

ICS 29.020
F 20/90

CSEE

中国电机工程学会标准

T / CSEE 0118 — 2019

T / CSEE 0118 — 2019

大长度海底电缆施工技术导则

Guide to the installation of the long distance submarine power cable

中国电机工程学会标准
大长度海底电缆施工技术导则

T / CSEE 0118 — 2019

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京传奇佳彩数码印刷有限公司印刷

*

2019 年 2 月第一版 2019 年 2 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1.5 印张 43 千字

*

统一书号 155198 • 1251 定价 **39.00** 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

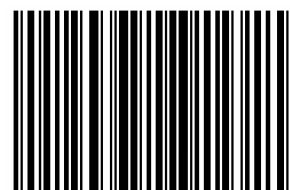


2019-03-01 发布

2019-05-01 实施



中国电机工程学会官方微信



155198.1251

中国电机工程学会 发 布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 施工准备 2

5 土建施工 3

6 接缆运输 4

7 敷设施工 5

8 保护安装 8

9 附件安装 10

10 完工自检 11

11 故障修复 12

附录 A（资料性附录） 海底电缆技术参数 14

附录 B（规范性附录） 风力等级表 15

附录 C（规范性附录） 海浪等级表 17

附录 D（规范性附录） 海面能见度等级表 18

附录 E（资料性附录） 海底电缆敷设建模计算分析 19

附录 F（资料性附录） 海底电缆打捞受力建模计算分析 21

前 言

本标准按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电机工程学会提出。

本标准由中国电机工程学会电力建设专业委员会技术归口并解释。

本标准起草单位：国网浙江省电力有限公司、国网舟山供电公司、国家电网有限公司、国网经济技术研究院、浙江启明电力集团有限公司、浙江舟山海洋输电研究院有限公司、中国船舶工业集团公司第七〇八研究所、必维（天津）安全技术有限公司、宁波东方电缆股份有限公司。

本标准主要起草人：张志刚、陈振新、孙昕、宣耀伟、张平、王怡萍、包善军、董益军、丁兆冈、袁舟龙、徐武斌、陈军、公言强、李晋、赵煜哲、郑新龙、何旭涛、乐彦杰、康为夏、郑唐文、安海静、陶海成、白宁、袁黎浩、袁奇力。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

大长度海底电缆施工技术导则

1 范围

本标准规定了大长度海底电缆（以下简称海底电缆）工程的前期准备、土建施工、接缆运输、敷设施工、保护安装、附件安装、竣工试验和故障修复等，主要针对穿越海洋、湖泊、河流等水域的海底电缆工程施工技术。

本标准适用于敷设在海（水）底的电缆（光电复合缆）工程施工，海底通信光缆工程施工参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 16529.3 光纤光缆接头 第3部分：分规范 光纤光缆熔接式接头

GB/T 17502 海底电缆管道路由勘察规范

GB/T 31489.1 额定电压 500kV 及以下直流输电用挤包绝缘电力电缆系统 第1部分：试验方法

和要求
GB/T 32346.1 额定电压 220kV ($U_m=252kV$) 交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆及附件 第1部分：试验方法

和要求
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范

GB 50164 混凝土质量控制标准

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB/T 51191 海底电力电缆输电工程施工及验收规范

JB/T 11167.1 额定电压 10kV ($U_m=12kV$) 至 110kV ($U_m=126kV$) 交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆及附件 第1部分：试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

大长度 long distance

海底电缆交货长度超过单个电缆运输盘容量，须从工厂生产线直接输送到大型电缆盘或海缆施工船上，通常包含一个或多个工厂接头的电缆交货长度；或者因电缆交货长度过长，使得电气特性不能用厂内或现场试验设备严格按照相应标准进行电压试验和局部放电试验的电缆交货长度。

3.2

转动电缆盘 turntable

用于海底电缆存储、收放过程中扭力释放的主动收卷装置。

3.3

过驳运输 barging and transportation

通过船—岸或船—船将海底电缆引导过驳装船放置，运输至交货码头或施工海域。

3.4

捆绑式施工 **bundled lay**

将两根或两根以上海底电缆或海底通信光缆捆绑在一起进行敷设施工。

3.5

接头制作净化房 **joint making house**

用于海底电缆现场接头制作，提供洁净度、湿度、温度等环境因素可控的封闭空间。

3.6

弯曲限制（位）器 **bending limiter**

用于海底电缆通过或固定时，保证海底电缆弯曲半径不小于其最小弯曲半径值 $20D$ ，其中 D 为电缆外径。

3.7

边敷边埋 **simultaneous lay and trenching**

海底电缆敷设与深埋保护同步进行的作业方法。

3.8

先敷后埋 **post-lay and remedial trenching**

先将海底电缆敷设在海床上，然后埋入预定深度的作业方法。

4 施工准备

4.1 一般规定

4.1.1 施工准备期间，应取得下列施工许可：

- a) 海底电缆工程永久用地、临时用地及海域使用的相关文件；
- b) 工程所在地港务监督机构的施工作业通航安全许可；
- c) 工程涉及的相关海底管线业主的同意书；
- d) 工程所在地海事（或主管）部门颁发的水上、水下施工作业许可。

4.1.2 应选择满足海底电缆装载及作业技术要求和海域海况条件的施工船及施工装备。

4.1.3 应在工程附近海岸上建立施工定位基准站及控制网。

4.1.4 施工图纸应与路由勘测、工程设计使用同一地理坐标系。

4.2 信息收集

4.2.1 自然条件

应收集的自然条件信息包括：

- a) 气象：风向、风速、台风、气温、降雨量、降雨日数、寒潮、雷电、雾等；
- b) 海洋水文：水深、潮汐、潮流、波高、波周期、泥沙含量、海冰特性及结冰期等；
- c) 工程地质：高程差、地质、地表坡度、海床面形状、地震活跃度等；
- d) 鸟类或海洋生物保护栖息地；
- e) 考古及历史遗址。

4.2.2 工程条件

应收集的工程条件信息包括：

- a) 附近港口设施情况（设计水深、码头靠泊、航道通航、吊装及设备运输等条件）；
- b) 海上交通运输条件；

- c) 海域障碍物情况（海底管线分布、海域限制等）；
- d) 施工地区的道路、交通运输条件；
- e) 食物、油料等物资采购条件；
- f) 主要建筑材料及生活物资的供应条件等；
- g) 军事设施、航道、锚地情况（距离、水深等）。

4.3 施工设备选型

4.3.1 海底电缆施工船选型

海底电缆施工船选型应满足可行性、经济性和安全性技术要求，具体条件如下：

- a) 船舶装缆量应不小于海底电缆的总质量；
- b) 船舶装缆后最大吃水应满足施工海域水深条件下的作业要求；
- c) 应采用转动电缆盘释放海底电缆收放和存储时的扭力，整个过缆通道应满足最小弯曲半径要求；
- d) 应配有刹车、张力测量、电缆张紧器、长度测量和入水槽等装备；
- e) 船舶航线等级应满足作业海域船舶入籍资质要求；
- f) 作业水深超过 100m 时，应选择装配有动力定位敷缆作业功能的施工船。

4.3.2 挖沟机选型

4.3.2.1 应根据海床地质（结晶粒度、塑性值、含水量、切变强度）、作业水深、挖沟机母船基本配置等因素，选择合适类型的挖沟机。

4.3.2.2 挖沟机应具有位置、姿态、挖沟深度、水深测量等实时监控功能。

4.4 施工方案编制

4.4.1 根据登陆段施工条件、土建结构形式、海上或陆上交通运输方式、施工机具及劳动力配备等条件，编制土建施工专项方案。

4.4.2 根据工期要求、海底电缆交货进度、海上施工、施工装备及劳动力配置情况等条件，土建、海底电缆敷设、保护及附件安装选择采用同步或交叉作业方式，编制施工进度计划专项方案。

4.4.3 根据海底电缆技术参数（参照附录 A 的规定）、制造厂码头靠泊能力、海上运输条件，编制海底电缆过驳运输专项方案。

4.4.4 根据工期要求、海上施工条件、施工设备配备、材料和构件的供应以及能够投入的劳动力数量等具体条件，编制海底电缆工程施工组织方案。

4.4.5 根据水文气象、挖沟方式、海底地形及地质条件、施工装备及劳动力配备等条件，编制海底电缆敷设施工专项方案。

4.4.6 根据海上施工作业条件，编制消防、急救、人员落水、台风、中毒等应急专项方案。

5 土建施工

5.1 一般规定

5.1.1 应对气象、海况等进行调查，及时掌握天气海况预报信息，避开不利施工时间。

5.1.2 用于土建施工的原材料、构件及部件均应满足海洋工程防腐蚀、耐用要求，并检验合格。

5.1.3 施工作业区域应设立警示标志。

5.1.4 应有施工记录及材料检验证明，作为竣工验收材料。

5.2 预制件制作

5.2.1 预制件应在专门的预制场内制作，其预制方式根据基础的尺寸、质量、预制期、陆域及海域情况、船舶设备配置等因素确定。

5.2.2 预制件原材料、配合比设计、配筋、钢筋保护层、养护、力学性能测试，应遵照 GB 50164、GB 50119 和 GB 50204 的标准及工程设计要求。

5.3 预制件安装

5.3.1 预制件安装前应进行准确定位，安装误差不得超过设计规定。

5.3.2 沟槽开挖时，应满足下列要求：

- a) 沟槽开挖的尺寸应不小于设计规定；
- b) 沟槽开挖深度较大时宜分层开挖，每层的开挖高度应根据土质条件和开挖方法确定；
- c) 沟槽挖至设计深度时，应对地质情况进行复核。

5.3.3 应根据设计要求，选用合适的施工设备及工艺，先进行试夯，再进行沟槽夯实、整平。

5.3.4 基床整平后应及时进行基础的吊装，防止基槽周边土层在潮流的作用下产生回淤沉积，如不能及时进行预制件的吊装，应采取防止回淤的措施。

5.3.5 预制件安放结束后，应按照设计要求对沟槽进行填埋防冲刷处理。

5.4 警示牌及瞭望台施工

5.4.1 警示牌及瞭望台应朝向海底电缆路由方向。

5.4.2 应在海底电缆敷设施工完工之前，完成警示牌及瞭望台安装调试。

6 接缆运输

6.1 接缆

6.1.1 海底电缆出厂时应附有产品检验合格证书，并提供工厂试验报告、型式试验报告。

6.1.2 海底电缆端头应有可靠的防水密封处理。

6.1.3 海底电缆过驳过程中应进行全程人工或视频监控记录，光电复合海底电缆应采用光纤监测，以掌握海底电缆张力情况。

6.1.4 海底电缆出厂交货时应按照 $1.7U_0$ (U_0 为额定电压) 进行电压试验。如果成品交货电缆长度太长而无法进行例行试验，可经制造商与用户协议，降低试验电压并延长试验时间进行试验。一般采用 $1.0U_0$ 为交流耐压试验电压、时间延长至 24h 的方法。

6.1.5 海底电缆出厂交货时应根据电缆绝缘类型按照表 1 或表 2 开展试验，如果成品交货电缆长度太长而无法进行例行试验，可经制造商与用户协议，降低试验电压并延长试验间进行试验。

表 1 66kV 及以上电压等级交联聚乙烯绝缘海底电缆例行试验电压推荐值

试验项目	试验电压	额定电压 U_0/U_m kV				
		48/66	64/110	127/220	190/330	290/500
局部放电试验	$1.5U_0$	72	96	190	285	435
交流电压试验 (30min)	$2.5U_0$	120	160	318	—	—
交流电压试验 (60min)	$2U_0$	—	—	—	380	580

表 2 66kV 及以上电压等级充油海底电缆例行试验电压推荐值

试验项目	额定电压 U_0/U (U_m) kV				
	36/66	64/110	127/220	190/330	290/500
直流电压试验 (15min)	197	330	530	780	990
交流电压试验 (15min)	82	138	220	325	495

6.2 运输

6.2.1 应根据施工海域气象、水文、航道等资料，选择合适的航线和运输时段，并向海事交通主管部门报备。

6.2.2 应对海底电缆及附件运输所涉及的公路、航道、港口的等级、主要的技术标准及相关的附属设施进行详细的调研，编制合理的施工运输方案。

6.2.3 大件设备运输过程中，应根据设备防冲击振动、抗变形、特定部位的允许受力等方面的要求，以及对公共交通的影响，选择合适的运输方式、线路和时段。

6.2.4 应拟订应对突发恶劣天气状况及其他紧急情况的应急预案，确定海上躲避恶劣天气状况的规避航线及避风港口。

6.2.5 对各种预制绝缘件、带材等应有相应的防水、防潮等密封措施。

6.2.6 对易碎、怕压部件或材料应有相应的防压、防撞击的包装措施，并在包装外部明显位置标出相应的字样或标记。

7 敷设施工

7.1 一般规定

7.1.1 应向地方行政部门和属地海事部门申请，划定海上施工安全作业区；向相关行政主管部门申请发布航行通告，定时发布施工动态。

7.1.2 应根据海底电缆施工船功能配置情况及性能、海底电缆技术等条件要求，确定施工作业水文期限控制条件，包括：

- 海上风速不宜超过 8 级，风速等级应遵照附录 B 的规定；
- 海浪不宜大于 4 级，海浪等级应遵照附录 C 的规定；
- 海面能见度不宜小于 4 级，海面能见度等级应遵照附录 D 的规定。

7.1.3 海底电缆敷设施工前，应对设计路由和登陆段地形地貌进行路由复勘，检验是否与设计一致，具体方法遵照 GB/T 17502 执行。

7.1.4 应将复勘时发现的施工路由上的障碍物及时清除。

7.2 始端登陆作业

7.2.1 应使用浮拖装置将海底电缆漂浮在海面上，以减少海底电缆与登陆段的摩擦力，如图 1 所示。

7.2.2 海底电缆浮漂在海面上时，应控制海底电缆进入设定的牵引路径，登陆完成并到达设定的路由位置后，再移除浮托装置，将海底电缆沉放在海床上。

7.2.3 登陆段每隔一定距离应放置牵引设备，并固定牢固；用于提供海底电缆登陆的牵引力，多台牵引设备停止、启动及牵引速度应确保同步。

7.2.4 应防止预开挖的电缆沟渠被海水回填。

7.2.5 先敷设后挖沟作业时，应确保挖沟机不对海底电缆的安全造成损伤。

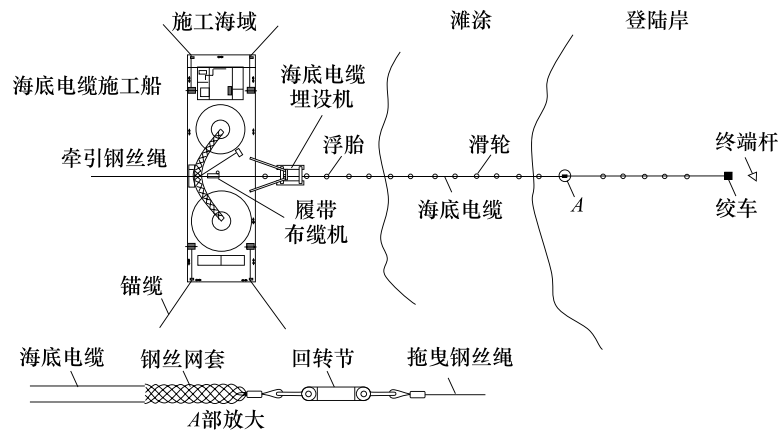


图 1 始端登陆作业

7.3 海中段敷设

7.3.1 施工区间选择

宜安排在小潮汐期间开展海中段海底电缆敷设，避开台风、海啸等恶劣天气及海况。

7.3.2 张力计算

海底电缆敷设张力受到自身质量、海洋环境因素、水深、风浪流等因素影响，其敷设过程中的张力计算参照附录 E 进行受力计算分析，确保敷设张力不大于海底电缆的最大承受张力。

7.3.3 捆绑式施工

7.3.3.1 采用捆绑作业方式同步敷设多根海底电缆时，输送应同步，捆绑式装备和转动电缆盘系统、海底电缆船的敷设速度也应协调同步。

7.3.3.2 捆绑带强度应满足水深、海底电缆质量、海底电缆敷设速度等技术条件要求。

7.3.3.3 捆绑带应具备自动续接的功能，不能出现长距离“空档”，避免捆绑海底电缆散开。

7.3.3.4 捆绑敷设装备驱动系统应装备两套系统，其中一套为备用系统。

7.3.4 移锚法作业方式

7.3.4.1 应预先抛放好牵引锚及钢丝绳，并满足以下要求：

- a) 应安装显示锚缆张力、释放速度和监测长度的仪表；
- b) 可在控制室或驾驶台通过摄像机或其他设备遥控操作绞车。

7.3.4.2 使用辅助船校正海底电缆敷设路由偏差，如图 2 所示。

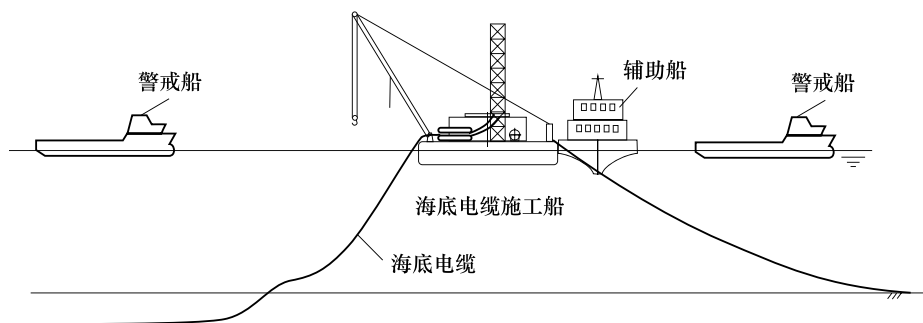


图 2 移锚法作业方式

7.3.4.3 在正常作业和应急条件下，应确保牵引锚、钢丝绳与任何现存固定建筑物、海底建筑物或其他海底管线间的最小间距满足作业安全距离。

7.3.5 动力定位作业方式

7.3.5.1 动力定位作业方式应选择配备 DP-2 及以上级别的海底电缆施工船，DP-1 级别动力定位作业方式应至少配备一套备用定位方式。

7.3.5.2 应提前将海底电缆路由信息输入至动力定位系统。

7.3.5.3 海底电缆施工船前进速度应与放缆、挖沟机开沟速度一致，如图 3 所示。

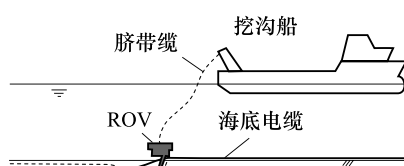


图 3 动力定位作业方式

7.3.5.4 动力定位系统应配备 UPS 电源，且断电后能维持动力定位系统继续工作 0.5h。

7.3.6 敷埋同步挖沟作业

7.3.6.1 挖沟设备应装配监控装备，避免对海底电缆造成损伤（见图 4）。

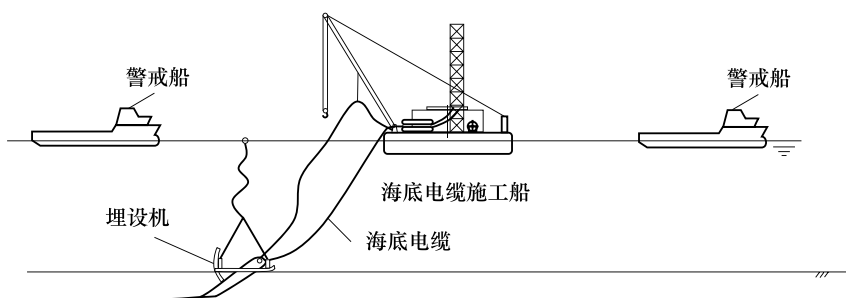


图 4 海中段敷埋同步作业方式

7.3.6.2 挖沟设备监控系统应经校正，包括：

- 测量海底电缆深度的装置；
- 阻止海底电缆上横向荷载的监控系统；
- 测量并记录挖沟设备作用在海底电缆上的水平和垂直作用力的装置；
- 掌握沿海底电缆方向上的挖沟设备前、后段的海床情况的水下监控系统；
- 挖沟设备拖拉力的测量及记录装置；
- 监控挖沟设备的纵倾、横倾、深度、高度和速度的装置。

7.3.6.3 挖沟深度一般参考海底电缆邻近未扰动的海床面到海底电缆底部的垂直距离。

7.3.6.4 应确保喷射挖沟设备的高压水流不会对海底电缆外护层造成损坏，并持续监测水压。

7.3.6.5 应定位并记录挖沟机开工挖沟、停止挖沟的位置，全程监控、调节、记录挖沟深度等信息。

7.3.6.6 敷设速度宜控制在 0m/min~12m/min。

7.4 末端登陆作业

7.4.1 末端登陆作业参照 7.2 始端登陆作业。

7.4.2 海底电缆施工船到达末端登陆位置后，将登陆段长度海底电缆导放到海面上，海底电缆呈 Ω

形，如图 5 所示。

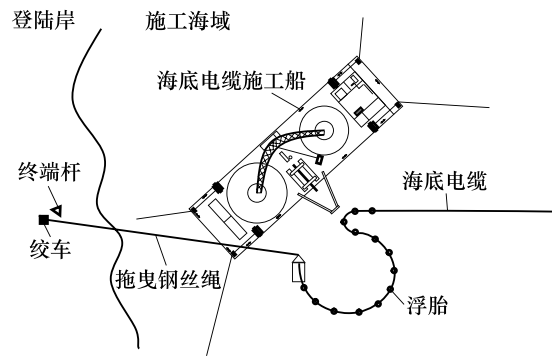


图 5 末端登陆作业

7.4.3 海底电缆全部放置在海面上后，海底电缆施工船应移离避开设计路由位置。

7.5 余缆处理

应设置专用余缆池用于存储工程余缆，余缆池宜布置在海底电缆工程附近容易过驳装船的地点。

8 保护安装

8.1 总则

海底电缆保护安装应与海底电缆敷设同步完成。

8.2 电缆间距

海底电缆之间应预留一定的间距，如图 6 所示，避免相邻海底电缆在损坏修复后跨越邻近电缆。

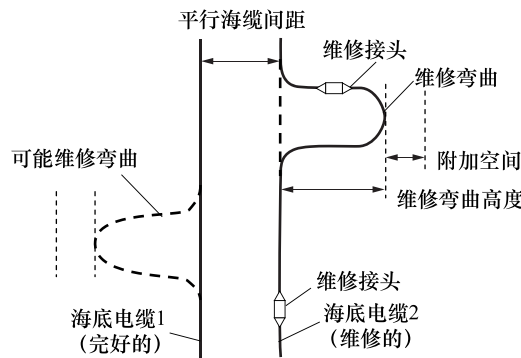


图 6 相邻海底电缆间距

8.3 先敷后埋挖沟保护

8.3.1 先敷后埋挖沟作业，应注意挖沟设备的选型不能将有效荷载作用在海底电缆上，并且要避免对海底电缆的损坏，如图 7 所示。

8.3.2 需要机械回填的地方，回填方法应尽量避免对海底电缆产生破坏。

8.3.3 应检测挖沟路由位置是否符合设计路由，确定埋设深度是否达到设计要求，以及是否需要做修补工作。

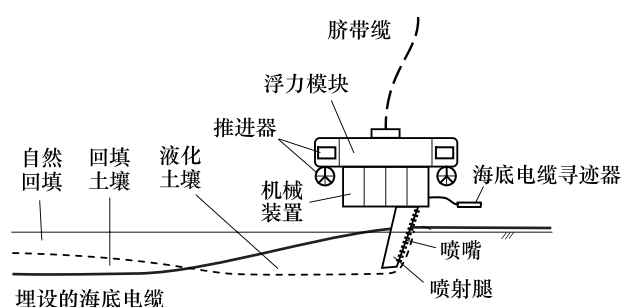


图7 先敷后埋挖沟作业

8.4 抛石保护处理

8.4.1 抛石材料应满足密度、成分和级配的规定要求。

8.4.2 抛石期间应连续监控，要求石料堆放于海底电缆、支撑结构和海底装置上，且不扰动它们的垂向或横向位置，如图8所示。

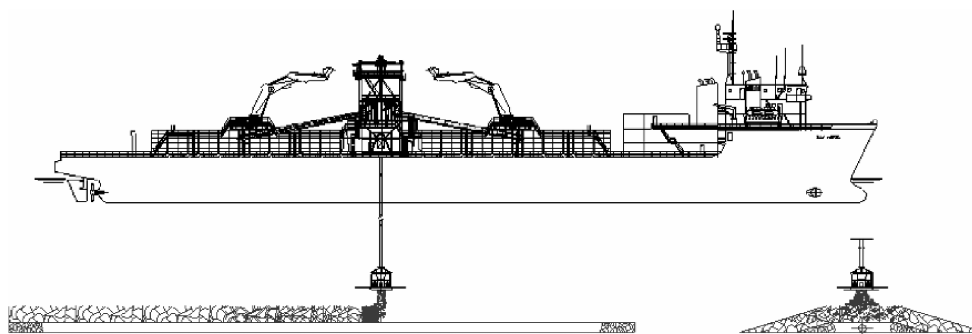


图8 落管抛石作业

8.4.3 抛石作业应保证所有悬跨修正满足设计要求，对悬跨间距不大的地方以连续作业方式使悬跨稳定，避免在抛石之间发生冲刷而形成自由悬跨。

8.4.4 采用落管抛石技术时，应确保管口与被掩盖物的最小垂直间隙，确保落管底部与海底电缆、海底建筑物或海床不接触，落管移动前应验证抛石位置及垂直间隙。

8.4.5 抛石时应在海底形成丘状和光滑的外形，且不应超出规定的陡峭坡度值。如果在海底管线交叉处抛石，抛石深度应能达到分离和覆盖的要求。

8.4.6 抛石完成后应进行路由调查，以确认是否符合设计规定要求，包括：

- a) 在海水可见度允许情况下，提供抛石保护全长的摄像检验；
- b) 按一定间距对石堆和附近未扰动的海床进行横断面调查；
- c) 石堆长度方向端面调查；
- d) 确认抛石埋缆深度是否达到设计要求；
- e) 确认现存建筑物及现存建筑物附近区域未遭到破坏。

8.5 自由悬跨保护处理

8.5.1 自由悬跨区域多为不平坦地形或冲刷区域（见图9），可采用回填砂袋、水泥网块和泥浆袋等措施，消除海底电缆自由悬跨，防止海底电缆疲劳或受海流影响摆动受损。

8.5.2 水泥网块和泥浆袋应满足工程设计关于尺寸、形状、填充位置及级配的要求。

8.5.3 在海水能见度允许的情况下，放置过程中宜用装有摄像设备的水下机器人检验安装的完整性及准确性。

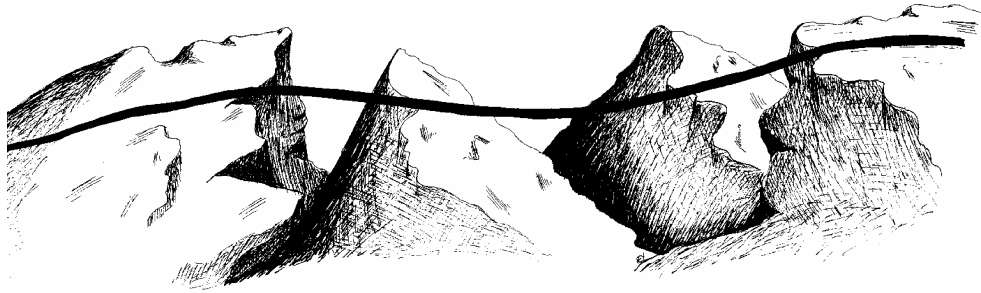


图9 自由悬跨

8.5.4 施工完成后，应进行路由勘察以确定是否与设计要求一致，包括：

- a) 在海水能见度允许的情况下，对全部工作进行摄像检验；
- b) 按一定间距对放置的泥浆袋或水泥网块及附近未扰动的海床进行横断面勘察；
- c) 对放置泥浆袋、水泥网块的区域和两侧海床纵断面勘察。

8.6 警示标志

海底电缆登陆点应设置醒目的水线和警示标志，文字为反光字体，晚间配有闪光效果，警示过往船只禁止在海底电缆廊道内抛锚或拖网渔业作业。

8.7 保护区设置

海底电缆保护区应向省级以上海洋行政主管部门登记备案，由同级有关部门划定，并向社会公告。海底电缆保护区的范围按照下列规定确定：

- a) 沿海宽阔海域为海底电缆两侧各 500m；
- b) 海湾等狭窄海域为海底电缆两侧各 100m；
- c) 海港区为海底电缆两侧各 50m。

8.8 海图标注

敷设完成后，应及时将海底电缆路由位置信息提交海图管理部门标注在新版海图上，警示船舶水下作业避开路由海域。

9 附件安装

9.1 一般要求

9.1.1 海底电缆附件安装人员应持有相应执业资格证书并满足海事部门有关上船人员资质要求。

9.1.2 220kV 及以上电压等级海底电缆接头制作应在专门的接头制作净化房里完成。

9.2 接头制作净化房

接头制作净化房应满足以下技术条件要求：

- a) 温度： $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 压力：101.3kPa；
- c) 湿度：40%~70%；
- d) 室内洁净度：静态千级；
- e) 左右、前后倾斜度： $<15^{\circ}$ 。

9.3 终端头安装

具备吊装条件时，终端头宜在地面制作完成后再吊装至终端支架处，吊装过程中应采取措施防止终端头损伤。不具备起吊条件时，终端头制作可在终端支架上进行。

9.4 中间接头制作

海底电缆中间接头制作时，应对接头两侧电缆进行固定，并实时观察海底电缆入水受力点，每隔一定时间调整一下位置，防止电缆损伤或疲劳受损。

9.5 过渡接头制作

海底电缆与陆缆过渡接头制作宜在岸上进行。

9.6 光缆接续制作

光电复合海底电缆中光缆接头制作方法应按照 GB/T 16529.3 的要求执行。海底光缆接续制作程序如下：

- a) 除去套层，包括一次涂覆和二次涂覆；
- b) 切割光纤，制备端面；
- c) 在光纤中预先套上对光纤接续部位进行补强的热缩套管；
- d) 将欲接续的两根光纤放入熔接机的槽中，进行轴向校正，对正中心；
- e) 进行接续；
- f) 对被接续部位加以补强保护；
- g) 对接头性能进行测试及评定。

9.7 锚固装置安装

应在过渡接头或终端头安装之前完成锚固装置的安装，防止海底电缆自身下沉或被外力勾拉造成终端头损坏。

10 完工自检

10.1 施工自检

海底电缆敷设完毕后，应由具备相关海洋勘测资质或经国家计量认证的检测机构进行海底电缆完工检测。检测要求如下：

- a) 测定海底电缆实际施工位置和深度信息；
- b) 测量海底电缆悬跨的长度和悬空高度；
- c) 检验与其他海底管线的交叉跨越状态；
- d) 保护性施工情况。

10.2 电气试验

10.2.1 海底电缆敷设完成后，应进行电气试验。海底电缆电气试验项目包括下列内容：

- a) 测量绝缘电阻；
- b) 直流耐压试验及泄漏电流测量；
- c) 交流耐压试验；
- d) 测量金属屏蔽层电阻和导体电阻比；

- e) 检查电缆线路两端的相位;
- f) 充油电缆的绝缘油试验;
- g) 交叉互联系统试验;
- h) 具备条件时, 电缆系统的局部放电测量。

注: 橡塑绝缘电力电缆项目应按本条a)、c)、d)、e)、g)、h) 进行。纸绝缘电缆试验项目应按本条a)、b)、e) 进行; 自容式充油电缆试验项目应按本条a)、b)、e)、f)、g) 进行。

10.2.2 交联聚乙烯绝缘海底电缆线路电压试验遵照表 3 执行。充油电缆直流电压试验参照表 4 中要求或按基准雷电冲击耐受水平的 50%, 取两者中低的值作为试验电压; 当现场只允许采用交流耐压方法时, 应采用的交流电压(有效值)为直流试验电压的 50%。

表 3 交联聚乙烯绝缘海底电缆现场交流耐压电压和时间

试验时间 (min)	额定电压 U_0/U (U_m) kV				
	48/66	64/110	127/220	190/330	290/500
30 或 60	$1.7U_0$ 或 $2U_0$	$1.7U_0$ 或 $2U_0$			
60			$1.7U_0$ 或 $1.4U_0$	$1.7U_0$ 或 $1.3U_0$	$1.7U_0$ 或 $1.1U_0$

表 4 充油海底电缆现场直流耐压电压和时间

试验项目	额定电压 U_0/U (U_m) kV				
	48/66	64/110	127/220	190/330	290/500
直流电压试验 (15min)	$4.5U_0$	$4U_0$	$3.5U_0$	$3U_0$	$3U_0$

10.2.3 66kV 及以上海底电缆线路主绝缘交流耐压试验时应同时开展局部放电测量。

10.2.4 额定电压 500kV 及以下直流输电用挤包绝缘电力电缆系统试验方法和要求遵照 GB/T 31489.1 的标准执行, 具体要求如下:

- a) 安装后的直流高压海底电缆系统应能经受负极性直流电压 $1.45U_0$, 试验时间为 1h, 绝缘应不击穿。回流海底电缆系统应能经受负极性直流电压试验, 试验电压由供需双方商定, 试验时间为 1h, 绝缘应不击穿。
- b) 聚合物护套试验, 需要时, 对电缆外护套施加 4kV/mm 的负极性直流电压, 最大不超过 10kV, 试验时间为 15min, 电缆外护套应不击穿。
- c) 对安装后的海底电缆系统进行 TDR (时间域反射) 测试, 测试结果作为工程依据。

10.3 光纤试验

10.3.1 光纤接续应采用熔接法, 接续的全过程应实施质量监视, 测量接头损耗, 接续后的平均损耗应达到工程设计的要求。

10.3.2 光纤的衰耗和接头损耗测试是在海缆一端使用时间域反射仪或分布式应变温度传感系统进行测试。

10.3.3 对光纤接头位置应做好长度的记录。

11 故障修复

11.1 总则

11.1.1 海底电缆故障修复应选择专业维修船和持证安装作业人员。

11.1.2 海底电缆打捞施工时张力计算具体可参照附件 F 的规定。

11.2 应急抢修

应急抢修应制定隔离、定位、临时修理方法和故障消除方法，以及准备实施计划和信息资料，主要包括：

- a) 制订应急响应计划；
- b) 流体泄漏检测与定位；
- c) 电气故障定位和损伤控制；
- d) 备品备件、专用设备和工具的位置；
- e) 紧急响应需要的承包商和制造商信息列表。

11.3 故障查找

海底电缆故障一般是由电气、自损和外力损伤等原因造成的。故障查找时，输电线路应停电；故障定位后，应记录位置，以便打捞维修；如果电缆成 V 形，则怀疑是在拖锚时发生损坏。常用的故障查找方法有：

- a) 时间域反射方法；
- b) 电桥法；
- c) 侧扫声纳或多波束测深；
- d) 如果在拖锚被怀疑损坏电缆，电缆可能成 V 形。

11.4 现场记录

海底电缆故障定位、打捞、检修作业时，应做好照片、视频、故障段等记录及物品保存工作。

11.5 备用海底电缆

11.5.1 备用海底电缆应存储在靠近登陆点便于海上运输的地方。

11.5.2 应综合考虑海底电缆故障发生概率、水深、工程成本、存储等因素，尽量保留适当长度的备用海底电缆，以供海底电缆多次受损修复所需。

11.5.3 备用海底电缆启用前应进行测试，确认其电气性能完好。

11.6 补充长度

补充海底电缆的最短长度应不小于两倍水深，同时应考虑因进水损坏切除和接头制作需要的长度。

11.7 修理接头

修理接头主要分为软接头和硬接头两类。软接头和硬接头吊放至海床时，应采用弯曲限位器或横担加固吊放方式，如图 10 所示。



图 10 硬接头吊放

附 录 A
(资料性附录)
海 底 电 缆 技 术 参 数

A.1 概述

海底电缆技术参数见表 A.1。

表 A.1 海底电缆技术参数表

项目	单位	备 注
单位长度质量	kg/m	海底电缆空气中单位长度的质量, W
抗拉力	kN	作用在导体上的允许最大拉力, T_c
		作用在铠装层上的允许最大拉力, T
外径	mm	海底电缆整体外径, D_t
侧压力	kN	海底电缆允许的最大侧压力, p
最小弯曲半径	m	海底电缆允许的最小弯曲半径, R
退扭高度	m	海底电缆允许退扭高度, H

A.2 说明

A.2.1 海底电缆侧压力计算:

$$p=T/R$$

式中:

p ——侧压力;

T ——作用在铠装层上的允许最大拉力;

R ——海底电缆允许的最小弯曲半径。

A.2.2 海底电缆退扭高度计算:

$$H=\pi D_t$$

式中:

H ——海底电缆允许退扭高度;

D_t ——海底电缆存储盘的最大外径。

附 录 B
(规范性附录)
风 力 等 级 表

B.1 概述

按照国际海事惯例，风力等级采用蒲福风力等级表，见表 B.1。

表 B.1 风 力 等 级 表

风级	风名	相当风速			海面状况	海面浪高 m		海面征象	风压 kg/m ²
		节 (kn)	m/s	中数 m/s		一般	最高		
0	无风	<1	0~0.2	0	平如镜子	—	—	海面像镜子一样平静（无浪）	0~0.004
1	软风	1~3	0.3~1.5	1	微波	0.1	0.1	海面有波纹，但还没有白色浪顶	0.009~0.225
2	轻风	4~6	1.6~3.3	2	小波	0.2	0.3	波浪纹虽小，但已明显，浪顶透明，像玻璃，但不碎	0.256~1.089
3	微风	7~10	3.4~5.4	4	微浪	0.6	1.0	波较大，波顶开始分裂，泡沫有光，间或见到白色波浪	1.156~2.916
4	和风	11~16	5.5~7.9	7	轻浪	1.0	1.5	小浪，波长相当大，往前卷的白碎浪较多，有间断的呼啸声	3.025~6.241
5	劲风	17~21	8.0~10.7	9	中浪	2.0	2.5	中浪，波浪相当大，白碎浪很多，呼啸声不断，间或有浪花溅起	6.4~11.449
6	强风	22~27	10.8~13.8	12	大浪	3.0	4.0	开始成大浪，波浪白沫飞布海面，呼啸声大作（可能有少数浪花溅起）	11.664~19.044
7	疾风	28~33	13.9~17.1	16	巨浪	4.0	5.5	海面像由波浪堆积而成，碎浪的白泡沫开始成纤维状，随风吹散，飞过几个波顶	19.321~29.241
8	大风	34~40	17.2~20.7	19	狂浪	5.5	7.5	中高波，波长更大，随风吹起的纤维状更明显，呼啸声更大	29.58~42.85
9	烈风	41~47	20.8~24.4	23	狂涛	7.0	10.0	高浪，泡沫纤维更加浓密，海浪卷翻，泡沫可能影响能见度	43.26~59.54
10	狂风	48~55	24.5~28.4	26		9.0	12.5	大高浪，波浪成长形突出，纤维状泡沫更为浓厚，并呈片状。海浪颠簸好像槌击，浪花飞起带白色，能见度受影响	60.03~80.66

表 B.1 (续)

风级	风名	相当风速			海面状况	海面浪高 m		海面征象	风压 kg/m ²
		节 (kn)	m/s	中数 m/s		一般	最高		
11	暴风	56~63	28.5~32.6	31	非凡现象	11.5	16.0	特高浪，中小型船在海上有时可能被浪所蔽，波顶边缘被风吹成泡沫，能见度大减	81.2~106.28
12	台风 或 飓风	≥64	≥32.7	—		14.0	—	空气中充满泡沫和浪花，海面因浪花的飞起成白色状态，能见度剧烈降低	>106.28

附录 C
(规范性附录)
海浪等级表

C.1 概述

海浪等级表见表 C.1。

表 C.1 海浪等级表

浪级	名 称	浪高 $H_{1/3}$ m
0	无浪	0
1	微浪	$H_{1/3} < 0.1$
2	小浪	$0.1 \leq H_{1/3} < 0.5$
3	轻浪	$0.5 \leq H_{1/3} < 1.25$
4	中浪	$1.25 \leq H_{1/3} < 2.5$
5	大浪	$2.5 \leq H_{1/3} < 4$
6	巨浪	$4 \leq H_{1/3} < 6$
7	狂浪	$6 \leq H_{1/3} < 9$
8	狂涛	$9 \leq H_{1/3} < 14$
9	怒涛	$H_{1/3} > 14$

C.2 说明

实际海面波高极不规则。连续观测一系列波，按波高大小依次排列，其中前 1/3 较大波的平均波高成为有效波高，以符号 $H_{1/3}$ 表示。

附 录 D
(规范性附录)
海面能见度等级表

海面能见度等级表见表 D.1。

表 D.1 海面能见度等级表

等级	能见距离		能见度鉴定	海上可能出现的天气现象
	n mile	km		
0	<0.03	<0.05	能见度低劣	浓雾
1	0.03~0.10	0.05~0.2		浓雾或雪暴
2	0.10~0.25	0.2~0.5		大雾或大雪
3	0.25~0.50	0.5~1	能见度不良	雾或中雪
4	0.50~1.00	1~2		轻雾或暴雨
5	1~2	2~4	能见度中等	小雪、大雨、轻雾
6	2~5	4~10		中雨、小雪、轻雾
7	5~11	10~20	能见度良好	小雨、毛毛雨
8	11~27	20~50	能见度很好	无降水
9	≥27	≥50	能见度极好	空气澄明

附录 E

(资料性附录)

海底电缆敷设建模计算分析

E.1 概述

当海底电缆施工船在平静海面和平坦海床上以恒定速度敷缆时，海底电缆按悬链线从敷设滑轮下放线点下垂至海床的触地点，假设如下：

- a) 海底电缆无弯曲刚度；
- b) 海底电缆移动入水时不受任何拉力；
- c) 海底电缆的单位长度质量均匀相同。

此时，海底电缆可简化为悬链线。

E.2 软件模拟

海底电缆敷设受力情况可采用水动力软件建模计算。

E.3 计算公式

海底电缆在敷设时的形状是一条悬链线中的一部分，坐标如图 E.1 所示。

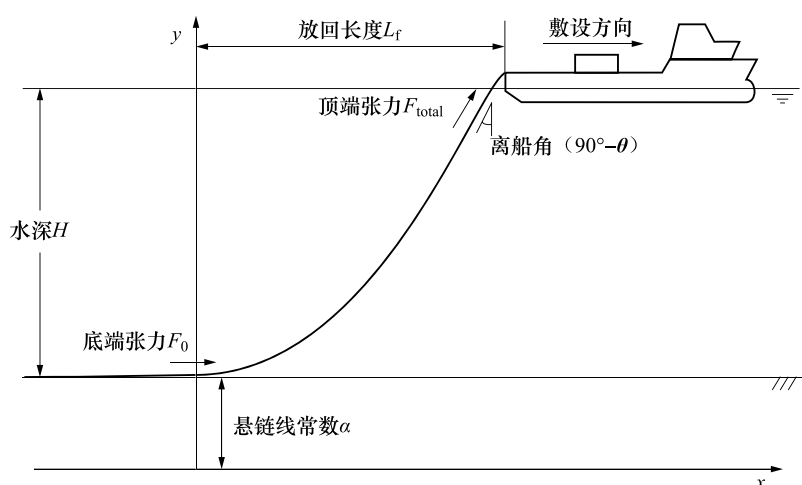


图 E.1 海底电缆敷设悬链线

悬链线主要公式如下

$$y = \alpha \left(\cosh \frac{x}{\alpha} - 1 \right) \quad (\text{E.1})$$

$$F_0 = \alpha \gamma \quad (\text{E.2})$$

$$L = \alpha \cdot \sinh \frac{x}{\alpha} \quad (\text{E.3})$$

$$\tan \theta = \sinh \frac{x}{\alpha} \quad (\text{E.4})$$

假设触底点为 0 点，其中 α 为悬链线常数， L 为曲线中某点到 0 点的链索长度， θ 为该点与水平线的夹角， F_0 为 0 点处的水平张力， γ 为链索的单位质量。利用上述公式即能计算出任意点的 x 坐标、 y

坐标、转角、张力。具体计算过程如下：

以电缆脱离船体的点为计算对象，设水深为 D ，电缆从脱离点到触底点的总长度为 L_{total} ，脱离点处的张力为 F_{total} ，由式 (E.2)，得到

$$\frac{x}{\alpha} = \cosh^{-1} \left(\frac{D}{\alpha} + 1 \right) \quad (\text{E.5})$$

又有

$$L_{\text{total}} = \alpha \cdot \sinh \frac{x}{\alpha} = \frac{F_{\text{total}} \cdot \sin \left(\cos^{-1} \frac{\alpha \cdot \gamma}{F_{\text{total}}} \right)}{\gamma} \quad (\text{E.6})$$

将式 (E.5) 代入式 (E.6)，有

$$L_{\text{total}} = \alpha \cdot \sinh \left[\cosh^{-1} \left(\frac{D}{\alpha} + 1 \right) \right] = \frac{F_{\text{total}} \cdot \sin \left(\cos^{-1} \frac{\alpha \cdot \gamma}{F_{\text{total}}} \right)}{\gamma} \quad (\text{E.7})$$

式 (E.7) 中只有 α 是未知数，可利用计算机程序用二分法求得 α 的值。

求出 α 后，管线上任意一点（以 L 为变量）的参数即可求得：

x 坐标

$$x(L) = \alpha \cdot \sinh^{-1} \frac{L}{\alpha} \quad (\text{E.8})$$

y 坐标

$$y(L) = \alpha \cdot \left[\cosh \left(\sinh^{-1} \frac{L}{\alpha} \right) - 1 \right] \quad (\text{E.9})$$

转角

$$\theta(L) = \tan^{-1} \frac{L}{\alpha} \quad (\text{E.10})$$

张力

$$F(L) = \frac{L\gamma}{\sin \left(\tan^{-1} \frac{L}{\alpha} \right)} \quad (\text{E.11})$$

其中一些关键位置的计算结果如以下各式所示：

海底电缆底端张力 F_0

$$F_0 = \alpha\gamma \quad (\text{E.12})$$

海底电缆放回长度 L_f

$$L_f = \alpha \cosh^{-1} \left(\frac{D}{\alpha} + 1 \right) \quad (\text{E.13})$$

悬挂海底电缆总长度 L_{total} （从滑轮至触地点）

$$L_{\text{total}} = \alpha \sinh \frac{L_f}{\alpha} \quad (\text{E.14})$$

海底电缆在触地点的弯曲半径

$$R_0 = \alpha \quad (\text{E.15})$$

海底电缆敷设时的顶端张力

$$F_{\text{total}} = \frac{L_{\text{total}} \cdot \gamma}{\sin \left(\tan^{-1} \frac{L_{\text{total}}}{\alpha} \right)} \quad (\text{E.16})$$

附 录 F
(资料性附录)
海底电缆打捞受力建模计算分析

F.1 受力分析

海底电缆打捞受力分析如图 F.1 所示。

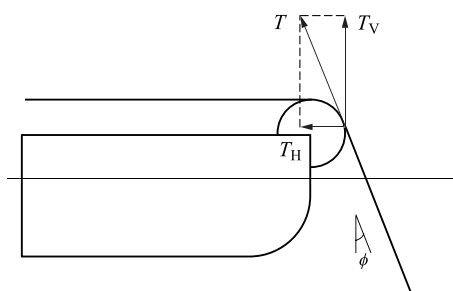


图 F.1 海底电缆打捞受力分析示意图

F.2 计算公式

海底电缆打捞时的顶端张力 T 可分解为水平方向 T_H 和垂直方向 T_V 两个分力，根据力学平衡原理，有

$$T = \sqrt{T_H^2 + T_V^2} \quad (\text{F.1})$$

$$T_H = -F \quad (\text{F.2})$$

$$T_V = -ws \quad (\text{F.3})$$

且

$$T_H = T \sin \phi \quad (\text{F.4})$$

$$T_V = T \cos \phi \quad (\text{F.5})$$

式中：

F ——海底电缆在海底的摩擦力；

w ——海底电缆在海水中的单位质量；

s ——悬挂的海底电缆的总长度。

由式 (F.4) 和式 (F.5) 可得

$$ws = T \cos \phi \quad (\text{F.6})$$

故海底电缆打捞时的顶端张力 T 为

$$T = \frac{ws}{\cos \phi} \quad (\text{F.7})$$