

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20190029

翻斗称重式雨雪量监测方法研究与设计

赵彦增, 王冬至, 罗清元

(河南省水文水资源局, 河南 郑州 450003)

摘 要:在水文和气象降水观测中,降雨已实现了自动监测,并且技术成熟,但降雪自动监测还没有较为可靠的方法。重点剖析影响雨雪量监测精度的多种因素;从多年研究及实践出发,提出一种使用翻斗与称重相结合的监测技术,以期进一步提高雨雪量尤其是降雪量的监测精度。研究表明:翻斗称重式雨雪量监测方法从理论上克服了加热融雪和单纯称重这两种雪量监测方法的不利因素,能够提高观测精度,实现雨雪量一体化自动观测。

关键词:雨雪量监测;融雪翻斗式;称重式;翻斗称重式;技术特点

中图分类号:P414.9+5

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2020)02-0062-04

1 技术背景

降水量观测是水文、气象监测要素之一。单一的降雨观测自动化设备已经很成熟,例如0.1mm、0.2mm、0.5mm分辨力的翻斗雨量计已经得到了广泛应用。而雨雪量监测一体化成套设备在国内尚待进一步研究与推广。国内外研究和应用较多的雨雪量一体化监测方法主要包括三种:①加热融雪翻斗计量方法,如美国的Metone 370-380雨雪量计、欧洲的OTT融雪翻斗雨雪量计以及国内一些企业生产的融雪雨量计等;②加热融雪称重计量方法,如欧洲的OTT雨雪量计、T-200B全天候雨雪量计等;③不冻液称重计量方法,如欧洲的OTT不冻液称重式雨雪量计。但这些方法都具有一定的合理性和一定条件下的适用性,要做到广泛适用,既符合国际气象组织技术标准又符合各国技术标准要求十分困难。中国地域辽阔,南北气候差异大,气温、水面日蒸发、年降水量区域分布均差异极大,这给各类监测方法的适用性提出了更高的要求;国内很多区域降水变差系数大,降水极值具有随机性,因此以一种额定的测量范围计量是不能满足要求的;同时,国内外降水量计量技术标准存在差异,比如降水监测分辨力、次降水监测精度、监测滞时、蒸发损耗等,也对各种监测方法的相应设备提出了不同的要求。

由于现有监测方法存在的诸多问题,目前国内基本仍采用雨量器人工观测降雪量^[1],时效差,信息难共享。因此设计雨雪量自动监测的新方法十分必要。

2 影响雨雪量监测的因素分析

2.1 融雪翻斗式雨雪量监测方法

按融雪方式可划分为三种,即电加热式、燃气加热式和不冻液式。其中电加热式最为常见^[2],本文主要讨论。

2.1.1 电加热式雨雪量计的构成

通常情况下,电加热式雨雪量计是在原有翻斗雨量计基础上增加加热系统和筒壁外部保温设计。主要构成有集雨器、翻斗装置、电热丝或加热片以及温控器等。通过电加热使集雨器中的降雪融化,再采用翻斗装置记录水量,翻斗装置和温控器与远程终端控制系统(RTU)相连,实现通讯与控制^[3-4]。

2.1.2 影响监测的主要因素

(1)加热启动和停止控制。加热融雪雨雪量计装配有温度控制器,可以设置加热温度参数。当仪器室内温度或者环境温度低于该参数值时,不论是否有降雪,加热系统将自动启动加热;当仪器室内或者环境温度高于该参数值时,加热停止。这样的加热启动控制方式将带来两个问题:①在寒冷的季节,雨量筒长

收稿日期:2019-01-21

作者简介:赵彦增(1963-),男,河南登封人,本科,教授级高工,主要从事水文测验与水文情报预报工作。E-mail:zyz@hnsi.gov.cn

期干烧,降雪时加大蒸发量,对降水量监测精度造成影响^[9];②气温长期持续较低时,大大增加了电能的消耗,容易造成蓄电池亏电(通常用太阳能电池板和蓄电池供电),影响设备运行的稳定性^[9]。

(2)加热温度控制。加热温度的高低对监测精度会造成直接影响,因此加热温度控制是融雪雨雪量计的关键。一般只要对雨量筒加热就会改变自然状态,从而加大蒸发量;同时,加热温度的高低,也决定了融雪延时的长短。在不考虑加热引起的蒸发误差的前提下,仅以融雪为目的,那么能够恰好融化时段内的降雪量的加热温度是最优的。但这仅是一种理想的状态,实际操作困难,这是因为自然降雪强度随时间变化,在空间分布上也不均匀。为了便于温度控制,通常情况下加热温度设定一个固定温度值。但这可能产生以下问题:①当降小雪时,蒸发造成的相对误差大;②当降大雪或暴雪时,降雪不能即时融化,此时加热温度越低,融雪延时越长,导致的时段降水量或日降水量相对误差越大;例如,2018年1月24日~27日,河南省长江流域唐白河水系出现了暴雪过程,某型号的融雪雨量计试用表明,当加热温度设置为5℃时,普遍出现了积雪现象,而且滞后时间长;③当加热温度设置较高时,大雪或暴雪能够及时融化,但蒸发造成的监测误差会大幅度增加;实验表明,当加热温度设置为28℃时,3~5mm的降雪会全部蒸发掉,而且由于雨量筒内与外部环境温差大,集雨器上方会形成蒸腾现象,影响雪花飘落。

2.2 称重式雨雪量监测方法

2.2.1 称重式雨雪量计的构成

称重式雨雪量计主要由保护筒、雨量筒(称重水桶)、称重传感器等构成,可以增加加热系统,使称重水桶中不结冰。称重传感器与远程终端控制系统(RTU)相连,实现通讯和控制。雨量筒不具备自排水功能,目前有600mm、800mm、1000mm、1200mm等规格,国内主流设备为1200mm规格。

2.2.2 影响监测的主要因素

(1)蒸发影响。降水量监测时,日内蒸发量影响无法消除。蒸发量与气温、湿度、光照、风力等因素有关,造成的误差具有随机性,难于定量计算和修正。

(2)降水特征值因素。对于降水监测资料,暴雨极值的监测是极其重要的,一旦失于监测会影响很大。称重式雨雪量计监测范围有限,根据现有极值选择设备型号,就要承担出现更大极值时无法测到的风险。

(3)筒深影响。称重式雨量筒通常筒深很大,如

1000mm、1200mm等,与现有翻斗雨量计相比,大大增加了筒壁面积,当出现降雨时蒸发面积增大,筒壁附着损失增大,而且不能进行误差修正,因此雨量筒的高度是不能任意增加的,监测范围是有限制的。

(4)水的腐化影响。通常情况下,称重雨量筒中存有积水,在外部环境作用下容易腐化变质、滋生微生物等,从而能够引起水的热容量提高、日内蒸发量增加,降低监测精度。

2.3 监测方法评述

综合分析,无论是加热融雪雨雪量计还是称重式雨雪量计均存在自身的缺点和不足,这些缺点和不足也许在一定的气候区域表现不明显,如降水量和强度时空分布均匀而且年际变化小的区域;而在中国大陆天气变化十分剧烈,现有缺点和不足的表现可能更为突出,因此这些监测方法在使用时是值得商榷的。作者开展以上监测方法的分析,其目的是为有兴趣的学者在今后进一步研究雨雪量一体化监测方法时提供一些借鉴,同时探讨开展雨雪量监测新方法设计时考虑的影响要素。任何一个技术问题,在现有技术条件下,都有至少一个最好的或接近于最好的解决办法;当该问题还未解决时,说明还需要继续深入探究,这也是科技工作者探索和研究技术问题的动力源泉。

3 翻斗称重式雨雪量监测方法技术设计概要

3.1 设计目标

该设计的目标是提出一种新的雨雪量一体化监测方法,优化监测装置,提高雨雪量尤其是降雪量监测精度,达到实用可靠的目的。

3.2 装置与方法

3.2.1 装置组成

该装置包括保护筒、保护筒上部的接雨器、套装在保护筒内部的雨量筒、称重传感器、雨量翻斗装置以及翻斗装置室内加热系统等。雨量筒放置在称重传感器上,或者雨量筒和翻斗装置共同设置在称重传感器上,雨量筒嵌套在接雨装置和保护筒之间而不接触。称重传感器、翻斗装置以及温控器与远程终端控制系统(RTU)相连,实现通讯和控制。图1是对雨量筒和翻斗装置一并称重原理图,图2是仅对雨量筒称重原理图。

3.2.2 原理及方法

当出现降雨时,降水通过接雨器、雨量筒进入翻斗装置,翻斗装置测计降雨量,雨水被直接排掉,称重

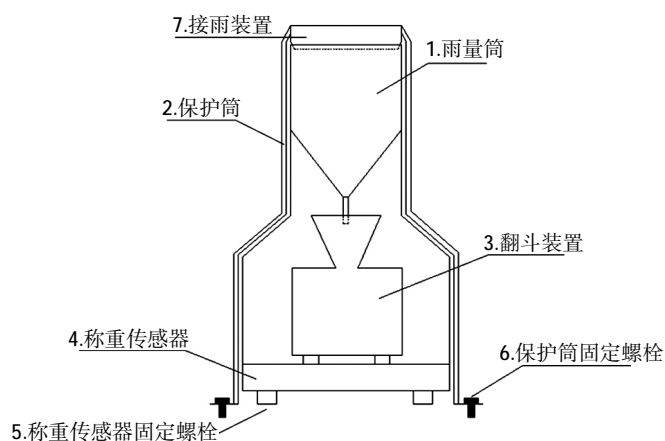


图1 翻斗称重式雨雪量计示意图

Fig.1 The tipping bucket and weighing rainfall and snowfall recorder

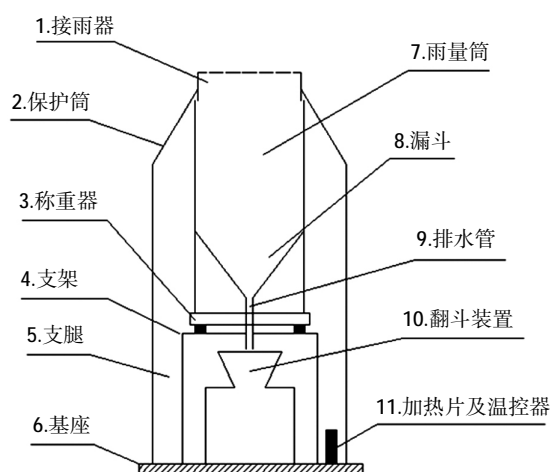


图2 翻斗称重式(加热)雨雪量计示意图

Fig.2 The tipping bucket and weighing(melted snow)rainfall and snowfall recorder

器的重量发生变化极小,但可以用于降雨量修正;当出现雨雪混合降水时,雨水进入翻斗装置,降雪积存在雨量筒内,翻斗装置记录雨水量或融雪量,称重传感器测计存入雨量筒中的雪量,两者之和为总降水量;当出现降雪时,称重传感器测计雨量筒内的积存雪量,翻斗装置记录融雪量;当雨量筒内有积雪而没有降水发生时,翻斗装置测计融雪量。

3.2.3 雨雪量计算

设计量时段为 ΔT ,时段末和时段初称重重量差转化为降水深为 ΔW ,在 ΔT 时段内翻斗装置测计的水量为 ΔP ,那么:

当 $\Delta W > 0$ 时, $\Delta W + \Delta P$ 为 ΔT 时段内降水量, ΔP

为融雪量。

当 $\Delta W < 0$, $\Delta W + \Delta P = 0$ 时,降水量为0, ΔP 为时段内的融雪量;当 $\Delta W < 0$, $\Delta W + \Delta P > 0$ 时, $\Delta W + \Delta P$ 即为 ΔT 时段内降水量, ΔW 为融雪量。

当 $\Delta W = 0$, $\Delta P > 0$ 时, ΔP 为时段降雨量; $\Delta P = 0$ 时,时段内降水量为0。

其中逻辑判断与翻斗装置分辨力有关,例如翻斗装置分辨力为0.2mm时,若 $|\Delta W| < 0.2\text{mm}$,则赋值 $\Delta W = 0$;当然,也可用 ΔW 值修正雨量筒的监测误差。在积雪期,通过计算方法的改进,可以监测自然融雪量及雪面蒸发量。

3.2.4 设备研发现状

该装置和方法已经获得了国家实用新型专利授权(专利号:ZL 2018 2 0411774.7;RTU专利号:ZL 2018 2 0765202.9)。为加快专利技术转化,被授权企业已经研制出了样品,目前正在开展实验和改进。

3.2.5 技术特点

(1)翻斗和称重协同监测。该方法充分利用了固体、液体降水的物理特性,由翻斗测计降雨量或融雪量,由称重传感器测计固体降水量,科学地解决了加热融雪雨量计的融雪滞后问题,避免了时段降水量或者日降水量的监测误差。

(2)雨量筒中不积水。在出现降雨时,雨量筒中是不积水的,降水通过翻斗装置计量并排掉,避免了称重式雨雪量计日间水分蒸发误差。

(3)不对雨量筒加热。该方法为了保证翻斗装置不结冰,在寒冷季节能够正常运行,仅在翻斗装置室设置加热系统,温度控制可以设置为 0°C 或者 1°C ,加热温度低,还可以在雨量筒和翻斗装置之间设置隔热板,加热对雨量筒没有影响。从而避免了加热融雪雨量计的干烧、加热引起的蒸发误差、雪花漂移等诸多问题。

(4)能够对降雨量监测数据进行实时修正。在出现降雨时,雨量筒的筒壁能够附着一些水分,会带来降雨监测的误差,在实际雨量监测时,绝大多数雨量站是不进行该误差修正的^[6-7]。该方法在监测降雨时,可以通过称重传感器获取的资料对翻斗计量进行实时修正,可以提高雨量监测精度。

(5)可以监测自然融雪量。目前,在自然融雪量监测方面尚无很成熟的设备,该方法通过称重传感器和翻斗装置协同监测,能够获取自然融雪量和雪面蒸发量,对研究融雪径流有很大帮助。

4 结论

翻斗称重式雨雪量监测方法从理论上克服了加热融雪和单纯称重这两种雪量监测方法的不利因素,从监测方法上实现了创新,能够提高观测精度,增加了自然融雪监测要素。

(1)加热融雪雨雪量监测方法由于加热因素的影响,会带来较多的不确定性和不足,适用性需要进一步验证和商榷。

(2)方法原理方面,称重式雨雪量监测方法在监测降雪时要优于加热融雪雨量监测方法,在监测降雨时劣于融雪雨量监测方法。使用称重式雨雪量监测方法时,蒸发误差、筒壁的附着误差以及测量范围的限制是需要考虑的因素。

(3)翻斗称重式雨雪量监测方法避免了加热融雪翻斗式雨雪量监测方法和称重式雨雪量监测方法的诸多不确定性和缺点,创新了方法设计,能够提高雨雪量监测精度,具有自然融雪量和雪面蒸发量监测功能,值得研究、开发和推广。

参考文献:

- [1] 姚永熙. 水文仪器与水利水文自动化[M]. 南京:河海大学出版社, 2001. (YAO Yongxi. Hydrologic Instruments and Automatic [M]. Nanjing: Hohai University Press, 2001. (in Chinese))
- [2] 王柏林,王经业,任芝花,等. 固体降水自动化观测试验[J]. 气象科技, 2009,37(1):97-101. (WANG Bolin, WANG Jingye, REN Zhihua, et al. Automatized observational experiment on solid precipitation [J]. Meteorological Science and Technology, 2009,37(1):97-101. (in Chinese))
- [3] 杨大庆,张志忠,康尔泗,等. 地面积雪测量与雨量器量测降雪量一致性实验研究[J]. 水科学进展, 1992,3(2):136-141. (YANG Daqing, ZHANG Zhizhong, KANG Ersi, et al. Experimental study on comparability of snowfall measurement by precipitation gage and snow survey [J]. Advances in Water Science, 1992,3(2):136-141. (in Chinese))
- [4] 施正平. 融雪型雨雪量计及其技术要求 [J]. 水利信息化, 1996,(1):15-17. (SHI Zhengping. Melted snow type rain & snow gauge and its technical requirements [J]. Water Resources Information, 1996, (1):15-17. (in Chinese))
- [5] 王衡威,汪中键. 光学雨量计评估[J]. 水利水文自动化, 1996,(2):50-52. (WANG Hengwei, WANG Zhongjian. Optical rain gauge evaluation [J]. Automation in Water Resources and Hydrology, 1996,(2):50-52. (in Chinese))
- [6] 郑自宽,李红溪. 固态存储雨量器观测资料的误差分析 [J]. 水文, 2002,22(1):52-53. (ZHENG Zikuan, LI Hongxi. The error analysis on data collected by the solid storage raingauge [J]. Journal of China Hydrology, 2002,22(1):52-53. (in Chinese))
- [7] 杨远宁. 固态存储雨量器与虹吸自记雨量计观测数据对比分析[J]. 科技情报开发与经济, 2006,13(18):159-160+181. (YANG Yuanning. Comparison and analysis on the observation data between the solid rain accumulating gauge and the Siphon-type self-recording rain gauge [J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2006,13 (18):159-160+181. (in Chinese))

How to Monitor Rainfall and Snowfall by Tipping Bucket and Weighting

ZHAO Yanzeng, WANG Dongzhi, LUO Qingyuan

(Hydrology and Water Resources Bureau of Henan Province, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: The rainfall has been recorded automatically in hydrological and meteorological precipitation observation, and its technology is mature. However, the snowfall automatic monitoring is still far away from achieving a reliable method. The factors affecting the accuracy of rainfall and snowfall monitoring were analyzed. This paper proposed a new monitoring technique combined tipping bucket with weighting based on many years research and practice. The research indicates that the rain and snow monitoring method based on tipping bucket and weighting theoretically overcome the disadvantage factors of snowfall monitoring by heating and weighting. And the method could improve the observation accuracy to realize the unified and automatic observation of rainfall and snowfall.

Key words: rainfall and snowfall monitoring; melted snow and tipping bucket; weighting; tipping bucket and weighting; technical characteristics