金沙江巧家段冲积物动态图像法粒度特征研究

王有鹏, 李德文, 王锦鹏
中国地震局地壳动力学重点实验室/中国地震局地壳应力研究所,北京,100085

内容提要: 图像法作为国际地科联唯一推荐的粒度分析方法,长期受制于样本量不足的问题。基于新型快速成像和处理技术的动态图像法可在短时间内为样品建立海量颗粒的粒度粒形数据库,为天然沉积物粒度特征的直观表达开辟了广阔前景。本文以金沙江巧家段右岸支沟冲积扇沉积物为研究对象,对4个沉积剖面20个样品进行动态图像粒度分析,建立样品颗粒图像数据库,计算颗粒6种粒径,包括等效投影圆面积径(等积径),弗雷德(Feret)径三种(最大、最小和均值)以及最小外接矩形径两种(最大和最小)等,并与激光(衍射/散射)法测试结果进行对比。结果表明: ① 图像法所获6种粒径的中值粒径和均值粒径均较激光法粗,分选性较激光法优。② 消除量程差异后的对比结果表明,激光法所测均值粒径仅为真实均值粒径(图像法结果)的3/10~1/2左右(差值为0.68~1.78φ);这种偏离可能与天然沉积物的多矿物属性和不规则性有关。③ 两种测试方法所获结果均能反映相同的剖面沉积物粒度相对变化趋势,在传统的沉积环境判别准则下均能反映基本一致的动力条件和堆积环境。这些认识为图像法粒度分析技术的应用和推广提供了技术支撑和解释依据。

关键词:支沟冲积扇;动态图像法;沉积环境判别;粒度分析;金沙江

沉积物是物源、风化、剥蚀、搬运和堆积过程的信息载体(Mccave et al.,1991; 康艳蕊等,2014),其粒度分布特征是判别沉积环境及动力条件的重要依据(朱筱敏,2007; 胡凡根等,2012),迄今已有上百年的研究历史(Kennedy et al.,1991)。多数粒度分析方法(如激光散射法,沉降法等)所测粒径为与所测颗粒的某种物理特性等同的球体直径(即等效粒径)(Allen,1997; Merkus,2009);而图像法与此不同,是基于颗粒几何形状的逐个测量,直观表达颗粒的形状和大小,是IUGS—COS(国际地科联沉积委员会)认定的检验和评估其它粒度分析方法的可靠标准(Mccave et al.,1991; 李德文等,2015)。早期图像法主要通过显微镜获取颗粒图像和粒度粒形信息(Kennedy et al.,1991; 康艳蕊等,2014),存在耗时长、样本量少、误差大等缺点,应用有限。新发展的动态图像法基于动态图像高速采集和数字处理技术,可在短时间内(几十秒至几分钟内)获取海量(可达上亿颗粒几十种参数)颗粒的图像信息(李德文等,2015),测试范围1~3000 μm,彻底突破了测试速度、样本量等方面的局限。大量颗粒形状信息的多角度获取,从统计的角度保证了样品形状信息的代表性和客观性。湿法和干法两套进样系统也兼顾了不同沉积条件下的样品。作为一种测试原理与传统粒度分析方法完全不同的分析手段,图像法粒度分析的特点及其与传统粒度分析方法的异同,目前尚缺乏深入研究。本文通过对金沙江巧家段已知沉积环境的天然沉积物的图像法粒度分析,并与目前流行的激光法进行对比,旨在探讨图像法与传统粒度分析方法的异同及其在环境重建中的适用性,为图像法在沉积粒度分析中的应用提供技术支撑和解释依据。

1 区域地质与地理特征

金沙江巧家段位于大凉山块体东南缘,区域断裂主要有小江断裂、则木河断裂、莲峰断裂和峨边-金阳断裂等。区内水系以金沙江干支流为主,巧家段自小江汇口以下整体流向北东,构成川滇两省界河。干支流深切导致强烈的地形起伏。谷地常年炎热,雨季集中在6~8月。区内地层从前寒武系至第四系均有出露。第四纪沉积以冲洪积物为主,沿干

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41471002)的成果。
收稿日期:2018-09-29;改回日期:2018-12-23;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.02.019
作者简介:王有鹏,男,1994年生,硕士研究生,地貌学及第四纪地质学专业, Email:994754448@qq.com。通讯作者:李德文,男,1970年生,博士,研究员,主要从事地貌学与第四纪地质学研究, Email:lidewen@263.net。

流和大型支流以阶地和冲积扇的形式分布。沿江阶地大多低于 800m(李郎平等,2009),保存较好,主要由砂砾石层构成,砾石成分多样,指示其来源复杂。更高阶地堆积中砾石普遍强烈风化,砾石岩性成分较单一(李郎平等,2009)。除小江、牛栏江等较大支流外,一般小型支沟多以陡峻的坡降汇入干流,在干支流交汇处形成堆积体。

本文所研究的 4 个沉积剖面均位于金沙江右岸即云南境内(图 1a),大致介于巧家县老街至牛栏江汇口之间。老街台地位于牛栏江汇口上游约 9km 处,所在台地台面宽缓,高出金沙江谷地约 400m,从其规模、形态和地貌配置判断,其主体发育应与现今对岸对坪附近的支流入汇有关。研究剖面 L1、L2 和 L3 位于老街台地东北侧(图 1b)。其中 L1 和 L2 位于老街台地前缘顶部和中部;L3 位于老街台地东侧小型冲沟入汇金沙江处。剖面 L4 位于牛栏江汇口与老街之间的小支流(小牛栏江)入汇金沙江处(图 1b)。根据剖面所在地貌部位和剖面堆积物结构构造特征,认为其形成于坡降突然减小、水流速度迅速降低进而导致沉积物快速沉降的水动力环境,为典型的支沟型冲积扇(Harvey et al.,2005)沉积物。

2 材料与方法

2.1 剖面特征与样点分布

剖面为工程开挖断面或天然冲沟侧壁。野外采样时优先选择坡面近直立,地层出露清楚的断面。采样前先将剖面表层清理干净,再据颜色、结构和构造特征进行分层和采样。单个样品采样时尽量沿层面方向在同一层内采集,以降低地层纵向变化对测试结果的影响。

位于老街台地前缘顶部的 L1 剖面,出露厚度约 1.8m。剖面自下而上具有水平层理,上下两部分颜色明显不同。样品 L1-1 和 L1-2 分别采自上部浅黄色砂层和下部红褐色砂层。L2 剖面出露在自老街至江边的公路里侧,剖面厚约 2.1 m,根据沉积物粒度大小可分为三部分:上部为细砂层,偶见砾石,厚约 1.1 m;中部为细砾堆积,厚约 0.4 m;下部为中粗砾石堆积,最粗者长轴可达到 45 cm,厚约 0.6 m;样品 L2 采自上部细砂层。L3 剖面出露于老街东侧金沙江右岸小支沟汇入金沙江处,为下切支沟左岸出露的天然剖面。剖面出露地层厚度约 4.8 m,剖面大致可分三部分。上部厚约 1.8 m,为正粒序堆积旋回,自下而上从砾石到粗砂;中部厚约 1.6 m,粒度较细,自下而上由黄绿色粗粉砂,极细砂,土黄色

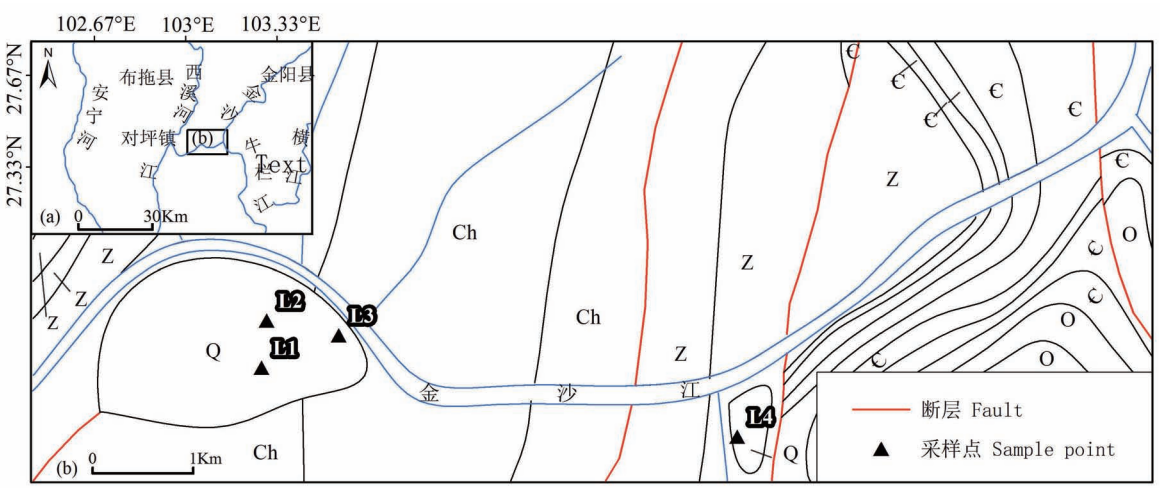


图 1 金沙江巧家段研究剖面位置分布图(据昭通幅 1∶20 万地质图修改):(a)区域地理特征;(b)局部放大图

Fig. 1 Geographical distribution map of the study profiles near the Qiaojia segment, upper Yangtze River (Draw from geologic map of the Zhaotong area at scale 1∶200000, with little modification):

(a) Regional geographical features of the study area; (b) A local detailed map

Q—第四系冲积层; O—奥陶系砂岩、白云岩; Є—寒武系白云岩、砂岩; Z—震旦系白云岩; Ch—长城系千枚岩

Q—Quaternary alluvium; O—Ordovician sandstone and dolomite; Є—Cambrian dolomite and sandstone; Z—Silurian dolomite; Ch—phyllite of the Changchengian System, Mesoproterozoic

极细砂,灰白色极细砂构成,层理发育;下部砾石堆积厚约 1.3 m,也为向上变细的正粒序旋回。根据粒度特征,10 个样品(L3-1 至 L3-10) 分层采自剖面中部深度 3.35~4.15 m 处。L4 剖面位于牛栏江汇口与老街之间,为小牛栏江入汇金沙江形成的支沟冲积扇体。出露剖面下部为中粗砾堆积,无层理;中部自下而上由浅黄色粗粉砂和黄绿色细粉砂构成,整体倾斜约 25°,内部层理不发育,解释为快速堆积;上部砂砾堆积层中可见斜层理。在剖面中部垂直于斜层理方向等间距采样 7 个(L4-1 至 L4-10)。本研究共采集样品 20 个(图 2)。

2.2　样品前处理与测试条件

为便于对比,样品前处理过程力求简单。取 0.5~0.8 g 风干样品放入 250 mL 烧杯;加适量水浸泡搅拌,加满水盖上表面皿静置 24 h 以上;用 1000 mL 烧杯移去样品烧杯中的溶液备测。

动态图像法所用仪器为 Symatec 公司 QICPIC 图像分析仪,采用湿法进样单元和 M3 镜头(量程 1~350 μm)测试。系统超声时间设为 60 s,以保证在测量前对样品进行适度的物理分散。单个样品检测出颗粒约 4000~9000 万个左右。激光法采用 Symantec 公司的 HELOS 激光粒度仪,重复性误差小于 1%,湿法进样,选用镜头 R1 和 R4(量程分别为 0.18~35 μm、1.8~350 μm)联合测试。密度设定 2.65, Heywood 形状因子设定为 1。每个样品测量两次,取两次测量的平均值进行后续的计算。

2.3　数据处理

基于 WINDOX 系统为动态图像法建立的样品颗粒数据库,分别计算每个颗粒图像的 6 种粒径,在此基础上分别计算六种图像法粒径的体积粒度分布特征和统计特征。图像法 6 种粒径定义(Allen, 1997; Merkus, 2009)如下:

等积径(D_E)定义为与颗粒投影面积相等的圆的直径。

弗雷德径(Feret 径)为位于颗粒两侧并与颗粒边缘相切的两条平行线之间的距离。其中平均 Feret 径(D_{F1}) 为平行线在 0~180°之间旋转所获该颗粒 Feret 径的平均值;最大 Feret 径(D_{F2})为平行线在 0~180°之间旋转时所获该颗粒 Feret 径的最大值;最小 Feret 径(D_{F3}) 为平行线在 0~180°之间旋转所获该颗粒 Feret 径的最小值。

最小外接矩形长径(D_{B1})和最小外接矩形短径(D_{B2})分别为四边均与颗粒外廓相切的面积最小的外接矩形的长度和宽度。

激光法粒径(D_{J1})的计算和粒度分布统计特征也由 WINDOX 系统计算完成。另外为了便于对比,还根据图像法检测范围对激光法测量结果进行同量程化处理,计算相应粒径(D_{J2})和统计参数。

3　结果与分析

3.1　图像法结果

图像法六种计算方法所获粒度累积频率分布特征以及相关粒度分布大致相似(其中等积径 D_E 获取的频率分布和累积分布曲线分别见图 3a、b。频率分布曲线大多表现为具有明显细粒尾端的主峰形态。六种粒径对应的的粒度分布统计参数在剖面上反映了大致一致的趋势和变化特征(图 3f) (其中根据等积径 D_E 计算的粒度分布参数见表 1 第 4~8

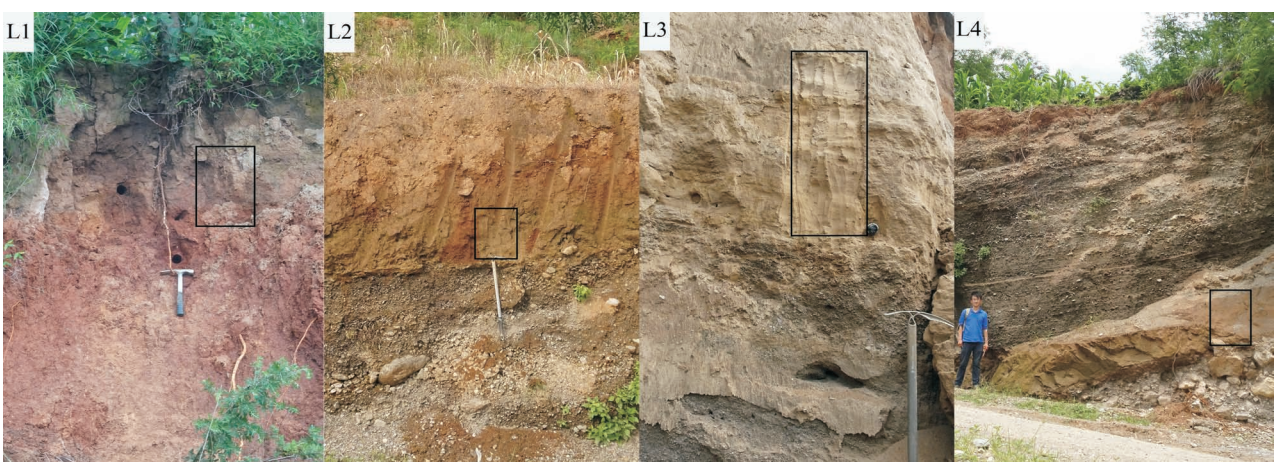
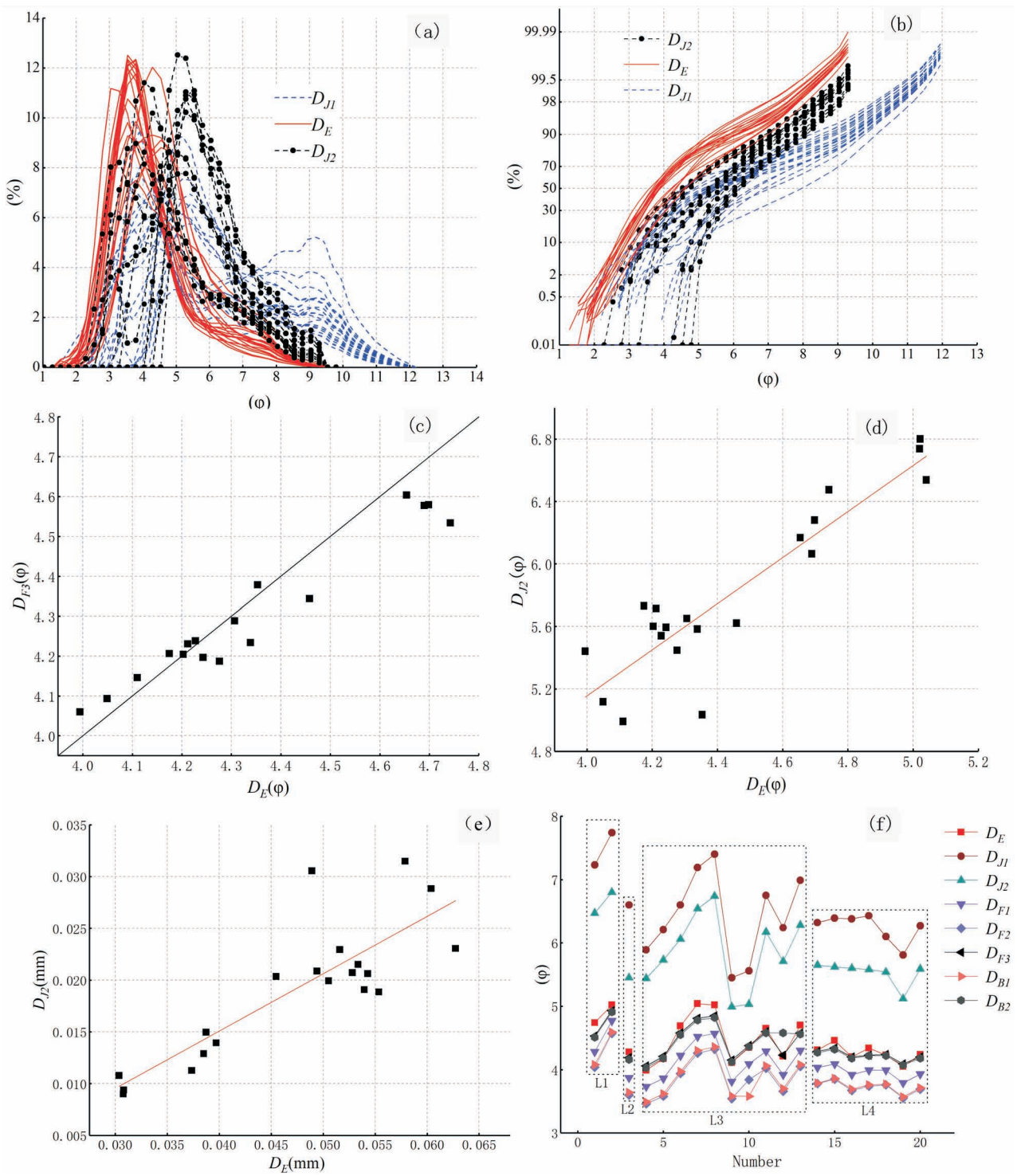


图 2 金沙江巧家段冲积物研究剖面沉积特征(方框内为采样区域)

Fig. 2 Sedimentary feature of the studied profiles in the Qiaojia segment, upper Yangtze River (the sampling sites are marked by boxes)

列)。以 D_E 为例,中值粒径(Md) 3.83~4.87φ(标准差为 0.33),均值粒径(Mz)3.99~5.04φ(标准差为 0.33),分选系数(σ_1) 0.97~1.51,分选程度中等—较差,偏度(SK_1)0.15~0.44,均为正偏—极正偏态;峰度(K_G)0.89~1.45,为中等—尖锐。六种图像法粒径中 D_{F2} 与 D_{B1} 计算获得的参数接近,而 D_{F3} 与 D_{B2} 接近。

从等积径 D_E 和最小弗雷德径 D_{F3} 的定义看,如果样品颗粒为凸多面体,D_E 必然大于 D_{F3}。对比本组样品等积径 D_E 和最小弗雷德径 D_{F3} 所获 Mz 值发现(图 3c),偏细(Mz>4.25φ)样品 $D_E>D_{F3}$,与基于凸多面体的理论预测一致;但偏粗(Mz<4.25φ)样品绝大部分 $D_E<D_{F3}$,这至少说明其颗粒主体并非凸多面体。这一发现支持 Matthews(1991)的认识,即天然沉积物中相当一部分"颗粒"实际上以细颗粒集合体形式搬运和沉积。多颗粒集合体表面凹凸



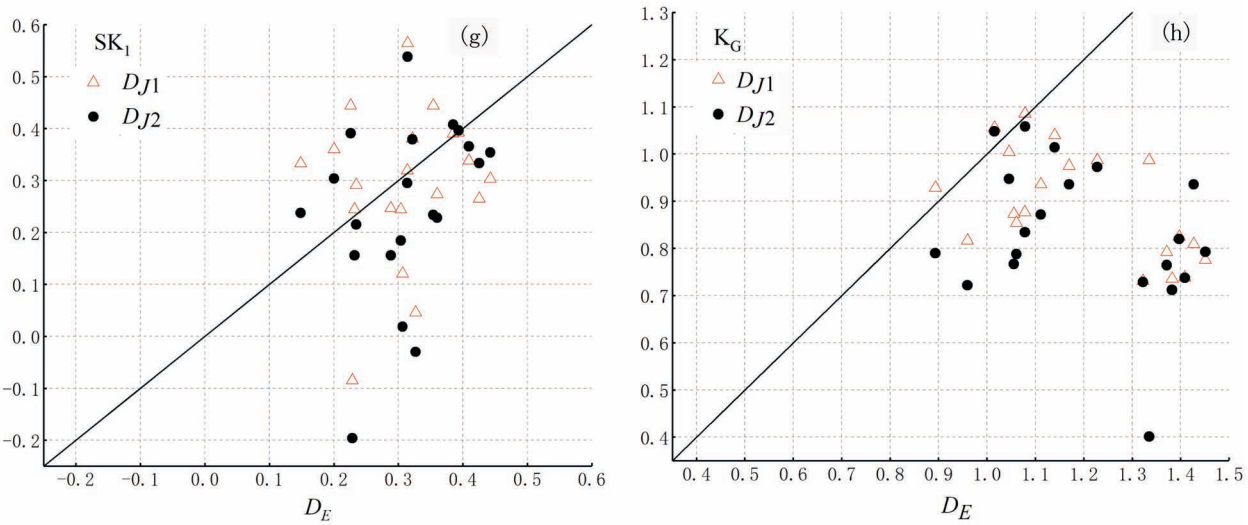


图 3 金沙江巧家段冲积物图像法(等积径)与激光法粒度分析结果对比:(a)频率分布曲线;(b)累积频率曲线。(c)等积径法和最小弗雷德径法所获均值粒径对比。(d)、(e)图像法与激光法均值粒径对比;其中(d)图坐标为 φ 值径,(e)图坐标为物理径。(f)图像法(六种)和激光法(两种)均值粒径在剖面上的变化趋势。(g)、(h)图像法(等积径)与激光法偏度(g)和峰度(h)对比

Fig. 3 Comparisons of grainsize analysis results of alluvium, based on imaging and laser methods, in the Qiaojia segment, upper Yangtze River: (a) is curves of probability distribution; (b) is curves of cumulative-probability; (c) shows comparison of mean grain diameters obtained by means of equal area diameter and minimum Feret-diameter. (d) & (e) show the comparison between the mean grain size by methods of dynamic-image and laser diffraction in the coordinates of units in φ (d) and mm (e), respectively; (f) shows the depth-variation trend of the mean grainsize of the dynamic-image method (six kinds) and the laser method (two kinds). (g) & (h) show the comparison of skewness (g) and kurtosis (h) between dynamic-image (equal area diameter) and laser-diffraction methods

不平甚至形成空洞,可能是等积径较之最小弗雷德径偏细的根本原因。

3.2　图像法与激光法测试结果对比

频率分布曲线:图像法(以等积径代表)与激光法粒度频率分布曲线的对比如图 3a 所示,两种频率分布曲线均具有多峰的特征,但激光法主峰位置所对应的粒径较图像法偏细。

累积频率分布曲线:图像法主要表现为两段式组合特征,而激光法大多表现出三段式的分布特点。从样品组累积曲线看,图像法相对集中一致,而激光法相对离散,样品粗端尤其表现突出(图 3 b)。

统计粒径:图像法 Mz 明显粗于激光法(图 3f)。以 D_E 为例,相差 0.68~2.40φ,也即图像法直观获取的粒径大约是激光法所获粒径的 1.6~5.28 倍。

其他粒度分布参数:图像法(D_E)所获粒径标准差 σ_1 普遍小于激光法(表 1),也即图像法测试结果显示的沉积物分选更好(相差约 0.73~1.4);两种方法偏度值大致相似,但图像法变化范围比激光法小(图 3g)。多数样品图像法峰度较激光法大(图 3h)。

3.3　图像法与激光法同量程对比

图像法和激光法检测下限存在很大差别。以等积径为例,本组样品激光法测试范围超出图像法检测限的颗粒体积占比 5.18% ~ 27.92%(平均 11.78%)。对数据作同量程对比有助于进一步观察两种测试方法的异同。同量程化后激光法频率分布曲线与图像法更为接近,但仍具多峰特征(图 3a)。图像法 Md 和 Mz 仍较激光法粗,但差异减小。Md 相差 0.68~2.2φ,平均 1.19φ。图像法标准差即分选程度仍然优于激光法;偏度与激光法接近,但变幅更小(图 3g);绝大多数样品峰度值较激光法大(图 3h)。图 3d、e 显示同量程化之后两种测试方法所获 Mz 间仍具良好线性关系(相关系数分别为 0.90 和 0.84),与同量程化前所获认识一致。

4　讨论

表 1 金沙江巧家段冲积物不同测试方法所获粒径相关参数对比

Table 1 Comparison of statistic parameters of grainsize analysis by different methods for alluvium in the Qiaojia segment, upper Yangtze River, based different methods

样品号	深度 (m)	图像法颗粒总数 ($\times10^6$)	图像法等积径 (D_E)					激光法(D_{J1})				
			$M_d(\varphi)$	$M_z(\varphi)$	σ_1	SK_1	K_G	$M_d(\varphi)$	$M_z(\varphi)$	σ_1	SK_1	K_G
L1-1	0.65	83	4.45	4.74	1.42	0.33	0.96	7.25	7.23	2.42	0.05	0.82
L1-2	0.50	48	4.81	5.02	1.51	0.23	0.89	7.93	7.74	2.57	−0.08	0.93
L2	1.70	64	4.10	4.28	1.11	0.35	1.34	6.10	6.60	1.84	0.44	0.99
L3-1	4.15	35	3.83	3.99	1.06	0.30	1.02	5.61	5.89	2.08	0.24	1.06
L3-2	4.10	34	4.12	4.17	1.08	0.15	1.05	5.83	6.21	1.98	0.33	1.00
L3-3	3.95	45	4.60	4.69	0.97	0.23	1.23	6.10	6.60	1.84	0.44	0.99
L3-4	3.85	75	4.87	5.04	1.27	0.23	1.06	6.84	7.19	2.02	0.29	0.87
L3-5	3.80	71	4.86	5.02	1.28	0.23	1.06	7.13	7.40	2.01	0.24	0.85
L3-6	3.70	53	3.95	4.11	1.08	0.32	1.17	4.97	5.45	2.12	0.38	0.97
L3-7	3.60	53	4.14	4.35	1.27	0.31	1.08	5.12	5.56	2.32	0.32	0.88
L3-8	3.55	50	4.56	4.65	1.14	0.20	1.11	6.32	6.75	1.95	0.36	0.94
L3-9	3.45	47	4.05	4.21	1.13	0.29	1.14	5.88	6.24	2.19	0.25	1.04
L3-10	3.35	71	4.48	4.70	1.28	0.31	1.08	6.67	6.99	2.45	0.12	1.09
L4-1	5.15	67	4.06	4.31	1.21	0.41	1.37	5.78	6.32	2.41	0.34	0.79
L4-2	5.05	87	4.13	4.46	1.30	0.44	1.32	5.86	6.39	2.64	0.30	0.73
L4-3	4.95	66	3.99	4.20	1.18	0.38	1.41	5.74	6.38	2.47	0.39	0.74
L4-4	4.85	84	4.04	4.34	1.31	0.43	1.38	5.96	6.43	2.69	0.26	0.74
L4-5	4.75	62	4.01	4.23	1.22	0.39	1.45	5.44	6.10	2.46	0.39	0.78
L4-6	4.65	54	3.91	4.05	1.13	0.31	1.43	4.78	5.81	2.53	0.56	0.81
L4-7	4.55	65	4.03	4.24	1.23	0.36	1.40	5.83	6.27	2.52	0.27	0.82

4.1 图像法与激光法粒径差异的原因探讨

4.1.1 动态图像法粒度分析的误差源

图像法是所有粒度分析方法中对颗粒大小形态的最为直观准确的表达。其误差可能源自图像采集过程中成像颗粒的代表性不足或图像处理过程中颗粒边界识别误差。颗粒悬移态成像、海量成像颗粒和相对较长的测量时间等从根本上保证了成像颗粒的代表性。图像处理过程中产生的误差有两种:一是成像过程中两个或者多个颗粒叠置成一个颗粒处理会导致被测颗粒粒径偏大。在抽检样品图像数据库后,未发现这种情况。二是边界识别引起的误差。从理论上分析,边界识别误差小于 0.5 个象元 (0.5 μm),由此引起的粒径误差不超过 1 μm(2 个像元边长)。这个量级显然不能解释激光法与图像法所测粒径间的巨大差别。

4.1.2 动态图像法与激光法粒径差值的变化趋势

图像法(等积径)与激光法所测粒径间差别如果用 φ 值来表达,差值与等积径之间表现出中等程度的线性相关($r=0.58$)(图 4a),显示等积径计算的均值粒径从 3.9 φ 至 4.9 φ,二者相差从 2.3 倍(1.2φ)增至 3 倍(1.6φ)倍。物理径(mm)表现出更好的线性关系($r=0.74$),从均值粒径 32 μm 附近相差约 20 μm,到 63 μm 附近增加到 35 μm(图 4b)。这一趋势表明两种方法间的差异与沉积物本身的粗细密切相关。

4.1.3 图像法与激光法粒度分布众数的对比

粒度分布曲线可视为服从某种分布的多众数的组合,代表属性不同的多个颗粒组。假定每个众数均服从正态分布,通过数学方法对频率分布曲线进行分峰和对比,可进一步剖析两种方法分析结果细节上的差异。以样品 L4-2 的分峰情况为例(图 5),其图像法主峰出现位置所对应的粒径均较激光法偏粗,面积偏大;而激光法细端正态峰较之图像法位置偏细,面积偏大。这种差异的普遍存在代表了图像法与激光法粒度分布峰态结构和组合上的根本区别。

4.1.4 图像法与激光法粒度差异的解释

与图像法类似,电阻计数法原理上也是基于颗粒逐次测量(Milligan et al., 1991)。Agrawal 等(1991)曾利用电阻计数法对激光法测试结果进行检验,认为二者难于对比。激光(衍射)法粒度分析基于 Fraunhofer 近似和全程 Mie 散射理论。一般认为 Mie 散射理论描述不同尺寸球形颗粒的光散射(张艳春等,2009)。当微粒粒径小于测试光波长的

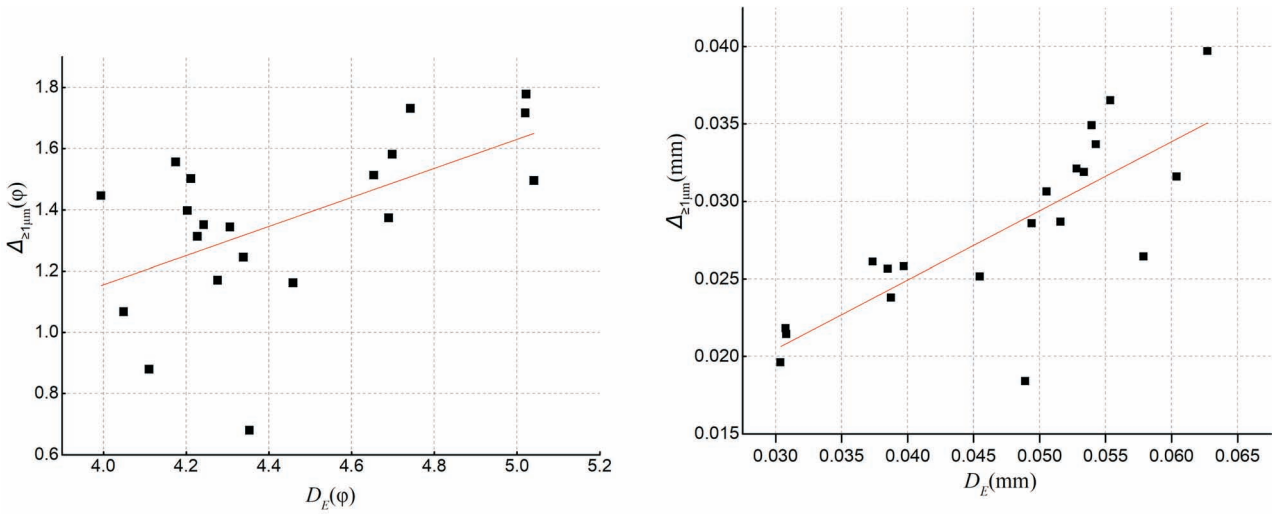


图 4 金沙江巧家段冲积物图像法和激光法所获粒径及其差异的变化趋势

Fig. 4 The trend of grainsize and its difference obtained by dynamic-image method and laser-diffraction method in the Qiaojia segment of upper Yangtze River

(a) 坐标单位为 φ,(b)为 mm。D_E代表等积径法获得均值粒径,$\Delta_{\geq 1\ \mu m}$为同量程化后激光法与图像法均值粒径的差值。相关系数分别为 0.58,0.74

The units are φ (a) and mm (b), respectively, and D_E represents mean grainsize by means of equal area projection diameter and $\Delta_{\geq 1\ \mu m}$ means the difference of mean grainsizes under equivalent range (≥1 μm) between the laser-diffraction method and dynamic-image one. The correlation coefficients were 0.58 and 0.74, respectively

0.03 倍的时候,主要发生 Rayleigh 散射(李亦军,2005);当粒径大于测试光波长 0.03 倍时,散射变得更强;当粒径远大于测试光波时,散射过渡到衍射,服从 Fraunhofer 衍射近似理论(李亦军,2005)。de Boer 等(1981)指出,在粒径小于 7 μm 或所用光波长 10 倍的范围内 Fraunhofer 近似理论变得越来越差。将激光法和图像法(等积径)数据中小于 7 μm 的部分去除后重新计算,所得二者均值粒径 φ 值的差值有所减小(图 6a);但同量程化前后图像法较激光法粗 13~40 μm,差值几乎未变(图 6b)。事实上,正如 Agrawal 等(1991)所揭示的那样,同一样品使用不同焦距镜头进行激光法粒度分析,所获分布特征也表现出显著的差异。这表明图像法与激光法之间的差别并不仅是 Fraunhofer 近似理论的适用性问题。如果以图像法分析结果作为天然沉积物粒度特征的客观表达,可以认为激光法粒度解

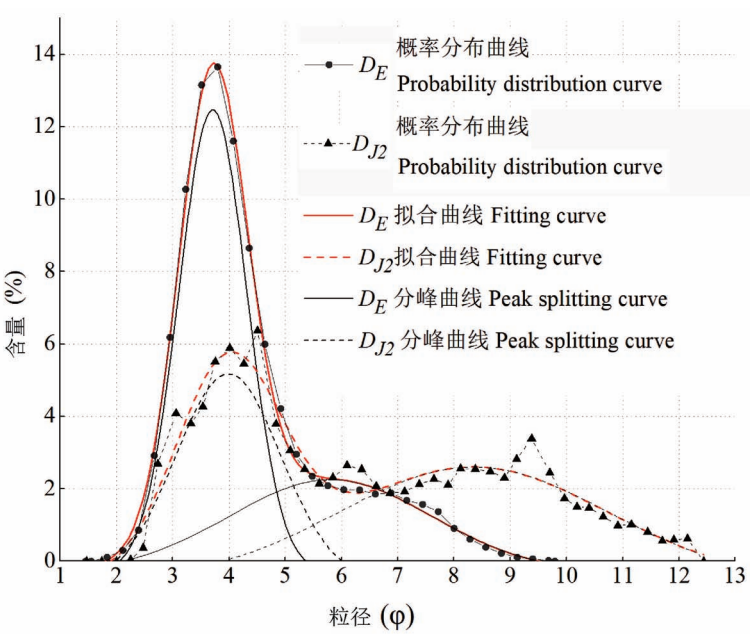


图 5 金沙江巧家段冲积物图像法与激光法概率曲线寻峰结果对比(样品 L4-2)

Fig. 5 Comparison of peak finding results of alluvial image method and laser probability curve in the Qiaojia Segment of upper Yangtze River (Sample L4-2)

利用多正态函数对曲线进行,从 30 次拟合结果中选取拟合误差最小的作为最后结果进行对比

Each curve is fitted by multiple normal distributions, and one having the least fitting error among the 30 fits is selected for comparison

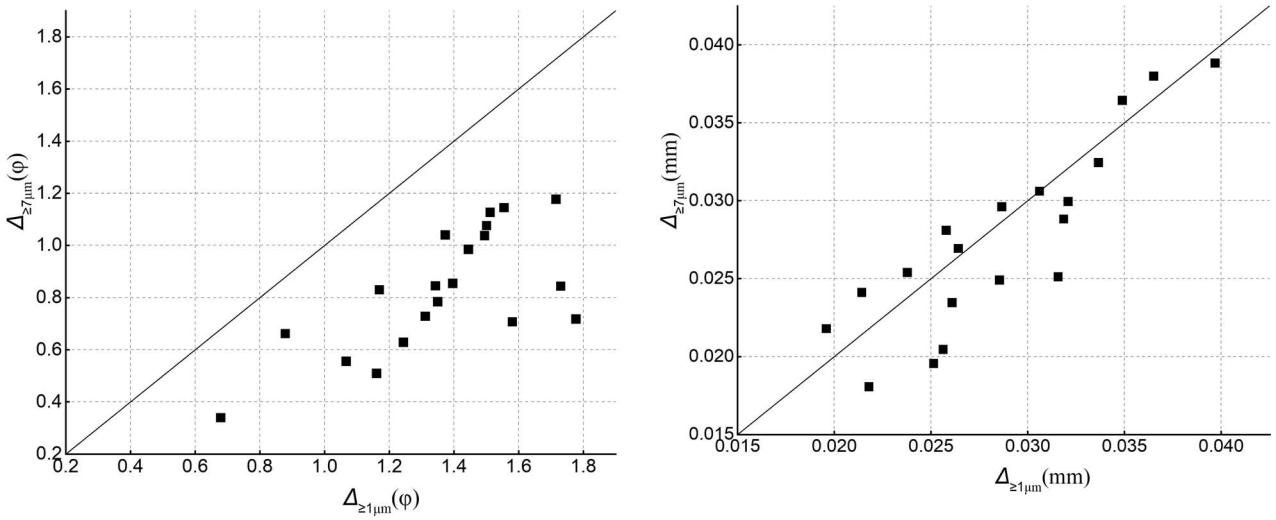


图 6 不同量程下金沙江巧家段冲积物图像法与激光法均值粒径差值的对比

Fig. 6 Comparison of differences of mean grainsize between dynamic image method and laser-diffraction one under different measurement ranges, the Qiaojia segment of upper Yangtze River

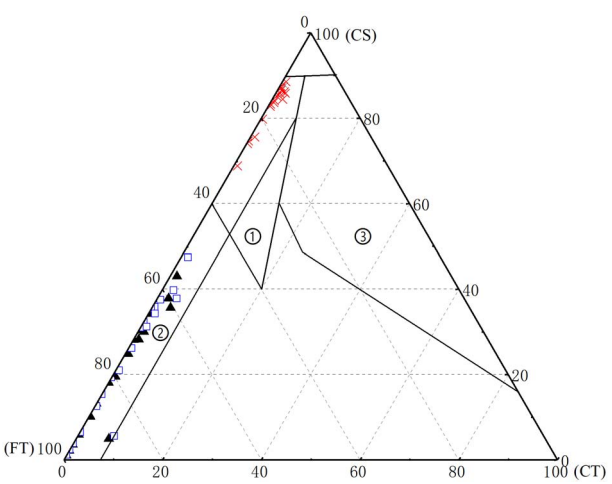
$\Delta_{\geq 1\ \mu m}$和$\Delta_{\geq 7\ \mu m}$分别为两种量程(≥1 μm 和≥7 μm)下图像法和激光法所获均值粒径的差值

$\Delta_{\geq 1\ \mu m}$ and $\Delta_{\geq 7\ \mu m}$ are differences of mean diameters by dynamic image method and laser-diffraction one under measurement ranges of coarser than 1 μm and 7 μm, respectively

算结果与天然沉积物真实的粒度分布特征存在显著的偏离。尽管激光法在使用硅胶球体作为标样进行检测时可以获得良好的对比效果,但没有考虑到天然沉积物的多矿物属性和不规则性,后者可能是导致激光法与图像法测试结果不同的根本原因。

4.2 沉积环境判别对比

粒度分析的常用目的之一是判别沉积环境,图像法分析结果能否有效判别沉积环境需要检验。本文利用 Tanner(1991)等的三个判别图解检验图像法的环境判定效果,并与激光法结果进行对比。



4.2.1 三角投影图

基于概率累积曲线形态分段的三角投影图判别方法,分别将不同样品累积曲线划分为粗端(CT)、中间段(CS)、细端(FT)三个段落,并根据其所占比例进行投影,这里仍选用 D_E 粒径作为图像法的代表,并与同程化前后的激光粒度分析数据进行对比。投影结果(图 7)表明所有样品均处在粗端不发育的

图 7 金沙江巧家段冲积物概率累计密度曲线上粗端、中间段和细端比例

Fig. 7 Ternary discrimination based on the percentage of FT, CS and CT on the probability cumulative curves of samples in the Qiaojia segment of upper Yangtze River

三角形和矩形分别代表同量程化前后的激光法测试结果,乘号为图像法等积径计算结果;折线界定范围为 Tanner(1991)界定的不同沉积环境投影范围。其中①为沙丘,②为河流及封闭湖盆,③为砂质河流;CT、CS 和 FT 分别代表概率密度累积曲线的粗端,中间段及细端比例

FT, CS and CT represent the percentage of fine tail, central segment and coarse tail of probability cumulative curve, respectively. The triangle and rectangle are for the laser diffraction method before and after the normalization with the range of dynamic image method, respectively. The multiplication sign is for equal area diameter. The areas enclosed by polylines mean different sedimentary environments (Tanner, 1991): ①is dune, ②is river and closed basin, and ③ is sandy river

左侧缘,落在“河流及封闭湖盆”的区域内;样品点位置比较集中,也说明了各剖面样品沉积环境和动力条件相似,反映同样的沉积动力环境条件。

4.2.2　细粒部分 μ—δ 判别图和 δ_μ—δ_δ判别图

不同于单样品粒度参数的环境判别,Tanner(1991)提出另一类被认为更合理有效的基于样品组的粒度参数再统计方法,包括细粒部分 μ—δ 判别图(μ 和 δ 分别为样品组内每个样品>4φ 的细粒部分百分含量的平均值和标准差)和 δ_μ—δ_δ判别图(δ_μ和 δ_δ分别为样品组内各样品均值粒径的标准差和标准差的标准差)。将 L3、L4 剖面分别作为两个独立的样品组进行统计和投影。μ—δ 判别图(图 8a)显示图像法(等积径)和激光法结果投影位置接近,均落在“封闭湖盆”区域;δ_μ—δ_δ判别图(图 8b)显示图像法结果投影范围与激光法投影范围也很接近,落在“冲刷水流”和“低坡降水流”区域。两种方法所获数据判别结果的一致性,表明在利用传统判别经验和模式识别沉积环境和动力条件方面,图像法与激光法具有相同或相似的功能。尽管具体的图解判别结果(封闭湖盆、冲刷水流和低坡降水流)存在差异,但综合来看大体反映了小型支流入汇干流处水动力条件迅速减弱、挟沙水流快速释放沉积物的特点,与野外实际观察到地貌条件和堆积环境是大体一致的。

5　结论

本文通过对金沙江巧家段四个地点支沟扇沉积剖面共计 20 个样品的动态图像粒度分析并与激光粒度分析结果进行对比,主要获得如下几点认识:

(1)图像法所获各种粒径的中值粒径和均值粒径均较激光法粗,分选性较激光法优。

(2)同量程化结果对比表明激光法所测均值粒径仅为真实均值粒径(图像法结果)的 3/10~1/2 左右(差值为 0.68~1.78φ),表明激光法粒度分析结果与天然沉积物真实粒度组成之间的偏离与不同方法的量程差异无关。

(3)图像法和激光法测量结果均可反映沉积物粒度变化趋势和堆积特征,在传统的环境判别准则

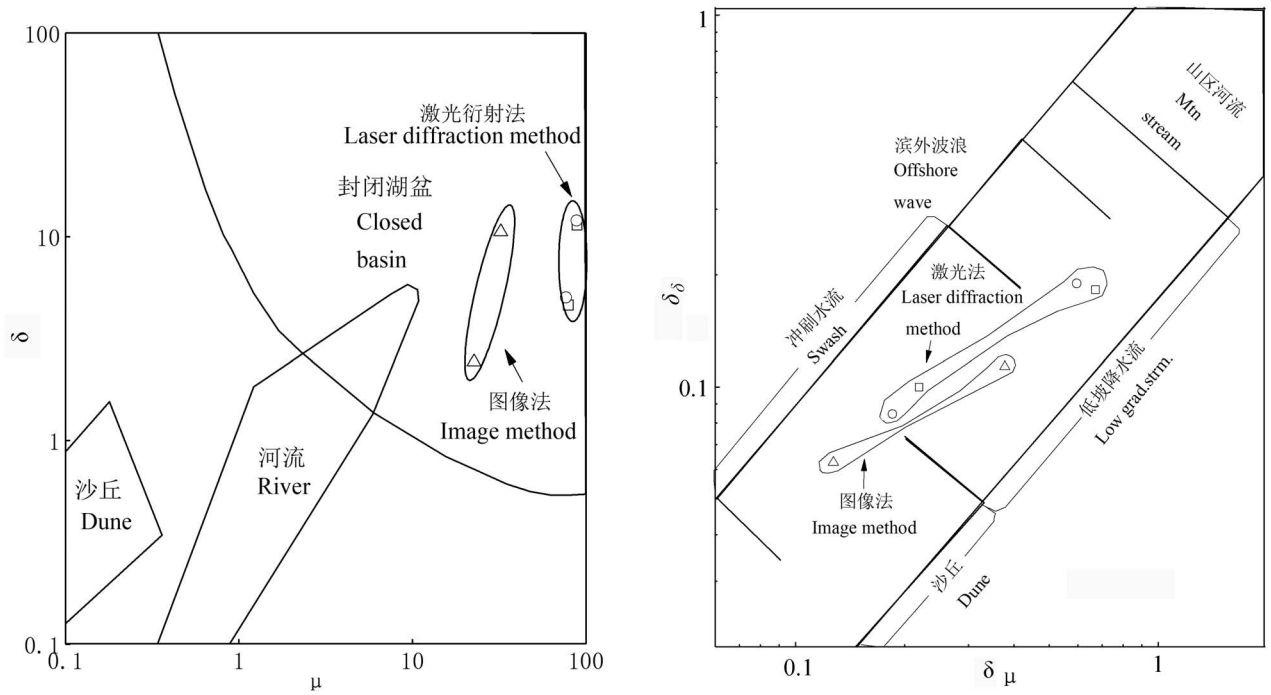


图 8 金沙江巧家段样品组参数沉积环境判别图(投影范围据 Tanner,1991,有修改)

Fig. 8 Discrimination of sedimentary environment based statistic parameters of samples in the Qiaojia segment of upper Yangtze River (projected areas are from Tanner,1991,with little modification)

三角形为图像法等积径计算结果,矩形和圆为同量程化前后的激光法测试结果

The triangles in figures are for dynamic image method, the rectangles and circles are for laser diffraction data before and after normalization with range of dynamic image method

(如 Tanner,1991)下均能反映基本一致的沉积动力环境。

致谢:柳永清研究员和章雨旭研究员审阅文稿,并提出了详细的修改意见,作者谨致深切谢意。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

胡凡根, 李志忠, 靳建辉, 陈秀玲, 夏菁, 王贤立. 2012. 福建晋江海岸带老红砂多期发育模式初步研究. 第四纪研究, 32(6): 1207~1220.

康艳蕊, 李德文, 李大伟. 2014. 图像法粒度分析最小样本量及其与激光衍射法测试结果的对比. 见: 谢富仁. 地壳构造与地壳应力文集. 北京: 地震出版社: 83~93.

李德文, 康艳蕊, 李大伟. 2015. 基于动态图像法的河流砂和湖滩砂粒形—粒度特征对比. 第四纪研究, 35(2): 484~492.

李郎平, 杨达源, 黄典, 葛兆帅, 胥勤勉, 王先彦. 2009. 金沙江巧家—新市镇河段的水系变迁.第四纪研究, 29(2): 327~333.

李亦军. 2005. 基于 Mie 散射的微粒浓度和粒度测试的理论与实验研究. 周汉昌. 太原市:中北大学博士学位论文: 1~103.

张艳春,刘缠牢,赵丁. 2009. 基于米氏散射理论的粒度测试算法研究. 国外电子测量技术,28(11):24~29.

朱筱敏.2007. 沉积岩石学(第四版).北京: 石油工业出版社: 64~79.

Agrawal Y C, Mccave I N , Rdley J B. 1991. Laser diffraction size analysis. In: Syvitski J P M. Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis. New York: Cambridge University Press: 119~128.

Allen T. 1997. Particle Size Measurement Volume I Powder Sampling and Particle Size Measurement 5th ed. Great Britain: TJ. Ress: 45~60.

Boer G B J D, Weerd C D, Thoenes D, Goossens H W J. 2004. Laser diffraction spectrometry: Fraunhofer diffraction versus Mie scattering. Particle &Particle Systems Characterization, 4(1~4): 14~19.

Harvey A M, Mather A E, Stokes M. 2005. Alluvial Fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics. London: The Geological Society London; 251(1): 1~7.

Hu Fangen, Li Zhizhong, Jin Jianhui, Chen Xiuling, Xia Jing, Wang Xianli. 2012&. A primary reach on multiphase development pattern of "Oldredsand" in Jinjiang coast of southeast Fujian. Quaternary Sciences, 32(6): 1207~1220.

Kennedy S K, Mazzullo J. 1991. Image analysis method of grain size measurement. In: Syvitski J P M. Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis. New York: Cambridge University Press: 76~87.

Kang Yanrui, Li Dewen, Li Dawei. 2014&. Image particle size analysis and measurements and comparision between image and laser diffraction particle size analyses. In: Xie Furen. Bulletin of the Institute of Crustal Dynamics. Beijing:Seismological Press: 26: 83~93.

Li Yijun. 2005&. Theoretical and Experimental Study on Particulate Density and Granularity Measurement Based on Mie Scattering Theory. Zhou Hanchang. Taiyuan City: Doctoral Dissertation of North Central University: 1~103.

Li Langping, Yang Dayuan, Huang Dian, Ge Zhaoshuai, Xu Qinmian, Wang Xianyan. 2009&. Drainage evolution of Qiaojia—Xinshizhen section of Jinsha river. Quaternary Sciences, 29(2): 327~333.

Li Dewen, Kang Yanrui, Li Dawei. 2015&. Comparison of grain-size and grain-shape characters of alluvial and lakeshore based on dynamic image analysis. Quaternary Sciences, 35(2): 484~492.

Matthews M D. 1991. The effect of pretreatment on size analysis. In: Syvitski J P M. Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis. New York: Cambridge University Press: 34~42.

Mccave I N , Syvitski J P M. 1991. Principles and methods of geological particle size analysis. In: Syvitski J P M. Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis. New York: Cambridge University Press: 3~21.

Merkus H G. 2009. Particle Size Measurements: Fundamentals, Practice, Quality.Berlin: Springer: 13~40.

Milligan T G, Kranck K. 1991. Electroresistance particle size analyzers. In: Syvitski J P M. Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis. New York: Cambridge University Press: 109~118.

Tanner W F. 1991. Suite statistics: The hydrodynamic evolution of the sediment pool. In: Syvitski J P M. Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis. New York: Cambridge University Press: 225~236.

Yu Fengling, Switzer, Adam D, Zhen Zhuo, Wang Fu, Huang Zhaoquan. 2013&. Sedimentary records as an indicator for palaeotyphoon hazards from the Rongjiang river delta, Chaoshan plain, southern China. Quaternary Sciences, 33(6): 1171~1182.

Zhu Xiaomin. 2007#. Sedimentary Petrology (Fourth edition). Beijing: Petroleum Industry Press: 64~79.

Zhang Yanchun, Liu Chanlao, Zhao Ding. 2009&. Research of granulometric analysis algorithm based on mie scatter theory. Foreign Electronic Measurement Technology, 28(11): 24~29.

Analysis on grain size of alluvial sediments in the Qiaojia segment, upper Yangtze River, based on dynamic image method

WANG Youpeng, LI Dewen, WANG Jinpeng

Key Laboratory of Crustal Dynamics, Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing, 100085

Abstract: Image method, as the grainsize analysis method recommended only by the International Union of Geological Sciences, has long been constrained by insufficiency of sample capacity. The new dynamic image method, based on the new imaging and processing technology, can set up the database of mass grainsize in short time, and opens up broad prospects for direct expression of grainsize of natural sediment. In this study, the

sediments of alluvial fan alone the bank of the Qiaojia segment, upper Yangtze River, are investigated. A total of 20 samples are collected from 4 profiles and are studied using methods of dynamic image and laser-diffraction. Based on dynamic image database of the samples, six type of grainsizes are calculated, including diameter of a circle of equal projection area, three kinds of Feret diameters (the max, min and mean), and two kinds of minimum external rectangular diameters (max and min). The results are also compared with those obtained by laser method. The study shows: ① the median and mean grainsizes obtained by dynamic image method are coarser than those by laser method, and the sorting degree is better than that by laser method. ② The comparison of the results normalized by same measurement range shows the mean diameter measured by laser method is only 3/10 ~ 1/2 of the true mean diameter (the result by dynamic image method) (the difference is 0.68 ~ 1.78 φ), this deviation may be related to the multimineral properties of natural sediments. ③ The results obtained by the two methods can reflect similar trend of grainsize change in the profile, and can reflect the similar dynamic conditions and sedimentary environment under the traditional discrimination criteria of sedimentary environment. These knowledges provide technical support and explanation basis for the application and popularization of dynamic-image grainsize analysis.

Keywords: tributary alluvial fan; dynamic image method; discrimination of sedimentary environments; grainsize analysis; upper Yangtze River

Acknowledgements: This paper is the result of a project funded by the National Natural Science Foundation of China (No. 41471002). Prof. LIU Yongqing and Prof. ZHANG Yuxu have carefully reviewed the preliminary draft of this article and provided detailed suggestions. We would like to express our deep gratitude

First authors: WANG Youpeng, male, born in 1994, graduate student, majoring in geomorphology and Quaternary geology. Email: 994754448@ qq.com

Correspondence author: LI Dewen, male, born in 1970, Ph. D., professor, majoring in geomorphology and Quaternary geology. Email: lidewen@ 263.net

Manuscript received on:2018-09-29;Accepted on: 2018-12-23; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.02.019