

第四届 全国海底光缆通信技术 研讨会论文集

中国人民解放军海缆通信技术研究中心◎组编



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

第四届 全国海底光缆通信技术 研讨会论文集

中国人民解放军海缆通信技术研究中心◎组编

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

第四届全国海底光缆通信技术研讨会论文集 / 中国人民解放军海缆通信技术研究中心组编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2017.6

ISBN 978-7-115-46243-5

I. ①第… II. ①中… III. ①海底—光纤通信—学术会议—文集 IV. ①TN913.332-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第130230号

内 容 提 要

本论文集共包含 79 篇文章, 涉及海洋调查与设计、海缆工程技术、海缆系统与设备、海缆设计与制造、海缆工程建设与维护、相关规范和标准、光通信新技术以及水下信息网络的建设和发展等方面。

本论文集可供海缆及水下网络等领域从事工程设计、技术研发、工程实施、运维管理、标准规范整理乃至相关新技术研究的从业者交流参考。

◆ 组 编 中国人民解放军海缆通信技术研究中心
责任编辑 杨 凌
责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 31.75 2017 年 6 月第 1 版
字数: 762 千字 2017 年 6 月河北第 1 次印刷

定价: 200.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

第四届全国海底光缆通信技术研讨会

主办单位：中国通信学会线路委员会

中国海洋学会

承办单位：中国人民解放军海缆通信技术研究中心

北京邮电大学水下光网络联合实验室

会议日期：2017年6月27~28日

会议地点：湖北·武汉

前言

目前全球已建成数百个海底光缆通信系统，总长度超过 130 万公里，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。

如今我国海洋事业已进入前所未有的快速发展阶段，为了进一步促进我国在海底光缆、水下网络以及相关领域的研究与应用，我们曾于 2006 年、2009 年、2013 年成功举办了三届全国海底光缆通信技术研讨会。根据中国通信学会、中国海洋学会 2017 年度学术活动安排，由中国通信学会线路委员会与中国海洋学会联合主办，中国人民解放军海缆通信技术研究センター与北京邮电大学水下光网络联合实验室于 2017 年 6 月具体承办了“第四届全国海底光缆通信技术研讨会”。

会议围绕“促进军民深度融合，助力‘一带一路’建设——走向世界的中国海缆”这一主题，共设特邀报告三场、专题报告六场、高峰论坛一场；组委会从海洋调查与设计、海缆工程技术、海缆系统与设备、海缆设计与制造、海缆工程建设与维护、光通信新技术、相关规范和标准以及水下信息网等方面进行组织整理，精选了 79 篇论文结集出版，可供海缆及水下网络等领域从事工程设计、技术研发、工程实施、运维管理、标准规范整理乃至相关新技术研究的从业者交流参考。

海底光缆乃至水下信息网络的建设是实现我国海洋强国战略的重要保障，是适应世界新一轮信息化浪潮的必然选择，更是我们所有“海缆人”的共同使命和不懈追求。“百川异源，而皆归于海”。只要我们坚定信念，执着向前，我们的征途将是星辰大海，我们的事业定会更加辉煌！

中国人民解放军海缆通信技术研究センター

二〇一七年六月

目 录

海洋调查与设计篇

影响海缆路由的灾害地质因素及勘察方法	2
我国东向国际海底光缆路由的地质环境和影响分析	7
海洋沙波活动性的监测及预测方法	16
琼州海峡西部海底地形特征及冲淤活动性	23
复杂海域的海缆路由方案设计	30

海缆工程技术篇

海底管线埋设喷射式开沟淹没射流破土研究综述	38
URADUCT 保护套管在深海海底光缆施工中的应用研究	52
功率法测试光纤衰减的重复性改善	58
基于 OrcaFlex 海底光缆接续后的敷设仿真分析	62
海缆船定位精度对海缆制动力的影响	68
海缆施工中的故障定位技术	73
论 Makailay 软件对深海海底光缆敷设精确性的影响	80
关于水下中继器布放的相关问题讨论	87
水底通信光缆设计与施工方法	91
相干光时域反射检测在海底传输系统中的应用	96
海底光缆的水动力常数及测量试验	104

海缆系统与设备篇

海光缆传输网络的安全性配置研究	108
-----------------------	-----

热带岛礁通信台站电源运维特点研究	114
基于海底通信网的恒流远程供配电系统的设计	120
分布式站点光通信传输系统的设计	127
一种 PI 控制高压电子负载设计	132
国外水下光电混装连接器简介	138
100Gbit/s 以上无中继光纤传输系统发展概况及启示	144
一种评估接头盒中光纤设计余长的方法	151
海缆维修定位遥控浮标水声程控功率发射器的设计与实现	154
基于有限元法 O 形密封圈水密性能仿真研究	159
用于中继海底光缆通信系统的接续技术简介	169
用于拉丝塔光纤质量控制的测量设备介绍	176
100Gbit/s 1000km 超长无中继光传输系统关键技术	179

海缆设计与制造篇

深海化、高压化背景下的我国海底光缆产业发展思考	188
脉冲激光技术在光单元管接的应用	197
有中继深海光缆的生产工艺控制	204
大长度、深海有中继海底光缆关键技术研究	207
海底光缆通信系统的超低损耗大有效面积光纤研究——基于烽火新型光纤技术的 研发	213
海底光缆铜管激光焊接工艺	220
提升海底光缆绝缘层与铜管层粘结性能	225
低损耗光纤在海底光缆中的应用	232
海南省陵水县与三沙市电力和通信长距离柔性直流海底联网方案可行性初探	238
基于超低损耗、大有效面积 G.654 光纤的深海无中继海光缆研制	242

海缆工程建设与维护篇

海底电缆外部检测方法与应用浅析	250
海底光缆通信安全问题浅析	256

琼州海峡 500kV 海底电缆涡激振荡的初步研究.....	260
海底光缆工程交付技术特点和技术风险管理	267
基于多参量融合的水下缆线安全监测与预警系统分析和研究.....	271
如何从流程上保证高可靠海缆接续	278
海底光缆信息防护技术研究	282
光缆抢修能力评估方法与对策探析	290
海底光缆远程监测系统研究与设计	293
浅析军用海光缆通信系统建设中需考虑的几个问题	297
油气平台海缆订单执行过程中所面临的挑战	300
提升海军通信光缆抢修能力的几点思考	306
无线传感器网络在光缆维护中的应用探讨	310

光通信新技术篇

神经网络均衡器在长距离 IM-DD 系统中的应用研究	316
晶格渐变光子晶体边腔耦合及交叉双横梁结构的量程可扩展压力传感器研究.....	322
高精度光纤稳相传输网络	328
自由空间通信中不同调制格式的性能分析	336
基于渐变型耦合环与低折射率沟槽的单模低损耗大有效面积的双层纤芯光纤的 设计	343
基于水域地理环境的骨干光网络拓扑规划及适用于稀疏水域骨干网的备用路由 算法设计	348
Network Security Equipment Evaluation Based on Attack Tree With Risk Fusion	355
Research on Data Element Extraction Method in Mesh Data Relation Model	365
Research on the Information Classification and Coding Structure of E-government Team Management System.....	373
Structural and Optical Properties of Univalent Bismuth in Bi-doped Silica Optical Fiber	384

相关规范和标准篇

浅析海底光缆军民标准的区别及有关问题	392
--------------------------	-----

有中继海底光缆线路工程施工规范研究	399
水下综合光网络标准研究建议	405
海光缆工程路由设计及规范化施工技术研究	410

水下信息网篇

基于三维空间的水下光网络三层结构设计	416
水下综合光网络实验监控系统研究	421
海洋观测系统及关键组件	426
基于 PTN 技术的水下信息网传输体制研究	433
水下信息网发展趋势及研究	439
海洋综合光网络现状及总体设计思考	447
基于水下环形综合光网络的监控系统研究	455
海底观测网接驳盒可靠性研究	461
基于 PTP 协议的海底观测网时间同步技术研究	468
水下信息网体系结构研究	475
浅议海底观测网的时间同步	481
基于多视图的水下信息网体系结构建模研究	489
用于海底光缆通信系统的串联谐振高压恒流电源	493

海洋调查与设计篇

海洋调查与设计篇

影响海缆路由的灾害地质因素及勘察方法

吕修亚

(国家海洋局南海调查技术中心, 广州 510300)

摘要: 海缆路由是现代社会信息通信的重要组成部分, 而灾害地质因素严重制约着海缆路由的铺设和维护。断层、滑坡、浅层气、底劈、沙波、地震等地质灾害和埋藏古河道、不规则基岩、陡坎等限制性地质条件, 对海缆有不同的危害性。海缆路由勘察过程中, 浅地层剖面或单道地震资料在识别和判定灾害地质因素中起了主要作用, 并需要其他勘察方法的补充和印证。

关键词: 海缆路由; 地质灾害; 限制性地质条件; 勘察方法

0 引言

从1858年跨大西洋海缆的首次成功敷设并投入使用, 海底光缆经过了150多年的发展, 从最初的电报通信, 到随后的同轴电缆电话通信, 到现在支持数据包传输的光纤通信, 海缆的通信容量和速度都有了跨越式的发展。近年来, 信息时代的大跃进, 对海底光缆的通信性能有了更高的要求, 超高速、大容量的海缆将迎来更为蓬勃的发展, 并成为现代社会信息通信不可或缺的组成部分。

伴随着海缆的逐步发展, 海缆的安全性就同步引起了关注。海缆铺设于海底, 不同于陆地光缆, 海缆的维护和维修相对困难得多, 而且会造成巨大的影响和经济损失。尤其是国际海缆, 要跨越大洋, 穿越不同的海域和海域环境, 在铺设之前要进行详尽的调查, 以选择相对安全可靠、经济合理、便于施工和维护的海底电缆管道路由。对国际海缆而言, 灾害地质是影响海缆路由及其铺设的重要因素, 为此在海缆敷设之前, 需要对路由区进行翔实的路由勘察, 以查明路由区的灾害地质因素, 并给出合理化建议, 尽量规避灾害地质因素, 从而降低海缆的故障率, 确保海缆的正常通信。

1 灾害地质及分类

灾害地质, 是指对人类生命财产造成危害的地质因素, 包括某些地质体和地质作用。1980年Carpenter^[1]将它们分为两类: 一类是对海底石油、天然气工程具有高度潜在危险性的因素, 如浅层高压气、浅层活动断层、海底滑塌和滑坡等, 称其为灾害(hazards)因素; 另一类是对海洋工程可造成一定威胁、一定麻烦的地质地貌因素, 如埋藏古河道、载气沉积物、海底沙丘、海底侵蚀等, 相比之下危害小, 采取一定的措施可以减轻或避免, 称之为地质障碍(constraint)因素。我国学者冯志强^[2]结合Carpenter的分类方法, 并根据灾害

地质因素活动性,提出了具有破坏活动能力的地质灾害和不具有破坏活动能力的限制性地质条件两大类。

我国的灾害地质研究虽然起步较晚,但已经取得了较多成果,特别是在南海北部(刘守全^[3]、刘锡清^[4]、李泽文^[5]、周川^[6]、马云^[7])和珠江口海域(孙杰^[8]、孙全^[9]),已经进行了大量的地质调查,对灾害地质情况也有较为深入的研究。本文在前人研究的基础上,结合实际的勘察经验,对影响海缆路由的灾害地质因素的危害性及其勘察方法进行了系统的梳理和总结,以期能对海缆路由的预选、勘察和铺设提供必要的依据和指导。

根据冯志强对灾害地质因素的分类方法,有地质灾害和限制性地质条件两大类,其中地质灾害主要有断层、滑坡、浅层气、底劈、沙波、地震等;而限制性地质条件主要有埋藏古河道、不规则基岩、陡坎等,各灾害地质因素对海缆的危害性不尽相同。

1.1 地质灾害

断层:断层是岩层或岩体沿破裂面发生明显位移的构造,在地壳中广泛发育。断层对海缆的危害是显而易见的,特别是浅部的活动断层,在其地层应力超出临界值的时候,就会产生地层的错动,直接产生地震并造成地面的起伏加剧,从而使得海缆悬空甚至断裂,危害甚大,活动断层在我国南海北部较为发育。

滑坡:滑坡一般由不稳定的沉积层沉积在倾斜的地层上,在外力或者自重的作用下,产生地层的滑动。滑坡的形成往往是一系列的地层变动,而且会带来次生灾害,会给海缆路由带来非常严重的危害,在大陆坡(岛坡)较为发育。

浅层气:是由浅部沉积地层中的富含气体(主要为甲烷)形成,主要分布于河口与陆架海区的浅沉积层中,在外力扰动下,浅层气地层极不稳定,会造成地层的坍塌和凹陷。

底劈:底劈是由于快速堆积的软弱层(通常为泥)在局部的异常压力之下发生液化并向上挤压所致,在地震剖面上显示为锥状或丘状体,切割正常沉积地层,底劈内部反射无序,底劈对于海缆的危害也主要在于其不稳定性,在外力扰动下可能发生坍塌,从而造成海缆的损害。

沙波:是有砂质沉积地层在潮流或者海流的冲刷作用下形成的波浪状的起伏地层,在大陆架、大陆坡甚至深海都有分布,沙波对于海缆的危害性在于它的活动性,而在风暴潮,其活动性会有更多的不确定性。

地震:地震所带来的次生灾害比地震本身对海缆的危险性更大,由地震而产生的断层、滑坡、浅层气的坍塌、沙波的位移等,都会对海缆造成巨大的危害。

1.2 限制性地质条件

埋藏古河道:主要是形成于全新世以前的河道和湖泊,被海水淹没,进而被沉积层掩盖而形成,埋藏古河道及其上覆的沉积层具有不稳定性,而且河道沉积物中常含有大量有机物质,可能会形成浅层气^[8]。

不规则基岩:由基岩面出露海底面或浅埋于沉积层而形成,对海缆的危害主要表现在两个方面:一是基岩面起伏不定且表面粗糙,在海流或潮流的作用下会对海缆造成磨损;二是其与围岩岩性的不均一,产生承载力差异,且沉降不均,会造成海缆的拉伸,甚至断裂。

陡坎：陡坎常发育于岛礁周边、大陆架或大陆坡边缘、海槽或海山两侧，表现为地形的剧烈起伏，对海缆的危害主要表现为陡坎边缘一般为较坚硬的地层，在潮流或海流的作用下，会造成对海缆的切割，而且陡坎一般同滑坡、断层等相伴存在，对海缆路由的影响甚大。

2 海缆路由的勘察手段

根据海缆路由的勘察规范要求，海底灾害地质是勘察的重要内容。而灾害地质的勘察并不是一个单一的调查项目，它需要在综合分析诸多海洋调查内容的基础之上，方能进行识别和研究，这些调查内容包括水深地形、海底面状况、海底障碍物、海底浅部地层、海洋水文气象动力环境等，它们所涉及的勘察手段主要有水深地形测量、侧扫声呐探测、地层剖面探测、磁法探测、底质与底层水采样、工程地质钻探、原位试验、海洋水文与气象要素观测。

水深地形测量：以获取测区的水深地形为目的，目前以多波束为主要测量手段，从浅水多波束到中深水多波束，可以涵盖 5m 以深的全海域水深测量，在多波束不能到达的浅水区，以单波束和人工测深予以补充。另外，近年来发展起来的遥感技术在浅水区的测深调查中也有应用，但未能大范围推广。

侧扫声呐探测：以获取海底地貌（海底面状况）为测量目的，同多波束资料相结合，对海底表面的地貌类型、障碍物等进行甄别和分析，近年来合成孔径技术在地貌探测中取得了较大突破，但是其设备较为昂贵，实际应用较少。

地层剖面探测：以浅地层剖面探测和单道地震为主要技术手段，探测浅部地层的地层层序、地质结构等。

磁法探测：在海缆路由勘察中，磁法探测主要用于探测海底障碍物和已建海缆，由于磁法探测的多解性，一般需要同地形地貌和地质资料相互印证，做出合理的解释和判断。

底质与底层水采样：用于分析底质类型、力学性质、地质及底层水的腐蚀性参数等，对海缆的选型、敷设或者埋设都具有较为重要的意义。

工程地质钻探：钻取海底地层样品，用于确定地层层序，并通过土工试验获取相关地层的物理力学性质，为海缆的埋设提供必要的数据支持，一般结合地层剖面探测来确定钻探的孔位，结合海缆的埋设要求来确定钻孔的深度。

原位试验：包括 CPT（静力触探试验）和 SPT（标准贯入试验），用于划分土层、判别土类和估算土性参数等。

海洋水文与气象要素观测：观测路由相关海域的潮汐、海流、波浪、风等海洋水文气象环境相关特征，以及对各种设计水位、设计海流流速和流向、设计波高和波向等参数进行推算，还需分析极端海洋环境（如大风、雷暴、大雾、强降水、恶劣能见度、强热带风暴等危险天气和强烈的浪、流、潮、风暴潮等海洋环境灾害）对海缆路由及登陆点设施可能会造成的伤害。

3 分析和讨论

海缆路由勘察是针对特定海域进行的综合性勘察，灾害地质因素是勘察的重要内容之

一, 通常灾害地质因素是在勘察过程中逐渐被发现的, 且需要两种或以上的勘察手段相互补充和印证。

查明每种灾害地质因素所需要的调查手段不尽相同, 但由于灾害地质因素多掩埋于海底面以下, 因此浅地层剖面/单道地震资料对揭露灾害地质因素起到了最为重要的作用, 基本上所有的灾害地质因素都可以在浅地层剖面中进行识别或判定。表 1 对判定灾害地质因素的勘察手段及判定特征进行了梳理和说明。

表 1 判定灾害地质因素的勘察手段及判定特征

灾害地质因素	勘察手段	判定特征
断层	浅地层剖面	地层上下错动, 且断面有明显的反射波界面
	单/多波束、侧扫声呐	在断层切断海底面, 会出现线状起伏
	地质钻孔	在断面两侧地层相同, 埋深不同
滑坡	浅地层剖面	对于已经形成的滑坡, 可以识别出滑坡面, 对于可能出现的滑坡, 需判别出滑坡可能出现的地质条件, 即倾斜的基底面, 上覆软弱地层
	单/多波束、侧扫声呐	对于已经形成的滑坡, 可以识别出连续的台阶状地形
浅层气	浅地层剖面	层间反射杂乱, 同相轴连续性较差, 呈囊状、条带状等
	地质钻孔	通过钻孔样品分析, 可以分析出浅层气扰动的外部条件
	原位试验	浅层气地层同围岩的物理力学性质差异较大, 根据经验公式进行判定
底劈	浅地层剖面	锥状或丘状插入沉积地层, 内部反射混乱
	地质钻孔	一般为含水泥层, 内部无分层
	原位试验	摩擦力及剪切力同沉积地层差异较大
沙波	单/多波束、侧扫声呐	海底面呈波浪状或丘状, 连续分布
	浅地层剖面	剖面记录中的海底面呈波浪状, 绕射波发育, 内部无层理
	底质采样	砂质底层
埋藏古河道	浅地层剖面	界面为“U”或“V”形, 连续性好, 呈不整合接触
	地质钻孔	沉积地层不同, 上部一般为浅海相沉积, 下部一般为湖相沉积
	原位试验	摩擦力及剪切力差异较大
不规则基岩	浅地层剖面	反射界面连续性较好, 呈不整合接触, 界面以下无层理, 反射混乱
	地质钻孔	基岩一般较为坚硬, 同沉积地层差异较大
	原位试验	遇基岩一般难以继续向下测试
	单/多波束、侧扫声呐	出露海底呈丘状, 或连片分布, 起伏变化较大, 侧扫声呐反射较强
陡坎	单/多波束、侧扫声呐	地形坡度较大, 侧扫声呐呈条带状强反射
	浅地层剖面	剖面坡度大, 一般会出现较强的绕射波

表 1 列出了常用的勘察手段在灾害地质因素调查中的作用, 在实际的调查过程中, 还有其他调查手段, 比如水下摄影/拍照、遥感技术等。另外, 在海缆的登陆段, 还可以进行地质构造及岩性的现场勘察, 这些对常规勘察都可以起到较好的补充作用。

海洋水文与气象要素, 尤其是潮流、海流及极端天气 (比如台风、强降水、风暴潮等) 对海底地形地貌具有较强的塑造作用, 可以推动沙波的运移以及触发滑坡的发生。

在海缆路由勘察工作开展之前, 需要了解勘察海域的地质背景, 预判勘察海域可能会出现灾害地质因素。然后根据测区的地质条件, 制订相应的勘察方案, 选用合理的勘察

手段和勘察设备。在勘察实施过程中,需要现场对勘察资料进行分析和判断,才能在现场对发现的地质灾害因素进行有针对性的探测,比如加密测线、增加探测方法等。现场调查人员在这个过程中起到较为关键的作用,需要熟悉每种灾害地质因素的判断特征、所需要的勘察手段、仪器设备的性能等,勘察现场的调整才会尽可能地查明灾害地质因素的产状、特征、分布及影响范围等,为海缆路由走向的调整、铺设方法的选择、后期维护的注意事项等提供必要的数据和技术指导。

4 结论

通过对灾害地质因素的深入认识,在不同的勘察手段中对它们进行识别和判定,并全面查明产状、特征、分布及影响范围等,形成了以下认识。

- ① 勘察海域地质背景的掌握,有助于勘察方案的制订,选用合理的勘察手段和勘察设备。
- ② 浅地层剖面/单道地震勘察在揭露灾害地质因素中起到了关键的作用,因此高分辨率和穿透性好的地层剖面资料,将极大地促进对灾害地质因素的识别和判断。
- ③ 灾害地质因素的识别和判断,需要多种勘察资料的综合分析。
- ④ 现场调查技术人员的专业水平和经验作用非常关键,在识别和判断灾害地质因素的同时,还需现场调整勘察方案,以获取更好、更全面的勘察资料。

参考文献

- [1] Carpent, G.B., J.C.McCarthy. Hazards Analysis on the Atlantic Outer Continental Shelf, 12th Annual O.T.C. Proceedings, 1980(1):419-424.
- [2] 冯志强,刘宗惠,柯胜边,等.南海北部地质灾害类型及分布规律.中国地质灾害与防治学报,1994,5(增刊):171-180.
- [3] 刘守全,刘锡清,王圣洁,等.南海灾害地质类型及分区.中国地质灾害与防治学报,2002,11(4):39-44.
- [4] 刘锡清.我国海岸带主要灾害地质因素及其影响.海洋地质动态,2005,21(5):23-42.
- [5] 李泽文.南海北部外陆架灾害地质因素及其对海底管道的影响研究.中国科学院研究生院硕士学位论文,2011.
- [6] 周川.南海北部陆架主要地貌特征及灾害地质因素.海洋地质前沿,2013,29(1):51-60.
- [7] 马云,李三忠,夏真,等.南海北部神狐陆坡区灾害地质因素特征.中国地质大学学报,2014,39(9):1364-1371.
- [8] 孙杰,詹文欢,贾建业,等.珠江口海域灾害地质因素及其与环境变化的关系.海洋地质学,2010,29(1):104-110.
- [9] 孙全,常方强,卢惠泉.珠江口近岸海域浅层地质灾害区域风险模糊评价.中国海洋大学学报,2012,42(1-2):131-135.

作者简介:吕修亚,国家海洋局南海调查技术中心,工程师,广州市新港西路155#1号楼,研究方向:海洋工程地球物理勘察,信箱:lvxiuya@smst.gz.cn,邮政编码:510300,电话:020-84456403。

我国东向国际海底光缆路由的地质环境和影响分析

刘阿成^{1,2,3}, 王锦明^{1,2}, 张杰^{1,2}, 陈新玺^{1,2}, 唐建忠^{1,2}, 吴巍^{1,2}

(1. 上海东海海洋工程勘察设计研究院, 上海 200137; 2. 国家海洋局 东海海洋环境调查勘察中心, 上海 200137; 3. 国家海洋局 东海信息中心, 上海 200136)

摘要:我国大陆的国际海底光缆主要在上海登陆, 东向穿越东海在冲绳海槽北部与跨太平洋海底光缆和亚太区域性海底光缆交汇, 路由长度约为 700km。本文简要阐述了与东向路由相关的陆架、陆坡和冲绳海槽(槽底)的区域地质环境, 主要包括地形地貌、浅表层底质和构造等。根据海底路由的勘察资料, 分析了典型不良地质的特征及其对路由的影响, 初步探讨了其成因。

关键词: 国际海底光缆; 路由勘察; 东海; 地质环境

0 引言

我国东部濒临东海, 东向隔太平洋与美国遥遥相对。美国是全球第一大经济体, 也是互联网第一强国。中国近年来已经成为全球第二大经济体、互联网大国, 正在努力向互联网强国进军。中美之间的经济和网络联系越来越紧密, 跨越东海和太平洋的海底光缆成为连接两国网络的最重要载体。上海位于我国大陆海岸线的中点, 地理位置优越, 是我国主要的国际海底光缆登陆地。国际海底光缆东向跨越东海和太平洋, 直达美国西海岸。从加强合作、提高效益、降低成本等因素出发, 我国至美国的国际海底光缆普遍地是与邻近国家和地区的海底光缆交汇后, 再跨越北太平洋至美国, 交汇点位于东海外缘的冲绳海槽, 诸如跨太平洋直达海底光缆(Trans Pacific Express, TPE)、中美海底光缆(CHINA-USUN)、拟建的新跨太平洋海底光缆(New Cross Pacific, NCP)等, 典型网络结构见图 1(a)。我国与亚太区域性国际海底光缆的交汇点也常在冲绳海槽, 如城市间海底光缆(City To City, C2C), 2016 年建成开通的亚太海底光缆(Asia Pacific Gateway, APG)等。APG 的网络结构见图 1(b)。

上海已有 12 条国际海底光缆登陆, 分为崇明岛和南汇咀两个登陆点(登陆局), 各有 8 条和 4 条国际光缆, 并各拟建 1 条(NCP)。前者登陆的有跨太平洋直达光缆 S1S 段(TPE S1S)、亚太 2 号光缆 S4A 段(APCN 2 4A)、亚太 2 号光缆 S3 段(APCN 2 S3)、亚太直达光缆 S3 段(APG S3)、中美海底光缆 N1 段(CUCN N1)、亚欧 3 号光缆 S1.4 段(SEA-ME-WE 3 S1.4)、中美海底光缆 W1 段(CUCN W1)和跨太平洋直达光缆 S4 段(TPE S4)等。后者有亚太直达光缆 S4 段(APG S4)、城市间光缆 3A 和 3B 段(C2C 3A 和 3B), 以及环球光缆(FLAG)。已经报废的中日海底通信电缆和光缆也曾南汇咀登陆。

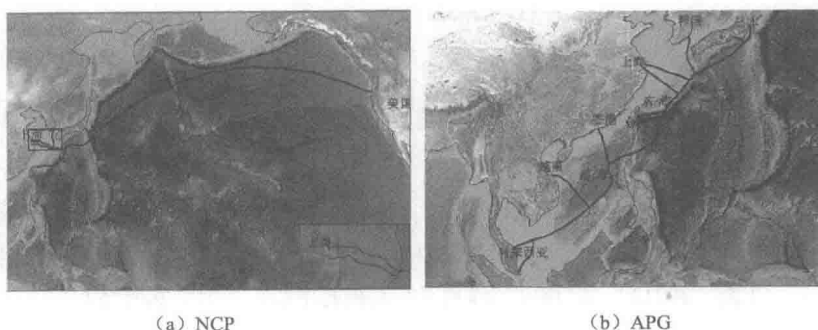


图 1 我国东向国际海底光缆系统典型结构

从我国国际海底光缆的运行和管辖等实际出发,东向路由从上海海岸起,穿越东海大陆架至冲绳海槽,最大水深达到 1000m 以上,长度可达约 700km;如果在山东省青岛市登陆,路由穿越南黄海和东海,长度更大。

本文根据我单位近年多项国际海底光缆路由勘察资料进行初步的分析研究,为今后类似海底光缆工程提供经验和借鉴。路由勘察海域位于东海北部,局部包括南黄海,以上海为登陆点向东南至冲绳海槽,南北相距约 300km,东西跨越约 700km,在冲绳海槽为 $28^{\circ}\sim 31^{\circ}\text{N}$ 。

1 东向海底路由区域地质环境特征

1.1 海底地形地貌特征

海底地形可以分成大陆架和冲绳海槽两大部分,大陆架也称为陆架,包括东海和南黄海陆架;冲绳海槽又分为大陆坡(也称为陆坡,即海槽的西坡)和冲绳海槽(槽底部分),西面为我国大陆,北面为山东半岛和北黄海,东北面为朝鲜半岛和对马海峡,东面为九州岛和琉球群岛(主岛为冲绳岛),经过岛间水道连接太平洋,南面为台湾岛和台湾海峡。

1.1.1 南黄海地形地貌

南黄海位于山东半岛以南,最大水深约 110m。地形上北浅南深,西缓东陡。西半部总体为缓坡,向东倾斜,江苏省岸外发育现代辐射潮流沙脊群,南北长 200~250km,东西宽约 140km,面积为 $22\,000\text{km}^2$,70 多条沙脊和潮流通道相间,最大水深约 25m,以如东县弥港海岸为顶点向外辐射,部分沙脊高出海面成为沙洲;其外侧为古三角洲平原(也有称为侵蚀堆积陆架平原),向南伸入东海北部,中部为堆积陆架平原,南部在 34°N , 124°E 水深约 70m,集中有多座海底孤丘。东半部主要有黄海槽,为宽浅的古河谷洼地,70m 等深线勾勒出槽的轮廓,向南通往冲绳海槽北部,由北向南水深增大;在槽的南部分布有潮流沙脊。

1.1.2 东海陆架地形地貌

东海陆架是我国大陆向海的自然延伸,北以长江口北岸的启东咀至韩国济州岛西南角连线为界与南黄海相接,南至台湾海峡南口。东海陆架外缘水深一般为 150~160m,最浅为 141m,最深为 181m。陆架北宽南窄,崇明岛以东宽度 640km,平均坡度不到 $1'$,浙江瓯江口至钓鱼岛,宽度为 350km,平均坡度略大于 $1'$ 。以 50m 等深线为界划分为内陆架和大陆架两部分。内陆架宽度一般数十公里,大陆架宽数百公里。内陆架北部主要有现代长