

徐新华 赵伟荣 编

水与废水的 臭氧处理



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

水与废水的臭氧处理

徐新华 赵伟荣 编

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

水与废水的臭氧处理/徐新华, 赵伟荣编. —北京:
化学工业出版社, 2003. 9
ISBN 7-5025-4786-X

I. 水… II. ①徐…②赵… III. ①臭氧-应用-水处理
②臭氧-应用-废水处理 IV. ①TU991.2②X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 085524 号

水与废水的臭氧处理

徐新华 赵伟荣 编

责任编辑: 陈 丽 董 琳

责任校对: 李 林

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 14¼ 字数 386 千字

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4786-X/X · 332

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

臭氧是地球上早已存在的天然物质，远古时代人们已发现在雷电、暴雨时的空气中所产生的特定气味。臭氧 (O_3) 是氧气 (O_2) 的同素异形体，是一种较为不稳定的、活泼的、淡蓝色略带青草味的气体，广泛存在于大自然当中，它除了执行着吸收太阳紫外线光的使命外，还是细菌与病毒的克星，抑制着自然界细菌及病毒的繁殖生长。

人类真正认识臭氧还是在 160 多年以前，由德国化学家舒贝因 (Schanbein) 博士首次提出在水电解及火花放电中产生的臭味，同在自然界闪电后产生的气味相同，舒贝因博士认为其气味类似于希腊文的 OZEIN (意为“难闻”)，由此将其命名为 OZEIN (臭氧)。此后，欧洲的科学家率先将其应用于工业生产，一百多年来臭氧应用已深入到多个领域，对人类的生产技术发展做出了重大贡献。

1886 年，臭氧开始用做杀菌剂试验，1898 年，出现新的原型板式臭氧发生器，并用于规模化水处理厂中。20 世纪 70 年代美国首先采用臭氧进行城市污水处理，作为废水预处理的重要组成部分。目前，臭氧在日本、欧洲、美洲、澳洲等发达国家和中国台湾等地得到广泛应用，已是国际上废水处理，自来水深度处理，食品加工等方面的首选技术之一。

本书在介绍臭氧的基本知识、臭氧发生器以及臭氧的发生及分析检测方法的基础上，重点论述了水与废水臭氧处理的反应机理、实验装置的设计、传质过程、反应动力学及建模等，并系统地介绍了臭氧在饮用水深度处理、污水处理等方法的应用。参加本书编写的有浙江大学徐新华 (第 1、2、4、5、9 章，附录)，赵伟荣 (第 3、6、7、8 章)。竹湘峰也参加了部分工作。全书由徐新华审阅。在本书的编写过程中征得 C. Gottschalk 教授的许可和支持，编写了 C. Gottschalk 所著《水与废水的臭氧化》一书中的部分内容。

因编写人员学术水平和时间、经验所限，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2003 年 8 月

内 容 提 要

本书系统介绍了臭氧的基本特性、臭氧发生器；论述了臭氧的发生及分析检测方法；较全面地分析了水与废水臭氧处理的反应机理、实验装置的设计，传质过程、反应动力学及建模等；系统地介绍了臭氧在饮用水深度处理、污水处理等方面的应用，并从理论和实践两个方面对饮用水及废水的臭氧处理做了阐述，并附有工程实例的介绍和分析。在编写过程中征得 C. Gottschalk 教授的许可和支持，编译了 C. Gottschalk 所著《水与废水的臭氧化》一书中的部分内容。

本书具有较强的参考价值，特别适用于研究人员、工程技术人员、设计人员以及大专院校师生使用。同时由于该书比较简洁，也比较适用于初学者。

目 录

1 绪论	1
1.1 臭氧技术及发展	2
1.2 臭氧技术应用	6
1.3 饮用水的臭氧化处理	15
1.4 废水的臭氧氧化处理	25
1.5 水与废水臭氧化的发展前景	35
参考文献	43
2 臭氧的基本特性	44
2.1 物理性质	46
2.2 化学性质	48
2.3 臭氧的毒理学性质	54
2.4 腐蚀性	68
参考文献	68
3 臭氧的反应机理	70
3.1 O_3 的分解机理	70
3.2 有机物的臭氧氧化机理	80
3.3 高级氧化技术(AOP)	83
3.4 O_3 与无机物的反应机理	88
3.5 O_3 与人工合成有机物的氧化反应机理	95
3.6 臭氧与水体中腐殖质的反应机理	119
参考文献	134
4 臭氧发生器及实验设计	137
4.1 臭氧发生器	137
4.2 臭氧反应的反应器	153
4.3 臭氧反应实验设计	165

4.4	实验装置和分析方法	174
4.5	安全因素	182
4.6	常见的问题、难题和缺陷	187
	参考文献	189
5	臭氧的应用	191
5.1	概述	191
5.2	臭氧在饮用水处理过程的应用	192
5.3	废水处理的臭氧氧化	213
5.4	臭氧氧化的经济因素	248
5.5	臭氧氧化技术与其他工艺的联合应用	250
	参考文献	262
6	臭氧在水中的传质	265
6.1	传质理论	265
6.2	影响传质的因素	274
6.3	传质系数的确定	288
	参考文献	301
7	臭氧反应动力学	306
7.1	背景知识	306
7.2	臭氧与无机物的反应动力学	325
7.3	臭氧与不可解离有机物的反应动力学	330
7.4	臭氧与可解离有机物的反应动力学	333
7.5	$\cdot\text{OH}$ 与无机物和有机物的反应动力学	340
	参考文献	340
8	臭氧氧化过程的模型	345
8.1	化学氧化模型	346
8.2	饮用水臭氧氧化模型	347
8.3	废水臭氧氧化模型	356
8.4	关于建模的最后讨论	360
	参考文献	361
9	工程实例分析	363

9.1	臭氧-生物活性炭-膜法处理自来水	363
9.2	臭氧在中水回用中的应用	371
9.3	臭氧在矿泉水、纯净水及饮料用水生产中的应用	374
9.4	游泳池循环水臭氧消毒的应用系统	378
9.5	臭氧化技术在给水处理中的应用实例	381
9.6	新泽西特拉华河区域水厂的臭氧化工艺	386
9.7	周家渡水厂深度处理工程和新臭氧技术的应用	388
附录		394

1 绪 论

人类发现臭氧已经有一百年的历史。在距离地球表面 15~25km 的高空,因受太阳紫外线照射的缘故,形成了包围在地球外围空间的臭氧层,这厚厚的臭氧层正是人类赖以生存的保护伞。这就是大多数人对臭氧的全部认识。

1785 年,德国物理学家冯·马鲁姆(Van Marum)在使用大功率电机进行试验时,发现在电机放电时产生一种异味。克鲁伊克仙克(Cruikshank)1801 年观察到水电解过程中在阳极产生同样气味的气体。1840 年德国科学家舒贝因(Schonbein)向慕尼黑科学院提交了一份备忘录中宣告了臭氧的发现,他在电解和火花放电试验过程中曾闻到有一种独特的气味,他还指出,在闪电过后亦可闻到同样的气味。他将此异味确定为 O_3 ,而命名为 OZONE(臭氧),取自希腊字“Ozein”一词,意为“难闻”。自此以后,欧洲的科学家率先开始研究臭氧的特性和功用,发现它的广谱灭菌效果后,开始工业生产应用,其中瑞典一家牛肉公司用于臭氧对牛肉存储的保鲜,自 1870 年开始,一直沿用至今。臭氧被广泛应用于水的消毒、空气的消毒、物体表面的消毒、消毒水及环境的除臭除异味等领域。随着臭氧技术应用的发展,臭氧技术的研究及应用在国际上已形成独立的产业,发展前景十分广阔。

在现阶段,臭氧技术在各个领域的应用主要有以下几个方面:
①饮用水、工业废水、生活污水、游泳池水处理和医院污水处理;
②食品行业和制药行业医学中的空气杀菌消毒及原料、加工器具和场地的清洗消毒;
③水果、蔬菜和食品的保鲜和运输;
④医学中的臭氧治疗和疾病预防;
⑤化学工业中的纸浆和纺织品的漂白;
⑥水产养殖业中的用水处理;
⑦家庭居室空气净化消毒、蔬菜瓜果表面

的残留农药降解；⑧畜禽养殖厂的空气杀菌消毒、除臭、除异味等。

1.1 臭氧技术及发展

目前主要采用的消毒处理法主要有：具有杀菌作用的化合物（如在医院应用的甲醛）、液氯、臭氧、紫外线、银铜等金属离子、二氧化氯。但由于液氯消毒带来的二次污染和余氯对人体的刺激问题，一些没有类似问题的消毒方法得以应用。其中，臭氧、紫外线和二氧化氯是最主要的新兴消毒方法。

液氯是世界范围内城市自来水厂最为广泛应用的消毒方法，也是早期游泳池消毒主要采用的消毒剂。国内大多数自来水厂和游泳池是直接将氯注入原水中，利用氯对自来水进行消毒。随着水源的污染加重，氯的注入量逐年增加，氯与水中的有机物反应生成的有机氯化物（THM）已开始严重威胁人类的健康。氯（不论是氯气、次氯酸钠、二氧化氯还是其他形式）投入二级处理出水后，它很快与氨反应生成氯胺，如一氯胺和二氯胺。在平均水质条件下，氯胺态的氯在 $0.05 \sim 1.2 \text{ mg/L}$ 时即对水生生物有毒。游离氯和化合氯（氯胺中的氯）的浓度低至 0.002 mg/L 时，对鱼和其他水生生物仍有毒。密执安州电厂排放的冷凝器水和电厂脱氯排水中的氯就曾毒死过鱼。

目前，臭氧和紫外线在发达国家自来水厂得到广泛应用，二氧化氯也开始在中国市场开始得到认可。市场对三种技术的需求，导致这些技术的大力发展，这三种技术替代液氯等对人体有害的消毒方法是早晚的事。

医院空气需经常进行消毒杀菌，但大多数仍采用甲醛、紫外线等传统方法。甲醛熏蒸对时间的要求较长，而且甲醛本身对人体有害，杀菌后，通过换气又将甲醛排放到了大气中，产生了二次污染。传统的紫外线穿透性很差，一旦有遮挡就没有杀菌效果，因此杀菌效果不彻底。

而对于臭氧来讲，它可以像熏蒸一样遍及各个角落，而且存续

时间在 20~30min 之内就分解为氧气，应用空间彻底消毒杀菌并投入继续使用的时间不会超过 2 个小时。关键的是：它的杀菌效果比紫外线和甲醛的综合效果还要好。

用臭氧代替紫外线和甲醛进行医院空气杀菌消毒是很好的选择。

从理论上讲，银、铜金属离子消毒的造价及运行费用都非常昂贵，特别是这些金属离子都是重金属，在世界范围内都对水中金属离子的浓度进行了严格的限制。长期处于金属离子水中的生物会在体内积累可能超过安全指标的重金属离子，从而对生物体及生态环境产生危害。

从环境安全和有效性来考虑，臭氧也无疑是最好的选择。各种消毒方法和杀菌方法的效果和优缺点比较见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 各种消毒方法简单比较

项 目	液 氯	臭 氧	紫外线	银、铜金属	二氧化氯
需要处理时间	10~30min	5~10min	最小	120min	比液氯稍快
对细菌有效性	有	有	有	有	有
对病毒有效性	有一些	有	有一些	无	有一些
设备投资	最低	液氯 5 倍以上	比臭氧高	比臭氧、紫外线稍低	比液氯高，比其他方法低许多
运行费用	最低	比液氯高	与臭氧类似	比臭氧、紫外线高	比液氯高，比其他方法稍低
优点	价廉，技术成熟，有保护性余氯，有持续杀菌的能力	除色臭味快，广谱杀菌消毒，消毒效率可达一般氯消毒的 15 倍，无二次污染	杀菌效应快，不用药剂	具有持久性的杀菌效力	价廉，可现场制造，技术已趋成熟，可充分除菌，并可降解水中残留的少量污染物，有持续杀菌能力

续表

项 目	液 氯	臭 氧	紫外线	银、铜金属	二氧化氯
缺点	对病毒无效,其氧化产物对人体有害,并有刺激气味和损害人体皮肤	价较贵,无保护性余量,无持续杀菌能力,安全要求高	价贵,无持续杀菌能力,对水的前处理要求高,穿透力弱	杀菌速度太慢,而且运行费用太贵,胺和其他的污染物干扰消毒,高浓度对人体有害	对病毒无效;气态的二氧化氯是剧毒的化合物,对人体有害,且与液氯一样会有致癌的二次污染物产生
适合处理类型	所有类型的污水处理或给水处理	适合所有场合水处理的杀菌和消毒;空气消毒;器械表面消毒	不适合污水处理;简单空气杀菌	给水和轻度污染的污水	所有类型的污水处理或给水处理

表 1-2 各种杀菌方法简单比较

处理法	运行条件	优 点	缺 点
高压消毒锅加热	121℃, 15min	可靠	加热规程缓慢
臭氧	4~5mg/L, 15min	对所有微生物均有效	快
过氯-脱氯	5~6mg/L, 2~3h	对大多数微生物有效;价格便宜	接触时间长需设脱氯工艺
紫外线		快,不投任何药剂	对孢子无效

1886 年, 臭氧开始用做杀菌剂试验, 1898 年, 出现新的原型板式臭氧发生器, 并用于规模化水处理厂中。20 世纪 70 年代美国首先采用臭氧进行城市污染处理, 作为废水预处理的重要组成部分。目前, 臭氧在日本、欧洲、美洲、澳洲等发达国家和中国台湾等地得到广泛应用, 已是国际上处理废水, 自来水处理, 食品加工等方面的首选技术。目前, 臭氧已在以下几个领域得到了较为普及的应用: 餐饮业食具炊具消毒洗涤、饮料业瓶具消毒洗涤、食品加工业杀菌保鲜、自来水处理、养殖业河川水源改善处理、室内空气净化 (特别是车船仓等密闭空间), 及家庭用来清洗蔬菜瓜果的农

药残毒、居室环境清洁、饮用水质处理、吸氧保健养生、美容等。据不完全统计，日本使用臭氧产生机的医院就有札幌自卫队医院、名古屋保健生大学等 28 所医院，使用臭氧技术处理食品保鲜、卫生保健的企业，医院达 53 家之多，台湾使用臭氧产生机的有荣民总医院，养殖示范中心等 51 家。

早在 19 世纪，人们就认识到了臭氧的强氧化作用，发现臭氧对木材、稻草、淀粉、植物色素、天然橡胶、脂肪、动植物油与酒精等物质都有氧化作用。1868 年，德·格贝斯 (de. Gebeth) 获得了臭氧应用技术的第一项专利，用臭氧将煤焦油混合物氧化为适于涂料、油漆使用的产品。1873 年，欧洲将臭氧在食糖精制和亚麻漂白方面投入使用。一百多年来臭氧应用已深入到多个领域，对人类的的生产技术发展做出了重大贡献。臭氧应用按用途分为水质处理、化学氧化、食品加工保鲜和医疗四个领域，各个领域的应用研究与设备开发都已达到相当高的水平。世界已经形成了独立的臭氧技术产业和部门，1973 年建立的国际臭氧协会 (IOA) 设在加拿大。该协会每两年一次举办国际会议交流各国发展臭氧技术的论文、报告，发达国家都普遍建立了 IOA 地区性组织，进行学术交流。

二战以后，国际上臭氧应用技术获得了长足发展。首先，1902 年，德国帕德博恩建立了第一座用臭氧处理水质的大规模水厂，开创了臭氧水处理的先河，现在世界上已有数千座臭氧水厂，如欧美、日本、加拿大等国家的自来水厂应用臭氧已达到普及程度。矿泉水、纯净水厂家几乎都装备了臭氧设备。美国 20 世纪 70 年代初开始利用臭氧处理生活污水，主要是为了灭菌消毒、去除污染物、脱色等达到排放标准。日本则在缺水地区将污水用臭氧处理后作为中水使用。美、日、德、法等国家近年来都建立了大规模的臭氧污水处理厂。其次，工业应用臭氧也已非常普遍，主要用于化工、石油、造纸、纺织和制药、香料工业。食品行业的应用更为普及，1904 年欧洲就利用臭氧对保存牛奶、肉制品、奶酪、蛋白等食品进行保鲜处理，20 世纪 30 年代末，美国 80% 的冷藏蛋库都安装了

臭氧发生器。二战后，欧美、日在食品果品、蔬菜保鲜中将臭氧运用到储存、制造、运输等各个环节。在医疗方面，二战时日本就利用臭氧进行人体理疗，俄罗斯则用于强气（臭氧化空气）体育人应用。目前，国际上在医疗方面已有多种用途：如病房、手术室的空气消毒，利用臭氧水进行医用器械消毒，采用臭氧进行牙科疾病治疗（口腔手术及保持口腔无菌），采用臭氧与放射理疗结合治疗癌症，喝臭氧水治疗妇女病，注射臭氧气体治疗痔疮、静脉曲张等。在保健方面，日本、中国台湾流行吸强气（含低浓度臭氧的空气）以强身，用臭氧化水淋浴身体杀菌和美容。现在流行的高科技美容，事实上就是应用臭氧。

1.2 臭氧技术应用

1.2.1 臭氧的应用研究

臭氧的氧化作用极强，常温下即可使金属及各种有机物氧化，因此，人们对臭氧在以下几个方面进行了大量研究，并取得了极其满意的结果。

1.2.1.1 杀菌消毒

研究表明，臭氧是广谱、高效、快速杀菌剂，它可迅速杀灭人和动物致病的各种病菌、病毒及微生物。臭氧是一种氧化性非常强的物质。利用它的氧化性，可以在较短时间内破坏细菌、病毒和其他微生物的生物结构，使之失去生存能力。利用氧化性来杀死微生物以达到灭菌效果的化合物还有很多，比如常见的氯气、漂白粉、高锰酸钾等。但是，这些杀菌剂不但比臭氧杀菌速度慢，而且一般的杀菌剂对人体有害。臭氧与一般杀菌剂不同，因而多余的臭氧可以很快分解成氧气，而氧气对人体有益无害。臭氧的杀菌效果与氧乙酸相当，强于甲醛，杀菌力比氯高一倍。与一般杀菌剂进行性、积累性的杀菌消毒功能不同的是臭氧的杀菌作用是急速的，当其浓度超过一定阈值后，消毒杀菌甚至可以瞬间完成。温度的提高及温度的降低可增强臭氧的消毒作用，当臭氧溶于水中有更强、更快的杀菌消毒作用。利用臭氧杀菌消毒没有二次污染，在处理过

的水、空气、食品、器具等中不残存任何有害物质，这也是其他杀菌剂无法比拟的优点。

人类自发现并使用臭氧以来，科学家一直对臭氧的灭菌性能进行试验，这方面的试验报告很多，以下从几个方面进行综述。

(1) 臭氧对细菌繁殖体 李怀恩等观察了臭氧气体对空气中绿脓杆菌的杀灭作用。在 15°C ，湿度 73%，臭氧浓度 $(0.08\sim0.6)\times10^{-6}$ 时，30min 内杀灭率达到 99.9% 以上；伍学洲等试验臭氧对大肠杆菌杀灭率为 100%，对金黄色葡萄球菌杀灭率为 95.9%，对绿脓杆菌杀灭率为 89.8%，顾士圻等试验，臭氧对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌杀灭率分别为 99.7%、99.9%。居喜娟等试验用臭氧可杀灭空气中的白色葡萄球菌 99.99%；Burlerson（国外）等试验将臭氧气体通入染有金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、荧光假单胞菌、鼠伤寒沙门氏菌、福氏痢疾杆菌、霍乱弧菌的磷酸盐缓冲液中，作用 15s 后，以上细菌全部杀灭；白希尧等发现臭氧水溶液杀菌作用强大，且速度极快，浓度为 0.3mg/L 的臭氧水溶液作用 1min，大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的杀灭率均达 100%。

(2) 臭氧对细菌芽胞 瞿发林等报告，以 $5.5\text{mg}/\text{m}^3$ 的臭氧作用下 45min，可将 100ml 塑料瓶内滴染的枯草杆菌黑色变种芽胞 100% 杀灭；居喜娟等报道，在 1m^3 试验柜内，开启 500mg/h 的臭氧发生器 60min 可对空气中的枯草杆菌黑色变种芽胞杀灭率达 99.95%；欧阳川等在动态试验条件下，将臭氧气体通入染菌井水中，臭氧浓度达 $3.8\sim4.6\text{mg}/\text{L}$ 时，作用 $3\sim10\text{min}$ ，水中枯草杆菌黑色变种芽胞杀灭率达 99.999%。

(3) 臭氧对病毒 李绍忱等试验发现，经 $10.3\text{mg}/\text{m}^3$ 浓度臭氧作用 30min 后，乙型肝炎表面抗原（HbsAg）的滴度从 1:256 降至 1:64。史江等报告，臭氧浓度 $13.6\text{mg}/\text{m}^3$ 时使用 30min，使 HbsAg 破坏 99.99%，使用甲型肝炎病毒抗原（HAAg）破坏 100%；国外 Wolo 等实验证明 0.5×10^{-6} 的臭氧可灭活空气中的甲型流感病毒 99%；Herbold 等报告，在 20°C 水中，臭氧浓度为

0.13mg/L 时, 可以 100% 的灭活脊髓灰质炎病毒 I 型 (PVI)。臭氧灭活病毒速度极快, 当臭氧浓度分别为 0.09~0.8mg/L 时, 在反应最初 5s 内, 噬菌体 T2 即可被灭活 5~7 个对数值。Finch 发现水中含臭氧浓度 40 μ g/L 时, 作用 20s, 可使大肠杆菌噬菌体 ms2 灭活 4 个对数值。Vaughn 等在 4℃ 条件下, 对比了臭氧对猿轮状病毒 SA-H 和人轮状病毒 2 型的灭活效果, 发现两种病毒均能被 0.25mg/L 的臭氧迅速灭活。Crepnd 等检测了经臭氧处理后的血清中艾滋病毒 (HIV) 的灭活情况, 证明当臭氧浓度为 4mg/L 时, 可将滴度为 106CID₅₀/mlHIV 全部灭活, 病毒滴度下降 6 个对数值。

(4) 臭氧对真菌 汪华明等报道, 臭氧浓度为 9.6mg/L 时, 作用 100min 对杂色曲霉与桃色拟毒霉的杀灭率达 100%, 对蜡叶枝孢霉 23mg/L30min、橘青霉在 15.4mg/L 作用 30min, 尖镰孢霉在 15.5mg/L 时作用 20min, 均可达 100% 灭活率。对于烟曲霉、细交链孢霉、爪哇毛霉等, 在臭氧浓度为 3.85~10.7mg/L 时作用 10~20min 灭活率达 96.4%。伍学洲等发现, 臭氧在 30min 内对青霉菌的杀灭率为 93.8%, 对毛霉菌的杀灭率为 100%; 白希尧等报告, 浓度为 15mg/L 的臭氧水溶液作用 1min, 可 100% 杀灭试验中的黑曲霉和酵母。

(5) 臭氧对原虫 Finch 等比较了 22℃ 时臭氧对兰氏贾第鞭毛虫和鼠型贾第鞭毛虫色囊的灭活效果, 当 Ct 值 0.86mg · min/L 时, 可使鼠型贾第鞭毛虫减少 4 个对数值, Ct 值为 2.5mg · min/L 时, 使兰氏贾第鞭毛虫减少 4 个对数值。Korich 等比较了臭氧、二氧化氯、氯对净化水中的微小隐孢子虫卵囊的灭活作用试验证明, 1×10^{-6} 的臭氧作用 5min 可以灭活 90% 的卵囊, 1.3×10^{-6} 的二氧化氯则需作用 1h, 80×10^{-6} 的氯则需作用 1.5h 才能达到同样效果。

(6) 臭氧的广谱杀菌原理 以上报告说明, 臭氧几乎对所有细菌、病毒、霉菌、真菌及原虫、卵囊都具有明显的灭活效果, 且灭菌时间来说, 迅速无比, 是氯的 300~600 倍, 紫外线的 3000 倍。