T/CSEE XXXX—YYYY

ICS号 29.060.20

中国标准文献分类号 P60

|  |
| --- |
|  |

团 体 标 准

海底电力电缆施工技术规范

|  |
| --- |
| Technical Specification for Construction of Submarine Power Cable Engineering |
| （征求意见稿） |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国电机工程学会   发布

目  次

[1 范围 1](#_Toc28677)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc8121)

[3 术语和定义 1](#_Toc19508)

[4 符号、代号和缩略语 2](#_Toc25950)

[5 总则 2](#_Toc9934)

[6 海底电缆路由选择 2](#_Toc24310)

[6.1 一般要求 2](#_Toc14776)

[6.2 路由勘察 3](#_Toc21267)

[6.3 风险评估 4](#_Toc24657)

[7 海底电缆敷设 5](#_Toc27157)

[7.1 一般要求 5](#_Toc16383)

[7.2 敷设前准备 5](#_Toc3473)

[7.3 敷设要求 6](#_Toc31770)

[7.4 张力控制 6](#_Toc6955)

[7.5 海底交越及障碍物处置 7](#_Toc27813)

[7.6 海底电缆余缆处置 7](#_Toc24612)

[8 海底电缆保护 7](#_Toc12822)

[8.1 一般要求 7](#_Toc19045)

[8.2 冲埋保护 8](#_Toc23734)

[8.3 抛石保护 8](#_Toc17143)

[8.4 回填保护 10](#_Toc27595)

[8.5 套管保护 10](#_Toc1274)

[8.6 连锁排保护 10](#_Toc19227)

[8.7 交叉保护 10](#_Toc7581)

[8.8 防冲刷设施 11](#_Toc27027)

[8.9 检测与监测 11](#_Toc25776)

[9 附属设备设施安装 11](#_Toc6673)

[9.1 一般要求 11](#_Toc31411)

[9.2 终端头 11](#_Toc14250)

[9.3 锚固装置 12](#_Toc161)

[9.4 供油系统 12](#_Toc4314)

[9.5 水下接头 12](#_Toc7873)

[9.6 警示标识 12](#_Toc31109)

[附　录　A （资料性附录） 海底电缆敷设相关张力计算方法 14](#_Toc23359)

[附　录　B （资料性附录） 海底电缆抛石保护石坝稳定性计算方法 16](#_Toc29078)

[附　录　C （资料性附录） 海底电缆保护典型示意图 17](#_Toc19461)

前  言

本标准按照《中国电机工程学会团体标准管理办法（暂行）》的要求，依据GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》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：中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局海口分局、广东电网有限责任公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司舟山供电公司、中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司、宁波 东方电缆股份有限公司、三峡新能源海上风电运维江苏有限公司、天津恒泰国际海洋工程有限公司。

本标准主要起草人：本标准为首次发布。

本标准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）。

海底电力电缆工程建设及保护技术规范

1. 范围

本标准规定了海底电力电缆工程敷设保护的路由选择、敷设施工、保护施工、附属设备设施安装等方面的要求。

本标准适用于各电压等级的海底电缆工程建设施工阶段的敷设保护，海底电缆运行维护阶段的施工保护及其他海底光缆、水底电缆的敷设保护可参照执行。

1. 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 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准

GB 50217 电力工程电缆设计标准

GB 50286 堤防工程设计规范

GB/T 12763 海洋调查规范

GB/T 17502 海底电缆管道路由勘察规范

GB/T 41141 高压海底电缆风险评估导则

GB/T 51190 海底电力电缆输电工程设计规范

GB/T 51191 海底电力电缆输电工程施工及验收规范

DL/T 1278 海底电力电缆运行规程

DL/T 5490 500kV交流海底电缆线路设计技术规程

JTJ 298 防波堤设计与施工规范

JTJ 312 航道整治工程技术规范

T/CSEE 0118 大长度海底电缆施工技术导则

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

海底电缆敷设 submarine power cable laying

将海底电缆放置到指定海底路由位置的施工过程。

海底电缆保护 submarine power cable protection

采用冲埋、加盖保护、预挖沟等方式对海底电缆本体进行的施工保护。

海底电缆陆上段 land section of submarine power cable

海底电缆敷设于陆地的区段。

海底电缆海上段 sea section of submarine power cable

海底电缆敷设于海床上的区段，海底电缆海上段分为深水段和近岸段两个部分。

深水段海底电缆 deepwater section of submarine power cable

海底电缆位于水深超过4.5米处的区段。

近岸段海底电缆 offshore section of submarine power cable

除了深水段以外的海上段海底电缆，即海底电缆入海后的近岸区段（包括潮间带路由），水深小于4.5米。

1. 符号、代号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

KP：海底电缆公里点，通常将电缆北侧终端头设为起点KP0。

1. 总则
   1. 本文件是指导开展海底电缆工程敷设及保护工作的基本准则，所规定海底电缆路由选择、敷设、保护、附属设备设施安装的项目为参考值，可结合具体工程实际进行补充和优化。
   2. 海底电缆的敷设及保护，应制定安全技术措施，且应符合本文件及产品技术文件的规定。
   3. 新敷设和保护方式应通过标准规定的试验或鉴定。
   4. 依据海底电缆竣工与投产计划，需制定多波束及埋深检测方案，掌握全线敷设保护状况。
   5. 运行单位应参与海底电缆线路的规划、路径选择、设计审查、设备选型、招标及海底电缆线路施工验收等工作，并结合运行经验、反事故措施和安全措施的要求，提出相应建议。
2. 海底电缆路由选择
   1. 一般要求

海底电缆路径的选择应以安全可靠、技术可行、经济合理（线路短，拐点少）、利于施工及维护、对海洋环境影响少为原则，统筹规划近远期海底电缆路由。

海底电缆路由选择应综合考虑自然环境及工程地质，包括海底地形地貌、海床地质及稳定性、海洋水文气象、海底矿产的因素。

海底电缆路由选择应符合现有海洋开发利用活动及海洋开发利用规划，宜选择在海床稳定、流速较缓、无海底岩礁或沉船等障碍、少有沉锚和拖网渔船活动的水域。

经过地理地质初步调查，选择初定的海底电缆路由应尽量避免经过有危险的区域，如航道、抛描区、海港入口、渔场、海底裸露岩石、海底峡谷和陡坡，船舶残骸、弹药倾倒场、碎片废弃物，以及强水流区等。

正常情况下平行敷设的海底电缆严禁交叉、重叠，当海底电缆和管线交叉不可避免时，应选择合适的远离海岸的交越点并做好防护措施。

海底电缆路径的选择十分复杂，路由评价与选择应综合分析工程可行性、投资合理性及使用海域科学性，根据路由调查成果，分析有利及相关限制因素，综合路由长度、施工、运行和维修方便等因素，统筹兼顾，做到经济合理、安全适用。

应在路由勘察、试验分析和收集已有资料的基础上，结合工程特点和要求进行海底电缆路由条件评价。评价内容主要包括海底工程地质条件、海洋水文气象环境、地震安全性、腐蚀环境、海洋规划和开发活动等。

海上段海底电缆路由宜选择曲折系数小的路由。

海上段海底电缆路由宜选择施工运行和其他海洋开发活动相互影响最小的海域，路由宽度应充分结合建设规划需要。

海底电缆工程建设完成后宜按相关法律法规对海底电缆敷设路由申请设立保护区域。

近岸段电缆路由应综合考虑线路长度，选择至海底电缆终端距离较近的岸滩登陆。

海底电缆登陆点宜选择施工船可靠近，陆上宜有便于海底电缆作业和维护的道路。

海底电缆登陆点应避开线缆、管道及其他设施或岸滩障碍，选择潮滩较短以及有盘留余缆区域的地点。

近岸段电缆路由宜避开现有和规划中的开发活动区。

近岸段电缆路由应避开对电缆有损害的腐蚀污染区。

为海底电缆登陆修建的登陆栈道或登陆堤坝应符合现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286的规定。

* 1. 路由勘察

海底电缆路由勘察应符合GB/T17502、GB/T12763等有关现行标准，并结合工程实际情况，适当加大加深勘察范围和深度。

海底电缆路由测量应包括陆上及海上段的地形、地貌等内容。

海底电缆路由水文勘察应包括海浪、潮汐、分层流速、水温及洋流等内容，水文勘察时长不短于6个月。

底电缆路由地质勘察应包括海底工程地质条件、土壤热阻系数等内容。

海底电缆工程路由勘察，应提供潮汐、波浪、海流、水温、盐度、含沙量及海冰、漂浮物等海洋水文勘测成果和风、气温、雷暴、雾及气旋等气象勘测成果。

海底电缆工程路由勘察，应分析统计海底电缆路由海域的潮汐性质、特征潮位、潮差、涨落潮历时等特征值，提供满足敷设、保护等工程设计需要的设计高、低潮位。

海底电缆工程路由勘察，应分析统计海底电缆路由海域的波浪类型、波高、波长、波周期和波向等波要素特征值，分析计算满足敷设、保护等工程设计要求的各重现期设计波浪。在计算工程点处的设计波浪时，应采用工程设计潮位下的相应水下深度。

海底电缆工程路由勘察，应对海底电缆路由海域的海流基本特性和流场分布状况进行分析，提供大、中、小潮期间的平均流速、最大涨落潮流速、可能最大流速及其流向、余流的大小和方向等。

海底电缆工程路由勘察，宜对海底电缆路由海域的水温变化情况进行搜资、调查，并按要求统计提供各水温特征值。

海底电缆工程路由勘察，应对海底电缆路由海域的盐度、含沙量进行搜资、查勘，提供盐度、含沙量的统计成果。

当海底电缆路由海域存在海冰、漂浮物时，应对冰情、漂浮物状况进行搜资、调查，分析提供海底电缆路由海域的海冰、漂浮物的种类、尺寸、漂流速度以及出现时间等成果。

海底电缆工程路由勘察，应对路由沿线的海岸及海床稳定性、演变趋势进行分析，对电缆寿命期内路由沿线的最大冲刷深度进行分析和预测，判断其对电缆工程的影响，从水文气象专业角度提出设计中应注意的相关问题。

海底电缆工程路由勘察，应对路由海域的气象条件进行搜资、查勘，统计提供电缆路由海域的累年各月各风向频率、平均风速、最大风速，累年各月极端最高、极端最低及平均气温，累年各月最多及平均雾日数、大风日数、雷暴日数等特征值以及灾害性海洋气象资料。

海底电缆路由勘察宜根据海床稳定性评估、局部冲刷评估等工作的需要，增加相应勘察内容。

在海底电缆路由经过的海底基岩、沟槽、生物沉积带等特殊区域，应提高勘测测线密度与勘测精度。

* 1. 风险评估

海底电缆路由选择前，宜委托有资质的风险评估机构进行风险评估，风险评估工作应符合《高压海底电缆风险评估导则》GB/T 41141等有关国家标准、规范的规定。

海底电缆风险评估应综合自然灾害、沉船、落物、渔业活动、锚链、海床冲刷及沙丘移动、人类活动等因素，开展土壤热物理环境、地震、腐蚀环境、地形地貌、水文环境、周边海洋规划与开发活动、海洋环保、设施及构筑物、人类活动等风险的辨识、分析，提出防护措施建议。

土壤热物理条件风险分析，应根据土壤热物理参数测定结果，包括现场样品温度、土壤热导率等，进行相关评价，主要对海底电缆载流量进行核验。

地震安全性风险分析，应分析路由区域及近场区地震构造及地震活动环境，用概率法进行地震危险性分析计算，给出50年超越概率10%的基岩地震动水平向峰值加速度值。需要时根据地震危险性概率分析结果，编制海底电缆路由场地地震动峰值加速度区划图、地震烈度区划图。对海底电缆路由场地在地震作用下可能产生的砂土液化、软土震陷和断层地表错断作用进行评价。

腐蚀性环境风险分析，应分析海底土和底层水的腐蚀性环境参数，为海底电缆工程防腐设计提供依据。

地形地貌风险分析，应包括以下三方面：

* + - 1. 分析路由区的地形、地貌、地质、海底面状况、底质及其土工性质等工程地质条件，评价灾害地质因素（如冲刷沟、浅层气、海底塌陷、滑坡、浊流、基岩、河谷、活动沙波、泥底辟、盐底辟、软土夹层等）对海底电缆的风险，并提出相应的工程措施或对策建议。
      2. 深水段海底电缆路由，宜选择海床稳定、海底地形平缓的海域，避开裸露基岩、陡崖及大高差坡地、海丘海沟等起伏急剧的地形，避开海底岩礁及灾害地质因素分布区。
      3. 近岸段海底电缆路由，宜选择海岸稳定、潮滩宽度较窄的岸滩，避开裸露基岩、陡崖及高差大的坡地，避开海底岩礁及灾害地质因素分布区，必要时可采取碎浪防波固沙措施对岸滩条件进行改善。

水文环境风险分析，应包括以下五方面：

* + - 1. 分析海洋水文气象环境条件，包括路由区的波浪、潮汐、海流、水温、海冰、气象等因素，评价其对海底电缆施工、运行及维护可能的影响，并建议适宜最佳敷设施工期。
      2. 海底电缆海上段路由，宜选择水动力较弱的海域，避开海浪或流速较大的海域或河道入海口，避开海底地形变化频繁、冲淤活动活跃的区域，必要时宜开展选择路由区域的海床稳定性及局部冲刷评估研究。
      3. 近岸段海底电缆路由，宜选择海岸全年风浪平稳、不易被冲刷与撞击的岸滩；
      4. 新建单独设置的海底电缆登陆站，应分析是否易遭受风暴潮侵袭。
      5. 海上段电缆路由宜选择水动力弱的海域。

周边海洋规划与开发活动风险分析，应分析海底电缆路由与海洋功能区划、海洋开发规划的符合性，评述路由区的渔业、交通、油气开发、已建海底电缆、海洋保护区等海洋开发活动与路由的交叉和影响，为海底电缆设计、施工及维护提出对策或建议。

海洋环保风险分析，应从防止破坏生物多样性、降低对海洋环境造成影响等方面考虑，同时遵循环保部门意见，海底电缆路由选择宜避开鸟类繁殖及鱼类产卵区、珍惜动物保护区、自然保护区、其他敏感的自然资源区等区域。

设施及构筑物风险方面，海底电缆路由选择时应尽可能避开如下影响海底电缆施工及后期运维安全的设施及区域：

1. 其它电力、通信电缆和石油管道，及废弃的管线等；
2. 其他管道，包括下水道、供水及煤气管道；
3. 沉没的船舶和残骸、炸弹等；
4. 可能被遗弃的水面不可见的桥墩，船坞，建筑等；
5. 挖泥处置区及海洋倾倒区；
6. 受限制的区域，如海军训练和试验的区域；
7. 现状及规划的锚地、航道、渔业区域、港口、码头、渡口、建（构）筑物、疏浚挖泥区、采砂区以及海上航行控制区等；
8. 地震带地震多发区域；
9. 其他自然或人工障碍物。

人类活动风险方面，海底电缆路径选择应优先少有沉锚和拖网渔船活动的海域，避开自然或人工障碍物、渔业和其他作业区域以及锚地，综合分析评估海底电缆路径，可能会造成海底电缆损伤的人类活动主要包括：

1. 通航船只；
2. 船舶的停靠和桥梁维护；
3. 捕捞作业；
4. 倾泻残骸、碎片；
5. 水上农业；
6. 打桩作业；
7. 定向钻孔；
8. 其它管道或线路的铺设作业；
9. 海底化学物，有毒元素和重金属污染。
10. 海底电缆敷设
    1. 一般要求

海底电缆敷设应根据海底勘测资料、海床演变分析成果、电缆类型、路由、施工和运行的具体情况，制定技术可靠、经济合理的敷设方案。

海底电缆敷设竣工后，建设单位宜在3个月内将竣工坐标报告当地海洋主管单位，并开展海缆保护区设置、海缆路由区域海图更新等工作。

* 1. 敷设前准备

海底电缆敷设施工前应获得施工许可、路由控制点的测量复核、海面清理、路由扫海、海底电缆登陆作业的准备、敷设船舶与设备的选型与准备、水文气象条件分析判断等工作。

海底电缆敷设期间可能出现恶劣天气时，宜基于海域水文气象，分析海底电缆搬运操作或敷设临时暂停期间海底电缆累计疲劳，若安装条件或电缆设计超过铅护套承受的累计疲劳，应优化敷设施工方案。

路由线路扫海次数宜多于2次。

路由勘察资料超过5年以上且扫海发现新的障碍物时，宜在海底电缆敷设施工前开展一次多波束或侧扫声呐检测。

敷设施工船舶选型应满足以下要求：

1. 船舶载重量应满足工程海底电缆装载要求（参考附录D）；
2. 船舱容积、甲板面积、船舶稳定性、退扭装置、动力转盘配置，应满足电缆长度、重量、弯曲半径、盘绕半径和作业海域等需求；
3. 敷设船应配有刹车装置，入水角、张力、长度、水深等测量仪器和导航、定位、通信设备；
4. 近海海域宜选择箱形船或平底船；
5. 潮间带海域宜选择平底可坐滩工程船；
6. 常规开阔海域宜选择具有锚泊系统的船舶，不利于锚泊作业的海域宜选择具有动力定位的施工船舶。
7. 敷缆设备选型应满足以下要求：
8. 应根据海底路由地形地质条件、水深和电缆张紧力等选定敷缆设备的性能参数；
9. 敷缆设备应满足海底电缆敷设过程中对电缆张紧力控制的需求。

7.2.6 海底电缆敷设前应通过海底电缆本体的相关测试。

* 1. 敷设要求

海底电缆敷设应选择合适的窗口期，优先保障一次性完成敷设施工。

海底电缆敷设作业宜在风力 5 级、波浪高度1. 5m、流速1.0m/s 及以下的海洋环境下进行。敷缆设备投放与回收作业宜在平流期间进行。

海底电缆敷设施工应按设计路由进行，实际敷设偏差应控制在设计路由中心线 20m 内，且不应超越扫海清障范围。

海底电缆敷设时宜进行触底监测，以控制剩余张力和避免自由悬跨，海底电缆敷设后不得悬空。

海底电缆平行敷设时的间距应符合现行国家标准《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》 GB 50168 的有关规定。

敷设船实际敷设过程中受环境影响所引起的海底电缆施工缆长裕度，应根据设计路径的不同长度进行差异性控制，并宜符合以下规定：

1. 1km以内的设计敷缆路径，施工缆长裕度宜控制在设计路径的3%~5%；
2. 1km~3km的设计敷缆路径，施工缆长裕度宜控制在设计路径的2%~4%；
3. 大于3km的设计敷缆路径，施工缆长裕度宜控制在设计路径的2%~3%。

不同海域环境的海底电缆敷设施工宜符合以下规定：

1. 对于近海海域的长距离海底电缆敷设施工，宜选择边敷边埋的施工工艺，敷设速度宜控制在 500m/h 以内；
2. 潮间带海域范围内的敷设施工，宜选择先敷后埋的施工工艺，也可采取预挖沟后敷埋的施工工艺，先期电缆牵引入海的速度宜控制在 200m/h 以内；
3. 复杂海底地形海域内的敷设施工，宜选择先敷后埋的施工工艺，敷缆船舶宜具有动力定位的性能。

连接海上构筑物平台的敷设施工，施工船舶距离平台构筑物的安全停靠距离宜大于 30m。

* 1. 张力控制

海底电缆敷设时允许承受的最大张力由导体、铠装结构及材质确定。工程设计阶段，应结合海底电缆敷设环境，计算海底电缆敷设过程中所受的张力（计算要求详见附录A。），选用合理的海底电缆铠装结构及材质。

海底电缆生产厂家应提供海底电缆敷设过程中的张力限值，以及涉及张力参数的机械特性型式试验报告。

海底电缆敷设时应保证海底电缆承受的张力不超过限值。

海底电缆敷设入水前应采取合理措施完成退扭，并控制海底电缆的入水张力，避免电缆发生堆积、扭结。

采用张力法施工时，敷设过程中应保持一定张力。海底电缆着落于海床上的残余张力应尽可能小，且不宜超过5kN。

采用非张力法施工时，宜确保海底电缆以松弛的、自然的状态沉入海底。

敷设船舶应配有制动、张力控制和入水角测量装置。海底电缆敷设前，应对制动、张力控制和入水角测量装置进行校准。

海底电缆敷设过程中，应采用在线监测装置动态监测海底电缆入水角及张力。

* 1. 海底交越及障碍物处置

海上段电缆路由应减少与其他管线交越情况，当不可避免时，应采取相应措施，减小相互影响。当海底电缆与已有管线的交越施工，宜采用上交越的施工工艺，交越范围为已有水下管线交越点两侧50m~ 100m的区域，在交越范围段应采取保护措施。

海底电缆敷设过程遭遇海底障碍物，应优先对障碍物进行清理，确无法清理的，宜采取路由调整等措施避让障碍物。

海底电缆与工业管道之间的水平距离，可按现行国家标准《电力工程电缆设计规范》GB/T 50217的规定执行。

平行敷设的海底电缆应避免交叉重叠，电缆间距宜大于该处最大水深的1.2倍，登陆段间距可适当缩小，但应满足敷设施工安全、电缆载流量和保护的要求。

* 1. 海底电缆余缆处置

海底电缆敷设至终端处应考虑预留余缆，余缆处置应符合《海底电力电缆运行规程》DL/T 1278等有关行业标准、规程的规定。

海底电缆余缆保护按照常规海缆要求执行。

海底电缆工程竣工后应保留运维备缆，备缆长度应符合《海底电力电缆运行规程》DL/T 1278等有关行业标准、规程的规定。

1. 海底电缆保护
   1. 一般要求

海底电缆应根据工程具体情况采取合适的保护措施和运行管理防护措施，降低电缆受到损害的风险。

海底电缆保护措施主要有掩埋保护、加盖保护、套管保护等方式。

运行管理防护措施主要包括设置保护区、路由标示、警示牌，路由监控，加大保护宣传等。

海底电缆应根据不同路由区段的风险类型和风险等级采取相应的保护措施。

海底电缆保护应选择合理的施工方法，避免施工过程对电缆造成损害。

对于经论证存在冲刷和海床演变的海底电缆近岸段，海底电缆保护深度宜大于变化影响深度下1.0m，并宜在埋深保护方式的海底电缆上增加盖板、套管等附加保护措施。

对于泥、沙及泥沙混合软土海底底质的海底电缆深水段，海底电缆保护深度宜大于2m，对于经论证存在冲刷和海床演变的海底电缆深水段，海底电缆埋置深度宜大于变化影响深度下2.0m。

* 1. 冲埋保护

在满足海床条件和作业水深要求下，应进行海底电缆全线冲埋保护。新建海底电缆工程应采用边敷边埋或先敷后埋的冲埋保护形式。

海底电缆冲埋施工时，应选择满足设计要求的冲埋机具，并合理控制水下冲埋速度，保证冲埋效果。

边敷边埋方式，在铺设电缆的同时，通过冲埋设备沿电缆路由进行水力喷射，利用水力掏蚀海床形成沟槽，使电缆掩埋在海床下的保护。采用先敷后埋方式，在铺设电缆后，应及时完成冲埋保护。

海底电缆冲埋深度需要根据锚害级别及海底土壤强度来确定。应按照保护强度要求，根据海底土壤强度情况进行设计目标埋深，按目标埋深进行冲埋保护，无法达到目标埋深的应进行合理尝试二次或多次冲埋保护。

通过计算确定不同粘性土土壤抗剪强度和冲埋保护设防水平下的最小冲埋目标埋深如表1。

表1 目标冲埋深度(防护水平=1吨，安全指数=1.5)

|  |  |
| --- | --- |
| 土壤不排水抗剪强度Su[kPa] | 冲埋深度(m) |
|
| 30 | 1.70 |
| 40 | 1.30 |
| 50 | 1.08 |
| 80 | 0.65 |
| 100 | 0.57 |
| 150 | 0.42 |

针对海缆路由经过粉质细沙、淤泥等可移动沉积物的区段，冲埋深度应经过充分论证，适当提高冲埋深度。

* 1. 抛石保护

对于冲埋保护不达标或无法冲埋的海底电缆应优先考虑采用抛石保护方式进行覆盖保护。电缆铺设和冲埋保护后，应尽快完成抛石保护以抵御船锚、底拖网等外力破坏的危害。

抛石保护前，应充分结合海床地质、水文监测情况，开展抛石坝施工冲击危害性分析、抛石坝抗洋流稳定性分析及抛石坝抗锚害分析，确定抛石坝保护方案。

抛石保护经过粉质细沙、淤泥等可移动沉积物的区段，应充分论证保护方式的稳定性，必要时采用清淤、铺设垫层等措施，提高抛石坝稳定性。

抛石保护应利用优先考虑采用落石管（导管）方式作业为主，落石管距离海底电缆高度保持合适距离，悬空段抛石误差精度不得超过1米，施工作业过程中应采用三维实时声纳或二维全向声纳进行实时监测监督，同时在检测船上应设置流速监测仪实时记录海底流速变化，抛石过程中的所有数据必须统一使用同一坐标原点。

抛石前检测。抛石施工前，在招标方提供的坐标数据基础上，对要求抛石区段的坐标海底电缆进行实测定位，找准海底电缆坐标，并确认海底电缆现状为裸露或悬空，并对该区段海底电缆路由的海床情况进行多波束检测和数据记录，形成多波束平面图。

内层保护抛石要求。按照抛石坝设计要求进行内层保护抛石，对于悬空海底电缆区段，可采用内层小石块先消除海底电缆的悬空，然后按照设计断面进行抛石处理。抛石施工应确保石料触底前最终入射速度可控，以防止对电缆造成影响或损坏，不得由海面直接抛下。抛石施工应尽量连续，当存在施工间断时，抛石接头部位须复抛2m确保接头处截面无削弱。

内层保护抛石后检测。在内层保护抛石完成后，利用ROV或多波束等设备开展检测，并将内层保护抛石后检测数据与抛石前检测数据对比进行验收，检测截面曲线间距要求不超过5米。内层保护抛石后检测验收完成后，才可以进行外层保护抛石。

外层保护抛石。内层保护抛石后检测验收完成后，可按照抛石坝设计要求进行外层保护抛石。抛石施工应确保石料触底前最终入射速度可控，以防止对电缆造成影响或损坏，不得由海面直接抛下。抛石施工应尽量连续，当存在施工间断时，抛石接头部位须复抛2m确保接头处截面无削弱。

外层保护抛石后检测。在外层保护抛石完成后，利用ROV和多波束等设备开展检测，并将外层保护抛石后检测数据与内层保护抛石后检测数据和抛石前检测数据对比进行验收，检测截面曲线间距要求不超过5米。抛石坝完成后要求纵断面连续、无大的起伏或波动，横截面稳定，坝体内无空腔，块石稳定无自然滚落。

整个抛石施工作业过程，应在保证海底电缆本体安全且不停电的前提下进行。对于抛石坝的设计要求，抛石施工不允许出现负误差和过大的正偏差。

对于抛石区域水深较浅的或悬空较大的区段，需根据现场情况制定针对性的抛石方案，但必须满足抛石前定位检测、内层抛石检测、外层抛石检测的每个环节符合设计要求。

针对抛石后产生的新增抛石坝端部，如果新增抛石坝端部之间、或新旧抛石坝端部之间相距小于或等于20米时，须以连续抛石的方式，消除抛石坝端部缝隙。

抛石施工前应根据工程实际，对石料尺寸、石坝稳定性进行计算评估（参考附录B），综合选择最佳的内层、外层石料级配比。

抛石过程中，禁止超规格的石料直接砸到海底电缆本体。应先抛内保护层，内层保护层层高和底宽达到预设目标，且经内层保护中间验收合格后，方可转序抛外保护层。

抛石施工流程如下：

1. 抛石施工按照：内保护层施工--检测验收--外保护层抛石施工--检测验收的顺序进行。其中内保护层抛石施工前，应保证海底电缆下无悬空段，否则应处理后方可施工。
2. 抛石保护施工中每一施工流程均验收合格并确认后方可进入下一步施工流程，抛石施工前后及抛石施工中的检测验收间距为1m；
3. 抛石施工时须确保该施工阶段海底电缆安全；
4. 抛石施工针对不同水深采取不同的石料导引措施，确保石料触底前最终入射速度可控，以防止对电缆造成影响或损坏；
5. 抛石施工应尽量连续，当存在施工间断时，抛石接头部位须复抛2m确保接头处截面无削弱；
6. 抛石坝完成后要求纵断面连续、无大的起伏或波动，横截面稳定，坝体内无空腔，块石稳定无自然滚落。

抛石的石料还应满足以下要求：

1. 用于抛石的石料密度应满足设计要求；
2. 用于抛石的石料应通过检验，确保不会对海洋环境造成污染；
3. 宜采用两层抛石方案，内层及外层石料粒径应符合级配设计要求；
4. 粘土团及其它杂质含量的质量百分率不大于2%。

石料检验规则

1. 石料应进行粒径级配及密度检验；
2. 石料应进力学试验，获取石料弹性模量、单轴极限抗压强度和抗剪强度(直剪)；
3. 当石料质量可能不满足本文件要求的规定时，应重新进行化学成分、密度检验和力学试验；
4. 石料样品从出料口提取，有间隔的取3个子样，每个子样重2吨；
5. 石料生产单位应按照上述要求，每生产石料20000m³进行一次石料粒径级配检验，最后一批石料不足20000m³也需要进行一次石料粒径级配检验。
   1. 回填保护

对于浅水区、潮间带、登陆段海底电缆，可采用预挖沟方式，在海底电缆铺设至沟内后进行回填保护。

浅水区及潮间带预挖沟回填保护

* + - 1. 浅水区及潮间带预挖沟可采用浮台挖机设备作业，同时浮台设备宜安装2套定位导航系统，其中一套安装在浮台上的挖机位置，并保证挖机位置在浮台一侧的正中间；另一套安装在浮台另一侧的正中间,具体要求可参见附录C 图C.1。
      2. 浮台开挖作业需采用专业导航软件，并设定预设路径作为预挖沟航线；作业过程中启动专业导航软件记录作业轨迹，确保开挖轨迹始终符合海底电缆路径要求。
      3. 间断作业后第二天继续作业时，浮台挖机需先开到第一天挖沟的终点位置回退3米左右，确保覆盖前一天结束位置3 米左右的长度。
      4. 挖沟过程中应随工检查挖沟位置、土方量、土质、沟深，其中沟深采用挖机斗臂机械测量。
      5. 完工测量需检查沟连续性、沟深、沟宽，沟连续性可采用声呐测量。
      6. 预挖沟段海底电缆敷设前，需检查是否被泥沙回填，必要时对沟体进行二次清理。
      7. 预挖沟完毕，可采用水泥沙袋方式进行覆盖（见附录C 图C.2所示），并用原状土回填保护，并检测回填保护深度满足设计要求。
  1. 套管保护

套管选择应考虑提高电缆抗破坏能力，减小电缆磨损。

采用套管保护方式时，应对套管端部进行特殊处理，降低电缆磨损。

采用套管保护方式时，应校核电缆载流量、热稳定电流和套管的机械强度。

套管保护可单独使用，也可与其他保护方式共同使用。

* 1. 连锁排保护

连锁排结构要求

1. 混凝土连锁块通常尺寸约为 4 米× 3 米，由64块联锁混凝土块组成，具体可根据工程情况进行定制；
2. 连锁排单元间纵向加筋采用三根钢丝绳贯穿整个单元，两端打成扣环，以便纵向与相邻单元扣接；
3. 连锁排横向两端有钢筋伸出混凝土条板之外，以备与横向相邻单元接用。混凝土连锁排在条板之间有间隙，并且用钢丝绳连接起来，各个方向均有一定挠性；
4. 连锁排具有整体性好、适应海床变形能力强、抗淘刷能力强、取材容易、施工简单等特点，特别适合于水流复杂、长期处于迎流顶冲的环境下；
5. 连锁排能保护电缆免受机械损伤，稳定电缆，防止海流引起的电缆疲劳效应；
6. 连锁排保护需以受保护位置为中心，沿海底电缆敷设方向布置180m的混凝土连锁排（见附录C图C.3所示）。

为加强混凝土连锁排保护效果，可考虑合理增加混凝土连锁排厚度或多层叠覆安装的方案，提升混凝土连锁排抗锚能力（见附录C图C.4所示）。

* 1. 交叉保护

当海底电缆与海底其他管线出现交叉跨越且无法避免时，应对交叉跨越部分实施特殊保护方案。

近岸段海底电缆可采取海底钻孔的方式，从其他电缆、管道下方穿过，避免出现直接跨越。

海底电缆从其他电缆、管道上方进行跨越时，应对下方电缆、管道进行保护和平整，保证海底电缆均匀敷设跨越，在跨越部分宜采取抛石、连锁排或高分子复合垫等加盖保护。

在海底电缆完成交叉跨越区域的敷设后，应全部进行复测，检查间距、保护措施等满足设计要求后，方可进行投产。

* 1. 防冲刷设施

海底电缆敷设及保护工程、大修技改保护工程竣工后，应在2年内开展一次埋深及地形地貌检测，对比海底电缆工程竣工数据，分析是否存在路由偏离、埋深变浅、裸露、悬空等安全风险，海床是否存在冲刷加剧迹象。

针对局部裸露海底电缆，若处于海流较小，水流泥沙含量较低，底质较硬区域，宜采取抛石保护方式；若海流较快，沙波密集，底质启动速度低，宜采取仿生水草、水泥连锁排、透水框架、抛石覆盖等保护方式。

针对海底电缆抛石坝，可综合采取取仿生水草、透水框架等方法，防止抛石坝遭遇冲刷破坏。

登陆段岸线存在冲刷风险时，可采用四面六边透水框架防冲刷设施进行防冲刷保护，框架堆放可为单层和双层部分（如附录C图C.5所示）。

单层四面六边透水框架区段，大部分应用于海滩外露段或者海水淹没较浅区段。

双层四面六边透水框架区段，大部分应用于被海水淹没的区域，堆积层数为2层，严禁框架套堆。

* 1. 检测与监测

对投入运行前的海底电缆线路应按附录A的规定进行交接试验。

海底电缆工程投运前，建设单位应掌握投运时海缆的全路由埋深、地形地貌数据。

海底电缆工程竣工验收前，施工单位应组织开展1次全路由多波束及埋深检测，检测结果作为竣工验收的依据。

在海底电缆工程质保到期前，建设单位应组织开展1次全路由多波束及埋深检测，检测结果作为质保验收的依据。

海底电缆宜配置必要的在线监测系统，包括海上船舶自动识别监视、船舶雷达监视、甚高频沟通、温度监测、应力监测、扰动监测，及岸上终端场红外检测、视频监测、故障定位装置等，充油海底电缆应配备油压在线监测系统。新建海底电缆线路的在线监测系统应与海底电缆本体同设计、同施工、同验收。

为了预防漏油失压事故，充油海底电缆线路安装完成后，不论其是否投入运行，其油压示警系统应同时投入运行。如油压示警系统因检修需较长时间退出运行时，同样应加强对供油系统的监视。

1. 附属设备设施安装
   1. 一般要求

管理及施工人员应熟练掌握安全操作规程和安全规章制度，做到持证上岗。

应进行图纸资料会审，并以书面形式向施工人员进行技术交底。

施工人员根据工作需要应正确佩戴安全帽、使用安全带等劳动保护用品。

开展现场吊装作业时，吊车应整车接地，吊装作业应安排专人指挥，吊臂及转动半径内无影响吊装作业的障碍物。

* 1. 终端头

海底电缆终端头应由具备相应资格的人员进行制作，并严格遵守制作工艺规程，所用材料应符合相关标准或技术协议要求，并应符合现行国家标准《电气装置安装工程 电缆线路施工及验收规范》GB 50168 的规定。

应在规定的标准制作环境下制作、安装海底电缆终端头，若现场环境湿度、盐度超出标准，可采取搭建帐篷并安装空调或除湿装置的方式，改善海底电缆终端头环境；严禁在雨、雾天气中制作海底电缆终端。

吊装海底电缆终端头应使用承重能力充足的绳索，并采取措施避免对终端瓷瓶造成损伤。

若海底电缆终端头所在地区盐污严重，应采取有效措施提高终端的防闪络能力。

充油海底电缆终端及供油系统均不应有渗漏；

海底电缆终端头的接地应良好可靠，符合设计要求；

海底电缆终端金属支架应做好充足的防腐措施；

应使用防火泥对海底电缆终端头电缆沟、接地线管道口进行充分的封堵；

海底电缆终端头排水系统应符合设计要求，应满足在暴雨、台风等恶劣天气时的排水要求。

应在海底电缆终端头下方设计人员进出通道，方便人员进出海底电缆终端头进行维护和检修。

* 1. 锚固装置

在地形复杂、洋流磨损严重的水下陡坡区、强海流区，以及海底电缆易受人为破坏的浅海区等区域，应采用锚固装置对海底电缆进行保护，以传递海底电缆轴向拉力，保护缆芯。固定或移动平台中悬挂海底电缆时应用锚固装置承载电缆自重。

锚固装置宜采用紧固摩擦的夹持方式，夹紧海底电缆铠装层。单芯海底电缆锚固装置宜采用非磁性材料。锚固装置应符合防腐要求。

* 1. 供油系统

充油海底电缆的供油系统应固定牢靠；充油电缆的电缆终端、电缆接头及供油系统，均不应有渗漏；充油电缆的油压，不应超过允许压力范围。

海底电缆工程施工期间，供油系统应保持海底电缆的油压。供油系统的选型及技术要求应满足《500kV交流海底电缆线路设计技术规程》DL/T 5490的要求。

* 1. 水下接头

海底电缆接头和终端制作应由具备相应资格的人员进行，并严格遵守制作工艺规程，所用材料应符合相关标准或技术协议要求。海底电缆接头的制作应符合《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》GB 50168的规定。应在规定制作环境下安装海底电缆接头和终端，必要时可设置专用的安装平台。海底电缆接头应采取铅封、灌胶等措施，满足水密性要求。

电缆接头应与海底电缆有相同的机械和电气性能。海底电缆敷设期间，接头位置的张力、入水角度、长度、深度应重点关注，禁止出现过度拉伸及过度弯曲。海底电缆敷设完成后，应避免接头所处位置出现过度弯曲、自由悬跨等情况的出现。

* 1. 警示标识

海底电缆工程施工期间，应申请发布航行通告，并安排警戒船，设置警戒区、路由标示、警示牌，开展路由监控,加大保护宣传。

应每隔一定距离设置浮漂加以标识，并提供路由坐标点，同时需派遣专船专人监督，防止误操作锚损电缆。对已完成的海底电缆路由轨迹及时报送至各施工单位，并做好与其他作业位置的海底电缆现场标识工作，避免交叉作业造成已完成敷设海底电缆的二次破坏。

各类标识宜于海底电缆敷设前设置完成，并应具备投运条件。

1. （资料性附录）  
   海底电缆敷设相关张力计算方法
   1. 敷设时允许的最大静态张力计算方法

海底电缆一般由导体和铠装承载张力，敷设时允许的最大静态张力由导体、铠装材质弹性模量以及横截面积确定，可采用下列公式计算求得。

（A-1）

（A-2）

（A-3）

式中：TMAX——敷设时允许的最大静态张力（kN）；

TCo——导体允许的最大静态张力（kN）；

TAr——铠装允许的最大静态张力（kN）；

ACo——导体横截面积（mm2）；

AAr——铠装横截面积（mm2）；

ECo——导体材料弹性模量（kN/mm2）；

EAr——铠装材料弹性模量（kN/mm2）。

* 1. 海底电缆敷设时允许的最大张力计算方法，参见Cigre TB 623

1）对于水深不大于500m的海域：

（A-4）

式中：TE——海底电缆敷设时允许的最大张力，kN；

w——电缆在水中的单重，kN/m；

d——最大敷设水深，m；

H——底部最大允许张力，kN。H不小于40w。

2）对于水深大于500m的海域：

（A-5）

式中：D——动态张力，kN。

动态张力计算公式如下：

（A-6）

式中：DI——惯性力，kN。

DD——阻力，kN。

DI、DD的计算公式分别如下：

（A-7）

式中：bh——1.5倍最大浪高（Hmax），或取3倍有效波高（Hs），m；

Mc——电缆含水单重，kg/m；

ω——敷设滑轮角频率，1/s；

L0——海底电缆悬链线长度，，m。

（A-8）

式中：dc——电缆外径，m；

R——电缆触地弯曲半径，R=H/w，m。

* 1. 海底电缆敷设时所受张力计算方法，参见Cigre TB 623。

海底电缆敷设时所受张力的大小，可由牵引力测量仪器检测，或由入水角度指示器所指角度通过下列公式近似计算求得：

（A-9）

式中：T——电缆敷设张力，kN；

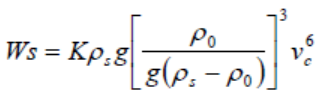
W——电缆在水中的重量，kN/m；

D——水深，m；

α——电缆入水角，，rad。

1. （资料性附录）  
   海底电缆抛石保护石坝稳定性计算方法

从机理上讲，水流作用下抛石块体稳定性，实质上即是块石的起动问题。国内外在相关领域内的研究也较多，其中包括《防波堤的设计与施工规范》公式、长江水利研究院张光明公式、伊兹巴什公式、沙莫夫公式及《航道整治工程技术规范》公式等。对比不同公式的适用条件，伊兹巴什公式的背景条件是平稳截流条件，其试验采用的是近圆形的卵砾石，综合海南联网系统工程经验，本文件选用伊兹巴什公式，进行石坝稳定重量的计算，实际工程应用时，宜根据工程实际进行选择，并开展工程试验验证，公式形式如下：

 （B-1）

式中，Ws 为块石重量（kg）；

K 为系数，一般取0.0155；

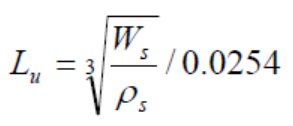
ρs 为块石密度（kg/m3）；

ρ0为水密度（kg/m3）；

g 为重力加速度（m/s2）；

vc 为水流流速（m/s）。

为了更利于工程单位根据施工、石料等条件选取块石尺寸，对式（1）进行变换，可得块石稳定尺寸公式如下：

 （B-2）

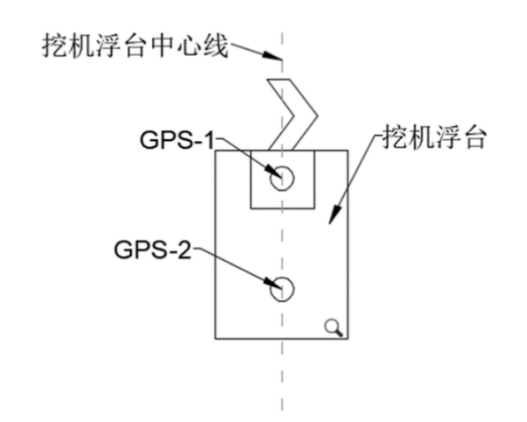
式中，Lu 为块石稳定尺寸（m）；

Ws 为块石重量（kg）；

ρs 为块石密度（kg/m3）。

在进行抛石石坝的设计时，一般步骤为：1）根据工程的水流条件，按公式计算出抛石块体的稳定尺寸；2）选取一定安全数，通常安全系数的取值在1.2-1.5 之间，将块石尺寸乘以一定的安全系数，并据此确定最终的块石尺寸。

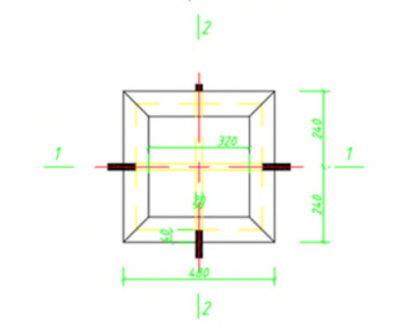
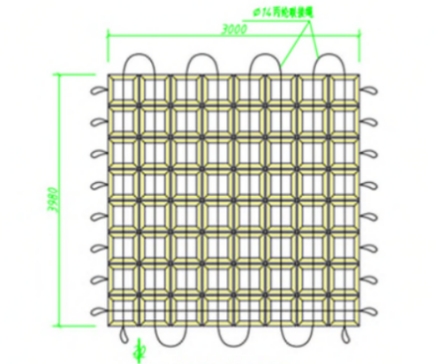
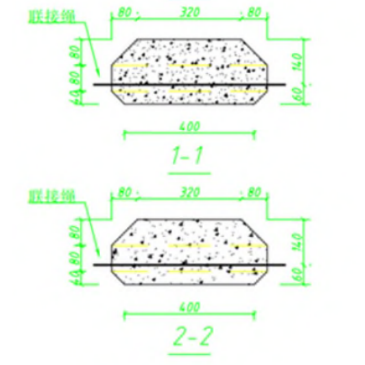
1. （资料性附录）  
   海底电缆保护典型示意图

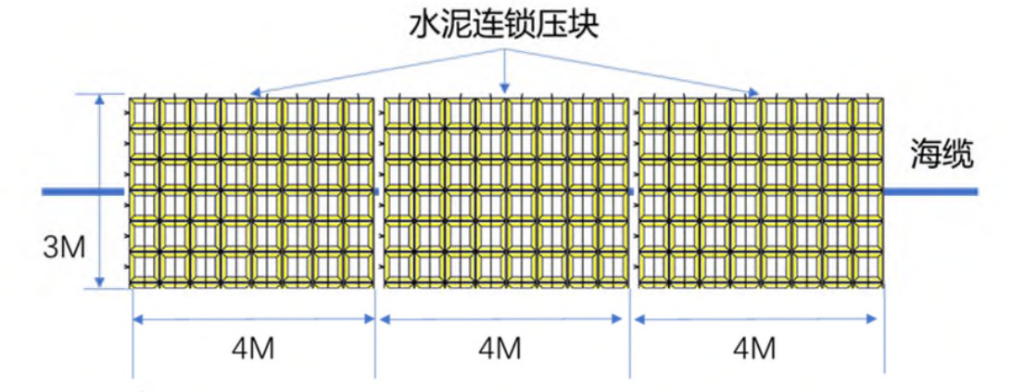


图C.1 挖机浮台GPS安装位置示意图



图C.2 近岸段及潮间带预挖沟回填保护典型设计剖面图



图C.3 混凝土连锁布置排示意图

**

图C.4 多层叠覆安装连锁排施工现场图



图C.5单层（左图）、双层四面六边透水框架排列典型方式

1. （资料性附录）  
   船舶载缆量与电缆电压等级对照表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1. **船只载缆量** | 1. **电缆电压等级** | 1. **缆盘规格与技术要点** | 1. **适用场景** |
| 1. 2500–6000吨级 | 1. 10kV–35kV | 1. 直径10–15米：单盘载缆量≤6000吨；钢骨架结构，适配电缆最小弯曲半径（≥12倍电缆直径） | 1. 近海采油平台、岛屿供电 |
| 1. 10000–12000吨级 | 1. 110kV–220kV | 1. 直径18–22米：载缆量1万吨，可敷设80km 220kV电缆 2. 变频电机驱动，过驳速度≤600m/h | 1. 中远距离海上风电场并网 |
| 1. 15000–20000吨级 | 1. 220kV及以上（超高压） | 1. 直径≥27米：载缆量1.5万–1.6万吨双出缆通道，支持双缆同敷 | 1. 深远海风电场、跨境输电 |