海底电缆管道铺设间距管理研究

刘晓丹，周斌，张立奎，张晓举，张锟，王宇

（自然资源部北海调查中心　青岛　266000）

摘要：随着海洋经济的迅速发展，海底电缆管道作为重要的海洋基础设施，其建设规模不断扩大。合理的海底电缆管道间距对保障设施安全运行、优化海域空间利用至关重要。文章通过对海底电缆管道用海现状及问题的分析，阐述了电缆管道间距设计的核心原则，梳理了相关规范对间距的要求，并探讨了施工船舶设备、维护设备以及电流等因素对间距的影响，提出了海底同沟铺设的相关要求及保障措施，旨在为海底电缆管道间距管理提供科学依据和参考标准，促进海域资源的节约集约利用。

关键词：海底电缆管道；间距；电流

中图分类号：P756；U175.5　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1005-9857（2025）12-0077-08

Research on the Spacing Management of Submarine Cables and Pipelines

LIU Xiaodan，ZHOU Bin，ZHANG Likui，ZHANG Xiaoju，ZHANG Kun，WANG Yu

（North China Sea Survey Center，MNR，Qingdao 266000，China）

Abstract：Establishing unified monitoring standards，effective metrological assurance for instruments，and accreditation and certification of institutional monitoring capabilities，as well as constructing a systematic marine quality infrastructure，constitute internationally accepted practices for ensuring the quality of marine monitoring data.This paper conducts an in-depth analysis of the development of China’s NQI system for marine ecological monitoring from the perspectives of marine monitoring standards，metrological testing of instruments and equipment，and accreditation in the marine sector.It further analyzes the transformation of monitoring objectives and approaches in marine ecological monitoring，as well as the development status of monitoring technologies，and identifies the challenges faced by the marine ecological monitoring NQI system，along with its future research priorities and development directions.

Keywords：Submarine cables and pipelines，Spacing，Electric current

收稿日期：2025-07-29；**修订日期：**2025-12-22

作者简介：刘晓丹，高级工程师，硕士研究生，研究方向为海域海岛空间规划与保护利用

通信作者：王宇，高级工程师，研究方向为海域海岛空间规划与保护利用

0 引言

在海洋资源开发利用不断深化的背景下，各类用海活动日益频繁，海域资源利用强度持续增大。海底电缆管道作为连接陆地与海洋、不同海岛之间以及国际信息与能源传输的关键基础设施，在水电、油气等资源输送，以及海上资源开发、海岛开发等领域发挥着不可或缺的作用[1-2]。然而，其铺设和管理涉及复杂的海域空间利用问题，科学合理地确定电缆管道间距成为实现海域节约集约利用的关键环节。合理的间距设置能够有效避免不同电缆管道之间的相互干扰，保障其安全稳定运行，降低故障发生概率，减少维护成本。同时，优化的间距安排有助于充分利用有限的海底空间，提升海域使用效率，促进海洋开发活动的有序开展。因此，深入研究海底电缆管道用海管理要求具有重要的现实意义。

1 海底电缆管道用海的现状及问题

近年来，我国海底电缆管道建设项目数量呈显著增长趋势。以渤海油田为例，2022—2024 年，中国海洋石油总公司新建海底电缆管道达 76 条，另有已批待建海底电缆管道 5 条，平均每年新建海底电缆管道 25 条。以浙江省为例，“十二五”期间，该省登记的海底电缆管道建设项目为 35 个；“十三五”期间增加至 65 个；“十四五”期间新建项目将超过 100 个，至 2035 年，浙江省海底电缆管道数量将达到近千条。其他沿海地区也呈现出类似的快速增长态势。

在海底管道电缆用海项目执行过程中，与间距相关的问题较为突出。海底电缆管道海域使用权审批主要依托海域使用论证、宗海图等技术文件，依据《海籍调查规范》（HY/T 124—2009）中第 5.4.5.1 条电缆管道用海：以电缆管道外缘线向两侧外扩 10 m 距离为界，以及第 5.4.2.3 条油气开采用海第（5）款输油管道用海，以管道外缘线向两侧外扩 10 m 距离为界，确定用海范围，相邻用海的管线基本保持 20 m 的间距。除了相邻用海范围有《海籍调查规范》作为依据，目前，海底电缆管道间距缺乏其他明确的规范，不同地区、不同项目中的电缆管道间距差异较大，从 20 m、30 m 到 50 m 等间距均有出现。在项目规划阶段，由于既有电缆管道间距的不确定性，新的项目难以确定合适的路由位置，容易导致新老设施之间的冲突。在设施维护阶段，间距的混乱增加了施工难度，施工过程中极易对其他电缆管道造成意外损坏。部分沿海城市周边海域的调查显示，在一些狭窄的海域通道，不同用途的电缆管道相互交织，间距各异，部分地方电缆与管道的间距甚至不足 20 m，远低于行业推荐的安全间距标准，这不仅增加了安全风险，也降低了海域空间的利用效率，不利于实现节约集约用海的目标。已批复的国家及省属国土空间规划、海岸带及海洋空间规划作为海域开发利用的顶层设计，在海底管缆廊道管控上无明确的区域划分，缺乏对海底管缆间距布局的要求和控制标准，未建立管线路由与其他用海类型（如航道、锚地）的空间协调规则，导致“规划留白”与“开发无序”并存。例如，部分近海区域因规划未明确管缆间距，出现油气管道与风电电缆交叉重叠、间距不足 10 m 的情况，既违反安全规范，也造成空间资源浪费。本研究推荐不同场景下的间距参数，可为海岸带规划提供量化依据，推动海底空间从“无序开发”向“精准管控”转型，实现陆海空间资源的统筹利用。

2 文献及规范综述

2.1 海底电缆管道研究综述

海底电缆管道一般距离较长，受地形地貌制约，路由往往较为曲折；登陆海底电缆管道路由受近岸用海活动、各类敏感区的制约，路由较为复杂。李毅等[3]利用 CDGES 软件建立了高压交流电缆对海底管道交流干扰计算模型，通过分析计算得到了海缆与管道在不同电压等级和并行长度下可避免交流腐蚀发生的安全距离。刘恩泽[4]从海底管线检测项目中常用的地球物理探测方法入手，通过对舟山跨海输水管道检测、平潭草屿湾海底电缆检测、莆田兴化湾风电海底电缆检测项目中的数据图像效果的研究，对比分析了多种适用于不同类型海底管线状态的地球物理探测方法。孟婕等[5]梳理了我国海底电缆管道保护管理立法现状和管理现状，分析了造成海底电缆管道运行安全危害的原因，并针对当前我国海底电缆管道管理缺乏路由廊道

规划等专项规划、保护管理手段较单一、对违法行为处罚力度较小、未形成系统完善的监督管理体系等问题，借鉴国内外海底电缆管道保护管理经验，从编制海底电缆管道路由廊道规划、提高对违法行为处罚力度、建立完善海底电缆管道监管制度体系等方面提出建议。胡江[6]以渤海油田一条油气混输海底管道为研究对象，专题研究电磁干扰可能加速海底管道腐蚀的问题。黄潘阳等[7]提出海底电缆管道廊道规划的构想，规划的重点应集中在 3 个方面，即确定规划廊道范围、做好相关利益者协调及考虑海域适应性问题。其研究认为，在特定海域对海底电缆管道路由进行统一规划布置，在技术上是可行的，有助于节约海域空间资源、保障管线安全、提升审批效率。黄钰等[8]从技术和装备两个方面介绍了当今世界深水海底管道铺设领域的发展状况，分析了先进的深水装备对海底管道铺设发展的重要影响，指出了我国深水铺管装备的发展趋势。娄欣欣[9]根据我国现行法律法规和标准规范，对石油天然气管道保护间距与石油天然气管道安全的关系进行了较为详细的分析，指出石油天然气管道安全的关键控制因素，并给出对应的研究结论。秦璇等[10]为确定澳大利亚天然气输送管道并行敷设间距，通过分析中国规范与澳大利亚 AS 2885. 1《石油天然气管道设计与施工》标准，建立 DNV PHAST 计算管道完全爆炸模型和 AS 2885. 1 公式计算瞬间击穿管道模型，对澳大利亚天然气输送管道并行敷设工况进行模拟，以得出的两组数据的最大值作为澳大利亚天然气输送管道并行敷设间距。此种天然气输送管道并行敷设间距的确定方法可供类似工程借鉴。当前，关于海底电缆管道间距的研究文献较少，且多集中在高压交流电缆对海底管道的安全距离模拟、管缆廊道规划构想以及法规政策制定上。

2.2　电缆管道间距相关规范

海底电缆管道间距要求既借鉴陆地相关管线间距规定，考虑不同设施间的相互影响与安全因素，又结合海底特殊环境及施工维护特点制定标准。但目前规范在覆盖范围和详细程度上仍需完善，以更好地指导实际工程间距设计。表 1 梳理了可供海底管缆铺设参照的不同行业及场景对管缆间距的规定。

表 1　电缆管道间距要求的相关规范

Table 1　Relevant specifications for cable duct spacing requirements

规范名称	发布时间	涉及内容
《油气输送管道建设间距标准》[11] DB33/T 1242—2021	2021 年	与已建油气输送管道并行敷设时，在不受限制地段，间距不应小于 6 m，当受地形、地物或规划限制不能保证 6 m 间距时，应对已建管道采取有效保护措施。同期建设的并行油气输送管道宜共用隧道、跨越管桥及涵洞等设施，管道间距不应小于 0.5 m
《输油管道工程设计规范》[12] GB 50253—2014	2014 年	与已建管道间距：土方地区管道间距不宜小于 6 m，如受制于地形或其他条件限制不能保持 6 m 间距时，应对已建管道采取保护措施。同期建设的油、气管道，受地形限制时局部地段可采用同沟敷设，管道同沟敷设时其最小净间距不应小于 0.5 m。与通信光缆间距：管道与通信光缆同沟敷设时，其最小净距（指两断面垂直投影的净距）不应小于 0.3 m。水下的电缆与管道之间的水平距离不宜小于 50 m，受条件限制时不得小于 15 m
《输气管道工程设计规范》[13] GB 50251—2015	2015 年	对于陆地输气管道，不受地形、地物或规划限制地段的并行管道，最小净距不应小于 6 m；受地形、地物或规划限制地段的并行管道，采取安全措施后净距可小于 6 m，同期建设时可同沟敷设，同沟敷设的并行管道，间距应满足施工及维护需求且最小净距不应小于 0.5 m
《电力工程电缆设计标准》[14] GB 50217—2018	2018 年	海底电缆与电缆间距：主航道内电缆间距不宜小于平均最大水深的 1.2 倍，引至岸边时间距可适当缩小；在非通航的流速未超过 1 m/s 的小河中，同回路单芯电缆间距不得小于 0.5 m，不同回路电缆间距不得小于 5 m；除上述情况外，电缆间距还应按水的流速和电缆埋深等因素确定。海底电缆与管道间距：水下的电缆与工业管道之间的水平距离不宜小于 50 m；受条件限制时，不得小于 15 m
《海底电力电缆输电工程设计规范》[15] GB/T 51190—2016	2016 年	平行敷设的海底电缆应避免交叉重叠，电缆间距不宜小于该处最大水深的 1.2 倍；海底电缆与工业管道之间的水平距离，可按现行国家标准的规定执行，即水下的电缆与工业管道之间的水平距离不宜小于 50 m，受条件限制时，不得小于 15 m

3 海底电缆管道间距管理研究

3.1 设计的核心原则

海底电缆管道间距设计需综合考量多方面因素。

首先，规范要求是重要依据。不同行业规范和标准基于长期实践经验与科学研究，对电缆管道间距作出明确或指导性规定，以保障设施安全运行与海域合理利用。例如，在涉及易燃易爆物质输送的海底管道与电力电缆之间，规范通常要求较大间距，以防止电力故障引发火花导致管道爆炸等严重事故。

其次，施工船舶或设备的作业需求影响间距设计。不同铺设方法和设备对作业空间要求各异，如采用大型敷缆船进行海底电缆铺设时，需要较大作业半径和操作空间，以确保电缆准确、安全地铺设到位，反之，施工船舶可能无法正常作业，增加施工难度与风险，甚至影响施工质量。

最后，维护设备所需的空间不容忽视。海底电缆管道运行中需定期维护检修，使用水下机器人、检测船等维护设备。这些设备作业时需一定空间接近电缆管道进行检测、维修等操作。若间距设计不合理，维护设备将难以顺利开展工作，影响维护效率与质量，威胁电缆管道长期稳定运行。

3.2 施工期间影响因素

海上铺管施工围绕铺管船展开，不同铺管方法下的施工设备对电缆管道间距的要求各异。在 S 形和 J 形铺设法中，与海底电缆等管线交叉时，需遵循相关标准保持安全间距。深水环境下对间距把控更严格，以抵御复杂海况条件对管线的影响。卷管式铺管法中，卷管和铺设环节都要确保与既有管道、电缆保持足够间距，以防止缠绕等问题。拖曳法、底拖法和浮拖法在拖移管道过程中，需保证管道与海底电缆的间距在安全范围内，避免作业损伤电缆。顶管法主要在地下作业，与地下既有电缆、管道间距依不同管道类型、管径等因素，遵循对应规范确定。喷射法在浅水区或陆地软土地基作业时，要依据工程环境和地下管线间距规范，保持与邻近电缆、管道的合适间距。水下焊接法操作时，依据水下作业安全规范及管线间距标准，保持与周边既有管道、电缆的安全间距，防止焊接作业带来的潜在风险。总之，海上铺管施工时，需严格按照各类规范和标准，保持管道与电缆的安全间距，保障施工安全及既有管线正常运行。

3.3 维护期间影响因素

维护期间设备的正常运行依赖合适的间距条件。合理的间距设计可提高维护效率，降低维护成本，保障海底电缆管道长期稳定运行。水下机器人（ROV）适用于各种海域环境，作业时需要一定活动空间接近电缆管道进行检测和维修，一般要求周围有不小于其操作臂伸展范围的空间，间距一般在 10 ～ 20 m。检测船适用于开阔海域，进行大面积检测时，需与其他电缆管道保持一定距离，以避免碰撞，间距一般不小于船身长度的 1.5 ～ 2 倍。潜水员作业主要在浅海海域，潜水员在水下作业时，需要有足够空间进行操作，电缆管道间距应保证潜水员能够安全、便捷地到达维护位置，一般间距在 20 m 以上（表 2）。

表 2 不同施工及维护方法要求的管道电缆空间距离

Table 2 Spatial clearance requirements for pipelines /cables in different construction and maintenance methods

铺设方法	施工阶段管道 / 电缆间距要求	后续维护阶段管道 / 电缆间距要求	综合判定
S 形铺设法	管道间距：≥1.5 ～ 2 倍管道直径（需预留施工船摆动空间） 管道与电缆间距：开阔海域平行≥50 m，受限区域≥15 m	维护船作业空间：需预留≥3 倍管道直径的侧向空间 电缆检修通道：与管道平行间距≥20 m（便于 ROV 操作）	管道间距≥3 倍管道直径 管缆间距≥20 m，开阔海域平行≥50 m
J 形铺设法	管道间距：≥1.5 倍管道直径（受 J 形塔空间限制）。 管道与电缆间距：同 S 形铺设法	垂直维护通道：管道上方需预留≥5 m 净空（便于立管接驳） 电缆与管道交叉时垂直距离≥2 m	管道间距≥1.5 倍管道直径 管缆间距≥20 m，开阔海域平行≥50 m

续表 2

铺设方法	施工阶段管道 / 电缆间距要求	后续维护阶段管道 / 电缆间距要求	综合判定
卷管式铺管法	卷管间隙：≥1.5 ～ 2 倍管道壁厚（防挤压变形） 管道与电缆间距：平行≥30 m	卷筒拆解空间：需预留≥管道外径 2 倍的侧向距离 电缆检测设备通过间距：与管道平行≥20 m	管道间距≥2 倍管道直径 管缆间距≥30 m
拖曳法	管道间距：≥0.5 m（防拖曳碰撞） 管道与电缆间距：浅海平行≥20 m，交叉≥1 m	拖曳设备通行道：管道两侧≥1 m 电缆维护挖沟深度：与管道埋深差≥0.5 m（避免扰动管道）	管道间距≥2 倍管道直径 管缆间距≥20 m，垂直间距≥0.5 m
顶管法	顶管间距：相邻管外壁≥大管外径（通常≥1.5 m） 电缆顶管间距：同沟槽内≥1.5 ～ 2 倍管径，平行沟槽≥3 ～ 4 倍管径	顶管检修井间距：≤50 m（需覆盖管道接头） 电缆与管道交叉处加固层厚度≥0.3 m	管道间距≥1.5 m 且≤50 m 电缆顶管间距：1.5 ～ 4 倍管径
底拖法	管道间距：≥2 倍管道直径（防拖曳摩擦） 管道与电缆间距：深海平行≥50 m	ROV 作业通道：管道两侧≥2 m 电缆防腐层检测距离：与管道平行≥10 m	管道间距：≥2 倍管道直径 管道与电缆间距：深海平行≥50 m
浮拖法	管道间距：≥1.5 倍管道直径（考虑浮筒摆动） 管道与电缆间距：中深海平行≥50 m	浮筒拆卸空间：管道上方≥1.5 倍管径 电缆浮力调节装置与管道间距≥1.5 m	管道间距：≥1.5 倍管道直径 管道与电缆间距≥50 m
喷射法	管道间距：≥2 ～ 3 倍管道直径（防喷射沟槽相互影响） 管道与电缆间距：平行≥15 m	喷射修复设备宽度：需沟槽两侧≥0.5 m 电缆埋深与管道差≤0.3 m（统一维护）	管道间距：≥2 ～ 3 倍管道直径 管道与电缆间距≥15 m
水下焊接法	焊接作业空间：管道两侧≥1.2 m（潜水员 / 机器人操作） 与电缆间距：遵循原有区域标准（≥15 m）	焊缝检测半径：需预留≥0.8 m 检测设备活动空间 电缆与修复段水平距离≥10 m（防焊接热损伤）	管道间距≥1.2 m 管道与电缆间距：平行≥15 m

3.4　因电流影响需要保持与管道或者电缆的空间距离

随着海底电缆管道建设规模的不断扩大，电流影响问题日益凸显。高压交流电缆可通过电磁干扰、电阻耦合等方式对与其并行的海底管道产生交流干扰电压和电流，进而对海底管道的安全运行造成影响。海水具有较低的电阻率，且海底电缆的结构与陆上架空输电线路存在差异，使海洋环境中的交流干扰问题具有独特性。研究表明，当海底电缆与管道并行时，管道沿线的交流电流密度会随着并行间距的增大而迅速减小。例如，在电压等级为 220 kV、并行长度为 10 km 的条件下，当海缆与管道并行间距从 2 m 增大到 50 m 时，管道最大交流电流密度从 1 189.86 A/m^2 降至 170.69 A/m^2。根据相关标准，在海洋环境中，当交流电流密度小于 30 A/m^2 时，交流干扰程度为“弱”。因此，为避免交流腐蚀，在设计海底电缆与管道间距时，需要依据电缆的电压等级、并行长度等因素，借助数值模拟等手段，确定合理的安全距离[8]。一般而言，对于高压交流电缆与海底管道，建议并行间距不小于 100 m，以有效降低交流干扰风险，保障海底管道的安全运行。

3.5　海底同沟铺设的海底管道间距、海底管道与电缆间距、电缆与电缆间距

海底同沟铺设是将多条海底管道或管道与电缆等设施铺设在同一沟槽内的施工方式，具有成本优化、空间集约、施工效率提升及环境影响降低等优势，适用于海洋油气开发、海底电缆工程等场景。在海洋开发区域，尤其是空间有限的近海开发拥挤区域，同沟铺设可在同一走廊内布置多条管线，避免各自占用独立路由。在海底地形复杂区域，可集中规避风险点，简化路由规划。同时，一次性完成多管线铺设，可减少设备海上作业时间，尤其适合窗口期有限的海域。此外，集中布置便于统一监测和维护，检修时可减少对海底环境的重复扰动，降低后期管线相互干扰风险，提高管线稳定性。

同沟铺设管缆需符合行业规范，避免管线间相

互干扰。一般通过合理间距设计，如管道间距≥1.5 m、管道与电缆间距≥0.5 m，并采取精细的科学措施降低管缆间相互影响，预留检修空间。在保障检修安全方面，采用精确施工与定位技术，确保管道铺设位置精度；设置检修通道和标识，方便检修人员定位和工作；运用远程监测与诊断技术，实时监测管道运行状态，提前发现问题；配备专业检修设备和人员，提升检修安全性和效率。在避免电流干扰方面，采用电磁干扰防护结构，减少海底电缆电磁辐射对海底管道的腐蚀影响；合理设计管道阴极保护系统，优化保护电流强度，降低腐蚀风险；选择耐腐蚀管道材料并施加高性能防腐涂层，隔离腐蚀性介质并屏蔽电磁干扰；建立定期检测制度，监测管道和电缆电磁环境，及时调整防护措施。

4 结论与建议

4.1 结论

海底电缆管道作为重要的海底工程，其用海范围较大，在输送油气水、电力、通信和排污等方面发挥着重要的作用。依据陆地和海上管缆规范，综合考虑施工与维护需求等因素，为保障海底电缆管道系统的安全稳定运行，实现海域资源的节约集约利用，提出以下海底电缆管道间距推荐设计标准。

（1）在一般海域，对于输送普通介质的管道，并行管道间距不宜小于管径的 1.5 ～ 3 倍，且最小间距不应小于 20 m；对于输送易燃易爆等危险介质的管道，间距应进一步加大，一般不宜小于 50 m。

（2）平行敷设的海底电缆间距不宜小于该处最大水深的 1.2 倍，在登陆段，间距可适当缩小，但应满足电缆载流量和保护的要求。不同电压等级的电缆之间，也应根据电压差和电磁干扰情况，运用数值模拟等手段，确定合理的安全距离。

（3）当电缆与管道并行时，在无强电流影响情况下，间距不小于 20 m；开阔水域不小于 50 m。若存在强电流影响，需根据具体情况，通过计算确定安全间距，确保管道不受交流干扰影响。明确这些间距标准，可为海底电缆管道的规划、建设和管理提供科学依据，促进海洋开发活动的有序开展。

（4）管缆交越竖向间距不小于 0.5 m。

（5）同沟铺设管缆，管道间距≥1.5 m，管道与电缆间距≥0.5 m，并采取保护措施降低管缆间相互影响，预留检修空间。

4.2 建议

海底管道间距研究已形成“规范为基础、多因素耦合、技术适配”的综合体系，覆盖设计、施工、运维全流程，但在复杂场景适配性上仍有提升空间，具体包括以下 3 个方面的建议。

4.2.1 建立以规范为核心的间距标准体系

围绕不同工程场景形成明确的间距规范，为工程实践提供依据。在常规铺设场景中，针对 S 形、J 形、卷管式等主流铺设法，明确施工阶段与维护阶段的间距要求；在特殊场景中，针对电流干扰问题，通过数值模拟与实证研究，确定高压交流电缆与管道的安全间距；在同沟铺设中，规范明确管道间距≥1.5 m、管缆间距≥0.5 m，同时配套防腐涂层、阴极保护系统等防护措施，形成“间距设计 + 风险防控”的双重标准。

4.2.2 聚焦施工与维护的多因素耦合优化

关注施工设备与维护需求对间距的影响，形成“铺设方法—设备特性—间距要求”的关联研究框架。在施工环节，针对不同铺设设备的作业特性（如敷缆船的作业半径、拖曳设备的移动轨迹），优化间距设计；在维护环节，基于水下机器人、检测船、潜水员等不同维护主体的作业空间需求，细化维护阶段的间距预留标准；研究多因素耦合效应（如施工阶段的铺设精度与维护阶段的检修便利性协同），通过数值模拟与模型试验，优化间距设计参数，避免单一因素主导导致的间距不合理。

4.2.3 复杂场景与动态因素的研究有待深化

尽管现有研究已覆盖主流场景，但在极端环境、多因素动态耦合等方面仍存在不足。一是极端海洋环境下的间距适配性研究不足，如深海（水深＞1 000 m）高压强、低温环境对管道材料形变的影响，以及由此引发的间距冗余量设计，现有规范多基于常规海域数据，缺乏针对性研究；二是多因素动态耦合的优化模型缺失，如海洋流场、海底泥沙运移对管道位置的长期影响，以及与电流干

扰、维护需求的协同优化，现有研究多孤立地分析单一因素，未形成多因素动态调整的间距模型；三是新兴工程场景的研究滞后，如海上风电与油气管道的交叉布局（风电电缆与输油管道并行），其复杂电磁环境与动态载荷下的间距要求，尚未形成统一规范，需进一步开展实证研究与标准制定。

参考文献（References）：

[1] 中华人民共和国国务院．铺设海底电缆管道管理规定[Z]．1989．
The State Council of the People's Republic of China．Regulations on the administration of the laying of submarine cables and pipelines[Z]．1989．

[2] 国家海洋局．铺设海底电缆管道管理规定实施办法[Z]．1992．
State Oceanic Administration．Measures for the implementation of the provisions on the administration of the laying of submarine cables and pipelines[Z]．1992．

[3] 李毅，黄浩军．高压交流电缆对海底管道的交流干扰及二者间安全距离探究[J]．腐蚀与防护，2024，45(1)：86-91．
LI Yi，HUANG Haojun．Calculation and analysis on AC interference law of high voltage AC cable to submarine pipeline and exploration of safe distance[J]．Corrosion and Protection，2024，45(1)：86-91．

[4] 刘恩泽．海洋地球物理探测方法对海底管线检测的适用性研究[D]．厦门：自然资源部第三海洋研究所，2024．
LIU Enze．Study on the applicability of marine geophysical detection methods to submarine pipeline inspection[D]．Xiamen：Third Institute of Oceanography，Ministry of Natural Resources，2024．

[5] 孟婕，赵立喜．我国海底电缆管道保护管理制度体系的完善[J]．自然资源情报，2023，6(6)：7-13．
MENG Jie，ZHAO Lixi．Study on the improvement of protection management system for submarine cables and pipelines in China[J]．Natural Resources Information，2023，6(6)：7-13．

[6] 胡江．某油田海底管道抗电磁干扰腐蚀研究[J]．中国修船，2022，35(2)：59-62．
HU Jiang．Study on anti-electromagnetic interference corrosion of submarine pipelines in a certain oilfield[J]．China Shiprepair，2022，35(2)：59-62．

[7] 黄潘阳，来向华．海底电缆管道廊道规划初步构想[J]．海洋开发与管理，2020，37(3)：8-11．
HUANG Panyang，LAI Xianghua．Preliminary idea of submarine cable and pipeline corridor planning[J]．Ocean Development and Management，2020，37(3)：8-11．

[8] 黄钰，包佳．深水海底管道铺设发展综述[J]．海洋工程装备与技术，2017，4(5)：281-286．
HUANG Yu，BAO Jia．Development in deepwater subsea pipelaying[J]．Ocean Engineering Equipment and Technology，2017，4(5)：281-286．

[9] 娄欣欣．石油天然气管道保护间距与管道安全关系的研究[J]．油气开采，2019，45(6)：34-36．
LOU Xinxin．Study on the relationship between oil and gas pipelines protection distance and oil and gas pipelines safety[J]．Oil and Gas Production，2019，45(6)：34-36．

[10] 秦璇，宋代诗雨．澳大利亚天然气输送并行管道间距的计算和分析[J]．天然气与石油，2019，37(5)：7-12．
QIN Xuan，SONG Daishiyu．Analysis and calculation of separate distance for parallel pipelines in Australia[J]．Natural Gas and Oil，2019，37(5)：7-12．

[11] 油气输送管道建设间距标准：DB33/T 1242—2021[S]．2021．
Standards for Construction Spacing of Oil and Gas Transmission Pipelines：DB33/T 1242—2021[S]．2021．

[12] 中国石油天然气集团公司．输油管道工程设计规范：GB 50253—2014[S]．北京：中国计划出版社，2015．
China National Petroleum Corporation．Code for design of oil transportation pipeline engineering：GB 50253—2014[S]．Beijing：China Planning Press，2015．

[13] 中国石油天然气集团公司．输气管道工程设计规范：GB 50251—2015[S]．北京：中国计划出版社，2015．
China National Petroleum Corporation．Code for design of gas transportation pipeline engineering：GB 50251—2015[S]．Beijing：China Planning Press，2015．

[14] 中国电力企业联合会．电力工程电缆设计标准：GB 50217—2018[S]．北京：中国计划出版社，2018．

China Electricity Council. Standard for design of cables in electric power engineering: GB 50217—2018[S]. Beijing: China Planning Press, 2018.

[15] 中国电力企业联合会. 海底电力电缆输电工程设计规范: GB/T 51190—2016[S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
China Electricity Council. Code for design of submarine power cable transmission engineering: GB/T 51190—2016[S]. Beijing: China Planning Press, 2016.