

辐射井在北京地铁五号线降水工程中的应用

付 刚,熊宗喜,秦 沛

(北京市地质工程设计研究院 北京 密云 101500)

摘 要 北京地铁五号线纵贯城区南北,传统降水施工受到限制,局部地段根本无法实施。采用辐射井降水工艺,既解决了降水问题,取得了良好效果,又为辐射井在地下工程降水应用开辟了新途径。着重介绍了辐射井施工技术原理、技术要求、遇到的困难及解决对策和建议。

关键词 北京地铁五号线 降水 辐射井

中图分类号 :TU46+3 文献标识码 :B 文章编号 :1672-7428(2004)10-0015-05

Application of Radialized Well in Dewater Project of Beijing Subway Line Five/FU Gang, XIONG Zong-xi, QIN Pei
(Institute of Beijing Geotechnical Engineering Design, Miyun Beijing 101500, China)

Abstract : Beijing Subway Line Five cross from north to south of the city. The conventional dewater methods are limited to use, even can not be used in some area. The radialized well dewater methods not only resolve the problems and get good results, but also developed a new way to dewater the underground project. The technical principle and requirement of radicalized well, problems encountered and their countermeasures, suggestions were introduced.

Key words : Beijing Subway Line Five ; dewater ; radialized well

1 概况

北京地铁五号线南起丰台宋家庄,北至昌平太平庄,途径天坛、崇文门、东单、雍和宫等繁华闹市区。全长 27.6 km,设车站 22 座。其中地下线 16.9 km,地下车站 16 座。南北纵穿城区,传统降水受到限制。

1.1 工程特点

- (1)线路长、地层变化大。
- (2)场、站、点多,施工方法较多。
- (3)交叉、换乘车站多。
- (4)穿河多(横穿南、北护城河,盖板河,北小河,清河等)。
- (5)沿途文物保护单位、古建筑多。

1.2 降水施工主要困难

- (1)施工难度大:地层复杂,地下管线多,古建筑及高层建筑多,繁华地段长,交通枢纽多,施工场地狭窄。
- (2)降水要求高:要求疏干上层滞水、潜水,降低承压水位,降水层位多,降深幅度大,井位布置受到限制。
- (3)成井后延续降水时间长。
- (4)施工中外部干扰多。

1.3 地层情况

根据勘察报告,主要地层为:

人工填土(Q_4^{ml}),包括粉土填土①、杂填土①;
第四纪全新世冲洪积层(Q_4^{al+pl}),主要有粉土③、粉质粘土③₁、粘土③₂、粉细砂③₃、粉质粘土④、粘土④₁、粉土④₂、粉细砂④₃、中粗砂④₄;

第四纪晚更新世冲洪积层(Q_3^{al+pl}),主要有圆砾⑤、中粗砂⑤₁、粉细砂⑤₂、粉质粘土⑥、粘土⑥₁、粉土⑥₂、细中砂⑥₃、卵石圆砾⑦、中粗砂⑦₁、粉细砂⑦₂、粉土⑦₃、粉质粘土⑦₄、粉质粘土⑧、粘土⑧₁、粉土⑧₂、细中砂⑧₃、卵石圆砾⑨、中粗砂⑨₁、粉细砂⑨₂等。局部有粉土⑩₂、细中砂⑩₃、中粗砂⑩₁、粉细砂⑩₂。

整体分析:由于五号线顶板埋深标高在 24 m 左右,最深在 16 m 左右,因而磁器口以南其顶底板基本以粘土为主,下层无粉细砂。从崇文门到雍和宫,特别是雍和宫周围,其顶底板有粉土⑩₂、细中砂⑩₃、中粗砂⑩₁、粉细砂⑩₂层,上部填土层较厚。此段降水施工难度相当大。

2 降水设计

2.1 设计依据

地铁五号线要穿越铁路线、高速公路、护城河、

立交桥、高层建筑、古建筑、交通枢纽、闹市区,在这些地段常规方法降水拆迁工作量大、费用过高,局部地段根本无法进行。鉴于此,结合一号线及环线降水经验,部分地段的降水设计采用辐射井降水工艺。

2.2 辐射井降水工艺原理

根据地层情况,先施工一个口径3 m的竖井(深15~28 m)。尔后在目的层上打多层辐射状水平孔,起引流作用。含水层水通过水平井(孔)汇入竖井,用水泵排出。

2.3 辐射井降水特点

(1)单井降水范围大:普通管井单井降水范围为36~40 m²,辐射井单井降水面积达900~1000 m²。

(2)井位布置灵活:克服了管井降水对周边环境和设施的影响。

(3)技术要求高,施工难度大:要求勘察设计准确度高,施工要求严格。

(4)单井施工工作量大,周期长;单井造价高,综合成本低。

3 辐射井施工技术

3.1 施工方法

辐射井施工主要分为竖井及水平井施工。根据场地及地层情况选用不同的施工方法,详见图1。

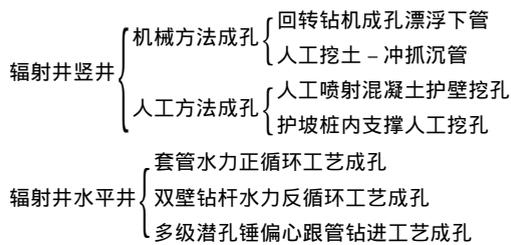


图1 辐射井施工方法

我们在地铁五号线降水工程中采用了以下方法。

3.1.1 辐射井竖井

3.1.1.1 回转钻机反(正)循环成井施工

适合于场地较宽、周边距建筑物较远、空中无障碍的辐射井竖井施工。

(1)定井位。按设计井位图确定,正常情况井位偏差 ≤ 50 mm,若遇特殊情况需调整井位时,应及时通知设计人员到现场调整。为保证安全,定井位后应挖探坑以查明井位处有无地下管线、地下障碍物,挖探坑的平面尺寸应和钻孔钢护筒相近(稍大一点),深度必须以挖(或钎探)到地层原状土为准。

(2)埋设护筒。护筒外径3.8 m,深度视地层情况而定。在护筒上口设进水口,并用粘土将护筒外侧填实。护筒必须安放平整,护筒中心即为竖井中心点。

(3)挖泥浆池。要求体积 ≥ 1.5 倍单井体积,严防漏失。

(4)钻机安装、调整。钻机底部需用机台木垫实,安装平稳。中心误差 ≤ 20 mm,垂直度偏差 $\leq 1\%$ 。

(5)钻孔。在钻孔过程中应保证孔内泥浆液面高度与孔口平齐,严防塌孔,钻进过程中应调好泥浆密度(1.1~1.3 kg/L)。为提高钻进效率,应尽量使用反循环钻进工艺成孔。

(6)漂浮下管。利用漂浮法下钢筋混凝土护壁管,下管前应检查护壁管厚度、上下接口、外形等,并按设计要求做好上下段焊接和防水。下管时要保证垂直度并确保在井孔居不歪斜。下管结束后应将管壁周围用粘土填实。

3.1.1.2 人工挖土-冲抓沉管施工

适合于场地较窄、周边距建筑物有一定距离、受地下水影响较大的辐射井竖井施工。

为了加快施工进度,本工程采用预制件下沉,护壁管为钢筋混凝土管,异地立模浇筑成件后运至施工现场,定位排土下沉。挖土方法为上部人工挖土,当地层中地下水影响较大时,采用冲抓挖土。

3.1.1.2.1 底件制做

底件为整件制作,壁厚250 mm,高2.0 m。井壁外侧上部1.0 m比下部向内缩50 mm。

其制做步骤为:刃脚制做→模板安装→钢筋绑扎→混凝土浇注→凹槽预留。

3.1.1.2.2 沉井下沉

(1)定位。将制作好的底件和余件运抵现场后,先平整场地,放线测量,确定底件放置中心,并按沉井内半径画线。

(2)井壁地表围护。沿井壁埋设围护圈,用以防止地面土层坍塌而引起周围房屋沉降,同时也防止破坏泥浆套。围护圈用钢板制作成围板,与井壁间的净距和泥浆套的厚度相等。围护圈的高度2 m,顶部高出地面0.5 m,牢固地锚拉于地锚上,底部埋入地层内。围护圈周边场地用混凝土硬化,以防渗水和破坏土层,阻塞泥浆套。

(3)沉井。将预制好的底件吊置于定位好的井位,从井中部取土沉井。当底件沉入土中还余500 mm时,将上件凸牙朝下吊起并和底件凹槽对接,做

好防水,调整对齐焊缝,将上下件对接缝里外焊接,再外邦焊。检查无漏焊、虚焊后,可继续取土沉井。人工挖土遇松软土质时由中部先向下挖,逐渐向四周扩挖,遇硬质土时可依抽垫顺序分段掏空刃脚,每段掏空后随即回填砂砾,待最后几段掏空并回填完毕再逐次挖除回填砂砾使沉井下沉。

(4)注浆。施工中周边摩阻过大,整个过程采用泥浆润滑套以减小摩阻力。

3.1.1.2.3 下沉辅助措施

(1)高压射水。在井壁中预埋射水管至刃角上部,当沉井底部下沉遇到困难时可高压射水。一般射水压力为 1~2.5 MPa。

(2)抽水下沉。在刃脚上已掏空不下沉时,可抽水减小浮力使其下沉,但在可能发生翻砂漏水地层,不宜采用,即在潜水下浅部可适当采用,深部尽量少用。

(3)压重助沉。在井顶均匀放置铁轨或钢管、铺钢板、对称均匀压沙袋。

3.1.1.2.4 沉井下沉施工纠偏

(1)除土纠偏。入土不深的沉井,可在刃脚高的一侧除土,刃脚低的一侧支垫,随着沉井的下沉,倾斜即可纠正。

(2)加压法纠偏。在井顶部强加水平力牵引纠偏,同时在井内配合除土纠偏。

3.1.1.2.5 封底

沉井满足设计标高后,首先清理凹槽,然后采用导管法水下灌注混凝土封底。施工方法与水下灌注桩方法相同。封底后发现漏水现象,可进行压浆处理,压浆后再进行防水处理。

3.1.1.3 人工喷射混凝土护壁挖孔施工

适合于场地较窄,周边距建筑物较近,空中有障碍物,地下水影响不大,地层颗粒较细,深度 20 m 以内的辐射井竖井施工。

(1)定井位。方法与回转钻机成孔施工相同。

(2)确定辐射井中心控制点。根据井位中心点,在辐射井外侧设置 4 个定位龙门桩,两组龙门桩之交点即为辐射井中心点。每段下挖的中心控制点以交点的垂线来确定,以确保挖孔的垂直度。

(3)分段挖土。挖土分段高度控制在 1.2 m 以内,严禁超挖,遇特殊情况(如流砂层、不稳定杂填土层等)应减小分段高度。挖土必须保证上下段的中心垂直度和孔壁垂直度。

(4)分段护壁。井壁必须采用土钉支护,严格按《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-99)操作,

上段土钉及井壁喷射混凝土强度未达到要求时严禁开挖下段。对每个辐射井要求单独做支护设计,报甲方、监理方审批通过后才能施工。

(5)降水。当竖井挖土遇到地下水影响时,可在竖井外侧 1.5~2.0 m 处布设降水井控制竖井挖土范围内的地下水,使分段挖土和分段护壁能顺利进行。喷射混凝土前应在适当位置(含水层底板)预留导流管。

(6)封底。挖到设计深度后,用混凝土封底,封底厚度除了要特殊考虑承压水抗浮外,一般要求 300~500 mm。

3.1.2 辐射井水平井

3.1.2.1 水平孔套管水力正循环工艺成孔

仅适用于粉土、粘质粉土地层。

(1)钻机安装。将钻机置于厚 10 mm 的钢板上,通过升降机将钻机下入竖井内水平孔施工的深度,然后固定钢板。调整好水平孔位置和钻孔延伸方向后,利用竖井壁将钻机固定。

(2)水平孔定位。根据降水设计方案提供的水平孔位置图,参照车站或区间永中线控制点施放水水平井井位和确定钻孔延伸方向,正常情况下井位偏差 ≤ 30 mm,若遇特殊情况需调整井位或方向时,应及时通知技术人员到现场调整。

(3)套管钻进。通过套管利用高压水冲钻进,将孔内渣土从钻杆外排出,钻进过程中根据出渣量的情况控制水压力,尤其是在粉细砂地层中,避免水压力过大造成孔超径太大,引起地面沉降。

(4)放入滤水管。钻进到设计深度后停钻,将滤水管缓缓推进,滤水管接口部位要连接平整牢固,避免刮蹭套管,滤水管出口段要安装节门。

(5)起拔套管。起拔套管前需下入一根顶杆将套管顶端的钻头脱离,然后逐段拔出套管。拔套管期间要防止将滤水管带出。

3.1.2.2 水平孔双壁钻杆水力反循环施工

适用于粘性土、粉土、各种砂层及砾石层。

钻机安装、水平孔定位、放入滤水管、起拔钻杆等方法均与套管水力正循环工艺成孔相同。

钻进时通过双壁钻杆利用高压水冲钻进,将孔内渣土从钻杆内排出,钻进过程中根据出渣量的情况控制水压力和钻进速度,尤其是在卵砾石地层中,避免管内残留过多的岩屑。

3.1.2.3 多级潜孔锤偏心跟管钻进施工

适用于各种砂层及卵砾石地层,其成孔最大长度可达 50 m。这种钻进工艺能克服上述两种成孔

方式不能在卵石地层中钻进的弱点,并且能有效控制成孔超径、流砂层塌陷等原因引起的地面沉降。由于采用了多级套管(本工程考虑3级套管,即 $\varnothing 178$ 、146、108 mm),克服了单级套管摩阻力太大的影响,大大提高了钻进速度。

钻机安装、水平孔定位、放入滤水管、起拔套管均与套管水力正循环工艺成孔相同。多级潜孔锤偏心跟管钻进根据水平孔长度可选择一级、二级或三级套管钻进,每一级钻进长度 ≤ 20 m。

3.2 施工中的安全及技术措施

3.2.1 正常施工

辐射井施工中最主要的是防止井在施工过程中或在其他情况下的塌陷,同时,注意井下操作人员的安全问题。

(1)提拔钻具应平稳,避免造成塌孔。

(2)采用吊车下管时,准确确定吊车与井边之距离,井管排放亦应远离井口。

(3)锚喷支护时,应严格控制挖土高度并及时进行锚喷支护。

(4)采用人工挖孔或冲抓沉管时,既要控制挖孔高度又要严格保证冲抓过程中按规程操作,严防因此形成扰动塌孔。

(5)辐射井内人员要穿好雨衣、雨鞋,戴好安全帽,系好安全带。井内最好安放软梯,以便应急使用。井上、井下通讯要畅通及时。

(6)井内壁悬挂物应系牢、固定,以防下坠伤人。

(7)水平钻机应吊放在工作平台上,对准孔位后固定牢靠。

(8)离井口边缘1 m处应设防护栏。

3.2.2 冬季施工

3.2.2.1 井管加工

(1)水泥、混凝土温度 ≥ 5 $^{\circ}\text{C}$,搅拌用水温度应在70~80 $^{\circ}\text{C}$,入模温度 ≥ 50 $^{\circ}\text{C}$,养护温度 ≥ -5 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2)试块每班应取2组以上,一组做标准养护,其他做同条件养护。

(3)采用电热法养护井管,外层包裹保温被。

3.2.2.2 钻孔

(1)泥浆池不能用冻土围垒,以防融化渗水。

(2)地表输水管线应做好防冻保温工作。

(3)设备启动前应全面检查转动部位。

3.2.3 雨季施工

(1)雨季前应全面做好防雨(洪)工作,特别是井口的防雨工作。

(2)现场配备足够的草袋、蓬布及水泵等。

(3)现场要有自行发电设备。

(4)雨季禁止井管制作和井内锚喷作业。

(5)回填土含水量较大时,应在其中加9%左右的白灰做处理或用砂砾回填。

3.3 施工中遇到的困难及处理措施

如前所述,五号线纵贯城区南北,地层差异大,部分地段相当复杂,辐射井降水施工遇到许多技术难题,对此我们采取了相应处理措施。

3.3.1 辐射井竖井沉井下沉困难

施工中常遇沉井下沉困难,主要原因是沉井偏斜或泥浆套失效。

沉井偏斜原因是沉井过快或地层软硬不均。应严格控制挖孔速度和高度,及时纠偏。纠偏常用“上顶下压”或除土纠偏。一般都能达到目的。

原竖井上部漏水,稀释泥浆,破坏泥浆性能,使泥浆套失效,沉井阻力增加。主要措施是:配备性能好的泥浆,上部打注浆孔注浆,下部采用压浆孔压浆,保证泥浆套完整。

3.3.2 复杂地层辐射井水平井成井困难

施工中遇到的主要问题是卵石层钻进困难和砂层(特别是粉细砂)涌砂、成井困难。

(1)卵石层用常规方法钻进,效率低,钻具折断严重,易发生偏斜。采用多级潜孔锤偏心跟管钻进工艺,配合SM泥浆能较好地解决这些问题。

(2)涌砂现象主要是上部水压高或粉细砂随钻外涌。可采用在辐射竖井周边打降水井降水;或在水平孔上部含水层打降水孔降水。亦可采用单向钻头防止停泵后地层内粉细砂液化后倒流。

4 辐射井的后期处理

降水工程是地铁结构工程的辅助工程,属临时性工程范畴,降水结束后,应及时回填,使它与地层连成一体。

4.1 水平井的后期处理

可采用边注素水泥浆边拔管的方法将井管拔出。

4.2 辐射井竖井回填

(1)严格按《建筑地基处理规范》(JGJ 79-91)回填程序进行回填。

(2)井位位于方砖、沥青路面时,井深2 m以深井段回填石屑。利用井内存水使之饱和,依靠自重压实。当井内存水无法使之饱和时,应边回填边注水。井深2 m以浅井段用C15素混凝土回填,分层

夯实。近地表按原状恢复。

(3)井位位于绿地时,井深 2 m 以深井段回填石屑(同上)。井深 2 m 以浅井段应回填粘土,并捣实。近地表按原状恢复。

5 地铁五号线辐射井降水取得的主要成果

(1)辐射井竖井施工工艺方法多样,可满足北京地区各种地层要求。特别是多级潜孔锤偏心跟管工艺,配合 SM 泥浆能有效地实现在卵、砾石层钻进。

(2)使用泥浆套润滑降低了地层对沉井井壁管的摩擦力,使竖井深度达 28.5 m,突破了普遍认为北京地区沉井深度 ≥ 20 m 的界限。应用 GPS-25 型钻机施工井深可达 70~80 m。

(3)水平钻进设备、工艺、技术更加成熟。目前应用高压水冲正循环、双壁钻杆反循环工艺使细颗粒地层水平孔钻进长度达 70 余米。利用多级偏心潜孔锤工艺,在卵砾石层钻进深度达 50 余米,完全满足降水要求。

(4)研制成了引、透水性好,下管方便的弹簧钢丝水管及各种下管方法,使水平井成井工艺更加完善。

(5)降水效果好,占用空间小,降水面积大,满足了城区降水的特殊要求。

(6)综合效益好。经估算仅五号线降水减少各种建筑物的拆迁和特殊地区降水问题,节约资金上亿元。

6 结语

辐射井在北京地铁五号线中的成功应用,解决了地铁降水在闹市区施工的关键难题,也为北京地区地下工程降水开辟了一种新的方法。目前五号线辐射井已成功施工多眼,穿越了各种类型的地层,通过这些井的施工,我们认为:

(1)辐射井解决了闹市区降水问题,减少了施工空间,避免了部分重大建筑、文物、交通拥堵处及河床等特殊地段无法用管井降水的矛盾,同时,综合成本较低,是今后闹市区地下工程降水的有效方法。

(2)地铁五号线已完成辐射井降水数十眼,降水效果良好,北京地铁四号、十号线降水工程已开始,辐射井降水得以广泛应用,这为其它大城市的地下工程降水提供了宝贵的经验,其应用前景广阔。

(3)辐射井施工,涉及的地下工程施工技术较多,技术要求较高。因此,真实准确的勘察资料、完整严密的技术方案、成熟的施工工艺是辐射井成功必备的三大要素。否则,勘察资料的失真将会使水平孔进入隔水层或进入不适当的地层,影响降水效果,也使竖井施工难度加大。降水设计工作必须精确指导现场施工,特别是对城区现场情况要综合考虑。否则,将会给施工带来不必要的麻烦。精心组织,按要求施工和成熟的施工经验是工程成功的必要条件。

参考文献:

- [1] JGJ/T 111-98 建筑与市政降水工程技术规范[S].
- [2] JGJ 120-99 建筑基坑支护技术规程[S].

(上接第 11 页)

使吊索 2 受力,当吊索 2 受力时抽出临时钢管,最后将格构柱下放到设计标高。在格构柱上口距孔口 500 mm 时,把准备好的 400 mm × 400 mm × 25 mm (500 mm × 500 mm × 25 mm) 钢板用 $\varnothing 28$ mm 高强螺栓与格构柱固定在预留洞眼。

(6)利用全站仪对格构柱进行定位,将角钢调整至与大钢板纵向平行,利用水准仪测量标高控制格构柱的固定高度,再按实际地面标高选 400 mm × 400 mm × 25 mm (500 mm × 500 mm × 25 mm) 钢板上预留孔洞用 $\varnothing 28$ mm 高强螺栓与角钢固接,格构柱的安装误差应符合设计要求。经反复校核后,将角钢与钢板用钢筋焊接固定。

6 格构柱桩混凝土的浇灌

在格构柱桩混凝土的浇灌过程中,导管提升应尽量避免与格构柱相碰,防止格构柱移位。在混凝土灌注至格构柱时,应增加导管上下提动频率,以利于混凝土挤出格构柱,使混凝土密实。混凝土灌注高度必须满足设计要求,以确保格构柱在混凝土中的锚固力。

7 格构柱桩的养护

混凝土灌注结束 48 h 后,方可拆除孔口固定钢板,随即进行回填,回填之后在孔口留明显标志,禁止车辆碾压。