

消“疫”腐“管”

王强
上海电力大学

在疫情防控期间，家庭常用消毒剂有 84 消毒液、消毒片等，其主要成分分别为次氯酸钠、三氯异氰尿酸，具有强烈的金属腐蚀性。消毒剂起消毒作用主要是次氯酸钠水解生成次氯酸，其具有强氧化性，能够将还原性的物质氧化，使其变性。次氯酸对微生物的破坏，主要通过破坏其体内的多种酶系统（例如氧化磷酸葡萄糖去氢酶的巯基）达到使微生物死亡的效果。但大量消毒片的使用对排水管道中会有许多危害。



以含氯消毒片为例，已有研究测试结果显示，用含有效氯 2000 mg/L 的消毒液浸泡 72 h，对不锈钢片无腐蚀性，腐蚀速率为 0.00128 mm/a；对铜片和铝片均有中度腐蚀，腐蚀速率分别为 0.41840 mm/a、0.37211 mm/a；对碳钢为重度腐蚀，腐蚀速率为 2.27714 mm/a。

氯离子对金属腐蚀的机理主要是两个理论观点：成相膜理论的观点认为，由于氯离子半径小，穿透能力强，故它最容易穿透氧化膜内极小的孔隙，到达金属表面，并与金属相互作用形成了可溶性化合物，使氧化膜的结构发生变化，金属产生腐蚀。吸附理论则认为，氯离子破坏氧化膜的根本原因是由于氯离子有很强的可被金属吸附的能力。它们优先被金属吸附，并从金属表面把氧排掉。因为氧决定

着金属的钝化状态,氯离子和氧争夺金属表面上的吸附点,甚至可以取代吸附中的钝化离子与金属形成氯化物,氯化物与金属表面的吸附并不稳定,形成了可溶性物质,这样导致了腐蚀的加速。电化学方法研究不锈钢钝化状态的结果表明,氯离子对金属表面的活化作用只出现在一定的范围内,存在着 1 个特定的电位值,在此电位下,不锈钢开始活化。这个电位便是膜的击穿电位,击穿电位越大,金属的钝态越稳定。

氯离子对金属腐蚀的影响主要表现在两个方面:一方面是降低材质表面钝化膜形成的可能或加速钝化膜的破坏,从而促进局部腐蚀;另一方面使得 CO_2 在水溶液中的溶解度降低,从而缓解材质的腐蚀。 Cl^- 具有离子半径小、穿透能力强,并且能够被金属表面较强吸附的特点。 Cl^- 浓度越高,水溶液的导电性就越强,电解质的电阻就越低, Cl^- 就越容易到达金属表面,加快局部腐蚀的进程;酸性环境中 Cl^- 的存在会在金属表面形成氯化物盐层,并替代具有保护性能的 FeCO_3 膜,从而导致高的点蚀率。腐蚀过程中, Cl^- 不仅在点蚀坑内富积,而且还会在未产生点蚀坑的区域处富积,这可能是点蚀坑形成的前期过程。它反映出基体铁与腐蚀产物膜的界面处的双电层结构容易优先吸附 Cl^- ,使得界面处 Cl^- 浓度升高。在部分区域, Cl^- 会积聚成核,导致该区域阳极溶解加速。这样金属基体会被向下深挖腐蚀,形成点蚀坑阳极金属的溶解,会加速 Cl^- 透过腐蚀产物膜扩散到点蚀坑内,使点蚀坑内的 Cl^- 浓度进一步增加,这一过程是属于 Cl^- 的催化机制,当 Cl^- 浓度超过一定的临界值之后,阳极金属将一直处在活化状态而不会钝化。因此,在 Cl^- 的催化作用下,点蚀坑会不断扩大、加深。尽管溶液中的 Na^+ 含量较高,但是对腐蚀产物膜能谱分析却未发现 Na 元素的存在,说明腐蚀产物膜对阳离子向金属方向的扩散具有一定的拟制作用;而阴离子则比较容易的穿过腐蚀产物膜到达基体与膜的界面。这说明腐蚀产物膜具有离子选择性,导致界面处阴离子浓度升高。

氯离子对缝隙腐蚀具有催化作用。腐蚀开始时,铁在阳极失去电子。随着反应的不断进行,铁不断的失去电子,缝隙内 Fe^{2+} 大量的聚积,缝隙外的氧不易进入,迁移性强的 Cl^- 即进入缝隙内与 Fe^{2+} 形成高浓度、高导电的 FeCl_2 , FeCl_2 水解产生 H^+ ,使缝隙内的 pH 值下降到 3~4,从而加剧腐蚀。同时还会使水中电导率升高,从而促进离子与电子的迁移,导致管道腐蚀的加剧。以及未消耗氯离子

会促进铁离子释放的同时，导致自养型铁细菌的繁殖，导致生物性的金属管道腐蚀。

大量的次氯酸钠还会对腐蚀起促进作用，会增大腐蚀速率，因为加入次氯酸钠导致氯离子的增加，小半径的氯离子可穿透腐蚀层，破坏了其稳定性，使垢层结构变得疏松多孔，无法紧密的附着在铸铁表面，同时增加了点蚀的概率。剥落的腐蚀产物对水质产生影响，同时减弱了腐使垢对内部金属的保护作用，促进了进一步腐蚀的发生。同时次氯酸钠作为强氧化剂在氧气不足的情况下可以作为去极化剂直接参与电化学阴极反应，从而加剧了腐蚀；同时次氯酸钠可将二价铁氧化为三价铁，使阳极反应生成的二价铁减少，从而间接促进了阳极反应的进行。且在该环境下，随着时间推进形成致密的腐蚀层，不利于溶解氧的扩散，由于氯酸根还原产生的氯离子破坏了腐蚀层的完整性，使其变得稀松甚至导致脱落，增加了氯离子于金属界面接触机会增大了点蚀机率。

消毒片分解过程中，会释放出活性氧，使得水中氧浓度升高，在腐蚀反应中，水中活性氧作为主要电子受体参与其中，被还原成氢氧根离子，对金属管道进行氧化，活性氧的增加还有助于加速铁的原电池腐蚀反应。

大量投加消毒片会导致管道中产生大量二氧化氯，短时间内喷出过量的强氧化性气体。大量消毒片遇水分解会导致快速放热，使得高分子管道内温度升高，导致管道受热变形，管材发生膨胀导致破裂，发生泄漏。当出现大量二氧化氯气体，也会致使管道受压力突然增大，导致高分子管道局部表面应力超过其屈服强度，使得材料表面氧化层出现裂隙，内部大分子键可能发生断裂，分子链间出现相互滑移，材料内部自由体积增加，导致氧的进入和扩散，加速材料的应力老化。且高分子材料吸收热能到一定程度后超过共价键键能，引起高分子材料的分子链断裂，使其张力，强度减低，且因为有活性氧的存在，高分子材料的老化一旦开始便会自动加速。同时大量二氧化氯气体不溶于水中，其稍受激发还可能引起爆炸事故。

同时大量添加消毒片还会促进 PE 管的腐蚀，随着氯的投加量增加，对应 PE 管道上的碳元素占比增加，氧元素比重减小，可推测在腐蚀初期管材中钙元素和碳元素流失，在水中形成碳酸钙，而随着腐蚀的推进，该沉淀附着在管材表面堵

塞管道。以及对于 UPVC 管来说,氯元素因其具有较强的扩散能力,大量参与 UPVC 管的腐蚀过程,管道出现裂缝腐蚀,UPVC 管材性能大幅下降。

表一、常见含氯类、含碘类和含醇类消毒剂的腐蚀性

含氯类

常用商品有效成分	氧化性	酸碱性	金属腐蚀性
次氯酸钠	有	碱性	对铝、钢、碳钢等均有重度的腐蚀作用,对不锈钢具有中度腐蚀作用,可引起不锈钢材料氢脆或应力腐蚀破裂。
次氯酸钙	有	碱性	
氯化磷酸三钠	有	碱性	
二氯异氰尿酸钠	有	酸性	
三氯异氰尿酸	有	酸性	

含碘类

常用商品有效成分	氧化性	酸碱性	金属腐蚀性
碘伏	有	碱性	对铝、不锈钢有轻度腐蚀性。
碘酊	有	碱性	对铝、不锈钢有轻度腐蚀性。

含醇类

常用商品有效成分	氧化性	酸碱性	金属腐蚀性
乙醇	无	中性	基本无腐蚀
异丙醇	无	中性	基本无腐蚀
氯己定-乙醇	无	碱性	基本无腐蚀

疫情防控期间,居家消毒时应选择适宜方法且适量,尤其在对消毒剂的具体选择中,应尽量避免选用对铝、钢、碳钢等均有重度的腐蚀作用,对不锈钢具有中度腐蚀作用的含氯类消毒剂;少选用对铝、不锈钢有轻度腐蚀性含碘类消毒剂;主要选用无氧化性且对金属基本无腐蚀作用的含醇类消毒剂。在节约资源的同时,极大地避免因腐蚀引发的管道等事故。