

深圳汉国城市商业中心深基坑支护的设计与监测

莫 莉, 王贤能

(深圳市工勘岩土工程有限公司, 广东 深圳 518026)

摘要: 在深基坑工程中采用桩撑和锚结合的支护方法, 能较好地控制变形, 给桩基础提供施工空间, 还可以降低工程造价。以深圳汉国城市商业中心深基坑支护工程为例, 介绍了桩撑(含圆环内支撑)和锚结合设计的考虑因素, 结合监测数据分析了该支护方式下支护桩的变形规律、支撑的受力情况, 对内支撑特别是环撑内力的计算方法进行探讨。

关键词: 深基坑; 圆环内支撑; 设计; 监测

中图分类号: TU473 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2012)S0-0682-05

作者简介: 莫 莉(1975-), 女, 广东英德人, 硕士, 工程师。E-mail: njmomo@21cn.com。

Design and monitoring of bracings for deep excavation of Hanguo Commercial Center in Shenzhen

MO Li, WANG Xian-neng

(Shenzhen Gongkan Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518026, China)

Abstract: The combined method of piles and anchor cables is practicable in deep excavations. By using this method, the deformation can be controlled, the working space can be provided for pile foundation, and the project cost can be saved. Based on the excavation of Hanguo Commercial Center in Shenzhen, the factors for the combined method of piles and anchor cables are investigated. According to the monitoring data, the deformation rules of piles and the bearing force on bracings are analyzed. Further discussion and researches about calculating interior bracings especially the circular inner bracings are carried out.

Key words: deep excavation; circular inner bracing; design; monitoring

1 工程概况

深圳汉国城市商业中心位于深圳市福明路西侧, 深南大道与福明路十字路口西南角。地面以上75层, 地下5层(其中地下一层另含一夹层)。基坑开挖深度在20.3~23.6 m之间, 用地面积约7850 m²。

工程地处市中心区, 紧邻市政道路、地下管线和陈旧建筑, 周边环境复杂。基坑北侧到地铁的最小距离59.5 m, 南侧基坑边到采用大直径灌注桩基础的嘉汇新城最小距离19.3 m, 西南侧基坑边到采用沉管灌注桩基础的福田区人民医院老楼最小距离10.7 m, 西侧基坑边到采用大直径灌注桩基础的福田区人民医院住院大楼最小距离15.5 m, 四周距离地下管线及道路最小距离大多在3.0 m内。

2 工程地质条件

2.1 工程地质

场地原始地貌单元属冲洪积阶地, 后经人工改造原始地形业已改变。从上到下依次为:

①杂填土, 杂色, 一般上部主要由黏性土混较多碎石、砖块、砼块等建筑垃圾组成, 下部主要为黏性土混少量砂组成, 夹少量植物根系。未完成自重固结, 呈松散状。层厚1.50~7.80 m。

②₁淤泥质砂, 灰黑色, 砂为石英质, 以粗砾砂为主, 不均匀混25%~40%淤泥质土, 有臭味。松散, 局部稍密, 饱和。层厚0.50~3.60 m。

②₂粗砾砂, 灰白、灰黄色, 主要矿物为石英、长石等, 分选一般, 级配较好, 不均匀混较多黏性土, 局部夹黏性土透镜体, 偶见角砾及卵石。稍密, 饱和, 层厚0.50~5.30 m。

③砾质黏性土, 灰白、褐红、褐黄、紫红等色, 花岗岩风化残积而成, 含约15%~45%的石英颗粒, 黏性较差, 偶见全风化块及石英岩脉, 一般呈硬塑状, 少量可塑状, 湿, 层厚2.30~30.90 m。

④燕山晚期(γ 53)花岗岩。青灰、肉红色, 风化后为灰黄色, 粗粒结构、局部细粒结构, 块状构造,

主要由长石、石英、黑云母等矿物组成。根据岩石的风化程度本次勘察揭露其全、强、中、微风化四带。

2.2 水文地质

地下水主要赋存于人工填土、第四系地层及基岩裂隙中。场地内的地下水属潜水及基岩裂隙水类型, 受大气降水及地下径流补给, 水位变化因季节而异。勘察期间恰逢深圳地区百年一遇大降水, 期间测得地下水埋深介于 0.4~2.8 m。场地内的第四系冲洪积淤泥质砂土②₁及粗砾砂②₂为强透水性地层, 其他均为弱透水性地层。

3 基坑支护设计

3.1 支护结构设计^[1-2]

本工程含强透水层, 进行基坑开挖时应隔断地下水。围护结构一般采用灌注桩+止水帷幕和地下连续墙两种形式。地下连续墙造价相对较高, 大多采用二墙合一的形式, 不但要满足基坑支护安全要求, 还需考虑地下室外墙承受的荷载以及各楼层的标高。本工程在基坑设计阶段, 地下室设计尚未完成, 不满足二墙合一的要求, 因此选用旋挖灌注桩+止水帷幕的形式。旋挖灌注桩桩径为Φ1200@1600 mm, 止水帷幕采用Φ600 @1600 mm 单管旋喷桩。

初步设计阶段曾考虑采用内撑式排桩和锚拉式排桩相结合支护结构型式。基坑在西北角两侧设置内撑式排桩支护, 上部为两道钢筋混凝土角撑, 下部为两道预应力锚索, 一桩一锚, 锚索长度 19.0~22.0 m。基坑其余部位为锚拉式排桩, 一桩一锚, 锚索 5~6 道, 锚索长度 18~39.5 m, 平面布置图见图 1。

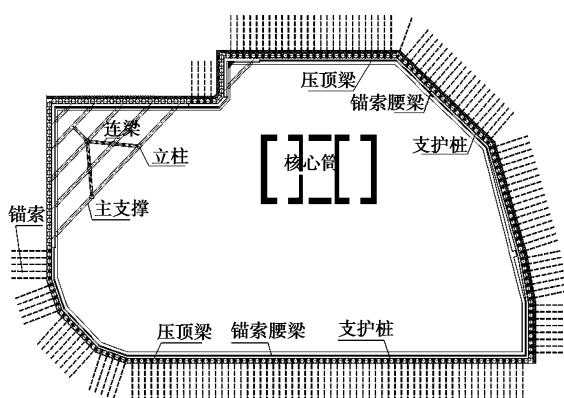


图 1 初步设计阶段平面布置

Fig. 1 Layout at preliminary design stage

基坑周边管线分布十分复杂, 邻近的交通要道及老建筑物对变形的反应敏感, 桩锚支护结构难以严格控制边坡土体位移, 因此采用刚度较大、能较好控制变形和保护周边环境的排桩加内支撑支护形式。目前, 钢筋混凝土内支撑常用的有正交支撑、圆环形支撑或

对撑、角撑结合边桁架布置形式。圆环形支撑体系改变了常规的支撑结构方式, 能充分发挥混凝土材料受压特性, 而且坑内无支撑, 净空面积大, 为挖运土的机械化施工提供了良好的多点作业条件, 能加快土方挖运的速度, 适用于面积大以及多种平面形式的深基坑, 特别适用于方形、多边形的基坑。本基坑大致呈长方形, 长边最大尺寸约 119.0 m, 短边最大尺寸处约 70.0 m, 中部偏东处为核心筒部位, 适合采用圆环形支撑。采用环撑可将支撑对主体结构核心筒的施工干扰降至最低程度, 确保基坑开挖到底桩基础完成后, 可以尽早开始上部结构施工。

考虑到基坑下部已进入全风化花岗岩, 地质情况较好, 为了给基坑底的桩基础施工提供较大空间并降低工程造价, 在满足支护安全的条件下, 支护结构采用了内支撑与桩锚相结合的方式, 即在基坑上半部设置两道钢筋混凝土内支撑, 下半部采用两道预应力锚索。基坑围护结构剖面见图 2。

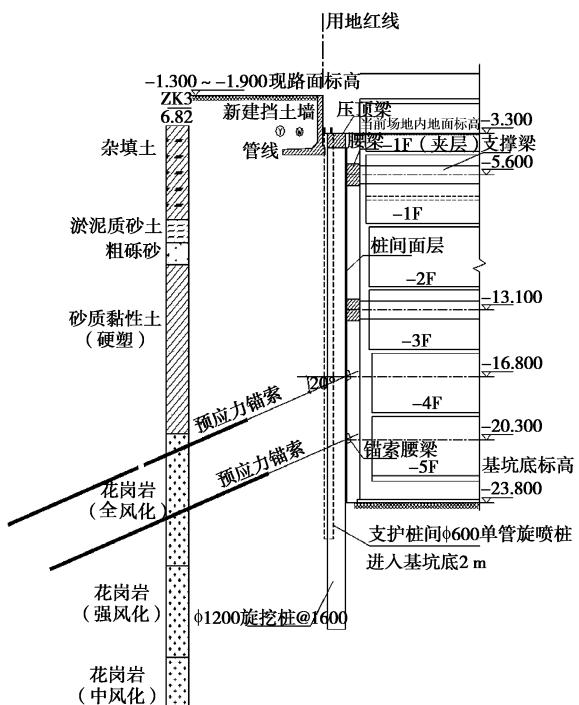


图 2 基坑围护结构剖面

Fig. 2 Profile of retaining structures of excavation

环形支撑梁的直径为 67.5 m, 截面尺寸为 2400 mm×1200 mm, 桩顶压顶梁截面尺寸 1200 mm×1000 mm, 腰梁截面尺寸 1000 mm×1200 mm, 支撑梁截面尺寸分别为 1000 mm×1000 mm 和 800 mm×800 mm。下部锚索一桩一锚, 锚索长度 20.0 m~29.0 m, 锚筋为 4~5 束 7Φ5 钢绞线, 锚固力设计值在 415~600 kN。锚索倾角 20°~25°, 在南侧嘉汇新城地下室影响范围内调整为 30°。

基坑出土口设在基坑东侧,因此内支撑的东南侧开了一个口设置出土坡道。出土坡道部位采用锚拉式排桩支护:支护桩桩径Φ1200@1500 mm,桩长29.0~32.3 m,设锚索4~5道,一桩一锚,锚索长度30.0~38.5 m,锚筋为4~5束7Φ5钢绞线,锚固力设计值在400~610 kN,锚索倾角20°。南侧基坑上部的嘉汇新城地下室与本工程地下室之间有一土台,采用注浆钢管锚杆进行加固处理,共设3排,锚杆长度12.0 m,平均水平间距0.75 m,一桩两锚。基坑支护方案见图3。

3.2 地下水及地表水处理

根据勘察报告,强透水性地层为冲洪积淤泥质砂土②₁及粗砾砂②₂,其他均为弱透水性地层。因此,本工程针对强透水性砂层采取专门的止水措施,以桩间单管旋喷桩与支护桩形成组合帷幕进行止水,旋喷桩桩长进入基坑底不小于2.0 m。

基坑不设专门降水,基坑周边设置排水系统拦截坡顶雨水、排泄坑内积水。坡脚于基坑转角处每隔约50 m设一集水井,积水排入市政管道前设置三级沉淀池。

4 基坑支护施工

旋挖支护桩施工较为顺利,但基坑西侧的支护桩在淤泥质砂层塌孔比较严重,桩芯混凝土的充盈系数达到了1.2~1.3。内支撑的围檩和支撑由西向东施工,遵循分区分层分段、适时兼顾综合平衡的原则,整道支撑体系整体受力后才进行下面土体的开挖,确保了圆环型支撑体系的整体性。

5 基坑施工监测

基坑支护施工过程中,对周边建筑物沉降、道路

表1 基坑顶水平位移及沉降观测表

Table 1 Horizontal displacement and settlement of excavation

测点	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
水平位移/mm	27.60	27.35	27.22	27.15	27.22	27.25	27.39	27.56	27.73	27.92	28.25
沉降/mm	28.53	28.31	28.01	27.98	28.25	27.59	27.63	28.02	29.19	29.35	28.96
测点	C12	C13	C14	C16	C17	C19	C20	C21	C22	C23	
水平位移/mm	28.42	28.63	29.12	27.81	27.62	28.69	27.80	27.65	28.01	27.88	
沉降/mm	31.66	30.67	32.90	29.10	28.97	31.67	30.38	30.03	30.38	29.87	

注:水平位移正值为向坑内方向,沉降正值为向下。

表2 道路沉降观测表

Table 2 Settlement of road

测点	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D13
沉降	30.52	33.06	29.83	29.23	28.20	28.38	28.30	28.17	27.14	27.76	30.18

注:沉降正值为向下。

沉降、坡顶沉降、位移观测、测斜、地下水位观测、锚索应力、桩身钢筋应力、支承轴力、支撑立柱沉降等进行观测,其中,支撑轴力监测根据对撑、环撑、径向撑的设计轴力分别确定轴力的预警值,分别设置监测点。观测点布设见图3。

基坑从土方开挖开始施工观测,经历了基坑施工、人工挖孔桩桩基础、浮锚杆施工及塔楼底板施工,为期一年多。

5.1 基坑顶水平位移观测

基坑顶水平位移观测结果显示,位移比较均匀,在27.25~29.12 mm,未达到预警值;在基坑开挖过程中,位移是缓慢发展的,没有突变,基坑到底后,位移逐渐稳定,说明基坑支护较好地发挥了作用。

5.2 基坑顶及基坑周边房屋、道路沉降观测

基坑顶水平位移及沉降观测结果见表1,基坑顶的沉降观测结果与水平位移结果规律一致,比较均匀,在27.59~32.90 mm,施工过程也没有突变。周边道路的沉降观测结果见表2,沉降值也较为均匀,北侧的D2点沉降略大,与坡顶的位移、沉降值在基坑北侧稍大于其它方向的规律相似。总体上无大的沉降,均在预警值范围内。

施工中除了坡顶的沉降外,还重点对周边密集的建筑物进行了沉降观测,西南侧的福田区人民医院老楼共布设了17个观测点。在基坑施工过程中,这几栋老建筑逐步拆除,才取消了该部分沉降观测。西侧的福田区人民医院住院大楼平均沉降为9.71 mm,沉降差为1.13~1.34 mm;南侧的嘉汇新城住宅楼的平均沉降为9.13 mm,沉降差仅为0.17~0.34 mm,说明支护对临近建筑物影响不大。

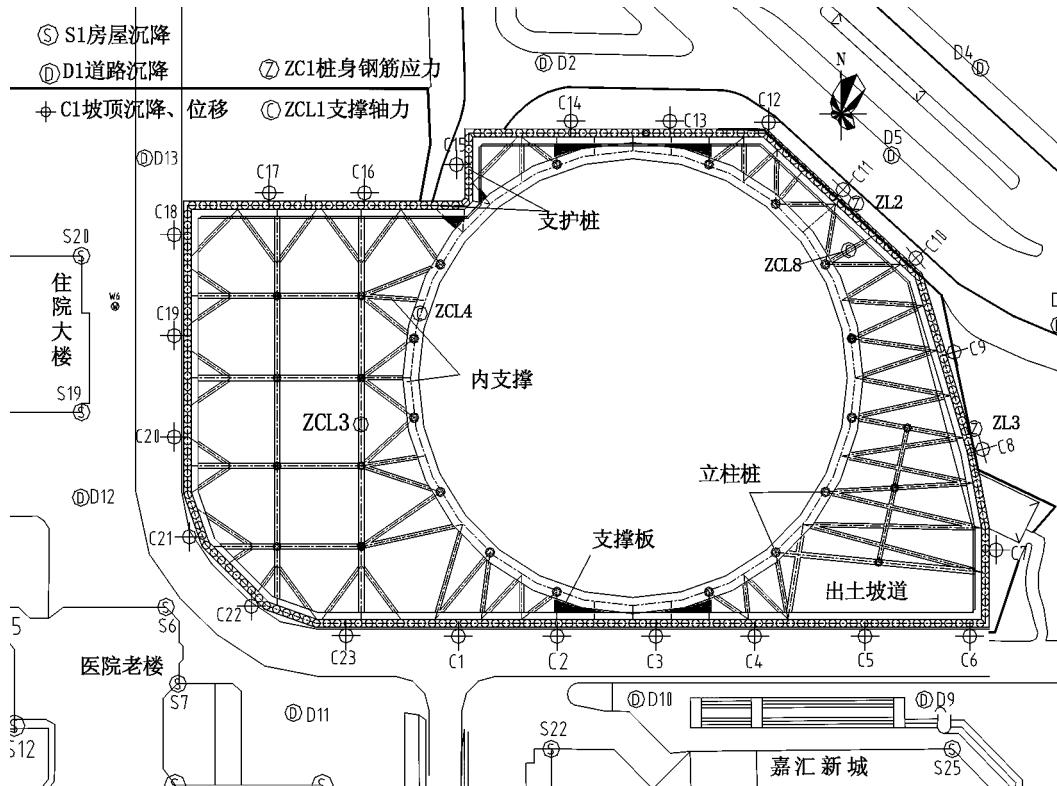


图 3 支护方案及观测点布置

Fig. 3 Layout of excavation bracings and measuring points

5.3 桩身钢筋应力结果分析

基坑共选了 5 根支护桩进行监测，在桩身钢筋笼上各安装了 10 对钢筋应力计，由于部分钢筋应力计被破坏，仅对监测结果较完整的 ZL2 桩和 ZL3 桩进行弯矩计算分析。这两根桩桩顶与地面基本平齐，ZL2 桩长为 31.0 m，入坑底 8.0 m，入强风化岩约 4.0 m，ZL3 桩长为 31.5 m，入坑底 8.2 m，入全风化花岗岩 4.0 m。内支撑及锚索位置参见图 2。

由观测结果可见，施工过程中桩身钢筋应力不断变化。根据图 4 桩身实测弯矩图，ZL2 桩最大弯矩在地面以下 17.5 m 处，ZL3 桩最大弯矩在地面以下 22.0 m 处（正值为拉力，负值为压力）。因 ZL2 桩在地面以下 15, 20, 22.5 m 处的各有一应力计被破坏，ZL3 桩的弯矩图较能反映桩身受力情况。ZL3 桩在第二道支撑完成后，后续施工过程中弯矩图形状基本相似。支撑梁中心分别在桩顶下 5.6, 13.1 m 处，图 4 (b) 桩身的实测弯矩图反映了支撑处桩的实际受力状态。

5.4 支撑钢筋应力分析

支撑轴力监测每层支撑选取 9 个点，其中对撑 3 个点 (ZCL1~ZCL3)、环撑 4 个点 (ZCL4~ZCL7)、径向撑 2 个点 (ZCL8~ZCL9)。对撑和径向撑在支撑上下两侧各安装 1 个钢筋计，环撑在环上下、环内外侧各安装 1 个钢筋计。第一层对撑、环撑、径向撑的设计轴力分别为 6000, 17000, 3500 kN，第二层

设计轴力分别为 11000, 30000, 5000 kN，控制值为设计轴力，预警值为 0.7 倍设计轴力。ZCL3、ZCL4 和 ZCL8 的轴力图见图 5~7。

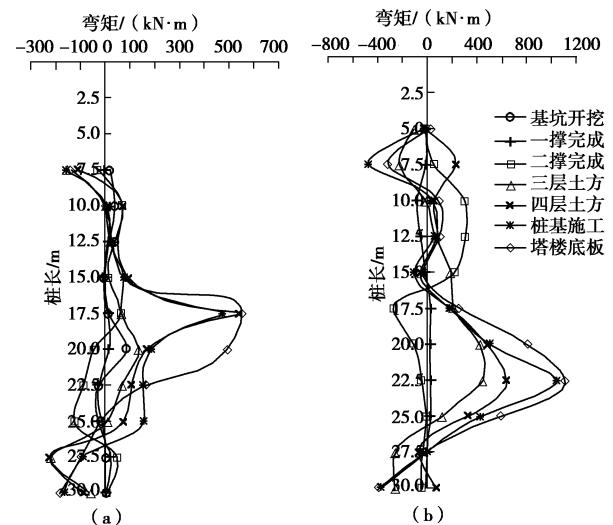


图 4 桩身弯矩图

Fig. 4 Bending moment of piles

图 5~7 显示支撑轴力总的规律是：在第一道支撑下挖土，支撑轴力逐渐增大；在第二道支撑下挖土，第一道支撑轴力发生调整，第二道支撑的轴力增长。对撑 ZCL3 的轴力图最能反映这个规律，环撑 ZCL4 的轴力值跳跃性较大，有两方面原因：一是工程上支撑内力常以轴力的形式进行表达，即把支撑杆的测点应

力平均后与支撑杆面积相乘, 这和结构力学的轴力的概念是不同的, 所反映的仅是所监测截面的平均应力^[3]。在这里, 环撑采取了同样的计算方法, 即环撑四个测点应力的平均值与环撑断面面积相乘。但环撑的支撑内力应由轴力和弯矩同时反映, 其截面弯矩方向随土方开挖及支护情况不断变化, 按实测应力平均值计算的轴力结果不能反映真实的受力情况。二是施工过程中部分支撑监测点内钢筋计被破坏, 由余下的钢筋计应力计算得出的轴力, 与实际情况是有偏差的。

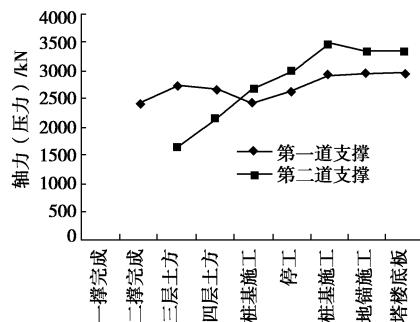


图 5 ZCL3 对撑轴力图

Fig. 5 Axial force of inner bracings ZCL3

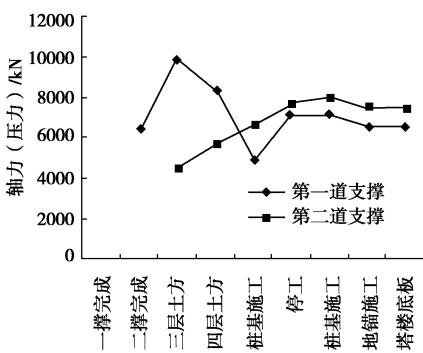


图 6 ZCL4 环撑轴力图

Fig. 6 Axial force of inner bracings ZCL4

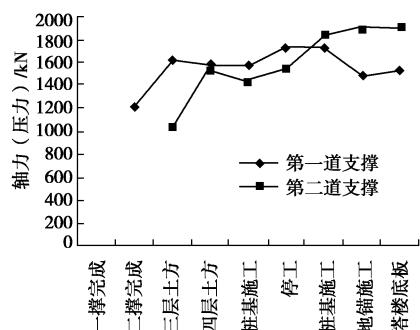


图 7 ZCL8 径向撑轴力图

Fig. 7 Axial force of inner bracings ZCL8

6 结语

深圳市汉国城市商业中心基坑深 20.3~23.6 m, 周边环境复杂, 地下管线、道路、建筑物对变形要求高, 基坑支护安全等级为一级。介绍了该深基坑支护工程的设计、施工及监测情况, 有如下认识:

(1) 工程含强透水层, 采用灌注桩加止水帷幕, 有效地隔断了地下水, 保证了工程的施工。支护结构采用上部两道混凝土支撑(核心筒设圆环型支撑)、下部的两道预应力锚索的形式, 实践证明, 既保证了基坑及周边环境的安全, 又为塔楼和桩基础的施工提供了空间, 为基坑和上部结构的施工搭接提供了可能, 保证了工期, 节约了造价。

(2) 支撑系统受力极其复杂, 环撑的截面弯矩方向随开挖情况不断变化, 只依据实测的应力平均值计算的轴力不易判断支撑系统的实际受力情况; 且支撑的内力不仅与监测计放置的截面位置有关, 还与所监测截面内监测计的布置也有关, 支撑特别是环形支撑的受力有待深入研究。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院. JGJ120—99 建筑基坑支护技术规程 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. (China Academy of Building Research. JGJ120—99 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999. (in Chinese))
- [2] 中华人民共和国建设部. GB50007—2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (Ministry of Construction P R C. Code for design of building foundation[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))
- [3] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. (LIU Guo-bin, WANG Wei-dong. Excavation engineering handbook[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009. (in Chinese))
- [4] 李洪海, 周宇. 深圳平安金融中心超深基坑运土坡道设计与施工[J]. 施工技术, 2011, 40(350): 36~38. (LI Hong-hai, ZHOU Yu. Design and construction of earthmoving ramp of ultra-deep foundation in Shenzhen Ping'an Financial Center[J]. Construction Technology, 2011, 40(350): 36~38. (in Chinese))

(本文责编 明经平)