

五层巢式监测井成井工艺与材料研究

冯建月^{1,2}, 王营超^{1,2}, 叶成明^{1,2}, 解伟^{1,2}, 李小杰^{1,2}

(1. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北保定 071051; 2. 国土资源部地质环境监测技术重点实验室, 河北保定 071051)

摘要:针对我国地下水监测现状和存在的技术问题,开展了对 $\varnothing 50$ mm巢式监测井PVC-U井管的建井生产试验并组织实施了一眼五层巢式地下水监测井。介绍了该井整体的结构设计、PVC-U井管、新型止水粘土球、扶正器和成井关键工艺以及最终取得的成果。可为以后的多层巢式地下水监测井建设提供参考,并为我国地下水多层监测井技术的发展提供支撑。

关键词:巢式监测井;成井工艺;成井材料;PVC-U井管

中图分类号:P634;P641.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)07-0029-05

Research on Well Completion Technology and Materials for the Five-layer Nested Monitoring Well/FENG Jian-yue^{1,2}, WANG Ying-chao^{1,2}, YE Cheng-ming^{1,2}, XIE Wei^{1,2}, LI Xiao-jie^{1,2} (1. Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding Hebei 071051, China; 2. Key Lab of Monitoring Technology of Geological Environment, Ministry of Land and Resources, Baoding Hebei 071051, China)

Abstract: According to the present situation and existing technical problems of groundwater monitoring in China, the well building test for $\varnothing 50$ mm PVC-U tube for nested monitoring well was carried out. Design and construction were implemented for a five-layer nested monitoring well. The paper introduces the overall structural design, PVC-U well pipe, new type of clay balls for water stop, centralizer, key technology of well completion and the final results of the monitoring well. This work can offer a reference for the construction of multi-layer nested monitoring wells and provide support to the development of groundwater multi-layer monitoring well technology in China.

Key words: nested monitoring well; well completion technology; well completion materials; PVC-U well pipe

1 概述

“一孔多层”地下水监测井(亦称地下水多层监测井)具有成井方式灵活、能够有效实现地下水分层监测、可大幅度减少建井数量和节省建井占地面积、施工成本等特点,已成为国内外地下水分层监测的发展趋势。

目前,国内外应用的地下水多层监测井的常见类型主要包括巢式监测井、连续多通道监测井、Waterloo监测井和Westbay MP监测井^[1-3]。近几年来,为监测地下水水质、地下水污染物的运移和地面沉降,巢式监测井得到了初步地研究与应用。因其成井工序复杂,层间与管间止水困难等问题地制约,监测层数一般为2~4层。部分地下水多层监测井管材用传统的水文水井管材替代,存在使用寿命短、成井质量难以保证和可能对地下水造成二次污染等

问题,若使用进口管材及附属器具,不仅价格昂贵,而且难以与国内现有的监测设备、采样器具实现对接。为此,项目开展了多层巢式监测井成井材料和工艺的研究。针对巢式监测井钻孔口径大、孔内安装井管多、成井工序复杂等技术难点,重点开展了成井管材、止水材料、填砾止水等方面的研究。2014年,采用最新研发的 $\varnothing 75$ mm巢式监测井PVC-U井管在北京通州区张家湾示踪试验场建成深度为150 m的三层巢式监测示范井,该井自建成至今运行良好。2015年,又采用 $\varnothing 50$ mm巢式监测井PVC-U井管,在甘肃省张掖市平原堡内陆河流域地下水科学研究基地设计建成一眼深度为118 m五层巢式监测井,该井钻探成井工艺复杂,对成井材料要求较高,具有一定示范指导作用。本文以此为例,对多层巢式监测井的成井工艺和材料进行简要的介绍。

收稿日期:2016-12-30;修回日期:2017-04-18

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“地下水多层监测井钻探成井工艺与材料研究”(编号:201212011220167)

作者简介:冯建月,男,汉族,1987年生,地质工程专业,硕士,从事水文地质钻探技术研究工作,河北省保定市七一中路1305号,3136718529

@qq.com。

2 钻探成井设计

多层巢式监测井根据监测的目的和监测层位,需要合理地设计钻孔结构,包括各级井管的深度,钻孔直径和井管直径,也需要采用相应的成井工艺,以达到对地下多个含水分层监测的目的。

2.1 目的层的确定

结合钻探取心结果和井孔测井资料查明该区主要是粉砂、中粗砂、粉砂质粘土、粗砂、砾石、砂砾石等第四系富水地层,局部出现多个厚度为6~10m泥质砾石层和亚砂土地层,具备建设多层巢式监测井的地层条件。

根据地层情况确定该处有4个明显的隔水层或弱透水性地层,可监测地下5个含水层,含水层的位置分别为:5~21、28~46、54~69、74~85和94~112m,依次对应确定出各级井管的下入深度为26、52、75、94和118m。

2.2 钻孔结构

多层巢式监测井所使用的监测井管外径为50mm,为保证填砾、止水的准确性和可靠性,监测管与钻孔孔壁之间、监测管与监测管之间必须留有足够的间距。按照理想状态下5根监测管呈十字排列,中心井管与4根相邻井管具有最小间隙。根据以往的工作经验,间隙距离宜为50~75mm,同时井管组与孔壁之间应预留50~100cm的环状止水间隙^[4],且环状间隙越大,止水效果和各目的层的渗水性能越好。

根据以上分析的情况和各级井管设计深度,且为防止孔径过大导致的井孔失稳等问题,最终采用变径成孔。钻孔结构为:开孔口径500mm(0~30.6m)、中间口径420mm(30.6~75m)、终孔口径311mm(75~118.5m),变径深度为30.6和75m处,孔口垂向和平面布置见图1和图2。

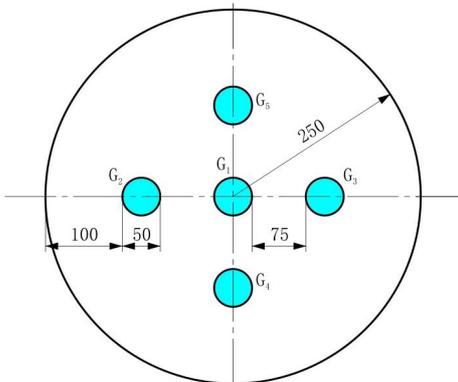


图1 平面布置

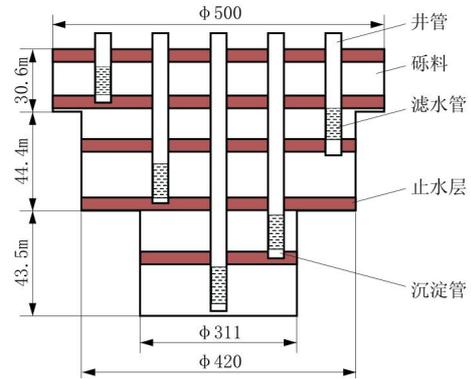


图2 垂向布置

2.3 施工流程

钻孔测井和扩孔钻进完成后,按照由深到浅的顺序依次下入各级井管,下管前应逐级进行冲孔换浆,以保证填砾止水的工作能顺利完成,待井管全部下入到井中后,依次对各级井管进行清洗,最后安装孔口保护装置成孔。五层巢式监测井建设工艺流程如图3所示。

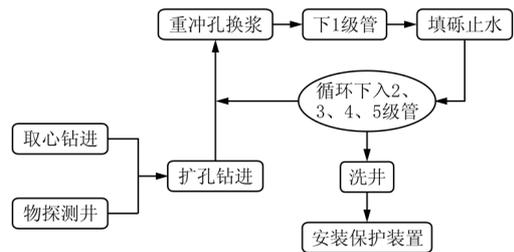


图3 五层巢式监测井建设工艺流程

3 成井材料

3.1 PVC-U井管

目前,我国地下水监测井建井管材大多采用钢质管材,钢质井管存在严重的腐蚀问题,不仅影响监测井的使用寿命,还可能引起水质污染等诸多问题。在监测井朝着小口径发展的趋势下,我国缺乏抗腐蚀、价格低廉的小口径监测井管材^[5-6]。为此,项目组开展了巢式监测井PVC-U塑料井管的研发工作,主要从原料配方、连接密封方式、壁厚和滤水管结构形式等几个方面展开研究,最终研发出了适用于巢式监测井PVC-U管材。

该井管采用卫生级的硬聚氯乙烯塑料原料,具有质量轻、抗腐蚀能力强和水质保证程度高等优点。以涨口车制螺纹为连接结构,横条缝为滤水管结构,连接处有O形密封圈(见图4),具有连接快捷可靠、连接密封性能好、抗拉强度高和物理性能稳定等特

点。其各项性能均可满足监测井成井的各项要求,适用于多层巢式监测井及常规监测井,且价格低廉,可以替代进口产品。

管材在研发过程中,委托国家化学建筑材料测试中心,对井管的性能进行了检测, $\text{Ø}50\text{ mm}$ 巢式监测井PVC-U井管(图5)的主要参数及性能指标为:外径 50 mm ,壁厚 5.6 mm ,滤缝宽度 1.5 mm ,密度 1.41 g/cm^3 ,软化温度 $\geq 80\text{ }^\circ\text{C}$,冲击试验 $\text{TIR} \leq 5\%$,液压试验 1.6 MPa ,密封试验 1.6 MPa 。



图4 涨口螺纹和O形密封圈



图5 $\text{Ø}50\text{ mm}$ PVC-U井管

3.2 扶正器

由于钻孔的孔径相对较小,孔内监测井管的数量众多。为保证井管居中,防止井管贴壁,保持相邻井管间的间距,需要设计并使用合适的扶正器,以确保填砾和止水这一重要过程的顺利实施^[7]。

建井过程中设计了3种扶正器,第一种是常规的井管扶正器,其外径较大(见图6),安装在第1级井管的下部,作用是防止最深的1级井管贴壁。第二种扶正器形似灯笼(见图7),安装在各级井管上,作用是使各级井管之间保持足够的间距。第三种扶正器呈十字结构(见图8),安装在孔口处,目的是使孔口的5根井管有序排列,便于标识和以后的监测。这3种扶正器的特点是加工难度较小、成本低,且



图6 常规扶正器



图7 灯笼式扶正器



图8 十字扶正器

安装快捷、简易高效。

具体施工方案为:在第1级井管的滤水管的底端加一组常规扶正器,防止井管贴壁,然后回填滤料和粘土,将其固定在钻孔中心。然后在各级井管滤水管的上下端和相邻井管止水位置处分别安装灯笼式扶正器各一组,保证相邻井管之间以及外缘井管和孔壁间保留一定的间隙。按照1级至5级的次序下入井管,每级井管下入前要精确地计算出扶正器在井内的位置,并提前固定安装至各级井管之上,再进行逐层的填砾止水工作。待全部井管下入完毕后,在孔口的5根井管处套入十字扶正器,并标记好各管的序号。扶正器实际安装位置见图9。

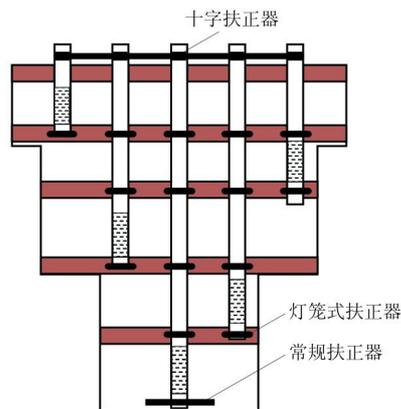


图9 扶正器安装位置

3.3 止水材料

粘土球是供水管井、监测井最常用的永久性止水材料。传统的粘土球大多采用人工搓制,直径在 $20\sim 40\text{ mm}$ 。由于加工工艺、粘土球粒径等方面的原因,对于环状间隙小、止水精度要求高的监测井,传统的粘土球存在粒径大,膨胀比低、水化速度快、影响水质等诸多问题,难以实现高精度的止水问题。为解决传统粘土球存在的问题,开展了适用于小环状间隙止水要求且球体粒径小、水化时间长、水化膨胀比高和低水质影响特性的粘土球研发工作^[8-9]。

新型止水粘土球以商用钠基膨润土粉或钙基膨润土粉为原料,采用对辊碾压成型工艺进行生产,具有如下特点。

(1)新型止水粘土球外形似杏核(见图10),形状规整,粒径在15 mm左右,适合小环状间隙围填止水,且围填方便。



图10 新型止水粘土球

(2)新型止水粘土球结构密实,水化膨胀比高。钠基膨润土粘土球水化膨胀比 $>200\%$,钙基膨润土粘土球水化膨胀比近 100% 。高的水化膨胀比可提高止水材料与监测井管间的握固力以及止水材料与钻孔孔壁间的支撑力,从而获得好的止水效果。

(3)水化膨胀时间长,钠基膨润土新型止水粘土球水化膨胀时间 >2 h;钙基膨润土新型止水粘土球水化膨胀时间 >0.5 h。可根据成井深度选择不同水化时间的新型止水粘土球,以有利止水材料在未水化前准确到达需要止水的部位,从而提供成井止水精度。

(4)新型止水粘土球以钠基、钙基膨润土为原材料,不添加任何添加剂,不影响地下水水质。

经成井试验及较大规模的示范性应用证明,新型止水粘土球能够满足地下水多层监测井、供水管井成井高精度止水的要求。新型止水粘土球的研发成功,为环状间隙小、止水要求高的地下水多层监测井提供了新型的止水材料。

4 关键工序控制

4.1 调整泥浆性能

该井采用“小钻大扩”的钻探施工方法,钻探施工是在裸眼未下护孔管的情况下进行,且含水地层岩性为中粗砂含砾石,比较容易发生塌孔事故。考虑到本次使用的 $\varnothing 50$ mm 巢式监测井 PVC-U 井管

密度为 1.413 g/cm^3 ,因此,泥浆密度不能过大,防止出现塑料井管因浮力过大不能下入的情况。

下管前,将钻杆放至孔底,大泵量冲孔,逐渐调整泥浆粘度使其降低至 $18\sim 20$ s、密度降低至 $1.1\sim 1.15\text{ g/cm}^3$ 。冲孔换浆所用泥浆的粘度宜逐渐降低,不得直接采用清水进行冲孔换浆,以免引起孔内沉渣过多、孔壁坍塌等问题。冲孔换浆后,测量孔内沉渣高度,高度不得 >0.5 m。施工期间直至所有检测目的层的监测管安装、填砾、止水结束前,孔内的液面应高出地下水位 1.5 m以上,以避免孔壁尤其是静止水位以上的孔壁在成井过程中坍塌事故的发生。

4.2 填砾与止水

该井由于孔内井管数量众多,填砾、止水作业会随着各级井管的下入由下往上交互进行。滤料、粘土球需要围填多根监测井管,较小的空间下进行2种作业时会十分困难,需要控制好这一过程的各个环节,以提高填砾、止水的准确性和可靠性。

首先应充分做好填砾止水作业前的各项准备工作。滤料的粒径根据含水层颗粒筛分数据确定,粒径选定为 $5\sim 7$ mm。考虑到施工过程复杂、时间较长,因此,选用水化时间较长的钠基膨润土粘土球作为止水材料,粒径为 15 mm。根据巢式监测井的钻孔口径、井管口径和滤水管位置做好止水填砾段设计,应提前计算出各个层段的滤料、粘土球的理论用量,分别准备,运至现场后分开存放。

填料时应从孔口井管的四周填入,不得只从单一方向填入,要边测边填,控制好填料的速度和填入量。待第一层填砾工作完成后,准确测量滤料的高度,该井对填砾和止水位置精度要求甚严,宜将测量误差控制在 10 cm之内。之后,进行第一层的止水作业,从四周均匀填入粘土球,止水层厚度应 >5 m,以保证止水效果良好。考虑到后续的洗井和抽水会使填料密实下沉,因此,围填时应高出监测目的层 $1\sim 2$ m。需要注意的是巢式监测井在安装完一套监测管,待该层填砾、止水结束,并做完止水效果检查后,方能再下入下一级监测管。总之,实现准确可靠的分层填砾与止水是巢式监测井成井工艺的难点^[10]。

4.3 洗井

待巢式监测井所有监测目的层下管结束,上部填砾止水段经过回填后,应立即进行洗井。该井由

于填砾厚度较大,为有效破坏孔壁泥皮、清除钻进过程中渗入监测目的层的杂质,应充分进行洗井。由于监测井的深度较浅、钻进周期短且使用优质泥浆,洗井时,采用了空压机振荡洗井方法。使用外径25 mm的尼龙管作为风管,监测井管作为出水管,从最深的一级井管开始,由下至上,逐段进行洗井。清洗至水清后,停止送风,等待一定的时间,再打开空压机,重复此过程3~5次,然后依次对巢式监测井的其余各级井管进行清洗,直至水清砂净且电导率基本稳定。

4.4 止水效果检查

待每一层围填粘土球止水结束后,需要对各目的层的止水效果进行检查。常用的止水效果检查方法有压差检查法和食盐扩散法。食盐扩散检查法仅适用于具有2~3个监测目的层的巢式监测井,且为减少投入食盐对地下水的污染,降低其对地下水监测数据的影响,该井决定采用压差检查法来检验止水效果。

它的原理是采用抽水的方式形成管内外压差来检测含水层是否互通。具体的操作方法:首先测得监测管内外稳定水位,然后以监测管为出水管,在其内下入风管,用空压机送风进行抽水,抽水稳定30 min后,测定监测管外水位,如水位波动幅度 ≥ 0.1 m,则认为止水有效。该井的各目的层通过此法检验后,止水效果都满足设计要求。另外,抽水时排出的水应使用管道排至影响范围之外,以避免下渗对检查结果造成影响。

按照上述钻探成井设计,使用新型的成井材料并严格控制施工中的各个工序,顺利完成了五层巢式监测井的建井工作,建设过程中无事故发生。表1的成井结果证实五层巢式监测井各层止水效果显著,监测井(见图11)质量得到了有效保证。

表1 五层巢式监测井成井结果

序号	成井深度/ m	监测层位/ m	滤水管长度/ m	静水位/ m	水温/ ℃
1	26	5~21	9	10.03	11.3
2	52	28~46	18	11.26	11.5
3	75	54~69	12	12.84	11.9
4	94	74~85	12	11.95	12.0
5	118	94~112	18	14.10	12.5



图11 五层巢式监测井

5 结论

(1) 经过成井试验证明,小直径的巢式监测井PVC-U井管能够满足一孔多层地下水监测井及常规监测井成井要求,完全可以替代传统的钢制监测井管,为巢式监测井的建造提供了新型的成井管材,填补了国内同类产品的空白。

(2) 该监测井作为一孔多层地下水监测井,目前在国内是监测层数最多的巢式监测井,其设计思路、成井材料和工艺方面具有一定的创新和借鉴意义。

(3) 巢式监测井具有节约用地、施工周期短、节省建井和监测成本、便于管理等优点,且目前工艺较为成熟,在以后地下水动态监测设施建设过程中值得进一步推广应用。

参考文献:

- [1] 叶成明,李小杰,郑继天,等. 国外地下水污染调查监测井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(11):57-60.
- [2] 唐立强,赵伟玲. 国内外一孔多层监测井建设技术方法与应用[J]. 节水灌溉,2013,(5):47-53.
- [3] 王明明. 多层监测井成井工艺与止水材料研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2015.
- [4] 郑继天,王建增,蔡五田,等. 地下水污染调查多级监测井建造及取样技术[J]. 水文地质工程地质,2009,(3):128-131.
- [5] 郑继天,王建增,冉德发,等. 巢式监测井成井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(6):50-52.
- [6] 卢子北,李艺,陈莹,等. 国家地下水监测井建设关键问题研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):1-6.
- [7] 卢子北. 国家级一孔多层地下水监测示范井钻探技术与研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(3):5-8.
- [8] 潘德元. 多通道地下水监测技术应用示范[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):1-4.
- [9] 关晓琳,郑继天,叶成明,等. 连续多通道监测井在北京张家湾地区的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):160-162.
- [10] 王建增,郑继天,李小杰,等. 连续多通道管监测井成井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8):15-18.