

中等专业学校試用教科书

水分分析及 水微生物学

北京建筑工程学校編



中国工业出版社

中等专业学校試用教科书



水分析及水微生物学

北京建筑工程学校編

中国工业出版社

本书分三篇。第一篇为水分析，介绍水质、溶液理论、分析化学知识、水的分析项目与水样的采取、水的物理性质及分析方法、水的酸碱性质及其测定、水的硬度及其测定、水的碳酸及其测定、水的溶解氧及其测定、水中余氧的测定、天然水及污水中的有机化合物、灌溉用水的分析、工业废水中有毒物质的测定、天然水及污水中的放射性物质及其测定。第二篇为水微生物学，叙述微生物的生理形态特性、水质净化及污水处理过程中常见的微生物及其作用、微生物的培养及检验。第三篇为课堂实验。

本书为中等专业学校给水及排水专业试用教科书，也可供本专业有关技术人员参考。

本书由李献文同志执笔编写，部分章、节引自具有为、沈玉娟编著“水化学及水微生物学”一书。

水分析及水微生物学

北京建筑工程学校编

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $6^{1/16}$ ·字数129,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数001—837·定价(9.4)0.59元

统一书号：15165·727(建工—58)

目 录

緒 論

第一篇 水 分 析

第 一 章 水质概論 10

1-1 水的化学組成及性质 10

1-2 自然界中的水 12

1-3 飲用水水质的要求 17

1-4 工业用水水质的要求 19

第 二 章 溶液理論 22

2-1 化学反应速度 22

2-2 化学平衡与质量作用定律的应用 24

2-3 电离学說 27

2-4 离子方程式及离子的反应方向 29

2-5 离解常数及离子平衡的应用 30

2-6 緩冲溶液 35

第 三 章 分析化学基础 35

3-1 分析化学的定义 36

3-2 容量分析的概念 36

3-3 濃度的表示方法 38

3-4 中和法所用的指示剂 39

3-5 比色法原理 42

第 四 章 水的分析項目与水样的采取 43

4-1 清水的分析項目 43

4-2 污水的分析項目 45

4-3 水文地质及工程地质調查中的水分析 45

4-4 水样的采取	47
第五章 水的物理性质及分析方法	48
5-1 温度	48
5-2 颜色与色度	49
5-3 嗅味	57
5-4 浑浊度	52
5-5 透明度	53
5-6 悬浮物、溶解固体及总固体量	56
第六章 水的酸碱性质及其测定	57
6-1 水的酸度	57
6-2 水的碱度	58
6-3 水的pH值	62
第七章 水中的硬度及其测定	65
7-1 水的硬度	65
7-2 硬度的测定原理	68
第八章 水的碳酸及其测定	70
8-1 碳酸及其存在形式	70
8-2 碳酸的平衡	72
8-3 游离碳酸的测定 ($\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2$)	74
8-4 侵蚀性碳酸的测定	75
第九章 水中的溶解氧及其测定	78
9-1 水中的溶解氧	78
9-2 溶解氧的测定原理	79
第十章 水中余氯的测定	82
第十一章 天然水及污水中的有机化合物	84
11-1 耗氧量的定义及测定原理	85
11-2 生化需氧量的定义及测定原理	87
11-3 天然水与污水的硝化作用	89
11-4 氨氮(或铵盐)及其测定	90

11-5 亚硝酸盐及其测定	91
11-6 硝酸盐及其测定	92
第十二章 灌溉用水的分析	93
12-1 概述	93
12-2 污水灌溉的水质标准	93
12-3 分析项目及分析方法	96
第十三章 工业废水中有毒物质的测定	103
13-1 氰化物	103
13-2 铬化物	105
13-3 砷化物	105
13-4 酚	106
第十四章 天然水及污水中的放射性物质及其测定	107
14-1 放射性物质对水体的污染及对人体的危害	107
14-2 放射性衰变的基本知识	108
14-3 放射性物质在水中的容许量标准	109
14-4 测量方法概述	110

第二篇 水微生物学

第十五章 微生物的生理形态特性	113
15-1 概述	113
15-2 细菌	114
15-3 细菌的繁殖和菌落	118
15-4 微生物的营养	120
15-5 酶	122
15-6 呼吸作用	122
15-7 外界环境对微生物发育的影响	124
第十六章 水质净化及污水处理过程中常见的微生物及其作用	125
16-1 污水在微生物作用下的分解	125

16-2 微生物在有机物质循环中的作用	126
16-3 污水灌溉及生物化学处理过程中微生物的作用	131
16-4 污泥消化过程中微生物的作用	133
16-5 水体自净过程中微生物的作用	137
16-6 水中的致病细菌	140
16-7 在给排水工程中其他有关的微生物	141
第十七章 微生物的培养及检验	143
17-1 概述	143
17-2 培养及检验方法	143

第三篇 課 堂 实 驗

实验一 基本操作(分析天平的使用及标准溶液的配制)	159
实验二 碱度的测定	164
实验三 总硬度的测定	166
实验四 余氯的测定(比色法)	169
实验五 溶解氧及生化需氧量的测定	171
实验六 微生物的显微镜检查	177
附录一 实验室常用的仪器	182
附录二 水化学实验中有关溶液的配制	183
附录三 将分析结果(毫克/升)换算为毫克当量的乘数	186
附录四 元素的原子量	187
附录五 测定透明度用的标准铅字	188
附录六 苏联电离辐射最高容许量暂行规定(摘录)	189
附录七 远藤培养基配制规程	193
主要参考书	194

緒 論

給水排水工作者的任务是要供給工业企业及人民生活以足够数量和符合一定质量的水，并且要把工业及生活使用后的污水加以利用或处理，使污水不但不会为害，反而变害为利，为社会主义建設服务。

解放前，在国民党反动派的統治和帝国主义的侵略下，我国工农业生产水平很低，人民生活极端困苦。那时，給水排水工程只为少数的剝削者服务，因而得不到发展。解放后，由于党的正确領導和对人民生活无微不至的关怀，給水排水事业随着工农业生产的发展也得到相应的发展。特别是1958年以来，在党的社会主义建設总路綫的光輝照耀下和一整套两条腿走路方針的指导下，各項建設事业获得了巨大的成就，給水排水事业亦日益扩大。例如在农村人民公社，对給水和污水处理与利用提出了新的要求。随着社会主义建設事业的持續跃进，給水排水工程在建筑业中的作用将日益显得重要。

各种水的水质的变化是很复杂的。例如天然水的水源就很难得是絕對純淨的。因为水的流动性很大，同时又是很好的溶剂，在它与地层的岩石、土壤及大气相接触的过程中，就溶解了各种无机物与有机物，带走了各种不溶的悬浮物（如泥沙、粘土、动植物殘骸以及各种微生物等）。因此，所有的天然水就形成一种具有复杂組成的液体。这样的天然水，如不經适当处理，是不能供給工业生产及生活飲用的。各种水质的概况如下：

1. 生活飲用水——由于天然水的組成复杂，就可能有各种有害于人体健康的細菌（如伤寒、霍乱、痢疾等）。这种水如不經消毒，則将引起傳染病的傳播，从而会严重地影响人民羣众的健康。天然水中的某些化学成分也会引起各种病症，例如水中氯化物的含量太多，会引起斑齿病，如果水中所含碘化物不足，会引起甲状腺肿大等。

2. 工业生产用水——几乎任何一种工业生产都是离不开水的，用水的数量也很大，例如生产一吨报纸需水約200吨。工业生产对水质的要求往往很高，否則将会造成很大損失。例如紡織工业或人造絲工业，如果采用了硬水，在生产过程中不仅浪费大量的化学药品（如肥皂、染料、苏打等），而且影响产品质量。在重工业方面，水质要求也是严格的，例如高炉的冷却水如含有大量的悬浮物，就会造成事故，給生产带来損失。

3. 生活污水及工业廢水——随着生产力的发展，人民生活水平的提高，工业廢水及生活污水的数量也相应地增加了。这些含有各种有害物质的污水必須經過适当的处理。过去是消极地以“排放为主”。1958年大跃进以来，广泛地开展了綜合利用，变有害为有利的研究工作，已取得了若干成就。在具备一定的条件，并能解决污水的卫生問題时，首先考虑用污水灌溉农田，使污水变为促进农业生产的水源和肥源，并經過农田中的生物化学作用，把有害的污水变为无害。

要搞好給水排水工程，首先要进行調查研究及系統的分析。毛主席教导我們“要解决問題，还須作系統的周密的調查工作和研究工作，这就是分析的过程。”^①“大家明白，

① “毛泽东选集”第3卷，人民出版社1953年第二版，第840頁。

不論做什么事，不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事。”^① 在进行给水排水工作时，首先要了解水的情况。例如当采用污水进行灌溉时，首先要分析污水中究竟有哪些农作物所需要的肥分，还要了解污水中有哪些对植物和人类有害的物质。对有用者要充分利用，对有害者要设法清除。又如当选择一个供水的水源时，必须在调查研究有关水体的水质情况后，才能作出合理的判断。当对原水进行净化时，也必须根据水源的水质和供水水质要求来确定合理有效的处理方法。所以说“水分析及水微生物学”是我们进行调查研究的耳目，是给水排水工作者所不可缺少的基本知识。

“水分析及水微生物学”主要是介绍各种水的物理和化学性质，以及这些物理和化学指标的测定方法。同时还要讲述在水的综合利用及处理过程中要遇到的水微生物，介绍这些微生物所起的作用以及检验它们的方法。通过本门课程的学习要达到以下几个目的：

1. 为进一步学习“给水工程”和“排水工程”打下理论和实验基础。

2. 掌握一般的水质分析的方法。

3. 培养学生独立进行调查研究及科学实验的初步能力。

学习本课程时，要特别注意理论联系实际。只有通过对各种水的实际观察和分析，才能系统和牢固地掌握所学到的知识。因此，实验课是本门课程的重要环节，必须予以充分重视。

● “毛泽东选集”第1卷，人民出版社1952年第二版，第163—164页。

第一篇 水 分 析

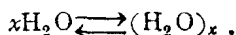
第一章 水质概論

1-1 水的化学組成及性质

“化学純粹”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，純水的凝固点为 0°C ，沸点为 100°C ，在溫度 4°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°C 时水具有最大的密度，超过或低于此溫度时，水的体积就会膨胀①。

当水由元素形成时，是由一个体积的氢和两个体积的氧化合而成，它的重量組成是 11.11% 的氢和 88.89% 的氧。由此可知水的最簡單的化学式为 H_2O ，在高溫时按水蒸汽的密度所測得的水的分子量为 18，正好与 H_2O 的分子式相符。液态水除含有簡單的水分子 H_2O 外，同时还含有由簡單水分子結合而成的較复杂的水分子 $(\text{H}_2\text{O})_x$ ，其中 $x=2, 3, 4, \dots$ 等，它們处于平衡状态：



以上这种由簡單分子結合成比較复杂的分子，而并不引起化学性质改变的現象叫做“締合”。

① 水凝固时密度減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（冰比水輕），在冬季自然界的水結冰后，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結冰，因而使水中生物仍能生存。

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，

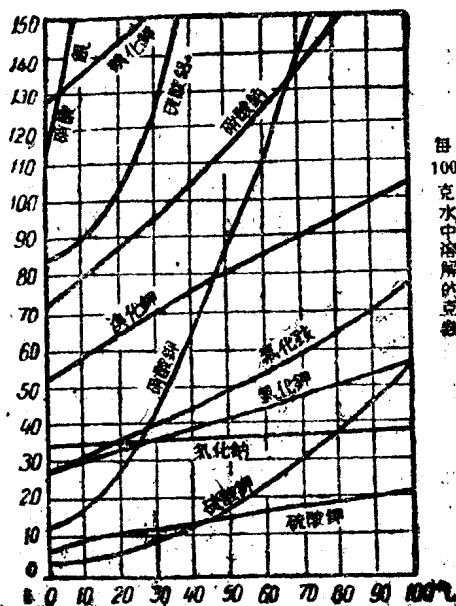


图 1-1 若干盐类的溶解度曲线

NaCl的溶解度增加較慢，而 KNO_3 則增加很快。但也有一些固态物质，它們的溶解度随溫度的上升而下降，硫酸鈣与石灰就是这样的例子（见图1-2）。

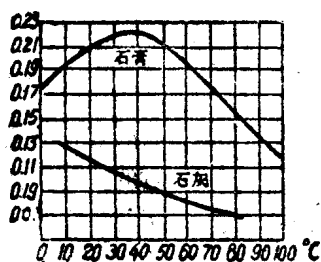


图 1-2 CaSO_4 与 CaO 的溶解度曲线

面水及地下水三类。

一、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。当它們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純淨的。由空气中水蒸汽凝結而成的雨水及冰雪似乎是最純淨的了，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純淨，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氣的淨洁程度。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：

气态物质在水中的溶解度随溫度的升高而减小。

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

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 ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻
我国某地雨水	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

二、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貯水池,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、河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也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礫,以后由于空气、水及温度的变化使土礫愈来愈粉碎,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，例如当工业废水和生活污水不经过适当处理而流入江河，或是轮船的航行，以及鱼场、游泳池的设置等情况均将使江河的水质起一定变化，有时会影响附近的环境卫生。

表1-2列出若干城市附近地面水的水质分析数据。

表 1-2 我国某些江河水质分析数据
(除硬度及pH外，单位为毫克/升)

	浑浊度	pH	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁺	NH ₄ ⁺	耗氧量	硬度
上海黄浦江某年90— 平均水质	140	7.1— 7.3	18—34	0.012 —0.05	0.01— 0.06	0.23— 0.27	2.0— 3.5	14— 18°
天津西河河水平 均水质	100— 1500	8.0— 8.2	20—46	0.002 —0.02	0.24— 4.0	0— 0.02	2—5	8—14°
哈尔滨松花江江 水水质	280	6.8	6.38	—	—	—	6.8	4°

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、地理地质因素有关，因此各个湖水的化学成分在很大范围内各不相同，有些湖水所含矿物质极少，但有一些湖水却具有很大的硬度及很高的含盐量。一般讲，尤其是大的湖泊，湖水的化学成分很少随季节的变化而改变；但要指出，在夏季时由于湖水温度较高，水中藻类植物繁殖茂盛，因而使湖水具有很大的色度，此外又由于植物的光化作用，湖水上一层的二氧化碳为植物吸收，因而二氧化碳含量减少，氧的含量增多，在冬季时恰与此相反。

我国幅员广大，有漫长的海岸线。沿海地区在必要时，可利用海水作水源，或者将污水不经处理而直接排入海中稀释。海洋水与大陆地表水相比，其差别在于海洋水的化学成分很稳定，尤其是水中盐类成分之间的比例关系。海水中盐类的含量平均每公斤水中约为35克，即每一升中约为35.7克（海水的比重 $d = 1.02$ ）。从下列数字中可以看出各种不同的海洋水的平均矿化度几乎都是一致的：

大西洋	35.4克/公斤
太平洋	34.9克/公斤
印度洋	34.8克/公斤

必须注意，在个别的靠近海岸的地方，由于水质受到大陆水流入的影响，往往与海洋水的平均成分（无论是总矿化度或是盐类成分之间的比例关系）有很大的差别。

已经证明，在海水中存在有30多种不同的元素，其中包括有：银、金、砷等，但浓度都很微。海水中盐类成分的基本部分是由 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 Cl^- 、 SO_4^{--} 和 HCO_3^- 七种离子组成，这些离子也是组成大陆地表水和地下水盐类成分的基本部分。但是，大陆淡水中碳酸氢盐平均占盐类总量的60%左右，氯化物盐类一般少于10%，可是海水中碳酸盐

則仅占全部盐类的0.3%，而氯化物盐类約为80%。

三、地下水

地下水主要是由于雨水渗入地层以及地面水通过河床渗入地层而成。当雨水或地面水渗入地层时，沿途就溶解了各种物质，所以在井水、泉水中总含有許多矿物质，一般讲地下水所含矿物质較多，硬度較大，但另一方面雨水或地面水通过土壤时，滤去了水中原有的尘埃、細菌等杂质，因此地下水在物理性质方面是比較清彻透明，很少含有悬浮物，尤其是深层地下水几乎不含細菌，取出后一般加氯后即可直接飲用。

表 1-3 天然水中一般所含的杂质

天然水中的杂质	悬浮物质	細菌——有致病的以及与人体健康无妨的。	
		藻类及原生动物——嗅味、色、渾浊。	
		泥砂、粘土——渾浊。	
	胶体物质	其他不溶物质。	
		溶胶——如硅酸胶体等。	
		高分子化合物——如腐植质胶体等。	
	溶解物质	钙、鎂	醇式碳酸盐——碱度、硬度。
			碳酸盐——碱度、硬度。
			硫酸盐——硬度。
			氯化物——硬度、腐蝕性味。
		鈉	醇式碳酸盐——碱度。
			碳酸盐——碱度。
			硫酸盐——鍋炉内汽水共騰。
			氯化物——致病。
盐类		氯化物——味。	
		铁盐及錳盐——味、硬度、腐蝕金屬。	
		氧——腐蝕。	
气体	二氧化碳——腐蝕、酸度。		
	硫化氫——腐蝕、酸度、臭、味。		
	氮。		
	其他有机物质。		

从上面讲的事实来看，天然水中除了含有各种可溶性的