doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.06.09

引用格式: 曾蛟,庞国涛,冯永财,等. 渤海曹妃甸海域沉积物粒度激光法与综合法测试结果对比[J]. 中国地质调查, 2023, 10(6): 77-87. (Zeng J, Pang G T, Feng Y C, et al. Testing results comparison between laser method and comprehensive method for sediment grain size in Caofeidian of Bohai Sea [J]. Geological Survey of China, 2023, 10(6): 77-87.)

渤海曹妃甸海域沉积物粒度激光法与综合法 测试结果对比

曾 蛟, 庞国涛, 冯永财, 郭旭军, 柳晓丹*

(中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心,山东烟台 264000)

摘要:激光法与综合法(吸液管法 – 筛析法)均是测试沉积物粒度特征的常用方法,由于测试原理和流程的差异, 这两种方法对同一样品分析所获得测试结果往往不尽一致。为探究两种方法的共同性、差异性和相关性,并建立 适合曹妃甸海域激光法与综合法测试结果之间的转换关系,通过对曹妃甸海域 49 个沉积物样品分别进行激光法 和综合法实验,对比结果表明:①激光法与综合法所测砂粒含量大致相等,粉砂含量激光法所测结果高,黏土含 量综合法所测结果较高;②激光法和吸液管法测试结果误差主要在发生在 $10\varphi(\varphi = \log 2D, D)$ 为直径, φ 为单位) 阶段,吸液管法测将黏土含量显著升高,激光法与筛析法结果误差主要发生在粗端颗粒,激光法测得粗端颗粒含 量普遍偏高;③激光法与综合法粒度参数回归分析随着粒径减小相关性逐渐降低,粒度参数回归方程的斜率、截 距与前人研究结果不具有统一性。研究建立的曹妃甸海域激光法与综合法数据转换模型分析表明,在粒度范围 [-1,4] φ ,激光法和综合法所获得数据结果可以进行相互转换;明确了激光法与综合法测量沉积物粒度特征的差 异。研究成果对使用激光法测量沉积物粒度特征和完善测试方法与流程有参考意义。

关键词: 粒度; 激光法; 综合法; 筛析法; 吸液管法

中图分类号: P714.6 文献标志码: A 文章编号: 2095 - 8706(2023)06 - 0077 - 11

0 引言

海洋沉积物的粒度测试,是海洋地质实验工作的基本项目。传统的粒度测试主要采用综合法(吸液管法 - 筛析法),该方法操作步骤繁琐,其中的吸液管法对操作要求高,耗时较长,难以满足大批量样品测试,特别是黏土颗粒由于不符合假定的STOKES 定律,导致测试结果差异显著^[1]。随着技术进步,激光衍射法(简称激光法)越来越多地应用到沉积物的粒度测试中。相比于综合法,激光法有着准确度高、重复性好、操作简单、测试速度快的优势,可以满足大批量样品的测试需求。但激光法与综合法原理不同,会导致测试结果不一致,前人通

过对土壤^[2-6]、沉积物^[7-9]两种方法测试结果进行比 较分析,均认为激光法所测黏粒含量普遍低于综合 法,粉砂测试量高于综合法,砂测试含量大致相同。 随着激光法使用越来越普遍,为了比对同一地区不 同时间两种方法所测新老数据,前人^[2,5-7]建立起了 两种方法所测结果的函数关系,取得了一定进展,但 是不同区域的天然沉积物具有不同的粒度特征,这 种函数关系并不具有普适性,需要根据不同地区的 不同粒度特征分别建立函数关系。本文以渤海曹妃 甸海域沉积物为例,分别采用激光法、综合法进行测 试并对测试结果进行对比,分析不同的测试方法对 结果的影响,讨论两种方法所测结果的共同性、差异 性和相关性,为评价两种测试方法的适用性提供依 据,并建立适合本海域激光法与综合法测试结果之

收稿日期: 2023-05-17;修订日期: 2023-11-03。

基金项目:中国地质调查局项目"渤海曹妃甸海域1:5万海洋区域地质调查(编号:DD20211553)""渤海近海海域海岸带自然资源综合 调查(编号:DD20230073)"和"1:25万威海幅海洋区域地质调查(编号:DD20230412)项目"联合资助。

第一作者简介: 曾蛟(1988—),男,工程师,主要从事分析测试工作。Email: 416892321@ qq. com。

^{*}通信作者简介:柳晓丹(1987—),女,高级工程师,主要从事分析测试工作。Email: 727579830@qq.com。

间的转换模型并探讨两者转换关系的适用条件。

1 研究区概况

研究区位于渤海曹妃甸工业区以南海域(图1), 东北侧与陆地接壤,水深较浅,最浅处水深约 5.92 m。西南部较深,最深可达33.26 m。东北部主 要为浅滩,西南部分布多条大的潮沟,主要有南侧潮 沟、中间潮沟和北侧潮沟。沟的宽度有数公里,沟净 深约6~20 m。其中,北侧潮沟中有一个明显的冲刷 坑。研究区属于大陆性季风气候,具有明显的暖温 带半湿润季风气候特征^[10]。表层沉积物主要为细 砂、中细砂、黏土质粉砂、粉砂质黏土、黏土。目前, 由于渔业养殖及港口码头建设等影响,浅滩地形、水 深和表层沉积物局部有一定的变化。



Fig. 1 Location of the study area

2 技术与方法

选取渤海曹妃甸海域泥、粉砂、砂质粉砂、粉砂 质砂和砂5大类49件样品并编号,其中1~9号为 泥,10~21 号为粉砂,22~26 号为砂质粉砂,27~ 42 号为粉砂质砂,43~49 号为砂。每件样品分别 采用激光法和综合法测试,而后对湿筛后的粗细两 端颗粒再次采用激光法测试,综合法测试结果采用 GRADISTAT 软件进行处理。

2.1 激光法

本次实验采用仪器为安东帕公司生产的 PSA1190LD激光粒度仪,仪器测试范围为0.04~ 2500 µm,测试重复性优于±1%,精度优于±3%。 将样品放置于去离子水,用激光穿过去离子水,当 光源遇到颗粒后以不同角度散射,由探测器测试、 存储散光数值,通过米氏散射理论,转换散射数据, 从而得到颗粒粒径分布。激光法所测的是颗粒体 积等效球体的直径,其测试粒径介于其长轴、短轴。 测试基本参数为:超声时间1min,消泡时间5s,平 衡时间5s,测试时间1min,搅拌速度250r/min,泵 速120r/min,遮光度5%~30%。

激光法测试流程:均匀选取适量样品置于烧杯中,加入2 ml的30%过氧化氢溶液和5 ml的0.5 mol/L 六偏磷酸钠溶液,浸泡样品24 h;每隔8 h 搅动一次样品,使样品充分分散后,将样品全部倒入样品槽中进行测试,计算样品粒度分布特征。

对球形玻璃微珠标准物质 BW033020(标准 值(21.38±1.3) μ m)、BW033060(标准值 (61.2±2.8) μ m)、BW033300(标准值(304± 15.2) μ m)分别进行 6 次测试,计算出相应的 D_{50} 平均值(D_{50} 为标准物质测试中的中值粒径)和相 对标准偏差。BW033020标准物质 D_{50} 平均值 21.95 μ m, R_{5D50} 为 0.50% (R_{5D50} 为该中值粒径的 相对标准偏差); BW033060标准物质 D_{50} 平均值 60.03 μ m, R_{5D50} 为 0.06%; BW033300标准物质 D_{50} 平均值308.60 μ m, R_{5D50} 为 0.29%。所测结果 均处于质量控制范围之内,表明激光粒度仪对于 测试颗粒为标准球体物质情况下,具有较高的准 确度和精密度。

2.2 综合法(吸液管法-筛析法)

吸液管法较比重计法有较高的准确度和精确 度,故本文采用吸液管法进行测试。将筛析法中冲 入量筒内 < 63 μm 悬浮液加去离子水至1 000 ml。 根据 STOKES 定律,连续在特定时间、特定深度吸 取 25 ml 悬浮液,将悬浮液烘干称重,计算各级颗粒 重量百分比。

筛析法适用于粒径大于63 μm 的样品,吸液管

法适用于粒径 < 63 μm 的样品,当样品粒度范围分 布较广时常采用综合法。

筛析法采用粒径间隔为 0.5 φ ($\varphi = \log 2D, D$ 为 直径, φ 为单位)的标准套筛对样品进行筛析。试 验流程:取适量的样品放入 105 ℃的烘箱中,烘至 恒重,称取质量;将样品加入烧杯中,加 5 ml 的 30% 过氧化氢溶液、25 ml 的0.5 mol/L 六偏磷酸钠 溶液,并加入适量的去离子水,使样品充分分散; 使用孔径为 63 µm 的标准筛过筛,用去离子水反复 冲洗,使 < 63 µm 的物质全部冲洗入量筒; >63 µm 的物质烘干后,使用标准套筛进行筛析并 称量,计算各粒级的质量分数。

3 结果与分析

粒度测试结果使用 Folk 等^[11]的全面图解法 计算粒度参数,计算公式为

$$M_{z} = (\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84})/3 \quad , \tag{1}$$

$$\check{d}_{i} = (\varphi_{84} - \varphi_{16})/4 + (\varphi_{95} - \varphi_{5})/6.6 \quad , \qquad (2)$$

$$S_{ki} = (\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50})/2(\varphi_{84} - \varphi_{16}) + (\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50})/2(\varphi_{95} - \varphi_5) , \qquad (3)$$

$$K_{\rm g} = (\varphi_{95} - \varphi_5)/2.44(\varphi_{75} - \varphi_{25}) \quad _{\circ} \tag{4}$$

式中: M_z 为平均粒径值, mm; δ_i 为分选系数; S_{ki} 为 偏态; K_g 为峰态; $\varphi_5 \, \varphi_{16} \, \varphi_{25}$ 为概率累计曲线上第 5%、16%、25% 含量所对应的平均粒径值 φ , mm。

3.1 激光法与综合法结果比较

由于1~21 号样品通过激光法测试,显示砂含 量为0,故选取22~49 号样品进行激光法与综合法 对比测试(表1)。从表1可以看出:激光法与综合 法在砂粒部分所测含量大致相等,差异不显著;粉 砂部分综合法所测含量普遍低于激光法; 黏粒部 分综合法所测含量普遍高于激光法; 从砂粒至黏 土随着粒径变小,两者含量差异显著增强,相对误 差增大。

表1 激光法与综合法测试砂、粉砂、黏土含量

Tab. 1	Content of sand	silt and clay	measured by	comprehensive	method and	laser method

子社	黏土/%			粉砂/%			砂/%		
刀法	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
综合法	36.6	1.2	14.5	47.0	1.3	15.2	97.4	16.4	70.3
激光法	20.6	0.7	7.6	71.2	1.0	22.3	98.3	16.2	70.1
绝对误差	16.1	0.5	6.9	-24.2	0.3	-7.1	-0.9	0.2	0.2
相对误差	44.0	41.7	47.6	-51.5	23.1	-46.7	-0.9	1.2	0.3

注:绝对误差=综合法-激光法;相对误差=绝对误差/综合法×100%。

采用 Folk 分类命名方法进行分类(图2),激光 法与综合法测试结果所得的沉积物质地有一定的差 异,激光法测定结果分布于砂(7个)、粉砂质砂 (16个)与砂质粉砂(5个),综合法测定结果分布于 砂(7个)、泥质砂(14个)、粉砂质砂(1个)与砂质泥 (6个),综合法明显靠近黏土端,激光法所测结果相比 综合法结果偏粗,表明虽然大部分样品均位于同一大 类,但两种方法确定的沉积物细分质地存在一定差异。



Fig. 2 Folk classification of results comprehensive method and laser method before and after correction

通过对粒度组分进行回归分析(表 2),结果显示: 粒度组分的回归方程的相关系数均具有显著性, 但随着粒径减小,相关性逐渐降低; 砂、粉砂回归方 程截距与前人研究^[5-9]相差较大; 黏土部分回归方 程斜率与截距同前人^[3-4,9]均有差异。结论显示不

表 2 激光法与综合法组分含量回归分析 Tab. 2 Regression analysis of component content by laser method and comprehensive method

粒度组分	样品个数	回归方程	相关系数(R ²)
砂含量/%	28	$y = 1.008 \ 4x - 0.817 \ 7$	0.99
粉砂含量/%	28	$y = 1.341 \ 4x + 1.931 \ 8$	0.92
黏土含量/%	28	$y = 0.430 \ 3x + 1.361 \ 9$	0.72

注: y 为激光法数据,x 综合法数据。

同粒度特征的样品在不同的粒度分布下,激光法与 综合法测定的结果不具有统一的转换关系。

运用表2的回归方程对激光法数据进行转换 计算(图2(b))。转换后激光法数据对比原始数据 显示,砂含量略微降低,粉砂含量显著减少,黏土含 量显著提高,转换前后有17个样品的细分质地发 生改变,约90%的样品与综合法数据落于同一区 域,总体来说回归转换效果良好。

两种方法所测粒度参数的变化趋势较为一致 (图3,图4),一致性最好的是平均粒径,分选系数、 偏态、峰态一致性逐渐减弱。除37号样品外,所有 样品综合法所测平均粒径均小于激光法。



图 3 激光法与综合法粒度参数差值





Fig. 4 Comparison of grain size parameter by laser method and comprehensive method

对两种方法所测的粒度参数进行回归分析 (图5),可以看出平均粒径具有非常好的相关性, 相关系数 $R^2 = 0.97$,分选系数的相关系数 $R^2 = 0.90$,偏态、峰态相关性系数分别为 $R^2 = 0.80$, $R^2 = 0.72$ 。从平均粒径到峰态相关系数是逐渐减弱 的,但均呈较好的相关性,这与 Blott 等^[12]得出的 天然沉积物的分选系数、偏态、峰态的相关性低于 平均粒径相关性的结论是一致的。但粒度参数回 归方程的斜率、截距与前人^[5,7,9]结果不具有统 一性。



Fig. 5 Regression analysis of grain size parameter by laser method and comprehensive method

将样品按照砂质粉砂、粉砂质砂、砂类再次进 行回归分析(表3),除粉砂质砂类的偏态、峰态和 砂类的平均粒径相关性有所提高外,各类别样品 的粒度参数相关性均表示出不同程度下降,尤其 是砂质粉砂类和砂类参数的相关性下降显著。 同时,分选系数、偏态、峰态的相关性依旧低于平 均粒径的相关性。按照类别进行回归分析后,各 粒度参数相关性并没有升高,反而下降,这与全 长亮等^[7]得出的相关系数增大的结论并不一 致。通过对分类后样品粒度参数进行比较,发现 粒度参数范围相较于综合类出现了大幅度的降 低,这导致了各个数据点在进行线性回归时聚集 在一起,从而导致各粒度参数相关性不同程度降 低。据此判断,样品质地的多样性、变化性,将大 大提高两种方法之间相关系数。

	siza noromotors						
Tab. 3	3 Regression analysis of classified sample grain						
	表 3 样品分类粒度参数回归分析						

		F		
样品 类别	样品 数量	粒度参数	回归方程	相关系数 (R ²)
		平均粒径 φ/mm	y = 0.825 8x + 0.13	0.97
全部	20	分选系数	y = 0.851 8x + 0.12	0.90
样品	28	偏态	$y = 0.850 \ 8x + 0.061 \ 2$	0.80
		峰态	y = 0.5807x + 0.4469	0.72
		平均粒径 φ/mm	y = 0.8915x - 0.084	0.62
砂质 粉砂类	5	分选系数	$y = 0.762 \ 8x + 0.248 \ 2$	0.19
		偏态	y = 0.4884x + 0.0773	0.37
		峰态	$y = 0.339 \ 4x + 1.073 \ 5$	0.02
	16	平均粒径 φ/mm	y = 0.7637x + 0.4576	0.93
粉砂质		分选系数	y = 0.8705x + 0.0934	0.90
砂类		偏态	$y = 1.238 \ 3x - 0.178 \ 3$	0.88
		峰态	$y = 0.687 \ 6x + 0.258 \ 7$	0.91
		平均粒径 φ/mm	$y = 0.947 \ 7x - 0.131$	0.99
7小米	7	分选系数	$y = 0.939 \ 2x + 0.047 \ 1$	0.89
吵尖	/	偏态	y = 0.5677x + 0.1235	0.20
		峰态	$y = 0.112 \ 1x + 0.960 \ 9$	0.02

注: y 为激光法数据, x 为综合法数据。

3.2 悬浮液激光法再测分析

对1~21 号和22~49 号湿筛所得的悬浮液 (粒径 < 63 μm)分别进行吸液管法和激光法测 试,并采用 Folk 分类命名方法进行分类。吸液管 法测定结果分布于泥(35 个)、粉砂(14 个),激光 法测定结果分布于泥(23 个)、粉砂(25 个)、砂质 粉砂(1 个),吸液管法所测结果明显靠近黏土端, 激光法所测结果相比综合法结果偏粗,两种方法 确定的沉积物细分质地有一定差异,但大部分样 品位于同一类。

从表4看出吸液管法和激光法所测黏土含 量差异显著,吸液管法所测黏土含量远大于激光 法所测含量,这与量筒内悬浮液静置72h后,悬 浮液仍未完全澄清的现象相符合。吸液管法黏 粒含量大于激光法原因是多方面的:激光粒度 仪由于测试范围的限制,粒径 <0.04 μm 的颗粒 不参与计量,而吸液管法没有测试下限;由于存 在布朗运动,微粒受到各个方向液体分子的碰 撞,微粒粒径越小,布朗运动作用越明显,导致黏 土颗粒沉降变慢;黏粒颗粒越小比表面越大,含 有较多的强结合水,在(105 ± 5) ℃ 烘干条件 下,强结合水也参与了计重;常见颗粒形态并不 是STOKES 定律所假定的球形,而是具有各种形 状(片状、柱状、椭球状),Konert等^[13]认为矿物 形态影响沉降速度,在颗粒具有相同体积情况 下,球形颗粒沉降最快,非球形颗粒沉降较慢。

表4 激光法与吸液管法测试砂、粉砂、黏土含量

Content of sand silt and clay content measured by laser method and ninette method

	100.4 C	ontent of su	na, sni ana	city content	measurea b	y laser meen	ou and piper	te methou		
十斗		黏土/%			粉砂/%			砂类/%		
刀法	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	
吸液管法	66.5	29.4	52.7	70.6	33.5	47.3	0.0	0.0	0.0	
激光法	53.2	9.8	27.2	87.5	46.8	71.7	11.2	0.0	1.1	
绝对误差	13.3	19.6	25.5	- 16.9	-13.3	-24.4	-11.2	0.0	-1.1	
相对误差	20.0	66.7	48.4	-23.9	- 39.7	-51.6	_	_	_	

注:绝对误差=吸液管法-激光法,相对误差=绝对误差/吸液管法×100%,"一"表示未计算。

悬浮液激光法所测结果显示其粒径值并没 有全部 <63 μ m,在22、24、25、40、43、46、47、49 号样品中均测试出含有砂粒,含量最高者可达 11.2%。通过对砂粒含量较高的悬浮液烘干后 采用显微镜观察,发现具有较大轴长比的颗粒较 多(图6)。在湿筛时,并不是三轴均小于筛孔直 径时才能通过筛孔,筛孔主要控制的是颗粒中 轴。标准筛孔为边长 *L* 的正方形孔,筛孔对角线 长度为 $\sqrt{2}L$,极端情况下中轴小于 $\sqrt{2}L$ 的颗粒也 可以通过筛孔,导致了部分粒径较大颗粒也通过 了筛孔。

将激光法与吸液管法粒度参数进行比较 (图7),两种方法所测平均粒径走势较为一致,吸 液管法所测平均粒径均小于激光法所测结果。吸 液管法所测分选系数普遍均低于激光法,这与吸液 管法在黏粒部分异常集中偏高有关。偏态系数差



图6 悬浮液中具有较高轴长比的颗粒



距显著,激光法所测偏态较为稳定,吸液管法所测 偏态波动较大,吸液管法所测偏态系数普遍低于激 光法。峰态系数差值稳定,吸液管法所测峰态参数 均低于激光法。







对两种方法所测的粒度参数进行回归分析 (图8),除平均粒径具有较好相关性外, R²为 0.84,分选系数、偏态、峰态相关性非常弱,两种方 法测定的结果不具有较好的转换关系。





Fig. 8 Regression analysis of grain size parameter by laser method and pipette method

为了更好地比较吸液管法与激光法在黏粒、粉 砂部位的区别,我们以 1 φ 为间隔,分别计算每个粒 径范围内的百分比含量(表5,图9)。在4 φ ~5 φ 之 间,吸液管法所测含量与激光法所测含量大致相 等; 5 φ ~8 φ 之间,吸液管法所测含量小于激光法所 测含量; 8 φ ~9 φ 之间,吸液管法所测含量与激光法 所测含量大致相等; 9 φ ~10 φ 之间,吸液管法所测 含量略高于激光法所测含量; 大于 10 φ 时,吸液管 法所测含量发生了显著升高,远高于激光法所测含量,两种方法平均值分别为 29.0% 与 5.8%。我们可以得出结论:随着粒径的减小,吸液管法所测各粒级含量与激光法所测含量是大致相等—小于— 大致相等—显著大于的变化趋势,尤其是大于 10*φ*时,吸液管法所测含量发生了显著增大,远大于激 光法所测含量,这与实际情况并不一致的,这也是导致吸液管法所测黏粒含量普遍大于激光法的原因。

rab. 5 Comparison of different grain size by faser method and pipette method											
}. +	<4arphi/%				[4,5) <i>φ</i> /%			[5,6) <i>\varphi</i> /%			
刀伝	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值		
吸液管法	—	—	—	29.7	0.3	7.8	20.1	1.1	8.6		
激光法	11.2	0.0	1.05	29.6	0.0	6.1	28.7	3.5	17.3		
绝对误差	—	—	—	0.1	0.3	-1.7	-8.6	-2.4	-8.7		
相对误差	—		_	0.3	100.0	21.8	-42.8	-218.2	- 101.2		
卡汁		[6,7) <i>φ</i> /%			[7,8) <i>φ</i> /%			[8,9) <i>\phi</i> /%			
刀伝	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值		
吸液管法	24.4	6.8	15.5	21.2	8.5	15.2	21.0	5.2	14.2		
激光法	34.1	12.7	26.0	28.7	11.1	21.8	26.1	8.2	14.9		
绝对误差	-9.7	-5.9	- 10.5	-7.5	-2.6	-6.6	-5.0	-3.1	-0.7		
相对误差	- 39.8	-46.5	-67.7	-35.4	- 30.6	-43.4	-23.8	- 59.6	-4.9		
古法		[9,10) <i>\phi</i> /%			≥10φ/%						
刀伍	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	_				
吸液管法	21.9	4.2	9.8	37.8	12.6	29.0					
激光法	17.4	0.0	7.1	12.6	0.5	5.8					
绝对误差	4.5	4.2	2.7	25.2	12.1	23.2					
相对误差	20.5	100.0	27.6	66.7	96.0	80.0					

参数进行回归分析(表6,图10),两种方法所测结

果比较接近^[14-18],平均粒径相关系数最好为0.93,

分选系数、偏态具有较好相关性,相关系数分别为 0.65、0.65。峰态相关性非常弱,为0.0009,通过 对比发现峰态值主要分布在 0.8~1.0 之间,参数

范围非常窄,各个数据点在进行线性回归时聚集在

method and sieve method

激光法与筛析法粒度参数相关值

Relative value of grain size parameter by laser

回归方程

 $y = 1.175 \ 9x - 0.543 \ 5$

y = 1.7849x - 0.4612

y = 0.6763x + 0.1087

 $y = -0.011 \ 3x + 0.933 \ 6$

0.9

1.1

相关系数(R²)

0.93

0.66

0.67

0.000 9

一起,从而导致峰态相关性最低。

样品数量

28

28

28

28

表 6

Tab. 6

分选系数

偏态

峰态

粒度参数

平均粒径值 φ/mm

表 5 激光法与吸液管法不同粒级对比

注:绝对误差=吸液管法-激光法;相对误差=绝对误差/吸液管法×100%;"一"表示无数据。



Fig. 9 Comparison of different grain size average value by laser method and pipette method

3.3 筛析颗粒激光法再测分析

对 22~49 号样品的粗端颗粒(>63 µm)再次 进行激光法测试。将筛析法和激光法所测的粒度



图 10-1 激光法与筛析法粒度参数回归分析

Fig. 10 – 1 Regression analysis of grain size parameter by laser method and sieve method



图 10-2 激光法与筛析法粒度参数回归分析

Fig. 10 – 2 Regression analysis of grain size parameter by laser method and sieve method

以 0.5 φ 为间隔, 计算各粒级含量(表 7, 图 11)。激光法中所有样品均测出有粒径 > 4φ 的颗 粒, 平均含量为 2.27%, 最高可达 7.25%。对湿筛 后的粗端样品烘干后, 采用显微镜进行观察, 发现 小于筛孔孔径的颗粒未能全部通过筛孔。分析认 为原因是多样的: <63 μm 的微粒,质量较轻,下落 通过筛孔的的能力较弱;微粒因潮湿和荷电产生 团聚现象,使其较难通过筛孔^[18]。

表7 激光法与筛析法不同粒级对比

Tab.7 Comparison of different grain size by laser method and sieve method

<u>→ >+</u>	$>4\varphi/\%$				(3.5,4] <i>φ</i> /%		(3,3.5] <i>\varphi</i> /%				
刀法	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值		
筛析法	—	—	_	16.3	0.02	4.8	28.6	0.03	12.4		
激光法	7.3	0.4	2.3	14.9	—	3.8	23.4	0.06	9.3		
绝对误差	—	—	_	1.4	0.02	1.0	5.2	-0.03	3.1		
相对误差		_		8.6	100	20	18.1	- 100	25.2		
子社	$(2.5,3]\varphi/\%$				(2,2.5] <i>φ</i> /%			(1.5,2] <i>φ</i> /%			
刀法	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值		
筛析法	26.4	5.5	18.8	32.8	15.8	26.7	34.0	8.1	23.8		
激光法	20.8	3.2	16.3	25.3	15.4	22.8	35.4	13.5	27.1		
绝对误差	5.6	2.2	2.5	7.5	0.4	3.9	-1.5	-5.4	-3.3		
相对误差	21.2	41.0	13.1	22.9	2.3	14.5	-4.4	-66.1	-14.0		
<u>→ >+</u>		(1,1.5] <i>\varphi</i> /%			$(0.5,1]\varphi/\%$			≤0.5 <i>φ</i> /%			
力法 -	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值		
筛析法	25.6	4.1	11.0	15.5	0.2	1.6	5.8	_	0.9		
激光法	19.5	5.8	14.6	21.9	0.8	3.4	13.4	—	0.5		
绝对误差	6.0	-1.7	-3.6	-6.5	-0.6	-1.8	-7.6	_	0.4		
相对误差	23.6	-40.4	-32.5	-41.9	-338.9	-110.6	-132.3	_	46.7		





laser by method and sieve method

对两种方法所测各粒级含量比较,筛析法与激 光法所测结果很接近,[2,4] φ 时筛析法所测含量 略高于激光法所测含量,随着粒径变粗,筛析法所 测含量略低于激光法所测含量。激光法与筛析法相 比,激光法对于粗粒含量测试值偏高,导致激光法平 均粒径普遍大于筛析法。Blott 等^[12]和 Konert 等^[13] 认为颗粒的形状和球度是造成差异的主要原因:首 先,相同体积的情况下,不规则形状的颗粒的横截面 大于球体;其次,相同体积下,球度较差的沉积物有 较高的轴长比,较高轴长比的颗粒能通过筛孔,而 球体颗粒未必可以,所以由每级筛孔拦截颗粒减 少,导致筛析法获得的粒径普遍小于激光法。

4 结论

(1)渤海曹妃甸海域沉积物激光法与综合法 (吸液管 - 筛析法)结果具有显著性差异,激光法与 综合法所测砂粒含量大致相等,粉砂含量测试结果 普遍高于综合法测试结果,黏土含量测试结果普遍 低于综合法测试结果。

(2)激光法和吸液管法结果误差主要在发生 在粒径10φ阶段,吸液管法结果误差黏土含量显 著升高,导致粒径小于激光法。激光法与筛析法 结果误差主要发生在粗端颗粒,激光法测试结果 粗端颗粒普遍含量升高,粒径普遍大于筛析法测 试结果。

(3)激光法测量曹妃甸海域沉积物的粒度特征 是可行的,并且建立了黏粒含量较少的砂类样品激 光法与综合法数据转换模型。

(4)由于测量原理的不同,激光法与综合法间 存在着显著的误差,在进行新老数据比对和使用 时,一定程度的校正是可行、必要的,但简单的线性 模型仍存在着局限性,需进行进一步分析探讨建立 较好的数理关系。

参考文献(References):

- 刘雪梅,黄元仿.应用激光粒度仪分析土壤机械组成的实验 研究[J].土壤通报,2005,36(4):579-582.
 Liu X M, Huang Y F. An experiment study on employing laser grain - size analyzer to analyze soil mechanical composition[J].
 Chinese Journal of Soil Science,2005,36(4):579-582.
- [2] 李学林,李福春,陈国岩,等. 用沉降法和激光法测定土壤粒度的对比研究[J].土壤,2011,43(1):130-134.
 Li X L, Li F C, Chen G Y, et al. Comparative study on grain size measured by laser diffraction and sedimentation techniques[J]. Soils,2011,43(1):130-134.
- [3] Pieri L, Bittelli M, Pisa P R. Laser diffraction, transmission electron microscopy and image analysis to evaluate a bimodal Gaussian model for particle size distribution in soils [J]. Geoderma, 2006, 135:118-132.
- [4] Eshel G, Levy G J, Mingelgrin U, et al. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle – size distribution analysis[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68:736 – 743.
- [5] 朱瑜,张卓栋,刘畅,等.激光粒度仪与吸管法测定土壤机械 组成的比较研究——以不同退化程度栗钙土为例[J].水土 保持研究,2018,25(3):62-67,204.

Zhu Y, Zhang Z D, Liu C, et al. Comparison of laser diffraction method and pipette method on soil particle size distribution determination: A case study of variously degraded Kastanozem[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25 (3): 62 - 67,

204.

[6] 王大安,刘刚,王翔鹰,等.用激光法和吸管法测定东北黑土 区侵蚀泥沙颗粒组成的差异分析[J].中国水土保持科学, 2016,14(1):114-122.

Wang D A, Liu G, Wang X Y, et al. Comparative study on particle size distribution of eroded sediment by laser method and pipette method in black soil region of Northeast China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2016, 14(1):114 – 122.

- [7] 全长亮,高抒. 江苏潮滩沉积物激光粒度仪与移液管 筛析 分析结果的对比[J]. 沉积学报,2008,26(1):46-53.
 Tong CL,Gao S. Comparison between grain size data by laser and pipette - sieve methods for tidal flat sediments on Jiangsu coast[J].
 Acta Sedimentologica Sinica,2008,26(1):46-53.
- [8] Ramaswamy V, Rao P S. Grain size analysis of sediments from the Northern Andaman Sea: Comparison of laser diffraction and sieve – pipette techniques[J]. Journal of Coastal Research, 2006, 22(4): 1000 – 1009.
- [9] 杨金玲,张甘霖,李德成,等.激光法与湿筛-吸管法测定土 壤颗粒组成的转换及质地确定[J].土壤学报,2009,46(5): 772-780.

Yang J L,Zhang G L, Li D C, et al. Relationships of soil particle size distribution between sieve – pipette and laser diffraction methods[J]. Acta Pedologica Sinica,2009,46(5):772-780.

- [10] Zhu H, Bing H J, Yi H P, et al. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in surface sediments of the Caofeidian adjacent sea after the land reclamation, Bohai Bay [J]. Journal of Chemistry, 2018, 2018;2049353.
- [11] Folk R L, Ward W C. Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27(1): 3 - 26.
- [12] Blott S J, Pye K. Particle size distribution analysis of sand sized particles by laser diffraction: An experimental investigation of instrument sensitivity and the effects of particle shape[J]. Sedimentology, 2006, 53(3):671–685.
- [13] Konert M, Vandenberghe J. Comparison of Laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: A solution for the underestimation of the clay fraction [J]. Sedimentology, 1997, 44(3):523 – 535.
- [14] 王伟鹏,刘建立,张佳宝,等. 基于激光衍射的土壤粒径测定 法的评价与校正[J]. 农业工程学报,2014,30(22):163 - 169.

Wang W P, Liu J L, Zhang J B, et al. Evaluation and correction of measurement using diffraction method for soil particle size distribution [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(22):163 – 169.

- [15] 蓝先洪,张志珣,李日辉,等. 南黄海沉积物不同粒度分析结果的对比研究[J]. 海洋地质动态,2006,22(10):5-7.
 Lan X H,Zhang Z X,Li R H, et al. Comparison of different grain size analyses for sediments in the south yellow sea[J]. Marine Geology Letters,2006,22(10):5-7.
- [16] 杨竟,崔俊,周莉,等. 砂岩筛析法与激光法粒度数据相关关系研究[J]. 内蒙古石油化工,2010,36(10):8-11.
 Yang J, Cui J, Zhou L, et al. Study on relative relations in particle sizes with sandstone screening method and laser spectroscopy[J].

Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2010, 36(10):8-11.

[17] 李文凯,吴玉新,黄志民,等. 激光粒度分析和筛分法测粒径 分布的比较[J]. 中国粉体技术,2007,13(5):10-13.
Li W K, Wu Y X, Huang Z M, et al. Measurement results comparison between laser particle analyzer and sieving method in particle size distribution [J]. China Powder Science and Technology, 2007,13(5):10-13.

[18] 孟召兰,段宇,陈鹏飞,等. 细粉砂岩筛析法与激光法粒度测量相关性研究[J]. 中国海上油气,2018,30(5):116-122.
 Meng Z L,Duan Y,Chen P F, et al. Study on correlation of sieving a-nalysis method and laser method for fine siltstone particle size[J].
 China Offshore Oil and Gas,2018,30(5):116-122.

Testing results comparison between laser method and comprehensive method for sediment grain size in Caofeidian of Bohai Sea

ZENG Jiao, PANG Guotao, FENG Yongcai, GUO Xujun, LIU Xiaodan

(Yantai Geological Survey Center of Coastal Zone, China Geological Survey, Shandong Yantai 264000, China)

Abstract: Laser method and comprehensive method (pipette method – sieve method) are commonly used to test the sediment grain size characteristics. Due to the differences in testing principles and analysis processes, the test results obtained by these two methods for the same sample are often not completely consistent. In order to explore the commonalities, differences, and correlations between the two methods, and establish a conversion relationship between the results by laser method and comprehensive method suitable for this sea, the authors in this research compared testing results by these two methods from 49 sediment samples in Caofeidian. The results show that: (1) Sand content measured by laser method and comprehensive method is roughly equal. And silt content measured by laser method is generally higher than the result by comprehensive method, and the clay content measured by laser method is generally lower than the result by comprehensive method. (2) The difference between laser method and pipette method mainly occurs at 10φ , and the clay content by comprehensive method significantly increased. The difference between laser method and sieve analysis method mainly occurred in the coarse end grain, and the coarse end grain content is generally higher measured by laser method. (3) The correlation between laser method and comprehensive method in grain size parameter regression analysis gradually decreases as the grain size decreases. The slope and intercept of the gran size parameter regression equation also do not have a unified conversion relationship with previous research results. It is found that laser method is feasible in measuring the grain size characteristics of sediments, and a data conversion model was established between laser method and comprehensive method in Caofeidian. The data results obtained by these two methods can be converted to each other with a grain size range of $[-1, 4]\varphi$. The difference of grain size characteristics by laser method and comprehensive method is clarified, which can be used as a reference for the measurement of grain size characteristics of sediments and a improvement of testing methods and procedures.

Keywords: gran size; laser method; comprehensive method; sieve method; pipette method

(责任编辑:常艳,王晗)