

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20190102

巴林桥水文站电波流速仪流量参数率定

于红梅¹, 李莉莉¹, 刘彦琳¹, 李洪志¹, 曲志晶², 孙卫东¹

(1.内蒙古自治区赤峰市水文勘测局, 内蒙古 赤峰 024000;

2.内蒙古兴安盟科右前旗科尔沁镇人民政府水工站, 内蒙古 兴安盟 137400)

摘要:科技的发展带动技术的进步, 针对水文行业的新设备应运而生。雷达波流速仪具有不接触水体、全天候工作、高度智能化的特点, 是应对中高洪水流量测验安全、有效的一种测验设备。但是电波流速仪测量的只是水面流速, 如何应用这种仪器来达到测流目的, 使其测量结果满足水文规范的要求, 还需要经过分析实验。利用两年时间对巴林桥断面水面流速系数进行比对分析, 着重考虑了风的影响, 确定得出不同量级洪水在不同风速下的水面流速系数。根据合理、准确的测验方式及利用该系数计算成果的两种方法的一致性, 将取得的成果资料在今后测验中全面投入使用。

关键词:SVR; 不同风速比测; 利用系数计算流量; 参数率定

中图分类号:P335^{+.1}

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2020)03-0051-06

随着科技进步, 大量先进的测流设施进入水文系统, 雷达波流速仪(SVR)作为一种新型自动化测流设备已经被水文行业认可。流速流量已有转子式流速仪、ADCP、时差法流速仪等国际标准和相应的流量测验规范, 这些仪器已在国内外普遍应用^[1]。从流速仪的保有量上看, 目前的河流测验以传统的转子式流速仪和ADCP为主。在冰凌、高泥沙、洪水期、浅水小河流等场景下, 电波流速仪能补充甚至取代流速仪和ADCP进行流速测量^[2]。

电波流速仪在测量过程中不受水情、含沙量、杂草及水面漂浮物等影响, 故特别适用于水情复杂、水流湍急、含沙量较大、水面漂浮物较多以及普通转子式流速仪无法入水等特殊水情下的水面流速测量^[3]等特点, 特别适用于赤峰地区的河流特性。

雷达波流速仪在进行测流工作时完全暴露在自然环境中, 因此会受到各种气候变化的影响, 其中以风荷载作用的影响最为明显。本文着重考虑了不同风速的影响情况, 将选用的实测资料进行处理、计算, 分析电波流速仪和转子式流速仪所测水面流速间的相关关系, 建立两变量之间的关系式, 即回归方程, 以此来确定电波流速仪在巴林桥水文站使用时的水

面流速系数。

1 流域概况及河流特性

巴林桥水文站位于赤峰市巴林右旗, 是西拉木伦河上游的控制站, 国家重要水文站, 集水面积为11 207 km²。巴林桥水文站测验河段较顺直, 河道冲淤变化较大, 河床由细沙组成。基上25 m为铅鱼缆道测流断面, 基下30 m为公路桥, 桥高11 m。两岸岩石, 左岸高3.0 m, 右岸高4.0 m。主河槽宽120 m。根据巴林桥水文站测洪方案可知, 流量在50 m³/s以下, 可以涉水测流, 流量在50~1200 m³/s之间, 可以采取铅鱼缆道和SVR桥测, 流量在1 200 m³/s以上, 采用SVR桥测。

2 比测仪器介绍

2017年小水比测仪器为LB70型与SVR, 中高水为LS25型与SVR, 共计131份。2018年小水比测仪器为LS68型与SVR, 中高水为LS25型与SVR, 共计130份。

LB70型旋杯回转直径: $\varphi 130$ mm, 理论水力螺距: 700 mm, 起转速度: 0.06 m/s, 测速范围为0.07~6 m/s, 每5转1个信号。LS68型旋杯回转直径: $\varphi 128$ mm, 旋浆

收稿日期: 2019-04-02

作者简介: 于红梅(1986-), 女, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水文水资源方面的工作。E-mail: 375499770@qq.com

水力螺距:680mm,仪器的起转速度 $\leq 0.06\text{m/s}$,测速范围为0.20~3.5m/s,每5转1个信号。LS25-1型测速范围:0.06~7.0m/s,工作水深:一般不大于24m,仪器的起转速度: $\leq 0.05\text{m/s}$,浆叶螺距:250mm,每二次信号间浆叶的转数:20转。

SVR(电波流速仪)是一种手持式表面测速雷达,特别适合溪流及河流速度测量。由于体积小,形似手枪,被称为“测速雷达枪”。具有以下特点:①倾斜感应器将自动补偿小于 60° 的垂直(下偏)角度。②当雷达枪从与目标平行方向呈大于 10° 角的方向对准目标时,会产生一个水平(偏离)角,该软件还可补偿这一角度。③耗电少,内置可充电电池。④测量准确度,读数的5%。⑤测速范围0.3~14.10m/s。⑥灵敏度,10级。⑦环境温度变化 $-30\sim 70^\circ\text{C}$ 。⑧额定水平波束宽度 12° 。⑨额定微波功率输出7mW。⑩额定传输频率24GHz。

SVR(电波流速仪)的工作原理:要确定水流速度,首先雷达枪传送和引导微波能量束需要与目标形成一个逼近角;当该能量束中的能量击中目标时,该束中的少量能量将被反射回雷达设备上的天线;反射信号频率的变化量与目标的速度成比例,这就是多普勒效应。最终雷达设备就可通过传输和反射信号的频率差确定目标速度。天线传输无线电波束后,无线电波束在目标区域形成一个椭圆形,波束的大小取决于天线与目标之间的距离,水平波束宽为 12° ;目标离天线越远,检测区域越大。

3 比测方式和系数计算方式

比测方式:SVR与转子式流速仪布设相同的垂线数目同步施测,测定不同垂线的水面流速。小水时,SVR与转子式流速仪同步涉水施测;中高水比测时,铅鱼缆道固定流速仪与SVR桥测同步施测。

SVR测流流量的计算方法:传统的水文流量测验使用转子流速仪在测深垂线上逐点测速,计算平均流速和平均水深最后整个断面相加得出断面流量^[4]。SVR在测深垂线上逐点测速,然后再计算整个断面的平均水面流速,结合所测断面计算出平均水深,最后整个断面相加得出断面虚流量。

SVR是一种水面流速仪,其施测到的流速仅为水面流速,水面流速系数是垂线平均流速与该垂线水面流速之比,其大小决定于垂线的流速分布规律^[5]。而要将其用于流量测验,还必须确定其水面流速系数,通过该系数方可将实测到的水面流速转换为垂线平均流

速,来计算断面流量;或者确定其SVR系数,方可将SVR所测虚流量,转换为断面实际流量^[6]。

因此SVR水面系数的利用通常有两种方式:

(1)分析SVR用水面流速计算的虚流量及转子流速仪用一点法施测的断面流量同步实测的两种试验结果,然后将此虚流量与流速仪所测的断面流量数值相比(将流速仪流量作为分母),建立线性关系进而得出可以满足测站实际情况的相关系数^[7]。

(2)在相同的垂线上同步测速,转子式流速仪测量各垂线的垂线平均流速,SVR测量各垂线的水面虚流速^[8],将转子流速仪所测的每条垂线平均流速与SVR所测的水面流速建立相关关系,寻求变化规律,率定出水面流速系数来计算断面流量。

4 参数调整及影响数据的因素

SVR在测流工作前需要根据实际测流情况,调整水平角、敏感度两个参数。在测流过程中根据水平波束宽度为 12° 的特点安排测点距离和测点数,根据电波流速仪返回的10个流速值检查仪器是否正常,数据是否有效。

4.1 参数调整

(1)水平角:需通过手动设置成要将雷达波流速仪对准的目标角度。然后在整个速度测量过程中,在设定的角度上对准并保持雷达波流速仪的位置。

(2)敏感度(SEN):数字较大时,表示雷达波流速仪应从更远的距离获取水面速度。数字较小时,表示应该减小距离。

4.2 影响数据因素

(1)水平角度补偿问题。当雷达波流速仪与目标(水流流向)平行方向呈大于 10° 角的方向对准目标时,会产生一个水平角的余炫误差,进而导致雷达波流速仪显示错误读数。

(2)测流距离。当天线发出无线电波束时,波束在目标区域形成一个椭圆型波束。这个波束的大小取决于天线到目标的距离。为此,应根据河流的宽度、测量距离适应调整测点数,使采集的测量值能覆盖整个河流的宽度。

(3)波动范围。一个测速垂线上,雷达波流速仪显示的10个流速值的波动问题:在一个测量期间,流速波动值超过0.15~0.24m/s,要检查一下最终值。复测结果一致,则结果有效。

(4)流速过小。风吹过水面产生波浪的移动方向

不同于河水的主流方向。在高流速时,这个影响很小或不存在,不会影响测量的精度。然而,在低流速时(如流速低于 0.30~0.60m/s)这种波浪影响就很大,此时测量的数据就不会反映实际的流速。

(5)敏感度(SEN)。如果敏感度太高,显示的速度可能无法预知且不稳定。因此需选择最适合测量地点的敏感度值。

5 电波流速仪流量测验不确定度分析

电波法的流量测验一次总不确定度由流量测验总随机不确定度和总系统不确定度组成⁹。总随机不确定度的估算,因电波流速仪法没有相关资料,根据《河流流量测验规范》(GB 50179-2015)要求,电波流速测量方法不同于浮标法,不需要 3 个断面的存在;而电波测流断面位置、测深、测速等均同于流速仪法测流¹⁰,因此结合浮标法测流与流速仪法测流两种方法,对计算总随机不确定度的公式进行一些变动,使其更加符合电波流速仪的误差分析。电波流速仪总随机不确定度和总系统不确定度见式(1)~(2):

$$X'_{Qd} = \pm [X'^2_M + X'^2_{kd} + X'^2_{Af} + \frac{1}{M+1} (X'^2_b + X'^2_d + (X'^2_c))]^{1/2} \quad (1)$$

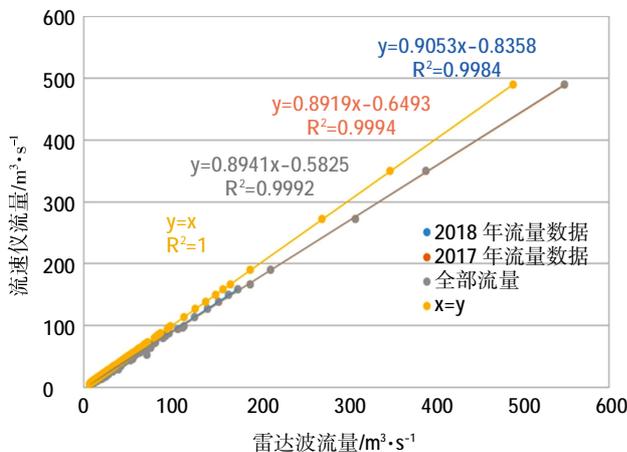
$$X''_Q = \sqrt{X_b'^2 + X_d'^2 + X_c'^2} \quad (2)$$

式中指标均为《河流流量测验规范》(GB50179-2015)规定采用的一类精度水文站在高水时的指标。

6 数据分析

6.1 全部流量与全部流速对比分析

利用两年时间对巴林桥站代表断面进行了 SVR



与转子式流速仪流量、流速的对比观测,结合巴林桥水文站的河流特性,流量在 50m³/s 以下(小水),涉水测流,流量在 50~1 200m³/s 之间(中高水),采取铅鱼缆道和 SVR 桥测。流量、流速比测样本均已全部样本数据为分母来计算相对误差,测验成果整理如下:

对不同仪器、不同风速和不同洪水等级下的全部流量数据、流速数据进行了水面流速系数的比测分析,也是对两种计算方法的比测分析。由图 1、表 1 分析可知,全部相对误差均在 2%以内。根据《河流流量测验规范》中误差统计理论分析,说明数据精度、成果稳定性很高,同时两种计算方法系数误差很小,因此目前由此数据不能区分两种计算方式哪种更优。

表1 流量、流速相关系数统计

Table1 The statistics of flow and velocity coefficients

年份	流量(第一种方法)		流速(第二种方法)		两种方法对比 相对误差/%
	相关系数	相对误差/%	相关系数	相对误差/%	
全部样本	0.8941		0.8925		0.18
2017 年	0.8919	0.24	0.8929	0.04	0.11
2018 年	0.9053	1.25	0.8946	0.23	1.18

6.2 不同风速下的 SVR 水面流速系数对比分析

6.2.1 SVR 水面系数不确定度估算

由于雷达波流速仪会受到各种气候因素的影响,其中风荷载的作用对流速仪测量结果有着较为严重的干扰¹¹。需在不同量级洪水及不同风速下进行多次比测,将比测资料进行水面系数误差统计计算(参照一次流量不确定度估算公式的推导方法),测验成果

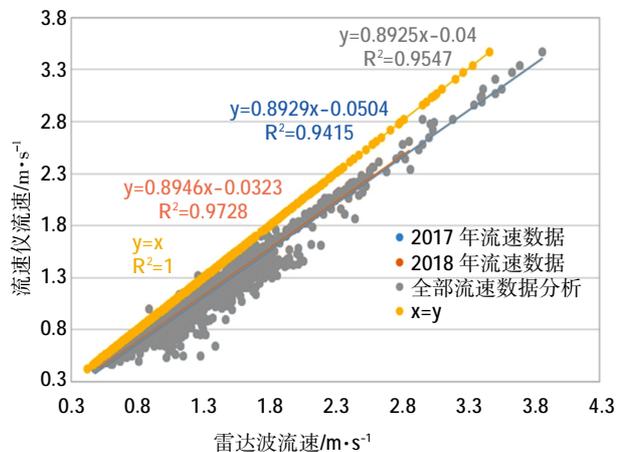


图 1 流量、流速数据对比分析

Fig.1 The comparison analysis of flow and velocity data

整理如下:

图 2、表 2-3 详细地分析了两种方法在不同年份、不同仪器、不同风速以及同种方法在不同年份、不同仪

器、不同风速下的对比,分析了不同年份、不同风速下的电波流速仪水面流速系数不确定度。电波流速仪法的流量测验一次总随机不确定度计算如表 4 所示。

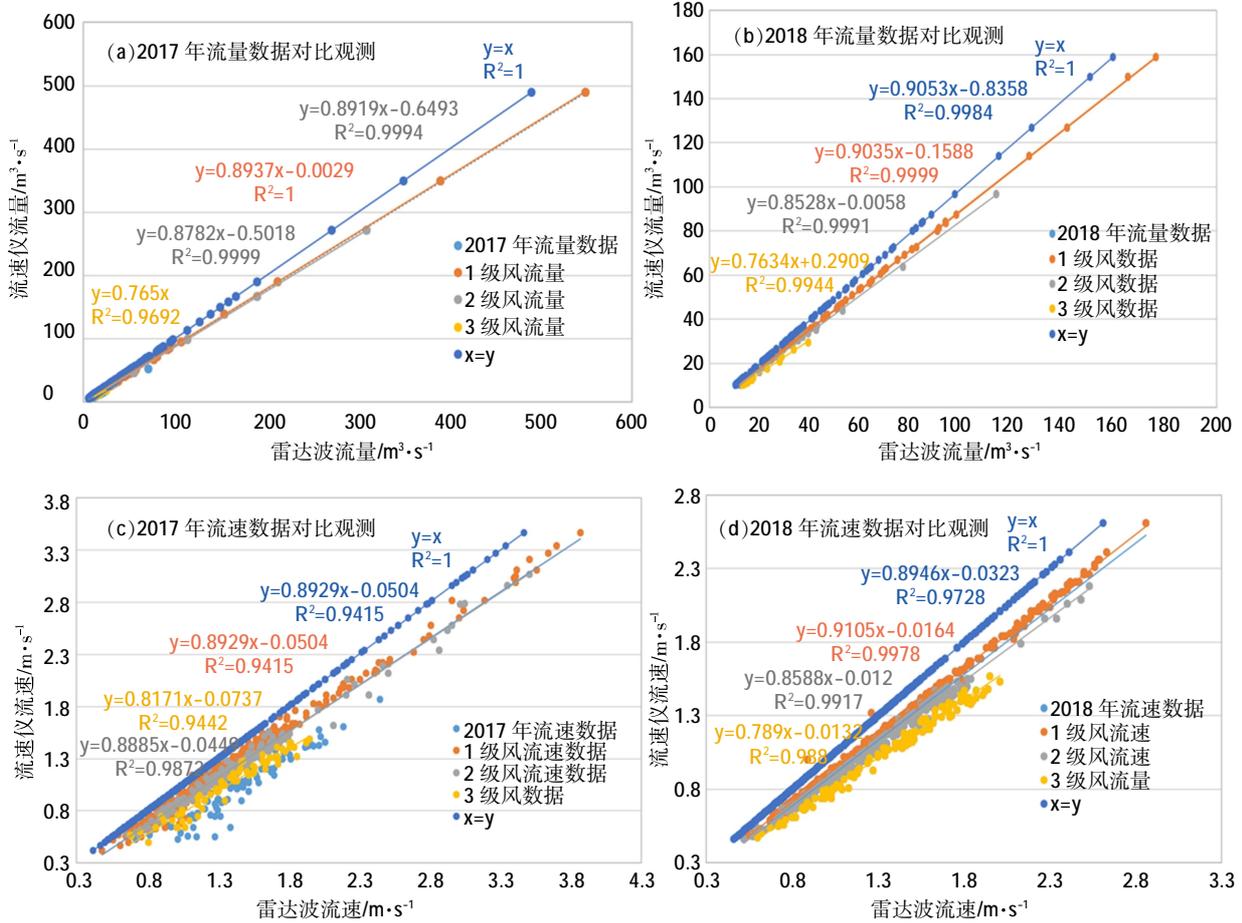


图 2 各级风速下的流量、流速数据对比分析

Fig.2 The comparison analysis of flow and velocity data at different wind speed levels

表2 不同风级下的流量、流速系数统计

Table2 The statistics of flow and velocity coefficients at different wind speed levels

风级	流量		流量		流速		流速		流速 误差/%	
	2017年	相对误差/%	2018年	相对误差/%	误差/%	2017年	相对误差/%	2018年		相对误差/%
全部	0.8919		0.9053		1.50	0.8929		0.8946		0.19
1级风	0.8937	0.20	0.9053	0	1.29	0.9127	2.21	0.9105	1.77	0.24
2级风	0.8782	2.09	0.8528	5.79	2.89	0.8885	0.49	0.8588	4.00	3.34
3级风	0.765	14.2	0.7634	15.6	14.2	0.8171	8.48	0.7890	11.8	3.43

表3 电波流速仪水面系数不确定度统计

Table3 The uncertainty statistics of water surface coefficients of SVR current meter

风级	流量				流速			
	2017年	X'_{kd}	2018年	X'_{kd}	2017年	X'_{kd}	2018年	X'_{kd}
全部	0.8919	18.1	0.9053	14.2	0.8929	20.6	0.8946	13.2
1级风	0.8937	1.91	0.9053	2.09	0.9127	11.3	0.9105	4.64
2级风	0.8782	24.8	0.8528	4.88	0.8885	12.2	0.8588	6.54
3级风	0.765	6.02	0.7634	6.60	0.8171	23.6	0.7890	6.59

表4 电波流速仪一次流量、流速随机不确定度统计

Table4 The statistics of total random uncertainty of flow and velocity of SVR current meter

风级	流量				流速			
	2017年	X' _{Qd}	2018年	X' _{Qd}	2017年	X' _{Qd}	2018年	X' _{Qd}
全部	0.8919	18.5	0.9053	14.7	0.8929	21.0	0.8946	13.8
1级风	0.8937	4.40	0.9053	4.48	0.9127	12.0	0.9105	6.10
2级风	0.8782	25.1	0.8528	6.29	0.8885	12.8	0.8588	7.65
3级风	0.765	7.21	0.7634	7.70	0.8171	23.9	0.7890	7.69

电波流速仪法的流量测验一次总系统不确定度计算如式(3)所示。

$$X_Q'' = \sqrt{X_b''^2 + X_d''^2 + X_c''^2} = \pm 0.87\% \quad (3)$$

2017年、2018年电波流速仪法的流量测验一次总不确定度计算如表5所示。

表5 电波流速仪一次流量、流速总不确定度统计

Table5 The statistics of total systematic uncertainty of flow and velocity of SVR current meter

风级	流量				流速			
	2017年	X _{Qd}	2018年	X _{Qd}	2017年	X _{Qd}	2018年	X _{Qd}
全部	0.8919	18.5	0.9053	14.8	0.8929	21.0	0.8946	13.8
1级风	0.8937	4.48	0.9053	4.56	0.9127	12.0	0.9105	6.16
2级风	0.8782	25.1	0.8528	6.35	0.8885	12.9	0.8588	7.70
3级风	0.765	7.26	0.7634	7.75	0.8171	23.9	0.7890	7.74

运用电波法测流水面系数不确定度的结果还是比较理想,结果具体如表6所示,根据计算结果比较分析,认为SVR电波流速仪系数比测分析结果是理想的,其综合不确定度和系统误差都在误差范围内,基本达到流量测验规范对误差的要求,成果可以应用于实际测量中。

6.2.2 不同风速下两种方法的对比分析

1级风速下的流量163份,流速1612份;2级风速下的流量59份,流速604份;3级风速下的流量28份,流速296份全部为低水。比测成果如表7所示。

表6 电波流速仪水面流速系数比测试验误差分析统计

Table6 The error analysis statistics of the water surface velocity coefficient ratio measurement of SVR current meter

风级	流量不确定度						流速不确定度					
	2017年	X' _{kd}	X _{Qd}	2018年	X' _{kd}	X _{Qd}	2017年	X' _{kd}	X _{Qd}	2018年	X' _{kd}	X _{Qd}
全部	0.8919	18.1	18.5	0.9053	14.2	14.8	0.8929	20.6	21.0	0.8946	13.2	13.8
1级风	0.8937	1.91	4.48	0.9053	2.09	4.56	0.9127	11.3	12.0	0.9105	4.64	6.16
2级风	0.8782	24.8	25.1	0.8528	4.88	6.35	0.8885	12.2	12.9	0.8588	6.54	7.70
3级风	0.765	6.02	7.26	0.7634	6.60	7.75	0.8171	23.6	23.9	0.7890	6.59	7.74

表7 两种计算方法在不同风速下的相关系数统计

Table7 The correlation coefficients statistics of two calculating methods under different wind speeds

风级	2017年		相对误差/%	2018年		相对误差/%
	流量	流速		流量	流速	
1级风	0.8937	0.9127	1.29	0.9053	0.9105	0.24
2级风	0.8782	0.8885	2.89	0.8528	0.8588	3.34
3级风	0.765	0.8171	14.2	0.7634	0.789	3.43

根据表7可知,1级风速下的两种计算方法相对误差为很小,因此可以取其平均值使用,最后确定巴林桥水文站1级风速下的SVR水面流速系数为0.90。2级风速下的两种计算方法的相对误差在3.5%以内,可以确定巴林桥水文站2级风电波流速仪水面流速系数为0.87。

2017年3级风速下的两种计算方法的相对误差较大,2018年3级风速下的两种计算方法的相对误差在3.5%以内,经过前面误差分析和不确定度的计算可知,3级风速下的比测数据都是在误差范围内的,数据可以使用,但由于3级风流量全部为低水,且流量样本数据严重不足,因此导致3级风两种计算方法存在差异,不能采用取平均的方法进行电波流速仪水面系数的率定值,因此需要加入2019年的3级风速下的比测数据再进行分析率定。

7 结论

本文对巴林桥水文站通过两年的比测分析,反复的现场实践、整理、归纳,又通过对比他人的比测结果,得出以下结论。

(1)巴林桥水文站电波流速仪水面流速系数在不同风速下系数存在很大不同,因此不能使用一个系数,要根据风级的不同采取不同的系数。

(2)本文对目前电波流速仪水面系数计算流量的两种常用的计算方式进行了为期两年的比测,数据样本足,考虑了多方面的影响因素,最后得到的结论是

两种计算方法相对误差很小,结果基本相同,可将结论用于今后的测验中,也为今后在当地推广应用该仪器提供了经验与实例。

(3)由于巴林桥水文站地理位置和河流特性的特殊性,上下游断面来水情况及来水的传播时间影响,通过结合该站历年较大洪水的发生条件可知,该站的大洪水都是在1级风速和2级风速下发生。

(4)数据结果显示,风对电波流速仪的影响尤为关键,因此对于其他洪水伴随着大风的河流断面应着重考虑风速的影响。

(5)在抢测洪峰和水文巡测工作中,可以提高报汛时效和精度,在转子流速仪发生故障或无法施测时,或是为了加密流量测次时,电波流速仪不失为一种方便快捷的好方法。

参考文献:

- [1] 姚永熙. 国内外应用水文仪器简析 [J]. 水文, 2018,(4):2-3. (YAO Yongxi. Analysis of applied hydrometric instruments in China and abroad [J]. Journal of China Hydrology, 2018,(4):2-3. (in Chinese))
- [2] 王华, 曹双, 章家保, 等. 河流流速仪应用现状及其适应性分析[J]. 水利水电快报, 2018,(12):10. (WANG Hua, CAO Shuang, ZHANG Jiabao, et al. Application status and adaptability analysis of River flow meter [J]. Express Water Resources and Hydropower Information, 2018,(12):10. (in Chinese))
- [3] 王岚. SVR 电波流速仪在水文中的应用与比测 [J]. 能源与节能, 2016,(6):1-2. (WANG Lan. Application and comparing measurement of SVR electric wave current meter in hydrology [J]. Energy and Energy Conservation, 2016,(6):1-2. (in Chinese))
- [4] 范立金. 电波流速仪雷达测速枪的应用 CA0 研究 [J]. 陕西水利, 2012,(4):1. (FAN Lijin. Application research of radar velocity detector [J]. Shaanxi Hydrology, 2012,(4):1. (in Chinese))
- [5] 李文平, 陈志洁, 慕明清, 等. 电波流速仪应用分析试验研究[N]. 中国水利学会, 2006,(10):2. (LI Wenping, CHEN Zhijie, MU Mingqing, et al. Application analysis of radio wave current meter [N]. Chinese Hydraulic Engineering Society, 2006,(10):2. (in Chinese))
- [6] 齐斌, 高贵成, 郭成山, 等. 电波流速仪系数分析试验研究[J]. 水文, 2004,(1):1-2. (QI Bin, GAO Guicheng, GUO Chengshan, et al. Experimental study on coefficient analysis of surface velocity radar [J]. Journal of China Hydrology, 2004,(1):1-2. (in Chinese))
- [7] 刘中利, 陈学虞, 陈若楠. 电波流速仪在黄河水文监测中的运用[J]. 科技创新导报, 2017,(16):2. (LIU Zhongli, CHEN Xueyu, CHEN Ruonan. Application of radio wave flowmeter in hydrological monitoring of the Yellow River [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2017,(16):2. (in Chinese))
- [8] 丁涛. 电波流速仪与旋桨式流速仪测流应用分析 [J]. 新疆水利, 2017,(3):1. (DING Tao. Analysis of flow measurement of radio wave flowmeter and propeller flowmeter [J]. Xinjiang Water Resources, 2017,(3):1. (in Chinese))
- [9] 张孝军. 堰塞湖水文应急监测方案的设计 [J]. 水利水文自动化, 2010,(1):1-5. (ZHANG Xiaojun. Preliminary study on hydrological emergency monitoring scheme for dammed lake [J]. Hydrologic Automation, 2010,(1):1-5. (in Chinese))
- [10] 任淑娟, 贾康中, 权雄章, 等. SVR 电波流速仪的比测试验与分析 [J]. 现代农业科技, 2010,(22):2-4. (REN Shujuan, JIA Kangzhong, QUAN Xiongzhong, et al. Comparative test and analysis of SVR electromagnetic current meter [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2010,(22):2-4. (in Chinese))
- [11] 姚俊杰. 风力作用对雷达波流速仪姿态扰动研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2015,(6):13. (YAO Junjie. Study on Attitude Disturbance of Wireless Radar Wave Current Meter under Wind Loads [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2015,(6):13. (in Chinese))

Flow Parameters Calibration of the Electric Wave Current Meter at Balingqiao Hydrometric Station

YU Hongmei¹, LI Lili¹, LIU Yanlin¹, LI Hongzhi¹, QU Zhijing², SUN Weidong¹

(1. Chifeng Hydrologic Survey Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Chifeng 024000, China;

2. Horqin County Hydraulic Station, Keyou Front Banner, Inner Mongolia, Hinggan League 137400, China)

Abstract: The development of science and technology has led to the emerging of new equipment in the hydrological industry. The surface velocity radar has characteristics of no contact with water body, all-weather work, and high intelligence. It is a safe and effective equipment for the mid-to-high flood flow test. However, the surface velocity radar only measures the water surface velocity. How to use it to achieve the purpose of current measurement and make its measuring results meet the requirements of hydrological specifications requires further analysis and experiments. This paper compared and analyzed the water surface velocity coefficients of the cross section at Balingqiao station based on the wind influence for two years, then determined the water surface velocity coefficient of different magnitude floods at different wind speeds. Based on the consistency of two methods in calculating flow, the results data could be applied to the future tests.

Key words: surface velocity radar; comparison of different wind speed; calculate flow by using coefficients; parameter calibration