

中国电力规划设计协会团体标准宣传系列

T/CEPPEA5073—2025 《直流电力电缆线路设计技术规范》

标准起草单位：中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司

中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司

中天科技海缆股份有限公司

标准起草人： 吴锁平、贾振宏、张瑞永、赵新宇、廖 毅、吴高波、汪晶毅、岳 浩、张益赓、
仪 涛、江己彦、吴述关、但京民、余 亮、徐 伟、崔宇杰、雷雨泽、杨 杨、
黄寅茂、崔戎舰、曹 波、廖 星、罗 彦、李 健、汤 鹏、肖志军、张洪亮、
侯虹剑、杨 明、闫志雨、吴 刚、严 彦、王海洋

标准审查专家：杨 林、马 凌、杨建军、郑 明、赵 枫、张 勇、陈建飞、孟宪乔、刘 炯、
施 芳、何洪波、胡吉磊、刘 杰

撰稿人： 张瑞永、赵新宇、吴述关

标准获取通道：协会官网（<https://www.ceppea.net/>）首页“中外电力工程技术标准数据管理平台入口”

中外电力工程技术标准数据管理平台离线客户端（会员单位）

一、编制背景

在“双碳”目标深入推进的背景下，我国新能源产业快速发展，海上风电、跨区域直流输电成为新能源输送的核心方式，直流电力电缆作为高压、大容量、远距离电能输送的关键核心设备，其设计技术水平直接决定了直流输电系统的安全可靠性、经济合理性与运维便捷性。

编制组前期开展“直流电缆制造及工程应用调研”，系统梳理了国内外直流电缆输电工程发展现状：截至 2023 年，全球已投运±400kV 及以上直流电缆工程超 20 项，典型工程包括英国-比利时 NEMOLink±400kVXLPE 海缆工程、挪威-德国 NordLink±500kVXLPE 海缆工程、中国如东海上风电柔直±400kVXLPE 海缆工程等。调研的同时发现，我国直流电缆线路设计领域长期缺乏系统性专属标准，工程实践多参照 GB 50217《电力工程电缆设计标准》（针对交流电缆）或国外规范，在实际工程应用中，这些标准存在直流特性考虑不足、海缆设计无统一依据、载流量计算方法不统一、在线监测要求缺失、安全环保未突出海缆作业特殊性等问题。

为此，编制组依托国内多项±500kV 及以下直流电缆线路设计实践经验，针对直流电缆在绝缘配合、载流量计算、过电压保护、接地设计、海底电缆敷设保护等方面的特殊技术需求开展专项研究，制定本标准，填补我国直流电力电缆线路设计的标准空白。

二、主要内容

标准以规范直流电力电缆线路设计技术要求、提升工程设计质量、保障直流输电系统安全稳定运行为核心目标，为我国新能源大基地电力外送、深远海风电高效开发提供技术支撑。

标准适用于新建、扩建、改建的 $\pm 500\text{kV}$ 及以下电压等级直流电力电缆线路工程设计，涵盖直流陆地电缆与直流海底电缆全场景。

标准正文共设 10 章：范围、规范性引用文件、术语和定义、电缆路径、电缆型式与截面选择、电缆附件与附属设施、电缆过电压保护及接地、电缆敷设及保护方式、电缆在线监测、职业健康安全及环境保护。

规范性附录 A：常用直流电力电缆导体的最高允许温度，明确不同绝缘类型直流电缆正常运行和短路工况下的导体温度限值；

资料性附录 B：直流电缆载流量计算，提供土壤未干燥、土壤局部干燥、避免土壤干燥、日光照射等多种工况下的直流电缆载流量专用计算公式，为工程设计提供量化依据。

三、与现行标准比较的技术优势

直流电力电缆与交流电力电缆在物理机理、电气特性、运行方式上存在本质差异，直接决定了二者设计原则和技术要求的根本不同。编制组基于《直流电缆制造及工程应用调研报告》的实测数据和仿真分析，从绝缘特性、接地方式、感应电压、运行方式四大核心维度解析关键差异，为标准技术条款的制定提供了理论支撑。

目前，我国的电力电缆工程设计标准主要有 GB 50217-2018《电力工程电缆设计标准》、GB/T 51190-2016《海底电力电缆输电工程设计规范》、DL/T 5221-2016《城市电力电缆线路设计技术规定》和 DL/T 5490-2025《海底电力电缆线路设计规程》。其中，于 2026 年 3 月实施的 DL/T 5490-2025 在原标准基础上增补了高压直流海底电缆设计的相关内容，扩大了适用范围；其余标准均未系统覆盖高压直流电缆的设计要求。

本标准聚焦 $\pm 500\text{kV}$ 及以下直流电力电缆线路设计，针对国内现有标准在直流电缆设计领域的不足，结合工程实践形成专属技术体系。标准依据直流电缆的电气特性与工程实践，在多个技术领域实现突破，与 GB 50217《电力工程电缆设计标准》、GB/T

51190-2016《海底电力电缆输电工程设计规范》、DL/T 5221《城市电力电缆线路设计技术规定》进行比对，核心技术优势如下：

序号	对比项	现有标准水平	本标准水平	技术优势
1	绝缘设计	未考虑直流电场反转、空间电荷积聚等特有问题，无直流专用绝缘选型要求	明确选用直流专用交联聚乙烯或非交联绝缘，应通过极性反转、空间电荷测量等专项型式试验验证绝缘性（5.2.2、5.2.3）	填补直流绝缘设计标准空白，解决空间电荷积聚、极性反转击穿等核心痛点，避免绝缘失效风险
2	载流量计算	无直流专用计算方法	给出直流专用公式，区分4种工况，结合环境参数精准计算，明确绝缘层温差控制要求（5.3.7、5.3.8、附录B）	统一直流载流量计算标准，优化导体截面选型，避免因计算偏差导致的绝缘过热失效
3	金属套接地	只有交流常用单端接地/交叉互联要求，无直流接地要求	明确两端直接接地，金属套与铠装层独立接地（7.2.1）；海缆增加分段短接或半导体外护套措施（7.2.2）	解决直流冲击过电压问题，适配陆地、海底全场景
4	感应电压防控	无交直流电缆长距离平行敷设的规定，未考虑感应偏磁影响	明确应验算感应电压及对直流系统偏磁的影响，必要时采取交叉换位等措施（7.1.3、10.1.4）	首次系统规范交直流并行敷设的感应电压防控，避免换流变压器直流偏磁，保障交直流混联系统安全运行
5	金属回线设计	无金属回线专项设计要求，未明确选型、载流量、不平衡电流校验标准	明确金属回线工作接地要求，载流量不低于极性电缆，不平衡电流按额定电流1%校验（5.5.2~5.5.6）	完善金属回线设计体系，为单极、双极灵活运行提供技术依据，优化截面选型，节省投资成本
6	金属套选型与热稳定	无金属套兼作回线的选型原则，热稳定计算未适配直流故障特性	优先选用铜护套或疏绕铜丝满足载流需求（5.4.3、）；短路热稳定按直流故障切除时间校核（5.4.4）	确保金属套兼作回线时的载流能力，避免短路时金属套熔穿，提升故障耐受能力

四、重点条文解读

为便于工程设计人员理解和应用，对本标准核心条文进行解读：

3.1

直流电力电缆 DC power cable

用于直流输电系统中的电力电缆。

注：包括采用直埋、排管、电缆沟、电缆隧道、综合管廊或桥架等方式在环境中敷设的陆地电缆，以及敷设在水域环境与水接触或埋设在水底的海底电缆。

【解读】首次明确直流电力电缆的“陆地+海底”全范畴覆盖，并将海底电缆“与水域环境接触”作为核心特征，为后续海缆防水、防腐、铠装、锚固等专项设计要求提供逻辑起点。工程设计人员在界定电缆类型时，应依据本定义判断选择适用的设计条款——陆地电缆侧重机械防护和散热，海底电缆则需额外满足水密、耐腐蚀、抗锚害等要求。

4.3.9 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，对于大水深海底电缆工程根据施工精度和路由规划要求确定，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。

【解读】该条文基于海缆敷设施工精度和运行安全要求制定。水深越大，海缆敷设过程中的水平偏移量越大，按水深比例确定间距可有效防止电缆交叉、磨损和相互热影响。水深300m以上大水深海缆工程可结合施工精度适当调整间距，但需满足载流量计算和机械保护的双重要求。设计时，水深数据应采用多波束测深系统获取，间距需考虑施工期敷设船的定位精度（通常为水深的5%~10%），登陆段因施工条件相对可控，间距可适当缩小。

5.2.2 高压直流电力电缆应选用适用直流的交联聚乙烯绝缘类型和非交联绝缘类型。直流海底电缆绝缘材料应能满足直流运行工况的要求。

【解读】传统交流交联聚乙烯绝缘在直流电场下易产生空间电荷积聚，无法满足直流长期运行要求。本条文明确要求选用“直流型”交联聚乙烯或非交联绝缘，且绝缘材料需通过型式试验和预鉴定试验验证，包括极性反转试验、空间电荷测量等。设计选型时，应要求电缆厂家提供直流型绝缘材料的型式试验报告，重点关注70℃工况下的空间电荷密度和极性反转试验数据。

5.3.7 直流电力电缆最大允许载流量应结合环境参数和敷设方式计算，并满足绝缘层最大允许绝缘温差的要求。直流电力电缆载流量计算方法详见附录B。

【解读】直流电缆载流量受环境温度、土壤导热系数等因素影响显著。本标准附录B提供了直流专用载流量计算公式，按照土壤未局部干燥、局部干燥、避免干燥、直接

受日光照射 4 种工况分别给出载流量的计算方法。设计时需结合路由区实际环境参数（如地温、水温、土壤导热系数）精准计算，同时需满足绝缘层最大允许绝缘温差，防止温差过大导致空间电荷积聚加剧和绝缘性能劣化。

5.4.3 直流电力电缆金属套兼作回流线使用时，应优先选用导电性能良好的铜护套或铝护套，或采用在金属套下疏绕铜丝等方式满足载流需求。

【解读】本条明确了金属套兼作回流线时的选型原则。直流系统中，金属套除作为屏蔽层外，还可兼作回流线承载单极运行时的回路电流，这是直流电缆区别于交流电缆的重要特性。设计时应优先选用导电性能良好的铜护套或铝护套；当金属套自身导电截面不足时，可采用在金属套下疏绕铜丝的方式提升载流能力。选型时需按单极运行最大电流校核金属套温升，确保不超过外护层短路最高允许温度。

5.5.1 直流电力电缆线路根据系统和运行需要，可采取以下两种运行方式，见图 1 和图 2。（图未显示）

a) 金属回线在一端换流站单点接地，接地点钳制电位，不提供直流电流通路，两极不平衡电流通过金属回线返回。

b) 接地点的作用同运行方式 a)，接地点无直流电流通过，直流电流通过金属回线返回。

【解读】本条明确直流电缆的典型运行方式，与交流系统本质区别在于直流金属回线必须单端接地，核心作用是钳制电位但不提供直流电流通路。双极系统中金属回线在单极运行是按额定电流的 100%进行载流量校核，为金属回线截面优化设计提供量化依据，兼顾安全性和经济性。

5.5.4 金属返回电缆的额定电压和主绝缘水平应根据额定电流、金属返回电缆的电阻计算确定。

【解读】本条明确了金属返回电缆绝缘水平的确定方法。金属返回电缆的电压等级并非与极性电缆相同，而是按回流电流在电缆电阻上产生的压降计算确定。主绝缘水平需满足单极运行时对地电位要求，确保外护层不被击穿。设计时，应通过仿真计算获取单极运行时金属回线沿线对地电位分布，以此确定额定电压和绝缘水平，并预留适当裕度。

5.5.6 直流系统双极运行时，金属返回电缆的不平衡电流可按系统额定电流的 1% 校验。

【解读】本条为金属回线截面优化设计提供了量化依据。双极正常运行工况下，正负两极电流基本平衡，金属回线中仅流过极小不平衡电流（通常为额定电流的 1%以内），可按此校核载流量，实现截面优化。但需注意：故障工况下系统可能转为单极运行，此时金属回线需承载全电流，因此截面优化需与系统保护逻辑配合，确保单极运行时不会超载。设计时，推荐采用与极性电缆相同截面，兼顾经济性和运行可靠性。

7.1.1 直流电力电缆终端应设置避雷器。避雷器的配置方案及参数应与整个直流系统的过电压水平及直流电力电缆系统的绝缘耐受水平相匹配。

【解读】本条是直流电缆过电压保护的核心要求。直流电缆终端设置避雷器，用于限制操作冲击过电压和雷电侵入波过电压。与交流系统不同，直流避雷器需具备直流熄弧能力，且参数选择需与直流系统绝缘配合专项计算。当直流电缆与架空线连接时，需在电缆终端增设避雷器，重点限制雷电侵入波过电压。设计时，避雷器配置方案应通过仿真软件验证，重点关注电缆-架空线混合线路的雷电侵入波过电压，避雷器选型时应要求厂家提供直流参考电压和直流残压试验报告。

7.1.2 直流电力电缆外护套应能耐受金属套上过电压；电缆线路较长时，应采取措施限制金属套上的过电压。

【解读】本条是直流电缆外护套绝缘配合和金属套过电压限制的核心要求。直流电缆在雷电或操作冲击作用下，金属套会产生高幅值暂态感应电压，线路越长过电压幅值越高，可能击穿外护套。当线路长度超过 5km 时，需采取金属套分段接地（间距不宜超过 5km）或加装护层保护器等措施。分段接地点宜设置在电缆接头处，护层保护器的选型需与金属套过电压仿真计算结果匹配。

7.1.3 直流电力电缆与交流电力电缆长距离平行敷设时，应验算交流电力电缆在直流电力电缆上的感应电压以及对直流系统感应偏磁的影响，必要时采取相应措施将感应电压限制在合理范围。

【解读】本条是直流电缆感应电压和偏磁防控的核心要求。直流电缆稳态运行时无工频感应电压问题，但交流电缆中的工频电流会在邻近直流电缆金属套上产生感应电压，若形成通路可能引发换流变压器直流偏磁。设计时，应收集平行敷设段交流电缆的运

行电流、相间距、平行长度等参数，采用电磁暂态软件进行感应电压和偏磁电流仿真计算。当平行长度超过 500m 时，感应偏磁验算为必备环节。若平行敷设无法避免，交流电缆应采用奇数次交叉换位敷设。

7.2.1 直流电力电缆的金属套应在两端直接接地。有铠装层时，金属套和铠装层在电缆线路两端应分别引出接地线，两者相互独立，分别互联后直接接地。

【解读】这是直流电缆接地设计的核心条款。与交流电缆单端接地或交叉互联不同，直流金属套两端直接接地可有效防止直流偏压积累和空间电荷异常积聚，保障人身和设备安全。金属套与铠装层独立接地，可避免故障电流相互干扰，同时便于分别监测两层的绝缘状态，及时发现故障隐患。设计图纸中应明确标注金属套与铠装层的独立接地路径，接地电阻应满足 $\leq 1\ \Omega$ 要求，中间接头处同样应设置直接接地点。

8.2.6 穿越航道或与航运关联的海域，埋置深度不宜小于 3.0m。

【解读】该条款参考国内外海缆工程实践和海事部门管理要求制定。3.0m 的埋深可有效规避船舶锚泊、拖网作业等对海缆的机械破坏风险。对于泥、沙质软土海底，非航道区域埋深不宜小于 2.0m；岩石、硬土等硬底质区域可结合装备能力调整，若埋深不满足要求需采取套管、抛石、混凝土盖板等附加保护措施。设计时，航道段埋深需征得海事管理部门同意，并在施工图中明确标注。

9 电缆在线监测

电缆线路在线监测装置的配置，满足下列要求。

.....

e) 海底电缆综合监测系统宜包括温度监测、振动监测、光纤衰减监测和船舶自动识别系统。可配置埋深监测、扰动监测等。

.....

【解读】将船舶自动识别系统（AIS）纳入海缆监测标准是吸收国际先进经验的重要举措，可实时监测过往船舶动态，提前预警锚泊、拖网等危险作业；结合振动监测可实现海缆破坏事件的快速定位与取证，大幅提升运维响应效率。同时本标准要求光纤复合海底电缆光纤芯数冗余度不应小于 100%，保障监测和通信的可靠性。设计时，AIS

系统应与海事部门数据对接，实现船舶动态实时预警；光纤芯数按通信需求+监测需求之和的 2 倍配置。

10.1.5 水下作业人员应采取措施防止潮流、低温、生物及运行中的海底电缆引起的人身伤害（如电击、割伤或其他与潜水设备相关伤害）。

【解读】本条针对海缆水下施工的特殊性制定，是职业健康安全的重要要求。运行中的海底电缆可能产生电磁感应电压，潮流、低温、海洋生物也会对水下作业人员造成威胁。设计阶段需提前制定专项防护措施，保障施工人员人身安全。施工安全方案中应明确水下作业人员与运行中海缆的安全距离，潜水装备应具备绝缘检测功能，作业区域应设置浮标警戒区。

五、应用情况和应用效果

本标准在编制过程中已同步在国内多个重大直流电缆工程中试点应用、验证优化，国家电网公司、南方电网公司及国内主流电力设计企业均依据本标准开展直流电缆工程设计，实现了设计质量、安全水平和投资经济性的同步提升，取得了显著的社会经济效益，典型应用工程如下：

【示例 1】苏通 GIL 管廊 500kV 直流输电工程（江苏院设计，预计 2028 年底投运）

该工程是世界首次在长距离水下隧道中敷设超高压直流电缆的标杆项目，利用已建成的苏通 GIL 综合管廊（全长 5.6 公里，埋深约-80 米）敷设±500kV 直流电缆，实现长江两岸电网直流互联。（图 1 管廊截面示意图）

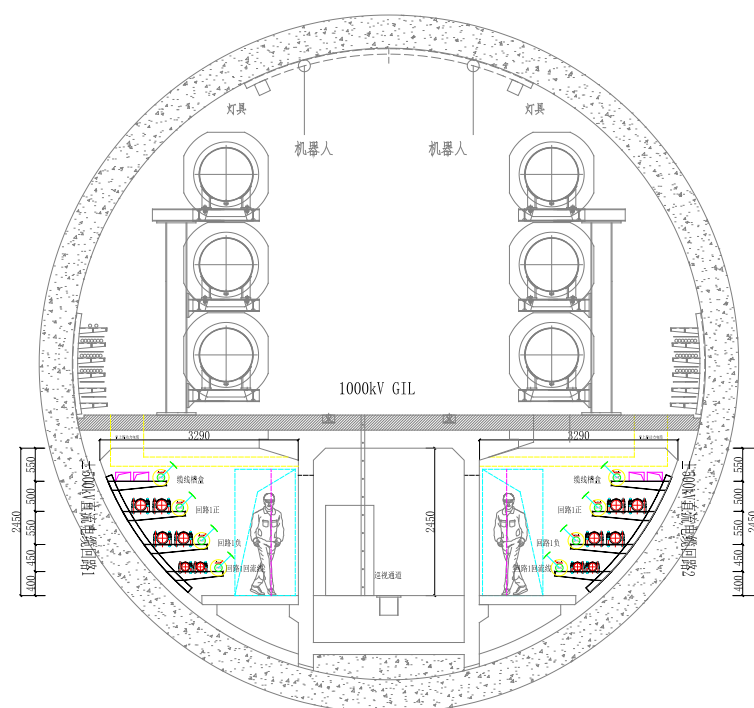


图 1 管廊截面示意图

标准应用：依据本标准优化了隧道内大容量双拼电缆布置、水冷散热方案，采用 6km 大长度无中间接头电缆实现与交流特高压 GIL 的电气隔离，配置分布式光纤测温+局部放电监测+故障定位系统。

经济效益：该工程标准的应用验证了复杂 GIL 管廊隧道场景中超高压直流电缆设计的可行性，为后续城市地下综合管廊、跨江跨海隧道等特殊场景的直流电缆工程提供了可复制、可推广的技术方案。

【示例 2】阳江三山岛海上风电柔直输电工程（广东院设计，预计 2026 年底投运）

该工程是全球首个超大规模海陆一体超高压柔性直流输电工程，规划总装机容量 2GW，直流海底电缆线路全长约 116.5 公里，途经最大水深 52 米海域，建设±500kV 海上换流站 1 座，通过±500kV 直流海缆将清洁电能送至粤港澳大湾区负荷中心。（图 2 首段电缆工地现场）

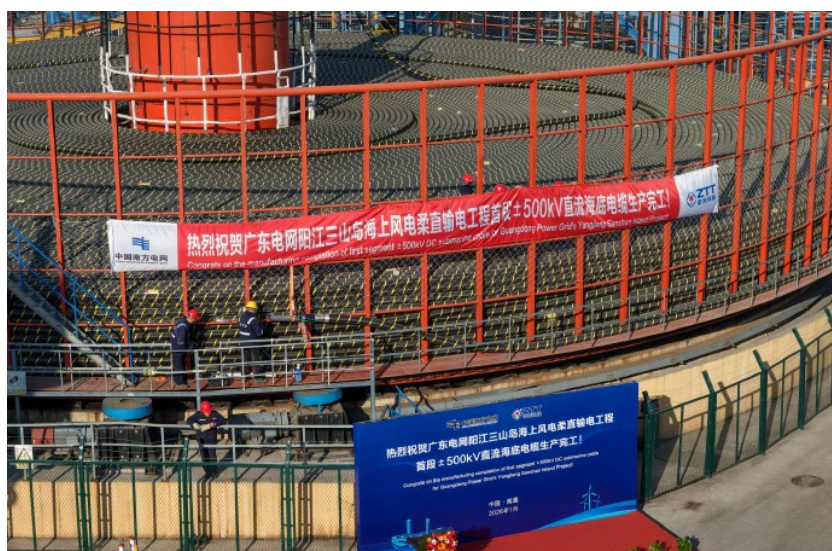


图 2 首段电缆工地现场

标准应用：工程全面采用本标准关于电缆选型、绝缘设计、接地设计、路由保护、在线监测的技术要求，如选用直流型 XLPE 绝缘、阻水铜导体海缆，金属套两端直接接地且海缆段分段短接，穿越航道海缆埋深 $\geq 3.0\text{m}$ ，部署光纤测温+振动监测+AIS 系统，光纤冗余度 100%。

社会效益：项目建成后每年可输送清洁电能约 60 亿度，满足 240 万户家庭用电需求，节约标煤 174 万吨、减少二氧化碳排放约 463 万吨；通过统一规划海陆缆路由，有效节约了沿海土地和陆上输电走廊资源，践行了“环境友好、经济合理”的设计原则。

六、标准实施意义

T/CEPPEA 5073—2025《直流电力电缆线路设计技术规范》的发布与实施，首次构建了我国 $\pm 500\text{kV}$ 及以下直流电力电缆线路全流程、系统化的设计技术体系，填补了我国直流电缆设计领域的专属标准空白。

标准紧扣我国新能源产业发展需求，针对直流电缆的特有电气特性和工程实践难点，制定了专项技术要求。它不仅为直流电缆工程设计提供了统一、规范的技术依据，提升了工程设计质量和安全可靠性的，也推动了我国直流电缆技术的自主化发展，为深远海风电开发、跨区域直流输电、新能源大基地电力外送提供了坚实的技术支撑，对我国新型电力系统建设和“双碳”目标实现具有重要的推动作用。同时，该标准也为现行相关行业标准的修订提供了最新的技术参考。