腐蚀 · 电偶序 · 异种金属接触 · 技术参考文档 · 公开

# 电偶腐蚀与 材料相容性

哪些金属可以相互接触——电偶序与阳极指数规则——以及其他腐蚀形式和在装配体设计中消除它们的方法。

| 修订 | 发布 | 负责 | 附件 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1.0 | June 2026 | Ideambox 工程团队 | PDF 参考资料 |

**摘要**

当两种不同金属在有电解质（哪怕只是潮湿空气）的条件下接触时，较活泼的金属会优先腐蚀——这就是电偶腐蚀。它是混合材料装配体中最常见、也最容易避免的现场失效之一。借助电偶序和几条规则，就能判断哪些金属组合是安全的。

第 1 节介绍电偶腐蚀。第 2 节为电偶序 / 阳极指数。第 3 节为相容性规则。第 4 节介绍其他腐蚀形式。第 5 节为防护措施。第 6 节为检查清单。




两种金属在电解质中偶接时，较活泼的（阳极）金属会腐蚀，从而保护较惰性的金属。应使阳极指数差尽量小——并且要记住，小阳极对大阴极时腐蚀很快。

目录

1. 电偶腐蚀
2. 电偶序（阳极指数）
3. 相容性规则
4. 其他腐蚀形式
5. 防护措施
6. 检查清单

# 1. 电偶腐蚀

电偶腐蚀需要**三个条件同时具备**——去掉任何一个，腐蚀即停止：

1. **两种不同的金属**（电位不同），
2. 连接二者的**电解质**（海水、冷凝水，甚至潮湿空气），以及
3. 二者之间的**电接触**。

较活泼的（阳极性）金属成为阳极，腐蚀速度比单独存在时更快；较惰性的（阴极性）金属则受到保护。电位差越大、电解质导电性越强，腐蚀越快。

| | |
|---|---|
| **阳极** | 较活泼的金属——发生腐蚀（材料损失） |
| **阴极** | 较惰性的金属——受到保护 |
| **阳极指数** | 金属的惰性程度，范围为 0（惰性）→ 1.75（活泼）；指数*差*用于预测风险 |
| **面积比** | 阴极面积 / 阳极面积——大阴极驱动小阳极是危险情形 |

## 2. 电偶序（阳极指数）

按**惰性（阴极性，受保护）**到**活泼（阳极性，被腐蚀）**排序——两种偶接金属的指数差可用于预测风险（参照 MIL-STD-889）：

| 金属 | 阳极指数（V） |
|---|---|
| **金、铂、石墨** | 0.00 |
| **银** | 0.15 |
| **不锈钢（钝态）、钛、镍** | 0.30 |
| **铜、黄铜、青铜** | 0.40 |
| **锡、铅、焊锡** | 0.65 |
| **不锈钢（活化态）** | 0.50–0.85 |
| **碳钢、铸铁** | 0.85 |
| **铝合金** | 0.90–0.95 |
| **镉** | 0.80 |
| **锌（及镀锌层）** | 1.25 |
| **镁** | 1.75 |

锌和铝被有意用作**牺牲阳极**——镀锌和富锌底漆通过自身先腐蚀来保护钢。不锈钢在*钝态*时是惰性的，但在滞流、缺氧的缝隙中会向活化态转变。

## 3. 相容性规则

使**阳极指数差**低于所处环境的阈值：

| 环境 | 最大指数差 |
|---|---|
| **恶劣 / 海洋 / 户外** | ⩽ 0.15 V |
| **一般室内** | ⩽ 0.25 V |
| **干燥 / 温湿度受控** | ⩽ 0.50 V |

还要注意**面积比**：*小阳极*对*大阴极*时腐蚀很快（例如大铜板上的钢紧固件——不好；大钢板上的铜紧固件——问题小得多）。紧固件的电位应至少与被连接件同样惰性。

## 4. 其他腐蚀形式

| 形式 | 原因 | 防护措施 |
| --- | --- | --- |
| **均匀腐蚀** | 整体氧化 | 涂层、油漆、更惰性的合金、预留腐蚀裕量 |
| **点蚀** | 氯离子破坏钝化膜（不锈钢） | 316/更高钼含量牌号，避免介质滞流 |
| **缝隙腐蚀** | 缺氧的缝隙（密封件下、搭接处） | 密封/消除缝隙，设置排水 |
| **应力腐蚀开裂** | 拉应力 + 特定环境 | 降低应力，选用耐蚀合金，喷丸 |
| **晶间腐蚀** | 敏化的不锈钢焊缝（铬碳化物） | 低碳（304L/316L，即 022Cr19Ni10/022Cr17Ni12Mo2）或稳定化牌号 |

## 5. 防护措施

- **选择相容的金属组合**——最经济的办法是选用指数差在允许范围内的金属。
- 必须混用时进行**绝缘隔离**：非导电垫片、紧固件用的台阶垫圈/绝缘套管、在一侧或两侧表面涂覆（切断电通路）。
- **有利的面积比**——让阳极大或阴极小；绝不要在大的阴极性零件上使用细小的阳极性紧固件。
- **涂覆阴极**（看似反直觉但正确：阳极涂层上的缺陷会使腐蚀集中）。
- 大型结构采用**牺牲阳极**（锌/镁）；用**缓蚀剂 / 密封胶**隔绝电解质。
- **排水**——在设计上消除积水处和缝隙。

## 6. 检查清单

- **列出所有相互接触的金属**（包括紧固件、涂镀层、弹簧）。
- **电解质？**干燥室内、潮湿、溅水，还是浸没/海洋环境。
- **指数差**——查出每种金属的指数，按环境限值核对差值。
- **面积比**——阳极是否比阴极小？紧固件应至少与连接件同样惰性。
- **若不相容：**进行隔离（垫片/套管/涂层）、重新选材或增设牺牲件——并在设计上消除缝隙和积水处。可配合*热处理与表面处理*和*材料*参考资料使用。

---

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/zh-hans/downloads/galvanic-corrosion-chart/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact