



# 基岩地基区岩土工程勘察要点解析

董教社<sup>1</sup>, 张文卓<sup>1</sup>, 吕瑞宁<sup>2</sup>

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 201612;  
2. 唐山海港鑫珏岩土工程勘察有限公司, 河北 唐山 063611)

**摘要:** 基岩地基区沉积环境复杂, 应选择适宜的钻探工艺和设备, 分析钻进中的异常现象, 合理划分风化层; 对照芯样核对现场记录, 确保定名和分层准确; 注重重型动力触探的应用; 合理估算风化层的地基承载力、确定桩基设计参数; 选择适宜的估算嵌岩钻孔灌注桩承载力的方法。

**关键词:** 残积土; 风化层; 重型动力触探; 地基承载力; 嵌岩钻孔灌注桩; 单桩承载力

中图分类号: TU 471.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)03-0159-05

## Geotechnical engineering investigation points in bedrock foundation area

DONG Jiao-she<sup>1</sup>, ZHANG Wen-zhuo<sup>1</sup>, LYU Rui-ning<sup>2</sup>

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 201612, China;

2. Tangshan Harbor Xinjue Geotechnical Engineering Co., Ltd., Tangshan 063611, China)

**Abstract:** The sedimentary environment of the bedrock foundation area is complex, so we should choose suitable drilling technology and equipment, analyze the abnormal phenomena in drilling, and divide reasonably the residual soil and weathered layer; check the site record and compare them with the core samples to ensure accurate layering and naming; pay attention to the application of heavy dynamic penetration test; estimate reasonably the bearing capacity of the weathered layer and determine the pile foundation design parameters and choose the appropriate estimate calculation method for the bearing capacity of rock-socketed bored piles.

**Keywords:** residual soil; weathered layer; heavy dynamic penetration; bearing capacity of foundation; rock-socketed bored pile; bearing capacity of single pile

基岩地基区地质条件相对复杂, 风化层顶板起伏不定, 勘察实施前收集拟建场区前期或邻近场区地质资料, 现场踏勘<sup>[1]</sup>, 了解场区地形、地貌和周边环境, 根据拟建建(构)筑物的性质、基础形式及荷载大小综合分析, 制定有针对性的勘察大纲可达到事半功倍的效果; 在实施过程中若地质条件与预期差异较大, 应及时加以调整, 以满足指导后续勘察的需要。

## 1 勘测质量管理

基岩地基区粗粒土、混合土、残积土以及风化层相对发育, 原状土样不易采取, 且土试指标一般不能真实反映其物理力学性质, 这就使原位测试(标贯或动探试验)和深入现场仔细分析显得特别重要, 对现场的勘察质量提出了较高要求。

### 1.1 合理使用设备及工艺

基岩地基区勘探时应根据岩、土层具体情况,

收稿日期: 2015-08-26

作者简介: 董教社(1969—), 男, 教授级高工, 注册土木(岩土)工程师, 注册监理工程师, 从事岩土工程勘察、检测、监测以及监理工作。

采取相应的设备和施工工艺,有利于提高勘察质量,常使用百米钻(XY-1、GXY-1或XY-2)和岩芯管钻具的钻进工艺。

近年来沿海地区开山回填,成陆后巨厚的抛填石层成为勘察的一大难题,诸如上海洋山港四期、三门核电以及浙江头门作业区等工程,抛石层达10~30m,常规百米钻+岩芯管钻进工艺(图1)效率低;而采用空压潜孔锤钻进效果明显,其工作原理是利用压缩空气(或气液混合)(图2)驱动活塞,以较大的冲击功和高频冲击潜孔锤钻头(图3),在钻机转盘的带动下,高速回转,使岩石破碎,产生的岩屑被高压气流携带返出;对抛石及中、硬质岩更为有效。

基岩地基区中的粗粒土和碎块状强风化,钻进和取芯难,易漏浆、坍孔或卡钻,严重影响勘察进度和质量,增大施工风险。如在镇江大港四期工程和山东招远人工岛工程施工时困难重重,后经细致分析和研究,进行多次对比试验,采用5种措施解决了勘探难题:1)确保泥浆质量,提高黏稠度和均匀性;2)确保泥浆泵功率,使岩屑或粗粒由浆液携带返出,一般可采用BW-160或BW-200型泥浆泵;3)套管(单套)或采用小径透



图1 常规百米钻+岩芯管钻进工艺



图2 压缩空气(或气液混合)机



图3 高频冲击潜孔锤钻头

大径(双套管)适时跟进,下管法根据坍塌情况选用提吊法或跟管钻进法;4)自制捞砂器(连接在钻杆底部,底端和钻头或岩芯管相连)打捞沉砂;5)当裂隙发育、漏浆严重时,可采用投放黏土球或水泥封孔。

### 1.2 正确分析特殊地质现象

应及时观察和了解钻速、冲洗液颜色和携带的颗粒成分的变化,作为准确分析岩、土层变化的依据。如镇江大港四期工程钻进时钻具出现自沉现象,结合已取岩芯状态(有空洞,壁粗糙),岩性为白云岩,综合分析认为场区分布古溶蚀空洞,规模小且不连续。这对正确分析场区桩基工程地质条件,指导桩基施工起了重要作用。

由于基岩地基区沉积环境的交替性和复杂性,间或有软、硬土层交替出现的现象,如海峡论坛会址和温州港状元乔港区二期等工程硬塑状黏性土下出现了软弱黏性土,不要轻易误认出错,应

指导编录员准确描述这些特殊现象, 为正确分析、合理评价地基土奠定基础。

另外, 在火山岩地区勘察中, 应注意在残积土、全风化和强风化层中存在球状风化体(孤石)的可能性; 对进入基岩中风化的最小深度有所限制, 以便正确判别。如厦门海峡论坛会址造地工程花岗岩砂土状强风化中出现约1 m的球状风化体(孤石), 其性质和中风化相似。

### 1.3 比对芯样, 校核野外记录

根据芯样核对野外记录, 合理确定各岩、土层名称、状态和特征。对可能碰到的薄层、夹层、互层、透镜体及破碎带、泥质层、脉岩等定名和描述尽可能详细。对芯样的详细描述, 是进行科学分析的重要一步, 为此应高度重视芯样的合理摆放和拍照, 这对资料分析和评价的可追溯性意义重大。图4为越南河静钢厂芯样的摆放和拍照。



图4 越南河静钢厂芯样的摆放

### 1.4 注重重型动力触探的应用

由于碎石、卵石以及碎块状强风化等难以采取原状样, 标贯试验也不适宜, 为判断其密实度, 宜进行重型动力触探试验, 按国标 GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》(2009版)确定(表1)。

表1 《岩土工程勘察规范》参考值

$N_{63.5}$	密实度
$N_{63.5} \leq 5$	松散
$5 < N_{63.5} \leq 10$	稍密
$10 < N_{63.5} \leq 20$	中密
$N_{63.5} > 20$	密实

国标中  $N_{63.5}$  是经杆长修正的, 但在福建的地方规范中,  $N_{63.5}$  却是实测值, 故福建地区按实测值确定密实度。对于碎石土还可用国标勘察规范中附录 A.0.6 定性的“野外鉴别”法判断密实度, 但注意仅分3档: 松散、中密和密实<sup>[2]</sup>。

### 1.5 现场基岩风化层的划分

根据风化程度划分为全风化、强风化、中风化和微风化, 其中强风化又分为砂土状和碎块状(福建地区称散体和碎裂状)强风化, 主要通过标贯和动探试验、芯样、取芯率以及钻进情况综合分析确定。某些地方标准对花岗岩风化程度划分做了定量的规定<sup>[3]</sup>, 一般  $N < 30$  击为残积土,  $30 \leq N < 50$  击为全风化,  $N \geq 50$  击为强风化。但真正做到合理划分, 还需根据岩芯的特征、完整程度及取芯率综合确定。这里重点讨论野外对砂土状和碎块状强风化的判别: 首先以感官认识来判断, 砂土状强风化基本呈砂土状, 含少量岩石碎块或碎屑, 原岩结构较模糊, 但亦可辨; 而碎块状强风化原岩结构较清晰, 以碎块为主, 少量呈砂土状; 其次, 砂土状强风化中钻进较平稳, 较易采样, 可做标贯试验; 而在碎块状强风化中主动钻杆明显跳动, 发出杂乱的声音, 较难采取芯样, 不宜做标贯试验, 可进行重型动力触探试验。

## 2 合理划分地基岩、土层

合理划分岩、土层, 并确定相应代码, 一般遵循人工填土划为①层, 根据性质和成因的不同划分为: 杂填土、素填土、冲填土和压实填土等, 其它岩、土层根据地质年代、成因类型以及工程地质特征依次划分为②、③…层及其分属的亚层; 在资料整理过程中, 地基土层的定名应在现场描述的基础上, 结合室内试验的开土记录和土工试验结果综合确定<sup>[3]</sup>。这里主要探讨较特殊的残积土的划分。

残积土和全风化层感官上不易区分, 均为基岩完全风化后产物。残积土是未经搬运, 具有母

岩残余构造；地方规范或标准中往往以标贯击数作为划分依据， $N$ 以30击为界，小于为残积土，大于或等于则为全风化；就残积土而言，同一区域由于组成成分和沉积环境的差异而工程力学性质也不相同，根据多年勘察的经验，将其划分为残积砂砾质黏性土和残积黏性土，具有膨胀、湿陷和遇水崩解等特性，不易采取原状样，且室内试验力学性能指标常较实际有偏差，故宜以标准贯入试验成果作为判断其性质的主要依据。

### 3 风化层承载力及桩基设计参数的确定

基岩区勘察经常涉及到对风化层承载力及桩基设计参数的推荐和确定，要根据岩性、风化程度、工程地质特点、原位测试成果、单轴饱和（软岩为天然）抗压强度以及相关规范综合分析确定。

#### 3.1 承载力特征值的确定

##### 3.1.1 相关规范的取值

行业标准 JTS 147-1—2010《港口工程地基规范》(代号①)中岩石地基的承载力设计值与国标特征值相当，福建省工程建设地方标准 DBJ 13-84—2006《岩土工程勘察规范》(代号②)风化岩承载力特征值按表2确定。

表2 岩石承载力设计值或特征值

类别	标准	承载力/kPa			
		微风化	中风化	强风化	全风化
硬质岩石	①	2 500~4 000	1 000~2 500	500~1 000	200~500
	②	≥4 000	1 500~2 500	500~1 000	
软质岩石	①	1 000~1 500	500~1 000	200~500	
	②	1 500~2 000	700~1 200	200~500	

#### 3.1.2 工程实例中的具体取值

厦门港刘五店南部港区(岸壁)工程(代号A)和印尼 BATAM TJK2 × 65MW 燃煤电厂工程(代号B)风化层承载力推荐值见表3。

表3 工程A、B风化层承载力对比

工程代号	岩性	土层名称	标准贯入击数 $N$	承载力特征值/kPa
A	花岗岩	全风化	30~50	300~400
		强风化	≥50	600
		中风化		1 400~1 700
B	角砾	全风化	21~35	180
		砂土状强风化	>50,局部40~50	400
	凝灰岩	碎块状强风化	≥50	500
		中风化		1 000

### 3.2 桩基设计参数的确定

#### 3.2.1 相关规范的取值

行业标准 JTS 167-4—2012《港口工程桩基规范》风化层灌注桩设计参数见表4。

表4 极限摩阻力标准值  $q_f$ 和桩端阻力标准值

土名称	土的状态	$q_f$ /kPa	$q_R$ /kPa					
			泥浆护壁钻(冲)孔桩泥面以下桩长 $l$ /m				干作业钻孔桩泥面以下桩长 $l$ /m	
			$5 \leq l < 10$	$10 \leq l < 15$	$15 \leq l < 30$	$l \geq 30$	$5 \leq l < 10$	$10 \leq l < 15$
全风化软质岩	$30 < N \leq 50$	80~100	1 000~1 600				1 200~2 000	
强风化软质岩		120~140	1 200~2 000				1 400~2 400	
全风化硬质岩	$N_{63.5} > 10$	140~200	1 400~2 200				1 600~2 600	
强风化硬质岩		160~240	1 800~2 800				2 000~3 000	

注： $N$ 为标贯数； $N_{63.5}$ 为重型动探击数。

福建地方标准 DBJ 13-84—2006《岩土工程勘察规范》中风化层预制桩桩基设计参数，根据标贯击数和桩入土深度按附录H确定。

#### 3.2.2 工程实例中的具体取值

厦门港刘五店南部港区(岸壁)工程和印尼

BATAM TJK2 × 65MW 燃煤电厂工程风化层设计参数推荐值见表5。

通过以上实例可以看出，规范所提供灌注桩桩侧极限阻力偏高，设计参数取值时则应结合风化层工程地质特征以及实践经验，合理取值。

表5 工程A、B风化层设计参数对比

工程代号	岩性	土层名称	一般埋深/m	标贯击数 $N$	预制桩		灌注桩	
					侧壁阻力标准值 $q_f$ /kPa	端阻力标准值 $q_R$ /kPa	侧壁摩阻力标准值 $q_f$ /kPa	端阻力标准值 $q_R$ /kPa
A	花岗岩	全风化	8.0 ~ 16.0	30 ~ 50	100		85	
		强风化	$\geq 9.0$	$\geq 50$	120	10 000	100	3 200
		孤石	12.0 ~ 14.0				165	4 000
		中风化	$> 11.0$				180	12 500
B	角砾 凝灰岩	全风化	2.4 ~ 9.0	20 ~ 48	90	6 000	70	2 500
		砂土状强风化	0.0 ~ 18.0	$> 50$ , 局部 40 ~ 50	110	8 500	90	3 000
		碎块状强风化	3.0 ~ 25.0	$\geq 50$			100	3 500
		中风化	$> 2.4$				150	10 000

3.2.3 嵌岩钻孔灌注桩单桩承载力估算方法

利用行业标准 JGJ 94—2008 《建筑桩基技术规范》估算嵌岩桩单桩竖向承载力结果明显偏大, 且参数取舍不易掌握; 而采用大直径灌注桩的计算方法估算的承载力, 经对比试验 (马迹山港等工程嵌岩钻孔桩采用两种方法估算与试桩成果对比) 和大量工程实践证明相对贴近实际, 且简单易行。故在工程案例中提供了中等风化桩侧及桩端设计

参数。

在刚果(布)黑角新港项目一期工程中, 根据行业标准 JGJ 94—2008 《建筑桩基技术规范》中估算嵌岩桩单桩竖向承载力(方法1)和采用大直径钻孔灌注桩方法估算单桩竖向承载力(方法2), 结果见表6。方法1的计算公式为:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{rk} = u \sum q_{sik} l_i + \zeta_r f_{rk} A_p \quad (1)$$

表6 嵌岩桩单桩竖向承载力计算对比

桩位	方法	桩	规格/mm	持力层	入持力层深度/m	桩尖高程/m	承载力标准值/kN	承载力设计值/kN	承载力特征值/kN
KX1	方法1	钻孔灌注桩	$\phi 2\ 000$		1.99	-38.0	75 700	48 900	37 800
			$\phi 2\ 800$	砂岩			136 600	88 100	68 300
	方法2		$\phi 2\ 000$	中风化			30 930	19 950	15 460
			$\phi 2\ 800$				50 330	32 470	35 160

由表6可以看出, 通过岩石饱和单轴抗压强度值  $f_{rk}$ 、岩性、岩石的完整程度和工程经验等综合确定的嵌岩桩单桩竖向承载力, 是按大直径灌注桩计算结果的2~3倍, 偏不安全。

基础。

3) 根据基岩的风化程度、工程地质特征、相关规范以及工程经验, 合理估算风化层承载力, 并确定桩基设计参数。

4 结语

1) 重视现场踏勘, 编制有针对性的勘察大纲, 根据地质条件的变化动态调整。

4) 根据相关规范和工程经验, 选择适宜的估算嵌岩钻孔灌注桩承载力的方法, 重视大直径灌注桩计算方法的合理运用。

2) 注重勘测质量管理, 指导现场施工选择适宜的钻探设备和勘探工艺; 仔细观察或了解钻进情况, 正确分析钻进过程中各种异常现象; 重视重型动探在碎石土、卵石以及碎块状强风化层的应用; 仔细比对芯样、校对野外记录, 合理划分各岩、土层; 为勘察资料的准确可靠奠定坚实的

参考文献:

[1] 董教社. 水运岩土工程勘察纲要编写要点解析[J]. 水运工程, 2013(10): 229-233.  
 [2] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范(2009版)[S].  
 [3] DBJ 13-84—2006 岩土工程勘察规范[S].