

海缆工程技术丛书

海底光缆通信系统

中国人民解放军海缆通信技术研究中心 组编
罗青松 舒畅 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



海缆工程技术丛书

海底光缆通信系统

中国人民解放军海缆通信技术研究中心 组编
罗青松 舒 畅 王瑛剑 刘志强 吴锦虹
江尚军 覃 勔 乔小瑞 周 翔 丁明吉 编著
李 恩 闭 阆 覃 波 赵斌锋 岳耀笠



机械工业出版社

本书是“海缆工程技术丛书”的一个分册,系统地介绍了海底光缆通信系统的组成及关键技术、工程设计和建设、设备安装及验收、系统维护管理等方面的知识。读者通过阅读本书能够了解海底光缆通信系统工程建设的一般要求。

本书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、维护和管理人员使用,也可供从事海缆工程专业的科研教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

海底光缆通信系统/罗青松等编著;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 978-7-111-57194-0

I. ①海… II. ①罗… ②中… III. ①海底-光纤通信

IV. ①TN913.332

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第146705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 任鑫

责任校对:张薇 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·21.75印张·414千字

0001—2000册

标准书号:ISBN 978-7-111-57194-0

定价:85.00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、高可靠性等特点,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。目前,海底光缆已跨越全球除南极洲之外的六大洲,总长度超过100万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着重要的作用。

本书是“海缆工程技术丛书”的一个分册,系统地介绍了海底光缆通信系统的组成及关键技术、工程设计和建设、设备安装及验收、系统维护管理等方面的基本知识。读者通过阅读本书能够了解海底光缆通信系统工程建设的一般要求。本书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、维护和管理人员使用,也可供从事海缆工程专业的科研教学人员参考。

本书共分七章。第1章简要介绍海底光缆通信系统的地位、作用、发展历程和相关标准规范情况,读者通过阅读第1章能够对海底光缆通信系统有一个概括的了解。第2章介绍了海底光缆通信系统的分类与组成,首先介绍了系统的类型、拓扑结构、传输体制和保护倒换,然后详细介绍了组成系统的相关设备,包括光传输终端设备、光放大器、远供电源设备、网络管理设备、海缆线路监测设备等岸上端站设备,以及海底光缆、海底光缆接头盒、水下分支单元、海底中继器、海底光均衡器等水下线路设备,可使读者对海底光缆通信的工作原理、系统构成和设备组成有一个基本的认识。第3章重点阐述海底光缆通信系统的关键技术,主要介绍影响海底光缆通信系统的关键因素,以及解决这些影响的前向纠错、色散补偿、光调制、偏振复用/相干检测、数字信号处理等技术,还介绍了超高速传输技术的研究与试验情况,这些都是海底光缆通信系统的核心关键技术,是读者深入学习了解海底光缆通信的基础。第4章重点对海底光缆通信系统的设计方法进行了论述,包括技术方案确定、海底光缆选型、设备选型等,以及网管、海缆监测、远供电源等辅助系统的设计,对系统可靠性设计、维护余量设



计也做了介绍,可使读者对海底光缆通信系统的设计思路和设计方法有一个基本的了解。第5章介绍了海底光缆通信系统的工程建设,主要是工作环境、设备安装、线路工程、系统测试、工程验收等方面的基本要求和作业方法,涵盖了工程建设的各个方面,有助于读者掌握海底光缆通信系统工程施工方面的基本知识。第6章是海底光缆通信系统维护管理技术,简要介绍了光传输终端设备、海缆线路设备、海底光缆线路的维护技术和基本方法,可使读者对海底光缆通信系统的维护技术有一个基本的了解。第7章介绍了海底光缆系统在其他领域的应用,主要有海底光缆科学观测站、区域科学观测站、近海油气通信系统三个方向的应用,还介绍了海底光缆在光纤传感器系统、光纤水听器阵列、水下综合信息网方面的应用前景,有助于扩展对海底光缆系统应用发展的认识。

本书撰写过程中,覃勐、闭圆、王瑛剑负责第1章的编写工作,吴锦虹、刘志强、乔小瑞负责第2章的编写工作,舒畅、赵斌锋、吴锦虹负责第3章的编写工作,江尚军、覃波、舒畅负责第4章的编写工作,周翔、李恩、舒畅负责第5章的编写工作,丁明吉、岳耀笠负责第6章的编写工作,吴锦虹、覃勐、舒畅负责第7章的编写工作。

上述人员来自中国电子科技集团公司第三十四研究所和中国人民解放军海军工程大学,他们都是长期从事光通信科研、工程和教学的技术骨干。

罗青松负责全书总体规划,吴锦虹和舒畅负责对全书文稿的归纳整理,覃勐负责全书部分图表的绘制。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原荣研究员的热心指导和大力帮助,在此一并致谢。

编 者

目 录



丛书序

前言

第 1 章 海底光缆通信系统介绍	1
1.1 概述	1
1.2 海底光缆通信系统简介	2
1.3 海底光缆通信系统的发展历史	5
1.3.1 世界海底通信的发展历史	5
1.3.2 国内海底光缆通信系统的发展历史	8
1.3.3 海底光缆通信系统发展	14
1.3.4 推动海底光缆通信发展的主要因素	17
1.3.5 海底光缆通信的重要性	18
1.3.6 海底光缆通信系统的运维特点及面临的问题	18
1.3.7 海底光缆通信系统发展展望	20
1.4 海底光缆通信系统标准简介	22
1.4.1 标准化的必要性、作用	22
1.4.2 标准化组织介绍	23
1.4.3 ITU-T 的海底光缆通信标准介绍	25
1.4.4 国内的主要标准介绍	31
1.4.5 小结	36
参考文献	38
第 2 章 海底光缆系统分类与组成	39
2.1 海缆通信系统组成及工作原理	39
2.1.1 海缆系统分类及组成	39
2.1.2 海底光缆网络拓扑结构	43
2.1.3 海底光缆系统传输技术体制	47
2.1.4 海底光缆系统保护倒换机制	51
2.2 海缆通信系统设备	52
2.2.1 岸上端站设备	52
2.2.2 水下设备	93



参考文献	105
第 3 章 海底光缆通信系统关键技术	106
3.1 影响海底光缆通信系统性能的主要因素	106
3.1.1 光信噪比	106
3.1.2 色散	107
3.1.3 非线性	108
3.2 前向纠错技术	108
3.3 色散补偿与色散管理技术	113
3.3.1 单模光纤的色散及对系统的影响	113
3.3.2 色散补偿技术	115
3.3.3 色散管理技术	121
3.4 光调制技术	123
3.4.1 光调制技术基础	123
3.4.2 光调制技术分类	125
3.4.3 调制编码方式	126
3.4.4 超高速系统其他调制方式	129
3.5 偏振复用/相干接收技术	131
3.5.1 偏振复用/相干接收技术在 100Gbit/s 海底光缆通信系统中的应用	133
3.5.2 偏振复用技术	133
3.5.3 相干检测技术	134
3.6 数字信号处理 (DSP) 技术	136
3.6.1 DSP 在高比特率光纤通信系统中的作用	136
3.6.2 DSP 技术的实现	138
3.6.3 100Gbit/s DSP	140
3.7 超高速传输技术	141
3.7.1 100Gbit/s 系统对 OSNR 的要求	141
3.7.2 超高速技术实现方式	142
3.7.3 基于 CO-WDM 技术的超高速传输技术	144
3.7.4 基于 OFDM 技术的超高速传输技术	146
3.7.5 基于奈奎斯特技术的超高速传输技术	148
参考文献	150
第 4 章 海底光缆通信系统设计	152
4.1 系统设计基本原则	152
4.1.1 概述	152
4.1.2 总体设计要求	153
4.2 规模容量的确定	154
4.2.1 规模容量确定原则	154
4.2.2 海底光缆通信系统制式	155



4.3 技术方案的确定	156
4.3.1 无中继系统技术方案	156
4.3.2 有中继系统技术方案	160
4.4 终端设备的选型	162
4.4.1 基本要求	162
4.4.2 光传输终端	163
4.4.3 光放大器	177
4.5 海底设备的选型	180
4.5.1 海缆接头盒	180
4.5.2 海底分支器	182
4.5.3 海底光中继器	183
4.5.4 海底光均衡器	184
4.6 海底光缆的选型	184
4.6.1 光纤选型	185
4.6.2 光缆选型	185
4.7 海缆监测系统设计	188
4.8 远供电电源系统设计	189
4.9 网管系统设计	191
4.10 系统可靠性设计	192
4.11 系统维护余量设计	194
4.12 系统工程设计	195
4.12.1 海底光缆通信工程内容	195
4.12.2 海底光缆通信工程要求	200
4.12.3 海底光缆路由桌面预选	201
4.12.4 海底光缆路由现场勘察	203
4.12.5 海底光缆敷设安装要求	211
4.12.6 海底光缆登陆站要求	216
4.13 维护工具及仪表的配置	217
参考文献	218
第5章 海底光缆通信系统工程建设技术	220
5.1 工程建设概述	220
5.2 通信系统工作环境要求	220
5.2.1 机房层高及室内净高要求	220
5.2.2 设备供电环境要求	220
5.2.3 设备电磁屏蔽要求	221
5.2.4 设备防雷与接地要求	221
5.2.5 通信系统装机条件要求	221
5.3 通信系统设备安装	222



5.3.1 设备选型要求	222
5.3.2 设备配置要求	223
5.3.3 设备布置要求	223
5.3.4 设备安装要求	224
5.3.5 局内工程布线要求与线缆选择	224
5.3.6 电源系统及接地	226
5.4 通信系统线路工程敷设	227
5.4.1 海底光缆线路路由的选择原则	227
5.4.2 海底光缆的敷设和工程设计要求	228
5.4.3 海缆登陆站的选择	229
5.4.4 远供系统工程设计要求	229
5.4.5 辅助系统工程设计要求	230
5.5 海底光缆通信系统测试	230
5.5.1 通信设备测试	230
5.5.2 通信系统测试	245
5.5.3 工程施工注意事项及测试仪表简介	253
5.6 通信系统工程验收	260
5.6.1 海底光缆线路工程验收	260
5.6.2 海底光缆传输设备安装工程验收	264
参考文献	270
第6章 海底光缆通信系统维护管理技术	272
6.1 概述	272
6.1.1 海底光缆通信系统维护管理的目的和作用	272
6.1.2 海底光缆通信系统维护管理的内容	272
6.2 系统开通和业务调度	273
6.2.1 光传输终端设备业务开通及调度	273
6.2.2 远供电源设备业务开通	277
6.2.3 海底光中继器业务开通	280
6.2.4 光放大器业务开通	280
6.3 端站设备维护管理技术	280
6.3.1 SDH 设备维护管理	281
6.3.2 WDM 设备维护管理	283
6.3.3 OTN 设备维护管理	286
6.3.4 远供电源设备维护管理	289
6.4 线路设备维护管理技术	295
6.4.1 海底光中继器的维护	295
6.4.2 海底光均衡器的维护	297
6.4.3 海底分支器的维护	297



6.5 光缆线路维护技术	298
6.5.1 光缆线路维护建议	298
6.5.2 光缆线路的故障类型	299
6.5.3 故障定位方法	300
6.5.4 故障修复程序	304
6.5.5 故障修复方法	305
参考文献	307
第7章 海底光缆在其他领域的应用	308
7.1 概述及应用历史	308
7.1.1 概述	308
7.1.2 海底电缆/光缆应用历史	309
7.2 海底光缆科学观测站	311
7.2.1 科学目标	311
7.2.2 设计原则要求	311
7.2.3 近海观测站	312
7.3 区域科学观测站	313
7.3.1 系统网络结构	313
7.3.2 传感器和器具	316
7.3.3 电源子系统	317
7.3.4 通信子系统及定时	318
7.3.5 遥测和控制	319
7.3.6 传感器平台机械设计	320
7.3.7 连接器及其光缆终结盒	321
7.3.8 设计和可靠性考虑	323
7.3.9 运行、维护和管理	324
7.4 近海油气通信系统	325
7.4.1 光纤通信用于油气生产平台	325
7.4.2 供电设计考虑	326
7.4.3 平台与分支单元连接	327
7.4.4 运行和维修	329
7.5 其他应用	329
7.5.1 海底光缆在光纤传感器系统中的应用	329
7.5.2 光纤水听器阵列在军事上的应用	330
7.5.3 水下综合信息网	333
参考文献	333
附录 本书部分缩略语英-汉对照	334

第 1 章



海底光缆通信系统介绍

海底光缆系统是国际和地区通信中主要的越洋传输手段，也是国内通信中海岛之间或海岛与陆地之间的重要传输手段。我国是一个多岛屿的国家，建设海底光缆通信系统是我国通信网建设的一个重要任务。自 1985 年世界上第一条海底光缆问世以来，海底光缆的建设在全世界得到了蓬勃的发展。海底光缆以其大容量、高可靠性、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重要的作用。由于海底光缆系统设计容量大、建设期长，其技术发展与同期陆地光缆系统相比一直保持领先。本章简要介绍海底光缆通信系统的地位、作用、发展历程和相关标准规范情况。

1.1 概述

1966 年，英籍华裔学者高锟发表了关于传输介质的论文，提出了利用光纤（Optical Fiber）进行信息传输的可能性和技术途径，由此奠定了现代光纤通信的理论基础。4 年之后，美国康宁公司制作出了损耗为 20dB/km 的实用化光纤，美国贝尔试验室研制的砷化镓（GaAs）半导体激光器（Semiconductor Laser）面世，从此拉开了光纤进入通信领域的序幕。在光纤通信发展的 50 年间，陆续推出了准同步光传输系统（PDH）、同步光传输系统（SDH）、密集波分复用系统（DWDM）、自动交换光网络（ASON）、光传送网（OTN）等光纤传输系统，在通信领域创造了突出业绩，光纤通信理论的奠基者高锟博士也因此获得了 2009 年诺贝尔物理学奖。

正是得益于光纤通信的发展和应用，海底光缆通信系统在海底通信领域也得到了迅猛发展和应用，成为世界上重要的国际通信、跨洋通信手段之一。作为远程通信的重要技术手段，海底光缆通信具有不可替代的优势。与卫星通信相比，海底光缆通信具有其独特的优势：首先，光缆传输的可靠性和安全性更高；其次，光缆的带宽成本更低；最后，卫星通信受限于通信距离的影响，会产生较大的时延，而海底光缆通信的时延几乎可以忽略。

海底光缆通信的这些优点使得人们对之更加青睐，加上近年来西方国家放宽



了对通信市场的限制，导致海底光缆通信的市场竞争更加激烈，同时也促进了整个行业的发展。随着光纤通信技术和基础器件的发展，海底光缆通信系统的建设成本正在逐步降低，而且海底光缆比陆地光缆的敷设更加方便，不需要绕过障碍物等。正因为如此，世界上一些岛屿国家或者有较多岛屿的国家（如日本、英国、美国、加拿大等），不仅在陆地和岛屿间设有海底光缆，连沿海城市间以及岛屿间也采用海底光缆进行通信。

海底光缆是一种在海底敷设，用于洲际之间、大陆与岛屿之间以及岛屿与岛屿之间海域建立光通信系统的特种光缆。海底光缆通信系统是指使用海底光缆、海底中继器以及陆地光传输终端设备组成的通信系统，用来传输大陆与大陆之间、大陆和岛屿或岛屿间的信息。一般将只有两个登陆点的海底光缆通信系统称为海底光缆链路，将有两个以上登陆点的通信系统称为海底光缆网络。海底光缆通信系统以其超远传输距离、大容量、高可靠性、优异的传输质量等优势，在当前的国际通信、洲际通信中发挥了重要的作用，是国际通信的重要基础设施，也是实现全球互联的主要承载方式。从 1985 年世界上第一个海底光缆通信系统投入使用起，海底光缆通信技术历经了 30 多年的发展。全球海底光缆工程建设累计投资近千亿美元，权威市场报告《海底光缆：全球战略商业报告》中指出，到 2018 年，全球海底光缆累计敷设预计达 200 万 km，可绕地球赤道 50 圈，形成了覆盖全球海底、连接 200 多个国家和地区的国际海底光缆网络。海底光缆就像是分布在地球上的密密麻麻的血管，被誉为互联网的血管。没有海底光缆通信，也就没有互联网，海底光缆通信系统已经成为这个时代的奇迹。

海底光缆通信是应用于特殊物理环境的光缆通信系统。相对于陆地光缆通信系统来说，它在系统设计上更为复杂，面临的技术难题更多。另外，由于海底光缆通信系统传输容量大、建设周期长，相应的技术水平要比同期的陆地光缆通信系统更为先进。

1.2 海底光缆通信系统简介

图 1-1 给出了一个典型的跨洋海底光缆通信系统，其系统构成大致可分为岸上设备和水下设备两个部分。

岸上设备主要是指线路终端设备（Line Terminal Equipment）、远供电源设备（Power Feed Equipment）、线路监测设备（Line Monitor Equipment）、网络管理设备（Network Management Equipment）以及海洋接地装置（Ocean Grounding Device）等设备。其中，线路终端设备负责再生段端到端通信信号的处理、发送和接收；远供电源设备通过光缆远供导体向海底中继器馈电并通过海水和海洋接地装置回流，远供采用高电压、小电流的方式，供电电流在 1A 左右，供电电压



可高达几千伏；线路监测设备自动监测海底光缆和中继器的状态，在光缆和中继器故障的情况下，自动告警并进行故障定位。

水下设备主要包括海底光缆（Submarine Cable）、光放大器（Optical Amplifier）和水分支单元（Branching Unit）。海底光缆有着与陆地光缆相同的光纤并加装了铠装保护，同时还安装了远供电源导体，其电阻小于 $1\Omega/\text{km}$ 。远供导体负责将电流输送到海底中继器，海底中继器分流并利用海水作为回流导体，完成电源远供过程。海底分支单元实现海底光缆的分支和电源远供的倒换。

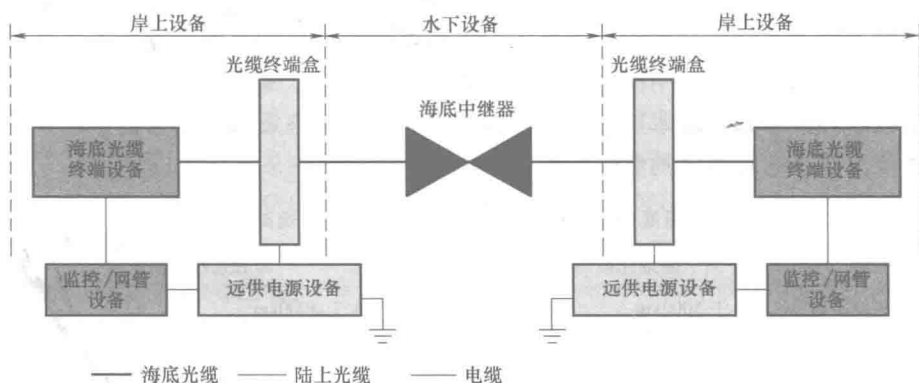


图 1-1 跨洋海底光缆通信系统

海底光缆通信系统大体上可分为两类：第一类是有中继通信系统，适用于中、长距离跨洋国际通信；另一类是无中继通信系统，适合于距离较短的海岛间的通信。与有中继通信系统相比，无中继通信系统在供电设备和监测方面稍有不同。首先，无中继通信系统没有远供电源向中继器供电；其次，无中继通信系统对海底设备的监测采用端到端测量方式，而有中继通信系统则是利用中继器的回环耦合器对海底设备的状态进行监测。

在现代通信中，海底光缆通信具有十分重要的意义。其主要优势是：通信质量高、传输时延低（与卫星比较）、不受气象条件影响（与无线传输比）、传输容量大、工作寿命长（25 年以上，卫星寿命一般为 7~10 年）、故障率低（25 年系统故障 3 次以下）。与陆地光缆通信系统相比，海底光缆通信系统的光缆工程施工牵涉面少、建设成本和维护费用低、效益高、抗灾害能力强。与其他通信手段相比，海底光缆通信还具有通信质量稳定、可靠，保密性和隐蔽性好，抗毁、抗干扰等特点。因此，在跨洋通信、洲际通信领域，海底光缆不仅完全取代了原有的海底通信电缆，也已逐步取代卫星通信，迅速成为最主要的国际通信手段。目前，海底光缆通信业务量约占国际通信业务量的 90%，是互联网的“中枢神



经”。没有海底光缆通信系统，互联网只能算是每个大陆自己的局域网。正是分布在地球上密密麻麻的像“血管”一样的海底光缆通信系统，实现了洲际间的网络联接，在国际间的信息交流中发挥着重要的作用。

发展我国的海底光缆通信技术，建设国家海底光缆通信工程，掌握海底光缆通信系统的运维管理，意义非常重大。一方面，尽管海底光缆通信技术是陆地光缆通信技术在海域的延续发展和应用，但由于海底光缆通信系统应用的特殊物理环境，其技术和特点与陆地光缆通信有较大的区别，见表 1-1。因此，与陆地光缆通信系统相比，海底光缆通信的设备和系统更复杂、要求更高，工程建设的难度更大、施工更复杂，系统开通后的对运维管理和维修抢通要求更高。目前，海底光缆通信系统技术只掌握在世界上少数国家手里，再加上海底光缆通信系统的战略地位和在全球通信中的作用，不难看出，一个国家是否拥有自己的海底光缆通信技术，关系到在技术层面上是否拥有更完善、更稳定可靠的通信手段，是衡量通信大国、通信强国的重要标准之一。

表 1-1 海底光缆通信系统和陆地光缆通信系统的主要区别

性能	陆地光缆通信系统	海底光缆通信系统
最大传输距离	小于 5000km	大于 5000km
光纤段跨距	较长，一般为 80~120km，为适应地理特点和现有网络光纤段距离可能不相等	较短，一般为 80~90km，各光纤段距离基本相等
拓扑结构	相对复杂，环网、栅格网	较简单，点对点、分支、环网
工作环境	不同地理位置的链路的传输环境（如温度、湿度、腐蚀强度、土壤）相差较大	在海水介质中链路的传输环境较为一致和稳定（高湿度、高压、盐碱腐蚀、小的温度变化范围）
系统寿命	大于 15 年	一般大于 25 年

另一方面，我国是一个海洋大国，海岸线总长度 3.2 万 km，其中大陆海岸线长达 1.8 万 km，海域面积达 300 万 km^2 ，沿海分布有大小岛屿 6500 余个，拥有国际海洋专属开发权的海域面积 7.5 万 km^2 。如果没有自己的海底光缆通信网络，就难以完成保卫海疆、维护海洋利益和开发利用海洋的使命。缺少了海底光缆通信技术，就意味着通信发展规划的失衡，综合发展实力薄弱，一旦出现突发情况，或者出现不可抗拒的自然灾害甚至发生战争等，空中信道和一般陆上信道中断、阻塞、被扰或被窃，将使国家蒙受不可估量的损失。因此，大力发展建设海底光缆通信系统在政治、军事等方面都有着深远意义。

海底光缆通信系统不仅连接了全球互联网，也是连接全球经济的重要枢纽。如今，面向日益增长的流量需求和物联网时代，海底光缆通信必然迎来新一轮的增长期，再创奇迹。



1.3 海底光缆通信系统的发展历程

1.3.1 世界海底通信的发展历程

19 世纪 50 年代,世界上第一条海底电报电缆诞生,开启了人类海洋通信的纪元。随后的 100 多年里,世界海底通信技术飞速发展,推动了人类社会的进步,其发展大致可以分成三个阶段。

1. 第一阶段(19 世纪 50 年代)海底电报电缆通信时代

海底电报电缆是在陆地电报电缆的基础上发展起来的,1832 年萨缪尔·莫尔斯从欧洲前往美国的途中,在一艘名为“萨利”的单桅帆船上想象到了电报机,由此开启了通信新革命,这也使得莫尔斯成为现代通信之父。他在 1837 年获得了发明专利,他的发明展示了马里兰州的巴尔的摩和华盛顿之间的电报的可靠性。然后,他试图推动他在欧洲的发明,但不得不等待了近 30 年才获得了全世界的认可。

1850 年,英国勃兰特兄弟公司(Jacob and John Watkins Brett)在英吉利海峡敷设了历史上第一条海底电报电缆,这也是世界上第一个海底通信工程。但是由于这条海底电报电缆外层没有任何的铠装保护,导致敷设不久后就被损坏。

随后,英国于 1868 年完成私有网络国有化,建成了全国性的电报网络,其余国家也相继开展出自己的电报电缆网络。私人用户,商家,银行,报纸和通讯社使用电报公司以及政府管理部门提供的服务,这使得流量急剧增加。同时,各国的网络相互连接,需要进行统一的规范,1849 年 10 月,第一个国际协议在德国和奥地利间签订,1865 年在巴黎成立了国际电报联盟(国际电联)。

海底电报电缆系统虽然具有通信稳定、可靠等优点,但是传输速率低,功能比较单一且价格昂贵,所以在短波无线通信技术问世后就被逐渐替代。特别是第一次世界大战后,无线短波通信得到巨大发展,而此时海底电报电缆通信的发展几乎处于停滞状态。

2. 第二阶段(20 世纪 30 年代)海底同轴电缆通信时代

随着海底电报电缆被短波无线通信取代,人们发现虽然短波无线通信具有其优势,但是其容量小、易受干扰、安全保密和可靠性较差等缺点也日益显现。因此,需要找到一种容量更大、可靠性更高的通信方式来满足日益增长的通信需求,由此开启了海底同轴电缆的时代。

20 世纪 30 年代,海底同轴通信电缆问世。1921 年,美国在佛罗里达州和古巴的哈瓦那间用同轴通信电缆敷设了一条海底电话电缆,该电缆也成为后来的海底同轴电缆的雏形。到了 1934 年,美国科学家布莱克提出了同轴电缆的概念,