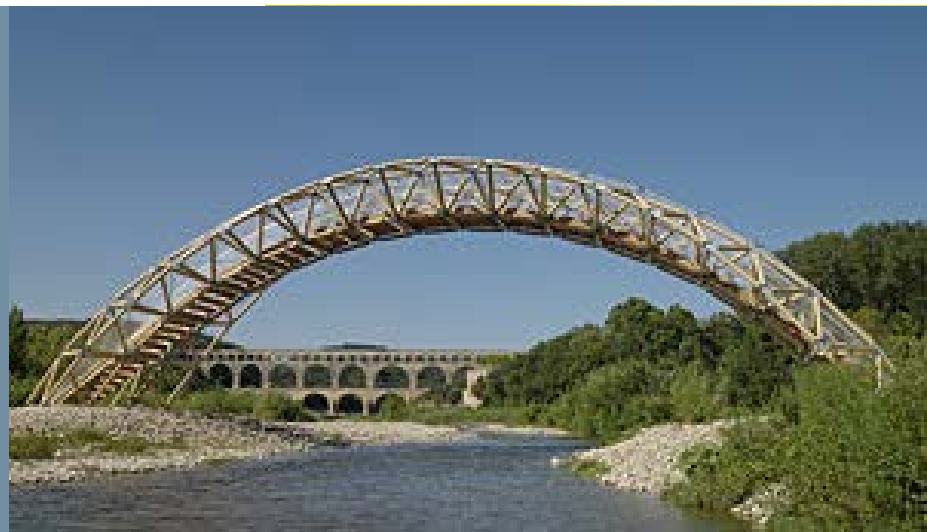


《环境工程设计基础》



张刚 工学博士 高级工程师 注册公用设备（给水排水）工程师

华南师范大学 环境学院

电话 13631390582



环保设备设计基础





内 容

- 基础知识
- 通用设备
- 环保专用设备





一、基础知识

(二) 环保设备的腐蚀与防护





1.1 腐蚀的定义

腐蚀(corrosion)源于拉丁文“correre”，意即“损坏”、“腐烂”

20世纪60年代前，材料腐蚀的定义只局限于金属

生锈：铁及铁基合金生成以水合氧化铁为主的腐蚀

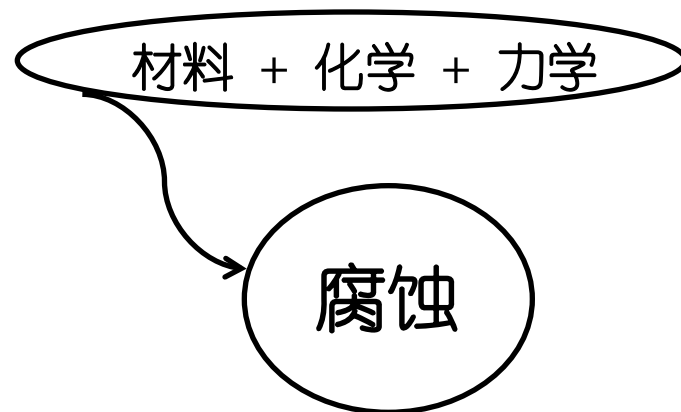
腐蚀的概念逐步涉及到整个材料领域

塑料发胀或开裂

木头干裂或腐烂

花岗岩风蚀

水泥剥离脱落





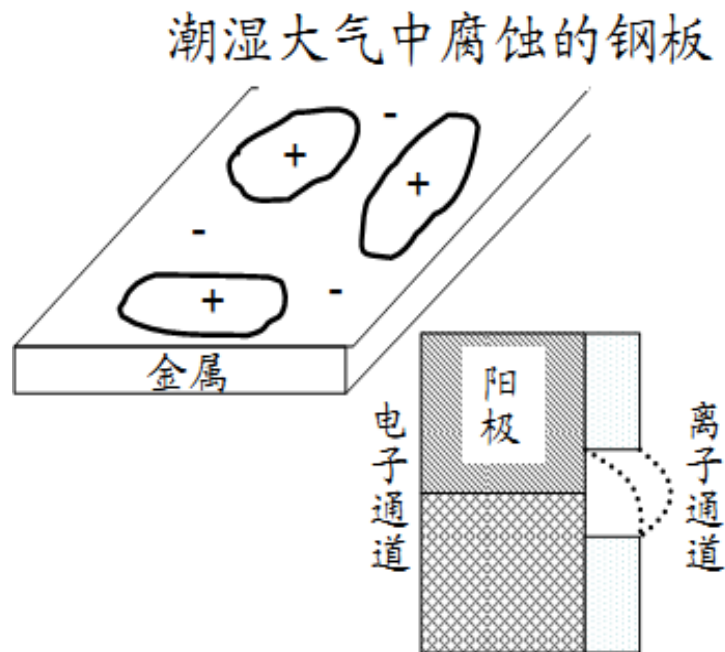
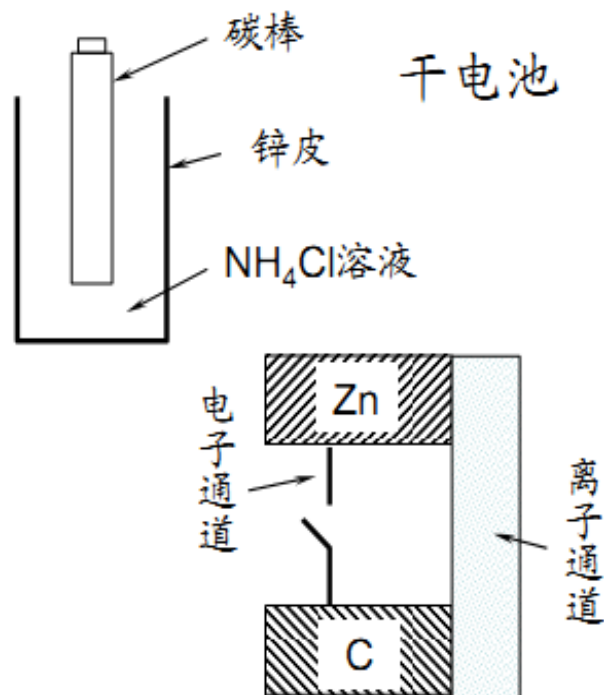
腐蚀的定义

★ 腐蚀是材料受环境介质的化学、电化学和物理作用产生的损坏或变质现象。腐蚀包括化学、电化学与机械因素或生物因素的共同作用。

- 环境介质：材料-环境交互作用
- 表面/界面现象
- 自发现象
- 材料损伤 {
 - 宏观上：材料质量流失、强度退化
 - 微观上：组织、结构或价态的改变



腐蚀现象的本质

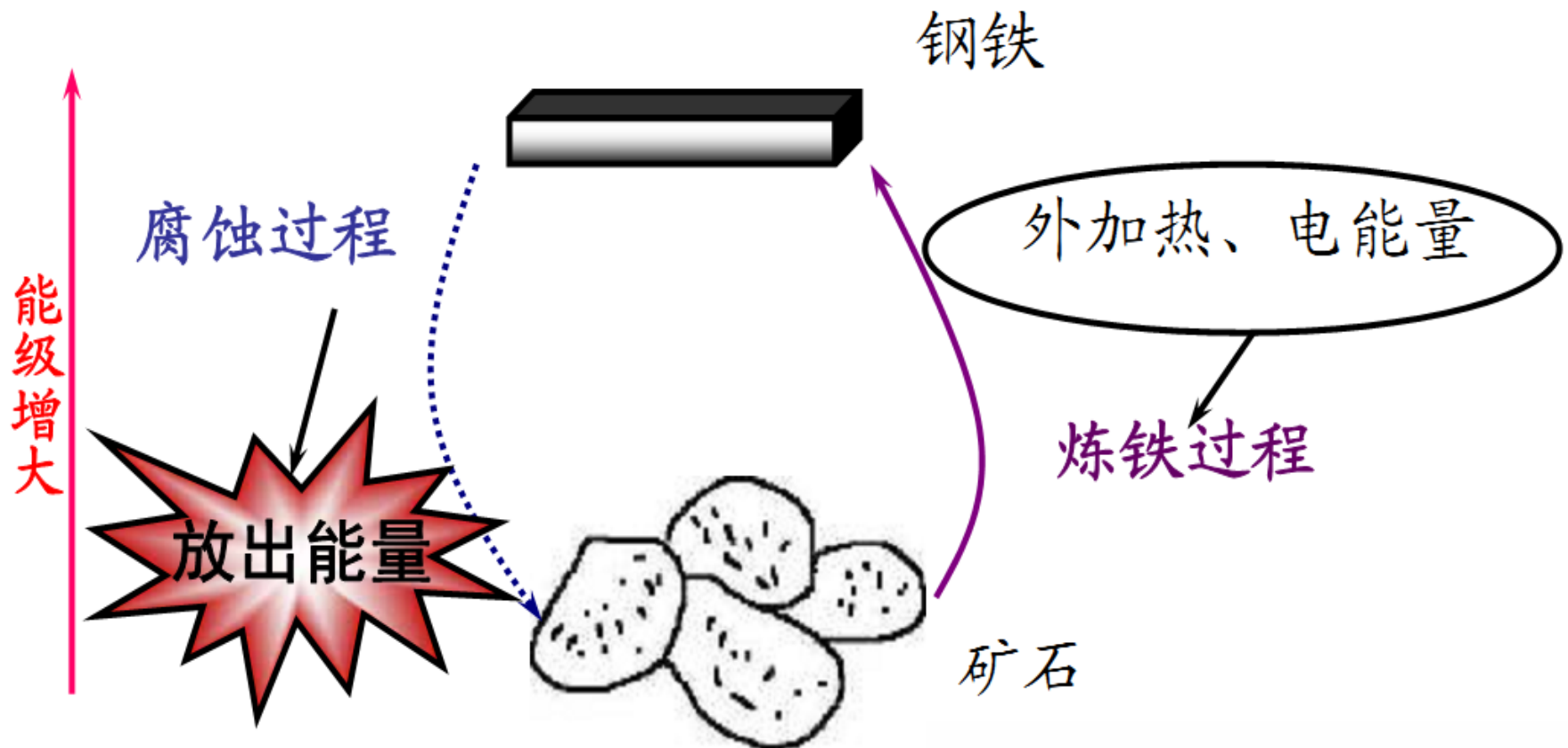


电池类型	原电池	腐蚀电池
电子通道	外部导线	钢板本身
离子通道	内部电解质	表面连续水膜



腐蚀的特点

(1) 自发性



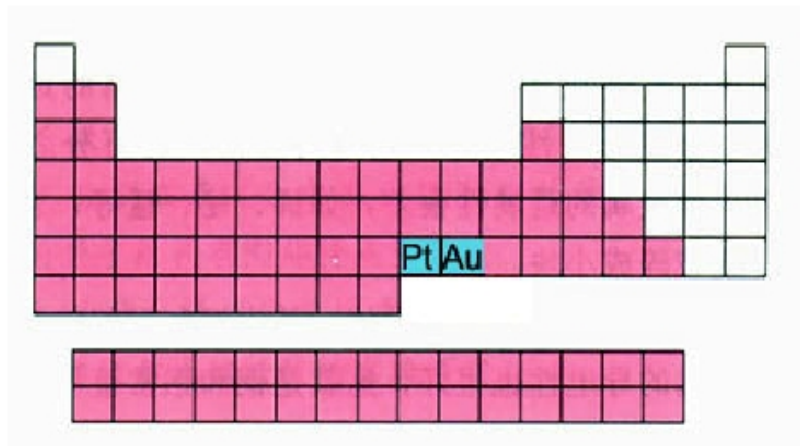


1. 引言

腐蚀的特点

(2) 普遍性

纯金属最低能级状态一般为其化合物（除 Au、Pt）



普遍存在的空气和水是两类主要腐蚀环境
(O_2 、 H^+)



1. 引言

腐蚀的特点

(3) 隐蔽性

发展速度缓慢

- 不锈钢在海水中点蚀：**10年孕育期**

表现形式不易被发觉

- 生锈：容易观察
- 应力腐蚀断裂：表面光亮如新
内部密布裂纹



1.2 金属腐蚀分类

按材料所在环境

- 自然环境中的腐蚀

- 大气腐蚀
- 土壤腐蚀
- 淡水和海水腐蚀
- 微生物腐蚀

- 工业环境中的腐蚀

- 酸、碱、盐溶液中的腐蚀
- 工业水中的腐蚀
- 熔盐中的腐蚀
- 石油天然气的腐蚀
- 液态金属的腐蚀
- 宇航环境
- 核工业环境

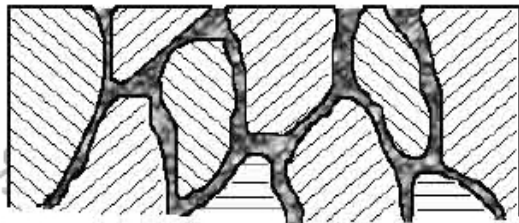
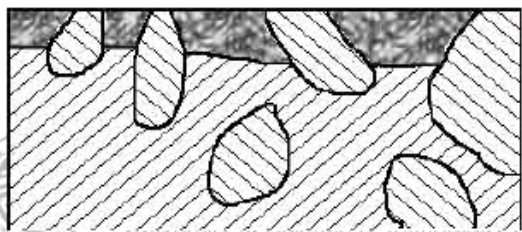
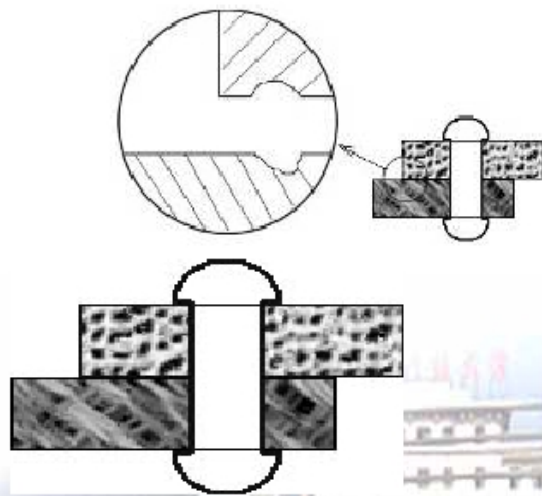
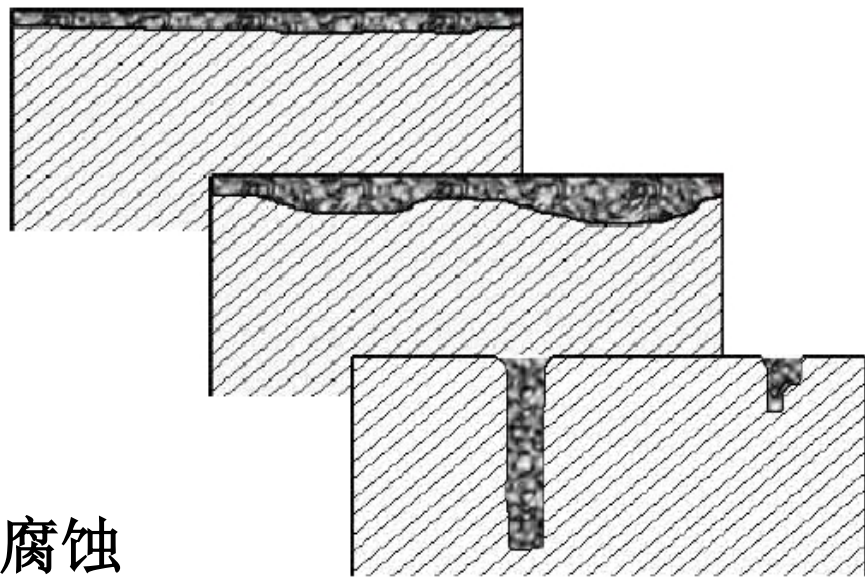
生物环境中的腐蚀



金属腐蚀分类

按材料腐蚀形态

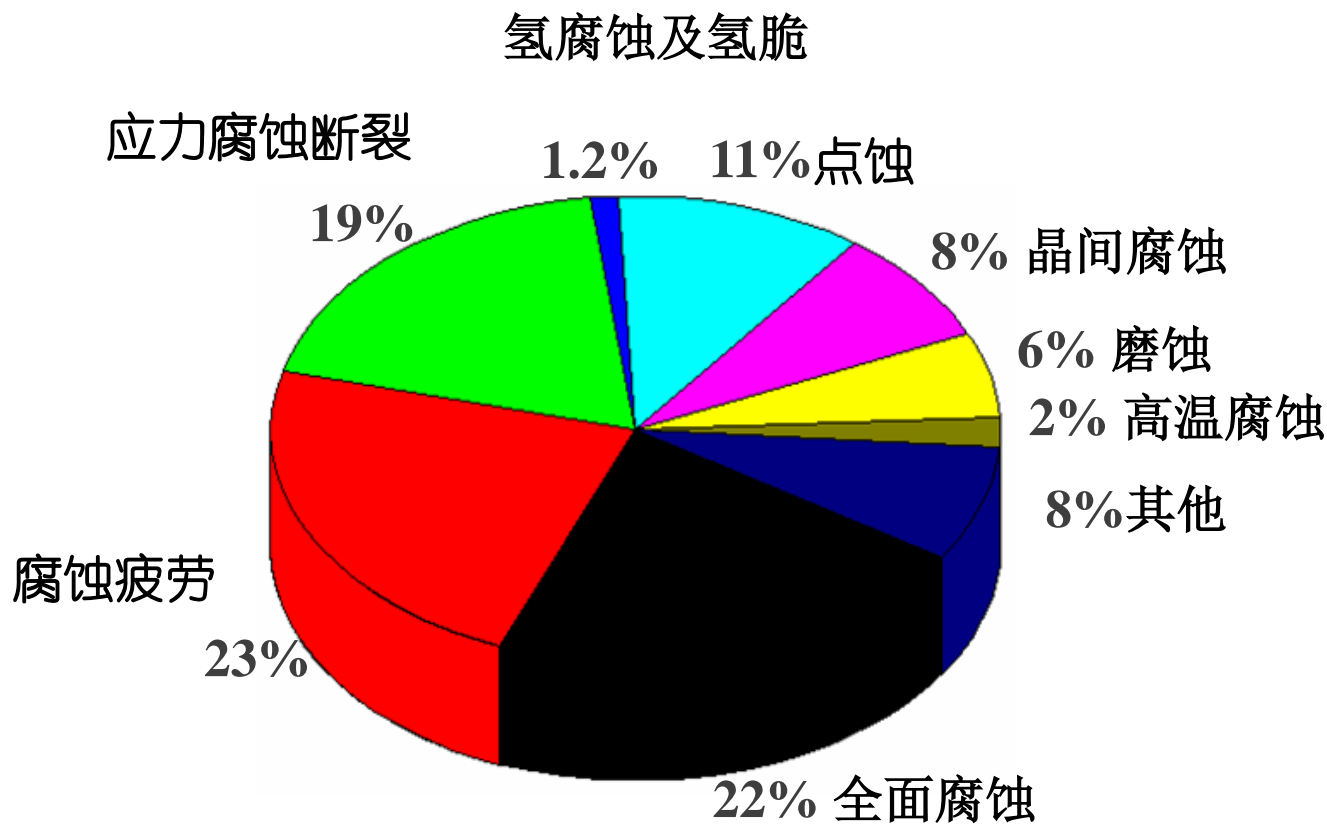
- 全面腐蚀
 - 均匀腐蚀
 - 不均匀腐蚀
- 局部腐蚀
 - 点蚀（孔蚀）
 - 缝隙腐蚀及丝状腐蚀
 - 电偶腐蚀（接触腐蚀）
 - 晶间腐蚀
 - 选择性腐蚀





1. 引言

各种腐蚀所占比例





金属腐蚀分类

按腐蚀反应机理

- 化学腐蚀：高温氧化
- 电化学腐蚀
 - 电化学作用
 - 电化学+机械作用
 - 应力腐蚀开裂
 - 腐蚀疲劳
 - 磨损腐蚀（冲击、振动）
 - 氢致腐蚀
 - 空泡腐蚀
 - 电化学+生物作用

物理溶解腐蚀：Fe在液体钠中的腐蚀



钢铁的析氢腐蚀和吸氧腐蚀比较

	析氢腐蚀		吸氧腐蚀
条件	水膜呈酸性		水膜呈碱性、中性或弱酸性
电极反应	负极	$\text{Fe}-2\text{e}^{-}=\text{Fe}^{2+}$	$2\text{Fe}-4\text{e}^{-}=2\text{Fe}^{2+}$
	正极	$2\text{H}^{+}+2\text{e}^{-}=\text{H}_2\uparrow$	$\text{O}_2+2\text{H}_2\text{O}+4\text{e}^{-}=4\text{OH}^{-}$
	总反应	$\text{Fe}+2\text{H}^{+}=\text{Fe}^{2+}+\text{H}_2\uparrow$	$2\text{Fe}+2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2=2\text{Fe}(\text{OH})_2$ $4\text{Fe}(\text{OH})_2+2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2=4\text{Fe}(\text{OH})_3$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (铁锈)
联系	通常以电化学腐蚀为主，其中又以吸氧腐蚀更普遍。		



2.1 电化学基本概念

电极：电极系统中的电子导体相

阳极：发生氧化反应的电极

阳极反应：失去电子的反应，氧化反应

阴极：发生还原反应的电极

阴极反应：得到电子的反应，还原反应

原电池产生电流：两电极之间的电位差引起

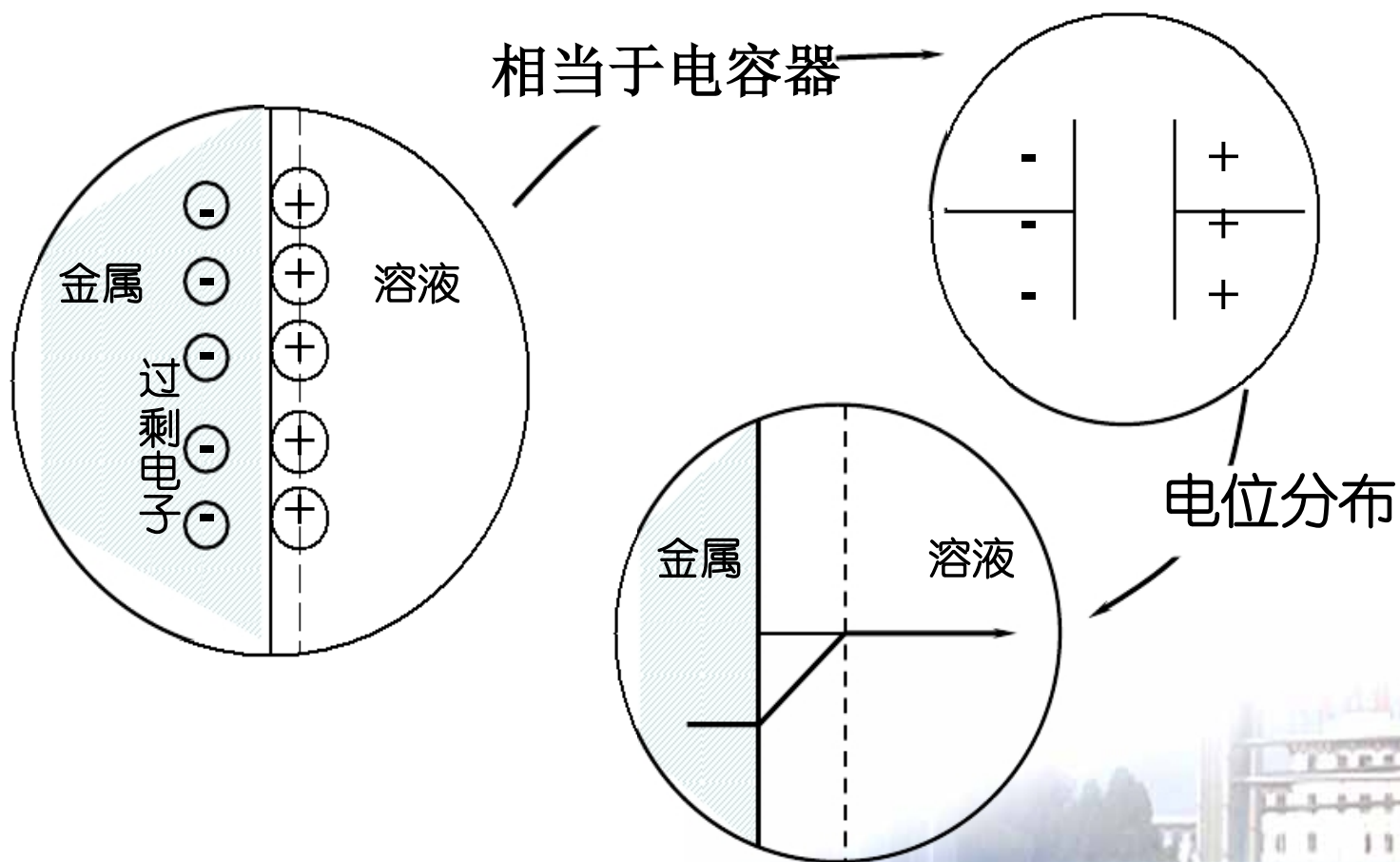
——电极反应的驱动力：电池的电位差

阴极电位高：正极；**阳极**电位低：负极

2.2 电极电位的产生

电极电位：电子导体和离子导体接触时的界面电位差

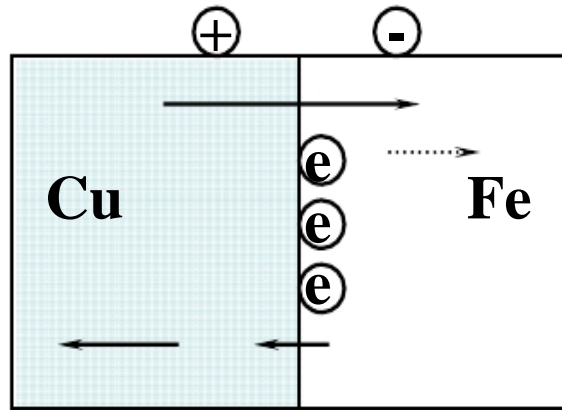
——材料在电解质溶液中形成的双电层



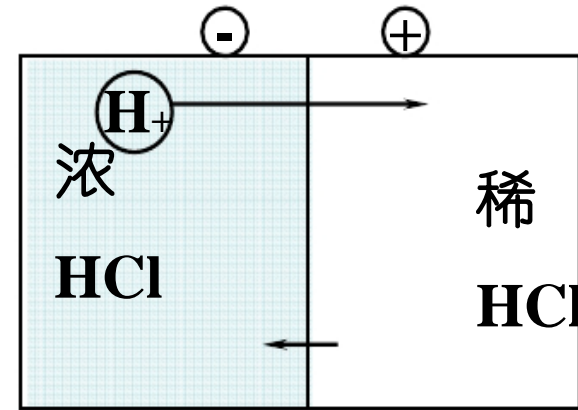


电极电位的产生

电极电位是不同导体接触时产生的界面电现象之一



金属+金属：接触电位
电子/电子



溶液+溶液：液接电位
离子/离子

金属+溶液：电极电位，电子/离子，几百~几千mV

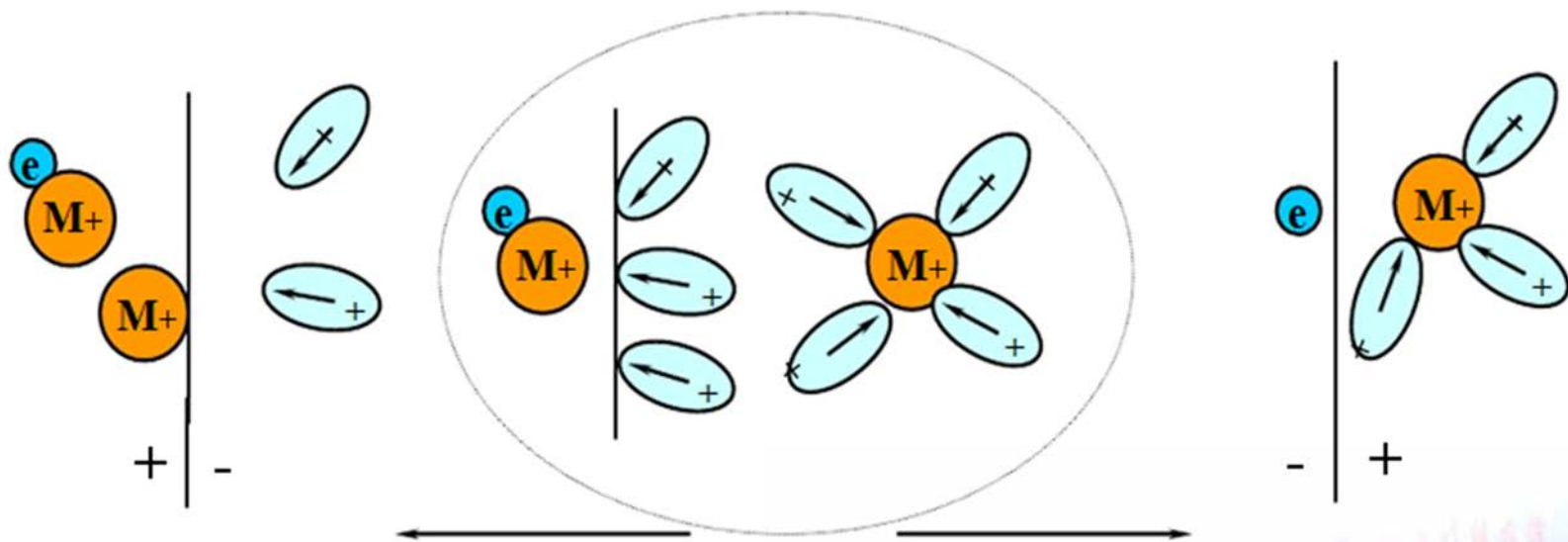


界面双电层

(1) 界面金属原子+极性水分子

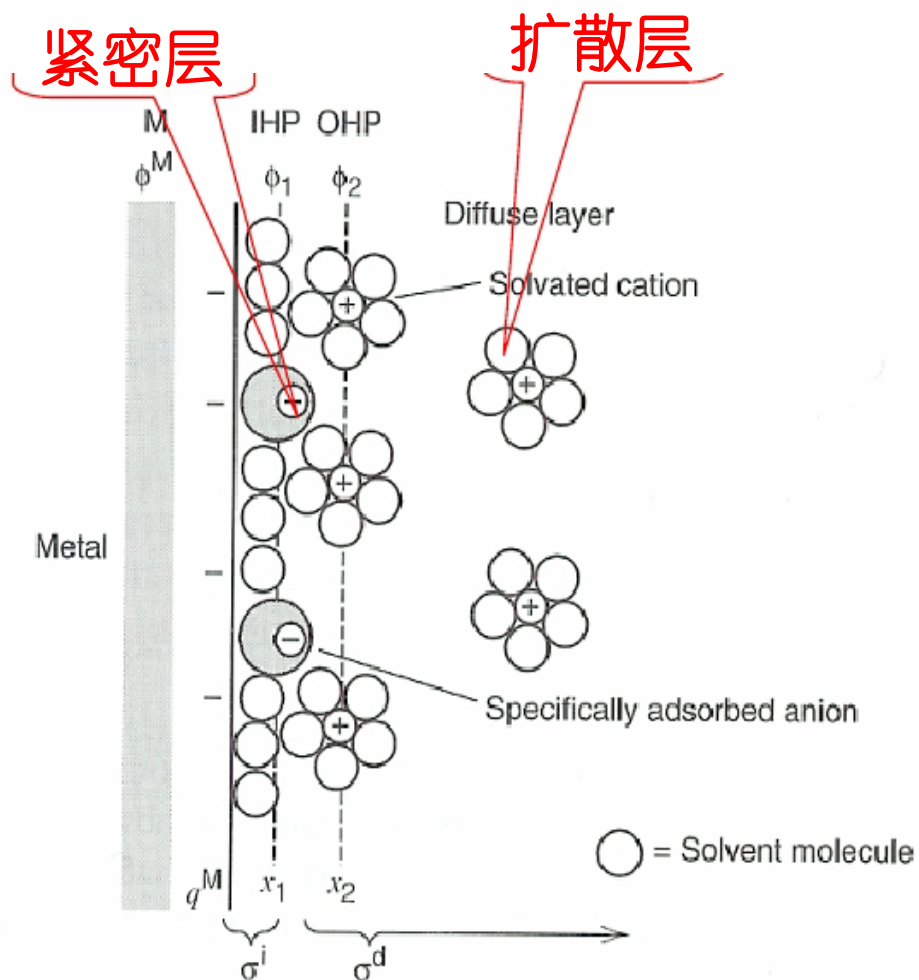
——自由离子——水化

——水化金属离子——进入溶液





界面双电层



金属浸在电解质溶液中，
会建立起双电层

由紧密层和扩散层组成

金属表面积累了过剩
电子，使金属带负电

紧靠金属表面的液层
带正电



2.2 电极电位的定义

- 金属-溶液界面上建立了**双电层**，使得金属与溶液间产生电位差，这种电位差称为电极电位
- **影响因素**
 1. 构成电极的物质自身性质
 2. 物质表面状态
 3. 溶液中离子的浓度
 4. 气态物质的分压、温度



2.3 标准电极电位

- 能斯特方程反应了平衡电极电位与温度、参与反应的各种物质活度和压强间的关系。
- 纯金属（或1atm纯气体）浸于自身离子活度为1mol/L的溶液中的平衡电极电位。

$$E_{M^{n+}/M} = E_{M^{n+}/M}^0 + \frac{RT}{nF} \ln a_{M^{n+}}$$

K Ca Na Mg Al Zn Fe Sn Pb **H** Cu Hg Ag Pt Au



利用标准电动序，在**原电池**中，可以判断**电势小者易氧化，为负极**；在**电解池**中，**阳极上小者先氧化，阴极上大者先还原**。

电动序

电极	E_0 (SHE) /V	电极	E_0 (SHE) /V
Na/Na ⁺	-2.713	Ni/Ni ²⁺	-0.25
Mg/Mg ²⁺	-2.37	Sn/Sn ²⁺	-0.136
Be/Be ²⁺	-1.85	Pb/Pb ²⁺	-0.126
Al/Al ³⁺	-1.676	Fe/Fe ³⁺	-0.036
Ti/Ti ²⁺	-1.63	H ₂ /H ⁺	0.0
Zr/Zr ²⁺	-1.53	Cu/Cu ²⁺	+0.337
Mn/Mn ²⁺	-1.18	Cu/Cu ⁺	+0.521
Zn/Zn ²⁺	-0.763	Hg/Hg ²⁺	+0.789
Cr/Cr ³⁺	-0.74	Ag/Ag ⁺	+0.799
Fe/Fe ²⁺	-0.44	Pd/Pd ²⁺	+0.987
Cd/Cd ²⁺	-0.403	Pt/Pt ⁺	+1.2
In/In ³⁺	-0.342	Au/Au ³⁺	+1.5
Co/Co ²⁺	-0.277	Au/Au ⁺	+1.7

	E_o, V
Li⁺(aq) + e⁻ = Li(s)	-3.040
K⁺(aq) + e⁻ = K(s)	-2.924
Na⁺(aq) + e⁻ = Na(s)	-2.713
Al³⁺(aq) + 3e⁻ = Al(s)	-1.676
Zn²⁺(aq) + 2e⁻ = Zn(s)	-0.763
Fe²⁺(aq) + 2e⁻ = Fe(s)	-0.440
2H⁺(aq) + 2e⁻ = H₂(g)	0.000
Cu²⁺(aq) + e⁻ = Cu(s)	+0.340
I₂(s) + 2e⁻ = 2I⁻	+0.535
Ag⁺(aq) + e⁻ = Ag(s)	+0.800
Br₂(l) + 2e⁻ = 2Br⁻(aq)	+1.065
Cl₂(g) + 2e⁻ = 2Cl⁻(aq)	+1.358
Au⁺ + e⁻ = Au(s)	+1.680
F₂(g) + 2e⁻ = 2F⁻(aq)	+2.866



腐蚀防护的基本途径

● 提高材料本身的抗蚀性：

材料的热力学稳定性

控制腐蚀动力学

● 改变环境：

介质温度与流速，介质中 O_2 、 SO_2 含量，改变溶液pH值，改变应力状态，加入缓蚀剂等

● 电化学保护：

阴极极化降低氧化反应速度

阳极钝化防腐



3. 设备防护

腐蚀防护的基本途径

- 采用涂镀层和表面改性：

化学转化膜、金属涂镀层、非金属涂层、
改变材料表面结构

- 将材料与腐蚀介质隔开：

采用衬里、防锈油、防锈纸等

- 正确选材与合理设计

- 腐蚀与防护的管理与教育



3. 设备的腐蚀防护

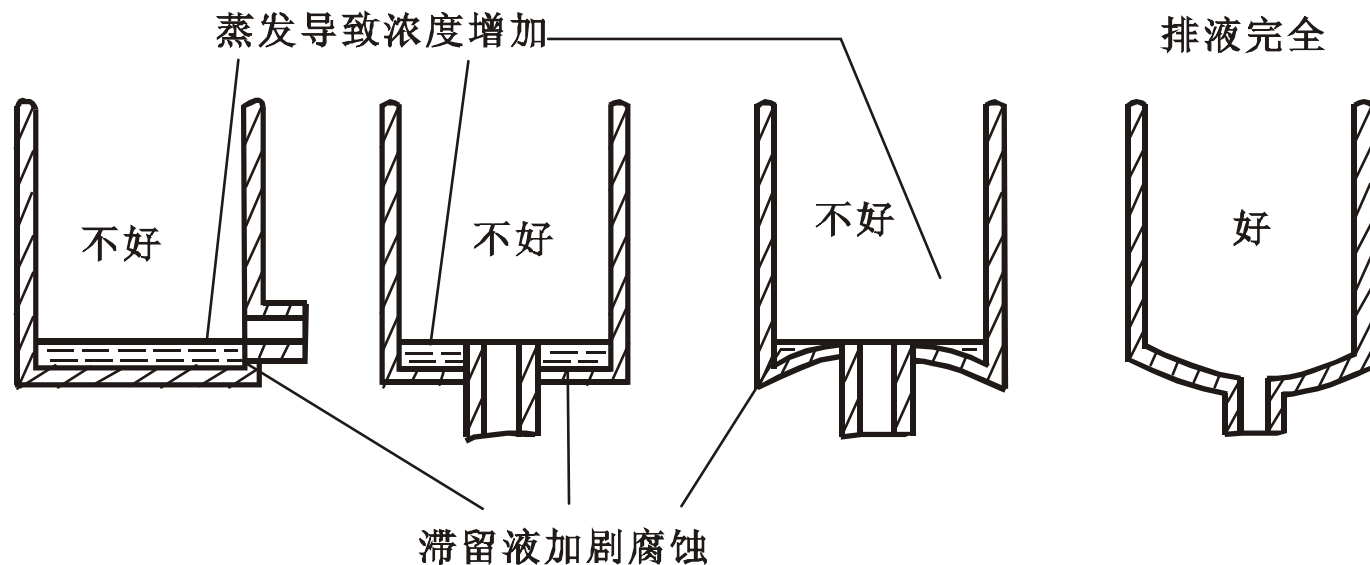
- 3.1、 腐蚀防护设计
- 正确选材
- 防蚀方法的选择（材料选择、 电化学保护、 涂层保护、 改变环境）
- 防蚀结构设计
- 防蚀强度设计
- 满足防蚀要求的加工方法



3. 设备的腐蚀防护

3.1 设备腐蚀防护技术

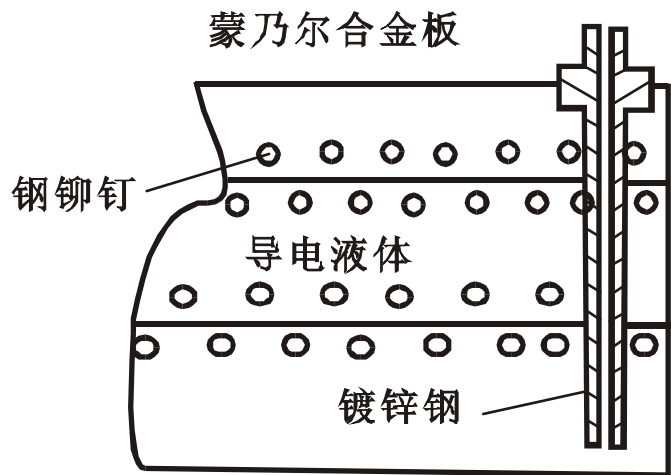
- ② 避免残留液和沉积物造成腐蚀
- 应力求将容器、设备内部的液体排净，避免滞留的液体、沉积物遗留在出口管及底部造成浓差腐蚀或沉积物腐蚀。



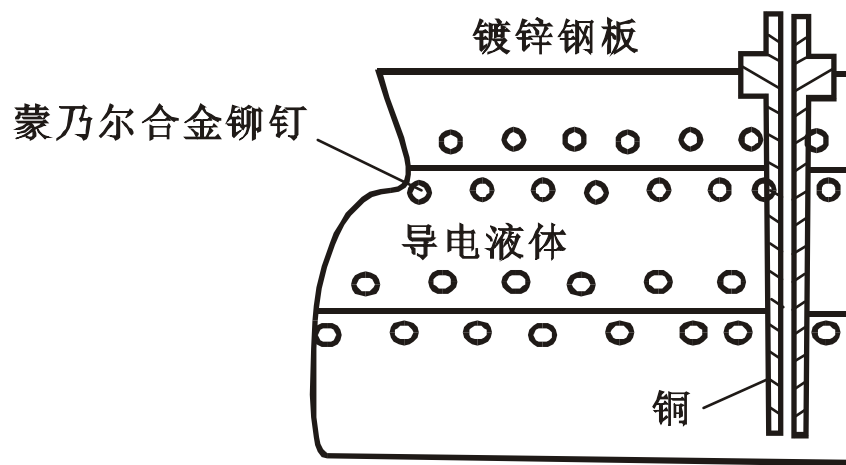


3.1 设备腐蚀防护技术

- ③ 防止电偶腐蚀
- 材料相同；电偶序相近；大阳极小阴极的有利结合，避免大阴极小阳极的危险连接。



(a) 不好



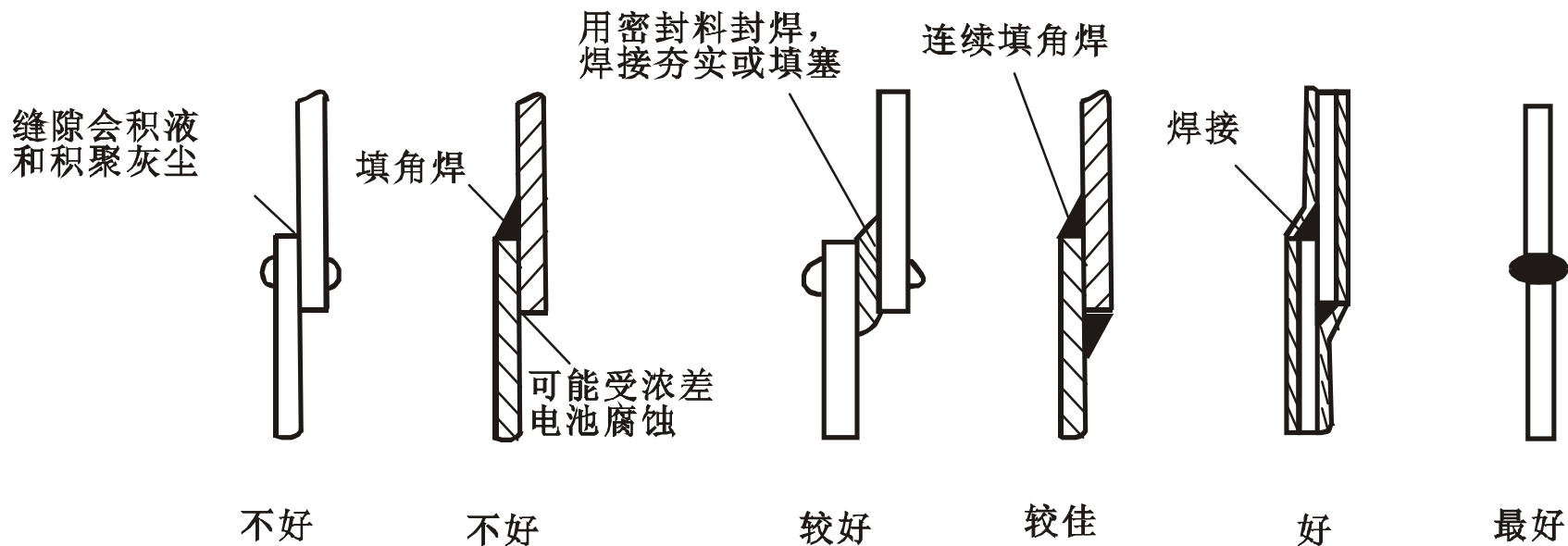
(b) 较好



3.1 设备腐蚀防护技术

④ 防止缝隙腐蚀

- 连接除焊接外还有铆接、销钉连接、螺栓连接、法兰连接等。





3.1 设备腐蚀防护技术

- 为了防止缝隙腐蚀，可采用如下措施：
- 以焊接代替铆接。
- 改善铆接状况。在铆缝中可填入一层不吸潮的垫片。
- 容器底部的处置。不要直接与多孔基础（如土壤）接触，要用支座等与之隔离开。
- 法兰连接处垫片不宜过长，尽量采用不吸湿的材料作垫片。
- 避免加料时溶液飞溅到器壁，引起沉积物下的缝隙腐蚀。因此加料口应尽量接近容器内的液面。



3.1 设备腐蚀防护技术

- ⑤ 防止液体的湍流腐蚀
- 设计时应注意避免过度的湍流、涡流。
- 避免外形和形状的突变，会引起超流速与湍流的发生。
- 管线的弯曲半径应尽可能大，避免直角弯曲。
- 在高流速接头部位，不要采用T型分叉结构，应采用曲线逐渐过渡结构。



3.1 设备腐蚀防护技术

- ⑥ 避免应力过分集中
- 尖角以圆角过渡；施焊时把焊口加工成相同的厚度。
- 减少聚集的、交叉的和闭合的焊缝；施焊时保证被焊接金属结构能自由伸缩。
- 内孔焊接法比胀管法好，既减少缝隙，又减小应力腐蚀破裂。



3.1 设备腐蚀防护技术

- ⑦ 设备和构筑物的位置要合理
- 设备装置的布置应尽量避免相互之间可能产生的不利或有害影响，如贮液设备、液体输送设备或排泄设备应与电控设备留有一定的安全距离。
- 电气控制等设备应尽可能避开具有腐蚀性的环境，如在含有或可能泄漏 Cl_2 、 HCl 、 H_2S 等腐蚀性和有毒性气体的局部环境中，要尽量避免布置电气设备或未做防腐处理的其他设备。



3.1 设备腐蚀防护技术

- (2) 防蚀强度设计
- 主要考虑材料的腐蚀裕量、局部腐蚀强度和材料腐蚀强度变化。
- ① 腐蚀裕量的选择：根据材料腐蚀速度取恰当裕量。
- ② 局部腐蚀的强度设计：对于晶间腐蚀、孔蚀、缝隙腐蚀等，正确选材或控制环境介质，注意结构设计等。对于应力腐蚀断裂、腐蚀疲劳，有可能做出合适可靠的设计。



3.1 设备腐蚀防护技术

- ③ 材料耐蚀强度特性的变化
- 在加工及施工处理时，可能会引起材料耐蚀强度特性的变化，应加以注意。如某些不锈钢在焊接时，由于敏化温度影响而造成晶间腐蚀，使材料强度下降，可能会在使用中造成断裂事故。
- (3) 其它防蚀设计
- 使用防蚀涂料、电化学保护、缓蚀剂或电镀、化学镀、化学转化膜等其它工艺性防腐蚀措施等。



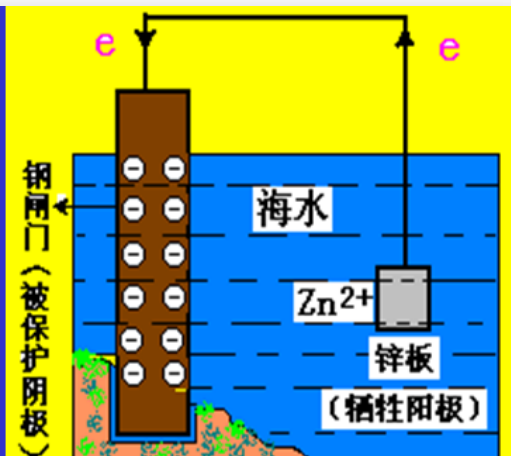
3. 设备的腐蚀防护

- 3.2设备的电化学保护
- 根据金属电化学腐蚀原理对金属设备进行保护的一种有效方法。
- 按照作用原理不同，分为阴极保护和阳极保护。

2、电化学防护

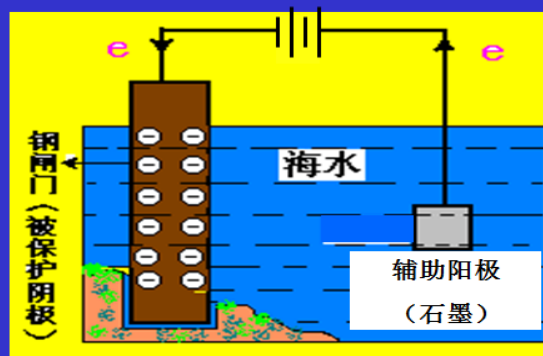
(1) 牺牲阳极保护法

形成原电池反应时，让被保护金属做正极，活泼金属做负极。



(2) 外加电流的阴极保护法

将被保护金属作为电解池的阴极，另一导电物质作为阳极，在外加直流电的作用下使阴极得到保护。





3. 设备的腐蚀防护

• 2、缓蚀剂

- 缓蚀剂是一种在很低的浓度下，能阻止或减缓金属在腐蚀性介质中腐蚀速度的化学物质或复合物。
- 必须具备的条件：用量极少、防蚀效果好和不改变介质的其他化学性质。
- ① 分类
- 按化学组成：无机缓蚀剂（硝酸盐、铬酸盐、碳酸盐、钼酸盐等）和有机缓蚀剂（醛类、胺类、杂环化合物等）。
- 按对电极过程的影响：阳极缓蚀剂（铬酸盐、硅酸钠、苯甲酸钠等）、阴极缓蚀剂（ $SbCl_3$ 、 $AsCl_3$ 、锌盐、聚磷酸盐及多数有机缓蚀剂）、混合型缓蚀剂（琼脂、生物碱、亚硝酸二环己胺等）。



3. 设备的腐蚀防护

- ③ 影响缓蚀作用的因素及缓蚀剂的应用
- 影响因素：缓蚀剂浓度、温度、介质流速、pH值等。
- 水溶性缓蚀剂：可作为酸、碱、盐及中性水溶液介质的缓蚀剂。
- 油溶性缓蚀剂：溶解在油、脂中制成各种防锈油、防锈脂。
- 气相缓蚀剂：用作密闭包装中的缓蚀剂。



3. 设备的腐蚀防护

- 3.4 电镀、化学镀、化学转化膜防护
- 1、 电镀
- 是使电解液中的金属离子在直流电作用下，于阴极（待镀零件）表面沉积出金属而成为镀层的工艺过程。



3. 设备的腐蚀防护

- 3.5 浸镀、渗镀、包镀及热喷涂防护
- 浸镀：把金属制件浸入熔融金属液中形成镀层。
- 渗镀：将一种或几种元素从表面扩散到基体金属中去，形成渗层，以改变表面层的化学成分及组织，从而改善金属材料表面性能。
- 包镀：将被保护金属坯料放在保护金属板中间，加以热轧，靠机械力、热扩散使保护金属与被保护金属粘合在一起。
- 热喷涂：是利用高温热源，通过特殊设备-喷枪，将涂层材料加热至熔融或接近熔融状态，高速喷至工件表面，并形成防护层的过程。



二、环保设备的腐蚀与防护——3. 设备的腐蚀防护

• 3.6 衬里防护技术

• 1、玻璃钢衬里

- 玻璃钢：利用玻璃纤维的增强、粘合树脂的耐蚀作用；增加涂层厚度、增加涂层机械性能。
- 玻璃钢衬里：具有较高的机械强度和整体性、耐蚀性高。

• 2、橡胶衬里

- 橡胶衬里：有良好的物理、机械、耐蚀和耐磨性能；粘附力强、施工容易、检修方便、衬后设备增重少等特点。
- 常用的合成橡胶：丁苯橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶、丁基橡胶和磺化聚乙烯橡胶等。



3. 设备的腐蚀防护

- 3.7 有机涂料防护
- 涂料防护：通过手工刷涂或机械喷涂等方法，在设备的内外表面上粘合一层有机涂料覆盖层，将腐蚀介质与基体表面隔离开来的一种防护技术。
- 常用的耐蚀材料：醇酸树脂涂料，酚醛树脂防腐涂料，呋喃树脂防腐涂料，环氧树脂防腐涂料，沥青防腐涂料，乙烯树脂防腐涂料，橡胶防腐涂料，有机硅耐热防腐涂料，富锌防腐涂料，塑料防腐涂料等。



谢谢大家!

