

电子图书



信息技术的结晶

人类文明的载体

网络的基本资源

为了美好的明天

环境化学的故事

温柔的魔鬼二氧化碳

在自然界的物质循环中，碳的循环是比较简单的。让我们先来看一看碳走过的路。

碳是生物界里的主角。它是构成有机体最基本的元素之一，占机体总干重的 49%。自然界中碳的循环，与二氧化碳密不可分。大气是二氧化碳的贮藏仓库，绿色植物在进行光合作用时，从大气中吸取二氧化碳，在光能的作用下，合成碳水化合物，然而，碳沿着食物链的路线，从植物到动物到人，在每一个营养级上，随着生物的呼吸都有一部分二氧化碳回到大气中；生物的遗体 and 排泄物被细菌分解后，也能释放出二氧化碳。

在生物圈中不停运行的碳只占自然界中碳的总量的一小部分，其余绝大部分以碳酸盐的形式被禁锢在岩石圈内，几乎没有资格去“旅行”。稍稍幸运的是地球表面的碳酸岩，它被风化后也能产生二氧化碳，可以自由来去。地下深处的碳酸岩，往往要遇到火山爆发等剧烈的地质活动才有出头之日，火山喷发出的气体中含有大量的二氧化碳、一氧化碳等含碳的气体。

在无数的化学气体中，二氧化碳留给人们的印象似乎是很温和的，它时时刻刻伴随着人们的生活，可又与人无涉，既不帮助你生存，又不妨碍你生存。然而，数年前一场震惊世界的灾难却让我们对二氧化碳刮目相看。

那是 1986 年 8 月 22 日晚上 9 时 30 分左右，喀麦隆一座面积不到 2 平方公里的小小火山湖——尼奥斯湖发出了一声沉闷的巨响，几股强大的气体从湖底冲出，然后一切又归于平静。逸出的气体悄无声息地向村庄扑去，气体弥漫之处传来阵阵呻吟。第二天早上，离湖最近的尼奥斯村屋宇依旧完好，树木依旧苍翠，可全村竟然只剩下两个活人。其余的人和家畜、家禽全都死掉了。8 月 29 日，联合国救灾协调专员办事处在日内瓦宣布：尼奥斯湖灾难中的死亡人数达 1746 人。

后来，许多科学家研究后作出了这样一个解释：从尼奥斯湖喷出并酿成灾难的气体是二氧化碳。

在尼奥斯湖畔有一座活火山阿库火山，虽然已有百余年没有喷发，但却一直慢慢从湖底的火山裂缝中散发出二氧化碳，并渗入湖中。微妙的化学平衡使含有大量碳酸氢盐的湖水处于湖水的最底层。而碳酸氢盐素来不稳定。那天晚上下了暴雨，大量的地表水进入湖中，使湖水出现搅动，富含碳酸氢盐的深水上翻，同时释放出大量的二氧化碳。这令人窒息的二氧化碳夺走了 1746 人的宝贵生命。

二氧化碳是一种比较重的气体，当它弥漫开来的时候，就会把人与氧气隔离开来。人长时间离开了氧气，就会窒息而亡。表面温和的二氧化碳终于露出了它的真面目。但是，这也正是二氧化碳作为灭火剂的重要原因之一，看来，有一弊就有一利。

随着工业的发展，人类又为碳的循环加入了一个新的因素：煤被大量开采和使用并释放出大量的二氧化碳，20 世纪石油和天然气的大量消耗也增进了碳的循环。

人口的过快增长和工业的发展，使得人类生存和活动所产生的二氧化碳大大超过了植物和海洋所能吸收的总量。与此同时，由于人类的滥砍滥伐，森林面积正以每天 4370 公顷的速度从地球上消失。正常情况下一公顷阔叶林在生长季节里一天要消耗 1 吨二氧化碳，这就意味着大气中的二氧化碳的贮

存要比原来每天多 4370 吨。所以，从 1860 年到 1970 年的 100 多年间，大气中的二氧化碳的浓度，将从 0.028% 增加到 0.032%，这个数字后面所蕴含的祸害之一，便是人们所说的“温室效应”。

1994 年夏季，全球出现了举世瞩目的炎热天气，其炎热范围之广、程度之甚、时间之长，均为历史之罕见，盛暑 7 月过后，仍不断传来各地的高温纪录被打破的消息，并因此引起各地因高温而使人丧生、因高温使用电量剧增等种种棘手的问题。

这到底是为什么？

科学家认为，原因是多方面的，但祸根是大气中含量日益增多的二氧化碳。

大家知道，太阳短波（主要指可见光）辐射是透过大气层到达地球表面的。地球表面从太阳获得能量变暖以后，又以长波红外辐射的形式向外发射。而二氧化碳对长波辐射有强烈的吸收作用，地球表面发出的长波辐射到大气以后就被二氧化碳截获，最后使大气增温。大气中的二氧化碳如同暖房的玻璃一样，只准太阳的辐射热进来，却不愿让里面的长波热辐射出去，于是和玻璃一样造成了温室效应。

据有些科学家的模型推算，如果大气中的二氧化碳的年增长率为 4%，到 2000 年其浓度将增加到 0.038% 至 0.04%，如果这种势头不加控制，到 2050 年还将增长到 0.08%，这时全球的气温将上升 1.5~4.5℃，从而引起南极冰帽的融解。

其实已有报告指出，在过去的 25 年内，南极的气温已上升了 1℃，南极的冰川在退却，夏季时间有所延长，使南极的植物迅速繁殖。而且由于冰雪融化，长期被冰冻的种子解冻发芽，新的物种开始出现，南极正在变绿。

但是，南极冰川溶解会导致海平面上升，这会给世界上 1/3 的人带来灭顶之灾。按现在的情况推算，2050 年海平面会上升 20~140 厘米，世界上最肥沃的大河三角洲就会被淹没，纽约、伦敦、东京、孟买、开罗等世界闻名的大城市将成为历史，而我国的大连、天津、青岛、上海、广州等城市也将不复存在。

此外，温室效应引起的全球气候变暖，还会引起降雨带北移，造成作物带和耕作区的变更，给人类带来灾难。物种应该是气候变暖的最先受害者，许多物种会随着气候的变暖而灭绝。而到那时，蟑螂、老鼠、跳蚤和苍蝇将会以惊人的速度繁殖，这将变成害虫的天下。

大气污染化学

工业污染

18世纪中叶，随着产业革命的爆发，大气污染就来到了人间。二百多年来，特别是20世纪中叶以来，工业和交通运输迅速发展，城市人口高度集中，到处工厂林立，大大小小的烟囱，浓烟滚滚；四处奔驰的汽车，喷着黑烟；还有火车、轮船、飞机……这一切都在不停地向大气排放有毒的气体 and 粉尘，是大气污染的重要来源。

此外，农业上使用的化肥，如喷洒的农药也会有一部分扩散到大气中引起污染，城市居民烧饭使用的小煤炉也能产生数量可观的烟尘和有害气体。

大气污染的危害是很严重的，它损害人的健康，甚至夺去人的生命；它影响动植物的正常生长，破坏生态平衡；它还腐蚀侵害建筑物和金属制品；本世纪以来，国际上著名的八大公害事件就有五件是由于大气污染造成的。

1930年12月，在比利时的马斯河谷，由于那里的硫酸厂、炼钢厂等排放二氧化硫、三氧化硫等有毒气体，形成了强烈刺激人体呼吸道的酸性烟雾，造成60人中毒身亡。

1948年10月，在美国宾夕法尼亚州地处山谷的多诺拉镇，由于硫酸厂、钢铁厂、炼锌厂等排放二氧化硫等有毒气体及金属微粒，而且当时气候反常，有害气体聚集在山谷扩散不开，结果造成这个只有14000多人的小镇竟有近6000人病倒，20人死亡。

日本的四日市是第二次世界大战后兴起的一个石油化工城市，那里有三个大型石油联合企业和100多个中小型化工厂，这些工厂每天排出大量的二氧化硫和铅、锰、钛等金属粉尘，使四日市终年黄烟弥漫，人们长年累月地吸入这种有毒的烟雾，形成支气管炎、支气管哮喘、肺气肿等呼吸道疾病，统称为“四日市哮喘病”。以后这种病又蔓延到大阪、横滨、名古屋等各大城市，甚至日本全国，患者高达6000多人。在毒雾严重的时候，会造成患者死亡。

美国的洛杉矶是有名的汽车城，从1946年起那里出现了一种带刺激性的浅蓝色的烟雾，它是汽车废气和石化燃料的燃烧排入大气的一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物及碳氢化合物，在太阳光紫外线的照射下，发生光化学反应生成的一种有毒的烟雾，最早发现于洛杉矶，所以叫洛杉矶光化学烟雾。近年来在日本、前苏联、意大利、澳大利亚等国的某些大城市，光化学烟雾也时有出现，在70年代我国兰州的西固石油化工区也发生过这类烟雾。光化学烟雾刺激眼、鼻、喉等器官，引起眼病或喉炎，情况严重时会造成死亡。就在洛杉矶，1955年一次较严重的光化学烟雾事件中，65岁以上的老人死亡近400人。日本东京1970年7月18日一次光化学烟雾事件中，受害人数达6000余人。

大气污染造成的五大公害事件中，最严重的是1952年12月英国伦敦的烟雾事件。当时，有雾都之称的伦敦连日大雾，而且几乎完全无风，各工厂烟囱排出的煤烟粉尘和二氧化硫气体扩散不开，家家户户做饭取暖的小煤炉也不断地冒出黑烟，加上那几天在60至150米的低空存在反常变化，高层空气的温度反而比低层的高，上层的暖空气就像一个“大碗”一样扣住伦敦，使地面排出的烟尘无法向高空扩散。因此，烟尘越积越多，浓度越来越大，

最高时大气中的烟尘达 4.5 毫克 / 米³，二氧化硫达 3.8 毫克 / 米³。浓烈的煤烟和硫磺味熏得人们咳嗽不止，大多数人都感到胸口窒闷、呼吸困难、嗓子疼痛，病人越来越多，死亡率急剧上升。在 12 月 5 日到 8 日的 4 天中，就有 4000 多人中毒身亡。在后来的 3 个月中，又有 8000 人丧生。

大气污染还包括核爆炸后散落的放射性物质，而且这些物质已成为大气污染的主要来源之一。1945 年美国在日本的广岛和长崎投下了 2 颗原子弹，造成了巨大的伤害和污染；战后无数次的核爆炸实验，不断地向大气排放放射性污染物；就连和平利用原子能的过程中，也会发生意外事故，酿成骇人听闻的惨案。1986 年 4 月 26 日凌晨 1 点 24 分，前苏联的切尔诺贝利核电站的第 4 号反应堆发生了爆炸，这是迄今为止原子能和平利用史上最严重的一次事故。根据前苏联的计算，有 50 兆居里的最危险的放射性物质和约 50 兆居里的惰性放射性气体被释放了出来。放射性物质随着气流飘荡，越过了国界，对欧洲的许多国家造成了污染，我国北部的内蒙、新疆地区也受到影响。事故发生后，前苏联政府组织距核电站 30 公里以内地区的 116000 人紧急撤离，但核污染造成的伤害和严重的后果仍然是相当可怕的。据科学家预测，在今后几十年内，前苏联西部和欧洲其他国家，将有 5000 人至 75000 人死于核辐射。

上面列举的公害事件，无一不和工业有关，工业的发展给人类带来了财富和进步，创造了舒适的生活条件和物质文明，但它也带来了环境的污染，危害着人类的安全。当然，在污染面前，人类也不是束手无策的。相反，人类可以想各种办法控制污染，治理污染，化害为利，造福于人类。

粉尘污染

烟囱中排出的浓烟是大气污染的一个重要来源。这种浓烟的成份是很复杂的，它既含有固体粉尘，又含有大量的二氧化碳、二氧化硫和一氧化碳等气体，以及许多有害的有机化合物。

烟囱中冒出的固体粉尘包括炭黑和燃料中不能燃烧的粉尘。炭黑是燃料燃烧时空气供应不足，温度比较低，部分燃料发生热分解而生成的，燃料的燃烧越不完全，生成的炭黑越多，冒出的浓烟的颜色也越深。

向大气散发粉尘的除工厂烟囱外，还有许多厂矿的生产过程，例如水泥厂、石灰厂、石棉厂等都产生大量粉尘。排入大气的粉尘，由于来源不同，其成份、颗粒大小、轻重和形状也各式各样，一般按它们的粒径大小分为降尘和飘尘两大类。

粒径大于 10 微米的粉尘叫做降尘，水泥、石灰、矿石粉、煤粉和金属粉尘都属于这一类。由于它们的粒径较大，比重也比较大，因此，能够靠着自身的重力向地面沉降，难以在空中长时间停留，扩散的距离不会太远。另外，粉尘的扩散情况，还与风向风速有密切关系，上风方向的降尘范围和数量都远远低于下风方向，因此，在考虑工业布局和厂矿建设的时候，应当把生产过程中要排放大量粉尘的厂矿，尽量建在居民区的下风方向，并且离开一定的距离，以减少其危害。

粒径小于 10 微米的粉尘叫飘尘，它的成份较复杂，包括有机物和无机物。飘尘体小身轻，通常人眼看不见，它受重力的影响比较小，因此能够长期间停在大气中甚至飘洋过海。

烟尘虽然只占大气污染物的 1/6 左右，但对人类造成的危害很大。降尘破坏人类生活的卫生条件，污染衣物、家具、食品，但由于颗粒较大，不易进入人体肺部。而粒径小于 5 微米的飘尘即可不受鼻腔、气管、支气管的阻留进入肺部，人吸入后会引发各种呼吸道疾病和肺癌。还有一些飘尘能导致鼻咽炎，甚至会与空气中的有毒气体二氧化硫协同作用，加剧对人体的危害。烟尘还能大量吸收太阳光中的紫外线，降低了地面阳光中紫外线的强度，间接使两岁以内儿童佝偻病的发病率升高，不利于儿童的生长发育。

有毒气体

在排放到大气的污染物中，大部分是各种有毒的气体，它们有上百种之多，其中排放量大、影响范围广、对人类危害较大的有一氧化碳、二氧化硫、硫化氢、一氧化氮、二氧化氮、氨气等。

一氧化碳在排放到大气的污染气体中居第一位，几乎占了一半。它是一种没有颜色，也没有气味的气体，几乎不溶于水，在空气中不易和其他物质发生化学反应，因此，能在大气中停留很长时间。

一氧化碳主要来源于各种燃料的不完全燃烧。其中以汽车尾气中排出一氧化碳最多，约占 80%，成为城市大气中一氧化碳污染的主要来源。其次，海洋及陆地各种动植物的代谢物和残骸的分解也能产生大量的一氧化碳，排入大气。另外，冬季供暖锅炉和家庭的小煤炉产生的一氧化碳，不仅污染室内空气，也增加了城市的大气污染。

一氧化碳是我们通常所说的煤气的主要成分，它是冬天不时发生的煤气中毒事件的罪魁祸首。这是由于一氧化碳进入人体后经过肺泡进入血液，它与血液中血红蛋白的结合能力比氧气和血红蛋白的结合能力强 240 倍，一氧化碳抢先和血红蛋白结合，使血红蛋白丧失了和氧气结合的能力，无法完成输送氧气的任务，这样，人就会缺氧，出现脉弱，呼吸变慢，头晕心慌，中毒严重者昏迷不醒，直至死亡。近年来，许多动物实验和流行病学调查资料表明，长期接触低浓度一氧化碳也会造成慢性中毒，主要对心血管系统和神经系统有影响。

大气中的一氧化碳会不会越积越多呢？不会的。科学家已经探明，进入大气的一氧化碳在对流层或平流层和羟基（—OH）反应生成了二氧化碳，也有一部分一氧化碳被土壤吸收。

二氧化硫在排放到大气的污染气体中数量占第二位，仅次于一氧化碳。它是一种没有颜色，但具有辛辣和窒息性气味的气体。家用煤炉有时发出的呛人的气味，就是煤燃烧时生成的二氧化硫造成的。

二氧化硫主要来源于含硫燃料的燃烧，含硫矿石的冶炼，以及化工、炼油和硫酸厂等的生产过程。固体燃料煤中一般含有 0.1%~5% 的硫，有的甚至高达 10%，主要以硫化物的形式存在；液体燃料石油中也含有 0.8%~3% 的硫，主要以有机硫的形式存在；气体燃料中的硫主要是硫化氢。在燃料燃烧时，各种形式的硫都氧化成二氧化硫，散发到大气中。有色金属矿中硫的含量比煤和石油还高，因此，在冶炼过程中必然产生大量的二氧化硫，其烟气中二氧化硫的含量，一般为 2.5%~5%，最低也在 1% 左右。有色金属冶炼排放的二氧化硫的总量仅次于煤和石油等燃料的燃烧，是大气中二氧化硫污染的主要来源之一。

二氧化硫对人体健康的危害是很大的。首先，二氧化硫气体对呼吸道有强烈的刺激作用。二氧化硫能溶于水，当它通过鼻腔、气管和支气管时，能被管腔内膜的水分吸收，变成亚硫酸和硫酸，刺激作用明显增强。进入血液的二氧化硫，可以通过血液循环抵达肺部，对肺产生刺激作用。前面已经提到，如果二氧化硫和飘尘一起进入人体，危害更大。二氧化硫的刺激作用，能够引起各种呼吸道疾病，如慢性鼻咽炎、慢性气管炎、支气管哮喘、肺心病等。其次，二氧化硫还有一定的促癌作用。

除了对人体健康的危害外，二氧化硫还能损害农作物，腐蚀建筑物和金属设备，使纺织品、皮革和纸张变质、变脆。

排放到大气中的二氧化硫不会转化成无害物质，恰恰相反，它能在某些催化剂的作用下，氧化成三氧化硫，进而变成硫酸烟雾，它们的毒性都比二氧化硫大得多。因此，预防二氧化硫污染的最根本措施是减少或消除污染源，如改进燃料的燃烧方法，安装净化的除尘装置，开展综合利用回收二氧化硫废气等。

除了二氧化硫以外，对大气造成污染的含硫气体还有硫化氢。它是一种无色、有臭鸡蛋味的气体，空气中硫化氢的含量为 0.025ppm 到 0.1ppm 时，一般人就能闻到它的臭味。

有些工厂向大气排放硫化氢，如炼油厂、炼焦厂、煤气厂、人造丝厂、染料厂、橡胶厂等。在自然界，生物体腐烂、细菌分解土壤中的有机物也会产生大量硫化氢。

硫化氢对人的神经有强烈刺激作用。在特殊的气象条件下，硫化氢也可积聚，形成烟雾。如 1950 年墨西哥的波赞里卡，由于在用天然气生产硫磺的过程中，发生硫化氢泄漏，造成 320 人中毒，22 人死亡的惨案。

大气污染物中还有一个重要的角色，那就是氮的氧化物。氮的氧化物种类很多，作为排放到大气中的污染物主要是一氧化氮和二氧化氮。一氧化氮是无色无味的气体，二氧化氮是红棕色有恶臭的气体。一氧化氮在空气中容易与氧化合生成二氧化氮。

氮氧化物的来源有三条途径。一是空气中的氮或燃料中的氮在燃烧过程中产生，燃烧的温度越高，生成的一氧化氮越多；二是制造硝酸和大量使用硝酸的工厂，在生产过程中，排出大量含有氮氧化物的废气；三是汽车尾气中也含有大量氮氧化物。

一氧化氮和一氧化碳一样，也能和血液中的血红蛋白结合，而且结合能力比一氧化碳强得多。一氧化氮和血红蛋白结合后，能造成血液缺氧而引起中枢神经麻痹。因此当一氧化氮浓度较大时，对人体的危害也是很大的。幸而燃料燃烧时，除生成氮氧化物外，还生成了一氧化碳，汽车排出的废气中也同时含有一氧化氮和一氧化碳，而这两种气体在一定条件下可以互相反应，生成二氧化碳和氮气。这样就在一定程度上减少了大气的污染。

二氧化氮的毒性比一氧化氮大，它有特殊的刺激性臭味，对呼吸道和肺部有严重的刺激作用，能引起支气管哮喘、肺水肿等疾病。二氧化氮对心、肝、肾造血系统也能造成损害。

除了氮的氧化物以外，一个氮原子和三个氢原子结合成的氨也是大气的一个污染成分。我们知道，氨水是一种优质化肥，但散逸到大气中去的氨气却是有毒的。

氨是一种无色、有强烈刺激性臭味的气体，向大气排放氨气的企业主要

是化肥及其他各类化工厂，全世界每年排放的总量为 0.04 亿吨。氨对人体的危害主要是刺激粘膜和眼、鼻、咽喉。如在污染源附近积聚的浓度较高时，就会对人体造成危害，甚至有致命的危险。

造成大气污染的有毒气体除以上谈到的以外，还有氟和氟化氢、氯和氯化氢，以及二硫化碳、五氧化二磷等等，这里就不详细介绍了。

可怕的碳氢化合物

近几十年以来，由于有机合成工业和石油化学工业的发展，以及汽车等现代化交通工具的急剧增加，进入大气中的有机化合物的种类和数量越来越多。据统计，光汽车尾气中就包含有 150~200 种不同的碳氢化合物（由碳和氢两种元素构成的一类有机化合物的总称）。许多有机化合物具有恶臭，对人体的各个器官有刺激作用，还有不少对内脏有毒害作用或致癌作用。因此，对有机化合物污染大气所造成的危害，决不能等闲视之，掉以轻心。下面简单介绍两种分布较广、危害较大的碳氢化合物苯和苯并（a）芘。

苯在常温下是无色液体，有特殊的气味，容易燃烧。但它常以蒸气状态扩散到大气中，造成污染。大气中苯蒸气的来源主要是三方面，一是煤、石油、天然气等燃料的燃烧；二是石油精炼、甲醛制造以及油漆等化工生产过程；三是汽车等交通工具行驶过程中排出的废气。苯蒸气不但臭，而且有较高的毒性，当空气中苯的含量超过 2.5% 时，就会对人体造成危害。苯中毒轻者可引起头晕、头痛、呕吐、粘膜出血，重者能造成贫血，甚至引起白血病。苯的浓度达到 3% 时，可导致死亡。

苯是芳香烃（具有苯环基本结构和芳香族化合物性质的一类化合物）的最基本的化合物，有一些有机化合物由多个苯环构成，称为稠环芳香化合物或多环芳烃。多环芳烃简称 PAH，现已发现有 2000 多种，其中有致癌作用的有 20 多种，通常所说的强致癌物质苯并（a）芘就是其中的一种。

苯并（a）芘是一种五个环的芳香烃，黄色晶体。苯并（a）芘的来源相当广泛，它是一切含碳的燃料和有机物热解过程中的产物，如果燃烧不完全，则产生的苯并（a）芘更多。煤气厂、焦化厂、火力发电厂、炼油厂等企业都向空气中排入大量的苯并（a）芘。汽车、飞机等交通工具在行驶过程中也向空气排放苯并（a）芘。汽车每行驶 0.5 公里排出的苯并（a）芘为 2.5 微克~33.5 微克，而且排放的高度低，直接扩散到人的呼吸带，造成更大的危害。香烟中也含有苯并（a）芘，据推算，由于香烟的种类不同，每 100 支香烟烟雾中所含的苯并（a）芘的量约为 0.2 微克~12.2 微克，是室内空气苯并（a）芘污染的重要来源。

动物实验和环境流行病学调查资料表明，苯并（a）芘的致癌作用主要是诱发肺癌。肺癌的发病率和大气中苯并（a）芘的含量密切相关，有一份调查资料指出，当大气中苯并（a）芘浓度为每 100 立方米内 10.0 微克~12.0 微克时，居民的肺癌死亡率为 2.5 / 万（人）；而当大气中苯并（a）芘浓度达到 17.0 微克~19.0 微克 / 100 米³ 时，居民患肺癌的死亡率上升到 3.5~3.8 / 万（人）。我国云南省的宣威县是肺癌的高发病区，主要原因就是当地农民家中使用的是敞口炉灶，烧的是烟煤，因此，室内空气中苯并（a）芘的浓度很高，长期在这种环境中生活，造成了肺癌的高发病率和死亡率。另外，由于香烟中含苯并（a）芘，所以吸烟与肺癌也有密切关系，调查资料表明，

吸烟者比不吸烟者患肺癌率高 20 ~ 50 倍。

癌症是一种可怕、死亡率很高的疾病，当然，能够诱发癌症的苯并(a)芘等多环芳烃也是可怕的，如何减少这类物质对大气的污染已经成为一个亟待解决的问题。

第二次污染

上面我们谈到的粉尘，二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物和碳氢化合物等大气污染物，都是化石燃料的燃烧、工业生产过程、交通运输工具等直接向大气中排放的有害物质，统称为一次污染物。一次污染物中的某些物质，在一定的条件下，会在大气中发生化学反应，生成新的有害物质，这叫做二次污染，光化学烟雾和酸雨就属于二次污染，它们的危害甚至超过了一次污染物。

前面我们已经提到世界五大公害事件，其中有一件就是 1946 年发生的美国洛杉矶光化学烟雾事件。什么是光化学烟雾？顾名思义，它是指在阳光的参与下一些物质发生化学变化所产生的烟雾，是一种浅蓝色的有毒的烟雾，由于这种烟雾首先发生在洛杉矶，所以又叫洛杉矶烟雾。

光化学烟雾形成的机理十分复杂，概括地说，它是氮氧化物和碳氢化合物第一次污染物在太阳光中的紫外线作用下，发生光化学反应生成的二次污染物。据科学家研究，认为主要的光化学反应有十几种，通过反应生成了一系列氧化能力很强、毒性很大的物质，其中以臭氧最多，约占 85% 至 90%，其次是过氧乙酰硝酸酯，俗称 PAN，还有少量醛、酮等物质。

由以上光化学烟雾形成的机理和条件来看，就不难理解为什么光化学烟雾多发生在工业发达、汽车很多的大城市。洛杉矶是美国的第三大城市，还是有名的汽车城，在那里，工厂林立的烟囱、飞驰的几百万辆汽车不断地向大气排放氮氧化物和碳氢化合物，再加上那里气候干燥，天气晴朗，所以比较容易形成光化学烟雾。在 1946 年首次出现光化学烟雾以来，又多次发生这种灾害，比较严重的是 1954 年 12 月的那一次，当地有 400 多个 65 岁以上的老人死于非命，郊区的农业生产也受到巨大损失。除美国外，世界上其它许多国家的大城市也发生过光化学烟雾。1970 年夏季，全世界有五大城市几乎同时遭受光化学烟雾的袭击。这五大城市是美国的纽约和洛杉矶、日本的东京、意大利的米兰和阿根廷的布宜诺斯艾利斯。我国的兰州西固石油化工地区，1974 年也出现过光化学烟雾。

光化学烟雾的危害主要表现为对人眼有强烈的刺激作用，引起红肿流泪。据有关资料报道，美国加利福尼亚州的某些城市，有将近 3 / 4 的居民患有程度不同的眼病，这和光化学烟雾的发生有密切关系。光化学烟雾对鼻、咽喉、气管和肺部也有刺激作用，并能使哮喘病人发病，使慢性呼吸系统的疾病加剧，另外，对诱发癌症也能起到一定作用。光化学烟雾的主要成分臭氧和过氧乙酰硝酸酯对植物都有侵害作用。光化学烟雾污染严重时，还会造成树木干枯死亡。

二氧化硫、氮氧化物和二氧化碳等一次污染物在大气中会进一步变化，以酸雨的形式造成第二次污染。什么是酸雨？按照国际上的统一规定，把 pH 值小于 5.6 的酸性降水称为酸雨，包括液态的雨和雾，固态的雪和雹等。二氧化硫、一氧化氮、二氧化氮等都是酸性氧化物，这几种酸性氧化物在一定

条件下，最终变成了硫酸、硝酸或它们的盐类，溶于雨水增加了酸度（即降低了 pH 值），从而形成了酸雨。

酸雨最初发生于 50 年代美国加拿大交界的局部地区。近二三十年来，由于化石燃料的消耗量剧增，冶炼硫化物矿石工业的规模不断扩大，进入大气的二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳等酸性物质的量不断增加，酸性降水的范围和地区也越来越大。目前，酸雨已成为一种范围广泛、跨越国界的大气污染现象。特别是北美、西欧和日本，酸雨已成为一个令人头痛的环境污染问题，有些地区酸性降水的 pH 值已降到 4 以下。我国每年排入大气的二氧化硫有 1000 多万吨，是世界上排放量较大的国家之一，氮氧化物也越来越多，因此，近年来得到的资料表明，我国已有不少城市和地区降过酸雨。

酸雨的危害性很大：首先，它破坏土壤，危害植物的生长。酸雨下到地里，可以使土壤酸化，并把钙、镁、钾、磷等养分溶解带走，使土壤日趋贫瘠。酸雨降到农作物或树木的叶面上，可直接进入植物体中，危害植物的生长。其次，酸雨降到河流湖泊里，严重危害水生动植物的生长。有资料表明，世界上已有不少湖泊，由于水体严重酸化，鱼类已经大大减少甚至绝迹。第三，酸雨对人类也有直接危害，它会刺激人的皮肤，诱发皮肤病。另外，酸雨中的硫酸雾和硫酸盐毒性很大，它的微粒能侵入肺的深部组织，引起肺水肿和肺硬化。第四，酸雨能腐蚀金属制品、油漆、皮革、纺织品和含碳酸盐的建筑材料，在某些国家和地区，由此造成的经济损失是巨大的。例如瑞典，仅城市地区每年因金属物品受腐蚀而造成的损失，就达 20 亿美元。一些蜚声世界的名胜古迹、艺术珍品也遭到了污损，我国北京的故宫、天坛等处的某些露天汉白玉浮雕，也因受到酸雾的侵袭，轮廓变得越来越不清晰。由于近年来酸雨的危害日趋广泛和严重，有人已经惊呼，它已成为 80 年代最严重的环境污染，人类必须认真对待。

总之，进入大气并造成污染的物质是相当多的，迄今还没有很完全和确切的统计，但是，已经造成危害并为人们注意的至少有 100 多种。除了上面我们谈到的那几种数量最多、危害最严重的污染物以外，比较常见的还有氯化物、氰化物、石棉粉尘、铍、砷、铅、镉等各种金属粉尘，以及放射性污染。这些物质都能严重污染空气，并对人体造成特别的损害。另外，有恶臭气味的物质也是空气的一种特殊污染物，我们在这里略作介绍。

恶臭是使人厌恶的臭味，有臭味的物质很多，一部分无机物和大多数有机物都有臭味，对人类健康危害较大的有硫醇类、氨、硫化氢、甲基硫、三甲胺、甲醛、苯乙烯、酚等几十种。这些物质各有其特殊的臭味，如硫化氢有像臭鸡蛋一样的臭味，硫醇奇臭难闻，类似黄鼠狼的屁臭。恶臭物质能刺激人的神经，对人体的呼吸、循环和消化系统也有一定影响。如果经常受到恶臭物质的刺激，能使人的内分泌系统失调，影响机体的代谢活动，甚至中毒。恶臭除了污染大气以外，还能污染水体，使水变臭，危害鱼类等水生生物的生长，甚至使鱼产生异臭，不能食用。因此，恶臭也已成为各国一大公害，引起了人们的重视。

水环境化学

水与环境

水，晶莹的露珠，涓涓的细流，一泻千里的江河，浩瀚的大海……，千百年来，诗人歌颂它，文学家赞美它，画家为它陶醉，摄影家更经常把它选入自己的镜头。希腊诗人班达尔曾赞美“水是万物中最美好的东西”。的确，人类的发展与进步都与水有密切关系。我们中华民族就是在奔腾的黄河岸边发展起来的，经常将黄河作为自己的象征，赞美它，保卫它。水是地球上一切生物和人类赖以生存的必不可少的条件，是构成生物体的基本要素之一。例如，水占水母体重的90%以上，占鱼体重的80%，占陆生生物体重的50%，人体的 $\frac{2}{3}$ 也是由水组成的。

在生物体的新陈代谢过程中，水起着交换介质的作用，在输送养分和排泄废物等过程中，水参与了一系列生理生化反应，维持了生命的活力。正是由于水在生物体内的循环作用，才使生物体得以发生和发展。由此可见，水是生命发生、发育和繁衍的源泉。如果没有水，那么地球将成为一个死寂的星球，没有生命的存在。

我们知道，由于有了海洋，生命才赖以产生和存在；由于臭氧层的产生和地球表面环境的发展，才使水生生物登陆并获得空前的发展。现在，陆地生物已进化发展得十分高级，出现了人类这一“万物之灵”，但是，水下仍然是丰富多采，万物峥嵘的世界。当严冬降临，千里冰封，万里雪飘的时候，冰层下的鱼儿仍然往来不绝，熙熙攘攘，一片喧闹之声。这是由于水有一种独特的性质，即它在4℃时具有最大的比重。当气温降到0℃以下结冰时，比重小的冰则浮在水面，而4℃的水却总是在冰层之下，为鱼类提供了生存的“家”。

在我们生存的地球上，水资源极为丰富。地球上的水总量约有13亿6千万千米³，如果将这些水均匀地分布到地球表面上，那么地球表面上的平均水深可达3000米。地球的表面积约有5.1亿千米²，其中海洋约有3.6亿千米²，占地球表面积的71%。因此，海洋是无比巨大的天然水库。此外，还有不足3%的水分布在陆地上，包括江河、湖泊、高山的冰冠和地下水等。这部分水量虽少，但与人类的生活关系却最为密切。

水是一种宝贵的自然资源，是保证国民经济发展与维持人民生活需要的最重要物质基础之一。随着社会的发展、人口的增加以及人民生活水平的提高，人们的生活用水量正在不断地增加。此外，工业用水比居民耗水还要多得多。炼一吨钢需水20~40吨，生产一吨人造纤维约耗水1200~1800吨，而生产1吨合成橡胶竟需要2750吨水……。农业的用水似乎更为可观。农作物在生长期内的用水量，小麦是345—506米³/吨，棉花是333~400米³/吨，甜菜是466~600米³/吨，而生产一吨甘蔗所需的水量竟是它自重的1800倍。所以“水利是农业的命脉”，农业用水量占人类所有活动总用水量的60%~80%。

河流湖泊和广阔的海洋为人类提供了丰富、鲜美的食物。据联合国粮农组织1971年的统计资料，人类的食物收获为粮食 1770×10^6 吨（干品 1220×10^6 吨）、动物性食物 500×10^6 吨（干品 72.7×10^6 吨）、水产品食物 96×10^6 吨（干品 17×10^6 吨）。在水产品食物中，88%来自海洋。海洋为人

类提供食物的潜力很大，它将是人类食用蛋白的主要来源之一。我国的海洋渔业也得到蓬勃的发展，为我国人民提供了鲜美的水产食品。

水体的污染

自然界的水通过蒸发、凝结、降水、渗透和径流等作用，不断进行着循环。

随着地球上人口的剧增与工农业生产的迅速发展，人类正在干预水的正常循环过程。例如，大面积的森林被砍伐殆尽，许多草原被开垦，使植被遭到破坏，造成降水减少，水土流失增加，甚至造成沙漠化。又如修堤筑坝，兴修水利，围湖垦荒等，都对水的惯常循环有一定影响。现在，人类对海水资源的开发与利用已影响到水的循环，造成某些地区缺水，地面下沉，或者使水质恶化。

水是由氢和氧组成的最简单也是最为人们熟识的化合物之一。水的物理性质和化学性质都随温度而变化。如水的密度和表面张力都是温度的函数。水的极性和氢键缔合现象更是水的重要的物理化学性质。由于水有很大的热容量，因此自然界的水，主要是海洋，可以调节气候和温度。水的热容量大的性质亦被用于工农业生产中，经常用水作热的传输和储存物质。

水的另一个十分重要的特性是能电离为氢离子 (H^+) 和氢氧根离子 (OH^-)，其电离方程式为： $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

从水的电离方程式看出，水具有弱酸性与弱碱性。事实上，水的许多重要性质都与水的离解作用有关。水溶液的酸性和碱性取决于其中氢离子的浓度。通常用其对数值来表示酸碱性，即所谓 pH 值。

纯水在 25℃ 时，其氢离子浓度与氢氧离子浓度相等，此时溶液呈中性，所以 $pH=7.00$ 表示中性，大于 7 的为碱性，小于 7 的为酸性。

水中的杂质对 pH 值有较大的影响。例如一些金属离子作为氢氧化物从溶液中沉淀出来时，就会受到溶液的 pH 值的影响。

在自然界，完全纯净的水几乎是没的，水中总会含有某些杂质。例如，在河水中一般都含有无机离子，其含量在 100 ~ 200 毫克 / 升左右。所含的主要无机离子有 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 等，其中 SO_4^{2-} 的含量一般都比较较高。

据测定，雨水的 pH 值一般在 5.5 ~ 7.0 之间。雨水的含盐量一般是 5 ~ 50 毫克 / 升左右。雨水所含物质与地区有关。海边的雨水盐分与海水相似，以 Na^+ 和 Cl^- 为主；在内陆则与河水相似，以 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 为主。一般来说，雨水中的 SO_4^{2-} 含量有些偏高，有时还含有 NO_3^- 。雨水中的溶解气体如氧和二氧化碳常常是饱和的。

在广阔的海洋里，海水表层的 pH 值大约在 8.1 ~ 8.3 之间，深层海水的 pH 值稍为低一些，约在 7.8 左右。海水含有的主要无机离子是 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 等。海水含盐量特别高，可达 34% ~ 36% 左右。

水体中存在的有机物亦很多，主要来源于水生动物植物的残骸和工农业生产活动中排放到水中的大量有机物。水体受有机物污染的一个重要特征是消耗水体中的溶解氧。因此，人们用化学需氧量 (COD)、生化需氧量 (BOD)、

总有机碳 (TOC) 和总需氧量 (TOD) 作为表示水质污染的指标。

在通常情况下,地表水中的氮化物如 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 和磷化物如 H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-} 等的含量极微,这时水体的质量良好。一般来说,如果水体中的总含磷量超过 20 毫克/米³,无机氮超过 300 毫克/米³,那么这种水体就被认为已处于富营养状态。

水环境一般指江河湖海,地下水等水体本身,以及水体中的悬浮物、底泥,甚至还包括水生生物等。

水体具有净化污染物的能力,叫自净作用,即污染物在水中自然地降低浓度的现象。河流在流动过程中,可将污染物稀释,使之扩散,这是物理净化过程;污染物在水中发生氧化、还原或分解等化学过程,这称为化学净化;水中微生物对有机污染物的氧化、还原、分解的过程则是生物净化作用。当污染物排放到水体中的量太大,超过了水体的自净能力,从而使水质恶化的现象就是人们常说的水污染。

我国水资源比较丰富。全国地面水径流量为 2.6 万亿米³/年,居世界第三位。但是,按人口计算的径流量仅仅 2,700 米³/人,约为世界各国按人口计算的平均径流量 10,000 米³/人的 1/4。由于降雨量主要集中在夏季,又多集中在长江以南,因此广大的北方和大西北经常受到干旱的威胁。目前,我国仅工业排放的污水就达每天 7000 多万吨,而且由于管理落后,大多数污水不加严格处理,任意排放,使水源受到不同程度的污染。

我国的水污染比较普遍。根据对全国 30 条主要河流和湖泊的初步评价,仅以一些主要污染物为污染参数来看,从东北的第二松花江、辽河到苏南的大运河、黄浦江,南到珠江等河流,都已受到污染。长江虽然流量大,自净能力强,但江面上已有数十处污染带。长江的干流湘江的局部江段有较严重污染。作为数百万居民饮用水源的黄浦江,每天要接纳 280 万吨工业和城市污水,一到夏季,江水就变黑发臭。

湖泊也不同程度地受到污染,如云南的滇池等都已受到多种污染物的污染。此外,不仅地面水受污染,连地下水也有污染问题。通过对全国 44 个城市地下水的调查证明,有 41 个城市的地下水有污染物,而且一些有害物质的含量已超过了饮用水质标准。

水污染不仅对人体有害,而且对工农业生产和渔业、水产业造成很大损失。仅就我国淡水鱼的捕获量来说,在 50 年代为 60 万吨,到 60 年代下降到 40 万吨,70 年代只有 30 万吨了。造成渔业捕获量下降的直接原因之一就是水体受到了严重污染。

随着现代工业和农牧业的发展,特别是化肥工业的突飞猛进,有越来越多的氮磷等肥料被生产和使用,于是排到水体的氮磷物质增加。氮和磷过多地进入水体后,增加水中养分,发生所谓的“富营养化”。水体的富营养化会导致藻类和水生植物茂长,从而过分消耗水中的溶解氧,造成水中缺氧,使水中鱼类等缺氧死亡。富营养化是水体衰老的一种现象,特别是湖泊、水库、海湾里都可能发生富营养现象。

水体污染物质可谓成千上万,污染最多范围也最广的主要是酚、氰卤代烃和重金属等。这些物质也是目前研究和了解较多的物质。

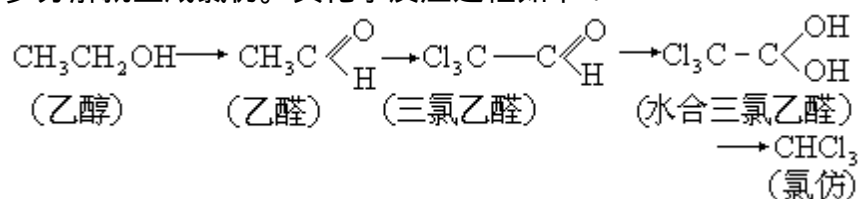
饮用水的重要性是不言而喻的。每人每日饮水约 2 千克。饮用水的水质如何与人的健康关系最为密切,所谓“病从口入”,水质也是一个重要因素。

在城市饮用水中，要用氯进行消毒灭菌。氯与水中所含的微量有机物作用会生成卤化物。据美国对近 80 个城市饮用水氯化处理进行的调查表明，处理后的饮用水都普遍地存在着 4 种三卤甲烷：氯仿、一溴二氯甲烷、一氯二溴甲烷、溴仿。

生物试验现已证明，某些卤代烷在较大剂量时显示致癌作用，因此饮用水中的卤代烃问题特别引人注意。在世界各国的饮水中，都在不同程度上检测到有卤代烃存在，而且主要是三卤代甲烷。

如前所述，由于饮用水中含有有机物，故在氯化时生成含氯的有机化合物。饮用水中的溴化物也许是由于用于消毒的液氯中含有微量的溴，因而在氯化过程中同时生成微量的溴化合物。此外，饮水中的卤化物还来源于大气和地面环境中的一些含卤化合物，如有机氯农药通过降雨和地面径流而进入水体。其次某些含有卤代烃的工业废水直接污染水源，也会使水中含有这类物质。

关于城市饮用水中因氯化而生成三卤甲烷的机理，可能是这样一种情况：在水体中存在着乙醇、乙醛、乙酰苯、丙酮、腐植酸有机物等，尤其是一些乙醇前体物，在氯化过程中，乙醇前体物被氧化成乙醛，然后再与游离的氯作用生成三氯乙醛，再与水作用生成水合三氯乙醛，这种水合三氯乙醛再进一步分解就生成氯仿。其化学反应过程如下：



水中卤代烃的生成还受各种因素的影响：首先是水源中有机物的浓度。如果水源中有机物浓度较高，那么氯化后生成的卤代烃也较多；其次还与处理饮用水时所用的氯量有关。在氯化过程中用的氯量越大，氯化后生成的卤代烃量亦相应地较大。此外，卤代烃的生成还与水源的种类和水处理时的条件有关。一般地下水源的水经处理后含卤代烃较少。

饮用水中卤化烃的含量很低，一般在 ppb 级的水平，甚至低至 ppt 级的水平。但是由于饮用水与人体健康显而易见的密切关系，因此，这极其微量的物质亦成为人们关注的问题。

酚是普遍存在于水体的一类有机化合物，是水体的重要污染物之一。在化工生产过程如苯酚的合成、石油裂解、聚酰胺纤维的合成、合成染料等等生产过程中，往往产生许多种酚类化合物并随废水排放到水域中。

水体中的酚类化合物如同其它有机物一样，也会发生一系列的生物氧化与化学氧化等作用，最后可降解为简单的化合物。

在天然水体中，酚类化合物的分解主要是生物化学氧化作用。生物化学氧化过程极为复杂，不同化学结构的酚在生物氧化过程中还具有不同的氧化速度。

水体中酚类化合物的生物氧化分解速度受很多因素的影响。如酚的羟基 (OH) 的数目和羟基的位置，酚的起始浓度，水体的温度，pH 值以及微生物条件等都对之有影响。譬如已发现二元酚、三元酚和萘酚在水体中比相应的一元酚具有更大的化学稳定性，不易于分解，而且萘酚羟基衍生物的分解速度又要比二元酚和三元酚更加缓慢。

酚在水体中的分解速度与其起始浓度有关。对于挥发酚来说，在有利于微生物活动的条件下，在一定的浓度范围内，随着起始浓度的增加而有利于酚的分解。但是，当水体中酚的浓度超过一定范围之后，酚的浓度增加反而导致分解速度下降。这是由于高浓度的酚能抑制和杀害水体中的微生物，同时水体中高浓度的酚本身也会消耗掉大量的溶解氧，从而显著地减慢了酚的转化过程。对于非挥发性的酚来说，随着起始浓度的增加，其分解速度明显下降。例如萘酚在 25℃ 温度条件下分解，如果起始浓度为 1 毫克 / 升，1-萘酚经 13 昼夜，a-萘酚经 17 昼夜，就能完全被分解掉。可是，当两种酚的浓度增加到 5 毫克 / 升时，在同样的温度和时间内，两种酚都只能被分解掉 60%。

关于温度对生物氧化分解速度的影响，则无论是挥发性的酚还是不挥发性的酚，在 0~30℃ 的温度范围内，其分解速度都是随水温的提高而加快。尤其是对苯二酚对水温的变化最为敏感。试验发现，酚类化合物最适宜的生化氧化分解温度是 15~25℃。水温低于 10℃，会降低微生物的活性。

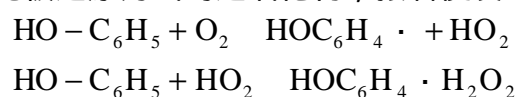
含有高浓度的其他污染物的水体中，由于影响水体中微生物的生活条件，因此也影响酚类的分解。所以从工矿企业排出的高浓度含酚废水，应当经过废水处理，使其中的非酚污染物和酚降到一定的浓度范围，再排放到天然水体中，才有利于酚的天然分解，才能充分利用自然净化能力，使有毒的酚类化合物转变为无机物。

酚除受到生物氧化外，还由水中的溶解氧进行化学氧化。酚的化学氧化是酚在水环境中转化的另一个重要途径。

酚类的化学氧化一般进行得比较缓慢。据研究发现，酚开始发生化学氧化时常需要“起爆作用”。在自然条件下，酚的化学氧化的“起爆作用”可通过阳光的紫外照射或过氧化物的作用而发生。经过起爆作用之后，便开始了酚的化学氧化过程。

酚在化学氧化过程中，主要是沿两条路线进行转化。一方面是生成一系列的氧化物，最终分解为碳酸、水和脂肪酸；另一条路线是发生缩合或聚合反应，结果生成古敏酸和其它更复杂而又相当稳定的有机化合物。如果水体处于 pH > 8 的碱性条件下，酚的缩合反应将占优势，于是便有古敏酸生成；如果水体处于 pH=7 的中性条件下，那么酚的芳香环就裂解，酚的氧化水解反应的几率就增加。由此可见，酚的化学氧化的转化方向取决于水体的 pH 值。

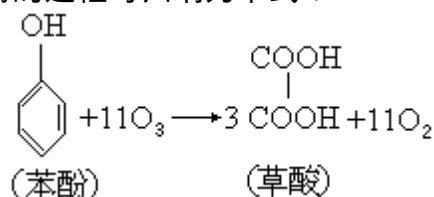
天然水中酚的化学氧化机制可能是这样一种情况，当水体中的酚被氧分子氧化时，氧分子先被还原为氢的过氧化物，接着便发生如下的化学反应：



从化学结构上看，由于苯酚的邻位和对位上的氢相当活跃，因而邻位和对位就成为苯酚的反应中心。当氧来氧化苯酚时，就可能生成邻苯二酚、对苯二酚以及极少量的连苯三酚。氧化产物之间的比例关系决定于氧化的条件。

酚在天然水体中的化学氧化的转化方向和氧化速度与水环境介质的一些因素有关。如水体的氧化还原电位，水的温度，氧的浓度，悬浮物的数量等。同时，酚在化学氧化过程中，水解因素起着重要作用。在某些过程中，水解反应甚至起着决定性作用。

酚不仅存在于化工和冶金等工业废水中，在饮用水中也存在着微量的酚类化合物。在水处理时，人们往往用臭氧做氧化剂来氧化水中的酚及其它有机化合物。臭氧氧化酚的过程可归纳为下式：



如果用高浓度的臭氧处理水时，还可使草酸被进一步氧化，最后生成无机化合物。

臭氧是一种强氧化剂，有破坏苯环的作用。在水处理工程中，常常用臭氧处理含有芳香化合物的一些有机废水，如印染工业废水、炼油废水和焦化废水等。

酚是水污染的一个重要的方面。在饮用水中，即使含有微量的酚，也会有一股难闻的特异气味，味觉与嗅觉均可感知。酚在水体中的最低感觉浓度是 0.25 ~ 4.0 毫克 / 升左右，特别是当饮用水进行氯化时，会产生一种像是医药味的 2, 4 - 二氯苯酚，人们对它的感觉浓度可低到 1ppb 的水平。酚是有毒物质，口服致死量为 530 毫克 / 千克体重左右，而且甲基酚和硝基酚对人体的毒性更大。据有关资料报道，酚还是一种化学助致癌剂。如果将高浓度的含酚废水排放到水域里，还会使水生生物受到污染和破坏。

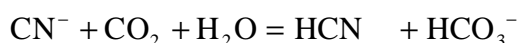
氰化物是水体的重要污染物之一。水体中的氰化物主要来自一些工矿企业所排放的含氰废水。

氰化物包括有无机氰、有机腈化物和以络合物存在的氰。如剧毒的氰化氢，又叫氰氢酸，是无机物。它能以任何比例与水混溶。有机腈化物随着分子量增加，在水体中的溶解度迅速降低。有机腈化物亦是有毒的，但不像无机氰那样剧烈。此外，氰离子 (CN⁻) 与几乎所有的重金属都能形成络合物。

天然水体中的氰化物在自然环境条件下，会发生一系列的物理化学和生物化学变化。很多氰化物最后转化为可溶性的氰化物，如氰氢酸 (HCN)。

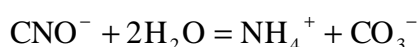
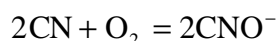
氰化物在水体中的转化受水环境条件的影响。主要影响因素是水中的氧和二氧化碳含量，水中含有的盐类，光照情况与温度以及水体中的微生物活动等。

氰化物在水体中最重要的转化行为是发生分解反应。在分解反应过程中，首先是氰化物与溶解于水体中的游离的二氧化碳作用生成氰氢酸而挥发。



水体中的氰化物经过这样的转化过程，大部分都挥发到大气里。

氰化物还能被溶于水的氧气所氧化，生成铵离子和碳酸离子。其反应如下：



这个反应表明，当氰化物进入天然水体之后，迅速地被氧化，并伴随着铵离子的生成。同时，铵离子在水中会被进一步氧化为亚硝酸盐。但亚硝酸盐在很长一段时间里不再被氧化，因而在水中保持一定的含量。

进一步的研究还表明，氰化物在水体中的氧化过程是生物化学氧化，而