

# Flow Rate Deviation Calculation and Simplified Analysis of Velocity Measuring Perpendicular

Qinghua Ma

Zhaotong Branch of Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Zhaotong Yunnan  
Email: 1359221771@qq.com

Received: Mar. 4<sup>th</sup>, 2016; accepted: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2016; published: Mar. 30<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

To promptly and effectively monitor water condition and ensure the accuracy of discharge data, the last three years measured velocity data at Yiliang hydrological station were selected for error deviation calculation, correlation analysis of sectional mean velocity and the per unit flow rate. Concrete scheme of simplified method has been confirmed and serves as a supplementary project of the high flood measurement. The results showed that the sectional mean velocity, 10 m or 14 m away from initial point, was closely related to the per unit flow rate. These results, which meet the defined requirements of error, can be used in the emergency determination of peak flow.

## Keywords

Simplified Method, Error Deviation Calculation, Regression Analysis, Yiliang Hydrological Station

---

# 流速误差偏离计算及测速垂线精简分析研究

马清华

云南省水文水资源局昭通分局, 云南 昭通  
Email: 1359221771@qq.com

收稿日期: 2016年3月4日; 录用日期: 2016年3月23日; 发布日期: 2016年3月30日

作者简介: 马清华, 男, 水文工程师, 主要从事水文分析计算和水资源调查评价工作。

文章引用: 马清华. 流速误差偏离计算及测速垂线精简分析研究[J]. 水资源研究, 2016, 5(2): 150-154.  
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.52019>

## 摘要

为能及时、有效测控特殊水情，保证流量资料精度，选取彝良水文站近三年的常测法流速资料进行误差偏离计算，分析断面平均流速与单位流速的相关关系，确定简测法的具体方案，将其作为高洪测流方案的一个补充。结果表明：起点距10 m和14 m处的断面平均流速与单位流速关系密切，满足误差规定要求，可在抢测洪峰流量时使用。

## 关键词

简测法，误差偏离计算，回归分析，彝良水文站

## 1. 引言

洛泽河属长江流域金沙江下段水系横江的主要支流，发源于贵州省威宁县草海，由东南向西北流经熊家沟进入云南省昭通市境内，经彝良县城、大关青冈、大关天星镇和岔河后与洒渔河相汇进入关河。流域面积 4491 km<sup>2</sup>，其主要支流有松林河、发达河、龙潭河等。流域属低纬度、高海拔、受季风控制和新月形台阶地形影响的季风高原型气候，暴雨天气系统以冷锋切变和冷锋低槽居多，受特殊的地形、气候和地理环境影响，流域内单点暴雨发生的频次较高，易发生陡涨陡落的大洪水。彝良水文站位于云南省彝良县角奎镇大河办事处朱家沙坝，地处县城东南边，距离中心城区约 2.0 km，集水面积 3667 km<sup>2</sup>。2011 年 1 月开始水位、流量、降水和水质项目监测，全年采用缆道流速仪法测流。

洛泽河流域沿岸的江边河谷地带人口分布较集中，城镇、民房及路网建设中产生大量的工程弃土、弃石，有的甚至直接倾倒入河道中，遇暴雨、洪水时河道冲淤变化频繁，洪水陡涨陡落，水位变幅大，洪水含沙量较大，漂浮物较多，洪峰量级大，破坏性强。而流域内大量的梯级电站调度运行，改变了河流的天然属性，使河槽洪水传播过程复杂，洪峰涨落急剧，峰顶持续时间很短。常测法测流受测流历时和测速垂线数目限制，抢测流速特别困难，当测流历时过长，水位变幅较大时，相应水位就难以求准，计算出的流量也就缺乏真实性，资料的精度也较难达到规范要求。受测验河段地理位置影响和测验设施的限制，彝良站未开展比降水尺观测及浮标测流工作，建站至今一直采用缆道流速仪法测速，没有其他应急测流方案。在高洪情况下洪水含沙量太大，使智能流量声学设备换能器声波的发射和接收受到直接影响，其使用范围受限。而断面附近也没有跨河大桥，水平角修正的任意性问题也给电波流速仪-雷达测速枪的运用带来局限。根据高洪流量测验方法规定，在规划部署高洪期测流时，应优先采用流速仪法和 ADCP 法，其次才是水面浮标法和比降~面积法[1]。

面对如此单一的高洪测流方案和水文监测现状，研究简便易行的应急测流方法就显得十分重要。流速仪法测速垂线精简分析研究的目的是，在保证资料精度满足规范要求的前提下，精简垂线、测点及测速历时，在水位涨落急剧、漂浮物较多的情况下，尽可能争分夺秒开展抢测工作。本文应用常测法资料按简测法的误差界限要求进行分析计算，找出在规定精度指标要求范围内的断面平均流速与单位流速(垂线流速或其流速平均值)的相关关系，得出简测法的具体方案，作为高洪测流方案的一个补充。当测站出现特殊水情，用常测法方案抢测洪峰流量有困难时，即可应用此方案，其成果具有很强的实用性。

## 2. 基本水文资料的选取及分析方法

2001 年，彝良站测验断面右岸为天然斜坡，过水断面冲淤变化很小，断面面积变化相对误差低水位级为 4.7%，高水位级仅为 1.49%。2012 年 1 月至 2013 年 5 月，本站测验断面右岸的天然斜坡因彝良县洛泽河大道

挡土墙施工影响,导致测验断面面积变化很大。经分析计算得知,受影响前后面积相对偏差低水位级达到 49.9%,高水位级达 45.2% (统计分析表略)。2013 年 6 月 6 日第一场大洪水后,断面冲淤变化基本趋于稳定。统计分析 2013 年的第二次至 2015 年的第三次共 8 次断面测量成果,面积平均相对偏差低水位级为 5.87%,中水位级为 2.94%,高水位级仅为 2.04%,成果详见表 1。

为使实测流速分析数据具有代表性,从彝良站 2013~2015 年资料中分别选取 44 次、64 次和 66 次低、中、高各个水位级实测流速数据进行误差分析计算,按照简测法的误差界限要求,应用回归分析法建立单位流速~断面平均流速关系,进行相关分析,找出各点据在规定精度指标要求范围内的误差偏离值,从而得出简测法的具体方案。

### 3. 断面平均流速与单位流速误差偏离计算及相关分析

#### 3.1. 简测法及其误差界限

简测法是为适应特殊水情,在保证资料精度满足规范要求的前提下,经过精简分析,用尽可能少的垂线、测点测速,计算断面平均流速,并结合断面面积计算出流量值。由于本站近年来没有精测资料,因此选用常测法资料进行相关分析。根据《水文测验与查勘》规定:选用常测法资料进行分析时,当累积频率达 75% 以上的偶然误差不超过 $\pm 4\%$ ,累积频率达 95% 以上的偶然误差不超过 $\pm 8\%$ 时,系统误差不超过 $\pm 1\%$ 时,这些垂线、测点可作为简测法使用[2],见表 2。

#### 3.2. 单位流速误差偏离计算及回归统计分析

对起点距 10 m、14 m、18 m 和 22 m 处的垂线平均流速(以下简称  $V_{10}$ 、 $V_{14}$ 、 $V_{18}$ 、 $V_{22}$ )与断面平均流速(简称  $V_{\text{平}}$ )进行相关分析(即分析  $V_{10}\sim V_{\text{平}}$ 、 $V_{14}\sim V_{\text{平}}$ 、 $V_{18}\sim V_{\text{平}}$ 、 $V_{22}\sim V_{\text{平}}$ );再分别计算出起点距 10 m 与 14 m 处垂线平均流速的算术平均值[简称  $V_{(10+14)/2}$ ],10 m、14 m 与 18 m 处垂线平均流速的算术平均值[简称  $V_{(10+14+18)/3}$ ],14 m 与 18 m 处垂线平均流速的算术平均值[简称  $V_{(14+18)/2}$ ],14 m、18 m 与 22 m 处垂线平均流速的算术平均值[简称  $V_{(14+18+22)/3}$ ]以及 18 m 与 22 m 处垂线平均流速的算术平均值[简称  $V_{(18+22)/2}$ ] (计算表略)。对  $V_{(10+14)/2}\sim V_{\text{平}}$ 、 $V_{(10+14+18)/3}\sim V_{\text{平}}$ 、 $V_{(14+18)/2}\sim V_{\text{平}}$ 、 $V_{(14+18+22)/3}\sim V_{\text{平}}$ 、 $V_{(18+22)/2}\sim V_{\text{平}}$  分别进行相关分析(图略)。并计算累积频率 100%、95% 和 75% 以上各点据的偶然误差偏离值及其系统误差,结果见表 3。

从表 3 可以看出: $V_{(10+14)/2}\sim V_{\text{平}}$ 、 $V_{(10+14+18)/3}\sim V_{\text{平}}$  和  $V_{(14+18+22)/3}\sim V_{\text{平}}$  [即⑤、⑥、⑧]的偶然误差偏离值和系统误差均满足表 2 规定要求。为应对特殊水情条件下的洪水抢测,在满足规定精度要求前提下,最大限度地缩短测流历时,用尽可能少的垂线测速,计算断面平均流速,在⑤、⑥、⑧三个系列中选取第⑤个作为测速垂线精简的分析方案,相关分析图略。在实际应用中,为了提高方案的精度,将 2013~2015 年各年累积频率  $P = 75\%$  以上的共计 136 次实测流速数据进行合并处理,计算得出:累积频率 100% 的偶然误差为 5.48%;累积频率 95% 以上的偶然误差为 4.93%,比规定误差界限偏小 38.4%;累积频率 75% 以上的偶然误差为 3.44%,比规定误差界限偏小 14.0%,误差偏离值满足规定要求,分析结果科学、合理。

回归方程式为

$$1) y = -0.1086x^2 + 1.6779x - 0.2454 \quad R^2 = 0.9950 \quad \text{累积频率 } P = 95\% \text{ 以上(见图 1(a))}$$

$$2) y = -0.1070x^2 + 1.6809x - 0.2537 \quad R^2 = 0.9978 \quad \text{累积频率 } P = 75\% \text{ 以上(见图 1(b))}$$

式中:  $y$ ——单位流速(垂线流速的平均值) $V_{(10+14)/2}$ ;  $x$ ——断面平均流速  $V_{\text{平}}$ ;  $R$ ——相关系数。

应用该方案时,选取式(2)进行计算。即在抢测特殊水情时,只需施测起点距 10 m 和 14 m 两根垂线处的测点流速,算出其垂线平均流速的算术平均值( $V_{(10+14)/2}$ )后,利用回归方程式(2)计算出断面平均流速,再乘以相应水位对应的大断面面积或最近一次水道断面的面积,即可得出断面流量。

**Table 1. The measured cross-sectional area between the deviation value calculation**  
**表 1. 实测过水断面面积相互间偏离值计算**

年份	测次	832.50 m (低水位级)			834.00 m (中水位级)			835.30 m (高水位级)		
		面积(m <sup>2</sup> )	水面宽(m)	相对误差 (%)	面积(m <sup>2</sup> )	水面宽(m)	相对误差 (%)	面积(m <sup>2</sup> )	水面宽(m)	相对误差 (%)
2013 年	1	34.0	27.5	31.7	81.2	36.7	21.7	132	39.5	14.1
	2	46.8	33.0		101	38.4		152	40.3	
	3	43.8	32.9	6.62	98.3	38.7	2.71	150	40.7	1.32
2014 年	1	43.7	32.9	2.49	98.4	38.9	1.11	150	40.8	0.66
	2	44.8	32.5		99.5	38.9		151	40.8	
	3	48.2	33.9	7.31	103	39.3	3.46	156	41.1	3.26
2015 年	1	49.1	33.9	9.32	104	39.3	5.61	157	41.1	3.75
	2	53.9	34.9		110	39.5		163	41.2	
	3	52.0	34.8	3.59	108	39.5	1.83	161	41.2	1.23

**Table 2. The simple test method of error bound**  
**表 2. 简测法的误差界限**

测流方法	允许误差	偶然误差(实测值减期望值)		系统误差(%)
		累积频率 75% 以上的误差(%)	累积频率 95% 以上的误差(%)	
简测法(以常测法资料精简)		不超过±4	不超过±8	不超过±1

**Table 3. Calculation of error deviation**  
**表 3. 误差偏离计算表**

系列	计算误差 分析类别	2013 年(44 次)				2014 年(66 次)				2015 年(64 次)			
		累积频率 P 以上的 偶然误差			系统 误差 (%)	累积频率 P 以上的 偶然误差			系统 误差 (%)	累积频率 P 以上的 偶然误差			系统 误差 (%)
		100%	96%	76%		100%	96%	76%		100%	96%	76%	
①	$V_{10} \sim V_{平}$	7.53	6.96	4.78	0.01	9.72	8.02	5.17	0.02	8.06	7.08	4.53	-0.1
②	$V_{14} \sim V_{平}$	7.84	6.99	4.60	0.02	8.43	7.60	5.53	-0.03	8.94	8.25	6.14	0.02
③	$V_{18} \sim V_{平}$	8.68	7.22	5.34	0.02	9.32	8.42	5.95	0.02	9.41	8.41	5.90	-0.002
④	$V_{22} \sim V_{平}$	9.20	8.16	5.21	-0.02	10.4	9.36	6.70	0.001	8.30	7.35	5.31	-0.01
⑤	$V_{(10+14)2} \sim V_{平}$	5.35	5.01	3.79	-0.002	6.24	5.47	3.98	0.001	5.90	5.28	3.92	0.02
⑥	$V_{(10+14+18)3} \sim V_{平}$	4.54	4.14	2.91	-0.01	4.82	4.30	2.99	0.002	5.06	4.58	3.30	-0.01
⑦	$V_{(14+18)2} \sim V_{平}$	6.39	5.81	3.90	-0.01	6.62	5.90	4.17	0.004	7.69	6.94	5.30	0.01
⑧	$V_{(14+18+22)3} \sim V_{平}$	5.40	4.72	3.12	-0.02	5.49	4.83	3.51	0.01	6.28	5.72	3.88	0.03
⑨	$V_{(18+22)2} \sim V_{平}$	6.45	5.68	4.13	-0.02	7.15	6.57	5.08	0.01	7.06	6.34	4.04	0.02

说明:  $V_{平}$  为断面平均流速,  $V_{10}$  为起点距 10 m 处的垂线平均流速(以下类推),  $V_{(10+14)2}$  为起点距 10 m 和 14 m 处垂线平均流速的算术平均值(以下类

推)。

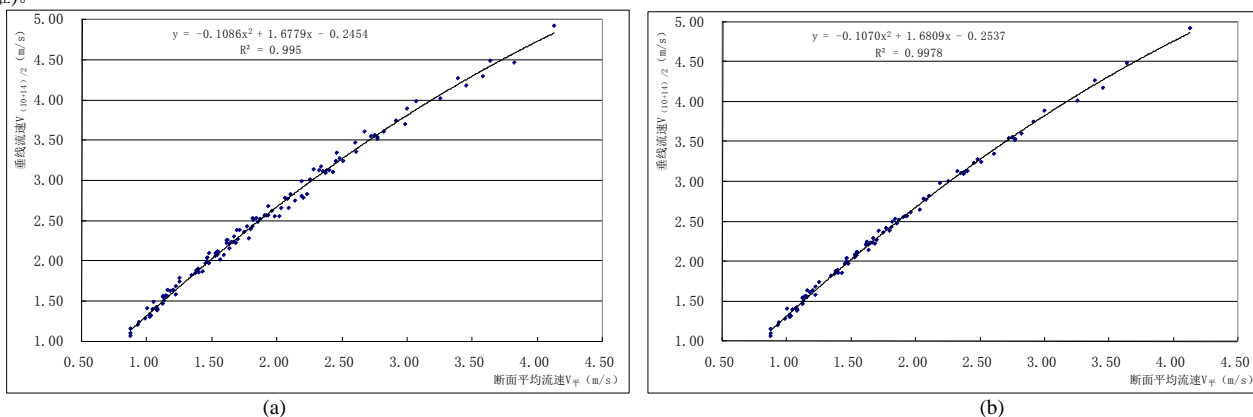


Figure 1. Relation of vertical velocity  $V_{(10+14)/2}$  and average section velocity  $V_{\bar{v}}$  with  $P \geq 95\%$  (a) and  $P \geq 75\%$  (b)  
 图 1. 垂线流速  $V_{(10+14)/2}$ ~断面平均流速  $V_{\bar{v}}$ 关系图(图 1(a)  $P = 95\%$ 以上; 图 1(b)  $P = 75\%$ 以上)

#### 4. 结语

从水文测验手册中得知,水面浮标法的误差限界为总随机不确定度不超过 10%,比降~面积法则是以断面较稳定为前提的,而正确分析糙率变化规律,也是提高比降~面积法测验精度的关键。故简测法方案的测验精度高于水面浮标法和比降~面积法,而且操作方便、快捷[3]。当测站出现特殊水情、特别是洪水暴涨暴落,在测验缆道能够正常使用的前提下抢测洪峰时,测速垂线精简分析研究成果可作为应急测洪方案使用。因洛泽河属于典型的山区性河流,发生大洪水时,水面漂浮物较多,波高浪急,对流速仪的水面定位准确性要求很高,所以要尽可能分秒必争地开展抢测工作。累计一定次数的监测结果进行流量随机不确定度分析,通过分析再回头查找监测过程可能存在的问题,进一步提高对洪峰过程的监测水平。鉴于彝良水文站目前的水文测验现状,即使缆道流速仪法无条件采用时,浮标法或比降~面积法测流也难以开展。所以在日常工作中,必须经常开展测验缆道的安全检查和上油维护等工作,确保测验缆道正常运行。在今后测站监测能力提升过程中,要积极开展走航式 ADCP 或在线式 H-ADCP 等声学多普勒流速剖面仪在水文监测中的应用及其相关分析工作。这样既丰富了测验手段,也为探索水文测验受水利工程影响,导致测流工作量大、洪水抢测难度大及流量监测资料时效性差等问题提供科学、有效的解决途径。

#### 参考文献 (References)

- [1] 林传真,周忠远. 水文测验与查勘[M]. 南京: 河海大学出版社, 1987: 58-71.  
 LIN Chuanzhen, ZHOU Zhongyuan. Hydrological survey. Nanjing: Hohai University Press, 1987: 58-71. (in Chinese)
- [2] 朱晓原,张留柱,姚永熙. 水文测验实用手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013: 438-485.  
 ZHU Xiaoyuan, ZHANG Liuzhu and YAO Yongxi. Practical handbook of hydrological survey. Beijing: Chinese Water Conservancy and Hydropower Press, 2013: 438-485. (in Chinese)
- [3] 杨意诚,朱晓原. 河道流量测验规范 GB50179-93 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1993: 58-61.  
 YANG Yicheng, ZHU Xiaoyuan. The channel flow test specification GB50179-93. Beijing: China Planning Press, 1993: 58-61. (in Chinese)