

临沂角沂水文站单断沙综合关系分析研究

屈传新¹, 王 凯¹, 韩雨轩²

(1. 临沂市水文中心, 山东 临沂 276000; 2. 中国地质大学经济管理学院, 湖北 武汉 430000)

【摘要】通过相关系数法对角沂水文站 2022—2024 年 56 次实测输沙率成果进行分析, 得到符合规范要求的单断沙综合关系曲线, 系数 k 为 0.991, $C_{s断} = 0.991C_{s单}$ ($C_{s断}$ 为断面含沙量, $C_{s单}$ 为单样含沙量)。通过分析, 角沂水文站单样含沙量在 0.014~5.50 kg/m³ 范围内, 悬移质输沙率可以运用此率定曲线推求单沙与断沙关系。研究成果可为优化角沂水文站含沙量测验方案提供参考, 达到精简测验内容, 提高工作效率的目的, 同时为后续的水利工程规划、河道治理等提供科学依据, 进而改善区域的水生态环境, 保障流域内的人民生命财产安全。

【关键词】角沂水文站; 单断沙关系; 沂河; 三项检验; 偏离分析

【中图分类号】P336

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-02-0074-03

Analysis and Research on the Index-sectional Sediment Concentration Relation at Jiaoyi Hydrological Station in Linyi

QU Chuanxin¹, WANG Kai¹, HAN Yuxuan²

(1. Hydrological Center of Linyi Municipality, Linyi, Shandong 276000, China;

2. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430000, China)

Abstract: Based on the correlation coefficient method, 56 measured sediment discharge data sets from 2022 to 2024 at Jiaoyi Hydrological Station were analyzed, and it's obtained that the index-sectional sediment concentration relation curve meeting the standard requirements with a coefficient k of 0.991, expressed as $C_{s断} = 0.991C_{s单}$ (where $C_{s断}$ is cross-section sediment concentration and $C_{s单}$ is single sample sediment concentration). The analysis shows that at Jiaoyi Hydrological Station when the single sample sediment concentration ranges from 0.014 to 5.50 kg/m³, the suspended sediment discharge can be calculated using this calibrated curve to derive the relation between single sample and cross-section sediment. The research results can provide a reference for optimizing the sediment concentration measurement scheme at Jiaoyi Hydrological Station, simplifying measurement items and improving the efficiency. Meanwhile, they offer a scientific basis for subsequent water project planning, river regulation and similar works, thereby improving the regional water ecological environment and ensuring the safety of people's lives and property in the basin.

Key words: Jiaoyi Hydrological Station; the Index-sectional sediment concentration relation; Benghe River; Three-item inspection; Deviation analysis

河流在流动过程中会对河床及其周边土地进行侵蚀, 将岩石碎片和土壤携带到下游, 特别是汛期洪水过程中, 含沙量急剧升高, 当河流流速减慢时, 这些携带的物质就会形成沉积, 导致河床逐渐升高或淤塞, 给下游水利工程造成不可估量的损失。通过对角沂水文站单断沙关系的深入研究, 可以准确把握沂河中泥沙的含沙量、输沙率、输沙量等关键参数, 发现其在不同水位、不同时间段的变化情况以及它们随时间的变化规

律, 有助于优化泥沙测验的方法和测次布置, 提高泥沙测验的精度和可靠性, 从而更准确地反映沂河泥沙的真实情况, 为后续的水利工程规划、河道治理等提供科学依据, 降低洪水灾害的风险, 更好地进行水资源的合理利用, 改善区域的水生态环境, 促进农业、工业、旅游业等产业的发展, 保障流域内的人民生命财产安全。

收稿日期: 2025-09-12

作者简介: 屈传新(1985—), 男, 工程师

1 基本概况

1.1 流域概况

沭河是沂河最大的一级支流,上游分南、北两支。北支名浚河,其上游唐村河;南支温凉河,河长 82 km,流域面积 759 km²。沭河全长 153 km(从浚河源至河口),流域面积 3 379 km²,下游河床宽 400 m 左右。汇合口以上浚河长 112 km,流域面积 2 626 km²。河道干流坡度 7.7‰。河长在 10 km 以上的一级支流有 22 条,在干、支流上有唐村、许家崖 2 座大型水库,在一、二级支流上有公家庄、吴家庄、安靖等 11 座中型水库。流域内多为山地丘陵,洪水汇流时间短,暴涨暴落。

1.2 测站情况

角沂水文站位于临沂市兰山区兰山街道沟上社区,设立于 1954 年 5 月,距河口 7.3 km,控制流域面积 3 366 km²,系沭河控制站、国家重要水文站。目的是为系统积累水文资料,研究区域水文规律,为防汛抗旱、水资源管理、水生态保护等服务。测验项目有水位、流量、含沙量、输沙率、降水、水质、冰情、墒情、测量、地下水、水文调查等。

角沂站洪水属山溪雨源性,洪水暴涨暴落。实测最高水位 74.42 m(1956 年 9 月 5 日),实测最大流量 4 240 m³/s(1993 年 8 月 5 日),实测最大流速 4.18 m/s(2012 年 7 月 10 日),年最大 24 h 雨量 321.7 mm(1993 年 8 月 4 日),最大含沙量 10.4 kg/m³(1962 年 6 月 24 日)。

1.3 断面情况

角沂站基本水尺断面上游 8 km 处建有花园拦河坝,拦蓄及引出水量。基上 350 m 处于 2006 年建成角沂橡胶坝,拦蓄水量。河段顺直长 2 500 m,主槽宽约 300 m,两岸有滩地,漫滩水位 72.40 m,特大洪水漫滩宽 200 m,主河槽内水草丛生。两岸滩地多栽植乔木,河床页岩质,洪水期冲淤变化较小,左右两岸堤顶为城市干道。河岸为黏土。基下 7.3 km 处入沂河,11.8 km 处建有小埠东橡胶坝。枯水期由于小埠东橡胶坝拦蓄影响,常出现深水缓流现象。

2 研究方法

角沂水文站为二类泥沙测验精度站,汛期降水形成的洪水是造成河流中泥沙含量升高的主

要因素。当含沙量小于 0.005 kg/m³ 时,按河水清澈处理。根据角沂水文站近年来收集的实测输沙率资料,采用水文资料整编系统(SHDP2.0 版)建立历年综合单断沙关系,然后对关系线进行分析、检验,建立单断沙相应关系,以简化水文职工在泥沙测验方面的工作强度,进而实现输沙率停测或间测的目的。

2.1 定线精度分析方法

按照《水文资料整编规范》第 5.3.6 条要求,单断沙关系线满足 10 个测点时,应计算关系线的系统误差、标准差和随机不确定度。

1) 实测点标准差可按式(1)计算:

$$S_e = \left[\frac{1}{n-2} \sum \left(\frac{Q_s - Q_{si}}{Q_{si}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中: S_e 为实测点标准差,%; Q_s 为第 i 实测点的输沙率,kg/m³; Q_{si} 为第 i 实测点相应的综合曲线上的查线数值,kg/m³; n 为实测点总数。

2) 随机不确定度可按式(2)计算:

$$X = 2S_e \quad (2)$$

式中: X 为随机不确定度。

2.2 泥沙测验方法

角沂水文站于 2018 年设置输沙率测验任务。自输沙率测验以来,工作人员对单沙取样位置进行了论证分析,最后选定在基本水尺断面以上 125 m、起点距为 180 m 的位置取样。泥沙测验主要集中于汛期洪水过程中,每场洪水的输沙率施测不少于 3~5 次,单沙施测不少于 7~10 次,分别分布于涨水、峰顶和落水过程中;2018 年以前只测取单沙,采用近似法推求断面平均含沙量。当采用流速仪法施测流量时,输沙率取样采用选点法施测;当采用非流速仪法或者电波流速仪施测流量时,采用全断面混合法施测输沙率。每次输沙率取样垂线不少于 5 条;在输沙率测验的开始和结束时提取单沙,计算其平均值作为本次输沙率测验期间的单样含沙量。含沙量处理时采用烘干法处理,称重采用感量为千分之一的电子天平称重。

2.3 数据选取

2018—2024 年输沙率总取样次数为 101 次。由于 2018—2020 年使用器皿在水面取样,取样代表性不足,单沙与断沙关系不明显;2021—2024 年取样设备更换为横式采样器,采用选点法

取样,单沙与断沙形成明显的线性关系;且在基本水尺断面以上 500 m 处。武汉路沭河大桥于 2019 年开始建设,2021 年完工,对测段河流产生了一定的影响,造成单断沙关系不稳定。2022 年以后测验断面趋于稳定,所以选取了 2022—2024 年 56 次实测输沙率测验资料进行分析率定。

3 结果分析

3.1 实测悬移质输沙率成果三性分析

2022 年后角沂水文站上下游水利工程均已建设完成,且已衔接,河流控制不会有大的变化,断面相对稳定,水利工程对测验断面的影响趋于稳定。通过对角沂水文站 2022—2024 年的实测悬移质输沙率资料成果分析表明,该站水沙过程相对应,单断沙关系良好且稳定,呈线性关系。选取的输沙率测验资料均严格按照泥沙测验规范要求进行操作,监测数据真实可靠,整编成果基本反映了该站断面泥沙主要分布情况和变化规律,见表 1。

3.2 历年综合单断沙关系分析

1) 历年综合单断沙关系线。角沂水文站 2022—2024 年实测输沙率共计 56 次,按照《水文资料整编规范》要求,绘制单断沙关系曲线,

表 1 2022—2024 年单断沙关系线检验结果

年份	符号检验 ($\alpha=0.25$)	适线检验	偏离数值检 验($\alpha=0.10$)	标准差/ %	系统误 差/%
2022	0.26<1.15	-1.87<1.96	1.01<1.67	1.7	0.4
2023	免检	免检	免检	3.1	-1.5
2024	0	0.36<1.64	-1.10<1.67	0.9	-0.2

利用水文资料整编系统(SHDP2.0 版)对综合关系曲线进行定线,得到一条通过原点(0,0)的直线,确定历年综合单断沙关系线系数 K 为 0.991,即 $C_{s断}=0.991C_{s单}$ 。如图 1 所示。

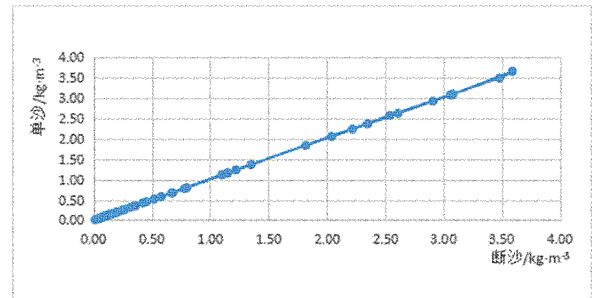


图 1 2022—2024 年单断沙关系线

2) 关系曲线三项检验。2022—2024 年单断沙关系曲线检验计算表,详见表 2。

三项检验结果均接受原假设,符合规范要求,定线正确。角沂水文站为二类精度站,单断沙关系线定线方法为单一线法,系(下转第 79 页)

表 2 沭河角沂站单沙~断沙关系曲线检验计算表

序号	施测号数	单样/($kg \cdot m^{-3}$)	实测断沙/($kg \cdot m^{-3}$)	线上断沙/($kg \cdot m^{-3}$)	偏差 P/%	$P_{(i)} - P_{(\neq)}$	$[P_{(i)} - P_{(\neq)}]^2$
1	7	0.015	0.014	0.015	-6.67	-6.39	40.83
2	5	0.032	0.03	0.032	-6.25	-5.97	35.64
3	4	0.049	0.048	0.049	-2.04	-1.76	3.10
4	11	0.05	0.051	0.05	2.00	2.28	5.20
5	6	0.05	0.049	0.05	-2.00	-1.72	2.96
6	7	0.058	0.056	0.057	-1.75	-1.47	2.16
7	12	0.063	0.061	0.062	-1.61	-1.33	1.77
8	3	0.081	0.08	0.08	0	0.28	0.08
9	10	0.09	0.088	0.089	-1.12	-0.84	0.71
10	8	0.093	0.094	0.092	2.17	2.45	6.00
.....
50	1	2.58	2.54	2.56	-0.78	-0.50	0.25
51	6	2.63	2.61	2.61	0	0.28	0.08
52	6	2.93	2.91	2.9	0.34	0.62	0.38
53	9	3.08	3.06	3.05	0.33	0.61	0.37
54	1	3.10	3.08	3.07	0.33	0.61	0.37
55	1	3.50	3.48	3.47	0.29	0.57	0.32
56	32	3.66	3.59	3.63	-1.1	-0.82	0.67

注:样本容量, $N=56$; 正号个数, 29; 符号交换次数, 26; 符号检验, $u=0.13<1.15$ (显著性水平 $\alpha=0.25$); 适线检验, $U=0.27<1.28$ (显著性水平 $\alpha=0.10$); 偏离数值检验, $|t|=1.40<1.67$ (显著性水平 $\alpha=0.10$), 各项检验均合格。