



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水污染控制工程

第三版 上册

高廷耀 顾国维 周琪 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

X520.6

1=2

:1

2007



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水污染控制工程

第三版 上册

高廷耀 顾国维 周琪 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,其第二版是面向 21 世纪课程教材。本书在第二版的基础上修订而成。全书框架基本保持了原书的结构,但根据近年来水污染控制工程在理论、技术等领域的进展和教学需求,对原书进行了必要的补充和完善。

本书是《水污染控制工程》的上册,内容包括排水管渠系统,排水管渠水力计算,污水管道系统的设计,城镇雨水管渠的设计,排水泵站的设计,排水管渠施工,排水管渠系统的管理和养护,城镇排水工程的规划等。为方便教学和学习,每章后还配有思考题和习题。

本书可供高等院校环境工程专业、给水排水专业本科生作为教材,也可供广大科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程.上册/高廷耀,顾国维,周琪主编.

3 版.—北京:高等教育出版社,2007.3

ISBN 978-7-04-020903-7

I.水… II.①高…②顾…③周… III.水污染-污染控制-高等学校-教材 IV.X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 008193 号

策划编辑 陈文 责任编辑 谭燕 封面设计 于文燕 责任绘图 朱静
版式设计 张岚 责任校对 殷然 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京北苑印刷有限责任公司
开 本 787×960 1/16
印 张 16
字 数 290 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.widedu.com>
畅想教育 <http://www.widedu.com>
版 次 1989 年 2 月第 1 版
2007 年 3 月第 3 版
印 次 2007 年 3 月第 1 次印刷
定 价 18.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20903-00

第二版前言

本书的第一版是1989年印刷的。出版后,在国内高等院校获得较广泛的应用,并多次重印。

第一版教材出版至今已有10年。10年来,保护环境、可持续发展的理念已经深入人心。人们在水污染控制方面的认识也在深化,技术上有了新的进展,这些理应在教材中有所反映。同时,第一版教材中包括了给水工程方面的内容,对多数读者是不必要的;且由于有些内容过于繁复,不够精练;第一版教材中,还存在不少印刷上的错误,给读者带来很多不便。因此,我们决心对原教材作较大的修改和补充,以克服上述的缺点。

全书仍分为上、下两篇。上篇为污水沟道部分,共九章;下篇为污水处理部分,共十二章。

本书由周增炎(第二、三、四、七章)、杨海真(总论、第九章)、屈计宁(第一、二十章)、郑贤谷(第五、六章)、胡家骏(第八章)、章非娟(第十、十一、十二、十三章)、顾国维(第十四、十八、十九章)、高廷耀(第十四章第六节、第十五、十六、十七、二十一章)等同志改编;由高廷耀、顾国维担任主编。全书经胡家骏教授审改。

由于我们的水平限制,本教材还可能有错误,热忱希望读者提出批评和意见。

编者

1999年3月

第三版前言

《水污染控制工程》自出版以来受到广大读者的好评,在国内高等院校获得较广泛的应用。第一版于1989年出版,1990年获第二届全国优秀教材一等奖;第二版于1999年出版,2002年获全国普通高等学校优秀教材二等奖,2003年获上海市优秀教材一等奖;第三版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

《水污染控制工程》(第二版)自出版至今已有7年。7年来,循环经济、保护环境、可持续发展的理念已深入人心。人们对水污染控制方面的认识在不断深化,水污染控制的理论和技术也在不断发展。因此,根据学科发展现状和教学的要求,《水污染控制工程》(第三版)在第二版的基础上作了较大的修改和补充。

全书仍分为上、下两篇。上篇为排水管渠系统部分,共八章;下篇为污水处理部分,共十一章。

《水污染控制工程》(第三版)由周增炎(第一、二、三、五、八章、第四章第一、三、四、五节),全洪福、郑贤谷(第六章),朱保罗、郑贤谷(第七章),周琪(绪论、第十四、十五、十八章),周琪、章非娟(第十一章),徐竟成(第九、十七、十九章、第四章第二节),徐竟成、章非娟(第十三章),杨殿海、章非娟(第十章),杨殿海、顾国维(第十二章),高廷耀、李国建(第十六章)等同志改编;由高廷耀、顾国维、周琪担任主编。

由于编者水平有限,在本书的编写过程中难免会出现漏误之处,热忱希望读者提出批评和意见。

编者

2006年10月

目 录

绪论	1
第一节 水循环与水污染	1
一、水循环	1
二、水污染	4
第二节 水体污染的危害及严重性	10
一、水体污染的危害	10
二、水体污染的严重性	11
第三节 水污染控制工程的主要内容与任务	12
一、水污染控制工程的主要目标	12
二、水污染防治的主要内容和任务	12
三、我国的水环境法规与标准	13

上篇 排水管渠系统

第一章 排水管渠系统	17
第一节 城镇排水系统的体制和组成	17
一、排水系统的体制	17
二、排水系统的组成部分	21
第二节 排水管渠及管渠系统上的构筑物	26
一、概述	26
二、管道	26
三、渠道	29
四、检查井	30
五、跌水井	33
六、水封井	35
七、溢流井	36
八、跳越井	37
九、冲洗井	37

十、潮门井	38
十一、橡胶鸭嘴阀	38
十二、雨水口	39
十三、倒虹管	41
十四、管桥	47
十五、出水口	47
思考题和习题	49
第二章 排水管渠水力计算	50
第一节 污水管渠水力设计原则	50
一、不溢流	50
二、不淤积	51
三、不冲刷管壁	51
四、要注意通风	51
第二节 管渠水力计算基本公式	51
第三节 水力学算图	52
第四节 管渠水力设计主要参数	55
一、设计充满度	55
二、设计流速	56
三、最小管径	56
四、最小设计坡度和不计算管段的最小设计坡度	57
五、管道的埋设深度和覆土厚度	57
第五节 管段的衔接	59
第六节 管段水力计算	60
第七节 倒虹管水力计算	63
思考题和习题	64
第三章 污水管道系统的设计	66
第一节 污水设计流量的确定	66
一、生活污水设计流量的确定	66
二、工厂生产区的生活污水设计流量的确定	68
第二节 污水管道系统的平面布置	69
一、确定排水区界、划分排水流域	70
二、选择污水厂和出水口的位置	70
三、拟定污水管道系统的路线	70
四、确定需要抽升的排水区域和设置泵站	72
第三节 管道在街道上的位置	74

第四节 污水管道的水力设计	76
一、设计要求	76
二、计算示例	76
第五节 管道施工图绘制	82
思考题和习题	85
第四章 城镇雨水管渠的设计	87
第一节 雨水径流量的计算	87
一、雨量参数	87
二、推理公式	88
三、雨水管道设计流量的估算	88
四、讨论	97
第二节 雨水径流量调节及利用	97
一、雨水径流量调节的作用与方法	97
二、径流调节池的构造	98
三、雨水资源利用概述	99
第三节 雨水管渠的设计	101
一、雨水管渠设计的原则	101
二、雨水管渠系统的平面布置	102
三、雨水管渠水力设计的准则	102
四、设计步骤	104
五、雨水管道水力设计示例	104
六、雨水管道平面图的绘制	108
第四节 合流管道系统	108
一、合流管道系统的适用条件与布置特点	108
二、合流污水水质与截流倍数	109
三、我国合流管道系统的工作情况与改造问题	111
四、截流式合流管道的水力计算	112
五、截流式合流管道水力设计示例	115
第五节 城镇防洪	117
一、概述	117
二、设计防洪标准	118
三、设计洪水量和潮位的估算	119
四、堤防工程	125
五、防洪沟工程	128
思考题和习题	130

第五章 排水泵站的设计	134
第一节 排水泵站的功用和设置地点	134
第二节 常用排水泵	135
一、几种常用排水泵	135
二、排水泵的工作特性	138
三、排水泵引水设备	141
第三节 污水泵站设计	143
一、污水泵的选择	144
二、进水池	144
三、吸水管及出水管	145
四、泵组间	146
五、变电室与配电盘	147
六、污水泵站的建筑要求	147
七、事故排出口	147
八、污水泵站形式	148
第四节 雨水泵站设计	148
一、雨水泵的选择	148
二、进水池的设计	152
三、雨水泵站的形式	153
第五节 排水泵站水力计算	157
思考题和习题	162
第六章 排水管渠施工	164
第一节 排水管渠的施工方法	164
第二节 开槽施工	164
一、测量放线	165
二、开挖管槽及支护	165
三、管槽排水	169
四、管道基础制作	169
五、管道铺设	170
六、管道接口	173
七、闭水试验	173
八、管槽覆土	174
第三节 顶管施工	174
一、机头	175
二、工作坑和接收井	178

三、管节顶进与接口	178
第四节 井点降水	183
一、真空泵抽水系统	183
二、水射泵抽水系统	184
三、井点的布置形式及要求	184
四、井点的施工	186
第五节 排水管渠工程的施工准备和验收	187
一、施工准备工作	187
二、竣工验收工作	189
思考题和习题	190
第七章 排水管渠系统的管理和养护	191
第一节 排水管渠系统的管理	191
第二节 排水管渠系统的维护	192
一、排水管渠的维护	192
二、管渠检查	196
第三节 排水管渠系统的修理	199
一、两种主要损坏原因	199
二、开挖修理和管渠封堵	199
三、局部非开挖修理	200
第四节 排水管渠系统维护的安全作业	202
思考题和习题	203
第八章 城镇排水工程的规划	204
第一节 城镇排水工程规划原则	204
第二节 城镇排水工程规划的主要任务与内容	205
一、排水范围和排水体制	205
二、排水量和规模	206
三、排水系统	209
四、排水管渠	210
五、排水泵站	210
六、污水处理与利用	211
七、绘制排水工程规划图和工程概算	212
第三节 对城镇总体规划的两项建议	213
一、关于城镇雨水	213
二、关于工业废水	213
思考题和习题	213

附录	214
附录一 我国旧城传统排水措施	214
附录二 管道水力学算图	220
附录三 居民生活用水定额和综合生活用水定额	238
附录四 排水管道和其他地下管线(包括建筑物和构筑物)的最小净距	239
主要参考文献	240

绪论

第一节 水循环与水污染

一、水循环

水是人类维系生命的基本物质,是工农业生产和城市发展不可缺少的重要资源。人类习惯于把水看成是取之不尽、用之不竭的最廉价的自然资源,但随着人口的膨胀和经济的发展,水资源短缺的现象正在很多地区相继出现,水污染更加剧了水资源的紧张,并对人类的生命健康形成威胁。切实防治水污染、保护水资源已成为当今人类的迫切任务。

地球上水的总量约有 $14 \times 10^8 \text{ km}^3$,其中约有 97.3% 的水是海水,淡水不足总水量的 3%。且其中还有约 $\frac{3}{4}$ 以冰川、冰帽的形式存在于南北极地,人类很难使用。与人类关系最密切、又较易开发利用的淡水储量约为 $400 \times 10^4 \text{ km}^3$,仅占地球上总水量的 0.3%。如表绪-1 所示。

表绪-1 地球上的水量分布

水的类型	水量/ 10^4 km^3	比例/%
海洋水	132 000	97.3
淡水湖	12.5	0.009
盐湖和内海	10.4	0.008
河流	0.1	0.000 1
土壤水	6.7	0.005
地下水	835	0.6
冰帽和冰川	2 920	2.1
大气水	1.3	0.001
总计	135 786	100

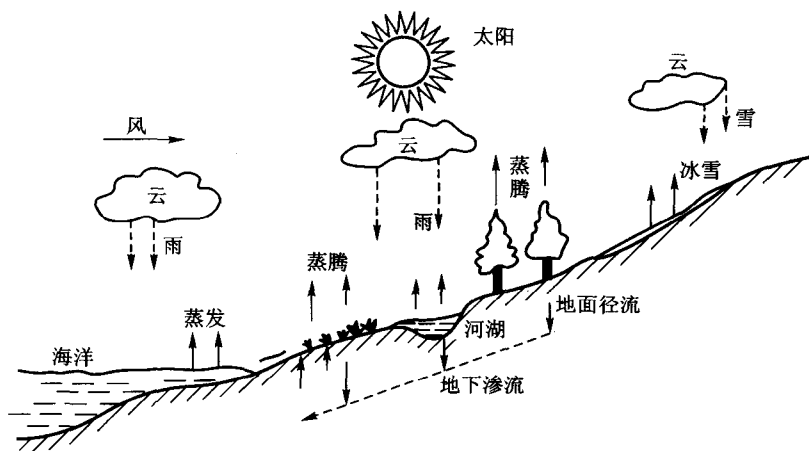
以我国为例,我国的水资源总量并不贫乏,年降水量为 $60\ 000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右,相当于全球陆地总降水量的 5%,占世界第三位。我国地面年径流量为 $27\ 210 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅少于巴西、加拿大、美国和印度尼西亚等国家。但是,由于我

国人口众多,按人均年径流量计,水资源占有量仅为每人每年 $2\,093\text{ m}^3$,相当于世界人均占有量的 $\frac{1}{4}$ 。此外,我国的水资源还存在着严重的时空分布不均衡性。

如果用一条斜线将中国分为东南和西北两大区,占据国土面积 53% 的东南沿海地区,拥有了全国水资源总量的 93%,而西北广大地区却只有 7% 的水资源量。在水资源缺乏的西北地区,十分有限的降雨又往往集中在夏季的三个月内,使水资源紧张的情况更为加剧。

地球上的水主要以连续状态存在。存在于地上者,称为地表水,包括海洋、江河、湖泊、水库、冰川等;存在于地下者,称为地下水,包括潜水和承压水,地下水涌出地面者称为泉水。以不连续状态存在的水虽分布很广,但数量较少,主要为存在于大气中的水、储于生物体内的水和储存及结合于岩石土壤中的水。

自然界中的水并不是静止不动的,而是处于不断的循环运动中,水循环包括自然循环和社会循环。自然循环是由自然力促成的水循环,例如,海洋、湖泊、河流表面以及土壤中植物茎叶上的水,会由于阳光照射而蒸发或蒸腾成水汽,上升到空中凝结为云,随大气环流迁移到各处,并在适当的条件下以雨、雪、雹等形式降落到地面,一部分汇集至江河湖泊成为地面径流,另一部分渗入地下形成地下水。地表水和地下水也是时有交流转换的,它们最终都会注入海洋。如此川流不息,循环往复,水的自然循环如图绪-1 所示。



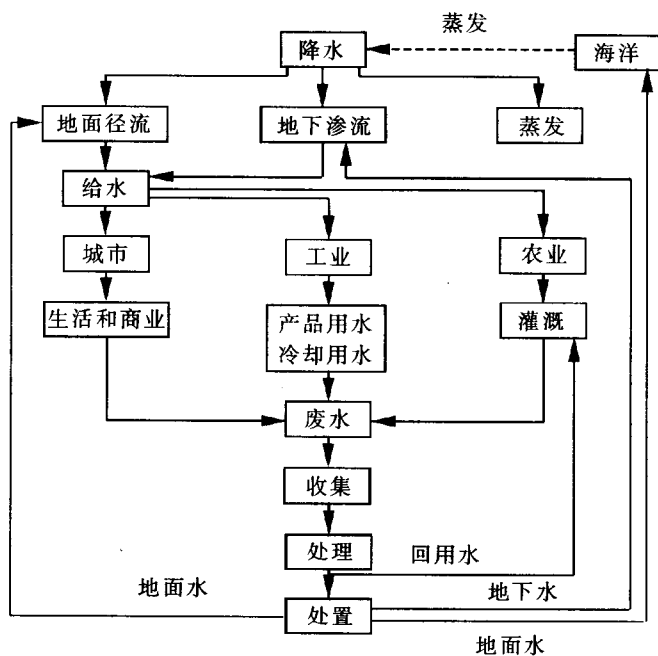
图绪-1 水的自然循环

人们通常以降水量作为衡量循环水量的大致尺度。据推算,整个地球上的降水量约为每年 $40 \times 10^4\text{ km}^3$,因此每年的自然循环水量仅占地球上总水量(14

$\times 10^8 \text{ km}^3$) 的 0.03% 左右。按多年平衡的情况计, 这些循环水量中约有 56% 的水量为植物蒸腾、土壤和地面水体蒸发所消耗, 34% 形成地面径流, 10% 则通过下渗补给地下水。

除了上述水的自然循环外, 水还由于人类的活动而不断地迁移转化, 形成水的社会循环, 直接为人们的生活和生产服务。与水的自然循环不同的是, 在水的社会循环中, 水的性质在不断地发生变化, 生活污水和工业生产废水的排放, 是形成水污染的主要根源, 也是水污染防治的主要对象。例如, 人类取用的水中, 只有很少一部分是用作饮用水或食物加工以满足生命对水的需求的 (约为每人每天 5L 水), 其余大部分水则用于卫生目的, 如洗涤、冲厕等 (约为每人每天 50 ~ 300L 水不等, 决定于生活习惯、卫生设备水平等)。工业生产用水量很大, 除了一部分水用做工业原料外, 大部分水是用于冷却、洗涤或其他目的, 使用后水质将发生显著变化, 其污染程度随工业性质、用水性质及方式等因素而变。此外, 随着农业生产中化肥、农药使用量的日益增加, 降雨后农田径流会挟带大量化学物质流入地面或地下水体, 形成所谓“面污染”, 这也是不可忽视的一项污染源。

图绪 - 2 为水循环系统示意图, 它包括了水的自然循环和社会循环。



图绪 - 2 水循环系统示意图

二、水污染

水体污染是指排入水体的污染物在数量上超过该物质在水体中的本底含量和水体的自净能力,从而导致水体的物理、化学及卫生性质发生变化,使水体的生态系统和水体功能受到破坏。

造成水体污染的因素是多方面的,向水体排放未达标的城市污水和工业废水、含有化肥和农药的农业排水、含有地面污染物的暴雨初期径流、随大气扩散的有毒有害物质通过重力沉降或降水过程进入水体等,都会对水体造成污染。

根据污染物的性质,水体的污染可分为以下几类:

(一) 物理性污染

水体的物理性污染,是指水体在遭受污染后,水的颜色、浊度、温度、悬浮固体、泡沫等发生变化。这类污染易被人们感官所觉察。

1. 感观污染

废水呈现颜色、浑浊、泡沫、恶臭等现象能引起人们感观上的不快,对于供游览或文体活动的水体而言,危害更甚。相应的水质指标有以下几种:

(1) 色度:一般纯净的天然水是清澈透明的,而带有金属化合物或有机化合物(如有机染料)等有色污染物的污水呈现各种颜色,增加水体色度。将有色污水用蒸馏水稀释后与参比水样对比,一直稀释到两水样色差一样,此时污水的稀释倍数即为其色度。

(2) 嗅和味:嗅和味可定性反映某种污染物的多寡。天然水是无嗅无味的,水的臭味来源于还原性硫和氮的化合物、挥发性有机物和氯气等污染物质。此外,水中的不同盐分也会给水带来不同的异味,如氯化钠带咸味,硫酸镁带苦味,铁盐带涩味等。

(3) 浊度:胶体态及悬浮态有机物能造成水体的浑浊。浊度超过 10 度时便令人不快。而且病菌、病毒以及其他有害物质,往往依附于形成浊度的悬浮固体中。因此降低水的浊度,不仅为满足感官性状的要求,对限制水中病菌、病毒及其他有害物质的含量,也具有积极的意义。

2. 热污染

许多工业排出的废水都有较高的温度,尤其是工业冷却水,这些废水排入水体后会使得水体的温度升高,引起热污染,反映热污染的水质指标是温度。氧气在水中的溶解度随水温升高而减少,这一方面会使得水中溶解氧减少,另一方面会加速耗氧反应,从而影响水生生物的生存和对水资源的利用,加速水体的富营养化进程。此外,高温还会影响水的使用功能。

3. 悬浮固体污染

各类废水中均有杂质,分为无机物和有机物两大类。物质在水中有三种分

散状态:溶解态(直径小于1 nm)、胶体态(直径介于1~100 nm)、悬浮态(直径大于100 nm)。水中所有残渣的总和称为总固体(total solid, TS),包括溶解固体(dissolved solid, DS)和悬浮固体(suspended solid, SS)。能透过滤膜或滤纸(孔径约3~10 μm)的为溶解固体(DS),溶解固体表示水中盐类的含量;不能透过的为悬浮固体(SS),悬浮固体表示水中不溶解的固态物质的量。

悬浮固体是废水的一项重要水质指标,排入水体后会在很大程度上影响水体外观,除了会增加水体的浑浊度,妨碍水中植物的光合作用,对水生生物生长不利外,还会造成管渠和抽水设备的堵塞、淤积和磨损等。此外,悬浮固体还有吸附凝聚重金属及有毒物质的能力。

4. 油类污染

油类污染物有石油类和动植物油脂两种。工业含油废水所含的油大多为石油或其组分,含动植物油的污水主要产生于人的生活过程和食品工业,它们均难溶于水,其中粒径较大的分散油易聚集成片,飘浮于水面;粒径介于100~10 000 nm的微小油珠易被表面活性剂和疏水固体所包围,形成乳化油,稳定地悬浮于水中。

油类污染物经常覆盖于水面,形成油膜,隔绝大气与水的接触,破坏水体的复氧条件,从而降低水体的自净能力;它还能附着于土壤颗粒表面和动植物体表,影响养分的吸收和废物的排出;当水中含油量达到0.01~0.10 mg/L时,对鱼类和水生生物就会产生影响,尤其对幼鱼和鱼卵的危害最大;当水中含油量达到0.3~0.5 mg/L时,就会产生石油气味,还能使鱼虾类产生石油臭味,降低水产品的食用价值;当油类污染物进入海洋时,就会改变海面的反射率和减少进入海洋表层的日光辐射,对局部地区的水文气象条件产生影响。

(二) 无机物污染

1. 酸碱污染

酸碱污染主要由进入废水的无机酸碱,以及酸雨的降落形成。矿山排水、黏胶纤维工业废水、钢铁厂酸洗废水及染料工业废水等,常含有较多的酸。碱性废水则主要来自造纸、炼油、制革、制碱等工业。水样的酸碱性在水质标准中以pH来反映,pH<7呈酸性,pH>7呈碱性。一般要求处理后污水的pH在6~9之间。天然水体的pH一般为6~9,受到酸碱污染会使水体的pH发生变化。酸性废水的危害主要表现在对金属及混凝土结构材料的腐蚀上,碱性废水易产生泡沫,使土壤盐碱化。各类动植物和微生物都有各自适应的pH范围,当pH超过适应范围时就会抑制细菌和其他微生物的生长,影响水体的生物自净作用,使水质恶化、土壤酸化或盐碱化,破坏生态平衡。对渔业水体而言,pH不得低于6或高于9,当pH为5.5时,一些鱼类就不能生存或生殖率下降。pH不在6~9范围内的水体不适于作为饮用水和工农业用水。

2. 无机毒物污染

废水中能对生物引起毒性反应的化学物质,称为毒性污染物,简称毒物。工业上使用的有毒化学物质已超过 10 000 种,因而已成为人们最关注的污染类别。

毒物对生物的效应有急性中毒和慢性中毒两种。急性中毒的初期效应十分明显,严重时会导致死亡;慢性中毒的初期效应虽然很不明显,但其经过长期积累能致突变、致畸、致癌。大多数毒物的毒性与浓度和作用时间有关,浓度越大,作用时间越长,致毒后果就会越严重。此外,毒物反应与环境条件(温度、pH、溶解氧浓度等)和有机体的种类及健康状况等因素也有一定的关系。

毒物是重要的水质指标,各种水质标准中对主要的毒物都规定了限值。

废水中的无机毒物分为金属和非金属两类。

(1) 金属毒物污染:金属毒物主要为重金属(相对密度大于 4~5)。重金属主要指汞、铬、镉、铅、镍等生物毒性显著的元素,也包括具有一定毒害性的一般重金属,如锌、铜、钴、锡等。

重金属是构成地壳的物质,在自然界分布非常广泛,并且在自然环境的各部分均存在着本底含量。在正常的天然水中重金属的含量一般都很低,例如,汞的浓度小于 0.001 mg/L,六价铬浓度小于 0.1 mg/L,在河流和淡水湖中铜的浓度小于 1 mg/L,铅小于 0.1 mg/L,镉小于 0.01 mg/L,一般不会对生物体造成危害。但重金属在排入天然水体后不可能减少或消失,却可能通过沉淀、吸附及食物链而不断富集,从而达到对生态环境及人体健康有害的浓度。世界有名的水俣病就是由汞污染造成的,汞进入人体后被转化为甲基汞,甲基汞能大量积累于人脑中,引起乏力、动作失调、精神混乱等症状,无法用药物治疗,严重时可造成死亡;镉中毒时引起全身疼痛,腰关节受损、骨节变形,有时还会引起心血管疾病。

重金属在人类的生产和生活方面有着广泛的应用,从而在环境中存在着各种各样的重金属污染源。采矿和冶炼是向环境中释放重金属的最主要污染源,此外,电镀工业、冶金工业、化学工业等排放的废水中也往往含有各种重金属。这些污染都属于点源,因而常常会在局部地区造成很严重的污染后果。

作为毒物的重金属一般具有以下特点:

毒性在以离子态存在时最严重,故通常又称为重金属离子毒物;不能被生物降解,有时还可能被转化为毒性更强的物质;在生物体内有富集作用,故对生物和人体均有毒害作用。

在轻金属中,铍是一种重要的毒物。铍中毒后会导致结膜炎和肺部疾病。

(2) 非金属毒物污染:重要的非金属毒物有砷、硒、氰、氟、硫(S^{2-})、亚硝酸