T/CECS XXX- 202X

中国工程建设标准化协会标准

海上光伏发电工程接地设计标准

Standards for grounding design of offshore photovoltaic power generation project

（征求意见稿）

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

海上光伏发电工程接地设计标准

Standards for grounding design of offshore photovoltaic power generation project

T/CECS XXX- 202X

主编单位：中国电建集团山东电力建设第一工程有限公司

北京中标绿建工程设计研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 X 月 X 日

中国计划出版社

202X 北　　京

前　　言

《海上光伏发电工程接地设计标准》（以下简称“标准”）根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2023〕50 号）的要求进行编制。编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外的先进经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为 6 章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、接地体、二次设备接地、接地系统设计等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会绿色建筑与生态城区分会归口管理，由中国电建集团山东电力建设第一工程有限公司、北京中标绿建工程设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。实施过程中如有意见或建议，请反馈至戴月涛（地址：山东省济南市高新区经十东路 7000 号汉峪金谷 A2-6 号楼，邮编：250102，电话：15098899228，邮箱：dyt94304@sepco1.com）。

主 编 单 位： 中国电建集团山东电力建设第一工程有限公司
北京中标绿建工程设计研究院有限公司

参 编 单 位：

主要起草人：

主要审查人：

目　　次

1　总　　则 …… **1**
2　术　　语 …… **2**
3　基本规定 …… **4**
4　接地体 …… **5**
4.1　材质 …… 5
4.2　防腐蚀措施 …… 5
4.3　截面 …… 6
4.4　连接方式 …… 8
5　二次设备接地 …… **10**
5.1　抗干扰接地 …… 10
5.2　计算机系统的接地 …… 11
6　接地系统设计 …… **12**
6.1　一般规定 …… 12
6.2　海上升压站平台 …… 13
6.3　海上光伏场 …… 15
6.4　500kV 及以下交流海底电缆 …… 16
用词说明 …… **17**
引用标准名录 …… **18**
附：条文说明 …… **18**

Contents

1 General provisions ····· 1

2 Terms ····· 2

3 Basic requirements ····· 4

4 Grounding body ····· 5

4.1 Materials ····· 5

4.2 Corrosion protection measures ····· 5

4.3 Cross-sections ····· 6

4.4 Connections ····· 8

5 Secondary equipment grounding ····· 10

5.1 Anti-interference grounding ····· 10

5.2 Grounding of computer systems ····· 11

6 Grounding system design ····· 12

6.1 General ····· 12

6.2 Offshore booster station platform ····· 13

6.3 Offshore PV Farms ····· 15

6.4 AC submarine cable of 500kV and below ····· 16

Explanation of wording ····· 17

List of quoted standards ····· 18

Addition: Explanation of provisions ····· 19

1 总　　则

1.0.1 为规范海上光伏工程的接地设计技术要求，控制接地设计质量，做到技术先进、安全可靠、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于海上光伏工程接地系统的设计。

1.0.3 海上光伏工程的接地设计应综合考虑使用环境、运行工况、维护条件等因素，合理选择设计参数、优化设计，并通过技术、经济论证选定合适接地材料。

1.0.4 海上光伏工程的接地设计，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术　　语

2.0.1　接地装置　　earth connection

接地体（线）和接地极的总和。

2.0.2　接地体（线）　　earthing conductor

在系统、装置或设备的给定点与接地极或接地网之间提供导电通路或部分导电通路的导体（线）。

2.0.3　接地极　　earthing electrode

埋入土壤中或特定的导电介质（混凝土、焦炭等）中与大地有电接触的可导电部分。

2.0.4　腐蚀　　corrosion

金属与环境介质间的物理-化学相互作用，其结果使金属的性能发生变化，并可导致金属、环境或由它们组成的作为部分技术体系的功能收到损伤。

2.0.5　腐蚀速率　　corrosion rate

单位时间内金属遭受腐蚀的质量损耗量，单位是 mm/a 或 $g/(m^2 \cdot h)$。

2.0.6　腐蚀裕量　corrosion allowance

设计金属构件时，考虑使用期间产生的腐蚀损耗而增加的相应裕量。

2.0.7　防腐层　　corrosion-resistant coating

涂覆在金属构筑物及其附件表面上，使其与腐蚀环境实现物理隔离的防腐材料层。

2.0.8　涂料保护　　coating protection

在物体表面能形成具有保护、装饰或特殊功能的固态涂膜的方法，含绝缘、防腐、标志等。

2.0.9　电偶腐蚀　　galvanic corrosion

又称接触腐蚀，指两种不同的金属相互接触而同时处于电解质中所产生的电化学腐蚀。由于它们构成自发电池，故受腐蚀的是较活泼的及作为阳极的金属。

2.0.10　相对导电率　　relative conductivity

参比于标准退火纯铜的金属或合金导电率，定义标准退火纯铜的导电率为 5.80×10^7（Ω·m）$^{-1}$，即 100%IACS（国际退火铜标准）。

2.0.11 浪溅区 splash zone

浪溅区是由波浪和飞溅作用溅湿的区域，尤其在海水的作用下会产生非常高的腐蚀应力。

2.0.12 海上升压站平台 sea rising voltage substation platform

针对海上光伏工程内，用于布置电气系统、安全系统和辅助系统等设备，汇集光伏场电能经升压后送出的海上设施。

2.0.13 光伏方阵 PV array

将若干个光伏组件在机械和电气上按照一定方式组装在一起并有固定的支撑结构而构成的直流发电单元，又称光伏阵列。

2.0.14 锚固装置 armor device

用于固定光伏方针、海底电缆等的装置。

2.0.15 登陆点 landing spot

海底电缆与陆地的交界点，一般在年均高潮位的向陆侧。

2.0.16 登陆段 landing section

从登陆点向海侧，水深小于 5m 的海底电缆路由走廊带。

2.0.17 陆上段 onshore section

从登陆点向陆上侧的海底电缆路由走廊带。

3　基本规定

3.0.1　海上光伏工程的接地应根据其重要性、环境腐蚀条件、设计使用年限、施工条件、检修维护条件和经济性等因素，进行接地系统设计。

3.0.2　海水的电阻率范围值为 1~5Ω·m，设计前宜取得工程厂址的腐蚀性等级、pH 值、含盐量、污染物和生物有机物等海水腐蚀的环境因子资料，并结合工程厂址的腐蚀数据，选择合适的防腐蚀措施。

3.0.3　接地装置的设计使用年限，应与海上光伏工程的设计使用年限一致，在设计使用年限内做到免维护。

3.0.4　接地体（线）和接地极的材质和相应的截面，应计及设计使用年限内海水对其的腐蚀、材质自身腐蚀速率，通过热稳定校验确定。

3.0.5　应根据当前和远景的最大运行方式下一次系统电气接线、母线连接的送电线路状况、故障时系统的电抗与电阻比值等，确定设计水平年的最大接地故障不对称电流有效值。

3.0.6　应根据有关建（构）筑物的布置、结构、钢筋配置等情况，确定可利用作为接地网的自然接地极。

3.0.7　当与岸上接地网连接时，有条件的情况下，在连接处宜设置接地测量井。

3.0.8　接地线不应作其他用途。

4　接地体

4.1　材质

4.1.1　海上光伏工程的接地网通过技术及经济性比较可采用热镀锌钢、锌包钢、铜覆钢材、铜材等材料作为接地体。

4.1.2　腐蚀性为微时，可采用热镀锌钢。腐蚀性为弱时，可采用热镀锌钢、锌包钢、铜覆钢材。腐蚀性为中时，宜采用热镀锌钢、锌包钢、铜覆钢等。腐蚀性为强时，可采用锌包钢、铜覆钢材、铜材或复合材料等。

4.1.3　当采用钢材时，海洋性大气环境对钢材的腐蚀性等级可按表 4.1.3 确定。

表 4.1.3　海洋性大气环境对钢材的腐蚀性等级

年平均相对湿度（%）	距涨潮海岸线（km）	腐蚀性等级
＞75	0～5	强
	＞5	中
60～75	0～3	强
	＞3～5	中
	＞5	弱

4.1.4　由于裸铝导体易腐蚀，因此海上光伏工程不得采用裸铝导体。

4.1.5　接地用热镀锌钢，基材宜选用 Q235 钢。

4.2　防腐蚀措施

4.2.1　接地设计除了可采用本体防腐性能更优的金属材质、增加腐蚀裕量，也可采用涂料保护、金属涂层保护、阴极保护等防腐蚀措施。

1　暴露在大气区的接地体宜采取涂料保护或金属涂层保护。

2　浪溅区以及潮汐区为金属腐蚀高危区，接地体应着重增加腐蚀裕量；并且，宜采取涂料保护、金属涂层保护或采取经过实践证明防腐蚀效果优异的防腐层。

3　全浸入海水区的接地体应增加腐蚀裕量；并且，宜采取涂料保护、金属涂层保护或包覆类材料等措施，经济允许时可采用本体防腐性能更优的金属材质。

4.2.2　当采用金属涂层保护时，涂层厚度应满足设计文件提出的最小局部厚度要

求。

1 铜覆钢材的铜层厚度分为 4 档：0.25mm、0.6mm、0.80mm 和 1.0mm，当超过 1.0mm 时宜与纯铜进行技术经济综合比较后再选取。

2 热镀锌层不应小于 0.07mm。

3 锌包钢锌层最小厚度不小于 1.0mm。

4.2.3 根据使用环境不同，可以合理选用热缩套管、PVC 管、止水引出端子等物理防护手段。

4.2.4 当接地网有两种不同的金属互相连接时，需要采取相应的防腐蚀措施，避免或减轻电偶腐蚀。铜（铜覆钢）材与钢材连接时，可在铜（铜覆钢）与钢材连接部位大于 2m 范围的铜接地导体涂装绝缘材料。

4.2.5 热镀锌钢材焊接时，在焊痕外最小 100mm 范围内应采取可靠的防腐处理。在做防腐处理前，表面应除锈并去掉焊接处残留的焊药。

4.3 截面

4.3.1 接地体截面尺寸除了要综合考虑接地故障电流热稳定的要求、均压和机械强度的要求外，还要考虑在设计使用年限内导体的腐蚀总量。因此，接地体截面尺寸等于最小截面积或厚度、腐蚀裕量及腐蚀裕度的总和。

4.3.2 忽略腐蚀的影响对接地体进行热稳定校验时，接地引下线的最小截面按下式计算：

$$S_g = \frac{I_G}{C}\sqrt{t_e} \qquad (4.3.2)$$

式中：S_g——接地引下线的最小截面，mm^2；

I_G——流过接地引下线的短路电流稳定值，根据系统 5~10 年发展规划，按系统最大运行方式确定，有条件地区可按照断路器开断电流考核，A；

t_e——短路电流的等效持续时间，s；

C——接地引下线材料的热稳定系数，根据材料的种类、性能及最高允许温度和短路前接地引下线的初始温度确定。接地材料初始温度取 40°C。钢最大允许温度取 400°C，热稳定系数 70。铜和铜覆钢材根据腐蚀严重程度分别取 900°C 、800°C 和 700°C，

热稳定系数可采用表 4.3.2 给出的数值。

表 4.3.2　校验铜和铜覆钢材接地体热稳定用的 C 值

最大允许温度℃	铜	相对导电率40%铜覆钢	相对导电率30%铜覆钢	相对导电率25%铜覆钢	相对导电率20%铜覆钢	相对导电率15%铜覆钢
700	249	167	144	133	119	103
800	259	173	150	138	124	107
900	268	179	155	143	128	110

4.3.3　500kV 及以上系统短路电流的等效持续时间t_e可取 0.35s，330kV 系统可取 0.5s，220kV 和 110kV 系统可取 0.7s；也可按照下列公式进行详细计算确定：

1　继电保护装置配置有两套速动主保护、近接地后备保护、断路器失灵保护和自动重合闸时，t_e应满足下式要求：

$$t_e \geq t_m + t_f + t_o \qquad (4.3.3\text{-}1)$$

式中：t_m——主保护动作时间，s；

t_f——断路器失灵保护动作时间，s；

t_o——断路器固有动作时间，s。

2　配有一套速动主保护、近或远（或远近结合的）后备保护和自动重合闸，有或无断路器失灵保护时，t_e应满足下式要求：

$$t_e \geq t_r + t_o \qquad (4.3.3\text{-}2)$$

式中：t_r——第一级后备保护的动作时间，s。

4.3.4　接地装置接地体的截面积不小于连接至该接地装置接地引下线截面积的 75%。

4.3.5　腐蚀裕量应按下式计算：

$$\Delta\delta = \mathrm{Kt}(1 - \mathrm{P}) \qquad (4.3.5)$$

式中：$\Delta\delta$——腐蚀裕量（金属单个表面或涂镀层），mm。

K ——腐蚀速率，mm/a；

t ——设计使用年限，a；

P ——保护度，无保护措施时取 0，用阴极保护时取 80%。

4.3.6　在计算接地体的腐蚀裕量后，应考虑预留一定百分比的腐蚀裕度，可根据工程经验或项目实际情况选择腐蚀裕度。

4.3.7 腐蚀速率应符合下列规定：

1 热镀锌钢、锌包钢、铜覆钢材、铜材等自然腐蚀数据可通过**国家材料环境腐蚀平台**进行查询后获得；特殊情况下，应通过试验确定。

2 接地体的年平均腐蚀速率宜通过试验确定，也可按照当地的运行经验选取；若无数据，可从表 4.3.7-1、表 4.3.7-2 及以下数据中选取。

3 铜和锌在海水中腐蚀速率范围值 20~70μm/a，半潮位腐蚀速率范围值 22~100μm/a。

表 4.3.7-1 钢的单面平均腐蚀速率 （单位：μm/a）

区域	平均腐蚀速率
浪溅区	400~500
全浸入海水区-水下	120
全浸入海水区-泥下	50

注：1 表中平均腐蚀速率适用于 PH=4~10 的环境条件，对有严重污染的环境，应适当放大；

2 对年平均气温高、波浪大、流速大的环境，应适当增大。

表 4.3.7-2 碳钢、锌和铜在海洋大气的平均腐蚀速率指导值 （单位：μm/a）

金属	最初 10 年平均腐蚀速率			30 年平均腐蚀速率		
	C4	C5	CX	C4	C5	CX
碳钢	17~27	27~67	67~233	10~16	16~39	39~138
锌	1.4~2.7	2.7~5.5	5.5~16	1.1~2.2	2.2~4.4	4.4~13
铜	0.6~1.3	1.3~2.6	2.6~4.6	0.4~0.9	0.9~1.8	1.8~3.2

注：1 C4、C5、CX 指金属所处的大气环境腐蚀等级。

C4—高腐蚀级别，适用于中等含盐度的沿海区域；

C5—很高腐蚀级别，适用于高湿度和高含盐度的沿海区域；

CX—极端防腐等级，适用于具有极高湿度和侵蚀性大气的离岸区域、工业区域。

2 10 年内的平均腐蚀速率与暴晒的初始阶段有关，10 年后的平均腐蚀速率可看做是稳态腐蚀速率。

4.4 连接方式

4.4.1 当采用各种金属构件、金属管道作为接地线时，连接处应保证有可靠的电气连接，金属构件、金属管道需满足防腐蚀要求。

4.4.2 当利用穿线的钢管作接地体时，引向电气装置的钢管与电气装置之间，应有可靠的电气连接。钢接地体使用搭接焊接方式时，其搭接长度应为扁钢宽度的

2 倍或圆钢直径的 6 倍；圆钢与扁钢连接时，搭接长度为圆钢直径的 6 倍。

4.4.3 接地体与管道等伸长接地极的连接处宜焊接，管道上表计和阀门等处，均应装设跨接线。

4.4.4 采用铜或铜覆钢材的接地体与接地极的连接，应采用放热焊接，被连接的导体应完全包在接头里，连接部位的金属应完全熔化，并应连接牢固；放热焊接接头的表面应平滑，应无贯穿性的气孔。

4.4.5 接地体与电气装置的连接，可采用螺栓连接或焊接。螺栓连接时的允许温度为 250℃，连接处接地体应适当加大截面，且应设置防松螺帽或防松垫片。

4.4.6 与水下接地极的连接要采用焊接连通，当升压站平台上下部采用灌浆连接时，需要加设接地线连通。

4.4.7 采用金属绞线作接地引下线时，宜采用压接端子与接地极连接。

4.4.8 接地体与接地极或接地极之间的焊接点，应涂防腐材料。

5　二次设备接地

5.1　抗干扰接地

5.1.1　二次设备抗干扰接地应满足现行行业标准《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》DL/T 5136 的有关规定。

5.1.2　有交流电源输入的二次机柜应有工作接零，供电电缆中应含零线芯；零线芯不应与二次机柜的金属外壳连接。当为三相五线制交流电源向二次机柜供电时，供电电缆中应含零线芯（N）和保护接地线芯（PE）；接地线芯（PE）应与二次机柜的金属外壳连接。

5.1.3　装有电子装置的屏柜应设有供公用零电位基准点逻辑接地的总接地板，总接地板铜排的截面不应小于 100mm^2。

5.1.4　当单个屏柜内部的多个装置的信号逻辑零电位点分别独立，且不需引出装置小箱或需与小箱壳体连接时，总接地铜排可不与屏体绝缘；各装置小箱的接地引线应分别与总接地铜排可靠连接。

5.1.5　当屏柜上有多个装置组成一个系统时，屏柜内部各装置的逻辑接地点均应与装置小箱壳体绝缘，并分别引接至屏柜内总接地铜排；总接地铜排应与屏柜壳体绝缘。

5.1.6　组成一个控制系统的多个屏柜组装在一起时，只应有一个屏柜的总接地铜排有引出地线连接至安全接地网；其他屏柜的绝缘总接地铜排均应分别用绝缘铜绞线连接至有接地引出线的屏柜的绝缘总接地铜排上。

5.1.7　零电位母线应仅在一点用绝缘铜绞线或电缆就近连接至接地干线上，且连接处不得靠近会产生较大故障电流和较大电气干扰的场所，避开避雷器、高压隔离开关等附近及其接地点。

5.1.8　在继电器室屏柜的电缆通道内，按屏柜布置的敷设 100mm^2 的专用首末端连接的铜排（缆），形成继电器室内的等电位接地网。继电器室内的等电位接地网必须与主接地网可靠连接。

5.1.9　应在主控室、继电器室、敷设二次电缆的沟道、配电装置就地端子箱等处，用截面不小于 100mm^2 的裸铜排（缆）敷设与主接地网连接的等电位接地网。

5.1.10 分散布置的保护继电器小室、通信室与继电器室之间应用截面不小于100mm^{2}的与主接地网连接的铜排（缆）将保护继电器小室与等电位接地网可靠连接。

5.1.11 微机型继电保护装置屏内的交流供电电源的中性线（零线）不应接入等电位接地网。

5.1.12 保护和控制屏柜下部应设有截面不小于 100mm^2 的接地铜排，屏柜上装置的接地端子应用截面不小于 4mm^2 的多股铜线和接地铜排相连。接地铜排应用截面不小于 50mm^2 的铜缆与保护室内的等电位接地网连接。

5.1.13 各盘柜的总接地铜排应首末可靠连接成环网，并仅在一点引出与安全接地网相连。为保证连接可靠，等电位地网与主地网的连接应使用 4 根及以上，每根截面积不小于 50mm^2 的铜缆（排）。

5.1.14 配电装置的就地端子箱内应设置截面不小于 100mm^2 的裸铜排，并用截面不小于 100mm^2 的铜缆与等电位接地网连接。

5.1.15 逻辑接地系统的接地线应符合下列规定：

1 应用绝缘铜绞线或电缆，不允许用裸铜线，不允许与其他接地线混用。

2 逻辑接地绝缘铜绞线或电缆的截面应满足：零电位母线（铜排）至接地网之间不应小于 35mm^2；屏间零电位母线的连接线不应小于 16mm^2。

3 逻辑接地线与接地体的连接应采用焊接，不允许压接。

4 逻辑接地线的布线应保持最短。

5.2 计算机系统的接地

5.2.1 计算机系统的保护性接地和功能性接地宜共用一组接地装置。并与主接地网一点相连，不宜设置独立的计算机接地系统。

5.2.2 计算机系统应设有截面不小于 100mm^2 的零电位接地铜排，以构成零电位接地母线。零电位接地母线应仅由一点焊接引出两根并联的绝缘铜绞线或电缆，并于一点与最近的交流接地网的接地干线焊接，该接地点与大电流入地点沿接地导体的距离不宜超过 15m。

5.2.3 计算机系统内的逻辑地、信号地、屏蔽地均应用绝缘铜绞线或电缆接至总接地铜排，达到一点接地的要求。

6　接地系统设计

6.1　一般规定

6.1.1　根据现行国家标准《交流电气装置的接地设计技术规范》GB/T 50065 的有关规定，电力装置的下列金属部分均必须接地：

1　电气设备的金属底座、框架及外壳和传动装置；

2　携带式或移动式用电器具的金属底座和外壳；

3　箱式变电站的金属箱体；

4　互感器的二次绕组；

5　逆变器柜外壳、封闭母线的外壳等；

6　配电、控制、保护用的屏（柜、箱）及操作台的金属框架和底座；

7　电力电缆的金属护层、接头盒、终端头和金属保护管及二次电缆的屏蔽层；

8　电缆桥架、支架和井架；

9　变电站（换流站）构、支架；

10　配电装置的金属遮栏；

11　电热设备的金属外壳。

6.1.2　附属于已接地电气装置和生产设施上的下列金属部分可不接地：

1　安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电气测量仪表、继电器和其他低压电器的外壳；

2　额定电压为 220V 及以下的蓄电池室内的金属支架。

6.1.3　设备箱体、空调及其外机、灯杆、金属构件等金属设备的总等电位接地线宜采用铜导线，其截面积不应小于 6mm^2。

6.1.4　电气装置的接地，必须单独与接地母线或接地网连接，严禁在一条接地线串接 2 个及 2 个以上需要接地的电气装置，光伏组件间的接地连接除外。主接地体与钢管桩或结构钢立柱连接处应设置明显的接地符号或“接地”字样，且应可视。

6.1.5　明敷接地线的安装应符合下列要求：

1　接地线支撑件之间的距离，水平部分宜 0.5~1.5m，垂直部分宜 1.5~3m，

拐弯部分宜 0.3~0.5m；

2 接地线沿建筑物墙壁水平敷设时，离地面距离宜为 250~300mm；接地线与建筑物墙壁间的间隙宜为 10~15mm；

3 明敷的接地体应涂 15~100mm 宽度相等的黄绿相间漆；当使用胶带时，应使用双色胶带；中性线宜涂淡蓝色标识。主接地体螺栓连接处应进行搪锡处理，并涂沥青防腐。

6.1.6 金属电缆桥架接地应符合下列要求：

1 电缆桥架全长不大于 30m 时，与接地网连接不少 2 处；

2 全长大于 30m 时，每隔 20~30m 增加与接地网的连接；

3 电缆桥架起始端和终点端应与接地网可靠连接；

4 宜在电缆桥架的支吊架上焊接螺栓，和电缆桥架主体采用两端压接铜鼻子的铜绞线跨接，跨接线最小截面积不应小于 $4mm^2$；

5 电缆桥架的镀锌支吊架和镀锌电缆桥架之间无跨接地线时，器件的连接处应有不少于 2 个带有防松螺帽或防松垫圈的螺栓固定。

6.1.7 采用玻璃钢桥架时，应沿桥架全长另敷设专用保护导体。

6.2 海上升压站平台

6.2.1 海上升压站平台接地系统设计应符合以下要求：

1 应符合现行国家标准《交流电气装置的接地设计技术规范》GB/T 50065 的有关规定，按照大电流接地系统的方式进行接地设计；

2 工作接地、保护接地和防雷接地共用一个接地装置；

3 接地装置应充分利用平台钢管桩作为接地极，设置专用的接地环线和接地连接线，将所有设备和平台钢结构连接组成均压接地网；

4 接地环线和设备接地线宜采用铜排或铜绞线，并与设备和钢结构可靠连接，连接处应采用防止电化学腐蚀的措施，接地标记应清晰可见；

5 高压送出海底电缆应在两侧端部设置接地连接箱；

6 二次系统设备接地应采用等电位单点接地方式。

6.2.2 海上升压站平台的储油罐等防静电接地设计应符合下列要求：

1 净距小于 100mm 的平行或交叉管道，应每隔 20m 用金属线跨接；

2 不能保持良好电气接触的阀门、法兰、弯头等管道连接处，应跨接，跨接线不小于 10mm^2 铜绞线；

3 贮存易燃液体贮罐都应接地。

6.2.3 根据现行国家标准《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》GB/T 50064 的有关规定，雷电保护的接地应符合下列要求：

1 避雷针的接地引下线应与接地网连接。引下线与接地网的连接点至变压器接地体与接地网连接点之间沿接地体的长度，不应小于 15m。

2 主控制室、配电装置室和 35kV 及以下变电站的屋顶上如装设直击雷保护装置，若为金属屋顶或屋顶上有金属结构时，则应将金属部分接地；屋顶为钢筋混凝土结构时，则应将其焊接成网接地；结构为非导电的屋顶时，则应采用避雷带保护，该避雷带的网格应为 8~10m，并应每隔 10~20m 设接地引下线。该接地引下线应与主接地网连接。

3 有爆炸危险且爆炸后会波及升压站站内主设备或严重影响发供电的建（构）筑物，应采用独立避雷针保护，并应采取防止雷电感应的措施。

4 露天贮罐周围应设置闭合环形接地装置，接地点不应小于 2 处，接地点间距不应大于 30m。架空管道每隔 20~25m 应接地 1 次。

5 避雷器的接地线应与接地网连接。

6.2.4 具有气体绝缘金属封闭开关设备的海上升压站，应设置专用接地网，并应成为升压站总接地网的一个组成部分。该设备区域专用接地网，应由该设备制造厂设计，并应具有下列功能：

1 应能防止故障时人触摸该设备的金属外壳遭到电击；

2 释放分相式设备外壳的感应电流；

3 快速流散开关设备操作引起的快速瞬态电流。

6.2.5 气体绝缘金属封闭开关设备区域专用接地网与升压站站总接地网的连接线，不应少于 4 根。4 根连接线截面的热稳定校验电流，应按单相接地故障时最大不对称电流有效值的 35%取值。

6.2.6 气体绝缘金属封闭开关设备的接地体及其连接，应符合下列要求：

1 三相共箱式或分相式设备的金属外壳与其基座上接地母线的连接方式，应按制造厂要求执行。其采用的连接方式，应确保无故障时所有金属外壳运行在

地电位水平。当在指定点接地时，应确保母线各段外壳之间电压差在允许范围内；

2 设备基座上的接地母线应按制造厂要求与该区域专用接地网连接；

3 本条第 1 款和第 2 款连接线的截面，应满足设备接地故障时热稳定的要求。

6.2.7 气体绝缘金属封闭开关设备与电力电缆或与变压器/电抗器直接相连时，电力电缆护层或气体绝缘金属封闭开关设备与变压器/电抗器之间套管的变压器/电抗器侧，应通过接地体以最短路径接到接地母线或气体绝缘金属封闭开关设备区域专用接地网。

6.2.8 气体绝缘金属封闭开关设备外壳和电缆护套之间，以及其外壳和变压器/电抗器套管之间的隔离（绝缘）元件，应安装相应的隔离保护器。

6.2.9 需要接地的直流系统，接地装置能与地构成闭合回路且经常流过电流时，接地线应沿绝缘垫板敷设，不应与金属管道、建筑物和设备的构件有金属的连接；直流正极的接地线、接地极不应与自然接地极连接，当无绝缘隔离装置时，相互间的距离并小于 1m。

6.3 海上光伏场

6.3.1 海上光伏场接地应连续，从方阵中抽取任何一个组件时，系统接地都不应被切断。

6.3.2 光伏组件金属框架或夹件应接地良好，当采用复合材料边框时，可以免除复合材料边框的保护接地，只需保证金属支架或来件之间有可靠的接地连接措施。

6.3.3 光伏方阵的防雷接地应与其保护接地、系统接地以及汇流箱、逆变器等配电设施的接地系统共用同一接地装置。

6.3.4 当利用光伏方阵金属支架、金属部件作为防雷接地引下线时，其材料及尺寸应能承受泄放预期雷电流时所产生的机械效应和热效应。

6.3.5 光伏方阵场地内应充分利用本体支架或基础的金属构件设置接地网，并且采用不少于 2 根导线在不同地点与光伏方阵接地网相连接。

6.3.6 漂浮式海上光伏接地应符合本标准 6.3.5 条的有关规定，优先利用本体支架的金属构件设置接地网；当光伏方阵的锚固装置为金属时，光伏方阵接地网至少采用 2 根导线在不同地点与锚固装置连接。

6.3.7 海上光伏场接地网的敷设与连接应满足接地体不易受机械性损伤、作业方便、经济合理等要求，并注意避让航道、检修小船行驶道等，可合理选用穿保护管等手段。

6.4 500kV 及以下交流海底电缆

6.4.1 500 kV 及以下交流海底电缆的接地设计应满足现行国家标准《海底电力电缆输电工程设计规范》GB/T 51190 中的技术要求。

6.4.2 海底电缆金属护层和铠装层在电缆线路两端宜分别引出接地线，两者相互独立，分别三相互联后直接接地。

6.4.3 单芯海底电缆外护层采用绝缘材料分段接地的形式时，登陆段和陆上段金属护层上的工频感应电压不应超过 300V，海域段金属护层上的工频感应电压不宜大于 1000V。

6.4.4 当陆上段海底电缆金属护层任一点正常感应电势小于本标准 6.4.3 条的有关要求时，可采用海底电缆登陆点一端直接接地，末尾一端保护接地的方式。

6.4.5 海底电缆接地体应具有耐腐蚀性能。接地体应符合电缆金属护层电磁感应电流、电容电流、短路电流动稳定和热稳定的要求，接地点应校核接触电压和跨步电压。

6.4.6 海底电缆的金属护层和架空线路的架空地线在终端站（塔）宜分开接地；接地体优先接入终端站接地网。

6.4.7 海底电缆锚固装置金属构件和海底电缆铠装层应直接接地。

6.4.8 海底电缆线路的接地箱箱体不宜选用铁磁材料，且密封良好，允许长期浸泡。

用词说明

为便于在执行本标准条文时区别对待，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”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》GB/T 50064

《交流电气装置的接地设计技术规范》GB/T 50065

《海底电力电缆输电工程设计规范》GB/T 51190

《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》DL/T 5136

中国工程建设标准化协会标准

海上光伏发电工程接地设计标准

T/CECS XXX- 202X

条文说明

制 定 说 明

本标准制定过程中，编制组进行了深入细致的调查研究，总结了我国海上光伏发电工程接地设计领域的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过试验获取了热镀锌钢、锌包钢等材料在不同区域的腐蚀速率数据，为接地材料选型及防腐设计提供了科学依据。

本标准编制遵循“技术先进、安全可靠、经济合理”原则，重点解决了高盐雾腐蚀、海浪冲击等海上特殊环境的接地技术难题，并明确了接地体材质选择、连接方式及抗干扰接地等技术要求。尚需深入研究复杂海况下接地系统动态稳定性及新型复合材料接地体的长期性能验证问题。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条款规定，《海上光伏发电工程接地设计标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目　　次

1　总　　则 …… 22
2　术　　语 …… 23
3　基本规定 …… 24
4　接地体 …… 25
4.1　材质 …… 25
4.2　防腐蚀措施 …… 25
4.3　截面 …… 26
4.4　连接方式 …… 27
5　二次设备接地 …… 28
5.1　抗干扰接地 …… 28
5.2　计算机系统的接地 …… 29
6　接地系统设计 …… 30
6.1　一般规定 …… 30
6.2　海上升压站平台 …… 30
6.3　海上光伏场 …… 31
6.4　500kV 及以下交流海底电缆 …… 31

1 总　　则

1.0.1~1.0.2　明确了本标准主要针对海上光伏工程接地系统的设计，提出对海上光伏工程接地系统的设计技术要求。与常规陆地光伏发电工程相比，海上光伏发电工程接地网要承受更高腐蚀率、海浪和潮流冲击、生物附着等恶劣环境因素影响，同时海上施工难度也更高，选用原有陆地工程的接地方案已不适宜。

1.0.3　强调了海上光伏工程的接地设计需考虑多种因素，从提高安全系数、延长使用寿命、降低工程造价等方面对接地材料进行综合比选。

1.0.4　与本标准有关的现行国家标准名称已在“引用标准名录”中列出。

2 术　　语

2.0.1~2.0.3　吸收了现行国家标准《交流电气装置的接地设计技术规范》GB/T 50065 的相关术语。

2.0.4　吸收了现行国家标准《色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护》GB/T 30790 的相关术语。

2.0.5　吸收了现行电力系统标准《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》DL/T 5394 的相关术语。

2.0.6~2.0.7　吸收了现行电力系统标准《交流电力工程接地防腐蚀技术规范》DL/T 2094 的相关术语。

2.0.8　吸收了现行能源行业标准《海上风电场钢结构防腐蚀技术标准》NB/T 31006 的相关术语。

2.0.9　参考《尤利格腐蚀手册 原著第 2 版》对电偶腐蚀的定义。

2.0.10　吸收了现行电力系统标准《电力工程接地用铜覆钢使用导则》DL/T 2727 的相关术语。

2.0.11　浪溅区因干湿交替、氧气充足、盐分浓缩、机械冲刷，是海洋环境中腐蚀最严重的区域之一。

2.0.12　吸收了现行中国船级社标准《海上升压站平台指南》GD11-2019 的相关术语。

2.0.13　光伏方阵主要包含光伏组件、组件串等，光伏方阵一般以做接入逆变器来划分单元。

2.0.14~2.0.17　吸收了现行国家标准《海底电力电缆输电工程设计规范》GB/T 51190 的相关术语。

3　基本规定

3.0.1　海上光伏工程的接地系统设计使用寿命一般为 20~30 年，具体以工程设计合同规定为准。

3.0.2　影响金属腐蚀速度的主要变量有 pH 值、含盐量、溶解氧浓度、温度、碳酸盐、污染物和生物有机物等。对这些变量的海水特征总结可以参考温斯顿里维主编、杨武等译的《尤利格腐蚀手册（原著第 2 版）》第 32 章节的内容。

建议设计前尽可能收集厂址附近实际运行的电站接地系统的腐蚀情况，为本工程接地系统防腐蚀措施的设计提供依据。

3.0.3~3.0.4　选择接地装置的出发点是接地网在工程的设计使用年限内做到免维护。其尺寸要综合考虑接地故障电流热稳定的要求，也要考虑在设计使用年限内导体的腐蚀总量。材料的选择需由综合的技术经济分析确定。

3.0.5　在电力系统接地设计中，最大接地故障不对称电流有效值是选择接地装置的关键参数，直接影响设备安全、继电保护动作可靠性及人身安全。本条规定了计算该电流时应考虑的主要因素，以确保接地系统能承受最严苛的故障条件。

3.0.6　根据现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 第 5.3.6 条内容及条文说明，利用钢筋混凝土柱和基础内钢筋作为接地体，国内外在 20 世纪 60 年代初就已经采用了，现已较为普遍。然而，建议采用以下预防措施：1）保证钢筋之间具有良好的接触，即用绑线固定钢筋；2）垂直方向的钢筋与钢筋之间和水平与垂直钢筋之间都需要绑扎。

3.0.7　在海上电力设施（如海上升压站、海上风电场的接地系统）与岸上接地网连接时，设置接地测量井的主要目的是：监测接地电阻、故障排查、隔离测量等。

3.0.8　接地线是电力系统安全运行的关键设施，其核心功能是：保障人身安全、确保设备安全、维持系统电位平衡。禁止接地线兼作其他用途，主要是为了防止机械损伤、电气性能劣化、保护失效等情况的发生。

4 接地体

4.1 材质

4.1.1 接地体（线）、接地极材料一般采用热镀锌钢，且镀层要有足够的厚度，以满足接地装置设计使用年限的要求。采用铜和铜覆钢材一般认为较贵。然而铜和铜覆钢材比钢材耐腐蚀性能要好，在腐蚀严重地区不用钢而代之以铜将是合理的。

4.1.3 引自现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 第 3.1.9 条规定。影响钢材在大气中腐蚀的关键因素是形成潮气薄膜时间和大气中腐蚀性介质的含量，在相同湿度环境下，腐蚀性介质含量越高腐蚀速度越快，腐蚀性介质的腐蚀性与大气湿度有很大关系，湿度越高，腐蚀速度越快。沿海地区大气中含有一定量的氯化物，大气腐蚀程度与地区的温度、湿度、地域、地貌、风向、风力和海水的成分、浓度等因素有关。依据国内外的有关资料和实地调研，给出了沿海地区钢材腐蚀性强度等级。如当地无参考的工程实践经验，可按此确定。

4.1.4 裸铝导体在海洋环境中的主要问题，一是电化学腐蚀：铝的标准电极电位为-1.66V，在含氯离子环境中易形成腐蚀电池；二是点蚀发展：腐蚀往往从表面缺陷处开始，形成较深的点蚀坑；三是接触腐蚀：与其他金属连接时电位差较大，加速腐蚀进程。海上环境具有高盐雾、高湿度的特点，裸铝导体在此环境下极易发生腐蚀，难以满足长期可靠运行要求。

4.2 防腐蚀措施

4.2.1 防腐蚀措施一般包括合理选材、腐蚀裕量、防腐涂层保护、阴极保护等。应按照工程所在地的地质、气象等环境条件和接地装置材质、相连金属构筑物及设备情况等采取合适的措施。防腐蚀措施的确定，可参考相似工程实施、运行和检测结果。

结合现行能源行业标准《海上风电场钢结构防腐蚀技术标准》NB/T 31006 的相关内容，海上工程接地系统的暴露环境可分为大气区、浪溅区、全浸区。大气区为浪溅区以上暴露于阳光、风、水雾及雨中的部分。浪溅区为受潮汐、风和波

浪（不包括大风暴）影响导致干湿交替的部分。浪溅区以下部位称为全浸区，包括水中和海泥中两个部分。针对不同的暴露环境，推荐采用不同的防腐蚀措施。

4.2.2 涂层厚度的选取需要计及腐蚀性和热稳定要求，并考虑运输、搬运、施工等过程中涂层的损伤。

1 根据现行电力系统标准《电力工程接地用铜覆钢技术条件》DL/T 1312 第 6.3 条规定，铜覆钢材的铜层厚度在任意测试点值不小于 0.25mm、0.6mm、0.80mm，其它厚度规格不低于其标称厚度。根据现行电力系统标准《电力工程接地用铜覆钢使用导则》DL/T 2727 第 5.3.5 条规定，铜覆钢材的铜层厚度分为 4 档。结合上述两个电力系统标准，规定了铜覆钢材的铜层厚度分为 4 档：0.25mm、0.6mm、0.80mm 和 1.0mm。当铜层厚度计算值处于两档之间时选取上限规格档，特殊规格由供需双方确定。

2 现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》GB/T 13912 规定了热镀锌钢镀锌层厚度，0.07mm 是钢件厚度＞6mm 时的最低要求、0.055mm 是 3＜钢件厚度≤6mm 时的最低要求。结合《电力工程设计手册 火力发电厂电气一次手册》第十五章第六节的条文：镀锌层不应低于 0.07mm，以满足防止腐蚀的要求。因此，规定热镀锌层不应小于 0.07mm。

3 根据现行电力系统标准《电力工程接地用锌包钢技术条件》DL/T 1457 术语定义，锌包钢又称锌覆钢，即钢材的表面被锌均匀包裹的材料，主要生产工艺包括连铸、拉拔等，不包括热浸锌钢。锌包钢的锌层厚度一般有 1mm、3mm、5mm 等。

4.2.3 针对不同腐蚀等级的环境采取差异化防护，在保证防护效果的前提下优化成本。建议普通环境选用 PVC 管防护，潮湿环境选用热缩套管，强腐蚀环境采用止水引出端子。

4.2.4 两种不同电化学势的金属材料接触时，如暴露在腐蚀环境中，它们之间就会产生电流，发生电化学反应，较活泼的金属就会被腐蚀，故需要在接触部位采取隔离措施。

4.3 截面

4.3.2~4.3.3 引自现行国家标准《交流电气装置的接地设计技术规范》GB/T 50065

的附录 E，并对校验铜和铜覆钢材接地体热稳定用的 C 值进行了补充。结合现行电力系统标准《电力工程接地用铜覆钢使用导则》DL/T 2727 附录 C，对短路等效持续时间的典型经验值进行了补充。

公式中I_G的确定方法可参考《交流电气装置的接地设计技术规范》GB/T 50065 附录 B 以及第 4.2.1 条第 1 款条文说明。

4.3.4 需要注意的是涂层厚度保持不变。

4.3.5 腐蚀裕量的计算引自现行电力系统标准《交流电力工程接地防腐蚀技术规范》DL/T 2094 的附录 B。

4.3.7 本条规定了腐蚀速率有关的要求。

1 引自现行电力系统标准《交流电力工程接地防腐蚀技术规范》DL/T 2094 第 5.3.4 条规定。

2 部分参数引自现行国家标准《金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第 2 部分：腐蚀等级的指导值》GB/T 19292.2 附录 B 中的指导值，以及现行能源行业标准《海上风电场钢结构防腐蚀技术标准》NB/T 31006 第 6.1.2 条的数值。

4.4 连接方式

4.4.4 对于铜或铜覆钢材接地体的焊接，基于可提高允许温度节约材料，提出了采用放热焊接的要求。现行国家标准《电力装置安装工程接地装置施工及验收规范》GB 50169 对放热焊接也有明确的规定。

4.4.5 根据英国接地标准《BS7430：Code of Practice for Earthing》的规定，指出螺栓连接时的允许温度为 250℃，提出了连接处接地体适当加大截面的要求。

5　二次设备接地

5.1　抗干扰接地

5.1.1　常规二次回路及设备系指强电直接控制的回路和设备。这些回路及设备抗电磁干扰的性能较好，一般不需要采取特殊的抗干扰措施，其接地的目的是保证设备和人身的安全、防止高压一次设备或雷电的侵入。采取的措施是将二次机柜的金属外壳、电缆的金属外铠和电缆设施等接地。接地线的材料、截面和配置等仍需满足现行国家标准《交流电气装置的接地设计技术规范》GB/T 50065 的有关规定。

5.1.2　二次机柜的接零与接地是独立的，不允许混淆。接地指连至接地网，接零指接至交流电源的中性线。电源中性点仅在电源端与接地网相连接。

5.1.3　逻辑接地也称为信号接地，指的是将逻辑信号系统的公共端接到地网，使其成为稳定的参考零电位。

5.1.4　屏柜内的小箱中逻辑地电位浮空或接小箱壳体时，小箱壳体起到屏蔽体作用。小箱壳体结构上与屏体有接触性连接。为了可靠，小箱壳体以接地线与接地铜排相连。由于接地铜排与小箱相连，小箱又与屏体相连，所以接地铜排是不绝缘的。各屏内的接地铜排首尾相连，并在铜排上一点用电缆接至电力安全接地网，避免地中电流在各屏内铜排上产生电位差。

5.1.5~5.1.6　当屏柜上多个装置组成一个系统时，为避免各装置的逻辑接地点产生噪声电位差，使整个系统无法正常工作，各装置的逻辑接地点必须直接以接地线引至接地铜排，并与小箱壳体绝缘。小箱结构上与屏体相连。接地铜排与屏体绝缘。与 5.1.4 条相同原理，各屏内绝缘铜排首尾相连后仅在一点接至电力安全接地网。

5.1.7　此条为现行行业标准《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》DL/T 5136 推荐的接地方式。

5.1.8~5.1.14　根据反措要求增加等电位接地网。

5.1.15　本条规定了逻辑接地线选型及安装方式。

1　逻辑接地线采用绝缘铜绞线或电缆的目的是为了防止逻辑接地线与电力

安全接地网相碰而造成多点接地。

3 逻辑接地线与接地体之间的连接为焊接，不允许用压接，以防止振动、腐蚀和不同金属的膨胀率影响连接的可靠性。

4 逻辑接地线除供零电位基准点的连接外，还起着泄流高频干扰电流的作用，接地线的效果与其长度和接地线中传播的干扰源的频率有关。接地线尽可能短，以防接地引线电阻增大，与零电位基准点的电位偏差加大和引起干扰。

5.2 计算机系统的接地

5.2.1 根据现行国家标准《数据中心设计规范》GB 50174 的相关规定而制定。本条规定了不宜设置独立的计算机接地系统。而利用电力安全接地网，与电力安全接地网一点相连。

5.2.2~5.2.3 对计算机系统接地的具体要求做了规定。

6 接地系统设计

6.1 一般规定

6.1.1~6.1.2 参考现行国家标准《交流电气装置的接地设计技术规范》GB/T 50065 的有关规定，并结合海上光伏发电工程的具体情况，规定了必须接地、可不接地的装置和设施范围。

6.1.7 符合现行国家标准《电力工程电缆设计标准》GB 50217-2018 第 6.2.9 条的有关规定。

6.2 海上升压站平台

6.2.1 海上升压站平台接地设计原则参照了现行国家标准《交流电气装置的接地设计技术规范》GB/T 50065 的相关要求。根据电力工程的惯例和有关反事故措施要求，海上升压站设备接地连接要敷设专用接地线，不推荐利用钢平台结构物。与水下接地极的连接要采用焊接连通，特别是当平台上下部采用灌浆连接时，需要加设接地线连通。

6.2.2 参考现行中国船级社标准《海上升压站平台指南》GD11-2019 的相关内容。

6.2.3 参考现行国家标准《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》GB/T 50064 的有关规定，并结合海上光伏发电工程的具体情况，规定了雷电保护的接地要求。

1 该条规定主要是考虑雷击避雷针形成的反击雷过电压沿着接地体流动时有足够的衰减，以防反击电气设备。

3 有爆炸危险的建构筑物包括制氢站、露天氢气储罐、氢气罐储存室、易燃油泵房、露天易燃油储罐、易燃油管道、天然气管道以及露天天然气储罐等。

6.2.7 参照《IEEE 交流变电站接地安全指南》IEEE 标准 80 的第 10.4 节提出。

6.2.8 条文提及的保护器，其额定电压的选择需能承受在接地故障电流流入接地网时 GIS 和电缆护层两个接地系统之间产生的地电位差，又能在由开关（隔离开关）分合或 GIS 中的故障产生的特快速瞬态过电压（VFTO）下，保护绝缘元件免受损坏。

6.3 海上光伏场

6.3.2~6.3.4 光伏发电单元的接地设计参考了现行国家标准《光伏发电站防雷技术要求》GB/T 32512 中的技术要求。

6.3.5 本条参考了现行国家标准《光伏发电站设计标准》GB 50797 中的技术要求。组件金属边框与金属支架之间接地连接目前采用的是先在相邻组件金属边框之间利用导线做等电位联结，再在支架两端与金属支架连接。也有用利用组件与支架之间的金属连接件作为导体。无论采用何种连接方式，都要保证连接可靠。

金属支架之间通过金属导体相互连接后再与接地网联通，为保证可靠性，每个接地支架群与接地网的连接点要不少于两个，连接点分别设置在支架群所在区域的两端。

6.3.6 根据现行能源行业标准《光伏发电工程电气设计规范》NB/T 10128 第 4.9.3 条，若光伏组件的金属边框与可靠接地的光伏支架保持良好的电气连通，可不设置专门接地线。

6.4 500kV 及以下交流海底电缆

6.4.2 海底电缆线路的金属护层在电缆线路两端需要三相互联后直接接地，铠装层也是如此。但金属护层和铠装层是否需要连接在一起，一般根据工程的实际条件来确定。

6.4.3 金属护层工频感应电压由工频电磁感应电压和工频静电感应电压组成。

工频电磁感应电压由线芯电流产生的交变磁场与金属护层交链感应产生，其大小与电缆长度及线芯电流成正比，在未采取接地措施时，最大值出现在海底电缆两端。工频静电感应电压由电容电流在金属护层上形成，其幅值随着线路电压、阻抗、长度的增大而增大，最大值出现在海底电缆中间。两种电压存在相位差，该差值主要由负荷功率因数决定。对于长约 45km 的 500kV 交流海底电缆，经测算两种感应电压叠加后，海缆两端电磁感应电压的最大值不超过 50V，海缆中间静电感应电压的最大值不超过 1000V。

若海底电缆全线金属护层工频感应电压均要求不大于 300V，则会使金属护层和铠装层的短接过于频繁（或采用更低电阻率的金属铠装层），增加了制造难度和成本。结合工程实际，海域段金属护层的工频感应电压最大值设为 1000V 是

适宜的。