

# 北京地铁奥运支线北辰桥区辐射井降水施工技术

赵云峰

(北京市地质工程设计研究院,北京 101500)

**摘要:**北京地铁奥运支线是北京市轨道交通线网中的 8 号线中的一部分,起点为熊猫环岛站,终点设在规划森林公园站南门。下穿北京四环路北辰桥 U 形槽结构,是奥运支线重要的风险控制点,暗挖法施工,工程的安全性极为重要。由于北辰桥区地面交通极为复杂,无法采用常规的管井降水工艺,需采用辐射井对其进行整体降水。介绍了该工程辐射井降水施工方案设计、施工技术要求及其降水效果。

**关键词:**辐射井;降水;竖井;水平井;U 形槽;北京地铁奥运支线

**中图分类号:**TU46<sup>+</sup>3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)01-0057-04

**Construction Technology of Radial Well Dewatering in Beijing Metro Olympic Branch/ZHAO Yun-feng** (Beijing Geotechnical Engineering Design & Research Institute, Beijing 101500, China)

**Abstract:** Beijing metro Olympic branch is a part of Beijing rail transit network Line 8, the starting point is Xionghuan Dao and the terminal station is designed at the south gate of planned Forest Park. The U-shape groove structure undercrossing Beichen Bridge is an important risk control point with subsurface excavation method, the engineering safety is extremely important. The ground traffic in Beichen Bridge area is very complicated, traditional tube well dewatering could not be applied and overall dewatering was made by radial wells. The paper introduced the radial well dewatering about the construction design, construction technology requirement and the dewatering effect.

**Key words:** radial well dewatering; dewatering; shaft; horizontal well; U-shape groove; Beijing metro Olympic branch

## 1 工程概况

北京地铁奥运支线是北京市轨道交通线网中的 8 号线中的一部分,线路全长 4.5 km,全部为地下线路。北辰桥区位于奥运支线奥奥区间,本区间起点为奥体中心站北端,地铁线路在中轴路下方由南向北行至奥林匹克公园站。中轴路现状为绿地,施工条件较好。

区间下穿北京四环路北辰桥 U 形槽结构,北辰桥由 3 座桥组成,自西向东编号为 1 号桥、2 号桥、3 号桥。根据结构设计资料,北辰桥 U 形槽结构底标高 40.2 m,区间隧道外顶距离北辰桥结构底净距 6.6~8.4 m。

**土建施工顺序:**根据土建单位施工总体筹划安排,先对北辰桥区南北两侧的区间段进行施工,然后集中力量对北辰桥区进行施工,最后实现整个区间的贯通。

## 2 场区地质条件

### 2.1 场区工程地质条件

根据勘察报告,本次勘察控制孔深度为 45.00 m。根据钻探揭露,按照其沉积年代、成因类型及岩

性,本次勘察深度范围内自上而下的地层如下。

#### (1) 人工堆积层:

粉土填土①层,稍湿~湿,含砖渣、灰渣和腐殖物根等,局部含粉质粘土填土薄层;

房渣土①<sub>i</sub>层,稍湿~湿,含砖块、碎石和灰渣等,局部为建筑垃圾或生活垃圾。

#### (2) 第四系冲洪积层:

粉土③层,稍湿~湿,含云母、氧化铁、有机质及少量姜石,土质不均,局部夹粉质粘土薄层;

粉质粘土③<sub>i</sub>层,可塑~硬塑,含云母、氧化铁、有机质等,偶含姜石,局部夹粉土和粘土薄层;

粘土③<sub>2</sub>层,可塑,含云母、氧化铁和有机质等;  
粉、细砂③<sub>3</sub>层,稍湿~湿,含云母、氧化铁和石英,局部夹粉土薄层;

粉质粘土④层,可塑,含云母和氧化铁,局部夹粉土薄层;

粘土④<sub>1</sub>层:可塑,含云母和氧化铁;

粉土④<sub>2</sub>层,湿~饱和,含云母、氧化铁,局部夹粉质粘土薄层;

粉细砂④<sub>3</sub>层,饱和,含氧化铁,局部夹圆砾薄层;

收稿日期:2011-09-09

作者简介:赵云峰(1978-),男(汉族),河南人,北京市地质工程设计研究院工程师,水文地质与工程地质专业,从事岩土设计、施工及相关管理工作,北京市西城区南纬路 4 号 201, ayun2000@126.com。

卵石⑤层:饱和,亚圆形,一般粒径20~40 mm,最大粒径80 mm,级配良好,粒径大于20 mm颗粒含量约为总质量的60%,中粗砂充填,不连续分布,仅存在于3A147孔附近。

## 2.2 场区地下水条件及其对施工的影响分析

根据勘察报告,在桥区勘探深度内存在4层地下水。第一层含水层水位标高36.92~39.98 m,主要赋存于粉土③层,含水层厚度约0.88 m,分布于隧道结构顶板以上6.5 m处,该层水下部分布约2.70 m厚的粉质粘土隔水层,对结构施工影响较小;第二层含水层主要赋存于粉土④<sub>2</sub>层,分布在隧道结构顶部及中上部,呈饱和状态,属弱含水层,厚度1~3 m(桥区以北潜水水位综合取值33.50 m),为防止隧道开挖时饱和粉土析水引起拱顶塌落,需将隧道拱顶附近的粉土④<sub>2</sub>层内饱和水疏干,同时考虑在隧道开挖断面的中下部亦存在粉土④<sub>2</sub>层透镜体,推测其呈饱和状态,对隧道开挖不利,本次亦将该部位的粉土④<sub>2</sub>层透镜体内饱和水疏干;隧道之下的地下水为层间潜水和承压水,均分布于隧道结构底板以下,局部加深段与层间潜水位相距约7.0 m,与承压水水位相距约12.60 m,故层间潜水及承压水对结构施工无影响。

本区段在暗挖期间,主要疏干第二层层间水。

## 3 降水方案及设计参数

### 3.1 降水方法的选择

区间下穿北辰桥U形槽,对降水方法及施工工艺均提出较高要求,由于过北四环路面跨度大、车流量大,交通复杂,采用常规的管井降水工艺难度较大,为了避免降水施工对交通的影响,经多方案综合比较,采用辐射井对其进行整体降水。在地铁施工过程中,辐射井降水技术有5大优势:

(1)可以很好地解决地铁施工中地面没有施工条件的降水难题;

(2)占地面积小,降水控制范围大,疏干效果好;

(3)施工难度大,施工成本高,但后期降水维护相对较简单;

(4)利用双壁反循环工艺施工水平井,如果施工中使用较合理的钻进参数,可防止形成大的地下空洞,从而避免引起地面沉降等地质灾害;

(5)沉井法、锚喷法、机械成孔法施工辐射井竖井能满足北京地区各种复杂施工条件。

在隧道和北四环交叉外侧即公路与地铁线路交

叉之东南角、西南角、西北角、东北角的绿地上共施工4眼辐射井(如果辐射井竖井采用人工方法成井时则须在其周围布设3眼管井用于辅助竖井施工,当辐射井竖井采用漂浮法成井时则不用布设辅助降水井),在竖井内采用双壁反循环工艺施工水平井,水平井互相交错搭接穿过桥区段,竖井汇集由水平井流入的地下水,并通过设置在竖井内的潜水泵将这部分地下水抽排至地表的排水系统。

场区含水层岩性表现为颗粒较细,渗透性差,并且局部以透镜体形式分布,设计采用多层布设水平降水井,使施工部位的层间水达到基本疏干,满足结构施工基本作业的要求。

### 3.2 辐射井排水量计算

本次北辰桥桥区降水所涉及的地下水为层间水,水位标高综合取值为: $h = 33.50$  m,含水层总厚度4.16 m。层间水的含水层为粉土④<sub>2</sub>层,颗粒较细,渗透性差,水平井间距过大不利于层间水过水断面控制,为了有效疏干层间水,需采用增加水平井数量,减少相邻水平井间的夹角和合理控制降水范围。

降水覆盖范围:长约132 m,宽约53 m。

辐射井F1~F4的排水量计算如下:

利用下式计算水平井单井出水量:

$$q = 1.36K \cdot \frac{H^2 - h^2}{\lg \frac{R}{0.75l}}$$

式中: $q$ ——水平井单井出水量, $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $K$ ——渗透系数, $\text{m}/\text{d}$ ;  $H$ ——含水层厚度, $\text{m}$ ;  $h$ ——动水位以下含水层厚度, $\text{m}$ ,按疏干考虑, $h \approx 0.0$ ;  $R$ ——辐射井降水影响半径, $\text{m}$ ;  $l$ ——水平井管长度, $\text{m}$ ,取平均长度。

通过上式可求得辐射井F1~F4的水平井单井出水量分别为: $q_1 = 8.87 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $q_2 = 8.87 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $q_3 = 8.86 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $q_4 = 8.86 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

由于含水层底板凹凸不平,不能保证水平井管全部都在含水层中,同时水平井的成井工艺造成水平井的出水量不能满足理论出水量,因此根据工程经验对水平井单井出水量要进行50%~70%的折减,因此取 $q_1' = 4.44 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $q_2' = 4.44 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $q_3' = 4.43 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $q_4' = 4.43 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

利用下式计算辐射井的排水量:

$$Q = \alpha q n$$

式中: $Q$ ——辐射井的排水量, $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $\alpha$ ——干扰系数; $q$ ——水平井单井出水量, $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $n$ ——水平井数量。

通过上式可求得:辐射井 F1 ~ F4 的排水量分别为:  $Q_1 = 23.44 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $Q_2 = 34.63 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $Q_3 = 34.55 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $Q_4 = 23.40 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

### 3.3 水位降深验算

以辐射井 F1 ~ F4 理论计算确定的设计参数为基础,分析比较北辰桥区在 4 眼辐射井封闭降水的条件下,层间水水位降深是否满足设计要求。经过

验算分析,当辐射井 F1 ~ F4 竖井内抽排的水量等于计算理论值时,层间水满足疏干要求。

### 3.4 降水方案确定

北辰桥区采用辐射降水井方案,将弱含水层粉土④<sub>2</sub>层内的饱和水疏干,满足隧道暗挖施工要求。

#### 3.4.1 施工竖井、水平降水井布设(图 1)

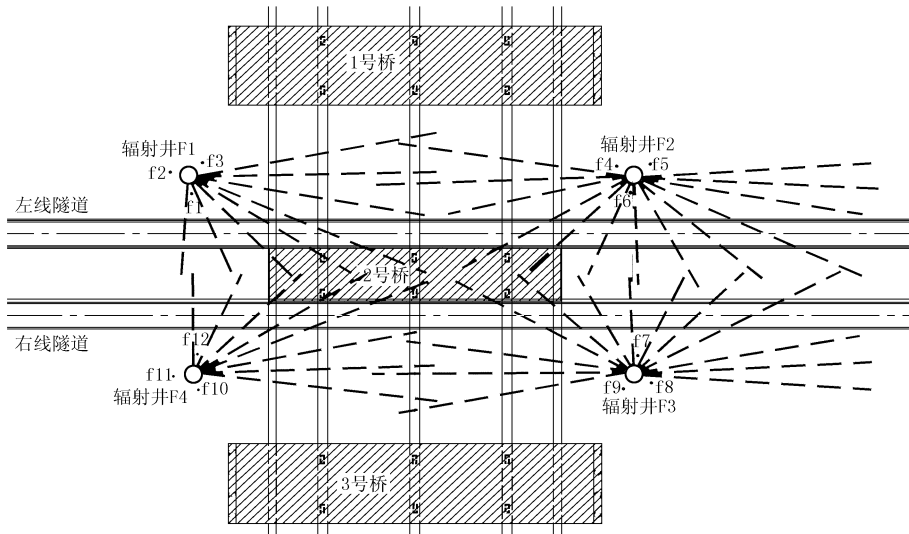


图 1 北辰桥区辐射井降水井平面布置图

注:水平降水井进入隧道结构内的部分,在隧道开挖至此时可截断水平井管,并对其进行封堵。

(1) 施工竖井。在北辰桥 2 号桥四角外侧的绿色位置,布设施工竖井。竖井与区间隧道净距  $\geq 5.0 \text{ m}$ ,竖井与北四环深槽净距  $\geq 5.0 \text{ m}$ 。

(2) 水平降水井。自竖井内向隧道外侧、隧道内、隧道间均施工水平降水井。控制隧道外侧地下水补给,疏干隧道内及隧道间残留水。

#### 3.4.2 竖井井深、水平井开孔标高

(1) 竖井井深:竖井井深以绝对标高控制,井底标高数值  $\leq 23.50 \text{ m}$ ,且井深  $\geq 23.00 \text{ m}$ ;

(2) 水平井开孔标高:上下共布置 3 层水平井,主要位于饱和 ④<sub>2</sub> 层粉土中,开孔标高分别为 32.35、30.65、28.45 m。开孔标高数值是依据桥区附近地层剖面(勘探钻孔 3AL02)经综合分析后确定的,竖井施工中应作好施工记录,根据实际含水层顶底板位置对水平井开孔位置作出必要调整。

## 4 辐射井施工技术要求

### 4.1 成井施工要求

#### 4.1.1 竖井成井

竖井成井的方法主要有 3 种:沉井法、锚喷倒挂壁法、机械成孔法。在场地条件允许时,应优先选择

沉井法及锚喷倒挂壁法成井工艺,在施工过程中能有效地确定含水层的实际顶底板标高,为水平井的开孔位置提供依据。本工程竖井采用锚喷倒挂壁法成井工艺(图 2)。

#### 4.1.2 水平井成井

水平井成井的方法很多,主要有高压水冲法、双壁反循环法、跟套管潜孔锤钻进法等。对于粉土、粉细砂等细颗粒含水层,水平井成孔应优先采用双壁反循环法,能有效减少细颗粒的流出。本工程水平井采用双壁反循环法成井工艺,该法是采用双壁钻杆钻进,高压水从双壁钻杆的内外管之间进入,泥砂、砾卵石从钻杆的内管内排出,此法能保证成井质量,孔径不扩大,适应地层较广。其具体施工步骤如下:

(1) 在水平钻机上安装硬质合金钻头,在竖井井管壁水平井标高位置处开孔;

(2) 开孔完成后,迅速卸掉开孔钻头,换上双壁钻杆及钻头钻进,此间速度一定要快,否则容易流砂,酿成事故;

(3) 打开高压水,开动钻机旋转钻杆,利用钻机的推力、扭力和高压水力将第一根钻杆钻进含水层,

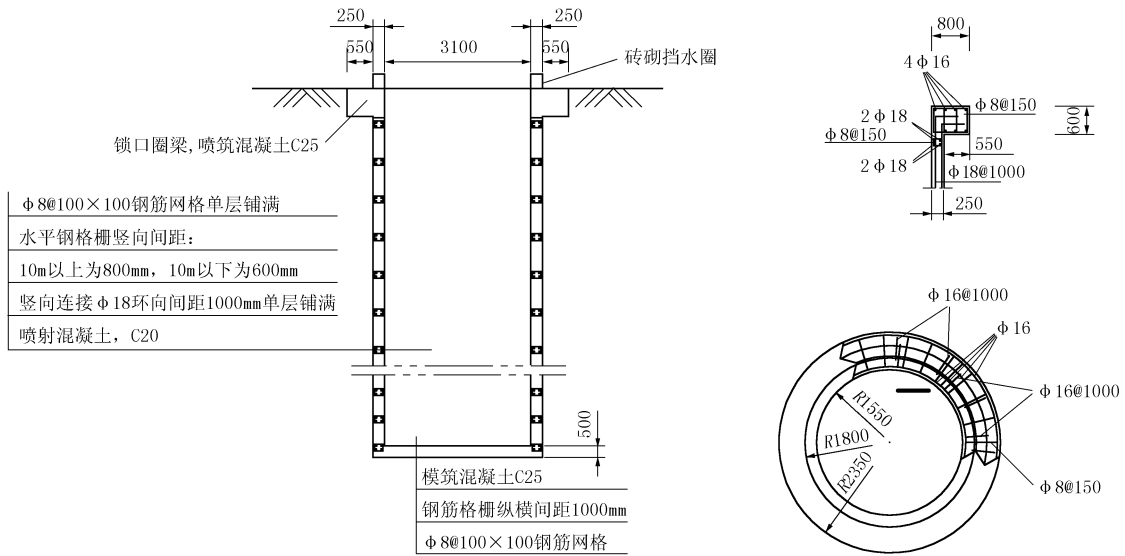


图2 辐射井竖井锚喷护壁图

再接上下一根钻杆,如此循环操作,直至达到设计孔深;

(4)将滤水管从钻杆中插进,一直插到钻头部位,滤水管接口部位要连接平整牢固,避免刮蹭钻杆;

(5)从滤水管中间插入顶杆,将滤水管顶住,以防拔钻杆时将滤水管带出;

(6)用油缸逐段拔出钻杆,将滤水管留在含水层中;

(7)钻杆拔出后,必须迅速用蛇皮袋、棕树皮等材料封住滤管外的空隙,让水从滤水管中自动流出,防止砂子从未封严的孔壁流出;

(8)一眼水平井必须连续施工,如发生故障必须停钻时,则把钻杆全部拔出,以免埋钻。

#### 4.2 抽水要求

(1)按降水单元,辐射井F1、F4竖井内设置3.0~5.0 m<sup>3</sup>/h潜水泵;辐射井F2、F3竖井内设置5.0~10.0 m<sup>3</sup>/h潜水泵,泵底距井底1.5~2.0 m;

(2)按降水单元,采取全封闭降水方法,开挖前的超前抽水时间应不少于两周;

(3)抽水含砂量控制:为防止因抽降地下水带出地层细颗粒物质造成地面沉降,要求抽出的水含砂量<1/5万。

#### 5 辐射井降水效果

辐射井F1~F4的前期日抽水量基本保持在22.0~34.0 m<sup>3</sup>,后期水量有所减少。经过辐射井的有效降水,跨北辰桥区的地铁隧道开挖,降水效果明

显,符合土建施工要求。

#### 6 结语

通过跨桥区辐射井降水技术的应用,可以有效解决普通降水井无法实施的难题,缓解地面交通压力,同时满足施工工期要求,经济合理,安全可靠。

通过本工程辐射井降水井的施工实践,笔者获得如下体会:

(1)水平井施工时,开孔标高一定要核实准确,否则影响水平井的降水效果;

(2)水平井的施工工艺要合理选择,在细颗粒含水层中施工水平井时,优先采用双壁反循环施工工艺;

(3)为了确保水平井的降水效果,可以在水平井口部加一些真空装置,这样能充分疏干弱透水性的饱和含水层。

#### 参考文献:

- [1] 彭宇. 地铁车站深基坑支护体系设计研究[D]. 陕西西安: 西安科技大学, 2008.
- [2] 孙长军. 辐射井降水技术[J]. 市政技术, 2004, (S1).
- [3] 何运晏, 张志林, 夏孟. 辐射井破解地铁施工降水难题[N]. 地质勘查导报, 2006-02-16.
- [4] 王景斌. 北京地铁十号线双井车站施工技术研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010.
- [5] 北京市地质工程勘察院. 北京地铁奥运支线降水施工设计[Z]. 北京: 北京市地质工程勘察院, 2005.
- [6] 编写组. 供水水文地质手册(第二册, 水文地质计算)[M]. 北京: 地质出版社, 1977.