

复杂条件下长距离大跨度盖挖深基坑施工关键技术

周石喜, 龙宏德, 黄和平, 宋天田

(深圳市地铁集团有限公司, 广东 深圳 518026)

摘要: 随着我国基础建设的不断发展, 盖挖深基坑在城市地铁工程中得到了广泛的应用, 取得了良好的社会和经济效益。深圳地铁5号线盖挖深基坑的规模宽度达24 m, 长度达722 m, 在全国实为罕见, 对此基坑在围护结构、降水及结构施工中遇到的难题进行攻关。通过实践及对关键技术进行了总结, 为类似工程提供参考。

关键词: 复杂条件; 大跨度; 深基坑; 盖挖

中图分类号: TU473.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2012)S0-0525-05

作者简介: 周石喜(1974-), 男, 湖南邵东人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事地铁车站深基坑工程, 区间隧道工程及地铁车辆段工程的建设工作。E-mail: zhoushixi168@163.com。

Key technique for long and large-span deep foundation pits under complicated conditions using cover-cut method

ZHOU Shi-xi, LONG Hong-de, HUANG He-ping, SONG Tian-tian

(Shenzhen Metro Co., Ltd., Shenzhen 518026, China)

Abstract: The deep foundation pit by using the cover-cut method is widely applied in the construction of metro projects. This method has proved to be an economic and practical way. A case in Shenzhen Metro Line No. 5 is studied. The pit is 24 m deep, 722 m long, and under complicated conditions. The difficulties encountered in retaining structure, pit dewatering and structure construction during the construction process are studied. The summary based on the practice of key technique can be a reference for similar projects.

Key words: complicated condition; large span; deep foundation pit; cover-cut method

1 工程概况

深圳地铁5号线上、下盖挖区间位于深圳市布吉吉华路, 所在地区地势较为平坦, 附近建筑物密集。区间采用盖挖逆筑法施工(局部采用顺筑法施工)。设计起终点里程为右DK28+824.7~右DK29+500.4, 右线长683.789 m, 左线长722.029 m。区间隧道包括正线和出入线共4线隧道, 结构为钢筋混凝土箱型结构。区间主体围护结构采用地下连续墙, 分800 mm厚和1000 mm厚两种, 基坑内设置3排中立柱桩, 作为结构永久立柱。区间主体结构为多跨钢筋混凝土箱型结构, 因结构及功能的不同, 区间结构板分3层及4层不等。根据地质详勘资料, 地质从上到下依次为素填土、砾砂或圆砾、粉质黏性土、全风化角岩、强风化角岩、中风化角岩或微风化角岩。详见图1。

2 工程特点

(1) 工期紧、任务重

上下盖挖区间全长约722.4 m, 任务量非常大, 围护结构中立柱钻孔桩桩径分 $\phi 1200$ mm和 $\phi 1000$ mm

两种, 共253根, 平均孔深约42 m, 地下连续墙厚度分800 mm和1000 mm两种, 共247幅, 标准宽度6 m, 深度22~29 m, 区间土方开挖量达33万立方米, 混凝土圬工8万立方米, 而本工程工期从前期工程开始到土建及安装装修完成, 直至最终通车只有三年半左右的时间, 工期非常紧张。

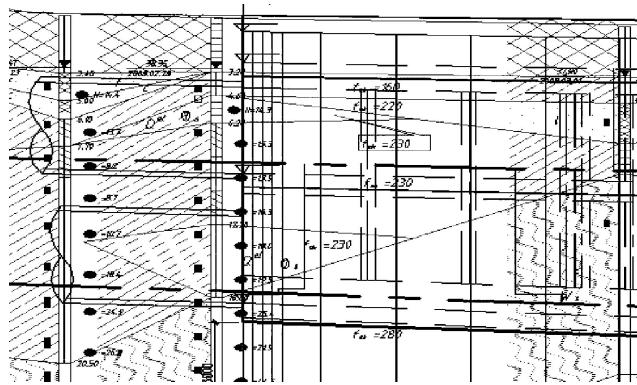


图1 地质剖面图

Fig. 1 Geological section

(2) 施工组织难度大

上下盖挖区间全长 722.4 m, 围护结构施工需经过 3 次交通疏解才能完成, 而且施工场地狭小, 工序转换频繁, 增大了施工组织难度。

(3) 前期工程影响大

前期工程包括建(构)筑物拆迁、管线改迁、绿化拆迁、交通疏解等工作。对工程进展情况影响极大的主要为管线迁改及交通疏解工程。

(4) 工程难点多

整个工程施工难点众多, 钻孔灌注桩, 地下连续墙成桩成槽垂直度, 泥浆比重, 钢筋笼接驳器以及后期主体结构中的地模, 防水均对整个工程质量起着至关重要的作用, 其中任何一环出现纰漏, 必将对工程质量产生严重影响。

3 主要施工方案和方法

本区间完成全部主体结构施工分 3 个阶段施工完成, 第一阶段将车行道向西侧压缩, 将双向六车道变为双向三车道, 施工内容: 东侧连续墙及部分中立柱桩; 第二阶段就是在第一阶段的基础上将施工围挡向西侧扩展, 进一步将施工场地加大, 施工内容: 完成第一阶段因管线或交通疏解影响的连续墙和中立柱桩, 同时施作区间东侧顶板; 第三阶段就是将车行道倒边移至西侧, 施工内容: 区间右侧剩余的连续墙、顶板、负一、二层的土方开挖及主体结构。其主体结构施工顺序详见图 2。

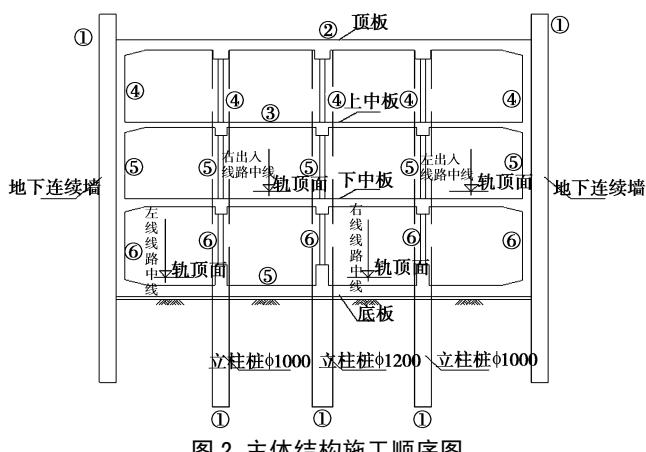


图 2 主体结构施工顺序图

Fig. 2 Construction sequence of main structure

上、下盖挖区间采用盖挖逆筑法施工, 围护结构采用地下连续墙, 基坑内设置中立柱钻孔桩, 土方开挖前进行坑内降水, 土方采用机械开挖、垂直提升, 主体结构为钢筋混凝土结构, 现浇成型。

3.1 围护结构施工方案

区间围护结构采用地下连续墙, 共有 247 幅, 其中 800 mm 厚的有 209 幅, 1000 mm 厚的有 38 幅。连

续墙标准段宽度为 6000 mm, 深度为 22~29 m。连续墙采用跳槽施工, 先施工墙幅砼浇注完成并达到 70% 强度以上后, 方可进行相邻墙幅的挖槽^[1]。

地下连续墙施工前先施工导墙, 地下连续墙采用液压抓斗槽壁机辅以冲击钻机进行成槽施工, 上部土层采用液压抓斗槽壁机抓挖成槽, 下部岩层(部分强风化和中风化角岩)采用冲击钻机冲孔成槽, 泥浆护壁, 钢筋笼现场整幅制作(墙面设置板的接驳器), 两台履带起重机(主吊 80T, 副吊 50T)吊起入槽, 双导管灌注水下混凝土成墙。

3.2 中立柱钻孔桩施工方案

区间中立柱为永久立柱, 共 3 排(局部两排或一排), 采用钻孔桩法施工, 钢筋笼上设置每层板梁接驳器, 桩径为 $\phi 1200$ mm 和 $\phi 1000$ mm 两种, 桩长一般为 35 m(伸入基坑底 10 m 并入中风化 1 m), 钢筋笼现场加工制作, 两台吊车吊装入孔, 灌注水下混凝土成桩^[2]。

3.3 土方开挖及支护方案

上、下盖挖区间采用盖挖逆筑法施工, 土方开挖分两部分进行, 即顶板以上部分明挖土石方开挖和负一、二、三层盖挖土石方开挖。相应节段土方开挖时间必须满足该节段围护结构、结构顶(中)板混凝土达到设计要求强度。

(1) 顶板明挖土石方及边坡支护

顶板基坑深约 4 m, 表层原路面混凝土采用液压破碎锤破除, 直接利用挖机装渣, 自卸汽车外运。对于基坑土方需倒边开挖的, 边坡支护采用锚喷支护的方式。基坑开挖一侧的支护原则上按 1:1 的坡率边开挖边施作锚喷墙(纵、横向均如此)。

(2) 负一、二(三)层盖挖土石方

顶板以下采用逆作法施工, 土方采取纵向分段、竖向分层开挖, 每层土石方采用小型挖掘机挖(翻)土至出土口, 通过预留孔洞, 利用电动葫芦提升系统垂直运输土石方到地面, 储存在临时屯土坑, 集中采用自卸汽车外运到弃土场。根据施工进度安排, 每隔 70 m 设置 1 个预留出渣进料口, 共设置 10 个。基坑挖到每层底板底面设计标高以上 10 cm 时, 采用人工开挖, 避免破坏原状土。

3.4 地模施工方案

地模采用 5 cm 厚 C20 混凝土浇注, 然后抛光压实; 下翻梁两侧、中隔墙两侧及边墙内侧地模采用实心砖砌筑, 墙厚 240 mm, 墙面用砂浆找平, 然后涂抹脱模剂。

3.5 顶板施工

(1) 顶板纵向分界及横向分段的施工顺序

根据区间结构形状及与地理环境的关系, 顶板进

行横向和纵向分段, 按 6 个工作面进行组织施工。区间顶板结构横向共分 46 段, 宽度为 13~20 m, 从小里程起, 第一工作面~第六工作面分别完成 9, 9, 8, 7, 7, 6 段, 其中第一工作面前 4 段、第四工作面最后一段及第五、六工作的顶板需纵向分幅, 顶板需进行两次施工才能完成。本工程顶板施工顺序详见图 3。

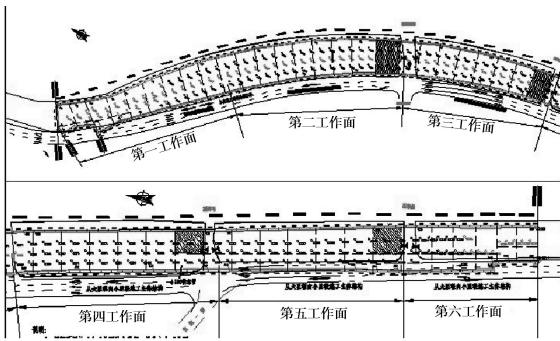


图 3 上~下盖挖区间顶板分段及施工顺序图

Fig. 3 Segmental construction sequence of roof slab

(2) 顶板混凝土浇筑方案

区间顶板结构混凝土浇筑采用地泵进行浇筑施工。每工作面最后一段土方受前一工作面第一段结构顶板施工及土方回填的制约(路口横向倒边), 根据工期安排, 每工作面除最后一段顶板外, 其余顶板都在最后一段土方开挖前完成, 故直接将地泵放置在每工作面最后一段的现状地面上, 作为该工作面的顶板施工的混凝土浇筑场地, 混凝土输送长度在 100 m 左右。

顶板施工横向设置齐缝, 纵向施工缝设置成企口型, 提高受力效果; 侧墙倒角位置与顶板一次性施工, 并设置企口型施工缝。顶板各部分施工缝的处理如下:

①顶板齐缝处理, 酒毛并冲洗干净, 然后在中部设置缓膨胀性止水胶, 铺设顶板防水层时, 在施工缝处作加强处理。②顶板纵向分幅设置成企口型, 尺寸为 20cm, 酒毛并冲洗干净, 然后在中部设置缓膨胀性止水胶或钢板橡胶(丁基橡胶)腻子止水带, 铺设顶板防水层时, 在施工缝处作加强处理。③侧墙处水平施工缝, 同样设置成企口型, 酒毛并冲洗干净, 然后在中部设置缓膨胀性止水胶或钢板橡胶(丁基橡胶)腻子止水带。

3.6 上、下中板施工方案

上、下中板施工方案大致与顶板一致, 地模的施工方法与顶板施工方法完全一致。中板全为整幅施工, 分幅线与顶板对应, 出土口与顶板对应; 每一工作面土方开挖完成后进行板结构的施工, 钢筋加工制作成型后从出土口运输至施工场地, 混凝土采用地泵输送至浇筑面。在施工上、下中板时, 在侧墙位置预留浇注孔洞, 孔洞直径 $\phi 20$ cm(钢筋不断开), 间距 3 m/个, 便于侧墙混凝土浇注密实^[3]。

3.7 侧墙及内隔墙施工方案

本工程侧墙及内隔墙采用定制钢模型拼装成型, 侧墙及内隔墙模型加固利用预埋在侧墙上的接驳器与定制钢模型连接即可。

(1) 地下连续墙与侧墙接触面处理

上、下盖挖区间为叠合结构形式, 施工侧墙时需对连续墙表面进行处理。为避免两次混凝土的收缩性不一致而引起结构混凝土的开裂, 取消“胡子筋”, 加强连续墙与主体侧墙接触面的凿毛, 将连续墙表面混凝土凿除干净, 并用高压风清理表面, 以满足抗剪要求。

(2) 侧墙及内隔墙与顶板、中板施工缝处理

顶板、中板施工时, 连同侧墙倒角位置一并施工, 并在侧墙处设置企口施工缝; 中板施工时, 将侧墙施工至高出板面 30 cm。施工侧墙时, 先将两道施工缝凿毛并清理干净, 然后在中部设置缓膨胀性止水胶或钢板橡胶(丁基橡胶)腻子止水带。施工方法同顶板施工处理。

(3) 侧墙、内隔墙各段间施工缝处理

侧墙及内隔墙之间设置竖向齐缝, 中部设置缓膨胀性止水胶或钢板橡胶(丁基橡胶)腻子止水带, 施工下一段侧墙时, 将上一段侧墙表面凿毛并清理干净, 然后在中部预埋注浆管。

(4) 侧墙及内隔墙混凝土入模方案

结构采用逆筑法施工, 侧墙及内隔墙均在上、下两层板施工完成后进行, 混凝土浇注难度大, 不易密实, 为保证混凝土的密实度, 需经过特殊的方法处理才能达到目的。

①负二、三层侧墙及内隔墙入模方案

在施工上、下中板过程中, 在侧墙位置预留浇注孔洞, 孔洞直径 $\phi 20$ cm, 间距 3 m/个, 侧墙混凝土的浇注边以在板上预留的孔洞作为混凝土的输送通道。设置预留孔洞时, 需结合地下连续墙的分幅位置, 分幅线处有 40 cm 的素混凝土, 设置在连续墙中部的预留孔洞处的钢筋不断开, 此孔洞与侧墙一并浇注完成。

②负一层侧墙入模方案

考虑顶板的完整性及防水功能, 负一层侧墙施工就不能在顶板设置预留孔洞, 需采用“杀尖”技术进行施工。

(5) 侧墙及内隔墙混凝土振捣方案

侧墙及内隔墙混凝土振捣采用插入式捣固器辅助以人工配合的方式进行振捣(见图 4)。

3.8 底板施工

土方开挖到位后, 按设计要求施工垫层及防水层, 然后现场绑扎钢筋, 浇注商品混凝土成型。底板施工与一般结构顺筑施工一致, 无特殊要求。

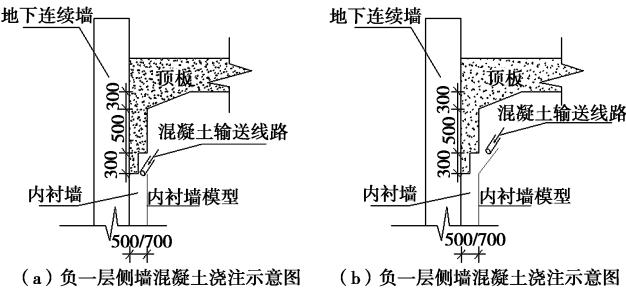


图 4 侧墙砼入模施工示意图

Fig. 4 Construction of concrete pouring of side wall

3.9 防水工程

本工程主体采用叠合结构，仅在顶板及底板设置合成树脂高分子（自黏）防水卷材防水层，侧墙根据施工后的渗漏情况涂刷水泥基渗透结晶防水涂料。

连续墙、柔性半包防水层及主体结构防水混凝土组成了本区间的防水体系，结构采用钢筋混凝土结构自防水，抗渗等级 $\geq S8$ ，耐侵蚀性系数不小于0.8。区间防水等级为一级，不允许渗水，结构表面不得有湿渍（见图5）。

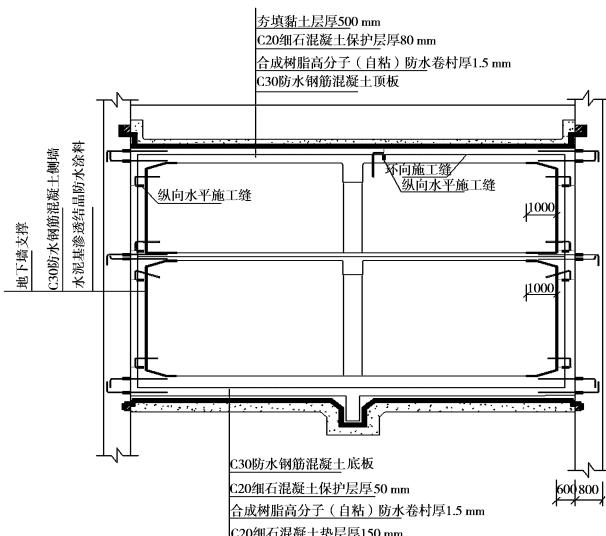


图 5 主体结构防水构造图

Fig. 5 Schematic of structure waterproof

4 关键项目的技术处理措施

4.1 地连墙防止挖槽坍方关键技术措施

(1) 成槽时，严格控制成槽速度，轻放慢提，防止槽壁坍方。选用黏度大、失水量小，形成护壁泥皮薄而韧性强的优质泥浆，确保槽段在成槽机反复上下运动过程中土壁稳定，并根据成槽过程中土壁的情况变化选用外添加剂，调整泥浆指标，以适应其变化。

(2) 施工中防止泥浆漏失并及时补浆，始终维持稳定槽段所必须的液位高度，保证泥浆液面比地下水位高。

(3) 雨天地下水位上升时及时加大泥浆比重和黏度，雨量较大时暂停挖槽，并封盖槽口。

(4) 施工过程中严格控制地面的附加荷载，不使土壁受到施工附近荷载作用影响过大而造成土壁塌方，确保墙身的光洁度。

(5) 成槽结束后进行清底及泥浆置换，并吊放钢筋笼（安放钢筋笼作到稳、准、平，防止因钢筋笼上下移动而引起的槽壁坍方）、放置导管等工作，经检查验收合格后，立即浇筑水下混凝土，尽量缩短开挖槽壁的暴露时间。

4.2 地下墙渗漏水的预防及补救措施

(1) 槽段接头处不允许有夹泥，施工时用接头刷上下刷多次直到接头无泥为止。

(2) 严格控制导管埋入混凝土中的深度，绝不发生导管拔空现象，如万一拔空导管，立即测量混凝土面标高，将混凝土面上的淤泥吸清，然后重新开管浇筑混凝土。开管后将导管向下插入原混凝土面下1 m左右。

(3) 保证混凝土的供应量，工地施工技术人员必须对搅拌站提供的混凝土级配单进行审核并测试其到达施工现场后的混凝土坍落度，保证混凝土供应的质量。

(4) 如开挖后发现接头有渗漏现象，立即堵漏。封堵方法可采用软管引流、化学灌浆法等。

(5) 本方案中对槽段接头处理，作为保证质量的关键工序。由于地下墙施工在水下施工，不可预见因素非常多，难以确保接缝不渗水，为确保后期施工对地下墙接缝采取以下补救措施：在迎土面紧贴地下墙接缝用工程钻机钻孔，然后再埋入注浆花杆，待基坑开挖后。如发现接缝渗水即采取劈裂注浆的方法，在迎土面接缝处注浆，对接缝外土体结构加密起到抗渗作用。另由于注浆压力的作用浆液渗透到接缝中起到封堵作用。

4.3 接驳器安装关键技术措施

(1) 钢筋笼端头必须平齐且位于同一水平面。

(2) 安装钢筋前先对加劲筋分段，按有多少根主筋分多少段为原则。分段时注意选做穿过纵梁中心轴线的两根主筋和加劲筋的圆心，3点必须在同一直线上。

(3) 钢筋笼加工时，在地面上画出一条直线，尽量让所有主钢在竖直方向位于一条直线，无弯曲，尤其是对称的两个定位钢筋必须准确。

(4) 钢筋笼内的导向筋和导向圈严格按照图纸要求施工，导向圈不得产生变形以防导管在下放或提拔过程发生碰撞，致使接驳器位置变化。

4.4 主体结构渗、漏水处理关键技术措施

渗漏的主要原因为蜂窝麻面漏水现象、荷载变形裂缝漏水、施工缝及变形缝漏水, 施工缝(或变形缝)的处理是地铁土建的一个重点和难点。对于不同的渗漏采取以下不同的处理措施

(1) 对裂纹的处理

对无渗水的裂纹, 采用交错钻孔, 压注改性环氧树脂; 对有渗水的裂纹, 采用注水溶性聚氨脂化学浆液, 该浆液遇水发生化学反应胀止水, 待水被堵住后再注环氧树脂。

(2) 对施工缝漏水的处理

对施工缝仅湿渍无明水采用注浆堵漏, 材料选用改性环氧树脂的混凝土裂缝和孔隙中); 对于钻孔, 孔深超过止水带(不得穿通止水带), 约为混凝土厚度 $2/3$ 钻斜孔(约为 45°)孔径 $\phi 12 \sim \phi 14$ 。对施工缝有明水的处理: 采用先注水溶性聚氨脂化学浆液, 堵住明水, 而后再注改性环氧树脂化学浆液。

(3) 对砼不密实或其他渗漏的处理

对仅有湿渍的砼, 采用直接在湿渍的砼面上打孔注改性环氧树脂; 对有明水的砼面, 先采用压水溶性聚氨脂化学浆液, 最后再压改性环氧树脂。

5 结 论

(1) 交通繁忙的城市道路底下修建地铁大跨结构, 盖挖逆作法是一个较好的选择, 可以确保城市交通不至于受过大的影响。

(2) 周边建筑物多, 且对变形影响较敏感的地段修建地下工程, 盖挖法可以有效地减少此类情况的发生。

(3) 在长距离大跨度的地下盖挖法施工中, 合理地划分作业区段, 合理设置出土进料口, 并且有效地协调好各作业区段的相互衔接, 是其成功的关键。

(4) 盖挖法工程通常均地处交通干道上, 交通疏解压力大, 且周边房屋较多, 施工期间必须严格控制噪音、粉尘污染, 作好文明施工, 减小施工对游客和居民正常生活的影响。

(5) 中立柱钻孔桩施工时, 严格控制泥浆浓度及沉渣厚度, 下钢筋笼前先将孔清至70%左右, 下好笼

后再清孔2, 3 h, 即可浇注混凝土。同时, 中立柱的桩位精度是盖挖法成功的另一关键。

(6) 盖挖逆筑法施工侧墙时, 必须严格按照混凝土浇注落差不超过2 m, 且必须将振捣器伸入模型内振捣; 在浇筑混凝土拆模后, 后浇与先浇之间施工缝未浇满处, 先将浮浆凿除, 清理干净后在侧墙与围护结构相接触处, 用堵漏王涂抹一层将内部封死, 然后用高标号微膨胀细石混凝土填充密实。

(7) 叠合结构形式的盖挖法, 外墙与内墙的施工由于不是同时进行, 砼的收缩易产生裂缝, 所以在处理内外墙接口极为重要, 要根据实际情况决定是否设置“胡子筋”, 同时要加强对表面的处理。

(8) 盖挖法施工最大的缺点在于渗漏水, 而根据不同的渗漏水情况, 采取针对性治水措施极为关键。

总之, 在城市道路交通繁忙, 周边环境复杂, 建筑物较多的情况下, 修建地下建筑手, 盖挖法是一种有效的解决办法, 并且其规模可以加适当扩大。中立柱、地下墙定位精准及垂直度的控制、板与墙砼接口处理及渗漏水的处理等是盖挖法成功的关键。本文对于复杂情况长距离大跨度地下盖挖法施工等的关键技术为后续类似工程提供一些可以借鉴的参考。

参 考 文 献:

- [1] 龚晓南. 复合地基理论及工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (GONG Xiao-nan. Theory of composite foundations and engineering applications[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))
- [2] 史佩栋. 实用桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. (SHI Pei-dong. Practical handbook for pile foundation engineering[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999. (in Chinese))
- [3] 王平. 某超深永久基坑的止水、降水设计和施工综合技术[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增刊): 705 - 709. (WANG Ping. Water sealing and dropping design and comprehensive construction technology of over-deep permanent foundation pit[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(S0): 705 - 709. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)