

# 水化学及水微生物学

貝有为 沈玉如合編

高等教育出版社



# 水化学及水微生物学

具有为 沈玉如合編

高等教育出版社

---

本书系根据前高等教育部 1956 年批准试行的“水化学及水微生物学”教学大纲并参特拉普申(М. Н. Ланцин)和斯脱罗加诺夫(С. Н. Стрoганов)所著“饮用水与污水的化学及微生物学”(Химия и Микробиология питьевых и сточных вод)一书编译而成。

全书共分三篇:第一篇为水化学,主要介绍饮用水及污水化学的基本理论,天然水的特性,天然水及污水在净化时所进行的物理、化学过程,此外还着重介绍了水的物理、化学分析的方法及其原理。第二篇为水微生物学,主要介绍有关微生物的基本知识,水微生物对于卫生工程的关系,微生物在污水处理过程中的作用,并且介绍了检验水中细菌的方法。第三篇为水化学及水微生物学实验,其中包括教学大纲所规定的各项水质分析实验。

本书可供高等工业学校给排水专业教学参考之用。此外尚可供给排水工程技术人員、自来水厂及污水处理厂实验人員以及有关化学实验工作人員参考。

本书水化学部分由哈尔滨工业大学化学教研室貝有为编写;水微生物学由东北农学院农学系微生物教研组沈玉如编写,并經程云川审阅。

## 水化学及水微生物学

貝有为 沈玉如合編

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市书刊出版业营业許可證出字第 054 号)

京华印书局印装 新华书店发行

統一书号 15010·745 开本 850×1168  $\frac{1}{32}$  印张 11 $\frac{17}{32}$

字数 304000 印数 0901—2,000 定价(7) 1.60

1959 年 5 月第 1 版 1959 年 5 月北京第 1 次印刷

## 緒 論

水是人們生活中以及各種工業生產中不可缺少的一種物質，但是供給人們日常生活或工業生產上使用的天然水不可能是絕對純淨的；相反地，由於水的流動性大，同時又是很好的溶劑，因此天然水與地層的岩石、土壤及大氣相接觸的過程中就溶解了各種無機物與有機物，有時並將不溶的懸浮物（如泥砂、粘土、動植物殘骸以及各種微生物等）帶到江河中去，因此所有的天然水就形成一種具有複雜組成的溶液。這樣的天然水如果不經過適當的處理，是不能夠直接供來飲用或直接用於工業生產中的。

由於天然水具有複雜的組成，其中就可能含有各種有害於人體健康的細菌（如傷寒、霍亂、痢疾等），如果不經過消毒而供飲用，即將引起疾病的流行與傳播，從而嚴重影響了人民群眾的健康。天然水中某些化學成分的多少也會引起人體的各種病症，例如水中氟化物的含量如果太高，會引起牙齒珐琅發生斑紋（斑齒病），嚴重時會使牙齒完全損壞，甚至引起骨病；反之，如果水中所含的碘化物不足，也將引起人體甲狀腺腫大的病症。此外由於某些工廠排出的污水，如果不經處理而放入河道中，往往使水污染，這不僅影響環境衛生，甚至有一些有毒物質（如砷、鉛、氰化物等）引入水体從而對人體健康有嚴重妨害。因此從衛生觀點上看，為了維護廣大人民群眾的健康，我們對於飲用水的清消消毒，水的化學檢驗及微生物檢驗以及污水的化學處理等問題應該給予極大的重視。

從工業生產上看，幾乎是任何一種工業生產都離不了水。造紙、紡織、印染及食品製造等輕工業部門，每天都需要大量的符合一定規格的用水，例如一個 50 萬錠的紡織印染聯合企業每日耗水量就在 5 萬噸以

上；在造紙工業上需要的水量就更大，例如每生產一噸新聞紙所需要的水就為 500 噸。在重工業方面，特別是冶金工業、石油工業、機械製造工業以及其他各種化學工業，更是無時無刻都離不了水，例如生產鋼鐵的平爐及高爐，每天必須供應大量符合規格的冷卻水，用來維持爐子的正常工作。

所有的工業用水不但用水量大，而且對水質要求極為嚴格，因此必須先將天然水經過適當處理，然後才能滿足工業上的特別要求，否則會使國民經濟上造成極大的損失，例如在紡織工業或人造絲工業，如果採用了硬水，則在生產過程中不僅浪費大量的化學試劑（肥皂、染料、蘇打等），而且還將影響產品質量<sup>①</sup>。在重工業方面水質要求就更為重要，例如用在平爐或高爐里的冷卻水中如含有大量的懸浮物時，由於懸浮物堵塞了冷卻器而造成停工不僅給國家帶來經濟上的損失，而且有時會造成嚴重事故。根據統計由於這種情況而使冷卻管堵塞每年將發生 4 次，而每次因修理將停工 4 晝夜，如果此平爐每晝夜生產 200 噸鋼，則在一年內將有 16 晝夜不能生產，即將影響產量 3200 噸，如以每噸鋼價值 1000 元計算，則每年損失達 320 萬元。

不同用途的工業用水，對水質的要求均有嚴格的特殊規定，大家熟悉的鍋爐用水幾乎不允許有硬度，否則會生成鍋垢，使導熱困難，這樣不僅耗費燃料，嚴重時會引起鍋爐爆炸。

水中的微生物對工業用水也有很大影響，例如含有鐵鹽及錳鹽的水作為冷卻使用時，常常有鐵細菌及錳細菌在冷卻裝置中生長，當這些細菌大量繁殖時，會使水管有效直徑減小而影響輸水量，嚴重時甚至堵塞冷卻裝置。此外如水藻、海綿、苔蘚蟲類、軟體動物或其他能形成堵塞的有機體也常在冷卻系統中發現，以致影響工業生產的正常運轉。

<sup>①</sup> 根據 С. В. Ключарев 統計，在一個每年生產一萬四布的棉織品工廠里，每晝夜要用水 6000 噸，這些水的硬度為 10—12°，如果能先將水軟化後再使用，則在蘇聯每年可為國家節省資金 1960300 盧布。

至于工业污水的处理也随着建設事业的发展而更加显得重要，因为工业建設日益扩展，不同的工业生产部門排出不同組成的工业污水，如果这些污水不加以适当处理而随意排泄在河道中，将会严重妨碍环境卫生，影响居民健康。但更积极的办法是利用城市污水和一般工业污水进行农田灌溉和将其中有用物質回收及綜合利用，而这些都是化学和生物化学的作用过程。

水微生物学和卫生工程之間的关系是十分密切的。在天然水中都含有微生物，这些微生物主要是細菌，霉菌和酵母菌的含量都很少。深井中細菌含量不多，溪水中的細菌数量較大，而在沟水及污水中每毫升竟含有細菌4万以上。在以上各种水中微生物的种类很多，其中包括：伤寒菌、大腸菌、痢疾菌等病原菌。在建筑工程上必須考虑水源与人类健康問題，人們飲用不洁的水，常常引起疾病，不但影响人民的健康而且影响国家建設。

目前我国正在进行大規模的社会主义建設，与国家工业化有重要关系的現代化企业大批在修建或扩建，相应地許多城市正在建立起来，在这些修建和扩建的过程中，給水、排水工程占着重要的地位，我們不但要供給工厂足够的水量，而且要保証工业用水水質的特殊要求；同时对城市及农村的生活用水也应符合卫生要求。因此作为一个給水排水工程的技术人員，必須了解有关水的物理、化学及微生物性質，并且應該熟悉飲用水、工业用水以及污水在处理过程中的化学原理，了解水中微生物分布的基本情况，掌握水質的檢驗方法，而“水化学及水微生物学”这門課程就給予学生們在这方面以必要的基础知識。

通过这門課程的学习，要求学生們能达到以下几个目的：

1. 要求基本上能了解有关水及污水的物理性質、化学性質及微生物性質，以便在专业学习中能根据水的性質来正确决定水的处理方法；掌握淨水过程中的化学原理与微生物的作用，以便能更有效的改善处理方法。

2. 要求能具体掌握水及污水的物理性质、主要化学成分的分析方法及微生物檢驗方法与原理，只有根据这些分析結果才能选择合理的淨水方案，根据分析結果才能决定化学处理过程中各种试剂的用量，并且可根据分析結果檢查处理的效果从而改进处理方法。

3. 通过水质分析的实验，能进一步培养学生独立进行科学实验的能力，直接有利于今后进行改善水质，淨水设备設計的研究工作。

因此只有掌握了这门专业基础課以后，学生才能根据水质来进行淨水设备的設計工作，同时在今后领导或管理淨水厂或污水厂时，才能运用有关的化学知識来改善设备，提高效率，使我国給水排水工程随着祖国大規模的經濟建設而蓬勃发展。

# 目 录

緒 論	ix
-----	----

## 第一篇 水化学

第一章 水质概論	1
----------	---

§ 1-1. 水的化学組成及性質	1
§ 1-2. 自然界中的水	3
§ 1-3. 对飲用水水质的要求	7
§ 1-4. 对工业用水水质的要求	11
§ 1-5. 水源的选择	16
§ 1-6. 飲用水与工业用水淨水过程介紹	17

第二章 溶液理論	19
----------	----

§ 2-1. 化学反应速度	19
§ 2-2. 化学平衡与质量作用定律的应用	20
§ 2-3. 电高学說	23
§ 2-4. 离子方程式及离子反应的方向	28
§ 2-5. 离解常数及离子平衡的应用	29
§ 2-6. 緩冲溶液	40

第三章 胶体溶液	43
----------	----

§ 3-1. 分散系	43
§ 3-2. 胶体粒子的大小	46
§ 3-3. 溶胶的結構	48
§ 3-4. 溶胶的安定性及其凝聚	52
§ 3-5. 高分子物質的溶液	54

第四章 分析化学理論	56
------------	----

§ 4-1. 分析化学定义	56
§ 4-2. 容量分析的概念	57
§ 4-3. 濃度的表示及标准溶液的制配	59
§ 4-4. 容量分析的計算	63
§ 4-5. 中和法所用指示剂的性質	64
§ 4-6. 指示剂的选择	66
§ 4-7. 比色法原理	70



<b>第五章 水的分析</b> .....	72
§ 5-1. 水的物理与化学分析.....	72
§ 5-2. 天然水的分析项目.....	72
§ 5-3. 分析时水样的采取.....	73
§ 5-4. 分析前水样的准备.....	76
§ 5-5. 分析结果的表示方法.....	77
§ 5-6. 污水的分析.....	82
<b>第六章 天然水的物理性质</b> .....	85
§ 6-1. 温 度.....	85
§ 6-2. 颜色与色度.....	85
§ 6-3. 水的臭与味.....	88
§ 6-4. 浑浊度.....	89
§ 6-5. 水的透明度.....	91
§ 6-6. 悬浮物、溶解残渣及总固体量.....	92
<b>第七章 天然水的酸碱性质及硬度</b> .....	94
§ 7-1. 水的酸度.....	94
§ 7-2. 天然水的碱度.....	95
§ 7-3. 天然水的 pH 值.....	99
§ 7-4. 天然水的硬度.....	101
§ 7-5. 硬度的测定原理.....	104
<b>第八章 碳酸及其对水管的腐蚀</b> .....	107
§ 8-1. 碳酸及其存在形式.....	107
§ 8-2. 碳酸的平衡.....	108
§ 8-3. 游离碳酸的测定( $H_2CO_3 + CO_2$ ).....	110
§ 8-4. 侵蚀性碳酸的测定.....	111
§ 8-5. 金属水管的腐蚀.....	114
§ 8-6. 水中的溶解氧.....	119
§ 8-7. 溶解氧的测定原理.....	121
<b>第九章 凝 聚</b> .....	123
§ 9-1. 悬浮物及胶体粒子.....	123
§ 9-2. 硫酸铝的净水作用及性质.....	123
§ 9-3. 铁盐的净水作用及性质.....	126
§ 9-4. 天然水的去色.....	128
§ 9-5. 几种常见的絮凝剂.....	130
§ 9-6. 碱 化.....	133
§ 9-7. 絮凝剂用量的测定.....	134

第十章 软 化.....	136
§ 10-1. 软化的方法.....	136
§ 10-2. 用化学试剂法软化.....	137
§ 10-3. 离子交换法软化.....	143
§ 10-4. 热分解法使水软化.....	151
第十一章 去铁、去锰、去盐.....	151
§ 11-1. 去 铁.....	151
§ 11-2. 锰的去除.....	156
§ 11-3. 化学去盐.....	158
§ 11-4. 去 硅.....	161
第十二章 去气.....	163
§ 12-1. 去 氧.....	164
§ 12-2. 二氧化碳的去除.....	166
§ 12-3. 硫化氢的去除.....	165
第十三章 水的消毒.....	167
§ 13-1. 氯化法消毒的作用.....	168
§ 13-2. 氯化法消毒常用的试剂.....	170
§ 13-3. 氯化时影响杀菌作用的因素.....	176
§ 13-4. 去 氯.....	182
§ 13-5. 其他的消毒方法.....	181
第十四章 天然水及污水中的有机化合物.....	186
§ 14-1. 耗氧量的定义及测定原理.....	187
§ 14-2. 生化需氧量的定义及测定原理.....	189
§ 14-3. 天然水与污水的硝化作用.....	191
§ 14-4. 氨氮(或铵盐)及其测定.....	192
§ 14-5. 亚硝酸盐及其测定.....	193
§ 14-6. 硝酸盐及其测定.....	195
第十五章 水中的有毒物质.....	195
§ 15-1. 氟化物.....	195
§ 15-2. 砷化物.....	198
§ 15-3. 砷化物.....	198

## 第二篇 水微生物学

第十六章 微生物的形态特性.....	200
§ 16-1. 细菌的外形和大小.....	200

§ 16-2. 細菌細胞的構造	203
§ 16-3. 細菌芽胞的形成	204
§ 16-4. 細菌的鞭毛和運動	206
§ 16-5. 細菌的繁殖和菌落的形成	207
§ 16-6. 細菌的發育和變異	209
§ 16-7. 細菌的分類	210
§ 16-8. 其他微生物	212
<b>第十七章 微生物的生理特性</b>	<b>215</b>
§ 17-1. 微生物細胞的化學組成	215
§ 17-2. 微生物的營養	217
§ 17-3. 酶	221
§ 17-4. 呼吸作用	222
<b>第十八章 外界環境對微生物發育的影響</b>	<b>224</b>
§ 18-1. 物理因子對微生物發育的影響	225
§ 18-2. 化學因子對微生物發育的影響	228
§ 18-3. 生物因子對微生物發育的影響	230
§ 18-4. 微生物的死亡	231
<b>第十九章 培養和檢查微生物的方法</b>	<b>232</b>
§ 19-1. 培養基	232
§ 19-2. 滅菌、消毒和防腐	234
§ 19-3. 微生物的純種分離法	238
§ 19-4. 檢查細菌的方法	239
§ 19-5. 顯微鏡的構造及用法	243
<b>第二十章 微生物在自然界物質轉化中所起的作用</b>	<b>243</b>
§ 20-1. 自然界的碳素循環及微生物在其中所起的作用	244
§ 20-2. 發酵及氧化	246
§ 20-3. 自然界的氮素循環及微生物在其中的作用	248
§ 20-4. 自然界硫、磷、鐵的轉化及微生物在其中的作用	255
<b>第二十一章 致病微生物的一般認識</b>	<b>259</b>
§ 21-1. 病原微生物和傳染的概念	259
§ 21-2. 傳染的方式和途徑	262
§ 21-3. 水中的細菌	262
§ 21-4. 飲用水的衛生細菌學檢驗	268
<b>第二十二章 微生物在污水處理中的應用</b>	<b>276</b>
§ 22-1. 污水及其處置和處理	276

§ 22-2. 污水的嫌气性处理	277
§ 22-3. 污水的好气性处理	279
§ 22-4. 用微生物学方法处理污水的一般原则	282
§ 22-5. 外界环境因素对水体微生物群的影响	284
§ 22-6. 关于水体污染的概念及水体的自净作用	286

### 第三篇 水化学与水微生物学实验

第二十三章 水化学实验	289
实验一 基本操作(分析天平的使用)	289
实验二 基本操作(标准溶液的配制及其浓度的标定)	294
实验三 色度的测定	297
实验四 臭与味的测定	300
实验五 浑浊度的测定	301
实验六 透明度的测定(标准铂字法)	303
实验七 透明度的测定(十字架法)	304
实验八 悬浮物的测定	304
实验九 溶解残渣及总固体量的测定	306
实验十 悬浮物的沉淀速度	308
实验十一 酸度的测定	309
实验十二 碱度的测定	311
实验十三 氢离子浓度的测定	313
实验十四 硬度的测定(纳碱试剂法)	315
实验十五 总硬度的测定(软脂酸钾法)	317
实验十六 游离碳酸的测定	318
实验十七 侵蚀性碳酸的测定	320
实验十八 溶解氧的测定	323
实验十九 总铁量( $Fe^{++}+Fe^{+++}$ )的测定(用 KCNS 比色法)	327
实验二十 余氯的测定(碘量法)	329
实验二十一 余氯的测定(比色法)	331
实验二十二 氯离子的测定	333
实验二十三 硫酸盐的测定	336
实验二十四 氨氮的测定	337
实验二十五 亚硝酸氮的测定	339
实验二十六 硝酸氮的测定	341
实验二十七 耗氧量的测定(高锰酸钾法)	343
实验二十八 生化耗氧量的测定	345
第二十四章 水微生物学实验	347

---

实验一 培养基制备	348
实验二 样品的接种	350
实验三 显微镜检查	354
附录一 水化学实验中有关各种溶液的配制	358
附录二 参考用表	360
主要参考书刊	364

# 第一篇 水化学

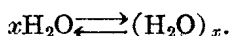
## 第一章 水质概论

### § 1-1. 水的化学组成及性质

“化学纯粹”的水是无色、无味、无臭的透明液体，在标准大气压（一个大气压）时，纯水的凝固点为  $0^{\circ}\text{C}$ ，沸点为  $100^{\circ}\text{C}$ ，在温度为  $4^{\circ}\text{C}$  时 1 毫升的水重 1 克。

在所有固态和液态的物质中，水的比热最大（等于 1）。在  $4^{\circ}\text{C}$  时水具有最大的密度，超过或低于此温度时，水的体积都会膨胀<sup>①</sup>。

当水由元素形成时，是由一个体积的氧和两个体积的氢化合而成，它的重量组成是 11.11% 的氢和 88.89% 的氧。由此可知水的最简单的化学式为  $\text{H}_2\text{O}$ ，在高温时按水蒸汽的密度所测得的水的分子量为 18，正好与  $\text{H}_2\text{O}$  的分子式相符。液态水除含有简单的水分子  $\text{H}_2\text{O}$  外，同时还含有由简单水分子结合而成的较复杂的水分子  $(\text{H}_2\text{O})_x$ ，其中  $x=2, 3, 4, \dots$  等，它们处于平衡状态：



以上这种由简单分子结合成比较复杂的分子，而并不引起化学性质改变的现象叫做“缔合”。

从化学观点来看，水是很容易起化学反应的物质，它与许多金属氧化物、非金属氧化物以及最活泼的金属等起化合作用。同时又参加不

---

<sup>①</sup> 水凝固时密度减小的这种特性对于自然界中的生命有着重大意义，由于这种特性（冰比水轻），在冬季自然界的水结冰后，冰总是浮在水面，这表面的冰层保护了冰下的水层不至于进一步冷却而结冰，因而使水中生物仍能生存。

同性质的各种反应。

水的最重要的性质就是它能溶解各种固态的、液态的和气态的物质。有些物质能在任何量的比例下与水混合。但在大多数情况下，一定量的水中只能溶解一定量的物质，而达到饱和溶液。在某一温度下100克水中所能溶解某物质的最大数量(克)称为该物质的溶解度。一切物质的溶解度都和温度有关，绝大多数的固态物质在水中的溶解度随温度升高而增加，但各种物质随着温度上升其溶解度的改变通常是不相等的。从图1-1所示溶解度曲线可以看出，当温度升高时，NaCl的溶解度增加较慢，而 $KNO_3$ 则增加很快。但也有一些固态物质，它们的溶解度随温度的上升而下降，硫酸钙与石灰就是这样的例子，从图1-2可以看出。

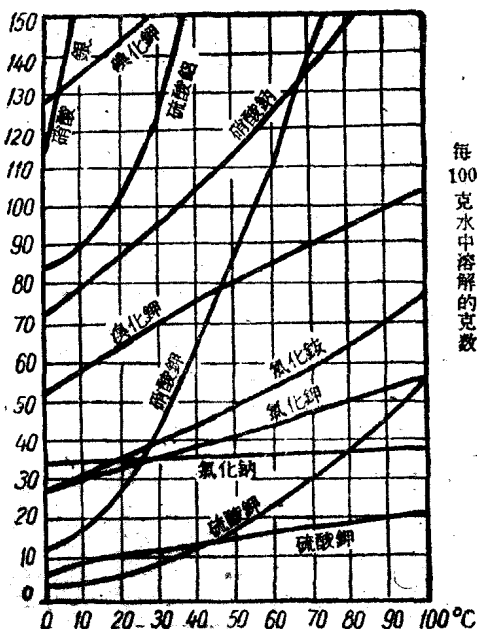


图1-1. 若干盐类的溶解度曲线。

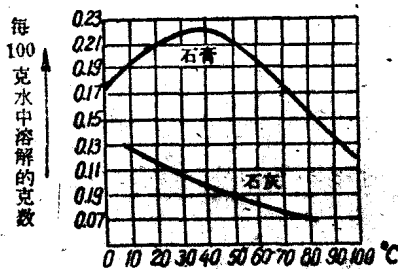


图1-2.  $CaSO_4$  与  $CaO$  的溶解度曲线。

气态物质在水中的溶解度随温度的升高而减小。

## § 1-2. 自然界中的水

自然界存在大量的天然水，天然水按照存在的地方不同可分为雨水、地面水及地下水三类。

1. 雨水 由于树木发散的水分、潮湿地面以及海洋、湖泊、河流、池沼等受阳光蒸发后变为蒸气，即形成大气中的云雾，当它们遇到寒冷气流后形成雨、雪而下降，雨水落地后或是冰雪融化后，一部分流入溪川及江河中形成地面水；另一部分渗入土壤及各种岩层，即成为地下水的来源。

所有的天然水永远不会是绝对纯净的。由空气中水蒸汽凝结而成的雨水及冰雪似乎是最纯净的了，但是在雨水或冰雪中也含有来自空气中的各种杂质。因为当雨、雪降落到地面时，不仅溶解了大气中的各种气体（如氧、氮及二氧化碳等），而且也与分散在空气中的尘埃、煤烟以及微生物等杂质相接触，从而使雨水不可能绝对纯净，尤其是在开始下降的初期，雨水中所带有的杂质更多。雨水中杂质含量的多少决定于接触的空气的净洁程度。下列表 1-1 是根据不同地区测出的雨水中各种离子的平均含量：

表 1-1. 各地雨雪中的离子含量(除硬度外, 单位为毫克/升)

	硬度	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
我国某地雨水的分析	2.5°			5	1.5		7	26	1
苏联40个水文分析站测得的全国平均雨水		4.82	1.74	5.12	0.21	18.20	5.46	9.17	1.70
英国伦敦雨水(初雨)	1.5°	16.8	0.24	5.06	0.54	23.18	7.09	25.9	1.24
英国伦敦雨水(22小时后)	0.5°	3.2			0.90	6.10	3.55	2.78	
英国伦敦雪水	1.1°	5.6	0.97				12.05	21.12	1.24
某地雪水	0.2°			0.92	0.18	4.88	0.71		1.36

2. 地面水 地面水是地球上分布最广的物质，几乎占地球表面的四分之三，它充满了所有的天然的贮水池，从而形成海洋、河川与湖泊，



由于这样的水暴露地面，所以统称为地面水。

江水、河水以及湖泊由于所处的自然条件不同，受外界因素影响也不一样，因此各个河流或湖泊中的水的物理状况，化学性质以及微生物含量均有所不同，即使同一河流，其水中所含的化学成分及微生物成分均随季节的变化而有很大改变。

江河水通常含有很多的悬浮物及可溶的杂质；当雨雪降落在山岭上，一部分雨水被阻留在山岭的裂缝中，在冬季当水凝结时，生成的冰扩大了这些缝隙，从而使山石分裂，再经过若干年后终于将岩石变成土砾，以后由于空气、水及温度的变化使土砾愈来愈粉碎，雨水就提取出其中可溶解的部分，同时也把不溶解的悬浮的泥砂、粘土带到江河里去；这就使得江水或河水带有不同的含盐量、硬度等可溶的杂质，同时也含有悬浮的泥砂。

有时河水由于发源于沼泽地及泥炭池，河水提取出土壤中的腐植质，所以使水具有很高的色度及耗氧量，这种情况是与江水被污染有所区别。一般讲江河水的物理化学成分是随季节性而变化的；在冬季，水的浑浊度低，而硬度及含盐量较大；在洪水时期则相反，浑浊度增高，硬度及含盐量大大降低。在其他性质及细菌含量方面也有很大变化。

江河水的物理化学性质除了随季节变化而有所改变以外，还经常受到其他因素的影响，例如当工厂排出的污水和生活污水如不经过适当处理而流入江河，或是轮船的航行，鱼场、游泳池设置等情况均将使江河的水质起一定变化，而影响了附近的环境卫生。

表 1-2 列出若干城市附近地面水的水质分析数据。图 1-3 是苏联德涅泊河河水水质随季节而改变的情况。

湖水是由于地壳洼部积聚了大量的水而成，湖水的流动性较小，一般讲比较安静，因此悬浮物容易沉降，在大部分时间内湖水的浑浊度均比较低。

湖水的化学成分与流入湖泊中水源有关，同时也与自然条件、地理