

γ 射线技术在河口航道地区浮泥观测中的应用

易瑞吉, 丁元国, 程和森

(南京水利科学研究院 水文学资源与水利工程国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 采用 γ 射线密度检测技术对某河口航道地区和某港口海湾工程海域浮泥的容重及分布情况进行了现场观测, 为合理、有效利用适航水深以及分析研究航道冲淤规律提供重要的原位观测资料。

关键词: γ 射线; 浮泥; 航道; 回淤

中图分类号: TL816; U697.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7512(2007)02-0090-04

Application of γ Ray to Field Investigation of Float Mud in Ocean Outfalls and Navigation Channels

YI Rui-ji, DING Yuan-guo, CHENG He-sen

(State Key Laboratory of Water Resources and Hydraulic Engineering,
Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The γ ray gauge is used to investigate the density and distribution of float mud in navigation channel area on site. The results provide important prototype information for effectively using navigable depth and studying rules of back silting.

Key words: γ ray; float mud; navigation channel; back silting

我国漫长海岸线上分布有众多港口,特别是大型港口多分布在河口地区。国家每年都要花费大量资金用于沿海港口出海航道疏浚,而河口、航道地区浮泥形成、发育和固结是直接造成航道回淤的重要原因之一。浮泥是指介于清水与海底之间,由絮凝状细颗粒泥沙组成的,容重为 $1.05 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$,有流动性的淤泥层^[1]。在一定的水动力和水文泥沙条件下,浮泥易在河口、航道地区产生,并分布在一定河域。文献^[2,3]资料表明,以上容重的浮泥一般不影响船舶的正常航行,可作为船舶的通航适航水深,但如果其进一步沉降固结,将形成回淤,影响航道通航。因此观测河口、航道地区河床上浮泥容重

垂线分布和平面范围浮泥厚度分布,对于有效利用适航水深,分析研究航道冲刷和回淤规律有重要意义。为了解决这一难题,曾有人尝试采用原始的打水砣法,也有采用潜水员入水踩点测量的方法,但往往费时费力,且无法保证精度。目前超声波技术在浮泥测量领域得到了一定的应用,但该方法在测量过程中易受外界因素干扰,有时难以准确测定浮泥层上下界面和厚度。与上述测量方法相比, γ 射线密度仪检测技术为接触式直接测量,垂线分辨率高、直观,不易受各种因素干扰,数据更可靠,在淤泥质海港或河口地区进行浮泥调查时常优先使用^[1]。本工作拟采用 γ 射线密度仪检测技术,在河口、航道地区现场观

测浮泥容重和分布,以便为合理利用适航水深,分析研究航道回淤规律提供原位观测资料。

1 测量原理及测量仪器

1.1 测量原理

当 γ 射线穿过物质时,其透射的 γ 射线强度随介质密度增大而按指数规律衰减。根据此原理可通过测量透射的 γ 射线计数率计算物质密度。在水饱和状态下, γ 射线透射法测量浮泥容重的理论计算公式^[4,5]为(1)式:

$$\rho = \rho_w + \frac{\rho_s - \rho_w}{(\mu_s \rho_s - \mu_w \rho_w) d} \ln \frac{CR_w}{CR} \quad (1)$$

(1)式中, ρ 为浮泥或淤泥密度, g/cm^3 ; ρ_w 为河水或海水密度, g/cm^3 ; ρ_s 为泥沙密度, g/cm^3 ; μ_w 为河水或海水的 γ 射线质量吸收系数, cm^2/g ; μ_s 为泥沙的 γ 射线质量吸收系数, cm^2/g ; d 为 γ 射线装置至 γ 射线探测器中心的距离, cm ; CR_w 为清水中仪器 γ 射线测量计数率, s ; CR 为仪器的 γ 射线测量计数率, s^{-1} 。

在确定的放射源和测量几何条件下,

$\frac{\rho_s - \rho_w}{(\mu_s \rho_s - \mu_w \rho_w) d}$ 为常数, 设为 B , ρ_w 设为 A , 公式(1)可简化为:

$$\rho = A + B \ln \frac{CR_w}{CR} \quad (2)$$

通过室内标定可确定常数 A 、 B , 建立仪器 γ 射线测量计数率与浮泥容重相关性的回归方程。

1.2 仪器的设计及标定

根据以上原理设计了平行双管叉式 γ 射线密度仪,其探头部分的结构示于图 1。在一根金属管中放置 γ 源²⁴¹Am,另一根管中放置 NaI 闪烁探测器, GDB-44 采用光电倍增管。定标器采用 FH463B 智能定标器,高压 1 250 V, 阈值 2.5。测量时探头缓慢放入水中,下沉速度 2~3 cm/s , 仪器每秒钟自动采集记录 γ 射线计数率,并计算出该浮泥层平均密度值,同时通过压力传感器记录相应水深。压力传感器的安装位置位于放射源上方 0.5 m 处,使其保持位于浮泥层上方的海水中,以避免海底浮泥密度变化对水深测量的影响。若浮泥层厚度大于 0.5 m,则根据浮泥层具体密度值数据进行水深校正,以保证浮泥层厚度测量精度优于 5 cm。为防止仪器在触及海底时发生倾斜,在钢丝绳上安装了拉力传感器,在探头触及海底时拉力传感器显示值会有显

著变化,据此可判断探头已到达海底,此时可结束测量。

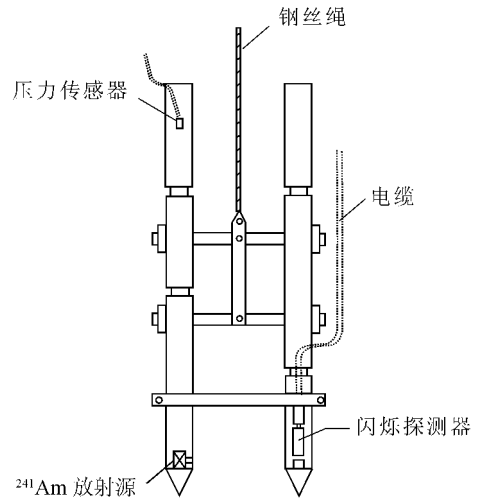


图 1 平行双管叉式 γ 射线密度仪结构示意图

γ 射线密度仪在用于现场浮泥原位密度测量前必须进行室内标定,以建立仪器 γ 射线测量计数率与被测浮泥密度相关性的数学方程。

室内标定时首先需配制多个已知的不同密度标样,然后使用 γ 射线密度仪分别测量上述已配制好的密度标样,并记录相应的 γ 射线计数率 CR 。某次室内标定 γ 射线密度仪时,泥浆标样容重与仪器测量结果的相关性数据列于表 1。

表 1 泥浆标样容重与仪器 γ 射线测量计数率相关性数据

标样序号	泥浆标样密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	仪器测量计数率 CR/s^{-1}	$\ln \frac{CR_w}{CR}$
清水	1.000	61 597	0
1	1.074	54 722	0.118 3
2	1.098	52 513	0.159 6
3	1.161	47 599	0.257 8
4	1.256	41 335	0.398 9
5	1.404	33 503	0.609 0

对表 1 中所列标定数据进行分析计算,得相应的回归方程:

$$\rho = 0.994 7 + 0.664 1 \ln \frac{CR_w}{CR} \quad (3)$$

泥浆标样密度与 $\ln \frac{CR_w}{CR}$ 的关系曲线示于图 2,此方程线性相关系数 $r = 0.999 5$ 。依据公式

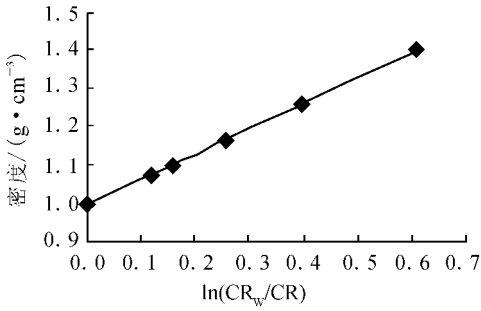


图 2 泥浆样密度与 $\ln \frac{CR_w}{CR}$ 的关系曲线

(3), 即可根据现场仪器所测计数率定点精确测量浮泥、淤泥容重随深度的变化。

2 γ 射线密度仪的实际应用

2.1 某河口航道地区应用实例

某河流位于我国东南沿海地区, 是一条源短流急的山溪性潮汐河流, 其上游洪峰暴涨暴落、历时短, 洪峰流量大, 流量变幅大, 河口形态呈喇叭型, 潮差大。该河流域来沙不多, 集中在汛期河口输入区, 枯水期几乎为清水。在一次大台风的影响下, 疏浚后的航道发生了严重淤积。为分析航道淤积, 摸清该航道工程区浮泥分布情况, 特别是了解台风对航道回淤的影响, 采用 γ 射线密度仪在该河的河口、航道地区进行浮、淤泥容重及分布的现场观测。该次观测的纵向范围为航道轴线约 10 km, 横向范围约 5 km, 测点数为 52 个。

通过测量, 得到了 52 个测点的河床上浮泥

容重垂直分布资料。具有代表性的 7 号测点浮泥、淤泥容重随高程的变化曲线示于图 3。对该工程海域实测资料进行整理分析, 得到了所有测点的浮泥厚度。结果显示, 在所有测点中有 12 个测点处存在浮泥, 平均厚度为 0.36 m, 其中在航道中部的 7 号测点处浮泥厚度最大, 为 1.15 m, 该航道测量地区的浮泥基本上连片分布, 主要集中在航道转折段的航道内及航道附近。

根据所得的浮泥厚度, 利用 surfer 软件绘出浮泥厚度在河口、航道地区平面分布图, 结果示于图 4。

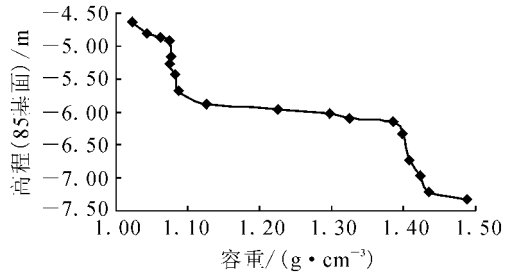


图 3 7 号测点浮泥、淤泥容重随高程变化曲线

2.2 某港口海湾工程海域应用情况

某港口海湾工程测量区域位于我国南部沿海地区, 面临南海, 属亚热带海洋性气候。该地区常年受热带风暴、台风等恶劣天气影响, 台风过后, 港口航道回淤严重, 需采用 γ 射线密度仪对该海域进行浮泥观测, 以便为港口码头开发规划方案选择和试验研究提供基础资料。该海域测量区总面积约为 2 000 km², 在该海区均匀布点, 特殊地点进行加密测量, 总计布置 60 个测点。

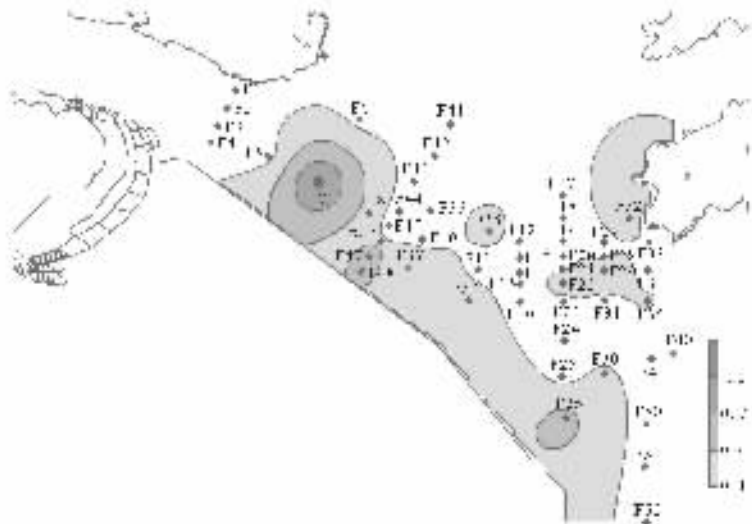


图 4 某河口航道地区浮泥厚度分布图

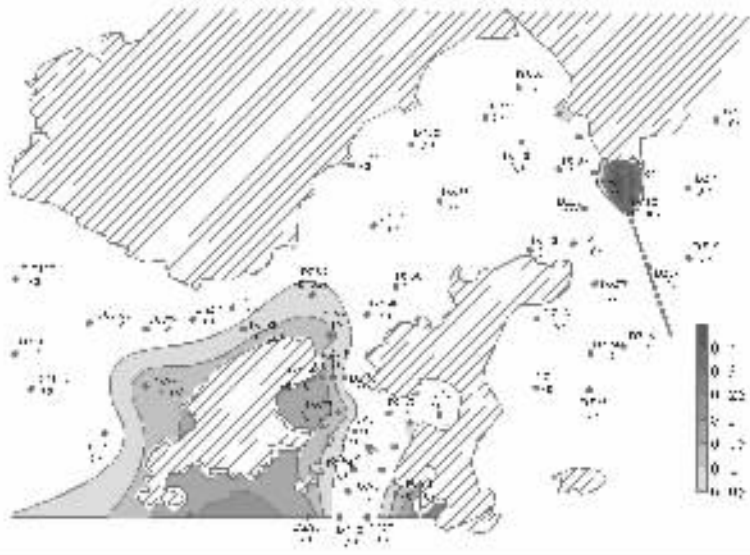


图 5 某港口海湾地区浮泥厚度分布图 (厚度单位: m)

其浮泥厚度分布示于图 5。根据图 5 测量资料分析整理得出:在该海域的 60 个测点中,有 17 个测点发现有浮泥存在,主要分布在两片区域,其中一片为某电厂出海航道地区,另一片为图 5 左边小海岛周边地区。其中某电厂出海航道地区浮泥厚度较大,最厚达 0.95 m,而海岛周边地区浮泥厚度较薄,大都在 0.20 m 以下,其他地区不存在浮泥。

3 结束语

γ 射线密度仪检测技术已在我国多个河口、港湾地区工程水域的浮泥现场观测中得到成功应用,为分析、研究港池、航道回淤规律提供了大量可靠的原位实测资料,但在实际应用中应注意以下几个问题:

(1) 由于 γ 射线密度仪检测技术采用点测法,即在现场进行逐点测量,因此与超声波走航式扫描测量相比,其测量速度较慢。因此在大面积工程水域观测时,不宜测点太密,仅需在关键、重要部位合理增加测点布置密度。与此同时,最好配合进行同步海底底质取样,以取得相互对比印证资料和底质泥沙粒分布资料。

(2) 由于浮泥观测大都在河口、海湾地区进

行,存在涨、落潮流和风浪作用,为了获取更好的测量资料,测量宜选择在风力小于 4 级的天气进行,并且宜选择高、低平潮前后进行测量,避免测量船上下波动过大和潮流流速过大对船只定位和水深测量等造成影响。

参考文献:

- [1] JTJ319-99 疏浚工程技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,1999:2,10-11.
- [2] 严恺,梁其荀. 海岸工程[M]. 北京:海洋出版社,2002:428-438,465.
- [3] 程和森,魏明成,王顺中,等. 用 γ 射线方法观测瓯江口浮泥容重分布和泥沙沉降固结[R]. 南京:南京水利科学研究所,2004.
- [4] 李樟苏,曹更新,程和森,等. 同位素技术在水利工程中的应用[M]. 北京:水利电力出版社,1990:174-175.
- [5] 程和森,丁元国,王顺中,等. 用 γ 射线方法观测瓯江口航道治理一期工程后和乐清湾港区浮泥容重及分布[R]. 南京:南京水利科学研究所,2005.
- [6] 程和森,丁元国,魏明成,等. 用 γ 射线方法观测广海湾及上下川岛工程海域浮泥容重及分布[R]. 南京:南京水利科学研究所,2006.