

第十章 各类建筑工程的勘察

本章重点：各类建筑工程勘察的内容、方法、手段、要求和评价

学习要求：掌握各类建筑工程勘察阶段的划分、能根据地质条件选择正确的勘察方法和勘察手段、能对工程场地的地质条件和稳定性做出正确的评价。

第一节 房屋建筑与构筑物

一、房屋建筑与构筑物的特点及对地基勘察的基本要求

房屋建筑与构筑物系指一般的房屋建筑、高层建筑、大型公用建筑、工业厂房及烟筒、水塔、电视电讯塔等高耸构筑物。一般房屋建筑及构筑物的特点是：跨度不大，结构简单，基础的荷载量较小，且以静荷载为主，很少考虑动荷载和偏心荷载，基础埋深不大，以浅基础为主。而高层建筑的特点主要是高度大、荷重大基础埋深大等，并由此而产生竖向荷载大而集中，由风力和地震力产生的水平荷载引起的倾覆力矩成倍增长。在房屋建筑与构筑物中，常常遇到的以下几种岩土工程问题。

1. 区域的稳定性问题；
2. 斜坡的稳定性问题；
3. 地基的稳定性问题；
4. 建筑物的配置问题；
5. 地下水的侵蚀性问题；
6. 地基的施工条件问题。

房屋建筑及构筑物的岩土工程勘察，应在搜集建筑物上部荷载、功能特点，结构类型，基础形式、埋置深度和变形限制等方面资料的基础上进行。其勘察工作的基本要求是：

1. 查明场地和地基的稳定性，地层结构。持力层和下卧层的工程特性，土的应力历史和地下水条件以及不良地质作用等；
2. 提供满足设计，施工所需的岩土参数，确定地基承载力，预测地基变形性状；
3. 提出地基基础，基坑支护，工程降水和地基处理设计与施工方案的建议；
4. 提出对建筑物有影响的不良地质作用的防治方案建议；
5. 对抗震设防烈度等于或大于 6 度的场地，进行场地与地基的地震效应评价。

二、地基评价与计算

（一）地基评价的内容

地基的评价与计算是工程地质测绘，勘探，测试和搜集已有资料的基础上，结合工程特点和要求进行。其内容主要为：

1. 天然地基

- （1）评价场地和地基的整体稳定性和适宜性。
- （2）提出地基承载力特征值。
- （3）估算建筑物的沉降、倾斜、差异沉降。
- （4）根据岩土埋藏条件，地下水位，冻结深度等。对设计单位初定的基础埋深提出调整建议。
- （5）根据场地和地基条件，提出基础设计，上部结构设计，施工措施等方面的建议，必要时，提出对监测工作的建议。
- （6）当场地有不良地质作用或特殊性岩土时，应进行相应的分析与评价，并提出工程措施建议。
- （7）对一级建筑物和需要进行沉降计算的二级建筑物，宜进行沉降分析；对高层建筑，在进行沉降分析时，应预结建筑物的倾斜；对荷载差别很大的相邻建筑物及对不均匀沉降敏

感的建筑物，宜对不均匀沉降及其产生的内力进行分析。沉降分析中的经验修正系数宜采用地方经验。宜考虑地基与基础，上部结构的协同作用。

(8) 有沉降分析任务时，宜专门编写沉降分析报告。

(9) 评价土、水对建筑材料的腐蚀性。

2. 桩基工程

桩基工程的分析评价包括下列内容：

(1) 提供可选的桩基类型和桩端持力层；对桩类型，桩的分置提出桩长、桩径方案的建议；提出单桩侧阻力与端阻力的特征值。

(2) 当有软弱下卧层时，验算软弱下卧层强度；任务需要时，可对群桩效应，群桩承载力和沉降进行专门的试验研究，并提交相应的试验研究报告。

(3) 对欠固结土和有大量堆载的工程，应分析桩侧产生负摩阻力的可能性及其对桩基承载力的影响，并提供负摩阻力系数和减少负摩阻力措施的建议。

(4) 分析成桩的可能性，成桩和挤土效应的影响，对桩基工程设计、施工、监测提出建议并提出保护措施的建议。

(5) 持力层为倾斜地层，基岩面凹凸不平或岩土中有洞穴时，应评价桩的稳定性，并提出处理措施的建议。

3. 基坑工程

基坑工程的分析与计算应包括以下内容：

(1) 边坡的局部稳定性、整体稳定性和坑底抗隆起稳定性；

(2) 坑底和侧壁的渗透稳定性；

(3) 挡土结构和边坡可能发生的变形；

(4) 降水效果和降水对环境的影响；

(5) 开挖和降水对邻近建筑物和地下设施的影响。

4. 场地地震效应评价

当场地所在地属于强震区时，勘察报告分析与计算内容除遵守上述规定外，尚应包括下列内容：

(1) 场地地震的基本烈度。

(2) 建筑场地类别。

(3) 场地所处位置属于对抗震有利，不利还是危险地段。

(4) 场地断裂的地震工程类型，是否属于发震断裂或全新活动断裂，对工程稳定性的影响。

(5) 对场地土地震液化进行判别，并计算液化指数，划分液化等级。

(6) 对场地与地基的抗震措施提出建议。

(7) 在岸边和斜坡地带勘察时，应对地震时场地的稳定性进行分析评价。

(二) 地基均匀性评价

地基均匀性评是天然地基评价中的重要内容。对于不均匀地基、应进行沉降，差异沉降倾斜等特征分析评价，并提出相应建议。评价地基均匀性时，应从工程地质单元，地基土层工程特性差异，地基土层压缩性，持力层底面坡度等方面评价。地基土层符合下列情况之一者，应判别为不均匀地基。

1. 地基持力层跨越不同地貌单元或工程地质单元，工程特性异显著。

2. 地基持力层虽属于同一地貌单元或工程地质单元，但遇下列情况之一者，应判别为不均匀地基。

(1) 中~缩性地基，持力层底面或相邻基底标高的坡度大于 10%。

(2) 中~高压缩性地基，持力层及其下卧层在基础宽度方向的厚度差值大于 $0.05b$ (b

为基础宽度)。

(3) 衡量地基土压缩性的不均匀性, 以压缩层内各土层的压缩模量为评价依据。

①当 \bar{E}_{s1} 、 \bar{E}_{s2} 的平均值小于 10MPa 时, 符合式 (10-1) 要求者为均匀地基。

$$\bar{E}_{s1} - \bar{E}_{s2} < \frac{1}{25}(\bar{E}_{s1} + \bar{E}_{s2}) \quad (10-1)$$

②当 \bar{E}_{s1} 、 \bar{E}_{s2} 的平均值大于 10MPa 时, 符合式 (10-2) 要求者为均匀地基。

$$\bar{E}_{s1} - \bar{E}_{s2} < \frac{1}{20}(\bar{E}_{s1} + \bar{E}_{s2}) \quad (10-2)$$

③当不能满足上列 (1) 和 (2) 的要求时, 属不均匀地基。

三、地基承载力确定

地基承载力是指地基受荷后, 塑性区限制在一定范围内, 保证不产生剪切破坏而丧失稳定, 且地基变形不超过容许值时的承载能力。即同时满足地基土的强度条件和对沉降、倾斜的限制要求。

在 2001 年的《规范》颁布之前, 地基承载力分基本值、标准值、设计值三个值。地基承载力基本值 (f_0) 是指按地层有关指标算术平均值或野外鉴别结果确定的地基承载力。地基承载力标准值 (f_k) 是指按有关规范规定的标准方法试验并经统计处理后的承载力值。地基承载力设计值 (f_d) 是地基承载力标准值经基础宽度和埋深修正后的地基承载力值。2001 年现行《规范》颁布后, 把地基承载力分为地基承载力特征值和修正后地基承载力特征值。地基承载力特征值 (f_{ak}) 指由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值, 其最大值为比例界限值。修正后的地基承载力特征值 (f_a) 则是地基承载力特征值经深宽修正后的地基承载力值。《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002) 中规定**地基承载力特征值可由载荷试验或其它原位测试、公式计算、并结合工程实践经验等方法综合确定。**

(一) 地基承载力特征值的确定

目前, 地基承载力特征值由以下方法确定:

1. 静力载荷试验确定

在现场通过一定尺寸的载荷板对扰动较少的地基土体直接加荷, 所测得的成果一般能反映相当于 1~2 倍载荷板宽度的深度以内土体的平均值。这样大的影响范围为许多其他测试方法所不及。有些地基规范中地基承载力表所提供的经验数值也是以静载荷试验成果为基础的。

进行载荷试验的具体方法前面已详尽叙述, 下面介绍怎样利用静力载荷试验记录整理而成的 $p\sim s$ 曲线来确定地基承载力特征值。

承载力特征值的确定应符合下列规定:

- (1) 当 $p\sim s$ 曲线上有比例界限时, 取该比例界限所对应的荷载值;
- (2) 当极限荷载小于对应比例界限的荷载值的 2 倍时, 取极限荷载值的一半;
- (3) 当不能按上述两条款要求确定时, 当压板面积为 $0.25\sim 0.50\text{m}^2$, 可取 $s/b=0.01\sim 0.015$ 所对应的荷载, 但其值不应大于最大加载量的一半。
- (4) 同一土层参加统计的试验点不应少于三点, 当试验实测值的极差不超过其平均值的 30% 时, 取此平均值作为该土层的地基承载力特征值 f_{ak} 。

2. 原位测试试验确定

原位测试试验可通过动力触探试验、静力触探试验、标准贯入试验、旁压试验等方法确定。《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2001) 规定, 静力触探、动力触探、标准贯入等

原位测试，用于确定地基承载力，在我国已有丰富的经验，可以应用。但必须有地区经验，即当地的对比资料。同时还应注意，当地基基础设计等级为甲级或乙级时，应结合室内试验成果综合分析，不宜单独应用。下面，我们介绍一些 89《建筑地基基础设计规范》和有关手册中的地基承载力的确定方法，可作为使用中的参考。在使用中注意逐步积累资料，建立本地区的原位试验参数与地基承载力之间的经验关系式。

由标准贯入试验锤击数 N 和轻便触探锤击数 N_{10} 确定地基承载力标准值时，应对现场锤击数根据杆长修正，再经下式计算：

$$N(N_{10}) = N - 1.645\sigma \quad (10-3)$$

式中： N ——杆长修正后平均值；

σ ——标准差。

根据 $N(N_{10})$ 值查表 10-1~表 10-4 确定砂土、粘性土、填土的地基承载力标准值。

表 10-1 砂土承载力标准值 f_k (kPa)

土类	N			
	10	15	30	50
中、粗砂	180	250	340	500
粉、细砂	140	180	250	340

表 10-2 粘性土承载力标准值 f_k (kPa)

N	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
f_k	105	145	190	235	280	325	370	430	515	600	680

表 10-3 粘性土承载力标准值 f_k (kPa)

N_{10}	15	20	25	30
f_{ak}	105	145	190	230

表 10-4 素填土承载力标准值 f_k (kPa)

N_{10}	10	20	30	40
f_k	85	115	135	160

注：只适用于粘性土与粉土组成的素填土

由重型圆锥动力触探和超重型圆锥动力触探试验结果可确定砂土、碎石土的地基承载力标准值。见表 10-5、10-6。表中动力触探锤击数 $N_{63.5}$ 、 N_{120} 须经过杆长修正。

表 10-5 碎石土、砂土承载力标准值

击数平均值 $N_{63.5}$	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16
碎石土 f_k (kPa)	140	170	200	240	280	320	360	400	470	540	600
中、粗、砾砂 f_k (kPa)	120	150	180	220	260	300	340	380			

表 10-6 碎石土 N_{120} 与承载力 f_k 的关系

N_{120}	3	4	5	6	8	10	12	14	≥ 16
f_k (kPa)	250	300	400	500	640	720	800	850	900

3. 规范查表法

《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)中将地基承载力表列入规范附录中使用,而现行《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)中提出,由于我国幅员广大,土质条件各异,用几张表很难概括全国的规律。用查表法确定承载力在大多数地区基本适合或偏保守,但也不排除个别地区可能不安全。因而现行规范取消了有关承载力表的条文和附录,勘察单位应根据试验和地区经验确定地基承载力的设计参数。也可参考地区和行业规范来确定地基承载力。这里,我们介绍《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)中提出的土(岩)承载力标准值的确定方法,在实际工作中可以做一参考。

(1) 当根据野外鉴定结果确定地基承载力标准值时,应符合表 10-7、10-8 的规定。

表 10-7 岩石承载力标准值 (kPa)

风化程度 岩石类别	强风化	中等风化	微风化
硬质岩石	500~1000	1500~2500	≥4000
软质岩石	200~500	700~1200	1500~2000

注: ①对于微风化的硬质岩石,其承载力取用如大于 4000kPa 时,应由试验确定; ②对于强风化的岩石,当与残积土难于区分时按土考虑。

表 10-8 碎石土承载力标准值 (kPa)

密实度 土的名称	密实	中密	稍密
卵石	800~1000	500~800	300~500
碎石	700~900	400~700	250~400
圆砾	500~700	300~500	200~300
角砾	400~600	250~400	200~350

注: ①表中数值适用于骨架颗粒空隙中砂、粗砂或硬塑、坚硬状态的粘性土或稍湿的粉土所充填; ②当粗颗粒为中等风化或强风化时,可按其风化程度适当降低承载力,当颗粒呈半胶结状时,可适当提高承载力。

(2) 当根据室内物理、力学指标平均值确定地基承载力标准值时,应按下列规定将表 10-9 至表 10-13 中的承载力基本值乘以回归修正系数:

①回归修正系数应按下列式计算

$$\psi_f = 1 - \left(\frac{2.884}{\sqrt{n}} + \frac{7.918}{n^2} \right) \delta \quad (10-4)$$

式中: ψ_f ——回归修正系数;

N ——据以查表的土性指标参加统计的数据数;

Δ ——变异系数,变异系数计算同前。

②当表中并列二个指标时,变异系数应按下列式计算:

$$\delta = \delta_1 + \xi \delta_2 \quad (10-5)$$

式中: δ_1 ——第一指标的变异系数;

δ_2 ——第二指标的变异系数;

ξ ——第二指标的折算系数,将有关承载力表的注。

表 10-9 粉土承载力基本值 (kPa)

第二指标含水率 ω (%)	10	15	20	25	30	35	40
指标孔隙比 e							
0.5	410	390	(365)				
0.6	310	300	280	(270)			
0.7	250	240	225	215	(205)		
0.8	200	190	180	170	(165)		
0.9	160	150	145	140	130	(125)	
1.0	130	125	120	115	110	105	(100)

注：①有括号者仅供内插用；②折算系数 ξ 为 0；③在湖、塘、沟、谷与河漫滩地段，新近沉积的粉土，其工程性质一般较差，应根据当地实际经验取值。

表 10-10 沿海地区淤泥和淤泥质土承载力基本值 (kPa)

天然含水量 ω (%)	36	40	45	50	55	65	75
f_0 (kPa)	100	90	80	70	60	50	40

注：对于内地淤泥和淤泥质土可参照使用。

表 10-11 粘性土承载力基本值 (kPa)

第二指标液性指数 I_L	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.20
第一指标孔隙比 e						
0.5	475	430	390	(360)		
0.6	400	360	325	295	(265)	
0.7	350	295	265	240	210	170
0.8	270	240	220	200	170	135
0.9	230	210	190	170	135	105
1.0	200	180	160	135	115	
1.1		160	135	115	105	

注：①有括号者仅供内插用；②折算系数 ξ 为 0.1；③在湖、塘、沟、谷与河漫滩地段与新近沉积的粘性土，其工程性质一般较差。第四纪晚更新世及其以前沉积的老粘性土，其工程性质通常较好。这些土均应根据当地实际经验取值。

表 10-12 素填土承载力基本值

压缩模量 E_s (MPa)	7	5	4	3	2
f_0 (kPa)	160	135	115	85	65

注：①本表值适用于堆填时间超过十年的粘性土，以及超过五年的粉土；
②压实填土根据压实系数确定。

表 10-13 红粘土承载力基本值 (kPa)

土的名称	第一指标含水比 $\alpha_w = \frac{w}{w_L}$	第二指标 液塑比 $\frac{w_L}{w_p}$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
			红粘土	≤ 1.7	380	270	210	180
		≥ 2.3	280	200	160	103	110	100
次生红粘土			250	190	150	130	110	100

注：①本表仅适用定义范围内的红粘土；②折算系数 ξ 为 0.4。

4. 理论公式法

对竖向荷载偏心和水平力都不大的基础来说，当荷载偏心距 $e \leq b/30$ (b 为偏心方向基础底边长) 时，可以采用《建筑地基基础设计规范》推荐的公式计算地基承载力特征值。

$$f_a = M_b r b + M_d r_o d + M_c C_k \quad (10-6)$$

式中： f_a ——由土的抗剪强度指标确定的地基承载力特征值；

B ——基础底面宽度 (m)，大于 6m 时按 6m 考虑；对于砂土地基小于 3m 时按 3m 考虑；

M_b 、 M_d 、 M_c ——承载力系数，按 φ_k 值查表 10-17；

φ_k 、 C_k 、 r ——基础底下一倍基础宽度内土的内摩擦角 ($^\circ$)，粘聚力 (kPa) 和重度 (kN/m^3) 的标准值，地下水位以下取土的有效重度；

d 、 r_o ——分别为基础埋深 (m) 和埋深 d 范围内土的加权平均重度 (kN/m^3)。

表 10-17 承载力经验系数 M_b 、 M_d 、 M_c

φ_k ($^\circ$)	M_b	M_d	M_c	φ_k ($^\circ$)	M_b	M_d	M_c
0	0.00	1.00	3.14	22	0.61	3.44	6.04
2	0.03	1.12	3.32	24	0.80	3.87	6.45
4	0.06	1.25	3.51	26	1.10	4.37	6.90
6	0.10	1.39	3.71	28	1.40	4.93	7.40
8	0.14	1.55	3.93	30	1.90	5.59	7.95
10	0.18	1.73	4.17	32	2.60	6.35	8.55
12	0.23	1.94	4.42	34	3.40	7.21	9.22
14	0.29	2.17	4.69	36	4.20	8.25	9.97
16	0.36	2.43	5.00	38	5.00	9.44	10.80
18	0.43	2.72	5.31	40	5.80	10.84	11.73
20	0.51	3.06	5.66				

上述公式来源于《土力学》中的土的临塑荷载、塑性荷载确定地基土的承载力的公式。因而，临塑荷载、塑性荷载及极限荷载确定地基土的承载力的公式可以作为计算修正后地基土承载力特征值的理论公式之一。

5. 工程实践经验确定

经过长期的勘察工作，在各地区、各单位勘察技术人员依据大量工程实践及系统分析对比，都对本地区各地层地基承载力有了自己的实践经验，总结编制了可供使用的图表，这些都是极有价值的资料，因此对于一些中小型工程，即可直接用类比法，依据经验确定地基承载力，并直接用于设计中。在勘察中，除了应用各种技术方法确定承载力以外，工程实践经验也可以比较准确的确定地基承载力，要注意的是应该将实践经验与各种技术方法相对照，不断地进行检查修正，以获得更为准确的地基承载力数据。

用以上各种方法确定的某一地层的地基承载力特征值必须经过综合分析评价后，才能提供一个较为可靠的代表性数值，因而要求尽可能多的采用多种方法进行评价，提供的数据才有可靠性。

(二) 修正后地基承载力特征值的确定

由载荷试验或其他原位测试，经验值等方法确定的地基承载力特征值，当基础宽度大于 3m 或埋置深度大于 0.5m 时，尚应按下式修正：

$$f_a = f_{ak} + \eta_b r (b-3) + \eta_d r_m (d-0.5) \quad (10-7)$$

式中： f_a ——修正后的地基承载力特征值；

f_{ak} ——按现场载荷试验或其他原位测试、经验值等方法确定的地基承载力特征值；

- η_b 、 η_d ——基础宽度与埋深的地基承载力修正系数，根据基底下土的类别查表 10-17 取值；
- b ——基础底面宽度 (m)，当基础宽度小于 3m 时，按 3m 计算，大于 6m 按 6m 取值；
- d ——基础埋置深度，一般自室外地面标算起；
- r ——基础地面以下土的重度，地下水位以下取浮重度；
- r_m ——基础地面以上土的加权平均重度，地下水位以下取浮重度。

表 10-17 承载力修正系数

土的类型		η_b	η_d
淤泥和淤泥质土		0	1.0
人工填土 e 或 Π 大于等 0.85 粘性土		0	1.0
红粘土	含水比 $a_w > 0.8$	0	1.2
	含水比 $a_w \leq 0.8$	0.15	1.4
大面积压实填土	压实系数大于 0.95，粘粒含量 $p_c \geq 10\%$ 的粉土	0	1.5
	最大干密度大于 $2.1t/m^3$ 的级配砂石	0	2.0
粉土	粘粒含量 $p_c \geq 10\%$ 的粉土	0.3	1.5
	粘粒含量 $p_c < 10\%$ 的粉土	0.5	2.0
e 及 I_L 均小于 0.85 的粘性土		0.3	1.6
粉砂、细砂 (不包括很湿与饱和时的稍密状态)		2.0	3.0
中砂、粗砂、砾砂和碎石土		3.0	4.4

注：强风化和全风化的岩石，可参照所风化成的相应土类取值，其他状态下的岩石不修正。

四、地基的沉降计算

为保证建筑物的安全稳定，在强度和变形两个条件中，变形条件显得比较重要。地基土体在建筑物荷载的作用下将要发生变形，建筑物也会随之沉降。如果沉降过大超过允许范围时可能危害到建筑物结构的安全，或影响建筑物的正常使用。所以对地基进行设计时必须进行地基承载力的计算外，还应按规范要求对地基变形的验算，使地基变形值在规范要求的允许值的范围内。

《建筑地基基础设计规范》中要求：地基基础设计应符合下列规定：

1. 所有建筑物的地基计算均应满足承载力计算的有关规定；
2. 设计等级为甲级、乙级的建筑物均应按地基变形设计；
3. 表 10-18 所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不作变形验算，如有下列情况之一时，仍应作变形验算：
 - (1)地基承载力特征值小于 130kPa，且体型复杂的建筑；
 - (2)在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大，可能引起地基产生过大的不均匀沉降时；
 - (3)软弱地基上的建筑物存在偏心荷载时；
 - (4)相邻建筑距离过近，可能发生倾斜时；
 - (5)地基内有厚度较大或厚薄不均的填土，其自重固结未完成时。
4. 对经常受水平荷载作用的高层建筑、高耸结构和挡土墙等，以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物，尚应验算其稳定性；
5. 基坑工程应进行稳定性验算；
6. 当地下水埋藏较浅，建筑地下室或地下构筑物存在上浮问题时，尚应进行抗浮验算。

表 10-18

可不作地基变形计算设计等级为丙级的建筑物范围

地基主要受力层的情况	地基承载力标准值 f_{ak} (kPa)		$60 \leq f_{ak} < 80$	$80 \leq f_{ak} < 100$	$100 \leq f_{ak} < 130$	$130 \leq f_{ak} < 160$	$160 \leq f_{ak} < 200$	$200 \leq f_{ak} < 300$	
	各土层坡度 (%)		≤ 5	≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	
建筑类型	砌体承重结构、框架结构 (层数)		≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 6	≤ 6	≤ 7	
	单层排架结构 (6 m 柱距)	单跨	吊车额定起重量 (t)	5~10	10~15	15~20	20~30	30~50	50~100
		双跨	厂房跨度 (m)	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
	双跨	吊车额定起重量 (t)	3~5	5~10	10~15	15~20	20~30	30~75	
		厂房跨度 (m)	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30	
	烟囱	高度 (m)	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 75	≤ 75	≤ 100	
		水塔	高度 (m)	≤ 15	≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 30	
	容积 (m ³)	≤ 50	50~100	100~200	200~300	300~500	500~1000		

注：①地基主要受力层系指条形基础底面下深度为 $3b$ (b 为基础底面宽度)，独立基础下为 $1.5b$ ，厚度均不小于 $5m$ 的范围（二层以下的一般的民用建筑除外）。

②地基主要受力层中如有承载力标准值小于 $130kPa$ 的土层时，表中砌体承重结构的设计，应符合规范有关规定。

③表中砌体结构和框架结构均指民用建筑，对于工业建筑可按厂房高度、荷载情况折合成与其相当的民用建筑层数。

④表中额定吊车起重量、烟囱高档商品和水塔容积的数值均指最大值。

沉降计算的目的是为了预测建筑物建成后基础的沉降量（包括差异沉降）是否超过建筑物安全和正常使用所规定的地基变形允许值。在《建筑地基基础设计规范》中规定：**为保证建筑物的正常使用，必须使建筑物的地基变形值不大于地基变形允许值。**要求地基的变形值在允许的范围內，即

$$s \leq [s] \quad (10-8)$$

式中： s ——建筑物地基在长期荷载作用下的变形，mm；

$[s]$ ——建筑物地基变形允许值，mm（表 10-19）。

如果地基变形验算不符合要求，则应通过改变基础类型或尺寸、采取减弱不均匀沉降危害措施、进行地基处理或采用桩基础等方法来解决。

在计算地基变形时，一般应遵守下列规定：

(1) 由于地基不均匀、建筑物荷载差异大或体型复杂等因素引起的地基变形，对于砌体承重结构，应由局部倾斜控制；对于框架结构和单层排架结构，应由相邻柱基的沉降差控制。

(2) 对于多层或高层建筑和高耸结构应由倾斜控制。

(3) 必要时应分别预估建筑物在施工期间和使用期间的地基变形值，以便预留建筑物有关部分之间的净空，考虑连接方法论和施工顺序。就一般建筑而言，在施工期间完成的沉降量，对于砂土，可认为其已接近最终沉降量；对于低压缩性粘土可认为已完成最终沉降量的 50%~80%；对于中压缩性粘土，可认为已完成最终沉降量的 20%~50%；对于高压缩性粘土，可认为已完成最终沉降量的 5%~20%。

地基变形的允许值按变形特征的有以下几种：

(1) 沉降量——独立基础或刚性特大的基础中心沉降量。

(2) 沉降差——相邻两个柱基的沉降量之差。

(3) 倾斜——独立基础在倾斜方向基础两端点的沉降差与其距离的比值。

(4)局部倾斜——砖石承重结构沿纵墙 6~10m 内基础两点的沉降差与其距离的比值。

《建筑地基基础设计规范》中规定：地基变形的允许值，按表 10-19 规定采用。对表中未包括的建筑物，其地基变形允许值应根据上部结构对地基变形的适应能力和使用上的要求确定。

表 10-19 建筑物的地基变形允许值

变 形 特 征	地基土类型	
	中、低压缩性土	高压缩性土
砌体承重结构基础的局部倾斜	0.002	0.003
工业与民用建筑相邻柱基的沉降差		
(1) 框架结构	0.002 <i>l</i>	0.003 <i>l</i>
(2) 砌体墙填充的边排柱	0.0007 <i>l</i>	0.001 <i>l</i>
(3) 当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构	0.005 <i>l</i>	0.005 <i>l</i>
单层排架结构(柱距为 6m)柱基的沉降量(mm)	(120)	200
桥式吊车轨面的倾斜(按不调整轨道考虑)		
纵向		0.004
横向		0.003
多层和高层建筑的整体倾斜 $H_g \leq 24$		0.004
$24 < H_g \leq 60$		0.003
$60 < H_g \leq 100$		0.0025
$H_g > 100$		0.002
体型简单的高层建筑基础的平均沉降量(mm)		200
高耸结构基础的倾斜 $H_g \leq 20$		0.008
$20 < H_g \leq 50$		0.006
$50 < H_g \leq 100$		0.005
$100 < H_g \leq 150$		0.004
$150 < H_g \leq 200$		0.003
$200 < H_g \leq 250$		0.002
高耸结构基础的沉降量(mm) $H_g \leq 100$		400
$100 < H_g \leq 200$		300
$200 < H_g \leq 250$		200

注：①本表数值为建筑物地基实际最终变形允许值；②有括号者仅适用于中压缩性土；③*l*为相邻基的中心距离(mm)； H_g 为自室外地面起算的建筑物高度(m)；④倾斜指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值；⑤局部倾斜指砌体承重结构沿纵向 6~10m 内基础两点的沉降差与其距离的比值。

(一) 分层总和法

地基沉降的计算常采用分层总和法。分层总和法是在假定地基土为均匀，连续的半无限空间弹性体，压缩变形时不能侧向膨胀的条件下，将受压地基分成若干层，分别计算出各压缩分层的沉降量，累积其总和，即为沉降量。

分层总和法地基最终沉降量步骤：

- (1) 绘制地基土层剖面图和基础剖面图；
- (2) 计算地基土的自重应力(分层界面处)；
- (3) 计算基础底面接触压力和附加压力；
- (4) 将受土层划分为若干层，并计算各层的附加应力。分层时，一般不超过 0.4B(B 为基础宽度)或 1~2m，同时应注意将天然层面和地下水位面作为分层界面；
- (5) 确定地基受力层厚度。一般取附加应力值和自重应力之比为 0.2(软土 0.1)处，作为受压层的底部界限；
- (6) 计算各土层的压缩量和地基最终沉降量。

根据基本假设，可利用室内压缩试验成果进行计算：

$$\Delta S_i = \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} h_i \quad (10-9a)$$

$$= \frac{\alpha_i (P_{2i} - P_{1i})}{1 + e_{1i}} h_i \quad (10-9b)$$

$$= \frac{\Delta P_i}{E_{si}} h_i \quad (10-9c)$$

式中， P_{1i} 为第 i 层土的平均自重压力； P_{2i} 为第 i 层土的平均自重压力和平均附加压力之和。 $P_{2i} - P_{1i}$ 为第 i 层土的平均附加应力。则有

$$\Delta S_i = \frac{1}{E_{si}} \frac{\delta_{zi} + \delta_{zi-1}}{2} h_i \quad (10-9d)$$

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{1 + e_{1i}} \frac{\delta_{zi} + \delta_{zi-1}}{2} h_i \quad (10-10)$$

式中： h_i ——第 i 层土的厚度；

e_{1i} ——第 i 层土上下层面自重应力 P_{1i} 作用下，土层的孔隙比；

e_{2i} ——第 i 层土上下层面在自重应力和附加应力共同 P_{2i} 作用下土层的孔隙比；

α_i ——第 i 分层对 $P_{2i} - P_{1i}$ 段压缩系数；

E_{si} ——第 i 分层对 $P_{2i} - P_{1i}$ 段压缩模量。

(二) 规范法 (应力面积法)

我国现行的《建筑地基基础设计规范》(GB5007-2002)所推荐的沉降计算公式，是另一种形式的分层总和法。与分层总和法相比，其不同点是：以地基天然层面分层，减少了分层过多的计算；引入平均附加应力系数，采用附加应力面积；受压层深度采用相对变形为控制标准；引入沉降计算经验系数，以调整沉降理论计算值。

1. 计算步骤如下：

- (1) 计算基础底面的附加应力；
- (2) 依据地基土的压缩性划分计算层；
- (3) 计算各层压缩量；
- (4) 确定沉降计算深度 Z_n ；

地基最终沉降量计算公式为：

$$S = \psi_s S' = \psi_s \sum \frac{P_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (10-11)$$

式中： S ——地基最终沉降量 (mm)；

S' ——按分层总和法计算出的地基变形量；

ψ_s ——沉降计算经验系数，(根据地区沉降观测资料及经验确定，也可系用表 10-21 中数据)；

N ——地基沉降计算深度范围内所划分的土层数；
 P_0 ——对应于荷载标准值时的基底面处的附加应力；

z_i 、 z_{i-1} ——基础底面到第 i 层土，第 $i-1$ 层土底面的距离 cm ；

α_i 、 α_{i-1} ——基础底面计算点至第 i 层土，第 $i-1$ 层土底面范围内平均附加应力系数，可查表确定；

E_{si} ——基础底面下第 i 层土的压缩模量，应取土的自重应力至土的自重压力与附加应力之和的压力段计算。

2. 压缩层深度 Z_n 确定

地基沉降深度是指自基础底面向下需要计算压缩变形所达到的深度。该深度以下土层的压缩变形值小到可以忽略不计。地基沉降计算深度，《建筑地基基础设计规范》用符号 Z_n 表示。其要求符合下式：

$$Z_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta S'_i \tag{10-12}$$

式中： Z_n ——在由计算深度向上取厚度为 ΔZ 的土层计算沉降值，见图 10-1，其取值按表 10-20 确定。

$\Delta S'_i$ ——在计算深度范围内，第 i 层土的计算变形值。

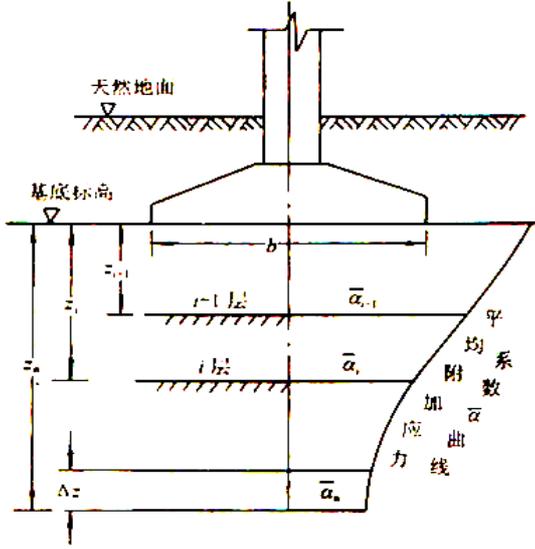


图 10-1 基础沉降计算的分层示意图

表 10-20 ΔZ 值的确定

$b(\text{m})$	$b \leq 2$	$2 < b \leq 4$	$4 < b \leq 8$	$8 < b$
$\Delta Z (\text{m})$	0.3	0.6	0.8	1.0

当无相邻荷载影响，基础宽度在 $1 \sim 30\text{m}$ 范围内时，基础中点的地基变形计算深度也可按下式计算：

$$Z_n = b(2.5 - 0.4 \ln b) \tag{10-13}$$

式中： b ——基础宽度 (m)

在计算深度范围内存在基岩时，可取至基岩表面；当存在较厚的坚硬粘性土层，其孔隙比小于 0.5、压缩模量大于 50MPa，或存在较厚的密实砂卵石层，其压缩模量大于 80MPa 时，可取至该层土表面。

3. 沉降计算经验系 ψ_s

《建筑地基基础设计规范》规定，按上述公式计算得到的沉降 S' 尚应乘以一个沉降计算经验系数 ψ_s ，以提高计算准确度。其取值可由表 10-21 查得

表 10-21

沉降计算经验系数 ψ_s

基底附加应力	Es(MPa)				
	2.5	4.0	7.0	15.0	20.0
$P_0 \geq f_{ak}$	1.4	1.3	1.0	0.4	0.2
$P_0 \leq 0.75f_{ak}$	1.1	1.0	0.7	0.4	0.2

注： \overline{E}_s 为沉降计算深度范围内各分层压缩的当量值按下式计算：

$$\overline{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{si}}} \quad (10-14)$$

式中： A_i ——第*i*层土附加应力系数沿土层厚度的积分值。

五、房屋建筑与构筑物地基勘察要点

房屋建筑与构筑物地基勘察阶段一般分为可行性研究勘察阶段、初步勘察阶段和详细勘察阶段，当建筑场地的工程地质条件复杂或有特殊施工要求的重大建筑地基，或基槽开挖后、地质情况与原勘察资料严重不符而可能影响工程质量时，勘察单位尚应配合设计和施工单位进行补充性的地质工作或进行施工勘察。对工程规模不大且无特殊要求，建筑场地的工程地质条件简单，或者有建筑经验的地区，可适当简化上述勘察阶段。

房屋建筑和构筑物的岩土工程勘察，应在搜集建筑物上部荷载、功能特点、结构类型、基础形式、埋置深度和变形限制等方面资料的基础上进行。其主要工作内容应符合下列规定：

1. 查明场地和地基的稳定性、地层结构、持力层和下卧层的工程特性、土的应力历史和地下水条件以及不良地质作用等；

2. 提供满足设计施工所需的岩土参数，确定地基承载力，预测地基变形性状；

3. 提出地基基础、基坑支护、工程降水和地基处理设计与施工方案的建议；

4. 提出对建筑物有影响的不良地质作用的防治方案建议；

5. 对于抗震设防烈度等于或大于 6 度的场地，进行场地与地基的地震效应评价。

(一) 可行性研究勘察阶段

可行性研究勘察阶段的工作内容就是在几个可能作为建筑物场址的场地中进行调查，通过踏勘访问、搜集，分析已有的地质资料和当地建筑经验及水文气候条件等，初步查明有无影响场址稳定性的不良地质现象及其危害程度。并了解各场地地基中岩土体的成因，岩性结构及水文地质条件等。上述工作不能满足要求时，应进行工程地质测绘，着重研究场地存在的主要工程地质问题。必要时，尚应进行适量的勘探和测试工作。

可行性研究勘察，应对拟建场地的稳定性和适宜性做出评价，并应符合下列要求：

1. 搜集区域地质、地形地貌、地震、矿产、当地的工程地质、岩土工程和建筑经验等资料；

2. 在充分搜集和分析已有资料的基础上，通过踏勘了解场地的地层、构造、岩性、不良地质作用和地下水等工程地质条件；

3. 当拟建场地工程地质条件复杂，已有资料不能满足要求时，应根据具体情况进行工程地质测绘和必要的勘探工作；

4. 当有两个或两个以上拟选场地时应进行比选分析。

根据建筑场地的地质特征和区域稳定性、地基强度和环境地质情况及水文地质条件等主要地质因素，进行综合分析，把场址分为优秀、中等、不良三种类型。场地选择应首选优秀场地，次选中等场地避开不良场地。

优秀场地：区域稳定性好，场地远离主构造断裂和活动断裂带，基本烈度小 6 度，地形平坦开阔，无不良自然地质现象；地基中基岩的岩性坚硬，岩体完整、土体结构简单，土层

均一,无软弱夹层,持力层厚度大、强度高而均一,可作天然地基,承载力特征值大于 150kPa,地下水的埋深较大,地下水最高水位远远低于基础砌置深度和地基持力层,用地面积能满足建筑物的总体布置和远景发展规划要求,施工方便而且土方量不大。

中等场地:区域稳定性较好,地震基本烈度为 6 度或稍高一些,区内无活动断裂,局部有易于整治的不良物理地质现象;地基土体中有软弱土层和透镜体,持力层不厚而结构复杂。土层岩性在水平和垂直方向上都不均匀,地基承载力特征值不能满足设计要求,需作人工地基或改变上部结构并采用加固措施;地下水埋深较浅,水质对基础有侵蚀性,开挖基坑时需采取排水及防治措施;地形起伏较大,建筑物布置困难,施工不方便,挖填土石方量较大。

不良场地:具有下列任一情况均为不良场地,宜避开或深入比较后再决定:

1. 场地位于建筑物抗震危险地段,地震基本烈度大于 9 度,地基不是由坚硬,完整的岩体组成,或岩基中有构造断裂存在。

2. 在地震基本烈度为 7~9 度(包括 7 度和 9 度)的情况下,场地的附近存在发震断裂,地震时可能出现地裂,错动等震害加剧的危险;地基中有饱和松砂,淤泥和淤泥质土、冲填土、杂填土等;地形为条形突出的山脊,高耸的山包及非岩质的陡坡等,均是对建筑物的抗震不利地段。

3. 地下有可采的有价值矿床,未稳定的采空区或人工洞穴密集等地段。

4. 不良地质现象(如泥滑坡、泥石流等)很发育且对场地的稳定性有直接危险或潜在威胁而又难以整治的地段。

5. 地表以下 30m 深度内、岩溶土洞发育,地面有可能塌陷,并且可溶岩表面起伏变化悬殊的地段。

6. 洪水或地下水对场地有严重不良影响区。

7. 洪积扇溢出带,该处地下水埋藏浅而溢出地表,土层结构复杂,土质不均匀,地基严重不稳定地段。

(二) 初步勘察阶段

初步勘察是在已选定的场地上进行。其主要任务是为确定建筑物的平面配置,主要建筑物的基础类型以及对不良地质条件的防治措施等提供可靠的工程地质资料,应对场地内拟建建筑地段的稳定性做出评价。

1. 初步勘察的工作内容

在初步勘察阶段,主要进行下列主要工作:

(1) 搜集拟建工程的有关文件、工程地质和岩土工程资料以及工程场地范围的地形图;
(2) 初步查明地质构造、地层结构、岩土工程特性、地下水埋藏条件;
(3) 查明场地不良地质作用的成因、分布、规模、发展趋势,并对场地的稳定性做出评价。

(4) 对抗震设防烈度等于或大于 6 度的场地,应对场地和地基的地震效应做出初步评价;

(5) 季节性冻土地区,应调查场地土的标准冻结深度;

(6) 初步判定水和土对建筑材料的腐蚀性;

(7) 高层建筑初步勘察时,应对可能采取的地基基础类型、基坑开挖与支护、工程降水方案进行初步分析评价

2. 初步勘察的工作要求

初步勘察阶段的勘探工作应符合下列要求:

(1) 勘探线应垂直地貌单元、地质构造和地层界线布置;

(2) 每个地貌单元均应布置勘探点,在地貌单元交接部位和地层变化较大的地段,勘探点应予加密;

(3) 在地形平坦地区, 可按网格布置勘探点;

(4) 对岩质地基, 勘探线和勘探点的布置, 勘探孔的深度, 应根据地质构造、岩体特性风化情况等按地方标准或当地经验确定; 对土质地基应符合下列各条的规定。

3. 勘探点的布置

(1) 初步勘察勘探线勘探点间距可按表 10-22 确定, 局部异常地段应予加密。

表 10-22 初步勘察、勘探线、勘探点间距 (m)

地基复杂程度等级	勘探线间距	勘探点间距
一级 (复杂)	50~100	30~50
二级 (中等)	75~150	40~100
三级 (简单)	150~300	75~200

注: ①表中间距不适用于地球物理勘探

②控制性勘探点宜占勘探总数的 1/5~1/3 且每一个地貌单元均应有控制性勘探点。

(2) 初步勘察勘探孔的深度可按表 10-23 确定

表 10-23 初步勘察勘探孔深度 (m)

工程重要性等级	一般性勘探孔	控制性勘探孔
一级 (重要工程)	≥15	≥30
二级 (一般工程)	10~15	15~30
三级 (次要工程)	6~10	10~20

注: ①勘探孔包括钻孔、探井和原位测位孔等

②特殊用途的钻孔除外

(3) 当遇下列情形之一时, 应适当增减勘探孔深度:

- ①当勘探孔的地面标高与预计整平地面标高相差较大时, 应按其差值调整勘探孔深度;
- ②在预定深度内遇基岩时, 除控制性勘探孔仍应钻入基岩适当深度外, 其他勘探孔达到确认的基岩后即可终止钻进;
- ③在预定深度内有厚度较大, 且分布均匀的坚实土层 (如碎石土、密实砂、老沉积土等) 时, 除控制性勘探孔应达到规定深度外, 一般性勘探孔的深度可适当减小;
- ④当预定深度内有软弱土层时, 勘探孔深度应适当增加, 部分控制性勘探孔应穿透软弱土层或达到预计控制深度;
- ⑤对重型工业建筑应根据结构特点和荷载条件适当增加勘探孔深度。

4. 取样及原位测试要求

初步勘察采取土试样和进行原位测试应符合下列要求:

(1) 采取土试样和进行原位测试的勘探点应结合地貌单元、地层结构和土的工程性质布置, 其数量可占勘探点总数的 1/4~1/2;

(2) 采取土试样的数量和孔内原位测试的竖向间距, 应按地层特点和土的均匀程度确定; 每层土均应采取土试样或进行原位测试, 其数量不宜少于 6 个。

5. 水文地质工作

初步勘察应进行下列水文地质工作:

(1) 调查含水层的埋藏条件, 地下水类型, 补给排泄条件, 各层地下水位, 调查其变化幅度, 必要时应设置长期观测孔, 监测水位变化;

(2) 当需绘制地下水等水位线图时,应根据地下水的埋藏条件和层位,统一量测地下水水位;

(3) 当地下水可能浸湿基础时,应采取水试样进行腐蚀性评价。

(三) 详细勘察阶段

详细勘察应按单体建筑物或建筑群提出详细的岩土工程资料和设计、施工所需的岩土参数;对建筑地基做出岩土工程评价,并对地基类型、基础形式、地基处理、基坑支护、工程降水和不良地质作用的防治等提出建议。

1. 详细勘察阶段的工作内容

详细勘察阶段主要应进行下列工作:

(1) 搜集附有坐标和地形的建筑总平面图,场区的地面整平标高,建筑物的性质、规模、荷载、结构特点、基础形式、埋置深度、地基允许变形等资料;

(2) 查明不良地质作用的类型、成因、分布范围、发展趋势和危害程度,提出整治方案的建议;

(3) 查明建筑范围内岩土层的类型、深度、分布、工程特性、分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载力;

(4) 对需进行沉降计算的建筑物,提供地基变形计算参数,预测建筑物的变形特征;

(5) 查明埋藏的河道、沟浜、墓穴、防空洞、孤石等对工程不利的埋藏物;

(6) 查明地下水的埋藏条件,提供地下水水位及其变化幅度;

(7) 在季节性冻土地区,提供场地土的标准冻结深度;

(8) 判定水和土对建筑材料的腐蚀性。

2. 详细勘察的工作要求

详细勘察阶段的勘探工作应符合下列要求:

(1) 对抗震设防烈度等于或大于 6 度的场地,勘察工作应按强震区地震效应勘察的要求执行;当建筑物采用桩基础时,应符合桩基础的勘察要求;当需进行基坑开挖、支护和降水设计时,应按基坑工程勘察要求执行。

(2) 工程需要时,详细勘察应论证地基土和地下水在建筑施工和使用期间可能产生的变化及其对工程和环境的影响,提出防治方案、防水设计水位和抗浮设计水位的建议。

(3) 详细勘察勘探点布置和勘探孔深度,应根据建筑物特性和岩土工程条件确定。对岩质地基,应根据地质构造、岩体特性、风化情况等,结合建筑物对地基的要求,按地方标准或当地经验确定;对土质地基,应符合下列各条的规定。

3. 勘探点的布置

(1) 详细勘察勘探点的间距可按表 4.1.15 确定。

表 10-24

详细勘察勘探点的间距(m)

地基复杂程度等级	勘探点间距	地基复杂程度等级	勘探点间距
一级(复杂)	10~15	三级(简单)	30~50
二级(中等复杂)	15~30		

(2) 详细勘察的勘探点布置,应符合下列规定:

① 勘探点宜按建筑物周边线和角点布置,对无特殊要求的其他建筑物可按建筑物或建筑群的范围布置;

② 同一建筑范围内的主要受力层或有影响的下卧层起伏较大时,应加密勘探点,查明其变化;

③重大设备基础应单独布置勘探点，重大的动力机器基础和高耸构筑物，勘探点不宜少于 3 个；

④勘探手段宜采用钻探与触探相配合，在复杂地质条件、湿陷性土、膨胀岩土、风化岩和残积土地区、宜布置适量探井。

(3) 详细勘察的单栋高层建筑勘探点的布置，应满足对地基均匀性评价的要求，且不应少于 4 个，对密集的高层建筑群，勘探点可适当减少，但每栋建筑物至少应有 1 个控制性勘探点。

4. 勘探点的深度

详细勘察的勘探深度自基础底面算起，应符合下列规定：

(1) 勘探孔深度应能控制地基主要受力层，当基础底面宽度不大于 5m 时，勘探孔的深度对条形基础不应小于基础底面宽度的 3 倍，对单独柱基不应小于 1.5 倍，且不应小于 5m；

(2) 对高层建筑和需作变形计算的地基，控制性勘探孔的深度应超过地基变形计算深度；高层建筑的一般性勘探孔应达到基底下 0.5~1.0 倍的基础宽度，并深入稳定分布的地层；

(3) 对仅有地下室的建筑或高层建筑的裙房，当不能满足抗浮设计要求，需设置抗浮桩或锚杆时，勘探孔深度应满足抗拔承载力评价的要求；

(4) 当有大面积地面堆载或软弱下卧层时，应适当加深控制性勘探孔的深度；

(5) 在上述规定深度内当遇基岩或厚层碎石土等稳定地层时，勘探孔深度应根据情况进行调整。

(6) 地基变形计算深度，对中、低压缩性土可取附加压力等于上覆土层有效自重压力 20% 的深度；对于高压缩性土层可取附加压力等于上覆土层有效自重压力 10% 的深度；

(7) 建筑总平面内的裙房或仅有地下室部分(或当基底附加压力 $p_0 \leq 0$ 时)的控制性勘探孔的深度可适当减小，但应深入稳定分布地层，且根据荷载和土质条件不宜少于基底下 0.5~1.0 倍基础宽度；

(8) 当需进行地基整体稳定性验算时，控制性勘探孔深度应根据具体条件满足验算要求；

(9) 当需确定场地抗震类别而邻近无可靠的覆盖层厚度资料时，应布置波速测试孔，其深度应满足确定覆盖层厚度的要求；

(10) 大型设备基础勘探孔深度不宜小于基础底面宽度的 2 倍；

(11) 当需进行地基处理时，勘探孔的深度应满足地基处理设计与施工要求；当采用桩基时，勘探孔的深度应满足桩基础勘察的要求。

5. 取样及原位测试

详细勘察采取土试样和进行原位测试应符合下列要求：

(1) 采取土试样和进行原位测试的勘探点数量，应根据地层结构、地基土的均匀性和设计要求确定，对地基基础设计等级为甲级的建筑物每栋不应少于 3 个；

(2) 每个场地每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于 6 件(组)；

(3) 在地基主要受力层内，对厚度大于 0.5m 的夹层或透镜体，应采取土试样或进行原位测试；

(4) 当土层性质不均匀时，应增加取土数量或原位测试工作量。

(四) 施工勘察

基坑或基槽开挖后，岩土条件与勘察资料不符或发现必须查明的异常情况时，应进行施工勘察；在工程施工或使用期间，当地基土、边坡体、地下水等发生未曾估计到的变化时，应进行监测，并对工程和环境的影响进行分析评价。

六、桩基础勘察要点

1. 桩基岩土工程勘察应包括下列内容：

(1)查明场地各层岩土的类型、深度、分布、工程特性和变化规律；

(2)当采用基岩作为桩的持力层时，应查明基岩的岩性、构造、岩面变化、风化程度，确定其坚硬程度、完整程度和基本质量等级，判定有无洞穴、临空面、破碎岩体或软弱岩层；

(3)查明水文地质条件，评价地下水对桩基设计和施工的影响，判定水质对建筑材料的腐蚀性；

(4)查明不良地质作用，可液化土层和特殊性岩土的分布及其对桩基的危害程度，并提出防治措施的建议；

(5)评价成桩可能性，论证桩的施工条件及其对环境的影响。

2. 桩基岩土工程勘察的要求

(1)土质地基勘探点间距应符合：①对端承桩宜为 12~24m，相邻勘探孔揭露的持力层面高差宜控制为 1~2m；②对摩擦桩宜为 20~35m；当地层条件复杂，影响成桩或设计有特殊要求时，勘探点应适当加密；③复杂地基的一柱一桩工程，宜每柱设置勘探点。

(2)桩基岩土工程勘察宜采用钻探和触探以及其他原位测试相结合的方式，对软土、粘性土、粉土和砂土的测试手段，宜采用静力触探和标准贯入试验；对碎石土宜采用重型或超重型圆锥动力触探。

(3)勘探孔的深度应符合：①一般性勘探孔的深度应达到预计桩长以下 3~5d(d 为桩径)，且不得小于 3m；对大直径桩，不得小于 5m；②控制性勘探孔深度应满足下卧层验算要求；对需验算沉降的桩基，应超过地基变形计算深度；③钻至预计深度遇软弱层时，应予加深；在预计勘探孔深度内遇稳定坚实岩土时，可适当减小；④对嵌岩桩，应钻入预计嵌岩面以下 3~5d，并穿过溶洞、破碎带、到达稳定地层；

⑤对可能有多种桩长方案时，应根据最长桩方案确定。

(4)岩土室内试验应满足的要求：①当需估算桩的侧阻力、端阻力和验算下卧层强度时，宜进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验；三轴剪切试验的受力条件应模拟工程的实际情况；②对需估算沉降的桩基工程，应进行压缩试验，试验最大压力应大于上覆自重压力与附加压力之和；③当桩端持力层为基岩时，应采取岩样进行饱和单轴抗压强度试验，必要时尚应进行软化试验；对软岩和极软岩，可进行天然湿度的单轴抗压强度试验。对无法取样的破碎和极破碎的岩石，宜进行原位测试。

(5)单桩竖向和水平承载力，应根据工程等级、岩土性质和原位测试成果并结合当地经验确定。对地基基础设计等级为甲级的建筑物和缺乏经验的地区，应建议做静载荷试验。试验数量不宜少于工程桩数的 1%，且每个场地不少于 3 个。对承受较大水平荷载的桩，应建议进行桩的水平载荷试验；对承受上拔力的桩，应建议进行抗拔试验。勘察报告应提出估算的有关岩土的基桩侧阻力和端阻力。必要时提出估算的竖向和水平承载力和抗拔承载力。

(6)对需要进行沉降计算的桩基工程，应提供计算所需的各层岩土的变形参数，并宜根据任务要求，进行沉降估算。

(7)桩基工程的岩土工程勘察报告除应符合岩土工程勘察报告的一般要求，并按上述第(5)、(6)条提供承载力和变形参数外，尚应包括的内容：①提供可选的桩基类型和桩端持力层；提出桩长、桩径方案的建议；②当有软弱下卧层时，验算软弱下卧层强度；③对欠固结土和有大量堆载的工程，应分析桩侧产生负摩阻力的可能性及其对桩基承载力的影响，并提供负摩阻力系数和减少负摩阻力措施的建议；④分析成桩的可能性，成桩和挤土效应的影响，并提出保护措施的建议；⑤持力层为倾斜地层，基岩面凹凸不平或岩土中有洞穴时，应评价桩的稳定性，并提出处理措施的建议。

七、基坑工程的勘察要点

这里主要按《规范》要要求介绍土质基坑的勘察。对岩质基坑，应根据场地的地质构造、岩体特征、风化情况、基坑开挖深度等，按当地标准或当地经验进行勘察。

1. 勘查内容：需进行基坑设计的工程，勘察时应包括基坑工程勘察的内容。在初步勘察阶段，应根据岩土工程条件，初步判定开挖可能发生的问题和需要采取的支护措施；在详细勘察阶段，应针对基坑工程设计的要求进行勘察；在施工阶段，必要时尚应进行补充勘察。

2. 勘察要求：

(1) 基坑工程勘察的范围和深度应根据场地条件和设计要求确定。勘察深度宜为开挖深度的2~3倍，在此深度内遇到坚硬粘性土、碎石土和岩层，可根据岩土类别和支护设计要求减少深度。勘察的平面范围宜超出开挖边界外开挖深度的2~3倍。在深厚软土区，勘察深度和范围尚应适当扩大。在开挖边界外，勘察手段以调查研究、搜集已有资料为主，复杂场地和斜坡场地应布置适量的勘探点。

(2) 在受基坑开挖影响和可能设置支护结构的范围内，应查明岩土分布，分层提供支护设计所需的抗剪强度指标。土的抗剪强度试验方法，应与基坑工程设计要求一致，符合设计采用的标准，并应在勘察报告中说明。

(3) 当地水文地质条件复杂，在基坑开挖过程中需要对地下水进行治理(降水或隔渗)时，应进行专门的水文地质勘察。

(4) 当基坑开挖可能产生流砂、流土、管涌等渗透性破坏时，应有针对性地进行勘察，分析评价其产生的可能性及对工程的影响。当基坑开挖过程中有渗流时，地下水的渗流作用宜通过渗流计算确定。

(5) 基坑工程勘察，应进行环境状况的调查，查明邻近建筑物和地下设施的现状、结构特点以及对开挖变形的承受能力。在城市地下管网密集分布区，可通过地理信息系统或其他档案资料了解管线的类别、平面位置、埋深和规模，必要时应采用有效方法进行地下管线探测。

(6) 在特殊性岩土分布区进行基坑工程勘察时，可根据特殊土的勘察定进行勘察，对软土的蠕变和长期强度，软岩和极软岩的失水崩解，膨胀土的膨胀性和裂隙性以及非饱和土增湿软化等对基坑的影响进行分析评价。

(7) 基坑工程勘察，应根据开挖深度、岩土和地下水条件以及环境要求，对基坑边坡的处理方式提出建议。

(8) 基坑工程勘察应针对以下内容进行分析，提供有关计算参数和建议：①边坡的局部稳定性、整体稳定性和坑底抗隆起稳定性；②坑底和侧壁的渗透稳定性；③挡土结构和边坡可能发生的变形；④降水效果和降水对环境的影响⑤开挖和降水对邻近建筑物和地下设施的影响。

(9) 岩土工程勘察报告中与基坑工程有关的部分应包括下列内容：①与基坑开挖有关的场地条件、土质条件和工程条件；②提出处理方式、计算参数和支护结构选型的建议；③提出地下水控制方法、计算参数和施工控制的建议；④提出施工方法和施工中可能遇到的问题防治措施的建议；⑤对施工阶段的环境保护和监测工作的建议。

第二节 地下洞室

一、围岩应力重分布

在岩土体内开挖地下洞室，必然破坏原来的应力平衡状态，并在一定范围内引起岩土体天然应力状态的重分布。岩土体的强度和变形特性是否适应于重分布以后的应力状态，将直接影响地下建筑物的安全。要正确地评价地下洞室的稳定性，必须对围岩应力分布特征、围岩变形破坏进行分析。

地下开挖前存在于岩土体中的应力称为天然应力或初始应力和地应力等。在天然状态下，岩体应力场一般分为：①垂直应力场；②水平应力场；③剪力应力场。

垂直应力场在 25~2700m 范围内，其值随深度 Z 的增大呈线性关系增加，大概相当于按平均容重为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 计算出来的重力 γ_z 。

水平应力随深度增加呈线性关系增大是普遍规律。

剪应力随深度增加而增大。但在同一深度上硬岩的剪应力比软岩高得多。其次，断层附近和强震压的应力都比周围地区的应力低是一个普遍的规律。

岩土体力学性质对天然应力的影响十分明显。以弹性模量 E 来说明它们之间的关系，则有： $E=50\times 10^3\text{MPa}$ 以上的岩体，最大应力 δ_1 一般为 $10\sim 30\text{MPa}$ ，而 $E=10\times 10^3\text{MPa}$ 以下的岩体应力很少超过 10MPa 。

由于地下建筑的开挖时在岩土体内形成了自由表面，岩土体中原有的应力平衡条件就受到了干扰破坏而产生应力重分布，在地下洞室周边一定范围内（相当于 3 倍左右洞直径）的岩土体，会因为应力释放而产生松弛并向开挖空间变形、位移以达到新的平衡。所以我们把大约 3 倍洞直径的岩土体称为围岩。

以圆形洞室为例，在洞室围岩中，存在两个应力，即环向应力 δ_θ 和径向应力 δ_r 。环向应力 δ_θ 在洞壁处最大（相当于两倍原始应力大小）向外经过约 3 倍洞径的距离逐渐减少为天然应力状态；径向应力 δ_r 在洞壁处最小为零，向外经过 3 倍洞径的距离逐渐增大为天然应力状态。当环向应力小于岩石的弹性极限强度时，岩体为弹性状态；当环向应力大于岩石的弹性极限时，岩体出现属性破坏，而形成塑性变形区，同时塑性区的应力急剧下降而表现为引力降低。故此一般情况下，洞室围岩由内向外分为三个区：即 I 应力下降区（松弛带或塑性圈）；II 应力升高区（承载圈或弹性圈）；III 天然应力区，见图 10-2。

坚硬完整的岩体属于弹性变形体，其强度能够适应变化后的应力状态而迅速达到新的平衡。当岩体完整、强度较高时，在洞室围岩中仅有应力升高区和天然应力区，此时洞室围岩处于弹性变形阶段，弹性圈围岩就可以支撑外部岩土体的应力，洞壁岩体稳定，不需要支撑或支护。如果岩石强度不高，裂隙比较发育，除产生弹性变形外，还产生非弹性变形（塑性或弹塑性变形），围岩向开挖空间位移松动，在地下洞室周围形成一定厚度的松弛带塑性圈，此带中的应力因释放而降低，在此带的外围形成一个应力增高的地带为弹性圈，再向外便逐渐趋近于原始天然应力状态。由于洞室围岩弹性圈的存在，可以平衡洞室上部岩土体的自重应力及构造应力。此时洞室需要支撑的仅仅是松弛带的塑性圈岩土体的重量。松弛带塑性圈的岩体本身是不稳定的，随时都有可能脱离母岩而崩落下来，使变形向岩体内部发展。为了防止这种非弹性变形的发展。就必须及时地用临时支撑或永久性衬砌进行支护加固。支护结构上就会受到松动带岩体或脱落岩块的压力，这个压力就叫做围岩压力。

其他洞室断面形状应力状态与圆形洞室大同小异，再此不作分析。

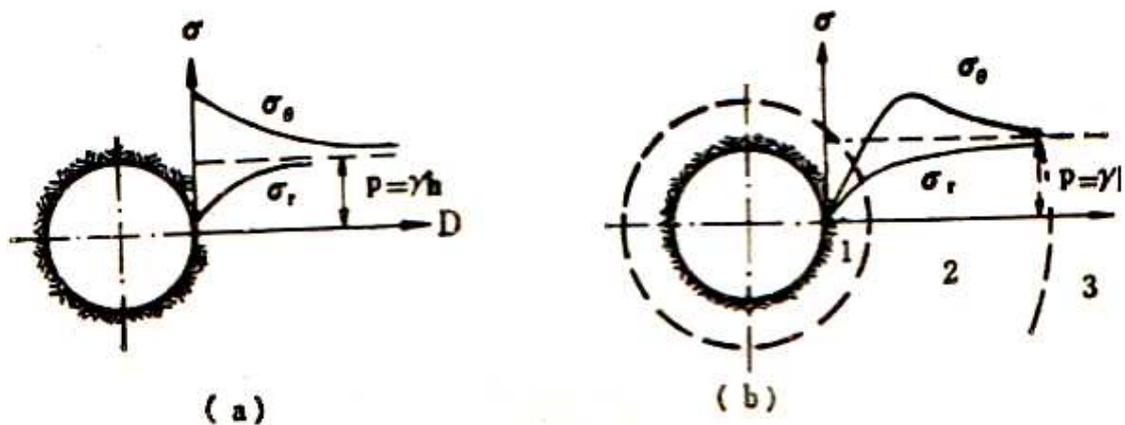


图 10-2 圆形洞围边应力分布图

1. 应力下降区 2. 应力增高区 3. 原始应力区

σ_r — 径向应力

σ_θ — 切向应力

二、地下洞室围岩的变形与破坏

地下洞室围岩的变形主要表现为岩体的松动，或围岩向洞室内挤出。其破坏形式是不同的，根据围岩破坏时的能量破坏的特点，通常可分为一般的围岩破坏和岩爆两大类。前者，能量大部分消耗于岩体的破裂；后者，能量大部分转变为动能。

(一) 一般的围岩破坏

顶板坍塌：洞顶常是拉应力集中的部位，当洞室开挖时形成的空间，使洞顶产生拉应力，洞顶的拉应力超过围岩的抗拉强度时，则围岩将产生张性破坏，尤其是洞顶发育有近于铅直的构造裂隙时，即使拉应力很小，也可能使岩体拉开，产生铅直的张裂隙，被切割的岩体，在自重应力作用下，向下移动，形成洞室顶板坍塌，也称为“冒顶”。

洞壁滑塌：当洞室侧壁具有陡倾角裂隙时，由于裂隙面上的剪应力超过围岩的抗剪强度时，侧壁围岩沿裂隙面产生滑动的现象，称为侧壁滑塌，也称为“片帮”。侧壁滑塌发生后，洞室跨度增大，因而应及时支护，以防围岩继续破坏。

围岩膨胀：开挖洞室遇到具有膨胀性质的岩体（粘土岩、凝灰岩等）时，其围岩可发生不失去整体性的蠕变变形，这种变形常表现为洞室顶板垂悬、侧壁突出、底板隆起。从而使洞室围岩断面尺寸减少，故也称为“缩径”。

底板隆起：当洞室底板为膨胀性岩体，地下水压力通过洞室底板向洞室传递，当应力超过岩石强度极限时，洞室底板岩层就会逐渐抬高变形，进一步发展就会使岩层隆破，产生突水现象，淹没洞室。

(二) 岩爆

洞室开挖过程中，围岩的破坏有时以爆炸的形式表现出来，被称为岩爆，所谓岩爆，就是在高地应力地区，由于开挖以后围岩中高应力集中，使围岩产生突发性破坏的现象。随着岩爆的产生，常伴有岩块弹射、声响及气浪产生，对地基开挖及建筑物造成破坏。

三、地下洞室围岩压力

(一) 基本概念

地下洞室围岩在重分布应力作用下，产生过量的塑性变形或破坏，进而引起施加于支护衬砌上的压力，称为围岩压力。围岩压力是围岩与支护衬砌间的相互作用力，它与围岩应力不是同一个概念。围岩应力是岩体中的内力，而围岩压力则是针对支护衬砌来说的，是作用在支护衬砌上的外力。因此，如果围岩足够坚固，完全能承受围岩压力的作用，就不需要设置支

护衬砌。围岩压力的大小是支护衬砌设计的重要依据。按围岩压力的形成机理可划分为形变围岩压力、松动围岩压力及冲击围岩压力三种。

形变围岩压力是由于围岩塑性变形而对支衬产生的作用力，它具有随时间增长的特性。产生的条件有：围岩应力超过围岩的屈服极限时，围岩产生塑性变形；深埋洞室由于围岩受压力过大易引起塑性流动变形；粘土质岩类，特别是含蒙脱石多的膨胀性岩石，遇水易产生膨胀变形等。

松动围岩压力是由于围岩拉裂塌落、块体滑移及重力坍塌等破坏引起的这是一种有限范围内的脱落岩体的自重施加在支衬上的压力，其大小取决于围岩的性质、结构及地下水活动和支护时间等因素。

冲击围岩压力是由于岩爆引起的。它是强度较高，较完整的弹脆性岩体过渡受力突然发生岩石弹射变形所引起的围岩压力现象。冲击围岩的大小与天然应力、围岩的力学属性等密切相关，并受到洞室埋深、施工方法和洞形等因素的影响。

以上三种围岩压力的确定方法各不相同，下面主要讨论形变围岩压力及松动围岩压力的确定方法。

(二) 围岩压力的确定方法

1. 普氏平衡拱理论

M. M. 普罗托亚克诺夫根据一些矿山坑道的观察和松散介质模型试验，提出了平衡拱理论。这一理论认为在松散介质中开挖洞室，围岩因失去平衡与母岩分离在其顶部出现拱形分离体；塌落后压在洞顶的衬砌上，拱形分离体的重量即为洞顶围岩压力，而拱外岩体仍保持平衡，形成的拱称为平衡拱。

普氏平衡拱理论适用于上覆岩体厚度 $H > 5b_1$ (b_1 为平衡拱的半跨宽度) 时，由断层、节理裂隙强烈切割类似于松散介质的岩体，或者本身就是土体的围岩中开挖地下洞室的情况下，计算围岩压力。

普氏认为，自然平衡拱为一抛物线形拱高 (h_o) 及洞顶围岩压力 (p) 用下式计算，即

$$h_o = \frac{b_1}{f_k} = \frac{b + h \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)}{f_k} \quad (10-15)$$

$$p = \frac{2}{3} \cdot \rho \cdot g \cdot b_1 \cdot h_o \quad (10-16)$$

式中：h、b——为地下洞室的高度及半跨宽度；

h_o 、 b_1 ——为洞室平衡拱的高度及半跨宽度；

ρ ——为岩体的密度；

g ——为重力加速度；

f_k ——岩体坚固性系数（或称普氏系数），按下式计算：

$$f_k = \frac{\sigma \cdot \tan \phi + c}{\sigma} \quad (10-17)$$

$$\text{或} \quad f_k = \frac{\sigma_c}{10} \quad (10-18)$$

式中：c、 ϕ ——岩体的内聚力和内摩擦角；

σ ——正应力；

σ_c ——岩体的单轴饱和抗压强度 (MPa)。

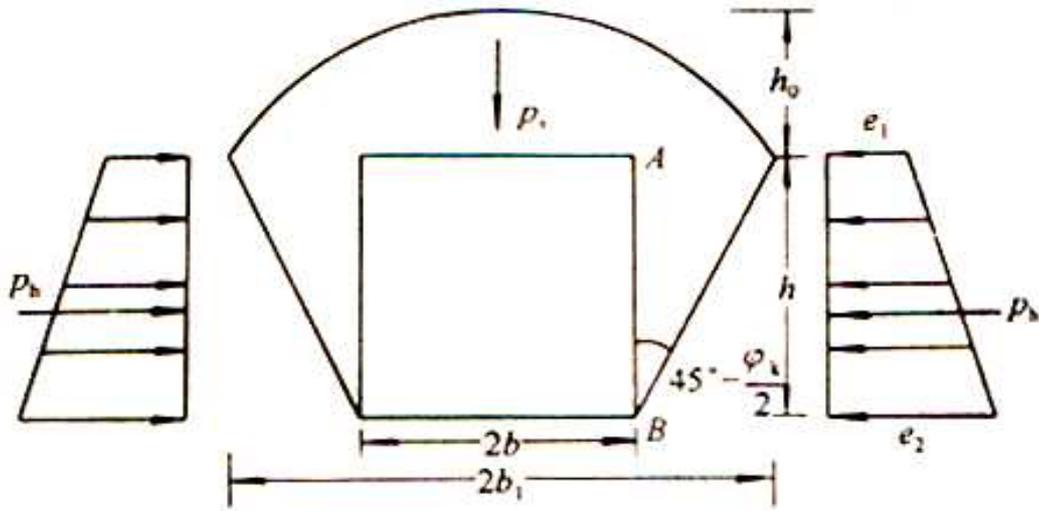


图 10-3 普氏平衡拱理论计算图

f_k 也可用类比法或经验确定（见表 10-25）

表 10-25 各类岩土的 f_k 、密度 ρ 及换算的内摩擦角 φ 值

等级	岩（土）类别	f_k	$\rho(\text{g/cm}^3)$	φ
极 坚 硬的	最坚硬的、致密的及坚硬的石英砂岩和玄武岩，非常坚硬的其他岩石	20	2.8~3.0	87
	极坚硬的花岗岩，石英斑岩，硅质片岩，最坚硬的砂岩及石灰岩	15	2.6~2.7	85
	致密的花岗岩，极坚硬的砂岩及石灰岩，坚硬的砾岩，极坚硬的铁	10	2.5~2.6	82.5
	矿			
坚 硬 的	坚硬的石灰岩，不坚硬的花岗岩，坚硬的砂岩，大理岩，黄铁矿，白云岩	8	2.5	80
	普通砂岩、铁矿	6	2.4	75
	砂质片岩，片岩状砂岩	5	2.5	72.5
中 等 的	坚硬的粘土质片岩，不坚硬的砂岩，石灰岩，软的砾岩	4	2.6	70
	不坚硬的片岩，致密的凝灰岩，坚硬的胶结粘土，软的片岩，石灰岩，冻土	3	2.5	70
		2	2.4	65
	普通的泥灰岩，破坏的砂岩，胶结的卵石和砂砾，掺石的土	1.5	1.8~2.0	60
	碎石土，破坏的片岩，卵石和碎石，硬粘土，坚硬的煤，密实土	1.0	1.8	45
	普通煤，坚硬冲积土，粘土质土，混有石子的土	0.9	1.6	40
	轻砂质粘土黄土，砂砾，软煤			
松 散 的	湿砂，砂壤土，耕植土，泥炭，轻砂壤土	0.6	1.5	30
不 稳 定的	散砂，小砾石，新近耕积土，开采出来的煤，流沙，沼泽土	0.5	1.7	27
	含水的黄土，及其它含水的土（ $f_k=0.1\sim 0.3$ ）	0.3	1.5~1.8	9

侧壁不稳定时，作用在洞顶的围岩压力 p_v 为

$$p_v = \frac{2\rho gb}{3fb_1}(3b_1^2 - b^2) \quad (10-19)$$

按土压力理论，作用于侧壁 A、B 处的侧压力为

$$e_1 = \rho gh_o \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (10-20)$$

$$e_2 = \rho g(h + h_o) \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (10-21)$$

因此，作用于侧壁围岩压力 p_h 为

$$p_h = \frac{1}{2}(e_1 + e_2)h = \frac{\rho gh}{2}(2h_o + h) \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (10-22)$$

式 (10-17) 至 (10-20) 的符号意义见图 10-3 和表 10-25。

普氏平衡拱理论对松散岩体有一定的应用价值，而对于坚硬岩体则不适用或近似使用。

2. 围岩压力系数法

我国水电部 (1966) 在总结了一些工程实践的基础上，提出用下式计算围岩压力：

$$p = S_y \rho g B \quad (10-23)$$

$$q = S_x \rho g H \quad (10-24)$$

式中： p 、 q ——分别为均布铅直向和水平向围岩压力；

B 、 H ——分别为洞室的跨度和高；

S_x 、 S_y ——分别为水平与铅直围岩压力系数查表 10-26。

表 10-26 水平与铅直围岩压力系数值

岩石坚硬程度	代表的岩石名称	节理裂隙多少或风化程度	围压系数	
			S_y	S_x
坚硬岩石	石英岩、花岗岩、流纹斑岩、安山岩、玄武岩、厚层硅质灰岩等	节理裂隙少，新鲜	0~0.05	—
		节理裂隙不太发育，微风化	0.05~0.1	—
		节理裂隙发育，弱风化	0.1~0.2	—
中等坚硬岩石	砂岩、石灰岩、白云岩、砾岩等	节理裂隙少，新鲜	0.05~0.1	—
		节理裂隙不太发育，微风化	0.1~0.2	—
		节理裂隙发育，弱风化	0.2~0.3	0~0.05
较弱岩石	砂页岩互层、粘土质岩石、致密的泥灰岩等	节理裂隙少，新鲜	0.1~0.2	—
		节理裂隙不太发育，微风化	0.2~0.3	0~0.05
		节理裂隙发育，弱风化	0.3~0.5	0.05~0.1
松软岩石	严重风化及十分破碎的岩石，断层破碎带等		0.3~0.7 或更大	0.05~0.5 或更大

注：表列数据适用于 $H \leq 1.5B$ 隧洞断面

3. 铁道部隧道规范法

铁道部《铁道工程技术规范》(1975) 将围岩分成 6 级，并在统计隧洞塌方资料基础上，提出了估算围岩压力的半经验公式：

$$p = 0.45 \cdot 2^{6-s} \rho g w \quad (10-25)$$

式中：p——铅直均布围岩压力；

s——围岩类别（最高为 VI 级）；

W——跨度影响系数， $w=1+i(B-5)$ ，B—隧洞跨度（m）；i—每增减 1m 跨度围压的增减率，当 $B>5$ 时，取 $i=0.2$ ，当 $B<5$ 时，取 $i=0.1$ 。

水平均布围岩压力（q）可按围岩类别和 p 查表 10-27 求得。

表 10-27 水平围岩压力取值表

围岩类型	VI~V	IV	III	II	I
水平均布围岩压力 q	0	$(0 - \frac{1}{6})p$	$(\frac{1}{6} - \frac{1}{2})p$	$(\frac{1}{3} - \frac{1}{2})p$	$(\frac{1}{2} - 1)p$

该方法适用一些不具膨胀性的一般围岩，且洞高（H）与跨度（B）之比小于 1.7 的深埋型洞室。

四、地下洞室围岩稳定性因素分析

地下洞室围岩稳定性受一系列因素的影响，其中起控制作用的主要因素有如下几个：

1. 岩石性质

岩性是影响地下洞室围岩稳定性的最基本的因素。如坚硬完整的岩体，围岩一般是稳定的，不需要支护，能适应各种断面形状尺寸的洞室。而软弱岩体，具有很多不良性质，最不利于洞室的稳定，围岩易产生变形破坏。

2. 岩体结构

岩体结构对围岩变形破坏起着控制作用。松散结构及碎裂结构岩体的稳定性最差，薄层状岩体次之，而厚层状及块状结构岩体的稳定性最好。结构面对围岩的稳定性影响，不仅取决于结构面本身的特征，还与结构面的组合关系及这种组合关系与临空面的交切关系密切相关。

3. 构造应力

构造应力具有明显的方向性，它控制着地下洞室围岩的变形破坏，洞室轴线一般应与最大主应力方向一致。

4. 地下水

洞室开挖中，地下水的危害对人们的教训是极为深刻的。当洞室通过含水层或导水良好的断层带时，地下水涌入洞室内部，会迫使施工停顿，甚至会造成重大事故。另外，地下水会使岩层软化、泥化以及滑落、冻胀都会对洞室围岩有危害作用。

5. 工程因素

地下洞室的断面形状、规模、施工及支护衬砌方法等对围岩稳定性的影响，它们通过影响洞室围岩应力重分布，进而影响围岩的稳定性。

五、地下洞室勘察要点

地下洞室的勘察随勘察的阶段不同开展不同的工作：

1. 可行性研究勘察应通过搜集区域地质资料，现场踏勘和调查，了解拟选方案的地形地貌、地层岩性、地质构造、工程地质、水文地质和环境条件，做出可行性评价，选择合适的洞址和洞口。

2. 初步勘察应采用工程地质测绘、勘探和测试等方法，初步查明选定方案的地质条件和环境条件，初步确定岩体质量等级（围岩类别），对洞址和洞口的稳定性做出评价，为初步设计提供依据。

初步勘察时，工程地质测绘和调查应初步查明下列问题：地貌形态或地貌成因；地层岩性、产状、厚度、风化程度；断裂和主要裂隙的性质、产状、充填、胶结、贯通及组合关系；不良地质作用的类型、规模和分布；地震地质背景；地应力的最大主应力作用方向；地下水类型、埋藏条件、补给、排泄和动态变化；地表水体的分布及其与地下水的关系，淤积物的特征；洞室穿越地面建筑物、地下构筑物、管道等既有工程时的相互影响。

初步勘察时，勘探与测试应符合下列要求：采用浅层地震剖面法或其他有效方法圈定稳伏断裂、构造破碎带，查明基岩埋深、划分风化带；勘探点宜沿洞室外侧交叉布置，勘探点间距宜为 100~200m，采取试样和原位测试勘探孔不宜少于勘探孔总数的 2/3；控制性勘探孔深度，对岩体基本质量等级为 I 级和 II 级的岩体宜钻入洞底设计标高下 1~3m；对 III 级岩体宜钻入 3~5m，对 IV 级、V 级的岩体和土层，勘探孔深度应根据实际情况确定；每一主要岩层和土层均应采取试样，当有地下水时应采取水试样；当洞区存在有害气体或地温异常时，应进行有害气体成分、含量或地温测定；对高地应力地区，应进行地应力量测；必要时，可进行钻孔弹性波或声波测试，钻孔地震 CT 或钻孔电磁波 CT 测试；

3. 详细勘察应采用钻探、钻孔物探和测试为主的勘察方法，必要时可结合施工导洞布置洞探，详细查明洞址、洞口、洞室穿越线路的工程地质和水文地质条件，分段划分岩体质量等级（围岩类别），评价洞体和围岩的稳定性，为设计支护结构和确定施工方案提供资料。

详细勘察应进行下列工作：查明地层岩性及其分布，划分岩组和风化程度，进行岩石物理力学性质试验；查明断裂构造和破碎带的位置、规模、产状和力学属性，划分岩体结构类型；查明不良地质作用的类型、性质、分布，并提出防治措施的建议；查明主要含水层的分布、厚度、埋深，地下水的类型、水位、补给排泄条件，预测开挖期间出水状态、涌水量和水质的腐蚀性；城市地下洞室需降水施工时，应分段提出工程降水方案和有关参数；查明洞室所在位置及邻近地段的地面建筑和地下构筑物、管线状况，预测洞室开挖可能产生的影响，提出防护措施。

详细勘察时，勘探与测试应符合下列要求：勘探点宜在洞室中线外侧 6~8m 交叉布置，山区地下洞室按地质构造布置，且勘探点间距不应大于 50m；城市地下洞室的勘探点间距，岩土变化复杂的场地宜小于 25m，中等复杂的宜为 25~40m，简单的宜为 40~80m；采集试样和原位测试勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 1/2；第四系中的控制性勘探孔深度应根据工程地质、水文地质条件、洞室埋深、防护设计等需要确定；一般性勘探孔可钻至基底设计标高下 6~10m。控制性勘探孔深度，应符合初步勘察的规定；详细勘察的室内试验和原位测试，除应满足初步勘察的要求外，对城市地下洞室尚应根据设计要求进行下列试验：①采用承压板边长为 30cm 的载荷试验测求地基基床系数；②采用面热源法或热线比较法进行热物理指标试验，计算热物理参数：导温系数、导热系数和比热容；③当需提供动力参数时，可用压缩波波速 V_p 和剪切波波速 V_s 计算求得，必要时，可采用室内动力性质试验，提供动力参数。

4. 施工勘察应配合导洞或毛洞开挖进行，当发现与勘察资料有较大出入时，应提出修改设计和施工方案的建议。

第三节 水利水电工程

水利水电工程地质勘察的主要任务，是通过建筑区工程地质条件和问题的调查和分析，为水利水电建筑的规划、设计施工提供可靠的地质依据。为此，与设计阶段相适应，水利水电工程地质勘察分为四个勘察阶段，即规划勘察阶段、可行性研究勘察阶段、初步设计勘察阶段和技术施工设计勘察阶段。对大型、重要的工程，要求严格遵循勘察阶段，按顺序完成各项工作。对中小型工程，在条件简单情况下，则可以适当压缩勘察阶段，简化工程地质勘察工作。下面，分阶段对水库区和坝址区的工程地质勘察内容、方法作一简要介绍。

一、规划阶段工程地质勘察

规划阶段的工程地质勘察任务,是了解规划河或河段的区域地质及地震情况;了解各梯级库、坝区的基本地质条件和主要的工程地质问题。对河流开发方案和水利水电近期开发工程和控制性工程选择进行地质论证,并提供工程地质资料。

(一)主要勘察工作内容

坝址区:对梯级开发坝区来说,要了解基本工程地质条件,注意河谷第四系分布,重要不良地质现象的分布和规模;岩层透水性及可能产生渗漏的地段。近期开发工程和控制性工程的坝区,应在上述基础上进一步了解坝基软弱夹层大致分布;坝区内大断层、活断层及缓倾角断层情况;风化壳深度;透水层及隔水层大致深度;岸坡稳定条件及地下水高程。对第四系地区应了解其厚度及基本物理性状,尤其要注意不良土石体的分布。

水库区:梯级开发库区内,要了解严重威胁水库规划方案成立的重大不良地质现象(主要是滑坡、泥石流,岩溶的分布)以及大规模的浸没、塌岸和严重渗漏可能性问题。近期开发工程和控制性地段,应对上述有关问题作出初步评价。

(二)一般勘察方法

坝址区:梯级开发区以工程地质测绘和物探为主,测绘比例尺选用 1:5 千~1:1 万(平原区 1:1 万~1:2.5 万),物探工作主要布置不少于 3~5 条物探剖面,以了解覆盖层厚度、地下水和地质构造情况。适当做些试验工作。近期开发和控制性区段,在上述工作基础上,在代表性勘探剖面上布置 3~5 个钻孔,主要了解地层情况。结合钻孔做压水试验工作。两岸适量布置轻型坑探工程。

水库区:主要结合区域地质调查来进行,对近期开发和控制性工程,如存在重大工程地质问题时,要进行专门工程地质测绘,有重点地布置少量勘探工作。水库工程地质测绘比例尺应选用 1:2.5 万~1:5 万。测绘范围应包括研究渗漏问题有关的水分岭及邻谷地区。

二、可行性研究阶段工程地质勘察

总的任务是在前阶段选定的近期开发工程地段进行勘察工作,为选定坝址与引水线路、初选坝型与枢纽布置方案提供地质依据。查明库、坝区等主要建筑区工程地质条件,对场地的构造稳定性、库、坝区主要工程地质问题做出初步评价,并进行天然建筑材料初查工作。

(一)主要勘察内容

坝址区:①了解河床及两岸第四系地层厚度、分布和物质组成,特别是软土层及砂砾卵石层分布;②了解基岩岩性、分层(类),软弱夹层的分布、厚度、性质,分析其与工程的关系;③了解坝区断裂带的产状、延伸、性质、规模、充填物质,尤其是顺向断裂及缓倾角断裂,分析它们对工程的影响;④了解风化分带及各带厚度、分布规律和强度性质;⑤初步分析存在的崩、滑体等不良地质现象的形成条件、稳定性和危害程度;⑥了解坝址区水文地质条件及岩土体透水性,岩溶发育深度和主要岩溶现象的存在情况,分析渗漏的可能性。

水库区:在全面了解库区工程地质条件基础上,着重针对库区工程地质问题进行勘察研究,即:①调查库区水文地质条件,分析通过各种渗漏通道产生渗漏的可能性,特别是岩溶区,要结合岩溶发育程度和隔水层分布情况,分析渗漏途径和形式,并进行渗漏量估算,分析其对建库的影响和处理的可能性;②根据地形地貌条件、水文地质条件和第四系地层分布情况,研究浸没的可能性,初步预测浸没区范围;③调查对工程有影响的滑坡、泥石流分布,初步评价其稳定性,对土岸的塌岸情况也要作出预测;④配合地震部门对水库诱发地震问题做出可能性判断。

(二)一般勘察方法

坝址区:采用 1:2 千~1:5 千(平原区 1:2 千~1:1 万)的工程地质测绘。各比较坝址布置 1~3 条勘探剖面,其剖面应能控制坝址河床、软弱夹层、顺河断层、不稳定岸坡。手段以钻探为主,峡谷陡岸坝肩部位也可考虑平硐勘探,物探工作主要用来配合查明地质结

构、风化层、覆盖层、不稳定坡体以及钻孔测井工作。钻孔应分段做压水试验(第四系地层做抽水试验)。岩土试验以室内物理力学指标测试和现场简单测试为主。对一些重要现象可开展长期观测工作,

水库区: 主要采用 1: 1 万~1: 5 万工程地质测绘, 重点研究地段可选用较大比例尺测绘。应用物探方法配合调查滑坡体、地下水情况、岩溶, 断裂带等。影响库坝址选择的重大工程地质问题, 应布置勘探剖面进行钻探工作, 结合钻探进行一些试验工作。

三、初步设计阶段工程地质勘察

初步设计勘察是整个勘察工作中最关键的和重要的阶段, 勘察工作是在选定的坝址和建筑场地上进行, 旨在全面查明建筑区工程地质条件和库区存在的工程地质问题, 为选定大坝和其他主要建筑的轴线、型式、规模以及有关工程地质问题处理方案提供地质资料、数据和建议。

(一)主要勘察内容

坝址区: 在前阶段工作基础上, 进一步加深了解如下地质内容: ①在查明场地内第四系土层分布和厚度基础上, 进一步提出各土层的变形模量、压缩系数、允许渗透梯度等参数, 查明砂类土的振动液化条件; ②在岩体详细的分层(类)基础上, 结合建筑要求, 分段分类提出岩体的有关物理力学性质指标, 进一步查明坝基(肩)岩体内软弱夹层(或软弱结构面)的物质成分、起伏差、连通率、组合关系以及力学参数; ③了解岩体各风化带的物理力学性质和抗水性, 提出开挖深度和处理措施; ④深入查清对工程有影响的断裂破碎带的一些细节内容, 包括准确的产状、宽度、构造岩的物理力学性质等, 提出处理措施; ⑤查明岩土体的水文地质结构, 各层的渗透系数, 渗漏带的边界条件, 预测渗漏量及基坑涌水量, 提出防渗处理范围和深度; ⑥查清坝基(肩)的工程地质条件, 针对不稳定结构体、渗透变形的土石体存在情况, 对坝基(肩)的稳定性做出评价。

水库区: 中心内容是深入查清所存在的主要工程地质问题, 并做出确切结论。具体有: ①详细查明渗漏地段的渗漏途径和通道、边界条件、渗透性大小等, 计算渗漏量, 确定防渗处理范围和深度; ②在前阶段圈定的可能浸没区内, 进一步搞清土层分布、结构、厚度、物理性质、毛细性、渗透性、地下水位, 浸没的地下水临界深度, 做出预测并提出防治措施; ③查明不稳定边坡的边界条件, 对近坝区的崩滑体做出稳定性判断, 第四系土体库岸要预测塌岸范围, 提出防治措施, ④如果存在水库诱发地震可能性, 即应进一步开展工作, 对产生水库诱发地震的地质条件做出分析评价。

(二)一般勘察方法

坝址区: 进行 1: 1 千~1: 2 千的工程地质测绘。物探工作主要是配合钻探和坑探进行, 结合建筑物需要布置勘探剖面, 进行一定数量的钻探工作, 如坝基处要沿坝轴线布置主勘探剖面和上、下游辅助勘探剖面, 勘探点间距 20~100m 不等, 一般孔深应深入到拟定建基面以下 1/3~1/2 倍坝高。大型和重要工程, 一般均需布置重型坑探工程和大口径钻探, 拱坝坝肩也应布置坑探工程, 查明岩体结构等。结合室内试验开展一些现场试验工作, 如岩体坝基的现场变形模量试验不少于 4 点, 软弱面原位抗剪试验不少于 4 组。水文地质试验要兼顾到灌浆处理工程情况, 进行压水(抽水)试验。视情况开展长期观测工作。

水库区: 应针对专门问题采取相应的勘察方法。一般都要进行 1: 2 千~1: 1 万工程地质测绘。此外, 如研究渗漏问题可采用物探方法探测溶洞发育情况、地下水情况; 采用钻孔揭露地下水位和进行地下水位动态长期观测工作; 地下水调查的连通试验工作等。如研究浸没问题应布置适当的勘探剖面, 原则上, 浸没区每一地貌单元至少有两个控制钻孔; 勘探剖面之间可以结合物探方法了解地下水位等条件; 试验工作主要了解土的渗透性、毛细性、基本物理性质和化学性质, 每一浸没区主要土层的物理、化学性质试验不少于 10 组, 塌岸区的工程地质勘察中, 一般每隔 200~3000m 布置一条勘探剖面; 各土层应做不少于 10 组的

物理力学性质试验。

四、技术施工设计阶段工程地质勘察

本阶段的基本任务是利用施工开挖条件验证已有地质资料，补充论证新发现的工程地质问题。进行施工地质编录、预报和验收工作。提出施工期工程地质监测工作的建议。

主要工作内容是对新发现的问题和临时建筑地点的补充勘察和评价；施工开挖面的记录描述工作；配合设计、施工等部门进行地基处理和其他验收工作。

勘察的方法视具体情况而定，一般采用超大比例尺的测绘、专门性的勘探、试验工作。同时，继续完善长期观测工作。

上述对各勘察阶段的研究内容及工作方法作了一般性介绍，实际工作中，可参照有关规范的细则指导工程地质勘察工作。

第四节 道路交通工程

一、道路交通工程的特点及主要工程地质问题

道路是陆地交通运输的干线，由公路和铁路共同组成运输网络。公路和铁路在结构上虽各有特点但两者都有许多相同之处。道路交通工程的特点是：①它们都是线型工程，往往要通过许多地质条件复杂的地区和不同的地貌单元，使道路的结构复杂化；②在山区线路中，塌方，滑坡，泥石流等不良地质现象是道路工程的主要威胁，地形条件是制约线路的纵向坡度和曲率半径的重要因素；③两种线路的结构都是由三类建筑物所组成，第一类为路基工程，是线路的主体建筑物；第二类为桥隧工程，它们是为了线路跨越河流，深谷，不良的地质和水文地质地段，穿越高山或河流的构筑物；第三类是防护建筑物（如明洞，挡土墙，护坡等）。道路交通工程主要工程地质问题是，路基边坡稳定性问题，路基基底稳定性问题，道路东海问题以及天然建筑材料问题等。

（一）路基边坡稳定性问题

路基边坡包括天然边坡，半挖半填路基边坡以及人工边坡等。任何边坡都具有一定坡度和高度，在重力作用下，边坡岩土体均处于一定的应力状态，当剪应力大于岩土体的强度时，边坡即发生不同形式的变形与破坏。其破坏的形式主要表现为滑坡，崩塌和错落。土质边坡的变形主要决定于土的矿物成分，特别是亲水矿物及其含量，在地下水的的作用下，粘性土体的强度显著降低，加速边坡的变形。影响土质边坡稳定性的因素，除受地质（成分、结构和成因类型）、水位地质和自然因素影响外，施工方法是否正确也有很大关系。岩质边坡的变形主要决定于岩体中各种软弱结构面的性状及其组合关系，它对边坡的变形起着控制作用。影响岩质边坡稳定性的因素主要有岩石性质、构造情况、岩体结构类型、水文地质条件、边坡要素及其规模以及施工条件等。

（二）路基基底稳定性问题

路基基底稳定性问题，多发于填方路堤地段，其主要表现形式为滑移、挤出和塌陷。基底土的变形性质和变形量的大小主要决定于基底土的力学性质，基底面的倾斜程度，软层或软弱结构面的性质与产状等。此外，水文地质条件也是促进基底不稳定的因素，它往往使基底发生巨大的塑性变形而造成路基的破坏。

（三）道路冻害问题

道路冻害包括冬季路基土体因冻结作用而引起路面冻胀和春季因融化作用而使路基翻浆，结果使路基产生变形破坏，甚至形成显著的不均匀冻胀和路基土强度发生极大改变，危害道路的安全和正常使用。影响道路冻胀的主要因素是：负气温的高低，冻结期的长短，路基土性质和含水情况，土体的成因类型及其层状结构，水文地质条件，地形特征和植被情况等。

（四）建筑材料问题

路基工程需要天然建筑材料的种类较多，包括道碴，土料，片石，砂和碎石等，它不仅在数量上需要较大，而且要求各种建材产地沿线两侧零星分布。但在山区修筑高路堤时都常遇土料缺乏，在平原区和软土山区，常找不到强度符合要求的护坡片石和道碴等，因此，寻找符合要求的天然建材有时成为道路选线的关键性问题。

二、道路交通工程的勘察要求及评价

道路交通工程勘察前应广泛收集有关工程地质勘察报告，航片，卫片，熟悉所调查地区的有关地质资料（区域地质，工程地质，水文地质，室内试验等成果），并予以充分利用。不同的勘察阶段其要求如下：

1. 可行性研究阶段：对所收集的地质资料和有关路线控制点，走向和大型结构物进行初步研究，并到现场实地核对验证，适当地利用简易勘探方法和物探，必要时可布置钻探，以了解沿线地质情况，为优选路线方案，提供地质依据。

2. 初步工程地质勘察阶段：应配合路线，桥梁，隧洞，路基，路面和其他结构物的设计方案及其比较方案的制定，提供工程地质资料，以供技术经济的论证，达到满足方案的优选和初步设计的需要，对不良地质和特殊性岩土地段，应做出初步分析及评价，还应提出处理办法，为满足编制初步设计文件，提供必需的工程地质资料。

3. 详细工程地质勘察阶段应在批准的初步设计方案的基础上，进行详细的工程地质勘察，以保证施工图设计的需要，对不良地质和特殊性岩土地段，应做出详细分析，评价和具体的处理方案，为满足编制施工图设计提供完整的地质资料。

4. 对工程地质条件复杂，工程规模大，且缺乏经验的建筑项目，应根据初步设计审批意见，在技术设计阶段或施工阶段，根据需要安排有针对性工程地质勘察工作。

道路工程地质勘察评价，应对路线走廊，桥位，隧址等工程地质条件做出评价。并结合全线工程地质特征，做出总体评价，其评价的主要内容有稳定性，经济性，适宜性等，同时还应注意对道路环境保护和文物保护的评价。

定性评价是首要的、基本的，对下述性质问题，可做出定性评价。

1. 工程选定位置及场地，对修建公路工程及其结构物的适宜性；
2. 场地地质条件的稳定性；
3. 沿线筑路材料的适宜性；
4. 对环境产生负面影响及其保证环境质量在路线、桥梁、隧道等工程方面的措施。

对下述性质的问题，宜做出定性或定量评价。

1. 岩土体的变形性状及其极限值；
2. 岩土体的强度及其稳定性与极限值，包括斜坡及地基的稳定性；
3. 岩土体及水体与道路工程的共同作用；
4. 岩土体后期变化的预估，对工程耐久性的影响；
5. 其他各临界状态的判定。

第五节 天然建筑材料

一、天然建筑材料的种类，用途及勘察研究内容

修建各类的工程建筑物都要一定数量和质量的天然建筑材料，如各种石料，砂砾料和土料等，建筑物规模越大所需的天然建筑材料越多，特别是大型水工建筑物，常需要数以百万立方米计的天然建筑材料。在建筑场地附近是否有数量足够的，质量符合要求的天然建筑材料，不仅影响着建筑物的造价，有时还会影响到建筑物类型和结构的选择。因此，在为这类建筑物进行工程地质勘察时，就更有必要进行天然建筑材料的普查与勘探。天然建筑材料的用途很广，概括起来有以下几个方面：

1. 条石：是从采石场人工开凿出来的性状比较规则的条形石块。广泛用于条石重力坝和条石拱坝，地下建筑物衬砌等方面。

2. 块石：亦称片石，是用作堆石坝和堆石围堰的主要材料，也用于砌筑基础和桥梁墩

台等，某些具特殊成分的块石，如灰岩，白云岩，泥灰岩和泥岩等又是制造水泥的原料。

3. 砾石和卵石：主要用作混凝土骨料和道渣，也用作排水设施的填料。
4. 砂料：用于填筑土坝及土堤，混凝土骨料，亦可用作反滤层及道渣。
5. 土料：是修筑土坝，土堤的主要材料，也是烧制砖瓦等人工建筑材料的原料。

在工程地质勘察过程中，勘察天然建筑材料的主要任务是在建筑场地附近找到数量充足，质量优良，开采加工和运输条件优越的天然建筑材料产地。

二、天然建材产地选择的原则及各阶段的勘察要求

天然建材产地的选择必须在保证质量和数量要求的前提下，从以下原则加以考虑，由近而远，先上游后下游，先正常高水位以下后正常高水位以上，先地下水位以上后地下水位以下，先开采运输条件好的后开采运输条件差的，先集中产地后分散产地。对于线状建筑物则应沿线选择建材产地。应不影响建筑物的安全，避免或减少与工程施工相干扰，不占或少占耕地林地，应充分利用工程开挖料。

天然建筑材料勘察工作的程序与建筑物规划设计阶段相适应，分为普查，初查，详查，复查四个阶段，其中最主要的是普查和详查两个阶段。

1. 普查阶段：宜在规划的水利水电工程 20km 范围内对各类天然建筑材料进行地质调查。草测 1:10000~1:5000 料场地质图，初步了解材料类别，质量，估算储量。编制 1:100000~1:50000 料场分布图。

2. 初查阶段：应查明料场岩土层结构及岩性，夹层性质空间分布，地下水位，剥离层，无用层厚度及方量，有用层储量，质量，开采，运输条件和对环境的影响等。应采用 1:5000~1:2000 地形图作底图，进行料场地质平面测绘及勘探布置。勘察储量与实际储量误差应不超过 40%，勘察储量不应少于设计需要量的 3 倍。

3. 详查阶段：应详细查明料场岩土层结构及岩性，夹层性质及空间分布，地下水位，剥离层，无用层厚度及方量，有用层储量质量，开采，运输条件和对环境的影响，应采用 1:2000~1:1000 地形图作底图，进行料场地质测绘及勘探布置。勘察储量与实际储量误差，应不超过 15%，勘察储量不得少于设计需要量的 2 倍，应编制 1:50000~1:10000 料场分布图，1:2000~1:1000 料场地质剖面图。

4. 复查阶段：应调查料场详查至开采时段内，有无因天然或人工因素造成的料场明显变化，必要时应重新进行详查级别的勘察工作。

三、天然建材的质量要求

1. 砂料、卵砾石料

砂是混凝土的细骨料，其颗粒形状对混凝土的强度影响很大，有棱角的山砂与水泥的结合力较浑圆的河砂为高，但山砂中混的杂质较多，由于淘洗相当困难，故采用较纯净的河砂反而更有些。

砂有粗，中，细粒之分，砂粒是否符合要求，可用粒度模数和平均粒径来标示。符合要求的砂料其细度模数为 2.5~3.5，若小于 2 则不宜采用，平均粒径则以 0.35~0.45mm 为宜。

纯净的石英砂是最理想的砂料，但这种砂料在自然界是少见的，含一定数量长石的砂料还是跨越应用的。

砂中常见的有害成分有云母，粘土，硫酸盐和硫化物，有机质和碱活性反应物质。用作骨料的砂中，各种有害物质的含量见表 10-26。

表 10-26 砂料中有害杂质的允许含量

杂质名称	位于水位变化带的混凝土	位于水位下的混凝土	普通混凝土
淤泥及细碎屑总含量	3	6	5
粘土含量	1	3	2
硫酸盐及硫化物含量	1	1	1
云母含量	1	3	2
有机质含量	用比色法检查，砂料上方溶液的颜色不得深于标准色，如深于标准色，则需要用砂料拌制砂浆进行强度试验，其强度为先用石灰水后用清水冲洗的同种砂所制砂浆的强度。		
碱活性物质含量	水泥含碱量超 0.6%时应专门研究		

卵砾石或碎石是混凝土的粗骨料，其质量如何对混凝土强度影响很大。组成卵砾石的岩石应坚硬，软弱岩石的碎块含量应少于5%，不得含有粘土团块，砾石表面不得附有粘土膜，蛋白石与胶体状硅化物的含量不得超过8%，硫酸盐及硫化物含量应小于1%，应不含有有机质成分。粗骨料的质量技术指标归纳于表10-27中。

表 10-27 卵砾石的质量技术指标

项目名称	技术指标
密度	$1.6 \sim 1.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
孔隙度	$< 45\%$
软弱颗粒含量	$< 5\%$
针片状颗粒含量	$< 15\%$
含泥量	$< 1 \sim 2\%$
蛋白石及其它无定形硅质岩等有害矿物含量	$< 8\%$
有机质含量	浅于标准色
冻融损失	$< 10\%$
细度模数	6.5~9.5
砂粒混合密度	$1.8 \sim 2.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
硫酸盐及硫化物	$< 1\%$
吸水率	$< 1.5 \sim 2.5\%$

2. 块石料

工程建筑所需用的块石、条石应是坚硬的岩石，其抗风化性强，在水的作用下不致软化或膨胀，抗冻性强，经过专门试验后才能确定是否适用。

表 10-28 块石料质量指标

序号	项目	指标	备注
1	饱和抗压强度	应按地域，设计要求	块石及条石的硫化物含量，与卵砾石相同
2	软化系数	与适用目的确定	
3	冻融损失率	$< 1\%$	
4	干密度	$> 2.4 \text{ t/m}^3$	

3. 土料

土料一般用填筑土坝，筑坝土料必须透水性低，易于压密，压缩性低，抗剪强度高，在水的浸泡下不易溶解、软化或产生体积膨胀，其土料质量应符合下表要求。

表 10-29 土料质量指标

序号	项目	均质坝土料	防渗体土料
1	粘粒含量	10~30%	15~40%
2	塑性指数	7~17	10~20
3	碾压后渗透系数	$< 1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$	$< 1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$
4	有机质含量	$< 5\%$	$< 2\%$
5	水溶盐含量	$< 3\%$	
6	天然含水率	与最优含水率或塑限接近者优先	
7	pH 值	> 7	
8	密实度	宜大于天然密度	
9	SiO ₂	> 2	

四、储量计算

(一) 计算范围的确定

1. 可采层界限的确定

为了进行储量计算,必须确定可采层边界以圈定其分布范围。可采用的界限可分为上、下限和侧限。上限一般以上覆剥离层的底板为界,下限则以可采层的下界面为止,当可采层的厚度较大,一部分又处在地下水位以下时,则可分为水上储量和水下储量。两者界限一般以枯水期的地下水位为准,此界面及其以下直到可能开采的最大深度为止,即为水下储量的上下限,侧限则根据可采层的延伸情况结合周围地形和已有建筑物情况进行考虑,对可采层范围内无用夹层,应按其实际厚度划出,计算时应从可采层中扣除。

2. 分类储量计算

如果可采层的各个部分,天然建筑材料的性质有较大变化时(特别是在垂直方向上),统一计算会影响成果的准确性,也会影响材料的质量,故应按材料性质进行粗略地分类,分别计算出各类的储量。若可采层的厚度不大,也可不必分类。

3. 划出圈定范围内的非开采地段

这主要是指具有以下情况的地段:

- (1) 可采层厚度小于极限可采厚度;
- (2) 剥离层或无用夹层过厚;
- (3) 可采层质量降低乃至不符合质量要求。

此外还应该考虑到由于非开采地段的划分,势必还会影响到一部分可采层的开采,因此这部分储量也应从勘探储量中扣除。

(二) 储量计算方法

1. 平均厚度法

当地形平坦,可采层厚度比较稳定,勘探点布置均匀时,采用此法很容易用算术平均值法求得可采层的平均厚度,乘以根据可采层的界限而确定的计算面积,即可得到体积。

2. 平行断面法

当可采层稍倾斜,勘探坑孔布置基本为互相平行的勘探线时,即可用勘探断面来控制储量计算。根据各断面可采层的长度和厚度,即可算出各断面上可采层的面积 F_1 、 F_2 ……,相邻断面间距 L_1 、 L_2 ……是知道的,这样就可逐个算出相邻两断面间可采层的体积 V_1 、 V_2 ……。

$$\text{即} \quad V_1 = \frac{F_1 + F_2}{2} L_1 \quad (10-26)$$

把 V_1 、 V_2 ……相加,即可得到该产地某一可采层体积之总和。

3. 三角形法

当产地的地形高差变化较大,可采层厚度不稳定,勘探孔间距不等或勘探线不够规则时,可将各勘探点相互连成三角形网,各个三角形的面积乘其三个顶点的可采层平均厚度,即可分别求得各三角形范围内可采层的体积,然后逐一相加可得到可采层的总体积。

4. 等值线法

当勘探孔的数量很多,足以精确地画出开采层的等厚线时,用等值层间的面积乘以相应的可采层厚度,即可逐步计算出可采层的体积。这一方法足够精确,但绘制等值线比较复杂。若勘探孔数量较少,则此法的精度也就会显著降低,乃至不宜采用。

必须指出,以上方法计算出来的只有可采层的体积,还不是设计所需要的储量。对于石料需乘以成料率,砂砾石料需乘以含砂率和含砾率后,才是勘探储量。

第六节 其他工程

一、岸边工程的勘察评价

岸边工程的勘察是指港口工程、造船和修船水工建筑物以及取水构筑物的岩土工程勘察。

(一) 岸边工程勘察应着重查明下列内容:

1. 地貌特征和地貌单元交界处的复杂地层;
2. 高灵敏软土, 层状构造土, 混合土等特殊土和基本质量等级为 V 级岩体的分布和工程特性;
3. 岸边滑坡, 崩塌, 冲刷, 淤积, 潜蚀, 沙丘等不良地质作用。

应着重评价岸坡土地基的稳定性, 以及各种不良地质作用的成因, 分布, 发展趋势及其对场地稳定性的影响。

(二) 各勘察阶段的内容

1. 可行性研究勘察时, 应进行工程地质测绘或踏勘调查, 内容包括地层分布、构造特点、地貌特征、岸坡形态、冲刷淤积、水位升降、岸滩变迁、淹没范围等情况和发展趋势。必要时应布置一定数量的勘探工作, 并应对岸坡的稳定性和场址的适宜性做出评价, 提出最优场址方案的建议。

2. 初步设计阶段勘察应进行的工作: ①工程地质测绘, 应调查岸线变迁和动力地质作用对岸线变迁的影响; 埋藏河、湖、沟谷的分布及其对工程的影响; 潜蚀、沙丘等不良地质作用的成因、分布、发展趋势及其对场地稳定性的影响; ②勘探线宜垂直岸向布置; 勘探线和勘探点的间距, 应根据工程要求、地貌特征、岩土分布、不良地质作用等确定; 岸坡地段和岩石与土层组合地段宜适当加密; ③勘探孔的深度应根据工程规模、设计要求和岩土条件确定; ④水域地段可采用浅层地震剖面或其他物探方法; ⑤对场地的稳定性应做出进一步评价, 并对总平面布置、结构和基础形式、施工方法和不良地质作用的防治提出建议。

3. 施工图设计阶段勘察时, 勘探线和勘探点应结合地貌特征和地质条件, 根据工程总平面布置确定, 复杂地基地段应予加密。勘探孔深度应根据工程规模、设计要求和岩土条件确定, 除建筑物和结构物特点与荷载外, 应考虑岸坡稳定性、坡体开挖、支护结构、桩基等的分析计算需要。根据勘察结果, 应对地基基础的设计和施工及不良地质作用的防治提出建议。

(三) 勘察的一般要求

1. 原位测试除应符合一般的规定以外, 软土中可用静力触探或静力触探与旁压试验相结合, 进行分层, 测定土的模量、强度和地基承载力等; 用十字板剪切试验, 测定土的不排水抗剪强度。

2. 测定土的抗剪强度选用剪切试验方法时, 应考虑的因素: ①非饱和土在施工期间和竣工以后受水浸成为饱和土的可能性; ②土的固结状态在施工和竣工后的变化; ③挖方卸荷或填方增荷对土性的影响。

3. 各勘察阶段勘探线和勘探点的间距、勘探孔的深度、原位测试和室内试验的数量等的具体要求, 应符合现行有关标准的规定。

4. 评价岸坡和地基稳定性时, 应考虑的因素: ①正确选用设计水位; ②出现较大水头差和水位骤降的可能性; ③施工时的临时超载; ④较陡的挖方边坡; ⑤波浪作用; ⑥打桩影响; ⑦不良地质作用的影响。

5. 岸边工程岩土工程勘察报告除应遵守岩土工程勘察报告的一般规定外, 尚应根据相应勘察阶段的要求, 包括的内容: ①分析评价岸坡稳定性和地基稳定性; ②提出地基基础与支护设计方案的建议; ③提出防治不良地质作用的建议; ④提出岸边工程监测的建议。

二、管道工程的勘察与评价

管道工程勘察是指长输油、气管道线路及其大型穿、跨越工程的岩土工程勘察。长输油、气管道工程可分选线勘察、初步勘察和详细勘察三个阶段。对岩土工程条件简单或有工程经验的地区, 可适当简化勘察阶段。

(一) 选线勘察工作的任务、内容及要求

选线勘察应通过搜集资料、测绘与调查，掌握各方案的主要岩土工程问题，对拟选穿、跨越河段的稳定性和适宜性做出评价，并应符合下列要求：

1. 调查沿线地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质等条件，推荐线路越岭方案；
2. 调查各方案通过地区的特殊性岩土和不良地质作用，评价其对修建管道的危害程度；
3. 调查控制线路方案河流的河床和岸坡的稳定程度，提出穿、跨越方案比选的建议；
4. 调查沿线水库的分布情况，近期和远期规划，水库水位、回水浸没和坍岸的范围及其对线路方案的影响；
5. 调查沿线矿产、文物的分布概况；
6. 调查沿线地震动参数或抗震设防烈度。
7. 穿越和跨越河流的位置应选择河段顺直，河床与岸坡稳定，水流平缓，河床断面大致对称，河床岩土构成比较单一，两岸有足够施工场地等有利河段。宜避开下列河段：①河道异常弯曲，主流不固定，经常改道；②河床为粉细砂组成，冲淤变幅大；③岸坡岩土松软，不良地质作用发育，对工程稳定性有直接影响或潜在威胁；④断层河谷或发震断裂。

（二）初步勘察工作的任务、内容及要求

初步勘察应以搜集资料和调查为主。管道通过河流、冲沟等地段宜进行物探。地质条件复杂的大中型河流，应进行钻探。每个穿、跨越方案宜布置勘探点 1~3；勘探孔深度应符合详勘第 3 条的规定。初步勘察应包括下列内容：

1. 划分沿线的地貌单元；
2. 初步查明管道埋设深度内岩土的成因、类型、厚度和工程特性；
3. 调查对管道有影响的断裂的性质和分布；
4. 调查沿线各种不良地质作用的分布、性质、发展趋势及其对管道的影响；
5. 调查沿线井、泉的分布和地下水位情况；
6. 调查沿线矿藏分布及开采和采空情况；
7. 初步查明拟穿、跨越河流的洪水淹没范围，评价岸坡稳定性。

（三）详细勘察工作的任务、内容及要求

详细勘察应查明沿线的岩土工程条件和水、土对金属管道的腐蚀性，提出工程设计所需要的岩土特性参数。穿、跨越地段的勘察应符合下列规定：

1. 穿越地段应查明地层结构、土的颗粒组成和特性；查明河床冲刷和稳定程度；评价岸坡稳定性，提出护坡建议；
2. 跨越地段的勘探工作应按架空线路工程勘察施工图设计勘察的规定执行。
3. 详细勘察勘探点的布置，应满足下列要求：①对管道线路工程，勘探点间距视地质条件复杂程度而定，宜为 200~1000m，包括地质点及原位测试点，并应根据地形、地质条件复杂程度适当增减；勘探孔深度宜为管道埋设深度以下 1~3m；②对管道穿越工程，勘探点应布置在穿越管道的中线上，偏离中线不应大于 3m，勘探点间距宜为 30~100m，并不应少于 3 个；当采用沟埋敷设方式穿越时，勘探孔深度宜钻至河床最大冲刷深度以下 3~5m；当采用顶管或定向钻方式穿越时，勘探孔深度应根据设计要求确定。

4. 抗震设防烈度等于或大于 6 度地区的管道工程，勘察工作应满足场地和地基地震勘察的要求。

（四）勘察报告的要求

岩土工程勘察报告应包括下列内容：

1. 选线勘察阶段，应简要说明线路各方案的岩土工程条件，提出各方案的比选推荐建议；
2. 初步勘察阶段，应论述各方案的岩土工程条件，并推荐最优线路方案；对穿、跨越工程尚应评价河床及岸坡的稳定性、提出穿、跨越方案的建议；
3. 详细勘察阶段，应分段评价岩土工程条件，提出岩土工程设计参数和设计、施工方案的建议；对穿越工程尚应论述河床和岸坡的稳定性，提出护岸措施的建议。

二、架空线路工程的勘察与评价

架空线路工程勘察是指大型架空线路工程，包括 220kV 及其以上的高压架空送电线路、大型架空索道等的岩土工程勘察。大型架空线路工程可分初步设计勘察和施工图设计勘察两阶段；小型架空线路可合并勘察阶段。

（一）初步设计勘察应符合下列要求：

1. 调查沿线地形地貌、地质构造、地层岩性和特殊性岩土分布、地下水及不良地质作用，并分段进行分析评价；

2. 调查沿线矿藏分布、开发计划与开采情况；线路宜避开可采矿层；对已开采区，应对采空区的稳定性进行评价；

3. 对大跨越地段，应查明工程地质条件，进行岩土工程评价，推荐最优跨越方案。

4. 初步设计勘察应以搜集和利用航测资料为主。大跨越地段应做详细的调查或工程地质测绘，必要时，辅以少量的勘探、测试工作。

(二) 施工图设计勘察应符合下列要求：

1. 平原地区应查明塔基土层的分布、埋藏条件、物理力学性质、水文地质条件及环境水对混凝土和金属材料的腐蚀性；

2. 丘陵和山区除查明本条第 1 款的内容外，尚应查明塔基近处的各种不良地质作用，提出防治措施建议；

3. 大跨越地段尚应查明跨越河段的地形地貌，塔基范围内地层岩性、风化破碎程度、软弱夹层及其物理力学性质；查明对塔基有影响的不良地质作用，并提出防治措施建议；

4. 对特殊设计的塔基和大跨越塔基，当抗震设防烈度等于或大于 6 度时，勘察工作应满足场地和地基地震勘察的要求。

5. 施工图设计勘察阶段，对架空线路工程的转角塔、耐张塔、终端塔、大跨越塔等重要塔基和地质条件复杂地段，应逐个进行塔基勘探。直线塔基地段宜每 3~4 个塔基布置一个勘探点；深度应根据杆塔受力性质和地质条件确定。

(三) 架空线路岩土工程勘察报告应包括下列内容：

1. 初步设计勘察阶段，应论述沿线岩土工程条件和跨越主要河流地段的岸坡稳定性，选择最优线路方案；

2. 施工图设计勘察阶段，应提出塔位明细表，论述塔位的岩土条件和稳定性，并提出设计参数和基础方案以及工程措施等建议。