

石油环境工程

吴芳云 陈进富 编
赵朝成 孙金蓉

上册



石油工业出版社

石油环境工程

(上册)

吴芳云 陈进富 编
赵朝成 孙金蓉

石油工业出版社

石油环境工程

(下 册)

吴芳云 陈进富 编
赵朝成 孙金蓉

石油工业出版社



0749653

内 容 提 要

本书全面、系统地论述了当前环境工程领域的基本理论、污染防治技术及发展趋势,并重点介绍了石油工业污染治理技术。全书分上、下册,共4篇25章。第一篇主要包括废水的物理、化学及生物处理方法,循环冷却水的处理及废水回用等内容。第二篇重点讲述我国当前大气污染源、污染物,及其治理原理和技术。第三、四篇分别介绍了固体废物和噪声的危害及治理对策。最后有附录。由于作者是从事环境工程科学研究和教学多年的具有丰富经验的教授、专家,所以书中既有基础理论,又有实用技术,是一本指导环境污染治理的有价值的参考书。本书也可作为大专院校环境保护专业的教科书。

图书在版编目(CIP)数据

石油环境工程.上册/吴芳云等编.
北京:石油工业出版社,2002.8
ISBN 7-5021-3568-5

I.石…

II.吴…

III.石油工业-水污染-污染防治

IV.X52

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第077456号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 29印张 740千字 印1—2000
2002年8月北京第1版 2002年8月北京第1次印刷
ISBN 7-5021-3568-5/TE·2633
定价:58.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

前 言

自 1972 年联合国召开世界第一次人类环境会议以来,环境保护越来越受到人们的关注,环境质量在局部地区得到改善。但是,当前全球面临的环境问题仍很严重:大气环境面临着酸雨、温室效应、臭氧层破坏三大问题;水污染加剧、水质下降、世界性的水资源紧缺和干旱,将带来水荒和沙漠化;物种减少,森林滥伐,生态平衡遭到破坏;每年上千种有机合成新物质的出现,其中有的是致癌物,它们导致人类癌症死亡率上升。以上种种事实,说明保护环境刻不容缓。

编写此书的目的是:其一,适应石油和石化行业改革开放、走向国际市场的需要,急需编写一本既包括油气田生产,又包括石油化工生产过程的环境保护知识、污染控制技术的书,以提高全体职工环境保护意识和科学水平,预防和治理石油工业环境污染,使污染物排放达到国家或地方政府法律法规的要求。

其二,根据我们多年从事环境工程科学研究和教学的体会,需要编写一本内容较新的石油工业环境保护专业教科书。本书的内容既反映当前环境科学的前沿,有一定的基础理论,还力求做到理论联系实际,有实用新技术,对石油工业环境污染的治理有一定的指导作用。因此,本书在编写时,以环境工程学的理论和方法为主线,将石油工业环境污染治理技术集中在第十、十一、十二、十七、二十二等章节中介绍。

参加本书编写的人员有:吴芳云、陈进富、赵朝成、孙金蓉。其中前言,第一至六章、第八、九、十一、十二章由吴芳云编写;第七章由孙金蓉编写;第十章由吴芳云、赵朝成编写;第十三至十七章由陈进富编写;第十八至二十四章由赵朝成编写。由于作者水平有限,书中的错误,在所难免,恳请读者批评指正。

本书由王贤清、吴振烈两位教授级高级工程师及朱仁正编审审校,在此对他们表示感谢。

最后,向为本书出版的策划者、编辑、工作人员等深表谢意。

编者

2001 年 5 月

目 录

上 册

绪言——环境问题和环境科学.....	(1)
--------------------	-----

第一篇 工业废水治理的基本原理及方法

第一章 废水处理概论.....	(7)
第一节 水资源和水的循环.....	(7)
第二节 水体污染与自净	(10)
第三节 水质标准	(15)
第四节 废水处理方法简述	(26)
第五节 废水处理反应器及动力学基础	(29)
第二章 废水的预处理	(30)
第一节 格栅	(30)
第二节 筛网和微滤机	(31)
第三节 水质和水量的调节	(32)
第四节 中和处理	(34)
第三章 重力沉降与上浮	(38)
第一节 沉降过程的理论基础	(38)
第二节 普通沉淀池	(44)
第三节 斜板、斜管沉淀池	(50)
第四节 隔油	(52)
第五节 气浮和浮选的理论基础	(56)
第六节 气浮方法及其流程	(59)
第七节 气浮处理系统的设计计算基础	(62)
第四章 混凝法	(65)
第一节 胶体的特性	(65)
第二节 胶体的结构	(68)
第三节 胶体的稳定性与混凝	(69)
第四节 混凝剂、助凝剂及其作用机理	(71)
第五节 影响混凝效果的因素	(76)
第六节 混凝设备	(77)
第五章 深层过滤法	(80)
第一节 过滤的基本概念	(80)
第二节 快滤池及过滤工艺	(82)

第三节	滤层与承托层	(83)
第四节	快滤池的反冲洗	(86)
第五节	滤池设计基础及其它过滤设备	(90)
第六章	离心分离法及其设备	(92)
第一节	原理	(92)
第二节	离心分离设备	(92)
第三节	油—水旋流分离技术在含油污水处理中的应用	(96)
第四节	旋流分离技术与几种油水分离技术比较	(99)
第七章	废水中溶解态污染物的化学处理	(102)
第一节	化学沉淀法	(102)
第二节	中和沉淀法	(108)
第三节	化学氧化还原法	(113)
第四节	电化学氧化还原法	(123)
第八章	废水生物处理的基本理论及技术	(132)
第一节	微生物及其生化特性	(132)
第二节	活性污泥法	(141)
第三节	生物膜法	(166)
第四节	厌氧生物处理技术	(180)
第五节	氧化塘和废水灌溉	(190)
第九章	废水中溶解态污染物的物化分离技术	(198)
第一节	离子交换法	(198)
第二节	膜分离法	(217)
第三节	热过程法	(229)
第四节	吹脱法与汽提法	(234)
第五节	萃取法	(236)
第六节	吸附法	(241)
第十章	油气田废水处理及回用技术	(250)
第一节	油气田废水污染源及其污染物	(250)
第二节	油田含油废水的治理及回用技术	(254)
第三节	稠油废水 COD 的构成及处理技术	(275)
第四节	海洋石油开发废水治理技术	(289)
第五节	国外采油废水处理技术的进展	(298)
第六节	钻井污水的组成及处理技术	(301)
第七节	井下作业废水的处理	(308)
第八节	含硫气田废水的处理技术	(309)
第十一章	石油化工废水处理技术	(314)
第一节	石油化工生产过程中主要污染源与污染物	(314)
第二节	石油化工厂废水处理的一般方法及流程	(325)
第三节	含油废水的处理方法	(331)
第四节	炼油厂含硫废水的处理	(379)

第五节	含酚废水的处理	(388)
第六节	含环烷酸废水的处理	(392)
第七节	含氰(腈)废水的处理	(396)
第八节	含苯及其它化工废水的处理	(400)
第九节	含铬废水的处理	(401)
第十二章	循环冷却水系统及废水回用	(406)
第一节	循环冷却水系统及其水处理	(406)
第二节	废水资源化及回用技术	(441)

下 册

第二篇 油气工业大气污染及其防治技术

第十三章	大气与大气污染的基本概念	(457)
第一节	大气的结构与组成	(457)
第二节	大气污染和大气污染物	(459)
第三节	大气质量控制标准	(463)
第四节	大气污染控制的基本方法	(467)
第十四章	颗粒污染物控制技术	(470)
第一节	颗粒污染物的去除方法及除尘装置概述	(470)
第二节	重力沉降	(472)
第三节	惯性除尘	(475)
第四节	离心力除尘	(476)
第五节	过滤除尘	(479)
第六节	静电除尘	(482)
第七节	湿法除尘	(486)
第八节	除尘装置的选择	(489)
第十五章	气态污染物控制技术	(491)
第一节	吸收法	(491)
第二节	吸附法	(499)
第三节	冷凝法	(505)
第四节	催化转化法	(507)
第五节	燃烧法	(512)
第六节	生物净化法	(514)
第七节	膜分离法	(516)
第十六章	污染物的稀释法控制	(519)
第一节	影响污染物在大气中扩散的气象因素	(519)
第二节	烟气抬升高度	(528)
第三节	污染物落地浓度	(530)
第四节	烟囱计算	(534)

第十七章	石油化学工业废气污染治理	(538)
第一节	废气污染源、分类及特点	(538)
第二节	废气污染及其治理现状	(541)
第三节	含硫废气治理技术	(544)
第四节	含硫化氢废气的治理	(556)
第五节	烃类废气治理技术	(569)

第三篇 固体废物处理工程

第十八章	固体废物处理工程概论	(585)
第一节	固体废物的概念	(585)
第二节	固体废物的来源与分类	(586)
第三节	固体废物的污染及其控制	(587)
第四节	固体废物处理处置工程	(591)
第五节	控制固体废物污染的技术政策	(592)
第六节	固体废物管理	(595)
第十九章	固体废物处理技术	(597)
第一节	固体废物的收集、运输	(597)
第二节	固体废物的压实技术	(598)
第三节	固体废物的破碎技术	(601)
第四节	固体废物分选技术	(604)
第五节	固体废物的脱水与干燥	(616)
第六节	固体废物的化学处理技术	(620)
第七节	固体废物的焚烧处理	(622)
第八节	固体废物的固化处理	(623)
第九节	固体废物资源化的意义与资源化系统	(626)
第二十章	固体废物处置工程	(628)
第一节	概述	(628)
第二节	固体废物土地填埋处置	(629)
第三节	土地耕作处置	(639)
第四节	海洋处置	(641)
第五节	深井灌注处置	(643)
第二十一章	城市垃圾处理工程	(645)
第一节	城市垃圾回收系统	(645)
第二节	生物转化产品的回收	(646)
第三节	城市垃圾焚烧处理	(651)
第四节	固体废物热解处理	(658)
第五节	填埋处置工程	(660)
第二十二章	石油工业固体废物处理工程	(662)
第一节	概述	(662)

第二节	油气田固体废物处理技术·····	(665)
第三节	石油炼制工业固体废物处理工程·····	(668)
第四节	石油化工工业固体废物处理工程·····	(675)
第五节	石油化纤工业固体废物处理工程·····	(678)

第四篇 噪声及其它公害的防治

第二十三章	噪声污染及其控制·····	(685)
第一节	环境噪声的来源和特征·····	(685)
第二节	噪声的评价和测量·····	(689)
第三节	噪声控制技术·····	(695)
第二十四章	电磁辐射和放射性污染治理技术·····	(705)
第一节	电磁辐射的危害与测量·····	(705)
第二节	防治电磁辐射的基本方法·····	(707)
第三节	放射性污染与防治·····	(709)
附录	·····	(718)
一、	主要污染物的理化性和毒性·····	(718)
二、	主要有机化合物可生物降解性的评定·····	(730)
参考文献	·····	(737)

绪言——环境问题和环境科学

一、环境和环境系统

环境是人类进行生产和生活活动的场所，是人类生存和发展的物质基础。在《中华人民共和国环境保护法》中明确指出：“本法所称环境，是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、自然保护区、风景名胜、城市和乡村等。”因此，保护环境，就是要保护以上提到的各个要素。

自然环境是一个复杂多变的体系。自然环境要素有：水、大气、生物、岩石、土壤和阳光。环境要素是组成以人为中心的自然环境的结构单元。每一结构单元都具有不同的性质：由水组成的水体总和称为水圈；由大气组成的大气层总和称为大气圈；由土壤、岩石组成的农田、草地、山脉等固体壳层的总和称为土壤岩石圈；由生物组成的各种生物群落的总和称为生物圈；由阳光为能量源泉的能量总和称为能量圈。前四个圈体只有在太阳作用下，才能相互演化并进行物质交换和循环，从而使各种环境要素有机地组成一个统一的环境整体，又称环境系统。

二、环境污染和环境问题

所谓环境污染指的是：由于人类生产和生活活动引起的环境质量下降并对人类健康和生物生存有不良影响的现象。环境污染可以有多种分类：按环境要素可分为大气污染、水污染、土壤污染等；按污染物性质可以分为化学污染、生物污染、物理污染、放射性污染、噪声污染、热污染等。在各种环境污染的因素中，化学污染约占 80%~90%，是潜在危害最大的一种，据估计，现在已知的化学物质约有 1000 多万种，其中约有 3.5 万种对人体健康影响较大。

从 20 世纪 40 年代起，世界上开始出现较大的环境污染事件。已发生的在世界上闻名的污染事件有 15 起以上。50 年代以后，发生的频率增加，这些重大污染事件是：洛杉矶光化学烟雾、伦敦烟雾事件、水俣病事件、骨痛病事件、乌拉尔事件（一个装有生产钚剩下的废料储存罐爆炸）、米糠油事件、博帕尔事件、切尔诺贝利事件、莱茵河污染事件（发生在 1986 年 11 月，因化工厂爆炸，有毒物流入莱茵河）等。

此时，环境污染由小范围、个别事故发展到公害，这些“公害事件”，造成了一系列环境问题。人们慢慢开始觉醒，认识到环境和生态问题关系到人类自己的生存和发展，于是人民群众上街游行，要求保护环境。在人民群众的呼吁和先知先觉者的倡导之下，联合国于 1972 年和 1992 年先后两次召开全球环境会议，宣布了《人类环境宣言》和《里约环境与发展宣言》、《21 世纪议程》等重要文件，对全球的环境保护起到了重大作用。

三、环境科学的内容及其发展

环境科学是随着环境问题的产生、环境治理技术的发展应运而生。

环境科学研究的对象是以“人类与环境”这对矛盾为对象，它是研究人类环境质量及其控制的科学。

(1) 环境科学的分科：环境科学是综合性的新兴学科，已逐步形成多种学科相互交叉渗

透的科学体系，目前，一般划分为六大类：

①环境社会科学：包括环境法律法规、环境发展史、环境污染史、环境经济学、环境规划和环境管理学等。

②环境地学：包括环境地理学、环境地质学、环境海洋学、环境地球化学及环境生物地球化学和环境大气学等。

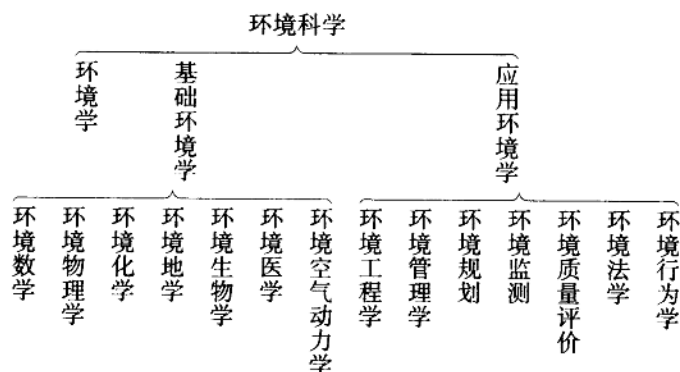
③环境生物学：包括环境生态学、环境微生物学、环境毒理学等。

④环境物理学：包括辐射生物学、环境声学等。

⑤环境化学：包括环境分析化学、环境工程化学、用水废水化学、大气污染化学、土壤污染化学、海洋化学等。

⑥环境工程学：包括给排水工程、给水及污水处理工程、除尘技术、冷冻技术、“三废”治理及综合利用等。

环境科学的具体分科如下：



(2) 环境工程学研究的主要内容：

①水质净化与水污染控制。

②大气污染控制。

③固体废物处理及综合利用。

④噪声、振动及其它公害防治技术。

⑤环境规划、环境系统工程。

⑥环境监测与环境质量评价。

⑦计算机在环境工程中的应用。

四、生态学基础及其在环保中的应用

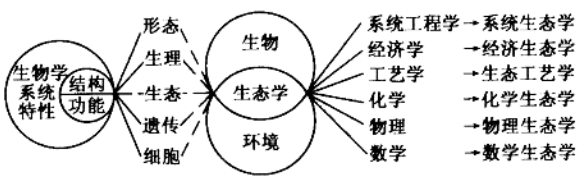
(一) 生态学的含义及其发展

生态学是环境科学的理论基础。生态学 (Ecology) 一词最早是由德国生物学家黑格尔 (Ernst Haeckel, 1869) 提出的。其英文的词首和经济学 (Economics) 相同，均为 Eco，来源于希腊文 oikos，表示家庭、居处或环境的意思，可见生态学 and 经济学、家庭、环境等有密切关系。

生态学原是一门研究生物与其生活环境相互关系的科学，是生物学的主要分科之一。近几十年来，由于环境科学的发展，生态学便扩展到人类生活和社会形态等方面，因而生态学研究的范围便扩大到研究整个生物圈内生态系统的相互关系。同时，现代科学技术的新成就

逐步渗透到生态学领域中，并与之结合形成许多新兴学科（图绪-1）。

所以，生态学是当代较活跃的科学领域之一。生态学在其发展进程中，有三个主要特点：



图绪-1 生态学的多学科性及其相互关系

(1) 从定性探索生物与环境的相互作用，到定量研究。

(2) 从个体生态系统到复合生态系统，由单一到综合，由静态到动态地认识自然界的物质循环与转化规律。

(3) 与基础科学和应用科学相结合，发展了生态学，扩大了生态学领域。

(二) 生态系统的概念和功能

1. 生态系统

生态系统是生命系统 and 环境系统在特定空间的组合。在生态系统中，各种生物彼此间以及生物与非生物的环境因素之间相互作用，并且不断地进行着物质和能量的流动。

目前，人类所生活的生物圈内有无数大小不同的生态系统。根据生态系统的环境性质和形态特征可以分成下列几种类型：

(1) 陆地生态系统，又可分为自然生态系统和人工生态系统。

①自然生态系统：如森林生态系统、草原生态系统、荒漠生态系统等；

②人工生态系统：如农田、城市、工矿区等。

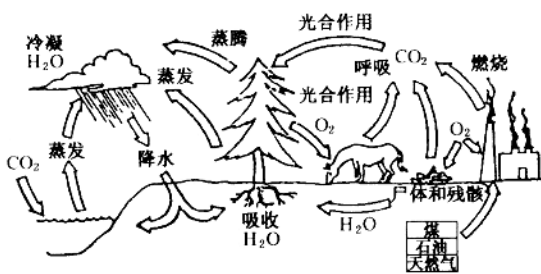
(2) 淡水生态系统：包括湖泊、河流、水库。

(3) 海洋生态系统：包括海岸、河口、浅海、大洋、海底等。

2. 生态系统中的能量流动

生物圈中绝大多数有机体，其生存所需的能量都是太阳供应的。植物通过光合作用吸收太阳能转变成化学能，并固定在植物体内，动物吃植物后，能量也随之流入动物体内，就这样，通过食物链，组成了生态系统的能量流动。生态系统的能量流动是通过如下两个途径实现的 (1) 光合作用和有机成分的输入；(2) 呼吸的热消耗和有机物的输出。

只有当生态系统生产的能量与消耗的能量相平衡时，生态系统的结构和功能才能保持动态平衡。



图绪-2 生物圈中水、氧气和二氧化碳的循环

3. 生态系统中的物质循环

各种生物维持生命所必需的化学元素很多，其中约 97% 以上是由氧、碳、氢、氮和磷五种元素组成，此外还有硫、钙、镁、钾等等。这些主要的化学元素在生物圈中循环。图绪-2 是生物圈中水 (H_2O)、氧气 (O_2)、二氧化碳 (CO_2) 的循环。

(三) 生态平衡

在任何一个生态系统中，不断进行能量流动和物质循环，在一定时期内，能量的生产与消耗保持着动态平衡，这种平衡状态就叫做生态平衡。在自然生态系统中，平衡还表现为生物种类和数量的相对稳定，生态系统之

所以能保持动态平衡，主要是内部具有自动调节能力，例如，通过环境的自净能力，使污染物质的危害减少，或对人体不产生危害。但是，生态系统的调节能力是有限的，超出这个限度，生态平衡就会遭到破坏。人为因素引起的生态平衡的破坏，主要有三种情况。

1. 物种改变引起生态平衡破坏

例如澳大利亚原来并没有兔子，后来从欧洲引进兔子，以作肉用并生产皮毛。由于没有天敌，致使兔子大量繁殖，青草和灌木全被吃光，再不能放牧牛羊，田野一片光秃，植被破坏，生态系统破坏，最后不得不引进一种兔子的传染病，使兔群大量死亡，才控制了这场生态系统的破坏。

又如，狐狸主要吃田鼠，田鼠偷吃地里的粮食，1只狐狸1年吃掉的田鼠大约要吃1吨粮食。如果打死1只狐狸，农民就要少收1吨粮。

2. 环境因素引起平衡破坏

由于空气污染、水污染、热污染及化学除草剂、杀虫剂的使用，以及森林砍伐、农田面积大量减少等原因，使生态系统破坏。

3. 生物信息系统破坏

许多生物在生存过程中，都能释放出某种信息素（一种特殊的化学物质），以驱赶天敌、排斥异种或取得联系、繁衍后代，如果人们排放到环境中的某些污染物质与信息素作用，就会破坏这种动物的繁殖，失去生态平衡。

（四）生态学规律

归纳起来，有以下五条：

- （1）相互制约与相互依赖的规律；
- （2）物质循环转化与再生的规律；
- （3）物质输入、输出的动态平衡规律；
- （4）相互适应与补偿的协同进化规律；
- （5）环境资源的有效极限规律，环境资源在质量、数量、空间和时间等方面都有一定限度，不能无限制地供给。

五、环境工程学的内容及发展

环境工程学是本书的重点，它是环境科学的一个重要分支。它运用环境科学、工程学和它有关学科的理论和方法，研究如何保护及合理利用自然资源、控制和防治环境污染，以改善环境质量，使人们得以健康和舒适的生活。

环境工程学是在人类控制环境污染，保护和改善生存环境的实践中诞生和发展的。它是从土木工程、卫生工程、生物工程、化学工程、机械工程等学科衍生而来，将以上母体学科应用到环境污染治理中，并溶入其它自然科学和社会科学的原理和方法，形成了一门崭新的独立学科。

环境工程学的主要内容在“中国大百科全书”环境科学卷中写到：环境工程学是运用工程技术的原理和方法，防治环境污染、合理利用自然资源、保护和改善环境质量。

展望未来，在21世纪环境工程学将进一步发展，有些相关学科应运而生，例如“水质科学与工程”学科、环境生物工程、绿色化学、环境材料科学及环境计算机模拟等新学科、新技术会得到发展，整个环境科学正处于蓬勃发展时期，它将成为一个枝繁叶茂的学科体系。

第一篇 工业废水治理的 基本原理及方法

第一章 废水处理概论

水是分布最广泛又十分重要的自然资源，是地球上一切生命赖以生存的基础，是工农业发展不可缺少的源泉。但是，由于水的自然循环和社会循环及工业生产排放废水而造成了水体污染，危及人类健康和生存，为此必须对废水进行处理。

第一节 水资源和水的循环

一、地球上的水资源及其分布

地球上水的总量是很大的，据估计约有 $14 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，其中 97% 以上分布在海洋中，淡水量仅占 2.8%，而且淡水大部分存在于冰川和冰帽中，而这些冰川又集中在南北两极居多，目前还极少被利用。对人类生活和生产活动关系密切，又容易开发利用的淡水储量约为 $400 \times 10^4 \text{ km}^3$ 左右，仅占地球总水量的 0.3%，这部分淡水分布还不均匀，地球上水的分配见表 1-1。

表 1-1 地球上水的分配比例

地球上的水：	百分比，%
海洋	97.2
淡水	2.8
淡水分配：	
冰川、冰帽	77.2
地下水、土壤水	22.4
湖泊	0.35
河流	0.01
大气	0.04

水资源定义通常是指供人们经常可用的水量，即大陆上由大气降水补给的各种地表、地下淡水体的储存量和动态水量。我国的水资源约有 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，居世界第 6 位，前五位是巴西、前苏联、加拿大、美国和印度尼西亚。但是我国人口众多，人均水资源占有量为 2330 m^3 ，居世界第 84 位，只有世界人均占有量的 1/4。实际上我国水资源空间分布很不均匀。长江流域以北的淮河，黄河，海河、滦河，辽河，黑龙江五个流域水资源量合计仅占全国总量的 14.4%，而人口却占全国总量的 43.5%。水资源对我国来说是十分宝贵的，必须特别注意加以保护。保护水资源一个不可忽视的方面就是防止水污染。

二、世界性的水荒

(一) 世界性水荒日益严重

当一个地区的需水量大于水资源的供水能力时，则会出现缺水现象，人们称之为“水