中国腐蚀与防护学会标准

T/CSCP 0012-2024

输电线路杆塔及其相关设施腐蚀调查方法通用导则

General Guidelines for Corrosion Investigation Methods of Transmission Line Towers and Related Facilities

2024-11-01 发布　　2025-01-01 实施

中国腐蚀与防护学会 发布

前　言

本标准按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本标准由中国腐蚀与防护学会提出并归口。

本标准主要起草单位：北京科技大学

本标准参加起草的单位：国网四川省电力公司电力科学研究院、国网四川省电力公司、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、国网电力工程研究院有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网湖南省电力有限公司电力科学研究院、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网天津市电力公司电力科学研究院、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、国网（西安）环保技术中心有限公司、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、国网四川省电力公司凉山供电公司、国网四川省电力公司广元供电公司、国网四川省电力公司巴中供电公司、国网四川省电力公司内江供电公司、国网四川省电力公司宜宾供电公司

本标准主要起草人：杜翠薇、李晓刚、程学群、王志高、陈俊杰、兰新生、李富祥、李旭旭、李训、王方强、王昕煜、王涛、张帆、杨小佳、杨国威、王伦滔、 李众、李清、徐迪、孙雷、杨体绍、田倩倩、刘涛、王杰、曾晓亮、林德源、万芯瑗、夏晓健、张强、陈云、黄路遥、郝文魁、易盼、黄耀、胡家元、周宇通、柳森、陈军君、王军、谢亿、欧阳克俭、丁德、白晓春、伍发元、张莹、于金山、夏亚龙、毛嫚、李昆、马建刚、吴跃伟、田刚、王玉龙、骆相材、刘卫东。

目 录

1 范围.....1
2 规范性引用文件.....1
3 术语和定义.....2
4 调查对象.....4
5 调查程序.....5
6 调查方法.....6
7 腐蚀调查人员资质.....9
8 腐蚀调查设备要求.....9
9 腐蚀调查频率.....10
10 调查报告.....10

1 范围

本标准文件制定了针对输电线路杆塔及其相关设施的腐蚀调查方法，包括调查对象、调查准备、技术要求、调查程序及调查人员资质要求、数据记录与分析、结果评估与报告等内容。

本标准适用于输电线路杆塔及其相关设施的腐蚀情况调查及后续的防腐维修/维护。

2 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。凡是标注日期的引用文件，仅标注日期的版本适用于本文件。凡是不标注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改版）适用于本文件。

GB/T 1766 色漆和清漆 涂层老化的评级方法

GB/T 2694 输电线路铁塔制造技术条件

GB/T 3838 地表水坏境质量标准

GB/T 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法

GB/T 4957 非磁性基体金属上非导电覆盖层 覆盖层厚度测量 涡流法

GB/T 5210 色漆和清漆 拉开法附着力试验

GB/T 6461 金属基体上金属和其他无机覆盖层经腐蚀试验后的试样和试件的评级

GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验

GB/T 10123 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义（GB/T 10123-2022，ISO 8044:2020，IDT）

GB/T 19292.1 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第 1 部分：分类、测定和评估（GB/T 19292.1-2018，ISO 9223:2012，IDT）

GB/T 19292.2 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 19292.2-2018，ISO 9224:2012，IDT）

GB/T 19292.3 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第 3 部分：影响大气腐蚀性环境参数的测量（GB/T 19292.3-2018，ISO 9225:2012，IDT）

GB/T 19292.4 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第 4 部分：用于评估腐蚀性的标准试样的腐蚀速率的测定（GB/T 19292.4-2018，ISO 9226:2012，IDT）

GB/T 39637 金属和合金的腐蚀 土壤环境腐蚀性分类

DL/T 1236 输电杆塔用地脚螺栓与螺母

DL/T 1453 输电线路铁塔防腐蚀保护涂装

DL/T 2055 输电线路钢结构腐蚀安全评估导则

NY/T 1121.17 土壤检测 第 17 部分：土壤氯离子含量的测定

NY/T 1121.18 土壤检测 第 18 部分：土壤硫酸根离子含量的测定

T/CSCP 0002-2022 腐蚀大数据：大气腐蚀在线监测系统技术规范

T/CSCP 0003-2022 腐蚀大数据在线监测设备安装规范

T/CSCP 0009-2017 金属材料大气环境暴露腐蚀试验

T/CSCP 0015-2017 大气环境腐蚀试验地面气象因素观测

T/CSCP 0016-2017 大气环境腐蚀试验 空气污染物含量监测方法

T/CSCP 00046.17-2018 低合金结构钢腐蚀试验 第 17 部分：腐蚀产物分析方法导则

T/CSCP 00046.19-2018 低合金结构钢腐蚀试验 第 19 部分：腐蚀微观形貌观察分析方法

Q/GDW 706 输电铁塔用热轧大规格等边角钢

Q/GDW 12016.1-2019 电网金属材料选用导则 第 1 部分 通用要求

Q/GDW 12016.5-2019 电网金属材料选用导则 第 5 部分 架空输电线路

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 输电线路杆塔塔身

主要采用角钢或钢管等钢铁材料制造，紧固连结或焊接，用于支撑输电线路的塔状结构，包括角钢塔、钢管塔、钢管杆、拉门（拉 V）塔等。

3.2 输电线路杆塔基础

用于稳定杆塔，使杆塔不因承受垂直荷载、水平荷载、事故断线张力或外力作用而上拔、下沉或倾倒，输电线路杆塔基础可采用现浇混凝土基础、预制混土基础或金属基础。

3.3 输电线路杆塔横担

固定于塔身特定高度，用于悬挂绝缘子和支撑架空导地线，其材质与塔身相同，保证其承载力和耐久性。

3.4 输电线路拉线系统

用于防止拉门（拉 V）塔、等径水泥杆倾倒及平衡杆塔承受的水平风力和导线、避雷线的张力，由上部、下部、拉线盘三部分组成。

3.5 输电线路杆塔接地装置

由避雷线（架空地线）、接地引下线、接地体组成，其功能是防止雷电直击导线，

引导雷电流安全地流入地下，防止电气故障和提升系统安全性。

3.6 输电线路杆塔爬梯与平台

设置在塔身侧面，为维护人员提供到达杆塔高空部位的通道和作业平台，材料和设计须保证安全负荷标准。

3.7 腐蚀

使金属的性能发生变化，并常可能导致金属、环境或由它们作为组成部分的技术体系的功能受到损伤的金属与环境间的物理-化学相互作用。

3.8 腐蚀调查

通过系统的方法对材料或结构因暴露于某种环境而发生的腐蚀状况进行检测、分析和评估的过程。

3.9 现场采样

在现场实际环境中直接搜集材料样本的过程，搜集的样品将用于后续的实验室分析或检测。

3.10 现场挂样

将标准材料样品暴露在特定环境条件下，用于评估材料在实际环境中的腐蚀行为和耐久性。

3.11 腐蚀的环境因素

导致输电线路杆塔及其相关设施用金属材料腐蚀的环境因素包括大气环境和土壤环境等。

金属材料在大气环境中受到腐蚀影响的关键因素，包括温度、湿度、降雨量、SO_2、Cl^-、风力风向等。

金属材料在土壤环境中受到腐蚀影响的关键因素，包括土壤类型、温度、湿度、pH值、氧溶解度、土壤电阻率、自然腐蚀电位、氧化还原电位、杂散电流、含盐量、微生物等。

3.12 环境腐蚀性分级

根据大气环境的腐蚀性因素（如温度、湿度、SO_2、Cl^-等），或依据平均腐蚀速率评定金属材料在大气环境中的腐蚀性等级。

根据土壤环境的腐蚀性因素（如土壤类型、pH 值、土壤电阻率、含盐量等），或依据平均腐蚀速率评定金属材料在土壤环境中的腐蚀性等级。

3.13 腐蚀联网观测

使用材料腐蚀传感器和联网监测系统，对材料的腐蚀状况和环境腐蚀性因素进行长期连续的远程网络观测。

4 调查对象

4.1 输电线路杆塔塔身

主材：支撑整个塔体的中心结构，通常采用钢材制作。
辅材：从主材向外延伸的横材、斜材和竖材，保证塔身整体结构的稳定性。
联板：连接不同主材或辅材，用以增加结构的合理连接。

4.2 输电线路杆塔基础

保护帽：对塔脚板、地脚螺栓及杆塔底部主材起保护作用。
地脚螺栓：用于将塔身固定在基础上，确保整体稳定。
混凝土内钢筋：杆塔基础用混凝土内部钢筋，增大杆塔基础强度。
金属支架：埋于地下支撑杆塔主体的金属构件。

4.3 输电线路杆塔横担

主横担：用于支撑绝缘子、导地线和其他附件。
辅助横担：在需要时提供额外的支撑。
联板：将横担与塔身固定。

4.4 输电线路杆塔接地装置

避雷线（架空地线）：架设在杆塔顶部导线上方，防止雷电直击导线。
接地引下线：连接避雷线与接地体的金属导体，引导雷电流安全流入地面。
接地体：埋设于地下，广泛分布在塔基周围，与大地直接接触的金属导体，减小接地电阻，提高泄流效果，分为水平接地体和垂直接地体。

4.5 输电线路拉线系统

上部：一般由楔型线夹等金具、铁附件组成。
下部：一般由 UT 线夹、拉线棒等组成。
拉线盘：一般由预制钢筋混凝土组成。

4.6 输电线路杆塔爬梯与平台

爬梯、脚钉：从地面直达顶部，方便工作人员攀爬。
检修平台：位于关键位置，方便工作人员对杆塔本体进行维护。

保护栏杆：确保工作人员的安全。

5 调查程序

5.1 调查准备

收集输电线路杆塔及其相关设施涉及的材料和历史资料，确定调查对象，准备调查所需仪器，制定腐蚀调查方案。重点调查区域覆盖率应为100％。

5.2 调查对象的腐蚀程度评估

通过对输电线路杆塔及其相关设施进行全面腐蚀调查、取样分析、腐蚀程度评价等方式，评估输电线路杆塔及其相关设施的腐蚀情况与腐蚀分级分布状况。

5.3 输电线路杆塔环境腐蚀性测定

在现场调查的基础上，对输电线路杆塔所处环境进行环境腐蚀性测试布点设计，选择环境参数测试、腐蚀挂片或腐蚀大数据高通量测试方法，确定输电线路杆塔所处区域环境腐蚀性强度等级及分布状况。

5.4 实验室测试和分析

对现场采集的样品进行分析，测量金属材料腐蚀深度，以及金属材料腐蚀产物组成，判定金属材料腐蚀程度；

对现场腐蚀挂片样品进行实验室分析，确定样品腐蚀速率；

对腐蚀大数据传感器采集的高通量数据进行分析，确定样品腐蚀速率。

5.5 腐蚀数据汇总与分析

将现场腐蚀勘察结果、环境腐蚀性数据和实验室检测数据汇总，形成对输电线路杆塔腐蚀情况的全面了解，确定金属材料腐蚀的主要原因，评估不同材料和不同服役环境的输电线路杆塔的剩余寿命。

5.6 形成腐蚀调查报告

根据输电线路杆塔腐蚀数据汇总和分析结果，形成输电线路杆塔腐蚀调查报告。判定输电线路杆塔腐蚀危重区域。提出腐蚀防护与补强建议，包括金属材料升级、涂装维护及加固补强建议。

5.7 腐蚀联网观测

依据以上调查结果，建立并制定输电线路杆塔环境腐蚀联网观测方案。

联网观测的因素包括：腐蚀电流、温度、湿度、SO_2、Cl^-、风力风向、振动、沉降、

pH 值、氧溶解度、电阻率、自然腐蚀电位、氧化还原电位、杂散电流等因素。

6 调查方法

6.1 调查准备方法

6.1.1 确定调查人员

由项目承担单位确定调查项目负责人和调查技术负责人。

6.1.2 输电线路杆塔及其相关设施用金属材料历史资料搜集

输电线路杆塔的历史资料应包括以下内容：

a）投运时间、初始材料、初始防腐措施、设计图纸、竣工报告、历年使用、管理情况；

b）用途变更及结构改、扩建情况；

c）维修情况，包括维修方案、范围、防腐涂料及金属材料牌号等；

d）事故、灾害及处理情况；

e）气象、环境监测资料；

f）其它异常情况。

6.1.3 安全准备工作

调查输电线路杆塔前确保调查人员的人身安全，应符合电力安规规定。

6.1.4 确定重点调查部位

重点调查部位由调查项目负责人、调查技术负责人和现场管理人员共同确定。

6.1.5 调查仪器准备

对调查需使用的仪器进行检查和校准。

6.1.6 调查方案制定

调查方案由调查方提出，现场管理方确认。

6.2 现场腐蚀调查与评估方法

6.2.1 调查输电线路杆塔材料划分

根据输电线路杆塔的材料划分为若干种类，以便人员分组、分区检查。

6.2.2 现场腐蚀检查方法

6.2.2.1 目测检查

对调查对象进行腐蚀状态的目测和记录：

a）调查锈蚀对输电线路杆塔是否造成变形开裂等缺陷；

b）调查横担的表面状态，检查是否出现腐蚀迹象，如腐蚀斑点或材料表面的不均匀损坏；

c）调查锈蚀对紧固件等连接件是否造成松动、开裂、穿孔等缺陷。

6.2.2.2 敲击触摸

通过手部直接触摸、晃动和橡皮锤敲击检查，观察主材、辅材、联板、螺栓连接处是否牢固、有没有存在异常的变形情况，判断输电线路杆塔及其相关设施用金属材料的服役状态。

6.2.2.3 仪器检测

使用以下仪器识别及记录输电线路杆塔及其相关设施腐蚀现象，确定其腐蚀状况：

a）数码相机

识别和记录腐蚀现象。

b）无人机

对锈蚀总体情况和调查人员难以到达地方的腐蚀进行识别和记录。

c）超声波探伤仪

检测输电线路杆塔及其相关设施焊缝处的缺陷情况。

d）超声波测厚仪

检测输电线路杆塔及其相关设施因腐蚀或磨损导致的厚度减薄情况。

e）涂层测厚仪

检测输电线路杆塔及其相关设施表面涂镀层的厚度。

f）腐蚀大数据传感器

快速评价输电线路杆塔及其相关设施在环境中的腐蚀速率和环境腐蚀等级。

6.2.3 腐蚀等级判定

输电线路杆塔及其相关设施未涂装涂料/镀锌以及涂镀层失效后金属材料的腐蚀等级评定执行标准 GB 8923；

输电线路杆塔及其相关设施用金属材料表面涂层老化等级评定执行标准 GB/T 1766；

输电线路杆塔及其相关设施用金属材料大气环境条件下腐蚀等级评定执行标准 GB/T 19292.1；

输电线路杆塔及其相关设施用金属材料土壤环境条件下腐蚀等级评定执行标准GB/T 39637。

6.3 环境腐蚀性检测方法

6.3.1 腐蚀挂片法

按 ISO 9223 和 GB/T 19292.1 规定，选择碳钢、镀锌钢、耐候钢等标准金属试样进行现场一年暴晒试验确定。

6.3.2 大气环境因素测定法

按 ISO 9223 规定，由温度-湿度的综合作用、二氧化硫污染和空气中盐污染等因素确定。

6.3.3 土壤环境因素测定法

按 T/CSCP 0034 规定，由 pH 值、氧溶解度、含水量等因素确定。

6.4 样品实验室检测方法

6.4.1 现场采样样品分析检测

对现场采样样品的分析检测执行标准 T/CSCP 00046.17-2018 和 T/CSCP 00046.19-2018。

6.4.2 腐蚀挂片样品分析检测

对腐蚀挂片样品的分析检测执行标准 T/CSCP 0009-2017。

6.5 腐蚀联网观测

对腐蚀等级在 4 级（大气腐蚀等级 C4 及土壤腐蚀等级 4）及以上的输电线路杆塔及其相关设施用金属材料，优先进行腐蚀速率及温度、湿度、SO_2、Cl^-、风力风向、沉降、pH 值、氧溶解度和含水量等主要环境影响因素连续观测。

7 腐蚀调查人员资质

a）腐蚀调查项目负责人应具有电力工程或腐蚀防护专业高级技术职称；
b）报告编写人应具有电力工程或腐蚀防护专业高级技术职称；
c）一般调查人员应具有电力工程或腐蚀防护专业中级及以上技术职称；
d）操作人员应熟练掌握使用各种腐蚀检测和评估工具，如超声波测厚仪等。

8 腐蚀调查设备要求

8.1 数码相机

分辨率要求：数码相机应具备至少 2000 万以上像素的全画幅传感器。

长焦摄影要求：具备良好的远摄能力，以全画幅传感器尺寸大小为标准，相机所配备的长焦镜头的焦距不短于 200 mm。

8.2 无人机

无人机具备高分辨率相机、低光摄像头、红外相机等满足腐蚀调查所需的设备，无人机应具备防撞保护功能。

8.3 超声波探伤仪

分辨率要求：设备的分辨率应能够检测到 0.1 mm 或更小的缺陷；

频率选择：常用的频率范围从 0.5 MHz 到 10 MHz，应根据被检测材料的厚度和声波衰减特性来选择适当的频率。

8.4 超声波测厚仪

分辨率至少达到 0.1 mm 或更高。

8.5 涂层测厚仪

测量范围：从 0-3000 μm，适应不同类型和厚度的涂层；

精度要求：误差在±1%或更低，确保测量结果的准确性；

8.6 腐蚀大数据传感器

不同地区大气腐蚀性、土壤腐蚀性、淡水和海水腐蚀性强弱差异性较大（如沿海，湿热内陆，工业地区等环境），通过增加不同材料种类的腐蚀传感器，优先选取在环境腐蚀性发生变化时能及时产生响应的金属（包括碳钢、镀锌钢、耐候钢等），进而适用于不同腐蚀等级的大气和土壤环境进行实时监测。

9 腐蚀调查频率

本标准建议的调查频率应根据输电线路杆塔及其相关设施所在环境腐蚀风险等级确定：

大气环境腐蚀性等级 C1-C3 级别及土壤环境腐蚀性等级 1-2 级别（如干燥地区）：每三年进行一次全面调查；

大气环境腐蚀性等级 C4-C5 级别及土壤环境腐蚀性等级 3-4 级别（如城市中心、交通繁忙区域）：每年进行一次全面调查；

大气环境腐蚀性等级 CX 级别及土壤环境腐蚀性等级 5 级别（如沿海地区、工业污染严重地区）：每半年进行一次全面调查。

10 调查报告

调查报告应包括以下内容：

a）封面：报告标题、调查地点、日期和编制人员名单。

b）摘要：调查目的、调查对象、主要调查结果和腐蚀防护建议。

c）调查背景：包括调查的必要性和目标。

d）调查方法：详细描述使用的调查技术和方法。

e）调查结果：包括观察结果、测试数据和样本分析结果。

f）结论和建议：基于调查结果得出的结论和维护/修复建议。

g）附录：调查中使用的工具、设备清单、校准证书和人员资质证书。

h）参考标准：列出所有参考标准。