

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 51154 – 2015

海底光缆工程设计规范

Code for engineering design of optical fiber
submarine cable systems

2015 – 12 – 03 发布

2016 – 08 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

海底光缆工程设计规范

Code for engineering design of optical fiber
submarine cable systems

GB/T 51154 - 2015

主编部门：中华人民共和国工业和信息化部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 6 年 8 月 1 日

中国计划出版社

2015 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 987 号

住房城乡建设部关于发布国家标准 《海底光缆工程设计规范》的公告

现批准《海底光缆工程设计规范》为国家标准，编号为 GB/T 51154—2015，自 2016 年 8 月 1 日起实施。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2015 年 12 月 3 日

前 言

本规范是根据住房和城乡建设部《关于印发〈2011年工程建设标准规范制定、修订计划〉的通知》(建标〔2011〕17号)的要求,由中国移动通信集团设计院有限公司会同有关单位共同编制完成。

在本规范编制过程中,编制组进行了深入的调查研究,认真总结了海底光缆通信技术的应用与发展状况,广泛征求全国有关单位和专家的意见,并参考了国内外相关标准规定的内容,最后经审查定稿。

本规范共分11章,主要技术内容包括:总则,术语和符号,海底光缆系统组成及系统制式,海底光缆数字信号传输系统设计,海底光缆线路设计,海底光缆线路及数字信号传输系统性能指标,海底光缆登陆站和附属设施要求,局站设备安装,远供电源系统设计,辅助系统设计,维护工具及仪表的配置。

本规范由住房和城乡建设部负责管理,工业和信息化部负责日常管理,中国移动通信集团设计院有限公司负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中如有意见和建议,请寄送给中国移动通信集团设计院有限公司(地址:北京市海淀区丹棱街甲16号,邮编:100080),以供修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:中国移动通信集团设计院有限公司

参 编 单 位:中国海底电缆建设有限公司

上海邮电设计咨询研究院有限公司

中讯邮电咨询设计院有限公司

华信咨询设计研究院有限公司

主要起草人:高军诗 陈晓明 江 伟 吴万红 糜 定

白新宇 魏 澎 贺永涛 沈 梁 武清华
王 悦
主要审查人:王俊华 王 琦 叶银灿 李建苹 张漱纯
麻小龙 董向华 蔡炳余

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(4)
3	海底光缆系统组成及系统制式	(7)
3.1	系统组成和分类	(7)
3.2	系统接口及工作波长	(7)
4	海底光缆数字信号传输系统设计	(9)
4.1	系统设计基本原则	(9)
4.2	规模容量的确定	(9)
4.3	网络拓扑	(9)
4.4	海底设备的选型	(10)
4.5	终端设备的选型	(11)
4.6	光纤的选型	(12)
4.7	海底光缆传输相关辅助技术的选用	(12)
4.8	系统可靠性	(13)
4.9	系统维护余量	(13)
5	海底光缆线路设计	(15)
5.1	海底光缆线路路由预选桌面研究	(15)
5.2	海底光缆线路路由勘察	(16)
5.3	海底光缆选型和铺设安装	(17)
5.4	陆地光电缆选型和敷设安装	(19)
6	海底光缆线路及数字信号传输系统性能指标	(21)
6.1	海底光缆线路性能指标	(21)

6.2 海底光缆数字信号传输系统性能指标	(21)
7 海底光缆登陆站和附属设施要求	(23)
8 局站设备安装	(25)
9 远供电源系统设计	(26)
10 辅助系统设计	(28)
11 维护工具及仪表的配置	(30)
本规范用词说明	(32)
引用标准名录	(33)
附:条文说明	(35)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(4)
3	System configuration and system categorization	(7)
3.1	System configuration and categorization	(7)
3.2	System interfaces and operating wavelength	(7)
4	Digital transmission system design	(9)
4.1	General requirements	(9)
4.2	Capacity	(9)
4.3	Network topology	(9)
4.4	Submerged equipment	(10)
4.5	Line terminal equipment	(11)
4.6	Optical fiber	(12)
4.7	Transmission related ancillary technologies	(12)
4.8	System reliability	(13)
4.9	System maintenance margin	(13)
5	Submarine cable line design	(15)
5.1	Cable route desk top study	(15)
5.2	Submarine cable route survey	(16)
5.3	Submarine cable and its installation requirements	(17)
5.4	Land cable and its installation requirements	(19)
6	Performance parameters of digital transmission system and cable line	(21)

6.1	Performance parameters of submarine cable line	(21)
6.2	Performance parameters of digital transmission system	(21)
7	Requirements for landing station and its auxiliary facilities	(23)
8	Installation of terminal station equipments	(25)
9	Design of power feeding systems	(26)
10	Design of auxiliary systems	(28)
11	Maintenance tools and test instruments	(30)
	Explanation of wording in this code	(32)
	List of quoted standards	(33)
	Addition;Explanation of provisions	(35)

1 总 则

1.0.1 为了统一和规范海底光缆工程建设,使海底光缆工程符合国家相关政策、技术先进、安全可靠、经济合理、节能环保,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于海底光缆线路和海底光缆数字信号传输系统及相关辅助系统工程设计。

1.0.3 海底光缆工程设计应进行多方案比较,努力提高经济效益,降低工程造价。

1.0.4 海底光缆工程应统筹规划、联合建设、资源共享,满足建设资源节约型、环境友好型社会的要求。

1.0.5 在我国抗震设防烈度 7 烈度及以上地区建设的海底光缆工程的设备应满足通信网络的抗震性能要求。

1.0.6 海底光缆工程设计除应符合本规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 海底光中继器 submarine repeater

由一个或数个再生器或者光放大器以及其他相关器件构成的海底光信号放大设备。

2.1.2 有中继海底光缆系统 repeatered submarine cable system

海底线路中采用海底光中继器的海底光缆系统。

2.1.3 无中继海底光缆系统 repeaterless submarine cable system

海底线路中无海底光中继器的海底光缆传输系统。

2.1.4 岸滩人井 beach manhole

设置于海底光缆登陆岸滩的人井,用于终端海底光缆并连接陆地光、电缆。

2.1.5 海底光缆登陆点 cable landing point

海底光缆与陆地光缆接头点的位置,一般设岸滩人井。

2.1.6 海底光缆登陆站 cable landing station

海底光缆系统的终端站。海底光缆终端设备、监控设备及远供电设备等均可安装在海底光缆登陆站内。

2.1.7 海堤 sea wall

海岸边用于阻挡海水的堤坝。

2.1.8 海底光缆段 segment

连接在同一对光纤上的两个相邻海底光缆终端设备之间的所有海底光缆系统组件的集合。

2.1.9 锚地 anchorage area

海上指定的船只可以抛锚的特殊区域。

2.1.10 深海段 deep sea section

铺设于水深大于 1000m 区段的海底光缆。

2.1.11 浅海段 shallow sea section

铺设于水深介于 20m~1000m 区段的海底光缆。

2.1.12 近岸段 inshore section

铺设于岸滩人井到 20m 区段的海底光缆。

2.1.13 登陆段 landing section

铺设于岸滩人井至水深 5m 区段的海底光缆。

2.1.14 远供电源系统 power feeding system

利用海底光缆内的导体与大地组成的回路,向海底设备提供电力的供电系统。

2.1.15 遥泵 remote optical pumped EDF amplifier

由终端设备中的泵浦源和距终端设备一定距离(通常 80km~120km)处嵌入光缆线路的掺饵光纤组成的远端光放大系统。

2.1.16 海底光缆路由预选桌面研究 cable route desktop study

根据海底光缆系统拓扑结构的设计,通过对现有地球物理数据、海洋环境要素和海洋开发活动情况的搜集与分析,提出一个或多个在技术和经济上都较为可行的海底光缆路由方案。

2.1.17 海洋路由勘察 route survey

采用地质采样、地球物理测量、现场观测等专业技术方法,对路由预选桌面研究提出的路由方案进行实地勘察,经对获取资料的综合评价和比选,确定最佳路由方案,并为光缆工程的设计、施工提供科学技术依据。

2.1.18 静力触探试验 cone penetration test

将圆锥形探头按一定速率匀速压入土中,测量其贯入阻力(锥头阻力、侧壁摩阻力)等的过程。

2.1.19 光相干接收 optical coherent detection

在接收设备中利用本地光载波与同频光载波信号进行相干混频,检测并接收载波信号的相位信息。

2.2 符 号

英文缩写	英文名称	中文名称
ASE	Amplified Spontaneous Emission	放大的自发辐射
BBER	Background Block Error Ratio	背景差错块比
BER	Bit Error Ratio	误码率
BJ	Beach Joint	岸滩接头盒
BOL	Begin Of Life	寿命初始
BU	Branch Unit	海底分支单元
C-OTDR	Coherent Optical Time-Domain Reflectometer	相干光时域反射仪
CTB	Cable Terminating Box	光缆终端箱
DA cable	Double Armored cable	双层铠装光缆
(D)BPSK	(Differential) Binary Phase Shift Keying	(差分)二相相移键控
DCC	Data Communication Channel	数据通信通道
DCN	Data Communication Network	数据通信网
DGD	Differential Group Delay	差分群时延
DPSK	Differential Phase Shift Keying	差分相移键控
(D)QPSK	(Differential) Quadrature Phase Shift Keying	(差分)正交相移键控
DSP	Digital Signal Processing	数字信号处理
EOL	End Of Life	寿命终了
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
LME	Line Monitoring Equipment	线路监测设备

LW cable	Light Weight cable	轻型光缆
LWP cable	Light Weight Protected cable	轻型保护光缆
OADM	Optical Add/Drop Multi- plexer	光分插复用器
ODF	Optical Distribution Frame	光纤配线架
OSNR	Optical Signal to Noise Ratio	光信噪比
OTDR	Optical Time-Domain Reflectometers	光时域反射仪
OTN	Optical Transport Network	光传送网络
OTUk	Completely standardized Optical Channel Transport Unit-k	完全标准化光通路 传送单元-k
PFE	Power Feeding Equipment	远供电源设备
PM-(D)BPSK	Polarization Multiplexing- (Differential) Binary Phase Shift Keying)	偏振复用(差分)二 相相移键控
PM-(D)QPSK	Polarization Multiplexing- (Differential) Quadrature Phase Shift Keying	偏振复用(差分)正 交相移键控
PMD	Polarization Mode Dispersion	偏振模色散
Q	Q factor	Q 值
RA cable	Rock Armored cable	岩石铠装光缆
RZ	Return to Zero	归零码
SA cable	Single Armored cable	单层铠装光缆
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字体系

SE	Sea Earth	海洋接地装置
SESR	Severely Errored Second Ratio	严重误码秒比
SLTE	Submarine Line Terminal Equipment	海底光缆线路终端设备
VOIP	Voice over IP	IP 电话
WDM	Wavelength Division Multiplexing	波分复用

3 海底光缆系统组成及系统制式

3.1 系统组成和分类

3.1.1 海底光缆系统按有无海底光中继器可分为有中继海底光缆系统和无中继海底光缆系统。

3.1.2 有中继海底光缆系统宜由海底光缆终端设备、远供电源设备、线路监测设备、网络管理设备、海底光中继器、海底分支单元、在线功率均衡器、海底光缆、海底光缆接头盒、海洋接地装置以及陆地光电缆等设备组成。

3.1.3 无中继海底光缆系统宜由海底光缆终端设备、网络管理设备、海底分支单元、海底光缆、海底光缆接头盒以及陆地光电缆等设备组成。

3.1.4 海底光缆系统按照终端设备类型可分为 SDH 系统和 WDM 系统。

3.2 系统接口及工作波长

3.2.1 海底光缆数字信号传输系统支持的业务接口类型应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 海底光缆数字信号传输系统支持的业务接口类型

业务接口类型	信号类型
SDH 接口	STM-N(N=1、4、16、64 和 256)
以太网接口	GE、10GE、100GE 等
OTN 接口	OTU1、OTU2(e)、OTU3、OTU4 等

3.2.2 海底光缆数字信号传输系统的线路光通路信号类型及速率应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 海底光缆数字信号传输系统的线路光通路类型

通路类型	信号速率(Gbit/s)	信号结构
2.5G	2.49~2.67	STM-16 或 OTU1
10G	9.95~12.00	STM-64 或 OTU2
40G	39.813~50.00	STM-256 或 OTU3
100G	111.81~140.00	OTU4

3.2.3 海底光缆数字信号传输系统宜工作在 1550nm 波段。

4 海底光缆数字信号传输系统设计

4.1 系统设计基本原则

4.1.1 系统设计寿命应达到 25 年。

4.1.2 系统设计应综合考虑设计容量和成本因素,实现系统最优设计;在技术条件允许的情况下,应优先选择无中继系统。

4.2 规模容量的确定

4.2.1 无中继海底光缆系统的线路传输速率应根据登陆站间距离取定,光纤的芯数应结合中远期容量需求通过技术经济比较确定。

4.2.2 有中继海底光缆系统的光纤芯数应结合成本、中远期容量需求和远电源容量等方面综合考虑确定。

4.2.3 有中继系统应采用业界先进的终端技术,结合光纤类型和海底光中继器之间的距离等确定设计容量,使系统单位设计容量的成本最小;海底光缆终端设备的配置容量可按近期业务量需求确定。

4.3 网络拓扑

4.3.1 海底光缆系统宜采用点到点线型(图 4.3.1-1)和分支型(图 4.3.1-2)两种类型的基本拓扑结构。

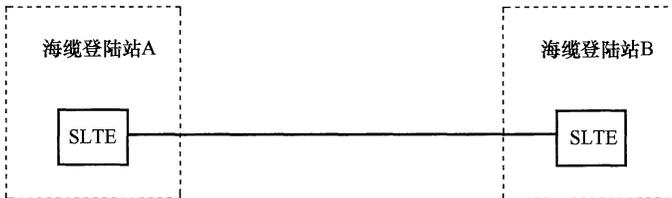


图 4.3.1-1 点到点线型拓扑结构

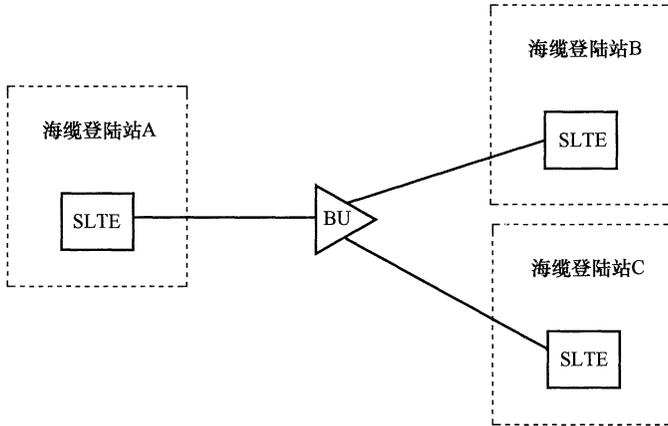


图 4.3.1-2 分支型拓扑结构

4.3.2 选择拓扑结构时,应综合考虑登陆站之间的地域关系、业务需求、网络的安全要求及经济性等因素。

4.4 海底设备的选型

4.4.1 海底设备可包括海底光中继器、海底分支单元和在线功率均衡器等设备。

4.4.2 海底设备除应满足现有海底光缆施工船布放设备的外形尺寸要求、工程所处最深海水压力要求和具有高绝缘强度要求外,还分别应符合下列规定:

- 1 光中继器应具备远供电源电涌保护功能;
- 2 光中继器和分支单元的重要器件应具有冗余配置,满足系统总体可靠性指标;
- 3 光中继器应具备自身状态监测回路或 C-OTDR 光纤监测回路;
- 4 海底分支单元应根据海底光缆系统结构,选择具备光纤分歧功能或分插复用(OADM)功能;
- 5 海底分支单元应根据海底光电缆远供电源系统结构,选择

具备远供电路倒换功能；

6 具有远供电源倒换功能的海底分支单元应具有远供电源电涌保护功能；

7 在线功率均衡器可根据不同频谱功率波形，选配相应波形的增益均衡滤波器。

4.5 终端设备的选型

4.5.1 海底光缆终端设备选型应符合下列基本要求：

1 终端设备应符合技术先进、安全可靠、经济实用、便于维护的原则；

2 设备供应商应具有设备升级、网络管理系统升级、技术研发和售后服务等方面的能力；

3 终端设备应具有灵活的、较少品种的硬件配置，易于系统扩容及升级；

4 终端设备应符合我国有关 SDH 或 WDM 系统相关的技术要求；

5 终端设备应符合节能减排的原则和要求。

4.5.2 机架式设备机架高度宜为 2600mm、2200mm 或 2000mm，厚度宜为 300mm 或 600mm，宽度宜为 600mm。同一机房内宜保持机架高度的统一。

4.5.3 终端设备的总体机械结构应便于安装、维护以及扩容或调整，设备硬件应为模块化设计，同时应具有机械强度和刚度。设备的电磁兼容性应符合现行国家标准《电信网络设备的电磁兼容性要求及测量方法》GB 19286 的有关规定。

4.5.4 在终端设备上，应提供用于不中断业务测试主光通道的接口和数据通信通道接口。

4.5.5 在有中继海底光缆系统的终端设备上，应提供海底光缆线路监测接口。

4.5.6 在无中继 WDM 海底光缆系统的终端设备上，应能获得

每个光通路的光功率和光信噪比数据,并应能在网络管理系统中查看相应的数据。

4.5.7 在有中继 WDM 海底光缆系统的终端设备上,应能获得每个光通路的光功率和 FEC 纠错数据,并应能在网络管理系统中查看相应的数据。

4.5.8 相干接收 WDM 海底光缆终端设备的色散容限和极化色散容限宜分别大于光缆线路累积色散和差分群时延。

4.5.9 配置的光放大器,拉曼放大器应具有明显的安全标志。在光纤切断、设备失效或光连接器拔出时,应启动自动功率降低进程,并应具有自动/人工重新启动进程的功能。

4.6 光纤的选型

4.6.1 海底光缆光纤的选型应综合考虑终端设备技术情况、海底光缆系统长度和成本等因素。

4.6.2 海底光缆可选择使用下列类型光纤:

- 1 非色散位移单模光纤;
- 2 截止波长位移单模光纤;
- 3 非零色散位移单模光纤;
- 4 色散管理光纤。

4.7 海底光缆传输相关辅助技术的选用

4.7.1 WDM 海底光缆数字信号传输系统色散补偿设计应符合下列规定:

1 非相干接收无中继 WDM 海底光缆数字信号传输系统可在海底光缆终端设备发送端预补偿色散和接收端后补偿色散;色散补偿可采用固定色散补偿或(和)自适应色散补偿,并可利用自适应色散补偿结合固定色散补偿实现单信道的精确色散补偿。

2 非相干接收有中继 WDM 海底光缆数字信号传输系统可利用海底光缆线路中均匀间插色散补偿光放段在线补偿和本条第

1 款所述终端设备补偿机制相结合实现色散补偿。

4.7.2 采用非相干接收的 WDM 海底光缆数字信号传输系统设计应考虑偏振模色散(PMD)影响因素,差分群时延(DGD)的代价应在系统性能预算允许的范围之内。

4.7.3 功率均衡技术应用应符合下列规定:

1 对于无中继 WDM 海底光缆数字信号传输系统,海底光缆终端设备应具备光功率均衡功能,可无须人工参与,自动对单波道进行功率调节;

2 对于有中继 WDM 海底光缆数字信号传输系统,可采用海底光缆线路插入功率均衡器的在线功率均衡与海底光缆终端设备光功率均衡相结合的方式实现系统功率均衡。

4.7.4 结合海底设备造价情况,海底光缆数字信号传输系统宜采用最先进的 FEC、编码调制和接收技术。

4.7.5 根据登陆站间距离和设计容量,无中继海底光缆数字信号传输系统可选择采用预置放大器、后置放大器、预置遥泵和后置遥泵以及拉曼放大器等技术。

4.8 系统可靠性

4.8.1 海底设备元器件应冗余配置。

4.8.2 在系统的使用寿命期内,由于光缆及元器件本身发生的故障而要求维护船只修理的故障次数不应超过 3 次。

4.9 系统维护余量

4.9.1 海底光缆系统在寿命期内维护余量的设计宜符合下列规定:

1 登陆点至登陆站之间的陆地光缆段可按每 4km 1 次维修计算,但不宜小于 2 次,每次维修的每个接头损耗可按 0.14dB 计算;

2 近岸段和浅海段可按每 15km 1 次维修计算,但不宜小于

5 次；深海段可按每 1000km 1 次维修计算；海底光缆每次维修增加的损耗应包括插入海底光缆的衰减和接头损耗，插入光缆长度可按海水深度的 2.5 倍计算，每次维修的接头损耗可按 0.4dB 计算；

3 无中继海底光缆系统海底光缆段的维护损耗余量不应大于 5dB。

5 海底光缆线路设计

5.1 海底光缆线路路由预选桌面研究

5.1.1 海底光缆线路工程应进行路由预选桌面研究并应编制路由预选桌面研究报告。

5.1.2 海底光缆路由预选桌面研究应以工程设计委托书为依据，并应遵循技术可行、经济合理、海洋环境安全、便于施工和维护的原则选择海底光缆路由，并提出路由勘察、海底光缆保护和施工方式建议。

5.1.3 海底光缆路由预选应对下列信息进行调查和分析：

- 1 路由区的自然环境资料，尤其灾害地质因素资料；
- 2 路由区的海洋规划和开发活动资料；
- 3 路由区已建海底光缆、管道的故障史及故障原因。

5.1.4 海底光缆线路预选路由应满足下列规定：

- 1 应充分考虑海洋功能区规划中的各种建设项目的影晌。
- 2 宜避开灾害地质因素分布区。
- 3 宜避开海洋油气田、砂矿开采区、输油气管道、码头、锚地、张网捕捞作业区、自然保护区、军事活动区、人为废弃物。
- 4 宜与航道垂直穿越；宜避免与海底光缆、电缆、管道交越，确需交越时交角不宜小于 60° ，交越点距离海底中继器和海底分支单元不应小于 3 倍水深；当与其他海底光缆平时，间距不宜小于 3 倍水深，且不宜小于 1000m。

5.1.5 路由预选应对登陆点进行勘察，对登陆点附近的海洋开发活动等应进行调研，应选择符合海洋功能区划、离登陆站近、与其他海洋规划和开发活动交叉少、有利于光缆登陆施工和维护的区段作为登陆点。

5.1.6 海底光缆登陆点至海底光缆登陆站之间的陆地光缆的路由选择与确定应符合现行国家标准《通信线路工程设计规范》GB 51158 中的有关要求。

5.1.7 路由预选桌面研究报告编制大纲可按现行国家标准《海底电缆管道路由勘察规范》GB/T 17502 中的相关要求执行。

5.2 海底光缆线路路由勘察

5.2.1 路由勘察前,建设单位应获得海底光缆路由勘察许可证。

5.2.2 路由勘察应查明海底光缆路由区的海底工程地质条件、海洋气象水文环境、海洋规划与开发活动等方面的工程环境条件,确定海底光缆最佳路由、海底光缆保护要求和施工方式。

5.2.3 路由勘察应包括下列主要内容:

- 1 水深和海底地形;
- 2 海底面状况以及自然的或人为的海底障碍物;
- 3 海底浅部地层的结构特征、空间分布及其物理力学性质;
- 4 海底灾害地质、地震因素;
- 5 海洋水文气象动力环境;
- 6 海洋规划和开发活动。

5.2.4 路由勘察范围应符合下列规定:

1 路由勘察应在沿路由中心线两侧一定宽度的走廊带范围内进行。勘察走廊带的宽度在近岸段宜为 500m;在浅海段宜为 500m~1000m;在深海段宜为水深的 2 倍~3 倍;

2 海底分支单元处的勘察应在以其为中心的一定范围内进行,在浅海段勘察范围宜为 1000m×1000m;在深海段勘察范围宜为 3 倍水深宽的方形区域;

3 路由与已建海底光缆交越点的勘察应在以交越点为中心的 500m 范围内进行;

4 不同船只调查区段交接处的重叠勘察范围,在浅海段宜为 500m,在深海段宜为 1000m。

5.2.5 海底光缆埋设评估勘察的静力触探试验频度宜达到浅海段每4km~10km一次,近岸段为每2km~5km一次;海洋路由勘察其他技术要求应符合现行国家标准《海底电缆管道路由勘察规范》GB/T 17502的有关规定。

5.3 海底光缆选型和铺设安装

5.3.1 海底光缆选型应根据下列因素确定:

- 1 工程设计委托书的要求;
- 2 海洋路由勘察所确定的海底光缆路由上的海底地质、地形、水深和光缆特殊保护要求。

5.3.2 海底光缆根据护层结构可分为轻型光缆(LW)、轻型保护光缆(LWP)、单层铠装光缆(SA)、双层铠装光缆(DA)以及岩石铠装光缆(RA)等多种结构,具体使用场景及机械强度要求应符合下列规定:

- 1 轻型海底光缆应用在深海段,其机械强度应满足深海表面敷设施工和维护打捞的要求;
- 2 铠装型海底光缆应用在浅海段、近岸段,其机械强度应满足埋设施工和维护打捞的要求;
- 3 特殊保护型的海底光缆应用在需要特别保护的海域,应满足相应技术要求。

5.3.3 有中继海底光缆系统的海底光缆应具有供电导体,导体直流电阻不宜大于 $1.6\Omega/\text{km}$;无中继海底光缆系统可采用有供电导体海底光缆,导体直流电阻可不严格限制,但应满足光缆故障检测的需求。

5.3.4 海底光缆接续采用海底光缆接头盒,接头盒应符合下列规定:

- 1 海底光缆接头盒应保持光缆的光学特性、电气特性、机械特性的连续性,并应满足特定的水密性和气密性要求;
- 2 适用于各种护层结构的光缆连接;

3 接头盒连接处的机械强度不应小于所连接光缆机械强度的 90%。

5.3.5 在铺设安装前,海底光缆工程应通过环境影响评估和通航影响评估。

5.3.6 在铺设安装前,建设单位应获得铺设海底光缆许可证。

5.3.7 有中继海底光缆在铺设安装前,海底光缆与海底设备应按系统设计进行连接、测试、装船、再测试。

5.3.8 海底光缆埋设施工开始前的扫海和路由清障作业应符合下列规定:

1 扫海作业应由施工船尾拖专业扫海锚具,沿路由勘察确定的路由按一定的速度清除海床表面的绳索、网具等废弃物;

2 清障作业应清除与路由交越的废旧电缆以及路由勘察中发现的障碍物;

3 路由清障通道宽度不应小于 100m;

4 清除的障碍物应打捞到清障船上带回处理。

5.3.9 海底光缆的海中铺设施工可分为敷设和埋设两种方式,工程中应根据海底光缆路由的实际情况和海底光缆的保护要求确定施工方式;海底光缆施工方式选择应符合下列规定:

1 在海水深度小于 500m 海域宜采用埋设方式;

2 在海水深度大于 500m 海域宜采用敷设方式。

5.3.10 海底光缆埋设深度应按工程的具体要求、海底光缆路由渔业和交通情况以及海底的地质情况等综合因素确定;海底光缆埋设深度应符合下列规定:

1 在 5m~150m 水深海域,海底光缆的埋设深度不宜小于 3m;

2 在 150m~500m 水深海域,海底光缆的埋设深度不应小于 1.5m。

5.3.11 海底光缆铺设应合理控制余量,并应保证铺设后海底光缆帖服海床。

5.3.12 海底光缆铺设的位置与路由勘察确定的最佳路由的偏差应符合下列规定：

- 1 在海水深度大于 1000m 段落,允许偏差宜为 $\pm 100\text{m}$;
- 2 在海水深度大于 100m 且小于 1000m 段落,允许偏差宜为 $\pm 30\text{m}$;
- 3 在海水深度大于 20m 且小于 100m 段落,允许偏差宜为 $\pm 10\text{m}$;
- 4 在海水深度小于 20m 段落,允许偏差宜为 $\pm 5\text{m}$ 。

5.3.13 海底光缆与海底管道交越时,应对光缆采取保护措施。

5.3.14 海底光缆埋设段落施工后应进行埋设后检查,并应对检查确认埋设深度未达标的段落进行后冲埋;重点检查的段落应包含(但不限于)施工接头处、光缆/管道交越处、埋设犁释放和抬起处、怀疑未能达到埋设深度的区段。

5.3.15 海底光缆登陆施工要求和保护方式应符合下列规定：

- 1 海底光缆登陆与海堤交越处施工应保证海堤安全;
- 2 在登陆段应将海底光缆进行埋设施工,埋设深度根据工程的实际情况和要求确定,不宜小于 1.5m,并宜将处于潮间带的海底光缆采取加装关节套管等保护措施。

5.4 陆地光电缆选型和敷设安装

5.4.1 具有供电导体的海底光缆登陆后应终端于岸滩接头盒,并与陆地光(电)缆进行连接,其设计应符合下列规定：

- 1 陆缆宜分成陆地光缆和远供电缆两条缆;
- 2 光缆金属加强构件和电缆屏蔽层应通过岸滩接头盒连接人井保护地。

5.4.2 岸滩人井至海底光缆登陆站宜采用管道/槽道方式敷设,光缆和远供电缆/海地引接电缆在管道中应占用不同(子)管孔。

5.4.3 远供电缆和海地引接电缆应具有屏蔽层,其单位长度的直流电阻不应大于海底光缆供电导体单位长度的直流电阻。

5.4.4 海底光缆登陆点至海底光缆登陆站之间的光缆敷设安装要求应符合现行国家标准《通信线路工程设计规范》GB 51158 中的有关规定。

5.4.5 远供电缆和海地引接电缆敷设安装应符合下列规定：

- 1 电缆配盘和接续余量应与光缆一致；
- 2 采用专用接头盒接续,接续应采用压接方式；
- 3 供电电缆及其接头盒应有醒目高压警示标志；
- 4 远供电缆在登陆站内布放,应穿套钢管,钢管应良好接地。

5.4.6 陆地光缆、远供电缆和海地引接电缆在登陆站内应终止于光电缆终端箱,光缆金属构件、电缆屏蔽层应直接连接防雷地,电缆导体应采取防电涌保护措施。

5.4.7 登陆站内应采用非延燃型光/电缆。

6 海底光缆线路及数字信号传输系统性能指标

6.1 海底光缆线路性能指标

6.1.1 无中继海底光缆线路应根据海底光缆数字信号传输系统的设计要求给出光纤衰减、色度色散、PMD、光缆对地绝缘等指标。

1 光缆线路段的光纤总衰减不应大于光缆线路长度与光缆供应商提供的光纤综合衰减常数平均值的乘积；

2 光缆线路段的光纤色散系数不应大于光缆供应商提供的光纤色散系数；

3 光缆线路段的光纤 DGD 值不应大于线路长度方根与光缆供应商提供的光纤 PMD 的乘积；

4 当采用 500V 直流电压测试时，光缆内导体对地绝缘电阻应大于 $10^4 \text{M}\Omega \cdot \text{km}$ 。

6.1.2 有中继海底光缆线路设计应给出光缆线路各段衰减、残余色度色散、光缆导体对地绝缘电阻和线路直流电阻等指标。

1 光缆线路段 C-OTDR 测试曲线应符合各光中继段放大和衰减关系；

2 光缆线路段的光纤色度色散残余值应约等于正常段落色散与在线补偿段色散的差，误差不应大于 $\pm 10\%$ 。

3 当采用 500V 直流电压测试时，光缆内导体对地绝缘电阻应大于 $10^5 \text{M}\Omega \cdot \text{km}$ ；

4 线路直流电阻应约等于光缆导体电阻与海底设备电阻的和，允许误差应为 $\pm 10\%$ 。

6.2 海底光缆数字信号传输系统性能指标

6.2.1 无中继海底光缆系统数字信号传输性能指标应符合下列规定：

1 无中继 WDM 海底光缆系统抖动和误码性能宜分别符合现行国家标准《波分复用(WDM)光纤传输系统工程设计规范》GB/T 51152 中有关抖动性能和光复用段误码性能的规定；

2 无中继 SDH 海底光缆系统的抖动和误码性能宜符合现行行业标准《同步数字体系(SDH)光纤传输系统工程设计规范》YD 5095 中的有关规定。

6.2.2 有中继 WDM 海底光缆系统数字信号传输性能指标应符合下列规定：

1 抖动性能应符合现行国家标准《波分复用(WDM)光纤传输系统工程设计规范》GB/T 51152 中的有关规定。

2 通道误码性能指标应符合表 6.2.2 的规定。

表 6.2.2 有中继 WDM 海底光缆系统通道误码性能指标

通道类型	SESR	BBER
STM-16 通道	$0.002 \times [2\% + 0.2\%(L/100)]/10$	$0.0001 \times [2\% + 0.2\%(L/100)]/10$
STM-64 通道	$0.002 \times [2\% + 0.2\%(L/100)]/10$	$0.001 \times [2\% + 0.2\%(L/100)]/10$
OTU1 通道	$0.002 \times [5\% + 0.2\%(L/100)]/10$	$2.5 \times 10^{-6} \times [5\% + 0.2\%(L/100)]/10$
OTU2 通道	$0.002 \times [5\% + 0.2\%(L/100)]/10$	$2.5 \times 10^{-6} \times [5\% + 0.2\%(L/100)]/10$
OTU3 通道	$0.002 \times [5\% + 0.2\%(L/100)]/10$	$2.5 \times 10^{-6} \times [5\% + 0.2\%(L/100)]/10$
OTU4 通道	$0.002 \times [5\% + 0.2\%(L/100)]/10$	$2.5 \times 10^{-6} \times [5\% + 0.2\%(L/100)]/10$

注：1 L 为海底光缆段以“千米”为单位的长度；

2 通道误码率等于 BBER 除以相应速率的块的大小。

3 误码性能应采用 Q 值规范。海底光缆段误码性能 Q 值预算应保证光缆段 BOL 时验收 Q 值在寿命周期内有足够的维修和老化余量，且在 EOL 时与本条第 2 款误码性能要求所对应的 Q 限值相比还有 1dB 余量。

7 海底光缆登陆站和附属设施要求

7.0.1 海底光缆登陆站宜单独设置在海底光缆登陆点附近,单独设置海底光缆登陆站有困难且现有的通信枢纽楼离海底光缆登陆点较近时,可将海底光缆登陆站设置在现有的通信枢纽楼内。

7.0.2 新建的海底光缆登陆站站址应符合下列条件:

- 1 地质稳定,环境条件适合建站;
- 2 交通方便,便于维护管理;
- 3 可提供稳定可靠的交流电源;
- 4 附近无大型厂矿、变电站和高压线杆塔的接地装置。

7.0.3 新建的海底光缆登陆站应包括设备机房、电源室、油机室、电源配电室和辅助生产用房。

7.0.4 机房面积应按远期设备的配置和工程实际需要考虑。

7.0.5 机房的其它环境条件应符合现行行业标准《通信建筑工程设计规范》YD 5003 的有关规定。

7.0.6 海底光缆登陆附属设施可包括通信管道(含岸滩人井的通信管道)或通道、供电用海洋接地装置、登陆标志牌。

7.0.7 岸滩人井设计应符合下列规定:

- 1 岸滩人井尺寸应按远期需求选择;
- 2 岸滩人井应具有保护接地装置,接地电阻不应大于 10Ω ;
- 3 岸滩人井的强度应满足地形变化造成的海底光缆承受张力的要求。

7.0.8 通信管道其他设计要求应符合现行国家标准《通信管道与通道工程设计规范》GB 50373 的有关规定。

7.0.9 供电用海洋接地装置的设计应符合下列规定:

- 1 海洋接地装置宜埋设在海底光缆登陆岸滩上;

2 当海底光缆登陆岸滩不具备埋设海洋接地装置的条件时，海洋接地装置可埋设在登陆站内，或埋设在海水里；

3 海洋接地装置的接地电阻不应大于 5Ω 。

7.0.10 在海底光缆登陆处应设立醒目的海底光缆登陆标志牌。

8 局站设备安装

- 8.0.1 远供电源设备宜单独成列,并宜单独配置电源列柜。
- 8.0.2 海底光缆系统的网管监控设备应安装在设备维护监测区内。
- 8.0.3 局站设备安装的其他要求应符合国家现行标准《波分复用(WDM)光纤传输系统工程设计规范》GB/T 51152 和《同步数字体系(SDH)光纤传输系统工程设计规范》YD 5095 的有关规定。

9 远供电源系统设计

9.0.1 有中继海底光缆系统应配置远供电源设备。

9.0.2 远供电源系统应采用一线一地的恒流供电方式。

9.0.3 远供电源系统应具备控制各登陆站的远供电源设备协调工作的功能。

9.0.4 对于点到点线型海底光缆系统,远供电源系统设计应符合下列规定:

1 应采用双端供电;

2 在一端远供电源设备出现故障的情况下,另一端远供电源设备应能自动对整个系统供电;

3 在海底光缆发生接地故障情况下,远供电源设备可自动调整输出工作电压,实现新的供电平衡。

9.0.5 对于分支型海底光缆系统,远供电源系统设计应符合下列规定:

1 在正常工作情况下,其中两个登陆站之间应双端供电,第三个登陆站到海底分支单元应单端供电;

2 在连接海底分支单元的一个分支发生故障的情况下,海底分支单元可实现供电倒换,实现另两个分支之间双端供电或分别对海底分支单元单端供电。

9.0.6 远供电源设备的供电转换模块应 1+1 冗余配置,供电转换模块的容量估算应包含下列因素:

1 海底光缆和陆地电缆的压降;

2 光中继器的压降;

3 海底分支单元的压降;

4 将来维护海底光缆的压降预留量;

5 地电位差,按每千米 $0.1V\sim 0.3V$ 取定。

9.0.7 远供电源设备应具备下列基本功能:

1 当远供电源设备机柜门或光电缆终端箱未锁闭时,不得启动供电;

2 当远供电源设备机柜门或光电缆终端箱打开时,应紧急关机;

3 在设定安全电压范围内,恒流输出功能;

4 恒压输出功能;

5 海洋地和站地切换功能;

6 输出电压极性变换功能;

7 输出电压过高关机功能;

8 输出电流太小和过大时,关机功能。

9.0.8 在远供电源设备上,应能获得输出电压、输出电流、站地电流、海洋接地系统数据以及站地与海洋接地的电压差数据,并可在网管系统中查看相应的数据。

9.0.9 远供电源设备应具备在远供电流上调制 $4Hz\sim 50Hz$ 低频交流探测信号的功能。

10 辅助系统设计

10.0.1 网络管理系统应符合具体工程的技术要求,并应满足海底光缆系统日常运行和维护的各项功能要求,同时应能适应将来建立统一的网络管理系统的需要。

10.0.2 无中继海底光缆系统的网络管理系统应符合下列规定:

1 无中继 WDM 海底光缆传输系统和无中继 SDH 海底光缆传输系统的管理功能和性能宜分别符合现行行业标准《WDM 光缆通信工程网管系统设计规范》YD/T 5113 和《SDH 光缆通信工程网管系统设计规范》YD/T 5080 的有关规定;

2 新建工程的网管系统配置应根据建设单位的运维体制及运维要求综合考虑;

3 同一供应商的网络管理设备在已建工程中已配置的,应优先考虑利用现有设备,所增网元一并纳入已有网络管理系统进行管理;

4 每个海底光缆登陆站宜配置一套本地维护终端和一套网元管理系统;

5 网络管理系统数据通信网应由本海底光缆系统内置的 DCC 通道和外部保护通道组成。

10.0.3 有中继 WDM 海底光缆系统的网络管理系统应符合下列规定:

1 宜配置统一的网元级管理系统,统一管理海底光缆终端设备、海底设备、远供电源设备和线路监控设备。

2 对海底光缆数字信号传输系统、远供电源系统和线路监测系统应具有故障管理、配置管理、性能管理和安全管理功能;

3 应具有海底分支单元远供电源状态倒换控制功能;

4 每个海底光缆登陆站宜配置一套本地维护终端和一套网元管理系统；

5 网络管理系统数据通信网应由本光缆系统内置的 DCC 通道和外部保护通道组成。

10.0.4 公务联络系统设计应符合下列规定：

1 应根据工程的具体情况和维护要求配置业务联络系统，各登陆站以及相关网络管理系统设置局站均宜配置业务联络终端。

2 可利用网络管理系统数据通信网，以 VOIP 方式实现业务联络系统。

10.0.5 线路监测系统应符合下列规定：

1 各登陆站应配置海底线路监测设备，利用光信号监测光缆线路；

2 线路监测系统应具有海底设备状态和性能监测以及线路故障定位的功能。

10.0.6 时钟同步系统设计要求应符合现行行业标准《同步数字体系(SDH)光纤传输系统工程设计规范》YD 5095 中的有关规定。

11 维护工具及仪表的配置

11.0.1 海底光缆系统维护可分为海上维护段和陆上维护段,海上维护段负责维护海底光缆线路,陆上维护段负责维护海底光缆登陆站设备及陆地光电线路。

11.0.2 维护工具及仪表的配置应能满足系统日常运行维护的需要,仪表的型号和功能应根据其价格和实用性择优选用。海底光缆系统维护工具及仪表可按表 11.0.2 配置。

表 11.0.2 海底光缆系统维护工具及仪表参考配置

工具及仪表名称	单位	数 量	
		海底光缆登陆站	海底光缆维护船
数字传输分析仪	台	1	—
光谱分析仪	台	1	—
OTDR	台	1	1
C-OTDR	台	1	—
光功率计	个	1	1
稳定光源	个	1	—
示波器	台	1	—
低频电信号发送/接收器	台	1	1
绝缘测试仪	台	1	1

续表 11.0.2

工具及仪表名称	单位	数 量	
		海底光缆登陆站	海底光缆维护船
直流电阻测试仪	台	1	1
光纤熔接机	套	1	1
光纤端面显微镜	台	1	1
万用表	台	1	—

注：表中稳定光源一项用于无中继海底光缆系统的维护测试。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《通信管道与通道工程设计规范》GB 50373
- 《波分复用(WDM)光纤传输系统工程设计规范》GB/T 51152
- 《通信线路工程设计规范》GB 51158
- 《海底电缆管道路由勘察规范》GB/T 17502
- 《电信网络设备的电磁兼容性要求及测量方法》GB 19286
- 《通信建筑工程设计规范》YD 5003
- 《SDH 光缆通信工程网管系统设计规范》YD/T 5080
- 《同步数字体系(SDH)光纤传输系统工程设计规范》YD 5095
- 《WDM 光缆通信工程网管系统设计规范》YD/T 5113

中华人民共和国国家标准

海底光缆工程设计规范

GB/T 51154 - 2015

条文说明

制 订 说 明

《海底光缆工程设计规范》GB/T 51154—2015 经住房和城乡建设部 2015 年 12 月 3 日以第 987 号公告批准发布。

本规范制订过程中,编写组对国内海底光缆工程建设进行了调查研究,总结了我国近年来海底光缆工程的设计成果,并参考海底光缆方面的国际标准以及跨境海底光缆工程的资料,在广泛征求意见的基础上,制订本规范。

为了便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,编写组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明。对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总 则	(41)
2	术语和符号	(42)
2.1	术语	(42)
3	海底光缆系统组成及系统制式	(43)
3.1	系统组成和分类	(43)
3.2	系统接口及工作波长	(45)
4	海底光缆数字信号传输系统设计	(46)
4.1	系统设计基本原则	(46)
4.2	规模容量的确定	(46)
4.3	网络拓扑	(46)
4.4	海底设备的选型	(46)
4.5	终端设备的选型	(46)
4.6	光纤的选型	(47)
4.7	海底光缆传输相关辅助技术的选用	(47)
4.8	系统可靠性	(48)
4.9	系统维护余量	(48)
5	海底光缆线路设计	(50)
5.1	海底光缆线路路由预选桌面研究	(50)
5.3	海底光缆选型和铺设安装	(50)
5.4	陆地光电缆选型和敷设安装	(51)
6	海底光缆线路及数字信号传输系统性能指标	(52)
6.1	海底光缆线路性能指标	(52)
6.2	海底光缆数字信号传输系统性能指标	(52)

7	海底光缆登陆站和附属设施要求	(55)
9	远供电源系统设计	(56)
10	辅助系统设计	(58)

1 总 则

1.0.1 海底光缆系统是光缆通信技术在海底这个特殊环境下的应用。我国有 3 万多千米海岸线,随着我国改革开放对外交往的增加以及大规模海洋开发利用的开展,海底光缆通信的应用越来越多。海底光缆系统不仅应用于电信运营商的通信网络,其他行业 and 单位对海底光缆通信需求也在增大。本规范的制定,可以提高海底光缆工程设计的标准化程度,促进新技术在工程中的应用,有助于涉海部门对海岸线的规划以及对相应项目的审批。

1.0.2 登陆中国大陆连接其他国家或港澳台地区并有国际港澳台投资方参与的海底光缆工程,简称跨境合作海底光缆工程。跨境海底光缆工程多为合作建设模式,其设计、施工应遵循多方共同认可的技术要求和验收方式,并形成了一整套与我国国内同类工程不尽相同的工程技术要求和工程管理模式。所以,跨境合作海底光缆工程可参照本规范执行。

对于穿越大江大河的光缆工程以及以供电为主的光电混合海底光缆工程可参照本规范执行。

对于改建、扩建工程,改建和扩建部分可与原工程保持一致。

海底光缆线路这里指陆地光缆、海底光缆和海底设备的总称。

1.0.6 海底光缆工程设计应符合《中华人民共和国海域使用管理法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》、《铺设海底电缆管道管理规定》等我国环境保护、海域使用和岸线使用相关法律和条例。涉及国防安全的,还应执行《交通运输、邮电通信基本建设贯彻国防要求规定》。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 海底光中继器 submarine repeater

海底光中继器可以分为海底光放大中继器和海底光再生中继器两种：

海底光放大中继器利用远供电源工作、放大光通信信号并接收和发送监测信号。本规范特指基于掺饵光纤放大器的海底光放大设备。

海底光再生中继器利用远供电源工作、放大光通信信号并接收和发送监测信号。本规范指将光信号转换为电信号,经再生、再整形和再定时(3R)后再转换为光信号的海底中继设备。

2.1.5 海底光缆登陆点 cable landing point

当海底光缆登陆站距海滩较近(一般不大于 2km),且有光缆槽道直通登陆站进线室时,可以不设置岸滩人井,利用登陆站进线室,实现岸滩人井的功能。

3 海底光缆系统组成及系统制式

3.1 系统组成和分类

3.1.2 本规范所指有中继海底光缆系统的构成范围见图 1, 所示设备按逻辑功能可划分为光缆线路、数字信号传输系统、远供电系统和辅助系统等功能子系统, 辅助系统包括线路监测系统、网络管理系统以及公务通信系统等。

光缆线路由海底光缆、海底设备、岸滩接头盒和陆地光电缆构成。

CTB 与 BJ 之间宜采用光、电分缆连接。

当海底光缆登陆站距海滩较近(一般不大于 2km)时, BJ 可安装在海底光缆登陆站进线室。

当登陆点与登陆站较远(一般超过 15km), 且登陆点附近具备电力供应条件时, PFE 宜安装在登陆点附近。

当无分支登陆站时, 系统中不需要配置 BU。

对于较长的海底光缆段, 海底线路中宜配置在线功率均衡器。

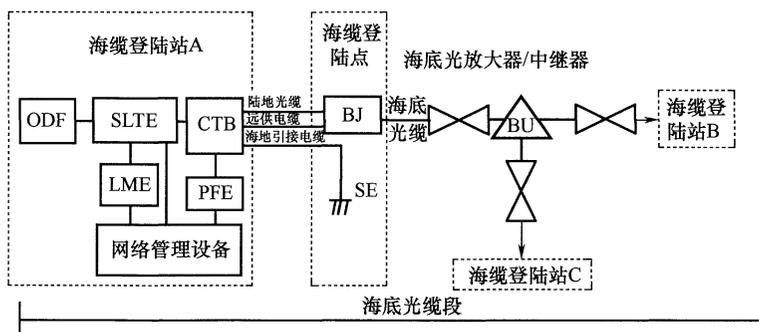


图 1 有中继海底光缆系统结构示意图

3.1.3 本规范所指无中继海底光缆系统的构成范围见图 2，所示设备构成光缆线路、数字信号传输系统、辅助系统等功能子系统，辅助系统包括网络管理系统和公务通信系统等。

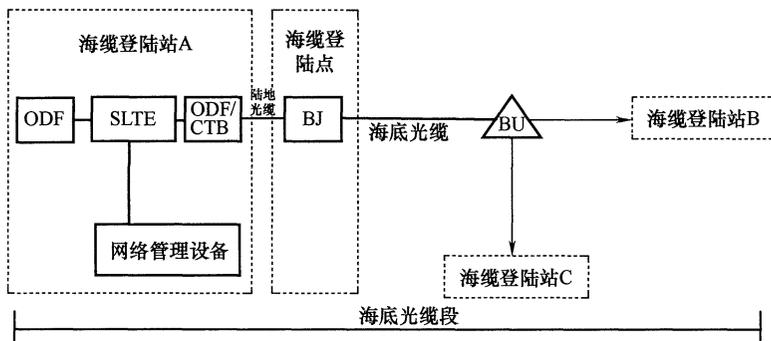


图 2 无中继海底光缆系统结构示意图

光缆线路由海底光缆、岸滩接头盒和陆地光缆构成。

当采用具有供电导体的海底光缆时，CTB 与 BJ 之间增加电缆连接。

当海底光缆登陆站距海滩较近（一般不大于 2km）时，BJ 可以安装在海底光缆登陆站进线室。

当无分支登陆站时，系统中不需要配置 BU。

此外，根据具体工程的实际情况，一些近距离的无中继海底光缆系统也可采用陆地光缆系统所使用的传输设备。

3.1.4 根据当前传输技术发展和应用需求情况，我国海域实际存在的海底光缆系统有下列几类：

- 1 无中继 SDH 海底光缆系统；
- 2 无中继 WDM 海底光缆系统；
- 3 有中继 WDM 海底光缆系统。

在目前技术条件下，采用再生型中继器的有中继 SDH 海底光缆系统不会再出现。

3.2 系统接口及工作波长

3.2.2 海底光缆传输技术为实现超长距离传输不排斥采用各种先进的、非标准的 FEC 技术,例如,级联各种基本 FEC 编码算法(BCH、RS、卷积码),所以存在 12Gbit/s、48.0Gbit/s 和 140.0 Gbit/s 等多种非标准速率。本规范对于通路类型大于 100G 的海底光缆系统暂不规范。

3.2.3 为实现大容量、长距离传输,海底光缆传输系统不排斥采用更为先进的、非标准的终端设备技术,本规范对波道间隔和波道数量不做规定。

4 海底光缆数字信号传输系统设计

4.1 系统设计基本原则

4.1.1 当无中继海底光缆系统采用陆地光缆终端设备时,系统设计寿命可参照陆地光缆传输系统的要求,但无中继海底光缆线路的设计寿命仍应为 25 年。

4.1.2 选择无中继海底光缆系统可简化系统组成,降低建设维护成本,可通过增加光纤的对数来弥补其设计容量小的缺点。

4.2 规模容量的确定

4.2.1 无中继海底光缆系统可通过降低线路传输速率提高传输距离;由于无中继海底光缆系统不受远供电源系统能力和海底中继器体积的限制,可通过增加光纤芯数提高总体容量。但无中继海底光缆芯数一般不大于 48 芯。

4.2.2 有中继海底光缆系统中远期容量需求一般按 10 年~15 年考虑。

4.3 网络拓扑

4.3.1 海底光缆系统拓扑结构有链形、环形、星形等,但都是由点到点线型、分支型两种基本拓扑结构构成。

4.4 海底设备的选型

4.4.2 海底设备的外形尺寸应适配现有海底光缆布放设备,以便连接有海底设备的海底光缆可顺利布放。

4.5 终端设备的选型

4.5.8 相干接收 WDM 海底光缆终端设备在接收端采用高速数

字信号处理(DSP)芯片,完成色散和 PMD 补偿、相位恢复、数字判决等系列工作。所以,相干接收 WDM 海底光缆终端设备的波长转换器一般具有很高的色散和 PMD 容限。

4.6 光纤的选型

4.6.2 海底光缆可选择使用下列类型光纤:

1 符合 G. 652 标准的光纤。

2 符合 G. 654 标准的光纤。对于单通道速率为 100Gbit/s 的波分复用(WDM)技术,工程中使用低损耗超大有效面积单模光纤。通过降低损耗和增大有效面积降低光纤中光功率密度,从而降低非线性效应。目前出现的纯硅单模光纤其衰减系数可不大于 0.16dB/km,有效面积在 $110\mu\text{m}^2 \sim 150\mu\text{m}^2$ 之间。

3 符合 G. 655 标准的光纤。

4 色散管理光纤是一种由发端大有效截面、正色散光纤与收端小有效截面、负色散光纤组成的特殊混合光纤,可同时实现色散和色散斜率的在线补偿。光纤参数参考值一般为:

发端光纤的色散系数 $+20\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$,有效截面 $\geq 100\mu\text{m}^2$;

收端光纤的色散系数 $-40\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$,有效截面 $\geq 20\mu\text{m}^2$ 。

光纤使用方式如图 3 所示。

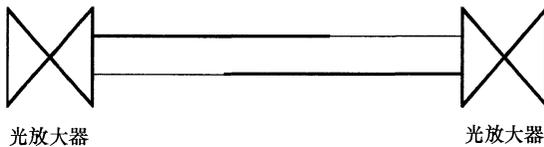


图 3 色散管理光纤光放段示意图

4.7 海底光缆传输相关辅助技术的选用

4.7.1 WDM 海底光缆数字信号传输系统色散补偿设计应符合下列要求:

1 非相干接收无中继 WDM 海底光缆数字信号传输系统可在海底光缆终端设备发送端预补偿色散和接收端后补偿色散,以保证海底光缆段每个光通道的残余色散满足波长转换器的色散容限要求;采用相干接收技术的 WDM 海底光缆数字信号传输系统宜采用色散容限不小于线路实际色散的终端设备。特殊情况下,线路实际色散大于终端设备色散容限,应设计合理的色散补偿方案。

2 非相干接收有中继 WDM 海底光缆系统色散补偿的机制通常是海底光缆段由正常光放段和色散补偿光放段组成。正常光放段光纤在 1550nm 波长的平均色散系数值宜为 $-3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 左右,色散补偿段光纤 1550nm 波长的色散系数值宜为 $+18\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 左右。

4.7.2 对于采用相干接收的 WDM 海底光缆系统,采用高速 DSP 技术去除线路偏振模色散的影响,使终端设备具有足够高的偏振模色散容限,偏振模色散不再是系统的限制因素。

4.7.4 海底设备造价较高,可通过提高终端设备的能力减少海底设备的使用;10Gb/s 以上的 WDM 海底光缆系统可选择采用 RZ-DPSK、RZ-(D)BPSK、RZ-(D)QPSK、RZ-PM-(D)BPSK、RZ-PM-(D)QPSK 等编码调制技术;100Gb/s WDM 海底光缆系统可采用目前最先进的软判决 FEC 技术。

4.8 系统可靠性

4.8.2 需要船只维修的次数中不包括由于外部原因所引起的需要船只修理的次数;需要船只维修的次数要求可根据海底光缆系统的实际长度及海底光中继器的数量作出相应的规定,但不得大于 3 次,对于无中继系统可按 1 次要求。

4.9 系统维护余量

4.9.1 海底光缆系统在寿命期内维护余量的设计宜符合下列

原则：

1 陆地光缆段每次维修的每个接头损耗参照现行国家标准《通信线路工程设计规范》GB 51158 中相关要求的最大值 0.14dB 取定；

2 海底光缆每次维修不少于两个接头，接头总损耗按 0.4dB 计算；

3 无中继海底光缆线路可能数百千米路由均处于浅海，为避免所预留维护余量过大，本规范规定最大维护余量不超过 5dB。

5 海底光缆线路设计

5.1 海底光缆线路路由预选桌面研究

5.1.3 海底光缆线路路由由桌面研究应对下列信息进行调查和分析：

1 路由区的地形地貌、地质、地震、水文、气象等自然环境资料(近岸段应包含近5年以内的水文、气象资料),尤其灾害地质因素资料,如裸露基岩、陡崖、沟槽、古河谷、浅层气、浊流、活动性沙波、活动断层等;

2 路由区的海洋规划和开发活动资料,内容包括渔业捕捞、海上交通、海上油气与矿产资源开发、海底管道与海底光(电)缆、海洋自然保护区、旅游区、倾废区、科学研究试验区、军事活动区以及海底人为废弃物等。

5.1.4 海底光缆线路预选路由应满足下列要求：

4 当距离登陆点较近时,海底光缆平行间距要求可以放松,根据实际情况取定。

5.3 海底光缆选型和铺设安装

5.3.3 无中继海底光缆系统可采用具有供电导体的海底光缆,目的是利用仪表监测海底光缆供电导体是否暴露和接触海水。

5.3.5 建设单位应委托有资质的咨询或研究单位编制环境评估报告及通航影响评估报告。

5.3.7 海底光缆生产商应根据系统要求首先将海底光缆和海底设备连接,然后从装船起,即为开始海洋施工。

5.3.8 在海底光缆埋设开始前,应进行扫海和路由清障作业,应满足以下要求：

2 废物和障碍物包括与路由交越的废旧电缆、绳索、渔具,路由勘察中提请注意的不明反应物及其他可能的障碍物等。

5.3.11 海底光缆的铺设余量一方面要保证海底光缆顺着海底的地形起伏布放或埋于海底,不存在较大的张力或悬空现象,另一方面要避免余量过多,使海底光缆弯曲松弛在海底而易受渔捞和锚具影响。一般来说,实际放出的海底光缆长度(L)要稍大于施工布放船只的航行路由长度(l),海底光缆的铺设余量(S)可用式

$$S = \frac{L-l}{l} \times 100\% \text{表示。}$$

5.3.12 海底光缆铺设施工路由的偏差主要取决于施工船的操纵性能和定位精度,其次为施工中有可能遇到路由航线上临时出现的船只、渔网或其他特殊情况的干扰,布缆施工船不得已进行主动回避而造成的路由偏离。

5.3.14 海底光缆的埋设质量检查,除了通过船上监测仪表监视水下埋设机在水下的工作姿态、挖掘张力和埋设深度等外,必要时应进行埋设效果检查,这是因为埋设监测仪表的指示有时不能准确地反映实际的埋设深度。埋设后的检查方法可以通过潜水员海底探摸或采用水下遥控装置(ROV)或海底光缆追踪系统等设备仪表进行检查。

5.4 陆地光电缆选型和敷设安装

5.4.1 无供电导体的海底光缆在岸滩人井利用岸滩接头盒实现海底光缆与陆地光缆的转换,并将金属构件接地。

6 海底光缆线路及数字信号传输系统性能指标

6.1 海底光缆线路性能指标

6.1.2 有中继海底光缆线路设计应给出光线路各段衰减、残余色度色散、光缆导体对地绝缘电阻和线路直流电阻等指标。

2 相干接收 WDM 海底光缆系统线路中一般不需要设置在线补偿光放段。

6.2 海底光缆数字信号传输系统性能指标

6.2.1 无中继海底光缆系统一般采用陆地光缆 WDM 设备或陆地光缆 SDH 设备,所以性能指标设计宜参照我国陆地光缆 WDM 和 SDH 传输系统的设计规范。在建设单位和设备供应商双方同意的情况下,无中继 WDM 海底光缆系统也可按照本规范第 6.2.2 条规范性能指标。

6.2.2 有中继 WDM 海底光缆系统一般为跨境型的国际合作传输系统,且比较适于采用总承包方式,所以设计指标主要参照国际海底光缆工程的要求。

2 STM - 16 块大小为 300672 bit; STM - 64 块大小为 1202688 bit; ODU_k (k=0, 1, 2, 2e, 3, 4) 块大小为 122368 bit。

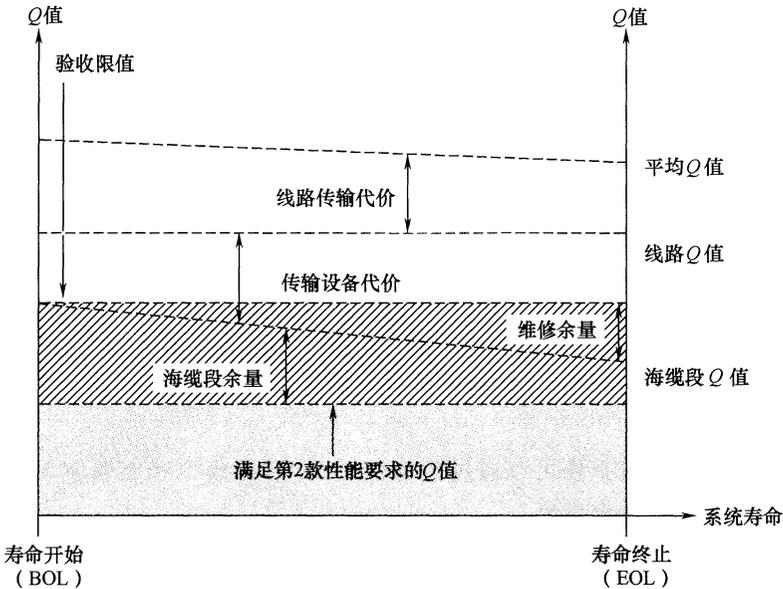
3 有中继 WDM 海底光缆系统误码性能 Q 值预算。

有中继 WDM 海底光缆系统的误码性能用 Q 值规范。Q 值与 BER 的近似关系可由公式 1 表达:

$$\text{BER} \approx \frac{1}{Q \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (1)$$

有中继 WDM 海底光缆段性能预算应保证光缆段 (BOL) 验收 Q 值在寿命周期内有足够的维修和老化余量,且在生命终了

(EOL)时与性能要求所对应的 Q 限值相比还有 1dB 余量。具体性能预算结构可参照图 4。



注：满足第 2 款性能要求的 Q 值，为简化通常将此误码率取定为 1×10^{-13}

图 4 性能预算结构示意图

其中，海底光缆段 Q 值 Q_{Segment} 和线路 Q 值 Q_{Line} 的计算原理如下：

一个由 N 个光放段组成的线路对传输信号最主要的影响来自于级联的光放大器自发辐射噪声 (ASE) 的积累。仅考虑 ASE 情况下，信号光信噪比 (OSNR) 可以用式 2 表达：

$$OSNR = \frac{P_{\text{out}}}{N_{\lambda} \cdot N_{\text{amp}} \cdot NF \cdot G \cdot h\nu \cdot B_r} \quad (2)$$

其中， P_{out} 是光放大器总输出功率，单位为瓦； G 是光放大器增益， $G \gg 1$ ， NF 是光放大器噪声系数； h 是普拉克常数； ν 是光波长的频率， B_r 光通道带宽， N_{λ} 是波长数； N_{amp} 是光放大器的

数量。

在仅考虑 ASE 情况下,线路平均 $Q(Q_{\text{mean}})$ 可用式 3 近似表达 (不同供应商的计算公式可能略有不同):

$$Q_{\text{mean}} = K_1 \frac{\frac{2K_2 \cdot \text{OSNR} \cdot (1 - ER)}{1 + ER} \sqrt{\frac{B_r}{B_e}}}{\sqrt{1 + \frac{4K_2 \cdot ER \cdot \text{OSNR}}{1 + ER}} + \sqrt{1 + \frac{4K_2 \cdot \text{OSNR}}{1 + ER}}} \quad (3)$$

其中, ER 是光发射器消光比, B_e 是电接收器带宽, K_1 是调制方式的校正系数, K_2 是 RZ 编码校正系数。

线路平均 $Q(Q_{\text{mean}})$ 减去以下传输损伤即得到线路 $Q(Q_{\text{Line}})$: 非线性效应损伤、极化效应损伤、光通道预加重造成的损伤、波长不准确造成的损伤、线路监测造成的损伤、生产过程和环境因素造成的损伤。

上述传输损伤可以通过理论计算、计算机模拟和实验室系统测试等手段综合估算。

最终,考虑海底光缆终端设备对信号 Q 性能的代价,海底光缆段 $Q(Q_{\text{Segment}})$ 可以由终端设备背对背 $Q(Q_{\text{SLTEback-to-back}})$ 与线路 $Q(Q_{\text{Line}})$ 利用公式 4 可得到:

$$\frac{1}{Q_{\text{Segment}}^2} = \frac{1}{Q_{\text{Line}}^2} + \frac{1}{Q_{\text{SLTE back-to-back}}^2} \quad (4)$$

7 海底光缆登陆站和附属设施要求

7.0.1 海底光缆登陆站距离登陆点一般不超过 15km。当海底光缆登陆站不得不较远设置时,宜将远供电源设备单独安装在距登陆点较近的机房内。

7.0.9 供电用海洋接地装置的设计应满足以下要求。

2 在海水中安装的海洋接地电极不易施工和维护,应尽量避免使用。

3 海洋接地电阻要求过小,则加大海洋接地装置成本,本规范参照以往工程经验,选定海洋接地电阻不应大于 5Ω 。

9 远供电源系统设计

9.0.4 海底光缆段供电正常工作状态由登陆站 A 和 B 的远供电源设备双端供电,当一端远供电源设备出现故障时,另一端设备的输出电压提高一倍,向整个段落供电;当海底光缆漏电故障时,远供电源系统调整输出,建立新的供电平衡,详见图 5。

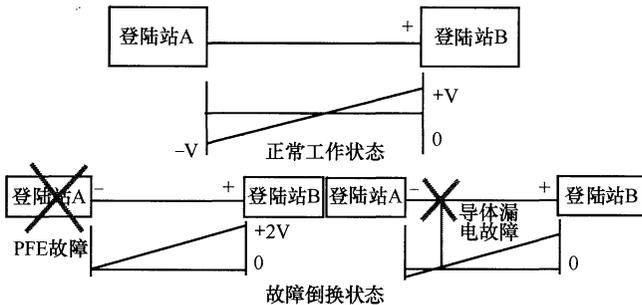


图 5 点到点线型系统故障供电倒换示意图

9.0.5 分支型海底光缆系统供电及其故障倒换如图 6 所示。

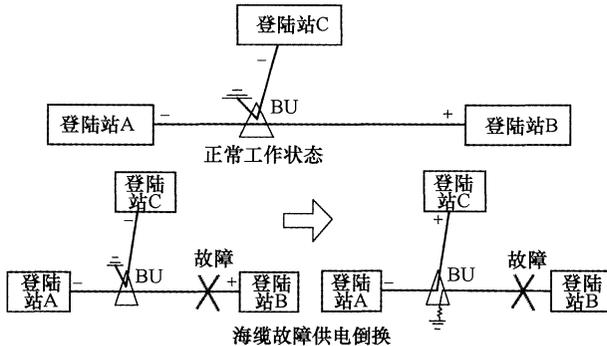


图 6 分支型系统故障供电倒换示意图

9.0.9 远供电源设备应能够在输出直流电流上调制低频信号(一般为 25Hz),该信号遇到海底光缆漏电故障点时,信号被泄露,由此,维修船利用尾拖探音设备,发现故障点的位置。在传输系统正常工作情况下,直流输出电流上可调制较小幅度的低频探测信号,业务电路性能不应发生劣化;在传输系统中断的情况下,直流输出电流上可调制更高幅度的低频探测信号,以实现更远距离的故障定位。

10 辅助系统设计

10.0.5 线路监测系统设计应符合下列要求：

2 可以采用以下两种方式监测海底设备内部器件故障和性能劣化：一是模拟监测方式，类似采用 OTDR 在线监测；二是数字监测方式，在主信号上调制低频数字监测信号，同时在海底设备设置远端监测信号处理模块。