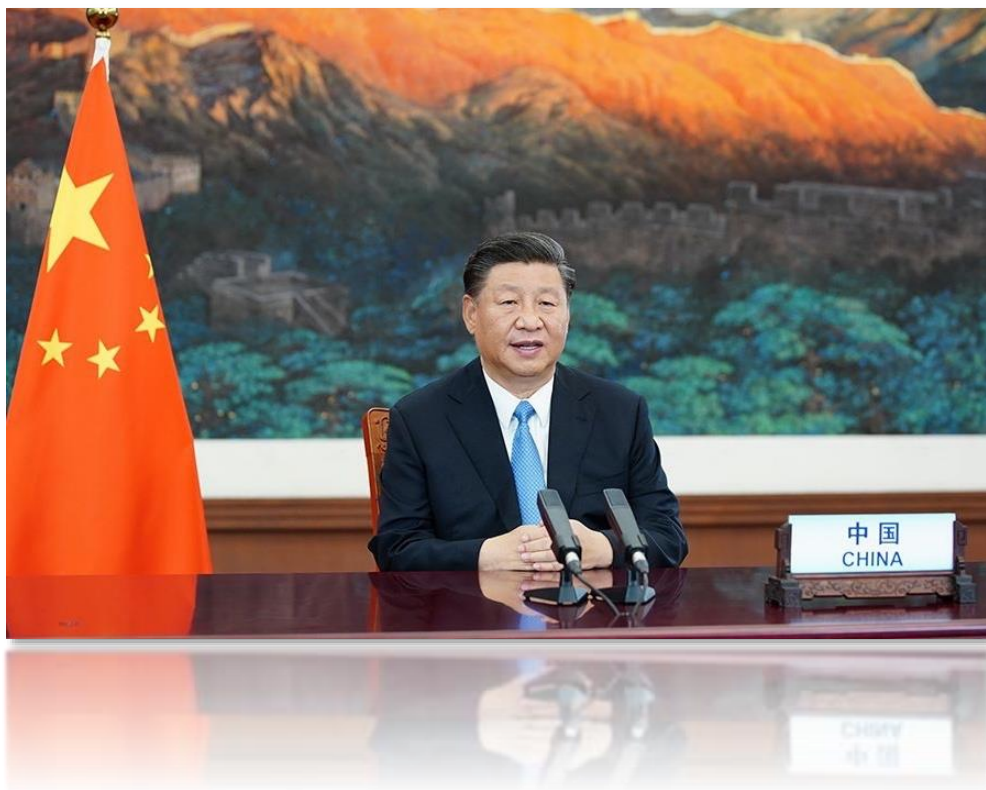


水污染控制工程

主讲人：田金乙

tianjinyi2019@ecust.edu.cn

- 2020年9月22日，习近平总书记在第七十五届联合国大会上向世界宣布了中国的**碳达峰目标与碳中和愿景**。

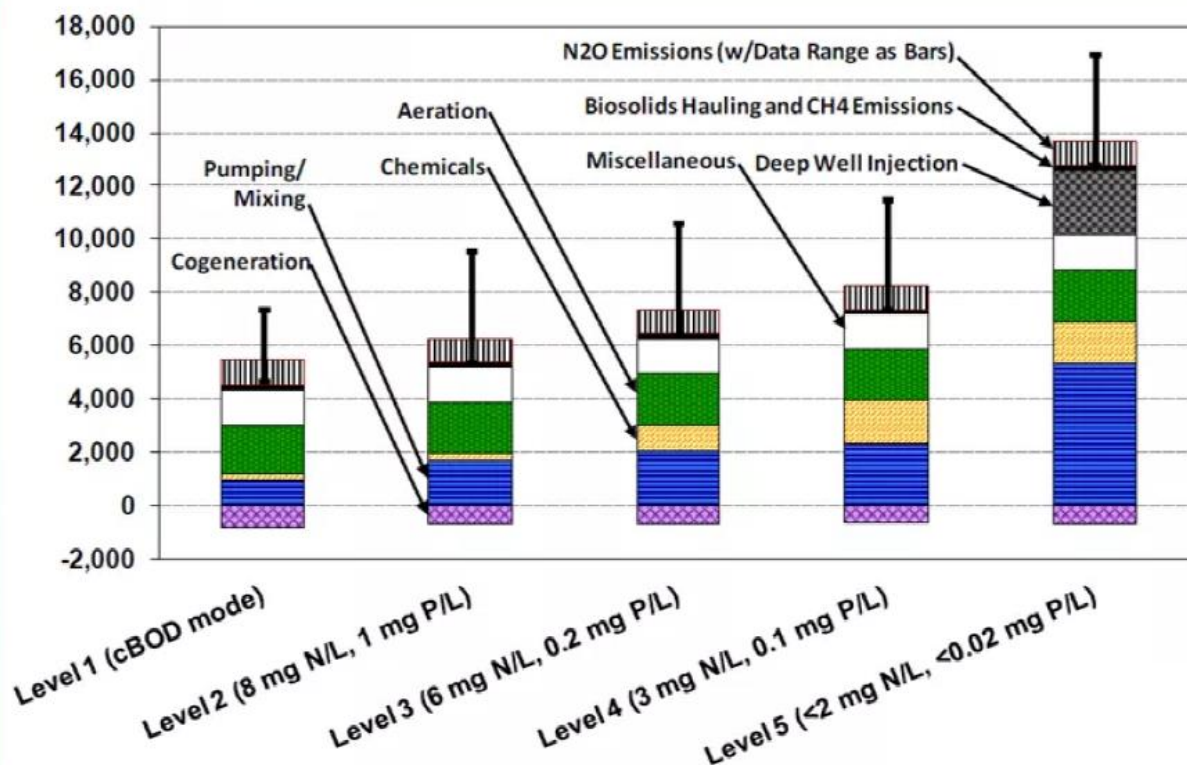


“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于**2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和**。”

——习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话

GHG Distribution (10 mgd Plant)

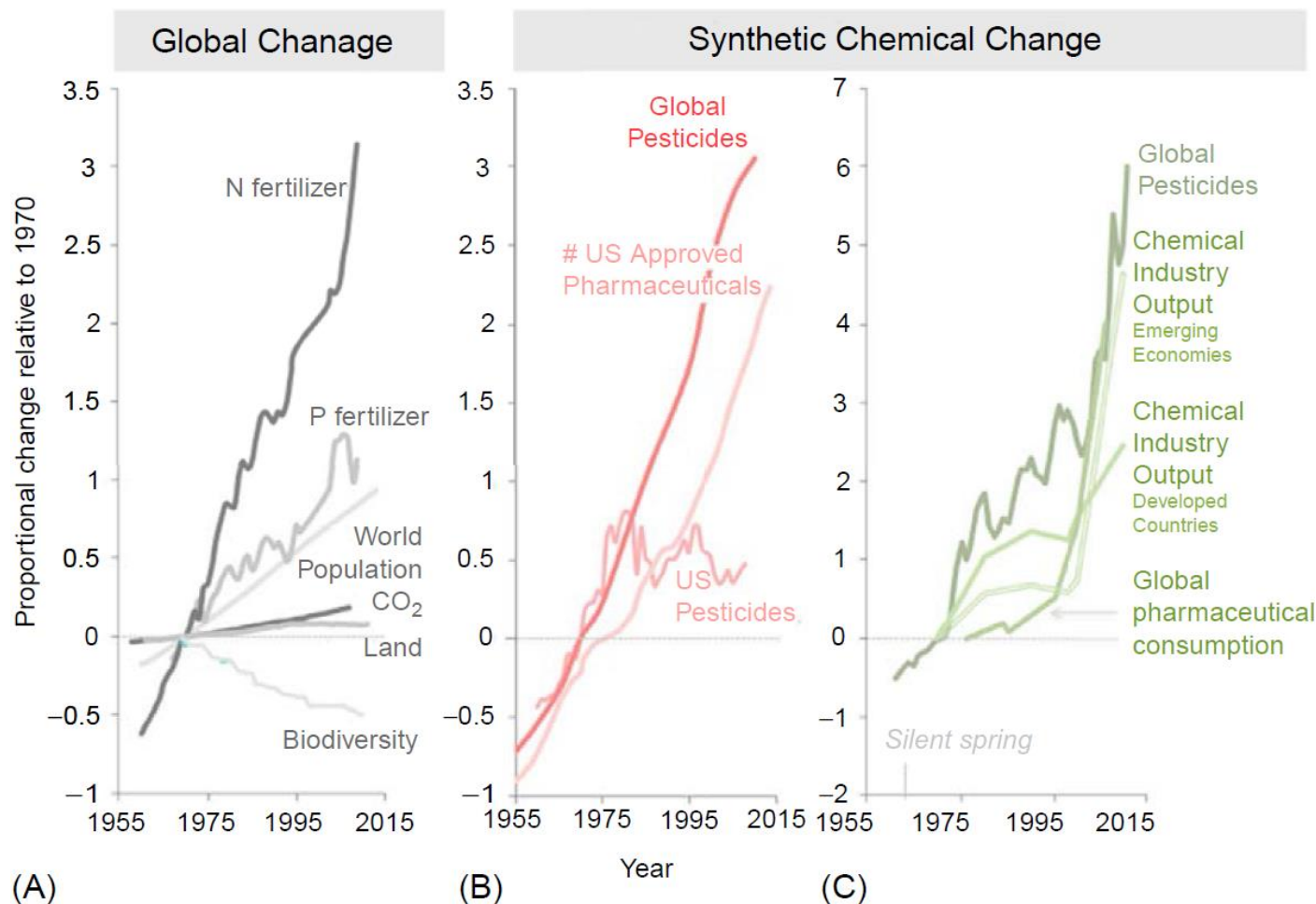
CO₂ eq mt/yr



不同排放标准对温室气体排放的影响

(*数据来源于美国方面, 中国由于C/N比过低, 排放标准TN,TP高, 因此, 能耗/碳源/除磷药剂消耗量要远高于美国)

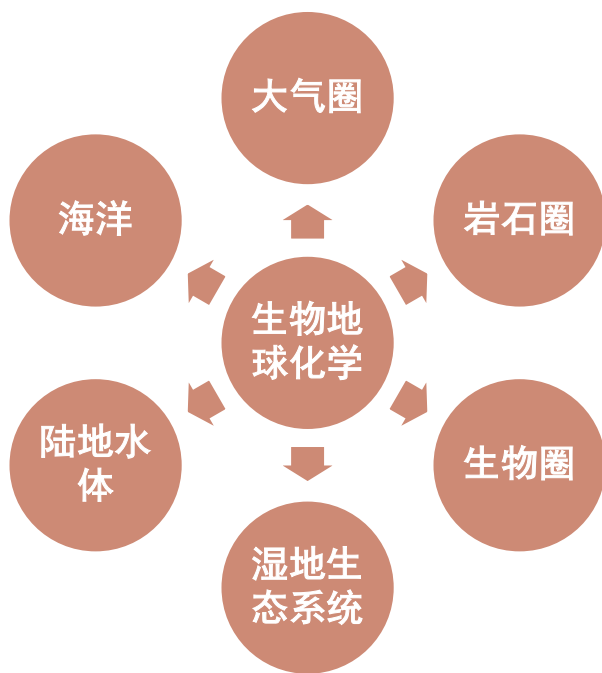
来源: “碳中和背景下, 污水处理是否已陷入了技术-环境悖论?”, 水进展, 2021年。



(A) 全球环境变化驱动器的轨迹; (B) 美国药物多样性和美国与全球杀虫剂应用量的增长;
(C) 合成化学品的全球贸易价值和农药与药物化学领域的增长趋势

来源: Bernhardt et al. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2017年。

生物地球化学循环：环境中各种元素沿着特定的路线运动，由周围环境进入生物体，最后回到环境中，各种元素运动路线所包含着的**活有机体的有机阶段**和由各元素基本化学性质所决定的、**无生命的阶段**所组成的循环运动过程，称为生物地球化学循环。

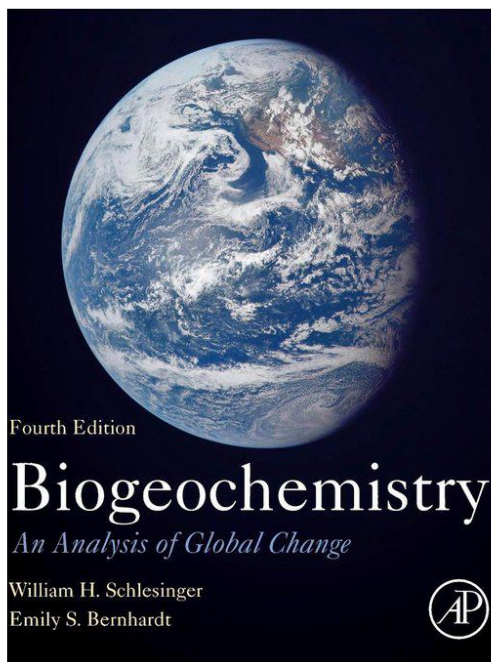


过程与反应

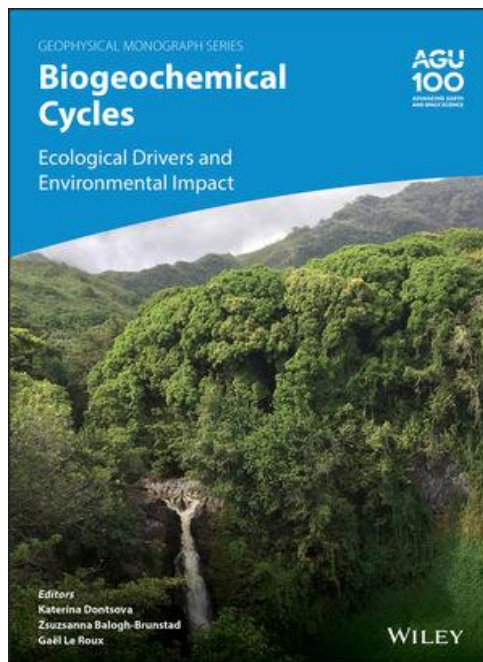


全球循环

弗拉基米尔·伊万诺维奇·维尔纳茨基（英语：Vlroimir I. Vernrosky、俄语：Владимир Иванович Вернадский，1863年3月12日－1945年1月6日），又译韦尔纳茨基、沃尔纳德茨基，俄国及苏联矿物学及地质化学家，被认为是地球化学、生物地球化学和放射地质学的创始人之一。他在俄罗斯知识分子中的知名度等同于爱因斯坦、孟德尔和达尔文在西方知识分子中的知名度。他被称为乌克兰国家科学院的创始人。他最著名的作品是1926年出版的《生物圈》一书，他在书中无意中推广了爱德华·苏斯(Eduard Suess) 1885 年的术语“生物圈”，他假设生命是塑造地球的地质力量。1943年他被授予斯大林奖。



2020 第4版

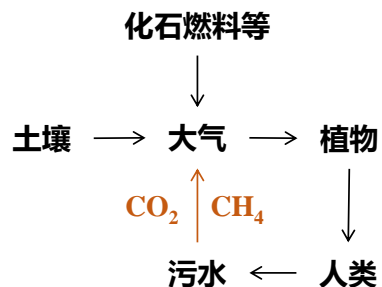


2020 第1版

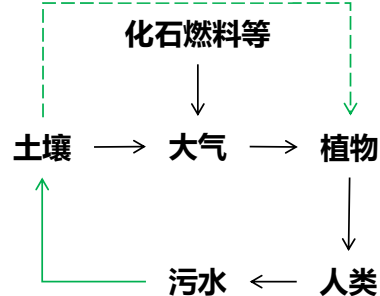


2021 第2版

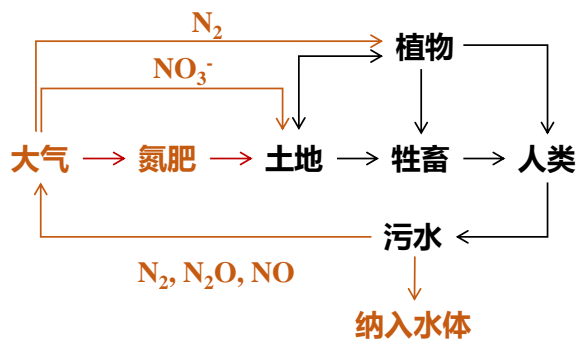
(a) 碳循环



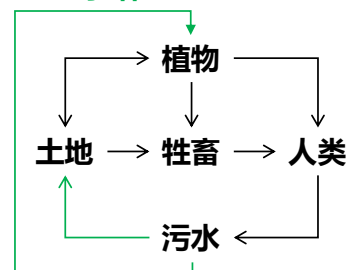
促进植物生长



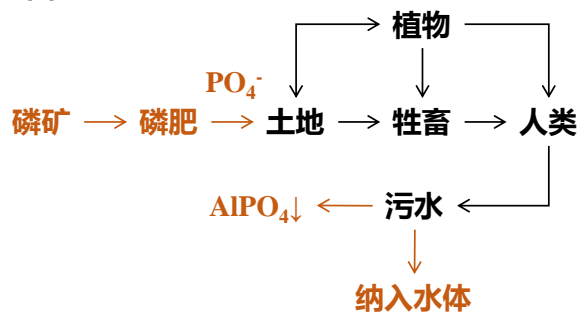
(b) 氮循环



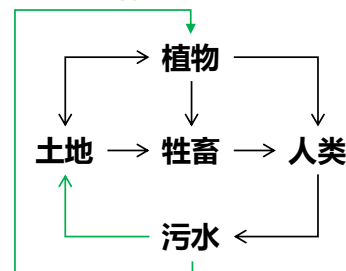
水培



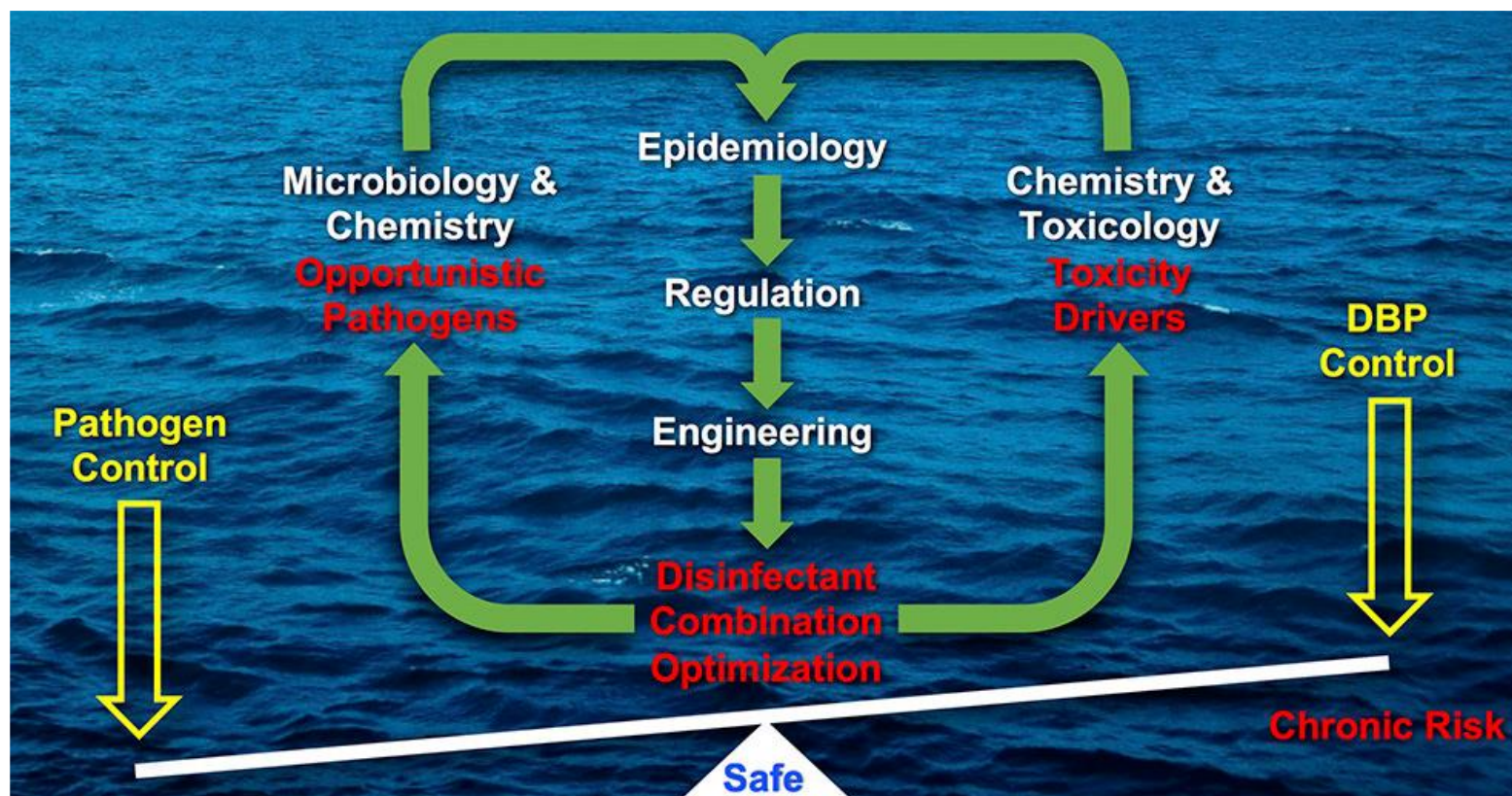
(c) 磷循环



水培



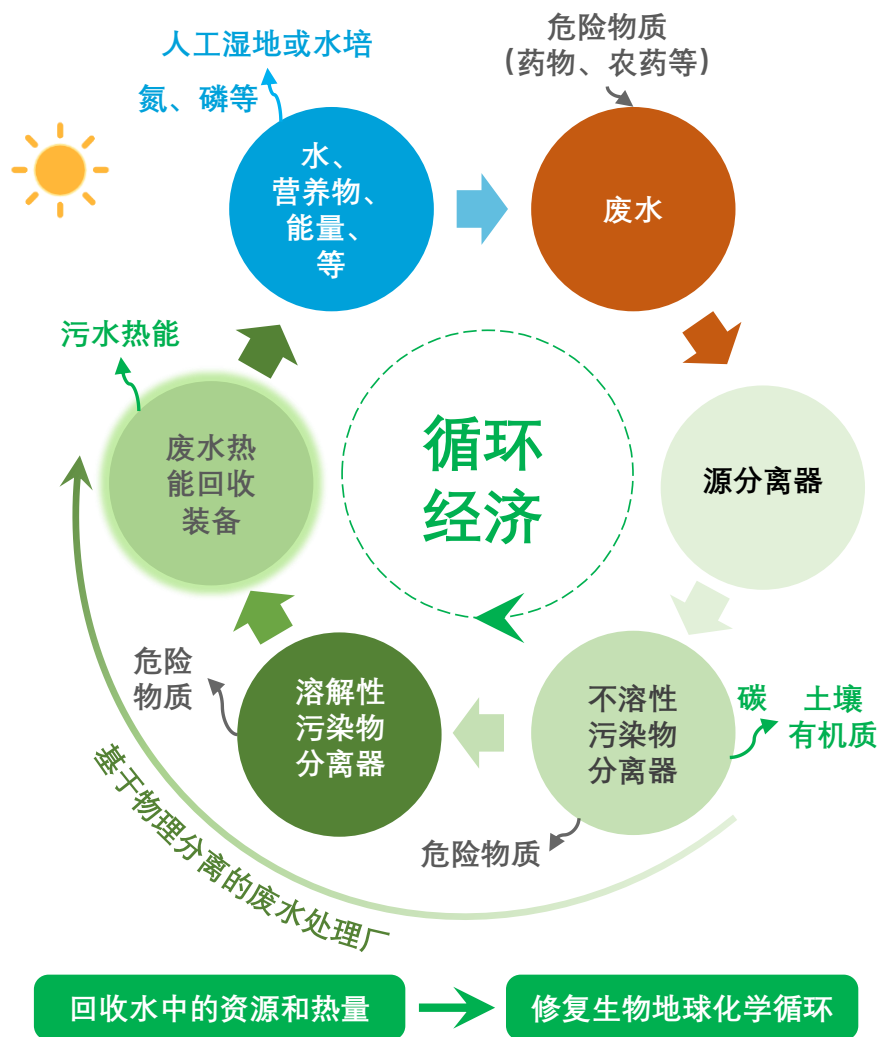
修复生物地球化学循环



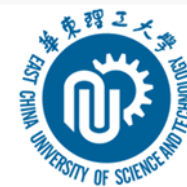
饮用水消毒副产物 (DBP) 和人类健康影响：多学科挑战与机遇
来源：Li, X.F.; Mitch, W.A. Environ. Sci. Technol., 2018年。

面向污水资源极尽利用的**污水精炼技术**：主要包括**筛分、转化和利用3个环节**。

其核心理念是将污水视为资源，改变以污染物分解和去除微基础的现有处理技术原理，**通过污水中 valuable 物质的精细化筛分和定向增值转化**，实现污水中水、有机质和无机盐等资源的安全、高效和极尽利用。



主要参考书目



- ✓ 王郁, 林逢凯. 水污染控制工程, 北京: 化学工业出版社, 2007.
- ✓ 高廷耀, 顾国维, 周琪. 水污染控制工程 (下册), 北京: 高等教育出版社, 2015.
- ✓ 叶林顺. 水污染控制工程, 广州: 暨南大学出版社, 2018.
- ✓ 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程, 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- ✓ 李圭白, 张杰. 水质工程学 (第三版, 上、下册), 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
- ✓ Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Fourth Edition), New York: McGraw-Hill Education, 2003.
- ✓ Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (Fifth Edition), New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- ✓ John C. Crittenden, R. Rhodes Trussell, et al. MWH's Water Treatment: Principles and Design (Third Edition), New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

第1章 总论

1.1 天然水资源及其循环

1.2 水体污染

1.3 水体污染控制

第2章 水污染控制工程的理论基础

2.1 反应过程动力学

2.2 物料衡算

2.3 反应器及其选择

第3章 废（污）水物理处理过程

3.1 水量与水质的调节

3.2 隔滤与离心分离

3.3 沉降（淀）

3.4 气浮

3.5 隔油

第4章 废（污）水化学处理过程

4.1 中和

4.2 化学沉淀

4.3 混凝与絮凝

4.4 氧化还原

5.5 吹脱与汽提

第5章 废（污）水物理化学处理过程

5.1 吸附

5.2 离子交换

5.3 膜分离

5.4 萃取

第6章 废（污）水生物处理基本原理

6.1 废（污）水生物处理基本原理

6.2 废（污）水生物处理微生物学原理

6.3 废（污）水的可生物处理性

第7章 活性污泥生物处理过程

7.1 活性污泥净化过程的基本原理

7.2 活性污泥反应过程分析

7.3 好氧活性污泥处理过程

7.4 厌氧活性污泥处理过程

7.5 厌氧-好氧活性污泥处理过程

第8章 污泥处理与处置过程

8.1 污泥分类、性质与输送

8.2 污泥的处理过程

8.3 污泥最终处置

展 望

第1章 总论

1.1 天然水资源及其循环

1.2 水体污染

1.3 水体污染控制

第2章 水污染控制工程的理论基础

2.1 反应过程动力学

2.2 物料衡算

2.3 反应器及其选择

第3章 废（污）水物理处理过程

3.1 水量与水质的调节

3.2 隔滤与离心分离

3.3 沉降（淀）

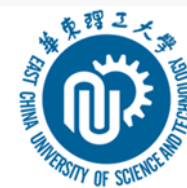
3.4 气浮

3.5 隔油

第4章 废（污）水化学处理过程

4.1 中和

1.1 天然水资源及其循环



1.1.1 水资源及其分布

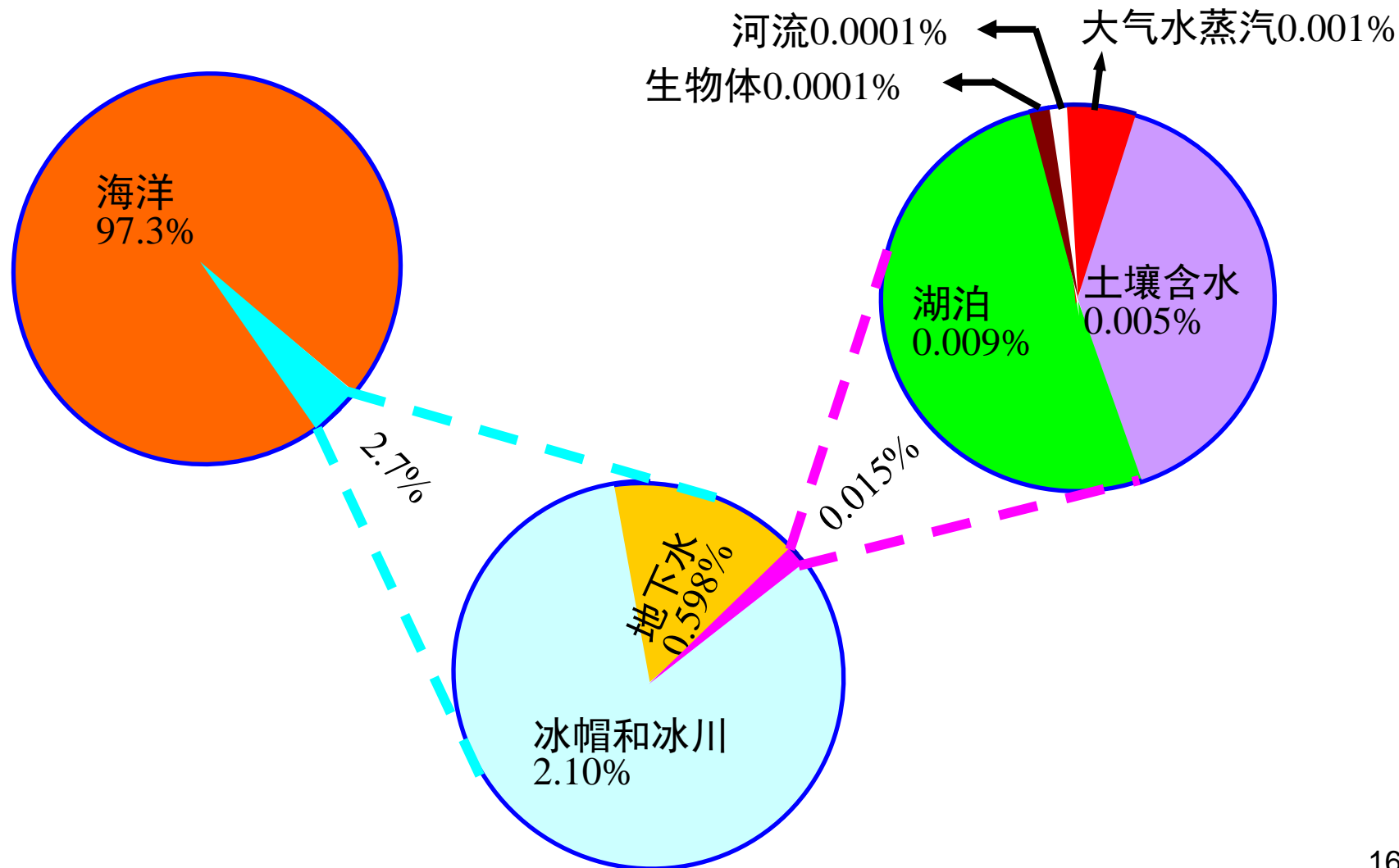
水以气、液、固三种聚集状态存在于自然界，遍布于海洋、地面、地下、高山、大气、动植物及矿物内，几乎无所不在。水呈**气态**时存在于大气中为水蒸气；呈**液态**时存在于地面上的海洋、江河、湖泊、水库、沼泽等为地面水，存在于地下浅层和深层为地下水，以及动植物体内的水分和矿物结晶水；呈**固态**时为高山、南北两极的冰雪。**地球上水的总量约为13.9亿立方千米。**

表1-1 水在地球上的分配

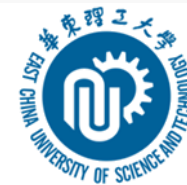
| 水体类别 | | | 体积/km ³ | 占总量的百分率/% |
|------|-------|--|-----------------------|-----------|
| 海洋 | | | 1.35×10 ⁹ | 97.3 |
| 大气 | | | 13000 | 0.001 |
| 陆地 | 河流 | | 1700 | 0.0001 |
| | 湖泊 | | 125000 | 0.009 |
| | 内海 | | 105000 | 0.008 |
| | | | | |
| 水体类别 | | | 体积/km ³ | 占总量的百分率/% |
| 陆地 | 土壤含水 | | 70000 | 0.005 |
| | 地下水 | | 8.3×10 ⁶ | 0.598 |
| | 冰川和冰帽 | | 2.92×10 ⁷ | 2.10 |
| | 生物体内水 | | 1100 | 0.0001 |
| 总计 | | | 1.388×10 ⁹ | 100 |

1.1 天然水资源及其循环

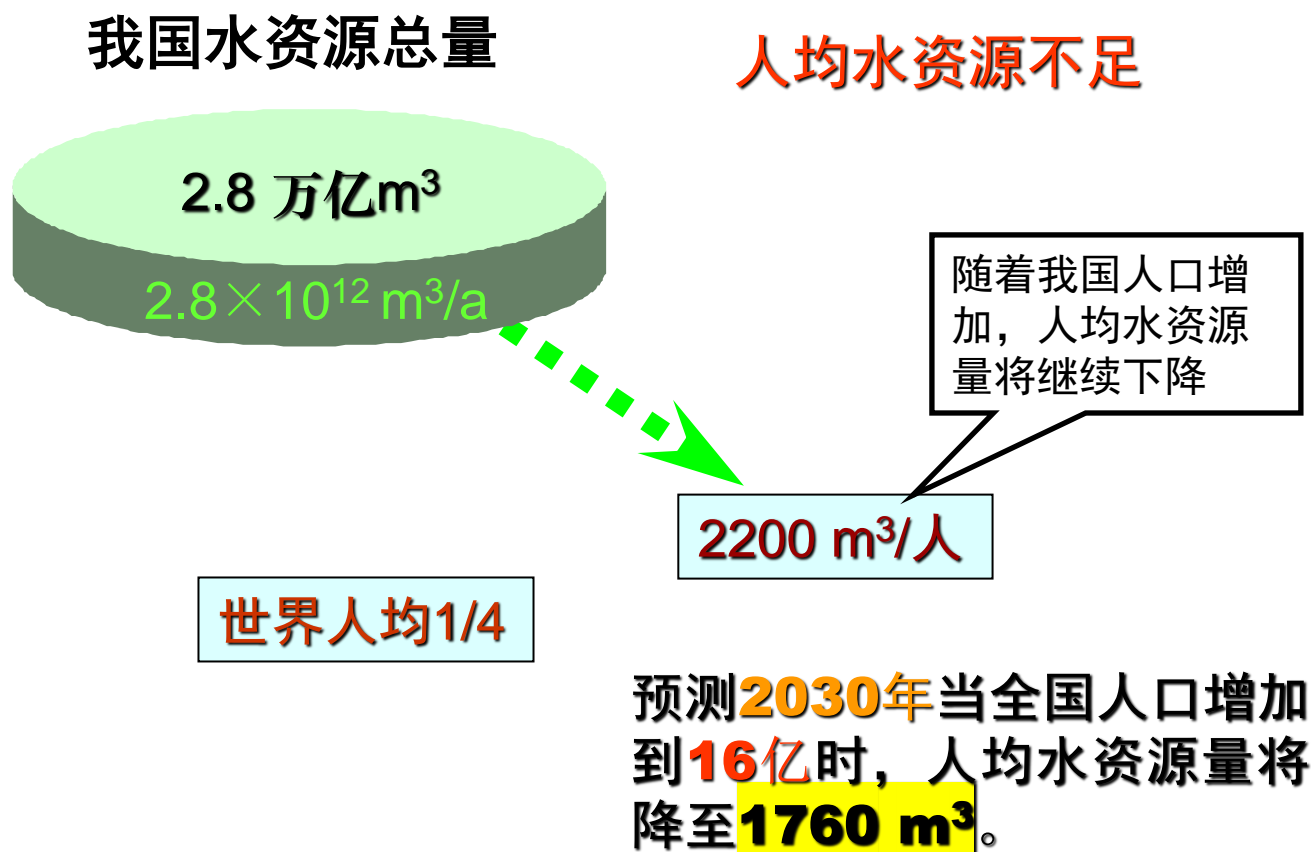
1.1.1 水资源及其分布



1.1 天然水资源及其循环



1.1.1 水资源及其分布



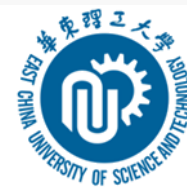
1.1 天然水资源及其循环

水环境污染触目惊心



这样的水还是生命之源吗?

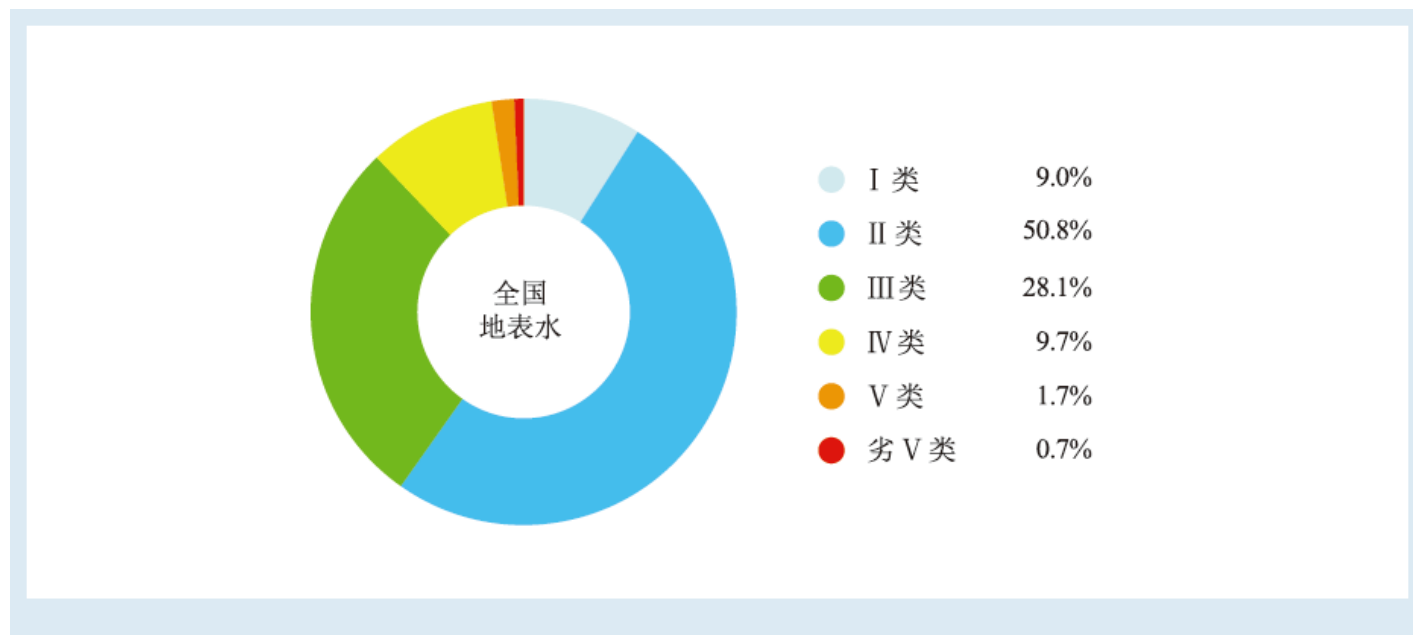
1.1 天然水资源及其循环



我国水环境污染状况

2022年全国地表水环境质量

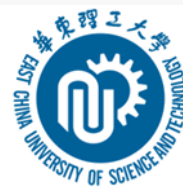
2022年，全国地表水监测的3629个国控断面中，I~III类水质断面占87.9%，**比2021年上升3.0个百分点**；劣V类水质断面占0.7%，**比2021年下降0.5个百分点**。主要污染指标为化学需氧量、高锰酸盐指数和总磷。



2022 年全国地表水总体水质状况

数据来自：2023年5月29日公布的《2022年中国生态环境状况公报》。

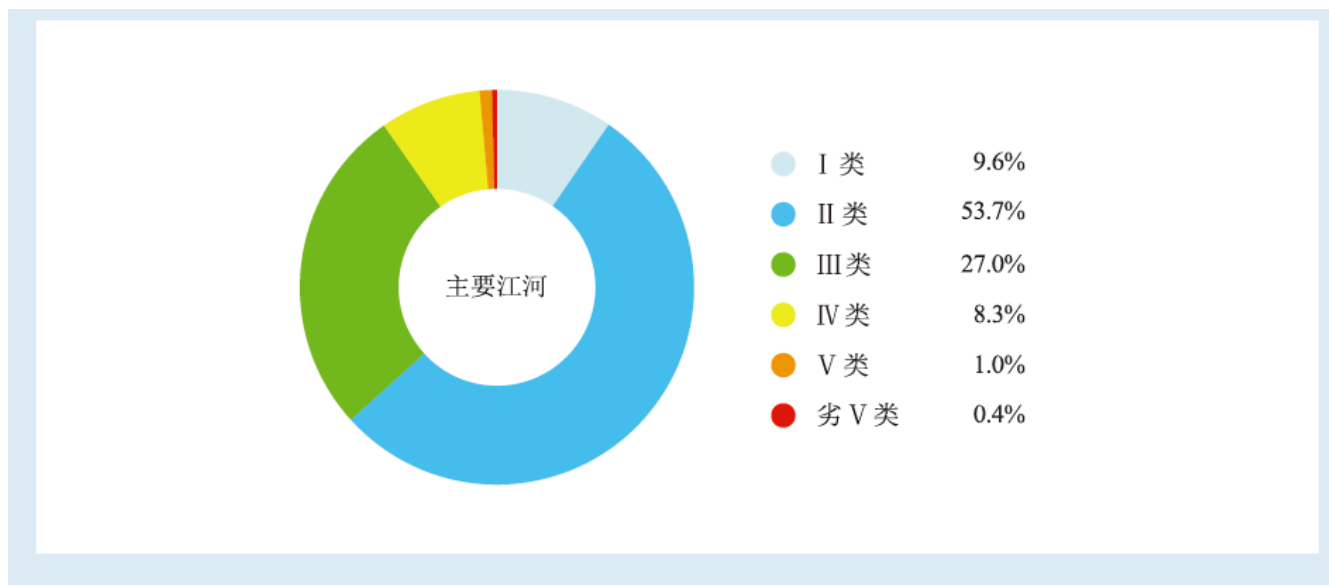
1.1 天然水资源及其循环



我国水环境污染状况

2022年主要江河地表水环境质量

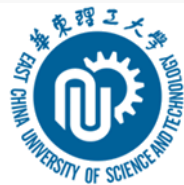
2022年，长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河七大流域和浙闽片河流、西北诸河、西南诸河主要江河监测的3115个国控断面中，I~III类水质断面占90.2%，**比2021年上升3.2个百分点**；劣V类水质断面占0.4%，**比2021年下降0.5个百分点**。主要污染指标为化学需氧量、高锰酸盐指数和总磷。



2022 年七大流域和浙闽片河流、西北诸河、西南诸河主要江河总体水质状况

数据来自：2023年5月29日公布的《2022年中国生态环境状况公报》。

1.1 天然水资源及其循环



我国水环境污染状况

2022年湖泊（水库）地表水环境质量

2022年，开展水质监测的210个重要湖泊（水库）中，I~III类水质湖泊（水库）占73.8%，**比2021年上升0.9个百分点**；劣V类水质湖泊（水库）占4.8%，**比2021年下降0.4个百分点**。主要污染指标为**总磷、化学需氧量和高锰酸盐指数**。

开展营养状态监测的204个重要湖泊（水库）中，贫营养状态湖泊（水库）占9.8%，**比2021年下降0.7个百分点**；中营养状态湖泊（水库）占60.3%，**比2021年下降1.9个百分点**；轻度富营养状态湖泊（水库）占24.0%，**比2021年上升1.0个百分点**；中度富营养状态湖泊（水库）占5.9%，**比2021年上升1.6个百分点**。

太湖：**轻度污染**，主要污染指标为总磷；

巢湖：**轻度污染**，主要污染指标为总磷；

滇池：**轻度污染**，主要污染指标为化学需氧量和总磷；

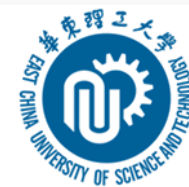
丹江口水库：水质为优，全湖为中营养状态；

洱海：水质为优，全湖为中营养状态；

白洋淀：水质良好，全湖为中营养状态。

数据来自：2023年5月29日公布的《2022年中国生态环境状况公报》。

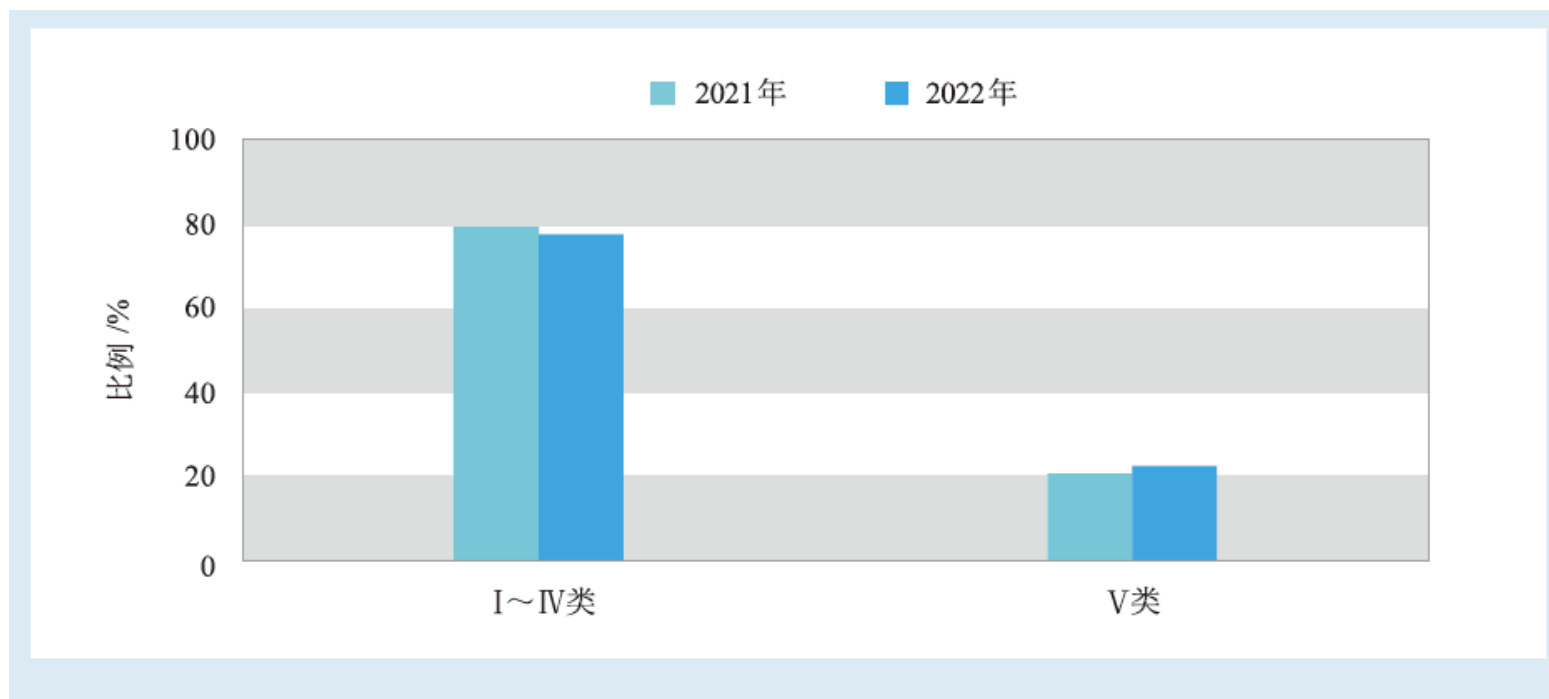
1.1 天然水资源及其循环



我国水环境污染状况

2022年地下水环境质量

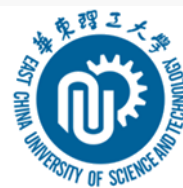
2022年，全国监测的1890个国家地下水环境质量考核点位中，I~IV类水质点位占77.6%，V类占22.4%，主要超标指标为铁、硫酸盐和氯化物。



2022 年全国地下水总体水质状况及年际变化

数据来自：2023年5月29日公布的《2022年中国生态环境状况公报》。

1.1 天然水资源及其循环



我国水环境污染状况

2022年管辖海域海水水质

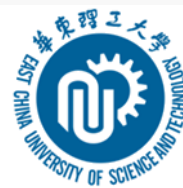
2022年夏季，一类水质海域面积占管辖海域面积的97.4%，**比2021年下降0.3个百分点**。渤海、黄海、东海和南海未达到第一类海水水质标准的海域面积分别为24650平方千米、13710平方千米、28940平方千米和9540平方千米，**与2021年相比，渤海和黄海未达到第一类海水水质标准的海域面积有所增加，东海和南海有所减少**。

2022年中国管辖海域未达到第一类海水水质标准的各类海域面积

| 海区 | 海域面积（平方千米） | | | | |
|------|------------|-------|------|-------|-------|
| | 二类 | 三类 | 四类 | 劣四类 | 合计 |
| 渤海 | 10910 | 3790 | 2150 | 7800 | 24650 |
| 黄海 | 9850 | 1650 | 1000 | 1210 | 13710 |
| 东海 | 11190 | 4030 | 2370 | 11350 | 28940 |
| 南海 | 2440 | 1560 | 1020 | 4520 | 9540 |
| 管辖海域 | 34390 | 11030 | 6540 | 24880 | 76840 |

数据来自：2023年5月29日公布的《2022年中国生态环境状况公报》。

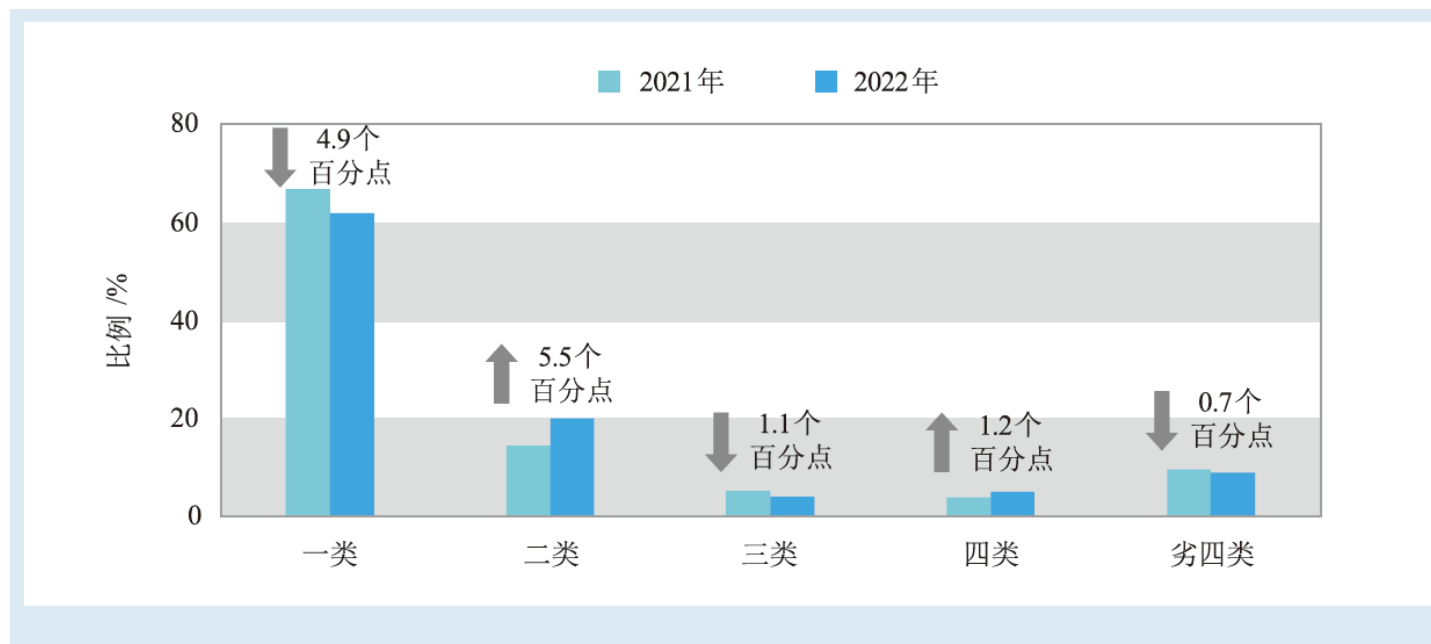
1.1 天然水资源及其循环



我国水环境污染状况

2022年近岸海域海水水质

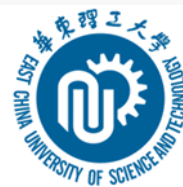
2022年，全国近岸海域水质总体保持改善趋势。优良（一、二类）水质海域面积比例为81.9%，**比2021年上升0.6个百分点**；劣四类水质海域面积比例为8.9%，**比2021年下降0.7个百分点**。主要超标指标为**无机氮和活性磷酸盐**。



2022年全国近岸海域海水水质状况及年际变化

数据来自：2023年5月29日公布的《2022年中国生态环境状况公报》。

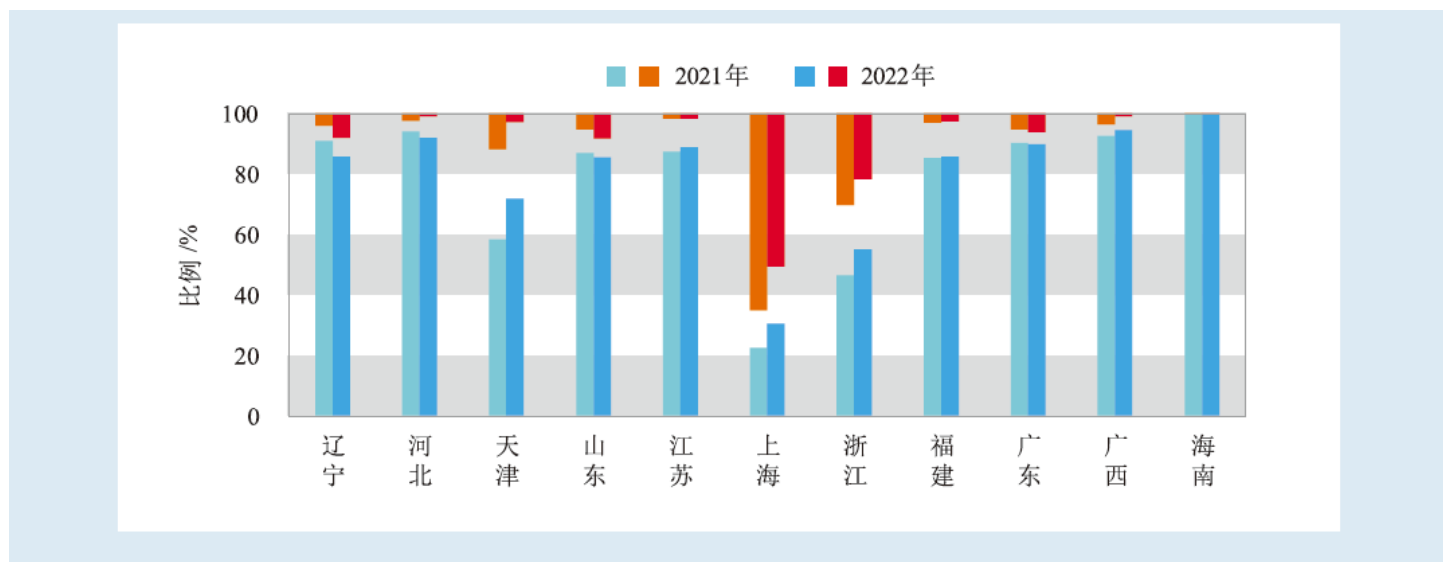
1.1 天然水资源及其循环



我国水环境污染状况

2022年近岸海域海水水质

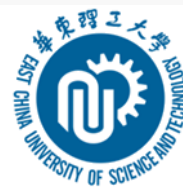
与2021年相比，天津、江苏、上海、浙江和广西近岸海域海水优良水质面积比例有所上升，福建、广东和海南基本持平，**辽宁、河北和山东有所下降**；河北、天津、上海、浙江和广西近岸海域海水劣四类水质面积比例有所下降，江苏、福建、广东和海南基本持平，**辽宁和山东有所上升**。



2022年沿海各省（区、市）近岸海域优良（下）和劣四类（上）水质面积比例及年际变化

数据来自：2023年5月29日公布的《2022年中国生态环境状况公报》。

1.1 天然水资源及其循环



我国水环境污染状况

2022年海水富营养状态

2022年夏季，管辖海域呈富营养状态的海域面积为28770平方千米，比2021年减少1400平方千米。其中呈轻度、中度和重度富营养状态的海域面积分别为12900、6940和8930平方千米。重度富营养状态的海域主要集中在辽东湾、长江口、杭州湾和珠江口等近岸海域。

2022年中国管辖海域呈富营养状态的海域面积

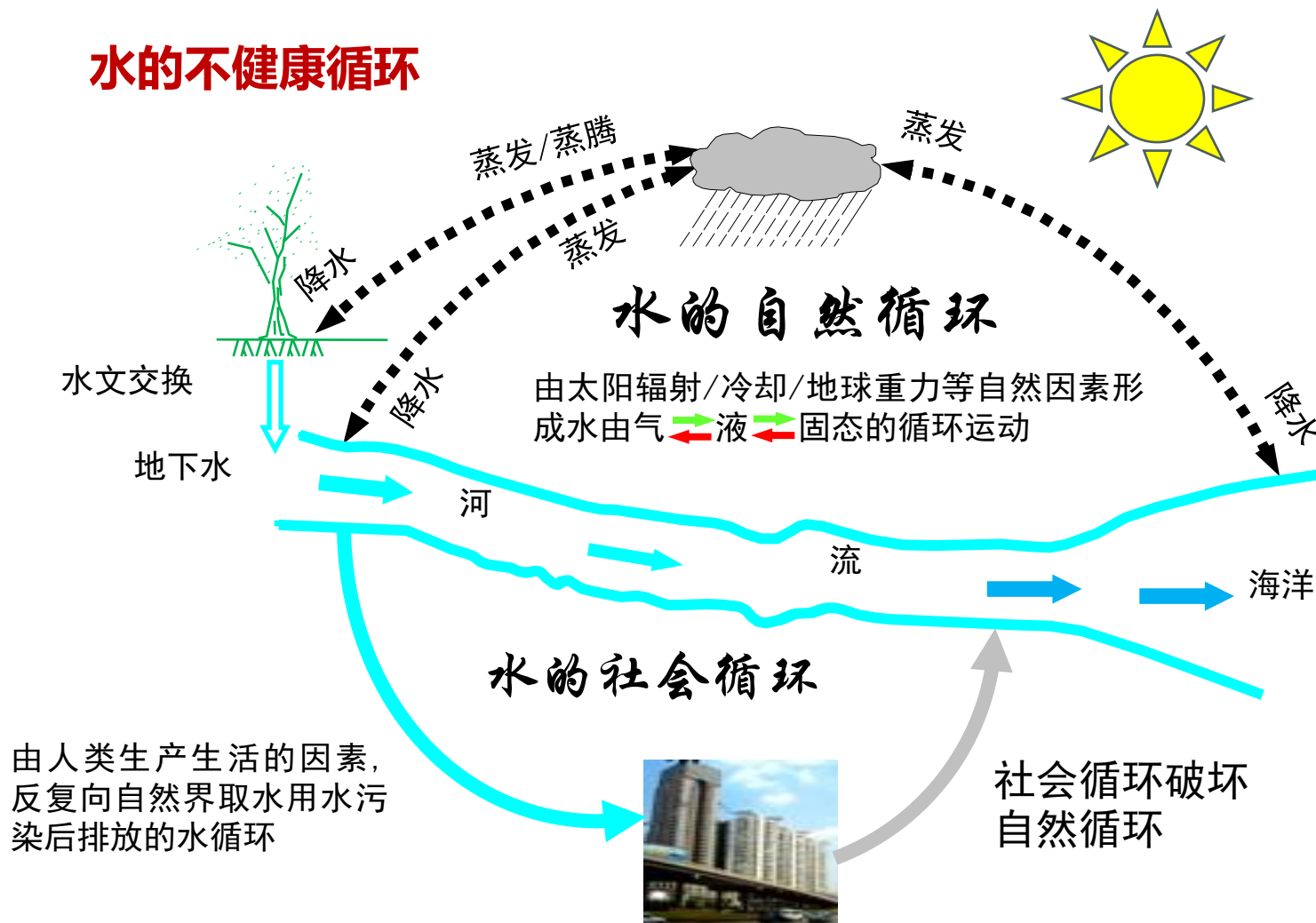
| 海区 | 海域面积（平方千米） | | | |
|------|------------|-------|-------|-------|
| | 轻度富营养 | 中度富营养 | 重度富营养 | 合计 |
| 渤海 | 2530 | 640 | 1640 | 4810 |
| 黄海 | 2140 | 190 | 460 | 2790 |
| 东海 | 5770 | 4130 | 4910 | 14810 |
| 南海 | 2460 | 1980 | 1920 | 6360 |
| 管辖海域 | 12900 | 6940 | 8930 | 28770 |

数据来自：2023年5月29日公布的《2022年中国生态环境状况公报》。

1.1 天然水资源及其循环

1.1.2 水的循环

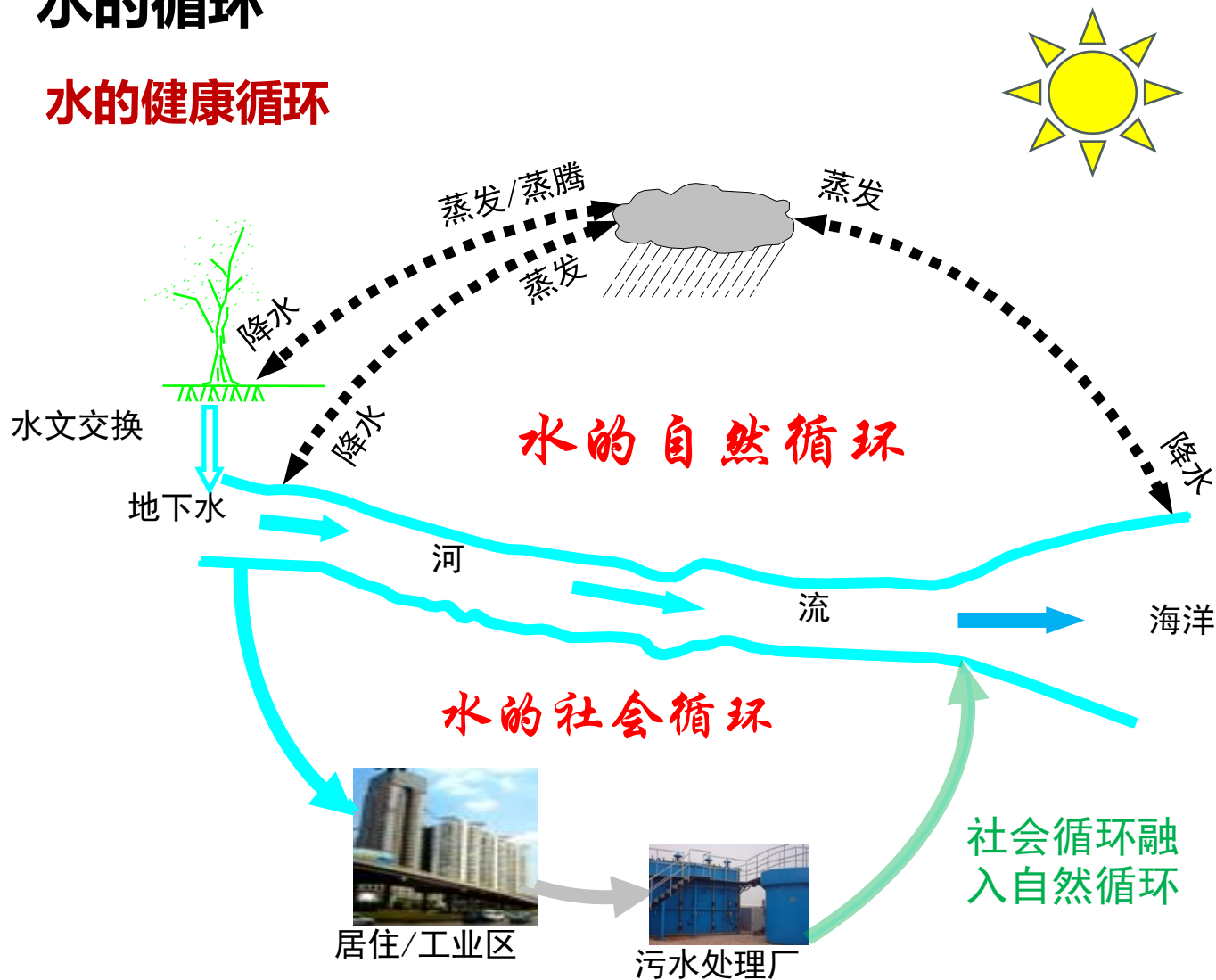
水的不健康循环



1.1 天然水资源及其循环

1.1.2 水的循环

水的健康循环



1.2 水体污染

1.2.1 水体污染类别

点污染：由**人类社会活动**产生的生活污水和生产废水

非点污染：形成的生活污水和生产废水**排入天然水体**引起的污染



沿途工厂排污口



淮河



农田污染



污染前的松花江

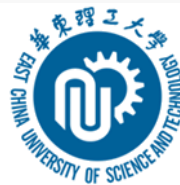


污染后的松花江



海洋赤潮

1.2 水体污染



1.2.2 废（污）水的水质特征

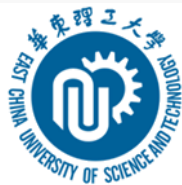
水质：水和其中杂质所共同表现出来的综合特性。

生活污水的水质：由生活废料、人体排泄物、含大气污染物的雨水和水共同表现出来的综合特性，其数量、成分、污染物浓度等与居民的生活习惯、用水量、降雨量等有关，生活污水**一般不含有毒物质**，具有适合于微生物繁殖的条件，因此**含有大量的病原体和细菌**。

生产废水则是由各类生产活动产生的，由于生产类型繁多，因此生产废水的特征是**水量差别悬殊、水质成分复杂**。**农业废水**主要在使用农药、除草剂、化肥时形成，以有机物为主，也有无机物。**工业废水**所含的污染物种类繁多，概括起来分为以下几种：

固体污染物、有机污染物、有毒污染物（有机毒物与无机毒物）、无机污染物、引起臭和色的污染物、放射性污染物、热污染、生物污染物。

1.2 水体污染



1.2.3 水体污染程度评价

水体的点污染评价指标：

1. 总固体 (TS, Total Solid)

总固体是衡量废(污)水中固体污染物的多少的指标，水质分析中习惯于把固体颗粒能透过3~10 μm 过滤膜的固体称为**溶解性固体**(DS, Dissolved Solid)，不能透过的称**悬浮固体**(SS, Suspended Solid)，由此可知 $\text{TS}=\text{DS}+\text{SS}$ 。悬浮固体还可另用另一个指标--浊度来衡量。**由于悬浮固体在水体中作布朗运动，不能自由沉降下去，致使水体混浊。**通过混浊水体对光的散射或透射程度不同来测定其混浊程度，所得指标即为**浊度**。

2. 臭味

采用感观测量法。

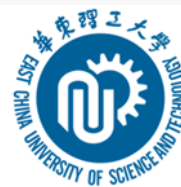
3. 色度

用标准液和废(污)水相比较的方法来测。

4. 酸、碱度或pH

用中和滴定法测定酸、碱度，或用pH计直接测定废(污)水的pH。

1.2 水体污染



1.2.3 水体污染程度评价

5. 温度

用温度计测量。

6. 毒性

通常可用 LD_{50} 表示**使实验动物的50%致死的毒性物剂量**和 LC_{30} 表示**使实验动物的30%致死的毒物浓度**来描述毒物的毒性。

7. 生化需氧量 (BOD, Biochemical Oxygen Demand)

BOD是指废(污)水中的**有机物被微生物氧化分解时的需氧量**。

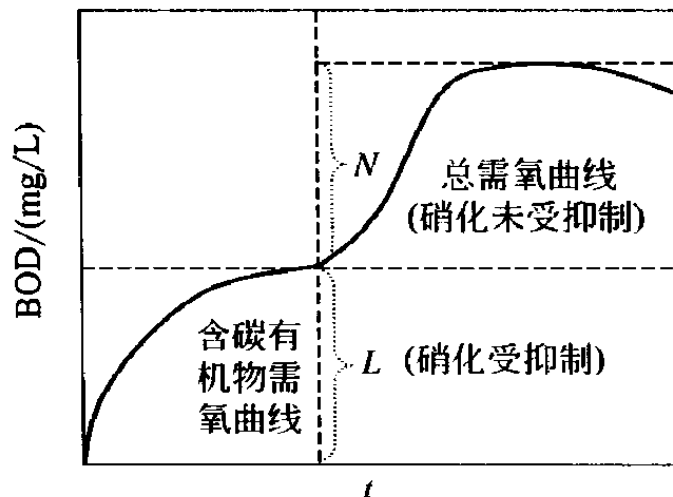
必须指出, 有机物的生物氧化分解过程很长, 而且具有明显的阶段性:

第一阶段, **有机物在好氧微生物的作用下被降解并转化为 CO_2 、 H_2O 及 NH_3** ;

第二阶段, **氨转化为亚硝酸盐进而氧化为硝酸盐**, 这个过程称为硝化。
两个阶段的耗氧情况见下图。

1.2 水体污染

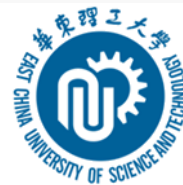
1.2.3 水体污染程度评价



微生物生物氧化分解两个阶段的BOD变化曲线

生物氧化是一个缓慢的过程，**需无限长的时间才能使其反应完全**。就第一阶段而言，在10~20日内接近完成，而第二阶段大致需要百日才能最终完成，显然用这么长的时间来测定是不现实的。试验表明，经20天时间的分解，C、H、N的氧化程度达95%~99%；**经5天时间的分解，有机物中C、H氧化程度达60%~70%**。而20天的分解时间，对BOD的测定仍为时过长，难于指导生产实践，所以一般采用5天的测定时间，即 BOD_5 。

1.2 水体污染



1.2.3 水体污染程度评价

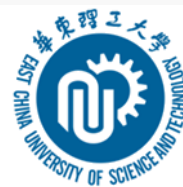
BOD₅是表示在20℃温度下，废(污)水经细菌培养5天所消耗氧的数量。可见BOD₅值越高，水中能被细菌分解的有机污染物越多。但若废(污)水中有不能被微生物降解的有机物存在，BOD₅就不能反映出这些有机污染物。

8. 化学需氧量 (COD, Chemical Oxygen Demand)

COD是表示废(污)水有机物和无机物在强氧化剂作用下，氧化过程所需的量。目前常用的是重铬酸钾法。

由于强氧化剂的氧化能力比微生物的氧化能力强得多，为此**COD>BOD₂₀>BOD₅**。因此COD值包括了废(污)水中不被细菌分解的那部分有机物及无机物的量。对于特定的废(污)水COD值与BOD值之间存在着一定的关系，对测定过程缓慢的BOD值可起到代替作用，用于水处理操作和过程控制中。

1.2 水体污染



1.2.3 水体污染程度评价

9. 化学耗氧量 (OC, Oxygen Consumed)

OC是表示废(污)水中**有机物在 K_2MnO_4 的作用下，氧化过程的需氧量**，又称高锰酸盐指数。该氧化过程往往随化合物的种类不同有很大的变化，且所得**OC值往往小于 BOD_5** ，为此OC值一般不能代表废(污)水中的全部可氧化污染物。

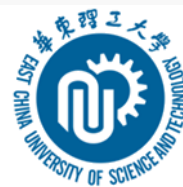
10. 总有机碳 (TOC, Total Organic Carbon)

TOC是指废(污)水中**全部有机物中碳的含量**，它特别适用于低浓度废(污)水，是测定废(污)水中有机物含量的重要方法之一。由于测定过程是在催化剂作用下的高温氧化，因此可以说有机物的氧化过程是完全的，该值对废(污)水中有机物的总量有很好的代表性和可靠性。

11. 总需氧量 (TOD, Total Oxygen Demand)

TOD是借仪器分析的方法测定废(污)水中**所有可氧化的有机物和无机物在强氧化过程中总的需氧量**。

1.2 水体污染



1.2.3 水体污染程度评价

12. 油脂

油脂是油、脂肪、蜡和高分子量脂肪酸的总称。

13. 氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 和总氮

氨氮主要指以**氨离子或游离氨形式**存在的氮的测定，而**总氮**测定还包括**有机氮、硝酸盐中的氮**。这两个指标表示了废(污)水中含 NH_4^+ 和 NH_3 的量及总的氮量，对其处理方法选用有指导作用。

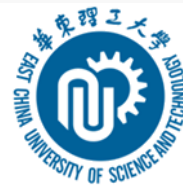
14. 总凯氏氮 (TKN, Total Oxygen Demand)

TKN是**有机氮和氨氮之和**，所以**总氮包括总凯氏氮和硝酸盐中的氮**。

15. 各类无机物

各类无机物如**磷、可溶性氯化物、硫及各类重金属**均作为废（污）水水质指标进行测定。

1.2 水体污染



1.2.3 水体污染程度评价

水体的非点污染评价方法有三大类：

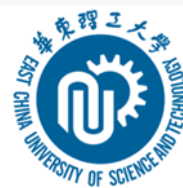
1. 感官性的评价
2. 化学指标和生物指标的评价
3. 综合性数学模式的评价

水体的非点污染主要评价指标：

根据地表水环境质量标准 GB 3838-2002、地下水质量标准 GB 14848-1993，分别将地表水和地下水划分为 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类、劣 V 类水体；

根据海水水质标准 GB 3097-1997，将海水第一类、第二类、第三类、第四类水体。

1.2 水体污染



地表水环境质量标准GB 3838-2002

I类 主要适用于源头水、国家自然保护区；

II类 主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等；

III类 主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区；

IV类 主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区；

V类 主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。

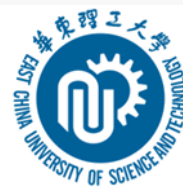
| 标准值 项目 | 分 类 | I 类 | II 类 | III 类 | IV 类 | V 类 |
|----------------------------|--------|--|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | | | | | |
| 水温(℃) | | 人为造成的环境水温变化应限制在： 周平均最大温升 ≤ 1 周平均最大温降 ≤ 2 | | | | |
| pH 值(无量纲) | | 6~9 | | | | |
| 溶解氧 | \geq | 饱和率 90% (或 7.5) | 6 | 5 | 3 | 2 |
| 化学需氧量(COD) | \leq | 15 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| 五日生化需氧量(BOD ₅) | \leq | 3 | 3 | 4 | 6 | 10 |
| 氨氮(NH ₃ -N) | \leq | 0.15 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| 总磷(以 P 计) | \leq | 0.02 (湖、库 0.01) | 0.1 (湖、库 0.025) | 0.2 (湖、库 0.05) | 0.3 (湖、库 0.1) | 0.4 (湖、库 0.2) |
| 总氮(湖、库,以 N 计) | \leq | 0.2 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| 粪大肠菌群(个/L) | \leq | 200 | 2 000 | 10 000 | 20 000 | 40 000 |

地下水环境质量标准GBT 14848-1993

- I 类 主要反映地下水化学组分的天然低背景含量。适用于各种用途。
- II 类 主要反映地下水化学组分的天然背景含量。适用于各种用途。
- III 类 以人体健康基准值为依据。主要适用于集中式生活饮用水水源及工、农业用水。
- IV 类 以农业和工业用水要求为依据。除适用于农业和部分工业用水外,适当处理后可作生活饮用
- V 类 不宜饮用,其他用水可根据使用目的选用。

| 标准值 项 目 | I 类 | II 类 | III 类 | IV 类 | V 类 |
|---------------------------------|-----------|----------|--------|-------------------|---------|
| pH | 6.5~8.5 | | | 5.5~6.5, 8.5~9 | <5.5,>9 |
| 总硬度(以 CaCO_3 计) (mg/L) | ≤150 | ≤300 | ≤450 | ≤550 | >550 |
| 铁(Fe) (mg/L) | ≤0.1 | ≤0.2 | ≤0.3 | ≤1.5 | >1.5 |
| 锰(Mn) (mg/L) | ≤0.05 | ≤0.05 | ≤0.1 | ≤1.0 | >1.0 |
| 汞(Hg) (mg/L) | ≤0.000 05 | ≤0.000 5 | ≤0.001 | ≤0.001 | >0.001 |
| 砷(As) (mg/L) | ≤0.005 | ≤0.01 | ≤0.05 | ≤0.05 | >0.05 |
| 硒(Se) (mg/L) | ≤0.01 | ≤0.01 | ≤0.01 | ≤0.1 | >0.1 |
| 镉(Cd) (mg/L) | ≤0.000 1 | ≤0.001 | ≤0.01 | ≤0.01 | >0.01 |
| 挥发性酚类(以苯酚计) (mg/L) | ≤0.001 | ≤0.001 | ≤0.002 | ≤0.01 | >0.01 |
| 阴离子合成洗涤剂 (mg/L) | 不得检出 | ≤0.1 | ≤0.3 | ≤0.3 | >0.3 |
| 高锰酸盐指数 (mg/L) | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤3.0 | ≤10 | >10 |
| 硝酸盐(以 N 计) (mg/L) | ≤2.0 | ≤5.0 | ≤20 | ≤30 | >30 |
| 亚硝酸盐(以 N 计) (mg/L) | ≤0.001 | ≤0.01 | ≤0.02 | ≤0.1 | >0.1 |
| 氨氮(NH_4) (mg/L) | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.2 | ≤0.5 | >0.5 |
| 总大肠菌群 (个/L) | ≤3.0 | ≤3.0 | ≤3.0 | ≤100 | >100 |
| 细菌总数 (个/mL) | ≤100 | ≤100 | ≤100 | ≤1 000 | >1 000 |

1.2 水体污染



根据海水水质标准GB 3097-1997

第一类 适用于海洋渔业水域,海上自然保护区和珍稀濒危海洋生物保护区。

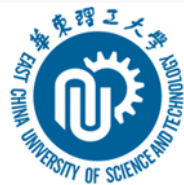
第二类 适用于水产养殖区,海水浴场,人体直接接触海水的海上运动或娱乐区,以及与人类食用直接有关的工业用水区。

第三类 适用于一般工业用水区,滨海风景旅游区。

第四类 适用于海洋港口水域,海洋开发作业区。

| 项目 | 第一类 | 第二类 | 第三类 | 第四类 |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|
| 大肠菌群 个/L | 10 000 供人生食的贝类增殖水质≤700 | | | — |
| 粪大肠菌群 个/L | 2 000 供人生食的贝类增殖水质≤140 | | | — |
| 病原体 | 供人生食的贝类增殖水质不得含有病原体 | | | |
| 水温 ℃ | 人为造成的海水温升夏季不超过当时当地 1℃, 其它季节不超过 2℃ | | 人为造成的海水温升不超过当时当地 4℃ | |
| pH | 7.8~8.5 同时不超过该海域正常变动范围的 0.2pH 单位 | | 6.8~8.8 同时不超过该海域正常变动范围的 0.5pH 单位 | |
| 溶解氧 > | 6 | 5 | 4 | 3 |
| 化学需氧量 (COD) ≤ | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 生化需氧量 (BOD ₅) ≤ | 1 | 3 | 4 | 5 |
| 无机氮 (以 N 计) ≤ | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
| 非离子氮 (以 N 计) ≤ | 0.020 | | | |
| 活性磷酸盐 (以 P 计) ≤ | 0.015 | 0.030 | | 0.045 |

1.3 水体污染控制

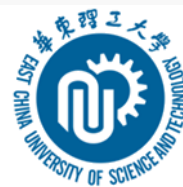


生活污水和生产废水实际上是一种**低浓度污染物质的水溶液系统**，因此水污染控制工程实质上是针对这种系统的**反应工程**和**分离工程**。

具体而言，生活污水和生产废水在排入水体前必须经过相应的处理，最终达标排放。这种处理工程称为**点污染控制工程**，也就是一般所理解的“**废水处理工程**”或“**排水工程**”，它包括工艺改革在内的减少废(污)水种类和数量以及减少废(污)水中有毒、有害物质的量及浓度**直至达到排放标准**。

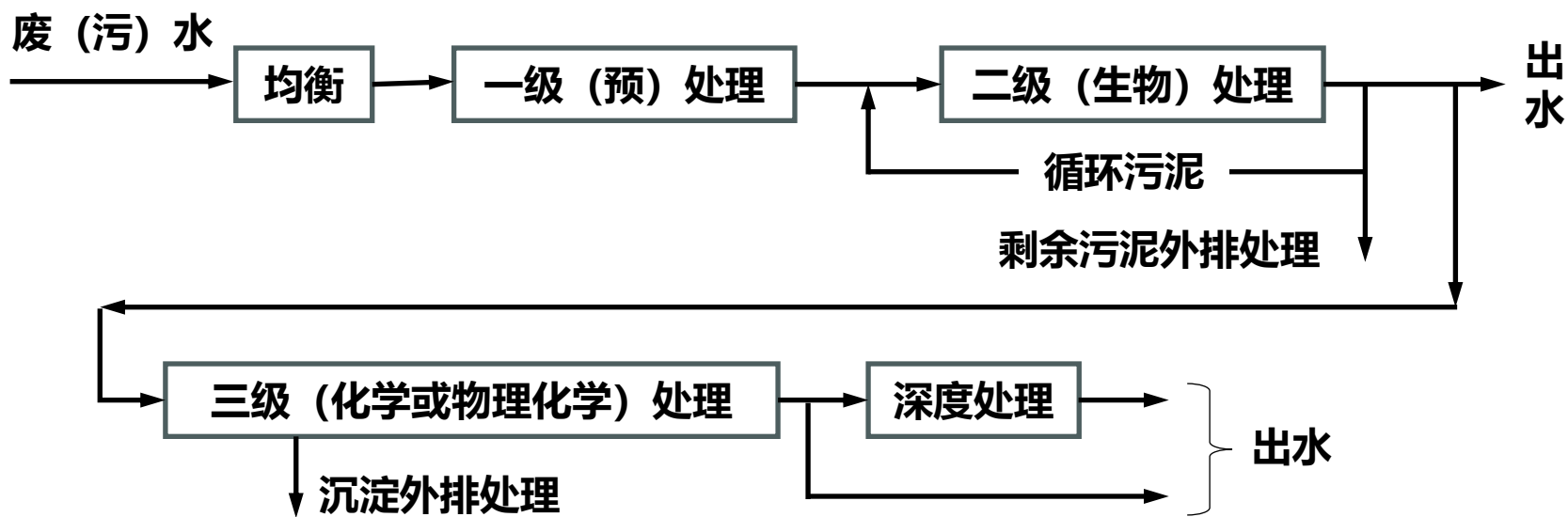
而在排放处理后的废(污)水时，自然水体如何不受或少受污染的工程技术问题，包括处理后的废(污)水的**循环和再利用等**，则涉及非点污染控制工程。因此水污染控制工程包括了点污染控制工程和非点污染控制工程两个方面。本课程着重讨论“点污染控制工程”。

1.3 水体污染控制



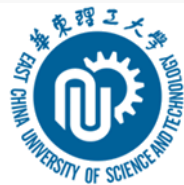
1.3.1 点污染控制工程

废(污)水的性质十分复杂，往往需要由几种**单元处理操作**组合成一个处理过程的整体。合理配置其**主次关系**和**前后位置**，才能经济地、有效地达到预期目标，这种单元处理操作的合理配置整体称为**废水处理系统**。一般的处理系统可由五个单元过程组成，下图对该系统进行了描述。



废(污)水的典型处理系统

1.3 水体污染控制



1.3.1 点污染控制工程

在各单元处理过程中所涉及的单元操作如下:

- (1)**均衡**: 水质水量的调节、稀释、中和、静止。
- (2)**一级(预)处理**: 沉淀和沉积、浮上、加药中和、澄清、混凝、过滤
- (3)**二级(生物)处理**:

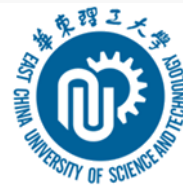
好氧生物处理, 包括生物悬浮生长的活性污泥曝气法, 生物附着生长的滴滤池、接触氧化法和生物转盘;

厌氧生物处理, 自然生物处理, 各种生物塘和废水灌溉;以及污泥处置, 脱水、过滤、干燥、焚烧、湿式氧化、厌氧消化。

(4)**三级(化学、物理化学)处理**: 萃取、离子交换、吸附、汽提、吹脱、电渗析、反渗透、化学沉淀、氧化-还原、氯消毒。

(5)**深度处理**: 物化法、化学法, 为达到处理出水的回用目的。

1.3 水体污染控制



1.3.1 点污染控制工程

点源污染主要控制途径：**单元处理与综合处理**

物理法：拦截、水质/水量调节、隔滤、沉降、分离、气浮

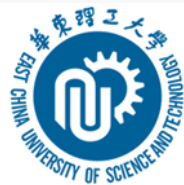
化学法：中和、化学沉淀、混凝、氧化/还原(药剂or电化学)

物理化学法：吸附、离子交换、萃取、吹脱与气提、膜分离

生物化学法：厌氧、缺氧、好氧(高氧or低氧);悬浮态or附着态

生态处理法：土地处理(湿地、地表/地下渗滤)、塘(厌氧塘/兼氧塘/好氧塘/深度稳定塘)

1.3 水体污染控制



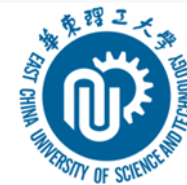
1.3.2 非点污染控制工程

污染物随废(污)水的排放进入水体后, 不仅使水体中的物质组成发生变化, 破坏了原有的生态平衡, 而且参与水体中的物质转化和循环过程。通过一系列物理、化学、物理化学和生物化学反应, 污染物质被分离或分解, 基本上或完全地恢复水体原有的生态平衡, 这种水体能自行净化的过程称为**水体自净**, 是天然水体非点污染控制工程中的一个不可或缺部分。

在水体自净过程中水体的**BOD和溶解氧(DO, Dissolved Oxygen)**随时间和距离的推移而变化, 它们周而复始的平衡关系会影响点污染源的废(污)水的排放地点及时间的选择。此外, 废(污)水排入不同水体时的排放方式更涉及到工程技术问题, 也属非点污染控制工程的范围。

经处理后的废(污)水的再利用, 即**废(污)水的资源化处置**, 不仅减少对水体的污染, 而且回收水资源和其他工业原料, 并获得一定的经济效益, 因此也是非点污染控制工程中的重要部分。

1.3 水体污染控制

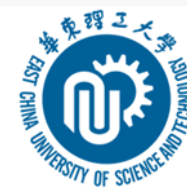


1.3.2 非点污染控制工程

面源污染主要控制途径：**水体自净及人工强化**

生态+物理+物理化学+生物化学

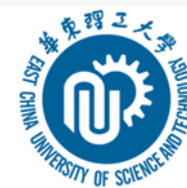
1.3 水体污染控制



1.3.3 不同水污染控制途径介绍

| 分类 | 处理方法 | 处理对象 | 适用范围 |
|------|------|------------------|----------|
| 物理处理 | 调节均衡 | 水质水量均衡 | 预处理 |
| | 沉降 | 可沉降颗粒,粗大悬浮物 | 预处理 |
| | 除油 | 粒度较大油珠 | 预处理 |
| | 气浮 | 乳化油,比重接近or小于1的SS | 中间处理 |
| | 旋风分离 | 比重较大颗粒如铁屑和砂 | 预处理 |
| | 离心分离 | 细小乳化油,纤维,纸浆 | 预处理和中间处理 |
| | 格栅 | 较大的颗粒,漂浮物 | 预处理 |
| | 筛网 | 较小的颗粒(悬浮物) | 预处理 |
| | 砂滤 | 细小的颗粒(乳化物) | 中间式最终处理 |
| | 微滤 | 极细小的颗粒 | 最终处理 |
| 化学处理 | 混凝 | 胶体,乳化物 | 中间处理 |
| | 中和 | 酸,碱性废水 | 中间或最终处理 |
| | 化学沉淀 | 溶解性,离子型 | 中间或最终处理 |
| | 氧化还原 | 金属离子或有机物 | 中间或最终处理 |

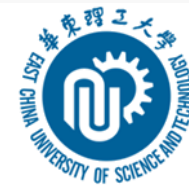
1.3 水体污染控制



1.3.3 不同水污染控制途径介绍

| 分类 | 处理方法 | 处理对象 | 适用范围 |
|--------|--------|-------------------------|----------|
| 物理化学处理 | 电渗析 | 可离解物质 | 中间式或最终处理 |
| | 反渗透 | 某些分子和离子 | 中间式或最终处理 |
| | 气提(吹脱) | 溶解性气体和低沸点有机物 | 中间处理 |
| | 萃取 | 可溶性物质 | 中间式或最终处理 |
| | 离子交换 | 可离解物质 | 中间式或最终处理 |
| | 吸附 | 可溶性物质(有机物or氨氮等) | 中间式或最终处理 |
| 生物处理 | 好氧 | 有机物降解, 硝化, 硫氧化 | 中间或最终处理 |
| | 缺氧 | 有机物降解, 反硝化脱氮, 硫酸盐还原脱硫 | 中间处理 |
| | 厌氧 | 难降解有机物, 除磷, 自养脱氮 | 中间处理 |
| | 悬浮态 | 生物絮凝沉降, 混合稳定水质/水量, 生物转化 | 中间或最终处理 |
| | 附着态 | 截滤, 吸附, 生物转化 | 中间或最终处理 |

1.3 水体污染控制



1.3.3 不同水污染控制途径介绍

| 分类 | 构成部分 | 处理对象 | 适用范围 |
|------|----------------|------------------|---------|
| 生态处理 | 植物, 水生生物 | 有机物, 氮, 磷的吸收和吸附 | 中间或最终处理 |
| | 沉积层或边界层 | 对颗粒物的截滤, 沉降, 吸附 | |
| | 悬浮微生物和附着生物膜 | 对有机物或氮, 磷吸附及生物转化 | |
| | 植物光合作用营造的偏碱性区域 | 碱性环境中重金属的沉淀去除 | |

- 1.什么是水的自然循环和社会循环?它们是如何引起水体污染的?
- 2.废水是如何分类的?生活污水和生产废水分别具有什么特征?
- 3.什么是水体的点污染和非点污染?
- 4.水体点污染的评价指标有哪些?这些指标的测定有什么意义?
- 5.含氮有机物和不含氮有机物的生物分解有何区别?为什么测定 BOD_5 具有一定的代表性?
6. TS、DS、SS、BOD、COD、OC、TOC、TOD、氨氮、总氮、总凯氏氮的定义分别是什么?
7. BOD_{20} 、 BOD_5 、COD、OC按从大到小的顺序该如何排?为什么?
- 8.请绘制废(污)水的典型处理系统图。