

# 北京地铁十号线熊猫环岛车站降水工程技术

王维献

(北京市地质工程勘察院,北京 100048)

**摘要:**结合北京地铁十号线熊猫环岛车站降水工程实践,介绍了利用反循环钻机施工管井工艺、抽渗结合法进行基坑降水的方法;并对其地下水监测及沉降监测等施工技术、降水对周围环境的影响及防治措施,以及施工中出现的问題和处理经验进行总结。

**关键词:**地铁车站;管井降水;泵吸反循环;抽渗结合

**中图分类号:**TU46<sup>+</sup>3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)03-0042-04

**Dewatering Technology of Subway Station Construction in Xionghuandao Station of Beijing Subway Line10/**  
WANG Wei-xian (Beijing Institute of Geological Engineering, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Based on the practice of precipitation project in Xionghuandao station of Beijing subway Line10#, tubular well construction technology with reverse circulation drill and foundation pit dewatering by the combination of suction and seepage were introduced; construction technology of groundwater monitoring and settlement monitoring, environmental impact of dewatering and the countermeasures, problems in construction and the treatment experience were together summed up.

**Key words:** subway station; tubular well subway dewatering; pump suction reverse circulation; combination of suction and seepage

当今北京地铁呈现跨越式发展态势,在建地铁线达10条之多。北京市位于多层砂砾、卵石及粘性土互层的永定河冲洪积扇上,地下水比较丰富,因此地铁施工须采取地下水控制措施。出于保护地下水资源和环境安全考虑,究竟是采取降水还是采用帷幕止水措施成为政府部门和专家研究的问题。抽渗结合的管井降水方法能够综合两者的优点,因此在北京地铁施工中作为地下水控制的安全、有效、合理、经济、环保措施,被广泛采用。

## 1 工程概况

熊猫环岛车站位于北辰路与北土城路的交叉路口(熊猫环岛),是北京地铁奥运支线与十号线的换乘车站。路口西北为中华民族园,东北及北侧为奥运公园用地,东西为北土城东路,南侧为北土城遗址公园绿地及小月河。

车站为丁字换乘形式,十号线在上,奥运支线下。十号线车站为东西走向,车站总长148.3 m,总宽36.0 m,埋深20.8 m,为地下2层岛式站台。奥运支线车站为南北走向,车站总长153.9 m,总宽24.9 m,埋深26.5 m,为地下3层岛式站台。本站共设7个风道和6个出入口。风道、出入口与主体

结构全都采用明挖法施工。

## 2 地质条件

工程场区在48 m左右深度范围内地层分布自上而下依次为人工堆积层、第四系冲洪积层、粉质粘土④层、粉质粘土⑥层、卵石⑦层、粉质粘土⑧层、卵石⑨层、粉质粘土⑩层、卵石⑪层。

在勘察范围内,共揭露了4层地下水,分别为上层滞水、潜水、层间潜水和承压水。上层滞水、潜水、层间潜水所处的地层透水性较好,承压水所处的地层渗透系数大,为强透水层,水头高度为1 m左右。具体的水文地质情况如表1所示。

表1 场区水文地质条件一览表

地下水类型	含水层岩性	静止水位埋深/m	补给源
上层滞水	粉土填土①层、粉土③层	3.50~8.30	大气降水、渗漏、侧径流
潜水	粉细砂④ <sub>3</sub> 层	16.60	侧径流、越流及“天窗”
层间潜水	中粗砂⑦ <sub>1</sub> 层、粉细砂⑦ <sub>2</sub> 层	22.30~24.50	侧径流、下渗、越流
承压水	卵石⑦层、粉土粘土⑧层、卵石⑨层	29.50~33.80	侧径流、越流

收稿日期:2009-11-23

作者简介:王维献(1981-),男(汉族),甘肃天水人,北京市地质工程勘察院工程师,勘查技术与工程专业,从事地铁降水的设计与施工工作,北京市海淀区北洼路90号,wangpaw@163.com。

### 3 管井降水方案确定与参数设计

#### 3.1 降水方案分析确定

该车站区域内的上层滞水、潜水、层间潜水对土建施工造成影响。是地下水控制的对象。承压水含水层位于结构底板 3~13 m 以下,不会对土建施工造成影响。该含水层地层主要以卵石为主,渗透系数大,为强透水层,且受北京市地下水长期超量开采,周围城市建筑物基坑施工降水的影响,水头高度只有 1 m 左右,该层可以作为管井渗水层使用。

本站宜采用抽水管井和引渗管井相结合、以抽水管井为主的方式进行降水。抽水管井是为了防止混合水位高于车站基底标高和承压水位上升造成基底突涌破坏,当水位高于车站基底标高时,启动抽水泵。

#### 3.2 降水参数设计

管井井径设计为 600 mm,管径 400 mm。为满足渗水的要求,井深设计为 36 m,相邻降水井井间距 $\leq 6.0$  m,槽内疏干井井间距 10.0~15.0 m,均采用抽水管井和引渗管井(即“两渗一抽布井形式”)布置降水井。降水井的数量综合考虑基坑涌水量、单井出水量而确定。基坑涌水量计算模型如图 1,计算公式如下:

$$Q = 1.366k(2H - S)S / \log[1 + (R/r_0)]$$

式中: $Q$ ——基坑涌水量, $m^3/d$ ;  $k$ ——渗透系数, $m/d$ ;  $H$ ——潜水含水层厚度, $m$ ;  $S$ ——基坑水位降深, $m$ ;  $R$ ——降水影响半径, $m$ ;  $r_0$ ——基坑等效半径, $m$ 。

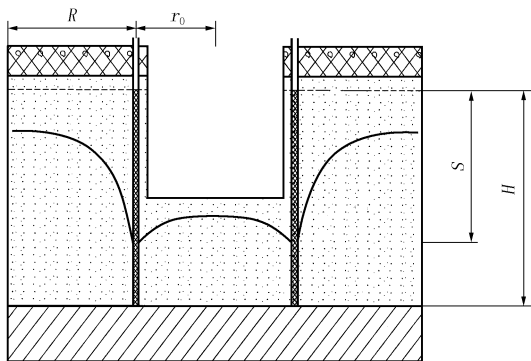


图 1 管井计算模型图

### 4 管井施工工艺

#### 4.1 管井的施工方法及步骤

##### 4.1.1 挖探孔

人工探孔深度约 4 m,挖到原状土为止。由于上部回填土颗粒较大,则采用人工挖孔护壁,从避免钻进过程中循环水流将孔口回填土冲塌,防止钻孔

内浆液的流失,保证钻进正常进行。为避开各种障碍物,降水井位置可作局部调整,降水井中心线一般按距护坡桩支护结构外皮距离 $\geq 3.0$  m,基坑四周相邻管井间距最大不得超过 6.0 m,槽内引渗井井位最大距离不得超过 15.0 m,且降水井总数不得减少。

##### 4.1.2 垒砌泥浆池

为保证钻进过程中水流循环及保存钻孔出渣,并且不破坏现状路面,占路临时施工围挡内泥浆池,在路面垒砌单井体积 1.5 倍的泥浆池,泥浆池底部铺垫塑料布防止渗水,使用完毕后用渣土车将泥浆拉走,恢复现场原貌;结构施工围挡内泥浆池尽量设置在土方开挖范围内,沉淀干燥后随土方开挖拉走;结构施工围挡内如需恢复场地原貌的,则泥浆池做法同占路临时施工围挡内泥浆池做法。以保证施工现场的整洁。

##### 4.1.3 钻孔

采用泵吸反循环钻进工艺施工。钻机就位时需调整钻机的平整度和钻塔的垂直度,对位后用机台木垫实,以保证钻机安放平稳。在钻孔过程中应保证孔内泥浆液面高度与孔口平,严防塌孔。在地层条件允许的情况下,尽量使用地层自造泥浆成孔,若钻孔通过易塌孔的流砂层或泥浆漏失严重的地层时,可采用人工造浆护壁钻进,泥浆密度调至 1.1~1.3 kg/L。钻孔至设计深度以下 0.5 m 左右,将钻头提高 0.5 m,然后用清水继续反循环替换泥浆,直到泥浆粘度约为 20 s 为止。

##### 4.1.4 下管、填滤料

下管前应检查井管是否完整,是否已按设计要求包缠尼龙纱网;无砂水泥管接口处要用塑料布包严,以防地层中细砂层流失,造成地面下沉。井管必须确保在井孔居中不歪斜。填料必须从井四周均匀缓慢填入,避免造成孔内架桥现象,滤料应具有一定的磨圆度,滤料含泥量 $\leq 3\%$ 。洗井后若发现滤料下沉应及时补充滤料,实际填料量不小于理论计算量的 95%。

##### 4.1.5 洗井

采用压风机洗井,若井内沉没比不够时应注入清水。对于不同含水段需采用双隔离塞水气方法冲洗,然后再捞砂。若成井过程中粘土使用过多,洗井不及时,应加入胶磷酸钠药液浸泡 $\leq 6$  h,然后再洗井,洗井必须达到水清砂净为止。下管、填料完成后应立即进行洗井,特殊情况(如上路施工),成井-洗井间隔时间 $> 24$  h;采用隔离塞对管井进行分段

洗井,如果泥浆中含泥砂量较大,应先进行捞渣,再进行洗井;当常规洗井效果不好时,可加洗井剂浸泡后再洗井。

#### 4.1.6 排水管敷设

排水采用单井直排的明排方案,明排经济简单且不破坏路面,明排管线直接铺设在不影响交通的路面上,并作冬季保温措施。各井的排水管排到集水井里,集水井里水沉淀后流到市政的雨水管线。

#### 4.1.7 抽水维护

在排水管井中安装水泵,根据水位情况进行间断性抽水。为了保证降水期间抽水持续作业,防止长时间停电造成水位回升,影响地下结构施工,需考虑配备发电机作为应急备用电源,并配有自动切换装置。抽水应建立定期巡查制度,随时了解各降水井情况,如水泵运转情况、出水量、排水系统、配电系统、出水含砂情况等,并做好详细记录。定期检修排水系统、配电系统,保证供电和排水正常。

管井施工工艺流程如图2所示。

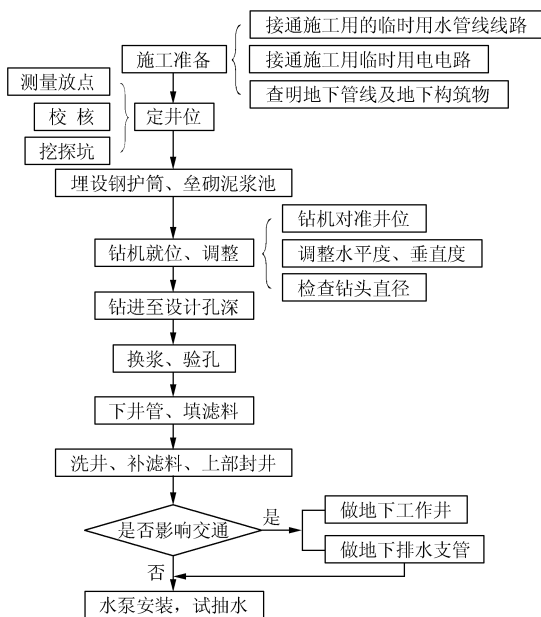


图2 管井施工工艺流程图

## 4.2 管井施工工艺比较

管井一般采用冲击钻进方法、泵吸反循环法和旋挖法3种施工工艺。泵吸反循环法的应用最为广泛。3种方法的最大区别在于成井工艺,其它的施工流程大致相同。在施工条件和地层情况允许时,为保证降水井的成井质量,应优先采用泵吸反循环工艺施工降水井。

冲击钻进方法是较古老的钻进方法,其设备简单,钻进时钻孔内的钻井液不循环,水量消耗小,钻

进速度较低。适合大卵石、大漂石等地层的钻进,这类地层若采用回转钻进不易奏效,而采用冲击钻进方法可以达到较好的效果。

泵吸反循环钻进的工作原理是(参见图3):泵的吸水口通过吸水软管与水龙头、钻杆柱相连接。当泵工作时,泵在其进水口处形成负压,井口的液体在大气压的作用下,经钻头携带岩屑经钻杆中空而上升,通过水龙头、胶管从泵中排至泥浆池中。经沉淀后的浆体,以自流的方式自井口流至井底,形成循环。在泵吸反循环钻进中,泥浆是利用泵的真空度来维持循环的。降水井施工中采用的泵是砂石泵,它既能排出卵石、砂浆,又有较大的真空度。泵吸反循环适合粘土、粉土、粉质粘土、砂层和粒径小于70mm的卵石层钻进。在井深50m以内钻进效率较高,超过50m深度,虽然能工作,但是效率明显降低。

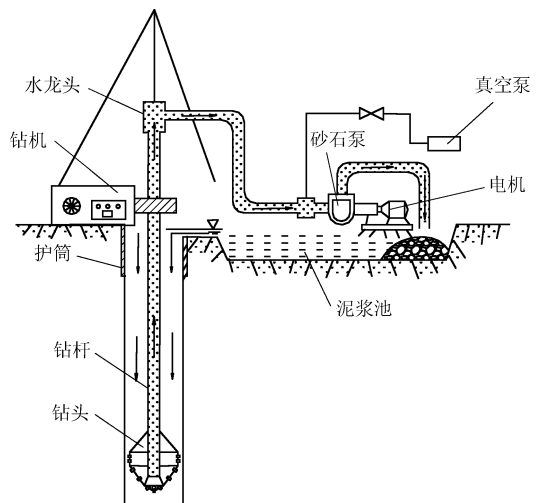


图3 泵吸反循环钻进工艺原理图

旋挖法是用装载式旋挖钻头,通过主动钻杆的强力回转夹挖掘砂土的施工方法。为了防止地表局部塌孔,根据土质的不同须埋设一定长度的护筒,并用泥浆护壁。钻进时,通常要每次上下往复作业,所以如果对泥浆处理不好,就可能引起塌孔事故。根据地层的情况选用不同样式的钻头,一般情况下多选用回转式锅底钻头;对于卵砾石或密实的砂砾石层则选用冲击式钻头;大孤石、漂石选用锁定式钻头。钻进速度相当快,多井共用一个泥浆池。所以在不具备施工场地、工期要求短时,采用此种方法施工降水井。

3种施工工艺的比较如表2。

表 2 管井施工工艺比较表

施工工艺	适应地层	成井速度	成井效果	优点
冲击钻进	粘土、粉土、粉质粘土、砂层、含大漂石或粒径较大的卵石层	慢	一般	卵石层粒径较大,有大漂石时钻进时能取得较好的效果
泵吸反循环	粘土、粉土、粉质粘土、砂层、粒径小于 70 mm 的卵石层	一般	较好	不易形成泥皮,洗井容易
旋挖	粘土、粉土、粉质粘土、砂层、卵石层	快	较差	能够规模化成井,多井共用一个泥浆池,场地要求小

## 5 抽渗结合的降水方法

抽渗结合的降水方法就是利用水力坡度的原理,即将上层滞水、层间水通过降水井引渗至渗透系数大的卵砾石⑦层、⑨层,并布置适量的抽水管井,达到降水的目的。

通过对多个工程基坑降水施工的调查,了解到北京城八区的大部分地区因其地层是砂层、砂卵石层和粘土层的交互层,砂卵石层的埋深也较浅,均适合采用抽渗结合法进行基坑降水的施工。

### 5.1 抽渗结合降水方法的优点

(1)可以避免由于长期抽水容易将地层中细颗粒带出,造成基坑周围地表产生沉降。

(2)能够降低施工成本。一般的降水方法因抽水量较大,需要在基坑四周布置排水设施,准备大量的水泵用于抽水,因此设备投入的费用较大。降水过程中须要不间断地抽水,因此施工用电量也非常大。抽渗结合法可以减少以上投资。

(3)不完全需要人工控制抽水,有利于基坑边坡的稳定。采用抽水降水的方法在降水过程中不能断电,如果停电地下水水位将很快升高,对边坡支护产生不利影响。

(4)不需要长时间、大量的抽取地下水,不会造成地下水资源的巨大浪费,有利于地下水资源的保护和城市发展。

### 5.2 抽渗结合降水方法在施工作业时应注意的问题

(1)看是否有合适的渗水层,以判断是否能采用抽渗结合法进行降水。

(2)为保证降水井的成井质量,采用不易形成泥皮的成孔工艺,优先采用泵吸反循环工艺施工降水井。

(3)洗井是一个重要的施工环节,如果不将井壁周边的泥皮清洗干净,将直接影响降水井的渗水效果,洗井要达到水清砂净为止。

(4)要定期进行水位观测,及时了解地下水水位的情况,以便在必要时采取有效的措施,保证降水效果。

(5)为了掌握场区地下水水质动态的变化情况,应委托专业单位对降水区域的地下水水质进行监测、分析,进一步确定降水区域的浅层水是否被加剧污染,以制定相应的治理措施。

(6)施工降水井为结构工程施工的辅助工程,属临时工程范畴,因此降水工程结束后,应予以拆除或采取回填处理措施。以防今后地面的污水渗入地下而污染地下水和发生安全事故。

## 6 施工中出现的問題及处理经验

### 6.1 辅助技术措施

由于降水期较长,降水使场区地下水均衡关系发生较大变化,必然对周边环境产生影响。为了较准确地掌握场区地下水动态变化,及时采取必要的处理措施,在降水工程实施的同时,应建立地下动态监测网。

在降水工程实施之前,要根据抽水影响范围结合本工程实际情况对一定范围内的典型建筑布设沉降监测点,在抽水期间要进行连续沉降监测,若累计沉降量接近预警值时,及时上报有关单位采取必要措施。

采取降水沉降控制措施,防止因抽取地下水带出地层细颗粒物造成地面沉陷,抽出的水含砂量必须保证符合规定的要求。

### 6.2 特殊情况处理措施

本工程基坑周围含水管线渗漏严重,在含水层底部产生残留水,影响基槽开挖和土建结构施工。含水层中的残留水沿槽壁渗出时,在渗出点的桩间土部位插盲管导流,并在槽底设盲沟集水至集水井,再将集水抽排至地面。

当确定地下构筑物含水时,先查明是否有补给水源,断其补给源(引排或封堵),然后将其中的水抽出排走。

车站开挖深度范围内含水层以粉细砂、粉土为主,渗透系数较小,地下水流动慢,因此要求降水井宜在站体开挖前 1 个月全部施工完毕,并实现封闭降水。为加快主站体基坑降水疏干,在主站体基坑内加布疏干井。

(下转第 48 页)

粘管事故和固井质量都与泥浆性能有着直接关系,所以在整个钻井过程中一定要控制泥浆的性能指标,避免泥皮过厚和失水量过大。特别是第三、四系地层较厚时,必须安装使用泥浆固控系统,利用机械、循环槽、沉淀池等多种方法来最大限度降低泥浆的固相含量。在下套管前,在泥浆中逐渐加入淀粉处理剂,使泥浆失水量控制在 10 mL/30 min 以内,粘度 23~25 s,密度 1.05~1.12 kg/L,pH 值 9~11。只要能够保证泥浆的性能,孔壁形成的泥皮薄而致密,在下管过程中,就可以避免因焊接套管头造成套管在孔内停留时间长而发生粘管。

### 2.3 保证钻孔井身质量

严格控制钻孔的“狗腿”度。大口径特殊工程钻孔井位一般选在矿区工业广场内,钻孔中心落点一般控制在十几个平方的靶区内,对钻孔的孔斜要求很高。在钻井施工中要按照施工措施严格控制钻孔的弯曲度,一旦发现钻孔斜度超限后,要慎重采取纠斜方法,建议使用“钟摆钻具”或“柔性钻具”组合逐步纠斜,使钻孔轨迹平滑过渡,切不可贸然动用螺杆钻具快速纠斜,最大限度控制钻孔的“狗腿”度,保证孔壁规则。下管前必须采用同径套管进行通孔,顺孔时首先使用单根套管进行顺孔,然后逐步增加长度,当顺孔管的长度达到 40 m 以上,连接接头超过 3 个以上,顺孔管上下通畅,确认孔壁规则后才能进行下管作业。

### 2.4 浮力塞位置确定和下管要求

大口径特殊工程入井套管的总质量比较大,往往超过钻机的最大提升能量,目前常采用的下管方法是提吊加浮力法,如何确定浮力塞的下入深度,既能最大限度地确保下管时所需的有益浮力,又能保证套管的抗挤强度最大就显得尤为关键。研究表明,入井套管在孔内三轴应力作用下,提拉使套管的

抗挤强度降低,而使抗内压增大;压缩使套管抗挤强度增加,而使抗内压强度减小等。所以,浮力塞下深的具体位置应按照三轴应力公式,结合工程的实际情况进行具体的计算来确定。另外冲击载荷产生的附加轴向力是引起套管挤毁不容忽视的因素,在下管过程中一定要严格控制套管的下放速度,特别在下管遇阻时要轻提轻放,尽量减少冲击载荷力。

### 2.5 保证固井质量

钻孔漏水引发的护壁套管挤毁事故和替空作业引发的工作套管挤毁事故都与固井质量不合格有着最直接关系。因此,在进行工程设计时,既要考虑钻进、下管的经济合理性,同时还要考虑保证固井质量所需的环空间隙,一般要求表层护壁管与钻孔的环空间隙 $\leq 100$  mm,基岩段工作套管与钻孔的环空间隙 $\leq 80$  mm。大口径特殊工程钻孔固井时,由于钻孔孔径大,注浆时易发生串槽现象。所以,除了在关键部位增设扶正器外,在固井前必须使用好隔离液,从而提高水泥浆的顶替效率,清除井壁上附着的泥饼,使水泥能与套管和地层有效地胶结,得到良好的水泥环,提高套管整体的抗挤强度。

## 3 结语

大口径特殊工程钻孔是近几年钻探施工服务煤矿企业的新领域,是钻探延伸业新的拓展,由于笔者收集到的大口径套管挤毁事故案例资料不全,再加上本人理论水平有限,对事故原因的分析 and 提出的相应技术措施有不当之处敬请批评指正。

### 参考文献:

- [1] 编写组. 钻井监督(上册)[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- [2] 赵金洲,张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京:中国石化出版社,2004.

(上接第 45 页)

## 7 总结

管井降水在北京地铁建设乃至全国的地铁建设中被广泛采用,可以说是一项比较成熟的施工技术。但针对不同的工程,由于地质条件的变化,都会有各自的特点。分析每个工程的实际情况,优化管井降水的方法,能够起到保护环境、节约资源、减少投资的作用。

通过不断的摸索、分析研究,“抽渗结合,以渗为主”的管井降水方案在北京地铁十号线熊猫环岛站降水工程中得以实践、论证,同时也寻找到了施工

中特殊问题的处理经验。本车站达到了预期的降水效果,保护环境、节约资源、减少投资在本工程中得以体现。可为类似工程的设计和施工提供参考。

### 参考文献:

- [1] 李世忠. 钻探工艺学[M]. 北京:地质出版社,1988.
- [2] 朱明忠,施淑芬,王春雨. 深井降水设计与施工若干问题探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2).
- [3] 王小刚,邓丁海. 管井与轻型井点复合降水方式的设计与施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(11).
- [4] 侯景岩,维平,何运晏,等. 国家大剧院施工中的地下水控制[J]. 市政技术,2008,26(6).