

# 轻便机动惯性泵在 CMT 监测井采样中的应用研究

王明明<sup>1,2</sup>, 解伟<sup>1,2</sup>

(1. 国土资源部地质环境监测技术重点实验室, 河北保定 071051; 2. 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 CMT 监测井监测通道内径小引起的采样困难的问题, 研究了一种新型的轻便机动惯性泵, 并对轻便机动惯性泵的可靠性进行了分析, 对电机转速、采样深度、通道内径和采样管规格对采样速度的影响进行了试验研究, 为后续轻便机动惯性泵的改造奠定了基础, 为小口径监测井采样提供了借鉴。

**关键词:**地下水监测; 轻便机动惯性泵; CMT; 采样速度

中图分类号: P641.7 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2017)09-0007-05

**Study on the Application of Portable Motorized Inertia Pump in Sampling Continuous Multi-channel Tubing Monitoring Well/WANG Ming-ming<sup>1,2</sup>, XIE Wei<sup>1,2</sup>** (1. Key Laboratory for Geological Environmental Monitoring Technology of the Ministry of Land and Resources, Baoding Hebei 071051, China; 2. Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding Hebei 071051, China)

**Abstract:** Aiming at the difficulty in water sample collection caused by small diameter monitoring channel of CMT monitoring well, a new type of portable motorized inertial pump is developed and its reliability is analyzed. The tests and studies are made on the influence of motor speed, sampling depth, channel diameter and sampling tube specifications on sampling speed, which lays the foundation for retrofitting portable motorized inertial pump and provides reference for the sampling of small diameter monitoring wells.

**Key words:** groundwater monitoring; portable motorized inertial pump; continuous multi-channel tubing; sampling speed

## 0 引言

地下水监测是水文监测的基本内容, 对于科学认识和了解地下水动态变化规律、合理开发和利用地下水资源、防治和减轻地下水污染及相关的地质灾害等具有十分重要的意义<sup>[1-2]</sup>。近年来, 多层监测井技术凭借其施工成本低、占地面积小、维护方便等优势受到众多国内外学者的青睐<sup>[3-4]</sup>, 同时, 随着地下水多层监测井采样技术及要求的改变, 一批新型地下水采样设备应运而生。

作为一种新型地下水采样设备, 惯性泵在地下水多层监测井采样中发挥着重要作用。惯性泵又名底阀泵, 既可以人工采样, 也可以通过机械驱动进行采样, 使用成本低, 操作简单, 适合小口径多层监测井采样<sup>[5]</sup>。本文以轻便机动惯性泵为研究对象, 通过在不同口径 CMT(连续多通道多层监测井) 监测井不同深度采用不同转速进行采样, 对轻便机动惯性泵的最佳转速、最大深度、采样管外径等参数进行了研究, 为轻便机动惯性泵的改进和创新奠定了基础。

## 1 轻便机动惯性泵设计

### 1.1 惯性泵工作原理

惯性泵由采样管和惯性泵泵头构成(见图1)。在惯性泵底端安装一个止回阀, 当惯性泵泵头下到指定采样深度后, 通过手动或机械方式驱动实现

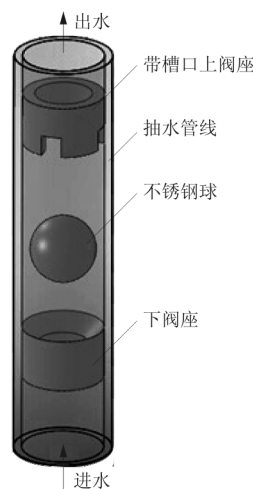


图1 惯性泵结构

收稿日期: 2017-02-27; 修回日期: 2017-08-23

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“小口径机动惯性泵采样设备研发”(编号: 201411083-2)

作者简介: 王明明, 男, 汉族, 1990年生, 硕士, 从事水文地质环境地质钻探技术研究与开发工作, 河北省保定市七一中路1305号, wmmcugh@

惯性泵泵头在井内上下往复运动,管线下降时,阀门打开,地下水进入管线中,管线上升时底阀关闭,使井内的水沿采样管上升到地表,从而实现地下水采样,具有结构简单、便于操作等特点,适用于小口径监测井采样,其工作原理如图2所示。

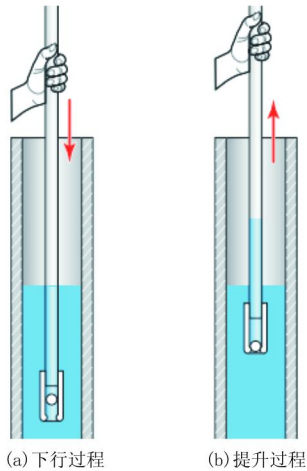


图2 惯性泵工作原理

## 1.2 便携式机动惯性泵

根据惯性泵的工作原理,我们设计出了不同规格的内置式和外置式惯性泵采样管,内置式规格为8和12 mm,外置式规格为8、10和12 mm,同时,为实现惯性泵采样器在野外条件下机械化工作,将动力机构、传动机构以及连杆机构与惯性泵进行了集成,研发出了便携式机动惯性泵,具有质量轻、操作简便、自带动力、携带方便等特点。图3、图4分别为轻便机动惯性泵与外置式惯性泵泵头实物图。



图3 轻便机动惯性泵

## 2 试验场地及多层监测井介绍

本次试验在北京市通州区张家湾原位溶质运移示踪试验场进行,该试验场位于北京平原区的东南端,永定河与潮白河冲积平原的交汇处,为冲洪积相



图4 外置式惯性泵泵头

沉积物构成的扇形平原,地势由西北向东南缓慢倾斜,沉积物颜色以灰色、灰黑色、黄色为主,岩性为粘土、粘质粉土、粉砂、细砂、中砂、中粗砂、砾石等,单层厚度一般不大,为多层含水层和隔水层的组合,由中国地质环境监测院承担“地下水典型试验场科学观测与综合研究”项目第四课题“北京平原区地下水监测网管理与地下水监测关键技术研究”项目资助建立,主要任务观测地下水三维反应原位溶质运移,研究对象为潜水,埋藏较浅<sup>[6]</sup>。

为完成该项研究,中国地质环境监测院、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心先后在该试验场建成CMT监测井(7层)近40眼、Westbay监测井(18层)1眼和巢式监测井1眼(3层),是目前我国监测井种类最齐全、监测水平最高的试验场地。

CMT监测井是一种新型的多层监测井,采用连续方式挤出的带有7个通道的高密度聚乙烯管(见图5、图6),管径规格分别为43、70和105 mm,可监测7个目的层,无接头,环保清洁,成井工艺简单,填砾和止水方便,施工成本相对较低<sup>[7-8]</sup>。

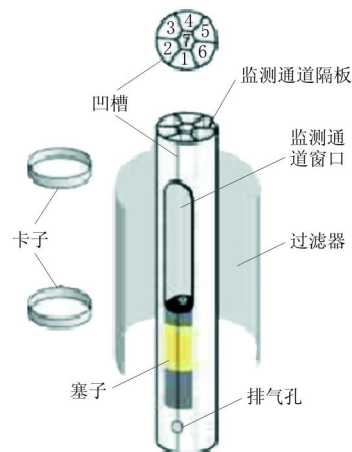


图5 CMT监测井原理<sup>[9]</sup>

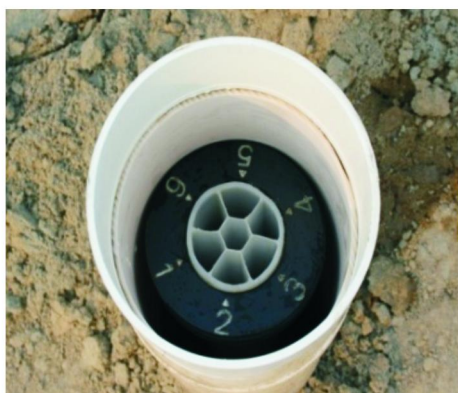


图 6 CMT 监测井井管端面

尽管 CMT 监测井优点很多,但也存在着一些缺点,主要表现为监测通道较小(通道内径见表 1),采集水样较为困难,影响其在国内地下水监测中的推广和发展。

表 1 CMT 监测井通道内径

井管外径/mm	通道内径/mm
43	10
70	22
105	31

由于该试验场主要任务是观测地下水三维反应原位溶质运移,研究对象为潜水,埋藏较浅,因此,该试验场 CMT 监测井井深均固定为 30 m,分层情况见图 7。

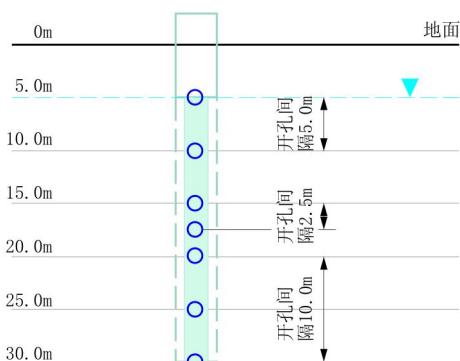


图 7 张家湾试验场 CMT 监测井分层情况

### 3 轻便机动惯性泵在 CMT 监测井的试验研究

#### 3.1 试验前期处理

为掌握便携式机动惯性泵在不同环境的最佳工作状态,将不同规格惯性泵在不同口径的监测井、不同电机转速下进行试验,本次试验获得了大量重要的试验数据,为便携式机动惯性泵改进和应用提供了数据支撑。同时,为便于整理和分析获得的试验

数据,本文将试验数据进行了简单处理,处理方法如下。

(1)该试验场地的 CMT 监测井成井深度均为 30 m,监测层为 7 层,各个监测井的相同监测层水位相近但不同(见表 2,选取 5 个 CMT 监测井水位),在不影响试验结果的情况下,选择具有代表性的监测井进行惯性泵试验。

表 2 部分 CMT 监测井水位埋深

钻孔 编号	地下水埋深/m						
	通道						
	1	2	3	4	5	6	7
10-1	4.832	4.835	4.969	5.386	6.105	5.980	6.108
10-2	4.739	4.740	4.908	5.449	6.088	6.981	6.085
10-3	4.734	4.730	4.825	5.174	6.601	6.069	5.935
10-4	4.746	4.749	4.897	5.256	6.119	6.116	6.112
10-5	4.713	4.710	4.902	5.262	6.108	6.110	6.111

(2)由于管径 43 mm 的 CMT 监测井通道内径仅 10 mm,除 8 mm 内置式惯性泵外,其他惯性泵均无法进入,因此,在管径 43 mm 的 CMT 监测井中仅进行 8 mm 内置式惯性泵试验,获得其采样速度。

(3)惯性泵试验时,采集了不同口径监测井的不同层位在不同转速下采样速度,数据量庞大。鉴于篇幅有限,本文着重选取了最具代表性的试验,研究了轻便机动惯性泵设备误差、采样速度与电机转速、采样深度和管道内径的关系。

(4)本次试验采用了 5 种惯性泵采样管,分为内置式和外置式两类,内置式管径为 8 和 12 mm,外置式管径为 8 mm(泵头:12 mm)、10 mm(泵头:14 mm)和 12 mm(泵头:16 mm),壁厚均为 1 mm。

#### 3.1.1 轻便机动惯性泵设备误差分析

为了解轻便机动惯性泵的设备稳定性,误差大小,特别选择了一组试验进行分析,试验条件:采用外置式泵头,直径 14 mm;采样管规格 10 mm × 1 mm;采样深度 25 m;试验井类型为 CMT 监测井,管径 70 mm。通过在同一深度采用不同转速连续取样 3 次,取样数据见表 3。

表 3 轻便机动惯性泵误差分析试验数据

试验 序号	流速/(L·min <sup>-1</sup> )						
	转速/(r·min <sup>-1</sup> )						
	30	40	50	60	70	80	90
试验 1	0.129	0.370	0.882	0.938	0.938	0.938	0.909
试验 2	0.153	0.341	0.857	0.909	0.932	0.938	0.909
试验 3	0.162	0.345	0.789	0.938	0.938	0.938	0.909

根据表3,可以清楚地看到不同转速时的流速,低转速时,采样流速较慢,误差较大,最大为12.83%,但在转速较高时,采样流速就非常稳定了,最高为0.938 L/min,误差非常小,由此可见,轻便机动惯性泵设备稳定性比较好,采样数据比较稳定。

### 3.1.2 电机转速对轻便机动惯性泵流速的影响

在轻便机动惯性泵前期试验中,发现转速对惯性泵流速影响较大,但也并不是线性增加的,而且也受到惯性泵泵头规格和取样管影响,为了解转速对惯性泵流速的影响,在特定条件下进行了比较系统的采样试验。

以轻便机动惯性泵在管径105 mm的CMT监测井采样为例,采样深度25 m,对内置式和外置式泵头进行了试验研究,采样数据见表4。

为了能更直观地看到不同规格惯性泵流速随转速的变化,将表4生成流速随转速变化的曲线图,见图8。

表4 电机转速对不同规格惯性泵流速的影响

采样管/ mm	流速/(L·min <sup>-1</sup> )							
	转速/(r·min <sup>-1</sup> )							
	30	40	50	60	70	80	90	
内置	8	0.145	0.146	0.120	0.118	0.125	0.128	0.114
	12	0.811	0.938	0.732	0.625	0.566	0.566	0.625
	8	0.188	0.450	0.500	0.486	0.474	0.474	0.462
外置	10	0	0.400	0.545	0.621	0.750	0.783	0.818
	12	0.182	0.500	1.111	1.111	1.304	0.698	0.566

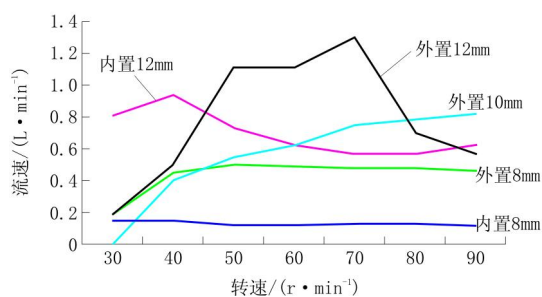


图8 不同规格惯性泵流速随转速变化趋势图

根据表4和图8,可以发现以下规律。

(1)内置式惯性泵流速随转速的变化规律:8和12 mm内置式惯性泵曲线变化规律均为先升后降,最大流速均出现在转速为40 r/min时,分别为0.146和0.938 L/min,说明以上2种内置式惯性泵在转速40 r/min,采样效率高,并且通过横向比较,发现12 mm内置式惯性泵采样效率远高于8 mm的惯性泵,是8 mm内置式采样速度的6.5倍。

(2)外置式惯性泵流速随转速的变化规律:从曲线上看,变化规律都有些不同,外置式12 mm惯性泵在转速为50和60 r/min时,流速为1.111 L/min,已高于其他外置式惯性泵流速,速度70 r/min时最高,为1.304 L/min,采样速度非常快;外置式10 mm惯性泵在转速为90 r/min时,流速为0.818 L/min,采样速度也是非常快;外置式8 mm惯性泵流速是外置式惯性泵最低的,为0.5 L/min,出水速度相对会慢些。

### 3.1.3 采样深度对轻便机动惯性泵流速的影响

在前期试验过程中,发现采样深度对惯性泵流速也有一定影响。为了解采样深度对惯性泵流速的影响,以轻便机动惯性泵在管径70 mm的CMT监测井采样为例,转速为80 r/min,对内置式和外置式泵头进行了试验研究,采样数据见表5。

同样,为了能更直观地看到不同规格惯性泵流速随采样深度的变化,将表5生成流速随采样深度变化的曲线图,见图9。

表5 采样深度对不同规格惯性泵流速的影响

采样管/ mm	流速/(L·min <sup>-1</sup> )					
	深度/m					
	5	10	15	20	25	
内置	8	0	0	0	0.175	0.135
	12	0	0.211	0.545	0.612	0.857
外置	8	0	0.064	0.172	0.405	0.508
	10	0	0	0.189	0.667	0.938
	12	0	0.166	0.361	0.750	1.071

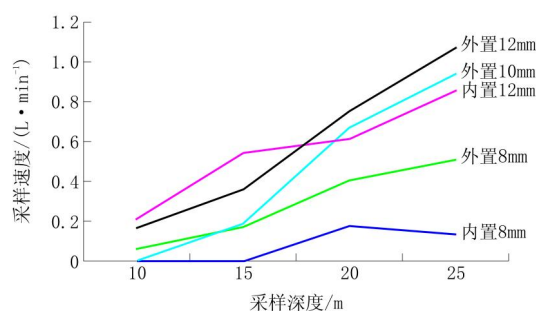


图9 不同规格惯性泵采样速度随采样深度变化趋势图

根据表5和图9,可以发现以下规律。

(1)5 m时,所有惯性泵流速均为0 L/min,考虑到水位在4.8 m附近、惯性泵行程20 cm和第1通道深度为5 m等因素,所以没有采集到水样。

(2)除内置式8 mm惯性泵外,其他惯性泵流速均与深度成正比,即惯性泵在水位下越深,流速越大,采样速度越快,最高流速为1.071 L/min,由于该

试验场CMT监测井深度最大为30 m,因此,无法判断深度30 m后流速随深度变化规律。

### 3.1.4 通道内径对轻便机动惯性泵流速的影响

以轻便机动惯性泵在管径105 mm的CMT监测井取样为例,采样深度25 m,转速为70 r/min,对内置式和外置式泵头进行了试验研究,采样数据见表6。

表6 通道内径对不同规格惯性泵流速的影响

采样管/mm	流速/(L·min <sup>-1</sup> )			
	管径/通道内径/mm			
	43/10	70/22	105/31	
内置	8	0.161	0.160	0.125
	12	0	0.833	0.566
外置	8	0	0.500	0.474
	10	0	0.938	0.750
	12	0	1.111	1.304

根据表6采样数据可以发现以下规律。

(1)对于管径43 mm的CMT监测井,仅能使用8 mm内置式惯性泵采样,采样速度最高为0.220 L/min(深度20 m,转速90 r/min)。

(2)外置式12 mm惯性泵采样速度随着管径增大而提高,而其他4种规格惯性泵采样速度均随着通道内径增大而减小,主要原因可能是由于惯性泵采样管活动空间增大,采样管下行过程中,容易弯曲,减少了其活动行程,致使采样速度减慢,而外置式12 mm惯性泵采用的是16 mm泵头,活动空间增大可能使其减小了与井管内壁摩擦,活动行程增加,提高了采样速度。

## 4 结论

通过在北京张家湾试验场使用轻便机动惯性泵在CMT监测井中进行相关试验和数据分析,得到以下结论。

(1)作为一种新型的采样泵,轻便机动惯性泵可以在不同规格的CMT监测井中进行采样,并具有操作方便、采样速度快和采样数据可靠的优势,值得小口径监测井采样借鉴和推广。

(2)通过相关试验,发现轻便机动惯性泵自身性能可靠,误差较小,同时也发现了电机转速、采样深度和通道内径对轻便机动惯性泵采样速度的影响规律,获得了轻便机动惯性泵在不同规格CMT监测井中最高采样速度以及最高采样速度相匹配的最佳电机转速、采样深度,为后续轻便机动惯性泵的研制和改造奠定了基础。

(3)本文所选择的试验场地CMT监测井孔深均为30 m,致使试验深度受到限制。因此,想了解轻便机动惯性泵在深孔(>60 m)采样性能如何,需要加强轻便机动惯性泵在更深CMT监测井中试验。

## 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] 郑继天,冉德发,叶成明,等.地方病区地下水监测井建造及取样技术[J].中国地质,2010,37(3):835-839.
- [3] 王明明,卢颖,解伟.CMT监测井在黑河流域地下水监测中的应用[J].中国环境监测,2016,32(6):141-145.
- [4] 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.
- [5] 郑继天,叶成明,王建增,等.地下水污染调查惯性取样泵的设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9):37-39.
- [6] 林沛,夏孟,刘久荣,等.一井多层地下水监测井施工关键技术及设备[J].技术应用,2012,7(1):38-39.
- [7] 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.
- [8] 卢予北.国家级一孔多层地下水示范监测井钻探技术与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(3):5-6.
- [9] 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.