

黄寺水文站二线能坡法流量自动监测系统的应用与分析

张 鲁 苏 丹 宋 健
菏泽市水文中心 山东菏泽 274000

摘 要：本文以黄寺水文站为依托，介绍了二线能坡法流量自动监测系统（V-ADCP）的组成部分以及二线能坡法将传统流量测验过程中实测 n 条垂线流速变为计算 n 条垂线流速的运算原理，从相应时刻流量、相关性、流量过程线及资料整编成果四个方面，对黄寺水文站 2021 年 6-9 月份 110 次人工流速仪法测得的流量数据与二线能坡法流量自动监测数据进行对比分析，结果表明二线能坡法流量自动监测系统的测流数据较为合理，能够满足黄寺水文站水文流量测验要求。

关键词：黄寺水文站；流量自动监测系统；二线能坡法对比分析

Application and analysis of automatic flow monitoring system of the second line energy slope method in Huangsi Hydrology Station

Lu Zhang Tan Su Jian Song
Heze Hydrologic Center Heze 274000 Shandong Province

Abstract: Based on Huangsi Hydrology Station, this paper introduces the components of the two-line energy slope method flow automatic monitoring system (V-ADCP). The two-line energy slope method changes the measured velocity of n vertical lines into the calculation principle of the velocity of n vertical lines in the traditional flow test. From four aspects of flow rate at the corresponding time, correlation, flow process line, and data compilation results, the flow data measured by manual current meter method 110 times in Huangsi hydrology Station from June to September 2021, and the flow automatic monitoring data by two-line energy slope method were compared and analyzed. The results show that the flow measurement data of the two-line energy-slope method flow automatic monitoring system is reasonable and can meet the requirements of hydrological flow measurement in the Huangsi hydrology station.

Keywords: Huangsi Hydrology Station; Flow automatic monitoring system; Comparative analysis of two-line energy slope method

一、黄寺水文站测站概况

黄寺水文站设立于 1955 年 6 月，位于单县李新庄镇黄寺村，测验断面位于胜利河下游，是胜利河重要控制站，站址以上控制流域面积 1061km^2 。胜利河河道流域面积 1184km^2 ，流域多年平均降水量 694.0mm ，降水量年际变化大，年内分配不均，主要集中在汛期的 6 ~ 9 月份，占全年降水量的 71.9%，属北方季节性河流。

黄寺水文站受流域范围内水利工程对洪水的调节，降雨径流关系紊乱，降雨洪水不配套。黄寺水文站水位流量关系不稳定，随洪水大小及暴雨时空分布的不同变化明显，推流方法多为连实测流量过程线法。为满足连实测流量过程线推流要求，黄寺水文站引进二线能坡法流量自动监测系统（V-ADCP），既节省了人力资源也可实时、便捷的监测测验断面的流量。

二、二线能坡法流量自动监测系统简介

二线能坡法流量自动监测系统是基于曼宁公式的原

理建立流速计算数学模型，根据安装在河底的两个流速传感器由河底向水面发射声波测得垂线流速，通过 2 条实测垂线流速求出能坡参数后，代入数学模型中计算出相应起点距的垂线流速，即把传统方法中实测 n 条垂线流速变成计算 n 条垂线流速进而求出断面流量。

黄寺水文站二线能坡法流量自动监测系统总体结构分为四层，分别是信息采集层、数据集成层、数据存储层、应用层。其中信息采集层在监测点，数据集成层、数据存储层、应用层在信息中心。监测点拥有信息采集功能，采集流速、水位等数据。由信息中心对监测点上传来的流速、水位等数据进行集成，经过流量计算模型得到相应流量。

三、测验成果对比分析

黄寺水文站二线能坡法流量自动监测系统自 2021 年初建成，2021 年汛期 6 月至 9 月期间的共完人工流速仪法测流 110 次，110 次测验成果中包含各级流量数据，且测流过程严格按照规范进行，资料的可靠性和代表性

较好。二线能坡法流量自动监测数据受到水流脉动影响，监测数据不够平滑，出现锯齿状，首先对二线能坡法监测数据进行平滑处理。

将 110 次人工流速仪法流量测验成果与二线能坡法流量自动监测成果进行对比分析，根据黄寺水文站的流量特征，本次论证主要进行四个方面的分析：相应时刻流量对比，相关性分析，流量过程线对比，整编成果对比。

3.1 相应时刻流量对比

本次论证对比首先以人工流速仪测流过程的平均时间为准，选取相对应的二线能坡法流量自动监测系统的数据，分别求取两组数据的绝对偏差 ($Q_{\text{人工流速仪法}} - Q_{\text{二线能坡法}}$) 和相对偏差 ($(Q_{\text{人工流速仪法}} - Q_{\text{二线能坡法}}) / Q_{\text{人工流速仪法}}$)。

同时考虑实际情况下人工流速仪法测得的流量数据为一定时段内的积分数值，二线能坡法流量数据为瞬时值，本次论证首先将人工流速仪法测流时段内的二线能坡法流量数据全部瞬时值求得算术平均值，再将黄寺水文站二线能坡法自动流量监测系统数据和人工流速仪法测流实测数据进行对比。

对比结果如下：

流量在 0~30.0m³/s 之间，偏差较大。人工流速仪法与二线能坡法瞬时值最大偏差达到 -217.39%，其人工监测流量为 2.53m³/s，对应自动监测流量为 8.03m³/s；人工流速仪法与二线能坡法平均值最大偏差达到 159.58%，其人工监测流量为 5.74m³/s，对应自动监测流量为 14.9m³/s。

流量在 30.0~100m³/s 之间，偏差减小。人工流速仪法与二线能坡法瞬时值最大偏差达到 40.05%，其人工监测流量为 40.2m³/s，对应自动监测流量为 24.1m³/s；人工流速仪法与二线能坡法平均值最大偏差达到 40.05%，其人工监测流量为 40.2m³/s，对应自动监测流量为 24.1m³/s。

流量在 100m³/s 以上，偏差较小。人工流速仪法与二线能坡法瞬时值最大偏差达到 9.05%，其人工监测流量为 105m³/s，对应自动监测流量为 95.5m³/s；人工流速仪法与二线能坡法平均值最大偏差达到 9.14%，其人工监测流量为 105m³/s，对应自动监测流量为 95.4m³/s。

由相应时刻流量对比结果分析可知，多数时刻流量的误差较小，当流量数据越大时，黄寺水文站二线能坡法自动流量监测系统监测结果数据越稳定，与人工流速仪法测得数据相对偏差越小。

3.2 相关性分析

黄寺水文站流速仪测流断面和二线能坡法监测断面相差 5m，且无支流汇入，理论上二线能坡法监测的断面流量与人工流速仪法监测数据应该相等，人工流速仪监测数据与二线能坡法监测数据相关关系应成 45° 线分布。但实际监测过程中人工流速仪法会受到一些起点距、水深、测点流速等随机测验误差，造成流量出现误差；二线能坡法计算原理是基于曼宁公式建立的数学模型计

算断面流量，受到参数优化等因素的影响，也会造成流量出现误差。

相关性分析同样参照上述相应时刻流量对比分析，以二线能坡法的瞬时值和平均值两组数据分别与人工流速仪法进行相关性分析，通过分析，二线能坡法瞬时值与人工流速仪法数据的相关系数的平方为 0.9765，详见图 1；二线能坡法平均值与人工流速仪法数据的相关系数的平方为 0.9763，详见图 2。经分析，两组对比数据相关性均较好。

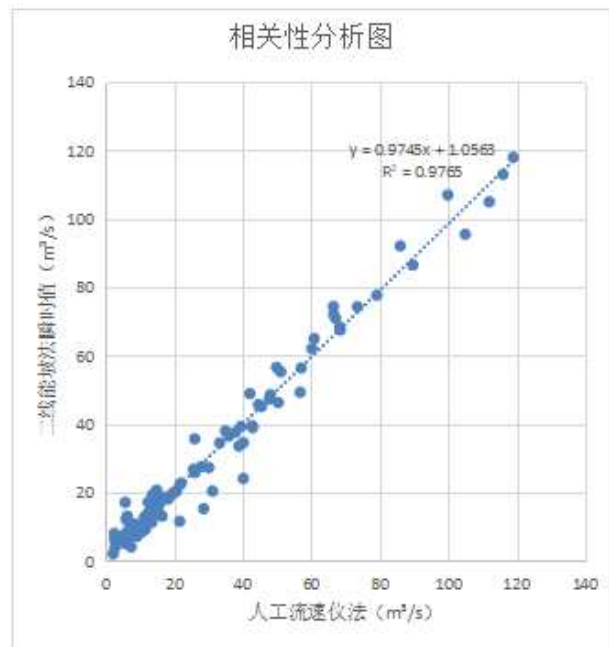


图 1 二线能坡法瞬时值与人工流速仪法相关关系图

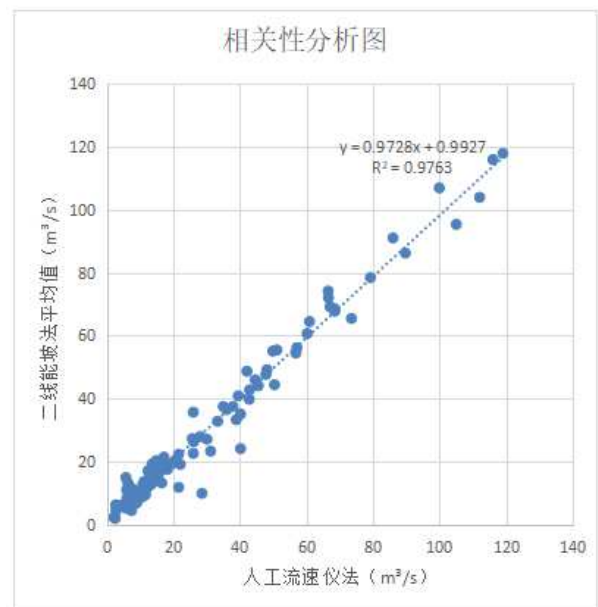


图 2 二线能坡法平均值与人工流速仪法相关关系图

3.3 流量过程线对比

本次论证将 6 月 -9 月份二线能坡法流量自动监测

过程线(上线)与人工流速仪法监测的流量过程线(下线)进行对比,详见图 3-6。通过对比,二者过程线中洪峰的峰型、峰值和出现历时基本保持一致,二线能坡法流量自动监测系统可控制洪水变化过程,满足水文流量测验要求。

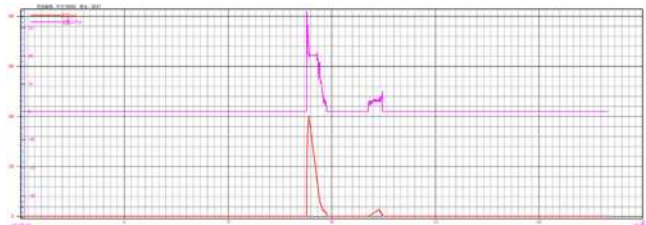


图 3 6 月份流量过程线对比



图 4 7 月份流量过程线对比

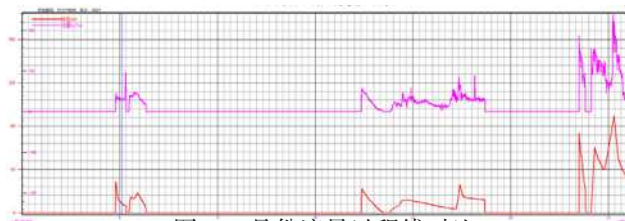


图 5 8 月份流量过程线对比

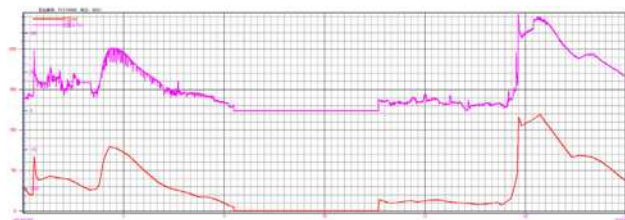


图 6 9 月份流量过程线对比

3.4 整编成果对比

本次论证人工流速仪法数据和二线能坡法数据均采用实测流量过程线法进行日平均流量推求,逐日平均流量成果中黄寺 1 站为二线能坡法数据,黄寺 2 站为人工流速仪法测流数据。

6 月份平均流量分别为人工流速仪法 $0.588\text{m}^3/\text{s}$ 、二线能坡法 $0.617\text{m}^3/\text{s}$; 7 月份平均流量分别为人工流速仪法 $1.13\text{m}^3/\text{s}$ 、二线能坡法 $1.28\text{m}^3/\text{s}$; 8 月份平均流量分别为人工流速仪法 $5.91\text{m}^3/\text{s}$ 、二线能坡法 $5.75\text{m}^3/\text{s}$; 9 月份平均流量分别为人工流速仪法 $29.7\text{m}^3/\text{s}$ 、二线能坡法 $30.0\text{m}^3/\text{s}$; 6 月至 9 月的总径流量分别为人工流速仪法 $0.9746 \times 108\text{m}^3$ 、二线能坡法 $0.9823 \times 108\text{m}^3$ 。

通过数据分析,二者各月平均流量和径流量相差较小,二线能坡法流量自动监测数据满足资料整编的要求。

胜利河 黄寺1站逐日平均流量表

年份: 2021		测站编码: 51215000					流量: (m³/s)		集水面积: (km²)			
月份 日期	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1						0	0	0	29.0			
2						0	0	0	40.4			
3						0	0	0	35.5			
4						0	0	0	33.3			
5						0	0	2.77	75.3			
6						0	0	13.3	62.1			
7						0	0	3.44	41.3			
8						0	0	0	24.7			
9						0	0	0	22.0			
10						0	0	0	15.6			
11						0	0	0	3.95			
12						0	0	0	0			
13						0	0	0	0			
14						5.17	0	0	0			
15						10.6	0	0	0			
16						0	0	0	0			
17						0.756	0	0	0			
18						1.99	0	9.30	3.80			
19						0	2.12	1.95	10.4			
20						0	4.11	10.4	12.5			
21						0	1.19	9.78	13.3			
22						0	1.36	6.31	9.86			
23						0	0	16.2	6.40			
24						0	0	9.34	8.48			
25						0	3.39	0	48.0			
26						0	0	0	111			
27						0	0	0	99.5			
28						0	3.57	0	72.5			
29						0	15.5	15.1	68.8			
30						0	8.50	39.7	52.6			
31							0	40.8				
月统计	平均					0.617	1.28	5.75	30.0			
	最大					36.0	25.8	95.5	124			
	日期					14	19	31	25			
	最小					0	0	0	0			
	日期					1	1	1	11			
年统计	最大流量: 124 m³/s 9月 25日					最小流量: 0 m³/s (6月 1日)			平均流量: (3.11) m³/s			
	径流量: (0.9823) 10⁸m³					径流模数 10³m³/(s.km²)			径流深度: mm			
洪量 10⁸m³	最大1日: 0.0959		3日: 0.2445		7日: 0.3982		15日: 0.4468		30日: 0.7779		60日: 0.9320	
洪量日期	9月 26日		9月 26日		9月 24日		9月 18日		9月 1日		8月 5日	
附注												

胜利河 黄寺2站逐日平均流量表

年份: 2021		测站编码: 51216000					流量: (m³/s)		集水面积: (km²)				
月份	日期	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
	1						0	0	0	33.5			
	2						0	0	0	41.4			
	3						0	0	0	35.9			
	4						0	0	0	31.4			
	5						0	0	3.55	74.8			
	6						0	0	9.91	62.5			
	7						0	0	3.52	40.5			
	8						0	0	0	27.0			
	9						0	0	0	19.7			
	10						0	0	0	14.5			
	11						0	0	0	3.52			
	12						0	0	0	0			
	13						0	0	0	0			
	14						6.99	0	0	0			
	15						9.61	0	0	0			
	16						0	0	0	0			
	17						0.162	0	0	0			
	18						0.870	0	9.05	3.75			
	19						0	3.21	2.14	10.5			
	20						0	5.24	9.24	12.0			
	21						0	1.45	9.03	13.0			
	22						0	1.82	5.20	10.6			
	23						0	0	12.5	8.56			
	24						0	0	8.60	9.17			
	25						0	2.32	0	53.2			
	26						0	0	0	113			
	27						0	0	0	93.5			
	28						0	2.93	0	69.0			
	29						0	12.5	15.4	63.8			
	30						0	5.71	39.0	47.1			
	31						0	0	56.2				
月统计	平均						0.588	1.13	5.91	29.7			
	最大						40.2	26.0	89.7	119			
	日期						14	19	31	26			
	最小日期						0	0	0	0			
年统计	最大流量: 119 m³/s	9月 26日		最小流量: 0 m³/s		(6月 1日)		平均流量: (3.09) m³/s					
	径流量: (0.9746) 10⁸m³			径流模数		10³m³/(s.km²)		径流深度:		mm			
洪 量 10⁸m³	最大1日: 0.0976	3日: 0.2380		7日: 0.3877		15日: 0.4382		30日: 0.7785		60日: 0.9290			
洪量日期	9月 26日	9月 26日		9月 24日		9月 18日		8月 31日		8月 5日			
附 注													

四、结论与建议

4.1 结论

黄寺水文站二线能坡法流量自动监测系统经过一定时期的运行, 设施设备运行稳定, 状态良好。根据上述实测成果对比分析来看, 二线能坡法流量自动监测系统数据可满足测验、整编要求。

4.2 建议

- 1、人工测得流量成果后及时进行参数优化, 测得测验断面大断面成果后及时录入系统进行更新。
- 2、二线能坡法流量自动监测系统的流速传感器可能会受到淤积、碰撞及含沙量的影响, 应加强保护措施

并定期进行维护。

3、随着经济社会的快速发展, 中小河流水文站大规模建设, 如果把流量自动监测系统建设在中小河流站点, 可减小巡测次数, 发挥更大作用。

参考文献:

- [1] 二线能坡法测流规程 (中华人民共和国水利部标准征求意见稿) [S].
- [2] SL61-2003, 水文自动测报系统技术规范 [S].
- [3] SL337-2006, 声学多普勒流量测验规范 [S].
- [4] GB50179-2015, 河流流量测验规范 [S].