

上海轨道交通 8 号线地下连续墙施工技术

卿 崧, 邓 慧

(上海隧道工程股份有限公司, 上海市 200032)

摘 要: 该文介绍了上海轨道交通 8 号线陆家浜站北施工区地下连续墙施工过程中所存在的困难, 论述了解决这些困难的方案的确定、采取的措施及取得的成效。

关键词: 地下连续墙; 暗浜处理; 小幅施工; 十字止水钢板接头; 高导墙; 电缆保护

中图分类号: TU94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2007)03-0061-06

1 工程概况

上海轨道交通 8 号线陆家浜路站位于西藏南路、陆家浜路路口, 车站沿西藏南路布置, 骑跨陆家浜路, 为地下二层岛式站台车站, 在陆家浜路下预留与 R4 线车站换乘节点, 换乘段结构为地下三层。车站外包长 202.1 m, 土建结构包括车站主体结构 and 1#~4# 出入口、南北风井。车站主体结构形式为二柱三跨, 两端各设一座端头井, 端头井平面内净尺寸为 12.5 × 23.4 m, 最大外包宽度 26.2 m, 底板底埋深分别为 16.458 m、16.857 m, 标准段外包宽度 20.8 m。按照防水设计和施工筹划的要求, 将整个车站主体结构分为 3 个施工区域, 共 9 段施工, 由北向南分别为北施工区、换乘段、南施工区。其中南施工区结构施工已完成, 换乘段待第二次翻交才开始施工。

北施工区围护结构采用地下连续墙, 其中两端头井地下墙厚度为 0.8 m, 深度为 31 m; 标准段地下墙厚度 0.8 m, 深度 29 m; 南端封头墙厚度 0.8 m, 深度 35 m。本车站端头井内为有内衬的双层复合衬砌结构, 标准段内为无内衬的单层衬砌结构, 内部结构均采用现浇钢筋混凝土。北施工区地下墙施工, 共计 54 幅槽壁, 浇筑混凝土 6342.5 m³。

2 工况条件

2.1 北施工区建址周边建筑物

北施工区建址基坑四周交通错综复杂, 周围高层建筑密集, 除了车站东南角外, 几乎被高层建筑包围, 处于基坑外开挖深度范围内的主要建筑物及其基础形式如下: (1) 林荫大楼: 16 层居民楼, 箱基 + 桩基, 采用 450 mm × 450 mm 的预制打入桩, 桩长 30 m, 与基坑最小距离 2.1 m。 (2)

陆家浜路 1 221 弄: 14 层居民楼, 箱基 + 桩基, 采用 400 mm × 400 mm 预制打入桩, 桩长 25 m, 与基坑最小距离 12.3 m。 (3) 大林路 190 号: 17 层居民楼, 箱基 + 桩基, 采用 450 mm × 450 mm 的预制打入桩, 桩长 30 m, 与基坑最小距离 13.7 m。

上述建筑物中林荫大厦距离基坑最近, 虽然有桩基, 但桩基较浅, 小于地下墙深度, 而且桩断面较小, 抵抗水平变形能力差, 如果围护施工不当, 非常可能造成桩基位移, 导致上部结构产生倾斜, 因此, 将林荫大楼附近 18 m 长度的基坑定为一级保护基坑, 从地下墙施工阶段即逐步采取针对性措施加以保护。

2.2 北施工区周边管线

北施工区周边管线主要有: (1) 北端头井与幸运府邸围墙 7 m 范围内, 安置上水 Φ1 000、煤气 Φ300、Φ500 (紧贴小区围墙排明管)、通信管 24 孔、雨水 Φ1 200 等 5 根管道。 (2) 大林路西侧上管线紧贴北端头井西侧、绕过北端头井与西藏南路老管接通, 其安置上水 Φ300、煤气 Φ300、Φ300、通信管 24 孔、雨水 Φ800 等 5 根管道。 (3) 站体西侧道路安置上水 Φ300、煤气 Φ300, 南北接通。 (4) 站体北区基坑范围内遗留两根 10 000 V 电缆, 呈东西分布 (需采取措施在施工全过程中给予保护), 位置见图 1。 (5) 北施工区南端封头墙外侧陆家浜路站分布煤气 Φ700、Φ300、雨水 Φ1 650、通信管 48 孔、上水 Φ1 000、电力 11 万 V 等。

上述管线距离基坑近, 基坑四面沿管线走向, 最内侧管线距基坑距离最近只有 1.0 m, 最远也不过 3.0 m。

2.3 地质情况

陆家浜路站为地下二层车站, 埋深在 14.7~22.6 m 之间, 北施工区地下墙最深槽段端部在第⑤₃ 层粉质粘土内。

陆家浜路站的工程地质状况, 见表 1。

收稿日期: 2006-12-17
作者简介: 卿崧 (1977-), 男, 湖南人, 工程师, 从事地下工程施工技术管理工作。

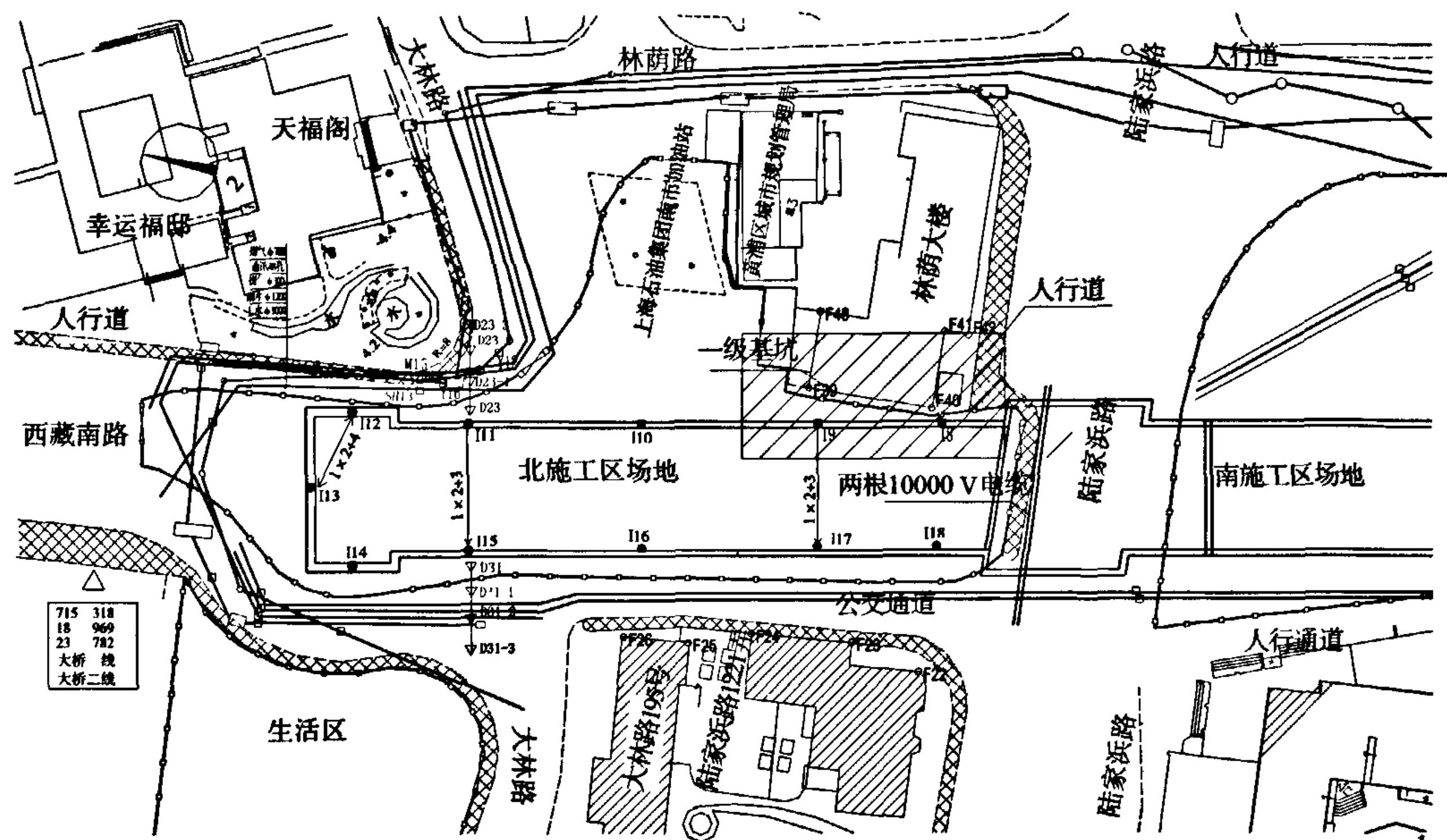


图 1 陆家浜路站北施工区场地图

表 1 陆家浜路站工程地质状况表

层序	地层名称	层厚(m)	层底标高(m)	含水量(%)	孔隙比	液限(%)	粘聚力	内摩擦角
① ₁	填土	1.30~3.20	2.66~1.10					
②	粉质粘土	0.60~2.30	0.81~0.31	32.3	0.93	36.17	20.6	20.5
③	淤泥质粉质粘土	3.50~4.40	-2.87~-3.74	39.0	1.12	35.0	12	20.5
④	淤泥质粘土	8.50~10.10	-11.67~-13.17	5.5	1.44	44.3	14	11.0
⑤ ₁	粘土	9.40~10.50	-21.17~-22.90	35.6	1.05	38.9	18	17.0
⑤ ₃	粉质粘土	11.70~13.40	-33.67~-36.09	33.3	0.98	37.0	18	19.0
⑤ ₄	粉质粘土	2.20~3.20	-35.97~-38.89	21.2	0.64	31.5	50	16.5
⑦ ₂	粉细土	未钻穿	未钻穿	26.1	0.75		0	31.5

工程场地浅部地下水属潜水类型,潜水水位埋深一般为 0.5~0.7 m。第⑦₂层粉细砂为第一承压含水层,其承压水头呈周期性变化,埋深为 4~12 m。地下水对混凝土无侵蚀性。原陆家浜及“丁字形”暗浜需进行补勘,搞清楚范围、深度、填土情况等,并据此采取相应的施工措施。

3 施工需解决的问题

根据以上的工况条件及地质情况,地下墙施工时需解决以下几个问题:

- (1)解决好暗浜土质对地下墙施工的影响问题。
- (2)解决好标准段内无内衬的单层衬砌结构止水问题。
- (3)解决好地下墙施工时对基坑内两根 10 000 V 电缆保护问题。
- (4)解决好地下墙施工阶段对周边环境的影响问题。

4 解决方案的确定及实施效果

4.1 解决好暗浜土质对地下墙施工的影响问题

根据地质勘探资料,陆家浜与西藏南路十字路口存在“丁字形”暗浜,采取措施如下。

北区围场完成后,根据地质勘探资料上暗浜存在的位置,在其位置处先制作导墙,清理部分路面障碍物(主要在北端头井、北区东侧导墙及林荫大楼附近的导墙),对原陆家浜及“丁字形”暗浜进行了布点和补勘,搞清楚范围、深度和填土情况等。共布置 30 个点,勘察结果为 02、08、05# 点存在暗浜迹象(分布在林荫大楼附近一级保护基坑处),根据小螺纹孔补充勘察报告有关说明及附图,除上述三个点外,其他点位无明显暗浜痕迹,暗浜的深度为 4.0~4.5 m,范围为沿林荫大楼附近导墙 32 m 左右。

据补勘报告中暗浜的深度和范围进行地基处理,处理的方法有以下三种:(1)换填法,此法将其暗浜土挖出,回填好土或水泥土。(2)做深导墙。(3)在其暗浜处进行压密注浆。

根据实际情况,经过上述三种方法比较,采用

压密注浆加固,注浆孔位布置导墙内外两侧,加固区域:靠近林荫大楼附近 32 m,具体见注浆孔位布置及注浆孔剖面,见图 2。

(1)注浆压力控制在 0.1~0.2 MPa,设计浆液初凝时间为 20 min,单孔注浆扩散半径为 0.75 m。

(2)注浆采取自下而上分层注浆方法,分层注浆提升速度控制在 20L/min, 分层提升的高度在 40 cm 左右,每层注浆量为 45L 左右。

(3)注浆时采用间隔跳打法施工,以防互相穿孔而影响施工质量。

经过对暗浜的处理,暗浜处的地下墙施工几无塌方及漏浆现象。

4.2 解决好标准段内无内衬的单层衬砌结构止水问题

标准段内为无内衬的单层衬砌结构,保证车站防水质量的关键在于提高地下墙防水质量,主要从两个方面考虑:(1)提高地下墙接头的止水效果;(2)减少地下墙预埋接驳器的薄弱部位的渗漏水。

4.2.1 提高地下墙接头的止水效果

无内衬的单层衬砌结构对地下墙接头止水要求极高,为此根据以往无内衬的地铁施工经验,采用十字止水钢板接头。在实际操作的过程中,对止水接头作了改良,将反力箱改为二块拼装结构,对基坑开挖面以上止水部分宽度进行了加长,对基坑开挖面以下部分,在保证抗剪的前提下进行了优化,接头断面形状更为简洁,利于刷壁,在更好的保证防水效果的基础上节约施工成本,见图 3。

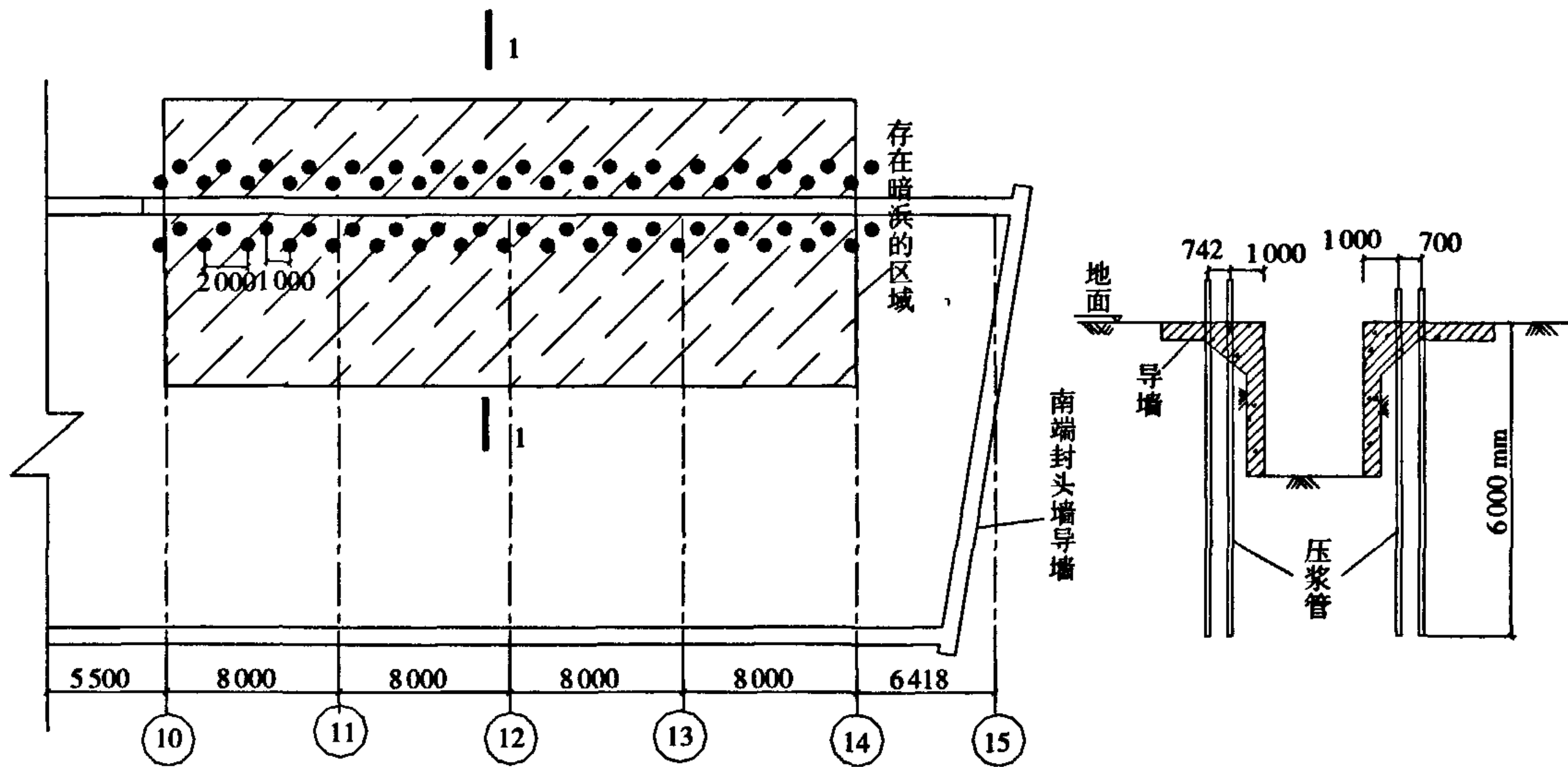


图 2 注浆孔位布置及注浆孔剖面(单位:mm)

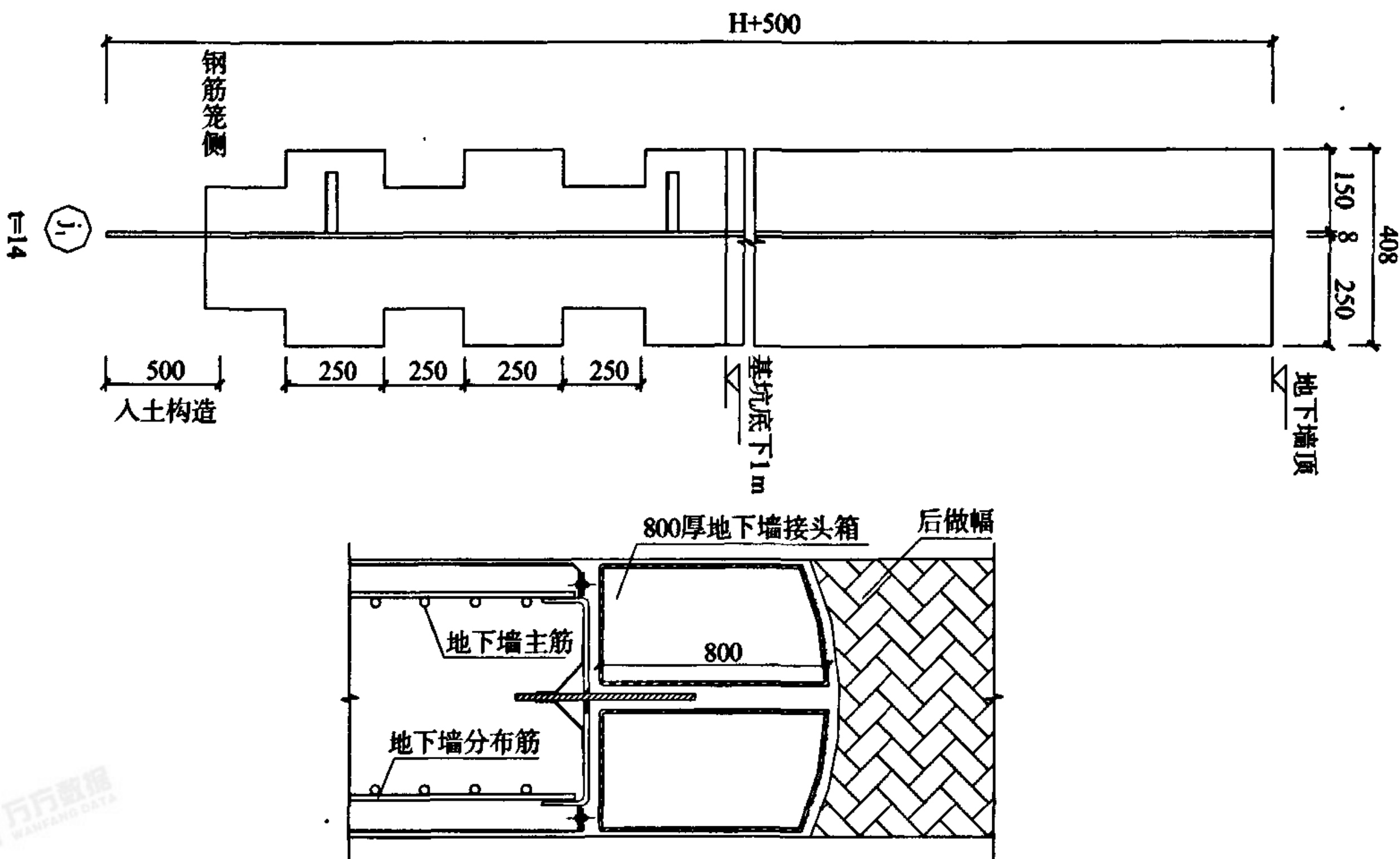


图 3 十字止水钢板接头构造图及接头箱示意图(单位:mm)

4.2.2 减少地下墙预埋接驳器的薄弱部位的渗漏水

无内衬的单层衬砌结构工程地下墙接驳器设置比有内衬的双层衬砌结构,每层板要多一层钢筋接驳器,根据接驳器的渗漏水途径,一般沿着接驳器的锚固钢筋,从迎土面向开挖面渗漏,即采取在接驳器密集区域拟设置迎土面防水薄钢板,提高次薄弱部位的防水能力,大大减少了接驳器渗漏水现象(见图4)。

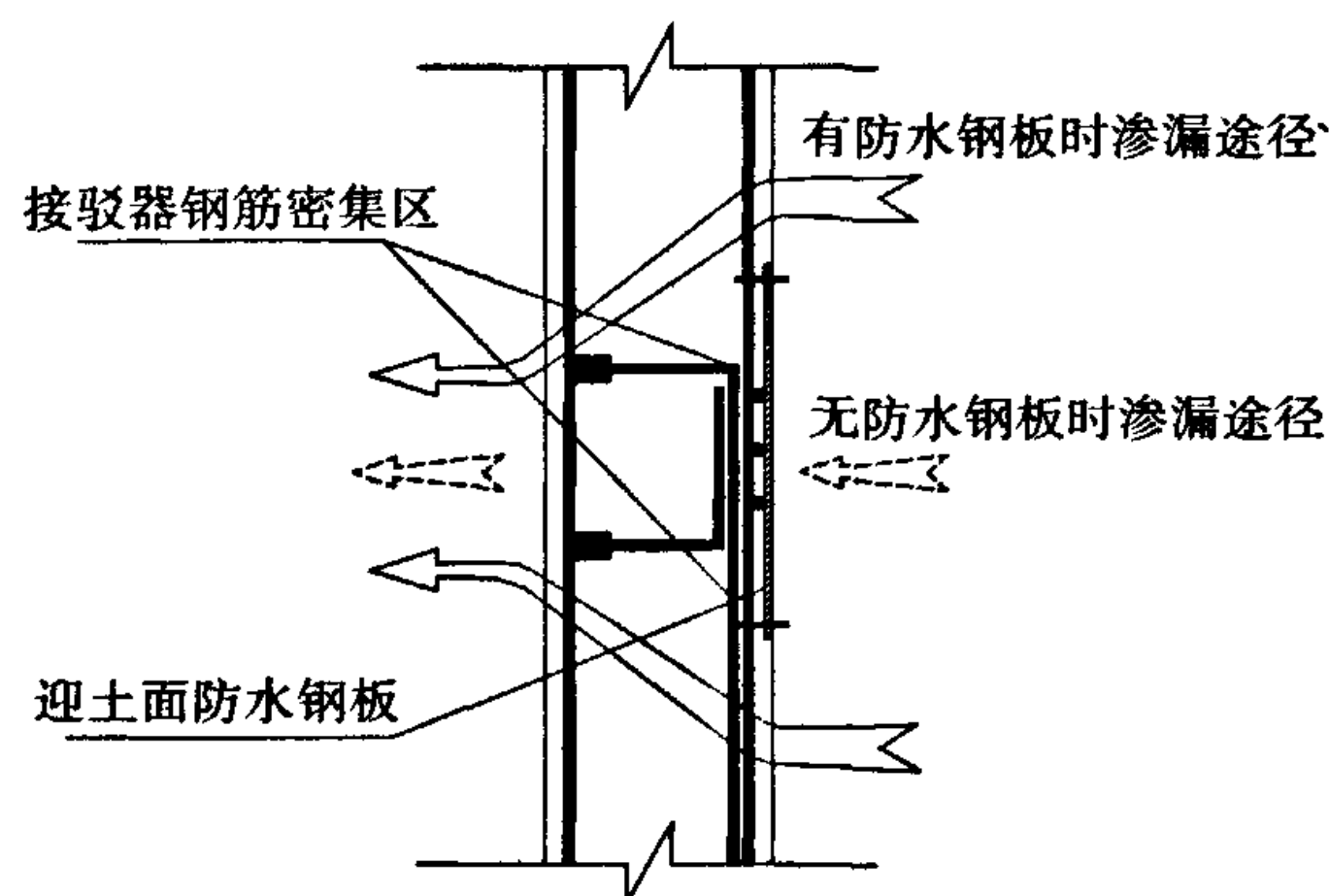


图4 接驳器密集处迎土面防水钢板止水示意图

4.3 解决好地下墙施工时对基坑内两根 10 000 V 电缆保护问题

北施工区地下连续墙施工过程中,在靠近封头墙一侧遇到两根与地下墙斜交的 10 000 V 地下电缆,走向与陆家浜路平行,横穿基坑成东西走向,埋深 0.5 m 左右,如图 3,需采取措施在不影响地下墙施工的同时保护好电缆,处理方案如下:

(1)对地下墙分幅进行适当调整,确保电缆位于先行幅地下墙 E23 和 W22 的中央,E23 和 W22 的幅宽为 4.3 m,使得管线两侧各能满足开挖一孔 2.8 m 的宽度要求,分幅调整,见图 5。

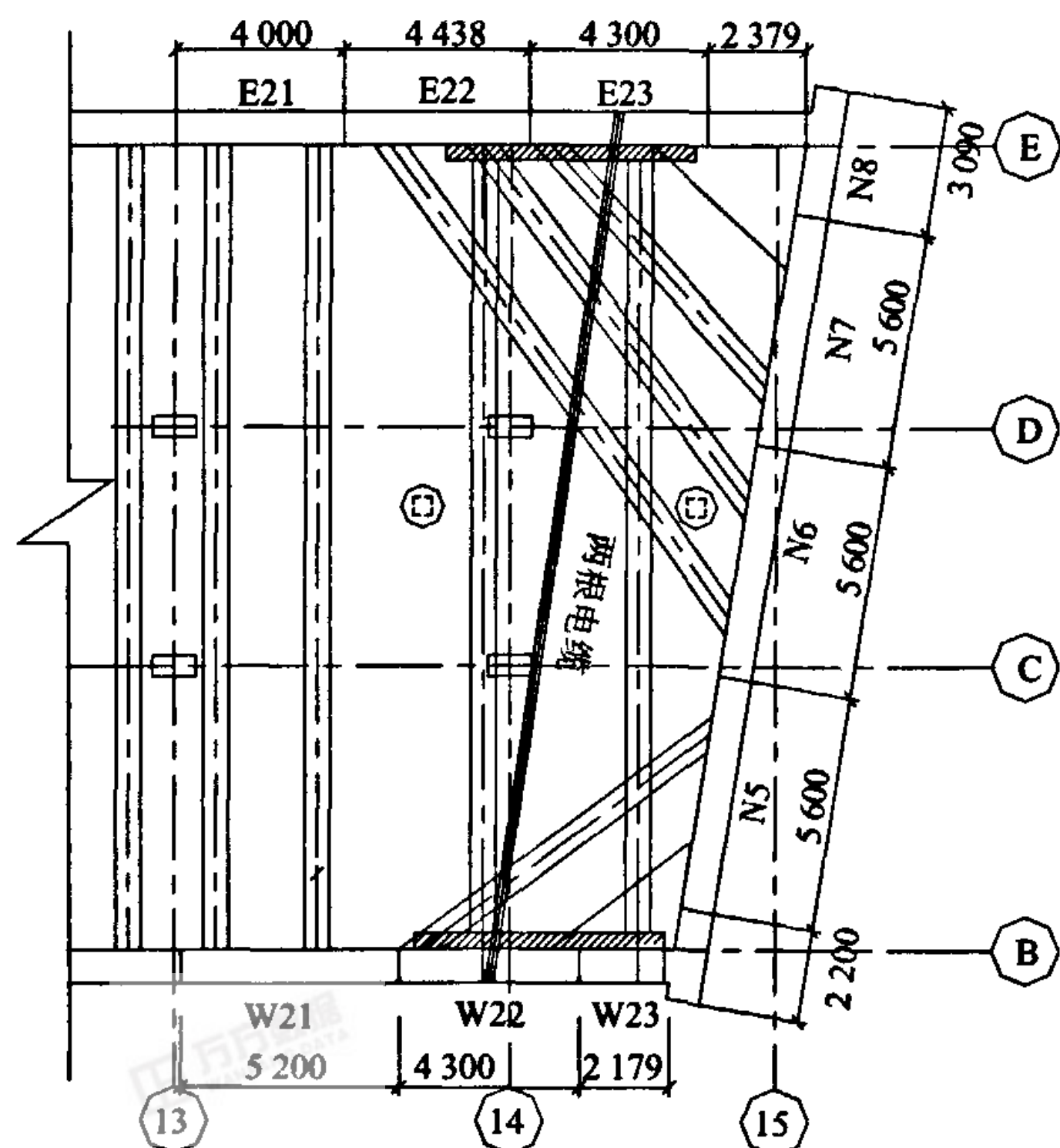


图5 电缆位置槽段划分图(单位:mm)

(2)导墙制作过程中用橡胶将两根电缆尽量绑在一起,然后在电缆四周用厚度为 20 cm 的钢板制作一个长度为 1.5 m 管线保护套,外形尺寸见图 6,混凝土浇筑结束后,保护钢套将与导墙连成一体,可以防止槽段开挖过程中液压抓斗直接碰到管线。

(3)开挖完成管线两侧槽段超过设计深度后,用厚度为 20 cm 的钢板制作一把割刀,外形尺寸见图 7,焊接到液压抓斗上。液压抓斗先闭合着放入挖好的槽段内,再打开抓斗,使割刀能够清除管线下方的土体。

(4)该幅地下墙钢筋笼制作完成后分成两个小钢笼,每个小钢笼分别有一个十字止水钢板接头和一个普通柔性接头,两个普通柔性接头分为雌雄,可以铰合,其中带雄头的小钢笼顶部 1 m 左右的包角筋不放形成缺口。先将带雌头的小钢笼靠近管线保护套放入槽底,接着向管线移动使缺口紧贴保护钢套。然后放入锁口管固定钢筋笼,再对带雄头的小钢笼进行类似处理,等到钢笼全部就位,测量各项位置数据,符合设计要求后就可以浇筑混凝土了,流程见图 7。

(5)由于这两幅地下墙没有内衬,基坑开挖时,在 E23、W22 的迎土面各布置两根旋喷桩防止漏水,确保基坑开挖顺利完成。

4.4 解决好地下墙施工阶段对周边环境的影响问题

对周边环境的影响主要分两个方面:一是对周边建筑物的影响;二是对周边道路及管线的影响。陆家浜路北施工区地下墙施工阶段,根据上述工况条件,对周边环境的控制要求很高,难点主要是防止地下墙成槽坍方,造成路面沉降过大,以致周边管线损坏及对林荫大楼(距离地下墙结构最近处 1.5 m)和陆家浜路 1 221 弄高层住宅产生扰动。除合理设置施工堆场,临时堆土场、钢筋堆场等重载堆场远离槽段。制作重型便道分散成槽机具重量,减轻槽段超载。成槽作业时要求注意垂直度,避免多次修整垂直度,减小对壁面的扰动外,主要针对性的保护措施从以下两个方面着手。

(1)合理调整设计分幅,减小槽段长度。

北区在一级基坑处的槽段划分时,将通常分成 6 m 一幅的槽段缩短为 4~4.5 m 一幅,变小幅施工,优点一是减少成槽时对土体的影响范围,二是减少泥浆护壁的时间(减少成槽时间、清孔时间、浇筑混凝土时间等)。

(2)泥浆护壁:一是泥浆比重;二是泥浆的液面高度(高导墙)。

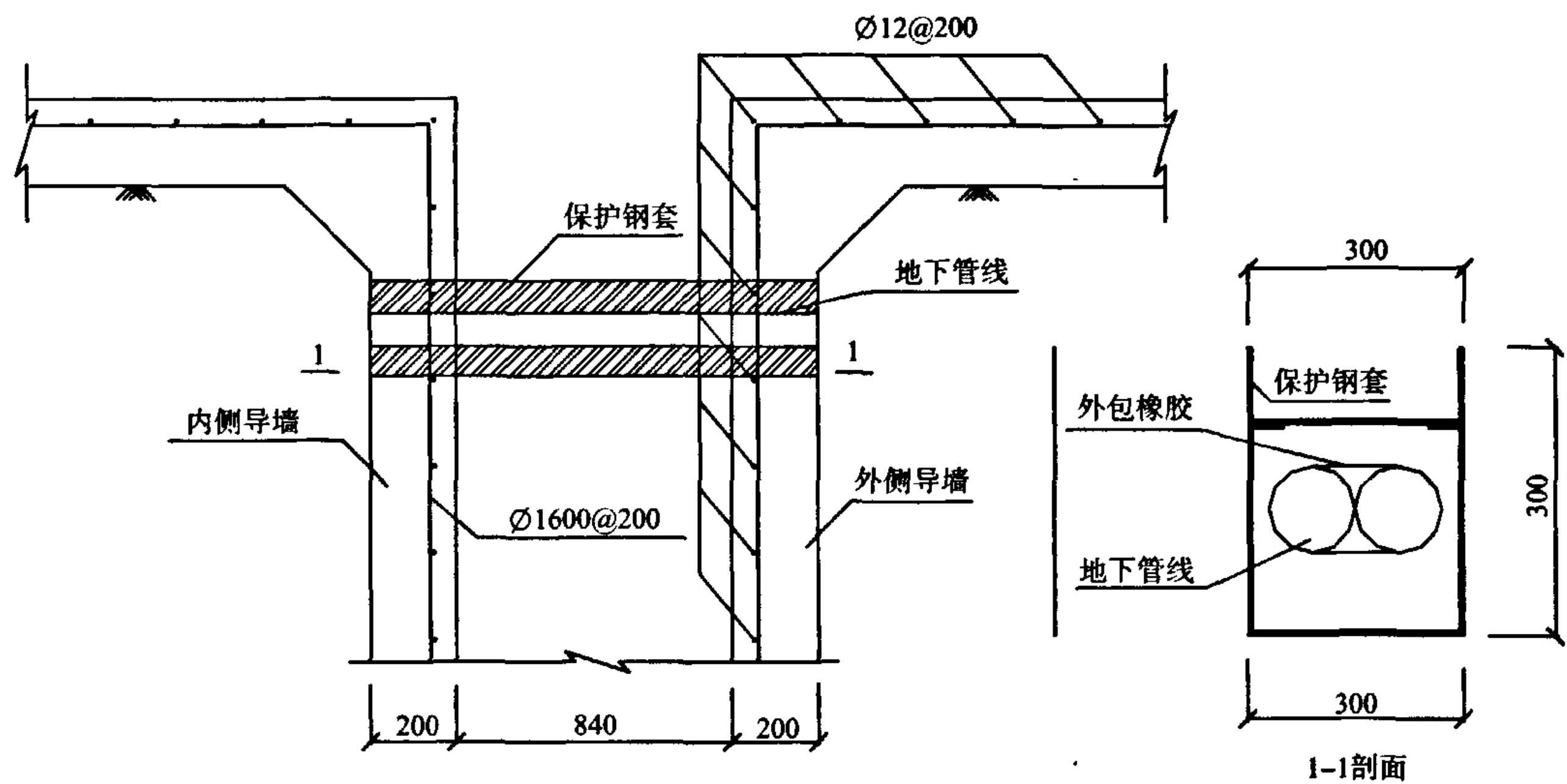


图 6 电缆保护好后的示意图(单位:mm)

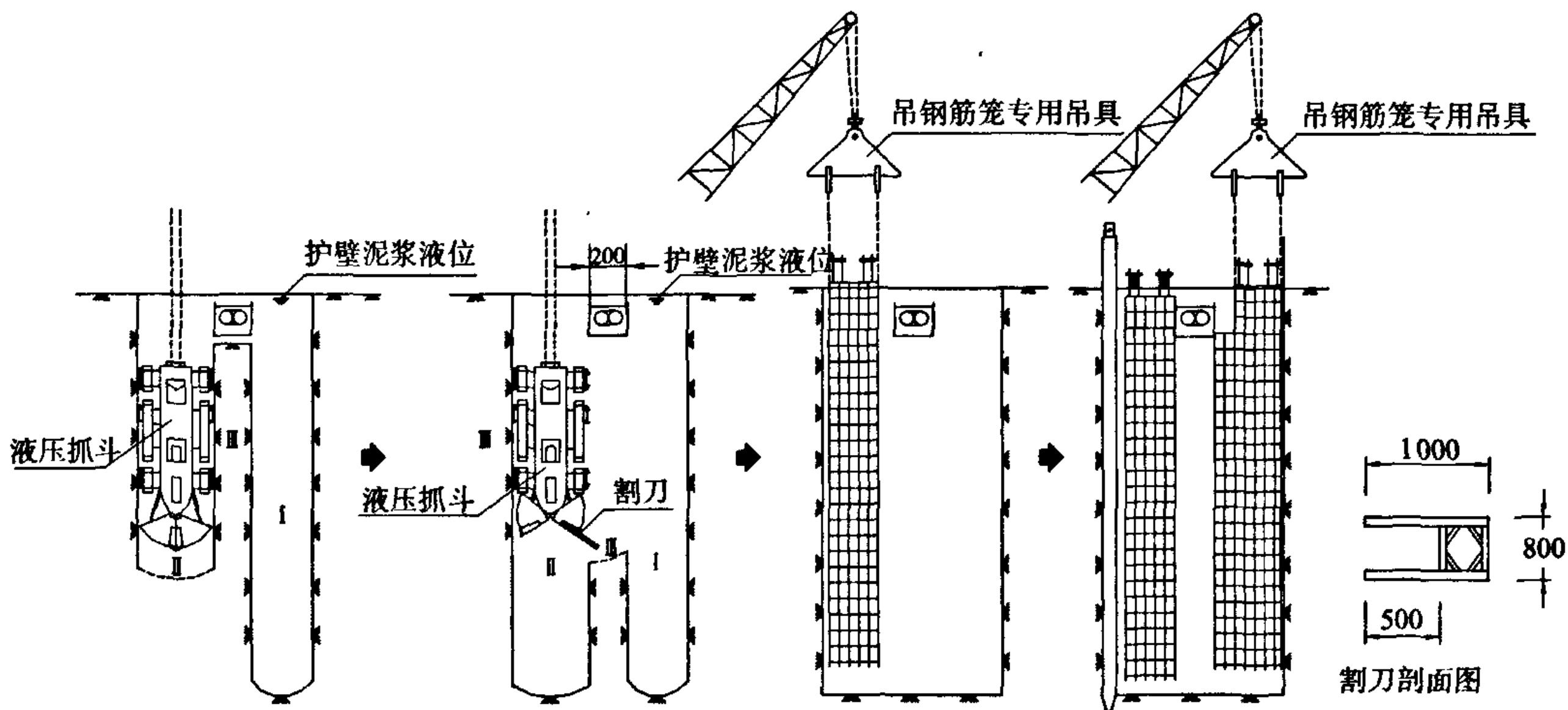


图 7 地下连续墙穿越地下管线施工流程图

a. 泥浆比重

北区地下墙施工邻近高层建筑物是有桩基的,因此,考虑桩基对成槽稳定影响非常重要,但是目前尚无关于桩基周围土体附加应力的权威论述,为此引用美国 Joseph E.Bowles 教授推导的弹性力学公式。

$$\sigma = \frac{P}{D^2} K_i$$
$$n = \frac{r}{D} \quad m = \frac{z}{D} \quad F^2 = m^2 + n^2$$
$$A^2 = n^2 + (m-1)^2 \quad B^2 = n^2 + (m+1)^2$$
$$K_i = \frac{1}{8\pi(1-\mu)} \times$$
$$\left[\frac{2(2-\mu)(m-1)}{A} + \frac{2(2-\mu)+2(1-2\mu)\frac{m}{n}(\frac{m}{n}+\frac{1}{n})}{B} \right]$$
$$- \frac{(1-2-\mu)2(\frac{m}{n})^2}{F} + \frac{n^2}{m^3} + \frac{4m^2-4(1+\mu)(\frac{m}{n})^2m^2}{F^3}$$

$$+ \frac{4m(1+\mu)(m+1)(\frac{m}{n}+\frac{1}{n})^2-(4m^2+n^2)}{B^3}$$
$$+ \frac{6m^2(\frac{m^4-n^4}{n^2})}{F^5} + \frac{6m[mn^2-\frac{1}{n^2}(m+1)^5]}{B^5}$$

其中: σ ——土体附加应力, KPa;
 P ——竖向荷载, kN;
 D ——桩基深度, m;
 r ——计算距离, m;
 z ——计算深度, m。

经计算:

深度 7 m 处, $\sigma = 3.1$ KPa;

深度 10 m 处, $\sigma = 5.5$ KPa;

深度 12 m 处, $\sigma = 7.17$ KPa。

为设计泥浆比重要求, 采用考虑土拱效应的坍塌体平衡公式。附加应力作用在坍塌体底部和顶板的效应相同计算, 附加荷载采用施工荷载 20

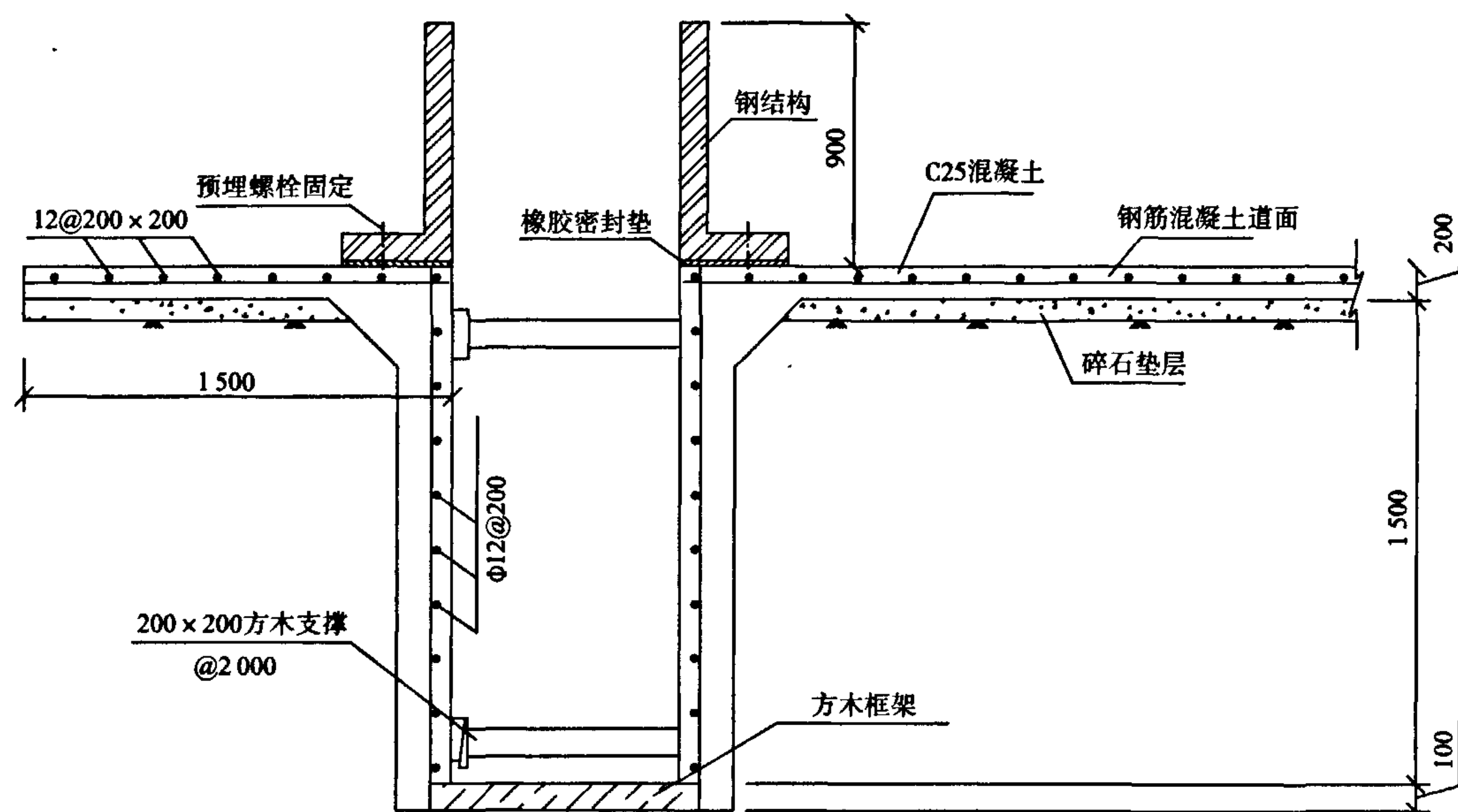


图 8 装配式高导墙结构示意图

kN + σ 代入下式。

$$tg(\alpha - \phi) \left[\frac{1}{8} \gamma L^2 \left(\pi h - \frac{2}{3} L tg \alpha \right) + \frac{\pi}{8} L^2 h_w \gamma_w + P - \frac{1}{2} \times C_1 L (\pi h - L tg \alpha) - \frac{\pi}{8} C_2 L^2 [tg \alpha \cdot tg(\alpha - \phi) + 1] \right] = \frac{L}{2} \times [(\gamma_f - 1) h^2 \times \gamma_w + 2 h h_w \gamma_w - h^2 \gamma_w]$$

其中: ϕ ——假想坍落面土体内摩擦角, $^\circ$;

r_1 ——土体平均容重, kN/m 3 ;

L ——设计槽段长, m;

h ——计算坍落深度, m;

α ——计算坍落角度, $^\circ$;

h_w ——地下水位距地面, m;

q ——地面超载, kN/m 2 ;

C_1 ——坍落面土体内聚力, kN/m 2 ;

C_2 ——坍落面以上土体平均内聚力, kN/m 2 ;

R_w ——水容重, kN/m 3 ;

R_f ——泥浆比重。

经过对各种成槽情况下 h 、 α 反复取值试算, 确定 10 m 深处在地面超载 25.5 kN/m 2 前提下, $\alpha = 56^\circ$ 时地下墙稳定所需泥浆比重最大, 为 0.997。

出于安全考虑, 设计新鲜泥浆比重为 1.08 > 0.997。

b. 制作高导墙施工

在林荫大楼一级基坑附近及管线距离基坑比较近的槽段, 在地下墙施工时采用 900 mm 高的预制钢高导墙, 作为进一步防止槽段坍方措施, 高导墙结构见图 8。

北施工区地下墙在施工时通过采取一系列的施工措施, 塌方现象很少, 几乎无混凝土绕管现象, 周边路面、管线及周边建筑物沉降量极小, 以下为北施工区地下墙施工结束后的最为代表性监测数据:

当北施工区槽壁施工时, 临近建筑物沉降最大的林荫大楼的 F39 点为 -1.9 mm, 周边建筑物未发现明显的裂缝, 地面沉降最大点为 -1.3 mm, 路面未发现明显的沉降, 管线最大沉降点为 -1.5 mm, 管线未发生破坏。

5 结语

由于上海轨道交通 8 号线陆家浜路站北施工区地下墙施工时, 采取多项施工措施及先进的施工工艺, 使得工程在复杂的周边环境条件下, 能在较短的工期内得以完成, 很好地控制了基坑周边环境的影响, 确保了西藏南路交通畅通及林荫大楼等临边建筑的安全, 同时确保了工程质量。