

# 下穿通道深基坑支护工程的设计与施工

彭定新, 吴立鹏, 余 玲

(武汉市市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北武汉 430015)

**摘 要:**该文分析了武汉友谊大道下穿通道基坑支护工程的重点和难点,介绍了该工程基坑支护的设计、施工与监测情况。通过优化设计,基坑支护结构采取SMW工法连续墙加内支撑的支护体系,地下水控制采用SMW工法形成侧向止水帷幕和中深井降水相结合的处理措施,并运用了信息化施工管理技术。

**关键词:**下穿通道;基坑支护;SMW工法;武汉市

中图分类号:U412.373.1

文献标识码:A

文章编号:1009-7716(2007)01-0066-05

## 1 工程概况

为了缓解武昌徐东路与友谊大道相交路口交通堵塞问题,武汉市市政府决定沿友谊大道方向新建下穿通道。该下穿通道总长540 m,其中,主通道长90 m,为双孔钢筋混凝土闭合框架结构;引道长450 m,220 m采用钢筋混凝土U型槽结构,230 m采用挡土墙结构。主通道南侧布置有排水泵房,平面尺寸为6.7 m×6.2 m。排水泵房设计采用沉井施工,主通道和引道基坑采用明挖法施工,基坑宽22 m左右,主通道基坑开挖深度为8.7~9.6 m,引道U型槽基坑开挖深度4.7~9.0 m。

施工期间要求不断交通,路口的主通道段沿徐东路方向需保证30 m宽的行车道及行车道两侧各5 m宽的人行道,需分段施工。友谊大道中的引道两侧各保留6 m宽的行车道。

本工程根据结构布置特点及交通要求,分3个阶段进行施工。图1为本工程平面布置及总体施工顺序示意图。

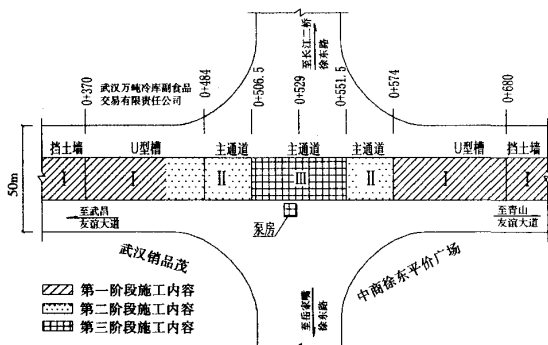


图1 工程平面布置及总体施工顺序示意图

## 2 工程地质及水文地质条件

场地土层分布及主要物理力学性质见表1。

场地地下水为上层滞水和承压水。场区在①层杂填土中赋存有上层滞水,承压水主要赋存于⑤、⑥、⑦、⑧、⑨层中,该场地承压水与长江水力联系较密,水位随季节变化较大。

## 3 基坑支护重点和难点分析

本工程基坑施工具有以下重点和难点:

(1)基坑开挖深度较大,设计主通道和引道最

存应力的稳定性,造成跨中挠度后期变形大大超过设计值。

## 9 结语

南通市城闸大桥主桥为142 m+110 m+45 m+45 m独塔中央单索面预应力混凝土斜拉桥,主桥主梁为单箱三室结构倒梯形展翅箱梁,最大悬浇块件重400.4 t,设计为后支点挂篮施工,施工单位在建设、设计、监控等单位的大力支持和配合下,主梁应力、线形和混凝土浇筑质量均得到了有效控制,从而确保了大桥主梁的顺利施工。

收稿日期:2006-09-21

作者简介:彭定新(1972-),男,湖北武穴人,高级工程师,一级注册结构工程师,主要从事市政、水利及民用建筑工程的设计和研究工作。

算结果列出,以便在施工过程中进行检测校对,指导施工。”据此,设计单位在施工图设计阶段应在设计文件中提供以上成果。

(4)挂篮悬浇施工涉及混凝土等强问题,目前《公路桥梁施工技术规范》(JTJ 041-2000)中仅明确:张拉时,构件的混凝土强度应符合设计要求,设计未规定时,不应低于设计强度等级的75%。对混凝土的弹性模量或等强时间未作限制性规定的,建议施工规范对此作出限制性规定,避免为了赶工期,盲目缩短悬浇节段的施工周期,造成主梁后期徐变增大,无法保证二期预应力建立的有效性和永

表 1 土层分布及主要物理力学性质

层号	名称	层厚(m)	C(kPa)	$\varphi$ (度)
①	杂填土	1.4~3.4	12	9
②	亚粘土	0~3.4	15	9
③-1	淤泥质粘土	0~6.0	9	4
③-2	淤泥质亚粘土	0~8.0	15	6
④	亚粘土夹粉土	0~9.4	16	13
⑤	亚粘土夹粉砂	0~8.0	7	18
⑥	粉砂夹亚粘土	0~6.4	5	25
⑦	粉细砂夹中砂	17.7	0	33
⑧	细砂夹中粗砂	16.5	0	35
⑨	卵石	1.5		

大开挖深度 9.6 m。实际施工中,为了尽量减少对交通干扰以及加快施工进度,将排水泵房由钢筋混凝土沉井施工改为明挖法施工,导致基坑最大开挖深度增加到 13.5 m。

(2)通道所处的友谊大道两侧为徐东平价、销品茂、居民住宅等建筑群,距离基坑 14~20 m。下穿通道范围内纵横两个方向的电力电缆、通讯、煤气、给水、排水等各种管线众多,其中横穿管线就达 40 余条(种),其中  $\Phi 1200$  mm 的给水横穿管、友谊大道两侧 2 排  $B \times H=2.4 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$  的排水箱涵及  $\Phi 1200$  mm 的排水管道是基坑工程重点考虑对象。

(3)在施工期间,在保证路口双向均不中断交通的同时保证基坑安全是本基坑工程的难点。

(4)基坑开挖揭露的土层中分布的软塑至流塑状态的淤泥质粘土最大厚度达 8.8 m 以上,该层土强度低,属高压缩性土,在开挖过程中,易产生触变、流动,是本基坑工程的难点。

(5)场地地下水丰富,主要为上层滞水和承压水。主通道及引道基坑开挖揭露的地下水为上层滞水,虽然未揭穿下部承压含水层,但距承压含水层顶面只有 2~3 m,而排水泵房施工已揭穿下部承压含水层。工程场地距离长江较近,场地承压水与长江水力联系非常密切,按照业主要求,工程又需要在主汛期 7 月份开工。以上因素,都给基坑开挖过程中地下水的治理带来了很大的难度。如不采取合理的防水、降水措施,将会产生管涌、突涌现象,危及基坑和周边环境的安全。

## 4 基坑支护设计

由以上情况可知,本基坑工程是一个典型的较复杂的市政基坑工程,基坑狭长,周边建筑物密集、距基坑较近,地下管线复杂,地下水位高,场地地质条件差,基坑开挖深度深,且施工时要求不断交通,这些因素都为基坑设计和施工带来了较大的难度和风险。

### 4.1 基坑支护方案选择

针对本工程情况,比较适用的基坑支护方案为:(1)SMW 工法连续墙加内支撑;(2)钻孔灌注桩排加内支撑(或喷锚);(3)钢筋混凝土地下连续墙加内支撑(或喷锚)。以上方案各有优缺点,但方案一与方案二、方案三相比较而言,具有集挡土与止水为一体、占地小、工期短、费用低等优点,因此,将方案一作为推荐方案。经优化设计,设计采用的基坑支护方案为:对于主通道和 U 型槽段采用 SMW 工法连续墙加内支撑支护,利用 SMW 工法连续墙作为止水帷幕和加固体,墙内插入型钢芯材作为挡土支护;对于挡土墙段,基坑开挖深度较浅,且可以窄槽施工,采用钢板桩加内支撑的基坑支护方式;地下水控制采用 SMW 工法形成侧向止水帷幕和中深井降水相结合的处理措施,并结合坑底明沟、集水井抽排。

### 4.2 基坑支护设计与分析

#### (1)支护结构设计与分析计算

根据《湖北省基坑工程技术规程》DB 42/159-2004 的规定,本基坑工程应按一级基坑设计,支护结构的最大水平位移  $\geq 40$  mm。

主通道的开挖深度为 8.7~9.6 m,采用 SMW 工法,水泥土搅拌桩采用 32.5 MPa 的普通硅酸盐水泥,水泥掺量为 18%,桩径 0.65 m,桩间距 0.45 m,桩长 18 m,3 根搅拌桩内插 2 根 HK500×300 的 H 型钢,支护桩顶端设置 0.8 m×0.6 m 的 C25 钢筋混凝土冠梁。设 2 道临时内支撑,间距 4 m,采用  $\Phi 609 \times 12$  的热轧无缝钢管,每道支撑处均设置一道纵向腰梁,腰梁采用 2 根 HK400×400 的 H 型钢。主通道中隔墙偏移 1 m 处设中立柱,立柱为格构式钢柱,间距 4~8 m,截面尺寸为 0.4 m×0.4 m,由 4 根 L140×12 角钢组合而成,钢立柱之下为  $\Phi 0.8$  m 钻孔灌注桩,钻孔灌注桩桩长 8 m,钢立柱进入灌注桩内长度为 2.5 m,立柱之间采用钢连梁连接,连梁采用 2I32 a 组合钢梁。

为了施工方便以及减少对主体结构的穿洞数量,当主通道底板的混凝土强度达到 75%时考虑换撑,利用底板作为支护结构的底撑,拆除第二道内支撑。

主通道基坑支护设计详见图 2、图 3、图 4。

U 型槽的开挖深度 4.7~9.0 m,水泥土搅拌桩直径为 0.65 m,桩间距 0.45 m,桩长 12~17 m,水泥土搅拌桩内插型钢为 HK500×200 的 H 型钢。开挖深度大于 7 m 的,为 3 根搅拌桩插 2 根型钢;开挖深度小于 7 m 的,间隔 1 根搅拌桩插 1 根型钢;开挖深度 5.8~9 m 的,设 2 道临时内支撑,

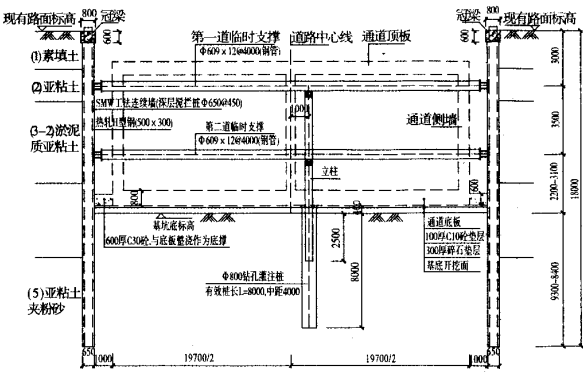


图 2 主通道基坑支护断面图

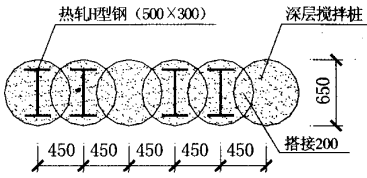


图 3 主通道支护桩布置

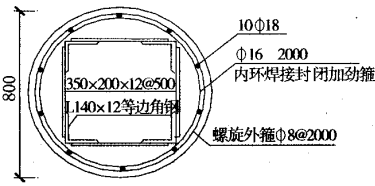


图 4 立柱结构图

间距 4 ~ 5m 布置；开挖深度 4.3 ~ 5.8 m 的，设 1 道临时内支撑，间距 5 m 布置。

基坑支护计算采用“天汉 V2005.1”系列基坑工程辅助设计软件进行分析计算。图 5 为主通道桩号 0+529 处（主通道基坑开挖最深处）的计算结果。

根据计算结果可知，计算支护结构的最大水平位移  $S_{max}=19\text{ mm}<40\text{ mm}$ ，被动区最小抗力安全系数  $K_{ik_{min}}=1.262>1.05$ ，计算桩身最大弯矩设计值  $M=530\text{ kN/m}$ ，小于  $\text{HK}500\times300$  的 H 型钢容许弯矩设计值  $[M]=921\text{ kN/m}$ 。

(2)地下水控制设计与分析

对于上层滞水，由于水量有限，采用明沟和集水井抽排；粉土夹层中的地下水因滞后效应难以疏干，利用 SMW 工法连续墙形成侧向止水帷幕对其阻隔；深层承压水为地下水控制设计的重点，由于泵房区段基坑已经揭穿承压含水层顶板，降水设计按疏干法考虑，其它区域底板底距离承压含水层顶板有一定距离，降水设计按减压法考虑。

本基坑工程平面形状为长条形，不宜采用大井法估算涌水量，应以设计降深要求作为控制原则。按照《湖北省基坑工程技术规程》DB 42/159-2004 中的 7.4.7-1 公式对开挖段进行估算，其中综合渗透系数  $K$  取  $16\text{ m/d}$ ，含水层厚度  $M$  取  $45\text{ m}$ ，抽水影响半径  $R$  取  $200\text{ m}$ 。经优化设计，本基坑在主通道和 U 型槽之间布置 25 口降水井（两侧各 12 口，另在泵房处增设 1 口），3 口观测井。降水井深度  $26\sim30\text{ m}$ ，观测井深度  $20\text{ m}$ ，降水井和观测井套管

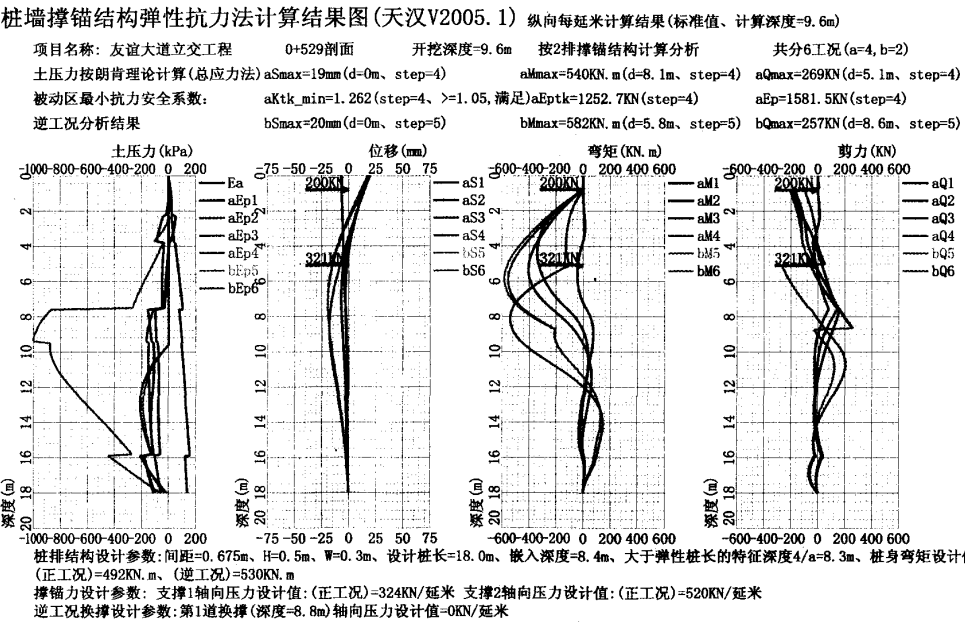


图 5 主通道桩号 0+529 处基坑支护计算结果

长度为 16 m, 也就是地面以下 0~16 m 为实管, 实管以下均为滤管。设计单井涌水量不小于 50 m<sup>3</sup>/h, 单井抽水含砂量不超过 1/100 000。根据基坑开挖深度从两端向中间由浅至深的特点, 降水井间距采取两端疏中间密进行布置, 井距为 30~18 m。根据计算, 以上降水方案在保证不同施工区域疏干和减压降水的合理降深要求以满足基坑安全施工的同时, 避免了无谓的超降, 有利于控制降水对周边环境造成的沉降影响。按照相关技术规定, 估算因降水而引起的地面最大沉降量为 2.53 cm。

## 5 基坑施工

SMW 工法是用兼具钻孔与混合搅拌功能的三轴搅拌机建造无缝地下连续墙的一种施工方法。主要施工工艺为: 桩机就位——钻进及注浆——桩孔插入型钢(插入前涂减摩剂)——待地下主体结构完成并达到设计强度后起拔回收型钢<sup>[4]</sup>。SMW 工法自从日本引进以来, 已在国内各大城市广泛应用, 施工技术已经比较成熟, 在此不多介绍。下面结合本工程特点, 介绍几点对本基坑施工安全有较大影响的施工技术和措施。

### 5.1 分段施工

本基坑具有狭长的特点, 且主体结构有钢筋混凝土主通道、U 型槽和素混凝土挡土墙多种型式, 设有多条变形缝。为了满足交通、材料周转、节约投资等要求, 应根据交通要求、主体结构型式和变形缝设置位置等情况采取分段施工。为了保证基坑安全, 分段施工的端部加强保护是关键。本基坑工程主要采取了以下措施:

(1) 基坑支护桩超出分段施工的端部一定长度, 一般不少于 0.5 倍基坑开挖深度。

(2) 主通道分段施工时, 端部基坑顶面需要预留人行道和机动车道, 端部必须设置基坑支护桩, 因主通道基坑开挖深度达到 9.6 m, 基坑顶又有车辆荷载, 悬臂支护桩难以满足要求, 因此增设了临时角撑和斜撑进行加强。角撑采用  $\Phi 609 \times 12$  的热轧无缝钢管, 支撑于纵向腰梁上, 沿基坑高度方向设置两道, 沿基坑长度方向每侧设置 3 根, 间距 4 m。斜撑采用  $\Phi 500 \times 12$  的钢管, 间距 4 m, 先在基础底板上预埋  $\Phi 609 \times 12$  的钢管, 斜撑底端插入预埋钢管内, 用 C30 混凝土灌实, 顶端支撑在腰梁上。

### 5.2 管线保护

对于施工期间不能进行改移的管道(线), 需分以下 3 个阶段进行保护:

(1) 围护结构施工阶段管线保护措施: 对于管径较大的管道(如  $\Phi 1200$  mm 给水管), 在管道位

置 SMW 桩无法连续施工, 为了既保证管线不受破坏同时又保证该地段的基坑支护及止水效果, 管道两侧各 30~40 cm 范围内 SMW 桩均取消, 采用 2 排  $\Phi 1000$  mm 的旋喷桩加固, 管道下基坑侧壁挂网喷射 C20 混凝土补强。

(2) 基坑开挖阶段管线保护措施: 2 根  $\Phi 1200$  mm 给水管和  $\Phi 300$  mm 煤气管采用悬吊法加抬梁法进行保护; 电力、电信、光缆、交通通信、邮电等管线由于管径小, 最大为 300 mm, 自重轻, 埋深浅, 仅采用悬吊法保护。 $\Phi 1200$  mm 给水管采用悬吊法加抬梁法的保护措施示意图如图 6。

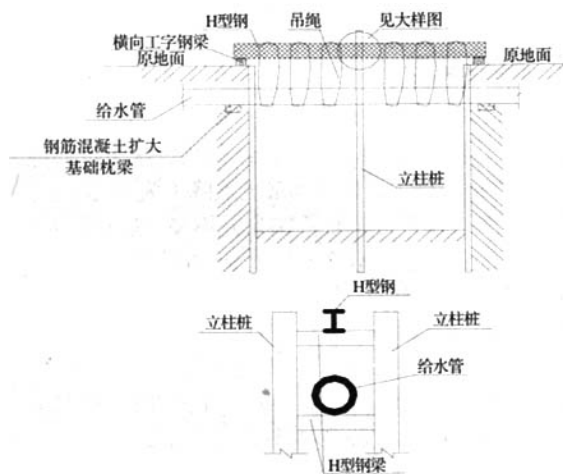


图 6 给水管采用悬吊法和抬梁法保护示意图

(3) 主体结构施工阶段管线保护措施: 主体结构施工时, 管线穿过处必须预留一方形孔洞或 U 型缺口, 待管线改移后再封填密实。考虑到防水的需要, 在预留孔四周设置一圈钢板止水带, 钢板止水带接缝处焊接密实。

### 5.3 泵房施工

排水泵房位于主通道一侧, 原设计为沉井, 沉井施工完后作为该段主通道基坑支护内支撑一侧的支撑点, 若按沉井施工, 则沉井和该段主通道施工需要中断两次交通。为了尽量减少对交通干扰以及加快施工进度, 将泵房和该段主通道一起施工。泵房施工改为明挖法, 导致该段基坑最大开挖深度增加到 13.5 m, 并且揭穿了承压水层, 这无疑是增加了基坑支护的难度。

为了保证该段基坑安全, 主要采取了以下几点措施:

(1) 泵房底部先采用高压旋喷桩进行封底, 封底厚度为 3 m。

(2) 除了按原设计布置降水井以外, 在泵房附

近增设1口降水井。

(3) 泵房基坑支护桩、腰梁的设置同该段主通道,共设两道临时内支撑,横向内支撑是将主通道的内支撑进行延长,另外,沿纵向也设置了两道临时内支撑,间距3 m。

(4) 沿泵房外壁在主通道底板标高处设置一道 $0.8\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 钢筋混凝土圈梁,圈梁钢筋锚入主通道底板,按主通道底板悬挑构件进行受力分析。因泵房底板低于主通道底板4 m,利用圈梁作为泵房施工的第三道临时支撑。

(5) 泵房与主通道基坑支护桩相交的阴角处采用3排共9根 $\Phi 650\text{ mm}$ 的三轴深层搅拌桩进行局部加强,桩长24 m,水泥掺入量为18%。

## 6 基坑监测

本基坑工程要求进行基坑监测,达到信息化施工管理。根据监测结果,支护结构最大水平位移值为23.2 mm,支护结构顶部最大沉降量为11.8 mm,实测数据与设计分析计算结果差不多,基坑周边房屋最大总沉降量仅有2.33 mm,比设计估算最大沉降量25.3 mm要小,这表明在保证基坑安全的同时,合理安排抽水时间,尽量减少抽水量,取得了较理想的效果。本工程开工日期为2005年7月28日,主体结构完工日期为2006年1月9日,按照市政府的要求已在2006年春节之前提前交付使用。

## 7 结语

通过武汉友谊大道下穿通道基坑支护工程实践,证明该工程的设计与施工是成功的。回顾设计与施工经历,有如下体会:

(1) 深基坑的支护属于临时工程,要求尽可能少的投入,在确定方案时,要根据工程的

特点、基坑深度、地质情况及周边环境等进行多种方案的比较。本工程按照既安全又经济的原则,基坑支护结构采取SMW工法连续墙加内支撑的支护体系,地下水控制采用SMW工法形成侧向止水帷幕和中深井降水相结合的处理措施,实践证明该支护方案是合理的,取得了良好的经济效益和社会效益,对同类工程有很好的借鉴作用。

(2) 市政工程基坑与建筑基坑相比有其独有的特点,主要表现在基坑狭长、基坑深度变化大、地下管线多以及交通影响大等方面,因此,基坑支护设计和施工要根据其特点,采取合理的设计方案和施工措施。

(3) 深基坑支护的设计与施工,除了保证主要施工方法、施工工序的施工质量以外,对一些细节处理必须给予足够的重视,并提出可靠的施工方法和施工措施。如本工程中分段施工、管线保护、泵房支护加强等细节的处理均很到位,才得以保证整个基坑工程的正常施工。

(4) 基坑监测是信息化的施工管理方法,是保证基坑工程正常施工的重要手段。在工程的施工过程中,设计、施工、监测必须紧密配合,及时掌握支护结构及周边环境的变化及安全情况,随时调整施工节奏,采取相应的技术措施,确保基坑安全。

### 参考文献

- [1] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [2] DB 42/159-2004, 湖北省基坑工程技术规程[S].
- [3] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [4] 马洪建. SMW工法在天津地铁车站建设中的应用[J]. 铁道建筑, 2004(6): 24-26.

# 北京水系综合整治 官厅水库存水将可饮用

根据规划,北京市将对河湖水系进行综合整治,到2008年,将消除北旱河、清河等30条河道沿线1 000多个排污口。同时,六环路以内,200 km河湖水系整治完成,告别臭河,恢复历史的清流河系。尤为重要的是,2008年前,北京市要完成密云、怀柔 and 官厅水库一级保护区共362 km<sup>2</sup>内41个村的污水和垃圾治理,使得官厅水库水质达到三类以上,2010年官厅水库初步恢复饮用水源功能。