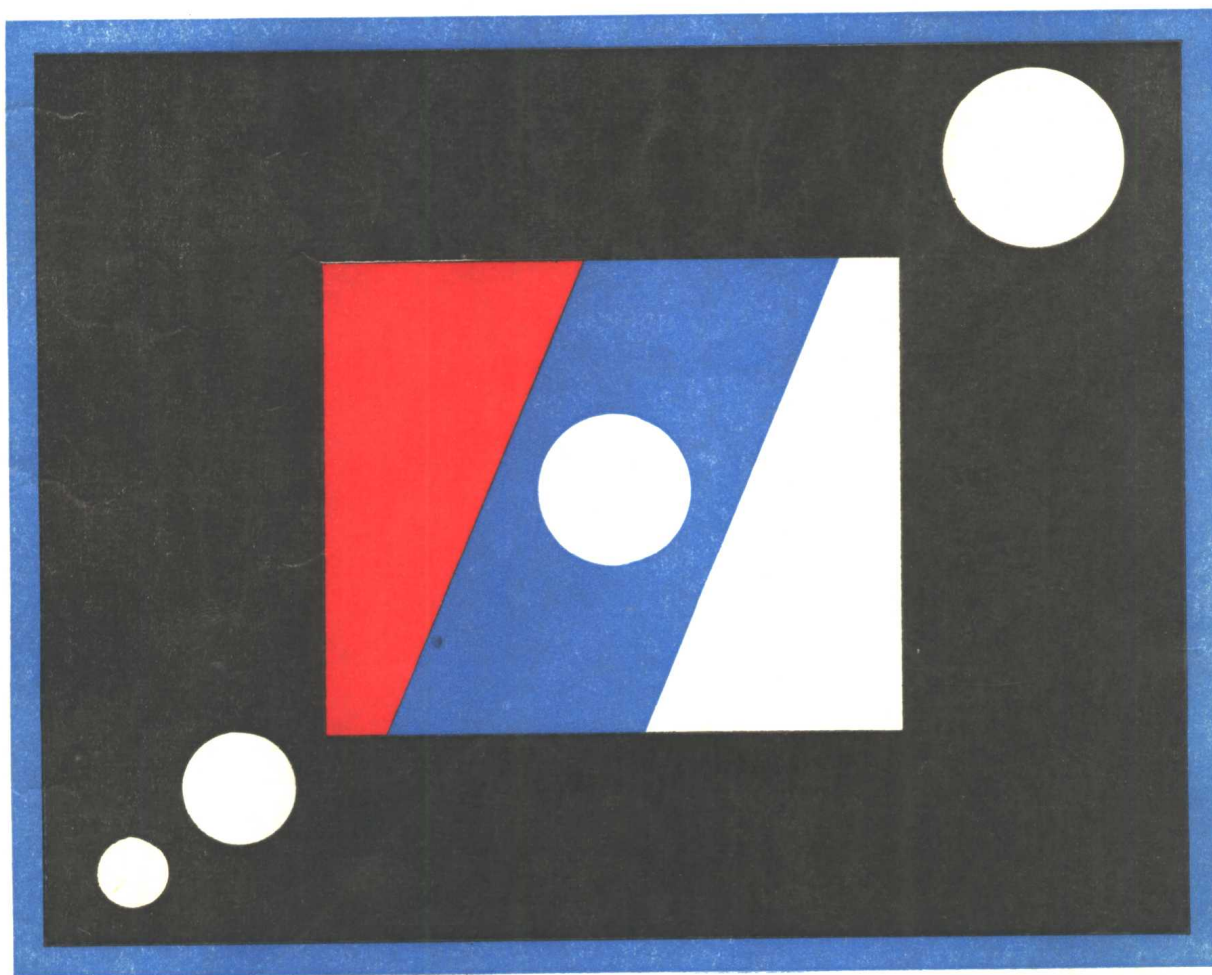




水和废水 监测分析方法指南

上册

《水和废水监测分析方法指南》编委会 编



中国环境科学出版社

水和废水监测分析方法指南

上册

《水和废水监测分析方法指南》编委会 编

中国环境科学出版社

1990

内 容 简 介

本书系统地介绍了各类水质中的金属、非金属、有机污染物分析的背景材料；监测分析方法及其原理、研究进展情况；实验的关键技术、边界条件；可能存在的干扰及消除方法；掩蔽及解蔽技术等。重点介绍了在《水和废水监测分析方法》一书中不便详细叙述的有关项目，旨在帮助从事水质科研和监测的工作者能更好地理解与掌握书中所列的各种分析测试技术与方法。

可供环保、化工、卫生、水电部门和各工矿企业的环境监测分析人员、科研人员及大专院校有关师生使用。

水和废水监测分析方法指南

上 册

《水和废水监测分析方法指南》编委会 编

责任编辑 吴淑岱

*

中国环境科学出版社出版

北京崇文区北岗子街8号

北京印刷一厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1990年12月第1次印刷 开本 787×1092 1/16

1990年12月第一次印刷 印张 29 1/4

印数 精 1—2000 字数 786千字
平 1—9000

ISBN 7-80010-786-3/X·421(精)

定价:16.00元

ISBN 7-80010-500-8/X·275(平)

定价:12.00元

前 言

在国家环保局的领导下,经过全国各部门 120 余个单位的共同努力,《水和废水监测分析方法》第三版已经和广大读者见面了,那是一本水质监测的统一操作规程。在推荐的 200 余个方法中,包括了 60 多个国家水质标准分析方法和百余个统一分析方法。为了使从事水质科研监测的工作者能更好地理解与掌握书中所列的各种分析测试技术与方法,我们组织了部分有丰富实践经验和一定理论基础的专家编写了这本水质监测分析方法注释性的读物——《水和废水监测分析方法指南》。对《水和废水监测分析方法》操作规程中不便详细叙述的有关项目的背景材料、监测方法评价、研究进展、方法原理、实验的关键技术、边界条件、可能存在的干扰及消除方法等均作了系统介绍,尽量从纵横两个方面提供详实的资料,以便扩大我们的知识视野。希望这本书能为监测科研工作者在研究和解决他们实际工作中的问题提供一些思路和方法,同时在培训、提高监测科研人员的业务素质与水平方面,本书亦可作为一本实用性的教材。

这本“指南”计划分上、下两册出版。上册包括了水质常规监测的 21 个项目,是以化学分析方法为主的,同时还将水质监测中经常遇到的一些共同性的技术问题,如水质分析概述、分光光度及其在水质分析中的应用、掩蔽与解蔽技术、分离与富集技术、有机试剂等,分章作了简明扼要的论述。参加上册编写的作者有 15 人,均在相应各章署名,以便读者和作者直接联系,共同探讨有关的问题。全书由魏复盛、沈叔平、陈赋杏同志进行整编和审定。由于编著者的水平、时间和条件限制,征求意见又不够广泛,因此本书可能有不少缺点或不妥之处,望广大读者批评指正。

下册将主要介绍仪器监测技术和有机污染物的测定方法。

魏复盛

1989 年春于北京

《水和废水监测分析方法指南》编委会

主 编	魏复盛	中国环境监测总站
编 委	洪水皆	中国科学院生态环境研究中心
	寇洪如	北京市环境监测中心
	沈叔平	杭州市环境监测中心
	陈赋杏	中国环境监测总站

目 录

第一章 水质分析概述	魏复盛(1)
一、水的化学成分	(1)
二、水质监测分析方法	(6)
三、水样的保存技术.....	(22)
四、水样的过滤.....	(31)
五、水质分析结果的评价.....	(36)
参考文献	(43)
第二章 砷	汪炳武(45)
一、概述.....	(45)
二、二乙基二硫代氨基甲酸银光度法.....	(45)
三、新银盐光度法.....	(47)
参考文献	(52)
第三章 镉、铅、锌	沈叔平(53)
一、概述.....	(53)
二、镉的测定.....	(54)
三、铅的测定.....	(56)
四、锌的测定.....	(57)
参考文献	(60)
第四章 铬	尚邦懿(61)
一、概述.....	(61)
二、水样的采集与保存.....	(62)
三、分离与预处理技术.....	(62)
四、分光光度法测定六价铬.....	(66)
五、分光光度法测定总铬.....	(68)
六、容量法测定总铬.....	(71)
参考文献	(71)
第五章 铜	丘星初(72)
一、概述.....	(72)
二、水样的保存与预处理技术.....	(73)
三、分离和富集.....	(74)
四、铜试剂-四氯化碳萃取光度法	(74)
五、新亚铜灵萃取光度法.....	(77)

参考文献	(79)
第六章 汞	吴乾丰(81)
一、概述	(81)
二、监测方法简述	(81)
三、样品的采集、保存及预处理技术	(83)
四、推荐的几个监测分析方法	(86)
参考文献	(94)
第七章 硒	孙淑庄(96)
一、概述	(96)
二、各种监测分析方法的简要评述	(96)
三、水样保存及预处理技术	(97)
四、分析方法	(98)
参考文献	(102)
第八章 氟化物	周珠凤 沈叔平(104)
一、概述	(104)
二、监测分析方法简述	(106)
三、样品采集、保存及预处理技术	(106)
四、常用的测定方法	(110)
参考文献	(116)
第九章 氟化物	王素芳 魏复盛(117)
一、概述	(117)
二、水样预处理技术	(120)
三、电极法	(122)
四、氟试剂(ALC)光度法	(127)
参考文献	(131)
第十章 氨氮	滕恩江 丘星初(133)
一、概述	(133)
二、方法的选择	(135)
三、水样的保存	(136)
四、样品预处理技术	(136)
五、纳氏试剂比色法	(137)
六、水杨酸-次氯酸盐比色法	(141)
参考文献	(147)
第十一章 凯氏氮	沈叔平(150)
一、概述	(150)
二、凯氏氮测定法	(150)
参考文献	(153)
第十二章 硝酸盐氮	沈叔平(154)
一、概述	(154)

二、分析方法简介	(154)
三、镉柱还原法	(155)
四、紫外分光光度法	(160)
五、酚二磺酸分光光度法	(161)
参考文献	(166)
第十三章 亚硝酸盐氮	沈叔平(168)
一、概述	(168)
二、样品的采集与保存	(168)
三、分析方法简介	(168)
四、对氨基苯磺酸- α -萘胺法	(169)
五、对氨基苯磺酰胺-萘乙二胺法	(171)
六、亚硝酸钠标准贮备液的稳定性	(176)
参考文献	(176)
第十四章 磷-磷酸盐	陈正夫(177)
一、概述	(177)
二、监测分析方法的评述	(177)
三、样品的采集、保存及预处理技术	(180)
四、总磷质控样的配制	(181)
五、过硫酸钾-钼蓝法	(182)
参考文献	(193)
第十五章 pH 值	董淑英(195)
一、概述	(195)
二、关于 pH 的定义及说明	(195)
三、测定方法	(196)
四、测量 pH 值的电极系统	(197)
五、pH 电位计	(201)
六、试剂	(202)
七、测量中应注意的问题	(202)
参考文献	(202)
第十六章 硫化物	沈叔平(203)
一、概述	(203)
二、监测分析方法简介	(203)
三、样品的预处理技术	(203)
四、碘量滴定法	(205)
五、亚甲蓝比色法	(207)
参考文献	(213)
第十七章 五日生化需氧量	沈叔平(215)
一、概述	(215)
二、BOD 测定方法的进展	(216)

三、水样的保存	(217)
四、标准稀释法 BOD ₅ 的测定	(218)
参考文献	(224)
第十八章 化学需氧量和高锰酸盐指数	尹涌(225)
一、概述	(225)
二、重铬酸钾法	(230)
三、高锰酸钾法(高锰酸盐指数测定法)	(235)
四、COD _{Cr} 和 COD _{Mn} 的相关关系	(238)
参考文献	(240)
第十九章 挥发酚	沈叔平(241)
一、概述	(241)
二、含酚水样的保存	(243)
三、样品的预处理技术	(243)
四、溴化容量法	(245)
五、4-氨基安替比林法	(247)
参考文献	(253)
第二十章 光度分析法及其在水质分析中的应用	洪水皆(254)
一、历史发展简介	(254)
二、基本原理	(254)
三、光电仪器的结构与性能	(262)
四、国内外常见的分光光度计简介	(264)
五、几种典型的光学线路图	(275)
六、分光光度计的调试及其附件的使用	(278)
七、分光光度技术的进展	(281)
八、光度法在水质分析中的应用	(283)
参考文献	(307)
第二十一章 分析测定中的隐蔽和解蔽	洪水皆(316)
一、引言	(316)
二、隐蔽作用的一般原理	(316)
三、隐蔽和解蔽反应的类型	(318)
四、隐蔽剂的选择原则	(324)
五、常用的隐蔽剂	(331)
六、在分析中的应用	(343)
参考文献	(360)
第二十二章 水样的预分离和预富集	寇洪如(366)
一、水样中有机物的分解	(367)
二、挥发分离与冷冻浓缩	(370)
三、溶剂萃取	(376)
四、离子交换分离法	(386)

五、沉淀与共沉淀分离	(395)
参考文献	(405)
第二十三章 水质分析常用有机试剂 沈叔平	(408)
一、双硫脲	(408)
二、二乙基二硫代氨基甲酸钠	(417)
三、二乙基二硫代氨基甲酸银	(423)
四、吡咯烷二硫代甲酸铵	(423)
五、邻菲罗啉	(425)
六、新铜试剂	(426)
七、二苯碳酰二肼	(427)
八、丁二酮肟	(429)
九、甲醛肟	(432)
十、铜铁试剂	(433)
十一、铬天菁 S	(435)
十二、铬菁 R	(440)
十三、二氨基联苯胺	(441)
十四、氟试剂	(442)
十五、罗丹明 B	(444)
十六、红紫酸铵	(445)
十七、吡啶啉酮	(446)
十八、铬黑 T	(447)
十九、4-氨基安替比林	(449)
二十、对-氨基二甲基苯胺	(450)
二十一、乙二胺四乙酸二钠盐	(450)
二十二、铀试剂 III	(451)
二十三、2-(5-溴-2-吡啶偶氮)-5-二乙氨基苯酚	(453)
二十四、2-(3,5-二溴-2-吡啶偶氮)-5-二乙氨基苯酚	(454)
二十五、镉试剂 2B	(455)
二十六、铍试剂 III	(456)
二十七、二氨基萘	(456)
参考文献	(457)

第一章 水质分析概述

魏复盛

本章介绍容易被水质实验室分析化学工作者忽视的一般性问题。可以把这些叙述看作是水质分析的背景材料和普遍存在的技术问题,掌握并运用这些知识或许对分析化学工作者拓宽思路、解决实际问题有所帮助。

一、水的化学成分

(一) 水体及其监测分析

水体是指地表被水覆盖地段的自然综合体,它不仅包括水,而且还包括水中的悬浮物、底质和水生生物。对于一个水体的监测分析及综合评价,应包括水相(水溶液本身)、固相(悬浮物、底质)、生物相(水生生物),才能得出准确而全面的结论。例如某些重金属的污染进入水体,会很快水解沉淀而转入底质中,而水溶液中重金属的浓度并不高。从底质重金属含量的变化可以了解一个水体污染的历史过程和污染程度,图 1-1 是古老底质和近代底质分析结果的比较,很显然,近代底质中受人为污染的重金属铬和有机碳增高了。又如众所周知的水俣病发生地水俣湾,当时监测分析水中汞浓度极低,甲基汞是通过生物的食物链而逐渐富集的,即通过水→藻类→飞鳉→鱼贝这条食物链的富集作用,最后在鱼贝体中,甲基汞富集了上万倍,渔民吃鱼造成甲基汞中毒。

水生生物对污染物的富集系数为:

$$\text{生物富集系数} = \frac{\text{生物体中污染物浓度}}{\text{水中污染物浓度}}$$

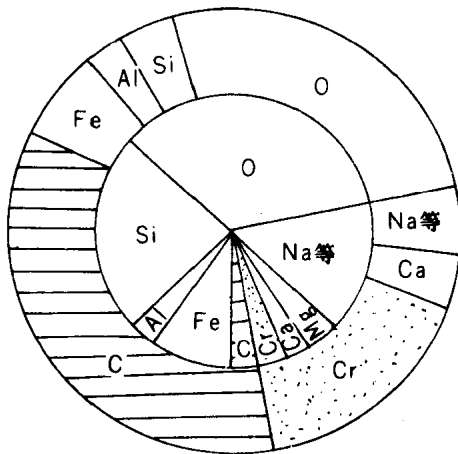


图 1-1 河流底质元素含量

表 1-1 是常见水生物对几种重金属的平均富集系数,由表 1-1 可见,生物相的监测分析对了解水体受重金属污染具有十分重要的意义。再如有机氯杀虫剂、多环芳烃致癌物的污染,由于这些污染物难溶于水,因此进入水体后很快沉淀转移到底质中,而且还因为它们是脂溶性的,亦易被生物体所富集。如果仅取水样监测分析是不易发现它们的,取底质和生物监测分析就比较容易发现它们了。

表 1-1 常见生水生物对重金属的富集系数^[1]

元素	淡 水			海 水		
	淡水藻	无脊椎动物	鱼 类	藻 类	无脊椎动物	鱼 类
Cr	4×10^3	2×10^3	2×10^2	2×10^3	2×10^3	4×10^2
Co	10^3	1.5×10^3	5×10^2	1.0×10^3	10^3	5×10^2
Ni	10^3	10^2	4×10	2.5×10^2	2.5×10^2	10^2
Cu	10^3	10^3	2×10^2	10^3	1.7×10^3	6.7×10^2
Zn	4×10^3	4×10^4	10^3	10^3	10^5	2×10^3
Cd	10^3	4×10^3	3×10^3	10^3	2.5×10^5	3×10^3
As	3.3×10^2	3.3×10^2	3.3×10^2	3.3×10^2	3.3×10^2	2.3×10^2
Hg	10^3	10^5	10^3	10^3	10^5	1.7×10^3

水与悬浮物、底质及水生生物之间所含污染物质会相互传输和迁移,水中污染物转入底质,而底质又会成为水的二次污染源。例如某地运河水中氨氮、硫化物超标,水质发臭,经对排放工厂的治理,排水都已达标,而运河水中氨氮、硫化物仍然超标。究其原因是底质有机物污染严重,在厌氧菌作用下,底质不断向水中释放出这类物质的缘故。

此外,水质的污染还会影响到水生生物种群结构和数量的改变,反过来水生生物的这种变化又能综合说明水质的好坏。

(二) 水资源及其保护

地球上存在水的总量估计为 13.7×10^9 亿 m^3 ,海水占 97.3%,淡水占 2.7%。淡水不仅比例小,而且大部分存在于地球南北极的冰盖、冰河及深度在 750m 以上的地下水中。水在地球上的分布见表 1-2。可利用的淡水资源只是河流、湖泊及地下水的一小部分,不到总量的 1%。整个地球年降水量大致为 $4 \times 10^{14} m^3$,其中 1/4 降在陆地上。

表 1-2 地球上水的分配比

地球上水的分配(%)		地球上淡水的分配(%)	
海水	97.4	冰盖、冰河	77.2
淡水	2.7	地下水、土壤水	22.4
		湖泊、沼泽	0.35
		大气	0.04
		河流	0.01

水不仅和人们的生活密切相关,而且许多工矿企业、农牧渔业、水上运输和旅游事业的发展都受到水资源的制约。我国是水资源比较缺乏的国家,人均占有量为 $2700 m^3$,低于世界上多数国家。水资源在全国的分布很不均匀,华北、西北地区严重缺水,为半干旱和干旱地区;一年的降水量季节变化很大,夏季多雨,冬春少雨多干旱。保护仅有的水资源不受污染是环境保护最重要任务之一。

水的用途不同,对水质的要求也各异,我国政府已制订并颁布了海水、地面水、饮用水、渔业用水、农田灌溉用水、工业废水及某些行业排放废水的控制标准。加强水质监测,认真贯彻执行这些标准,无疑对保护我国的水资源有十分重要的作用。

(三) 水的化学组成

自然界存在的水并不是理论上的 H_2O ,实际上是溶解有各种无机物和有机物的水溶液,此外还含有悬浮颗粒物、微生物等。河流、湖泊、地下水中的化学物质的来源可分为天然的和人为污染的两个方面,大体上有以下一些渠道^[2]:

(1)地面水溶解大气中的各种气体如 CO_2 、 SO_2 、 SO_3 等。

(2)降水净化了大气,同时将大气中的尘粒、污染气体转移到水中。另外海风海雾挟带着海盐粒子吹到大陆,使沿海或海岛降水中 $NaCl$ 和 $MgCl_2$ 浓度比内陆降水要高得多。

(3)地面水、地下水与岩石、土壤接触,溶解了其中的可溶性成分。

(4)现代工农业生产活动及人类的生活活动向水体排放了许多污染物质,这些污染物质有①耗氧性污染物(有机物和还原性无机物);②植物营养物(含氮、磷、钾、碳的无机、有机污染物),会造成水体富营养化;③石油类;④有毒有机污染物(如酚、卤代烃、氯代苯、有机氯杀虫剂、有机磷杀虫剂等);⑤有毒无机物(如氰化物、硫化物、重金属等)。这些污染物进入水体,其浓度超过了水体本身的自净能力,就会使水质变坏,进而影响到水质的可利用性。

地表水和地下水中的主要化学成分是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 和 SiO_3^{2-} ,即所谓八大基本离子。表 1-3 是我国几个水系断面监测结果。不同水系水化学成分的浓度是大不相同的,而且一年四季随着气候和地表径流量而呈规律性的变化。一般是夏季雨多径流量大,似有“冲稀”作用,各成分浓度较低;冬季枯水期,径流量减小,各成分浓度增加。图 1-2 是长江水系武汉断面水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、电导率的变化曲线,说明了这种变化趋势。

表 1-3 三条水系基体成分浓度范围值(mg/L)^[3]

成 分	长江武汉段	黄河济南段	珠江高要段
Ca	31.4~38.7	32~86.0	1.6~3.4
Mg	5.7~8.4	19.4~30.2	1.0~1.5
Na	4.2~8.2	53.8~83.7	2.7~6.5
K	1.4~1.8	1.4~3.3	2.1~4.1
Cl	4.3~9.8	46.2~89.1	2.8~3.6
SO_4^{2-}	13.4~25	80~142	<5~9.3
HCO_3^-	85.4~148	151~247	78.3~140.3

地表水还含有数十种痕量成分,我国松花江水系和洞庭湖水系在未受污染或受污染很轻时,过滤水元素的环境背景值见表 1-4,多数元素浓度在 ppt~ppb 量级。实际上环境水的水质标准比其背景值含量要高得多。

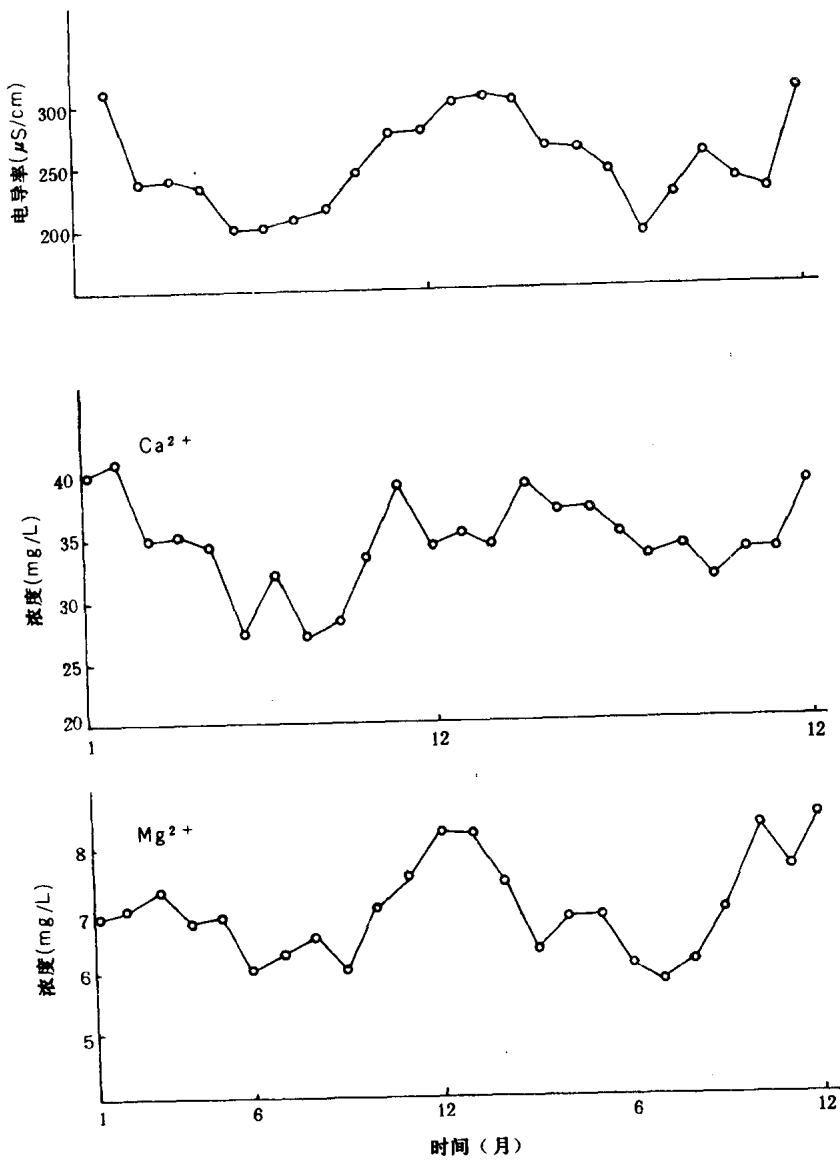


图 1-2 长江水武汉断面水质的月间变化^[3,4]

表 1-4 松花江水系、洞庭湖水系过滤水元素背景值($\mu\text{g}/\text{L}$)^[5]

元 素	松花江水系		洞庭湖水系	
	含量范围	均值(或中位值)	含量范围	均值或中位值
Hg	<0.01~0.136	0.016	0.0045~0.455	0.025
Cd	0.011~0.550	0.050	0.004~0.460	0.060
As	<0.3~2.10	0.32	0.10~3.90	0.90
Cr	0.11~1.66	0.71	0.15~2.93	0.89
Pb	<0.21~5.35	0.84	0.12~6.50	1.00

续表

元 素	松花江水系		洞庭湖水系	
	含量范围	均值(或中位值)	含量范围	均值或中位值
Cu	0.032~3.38	1.26	0.02~13.9	1.00
Zn	<0.27~19.2	2.90	2.0~16.0	4.00
Ni	0.38~3.95	1.28	0.10~1.12	0.38
Fe	<50~1080	80	3~180	32.0
Mn	—	—	1.0~36.0	4.0
F ⁻	<50~2600	134	—	—
Co	0.03~0.19	0.12	0.018~0.149	0.05
Sb	0.05~0.31	0.11	0.10~0.84	0.20
Ag	0.02~0.029	0.026	0.02~0.08	0.05
Rb	0.4~6.7	1.7	0.75~4.7	1.6
Cs	0.014~0.34	0.043	0.0145~0.165	0.05
Sc	0.003~0.07	0.011	0.0012~0.008	0.0046
Hf	0.004~0.05	0.018	0.003~0.01	0.004
Sr	8~250	68	6.06~264.7	40
Ba	2~38	18	1.53~39.3	15.4
Se	0.01~0.28	0.11	0.03~0.127	0.05
U	0.02~6.7	0.12	0.015~1.150	0.13
Th	0.004~0.027	0.016	0.028~0.458	0.21
Mo	0.2~3.4	0.95	0.019~0.463	0.22
La	0.05~0.64	0.14	0.02~0.144	0.03
Ce	0.05~0.47	0.16	0.01~0.20	0.10
Nd	0.03~0.80	0.40	0.13~1.82	0.48
Sm	0.002~0.07	0.023	0.0058~0.0262	0.010
Eu	0.001~0.045	0.008	0.001~0.007	0.003
Tb	0.002~0.05	0.007		
Yb	0.005~0.08	0.017	0.0014~0.0102	0.0058
Lu	0.001~0.032	0.003	0.001~0.004	0.002

海水含主要元素是 Cl、Na、Mg、S、Ca、K、Br 等,其余 30 多个元素的平均含量多在 ppm 以下,有些元素的浓度也是在 ppt~ppb 量级,如表 1-5 所示。

工业废水和生活污水是在被利用水资源基体成分的基础上,增加了某些污染物质的含量,情况千差万别。监测分析人员在作污染调查时,必须充分了解所测水样的性质及含污染物的种类和数量。只有把握了被监测分析水质的化学成分,我们才能估计各个监测分析方法的适应性,以便正确地加以选择;同时根据资料我们才可能判断测定结果是否合理。

表 1-5 海水中各元素的含量(未表明单位者为 ppb)^[6]

元 素	浓 度	元 素	浓 度
Cl	1.89%	Cs	0.5
Na	1.15%	Cu	2
Mg	0.13%	Fe	10
S	928ppm	Hg	0.3
Ca	400ppm	Ga	0.03
K	380ppm	I	3
Br	65ppm	Li	0.17
Sr	8.5ppm	Mn	2
B	4.5ppm	Mo	0.1
Si	3ppm	Ni	2
F	1.1ppm	P	70
Rb	0.12ppm	Pb	0.03
Ba	0.03ppm	Ra	2×10^{-8}
Al	0.01ppm	Re	0.01
Ag	0.04	Ru	0.007
As	2	Sc	0.04
Au	0.004	Sn	0.8
Be	0.0006	Ti	1
Cd	0.1	V	2
Ce	0.001	W	0.1
Co	0.1	Zn	5
Cr	0.05	Zr	0.026

二、水质监测分析方法

(一) 选择分析方法的原则

选择水相、生物相和沉积相化学成分或污染物质的分析方法时,一般应考虑以下因素。

1. 方法的灵敏度能满足定量的要求

欲测定低浓度的成分,要求方法的灵敏度要足够高,其最低检出浓度最好是待测物实际浓度的 1/5~1/10,这样才能准确定量。相反,对于高浓度的成分,应选择不太灵敏的化学方法,这样就可以避免高倍数稀释操作而引起大的误差。

2. 方法的抗干扰能力要强

方法的选择性好,不但可以省去共存物质的预分离操作,而且能提高测定的准确度。但是完全没有干扰的、特效的分析方法是很少的,问题是要透彻了解分析对象的共存成分和含量水平,以及到多大浓度才对待测成分产生干扰,并了解消除这些干扰的正确方法。

3. 方法稳定、操作简便

要求分析方法的操作条件不苛刻,否则实验难于重现,难于得到精密度与准确度良好的测定结果。

4. 方法易于普及

所用试剂易得,所用仪器价格不贵,分析成本较低,各基层实验室都有可能采用。换句话说,选择方法要适合自己实验室条件。

5. 试剂无毒或毒性较小

方法所用试剂无毒或毒性较小,尽量要避免或减少对实验室及环境的二次污染。由于现时技术水平所限,不能同时满足这几个条件,那只有按相对标准“择优录用”了。

(二) 水质监测常用的分析方法

虽然水质各项的监测有向仪器方法发展的趋势,但是水质的常规分析还是以化学方法为主,表 1-6 是水质监测中常用的分析方法。

1. 化学法

化学分析方法包括重量法、容量滴定法(沉淀滴定、氧化还原滴定、络合滴定和酸碱滴定)和光度法(比浊法、比色法、紫外及可见分光光度法等)。目前这些方法在国内外水质常规监测中还普遍采用,占了各项目方法总数的 50%以上,见表 1-7。化学法是基础,绝对不可轻视它的地位和作用。

表 1-6 水质监测常用分析方法的种类

方法名称	测定成分举例
重量法	悬浮物、可滤残渣、矿化度、油类、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 等
容量法	酸度、碱度、 CO_2 、溶解氧、总硬度、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ -N、 Cl^- 、 F^- 、 CN^- 、 SO_4^{2-} 、 S^{2-} 、 Cl_2 、COD、 BOD_5 、挥发性酚等