

海底同轴
电缆通信系统

海底同轴ケーブルⅣ通信方式

監修 志村静一

電子通信学会編

昭和53年5月25日

内 容 提 要

本书共分八章，首先概括地叙述了海底同轴电缆通信系统的全貌。然后介绍了海底同轴电缆传输系统有关传输的基本知识。以后几章分别对海底同轴电缆、海底增音机、登陆局设备、海洋环境和电缆路由、均衡和电气施工以及机械敷设都作了比较完整详尽的介绍。有些是作者长期实践经验的总结，并附有不少有实用价值的资料。对从事海底电缆通信技术的工程技术人员和高等院校有关专业的师生都有一定的参考价值。

海底同轴电缆通信系统

日本电子通信学会 編

王远程 译

姜曰生 高琨 校

•

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

※

开本：850×1168 1/32 1985年11月第一版

印张：11 24/32 页数：188 1985年11月河北第一次印刷

字数：306 千字 插页：3 印数：1—2,000册

△ 统一书号：15045·总3014—有5410

定价：3.10 元

执笔者一览

志村静一	日本国际电信电话公司	第1章
龟田 治	日本国际电信电话公司	第2.4.7章
樽松镜逸	日本大洋海底电线公司	第3章
铃木钦也	日本电报电话公司	第3.6.8章
田畑晴男	日本电气公司	第4章
松田和长	日本国际电信电话公司	第5章 附录
木下不二夫	日本国际电信电话公司	第5.8章
江副卓尔	国际电缆船公司	第8章

译 者 的 话

自1851年英国在英法之间的多佛尔海峡敷设了一条无铠海底电缆开始,海底电缆的发展已经历了一百三十多年的历史。随着海底同轴电缆的出现、晶体管化增音机的研制成功和敷设机械的进步,最近二十多年来海底电缆通信事业突飞猛进,它与卫星通信并驾齐驱,已成为现代国际通信的重要手段之一。就国内通信说来,我国有着漫长的海岸线和星罗棋布的岛屿,无论从“四化”建设的需要或从加强海防通信来考虑,发展海底电缆通信都具有十分重要的意义。

本书对海底电缆系统的各个组成部分,从基础理论到具体应用,作了比较完整详尽的介绍,有些是作者长期实践经验的总结,并附有不少有实用价值的资料,所有这些对从事海底电缆通信事业的工程技术人员都有一定的帮助。鉴于目前国内还很少有这方面的专著,特将全文译出,以供参考。

本书涉及内容甚广,译者水平有限,译文中有错误或不够确切的地方,欢迎读者给予批评指正。

序 言

在大陆之间横跨大洋进行稳定而且高质量的通信，是人们长时期来梦寐以求的理想，1956年，作为传递欧美两大陆间信息的“高速公路”，首次敷设了第一条横贯大西洋的同轴电缆，这条电缆系统的敷设，不论在技术上、经济上都收到了划时代的成功，以此为转机，随后在大西洋、太平洋、地中海等海域，陆续敷设了许多海底同轴电缆，现在敷设总长度已经超过了20万公里，它与接踵发展的卫星通信方式，一起成了世界通信网的重要组成部分。一般地说，海底同轴电缆的主要部分，都是敷设在占海洋面积百分之八十以上的深海底，其环境温度保持在摄氏 $2 \sim 3$ 度左右，电气性能方面因有很厚的海水层起到屏蔽作用。因此它具备了实现稳定和高质量传输信息的可能性。但是装备增音机的海底同轴电缆系统，横贯宽达数千公里的大洋，敷设在数千米的深海海底，在施工之际要受到许多机械变形，敷设后要接近它又十分困难，因此，在设计海底同轴电缆系统和制造电缆、增音机等器材时，要求达到极为严格的均匀性、稳定性和可靠性。此外，把海底同轴电缆敷设到大洋底下去的时候，还会在电气和机械两方面遇到许多复杂和困难的问题，所以在研究发展这个系统的时候，屡次遇到对技术极限的挑战。

在日本，从1956年起，日本电报电话公司的电气通信研究所曾花了大约三年的时间，对海底同轴电缆通信系统进行了调查研究。接着从1971年起，日本电报电话公司和日本国际电信电话公司一起，并在日本电气公司、富士通公司和日本大洋海底电线公司的合作之下，继续开展了这方面的研究，取得了很多成果。在这些企业团体的协同努力下，1975年起，又由邮政省进一步开展了海缆通信制式的经济性方面的研究发展工作。依靠上述一系列努力的成果，

在日本国内和国际间敷设了很多海底同轴电缆，并通过这些工程建设，反过来又促使技术和业务不断地得到了提高。具体反映在1976年建成了日本国产的中日间海底电缆，并于1977年又进一步与这方面的先进国家——英国，以对等地位合作完成了冲绳～吕宋～香港电缆工程，在国内则建成了宫崎～冲绳等区段的宽频带海底同轴电缆。

海底同轴电缆的技术，不仅包括通信工程和电子学，而且还涉及到海洋学、流体力学、机械工程、土木工程、造船工程等方面的问题，它是综合了各种技术的一个重要系统，关于海底同轴电缆的技术发展和建设情况，虽然分别发表过不少论文和资料，但迄今还没有人把有关技术成体系地、综合地整理成书，因此接受电子通信学会出版委员会的建议，特邀请长期从事这方面技术研究和工程建设的各位权威，对海底同轴电缆通信系统尝试作一综合的记述，同时在执笔之际，努力使复杂的内容，尽可能加以系统整理，从基础理论到应用方面，做到叙述浅显，便于理解，此外，还要求执笔者将自己在多年实践中创造或体会到的丰富经验和知识，随时补充到文章中去，读者如能通过本书，了解海底同轴电缆的全貌，掌握其真谛，共享工程技术的芳香，则我们与执笔者一起，都将为此而感到高兴。

以下按各个章节谈一谈本书的要点：

第一章“概论”，概括地叙述了海底同轴电缆通信系统的全貌和第二章以下各章共同性的问题。先讲了这个系统的历史背景，回顾海缆发展的主要过程，进一步说明经由海底同轴电缆的国际线路，最后从技术和业务两个方面，记述了国际海底同轴电缆的计划、建设和维护的概况。

第二章“海底同轴电缆传输系统”，首先为不熟悉传输技术的读者说明一下有关传输的基础知识，接着对海底同轴电缆通信系统的杂音设计进行了解说，并讲述了设计的实际例子。海底同轴电缆通信系统的制式设计，在原理上它与陆地上同轴电缆通信系统很少

不同之处，所以本书只重点叙述作为海底同轴电缆通信系统特点的
几个问题。

第三章“海底同轴电缆”，先就广泛敷设在世界各个海域的英国型和美国型海底同轴电缆作了介绍，然后以系统设计与主要因素的关系图的方式，叙述了电缆设计的开展方法，并触及到海底同轴电缆宽频带化所必要的低损耗角聚乙烯绝缘体的研制情况，又从海底同轴电缆的材料和结构，引出电气特性问题，特别是就前者的偏差对后者的衰减值所造成的影响问题，进行了较详细的分析。

第四章“海底增音机”，叙述了硬直型海底增音机的电路和机构元器件，重点放在电路所具有的高可靠性和稳定性方面。

第五章“登陆局设备”，重点放在海底同轴电缆通信系统所特有的传输设备，进而也叙述到某些登陆局附属设备。

第六章“海洋环境和电缆路由”，先就海洋学中两、三个与海底电缆有关的问题进行介绍，再对海洋勘察用测量仪器及其使用方法进行说明，并就利用海洋勘察结果选定电缆路由的方法作了说明。

第七章“均衡和电气施工”，说明了对长距离海底同轴电缆通信系统中发生的传输偏差进行均衡的方法，为此先分析了因传输偏差造成的杂音使传输质量劣化问题，然后叙述了进行这种均衡的海洋区间均衡器和敷设电缆时对传输特性的均衡方法。

第八章“机械敷设”，先以相互之间的关系图，说明电缆敷设工程中的一些主要因素，其次，叙述了关于敷设船的情况，进一步系统地记述了电缆机械敷设的基础理论及其实际应用到敷设工程中去的方法，最后讲了电缆的修理方法、埋设施工方法和埋设机的情况。

在附录部分，通过“附录一，海底电缆年表”，可以摸索到海底电缆系统发展和敷设的主脉；“附录二，世界上主要的海底同轴电缆通信系统”列出了各个系统的主要参数，对研究比较提供了方便；并在“附录三，世界上主要海底同轴电缆分布图”中，表明了

世界各个海域内海底同轴电缆网的构成状况；“附录四，世界上主要海底同轴电缆一览表”则按各个海域分别列出了电缆名称、区段长度和采用方式等内容。

本书卷末还附刊了有关本书所采用的专用名词略语表。

如蒙各位读者对本书给以批评指教，我们将感到十分庆幸。

日本的海底同轴电缆通信系统的研究、发展和建设，是写作本书的基础，我们对在这些方面给予指导和协助的有关各位，表示深切的敬意和感谢，同时作为执笔者之一，并代表全体执笔者，对在发行本书时给以写作机会的电子通信学会出版委员会驹宫安男前委员长、锻冶 弘委员以及在编辑出版业务中曾给以大力帮助的编辑课各位，谨致谢忱。

志村静一

1978年3月

目 录

第一章 概述	(1)
1.1 海底同轴电缆通信系统发展的背景	(1)
1.2 海底同轴电缆通信系统的发展	(4)
1.2.1 美国的双电缆方式	(4)
1.2.2 英国的单电缆方式	(7)
1.2.3 美国的单电缆方式	(9)
1.2.4 晶体管和薄膜技术的引进	(10)
1.2.5 日本海底同轴电缆通信系统的发展和建设 ...	(11)
1.3 海底同轴电缆电路	(16)
1.3.1 海底同轴电缆通信系统的构成和特点	(16)
1.3.2 卫星通信系统与海底同轴电缆通信系统的比 较	(19)
1.4 国际海底电缆通信系统的规划、建设和维护	(22)
1.4.1 规划	(24)
1.4.2 订货合同	(28)
1.4.3 建设	(28)
1.4.4 运营维护	(29)
1.4.5 有关的单位	(30)
第二章 海底同轴电缆传输系统	(33)
2.1 概述	(33)
2.2 传输的基础	(35)
2.2.1 传输系统	(35)
2.2.2 传输系统所使用的单位	(37)
2.2.3 话音信号	(39) *

2.2.4	电路杂音	(42)
2.3	系统的基本设计	(46)
2.3.1	制定设计目标	(47)
2.3.2	海底传输线路的设计	(50)
2.3.3	对海中设备的要求	(56)
2.3.4	系统的构成	(60)
2.4	实施设计	(62)
2.4.1	设计条件	(62)
2.4.2	系统设计	(64)
第三章	海底同轴电缆	(73)
3.1	无铠同轴电缆	(73)
3.1.1	同轴电缆在海底电缆方面的应用	(73)
3.1.2	英国式轻型电缆	(74)
3.1.3	美国式无铠电缆	(77)
3.1.4	日本的海底同轴电缆	(79)
3.2	海底同轴电缆的设计	(81)
3.2.1	设计概述	(81)
3.2.2	海底电缆的机械特性	(83)
3.2.3	设计所需电缆材料的特性	(84)
3.2.4	材料、结构、尺寸与一次、二次参数间的关系	(88)
3.2.5	动特性(温度、压力、敷设效应)与电缆特性的预知性	(96)
3.2.6	材料、结构、尺寸的偏差对衰减的影响	(99)
3.2.7	电缆的防护	(102)
3.3	电缆的制造和检验	(105)
3.3.1	电缆的制造	(107)
3.3.2	海底电缆的检验	(113)
第四章	海底增音机	(116)

4.1	概述	(116)
4.2	增音机电路	(117)
4.2.1	放大器	(119)
4.2.2	滤波器	(125)
4.2.3	监视电路	(128)
4.3	海底增音机的结构部分	(130)
4.3.1	概述	(130)
4.3.2	耐压壳体	(132)
4.3.3	机线连接组件	(134)
4.3.4	电缆连接装置	(136)
4.3.5	壳体材料	(137)
4.4	可靠性和稳定性	(139)
4.4.1	可靠性	(139)
4.4.2	稳定性	(144)
4.5	海底增音机的制造技术	(146)
4.5.1	制造环境	(147)
4.5.2	材料和元件	(149)
4.5.3	增音机的制造	(154)
4.5.4	可靠性管理和检验	(158)
第五章	登陆局设备	(164)
5.1	概述	(164)
5.2	终端设备	(167)
5.2.1	频谱分配	(167)
5.2.2	局内设备构成和配置	(172)
5.2.3	杂音分配和电平图	(174)
5.2.4	高频终端设备	(175)
5.2.5	载波多路设备	(180)
5.3	提高传输线路利用率的高效设备	(182)
5.3.1	16路调制设备	(182)

5.3.2	话音插空设备 (TASI)	(184)
5.4	供电设备	(190)
5.4.1	供电方式	(190)
5.4.2	供电设备	(191)
5.4.3	电源分隔滤波器	(194)
5.5	监视和故障位置检测设备	(194)
5.5.1	日常的监视	(194)
5.5.2	故障点位置的检测	(197)
5.6	登陆局机房和附属设备	(199)
5.6.1	登陆局机房	(199)
5.6.2	登陆局附属设备	(201)
第六章	海洋环境和电缆路由	(206)
6.1	海底电缆和海洋学	(206)
6.2	海洋勘察	(212)
6.2.1	概述	(212)
6.2.2	勘察的准备	(214)
6.2.3	海底勘察和勘察用仪器	(215)
6.2.4	海底温度勘察和勘察用仪器	(220)
6.2.5	取水、取泥勘察和勘察用仪器	(222)
6.2.6	埋设机掘削深度勘察	(224)
6.2.7	海潮流勘察和勘察用仪器	(225)
6.3	路由的选定	(227)
6.3.1	登陆点的选定	(227)
6.3.2	敷设路由的选定	(228)
第七章	均衡和电气施工	(231)
7.1	概述	(231)
7.2	传输电平偏差	(233)
7.2.1	传输电平偏差发生的主要原因	(233)
7.2.2	传输电平偏差引起的杂音劣化	(235)

7.3	均衡设计	(239)
7.3.1	设计的基本事项	(239)
7.3.2	海洋区间均衡	(243)
7.3.3	系统均衡	(244)
7.4	海洋区间均衡器	(247)
7.4.1	均衡器的构成	(247)
7.4.2	均衡网络	(248)
7.4.3	可变均衡器的调整	(249)
7.5	电气施工	(255)
7.5.1	电气施工的概要	(255)
7.5.2	电气施工用设备	(257)
7.5.3	电气施工的实例	(261)
第八章	机械敷设	(270)
8.1	概述	(270)
8.2	敷设船	(274)
8.2.1	概述	(274)
8.2.2	敷设船的特征	(275)
8.2.3	敷设船的装备	(278)
8.2.4	世界上的敷设船	(290)
8.3	电缆的敷设理论	(291)
8.3.1	概述	(291)
8.3.2	直线型电缆的敷设	(291)
8.3.3	海底面敷设的动力学	(294)
8.3.4	符合海底地形状况的敷设	(297)
8.3.5	利用区段余量的方法进行电缆敷设	(301)
8.4	浅海电缆的敷设	(305)
8.4.1	概述	(305)
8.4.2	浅海部的海底地形	(305)
8.4.3	浅海电缆的敷设方法	(305)

8.4.4	浅海部电缆余量的确定	(306)
8.4.5	电缆的登陆	(307)
8.5	深海电缆的敷设	(309)
8.5.1	概述	(309)
8.5.2	深海电缆的敷设方法	(309)
8.5.3	深海部的电缆余量	(310)
8.5.4	变更电缆余量及船速时的经过时间和持续时 间	(315)
8.5.5	修正固定电缆余量的敷设方法	(317)
8.5.6	电缆计划长度和施工时电缆余量计划间的关 系	(319)
8.6	埋设施工方法	(323)
8.6.1	概述	(323)
8.6.2	对埋设的要求条件	(324)
8.6.3	为埋设进行的海洋勘察	(326)
8.6.4	埋设施工方法	(326)
8.6.5	埋设施工法在今后需解决的课题	(335)
8.7	修理施工方法	(335)
8.7.1	概述	(335)
8.7.2	浅海部电缆修理施工法	(336)
8.7.3	深海部电缆修理施工法	(338)
8.7.4	埋设电缆的修理施工法	(338)
附录		(341)
附录一	海底电缆年表	(341)
附录二	世界上主要的海底同轴电缆通信系统	(345)
附录三	世界上主要海底同轴电缆分布图	(345)
附录四	世界上主要海底同轴电缆一览表	(346)
略语表		(356)

第一章 概 述

1.1 海底同轴电缆通信系统发展的背景

在两地之间传达自己的思想、意志等“信息”的通信手段，从原始时代的举烽火开始，经历了用快马和帆船等传递书信到进行信号通信等一系列演变过程，但是一直到十八世纪末，没有看到显著的进步。后来经过文艺复兴、宗教改革和新大陆的发现，尤其十八世纪后半叶英国发生的产业革命之波，在十九世纪前半叶传播到了欧洲大陆和美洲新大陆，结果引起了世界经济的爆发性的发展，也给科学技术领域带来了划时代的进步发展。特别在通信领域，十九世纪初，科学家们开始了对电磁现象的研究，通过与技术工作者协力钻研的结果，英美两国差不多同时地分别研制成功了电报机，其中美国人莫尔斯（S.F.B Morse）发明的电报机，因为与其它电报机相比有结构较简单的优点，加上铁路和商业等部门的需要，在发明后的约十年间，先是在欧美两大陆，然后又进一步为全世界所广泛应用。这样，电报就与邮政并列，成为最重要的通信手段。但那时跨越海洋的通信尚不能做到。

1843年英国人法拉弟（M.Farady）和德国人西门子（W.Siemens）发现古塔波胶（Gutta Percha, GP）是海底电缆的良好绝缘材料，1848年英国人汉考克（C.Hancock）制成GP的被覆挤塑机。在这些技术发展的背景下，1850年英国勃兰特兄弟（Brett）在英法海峡敷设了历史上第一条海底电缆。这条电缆，因为没有铠装，敷设后不久即为渔轮的锚挂断。接着勃兰特兄弟重又在英法海峡敷设一根由铁丝铠装的GP绝缘电缆，1851年终于完成了一条实

用电报线路。以此为转机，后来在欧洲海域敷设了很多的短距离海底电缆，但是要横贯大西洋，在深达数千米的深海中敷设海底电缆，在商业活跃的欧美大陆间开设电报线路，还必须进一步克服经营上、技术上的许多困难。为此，在英国专门设立了科学研究委员会，从事海底电缆的制造、敷设和事业经营等方面的研究活动。依靠该委员会的研究成果和美国实业家赛勒斯·菲尔德 (Cyrus W. Field) 的不断努力，经过三次失败，于1866年第一次横贯大西洋，在巴伦西亚（爱尔兰）和哈特康登（纽芬兰）之间敷设成功了海底电报电缆，这是在世界通信史上值得大书特书的一个伟大成绩。从此，原来往返需两个月左右时间的欧美间通信，只要极短的时间就可完成。因为当时这样的海底电报，主要是提供商业和新闻事业方面利用的，所以海底电缆的敷设，首先只是在通商繁盛的国家间进行。在十九世纪七十年代，海底电报电缆从英国本土经过地中海、印度，敷到了新西兰和上海，并从英国本土延伸到南非的开普敦和南美。这样，到二十世纪初，几乎通达了全世界，海底电缆的总长度约达40万海里。这些海底电报电缆网，在十九世纪末叶之前，曾作为长距离通信的明星而活跃于世，对当时贸易的发展和国际社会的相互了解，作出了巨大的贡献。

第一次世界大战结束前后，长波无线电报有了很大发展，它已作为横越大洋通信的有力手段登场，为了与其竞争，以稳定性和可靠性为特征的海底电报面临着提高通信速度的迫切要求，海底电缆的通信速度较陆地电缆慢，因为海底电缆以海水为回路，其静电电容比陆地电缆大，1887年奥利费·海维赛德 (Oliver Heaviside) 发表了通过加感减小海底电缆衰减可以提高通信速度的理论，1902年克拉罗普 (C.E. Krarup) 使内导体上卷绕螺旋形软铁丝的连续加感方式实用化，1921年美国发明坡莫合金取代软铁丝，敷设了使用坡莫合金带的加感电缆，由此获得了数倍于无加感电缆的通信速度。加感技术也应用于陆上线路，1901年普平 (M.I. Pupin) 研制成功集中加感方式后，即被广泛采用，扩展了陆上电话电缆的通达距

离。

与陆上通信一样，继电报之后，提出了电话用海底电缆的要求。由于电话的传输频带比电报宽，因此它的传输衰减也大，海底电话电缆的实用长度受到限制，最大距离只能达到100海里左右。因而为延长其长度作了很大努力，1921年，在基韦斯特~哈瓦那之间敷设了一条钢丝铠装连续加感海底电话电缆，这条电缆的结构是今日同轴电缆的原型，它的内导体是加感的，外导体以六枚铜带作螺旋形绕包而成，用这个外导体和海水作为回路，以递减高频的传输衰减。为了进一步减少传输衰减，随后又发现了电容率小的绝缘物PG（*Paragutta* 巴拉格塔合成胶），并研究了新磁性材料帕明瓦高导磁率合金（*Perminvar*），1927年完成了采用这些成果的新设计加感电缆的深海实验。眼看这个新成果即将作为横贯大西洋的电话电缆（只通一路）而登场，但恰巧也在这时，出现了短波无线电通信技术，在当时说来，它已经足以提供质量良好的横越大洋的电话电路，于是价格高昂的海底电话电缆的敷设计划就被搁置了。

马可尼于1901年首次进行横越大西洋的这种无线通信的实验，1908年开始了横越大西洋的长波电报业务，1927年开始了横越大西洋的长波电话业务。第一次世界大战期间，短波无线通信有了大踏步的进展，1928年横越大西洋开通了有16路容量的电话电路，这样，无线通信就渐次取代了海底电报电缆的地位。其原因是无线通信的建设方便，而且在报话费收入的分配上也有利，也就是说，国际电报海底电缆建设速度慢，把这些建设工程委托给外国企业的国家必须将海底电报电缆得到的大部分收入支付给上述外国企业，而无线通信只要在两终端国的领域内设置收发信设备就能通信，原则上两终端国间分别可得到一半的报话费收入。因此，自1927年以后，国际通信的领域，主要是以利用电离层传播的短波无线通信为主。然而这种通信方式，不能避免由于磁暴和德林格尔现象（*Dellinger Phenomena*）所造成的通信中断和信号衰落^①，以及因频率分配上限制所造成的增开电路困难和经常发生干扰。为了应付激增的