ICS 77.060
CCS H 25

# 中 国 腐 蚀 与 防 护 学 会 团 体 标 准

T/CSCP 0069-2026（T/CSCP 0069.7-2026）

# 城市燃气管网土壤环境腐蚀性区域地图绘制指南

Urban gas pipeline—Guide for soil environmental corrosivity classification and regional mapping of buried pipelines

2026-04-01 发布　　2026-07-01 实施

中国腐蚀与防护学会　发 布

T/CSCP 0069.7-2026

# 目　次

前　言 ..... II
引　言 ..... III
1 范围 ..... 1
2 规范性引用文件 ..... 1
3 术语和定义 ..... 1
4. 基本原则 ..... 2
5 土壤环境腐蚀性分级方法 ..... 2
5.1 分级指标体系 ..... 2
5.2 数据采集与要求 ..... 2
5.3 分级流程 ..... 2
6 土壤腐蚀性区域地图绘制方法 ..... 3
6.1 数据预处理与建库 ..... 3
6.2 空间分析与腐蚀面生成 ..... 3
6.3 地图要素设计与制图 ..... 3
6.4 地图输出、更新与管理 ..... 4
7 地图的应用 ..... 4
7.1 在管道规划与设计阶段的应用 ..... 4
7.2 在材料选择与防护设计中的应用 ..... 4
7.3 在运行维护与完整性管理中的应用 ..... 4
7.4 在应急响应与维修决策中的应用 ..... 4
**附 录 A** ..... 6
A.1 评价指标与评分标准 ..... 6
A.2 综合评分计算 每个采样点 i 的土壤腐蚀性综合评分（Si）按以下公式计算： .7
**附录 B** ..... 8
B.1 推荐技术流程 ..... 8
B.2 地图可视化增强建议 ..... 8

T/CSCP 0069.7-2026

# 前　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国腐蚀与防护学会提出并归口。

本文件起草的单位：北京科技大学，国家材料腐蚀与防护科学数据中心，广州天韵达新材料科技有限公司，广州市南沙区贝科耐蚀新材料研究院。

本文件主要起草人：杜翠薇、李晓刚、程学群、杨小佳、李众、孙雷、张帆、杨吉可、刘智勇、王伦滔、王炳钦、杜艳霞、李清、朱仁政、王昕煜、杨国威、杨体绍。

# 引　言

T/CSCP 0026-2026《城市燃气管道》涵盖了油气管网埋地金属管道腐蚀调查、评价、维护方法。目前，T/CSCP 0026-2026 由以下部分构成：

——第 1 部分：城市燃气管道 腐蚀调查方法通用导则

——第 2 部分：城市燃气管道 金属材料腐蚀程度评价方法

——第 3 部分：城市燃气管道 金属材料环境腐蚀联网观测方法

——第 4 部分：城市燃气管道 外腐蚀多因素高通量监测与寿命智能管理平台技术规范

——第 5 部分：城市燃气管道 外腐蚀多因素高通量监测与寿命智能管理平台现场安装规范

——第 6 部分：城市燃气管道 土壤环境腐蚀性分级方法

——第 7 部分：城市燃气管道 土壤腐蚀性区域地图绘制指南

T/CSCP 0069.7-2026

# 城市燃气管网土壤环境腐蚀性区域地图绘制指南

## 1 范围

本文件规定了埋地城市燃气管网沿线土壤环境腐蚀性的分级方法、数据采集要求、评价流程以及土壤腐蚀性区域地图的绘制原则、技术方法和应用指南。

本文件适用于陆上埋地原油、成品油、天然气长输管道及附属设施所在区域的土壤腐蚀性评估、分级可视化地图的构建，及其在管道全生命周期管理的规划、设计、施工、运维及风险管控中的应用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 39637 金属和合金的腐蚀 土壤环境腐蚀性分类

SY/T 0087.1 钢质管道及储罐腐蚀评价标准 第 1 部分：埋地钢质管道外腐蚀直接评

SY/T 6069 油气管道工程初步设计内容规范

CH/T 9015 三维地理信息模型数据产品规范

GB/T 35635 地理信息 地图符号系统

DZ/T 0287 土地质量地球化学评价规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件

3.1 土壤环境腐蚀性 soil environmental corrosivity

埋地管道所处土壤介质导致管道金属材料发生电化学腐蚀、微生物腐蚀等过程的趋势或能力。

3.2 土壤腐蚀性区域地图 soil corrosivity regional map

以地理信息图为底图，利用专题制图方法，直观展示特定区域内土壤环境腐蚀性等级空间分布特征的可视化成果。

3.3 关键腐蚀因子 key corrosive factors

对土壤腐蚀性起主导作用的理化及微生物指标，如土壤电阻率、pH 值、氧化还原电位、含水率、可溶性盐含量（$Cl^-$, $SO_4^{2-}$）、微生物活性等。

3.4 空间插值 spatial interpolation

基于已知离散采样点的土壤腐蚀因子数据，运用数学模型估算整个连续地理区域内未采样点数值，以生成空间分布曲面的方法。

3.5 腐蚀风险管理分区 corrosion risk management zone

综合土壤腐蚀性等级、管道失效后果（高后果区识别）及现有防护措施有效性，划定的用于实施差异化监测、检测、维护策略的地理管理单元。

## 4. 基本原则

4.1 科学客观：分级应基于土壤腐蚀电化学原理，采用定量与定性相结合的指标，评价过程应数据驱动、模型支撑。

4.2 系统全面：应系统考虑影响土壤腐蚀性的多因子及其相互作用，建立综合评价体系。

4.3 实用导向：分级结果与地图产品应直接服务于管道工程的设计选材、防护决策、运维管理和风险控制。

4.4 动态更新：应建立与管道巡检、检测、监测联动的数据更新机制，定期修订地图，反映环境变化。

4.5 标准协同：地图的数据格式、坐标系统、符号样式应与管道企业现有的地理信息系统（GIS）、管道完整性管理系统（PIMS）相兼容。

## 5 土壤环境腐蚀性分级方法

### 5.1 分级指标体系

土壤环境腐蚀性分级应依据一个多指标综合评价体系。核心指标应包括但不限于：

a) 电化学参数：土壤电阻率、氧化还原电位、自然腐蚀电位。

b)理化性质：pH 值、含水率（含水量）、质地（土壤类型）。

c)腐蚀性离子含量：氯离子（$Cl^-$）含量、硫酸根离子（$SO_4^{2-}$）含量、总含盐量。

d)微生物参数：硫酸盐还原菌（SRB）数量、氧化亚铁硫杆菌等微生物活性指标。

各指标权重及评分标准参见附录 A。

### 5.2 数据采集与要求

5.2.1 采样点布设：应沿管道走向，结合地形地貌、土壤类型、植被覆盖的变化进行系统布点。重点区域（如穿跨越段、站场阀室、已知腐蚀高风险区、土壤异质区）应加密采样。

5.2.2 采样深度：采样深度应至少覆盖管道埋设深度范围，并考虑上层土壤与管沟回填土的可能差异。

5.2.3 数据质量：采样、保存、运输、测试应遵循相关标准，确保数据准确、可比。应记录采样点的精确地理坐标（建议使用 GNSS 定位）。

5.2.4 数据来源：包括现场测试数据、历史勘察与检测数据、区域地质地球化学调查资料等。

### 5.3 分级流程

5.3.1 数据标准化：对采集的不同量纲指标数据进行标准化处理。

5.3.2 单因子评价：参照附录 A，对每个采样点的各项指标进行评分。

5.3.3 综合评分计算：采用加权求和法、模糊综合评价法或主成分分析法等，计算每个采样点的土壤腐蚀性综合评价值（S）。

5.3.4 等级划分：根据综合评价值（S），对照表 1 确定该点的土壤环境腐蚀性等级（SC1-SC5）。

**表 1 土壤环境腐蚀性分级表**

| 等级 | 腐蚀性描述 | 综合评分（S）范围 | 对埋地钢管腐蚀风险影响 |
|---|---|---|---|
| 1 | 弱 | S≤20 | 腐蚀风险极低。土壤电阻率高，化学性质稳定，微生物活性弱。 |
| 2 | 较弱 | 20＜S≤40 | 腐蚀风险较低。存在轻微腐蚀性因子，但总体环境对管道友好。 |
| 3 | 中 | 40＜S≤60 | 腐蚀风险中等。存在明确的腐蚀性因子（如中低电阻率、偏酸性或含一定盐分），需标准防护。 |
| 4 | 强 | 60＜S≤80 | 腐蚀风险高。土壤电阻率低，或富含腐蚀性离子，或微生物活跃，需加强防护与监测。 |
| 5 | 极强 | S＞80 | 腐蚀风险极高。如强酸性沼泽土、高盐渍土、严重杂散电流干扰区、微生物强烈腐蚀区，需采取特种防护和严格监控。 |

## 6　土壤腐蚀性区域地图绘制方法

### 6.1 数据预处理与建库

6.1.1 建立统一的土壤腐蚀空间数据库，包含所有采样点的地理坐标、各项原始指标数据、标准化数据、综合评分（S）及最终腐蚀性等级。

6.1.2 集成管道矢量数据（中心线、站场、阀室）、基础地理信息数据（地形、水系、行政区划）、高后果区数据等。

### 6.2 空间分析与腐蚀面生成

6.2.1 空间插值：选择适宜的空间插值方法（如普通克里金法、反距离权重法），将离散的采样点“综合评分（S）”或“腐蚀性等级”插值为连续的栅格表面。

克里金法：推荐使用，能考虑数据的空间结构并提供误差估计。

反距离权重法：适用于数据点分布均匀且情况。

6.2.2 腐蚀性分区：对插值生成的“综合评分”栅格表面，根据表 1 的阈值进行重分类，生成“土壤腐蚀性等级”分区栅格图。

6.2.3 矢量边界生成：将栅格分区图转换为多边形矢量图层，并进行边界平滑与拓扑检查，形成最终的土壤腐蚀性分区矢量数据。

### 6.3 地图要素设计与制图

6.3.1 底图要素：包含必要的地理参考信息，如主要河流、道路、居民地、等高线（或阴影地貌）。

6.3.2 专题要素

腐蚀性分区面：采用渐进色系清晰表示 SC1 至 SC5 等级，建议从冷色（绿/蓝，低腐蚀）过渡到暖色（黄/橙/红，高腐蚀）。

管道线：用醒目线型表示，并与腐蚀分区叠加显示。

采样点位：可选择性显示，用符号区分不同来源或时期的采样点。

关键设施：标注站场、阀室、穿跨越点等。

6.3.3 地图整饰：应包括图名、图例、比例尺、指北针、坐标系说明、制图单位、制图日期、数据源清单等。

### 6.4 地图输出、更新与管理

6.4.1 输出格式：

出版格式：高分辨率静态图（PDF, PNG, JPEG），用于报告和展示。

交互格式：网络地图服务（WMS/WFS）或 GIS 工程文件（如 .shp, .gdb, .mxd, .qgz），用于集成到企业 GIS 或 PIMS 中进行分析。

6.4.2 更新周期：

全面更新：建议每 3-5 年或当沿线土壤环境发生显著变化时进行。

局部更新：根据新增的腐蚀调查、监测数据或工程活动（如改线、修复）及时更新相关区域。

6.4.3 版本管理：建立地图版本档案，记录每次更新的范围、内容、依据和版本号。

## 7 地图的应用

### 7.1 在管道规划与设计阶段的应用

路径优化：在可行性研究和初步设计阶段，参考腐蚀性地图，优先选择腐蚀性等级较低（SC1-SC2）的走廊带，规避 SC4-SC5 高风险区。

设计输入：为确定不同管段的腐蚀防护等级提供直接依据。

### 7.2 在材料选择与防护设计中的应用

差异化防护：根据沿线土壤腐蚀性分级，差异化选择防腐层类型（如 FBE、3LPE）、等级及厚度。

阴极保护设计：为确定阴极保护电流密度、阳极地床选址和规模提供关键的环境参数输入。

内防护考虑：对于可能接触腐蚀性土壤水分的管道内壁，可参考土壤腐蚀性进行内涂层或缓蚀剂方案考虑。

### 7.3 在运行维护与完整性管理中的应用

巡检与监测重点：将高腐蚀性区域（SC4-SC5）及其中运行的管道段列为外腐蚀直接评价（ECDA）、阴极保护系统有效性测试、地面巡检的重点关注区。

检测计划制定：指导内检测（ILI）和外检测（如 CIPS、DCVG）的优先次序和周期安排。

风险评价：作为管道风险评价模型中“腐蚀失效可能性”的重要输入参数。

维护决策：在制定修复、更换或加强计划时，优先考虑处于高腐蚀环境中且存在缺陷的管段。

### 7.4 在应急响应与维修决策中的应用

应急评估：当发生地质灾害、第三方破坏导致管道暴露或涂层损伤时，可快速定位事故点所属的土壤腐蚀性等级，评估腐蚀加速风险。

维修策略：指导现场维修时补口材料的选择和施工工艺的确定，确保与周围环境的腐

蚀性相匹配。

# 附 录 A
（规范性）

## A.1 评价指标与评分标准

推荐采用表 A.1 所示的指标体系与评分标准。用户可根据本地区土壤特点和管道重要性，经专家论证后对指标、阈值和权重进行适当调整。

**表 A.1 土壤环境腐蚀性评价指标评分表示例**

| 评价指标 | 单位 | I（0 分） | II（3 分） | III（6 分） | IV（9 分） | V（12 分） | 权重（Wi） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 土壤电阻率（ρ） | Ω·m | >100 | 50～100 | 20～50 | 10～20 | ≤10 | 0.25 |
| pH 值 | - | 6.5～7.5 | 5.5~6.5 或 7.5~8.5 | 4.5~5.5 或 8.5~9.0 | <4.5 或 9.0~10.0 | >10.0 | 0.20 |
| 氧化还原电位（Eh） | mV（vs.SHE） | >400 | 200～400 | 100～200 | 0～100 | <0 | 0.15 |
| 含水率（ω） | % | ≤7 或 ≥40 | 7~10 或 30~40 | 10~12 或 25~30 | 12~15 或 20~25 | 15～20 | 0.10 |
| $Cl^-$ 含量 | mg/kg | ≤50 | 50～100 | 100～500 | 500～1000 | >1000 | 0.15 |
| $SO_4^{2-}$ 含量 | mg/kg | ≤200 | 200～500 | 500～1000 | 1000～2000 | >2000 | 0.05 |
| SRB 菌量 | 个/mL | ≤10 | 10～$10^2$ | $10^2$～$10^3$ | $10^3$～$10^4$ | >$10^4$ | 0.10 |
| 注：权重总和为 1.0。 | | | | | | | |

## A.2 综合评分计算

每个采样点 i 的土壤腐蚀性综合评分（Si）按以下公式计算：

$$s_i = \sum_{j=1}^{n} (w_j \times s_{ij})$$

式中：

$s_i$：第 i 个采样点的综合评分。

$w_j$：第 j 项评价指标的权重。

$s_{ij}$：第 i 个采样点第 j 项指标的得分（根据表 A.1 查询）。

n：评价指标总数。

计算得到的$s_i$值，对应表 1 确定该点的土壤环境腐蚀性等级。

# 附录 B
（资料性）
# 土壤腐蚀性区域地图制作技术要点与示例

## B.1 推荐技术流程

(1)数据准备与质检：确保所有空间数据坐标系统一（推荐 CGCS2000）。

(2)创建地理数据库：在 GIS 平台中建立要素数据集，存储点、线、面及栅格数据。

(3)空间插值分析：使用地统计模块，对“综合评分(S)”字段进行探索性数据分析（EDA），选择合适的半变异函数模型进行克里金插值。

(4)分类与制图：将插值结果按表 1 分类，符号化，叠加管道等要素，进行版面设计。

(5)质量检查：检查图面要素完整性、逻辑一致性、视觉清晰度。

## B.2 地图可视化增强建议

(1)分层设色：SC1(浅绿)、SC2(深绿)、SC3(黄色)、SC4(橙色)、SC5(红色)。

(2)叠加显示：可在腐蚀分区图上，以不同透明度的晕线或图案叠加显示“高后果区”、“已发现缺陷点”、“阴极保护欠保护区域”等，制作复合分析图。

(3)剖面图：针对重点管段，可制作“管道沿线土壤腐蚀性等级变化剖面图”，与平面图结合使用。