

海缆工程技术丛书

海缆路由勘察技术

中国人民解放军海缆通信技术研究中心 组编
蒋俊杰 贺惠忠 陈津 等编著



机械工业出版社
JIA MACHINE PRESS



海缆工程技术丛书

海缆路由勘察技术

中国人民解放军海缆通信技术研究中心 组编

蒋俊杰 贺惠忠 陈 津 王瑛剑 陆 茸
钱立兵 吕修亚 杨文丰 杨 阳 陈 静 编著
周普志 于 刚 尹 飞 乔小瑞 舒 畅



机械工业出版社

本书是“海缆工程技术丛书”的一个分册，系统地介绍了海缆工程路由勘察的目的和内容以及相关的程序流程，并结合实例较为系统地论述了路由勘察的主要技术方法。读者通过本书能够了解海缆路由勘察的相关内容和技術。

本书可作为海缆工程技术领域的工具书和教材，供海缆通信专业的工程设计、施工、维护和管理人員使用，也可供从事海缆工程专业的科研教学人員参考。

图书在版编目（CIP）数据

海缆路由勘察技术/蒋俊杰等编著；中国人民解放军海缆通信技术研究中心组编. —北京：机械工业出版社，2017.6

（海缆工程技术丛书）

ISBN 978-7-111-57260-2

I. ①海… II. ①蒋…②中… III. ①海底-光纤通信-工程地质勘察 IV. ①TN913.332

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 149171 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：付承桂 责任编辑：付承桂 责任校对：佟瑞鑫

封面设计：鞠 杨 责任印制：李 昂

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2017 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·18 印张·338 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-57260-2

定价：69.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

编 委 会

(排名不分先后)

王瑛剑	罗青松	蒋俊杰	姬可理	周学军
袁 峰	罗钦发	张文轩	叶扬高	吴锦虹
刘志强	张忠旭	周媛媛	舒 畅	乔小瑞
贺惠忠	钱立兵	魏 巍	王 晶	陈 津
柯 超				

丛书序



在信息技术飞速发展的今天，海量数据的传输需求迅猛增长，海底光缆扮演着不可或缺的角色。如今，全球已建成数百条海底光缆通信系统，总长度超过 100 万 km，已经把除南极洲外的所有大洲以及大多数有人居住的岛屿紧密地联系在一起，构成了一个极其庞大的具有相当先进性的全球通信网络，承担着全世界超过 90% 的国际通信业务。因此海底光缆已成为全球信息通信产业飞速发展的主要载体，是光传输技术中的尖端领域，更是各大通信巨头争相抢夺的制高点。

而海底光缆通信是集海洋工程、海洋调查、船舶工程、航海技术、机械工程、通信工程、电力电子以及高端装备制造等于一体的多专业、多领域交叉的学科，因此海缆工程被世界各国公认为是世界上最复杂的大型技术工程之一。

本丛书是一套完整覆盖海缆工程各技术领域的工具书。中国人民解放军海缆通信技术研究中心在积累了 20 余年军地海缆建设工程实践经验，并结合多年承担全军海缆工程技术培训任务的基础上，组织国内海缆行业各相关领域领先的技术团队编写了本套丛书，包括《海底光缆工程》《海底光缆——设计、制造与测试》《海底光缆通信系统》《海缆工程建设管理程序与实务》《海缆路由勘察技术》《海缆探测技术》六本书，覆盖海缆工程从项目论证到桌面研究，从路由勘察到工程设计，再到海缆线路和相关设备制造、传输系统和关键设备集成，乃至工程实施及运行维护等各方面，以供海缆专业的工程设计、施工、维护和管理人员使用，也可供从事海缆工程专业的科研教学人员参考。

当前，我国海洋事业已进入历史上前所未有的快速发展阶段，“海缆工程技术丛书”的编著和出版，对我国海缆事业的长远规划和可持续发展具有重要意义，对推进我国海洋信息化建设、助力国家“一带一路”战略实施也将产生积极促进作用。

我国已迈出从海洋大国向海洋强国转变的稳健步伐，愿各位海缆人坚定信念、不忘初心，勇立潮头、继续奋进，为早日实现中国梦、海洋梦、强国梦贡献更大力量！

前言



海底光缆通信系统是国际通信、洲际通信的重要基础设施，具有超远距离传输、大容量、高可靠等特点，是实现全球互联的重要通信手段。1988年，世界上第一条跨洋海底光缆建成，经过20多年的发展，已在全球语音和数据通信骨干网中占据了主导地位，其他技术无法与之媲美。目前，海底光缆已跨越全球六大洲，总长度超过130万km，构成了一张不间断的巨型网络，提供国际通信90%以上的业务量，在世界经济发展、文化交流和社会进步的进程中正发挥重要的作用。

截至目前，我国已经出版的若干研究海底光缆工程、海洋工程勘察等方面的专著和论文专辑，其中虽然有部分内容涉及了海缆路由勘察，但尚无完全针对海缆路由勘察技术进行系统介绍的专著。编写组国家海洋局南海调查技术中心多年来参与了众多类型海缆路由勘察，例如国际光缆勘察、大型跨海峡超高压电缆路由勘察以及南海国防建设大型海缆路由勘察等，相关技术人员也因此积累了丰富的经验。本书即是在这一背景下，专门针对海缆工程路由勘察的特殊性并结合多年的经验形成的成果。

本书是“海缆工程技术丛书”的一个分册，系统地介绍了海缆工程路由勘察的目的和内容以及相关的程序流程，并结合实例较为系统地论述了路由勘察的主要技术方法。读者通过本书能够了解海缆路由勘察的相关内容和技術，可作为海缆工程各技术领域的工具书和教材，供海缆通信专业的工程设计、施工、维护和管理人員使用，也可供从事海缆工程专业的科研教学人員参考。

本书共分12章。第1章为概述，简要介绍了海缆路由勘察的目的、主要技术和相关程序，回顾了海缆路由勘察发展过程并展望了路由勘察技术的趋势。第2章为路由勘察的基础技术——导航定位，首先阐述了导航定位的基础知识，之后分别对水面导航技术和水下导航技术进行详细的论述。第3章讲述了地形测量的主要技术，地形测量作为最基础的勘察内容，包括陆地测量以及水下地形测量，书中除了介绍传统陆地测量技术，还对水下地形测量常用技术多波束水深测量和单波束水深测量从基本原理、系统组成、设备以及实际应用做了全面的描述。第4章则是探测海底面状况和障碍物中的主要技术——侧扫声呐探测，分别介绍了传统侧扫声呐和合成孔径声呐相关原理和系统组成，并总结了侧扫声呐探



测的作业流程和实际应用。第5章是海底地层剖面探测, 通过对该技术的原理、作业流程和应用的介绍, 解释了通过该探测技术如何获取路由区浅部地层的发射特征、产状特征和层理结构等, 同时结合地质取样和浅部地层的声学反射特征, 获取浅部地层的岩性特征分布, 为设计提供依据。第6章是工程地质取样测试, 作为海缆路由勘察不可缺少的重要方法, 详细阐述了工程地质取样测试技术方法, 获取海缆路由区沉积物的物理力学性质指标的原理、过程。第7章是已有管线探测, 针对海底管线通常具有直径小, 材料声反射强度弱的特点, 介绍了传统利用磁法探测确定管线位置走向和利用管线仪确定埋深的技术方法, 同时也对搭载 ROV 平台使用管线追踪系统的新技术进行了说明。第8章是海洋水文气象环境调查, 通过对潮汐、海流、波浪、风等海洋水文气象环境因子的基础知识介绍, 阐述了通过对水文气象条件各要素的分析评价, 掌握了研究区海洋环境的时空变化特征, 为海缆工程的规划、设计、施工和营运提供了技术保障的过程。第9章为腐蚀性环境调查, 主要介绍了底层海水及沉积物腐蚀性环境参数测定目的和方法, 然后评价路由区底层海水及沉积物等腐蚀性环境的过程。第10章是海洋规划和开发活动评价, 主要介绍了海缆勘察过程中海缆路由与国家、省、市等级别的海洋功能区划、海洋开发相关规划的符合性, 评述路由区的渔捞、交通、油气开发、已建海底电缆管道、海洋保护区等海洋开发活动与路由的交叉和影响, 为海缆设计、施工及维护提出相应对策或建议。第11章和第12章为实例介绍, 结合深海国际光缆路由勘察和超高压电缆路由勘察两个实例, 对海缆路由勘察的主要技术方法做了回顾和实际综合应用。

本书撰写过程中, 蒋俊杰、贺惠忠、王瑛剑、尹飞、于刚负责第1章的编写工作, 钱立兵、舒畅负责第2章的编写工作, 贺惠忠、钱立兵、陈津负责第3章的编写工作, 于刚、贺惠忠、乔小瑞负责第4章的编写工作, 吕修亚、陈津负责第5章的编写工作, 杨文丰、王瑛剑负责第6章的编写工作, 周普志、乔小瑞负责第7章的编写工作, 杨阳、王瑛剑负责第8章的编写工作, 陆茸负责第9章的编写工作, 陈静、陈津负责第10章的编写工作, 贺惠忠、舒畅负责第11章的编写工作, 吕修亚、乔小瑞负责第12章的编写工作。

上述人员来自国家海洋局南海调查技术中心和中国人民解放军海军工程大学, 他们均是多年从事海缆路由勘察工程和教学的技术骨干, 参与众多类型的海缆路由勘察, 具有丰富的勘察经验。

贺惠忠、陆茸和陈津负责对全书文稿的归纳整理。由于本书的编写时间紧迫, 编写人员的水平有限, 难免有不妥或错误之处, 还望读者批评指正。在本书的编写过程中得到了中国人民解放军海军工程大学相关负责人的大力支持和协助, 中国地质调查广州海洋地质调查局郑志昌教授也对本书的撰写提出了宝贵的建议, 在此一并致谢。

目 录



丛书序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 海缆路由勘察发展过程	1
1.1.1 海底光缆的建设发展	1
1.1.2 我国海缆路由勘察发展	3
1.1.3 海底光缆的路由勘察发展趋势	4
1.2 海缆路由勘察相关程序	12
1.2.1 海缆路由勘察相关法律法规	12
1.2.2 海底管线铺设相关流程	13
1.2.3 路由桌面预选研究	15
1.2.4 路由勘察	18
1.2.5 海域使用论证	19
1.2.6 海洋环境影响评价	20
1.2.7 铺设施工	21
1.3 海缆路由勘察方法	22
1.3.1 海缆路由勘察内容	22
1.3.2 海缆路由勘察主要技术	23
第 2 章 导航定位	28
2.1 概述	28
2.2 导航定位基础知识	30
2.2.1 坐标系与投影	30
2.2.2 常用坐标系	38
2.2.3 坐标系转换	39
2.3 水面导航定位	40
2.3.1 全球定位系统 (GPS)	40
2.3.2 北斗卫星导航系统 (BDS)	41
2.3.3 GLONASS 卫星导航系统	42
2.3.4 Galileo 卫星导航系统	43



2.3.5 差分增强系统	43
2.4 水下导航定位	52
第3章 地形测量	60
3.1 登陆段地形测量	60
3.2 水下地形测量	62
3.2.1 单波束水下地形测量	64
3.2.2 多波束水下地形测量	66
3.2.3 水下地形测量在海缆勘察中的应用	76
第4章 侧扫声呐探测	87
4.1 侧扫声呐的基本原理	88
4.1.1 基本原理	88
4.1.2 侧扫声呐系统组成	90
4.1.3 侧扫声呐的几何关系	91
4.2 合成孔径声呐	92
4.2.1 基本原理	93
4.2.2 系统组成	95
4.2.3 合成孔径声呐与传统侧扫声呐对比	96
4.3 侧扫声呐作业程序	98
4.3.1 外业资料采集	98
4.3.2 资料处理及成图	99
4.4 侧扫声呐测量在海缆勘察中的应用	100
4.5 主要设备	105
第5章 海底地层剖面探测	109
5.1 基本原理	109
5.2 勘察方案设计	111
5.3 浅地层剖面探测和单道地震勘探	111
5.3.1 外业资料采集	113
5.3.2 内业资料处理	115
5.4 高分辨率多道地震勘探	118
5.4.1 外业资料采集	118
5.4.2 内业资料处理	120
5.5 资料解释	123
5.6 主要设备	125
第6章 工程地质取样测试	127
6.1 底质采样	127
6.1.1 目的和特点	127
6.1.2 一般技术要求	127
6.1.3 采样作业	128



6.1.4	样品编录和处理	129
6.1.5	主要设备	130
6.2	工程地质钻探	133
6.2.1	目的和特点	133
6.2.2	一般技术要求	134
6.2.3	钻探船抛锚定位方法	134
6.2.4	钻探作业	135
6.2.5	采样要求与方法	137
6.2.6	钻探编录及成果报告	137
6.2.7	主要设备	138
6.3	工程地质测试	139
6.3.1	船上土工试验	139
6.3.2	原位测试	140
6.3.3	室内测试	157
第7章	已有管线探测	160
7.1	磁法探测	160
7.1.1	基本原理	160
7.1.2	磁法探测管线的主要设备	163
7.1.3	磁法测线布设及外业实施	164
7.1.4	海底电缆图像定位法	166
7.2	声呐探测	167
7.2.1	海底电缆声呐探测原理	167
7.2.2	声呐探测管线的主要设备	167
7.2.3	声呐探测测线布设及外业实施	169
7.2.4	声呐剖面图像判读方法	169
7.3	海缆追踪探测方法	170
7.3.1	有源海缆追踪系统	171
7.3.2	无源海缆追踪系统	172
第8章	海洋水文气象环境调查	174
8.1	海洋气象	174
8.1.1	风	174
8.1.2	雾	182
8.1.3	热带气旋	184
8.2	海洋水文	187
8.2.1	潮位	187
8.2.2	海流	197
8.2.3	波浪	206
8.2.4	风暴潮	211



第 9 章 腐蚀性环境调查	213
9.1 海洋腐蚀环境与海缆防腐	213
9.1.1 海水腐蚀环境	213
9.1.2 海底沉积物腐蚀环境	215
9.1.3 常见海底光缆的类型及腐蚀防护	216
9.2 腐蚀性环境调查要素及方法	218
9.2.1 底层水参数测试	218
9.2.2 海底沉积物参数测试	219
9.2.3 污损生物调查	219
9.3 海底腐蚀环境评价及对海缆的影响分析	219
第 10 章 海洋规划和开发活动评价	222
10.1 项目用海与海洋功能区划的符合性分析	222
10.1.1 项目所在海域海洋功能区划	222
10.1.2 项目用海与海洋功能区划的符合性分析	230
10.2 项目用海与相关规划的符合性分析	230
10.3 渔业活动	231
10.4 海上交通	232
10.4.1 港口	232
10.4.2 航道	232
10.4.3 锚地	233
10.5 矿产资源开发	238
10.6 已建海底光（电）缆管道	240
10.6.1 已建海底光（电）缆管道简述	240
10.6.2 项目海缆路由与已建海底光（电）缆管道交越情况	241
10.6.3 已建管线故障情况	241
10.7 海洋保护区	243
10.8 国防安全和军事活动	244
第 11 章 路由勘察实例——国际光缆路由勘察	245
11.1 工程背景	245
11.2 勘察方案设计	247
11.3 勘察过程	248
11.3.1 外业勘察方法	250
11.3.2 勘察主要设备	251
11.4 勘察结果	252
第 12 章 路由勘察实例——超高压电缆路由勘察	259
12.1 工程背景	259
12.2 方案设计	261
12.2.1 工程物探	261



12.2.2 工程地质勘察	261
12.2.3 腐蚀性参数测定	261
12.2.4 海洋水文气象资料收集与观测	261
12.2.5 主要勘察设备	262
12.3 勘察过程	265
12.4 勘察成果	266
参考文献	271



第 1 章

概述

海缆路由勘察是一种沿着预选路由专门针对海缆工程而进行的海洋工程勘察。海底光缆勘察中的路由走廊指的是海底光缆在海底从起点到终点的路径，它的宽度一般在 0.5~2.0km 之间，呈条带状。海缆路由勘察与其他海洋工程勘察的区别主要有：①区域跨度大。海缆路由勘察区域为条带状，路由越长，条带越明显，跨度就越大。②比较注重表层的浅地层结构。海缆路由勘察主要是针对海缆建设，大部分需要埋设的海缆深度一般在 5m 以内，因此海缆路由勘察更关注表层的浅层结构。

海缆路由勘察的目的是为海缆工程的选址、设计、施工以及维护提供基础资料和科学技术依据。勘察的任务是查明海底电缆管道路由区的海底工程地质条件、海洋气象水文环境、腐蚀性环境参数和海洋规划与开发活动等方面的工程环境条件。海缆路由勘察是海缆工程发展到一定阶段的产物，依托于海缆工程而存在。

1.1 海缆路由勘察发展过程

1.1.1 海底光缆的建设发展

海底电缆（Submarine Cable，简称海缆）是用绝缘材料包裹的导线，敷设在海底，用于电信传输。海底电缆分为海底通信电缆和海底电力电缆。海底通信电缆主要用于通信业务，费用昂贵，但保密程度高。海底通信电缆主要用于长距离通信网，通常用于远距离岛屿之间、跨海军事设施等较重要的场合。海底电力电缆主要用于水下传输大功率电能，与地下电力电缆的作用等同，只不过应用的场合和敷设的方式不同。海底电力电缆敷设距离比通信电缆要短得多，主要用于陆岛之间、横越江河或港湾、从陆上连接钻井平台或钻井平台间的互相连接等。由于海缆工程被世界各国公认为复杂困难的大型工程，从桌面研究，到路由勘察，以及海缆的设计、制造和施工，都应用复杂技术，因而有海缆工程建设能力的国家在世界上为数不多，以前主要有挪威、丹麦、日本、加拿大、美国、英国、法国、意大利等国，这些国家除制造外还提供敷设技术等整个海缆工程的建设。而

我国经过多年海缆工程各个领域专业人员的努力和积累,不断促进海缆工程建设相关技术的发展,目前也具备了完全自主进行海缆工程建设的能力,特别是最近几年,我国的海底光缆产业有了长足的进步和发展,产品质量已赶上国际先进水平,甚至某些关键指标还有所突破。

1. 国际海缆的发展概况

自 1851 年世界第一条海底通信电缆问世以来,海底通信工程已经走过了 160 余年的发展历程。1980 年,英国铺设了世界第一条实验海底光缆;1984 年,英国标准电话公司铺设了第一条实用海底光缆;而 1988 年世界第一条跨洋海底光缆(TAT-8)建成,标志着国际通信进入了一个崭新的历史时期。海底光缆以其大容量、高可靠性和优异的传输质量等优势,在通信领域,尤其是国际通信中起到了重要的作用,从此,海底光缆就在跨越海洋的洲际海缆领域取代了同轴电缆,远洋洲际间不再敷设同轴电缆。随着光纤技术的进步,海底光缆通信也得到了突飞猛进的发展,20 世纪 90 年代以来,掺铒光纤放大器(EDFA)与波分复用技术(WDM)的飞速发展推动了长距离、大容量、低成本无中继海底光缆通信系统的研制,而前向纠错、拉曼放大、遥泵光放等技术的综合利用,使得超大容量超长距离无中继海底光缆通信系统的研制有了突破性的进展,并已进入实用化阶段。

由于全球经济一体化发展及互联网对宽带的需求,海底光缆建设的热度从来就没降过。历经了多年的发展,全球海底光缆建设的累计投资估计已超过 600 亿美元,光缆建设的累计总长度已超过 150 万 km,形成了覆盖全球海底、连接 170 余个国家和地区的国际海底光缆网络系统,据不完全统计,目前全球在运行中的国际海底光缆有 230 余个系统。海底光缆在传输、施工、维护、监测和路由调查等技术领域均取得了长足的进步,其市场与行业结构亦发生了深刻的变化。但与陆上光缆供应商相比,海底光缆供应商数量要少得多,目前世界上较大的海底光缆供应商有 TyCom、NSW、KDD、NEC、NEXANS 等。

2. 中国海缆的建设情况

我国是一个海洋大国,大陆海岸线长达 1.8 万多 km,500m² 以上的岛屿 6500 余座,拥有 300 多万 km² 的海洋面积,还在太平洋拥有 7.5 万 km² 的国际海洋专属开发权。因此我国的海缆建设空间和前景十分广阔。

我国的海底光缆研发始于 20 世纪 80 年代中期,与国际上基本是同步的。从 20 世纪 90 年代起,我国陆地公用和专用光纤通信线路建设取得了重要成就,而海底光缆通信技术在我国也得到了实际运用和快速发展。1990 年 11 月,我国在青岛邻近海域建成了第一条无中继实用化海底光缆;1993 年 12 月 15 日我国建成了第一条海底光缆通信系统——中日海底光缆系统(C-J),该海底光缆连接上海南汇和日本九州宫崎,全长约 1252km,由中日美三国电信企业联合投资建

设,系统通信总容量相当于1976年建成的中日海底同轴通信电缆系统容量的15倍以上。中日海底光缆通信系统的建成对我国海底光缆通信的快速发展起到了十分重要的示范和推动作用。在此后,我国先后建设了多条国际海底光缆,比如中韩海底光缆通信系统、亚欧海底光缆通信系统、中美海底光缆通信系统、亚太2号海底通信系统、跨太平洋之大海底光缆通信系统,还有近年的亚洲快线海底光缆系统、东南亚日本海底光缆系统和亚太直达国际海底光缆系统等,并且除了我国香港、澳门和台湾登陆点外,也在上海南汇和崇明、青岛及汕头建立了国际海底光缆登陆站。这些光缆将极大地加强我国与亚太周边国家及地区彼此之间的经济、文化联系,对扩大我国对外开放,提高香港、汕头信息港的国际地位具有重要的作用,同时满足话音、数据、视频等高可靠性带宽业务的需求。而与此同时,自20世纪70年代以来,我国沿海地区的陆岛间和岛屿间也建设了众多的海缆。另外,随着海洋经济和技术的发展,近年来海缆在非电信领域的应用也日益广泛,比如海上油气开发工程和海底观测网的应用。

1.1.2 我国海缆路由勘察发展

随着海缆工程的快速发展,相应的高精度施工需求也越来越受到重视,而海缆路由勘察就是社会经济发展、科学技术水平提高以及海缆工程建设进入新阶段的共同产物。20世纪中期,欧美等世界发达国家开始施工的高精度需求,从而开始认识到海缆路由勘察的重要性,并开始在海缆建设工程中进行海缆路由勘察以满足施工的精度。而我国的海缆路由勘察开展较晚,在20世纪70年代以前,我国海缆工程建设基本还是不专门进行实地路由勘察,仅仅简单通过海图上了解路由区的地形地貌、底质和海流等路由自然环境条件便确定路由走向,类似现在的海缆工程的桌面论证。而且当时也没有和国外进行太多的交流学习,导致这段时期的我国海缆工程建设比较落后和封闭,因此也未对专门的路由勘察形成比较成熟的需求,未能和国际主流模式接轨。

而从20世纪70年代开始,我国的海缆工程开始得到发展,首先是我国开展的中日(CJ)和蓬莱莱州湾—辽东复州湾海缆(432)的路由勘察,开启了我国海缆工程路由勘察的新时代。特别是我国第一条国际海底光缆——中日海底同轴通信电缆系统于1973年开始建设,标志着我国之前封闭的海缆建设模式被打破,采用了国际合作模式,开始了和国际接轨。这条国际海缆工程开启了我国海缆建设进行路由勘察的先例,是由国家海洋局第二海洋研究所与日方KDD公司共同开展了路由勘察。而紧接着,国家海洋局第一海洋研究所承担了1974年开始的蓬莱莱州湾-辽东复州湾海缆(432)工程的路由勘察,该海缆工程为国内第一条自主进行路由勘察的海缆。这两条海缆的路由勘察开启了我国海缆工程路由勘察的新阶段,虽然当时海缆路由勘察存在缺失经验、资料和仪器设备等问题,但是

由于海缆路由勘察的内容都是属于海洋调查,因此当时国内进行海缆路由勘察的单位一般都是国家海洋局所属的相关海洋调查研究单位,不同于现在国内海洋工程勘察单位越来越多,甚至有越来越多的民营企业也开始进入路由勘察的领域。

在 20 世纪 70~80 年代,我国海缆路由勘察处于起步发展阶段。当时的海缆为模拟同轴结构,多采用表层敷设,路由勘察的设备受当时条件所局限,一般只能采用单波束测深仪进行水深测量,采用蚌式采泥器获取海底表层样,使用印刷海流计进行近岸段测流。但是进入 90 年代后,随着海洋调查设备技术的提高和应用,特别是数字化设备的广泛应用,例如进行海底微地貌扫测的侧扫声呐、可穿透海底浅层的浅地层剖面仪以及多波束测深系统的出现,大大提高了路由勘察的质量和效率。而与此同时,我国也完成了多条国内海缆系统,如辽东半岛至山东半岛海缆和琼州海峡海缆工程,另外参加的国际海缆工程建设也越来越多,我国海缆路由勘察也逐步国际化,实现国际接轨。

进入 21 世纪以后,随着全球信息化建设速度的加快,国际海底光缆建设也高速发展,同时其他类型的海缆建设也越来越多,因此海缆工程建设的需求也大增。而另一方面,海洋调查设备又进一步发展,越来越高精度和高效率的设备被成熟应用到路由勘察中,如高分辨率多波束、中深水多波束、侧扫声呐和浅剖等高精度声学设备,还有静力触探取样(CPT)的广泛应用,这些新技术的应用使得我国的海缆路由勘察也进入了高速发展阶段,和国外主流海缆建设承包商的合作越来越多,基本已经走向世界并融入其中,为全球海缆建设发挥越来越重要的作用。以国家海洋局南海调查技术中心(广州三海海洋工程勘察设计中心)为代表的新一代国内海缆勘察队伍也日益成长,通过多年的发展和积累,已经摆脱了以前需和境外勘察公司合作共同勘察的模式,现在已经实现了单独承担全海深的国际光缆路由勘察能力。如亚非欧国际海底光缆系统(AAE-1)中国南海段路由勘察、南海国防海光缆路由勘察,南方主网与海南电网第二回联网工程海底电缆路由勘察,这些勘察运用了大量的先进勘察技术和手段,保证了勘察的效率和质量。勘察海域不仅有浅海区也包括了深海区,勘察技术能力已经能完全满足国际海缆勘察的主流技术需求。但是受限于体制,相应的管理、质量体系与国际成熟的勘察公司仍然存在不小的差距。因此,目前国内的路由勘察还需要更多企业的参与,以便能真正地实现全方位与世界接轨。

1.1.3 海底光缆的路由勘察发展趋势

近 30 年来,海洋调查相关技术均取得了长足的进步,因此路由勘察也得到了高速的发展,主要在以下方面:

1. 调查技术要求的规范化趋势

国际上并无统一的海底光缆工程勘察标准,而世界上主要国际海底光缆系统



供应商和海底光缆运行商也未公开出版过相关的勘察规范或标准,因此目前国际海底光缆勘察一般的做法都是针对特定工程项目编制相应的路由勘察技术要求,而这些路由勘察技术要求一般都是基于以往经验的基础上编制,经过多年的积累,这些路由勘察技术要求(包括调查项目、内容、作业程序、技术标准、仪器性能指标、用船要求、成果报告格式等)也越来越趋于一致,勘察技术要求也越来越成熟、规范。

我国在总结以往路由调查实践以及广泛收集国外相关规范和标准的基础上,制订了第一部《海底电缆管道路由勘察规范》(GB 17502—1998),作为强制性国家标准于1998年4月实施,第一次全面而系统地对海底电缆管道路由勘察做出了科学规定。这对我国海底电缆管道路由调查的标准化和规范化起到了重要作用,亦为海域管理提供了重要的技术依据。2009年,在充分吸收国内外勘察实践经验的基础上,修订颁布了《海底电缆管道路由勘察规范》(GB/T 17502—2009),是目前国内进行海底光缆路由勘察工程的主要技术依据。

2. 新技术的应用

20世纪90年代以来,由于海洋调查和海底探测技术的进步以及海缆路由调查专门技术的不断成功研发,许多新的技术手段在海缆路由调查中得到了广泛应用,使资料的处理更为快速、高效,调查技术要求更加规范化。调查的内容、方法和技术手段亦均有所改进和提高。

(1) 高精度定位技术

差分GNSS的采用使调查船只的定位提高到优于5m的精度,而目前近岸的RTK技术以及远岸的星载差分GNSS和高精度单点定位技术(PPP)的应用,可以使勘察定位精度从米级提高到分米级甚至是厘米级。而水下定位系统超短基线(USBL)的应用则是大幅提高了拖曳式水下传感器采集的水下定位精度,也提高了侧扫声呐、浅地层剖面仪和磁力仪等数据的可靠性。

(2) 海底高分辨率数字式地球物理探测技术

多波束测深技术的发展和成熟,并广泛用于海洋地形调查,使得海缆路由调查可以获取全覆盖、高精度的水深地形测量数据,从而可以实现高精度的海底地形模型应用;而侧扫声呐、合成孔径声呐和三维声呐的应用大大提高了对海底面状况和海底目标物探测的分辨率,并使声呐记录的镶嵌图得到广泛应用;地层剖面仪从模拟式发展到数字式,还有Chirp技术、参量阵技术的应用大大提高了浅部地层探测的精度和效果;磁法和侧扫声呐探测的组合对铁磁性目标物的探测可获得理想的效果。

上述海底数字式、高分辨率的地球物理探测技术的综合应用,实现了对海底光缆路由走廊带全程的大比例尺、全覆盖的测量,可以获得连续的高质量的海底各类信息。同时,结合一系列先进软件(如Caris、Triton、Sonarwiz、Qinsy、Fle-