

DOI: 10.11779/CJGE2014S2036

滨海砂层地基锚管索基坑支护

陈少平¹, 冯 诚², 陈文华²

(1. 武汉地质勘察基础工程有限公司, 湖北 武汉 430072; 2. 武汉地质勘察基础工程有限公司珠海分公司, 广东 珠海 519075)

摘要: 本工程位处城市商业中心, 基坑地基土层为强透水砂层且与海水连通, 场地用地窄小, 周边环境紧张。本文针对滨海深厚砂层地基超深基坑开挖, 主要从控制变形和有效防水保证基坑开挖的顺利进行。中心城区紧邻的桩基础建筑附加荷载采用分层摩阻力计算方法, 将桩基摩阻力换算成分层附加荷载。支护结构采用桩锚形式, 锚管索成功用于海积砂层基坑支护, 成锚过程中对地基扰动较小, 施工简便其质量可靠。

关键词: 滨海深厚砂层; 桩基附加荷载; 锚管索

中图分类号: TU470 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2014)S2-0216-06

作者简介: 陈少平(1961-), 男, 硕士, 主要从事地质灾害、深基坑等岩土力学研究方面的工作。E-mail: csp61@126.com。

Anchor pipe support for excavations in coastal sand foundation

CHEN Shao-ping¹, FENG Cheng², CHEN Wen-hua²

(1. Wuhan Geological Survey Basic Engineering Co., Ltd., Wuhan 430072, China; 2. Wuhan Geological Survey Basic Engineering Co., Ltd., Zhuhai Branch, Zhuhai 519075, China)

Abstract: The project is located in the business centre of the city. The soil of foundation pit is strongly permeable sand layer and connected with the seawater. The field land is narrow, and the surroundings are nervous. The ultra-deep excavation requires to control the deformation and effective waterproof in coastal deep sand foundation. The additional load near the pile foundation constructed in the city center is calculated using the method of stratified frictional resistance. The frictional resistance of the pile is translated into the layered additional load. The supporting structure using pile anchor type and anchor pipe is used successfully in alluvial sand excavations. The construction process is simple and the quality is reliable, and the disturbance is small.

Key words: coastal deep sand; pile additional load; anchor pipe

1 工程概况

拟建工程位于珠海市中心城区的海燕路与凤凰路侧, 东距海边约百米。拟建建筑高 80 m, 框架剪力墙结构, 管桩及钻孔桩基础, 设地下室三层, 普挖深度 15.7 m, 电梯井深度 18.2 m, 基坑呈不规则正方形, 边长约 100 m, 基坑周长 440 m。

场地用地窄小, 北距扬名商业广场 5.5 m, 该广场是珠海市商业中心之一, 为 6 层建筑, 基础类型为管桩基础; 南侧和西侧为城市干道, 其中西南侧为明珠酒店, 该酒店为八层, 基础为天然地基, 距基坑边 7 m; 东侧为住宅楼和在建工程。周边环境见图 1。

2 地基土层

场地近邻海边, 原始地貌为滨海砂积地貌, 沉积厚砂层, 并经过人工改造。上部为粗砾砂层, 厚度为 19 m, 滨海冲积形成, 表层覆盖吹填砂, 该层中下部

夹淤泥质土层。下部为花岗岩残积层, 砾质黏性土, 基底为燕山三期花岗岩。土层分布为: ①人工填土层: 为中粗砂, 灰黄色, 主要由石英质中粗砂吹填形成, 级配较好, 分选性差, 次棱角状, 顶部夹有少量碎石、砼块和砖块等建筑垃圾, 很湿—饱和、松散。②海陆交互沉积, ②-1 砾砂层: 褐黄色, 主要由石英砂砾和少量贝壳碎片组成, 级配较差, 局部较好, 饱和稍密。②-2 淤泥质土层: 深灰色, 具腐臭味且污手, 含有少量石英砂粒, 钻芯呈泥柱状, 光滑且韧性中等, 无摇震反应, 饱和流塑状。主要分布于靠海一侧, 凤凰路侧尖灭。②-3 砾砂层: 土黄、灰黄色, 局部灰白色, 主要为石英砾砂, 含少量黏土, 次棱角状, 饱和中密。③残积层: 为砾质黏性土, 呈褐红色及灰白色, 为花岗岩残积土, 饱和可硬塑状。④燕山三期花岗岩风化层。④-1 全风化花岗岩: 褐红、棕黑及灰白色,

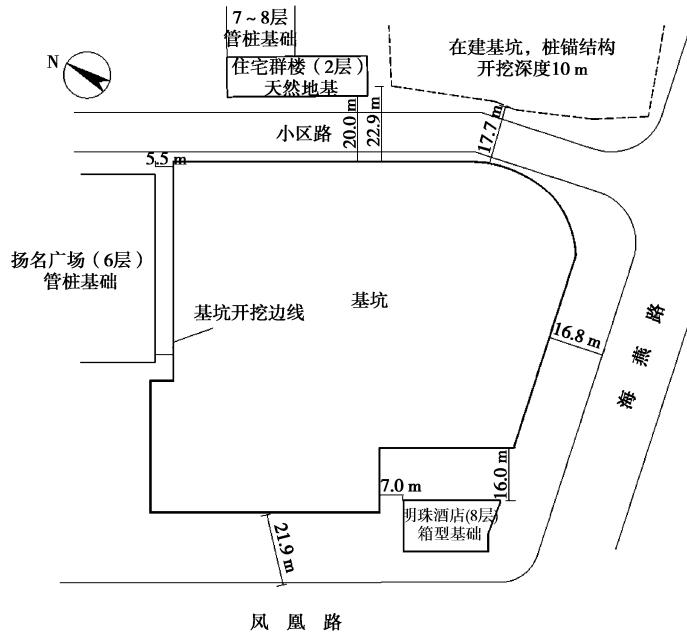


图 1 基坑周边环境图

Fig. 1 Surrounding environment of excavation

表 1 岩土层物理力学指标

Table 1 Physical and mechanical parameters of soils

岩土层 编号	岩土 名称	厚度 /m	重度 $\gamma /(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	含水率 w/%	压缩模量 E_{S1-2}/MPa	直剪试验	
						黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\phi/^\circ$
①	人工吹填砂	8.9	19.5	—	—	—	32.7
②-1	砾砂	5.0	19.6	—	—	—	37.8
②-2	淤泥质土	2.9	17.2	42.0	2.4	11.7	15.6
②-3	砾砂	2.0	19.6	—	10.4	—	32.0
③	砾质黏性土	12.0	18.2	26.5	6.5	24.0	23.0
④-1	全风化花岗岩	25.0	18.5	23.5	—	22.2	43.7

主要为黏性土和石英砾砂, 石英砾含量约 25%~30%; 很湿—饱和。④-2 强风化花岗岩: 棕黑及灰白色, 岩芯呈半岩半土状, 花岗结构清晰, 原岩中长石多风化成碎屑状, 主要为黏性土、石英砾砂和长石碎屑。

场地砾砂层强透水性, 属富含水强透水地层, 地下水与海水有水力联系, 地下水位随海水潮汐而变化, 水位埋深 1.0~1.9 m。各土层的岩土物理力学参数见表 1。

3 基坑支护

3.1 方案选择

工程位处城市商业中心, 周边紧邻建构筑物, 基坑地基土层为强透水砂层且与海水连通, 控制地下水保护周边建构筑物尤其重要。

地下水控制采取桩间旋喷, 桩间净距为 200 mm, 采用双管旋喷, 对桩和旋喷的质量管控提出严格要求。由于完全隔断了含水层补给, 基坑内没有设置降水井。

针对基坑紧邻重要建构筑物的特点, 横向结构的首选应是支撑, 采用多道水平支撑结构能有效的控制变形, 保证基坑的安全。但业主和总承包方拒绝支撑方案, 其一是基坑开挖到底后再进行桩基础施工, 支

撑方案不能提供基础施工操作空间; 其二是地下室特殊的结构致使换撑困难, 只能选择锚固型式, 基坑平面布置见图 2, 剖面见图 3。

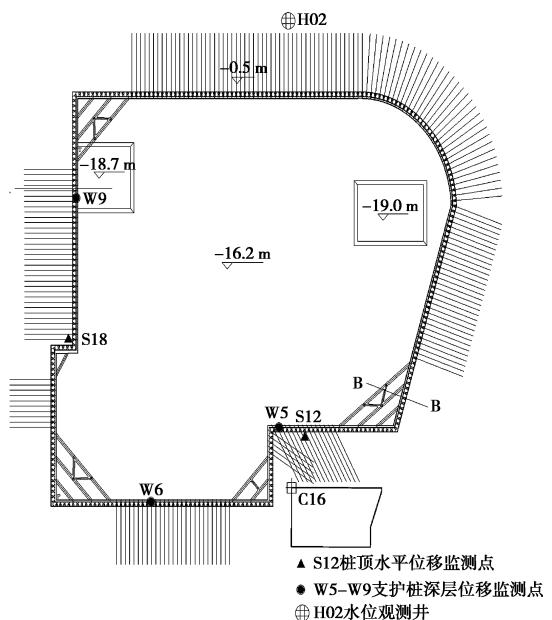


图 2 基坑平面布置图

Fig. 2 Floorplan of excavation

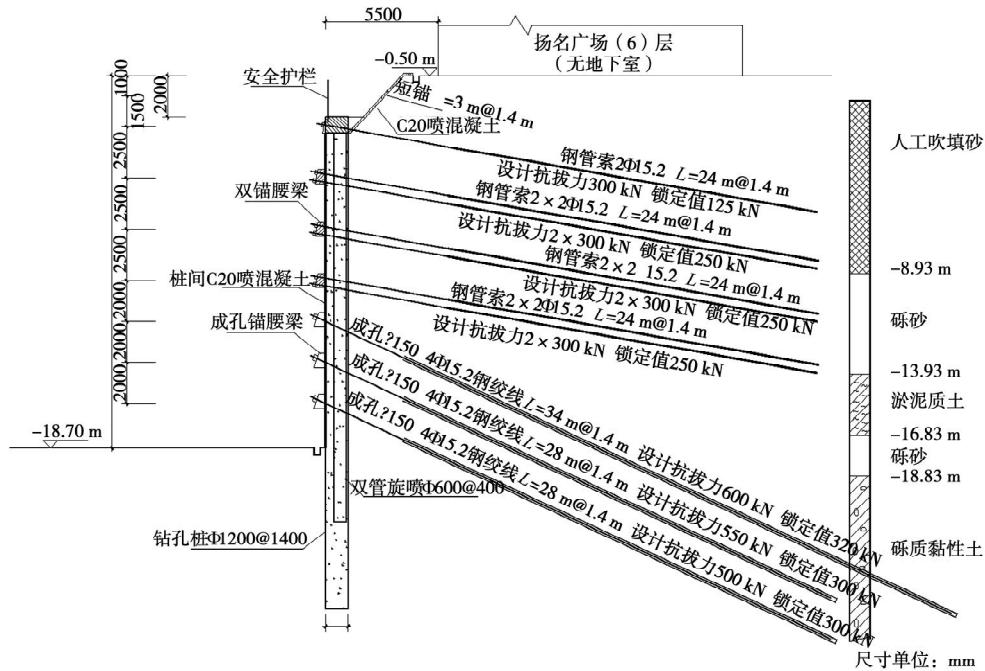


图 3 A-A 剖面图

Fig. 3 A-A cross section

3.2 紧邻建筑桩基础附加荷载

紧邻建筑有北侧的扬名广场和西南侧的明珠酒店，分别为桩基础和天然地基。天然地基附加荷载采用基础底附加应力，由于该建筑物为深埋的箱型基础，其附加应力采用荷载分项系数为零的基础荷载。

扬名广场距基坑仅 5.5 m，为预应力管桩基础，桩基础的附加荷载计算尚没有规定的方法，对于端承桩来说，由于建筑物荷载由桩端承载，可以不考虑建筑物及桩的附加荷载，按天然地层分层计算主动侧压力。

由于扬名广场基础为摩擦型管桩，针对此类桩型提出分层摩擦力附加荷载计算方法，该计算方法是将桩的摩阻力分层计算，将桩的摩擦力折算成分层等效附加应力，此应力作用于基坑支护结构，其计算模式见图 4。

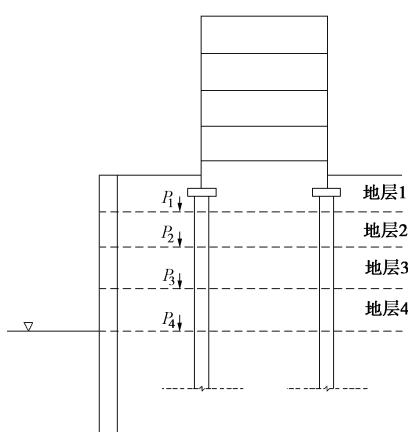


图 4 桩基础条件下附加应力计算模式

Fig. 4 Calculation of additional stress of pile foundation

首先计算出各地层的等效摩阻力 P_n ，此摩阻力为建筑桩基础承受摩阻力，而非设计摩阻力，同时将此力简化为作用于各层位的中点，这样无论是软件计算还是手算，均可方便地计算出桩摩阻力产生的主动侧压力，基坑开挖面以下的桩基附加荷载可以不予考虑。桩基附加应力为各分层摩阻力之和，以此计算桩基产生的附加主动侧压力。

3.3 基坑支护方案

支护桩及桩间止水：支护桩直径为 $\Phi 1200$ mm，桩间距为 1400 mm，桩端嵌固深度 8~12 mm，桩间设旋喷止水桩，双管旋喷直径为 $\Phi 850$ mm，止水桩必须穿过富水砂层进入砾质黏性土不少于 2 m。

锚固工程：采用 6, 7 层预应力锚索，砂层中采用锚管索，锚索长均为 24 m，黏砂土层中采用成孔锚索，锚索倾角 $10^\circ \sim 30^\circ$ ，腰梁均为钢筋砼梁。

角部支撑：基坑角部采用混凝土支撑，设置四层砼支撑，共有五处角部支撑，对于大于 90° 的角部支撑应力进行调整，围檩与支护桩均采用植筋并辅以提拉吊筋。

4 锚管索

紧邻建筑物的深厚砂层如何成锚，并对地基和建筑影响更小，此工程锚索采用专利技术——锚管索方法（见图 5）。

该方法无需成孔，用专用的钻具将锚管索一并钻入指定的深度，并进行后压浆，由于不需要成孔，减

少了对地层的扰动, 在本场地地下水位较高, 水头压力较大的环境下, 成锚过程中没有出现漏水涌砂, 也没有坍孔, 在建筑物基础下亦可顺利完成锚索施工。

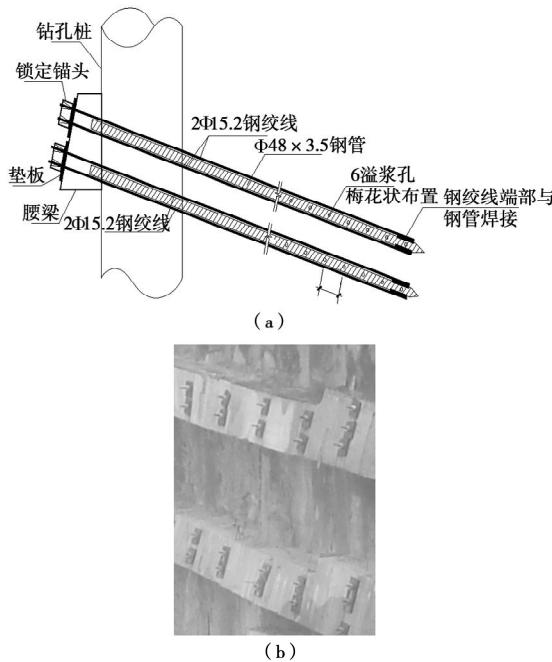


图 5 砂层锚管索结构图及照片

Fig. 5 Structural drawing and photo of anchor in sand

后压浆在锚管内多次重复进行, 实体试验表明, 开挖后锚固段形成多个扩大头, 锚固体的实际尺寸远大于设计直径, 能提供更大的锚固力, 逐根张拉结果表明锁定时在设计最大抗拔荷载作用下索体位移量值较小。

锚管索方法成功解决了深厚砂层成孔困难, 对地层扰动大的难题, 在地下水头较高, 地下水处于潮汐变动的特殊环境下也形成较高质量的锚索。

5 支护施工及应急处理

(1) 为减小支护桩施工定位误差, 施工前将场地

整平, 桩位采用厚 20 cm, 宽 2.0 m 的混凝土沿桩位制成孔模以固定孔位, 使施工时钻头对位准确, 不易发生偏孔, 后续旋喷止水施工能准确定位。

(2) 旋喷止水桩施工前在砂层中进行多参数试喷, 并挖开测量桩体直径, 旋喷桩的有效直径为 850 mm。旋喷桩采用实时定位法, 即为了消除钻孔施工误差引起与旋喷桩不能咬合的情况, 旋喷桩以实挖钻孔桩头为依据进行定位, 确保与支护桩咬合止水。

(3) 对非成孔锚管索试验 2 根, 长度为 24 m, 在同一处采用钢管带两索钢绞线, 注入水泥浆, 水泥用量分别为 15, 30 kg/m。进行破坏性试拉: 测得抗拔力极限值为 360, 480 kN, 后者满足设计要求 ($480 \text{ kN} > 300 \text{ kN} \times 1.25 \times 1.1 = 412.5 \text{ kN}$), 实际施工中锚索注浆量均大于 30 kg/m。每根锚索都按要求张拉到设计值的 1.05 倍后再锁定到设计预应力值, 渗水会逐渐增加, 未达到的采取补锚措施。

(4) 关于锚头渗水的封堵: 施工时锚孔有清水流出, 砂量极少, 锚索注浆后锚孔停止渗水, 但当锚索张拉后局部锚孔周围又出现了渗水, 有的渗水量较大, 经分析认为是张拉时端部注浆固结体拉裂产生的渗水, 由于水压较大, 渗水会逐渐增加。在后续锚索施工中增加了锚头补浆, 通过张拉后补注水泥浆, 大部分锚头渗水能有效封堵。

(5) 基坑开挖后止水效果较好, 局部因止水桩偏差或施工质量原因出现桩间渗水, 一般采用局部回填后在渗漏点坑顶和渗漏点桩间打花管注浆封堵。

(6) 北侧的扬名广场和西南侧的明珠酒店分别为管桩及天然箱型基础, 该段锚索施工时常遇到桩及地下障碍, 处理方法是采用补锚加宽腰梁或增加一排锚和腰梁的方法来弥补, 补锚后的锚索见图 6, 图中的短梁及部分加宽梁的锚索为修改增补锚索。



图 6 基坑西侧坑壁

Fig. 6 Pit wall at west side of excavation

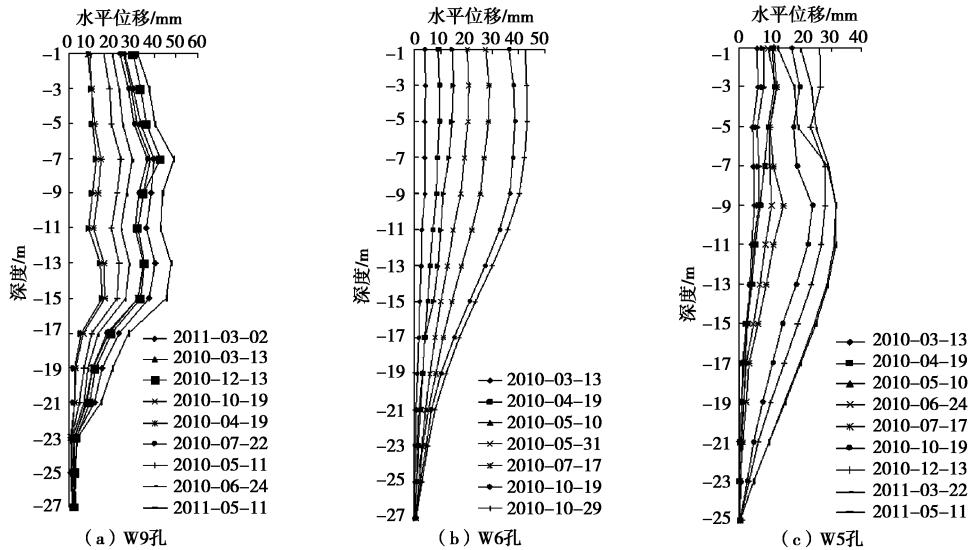


图 7 W9、W6、W5 孔深层水平位移曲线

Fig. 7 Horizontal displacement curves of holes W9, W6 and W5

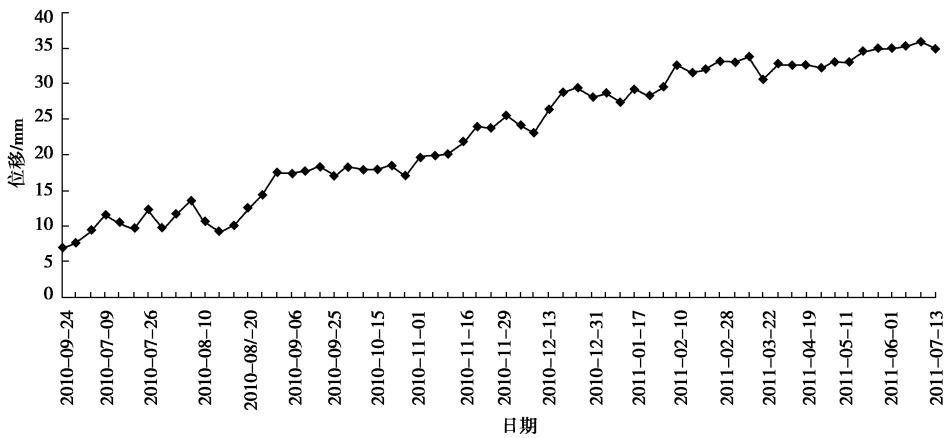


图 8 S12 点桩顶水平位移曲线

Fig. 8 Horizontal displacement curve at pile top at point S12

水平位移及桩顶水平位移的实测曲线见图 7、8。

6 基坑监测

基坑监测项目：桩顶水平位移监测及房屋道路沉降位移监测，深层水平位移监测，支护桩钢筋应力及角撑梁钢筋应力监测，锚索轴向拉力监测，地下水位观测等。

基坑自 2009 年底开始土方开挖至 2011 年 5 月开挖至坑底，监测次数 120 期，支护桩顶最大水平位移为 53.9 mm (S[#]18)，超过允许值 3.9 mm，深层水平位移最大值为 50.73 mm(W[#]9 号孔)，超过报警值 5.73 mm，H2 号水位监测孔水位累计下降 7.046 m，超过允许水位降深 1.046 m。锚索轴向拉力最大值为 370.1 kN，未达到到报警值（设计值的 75%）；桩钢筋最大拉力为 105.3 kN 及支撑梁混凝土最大压应力 4.3 MPa 亦均未达到报警值（设计值 14.3 MPa 的 75%）。深层

7 结 论

(1) 滨海深厚砂层采用锚管索方法，能减少对紧邻建筑地基的扰动，在地下水位高及地下水潮汐变动带亦可顺利成锚。

(2) 紧邻基坑的建筑桩基，采用分层摩擦力附加荷载计算，将桩的摩阻力折算成分层等效附加应力，计算摩擦桩基对基坑附加主动土压力。

参考文献：

- [1] 肖武权, 冷伍明. 深基坑支护机构设计的优化方法[J]. 岩土力学, 2007, 28(6): 1202 – 1211. (XIAO Wu-quan, LENG Wu-ming. Optimization method of deep foundation pit supporting mechanism design[J]. Rock and Soil Mechanics,

- 2007, **28**(6): 1202 – 1211. (in Chinese))
- [2] 楼晓明, 洪毓康, 陈强华. 群桩基础地基中的竖向附加应力性状研究[J]. 岩土工程学报, 1996, **18**(4): 21 – 26. (LOU Xiao-ming, HONG Yukang, CHEN Qiang-hua. The vertical additional stress traits research on group pile foundation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1996, **18**(4): 21 – 26. (in Chinese))
- [3] 张旭辉. 锚管桩复合土钉支护稳定性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002. (ZHANG Xu-hui. Stability of channel-steel-piles composite soil nailing[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002. (in Chinese))
- [4] 张 健. 深基坑支护工程的应急处理[J]. 地基基础工程, 2004, **7**(8): 45 – 47. (ZHANG Jian. Emergency treatment of deep foundation pit engineering[J]. Foundation Engineering, 2004, **7**(8): 45 – 47. (in Chinese))
- [5] 陈 伟, 唐孟雄. 锚管支护的基坑监测分析[J]. 广州建筑, 1999: 13 – 16. (CHEN Wei, TANG Meng-xiong. Analysis of pile anchor supporting in foundation pit monitoring[J]. Guangzhou Building, 1999: 13 – 16. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)