

基于旋挖和水平定向钻进的辐射井成井实验研究

李 炯^{1,2}, 王 瑜^{1,2}, 孔令镨^{1,2}, 钱程远^{1,2}, 胡茂兴^{1,2}, 刘宝林^{1,2}, 陈 坤^{3,4}

(1.中国地质大学(北京)工程技术学院,北京 100083; 2.国土资源部深部地质钻探技术重点实验室,北京 100083;
3.中国农业机械化科学研究院,北京 100083; 4.北京天顺长城液压科技有限公司,北京 100083)

摘要:辐射井作为城市地下水供水构筑物 and 盐碱地改良的集水设施,凭借单井出水量大、水质稳定及控制面积大等特点被广泛应用。本文对传统辐射井施工方案进行了调研,并分析总结出传统集水井和辐射孔施工过程中存在施工安全性低、钻进效率慢且钻孔质量差等问题,提出了以旋挖钻进的方式施工辐射井中的集水井,以水平定向钻进的方式施工辐射孔的方案。通过现场实验,发现此方案能有效解决传统方案中存在的问题,进一步研究之后值得推广。

关键词:旋挖钻进;定向钻进;辐射井;实验研究

中图分类号: TU991.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)10-0127-05

Experimental Research on Construction of Radial Collector Wells by Auger Drilling and Horizontal Drilling/LI Jiong^{1,2}, WANG Yu^{1,2}, KONG Ling-rong^{1,2}, QIAN Cheng-yuan^{1,2}, HU Mao-xing^{1,2}, LIU Bao-lin^{1,2}, CHEN Kun^{3,4} (1.School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2.Key Laboratory on Deep Geo-Drilling Technology of the Ministry of Land and Resources, Beijing 100083, China; 3.Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China; 4.Beijing Tsun Greatwall Hydraulic R & D Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: Radial collector wells are widely used as the municipal ground water production structure, as well as water intake facilities to improve saline-alkali land due to their characteristics of high water yield per single well, stable water quality and large control area. Investigation of the construction methods of traditional radial collector wells has found some problem, such as low construction safety, low drilling efficiency and poor drilling quality in the construction process of traditional collection shafts and radial laterals. This paper puts forward a solution for drilling of the radial collector well: sinking the collection shaft by auger drilling, and constructing the radial laterals by horizontal directional drilling. Through field trials, it is found that this solution can effectively tackle the problems existing in the traditional method, and it will find wider use with further improvement.

Key words: auger drilling; directional drilling; radiation well; experimental research

0 引言

随着社会经济的发展,城镇化进程的加快,水资源短缺和人均耕地面积不断减少的问题日益严峻。我国淡水资源的 31% 为地下水,由于地表水污染越来越严重,到 20 世纪 80 年代末,全国 71% 的城市将地下水作为城市供水水源^[1];我国盐碱化土地面积占我国可利用土地的 13.4%,盐碱化使部分地区寸草不生^[2-3],每年需投入大量精力改良盐碱地。辐射井在地下集水过程中具有单井出水量大、水质稳定、寿命长、运营成本低等特点^[4-7],在盐碱地改良中根据其拥有的排水速度快且单井即可控制较大

土地面积的特点而具有良好的发展前景。

本文调研了传统的辐射井施工方法,分析出这些方法中存在施工安全性低、钻进效率慢且钻孔质量差等问题,为解决这些问题提出辐射井的集水井施工可采用旋挖钻进而辐射孔的施工可采用水平定向钻进技术来完成,通过在山东省东营市孤岛镇进行现场实验,验证了该方法具有施工速度快、成井质量高等特点,进一步研究后可推广应用。

1 辐射井技术现状

1.1 辐射井的结构

收稿日期:2018-07-31;修回日期:2018-09-04

基金项目:国家科技支撑项目课题“农机井成井设备研制与开发”(编号:2015BAD20B02);中央高校基本业务费优秀导师项目“行星钻头驱动器工作机理研究”(编号:2652017062)

作者简介:李炯,男,汉族,1993 年生,硕士研究生在读,地质工程专业,主要从事钻探钻具方面的研究,北京市海淀区学院路 29 号,2102160053@cugb.edu.cn。

辐射井是一种高效取水构筑物,包含大直径竖向集水井和小直径水平辐射孔两部分,因其水平辐射孔以竖向集水井为中心向周围地层辐射而得名^[8],如图1所示。

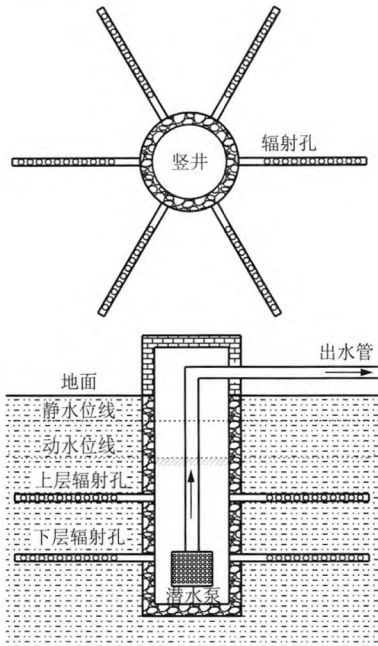


图1 辐射井示意图

一般竖向集水井只起集水的作用,根据地层情况,可选用钢筋混凝土或砖块儿等不透水材料来修筑竖向集水井,而水平辐射孔中则需要铺设具有过滤功能的钢管或PE管,为达到辐射井所要求的出水量,可根据地层的含水情况来铺设多层或多根水平辐射孔^[9]。

1.2 辐射井的施工

由于辐射井主要由集水井和辐射孔两部分组成,因此需要对二者分别进行施工,传统施工方案及施工过程中出现的问题如下。

1.2.1 传统集水井的施工

传统集水井施工方式主要包含沉井法、人工挖孔—逆作法和反循环成孔—漂浮沉管法^[10-11]:(1)沉井法是指预制混凝土井管仅依靠重力沉入土体,在井管下沉的同时需不断将井内土体挖出的一种集水井施工方法,鉴于此,沉井法通常在松软地层应用较多,但所形成的竖井深度和直径均有限,通常深度<20 m,直径为4~8 m,该方法具有施工简单、安全性高的优点,遇较硬地层或直径较大的集水井则不宜采用该方法;(2)人工挖孔—逆作法是指先通过人工开挖裸孔,再浇筑混凝土或其他材料的施工方法,

该方法可用在较硬地层中,虽然可以开挖各种直径的集水井,但是由于人力有限,单次开挖的深度通常不超过1.5 m,且施工过程中工作人员需要长期待在环境恶劣的井下,存在较大的安全隐患;(3)反循环成孔—漂浮沉管法是指通过反循环钻机钻成裸孔,再采用漂浮沉管法下入大直径井管的方法,漂浮沉管法是指先将第一节井管封底,再将第二节对接到前一节上,并将接头处密封,最后通过调节重力和浮力下入各井管的施工方法,该方法适用于各种地层、不同管径的集水井,虽然安全性和成井质量高于前两种方法,但成孔速度却低于前两种。

1.2.2 传统辐射孔的施工

相较于竖向集水井,水平辐射孔具有更大的施工难度,传统水平辐射孔的施工通常是在竖向集水井施工完成后,携带水平钻机的施工人员到达竖向集水井中指定深度,再将钢质滤水管通过竖向集水井上预留的孔洞铺设到地层中^[12],如图2所示。

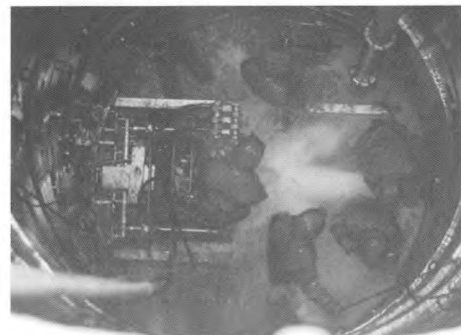


图2 传统辐射孔施工图

按照动力分类可将滤水管的铺设方法分为3种:人力锤击、顶入和跟管钻进。(1)人力锤击法是指通过人力将钢质滤水管锤入地层中,该方法不但劳动强度大,施工安全性差,还由于此种方法的能量有限,导致只能铺设有限长度的滤水管;(2)顶入法是指通过专用设备,包括水平钻机或千斤顶等将滤水管顶入地层中,此方法只适用于刚性滤水管,且由于井内空间有限,导致每次只能顶入有限长度的滤水管;(3)跟管钻进法是指采用潜孔锤跟管钻进技术,先钻进到预定深度,然后抽出钻杆,再用顶杆将软式材料的滤水管顶入套管内,最后拔出套管的方法^[13]。

因此,传统集水井施工方法具有局限性或者施工效率低等问题,而传统辐射孔施工时,大量地下水易从已施工完的辐射孔中涌入集水井中,且操作人

员需长期在集水井中工作,在这种狭小空间中操纵钻机,具有施工安全性低、钻进效率慢、成孔质量差等问题,而采用旋挖和水平定向钻进技术的辐射井成井方案将有效解决这些问题。

2 新辐射井成井方案

鉴于传统辐射井成井方案中存在诸多问题,这里提出一种新的成井方案,即以旋挖的方式完成集水井施工,以水平定向钻进的方式完成辐射孔的施工。

2.1 旋挖和水平定向钻进介绍

旋挖成孔的原理是钻机带动钻杆旋转,钻杆和底部镶有钻头的桶式钻斗相连,旋转切削的岩土可进入钻斗内,当钻斗内部装满土体之后可将其提出并卸土。旋挖钻机自 20 世纪 80 年代引入我国之后,凭借成孔效率高、孔径偏差小和施工安全性高等特点而在成孔施工中广受欢迎^[14]。

水平定向钻技术是由 20 世纪 60 年代的一种非开挖铺设管道的方法发展而来^[15],施工过程主要包括 3 步。(1)定向孔钻进:在动力驱动下,钻头钻具同水平面呈一定角度进入地层中,通过控制钻头钻具的运行轨迹先进行小直径孔的钻进;(2)扩孔:利用扩孔器将第一步钻成的小直径钻孔扩充到所需直径,若所需直径较大通常会进行多次扩孔,逐步达到要求;(3)回拖:定向钻进所用的钻杆上面通常安装有单动器可用来连接管道和钻杆,回拖钻杆从而带动管道铺设到第二步所形成的钻孔中,完成管道的铺设^[16]。

2.2 现场实验

2.2.1 场地介绍及目的

本实验场地位于山东省东营市孤岛镇的一片农田,该场地属黄河三角洲地区,海拔不到 2 m,地下水埋深在 1 m 左右,土地盐碱化严重,不利于农作物生长,且场地中有一条沟渠,两边为堤坝。该实验是为验证采用旋挖和水平定向钻进结合的方式在辐射井成井过程中的可行性并在以后将其用于盐碱地改造。

2.2.2 实验过程

2.2.2.1 集水井的施工

集水井施工过程可分为集水井钻进和下水泥护筒两部分,根据规范,为保证集水井在钻进过程中不会坍塌,必须满足在钻进时井内水位高于地下水位 1.5 倍管径以上,因此,集水井位置选择在堤坝的中部。

为方便大型旋挖钻机施工,本次实验在钻进集水井前搭建了一个高度约 2.5 m 的施工平台,旋挖钻机的成孔直径为 2.2 m,为防止塌孔,钻进深度达到 2 m 之后下入外径为 2.2 m 高度为 2 m 的钢护筒作为支撑体,如图 3 所示,在钻进过程中需始终保持井内泥浆充足以平衡地层压力,集水井完井深度为 17 m。



图 3 集水井施工图

集水井钻进过程结束之后,为采用漂浮法下入水泥护筒需平整井口并垫放枕木,在枕木上放入事先由光滑的钢桶焊接而成的四边形支架,漂浮法下入水泥护筒即是将做好封底的且底部焊接有 4 个吊耳的水泥护筒吊到井口,然后将钢丝绳锁死在吊耳上,另一端缠绕到四边形支架上,此工程考虑到水泥护筒重量巨大,为保证安全而在完成上述步骤之后将 4 根钢丝绳又分别缠绕到了已经楔入到地下的桩上,4 根钢丝绳同步下放即可使水泥护筒下入竖井中,等到第一节水泥护筒即将完全下入到竖井中时再吊装第二节护筒到前一节上,并将接头处密封,如图 4 所示,重复下沉水泥护筒的动作直到水泥护筒的长度和集水井高度相差无几,期间若因浮力导致水泥护筒无法下沉可向其中注入清水等来平衡浮力。最后,为防止水泥护筒倾斜,可在水泥护筒下入完成后在其外壁与孔壁之间的间隙中投入砂石,并



图 4 下水泥护筒图

将护筒内的水抽出,至此,集水井的施工结束。

2.2.2.2 辐射孔施工

辐射孔中的滤水装置采用 $\varnothing 75$ mm HDPE 管,在开始钻进前需要在 HDPE 管上打滤水孔,每 50 mm 的长度上错开布置 6 个,孔隙率为 4%,为防止地层中细小的颗粒大量进入滤水管最后进入集水井,需要在滤水管外套上能起到过滤作用的土工布,完成之后如图 5 所示。



图 5 滤水管

本实验采用辐射孔施工方法中的“一钻双孔”方式,即钻头从入土点进入地层,直接穿过集水井,在对侧方向继续钻进辐射孔;与之对应的是“一钻单孔”,即钻头从入土点进入地层,钻进到集水井之后停止。

第一次钻进的入土位置选择与堤坝轴线夹角为 105° ,水平方向距集水井 50 m 处,出土位置在水平方向距离集水井为 41.3 m,即第一条辐射孔水平方向总长度为 91.3 m,该辐射孔最大埋深为 3.5 m 且钻进到集水井时保持最大埋深,钻进流程见图 6。

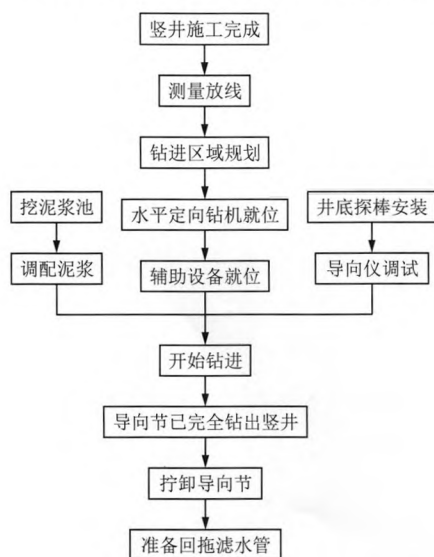


图 6 辐射孔施工流程图

为保证钻孔之后回拖滤水管的时候辐射孔不被坍塌的地层堵塞并省略扩孔步骤,本次钻杆采用双壁钻杆,即内钻杆和钻头连接保证钻进,外钻杆起到支撑土体作用。滤水管的回拖方式是卸掉钻头,将钢丝绳一端同内钻杆连接固定另一端连接滤水管,回拖穿过外钻杆,最后通过钻机将外钻杆拖拽回地面。回拖滤水管时,根据阻力不同可选择人力拉拽或机器拖拽,依次钻进 3 个辐射孔,每孔参数如表 1 所示。

表 1 辐射孔参数

孔号	与堤坝轴线夹角/ $^\circ$	最大深度/m	水平长度/m
1	105	3.50	91.3
2	60	3.54	105.5
3	20	3.70	95.8

通过本次实验验证了辐射井中集水井由旋挖钻机施工,辐射孔由水平定向钻进成孔的技术的可行性,并且该施工方法在施工速度、精度及安全性等方面均远远高于传统辐射井施工方法,此次采用的双管定向钻进工艺通过 3 次钻进形成 6 个辐射孔,有效地克服了粉细砂地层易坍塌的问题,施工完成之后现场如图 7 所示。

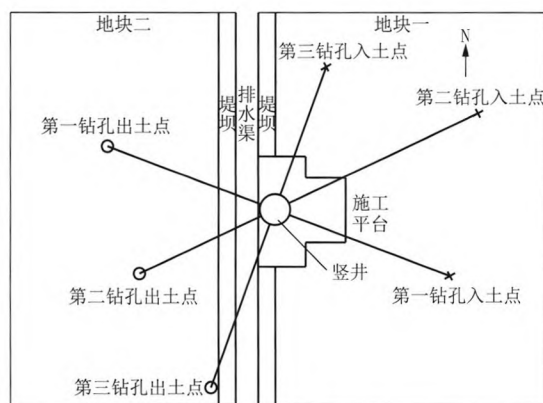


图 7 实验现场辐射井平面图

3 结论

(1)辐射井作为一种在城市地下水供应和盐碱地改良中广泛应用的高效构筑物,传统的施工方法具有局限性,且存在劳动强度大、施工速度慢、安全性低及钻孔质量差等缺点。

(2)通过现场实验,以旋挖钻进辐射井中的集水井部分,以水平定向钻进辐射井中的辐射孔部分的新型辐射井施工方案具有施工速度快、安全性好及成井质量高等特点,采用的双管定向钻进工艺能有

效克服地层坍塌导致的无法铺设滤水管现象。

(3)新辐射井施工方案在滨海盐化潮土地层中得到了良好验证,而在其他地层复杂地区能否取得良好效果以及对盐碱地土壤的改良效果还需要进一步实验研究。

参考文献:

- [1] 张利平,夏军,胡志芳.中国水资源状况与水资源安全问题分析[J].长江流域资源与环境,2009,18(2):116—120.
- [2] 张翼夫,李问盈,胡红,等.盐碱地改良研究现状及展望[J].江苏农业科学,2017,45(18):7—10.
- [3] 张海艳,万连步,李宗新,等.东营盐碱地适宜玉米品种的苗期筛选研究[J].种子,2018,(4):99—101.
- [4] 张治晖.辐射井技术[J].中国水利,2008,(23):63—63.
- [5] 吴价成.辐射井技术的发展前景[J].水文地质工程地质,1993,(2):51—53.
- [6] Appiah-Adjei E K, Shu L, Adjei K A, et al. Interpretation of Pumping Test with Radial Collector Well Using a Reservoir Model[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2012, 1(12): 1397—1407.
- [7] Lee E, Hyun Y, Lee K K, et al. Hydraulic analysis of a radial collector well for riverbank filtration near Nakdong River, South Korea[J]. Hydrogeology Journal, 2012, 20(3): 575—589.
- [8] 胡正.辐射井施工工艺简介[J].探矿工程,1993,(5):22—23.
- [9] 伍军.辐射井的两种用途[J].地下水,1989,(3):153—155.
- [10] 王显伟,吕建祥.简述辐射井施工工艺[J].四川地质学报,2007,27(4):310—312.
- [11] 吴高见,姜凌宇,喇成云,等.漂卵石地层特大型调压井沉井法施工技术研究与应用[J].中国科技成果,2012,(20):74—74.
- [12] 何运晏,张志林,夏孟.辐射井降水技术在浅埋暗挖地铁中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(S1):273—276.
- [13] 赵云峰.北京地铁奥运支线北辰桥区辐射井降水施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):57—60.
- [14] 赖晶星,孔凡林,刘海源.旋挖灌注桩清孔技术现状及在重庆地区适用性探讨[J].重庆建筑,2013,(6):33—36.
- [15] 车延岗.导向钻进非开挖技术简介[J].市政技术,2002,(4):41—46.
- [16] Chehab A G, Moore I D. Analysis for Long-Term Response of Pipes Installed Using Horizontal Directional Drilling[J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 2012, 138(4): 432—440.