

全国高等农业院校教材

土壤农化分析

(第二版)

南京农业大学主编

土壤农化专业用

农业出版社



全国高等农业院校教材

土壤农化分析

(第二版)

南京农业大学主编

(京)新登字060号

全国高等农业院校教材
土壤农化分析(第二版)

南京农业大学 主编

* * *

责任编辑 徐蒲生

农业出版社出版(北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 北京密云县印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 25.25印张 529千字
1981年5月第1版 1992年10月第2版北京第3次印刷
印数 6,401—10,600册 定价6.50元

ISBN 7-109-00371-X/S·269

第二版前言

根据农牧渔业部57号文件通知的精神，关于1984年修订20门农业通用教材的通知，其中有全国高等农业院校试用教材《土壤农化分析》由南京农业大学史瑞和主持再版。于1984年10月在南京农业大学召开了教材修订大纲讨论会，参加讨论会的有南京农业大学、沈阳农业大学、北京农业大学、西北农业大学、华南农业大学、浙江农业大学、西南农业大学、华中农业大学等八所兄弟院校有关同志十三人，经充分讨论、协商确定了修订大纲。根据农牧渔业部要求编写人员不能太多的指示，最后商定了参加编写的人员与分工如下：南京农业大学史瑞和（前言，修改审定），鲍士旦〔第二、三、五、六、十九（1—3节）章〕，秦怀英〔第一、十一、十二、十九（4节）章〕；沈阳农业大学劳家桢（第十三、十四、十五、十六章）；西北农业大学安战士（第八、九、十章）；华南农业大学游植麟（第七、十七、十八章）；浙江农业大学余允贵（第四章）。初稿写成之后，互相交流审阅，又于1985年11月在南京召开了编写者会议，在会上相互提出修改意见。修改稿于1986年3月底全部寄到南京农业大学，后经鲍士旦整理（其中第十章由秦怀英整理），最后由史瑞和校阅审定。

再版时，土壤分析内容，变动不大；植物分析部分则有所加强，由于经济发展的需要，农产品品质分析增加了新的内容，肥料分析部分有所压缩，好在无机肥料成分单纯，分析方法一般以部颁方法为主。

当前由于现代分析仪器的应用，测试的精密度和速度有了很大的提高，因此要求学生既要熟悉和掌握土壤农化分析的基本原理和操作技术，又要学会使用现代分析仪器。但鉴于各校已单独开设仪器分析课，再版时，仪器分析部分，仅去掉吸收光谱分析的一般原理及其应用一节，增加了极谱分析的基本原理。

再版在章节安排方面作了新的尝试，章节用数目字表示，以利于翻阅。单位和符号也作了统一规定，以保持全书的一致性。

由于土壤农化分析内容广泛，而编者水平有限，本书还有不少缺点和错误，热忱地希望采用这本教材的老师和同学多多提出意见，以便日后修订。

编者

1986.3

第二版修订者

主 编 史瑞和 (南京农业大学)
编写者 鲍士旦 (南京农业大学)
秦怀英 (南京农业大学)
劳家怪 (沈阳农业大学)
安战士 (西北农业大学)
游植麟 (华南农业大学)
余允贵 (浙江农业大学)

第一版编写者

主 编	南京农学院	史瑞和	鲍士旦
副主编	沈阳农学院	劳家桎	陈小萱
编写者	北京农业大学	李西开	
	浙江农业大学	袁可能	余允贵
	华南学农院	郭媛娟	游植麟
	西南农学院	陶启珍	青长乐
	西北农学院	安战士	

第一版前言

土壤是农业生产的基础，摸清土壤底细，研究植物营养和作物施肥，都需要化学分析工作。建国以来，在毛主席革命路线指引下，我国广大土肥工作者走与工农相结合的道路，与贫下中农一起，开展群众性土壤普查，进行土壤和作物营养诊断，指导作物施肥，土壤农化分析工作在提高农业生产上起了重要的作用。

土壤农化分析包括土壤分析、植物分析和肥料分析三个方面。土壤分析主要是土壤的基本化学特性分析，包括化学组成、肥力特性、交换性能、酸碱度、盐分等，为土壤分类、土地资源开发利用、土壤改良、合理施肥等提供依据。

植物分析包括两个方面。一是植物养分含量的分析，研究在不同土壤、气候条件和不同栽培措施与施肥技术影响下，植物体内养分含量的变化，为合理施肥提供参考数据；二是收获物品质的分析，如蛋白质、糖分、淀粉、油分等含量的分析。品质分析不仅是对食物和饲料的检定，而且对新品种的选育具有重要意义。

肥料分析是确定肥料中某一营养成分的百分含量。根据分析要求，或测定这种成分的总量，或测定对植物直接有效的那一部分养分的含量。矿质肥料的分析，检验矿质肥料或化学肥料符合于规定标准的程度，是商品检验的一项重要内容。肥料的施用量是根据分析结果或规定标准来计算的。有机肥料的分析，可以了解养分含量和堆制贮存过程中养分的变化，从而对堆制贮存方法提出改进意见。这些测定也为按规定用量施用肥料提供数据。

土壤农化分析既是一门技术性较强的课程，又是一门应用学科。既要学好基础理论、基本知识和基本操作，还要学会使用现代分析仪器；同时又要学好专业课和农学类课程，才能正确地把分析结果应用到生产实际和科学研究中去。这里特别需要强调的是，由于现代分析仪器和自动化装置的应用，大大加快了分析工作的进度，现代化分析仪器在分析工作中成了不可缺少的工具。但是现代化仪器的使用，同样离不开分析化学的基本原理和操作。复杂的精密仪器，对样品的预处理有时要求更高。因此基本理论、基本知识和基本操作训练就显得更加重要。

土壤科学的发展，对测试手段不断提出新的要求。如果就三十年以前的常规土壤分析项目来看，在今天，内容和方法都有了很大改变。在五十年以前，我们要分析一个元素，例如 N、P、K、Zn、B 等，一个有经验的工作人员，在设备比较完善的实验室中平均一天只能完成十个左右的土壤样本。而目前由于现代分析仪器的应用，如最常用的有原子吸收分光光度计，各种光谱仪，各种离子选择性电极以及自动化分析仪，使测试的精密度和速度有了很大的提高。另外，电子计算机在土壤农化分析工作中的应用，也大大加快了分

析工作的进展。例如用电子计算机控制中子活化分析装置来分析作物和肥料中N、P、K、Ca、Mg、Cl、Si七种元素的含量，它按照编好的程序工作，实现自动化进样，自动分析这些元素，自动进行数据处理、自动打印出分析结果，每八小时可分析500个样品，大大提高了工作效率和分析结果的精密度。

另外，分析方法也有很大改进。例如样品一次消煮可同时测定N、P、K。为了适合自动化分析仪器的使用，不仅操作步骤简化了，分析方法渐趋统一。例如土壤速效磷的提取，三十年前大约采用了二、三十种不同的提取剂，现在已基本上一致，石灰性土壤和酸性土壤分别可以用一个试剂提取。

由于现代化分析仪器的应用和分析方法的改进，分析工作的速度加快了，对土壤样品的采集也有了新的认识。目前一致趋向于在一定面积的土壤上采取更多的样品，进行更多的分析项目，累积更多的数据，应用电子计算机进行综合性分析，获得可靠的结论，构成合理的建议。

当前我国土壤农化分析工作也有很大进展，不仅很多研究单位建立了现代化的分析实验室，配备了现代分析仪器，改进分析方法，增加分析项目，而且很多基层单位如县农科所、大队农科站也建立了分析实验室。开展群众性的土壤普查，进行土壤和作物营养诊断，促进了农业生产的发展。许多地区经土壤普查、速测诊断后，发现土壤缺磷或缺钾，施用磷肥或钾肥，产量大幅度增加。同时速测诊断工作的广泛开展，增加了群众性科学实验的活动内容，提高了群众科学技术水平。

本课程内容多，而且都要做实验，约需180—200学时。由于各地区土壤类型不同，农业生产情况不一，存在的问题也不尽相同，各校在使用教材时，可酌情增减，或有所侧重。

随着土壤农化分析的发展，本教材中比色分析占了较大的比重，仪器分析也有所增加，为了加强基本技能训练，教材中还适当地安排了若干重量和容量分析方法。并对同一分析项目并列了几个方法，以照顾分析目的和设备条件的差异。这样既注意反映了当前先进水平，介绍了较多的仪器分析方法，又考虑到基层单位的实际情况，介绍了简便快速的分析方法。另外，对每个测定方法原理的说明，力求深入浅出，操作步骤阐述详细具体，并辅以注解，以便同学更好地掌握分析原理和操作技术。

现代化分析仪器是分析工作中不可缺少的手段。高等农业院校应尽快用现代化仪器装备实验室，迅速实现科学技术的现代化。教材中新增加一章介绍常用的几种现代分析仪器，希望各院校积极创造条件，为土化专业开设《仪器分析》课。

目 录

第一章 土壤农化分析的基本知识.....	1
1-1 纯水的制备、试剂和器皿.....	1
1-1.1 纯水的制备和质量检查.....	1
1-1.2 试剂的选用和保藏 ⁽¹⁾	3
1-1.3 常用器皿的性能、选用和洗涤.....	4
1-1.4 滤纸.....	7
1-2 土壤农化分析的误差和数据处理.....	8
1-2.1 误差和允许误差.....	8
1-2.2 误差的检验和减免.....	10
1-2.3 分析数据的统计处理 ⁽²⁾	11
本书的术语和代号的说明.....	18
第二章 土壤样品的采集和制备.....	19
2-1 土壤样品的采集.....	19
2-1.1 土壤的不均匀性.....	19
2-1.2 采样误差.....	20
2-1.3 采样时间.....	21
2-1.4 混合样品采集的原则.....	21
2-1.5 混合土样的采集.....	22
2-1.6 剖面土样的采集.....	23
2-1.7 土壤盐分动态样品的采集.....	23
2-1.8 其他特殊样品的采集.....	24
2-1.9 采集土壤样品的工具.....	24
2-2 土壤样品的制备和保存.....	25
2-2.1 新鲜样品和风干样品.....	25
2-2.2 样品的风干、制备和保存.....	26
2-3 土壤水分测定——烘干法.....	27
第三章 土壤有机质的测定.....	29
3-1 概述.....	29
3-2 土壤有机质测定.....	33
3-2.1 重铬酸钾容量法——外加热法.....	33
3-2.2 重铬酸钾容量法——稀释热法.....	36
3-2.3 完全湿烧法(铬酸、磷酸)——测定CO ₂ 法 ⁽³⁾	37
第四章 土壤氮和硫的分析.....	40
4-1 概述.....	40

4-2 土壤全氮量的测定	41
4-2.1 半微量开氏法 ($K_2SO_4-CuSO_4-Se$ 蒸馏法)	44
4-3 土壤有效氮的测定	47
4-3.1 旱地硝态氮的测定	49
4-3.2 水田铵态氮的测定	53
4-3.3 水解氮的测定 (碱解扩散法)	55
4-3.4 矿化氮的测定 (生物培养法)	57
4-4 土壤中硫的分析	60
4-4.1 概述 ⁽⁸⁻¹⁰⁾	60
4-4.2 土壤全硫的测定 [$Mg(NO_3)_2$ 氧化- $BaSO_4$ 比浊法]	62
4-4.3 土壤中有效硫的测定 (磷酸盐-HOAc 浸提- $BaSO_4$ 比浊法)	63
第五章 土壤中磷的测定	65
5-1 概述	65
5-2 土壤全磷的测定	66
5-2.1 土壤样品的分解和溶液中磷的测定	66
5-2.2 土壤全磷测定方法一—— $HClO_4-H_2SO_4$ 法	68
5-2.3 土壤全磷测定方法二—— Na_2CO_3 熔融法	70
5-3 土壤速效磷的测定	71
5-3.1 概述	71
5-3.2 土壤有效磷的化学浸提方法	71
5-3.3 中性和石灰性土壤速效性磷的测定—— $0.5MNaHCO_3$ 法	73
5-3.4 酸性土壤速效磷的测定方法一—— $0.03NNH_4F-0.025NHCl$ 法	74
5-3.5 酸性土壤速效磷的测定方法二—— $0.05NHCl-0.25NH_2SO_4$ 法	76
5-3.6 同位素稀释法测定“A”值	77
5-3.7 同位素方法测定“E”值	78
5-3.8 阴离子交换树脂法	79
5-4 土壤无机磷形态的分级测定	80
5-5 土壤有机磷的分离测定	82
第六章 土壤中钾的测定	84
6-1 概述	84
6-2 土壤全钾的测定	85
6-2.1 土壤样品的分解和溶液中钾的测定	89
6-2.2 土壤中全钾的测定方法—— $NaOH$ 熔融, 火焰光度法	85
6-3 土壤中速效钾和缓效钾的测定	87
6-3.1 概述	87
6-3.2 土壤速效钾的测定—— NH_4OAc 浸提, 火焰光度法	89
6-3.3 土壤缓效钾的测定—— $1N$ 热 HNO_3 浸提, 火焰光度法	90
6-4 土壤供钾特性的测定——电超滤法 (Electro ultra filtration, 简称 EUF)	91
第七章 土壤阳离子交换性能的分析	95
7-1 概述	95
7-2 酸性土壤交换量和交换性阳离子的测定	96

7-2.1	交换量的测定	96
7-2.2	1N中性 NH_4OAc 法	97
7-2.3	$\text{BaCl}_2\text{-MgSO}_4$ 法(适用于酸性土壤)	99
7-3	交换性盐基及其组成的测定	100
7-3.1	交换性盐基总量的测定	100
7-3.2	交换性钙镁的测定	101
7-3.3	交换性钾钠的测定——火焰光度法	104
7-3.4	盐基饱和度的计算	104
7-4	活性酸、交换性酸的测定和石灰需要量的计算	105
7-4.1	活性酸(pH)的测定	105
7-4.2	交换性酸的测定(1NKCl——中和滴定法)	107
7-4.3	石灰需要量的测定与计算(0.2M CaCl_2 交换交换——中和滴定法)	109
7-5	石灰性土壤交换量的测定	110
7-5.1	概述	110
7-5.2	醋酸钠——火焰光度法(适用于石灰性土和盐碱土)	111
7-6	盐碱土交换量及交换性钠的测定	112
7-6.1	盐碱土交换量的测定(醋酸钠法)	113
7-6.2	交换性钠的测定	113
第八章 土壤水溶性盐的测定		117
8-1	概述	117
8-2	土壤水溶性盐的提取(1:1和5:1水土比及饱和土浆浸出液的制备)	118
8-3	土壤水溶性盐总量的测定	122
8-3.1	电导法	122
8-3.2	残渣烘干法	126
8-3.3	用阳离子和阴离子总重计算土壤或水样中的总盐量	126
8-4	阳离子的测定	126
8-4.1	钙和镁的测定——EDTA滴定法	126
8-4.2	钙和镁的测定——原子吸收分光光度法	128
8-4.3	K和Na的测定——火焰光度法	129
8-5	阴离子的测定	130
8-5.1	CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 的测定——双指示剂滴定法	130
8-5.2	Cl^- 的测定	132
8-5.3	SO_4^{2-} 的测定	134
8-6	分析结果整理	137
第九章 土壤中碳酸钙和硫酸钙的测定		138
9-1	概述	138
9-2	不溶性碳酸盐总量(CaCO_3 、 MgCO_3)的测定	138
9-2.1	气量法	139
9-2.2	快速滴定法	141
9-3	土壤中硫酸钙的测定	142
9-3.1	水浸提——电导测定法	142

9-3.2 HCl浸提BaSO ₄ 重量法	143
9-3.3 直接计算法	144
9-4 土壤石膏需要量的测定	145
第十章 土壤中硅、铁、铝等元素的分析	147
10-1 概述	147
10-2 土壤矿物胶体样品的制备	148
10-3 灼烧损失重和结合水的测定	150
10-4 样品的熔融	151
10-4.1 样品熔融(一)——Na ₂ CO ₃ 熔融法	151
10-4.2 样品熔融(二)——偏硼酸锂(LiBO ₂)熔融法	153
10-5 二氧化硅的测定	154
10-5.1 重量法	154
10-5.2 硅钼酸比色法	155
10-6 铁、铝氧化物总量的测定——重量法	157
10-7 铁的测定	159
10-7.1 重铬酸钾容量法	159
10-7.2 邻啡罗啉比色法	160
10-7.3 原子吸收光谱法	162
10-8 钛的测定	163
10-8.1 过氧化氢比色法	163
10-8.2 变色酸比色法	164
10-9 铝的测定	165
10-9.1 差减法	165
10-9.2 氟化钾取代EDTA容量法	165
10-10 土壤活性硅的测定	167
10-10.1 概述	167
10-10.2 土壤活性硅的测定(HOAc-NaOAc缓冲液浸提——硅钼蓝比色法)	167
10-11 游离氧化铁的测定——DCB浸提比色测Fe法	168
第十一章 土壤中微量元素的分析	171
11-1 土壤中硼的分析	172
11-1.1 概述	172
11-1.2 土壤全量硼的测定	174
11-1.3 土壤有效硼的测定	179
11-2 土壤中铜、锌的分析	180
11-2.1 概述	180
11-2.2 土壤全量铜、锌的测定	182
11-2.3 土壤有效铜、锌的测定	185
11-3 土壤有效锰的分析	188
11-3.1 概述	188
11-3.2 土壤交换性锰的测定	188
11-3.3 土壤易还原锰的测定	190

11-4 土壤中铝的分析	192
11-4.1 概述	192
11-4.2 土壤中全量铝的测定	193
11-4.3 土壤有效铝的测定	197
第十二章 植物分析——水分、灰分和各种营养元素	200
12-1 植物样品的采集、制备和保存	200
12-1.1 植株组织样品的采集、制备和保存	200
12-1.2 籽粒样品的采集、制备和保存	203
12-1.3 瓜果样品的采集、制备和保存	203
12-1.4 植物测量元素分析	204
12-2 植物水分的测定	204
12-2.1 风干植物样品水分的测定	204
12-2.2 新鲜植物样品水分的测定	205
12-3 植物粗灰分的测定	210
12-4 植物常量元素的分析	212
12-4.1 概述	212
12-4.2 植物全氮的测定	213
12-4.3 植物全磷的测定	216
12-4.4 植物全钾的测定 (H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ 消煮——火焰光度计法)	218
12-4.5 植物全钙镁的测定	219
12-5 植物微量元素分析	222
12-5.1 概述	222
12-5.2 植物硼的测定	223
12-5.3 植物锰的测定	225
12-5.4 植物中铜、锌的测定——原子吸收分光光度计法	226
12-5.5 植物中铝的测定	228
第十三章 农产品中蛋白质的分析	230
13-1 概述	230
13-2 粗蛋白质的测定——开氏法 (国家标准)	232
13-3 纯蛋白质的测定	234
13-3.1 蛋白质沉淀后消化测定法	234
13-3.2 酸性染料结合法——桔黄G染料法	234
13-3.3 双缩脲法	236
13-4 氨基酸的测定	237
13-4.1 概述	237
13-4.2 赖氨酸的测定——染料结合法 (DEB法)	238
13-4.3 色氨酸的测定——乙醛酸法	240
13-4.4 简单介绍氨基酸测定仪测定氨基酸	241
第十四章 农产品中碳水化合物的分析	245
14-1 概述	245
14-2 水溶性糖的测定	246

14-2.1 单糖的测定(还原糖)	247
14-2.2 水溶性糖总量的测定	254
14-2.3 糖料作物中蔗糖的测定	256
14-3 淀粉的测定	257
14-3.1 谷物中淀粉的测定	257
14-3.2 植物样品中少量淀粉的测定——蒽酮法	262
14-3.3 薯块中淀粉的测定——比重法	262
14-4 粗纤维的测定	264
14-4.1 酸碱洗涤法	264
14-4.2 酸洗涤重量法	265
14-5 果胶物质的测定——重量法	266
第十五章 籽粒中脂肪的测定	268
15-1 概述	268
15-2 粗脂肪的测定	269
15-2.1 油重法(索氏提取法)	269
15-2.2 残余法	271
附:关于使用乙醚的注意事项	273
15-2.3 折光法	273
第十六章 农产品中其他成分的分析	275
16-1 酸度的测定	275
16-1.1 总酸度的测定	275
16-1.2 游离酸(pH)的测定	276
16-1.3 挥发酸的测定	276
16-2 维生素C的测定	277
16-2.1 2,6-二氯酚酚滴定法	277
16-2.2 2,4-二硝基苯肼比色法	280
16-3 籽粒(高粱等)及果实中单宁的测定——Folin-Denis法	281
16-4 油菜籽中芥酸的测定——标样法	283
16-5 农产品中一些有害重金属的测定	285
16-5.1 铅的测定——双硫脲比色法	285
16-5.2 镉的测定——双硫脲比色法	287
16-5.3 汞的测定——双硫脲比色法	288
16-5.4 磷的测定——罗丹明比色法	290
16-5.5 铜、铅、镉、锌的火焰原子吸收分光光度法	292
第十七章 无机肥料分析	294
17-1 无机肥料样品的采集和制备	294
17-1.1 样品采集	295
17-1.2 样品制备	295
17-2 氮素化肥的测定	295
17-2.1 铵态氮肥中氮的测定	296
17-2.2 尿素含氮量和缩二脲测定	298

17-2.3	石灰氮中氮的测定	300
17-2.4	硝酸态氮肥中氮的测定	302
17-3	磷素肥料的测定	305
17-3.1	过磷酸钙中有效磷含量的测定	306
17-3.2	碱性热制磷肥有效磷的测定(2%柠檬酸浸提)	308
17-3.3	磷矿粉中磷的测定	311
17-4	钾肥分析	312
17-4.1	氯化钾、硫酸钾、硝酸钾的测定	312
17-4.2	灰肥中全钾测定	316
第十八章 有机肥料的测定		318
18-1	概述	318
18-2	有机肥料水分测定	319
18-3	有机肥料中氮的测定	320
18-3.1	概述	320
18-3.2	有机肥料全氮的测定	320
18-3.3	有机肥料中速效氮的测定(1N NaCl浸提-Zn-FeSO ₄ 还原蒸馏法)	321
18-4	有机肥料中全磷钾的测定	322
18-4.1	有机肥全磷测定(H ₂ SO ₄ -HNO ₃ 消煮—钼钒黄比色法)	323
18-4.2	有机肥料全钾的测定(H ₂ SO ₄ -HNO ₃ 消煮—火焰光度法)	324
第十九章 土壤农化分析中几种仪器分析法		325
19-1	火焰光度法	325
19-1.1	原理	325
19-1.2	仪器的简单构造和使用	325
19-1.3	误差、干扰及其消除	327
19-1.4	定量分析方法	329
19-2	原子吸收分光光度法	330
19-2.1	原子吸收分光光度法基本原理	330
19-2.2	原子吸收分光光度计	333
19-2.3	干扰及其抑制	339
19-2.4	原子吸收分光光度计的使用	342
19-2.5	主要优缺点	346
19-3	离子选择性电极	346
19-3.1	基本原理	347
19-3.2	离子选择性电极的选择性及其估量	348
19-3.3	离子选择性电极的类型	348
19-3.4	分析方法	353
19-3.5	使用离子选择电极的注意事项	354
19-4	极谱分析原理简介	355
19-4.1	极谱分析基本原理	355
19-4.2	定量分析方法	359
附录		360

第一章 土壤农化分析的基本知识

学习土壤农化分析, 和学习其它课程一样, 必须掌握有关的基本知识和基本操作技术。基本知识包括与土壤农化分析有关的数理化知识、分析实验室知识、农业生产知识和土化专业知识。这些基本知识须在有关课程的学习中, 以及在生产实践和科学研究工作中不断吸取和积累。本章只对土化分析用的纯水, 试剂、器皿、误差和分析结果的审核等基本知识作一简要说明。定量分析教材中的内容一般不再重复。

1-1 纯水的制备、试剂和器皿

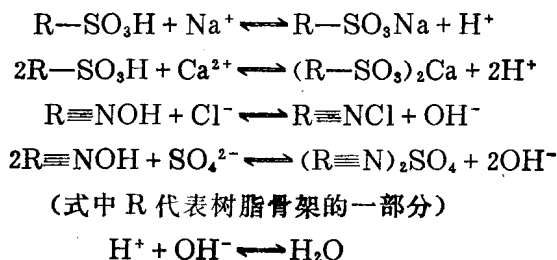
1-1.1 纯水的制备和质量检查

实验室分析工作经常需要用纯水, 而且用量很大, 因此对水质的要求特别重要, 它的影响贯穿于分析工作的始终, 不同的实验项目对水质的要求也不一样, 如微量元素的分析要求高纯度水。所以对纯水的制备、检查和正确保存, 勿使受容器和空气等来源的污染显得尤为重要。纯水的制备常用蒸馏法和离子交换法。

蒸馏法制纯水 蒸馏水是利用水与杂质的沸点不同而制得的。用于制纯水的蒸馏器多种多样, 现在多采用蒸馏器内加热, 代替外部电炉、煤气或煤炉加热, 实验室用蒸馏器, 一般是用玻璃或金属(铜、锡)制造的, 因此蒸馏水中难免有痕量的这些金属离子存在。硬质玻璃和石英蒸馏器等都是为制备某种用途的高纯水而设计制造的。化学分析用蒸馏水, 通常是经过一次蒸馏而得, 对微量成分或高纯物质的分析, 必须用高纯水。为此, 可以增加蒸馏次数, 采用石英材料制成的蒸馏器。高纯水应贮存在塑料或石英容器内。实验室也常用工厂和浴室利用废蒸气所得的副产蒸馏水, 质量较差, 有的不合格, 必须检查后才能使用。一般实验室使用的蒸馏水, 大部用蒸馏法制得, 近年来用离子交换树脂制备的去离子水已被广泛采用。

离子交换法制纯水, 水通过交换树脂获得的纯水称离子交换水或去离子水。

离子交换树脂是一种不溶性的高分子化合物, 组成树脂的骨架部分具有网状结构, 对酸碱及一般溶剂相当稳定, 而骨干上又有能与溶液中阳离子或阴离子进行交换的活性基团。当水流通过装有离子交换树脂的交换器时, 水中的杂质离子被离子交换树脂所截留。这是因为离子交换基中的 H^+ (阳离子交换树脂表示为 $R-SO_3^-H^+$) 或 OH^- (阴离子交换树脂表示为 $R\equiv N^+OH^-$) 与水中的杂质离子(如 Na^+ , Ca^{2+} , 或 Cl^- , SO_4^{2-}) 交换, 从交换基来的 H^+ 与 OH^- 结合为 H_2O , 化学反应式为:



上述离子交换反应是可逆的，当 H^+ 或 OH^- 浓度增加到一定程度时，反应向相反的方向进行，这就是离子交换树脂再生的原理。在纯水制造中，通常采用强酸性阳离子交换树脂，如国产 732 树脂等和强碱性阴离子交换树脂，如国产 717 树脂等。如果市售的树脂是钠型或氯型的，在使用之前必须进行预处理，使之转化为所需要的 H^+ 型和 OH^- 型，同时，除去所夹带的有机杂质。

离子交换制纯水的方法有复柱法，混柱法和联合法等几种。复柱法是由阳树脂单柱和阴树脂单柱串联所组成。它的操作简单，经济，再生方便，但水的纯度较低 ($0.5\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$)，带微碱性；混柱法是将阳离子交换树脂和阴离子交换树脂按总交换容量相等配比混合（一份重量的阳树脂和两份重量的阴树脂混合）装于一个交换柱中，该法流速大，水的纯度高，可以间歇操作，利于小型化验室用；阳树脂单柱 + 阴树脂单柱 + 阳阴树脂混柱的联合法更合理的系统，所得的水纯度高，质量稳定，电阻率为 $10-15\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ ，pH 为 7，水中硅含量低于 0.01ppm ，金属杂质含量在 0.001ppm 以下。

离子交换法去离子的能力强，水质良好，但对非电解质及胶体物质无效，同时会有微量的有机物从树脂中溶出，因此，根据需要可将去离子水与蒸馏水配合使用。

关于新树脂的预处理，纯水器装置，树脂的再生，纯水的制备等操作细节，可查阅各商品的说明书。

纯水的纯度可用“水质纯度仪”(电导仪)测量电阻率或用化学方法检查。电阻率在 $500000\Omega \cdot \text{cm}$ 左右的普通纯水，即可用于常量分析，微量元素分析和离子电极法，原子吸收光谱法等有时需用 $1000000\Omega \cdot \text{cm}$ 以上的优质纯水，特纯水可达 1.8×10^7 欧姆·厘米以上(纯度达 99.99999% 以上)，但水中尚有 0.01mg/L 的杂质离子。几种水的电阻率和电导率如图 1-1 所示。

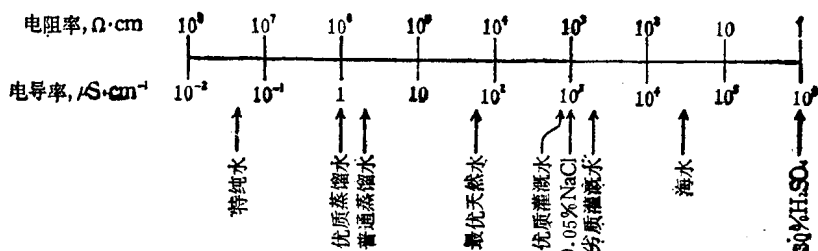


图 1-1 几种典型水的电阻率和电导率