

SL-3 型双翻斗雨量传感器翻斗协调性误差分析

李锐锋^{1,2} 陈苏婷^{1*} 张晋³

(1 南京信息工程大学, 南京 210044; 2 山西省朔州市气象局, 朔州 036000;

3 华云升达(北京)气象科技有限责任公司, 北京 100081)

摘要 通过对 SL-3 型双翻斗雨量传感器进行模拟降水试验, 分析上翻斗与计量翻斗翻动协调性带来的降水测量误差。模拟试验初步表明: 当上翻斗最大承水量不合理, 计量翻斗最大承水量合理时, 会使翻斗翻动不协调, 降水损失增加, 导致实测降水偏小, 如在雨强 1 mm/min, 当上翻斗右斗最大承水量偏小 0.4 mL 时, 实测降水误差为 -4%; 当上翻斗最大承水量合理, 计量翻斗最大承水量不合理时, 计量翻斗最大承水量不合理程度对降水测量准确度影响较大, 如同在雨强 1 mm/min, 计量翻斗左斗最大承水量合理, 当计量翻斗右斗最大承水量偏小 0.4 mL, 实测降水误差为 +11%, 测量误差明显大; 并且不是上翻斗(或计量翻斗)最大承水量调节合理就一定使测量误差小, 而是上翻斗与计量翻斗的协调性好才会使测量误差小。上翻斗的增加不能完全解决单翻斗雨量计因降水强度大小不同引起的测量误差, 但明显缩小了不同雨强下降水测量误差偏差。提出利用虹吸原理装置代替上翻斗, 减少人为调节因素的干扰, 提高测量准确度。

关键词 双翻斗雨量计; 上下翻斗翻动协调性; 测量误差

引言

近些年, 山洪、泥石流、城市内涝等气象灾害频频发生, 造成人民生命和财产严重损失。翻斗雨量传感器是测量降水量的主要观测仪器, 在国内气象、水文行业广泛应用, 于洪涝灾害易发地区安置用于实时监测雨情, 提供灾害预警信息。翻斗雨量计有单翻斗型雨量计与双翻斗型雨量计。作为液态降水计量仪器, 翻斗雨量计测量准确度决定其应用价值。影响单翻斗雨量计测量准确度主要在于翻斗翻动过程中不同降水强度降水损失不同, 从而造成测量误差, 这也是单翻斗雨量计结构设计中的固有缺陷^[1-3]。双翻斗雨量计是为了解决这一固有缺陷设计的^[4]。一定程度上, 双翻斗雨量计上翻斗的设计可以使流入计量翻斗的流速在大小雨强时较一致, 减少单翻斗雨量计因降水强度不同引起的测量误差^[1,3,5]。但上翻斗的增设, 带来了上翻斗与计量翻斗翻动的协调性问题, 如果上翻斗与计量翻斗翻动不同步, 就会使计量翻斗翻动过程中降水损失又有

不同, 引入新的误差。本文意在通过对 SL3-1 型双翻斗雨量计在不同降水强度下上翻斗与计量翻斗翻转不协调引起测量误差进行分析。

1 双翻斗雨量计原理

SL3-1 型双翻斗雨量传感器主要由承水器(口径为 20 cm)、上翻斗、汇集漏斗、计量翻斗(下翻斗)和干簧管等组成。承水器收集的降水通过面积固定的承水口汇集液态降水进入上翻斗, 当降水积到一定量时, 由于水本身重力作用使上翻斗翻转, 水进入汇集漏斗。降水从汇集漏斗的节流管注入计量翻斗时, 就把不同强度的自然降水, 调节为比较均匀的大降水强度(约 6 mm/min), 以减少由于降水强度不同翻斗翻动时造成的测量误差, 当计量翻斗达到额定容量时(与承水器口径对应), 计量翻斗翻转一次, 计量翻斗在翻转时, 与它相关的磁钢对干簧管扫描一次。干簧管因磁化而瞬间闭合一次, 发出一个脉冲信号, 从而达到对降水总量的计量功能。上翻斗和计量翻斗最大可承水量使用容量调节螺母进行人

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

作者简介: 李锐锋, 女, 1977 年生, 学士, 工程师, 主要从事防雷及气象探测工作, Email: 1248911402@qq.com

收稿日期: 2015 年 7 月 30 日; 定稿日期: 2016 年 1 月 19 日

* 通信作者: Email: sutingchen@nuist.edu.cn

工调节的,通过调节容量螺母可以控制翻斗翻倒时机,从而达到控制每次翻倒时翻斗的最大可承水量。SL3-1 型双翻斗雨量传感器标称分辨率为 $0.1 \text{ mm}^{[6-9]}$ (图 1)。

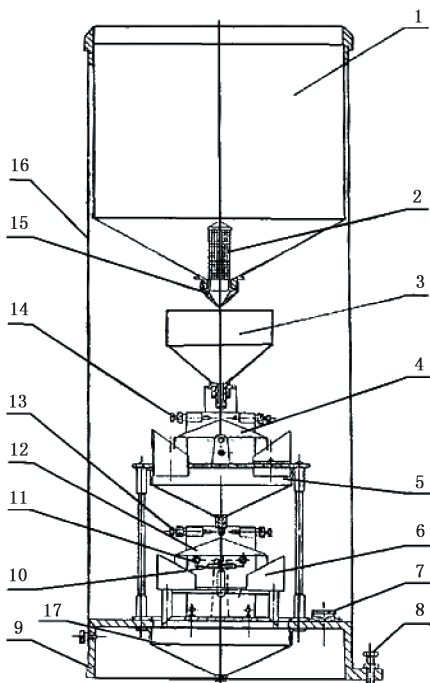


图 1 双翻斗雨量计结构设计图

(1. 承水器 2. 网罩 3. 漏斗 4. 上翻斗 5. 汇集漏斗 6. 计数翻斗 7. 水平泡 8. 调整六角螺母 9. 底盘 10. 干簧管 11. 红黑接线柱 12. 计量翻斗 13. 容量调节螺母 14. 定位螺母 15. 清洗拆卸螺母 16. 筒身 17. 排水漏斗)

2 双翻斗雨量传感器误差分析试验设计

试验采用人工模拟降水对 SL-3 型双翻斗雨量传感器误差进行分析,即利用目前对雨量计进行计量工作中普遍使用的加液器作为人工模拟降水标准装置,分析不同降水强度下,SL-3 型双翻斗雨量传感器上翻斗与计量翻斗翻转不协调引起的误差。加液器可通过设置模拟不同降水强度和不同降水总量,测量范围 50 mL 为一满量程,可连续加液至 1000 mL ,最大允差为 0.1% (50 mL);读数设备为 6 位半多通道数字多用表^[10-11]。

试验方法:利用加液器人工模拟 1 mm/min 与 4 mm/min 两个降水强度的降水,降水总量都设定为 10 mm 。两个降水强度和降水总量用液体体积表示分别为 31.4 mL/min 、 125.6 mL/min 与

314.16 mL 。通过调节 SL-3 型双翻斗雨量传感器上翻斗与计量翻斗的调节容量螺母,改变翻斗最大承水量,来分析上翻斗与计量翻斗翻动的不协调时引起的计量误差,也即模拟现实中由于人工调节容量螺母的不确定使上翻斗与计量翻斗翻动不同步而造成的测量误差。分别设计如下 3 个试验。

试验 1,模拟分析上翻斗最大承水量调节不合理,计量翻斗调节合理时,不同降水强度下上翻斗与计量翻斗翻动协调性,计量翻斗翻动时降水损失及对降水测量影响。

试验 2,模拟分析上翻斗最大承水量调节合理,计量翻斗调节不合理时,不同降水强度下上翻斗与计量翻斗翻动协调性,计量翻斗翻动时降水损失及对降水测量影响。

试验 3,模拟分析上翻斗最大承水量调节不合理,计量翻斗调节也不合理时,不同降水强度下上翻斗与计量翻斗翻动协调性,计量翻斗翻动时降水损失及对降水测量影响。

试验中翻斗最大承水量值是利用加液器来确定的。首先,在加液器中设置预设总量,倾倒入翻斗,调节该翻斗对应容量螺母,直至翻斗发生翻动(如果当倾倒入翻斗后,翻斗即发生翻动,就先调节容量螺母,使倾倒入后翻斗不发生翻动,再进行调节,直至翻斗发生翻动);然后,在加液器中设置比预设总量减少和增加 0.1 mL 的液体量,倾倒入翻斗后,翻斗不发生翻动为止,如发生翻动,从开始步骤重复进行。

翻斗翻动时平均降水损失计算公式:

$$L_{\text{avg}} = \frac{P_s - \frac{(C_{\text{lmax}} + C_{\text{rmax}})B_{\text{num}}}{2}}{B_{\text{num}}} \quad (1)$$

式中, L_{avg} 为翻斗翻动每斗平均降水损失(单位: mL), P_s 为模拟降水量(单位: mm), C_{lmax} 为计量翻斗左斗最大承水量(单位: mL), C_{rmax} 为计量翻斗右斗最大承水量(单位: mL), B_{num} 为翻斗数。

试验中上翻斗与计量翻斗最大承水量模拟每组重复测量 3 次,实测结果为 3 次取平均,试验 2 和试验 3 采取同样测量方法。翻斗最大承水量、翻斗翻动降水损失单位为都 mL ,降水量单位为 mm 。

3 试验结果分析

在试验中发现,SL-3 型双翻斗雨量计上翻斗左

右斗最大承水量都调节到 3.1 mL, 计量翻斗左右斗最大承水量都调节到 2.6 mL, 10 mm 模拟降水量在 4 mm/min 和 1 mm/min 2 个雨强实测降水量都为 10.1 mm, 实测降水量误差较小, 上翻斗与计量翻斗翻动也基本同步, 即在上翻斗与计量翻斗左右斗最大承水量相同情况时, 上翻斗 3.1 mL 与计量翻斗 2.6 mL 可作为模拟试验中翻斗最大承水量合

理的调节量。

表 1 为试验 1 模拟上翻斗最大承水量不合理, 计量翻斗最大承水量合理情况下 10 mm 模拟降水量实测结果以及计量翻斗翻动时平均降水损失。上翻斗右斗通过调节容量螺母, 使其在合理最大承雨量 3.1 mL 正负偏离 0.2 mL 和 0.4 mL, 上翻斗左斗与计量翻斗左右斗保持合理最大承雨量。

表 1 试验 1 双翻斗雨量计上翻斗与计量翻斗最大承水量模拟及实测降水结果

上翻斗(左)	上翻斗(右)	计量翻斗(左)	计量翻斗(右)	雨强 4 mm/min	雨强 1 mm/min
3.1	2.7	2.6	2.6	9.7(0.64)	9.6(0.67)
3.1	2.9	2.6	2.6	9.9(0.57)	9.7(0.64)
3.1	3.1	2.6	2.6	10.1(0.51)	10.1(0.51)*
3.1	3.3	2.6	2.6	10.0(0.54)	9.9(0.57)
3.1	3.5	2.6	2.6	9.8(0.60)	9.7(0.64)

注:表中翻斗列为模拟最大承水量(单位:mL),不同雨强列为实测降水量(单位:mm),括弧中为计算计量翻斗翻动每斗的平均降水损失(单位:mL),末尾标“*”行为上翻斗与计量翻斗最大承水量都合理行,下同。

由表 1 知,当上翻斗右斗偏离合理最大承水量 3.1 mL 时,实测降水量都比合理最大承水量 3.1 mL 时小,偏离越大,实测降水量越小,翻斗翻动每斗平均降水损失也越大,最大测量误差在雨强 1 mm/min、上翻斗右斗 2.7 mL,为-4%。可见该模拟试验中上翻斗最大承水量不合理、计量翻斗最大承水量合理时,会使上翻斗与计量翻斗翻动不协调,降水损失增加,导致实测降水偏小。尽管双翻斗尽量使不同雨强流入计量翻斗流速相同,但模拟试验

可见不同雨强其测量误差仍有差别,差别不大,最大差别在上翻斗右斗 2.9 mL,误差相差 2%。

表 2 为试验 2 模拟上翻斗最大承水量合理,计量翻斗最大承水量不合理情况下 10 mm 模拟降水量实测结果以及计量翻斗翻动时平均降水损失。计量翻斗右斗通过调节容量螺母,使其在合理最大承雨量 2.6 mL 正负偏离 0.2 mL 和 0.4 mL,上翻左右斗与计量翻斗左斗保持合理最大承雨量。

表 2 试验 2 双翻斗雨量计上翻斗与计量翻斗最大承水量模拟及实测降水结果

上翻斗(左)	上翻斗(右)	计量翻斗(左)	计量翻斗(右)	雨强 4 mm/min	雨强 1 mm/min
3.1	3.1	2.6	2.2	11.0(0.46)	11.1(0.43)
3.1	3.1	2.6	2.4	10.3(0.55)	10.5(0.49)
3.1	3.1	2.6	2.6	10.1(0.51)	10.1(0.51)*
3.1	3.1	2.6	2.8	9.6(0.57)	9.4(0.64)
3.1	3.1	2.6	3.0	9.5(0.51)	9.4(0.54)

与试验 1 模拟上翻斗最大承水量不合理试验结果不同,试验 2 计量翻斗右斗最大承水量小于合理最大承水量 2.6 mL 时,实测降水量较模拟的 10 mm 降水偏大,随着偏离程度的增加,测量误差增大,但翻斗翻动每斗平均降水损失不是一致的增大或减小;当计量翻斗右斗最大承水量大于合理最大承水量 2.6 mL 时,实测降水量较模拟的 10 mm 降

水偏小,同样随着偏离程度的增加,测量误差增大,翻斗翻动每斗平均降水损失先增大后减小。最大测量误差在雨强 1 mm/min、计量翻斗右斗 2.2 mL,为+11%,与试验 1 最大测量误差-4%相比,尽管都偏离合理最大承水量 0.4 mL,试验 2 最大测量误差明显大,可见该试验中计量翻斗最大承水量的调节对降水测量准确性影响更大。试验 2 中不同雨强

其测量误差也有差别,与试验1相同相差也不大。试验2表明,即使上翻斗最大承水量合理,计量翻斗最大承水量不合理时,降水测量仍有误差,且不合理程度对降水测量准确度影响较大。

表3为试验3模拟上翻斗最大承水量不合理,计量翻斗最大承水量也不合理情况下10 mm模拟降水量实测结果以及计量翻斗翻动时平均降水损

失。通过调节容量螺母,使上翻斗右斗在合理最大承雨量3.1 mL正负偏离0.2 mL,使计量翻斗右斗在合理最大承雨量2.6 mL正负偏离0.2 mL和0.4 mL,上翻斗左斗与计量翻斗左斗保持合理最大承雨量,将上述模拟情况分成4组,如表中所示。表3中没有将上翻斗与计量翻斗最大承水量都合理情况列出,可以参考试验1与试验2表中内容。

表3 试验3双翻斗雨量计上翻斗与计量翻斗最大承水量模拟及实测降水结果

	上翻斗(左)	上翻斗(右)	计量翻斗(左)	计量翻斗(右)	雨强4 mm/min	雨强1 mm/min
组1	3.1	3.1	2.6	2.2	11.0(0.46)	11.1(0.43)*
	3.1	2.9	2.6	2.2	10.9(0.48)	11.1(0.43)
	3.1	3.3	2.6	2.2	10.3(0.65)	10.4(0.62)
组2	3.1	3.1	2.6	2.4	10.3(0.55)	10.5(0.49)*
	3.1	2.9	2.6	2.4	10.2(0.58)	10.2(0.58)
	3.1	3.3	2.6	2.4	10.3(0.55)	10.4(0.52)
组3	3.1	3.1	2.6	2.8	9.6(0.57)	9.4(0.64)*
	3.1	2.9	2.6	2.8	10.0(0.44)	9.8(0.50)
	3.1	3.3	2.6	2.8	9.8(0.50)	9.7(0.54)
组4	3.1	3.1	2.6	3.0	9.5(0.51)	9.4(0.54)*
	3.1	2.9	2.6	3.0	9.4(0.54)	9.3(0.58)
	3.1	3.3	2.6	3.0	9.4(0.54)	9.2(0.61)

在表3试验组1、组2、组3中,上翻斗左右斗最大承水量都合理时,大小雨强实测误差较上翻斗右斗不合理情况都大,如组1中雨强4 mm/min,上翻斗右斗为3.3 mL时,实测值10.3 mm,相较组1中其它两种情况,实测误差最小。在组4中,上翻斗左右斗最大承水量都合理时实测误差最小,与组1、组2、组3不同。可见,并不是上翻斗(或计量翻斗)最大承水量调节合理就一定会使测量误差小,而是上翻斗与计量翻斗的协调性好才会使测量误差小。再者,在试验中当上翻斗右斗偏离合理最大承水量不变,计量翻斗右斗偏离越大时,不同雨强实测降水误差越大,与试验2结论相同。由翻斗翻动每斗平均降水损失分析,每组测量误差最小的上翻斗与计量翻斗最大承水量模拟,降水损失是不一样的,如组3中第二行4 mm/min强度降水损失为0.44 mL/斗,而组4中第一行4 mm/min降水强度损失为0.51 mL/斗。与试验1和试验2结论类似,上翻斗与计量翻斗相同模拟降水情况下,不同雨强实测误差相差不大。

4 结论

由人工模拟降水分析双翻斗雨量传感器上翻斗与计量翻斗协调性对测量误差影响试验初步得出如下结论:

(1)双翻斗上翻斗的增加,会带来上翻斗与计量翻斗翻斗协调性问题,影响降水测量准确度。当上翻斗最大承水量不合理、计量翻斗最大承水量合理时,实测降水偏小,原因为上翻斗与计量翻斗翻斗不协调使降水损失增加;当上翻斗最大承水量合理,计量翻斗最大承水量不合理时,计量翻斗最大承水量不合理程度对降水测量准确度影响较大;并且不是上翻斗(或计量翻斗)最大承水量调节合理就一定会使测量误差小,而是上翻斗与计量翻斗翻斗协调性好才会使测量误差小。

(2)双翻斗上翻斗的增加不能完全解决单翻斗雨量计因降水强度大小不同引起的测量误差这一固有问题,但明显缩小了不同雨强下降降水测量误差偏差,在试验中4 mm/min与1 mm/min降水强度,两

者降水实测最大偏差2%。

总之,双翻斗雨量传感器上翻斗(或计量翻斗)的最大承水量都是人为调节的,往往因人工调节不合理使上翻斗与计量翻斗翻动协调性不好,造成测量误差,建议利用虹吸原理装置代替上翻斗,可使不同强度降水在流入计量翻斗流速一致的同时,减少人为调节因素的干扰,提高测量准确度。

文本试验的不足在于仅利用一台SL3-1型双翻斗雨量传感器进行了试验,后续需对多台传感器进一步试验,对上述所得结论的代表性进行验证。

参考文献

- [1] 刘振东. 翻斗雨量计误差试验研究及改正措施[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [2] 杨传霞. 翻斗式雨量传感器误差探析[J]. 西北水利发电,

2005, 21(增刊):131.

- [3] 包为民, 瞿思敏. 遥测系统降雨观测误差估计方法研究[J]. 水利学报, 2003(4):30-31.
- [4] 冯讷敏. 雨量仪器综述[J]. 水利水文自动化, 2001(3):1-6.
- [5] 舒荣军, 赵俊华. SL-3型遥测雨量传感器计量误差分析[J]. 安徽气象, 2004(1):25.
- [6] 上海气象仪器厂. SL3-1翻斗式雨量传感器使用说明书[Z].
- [7] 杜衍君. SL3-1型双翻斗雨量传感器的工作原理及故障排除[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(35):17231-17232.
- [8] 李黄. 自动气象站实用手册[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [9] 王子海. 漏斗数学模型在雨量传感器中的应用[J]. 气象水文海洋仪器, 2005(2):27-29.
- [10] 韩广鲁, 边文超. 双翻斗雨量传感器测量数据不确定度评定[J]. 气象科技, 2014, 42(5):773-776.
- [11] 杨汉塘. 翻斗雨量计动态计量系统误差来源及其改善措施[J]. 水利水文自动化, 2001(4):20-25, 36.

Analysis of Measurement Errors of Double Tipping Raingauges

Li Ruifeng^{1,2} Chen Suting¹ Zhang Jin³

(1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 2 Shuozhou Meteorological Service, Shanxi, Shuozhou 036000; 3 Huayun Sounding (Beijing) Meteorological Science and Technology Co. Ltd., Beijing 100081)

Abstract: The measurement errors of SL-3 type double tipping rainauge due to the coordination problem are analyzed through a precipitation simulation experiment. The results show: The improperly adjusted capacity of up-tipping but proper capacity of down-tipping make precipitation loss increase, leading to small measurement value because of the coordination problem of up and down tipping. For example, when rainfall intensity is 1 mm/min and the capacity of right up tipping is less 0.4 mL, the precipitation measurement error is -4%. In contrast, proper up tipping but improper down tipping brings the greater measurement error. When rainfall intensity is 1 mm/min and the capacity of right down tipping less 0.4 mL, the precipitation measurement error is +11%. Sometimes, the measurement error of improperly adjusted capacity of both tipping is smaller than that of one improper and the other proper. Meanwhile, the design of double tipping rainauge cannot completely solve the problem of measurement error induced by different precipitation rates, but can reduce the error obviously. The maximum deviation of precipitation measurement is 2% in the 4 mm/min and 1 mm/min condition. The solution of using siphon principle equipment to replace the up tipping is proposed, to reduce the effect of manual adjustment.

Keywords: double tipping rainauge; coordination of up and down tipping; measurement error