

上海地区地铁与邻近建筑物深部隔离桩施工控制要点

赖都成¹, 张琪清²

(1. 福建省第三地质工程公司, 福建 邵武 354000; 2. 江西省勘察设计研究院, 江西 南昌 330012)

摘要:在论述隔离桩产生及其特点的基础上, 结合上海会德丰广场与地铁二号线间深部隔离桩施工实例, 介绍了隔离桩的施工难度、施工技术以及质量控制要点。

关键词:地铁保护; 隔离桩; 桩垂直度; 桩光滑度; 质量控制

中图分类号: TU473.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2006)12-0030-04

1 隔离桩的产生

近年来我国地铁建设发展迅速, 越来越多的城市修建地铁。由于地铁深基坑工程具有开挖难度大、工期长、费用高及对周围环境的影响大等问题, 根据《地铁设计规范》(GB 50157-2003), 地铁建成后要求必须满足“对隧道管产生的额外压力 < 20 kPa、隧道管线相对弯曲 $\geq 1: 2500$ 、绝对沉降 ≥ 20 mm”, 因此对地铁隧道的长期保护已成为城市建设中一个亟待攻克的难题。

同时, 伴随城市地下空间的全面拓展, 由于时间与空间的交叉, 邻近地铁建筑物的价值和经济效益日益凸现, 日趋形成“高建筑而窄间距”, 即地铁与地铁周边建筑之间的间距越来越小, 最终导致相互之间由于沉降而受到影响。

上述问题已愈来愈受到海内外建筑界专家的关注, 保护地铁及沿线的市政环境、控制地面沉降等技术问题成了刻不容缓的事实, 地铁监管部门通常要求邻近地块的开发商拿出切实可行的设计方案, 将其对地铁的变形控制在最小范围。基于这种现状, 由成排的大直径超深灌注桩组成的深部“隔离墙”应运而生, 这种桩习惯性地被称为“隔离桩”。

目前, 上海地区产生的“隔离桩”已逐步应用到施工过程中, 通过应力隔离减少间隙引起的地层损失和土体扰动后的固结沉降, 进一步控制相邻建筑物的沉降变形及相互影响。

2 隔离桩的特点

考虑环境保护因素, 通常设计的隔离桩工艺为钻孔灌注桩, 桩直径为 900 ~ 1200 mm, 桩深 90 ~ 120

m, 为有效进行深部土层隔离, 桩周与桩周之间的距离以不大于 500 mm 为宜,

这种超大超深规模的隔离桩, 由于设计时要求桩与桩之间距小, 决定了隔离桩施工精度高、施工难度大等施工特点, 主要体现在垂直度、桩孔光滑度、快速成孔、应急预案等方面要严格要求, 因此, 要求施工设备性能好、能力强。

由于隔离桩本身距离地铁很近, 依据地铁保护原则, 须对隔离桩地带进行保护性措施施工, 即隔离桩施工前, 必须对施工区内进行坑内加固, 通常采用 SMW 工法加固; 在利用原有地铁围护墙的基础上再施工一道地连墙, 此地连墙需在 SMW 工法加固后施工; 在地连墙封闭后施工隔离桩, 使得隔离桩施工对地铁的影响进行有效地隔离。

3 工程概况

上海会德丰广场, 位于上海市延安西路、南京西路、华山路交汇处, 拟建 1 幢高 271 m、共 51 层的钢筋混凝土框架-核心筒结构写字楼, 2 座 2 ~ 4 层框架结构的商业裙房, 地下共设置 3 层地下室。

基坑采用地下连续墙, 其北侧紧邻地铁二号线区间隧道, 距离 5.4 m, 平行隧道的基坑长度达 95 m, 基坑开挖深度塔楼 20.72 m, 裙楼 17.92 m。考虑施工工期、基坑开挖期间及建筑物沉降可能对地铁区间隧道产生的不利影响, 基坑分北坑和南坑 2 个地块, 位于北坑中部设计隔离桩共 41 根, 直径 1000 mm, 桩间距 1500 mm, 桩顶标高 -18.72 m, 桩底标高 -106.00 m, 桩身混凝土强度等级 C30, 详见图 1。

收稿日期: 2006-07-18; 改回日期: 2006-11-12

作者简介: 赖都成(1973-), 男(汉族), 福建泉州人, 福建省第三地质工程公司副总经理、一级项目经理, 水文地质与工程地质专业, 从事桩基、地基基础、总承包管理工作, 上海市闵行区七莘路 2465 弄 125 支弄 7 号(201101), (021)54858530, ducheng_lai@126.com; 张琪清(1972-), 男(汉族), 江西宜春人, 江西省勘察设计研究院综合分院主任工程师, 岩土工程专业, 从事工程勘察与设计工作, 江西省南昌市昌东高校园区紫阳大道 168 号, (0791)8195052, wzzq_97@126.com。

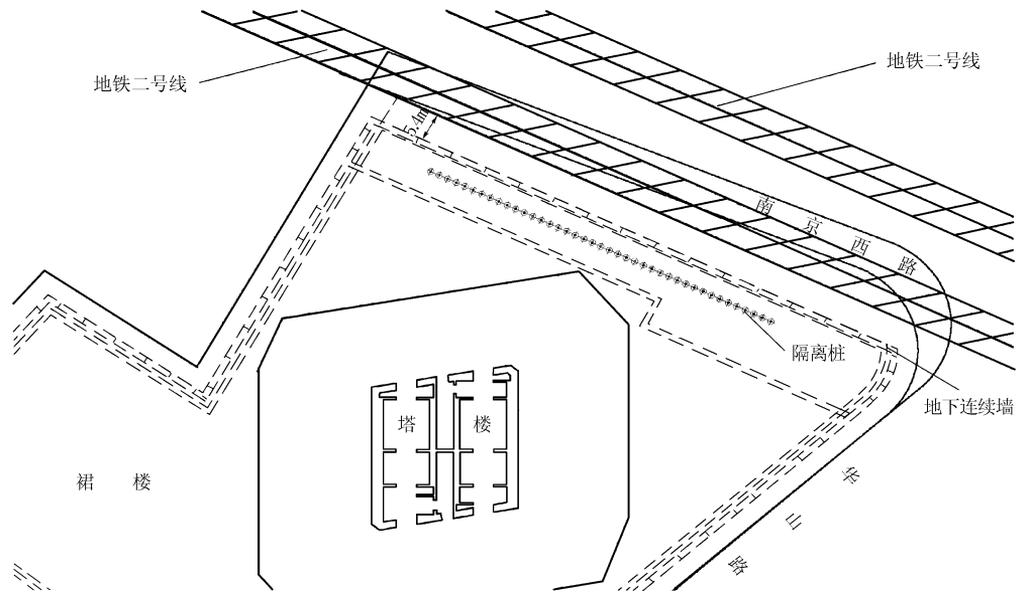


图 1 上海会德丰广场基坑隔离桩及其周边环境平面图

场地地层情况:①~③层杂填土、素填土、灰色淤泥质粉质粘土等,层厚 6.45 m;④层灰色淤泥质粘土,层厚 9.90 m;⑤₁₋₁层灰色粘土,层厚 4.20 m;⑤₁₋₂层灰色粉质粘土,层厚 7.20 m;⑤₁₋₃层灰色粉质粘土夹砂质粉土,层厚 10.40 m;⑥层暗绿色粉质粘土,层厚 2.40 m;⑦₁层灰绿~黄色砂质粉土~粉砂,层厚 5.40 m;⑦₂层草黄~灰色粉砂,层厚 5.30 m;⑧₁层灰色粘土夹砂质粉土,层厚 7.90 m;⑧₂层灰色粉质粘土与粉砂互层,层厚 9.20 m;⑨层灰色粉细砂,层厚 28.90;⑩层蓝灰色粉质粘土,层厚 7.80 m。

4 施工概况

4.1 测量定位、埋设护筒及硬地坪

根据设计确定的隔离桩位置进行测量放样工作,做好桩位标记,并报监理工程师验收。护筒为 4 mm 厚钢板卷制的 $\varnothing 1100$ mm 护筒,高度 2 m;护筒埋设周正,四周间隙用粘土回填并捣实。护筒埋设完成后在施工区域内浇筑硬地坪以保证设备就位后的稳固性。

4.2 设备就位成孔、清孔

设备就位后报请现场监理工程师验收设备及管材机具,并按要求进行成孔作业。

成孔选用 GM-20 型钻机及 2 台 4PNL 型泥浆泵并联,采用正循环回转钻进方法,钻头为双腰带三翼锥形钻头。在成孔过程中于现场呈 90° 方向架设 2 台经纬仪,每次加接钻杆后观测主动钻杆垂直度,以保证钻孔成孔垂直度。

施工过程中泥浆性能指标控制范围为:成孔过程中新鲜泥浆密度 ≤ 1.05 kg/L,粘度 18~24 s,孔内泥浆密度 ≥ 1.25 kg/L,粘度 22~30 s;一清后泥浆密度 ≤ 1.30 kg/L,粘度 20~26 s;二清后泥浆密度 ≤ 1.25 kg/L,粘度 18~24 s,含砂率 $\leq 4\%$ 。

采用 2 台 4PNL 型泥浆泵并接后分别利用钻杆及导管进行正循环一次清孔、二次清孔。

4.3 钢筋笼制作及安放

钢筋笼制作做到成型主筋直、误差小、箍筋圆,直观效果好。钢筋笼焊接焊缝饱满,焊缝高度 $< 0.7d$ 、厚度 $< 0.3d$ (d 为钢筋直径)。钢筋笼制作及焊接经质检员检验,并通过监理复检合格后使用。

钢筋笼制作偏差范围如下:主筋间距 ± 10 mm,箍筋间距 ± 20 mm,钢筋笼长度 ± 100 mm,钢筋笼直径 ± 10 mm,焊接长度 $\geq 10d$ 。

由于钢筋笼需通长配置,为尽量缩短钢筋笼安放时间,钢筋笼采用吊车起吊、安放,每两节笼子连接后为一起吊回次。钢筋笼吊放入孔时对准钻孔中心缓慢下放,以防止碰撞孔壁。

4.4 水下混凝土灌注

根据设计要求,桩身混凝土为 C30 水下混凝土。第二次清孔结束后,在 30 min 内倒入足够的初灌量(根据计算,初灌量 ≥ 4.50 m³),以满足导管初次时埋入深度 > 1.5 m。混凝土灌注过程要连续、正常。

4.5 隔离桩成桩时间

隔离桩的施工目的是进行环境保护,施工对环境的影响大小主要取决于施工时间的长短,为此,施

工过程中从严控制施工时间,通过各工序时间的压缩、以及操作施工的熟练程度,经现场实测而得,隔离桩单桩的成桩时间为74~78 h。

5 隔离桩施工质量控制要点

5.1 垂直度控制

5.1.1 场区平整及测量定位

由于施工区内已全面进行SMW工法坑内加固,浅层已无暗浜、杂填土及液化土层等不良地质条件存在,但是经过水泥土加固后的土质仍达不到强度要求,为此须进行硬地坪制作并基本平整,为大型设备施工提供足够强度的操作平台。隔离墙平面位置的确定一定要准确,确保桩与桩之间距,以避免因为测量定位偏差造成垂直度超标。

5.1.2 重视设备选型

由于隔离桩系同类桩中直径最大、深度最深的灌注桩,要求钻机机架强度较大、导向措施较好。根据设备力学性能及施工经验,直径900~1000 mm、深90~100 m的隔离桩施工宜选用20型回转钻机;直径1100~1200 mm、深101~120 m的隔离桩施工宜选用25型钻机。通过比较,考虑本工程的实际情况,我们选择了20型回转钻机。

5.1.3 选用精度好的施工机具

通常在灌注桩施工中,为追求钻进效率一般采用单腰带钻头钻进,但针对隔离桩的施工难点,我们改用双腰带钻头,两个腰带之间的间距控制在1 m以上,同时对钻头的同轴度进行精确制作,这样使得钻头在深层钻进过程中更好地导向。

同时钻杆与钻杆之间的连接采用刚性连接,即使用法兰盘接口和定位销的型式,确保钻杆与钻杆连接的刚度和垂直度,从而减少了钻具晃动而影响桩孔的垂直度。

5.1.4 选用设备固定基座

隔离桩施工选用轨道式基座,使得成排桩控制在同一排直线上,避免了隔离桩在左右方向的偏离,使得桩位真正地形成一堵“隔离墙”。同时在同一直线上的控制,采用在轨道上记号和前后控制的方式,保证了桩位施工的准确性,减少了施工机械的前后晃动。

5.1.5 减少机具晃动

在钻进过程中,通过卷扬机收紧钢丝绳,减少钻进过程中的机具晃动。

5.1.6 选择经验丰富的操作工,确保分层钻进垂直度

由于本工程造孔难度大,对其质量的控制主要以预防控制为主,因此我们选择具有技师职称的、经验丰富的老技术工人担任各班组的操作班长,他们能通过钻进过程中的状况,及时应对孔内情况,针对工程地质勘察报告,熟练地运用钻进及技术参数,严格按照设计的垂直度做好分层钻进工作,精心造好每一个孔。

5.1.7 加强现场的检查校核

施工过程中,随着钻进逐渐加深,钻机荷载不断增加,地基的变形也可能增加,所以应经常进行钻机安装水平校核,也即进行钻孔垂直度校核,一旦发现钻机安装水平偏差超标,要及时进行纠正。进入硬层时,通过减压、减速来避免孔斜,若发现孔斜要及时采用上提钻具复钻法进行纠正,或者钻杆上下往复活动的形式进行孔壁修正。

5.1.8 进行成孔试验和成孔质量检测

为有效地保证桩孔垂直度,应对每一个桩的施工质量进行成孔质量检测,通过对钻进参数记录和实测垂直度偏差的详细分析,及时跟进措施,进一步指导施工,同时对存在的施工中出现的问题如桩孔的偏向及时在邻孔中进行修正。

5.2 光滑度控制

隔离桩自身摩擦机理要求桩周光滑,且由于相邻隔离桩桩中心间距小,形成桩与桩之间必须严格按照设计要求进行造孔,避免扩径而导致的下一桩的施工难度,因此必须做好桩孔的保径,体现在施工过程中即为桩孔的光滑度控制。

5.2.1 选用双腰带钻头

通过选用双腰带钻头对孔壁进行二次修整,选用同轴度较好的钻具(包括钻头和钻杆),减少晃动而引起的桩孔扩径。

5.2.2 确保设备安装精度

在设备的安装上,要求稳固周正,确保天车、转盘、护筒与桩中心成垂直一线,避免施工误差引起的桩孔扩径。由于选用的钻机采用门架式动力头,其导向性能好,钻孔精度易于保证,桩孔超径系数小。

5.2.3 针对地层做好施工保径

针对地层特性,我们认为杂填土和20 m以浅的土层容易产生扩径,因此预先进行SMW工法全程加固的办法来解决,通过水泥土的加固,有效地实施了该孔段的保径。

对于深度在20 m以深的地层,根据邻近工程施工经验,第⑤层以下的地层孔壁稳定,不会出现缩径、坍孔等钻孔缺陷,用人工造浆即可有效保径。

5.2.4 跳孔施工措施

为保证桩孔的孔壁稳定,施工过程中必须严格按照设计和规程规范要求跳孔施工,确保桩孔间距 $4D$ (D 为桩孔直径),或者施工时间间隔在36 h以上。

由于各种不可预见的因素,桩孔局部地段可能超径,这就要求桩孔与桩孔之间的施工时间不能过长,应在最短的时间内完成邻桩或夹孔的施工,以修正邻桩扩径部分的混凝土。考虑到单桩成桩时间约4天,故施工跳打为打1跳2的施工顺序,即施工顺序为:先1号桩→4号桩→7号桩,再2号桩→5号桩→8号桩,最后3号桩→6号桩→9号桩→……,避免因为混凝土强度过高导致桩孔偏斜或扩径。

5.2.5 选用优质膨润土人工造浆

从施工角度看,超长超深的隔离桩单桩成桩周期较长,孔壁的稳定性就显得尤为重要,而孔壁的稳定性很大程度上决定于孔内泥浆性能。施工时采用了优质膨润土人工造浆结合原土造浆的泥浆管理办法,具体为在施工前配制一批性能较好的泥浆,开始成孔后每隔2 h左右检测孔口流出泥浆参数及孔内流入泥浆参数,根据检测数据配制泥浆,及时调整泥浆性能参数,满足成孔及孔壁稳定要求。

从设计角度考虑,隔离桩自身应减小桩与桩周土的摩擦,为此要求桩周光滑,确保措施之一是选用优质泥浆,主要成分为膨润土、水、增粘剂、分散剂,其配置性能要求比地连墙泥浆更优。

5.3 快速成孔措施

隔离桩的作用主要是地铁保护,因此应地铁公司的要求应尽量缩短成孔时间。

5.3.1 实现加压钻进和快速移位

对GW-20型钻机动力头采用油缸起塔,可以通过油缸加压跟进,行程长,起拔能力大,钻进效率高。钻塔起落快捷安全,装有步履机构,施工作业对孔方便迅速。同时为确保施工快捷,桩机设备采用走轨式,可以依靠电力实现平面轻便行走,实现快速移位。

5.3.2 实行平行流水作业

每台钻机设备配备一台灌注机。根据隔离桩的桩位布置特点,将灌注机紧跟钻机作业,使得隔离桩的施工工序和施工设备实行平行分割:即将钻孔灌注桩施工分为钻孔施工、安装钢筋笼和水下混凝土灌注二大工序,两大工序分别使用不同的施工设备完成,实现平行流水地快速跟进。

当第一根隔离桩用钻机完成成孔和第一次清孔

后,即让灌注机跟进实施第一根桩钢筋笼和水下混凝土灌注的施工,而钻机移到第二根桩实施同时钻进……并依此类推,直至隔离桩施工完毕。由于诸多的工序均在同时进行,设备均处于全过程运转状态,最大限度地发挥设备的效率。

5.3.3 针对第⑥层、第⑨层、第⑩层有针对性地实施钻进

上海地区灌注桩的施工难点主要体现在第⑥层、第⑨层、第⑩层,也是影响钻进效率的主要因素。

第⑨层为灰色粉细砂,土质不均匀,局部夹少量粗砂及砾砂,含云母、石英、长石等矿物,层位-91.29~-94.84 m,压缩性低。该层位的砂型相对致密,使得造孔钻进过程中进尺小,针对该层位应加加压钻进。

第⑥层和第⑩层岩土特性基本一致,无摇晃反应,稍光滑,高干强度,高韧性,呈硬塑状态。针对该层位应减压钻进,采用较稀泥浆(注入孔内泥浆密度 $<1.10\text{ kg/L}$),尽量减小切削深度,使其钻进的形式呈“刀削面”,可以避免糊钻,从而达到提高钻进效率的目的。第⑥层和第⑩层主要区别在于埋藏深度深浅导致的钻具承重不一,在第⑩层施工属于深部钻进,更应掌握好减压,避免增加钻具阻力,导致钻具折断。

5.3.4 使用大泵量泥浆循环

隔离桩单桩体积近 90 m^3 ,要求泥浆应有较大的传送能力,为此应使用大泵量。

常规灌注桩投入1台4PNL型泵即可,针对隔离桩,我们采用了2台4PNL型泵实施“双泵并联”,传送管径扩大至100 mm,由于钻进过程中钻渣能及时得到清理,保证了成孔工效。

5.3.5 加大钻具刚度

选用耐磨的钨钴优质硬质合金钎头作为磨料,必要时可以选用超硬复合片作为磨具,使其与钻机匹配,从而达到性能最优。

6 施工效果

(1)隔离桩施工取得了如下指标:平均单桩成桩时间72~90 h,桩孔直径1004~1250 mm,桩孔垂直度0.30%~0.40%,孔底沉渣厚度 $<100\text{ mm}$ 。加上桩底后注浆辅助技术,隔离桩施工效果良好。

(2)所选用的施工设备能满足隔离桩的成桩要求,隔离桩施工工艺及施工结果能满足设计要求。

(3)隔离桩的施工除考虑设备选型以外,还要

(下转第36页)

4.5 单孔注浆结束标准

(1)在注浆孔的注浆末期,泵压逐渐升高,当泵量 $<70\text{ L/min}$ 时,孔口压力在 $1.0\sim 1.5\text{ MPa}$,稳定 $10\sim 15\text{ min}$,可结束该孔的注浆施工。

(2)当注入一定量浆液,孔口压力 $\leq 0.3\text{ MPa}$,若出现地表裂隙大量跑浆时,即可暂停该孔的注浆施工。间歇适当时间(以 12 h 为宜)后,再行注浆。

如此反复至少3次,仍跑浆时即可结束该孔的注浆施工。

(3)单孔注浆是否结束,应按照设计要求,根据注浆现场实际情况来确定。

4.6 注浆质量控制措施

在注浆施工过程中,我们采取了多种措施来控制注浆质量(见表2)。

表2 注浆施工质量预控措施表

可能产生的质量隐患	产生原因	质量预控措施	补救措施
注浆管下置深度不够或不符设计要求	(1)不按技术要求施工; (2)塌孔	进完整基岩 5 m 后下注浆管,必须有监理旁站和签字认可	扩孔至规定深度
可灌性差(如煤柱或空隙、裂隙不发育的孔)、注浆量小	(1)选择初始浆液配合比不当; (2)基岩裂隙不发育,采空冒落带空隙小; (3)选择注浆压力不当	(1)加长压水时间 $3\sim 5\text{ min}$; (2)加大结束的注浆压力至 1.5 MPa ; (3)采用稀浆灌注	适当提高注终孔压力
地面或孔壁与注浆管间冒浆	(1)变径深度(注浆托盘深度即止浆深度)以下岩层破碎、裂隙或裂缝发育; (2)止浆不好或止浆时间不够(止浆浆液未凝固); (3)注浆压力不当	(1)调整注浆压力,减小泵量; (2)浓浆小流量灌注; (3)间歇注浆; (4)重新封孔止浆; (5)地表回填裂隙	增加邻孔注浆量
串浆(浆液进入他孔或从他孔流出)	(1)基岩破碎、裂隙或裂缝(塌陷产生)发育; (2)两孔间连通性好;	(1)加大钻孔第一次序孔间距; (2)适当延长邻孔施工时间或邻孔暂停钻进并封孔; (3)两相邻串浆孔同时注浆; (4)加强邻孔孔深及水位的观测,及时治理	(1)重新扫孔; (2)重新打孔; (3)两孔同注
浆液过量流失到非注浆部位或地段	(1)岩石破碎,裂隙发育; (2)注浆压力过大; (3)浆液过稀; (4)注浆工艺不当; (5)泵量过大	(1)采用浓浆灌注; (2)加速凝剂或骨料; (3)间歇注浆; (4)小泵量注浆; (5)控制注浆程序,先注帷幕孔	提高外加剂用量
注浆中断	(1)突然停电、停水; (2)机具设备故障;	(1)中断时间 $>30\text{ min}$,应立即设法冲洗注浆孔、泵及管路 (2)恢复注浆时,开始采用最稀一级浆液配比	(1)重新扫孔; (2)重新打孔

5 结语

以上双层注浆的做法是笔者根据自己在山西晋侯高速公路采空区第二合同段双层采空区治理工程注浆施工中的实际施工经验的总结,希望能对类似工程的施工有所参考。

参考文献:

- [1] 山西省交通厅中交通力公路勘察设计工程有限公司. 高速公路采空区(空洞)勘察设计与施工治理手册[M]. 北京:人民交通出版社,2005.

(上接第33页)

合理调配泥浆,按照优质泥浆指标要求进行管理,使其孔壁成孔质量基本满足施工及使用要求。

(4)由于隔离桩系深部长桩,隔离桩的施工必须是在与地铁隔离的情况下、即在地连墙封闭的前提下进行,本次施工采用钻进法对地铁的正常运营影响甚微。

7 结语

地铁及市政设施的保护是一个长期艰巨的任

务,根据土体与桩的摩擦机理的研究确定的近乎零摩擦力的隔离桩是有效降低地铁不均匀沉降的有效措施。通过施工实践和施工过程中的环境分析,结合相关试验数据,对延长建筑物、构筑物使用寿命具有很大的现实意义。通过施工验证,确定了隔离桩是今后工程设计特别是地铁沿线的保护措施之行之有效的办法,其应用具有较良好的前景。