

激光粒度仪在江西河流泥沙颗粒分析中的应用

刘建新¹, 邓凌毅², 唐晶晶²

(1.江西省水文局, 江西 南昌 330002; 2.江西省吉安市水文局, 江西 吉安 343000)

摘要: 江西省自1967年陆续开展悬移质泥沙颗粒级配分析工作以来, 河流、湖泊的颗粒分析方法为沉降法中的粒径计法, 该方法工作步骤繁多、时效性较差、重复性不好, 且其分析范围有限, 已达不到水利部关于颗粒分析精度的新要求。激光粒度分析仪(马尔文MS2000型)具有速度快、精度高、成果质量佳、稳定可靠、误差小的特点, 能满足颗粒分析及资料整编的精度要求, 能较好地适用于本省河流颗粒分析工作, 大幅提高成果的精度, 极大地减轻劳动强度, 节省工作时间。本文主要介绍激光粒度仪在江西省部分河流颗粒分析站的使用、比测及分析情况。

关键词: 激光粒度仪; 河流泥沙; 颗粒分析

中图分类号: TV141+.1

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2015)04-0259-05

0 引言

悬移质泥沙颗粒级配分析(以下简称颗分)是江西省水文测验工作的一项重要内容, 是定性、定量研究河流泥沙颗粒大小分布及水沙运动规律的主要手段。泥沙颗粒级配是涉水工程建设、江河整治、防治水土流失、维持河势稳定、维护生态平衡等工作不可或缺的重要基础资料。

江西省位于长江中下游南岸, 河流众多, 以赣江、抚河、信江、饶河和修水五大河流为主体, 从东、南、西3个方向汇入鄱阳湖, 经鄱阳湖调蓄后由湖口汇入长江, 形成完整的鄱阳湖水系。全省自1967年陆续开展颗分工作以来, 河流、湖泊的颗分方法为沉降法中的粒径计法, 该方法具有物理概念清晰、直观可视的优点, 但人为操作影响因素较大; 受群体沉降和扩散的影响使小粒径级($D < 0.062$ mm)级配值系统偏小; 当水温低于 11°C 时 0.004 mm粒径颗粒沉降时间长达 24 h以上, 且工作步骤繁多、时效性较差、重复性不好, 分析范围亦有限, 已达不到水利部关于颗分精度的新要求^[1]。激光粒度分析仪(马尔文MS2000型)具有速度快、精度高、成果质量佳、稳定可靠、误差小的特点, 能满足颗分及资料整编的精度要求, 能较好地适用于本省河流颗分工作, 大幅提高成果的精度, 极大地减轻劳动强度, 节省工作时间, 解放生产力, 为颗分工作带来根本性变革。

1 流域泥沙颗粒级配情况

1.1 各流域河流悬移质泥沙颗粒级配特征

江西省有13个颗分站, 主要分布于赣、抚、信3大河6地市, 积累了大量长系列资料, 能较好地反映该3大河多年泥沙颗粒级配变化状况。3大河流域悬移质泥沙粒径及级配各有不同, 呈现出各自的特征, 多数站悬移质泥沙颗粒粒径小于 1.0 mm, 泥沙粒径相对较细, 主要以粘粒和粉砂($0.004\sim 0.062$ mm)为主, 少部分站以砂粒($0.062\sim 2.0$ mm)为主, 但不同的流域、区域河流悬移质泥沙颗粒级配往往有一定差别, 同一断面一年内不同时期也有较大不同, 年际间亦有变化。

从悬移质泥沙多年平均颗粒级配值相似性分析, 赣江上游干支流及中游支流各站均较相似; 赣江下游外洲站、支流锦江高安站与抚河下游李家渡站均较相似; 抚河流域各站均较相似; 赣江中游吉安站受万安水库影响, 与该流域上、下游各站相比差异明显。

1.2 河流悬移质泥沙颗粒级配年内分布不均

江西省各站各年年内平均粒径最小值约 $0.01\sim 0.05$ mm, 最大值约 $0.06\sim 0.12$ mm; $4\sim 6$ 月降雨集中、 $8\sim 9$ 月时有台风, 使得省内 $4\sim 9$ 月洪水频发, 山体滑坡、泥石流现象多发, 河流泥沙粒径峰值常伴着洪峰, 多在 $4\sim 7$ 月出现, 洪水期泥沙粒径粗、水样浊度大; 平枯水期泥沙粒径细、水样清; 在多旱少雨的非汛期, 即使发生洪水的

收稿日期: 2015-06-05

作者简介: 刘建新(1963-), 男, 大学专科, 工程师。

规模较小,但由于地表干燥,土壤、泥沙更易被冲刷入河流,此时水流中往往也容易挟带较粗的泥沙颗粒;输沙、颗分工作多在含沙量大的时期进行。

1.3 河流悬移质泥沙颗粒级配年际变化较大

根据赣、抚、信流域河流悬移质泥沙年平均粒径历年变化可知,多数站年平均粒径多在0.03~0.1 mm之间变化,年际变幅较大;大水年份年平均粒径一般偏粗;蓄水工程对河流悬移质泥沙年平均粒径变化影响明显,例如赣江吉安站和章水坝上站分别位于万安水库下游和八境湖翻板闸尾水顶托段,受工程影响,致使断面以上部分河段的平均流速和河流挟沙能力均变小和减弱,所以两站分别从1995、1998年起,年平均粒径呈逐年缓慢变小趋势。

2 激光法基本原理及分析方法

激光粒度分析法是利用激光这一特殊光源,根据颗粒的光散射现象而进行悬移质泥沙颗粒分析的一种方法。激光具有很好的单色性和极强的方向性,一束平行的激光在没有阻碍的无限空间中将会照射到无限远处,并且在传播过程中很少发生散射现象。由物理光学推论,颗粒对于入射的散射服从经典的米氏理论,当光束遇到颗粒阻挡时,会产生各个方向强度不一的散射光。散射光中,在其前方向的散射光强度最大,这一现象称为衍射。散射光的传播方向将与主光束的传播方向形成一个夹角 θ ,颗粒越大产生散射光的 θ 角就越小;反之则产生散射光的 θ 角就越大。散射光的强度与该粒径颗粒的数量成正比^[2]。

在适当的位置放置一个富氏透镜,在其后焦平面上放置一组多元光探测器,使不同角度的散射光通过富氏透镜照射到多元光电探测器上,将这些包含粒度分布信息的光信号转换成电信号并传输到电脑中,将各种体积不规则物体换算成同体球体,从而得到准确的样品粒度分布,并可根据各自的要求输出不同粒径级的级配值^[2]。

激光法水样取样与处理方法和粒径计法一致,泥沙颗粒分析方法严格按照《马尔文MS2000激光粒度仪分析使用手册》^[3]进行。

3 激光粒度仪与粒径计法比测情况

2013年选择赣江上、中、下游翰林桥站、吉安站、外洲站,抚河流域娄家村站,信江流域梅港站,共五站作为两种颗分方法比测站点。比测期间,激光法实验室共

收集各比测站悬移质沙样293份、中沙沙样24份、粗沙沙样28份。其中,各比测站沙样均为细沙,80%以上均为汛期沙样,中、粗沙沙样均为人工配制(泥沙颗粒粒径0.35 mm以下为细沙,0.35~0.5 mm为中沙,大于0.5 mm为粗沙)。

经分析,两种分析成果存在一定差异,当激光法分析为细、中沙型的沙样,在粒径计法成果中可能分析为细、中、粗3种沙型;当激光法分析为粗沙的沙型,粒径计法成果中则可能分析为中、粗沙型。以吉安站为例,细沙激光法与粒径计法比测情况如图1~图4和表1。

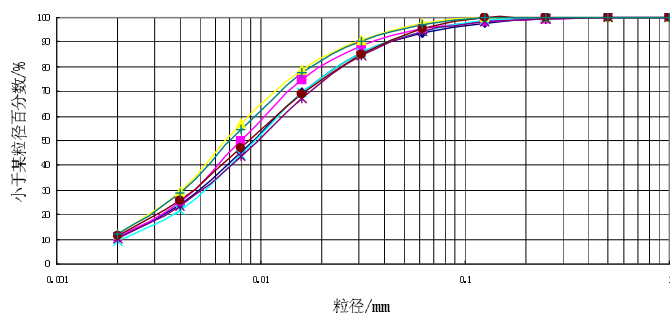


图1 吉安站激光法悬移质泥沙级配曲线图

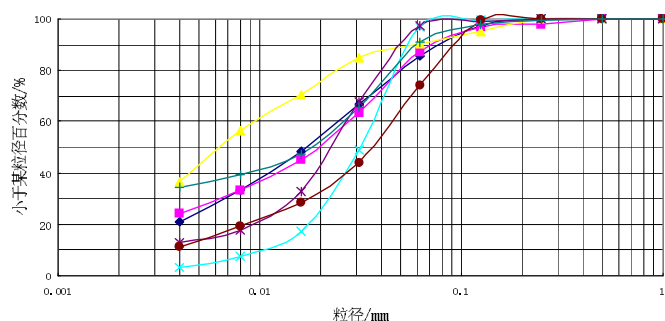


图2 吉安站粒径计法悬移质泥沙级配曲线图

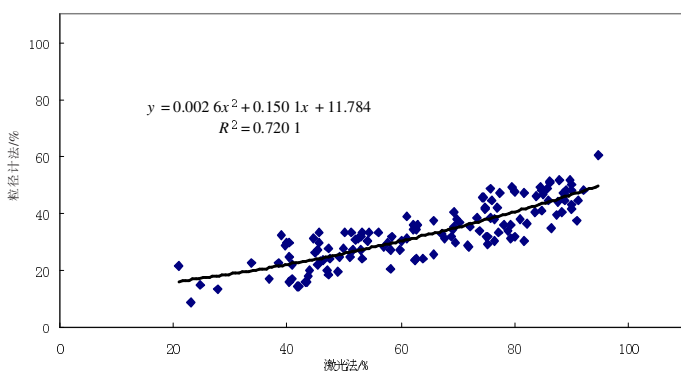


图3 吉安站细沙激光法与粒径计法比测成果关系图
(激光法级配值<81%)

表1 吉安站激光法与粒径计法级配数值对比表 %

测量方法	小于某粒径沙量百分数									
	< 0.002 mm	< 0.004 mm	< 0.008 mm	< 0.016 mm	< 0.031 mm	< 0.062 mm	< 0.125 mm	< 0.25 mm	< 0.5 mm	< 1 mm
激光法 1 [#]	10.6	24.3	45.5	69.3	85.7	93.5	97.5	99.4	100	100
粒径计法 1 [#]			33.3	48.6	66.4	85.5	97.2	100	100	100
互差			12.2	20.7	19.3	8.0	0.3	-0.6	0.0	0.0
激光法 2 [#]	10.8	25.5	50.1	74.5	88.6	95.5	98.6	99.6	100	100
粒径计法 2 [#]			33.5	45.4	63.6	87.2	96.7	97.8	100	100
互差			16.6	29.1	25.0	8.3	1.9	1.8	0.0	0.0
激光法 3 [#]	12.2	29.4	56.6	78.9	91.0	97.5	100	100	100	100
粒径计法 3 [#]			56.6	70.6	84.8	90.2	95.4	100	100	100
互差			0	8.3	6.2	7.3	4.6	0.0	0.0	0.0
激光法 4 [#]	9.1	21.6	44.3	69.4	85.7	94.2	98.9	100	100	100
粒径计法 4 [#]			7.6	17.1	48.7	97	99.4	100	100	100
互差			36.7	52.3	37.0	-2.8	-0.5	0.0	0.0	0.0
激光法 5 [#]	10.3	23.4	43.8	67.3	84.7	94.0	98.1	99.3	99.7	100
粒径计法 5 [#]			17.7	32.7	67.7	97.2	98.8	100	100	100
互差			26.1	34.6	17.0	-3.2	-0.7	-0.7	-0.3	0.0
激光法 6 [#]	11.6	25.7	47.2	69.2	85.1	95.6	99.8	100	100	100
粒径计法 6 [#]			19.5	28.7	44.1	74	99.3	100	100	100
互差			27.7	40.5	41.0	21.6	0.5	0.0	0.0	0.0
激光法 7 [#]	12.4	28.9	54.6	77.5	90.5	97.3	99.7	100	100	100
粒径计法 7 [#]			39.3	47.3	65.4	90.7	97.8	99.2	100	100
互差			15.3	30.2	25.1	6.6	1.9	0.8	0.0	0.0

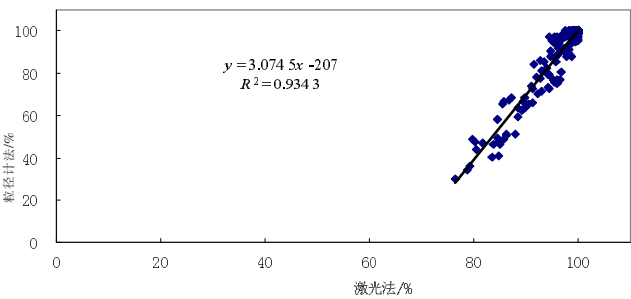


图4 吉安站细沙激光法与粒径计法比测成果关系图
(激光法级配值≥81 %)

3.1 各比测站比测成果相关关系分析

中、粗沙型沙样激光法与粒径计法,5个比测站比测成果具有较好的相关关系,激光法成果可通过统一公式转换成粒径计法成果。由于两种分析方法存在物理原理、分析及操作方式、分析误差不同,以及细沙型易出现絮凝现象等,所以各站细沙型沙样难于用比测成果拟合成全省统一的激光法与粒径计法成果转换关

系,需分站进行拟合。
3.1.1 中、粗沙激光法与粒径计法转换关系
选取中、粗型沙样52份分别进行激光法与粒径计法比测。经分析,两种不同分析方法的中、粗沙相关关系均较好,两种沙型的关系线线型非常接近,因此两线合为一线。经多次拟合定线,在剔除外包线之外散乱的数据后,约有84 %的点据参与拟合定线。中、粗沙激光法与粒径计法比测成果关系图见图5。

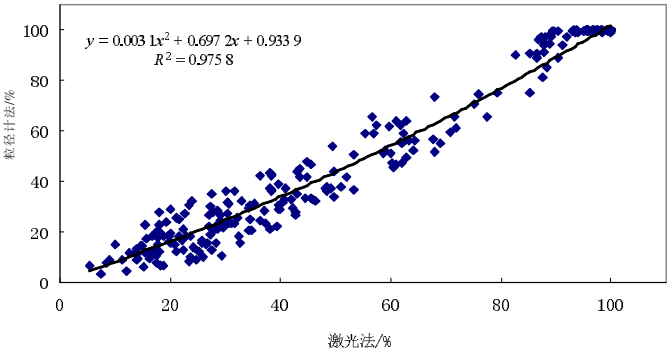


图 5 中、粗沙激光法与粒径计法比测成果关系图

经分析,全省各站激光法中、粗沙沙样级配成果可采用统一公式转换为粒径计法成果(详见表2)。

4.1.2 分站细沙转换关系

对各比测站分别进行细沙激光法与粒径计法悬移质泥沙颗粒级配比测成果转换关系分析。经统计,各站

通过多次拟合定线,剔除外包线之外散乱的数据对(点)后,均有80 %~90 %的点据参与拟合定线。各比测站均可拟合出满足《河流泥沙颗粒分析规程》中要求的关系线。

中粗沙、分站细沙比测成果系统误差和均方差均

表2 各站激光法与粒径计法比测成果转换表

站名/沙型	成果转换	转换公式	公式适用范围
中、粗沙	激光法转换为粒径计法	$Y=0.003\ 1X^2+0.697\ 2X+0.933\ 9$	$0\leq X\leq 100\ \%$
翰林桥站/细沙	激光法转换为粒径计法	$Y=0.012\ 8X^2-0.790\ 2X+47.68$	$0\leq X\leq 100\ \%$
	粒径计法转换为激光法	$Y=30.867+39.062\ 5(0.051\ 2X-1.816\ 8)^{1/2}$	$X\geq 35.5\ \%$
	激光法转换为粒径计法	$Y=0.002\ 6X^2+0.150\ 1X+11.784$	$0\leq X<81\ \%$
吉安站/细沙		$Y=3.074\ 5X-207$	$X\geq 81\ \%$
	粒径计法转换为激光法	$Y=-28.865+192.308(0.010\ 4X-0.1)^{1/2}$	$9.6\ \%\leq X<42\ \%$
		$Y=(X+207)/3.074\ 5$	$X\geq 42\ \%$
外洲站/细沙	激光法转换为粒径计法	$Y=0.005\ 8X^2-0.513\ 4X+31.658$	$0\leq X<92\ \%$
		$Y=0.271X^2-43.807X+1\ 770.3$	$X\geq 92\ \%$
	粒径计法转换为激光法	$Y=44.259+86.206\ 9(0.023\ 2X-0.470\ 9)^{1/2}$	$20.3\ \%\leq X\leq 33.5\ \%$
娄家村站/细沙		$Y=80.825+1.845(1.084X+0.048)^{1/2}$	$X>33.5\ \%$
	激光法转换为粒径计法	$Y=0.008\ 8X^2-0.564\ 3X+21.018$	$0\leq X<92\ \%$
		$Y=7.155\ 5X-614.79$	$X\geq 92\ \%$
梅港站/细沙	粒径计法转换为激光法	$Y=32.062\ 5+56.818\ 2(0.035\ 2X-0.421\ 4)^{1/2}$	$11.9\ \%\leq X<43.5\ \%$
		$Y=(X+614.79)/7.155\ 5$	$X\geq 43.5\ \%$
	激光法转换为粒径计法	$Y=0.008\ 6X^2-0.690\ 8X+52.443$	$0\leq X<89\ \%$
		$Y=3.656X-265.23$	$X\geq 89\ \%$
	粒径计法转换为激光法	$Y=40.162\ 8+58.139\ 5(0.034\ 4X-1.326\ 8)^{1/2}$	$38.6\ \%\leq X<60\ \%$
		$Y=(X+265.23)/3.656$	$X\geq 60\ \%$

小于3和8,符合《河流泥沙颗粒分析规程》的相关要求。

3.2 最大粒径分析

在颗分比测中,激光法中最大粒径分布明晰,但与粒径计法最大粒径相比相关关系离散性非常大,无法确定其关系。由于激光法中,理论上代表最大粒径的D100或D99.9有时会出现明显的奇异值(比如在重复性很好的情况下D100、D99.9突然出现2 000 μm)。因此,根据我省的实际情况,激光法最大粒径取D99.5为宜,即级配值为99.5%对应的粒径为最大粒径。

4 结论与建议

上述成果说明激光粒度仪具有较好的准确性、稳

定性;激光法分析悬移质泥沙级配重复性、平行性好,分析的成果精度高、不受人为因素影响,可完全满足资料整编刊印要求;率定的参数范围可较好的适用于江西省悬移质泥沙特性。选取比测站点进行激光法与粒径计法比测,建立了翰林桥站、吉安站、外洲站、娄家村站和梅港站两种分析方法成果的互换关系,有效地延长了5个测站的颗分历史资料系列,并保持了资料的一致性和连续性。

激光粒度分析仪在江西省颗分工作中的使用和推广,将使原本繁琐的工作量极大的简单化、标准化,使颗分工作能较好的满足社会及行业发展对水文工作的新需求,并将迅速、整体地提高颗分工作质量和水平。

建议使用单位建立推广该新仪器、新方法保障体

系。保障体系包括含组织保障、技术保障、人员保障、质量保障等。使用单位要从组织领导上重视该项工作,保证技术指导人员及分析操作人员的配备,及时取样、送样、测样及资料整理,颗分要按章操作,定期做好仪器养护、校准和误差检验工作,培养更多的操作技术人员、不断提高操作人员的技术水平,确保颗分成果质量。

参考文献:

- [1] SL42-2010.河流泥沙颗粒分析规程[S].
- [2] 田岳明,黄双喜,吕金城,等.激光粒度分析仪在长江泥沙分析研究的应用[J].人民长江,2006(12):53-55.
- [3] 马尔文仪器有限公司,马尔文MS2000激光粒度仪分析使用手册[M].郑州:河南水利出版社,2001,5-172.

Application of laser particle size analyzer in the particle analysis of sediment in the rivers of Jiangxi province

LIU Jianxin¹, DENG Lingyi², TANG Jingjing²

((1. Jiangxi Provincial Hydrology Bureau, Nanchang 330002, China; 2. Jian Municipal Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Jian 343000, China))

Abstract: Since the analysis of suspended sediment particle size distribution of Jiangxi province started in 1967, the particle count method of the sedimentation method was adopted in the particle size analysis for rivers and lakes. The method can't reach the accuracy requirement of particle analysis for the Ministry of Water Resources because of too many steps, narrow application range and poor time effectiveness and repetition. Laser particle size analyzer (Malvern MS2000) has many feathers such as high speed, high accuracy, good results, stabilization and little error, so it can reach the requirement of particle size analysis and data reduction accuracy, applied to the particle size analysis for the rivers in Jiangxi province in order to remarkably improve the results accuracy, greatly reduce labor intensity and save working hours. This paper mainly introduces the usage, comparative observation and analysis of the laser particle size analyzer in the particle size analysis stations of some rivers in Jiangxi province.

Key words: Laser particle size analyzer; River; Sediment; Particle size analysis

编辑:张绍付

(上接第 250 页)

Flood control Assessment of river related buildings for the express highway project(from Nanchang to FengXin)

WANG Jiao^{1,2}, ZHOU Yongmen^{1,2}, HU Qiang^{1,2}

(1. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China; 2. Jiangxi Provincial Research Center on Hydraulic Structures, Nanchang 330029, China)

Abstract: In this paper, according to the situations of the express highway project (from Nanchang to Fengxin), the evaluation method of flood control influence by the engineering project inside channel was investigated. Through comparing the variation of design flood level and flood discharge before and after the engineering construction, the flood control influence by the engineering project was evaluated. It provides some evidence for the constructions of the express highway project (from Nanchang to Fengxin). It can provide a reference for this province and other areas to carry out a comprehensive flood prevention assessment of river related buildings.

Key words: Flood prevention assessment; River related building; Express highway

编辑:刘颖