地下水监测工程承压-自流监测井密封技术

冯建月，解　伟，吴海东，潘德元，王明明
（中国地质调查局水文地质环境地质调查中心，河北 保定 071051）

摘要：针对地下水监测工程施工中面临的承压-自流监测井密封、监测、取样、洗井等紧迫难题，研发了承压-自流监测井密封技术。该技术是在监测井管口安装一个具有多个功能组件的密封不锈钢盖板来实现自流监测井长期监测的各项需求。本文介绍了承压-自流监测井密封技术原理、系统组成和安装流程及方法。通过山西忻州市地下水监测井现场示范及其他地区50余口井的工程应用，证实该技术可有效解决自流监测井井口密封、水样采集、洗井清淤和维护探头等一系列问题，具有密封效果好、不污染水质、操作便捷和成本低等优点，可实现不同特征自流监测井地下水数据长期自动采集与传输，并可为类似井的封孔工作提供解决思路。

关键词：地下水监测工程；自流井；密封装置；临时止水
中图分类号：P634；P641　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**2096-9686(2021)03-0146-06

Sealing technology for confined-artesian monitoring wells in groundwater monitoring engineering

FENG Jianyue, XIE Wei, WU Haidong, PAN Deyuan, WANG Mingming
(*Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding Hebei* 071051, *China*)

Abstract: The sealing technology for confined-artesian monitoring wells is developed for urgent problems in drilling of groundwater monitoring wells, such as sealing, monitoring, sampling and well development. With the technology, a stainless steel sealing cover plate with multiple functional components is installed at the wellhead of the monitoring well to meet the requirements of the artesian monitoring well. This paper introduces the sealing technology principle, system composition, installation process and sealing method for the confined-artesian monitoring well. The field demonstration shows that the technology can effectively solve a series of problems, such as wellhead sealing, water sampling, well development, maintenance of probes; provide the advantages of good sealing effect, zero water pollution, convenient operation and low cost, and realize long-term automatic collection and transmission of groundwater data from artesian monitoring wells with different characteristics. It can provide a approach for the sealing work of similar wells.

Key words: groundwater monitoring engineering; artesian well; sealing device; temporary water sealing

0　引言

承压水是地下水的一种埋藏形式，它是赋存于两个隔水层之间含水层中的水。受着隔水顶板的限制，承受静水压力，有一个受隔水层顶板限制的承压水面和一个高于隔水层顶板的承压水位，当承压水头高于地表则产生自流。一般承压含水层埋藏较深，受地形地貌、气象等因素影响较小，具有流量稳定、不易受污染、水质类型多样等特点。因此承压含水层的长期监测对地下水资源的评价、开发、保护与管理具有重要意义[1-4]。

收稿日期：2020-09-23；**修回日期：**2021-01-20　　**DOI：**10.12143/j.ztgc.2021.03.021
基金项目：国家重点研发计划项目“地下饮用水源快速探测与开采技术”（编号：2018YFC1508703）
作者简介：冯建月，男，汉族，1987年生，工程师，地质工程专业，硕士，主要从事水文地质钻探研究工作，河北省保定市七一中路1305号，3136718529@qq.com。
引用格式：冯建月，解伟，吴海东，等.地下水监测工程承压-自流监测井密封技术[J].钻探工程，2021，48(3)：146-151.
FENG Jianyue, XIE Wei, WU Haidong, et al. Sealing technology for confined-artesian monitoring wells in groundwater monitoring engineering[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(3): 146-151.

2014年国家启动地下水监测工程建设项目,建立了系统完善的地下水监测网络[5]。通过实施国家级的地下水监测,可以及时获取地下水资源量和水质的变化数据,从而科学、合理地开发利用地下水资源,达到经济社会可持续发展的目的[6-8]。在监测工程实施过程中,许多地区钻遇了承压-自流监测井,以云南、新疆、湖南和湖北等地居多。这些井的承压水头高出监测井管口,地下水不断向外涌出,导致不能安装井口保护装置,也无法下入监测探头进行数据监测,只能暂时封闭井口,造成了水资源勘探的浪费并严重影响了全国地下水监测工程项目整体进度和工程验收。

自流井施工难度较大,其中不仅是钻探和成井过程中的涌水、填砾、止水、封孔等步骤难[9-10],作为监测井,更面临着井口密封、监测探头维护更换、季节性承压、洗井、取样等一系列问题[11]。为解决自流监测井密封和长期监测新难题,达到控制监测井自流,实现监测井的自动封水通气,并满足长期监测、水样采集、清孔洗井等目的。针对各地区、各标段自流监测井口径和材质不同、设备类型不一和季节性承压等多种复杂情况,经过多次研究讨论、设计改进和野外试验,成功研发出适用于地下水监测工程的承压－自流监测井密封技术,可有效解决承压井在有压向无压转化过程的连续监测、冬季防冻、水样采集和洗井清淤等问题。目前,此技术已经在山西、新疆、湖南、云南等13个省(区)的50余口国家级地下水监测井中成功应用,推动了地下水自动化监测行业的技术进步。

1　技术原理

承压-自流监测井密封技术原理见图1。该技术主要包括临时止水装置与工艺、密封装置与工艺。密封装置由集合了多组件的金属盖板和下法兰盘组成,通过临时止水装置将监测井内溢出的水止住,然后将下法兰盘连接到井口,通过螺栓、密封胶垫将金属盖板紧固在法兰上,从而实现自流监测井长期密封的目的。金属盖板上设有取样阀、自动排气阀和双补芯堵头等组件。监测探头的电缆线可穿过双补芯堵头的内补芯与井口外的数据读取、发射设备连接。在承压状态下,自动排气阀关闭处于密封状态,监测探头记录的是承压水头高度,可直接打开取样阀门进行取样[10]。在枯水期水位下降到井口以下时,排气阀自动打开实现监测井内外通气,探头记录的是非承压状态下的水位高度,可直接将盖板打开进行洗井或采样等工作,也可直接卸下外补芯堵头完成探头更换和检修工作。

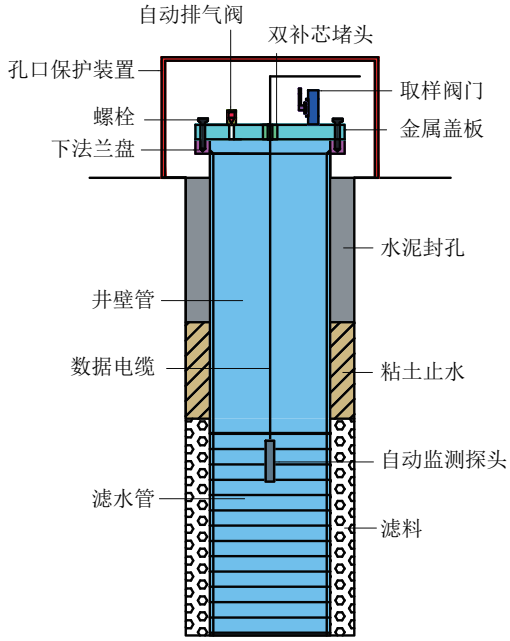

图1　自流监测井密封技术示意

Fig.1　Sealing technology for artesian wells

2　系统组成

2.1　井口密封装置

井口密封装置主要由密封组件、取样阀、双补芯堵头和自动排气阀等部分组成。

密封部件由金属盖板、下法兰盘、螺栓和密封胶垫组成,下法兰盘通过焊接(井管材质为钢管)或粘接(井管材质为塑料)的方式固定于井口上,内径应稍大于井管外径。上下法兰盘通过其间的密封胶垫和外围的螺栓紧固,即可实现井口密封的作用。后续进行洗井、取样、更换探头等作业时可将盖板直接打开。

取样阀主要用于采取水样,可在取样阀上连接管线,方便操作,如水位在井口以下,可直接打开金属盖板或拧下取样阀进行采样工作。

双补芯堵头由内外2个补芯堵头组成(图2),内补芯堵头通径稍大于监测探头电缆线外径,卸下后可穿过探头电缆线,外补芯堵头通径大于探头外径,可直接拧开进行探头更换、维护等工作,两者均通过丝扣与下部O形密封圈组合实现密封功能。

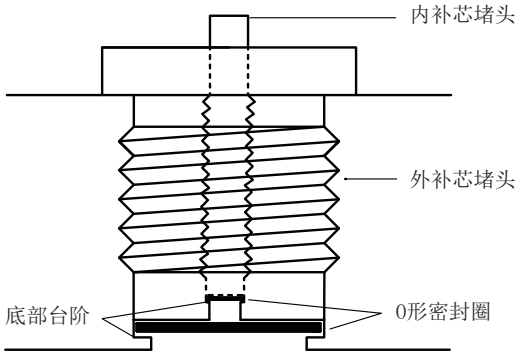

图2 双补芯接头示意

Fig.2 Schematic diagram of the double bushing plug

自动排气阀主要由不锈钢阀体、浮块、连杆、放气口等组成，结构如图3所示。当井内水位高于地表时，压力水经排气阀底部进入阀体，浮块在浮力作用下上浮带动连杆将阀门顶部的针阀下拉，放气孔处于关闭状态。枯水期水位下降到井口之下时，阀体内的水全部流出，空气量逐步增加，气室内的压力加大，迫使浮块向下运动，连杆机构则使顶部的针阀上移，此时放气口打开，可实现保持井内外气压一致。针对监测井季节性自流监测要求，自动排气阀可实现密封装置在枯水期通气，丰水期密封，保证探头测量记录正确的压力参数[12]。

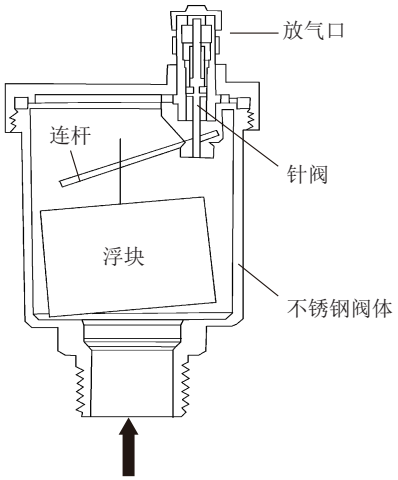

图3 自动排气阀结构原理

Fig.3 Structural diagram of the automatic air-release valve

2.2 临时止水装置

临时止水装置的作用是当监测井在自流状态时下法兰盘无法与井管进行焊接或粘接，需要将井内的水暂时堵住。该装置主要由充气装置、气压表、止水气囊、连接管线和快插接头等部件组成，其原理是通过向止水气囊内充气使之膨胀在井口实现临时止水的目的，见图4。

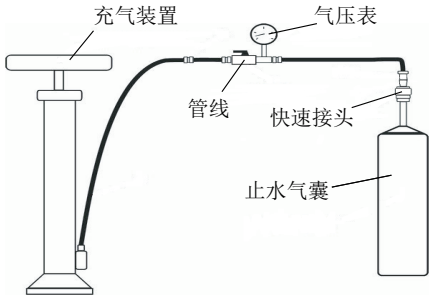

图4 临时止水装置示意

Fig.4 Schematic diagram of the temporary water sealing device

充气装置一般使用打气筒即可，需要较大充气压力时可使用氮气瓶或气泵等代替。气压表的作用是为了精准测量止水气囊内腔压力，防止因充气压力过大造成气囊损坏或压力过小不能实现稳定止水。快插接头安装在止水气囊之上，当充气压力值到达预定标准时，可直接拔下连接管线，便于后续施工。当完成下法兰盘的连接工作后，可用力按压快插接头内侧释放环放气提出收缩后的气囊[13]。

止水气囊是橡胶和纤维织物等高分子合成材料经高温硫化工艺制成的一种多规格橡胶制品，气囊可对各种材质、规格、管径的管道在不同平面和不同位置上快速阻断水流，一般用于市政工程管道抢修封堵和管道灌水试漏施工。其工作原理是利用气囊膨胀后与管道壁之间产生的摩阻力来抵抗水给气囊的侧压力，使水被阻隔在气囊的一端，起到有效止水的作用，具有密封性能好，施工速度快，操作简单和可重复多次使用等优点[14]。

3 安装流程及方法

承压－自流监测井密封技术安装流程为：施工准备→临时止水→连接下法兰盘→安装金属盖板→密封效果检验。

3.1 施工准备

施工前需确定好自流监测井的井管材质与管径、水头高度、是否安装保护装置、地理位置等关键信息，做好施工设计。再根据监测井实际尺寸进行

密封装置加工,选用合适的止水胶囊,组织好人员并准备现场施工所需的工具材料和施工设备等。

3.2　临时止水

依据监测井水头压力、井径选择合适的止水气囊,某厂家气囊规格参数见表1。作业前需检查气囊表面是否干净,有无附着污物,是否完好无损,充少量气检查装置是否漏气。检查压力表指针是否指向零位,仔细看准压力表的单位,避免看错。装置经过整体的密封性检测后,方可下入井管内进行临时止水作业[15]。

表1　止水气囊规格参数

Table 1　Specification and parameters of the sealing air bag

型号	气囊外径/mm	适用井管内径/mm	长度/mm	最大承受压力/MPa	质量/kg
50	49	50～65	100	1.50	0.10
75	74	75～90	110	1.50	0.15
100	100	110～130	180	1.50	0.30
125	124	125～145	200	1.20	0.40
150	148	160～180	230	1.00	0.65
200	190	200～225	280	0.80	1.10
250	242	250～275	360	0.70	2.00
300	290	300～330	1000	0.60	4.00

其次,检查井管内壁是否平整光滑,有无突出的毛刺等尖锐物,以免刺破气囊。气囊放入井管后应居中垂直摆放于平整井段,一般置于管口下方0.5～1.0 m。连接管线后缓缓为气囊充气,保持气囊内压力均匀上升。若压力表快速上升说明充气过快,此时应放慢充气速度,防止因充气过快超过最大承压值而打爆气囊,额定充气压力一般为承压水头压力与胶囊自膨胀压力(0.1～0.2 MPa)之和。当气压表显示的气囊内腔达到额定压力后,拔下快速接头上的充气管线,此时胶囊处于封闭状态(见图5),井内的水将不再溢出。若监测井自流水流量与压力过大,也可使用抽水设备(潜水泵、自吸泵)将压力水头抽至井口以下,再进行下一步工作。

3.3　连接下法兰盘

管内临时止水完成后,计算好井管预留高度后进行切割,截口断面应平整并垂直于管轴线,去掉截口处的毛刺和毛边并磨倒角,再将下法兰盘套在管口并保持水平,进行密封焊接工作,如图6所示。

图5　管内临时止水

Fig.5　Temporary water sealing in the well tube

若井管为塑料材质,下托盘可在切割、打磨后使用溶接剂粘接在井口。熔接剂一般由高分子树脂及其溶剂以一定比例组成,分为低、中、高三种粘度,一般管径越大所使用的熔接剂粘度要求越高。熔接剂粘结效果主要受温度影响,施工时需使用优质的熔接剂且按照规范操作,所需的固化等待时间可参考表2。

图6　安装下法兰盘

Fig.6　Installation of the lower flange

表2　熔接剂固化时间参考值

Table 2　Reference value for curing time of the welding agent　　h

管径/mm	温度范围/℃		
	16～38	5～16	-10～5
50～90	3	6	24
110～200	9	18	72
250～400	36	72	192

注:试验压力≯1.25 MPa。

3.4 安装金属盖板

待下托盘连接牢固后，通过快速接头将止水气囊释压并取出。在地表先检查取样阀、自动排气阀并安装到盖板上。然后将探头电缆从内补芯中穿出，依据全年最低水位值，将监测探头置于水位下一定深度，并在下入前检测探头是否可正常工作。最后将金属盖板对齐法兰保持同轴，小心安装垫片，对准固定孔，按4个方位均匀固定螺丝至完全密闭，密封面应平整清洁，见图7。如果水流过大，可先将取样阀打开，释放部分水压再施工。完全紧固后，关闭采样阀，完成对自流监测井的密封工作。

图7 安装金属盖板

Fig.7 Installation of the metal cover

3.5 密封效果检验

安装完成后可立即进行密封效果检查，使用千分尺、手电筒等工具检验金属盖板与法兰间隙，若高度不一致则认为盖板与法兰没有装平。将盖板上的水及杂物清理干净，先观测排气阀、取样阀、双补芯堵头、紧固螺栓底部丝扣处和侧面胶垫处是否有水渗出，若2 h内无水渗出，将观测时长再延长至1～2 d，若有渗漏则重新进行问题组件的紧固和替换工作，若密封效果良好则开始进行井口保护装置安装，张贴标牌等后续成井步骤，至此完成了自流监测井密封全部技术安装工作。

4 应用实例

全国地下水监测工程项目在山西忻州市共计施工3眼Ø 168 mm无缝钢管监测井，为丛式监测井组。其中1号井监测上部潜水，水位在地表以下；2号井为季节性承压井，上部为实管，监测上部承压含水层，水头高出地表约1.08 m。3号井为常年自流井，中上层全部下入实管，下层下入滤水管，监测下部承压含水层，水头常年高出地表约5.07 m。2号、3号井成井后，因季节性自流等原因无法找到合适成井方式进行监测，也无法安装井口保护装置。2号监测井在井口加盖板做焊接封闭处理，3号监测井直接将井管高度延长至地面以上6 m处理。

通过各方人员组织和协作，在此地首次实施了承压-自流监测井密封技术试验，用时仅6 h，采用临时止水工艺，为2号、3号监测井安装了该密封装置，见图8。经过多次现场观测和监测数据结果(图9)，两井密封效果良好，无渗漏、水质污染等现象，监测探头传回数据准确稳定，在枯水期和丰水期水位数据有很明显的季节性波动特征。后续的取样、洗井、维护及更换监测探头等工作便捷程度和工作效率大大提升。

图8 试验现场安装井口密封装置

Fig.8 Installation of the wellhead sealing device on test site

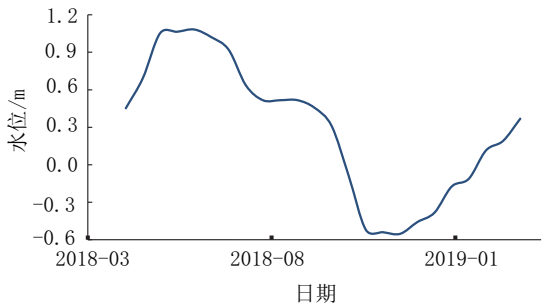

图9 2号监测井安装井口后水位变化曲线

Fig.9 Water level change cure of the No.2 monitoring well after wellhead installation

其后,该技术在新疆、湖南、云南等13个省(区)的54口承压-自流国家地下水监测井(包括41口钢管井和13口PVC-U管井)陆续安装成功,通过现场技术人员反馈和长期监测数据证实:该技术方便快捷、可靠实用,较好地解决了承压-自流监测井密封监测的各项技术难题,支撑了全国地下水监测工程项目的顺利完成,推动和完善了地下水自动化监测的技术进步,取得了良好的经济及社会效益。

5　结论

(1)针对承压-自流监测井监测面临的各种技术难题研发的承压-自流监测井密封技术,具有密封效果好、不污染水质、操作便捷和成本低等优点,确保自流监测井地下水数据长期自动采集与传输。

(2)自流井密封装置结构简便、牢固实用,可克服承压水压力,有效控制自流,自动封水通气,可平衡井筒内外气压。该技术有效地解决了国家地下水监测工程承压-自流监测井承压水与无压水转化过程的连续自动监测问题,并满足水文监测、水样采集、清孔洗井、维护探头等设计要求,可应用于长期的自流井和季节性承压井监测领域。

(3)具有多个承压含水层监测井目前还是以丛式井方式进行处理,今后可以采用多层监测井与密封技术相结合方式进行处理。

参考文献(References):

[1] 中国地质调查局.水文地质手册(第二版)[M].北京:地质出版社,2012.
China Geological Survey. Hydrogeological manual(Second edition)[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2012.

[2] 王富根.马王庙水源地供水井承压水自流控制措施探讨[J].内蒙古水利,2007(1):83-83.
WANG Fugen. Discussion on artesian flow control measures of water supply well in Mawangmiao water source area[J]. Inner Mongolia Water Resources, 2007(1):83-83.

[3] 张志远.巨厚潜水含水层自流井的水动力特征研究[D].北京:中国地质大学(北京),2018.
ZHANG Zhiyuan. A study on hydrodynamic characteristic of flowing wells in thick unconfined aquifers[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018.

[4] 张人权,梁杏,靳孟贵,等.水文地质学基础(第六版)[M].北京:地质出版社,2016.
ZHANG Renquan, LIANG Xing, JIN Menggui, et al. Fundamentals of hydrogeology(6th edition)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.

[5] 范宏喜.开启地下水监测新纪元——聚焦国家地下水监测工程建设[J].水文地质工程地质,2015,42(2):161-162.
FAN Hongxi. Starting a new era of groundwater monitoring and focusing on the construction of national groundwater monitoring engineering[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2015, 42(2):161-162.

[6] 卢予北,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.
LU Yubei, LI Yi, CHEN Ying, et al. Analysis on key issues of nationgal groundwater monitoring well construction[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(6):1-6.

[7] 高志.国家地下水监测工程站网布设浅析[J].地下水,2012,34(5):71-72.
GAO Zhi. Analysis of network layout of nationgal groundwater monitoring project[J]. Ground Water, 2012,34(5):71-72.

[8] 朱金峰,章树安,戴宁,等.地下水水资源量监测分析技术应用探讨[J].水文,2014,37(3):58-62.
ZHU Jinfeng, ZHANG Shuan, DAI Ning, et al. Application of groundwater resources monitoring and analysis technology[J]. Journal of China Hydrology, 2014, 37(3):58-62.

[9] 刘宏宇,梁延平,刘霄,等.浅析国家地下水监测工程施工要点及注意事项[J].吉林地质,2019,39(8):41-42.
LIU Hongyu, LIANG Yanping, LIU Xiao, et al. Analysis on the key points and matters needing attention in the construction of national groundwater monitoring project[J]. Jilin Geology, 2019, 39(8):41-42.

[10] 彭一江,陈海泉,于延斌,等.自流井的止水、封闭与修复[J].探矿工程,2001(5):41-42.
PENG Yijiang, CHEN Haiquan, YU Yanbin, et al. Sealing, cementation and rehab of artesian wells[J]. Exploration Engineering, 2001(5):41-42.

[11] 杨春生,英爱文.国家地下水监测工程自动监测仪器的质量控制和运行维护[J].地下水,2020,42(6):51-53.
YANG Chunsheng, YING Aiwen. Quality control and operation maintenance of automatic monitoring instruments for national groundwater monitoring project[J]. Groundwater, 2020, 42(6):51-53.

[12] 解伟.自流井监测井口的密封装置:201721766014[P].2017-12-18.
XIE Wei. Sealing device for monitoring wellhead of artesian well:201721766014[P]. 2017-12-18.

[13] 李向书,滕一青.自动排气阀、螺旋空气分离器在液压系统中的应用[J].液压与气动,2012(5):82-83.
LI Xiangshu, TENG Yiqing. The application of automatic air vent and air separator in hydraulic system[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2012,(5):82-83.

[14] 冯建月.一种自流井临时止水装置:2018211536213[P].2019-3-26.
FENG Jianyue. A temporary water stopping device for artesian well:2018211536213[P]. 2019-3-26.

[15] 童天海,杜庆梅,张建斌,等.市政污水管道气囊封堵施工技术[J].安装,2019(12):47-49.
TONG Tianhai, DU Qingmei, ZHANG Jianbin, et al. Construction technology of air bag plugging for municipal sewage pipeline[J]. Installation, 2019(12):47-49.

(编辑　李艺)