

Regional Investigation and Design Analysis of the Red Beds Fracture Zone in Henglan Town, Zhongshan City, China

Pengfei Dong

The 10th Geological Brigade of Guangdong Geological Bureau (Zhongshan Geological Disaster Emergency Rescue Technology Center of Guangdong Province), Zhongshan, Guangdong, 528400, China

Abstract

Affected by the Xijiang Fault, the red layers in the site have significant differences and irregularities in lithology and weathering degree with depth based on factors such as gravel content and cement composition, which poses great difficulties for survey and design. Therefore, the red layers can be simplified and classified according to their mechanical properties based on the actual situation on site. The Guangdong Provincial Standard DBJ 15-31—2016 *Code for Design of Building Foundation* (hereinafter referred to as the provincial standard) is one of the important basis for survey and design in Guangdong Province. Its design parameters for bored piles in the red layer fractured zone of Henglan Town, Zhongshan City have certain limitations. When there is a moderately weathered interlayer in the upper part of the rock layer of the rock socketed pile, its lateral resistance can be taken as the larger value in the corresponding range of strong weathering according to the lithology. The classification of the degree of weathering of the red layer is mainly based on the rock type, supplemented by the standard penetration test (hereinafter referred to as the standard penetration test), which is more accurate. The load is less than 2750kN, and it is difficult to press the ϕ 500mm pipe pile into the strongly weathered layer of the red layer fracture zone.

Keywords

red beds; pile foundation investigation and design; engineering geology

中国中山市横栏镇红层破碎带区域勘察设计分析

董鹏飞

广东省地质局第十地质大队（广东省中山地质灾害应急抢险技术中心），中国·广东 中山 528400

摘要

受西江断裂影响，场内红层根据砾石含量、胶结物成分等因素，岩性和风化程度随深度变化有较大差异和不规律性，给勘察设计带来较大困难，可根据现场实际情况，依据其力学性质将红层简化归类。广东省标准DBJ 15-31—2016《建筑地基基础设计规范》（下文简称省标）是广东省勘察设计重要依据之一，其在中山市横栏镇红层破碎带区域钻孔灌注桩设计参数有一定局限性，嵌岩桩基岩层上部存在中风化夹层时，其侧阻力根据岩性可取强风化对应范围中较大值。红层风化程度划分根据岩性为主标准贯入试验（下文简称标贯试验）为辅更准确，荷载小于2750kN， ϕ 500mm管桩难以压入红层破碎带强风化层。

关键词

红层；桩基础勘察设计；工程地质

1 引言

根据“中山市多要素三维城市地质调查”资料，西江断裂^[1]（F201）在中山市范围内北西起古镇镇、向南西经横栏镇、板芙镇、过神湾镇，继续向南西延出图外，在市域范围内延伸长约47km。它大体上由东西两支平行的主干断裂组成，总体走向为北西330°左右，中山市域范围内主要分布东支，全部没于第四系之下，为隐伏断裂，倾向南西，倾角60°~80°，宽度5~30m不等，为中山市域范围内一级

断裂，如图1所示。

受西江断裂影响，根据详细勘察（下文简称详勘）资料，红层^[2]根据砾石含量、胶结物成分等因素，岩性、力学性质随深度变化差异较大，基岩层呈强~中风化交替状，且拟建设构筑物（筒仓）上部荷载较高，桩基类型和桩端持力层的选择、桩基设计是工程难点。

红层野外风化程度鉴定时，在确保取芯率的情况下，风化层界面划分根据现场岩芯岩性划分更准确，倒班宿舍楼建设时拟采用管桩，野外分层时，以标贯试验^[3]为辅岩芯岩性划分为主，准确评估了岩层风化界限，为后续管桩施工提供了较准确地质资料。

现根据项目实际内容，针对基岩层对上述问题进行阐述。

【作者简介】董鹏飞（1987-），男，中国河南新乡人，本科，工程师，从事工程地质、水文地质研究。

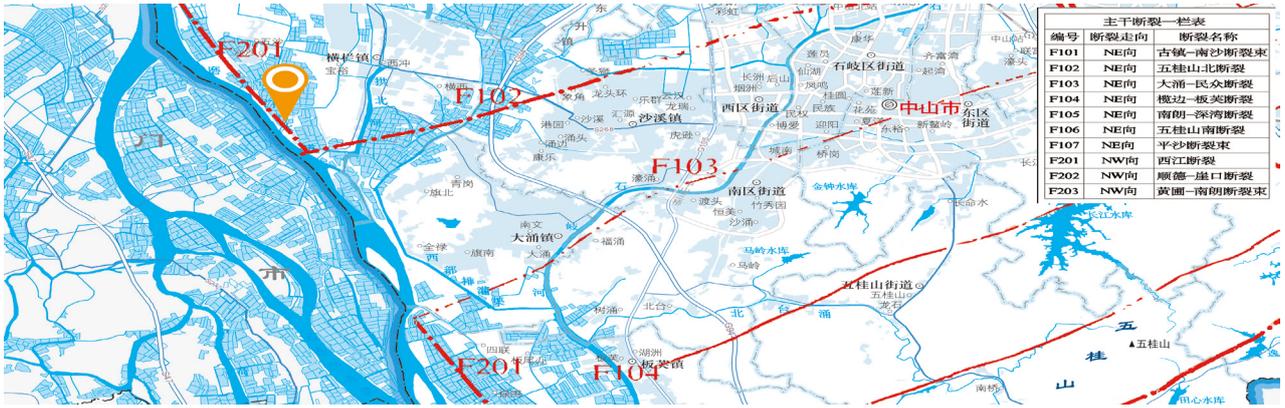


图 1 中山市地质构造图 (局部)

2 工程概况

中山市横栏镇宝裕村指南水闸东边场地直属库二期工程扩建,拟建设大直径筒仓 5 座及其附属设施、机修器材库和宿舍楼,构筑物特征详见表 1。

根据详勘资料显示,场内揭露泥质粉砂岩、砂质泥岩、泥质砂岩、含砾砂岩、砂砾岩、砂岩等,如每层都按照实际

岩性划分地层,虽更切合实际但会造成勘察取样不足引起设计参数取值不能科学统计等问题,为简化流程根据岩层力学性质和岩性将场内基岩归类为粉砂质泥岩和含砾砂岩,筒仓基础形式采用钻孔灌注桩,以中风化层为持力层,属嵌岩桩,嵌岩深度根据实际地层确定。机修器材库和宿舍楼采用静压管桩。

表 1 构筑物特征表

名称	计容面积 m ²	建筑层数	建筑高度 m	开挖深度 m	荷载条件 kN	基础形式
大直径筒仓	24078.98	3F	59.3	3.5	单柱下 12600	旋挖灌注桩
提升塔	2082.56	13F	71.4	4.0~7.5	单柱下 9000	旋挖灌注桩
卸粮坑	1206.99	3F	22.3	2.0~7.5	单柱下 4000	旋挖灌注桩
机修器材库	2565.76	2F	16.5	4.2	单柱下 2000	静压管桩
宿舍楼	1689.00	4F	16.65	1.0	4000	静压管桩

3 区域地层信息

根据中山市多要素三维地质调查资料基岩地质图显示,勘察场地属于白垩纪下白垩统百足山组 (K_1b),见图 2。

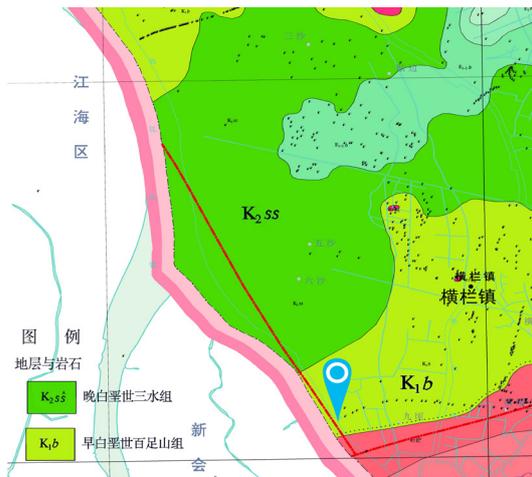


图 2 中山市基岩地质图 (局部)

4 场内地层信息

岩层揭露有白垩纪 (K_1b) 全~中风化带。其中含砾砂岩中粗砂含砾结构,薄~厚层状构造,铁质、钙质胶结,砾石成分以花岗岩、砂岩和硅质岩为主,粒径大小不一;砂质泥岩泥质结构,薄~厚层状构造,泥质胶结为主。基岩层揭露地层归纳分类见表 2。

表 2 地层分布表

时代	层号	岩土名称
K_1b	3-2	强风化含砾砂岩
K_1b	3-3	中风化含砾砂岩
K_1b	4-1	全风化砂质泥岩
K_1b	4-2	强风化砂质泥岩
K_1b	4-3	中风化砂质泥岩

根据详勘归纳后地层信息,取场内经典剖面图(图 3),基岩层呈交互状,类层状分布,强~中风化交替出现,厚度、岩性差异较大。

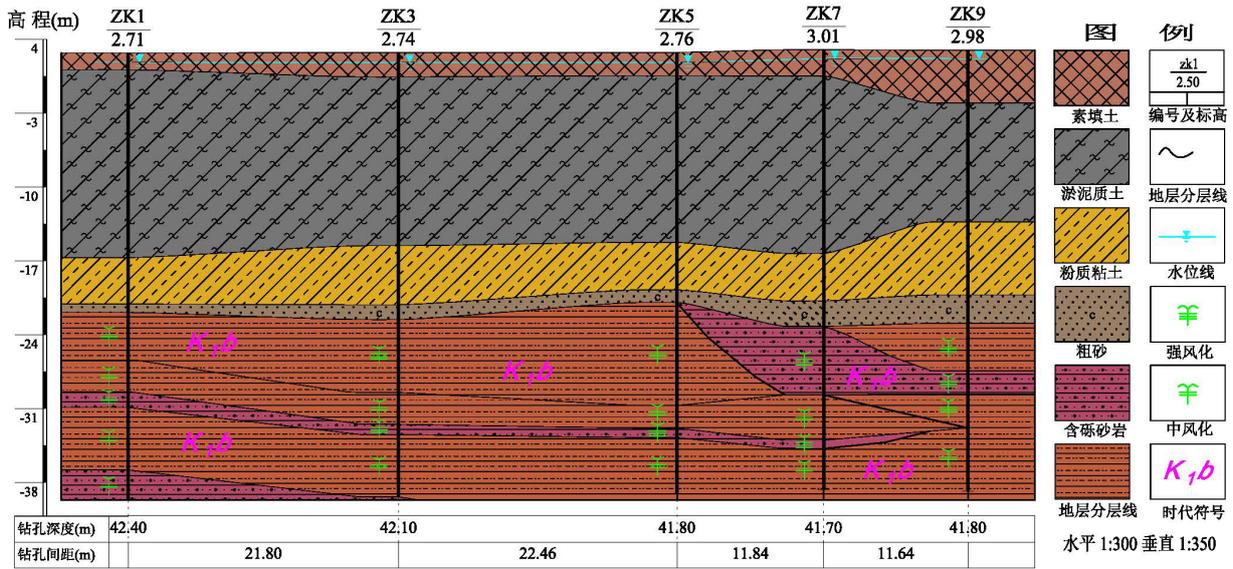


图 3 地层经典剖面图

5 灌注桩基岩层设计参数

论文主要阐述岩层设计参数，故土层侧阻、端阻和负摩阻参数论文不作讨论。取详细勘察和施工勘察参数对比。

详勘过程中取岩样 15 件进行天然抗压强度试验。其中包含中风化含砾砂岩 6 件，中风化砂质泥岩 9 件。后期对 5 号筒仓补充勘察时取中风化砂质泥岩 16 件。

采用省标第 4.6.2 条进行统计，结果见表 3，按照规范要求岩土参数分析方法进行统计，计算公式如下：

$$\delta = \frac{\sigma_f}{f_m}$$

$$f_m = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n}$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \varphi_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \varphi_i)^2}{n}}$$

表 3 岩石抗压强度成果统计表

岩石名称	阶段	单位	统计数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	修正系数	标准值
含砾砂岩	详勘	MPa	6	10.3	13.6	11.62	1.21	0.1	0.91	10.62
砂质泥岩	详勘	MPa	9	5.4	9.1	7.21	1.27	0.18	0.89	6.42
砂质泥岩	补勘	MPa	16	5.09	9.88	7.27	1.77	0.24	0.89	6.48

根据表 4 内容显示，详勘和施工勘察两套参数对比，详勘嵌岩层上部中风化桩侧阻力 q_{sa} 取值为强风化层取值范围较大值和最大值；施工勘察报告在中风化桩侧阻力 q_{sa} 和强风化桩端阻力取值大于省标最大取值范围，中风化砂质泥岩侧阻力甚至接近两倍。

6 桩基设计

本次设计桩基设计包含嵌岩桩和摩擦端承桩两类，单

$$\gamma_s = 1 \pm \left\{ \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right\} \delta$$

$$\varphi_k = \gamma_s \varphi_m$$

式中： δ ——岩土参数变异系数；
 f_m ——岩土参数平均值；
 φ_i ——岩土参数指标数据；
 σ_f ——岩土参数标准差；
 γ_s ——岩土参数统计修正系数；
 φ_k ——岩土参数标准值。

由表 3 可知，详勘统计结果中风化含砾砂岩抗压强度标准值取 10.6MPa，中风化砂质泥岩抗压强度标准值取 6.4MPa。详勘与施工勘察报告岩层参数选取对比见表 4，可根据表 3 层号对比地层，表中侧阻与端阻均为特征值，岩石抗压强度为标准值，省标均按软质岩取值。施工勘察报告中只列出了砂质泥岩的标准值， $f_{is}=f_{ip}=6.34\text{MPa}$ 。砂质泥岩天然抗压强度标准值两组参数是相近的。

桩竖向承载力特征值按省标要求计算，其中嵌岩层以上中风化按相应强风化层计算侧阻力，嵌岩桩计算公式如下：

$$R_a = R_{sa} + R_{ra} + R_{pa}$$

$$R_{sa} = u \sum q_{sia} l_i$$

$$R_{ra} = u_p C_2 f_{rs} h_r$$

$$R_{pa} = C_1 f_{rp} A_p$$

摩擦端承桩计算公式如下：

$$R_a = R_{sa} + R_{pa}$$

$$R_{sa} = u \sum q_{sia} l_i$$

$$R_{pa} = q_{pa} A_p$$

式中： R_{sa} ——桩侧土总摩阻力特征值；
 R_{ra} ——桩侧岩总摩阻力特征值；
 R_{pa} ——持力岩层总端阻力特征值；
 u_p ——桩嵌岩段截面周长；

h_r ——嵌岩深度；
 A_p ——桩截面积，对扩底桩取扩大头直径计算桩截面积；
 f_{rs} ——桩侧岩层的岩样天然湿度单轴抗压强度；
 f_{rp} ——桩端岩层的岩样天然湿度单轴抗压强度；
 C ——系数，根据持力层基岩完整程度及沉渣厚度等因素而定（嵌岩桩本次设计 C_1 取值 0.42， C_2 取值 0.05）；
 q_{ra} ——桩侧阻力特征值。
 q_{pa} ——桩端阻力特征值。
 A 筒仓外围桩径 $\phi 1200\text{mm}$ 和内部桩径 $\phi 1400\text{mm}$ ，桩基布置见图 4。

表 4 钻孔桩基础设计岩土参数表

层号	省标取值范围 (kPa)	详勘桩侧摩阻力 (kPa)	施工勘察桩侧摩阻力 (kPa)	省标桩端阻力 q_{pa} (kPa)	详勘桩端阻力 q_{pa} (kPa)	施工勘察桩端阻力 q_{pa} (kPa)	天然单轴抗压强度 (MPa)	
				桩入土深度 (m)	桩入土深度 (m)	桩入土深度 (m)	f_{rs}	f_{rp}
	q_{sa}	q_{sa}	q_{sa}	$L > 15$	$L > 15$	$L > 15$		
3-2	70~90	80	80	800~1200	1200	1800	-	-
3-3	—	90	160	—	—	—	10.6	10.6
4-1	40~50	50	50	600~900	700	—	—	—
4-2	70~90	75	80	800~1200	1000	1800	—	—
4-3	—	85	160	—	—	—	6.4	6.4

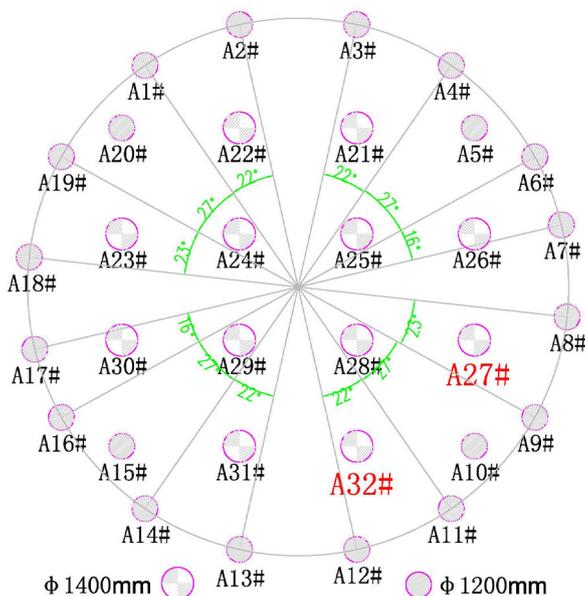


图 4 筒仓桩基布置平面图

以施工勘察参数设计桩长为 A 号筒仓基础，其中 A32 号桩最具有代表性，根据施工勘察资料，A32 桩长最短，且以强风化含砾砂岩作为持力层，以摩擦端承桩计算单桩承载力，A27 以嵌岩桩计算单桩承载力特征值。忽略负摩阻力^[4]，其中两套设计参数计算单桩竖向承载力 R_a 及单桩竖向静载试验统计参数见表 5。

根据上述内容，按省标设计参数计算结果小于设计值，

但静载试验仍满足条件，省标钻孔灌注桩设计参数在红层破碎带应用时数值偏保守。

图 5、图 6 的 $Q-s$ 曲线显示，试验灌注桩随荷载增加沉降逐步增加，最后达到最大荷载 25000kN，曲线无明显陡降，呈缓变型。 $s-lgt$ 曲线显示，沉降在各级荷载作用下虽稳定时间有差别但均达到稳定状态。

A27、A32 静载试验成果 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 曲线^[5]见图 5、图 6。

表5 单桩竖向承载力值与单桩竖向静载试验统计表

桩号	桩长	设计值	阶段		单桩竖向静载试验统计				
			详细勘察	施工勘察	最大荷载	最大沉降	累计沉降	最大回弹量	回弹率
单位	m	kN	kN	kN	kN	mm	mm	mm	%
A27	46.7	12600	12041.1	12358.7	25000	12.58	1.55	11.03	87.68
A32	41.0	12600	10751.5	12268.8	25000	13.65	1.85	11.80	86.45

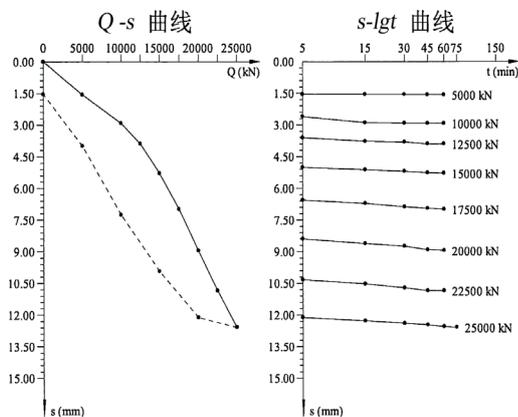


图5 A27 Q-s、s-lgt折线图

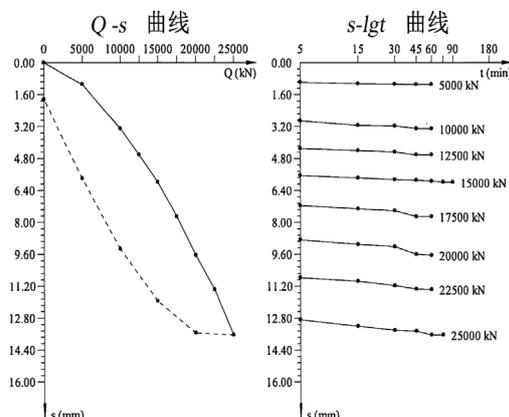


图6 A32 Q-s、s-lgt折线图

7 野外鉴定岩层分界线

标准贯入试验受钻杆直径^[6]、试验深度^[7]、地层因素、钻杆斜度等影响，由于红层风化程度不均匀性，通常全风化中局部亦含有碎岩，标贯实验击数亦能达到强风化标准^[8]，但整体看只是一段（岩芯长度小于50cm）达到强风化要求，故通过标贯实验来准确划分岩层分界面是较难的。

全风化和强风化主要标准通过划分层位岩芯中含碎岩为强风化，包括土夹岩状、土半岩半土状、碎岩状，岩性硬

度包括手折可断、锤击易碎，否则为全风化。此方法可较准确评估地层，为后续管桩施工提供依据。

以倒班宿舍楼为例，基础布置15个承台，52根AB型PHC管桩，φ500mm，壁厚100mm，考虑群桩效应影响，故取各个承台桩基平均深度，根据钻孔平均标高得出宿舍楼地面平均标高约2.84m，现场挖底平均深度约1m。宿舍楼外边线地质展示图与各承台桩基平均深度在展示图上的投影见图7。

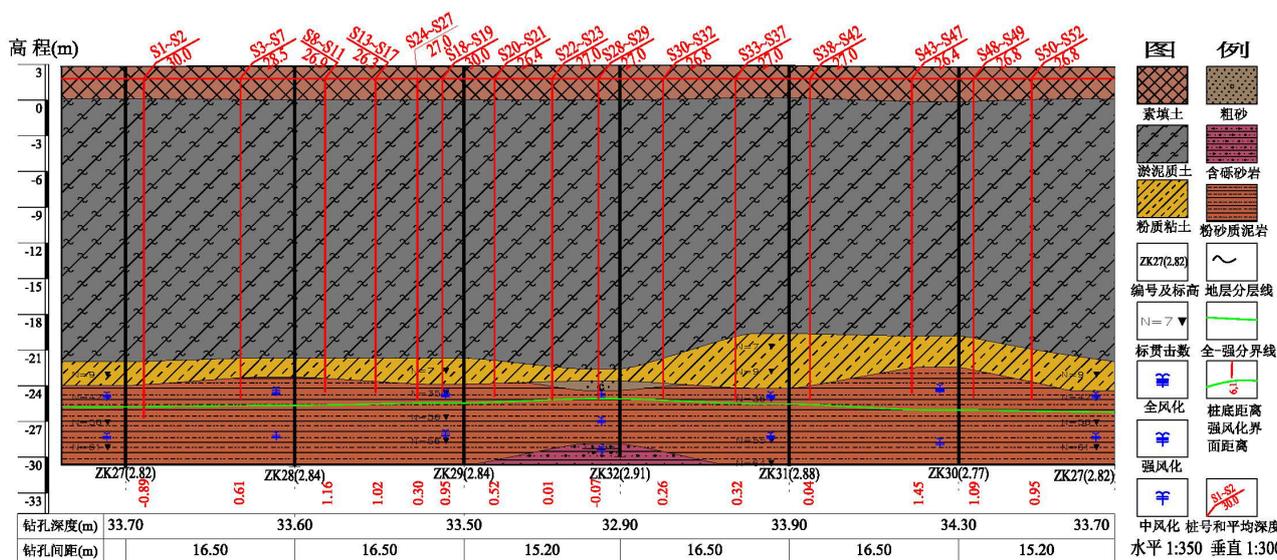


图7 单承台下平均桩长在宿舍楼边线地质展示图上投影

原设计定义桩端入强风化砂质泥岩层 2.5m, 单桩竖向承载力特征值 1150kN, 后试桩期间发现难以压入强风化层, 仅 1# 承台 S1、S2 号桩 (第一次试验桩) 入强风化层平均深度 0.89m, 9# 承台入强风化层平均深度 7cm, 考虑各项误差, 可忽略不计, 可认为持力层为全风化砂质泥岩层。后抽检 3 根桩做单桩竖向静载试验检测, 均满足设计要求, 具体

数据见表 6。

桩 S1、S29、S33 的 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 曲线图分别见图 8、图 9 和图 10。

图 8~10 显示, 试验管桩 $Q-s$ 曲线特征与图 5~6 结论相似, 可见荷载要求小于 2750kN 管桩难压入强化风化层破碎带, 全风化带可满足设计要求荷载。

表 6 宿舍楼静载试验管桩统计表

承台编号	桩长平均值 m	与强风化面距离 m	桩号	桩长 m	单桩竖向静载试验统计				
					最大荷载 kN	最大沉降 mm	累计沉降 mm	最大回弹量 mm	回弹率 %
1#	30.00	-0.89	S1	27.5	2750	13.97	2.82	11.15	79.81
9#	27.00	-0.07	S29	27.0	2750	14.71	1.32	13.39	91.03
11#	27.00	0.32	S33	27.0	2750	13.07	2.35	10.72	82.02

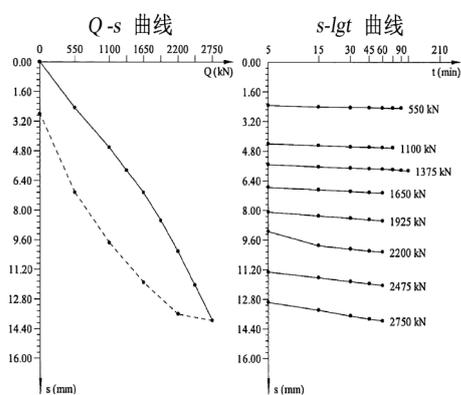


图 8 S1 的 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 折线图

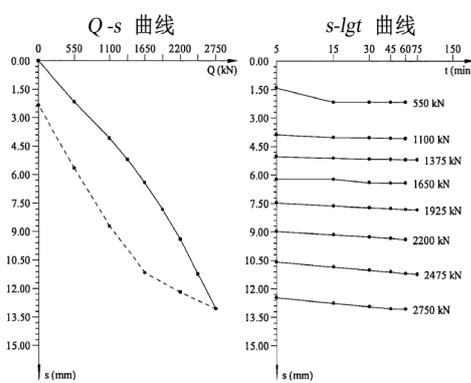


图 9 S29 的 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 折线图

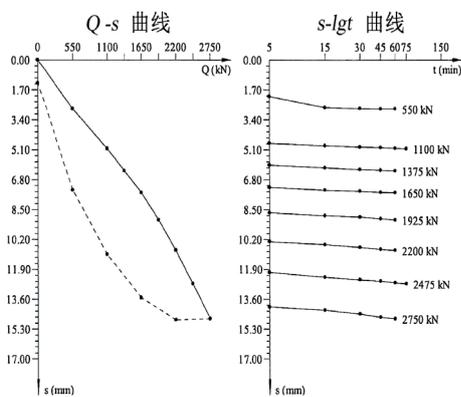


图 10 S33 的 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 折线图

8 结语

①红层在构造断裂处地层破碎复杂, 将地层归纳分析可有效简化勘察设计工作。

②设计过程中风化层层只需计算侧阻力时可取对应强风化中较大值, 依据省标规范在红层中设计灌注桩基础, 其端阻力和侧阻力有一定局限性。

③断裂处红层依据是否含岩定义风化程度为主, 标贯试验为辅更加准确; 荷载小于 2750kN, $\phi 500\text{mm}$ 管桩难以压入强风化红层破碎带。

参考文献

- [1] 卢帮华, 王萍, 王慧颖, 等. 珠江三角洲西缘西江断裂鹤山-磨刀门段的活动性[J]. 地震地质, 2020, 42(6): 15.
- [2] 彭华, 潘志新, 闫罗彬, 等. 国内外红层与丹霞地貌研究述评[J]. 地理学报, 2013, 68(9): 1170-1181.
- [3] 沈小克, 蔡正银, 蔡国军. 原位测试技术与工程勘察应用[J]. 土木工程, 2016, 49(2): 98-120.
- [4] 谷川, 杨益挺, 秦伟, 等. 不同初始固结度欠固结软土中单桩负摩阻力模型试验研究[J/OL]. 岩石力学与工程学报, 1-14[2024-08-31].
- [5] 施胜挺, 李俊才, 陆忠, 等. 管桩水泥土复合基桩抗拔荷载传递规律试验研究[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2017, 39(6): 124-129+142.
- [6] 聂庆科, 贾向新, 秦禄盛, 等. 钻杆直径对标准贯入试验N值影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(S1): 53-58.
- [7] 陈龙伟, 陈童, 王云龙, 等. 标准贯入试验锤击贯入能量测试与分析[J]. 工程地质学报, 2023, 31(5): 1757-1766.
- [8] DBJ 15-31—2016 建筑地基基础设计规范[S].