

第 1 章

地 基 勘 察

1.1 概 述

岩土工程勘察在工程地质课中称为“工程地质和水文地质勘察”。其主要任务是查明建筑物场地及其附近的工程地质及水文地质条件,为建筑物场地选择、建筑平面布置、地基与基础的设计和施工提供必要的资料。**场地**是指工程建筑所处的和直接使用的土地,而**地基**则是指场地范围内直接承托建筑物基础的岩土。

岩土工程勘察的内容、方法及工程量的确定取决于:①工程的规模和技术要求;②建筑场地地质和水文地质条件的复杂程度;③地基岩土层的分布和性质的优劣。通常勘察工作都是由浅入深,由表及里,随着工程的不同阶段逐步深化。岩土工程勘察工作可分为**可行性研究勘察**(或称选择场地勘察)、**初步勘察**和**详细勘察**三个阶段,以满足相应的工程建设阶段对地质资料的要求。对于地质条件复杂、有特殊要求的重大建筑物地基,尚应进行**施工勘察**。反之,对地质条件简单,面积不大的场地,且无特殊要求,其勘察阶段可以适当简化。每一勘察阶段的内容、要求、勘察方法以至于具体的细则,如勘察点的间距、勘探深度、取样数量等,详见《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009 年版)及各类工程的“岩土工程勘察规程”,这里不予详述。

本章地基勘察主要是指建筑总平面确定后的施工图设计阶段的勘察(详细勘察),即把勘察工作的主要对象缩小到具体建筑物的地基范围内。由于场地和地基是不可分割的,因而也涉及场地勘察的内容。

1.2 地基勘察任务和勘探点布置

1.2.1 地基勘察任务

地基勘察任务是对建筑物地基作出岩土工程评价,为地基基础设计提供岩土参数,并对地基基础设计和施工以及地基加固和不良地质现象的防

治工程提出具体的方案和建议。因此,在进行地基勘察之前应详细了解设计意图,全面收集和研究建筑场地及邻近地段的已有勘察报告和建筑经验,并取得下列各项资料:

- (1) 比例尺不小于 1:2000 的现状地形图及拟建建筑物的平面位置图;
- (2) 拟建建筑物的性质、规模、荷载、结构特点、有无地下结构,所采用的基础类型、尺寸、埋置深度以及对地基基础设计、施工的特殊要求等;
- (3) 拟建场地的历史沿革以及地下管线、电缆、地下构筑物的分布情况和水准基点的位置与高程。

通过地基勘察应该完成如下工作:

- (1) 查明不良地质作用的类型(如滑坡、岩溶、地裂缝、古河道等)、成因、分布范围、发展趋势和危害程度,并提出整治方案和建议;
- (2) 查明建筑物范围内岩土层的类型、深度、分布、工程特性,并分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载能力;
- (3) 对需要进行变形计算的建筑物,提供地基变形计算参数,预测建筑物的变形特征;
- (4) 查明埋藏的墓穴、防空洞、孤石等对工程不利的埋藏物;
- (5) 查明地下水的埋藏条件,提供地下水位及其变化幅度;
- (6) 对季节性冻土地区,提供场地土的标准冻结深度;
- (7) 对于地震烈度等于或大于 6 度的地区,应进行场地和地基的地震效应岩土工程勘察,以划分场地类别,提供地基土层的剪切波速和地震液化判别(详见第 8 章);
- (8) 判定水和土对建筑材料的腐蚀性。

1.2.2 勘探点的布置

本阶段勘探点的数量和间距应根据建筑物的安全等级和建筑场地的复杂程度确定。建筑场地按地形、地貌、地层土质和地下水位等的变化复杂程度分为以下三类:

- (1) **简单场地**:指抗震设防烈度不大于 6 度,地形平坦,地基岩土均匀良好,成因单一,地下水位对工程无影响,无不良地质作用的场地。
- (2) **中等复杂场地**:指对抗震不利地段,地形微起伏,地基岩土比较软弱、不够均匀,基础位于地下水位以下,不良地质作用一般发育的场地。
- (3) **复杂场地**:指对抗震危险的地段,地形起伏大,地基岩土成因复杂,土质软弱且显著不均匀,地下水位高、对建筑物有不良影响,不良地质作用强烈发育的场地。

根据地基的复杂程度,详细勘察阶段勘探点的间距可采用如下间距:

复杂场地	10~15m
中等复杂场地	15~30m
简单场地	30~50m

同时,为了较好地评价地基的均匀性,对于单栋的高层建筑,勘探点甲级不少于 5 个,乙级不少于 4 个;对于密集的高层建筑群,勘探点可以适当减少,但每栋建筑物至少应有一个控制性的勘探点。土质地基中的桩基勘探点间距,一般是,端承型桩宜为 12~24m,摩擦型桩宜为 20~35m,复杂地基的一柱一桩工程时,宜每柱设置勘探孔。

勘探点分为一般性勘探点和控制性勘探点两种。确定勘探点深度的原则,对一般性勘

探点应能控制地基的主要受力层,对于一般条形基础,不小于基础宽度 b 的 3 倍,对于单独柱基可取 $1.5b$,且不应少于 5m。对控制性勘探点则要求能控制地基压缩层的计算深度,一般情况下,可按表 1-1 取值。

表 1-1 控制性勘探孔深度 m

基础形式	基础宽度				
	1	2	3	4	5
条形基础	6	10	12		
单独基础		6	9	11	12

对于箱形、筏形和其他宽度很大的基础,一般性勘探点的深度 d_g 可按式(1-1)选择:

$$d_g = d + \alpha_g \beta b \tag{1-1}$$

式中: d_g ——一般性勘探孔的深度, m;

d ——基础埋置深度, m;

α_g ——与土层有关的经验系数,根据基础下主要受力土层的类别按表 1-2 取值;

β ——与高层建筑层数或基底压力有关的经验系数,对勘察等级为甲级的高层建筑可取 1.1,对乙级的高层建筑可取 1.0;

b ——基础底面宽度, m,对圆形基础或环形基础,按最大直径计算,对形状不规则的基础,按面积等代成方形、矩形或圆形面积的宽度或直径计算, m。

控制性勘探孔的深度应大于地基压缩层深度,可按式(1-2)估算:

$$d_c = d + \alpha_c \beta b \tag{1-2}$$

式中: d_c ——控制性勘探孔的深度, m;

α_c ——与土层有关的经验系数,根据地基主要压缩层土类按表 1-2 取值。

表 1-2 经验系数 α_c 、 α_g

经验系数	岩土类别				
	碎石土	砂土	粉土	黏性土	软土
α_c	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.2	1.0~1.5	2.0
α_g	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.7	0.6~0.9	1.0

注:表中范围值对同类土,地质年代老、密实或地下水位深者取小值,反之取大值。

对于桩基础,一般性勘探孔深度应达到预计桩长以下 $3\sim5d$ (d 为桩径),且不小于 3m;对于大直径桩,桩长以下不小于 5m;控制性勘探孔深度应满足下卧层验算要求及沉降计算要求。

当钻孔在预定深度内遇到基岩时,除了控制性钻孔应钻进基岩适当深度外,其他钻孔达到确认基岩后就可以终止钻进。若在预定的深度内有厚度较大且分布均匀的坚实土层(如碎石土、密实砂、老沉积土等)时,控制性钻孔仍应达到规定的深度,一般性探孔则可以适当减小孔深而不必达到规定的深度。

探孔除了测定地基土层的分布外,另一个重要的作用是采集土样和进行原位测试工作。用以取样或原位测试的探孔,其数量应视地基基础设计等级和土层分布的复杂程度而定,一

般可占探孔总数的 $1/2$, 钻孔取样孔数不应少于勘探孔总数的 $1/3$; 对于高层建筑不宜少于总数的 $2/3$ 。对于甲级的建筑物(见第2章), 要求每栋不宜少于4个。另外还要求地基内每一主要土层的原状土样件数或原位测试点数不应小于6件(组), 且厚度大于 0.5m 的夹层或透镜体都应采集土样或进行原位测试工作以鉴定土的特性。所谓原状土样是指基本上保持土的天然结构和物理状态的土样。

通过勘探点还要注意调查含水层的埋藏条件, 地下水类型及补给、排泄条件, 确定各层地下水的水位和变化幅度。对于地下水可能浸湿基础时, 还应采取水样, 进行腐蚀性评价。

1.3 地基勘探方法

为了查明地基内岩土层的构成及其在竖直方向和水平方向上的变化, 岩土的物理力学性质, 地下水位的埋藏深度及变化幅度, 以及不良地质现象及其分布范围等, 需要进行地基勘探。地基勘探所采用的方法通常有下列几种。

1.3.1 地球物理勘探

地球物理勘探是用物理的方法勘测地层分布、地质构造和地下水埋藏深度等的一种勘探方法。不同的岩土层具有不同的物理性质, 例如导电性、密度、波速和放射性等, 所以, 可以用专门的仪器测量地基内不同部位物理性质的差别, 从而判断、解释地下的地质情况, 并测定某些参数。地球物理勘探是一种简便而迅速的间接勘探方法, 如果运用得当, 可以减少直接勘探(如钻探和坑槽探)的工作量, 降低勘探成本, 加快勘探进度。

地球物理勘探的方法很多, 如地震勘探(包括各类测定波速的方法)、电法勘探、磁法勘探、放射性勘探、声波勘探、雷达勘探、重力勘探等, 其中最常用的是地震勘探。在《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)中, 要求按剪切波速的大小进行场地的岩土类型划分, 这时就必须进行现场地震勘探以确定岩土的传播速度。有关这类方法的原理、设备和测试内容可参阅有关专门资料。

1.3.2 坑槽探

坑槽探也称为掘探法, 即在建筑场地开挖探坑、探井或探槽直接观察地基岩土层情况, 并从坑槽中取高质量原状土进行试验分析。这种方法用于要了解的土层埋藏不深, 且地下水位较低的情况。图 1-1 是探坑的示意图。探坑深度一般不超过 4m , 但当地下水位较深, 土质较好时, 有时探坑也可挖 4m 以上。

1.3.3 钻探

钻探就是用钻机向地下钻孔以进行地质勘探, 是目前应用最广的勘探方法。通过钻探可以达到: ①划分地层, 确定土层的分界面高程, 鉴别和描述土的表观特征; ②取原状土样

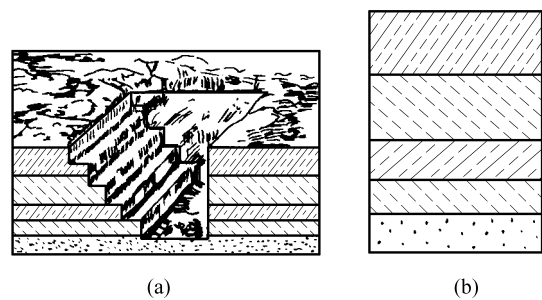


图 1-1 探坑
(a) 探坑示意图；(b) 探坑柱状图

或扰动土样供试验分析；③确定地下水位埋深,了解地下水的类型；④在钻孔内进行原位试验,如触探试验、旁压试验等。

土基钻探所用的工具有机钻和人力钻两种。机钻的种类很多,图 1-2 是一种回转式机钻,钻孔直径为 110~200mm,钻探深度一般为几十米,有时可达百米以上。可以在钻进过程中连续取出土样,从而能比较准确地确定地下土层随深度的变化以及地下水的情况。人力钻常用麻花钻、勺形钻、洛阳铲为钻具,借人力打孔,设备简单,使用方便,但只能取结构被破坏的土样,用以查明地基土层的分布,其钻孔深度一般不超过 6m。

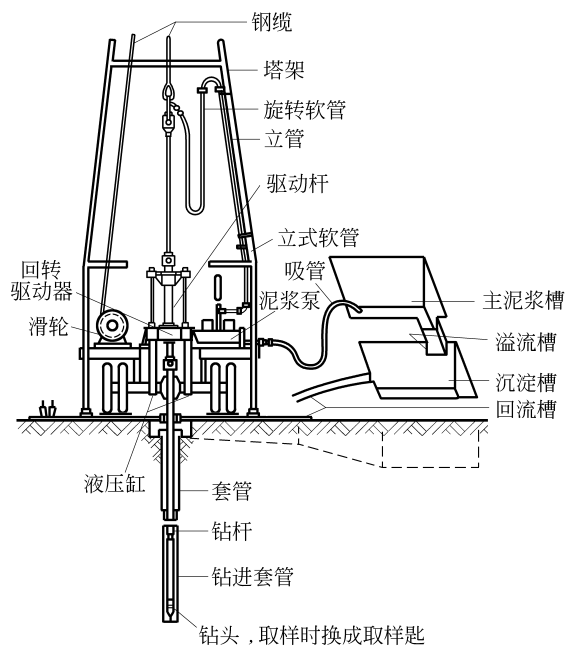


图 1-2 回转式钻机示意图

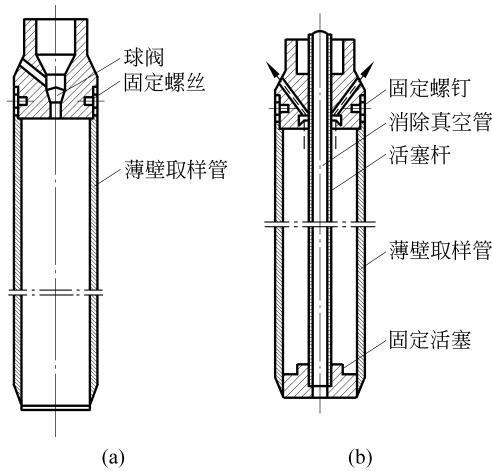


图 1-3 原状土取样器
(a) 敞口薄壁取样器；(b) 固定活塞薄壁取样器

从钻孔中取原状土样,需用原状土取样器。原状土取样器为壁厚 1.25~2.0mm 的薄壁取样器,分敞口式和活塞式两种,见图 1-3。敞口式薄壁取样器构造简单,取样操作方便,但在上提过程中筒中土样容易脱落。活塞式取样器在取土管内另装一套活塞装置,活塞上

有管杆直通地表。取样前,活塞与取土管的管口齐平以防止孔中泥浆或其他杂物进入管内。取土时,先固定活塞杆,再将取土管压入土中;切取土样后,固定内杆(活塞杆)与外杆(取土器管杆)的相对位置,再拔断土样、取出土样。由于活塞上移产生的真空压力托住土样,提升过程中,土样不容易脱落。

1.3.4 触探

触探是一种勘探方法,同时也是一种现场测试方法。但是测试结果所提供的指标并不是概念明确的土的物理量,通常需要将它与土的某种物理力学参数建立统计关系才能使用,而且这种统计关系因土而异,并有很强的地区性。因此本章仍将其列入勘探方法中。

触探法具有很多优点,它不但能较准确地划分土层,且能在现场快速、经济、连续测定土的某种性质,以确定地基的承载力、桩的侧壁阻力和桩端阻力、地基土的抗液化能力等。因此,近数十年来,无论是在试验机具、传感技术、数据采集技术方面,还是在数据处理、机理分析与应用理论的探讨方面,都取得了较大进展,与此同时,试验的标准化程度也在不断提高,成为地基勘探的一种重要手段。

按触探头入土方式的不同,触探法分为动力触探和静力触探两大类。

1. 动力触探

动力触探是用一定重量的击锤,从一定高度自由下落,锤击插入土中探头,测定使探头贯入土中一定深度所需要的击数,以击数的多少判定被测土的性质。根据探头的不同形式,动力触探又可以分为两种类型。

(1) 管形探头

管形探头的形状如图 1-4 所示。采用这种探头的动力触探法称为标准贯入试验(SPT)。击锤的质量 63.5kg,落距 760mm,以贯入 300mm 的锤击数 N 作为贯入指标,是目前勘探中用得很多的一种触探法。在《建筑抗震设计规范》中以它作为判定地基土层是否可液化的主要方法。此外,还可以根据 N 值确定砂的密实程度。表 1-3 是我国《岩土工程勘察规范》砂土密实度的划分表。

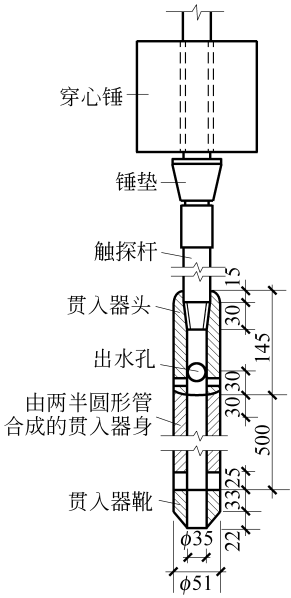


图 1-4 标准贯入试验装置(mm)

表 1-3 按标准贯入击数确定砂土密实度

N 值	密实度	N 值	密实度
$N \leq 10$	松 散	$15 < N \leq 30$	中 密
$10 < N \leq 15$	稍 密	$N > 30$	密 实

实际上,同等密度的砂层,其标准贯入击数还与砂层的深度,也即上覆压力有关,图 1-5 是美国吉布斯(Gibbs)和荷尔兹(Holtz)等提出的标准贯入击数,有效上覆压力和相对密度

的相关关系曲线,可供参考采用。

(2) 圆锥形探头

这类动力触探试验按其贯入能量不同,可分为轻型、重型和超重型 3 类,其规格见表 1-4。轻型动力触探也称为**轻便触探试验**,其设备如图 1-6(a)所示;重型和超重型触探器探头的形状见图 1-6(b)。轻便触探试验常用于施工验槽、人工填土勘察以及清查局部软弱土和洞穴的分布,重型和超重型动力触探试验则是评价碎石和卵石、砾石地层密实度的有效试验方法。评价的标准见表 1-5 和表 1-6。其中表 1-5 适用于平均粒径小于或等于 50mm 且最大粒径小于 100mm 的碎石土;表 1-6 适用于平均粒径大于 50mm 或最大粒径大于 100mm 的碎石土。

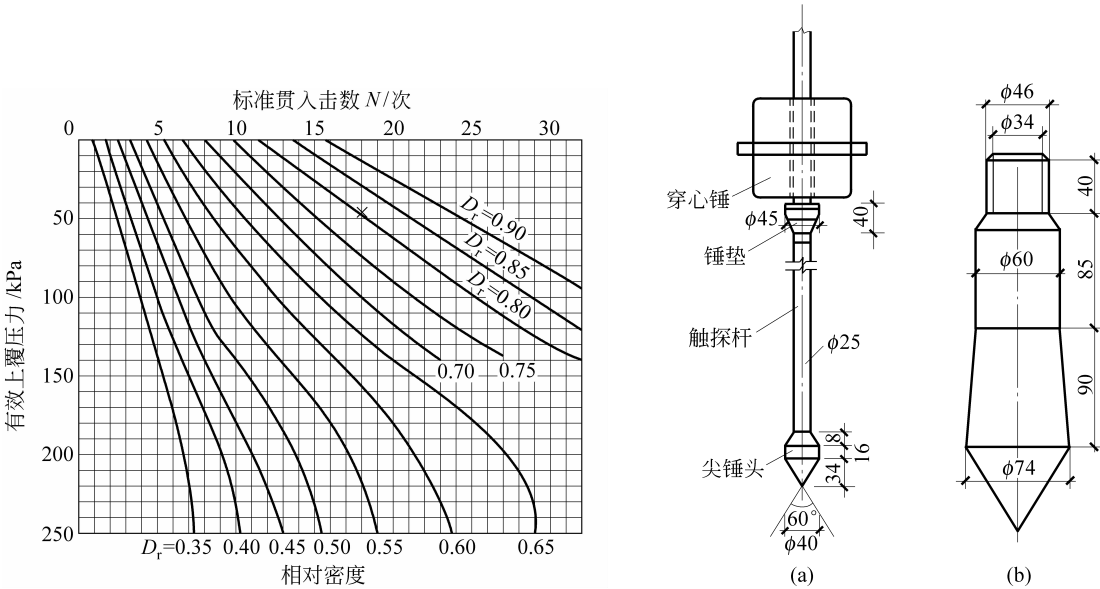


图 1-5 N 值和有效上覆压力与相对密度的关系

图 1-6 圆锥动力触探装置(mm)

表 1-4 圆锥动力触探类型

类 型		轻 型	重 型	超重型
落 锤	锤的质量/kg	10	63.5	120
	落距/cm	50	76	100
探 头	直径/mm	40	74	74
	锥角/(°)	60	60	60
探杆直径/mm		25	42	50~60
指标		贯入 30cm 的读数 N_{10}	贯入 10cm 的读数 $N_{63.5}$	贯入 10cm 的读数 N_{120}
主要适用岩土		浅部的填土、砂土、粉土、黏性土	砂土、中密以下的碎石土、极软岩	密实和很密的碎石土、软岩、极软岩

表 1-5 碎石土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

重型动力触探锤击数 $N_{63.5}$	密实度	重型动力触探锤击数 $N_{63.5}$	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

表 1-6 碎石土密实度按 N_{120} 分类

超重型动力触探锤击数 N_{120}	密实度	超重型动力触探锤击数 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		

2. 静力触探

静力触探是将金属探头用静力以一定的速度连续压入土中,测定探头所受到的阻力。通过以往试验资料所归纳得出的比贯入阻力与土的某些物理力学性质的相关关系,定量确定土的某些指标,如砂土的密实度、黏性土的强度、压缩模量,以及地基土和单桩的承载力和液化可能性等。静力触探的探头分成两种,即单桥探头和双桥探头,其构造见图 1-7(a)和(b)。单桥探头的圆锥头与外套筒连成一体,在贯入土的过程中测得的是总阻力 P 。总阻力除以圆锥底面积 A ,即得比贯入阻力 p_s ,即

$$p_s = \frac{P}{A}$$

(1-3)

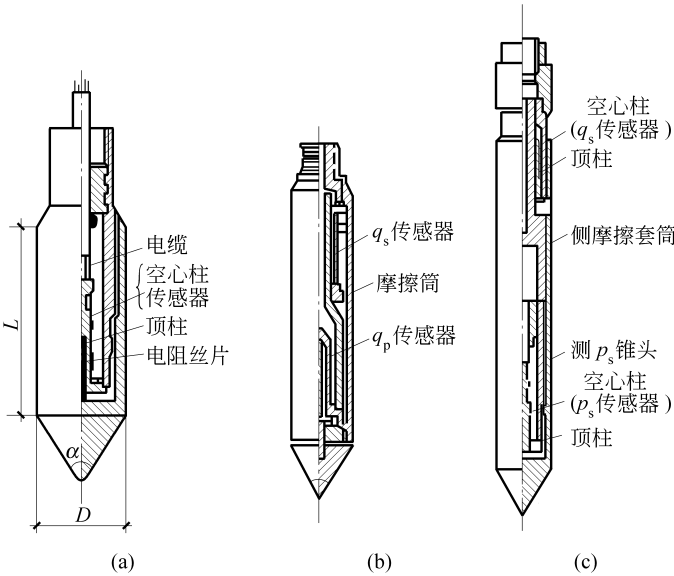


图 1-7 静力触探探头
(a) 单桥探头; (b) 双桥探头; (c) 综合双桥探头

双桥探头的圆锥头与外套筒分开,压入土的过程中,能分别测得锥底的总阻力 Q_p 和侧壁的总摩擦阻力 Q_s ,则锥头上单位面积的阻力和侧壁单位面积的摩擦力分别为

$$q_p = \frac{Q_p}{A} \quad (1-4)$$

$$q_s = \frac{Q_s}{S} \quad (1-5)$$

式中: S ——外套筒的表面积。

为使单桥探头和双桥探头所测得结果能互换使用和相互验证,后来又研制出一种特殊形式的“综合双桥探头”,如图 1-7(c)所示,其特点是可同时测出单桥触探指标和双桥触探指标,故可充分结合现有的经验和资料,最大限度地发挥测试结果的效用。近年来还发展了在探头中装孔隙水压力传感器的技术,可以测定贯入过程中土层中的超静孔隙水压力的发展和以后孔隙水压力的消散,从而可以推算土的固结特性。

例 1-1 在钻孔内 5m 深处测得砂层的标准贯入击数 $N=18$, 已知地下水位接近地面, 砂土的饱和重度 $\gamma_{\text{sat}}=19.8\text{kN/m}^3$, 最大孔隙比 $e_{\text{max}}=1.05$, 最小孔隙比 $e_{\text{min}}=0.55$, 求该砂层的天然孔隙比。

解 5m 深处的有效自重应力

$$\sigma_s = 5 \times (19.8 - 9.8) = 50 (\text{kN/m}^2)$$

按 $N=18$, 查图 1-5 求砂土的相对密度, 得

$$D_r = 0.80$$

计算天然孔隙比:

$$\begin{aligned} D_r &= \frac{e_{\text{max}} - e}{e_{\text{max}} - e_{\text{min}}} \\ e &= e_{\text{max}} - D_r(e_{\text{max}} - e_{\text{min}}) \\ &= 1.05 - 0.80 \times (1.05 - 0.55) = 0.65 \end{aligned}$$

1.4 地基岩土分类

依照我国《岩土工程勘察规范》中土的分类法,按地质年代划分,第四纪晚更新世(Q_3)及以前沉积的土,称为老沉积土;第四纪全新世(Q_4)早期沉积的土称为一般黏性土;第四纪全新世(Q_4)中近期沉积的土,称为新近沉积土。按地质成因划分,可分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、冰碛土和风积土等。按土中有机质含量 W_u 划分, $W_u < 5\%$ 的土为无机土, $5\% \leq W_u \leq 10\%$ 的土为有机质土, $10\% < W_u \leq 60\%$ 的土为泥炭质土, $W_u > 60\%$ 的土为泥炭。而在《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)中,按组成将地基岩土分成岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土六类。

岩石是一种由多种造岩矿物以一定结合规律组成的地质体,是组成岩体的物质;具有非均匀性、各向异性和裂隙性等特征。对于岩石,除了应确定岩石的地质名称外(如花岗岩、砂岩、片麻岩等),还要划分岩石的坚硬程度和完整程度。按饱和单轴抗压强度 f_r , 岩石可分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩五类,划分标准见表 1-7。

表 1-7 岩石坚硬程度分类

坚硬程度	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度/MPa	$f_r > 60$	$60 \geq f_r > 30$	$30 \geq f_r > 15$	$15 \geq f_r > 5$	$f_r \leq 5$

注：当岩体完整程度为极破碎时，可不进行坚硬程度分类。

岩体中由于存在着解理和裂隙，波的传播速度较岩块为低，以岩体纵波的波速与岩块纵波波速之比的平方定义为岩体完整指数，则完整指数越高，完整程度越好。按完整指数，岩体的完整程度可分为完整、较完整、较破碎、破碎和极破碎五类，见表 1-8。

表 1-8 岩体完整程度分类

完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
完整性指数	> 0.75	$0.75 \sim 0.55$	$0.55 \sim 0.35$	$0.35 \sim 0.15$	< 0.15

碎石土指粒径大于 2mm 颗粒含量超过土粒的总质量 50% 的土。根据粒组含量及颗粒形状，下面再细分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾、角砾六类，如表 1-9 所示。碎石土的密实度见表 1-5 和表 1-6。

表 1-9 碎石土分类

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
漂石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 200mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 20mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于 2mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
角砾	棱角形为主	

注：定名时，应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

砂类土指粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过土粒的总质量 50%，而粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过总质量的 50% 的土。砂土根据粒组含量不同又细分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂五类，如表 1-10 所示。砂土的密实度见表 1-3。

表 1-10 砂土分类

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

注：定名时应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

粉土指粒径大于 0.075mm 的颗粒含量小于土粒的总质量 50%，而塑性指数 $I_p \leq 10$ 的土。这类土按以前的分类法属于黏性土，称为轻亚黏土或少黏性土。也有的规范将粉土按塑性指数进一步分为砂质粉土 ($3 < I_p \leq 7$) 和黏质粉土 ($7 < I_p \leq 10$)。粉土既不具有砂土的透水性大、容易排水固结、抗剪强度较高的优点，又不具有黏性土的防渗、抗水性能好、不易