

港口工程嵌岩桩的设计与施工规程

JTJ 285—2000

1 总 则

1.0.1 为使港口工程嵌岩桩的设计与施工做到技术先进、经济合理、安全适用和保证工程质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于港口工程嵌岩桩的设计、施工、质量控制和载荷试验。其他类似工程的嵌岩桩可参照执行。

1.0.3 作用于桩上的荷载及其效应组合，应按现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ215)、《港口工程桩基规范》(JTJ254)和《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291)等的有关规定执行。

1.0.4 港口工程嵌岩桩的设计与施工，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 灌注型嵌岩桩

灌注成形且将桩端嵌入基岩中锚固的桩。

2.1.2 灌注型锚杆嵌岩桩

用锚杆嵌入岩体使灌注桩与基岩锚固的桩。

2.1.3 预制型植入嵌岩桩

将预制桩桩端嵌入基岩中锚固的桩。

2.1.4 预制型芯柱嵌岩桩

在预制桩芯内对基岩钻孔，通过灌注混凝土将预制桩与基岩锚固的桩。

2.1.5 预制型锚杆嵌岩桩

用锚杆嵌入岩体使预制桩与基岩锚固的桩。

2.1.6 组合式嵌岩桩

2.2 主要符号

- A ——桩身截面面积或桩端面积
- A_s ——锚杆钢筋截面面积
- D ——桩身直径或锚孔直径
- G ——桩重力
- L_e ——锚杆有效锚固长度
- L_i ——桩身穿过第 i 层土的厚度
- M_d ——基岩顶面处桩身弯矩设计值
- P_d ——锚杆抗拔力设计值
- P_k ——锚杆极限抗拔力标准值
- Q_{od} ——单桩轴向抗压承载力设计值
- Q_{ck} ——单桩轴向抗压极限承载力标准值
- Q_{td} ——单桩轴向抗拔承载力设计值
- Q_{tk} ——单桩轴向抗拔极限承载力标准值
- V_d ——基岩顶面处桩身剪力设计值
- d ——桩内径、嵌岩段直径或锚杆钢筋直径
- f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值
- f_{rc} ——岩石饱和单轴抗压强度标准值
- f_y ——锚杆钢筋抗拉强度设计值
- f_{yk} ——锚杆钢筋屈服强度标准值
- h_r ——嵌岩深度
- q_{fi} ——单桩第 i 层土的极限侧摩阻力标准值
- q_{fk} ——粘结强度标准值
- γ ——分项系数
- μ ——桩身周长
- ξ ——阻力计算系数

桩的设计与施工应具备下列资料：

- (1) 使用要求；
- (2) 水文、气象、地形、环境和水深资料；
- (3) 地质条件及工程地质评价；
- (4) 必要的载荷试验和站立稳定试验情况；
- (5) 影响施工的障碍物的探摸情况；
- (6) 主要施工机具性能等。

3.0.2 嵌岩桩桩型应根据使用要求和基岩埋藏深度等地质条件，通过技术经济论证确定。嵌岩桩可采用灌注型嵌岩桩、灌注型锚杆嵌岩桩、预制型植入嵌岩桩、预制型芯柱嵌岩桩、预制型锚杆嵌岩桩或组合式嵌岩桩等。嵌岩桩可为直桩或斜桩。

3.0.3 嵌岩桩的承载力应根据不同受力情况，分别按桩身结构强度和地基对桩的支承能力进行计算。

3.0.4 嵌岩桩设计，应按不同的设计状况和设计极限状态进行计算。

3.0.5 嵌岩桩设计，应根据不同情况进行下列承载能力极限状态计算：

- (1) 桩基的轴向承载力和水平承载力计算；
- (2) 桩身受压、受弯、受拉、受剪和受扭的承载力计算；
- (3) 桩身的自由长度较大时，桩的压屈稳定验算。

3.0.6 嵌岩桩设计，必要时应进行下列正常使用极限状态计算：

- (1) 混凝土和预应力混凝土嵌岩桩的限裂或抗裂验算；
- (2) 水平变形计算。

3.0.7 嵌岩桩桩基工程的勘察，除应满足《港口工程地质勘察规范》(JTJ 240)的有关规定外，尚应符合下列规定。

3.0.7.1 钻孔间距宜取 15 ~ 25m。当相邻两孔间的岩层面坡度大于 10% 时，应根据工程具体条件适当加密，对地质情况复杂的工程，宜在每根桩布置一个钻孔。

3.0.7.2 控制性钻孔宜为钻孔总数的 1/3 ~ 1/2。钻孔宜达到桩端以下 3 ~ 5 倍桩径处，当持力岩层较薄，有部分钻孔钻穿持力岩层时，应探明下

岩溶地区，应查明溶洞、溶槽、溶沟和石笋等分布情况。

4 承载力

4.1 一般规定

4.1.1 嵌岩桩桩基中，桩的中心距不宜小于2倍桩径。

4.1.2 嵌岩桩桩端宜嵌入新鲜基岩或微风化岩中。经论证后，也可嵌入中等风化岩。

4.1.3 桩的嵌岩深度应同时满足承受轴向力和水平力的要求。

4.1.4 当桩端下一定深度范围内存在溶洞、溶沟和溶槽等不利因素时，应采取有效的技术措施。

4.1.5 在同一工程结构中，同时采用嵌岩桩和非嵌岩桩时，应考虑不均匀沉降等对结构的不利影响。

4.2 桩的轴向承载力

4.2.1 嵌入中等风化岩的单桩轴向抗压承载力，宜根据静载荷试验确定。

4.2.2 对进行静载荷试验的工程，其单桩轴向抗压承载力设计值应按下式计算：

$$Q_{cd} = \frac{Q_{ck}}{\gamma_c} \quad (4.2.2)$$

式中 Q_{cd} ——单桩轴向抗压承载力设计值 (kN)；

Q_{ck} ——单桩轴向抗压极限承载力标准值 (kN)；

γ_c ——单桩轴向抗压承载力分项系数，根据地质情况取 1.6~1.7。

4.2.3 不做静载荷抗压试验的工程，其单桩轴向抗压承载力设计值，可按下式计算：

$$Q_{cd} = \frac{\mu_1 \sum \xi_{fi} q_{fi} l_i}{\gamma_{cs}} + \frac{\mu_2 \xi_{rc} f_{rc} h_r + \xi_p f_{rc} A}{\gamma_{cR}} \quad (4.2.3)$$

式中 μ_1 ——覆盖层桩身周长 (m)；

μ_2 ——嵌岩段桩身周长 (m)；

范围内的覆盖层, 取 $0.5 \sim 0.7$, $10D$ 以上覆盖层取 1 ; 当 $D > 0.5m$ 时, 岩面以上 $10m$ 范围内的覆盖层, 取 $0.5 \sim 0.7$, $10m$ 以上覆盖层取 1 。 D 为覆盖层中桩的外径;

q_{fi} ——桩周第 i 层土的极限侧阻力标准值 (kPa), 打入桩按现行行业标准《港口工程桩基规范》取值, 灌注桩按港口工程灌注桩设计与施工的有关规定取值;

l_i ——桩穿过第 i 层土的厚度 (m);

f_{rc} ——岩石饱和单轴抗压强度标准值 (kPa), f_{rc} 的取值应根据工程勘察报告提供的数据确定, 各种基岩的工程性质可参照附录 A; 对粘土质岩石取天然湿度单轴抗压强度标准值; 当 f_{rc} 值大于桩身混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 时, 应取 f_{ck} 值;

A ——嵌岩段桩端面积 (m^2);

h_r ——桩身嵌入基岩的深度 (m), 当 h_r 超过 $5d$ 时, h_r 取 $5d$; 当岩层表面倾斜时, 应以岩面最低处计算嵌岩深度。 d 为嵌岩段桩径;

γ_{cs} ——覆盖层单桩轴向受压承载力分项系数, 预制桩取 $1.45 \sim 1.55$, 灌注桩取 1.65 ;

γ_{cr} ——嵌岩段单桩轴向受压承载力分项系数, 取 $1.7 \sim 1.8$;

ξ_s 、 ξ_p ——分别为嵌岩段侧阻力和端阻力计算系数, 与嵌岩深径比 h_r/d 有关, 按表 4.2.3 采用。

表 4.2.3 嵌岩段侧阻力和端阻力计算系数 (ξ_s 、 ξ_p)

嵌岩深径比 h_r/d	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
ξ_s	0.070	0.096	0.093	0.083	0.070
ξ_p	0.72	0.54	0.36	0.18	0.12

注: ①当嵌入中等风化岩时, 按表中数值乘以 $0.7 \sim 0.8$ 计算;

②对预制型嵌岩桩, 可适当计入预制桩端部阻力, 桩端阻力系数按现行行业标准《港口工程桩基规范》的有关规定取下限值。

抗拔试验时，单桩轴向抗拔承载力设计值应按下式计算：

$$Q_{td} = \frac{Q_{tk}}{\gamma_t} \quad (4.2.5)$$

式中 Q_{td} ——单桩轴向抗拔承载力设计值 (kN)；

Q_{tk} ——单桩轴向抗拔极限承载力标准值 (kN)；

γ_t ——单桩轴向抗拔承载力分项系数，取 1.8~2.0。

4.2.6 不进行抗拔试验时，若嵌岩深度不小于 3 倍桩径，单桩轴向抗拔承载力设计值可按下式计算：

$$Q_{td} = \frac{\mu_1 \sum \xi_{fi} q_{fi} l_i + G_{\cos\alpha}}{\gamma_{ts}} + \frac{\mu_2 \sum \xi_{fr} f_{rc} h_r}{\gamma_{tr}} \quad (4.2.6)$$

式中 ξ_{fi} ——第 i 层覆盖土的侧阻抗拔折减系数，取 (0.7~0.8) ξ_{fi} ；

ξ_s ——嵌岩段侧阻力抗拔计算系数，取 0.045；

G ——桩重力 (kN)，水下部分按浮重力计；

α ——桩轴线与铅垂线夹角 (°)；

γ_{ts} ——覆盖层单桩轴向抗拔承载力分项系数，预制桩取 1.45~1.55，灌注桩取 1.65；

γ_{tr} ——嵌岩段单桩轴向抗拔承载力分项系数，取 2.0~2.2。

4.2.7 对承受拉力的桩，可设置锚杆增加桩的抗拔能力。锚杆的锚固长度不宜小于 3m。

4.2.8 锚杆嵌岩桩中锚杆总的抗拔力设计值应按下式计算：

$$P_d = \frac{\sum P_{di}}{\gamma_p} \quad (4.2.8)$$

式中 P_d ——嵌岩桩中锚杆总的抗拔力设计值 (kN)；

P_{di} ——单根锚杆抗拔力设计值 (kN)；

γ_p ——抗拔力综合系数，取 1.1。

4.2.9 锚杆嵌岩桩中单根锚杆的极限抗拔力标准值，宜通过现场试验确定。

4.2.10 进行现场试验时，单根锚杆抗拔力设计值应按下式计算：

$$P_{di} = \frac{P_{ki}}{\gamma_k} \quad (4.2.9)$$



锚杆极限抗拔力标准值 (kN)；

拔力分项系数，取 1.5~1.7；对硬质岩节理不发育、裂隙小或临时建筑物，取较小值；反之取大值。

4.2.11 不进行现场试验时，锚杆嵌岩桩中单根锚杆应按下列规定设计。

4.2.11.1 锚杆钢筋截面应按式计算：

$$A_s = \frac{P_{di}}{f_y} \times 10^3 \quad (4.2.11 - 1)$$

式中 A_s ——单根锚杆钢筋截面 (mm²)；

P_{di} ——单根锚杆抗拔力设计值 (kN)；

f_y ——锚杆钢筋抗拉强度设计值 (MPa)。

4.2.11.2 单根锚杆有效锚固长度可按式 (4.2.11-2) 和式 (4.2.11-3) 分别计算，并取其大值。

(1) 考虑水泥浆体或混凝土对钢筋的握裹力：

$$L_e = \frac{\gamma_d P_{di}}{\pi d q_{fk}} \quad (4.2.11 - 2)$$

式中 L_e ——锚杆有效锚固长度 (m)；

d ——锚杆钢筋直径 (mm)；

q_{fk} ——锚杆钢筋与水泥砂浆或混凝土的粘结强度标准值 (MPa)，宜通过试验确定；当无经验或缺乏试验资料时，可取浆体或混凝土抗压强度标准值的 10%；

γ_d ——握裹力分项系数，取 1.7~1.9。变形钢筋取小值；光面钢筋取大值。

(2) 考虑水泥浆体或混凝土与岩体的粘接抗拔力：

$$L_e = \frac{\gamma_d P_{di}}{\pi D q'_{fk}} \quad (4.2.11 - 3)$$

式中 L_e ——锚杆有效锚固长度 (m)，不计基岩面上强风化岩；

D ——锚孔直径 (mm)；

q'_{fk} ——水泥砂浆与岩石间的粘结强度标准值 (MPa)， q'_{fk} 的取值宜根据具体工程，通过钻取锚固基岩岩芯经试验确定；当无试验资



标准值两者之较小值，岩石的抗剪强度标准值可参照附录 A 结合工程经验选取；

γ_d ——抗拔力分项系数，取 1.7 ~ 1.9。对硬质岩、岩体完整的取小值；反之取大值。

4.3 水平力作用下桩的计算

4.3.1 水平力作用下桩的计算参数宜通过静载荷试验确定。

4.3.2 不作水平静载荷试验的工程，当嵌岩端按固接考虑时，嵌岩深度不应小于 h_r ，且不小于 1.5 倍嵌岩段桩径。 h_r 应按式 (4.3.2) 计算；当桩身混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 小于 β_{rc} 时，宜将 f_{ck} 代换公式中的 β_{rc} 进行计算。

$$h_r = \frac{4.23 V_d + \sqrt{17.92 V_d^2 + 12.7 \beta_{rc} M_d d}}{\beta_{rc} d} \quad (4.3.2)$$

式中 h_r ——计算所需嵌岩深度 (m)；

V_d ——基岩顶面处桩身剪力设计值 (kN)；

β ——系数，取 0.5 ~ 1.0，根据岩层侧面构造而定，节理发育的取小值，反之取大值；

f_{rc} ——岩石饱和单轴抗压强度标准值 (kPa)；

M_d ——基岩顶面处桩身弯矩设计值 (kN·m)；

d ——嵌岩段桩身直径 (m)。

4.3.3 覆盖层土对桩的水平抗力，当覆盖层较薄且强度较低时，不宜考虑覆盖层土的作用；当覆盖层较厚或有一定厚度且强度较高时，可计入覆盖层土的作用。计算可按现行行业标准《港口工程桩基规范》的有关规定进行。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 根据不同要求，嵌岩段以上的桩身可采用灌注型桩或钢管桩、

~ 图 B.0.1。

5.1.2 灌注型嵌岩桩的钢护筒和预制型桩的桩端宜下沉至岩面。

5.1.3 嵌岩桩与桩帽或横梁的连接形式和要求，应符合现行行业标准《港口工程桩基规范》和港口工程灌注桩设计与施工的有关规定。

5.2 桩身结构计算

5.2.1 嵌岩桩桩身结构计算或验算应符合现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ267)、《港口工程桩基规范》和港口工程灌注桩设计与施工的有关规定。

5.2.2 在计算使用期内力时，应考虑施工时产生的并在使用期仍然存在的内力。

5.2.3 施工期应按短暂状况对桩的内力进行验算，并应符合下列规定。

5.2.3.1 验算时，应考虑下列状况：

- (1) 预制桩吊运和沉桩；
- (2) 尚未夹围圈的悬臂单桩；
- (3) 桩在整体结构形成前的其他状况。

5.2.3.2 验算时，应根据实际情况考虑下列荷载：

- (1) 桩的自重力和浮托力；
- (2) 施工时可能出现的水流力和波浪力；
- (3) 上部结构安装过程中可能出现的偏心荷载；
- (4) 当借助工程桩搭设施工平台时，应考虑平台自重力和钻岩机具等的重力及施工中机械产生的振动荷载。

5.2.4 对嵌岩桩在成孔嵌岩结构形成前的预制型桩或钢护筒，应采取必要的稳桩措施并进行验算。

5.3 灌注型嵌岩桩的构造

5.3.1 灌注型嵌岩桩桩身构造应符合港口工程灌注桩设计与施工的有关
标书网biaoshu.com编写标书，投标代理：020-311094179



型嵌岩桩嵌岩段的直径和配筋，应根据桩的受力状况确定。

5.3.2.1 主筋宜采用变形钢筋，直径不小于 14mm，截面积应计算确定，且配筋率不宜小于 0.4%，根数不宜少于 12 根，应沿周长均匀通长布置。当嵌岩孔径小于桩径时，嵌岩段主筋伸入上部桩内的长度不应小于 35 倍主筋直径。

5.3.2.2 箍筋宜采用 I 级钢筋，直径不应小于 6mm，间距应为 200 ~ 300mm，在岩面上下 1000mm 范围内箍筋间距不应大于 60mm，宜采用螺旋或焊接环式箍筋，并宜每隔 2m 左右焊接一道加强箍筋，其直径不宜小于 16mm。

5.3.3 桩的混凝土强度等级不应低于 C30。

5.3.4 主筋的混凝土保护层厚度，海水港工程不应小于 70mm；淡水港工程不应小于 50mm。

5.3.5 灌注型锚杆嵌岩桩的锚杆直径不宜小于 25mm，必要时也可采用型钢。锚杆伸入岩面以上桩身内的长度不宜小于锚固深度。

5.3.6 锚孔内灌注水泥浆的立方体抗压强度标准值不应小于 35MPa，且应压浆密实，并掺加适量的膨胀剂。

5.4 预制型嵌岩桩的结构选型及构造

5.4.1 预制型嵌岩桩的嵌岩型式，可根据桩的使用要求、地质条件和施工条件确定，并可按下列情况选用。

5.4.1.1 桩承受较大的水平力或力矩时，可采用预制型植入嵌岩桩。

5.4.1.2 桩主要承受轴向压力及较小水平力或上拔力时，可采用预制型芯柱嵌岩桩。

5.4.1.3 桩主要承受轴向上拔力时，可采用预制型锚杆嵌岩桩。

5.4.1.4 桩承受水平力或力矩并受较大上拔力时，可采用预制型芯柱、锚杆组合式嵌岩桩。

5.4.1.5 承受较大扭矩的桩宜采用钢管桩或预应力混凝土管桩。

5.4.2 桩身结构应符合下列规定。

5.4.2.1 钢管桩应符合现行行业标准《港口工程桩基规范》的有关规



预应力混凝土大直径管桩应符合现行行业标准《港口工程预应力管桩设计与施工规程》(JTJ/T261)的有关规定。

5.4.2.3 其他预制桩应符合国家现行有关标准的规定。

5.4.2.4 对锤击沉桩的钢管桩、钢护筒和预应力混凝土管桩，必要时应根据地质和施工条件，对桩端口采取局部加强措施。停锤贯入度的确定，应考虑防止桩端钢板卷边。

5.4.3 预制桩内灌注混凝土芯柱的高度，应满足主筋或锚杆的锚固长度要求，且不应小于1.5倍嵌岩深度。

5.4.4 植入嵌岩桩的锚固结构应符合下列规定。

5.4.4.1 钢管桩植入嵌岩时，桩内应灌注强度等级不低于C20的混凝土，灌注高度宜达到岩面以上1.0倍桩径处。

5.4.4.2 预应力混凝土管桩植入嵌岩时，应根据桩在岩面处的弯矩和剪力，设置钢筋混凝土桩芯，其强度等级不应低于C30。当计算不需设置钢筋混凝土桩芯时，宜灌注强度等级不低于C20的混凝土，灌注高度宜达到岩面以上1.0倍桩径处。

5.4.5 芯柱嵌岩桩的锚固结构应符合下列规定。

5.4.5.1 嵌岩段钢筋笼的主筋和箍筋应符合第5.3.2条的规定，并应满足下列要求：

- (1) 岩面处桩芯主筋混凝土的保护层厚度不应小于35mm；
- (2) 钢筋笼的布置，应便于安装和灌注水下混凝土。

5.4.5.2 根据使用要求，钢筋笼可采用工字钢、钢管等型钢制作。

5.4.5.3 芯柱混凝土的强度等级不应低于C30。

5.4.6 锚杆嵌岩桩的锚固结构应符合下列规定。

5.4.6.1 锚杆构造应满足下列要求：

(1) 锚杆材料可采用二级钢筋或精轧螺纹钢等，当使用预应力锚杆时可采用钢绞线；

(2) 根据锚杆根数，可做成一束或多束。组合式嵌岩桩的锚杆宜采用一束；

(3) 锚杆束应设置间距2m左右的定位隔板，锚杆束内各根锚杆的净距不应小于5mm。



沿桩周长度应均匀布置，孔的中心距不宜小于 4 倍锚孔直径，锚孔沿桩周的距离不宜小于 100mm；

(2) 锚孔直径不应小于 3 倍锚杆直径；当采用锚杆束时，杆束外径与锚孔壁的间距不得小于 30mm。

5.4.6.3 锚孔内灌注水泥浆的立方体抗压强度标准值不应小于 35MPa，且应压浆密实，并掺加适量的膨胀剂。

5.4.6.4 锚杆在桩芯内的锚固可采用下列方式：

- (1) 锚杆在桩内仅伸入桩的下段与桩芯柱混凝土锚固，见图 B.0.4；
- (2) 锚杆在桩芯内伸至桩的上段与桩芯柱混凝土锚固，见图 B.0.5；
- (3) 组合式嵌岩桩锚杆在芯柱嵌岩段混凝土中直接锚固，见图 B.0.6。

6 施 工

6.1 施工准备

6.1.1 嵌岩桩施工前应具备工程平面图、桩位图、桩基结构图、地质资料、桩承载力和施工质量控制标准等资料。

6.1.2 对勘测平面控制网点、水准点和施工图纸应进行交接和复核，并依此在陆域或水域建立测量平面和高程控制网点。测量控制网点的布置应符合现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》的有关规定。

6.1.3 对施工区域内管线、沉排和抛石棱体等应进行探摸和处理。

6.1.4 应复核沉桩区域内各桩位原地形的标高，并绘制相应的图纸。

6.1.5 当发现地质状况与勘测报告有出入时，应根据具体情况进行补充勘探。

6.2 一般规定

6.2.1 嵌岩桩成孔工艺，应根据锚固结构型式、岩石的工程性质和施工条件等确定，其工艺和机具可按表 6.2.1 和附录 C 选用。

6.2.2 基岩成孔宜选用转速在 5 ~ 25r/min，扭矩在 15 ~ 200kN·m 的回转钻机或冲击钻机。

6.2.3 对斜嵌岩桩成孔宜采用下置动力头式的钻机。

1.宜选用耐磨硬质合金契齿或球齿滚刀型钻头；

1.宜选用耐磨合金钢冲锤和耐磨焊条堆焊锤牙钻头。

表 6.2.1

嵌岩桩各种成孔工艺参考表

成孔工艺	适用范围		
	土 层	孔径 (mm)	孔深 (m)
泵吸、气举回转反循环钻进	粘性土，砂土、卵石粒径小于钻杆内径 2/3，含水量小于 20% 的碎石土、软土、硬质岩	800 ~ 3000	100
泵吸，射流反循环冲击回转钻进	卵石，胶结砾石、各种土质岩石及硬质岩石	800 ~ 2000	80
泥浆护壁冲抓钻进	粘性土、砂土、粉土、碎（砾）石土及风化岩层与新鲜岩层，以及地质情况复杂、夹层多、风化不均、软硬变化较大的岩层，还能穿透旧基础，大孤石等障碍物，岩溶发育地区	800 ~ 2000	30 ~ 40
泵吸反循环潜孔锤钻进	硬质岩	600 ~ 1600	50
梅花点钻进	硬质岩	≥1500	
小炸药量松动爆破钻进	硬质岩	> 1500	

6.2.5 工程中可结合实际情况，采用几种成孔工艺组合钻进。

6.2.6 水上嵌岩桩钻孔施工用的钢护筒，应根据工程具体情况、地质状况和施工条件等设计，并应满足下列要求：

- (1) 钢护筒与搭设平台不应发生干扰；
- (2) 钢护筒端口的结构宜作利于切入岩土层的加强处理；
- (3) 钢护筒内径宜大于钻头直径 70 ~ 100mm。

6.2.7 钢护筒埋设或下沉应准确、稳定，护筒的中心偏差应和桩位允许偏差一致。

6.2.8 预制桩和钢护筒顶标高应高出施工水位半个波高加 0.3 ~ 0.5m；在内河施工时，顶标高应高出施工水位 1、2m。

6.2.9 预制桩或钢护筒内成孔作业，当桩端口与基岩面之间有泥砂、



法、投放混凝土锤击法和下沉内钢护筒法等。

制作的钢筋笼，其接头应符合现行行业标准《带肋钢筋挤压连接技术规程》（YB9250）和《水运工程混凝土施工规范》（JTJ268）的有关规定。钢筋挤压机的主要技术指标见附录 D。

6.2.11 加强筋应设置在主筋外侧，主筋在孔身段内不宜设弯钩。

6.2.12 钢筋笼应设置混凝土保护层垫块。钢筋笼搬运和吊装时，应防止因变形过大失控，安放要对准孔位，避免碰撞孔壁，保证主筋保护层厚度。就位后应立即固定，防止在灌注混凝土时钢筋笼上浮。

6.2.13 钢筋笼吊装完毕后，应尽快灌注水下混凝土。

6.3 沉桩及稳桩工艺

6.3.1 预制桩或钢护筒的下沉及其稳桩工艺，应根据设计要求、地质状况和施工条件，经技术经济论证后确定。

6.3.2 预制桩和钢护筒的下沉，施工前宜进行试沉桩。试沉桩应包括下列内容：

- (1) 确定桩端到达设计标高的可行性；
- (2) 检查桩端口与基岩面接触状况及钢板卷边状况；
- (3) 确定沉桩施工的锤型和停锤标准。

6.3.3 当基岩面上有覆盖层稳桩条件时，沉桩可按现行行业标准《港口工程桩基规范》的有关规定进行。

6.3.4 当基岩面上覆盖层较厚，且含有大块石、漂石和强风化岩等，钢护筒下沉有困难时，沉桩宜采用钻打和冲打结合的工艺，并应满足下列要求：

- (1) 钢护筒初打结束时桩顶面应高出水面 2~3m；
- (2) 可采用方驳架设悬挑平台或搭设水上作业平台安放成孔机具，并应考虑复打的可行性；
- (3) 钻、冲孔直径宜比钢护筒内径小 150mm；
- (4) 成孔深度到位后，再将钢护筒接高到设计长度复打至设计标高；

6.3.5 当基岩埋藏较浅或基本裸露，不足以形成沉桩稳定的地质条件时，可采用下列稳桩方法：

桁架稳桩，见图 B.0.8 和图 B.0.9；

时，可在泥面上抛铺一定厚度的砂层或在钢护筒外抛块石

等。

6.4 水上施工平台

6.4.1 水上施工平台的结构形式，应根据嵌岩桩桩型、地质条件、施工条件和制作材料进行综合考虑，对支架结构强度、刚度、稳定性和支承柱的承载能力等进行计算，并应满足下列要求：

(1) 成孔机具、灌注混凝土及压浆设备等的安置和作业应有足够的场地、空间和高程；

(2) 应能承受设备和作业人员的动、静荷载；

(3) 支撑桩不得产生位移、倾斜和沉降，并应有可靠的稳定性；

(4) 不应与码头横梁、墩台灌注混凝土模板的支立等工序发生干扰；

(5) 应有防浪、防洪、抗台风和保障生产人员及设备安全设施；

(6) 应便于装拆和移位。

6.4.2 平台的搭设可采用下列方法：

(1) 利用工程预制桩或钢护筒结构本身；

(2) 打入专用桩作为平台的支承柱；

(3) 采用固定支腿或活动支腿的双层或多层钢桁架，见图 B.0.8 和图 B.0.9。

6.4.3 内河和湖泊地区，在水流平稳和水位升降缓慢等自然环境下，经论证后，可采用锚碇稳固的船舶或浮箱作为施工平台。

6.5 成孔

6.5.1 钻机就位后，其回转的钻杆、转盘或冲击锤吊绳的中心与成孔位的中心应在同一轴线上，偏差不应大于 20mm。

6.5.2 钻机在孔位上应稳定牢固，在施工过程中不得发生倾斜、位移和沉陷。在机架或桩上应设置显示钻进深度的标尺。

6.5.3 在水位涨落较大的水域钻孔时，应采取稳桩措施，并保持桩内水位高于桩外水位。



作业时，应采取间隔桩位的钻孔方法。

作业宜分班连续进行。因故停钻时，严禁钻具留在孔内，以防发生扩孔或下钻等故障。

6.5.6 基岩钻孔时，应在桩内设置导向扶正器，以保证钻杆中心线与孔的轴线一致。对斜孔，应设置多个导向扶正器，数量根据桩的长度确定。导向扶正器结构如图 B.0.10 所示。

6.5.7 回转钻机钻头在岩面开孔时，应采用减压钻进，让钻机的主钩始终承受部分钻具重力，使孔底面上承受的钻压不超过扣除浮力后钻杆、钻头和配重块重力之和的 80%，避免产生斜孔、弯孔和扩孔现象。

6.5.8 冲击成孔时，宜采用小冲程开孔，使初成孔竖直和圆顺，起导向作用。在成孔深度超过冲锥加冲程长度后，方可进行正常冲击，应防止岩面孔口坍塌。

6.5.9 冲击成孔时，遇有坚硬漂卵石，宜采用中、大冲程，最大冲程不得超过 3m，并应防止空锤和大松绳；冲击岩面遇有倾斜、不平或圆面状孤石时，应先投入坚硬碎石或灌注混凝土，将表面垫平后再冲击钻进；冲击钻进过程中，应及时排渣，使钻锥经常冲击新鲜岩层，提高作业效率。

6.5.10 对大直径硬质岩孔，可采用 2~3 次扩孔方法进行钻进成孔。

6.5.11 对孔径大于 1.5m 以上的坚硬质岩层，可采用小药量松动爆破法成孔。爆破成孔前应进行工艺设计，控制每次用药量，应避免爆破对周围建筑及桩周岩层不产生破坏。

6.5.12 成孔达到设计深度后，应进行检测，满足要求后方可进行清孔。

6.5.13 清孔方法应根据设计要求、成孔方法、机具设备和地质情况选择。清孔可采用抽吸法、换浆法或喷射法。对冲击钻进成孔，应首先用取渣筒将孔底的钻渣取出，再用上述方法清孔。

6.5.14 清孔应满足下列要求：

- (1) 在清孔排渣时，应保持孔内水头，防止坍孔；
- (2) 不得用加深孔底深度的方法代替清孔。

6.5.15 钻孔作业出现卡钻时宜先轻提，轻提不动，可用小冲锥设法将钻头周围的钻渣松动，或采取小药量定点松动爆破后再提，有条件时可采用

作业时掉钻、落物时，可用打捞器具、电磁吸铁等工具打捞泥沙埋入时，可先清除泥沙后再进行打捞，或直接冲抓取

出。

6.5.17 在钻进过程中，遇有桩端钢板卷边时，根据卷边程度，可采用直接钻进法、冲锤法或水下切割法等进行处理。

6.5.18 当人员进入钻孔处理事故时，应先检查孔内有无有害气体，并采取防毒、防潮、防坍塌等安全措施后，方可进行处理。严禁进入无护筒或无其他防护设施的钻孔中处理事故。

6.6 灌注水下混凝土

6.6.1 灌注水下混凝土应符合港口工程灌注桩设计与施工的有关规定，并符合下列规定。

6.6.1.1 在灌注混凝土前应复测沉渣厚度，若超过规定值，应再次清孔至满足要求为止。

6.6.1.2 导管入孔后，管底距孔底宜为 300 ~ 500mm。

6.6.1.3 混凝土料斗应有足够的容量，首批灌注的混凝土量应使导管底端埋入混凝土内深度 0.8m 以上，且应保持导管内的混凝土压力不小于 1.5 倍井孔水压的压力。

6.6.1.4 水下混凝土应一次灌注完成，每斗间隔时间不得超过混凝土的初凝时间。

6.6.1.5 应控制最后一斗混凝土灌注量，并预留凿去泛浆残渣高度的量，保证桩顶暴露混凝土达到强度设计值。

6.6.1.6 当混凝土数量较大，灌注时间较长时，可在混凝土中掺加缓凝剂，满足施工要求。

6.6.2 对灌注混凝土过程中发生的故障，其处理措施应符合下列规定。

6.6.2.1 导管发生堵塞时，应首先在导管不脱离混凝土的情况下，将堵管上下串动，疏通导管。当导管仍无法疏通时，可采取下述措施：

(1) 导管在桩下端堵塞，应提出导管，清除导管内的混凝土，并在混凝土初凝前，采用气举反循环等方法，将桩内混凝土吸排掉，然后重新下导管



上部堵塞，应提出导管，清除导管内的混凝土，采用二次导管灌注。

6.6.2.2 当供料系统发生故障不能连续灌注时，根据导管的位置不同，可参照第 6.6.2.1 款的方法进行处理。

6.6.3 当预制型芯柱嵌岩桩已灌注的混凝土质量不合格时，可采用下列工序进行处理：

(1) 采用与钻岩时相同的契齿型滚刀钻头，安装导向装置，钻取桩内钢筋笼以上的混凝土；

(2) 采用小于钢筋笼内径的钻头，安装导向装置，钻取钢筋笼内的混凝土至钢筋笼底。钻进作业过程应及时调整钻孔的倾斜度，防止被钢筋笼卡住及损坏钢筋笼；

(3) 必要时可在钢筋笼内插入型钢以作补强。

6.7 灌注型嵌岩桩施工

6.7.1 应根据钢护筒沉放的稳定条件和地质条件，选用合适的钻进工艺、钻进液及排渣方式。

6.7.2 钻机固定后，应将钢护筒内的泥、砂、碎石等清除掉，并检查钢护筒端口钢板卷边及其与基岩面间的渗漏情况。当出现严重的钢板卷边或渗漏时，应采取相应的处理措施。

6.7.3 基岩孔钻至设计深度后，应对深度和孔径进行检测。

6.7.4 灌注型锚杆嵌岩桩锚杆的施工，可参照预制型锚杆嵌岩桩施工的有关规定执行。

6.8 预制型植入嵌岩桩施工

6.8.1 预制型植入嵌岩桩的锚固，可根据桩的使用要求、桩型、地质状况和施工条件，选用钻岩复打桩锚固法、钢护筒钻岩打桩锚固法、灌注混凝土锚固法或挤实锚固法等。

6.8.2 对软质基岩，根据预制桩材质和地质状况，可采用钻岩复打桩锚固法和钢护筒钻岩打桩锚固法施工，并应符合下列规定。

6.8.2.1 当基岩有一定的覆盖层，桩为钢管桩时，可采用钻岩复打桩

根据岩性和深度在桩芯内钻出比桩径小 50 ~ 100mm 的孔至

接加长至所需桩长, 再复打至设计标高, 清孔后, 按设计

要求灌注水下混凝土, 见图 B.0.11。

6.8.2.2 基岩埋藏很浅, 初打桩不能站立稳定时, 可采用钢护筒钻岩打桩锚固法施工。先搭设水上施工平台, 下钢护筒, 使其站立稳定, 根据岩性和深度, 在桩芯内钻出小于植入桩径 50 ~ 100mm 的孔至设计深度, 将桩吊到孔位打至设计标高, 清孔后, 按设计要求灌注水下混凝土, 见图 B.0.12。当桩为预应力混凝土管桩时, 钢桩靴外径应与管桩外径一致, 长度宜接近嵌岩深度。

6.8.3 对硬质基岩, 可采用下列锚固工艺:

(1) 灌注混凝土锚固法。先搭设水上施工平台, 下钢护筒, 使其站立稳定, 在基岩内钻出大于桩径 300mm 以上的孔至设计深度, 清孔, 将桩吊入岩孔就位, 清孔后, 在桩芯内以及桩外侧与孔壁间灌注水下混凝土, 见图 B.0.2。

(2) 挤实锚固法。先搭设水上施工平台, 下钢护筒, 使其站立稳定, 在基岩内钻出大于桩径的孔至设计深度, 清孔后、灌注水下混凝土, 将桩打入混凝土至设计标高, 见图 B.0.13。采用此工艺混凝土应有足够的缓凝时间, 保证在初凝前将桩打入岩孔内。

6.9 预制型芯柱嵌岩桩施工

6.9.1 预制桩的沉桩和稳桩应按第 6.3 节的有关规定执行。

6.9.2 当预制桩为预应力混凝土管桩, 并采用冲击成孔时, 应采用组合桩, 组合桩的钢管桩长度应满足冲击锤体的冲程要求, 防止锤体碰撞混凝土壁而损坏管桩。

注: 组合桩系指预应力混凝土管桩桩端联结钢管桩组合成的桩。

6.9.3 钻机固定后, 应将预制桩芯内基岩面上的淤泥、粘土、砂和强风化岩碎石等清除干净, 检查钢桩靴钢板卷边和桩端与基岩面间渗漏情况。当出现严重的钢板卷边或渗漏时, 应采取相应的处理措施。

6.9.4 在钻进作业接近孔底时, 应采用反循环工艺清渣。

6.9.5 基岩孔钻至设计深度后, 应对深度、孔径进行检测。

6.10 预制型锚杆嵌岩桩施工

6.10.1 锚杆的连接工艺应根据材质和施工条件确定，连接接头的强度不得小于锚杆极限抗拉强度标准值的 95%。锚杆连接可采用下列工艺：

(1) 采用电焊焊接，其质量应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》的有关规定；

(2) 采用钢筋冷挤压连接，其质量应符合现行行业标准《带肋钢筋挤压连接技术及验收规程》的有关规定；

(3) 采用高强精轧螺纹钢及相应的连接器；

(4) 采用轧丝帽等连接方法。

6.10.2 锚孔灌注水泥浆应满足下列要求：

(1) 水泥浆立方体抗压强度标准值不小于 35MPa；

(2) 水灰比不大于 0.4；

(3) 流动度控制在 16~20s；

(4) 在无约束条件下，自由膨胀率控制在 5%~10%。

注：根据工程的具体情况，亦可采用水泥砂浆。

6.10.3 锚孔内灌注水泥浆应达到基岩面处。根据岩性，可采用下列灌浆工艺：

(1) 岩盘节理不发育、裂缝小的微风化岩层，可直接灌注水泥浆；

(2) 岩盘节理发育、裂隙严重的中等风化岩和微风化岩层，宜采用压力注浆，锚孔注满浆后，应持压 0.5MPa 2~3min，压力注浆见图 B.0.14。

6.10.4 锚杆与桩下段锚固嵌岩施工可按下列工序进行：

(1) 钻机固定后，将桩内基岩面上的淤泥、砂石等清理干净，在桩端口以上 0.5~1.0m 范围内宜灌注水下混凝土并找平；

(2) 在桩端口上的预定位置，安装钻孔用的定位器及导管，并使导管与桩顶固定。定位器和导管结构见图 B.0.15；

(3) 在定位器与混凝土之间压注封孔水泥浆至定位板面上约 100mm，见图 B.0.14。水泥浆性能应与锚杆锚固浆性能一致。锚孔的钻进作业，应待混凝土和封孔水泥浆达到一定强度后进行；



层岩时，应取芯检查，确认岩层面的起始点及深度；

(6) 成孔过程中，当岩层节理裂隙密集、破碎严重时，应先采取压注高强度水泥浆使岩体固结，待浆体达到一定强度后重新钻孔；

(7) 钻孔结束后应将岩孔清洗干净；

(8) 锚杆的安放宜采用扶正定芯块；

(9) 钻孔、清孔、下放锚杆后应尽快灌注水泥浆。

6.10.5 锚杆与桩上段锚固嵌岩的施工可按下列工序进行：

(1) 钻机固定后，清除上段桩芯内应灌注混凝土深度的泥层，在泥面至锚孔岩面间设置钻孔导向套管，套管内径应比钻头直径大 70~80mm；

(2) 当桩芯内有较厚的土层和强风化岩，套管压入或振动有困难时，宜采用在套管内钻进一定深度，然后用压入或振动的方法使套管跟进，直至套管进入锚孔岩面；

(3) 在导向套管内，按设计要求的锚孔直径、深度钻进成孔；

(4) 按第 6.10.4 条的要求清孔、压浆；

(5) 拆除桩内上段的套管，对桩孔内壁清孔，按设计要求下钢筋笼，灌注混凝土使锚杆锚固。

6.11 组合式嵌岩桩施工

6.11.1 嵌岩段成孔应符合第 6.7 节和第 6.9 节的有关规定。

6.11.2 不进行锚杆抗拔验证性试验时，可按下列工序施工：

(1) 对已成孔的基岩孔进行第一次清孔后，移去钻机；

(2) 在桩芯和基岩孔内设置钻孔导管及定位器。必要时，定位器与基岩孔底间，可按第 6.10.4 条的要求压浆封孔；

(3) 按设计要求的直径和深度钻进成孔；

(4) 利用导管进行清孔，下锚杆，压注水泥浆，使锚杆与基岩锚固；

(5) 拆除导管，按设计要求下钢筋笼，再次清孔，灌注水下混凝土至设计高度，使锚杆与桩的嵌岩段锚固。

6.11.3 进行锚杆抗拔验证性试验时，可按下列工序施工：

(1) 对已成孔的基岩孔进行清孔，下钢筋笼，灌注水下混凝土，混凝土



设置导管和定位器，钻锚孔至设计要求的深度；

- (3) 利用导管进行清孔，下锚杆，压注水泥浆至锚孔岩面以上 500mm 处，使锚杆与岩体锚固；
- (4) 锚固浆体强度达到 70% 后，进行抗拔试验；
- (5) 试验完成后，灌注桩芯混凝土至设计标高。

7 施工质量控制

7.1 桩位允许偏差

7.1.1 嵌岩桩桩顶位置允许偏差应符合表 7.1.1 的规定。

表 7.1.1 桩位允许偏差

允许偏差		桩 型	直桩 (mm)	斜桩 (mm)	轴线倾斜度
		水域			
有掩护水域	$D \leq 1500$		150	200	1/100
	$D > 1500$		200	/	
无掩护近岸水域	$D \leq 1500$		200	250	1/100
	$D > 1500$		300	/	
无掩护离岸水域	$D \leq 1500$		250	300	1/100
	$D > 1500$		$D/4$ 且 ≤ 500	/	

注：①近岸系指距岸不大于 500m，离岸系指距岸大于 500m；

②长江和掩护条件较差的河口沉桩可按“无掩护近岸水域”标准执行；

③当遇有障碍物时，其允许偏差可会同设计单位研究处理；

④表列允许偏差值不包括由锤击震动等引起岸坡变形产生的桩的位移。

7.1.2 沉桩后，应及时测定处于自由状态的桩顶偏差。在夹桩或搭设水上施工平台后，应再次测定桩位偏差，并以此作为竣工测定的最终数值。在夹桩或搭设平台时，严禁拉桩。



7.2 施工过程质量控制

7.2.1 施工过程质量控制主要包括成孔、清孔、钢筋笼制作安装和水上混凝土灌注等工序。

7.2.2 应对混凝土原材料质量与计量、配合比、坍落度、强度等进行检查。

7.2.3 应对钢筋笼钢筋规格、焊条规格、焊口规格、焊缝长度和高度、焊缝外观及质量、主筋和箍筋的制作偏差以及接头的连接等进行检查。

7.2.4 嵌岩桩的钢筋笼制作允许偏差应符合表 7.2.4 的规定。

表 7.2.4 钢筋笼制作允许偏差

项 目	允许偏差(mm)
主筋间距	± 10
箍筋间距或螺旋间距	± 10
钢筋笼直径	± 10
钢筋笼长度	+ 100

7.2.5 在灌注混凝土前，应严格按有关质量要求对已成孔的中心位置、孔深、孔径、轴线倾斜度、孔底沉渣厚度和钢筋安放的实际位置等进行认真的检查。

7.2.6 灌注水下混凝土应符合下列要求：

- (1) 强度等级满足设计要求；
- (2) 无断层或夹层；
- (3) 孔底沉渣厚度满足设计要求，且不得超过 50mm；
- (4) 凿除桩头预留部分，无残余松散层和薄弱混凝土层；
- (5) 嵌入桩帽的桩头及锚固钢筋的长度满足设计要求。

7.2.7 桩身混凝土质量的检测，宜采用下列方法。

7.2.7.1 低应变动力检测法。中、小型码头工程灌注型嵌岩桩可采用低应变动力检测法检测桩身的完整性。被测桩数量应为总桩数的 100%。检测应符合现行行业标准《桩基低应变动力检测规程》(JGJ/T93) 的有关规



声波检测法。对桩径大于 1000mm 和地质条件复杂情况的桩，采用超声波检测法检测。

7.2.7.3 钻孔取芯检测法。检测应符合下列规定：

(1) 钻孔取芯应在混凝土 28d 龄期后进行；

(2) 钻孔取芯数量宜取桩总数的 3% ~ 5%，且不少于 2 根；对质量有疑问的桩应逐根检查；

(3) 钻孔应具有足够的垂直度，并钻到桩底 0.5m 以下，取出的混凝土芯柱直径应大于 100mm。每孔取样组数，应根据桩长及施工情况确定，但不得少于 3 组。

8 载荷试验

8.1 单桩轴向静载荷试验

8.1.1 单桩轴向静载荷试验的加载宜采用油压千斤顶。加载反力可采用锚桩法和堆载法。锚桩法的反力系统承载能力不应小于预估最大试验荷载的 1.3 ~ 1.5 倍，堆载法不应小于 1.2 倍。当试验最大加载量超过锚桩抗拔能力时，可采用锚桩加载重的联合反力系统。

8.1.2 根据工程具体情况，单桩轴向抗压静载荷试验可分为验证性试验与破坏性试验。试验应符合下列规定：

(1) 验证性试验可在工程桩上进行，应加载至单桩轴向承载力设计值的 1.1 ~ 1.2 倍；

(2) 破坏性试验应在非工程桩上进行，加载至桩的破坏荷载为止。

8.1.3 单桩轴向抗拔静载荷试验应在非工程桩上进行。特殊条件下，也可在工程桩上进行。

8.1.4 单桩轴向静载荷试验方法，宜采用快速维持荷载法。

8.1.5 单桩轴向静载荷试验的加载分级、观测时间和稳定标准等应按现行行业标准《港口工程桩基规范》的有关规定执行。

8.1.6 试验终止条件应符合下列规定。

8.1.6.1 验证性试验应加载至试验要求的荷载为止。

8.1.6.2 破坏性试验、抗拔静载荷试验应进行到可判定极限承载力时

8.2 单桩水平静荷载试验

8.2.1 单桩水平静荷载试验可按现行行业标准《港口工程桩基规范》的有关规定执行。

8.2.2 水平静荷载试验的加载宜采用千斤顶进行顶推，用力传感器控制荷载大小。

8.2.3 加载反力系统应牢固可靠，具有足够的刚度。

8.2.4 试验方法宜采用单向单循环水平维持荷载法，根据试验要求也可采用单向多循环水平维持荷载法。

8.3 锚杆嵌岩桩的锚杆抗拔静荷载试验

8.3.1 锚杆嵌岩桩的锚杆抗拔静荷载试验条件应与实际工程锚杆的使用条件相同。

8.3.2 锚杆抗拔试验加载宜采用穿心式油压千斤顶，加载反力系统可利用嵌岩桩桩身或已浇注的混凝土平台。

8.3.3 锚杆抗拔静荷载试验可分为破坏性试验与验证性试验，试验应符合下列规定。

8.3.3.1 破坏性试验用于确定锚杆的极限抗拔力，试验应在非工程桩上进行。

8.3.3.2 验证性试验用于检查锚杆承受设计抗拔力性能，试验可在工程桩上进行。

8.3.4 任何一种新型锚杆或未曾使用过锚杆的岩层，应进行破坏性试验，破坏性试验锚杆的数量不宜少于2根。锚杆嵌岩桩应进行验证性试验，验证性试验锚杆的数量，根据桩的使用要求和基岩状况，宜控制在锚杆总数的20%~40%。

8.3.5 锚杆试验应满足下列要求：

(1) 锚杆试验用的加载系统的额定荷载为试验荷载的1.2~1.5倍；

(2) 锚杆试验用的反力系统在最大试验荷载作用下，有足够的强度和刚度；



抗压强度达到 70% 标准值时进行锚杆试验。

的破坏性试验应符合下列规定。

8.3.6.1 试验应满足下列要求：

(1) 采用多循环加载，每级加载荷载按下式计算确定：

$$\Delta Q = m \cdot A_s \cdot f_{yk} \times 10^{-4} \quad (8.3.6)$$

式中 m ——加载系数；

ΔQ ——每级加载荷载 (kN)；

A_s ——锚杆截面积 (mm²)；

f_{yk} ——锚杆钢筋屈服强度标准值 (MPa)。

(2) 加载荷载与观测时间应符合表 8.3.6 的规定；

表 8.3.6 加载荷载与观测时间

加载系数 m	初始荷载	-	-	-	1	-	-	-
	第一循环	1	-	-	2	-	-	1
	第二循环	1	-	2	3	2	-	1
	第三循环	1	2	3	4	3	2	1
	第四循环	1	3	4	5	4	3	1
	第五循环	1	4	5	6	5	4	1
	...							
	第 $n-1$ 循环	1	$n-2$	$n-1$	n	$n-1$	$n-2$	1
	第 n 循环	1	$n-1$	n	$n+1$	n	$n-1$	1
观测时间 (min)	5	5	5	10	5	5	5	

(3) 在每个加载荷载观测时间内，测读位移量不应少于 3 次；

(4) 在每个加载荷载观测时间内，当位移量不大于 0.1mm 时，可施加下一级荷载；当位移量大于 0.1mm 时，应延长观测时间，直至在 2h 内位移量小于 2.0mm 时，再施加下一级荷载。

8.3.6.2 当出现下列条件之一时，应停止加载：

(1) 后一级荷载产生的位移增量达到或超过前一级荷载产生的位移增量的 2 倍；

超过设计允许位移值。

试验结果的整理与判定应满足下列要求：

- (1) 根据试验数据绘制荷载—位移 ($Q—S$) 曲线、荷载—弹性位移 ($Q—S_e$) 曲线和荷载—塑性位移 ($Q—S_p$) 曲线；
- (2) 锚杆的总弹性位移量，超过自由段长度理论弹性伸长量的 80%，且小于自由段长度与 1/2 锚固段长度之和的理论弹性伸长量，应判定试验结果有效；
- (3) 锚杆极限抗拔力，按第 8.3.6.2 款的规定，取前一级荷载为极限抗拔力。

8.3.7 锚杆的验证性试验应满足下列规定。

8.3.7.1 试验荷载应控制在锚杆抗拔力设计值的 1.1~1.2 倍，最大试验荷载不应超过锚杆截面积 (A_s) 与锚杆钢筋屈服极限强度标准值 (f_{yk}) 乘积的 0.8 倍。

8.3.7.2 试验应满足下列要求：

- (1) 每级加载荷载按锚杆抗拔力设计值 (P_d) 与加载系数 (m) 的乘积确定；
- (2) 各级加载荷载与观测时间要求应符合表 8.3.7 的规定；
- (3) 在每级加载观测时间内，测读位移量不应少于 3 次；
- (4) 在最大试验荷载作用下，观测 15min 之后，卸载至初始荷载。

表 8.3.7 加载荷载与观测时间

系数 m	1.0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.1	1.2	0.1
观测时间 (min)	5	5	5	10	10	15	15	5

8.3.7.3 试验结果的整理与锚杆合格的判定应满足下列要求：

- (1) 根据试验数据绘制荷载—位移 ($Q—S$) 曲线；
- (2) 锚杆的总弹性位移量超过自由段长度理论伸长量的 80%，且小于自由段长度与 1/2 锚固段长度之和的理论伸长量，同时锚杆在最大试验荷载作用下，位移达到稳定状态，应判定锚杆试验合格。

附录 A 基岩的工程性质

A.0.1 岩石按强度分类，见表 A.0.1。

表 A.0.1 岩石按强度分类表

类别	亚类	强度 (MPa)	代表性岩石
硬质岩石	坚硬岩石	> 60	花岗岩、流纹岩、片麻岩、闪长岩，安山岩、辉长岩、玄武岩、辉绿岩、伟晶岩、煌斑岩、硅质砂岩或砾岩、石灰岩、白云岩、石英云母片岩、石英岩、硅质板岩等
	次硬岩石	30 ~ 60	
软质岩石	次软岩石	5 ~ 30	粘土岩、页岩、粘土质胶结的砂岩或砾岩，泥灰岩、火山凝灰岩，粘土质板岩、千枚岩、绿泥石片岩、云母片岩等
	极软岩石	< 5	

注：强度指新鲜岩块的饱和单轴极限抗压强度标准值。

A.0.2 硬质岩石、岩体风化程度的划分，见表 A.0.2。

A.0.3 软质岩石、岩体风化程度的划分，见表 A.0.3。

A.0.4 岩石物理力学参数，见表 A.0.4。

A.0.5 岩石各种强度对比关系，见表 A.0.5。

I	未风化	岩质新鲜未受风化	岩体声波测试		岩石点荷载试验		岩体回弹仪测试		标贯击数	说明
			V_p (km/s)	K_v	$I_s(50)$ (MPa)	K_1	r	K_r	N	
I	未风化	岩质新鲜未受风化	>5.0	1.0	>8.0	1.0	>50	1.0		
II	微风化	岩石的断面保持未风化状态，仅沿节理面有铁锰质渲染或易风化矿物略有风化迹象，岩体完整性好	4.0~5.0	0.8~1.0	5.0~8.0	0.63~1.0	40~50	0.8~1.0		
III	中等风化	岩石的颜色变浅，矿物风化变质较轻，光泽变暗，暗色矿物周边及裂隙附近常有褐色侵染现象，并可出现少量次生矿物。 岩体裂隙较发育，沿裂隙面风化较明显，岩体完整性较差，可被切割成30~50cm的块体，手锤不易击碎，开挖需爆破，岩心钻方可钻进	2.5~4.0	0.5~0.8	2.0~5.0	0.25~0.63	30~40	0.6~0.8		V_p —岩体纵波速； K_v —波速风化折减系数，为风化岩体 V_p 与新鲜岩体 V_p 之比； $I_s(50)$ —岩石点荷载强度指数； K_1 —点荷载风化折减系数，为风化岩石 $I_s(50)$ 与新鲜岩石 $I_s(50)$ 之比； r —回弹值； K_r —回弹值风化折减系数，风化岩体 r 与新鲜岩体 r 之比； N—标准贯入击数
IV	强风化	岩石的颜色一般变浅，常有暗褐色铁锰质渲染。大部分矿物严重风化变质。失去光泽，有的已变为粘土矿物。原岩结构构造清晰，岩块可用手折断； 岩体风化程度常不均一，有风化程度不同的岩块夹杂其中，裂隙发育，可将岩体切割成2~30cm的块体，呈干砌块石或球状。沿裂隙面风化严重。块球体核心风化轻微。具明显的不均一性，原岩结构面对岩体稳定有明显影响，敲击或开挖常沿节理面破裂成岩块、撬、撬棍可挖，坚硬部分需爆破	1.0~2.5	0.2~0.5	0.1~0.2	0.013~0.25	12~30	0.24~0.6	>50	
V	全风化	岩石中除石英等耐蚀矿物外，大部分为次生矿物。原岩结构状态仍保存，并可具有微弱的联结力。块体可用手捏碎，碎后呈松散土夹砂砾状或粘性土状。浸水易崩解。 岩石一般风化较均一，可含少量风化较轻的岩块或球体，已具土的特性，可残存有原岩体中的结构面，并可影响岩体的稳定性。扰动强度降低。撬撬可挖，干钻可钻进	0.5~1.0	0.1~0.2	<0.1	<0.013	<12	0.24	30~50	

特征描述			岩体纵波测试		标贯击数	说明
			V_p (km/s)	K_v	N	
I	未风化	岩质新鲜, 未受风化	>4.0	1.0		符号 V_p 、 K_v 、N 意义同表 A.0.2
II	微风化	基本上保持新鲜岩体状态, 仅沿裂隙面稍有风化迹象, 常有锰铁质渲染或矿物略有风化, 颜色变浅, 有少量裂隙切割, 岩体完整性好	3.0~4.0	0.75~1.0		
III	中等风化	矿物风化变质较轻, 结构构造部分破坏。岩体裂隙较发育, 将岩体切割成 30~50cm 的岩块, 沿裂隙面风化严重, 常成土状。锤击易碎, 用镐难挖掘, 岩心钻方可钻进	1.5~3.0	0.38~0.75	>50	
IV	强风化	除少量石英等耐蚀矿物外大部分显著风化变异, 常含较多的粘土矿物。结构构造已大部破坏。岩体风化裂隙发育, 完整性极差, 被切割成碎块, 干时用手可折断或捏碎, 浸水可软化崩解。用镐、锹可挖掘, 干钻可钻进	0.7~1.5	0.18~0.38	30~50	
V	全风化	少量石英等耐蚀矿物保持不变, 其他矿物均风化变异, 常含大量粘土矿物, 结构构造已基本破坏, 但层理, 片理仍可辨认, 并有微弱的残余结构强度。岩体呈泥土状, 用手可捏碎, 锹镐易挖掘, 干钻可钻进	0.3~0.7	0.1~0.18	15~30	



率饱水率) (%)	重力 密度 (g/cm ³)	相对 密度	抗压强 度 (MPa)		弹性 模量 EGPa	泊松 比 v	抗拉 强度 (MPa)	纵波 速度 (m/s)
			干	湿				

白 垩 系	砾岩	弱风化	0.32 ~ 0.71		2.69 ~ 2.70	2.75	147 ~ 155	119 ~ 125				
	砂岩				2.42	2.70	18 ~ 62	8 ~ 40				
	粉砂岩		2.56 ~ 4.18		2.33 ~ 2.45	2.72	3 ~ 27	5 ~ 24	0.8 ~ 1.4	0.29		
	砾岩	钙质	0.6 ~ 0.84	0.98 ~ 1.26	2.60 ~ 2.64	2.70 ~ 2.73	31 ~ 138	13 ~ 91	5 ~ 10			
	砾岩	钙泥 质、 泥钝质	0.46 ~ 0.53	1.05 ~ 1.35	2.68 ~ 2.76	2.78 ~ 2.81	37 ~ 87	19 ~ 59	4 ~ 28			
	花岗片 麻岩	弱风化		2.56	2.80		124					
燕 山 运 动 期	花岗岩	新鲜、 弱风化	0.28 ~ 0.99		2.52 ~ 2.57	2.61 ~ 2.66	146 ~ 183	100 ~ 137	54 ~ 61			
	花岗 斑岩	新鲜	0.21 ~ 0.28		2.59 ~ 2.63	2.64 ~ 2.70	186 ~ 364	162 ~ 301	53 ~ 69	0.17 ~ 0.18		
	花岗 斑岩	微、弱 风化	0.37 ~ 0.59		2.57 ~ 2.64	2.64	110 ~ 294	91 ~ 215	52 ~ 63			
	黑云母 花岗岩	新鲜、 弱风化	0.29 ~ 0.45		2.58 ~ 2.59	2.61 ~ 2.65	159 ~ 216	106 ~ 161	36 ~ 60	0.19 ~ 0.21		
	黑云母 花岗岩	风化	0.85			2.61	110	26 ~ 74				
	花岗岩	粗细 粒新 鲜风化	0.27 ~ 0.56		2.58 ~ 2.60	2.63 ~ 2.65	160 ~ 206	137 ~ 171				
	花岗岩	中、 粗粒	0.23 ~ 0.70		2.49 ~ 2.65		88 ~ 119	60 ~ 89	31 ~ 32			
花岗岩	中轻度 蚀变及 中粗粒 强风化	0.41 ~ 3.40		2.10 ~ 2.65		19 ~ 76	11 ~ 55	4 ~ 14				



		率饱水率) (%)	重力 密度 (g/cm ³)	相对 密度	抗压强 度 (MPa)		弹性 模量 EGPa	泊松 比 v	抗拉 强度 (MPa)	纵波 速度 (m/s)
					干	湿				
砾岩	未风化	0.32	2.71	2.73	27 ~ 174	34 ~ 139			3 ~ 11	
凝灰岩	角砾、 绢云母	0.32 ~ 0.85	2.44 ~ 2.63		220 ~ 280	110 ~ 220	25 ~ 67	0.18		
凝灰 熔岩	角砾、 燧石、 新鲜	0.52 ~ 2.0	2.56		120 ~ 370	120 ~ 280	74			
流纹 斑岩		0.18 ~ 5.34	2.27 ~ 2.61	2.63 ~ 2.65	61 ~ 320	45 ~ 79				
斑状 花岗岩	粗、细 粒新鲜	0.18 ~ 0.44	2.62		216 ~ 264	176 ~ 231				
花岗岩	粗粒、 新鲜、 弱风化	0.26 ~ 1.40	2.55 ~ 2.64		159 ~ 228	116 ~ 209				
侏罗系	砂岩	泥质	2.38	2.53	2.71	79	68			
	砂岩	钙质、 弱风化	5.43	2.33	2.67	45	24			
	粉砂岩	钙质	2.88	2.44	2.71	50	42			
	粘土岩	(包括 杂质)	3.06 ~ 7.50	2.21 ~ 2.40	2.74 ~ 2.75	14 ~ 77	6			
	石英 砂岩						210 ~ 234			
	石英 砂岩	花岗 质、 长石					96			
	石英 砂岩						186			
	细砂岩	新鲜	0.04 ~ 0.11	0.13 ~ 0.17	2.14 ~ 2.75	2.64 ~ 2.79	98 ~ 203	88 ~ 149		
	板岩	辉绿色					77			



三
叠
系

		率饱水率		密度 (g/cm ³)	相对 密度	抗压强 度 (MPa)		弹性 模量 EGPa	泊松 比 ν	抗拉 强度 (MPa)	纵波 速度 (m/s)
		(%)	(%)			干	湿				
细砂岩	硅质	0.06 ~ 0.19	0.11 ~ 0.43	2.61 ~ 2.73	2.64 ~ 2.74	208 ~ 330	140 ~ 331	48 ~ 78	0.17 ~ 0.22		4400 ~ 5500
细砂岩	钙硅 钙质	0.05 ~ 1.70	0.07 ~ 1.74	2.54 ~ 2.73	2.65 ~ 2.75	126 ~ 233	77 ~ 194	26 ~ 53	0.20 ~ 0.23	3 ~ 9	3300 ~ 5600
粉砂岩	钙质	0.13 ~ 2.01	1.06 ~ 2.07	2.53 ~ 2.68	2.66 ~ 2.78	66 ~ 179	41 ~ 161	10 ~ 12		1 ~ 10	2500 ~ 4500
粉砂岩	泥质	0.87 ~ 3.04	0.90 ~ 3.07	2.26 ~ 2.64	2.68 ~ 2.77	31 ~ 130	16 ~ 80				2500 ~ 3500
砾岩	钙质、 钙泥质	0.29 ~ 1.51	0.39 ~ 1.54	2.65 ~ 2.68	2.72 ~ 2.77	48 ~ 79	41 ~ 71				
粘土岩 页岩	粉砂质 泥岩	0.82 ~ 3.49	0.82 ~ 3.75	2.55 ~ 2.73	2.71 ~ 2.80	15 ~ 98	7 ~ 70	0.05 ~ 0.32	0.28	1 ~ 6	900
灰岩	微风化		0.11 ~ 0.34	2.69 ~ 2.71	2.75 ~ 2.78	60 ~ 164	61 ~ 114				
白云岩	灰质、 新鲜	0.30 ~ 0.46		2.69 ~ 2.85		36 ~ 229	12 ~ 249	49 ~ 51	0.24		2700 ~ 5500
泥板岩	新鲜、 微风化	0.72	0.26 ~ 0.29	2.51 ~ 2.75	2.74	83 ~ 142	60 ~ 85			3	4100 ~ 5800
流纹岩	微、弱 风化	0.29 ~ 1.59		2.28 ~ 2.70	2.69 ~ 2.70	10 ~ 360	13 ~ 262	18 ~ 75	0.17 ~ 0.22		3300 ~ 5300
凝灰 熔岩		0.55		2.62 ~ 2.67	2.71	133	118				4700 ~ 5500
角砾岩	磨棱 岩泥	3.72		2.43	2.69	41 ~ 100	2 ~ 70				



印支期

		率饱水率		重力密度 (g/cm ³)	相对密度	抗压强度 (MPa)		弹性模量 EGPa	泊松比 ν	抗拉强度 (MPa)	纵波速度 (m/s)
		(%)				干	湿				
混合岩		0.35	0.42	3.01		248	180				
安山玢岩	凝灰质		0.13 ~ 0.28	2.77 ~ 2.83		127 ~ 131	92 ~ 97				
花岗岩	斑状		0.26 ~ 0.64	2.62 ~ 2.64		128 ~ 134	93 ~ 97			4 ~ 5	
花岗岩	微风化	0.12 ~ 0.14	0.15 ~ 0.17	2.68	2.69	151 ~ 163	109 ~ 129		7		
花岗岩	微风化	0.25	2.27	2.61		111 ~ 236	68 ~ 161				4800 ~ 5400
花岗岩	微风化	0.39	0.42	2.59		73 ~ 180	76 ~ 144	35 ~ 50	0.22 ~ 0.30		
伟晶岩	弱风化	0.18 ~ 0.97	0.22 ~ 1.07	2.50 ~ 2.63		91 ~ 118	24 ~ 151	14 ~ 45	0.23 ~ 0.29		
细晶绿岩	新-微风化	0.10	0.14	3.04		272	221			16	
细晶辉绿岩	强风化	1.17	1.42	2.73		175	83				
中晶辉绿岩	新-微风化	0.15	0.20	3.02		230	198			23	
中晶辉绿岩	弱风化	0.28	0.33	3.00		140	124				
中晶辉绿岩	强风化	3.79	4.11	2.61			93				
辉长辉绿岩	新鲜、弱风化	0.36 ~ 0.69	0.44 ~ 0.78	2.92 ~ 2.99		192 ~ 211	147 ~ 153			12	
辉长辉绿岩	强风化	1.26	1.41	2.85		157	80				



		率饱水率) (%)	密度 (g/cm ³)	相对 密度	抗压强度 (MPa)		弹性 模量 EGPa	泊松 比 v	抗拉 强度 (MPa)	纵波 速度 (m/s)
					干	湿				
石英砂岩		0.08 ~ 0.18	2.68 ~ 2.74	2.73 ~ 2.74	164 ~ 294	151 ~ 199				
细砂岩	钙质	0.72 ~ 1.56	0.77 ~ 1.76	2.34 ~ 2.66	95 ~ 143	33 ~ 131				2500 ~ 3900
粉细砂岩		0.55 ~ 1.60	0.57 ~ 1.64	2.36 ~ 2.64	2.66 ~ 2.77	29 ~ 143	28 ~ 115	5 ~ 21	1 ~ 10	
粉砂岩	钙、泥质	0.95 ~ 3.20	1.04 ~ 3.20	2.34 ~ 2.71	2.74 ~ 2.80	8 ~ 92	2 ~ 23			2200 ~ 3100
粘土岩、页岩	粉砂质	2.08 ~ 3.59	2.15 ~ 3.45	2.58 ~ 2.62	2.74 ~ 2.76	9 ~ 77	4 ~ 61		1	700
正长岩		0.68		2.69		212	177	30 ~ 60		9
辉长岩		0.17		3.13		166		107		10
玄武岩		0.21 ~ 3.76		2.60 ~ 2.88	2.85 ~ 2.96	108 ~ 227		4 ~ 9		
玄武岩	蚀变	0.19		3.09		202	177			
玄武岩	微粒、隐晶	0.06		3.08		216	191		12	4500 ~ 5700
玄武岩	细粒、杏仁状	0.22		2.97		263	190		11	5400
玄武岩	坚硬	0.22		2.98		281 ~ 331	229			
玄武岩	多孔、微风化	0.96 ~ 1.14		2.79 ~ 2.91		79 ~ 148	68 ~ 97			2900 ~ 4800
玄武岩	凝灰质	1.11 ~ 4.48		2.49 ~ 2.71	2.78 ~ 2.88	73 ~ 109	40 ~ 105	3 ~ 4		
火山角砾岩		1.58		2.71 ~ 2.96		105 ~ 197	52 ~ 78			
凝灰岩		3.31 ~ 12.7		1.73 ~ 2.62	2.73 ~ 2.89	13 ~ 104	2 ~ 74			3400 ~ 4000
灰岩	新鲜	0.32 ~ 0.35		2.65 ~ 2.67		63 ~ 49	58 ~ 64		2 ~ 3	



			率饱水率) (%)	重 力 密 度 (g/cm ³)	相 对 密 度	抗 压 强 度 (MPa)		弹 性 模 量 EGPa	泊 松 比 v	抗 拉 强 度 (MPa)	纵 波 速 度 (m/s)	
						干	湿					
石 炭 系	石英砂岩		0.41	2.58	2.64	129	109	15				
			0.46	2.59	2.65	130	117					
	流纹斑岩						287 294	18 24				
泥 盆 系	砂岩	灰绿色	0.42	2.62	2.69	82	43					
			0.83	2.65	2.73	153	109					
	石英细砂岩		0.15	2.68	2.69	179	171	68				
			0.19		2.70	231	187	73				
	细砂岩		0.13	2.67	2.67	155	117	57				
			0.23	2.70	2.71	197	161	58				
	粉砂岩	泥质	0.4	2.69	2.72	120	51					
			0.84	2.75	2.77	144	88					
泥岩		0.76		2.74	58	18						
		1.37		2.80	64	25						
板岩	砂质、泥质		0.85	2.53	2.72	69	33					
			2.39	2.67	2.81	70	53					
志 留 系	石英砂岩	新鲜、弱风化	0.54	2.58			68					
			1.20	2.71			175					
	页岩	砂质新鲜弱风化	0.71	2.67			39					
			1.61	2.70			130					
	页岩	泥质、微弱风化	1.52	2.65			51					
							121					
	云母石英片岩	新鲜、弱风化	0.27	2.71			128	140				
黑云母石英片岩	弱风化	0.32	2.69			90	63					
石英闪长岩	弱风化	0.23	2.95			127	117					



		率饱水率		密度 (g/cm ³)	相对 密度	抗压强 度 (MPa)		弹性 模量 EGPa	泊松 比 ν	抗拉 强度 (MPa)	纵波 速度 (m/s)
)	(%)			干	湿				
奥陶系	灰岩		2.18 ~ 2.54	2.19 ~ 3.30	2.54 ~ 2.69	2.84 ~ 2.85	218 ~ 235	105 ~ 198			
	灰岩		0.68	0.80	2.67	2.72	50 ~ 212	32 ~ 124			3600 ~ 5000
	灰岩	角砾状	1.70	1.84	2.66	2.79	101	23 ~ 61			
	砂岩		0.25 ~ 0.93	0.34 ~ 1.03	2.61 ~ 2.71	2.69 ~ 2.73	76 ~ 243	30 ~ 203			
	页岩			0.84	2.68	2.77	54	42			
寒武系	灰岩	白云质 新微 风化	0.56	0.56	2.71	2.75	127	63 ~ 120			
	灰岩	中厚 层、新 鲜	0.18 ~ 0.22	0.24	2.70 ~ 2.73	2.72 ~ 2.74		124 ~ 174	22		5000
	灰岩	薄层、 互层、 条带	0.20 ~ 0.40		2.68 ~ 2.71	2.74 ~ 2.75	69 ~ 153	60 ~ 132			3100 ~ 4500
	灰岩	竹叶 状、新 鲜	0.11	0.14	2.72	2.75	88	86			
	泥灰岩	微风化	0.41 ~ 1.54	3.61	2.49 ~ 2.60	2.73 ~ 2.77	44 ~ 104	23 ~ 102			
	灰岩	鳞状					50 ~ 158	54 ~ 117	7		
	灰岩	粗、细 粒状					37 ~ 114	25 ~ 76			
	页岩	泥质	2.87	3.61	2.57	2.69	27 ~ 32	15 ~ 28	3		
	页岩		1.59		2.62	2.74	154	81	18		



		率饱水率) (%)	密度 (g/cm ³)	相对 密度	抗压强度 (MPa)		弹性 模量 EGPa	泊松 比 ν	抗拉 强度 (MPa)	纵波 速度 (m/s)
					干	湿				
震 旦 系	混合岩	新鲜、 微弱 风化	0.14 ~ 0.34	2.69 ~ 2.69 ~ 2.70	2.75 ~ 2.77	108 ~ 156	79 ~ 126			
	片岩	斜长 云母 石英、 微弱 风化	0.10 ~ 0.12	0.14	2.77 ~ 3.01	110 ~ 152	73 ~ 120	43	8 ~ 18	
	角闪 长岩	微、 弱风 化	0.10 ~ 0.11	0.12 ~ 0.13	2.93 ~ 2.95	2.98 ~ 3.08	191 ~ 297	147 ~ 220		
	云母 绿泥 石长岩	弱风化	0.31		2.65	2.73	75	69		
	细粒 角闪 斜长岩		0.52			3.06	160	67		
	花岗 伟晶 岩脉		0.23		2.61		110	79		
	绢云母 千枚岩	微风化	0.29 ~ 0.30		2.79 ~ 2.81	67 ~ 71	41 ~ 45	13	1 ~ 3	
	绿泥石 千枚岩	微风化	0.39		2.90	157	109			
	辉石角 闪岩	微风化	0.30		3.18	201	114			
	白云岩	厚层、 板状角 砾岩	1.03 ~ 1.54	1.10 ~ 1.54	2.63 ~ 2.68	2.82 ~ 2.83	114	81 ~ 86		4 ~ 7
	白云岩	硅质、 微风化		0.05	2.81	2.83	178 ~ 332	178 ~ 240		
	页岩		0.42	0.49	2.68		115	110		6
	页岩	变质	0.71	0.74	2.72		88			7
	灰页岩	弱风化	2.34	2.39	2.60	29	24			



震旦系	岩脉	率饱水率) (%)	密度 (g/cm ³)	相对 密度	抗压强度 (MPa)		弹性 模量 EGPa	泊松 比 ν	抗拉 强度 (MPa)	纵波 速度 (m/s)	
					干	湿					
		5.15	5.70	2.39		17	11		1		
	灰长辉 绿岩	变质、 弱裂隙	0.11 ~ 0.13	0.12 ~ 0.15	2.92 ~ 2.96		95 ~ 155	65 ~ 130			
	灰长辉 绿岩	强裂 隙、强 风化		0.21	2.70 ~ 2.91		47 ~ 139	13 ~ 95			
	闪长 玢岩	中、细 斑晶、 变质	0.30 ~ 0.41		2.71 ~ 2.93		111 ~ 227	101 ~ 201			
	闪长 玢岩	中斑晶 变质弱 风化			2.71		92	73			
	糜棱岩	含变质 闪长 玢岩			2.59 ~ 2.75	17 ~ 51	15 ~ 29				
	糜棱岩	变质 角砾等			2.69 ~ 2.71		7 ~ 48	3 ~ 16			
	闪云斜 长花岗 岩	新鲜			0.09 ~ 0.16	2.64 ~ 2.69	2.74 ~ 2.76	118 ~ 125	98 ~ 144		
	闪云斜 长花岗 岩	微风化			0.25	2.65	2.76	16 ~ 221	107	38	5000 ~ 5800
	闪云斜 长花岗 岩	弱风化			0.45	2.62	2.76	32 ~ 159	8 ~ 145	39	5000 ~ 5800
	闪云斜 长花岗 岩	强风化			1.03	2.50	2.73	19 ~ 69	15 ~ 20		2 ~ 8
	花岗岩				0.17	2.62	2.70	167	134		
	花岗岩	细粒			0.28	2.58	2.71	126	105		
	花岗岩	碎裂			0.40	2.60	2.68	201	183	53	0.16



震旦系

率饱水率) (%)	重力密度 (g/cm³)	相对密度	抗压强度 (MPa)		弹性模量 EGPa	泊松比 v	抗拉强度 (MPa)	纵波速度 (m/s)
			干	湿				
0.29	0.32	2.67	2.72	140	80	40	0.17	8
新鲜、弱风化	0.07 ~ 0.16	2.75 ~ 2.76	2.86 ~ 2.88	216 ~ 233	118 ~ 203			
新鲜、微风化	0.07 ~ 0.15	2.72 ~ 2.80	2.83 ~ 2.90	134 ~ 170	100 ~ 126			
66 0.52	2.29 ~ 2.96	112 ~ 177	79 ~ 123					
微弱风化	0.21 ~ 0.27	2.82 ~ 2.87	2.91 ~ 2.95	132 ~ 180	120 ~ 121			
碎裂	0.18 ~ 1.78	2.57 ~ 2.84	2.72 ~ 2.92	82 ~ 113	54 ~ 67	37	0.19 ~ 0.22	
中、细粒变质	0.82	1.55	2.51	2.72 ~ 2.73	17 ~ 112	15 ~ 94		
石英砂岩	0.12 ~ 0.31	0.13 ~ 0.62	2.60 ~ 2.71	2.67 ~ 2.79	181 ~ 303	164 ~ 277	27	
微弱风化	0.07 ~ 0.27	2.61 ~ 2.67	2.71 ~ 2.72	114 ~ 168	109 ~ 126			
石英砂岩	0.24	0.26	2.65	2.68	278	135		
风化	0.26	2.67	2.71	119	96			
砂岩	0.21 ~ 1.86	2.61 ~ 2.74		65 ~ 133	60 ~ 114			
板岩	0.33 ~ 0.76		2.67 ~ 2.74	48 ~ 83	41 ~ 74	10		
新鲜、微风化	0.31 ~ 0.50	0.38 ~ 0.78	2.70 ~ 2.75	101 ~ 204	101 ~ 150	25	0.15 ~ 0.22	5 ~ 8



		率饱水率) (%)	率水率 (%)	重 力 密 度 (g/cm ³)	相 对 密 度	抗 压 强 度 (MPa)		弹 性 模 量 EGPa	泊 松 比 ν	抗 拉 强 度 (MPa)	纵 波 速 度 (m/s)
						干	湿				
震 旦 系	玄武 玢岩	风化	1.92 ~ 3.91	1.96 ~ 4.21	2.40 ~ 2.62		13 ~ 62	6 ~ 47			1 ~ 3
	安山岩		0.96		2.69	2.80	117	116			
	玄武岩		0.13 ~ 1.10	0.18	2.69 ~ 2.78	2.78	101 ~ 117				
	辉绿岩	微、 弱风化	0.25 ~ 1.22		2.68 ~ 2.94		96 ~ 288	70 ~ 246			
	流纹岩		0.31 ~ 2.04	0.39 ~ 2.07	2.53 ~ 2.62	2.65 ~ 2.73	106 ~ 148	59			4900 ~ 5800
	凝灰岩		0.50		2.78	2.85	169	137	33		
太 古 界	花岗 片麻岩		0.19		2.65	2.68		144 219		10 ~ 13	
	角闪斜 长岩	微风化	0.15 ~ 0.24		2.69 ~ 2.73	2.72 ~ 2.74	51 ~ 148	87 ~ 89			
	斜长角 闪片 麻岩		0.14		3.03		3.04	64 ~ 140	20 67		
	角闪斜 长片 麻岩	条带状	0.21		2.77	2.78	123 ~ 158			9 ~ 14	
	细晶闪 长岩		0.07		2.98	3.12		202 215		13	
	细晶闪 长岩		0.37		3.02	3.04		69 197			



	度 度	抗剪强度 抗压强度	抗弯强度 抗压强度
花岗岩	0.028	0.068 ~ 0.09	0.07 ~ 0.08
石灰岩	0.059	0.06 ~ 0.15	0.119
砂岩	0.029	0.06 ~ 0.078	0.09 ~ 0.095
斑岩	0.033	0.06 ~ 0.064	0.105
石英岩	0.112	0.176	
大理岩	0.226	0.272	

图 B 嵌岩桩嵌岩型式及施工示意图

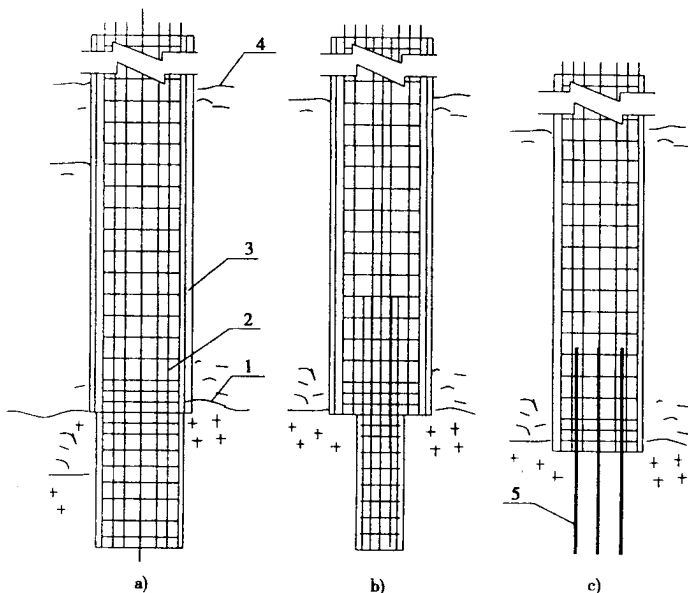


图 B.0.1 灌注型嵌岩桩和灌注型锚杆嵌岩桩嵌岩型式示意图

a) 等于桩径的嵌岩桩；b) 小于桩径的嵌岩桩；c) 锚杆嵌岩桩
1—岩层面；2—钢筋笼；3—钢护筒；4—覆盖层顶部；5—锚杆

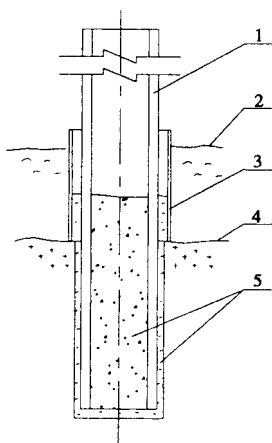


图 B.0.2 预制型植入嵌岩桩嵌岩型式示意图

1—预制桩；2—覆盖层顶部；3—钢护筒；4—岩层面；5—水下混凝土

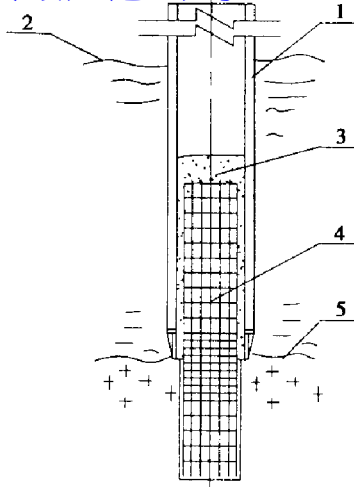


图 B.0.3 预制型芯柱嵌岩桩嵌岩型式示意图

- 1—预制桩；2—覆盖层或混凝土套筒砂层顶面；
3—桩芯柱混凝土；4—钢筋笼；5—岩层面

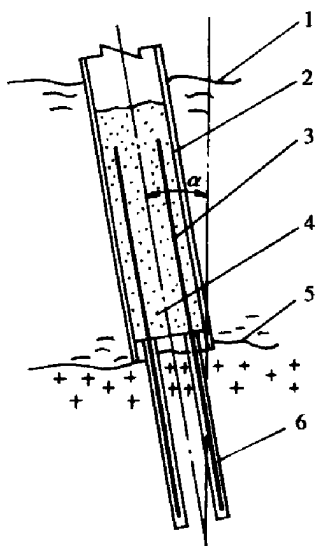


图 B.0.4 预制型锚杆嵌岩桩下段锚固型式示意图

- 1—覆盖层顶面；2—预制桩；3—锚杆；
4—桩芯混凝土；5—岩层面；6—锚固水泥浆

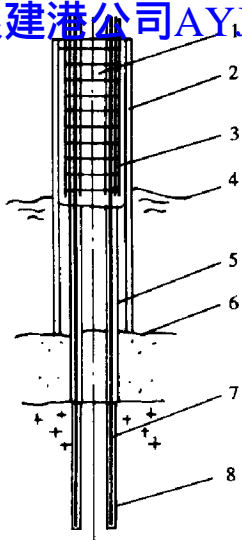


图 B.0.5 预制型锚杆嵌岩桩上段锚固型式示意图

- 1—桩芯混凝土；2—预制桩；3—钢筋笼；4—覆盖层顶面；
5—钻锚孔导管；6—岩层面；7—锚杆；8—锚固水泥浆体

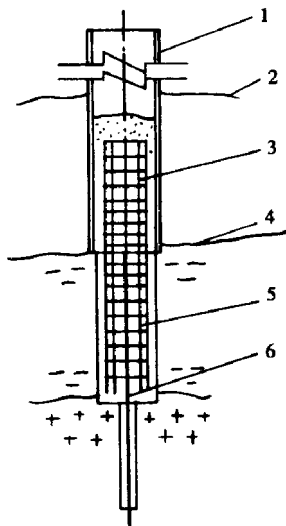


图 B.0.6 组合式嵌岩桩锚固型式示意图

- 1—灌注桩或预制桩；2—覆盖层顶面；3—钢筋笼；
4—岩层面；5—嵌岩柱；6—锚杆

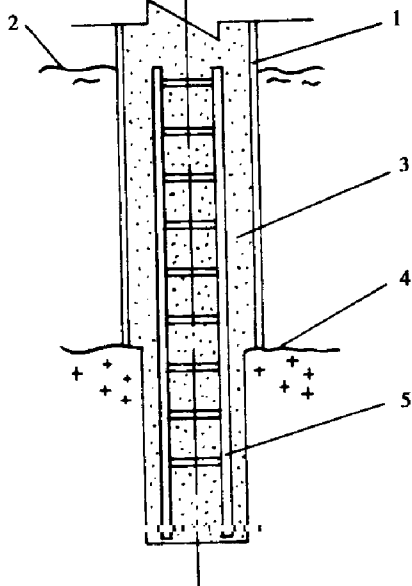


图 B.0.7 预制型芯柱嵌岩桩型钢笼嵌固型式示意图

1—预制桩；2—覆盖层顶面；3—桩芯混凝土；4—岩层面；5—型钢笼

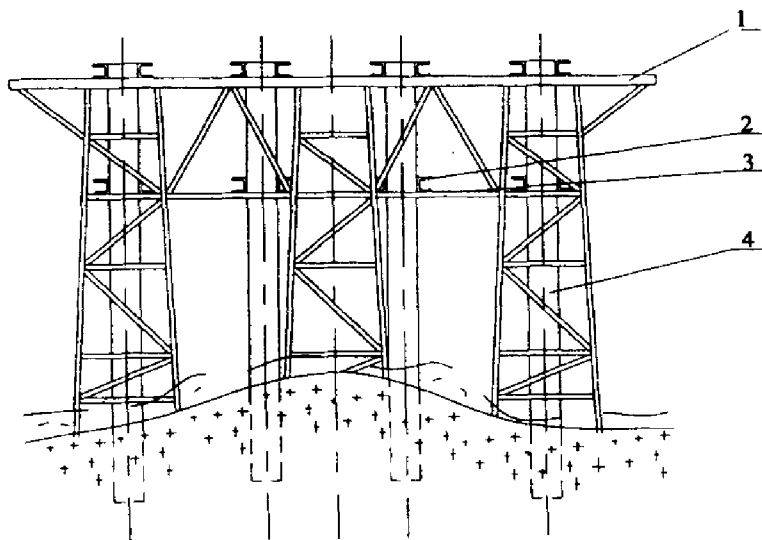


图 B.0.8 支撑式钢桁架平台结构示意图

1—上平台；2—桩定位构件；3—下平台；4—工程桩

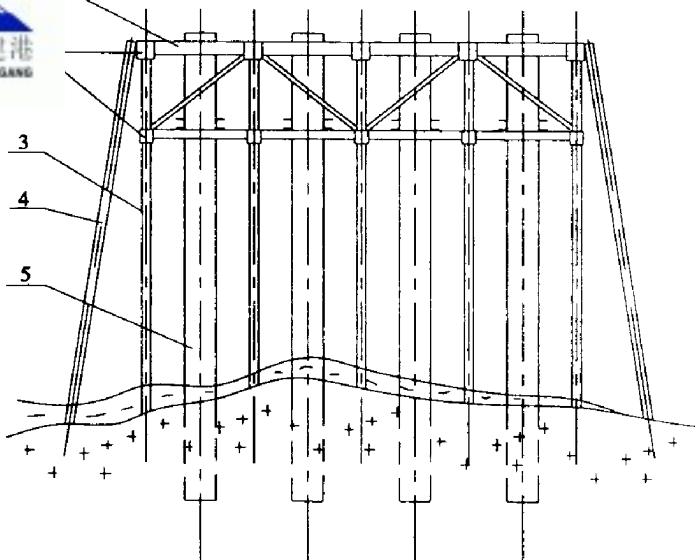


图 B.0.9 活动式钢桁架平台结构示意图

1—双层钢桁架平台；2—套管；3—垂直可伸缩支撑柱；

4—斜撑杆或锚缆；5—工程桩

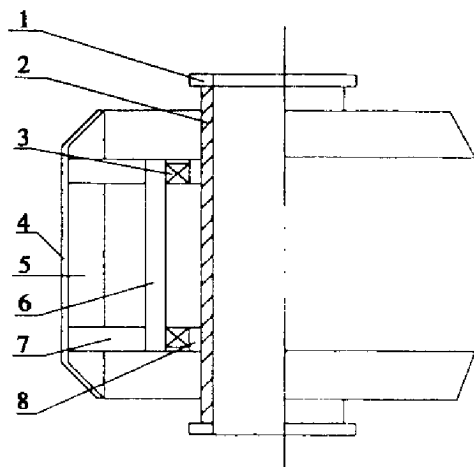


图 B.0.10 导向扶正器结构示意图

1—法兰接头；2—中心管；3—滚动轴承或铸铁轴套；4—导向护圈；

5—筋板；6—外壳体；7—支撑筋板；8—内壳体

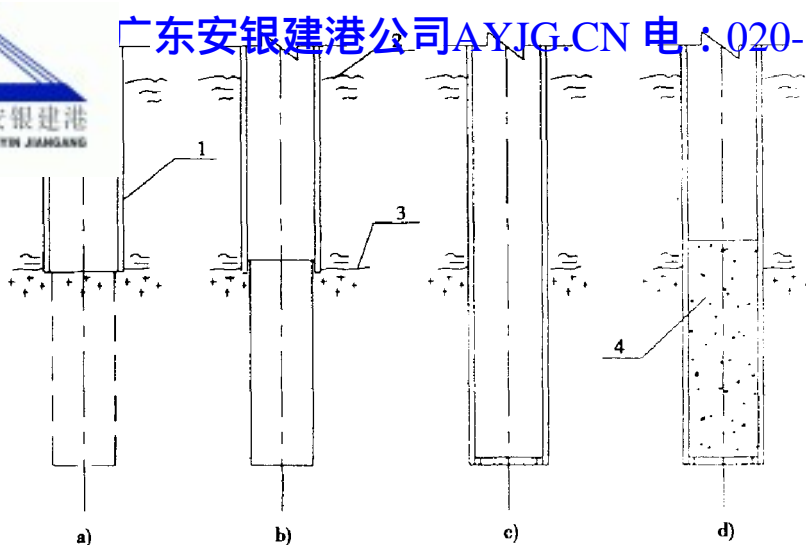


图 B.0.11 预制型植入嵌岩桩钻岩复打桩锚固法施工示意图

a) 稳桩；b) 钻孔；c) 复打；d) 清孔、灌注水下混凝土锚固

1—预制钢管桩；2—覆盖层顶面；3—岩层面；4—桩芯混凝土

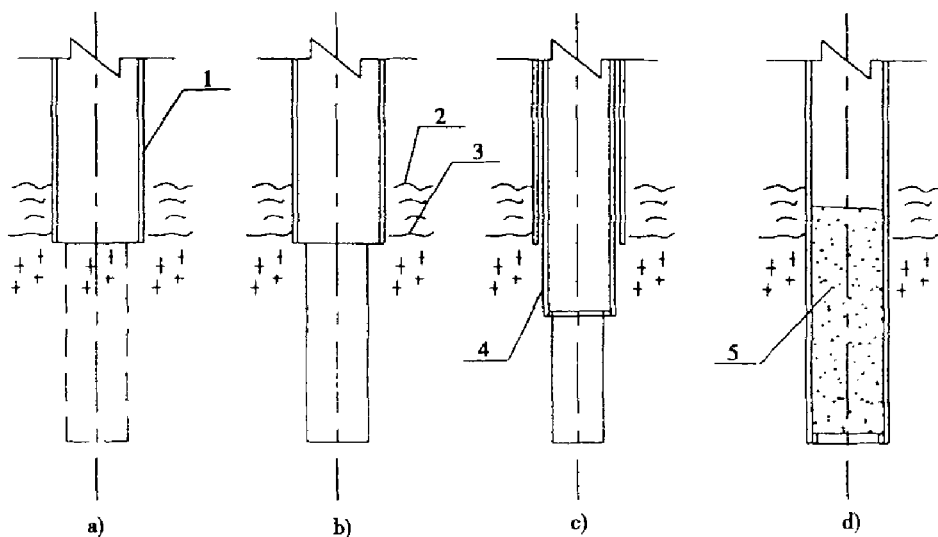


图 B.0.12 预制型植入嵌岩桩采用钢护筒钻岩打桩锚固法施工示意图

a) 钢护筒定位沉放；b) 钻孔；c) 打入预制桩；d) 清孔、灌注水下混凝土锚固，拔出钢护筒

1—钢护筒；2—覆盖层顶面；3—岩层面；4—预制桩；5—桩芯混凝土

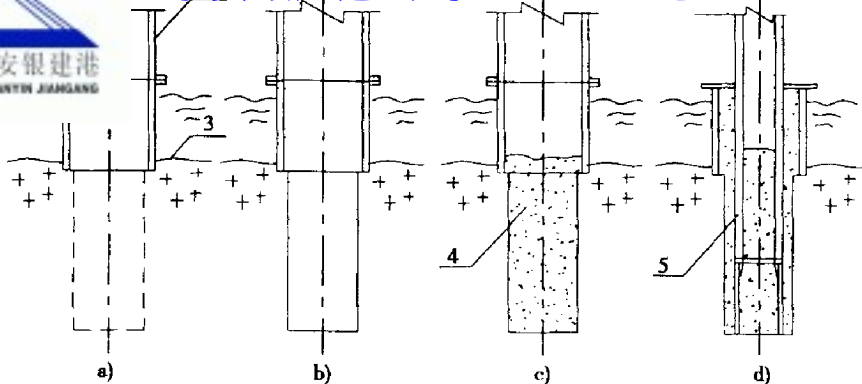


图 B.0.13 预制型植入嵌岩桩挤实锚固法施工示意图

a) 钢护筒定位沉放；b) 钻孔；c) 清孔、灌注水下混凝土；d) 打入预制桩、拆除钢护筒

1—钢护筒；2—覆盖层顶面；3—岩层面；4—水下混凝土；5—预制桩

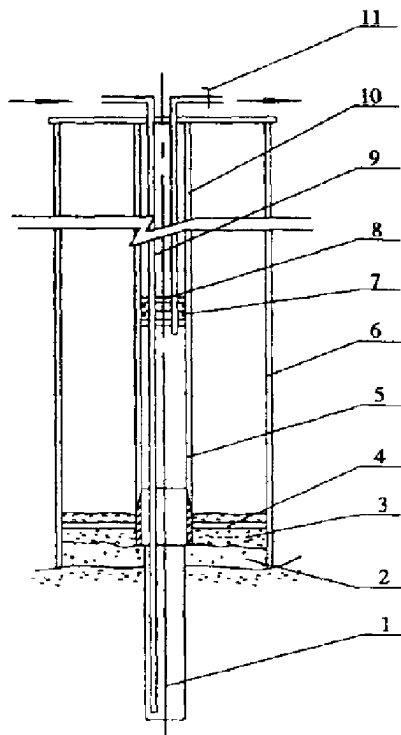


图 B.0.14 定位器安装及压力注浆示意图

1—锚杆；2—基岩面找平混凝土；3—封孔水泥浆；4—定位器；5—导管；6—预制桩；

7—密封橡胶圈或充气囊；8—加压钢板；9—压浆管；10—出浆管；11—阀门

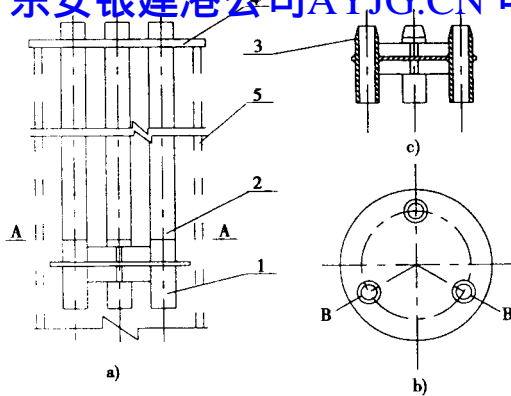


图 B.0.15 定位器及导管示意图

a) 定位器及导管安装示意图；b) A-A 俯视图；c) B-B 剖视图
1—定位器；2—导管；3—左旋丝扣；4—桩顶导管定位板；5—预制桩

录 C 各种嵌岩桩钻机性能参考表

表 C

各种嵌岩桩钻机性能

钻机型号	钻孔直径 (m)	钻孔深度 (m)	转盘最大扭矩 (kN·m)	排渣方法	转盘转速 (r/min)	重量 (t) 长×宽×高 (mm×mm×mm)
QJ250	2.5	100	68.6	正、反循环	8、12、21、40	
BRM-2型机械式 传动钻机	1.5	40~100	28	气举反循环	5、10、 17、20、34	26 5230×3500×8960
BRM-4型机械式 传动钻机	3.0	40~80	80	气举反循环	6、9、13、17、 25、35	61 7945×4470×13280
GYQ-100型	0.17 钻 锚孔	100 钻 孔倾角 75°~90°	2.8	风排	27、58、 94、200	1 1950×954×2070
XY-2B 30~600型	0.3 钻锚孔	100			500、99、157、 217、470、724、 1024	2150×900×1600
GZY-3000 全液压 回转式钻机	3.0	90	200	气举反 循环供风量 ≥30m ³ /min	无级调整 (涂压马达) 0~88 ~16	55 2200×9000×1380
GMDY-20 全涂压回 转式钻机	回转 2.0 冲击 1.5	80	26~30	正、反循环	0~15	12 7533×2855×6862
GJF-20 型冲击反 循环钻机	0.8~2.0	80	冲击行程 0.65~3.0 (m)	泵吸反循环	击次 46(次/分), 36(次/分)	18 6800×2800×3200



径	钻孔深度 (m)	转盘最 大扭矩 (kN·m)	排渣方法	转盘转速 (r/min)	重量 (t) 长×宽×高 (mm×mm×mm)	
RBB-100	1.0~1.8	50~150	50	泵吸反 循环	0~18.5	11 4000×2200×6000
B2P- 2.5/100	2.5	100	20	泵吸反循环	正循环 5、14、21 反循环 6、16	10.5 9200×2200×9100
FCG-FC 型潜孔锤	0.6~1.6		单次冲击能 1500~4000 (J)	泵吸、 反循环	冲击频率 10~13 (Hz)	
IHI-23B	2.0	40 可钻 斜岩孔	30	泵吸、气 举反循环	35	14 (日本产)
WIRTH-B6	2.0	50 可钻斜岩孔	95	泵吸、气 举反循环	0~100	21 (德国产)
国产钻机改装	1.0	40 可钻斜岩孔	13.5	正、反循环	18~218	3.5

注：符合上表性能的钻机，由于生产厂家不同，其型号有所不同，此表仅作参考。

D 钢筋挤压机主要技术指标参考表

表 D 钢筋挤压机的主要技术指标

YJ-40 挤压机		YJ-32 挤压机		YJ-25 挤压机		超高压电动油泵	
额定工作压力	100MPa	额定工作压力	100MPa	额定工作压力	100MPa	额定工作压力	80MPa
预定压接力	1130kN	预定压接力	950kN	预定压接力	950kN	低压	2MPa
适用钢筋直径	φ30 ~ 40mm	适用钢筋直径	φ20 ~ 32mm	适用钢筋直径	φ13 ~ 25mm	高压流量 低压流量	0.8L/min 4 ~ 6Lmin
质量	40kg	质量	33kg	质量	28kg	质量	85kg
预压 φ36 ~ 40mm 钢筋接头 指标	3 ~ 10min/ 每个	预压 φ36 ~ 40mm 钢筋接头 指标	2.5 ~ 5min /每个	预压 φ36 ~ 40mm 钢筋 接头指标	2.5 ~ 4min/ 每个	电动功率	1.5kW

钢筋混凝土套箱稳桩计算和安放工艺

E.0.1 采用钢筋混凝土套箱稳桩时（图 E.0.1），应根据已有覆盖层厚度、套箱内注砂厚度和桩的断面特性等因素，判别桩的性质为刚性桩或中长桩，还是弹性长桩，以相应的方法进行单桩水平力验算。桩的判别和水平力验算，应符合下列规定。

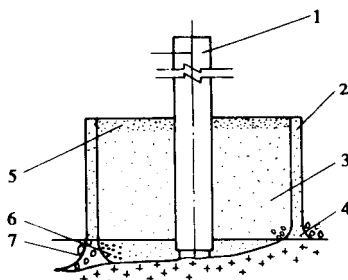


图 E.0.1 钢筋混凝土套箱稳桩示意图

1—预制桩；2—钢筋混凝土套箱；3—填充砂；4—土工织物；

5—封固用袋装混凝土或灌注混凝土；6—压实用砂袋；7—压实用袋装混凝土或抛石块

E.0.1.1 桩的性质判别可按现行行业标准《港口工程桩基规范》的有关规定进行。

E.0.1.2 对于弹性长桩的水平力验算，可按现行行业标准《港口工程桩基规范》的有关规定进行。

E.0.1.3 对无粘性土中的刚性桩应进行下列水平力验算；

(1) 单桩倾覆验算应满足下列条件：

$$H \leq \frac{1}{K} H_u \quad (E.0.1-1)$$

$$H_u = 0.5 D h^3 \kappa_p \gamma \lambda (e + h) \quad (E.0.1-2)$$

$$\kappa_p = (1 + \sin \varphi) \lambda (1 - \sin \varphi) \quad (E.0.1-3)$$

式中 H——水平荷载（kN）；

K——安全系数，可取 1.4；



直径 (m)；

埋入深度 (m)；

κ_p ——被动土压力系数；

γ ——套箱内抛砂的浮容重 (kN/m^3)；

e ——水平荷载合力作用点至砂顶面的距离 (m)；

φ ——充填材料的内摩擦角 ($^\circ$)。

(2) 套箱内充填材料的水平压应力应满足下列条件：

$$\sigma_{h/3} \leq \frac{4}{\cos\varphi} \left(\frac{\gamma}{3} h t g \varphi + c \right) \eta \quad (E.0.1 - 4)$$

$$\sigma_h \leq \frac{4}{\cos\varphi} (\gamma h t g \varphi + c) \eta \quad (E.0.1 - 5)$$

$$\eta = 1 - 0.8 \frac{M_g}{M} \quad (E.0.1 - 6)$$

式中 h ——桩的埋入深度 (m)；

$\sigma_{h/3}$, σ_h ——相应于套箱内充填材料顶面以下 $h/3$ 处和 h 处抛填材料的水平压应力 (kN/m^2)，可按《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ24) 的有关规定计算；

γ ——充填材料的容重 (kN/m^3)，对透水性材料，应考虑水的浮力作用；

c ——充填材料的粘聚力 (kN/m^2)；

η ——结构的自重占总荷载中所占百分比的系数；

M_g ——结构重力对桩底中心产生的力矩 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)；

M ——荷载对桩底产生的力矩 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)。

E.0.2 应对套箱的抗倾、抗滑稳定性进行验算，验算可按重力式无底空心块体结构进行。

E.0.3 钢筋混凝土套箱的安放可按下列工序进行：

(1) 对套箱安放区进行探摸及清除障碍物；

(2) 对安放套箱的基础进行炸礁、填砂、铺设袋装混凝土等整平处理；

(3) 在套箱下部内外四周铺设土工织物，吊放套箱后投放砂袋或袋装混凝土，将土工布压实，确保注砂不漏失；



注：砂面层铺(5m)厚碎石至设计要求高度

E砂，当贯入击数较低时，宜对砂进行压密处理，以利于桩

(6) 沉桩后，在套箱顶层铺放袋装混凝土或灌注水下混凝土，封固套箱内的砂层。