

1 掌管物质变化的学科——化学

1.1 世界在变化中发展

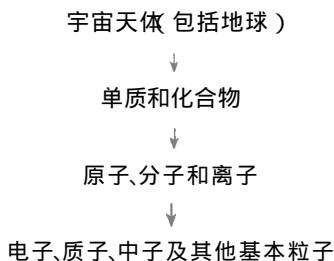
● 举目望世界,万物皆在变

日常生活中,我们都见到过水在加热后会沸腾而变成水蒸气;在寒冷的冬天却又会凝结成晶莹透明的固体——冰。一棵大树被砍下后可以锯成板材,经能工巧匠之手又可以变为一套漂亮的家具。粮食经过特殊的发酵过程可以酿制成美酒,而酒精又可以燃烧,利用它来制成实验室加热的能源——酒精灯。不难看出,在所

有这些变化中，我们可以把它们分为两类：一类是变化过程中物质的构造和成分并没有变化，称之为物理变化。如水变为水蒸气或冰，只是形态变了，其化学成分仍然是含两个氢一个氧的水分子。另一类变化却改变了变化物质的构造和成分，从一种物质变成了另一种物质。如粮食酿成酒，就是从淀粉变成了醇的过程。酒精燃烧则是从醇变成了二氧化碳和水。这种变化称之为化学变化。现在让我们再来看看钢铁厂将矿石冶炼成钢铁，经过适当的加工又可制成各种用具，而这些用具在使用过程中又会生锈腐蚀。这其中有哪些变化呢？从矿石到钢铁，这是化学变化，因为通常矿石是铁的化合物如氧化物或硫化物，冶炼过程实际上是使铁从化合物中还原出来，变成单质铁。铁锭制成铁的用具是物理变化，因为还是铁，只是形态变了。而铁器在潮湿空气中生锈腐蚀则又是化学变化，因为这时的铁又被氧化而生成了氧化铁。再如，一袋袋粉末状的水泥，经过掺合水之后就可以变成坚硬的固体，是我们建造高楼大厦、桥梁和道路的主要材料，这也是化学变化。因为，由于水的作用，水泥原先的成分和构造发生了变化，因此看似形态上简单的变化，实际上是化学变化。这一类化学变化是物质发生变化的主流，也是我们这个世界得以发展的主要原因，更是我们生命起源的根本所在。一粒种子入土生根发芽，长成植株，乃至育成硕大的树木；一个婴儿呱呱坠地后逐渐长大成人，究其根本都是化学变化所致，只不过这些是比铁生锈更为复杂的变化而已。化学就是掌管这种变化的一门科学。从本质上讲化学就是研究物质变化的一门科学。

● 有形和无形的物质

科学家们把物质分为两个类型，一种是实物，即具有静止质量的物质，而另一种是场，是看不见、摸不着、没有静止质量的物质，如电场，磁场等。化学虽然是研究物质变化的科学，但只研究实物质类的物质，场不是化学研究的对象。就整个世界而言，我们可以把物质分为下列几个层次：



在这些层次中，仅有个别粒子，如光子等属于场这种物质形态外，包括其余粒子在内的所有层次物质皆为实物。作为基础学科的分工来说，化学学科也不是对上述所有物质层次都进行研究，通常它所研究的内容是中间两个层次。

就运动的形式而言，物质运动包含许多运动方式；如机械运动、物理运动、化学运动、生物运动和社会运动。化学研究的内容主要是物质的化学运动，即物质的化学变化。

自然界有一条定律，即物质不灭定律。这是说物质既不能自生，也不能自灭，只能转变。所谓化学变化，就是物质间的转来变去。在化学变化中，一部分变化是自发的，它并不以人的意志而转移，而另一部分变化是人为的，是人类根据自身的需要去实现的变

化，后者是我们这个世界得以进步和发展的主要原因。例如说，一种新材料的诞生，会大大提高人类的生活质量；一种新的合成药物的出现可以抑止疾病，提高人类的健康水平，从而达到延年益寿。从这个意义上来说，世界在变化中进步，在变化中发展。

1.2 千变万化求其宗

大千世界的变化简直是浩如烟海，面对如此繁杂而众多的变化，化学究竟去研究什么？

● 破旧才能立新

化学变化的本质是旧的化学键被破坏，新的化学键继而形成的过程。这种变化导致了原子、分子或离子等核外电子的运动状态发生了变化。在通常的情况下，一般的化学变化不会涉及一个新的元素的产生，也就是不涉及到原子核的变化。只有在特殊的场合，如研究核能的开发，元素的放射性等领域才会涉及到原子核的变化。

为了了解变化是如何发生的，首先要对变化前后物质本身的组成，结构以及它们的性质进行研究，其次是研究发生变化的一些外界条件。例如说，为了破坏旧的化学键，需要多少能量？如何让物质获得足够的能量？都是研究化学变化中极为重要的内容。

在化学变化中，有时也会伴随着一些物理现象的发生，如光、电和热的产生。尽管这些都是物理现象，但它们都是在化学变化过程中产生的，因此，作为对化学变化更全面的了解，也必须同时研究这些伴随现象的性质和数量。对这些相关现象的研究，也促进了化学学科本身的突破和发展。如研究化学反应产生电流的现象导致了电化学分支的出现。对化学反应热的研究，又导致了热化学分支的建立。其他诸如，光化学、激光化学等等也都是在这种研究中逐渐形成的。

● 水向何处流

根据常识，人们立刻会回答水向低处流。然而，这正是物理学的一条定律，即能量愈低愈稳定。高处的水其势能也高，所以山顶上的水一定是流到势能较低的山脚下。那么，化学反应的方向又是如何呢？A 加上 B 会不会变成 C，这就是化学变化研究的又一个内容，即化学反应的可能性。化学反应同样要满足自然界的规律，即体系的能量愈低愈稳定。当然，判定一个化学反应体系的能量大小，并没有像水流方向那么简单，它需要进行计算。在化学研究的各个分支中，有一个分支称之为化学热力学，就是专门研究化学反应的方向和可能性的。它可以告诉你，怎样的化学反应体系，在什么条件下，反应可以自发进行，而另一些化学反应在一定的条件下是无法进行的。这就是化学反应中的规律，也正是我们希望从千变万化中寻找的那个“宗”。例如说，水在常温常压下是不可自发分解为 H_2 和 O_2 的。因此我们就不必去徒劳地进行各种研究，为了要让水分解，你就必须考虑去改变条件，例如加上外加能量，于是在通上电流的情况下，水就会被分解为 H_2 和 O_2 了。此

外，热力学还可以告诉我们一个反应能进行到什么程度。

● 时间和速度

化学热力学只告诉我们，一个化学反应能在某一个条件下进行，但没有告诉我们这个反应进行得快还是慢，需要多少时间才能完成。因此，对化学反应的研究还必须引入时间概念，这就是化学反应的速度问题。例如说，热力学告诉我们，在常温常压的条件下， H_2 和 O_2 是可以反应生成水的。然而，当你将 H_2 和 O_2 按一定比例混合在一个容器内时，你看不到它们会反应而生成水。这是因为在通常的条件下，它们的反应速度极慢（106 亿年才生成 0.15% 的水）。所以，实际上这等于不会发生反应。要加快这个反应的进行，你就必须改变条件，如提高反应温度（在 600 时反应就会立即发生，或使用催化剂，只要在 H_2 和 O_2 的体系中放入铂黑（金属铂的极细粉末）那么反应也会立即完成。由此可见，研究化学变化还需要研究化学反应的速度，这就是化学反应动力学的研究内容。

1.3 事关人类的生存和发展

任何自然学科的研究，均有其自身的目的，化学学科也不例外。和所有自然学科的研究目的一样，其总体上是为人类造福，使人类生活得更美好。

人类对生活的追求，大致可以分成三个层次：首先是生存，其次是生活质量的提高，最后是能延年益寿。由于化学学科与人类生活的密切关系，在这三个层次的追求中，化学学科承担着更多的义务以及责任。

● 确保人类生存的条件

人类在地球上的生存需要一些基本的条件除空气、阳光、水之外，人类还需要粮食。随着人口的急剧增长，可耕地面积的逐渐减少，粮食的供需之间出现了较大的危机。为了生存，人类面临的日益严重的问题是给自己提供充足的食物和营养。这当然需要全社会的努力，也需要各个学科的协同作战。然而，化学以其自身的特点，在增加粮食生产和保护粮食产量上可以作出特殊的贡献，首先是化学肥料，其次是化学农药。现代人的生活还离不开能源，而地球上仅存的能源资源是有限的，如何合理地使用这些资源，如何开发新的能源，化学可以为之提供各种选择。人类生存还与环境有关，在日益被污染的情况下，化学将对环境保护负有不可推卸的责任。在保护水资源，保护我们的大气的过程中，有监测，控制问题，又有以新材料、新工艺实现无污染的战略问题。这些都和化学有密切的关系。

● 新材料与新生活质量

当人类得以在地球上生存后，人们的愿望自然而然就是希望生活得更好一点。与人类生活息息相关的衣食住行的条件改善是

首先被考虑的。以人类的衣着材料为例，自然界提供的纺织材料，由于人口的急剧增加，已远远不能满足人类对衣着材料的需求。化学在对现有衣着材料棉、麻、羊毛、蚕丝进行了分析研究之后，自然就想到利用化学反应去把小分子合成为类似棉麻之类的线性大分子。这就是今日人类已经拥有的诸多合成纤维，如腈纶、涤纶、尼龙、维尼纶等。它们不仅满足了人类衣着材料的数量，同时也为品种和质量增添了不少色彩。而化学向人类提供的层出不穷的新材料，每每使人类的生活质量更上了一层楼。有了塑料，人类进入了高分子时代，有了半导体材料，人类进入了电器微型化时代。特种材料的研制成功，又使人类走向宇宙，开创了宇航时代。有了表面活性剂，人类使自己更清洁，更美丽。总之，化学是新材料的源泉，而新材料使人类生活质量节节高升。

● 延年益寿

生活质量的日益改善和提高，人们会对生活充满信心，自然也希望能尽情地享受这美好的生活，这就使人们期望自己的寿命能长一点。有人说，人类的身体健康或寿命是医生们的事。其实不然，医学当然是人类身体健康的主力军，但化学对人类健康的参与及所作出的贡献，会让医学如虎添翼。首先，在探明生命的奥秘中，化学可以施展它的浑身解数，诸如微量生命元素的作用，人体衰老的原因等等。其次，在合成药物方面，化学已经为人类消灭疾病作出了极大的贡献，如磺胺药、阿司匹林以及其他一些重要药物的问世，就为维护人类的健康起了重大的作用。而目前化学又对威胁人类生命最甚的心血管病方面开展了积极的研究，如模拟蛇毒成分而合成的新药，对降压有极佳的效果。总之，化学可以帮助

人类延年益寿。

化学是一门使人类生活得更美好的学科。正如中国科学院前院长卢嘉锡先生所说：“化学发展到今天，已经成为人类认识物质自然界，改造物质自然界，并从物质和自然界的相互作用得到自由的一种极为重要的武器。就人类的生活而言，农轻重，吃穿用，无不密切地依赖化学。在新的技术革命浪潮中，化学更是引人注目的弄潮儿。”

1.4 离不开实验的学科

化学和其他自然科学相比，更显示出它对实验的依赖关系，因此它是一门离不开实验的科学。任何化学的原理，定律以及规律无一不是从实验中得出的结论。因此，只有那些思维活跃，求知欲望强烈，同时又有良好实验习惯和动手能力，并能注意观察现象的人，才有可能成为化学研究的成功者。

● 离开实验就没有发现

居里夫人是一个伟大的化学家，也是实验工作者的典范。1898年居里夫人在研究元素铀的放射性时发现铀矿石的放射性比提纯后的铀化合物的放射性更强。居里夫人马上就想到在未提纯的铀矿石中肯定有一种放射性比铀更强的物质存在。她预言，

这是一种新元素的化合物。然而，当时的化学家中有相当一部分人对此持怀疑态度。他们要求居里夫人提供新元素的原子量。为此，在 1898 年到 1902 年整整 4 年时间里，居里夫人日以继夜地工作，从 8 吨沥青铀矿中提炼出 0.1 克新元素的氯化物，并以这少量的纯化合物，测出了新元素的原子量为 225。这就是居里夫人发现的新元素——钷。居里夫人终于成功了，是在艰辛的、大量的实验工作基础上获得了成功。为此，她获得了 1911 年的诺贝尔化学奖。

在叶永烈先生写的《化学趣史》一书中，曾讲述了元素钷发现过程中的一个故事：那是在 1828 年，化学家维勒在分析墨西哥出产的一种铅矿时，觉得这种铅矿中可能有一种尚未发现的新元素。他研究了一阵子，没有查出来，便将它撂在一边，忙别的事情去了。3 年之后，维勒听说贝采利乌斯的学生、瑞典化学家塞夫斯特朗发现了一种新元素——钷。钷的原意，是希腊神话中一位女神的名字——凡娜第丝。

从塞夫斯特朗所描述的过程看，维勒觉得这很像他 3 年前未查明的那种元素。于是他把当年用过的铅矿寄给贝采利乌斯，请老师进行鉴别，这矿石中的元素是不是钷。贝采利乌斯仔细分析了维勒寄来的矿石，查明矿石中确实是钷的氧化物，于是他写了一封极为风趣而又寓意极深的回信，信中写道：“在北方极远的地方，有一位叫做凡娜第丝的女神。一天，来了一个人敲门，女神没有马上去开门，想等他再敲一下，结果那人没有再敲，转身就走了。过后不久，又有一个人来敲门，他一次次热心而又激烈地敲门，女神终于打开了大门把他迎了进去。这个人就是塞夫斯特朗。”贝采利乌斯这封别具一格的信，借助故事告诉维勒，你既然没有一心一意地钻研下去，半途而废，怎么能发现钷呢？因此在化学领域中只有那些肯钻研，锲而不舍进行试验的人，才能在科学上建立功勋。

● 细致观察是成功的基础

实验态度的一丝不苟，实验数据的认真记录和积累，虽是实验中的重要环节，而实验过程中的细致观察，特别是对一些反常现象的观察分析尤为重要，它往往会带来一些意想不到的发现。

1826年法国青年科学家巴拉尔，从海藻中提取碘。这在当时已经是一个较为成熟的实验方法。因为海藻中含有碘化物，只要将海藻煅烧成灰，再用水将灰中的碘化物浸出，然后在提取液中通氯气，就可获得碘。巴拉尔每次分离出碘之后，发现在母液的底部总是有一层深棕红色的液体。他没有放过这一意外的发现。对该液体进行了一系列试验之后，证明这是一种新的元素——溴(Br)。氟、氯、溴、碘同属卤族元素，其化学活泼性依次递减，活泼的可以将不活泼的置换出来，因此，在母液中通入氯气后，碘化物中的碘就被置换出来了。而提取液中除了碘化物外，也存在一些溴化物，其中的溴也会被置换出来，这就形成了母液底部的深棕红色液体。巴拉尔如果只管取碘而不问其他，那么也就不会注意到母液底部的深棕红色液体，一个新的元素——溴，也就不会被发现了。事实上，这个实验现象早在两年前，德国著名的化学家李比希就已经发现了。只可惜他当时只是保留了这瓶液体，而没有进行进一步的试验，错过了一个重大的发现。这件事给李比希一个极大的教训，“任何疏于观察和深入研究，必导致失误”。为此，李比希在这个装有红棕色液体的瓶子上贴上了一张标签“失误瓶”，放在实验室最醒目之处，以时时提醒自己和他的同事们不要再犯类似的错误。

罗蒙诺索夫是18世纪俄国的一位杰出的化学家。他所处的时代正是化学界盛行“燃素说”的时期。所谓“燃素说”就是认为

任何可以发生燃烧的物质中，都含有燃素。燃烧时，燃素逸出。物质所含燃素越多，就燃烧得越旺。金属锡在煅烧后变成粉末，也是因为其中的燃素逸出到大气中去了。1673年英国科学家波义耳作了金属煅烧的实验。他把金属铜、锡、铅等放入曲颈瓶中，称其质量，然后加热煅烧，金属在加热过程中逐渐发生变化，原先的光泽消失了，表面出现了暗色的渣滓，甚至变成了粉末。反应完毕后再去称质量，结果出乎他的意外，质量增加了。这是“燃素说”无论如何解释不了的。曲颈瓶是盖着的，不可能有其他东西进入瓶中，按燃素说的理论，燃素跑了之后，应当变轻才对。一时间，有人说燃素具有负质量，所以剩下物质的质量就增加了。波义耳为了解释他的实验现象，提出了“火素”的概念。他认为在加热过程中，有一种特殊的、极其微小的、肉眼看不见的“火素”穿过了玻璃瓶，进入到金属里去了。这种“火素”是有质量的，所以质量增加了。这种解释，在我们今天看来，十分可笑。然而，在当时各种素论盛行的时代，却有不少的支持者。1756年，差不多离开波义耳实验的80多年后，罗蒙诺索夫，以同样的方式重复了波义耳的实验。罗蒙诺索夫有一个特点，无论做什么实验，总要记录参加反应的各种物质的质量和反应后产物的各自质量。当他称量反应前后曲颈瓶质量时发现，如果不打开瓶盖，质量不变；打开瓶盖，则质量增加。这说明金属煅烧后质量的增加，是因为瓶中空气里的某种东西进入了金属或和金属发生了作用。瓶盖未打开时，金属虽然增加了质量，可是空气的质量一定是减轻了。打开瓶盖后，空气得到了补充，总质量也就增加了。一个简简单单的瓶盖打开与否的称重和细心的观察，彻底推翻了波义耳的“火素”学说。而更为难能可贵的是，罗蒙诺索夫从这个实验的结果，发现了一个更伟大的结果，即物质不灭定律。他指出物质既不能无中生有而凭空产生，也不能无影无踪地自行消失，物质之间只能相互转变。后来这个定律在法国化

学家拉瓦锡的不断充实和发展下，成了著名的物质不灭定律，从此便可以用化学方程式来表示化学反应了。

● 工欲善其事，必先利其器

在化学研究中，实验手段的不断进步，是化学学科发展的关键。

化学实验工作往往离不开测量，因此实验手段的进步，特别是实验仪器的开发对化学研究有着重要的作用。19世纪精密天平的出现，曾为化学研究开创了一个新的局面。

19世纪初期，有人曾提出“任何元素的原子质量都是氢原子质量的倍数”。此学说是否可信，有赖于对各种元素的原子量称重测定。由于精密天平的出现，终于精确地测到了氯原子的原子量绝非氢原子量的整倍数，实验事实对这种学说提出了质疑并将其摒弃。

同样的精密称量工作，化学家 Regleigh 发现从空气中得到的 N_2 和从氨分解中得到的 N_2 ，两者的密度不一样。由此而想到空气来源的 N_2 是否还会有没除净的其他物质继续深入的研究终于发现了新的惰性元素——氩(Ar)。

近代化学实验手段的飞跃发展，更是将化学研究推进到一个新的时代。各种波谱，特别是红外、紫外、顺磁、核磁技术的发展，使化学物质的结构研究，有了明亮的“眼睛”。各种电子能谱的发展，又使化学研究如虎添翼，将研究推入到微观和分子水平的研究之中。

亚细亚刚毛草是危害粮食作物的寄生草，长期以来，一直未能找到一种有效的办法去抑止它。后来借助于核磁共振的技术，发

现了促进其生长的化学信息物质，于是抑止老大难亚细亚刚毛草的问题就迎刃而解了。

分析检测手段的愈来愈精密，也创造了条件使化学研究更加造福于人类，如用伏安溶出法测量人体毛发中的硒含量，就可初步判断癌症患病的几率。曾用此法测量过 57 例健康人的毛发，其硒含量均在 600ppb^[1] 以上，而 54 例癌症病人的毛发中，其硒含量均在 400ppb 以下，这就启发人们注意保持体内硒含量的重要性。

计算机技术的日益发展，同样在化学领域中得到了极为有益的应用。量子化学在结构方面的研究，由于有了计算机，大大缩短了计算周期。有了电子计算机，可以实现高效的运算，从而可以进行分子设计。分子设计的思想，就是从所需要的性能出发，设计出具有某种性能的结构，然后再设法合成得到产物。计算机还可以帮助化学家在屏幕上进行反应条件的模拟试验，从而选择最合适的反应条件。由此可见，实验手段的不断丰富和发展进步是化学研究的关键所在。总之，实践是认识世界的基础，是检验真理的唯一标准。毫无疑问，人们要想认识物质世界，必须实践。物质世界中千变万化的化学现象，都是通过化学实验观察到的，而化学中的一些学说，定律既是从实验基础上经综合，归纳而得到，也在实验的鉴别中修正、发展而成熟。因此实验是化学科学的基础，也是化学科学的根本。

[1] 1ppb 等于 1/10⁹(下同) ——编者注

1.5 辉煌的历史和肩负的重任

化学这门学科发展到今天已经经历了复杂而漫长的道路，随着时间的推移，化学家们所知道的物质种类，物质的制取方法以及研究的范围都在逐步扩大。同时，关于物质组成和结构、化学变化过程中的理论和学说也在不断扩展和逐步完善。

化学学科的第一个特点是它的发展受一定的社会条件，特别是经济条件的影响，是在与各种社会现象及过程的相互作用中进行的。它经历了实用和手工艺化学时期、炼金术时期、化学革命时期、原子分子学说形成时期、有机化学诞生和发展时期和物理化学时期等等。

● 化学学科的兴起

人类从遥远的古代就已经接触到了化学现象，并逐步积累了化学的一些实用知识。如偶然的会使古代人知道盐可以调味及防腐。又如对穿着的需要，他们又学会了用原始方法加工兽皮等。然而，化学学科的兴起，和人类掌握用火有直接的关系。火的使用不仅仅是人和所有其他动物的一目了然的区别，还是人类学会用火作为能源而促进了科学的发展。开始人类用火只是取暖和烧烤食物，而到了新石器时代，人类学会了用火烧制陶器和冶炼一些金

属。掌握冶炼技术，使化学学科的形成向前迈出了重要的一步。第一个被冶炼出来的金属就是铜。先是用绿色碱式碳酸铜矿，以后又用硫化物矿进行冶炼。后来，铅、锡、铁等也被生产出来了。根据中国考古和文献记载的结合判断，中国在公元前 700 年左右就已经会冶炼铁了。这比欧洲早 1 000 多年。然而，化学可以说直到炼金术时期（公元 8 世纪到 12 世纪）才开始逐步形成一种学科的萌芽。在这一时期内，无论是阿拉伯的炼金术，西欧的炼金术以至中国的炼丹术，都涉及金属的制取与提纯，以及相应发展起来的有关金属的学说。在公元 8 世纪时，阿拉伯各国中炼金术甚至就是化学的代名词。早期阿拉伯著名炼金术家贾比尔·伊本·海杨写了一本名为《七十书》的著作。这是一本政治学、神学与自然哲学的百科全书。这本书的最后几章有大量关于金属、矿物、盐类化合物的知识。他认为有两个特殊的金属：一个是硫，这是可燃性金属；一个是汞，这是光泽性金属。并认为金属是由硫和汞在地心内部由地热作用而形成的。认为黄金是最完善的金属，但最难生成。他提出了以硫和汞加上某些东西即可实现金属的转变，使不完善的金属变为完善金属。这个学说导致了炼金术的发展。人们企图以硫和汞等来制备出黄金。我国的炼金术始于秦汉之交，秦始皇为了找到“仙人不死之药”大力支持炼丹术。到了东汉炼丹术又披上了迷信的色彩。然而，在许多著作中仍可见化学知识。例如东汉魏伯阳写的《周易参同契》中说“河上姤女灵而最神，得火则飞，不见尘埃……将欲制之，黄芽为根”。这里“河上姤女”指汞，“黄芽”指硫，意思是说汞易挥发，若遇硫黄则固定汞为丹（硫化汞），又说“胡粉投入火中，色坏还回铅”。意思是说经过火的作用，胡粉（碱式碳酸铅）的白色变了，还原成铅。由此可见，中国古代在化学的知识和实践上都比欧洲及其他地区先进。可惜的是这些活动都受封建统治者的左右，目的只是为了制造长生不老药。

和变烧金属为黄金。当然 这是要落空的 所以中国的炼金 丹 术 进行了一二千年，收效甚微。所幸，在这些实践中，中国炼金术积累了化学知识，发展了有关化学实验的技术。

炼金术时期，另一个推动化学学科形成的重要因素，是欧洲人使用了精确的仪器——天平，由此而以数量概念来推测反应的关系。

所有这一切均孕育了化学学科的形成。

● 化学学科的形成

炼金术时期 积累了不少化学知识 也掌握了许多冶炼金属的技术。但是，也碰了不少钉子，走了不少弯路。至少，知道了金子是不可能从别的金属变过来的，也知道了炼出来的长生不老药非但不会长生，反而会中毒而丧命。这就引起了科学家们去思考更深层次的问题，即要掌握物质之间发生变化的规律。13世纪末，相当于我国的元朝，欧洲开始了所谓文艺复兴时期，在社会生活各方面起了深刻的变革。自然科学受其影响，也出现了一批革新的科学家，这不仅动摇了宗教经院哲学，也推动了社会生产的发展。在化学学科方面除冶金有显著发展之外，还形成了化学学科一个新的发展方向，那就是医药化学。炼金术一词在这个时期具有比过去广泛得多的含义。它可以表示加工天然原料，使之适合新要求的任何过程。使化学在形成为一门自然科学的历程中向前跨了一大步。医药化学发展的代表人物如冯·浩享海姆是一个医学博士，但有很丰富的化学知识，他在大学讲课中，把化学作为重要内容讲授，还建议把二者合并成一门科学。又如李巴维，在这一时期中出版了一本名为《炼金术》的书 从仪器装置到物质的制取 内