

TM62

W81

(2)1

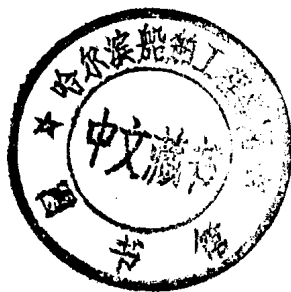
332887

热力发电厂水处理

上册

修订本

武汉水利电力学院电厂化学教研室编



水利电力出版社

TM 62

W81

(2) 2

332889

热 力 发 电 厂 水 处 理

下 册

修 订 本

武汉水利电力学院电厂化学教研室编



水 利 电 力 出 版 社

绪 论

第一节 水在热力发电厂中的作用

热力发电是利用热能转变为机械能进行发电的，现在我国用得比较普遍的是利用各种燃料的化学能转变为热能发电（火力发电）。本书以火力发电为主，对其用水质量的处理加以探讨。

在这种热力发电厂中，水进入锅炉后，吸收燃料（煤、油或天然气）燃烧放出的热能，转变成蒸汽，导入汽轮机；在汽轮机中，蒸汽的热能转变成机械能，发电机将机械能转变成电能，送至电网。所以锅炉和汽轮机属于热力发电厂的主要设备，为了保证它们正常的运行，对锅炉用水的质量有很严的要求。而且这些机组的蒸汽参数愈高，其要求也愈严。目前我国制造的锅炉、汽轮机机组的蒸汽参数和其容量如表0-1所示。

表 0-1 发电厂机组的蒸汽参数和容量

蒸汽参数 名 称	汽 压 (大气压①)		汽 温 (°C)		机 组 容 量 的 大 致 范 围
	锅 炉	汽 轮 机	锅 炉	汽 轮 机	
低温低压机组	14	13	350	340	1500~3000千瓦机组
中温中压机组	40	35	450	435	6000~50000千瓦机组
高温高压机组	100	90	540	535	2.5~10万千瓦机组
超高压机组	140	135	540	535	12.5~20万千瓦机组
亚临界压力机组	170	165	570	565	30万千瓦机组

① 本书所用的大气压均为工程大气压，1工程大气压等于1公斤/厘米²。

蒸汽经汽轮机后进入凝汽器，被冷却成凝结水，又由凝结水泵送到低压加热器，加热后送入除氧器，再由给水泵将已除氧的水送到高压加热器后进入锅炉。图 0-1 所示的就是这类凝汽式发

电厂水汽循环系统的主要流程。

在上述系统中，汽水虽是循环运行的，但总不免有些损失。造成这些汽水损失的主要原因，有如下几点：

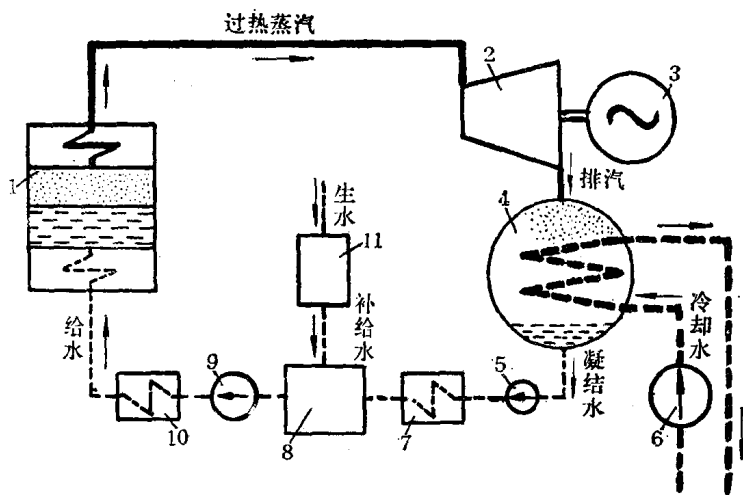


图 0-1 凝汽式发电厂水汽循环系统主要流程

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—凝结水泵；6—冷却水泵；7—低压加热器；8—除氧器；9—给水泵；10—高压加热器；11—水处理设备

(1) 锅炉部分。锅炉的排污放水，锅炉安全门和过热器放汽门的向外排汽，用蒸汽推动附属机械（如汽动给水泵），蒸汽吹灰和燃烧液体燃料（如油等）时采用蒸汽雾化法等，都要造成汽水损失。

(2) 汽轮机机组。汽轮机的轴封处要连续向外排汽，在抽气器和除氧器排气口处也会随空气排出一些蒸汽，造成损失。

(3) 各种水箱。各种水箱（如疏水箱等）有溢流和热水的蒸发等损失。

(4) 管道系统。各管道系统法兰盘连结不严密和阀门漏泄等原因，也会造成汽水损失。

为了维持发电厂热力系统的正常水汽循环运行，就要用水补充这些损失，这部分水称为补给水。凝汽式发电厂在正常运行情

况下，补给水量不超过锅炉额定蒸发量的2~4%。例如额定蒸发量每小时为100吨蒸汽的锅炉，其补给水量每小时不超过2~4吨。

有些发电厂除发电外，还向附近的工厂和住宅区供生产用汽和取暖用热水，这种电厂称为热电厂。在热电厂中，由于用户用热方式不同和供热系统复杂等原因，往往使送出的蒸汽大部分不能收回，造成很大的汽水损失，所以在热电厂中补给水量经常比凝汽式电厂大得多。图 0-2 所示就是热电厂水汽循环系统的主要流程。

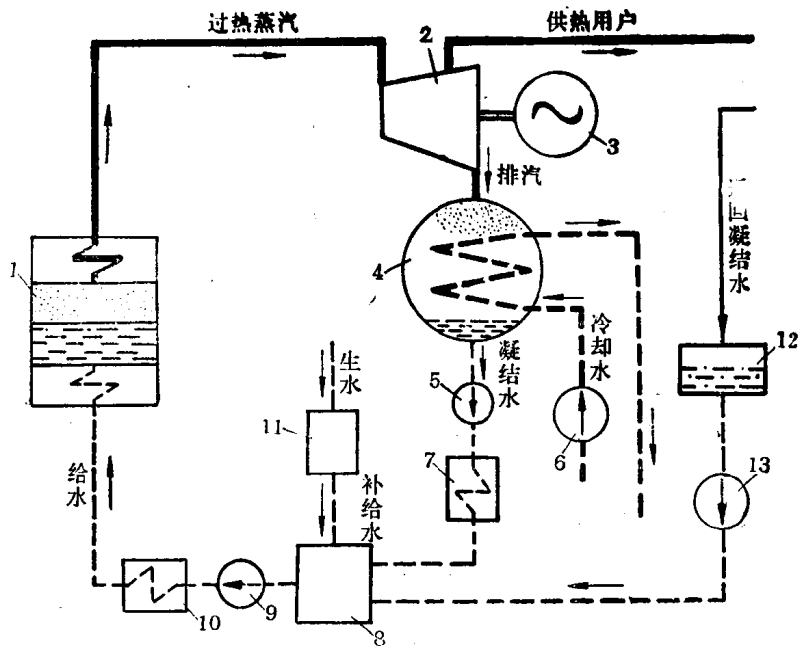


图 0-2 热电厂水汽循环系统主要流程

1—锅炉，2—汽轮机，3—发电机，4—凝汽器，5—凝结水泵，6—冷却水泵，7—低压加热器，8—除氧器，9—给水泵，10—高压加热器，11—水处理设备，12—返回凝结水箱，13—返回水泵

由于水在热力发电厂水汽循环系统中所经历的过程不同，其水质常有较大的差别。因此，根据实际上的需要，我们常给予这些水以不同的名称，现简述如下：

(1) 生水。生水是未经任何处理的天然水（如江河、湖、

地下水等等)。在热力发电厂中生水是制取补给水的原料,或用来冷却转动机械的轴承,以及供消防用等。

(2) 锅炉补给水。生水经过各种方法净化处理后,用来补充热力发电厂汽水损失的水,称为锅炉补给水。锅炉补给水按其净化处理方法的不同,又可分为软化水、蒸馏水和除盐水等。

(3) 汽轮机凝结水。在汽轮机中作功后的蒸汽经冷凝成的水,称为汽轮机凝结水。

(4) 疏水。各种蒸汽管道和用汽设备中的蒸汽凝结水,称为疏水。它经疏水器汇集到疏水箱或并入凝结水系统中。热力发电厂中疏水系统往往比较复杂,在图0-1和图0-2中为了说明水汽循环的主要系统,所以未把它表示出来。

(5) 返回凝结水。热电厂向热用户供热后,回收的蒸汽凝结水,称为返回凝结水(简称返回水)。其中又有热网加热器凝结水和生产返回凝结水之分。

(6) 给水。送进锅炉的水称为给水。凝汽式发电厂的给水,主要由汽轮机凝结水、补给水和各种疏水组成。热电厂的给水组成中,还包括返回凝结水。

(7) 锅炉水。在锅炉本体的蒸发系统中流动着的水,称为锅炉水,简称炉水。

(8) 冷却水。用作冷却介质的水称为冷却水。在电厂中,它主要是指通过凝汽器用以冷却汽轮机排汽的水。

第二节 热力发电厂中水处理的重要性

长期的实践使人们认识到,热力系统中水的品质,是影响发电厂热力设备(锅炉、汽轮机等)安全、经济运行的重要因素之一。没有经过净化处理的天然水含有许多杂质,这种水如进入水汽循环系统,将会造成各种危害。为了保证热力系统中有良好的水质,必须对水进行适当的净化处理和严格地监督汽水质量。

现将热力发电厂中,由于汽品质不良而引起的危害,简述

如下：

(1) 热力设备的结垢。如果进入锅炉或其它热交换器的水质不良，则经过一段时间运行后，在和水接触的受热面上，会生成一些固体附着物，这种现象称为结垢，这些固体附着物称为水垢。因为水垢的导热性能比金属差几百倍，而这些水垢又极易在热负荷很高的锅炉炉管中生成，所以结垢对锅炉（或热交换器）的危害性很大。它可使结垢部位的金属管壁温度过高，引起金属强度下降，这样在管内压力的作用下，就会发生管道局部变形、产生鼓包，甚至引起爆管等严重事故。结垢不仅危害到安全运行，而且还会大大降低发电厂的经济性。例如，热力发电厂锅炉的省煤器中，结有1毫米厚的水垢时，其燃料用量就比原来的多消耗1.5~2.0%。由于发电厂锅炉的容量一般都很大，每年使用的燃料量也很大，所以燃料的消耗率虽只有微小的增加，却会给国家造成巨额的经济损失。另外，在汽轮机凝汽器内结垢会导致凝汽器真空度降低，从而使汽轮机的热效率和出力下降。加热器的结垢会使水的加热温度达不到设计值，使整个热力系统的经济性降低。而且，热力设备结垢以后还必须及时清洗工作，这就要停止运行，减少了设备的年利用小时数，此外，还要增加检修工作量和费用等。

(2) 热力设备的腐蚀。发电厂热力设备的金属经常和水接触，若水质不良，则会引起金属的腐蚀。热力发电厂的给水管、各种加热器、锅炉的省煤器、水冷壁、过热器和汽轮机凝汽器等，都会因水质不良而引起腐蚀。腐蚀不仅要缩短设备本身的使用期限，造成经济损失，同时还由于金属腐蚀产物转入水中，使给水中杂质增多，从而又加剧在高热负荷受热面上的结垢过程，而结成的垢转而又会促进锅炉炉管的腐蚀。此种恶性循环，会迅速导致爆管事故。此外，如金属的腐蚀产物被蒸汽带到汽轮机中沉积下来后，也会严重地影响汽轮机的安全、经济运行。

(3) 过热器和汽轮机的积盐。水质不良会使锅炉不能产生高纯度的蒸汽，随蒸汽带出的杂质就会沉积在蒸汽通过的各个部

位，如过热器和汽轮机，这种现象称为积盐。过热器管内积盐会引起金属管壁过热甚至爆管；汽轮机内积盐会大大降低汽轮机的出力和效率，特别是高温高压的大容量汽轮机，它的高压部分蒸汽流通的截面积很小，所以少量的积盐也会大大增加蒸汽流通的阻力，使汽轮机的出力下降。当汽轮机积盐严重时，还会使推力轴承负荷增大，隔板弯曲，造成事故停机。

热力发电厂水处理工作就是为了保证热力系统各部分有良好的水汽品质，以防止热力设备的结垢、积盐和腐蚀。因此，在热力发电厂中，水处理工作对保证发电厂的安全、经济运行具有十分重要的意义。

热力发电厂的水处理工作，主要包括如下的内容：

（1）净化生水，制备热力系统所需质量的补给水。它包括除去天然水中的悬浮物和胶体状态杂质的澄清、过滤等预处理；除去水中溶解的钙、镁离子的软化处理；或除去水中全部溶解盐类的除盐处理。这些制备补给水的处理，通常称为炉外水处理。

（2）对给水要进行除氧、加药等处理。

（3）对于汽包锅炉要进行锅炉水的加药处理和排污，这些工作称为锅内水处理。

（4）对于直流锅炉机组或某些亚临界压力汽包锅炉的机组，则要进行汽轮机凝结水的净化处理。

（5）在热电厂中，对生产返回凝结水，要进行除油、除铁等净化处理。

（6）对冷却水要进行防垢、防腐和防止有机附着物等处理。

（7）对热力系统各部分的汽水质量要进行监督。

此外，化学清洗热力设备以及机炉停运期间的保养工作，与水处理有直接关系，故也应列入水处理工作。

第一章 水质概述

水是地面上分布最广的物质，几乎占据着地球表面的四分之三，构成了洋、海、江、湖；此外在高山上和地球南北两极还常年有积雪和冰，地层中存有大量的地下水，大气中也有相当数量的水蒸汽。

水分子(H_2O)是由两个氢原子和一个氧原子构成的。可是大自然中很纯的水是没有的，因为水是一种溶解能力很强的溶剂，能溶解大气中、地表面和地下岩层里的许多物质，此外还有一些不溶于水的物质和水混杂在一起。天然水中的杂质虽然种类很多，但在它们的组成中，一般不外乎常见的20多种元素（参见附录VI）。这些元素除了少数呈单质外，大都形成酸、碱、盐之类的化合物或其它复杂化合物，分散在水中。

水在各种工业部门的生产过程中，常常是不可缺少的物质。各种工业对水质都有一定要求，所以在大多数的情况下，天然水必须经净化处理后才能使用，热力发电厂对它的要求很严格。

热力发电厂中采用的水净化方法，是依据热力设备对水质的要求和天然水中杂质的含量来决定的。所以在研究水处理工艺时，首先需要了解天然水中含有杂质的概况，这就是本章所要讨论的内容。

第一节 常用化学名词概述

为了便于学习以后内容，现将水处理工作中常用的几个化学名词，作如下简要叙述。

一、溶 液

溶液在工农业生产、科学实验以及日常生活中起着十分重要

的作用，它在水处理工作中，也应用得相当广泛。

若将少量纯粹食盐 (NaCl) 放入水中，稍加搅拌，食盐就很快地溶于水中，与水形成均一、澄清的溶液。这是由于食盐的离子在水分子的作用下，均匀地分散在水里的缘故。这种一种物质分散在另一种物质中的体系称做分散体系，均一的分散体系叫做溶液^①。溶液中被分散的物质叫做溶质，用以分散溶质的物质叫做溶剂，发生这种均匀分散的现象叫做溶解。以上的例子是食盐溶解在水中，食盐是溶质，水是溶剂，形成的是食盐水溶液。

水能溶解很多种物质，是最常用的溶剂，通常所说的溶液一般是指水溶液。除水之外，酒精、汽油等也可以做溶剂，溶解一定的溶质，得到相应的溶液。一般说来，当固体或气体溶于液体时，固体或气体是溶质，液体是溶剂。如氮溶于水和碘溶于酒精时，氨和碘是溶质，水和酒精是溶剂。当两种液体互相溶解而形成溶液时，量多的一种叫溶剂，量少的叫溶质。因此，溶质和溶剂有相对的意义。

以上所介绍的溶液是指属于不浑浊、外观为均一状态的均匀体系。在这个体系里，溶质以分子或离子形式均匀地分布在溶剂分子间，通常把这种溶液叫做真溶液。

还有一种体系是，被分散后的物质微粒是由较多的分子或离子所组成，由于它们的颗粒较小，肉眼仍然观察不到，外观也表现为均一的透明状态，但在光线照射下，却能看见由这些颗粒所散射的光束。我们把这种体系称为胶体溶液。

如果分散在水中的颗粒很大，甚至用肉眼都能观察出来的，从外观看它就是不均一的，而且经过静置后，大部分分散物质会沉降下来，这种体系通常称之为悬浊液，如江河中含有泥砂的水，即属悬浊液。

① 广义的说，除液态溶液外，还有固态溶液(如固溶体合金)和气态溶液(如气体混合物)。

二、浓 度

在水处理工作中，常常需要知道某溶液中含有溶质的量，或者要配制某种浓度的溶液。这些都涉及到溶质和溶剂的数量关系。所谓浓度就是均一定量的溶剂或溶液里所含溶质的量。表示浓度的方法很多，下面着重介绍常用的几种：

1. 百分浓度

用溶质的重量占全部溶液（溶质+溶剂）重量的百分比来表示溶液的浓度，叫做百分浓度。例如5%食盐溶液，就是表示在100克溶液里含有5克食盐和95克水。百分浓度可用（1-1）式表示：

$$\text{溶液的百分浓度} = \frac{\text{溶质重量}}{\text{溶质重量} + \text{溶剂重量}} \times 100\% \quad (1-1)$$

例：水处理需用食盐水，今取1吨（1000公斤）水溶解300公斤食盐来配制食盐溶液，求此食盐溶液的百分浓度。

解：食盐溶液的重量 = 300公斤（食盐）+ 1000公斤（水）
= 1300公斤

食盐溶液的百分浓度是：

$$\frac{300}{1300} \times 100\% = 23.1\%$$

答：此食盐溶液的百分浓度是23.1%。

上述百分浓度是按溶质重量比溶液重量来表示的。在实用上，为了方便起见，有时将100毫升溶液中含有溶质的克数表示为百分浓度，这是重量比体积的百分浓度。例如在100毫升溶液中，含有5克食盐，可写为5%（重量/体积）食盐溶液。

百分浓度是工业上常用来表示较浓溶液浓度的一种方法。为了求取某一物质的水溶液的百分浓度，可以用测定其温度和比重的方法，因为在一定的温度下，给定物质的水溶液的密度和其浓度有一定的关系（参见附录VIII）。

2. 摩尔浓度

在1升（1000毫升）溶液中所含溶质的摩尔数所表示的溶液

浓度，叫做摩尔浓度，其单位常以 M 表示。例如在1升氢氧化钠溶液中含有氢氧化钠40克（1摩尔），叫做1 M 氢氧化钠的溶液。在1升中含有20克（0.5摩尔）氢氧化钠的溶液，就叫做0.5 M 氢氧化钠溶液。故摩尔浓度可用（1-2）式表示：

$$\text{摩尔浓度} = \frac{\text{溶质的摩尔数}}{\text{溶液的体积(升)}} \quad (1-2)$$

例：在实验室里，要配制250毫升0.5 M 碳酸钠溶液，求需碳酸钠若干克？

解：溶液的体积为250毫升，即0.25升。设 x 为所需碳酸钠的摩尔数，代入公式（1-2）

则为
$$0.5 = \frac{x}{0.25},$$

$$x = 0.5 \times 0.25 = 0.125$$

因碳酸钠分子量为106，故它的重量应为 $0.125 \times 106 = 13.25$ 克。

答：需要碳酸钠13.25克。

这种用1升溶液体积为基准的表示法，有时称为体积摩尔浓度，因为还有用1000克溶剂为基准的重量摩尔浓度（单位以 m 表示）。

3. 用单位体积或单位重量溶液中含有溶质重量表示的浓度

在工业上有时用1升溶液中含有溶质的克数（或毫克、微克数）表示溶液的浓度（相应的单位为克/升、毫克/升、微克/升）。对于以水为溶剂的稀溶液每升的重量近似地等于1公斤，在这种情况下，上述浓度单位和克/公斤、毫克/公斤、微克/公斤可看作是相等的。例如某生水1升中含有铁化合物的量以铁（Fe）表示为0.004克，其浓度可以用下面各种单位表示：

因 $1 \text{ 克} = 1000 \text{ 毫克}, 1 \text{ 毫克} = 1000 \text{ 微克},$

故 $\text{Fe 含量} = 0.004 \text{ 克/升 (或克/公斤)};$

或 $\text{Fe 含量} = 4 \text{ 毫克/升 (或毫克/公斤)};$

或 $\text{Fe 含量} = 4000 \text{ 微克/升 (或微克/公斤)}.$

在天然水及其处理过程中水中溶质含量一般都很少，所以单位采用毫克/升、微克/升比较普遍，有时还用 ppm 或 ppb 来表

示。ppm 是指在一百万份重量的溶液中所含溶质重量的份数，所以它和毫克/公斤的表示法相同，因而对于一般的稀溶液也可看成是毫克/升；ppb是表示在十亿份重量溶液中所含溶质重量的份数，它可看成是微克/升。

4. 当量浓度

要弄清楚什么是当量浓度，首先必须懂得当量和克当量的意义。

(1) 元素的当量。为了研究不同元素相互化合时重量的关系，在化学中常常采用当量这一概念。某元素和 8 份重量的氧或 1.008 份重量的氢相化合时，或从化合物中置换此量的氧或氢时所需的量，叫做该元素的当量。例如，35.5 份氯和 1.008 份氢完全化合成为氯化氢 (HCl)；4.67 份氮和 1.008 份氢完全化合成为氨 (NH₃)；23 份钠和 8 份氧完全化合成为氧化钠 (Na₂O)。所以氯、氮、钠等元素的当量分别是 35.5、4.67 和 23。

实验证明，各种元素相互化合时，其重量之比等于它们的当量之比，这就是当量定律。因此，某元素的当量不一定由它和氧或氢的化合关系来求得，也可以根据当量定律从此元素和其它已知当量的元素所生成的化合物的组成来计算。

元素的当量、化合价和原子量之间的关系，如 (1-3) 式所示：

$$\text{元素的当量} = \frac{\text{原子量}}{\text{化合价}} \quad (1-3)$$

例如钙的原子量为 40.08，它的化合价为 2，故钙的当量

$$= \frac{40.08}{2} = 20.04.$$

(2) 化合物的当量。不仅各种元素相互化合时，彼此都有定量的关系，而且化合物和元素以及化合物和化合物相互进行化学作用时，也都存在着这样的关系。所以化合物也有当量概念。

一种化合物和任何 1 当量物质完全作用时所需的量，叫做这种化合物的当量。各种化合物相互作用时，其重量之比等于它们

的当量之比。例如在灼热的黑色氧化铜上通过氢气，1.008 克的氢能还原39.8克的氧化铜，所以39.8就是氧化铜的当量；39.8克的氧化铜能和49克的硫酸完全作用，所以49就是硫酸的当量；49克的硫酸能和40克氢氧化钠完全作用，所以40就是氢氧化钠的当量；40克的氢氧化钠能和36.5克盐酸完全作用，所以36.5就是盐酸的当量。

化合物的当量和分子量之间的关系如(1-4)式所示^①：

$$\text{化合物的当量} = \frac{\text{分子量}}{\text{正价总数或负价总数}} \quad (1-4)$$

例如三氯化铁(FeCl_3)分子量为162.2，分子式中正价总数为3，因而三氯化铁当量 $=\frac{162.2}{3}=54.07$ 。

(3) 克当量。上述的物质当量，和原子量、分子量一样，是相对的量，没有重量单位。在实用上为了方便起见，常以克为单位来表示，称为克当量。例如氢氧化钠(NaOH)的当量为40，则40克 NaOH 称为1克当量 NaOH ，所以物质的重量也可以用克当量为单位来表示。例如80克 NaOH 是40克(1克当量)的2倍，故80克 NaOH 也可称为2克当量 NaOH 。

所以，物质的重量可以按(1-5)式换算成克当量数来表示：

$$\text{克当量数} = \frac{\text{物质的重量(克)}}{\text{该物质的克当量(克)}} \quad (1-5)$$

(4) 当量浓度。在1升(1000毫升)溶液中所含溶质的克当量数，叫做当量浓度，其单位常以 N 表示。例如，在1升硫酸溶液中含有1克当量(49克)的硫酸，这种溶液叫做1 N 的硫酸溶液；如含有0.2克当量(9.8克)的硫酸，就叫0.2 N 的硫酸溶液。

① 在氧化还原类反应中，当量按反应中得失电子数除分子量来计算。

例：要配制0.1N氢氧化钠（NaOH）溶液100毫升，需要氢氧化钠多少克？

解：氢氧化钠的当量 = 40，即 1 克当量氢氧化钠 = 40 克，那么 0.1 克当量氢氧化钠 = $0.1 \times 40 = 4$ 克。设配制 100 毫升 0.1N 氢氧化钠溶液需要 x 克氢氧化钠，则

$$1000:4 = 100:x$$

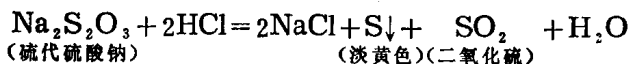
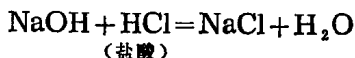
$$x = \frac{4 \times 100}{1000} = 0.4 \text{ 克}$$

答：需要氢氧化钠 0.4 克。

三、质量作用定律和化学平衡

1. 化学反应速度

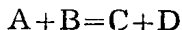
各种化学反应的快、慢不等，但在一定条件下某一特定的反应，常以一定的速度进行，例如下列两反应式中，



NaOH 和 HCl 两溶液相混合时，反应能在瞬间完成；而当 HCl 溶液倾入 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液时，则在片刻之后才看出硫磺（S）从溶液中缓缓地析出，使溶液变浑。这说明不同的化学反应，常以不同的速度进行。

化学反应速度是用单位时间内反应物浓度的减少量或产物的增加量来衡量的。化学反应速度除与反应物的本性有关外，还与进行反应时的条件有关。这些条件最重要的是浓度、温度和催化剂。下面简单讨论反应速度和反应物浓度的关系。

任何化学反应，只有当参与反应的分子或离子相互碰撞时才能发生。当其它条件一定时，碰撞次数越多反应速度越快。而碰撞次数的多少，是与单位体积中所含反应物分子或离子的多少（即浓度）有关，故浓度越大，碰撞次数越多，反应速度也越快。设在一定温度下 A、B 两种物质进行下列反应：



如把 $[A]$ 、 $[B]$ 分别代表该两种物质的摩尔浓度，用 v 代表它们的反应速度，则可得下列关系式

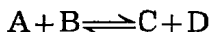
$$v \propto [A][B] \quad \text{即 } v = k[A][B]$$

式中 k ——比例常数，这里可称为速度常数。

上式表明，化学反应速度和各反应物的浓度乘积成正比。此结论称为质量作用定律。

2. 化学平衡

从许多实验得知，绝大多数的化学反应在不同程度上都是可逆的，即有正方向反应，同时也有逆方向反应，再以



为例，设 v_1 和 v_2 分别代表正向和逆向的反应速度， k_1 和 k_2 分别代表正向和逆向反应的速度常数。那末，根据质量作用定律可以得到以下的关系式：

$$v_1 \propto [A][B], \quad v_1 = k_1[A][B];$$

$$v_2 \propto [C][D], \quad v_2 = k_2[C][D].$$

如以A与B开始反应为例，当开始时， $[A]$ 、 $[B]$ 的值很大， $[C]$ 、 $[D]$ 为零，所以 v_1 较大， v_2 为零，此时 $v_1 > v_2$ 。随着反应的进行， $[A]$ 、 $[B]$ 逐渐降低， $[C]$ 、 $[D]$ 逐渐增大，所以 v_1 逐渐减小， v_2 逐渐增大。当进行到正向反应速度 v_1 与逆向反应速度 v_2 彼此相等时，此反应即呈化学平衡状态。

所以在化学反应平衡时，任意一种参与反应的物质(A、B、C、D)，在单位时间内消失的数量和其逆反应生成的数量相等。这时，反应系统中各物质的浓度不再改变，但并不是反应停止了，因此化学平衡是一种动态平衡。

3. 化学平衡常数

当可逆反应达到平衡，即 $v_1 = v_2$ 时，

$$k_1[A][B] = k_2[C][D]$$

移项得

$$\frac{[C][D]}{[A][B]} = \frac{k_1}{k_2}$$

由于 k_1 、 k_2 都是常数，它们的比值仍为常数，通常用 K 表示，如

(1-6) 式

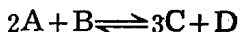
$$\frac{[C][D]}{[A][B]} = K \quad (1-6)$$

这个常数 K 称为化学平衡常数。此常数和参与反应物质的最初浓度无关，但随温度而改变。常数 K 的数值愈大，说明正反应愈完全。

平衡常数表示式的意义可用文字叙述如下：

化学反应达到平衡时，各反应产物的摩尔浓度乘积和各反应物摩尔浓度乘积的比值，在一定温度下是一个常数。

化学热力学证明，当反应过程中某物质不是以 1 个分子参与反应，而是 2 个或 3 个分子时，则在化学平衡常数表达式中，它应是 2 次或 3 次方。例如反应



的平衡常数式为
$$\frac{[C]^3[D]}{[A]^2[B]} = K$$

四、电 离

1. 电解质和非电解质

实验证明，有一类物质在干燥时不能导电，而在水溶液中或在加热熔融状态下却能导电，此类物质叫做电解质，如食盐、氯化氢、氢氧化钠等。另外还有一类物质，干燥的和其溶液都不能导电，此类物质叫做非电解质，如糖、酒精、石蜡等。

2. 电离过程

电解质溶解于水后所以能导电，是因为在水分子作用下，电解质解离为带正电的和带负电的离子，它们能在水中自由移动，这种过程叫做电离。例如氯化钠、氢氧化钠和氯化氢溶解于水，就会发生如下电离：

