

# 基于翻斗法的自动量水技术及其应用

曹建生, 刘昌明, 张万军

(中国科学院石家庄农业现代化研究所, 河北 石家庄 050021)

**摘要** 分析翻斗式自动量水技术发展现状, 对其基本结构组成和工作原理进行阐述. 同时介绍了作者从降低制造成本角度设计的 3 种新型自记流量计. 介绍了翻斗式自动量水技术在降雨量及其过程监测、坡面径流小区的径流监测、小流域地下裂隙潜流的监测以及水面蒸发监测中的应用情况.

**关键词** 翻斗法; 量水技术; 自记流量计; 水文测验

中图分类号: P33 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2005)02-0049-04

**Tipping bucket method-based self-recording water measurement technique and its development**//CAO Jian-sheng, LIU Chang-ming, ZHANG Wan-jun( Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization, CAS, Shijiazhuang 050021, China )

**Abstract** An analysis was made on the development of the self-recording water measurement technique based on the tipping bucket method and the structure of self-recording flow meters and their operating principle were described. Three kinds of self-recording water meters with low cost, newly designed by the authors, were introduced. In addition, an introduction was also given to the application of the self-recording water measurement technique to monitoring of the variation of rainfall, the overland runoff, the submerged flow in underground fissures, and the water surface evaporation.

**Key words**: tipping bucket method; water measurement technique; self-recording water meter; hydrometric measurement

到目前为止, 水文学的发展从起初河流水位的简单观测, 经历了河流流速及流量与管道流速及流量的机械观测, 发展到现代的以电子计算机、遥感、遥测和核技术为核心的流速与流量的数字观测阶段, 已有 5 000 多年的历史. 经过多年的研究, 人们在有压、高水头、大流量的水文监测方面积累了丰富的经验, 并取得多项研究成果, 极大地促进了水文学的发展. 然而, 在无压、低水头、小流量的水文监测方面, 始终处于缓慢的发展阶段. 在坡面径流小区出口流量监测方面, 目前还主要是沿用过去的集水池法, 以及多孔分流法, 这些方法在发生暴雨时容易出现溢流现象, 更主要的是很难对径流过程进行监测; 在水面蒸发的测定方面, 目前较为常用的方法是通过电测针法测定某时段蒸发器内的水位变化, 从而计算水面蒸发量, 该方法很难实现恒定水面条件下、短时段水面蒸发量及过程的自动连续监测. 翻斗式自动量水技术集自动与数字于一身, 在无压、低水头、小流量的水文监测方面, 与其他方法相比, 具有多方面的优势.

## 1 翻斗式自动量水技术

目前, 翻斗式自动量水技术的应用主要有翻斗式自记雨量计, 另有少量据此改造的翻斗式自记流量计. 从工作原理的角度看, 它们均属于容积式量水技术, 其基本原理是利用机械测量元件( 对称式翻斗室) 把流体连续不断地分割成单个已知的体积部分, 根据测量室逐次重复地充满和排放该体积部分流体的次数来测量流体体积总量及过程.

### 1.1 基本结构及组成

翻斗式自动量水技术主要由水量( 雨量、流量) 传感器、脉冲发生器、计数器, 以及支撑框架、漏斗式承接口和可调螺栓等辅助部分组成. 其中水量传感器又主要由对称式翻斗室和转轴支架构成, 如图 1 所示, 其材质主要有铁、铝和塑料 3 种; 脉冲发生器按工作方式分, 主要有机械接触式和电子非接触式两种, 其中机械接触式又可分为两种, 第一种由曲滑板和行程开关构成( 图 2(a)) , 第二种由曲滑板和打点式记录笔构成( 图 2(b)) , 而电子非接触式由永久

磁铁和干簧管构成,简称“磁簧开关”,如图3所示;计数器从大的方面讲主要有机械式和电子式两种,其中每种又可分为不带时间和带时间两种,这样,目前共有4种类型的计数器(带时间的机械打点式、不带时间的机械累计式、不带时间的电子累计式、带时间的电子累计式),其中带时间的电子累计式计数器因数据寄存方式的不同,又可分为事件记录型和时段记录型两种.事件记录型是指计数器将产生每个脉冲的时间都记录下来,时段记录型是指计数器将一定时段内产生的脉冲数记录下来.表1中的前两种计数器在目前翻斗式自动量水技术中已普遍应用,特别是第二种.

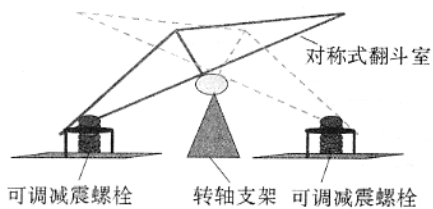


图1 流量传感器示意图

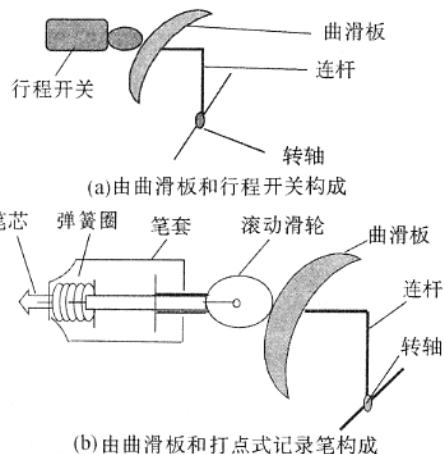


图2 机械式脉冲发生器示意图

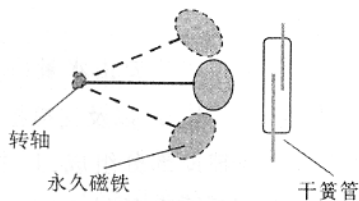


图3 电子式脉冲发生器示意图

另外,在翻斗式自记雨量计中,应用较多的脉冲发生器是电子式的“磁簧开关”,而计数器是HOBO型的事件记录仪.

## 1.2 几种类型

翻斗式自动量水技术因脉冲发生方式及计数器记录方式的不同而有所不同,就目前的使用情况而言,主要有6种类型(见表2中的前6项),其中最常

表1 计数器一览表

计数器名称	型号	记录特点	产地	参考价/元	使用情况
数据采集器	CR10X	寄存	美国	20000	较常用
事件记录仪	HOBO	寄存	美国	800	最常用
电子式累计计数器	SC3J	液晶显示	中国	110	不常用
拉动式累计计数器	D-70	字轮显示	中国	35	不常用
打点式计数器		记录纸记载	中国	200	试用

注:前3种计数器记录信号为电脉冲信号,后2种计数器记录信号为机械脉冲信号.使用情况是指目前该计数器在翻斗式自动量水技术方面的应用情况.

见的仅1种(表2中第一种).翻斗式自动量水技术的成本主要由水量传感器、脉冲发生器、计数器等材料、元器件的费用,以及加工、装配、调试工时费等几部分构成,其中,计数器的成本所占比例最大,这也是目前影响翻斗式自动量水技术普遍应用的主要原因.

表2 翻斗式自动量水技术类型

脉冲发生器	计数器名称	流量计类型	参考价/元	应用情况
磁铁+干簧管	事件记录仪	磁-电式	1000	最常用
磁铁+干簧管	数据采集器	磁-电式	20200	常用
磁铁+干簧管	电子式累计计数器	磁-电式	200	不常用
曲滑板+行程开关	数据采集器	机-电式	20200	常用
曲滑板+行程开关	事件记录仪	机-电式	1000	常用
曲滑板+行程开关	电子式累计计数器	机-电式	200	不常用
曲滑板+打点记录笔	打点式计数器	螺旋打点式	300	试用
曲滑板+打点记录笔	打点式计数器	直线打点式	300	试用
尼龙绳+拉杆	拉动式计数器	斜拉式	150	试用

## 1.3 工作原理

就目前已有翻斗式自动量水技术的6种类型而言,虽然脉冲发生器和计数器各自有所不同,但产生的脉冲信号均为电脉冲,同时,计数器均能采集这种电脉冲信号,因此它们的工作原理基本一致,即被测水流经过漏斗式受水口进入水量(雨量、流量)传感器的一个“翻斗室”内,当“翻斗室”内的水达到一定量时,由于水量传感器自身和一定水量所产生的合力矩方向的瞬时变化,水量传感器将自动翻转,使被测水流注入另一个“翻斗室”,从而保证水流的连续性,同时,在水量传感器翻转的过程中,安装在水量传感器一定位置的曲滑板(或永久磁铁)将挤压(或扫描)一次安装在支撑框架相应部位的行程开关(或干簧管),并在短时间内恢复原状,即产生一个电脉冲信号,该电脉冲信号可通过导线传输到计数器(1~6)中,而计数器可以根据预先编好的程序,以不同的方式将电脉冲信号记录下来.其中,电子式累计计数器以累加的形式记录,并且将某时刻的脉冲总数直接输出在液晶显示屏上,无时间对应关系,事件记录仪也是以累加的形式记录,不同的是它将每一次产生电脉冲信号的时间一同储存在单片机的寄存器

内,事后可以利用计算机通过专用软件(Boxcar)将数据取出,进行分析;CR10X型的数据采集器有2个通道可以用来采集电脉冲信号,它的记录方法是,每隔一定时间就将这段时间内所收到的脉冲总数记录下来。

## 2 3种翻斗式自动量水新技术

翻斗式自动量水技术集自动、数字于一身,在降雨以及各种无压、低水头、小流量的地表径流、壤中流和地下裂隙潜流的监测方面,与其他方法相比具有绝对的优势。但是,就目前的应用情况而言,翻斗式自动量水技术主要集中应用在降雨的监测中,而在其他有关水文监测中的应用还较少,原因可能是多方面的,但有两点是可以肯定的,即价格相对较高和技术含量相对较高。近几年来,笔者结合山地水文循环和雨水转化机制研究的实际需要,从降低翻斗式自记流量计制造成本的角度出发,在查阅大量文献资料和技术成果的基础上,根据有关物理原理,研制了3种翻斗式自记流量计,即螺旋打点式自记流量计、直线打点式自记流量计和斜拉式自记流量计(见表2中的后3项)。这3种自记流量计的共同点在于脉冲发生器和计数器均为机械式,造价较低,操作比较简单,特别适合我国目前的国情。

### 2.1 螺旋打点式自记流量计

螺旋打点式自记流量计从结构组成上同样也由流量传感器、脉冲发生器和计数器3部分构成,不同之处在于其脉冲发生器由曲滑板和打点记录笔构成,计数器主要由记录圆筒、支撑框架、传动装置、时钟等几部分构成<sup>[2,3]</sup>。流量传感器的工作原理与目前翻斗式自动量水技术基本相同。脉冲发生器、计数器的工作原理是,在流量传感器翻转的过程中,安装在两个“翻斗室”外侧中间部位的曲滑板便会挤压一次打点记录笔尾部的动滑轮,打点记录笔的动滑轮受到挤压时,其笔尖将在记录纸上完成一次打点任务,当瞬时挤压外力消失后,笔尖将在弹簧的作用下恢复到原来的状态。自记装置的时钟将首先通过齿轮带动传动部分的缺口圆柱转动,而两端带有动滑轮、中间和转动螺杆相连的水平杆在圆柱缺口的约束下也要协同螺杆一起转动,随后由于螺母的作用,顶部与记录圆筒相连的螺杆在转动的同时还将做垂直运动,从而使依附在记录圆筒表面上的记录纸在转动的同时,还存在垂向运动,最后将量测水流时所产生的打点轨迹以螺旋曲线的形式反映在标有时间刻度的记录纸上,根据单位时间内打点数的多少来求得被测水流不同时刻的流量。

### 2.2 直线打点式自记流量计

直线打点式自记流量计同样由流量传感器、脉冲发生器和计数器3部分构成,不同之处在于其计数器主要由机械钟、主从双辊、压紧弹簧、输纸槽、纸卷和底板等辅助设备构成<sup>[4]</sup>。流量传感器、脉冲发生器的工作原理与螺旋打点式自记流量计基本相同。计数器的工作原理是,自记装置的时钟通过齿轮带动主动辊转动,由于压紧弹簧的作用,夹在主从双辊之间的记录纸将在摩擦力的作用下做匀速直线运动,最后将系统量测水流过程中所产生的打点轨迹以直线的形式反映在标有时间刻度的记录纸上,并根据单位时间内打点数的多少来求得被测水流不同时刻的流量。

### 2.3 斜拉式自记流量计

斜拉式自记流量计主要由对称式翻斗室、转轴支架、可调减震螺栓、固定滑轮、尼龙绳、计数器和支撑框架构成<sup>[5]</sup>。这种基于翻斗法的斜拉式自记流量计较前面所述的几种流量计而言,是结构最为简单、造价最低的一种,它不是依靠“磁簧开关”和“曲滑板+行程开关”,以及“曲滑板+打点记录笔”等装置来产生脉冲,而是利用两根高强度的尼龙绳完成机械脉冲的发生任务,该机械脉冲信号可被一种拉动式的机械累计计数器实时采集,从而较好地完成连续水流的自动监测。这种流量计的不足之处在于无法显示时间参数,也就是说,要想对水流的过程进行监测,还需要有人根据手表来记录不同时刻计数器的读数,即便这样,这种自记流量计相对于目前应用较多的集水池法及多孔分流法而言,还是要先进许多,它对径流总量的测定是比较保险的,因为它不存在溢流现象,同时,其测定径流的过程也比测定集水池内的水位变化过程要方便得多。

## 3 翻斗式自动量水技术的应用

基于翻斗法的自动量水技术,就目前的使用情况而言,主要包括翻斗式自记雨量计和翻斗式自记流量计。其中各种形式的翻斗式自记雨量计在国内外的水文、气象等部门已被广泛应用,其效果也已被广大科技工作者所公认,但是,翻斗式自记流量计在我国水文监测中的应用还很不普遍。

### 3.1 降雨量及过程的监测

目前,翻斗式自记雨量计作为基于翻斗法的自动量水技术,在降雨量及降雨过程的监测中已被广泛应用,特别是在次降雨过程的监测中发挥了重要的作用,它不仅可以将一次降雨的总量,同时还可以将一次降雨的起始和终止时间,以及降雨过程中任意时刻的降雨强度记录下来。这不仅有利于加强对降雨过程自身特性的认识,同时还可以为降雨入渗

补给地下水、坡面侵蚀的研究,以及区域雨水资源化潜力的评价提供科学参数。

### 3.2 坡面径流小区的径流监测

目前有关坡面径流小区出口流量的监测主要有两种方法,即集水池法和多孔分流法,其实这两种方法在本质上是相同的,不同点在于后者所能监测到的最大径流量较前者大一些而已,同时,两种方法主要用于某次降雨的径流总量监测,要想测定其过程,需要有人在降雨过程中通过测定集水池内的水位变化来完成,此外,这两种方法还存在一个关键问题,即容易出现溢流现象,从而经常使得在发生暴雨径流时很难取得较为完整的试验数据。翻斗式自记流量计通过流量传感器的测量室逐次重复性地充满和排放该体积部分流体,实现了连续流体的等量分割,不仅能够对径流总量进行准确的测定,而且可以实现无人值守情况下径流过程的自动监测,此外,还可以避免集水池因渗漏和蒸发而造成的误差。

### 3.3 小流域地下裂隙潜流的监测

小流域地下裂隙潜流作为小流域水循环的重要组成部分,在太行山花岗片麻岩区的大部分时间里普遍存在,但是,潜流的流量一般都较小。以中国科学院太行山山地生态实验站西侧的小流域(0.026 km<sup>2</sup>)为例,地下裂隙潜流常年在0~200 L/h之间变化,即使在发生特大暴雨时,潜流最大峰值也未超过1000 L/h,同时,由于小流域特殊的水文地质结构,小流域出口处的地下裂隙潜流的水位-流量关系不明显,这些无压、低水头、小流量的水流特性决定了传统的流量测定方法(堰流法、水表法、集水池法等)很难对地下裂隙潜流的变化过程进行自动、连续、准确的监测,从而也就无法进一步揭示风化岩体饱和、非饱和裂隙潜流与小流域蒸散、降雨入渗补给的关系。翻斗式自记流量计以全新的工作原理,较好地完成了地下裂隙潜流的测定<sup>[2,3]</sup>。

### 3.4 水面蒸发的监测

目前,测量水面蒸发的方法,从大的方面可以分为器测法和经验公式法两种。在器测法中,不论是应用电测针的直接测定法,还是应用自动补水装置的间接测定法,基本上都是通过测定水位变化来计算水面蒸发的。笔者根据动态水量平衡原理,利用翻斗式自计量水技术<sup>[4]</sup>,于2002年自行设计了一套水面蒸发自动观测系统<sup>[5]</sup>,改变了通过量测水位变化来计算水面蒸发的传统方法,从另一个角度实现了恒定水深条件下,短时段水面蒸发的自动连续监测,丰富了水面蒸发的测定方法,特别是在水面蒸发的自动监测方面。

## 4 结 语

在电子技术和计算机技术飞速发展的今天,“数字水文”作为现代水文学的发展方向之一,日益得到广泛的认同,这势必会加快水利水文事业的自动化进程。翻斗式自动量水技术集“数字”与“自动”于一身,在无压、低水头、小流量的水流监测中,与其他方法相比,具有绝对的优势。但是,就翻斗式自动量水技术的构成及应用情况而言,目前还比较单一,这严重影响了该技术的普及应用。本文在分析翻斗式自动量水技术发展现状的基础上,从降低造价的角度自行研制出了3种基于翻斗法的自记流量计,并对翻斗式自动量水技术的直接与间接应用情况进行了初步研究,不仅丰富了翻斗式自动量水技术的内容,同时也开始了翻斗式自动量水技术在地表径流、壤中流、地下径流的直接应用,以及在水面蒸发等方面的间接应用。

### 参考文献:

- [1]任树梅,朱仲元,张文萍,等.工程水文学[M].北京:中国农业大学出版社,2001.
- [2]曹建生,刘昌明,张万军.一种基于翻斗法的打点式自记流量测定仪[J].水利水文自动化,2004(4):31-34.
- [3]曹建生,张万军.一种径流流量打点式测定仪[P].中国专利:ZL03269640.X,2004-08-25.
- [4]曹建生,刘昌明,张万军.一种基于翻斗法的双辊式打点自记流量测定仪[J].中国农村水利水电,2005(1):112-114.
- [5]曹建生,张万军,刘昌明.一种斜拉翻斗式自记流量测定仪[J].水利水电技术,2005(1):28-30.
- [6]曹建生,张万军,唐常源.太行山典型小流域潜流动态变化研究[J].水利学报,2002(6):91-95.
- [7]马中秋,张万军,唐常源,等.太行山低山区泉水涌流规律试验研究[J].水文,2001(6):1-3.
- [8]曹建生,张万军,新滕静夫.翻斗式自计量水技术[J].中国农村水利水电,2001(8):56-57.
- [9]曹建生,韩淑敏,张万军,等.基于动态水量平衡的水面蒸发自动测定系统及其应用[J].水文,2003,23(3):29-33.

(收稿日期:2004-09-04 编辑:高建群)

