

导洞施工防护隔离桩墙施工工法

(TGJGF-03·04-37)

中铁隧道集团有限公司

一、前言

在城市修建地铁隧道,不仅需要保证隧道工程本体施工的安全,还必须妥善解决隧道工程对附近既有建筑的影响。埋深较浅的隧道暗挖施工常常会引起地层移动和地表下沉,可能使周边既有建筑发生过量变形甚至破裂、破坏。中铁隧道集团开发的导洞施工防护隔离桩墙施工工法(简称导洞—隔离桩墙工法),在北京城铁13号线14标区间浅埋隧道下穿高层楼房段应用,巧妙地把导洞—隔离桩墙作用与土体的支撑作用联成一体,提出了“地下基坑”概念,并进行模拟与计算,是对既有建筑防护全新的构思、设计和施工实践,在国内、外权威刊物和重要学术论文集中均未发现有类似的报道。本工法在处理地层与结构、隧道施工与既有建筑相互作用方面效果明显,技术先进,具有显著的社会、经济效益。

二、工法特点

1. 导洞—隔离桩墙是利用地下导洞施作钻孔隔离桩,将隔离桩与导洞衬砌连接在一起,对邻近既有建筑防护的新构思、新技术。
2. 提出了“地下基坑”围护结构分析模型和解析方式是一种新的尝试,用解析方式预测的地层沉降和水平位移值与实测值相比在同一数量级上。
3. 将数据处理和信息反馈技术应用于施工,利用监控量测指导施工,动态修正施工方法和支护参数,能确保施工安全、快速。
4. 避免了施工对城市地面、路面的占用,保证了城市地面交通畅通,适应了对环保要求高的城市地下施工的要求。

三、适用范围

本工法适用于临近建(构)筑物、地面条件限制、地层构造复杂、富水条件下地下工程的暗挖施工。

四、工法原理及关键技术

1. “导洞—隔离桩墙”防护

在区间隧道两侧贴近楼层基础处各施作一导洞,在导洞内施作钻孔灌注桩,桩顶与导洞格栅连接,犹如一根刚度很大的帽梁将各根钻孔桩连接成为一道整体性较好的桩墙,导洞之间未被开挖掉的土体犹如支撑左、右两道桩墙间的横撑,从而成为一个稳定可靠的“地下基坑”围护结构,承受因开挖双连拱隧道(犹如基坑内挖土)而产生的土体的侧向压力,并限制桩墙外土体的竖向变形(沉降)。

2. 洞内水平降水

无水施工是控制沉降保证隧道周边建筑安全的前提,地质分层情况复杂或在繁华闹市区地表无条件采取深井降水的情况下,采取洞内水平降水,充分利用地层渗透系数水平方向大于垂直方向的特点,可达到降水时间短、效果明显、可操作性强的目的。

3. 改进隧道施工工艺

在导洞—隔离桩墙防护下,区间隧道施工以新奥法为依托,采取加密超前管棚、加强超前注浆、初支背后注浆加固、增设临时仰拱等支护方法,通过全过程的施工监控量测,随时调整支护参数,从而达到安全、快速通过高层建筑地段的目的,拓宽了浅埋暗挖在城市地铁施工中的使用范围。

4. 全过程的监控量测与分析

对适宜的监测内容全过程监控量测,是指导施工和控制地表下沉、监视土体及结构的稳定,保证施工安全的重要手段,为修正设计和变更施工方法提供了科学依据。

五、施工工艺

(一) 施工步骤

施工准备→导洞施工→隔离桩墙施工→洞内水平降水施工→隧道开挖及初支→隧道结构施工。

(二) 施工要点

1. 导洞施工

导洞净空高 3m、宽 2.5m,初支厚度 30cm,采用上下台阶法施工。施工工艺流程见图 1,导洞剖面见图 2,具体要求如下:

(1) 严格控制导洞线路精度,确保导洞与结构关系。

(2) 喷混凝土封闭后开挖前排设超前管棚,管棚参数为:棚管为 $\phi 42$ 无缝钢管,长 2.5m,环向间距 0.3m,间隔一个作为超前注浆管,注水泥水玻璃双液浆。

(3) 严格控制开挖进度,每次开挖一榀,严禁多榀一次开挖,开挖过程中留核心土。

(4) 遇到导洞上方存在人工杂填土或不良地质情况,须及时对开挖面进行网喷封闭,加固处理后再施工。

(5) 严格控制钢支撑间距,网构钢架应精确定位,注意“标高、中线、前倾后仰、左高右低、左前右后”等各个方位的位置偏差,钢支撑保护层厚为临土侧 5cm,背土侧 3cm。安装允许误差见表 1。

(6) 双层满铺钢筋网($\phi 6$ 网格 150×150),纵向连接筋采用 $\phi 16$ 螺纹钢,间距 0.5m。纵向连接筋、钢筋网与网构钢架连接牢固。

(7) 滞后掌子面 5m 回填注浆一次,浆液为纯水泥浆,在楼房段注意控制注浆压力,避免破坏楼房地下室。

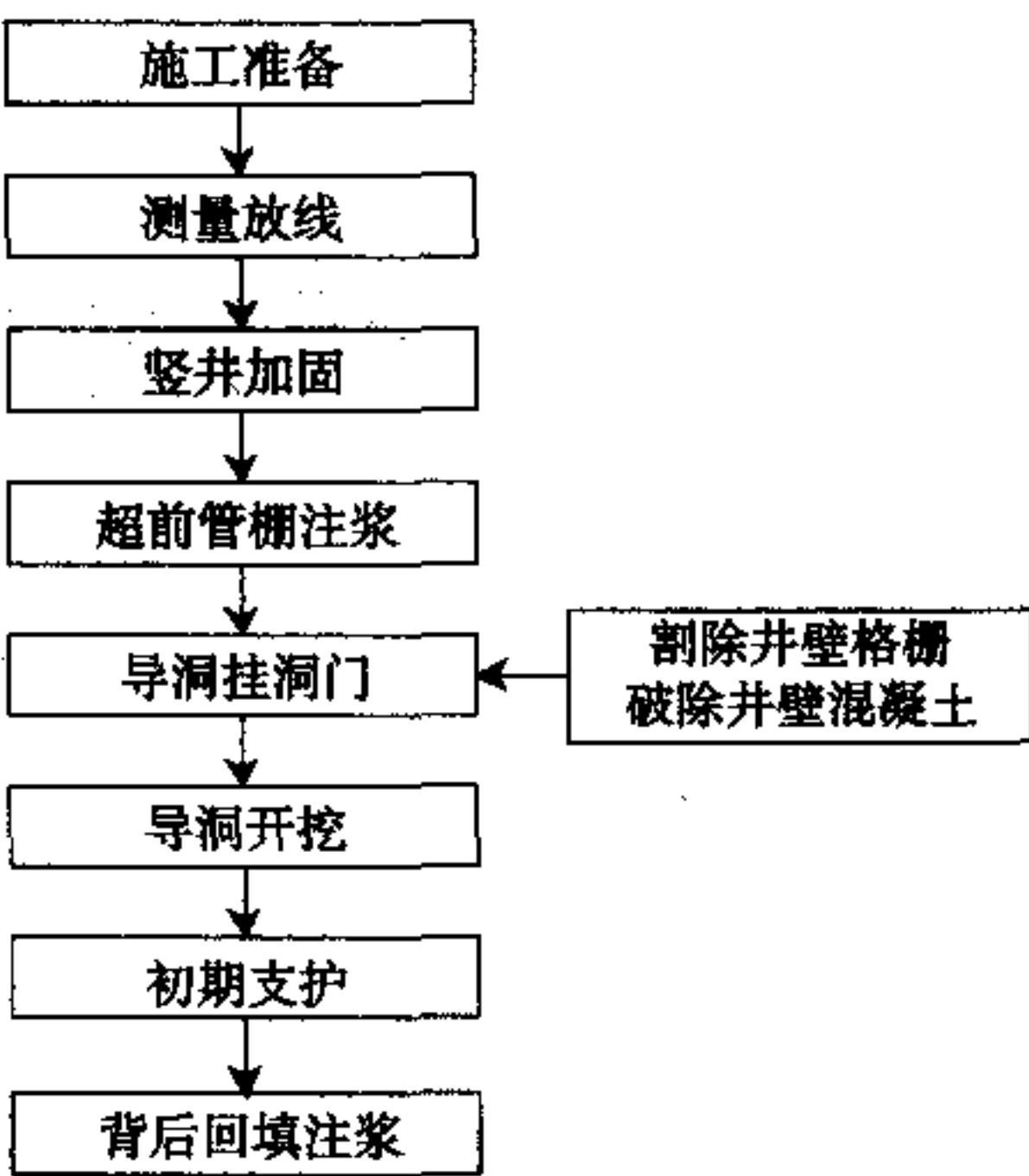


图 1 导洞施工工艺流程

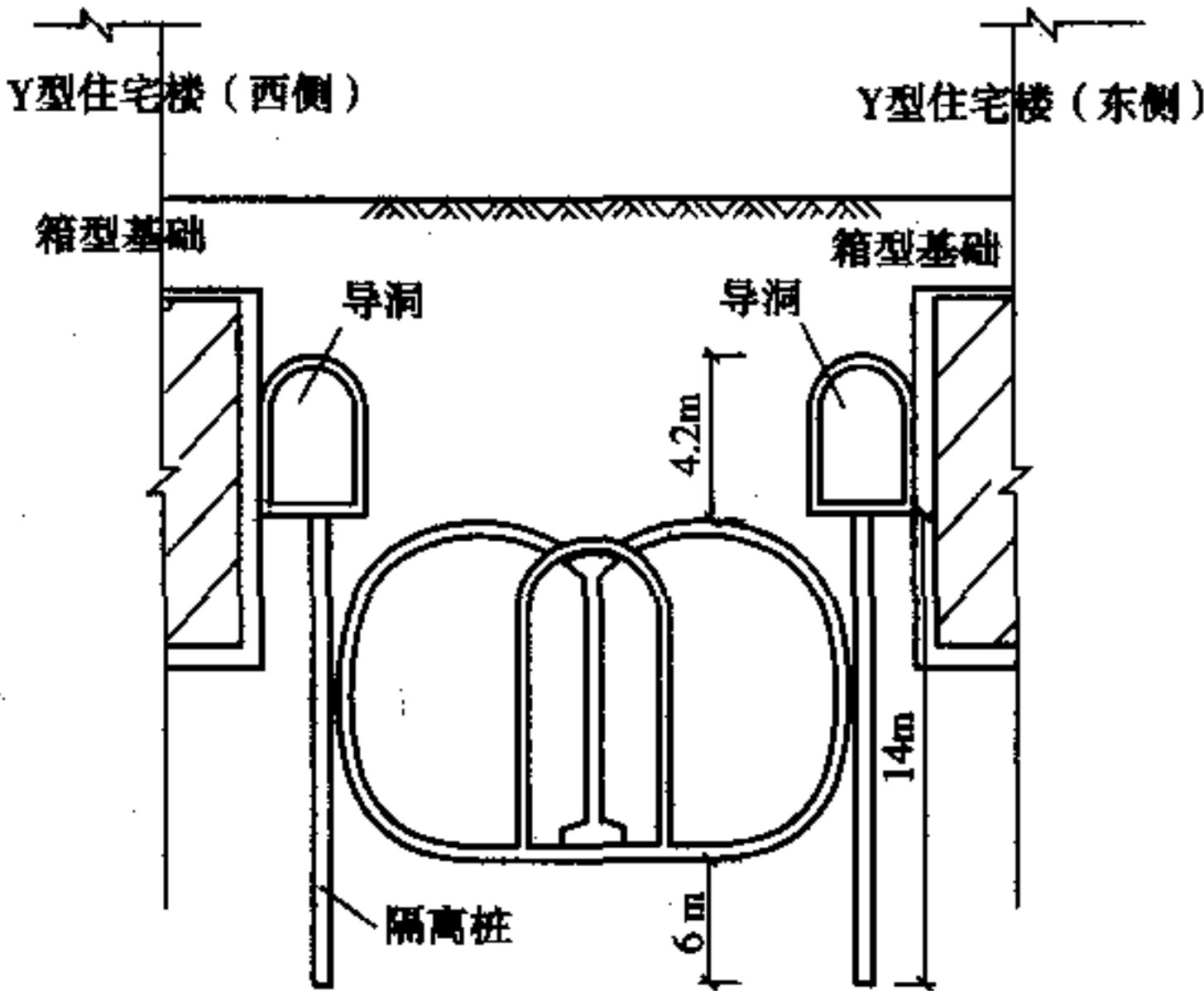


图 2 导洞剖面

表 1 网构钢架安装允许误差

项目	中线	高程	倾斜度	左、右拱脚标高	左、右钢架里程同步
允许误差	2cm	+2cm, -0	$\leq 2^\circ$	± 2 cm	± 2 cm

(8) 导洞施工过程中,加强量测频率,及时反馈量测结果,以便根据量测结果及时修正支护参数,确保安全。

2. 隔离桩墙施工

在两侧导洞内各施作一排直径 0.8m、间距 1m、长 14m 的钢筋混凝土钻孔灌注桩,将楼房基础与隧道隔离。

施工工艺流程见图 3。

施工时依据测量控制桩点及设计图纸定出桩孔平面位置,经各级测量核验无误后采用异型反循环钻机成孔。

钻机须满足地下导洞狭小空间钻孔深 14m 的施工要求。为防止坍孔和保证成孔质量,钻孔灌注桩采取 1、4、7 跳格施工,即一格成桩后再做另一格的桩。

3. 水平降水

先在已施工隧道底板施作水平降水基坑,再在水平降水基坑内用水平钻机成孔,埋设水平降水管,预

先将隧道施工范围内地下水降至隧道底部仰拱以下 1m 左右,保证后续开挖、初支无水施工。洞内降水应注意以下几点:控制成孔时砂土流失;控制抽水含砂量 $< 1/200000$;控制抽水量,避免抽水过度引起地表下沉。

(1) 施工方法

先施工工作坑,根据水平抽水钻机工作空间确定坑宽为 2.5m,工作坑施工完毕后,安置水平钻机,采用直径 89mm 钻头打孔清水钻进,φ89 套管跟进;将套管打到预定长度后,停止钻进冲孔;从套管中放进 φ60/φ50 螺旋打眼缠丝 PVC 滤水管;拔出 φ89 套管,将 PVC 滤水管留在土层中;封闭孔口使地下水从 PVC 滤水管中自动流出。

(2) 降水效果

由于是利用坡度降水,降水直接和彻底,且造价低,操作简便,是一条降水的捷径。

4. 隧道施工工艺的改进

(1) 增设临时仰拱,及时封闭,步步成环

遵循浅埋暗挖及时封闭步步成环的原则,增设上半断面临时仰拱,使上半断面及时封闭。仰拱由 C20 级喷射混凝土(厚 22cm)、纵向拉结筋(φ22@500)和双层钢筋网片(φ6@150×150)构成。施作仰拱后,上半断面及时封闭成环,使支护与围岩间形成了有效的收敛—约束体系,控制地表变形。临时仰拱形成了上部施工通道,避免了上下施工干扰,缩短了施工循环时间。

(2) 仰拱基底换填碎石和注浆

特殊地层,因降水时间不足而仰拱部位有滞留地下水,基底粉细砂层浸泡和人工扰动后,会造成基底液化,减小地基承载力,仰拱封闭后沉降仍不收敛。为此,在仰拱基底换填厚 30cm 的碎石,喷混凝土封闭后及时注纯水泥液浆充实,可使仰拱喷混凝土封闭后沉降很快收敛,保证施工安全。

(3) 加密拱部超前管棚、增设边墙超前管棚及锁脚锚杆

降水后开挖,掌子面自稳性差,围岩可注性差,采取环向和纵向加密拱部超前管棚、增设锁脚锚杆是控制掌子面土体稳定、控制沉降的有效措施。

(4) 加强超前注浆和背后回填注浆

开挖面围岩自稳性差,拱部开挖前利用部分超前棚管作为注浆管进行超前注水泥浆,保证开挖面自稳,并在滞后掌子面 5m 的初支背后进行回填注浆,填充空隙,控制沉降。

① 超前注浆参数

注浆管 φ42,长 2m,间距 0.3m。

外插角 10°~20°,围岩可注性差时取小外插角。

布置范围:拱墙。

浆液:水泥、水玻璃双液浆,浆液配比为水泥浆:水玻璃 = 1:0.5。

水泥浆水灰比 1:1,水玻璃为 35Be'。

注浆压力 0.4~1.0MPa,可注性差时取大值。

注浆结束标准:达到设计注浆量或达到设计压力后保持 20min。

② 背后回填注浆

喷混凝土完毕后进行拱墙、底部背后注浆,以起到充填空隙、加固地层的作用,使隧道结构与周边土体密实,有效控制地表沉陷。背后注浆滞后初支封闭成环后 3~5m 进行,注浆压力控制在 0.3~0.5MPa。

(5) 及时进行初喷,确保开挖面稳定

掌子面开挖过程中,拱部开挖面暴露时间较长,难以保证开挖面稳定,除留核心土外,还要挂网,初喷,喷射混凝土厚度为 10cm,形成壳体,有效保证开挖面稳定。

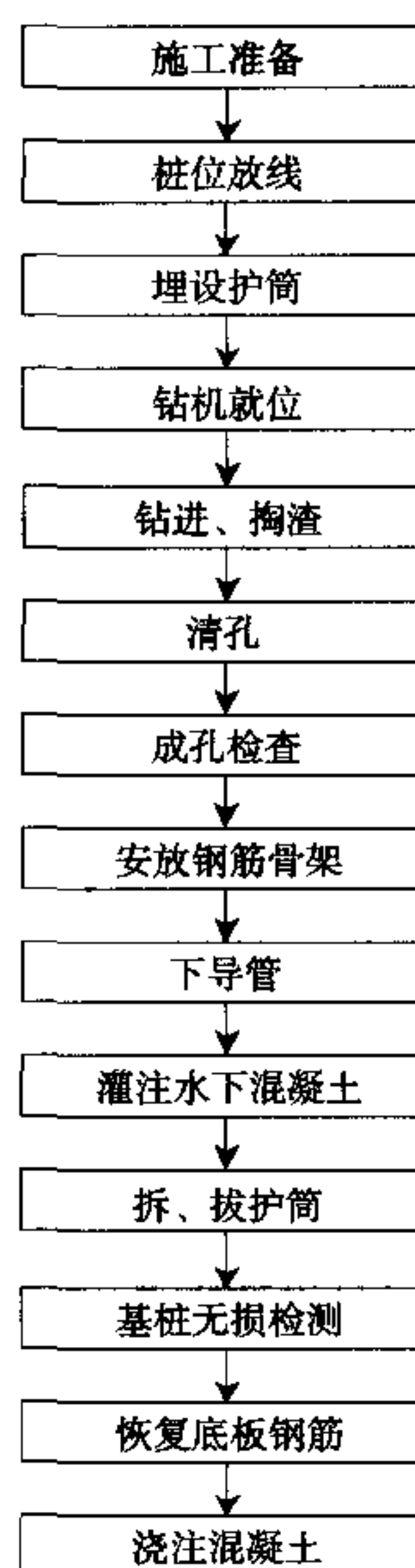


图3 桩墙施工工艺流程

5. 监测技术与分析

全过程监测隧道周边建筑的变化情况,及时测量各主要工序施工阶段引起的沉降量,并与计算值比较,将分析结果反馈指导设计和施工,是确保工程安全的关键。监测要求见表2。

表2 监测项目

序号	监测项目	监测仪器	监测频率	监测目的
1	地表沉降	WILD - N3 精密水准仪, 铟钢尺	初期:1 ~2 次/d, 后期:1 ~2 次/3d	掌握隧道及地表和周边环境的影响程度和范围
2	建筑物沉降与倾斜			
3	地下管线沉降			
4	拱顶沉降	苏光 DSZ - 1 水准仪, 钢挂尺	初期:1 ~2 次/d, 后期:1 ~2 次/3d	了解隧道施工过程中支护结构变位情况及规律
5	结构收敛	坑道收敛计		
6	围岩压力	压力盒, 频率接收仪	初期:1 次/3d, 后期:1 次/7d	了解隧道施工过程中围岩压力、接触应力及结构自身应力大小及分布情况
7	初支与二衬间压力			
8	初支钢筋内力	钢筋计, 应变仪、频率接收仪		
9	二衬钢筋内力			
10	混凝土应变			
11	地下水位	电测水位计	初期:1 次/d 稳定后:1 次/2d	掌握基坑及暗挖隧道需降水段地下水位情况

注:可根据施工条件和沉降情况增加或减少观测次数,随时将监测信息报告给现场技术人员。

六、机具设备(见表3)

表3 机具设备

序号	设备名称	设备型号	数量	用途
1	异型钻机		3	灌注桩施工
2	手拉葫芦	50kN	1	吊放钢筋笼
3	正铲装载机	ZL50	1	运土
4	卷扬机	30kN	1	拉直钢筋
5	钢筋弯曲机	GW40	1	钢筋加工
6	电焊机	BX - 300	4	钢筋加工
7	钢筋切割机	GJ40	1	钢筋加工
8	搅浆筒		2	制备泥浆
9	混凝土喷射机	PZ - 5B	2	喷射混凝土
10	注浆泵	KBY - 50/70	1	回填注浆
11	通风机	SDFN0.6.5	1	导洞通风
12	混凝土输送泵	HB - 30D	2	灌注混凝土
13	漏斗及导管	φ200	1	灌注混凝土
14	泥浆泵	TBW850/50	2	抽泥浆

七、劳动组织(见表4)

表4 劳动组织

序号	单项工程	人数
1	管理人员	4
2	技术人员	4
3	导洞施工	48
4	钻孔灌注桩施工	48
5	钢筋加工	15
6	杂工	5
合 计		124

八、质量控制

(一) 工程质量标准

1. 导洞施工质量执行《铁路隧道施工及验收规范》。

导洞允许偏差见表5。

表5 导洞允许偏差

序号	项目	允许偏差/mm	检查频率	检验方法
1	中线	±10	每榀格栅	用钢尺
2	标高	±10	每榀格栅	用水平仪
3	同步	±30	每榀格栅	用钢尺
4	环向闭合	±50	每榀格栅	用钢尺
5	垂直度	20	每榀格栅	锤球、钢卷尺

2. 钻孔灌注桩施工质量执行《城市地下铁道施工及验收规范》、《钢筋混凝土工程施工及验收规范》。隔离桩施工允许偏差见表6。

表6 钻孔桩成桩允许偏差

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度	在合格标准内	按 JTJ071—98 附录 D 检查
2	桩位/mm	50	用经纬仪检查纵、横方向
3	钻孔倾斜度	1%	查灌注前记录
4	沉淀厚度	不大于图纸规定	查灌注前记录
5	钢筋骨架底面高程/mm	±50	查灌注前记录

(二) 质量保证措施

1. 导洞必须按照设计要求施做超前小管棚,导洞施工中不得欠挖,应根据现场情况积极采取措施防止塌方,如初喷等。严禁多榀一次开挖。对意外出现的超挖或塌方应采用喷混凝土回填密实,并及时进行回填注浆。成环后必须及时回填注浆(滞后掌子面 5m 进行)。

2. 隔离桩钻孔时必须严密注意地层地质变化,及时调整钻进速度和钻压。严格控制护壁泥浆的比重、含砂率、pH 值。

3. 隔离桩成孔后必须进行孔径、孔深、孔斜率及沉渣厚度的检测。下钢筋笼后,灌注水下混凝土之前复测沉渣厚度满足规范要求。

4. 下放钢筋笼应缓慢进行,防止刮碰孔壁,水下混凝土应连续一次灌注成桩。

5. 隔离桩施工必须按隐蔽工程要求做好施工记录。

九、安全措施

1. 认真贯彻“安全第一,预防为主”的方针,坚持管生产必须管安全的原则,根据国家有关规定、条例,结合施工单位实际情况和工程的具体特点,组成专职安全员和班组兼职安全员以及工地安全用电负责人参加的安全生产管理网络,执行安全生产责任制,明确各级人员的职责,抓好工程的安全生产工作。

2. 施工现场的布置应符合防火、防风、防雷、防洪、防触电等安全规定及安全施工要求。

3. 各类房屋、库房、料场等的消防安全距离须符合公安部门的规定,室内不得堆放易燃品。严禁在木材加工场、料库等处吸烟,现场的易燃杂物随时清除,严禁在有火种的场所或其近旁堆放。

4. 氧气瓶不得沾染油脂,乙炔发生器必须有防止回火的安全装置,氧气瓶与乙炔瓶要隔离存放。

5. 施工现场的临时用电,必须严格按照《施工现场临时用电安全技术规范》的有关规定执行。

6. 电缆线路应采用“三相五线”接线方式,电气设备和电气线路必须绝缘良好,场内架设的电力线路其悬挂高度和线间距必须符合安全规定,并架在专用电杆上。

7. 施工现场的手持照明灯使用 36V 的安全电压。

8. 室内配电柜、配电箱前要有绝缘垫,并安装漏电保护装置。

9. 对停工时间较长的开挖作业面,不论地层好坏均应作网喷混凝土封闭。

10. 建立完善的施工安全保证体系,加强施工作业中的安全检查,确保作业标准化、规范化。

十、效益分析

(一) 社会效益

1. 不因施工干扰附近居民及企事业单位的正常生活及工作。
2. 为以后城市地下工程在类似情况下施工提供了可靠的决策依据和技术支持。
3. 本工法的开发,提高了施工单位在建筑市场的信誉和竞争力。

(二)经济效益

采用本工法,避免了线路绕行方案和临时迁移居民方案,节省了大量投资。

十一、施工实例

(一)工程概况

北京城铁 13 号线 14 标段暗挖地下结构为双跨连拱隧道,典型断面开挖宽度为 12.05m,开挖高度为 7.397m,支护形式为复合式衬砌。区间隧道在里程 K39+505~K39+585 之间,从两栋 Y 型高层居民楼中间下穿过,在 K39+618 处(居民楼以南 33m)设 1 号施工竖井。两座高层楼房地面以上 22 层(高 66m),地下 2 层,楼房基础为现浇钢筋混凝土箱型基础,箱型基础持力层为厚 2.7m 的换填级配砂石,暗挖隧道外轮廓线距楼房基础最小水平距离为 1.6m。

该段的地层情况由上到下依次为:人工填土层,粉细砂层,黏质粉土粉质黏土层,粉细砂层,黏土层。

地下水情况:上层滞水,水位埋深 4m 左右;潜水,水位在地面下 7.5m,高出隧道开挖拱顶;承压水对隧道施工无影响。

区间隧道在黏质粉土和粉细砂地层中穿过,上层滞水和潜水已进入隧道断面。

暗挖隧道开挖跨度达 12m,覆土仅为 1 倍洞径左右(7~12m)。设计采用中洞法施工,中隔墙形成承载能力后,进行侧洞开挖,最后施作侧洞衬砌形成双连拱结构。

(二)监测技术与分析

采用导洞—隔离桩墙工法防护后,为保证施工过程楼房的安全稳定,及时监测各主要施工阶段引起的沉降动态数值,北京市房屋鉴定总站和我方监测组对过楼房施工进行了全过程监控量测。地表沉降监测结果显示,沉降槽基本位于隔离桩内,说明隔离桩墙隔离作用明显。改进暗挖双连拱隧道施工工艺有效地控制了沉降。

地中水平位移监测结果显示,地中最大水平位移为 2.4mm,大多发生在隧道拱腰以上位置。

楼房基础沉降监测结果显示,最大沉降值为 18.9mm,平均沉降 12.7mm。

北京城铁 13 号线 14 标在里程 K39+505~K39+585 过楼房段于 2001 年 4 月 6 日开工,2002 年 7 月 28 日完工,由中铁隧道集团有限公司承建,采用“导洞—隔离桩墙”工法对楼房进行防护,施工过程中很好地控制了地表及楼房基础的沉降,确保高层居民楼的安全,双连拱隧道中洞、侧洞平均施工进度为 45 m/月。

执笔:马锁柱 王先堂 胡春停 龚晓明 蒋树谦