

# 国外地下水监测采样设备综述

李小杰, 潘德元, 叶成明, 郑继天

(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:**国外地下水监测用采样设备大致分为4类:取样筒式采样器、惯性式采样器、气体驱动式采样器和潜水电泵式采样器。取样筒式采样器原理简单、制作方便、成本低,受监测井井径、采样深度影响较小;惯性式采样器外径小,可应用于小口径地下水监测井,采样深度可达到90 m;气体驱动式采样器结构较复杂,适用范围广,适用于大部分地下水监测井,采样效率较高。潜水电泵式采样器采样效率很高,适应井径较大。

**关键词:**地下水;监测井;采样;采样设备

中图分类号:P335 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2014)12-0084-03

**Review of Groundwater Monitoring Sampling Equipments in Foreign Countries/LI Xiao-jie, PAN De-yuan, YE Cheng-ming, ZHENG Ji-tian** (Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding Hebei 071051, China)

**Abstract:** The sampling equipment for groundwater monitoring is divided into bucket sampler, inertial sampler, gas-driven sampler and the submersible pump sampler in foreign countries. The bucket sampler has the features of simple technical principle, easy-making, low cost and wide application range and is less affected by the monitoring well diameter and the sampling depth; the inertial sampler has small diameter and can be used in small diameter monitoring well with sampling depth up to 90m; the gas-driven sampler has complex structure and wide application range, which is suitable for most groundwater monitoring wells with high efficiency; the submersible pump sampler is the most effective one in these four.

**Key words:** groundwater; monitoring wells; sampling; sampling equipment

## 0 引言

采样技术在地下水环境监测中扮演着重要角色,采样获取的样品质量直接影响着地下水监测的结果。

发达国家高度重视地下水的采样技术,对采样技术进行了深入地研究,形成了规模化系列化的采样器具产品。国外地下水采样设备,无论是常规采样器、取样泵、定深取样器,还是地下水分层采样系统,均具有小巧、灵活、轻便、取样质量可靠等特点。国内地下水采样技术特别是采样设备研制起步较晚,技术相比国外落后。

本文旨在拓展国内同行研究者的研究思路,学习国外先进的地下水采样技术经验,尽早开发出满足我国采样需要的成熟化、系列化的地下水采样技术和设备。

## 1 取样器分类及原理

国外在地下水采样设备与器具研究方面已有近百年的历史,随着地下水监测技术的不断发展,地下水采样设备与器具也根据地下水监测井类型、采样

目的以及采样要求的变化,研制出了多种类型地下水采样设备和器具。根据设备设计结构和采样原理,国外地下水监测采样设备大致分为4类:取样筒式采样器、惯性式采样器、气体驱动式采样器和潜水电泵式采样器。

### 1.1 取样筒式采样器

取样筒式采样器由一绳索与采样筒组成。根据取样筒取样原理、制作材料,采样筒分为多种类型:(1)在采样筒上安装阀体控制地下水样品的采取,如Bailer取样器、Solinst公司的不连续间隔取样器;(2)通过液压及取样筒下放速度控制进行地下水样品采取,如Kabis取样器;(3)筒体可采用不锈钢、PVC等多种材料制作,也可直接采用聚乙烯袋替代,如Hydrasleeve取样器等。采样时通过绳索将采样筒从井口下放至地下水采样层位,采样筒采取目标深度地下水试样,实现地下水采样。该采样器原理简单、制作方便、成本低,且受监测井井径、采样深度影响较小,由于采样器每次只能进行单筒采样,当采样深度较大及井径较小时采样效率较低。

### 1.2 惯性式采样器

收稿日期:2014-05-10

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项“二氧化碳地质储存场地勘查技术方法研究”(201211063-02)

作者简介:李小杰(1979-),男(汉族),河北丰南人,中国地质调查局水文地质环境地质调查中心高级工程师,地质工程专业,硕士,主要从事水文地质环境地质钻探技术研究和推广工作,河北省保定市七一中路1305号,lixiaojie212@163.com。

惯性式采样器由采样管与惯性泵泵头组成。惯性泵泵头内设计有单向进水装置,安装在采样管底部,放入到地下水监测井中指定采样深度,采样管上部露出井口,徒手或者采用机械快速下压提拉采样管,在惯性力作用下快速下压时地下水进入采样管中,提拉时单向阀关闭,使采样管中地下水样品液面逐渐上升至采样管上端口流出。该类采样器外径小,可应用于小口径地下水监测井,采样深度可达到 90 m。

### 1.3 气体驱动式采样器

气体驱动式采样器由气体驱动管、采样管及泵体组成,根据泵体结构设计可分为有气囊泵、U 形管采样器等。高压气体经过气体驱动管进入泵体中,驱动地下水进入采样管,然后将高压气体释放,地下水在地层压力作用下进入泵体,如此循环,地下水样品从采样管中返出地面,实现地下水采样。该类采样器结构较复杂,但适用范围广,采样深度可从十几米至几千米,除了极小井径的地下水监测井,可适用于大部分地下水监测井,并且采样效率较高。

### 1.4 潜水电泵式采样器

潜水电泵式采样器是将潜水电泵下入至采样层位,通过潜水电泵将地下水样品输送至地面实现采样操作,采样效率很高,但受电线及潜水电泵制作工艺限制,采样器要求井径较大、采样深度相对较浅。

## 2 采样器举例

国外在地下水采样设备与器具已经进行规范化、系列化,形成了众多的商业化产品。

### 2.1 提筒式采样器

提筒式采样器具有代表性的是 Kabis 采样器、Solinst 公司的不连续间隔取样器。Kabis 采样器是由 Sibak 实业有限公司研制生产的,由保护筒和采样装置组成(如图 1 所示)。保护筒通常采用不锈钢材质制作,底部填充加重物,采样装置设有排气管、一个或数个进水管和采样瓶。

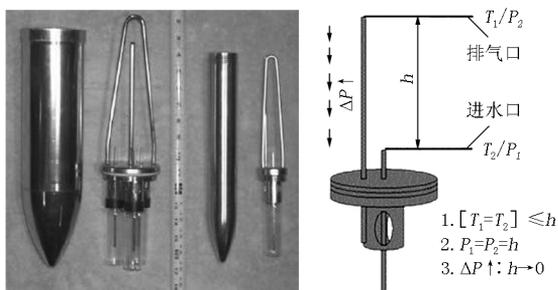


图 1 Kabis 采样器及原理示意图

Kabis 采样器的采样原理是: $T_1$ 、 $T_2$  为排气口和进水口水的表面张力,两者相等, $h$  为排气口和进水口的静水压力差,表面张力略小于  $h$ ,采样时将采样器匀速下放,此时  $h$  减小趋近于零,水的表面张力阻止地下水进入,到达采样深度后,采样器停止,此时  $h$  恢复,地下水慢慢进入采样器中。

Solinst 公司的不连续间隔取样器取样筒采用不锈钢材料制作,充气管线采用低密度聚氯乙烯材料并缠绕在一个卷轴上。卷轴上安装有高压手动泵和供压/卸压开关,取样筒内设计有阀门。在取样器下入井内之前,用高压手动泵为其充气,充气压力最大可达 1.6 MPa。到达预定的深度后,释放压力,在静水压力的作用下,来自取样区域的地下水通过阀门充满取样器,然后上提取样。该取样器是在充气的前提下进入水中,在下入井内的途中地下水不会进入取样筒中。该取样器取样深度可达 150 m。

### 2.2 惯性采样器

惯性式采样器具有代表性的是由加拿大 Solinst 公司生产的惯性泵地下水采样器。采样管采用高密度聚乙烯(HDPE)制成,底阀为止回阀,材质为不锈钢或者聚甲醛树脂(见图 2、图 3)。

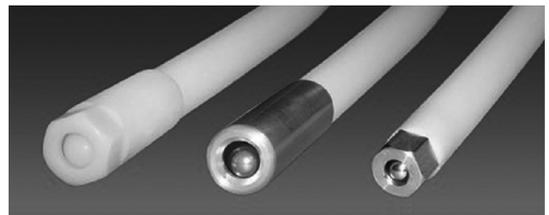


图 2 Solinst 公司的惯性泵地下水采样器

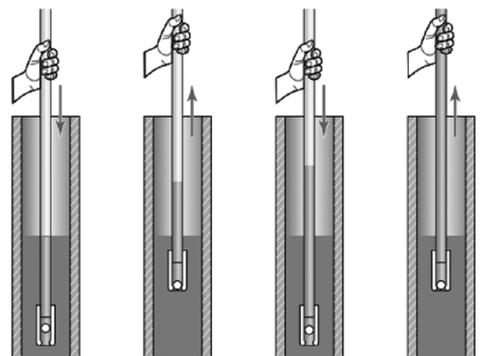


图 3 惯性泵的采样原理

为使惯性式采样器在野外条件下实现机械化操作,Waterra 公司将动力、传动、连杆等机械装置进行了集成化、整装化,设计出动力包(power pack),具有质量轻、操作简便、自带动力、携带方便等特点(见图 4)。



图 4 Waterra 公司设计的背负式惯性泵

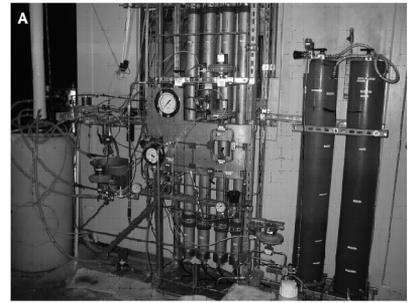


图 5 U 形管采样器及地面控制系统

连接 12 V 直流电源提供动力,野外可使用车载电源,取样深度为 45 m。Keck SP 潜水采样泵采用整体式设计,携带方便,易于清洁(见图 6)。



图 6 Keck SP 潜水采样泵

Grundfos 潜水采样泵有多种型号,如 MP1 泵体外径为 44.45 mm,可用于井径  $\leq 50.8$  mm 的监测井(见图 7)。野外采样时采用微型发电机提供电源,采用小型钢丝绳提升整个系统,取样管及潜水泵电线采用卡箍固定在钢丝绳上,取样深度为 50 m。



图 7 Grundfos MP1 潜水采样泵

### 2.3 气体驱动式采样器

国外气体驱动式采样器具有代表性的有:QED 环保设备(QED Enviromental Systems)公司生产名为 WELL WIZARD 的气动压出式隔膜泵,泵的直径 25 ~ 75 mm,给水量 3 ~ 5 至 30 ~ 40 L/min; SAMPLE PRO 公司生产包括钻孔清洗和采样的轻便式泵,泵直径 > 50 mm; PULSE PUMP 公司生产直径只有 37 mm 的泵,它能在动水位深达 160 m 下抽汲严重污染的水;美国伯克利实验室于 2004 年研发了 U 形管采样器,该采样器将采样 U 形管下入深井,U 形管采样管下连接封隔器,通过高压气体驱动采样管内液体,U 形管采样器采样深度可以达到 2000 m。U 形管采样器是目前实现地下水采样深度最大的采样器,U 形管采样器是一个简单的流体容积泵,使用高压气体驱动。在概念上 U 形管采样原理较为简单,采样管和驱动管回路形成一个 U 形回路,回路下方安装一单向阀,通过封隔器隔离地层流体。采集地下水样品时,先将 U 形管驱动管管头和采样管管头与大气连通,地层水通过单向阀进入 U 形管内,从驱动管管头注入高压氮气(或其它惰性气体),此时单向阀关闭,驱使地层流体样品从采样管流出地表,完成样品采集。通过在地面对驱动和采样的气体压力进行多种设计可以达到不同的要求。通过重复以上采样过程,地层流体可以不断置换、更新,最终采集到新鲜的地层流体。通过 U 形管采样器地面控制系统集成化设计,使得 U 形管采样器实现多个功能,图 5 为美国伯克利实验室研制的 U 形管及地面控制系统。

### 2.4 潜水电泵式采样器

潜水电泵式采样器具有代表性的是 Keck SP 潜水采样泵、Grundfos 潜水采样泵。Keck SP 潜水采样泵泵体外径为 44.45 mm,可用于井径  $\leq 50.8$  mm 的监测井中进行地下水取样,泵体为螺杆泵,通过电线



图 7 现场岩心实物

表 3 新型钻头应用效果

序号	钻头型号	使用数量	平均寿命/m	钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	备注
1	新型 Ø98/64 mm PDC 尖齿钻头	2	308	3.8	仍可继续使用
2	常规 Ø98/64 mm PDC 钻头	2	81	0.5	

了钻头的工作寿命及钻进效率,降低了钻探成本,具有明显的经济效益,现该类型钻头正在煤田致密泥

岩、粘土质砂岩中广泛应用。

### 5 结语

(1)新型尖齿 PDC 钻头针对弹塑性致密泥岩的特性,从切削齿、水力结构等多方面进行了改进设计。

(2)新型尖齿 PDC 钻头大幅提高钻进效率,是钻进弹塑性致密泥岩、粘土质砂岩地层的利器。

(3)新型尖齿 PDC 钻头制作工艺简单可行,适于推广应用。

### 参考文献:

[1] 李雨,蔡家品,贾美玲,等.硬致密泥岩钻进的新型复合片钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(9):60-61.

[2] 要二仓,张富兰,等.地浸砂岩型铀矿弹塑性致密泥岩钻头的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(6):72-75.

[3] 马清明,王瑞和.PDC 切削齿破岩受力的试验研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(2):45-47.

[4] 梁尔国,等.PDC 切削齿受力的实验研究[J].石油机械,2009,37(11):12-15.

[5] 赵尔信,等.金刚石钻头与扩孔器[M].北京:地质出版社,1982.

[6] 杨春.软岩钻进用新型复合片钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):74-76.

[7] 刘广志.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,1991.

[8] 阮海龙,纪卫军,等.针对复杂地层金刚石钻头的改进与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1):67-69.

(上接第 86 页)

### 3 结语

国外地下水监测采样技术发展历史长,技术先进,值得我们学习。国内地下水采样技术研究可借鉴国外经验,重点发展惯性式采样器、气体驱动式采样器和潜水电泵式采样器。

### 参考文献:

[1] 文冬光,等.中国二氧化碳地质封存选址指南研究[M].北京:地质出版社,2012.

[2] 郑继天.国外地下水污染调查取样技术综述[J].勘查科学技术,2005,(6):21-23.

[3] 郑继天.地下水污染调查采样技术[A].中国地质学会水文地质专业委员会.第四届海峡两岸土壤及地下水污染与整治研讨会论文集[C].北京:地质出版社,2009.221-225.

[4] 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.

[5] 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.

[6] A. M. 盖金.美国地下水采样方法和技术[J].国外金属矿山,1993,(7):50-53.

[7] 郑继天,叶成明,王建增,等.地下水污染调查惯性取样器的设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9):37-39.

[8] 李国刚.环境样品的采集与制样仪器设备技术[J].现代科学仪器,2003,(7):20-22.

[9] 姚永熙.地下水监测方法和仪器概述[J].水利水文自动化,2010,(1):55-59.

[10] 刘景涛.无井地区浅层地下水快速取样技术[J].工程勘察,2010,(7):31-34.

[11] 刘景涛.浅层地下水定深取样器的研制[J].环境监测管理与技术,2008,20(5):41-47.

[12] Barry Freifeld. The U-tube: A New Paradigm for Borehole Fluid Sampling[R]. Barry Freifeld,2009.