

摩洛哥某海水淡化项目防雷接地做法解析

陈雨希

中国轻工业长沙工程有限公司，湖南长沙，410114；

摘要：本文分享了笔者实际参与的摩洛哥海水淡化厂项目中，关于车间防雷做法、接地做法、防雷计算、接地电缆计算及预防电避雷针应用。

关键词：防雷接地；防雷计算；预放电避雷针；接地计算

DOI：10.69979/3060-8767.25.09.030

前言

在经济全球化背景下，中国海外工程项目呈现快速增长趋势，2024 年市场规模已达 1.5 万亿美元，预计 2025 年将突破 1.6 万亿美元。这种扩张面临技术方面的核心挑战在于国际规范体系的复杂性，不同地区技术标准差异显著。笔者近期参与非洲摩洛哥某海水淡化厂项目的电气设计，在此简要分享摩洛哥项目中防雷接地的做法。

1 项目概况

本工程位于北非国家摩洛哥的某北部海港，总用地面积为 18.35 亩，共 6 个子项，分别为海水淡化厂、取水泵房、V 型滤池、污水池、室外罐区，其中主要的生产车间为海水淡化厂。业主要求在海水淡化厂、滤池顶部设置光伏板。车间用电设备采用低压 380V、660V 供电，照明及通风的接地系统为 TN-S 系统，工艺设备接地系统为 IT 系统。

2 防雷设计

2.1 防雷计算

1. 防雷计算的目的是确定建筑物的防雷类别，根据不同的类别采用不同的防雷保护措施。在项目当地通常执行法国的 NFC-17-102 标准及 IEC62305 标准，而中国国内主要按照 GB50057《建筑物防雷设计规范》进行计

算，下面我们将对比这些规范的异同之处。

(1) 国标 GB50057 按建筑物的重要性、使用性质、发生雷电事故的可能性和后果，按防雷要求分为三类，此种做法为我们中国工程师常用做法，大家都比较熟悉，就不在赘述。

(2) 法国 NFC-17-102 做法：该规范的雷电风险评估是综合考虑建筑的环境、结构的类型、建筑物内容纳的东西（人员或设备）、建筑物的占有情况、雷击后造成的后果，来确定雷击防护等级，并采取相应措施。对于建筑物来说，具体过程如下：

calculation formula/计算公式	计算条件 Calculation conditions	计算结果 Calculation results
Equivalent area/等效面积		
$Ae=L \cdot W+6H(L+W)+9\pi H^2$	L=105 m	Ae=15106.665
	W=32 m	
	H=10.5 m	
Expected number of lightning strikes/ 预计雷击次数		
$Ng_{max}=0.04 \times T_d^{1.25}$ $N_d=Ng_{max} \cdot Ae \cdot C_1 \cdot 10^{-6}$	$T_d=10$	N _d =0.0053728
	$Ng_{MAX}=0.71$	
	$C_1=0.5$	
Capable of withstanding multiple lightning strikes/承受雷击次数		
$N_c=5.5 \cdot 10^{-3}/C$ $C=C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$	$C_2=1$	N _c =0.0011
	$C_3=1$	
	$C_4=1$	
	$C_5=5$	
protective measures/保护措施	III	
$E \geq 1 \cdot N_c/N_d$		$E \geq 0.7952641$

其中，预计雷击次数按雷暴日分布图选取，摩洛哥大部分地区雷暴日为 10；

各参数因子取值

参数因子 C_1 表 2				
与建筑物相关的情况 C_1				
建筑物所在的空间有同样高度或者更高的建筑物活树木				
建筑物被更小的建筑物包围				
孤立建筑：在至少 3H 距离之内没有其他建筑				
位于山顶或海角的孤立建筑				
参数因子 C_2 表 3				
C_2 结构系数				
建筑物	屋顶	金属	普通	易燃
		0.5	1	2
		1	1	2.5
		2	2.5	3
参数因子 C_3 表 4				
C_3 建筑物内储存的物品				
无价值或不易燃				
普通价值或燃烧性一般				
高价值或特别易燃				
特殊价值，不可替代，或非常易燃易爆				

参数因子 C_4 表 5	
C_4 建筑物的占用	
未占用	0.5
普通占用	1
疏散困难或有发生恐慌的危险	3

参数因子 C_5 表 6	
C_5 雷击的后果	
没有不中断运行的必要，对环境没有造成任何后果	1
有必要持续运行，对环境没有造成任何后果	5
对环境造成后果	10

保护等级 表 7			
计算得出的 有效率 E	相关的保 护等级	峰值电流 I/kA	初始 距离
$E \geq 0.98$	级别 I + 附加措施	2.8	20
$0.95 < E \leq 0.98$	级别 I	9.5	45
$0.80 < E \leq 0.95$	级别 II	14.7	60
$0 < E \leq 0.80$	级别 III		

(3) IEC62305 做法, 通过对建筑的雷击风险评估, 选择合适的防护措施, 把风险减小到容许限值之下, 基本步骤如下:

——确定需防护建筑物及其特性;

——确定建筑物中可能出现的各类损失以及相应的风险 $R1 \sim R4$;

——计算风险 R 的各种损失风险 $R1 \sim R4$;

——将建筑物风险 $R1$ 、 $R2$ 和 $R3$ 与风险容许值 RT 作比较来确定是否需要防雷;

——通过比较采用或不采用防护措施时造成的损失代价以及防护措施年均花费, 评估采用防护措施的成本效益。为此需对建筑物的风险分量 $R4$ 进行评估。

(4) 在 GB50343《建筑物电子信息系统防雷技术规范》中, 对于雷电防护等级的划分, 同时收录了 NFC-17-102 的做法(详见 GB50343 第 4.2 节)和 IEC62305 (详见 GB50343 第 4.4 节)的做法, 并且基于我国的实践情况, 将 NC 的取值调整为 $NC=5.8 \times 10^{-1}$ (NFC-17-102 中为 $NC=5.8 \times 10^{-3}$)

2. 本工程所在地更倾向于按照法国 NFC-17-102 中的要求计算, 本项目海水淡化厂的计算结果为 $E=0.795$, 相应保护等级为 III。

2.2 防雷装置设计

在确定雷电防护等级之后, 下一步工作就是按照防护等级选择接闪装置, 在国内的项目中, 对于钢屋面, 我们通常优先利用建筑物的金属屋面作为接闪器, 但是在海外项目中, 用户通常不接受这种方案, 他们更倾向于在屋面明敷接闪铜导体和避雷针在屋面形成金属网格来防雷, 而避雷针又分为普通的避雷针和预作用避雷针, 下面我们来对比普通避雷针和预放电避雷针方案。

(1) 普通避雷针方案: 参考 ABB 普通避雷针样本及 IEC62305 要求(因 NFC-17-102 中没有明确接闪网格的尺寸, 经过与当地工程师沟通, 他们建议我们参考 IEC62305 中对应同等滚球半径防雷等级的做法), 避雷针应安装在建筑物最高处和最容易受雷击的部位(屋脊、突出点、边缘、角落等)。它们在屋顶周边以等距排列, 两个 30 厘米空气终端之间的距离不应超过 15 米, 两个 50 厘米空气终端之间的距离不应超过 20 米。

I 类保护等级建筑物两根引下线的距离不大于 10m, 网格尺寸不大于 5mX5m,

II 类保护等级建筑物两根引下线的距离不大于 10m, 网格尺寸不大于 10mX10m,

III 类保护等级建筑物两根引下线的距离不大于 15m, 网格尺寸不大于 15mX15m

IV 类保护等级建筑物两根引下线的距离不大于 20m, 网格尺寸不大于 20mX20m

引下线与接闪带网格均使用截面积不小于 50mm² 的实心铜导体。

本工程海水淡化厂房长度 105m, 宽度 32m, 高度为 10.5m, 按 IEC IV 类(对应 NFC-17-102 中同等滚球半径为 III 类)保护, 滚球半径为 60m, 因此需设置约 720m 截面积为 50mm² 的铜质接闪带、引下线。以及 16 根普通接闪杆。且仅能保护海水淡化厂主厂房屋面。

(2) 预放电避雷针方案: 参靠 ABB 预放电避雷针产品手册, NFC17-102 标准滚球法计算公式:

$$R_p = \sqrt{(h(2D-h) + \Delta L(2D + \Delta L))}$$

式中,

h 为高度, 针尖至被保护平面的垂直距离, 最小值为 2m;

D 为滚球半径, I、II、III 类防护等级的建筑物滚球半径分别为 20、45、60m;

ΔL 为启动抢先距离,

$$\Delta L = \text{雷电流速度}(10^6 \text{m/s}) \times \Delta T$$

上述公式当 $h \geq 5\text{m}$ 时适用, 当 $2\text{m} \leq h < 5\text{m}$ 时查避雷针保护半径表确定。

本工程选择的预放电避雷针型号为 $\Delta T=30 \mu\text{s}$

由此计算出本工程 $R_p=72\text{m}$,

防雷引下线至少采用 30mmx2mm 镀锡铜带明敷设于建筑物外墙, 上端与避雷针可靠连接, 下端与环形接地装置连接, 并设置“鹅掌型”接地装置。

预作用避雷针的保护范围可以覆盖水罐、V 型滤池、门卫、泵房等单体。

对比两个方案可以看出:

(1) 采用常规避雷针将使用更多的铜质接闪带, 且在屋面明敷的铜导体将影响屋面设备的布置(如光伏板、排烟天窗、安全生命线等)。而采用预放电式避雷针时, 铜质接闪带的用量将大大减少, 且不影响屋面布置其他设备。

(2) 对于园区内其他的设备和单体, 如储水罐, V

型滤池等,在海水淡化厂房设置常规避雷针,无法保护到其他的单体,所以还需要在其他的单体上设置接闪带,而在海水淡化厂房设置预放电避雷针,则几乎可以保护到整个园区。

在 NF C17-102 中,对于防雷装置的设置明确规定可以采用预放电式避雷针。其优点在于可以抢先放电时间 $30\sim 60\mu s$,即优先引雷入地;在相同的安装高度下,会比普通避雷针的保护半径增大数倍;内部结构无电子器件,无老化,免维护。目前所参与的摩洛哥的国际项目也多采用提前放电避雷针作为外部接闪装置。

3 接地设计

3.1 保护导体截面计算

GB/T16895.3 — 2024/IEC60364-5-54:2021 中第 543.1.1 条规定:

每根保护接地导体的截面面积都应满足关于自动切断电源所要求的条件,且能承受保护电器切断时间内预期故障电流引起的机械和热应力。

保护接地导体的截面面积可按 543.1.2 的公式计算,也可按表 54.2 进行选择。这两种方法都应满足 543.1.3 的要求,表 54.2 内容主要为:保护导体和线导体用相同材料时,当 $S\leq 16\text{mm}^2$ 时,保护导体最小截面和线导体相同, $16< S\leq 35$ 时,保护导体截面最小 16mm^2 , $S> 35\text{mm}^2$ 时,保护导体最小截面不小于线导体的一半。

543.1.2 的公式为:

仅对切断时间不超过 5s 时,可由下列公式确定

$$S\geq \sqrt{(I^2 t) / k}$$

GB/T16895.3 — 2024/IEC60364-5-54:2021 中第 543.1.4 两个或更多个回路共用一根保护接地导体,其截面面积应为:在这些回路中遭受最严重的预期故障电流和动作时间,其截面面积按 543.1.2 计算:或按表 54.2 中对应于所用诸回路中的最大线导体截面面积来选择。

本工程的保护导体分为两部分,一部分是从配电柜 PE 母排接到设备 PE 端子,这部分保护导体为多芯电缆的 PE 芯,其截面按表 54.2 来确定。另一部分为单独敷

设的裸铜电缆,若按 54.2 中最大线导体来选择,则会造成浪费,因此按 543.1.2 计算。

本工程中低压部分采用 TN-S 及 IT 接地系统,其中 IT 系统的电压等级又分为 380V 和 660V,对于 TN-S 系统,用于校验保护电缆截面积的电流应取最大单相短路故障电流,对于 IT 系统,用于校验保护电缆截面积的电流应取最大两相短路故障电流。

本工程中:TN-S 系统最大单相短路故障电流为 9073A,660V IT 系统最大两相短路故障电流为 33652A,380V IT 系统最大两相短路故障电流为 39212A。据此,单独敷设的保护电缆截面按最大值 39212A 来校验。

其中,短路电流的持续时间取 0.2s,系数 k 值按表 A.54.6 中正常条件,铜导体选取, $k=159$,

经计算, $S\geq 110.29\text{mm}^2$,取 120mm^2 。

4 结束语

在摩洛哥,电气工程的许多做法更多参考 IEC 和法国标准,与国内有差异,但基本的原理是相同的,我们国内使用的很多规范也借鉴了法国和 IEC 标准,并在其基础上进行优化,并且有很多规范也是等同采用 IEC 标准。因此,我们需要加强对国标和世界标准的学习,更加深入的理解其中的差异与相同之处,希望本文可以为更多的海外 EPC 工程电气设计者提供些参考经验。

参考文献

- [1]GB/T21714.1-2015(IEC 62305-1)雷电防护第 1 部分:总则
- [2]GB/T21714.2-2015 (IEC 62305-2)雷电防护第 2 部分:风险管理
- [3]GB/T21714.3-2015(IEC 62305-3)雷电防护第 3 部分:建筑物的物理损坏和生命危险
- [4]GB/T21714.4-2015(IEC 62305-4)雷电防护第 4 部分:建筑物内电气和电子系统
- [5]NFC17-102 从贝宁波多诺伏新议会大厦项目设计浅谈法国标准下防雷接地系统设计要点-魏征、高丽娜.