱风化的较软岩和未风化或微风化的泥质岩类:泥岩、泥质胶结的砂岩和砾岩等 |
| | 极软岩 | 锤击声哑,锤击无回弹,有较深的凹痕,手可掰开,浸水后可捏成团或捻碎 | 全风化的各类岩石;强风化的软岩;成岩作用差的岩石;第三纪砂岩、泥岩等半成岩 |

3.1.2 岩石坚硬程度的定量划分应采用岩石单轴饱和抗压强度 (R_c) 指标, 并符合表 3.1.2 的规定。

表 3.1.2 R_c 与定性划分岩石坚硬程度的对应关系

| 岩石单轴饱和抗压强度 R_c (MPa) | $R_c > 60$ | $60 \geq R_c > 30$ | $30 \geq R_c > 15$ | $15 \geq R_c > 5$ | $R_c \leq 5$ |
|------------------------|------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------|
| 坚硬程度 | 极硬岩 | 硬岩 | 较软岩 | 软岩 | 极软岩 |

3.1.3 岩石的软化性按软化系数分类, 应符合表 3.1.3 的规定。

表 3.1.3 岩石软化性分类

| 名 称 | 不易软化的 | 易软化的 |
|------------|----------|-------------|
| 软化系数 K_r | > 0.75 | ≤ 0.75 |

注: 软化系数 K_r , 为同一岩体中岩石单轴饱和抗压强度与烘干状态下岩石单轴抗压强度的比值。

3.1.4 新鲜岩石抗风化能力分级可按表 3.1.4 进行划分。

表 3.1.4 新鲜岩石抗风化能力的分级

| 指 标 和 特 征 项 目 | 不易风化的 | | 易风化的 |
|------------------|------------|-------------|-----------------|
| 软化性 | 不易软化的 | | 易软化的 |
| 抗冻性 | 抗冻的 | | 不抗冻的 |
| 岩浆岩的结构 | 细粒的 | | 粗粒的 |
| 造岩矿物 | 以石英为主 | 长石、辉石、角闪石较多 | 黄铁矿、橄榄石、黑云母含量较多 |
| 胶结物 | 硅质的 | 钙质的 | 泥质的 |
| 耐风化时间 | 暴露一二年风化不明显 | | 暴露后数日至数月即出现风化 |

3.1.5 含有较多亲水矿物且含水率变化时产生较大体积变化的岩石, 应判定为膨胀岩。

膨胀岩的判定应依据勘察阶段的需要、膨胀岩的野外地质特

征和膨胀岩的室内试验指标,按表 3.1.5—1 和表 3.1.5—2 的规定进行综合判定。

表 3.1.5—1 膨胀岩的野外地质特征

| | |
|------|---|
| 地 貌 | 一般形成波状起伏的低缓丘陵,相对高度 20 m~30 m,丘顶多浑圆,坡面圆顺,山坡坡度缓于 40°,岗丘之间为宽阔的 U 形谷地;当具有砂岩夹层时,常形成一些陡坎 |
| 岩 性 | 主要为灰白、灰绿、灰黄、紫红和灰色的泥岩、泥质粉砂岩、页岩、风化的泥灰岩、风化的基性岩浆岩、蒙脱石化的凝灰岩以及含硬石膏、芒硝的岩石等。岩石由细颗粒组成,遇水时有滑腻感。泥质膨胀岩的分布地层以石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第三系为主 |
| 结构构造 | 岩层多为薄层和中厚层状,裂隙发育,裂隙多被灰白、灰绿色等富含蒙脱石物质充填 |
| 风 化 | 风化裂隙多沿构造面、层理面进一步发展,使已被结构面切割的岩块更加破碎;地表的岩石碎块风化为鸡粪土,剥落现象明显;天然含水的岩石在曝晒时多沿层理方向产生微裂隙;干燥的岩块泡水后易崩解成碎块、碎片或土状 |

表 3.1.5—2 膨胀岩的室内试验判定指标

| 试验项目 | | 判定指标 |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 不易崩解的岩石 | 自由膨胀率 $V_H(\%)$ 或 $V_D(\%)$ | $V_H(\%)$ 或 $V_D(\%) \geq 3$ |
| 易崩解的岩石 | 自由膨胀率 $F_S(\%)$ | $F_S \geq 30$ |
| 膨胀力 $P_p(\text{kPa})$ | | $P_p \geq 100$ |
| 饱和吸水率 $w_{sa}(\%)$ | | $w_{sa} \geq 10$ |

- 注:1 对于不易崩解的岩石,应取轴向 V_H 或径向 V_D 自由膨胀率中的大值进行判定;
 2 对于易崩解的岩石应将其粉碎,过 0.5 mm 的筛去除粗颗粒后,比照土的自
 由膨胀率试验方法进行试验;
 3 当有 2 项及以上符合表中所列指标时,在室内可判定为膨胀岩。

3.1.6 符合下列特征的岩石应判定为盐岩:

- 1 质地较纯、形成于第四纪的盐壳或盐层。
- 2 第四纪以前的沉积岩地层中富集易溶、中溶盐类矿物的泥岩、砂岩。

3 含有层状分布的石膏、硬石膏、芒硝、石盐、天然碱等蒸发性化学沉积岩。

3.1.7 盐岩根据主要化学成分可按表 3.1.7 划分为氯盐类、硫酸盐类和碳酸盐类盐岩。

表 3.1.7 盐岩的类型

| 盐岩的类型 | 代表性盐岩种类 |
|--------|---|
| 氯盐类盐岩 | 石盐(NaCl)、钾盐(KCl)、钙盐(CaCl_2)、镁盐(MgCl_2)等 |
| 硫酸盐类盐岩 | 石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、硬石膏(CaSO_4)、天然芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)、钙芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$)等 |
| 碳酸盐类盐岩 | 各种天然碱(Na_2CO_3 、 NaHCO_3)、一水碳酸钠($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、七水碳酸钠($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)和十水碳酸钠($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)等 |

3.1.8 覆盖或间夹盐岩的沉积岩地层,通过化学浸染或淋滤作用导致岩体中分布薄膜层状、结核状、纤维状、丝网状易溶盐,以及裂隙中充填的泥土状易溶盐含量超过 0.3%,应判定为盐渍岩。

3.2 岩体的分类

3.2.1 岩体按结构类型分类应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 岩体按结构类型分类

| 名 称 | 地质体类型 | 主要结构体形状 | 结构面发育情况 | 岩体工程特征 | 可能发生的岩土工程问题 |
|---------|------------------------------|----------|--|--------------------------|-------------------------|
| 巨块状整体结构 | 均质、巨块状岩浆岩或正变质岩,巨厚层状的沉积岩、副变质岩 | 巨块状、巨厚层状 | 以原生构造节理及层面为主,多呈闭合型,结构面间距大于 1 m,一般不超过 1~2 组,无危险结构面组成的落石掉块 | 整体强度高,岩体稳定,可视为均质弹性的各向同性体 | 不稳定结构体的局部滑动或坍塌,深埋洞室发生岩爆 |

续表 3.2.1

| 名 称 | 地质 体类型 | 主要结构 体形状 | 结构面发育 情况 | 岩体工程 特征 | 可能发生的 岩土工程问题 |
|---------------------|---|--------------------------|--|---|--|
| 块状 结构 | 块状岩 浆岩、正变 质岩,厚层 状沉积岩、 副变质岩 | 厚层状、 块状、 柱状 | 只具有少量 贯穿性较好的 节理裂隙,结构 面间距多数大 于 0.4 m,一般 为 2~3 组,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 近弹性各向 同性体 | 不稳定结 构体的局部 滑动或坍塌, 深埋洞室发生岩爆 |
| 层状、块石、 碎石状 结构 | 多韵律 的薄层及 中厚层状 沉积岩、副 变质岩 | 块石、 碎石状, 层状, 板状 | 有层理、片 理、节理,常有 层间错动面,结 构面间距一般 为 0.2 m~0.4 m, 一般为 3 组 | 接近均一 的各向异性 体,其变形 和强度特征 受层面及岩 层组合控 制,可视为 弹塑性体, 稳定性较差 | 不稳定结 构体可产生 滑塌,特别 是岩层的弯 张破坏及软 弱岩层的塑 性变形 |
| 碎石角 砾状 结构 | 构造影 响严重的 破碎岩层 | 碎石、 角砾状 | 断层、断层破 碎带、片理、层 理及层间结构 面较发育,结构 面间距小于 0.2 m,一般在 3 组以上,由许 多分离体组成 | 完整性破 坏较大,整 体强度很 低,并受断 裂等结构面 控制,多呈 弹塑性介 质,稳定性 很差 | 易引起规 模较大的岩 体失稳,地 下水加剧岩 体失稳 |
| 散体状 结构 | 构造影 响很严重 的断层破 碎带,强风 化带、全风 化带内的 岩体 | 碎屑状、 颗粒状 | 断层破碎带 交叉,构造及风 化裂隙密集,结 构面及组合错 综复杂,并多充 填黏性土,形成 许多大小不一 的分离岩体 | 完整性遭 到很大破 坏,稳定性 极差,岩体 属性接近松 散体介质 | 易引起规 模较大的岩 体失稳,地 下水加剧岩 体失稳 |

3.2.2 岩体按岩层层理厚度分类应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 岩体按岩层层理厚度分类

| 名 称 | 巨厚层 | 厚 层 | 中厚层 | 薄 层 | | |
|------------|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| | | | | 较薄层 | 中薄层 | 极薄层 |
| 层厚 h (m) | $h > 1.0$ | $0.5 < h \leq 1.0$ | $0.1 < h \leq 0.5$ | $0.03 < h \leq 0.1$ | $0.01 < h \leq 0.03$ | $h \leq 0.01$ |

3.2.3 岩体按节理宽度分级应符合表 3.2.3 的规定。

表 3.2.3 岩体按节理宽度分级

| 名 称 | 节理宽度 b (mm) |
|------|----------------|
| 密闭节理 | $b < 1$ |
| 微张节理 | $1 \leq b < 3$ |
| 张开节理 | $3 \leq b < 5$ |
| 宽张节理 | $b \geq 5$ |

3.2.4 岩体节理发育程度应按表 3.2.4 确定。

表 3.2.4 岩体节理发育程度分级

| 节理发育程度分级 | 基本特征 |
|----------|--|
| 节理不发育 | 节理 1~2 组, 规则, 为构造型, 间距在 1 m 以上, 多为密闭节理。岩体被切割成巨块状 |
| 节理较发育 | 节理 2~3 组, 呈 X 形, 较规则, 以构造型为主, 多数间距大于 0.4 m, 多为密闭节理, 部分为微张节理, 少有充填物。岩体被切割成大块状 |
| 节理发育 | 节理 3 组以上, 不规则, 呈 X 形或米字形, 以构造型或风化型为主, 多数间距小于 0.4 m。大部分为张开节理, 部分有充填物。岩体被切割成块状 |
| 节理很发育 | 节理 3 组以上, 杂乱, 以风化型或构造型为主, 多数间距小于 0.2 m, 以张开节理为主, 有个别宽张节理, 一般均有充填物。岩体被切割成碎裂状 |

3.2.5 岩体按受地质构造影响程度划分应符合表 3.2.5 的规定。

表 3.2.5 岩体按受地质构造影响程度划分

| 名 称 | 基本特征 |
|-----|--|
| 轻微 | 地质构造变动小,节理不发育 |
| 较重 | 地质构造变动较大,位于断层或褶曲轴的邻近地段,可有小断层,节理较发育 |
| 严重 | 地质构造变动剧烈,位于褶曲轴部或断层影响带内,软质岩多见扭曲及拖拉现象,节理发育 |
| 很严重 | 位于断层破碎带内,岩体呈块石、碎石、角砾状,有的甚至呈粉末、泥土状,节理很发育 |

3.2.6 岩体按完整程度划分应符合表 3.2.6 的规定。

表 3.2.6 岩体完整程度划分

| 名 称 | 结构面特征 | 结构类型 | 岩体完整性指数 K_v |
|-----|---|-------------|------------------------|
| 完整 | 结构面 1~2 组,以构造型节理或层面为主,密闭型 | 巨块状整体结构 | $K_v > 0.75$ |
| 较完整 | 结构面 2~3 组,以构造型节理、层面为主,裂隙多呈密闭型,部分为微张型,少有充填物 | 块状结构 | $0.55 < K_v \leq 0.75$ |
| 较破碎 | 结构面一般为 3 组,以节理及风化裂隙为主,在断层附近受构造作用影响较大,裂隙以微张型和张开型为主,多有充填物 | 层状、块石、碎石状结构 | $0.35 < K_v \leq 0.55$ |
| 破碎 | 结构面大于 3 组,并多以风化型裂隙为主,在断层附近受构造作用影响较大,裂隙以张开型为主,多有充填物 | 碎石角砾状结构 | $0.15 < K_v \leq 0.35$ |

续表 3.2.6

| 名 称 | 结构面特征 | 结构类型 | 岩体完整性指数 K_v |
|-----|---|-------|-----------------|
| 极破碎 | 结构面杂乱无序,在断层附近受构造作用影响很大,宽张裂隙全为泥质或泥夹岩屑充填,充填物厚度大 | 散体状结构 | $K_v \leq 0.15$ |

注:1 表中裂隙宽度的类型,可参见本标准表 3.2.3;

2 表中岩体完整性指数是岩体弹性纵波速度与同一岩体中岩石的弹性纵波速度比值的平方。

3.2.7 岩体按风化程度分带应符合表 3.2.7 的规定。

表 3.2.7 岩体风化程度分带

| 风化程度分带 | 野外鉴定特征 | | | | 风化程度参数指标 | | |
|--------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|--|
| | 岩石矿物颜色 | 结 构 | 破碎程度 | 坚硬程度 | 风化系数 K_f | 波速比 K_p | 纵波速度 v_p (m/s) |
| 未风化 | 岩石、矿物及其胶结物颜色新鲜,保持原有颜色 | 保持岩体原有结构 | 除构造裂隙外肉眼看不到其他裂隙,整体性好 | 除泥质岩可用大锤击碎外,其余岩类不易击开,放炮才能掘进 | $K_f > 0.9$ | $K_p > 0.9$ | 硬质岩 $v_p > 5000$; 软质岩 $v_p > 4000$ |
| 微风化 | 岩石、矿物颜色较暗淡,节理面附近有部分矿物变色 | 岩体结构未破坏,仅沿节理面有风化现象或有水锈 | 有少量风化裂隙,裂隙间距多数大于 0.4 m,整体性仍较好 | 要用大锤和楔子才能剖开,泥质岩用大锤可以击碎,放炮才能掘进 | 硬质岩 $0.8 < K_f \leq 0.9$; 软质岩 $0.8 < K_f \leq 0.9$ | 硬质岩 $0.8 < K_p \leq 0.9$; 软质岩 $0.8 < K_p \leq 0.9$ | 硬质岩 $4000 < v_p \leq 5000$; 软质岩 $3000 < v_p \leq 4000$ |

续表 3.2.7

| 风化 程度 分带 | 野外鉴定特征 | | | | 风化程度参数指标 | | |
|----------------|--|--|---|---|--|--|--|
| | 岩石矿 物颜色 | 结 构 | 破碎 程度 | 坚硬 程度 | 风化系数 K_f | 波速比 K_p | 纵波速度 v_p (m/s) |
| 弱 风 化 | 岩石、 矿物失 去光泽, 颜色暗 淡,部分 易风化 矿物已 经变色, 黑云母 失去弹性 | 岩体 结构已 部分破 坏,裂隙 可能出 现风化 夹层,一 般呈块 状或球 状结构 | 风化 裂隙发 育,裂隙 间距多数 为0.2 m~ 0.4 m,整 体性差 | 可用 大锤击 碎,用手 锤不易 击碎,大 部分需 放炮掘 进,岩心 钻方可 钻进 | 硬质岩 $0.4 < K_f$ ≤ 0.8 ; 软质岩 $0.3 < K_f$ ≤ 0.8 | 硬质岩 $0.6 < K_p$ ≤ 0.8 ; 软质岩 $0.5 < K_p$ ≤ 0.8 | 硬质岩 $2\,000 < v_p$ $\leq 4\,000$; 软质岩 $1\,500 < v_p$ $\leq 3\,000$ |
| 强 风 化 | 岩石 及大部 分矿物 变色,形 成次生 矿 | 岩体 结构已 大部破 坏,形成 块状或 球状结 构 | 风化 裂隙很 发育,岩 体破碎, 风化物 呈碎块 状或砂 状,裂隙 间距小 于0.2 m, 完整性 很差 | 用手 锤可击 碎,用镐 可以掘 进,用锹 则很困 难,干钻 可钻进 | 硬质岩 $K_f \leq 0.4$; 软质岩 $K_f \leq 0.3$ | 硬质岩 $0.4 < K_p$ ≤ 0.6 ; 软质岩 $0.3 < K_p$ ≤ 0.5 | 硬质岩 $1\,000 < v_p$ $\leq 2\,000$; 软质岩 $700 < v_p$ $\leq 1\,500$ |
| 全 风 化 | 岩石、 矿物已 完全变 色,大部 分发生 变异,除 石英外 大部分 风化土 状 | 岩体 结构已 完全破 坏,仅外 观保持 原岩特 征,矿物 晶体失 去连接, 石英松 散呈粒 状 | 风化 破碎呈 碎屑状 、土状 或砂状 | 用手 可捏碎, 用锹就 可掘进, 干钻较 易钻进 | — | 硬质岩 $K_p \leq 0.4$; 软质岩 $K_p \leq 0.3$ | 硬质岩 $500 < v_p$ $\leq 1\,000$; 软质岩 $300 < v_p$ ≤ 700 |

注:1 K_f 是同一岩体中风化岩石的单轴饱和抗压强度与未风化岩石的单轴饱和抗压强度的比值;

2 K_p 是同一岩体中风化岩体的纵波波速与未风化岩体纵波波速的比值。

3.2.8 岩体基本质量指标的确定应符合下列规定：

1 岩体基本质量指标 BQ ，应根据岩石坚硬程度、岩体完整程度定量指标值，按式(3.2.8)计算。

$$BQ = 100 + 3R_c + 250K_v \quad (3.2.8)$$

2 使用式(3.2.8)时，应遵守下列限制条件：

1) 当 $R_c > 90K_v + 30$ 时，应以 $R_c = 90K_v + 30$ 和 K_v 代入公式计算 BQ 值；

2) 当 $K_v > 0.04R_c + 0.4$ 时，应以 $K_v = 0.04R_c + 0.4$ 和 R_c 代入公式计算 BQ 值。

3.2.9 岩体基本质量分级，应根据岩体基本质量的定性特征和岩体基本质量指标 BQ 两者相结合，按表 3.2.9 确定。

表 3.2.9 岩体基本质量分级

| 岩体基本质量级别 | 岩体基本质量的定性特征 | 岩体基本质量指标(BQ) |
|----------|--|------------------|
| I | 极硬岩，岩体完整 | >550 |
| II | 极硬岩，岩体较完整； 硬岩，岩体完整 | $550 \sim 451$ |
| III | 极硬岩，岩体较破碎； 硬岩，岩体较完整； 较软岩，岩体完整 | $450 \sim 351$ |
| IV | 极硬岩，岩体破碎； 硬岩，岩体较破碎～破碎； 较软岩，岩体较完整～较破碎； 软岩，岩体完整～较完整 | $350 \sim 251$ |
| V | 较软岩，岩体破碎； 软岩，岩体较破碎～破碎； 全部极软岩及全部极破碎岩 | ≤ 250 |

注：当根据基本质量定性特征和岩体基本质量指标 BQ 确定的级别不一致时，应通过对定性划分和定量指标的综合分析，确定岩体基本质量级别。当两者的级别划分相差 1 级及以上时，应进一步补充测试。

3.2.10 铁路隧道工程、边坡工程和地基工程对岩体初步定级时，可按本标准第 3.2.9 条确定的岩体基本质量级别作为岩体级别。进行详细定级时，应根据地下水、结构面产状等修正因素，确定各类工程岩体基本质量指标的修正值。

4 土 的 分 类

4.1 一 般 规 定

4.1.1 土按照堆积时代、地质成因、土颗粒的形状、级配或塑性指数等进行如下分类。

1 按照堆积时代可划分为老堆积土(Q_3 及其以前堆积的土层)、一般堆积土(Q_4^1 堆积的土层)、新近堆积土(Q_4^2 堆积的土层)。

2 按照地质成因可划分为残积土、坡积土、崩积土、洪积土、冲积土、海积土、湖积土、冰碛土、冰积土和风积土等。

3 按照土颗粒的形状、级配或塑性指数可划分为碎石类土、砂类土、粉土和黏性土。

4.1.2 呈韵律沉积的土层,薄层与厚层厚度之比为 $1/10 \sim 1/3$ 时,宜定名为夹层,厚层的土名写在前面;当厚度之比大于 $1/3$ 时,宜定名为互层;当厚度之比小于 $1/10$,宜定名为夹薄层。

4.1.3 由坡积、洪积、冰水沉积等成因形成的颗粒级配不连续,粗细颗粒混杂的土,应定名为混合土,在土名前冠以主要含有物的名称。当主要含有物的质量占总质量的 $5\% \sim 25\%$ 时应定名为微含,大于或等于 25% 时应定名为含。

4.2 一般土的分类

4.2.1 土的颗粒分组应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 土的颗粒分组

| 颗粒名称 | | 粒径 d (mm) |
|--------------------|---|---------------------------|
| 漂石(浑圆、圆棱)或块石(尖棱) | 大 | $d > 800$ |
| | 中 | $400 < d \leq 800$ |
| | 小 | $200 < d \leq 400$ |
| 卵石(浑圆、圆棱)或碎石(尖棱) | 大 | $100 < d \leq 200$ |
| | 小 | $60 < d \leq 100$ |
| 粗圆砾(浑圆、圆棱)或粗角砾(尖棱) | 大 | $40 < d \leq 60$ |
| | 小 | $20 < d \leq 40$ |
| 细圆砾(浑圆、圆棱)或细角砾(尖棱) | 大 | $10 < d \leq 20$ |
| | 中 | $5 < d \leq 10$ |
| | 小 | $2 < d \leq 5$ |
| 砂粒 | 粗 | $0.5 < d \leq 2$ |
| | 中 | $0.25 < d \leq 0.5$ |
| | 细 | $0.075 < d \leq 0.25$ |
| 粉粒 | | $0.005 \leq d \leq 0.075$ |
| 黏粒 | | $d < 0.005$ |

4.2.2 碎石类土的划分应符合下列规定：

1 按照土颗粒形状和级配的划分,应符合表 4.2.2—1 的规定。

表 4.2.2—1 碎石类土的划分

| 土的名称 | 颗粒形状 | 土的颗粒级配 |
|------|----------|------------------------------|
| 漂石土 | 浑圆或圆棱状为主 | 粒径大于 200 mm 的颗粒的质量超过总质量的 50% |
| 块石土 | 尖棱状为主 | |
| 卵石土 | 浑圆或圆棱状为主 | 粒径大于 60 mm 的颗粒的质量超过总质量的 50% |
| 碎石土 | 尖棱状为主 | |
| 粗圆砾土 | 浑圆或圆棱状为主 | 粒径大于 20 mm 的颗粒的质量超过总质量的 50% |
| 粗角砾土 | 尖棱状为主 | |
| 细圆砾土 | 浑圆或圆棱状为主 | 粒径大于 2 mm 的颗粒的质量超过总质量的 50% |
| 细角砾土 | 尖棱状为主 | |

注:定名时应根据粒径分组,由大到小,以最先符合者确定。

2 密实程度定性描述可根据结构特征、地貌、天然坡形态、开挖及钻探情况,按表 4.2.2—2 确定。

表 4.2.2—2 碎石类土密实程度的划分

| 密实程度 | 结构特征 | 天然坡和开挖情况 | 钻探情况 |
|------|------------------------------|---|--------------------------|
| 密实 | 骨架颗粒交错紧贴连续接触,孔隙填满、密实 | 天然陡坡稳定,坎下堆积物较少。镐挖掘困难,用撬棍方能松动,坑壁稳定。从坑壁取出大颗粒处,能保持凹面形状 | 钻进困难。钻探时,钻具跳动剧烈,孔壁较稳定 |
| 中密 | 骨架颗粒排列疏密不匀,部分颗粒不接触,孔隙填满,但不密实 | 天然坡不易陡立或陡坎下堆积物较多。天然坡大于粗颗粒的安息角。镐可挖掘,坑壁有掉块现象。充填物为砂类土时,坑壁取出大颗粒处,不易保持凹面形状 | 钻进较难。钻探时,钻具跳动不剧烈,孔壁有坍塌现象 |
| 稍密 | 多数骨架颗粒不接触,孔隙基本填满,但较松散 | 不易形成陡坎,天然坡略大于粗颗粒的安息角。镐较易挖掘。坑壁易掉块,从坑壁取出大颗粒后易塌落 | 钻进较难。钻探时,钻具有跳动,孔壁较易坍塌 |
| 松散 | 骨架颗粒间有较大孔隙,充填物少,且松散 | 锹可以挖掘。天然坡多为主要颗粒的安息角。坑壁易坍塌 | 钻进较容易。钻进中孔壁易坍塌 |

3 对于平均粒径等于或小于 50 mm,且最大粒径小于 100 mm 的碎石土,密实度应采用表 4.2.2—3 进行定量评价。

表 4.2.2—3 碎石类土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

| 重型动力触探实测击数 $N_{63.5}$ | 密实度 | 重型动力触探实测击数 $N_{63.5}$ | 密实度 |
|------------------------|-----|-------------------------|-----|
| $N_{63.5} \leq 5$ | 松散 | $10 < N_{63.5} \leq 20$ | 中密 |
| $5 < N_{63.5} \leq 10$ | 稍密 | $N_{63.5} > 20$ | 密实 |

4 对于平均粒径大于 50 mm,或最大粒径大于 100 mm 的碎石土,密实度应采用表 4.2.2—4 进行定量评价。

表 4.2.2—4 碎石类土密实度按 N_{120} 分类

| 特重型动力触探实测击数 N_{120} | 密实度 | 特重型动力触探实测击数 N_{120} | 密实度 |
|-----------------------|-----|------------------------|-----|
| $N_{120} \leq 3$ | 松散 | $11 < N_{120} \leq 14$ | 密实 |
| $3 < N_{120} \leq 6$ | 稍密 | $N_{120} > 14$ | 很密 |
| $6 < N_{120} \leq 11$ | 中密 | | |

5 潮湿程度应根据饱和度按表 4.2.2—5 划分。饱和度 S_r 按下式计算:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (4.2.2)$$

式中 V_w ——水所占的体积;

V_v ——孔隙(包括水和气体)部分的体积。

表 4.2.2—5 碎石类土潮湿程度的划分

| 分 级 | 饱和度 S_r (%) |
|-----|--------------------|
| 稍湿 | $S_r \leq 50$ |
| 潮湿 | $50 < S_r \leq 80$ |
| 饱和 | $S_r > 80$ |

4.2.3 砂类土的划分应符合下列规定。

1 按照颗粒级配的划分应符合表 4.2.3—1 的规定:

表 4.2.3—1 砂类土的划分

| 土的名称 | 土的颗粒级配 |
|------|-------------------------------|
| 砾砂 | 粒径大于 2 mm 颗粒的质量占总质量的 25%~50% |
| 粗砂 | 粒径大于 0.5 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% |
| 中砂 | 粒径大于 0.25 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% |
| 细砂 | 粒径大于 0.075 mm 颗粒的质量超过总质量的 85% |
| 粉砂 | 粒径大于 0.075 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% |

注:定名时应根据颗粒级配,由大到小,以最先符合者确定。

2 密实程度应根据标准贯入实测击数或相对密度按表 4.2.3—2 划分。相对密度 D_r 按下式计算：

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (4.2.3)$$

式中 e ——天然孔隙比；

e_{\max} ——最大孔隙比；

e_{\min} ——最小孔隙比。

表 4.2.3—2 砂类土密实程度的划分

| 密实程度 | 标准贯入实测击数 N | 相对密度 D_r |
|------|------------------|-----------------------|
| 密实 | $N > 30$ | $D_r > 0.67$ |
| 中密 | $15 < N \leq 30$ | $0.4 < D_r \leq 0.67$ |
| 稍密 | $10 < N \leq 15$ | $0.33 < D_r \leq 0.4$ |
| 松散 | $N \leq 10$ | $D_r \leq 0.33$ |

3 潮湿程度应根据饱和度按表 4.2.3—3 划分。饱和度 S_r 按式(4.2.2)计算。

表 4.2.3—3 砂类土潮湿程度的划分

| 分 级 | 饱和度 S_r (%) |
|-----|--------------------|
| 稍湿 | $S_r \leq 50$ |
| 潮湿 | $50 < S_r \leq 80$ |
| 饱和 | $S_r > 80$ |

4.2.4 塑性指数等于或小于 10,且粒径大于 0.075 mm 颗粒的质量不超过全部质量 50% 的土,应定名为粉土。

1 粉土密实程度应根据孔隙比按表 4.2.4—1 划分。

表 4.2.4—1 粉土密实程度的划分

| 密实程度 | 孔隙比 e 值 |
|------|------------------------|
| 密实 | $e < 0.75$ |
| 中密 | $0.75 \leq e \leq 0.9$ |
| 稍密 | $e > 0.9$ |

2 粉土潮湿程度应根据天然含水率按表 4.2.4—2 划分。

表 4.2.4—2 粉土潮湿程度的划分

| 分 级 | 天然含水率 w (%) |
|-----|---------------------|
| 稍湿 | $w < 20$ |
| 潮湿 | $20 \leq w \leq 30$ |
| 饱和 | $w > 30$ |

4.2.5 塑性指数大于 10 的土应定名为黏性土。

1 黏性土应根据塑性指数按表 4.2.5—1 划分。

表 4.2.5—1 黏性土的划分

| 土的名称 | 塑性指数 I_P |
|------|--------------------|
| 粉质黏土 | $10 < I_P \leq 17$ |
| 黏土 | $I_P > 17$ |

注：塑性指数 I_P 等于土的液限含水率与塑限含水率之差，液限和塑限采用液塑限联合测定法，液限为 10 mm 液限。

2 黏性土压缩性按表 4.2.5—2 划分。

表 4.2.5—2 黏性土压缩性的划分

| 压缩性分级 | | 压缩系数 $a_{0.1 \sim 0.2} (\text{MPa}^{-1})$ |
|-------|-------|---|
| 低压缩性 | | $a_{0.1 \sim 0.2} < 0.1$ |
| 中压缩性 | 中低压缩性 | $0.1 \leq a_{0.1 \sim 0.2} < 0.3$ |
| | 中高压缩性 | $0.3 \leq a_{0.1 \sim 0.2} < 0.5$ |
| 高压缩性 | | $a_{0.1 \sim 0.2} \geq 0.5$ |

注： $a_{0.1 \sim 0.2}$ 为 0.1 MPa~0.2 MPa 压力范围内的压缩系数。

3 黏性土的塑性状态应按表 4.2.5—3 划分，液性指数 I_L 按下式计算：

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P} \quad (4.2.5)$$

式中 w ——天然含水率；

w_P ——塑限含水率；

I_p ——塑性指数。

表 4.2.5—3 黏性土塑性状态的划分

| 塑性状态 | 液性指数 I_L |
|------|---------------------|
| 坚硬 | $I_L \leq 0$ |
| 硬塑 | $0 < I_L \leq 0.50$ |
| 软塑 | $0.50 < I_L \leq 1$ |
| 流塑 | $I_L > 1$ |

4.3 特殊土的分类

4.3.1 根据土中特殊物质的含量、结构特征和特殊的工程地质性质等因素,可将特殊土划分为黄土、红黏土、膨胀土、软土、盐渍土、多年冻土、季节性冻土、填土等。

4.3.2 黄土的判定及分类应符合下列规定:

1 黄土为第四纪以来,在干旱、半干旱气候条件下形成的,土颗粒成分以粉粒为主、含碳酸钙及少量易溶盐,并具大孔隙和垂直节理、抗水性能差、易崩解和潜蚀、上部多具湿陷性等工程地质特征的土。

2 黄土按堆积时代的划分,应符合表 4.3.2—1 的规定。

表 4.3.2—1 黄土按堆积时代的划分

| 地层时代 | | 地层名称 | | 湿陷性及其他特征 |
|------------|------------|------|----------|------------------------------|
| 全新世 Q_4 | 近期 Q_4^i | 新黄土 | 新近堆积黄土状土 | 一般为自重或非自重湿陷性 黄土地基,常具有高压缩性 |
| | 早期 Q_4^e | | 黄土状土 | |
| 晚更新世 Q_3 | | | 马兰黄土 | |
| 中更新世 Q_2 | | 老黄土 | 离石黄土 | 部分土层上部具有湿陷性 |
| 早更新世 Q_1 | | | 午城黄土 | 不具湿陷性 |

注: Q_2 离石黄土层顶面以下的黄土湿陷性,应根据建筑物的实际压力或上覆土的饱和自重压力进行室内湿陷性试验或现场浸水性试验确定。

3 黄土按塑性指数 I_p 的分类,应符合表 4.3.2—2 的规定。

表 4.3.2—2 黄土按塑性指数的分类

| 名 称 | 塑性指数 I_p |
|------|---------------|
| 砂质黄土 | $I_p \leq 10$ |
| 黏质黄土 | $I_p > 10$ |

4 黄土的湿陷性应根据室内湿陷性试验在一定压力下测定的湿陷系数值,按表 4.3.2—3 判定。

表 4.3.2—3 黄土湿陷性的划分

| 名 称 | 湿陷系数 δ_s |
|--------|-----------------------|
| 非湿陷性黄土 | $\delta_s < 0.015$ |
| 湿陷性黄土 | $\delta_s \geq 0.015$ |

5 黄土在上覆土的自重压力下受水浸湿发生湿陷时,应定为自重湿陷性黄土;当黄土在大于上覆土的自重压力(包括土的自重压力和附加压力)下受水浸湿发生湿陷时,应定为非自重湿陷性黄土。

4.3.3 红黏土的判定和分类,应符合下列规定:

1 原生红黏土颜色呈棕红、褐黄色等颜色,覆盖于碳酸盐系岩层之上,且液限等于或大于 50% 的高塑性黏土。原生红黏土经搬运、沉积后仍保留残积黏土的基本特征,且液限大于 45%,应判定为次生红黏土。红黏土具有遇水软化、失水收缩强烈、裂隙发育、易剥落等工程地质特征。

2 红黏土塑性状态的划分,应符合表 4.3.3—1 的规定。

表 4.3.3—1 红黏土塑性状态的划分

| 状 态 | 含水比 α_w 值 | 比贯入阻力 P_s (MPa) | 经验指标 |
|-----|-----------------------------|----------------------|----------------|
| 坚硬 | $\alpha_w \leq 0.55$ | $P_s \geq 2.3$ | 土质较干、硬 |
| 硬塑 | $0.55 < \alpha_w \leq 0.70$ | $1.3 \leq P_s < 2.3$ | 不易搓成 3 mm 粗的土条 |
| 软塑 | $0.70 < \alpha_w \leq 1.00$ | $0.2 \leq P_s < 1.3$ | 易搓成 3 mm 粗的土条 |
| 流塑 | $\alpha_w > 1.00$ | $P_s < 0.2$ | 土很湿,接近或处于流动状态 |

注:含水比为土的天然含水率与液限之比,液限采用液塑限联合测定法,液限为 10 mm 液限。

3 红黏土的裂隙状态划分,应符合表 4.3.3—2 的规定。

表 4.3.3—2 红黏土裂隙状态划分

| 裂隙状态 | 外观特征 |
|------|------------------|
| 致密状 | 偶见裂隙,少于 1 条/m |
| 巨块状 | 裂隙较多,1 条/m~5 条/m |
| 碎块状 | 裂隙发育,多于 5 条/m |

4 红黏土按界限液塑比和液塑比关系分类,应符合表 4.3.3—3 的规定。界限液塑比 I'_r 和液塑比 I_r 按下列公式计算:

$$I'_r = 1.4 + 0.006w_L \quad (4.3.3-1)$$

$$I_r = \frac{w_L}{w_P} \quad (4.3.3-2)$$

式中 w_L ——土的液限;

w_P ——土的塑限。

表 4.3.3—3 红黏土按界限液塑比和液塑比关系的分类

| 类 别 | I_r 与 I'_r 的关系 | 收缩特征 |
|------|--------------------|-------------------|
| I 类 | $I_r \geq I'_r$ | 收缩后再浸水,膨胀量能恢复到原位 |
| II 类 | $I_r < I'_r$ | 收缩后再浸水,膨胀量不能恢复到原位 |

4.3.4 膨胀土的判定和分类,应符合下列规定:

1 膨胀土为土中黏粒成分主要由蒙脱石、伊利石等亲水矿物组成,土体随环境的干湿变化,具有吸水显著膨胀、软化、崩解和失水急剧收缩、开裂、硬结现象,并能产生往复胀缩变形的高液限黏性土。

2 膨胀土应按下列规定进行初判和详判。

1) 膨胀土的初判应根据地貌、土的颜色、结构、土质情况、自然地质现象和土的自由膨胀率等特征,按表 4.3.4—1 综合判定。

表 4.3.4—1 膨胀土的初判条件

| | |
|-----------------|---|
| 地 貌 | 具垄岗式地貌景观,常呈垄岗与沟谷相间;地形平缓开阔,无自然陡坎,坡面沟槽发育 |
| 颜 色 | 多呈棕、黄、褐色,间夹灰白、灰绿色条带或薄膜;灰白、灰绿色多呈透镜体或夹层出现 |
| 结 构 | 具多裂隙结构,方向不规则。裂面光滑,常见擦痕。裂隙中常充填灰白、灰绿色黏土 |
| 土 质 | 土质细腻,具滑感,土中常含有钙质或铁锰质结核或豆石,局部可富集成层 |
| 自然地质现象 | 坡面常见浅层溜坍、滑坡、地面裂缝。当坡面有数层土时,其中膨胀土层往往形成凹形坡。新开挖的坑壁易发生坍塌 |
| 自由膨胀率 F_s (%) | $F_s \geq 40$ |

2) 膨胀土详判应采用自由膨胀率、蒙脱石含量、阳离子交换量三项指标。当符合表 4.3.4—2 中的两项及以上指标时应判定为膨胀土。

表 4.3.4—2 膨胀土的详判指标

| 名 称 | 判定指标 |
|--------------------------------|------------------------|
| 自由膨胀率 F_s (%) | $F_s \geq 40$ |
| 蒙脱石含量 M (%) | $M \geq 7$ |
| 阳离子交换量 $CEC(NH_4^+)$ (mmol/kg) | $CEC(NH_4^+) \geq 170$ |

注: $CEC(NH_4^+)$ 表示 1 kg 干土中阳离子 (NH_4^+) 的交换量。

3 膨胀土的膨胀潜势应按表 4.3.4—3 分级。

表 4.3.4—3 膨胀土的膨胀潜势分级

| 分 级 指 标 | 弱膨胀土 | 中等膨胀土 | 强膨胀土 |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|
| 自由膨胀率 F_s (%) | $40 \leq F_s < 60$ | $60 \leq F_s < 90$ | $F_s \geq 90$ |
| 蒙脱石含量 M (%) | $7 \leq M < 17$ | $17 \leq M < 27$ | $M \geq 27$ |
| 阳离子交换量 $CEC(NH_4^+)$ (mmol/kg) | $170 \leq CEC(NH_4^+) < 260$ | $260 \leq CEC(NH_4^+) < 360$ | $CEC(NH_4^+) \geq 360$ |

注: 当有 2 项及以上指标符合时, 即判定为该等级。

4.3.5 软土的判定和分类应符合下列规定:

1 软土为天然孔隙比大于或等于 1.0,天然含水率大于或等于液限,压缩系数大于或等于 0.5 MPa^{-1} ,不排水抗剪强度小于 30 kPa 的黏性土。软土一般含有机质,具有压缩性高、强度低、灵敏度高和排水固结缓慢的特点。

2 软土按物理力学性质的分类,可根据表 4.3.5—1 的规定综合分析确定。

表 4.3.5—1 软土的分类

| 名 称 分 类 指 标 | | 软黏性土 | 淤泥质土 | 淤泥 | 泥炭质土 | 泥炭 |
|-------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|---------------|
| 有机质含量 W_u | % | $W_u < 3$ | $3 \leq W_u < 10$ | | $10 \leq W_u \leq 60$ | $W_u > 60$ |
| 天然孔隙比 e | — | $e \geq 1.0$ | $1.0 \leq e \leq 1.5$ | $e > 1.5$ | $e > 3$ | $e > 10$ |
| 天然含水率 w | % | $w \geq w_L$ | | | $w \gg w_L$ | |
| 渗透系数 k | cm/s | $k < 10^{-6}$ | | | $k < 10^{-3}$ | $k < 10^{-2}$ |
| 压缩系数 $a_{0.1 \sim 0.2}$ | MPa ⁻¹ | $a_{0.1 \sim 0.2} \geq 0.5$ | | | — | |
| 不排水抗剪强度 C_u | kPa | $C_u < 30$ | | | $C_u < 10$ | |
| 静力触探比 贯入阻力 P_s | kPa | $P_s < 700$ | | | | |
| 静力触探端阻 q_c | kPa | $q_c < 600$ | | | | |
| 标准贯入试验 锤击数 N | 击 | $N < 4$ | | $N < 2$ | | |
| 十字板剪切强度 S_u | kPa | $\mu S_u < 30$ | | | | |
| 土类指数 I_D | — | $I_D < 0.35$ | | | | |

注:1 当粉土的物理力学性质大部分与表中指标相符时,可定名为“软粉土”。

2 μ 为修正系数:当 $I_P \leq 20$ 时, $\mu = 1$; 当 $20 < I_P \leq 40$ 时, $\mu = 0.9$ 。

3 软土按成因分类,应符合表 4.3.5—2 的规定。

表 4.3.5—2 软土的成因类型

| 地貌特征 | 成因类型 | 沉积特征 |
|--------|--------------|--|
| 滨海平原 | 滨海相 | 地层不均匀、极疏松,常与砂砾层混杂 |
| | 滨海~浅海相 | 地层不均匀、疏松,常与砂、粉性土混杂 |
| | 泻湖相 | 颗粒细、孔隙比大、强度低,常夹有泥炭薄层 |
| | 潮谷相 | 孔隙比大、结构疏松、含水率高 |
| | 三角洲相 | 分选性差,结构疏松、多交错层理,多粉砂薄层 |
| 湖积平原 | 湖 相 | 粉土颗粒含量高,呈明显的层理,结构松软。表层硬壳厚度不规律 |
| 河流冲积平原 | 河漫滩相 牛轭湖相 | 成层情况复杂,成分不均一,以淤泥及软黏土为主,间与砂或泥炭互层 |
| 山间谷地 | 谷地相 | 软土呈片状、带状分布,靠山边浅,谷地中心深,厚度变化大。颗粒由山前向谷地中心逐渐变细。下伏硬底坡度大 |
| 泥炭沼泽地 | 沼泽相 | 以泥炭为主,且常出露于地表。孔隙极大,富有弹性。下部有淤泥或薄层淤泥与泥炭互层 |

4 软土的灵敏度应根据无侧限抗压强度试验或现场十字板剪切试验,按表 4.3.5—3 判定。

表 4.3.5—3 软土灵敏度的划分

| 灵敏度分类 | 灵敏度 S_t |
|-------|-------------------|
| 低灵敏性 | $S_t \leq 2$ |
| 中灵敏性 | $2 < S_t \leq 4$ |
| 高灵敏性 | $4 < S_t \leq 8$ |
| 极灵敏性 | $8 < S_t \leq 16$ |
| 流性 | $S_t > 16$ |

- 1) 软土的灵敏度 S_t , 当采用无侧限抗压强度试验确定时, 应按下式计算:

$$S_t = \frac{q_u}{q'_u} \quad (4.3.5-1)$$

式中 q_u ——原状土的无侧限抗压强度(kPa);

q'_u ——与原状土密度和含水率相同, 但结构彻底破坏的重塑土的无侧限抗压强度。

- 2) 软土的灵敏度 S_t , 当采用现场十字板剪切试验确定时, 应按下式计算:

$$S_t = \frac{S_u}{S'_u} \quad (4.3.5-2)$$

式中 S_u ——十字板剪切强度(kPa);

S'_u ——十字板重塑强度(kPa)。

4.3.6 盐渍土的判定和分类应符合下列规定:

1 盐渍土为易溶盐含量大于 0.3% 的土。当地表以下 1.0 m 深度内易溶盐的平均含量大于 0.3% 时, 应定为盐渍土地区或场地。盐渍土具有较强的吸湿、松胀、溶陷及腐蚀性等工程地质特性。

2 盐渍土按含盐性质的分类, 应符合表 4.3.6—1 的规定。

表 4.3.6—1 盐渍土按含盐性质的分类

| 盐渍土名称 | 盐分比值 D_1 | 盐分比值 D_2 |
|--------|-----------------------|-------------|
| 氯盐渍土 | $D_1 > 2$ | — |
| 亚氯盐渍土 | $2 \geq D_1 > 1$ | — |
| 亚硫酸盐渍土 | $1 \geq D_1 \geq 0.3$ | — |
| 硫酸盐渍土 | $D_1 < 0.3$ | — |
| 碱性盐渍土 | — | $D_2 > 0.3$ |

3 盐渍土含盐性质应采用下式计算:

$$D_1 = \frac{b(\text{Cl}^-)}{2b(\text{SO}_4^{2-})} \quad (4.3.6-1)$$

$$D_2 = \frac{2b(\text{CO}_3^{2-}) + b(\text{HCO}_3^-)}{b(\text{Cl}^-) + 2b(\text{SO}_4^{2-})} \quad (4.3.6-2)$$

式中, $b(\text{Cl}^-)$ 、 $b(\text{HCO}_3^-)$ 、 $2b(\text{SO}_4^{2-})$ 、 $2b(\text{CO}_3^{2-})$ 指 1 kg 土中所含括号内物质的质量摩尔浓度(mmol/kg)。

4 盐渍土盐渍化程度的分类,应符合表 4.3.6—2 的规定。

表 4.3.6—2 盐渍土盐渍化程度的分类

| 盐渍化程度 | 土层的平均含盐量 \overline{DT} (%) | | |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | 氯化盐渍土及亚氯化盐渍土 | 硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土 | 碱性盐渍土 |
| 弱盐渍土 | $0.3 < \overline{DT} \leq 1.0$ | — | — |
| 中盐渍土 | $1.0 < \overline{DT} \leq 5.0$ | $0.3 < \overline{DT} \leq 2.0$ | $0.3 < \overline{DT} \leq 1.0$ |
| 强盐渍土 | $5.0 < \overline{DT} \leq 8.0$ | $2.0 < \overline{DT} \leq 5.0$ | $1.0 < \overline{DT} \leq 2.0$ |
| 超盐渍土 | $\overline{DT} > 8.0$ | $\overline{DT} > 5.0$ | $\overline{DT} > 2.0$ |

注:表中“平均含盐量”按取样所代表的厚度加权平均计算。

4.3.7 冻土是指温度为 0℃或低于 0℃并含有冰晶的土(岩),可分为多年冻土和季节冻土。

1 多年冻土系指冻结状态持续两年或两年以上的土层。当多年冻土温度改变后,其物理力学性质随之改变,并可产生冻胀、融沉、热融滑塌等现象。

2 多年冻土的分类应根据土的类别、总含水率、平均融化下沉系数 δ_0 按表 4.3.7—1 进行划分。

平均融化下沉系数 δ_0 应按下式计算:

$$\delta_0 = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100\% \quad (4.3.7-1)$$

式中 h_1 ——冻土试件融化前的高度(mm);

h_2 ——冻土试件融化后的高度(mm)。

表 4.3.7—1 多年冻土的分类

| 多年冻土 的类型 | 土的名称 | 总含水率 w_A (%) | 融化后的 潮湿程度 | 平均融化下沉 系数 δ_0 (%) | 融沉 等级 | 融沉 类别 |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------|----------|
| 少冰 冻土 | 碎石类土, 砾、粗、中砂 (粉黏粒质量不大于 15%) | $w_A < 10$ | 潮湿 | $\delta_0 \leq 1$ | I | 不融沉 |
| | 碎石类土, 砾、粗、中砂 (粉黏粒质量大于 15%) | $w_A < 12$ | 稍湿 | | | |
| | 细砂、粉砂 | $w_A < 14$ | | | | |
| | 粉土 | $w_A < 17$ | | | | |
| | 黏性土 | $w_A < w_P$ | 坚硬 | | | |
| 多冰 冻土 | 碎石类土, 砾、粗、中砂 (粉黏粒质量不大于 15%) | $10 \leq w_A < 15$ | 饱和 | $1 < \delta_0 \leq 3$ | II | 弱融沉 |
| | 碎石类土, 砾、粗、中砂 (粉黏粒质量大于 15%) | $12 \leq w_A < 15$ | 潮湿 | | | |
| | 细砂、粉砂 | $14 \leq w_A < 18$ | | | | |
| | 粉土 | $17 \leq w_A < 21$ | | | | |
| | 黏性土 | $w_P \leq w_A < w_P + 4$ | 硬塑 | | | |
| 富冰 冻土 | 碎石类土, 砾、粗、中砂 (粉黏粒质量不大于 15%) | $15 \leq w_A < 25$ | 饱和出水 (出水量小于 10%) | $3 < \delta_0 \leq 10$ | III | 融沉 |
| | 碎石类土, 砾、粗、中砂 (粉黏粒质量大于 15%) | | 饱和 | | | |
| | 细砂、粉砂 | $18 \leq w_A < 28$ | | | | |
| | 粉土 | $21 \leq w_A < 32$ | | | | |
| | 黏性土 | $w_P + 4 \leq w_A < w_P + 15$ | 软塑 | | | |

续表 4.3.7—1

| 多年冻土的类型 | 土的名称 | 总含水率 w_A (%) | 融化后的潮湿程度 | 平均融化下沉系数 δ_0 (%) | 融沉等级 | 融沉类别 |
|---------|---|--------------------------------|------------------------|-------------------------|------|------|
| 饱冰冻土 | 碎石类土, 砾、粗、中砂 (粉黏粒质量小于 15%) | $25 \leq w_A < 44$ | 饱和出水 (出水量小于 10%) | $10 < \delta_0 \leq 25$ | IV | 强融沉 |
| | 碎石类土, 砾、粗、中砂 (粉黏粒质量大于 15%) | | | | | |
| | 细砂、粉砂 | $28 \leq w_A < 44$ | 饱和 | | | |
| | 粉土 | $32 \leq w_A < 44$ | | | | |
| | 黏性土 | $w_P + 15 \leq w_A < w_P + 35$ | 软塑 | | | |
| 含土冰层 | 碎石类土、砂类土、粉土 | $w_A \geq 44$ | 饱和大量出水 (出水量 10% ~ 20%) | $\delta_0 > 25$ | V | 融陷 |
| | 黏性土 | $w_A \geq w_P + 35$ | 流塑 | | | |
| 纯冰层 | 厚度大于 25 cm 或间隔 2 cm ~ 3 cm 冰层累计超过 25 cm | | | | | |

注: 1 总含水率包括冰和未冻水;

2 盐渍化冻土、泥炭化冻土、腐植土、高塑性黏土不在表列;

3 w_P 为塑限含水率。

3 多年冻土季节融化层是指每年寒季冻结, 暖季融化的地壳表层。

4 季节冻土是指地壳表层寒季冻结, 暖季又全部融化的土(岩)。

5 季节冻土和多年冻土季节融化层的冻胀性分级, 应根据土层的平均冻胀率按表 4.3.7—2 划分。冻土层的平均冻胀率应按下列式计算:

$$= \frac{\Delta_z}{h - \Delta_z} \times 100\% \quad (4.3.7-2)$$

式中 Δ_z ——地表冻胀量(mm);

h ——冻结层厚度(mm)。

表 4.3.7—2 季节冻土与季节融化层土的冻胀性分级

| 土的种类 | 冻前天然 含水率 $w(\%)$ | 冻前地下水位距 设计冻深的最小距离 $h_w(m)$ | 平均冻胀率 (%) | 冻胀 等级 | 冻胀 类别 |
|--|----------------------------|----------------------------------|----------------|----------|-------------|
| 粉黏粒质量不大于 15% 的粗颗粒土 (包括碎石类土,砾、 粗、中砂,下同), 粉黏粒质量不大于 10% 的细砂 | 不饱和 | 不考虑 | ≤ 1 | I 级 | 不 冻 胀 |
| 粉黏粒质量大于 15% 的粗颗粒土,粉 黏粒质量大于 10% 的细砂 | $w \leq 12$ | > 1.0 | | | |
| 粉砂 | $12 < w \leq 14$ | > 1.0 | | | |
| 粉土 | $w \leq 19$ | > 1.5 | | | |
| 黏性土 | $w \leq w_p + 2$ | > 2.0 | | | |
| 粉黏粒质量不大 于 15% 的粗颗粒土, 粉黏粒质量不大于 10% 的细砂 | 饱和含水 | 无隔水层时 | $1 < \leq 3.5$ | II 级 | 弱 冻 胀 |
| 粉黏粒质量大于 15% 的粗颗粒土,粉 黏粒质量大于 10% 的细砂 | $w \leq 12$ | ≤ 1.0 | | | |
| | $12 < w \leq 18$ | > 1.0 | | | |
| 粉砂 | $w \leq 14$ | ≤ 1.0 | | | |
| | $14 < w \leq 19$ | > 1.0 | | | |
| 粉土 | $w \leq 19$ | ≤ 1.5 | | | |
| | $12 < w \leq 22$ | > 1.5 | | | |
| 黏性土 | $w \leq w_p + 2$ | ≤ 2.0 | | | |
| | $w_p + 2 < w \leq w_p + 5$ | > 2.0 | | | |

续表 4.3.7—2

| 土的类别 | 冻前天然 含水率 $w(\%)$ | 冻前地下水位距 设计冻深的最小距离 $h_w(m)$ | 平均冻胀率 (%) | 冻胀 等级 | 冻胀 类别 |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------|----------|----------|
| 粉黏粒质量不大于 15% 的粗颗粒土, 粉黏粒质量不大于 10% 的细砂 | 饱和含水 | 有隔水层时 | 3.5 < \leq 6 | Ⅲ级 | 冻胀 |
| 粉黏粒质量大于 15% 的粗颗粒土, 粉黏粒质量大于 10% 的细砂 | $12 < w \leq 18$ | ≤ 1.0 | | | |
| | $w > 18$ | > 0.5 | | | |
| 粉砂 | $14 < w \leq 19$ | ≤ 1.0 | | | |
| | $19 < w \leq 23$ | > 1.0 | | | |
| 粉土 | $19 < w \leq 22$ | ≤ 1.5 | | | |
| | $22 < w \leq 26$ | > 1.5 | | | |
| 黏性土 | $w_p + 2 < w \leq w_p + 5$ | ≤ 2.0 | | | |
| | $w_p + 5 < w \leq w_p + 9$ | > 2.0 | | | |
| 粉黏粒质量大于 15% 的粗颗粒土, 粉黏粒质量大于 10% 的细砂 | $w > 18$ | ≤ 0.5 | 6 < \leq 12 | Ⅳ级 | 强冻胀 |
| 粉砂 | $19 < w \leq 23$ | ≤ 1.0 | | | |
| 粉土 | $22 < w \leq 26$ | ≤ 1.5 | | | |
| | $26 < w \leq 30$ | > 1.5 | | | |
| 黏性土 | $w_p + 5 < w \leq w_p + 9$ | ≤ 2.0 | | | |
| | $w_p + 9 < w \leq w_p + 15$ | > 2.0 | | | |

续表 4.3.7—2

| 土的类别 | 冻前天然含水率 $w(\%)$ | 冻前地下水位距 设计冻深的最小距离 $h_w(m)$ | 平均冻胀率 (%) | 冻胀 等级 | 冻胀 类别 |
|------|-----------------------------|----------------------------------|--------------|----------|----------|
| 粉砂 | $w > 23$ | 不考虑 | >12 | V级 | 特强 冻胀 |
| 粉土 | $26 < w \leq 30$ | ≤ 1.5 | | | |
| | $w > 30$ | 不考虑 | | | |
| 黏性土 | $w_p + 9 < w \leq w_p + 15$ | ≤ 2.0 | | | |
| | $w \geq w_p + 15$ | 不考虑 | | | |

注:1 w_p 为塑限, w 为冻前天然含水率在冻层内的平均值(%);

2 盐渍化冻土不在表列;

3 塑性指数大于 22,冻胀性降低一级;

4 小于 0.005 mm 粒径含量大于 60%时,为不冻胀土;

5 碎石类土当充填物大于全部质量的 40%,其冻胀性按填充物土的类别判定。

6 隔水层指季节冻结、季节融化活动层内的隔水层;

7 对冻胀变形敏感的工程尚应分析冻胀类别为“不冻胀”土的微冻胀性对工程的影响。

4.3.8 填土的判定和分类,应符合下列规定:

1 人为活动堆填的土应判定为填土,一般具有成分复杂、固结时间短等特点。

2 填土按物质组成和堆填方式的分类,应符合表 4.3.8 的规定。

表 4.3.8 填土的分类

| 名 称 | 填土特征 |
|-----|------------------------------|
| 杂填土 | 土中含有较多的建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂质 |
| 素填土 | 由碎石类土、砂类土、粉土、黏性土组成,不含杂质或杂质很少 |
| 冲填土 | 由水力冲填泥、砂等而成 |
| 填筑土 | 经人工按一定标准夯实、压密 |

本标准用词说明

执行本标准条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

1. 表示很严格,非这样做不可的用词:

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用词:

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用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。

4. 表示允许有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。