

疫情时期消毒剂大量使用所潜在的材料腐蚀危害

吴盼盼

上海大学材料科学与工程学院材料研究所

自新冠肺炎疫情爆发以来，由于病毒具有较强的传染性，消毒剂的用量大幅上升。据统计，2020年新型冠状病毒肺炎疫情期间，广东省紧急上市消毒剂306种，主要有效成分包括乙醇、次氯酸钠、二氧化氯和过氧乙酸，分别占78.64%、12.27%、1.36%和0.45%^[1]。然而，常见消毒剂的有效成分如次氯酸钠和二氧化氯及过氧乙酸等，容易对材料造成腐蚀危害。这些消毒剂被喷洒在城市的各个角落，在发挥其本身功效的同时，也对不同材料构成了潜在的腐蚀危害。本文简要介绍了常用消毒剂的分类和杀菌原理，以及常见消毒剂对不同材料的腐蚀危害，包括金属管道、塑料管道及混凝土材料等。



图 1 工作人员在进行消毒工作（左）和管道腐蚀图（右）

1.常用消毒剂分类

消毒剂的种类繁多，作用机理也各不相同，根据其化学成分的不同，可将其分为：酚、醇、醛类，酸、碱及相应的盐类，氧化剂与卤素类，表面活性剂，重金属盐类，染料及烷基化类等^[2]。常用消毒剂分类及对金属材料的腐蚀性见下图所示。

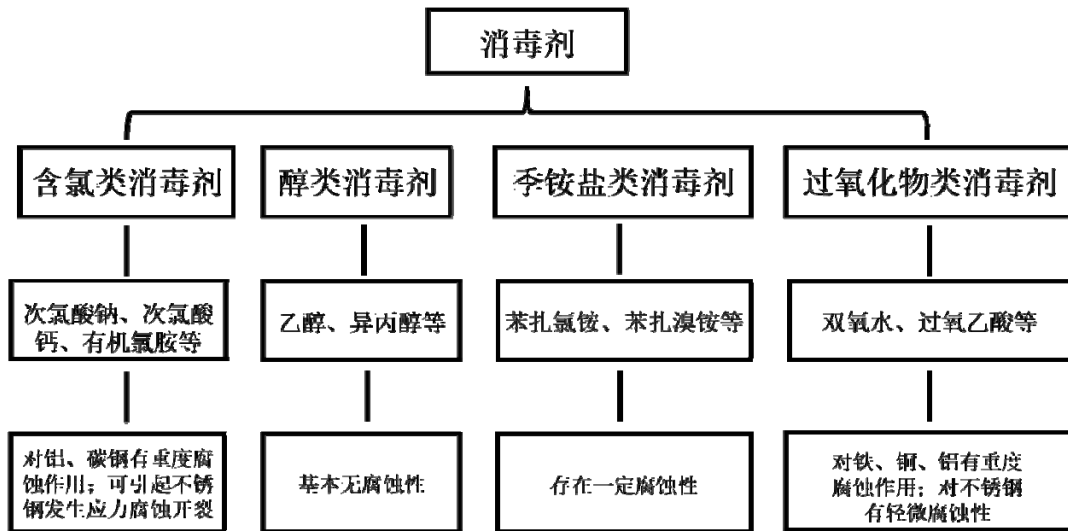
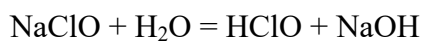


图 2 几种常见的消毒剂分类及其对材料的腐蚀性

消毒剂的种类繁多，目前常见的消毒剂可分为以下几类：

(1) 含氯类消毒剂

含氯类消毒剂可分为无机氯化物（次氯酸钠、次氯酸钙和氯化磷酸三钠等）和有机氯化物（有机氯胺、二氯异氰尿酸钠和三氯异氰尿酸钠等）^[3]。这类消毒剂均属于强氧化剂。以次氯酸钠为例，它在水中能逐步水解生成次氯酸和活性氧原子，如下所示：



次氯酸不仅可与细胞壁作用，且因其分子小，不带电荷，故易侵入细胞内与蛋白质发生氧化作用，破坏细胞内磷酸脱氢酶，而致细菌死亡^[4]。然而，消毒剂在使用过程中，除了具有微生物杀灭能力外，还有强氧化性，容易造成与之接触的碳钢发生严重的腐蚀^[5]。消毒剂中的氯化钙对碳钢属于轻度腐蚀，但当溶液中同时含 Cl^- 和 OH^- 时， Cl^- 作为极强的去钝化剂，可以破坏金属表面因氢氧化钙而形成的钝化膜，加速了表面的腐蚀。消毒剂氧化性能越强、浓度越高、持续作用时间越长，则钢铁腐蚀程度越大。

(2) 醇类消毒剂

醇类消毒剂是我们日常生活中接触最多的消毒剂，如医用酒精和异丙醇。醇类消毒剂可以凝固蛋白质，杀灭细菌繁殖体，破坏多数亲脂性病毒，属于中效消毒剂。醇类消毒剂杀菌作用较为温和，故对材料腐蚀性较低。

(3) 季铵盐类消毒剂

季铵盐类消毒剂是医疗领域中的主流消毒剂，生活中常见的创可贴的主要成分就是季铵盐。季铵盐通过静电力及表面活性剂分子与蛋白质分子间的疏水结合等作用，吸附带负电的细菌体，聚集在细菌体的细胞壁上，产生室阻效应，从而导致细菌生长受抑而死亡^[6]。双链季铵盐（如苯扎氯胺）化学作用较为温和，对铜及不锈钢基本不腐蚀，对碳钢和铝片产生轻度腐蚀；单链季铵盐，如双癸基二甲基氯化铵，对金属可产生一定的腐蚀作用，使用时应注意其对材料的影响。

(4) 过氧化物类消毒剂

过氧化物类消毒剂常用于硬物表面、空气中和皮肤等处，包括双氧水、过氧乙酸和二氧化氯等。此类消毒剂分子中含有的过氧基“-O-O-”，具有强大的氧化能力，能产生具有杀菌能力的活性氧。然而，正是这种强大的氧化能力，导致过氧化物类具有腐蚀性，不仅可以造成金属腐蚀，还对眼部、黏膜及皮肤有刺激性作用。

2. 消毒剂对不同材料的腐蚀危害

消毒剂的大量使用有效阻止了病毒的蔓延，但其对材料存在的潜在腐蚀危害却不能忽视。大量的消毒剂一旦流入到输水管道，则会造成管道腐蚀；含腐蚀介质的消毒剂与混凝土结构接触时，不仅破坏混凝土，还能腐蚀钢筋；氧化性较强的消毒剂一旦与棉质衣物接触，会造成衣物的纤维破坏。以下列举了常见的消毒剂对几种不同材料的腐蚀危害。

2.1 对于不锈钢及塑料管道的腐蚀危害

如果将一个城市比作人体，那么工业管道就像毛细血管一样，遍布于城市的每个角落，其重要性不言而喻。我国目前应用的管材主要包括球墨铸铁管、焊接钢管、镀锌钢管、PE管、PPR管、UPVC管等。由于多数城镇供水管网运行年限较长，并且在各因素影响下，已出现不同程度的漏损^[7]。消毒剂中含有的 Cl^- 和其他腐蚀介质，则是其中隐藏的罪魁祸首。

氯元素属于第七主族元素，最外层有7个电子，因此十分容易得电子，具有强氧化性。 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。

对于不锈钢管道而言， Cl^- 对其表面钝化膜的活化作用机理包括两种：成相

膜机理和吸附机理^[8]。

成相膜机理认为，在含有 Cl^- 的腐蚀介质中，不锈钢管道表面生成的钝化膜容易被半径较小的 Cl^- 穿透，导致致密的氧化膜遭到不可逆的破坏。 Cl^- 又可与金属溶解后的阳离子生成可溶性的金属氯化物，从而造成不锈钢管道的腐蚀。吸附机理认为，在含有 Cl^- 的腐蚀介质中， Cl^- 与金属吸附的能力远强于氧分子与金属形成表面钝化膜的能力。 Cl^- 将已形成钝化膜的氧原子挤掉，与金属阳离子形成可溶性的金属氯化物。此时，在不锈钢金属基地便形成了几十微米小的点蚀坑。此时，点蚀坑内外的金属表面分别处于活化态与钝化态，形成了“小阳极大阴极”的原电池。原电池一旦形成，点蚀坑内溶解的氯化物与金属表面的钝化膜无法进行离子交换，造成坑内氯化物的浓度不断增加，酸性逐渐增强，点蚀坑不断加深，最终导致金属管道穿孔。

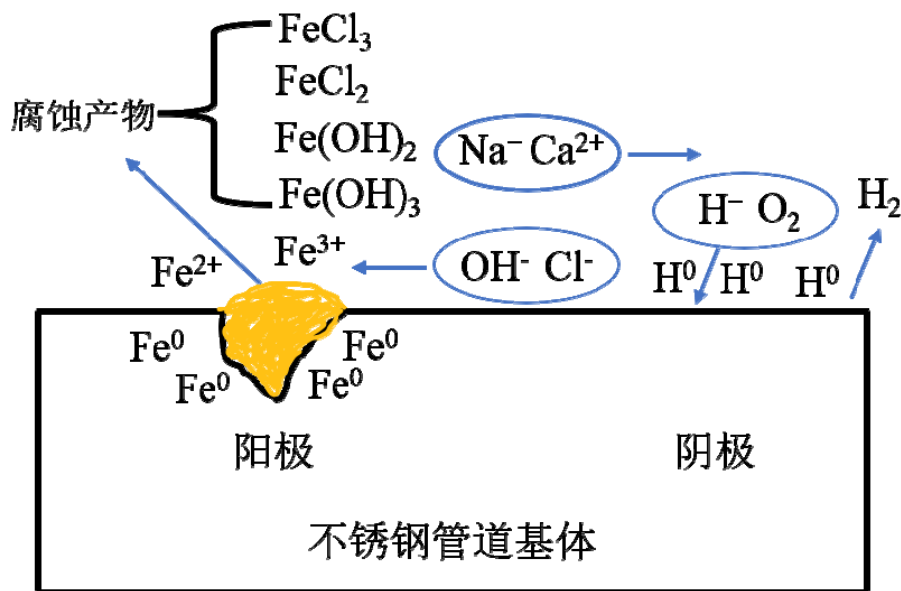


图 3 不锈钢管道表面腐蚀原理示意图

对于塑料管道而言，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。研究表明^[9]，含氯类消毒剂在对 UPVC 管的腐蚀过程中，C 元素含量逐渐增多，Cl、Ca、O 元素含量均减小，并伴随着白色物质产生，推测产生了氢氧化钙和碳酸钙；Cl 元素含量降低，表明了消毒剂参与破坏了管道表面分子结构。含氯类消毒剂还会促进 PE 管的腐蚀，随着消毒剂投加量增加，对应 PE 管道上的 C 元素占比

增加，O元素比重减小，可推测在腐蚀初期管材中Ca元素和C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，易造成堵塞管道。

2.2 对于混凝土的腐蚀危害

在疫情期间，城市街道经常会进行大量的消毒工作。当消毒剂喷洒在街道上与混凝土接触时，则会对混凝土造成腐蚀。原因在于，混凝土在正常情况下呈高碱性($\text{pH} \geq 12.5$)，可以在钢筋的表层钝化保护膜，起到隔绝水分和氧气的作用^[10]。遇到酸性的消毒剂就会发生化学反应，使混凝土趋于中性，发生粉化。混凝土存在裂缝和空隙等缺陷，使得腐蚀性液体或气体容易渗入混凝土内部，导致混凝土本身及内部钢筋腐蚀。



图 4 混凝土墙面腐蚀

3. 结语

在抗击新冠病毒的战斗中，消毒剂发挥了功不可没的作用。随着人们防疫观念的提升，在以后的日常生活中消毒剂仍将被大量的使用。在这背后，我们应该注意到消毒剂对材料造成的腐蚀隐患。含氯类消毒剂由于廉价易得，杀菌效果好等特点被广泛使用，但其对材料的腐蚀作用也不能忽视。一方面，应该加快发展新型消毒剂，既要杀菌效率高，还要对材料较为友好；另一方面，科学、合理地控制消毒剂的使用浓度、用量及使用范围，也可以减小其对材料的腐蚀作用。我们相信没有一个冬天不会逾越，没有一个春天不会来临。只要我们万众一心，就不仅能够战胜新冠病毒，而且能够更好的保护我们所在的城市，减小材料发生腐蚀作用。

参考文献

- [1]黄俊东, 廖如燕, 蔡慧玲,等. 常用化学消毒剂对新型冠状病毒灭活效果的研究进展[J]. 中国消毒学杂志,2021,38(11):864-867.
- [2]杨磊. 消毒剂分类使用指南[J]. 中国洗涤用品工业, 2020(Z1):230-236.
- [3]张飞, 游钊, 华夏,等. 含氯消毒剂中有效氯含量测定方法的适用性验证[J].预防医学情报杂志,2021,37(06):851-854.
- [4]程胜梓, 刘晶晶, 刘红磊,等. 含氯消毒剂的应用和环境毒性特点[J]. 三峡生态环境监测, 2020, 5(02):6-13.
- [5] Thangzvel K. The threshold limit for chloride corrosion of reinforced concrete[J]. Corrosion Reviews, 2004, 22(01):55-70.
- [6]沈益鸣, 吴晓松, 王玲,等. 一种复配季铵盐消毒剂低温消毒效果研究[J]. 中国消毒学杂志, 2021,38(10):721-723.
- [7]张文毓. 国内外管道腐蚀与防护研究进展[J]. 全面腐蚀控制, 2017, 31(12):1-6.
- [8]史艳华, 于洋, 梁平,等. 316L 不锈钢在氯离子环境中的腐蚀行为[J]. 材料保护,2015,48(08):29-32+7.
- [9]姚芳. 供水管网消毒剂腐蚀对管道漏损影响研究[D].哈尔滨工业大学,2017.
- [10]杨晨,张祺良.桥梁混凝土腐蚀机理分析[J].全面腐蚀控制,2020,34(01): 69-70.