

长螺旋钻孔嵌岩桩施工工艺

Construction techniques of long bored pile embedded in rock

李式仁¹, 陈德文²

(1. 中国建筑地下工程公司, 北京 100040; 2. 南京市民用建筑设计研究院, 江苏 南京 210004)

摘要: 阐述了长螺旋钻孔方法及“钻孔压浆成桩法”工艺, 介绍了一种新型钻头——锥螺旋凿岩钻头, 从而解决了长螺旋钻孔成桩不能嵌岩的难题, 并为嵌岩桩基施工提供了一种新的可靠、高效的施工工艺。

关键词: 长螺旋钻孔; 嵌岩桩施工工艺; 锥螺旋凿岩钻头; 钻孔压浆成桩法

中图分类号: TU 753. 3; P 634

文献标识码: A

文章编号: 1000- 4548(2001) 06- 0741- 05

作者简介: 李式仁, 男, 1947年生, 中国建筑地下工程公司副总工程师, 高级工程师。主要从事地基基础工程施工。

LI Shi-ren¹, CHEN De-wen²

(1. Underground Engineering Inc. of China Construction, Beijing 100040, China; 2. Nanjing Design Institute of Civil Architecture, Nanjing 210004, China)

Abstract: The long spiral boring, cone twist rock-drilling head and mud-jack bored pile technique were introduced in this paper. The problem that long spiral boring pile could not be embedded in rock was solved. A reliable construction way with high efficiency for pile embedded in rock was provided.

Key words: long spiral boring; construction technique of pile embedded in rock; cone twist rock-drilling head; mud-jack bored pile technique

1 引言*

在世界各国深基础工程中, 应用桩基础是最主要的手段。桩的种类和施工工艺繁多, 应用最为广泛的是要算灌注桩。其中的嵌岩桩因承载能力大、沉降量小备受工程界青睐。但是嵌岩桩的最大难点是施工成孔困难, 尤其是嵌入硬质岩石时, 由于受工艺的限制, 凿岩费时费工, 效率极低。因此嵌岩桩的施工工艺往往是决定嵌岩桩的质量和经济效益的关键。

2 嵌岩桩施工工艺的现状

目前, 要求嵌入中硬岩石的嵌岩桩, 常用的成孔方法如表1所示。

常用嵌岩桩施工存在以下问题:

(1) 滚刀(牙轮)钻进是当前嵌入中硬岩石施工的主要方法之一, 但是, 普遍存在“欠压”施工, 导致工效低、钻孔周期长。滚刀(牙轮)钻进要求对钻头施加很大的轴心压力, 这是由其碎岩机理所决定的。钻头回转时, 滚刀(牙轮)绕轴线旋转, 牙齿以一齿着地与两齿着地交替作用于孔底, 形成对岩石的振动与冲击, 如图1所示。

滚刀(牙轮)作用于孔底的振幅

$$S_a = r(1 - \cos 180^\circ / Z) \quad (1)$$

式中 r 为滚刀(牙轮)边圈半径; Z 为滚刀(牙轮)外圈齿数。

钻头的冲击功

$$A = P \cdot S_a \cdot \cos \beta \quad (2)$$

式中 P 为施加于滚刀(牙轮)上的轴压; β 为滚刀(牙轮)轴线的水平倾角^[3]。滚刀(牙轮)边圈半径通常小于 200 mm, 根据式(1)计算, 振幅 S_a 小于 5 mm, 因此增大冲击功 A 的有效途径是加大轴压 P 。著名钻头厂商美国休斯公司推荐的 12~ 15 in 三牙轮钻头轴压为 340~ 544 kN, 换算后单个牙轮压力为 113~ 181 kN, 前苏联全苏凿岩技术研究院推荐的轴压与休斯公司相差不大^[3], 国内有的学者提出单个牙轮压力为 30~ 50 kN^[4], 相当于休斯公司推荐压力值的 30%, 但是国内由于钻机能力、钻头质量、钻具级配和思想认识等原因, 国内学者所推荐的单个牙轮压力 30~ 50 kN 也难以达到, “欠压”施工比较普遍, 远达不到体积破碎(滚刀(牙轮)钻头合理碎岩方式)所需的轴压。导致在微风化中硬岩石中成孔施工时间长, 而软弱覆盖层长时间浸泡在泥浆中, 塌孔及滚刀(牙轮)脱落事故时有发生。

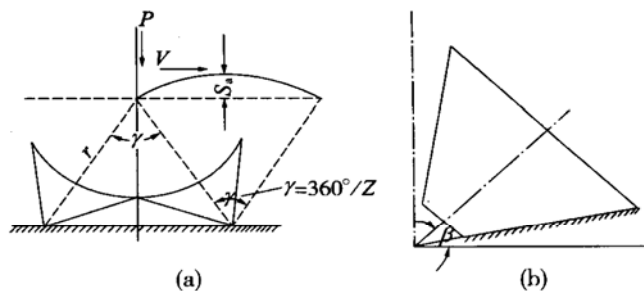


图1 牙轮振幅计算示意图

Fig. 1 The sketch map of amplitude of gear vibration

表 1 土木工程嵌岩桩常用的成孔方法
Table 1 Construction method of pile embedded in rock

成孔方式	经济技术指标				碎岩方式	护壁方式	设备代表型号	环境影响程度			存在的主要问题	技术前景
	成孔直径/mm	成孔深度/m	施工效率	施工成本				泥浆污染	噪声污染	震动污染		
人工挖孔	> 800	< 80	极低	低	风镐、风钻、爆破	红砖、砼或钢井圈		无	无	无	安全性差, 工度人劳动强度大, 效率低	使用范围萎缩
普通冲击成孔	< 2500	< 100	低	低	低频大冲程冲击	无循环泥浆	CZ- 22	有	有	严重	工效低, 污染环境, 钻孔不规整	中心城市使用萎缩, 野外路桥在用
冲击反循环成孔	< 2500	< 100	一般	低	低频、大冲程冲击(少重复破碎)	泥浆	CFZ- 1500 CJF- 20	严重	有	严重	污染环境, 钻孔不规整	中心城市使用少, 野外路桥使用量增多
冲击回转成孔(气动潜孔锤)	< 1100	24	很高	高	高频小冲程冲击	泥浆	XL24HD ^[1] (瑞典) FGC- 1500/150 ^[2]	有	小	小	工艺、设备复杂, 须配大风量高压空压机, 钻具故障率高	好
滚刀(牙轮)钻进成孔	< 6000	< 150	一般	较高	冲击、压碎、剪切	泥浆	KP3500 GPS- 20	严重	无	无	由于欠压施工, 工效低, 泥浆污染严重	一般

(2) 泥浆护壁灌注桩在嵌岩部分存在侧壁的涂抹效应和桩底的软垫效应^[5], 成桩时间长更加剧了这两种负效应, 因此对承载力造成不良影响。曾有学者做过测试: 侧壁的泥皮厚度大于 5 mm 的试桩极限承载力比厚度小于 2 mm 的试桩减少 6500 kN^[6]。现有的泥浆护壁灌注桩技术手段难以可靠地控制涂抹效应和桩底的软垫效应对承载力的影响。

(3) 泥浆的二次污染、冲击成孔的震动、噪声所造成的不良环境效应至今难以解决。

3 长螺旋钻孔压浆成桩工艺

1985 年由我国工程师发明的“钻孔压浆成桩法”^[7,8]其工艺流程如图 2 所示。用长臂螺旋钻机钻孔到预定深度后, 在提钻的同时, 通过设在钻头的喷嘴向孔内喷射制备好的水泥浆, 至浆液达到没有塌孔危险的位置或地下水位以上 0.5~ 1.0 m 处, 提出钻杆, 向孔内放置钢筋笼和补浆管, 并投放骨料至孔口或设计标高 0.3 m 以上, 然后再向孔内多次补浆直至浆面不再下沉。

3.1 基本原理

钻孔压浆成桩法的基本原理可以看成是吸收埋入式桩的水泥浆工法和 CIP 工法的原理组合而成。

所谓埋入式桩的水泥浆工法的基本原理是: 用长螺旋钻机钻孔至设计深度; 在钻孔同时通过钻头向孔内注入以膨润土为主剂的钻井液; 然后注入以水泥浆为主剂的桩端固定液或桩周固定液取代钻井液的同时提升钻杆; 最后将预制桩插入孔内并将其压入或轻打入至设计深度。

CIP(cast in place pile) 工法的基本原理是: 用长螺旋钻机钻孔至预定深度(有塌孔可能时要插入套管); 提出钻杆, 向孔中放入钢筋笼和注浆管(1~ 4 根); 投入粗骨料, 最后边灌注砂浆边拔注浆管(及套管)成桩。

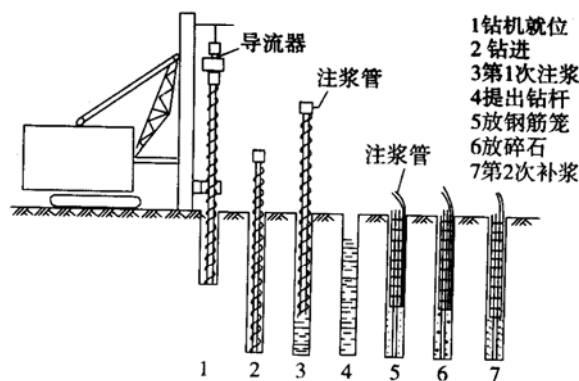


图 2 钻孔压浆桩施工程序

Fig. 2 Construction sequences of mud-jack bored pile

3.2 主要优点和特点

(1) 振动小, 噪声低。

(2) 由于钻孔后的土柱和钻杆是被孔底的高压水泥浆置换顶出, 而且成桩工序流畅、裸孔时间短, 所以它能在地下水位下的流砂、淤泥、砂卵石、极为松散的垃圾土, 甚至能在紧临大型球磨机、铁路、相当于持续 3~ 4 级地震烈度的复杂地质地理条件下顺利成孔成桩。

(3) 由于高压注浆, 对周围的地层有渗透加固加密作用, 解决了断桩、缩径、桩壁泥皮和孔底沉渣等普通泥浆护壁钻孔桩的质量通病; 同时还伴有局部膨胀扩径现象, 因而大幅度提高了桩的承载能力。大量工程静载试验证明, 其单桩承载力是普通泥浆护壁钻孔桩

的 1.5~2.0 倍。

(4) 因不用泥浆护壁, 就没有因大量制备泥浆和处理排污而带来的环境污染。

(5) 施工速度快。一根桩长 25 m 的桩一般成桩时间 70 min 以内, 25~32 m 长的桩成桩时间 100 min 以内。

(6) 由于采用高压、快速的输浆系统及孔内投粗骨料工艺, 能在野外零下 35℃ 的高寒地区顺利施工。

3.3 钻孔压浆成桩法的适用范围

钻孔压浆成桩法的适应性较大, 几乎可用于各种土层。采用特殊钻头可以在岩层中成孔。截至 1999 年 12 月底, 已在全国 400 多个工程中应用, 累计成桩 350 万延长米, 基础桩和支护挡土桩约各占一半, 作为基础桩已用于多栋 33 层的高层建筑和大型桥梁, 如北京的芳泽园公寓、武汉的津津花园、唐山启新立交桥等; 作为挡土桩已用于支护高度超过 20 m 的深基坑多项, 如北京朝阳门 220 kV 地下变电站基坑支护工程、渭河电厂二期地下输煤通道帷幕桩工程; 尤其在一些特殊高难度工程得到成功应用, 如某业主要求横跨在运行的铁道上空托起一座 5200 m² 的钢筋砼大平台, 以便在平台上建起两栋高层, 平台下 276 根桩分布在 5 条铁道附近; 其中有 83 根桩离 825 V 的授流轨仅 1.6 m, 施工时钻杆距行驶中的列车外皮仅 0.5~0.7 m, 而且地铁车辆每日 400 多列, 高峰时间 5 min 一列, 由于采用钻孔压浆成桩法工艺在列车正常运营的震动及地层存在淤泥、块石的困难条件下安全顺利成桩^[9]。

4 锥螺旋凿岩钻头

经过长期的工程实践和探索、试验, 研究设计出了一种新型嵌岩钻头——锥螺旋凿岩钻头, 攻克了长螺旋嵌入中硬岩层成桩的难关。

4.1 构造和特点

(1) 如图 3, 钻头外型似一倒锥型双头螺旋, 回转时稳定性好, 而且既能钻岩又能钻土。

(2) 刀头的刃部采用硬质合金, 其硬度、抗弯、剪、扭、折、冲击等强度均大于一般的中硬岩石, 从而使钻进中硬岩石成为可能。

(3) 多刀头的合理组合, 钻进中形成阶梯状、多环自由面的碎岩方式, 即下方刀头所形成的切槽为上方刀头碎岩提供了自由面。

(4) 控制新刀头的硬质合金底出刃 4~6 mm、外出刃 3~4 mm, 能较好地解决刀头在钻进时的复杂应力状态下的崩刃与出刃(工作高度)之间的矛盾。即为了钻进快, 要求出刃要高; 而为了防止崩刃, 以避免钻头损坏, 又要求出刃要低。

(5) 针对钻头中心部分线速度小, 刃口磨损过快严

重影响进尺的情况, 底部的刀头采用倾角为 75°~85° 的正前角, 刀头刃部的正投影偏离并超越钻头轴心, 实践中效果显著。

(6) 刀头、刀座全部工厂化生产, 加工工艺规范, 杜绝了以往在工地用氧乙炔切割合金槽口造成钻头质量差、寿命短的弊端。

(7) 刀头整体更换, 当刀头达到使用寿命后, 就将刀头整体割下换上新的刀头, 简化了现场修复程序, 保证了修复质量。

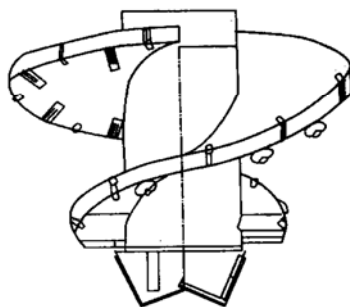


图3 锥螺旋凿岩钻头原理图

Fig. 3 Cone twist rock drilling head

4.2 钻进参数

钻进中硬岩石最主要的钻进参数是轴压, 经多年工程实践证明: 在长螺旋嵌岩施工中对锥螺旋凿岩钻头施加 200~400 kPa 的轴压完全可以嵌入中、硬岩石。由于刀头刃部硬质合金与岩石的接触面积只占钻孔断面积的 2%~5%, 因此, 单粒合金对岩石的压力可达到 1~3 kN。钻进时机械转速 10~40 r/min, 水量 100~300 L/min。长螺旋钻孔转速较低而且带水钻进时螺旋叶片输土效应不强烈, 形成的土柱与钻孔所构成的环状间隙很小, 因此给水量能满足钻头的冷却要求即可。

5 工程应用实例

应用长螺旋钻孔嵌岩工艺, 先后在北京首钢、燕山石化、南京华飞、青岛中银大厦、美国安普公司青岛连接器厂等大型重点工程的嵌岩桩施工中应用, 十分成功, 现以美国安普公司青岛连接器厂桩基为例简要说明长螺旋钻孔桩嵌岩桩的施工工艺。

5.1 工程概况和水文工程地质条件

(1) 工程概况

工程位于青岛市城阳区环胶州湾公路双埠收费站东南, 拟建建筑物为 4 层厂房、框架结构, 柱距 10 m × 8 m, 单柱荷载 2500~12500 kN, 桩基础设计桩径 600 mm, 桩长 9~18 m, 桩数 375 根, 砼强度等级 C30, 桩端要求嵌入单轴抗压强度 35 MPa 的微风化安山岩 0.5 m, 单桩极限承载力 4800 kN, 采用钻孔压浆成桩法施工。

(2) 水文工程地质概况

第①~⑧层分别为素填土、粉土、粗砂和粘土,为基岩上覆软弱覆盖层;第⑨层为安山岩全风化带,平均层厚 1.7 m,硬塑~可塑的粘土状;第⑩层为安山岩强风化带,平均层厚 1.6 m,斑状结构,块状构造,岩芯手捏呈砂状;第⑪层为安山岩中风化带,平均层厚 0.9 m,岩芯节理发育,多为碎块状, $f_k = 1200$ kPa, $R_c = 8$ MPa, $Q_{pk} = 6000$ kPa;第⑫层为安山岩微风化带,岩芯节理不发育,矿物新鲜,蚀变轻微, $f_k = 3500$ kPa, $R_c = 35$ MPa, $Q_{pk} = 17500$ kPa,本层为桩端持力层。地下水位埋深 1.5 m,为弱承压水。

5.2 成桩工艺

本工程采用钻孔压浆成桩法施工,其工序如下:下部连接锥螺旋凿岩钻头的长螺旋钻具带水钻孔至规定嵌岩深度,通过中空的钻杆向孔内压注水灰比为 0.47~0.52 的水泥浆液,边压浆边提钻,提至离孔口 2/5 桩长位置时,压注护壁稀浆,直至孔口,提出钻具,下入带补浆管的钢筋笼,往孔内投粗骨料,最后通过补浆管多次补浆成桩。

5.3 嵌岩施工

由于覆盖层软弱,大部分桩的桩端承载力占总承载力的 80%~90%,桩径 600 mm 4800 kN 的承载力对桩端持力层的工程性质要求是很严格的,换言之,满足设计承载力的嵌岩标准是施工管理、施工技术的关键。

(1) 施工前,根据工程地质剖面中微风化安山岩顶盘地质界限确定所有钻孔进入微风化安山岩 0.5 m 的孔深。

(2) 钻进参数:转速 28 r/min,水量 75~150 L/min,轴心压力 80 kN。

(3) 嵌岩控制:参照地质剖面图,根据钻孔进尺明显减慢,电流变化,机械响声,确定微风化安山岩上盘位置。

(4) 停钻标准:进入微风化后,根据进尺速度、钻岩时间确定停钻标准(表 2)。

表 2 嵌岩停钻控制标准

Table 2 Termination criterion of drilling

单钻头使用次序	钻微风化时间/min	进尺速度/(mm·min ⁻¹)	钻头磨损
第一次	30	< 17	
第二次	35	< 15	正常
第三次	40	< 14	正常
第四次	50	< 12	正常

(5) 钻孔历程及嵌岩情况:典型钻孔历程的钻速变化曲线如图 4。

从图 4 可以看出,钻覆盖层钻速很快,钻至强风化层钻速急剧下降,进入中风化、特别是微风化层钻速很

小,呈数量级变化,因此容易直观判断钻头到达持力层上盘。

(6) 施工工期:安普桩基工程投入一台钻机,30 d 完成嵌岩桩 375 根,最高日完成量 17 根,平均 12.5 根。平均单桩成桩时间 68 min,其中钻孔时间 49 min(钻岩时间 45 min)。

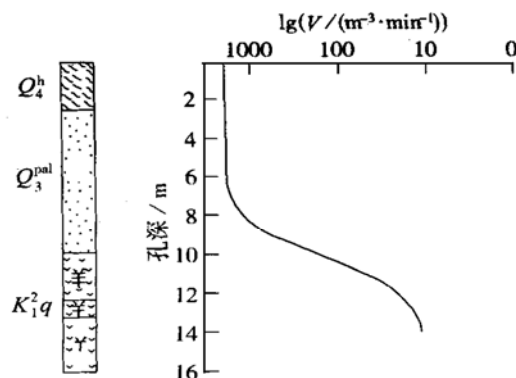


图 4 钻孔历程-钻速曲线

Fig. 4 Drilling course curve

5.4 入岩情况综合分析

根据工程地质剖面及 29 个钻孔柱状图分析,实际施工的桩有 73% 进入微风化安山岩,其中 18.4% 的桩进微风化 0.5 m 以上,41% 的桩进入微风化安山岩 0.5~1.0 m,13.6% 的桩进微风化 1.0 m 以上;有 27% 的桩未进入微风化安山岩,但已进入中风化安山岩,其中 22% 的桩差 1 m 以内,5% 的桩差 1 m 以上。

按入岩(入微风化安山岩持力层,以下同)0~0.5 m、0.5~1.0 m、大于 1.0 m(超入岩区)、欠入岩 0~1.0 m、欠入岩大于 1.0 m(欠入岩区)进行分区,如图 5 所示。

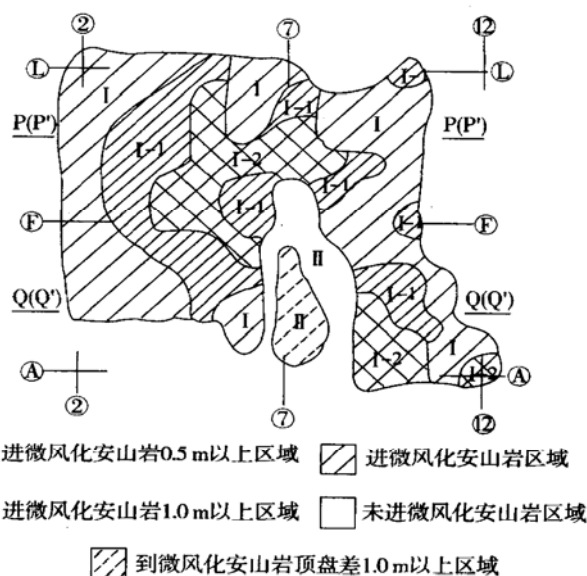


图 5 桩入岩情况综合分析图

Fig. 5 The comprehensive analysis for embedment of rock by pile

从图中可以明显看出: I - 2 “超入岩区”和 II’ “欠入岩区”呈连续分布, 按实际钻孔情况综合分析, 属原地质报告中持力层顶盘失真区域, 造成失真的主要原因是持力层顶盘起伏突变, 勘探点距过大, 取芯、点荷载试验、波速试验等岩层划分手段不尽完善。目前的工程地质勘察方法和手段很难避免这种失真。安普桩基工程为了可靠的钻入单轴抗压强度为 35 MPa 的微风化安山岩, 借鉴以往的钻岩经验, 采用同一种锥螺旋凿岩钻头、同一轴压、同一转速、同一冲洗液和压力、同一钻岩时间, 并规定一个钻头在上述参数条件下只钻 4 个桩孔, 每盘刀的钻岩时间总和小于 200 min, 而且强化钻头修复质量标准, 这种钻岩控制方式决定了桩端阻力大致相同的可靠性, 其原因是桩端地层强度差异小。港澳地区要求查明孔底以下 4.5 m 是否存在软弱地层时, 采用手持风钻在孔底钻孔, 根据每钻进 30 cm 所耗用时间与孔深的曲线, 确定桩端标高, 这与本文按钻进参数控制入岩, 其原理大体相同^[10]。

5.5 桩基质量检验及工程质量

静载试验桩径 600 mm、桩长 10.3 m、桩身砼强度等级 C30, 根据地质报告及实际施工的桩底标高应属于未入微风化安山岩的桩(地质报告失真区)。在试验过程中, 加载至设计极限荷载 4800 kN, 最终沉降为 4.42 mm, 残余沉降 0.93 mm, 回弹率 79.22%, 最末一级的前一级沉降为 0.56 mm, 最末一级沉降为 0.67 mm, 仅是末前级的 1.2 倍, 远未达到终止加载条件, 说明嵌岩良好。试桩 $Q-S$ 曲线如图 6。

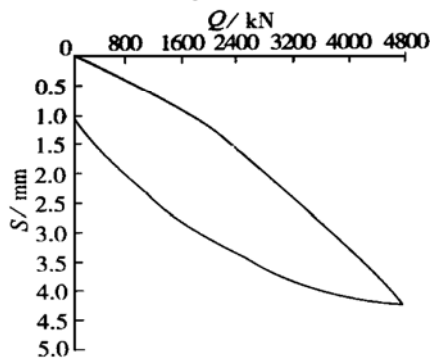


图 6 1 号桩 $Q-S$ 曲线

Fig. 6 $Q-S$ curve of pile No. 1

全部工程于 2000 年 12 月 25 日交工并投入正常使用已历时半年多, 建筑物沉降满足设计和使用要求。

6 结 语

用长螺旋钻孔嵌岩成桩在国内外鲜见报导, 大多数手册甚至规范都将此列为“不能选用”的施工方法^[10], 近年来经过大量的工程实践及反复试验研究, 设计出锥螺旋凿岩钻头, 并以“钻孔压浆成桩法”为依托, 解决了长螺旋钻孔不能嵌岩的难题, 并提供了一种新的快速钻进嵌岩的施工工艺——长螺旋钻孔成桩工艺。通过工程实践充分显示出它的如下特点:

(1) 钻土凿岩均用锥螺旋凿岩钻头, 无需换钻头; 辅之以大轴压带水钻进, 施工速度快, 工效高。

(2) 依托“钻孔压浆成桩法”工艺, 无需泥浆护壁和清除孔底沉渣, 一次成桩, 简化工序, 加快成桩速度, 确保桩基质量, 提高单桩承载力, 降低成本。

(3) 根据工程经验, 总结出一套钻进参数和实际嵌岩控制标准。藉以可鉴别、弥补地质勘察报告的局限性和误差, 全面保证桩基嵌岩的可靠性和准确性。

参考文献:

- [1] 谈耀麟. 潜孔锤钻进技术发展水平[J]. 岩土钻凿工程, 2000, (5): 31~36.
- [2] 胡定成. 冲击反循环钻机钻进工艺初探[J]. 西部探矿工程, 2000, 14(3): 96~97.
- [3] 鞍山黑色冶金矿山设计研究院, 长沙矿山研究院. 国外牙轮钻机[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.
- [4] 靖向党. 钻孔工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999. 155~156.
- [5] 刘金砺. 桩基研究与应用若干进展浅析[J]. 岩土工程界, 2000, (2): 10~14.
- [6] 米祥友, 彭安宁. 钻孔灌注桩工程技术与经济分析[A]. 基础工程 400 例[M]. 北京: 地震出版社, 1999. 3~18.
- [7] 沈保汉. 钻孔压浆桩[J]. 施工技术, 2000, 29(9): 47~49.
- [8] 陶义. 钻孔压浆成桩法[J]. 施工技术, 1992, (2): 6~8.
- [9] 赵金龙. 317 根巨桩将撑起一座空中楼阁[N]. 北京日报, 1996-12-25(2).
- [10] 史佩栋. 实用桩基手册[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1999.

本刊征稿简则修订说明

本刊征稿简则自 2000 年 11 月作了两项重要修改:

1. 作者修改稿可用 word 软件打印(取消原征稿简则必须用方正或华光软件打印的要求)。

2. 稿件附图可用微机绘制, 也可用墨线手绘, 均以目视清

晰为度(不再严格规定绘图的比例尺)。

上述修改是基于出版印刷的质量要求, 并为减轻作者的麻烦和负担所作的尝试。感谢读者对本刊的一贯支持和协助!

本刊编辑部