

杨慧良, 陆 凯, 褚宏宪. 海洋地质地球物理调查技术方法发展趋势探讨[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(9): 1-5.

海洋地质地球物理调查技术 方法发展趋势探讨

杨慧良^{1,2}, 陆 凯^{1,2}, 褚宏宪^{1,2*}

(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071)

摘 要:详细总结了海洋地质调查和海洋地球物理调查技术的发展状况、适用范围、主要存在的问题和发展方向, 阐述了海洋地质调查取样技术发展趋势逐步向可视化、集成化、自动化、数字化和水下动力定位方向发展。海洋地质地球物理调查技术发展趋势主要由近海探测技术向深远海探测技术发展, 由船载探测技术向近海底、原位观测技术发展, 由单一探测技术向集成化、精细化探测技术、多方位立体式综合调查等方向发展。

关键词:海洋地质调查; 探测技术; 多道地震; 高分辨率

中图分类号: P631; P736

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2019.09001

0 引言

随着科技的进步发展, 我国海洋地质地球物理调查技术方法已进入快速发展阶段, 不断完善现有技术方法, 开拓已有技术方法新的应用领域, 进行新技术方法的研发、应用和推广是必由之路。近年来, 海洋地质调查范围从近海逐步扩展到深海, 海洋地质调查技术促进了许多重大科学事件的出现, 推动了科学的进步。调查方式从单一的船载调查逐渐发展为船载调查、航空物探遥感及水下探查的立体式综合调查^[1-2]。水深地形测量技术是随着科技进步的发展不断提高的, 可以极

大地提高测量精度和工作效率^[3], 并且降低了测量成本, 提高了测量成果准确性和技术应用水平^[4]。通过实施海洋地质调查技术, 系统地采集海洋地质基础数据, 为海洋基础地质调查、海岸带综合地质调查、海域油气和天然气水合物资源勘查、海洋丝绸之路专项等提供技术方法支撑和设备保障等服务。笔者结合前人的研究成果, 主要总结了海洋地质调查和海洋地球物理调查技术的发展状况, 并探讨了各调查方法未来的发展趋势。

1 海洋地质地球物理调查技术方法

海洋地质调查是海洋沉积、海洋地貌和海底构造调查的统称。海洋地质地球物理调查方法主要分为两大类, 分别为海洋地质调查技术方法和海洋地球物理调查技术方法。海洋地质调查技术方法包括表层地质取样、柱状地质取样和海底钻探。海洋地球物理调查技术方法主要利用地球物理调查方法获取数据资料来查明海底地形特征、地层结构、地质构造及其展布规律, 地球物理调查技术方法包括导航定位、水深测量(单波束测深、

收稿日期: 2019-05-25

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20191003, DD20189503); 国家自然科学基金(41276060, 41330964, 41606083)

作者简介: 杨慧良(1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋地球物理调查与研究方面的工作。E-mail: qdyhui liang@163.com

* 通讯作者: 褚宏宪(1973—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事海洋地球物理调查与研究方面的工作。E-mail: chx-8@163.com

多波束测深)、侧扫声呐测量、浅地层剖面测量、地震测量(单道地震、多道地震与小多道地震)、重力测量(船载重力、卫星重力和航空重力)、磁力测量(船载磁力、卫星磁力和航空磁力)和海底地热流测量等。随着智能技术的发展,ROV水下机器人技术、水下电视和摄影、海底原位观测、雷达测量技术以及钻探平台技术等非常规技术也逐步应用于海洋地质调查中。

1.1 海洋地质调查技术方法

1.1.1 表层地质取样

底质表层地质取样按取样设备分为抓斗取样、箱式取样、多管取样、拖网取样等方法采集,其采用的方法多为传统采样手段,主要了解海底表层地质类型、物源及其分布规律等。抓斗取样主要用于采取海底面以下0.3~0.4 m深度海底浅表层土样,箱式取样器采取海底沉积物样品受到的扰动较小,多管取样器是近几年发展起来的,主要用于深海软土沉积物取样,可以同时采集海底沉积物和上覆水样品,具有采集样品数量多、原始性保持好、采样质量高等优点,是目前获取表层沉积物样品和短柱样品最好的设备之一^[5]。

1.1.2 柱状地质取样

柱状地质取样采用重力柱状取样器、重力活塞取样器、振动活塞取样器、海底浅钻等方法取样,重力柱状取样器为应用广泛的常规取样设备,结构简单、使用方便,但采样率低、采样长度小、危险性高,振动取样器主要用于采取长柱状砂质样品^[6]。针对水合物调查对采集样品提出了保真保压等更高的要求,重力活塞式保真取样器国内也进行了研发生产,实现了保温、保压功能,取样长度可达10 m,目前在天然气水合物地质样品采集获得了较好的应用。

1.1.3 海底地质钻探

海底地质钻探(浅钻)主要采用海底浅层岩心钻机、液动海底冲击式勘探器、回转式海底取样器等方法来获得海底浅部地层岩心。勘探效率高,是取得海底地下实物资料、验证海底地下地质信息推断与解释的重要技术手段。我国3 000 m级海底地质浅地钻机于2003年研制成功,用于深海底浅表地层固体矿产资源岩心钻探取样,根据需要可实现一次下水在不同点钻取1~3个

岩心^[7]。

1.2 海洋地球物理调查技术方法

海洋地球物理调查技术方法包括导航定位技术、水深测量(单波束测深、多波束测深)、侧扫声呐测量、浅地层剖面测量、地震测量(单道地震、多道地震与小多道地震)、重力测量(船载重力、卫星重力和航空重力)、磁力测量(船载磁力、卫星磁力和航空磁力)、电磁测量、地热测量和OBS探测技术等。另外,航空航天遥感技术、ROV/HOV技术、雷达测量技术以及钻探平台技术等非常规技术也逐步应用于海洋区域地质调查中。笔者重点讨论几种与海洋地质调查相关的地球物理调查技术方法。

1.2.1 多波束水深测量

水深测量是了解水深变化和海底地形、地貌特征的主要技术手段。水深测量方法包括单波束测深和多波束测深。多波束测深较单波束测深具有测量范围大、高精度、高密度和高效率的特点,可以实现对海底全覆盖测量,具有水体探测功能多波束技术在天然气水合物探测应用获得较好的效果。多波束测量方式主要有等角、等距和高密度等模式,在不同测量模式下,获得的测深点数不同。多波束测深系统目前已实现全海域水深测量,其中浅水多波束系统测量精度达1 cm。

1.2.2 海洋侧扫声呐调查技术

侧扫声呐技术是广泛应用的海底成像技术之一,工作原理是通过安装在拖鱼上的换能器基阵发射高频的声脉冲信号,声信号在遇到海底或水体目标物时产生散射,反射回来的信号由拖鱼接收系统接收处理后以图像的形式记录,得到了反映海底地形地貌的声图。

近几十年来,随着科技的进步,多波束侧扫、多脉冲技术也不断地被应用于侧扫声呐系统中,以实现高速拖曳全覆盖的同时获得高分辨率的地貌图像信息,如美国Klein公司的Klein 5000系列系列深海多波束侧扫声呐系统^[8]。目前便携式、高精度、多频率选择等新型的声呐系统成为主流产品。有三维声成像功能的多波束测深声呐(如:Multi-beam Sonar System)和测深侧扫声呐被逐步发展和应用,能够弥补二维侧扫声呐的一些技术缺陷。前者采用等深线成像,适于安装在

船上做大面积测量;后者采用反向散射声成像,适宜搭载于各类水下载体上,包括拖体、水下机器人(AUV)、遥控潜水器(ROV)和载人潜水器(HUV),进行精细测量。

1.2.3 单道地震调查技术

单道地震方法主要用于以较高分辨率探测海底下数十米到一两千米左右深度范围内的地层,以较高分辨率提供该深度范围内的地层结构等地质特征。其勘探目标地层的深度范围在浅部、深部分别衔接浅地层剖面、多道地震探测的目标地层^[9]。海上单道地震具有配置灵活、施工效率高、中—浅部地层分辨率较高、应用面广等特点,在海洋地质调查领域应用广泛。

1.2.4 海洋小道距高分辨率地震探测技术

海洋小道距高分辨率探测技术是一门正在发展的学科,是地球物理勘探方法中地震勘探的重要组成部分,也是海底科学与探测技术三维立体观测与探测重要支持体系之一。其对于资源调查、沉积构造单元划分和工程地质灾害等调查,特别是海洋油气和天然气水合物等能源的调查具有重要的战略意义。传统的多道地震探测由于排列长、道间距大、近海施工灵活性差等特点,通常适用于海底千米深度以下深层探测,一般用于海洋油气资源的探测;浅地层剖面由于频率高,穿透地层深度能力差,通常用于海底以下 50 m 深度以内的高分辨率地层探测,一般适用于近海海洋工程建设的地球物理调查,因此,对海底以下 50~1 000 m 深度范围内地层的高精度探测,目前常用方法达不到地质目标要求的深度和精度。基于小道距的高精度海洋地震探测手段可以弥补目前方法的不足,实现高分辨率地层探测目的^[10-11]。由于对作业船的要求相对较低,可实施性强、应用灵活,配合大能量电火花震源系统,可扩展组成高分辨率三维地震应用于天然气水合物探测,极大提高针对海域天然气水合物资源探测效率和精度,特别在垂向和横向的分辨率都优于常规大排列多道地震探测系统,具有广阔的应用前景。

2 存在的主要问题和改进方向

2.1 海洋地质调查取样

常规传统的重力活塞受自重和下落高度的影

响,取样长度一般较短,且重锤回收在舷边作业,危险性较高;马达动力、海流等因素影响限制了常规振动取样器的使用,箱式取样器获取深海海底沉积物样品时取样过程姿态不可控、采样成功率低等问题。随着海洋地质调查技术的进步,表层地质取样技术逐步向可视化、集成化、自动化、数字化和水下动力定位方向发展,如电视抓斗、深海观测和取样复合型 ROV 水下机器人系统。新型海底取样设备便于取样工作和安全防护,可直接对取样目标进行取样,取样质量高,大幅度取样精度和提高作业效率。

针对箱式取样器获取深海海底沉积物样品时取样过程姿态不可控、采样成功率低等问题,研究深海自主姿态调节取样系统,实现在深海复杂水文条件下实现取样器姿态自主调节,提高深海沉积物取样成功率是改进的重要方向。

2.2 单道地震技术发展趋势

单道地震技术发展趋势主要有以下 4 个方向。

(1) 拓展单道地震应用

继续发挥好单道地震技术在区域地质调查、海岸带地质调查项目中作用,拓展单道地震技术在深海探测中的应用研究。

(2) 开展单道地震采集关键技术的研究

通过摸索降低船体噪音、水体噪音的方法与技术,来提高资料的信噪比;探索震源组合技术,来提高资料分辨率。

(3) 开展单道地震处理技术的研究

通过压制随机噪音,压制多次波技术,从处理阶段来提高资料质量。

(4) 引进和应用大能量电火花震源

随着地质调查向深海进军,工作海域不断扩大,目前现有的中小能量的电火花震源设备已不能满足多项目在不同水深海域同时开展的工作需求,采用大能量电火花震源及记录系统可实现全海域浅地层剖面调查,提高在海洋地质调查任务中的工作能力和调查水平。海洋大能量电火花震源及记录系统主要用于探测中深水海底中、浅地层结构,由数字记录系统、震源与信号接收电缆组成,主要适用于深水区地震测量海洋调查工作。

2.3 小道距海洋高分辨率多道地震探测

小道距高分辨率多道地震探测系统,目前主要采用道间距为 3.125 m、采集道数小于 120 道短排列地震拖缆,多采用小型船只作业,小于 120 道短排列小道距地震拖缆整体拖带长度较短,震源深度和拖缆深度受潮流、船速、配重等多种因素影响,在施工状态下电缆和地震电极沉放深度变化较大,造成拖缆工作状态不稳定,影响地震数据采集质量。为了实现电缆高精度的定位,在水听器缆前后以及震源架设定尾标,精确测量震源位置,水听缆接收器位置,羽角,航向等;配置深度鸟,可精确控制电缆入水深度,降低涌浪等随机噪声的影响;配置横向鸟及声学鸟,可精确控制拖缆间的距离,进行水下三维观测系统定位组网,实时监测面元覆盖次数。

2.4 高精度重、磁、浅地层剖面与地震联合采集技术

随着深海调查船装备能力的提高和有效提高工作效率需要,多种调查方法联合采集已经成为趋势。如“海洋地质九号”科考船通过重力、磁力、浅地层剖面、多道地震采集记录、震源控制系统空间的合理分配,船尾拖带震源、地震拖缆和磁力仪探头分别位于船尾后方左右两侧,互不干扰,达到相互干扰最小情况下的重磁震联合采集作业,可以实现重力、磁力、浅地层剖面与多道地震等同步采集。采用共享导航数据,各采集系统相对独立,可以同步获得地层的浅部和深部地震数据,获得重力和磁力等不同地球物理方法数有利于后期数据处理,促进重磁震联合反演和综合解释等工作。

3 结论

海洋地质调查技术方法体系已经初步建立,非常规海洋地质调查技术方法逐渐成熟,不断完善现有技术方法,开拓已有技术方法新的应用领域,尚需进行新技术方法的研发、应用和推广。

(1)目前海洋地质调查取样技术逐步向可视化、集成化、自动化、数字化和水下动力定位方向发展。

(2)海洋地质地球物理调查技术发展趋势主要由近海探测技术向深远海探测技术发展,由船

载探测技术向近海底、原位观测技术发展,由单一探测技术向一体化、精细化探测技术、多方位立体式综合调查等方向发展。

(3)小道距的高精度海洋地震探测可以实现高分辨率地层探测目的。可实施性强,应用灵活,配合大能量电火花震源系统,能极大地提高针对海域天然气水合物资源探测效率和精度。在垂向和横向的分辨率都优于常规大排列多道地震探测系统,具有广阔的应用前景。但在实际应用时应考虑短排列小道距地震拖缆整体拖带长度较短,震源深度和拖缆深度受潮流、船速、配重等多种因素影响变化较大,为实现电缆高精度的定位和提高地震数据采集质量,应合理采用定位尾标和配置深度鸟等施工控制措施。

(4)高效的高精度重、磁、浅地层剖面与地震联合采集技术可以实现系统地采集海洋地质重、磁、震等多种类基础数据,为海洋基础地质调查、海岸带综合地质调查、海域油气和天然气水合物资源勘查、海洋丝绸之路专项等提供技术方法支撑和设备保障等服务。

参考文献:

- [1] 闫凯,孙军,杨慧良,等.海洋区域地质调查技术方法进展[J].海洋开发与管理,2018,107(9):107-111.
- [2] 金翔龙.海洋地球物理研究与海底探测声学技术的发展[J].地球物理学进展,2007,22(4):1243-1249.
- [3] 褚宏宪,周小明,史慧杰,等.水深测量误差分析与改正[J].物探与化探,2011,35(3):358-363.
- [4] 褚宏宪,史慧杰,杨源,等.利用涌浪滤波器提高水深测量精度的实践[J].海洋测绘,2010,30(4):51-54.
- [5] 耿雪樵,徐行,刘方兰,等.我国海底取样设备的现状与发展趋势[J].地质装备,2009,10(4):11-16.
- [6] 蓝先洪,温珍河,李日辉,等.海底地质取样的技术标准[J].海洋地质前沿,2014,30(2):50-54.
- [7] 张同伟,秦升杰,唐嘉陵,等.深水多波束测深系统现状及展望[J].测绘通报,2018(5):82-85.
- [8] 李冬,刘雷,张永合.海洋侧扫声呐探测技术的发展及应用[J].港口经济,2017(6):56-58.
- [9] 褚宏宪,杨源,张晓波,等.高分辨率单道地震调查数据采集技术方法[J].海洋地质前沿,2012,28(12):70-74.
- [10] 褚宏宪,孙运宝,秦轲,等.小道距高分辨率多道地震对天然气水合物勘查的适用性[J].海洋地质前沿,2015,31(6):50-54.
- [11] 史慧杰,赵铁虎,褚宏宪,等.海域高分辨率24道地震采集技术在渤海海峡跨海通道项目中的应用[J].海洋地质前沿,2015,31(10):47-56.

FUTURE DEVELOPMENT TREND OF MARINE GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL SURVEY TECHNIQUES AND METHODS

YANG Huiliang^{1,2}, LU Kai^{1,2}, CHU Hongxian^{1,2*}

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China;

2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071, China)

Abstract: This paper briefly summarized the current status, application scopes, main problems and development trends of marine geological and geophysical survey technology. It is observed that the technology for marine geological/geophysical survey will move step by step towards visualization, integration, automation, digitization and underwater dynamic positioning. The marine geophysical survey technology will further develop from offshore survey to deep sea exploration, from shipborne operation to near-seabed and in-situ observation, and from single exploration technology to integrated and refined exploration technology as well as multi-directional and three-dimensional comprehensive survey technology.

Key words: marine geological survey; detection technology; multiple-channel seismic; high-resolution