



中等專業學校教學用書

火力发电厂的 水处理

苏联 И.Ф.沙普金著

電力工業出版社

中等專業學校教學用書

火力发电厂的水处理

苏联 И.Ф.沙普金著

施 燮 鈞譯

苏联电站部教育司审定作为中等專業学校动力專業教材

電力工業出版社

內 容 提 要

本書是苏联中等技术学校动力專業“火力發電厂的水处理”課程的教科書。

本書所敘述的为現代火力發電厂中最重要的水淨化与爐水规范問題，以及水处理主要設備的选擇法。

为了使讀者容易理解，書中有例题、解答、自修用的問題以及复習用的練習題。

本書除可作为中等專業学校教材外，还可供發電厂化学技术人員参考。

И. Ф. ШАПКИН

ВОДОПОДГОТОВКА НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МОСКВА

1954

火力發電厂的水处理

根据苏联国立动力出版社1954年莫斯科版翻譯

施 燮 鈞譯

511R121

電力工業出版社出版 (北京府右街26号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第082号

北京市印刷一厂排印

新华書店發行

787×1092 $\frac{1}{16}$ 开本 • 8 $\frac{1}{2}$ 印張 • 183 千字 • 定价(第10类)1.10元

1957年3月北京第1版

1957年3月北京第1次印刷(0001—8,100册)



原 作 者 序

火力发电厂是我国国民经济动力工业的基本环节。

苏联共产党第十九次全国代表大会的决议，规定在第五个五年计划末发电量要比1950年增加80%。在五年后苏联发电厂的总容量约增至两倍。所有这些都足以促使苏联迅速电气化，加强生产过程，增加工业产品与全国人民所需要的日用品的出产。

在党与政府最近的这一个决议的光辉照耀下，发电厂的作用与意义日益增大。发电厂除了可以保证工业发展的需要外，并可加强我国农业中电能的供应。集体农庄事业的广泛电气化可使农业的生产率在短期内提高，并能保证劳动者有丰富的粮食和工业上有足够的原料。

火力发电厂属于企业的范畴，它的运行的可靠性与连续性有特别重要的意义，因为需要电能与热能的企业运行是要依靠它的。

对于保证发电厂运行的可靠性与安全性，水处理与炉水规范的问题有特别重要的意义。

为此，火力发电厂中一般的技术人员应很好地懂得锅炉内部物理-化学过程的实际情况以及水处理技术的原理。

本书为动力技术学校中学习“火力发电厂的水处理”课程的教科书。本书是以作者在苏联电站部莫斯科动力技术学校为热工专业的学生所讲授的课程为基础。其中还补充有科学研究所、调整部门与火力发电厂中在水规范与水处理方面最近所获得的经验。

因为考虑到要使本书的页数不太多，故作者尽力自大量材料中选取最基本的放在本书中。

对于工业低压锅炉水处理与水规范的问题，本书未加研讨。

为了使读者易于领会其内容，书中还有例题及解答、问题及复习题。

作者竭诚地盼望对本书的各种批评与建议，并请将建议与批评寄至以下的地址：莫斯科水闸河岸街10号苏联国立动力出版社。

作 者

譯 者 序

水处理还是一門新兴的工艺学，大約在几十年以前，水处理还是以城市的用水为主。可是現在随着科学的发展，对于水处理的問題便因使用的目的不同而有許多不同的要求，因而就必須要有新的技术来满足这些要求。按火力发电厂而論，則因近来普遍采用高压与中压鍋爐，因而对于水的要求就愈高，新的、复杂的与效力高的水处理設備也就不斷地产生。

可惜的只是对于这种新的技术还没有完善的書本。就本書來說吧，这是原作者当初在学校中講課題材为主的。虽然原作者已將最近的发展作了一些补充，但这还是不够的，所以有些新的发展还没有蒐集进去，也有些数据不正确，因为新的发展已超过了这些老的标准。

这本书上的这些不当之处，苏联工学博士 A.П. 馬迈特已在“热力工程”的杂志上詳細地指出了。因此使得譯者有可能按照他的意見作了許多修正。如：化学方程式的演化錯誤地方已加以修改，文字叙述中有錯誤的地方也加以修刪，并註明已刪改。当然其中免不了还有些譯者無能修改的，例如这本书在叙述过滤器时，沒有叙述双流式的过滤器，而这种过滤器事实上在苏联已正式生产，而且現在在我們国内也已經有了。

这本书虽然有若干缺点，但在目前我国以至于国外都缺乏此种書的时候还是可以一讀的，尤其是比以前那些按資本主义国家編譯的書籍，那它就更显得切实与先进了。

譯 者

1956 年 1 月

目 录

原作者序

譯者序

引 言	5
0-1 水处理及其对火力发电厂安全运行的意义	5
0-2 火力发电厂中水处理的方法	9
第一章 天然水及其特性	11
1-1 化学方面的概述	11
1-2 水溶液	13
1-3 水的品质及其指标	20
1-4 天然水的特性	24
1-5 水分析及其校验	29
第二章 水垢及其防止	36
2-1 在发生蒸汽的设备中和热交换器中水垢和水渣的生成	36
2-2 水垢的性质	38
2-3 如何防止锅炉中生成水垢	42
2-4 如何防止低温下生成的水垢	50
2-5 发生蒸汽的设备中与热交换器中水垢的除去	53
第三章 蒸汽不洁的防止以及过热器和汽轮机上附着物的除去	60
3-1 饱和蒸汽中带有杂质的现象	60
3-2 炉水中泡沫的形成及蒸汽通路中杂质的附着	63
3-3 分离装置	65
3-4 锅炉排污及分段蒸发	69
3-5 过热器和汽轮机上附着物的除去	78
第四章 热力设备的腐蚀及其防止方法	81
4-1 热力设备的腐蚀	81
4-2 蒸汽动力设备腐蚀的防止法	85
第五章 给水、炉水和蒸汽的品质	89
5-1 对于水和蒸汽品质的要求	89

5-2 水和蒸汽品質的監督	92
第六章 水的除氣	103
6-1 基本概念	103
6-2 熱式除氣器	107
6-3 水的化學除氧	111
第七章 水中粗分散雜質和膠體雜質的除去	115
7-1 水的澄清	115
7-2 水的凝聚	124
7-3 蒸汽與凝結水的除油	131
第八章 水的陽離子交換軟化法	137
8-1 陽離子交換過程的概述	137
8-2 陽離子交換劑	140
8-3 陽離子交換用的設備及其連接系統	144
8-4 H型和Na型陽離子交換的聯合設備	151
8-5 陽離子交換設備計算的原則	156
第九章 水的沉淀軟化法	166
9-1 水的沉淀軟化法的概述	166
9-2 用石灰處理水的設備	171
第十章 水的除鹽與除硅	183
10-1 水的热法除鹽	183
10-2 水的化學法除鹽	195
10-3 水的除硅	197
附录	201
参考文献	215

引 言

0-1. 水处理及其对火力发电厂安全运行的意义

水在火力发电厂中主要是制取蒸汽的工业原料。在锅炉中发生的蒸汽经过过热器提高温度后导入汽轮机；在汽轮机中，蒸汽的热能逐步转变为汽轮机与发电机轴上的机械能，进而变为电能，由发电机送至电网。

以凝汽式发电厂而论，在汽轮机中做完功的蒸汽（压力低于大气压）导入以水冷却的凝汽器进行凝结。经冷却和凝结后的蒸汽称做凝结水，它用凝结水泵抽出，导入聚集凝结水的专用槽，由此以给水泵打回锅炉。所以水在火力发电厂系统内是处在经常性的循环运动中。

假使这样的运行没有水和汽的损失，那么可以将一定量的水无限期地利用。但实际上，在火力发电厂中通过系统的各个不严密部分是有水和汽的损失。

为了要连续运行，这些损失就必须加以补充。

火力发电厂中的水可区分为：原水、补给水、给水、炉水和循环水或冷却水。

原水是天然的生水，取自供水的水源，在技术上须加以适当的处理后方可应用。

供给锅炉的补给水是用来补充凝结水的损失。

给水是用来补充蒸发的水，它是以水泵打入锅炉与其他发生蒸汽的设备。

炉水是处于锅炉中的水，也就是在制取蒸汽过程中进行蒸发的水。蒸发器和蒸汽发生器中的炉水通常称为浓缩液。

循环水或冷却水为进入汽轮机凝汽器的水，用以凝结放出的蒸汽。

在凝汽式火力发电厂系统中，水的循环运动如图 0-1 所示。

在凝汽式发电厂中，水的损失主要是锅炉排污水及蒸汽和水通过系统中不严密部分的厂内损失的总和。这些损失的总量是不大的，通

常不超过鍋爐發生蒸汽量的5—6%。

圖 0-2 所示为热电中心厂系統中水循环的簡圖。

在热化型的發电厂^①中，有若干在汽輪机中做过一部分功的蒸汽（它的压力較鍋爐中的低）导至厂外用戶，在那里可作取暖之用，亦可用在生产与其他需要之处。所以在热电中心厂的系統中，水循环的圈子較大，其中包括有工業上和取暖上需要蒸汽的生产企業。

圖 0-1 与 0-2 所示的水循环圖是經簡化了的。实际上它們是相当

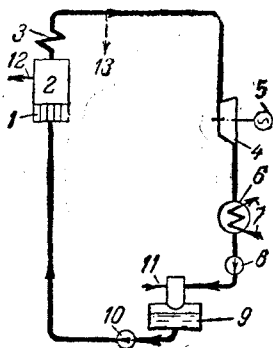


圖 0-1 凝汽式發电厂系統中水循环的簡圖

1—省煤器；2—鍋爐；3—过热器；
4—汽輪机；5—發电机；6—凝汽器；
7—冷却水进口和出口；8—凝結水泵；
9—热式除气器；10—給水泵；11—
补給水进口；12—鍋爐排污；13—蒸
汽和水通过系統不严密部分的厂內損
失。

复杂的。例如在热电中心厂的系統中，还包括加热热水供应系統中循环水的热化用加热設備，以及給水再热系統中的面式热交換器等。

热电中心厂中的鍋爐給水为汽

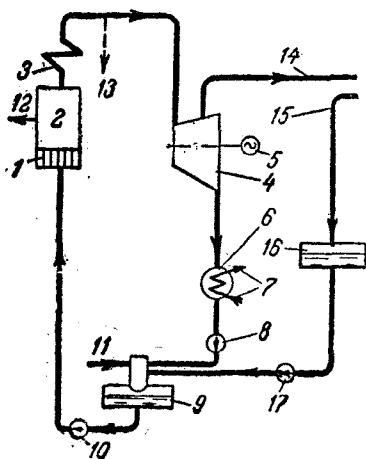


圖 0-2 热电中心厂系統中水循环的簡圖

1—省煤器；2—鍋爐；3—过热器；
4—汽輪机；5—發电机；6—凝汽器；
7—冷却水进口和出口；8—凝結水泵；
9—热式除气器；10—給水泵；11—
补給水进口；12—鍋爐排污；13—蒸
汽和水通过系統不严密部分的厂內損
失；14—至生产部門的蒸汽；15—生
产部門返回的凝結水；16—收集生产
部門的凝結水的水槽；17—压送生产
部門的凝結水的水泵。

① 兼供热能的發电厂，也就是热电中心厂。——譯者

輪机的凝結水、生产部門的凝結水与补給水的混合水。

热电中心厂中給水的損失通常比純粹凝汽式發電厂大得多，其数值主要是由用戶的性質来决定。

水在蒸餾过程中，即水先在鍋爐中蒸發而后蒸汽在冷却器中凝結的过程中，进行了最完善的淨化，此时水中大部分雜質殘留在鍋爐中。因而加入鍋爐最好的水是受外界雜質沾污很輕微的凝結水。所以在火力發電厂中，应十分重視聚集和收回最大数量的優質凝結水作为鍋爐給水及防止其被沾污的問題。

水是制取蒸汽的工業原料，是汽輪机凝汽器与其他設備的冷却剂，也是热电中心厂中用在供給用戶热量的热力網中的傳热介質。

水的品質对于保証火力發電厂中蒸汽动力設備連續和經濟运行的重要性是獨一無二的。如果对于水的处理与合理制訂水的技術規範問題不够重視，那末会引起蒸汽动力設備机組中与水和汽相接触的表面积生成附着物与蒸汽品質的惡化，最后还会进行腐蝕作用（此处譯者刪去一句）。

在运行过程中生成在蒸汽动力設備机組上的这些附着物会有很大的差別：从最松軟的易于以水洗去的，到非常硬的用特殊工具也难以除去的都有。

后一类附着物通常称做水垢。各种附着物的生成处为：鍋爐、过热器、省煤器、凝汽器、热化用的加热器、热交換器以及导管内与汽輪机叶片上。

当鍋爐中有水垢时，热自熾热的燃燒室气体傳送至爐水的作用就不良，这会促使爐壁的温度升高，直到由于机械强度的降低而在水冷壁管和沸騰管上發生鼓包現象。在这样的情况下，如不及时的停爐，会引起薄弱部分的破裂。多量的附着物，尤其是在水容积很大的鍋爐中，会引起事故，甚至这些鍋爐会爆炸。

水垢除了要降低运行的安全性外，还要多消耗燃料与降低鍋爐的蒸發量。

在汽輪机凝汽器中生成附着物，会降低凝汽器中的真空度。在热化用的加热器与火力發電厂各种热交換器中的附着物会使水的加热力

比計算值低，于是就必須以比較按計算所需更大的傳熱面投入运行。

在蒸汽动力設備中有水垢的生成会使运行費用剧增，因为它必須經常清除，以及因清除而停止运行。

鍋爐中所生蒸汽的清潔性对于保証火力發電厂的安全运行有很重要的意义。随蒸汽帶出的雜質会造成附着物堆积在过热器中、蒸汽导管中与汽輪机的蒸汽流通部分。堆积在过热器管中的附着物会造成蒸汽过热温度的降低，而且同时会升高过热器管壁的温度。

堆积在汽輪机叶片上的附着物会降低其容量。此处堆积的附着物还会引起汽輪机的軸向推力增加与隔板弯曲，这也会造成汽輪机的事故。

随蒸汽自鍋爐中帶出的雜質也会使汽輪机与生产部門的凝結水品質惡化，結果使給水品質惡化，因为在許多火力發電厂中，汽輪机与生产部門的凝結水是給水的主要組成部分。

在蒸汽动力設備中，水和蒸汽通路的任何地方都会發生金屬的腐蝕：如在鍋爐、省煤器、汽輪机凝汽器、給水与热化用的导管及其他的設備中。在个别的情況下，腐蝕作用会在較短的时期內使設備損坏（此处譯者刪去一句）。

除去水中造成腐蝕的雜質的基本部分，或將它們的危害性消除，能使腐蝕过程的速度大为減低。

能造成热力設備損坏的这些有害雜質，在水中的含量是很少的。例如在給水中，溶解氧的含量超过 0.03 毫克/公升（即按重量來講，每 1 分水中大于 0.0000003 分氧）就会在短期內引起給水管路与省煤器中出現穿孔的点蝕。蒸汽中含鹽量大于 0.2 毫克/公斤时，会造成过热汽管燒損及汽輪机的蒸汽流通部分为鹽类所堆积。

所以在現代化的火力發電厂中（尤其是高压的），在工厂企業的大型鍋爐設備中，以及在一定的程度上对于中型和小型的工業鍋爐，都必須十分重視水处理的問題。为了保証蒸汽动力設備安全和經濟的运行，也必須很好地弄清水在通过热力設備中的各种裝备时所进行过程的實質，而且必須善于采取有关水的技術規範方面的措施。

0-2. 火力發電廠中水處理的方法

天然的水如不首先處理，那麼按它本身的主要特性來說，在絕大多數的情況下是不可能用在火力發電廠中的。

處理天然水用配備着各種淨水裝置的化學淨水設備。

水中粗分散的雜質用澄清設備來除去。除去膠狀分散的雜質是在凝聚設備中進行所謂凝聚的處理。

除去水中要造成水垢的鈣和鎂，稱為水的軟化，它是用軟化設備進行的。

降低水鹼度的方法，是將水在中和設備中進行處理。

在有些情況下，必須降低水的含鹽量。這是用水的除鹽設備進行的。

降低水中硅酸鹽的濃度是用除硅設備進行的。

自水中除去油（多半自廢氣的凝結水中）是用除油設備進行的。

製造淨化水的設備，根據原水的品質以及對於處理後水品質的要求，可以包括有上述各種設備的任何幾種。

現代化的火力發電廠，如對於廠內汽水設備中進行着的全部過程不實施經常性的化學監督，就不可能有合理的運行。對於汽和水的品質必須有深入的和系統的化學監督，必須做到可以及時發現汽和水的化學成分的微小偏差，並能採取適當的措施。

在火力發電廠中，所有的化學工作，其中包括發生蒸汽的設備和其他設備中有關水的技術規範方面的工作，應由化學人員執行，或在化學分場人員直接指導下執行。化學分場的工作者應對水處理的各部分負責，也應對維持汽水設備各部分水和汽的品質的定額負責。

化學分場包括有化學實驗室和化學淨水室兩個獨立的機構。

化學實驗室對下列工作進行經常性的執行中的監督：給水和爐水的處理、發生蒸汽設備的排污情況、防止附着物的化學處理、腐蝕的防止等等。

化學淨水室對所有加入發生蒸汽設備的水以及補充冷水塔、噴水池與供熱設備損失的水進行基本的化學與物理-化學處理，且應對淨

水設備的运行进行运行中的監督。

在俄国，水的处理問題，特別是加入鍋爐的水的淨化問題，还是在上一世紀才着手研究。那时所致力研究的，主要是对于采用將鈣和鎂的离子化合成难溶的化合物，然后再以沉淀与過濾將它們自水中除去的方法的軟化設備。为此，在本世紀初，工程师 Г. Б. 克拉辛与 И. Г. 彼尔契兴創造“斯特魯雅”苏打石灰軟水器，这是此类軟水器中最完善的設備。

И. Л. 郭尔东教授在軟水設備方面，也曾进行过很多的研究。

在苏联，用陽离子交换法运行的軟水設備在本世紀初才开始建立。現在这些名为陽离子交换的軟水設備是極大多数火力發電厂化学淨水室的必要組成部分。

全苏热工研究所的水研究室，全苏上下水道、水工建筑物及工程水文地質研究所的水質改善實驗室以及苏联其他許多研究所和机关对于离子交换所进行的很多研究，已促使陽离子交换的軟水設備广泛地运用。

在苏維埃政权时代中所建立的科学研究所和学院，全苏热工研究所，全苏上下水道、水工建筑物及工程水文地質研究所，中央鍋爐汽輪机研究所，莫斯科动力学院以及許多其他的機構，已完成了关于淨化水的和爐水技术規範方面的許多科学研究工作，这些研究保障了苏联在这一方面的首要地位。

研究淨化水方面的許多苏联学者已得到苏联政府授予獎金的荣誉表揚。

現在，研究水的淨化与爐水技术規範方面的苏联学者和專家，在工業工作者共同努力下，正胜利地研究着水的淨化与水的技术規範方面复杂的物理-化学过程，研究着改善水和汽的品質的方法，改进着工業設備。

第一章 天然水及其特性

1-1. 化学方面的概述

在自然界的許多物質中，与水处理过程有关系的，基本上不到 20 种元素的化合物，这些元素的一覽表見書末附录中的表 1。在表中有每种元素的原子量、当量与其最典型的化合价。

这里复習一下，元素的原子量是按氧單位表示的原子重量。換言之，元素的原子量也就是表示其原子重量是 $\frac{1}{8}$ 氧原子重量的若干倍。元素的当量是它和 1 分重量的氢（更正确的数字为 1.008）或 8 分重量氧所化合的重量分数。

化学元素彼此的化合是按相当于它們当量的重量关系进行的。原子量被当量所除的商叫做此元素的化合价。化学元素有兩個以上的当量时（例如硫和鉻），就有不同的化合价，而且按条件的不同，或显示其这一个化合价，或显示其另一个化合价。化合价也等于此原子能与若干个氢原子（或其他一价元素）相化合的数，或者它能在化合物中置換若干个氢原子的数，故它也可以按此法来求得。化学元素的当量，与它在按其組成算出此当量的化合物中的化合价的乘积是常数，它等于此化学元素的原子量。

在由兩種化学元素組成的化合物中，一种化学元素的化合价数必等于第二种化学元素的化合价数。由此基本法則，一种化学元素的未知化合价可以根据它和已知化合价的化学元素相化合的化学式求得。例如，在化合物 P_2O_5 中磷是 5 价，因为它的 2 个原子和 5 个氧原子化合，其总化合价等于 10。

物質的分子量是按氧單位表示的分子重量。与物質分子量数相等的該物質的克数叫做克分子量，以此类推，与物質当量和原子量数相等的該物質的克数各叫做克当量和克原子量。同样地，物質等于其当量的毫克数叫做毫克当量。

价的概念也可以推广到分子組成中的整个一組原子。例如在硫酸 (H_2SO_4) 的化学式中， SO_4 組是兩价，因为在化学式中它和 兩個一价

氢原子結合。同理，在磷酸(H_3PO_4)的化学式中 PO_4 組为三价。如果这些原子組上不帶有氢，則它們就有游离的价(在以上的例子中为二与三)。这一类帶有游离价的原子組名为根或酸根。

在水处理过程中，所涉及的以無机物为主，多半是氧化物、酸、鹼和鹽。

氧化物为氧和元素的化合物。当金屬氧化物和水相作用时生成金屬的氢氧化合物——鹼，所以金屬的氧化物常称为鹼性氧化物。鹼的特征为在化合物的分子中有游离价为1的氢氧原子組 OH 。

能溶于水的金屬氢氧化合物称为碱。鉀、鈉、鈣、鋇等的氢氧化合物都可列入碱类。碱类碰到紙、皮膚和其他物質都会侵蝕它們，所以它又称做苛性碱。当碱和动物性或植物性脂肪發生作用时，就組成一种化合物，叫做肥皂。当以一滴苛性碱溶液在手指間磨擦时，有肥皂溶液的感觉。

有許多非金屬的氧化物叫做酸酐，因為它們和水相結合生成酸。酸的特征是在分子中有能被金屬所置換的氢。一般來說，酸分子中并不必然有氧。例如鹽酸(HCl)是大家所熟知的不含氧的酸。

酸按其分子中所含能被金屬所置換的氢的数量的不同，有一价(例如 HCl)、二价(例如 H_2SO_4)和三价(例如 H_3PO_4)的区别。

不論是碱或酸都有和某些色素相作用，而使它的顏色改变的能力。例如石蕊在碱性介質中呈藍色，而在酸性介質中呈紅色。石蕊的这种性質可用来測定介質的反应。不与石蕊相作用的物質的溶液称为中性的溶液。在其中石蕊为紫色。

当酸中的氢为任何金屬所置換时，生成的化合物称为鹽。鹽可以用各种方法制取：

- 1) 酸中的氢直接被金屬所置換；
- 2) 酸和金屬的無水氧化物以及酸和金屬的氢氧化合物相作用；
- 3) 酸酐和金屬的氢氧化合物相作用；
- 4) 酸和鹽相作用；
- 5) 鹽类的复分解或相互交换的反应。

表 1-1 所示为最常用的酸及其鹽类的名称。表中的碳酸是假定的。

因为它不能呈游离状态，当制取时它即分解成二氧化碳和水。

当酸和碱作用时，生成中性的物质——鹽和水。酸和碱相作用生成中性鹽的反应称为中和反应。

如酸中所有能被金属所置换的氢都置换了，则生成的鹽叫做正鹽。例如硫酸钠(Na_2SO_4)就是正鹽。如酸中所有能被金属置换的氢并未全部被置换，这样的鹽在一定的程度上尚保持有酸的性质，所以叫做酸式鹽。例如酸式硫酸钠(NaHSO_4)就是酸式鹽。最后，如酸式硫酸钠和氢氧化钾作用，则可制得硫酸钾钠(NaKSO_4)的双重鹽，其反应式为 $\text{NaHSO}_4 + \text{KOH} = \text{NaKSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ 。

酸、鹼和鹽的当量是以此化合物中陽离子与陰离子相结合的价数除它的分子量而求得。

例如碳酸鈣(CaCO_3)的当量等于 $100.09 \div 2 = 50.045$ ，因为此化合物的分子量为 100.09，其陽离子和陰离子是以二价相结合的。

附录中表 2 所示为最常用的化合物的分子量、离子量与当量。

1-2. 水 溶 液

水是氢的氧化物，它是一种复杂的物质。在自然界中，水存在有三种物理状态：固态、液态与气态，这种在自然界中有三种物理状态存在的物质是不多的。

水分子的组成为二个氢原子与一个氧原子，它们排成三角形的形状(圖1-1)。按照现代的观点，水分子中这种原子不在一直线上的排列能使水分子成最稳定的状态。

水是一种溶解力很强的溶剂，它可以溶解许多固态、液态与气态的物质。

这些物质在水中能成真溶液状态，此

最常用的酸及其鹽类的名称

表 1-1

酸 名	化学式	此酸的鹽类的名称
硝酸	HNO_3	硝酸鹽
硅酸	H_2SiO_3	硅酸鹽
硫酸	H_2SO_4	硫酸鹽
亞硫酸	H_2SO_3	亞硫酸鹽
鹽酸	HCl	氯化物
碳酸	H_2CO_3	碳酸鹽
磷酸(正)	H_3PO_4	磷酸鹽
重鉻酸	$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	重鉻酸鹽

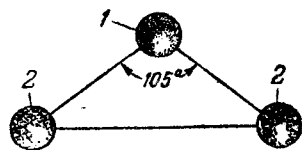


圖 1-1 水分子中原子的排列簡圖

1—氧原子；2—氢原子。