

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界近代后期科技史



内容提要

19世纪是近代科技发展的重要时期。这一时期的科学技术无论在深度和广度上都是近代前期所不能比拟的。许多重要的观念、重要的规律和理论都在这一时期里先后涌现出来；另一方面，科学的发展为新技术的发明提供了启发和依据，并以前所未见的力量促使生产迅猛增长。19世纪因而获得了“科学世纪”的美称。

本书用简约的语言，生动的事例，全景观地再现了19世纪科技的辉煌成就，不仅介绍了物理、数学、化学、天文、地学、生物各学科的成长和发展过程，而且介绍了医学在病理学、细菌学以及临床医学方面所取得的重要成果和发展历程；在技术方面则详实地介绍了化学工业的进展，被称为第二次技术革命的电气化工业技术的开创历程、交通工具革命、机械工程的大发展、建筑和冶金革命。最后用对比的方式描写了这一时期里科学技术在日本和中国的发展，指出封建意识和封建制度是阻碍科学技术发展的根本原因。

本书注重按历史发展的本来面貌去描述科学思想的产生、发展及争论。在叙述中又力戒过分涉及具体的学科内容，以便使一般读者不至于感到难懂。在技术发展史上则着重于介绍发明的思想及演变，力求具体生动。本书适合具有大专以上文化程度的读者，对于开设了科技史课程的学校，不失为有价值的参考书。

一、概 述

19 世纪是近代科技史上最辉煌的时代。在这一时期里各门学科形成了独立的体系，理论在实验事实的基础上发育得更加完美，更加丰富，在研究方法上更趋成熟，科学与生产的关系更紧密，所有这一切使 19 世纪赢得了“科学世纪”的美称。

19 世纪的各门学科在观念上都有不同程度的飞跃。在数学上非欧几何学的产生是对有几千年历史的欧氏几何学的宣战，它在 19 世纪刮起了一场几何学革命的风暴。在物理学上，场的观念和理论的提出，宣告了机械以太假说的死亡；热力学的建立彻底结束了热质学说的统治地位。在化学上，原素周期律的发现使元素学说和人类对物质的认识产生了真正的变革，化学第一次从零散现象的描述及化学性质的罗列中摆脱出来，完成了从经验到理论的飞跃。在生物学上，进化论第一次把生物学放在科学的基础上，是生物学的划时代的革命理论，其影响之大，远远超出了生物学的范畴。

19 世纪，科学已从搜集材料的阶段上升到整理和综合材料，最后形成假说和建立理论体系的阶段。电磁学的发展就是一个明显的例子。直到 18 世纪末，人类对电和磁的认识仅局限于某些零星的静电和静磁现象。然而一旦奥斯特发现并证实了电和磁的联系，安培便在极短的时间里推导出了安培定律及公式，使电磁学完成了走向理论的一次飞跃，接着法拉第发现了电磁感应定律，并提出了场的概念，最后麦克斯韦完成了对所有电磁实验现象的大综合，建立了电磁场理论，把经典物理学发展到顶峰阶段。同样的，门捷列夫、达尔文、施莱顿等伟大的科学家们也都在各自的研究领域里完成了具有历史意义的理论的综合。

19 世纪的科学在深度和广度上也有了空前的高水平的发展。在空间上，天文学已扩展到银河系之外；在时间上，已追溯到太阳系的起源；在深度上，已确立了原子和分子的差别，探索着细胞的奥秘；在物质运动的规律上，已从实验上证明存在能的转化与守恒规律，并进而认识到运动转化的方向性问题。即使是在 19 世纪建立的进化论，也由于孟德尔的遗传学说而获得更深刻的发展。这些都是自文艺复兴以来所不曾有过的飞速进步。

19 世纪以来科学已逐渐抛弃了从静止的、孤立的观点看待自然现象的研究方法。人们对自然认识越深刻，越广泛，就越是能体会到自然界现象虽千差万别，然而又是相互联系的统一的物质世界。他们已学会用发展、联系的观点来研究自然界，着重于透过现象去寻找现象间的联系以及现象的发展，并从中找到变化规律。例如赖尔着眼于地球的演化，达尔文着重于生物的演化，孟德尔透过演化中的遗传现象去探寻遗传的规律。物理学证明了电、磁和光相互间是联系着的，并且具有共同的本质。元素周期律表明一切元素由于量的变化而发生性质的周期变化。细胞学说把动物和植物、高等生物和低等生物联系在一起。能量的转化与守恒定律则揭示了各种运动形态的联系。19 世纪的自然科学既看到了自然界复杂、多样的一面，也认识到自然界统一、和谐的一面；既看到物质世界相对稳定的一面，也看到进化、发展的另一面。经典科学在 19 世纪走向成熟。

科学的成熟还表现在它对宗教显示了更加强大的战斗力。在 19 世纪，科学证明人是进化来的而不是上帝创造的；有机物是可以由无机物合成来的，因而与造物主不相干；天文学家证明了在宇宙的星球中没有上帝的位置等

等。神学的堡垒和领地就这样逐一被科学攻破。

19 世纪，科学最重要的特征是它比任何时代都更鲜明地证明科学对生产的重要推动作用，即科学是生产力的论断。有机化学理论的创立，使得 19 世纪建立了以煤焦油的利用为核心的有机化工，无机化学的发展，使化学基础工业出现了蓬勃的生机。热力学的发展使蒸汽机日益完善并促成了内燃机的诞生。电磁学理论的建立，大大推动了电力技术的发展，从而形成了发电工业、电机工业、电灯、电话、电报等一系列电气产业。电气化的到来使整个工业和人类的社会生活发生了广泛而深刻的变化。而这些变化又由于电科学的继续发展获得了不断完善和提高。

在 19 世纪，科学和技术已有了明显的差别，科学是对自然的探求和认识，技术则是改造世界的物质手段。科学和技术是相互联系，相互促进的。一般地说，科学是技术的基础，但是在生产不太发达的时代，技术往往更多地依赖于经验，它掌握在工匠手中，与书斋中的学者联系不多。但在 19 世纪，技术往往是科学成果的应用，可以说没有法拉第定律便不可能发明发电机；没有焦耳定律及电的热效应研究不可能发明电灯。这种紧密的依赖关系，决定了 19 世纪技术发展的特点。

其一，随着科学理论的革命性变革，在技术的所有相应领域中也发生了革命。

冶金工业革命是由于热工学的发展，促使转炉和平炉发明，结果使钢铁工业在 19 世纪得到突飞猛进的发展。

交通革命是由于 19 世纪将蒸汽机和钢铁用于轮船和车辆的制造，而内燃机的发明，最终导致汽车工业和汽车运输业的诞生，从而彻底改变了几千年来的交通面貌。

建筑革命源于水泥和钢筋混凝土的发明，使几千年来依赖砖石、木材做建筑材料的局面为之一改，并且还导致建筑结构的大发展。

化工技术革命导致发明了铂作催化剂，用以改进接触法制硫酸。无机化学的进步还导致了苏尔维法制碱的发明，有机化学促使有机化工业得到相应的发展，使人工合成染料、化肥和炸药得到发明并投入生产。

农业机械革命中，拖拉机和联合收割机的发明与应用，结束了几千年来依靠人力和畜力从事农业生产的局面，使农业的生产效率大幅度提高。

19 世纪后为了精密加工蒸汽机和武器，出现了先进的精密车床，继后又发明了铣床、刨床、磨床乃至自动车床。从而形成了加工机械的革命。加工工业技术的发展使得人们有可能去制造日益复杂的内燃机和汽车，制造高速印刷机和纺织机等等，其影响是深刻的。

19 世纪最有影响的技术革命是电力技术的出现及发展。一方面，电机技术的发展为人类提供了一种高级能源，即电能，另一方面电力技术又带动了一系列用电技术的发展，例如电灯、电话和电报，从而出现了一系列新材料和新加工方法，形成了庞大的电气工业技术体系。这一切为 19 世纪末和 20 世纪人类进入电气化时代奠定了基础。

其二，随着技术革命的深入，技术逐渐摆脱了对经验的依赖，借助于科学的帮助终于形成了专门为技术服务的理论体系。例如 1840 年英国的格拉斯哥大学讲授《应用力学》、《动力工程学》、《土木工程学》等课程，同时在德国有人也编写了《机械学》、《机械设计》等讲义。到 60 年代英国还专门创办了工程技术杂志《电气工程师》等。

其三，工业革命带来了 19 世纪物质生产的迅猛发展。例如 19 世纪最后 30 年里，世界工业总产值增加了两倍多，其中钢铁猛增 55 倍，石油增加了 25 倍，农业生产也有大幅度增长。

其四，工业革命使许多国家认识到科学对生产的巨大推进作用，于是产生了专门培养工程师和技术工人的学校。1823 年成立第一所伦敦技工学校，到 1850 年这类学校在英国多达 500 所。一些职业发明家开始创办专为发展工程技术的实验室，如爱迪生实验室、贝尔实验室等。这些学校和实验室对培养工程技术人材和发展科学技术起了巨大的作用。

最后，我们要提到 19 世纪医学的发展，西方医学在 19 世纪发生了革命性的变化。这主要是麻醉剂的发明，使外科发生了根本的变化；细菌学和病理学的发展，使医生对疾病的认识和治疗有了巨大的进步。这一切终于成为现代医学的前奏。

二、近代后期物理学

1. 能量转化与守恒定律的确立

能量转化与守恒定律的发现是起源于对运动的量度和运动不灭的思想，但是它的确立却经历了漫长曲折的历史进程，直到 19 世纪中叶才作为自然界的一条普遍定律为科学界接受。

早在 1644 年，哲学家和物理学家笛卡尔（1596—1650，法国）的《哲学原理》一书中就明确提出：“物质有一定量的运动，这个量是从来不增加也从来不减少的。”他用质量和速度的乘积量度物质运动的量，因此他表述的实质上是力学中的动量守恒的思想。稍后，惠更斯（1629—1695，法国）提出过一条与碰撞有关的定理，认为碰撞物的质量和速度平方乘积的总和在碰撞前后保持不变。这启迪人们重新思考运动量的量度问题。1696 年，莱布尼茨（1646—1716，法国）指出：运动有两种量度，因为动力有两种，一种叫“死力”，另一种叫“活力”。动量是“死力”的量度， mv^2 则是“活力”的量度，自然界中真正守恒的是总的“活力”。他的观点影响了很长的一段历史时期，直到 19 世纪，科里奥利（1792—1843 年，

法国）才建议用 $\frac{1}{2}mv^2$ ，代替 mv^2 ，后来叫做动能。1829 年，工程师彭塞利（1788—1867 年，法国）使用了“功”这一术语，并由科里奥利定义：力和受力点沿力的方向位移之积叫“运动的功”。这样人们才明确：所作的功等于增加的动能。

促使人们在 19 世纪确认这一伟大定律还有一个不容忽视的背景。那就是—系列重大的发现揭示了各种自然现象间的普遍联系和相互转化关系。主要有：1798 年，本杰明·汤普逊（1753—1814 年，英国）和戴维（1778—1831，英国）用摩擦生热证明机械运动可以转化为热。1821 年，塞贝克（1770—1831 年，德国）发现了温差电现象，证明热可以转化为电。1840 年，焦耳定律指明电转化为热的规律。1821 年，法拉第（1791—1867 年，英国）发明了“电磁旋转器”，表明电转化为机械运动；1820 年，奥斯特（1777—1851 年，丹麦）发现了电流的磁效应，后来法拉第完成了电磁感应定律的研究，从而证明电和磁间的相互转化；1801 年，李特尔（1776—1810 年，德国）研究了紫外光的化学作用；1839 年，贝克勒尔（1820—1909 年，法国）发现光照可以改变电池的电动势等等。这一切启发欧洲的科学家们以一种“统一”的和“相互联系”的观点去认识自然界的现象。

19 世纪 40 年代，属于欧洲几个国家的十多位学者，从不同专业，用不同的方式，各自独立地发现了能量转化与守恒定律，其中的代表者是迈尔、焦耳和亥姆霍兹。

罗伯特·迈尔（1814—1878 年，德国）是一位医生。1840 年他作为随船医生航行至印度尼西亚，在赤道附近他意外地注意到海员静脉的血比在欧洲时要鲜红些。当时已经证明血的颜色鲜红表明血中含氧量高，迈尔想到一定是在热带肌体消耗的热量较少，所以食物燃烧过程减弱，耗氧量少，静脉血中留下的氧增多，颜色就鲜红。1841 年他在一封信中写道：化学家们认为的基本规律是物质不可破灭的……我们应该把完全同样的规律用在力上。力同物质一样，也是不可破灭的，它们加入不同的组合，当某种旧的形式消失了，

又会形成新的形式。”这里说的力是指能量。显然他从上面的例子已经认识到食物所含的化学能可以转化为热。后来他又从海浪冲击使水温升高的现象认识到机械运动与热的关系。

1841年，他的第一篇论文《论力的量和质的定义》没有被接受。1842年，他在《论无机界的力》中写道：“力是不灭的、能转化的、无重量的客体”。这篇论文发表在李比希主编的《化学与药学年鉴》上。恩格斯因此认为这是划时代的一年。

1845年，他自费出版《论有机运动和新陈代谢》一书。他指出，力的转化与守恒是支配宇宙的普遍规律。他把力分为五种：运动的力，在弹性碰撞上表现为活力守恒；下落的力，它和运动的力相互转化，这种“机械效应将保持为一个恒量”；热，“热力是指转化为运动的力”；电力和化学力。他还把这五种力画在一张表上，说明各种力相互转化的25种情况，得出了否定热质和其它无重量流质假说的结论。

迈尔从几个实例出发计算了热功当量，他得到的计算值是 $J = 3.48$ 焦耳/卡。

迈尔个人的遭遇是不幸的，多次受到嘲讽和打击。1849年，他跳楼自杀时受伤，不久被送进疯人院，直到1862年才恢复科学活动。

焦耳（1818—1889年，英国）是曼彻斯特一位啤酒商。从年轻时起就从事电学、磁学和化学的业余研究，他用毕生精力完成了热功当量的测定，从而确立了能量转化与守恒定律的实验基础。

从1840年到1841年，焦耳研究了电转化为热的现象，他发现了著名的焦耳定律。1843年，他发表了《论磁电的热效应和热和机械值》一文，他设计了一个实验，使线圈在一个电磁铁的两极间转动，所产生的感生电流又使线圈发热，焦耳测量了线圈中产生的热量；线圈的转动是由下落的砝码通过滑轮带动的，这样就可以计算出砝码作的功。由此计算出的热功当量平均值是“能使一磅水升高华氏一度的热量，等于（可转化为）把838磅重物举高1英尺的机械力。他最后的结论是：“由于创世主的意志，自然界的全部动因是不变的。因此，有多少机械力被消耗掉，就有完全等量的热被得到”。

他在1845年研究了空气的绝热压缩和真空中空气自由膨胀实验，得到热功当量的值是436千克力/千卡和438千克力/千卡。1850年，他在《论热功当量》的论文中总结了全部工作，并在文中给出了现在教科书所介绍的测定热功当量的方法，这一次的结果是425.77千克力/千卡。焦耳的实验测定一直延续到1878年，前后40年中共完成400多次实验。焦耳的工作一度不受重视，直到1850年他的观点才被权威学者们接受，他本人在这一年当选为英国皇家学会会员。

赫尔姆霍茨（1821—1894年，德国）是一位生理学家、物理学家及数学家。他通过生理学的研究独立地得到了相同的结论。1847年，他写了《论力的守恒》，论述力的不灭原理，他说：“所有活力和张力之和始终是一个常数。这条最具有普遍形式的定律，可以称为力的守恒原理。”所谓“张力”即指势能；所谓“活力”即指动能。他还证明：在有摩擦的条件下，“损失掉的活力将转变为其它力（能量），首先是热”。当这一著作出版时，柏林科学院中竟然只有数学家雅可俾支持他的观点。

在同一历史时期几乎同时发现这一定律的还有法国工程师卡诺、英国律师格罗夫、丹麦物理学家柯尔丁、法国物理学家法拉弟等十多人。这里要特

别提到青年工程师卡诺(1796—1832年,法国)的贡献。卡诺原是“热质说”的拥护者,但通过热机循环的研究,使他在1830年意识到“热质说”的错误。他在笔记中写道,“热不是什么别的东西,而是动力,或者说它是改变了形式的运动”,“因此,人们可以得到一个普遍的命题:在自然界中存在的动力,在量上是不消灭的。准确地说,它既不会创生也不会消灭,实际上,它只改变了自身的形式”。不幸的是卡诺英年早逝,他的遗稿直到1873年才公布,其时能量守恒定律早已得到公认。

在19世纪人们提到能量往往使用力这个词表述,事实上在1807年英国的托马斯·杨已创造了“能”这个术语。当科里奥利定义了“功”后,托马斯·杨于是定义能量是“作了功的力”。1853年,英国的理论物理学家开尔文(1824—1907,英国)对能量下了严格的定义,“我们把给定状态中的物质系统的能量表示为:当它从这个给定状态无论以什么方式过渡到任意一个固定的零态时,在系统外所产生的用机械功单位来量度的各种作用的总和。”自这时起人们使用“能量守恒”这个词而很少说“力的守恒”。

能量转化和守恒定律的发现是19世纪最伟大的发现之一,也是自牛顿力学建立以来物理学的最重要的成就。它表明自然界的一切现象都存在密切的联系,一方面各种物质的各种运动形式,例如机械的、电的、热的、磁的等等在一定条件下发生相互转化。另一方面各种运动可以用同一个概念“能量”去量度,并且物质世界的总能量在一定条件下守恒,从而证明了物质世界的同一性和物质运动的永恒。恩格斯强调了能量相互转化的重要性,他说:“自然界中所有无数起作用的原因……现在都已经证明是同一种能(即运动)的特殊形式,即存在方式;我们不仅可以证明,它在自然界中经常从一种形式转化为另一种形式,而且甚至可以在实验室中和工业中实现这种转化,使某一形式的一定量的能总是相当于另一形式一定量的能。”因此,“自然界中整个运动的统一,现在已经不再是哲学的论断,而是自然科学的事实了。”¹

2. 热力学的建立与发展

19世纪初,蒸汽机在生产中的作用日益重要,人们迫切要求提高蒸汽机的效率,于是在法国首先诞生了热机理论,并奠定了热力学的理论基础。

法国工程师萨迪·卡诺完成了对蒸汽机的抽象研究。他在1824年出版了《关于火的动力思考》一书,他强调为了以最普遍的形式去研究由热得到运动的原理,必须“建立起能应用于一切可以想象的热的热机原理,不管它们用的是什么物质,也不管它们如何运转”。他设计了一部经过抽象化的理想热机,没有任何漏汽,没有摩擦损失,能用完美的循环方式工作。

卡诺基于这样一个原理:“凡有温差的地方就能够产生动力”,他认为“热的动力依赖于所用的热质的量和我们称之为热质的下落高度,即交换热质的物体之间的温度差”,“在此基础上他设计出著名的卡诺循环,并依据热质守恒和永动机不可能原理证明了卡诺定理。这一定理表述为:任何工作于两个温度之间的热机的效率都小于理想热机的效率。

显然卡诺的理论是以错误的热质说为基础的。后来他自己也意识到这一点,终于在1830年抛弃热质说而转向热的运动说。

¹ 恩格斯:《自然辩证法》,《马克思恩格斯选集》第3卷第526页,人民出版社1972年版。

卡诺关于热机理论的研究，无论在实践上和理论上都是极重要的，从而促使物理学家们对热的规律作深入的探讨。克劳修斯（1822—1888，德国）指出：“实际上很难完全抛弃卡诺的理论，因为它在某种程度上已很好地为实验所证实”。1850年，克劳修斯对热机的工作过程重新作了分析，他说：“功的产生很可能伴随着两种过程，即一些热量被消耗了，另一些热量从热物体传到了冷物体”。他把这一关系写成微分方程： $dQ = du + dw$ 。 dQ 表示传热， dw 表示所作的功， du 是由变化的初态和终态所确定的，后来W·汤姆逊（开尔文）把这个函数叫做物体的能量。这一原理成为热力学的基础，叫做热力学第一定律，实质上就是能量转化与守恒定律。

为了证明卡诺定理，克劳修斯和汤姆逊引入了一条新的原理。1851年，汤姆逊把这一原理表述为“一台不借助于任何外界作用的自动机器，把热从一个物体传到另一个温度比它高的物体，是不可能的。”克劳修斯在1875年则表述为“热不可能自动地从冷的物体传到热的物体”，这一原理后来叫做热力学第二定律。

第一定律表明封闭系统中能量是守恒的；第二定律表明能量的转化是按一定方向进行的，热不会自发地从低温传向高温。

1854年，克劳修斯从卡诺的理想热机效率公式出发，得到对任意可逆循环过程下的积分方程

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0$$

dQ 表示在一个无限小的过程中所吸收的热量， \oint 表示一个可逆循环过程。克劳修斯指出，这个公式的数学涵义表明存在一个量 S “只与物体当时所处的状态有关，而与物体到达这个状态所经过的途径无关”。他把 S 定义叫熵，熵的全微分 $ds = \frac{dQ}{T}$ 。他在论文中写道“熵在希腊文里表示‘发展’

(entropie)。我专门挑选‘熵’这个词，为了使它与‘能量’一词在发音上相同(energia)。因为按照它们的物理含意这两量很相似”。根据卡诺定理可以证明：当热力学系统从一个平衡态经绝热过程达到另一平衡态，它的熵永不减少。如果过程是不可逆的（在自然界存在的过程），则熵的数值增加。这就是著名的“熵增加原理”。克劳修斯在说明这个原理的意义时说：“我所给出的第二定律的这个形式指出，自然界中一切沿着我称之为正方向进行的过程，能够自动地无补偿的发生”；而沿反方向发生的过程都不是自发地进行的，而需要外界补偿。事实上熵越大系统就越接近平衡态，系统的能量也就有更多的部分丧失了转化能力。

汤姆逊和克劳修斯把这一原理推广到全宇宙，从而导出“热寂说”。1865年，克劳修斯在题为《关于机械的热理论的第二定律》的演说中系统地阐述这一思想，他首先肯定“全宇宙的总能量是常数，就像全宇宙物质总量一样”，但是由于宇宙中的正转化不断增加，使宇宙不断膨胀，而各种运动都通过机械运动转化为热，最终达到宇宙的热平衡，也就是熵是最大的状态。“宇宙就永远处于一种惰性的死寂状态”。

热寂说提出后，不少科学家提出了质疑。其中玻尔兹曼从统计的意义指出，自然界有起伏运动，相反方向的过程可能性虽小，但几率不等于零，宇宙的热平衡趋势也会为新的起伏破坏。

3. 分子运动论和统计物理学

自 1811 年意大利科学家阿伏伽德罗定义了分子概念之后，赫拉帕斯（1790—1868，英国）就在 1816 年至 1821 年间提出了较系统的分子运动论，他的主要假设是：气体的分子是以很大速度做直线运动；热是由分子的运动引起来的一种现象，热与原子的动量成正比。他导出了等温条件下理想气体定律；提出温度与分子的速度成正比；还定性地解释了物态变化、扩散等现象。但他的工作并没有引起重视。

焦耳研究了赫拉帕斯的假设，他计算了在 0 和 1 个大气压下氢原子的速率，进而证明气体的体积与压力成正比；分子的速率与温度的平方根成正比的结论。1851 年，他的论文发表在一种哲学刊物上，因而也未引起重视。

在 19 世纪后半期，系统的分子运动理论，主要是由克劳修斯、麦克斯韦和玻尔兹曼建立起来的。

1857 年，克劳修斯在《论热运动形式》的论文中发展了气体分子运动理论。他认为分子质量很小，每一次与器壁的碰撞作用微不足道，但在单位时间里大量分子对器壁碰撞的总效果产生了气体的压力。他还指出单个分子的碰撞是无规律的，而系统的宏观性质是由大量分子运动的平均值来确定。这样，他首次将统计概念引入到物理学中。在这一前提下，他说明了在分子速度不变时波义耳——马略特定律等效于压强与分子密度成正比。在论文的附录中，他发表了根据分子运动论推导气体压强公式的过程，得到压强正比于气体分子速度的平方，正比于分子密度和分子质量的乘积；进而推出了盖·吕萨克定律。

克劳修斯给出了理想气体分子运动论的假设：分子很小，可以视为数学上的一个点；分子碰撞时间与二次碰撞的时间间隔相比是可以忽略的；分子间几乎没有作用力。

他还用分子论解释物质的其它状态，他说：“在固态中分子是在确定的平衡位置附近运动”，“在液态中则有振动、转动和平动……在不受外界压力对，分子仍保留在某一空间范围内。”他指出蒸发是一个统计过程，它的基础是分子速度几率式的涨落，使液面与个别分子可以挣脱周围分子的引力而蒸发掉。当这种涨落发生在液体内部，则发生沸腾。

克劳修斯认为关于分子类似弹性小球的假定是不确切的，因为分子多是由两个以上的原子组成的。所以，气体分子的平均动能只是全部内能的一部分。他计算了气体的定容比热和定压比热，得到分子中原子越多，气体分子平均动能占全部内能的比例就越小的结论。

1858 年，为了回答单个分子高速运动与扩散速度缓慢进行相矛盾的质疑，他发表了《论气体分子的平均自由程》。他修正了分子大小可忽略的假设。认为分子间距离小于 λ 时，分子间表现为排斥，于是“把分子重心周围半径等于 λ 的一个球称为分子作用球”。在此基础上他计算了分子在两次碰撞之间的平均路程，即分子的平均自由程。他指出扩散过程取决于分子的平均自由程，因此是缓慢的。

真正用严格的统计学方法处理分子热运动的无规律性问题，应归功于物理学家麦克斯韦（1831—1879 年，英国）。1859 年，他宣读了《气体动力学的说明》，首先申明“为了将运动研究建立在严格的力学定律的基础上，我将阐述数目不定的，完全是弹性的刚性小球的运动规律，这些刚性小球只在

碰撞时才相互作用。”他强调碰撞不会使分子的速度趋于一致，而是在不同的速度范围内以不同的比例分布。借助于几率的概念，他计算出在一定温度下气体分子按速度分布的规律，即著名的麦克斯韦速度分布律，它与高斯导出的误差分布规律很相似。

他从速度分布律出发，重新计算了分子的平均自由程，导出现在公认的公式。还研究了扩散、内摩擦、热传导及不可逆过程。麦克斯韦的这一套理论后来得到其它人及他本人不断地修正而完善起来。在此基础上，洛喜密脱（1821—1895，奥地利）由平均自由程计算出分子有效直径约为 1.18×10^{-6} 毫米。分子密度在 0 和 1 个大气压下为 $2.7 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 。

麦克斯韦的分布律得到玻尔兹曼（奥地利）的理解和支持。1868 至 1871 年，他把速度分布律推广到有外力场作用的情况，得到粒子按能量大小分布的规律，即玻尔兹曼分布律。

1872 年以后，他试图建立起非平衡态的分布函数方程，以描述在任意时刻气体分子按速度的分布。这个方程即是玻尔兹曼积分——微分方程。然而直到 40 多年后才求出这一方程对稀薄气体的解。这一方程直到今天仍是研究运输过程的基础。

在平衡态下，速度的分布规律为什么不会因为分子的碰撞而被破坏呢？玻尔兹曼假定必然存在着次数相同的逆碰撞过程，使两种碰撞作用效果恰能抵消。从这一点出发，玻尔兹曼引入了函数 H，并证明了在平衡态下 H 取极小值，在未达到平衡前，H 值随时间持续下降。这就是所谓的 H 定理，亦称玻尔兹曼最小定理。

H 定理从微观角度说明自然过程的不可逆性，但因此引起一些物理学家的诘难。1874 年，开尔文首先提出“可逆性佯谬”问题：单个分子遵从牛顿定律，因此单个分子的运动是可逆的；而大量分子形成的热力学过程，却服从 H 定理，表现为不可逆性，这两者的矛盾该如何统一？1877 年，玻尔兹曼对此作了解答，他把熵和系统热力学状态的几率联系在一起，得到二者成正比的结论。这就是说 H 定理和熵增加原理的实质已相应于系统从热力学几率小的状态向热力学几率大的状态过渡。熵自发地减小或 H 函数自发增加的过程并非绝对不可能，只是可能性（几率）很小而已。

在整个 19 世纪，热力学和分子运动论分别从宏观和微观两方面相互补充，推进了人类对自然界中热现象的认识，从而使物理学向更深入的层次发展。

4. 电磁学理论的发展

1800 年发明伏打电堆以后，稳恒电流的研究取得了一系列进展，同年，尼科尔（1753—1815 年，英国）和卡莱斯卡（1768—1840 年，英国）发现了电流的化学效应。1805 年，德国的李特尔（1776—1810 年）发现了电流的热效应。4 年后戴维（1778—1829 年，英国）发明了弧光灯，继而发现了电阻定律。1826 年，欧姆（1787—1845，德国）确立了著名的欧姆定律。1847 年，基尔霍夫（1824—1887，德国）阐述了二条电路定律，从而发展了欧姆定律，并成为后来的网络理论基础。

直到 19 世纪初大多数人仍旧认为电和磁是毫不相关的两种现象，但是自 18 世纪 30 年代以来不断有人注意到电和磁之间相互关联的现象，例如富兰

克林就曾发现莱顿瓶放电使钢针磁化。奥斯特（1777—1851年，丹麦）受到康德哲学思想的影响，深信自然界各种现象相互转化，相互关联，他认为只要找到适合的条件就有可能发现电转化为磁的现象。1820年4月，他在课堂上偶然发现了通电导线使磁针偏转的现象。他欣喜万分，连续做了60多个实验，证实了在磁针和导线之间放置各种金属或非金属材料都不妨碍电流对磁针的偏转作用。

奥斯的发现震动了整个欧洲的科学界，正如法拉弟所说，它“猛然打开了科学中一个黑暗的大门”。是年9月，法国科学院院士安培（1775—1836年，法国）听到这个消息后立即重复了这个实验。一周后他向法国科学院报告了初步的研究成果，提出圆形电流可能产生磁场，而磁铁类似于通电线圈；他还发现了安培右手定则，据此解释了地磁场的成因，认为是由于地球上存在从东向西流动的电流造成的。又过了一周，他报告了关于圆形电流相互作用的现象。10月初，他发现二条通电导线相互作用，当电流同向时相互吸引，电流异向时相互排斥。12月初，他报告了一个重要的研究成果，利用一组精巧的实验和巧妙的数学方法，推导出了两个电流元之间的作用力公式，即著名的安培定律。这一定律揭示出磁现象可能只是电特性的一种表现。从这一思想出发他于次年元月提出了著名的分子电流假设。他认为天然磁体中的每一个分子都存在圆形的电流，使分子类似一个小磁体。当分子磁体顺向排列物体就显示磁性。

安培努力把电磁学纳入牛顿力学的框架，他把电流的相互作用叫做电动力，把1820至1827年间提出的理论叫电动力学，把磁学归为其中一个分支。由于他的杰出贡献，后来麦克斯韦称他做“电学中的牛顿”。

1821年，《哲学杂志》的主编向当时任皇家研究院实验室主任的法拉弟（1791—1867年，英国）约稿，请他综述电磁学发展概况。这一工作促使法拉弟转向电磁学的研究，最终导致电磁感应现象的伟大发现。

是年9月，他在重复奥斯的实验时想到电流可能使磁体做连续的转动。到年底他发明了这样一种装置，他把一根一端可绕轴转动的磁针放在水银中，当电流通过水银时，磁针就连续地转动起来。这实质是第一台电动机。

从1821年至1822年，受静电感应和静磁感应的启发，安培和菲涅耳等人都致力于探索用磁感应出电的途径，但没有成功。法拉弟在1822年的日记中写道“从普通的磁中获得电的希望，时时激励着我从实验上去探求电流感应现象。”他苦干了10年，直到1831年8月才获得突破。他用一个外径6吋的软铁圆环，其上各绕两个线圈，当其中一个线圈在通电或断电的瞬间，在另一个中就感应出电流来，使放在附近的磁针偏转。后来他用磁棒插入空心线圈中也得到了感生电流，这使他领悟到“作用不是持久的，而纯属瞬时的推或拉。”是年12月，他表演了一个实验，他把铜盘装在水平的轴上，使铜盘转动时其边缘通过一个蹄形磁铁，当盘转动起来，所产生的感生电流由轴上引出，通过电线再回到铜盘边缘，这实质上是第一台发电机，一位在场的夫人讥笑地问“您的发明有什么用？”法拉弟回答：“夫人，新生的婴儿又有什么用呢？”11月，法拉弟在一篇论文中总结了五大类产生感生电流的情况，并把这一现象定名叫“电磁感应”。

1851年，他对电流的磁感应定律作了较完善的表述：“形成电流的力量正比于切割的磁力线数”。

与法拉弟同时进行有关电磁感应研究的还有亨利（1799—1878年，美

国)，他在 1832 年发表论文，叙述了在听到法拉弟的工作之前和以后的研究成果。同年，他发表了自感现象的研究论文。1833 年，物理学家楞茨（1804—1863 年，俄国）提出判断感生电流方向的方法，现在称之为楞茨定律。

从 18 世纪末到 19 世纪初，一些著名的学者如法国的库仑、安培等人倾向于用超距观点研究电磁现象。然而法拉弟却继承了笛卡尔的近距离作用观念，思索着电荷之间的相互作用是借助于什么传递的。1837 年，他发现电容器中加入介质，电容器能容纳更多的电荷。与此类似，在线圈中放入铁芯，从而增强了电磁铁的磁性。这些事实使法拉弟深信电力与磁力是通过中间的某种介质传递的。他设想这是一种由电和磁激发的物质，它像以太那样连续分布在空间中，在带电体和磁体的周围，传递着电力和磁力。他想象这种连续分布的物质应与流体场相似，是由力线或力管组成，它们连结着相反的电荷和相反的磁极。这样他创造了电力线和磁力线的新概念。法拉弟把力线看作是一种实际存在，并用细铁屑显示出磁场的力线。他指出力线的图形实际上描述了电场和磁场，力线的疏密表征磁场与电场强度的变化，力线上任一点切线方向就是该点场强的方向等等。

法拉弟关于力线和场的概念，对传统的质点概念是一大突破，它不仅对电磁学的发展且对整个物理学都有着深远的影响。自此超距观念日渐衰败，近距离观念不断发展和完善。

电磁学在 19 世纪得到了显著的发展，逐渐构成了完善的体系。已经确立了库仑定律、高斯定律、安培定律、法拉弟定律；提出了场和力线的概念。在理论上，1828 年格林（1793—1841）年，英国）提出了势的概念，对电磁学的数学理论作出重大贡献；1845 年诺依曼（1798—1895 年）借助于势的理论，导出了电磁感应定律的数学形式。1846 年韦伯（1804—1891 年，德国）指出，两个电荷之间的作用力不仅取决于它们之间的距离，而且还与它们的相对速度和相对加速度有关。1847 年至 1853 年，W·汤姆逊（开尔文）提出了铁磁质内磁场强度 H 和磁感应强度 B 的定义，导出了 $H = \mu B$ 以及磁能密度和载流导线的磁能公式。这一切为麦克斯韦电磁场理论的创立准备了必要的条件。

英国物理学家麦克斯韦在学生时代就研读了法拉弟的著作，后来受 W·汤姆逊的启发决心深入研究“力线”、“力管”和“场”，他说：“主要是抱着给这些观念提供数学方法基础的希望”。1855 年，他发表了第一篇研究电磁场理论的论文。他用稳定流体的涡流线与电磁场的力线对比，用数学中的矢量运算来描述力线在空间各点的连续变化。在论文末尾，提出了 6 条定律，这些为他后来的研究开拓了道路。但是电磁场毕竟不是流体的运动，它有自身特有的性质，因此，类比方法带来的缺陷是不可避免的。麦克斯韦认识到这一点，开始从物理的角度重新考察电和磁的力线。

1861 年，麦克斯韦在对感应电动势作深入分析时，意识到变化的磁场会在空间激发出“涡旋电场”。这一年的年底他提出了另一个十分重要的假定，即“位移电流”的概念。这两条假定成为麦克斯韦创造新理论的核心和基石。

1862 年麦克斯韦发表了《论物理的力线》，在这篇论文中他引进一种媒质的力学模型，即电磁以太模型。他假定在以太中存在以力线为轴可绕轴旋转的以太管，管子转动的速度代表力强，沿轴的方向代表力强的方向。以太管旋转的离心作用产生了横向压力，在纵向同时存在收缩，因此横向表现为排斥，纵向表现为引力。这一假说体现了清晰的近距离作用思想。

电磁以太模型可以解释电荷或磁极间的相互作用，也可以说明电场变化与磁场变化的关系，同样还可以说明电流的磁效应，但它不是电磁现象的本质，而仅是一种辅助性质的假设。随后这个模型就被抛弃了。

关于“位移电流”，麦克斯韦指出它是出现在有变化电场存在时的介质中，其大小与电场随时间的变化率成正比。这样在有介质的条件下位移电流和传导电流就构成了连续的全电流，在全电流的周围产生磁场。并由此得到：交变的电场产生磁场，交变的磁场产生电场的结论。

1864年，麦克斯韦在皇家学会宣读了著名的论文《电磁场的动力理论》。这时他抛弃了以太管的假设而转向“场”的观点。他说：“我之所以把我提出的这个学说叫做电磁场的学说，是因为它与带电体或磁体周围的空间有关，这个学说也可以叫做场的动力理论，因为它假定在这个空间中存在着一种物质在运动，由此而产生了可观察到的各种电磁现象。”

为了定量地描写电磁现象，他列出了含有20个变量的20个方程式，几乎包含了当时电磁理论的一切成果。由此推出了电场强度和磁感应强度的波动方程，这表明变化的电场和磁场将以横波的方式传播，二者相互垂直。麦克斯韦认为“根据我们的新理论，能量存在于电磁场中，存在于带电体和磁体的周围空间和这些物体的内部”。他计算出电磁波的能量密度公式并定义

为坡印适矢量。他求出电磁波传播速度为 $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ ， μ 和 ϵ 分别是介质的磁导率和介电常数，在真空中，此值恰为每秒钟30万公里，与光速相等。

关于电磁波的预言，一度引起许多人的怀疑，直到1888年，赫兹（1857—1894年，德国）用实验证实电磁波的存在，电磁场理论才被广泛接受。1890年，赫兹把麦克斯韦的方程组精简为4个对偶形式的微分方程。

电磁场理论始于法拉第，最终由麦克斯韦完成。它是第一个场论，成为狭义相对论和现代场论的先导，是科学认识上的一次重大变革。麦克斯韦将经典物理学理论推到高峰。

5. 波动光学的胜利·光速测定·光谱学的创立

光的波动说自19世纪起得到复兴。1800年，托马斯·杨（1773—1829年，英国）重新举起光的波动论大旗，强调光与声都是波的运动。他详细研究了声波的迭加，指出由于迭加会形成强弱相间的空间分布，他称这一现象叫“干涉”。次年，他提出光作为波也应有特定的频率和波长，并论述了两束光相干涉的规律。在此基础上他设法通过实验重现光的干涉现象。1807年，他在《自然哲学讲义》一书中详细描写了著名的杨氏双缝干涉实验。但是杨仍旧承继了惠更斯波动说的根本弱点，认为光是纵波而不是横波，因而他的理论不能战胜光的微粒说，也没有得到科学界的理解。

1808年，马吕斯（1775—1812年，法国）在研究双折射现象时，发现了“光的偏振现象”。随后又证明寻常光线和非寻常光线分别在两个相互垂直的方向上偏振。他进而研究了光在一般折射现象中的偏振，发现折射光的偏振和反射光的偏振是成相反分布的。马吕斯是光的粒子说拥护者，他认为这些事实击中了光的纵波说的要害，一些拥护粒子说的人们也认为这是对粒子说的“真理性的数学证明”。

面对马吕斯的挑战，菲涅耳（1788—1827年，法国）和阿拉果（1786—

1853年，法国人仔细地研究了光的偏振现象。1816年前后，他们发现两束偏振光当它们的偏振面平行时可以发生干涉，当它们的偏振面互相垂直时不能发生干涉。1817年，托马斯·杨也领悟到如果放弃光的纵波理论而改为横波理论，就可以解释光的双折射现象。其时菲涅耳已产生这一思想，他立即发表研究报告，用光的横波理论解释光的干涉定律、偏振面转动理论、反射与折射理论。一般认为这些工作是光的横向振动理论的最终证明。但是这一理论并不能解释光的横向振动是如何产生的，因为按照机械波的弹性理论，只有密度较大的固体媒质才能产生横波，在稀薄的以太媒质中不可能有横波。

1818年，菲涅耳向法国科学院提交了竞赛应征论文。他以横波理论解释了光的偏振；用半波带方法计算出圆孔与圆板衍射。评委中的著名学者泊松是粒子说的拥护者，他用菲涅耳的方法计算出在小圆盘衍射阴影的中央会有一亮斑出现，他认为这一“荒谬”的结论足以驳倒波动论。菲涅耳和阿拉果立即用实验验证在阴影的中央确实存在亮斑，这亮斑后来就叫泊松亮斑。自此，光的粒子说日渐衰落。菲涅耳被人们誉为“物理光学的缔造者”。

光的横波理论引起了对机械以太媒质的讨论，例如泊松提出以太是一种类固体的物质，柯西设想以太是一种易压缩易滑动的物质等，但是格林指出这些假设都是不稳定的。

1845年，法拉第发现在强磁场中光的偏振面发生旋转，证明光和电磁现象存在联系。1856年，韦伯（1804—1891，德国）等人发现电荷的电磁单位和静电单位的比值等于光速。1865年，麦克斯韦的电磁场理论证明电磁波以光速传播，他立即断言，“光和磁乃是同一实体的不同属性的表现，光是一种按照电磁定律在场内传播的电磁扰动”。

1868年，麦克斯韦发表了《关于光的电磁理论》一文，他将电、磁和光结合起来，创立了光的电磁波学说。传播光的电磁场当时被理解成一种“电磁以太”，而以往的“机械以太”假说逐渐被人们抛弃。

光速的测量是具有特殊的意义的。伽利略最早提出测量光速的实验方案，他认为光以有限大小的速度传播。1676年，天文学家罗默（1644—1710年，丹麦）和惠更斯利用木星卫星食周期的不规则性进行光速测量，罗默认为这一现象是因为光穿过地球轨道要经过22分钟，惠更斯利用这一数据首次计算出光速为 2×10^8 米/秒。

1849年，菲索（1819—1896年，法国）首先开创在地面条件下测量光速，他设计了一个转动的齿轮装置，当光线从齿轮的凹部通过并聚焦在一只平面镜上，然后光线经反射再一次通过齿轮的凹部射入观察者的眼中。如果返回的光线恰好被一个转动着的齿挡住，观察者就看不见光线，此时齿轮的转速若增加一倍，光线又能穿过下一个齿缝，使观察者重新看见。这样光在往返一次所用的时间就可以利用转速和轮的齿数计算出来，从而可以计算出光速。他在实验时使观察者与平面镜相距8.633公里，齿轮转速为12.6转/秒，齿数为720，测得光速为313,300公里/秒。

1850年，傅科（1819—1868年，法国）对菲索的装置作了改进，他用高速转动的8角棱镜代替了转动的齿轮，由棱镜的转速和光线传播的路程可求得光速，他的结果是 $299,7960 \pm 4$ （公里/秒）。后来傅科在装置里充入水，测出了光在水中传播的速度，得到的光速仅是空气中光速的 $3/4$ ，恰好等于水对空气的折射率。这一事实也证明惠更斯关于光的波动说的论断是正确的。

19 世纪后半期，光速的测量往往用来证实以太的漂移。人们认为既然光和电磁波是靠以太传播的，那么在不同坐标系和不同方向上测到的光速应是不同的。这些实验工作在 19 世纪末导致了光速不变的结论，从而否定了“以太漂移”假说。

三、近代后期化学

1. 原子——分子学说的确立

化学的新时代是随原子论开始的，1803年，道尔顿（1766—1844年，英国）首次宣读了关于原子论和原子量计算的论文，其要点是：元素的最终组成是简单原子，简单原子不可分割，在一切化学变化中保持性质不变；各元素的原子在形状、质量和性质上是不同的，每种元素以其原子的质量为最基本特征；不同的元素的原子按比例结合，形成化合现象，化合物的原子叫复杂原子。他规定氢原子量为1，据此他计算了其它元素的原子量。5年后他发表了20种元素的原子量表，并创造了相应的原子符号。

道尔顿的原子论很好他说明各种化学现象和化学定律间的内在联系，很快为多数学者接受，成为当时解释各种化学现象和探索物质结构的统一理论。特别是他提出元素以其质量为基本特征的思想，对导致元素周期律的发现起了重要的作用。

1811年，阿佛加德罗（1776—1856年，意大利）提出分子的概念。他认为原子是参加化学反应的最小质点，而分子是单质或化合物能独立存在的最小质点。分子具有物质的特性，它是由的原子组成的。化学变化是不同物质分子的原子重新组合的过程。他还提出了一个重要原理：一切气体在相同体积中含相等数目的分子。他由此创造出一种用来测定物质相对质量的实验方法。很明显，阿佛加德罗的分子说是道尔顿原子论的合理发展，可惜没有得到当时化学界多数人的理解，被冷落了近半个世纪之久。

原子论得到普遍承认后，许多化学家积极投身于原子量的测定和研究。贝采里乌斯（1779—1848，瑞典）自1810至1830年致力于原子量的测定，他曾准确地分析了2000多种单质和化合物，为计算原子量提供了丰富的实验依据。贝采里乌斯假定由A、B两种元素生成的化合物，其分子式是 A_mB_n ，m和n分别代表两种元素的原子数，那么m与n之比等于生成该化合物时A、B两种单质气体体积的最简比。这一原则贯彻在他的原子量测定中。1814年，他发表了第一个原子量表，其中列有41种元素的原子量；1821年发表的原子量表中除个别元素外与现代原子量表大体相符。他的另一贡献是采用元素拉丁文名称的第一个字母作为该元素的化学符号，这一方法一直沿用至今。

贝采里乌斯的学生米希尔里希（1794—1863年，德国）于1819年发现了同晶定律。定律指出“同数目的原子若以相同的格局相结合，其结晶形状相同。原子的化学性质对结晶形状不起决定作用，但晶形却为原子数目和结合的样式（布局）所支配”。米希尔里希与老师合作利用同晶定律修正原子量的测定工作。他们曾利用硫酸盐和铬酸盐的同晶现象成功地修正了多数金属氧化物的化学式，进而使原子量也得到校正。

原子量的测定研究使大量无机化合物的组成逐步得到澄清，人们逐渐认识到一个重要的事实，即一种元素和它种元素相结合，原子数存在一定的比例关系。弗兰克兰（1825—1899年，英国）在1852年研究金属与烷基的化合物时，发现每种金属的原子只能和一定数目的有机团结合。这启发他去研究其它无机化合物的分子式，最终形成了“化合力”的概念。他写道：“一切化学元素当生成化合物时，尽管和相化合的原子在性质上相差很大，但它吸引这些元素的‘化合力’却总是要求结合一定数目的原子。”他还只能用

“单原子”元素和“多原子”元素的提法来表达“化合力”的差别。

1857年，凯库勒（1829—1896年，德国）和库帕（1831—1892年，英国）发展了弗兰克兰的思想，他们把各种元素的化合力用“原子数”或“亲和力单位”来表示。他们指出“不同元素原子相化合时总是倾向于遵循亲和力单位数等价的原则”。这样由凯库勒和库帕共同奠定了原子价理论的基础。1864年，迈尔（1830—1895，德国）提出了“原子价”的术语。

原子价学说阐明了各元素在化合时所遵循的量的规律，它不仅为后来元素周期律的发现提供了重要的依据，而且对有机化合物结构理论，以至整个有机化学的发展起着有力的推动作用。

在19世纪前半叶始终没有找到一种更合理的方法来确定原子的组成比例，以至使这一研究陷入混乱，个别人甚至怀疑原子论是否正确。在这种背景下，欧洲的化学界于1860年9月在德国的卡尔斯鲁厄召开国际会议，专门讨论原子价、化学式和元素符号的统一问题。康尼查罗（1826—1910年，意大利）在会议中散发了《化学哲理课程大纲》一书，书中针对这些专题中的错误理论作了逐一澄清，对如何确定原子量指出了令人信服的途径。他写道：“等体积的气体中含有数目相同的分子，而绝不是数目相同的原子。”这就是说首先应当测定物质的分子量，在此基础上再精确测定原子量。康尼查罗统一了各种分歧，澄清了错误思想，赢得了化学界的承认。这样，原子——分子理论形成了协调的体系。

2. 元素周期律的发现

从18世纪中到19世纪中的近百年里新元素不断被发现，截止1869年共发现新元素计63种。化学家们对这些元素的性质做了大量研究，但是所得资料纷杂，不成系统。人们自然会问：“地球上究竟有多少种元素？各元素之间有没有内在联系？”

1829年，贝莱纳（1780—1849年，德国）整理研究了当时已知的54种元素的有关资料，并把元素按性质分组。结果他发现了几个所谓“相似元素组”，每组都包括3个元素，位于中间的元素不仅化学性质介乎前后元素之间，而且原子量约为前后两元素原子量的平均值。

1850年，培顿科佛（1818—1901，德国）认为相似组的元素不限于3个，他还发现在同一相似组中，原子量值相差为8的倍数。进入60年代，人们对原子量和化合价概念取得了统一认识，对元素性质的研究有了新的进展。1862年，尚古多（1820—1886，法国）创作了一张《螺旋图》，他将已发现的62种元素按原子量大小顺序排列在绕圆柱上升的螺旋线上，结果显示出在圆柱同一母线上，纵向排列的各元素性质相近，如Li、Na、K、S、Te；Cl、Br、I等。于是他在论文中首先提出元素的性质周期性重复出现的观点。但是法国化学界很难接受这一观点，巴黎科学院甚至拒绝了他的报告。

1864年，J·L·迈尔也按原子量大小顺序列出了一张《六元素表》，并详细讨论了表中元素的性质。迈尔对元素的分族作了较好的安排，在表中还留出了未发现元素的空位。但他的工作不够彻底，他排列过的元素还不足当时已知元素的半数。次年，纽兰兹（1837—1898，英国）将元素按原子量排列时，发现每隔7个元素，元素的性质就会周期性重现。他说：“相似元素常相隔7个或7的倍数重现，他把这一规律称为“八音律”。他列出的前2

直列几乎与现代周期表的第 2、3 周期对应，但自第 3 列往后显得混乱，这一方面是由于当时原子量的测定不准确，造成了错误；另一方面他没有考虑为未来发现的原子留出必要的空位。人们嘲笑他的“八音律”，英国化学会也拒绝发表他的论文。

J·L·迈尔并没有灰心，他继续从事周期律的研究。1868 年，他修改了《六元素周期表》，发表了原子体积——原子量图，这时他的思考已趋于成熟，终于在 1869 年独立地编制出元素化学周期表。几乎同时，俄国化学家门捷列夫（1834—1907，俄国）也发现了元素周期律。

门捷列夫出生于西伯利亚的博尔斯克市，23 岁任彼得堡大学化学教授，34 岁当选俄罗斯物理化学协会主席。他分析了大量资料，在对元素的原子量仔细核对、比较的基础上，深刻地认识到原子量是元素的基本特征，它与元素性质的演变有着紧密的联系。当他深入研究元素的原子价时，他又发现各种元素的原子量可以相差很大，而原子价的变化却是有限的。他对同价元素作了对比，发现同价元素的性质非常相似，例如所有 1 价元素都是典型的金属，而 4 价元素的性质在金属与非金属之间，所有 7 价元素都是典型的非金属等。他也试着把元素按原子量排列起来，发现氯和钾的性质不同但原子量相近，钾和钠的性质相近但原子量差别却很大，这些初看很奇怪的现象却促使他更深入地去思考元素性质周期变化的特点。

1869 年，门捷列夫独立地编制并发表了元素周期表。表中包括 63 个已知元素，但表中还留有 4 个空位，只标明原子量而没有元素名称，以此预示待发现的元素。不仅如此，门捷列夫还进而预言了这些未知元素的化学性质；根据周期律他对表中标示的钽、碲、金、铋 4 个元素的原子量值也表示怀疑。同年 3 月，他在俄罗斯化学会上宣读了《元素属性和原子量关系》，系统阐述了元素周期律的基本观点。

这些观点主要是：

“按原子量的大小排列起来的元素，在性质上呈周期性。”

“原子量的大小决定元素的特征”。

“应该预料到许多未知元素的存在”，“元素的某些同类元素将按它们的原子量大小被发现”。

“当我们知道某元素的同类元素之后，有时可以修正该元素的原子量”。

与门捷列夫同年发表的结果相比较，迈尔对相似元素族元素的族属划分较为完善；迈尔还在表中形成了如我们今天所说的“过渡元素族”，他把 Hg、Cd、Pb、Sn、Tl 和 Al、S 列为同一族，把 In 的原子量定为 113.4，都较门捷列夫确切。

1871 年，门捷列夫不顾权威的指责和一些人的嘲笑，发表了第二个经进一步修订的周期表。他将元素表的周期改为横排，竖行则是同族元素；在同族元素中他又划分了主族和副族；预言了 6 个待发现的元素；大胆地修订了某些元素当时已公布的原子量值。他的这些科学预见很快为后来的实验证实。

1875 年，布瓦博德朗（1838—1891 年，法国）在分析闪锌矿时发现了一种新元素，他命名为镓（Ga），他测量了镓的性质，将结果发表在《巴黎科学院院报》上，不久他接到门捷列夫的来信，指出他把镓的比重测错了。布瓦博德朗重做实验，果然证明门捷列夫是正确的。他赞扬道：“我以为没有

必要再来说明门捷列夫这一理论的巨大意义了”。元素镓就是门捷列夫所预言的“类铝”元素。

又过了4年，门捷列夫预言的“类硼”元素被瑞典人尼尔森(1840—1899年)发现，它的一切特征都与门捷列夫的预见相符。这个元素命名叫钪(Sc)。

又隔7年，文克勒(1838—1904年，德国)发现了锗(Ge)元素，其性质与门捷列夫预言的“类硅”相同。文克勒惊叹道：“再没有比“类硅”的发现能更好地证明周期律的正确性了！”

周期律的发现奠定了现代无机化学的基础，它说明自然界的元素并不是孤立的，而是存在着内在联系的统一体。元素性质随原子量增加而变的事实，显示出物质由量变到质变的过程。恩格斯高度评价了这一发现，他说：“门捷列夫不自觉地应用黑格尔的量转化为质的规律，完成了科学上的一个勋业，这个勋业可以和勒维烈计算尚未知道的行星海王星轨道的勋业居于同等地位。”

3. 有机化学创立和生命力论破产

18世纪后半叶，从动植物体中分离和提取有机化合物的工作有了较大的进展。例如1773年从人尿中分离出尿素，1815年从动物脂肪中分离出了胆固醇等。于是有机分析也相应发展起来，其中最重要的是碳氢分析。

1830年，李比希(1803—1873年，德国)制成燃烧仪。他让有机物的蒸气与红热的氧化铜接触后燃烧，可以准确地算出有机物中碳和氢的含量。燃烧仪的出现使碳氢分析成为一种精确的定量分析技术。这对后来有机化学的发展起着十分重要的作用。

1824年，柏林大学的青年教师维勒(1800—1882年，德国)在研究“氰作用于氨水时”，发现除了形成草酸外，还生成一种“肯定不是氰酸铵的白色结晶物”。为了弄清这究竟是什么物质，他花了近4年的功夫，通过一系列实验，终于确证这种白色的结晶就是尿素。在1828年发表的《论尿素的人工制成》的论文中，他写道：“上述白色结晶物，最好是用氯化铵溶液分解氰酸银或氨水分解氰酸铝的方法来获得”。“这次研究得到了意外的结果，借氰酸与氨的化合，形成了尿素。这是个特别值得注意的事实，因为它提供了一个从无机物中人工制成有机物，并确实是所谓动物体上的实物的例证。”

维勒的发现震动了整个化学界。在此之前，生命力论在有机化学领域中占居着统治地位，生命力论者认为动植物有机体具有一种生命力(即活力)，只有依靠生命力才能制造有机物，所以有机物只能在动、植物有机体内才能合成，人工仅能合成无机物。维勒的发现证明无机与有机没有不可逾越的鸿沟，在适当的条件下二者可以相互转化。因此，尿素的人工合成是一次大突破，它彻底动摇了生命力论，打开了有机化学的大门。

1831年，法国斐鲁兹从氰酸制成蚁酸。1844年，维勒的学生柯尔伯(1818—1884年，法国)用无机元素合成醋酸，这是人类第一次从单质出发实现完全的有机合成。1854年，勃特罗(1827—1907年，法国)合成了油脂类的物质。1861年，布特列洛夫(1828—1886年，俄国)用多聚甲醛与石灰水第一次合成了糖类物质。油脂和糖类物质是人体内的重要物质，在生命过程中起

着重要作用。这些成就使人们确信人工完全可以进行有机合成；过去对无机物适用的一些化学定律，同样也适合于有机物。这样，无机界和有机界的鸿沟大部分填起来了。生命力论失去了所依赖的基础，因而宣告彻底破产。

4. 有机化学理论的发展

由于有机物提纯、有机分析和有机合成取得了大发展，使 19 世纪中、后期有可能逐步形成和建立有机化学的概念和理论。

1832 年，维勒和李比希在苦杏仁油、安息香酸等有机化合物中发现了一种共同的结构，他们称为安息香基，其组成是 $(14C + 10H + 2O)$ 。在此基础上他们提出有机化合物是由基组成的。1838 年，李比希进一步提出：基是化合物稳定的组成部分；基可被其它元素置换；基和一些特定的元素结合成化合物后，这种元素能被当量的其它元素置换。

基团理论对有机化学的发展起了一定的作用，但并没有揭示有机化学的本质。1834 年，巴黎工业大学化学教授杜马（1800—1884 年，法国）通过研究卤代反应，提出取代学说。他认为“含氢有机化合物受卤素或氧作用后，每失去一个氢原子，必得一卤素或氧原子（现代的观点应是半个氧原子）。”他的理论与当时流行的观点有相矛盾的地方，但是，后来大量事实证明在有机取代反应中，带负电性的氯可以取代正电性的氢，取代说才逐渐得到承认。

1839 年以后杜马又发展了类型论。他认为有机化合物存在两种类型：一种是化学类型，这类有机物化学式相似，化学性质也相似；一种是机械类型，这类化合物仅仅是化学式相似。杜马的学说推动了有机化学理论的发展，但他本人对原子、分子的概念模糊不清，不能正确写出有机物的分子式。因此，他不可能建立正确的有机化合物的分类系统。

为了解决有机化合物分子式的写法问题，李比希的学生热拉尔（1816—1858，法国）在 1842 年提出了有机化合物的化学式的 4 容积标准，认为比较各种有机化合物气体式蒸气的重量，并以 4 容积单位为比较标准，就可以写出比较统一的化学分子式。后来热拉尔发现这样写出的分子式是正确分子式的两倍，便改为二容积标准。他与杜马的学生罗朗（1807—1853 年，法国）合作。初步建立了有机化合物的分子概念，写出了比较正确的分子式，使有机化学理论有了可靠的基础。

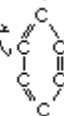
1843 年，热拉尔提出了“同系列”概念，认为有机化合物存在许多系列，同一系列的二个化合物分子式之差为 CH_2 的整数倍。同一系列的各化合物的化学性质相似；各化合物的物理性质呈有规律的变化。这些都显示了同系列概念在有机化学中的重要性。

进入 50 年代，热拉尔又进一步发展了类型论，曾有效地对有机化合物进行分类，增加了氢型、氯化氢型和沼气型等。但是类型论不能较好地解释官能团的有机化合物，因为多官能团的有机化合物可以属于两种以上的类型，造成了不确定性。热拉尔派甚至错误地认为“基”是不存在的，仅是人们的想象。随着有机化学理论的发展，类型论终于让位于有机化合物的结构理论。

有机化合物结构理论是以原子价概念的确立为前提的，否则就不能搞清化合物的分子结构。1850 年，李比希的学生弗兰克兰（1825—1899 年，英国）在研究金属有机化合成份时，发现每一种金属只能同一定数目的基形成化合物。他写道：“这些元素与 3 个当量或 5 个当量其它元素生成化合物。在这

两种比例下，它们的化合力得到充分满足。”所说的“化合力”后来叫“化合价”。4年后，李比希的另一个学生凯库勒（1829—1896年，德国）把元素的化合力用“原子数”或“亲和力值”表示。并指出原子在化合时遵循亲和力和单位数量等价原则。他还说：“一个碳原子与4个氢原子等价”，即碳是4价的。他还指出，“对于含几个碳原子的物质，我们必须假定碳原子的亲和力不仅有一部分与其它种类的原子结合，而且各碳原子彼此之间也可以结合而排成一线”。凯库勒实际上描述了碳链。

凯库勒的另一项重要贡献是创造了苯的环状结构学说。苯是19世纪30年代发现的一种有机物，后来人们把苯的分子式写成 C_6H_6 。当凯库勒构想碳链结构时，也考虑6个碳原子和6个氢原子的结构方式。1865年，他提出了苯的环状结构学说：“所有的芳香族化合物，都含有一个共同的基团，或者说一个含有6个碳原子的核。”他写出了苯的环状结构式



勒式。苯环结构的发现对有机化学的发展产生了巨大的影响，成为19世纪以煤焦油为原料的有机化学工业的先导。

但是在50年代末凯库勒并没有摆脱类型论的束缚，也没有写出化合物的结构式。最先提出化学结构理论的是喀山大学校长布特列洛夫（1828—1886年，俄国），他曾熟读过凯库勒在1859年出版的《有机化学教程》，他认为既然认识到碳是4价元素，就完全有条件提出一种全新的理论代替类型论。1861年，他在德国自然科学家和医生代表大会上作了题为《物质的化学结构》的报告，首次阐明了有机化合物结构的基本原理。他说：“我拟将这种化学关系，或者说组成化合物中各原子间的相互连接，用‘化学结构’这个词表示”。按照这一理论，每种元素有一定的化合价，在原子化合时彼此相连接，同时抵消了相对应的原子价。因此在化合物中原子不是堆积在一起，而是处在一定的结构之中。分子的化学结构决定了它的化学性质；反之，依据已知的物质的化学性质，也可以推测化合物的结构。

从1861年至1873年，布特列洛夫依据化学结构理论曾预言过叔醇类的存在及其结构；解释了同分异构现象；合成了一些有机化合物。但是初创时期的结构论是不成熟的，一些问题还有待深入研究。

1864年，肖莱马（1834—1892年，德国）较圆满地解决了布特列洛夫遗留下的问题，他证实了碳原子4个化合价具有等价性。并肯定当时认为乙烷有两种异构体是一大错误，从而排除了一个假想的烷烃系列。肖莱马对有机结构理论及异构现象作了正确的解释，预见到丙醇应有两个异构体存在。后来他分离出正丙醇，并合成了该物质。肖莱马的这些划时代成就使他成为现代的科学有机化学的奠基人之一。

5. 物理化学的建立

19世纪欧洲自然科学的迅速发展，使人们领悟到化学运动不再是一种孤立的现象，一些物理因素的变化，例如温度、压力、电场的改变都会引起相应的化学变化。19世纪下半叶，一些物理学家和化学家，开始运用物理学的规律来探索化学现象的本质和化学运动的规律，在化学热力学、电化学、溶液理论、化学动力学等领域取得了开创性的进展，从而为近代物理化学开辟

了新天地。

(1) 化学热力学的发展

化学热力学是研究化学反应为什么能发生？怎样发生的？以及能发展到什么程度的学科。还在 19 世纪初，人们已注意到化学反应与各物质的质量和化学反应产物的挥发性以及溶解度有关。1861—1863 年，贝特罗和圣—吉尔（1832—1863 年，法国）在研究酯化反应和逆向皂化反应时，发现在平衡时二者反应都不完全，各物质的比例也是相同的。

1804 年，古德贝格（1836—1902 年，挪威）和瓦格（1833—1900，挪威）认为当一个化学反应同时存在正反应和逆反应并当这种作用相等时，体系便处于平衡。他们把这种思想发展成二条定量化的规律：这种作用与自身的质量成正比；当反应物有相同的质量但体积不同时，那么这种作用的大小与体积成正比。

1871 年，古德贝格和瓦格根据分子碰撞理论导出质量作用定律；指出分子碰撞仅仅一部分导致反应。后来有人用气体检验这一条定律，结果证明了质量作用定律的正确性。

19 世纪 50 至 60 年代，哥本哈根大学教授 J·汤姆逊（1826—1909 年，丹麦）和贝特罗（1827—1907 年，法国）试图从化学反应的热效应来解释反应过程的方向性。他们认为“每一个简单或复杂的纯化学反应作用，伴随着热量产生”，当无外部能量影响时，化学变化将向放出最大热量的物质或物系的方向进行。他们几乎是同时发现这一定律的，因此称贝特罗——汤姆逊原理。

霍斯特曼（1842—1929 年，德国）在 60~80 年代里，发现在热分解反应中，分解压力与温度的关系。范霍夫（1852—1911 年，荷兰）由此建立了平衡常数与反应温度及体系吸收热量间的函数关系，他称之为动态平衡原理。他说：“在物质的两种不同状态之间任何平衡，因温度下降，向着产生热量的两个体系和平衡方向移动。”1879 年，罗宾发现增加压力有利于体积减少的反应发生。1884 年，才由勒夏特利指出了更加普遍的规律：一个化学平衡总是向消除外界因素影响的方向进行。

19 世纪 70 年代，由于盐矿的综合利用和合金性能的研究，迫切要求化学家们提供多相系统平衡的知识。杰出的物理学家和化学家吉布斯（1839—1903 年，美国）在热力学中引入了“浓度”的概念，将定组分的浓度对内能的导数定义为“热力学势”，这样使热力学可用来处理多组分的多相体系，从而可以处理化学平衡问题。他得到了关于物相变化的相律。而相律表明的自由度为零的状态即是宏观下的平衡态。吉布斯奠定了近代物理化学的理论基础，相律是物理化学中最普遍的定律。其数学表达式是 $f = n + 2 - r$ 。f 为自由度，即整个体系可以独立变动的强度量的数目，如温度、压力、浓度等。n 为独立组分数，r 为相数。

相律自 1878 年提出后，未能被人们立即理解，后来罗津布姆（1854—1907，荷兰）把相律成功地应用于盐水体系的研究，他在论文里使用了易于理解的图解法，才使相律引起应有的重视。

(2) 溶液理论和电离理论

溶液理论起源于测定盐水的浓度。后来人们对溶液的认识不断深化，贝

托雷（1748—1822年，法国）在研究埃及盐湖时，于1798年提出溶液是没有定比的化合物的观点，曾得到很多人的支持。

格雷厄姆（1805—1869年，英国）系统地研究了溶解物质的扩散作用，他把能较快地从溶液的一部分扩散到另一部分的晶体叫凝晶体，而溶解后扩散极慢的非结晶体叫胶体。

植物学家在19世纪初已经知道水可以经过细胞膜渗入细胞之中，生理学家们还试图通过实验定量地测出这种渗透压力。1867年，特劳贝（1826—1894年，德国）利用多孔磁筒得到一种半透膜，这种膜只让水透过，植物学家浦菲弗（1845—1920年，德国）用这种半透膜准确测出了渗透压，由此得到一条重要结论：在给定温度下，渗透压与溶液浓度成正比。范霍夫（1852—1911年，荷兰）认为渗透压和其它因素的关系很象气态方程，渗透压随温而增加，与体积成反比，所以可以设想具有渗透性的细胞象一台理想热机。由此他推断渗透压也服从阿佛加德罗定律，并把热力学的一些结论应用到溶液上去。他还证明稀溶液的渗透压与同浓度的气体压力相同。他把酸、碱、盐的渗透公式改写成 $PV = iRT$ ($i > 1$)，对同一物质 i 随浓度的减小而增大。这些现象范霍夫虽不能完全理解，但却成为后来建立电离理论的实验依据。

由于伏打电池的发明随之带来了关于溶液导电机理的研究，当时人们感到不解的是为什么氧和氢出现在不同的电极？水分子是在什么地方分解开的？1805年，格罗斯（1785—1822年，德国）提出一种理论来解释水的电解。他认为水在电解时水分子交替分解再化合，在正极附近水分子分解为带正电的氢原子和带负电的氧原子，这些带负电的氧原子被吸引到正极并中和，然后化为氧气放出。带正电的氢原子就和后面带负电的氧原子化合，这样顺序延续到负极附近，使带正电的氢原子在负极上被中和，生成氢气放出。这个理论同样适用于酸、硷、盐溶解的电解。格罗斯的电离理论简明形象，一直流行到1890年。

法拉第曾研究过电解现象，他把分解前的溶液叫电解质，即电可以分解的物质。他认为在溶液中电流是带电荷的分解物运动的结果，他称之为离子，意为被电分离出的物质小颗粒，带正电的粒子叫阳离子，带负电的叫阴离子。

1885年，青年化学家阿伦尼乌斯（1859—1927年，瑞典）提出了电解电离度的公式。2年后发表了《论水溶液中物质的电离》的著名论文。他认为盐溶于水就自发地离解为正、负离子。溶液越稀，电离度越高，分子电导率也越大。到无限稀时，分子将全部电离，此时溶液电导率达到最大值。按他的理论，在电解中两极间的电位差只起指导离子运动方向的作用。相同当量的离子都带有相同电荷，因而在两个电极上得到的物质当量也是相同的。

阿伦尼乌斯的电离理论受到当时多数学者的反对。直到本世纪初这一理论才得到承认。

(3) 催化理论的建立

人类很早就知道催化剂，古代已应用酶酿酒，用硝石制造硫酸。19世纪由于化学工业迅速发展，发现了大量的催化现象，促使化学家们去思考与此有关的问题。

1835年，贝采里乌斯首先提出“催化”概念。1838年，德拉托尔（1777—1859年，法国）和施旺（1810—1882年，德国）分别发现糖能发酵成酒精是由于一种微生物作用的结果。贝采里乌斯指出：发酵与铂粉的催化作用相

似。他还认为生物体中生成的许多化合物，可能也是一些类似催化剂的有机体。后来人们把这些有机催化剂叫“酶”。

催化剂为什么能够改变化学反应的速度？1835年，贝采里乌斯在解释NO对SO₂的氧化催化作用，提出生成过渡性中间化合物的假说，即一氧化氮与氧生成N₂O₃，N₂O₃与SO₂反应生成硫酸再还原成NO。这里，N₂O₃就是把氧转交给SO₂的活性中间物。后来威廉逊（1824—1904年，英国）对乙醇脱水也作了类似的解释。从此，催化剂生成中间化合物的概念为人们接受。

在研究催化现象时，人们还发现催化反应不仅是在均相中进行，事实上反应物在相界面上的浓度比在相中的浓度大，这叫“吸附作用”。1824年，意大利学者波兰尼提出催化反应的吸附原理，他认为吸附是由于静电产生的分子引力，结果使参与化合物质的质点相互接近，因而容易反应。但是法拉弟认为吸附作用并不靠静电力，而是靠固体物质吸引呈现的气体张力。在19世纪，自法拉弟之后催化理论没有更大的进展。

四、近代后期数学

数学在这一历史时期（1815—1872）取得了飞跃发展，这种发展的特征主要表现在它的几个主要分支学科，如几何学、代数学与分析学等都发生了深刻的变化，它们所蕴涵的新思想，对于以后数学的发展有着深远的影响。

1. 非欧几何学的发现与几何学的发展

在这一历史时期，数学中最为引人注目的工作之一应当说是非欧几里得几何学（简称非欧几何学）的创立，欧几里得（约公元前330年——公元前275年，古希腊人）在他的《几何原本》中以所谓的公设和公理的形式给出了几何学的一些基本前提，其中平行公理（在《几何原本》中称之为第五公设，在《几何原本》的另外一些版本中称之为第十一公理）现在通常是这样叙述的：

“通过不在已知直线上的一个点，不能引多于一条的直线，平行于已知直线”。由于欧几里得平行公理的陈述不够自明，又更像一条定理，因而引起人们的极大关注，所以数学家试图用更为自明的命题代替它，或试图从欧几里得的其它公设与公理中将其推导出来。从希腊时代起，将欧几里得平行公理作为定理从其它的公设与公理推导出来的尝试，使数学家忙碌了两千多年，提出过了这样或那样的证明。但是最终发觉在每一证明中或早或迟都使用了等价于欧几里得平行公理的一条命题。换句话说，所有的这种证明都无法逃脱循环论证的错误。尽管如此，然而在一些研究工作中还是蕴涵了积极的思想，在这里首先应当提到的是萨开里（1667—1733，意大利）的研究工作。萨开里于1733年出版了一部书名为《排除任何谬误的欧几里得》的著作。在这部著作中萨开里考虑一个四边形ABCD，其中 $\angle A = \angle B$ ，它们



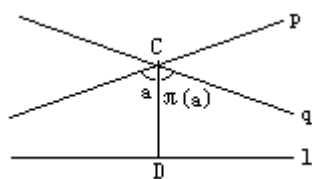
都是直角，并且 $AD = BC$ 。容易证明： $\angle C = \angle D$ 。此二角的大小只有三种可能，即为钝角、直角与锐角，萨开里称它们分别为钝角假设、直角假设与锐角假设。由于欧几里得平行公理等价于直角假设，因此萨开里考察了另外两种可能的选择。在钝角假设的基础上，应用欧几里得的其它公理，萨开里很容易地推导出矛盾。在锐角假设下，萨开里证明了一系列有趣的结果，得到了现今非欧几里得几何学中许多经典定理。最后，在讨论已知直线与过这直线外一点的直线族的位置关系时，萨开里推导出两条渐近直线在无穷远必有一条公垂线。他虽然没有得到任何矛盾，但却断言这一结论与通常观念显然不合情理，于是判定锐角假设不真实。所以，萨开里坚信欧几里得平行公理可以证明，并且自认为完成了欧几里得平行公理的证明。在萨开里那里，虽然直观的合理性和逻辑的必然性被混为一谈，但是他所开创的方法毕竟开辟了一条通向非欧几里得几何学的途径。后来，兰伯特（1728—1777，德国）于1766年完成了题为《平行线论》的研究报告（1786年出版），他沿用萨开里的方法，从考察一个有三个角都是直角的四边形出发，讨论第四个角是锐角、直

角或钝角的可能性，并且相应地作出三种假设。兰伯特否定了钝角假设，但是在锐角假设下得不出矛盾时，他对欧几里得平行公理的可证明性提出了怀疑。兰伯特认识到任何一组几何假设，如果不导致矛盾，则一定可以提供一种可能的几何学。兰伯特的思想是先进的，这是认识上的一个突破，没有这种认识上的突破，非欧几里得几何学就不可能被发现。直到 19 世纪开始时，虽然欧几里得平行公理的证明问题还是没有解决，但是在兰伯特之后关于欧几里得平行公理的不可证明的思想在许多数学家的思想中萌发出来了。诚然，坚持兰伯特的思想，沿用萨开里开创的方法，必将导致非欧几里得几何学的发现。

非欧几里得几何学的发现应归功于高斯（1777—1855，德国）、罗巴切夫斯基（1793—1856，俄国）和波尔约（1802—1860，匈牙利）三位数学家。

罗巴切夫斯基大约在 1815 年开始研究欧几里得平行公理问题。最初，罗巴切夫斯基与许多数学家一样相信欧几里得平行公理是可以证明的。在 1823—1826 年期间，罗巴切夫斯基曾试图用与萨开里相同的方法证明欧几里得平行公理。后来，罗巴切夫斯基果断地放弃了这种想法，他清楚地认识到在不同的公理基础上可以建立不同的几何体系，附加欧几里得平行公理是建立欧几里得几何学所必需的，以及由欧几里得平行公理的否定命题出发而得到的结果将代表一种新的几何学。1826 年 2 月 23 日罗巴切夫斯基在喀山大学的一次学术报告会上以《几何学原理的扼要阐述，暨平行线定理的一个严格证明》为题宣读了他的关于非欧几何学的论文，第一次公开了导致几何学革命的新思想。但是，这篇论文中所阐述的思想没有被人们理解。1829 年罗巴切夫斯基把这一伟大发现写进了《论几何学基础》的论文发表在《喀山通报》上，这是关于非欧几里得几何学的最早发表的文献。罗巴切夫斯基将欧几里得平行公理改为它的否定命题，同时保留其它公理不变，在这一基础上建立了一个新的几何体系。罗巴切夫斯基称之为虚几何学，后人称之为罗巴切夫斯基几何学，或简称为罗氏几何学，也称之为双曲几何学。当然，在这一新的几何学中不少结果将不可避免地与其萨开里等人的工作一致。根据罗巴切夫斯基几何理论，给出一条直线 l 与这条直线 l 外的一点 C ，则通过 C 点的所有直线关于直线 l 将被分成两类，一类直线与 l 相交，另一类直线不与 l 相交，构成两类直线之间的边界直线 p 与 q 属于后一类，称为平行线。换言之，若记 C 点到直线 l 的垂直距离 CD 为 a ，则存在一个角 $\pi(a)$ ，称之为线段 CD 的平行角，使得所有过 C 点与 CD 所成的角小于 $\pi(a)$ 的直线将与直线 l 相交，过 C 点的其它直线将不与直线 l 相交。在罗巴切夫斯基几何学中，除平行线外，过 C 点而不与直线 l 相交的直线称为分散线，或超平行线。但是在欧几里得意义下这些直线与直线 l 平行，所以从这意义说，在罗巴切夫斯基几何学中过 C 点有无穷多条直线平行于直线 l 。

与罗巴切斯基同时，波尔约也独立发现了非欧几里得几何学，他把研究结果写成题为《绝对空间的科学》的论文，附录于他父亲的一部讨论数学基础的著作之后，在 1832 年出版。



高斯约在 1816 年期间就获得非欧几里得几何学的基本思想，他已认识到欧几里得平行公理不能在欧几里得几何学的其它公理、公设的基础上证明，并且得到了在逻辑上相容的一种非欧几里得几何学，在其中欧几里得平行公理不成立。然而高斯始终没有把这些研究结果发表出来，在一封信中他解释说，是因为害怕这一思想不能被人们理解。

诚然，作为非欧几里得几何学发现的直接结果是欧几里得平行公理的问题被最终解决，即欧几里得平行公理被证明是独立于欧几里得几何学的其它假设。两千多年来，欧几里得几何空间一直被认为是反映现实世界的唯一正确的几何空间，但是非欧几里得几何学的发现使得这种根深蒂固的观念动摇了，从而为后世创造不同的几何体系开辟了道路。

非欧几里得几何学的创立在数学中导入了富有革命性的思想，但是由于它背叛了传统观念，因此在它创立之初并未引起人们的重视。1866 年贝尔特拉米（1835—1899，意大利）发表了《论非欧几何的解释》的论文，给出了罗巴切夫斯基几何学的第一个模型——伪球面模型，从而罗氏几何学在数学上得到了确认。

1854 年，黎曼（1826—1866，德国）作了题为“关于几何学基础的假设”的讲演，提出了一种更为广泛的几何学，后来被称为黎曼几何学。黎曼推广了高斯曲率概念，提出以非欧几里得的黎曼空间的曲率概念作为欧几里得空间以及各种非欧几里得空间之间差异的量度。在一般的黎曼空间中，空间中每一点的曲率是不同的，所以黎曼空间的本质是不均匀的。在特殊情况下，黎曼空间可以具有常曲率。常曲率空间有三种类型，(1) 零曲率空间，即欧几里得空间；(2) 负曲率空间，即罗巴切夫斯基空间；(3) 正曲率空间，即狭义的黎曼空间，或椭圆几何空间。于是欧几里得几何学与罗巴切夫斯基几何学都成为一般的黎曼几何学的特例。黎曼的讲演于 1868 年刊行出版，黎曼的研究工作是几何学发展上的一次突破，从而使人们逐渐认清了非欧几里得几何学发现的革命意义。后来，由于凯莱（1821—1895，英国）与克莱因（1849—1925，德国）等成功地将各种度量几何学归入射影几何学，以及代数学中新概念的确立，从而导致在 19 世纪 70 年代实现了几何学的一次大综合，即用群论的观点来刻划各种几何学的特征。

1872 年，克莱因在德国埃尔朗根大学的教授职位就职时作了题为《近代几何学研究的比较评述》的讲演，克莱因在演讲中阐述的基本观点是，每一种几何学都是由变换群所刻划，并且各种几何学所要做的实际上就是在这个变换群下讨论其不变量。在这次讲演中克莱因论述了变换群在几何学中的重要作用，从变换群的观点对各种几何学进行了分类，将各种几何学看作为某种变换群的不变量理论，以群论为基础统一几何学。根据克莱因的观点，各种几何学都化为统一的形式。克莱因在这次演讲中所表述的处理、研究几何学的观点和方法，后来以“埃尔朗根纲领”之称闻名于世，它对于几何学与物理学的发展产生了重大的影响。

2. 代数学的进展——数系的扩展，群论的诞生

近世代数，如同古典代数那样，是关于运算的理论，但它不把自己局限于研究数的运算的性质上，而是研究更具有一般性的元素上运算的性质，在 19 世纪前，数学家对于数系的认识已经形成了自然数、整数、有理数、实数

和复数五大数系。进入了 19 世纪，数的理论的研究取得重大进展，对于五大数系的逻辑结构与性质的研究，建立起了严格的理论；同时数系的扩展使得代数学得到了解放，为各种新的代数系统的出现提供了基础。

1830 年，皮科克（1791—1858，英国）著《代数论》，对代数运算和基本法则进行了探索性研究，试图对代数学作类似于欧几里得几何学那样的逻辑处理，以演绎方式建立代数理论。后来，德·摩根（1806—1871，英国）等推进了皮科克的工作。德·摩根认为：代数学实际上是一系列“运算”，这种“运算”能在任何符号（不一定是数字）的集合上根据一定的公理进行。这新的数学思想使得代数学得以脱离了算术的束缚，在那里，可以看到代数结构概念出现的踪迹，以及为建立代数公理系统所作的准备，为代数学中更抽象的思想铺平了道路。

1837 年，哈密顿（1805—1865，英国）发表了题为《共轭函数与作为纯粹时间的科学的代数》的论文，在这篇论文中将复数 $a + bi$ 看作实数序对 (a, b) 而克服了对复数对几何直观的依赖，用实数序对定义复数的运算，并且说明复数满足实数的运算规律。这样，实数 a 被看作特殊的复数 $(a, 0)$ ，从而完成了数系从实数向复数的扩展，在实数基础上建立起了复数理论的逻辑基础。哈密顿的这一工作对于后来的代数学发展具有重要的意义。它揭示了数的概念有不同维数的差别，实数是一维的，复数是二维的，而且引导创造多维复数的方向。

五大数系的乘法运算都满足结合律与交换律。在 19 世纪早期，人们毫不怀疑地认为一切其它类型的数的乘法都应具有这些性质。1843 年，哈密顿提出了四元数概念，于是一种乘法交换律不成立的数系诞生了。后来，哈密顿在其论著《四元数讲义》（1853 年）和《四元数基础》（1866 年）中对四元数作了进一步论述。一个四元数是一个有序四元数组 (a, b, c, d) ，或具有 $a + bi + cj + dk$ 的形式，其中 a, b, c, d 都是实数， i, j, k 与复数中 i 一样是基本单元。四元数中的 a 称为四元数的数量部分， $bi + cj + dk$ 称为四元数的向量部分。哈密顿还建立了四元数的运算法则，其中四元数的加减法运算与复数相应运算类似，在乘法运算中基本单元的运算如下：

$$\begin{aligned}i^2 = j^2 = k^2 &= -1, \\jk &= -kj = i, \\ki &= -ik = j, \\ij &= -ji = k.\end{aligned}$$

四元数的乘法满足结合律，但乘法没有交换性。一种不满足乘法交换律的数学对象的提出，或者说一种非交换的代数结构的发现，是一次重要的代数创造，它打破了对于“数”所必须遵循的规则古老信念，四元数理论的建立，对代数学的影响是深远的，它为向量代数、向量分析以及结合代数理论的发展打开了大门。

1844 年，格拉斯曼（1809—1877，德国）发表了独创性著作《线性扩张理论》，建立了有 n 个分量的超复数系理论。超复数比四元数更具有一般性，格拉斯曼考虑的是一个 n 元有序实数组 (x_1, x_2, \dots, x_n) 或写成 $x_1e_1 + x_2e_2 + \dots + x_n e_n$ 的形式，其中 e_1, e_2, \dots, e_n 是基本单元，两个这样的超复数可以定义相等、相加和相乘等运算与关系。但允许有不同的乘法，如格拉斯曼还为这种超复数引进了称为内积与外积的两种乘法运算。在这里，对于不同的乘法定义就可以创造不同的代数，这正是格拉斯曼扩张工作的重要性所

在。

哈密顿、格拉斯曼等的开创性工作，提出的不同于普通代数的新的代数思想，导致了代数学的解放，促进了各种新的代数结构的产生和发展，从而打开了通向抽象代数的大门。

群是具有一种运算的抽象代数结构，它是现代数学中最为重要的概念之一。群论在许多学科领域有着广泛的应用，起着积极的作用。群的概念起源于解高次方程，虽然在拉格朗日（1736—1813，法国）、高斯、鲁菲尼（1765—1882，法国）和阿贝尔（1802—1829，挪威）等的研究工作中已蕴涵了群论的萌芽和一些结果，但是群论公认的创立者是伽罗瓦（1811—1832，法国）。

伽罗瓦在世时只发表了几篇数学论文。1829年，伽罗瓦将两篇关于代数方程可解性的论文呈送法国巴黎科学院，不幸遗失了。1831年，在泊松（1768—1840，法国）的建议下，伽罗瓦写了一篇题为《关于根式解方程的可解性条件》的论文，但是泊松认为这篇论文“不可理解”而被退回。1832年，在伽罗瓦决斗致死的前夕，他整理了他的数学手稿，概述了他得到的主要研究成果，托交给他的一位朋友，这份数学遗稿后来被保存下来了，内容实际上包含了关于群论和方程的伽罗瓦理论。但是，在当时人们并不理解伽罗瓦的工作。

在伽罗瓦死后14年，即1846年，由刘维尔（1809—1882，法国）在《纯粹与应用数学杂志》上编辑发表了伽罗瓦的部分论文之后，伽罗瓦的工作才逐渐引起人们的注意。1852年，贝蒂（1823—1892，意大利）发表了介绍伽罗瓦理论的文章。1866年，塞雷特（1819—1885，法国）在他的《高等代数教程》一书（第3版）中将伽罗瓦理论以教科书的方式作了叙述，同时给出了一些新的结果。1870年，若尔当（1833—1922，法国）在其名著《置换和代数方程论》中给出了伽罗瓦理论的第一次全面清楚的论述。伽罗瓦深入研究的是代数问题，他最主要的成就是：提出并论证了代数方程可用根式解的普遍的判别准则，彻底解决了代数方程根式可解性问题，从概念和方法上为最基本的一种代数结构——群论奠定了基础。关于用群论方法研究代数方程的解的理论，为了纪念伽罗瓦，后来称之为伽罗瓦理论。伽罗瓦理论对于近代数学的发展起了深远的影响，在伽罗瓦的短暂一生中，他为数学注入了新的思想，将数学引向新的轨道。后来，在群论的领域由凯莱、戴德金（1831—1916，德国）与李（1842—1899，挪威）等继续工作，这些工作不仅扩展了群论，而且将它应用于各个领域，如在几何学中群论起到了统一分类的作用。群的概念在代数中作为一个综合的基本结构，是抽象代数在20世纪兴起的重要因素。

3. 分析学的严格化，复变函数论的创立

一般说来，凡本质上与极限概念有关的数学分支称为分析数学。它是17世纪以来在微积分学发展的基础上形成的数学中一大分支。它曾和几何学、代数学并列为数学中三大主要分支。

围绕着分析学的基础问题，在18世纪曾经进行过一场争论。到了19世纪，分析学中直观的然而并不严密的论证所导致的局限性和矛盾愈显突出。因此分析学的严格化问题日益引起数学家的关注。事实上，这时期的微积分学虽然已发展成为一门独立的学科，具有丰富的内容和广泛的应用，但是它自

己还未形成严格的逻辑体系。微积分中的一些基本概念，如函数、极限、导数、微分和积分等概念都没有严格的定义。分析学的严格化是从波尔查诺（1781—1848，捷克）、柯西（1789—1857，法国）、阿贝尔和狄利克雷（1805—1859，德国）的工作开始的，并由外尔斯特拉斯（1815—1897，德国）进一步发展了的，其中柯西与外尔斯特拉斯的工作为最主要。通过上述数学家的工作确立了以极限理论为基础的现代分析学体系，这是19世纪数学发展中最为重要的成就之一。

1673年，莱布尼茨（1646—1716，德国）首先使用函数这一概念。柯西在他的《分析教程》（1821年）中从定义变量开始，对于函数概念引入了变量间对应关系。狄利克雷在1837年以变量间对应关系的说法给出了（单值）函数概念的现代定义，根据这个定义，对于函数不一定要要求有解析表达式。如在1829年给出的狄利克雷函数，即在一切有理数取值为1，在一切无理数取值为0的函数。显然，这并不需要用解析表达式表示后才确定其为函数。

在分析学发展史上，极限理论的建立具有重要的意义，这一工作主要由柯西完成的。柯西通过变量概念，而不是用几何与力学的直观给出了极限的定义：

“若代表某变量的一串数值无限地趋向于某一固定值时，其差可以随意小，则该固定值称为这一串数值的极限。”

这是到那时为止关于极限概念的最为清楚的定义，柯西关于分析学基础的基本著作是：

- 《分析教程》（1821年），
- 《无穷小分析教程概论》（1823年），
- 《微分计算教程》（1829年）。

通过这几部著作，柯西奠定了以极限理论为基础的现代分析学体系。当然，用现代的标准来衡量，在柯西著作中的严格性是不够的，如用了“无限地趋近”，“可以随意小”之类的语句表述极限概念尚显得模糊。后来，经过狄利克雷、黎曼，特别是外尔斯特拉斯的工作，才使得分析学的现代形式终于完成。外尔斯特拉斯思想清晰，善于澄清数学中一些基本而又模糊的概念。1856年，外尔斯特拉斯在柏林大学的一次讲演中主张将分析学建立在算术概念的基础上，提出了关于极限概念的“ ϵ - δ ”说法，对柯西的极限理论的叙述施以“ ϵ - δ ”语言。这样，用“ ϵ - δ ”语言叙述分析学中一系列概念，如极限、连续、导数和积分等，建立了现代分析学的严格体系。

1861年，外尔斯特拉斯构造出一个处处连续但处处不可微的著名函数例子：

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a^n \cos(b^n x),$$

其中 $0 < a < 1$ ， b 是奇数，并且 $ab > 1 + \frac{3}{2}$ 。外尔斯特拉斯的这个例子对

分析学的发展产生了很大影响，它推动数学家去创造出更多的函数，这些函数虽具连续性却并不蕴涵可微性，以及函数可以具有各种各样的反常性质，其意义是重要的。它使得数学家更加不敢信赖直观的思考了。

柯西借助于极限理论为分析学奠定了基础，外尔斯特拉斯在此基础上又将分析学算术化，这并不表明分析学基础的研究已经终结。随着分析学的概念精确化与体系严格化，使得数学家认识到必须建立起严格的实数理论。因

为分析学中的许多问题必须借助于实数才能解决，如极限理论，连续性与可微性等都与实数性质相关，所以为了保证分析学结论的正确，应当把分析学理论完全建立在数的基础上，这样就要求有完整的实数理论。1872年，戴德金出版了《连续性与无理数》，在这部著作中以有理数为基础，用崭新的方法定义了无理数，建立起了完整的实数理论，从而建立在极限理论基础上的分析学形成了严密的理论体系。所以，1872年可以看作是分析学基础完成的一年。

18世纪末到19世纪初建立了复数与其代数运算的几何表示，是复变函数理论建立的一个重要步骤。复变函数理论的研究对象是复变数的函数，柯西在建立严格的分析学理论的同时，为复变函数理论奠定了基础。1814年，柯西在巴黎科学院宣读了复变函数理论的第一篇重要论文《关于定积分理论的报告》（1827年发表），开创了复变函数理论的研究。柯西在复变函数理论领域作出了出色的贡献，他给出了柯西——黎曼方程，定义了复函数沿复数域中任意路径的积分，并得到了复函数沿复数平面上任意路径积分的基本定理（即柯西积分定理），由此导出了著名的柯西积分公式

$$f(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(\xi)}{\xi - z} d\xi。$$

上述定理和积分公式是复变函数理论的基础。柯西还定义了复变函数在极点处的留数，给出了计算留数的公式，以及建立了留数定理。

1826年，阿贝尔发表了《关于很广的一类超越函数的一个一般性质》的论文，开创了椭圆函数理论的研究。1829年，雅可比（1804—1851，德国）著《椭圆函数论新基础》，奠定了椭圆函数理论的基础。阿贝尔与雅可比创立的椭圆函数理论可以说是复变函数理论在19世纪发展中最重要成就之一。此外，外尔斯特拉斯等对此都作出了重要的贡献。

1851年，黎曼在其博士论文《单复变函数的一般理论的基础》中确立了单值解析函数的黎曼定义，特别是阐述了现称为黎曼面的概念，以及共形映射定理，这一定理称为黎曼映射定理，它成为复变函数的几何理论的基础。黎曼的这篇论文是复变函数理论的经典性著作。

总之，在这一历史时期复变函数理论已发展成为内容丰富、理论完美、被称为抽象学科中最为和谐的理论之一，它是19世纪数学中最为独特的创造。

五、近代后期天文学

1. 19 世纪天文望远镜的进步

天文望远镜的不断进步对天文学的发展起着有力的推动作用。在 17 世纪，色差曾对天文望远镜的成象产生了严重的影响，后来牛顿指出望远镜的色差是由于透镜对不同色光有不同折射率的缘故，他利用反射光原理制造出第一台全金属反射望远镜，从根本上消除了色差。

反射式望远镜在 18 世纪发展很快。1781 年，W. 赫歇尔（1738—1822 年，英国）曾用一台直径 15cm 自制反射天文望远镜首次观测到天王星。这使他大受鼓舞，接连磨制出口径不断增大的反射望远镜。1789 年，他制成直径 1.22 米，焦距 12.2 米的大型反射式望远镜，投入使用不久便观测到土星的两颗卫星。这一成就奠定了赫歇尔的近代大型反射式望远镜开创者的地位。

1845 年，帕森斯（1800—1867 年，英国）制成了直径达 1.83 米的金属反射式望远镜，镜筒长度达到 17 米，它架在南北走向的两堵高墙之间，只能在东西方向上略作调整。利用这台望远镜在观测星云 M_{51} 时，首次发现了旋涡结构，后来又发现了几个类似的结构。后来帕森斯在观测 M_1 星云时发现它的形状象一只螃蟹，便定名为“蟹状星云”。

为了使大型望远镜能够灵巧地运动，以便适应观测的需要，工程师纳史密斯（1808—1890 年，英国）和天文学家拉塞尔（1799—1880 年，英国）对大型望远镜作了大量改进。1839 年，纳史密斯设计了一种转动机构，使观察者只要坐在目镜旁边，转动手轮就能自由调节望远镜的位置和角度，从而观察到天空的任意部分。

1846 年，拉塞尔首创赤道式大型反射望远镜，直径为 61 厘米，配备了跟踪天体周日视运动的机械装置，他用这台望远镜发现了海卫 1。1851 年，他又相继发现天卫 1 和天卫 2。1861 年，他又研制了一台更大的赤道式反射望远镜，直径达到 1.22 米。

折射天文望远镜在消除色差方面也取得了重要突破。1730 年，数学家 C. M. 霍尔（1703—1771 年，英国）发现，用冕牌玻璃做凸透镜和火石玻璃做的凹透镜构成透镜组可以消除色差。后来光学家多朗德（1706—1761 年）详细研究了消色差理论。由于当时无法制造直径大于十几厘米的大块优质玻璃，因而限制了消色差折射望远镜的发展。

19 世纪初，吉南德（1748—1824 年，瑞士）利用均匀扰动玻璃液的方法制成了大直径的优质玻璃。在此基础上光学家夫琅和费（1787—1826 年，德国）与他合作，共同制成一架消色差折射望远镜，直径达到 24 厘米，焦距 4 米。这台望远镜也是赤道式的，配有跟踪装置。1847 年，德国的默茨等人发展了这一技术，他们研制出直径达到 38 厘米的消色差折射望远镜。这样，在 19 世纪不仅有大型的金属反射望远镜，还有了大型消色差折射望远镜，从而大大推进了天文学的发展。

2. 对太阳系的深入研究

大型反射式天文望远镜和消色差折射望远镜的发展大大帮助了天文学家对太阳系的深入观测，他们最关心的天体之一便是月亮。1839 年，比尔（1790

—1850年，德国)和马德勒尔(1794—1874年，德国)根据观测资料重新绘制了月面图，他们正确地推测出月亮是一个无水、无空气、无生命的天体。

从1830年到1840年，比尔和马德勒尔对火星作了10年观测，他们在此基础上绘成了火星全图，并在图上标有经纬度线。1868年，普罗克托(1837—1888年，英国)根据新的观测结果重新绘制了火星图，他把图上微红的区域定义为陆地，把广阔的暗蓝色部分定义为海洋。1876年，弗拉马利翁(1842—1925年，法国)描绘了十分详尽的火星图。后来，人们才注意到火星上有季节的变化，因为火星上那些斑痕的形状和色泽在不同季节里有明显的变化。人们还注意到火星和地球一样也存在极冠，极冠随季节消长。火星与地球的相似引起了天文学家的极大兴趣。

海王星的发现是19世纪行星研究的重要成就。早在17世纪天王星就被多次观测过，布瓦尔(1763—1843年，法国)根据这些观测数据，在1821年编出天王星运行表。但他的表与1821年以后和1781年以前的观测值不相符，到1848年与观测值在黄经度上偏差达 2° 之多。有人认为可能在天王星之外还有一个未曾发现的行星，它有时扰乱了天王星的正常运行。英国青年数学家亚当斯(1819—1892年)经过5年计算，在1845年计算出了这颗行星的轨道，他希望格林威治天文台帮助寻找这颗星，但没有得到响应。几乎同时勒维烈(1811—1877年，法国)也在研究天王星的反常运动。1846年他计算出这颗未知行星的轨道参数，同时将结果通知柏林天文台的加勒(1812—1910年，德国)。加勒当晚就用望远镜在勒维烈预告的位置附近找到了这颗行星，海王星就这样被发现了。

海王星是天文学史上首次由理论计算预测到的天体，它是摄动理论的伟大胜利。勒维烈受此鼓励决定重新计算太阳系各大行星的运动轨道，并编制新的星历表。但是这一工作并不完美，其中最重要的误差是水星近日点在每世纪里比牛顿理论推算的结果多前进了 $38''$ ，勒维烈以为在水星轨道内必然还有一颗未知的行星，但是后来始终未能找到它，直到本世纪初广义相对论提出后，水星近日点的反常运动才得到合理的解释。

太阳系中，彗星也是引人注意的现象。由于18世纪对彗星轨道的成功计算，使得这方面的研究工作十分活跃。1818年，恩克(1791—1865年，德国)计算了一颗当年发现的彗星轨道，轨道周期是3年零106天，他还认为这颗星与1786、1795、1805年观测到的彗星是同一颗星。这颗彗星就定名为恩克彗星。此后，恩克彗星总是如预计一样如期而至，成为哈雷彗星之后第二颗按预测回归的例子。1828年，当恩克彗星接近太阳时，慧头逐渐变小，人们于是猜测它是否在宇宙中失去了一些物质。这一现象直到本世纪中期才得到合理的解释。

1826年，比拉(1782—1856年，奥地利)发现了一颗彗星，后来定名比拉彗星。桑提尼(1784—1877年)在计算时考虑了地球、木星和土星的引力引起的摄动，从而得出比拉彗星在1832年11月27日经过近日点，他的计算与实际的误差仅有12小时。1846年1月13日，人们发现这颗彗星突然分裂成二颗星，每一颗都有核和发，逐渐分离开来。1852年，当它们回归时彼此已相距240万公里，但到1865年比拉彗星却失去下落。1872年11月27日的夜晚，当地球恰好通过比拉彗星轨道时，却下落了一夜的流星雨，有大约16万颗流星划破了夜空，它们似乎来自同一个点。流星雨在1885年还下过两场，此后不复见到。天文学家们证明，这是比拉彗星所分开成的碎片，在

轨道上继续绕太阳转动，其中一部分碎片为地球吸收进入大气层形成的壮观景象。

直到 18 世纪末，人们对太阳还不大了解。银河系理论的创始人 W.赫歇尔甚至说太阳上有植物和居民存在，太阳光是由太阳的外层大气发出来的，黑子是大气的气隙等等，这些错误延续到 19 世纪中叶。这以后，天文学家加强了对太阳黑子的观测和研究，其中德国一位药剂师施瓦布（1789—1875 年）每天坚持统计黑子的数目，自 1826 年起持续了 10 多年。他终于发现，黑子出现的频数以 10—11 年为一变化周期。到 1861 年，他积累的资料已经超过二个周期，这才引起人们的注意。天文学家卡伦顿（1826—1875 年，英国）自 1853 年起也开始系统观测太阳黑子，他发现以日面上不同纬度统计的黑子为基准判断出的太阳自转周期并不一致，他认为这说明太阳不象一个转动着的固体球，太阳的表面似乎更象流体。卡伦顿还发现黑子的位置也存在周期性变化；开始时黑子的平均纬度约 35° ，数目也少，结束时，平均纬度是 5° 。这些发现为德国天文学家证实。

同一时期，人们也观测了地磁场的变化。1851 年，拉蒙特（1805—1879 年，英国）发现地磁场不仅在一天里作周期性的变化，而且还存在以 10 年为一个周期的变化。这两种平行发生的现象，使人们认识到太阳黑子对地磁场存在影响，当然他们一时还不能理解这种关系的本质是什么。

日食观测也是研究太阳的手段之一。18 世纪，人们已发现在黑暗日轮周围有明亮的环和赤色的火焰。在 1848 年 7 月 8 日的日全食观测中，人们着重研究了这一现象，他们把火焰叫日珥，把亮环叫日冕。1851 年，人们拍下了日冕的第一张照片，从此开创了用照相术研究日全食的方法。研究结果表明，这些光辉是由太阳高层大气对日光的漫射和高温气体的运动造成的。

19 世纪里关于太阳的研究虽然只取得了一些初步结果，但却为日后关于太阳结构的研究铺平了道路。

3. 恒星研究和宇宙构造学说

恒星观测和研究始于哈雷，他在 18 世纪比较了喜帕恰斯、第谷等人列出的星表座标，发现在长约 19 个世纪里，天狼星、南海 3 和大角这三颗恒星的位置有明显的移动，于是断定恒星在宇宙中存在真实的运动。

18 世纪末，W.赫歇尔发现太阳也在运动，他说：“我想我们无权说太阳是静止的，正如我们不应该否定地球的周日运动那样。”但 19 世纪初有人对此产生了怀疑。1837 年，阿格朗德尔（1799—1875 年，德国）研究了 390 颗恒星的自行现象，结果证实了太阳在运动的结论。

还在 18 世纪天文学家们就在思考：既然太阳与恒星相仿，那么恒星是否组成了一个更大的天体系统呢？1750 年，赖特（1711—1786 年，英国）提出银河与所有恒星构成天体系统的假说。此后，哲学家康德和数学家拉普拉斯等人又提出过进一步的星云假说。

杰出的天文学家赫歇尔一家，通过长期观测研究最先验证了天体的银河系假说。赫歇尔自制了一架直径 46 厘米的反射望远镜，他细致地观测了事先选定的天区，一一找到并数出区道中的星数、亮星与暗星的比例。这种方法现在叫统计取样方法。他发现银河附近比起远离银河的地方恒星数目更加稠密，暗星数增加更快。他共数了 683 个取样天区中的 117600 颗恒星，绘出了

一幅银河系结构图，这幅图中银河系形状扁平，轮廓稍模糊，太阳居中。W.赫歇尔开创了用统计取样方法研究银河系结构；用统计恒星自行方向研究太阳运动；以及对双星、星团、星云的观测。他开创了恒星天文学分支，因此被尊称为“恒星天文学之父”。

卡罗林·赫歇尔(1750—1848年，英国)是W.赫歇尔的妹妹。她终生协助哥哥工作，独自发现了14个星云和18颗彗星。晚年整理了W.赫歇尔遗留下的大批观测资料，于1828年出版了当时篇幅最大、最具权威性的星团、星云表。

J.赫歇尔(1792—1871年，英国)是W.赫歇尔的独子。1820年，他曾受父亲委托参与创建英国皇家天文学会的工作。他的天文研究侧重在对双星、星团和星云观测，并核查了他父亲的观测结果，这使他发现了347对双星。1833年，他刊布了一本包括2307个星团和星云的表。他还提出过一种确定双星轨道运动的图解方法。1833年，他在非洲好望角建立了天文观测站，从1834至1837年他共观测双星2102对，星云和星团1707个。在南半球的天文观测中他运用了取样统计方法，共统计了3000个选区中的68948颗恒星，完全证实了上述银河系结构的论断。1838年以后，他专事天文资料的整理和出版。1849年出版了《天文学纲要》，此书于1859年在中国翻译出版，书名叫《谈天》。

由于赫歇尔一家人的成就，使银河系概念在19世纪中叶得以确立。

自哥白尼以来，人们长期寻求三角视差的测定，以便确定恒星到地球的距离。这一工作因天文仪器的进步终于在19世纪30年代取得了成果。

贝塞尔(1784—1846年，德国)任柯尼斯天文台台长期间，长期从事恒星位置的精密观测。他主编了著名的《波恩巡天星表》。1837年，他认为研究恒星视差问题的条件已经成熟，决定选择天鹅座61号星为观测对象。1838年，他宣布天鹅座61号星的视差是 0.31 ，由此推算该星座距地球为11光年。同一时期，斯特鲁维(1794—1864年，俄国)选择织女星为观测对象从事视差测定研究。1837年，他向彼得堡科学院报告织女星视差测量结果是 0.125 ± 0.065 ，计算出织女星距地球27光年，此外他还将精密的测量方法引入到双星观测中，共发现220对新的双星。1839年，亨德森(1789—1844年，英国)在好望角测出人马座 α 星的视差是 0.91 ，但这个值并不准确，后来经别人修正为 0.76 ，距地球4.3光年。此后，类似的测量结果不断有报道。19世纪共测出70颗恒星对地球的视差和距离。

4. 天体物理学的创立及成就

望远镜对天文学的发展作出过巨大的贡献，但望远镜存在一定局限，它不能了解天体的化学组成，物理状态等。19世纪初，刚刚发展起来的分光学、光度学和照相术开始应用于天文学，使天文学取得了一系列重大成就。这样在19世纪下半叶新兴的天体物理学创立了。光谱学发端于牛顿的三棱镜分光实验。1814年光学家夫琅和费(1787—1826年，德国)将望远镜、三棱镜和直光管组成一个系统，命名叫分光镜。该系统由于用多个棱镜偏折光线，因此使色散度增大可以精确测出各种色光谱线的位置。他发现太阳光谱不是连续变化的，其中暗线多达576条，他用A、B、C、D(D_1 与 D_2)、E、F、G、H标志出最明晰的8条暗线，后人称做“夫琅和费”线。尽管他不能深入解释

这些暗线的意义，但他肯定这些暗线是由日光自身决定的。后来夫琅和费又用分光镜研究月亮、行星及恒星发出的光谱，结果表明这些天体的光谱同样存在暗线。夫琅和费被公认是天体物理学的创始者。

化学家本生（1811—1899年，德国）和物理学家基尔霍夫（1824—1877年，德国）揭示出光谱暗线的本质。他们将食盐撒在火焰上，通过分光镜可以看到二条黄色亮线，其位置正好落在太阳光谱的 D_1 和 D_2 暗线上，于是他们让太阳光和钠光混合，投在分光镜上，出人意料的是 D_1 、 D_2 暗线并没有因此亮起来，反而更暗了。用另一种有连续光谱的光源代替日光重复上述实验，结果在连续光谱上出现了 D_1 、 D_2 暗线，他们由此想到太阳中心发出的连续光谱一定被太阳表面的钠蒸气把黄色光吸收了，结果在地球上观察到的太阳光谱就形成了 D_1 、 D_2 暗线。

基尔霍夫通过深入研究发现了分光学的基本定律：每一个化学元素都有一种特殊的发射光谱；每一种元素可以吸收它能够发射的光谱线，这叫自蚀式自变现象。他和本生在研究了各种元素的光谱并和太阳光谱的夫琅和费线作了对比之后，宣布太阳大气中存在铁、钠、钙、镍等元素，但没有锂。

1861年，布儒斯特指出落日时的太阳光谱的暗线受到地球大气的干扰。4年后詹森（1824—1907年，法国）进一步证明大气中的吸收谱线是由氧和水汽形成的。1866年，洛基尔（1836—1920年，英国）利用分光镜研究黑子，他发现黑子的光谱吸收暗线远比太阳其它地区的吸收暗线多。1869年，埃格斯特（1814—1874年，瑞典）首次测出了1000多条太阳光谱线的波长，并以他的姓名的第一个字母人作为波长单位的名称（埃）。

太阳光谱学的研究推动了人们对太阳的研究。18世纪末，W.赫歇尔还假定太阳是一个冷的固体，其上有生物和居民。但是光谱分析证明太阳大气中有金属气体存在，足见温度很高，不适合任何生物生存。1865年，法伊（1814—1902年，法国）提出了新的太阳理论，他假定太阳是一个高温气团，热量自太阳内部辐射出来，太阳内部的物质也随之上升至太阳表面，在那里重新聚集又回到太阳的内部，这种对流构成了太阳物质的循环运动。这一理论延续至本世纪才为新的太阳理论取代。

1868年8月18日，在日全食观测中使用了分光镜。其中对日珥作的光谱观测研究表明日珥是太阳大气的一部分，是太阳部分物质爆发时形成的特殊现象。参加这次观测的詹森在日珥的光谱中发现一条未知的谱线 D_s ，位置与钠的D线很接近。次年，洛基尔（1836—1920年，英国）在日全食观测中又见到这条暗线，他确认这条谱线证明太阳中有一种特有的元素，定名为氦。1895年，拉姆赛在一种结晶铀矿中找到一种气体，结果证明地球上也存在氦。

在研究太阳光谱的同时，有人开始研究彗星的光谱，发现它是相隔为三段的光谱色带。这说明彗星是一个发光体，不象行星那样仅仅反射阳光。哈金斯（1824—1910年，英国）进而证明彗星的三段光谱带与碳氢化合物光谱中的三段光带相合。后来他发现流星的光谱也与此类似，哈金斯的工作是比较深入的，他观察过彗星的紫外光谱和由彗星反射的太阳光谱。

人们在研究中还发现连续光谱和发光体表面温度存在关联，通常当发光体温度升高，其辐射能量的最大值向光谱的紫端偏移。恒星吸收光谱也与恒星温度有关。塞奇（1818—1878年，意大利）自1863年起用低色度的摄谱

仪观测恒星光谱，他把恒星分为白色星、黄色星、橙色星、红色星和暗红色星。80年代以后，天文学家们才根据光谱，把恒星划分为不同温度类型的星。

1842年，物理学家多普勒（1803—1853年，意大利）指出，当波源与观察者相对运动时，将观察到波源的频率发生变化；当光源离去时，它发出的声或光的频率降低，或波长变长。人们很自然会想到在天体观测中也会产生“多普勒效应”：如果星球向地球而来，其光谱必向紫色一端移动；反之，则会向红色一端移动。1868年，哈金斯观察到天狼星吸收谱线向红端移动，他计算出天狼星以约每秒34.5公里的速度远离地球而去。从此，利用多普勒效应观测天体，解决了许多重大的天体物理问题，对现代天文学的诞生产生了深远影响。

光度学的发展与应用是19世纪天体物理学的另一个方面。18世纪中叶，兰伯特（1728—1777年，德国）建立了光度学的基本定律。他研究了光线在透明介质中被吸收的情况，论述过月亮和行星的亮度问题，得到满月时月亮的平均亮度只有太阳的27.7万分之一的结论。

1859年，泽内尔（1834—1882年，瑞典）发明了光度计，使星体亮度测量的准确性大大提高，泽内尔用这一方法测量了星体的亮度，于1861年公布了近代第一个使用光度计测量的星度表。在他之前，普森（1829—1891年，英国）建议按星的亮度分为5个星等，相邻两个星等亮度之比为2.512。他们的工作为恒星光度学奠定了基础。

在照相术发明之前，天文学家们是用手把观察到的星体形貌画在纸上的。

1827年，尼普斯（1765—1833年，法国）制成了第一台照相机，他利用银盐感光的原理制做底片，经过长达8小时的曝光得了第一张风景相片。他的合作者达盖尔（1789—1851年，法国）在1839年发明了一种银版照相术，使用碘化银做感光材料，感光时间缩短到20—30分钟。定影液由天文学家J.赫歇尔建议使用硫代硫酸钠。照相术的成功立即引起天文学家的高度重视，就在当年由J.德雷伯（1811—1882年，美国）把照相机安装在一架口径是7.6厘米的折射望远镜上，望远镜跟踪着月亮并连续曝光20分钟，终于得到了第一张天文相片。

1851年，摄影师斯科特—阿切尔（1813—1857年，美国）发明了珂珞酊湿片法，感光速度比达盖尔法快100倍以上。德拉鲁（1815—1889年，英国）于次年将这一方法用于天文照相，仅曝光30秒就得到一张清晰的月亮照片。1860年，他在西班牙又用此法拍到一张清晰的日珥照片。从此，照相方法在天文观测中得到推广。

1871年，化学家马多克斯（1816—1902年，英国）用明胶代替珂珞酊，发明了干版法。这一方法几经改进在19世纪末使感光速度提高了几千倍，连暗弱的恒星也可以拍照。此外，照相术还用来拍摄恒星的光谱。

由于分光术、测光术和照相术的应用，为研究天体的物理性质和化学组成提供了可能，最终导致天体物理学的诞生。于是天文学由只能研究天体的机械运动发展到研究天体的物理和化学特性，完成了自身的一次飞跃。

六、近代后期地学

1. 地质学进化论与灾变论的争论

直到 18 世纪地质学还处在矿物学的初级阶段。在大地构造的成因问题上水成论和火成论学派的长期论争一直延续到 19 世纪初。

魏尔纳（1750—1817 年，德国）是水成论的代表，他认为原始的地球是由固体的地核和覆盖在地表的水组成的，海洋中含有大量岩石物质，这些物质通过长期的结晶过程沉析为原始的岩层，同时由于海水的进、退交替发生使岩层进化为陆地和岛屿。他还认为火山岩和火山产物是堆积在地表的新岩层。19 世纪初，水成论占据了统治地位，例如 1807 年英国成立地质学会，会员全部是水成论者。

与水成论对立的一方是火成论，英国地质学家赫顿（1726—1797 年）被公认是火成论的代表者。他强调由于地球内部的热运动造成地质长期的缓慢的变化。他曾说：“不是地球固有的因素不予使用”，就是说在研究地质现象中不考虑超自然的力量，这一见解为近代地质的研究指明了方向。他同意原始的地球是由核和包围核的大洋组成的观点，但认为地核内是温度很高的岩浆，一旦喷流出来会形成玄武岩构造。火山的喷发使海底地壳隆起，形成陆地和山脉。山脉的岩石经风化又被冲入大海，形成彼此平行的岩石，一层层覆盖海底。赫顿实际上已具备了地质学进化论的基本思想。

人们对地壳演化和运动的历史主要是通过对古生物化石的发掘和研究认识的。古生物学家居维叶（1769—1832 年，法国）较早地注意到古生物化石和地层的关系。他在研究中发现每个有机体都能自成体系。有机体的各部分是互相适应的，任何一部分的改变都必然引起其它部分的改变，这样只要获得机体的一部分，就可以判明其它部分。居维叶据此提出了“器官相关律”，指导古生物学家从发掘得到的古生物残片复原全貌，从而精确地确定该生物的纲、目、属、种。这一成就对确定地层层位也有实际价值。

1802 年，居维叶得以对巴黎盆地的沉积地层作深入研究，他发现地层愈古老，所含化石和现代生物种属差距愈大，其中不少古生物的种、属是已经绝灭了。他还发现不同时代的地层之间存在不整合现象，在不整合面之下的岩层不仅产状不同，所含的生物化石也不同。这一年人们还得以研究从埃及带来的 3 千年前的动物干尸，结果表明与现存有关物种非常相似。居维叶于是认为经过 3 千年都找不到明显的变化，说明种是不变的。那么为什么一些种灭绝了，一些新种又产生了呢？居维叶认为：“现在地球上的生命都遭到过可怕的事件，无数生物变成了灾变的牺牲者”，“因此，这些种群就永世绝灭了。”

1812 年，居维叶发表《论地球上发生过的若干次“革命”》，系统阐述了“灾变论”。他认为上帝制造一次“灾变”，对地球来说相当于一次“革命”，于是一些种灭绝了，上帝又创造了新的种，然后再面临新的灾变。洪水、地震都是大灾变的原因。

灾变论曾产生过广泛影响，一些地质学家支持这一学说，甚至有人统计过地球曾经有过 27 次灾变，每一次灾变都消灭了所有的生物。灾变论虽然含有合理的因素，但它完全否认生物存在进化，仅仅片面地强调了物种的灾变，因而从一开始就受到怀疑和挑战。

地质进化论的代表者是赖尔（1797—1875年，英国），他继承和发展了赫顿的学说，创立了系统的地质进化论或“均变论”学说。为了获得足够的地质学资料，他自1818年起在英国各地作地质考察，后来又从法国、瑞士直到意大利进行多次地质考察。1828年，他着手写《地质学原理》，两年后这部地质学名著的第一卷出版。在这部著作中他特别强调“在地球的一切变革过程中，自然法则始终是一致的”，他解释道：“河流和岩石，海洋和大陆，都经过各种变化，但是指导这些变化的规律以及它们所服从的法则始终是相同的”。从这一点出发，他认为“现在是认识过去的钥匙。”他在分析和考察了现在的仍旧改变着地球表面的种种过程和规律之后，指出河水对陆地的侵蚀，海浪对海岸的破坏作用，河口三角洲以及海底物质堆集，地震火山和风、雪、雨的作用，都在长期地缓慢地改变着地貌。

他批评灾变论的错误观点，认为灾变论者把地球的年龄估计得太短，由于把漫长的地质史设想成只有几千年，导致把毫无关系的事件说成是同时存在或同时发生的，这样必然“会对各种作用的力量和猛烈程度作出同样过份夸大的描写”。他还指出，灾变论强调“自然作用的种类和程度与现在的自然法则绝不相同”的论点是站不住脚的，他深信自然法则始终是一致的。

赖尔的思想融汇了“水成论”和“火成论”，他说：“水成的力量不断地努力夷平崎岖的地面；火成力量则活跃地恢复地球外壳的起伏不平”。

赖尔的学说建立在大量地质调查和严格推理的基础上，他强调是自然界自身的力量改变了地球的面貌，而且把变化、发展的思想引进了地质学，因而在当时学术界产生了巨大的影响。恩格斯评论道：“只是赖尔才第一次把理性带到了地质学中，因为他以地球的缓慢变化这样一种渐进作用代替了由于造物主的一时兴发所引起的突然革命。”但是，赖尔强调“自然法则始终是一致的”论点，忽视了灾变对地质进化的作用，从而使他具有绝对化和简单化的倾向，并使他对后来兴起的造山学说和冰川学说持保留态度。

2.19 世纪的地学家

第一个把生物学引入到地质学的是“英国地质之父”史密斯（1769—1839年，英国）。史密斯原是一位测量工，他每到一处测量总是留心观察岩石剖面。在18世纪末，他从长期的观察研究中已领悟到“每一地层中都含有独特的生物化石”。经过综合和概括他提出了著名的“地层层序律”，编制了化石一览表，同时还绘出了地层柱状图和地质剖面图，但是这一成就并未引起人们的重视。

1799年，他自费在英国各地作地质考察，1815年出版了他编绘的《英格兰和威尔士及部分苏格兰地质图》，在这幅图上他用颜色标出了英国地层的层序。次年，又出版了《以生物化石鉴定地层》的专著，首先提出用“标准化石”和“化石组合”鉴定地层层位的原则，从而为历史地质学奠定了牢固的基础，这一原则和方法一直沿用至今。

同一时期研究化石与地层关系的还有居维叶。稍晚，赖尔的小伙伴麦寄生研究过欧洲各地区古生代地层，他的研究推动了19世纪地层学的进步。

在赖尔提出地质进化论之前，曾有二位地质学家发表过类似的思想，一

位是英格兰人赫顿，一位是普列沃斯特（1787—1856年，法国）。前者强调由于火成原因造成地质的渐变，后者从巴黎附近一个古老湖泊的演变历史说明长时期的微小地质变化可以使地貌从一种状态演变到另一种状态，也可以说明何以不同的地层或存有淡水化石或存有海洋化石。他们的研究对赖尔产生了影响。

丹纳（1813—1895年，美国）是19世纪继赖尔之后的一位大地质学家。19世纪30年代，丹纳曾到世界各地作地质考察，特别是在1838年至1842年期间他随探险队详细考察了南美海岸和太平洋的地质情况。在此基础上他提出了所谓的“地槽”概念。地槽是指地壳强烈下陷的部分，地槽中除凹陷外后来还证明存在褶皱和一定的沉积构造。地槽理论后来由德国人史蒂勒加以发展，又进而分为正地槽和准地槽等，成为大地构造理论中的一个学说。

19世纪中期还有一位值得一提的地质学家，他是李希霍芬（1833—1905年，德国）。李希霍芬曾任国际地理学会会长，1868—1872年期间曾考察过中国、日本、爪哇、印度等地。他到中国7次，考察过当时18个省中的11个，著有《中国》、《中国地图集》。他对中国的煤矿及其它资源分布很感兴趣；在地质学方面，他提出了中国黄土高原风成说、震旦系的命名、自然地理区划等。在地质学研究方法上，他主张把各地域地质地理贯穿在一起研究，同时又强调区域性地质地理的深入研究。这一切使他在地质界享有很高的声望。

3. 洪堡与近代地理学的创立

自19世纪起，在洪堡等一批地理学家的努力之下，地理学分化为自然地理学和人文地理学。地理学家们开始用整体的观点和综合的方法研究地球表面乃至大气层中的一切自然现象。

亚历山大·冯·洪堡（1769—1859年，德国）是自然地理学家、近代地质学、气象学、地磁学和生态学的创始人之一。1799年，他和植物学家邦普兰（1773—1857年，法国）乘“毕查罗”号军舰从西班牙出发，开赴美洲作科学考察。他们首先在委内瑞拉的库玛纳登陆，考察了那里的热带植物群落，进行了天文观测。又于1800年乘船沿奥里诺科河上溯，深入到人迹罕至的原始密林中考察。

是年冬，他们前往古巴，对这个号称“糖与奴隶之岛”的政治、经济和资源情况作了考察。

1801年，他二赴南美考察，在哥伦比亚登陆，沿马格达雷河溯源而上至翁达，然后弃舟登安弟斯山南行，经波哥大圣基多，在基多登上安弟山山脊继续南下，至秘鲁首都利马。沿途他们用空盒气压计测定了所到地方的高度，记录了各地气候，测定了各观测点的经纬度。他们还考察了各地的动、植物种类和生长情况，同时还调查了各地的社会及经济状况。在厄瓜多尔他们冒着生命危险考察了境内的火山；在利马观察过南半球天文，研究过鸟粪的肥料作用。

1803年，他们在西班牙的殖民地墨西哥做了深入的社会调查，揭露了殖民者掠夺式的开采资源和农业上单一种植的弊端。次年结束在南美的考察并回到欧洲。在法国他系统地整理了南美洲的考察资料，写成《新大陆热带地区旅行记》共30卷。

1827年他回到久别的德国，此后从事《宇宙》一书的写作，这是一部描述整个物质世界的科学巨著，经过26年的努力，该书第一卷于1845年出版，最后一卷到1862年才发行，其时他已去世近5年了。《宇宙》是一部百科全书式的著作，洪堡力求从各种现象中看到相互间的联系，从差异中看到统一。由于涉猎范围广阔，他被誉为“近代的亚里士多德”。

洪堡的考察工作在当时独具特色。他经常携带几十种仪器和设备，每到一处必对该地的动、植物的种类、分布作详细考察，还要测量当地的纬度、气温、气压、大气成分，地磁等，这种全面的科学观察和测量是由洪堡开创的。这使洪堡在气象学、植物地理学以及地球物理学等方面取得了一系列研究成果。

1827年，洪堡创造了等温线的概念，并首先绘出一张全球等温线地图，得以比较地球上不同地区的气候。后来这一成就成为比较气候学的基础之一。他还在安第斯山脉的一些高峰上研究过气温随海拔高度下降的比率；研究过赤道带暴风与大气扰动的起源问题。

在植物地理学上，他发现植物分布与气候的关系和植物分布受地形的影响，他指出单纯按洲和地区列举植物的名录是不够的，还应当说明当地气候和地形的影响作用。

在考察中他划分出火山活动带，认为火山活动带与地壳的裂缝相关，通过地磁测量研究，他首先提出了磁纬度的概念，总结出地磁场强度随纬度而升高的规律。鉴于气象对人类活动的巨大影响，他于1823年建议各国广泛建立气象台和地磁台，这一建议立即得到广泛响应。

洪堡十分重视人和自然的关系，他在著作中列举了大量事实论证人如何依赖土壤、植被和气候，植被又是如何受自然条件的制约等等。由于洪堡的成就，使地理学在19世纪逐渐发展成一门成熟的科学。

4. 全球性地理探险活动及地理发现

(1) 美洲的探险活动及地理发现

19世纪由于资本主义经济和贸易不断发展的需要，推动了欧洲各国全球性的地理探险活动，它给欧洲各国带来了巨大的财富，对近代地理学、地质学、气象学的发展具有重大意义。

19世纪初，北美洲的落基山脉以外，以及哥伦比亚河与科罗拉多河之间的广大地区在地理学上仍然是一片空白。20年代，采购毛皮的商人曾穿越美国西部地区，他们从南面考察内华达山脉和海岸山脉，在北面对喀斯喀特山脉考察。1832—1836年，波·彭维尔和德·威尔克尔率领探险队弄清了美国大西部地区地形的基本特征，还考察了奥格登河和塞维尔河流域。1842年，乔治·卡尔斯等人在密西西比河与喀基山之间的整个地区进行调查。次年，他们又从不同方向穿越了美国大西部地区，他们考察了该地区的河网及山脉，划定了死湖地区的边界以及一些高大山脉的走向，后来他们把这一地区叫大盆地。

1843年，拉凯姆普贝尔在加拿大西北北纬62°附近发现佩利河，该河流向朝西。他沿河而下，在佩利河与刘易斯河交汇处建造了一座要塞。在19世纪，人们查清了阿拉斯加地区的一条主要河流和它的支流。

1826年，德国地理学家爱德华·别彼格来到智利，次年他在智利中部安

第斯山开展考察。1829年，他从秘鲁的普亚俄港出发到达亚马孙河的上游地区，沿途考察了瓦亚河、马拉尼翁河和亚马逊河。

1843年，法国考察队在南美地区巴西海岸登陆，在法兰苏阿·兰斯捷尔的率领下考察队深入到马托格罗索地区。他们在南纬 15° 沿阿瓜拉亚河顺流而下，航行到位于南纬 5° 的河口处，后来又沿坎廷斯河而上，到达其上游地区，完成了对该河流域的考察。登岸后他们继续西进，深入到大陆腹地，准确查明了巴拉圭河源头位于南纬 14° 。接着向西穿过大查科草原，越过了沼泽地和广阔的平原，走出了热带丛林，登上玻利维亚高原，由此折向西北，翻过高原，来到利马附近的太平洋海岸。此次考察首次完成了横穿南美大陆的壮举。

(2) 非洲的探险与地理发现

19世纪初，欧洲地理学家对非洲腹地仍缺乏了解，特别是对非洲四大河流：尼罗河、尼日尔河、刚果河、赞比亚河的源头、流向及支流知之甚少。非洲东部地区的湖泊、大陆腹地的地形特征等还是地理上的空白。

1822年，英国军官亚历山大·哥尔顿、林格沿尼日尔河航行，他确定该河发源于塞古城东南约1000公里以外。同年，三个美国人穿过撒哈拉沙漠的中心，于1823年发现了乍得湖。三人中的阿乌特尼途中病逝，另一位克拉彼尔顿未能找到河口，但他正确地指出尼日尔河在它的中游地段与乍得湖无关，三人中的金海姆考察了南部湖岸，发现沙里河注入乍得湖。他与克拉彼尔顿会合，再次穿越撒哈拉沙漠，于1825年回国。

1830年，林捷尔兄弟考察尼日尔河，他们发现自北纬 80° 起尼日尔河变成一条水深流急的大河，另一条大河名叫阿贝努埃（全长1400公里）在此处与尼日尔河汇合。林捷尔兄弟于是决定考察该河，结果认为该河与尼罗河无关。尼日尔河的下游分成许多支流，冲击成辽阔的尼日尔平原三角洲。最后，林捷尔兄弟在尼日尔河口处结束了考察。

1857年，英国人理查德·波东和约翰·斯比克从非洲的印度洋海岸登陆寻找白尼罗河源头，途中波东病倒，斯比克孤身向北一直前进到维多利亚湖的南岸，他认为这就是白尼罗河的源头。1860年，斯比克和格兰特一起环维多利亚湖自南岸向东岸考察，在北岸他们发现一条向北流的河发源于该湖，他们为这条河定名为萨默塞特—尼罗河，但后来人们改称为维多利亚尼罗河。

1864年，贝依盖尔决定沿维多利亚尼罗河而下继续考察。他发现了尼罗河的第二个源头，艾伯特—尼亚萨湖，还发现了尼罗河上最大的瀑布。后来高利·斯坦利找到了维多利亚河的重要支流，即卡盖拉河，沿北河最终找到了尼罗河的源头。

1849年，德国哲学家亨利·巴特随一支英国探险队在苏丹考察，以期发现撒哈拉沙漠以南的草原和平原，以便探索一条从地中海到苏丹的商业通道。他们自黎波里启程，先穿过沙漠北部，再折向西，尔后又向南，一直来到尼日尔河的一条支流索科托河畔。接着考察了乍得湖以北、以东和东南地区。1852年，巴特任探险队长，考察了乍得湖以西至尼日尔河之间的地区，于1855年回到黎波里。在历时6年里，行程2万公里，沿途广泛收集了当地历史、地理、人种、语言等资料，还绘制了一系列该地区的地图。

1853年，传教士李文斯敦率探险队沿赞比亚河向上游进发，他们穿过非

洲大平原来到南纬 11° 附近，结果发现刚果河水系。1855 年，他从赞比亚河上游出发，沿河顺流而下，发现了世界上最大的维多利亚瀑布。赞比亚河在这里自 120 米处直泻而下，形成了宽 1800 米的大瀑布，然后流入深深的峡谷之中。

1856 年，李文斯敦在赞比亚河口以北处驶入印度洋，成为第一个横穿南半球非洲大陆第一个欧洲人。他对热带中非洲的地理特征这样描述，“南纬 8° 线以南的中非是一个高原地带，高原的中部稍低，周围峡谷纵横，河流沿峡谷向海洋奔泻……。这个地区使人们联想到以淡水湖著称的北美地区。它也能与具有湿热的谷地，茂密的森林与高原而闻名的印度相媲美。”

(3) 澳大利亚的探险与地理发现

澳大利亚的海岸线在 18 世纪末已大致勘察清楚。19 世纪初，英国海军军官梅秋·弗林德斯和法国海军军官尼古拉·包登完成了南部海岸线的考察，他们发现大澳大利亚湾和斯潘塞湾与卡奔塔利之间隔着广阔的地带，所谓的新荷兰（即澳大利亚洲）是一个完整的大陆。1802 至 1805 年，弗林德斯完成了环新荷兰的航行，他在 1814 年，出版了《前往澳大利亚之地旅行》，在这本书中他首先建议把新荷兰大陆易名叫澳大利亚。

1813 年，人们在悉尼以西的广大地区发现了广阔的草原。从兰山山脉发源的两条河流流经草原，又消失在沼泽地带，其中靠南的一条叶拉赫兰河，北边的叫库奥里河。1817 年，地形测量家奥斯克里和埃万斯自悉尼向东进发，他们登上了与利物浦岭相连的丘陵地带。6 年后，阿林·坎尼根姆朝利物浦岭进发，发现了又一条流入沼泽地的河，定名巴隆河。同一时期米尔顿·尤姆等也发现了马兰比季河和尤姆河（即墨累河）。至此流向朝西的几条河流均被发现。又隔 5 年，斯捷尔特受殖民政府派遣去考察上述河流，他见到这些河流都干涸了，连沼泽地也不复存在。但他却发现一条流量很大的咸水河，取名叫达令河。次年，斯捷尔特乘舟沿墨累河而下，发现河水最后注入一个广阔的三角河湾（现称亚历山大湖），河湾以外是卡温捷尔海湾。这样，斯捷尔特大体查明了澳洲东南地区的水系。

1836 年，地形测量家托玛斯·米特切尔环绕澳大利亚东南海岸航行，然后沿格莱内河向内陆航行直至它的源头，又弃舟向东翻越了澳大利亚山脉。这一带的地形河网交错，长满了美丽的澳大利亚桉树，米特切尔称赞这里是“幸福的澳大利亚之地”。10 年后，他大体完成了墨累河—达令河水系的勘察，他还发现注入太平洋的纳戈阿河。

南澳大利亚的地理发现归功于牧羊人爱德华·埃尔。1839 年，他在考察斯潘塞湾沿岸地区时，发现了弗林德斯山脉，在山脉西侧又发现托仑斯湖。次年，他向斯潘塞湾的北部进发，意外地发现托仑斯湖已变成一片盐碱地，向北又见到一个巨大的咸水湖，后来定名埃尔湖。继续沿海岸西进并来到沙漠地带。此次行程共 2000 公里，沿途既缺水也少见树木，他把这一地区取名“纳拉伯”，意为一颗树也没有。

1829 年，澳大利亚西南建起了两座城，佩恩城和奥尔巴尼城。以这两座城为基地，人们对澳大利亚腹地多次远征，结果发现了达令山脉和斯特林山脉。1848 年，斯捷潘·格里果里由佩斯城出发向北行进，在达沙克湾为沙漠所阻。此行发现了默奇森河。至此人们对中澳大利亚知之甚少，多视为畏途。英国人查尔斯·斯捷尔特却从研究候鸟的飞行方向入手，他认为在干旱的年

月，侯鸟多飞往大陆中部，这说明那里水草丰盛。1844年，他组织了探险队从阿德莱城出发去寻找新的牧场。他向北越过巴里尔山，深入到“广宽的砂石荒原”，结果只看到一些干枯无水的河床，最终在辛普森沙漠的边缘终止了探险活动。

1860年，维多利亚殖民地原总督罗·奥·彼尔克辛组织探险队，自墨尔本向澳大利亚中部前进，以期找到一条从维多利亚殖民地通往大陆北部的陆路，以及找到一条横贯澳大利亚的有线电报线路。彼尔克辛考虑到路途艰险决定沿途设立两个粮食供应站，这样于1861年顺利到达卡奔塔利湾，完成了沿子午线横穿澳大利亚之行。但他在返回的途中却因粮绝不幸饿死。

(4) 北极的探险和地理发现

人们对北极地区的探索是从19世纪20年代才开始的。1821至1824年，俄国的费多尔·彼得洛维奇率探险队在新地岛地区考察，但只限于考察新地岛的西岸和南岸。从1832年起，彼得·库兹米奇指挥新地岛号探索该岛的东、南海岸线，同时绘出南部海岸线地图。在新地岛越冬期间还观测了当地气象变化。1835年夏季，帕赫图索夫和柴沃尔基一起乘船沿新地岛的西岸向北航行，至马托奇金海峡不幸触冰沉船，帕赫图索夫一行被另一艘船救起。此行他们考察了新地岛的东部海岸线，发现了帕赫图索夫群岛。

1821年至1823年，俄国军官彼得·费多洛维奇领导的探险队考察了奥列尼奥克河至因迪吉尔卡河之间的西伯利亚北部海岸线，以及新西伯利亚群岛。北极地区的旅行是艰苦的，冬天只能乘狗拉的雪橇，夏天则乘马或小船，彼得顽强地工作着，绘出了第一幅西伯利亚群岛地图，考察并记录了亚迪河与因迪吉尔卡河之间的北部海岸线。与此同时，由俄国军官费迪南德·彼得罗维奇率领的另一支探险队考察了自科雷马河口至大巴拉诺夫角的西伯利亚海岸线，他们还从结冰的海面上向北挺进至北纬 $70^{\circ}53'$ 、东经 175° 的海区。费迪南德后来当选为俄国科学院的通讯院士。1841年他出版了《西伯利亚北部海岸区麦氏地图》，在图中标明一条山脉，并说明“在夏季从亚坎角（北纬 $69^{\circ}35'$ 、东经 $177^{\circ}30'$ ）能够清晰地看到这条山脉”。1867年，托马斯·伦格乘捕鲸船穿过楚科奇海发现了一个大岛，在夏季可以看到岛上的山脉，伦格认为这就是费迪南德发现的山脉，并以费迪南德的名字命名该岛，后来查明岛的面积是7300平方公里。

1869年，德国人卡尔·科尔捷维依率领一支探险队乘蒸汽船沿格陵兰岛的东部航行，他们进至北纬 $75^{\circ}30'$ ，结果船被冰冻结在海上，船员们只好在萨宾岛上过冬。但此行发现了法兰士约瑟夫地。考察队员尤留斯·派耶尔奉命继续前进，他乘雪橇沿格林兰岛的东北海岸一直行进到俾斯麦角，这里位于北纬 $77^{\circ}2'$ 。然而法兰士约瑟夫地的全面考察，直到1894年，才由英国极地探险家费雷得里克·杰克逊完成。

19世纪初，英国国会为寻找大西洋至太平洋的西北海上通道曾悬赏2万英镑奖金。1818年，约翰·罗斯库探险队乘船沿格陵兰以西，北纬 70° 线以外航行，企图探寻出一条航线。在进入兰开斯特海峡后为浓雾所阻，只好返航。这次探险使他能够修正关于这条海岸线地图中的一些错误。

1819年，威廉·爱华德·帕里率探险船队也来到兰开斯特海峡，他沿北纬 75° 线向西前进，结果发现了一个岛群，即加拿大北极群岛的西北部岛群。沿群岛的南部他考察了巴罗海峡和梅尔维尔海峡，但帕里不得不在一

个海湾过冬。1820年夏，帕里率船队继续西进，在西经114°为巨冰所阻，不得不返航。次年他启程再赴北极，船队沿南开普敦岛的北部海岸线航行，不幸在北极圈附近的弗略曾海峡遇到了一个死海湾，帕里称它是列帕尔斯海湾，意为悲伤海湾。他选择附近的一个岛屿下令登陆，并在岛上越冬，这个岛命名叫温特岛。次年夏，帕里在一位爱斯基摩妇女那里得到一张地图，按此图终于航行到梅尔维尔半岛北部海峡的入口，他以所乘航船的名字命名这海峡，即今天的尤里—安德—赫克拉海峡。经过考察他们证明巴芬岛是世界第五大岛，而不是大陆的一部分。帕里的海上探险一直进行到1825年，始终没有找到西北海上通道。

1819年和1825年，约翰·富兰克林先后两次率队从陆路向北挺进，他们考察了从哈得逊湾到波费特海之间的加拿大北部海岸线。

1829年，约翰·罗斯率领船队绕过巴芬岛，穿过兰开斯特海峡和德任特太子海峡，发现了北美大陆最北端的布西亚半岛和布西亚湾。1830至1831年，罗斯的姪子詹姆斯·罗斯考察了布西亚半岛，在该岛西岸，北纬70°5′、东经96°46′的地方发现磁针处于垂直地面的状态，证明此处是理论上推测过的磁北极（即地磁场的S极）。

1847年，富兰克林率探险队共138人在探寻西北通道的途中不幸在威廉王岛全体遇难。这一不幸的消息震动了欧美，为了寻找探险队的下落，各国共组织几十艘救援船开赴北美洲的北极地区。他们以坚毅的精神寻遍了那些冰封的海峡和数不清的海湾及岛屿，终于完成了全部加拿大北极群岛的发现工作。

1850年，美国商人亨利·格林内尔的探险队在北纬75°附近发现了格林内尔半岛。同年，爱尔兰的马克—卢尔穿过白令海峡寻找富兰克林的下落，结果在西经120°的海面上发现了威尔士王子海峡和阿贝特半岛。在西经118°附近船为冰封动，只好弃舟东进，他们穿过一条冰封的海峡前往梅尔维尔岛，终于到达了帕里乘船曾从东面航抵的地点。这样，西北海上通道终于找到了。

(5) 北极点的探寻和南极洲的发现

1827年，威廉·帕里向英国海军部建议组织一支探险队乘雪橇探寻北极点。这一建议获准后，他便选定两名军官带上食品分乘两架雪橇向北极点进发。在北纬81°12′的冰封海区他们看到了大片大片的浮游冰原，勉强继续前进到82°45′处不得不终止探险。1876年，阿尔伯特·马尔盖姆率探险队再乘雪橇北进，经过十分艰难的努力也只能在北纬83°20′停止前进；这是19世纪乘雪橇到达北极最远的记录。马尔盖姆下结论说：“用乘雪橇的办法难以到达北极点”。

南极大陆的探寻是更艰难的工作。

1821年，俄国人别林斯高普和拉札列夫率探险队发现了南极洲第一大岛，从而拉开了南极地区探险的帷幕。

1831年，英国捕鲸船长约翰·比斯科在南极海域作环球航行。当他行到南纬70°、东经50°地区时见到一个地势很高的“岛屿”。这实际是南极大陆的一个突出半岛，即恩德比地。次年夏，比斯科沿南纬60°航行，在0°经度附近发现了阿尔德雷岛。继续向东北方航行时又发现了一个不大的群岛，后称格雷厄姆地。直到20世纪才确定它也是南极大陆的一个半岛。

1834 年，另一位捕鲸船长克姆普在恩德比地以东发现一条高度达 2000 多米的海岸线，定名叫克姆普地。

1839 年，捕鲸船长巴勒尼在新西兰以南，即南纬 69° ，西经 172° 处突然见到一座正在冒着浓烟的火山，几天后又在东经 165° 至 162° 之间的海区看到三座不太高的火山岛，岛上布满着巨大的冰河。此后，他沿南纬 65° 向西航行，途中在南方曾两次见到陆地。

捕鲸船长的发现促使英、美、法三国政府决定派遣南极大陆探险队。这些探险队在 1838 至 1842 年间相继取得了重要成果。

法国政府的探险队由海军军官居蒙—居尔维尔率领。1838 年向南极进发，他们在航行中发现了茹恩维尔岛，岛的最大高度为 1120 米，隔海与一段海岸相望，这里被命名为路易—菲利浦地，现今知道这只是格雷厄姆地在东北方向的突出地带。次年底，在南极圈附近，东经 140° 处他们见到一条高度达到 1000 米的海岸线，在东经 135° 发现一片地势较低的陆地，定名叫克勒利地。

1840 年，美国探险队由查尔斯—威尔克斯率领往南极探寻理论上推测过的南磁极（地磁场的 N 极）。结果却在印度洋南部，东经 150° 至 100° 之间发现了南极大陆海岸，命名为威尔克斯地。

同年，英国探险队在詹姆斯·罗斯的率领下也在探索南磁极，但在理论上预言的地区里搜寻竟一无所获。他们决定向以东的地区扩大搜寻。1841 年，在南纬 71° ，东经 171° 的海区他们看到为冰雪覆盖着的山脉，山高约 3000 米，山脉命名叫萨宾山，海面附近的岛屿命名叫波塞西翁群岛。罗斯继续南进，在南纬 77° 附近发现了两座火山，一座命名里伯斯火山，一座命名特罗尔火山。船队在绕过二条冰障后进至 78° 线。两周后，他们终于在南纬 $72^{\circ}30'$ 处找到了南磁极。是年夏，罗斯再赴南极。1842 年，他三赴南极探险，终为冰山所阻只得中途而返。自此，在 19 世纪对南极大陆的探险活动宣告停止。新的探险活动在 90 年代后才重新开始。

七、近代后期生物学

1. 细胞学的创立

细胞的发现始于 17 世纪中叶，1665 年，胡克（1635—1702 年，英国）用一台自制的显微镜在观察软木片时发现了细胞，他写道：“这些空洞，或‘细胞’，并不很深，而是由许许多多的小匣组成，它们是连续的长孔，用横壁隔开。”细胞这个词就是由胡克创造的，后来他还观察过荨麻叶表皮细胞的薄膜。17 世纪 70 年代后，意大利解剖学家马尔丕（1628—1694 年）和荷兰的显微镜专家列文虎克（1632—1723 年）分别观察过活的细胞和骨细胞等。但在此后的一百多年里对细胞的認識没有新的发现。

19 世纪初，德国的自然哲学家奥肯（1779—1851 年）提出一切有机物都是由细胞组成的思想。他认为一切生物都来自某种原始的粘液，然后形成球形的小泡（细胞），中间是液体。小泡则是由大海中的无机物构成的。奥肯的思想启发一批生物学家去探寻生命的“原始结构”，对细胞学说的提出产生了很大影响。

1828 年，冯·莫尔（1805—1872 年，德国）用显微镜仔细观察植物的细胞壁结构，以及细胞质的流动现象。他发现细胞通过生成新的间壁完成增殖。1831 年，布朗医生（1773—1858 年，英国）用一台改进了的消色差显微镜发现了著名的“布朗运动”。他在观察兰科植物表皮细胞时发现细胞中有一个小核，他称之为“细胞核”。但这一发现未能引起重视。早在 1825 年，普金耶（1789—1869 年，捷克）在鸡卵巢中就曾观察到鸡的卵子中也有一个核，他把卵细胞的物质统称原生质。1837 年，他研究了神经细胞与小脑神经节细胞，他指出细胞不仅是只有一个坚硬的外壳，其内部还包含有原生质，原生质在细胞中应具有更重要的作用。他还宣布在动物脾脏和淋巴腺的细胞中观察到细胞核。

1838 年，生物学家弥勒（1801—1858 年，德国）概括了上述成就，指出一切动物组织中都普遍存在细胞结构。舒尔茨（1825—1874 年，德国）把细胞定为“一团有核的原生质”，并强调原生质才是生命的物质基础；他还证明，在不同的植物细胞中，原生质基本上是相同的。在 30 年代，人们对细胞的研究已取得了一定的成果，这为细胞学说的诞生创造了条件。

细胞学说的建立归功于植物学家施莱顿（1804—1881 年，德国）和动物学家施旺（1810—1882 年，德国）的工作。

施莱顿原是一名律师，后改学医学和植物学。1838 年，他发表了著名的论文《论植物的发生》，明确提出细胞是植物结构最基本的单位和借以发展的实体。这样，他通过细胞找到了动物与植物的共同点。细胞不单是一个独立的生命单元，而且由细胞组成了不同的生物个体，他把研究结果通知给施旺。施莱顿还在柏林求学时就结识了动物学家施旺，施旺是著名生物学家弥勒的学生，他自 1835 年起就从事研究发酵和腐败的现象，并由酵母和微生物的研究认识到细胞的作用。当他得知施莱顿的研究成果后，便决心把它扩大到动物学领域里。1839 年，施旺发表了题为《关于动物和植物在构造和生长方面一致性的显微研究》。在这篇论文中，他通过蝌蚪的鳃软骨及脊索的观察与研究，发现了动物细胞的结构与细胞核，这样，是他把施莱顿的学说成功地扩展到动物界，形成了完整的细胞学说。

细胞学说认为细胞是动、植物的最基本的结构单位。一切动、植物虽然形态千差万别，但却在细胞结构的基础上统一起来。这个学说认为细胞是各自独立的、完整生命单位，如施莱顿所说：“在每个单独的细胞中都存在着生命的本质。”动、植物的发育过程就是细胞的形成过程，细胞一旦形成就被安排在一定的结构之中。但这一细胞学说只承认有机体仅是细胞简单的总和。最低等的生物只有一个细胞，高等生物则由许多细胞组成。施旺还试图对细胞分类，如血液细胞、皮肤细胞等。

施旺强调：“有机体的基本部分不管怎样不同，总有一个普遍的发育原则，这个原则便是细胞的形成。”而发育过程就是细胞的形成过程。施莱顿把这一过程具体化，他认为一个新细胞起源于一个老细胞的核。每个细胞都有两个生命，一个属于细胞自身的，另一个属于生物组织全体的。细胞则依赖这两种生命赋予的力量形成，这力量之一是新陈代谢，它把细胞内的物质转化为可以形成新细胞的物质；另一种是吸引力，即通过浓缩和沉淀形成细胞之间的物质，最终形成新细胞。细胞核的作用是极重要的，它发展出细胞的其余部分。

新的细胞学说没有细胞用分裂方式增殖的思想，对细胞内各种物质的作用也缺乏更深入的认识，然而施莱顿和施旺的学说发表后立即受到生物学家和医生们的重视，他们用自己的研究不断修正和发展了细胞学说。

1842年，生物学家耐格里（德国）研究植物花粉时，看到亲细胞的细胞核分裂为两个子细胞的核。他还发现一种“暂时的细胞形成核”的现象，后来人们才知道他所指的是染色体。同年，动物学家普罗沃斯特（）和杜马也观察到蛙卵细胞的分裂。1854年，巴里（1802—1855年）公布了兔卵裂变图片。接着医生雷马克（1815—1865年，德国）和寇力克（1817—1905年，瑞士）把细胞的分裂和胚胎的发育联系起来，他们证明卵子和精子原来是单细胞，通过细胞分裂完成了胚胎的发育过程。这样到50年代，细胞通过分裂增殖的现象得到公认。

1861年，解剖学家舒尔兹（1825—1874年，德国）集细胞学研究之大成，把细胞质、原生动物、卵细胞统一起来，把细胞定义为“一团有核的原生质”，并指出原生质是生命的基础。

1855年，弥勒的学生微耳和（1821—1902年，德国）发表了《细胞病理学》，使细胞学进入了生理和病理学领域。他不同意施旺的细胞的产生是体液物质聚集的结果，他说：“正如一个动物只能来自一个动物，一个植物只能来自植物一样，一个细胞的产生，一定先有一个细胞的存在（一切细胞来自细胞）。”但他不能说明第一个细胞是怎样产生的。他主张生物体相当于大量细胞构成的一个社会，但是每个细胞又都是一个小王国，所以他认为疾病在本质上是一个或一群细胞的变化。他的理论虽有偏颇但对研究疾病是有一定意义的，他使后来的医生们把思想都集中在疾病的定位和疾病的原因上来。

细胞学的产生揭示出动物、植物、高等生物和低等生物都是以细胞为共同联系的基础；生物体的一切发育过程则是通过细胞的增殖和生长来实现的。恩格斯说：“由于这一发现，我们不仅知道一切高等有机体都是按照一个共同规律发育生长的，而且细胞的变异能力指示了使有机体改变自己的物

种并从而实现一个比个体发育更高的发育道路。”

2. 进化论的创立与发展

(1) 早期进化论

进化的观念可以上溯到古希腊时代。至 18 世纪时，已有不少生物学家发表了倾向某种生物进化的观点，但是作为当时生物学理论的主流仍是反对进化论的。

生物学家莫伯丢（1698—1759 年，法国）是这一时期生物进化论的代表，他认为物种的变化源于生物机体的偶然变异，这种偶然变异若能适应环境就被保存，否则被消灭，偶然变异多次重复就产生了新的物种。法国植物园负责人布丰（1707—1788，法国）是继莫伯丢之后另一位进化论代表，他曾详细描述过物种的起源和发展过程，他认为气候、营养等条件都会影响物种的变异。

18 世纪末和 19 世纪初，拉马克（1744—1829 年，法国）发展了早期的进化论。1809 年，他出版了《动物哲学》一书。他提出物种的进化是逐渐的缓慢的过程，他写道：“生物的物种是在不识不知之间相继形成的。”他相信自然按照循序渐进的方式产生各种物种，最早的物种一定是最简单的低级生物，后来产生的一定是较复杂、较高级的生物，形成一种由低等向高等排列的自然进化的顺序。至于进化的原因，他提出一方面是因为生物具有向上发展的内在倾向；另一面是生存环境的影响引起动物习惯上的变化。

拉马克提出了两条著名的进化法则，其一是动物器官“用进废退”，其二是所谓“获得性遗传”。动物的器官使用得较多或较少就会产生变异，这种变异是永久性的，并能导致遗传。他举例说：长颈鹿由于吃高大树木的叶子而发展了长颈，并把这一特点遗传给后代。他还推测，为了看得更远，猿学会了直立行走，这种经常的持续的行为必然使身体结构产生了变化，又通过遗传使这种结构变化得到发展和强化。他进一步推测：由于猿和人在身体结构上是相似的，人可能是由猿进化来的。

拉马克的学说在生前没有得到人们的理解，晚年时他双目失明，过着艰苦潦倒的生活。拉马克的著作对于达尔文产生过很大的影响。达尔文在《物种起源》一书中写道：“他的卓越贡献，就是最先唤起世人注意于有机界的一切改变与无机界一样，可能根据一定的法则，而不是神奇的干预。”

布丰的学生圣提雷尔（1772—1844 年，法国）也主张进化论。1818 年，他出版了《解剖哲学》，主张物种因环境变化而变异，他虽赞美拉马克却不同意拉马克主张的使用创造器官的观点。1830 年，他和物种不变论者居维叶爆发了一场大辩论。争论的起因是动物是否只有一种结构图案，后来发展到用什么思想、方法来研究生物学。居维叶强调：“我们的职业只在于观察真实的事实”。圣提雷尔强调说仅此是不够的，生物学还必须用理性来推测物种的起源和演化问题。但圣提雷尔主张所有动物只有一种结构图案，甚至说软体动物与脊椎动物的结构相同，这就使他注定成为辩论的失败者。当时哥德已经是 81 岁高龄，他主张进化论，十分关注这场辩论，他称圣提雷尔是他

恩格斯，《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》，《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1972 年版，第 241 页。

的战友。

除圣提雷尔以外，达尔文的祖父伊·达尔文（1731—1802年），钱伯斯（1802—1871年）等人也研究过进化论。

（2）查理·达尔文的学术活动

查理·达尔文（1809—1882年，英国）出生于一个医生家庭，父亲和祖父都是当地的名医，在他少年时代，他的父亲认为他只知道打猎、养狗、捉耗子，将会自取其辱的。他的中学校长曾当众责骂他是“浪子”。然而达尔文对中学时代所受的教育却有自己的看法，他说“对我的思想发展起了极坏的影响，因为它是严格的古典中学……。这个作为一种教育手段的学校，对我来说，简直是一个空洞无物的地方。”中学还没有毕业，就于1825年被送到爱丁堡大学去学医。但是达尔文对医学不感兴趣，他认为麻醉和手术是带有“兽性的职业”，除“化学课以外，都是枯燥乏味，使人难以忍受。”父亲见他“没有想去当医生的愿望”，便于1827年送他进剑桥基督学院学习神学，希望他将来当个牧师。

在剑桥大学的三年学习期间，尽管所学到许多功课“仍旧是白白浪费了”，但他从植物学教师亨斯罗（1796—1861年，英国）那里学到了许多课堂上学不到的东西。他和亨斯罗结下了很深的友谊，达尔文回忆说“晚上，他时常邀请我到他家中同桌共餐。他学识渊博，对植物学、昆虫学、化学、矿物学和地质学，都有深切的研究。”通过这位老师，达尔文又结识了一些年长的著名学者，这激发了青年达尔文积极向上的要求，他决心“要比一般青年的水平略为高些”，“要对于建筑高贵的自然科学之宫方面，尽力提供自己一份最微薄的贡献”。

1831年，经亨斯罗推荐达尔文以自然科学家的身份随贝格尔舰作环球考察。是年12月27日，自普利茅斯港启航，次年2月抵南美大陆。在南美洲海岸附近考察时间超过3年半之久，又于1835年10月驶向太平洋塔希提岛，并在澳大利亚和新西兰沿岸作考察，1836年10月回到英国，历时近5年。这次环球航行对达尔文的科学研究产生了极为深远的影响，他后来回忆道：“贝格尔舰上的航行，是我一生中最大事件，它决定了我此后全部事业的道路”，“当时我接受任命，必须去仔细研究自然史几门学科，因而改进了我的观察能力。”

达尔文在5年的考察中采集到大量的标本，并把每日的见闻仔细而生动地记下来。这些标本都寄给剑桥大学的亨斯罗保管，后来经整理分送有关研究者。他的笔记经整理，分别出版。1838至1843年出版了《贝格尔舰航行期内的动物志》，共5卷。1839年出版《在贝格尔舰上旅行》一书，这是一部深受欢迎的著作，曾被译成多种文字，连达尔文自己也感叹“一本旅行记，而且是科学性的书，竟能够在出版后很长的岁月中获得这样的成功，这真是使人惊奇。”

达尔文在航行中深受赖尔的地质进化论影响，他根据《地质学原理》书中的理论考察并解释了一些地质现象。回国后共完成了三部地质学著作，1842年出版了《珊瑚礁》，1844年出版了《火山岛》，1846年出版了《对南美洲的地质观察》。达尔文与赖尔之间的相互敬佩使他们结成了很深的友谊。

在随贝格尔舰考察的漫长旅途中，大量事实使达尔文坚信物种不是分别由神创造的，一个物种是由另一个物种演变进化而来的，“物种不是不变的”。

回国后他一方面积极写作，一方面在思考着生物的进化问题，他说“同年（1837年）7月，我开始写第一本《笔记》，其内容就是《物种起源》一书的原始资料，我早已对这个专题做了长期不懈的思考，而且在此后廿年的期间内，一直没有停止过这方面的著写工作。”为了证实他的自然选择原理，他又选定家鸽做为研究家养变异的材料，结果证明“生活条件的变化，在引起变异上具有高度重要性”。1859年，他的名著《物种起源》出版，这部著作作用丰富的材料系统地阐述了进化论学说。

还在1858年，华莱士（1823—1913年，美国）从马来群岛寄给达尔文一篇论文，论文包含了除人工选择以外的进化论的要点。1858年由赖尔等人建议，在林耐学会上同时宣读了达尔文手稿《摘录》和华莱士的论文，但很少引起重视。直到《物种起源》一书出版，进化论才在社会上引起广泛关注和轰动。

1860年4月，达尔文的朋友，解剖学家欧文（1804—1892年，英国）首先发难，恶毒地攻击《物种起源》。牛津大主教韦伯福斯也加入了攻击者的行列，他在英国科学协会牛津会议中肆意嘲笑进化论，特别是集中攻击达尔文关于人的起源理论。他的攻击受到赫胥黎（1825—1895年，英国）和亨斯罗的有力驳斥。赫胥黎是进化论有力的捍卫者，他自称是“达尔文的看家狗”，他以坚定、明晰的解说回答了各方面对达尔文的攻击。达尔文称赞他“敏捷得象电火石光，锐利得象钢刀的利刃”。华莱士也是一位品德高尚的学者，他认为达尔文对进化论的贡献更大，并最先提出达尔文主义这个名词。

1871年，达尔文的另一部名著《人类由来及性选择》一书出版。该书论证“所有人类种族无疑都是来源于单独一个原始祖先”。并说“最强壮的雄性，最适于它们在自然中的位置，它们留下的后代最多。”这种选择的形式叫性选择。达尔文还把人的智力、道德属性看作是进化的结果。

1873年，马克思把德文版《资本论》第一卷第二版赠给达尔文。同年10月达尔文复信说“我们两人都热忱期望扩大知识领域，而这无疑将最终造福于人类。”

1882年，达尔文下葬在威斯特敏斯特教堂附近的墓地，与牛顿、法拉弟、赖尔等科学史上已逝去的伟人一同安睡在那里。

（3）《物种起源》和围绕进化论的论争

《物种起源》是达尔文毕生心血的结晶，它全面阐述了达尔文的进化论学说，成为一部可以和哥白尼的《天体运行论》，牛顿的《自然哲学的数学原理》相媲美的伟大著作。

达尔文的研究是从变异开始的，他注意到“家养历史较久的动植物”，“常较自然界任何物种或变种的个体差异为大”，而野生动植物中“最常见的物种（即个数最多的物种）和最分散的物种（指在它所生的地方上，分散的意义和分布广远不同，和常见亦略有不同），往往最能产生变种，而且这些变种，常是相当显著，足以使植物学者认为有记载的价值”。

这样，达尔文把变异分为“一定变异”和“不定变异”。所谓一定变异，是指在相同环境下，同一物种的一切个体都会发生的相似的变异。例如严寒地区的兽类都有较厚的皮毛。不定变异是指在同一生活条件下，同物种的不同个体上产生的变异。例如，植株上结出的果实存在着差异。变异是普遍存在的现象，是不可避免的。这主要是由三方面原因造成的：生活环境变化、

器官的用进废退以及器官的相关变异。达尔文还指出变异的可遗传性。

生物的品种是怎样产生的呢？生物的进化又是怎样体现的？达尔文对家养动物和栽培植物作了实验，他研究了 150 个品种的家鸽，许多品种家鸡、黄牛、马和绵羊，植物有甘蓝、苹果、蔷薇等。这些人工培育的品种有着共同的特征，那就是它们的一些特性都符合人类的需要和爱好，但对生物自身不利。例如优良的奶牛可以生产大量奶，远远超过养育幼牛的需要，巨大的乳房却使奶牛行动不便；同样肥猪满足人类食肉的需要，猪的行动却因此变得迟缓等等。达尔文说“这事情的关键全在人类的积聚选择或连续淘汰之力。自然给予不断的变异，人类却对着和自己有利的方向，使它积聚前进。这样，可以说人类在造就对自己有利的品种。”这里，达尔文指出了人工选择的两方面进程，即一方面人为淘汰，另一方面是有选择地保存。“选择的原理不仅使农学家能把畜类的性状改良，而且能够使之全部改观。这是魔术家的杖，有了它，可以随心所欲地把生物塑造成任何类型和模式”。

通过与人工选择的类比，达尔文建立了他的自然选择理论。他发现“一切生物都有高速率增加的倾向”，他以大象为例：假设一对大象自 30 岁起至 90 岁止，每 10 年生育一头小象，并活到 100 岁，740 年后，这一对大象的家族就有近 1900 万头。可事实上世界上大象存活数远低于这个值，那么是什么因素抑制了生物的高速增殖呢？达尔文认为，每个生物在其成长过程中要经受一系列残酷的生存斗争，结果许多胚胎和个体灭亡了，生存下来的仅是很少一部分。

自然界的生存斗争有三种形式：其一是同一物种内部的斗争，例如同种植物争夺肥料、水份。这种斗争最激烈，因为同种个体居住在同一地区，需要相同的食物。其二是种间斗争，这种斗争体现了生物的互相联系和制约的关系，斗争的结果将达到某种生态平衡。达尔文指出红三叶草靠土蜂传播花粉，而土蜂的数目受田鼠制约，因为田鼠往往捣毁蜂窝；田鼠的数目又受到猫的制约。这说明“系统相距很远的植物和动物，如何被复杂的关系网联结在一起。”其三是物种同环境的斗争，例如植物同干旱与炎热斗争等。自然界通过生存斗争的方式淘汰掉一大批生物，保留下一小部分适应这一斗争的生物，从而实现了自然选择。

达尔文把变异看作是生物进化的原料，把自然选择看作是生物进化的途径。他充分讨论了自然选择的规律和特点。他指出自然选择之所以是必要的也是可能的，是因为生物有繁殖过剩现象，繁殖数量愈多，选择的余地就愈大。由于在生存斗争中只有有利变异性强的物种才能获得生存，而那些于生存不利的变异被排斥，遭淘汰。大自然年复一年地重复这种选择，通过种间斗争选择好物种个体；通过种内斗争，选出物种中好的个体；通过生物与环境的斗争，挑选出能适应环境的物种及个体。另一方面物种的优良变异又通过遗传得到保留和发展。于是，物种的偶然的变异通过自然选择，逐渐成为新物种的必然属性，并从而实现了物种的进化。达尔文把这一现象叫做“适者生存”。他说：“我把这种有利的个体差异和变异的保存，以及那些有害变异的毁灭，叫做“自然选择”。无用无害的变异则不受自然选择的作用，它或者成为徬徨的性状……或者由于生物的本性和条件的性质，终于成为固定的。”

达尔文反对灾变论的观点，他断定“自然界里没有飞跃”，变异只能是一种缓慢的和渐进的进程。他写道：“因为自然选择只是利用微细的，连续

的变异而发生作用，它从来不能采取巨大突然的飞跃，而一定是以短的、确实的、虽然是缓慢的步骤前进。”

达尔文并没有认为已解决了一切难点，他在著作中指出，既然物种的变异是缓慢的、渐进的过程，为什么找不到大量的中间过渡类型？一些高度完善的器官与本能又是如何形成的？他试图做过某些解释，但是并没有完满的答案。赫胥黎也指出过一个缺陷：血缘相近的不同物种杂交的后代往往生殖不蕃，如果物种有一个共同的来源，为什么我们竟看不到这类现象。达尔文在这部著作中还暴露出一些不足之处，例如强调物种生存斗争，却忽视了物种间的合作；强调进化的渐变却忽视物种在进化过程中的突变。到 19 世纪末，许多育种学家都指出，大的突变常常发生，特别在杂交之后，新的品种可以立刻出现。

《物种起源》的出版震动了西方科学界，它象汹涌的洪水冲破了物种不变论的堰坝，终于引发了一场大辩论。一些守旧的学者发表了措词尖刻的言论，例如天文学家 J.F. 赫歇尔把进化论说成是“胡闹定律”；解剖学家欧文发表了激烈的批评文章；地质学家塞治威克写信给达尔文，说这本书“有些部分使我觉得好笑，有些部分则使我为你忧愁。”在信的落款上写道：“你以前的朋友，现在是猿人的后代”；就连赖尔开始时也不理解，他曾说“人类是由猴子进化而来的”这句话太使人寒心。

进化论粉碎了神创论和目的论，给宗教神学以沉重的打击。1860 年，英国教会在牛津大学召开英国科学促进会，提出“拯救心灵和打倒进论”的口号，牛津大主教威尔伯福斯集中攻击了人是由猿进化来的论点，并和赫胥黎开展了著名的论战。红衣主教孟宁则辱骂达尔文主义是“牲畜哲学”，歪曲进化论主张“没有上帝，而猴子就是我们的亚当”等等。

但是进化论立即得到一批有见识的学者赞同，其中最勇敢、最热情、最忠诚的捍卫者是赫胥黎，他用大量解剖学与生物学的例证证明人是由猿进化而来，他这方面的著名著作有《人类在大自然界的地位》、《进化论与伦理学》等。

进化论在欧洲传播受到植物学家海克尔（1834—1919 年，德国）的高度评价，他认为进化论必然在人类认识史上引起决定意义的变革。1877 年，在慕尼黑举行的科学会议上，当著名学者微耳和号召保卫教会，粉碎用进化论取代教会的企图时，海克尔却站起来热情宣传达尔文主义。海克尔在他的《自然创造史》一文中发展了自然选择的内容，他提出物种变异是适应和遗传交互作用的结果，对变异来说，适应环境是主导的、积极的方面，而遗传是肯定的保守的方面。他认为遗传应划分为保守遗传与进步遗传两大类，变异分为间接和直接两大类。海克尔因为宣传进化论收到许多恐吓信，甚至有人还企图谋杀他。

19 世纪 80 年代后，进化论终于成为最有影响的科学思潮。

3. 孟德尔的遗传学

19 世纪后，从事杂交育种研究的生物学家逐渐增多。1791—1823 年，奈特用豌豆进行杂交实验，他发现白色豌豆种与灰色豌豆种杂交的第一代中，灰色种的性状得到表现。他又用白色种子的亲本同第一代杂交种回交，在第二代杂种中得到灰色与白色两种颜色的豌豆。他认为两种豌豆的亲本都把自

己的因子遗传给杂种第一代，但一种因子会抑制另一种因子的作用，前者叫显性因子，后者叫隐性因子，但他没有对杂种第二代的特性作深入研究。同一时期，意大利人加利西奥在 1816 年也提出了“显性”概念。

1820 年，约翰·古斯利用“蓝色的普鲁人”和白色的“西班牙侏儒”二个豌豆种杂交，结果杂种第一代全部是白色，第二代蓝白两种颜色都有，说明在杂种第二代发生了性状分离。在他之后观察到“显性”与“分离”现象的还有法国人路易·德·维尔莫兰（1856—1860 年）。

1863 年，植物学家诺丹（1815—1899 年，法国）发现第一代杂种性状常在两个亲本之间，第二代杂种的性状出现了混乱的变异，其各类型数目符合几率定律。以数人的工作对遗传学的发展都有不同贡献，但他们的实验规模太小，不足以确定有关的定量的规律。

此外，植物学家格特纳（1772—1850 年，德国）曾用 700 多种植物作了 1 万多项杂交实验，产生了 250 种杂交类型。

在 19 世纪对遗传学作出重大贡献的是孟德尔（1822—1884 年，奥地利）。他创造了用统计方法寻找遗传的规律的方法，并提出解释这种规律的理论，后人把这些统称孟德尔的遗传学说。

孟德尔生于一个农民家庭，曾在维也纳大学学习生物学，1853 年他在布隆修道院做修士，后来任该院院长。自 1854 年起，他在修道院的花园里从事了 9 年的豌豆杂交遗传的试验研究。1866 年，他发表了《植物杂交的试验》，全面阐述了他的遗传学说并公布了主要的试验结果。

孟德尔研究杂交育种的初衷是因为这“关系到有机类型的进化的历史”。为此他决定进行大规模的精确实验。他认为：用于杂交实验的植物应当具有稳定的特性，以便于观察；实验的植物应不受外来花粉的影响，以确保实验的可靠性；植物还应是易于栽培的、生长期短的。经过一番慎重的选择之后，他决定用豌豆作实验对象。他从 34 种豌豆中选出 22 种性状稳定的品种，从中又观察到有 7 对性状有明显的差别。他用这 7 对相对性状稳定的豌豆进行杂交，发现杂种第一代只有一种性状表现出来。然后单独播种第一代杂种，令其自花授粉，发现子二代中有两种性状分离出来，两种性状的比例经统计大约是 3 : 1。

孟德尔强调，杂交第二代相对性状的比例存在 3 : 1 的规律，是由大量实验植株得到的统计规律。就单个种子来说，究竟表现为何种性状是具有偶然性的，他举例说一株有 43 个圆形性状，只有两个皱皮性状，另一株只有 14 个圆形，却有 15 个皱皮的，这些同 3 : 1 的规律有较大的偏离。这样，孟德尔通过对大量杂交实验（每年实验的植株数为 2 万 8 千到 3 万株）进行精确的定量分析，开创了生物学研究的新方向。

在此基础上他假定生物体内存在一种遗传物质，叫遗传因子。每一对遗传因子决定了一种性状。在细胞中遗传因子都是成对出现的，其中一个来自雄性亲本，另一个来自雌性亲本，它们可以是相同的，也可以是不同的，但是在生殖细胞中，遗传因子是单个出现的。

当雌雄双亲把自己的一个因子传给杂种第一代时，二个因子将结合在一起，既不会中和也不会抵消，但是一个因子会压抑或遮盖另一个因子的作用，前者就叫显性因子，后者叫隐性因子，这时表现为显性性状。只有当两个隐性因子结合时，才表现为隐性性状。

利用杂种第一代为亲本产生杂种第二代时，这时共有 4 个遗传因子独立

交配，互不干扰。例如以 R 代表显性因子，r 表示隐性因子。在子二代中共有 Rr 与 Rr 交配，形成了 RR, Rr, rR 和 rr 4 种组合，前 3 种性状为显性，后一种为隐性，所以显性与隐性之比为 3 : 1。这样孟德尔就圆满地解释了实验统计规律，建立了分离定律。

如果是两对性状杂交，例如红花高植株的豌豆和白花矮植株杂交，产生的子一代都是红花高植株。再产生的子二代中，红花与白花之比为 3 : 1，高植株与矮植株之比也是 3 : 1。如果考虑到红花高植株、红花矮植株、白花高植株、白花矮植株四者的分配比例，就写成了 $9 : 3 : 3 : 1$ 或 $(3 : 1)^2$ 。扩大到 n 对性状，公式应写成 $(3 : 1)^n$ ，这就是自由组合律。

1865 年，孟德尔在奥地利自然科学学会第 2 次会议上报告了上述研究成果，然而与会者却没有能认识到这是一个划时代的贡献。后来，他的学说几乎被人遗忘，直到 1900 年才被人重新发现。

孟德尔的遗传学说最先证明遗传现象是有规律可循的，并由此可以推算出杂交品种的数量，这对人工培育新品种具有指导意义。孟德尔最先指出遗传是有物质基础的，遗传因子仅存在双亲的生殖细胞中。同一时期，达尔文还提出过“泛生论”，认为遗传物质以微粒形式存在于生物个体的各个部分，尽管“泛生论”曾一时占了上风，但现代遗传学终归证明它是错误的。在今天看来，孟德尔的遗传因子也并不是遗传信息的真正物质载体，实际上，这个问题的解决已超过了 19 世纪细胞遗传学的能力，它最终只能在本世纪的分子遗传学中得到答案。

八、近代后期医学的深入发展

1. 病理学的发展

(1) 神经系统生理

实验生理学研究始于 18 世纪，拉·美特利（1709—1751 年，法国）提出人和机器一样，也按物理学和化学规律运动。19 世纪，生理学才在近代科学成就的基础上取得了进展，人们逐步抛弃了“活力论”和“机械论”，倾向于用已知的物理学和化学知识去解释人体各部分的功能。

苏格兰著名的外科医生查尔斯·贝尔（1774—1842 年，英国）对人体解剖学做了长期研究。1811 年，他通过动物实验发现脊髓神经前根传导运动，后根神经纤维传导感觉。这样，他将人体的神经分为两类，一类为运动神经，一类为感觉神经。这一发现后来成为神经学和脑神经学科的基础。同一时期，生理学家马让迪（1783—1855 年，法国）通过“活体解剖”做了大量动物实验，进一步证明了脊髓运动神经和感觉神经的功能及分布，他还试图用物理化学原理解释生命现象和生理过程。

著名的生理学家穆勒（1801—1858 年，德国）集当时生理学研究的大成，于 1834 年出版《人体生理学概论》。他对神经系统作了较深入的研究，其中一项重要成就是证明了人的感觉与外界刺激神经的方式无关，仅取决于感官的结构与功能。例如不用光作用视网膜，而采取压力刺激的方式，同样可以产生光亮的感觉。这一研究为感觉生理奠定了基础。穆勒在当时享有盛名，在 19 世纪后半期，他和他的学生完成了许多发现与发明，对发展德国医学起过重要的作用。不过穆勒认为感官的机能来自某种神秘的“神经能量”，从而陷入了不可知论。

在 30 年代，马让迪的学生 C·伯纳德（1813—1855 年，法国），深入而系统地研究了活体解剖，他的格言是“拼命去做实验，然后再想”。他在研究神经系统对营养和分泌的作用时，发现了肝脏的产糖功能和血管运动神经。他通过实验证明身体内糖的产生功能是受中枢神经控制的。继而他又发现所谓血管舒缩神经的功能，这种神经在感官冲动的刺激下产生不随意运动，以控制血管。这一结论是通过在活的动物身上进行实验得出的。伯纳德的这些实验研究为实验生理学奠定了基础。

韦伯兄弟发现了神经的抑制作用。1831 年 H·韦伯（1795—1878 年，德国）研究了听骨的感觉功能，后来他和 F·韦伯（1806—1871 年，德国）合作推进了神经系统的研究。他们观察到刺激迷走神经可使心跳停止等现象。

在 50 年代神经系统的研究取得了一系列成就。1853 年，沃尔发现了神经兴奋传导和变性法则；1857 年，朴夫鲁格尔发现刺激内脏神经可以引起肠运动的抑制现象，2 年后他又提出了极性兴奋法则。1861 年，布诺卡发现了大脑皮质中的语言中枢。

(2) 消化系统生理

19 世纪初，人们对消化系统的生理现象很少了解，例如穆勒在著作中就认为食物在胃里发生的化学变化就是消化的全过程。1833 年，美国军医毕奥蒙特（1785—1853 年，美国）发表了有关消化的生理现象。还在 1822 年，一名胸部受伤的水手曾找毕奥蒙特治疗，两年后水手得以康复，但是胃部的

伤口却不能愈合。为了“完全看清消化过程”，毕奥蒙特将生的和烤熟的肉用丝线吊着放入他的胃中，借此研究时间、温度等因素对消化的影响，结果证实了胃液在消化中的作用。

伯纳德在动物身上也造成了类似的情况，这一研究使他在1846年发现胰液可以把从胃进入十二指肠的脂肪分解为脂肪酸和甘油，把淀粉转化为糖，并溶化含氮物质或蛋白质。1848年，他用狗做实验，证明肝在神经控制的内分泌影响下，可以把其它物质转化为葡萄糖。在此之前的一些理论却认为植物才能把无机物质变成有机物，动物只能吸收有机物并将其转化为无机物。1857年，他进而证明肝能产生一种肝淀粉或糖元的物质，经过酵解后成为葡萄糖。这样他阐明了糖尿病的性质，并推翻了动物不能制造有机物的说法。1856年，他又发现了唾液分泌中枢。伯纳德的功绩在于用化学的方法研究机体的代谢和分析组成成分，从而扩充了生理学的领域。1860年，他写成了《实验医学研究导论》，这部著作被认为是生理学发展史上的一个里程碑。他逝世后法国议会决定破例为他举行国葬。

在消化过程中酶起着重要的作用。1836年，施旺发现了胃蛋白酶。1844年，沃伦顿在研究胰液的消化机能时发现了淀粉酶。

(3) 血液系统生理

17世纪，英国医生哈维(1578—1675年)已经认识到血液是靠心脏的机械作用在血管循环流动，这种循环又分为体循环和肺循环。但在18世纪，“活力论”普遍为人们采用，因此血液循环系统的研究进展甚微。

19世纪，伯纳德提出动物同时处于内环境和外环境中，他强调：内环境的恒定是自由和独立的生命赖以维持的条件。他所说的内环境主要指血液。

19世纪对血液的研究取得了一系列成就，主要有：1842年发现血小板，1845年发现凝血现象，1846年发现血球的阿米巴样运动，1849年证实脾脏有造血功能，1861年获得氧化血红素光谱，1862年人工制成生理食盐水，1866年进行了血液中的气体分析。

(4) 胚胎学

冯·贝尔(1792—1876年，俄国)是近代胚胎发育理论的创始人。他原是一位医生，后来向德国著名的比较解剖学家焦令格尔学习生物学，自19世纪20年代起研究胚胎学。1828年，他发表《动物发展史》，指出细胞的增殖与分裂是一切胚胎发育的共同过程，从而奠定了胚胎发育理论基础。

冯·贝尔将胚胎分为两个原始胚层，上层叫动物层，下层叫可塑层。动物层发育成表皮、神经系统、感觉器官和肌肉、骨骼；可塑层发展为血管、食道、肠及附属器官。他还把胚胎的发育分为三个时期：一为原始分化时期，动物层分化为皮肤层和肌肉层，可塑层分化为血管叶和粘液叶；二为组织的分化时期，形成了不同的组织；三为形态的分化时期，开始形成器官。他曾详细观察过某些器官的形成过程，例如他发现眼是由2个原始体形成的，神经管的突出前部形成了眼窝，而头部的上皮则发展成晶状体。冯·贝尔由此得出结论，认为发育实质上是一种分化过程。

还在1811年，比较解剖学的创始人梅克尔(1781—1833年，德国)就曾猜想：一个物种是从另一个物种进化而来，因此高等动物的胚胎在发育过程中会重演物种的进化。冯·贝尔指出这种理论是错误的。他认为高等动物

的胚胎在发育之初仅表现出某种类型的一般性状，但在后期却表现出纲的性状，最后才表现出目、科的性状。因此，一种类型的胚胎可以和另一种类型的胚胎相比较，但不同类型的成年动物却不能比较。

1826年，冯·贝尔在解剖一只刚交配过的母狗时，在许多滤泡中发现了一个黄色斑点，他判断这就是哺乳动物的卵。他说“哺乳类的卵实际上也像鸟卵一样是一个小卵黄球，不过体积更小罢了。”

冯·贝尔的比较胚胎学为进化论提供了依据，达尔文高度评价了这一点，他写道：“冯·贝尔赢得了所有动物学者的深切敬意，约在1859年，他就表示相信现在的完全不同的类型是由一个单一的祖先类型传下来的。”

2. 细菌学、免疫学及寄生虫学的发端

(1) 细菌的发现与研究

17世纪，由于显微镜的发明，人们观察到过去用肉眼看不见的生物。列文虎克（1632—1723年，荷兰）用一台自制的显微镜在雨水、泥土甚至牙垢中发现了各种形状的微生物。他还观察到煮沸后的肉汤，放上一段时间，汤里会出现微生物，放在封闭容器中的肉虽然不会生蛆，但在显微镜下可以看到大量微生物繁殖出来。他在1684年发表了最早的细菌图，从中我们可以辨认出链球菌、杆菌和螺旋体。这些发现使当时的学者们相信，微生物是从无生命物中诞生的，而各种生物又是从微生物中产生的。这种认为生命是从无生命物质直接产生出来的假说叫“自然发生说”。这原是一种古老的错误的理论，结果却在17世纪得到新发现的“支持”。18世纪后，人们又开始怀疑“自然发生说”的正确性。一位英国神父用煮沸的方法杀死瓶子里有机溶液中的微生物，可是不久又生出了新的微生物，于是他认为无生命物质确实可以产生微生物。生物学家斯巴兰札尼（1729—1799年，意大利）对这一实验产生怀疑，他认为这可能是瓶口未封闭好的结果，于是他用19个封闭的瓶子，在沸水中浸1小时，结果在瓶内有机溶液中确实没有再见到微生物。据此，他认为英国神父见到的微生物是从空气中进入瓶内的。

19世纪后，此类争论仍在延续。施旺强调微生物不能自然发生，但法国博物家普谢却在1858年宣布，他已用实验证明生物能在几天里从无生命中自生出来。这样，到1860年法国科学院为解决这一问题发起了征奖活动，结果由著名微生物学家巴斯德（1822—1895年，法国）成功地解决了这一长期悬而未决的难题。

巴斯德原是一名化学家，他对生物学的研究是从研究发酵开始的，从1857年起，他致力于各种发酵机理以及改进醋和酒的生产。还在30年代施旺等人就已提出酒精的发酵是一种活的酵母作用的结果，但李比希等化学家却认为发酵仅是化学过程，与生物无关。巴斯德经过研究后指出：发酵的产物不仅是酒和二氧化碳，还有甘油、丁二酸和其它物质，然而这一复杂的过程不是一般化学方程式所能表达的。他用实验证明在没有“有机氮化物”的条件下，发酵在酒精中照样进行，乳酸发酵也同样进行。1861年，巴斯德观察到了醇酵母是一种杆状的类似鞭毛虫状的微生物，其发酵作用只能在无氧条件下进行，这使他发现存在着不依赖氧生活的微生物。1863年，他把发酵机理推广到腐败作用，认为这是微生物把死去的动、植物分解为简单化合物的过程。

巴斯德是达尔文的信奉者，他认为微生物不可能在短时间里由无生命物质生成，有机培养液中的微生物可能是由空气中的某种微生物胚种繁殖起来的。1860年，他在阿尔卑斯山区的不同高度上做实验，证明空气中的胚种和高度成反比。1864年，法国科学院在巴黎大学举行辩论会，他制造了各种形状的长颈瓶，内盛肉汤，瓶口不封，以利空气进入，几天后肉汤没有变质。巴斯德解释说：空气中的胚种在流经弯曲的瓶颈时，都被沾在管子的内壁，而不能进入肉汤中。法国科学院评论这次辩论，认为巴斯德“利用最精确的实验，扫清了生物自生这个问题上的疑云。”

(2) 细菌的培养基、染色及灭菌

最初用显微镜观察的细菌都是没有染色的，观察者很难看清细菌的细致结构。1849年，植物学家科恩(德国)首先用植物染料将组织切片染色。1769年，霍夫曼(英国)使用植物染料洋红为细菌染色。1876年，细菌学家科霍(1843—1910年，德国)发现了细菌内生芽孢，第二年他拍摄了第一张细菌的显微镜照片，他用美蓝对细菌染色，将细菌膜在空气中干燥，然后用酒精固定。经固定和染色后的细菌膜经一个盖玻片保护便成了一种永久性的标本。1882年，科霍利用一种改进的染色方法成功地为结核菌染色。第二年尼尔森对细菌脱色方法进行了改良。

1890年，莱夫勒第一次证实细菌有鞭毛存在，他借用显微镜拍下了许多照片，照片中细菌的鞭毛清晰可见。

这样到19世纪末，由于技术的进步，细菌细胞的外部特征几乎都为人了解了。

还在1860年，巴斯德为发展一种不被其它微生物污染的微生物培养方法，曾设计出一种半合成培养基，其中含有铵盐、酵母粉和蔗糖。他用这种方法培养出纯种酵母菌。

1872年，科恩设计了一种含有盐类和酵母粉的培养基，这种培养基具有更广泛的用途。早期的培养基都是液体的，使用时需要连续稀释，直到获得无菌样品为止。这种方法不仅繁琐，而且实验结果也是不肯定的。

1881年，科霍用一块切开的熟马铃薯做成第一个固体培养基。次年，他用琼脂作为培养基凝固剂。琼脂是一种具有特定熔点的物质，本身含营养成分很少，不含抑制物质。固体培养基的接种是在钟罩内进行的。后来科霍的学生发明了培养皿，使培养工作更加简便。科霍发明的固体培养基和混合培养纯化技术，使培养细菌学发生了革命性的变化，它使得在19世纪最后的20年间有可能把大部分细菌病原体得以分离，为近代医学作出了突出的贡献。

微生物学研究，往往需要事先做好灭菌的工作。施旺在30年代曾证明煮沸的肉汤，只要不被空气(未消毒)污染，就能永久保存完好。其实，当时使用高温消毒蒸锅已有百余年的历史了，利用这种办法在19世纪初开创了食品罐头工业。19世纪50年代，巴斯德发展了灭菌技术，他指出使酒和醋变质是由于受其它微生物污染的缘故，只要适当地给酒和醋加热就能杀死这些微生物。特别是他还证明了灭菌时湿热比干热的效率高得多。英国医生李斯特受他启发在60年代发明了一套消毒防腐的外科装置。但是，当时人们还不了解细菌的芽孢能够忍耐几小时连续蒸煮，因而灭菌常常失败。

1876年，巴斯德证明将尿在加压条件下加热至115°—120°，可以达到

灭菌目的。人们由此认识到某些细菌是耐热的，以至连续煮沸数小时也能存活。

1881年，科霍等人确定了用热空气和蒸汽灭菌所需要的最低温度和最短时间：热空气灭菌要达到160℃，保持1小时；热蒸汽灭菌要达到120℃，保持30分钟。他们为实验室和手术室灭菌操作提供了依据。

(3) 抗生素与免疫学的开创

施旺曾提出某些疾病可能是由一种胚芽引起的观点，后来被人称为“胚芽说”。巴斯德是第一个指出疾病是由一种寄生性原生动物引起的学者，他还认为所谓的胚芽就是细菌微生物。

60年代在法国南部流行蚕病，使法国的丝绸工业濒临破产，巴斯德怀疑蚕病是由微生物所致，便转向这一专题的研究。1866年，他终于在桑叶上找到一种导致使蚕发病的微生物，这种微生物可以在病蚕身上找到，在健康的蚕身上却没有，于是他倡导隔离病蚕，烧毁病蚕蚕卵等措施，收到明显效果。由于他拯救了法国丝绸业，有人提议为他建立金像。

炭疽病的流行曾使法国的牲畜大大减少，应法国政府的要求，巴斯德开展了防治炭疽病的研究。

还在1863年，病理学家达外恩（1812—1882年，法国）曾在患炭疽病动物的血液中发现一种杆状微生物，并宣布找到了炭疽病病原。

1880年，巴斯德从患霍乱的鸡身上分离出纯的病原菌，他把这种病菌的培养物注射到健康的鸡体内，成功地诱发出这种病，这种细菌就叫巴斯德氏菌。由于一种偶然的机会，巴斯德把含这种菌的肉汤存放了个把月，然后再注入鸡体内，结果他异常惊讶地发现，受注射的鸡却安然无恙。于是他继续深入地实验下去，结果证实：用减毒菌株注射会使鸡产生对完全毒力菌株感染的抵抗力。他还发现与两次传代培养之间的时间间隔越长，减毒程度越大。他说：“在鸡霍乱中，相对毒性最强的病毒还存着另一种状态的病毒，它们的作用就象牛痘病毒相对于天花病毒那样”，“同样，鸡霍乱病毒也能以毒性充分减弱了的状态存在，它能诱发疾病，但并不能招致死亡。用这样的方法处理，在动物恢复活力后，即便以该病毒毒性最强的株系接种，也能存活。”

1881年，他把上述原理应用于炭疽病，当时人们知道禽类不受炭疽病自然感染，他认为这是由于家禽体温高（44℃）的缘故。他便在44℃的试管里培养出了毒性降低了的炭疽病疫苗，疫苗对防止炭疽病的感染有明显的作用，现场实验也取得了圆满的成功。

1882年，俄国生物学家梅契尼科夫用玫瑰刺扎进幼海星体内，他看到在刺的周围聚集了许多变形细胞，这些变形细胞吞食着外来物质。他认为正是这些吞噬细胞形成了对感染的抵抗力。这一假说与体液免疫假说曾长期争论，从而促进了免疫学理论的发展。

1884年，巴斯德从事狂犬病的研究工作，于次年发明了狂犬病疫苗。由于他创造了疫苗的生产方法，因而被后人视为经典性研究工作。

1888年，细菌学家纳托尔（英国）研究血液对腐败的抵抗作用。他把已知数量的炭疽杆菌加入到血清中去，只要细菌不太多，结果总会被血清杀死。次年，布克纳等用其它细菌重复了上述实验。后来查林等提供了经免疫后的动物血清中存有特殊抗菌物质的第一个例证。

通过上述开创性的工作，使免疫学和血清学在90年代获得蓬勃的发展。

抗生素的研究和发现是微生物学最伟大的成就之一。

1874年，罗伯茨（英国）观察到真菌对细菌生长的抑制作用，他说“我反复观察到灰绿青霉生长旺盛的液体会使人工感染细菌困难。”但这一发现并未引起人们注意。第二年，巴斯德和朱伯特（英国）发现用炭疽芽孢杆菌培养物感染动物，也不会使动物发病。

1885年，巴比斯和科尼尔研究了细菌彼此间的互相作用，采用了交叉划线技术。这种技术后来应用来研究抗生素的作用和互相营养，并使加雷在1887年证明了铜绿假单胞杆菌会产生一种特殊的物质，它能抑制葡萄球菌及其它细菌的生长。在19世纪最后的十几年里涌现了大量研究这种微生物的抗菌活性的论文。埃默奇等人相信这种活性物质是一种叫绿脓菌酶的物质。他们的研究，导致了青霉素和其它抗生素的相继发现。

(4) 原生动物学与真菌学的开创

第一次观察到病原原生动物的是列文虎克，1681年，他患腹泻，在显微镜下他发现自己的粪便中有大量肠梨形虫。后来他在啮齿类动物和青蛙的肠道中也见到类似的微生物。

1718年，乔布洛特（法国）发表了第一篇研究原生动物的论文。1752年，希尔发现了草履虫。1773年，生物学家米勒尔从人的唾液和牙垢中发现了毛滴虫，他还对纤毛虫类作了系统的分类，他命名的原生动物不下379种。到19世纪中叶，原生动物这一术语才被正式采用。

1840年，人们对于在淡水和海水中自由生活的原生动物和寄居在人和动物肠道或生殖道里的原生动物，已有一定了解。整个19世纪，都有少数专家专门观察病人的粪便、血液及其它物质。1849年，格罗斯在人的口腔中发现了龈阿米巴；1854年，达文在霍乱患者的粪便中，观察到了鞭毛虫类的滴虫和唇鞭虫；1857年，马尔姆斯坦发现了大肠纤毛虫。

1852年，库钦梅斯特（1821—1890年，德国），用动物研究了绦虫的发育史，他以兔体内的豌豆形囊尾蚴喂狗，得到豌豆形带绦虫，以其卵喂兔得到蚴。3年后，他证明人吃了猪肉内的蚴，会患猪绦虫病。

到80年代，法国军医拉瓦格在阿尔及利亚从疟疾病人的血液里观察到疟原虫的裂殖体。此后，病理学家戈尔基用了9年时间完成了疟原虫在人血液系统中的发育过程的研究，阐明了病人发烧高峰期与疟原虫裂殖生殖的相关性。他还证明，至少有3种疟原虫危害人类的健康。罗斯发现疟原虫在蚊虫体内还经历另一发育周期，而疟疾是通过雌蚊叮咬传播的。这样，人们就开始采用消灭蚊子的方法来预防疟疾。可以说，控制疟疾是寄生虫学在19世纪为人类做出的最大贡献。

18世纪后半叶，人们对真菌致病的潜在能力还不清楚。最先认识的仅是植物病原菌。直到1832年，欧文（1804—1892年，英国）在红鹤的肺里发现了鸟类曲霉病，人类才知道真菌对动物的感染。1837年，巴锡证明家蚕的白僵病是由真菌引发的。1839年，舍恩莱因最先在金钱癣病人的病灶内发现了真菌因子。1841至1843年间，格罗拜（法国）发现了头癣小孢霉、发癣菌以及常见的与金钱癣相关的真菌种类。此外伯格（瑞典）描述了引起鹅口疮的病原体白色假丝酵母。

1860年，卡特对足分枝菌病作了详尽描述，但到1894年有人才在病灶中观察到足肿放线虫。总之，19世纪真菌学的发展是相对缓慢的。

3. 临床医学的发展——诊断与治疗

18 世纪欧洲的临床医学仍处在落后状态，例如许多医生坚持认为给病人放血是一种最好的疗法。直到 18 世纪末许多医生仍把精神病人看作是“凶猛的野兽”，必须关在有栏杆的木笼里。19 世纪随着科学的进步，医生的诊断和治疗也取得了相应的进步。内科医生已注重临床观察和正确的诊治；外科医生开始得到社会的承认，把他们和理发师区别开来；产科已发展成为独立的学科。

诊断技术的改进。听诊器是 19 世纪初的一项重要医学发明。1816 年，医生雷内克（1781—1826 年，法国）为一位肥胖的妇女检查心脏，他甚至把耳朵贴在病人身上也听不到心跳，情急之中他忽然想到声音经过管道时会因回声而变得响亮的现象，于是当即用一张纸卷成管状，一端贴近病人的心脏，另一端贴在自己耳朵上，果然听到了心跳的声音。这件事启发他发明了一个木质听诊器，许多医生用这种听诊器来诊断肺病。1819 年，他的专著《听诊》出版，书中详细论述了水泡声和于罗音，并将各种诊音分类，说明其意义。雷内克的工作直到今天还有影响。1847 年，另一项重要的临床诊疗器诞生了，路德维希发明了血压计。1854 年，韦克尔发明了血球计和血色素计。这样，对于血液循环系统的疾病诊断变得客观和准确了。医生们还注意到病人体温变化的重要性，1868 年，文得利诗创造了体温曲线，用来记录病情的变化。

眼科诊断器械的进步主要得力于生理学家和物理学家赫尔姆霍兹（1821—1894 年，德国）的发明。1851 年，他发明了视力计和检眼镜。在此之前，眼科大夫的手术完全局限在眼球的表面，借助于检眼镜医生们的手术刀可以直达眼底，眼外科由此有了长足进步。

鼻、喉镜也在这一时期出现了。1854 年，声乐教师贾西卡为了研究声带发声的动作，发明了喉头镜。早期的喉头镜是在病人的齿间放一面镜子，医生利用光的反射观察病人的喉部。后来经过改进，主要是增加了聚光的光源，使医生可以在强光照射下看清病人喉头中的障碍，例如喉头肿瘤等，同时也使喉部的外科手术得以准确地进行，这些都促进了喉外科的发展。

在耳科方面，波利则利用了声学原理研究耳疾，他发明了用音叉测听力的方法，这样不仅可以了解病人对响度的反应，还能进一步了解患者对不同频率声音的反应。

由于平面镜、凹面镜在耳、鼻、喉科的成功应用，它启发医生们在 19 世纪研制出更精巧的光学系统去观察病变，这样，在 1879 年发明了膀胱镜，1898 年制成直达式气管镜。

治疗技术的进步。19 世纪初，法国成为西方医学的中心，巴黎医生路易士（1782—1872 年，法国）开创了医学研究的统计方法。1825 年，他出版了《肺结核生理解剖研究》一书，在该书中曾对 1960 例结核病例作了统计研究，深入探讨了结核病的病理现象及防治方法。10 年后，他又写成《放血效果的研究》，他用统计数学方法确切地证明：对于大多数炎症，用放血的方法治疗是无益的。从而修正了长期以来医生们普遍使用的一种错误疗法。他的著作因此被认为医学方法论的划时代之作。

19 世 40 年代在德国兴起过一种水疗法，发明人是一个目不识丁的农民。

到 1843 年，他每年要治疗 1500 名病人。尽管医生们怀疑这种方法的疗效，却不能阻止许多人相信这种疗法，后来矿泉水疗法问世后，才获得医生们认可。

19 世纪中期，由于电学的发展，使精神病医生杜琴尼（1806—1875 年，法国）受到启发，他使用一种感应电流器向精神病人的身体通电。用这种办法使他发现了许多与神经有关的疾病，例如肌肉萎缩、脊髓结核、小儿麻痹等。1862 年，杰出的神经病医生查柯特（1825—1893 年）用催眠术治疗心理疾病和歇斯底里症，取得一定疗效。他的学生佛洛伊德（1856—1939 年）承继了这种方法，他在 60 年代用催眠术曾使病人潜在的记忆重现，他认为这种记忆实质上是心理创伤的主要原因。在此基础上，他发展了精神分析方法，用于治疗一些病症。可以说这是查柯特和佛洛伊德共同开创了精神病学的新时代。

在 19 世纪创造的和推广的新疗法还有脏器疗法、化学疗法、光能疗法等。特别是在 1853 年，医生普拉瓦兹（1791—1853 年，法国）发明了皮下注射器和药物注射疗法，这一方法由于效果显著得到广泛应用，甚至到今天也不失为一种重要的治疗方法。

19 世纪的科技进步使实验药理学迅速兴起，化学家和药物学家们从各种药物中提取出有效成份，研究其化学性质、药理作用及毒性，例如：1806 年提取出吗啡，1817 年提取出吐根素，1818 年提取土的宁，1819 年提取奎宁，1821 年提取咖啡因，1860 年提取可卡因等。药物有效成份的提取与研究又促进了药物的精制与人工合成药物，于是制药厂才有可能向医生们提供品种愈来愈多、疗效愈来愈好的各种新药。比较重要的有 1859 年合成了柳酸盐化学解热剂，医生们用它来杀菌、解热和抗风湿；1883 年还生产出安替匹林等。

4. 临床医学的发展——多科术

18 世纪时外科学已发展成为独立的学科，开始出现专门的外科医院，但是当时外科手术对病人仍是一件可怕的事。直到 19 世纪，由于在止痛、止血和防感染方面取得了突破性进展，外科学才有了突飞猛进的发展。

(1) 麻醉剂的发现与临床应用

在麻醉剂问世之前，由于难忍的痛苦，病人往往休克在手术台上，当时的外科医生也认为疼痛与手术刀是不可分离的伙伴，而减少痛苦的唯一方法就是医生尽力缩短手术时间。据说手法快捷的外科大夫可以 3 分钟锯断一条大腿，半分钟便切去一只乳房，这种闪电般的手术很难使外科学得以向纵深发展。

1800 年，戴维（1778—1829 年，美国）发现氧化亚氮（ N_2O ）能产生使人心醉神迷的效用，它使“从来不笑的人发笑，常笑的人大笑”，这种气体因此又叫笑气。

1839 年，化学家斯考芬证实吸入多量笑气使人呈现醉态，严重的甚至失去知觉，但这一重要发现却未能引起医生们的注意。1844 年，美国的一位牙医道尔顿尝试用笑气麻醉，后来他应邀在一所大厅里做拔牙手术表演，结果一名吸入笑气的患者，因过于兴奋竟冲过大厅任人追逐，最后他跌伤了腿却没有感觉疼痛。这一现象引起了另一位牙医韦尔斯（1813—1848 年，美国）

的注意，第二天他就用笑气做麻醉剂，成功地为她的一位学生拔去坏的臼齿。

还在应用笑气做麻醉剂之前，乡村医生朗格（1815—1878年，美国）就曾在1842年尝试用乙醚做麻醉剂，他用乙醚涂在患者的身上成功地做了背部肿瘤摘除术和截肢术，只是由于地处偏僻，知道此事的人很少。

引起轰动的麻醉手术表演是1846年由牙医莫顿（1819—1868年，美国）完成的。他接受化学家杰克逊（1805—1880年，美国）的建议，用乙醚代替笑气施行麻醉，在表演中病人在施用乙醚3分钟后即完全失去疼痛感。这次麻醉手术表演引起舆论界的强烈反响，许多医生都认为这是医学史上最重要的发现。同年10月，美国波士顿医院采用乙醚做麻醉剂，为病人切除了颈部肿瘤、截肢、乳腺切除等手术，达到了完全无痛的效果。1847年，俄国军医罗果夫在获知这一消息后，便在战地医院里采用乙醚做麻醉剂，也获得成功。从此，乙醚麻醉术传遍了欧洲大陆。

早期的麻醉装置较为简陋，病人戴上一个特别的面罩自口中吸入乙醚，乙醚通常是自瓶中通过细管滴在手帕上，再经挥发由病人吸入的。后来，巴黎的一家医院发明了一种气室，让氧化亚氮和氧气混合，再通过泵送入密闭的手术室中。

由于有了麻醉剂，病人不会因痛苦难忍而惨叫，医生也不至于过分紧张，可以从容手术，这样外科学有了很大的进展。在妇科，手术刀可以直达腹腔和子宫。1847年，妇科医生辛普生（1811—1870年，英国）首先用乙醚做了无痛分娩。他并不因此而满足，坚持寻找更理想的麻醉剂，结果他终于找到了哥罗仿即氯仿。氯仿是一种液体麻醉剂，为化学家赖毕格（1803—1873年，德国）和古世瑞（美国）分别发现，新的麻醉剂很少副作用也没有异味。

1852年，美国医生辛斯借助于麻醉剂完成了修复阴道膀胱瘘管的手术，这一几百年来曾被视为对外科手术挑战的疾病，因为有了麻醉剂而得到治疗。

1872年，欧莱（1828—1879年）发明了静脉注射水合氯醛的方法实现麻醉。医生们为寻找更好的麻醉剂的工作一直进行到19世纪末。

（2）消毒与防腐

18世纪的外科医生还不具备病原微生物的知识，他们的手术过程根本没有必要的消毒与防腐措施保障，病人在手术中发生感染，甚至因患合并败血症而死亡的事常有发生，以至辛普生医生说：“躺在医院外科手术台上的病人，比滑铁卢战场上的英国士兵更容易死亡。”

1847年，产科医生泽梅尔卫士（1818—1876年，匈牙利）根据多年临床经验，以为医生在做产前检查或助产时，如果医生的手或器械不干净，可能会把《有机毒素》带进创口，使产妇感染产褥热等病症。因此，他提倡手术前医生须用漂白粉洗手，产科器械也必须事前经漂白液浸泡。据他统计仅由于上述措施，产科病房的死亡率就由原来的12.4%下降到1.27%。无疑地，泽梅尔卫士对感染性疾病的认识和消毒防腐的措施有着重要意义，但是他本人却受到一批保守的外科医生的嘲笑与打击，他们认为产褥热来源于“医院中的毒气”。

1864年，巴斯德指出：发酵和腐败“是由空气中的微生物引起”的，从而为消毒防腐工作奠定了理论基础。格拉斯哥医学教授李斯特（1827—1912年，英国）接受了巴斯德的观点，他通过对伤口发炎现象的研究，认识到伤

口化脓与发酵过程很相似，进一步证实伤口感染来源于病菌而不是“有毒的空气”。1865年，他尝试使用石碳酸喷洒手术台和骨折病人的创面，由此开创了无菌外科手术的新时代。不过，李斯特并非一帆风顺，保守的医生依旧强烈反对任何消毒措施，直到80年代，由于细菌学的发展，人们才确信无菌手术的必要性。

80年代后，越来越多的医生实施用煮沸、干热、火焰等方法为器械消毒，由于消毒防腐的工作不断改进，使外科手术由人的体表发展到体腔内部，从而大大促进了外科学的发展。

九、近代后期的化工技术

1. 近代硫酸工业

18世纪中叶，由于纺织、印染工业的需求，形成了对硫酸工业发展的巨大推动力。19世纪初，铅室法制硫酸的工厂遍布英、法、俄、德等国，这种方法是把硫磺和硝石在铅室内加热，再用盛水的玻璃容器吸收生成的烟雾。1806年，人们初步阐明了氧化氮的催化机理，从此硫酸工业进入了连续生产阶段。

1818年，英国人希尔提出用黄铁矿代替稀缺的天然硫磺。到30年代后，这一方法才得以推广。1827年，盖吕萨克（1778—1850年，法国）提出在铅室后面设吸硝塔，以吸收尾气中的氮氧化物。这一建议不仅降低了成本而且减少了对环境的污染，但是却使硫酸产品中含硝。

1859年，格罗韦（1817—1902年，英国）建议另设一个脱硝塔使硝酸硫酸中氮氧化物分离出来，使之重回铅室，而脱硝后的硫酸则返回脱硝塔继续作淋洒液，这样使得氮氧化物得以循环使用。自此，铅室法制硫酸的工艺流程和设备才日趋完善。

60年代后，人们了解到在脱硝塔中二氧化硫的氧化比之铅室更迅速，于是便尽量扩大脱硝塔的容积，缩小造价昂贵的铅室。直到本世纪初才出现了完全无铅室的塔式法制硫酸。

由于硫铁矿成为制酸的原料，一些缺少硫铁矿资源但炼焦和石油工业发达的国家开始研究从焦炉气和石油气中回收硫化氢制酸，这一工作在19世纪中得到成功。

在19世纪还发展了接触法生产浓硫酸的技术。1831年，英国的菲利浦斯将二氧化硫和空气通过加热的铂丝管，生成三氧化硫，然后经水吸收制成浓硫酸。这一方法成为近代接触法制酸的发端。到本世纪，它已成为硫酸工业中的主要方法。

19世纪虽然已经发明了工业制硝酸和磷酸的方法，但还没有形成硝酸和磷酸的工业生产规模。

2. 近代制碱工业

18世纪以来，欧洲各国用碱量激增。当时法国是欧洲工业发达国家，碱的消费量很大，拿破仑入侵欧洲各国后，它依赖的西班牙植物碱断绝，法国科学院于是悬赏重金征求制碱新法。1788年，勒布兰（1742—1806年，法国）提出了一种利用氧化钠为原料的工业制碱方法，它是将食盐和硫酸共热，得到氯化氢和硫酸钠，再将硫酸钠和煤末、石灰共热得碳酸钠和硫化钙。这一方法曾被人们长期使用，几乎没有更动。

1823年，英国政府宣布豁免盐税，因而使勒布兰法在英国得以推广。1825年至1890年，勒布兰法为欧洲各国普遍采用，最高年产量达到60万吨。

勒布兰法的副产品是氯化氢和硫化钙，在当时都是难以应用的废气和废料，既损害工人健康又污染了环境。1836年，戈塞基（1799—1877年，英国）创造洗涤塔用来处理氯化氢废气，同时生产出盐酸，但是当时盐酸的用途小，污染问题仍未解决。后来，造纸工业发展很快，需要大量氯气作漂白剂，

于是在 1866 年，由威尔登等人的努力，将盐酸和空气混合，通过催化剂生成氯气。与此同时，腾南特发明了用氯气和石灰制造漂白粉的方法。这样，氯化氢的污染问题才得以解决。

硫化钙的污染也是同样严重，堆积如山的废物经日晒雨淋，向四周散发臭气，使周围居民难以忍受。1862 年，门德（英国）研究出用空气氧化，使硫析出的处理办法。钱斯·克劳斯提出碳化法，即将硫化钙送入碳化塔中，用二氧化碳处理，生成碳酸钙和硫化氢，再将硫化氢在窑中燃烧，经催化作用生成硫黄回收。通过上述办法，不仅减轻了污染而且大大增加了勒布兰法的产品品种，形成了综合性化工企业，这在化工发展史上具有重大意义。

在勒布兰法的发展过程中，还不断发展出一些新的化工设备。如洗涤塔、旋转煅烧炉、机械烤炉，带有转动括刀的特兰锅、善克氏浸溶装置等。这些设备的结构和原理，为后来的化工设备提供了重要的参考。可以说近代无机化学工业是由勒布兰法开拓的，它无论在原理、化工流程、生产设备、综合开发等方面都为现代大型化学工业奠定了基础。然而勒布兰本人始终没有领到法国科学院的奖金，不得不在救济院中渡过残生。

勒布兰法由于主要利用固相反应，造成了生产不连续，产品纯度低、设备腐蚀严重等缺点。

1811 年，法国光学家菲涅耳最先提出用碳酸氢铵和食盐制碱的思想。1832 年伏格尔，1837 年汤姆（英国）作了试生产试验，1838 年达亚尔和海明指出了氨碱法的主要化学反应方程式，他们还在伦敦附近设厂试生产。但是由于工艺、设备等方面欠成熟，这种制碱法到 50 代末也未能推广。

1861 年，苏尔维（1838—1922 年，比利时）用海盐吸取氨和二氧化碳，制得碳酸氢钠。他立即申请到专利，2 年后，集巨资组建苏尔维制碱公司。1865 年，他筹建的第一座制碱厂投入生产，又经过 2 年的努力，终于使设备和工艺逐步完善。他的产品质地纯净，故称纯碱。

氨碱法生产的主要原料是盐和石灰石。将石灰石煅烧，生成氧化钙和二氧化碳；二氧化碳和氨气经盐水吸收得到碳酸氢钠；碳酸氢钠煅烧后制成纯碱。全部流程以气相和液相为主，更适于大规模生产。此后，欧美各国纷纷建造苏尔维法制碱厂，而勒布兰法则日渐衰落。

烧碱又叫苛性钠，它是用石灰处理纯碱溶液制得的，所以当用勒布兰法大量生产纯碱后，烧碱也随之发展起来。苏尔维法推广后，用苛化法制烧碱变得更便利，这是因为纯碱和氢氧化钙都是苏尔维法制碱厂的产品。因此，苏尔维法制碱厂都附有烧碱车间。

1890 年，斯特劳夫（德国）用电解法制烧碱成功，各国烧碱工业自此转向电解法。

3. 近代有机化工——染料的合成

炼焦工业和煤气工业产生的煤焦油在 19 世纪初还被人们视为废物。50 年代后，由于从煤焦油中提炼出苯、萘、蒽、甲苯、二甲苯等化合物，从此开展了煤焦油的综合利用和开发研究，使有机合成工业得到迅速发展。

1834 年，米希尔里希制得硝基苯。1842 年，齐宁（1812—1880 年，俄国）发现硝基苯和醇溶液可以用硫化氢还原，生成苯胺，这是一种适合做染料的物质。后来人们又找到了适合工业用的还原剂，铁屑和盐酸。与此同时，

人们在实验室里用从煤焦油中提炼出的芳香族化合物为原料，人工合成了硝基苯和苯胺。

1856年，化学家柏琴（1838—1907年，英国）用重铬酸钾处理苯盐，目的在合成奎宁，却意外地得到一种紫色颜料，定名为苯氨基紫。这是第一种人工合成的染料，适于染毛和丝。第二年，第一座以煤焦油为原料的合成染料厂建成投产，不久苯氨基紫便风行世界。

1858年，霍夫曼（1818—1892年，德国）用四氯化碳处理粗苯胺，得到一种红色染料，定名为碱性品红。这种染料也可以直接染毛和丝，同鞣酸合用可以媒染棉织品。两年后，他用苯胺与碱性品红的盐酸盐共热，又得到一种叫苯氨基盐的蓝色染料。此后的10年里人们又陆续合成了一批苯胺紫的衍生物，例如碱性蓝、醛绿、碘等，藏红等，其中的一些是酸性染料。60年代因此被叫做“苯氨基紫十年”。

茜素原是从植物茜草中提取出的绛红色染料。1868年，格雷贝（1841—1927年，德国）和里伯曼（1844—1914年，德国）用茜素和锌粉一起蒸馏，得到蒽。他们据此推断茜素是二羟基蒽醌，并认为有可能人工合成茜素。他们第一步从煤焦油中提取蒽，又将蒽气化成蒽醌，再将蒽醌溴化并水解，最终得到茜素。次年，他们用强碱与蒽醌溴共熔，得到与天然茜素完全相同的产物。由于这一工艺要消耗大量的溴，不适合工业生产。后来，经过改进，让蒽醌与浓硫酸在高温下共热，生成的产物再与强碱熔融，也制得茜素。这后一种工艺很适合工业生产，立即为工厂接受。1871年，合成茜终于投入批量生产，取代了天然茜素。

1878年，另一种天然染料靛蓝的人工合成，由拜耳（1835—1917年，德国）研究成功。拜耳早在1865年就曾设想用还原的办法使靛红转化为靛蓝，这设想直到13年后才获得成功，同时他还研究出合成靛红的方法。然而拜耳的合成工艺不适合工业生产，但他却悟出了蓝淀的顺式结构。蓝淀的工业生产直到19世纪末才实现。

除去上述染料外，偶氮染料的合成也取得了进展。19世纪的后半期，各类染料品种日增，使染料的色谱趋于完善。1873年，第一个硫代染料也出现了。

4. 近代有机化工——药品、香料和炸药的合成

19世纪中叶，化学家们对药物的化学结构有了较深入的认识，从而开始了药物的人工合成研究。

1859年，柯尔柏（1818—1884年，德国）首先合成了水杨酸。水杨酸是一种用于防腐、消毒的药物，临床用于治疗风湿、感冒等症。柯尔柏将苯酚的苛性钠水溶液制成干燥的粉末，然后通入二氧化碳并加热，所得熔块经水解、酸化后就得到了水杨酸。后来，人们用水杨酸和甲醇在硫酸作用下合成了水杨酸甲酯。继后又合成了水杨酸苯酯。水杨酸甲酯是一种很好的外用药，它原是从冬青树等植物中提炼出来的，故又叫冬青油。水杨酸苯酯的药性比水杨酸更持久平和。

在80年代又合成了“安替比林”和“非那昔丁”，这两种都是退热药。

香料的人工合成也取得了进展。1868年，柏琴用水杨醛、醋酸酐和醋酸共热，得到香豆素。香豆素过去一直是从柑桔皮中提取出来的香料，有着很

好的经济价值。1876年瑞迈尔(1856—1921年,德国)和蒂曼(1848—1899,德国)发现苯酚、苛性钠溶液和氯仿反应,可以制成水杨醛,至此才解决了香豆素合成的原料问题,为工业化生产扫清了障碍。

19世纪以来,由于炸药开始用于采矿和工程,因而大大推动了炸药的研究和生产。

1846年,桑拜恩(1798—1868年,瑞士)用硝酸和硫酸的混合液浸棉花,制成有强烈爆炸力的硝化纤维,又叫火棉。同年,索布雷罗(1812—1888年,意大利)把甘油缓缓注入浓硝酸和浓硫酸的混合液中,得到一种无色油状液体,这种液体只要稍受震动便立即爆炸,这种液体就是硝化甘油,它无论贮存、运输都很不安全,一时无法应用。

1867年,诺贝尔(1832—1896年,瑞典)发现用硅藻土可以吸收硝化甘油,所得物质仍能爆炸,但安全稳定得多,在一般条件下就可以运输和存储,这样他就发明了一种有实用价值的炸药。诺贝尔又经过一系列实验和研究,得到一系列以硝化甘油为主要成份,能安全使用的炸药。1875年,诺贝尔作出了重大改进,他把硝化甘油与火棉混合,得到一种爆炸力更强,然而更安全的胶状物。他的第一种配方叫炸胶,是用92—93%的硝化甘油与7—8%的火棉制成,可以用于深井、水下和坚硬岩石爆破。他又适当减小硝化甘油的比列得到一种双基无烟药,适合做子弹与炮弹的发射药。

诺贝尔是一位出色的发明家和企业家,他一生共有355项专利发明,他逝世前留下遗嘱,设立诺贝尔奖,以奖励对科学、文化及和平事业有重大贡献的人。

还在1839年,罗朗利用苯酚合成了苦味酸。苦味酸能使蛋白质染成黄色,因此在1849年有人用它做丝绸的染料。1871年起一度用它来做炸药,但是它有强酸性,与重金属生成苦味酸盐,这种物质对震动与摩擦十分敏感,常有炸膛事故发生。80年代后,人们制成三硝基甲苯,即T.N.T炸药后,便淘汰了苦味酸炸药。

十、电气化时代的开创

1. 电机的发明与发展

19世纪以来，电学取得了突破性的发展。1820年，奥斯特发现了电与磁现象的关系，不久安培就发现通电导线在磁场中受力的规律。由此导出了著名的安培力公式；同年，安培和盖吕萨克发明了电磁铁。他们的研究为电动机的发明奠定了基础。

磁针在通电导线附近受力旋转的现象，曾启发法拉弟发明了第一台可以连续转动的电机模型。其它科学家受此启发也先后研制出不同形式的电动机，但这些电机多是某种模型，功率很小，没有实用价值。

1834年，俄国科学院院士雅科比（1801—1874年，俄国）利用U形电磁铁制成了第一台回转运动的直流电机。电机的转子是一个带有6个臂的轮，轮臂上共装12个棒状磁铁，棒状磁铁与电磁铁的排斥与吸引推动着轮子转动。这一年底，他在巴黎科学院宣读论文，4年后他把电动机装在一艘船上，并在涅瓦河上试航成功。这台电机使用300个丹尼尔电池，航速却只有每小时2.2公里。

在1834年，伦敦的仪器制造商克拉克和美国的铁匠戴文泡特也制成了直流电动机。后者研制的转子是用电磁铁当作轮子的辐条，轮子夹在二个静止的磁铁之间。次年，他把这种电机安装在一辆电车模型上，电车沿圆形轨道行驶。这台电动机也是以电池为动力，并没有实用价值。

1860年，比萨大学教授巴奇诺基发明了一种接近实用的电动机，它包括环形电枢，整流子和合理的励磁方式，基本上具备了现代电动机的结构形式。由于当时没有较大功率的发电机供电，这种电机没有立即得到推广。10年后，格拉姆（1826—1901年，比利时）将巴奇诺基的环形电枢用在1台发电机上。次年，在一次展览会上，一位工作人员误将另一台发电机与格拉姆的发电机接在一起，当发电机运转时竟带动格拉姆的电机转了起来，他由此知道直流发电机可以当作电动机用。由于新闻的宣传作用，人们对格拉姆的发电机另眼相看，工厂决定投入生产。

发电机的研制与电动机的研制几乎是同步发展的。1831年，法拉弟根据他发现的电磁感应现象提出了机械能转化为电能的原理。几个月后他又制成了第一台发电机的模型装置。这一切为发电机的研制奠定了基础。

1832年，皮克西（法国）兄弟研制出世界上第一台永磁式交流发电机。这仅是一台手摇发电机模型，转子是马蹄形永久磁铁，定子是线圈。次年，他们采纳了安培的建议，增加了一个简单的换向器，使交流电转换成脉动的直流电。同年，萨克斯顿（英国）在英国皇家学会的会议上也展出了一台手摇电机，其结构特点是线圈作为转子，而定子是永久磁铁，这两种发电机的电压很低，功率也很小。

1834年，克拉克制成了第一台可供实验室使用的直流发电机，其电压高于一般电池组。

1841年已出现了用蒸汽推动的发电机，可以连续工作，为其它用电器提供电力。1856年，霍姆斯发明了一种多极发电机。发电机5尺见方，重2吨，用蒸汽推动，每分钟600转，发电容量1.5千瓦。一家灯具厂买走了这台发电机，使它成为第一台商用发电机。1862年，霍姆斯又制成了容量为2千瓦

的发电机。

1863年，威尔德（1833—1919年，英国）发明了磁电激磁式发电机，他使发电机的研制进入了一个新阶段。他在解释这种电机的原理时说：自激磁场是依赖原来磁场的剩磁。同年，西门子（1816—1892年，德国）在一篇论文中也论证发电机中并不需要永久磁体，完全可以用发电机产生的电动势向激磁绕组提供激磁电流（自激）。1867年，C·西门子向人们展示了一台自激式发电机模型。自激式发电机用磁性很强的电磁铁代替了永久磁体，因而可以发出很强的电流。因此，它在电机制造史上是划时代的成就。

1870年，巴黎的格拉姆（1826—1901）制成了环形电枢的直流发电机，电枢用软铁做铁心，并用沥青绝缘以防止涡流。这项成就取得很大成功，广泛地用于灯塔和工厂供电。1872年，阿尔特涅克（1845—1904年，德国）发明了鼓式电枢，其绕组仅在电枢表面，其电枢中铜的利用率更高，技术上更完善合理，很快取代了环形电枢。这样，到19世纪70年代，电机已具备了近代电机的基本结构。

1867年，威德尔制成第一台独立激磁的交流发电机，但是他没有解决因涡流生热的问题。1876年，亚布洛契可夫提出可以制造一种多项交流电机的方案，两年后他制造了一台这样的电机，为弧光灯供电。这台发电机已具有现代同步发电机的主要结构。19世纪80年代，电工学家法拉里（1847—1897年，意大利），建立了旋转磁场的理论。80年代末发明了二相交流电动机和三相鼠笼异步电机。这些为90年代广泛使用交流电创造了条件。

2. 发电站和输电技术的开创

由于电机技术日趋成熟，加上早期的电力照明的需求，人们开始考虑用工业方法集中生产电力。最早兴建的是燃煤的火力发电厂，继后才有水力发电站产生。

1875年，巴黎建成北火车站电厂，这是世界上第一个发电厂，生产的电力专供弧光灯照明。1881年，美国在威斯康星州建成了爱迪生发电厂，其功率只能为250盏电灯使用。第2年，在纽约市建成了爱迪生珍珠街电厂，共有6台直流发电机，总功率达到600千瓦。

交流发电厂建成稍晚，1886年在美国建成的第一座交流发电厂，输出功率仅有6千瓦。但到1890年，在德国出现了较大规模的交流发电厂，使用2台1250马力的柴油机拖动发电机发电，工作电压为5000伏，还有4台更大的交流发电机，分别由1万马力的蒸汽机拖动，工作电压高达1万伏。90年代以后才出现三相交流发电厂。

从一开始，世界上的工业先进国家就十分注意开发水力发电厂。因为水电站的发电成本低，还可以综合开发利用水资源。

1882年，爱迪生在威斯康星州创建了第一座水电站。同年德国也建成了一座容量是1.5千瓦的水电站。上述水电站均是试验性的小水电站。较大型的水电站产生于90年代，例如1892年美国建成的尼亚加拉水电站，共安装了11台4000千瓦的水电轮发电机。到本世纪水电站才得到巨大的发展。

电力输送技术与发电站技术几乎是同步发展的，它包括输电、变电和配电三大部分，并和发电、用电形成一个完整的电力系统。

1873年，在维也纳举办的国际博览会上，法国人弗泰内用长达2公里的

电线，向一台电动水泵供电。1874年，俄国人皮罗次基建成1公里的直流输电线路，输送电功率达到4.5千瓦。2年后，他别出心裁以铁轨代替导线输送低压直流电，输送距离为3.6公里，这一方法后来使用在有轨电车上。

1881年，W·汤姆逊（开尔文勋爵）对电能分配理论作了重要贡献，他在《用金属导体导电的经济性》一文中阐明了开尔文定律，说明输电导线的最经济截面的要求是：在给定时间里能量损失的费用等于同时期资本的利率和折旧费。

80年代里，人们已从理论上认识到高压输电的必要性。这样在1882年建造了世界上第一条远距离输电实验线路，物理学家德普勒（1843—1918年，法国）把57公里外的1.5千瓦电力输送到慕尼黑国际博览会上，输电线始端电压是1343伏，终端降为850伏，线损高达78%。1883年，德普勒在法国南部又建成一条长14公里的输电实验电路，2年后，他把输电电压升高到6000伏，输电线路长56公里，结果线损下降到55%。但是直流电压受到大容量直流发电机的限制，所以直流电不宜于远距离输送。

19世纪80年代里围绕着成熟的直流输电技术和新兴的交流输电技术，展开了一场激烈的争论。爱迪生和开尔文为争论的一方，主张直流电优于交流电，他们认为当白天与黑夜用电量相差很多时，交流电的成本几乎要高出一倍。另外交流电机并联运行的问题还有待解决；特斯拉和威斯汀豪斯（1846—1914年，美国）则主张交流电是发展方向，主要理由是它的输电效率高。他们还认为只要把用电户扩大到炼铝、电车、工厂的动力等方面，就能解决用电不均衡的问题。

到90年代，交流电机，升、降压变压器相继完善，交流电的优势日益明显。实践证明：三相交流发电、变电、输电、配电具有比直流电更安全、经济、可靠的优点。

在交流输电中，变压器是关键性的设备。1876年，亚布洛契可夫发明了单相变压器。1883年，高拉德（1850—1888年，德国）和吉布斯设计了一台降压变压器，但是他们把多台变压器系统的原线圈串联在电路中，导致了电路中的电压随负载变动的缺点。后来，由三位匈牙利工程师将变压器改装成并联连接，这一缺点才得以克服。1885年，威斯汀豪斯制成了具有实用性能的变压器，并在美国麻省建成1千伏高压输电系统，完成了交流电的工业传输试验工程。到90年代才出现了第一条三相交流输电线路，这一方法后来得到迅速推广。

3. 电灯、电报与电话

(1) 电灯的发明

就在伏打发明电池不久，英国皇家学会的戴维（1778—1829年，英国）观察到二根碳电极接触后再分开的瞬间，电流会产生很亮的弧光。他于是用2000个伏打电池串联成电池组，制成了第一个碳极弧光灯。但是，电池贮电有限，不能长时间维持弧光灯工作。到40年代，虽然有丹尼尔新电池出现，碳棒也有了改进，弧光灯仍难推广使用。

1853年，人们用磁电机代替蓄电池向弧光灯供电。同一时期里，俄国的亚布齐柯夫发明了两根碳棒并列放置的弧光灯，其优点是不要调整二根碳棒的问题，省去了许多麻烦，人们称它是电蜡烛。80年代后，由于有了发电机

供电，弧光灯得到推广，当时多用于灯塔。

白炽灯起源于 20 年代，法国的一位物理学家发现铂丝在通过强电流时，由于发热而呈现白炽发光的状态。1840 年，英国人格罗布为了防止高温氧化作用，他用玻璃杯倒扣在水中获得真空，然后把通电的铂丝置于其中发光，铂丝的寿命果然大大延长。次年，冯·马林治把这一装置改进成抽成真空的电灯泡。1845 年，美国人斯塔研制出两种供幻灯机使用的电灯。一种是把铂丝密封在真空的玻璃瓶中，另一种是用碳棒代替铂丝。1852 年，罗巴林发明了给白炽灯安装灯口的办法。1860 年，化学家斯旺（英国）设计出一种低电阻的碳丝电灯，但性能并不好。斯旺的灯丝是用纸和丝绸碳化而成的。

真正实用化的白炽灯是美国发明家爱迪生发明的，他使人类跨入了电灯的时代。1878 年，他通过对弧光灯的分析认识到白炽灯必须采用低压并联运行，以确保使用者的安全。由于采用并联电路电灯的电流相对较小，就要求灯丝具有高电阻。他的主张受到一些著名科学家和工程师的反对，但他坚持己见，先后从 1600 种材料中选出炭化棉丝作为灯丝。1879 年，他完成了白炽灯的发明，当时电灯的寿命只有 45 小时，他还设计了灯座、室内布线、地下电缆系统等成套设备。

到本世纪初，人们才发明了今天常用的钨丝白炽灯。

(2) 电报的发明

自 17 世纪以来就不断有人提出远距离通讯的技术方案，例如 18 世纪末，法国的一位牧师夏普发明了一种视力信号机，利用一个装在转轴上的木杆系统向远处传递信号，每隔若干距离设一个信号站，使信号这样一站一站地传下去。这种通讯方式曾在欧洲形成过一个庞大的通讯网，一直维持到 19 世纪中叶才衰落下去。

1753 年，有人试图创造一种静电电报，但没有被人使用。伏打电池发明后，工程师沙尔伐（西班牙）曾在静电电报的基础上发明了化学电报，其原理是当电路中有电流通过时，会在终端的水瓶中产生氢气泡，可以设置许多这样的瓶子，分别代表不同的字母，就能实现通讯。1804 年，他用伏打电池做电源，在相距 600 米处并列布置了 36 根导线，分别代表 36 个字母，导线的终端置于盛盐水的试管中。它虽是第一个电报装置，却毫无实用价值。后来还有人研制了其它的化学电报，但无一例成功。

1823 年，电学家安培在他发明的电磁铁的基础上，首创电磁式电讯机，这一装置共有 30 根磁针和 60 根导线，结构繁琐不能实用。10 年后，数学家高斯和物理学家韦伯在哥丁根研制出一个电报系统，它是根据磁针偏转的大小进行通讯的一种装置。他们为磁针装上一面镜子，使用望远镜读取磁针偏转的角度。这一发明使通讯设备大大减化，但离实用仍有距离。

1836 年，科克（1806—1879 年，英国）制成了几种不同式样的电报机。后来有一种电报机的电磁铁出了一些问题，他就此请教皇家学院的惠斯通教授（1802—1875 年，英国），结果他们决定合作研究。1837 年，他们申请了第一个电报机的专利。这种电报机共装置了 6 个线圈和 6 个磁针，当不同的线圈通电时，相应的磁针便偏转。次年，他们建成了长达 13 英里的电报线，通讯实验完成得也很成功。1842 年，他们延长了线路，同时改用双针式电报机。这一成就大大推动了英国电报事业的发展。1846 年，英国成立了电报公司，6 年后，英国已建成的电报线路总长估计达到 4 千英里。直到本世纪初，

科克—惠斯通电报机还在英国使用。

在同一时期，在美国和欧洲也开展着新式电报机的发明和改进工作。1832年，画家莫尔斯从欧洲乘萨利号邮船回国，为了消磨时间，他和同船的杰克逊博士一起做电学实验，他忽然想到“电流发生在一瞬间，如果它能不中断地传送10英里，我就可以让它传遍全球。瞬间切断电流，使之闪现电火花。有电火花是一种信号，没有电火花是另一种信号，没有电火花的时间长度又是第三种信号；这三种信号结合起来，代表数字或字母。数字或字母可以按一定顺序编排。这样，文字就可以经电线传送出去，而远处的仪器就把信息记录下来”。从此，他放弃了绘画，专心于新型电报机和电码的发明。

1837年，莫尔斯发明了用点和划组成的“莫尔斯”电码，这些点和划相应地变成通电时间的长、短间隔，然后推动收报机的电磁铁吸引衔铁，并带动钢笔在转动的纸带上作出相应的记号。就在这一年，他在纽约成功地完成了长10英里的通讯试验。1845年，莫尔斯组建了磁电报公司，由于从华盛顿到巴尔的摩全长40公里的电报线路经济效益很好，在很短的时间里，电报线路延伸了几百英里。到1848年，除佛罗里达州外，密西西比河以东的各州都联入了电报网。电报对增进铁路运输效率、传送天气预报和报告商业行情等方面，发挥着日益重要的作用。

19世纪中叶，欧、美大陆已建立了陆上电报网，但大洋两岸的信息仍靠邮船传送。1851年，横跨英吉利海峡的海底电缆率先敷设成功，线路全长45公里。次年，伦敦和巴黎之间接通了电信线路，大大促进了两国间的工商业活动。从1854年起开始了大西洋海底电缆建设，经过12年的努力，克服了种种困难和挫折，终于完成了欧、美之间的越洋海底电缆的敷设。另一条跨越欧亚大陆的电报线路起于伦敦，穿过英吉利海峡，横跨欧洲大陆，再延伸到印度的卡里卡特城，全长一万海里，也于1869年顺利建设成功。

电报通讯工程的建立和发展，不仅沟通了全球的信息交流，推动了工商业活动，而且对19世纪的科学研究和教育活动起着巨大的推动作用。

(3) 电话的发明

电话的发明可以追溯到1837年发现的“伽伐尼音乐”，它是指电磁铁在切断电流的瞬间发出的一种声音，曾启发后人利用电流传送语音。1860年，累斯（1834—1874，德国）设计了一种巧妙的通话装置。他在啤酒瓶上蒙上一层薄膜，膜上贴上一条铂丝，当有人讲话时，膜发生振动，铂丝便交替接通和断开电路，于是远处的电磁铁随电流的通断会发出所谓“伽伐尼音乐”。这实质上是第一部电话。1861年，累斯改进了这一装置，并取名叫“telephone”。这一英文名称一直保留至今。

近代电话的发明归功于贝尔（1847—1922年，美国）和他的助手华生。贝尔在英国爱丁堡大学曾系统地学习过人的语音分析、发声机理和声波振动等知识，移居美国后从事语音学的教学工作。1871年，他偶然见到累斯的“telephone”，便立即联想到：“要传送语音必须制造出一种能随声音变化的电流。”这一想法成了贝尔发明电话的理论基础。

贝尔本人缺乏关于电的专门知识，后来偶然遇到一位青年电气技师华生，华生对发明电话的研究很有兴趣，便同意与贝尔合作。不久他们制造出一台样机，其送话器是在圆筒上置一薄膜，膜的中央垂直连接一根碳杆，碳杆的另一端则与硫酸接触。当送话时，薄膜随语音振动并带动碳杆一道运动，

碳杆与硫酸间的接触电阻因而相应地变化，使电流也发生强弱的变化。听筒则是利用电磁铁把电信号还原成声音。1876年，他们向美国政府申请了专利，几小时之后，一位名叫格雷（1835—1901年，美国）的发明家也申请电话发明专利，但美国最高法院仍判定贝尔是电话的发明者。

在美国建国100周年纪念的博览会上，贝尔表演了他的电话。后来，巴西王太子来此参观，对这一发明深感惊异，他的发明因此引起人们的重视。贝尔电话的改进工作还引起了许多发明家的兴趣，1877年，爱迪生等人发明了一种新型送话器，它是由一个膜片压在碳粉上构成的装置，当膜片振动时会改变碳粉的电阻，这一发明成为现代送话器的原型。

到90年代，有人发明了自动交换台，使电话可以通过拨号自动与通话者接通。电话的发明从根本上改变了人类的通讯方式，它大大密切了人类之间的联系，成为现代文明标志之一。

十一、近代后期机械工程

1. 动力机械和交通工具的革命

(1) 蒸汽机的改进和火车的发明

18 世纪末，瓦特蒸汽机在工业上得到推广。但是因为高气压而引起爆炸的问题未能得到解决，瓦特本人坚持发展低压蒸汽机。这种蒸汽机的功率多在 80 马力以下，机身又笨重，不适宜做火车。但要提高功率就必须提高蒸汽压力，这样对锅炉、汽缸、活塞的制造技术就提出了更高的要求，在当时这些难题解决起来并不容易，因此初期的高压蒸汽机常发生爆炸事故，人们仍然认为只有瓦特的低压蒸汽机才是安全机。

1800 年，崔威席克（1771—1883 年）研制使用几个大气压蒸汽工作的蒸汽机。4 年后，他研制出一种单缸高压蒸汽机车，车头仅有 4 个轮子，动力通过齿轮系统传递给车轮。这辆机车拉着 5 辆 4 轮货车，装载着 10 吨铁和 70 名乘客出现在伦敦街头，机车时速达每小时 8 公里，虽然总共只行驶了 15 公里，却引起了轰动。由于当时使用铸铁制造的铁轨太脆，试运行几次之后，便损坏了，人们却以为这是由于崔威席克的火车轮空转造成的结果。

1813 年，有个叫兰顿的制造了一辆奇特的蒸汽机车，机车的后面安装了二条象马腿一样的机构，他以为这样就可以防止车轮打滑。同一时期还有人发明了带齿的轨道和车轮，车速达到每小时 6 公里，牵引着 6 吨的煤行驶。法国人马克·塞贵因做出了一项有实用价值的发明，他的多管锅炉使受热面大大提高。哈克沃斯发明了从烟道排出废气的办法，废气在烟道内产生了一种抽风的效应，帮助锅炉中煤的燃烧。他们的发明一直使用至今。

从 1814 年起，煤矿司炉工乔治·斯蒂文森（1781—1848，英国）开始研制真正的蒸汽机车，到 1825 年，他共研制了 19 台火车，顺利地解决了当时运送煤炭的问题。同年 9 月，他研制出功率较大的机车“运行号”，这台机车可以牵引 38 节客车，共载着 450 名乘客在斯托克顿到林顿之间行驶，在当时，这是仅有的一条长 21 公里的铁路。后来“运行号”的时速提高到每小时 24 公里。这一成就使斯蒂文森大受鼓舞，他不顾许多人的激烈反对，决定兴建从利物浦到曼彻斯特的铁路，这条铁路共有 63 座桥梁和 2 公里长的隧道。1829 年，这一工程完成，次年顺利通车。

1829 年，斯蒂文森制成了当时最先进的机车“火箭号”。他采用了多管锅炉和利用废气抽风的技术，为了增加废气的抽力，火车的烟囱高达 4.5 米，蒸汽机的活塞可以直接推动车轮。在雷因普希的比赛中火箭号获得优胜。同年，“火箭号”在利物浦到曼彻斯特的铁路上运行，时速达到每小时 29 公里，它证明用火车牵引是切实可行的。历史上通常把这一年作为蒸汽机车的诞生日期。蒸汽机车和铁路运输对英国的经济发展做出了巨大贡献，并为其它各国所仿效。

1860 年，英国的伦敦地下铁路工程开工，3 年后完成了长 6 公里的地段，由于使用蒸汽机车牵引，隧道内常常是烟尘滚滚，但是它为人们带来便利，仍受着市民的欢迎。1872 年，纽约建成了第一条高架铁路。

(2) 内燃机与汽车的发明

蒸汽机在 19 世纪暴露出固有的缺点：其一是效率低，当时仅达到 5—8

%；其二是体积过于笨重，巨大的蒸汽锅炉占据了大量空间，因而限制了它应用的范围；其三是烧煤带来了污染，当时的工矿区无不浓烟滚滚，烟囱林立；其四是运行事故多，不安全，例如在 1862 到 1879 的 17 年里，蒸汽机的爆炸事故多达 1 万起，造成成千上万工人死亡。

18 世纪末，法国工程师蓝蓬和英国的斯垂特开创了内燃机的研究，前者以煤气做燃料，后者则使用松节油，但都没成功。

1820 年，英国人塞歇尔发明了一种煤气机，在实验室内仅运行了 60 分钟。

1833 年，英国莱特提出了使用煤气——空气的混合物做燃料，将这种燃料在气缸中点燃，推动活塞做功。5 年后，他的同胞巴内尔特为这种发动机发明了点火装置，并让煤气先经过压缩再点燃爆发，因而发明了煤气压缩式内燃机。

1854 年，意大利的巴尔桑蒂和马泰乌奇制成“自由活塞式”内燃机，其传动系统采用齿轮——齿条机构，但运行并不理想。经过半个世纪的努力；内燃机的部件得到不断改进，有的发明如 1855 年提出的可自动膨胀的活塞环，大大改善了气缸的密封性能，并沿用至今。

1860 年，技术工人雷诺（1822—1900 年，法国）汲取了以往内燃机的成果，终于制成了第一台实用的内燃机。他的发明与一台单缸卧式蒸汽机几乎一样，仅仅以煤气代替蒸汽，用电火花将煤气点燃。这台发动机的功率只有 1—2 马力，效率也只达到 4%，但毕竟可以实用了。雷诺的发明本质上是一台二冲程、无压缩、电点火的煤气机。优点是运转平稳、造价便宜、结实耐用，吸引了不少客户，也吸引了许多优秀工程师和教授来访问他，人们开始认真考虑用内燃机取代蒸汽机的可能性。

1862 年，法国工程师罗沙对内燃机作了较深入的理论研究，他认为必须尽可能提高燃气的初始压力，并使气体尽快膨胀至极限，才有可能提高内燃机的效率。在这一理论上他首先提出了四冲程循环原理，成为后来各种内燃机的理论基础。

还在 1860 年，一位德国商人奥古斯特·奥托（1832—1891 年，德国）在获知雷诺的发明后也开始研制内燃机。他一开始就遇到如何控制煤气爆发的冲击力问题，后来他采用了真空原理来解决这一难题。1876 年，他研制成功第一台单缸、4 冲程煤气机，功率不足 4 马力，整台机件小巧紧凑，工作平稳，热效率提高到 12—14%。

奥托的四冲程内燃机具有很灵活的特性，它不仅外形可随意改变，而且多缸可共用同一根轴做功，在燃料方面也不仅局限于煤气。因此，许多国家都开始生产这种发动机，到 19 世纪末，全世界已拥有 20 万台这种发动机。到 90 年代，输出功率已发展到 200 马力，热效率超过了 20%。

煤气作为内燃机的燃料，存在难贮运、难于控制的弱点，所以很早人们就开始寻找液体燃料以替代煤气。19 世纪 60 年代，开始工业开采石油，最初人们只会利用从石油中提炼出的煤油点灯，而把象汽油这类轻质油处理掉。

1873 年，奥地利人霍克首先发明了一种雾化器，能将煤油与压缩空气通过喷嘴实现雾化混合，然后送入汽缸。同年，美国的布雷顿，发明了一种双缸双动煤油机。

1875 年，奥托—兰根发动机公司的技师迈巴赫在一台奥托发动机上用汽

油作燃料试验。到 80 年代中期，他和戴姆勒发明了第一台汽油发动机，这台发动机附有一个戴姆勒发明的表面汽化器，他们没有采用火花塞装置，而是设计了一种白金管的明火点火装置。靠这一装置，发动机的转速达到每分钟 600—900 转。

1885 年，德国杰出的工程师本茨（1844—1929 年，德国）研制成一台卧式 4 冲程汽油机。他也采用了表面汽化器，并利用废气的热量使汽油汽化。本茨采用了较先进的电火花塞技术，他让感应线圈和蓄电池组成高压系统，实现了发动机汽缸内的高电压火花放电，这种技术既安全又不易调整。

在火车出现后，人们开始努力研制出一种真正取代马车的轻便机动车。

最早的汽车是使用蒸汽机的车辆，1829 年，英国的詹姆斯用蒸汽机制做了一辆不需要铁轨的车辆，这种车一路上发出隆隆的声响，用浓烟污染着环境，而且在后来的使用中事故不断发生。即使是这样，伦敦还在 1883 年开办了公共交通公司，拥有 10 辆蒸汽汽车为市民服务。

内燃机出现后，人们自然想到利用这种轻便的发动机来驱动车辆。1826 英国人塞缪尔·布朗曾建造过一台 4 马力的煤气机，用它驱动过一辆车。1845 年，英国人汤姆逊发明了充汽轮胎，安装在蒸汽汽车上，使噪声大大降低，也改善了汽车的行驶状态。60 年代中期，奥地利的马库斯第一次把一台汽油机安装在一辆手推车上，有人认为这是第一台真正的汽车。

1885 年，本茨研制出一种三轮汽车。这种车使用单缸汽油机驱动，通过一根皮带带动车轮转动，调节皮带的松紧可以起到离合器和变速器的作用。汽车的转向是通过齿轮、齿条机构控制前轮的方向来实现的。这种三轮汽车经过不断改进于 1888 年开始进入市场，很快便受到使用者的欢迎，90 年代开始成批生产。

(3) 船舶革命

海上贸易给欧洲工业国带来了巨大的利益，为了通商需要和争夺海上霸权，西方各国竞相建造船舰，努力发展航海技术。19 世纪后，由于蒸汽机技术日臻完善和钢铁工业的发展，开始了用蒸汽机做船舶动力和用钢铁造船的新时代，从而开始了船舶革命。

1785 年，约翰·菲奇（美国）首先在波托马克河上试验蒸汽轮船，他发明了一种机械桨，由蒸汽机带动划船。次年，英国人威廉赛明顿也建造了两侧有机桨轮的蒸汽船。但他们的发明没有引起重视。

蒸汽轮船在 19 世纪得到迅速发展。1803，欧洲游历的罗伯特·富尔顿（1765—1815 年，美国）见到蒸汽船舶的试验并对此产生了兴趣。是年，他建造了一艘蒸汽船在塞纳河试航，但没有成功，他向拿破仑建议用蒸汽机驱动战舰也未被采纳。1807 年，他回国建成一艘蒸汽船，蒸汽机功率为 20 马力，带动两侧的轮桨。这艘轮船叫“克勒蒙特”号，全长 45 米，宽 4 米，装有高大的烟囱，它的奇特的外形受到看热闹的人们的嘲笑，他们把它叫做“富尔顿傻瓜”号。但是在试航中，它沿哈德逊河逆流而上，32 个小时内航行了 240 公里。试航的成功彻底改变了公众的舆论。从此，在内河航行的轮船迅速地发展起来。同年，美国的约翰·史蒂文森建造了带轮桨的海轮，首次完成了海上试航。1819 年，美国的蒸汽轮船完成了横渡大西洋的航行，但是这艘“萨凡纳”号实质上仍是一条帆船。此后，轮船得到不断改进，到 40 年代，轮船功率已达到 400—700 马力，横渡大西洋已屡见不鲜了。

轮船两侧的轮桨（明轮）机构在使用中很快就暴露了缺点，特别是在有风浪的情况下，两侧轮桨划水的力量常常失去一致性，以致船只很难操纵。到 19 世纪 30 年代，螺旋桨推进器发明后，明轮便渐渐被淘汰了。

最早的螺旋桨推进器试验始于 18 世纪末，最初的螺旋桨进器很可能受到阿基米德螺旋汲水器的影响，都做成一根很长的螺旋形杆。1829 年，澳大利亚的约瑟夫·莱塞尔等人就做过类似的工作。但他们都没有获得成功。

1837 年，英国海军部以 2 万镑奖金悬赏替代明轮的推进方案，结果有两位发明家获奖。一位是瑞典发明家约翰·埃立克，他发明的螺旋桨推进器是由二个转动方向相反的螺旋桨组成，结果证明这一推进器可以使船快速行进，但海军部却并不满意。另一位发明家史密斯（1808—1874，英国）。史密斯最初的方案是用一根象巨型木螺钉似的锥形螺旋桨做推进器，在伦敦附近的一条河上进行反复试验的过程中，这个木制锥形螺旋桨因受力太大突然折断，出人意料的是轮船反而因此走得更快了。史密斯由此悟出长螺旋桨并不适合做推进器，他把方案改为带有二个桨叶的螺旋桨，结果它的推进性能优良，试验船的平均时速达到 15 公里。这一方案得到英国海军的认可，并为当时最大的蒸汽机船“大不列颠号”采用。

螺旋桨问世后，由于当时蒸汽机转速太低，不适合螺旋桨运动的要求，另外螺旋桨的防水密封轴承也不易解决。因此，对螺旋桨的使用存在着很大争议，一些大型海船为了可靠，往往风帆、明轮、螺旋桨同时采用。1845 年，英国海军部举行了一次别开生面的试验，他们让两艘吨位相同（800 吨），蒸汽机功率（200 马力）相同的军舰做拔河比赛，其中“阿莱克脱”号安装明轮而“拉脱拉”号安装螺旋桨。比赛开始，双方开足马力各向相反方向拉对方，结果，安装螺旋桨的“拉脱拉”号牵着对手，以每小时 5 公里速度前进。此后，明轮和螺旋桨还有过多次“交锋”，人们终于确认螺旋桨是一种更优越的推进器。

19 世纪 20 年代，由于发明了可爆炸的炮弹，各国战舰纷纷在船舰外层包裹上铁甲，另一方面远洋轮船的吨位日渐庞大，木材很难满足强度的要求，于是造船工程师开始探索使用金属材料代替木材造船。

1818 年，英国首先建成一艘铁壳驳船，打消了人们担心浮力不够的疑虑。3 年后，第一艘全部用铁造的蒸汽船建成，并完成了横渡英吉利海峡的航行。1843 年，完全用铁建造、安装了螺旋桨的“大不列颠”号蒸汽船下水。经过长期考验，人们开始确信铁船的优越性。到 60 年代铁船的成本与木船已相差无几，但当时钢的冶炼技术尚不完善，钢材不是太软就是太脆，不宜用于造船。70 年代后，由于平炉炼钢法可以提供大量优质钢材，从而使钢材在造船中逐步取代铁。1877 年，钢质船壳的“爱丽丝”号下水，它标志着钢材造船的新纪元。钢制船壳仅是铁壳船厚度的 $\frac{4}{5}$ ，用钢造船不仅节省材料、减少了工时，还提高了船只的强度。

到 1875 年，蒸汽机由于应用了多级膨胀技术，功率达到一万马力以上，每马力耗煤量节省一半，19 世纪末，由于内燃机和汽轮机开始在船舶上应用，使船舶革命自此进入了新阶段。

2. 机械制造技术的进步

(1) 车床的改进

亨利·莫斯莱(1771—1831年,英国)在机械加工工艺及车床制造方面做出了杰出的贡献,他为英国培养出了一代杰出的机械工程师,因而被誉为英国“机床之父”。1800年,他制成一台小型的螺纹车床,最终加工成长2米、偏差仅有1.6毫米的黄铜丝杠,使用这样一根精密的丝杠可以制造更精密的车床。这样到1810年,他终于研制出了优秀的车床。莫斯莱经过前后几十年的努力,终于使车床成为商品广泛出售,这种车床是全金属的,刀架沿丝杠给进,还装有可变换齿轮的分度盘。由于这台车床的刀具由手动变为机械给进,使螺纹的加工更精密;变换齿轮可以改变丝杠和工件的转速,因而能生产出不同螺距的螺纹。他还将刀架加宽,提高了强度。稍后,又发明了装有螺钉的卡盘,使工件装御十分方便。莫斯莱的车床已具有现代车床的基本结构,特别是用齿轮实现变速的思想,对所有种类的机床的发展都起了巨大的作用,直到今天这类装置仍为多数机床采用。

莫斯莱的弟子惠梯沃斯(1803—1887年,英国)也是一位杰出的机床设计师。他为了制造“真正的金属平面”,发明了刮刀刮研的方法,这种方法至今仍用于精密机床制造,他在长期的机械加工工作中认识到,绝对精确是任何人做不到的。他于是提出以允许误差的概念来替代纯粹的绝对精确的思想,从而使加工和测量发生了革命性的变化。

他还提出了“端面系统”测量的概念和方法,采用端面块规作精密测量。1855年,他研制出测长机,使测量精度达到百万分之一,这一成就使他成为现代精密测量和加工技术的奠基人。

在机床结构上他发明了光杆和导轨,采用对开螺母与丝杆啮合的方法设计出新的给进、离合结构;为了使滑板手动快速返回,他又改进设计使丝杠起了齿条的作用。

在车床床身制造工艺上,他提出铸造空箱体和小件拼铸大件的方法,从而减小了铸件的变形,保证了铸件的质量。

1855年,美国人斯顿发明了转台车床,他借助于军舰炮台转台的原理,在刀架上装有几种刀具,使原来每一道工序更换一次刀具的过程,变成只要转动一次刀具转台就行了。

从1850年起,机械制造业转入兴盛时期。为了完成大批量零件的生产、加工和装配,人们对加工工艺、工具作了更广泛深入的研究。

1851年,考克夸尔海特(法国)测量了钻削时切除单位体积金属需做的功。此后,人们开始研究切削的机制,直到90年代才逐步形成了切削理论。为了提高刀具的质量,马谢特(1811—1891年)发现工具钢中适当加入锰、钒、钨等元素可以得到高速工具钢。20世纪初,人们才确定了高速钢的最佳的组份。

与此同时,测量仪器也有显著进步。1851年,机械师布朗(1810—1816年,美国)发明了游标卡尺,精度达到0.025毫米。游标卡尺的出现是测量仪器的重大突破,它对简化测量程序、提高产品精度、发展互换式生产方法有着重大意义。1867年,布朗又发明了三角厚板测量器,1877年,制成了量程是1英寸的千分尺。

(2) 刨床、铣床、磨床及特殊机床

莫斯莱的车床不能完全满足19世纪初蒸汽机和纺织机械的加工需要,那时许多零件仍靠手工生产。19世纪50年代后,随着生产的发展,各种机械

产品的品种和产量增加很快，这促使人们去研制适应生产特殊要求的机床，这一时期出现了刨、铣、钻、磨以及一些专用机床都相继出现了。

1818年，英国技师惠特尼(1765—1825年)为制造枪械发明了一种机床，它借助刀具作旋转切削，而不是象普通车床那样，刀具作给进切削，工件作旋转运动。英国人把这种机床取名叫铣床。由于铣床复杂，成本高，很长时期在英国得不到推广。1829年，在英国还出现了专做六角螺母的铣床。但是，铣床在美国受到了重视。1862年，美国人布朗发明了万能铣床，其特点在于有一个能上、下、左、右移动的工作台，滑板和旋转支架，可以使工件做各种运动。这样一台铣床不仅可以加工形状复杂的麻花钻，还可以为齿轮及各种形状的工件加工。万能铣床的出现立即引起了轰动。同年，贝曼特研制出垂直靠模铣床，可以完成复杂沟槽和断面的加工，它特别适合锻模模具的刻模工作。仿型铣也是铣床的重要发展。

铣床的发展对齿轮的生产和质量提出了更高要求，剑桥大学教授R.维利斯(1800—1875年，英国)创造了渐开线齿轮理论。1854年，布朗发明了一种制造渐开线齿轮的专用刀具，自此实现了新齿轮的批量生产，并淘汰了摆线齿轮。80年代末，出现了滚齿机，成为加工齿轮的专用高效机床。

1814—1825年，英国的技师洛巴次和库列门托等人模仿木工刨平木材的动作，首先研制刨床。由于金属比木材坚韧，刨床的刨刀必须更窄，并保持在一个平面上切削。1825年，他们制造出一台原始的刨床，刨刀是通过链条借助人力做切削运动的。1839年，英国一位叫霍特玛的技师对刨床作了重要改进，他以蒸汽机为动力推动刨刀往复运动，这一发明使刨床与车床都成为当时的主要工作母机。

在刨床的基础上，又发展出使刀具上下运动的插床和专打异形孔的拉床。

在金属上打孔的钻床也在这一时期发明了。

1864年，为了加工经淬火后变得极硬的工件，有人将砂轮装在小车床的刀架上，加上纵向给进和返回装置，便研制成一种外圆磨床。1867年，布朗发明了研磨内孔的万能磨床。这种磨床是将工件固定在转盘和尾座之间的工作台上，工作台做左右移动，砂轮轴与工作台作垂直移动并完成研磨。工作台的导轨面结构还注意到防止砂粒和切削物落入。一般认为这是第一台真正的磨床。

自动车床的诞生是和六角车床的研制分不开的。所谓六角车床是在车床上装有8把切削刀具的转台，依靠转台的转动使车刀轮流进入切削位置工作的。

1845年，史蒂芬·费奇(美国)同时制成垂直式和水平式六角车床各一台。此后，六角机床不断得到改进，转台的动作逐步实现了自动换刀的进给运动，终于发展成自动机床。50年代，美国的机床设计师斯潘塞设计了一种生产螺丝的自动车床，这台车床上有一个带有凸体的圆筒，刀具和转塔的运动靠凸体调节，将工件加工成螺丝，人们称之为“智能滚筒”。1861年，他又设计了一种可以自动装卸工件的机床。在90年代，自动车床取得了更大进展。

(3) 农业机械

19世纪后，资本主义方式开始改变了农业长期缓慢发展的局面，在欧美

兴起的农业资本主义从各个方面改造了传统的小农经济，新兴的资本主义的农场主们为了在商品市场的竞争中取胜，他们以前所未有的热情改良农业机械，实行先进的耕作方法。从而大大促进了农业机械的发展。

镰刀是全世界农民长期使用过的收割工具，但工效不高。19世纪初，有人提出用一种类似剪刀的工具去剪断作物的杆茎。1828年，英国人贝尔发明了一种收割机，收割机上的剪切装置可以连续不断地剪割庄稼。在当时，美国的小麦产区因地广人稀急需各种高效率的农业机械。这一发明便引起了两位美国人的注意，其中的一人叫麦考米克（1809—1884年，美国）。1833年，他在黑人安达逊的协助下发明了一种新型的收割机，这种收割机在马的牵引下，一面收割，一面能够整理割好的麦子并堆放在后面的工作台上。由跟在后面的工人捆好。它的收割速度比用镰刀快6倍。另一位叫霍生的美国人也在同时期制造出性能相近的收割机。二人同时建厂生产各自发明的收割机，双方竞争激烈。1858年，麦考米克改进了他的收割机，使它能够自动把麦子收拢起来。后来，经其它人不断改进终于创造了打捆机。马拉收割机在美国极受欢迎，到南北战争结束时，麦考米克已成了最大的收割机制造商。

脱粒机原是在18世纪由英国人发明的。英国人用水力带动它工作。后来，有人在这种脱粒机上装上风车，以便把麦粒和麦壳分开。当这种脱粒要传入美国后，美国发明家就考虑如何把已有的收割机、打捆机与脱粒机组合在一起工作，构成联合收割机，即“康拜因”收割机。第一台联合收割机是由一位叫恰奇的美国人发明的，但其缺点很多，达不到实用的要求。后来几经改进终于成功，由20多匹马牵引进行收割和脱粒、袋装等工作。到1860年发明了由蒸汽机带动的“康拜因”。

在18世纪，英国已有了马拉播种机的设想，但没有研制成功。1841年，美国人吉本斯和诺贝尔林兄弟终于分别研制成播种机。1864年，德国人萨克解决了播种不均匀的问题，他发明了通过人手控制播种的机械，使播种机达到实用阶段。

拖拉机的出现要稍晚于上述农业机械。1854年，英国的法拉斯和史密斯考虑使用蒸汽动力牵引犁耕作，因为蒸汽机太重，会压实土壤，他们把蒸汽机放在田边，牵引很长的钢缆去犁地。1858年，美国人福克斯发明了用于耕作的蒸汽拖拉机，这台拖拉机能拖带8个铧犁以每小时约5公里的速度开垦荒地。1873年，美国的帕尔文为了减小蒸汽机对地面的压力，首创了履带式蒸汽拖拉机。

蒸汽拖拉机很快就暴露了固有的缺点，主要是自身笨重，速度缓慢，因此不能完全取代牲畜。1889年，美国开始把单缸汽油机放在一台拖拉机的底盘上制成了首台内燃机驱动的拖拉机。到本世纪初内燃机驱动的拖拉机已基本取代了蒸汽拖拉机。

(4) 轻纺机械

18世纪，纺织机械已取得了很大的进展。进入19世纪，当时先进的爱子纺纱机已具有900个锭子。1828年，有人发明了环式纺纱机。使转速达到每分钟1万转，从此逐渐代替了爱子纺纱机。

19世纪初，美国在南方大量植棉，不久其产量便超过印度，占世界总产棉量的90%，堆积如山的棉花急待加工，这样促使轧棉机的诞生。机械工程师惠特尼发明了一种带齿的圆筒可以把棉籽从棉桃上剥下，然后用其它装置

把棉花纤维收集起来，这台轧棉机用水车驱动，可以代替 100 个黑人奴隶的劳动，因此很快便推广开来。

1822 年，杰出的发明家罗伯特(英国)发明了以蒸汽机为动力的织布机。这台机器采用了当时先进的齿轮传动系统，在投梭机构中采用由偏心轮、操纵杆等构成的系统，使织布机可以连续生产。1825 年，罗伯特织布机经法国传到欧洲大陆，经拉姆斯保托姆和霍尔特改进，增加了伸幅器，使织布机可以拉紧布幅宽度。后来，肯沃兹和布劳夫发明了自动停机机构，使机械织布机更加完善。

当时的织机只能织平纹布，如果织斜纹布和其它带花纹的布还要靠手工提纱。1820 年包曼在动力织机上实现了机械提纱。

1838 年，乌德克雷福特使机械织机可以用两个或多个梭子，他在织机上增加了可以升降的梭座，梭座上装有 2 至 4 个梭箱，从此织机可以织出多种颜色的格子布。

针织机在 1849 年经美国人达鸟森德改进，使之达到能模仿人手进行编织。1864 年，美国人威廉·高顿对针织机作了进一步改进，使当时织袜子可以同时织 24 双袜子。

缝纫机直到 30 年代才由法国人契莫涅研制成功，其速度比手工缝纫快 10 倍。1834 年，发明家汉特发明了针尖带孔，用二条线进行缝纫的机器。到 19 世纪后半期，经多次改善才出现了工业用的较完善的缝纫机。

纺织机械的不断进步，使英国的棉纺工业飞速发展，到 1850 年，英国的棉纺织业生产量已占全世界的 50%，这一优势一直保持到本世纪初。

19 世纪的印刷机械也有了长足的进步。1800 年，英国的斯坦霍普发明了印刷机，印刷机用铁制成，印刷的压力大，速度快，此后，印刷机不断得到改进，但是这些印刷机都是平压式的，即压板把纸张平压在活字版上，使印刷速度受到限制。还在 1790 年就有人提出另一种印刷机的设计思想，即让压版做转动，使活字板不断受压同时又不断得到解脱，但这一设计并没有实现。英国发明家尼尔森借鉴滚筒式印花机的技术，试图完成旋转印刷机的研制，但他后来陷于穷困，最后死在狱中。德国人凯尼希承继了这一事业，终于在 1812 年制成了一台旋转印刷机。这项发明立即为泰晤士报采用，在蒸汽机带动下，旋转印刷机达到每小时印刷 1500 张报纸的速度，在当时这是空前的纪录。不久，美国人把单旋转式印刷机改造成双旋转式，每小时可印报纸 2400 张，但是这仍然没有满足市场对印刷速度的要求，为了进一步提高印刷速度，有人想到应当把活字板也改造成圆筒形。但是把铅字排在圆筒上并随之旋转是很难办到的。1860 年，终于有人想到在活版上先做纸型，然后在纸型上浇注熔化的铅，这样就能做成圆筒形的铅字版。8 年后，圆筒铅版印刷机得到巨大成功，欧、美各报社都订购了这种新式印刷机，它能每小时印刷报纸 1 万至 1 万 2 千张。

十二、近代建筑和冶金工程

1. 建筑材料的革命

还在古希腊和古罗马时代，就发现火山灰磨细后与石灰、砂子混合可以作为建筑上的粘合材料，这其实就是一种不经人工烧结的水泥。罗马人用这种水泥建造了许多水下工程。

18世纪中，工程师斯密顿（英国）在建筑灯塔的工程中，发现凡是质量较好的砂浆和石灰石中都含有一定成分的粘土。这一发现引起法国土木工程师的关注，1813年，法国技师毕加把粘土与石灰按3:1混合，经过煅烧就能制成一种水硬性石灰，是很好的建筑粘合剂。

1824年，英国工匠阿斯普丁（1779—1885年）在毕加的基础上继续研究，他把石灰石与粘土按3:1混合，加水研成的浆料，再把这种干结的混合物研成细粉并置于立窑中煅烧，煅烧后再经研磨成细粉。他把这种新式粘合剂定名为“硅酸盐水泥”，水泥发明后，它的优良性能立即引起土木工程师和工匠们的高度重视，一些国家相继设立工厂，成批量的生产水泥，后来又制定了水泥产品的质量标准。

1877年，英国人克兰普顿发明了回转炉。1885年，英国第一座用大型转窑生产水泥的工厂建成，从此为水泥连续化生产奠定了基础。

水泥的出现使得混凝土构筑建筑的方法得到进一步的发展。19世纪60年代，巴黎花匠蒙涅（法国）研究用水泥浇制花盆的方法，但是水泥砂子的混合物干后怕震易裂，他便事先用铁丝做成架子，然后再浇上水泥和砂浆的混合物，就做成了一个不错的花盆。1867年，他取得了发明专利。蒙涅想推广他的专利方法，便想到是否可以在混凝土的建筑中加入铁丝网，以增加混凝土的强度。于是他建成了一堵内有钢丝网的水泥墙，这是最早的钢筋混凝土建筑。由于这种建筑物具有混凝土的抗压性能和钢筋的抗拉性能，同时还有抗火、抗腐蚀的性能，因而倍受建筑业的青睐。不久就用它制成了台阶、桥梁及各种建筑物，逐渐发展成钢筋混凝土建筑技术。

德国工程师怀特是最先系统研究混凝土特性的学者。他作了各种试验，测量了钢筋混凝土的材料特性，还做过相应的材料力学计算，最后形成了钢筋混凝土的理论。怀特购买了蒙涅的专利，并继续研究出一种更好的钢筋混凝土工艺。

1888年，在美国产生了预应力钢筋混凝土技术，这种技术能抵消混凝土在负载时所产生的一部分抗应力，因而进一步提高了抗拉能力。到90年代，出现了钢筋混凝土的住宅楼。

水泥、钢筋混凝土以及钢材在建筑工程中的广泛应用，彻底改变了建筑工程使用木材、砖石、石灰的长期停滞局面。它使19世纪末的建筑向着高层、大跨度、复杂结构的方向发展。

2. 建筑结构的发展趋势

19世纪，由于钢材用于建筑业，使工程师能把钢铁构件与玻璃相结合，产生了一批高大敞亮的建筑。1833年，巴黎建成了一座完全用铁架和玻璃构成的植物温室。1851年，在伦敦海德公园内为世界博览会建成一座展览厅，

该厅是一座长 1851 英尺，宽 456 英尺，高 66 英尺的钢铁、玻璃结构的建筑，仅玻璃就用去了 30 万块。整个大厅通体透明，它的各个面只显示出钢架和玻璃而没有任何其余的装饰，因而命名“水晶宫”。“水晶宫”的施工采用了预制构件和现场装配的建筑方法，连同它的新颖的构思，开创了建筑形式的新纪元。

美国在 19 世纪发展了框架结构，从 1850 年到 1880 年是美国的“生铁时代”，用生铁框架代替了承重墙，一些公共建筑、仓库、办公楼多用生铁构架做门面或框架。到 90 年代，法国首先建成了钢筋混凝土框架结构的教堂。

钢铁和混凝土材料使高层建筑成为可能，19 世纪高层建筑的代表是法国的埃菲尔铁塔，铁塔高 328 米，建成于 1889 年。限制高层建筑的另一个因素是垂直交通不方便。1854 年，美国人奥蒂斯发明了带安全装置的升降机，使用蒸汽做动力。1878 年，又出现了高速水压动力升降机，速度为每分钟 180—240 米。到 1889 年，纽约才出现了电动升降机。升降机的发明为 90 年代出现 10 层以上高楼创造了条件。

3. 桥梁与隧道工程

由于铁路建设的发展需要和钢铁工业的发展，在 19 世纪 40 年代后出现了以钢桥代替石桥的趋势。

1847 年，美国的惠普尔发明了桁架结构的桥梁构架方法。桁架结构原是古代木匠建筑房屋时广泛采用的结构方法。惠普尔为了将这一古老的方法移植到桥梁建筑中，发展了一种关于力的承受方式和材料强度计算的科学方法，使钢桥的设计和施工更加合理。

钢桥代替石桥后，由于钢材的优良性能，使桥的跨距越来越大，这样桥墩相对减少，使桥的造价不断下降。为了充分发挥钢桥跨距大的优点，有人发明了钢制吊桥。1850 年，美国工程师特尔福特在梅奈海峡建成一座钢吊桥，跨距达到 200 米。同年，罗伯特·斯蒂芬也在梅奈海峡建成一座布里塔尼亚桥，他把钢材交叉成箱形，连接成长长的涵管形状。1869 年，基弗在著名的尼亚加拉瀑布上架设吊桥，跨距达到 400 米。

隧道工程也随着铁路建设而兴起。

1818 年，英国的布鲁纳发明了挖掘隧道的盾构方法。这是一种全新的创造，它是在挖掘过程中把坚固的圆铁筒沉在地下，利用水力使之旋转，并在挖掘中水平前进。圆筒的前端有开口，工人在这里操纵挖掘机进行挖掘工作。由于圆筒支撑着隧道的顶部，可以保护工人不受塌方伤害。这一方法据说是从蛀虫打洞得到的启示。盾构法是一种安全有效的掘进方法，它在隧道工程中发挥了巨大的作用。

1830 年，乔治·斯蒂芬逊在利物浦打算修铁路的意图受阻，便决定在该市的地下挖铁路隧道。他的这一创意使人们找到在城市中修铁路的方法，从而导致 19 世纪后半叶开展了伦敦地下铁路工程，在这些工程中盾构法起了很大的作用。1842 年，用盾构法挖通了泰晤士河的河底隧道。

1830 年还产生了一种压缩空气隧道施工方法。当隧道在开掘过程中有时会遇到有水喷出的情形，此时若向隧道中输送 2—3 个大气压的空气就可以防止冒水。1876 年，美国哈德逊河道在施工中就是使用这一方法，有效地防止了冒水的事故。后来，英国人格雷特赫德把盾构法和压汽法结合起来，发展

成一种更安全的隧道施工方法。

4. 转炉炼钢的诞生

18 世纪，由于使用焦炭作为冶金的燃料，同时又发展了功率强大的鼓风机，在英国以至欧洲大陆出现了大规模的钢铁和机械加工企业。但在 19 世纪的前半期，钢主要是用掺碳和坩埚两种方法生产，因此无论是产量或是质量都受到局限。英国当时是主要产钢国，1850 年，它的生铁年产达到 250 万吨，而钢产量只有 6 万吨。这种局面在转炉炼钢和平炉炼钢法诞生之后，得到彻底改变。钢在 19 世纪下半叶可以大量生产，逐渐代替了熟铁。

18 世纪时人们已经懂得，一块海棉铁放入反射炉中加热，由于生铁中的碳和硅在高温下被空气氧化，其韧性可以得到显著提高。但是 19 世纪中期转炉炼钢法的创造却是从一件偶然的事件开端的。

贝塞麦（1813—1898 年，英国）是一位很有才干的发明家。他在研制有来复线的的炮膛过程中，因铸铁质量不好，发生过炮身炸裂炮手炸死的事故，这件事促使他下决心炼制一种耐高压的铁。一次，当他加大风压吹炼生铁时，发现在风口处有一块未熔的生铁块，明显地表现出高温脱碳的一些特征。这启发他试验用的强风吹铁除去碳的冶炼方法。在试验中他又发现除碳的过程并不需要燃料，只要二次强制吹风，就会由于杂质燃烧出现自然增温，从而使铁水脱碳转化为钢。

1856 年，他在伦敦自己的工厂中，建立了一座固定式熔炉，用 6 个风口从底部送风一次能炼 350 公斤铸铁，结果使人确信这是一种高效的、冶炼纯净铁或钢的方法。同年，他发表了题为“不同燃料制造熟铁和钢的方法”的论文。随后，他设计制造了一种容量为 5 吨的、可倾斜的转炉。转炉炼钢只要 10 分钟就可以把 10 吨左右的铁水炼成熟铁或钢，而用搅拌法则需要几天，木炭炉甚至需要几个月，转炉的高效率震惊了世界冶金业。

但是在进一步推广中，却证明了贝塞麦的转炉根本无法使用，其原因是当时的生铁多含硫、磷，而贝塞麦侥幸地使用了低磷、低硫的生铁试验，才得以成功，但贝塞麦并不知道这一点，他因此被人嘲笑，视为骗子。

1858 年，冶金学家盖兰逊（瑞典）发现恰当地控制停风就能保持钢中的含碳量，发明了碳的快速分析法，随时可以分析出炉中的铁的含碳量，从而保证了转炉炼钢的质量。同年，瑞典引进了转炉的炼钢法获得成功。后来冶金学家马谢特（1811—1891 年）针对转炉钢过分氧化，质地疏松的弱点，加入一种含锰量较高的铁，使钢中的氧和硫的含量下降，并调整了钢中的碳成分，使钢锭坚实而光滑。但钢中含磷的弱点长期没有解决。

1864 年，美国引进转炉炼钢，这是因为美国的铁矿含磷、含硫量低，结果证明转炉方法很成功，于是这种快速炼钢方法在美国得到大规模的推广。

5. 平炉炼钢技术

当贝塞麦在伦敦研究转炉炼钢时，威廉·西门子（1823—1883 年，英国）和弗得里希·西门子兄弟从德国迁居英国。1846 年起，他们开始研究一种改进搅拌炉热效率的方法。1856 年，他们利用废气的余热给蓄热炉加热，再把热传递给空气和燃料，结果冶金炉产生了极高的温度，甚至将试验用的坩埚

也熔化掉了。后来，他们将这一专利用在玻璃熔化技术和炼钢炉上，以节约燃料。

1857年，他们的助手柯柏提出用这一方法加热和熔化金属。1860年，预热温度已达到620℃。1861年，西门子发明了煤气发生器，建造了一个煤气和空气进行热交换的预热炉，用发生煤气熔化金属钢料，同时对炉体结构也作了改进，防止炉体因高温熔化。这些措施虽然节约了燃料，但并未彻底代替搅拌炉。

西门子的工作在英国并未受到重视，却引起了法国冶金专家马丁（1824—1915年，法国）父子的关注。1863年，他们发明了一种新型蓄热炉，利用生铁和废钢做原料在平炉上炼钢成功。后来，西门子又在高温操作中加入矿石，使之与碳、硅发生氧化，从而使平炉炼钢工艺完善。两年后，西门子兄弟与马丁父子达成协议，把这种炼钢法取名叫“西门子—马丁平炉炼钢法”。1867年，平炉炼钢法获巴黎万国博览会奖金。

平炉炼钢法是先使燃料燃烧，然后让炉内的空气预热达到高温，再把高温气体吹入熔炼室使生铁中的杂质氧化，只要预先调整好生铁和废钢的比例，就可以改变钢的含碳量。因此，这是一种经济实用的炼钢方法，受到各国的重视，发展很快。第一座平炉只有1.5吨，后来逐渐发展到4吨、50吨、100吨。1868年，美国引进了该项技术。1870年，俄国也引进了该项技术。到19世纪末，平炉炼钢超过了转炉炼钢，成为当时首屈一指的炼钢技术。

不论是西门子平炉炼钢还是贝塞麦的转炉炼钢，都必须配以酸性炉渣，否则易使炉壁腐蚀。但是酸性炉渣不能除去钢中的高磷、高硫杂质，使钢的质量受到影响，这一难题困扰着当时的冶金学家和化学家。1877年至1878年，托马斯（1850—1885年，英国）证明用碱性炉衬和碱性石灰石熔剂可以除去生铁中的磷。他后来找到一种镁矿石作炉衬，能经受碱性炉渣的侵蚀。1879年，他的方法在大型平炉上试验成功，到80年代在欧洲迅速得到推广。

转炉和平炉炼钢法的逐步改善，大大推动了19世纪钢的产量。1870年，世界钢产量只有50万吨，20年后，钢产量竟提高到2800万吨，平均年增长率为28%，增长速度之快是前所罕见的。

6. 电炉及轧钢技术

由于普通的碳素钢的性能不能尽如人意，人们就在炼钢过程中加入一些少量的特殊元素，例如铬、镍、锰、钨等金属，就能得到具有某种独特性能的合金钢。最早研究合金钢的是法拉弟，但主要的发明者是马谢特、海德费尔德（英国）和约翰·费西尔（瑞士）。

1863年，马谢特用镜铁、铸铁、三氧化钨和沥青的混合物制造可以锻造的合金钢，其耐用程度为碳素钢的两倍，可用来制造切削刀具，他后来把这种钢命名叫玛谢特钢。后来，海德费尔德将这种钢中锰含量增加到12—13%，在1000℃下淬火处理，得到一种极硬的钢，这种12.5Mn—1.2C钢用于高度耐磨的零件，成为合金钢史上的里程碑。

1824~1825年，费西尔在瑞士生产由法拉弟研制的镍合金钢。到1889年，雷利在钢中加入不同比例的镍，得到镍钢系列，其中当镍达到4.7%时强度最高，延伸率最小。后来在英国又发展了镍—铬不锈钢系列。

合金钢的熔炼要求很严格的工艺条件，当时都用小型电炉熔炼。1878—

1879年，西门子开始制造一种新式电炉。这种电炉具有可调节电弧距离的装置；同时把电极做成中空的，以便在熔炼中导入其它气体。

1887年，德法兰梯在电炉中引入高频交流电，借助线圈在炉内产生涡流，这种方法是利用电磁感应方法给炉料加热，因而取消了电极，后来叫高频电炉。至此，各类型的炼钢炉已大体形成。

钢铁的大量生产，带动了钢材轧制技术的革命性变化。19世纪初，已出现了用蒸汽机带动的单向双辊轧机。1866年，英国有人创造了逆式轧机；加热后的工件可以来回在三辊间往返轧制。后来又增加了连续轧辊和一系列支持辊，以减少尺寸和压力。

1865年，巴哈·曼勒斯曼（德国）发明了轧制无缝钢管的工艺和设备，它包括两个转向相反的彼此成角度的轧辊和一个烧热的金属圆杆。彼此倾斜的轧辊使工件产生向外张开的力，热的圆杆从工件的中央的裂缝中进入，使它从中劈开，形成无缝钢管。无缝钢管的诞生填补了钢材加工的一个空白，在当时引起过轰动。

19世纪末，钢铁工业的冶炼、轧制技术已初具规模，为现代钢铁工业的大发展奠定了基础。

十三、近代（1840—1910年）东方科技发展概况

1. 日本的兰学和“锁国”与“开国”之争

1633年，江户幕府首次发布了锁国令，宣布取缔天主教，严禁日本人同西方各国贸易，到1639年为止，先后共发布过5次锁国令，自此确立了严密的锁国体制。从1639年算起，到1853年宣布开国为止，前后历时214年。

锁国使日本人完全断绝了同葡萄牙人的交往，唯独荷兰人可以来往于长崎，但仅限于在幕府监督下从事贸易活动，在1630年日本曾制定过最早的禁书令，所规定的禁书是从中国传入的“欧罗巴人利玛窦等人之作叁拾贰种，以及邪宗门教化之书”，这些书多与天主教义有关。这一禁令后来也适用于荷兰，但是并非一切西方书籍都在禁止之列，荷兰的商馆馆长曾在1641年通告说：“凡印刷之书籍，除有关医药、外科、航海之类而外，不得携入日本。”可见，幕府的禁书制度从一开始就不排斥西方科学的传入。

禁书令在17世纪未曾一度走向极端，但到18世纪初，德川吉宗执政（1716年）后又渐趋开明，倡导殖产兴业、奖励学术、放松禁书、提倡学荷兰语。历史上称这为“享保改革”时期。当时日本人学习西方科学主要有两条途径，一条是从开禁后由中国传入的西方译作，间接了解西方的科技成就，一条是通过荷兰商人输入的科技产品和书籍，直接了解。吉宗本人时常召见荷兰人，对他们贡献的天体观测器、望远镜、武器、钟表、地图、医学书籍等都很喜爱。在这样的背景下，日本产生了兰学。

所谓兰学，原义是指“荷兰的学问”，但其实它并没有囊括与荷兰有关的一切知识，而只是借助荷兰语研究西方近代科学文化知识，包括医学、天文、物理、化学、生物学、地理及炮术等许多方面。

兰学在长期的发展中形成了3个流派：译家、医家和杂家。译家主要活动在长崎，他们掌握了荷兰语，因而较早地了解 and 介绍西方科技成就，他们对荷兰语本身做过一定研究，为兰学各派提供字典、语法等工具书籍。在兰学的形成中，《解体新书》的翻译和出版是一个重要转折，在此之前兰学的翻译活动多是根据洋人口述予以笔录整理。《解体新书》是德国人库勒穆斯（1689—1745年）写的一本解剖学著作，在杉田玄白医生的主持下，几位日本医生用了4年时间，将这一著作由荷兰语译成日本学术界通行的中文。这部著作的出现意味着医学已经成为日本近代科学的带头学科，日本受这部著作的影响，逐步实现了从传统医学向近代医学的转变，同时还带动了日本的物理、化学、生物学科的相续转变。此书出版后，一些出身于幕府的侍医和各藩的藩医，以江户为活动中心，形成了兰学的一个派别，叫医学。1823年，德国医生西博尔德（1796—1866年）来日本工作，他在日本开办学校，讲授医学和各种自然科学知识，把近代科学知识、科学的思维方式和实验观察方法传授给日本学生，使一批日本学者第一次亲身体会到近代科学的精髓，于是在西博尔德门下形成了一派兰学，叫杂家。杂家不仅掌握近代自然科学的思想和方法，而且受西方政治思想的影响，最终成为变革日本社会的一支革命力量。

1840年中国在鸦片战争中失败的消息，震动了日本的朝野人士，幕府的上层统治者也产生了一种危机感。还在1732年10月，俄国使节拉克斯曼曾闯入北海道根室，要求日本开港通商，幕府便动员南部各藩的兵力阻挡俄国

的威胁。这种做法立即受到改革派的反对，其代表者著名兰学家本多利明主张只有兴殖产业，发展贸易才是保国的根本，只知道以武力去抵挡欧美的殖民政策的做法是愚蠢的。他实质上主张的是相对开放的政策，后来成为日本富国强兵的思想渊源。1808年，英国军舰入侵长崎并袭击了荷兰商馆，俄国加紧了对日本北方的骚扰。但幕府坚持闭关锁国，认定“祖宗之法不可改”，1825年，幕府发出“无二念”驱逐令，坚持打击试图靠近日本的西洋船只。

幕府为了强化锁国体制，还加紧对兰学的控制，终于在1838年发生了“蛮社之狱”。蛮社是一批兰学家发起的学术集团，参加者不仅有知识分子和下级武士，还有不少幕臣和藩士，都是属于幕府内的开明官僚。蛮社的存在被守旧派视为眼中钉，当开明派和守旧派就江户湾的海防问题发生争论时，幕府就借故把他们逮捕，蛮社的领袖渡边华山和高野长英也先后自杀。但幕府却没有取缔兰学，因为2年后的鸦片战争使统治者意识到必须重新调整国策，以免重蹈中国的覆辙。各藩国的统治者于是纷纷启用兰学家，去研究炮术、改革军事，这期间有关军事的科学著作也出版了许多种。与此同时和军事相关的工程技术也有发展，例如1851年萨摩城建造了一座制炼所，专事化学药品制造、金属分析等研究；1853年又建成一座反射式炼钢炉；1855年建造了4艘帆船军舰；创办了包括玻璃、陶器、纺织等项的综合企业，取名集成馆。但是这一切并没有彻底解决“锁国”与“开国”之争。

1853年，美国东印度洋舰队的4艘蒸汽军舰闯入江户湾，强迫幕府接受美国总统要求日本开国的国书，否则便诉诸武力。1854年，日本在横滨被迫签订了丧权辱国的神奈川条约。随后，荷、俄、英、法、德也同日本签订了同样的不平等条约。西方殖民者的入侵，不仅加速了日本封建经济的解体，使日本陷入了严重的经济危机，还从根本上动摇了幕府的统治地位。

在这样的危急形势下，幕府内的各派都认为必须施行改革，其中的一项措施就是扩充兰学译局，成为一所独立的洋学研究及教育机构。这样，在1854年着手筹建洋学所，1856年初步建成，改名叫蕃书调所。蕃书调所的任务一方面是收集翻译西方各国文献、研究海外情报，供幕府参考，另一方面是培养懂外语、通晓西方科技的人材。蕃书所的学生是从应募者中选拔出来的，人数很快超过了3百人。1863年蕃书所改名为开成所，已开设了5种外语和9门科技课程，从引进西方科技发展到了自己研制的阶段。

2. 清王朝闭关自守政策的破产和早期的改良主义

正当西方产业革命和科学技术以前所未有的速度迅猛前进的时候，清王朝于雍正时起重新实行海禁，执行闭关自守的错误政策，特别是自1723年到1840年的百余年间完全中止了与西方科技的交往。

重新闭关之后，中国的科技发展与西学初传入时期又有不同，一方面清初的文字狱使知识分子受到很大束缚，另一方面乾隆、嘉庆年间开设四库全书馆，集中3百多位专家对古籍校勘注释，于是考证学大兴，形成所谓乾嘉学派。乾嘉学者精于考证，成绩斐然。但是这一学派成为清朝的学术主体，使学风脱离实际，脱离对自然规律和生产技术的深入研讨，对中国科技的发展产生很坏的影响。与日本同期相比，虽同处闭关锁国的状态，但日本依靠不断发展的兰学，密切了东西方的文化，主要是科学技术的交流，一旦时机成熟，兰学长期积累的力量就会爆发出来，成为日本发展近代科技的基本力

量。清代的知识分子专注于古籍的整理，对新事物，对自然科学缺乏兴趣，对外部世界既不了解也缺乏敏感，即使在闭关自守政策破产之后，许多知识分子仍然不能正确认识中西科技发展的巨大差距，反而认为这方面中国“必有精其术者，何必夷人，何必师事夷人？”这种学风是造成学术文化越来越落后于欧洲的原因之一。

1840年中英鸦片战争，以清朝战败并签订不平等条约告终，中国社会受此影响开始发生重大变化，从封建社会开始转变成半封建半殖民地社会。在这种背景下一批进步的知识分子如龚自珍（1792—1841年）、林则徐（1785—1850年）、魏源（1794—1857年）提出了改良朝政和向西方学习的主张。为了了解西方各国，学习西方先进的科学技术，他们着手编译介绍西方各国政治、经济、地理、历史等书籍，较为著名的有《四洲志》（林则徐编译）、《海国图志》（魏源著，1844年）、《瀛环志略》（徐继畲，1848年）等。

早期改良主义的思想可以从魏源的文章中读到，他认为向西方学习的目的是“师夷之长技以制夷”。也就是说向西方学习的目的是为了反侵略。在他看来西方的长处表现在三个方面，“一战舰、二火器、三养兵练兵之法”。因此建议应设国防工厂，使“我有制造之局”，虽然他也提到在这些造战舰和造枪炮的工厂里造些民用船只和西方的先进工具，但基本着眼点是军事和军事技术。这和日本兰学学者在19世纪初主张垦殖产业、同西方通商，用富国的办法强化国防的主张，和蛮社的成员希望通过研究洋学去寻救国之路的主张相比，其眼光和抱负无疑都稍逊一筹。中国的知识分子在观念上落后于日本，是因为中国的知识界与西方长期隔绝，只是为鸦片战争所震惊，才睁开两眼观世界。而日本的知识分子通过兰学的活动与西方文化和科技一直保持着联系，对西方的文化和科技显然有更深刻的认识。由此可见明治维新后，日本的科学技术飞速发展，是有其内因的。然而能达到像林则徐、魏源这样的认识水平的中国人，在当时中国社会仍属于少数，他们的建议既未引起朝廷重视，也没有得到更多人的响应。

和魏源同时代的太平天国领袖洪仁玕（1822—1864年）提出过一系列更进步的主张，如发展交通和通讯、办银行、保护工商业、奖励科学发明、保护专利、鼓励私人开矿等等。后因太平天国起义失败，这些主张未能实现。

3. 明治维新与日本科技体制的确立

1868年，日本的倒幕派在“王政复古”的旗号下发动政变，拥立15岁的天皇睦仁即位，改年号为明治。明治政府执政后倡导改革，在历史上叫“明治维新”。

明治政府成立之初，即以天皇名义发表了一条誓词，在第五条明确表示：“向全世界寻求知识，大振皇基”。表明日本的统治者已放弃了“攘夷主义”，而把“开国”作为基本国策。这意味着日本国民可以将西方的先进科技成就无任何顾虑地引入，并将受天皇政府的保护，因为明治维新政府认为近代科技必能振兴“皇基”。这里所说的皇基是指日本国家的经济基础。

明治政府既认识到发展科技对振兴皇基的重要性，就把科学作为国家的事业加以严格的控制和指导。他们从日本的国情出发，推行了一系列有战略意义的科技政策，主要有：

1870年设立工部省，执行技术引进政策，聘请了大量外籍专家。

1872年公布了仿效西方近代教育制度的新学制。1877年，在原藩书调所（开成所）和西洋医学所的基础上，创立东京大学。又陆续聘请欧美著名学者任教授。为日本培养了一批科技人才。

依照西方国家科学院制度，于1879年建立东京学士会院。

相继创设一批近代科研机构。如1875年设东京气象台；1878年设地质调查部；1887年设卫生试验所；1888年设东京天文台等。

在新政府的倡导下，日本的自然科学工作者组织和创建了各种专业学会。如1875年创医学会；1877年创数学会；1878年创化学会；1879年创地学会和工学会；1880年创地震学会；

1881年创药学会；1882年创气象学会和植物学会；1884年创物理学会及人类学会；1885年创矿业学会、兽医学会；1886年创建筑学会等。

从这些得到认真贯彻的政策中我们可以看出明治政府并不是孤立突出对科学的支持，而是采取了科技、产业、教育三位一体的方针，这是极重要的一点，正是这一政策才使明治时代的科技与产业、技术结为一体，科技和教育结为一体，相互促进形成一个很好的循环。在以后的历史过程中，日本在技术引进方面下了更大的力量，而日本的科学则落后于产业和技术。这种局面一直延续到二次世界大战之后，有的日本学者视这一状态为祸害，批判它是“技术形骸主义”。

国家对科学的干预可以从数学和医学的发展过程体现出来。日本本土形成的数学叫和算，在18世纪，日本的和算远远超过天文学，直到明治初期仍旧代表日本数学的主流。但和算在后期逐渐背离了理论思维、陷于某种游戏；另外和算的不同流派很难相互交流，本派内也是由老师秘传于弟子。这种状态必然使和算日趋末落。明治5年（1872）在公布的新学制中政府明令学校废除和算。这是对和算致命的一击，自此再没有出现年轻的和算家。1877年成立的数学会社，领导人已是洋算家。1882年，数学教授中川曾著文严厉谴责和算的迂腐，强调数学与当代科技的结合。日本学者称这篇文章是“和算的葬词。”

医学是国家干预科学的又一例。日本的本土医学叫汉方医。18世纪末到19世纪60年代，兰医在日本影响不断扩大，到明治初年，西方医学在当时已占据了重要的地位。但是汉医并没有因西医的兴起而迅速衰落，例如1875年，全国医生中，西医仅占21.9%。这说明汉医仍有很强的生命力。1874年，明治政府公布了医制，其中有关医生资格规定的条文，要求只有在医科学校毕业的人，才能参加医师资格考试，而医师资格考试的科目都是如解剖学、生理学、病理学等西医必修科目。在日本汉医是父子相传的行业，所以新的医制对汉医是一致命打击。但是人数众多的汉医并不甘心被淘汰，他们发起了保存汉医运动，这一运动历经波折，终究因为国家确定的扶植西医、消灭汉医的政策不可改变，而最终失败。1893年，保存汉医的提案在会中遭到否决，汉医自此敛迹。

这两个例子说明当时国家干预手段是强硬的，在当时各种守旧势力还很强大的情况下，用这种方式排除干扰与阻挠，对于促进科学技术的近代化是必要的，也是有效的。但是过多的硬性干预也不免会造成副作用，日本近年又重新评价汉医，就是例子。

4. 明治维新后日本的产业革命

明治维新后，面对西方列强的威胁，日本政府在富国强兵的指导思想下进行了国家指导下的产业革命。

产业革命的初期是带有强制性的，明治政府没收了各藩国的兵工厂、矿山、造船等厂形成了官营企业。国家期望通过引进先进技术使那些同国防有关的产业部门得到优先发展，并以官营企业为典范，推行近代企业管理方法。这样，矿山、冶铁、机械、造船、兵工、铁路、电信等基本产业部门很快实现了官办，同时官办企业也吸收了不少民间企业的投资。官办企业开初管理较好，一度对民办企业起到了示范作用。但不久政府在财政上遇到了严重的困难，同时觉察到官营企业由于浪费严重，造成亏损。原因是掌握官办企业的是封建时代的武士，他们只顾扩大投资而不顾经济效益。这时官营企业不但成为政府的负担，也成了发展私人企业的障碍。1881年，明治政府果断地采取出售官营企业，扶助私人资本的政策。自1884年后，大批官营企业（兵工、铁路、通信除外）以低廉的价格，甚至是无偿地转移到民营企业。

由官营向私营转化是日本实现工业近代化的最重要的转折，也是促成日本产业革命的最重要因素之一，这一政策保证日本走上了富国强兵之路。

19世纪，西方以电学和电工业为核心，出现了一系列“科学化的技术”同时也兴起了一批与此有关的产业部门，使科学和先进的生产密切相关，并以极大的力量推动着生产的发展。明治政府为了使日本的生产尽快赶上去，一方面大力引进技术人材，主要是与生产直接相关的西方工程师，另一方面又注意引进成套技术设备。这一策略的实施，使日本的产品在很短的时间里缩小了与西方的差距。

1886年，日本建成帝国工科大学，它不仅是日本工业技术人材的摇篮，也是工业技术研究的基地。自此，日本工业走上了独立发展之路。为了奖励和保护日本人的发明创造，1888年日本政府又公布了专利制度。

所有这一切措施都产生了效果，使日本的技术成就在19世纪80年代，在若干领域中已接近西方的先进水平。例如：

1880年，研制成13式村田步兵铳，后来发展为18式村田步枪。

1896年，丰田左吉（1867—1930年）研制成日式动力织机，促进了日本纺织业向近代技术迈进。

1897年，宫原二郎（1858—1928年）发明了水管式锅炉，这种锅炉在20世纪初装备了日本海军。

1887年起日本进入了蒸汽机时代，第2年在铁道院神户工场制造出日本第一台蒸汽机车。

1897年，铺设了从九州至台湾的海底电缆。1901年，制成了日本式的无线电信机，2年后完成了长崎与基隆间的无线通讯试验。

1907年，东京电灯会社的桂川驹桥发电所实现了远距离送电，电压为5万伏特，输电线路距离65公里。1908年，三菱长崎造船所生产出功率为500千瓦的交流发电机。20世纪初，日本开始跨进电气时代。

5. 洋务运动的兴起与失败

自19世纪60年代至90年代，在中国曾发起过一场洋务运动。洋务运动不仅使大量的西方近代科学技术传入中国，而且对中国的社会发生了很大的

影响。

1864年，太平天国的天京沦陷，它的余波又延续了4年，之后西南和西北的少数民族发动了起义。在镇压太平天国和各民族的起义过程中，清王朝的统治者和湘军、淮军的首脑曾国藩与李鸿章等人认识到西方新式武器“击厚攻坚、殆同摧枯”，这使他们转向西方的先进科学技术学习，目的在于“目前资夷力以助剿剂运”，而“将来师夷智以造炮制船，尤可期永远之利”。

第二次鸦片战争后，西方列强纷纷强迫满清政府签定不平等条约。当时列强对中国的经济侵略中占据优越地位的英国，认识到维护满清王朝的统治是符合自己利益的，因此主张西方各国应当相互合作共同支持清政府。这一政策得到美国的积极响应，法国和俄国在一定程度上也表示欢迎。1865年，任中国总税务司的英国人赫德向税务总署送去题为《局外旁观论》的文章，劝导清政府切实遵守条约，他说“若违约，有动兵之举，国乱之实”。“是以或有应办，或有请办，不如早办，不致日后为人所勉强也”。而“早办”的事也包括“准洋商合华商会制轮车电机各等办”第二年，英国公使馆赞威妥玛送来《新议略论》的说帖，说帖一方面以各国干预相威胁，一方面劝告清政府“借法自强”，即“类如各省开设铁道飞线，以及五金煤类各厂开采，水陆各军安设操练，中华用项不足，约请借贷，医学各等项设馆教习，以上各等新法，中国如欲定意试行，各国闻之，无不欣悦”，因为这样做不但使外国人有了投资机会，而且“内地从此容易治平”，“各国亦可无虑”。

还在1861年，当北京条约签订之后，恭亲王奕訢等人就提议创设总理衙门，作为处理各国事务的机构，后来，由于通商口岸增加，又设立南洋、北洋大臣、办理通商及其它各项对外事务。洋务派的代表人物李鸿章在1864年提出了“及早自强，变易兵制，讲求军实”的主张，可见洋务派的向西方学习，从一开始就仅仅局限于军事和军工，他们虽然主张聘请外国技术人员，但具体工作限于训练军队，建立海军，设厂造枪炮、造轮船、购置西方武器等等。自1861年起到1894年的30多年间，洋务派共建立了24个不同规模的军工企业，其中最大的企业是江南制造总局。江南局下设造船厂、造炮厂、造枪厂、造弹厂等，厂长基本上由外国人担任。以造船厂为例，自1868年第一艘木壳兵轮“惠吉号”下水至1885年钢板暗轮“保民号”建成为止；共造兵轮8艘，木壳暗轮以1875年的海安号为较大的军舰，功率为1800马力，载重2800吨，有巨炮20门。技术上较先进的是“保民号”，该轮功率为1900马力，装有较先进的克鹿卜炮8门。李鸿章在1875年曾说“沪局各船虽系自造，而大宗物料无非购自外洋，制造工作亦系洋匠主持，与购买外洋船只略同”，又说“中国造船之银，倍于外洋购船之价”。这一段话确实切中洋务运动的要害，不发展基础工业，哪里来的钢铁和机器；不发展新式教育，那里去找中国的科技人材。洋务运动与日本的明治维新，虽然同时起步，却一开始就暴露出致命的弱点。

洋务运动中建立的官办军事工业，把腐败的封建官僚衙门习气带进了企业，不仅管理机构庞杂，人浮于事，而且还有不少挂名支薪人。至于贪污中饱更是普遍，例如福州船政局的主持人黎兆棠，在任仅三年，就贪污60万两白银。在这种状态下军工产品的质量多成问题，20世纪初就有人写道“此次派员将该厂（江南机器局）所造之械，整件零件逐细考察，疵累甚多。以如此巨厂，岁糜经费一百四十万金，而各械无一完善者，殊为可惜。至于员司之冗滥，工作之宕延，各物购价之浮开，各厂用料之虚耗，种种积弊，又复

不一而足”。当时的各官办工厂大抵如此。

面对着一连串的困难，洋务派在70年代初又提出了“寓强于富”的口号，认为“必先富而后能强”。所谓求富，就是发展有经济效益的生产事业，这样自70年代至90年代，洋务派着手经办近代民用工业20多个，主要有轮船招商局，开平矿务局及汉阳铁厂、甘肃机器织呢厂、上海机器织布厂等。这一批企业除少数由官方投资外，多数都是官私合营。这种转变无疑是一种进步。

官私合营企业是以“官督商办”为基本形式的，因为要付给入股的投资者的红利，因而企业必须牟取利润，比起不计盈亏的军事工业，这类企业具有较多的资本主义性质。但是官督商办企业的领导权在洋务派官僚手中，他们把办军事工业的官场习气，全部照搬到官督商办的企业中，结果不是造成亏损，就是因为缺乏专业知识，使企业陷入困境。例如李鸿章曾派人调查招商局的情况，调查报告中说：“用人之弊，失之太滥”，“每年结帐又徒负虚名，纷纷划抵，究难取信。患在公私混乱，挪欠自如”等。90年代，张之洞筹办铁厂，有人告诉他，选购炼钢炉要先化验铁砂，他答复：“中国之大，何处无煤铁佳矿，但照英国所有者购办一份可也。”结果因为大冶铁矿含磷多，不适合购买来的酸性转炉使用。同时湖北境内只找到两处小煤矿，致使生产常常停顿。

对于洋务派的活动和主张，在封建官僚内部也产生了种种分歧，以醇亲王奕譞为首的一批封建官僚、地方士绅和封建文人坚决反对洋务运动。大学士倭仁上书说：“立国之道当以礼义人心为本，未有专恃术数而能起衰振弱者，天文、算学只为末议，即不讲习，于国家大计亦无所损。”1875年，通政使凌辰上书光绪说：“夫制洋器，造洋船，既不能不学洋学”，“窃恐天下皆将谓国家以礼义廉耻为无用，以洋务为难能，向人心因之解体。”这些封建社会顽固不化的卫道士们，反对一切兴学校、开矿设厂，修筑铁路的事业，甚至“一闻造铁路、电报，痛心疾首，群起阻难，至有以见洋人机器为公愤者”。

对于洋务运动还存在另一种批评。1875年，福建按察使郭嵩焘在《条议海务事宜》中说：“窃谓西洋立国有本有末，其本在朝廷政教，其末在商贾……故欲先通商贾之气立循用西法之基”。他主张让商人自由地经营造船，制器等行业，而不赞成官办或者官督商办的做法。举人强汝询对洋务派认为西洋人仅是“船坚炮利”的观点也提出异议，他说：“西洋之强岂专恃乎器哉？其民甚和，其心志甚齐，其法制简而肃”他反对官办企业，认为“天下唯官办者最不能久”。1878年，监察御史李璠主张“唯有以商敌商，鼓励沿海义民仿照外国凑集公司前往贸易，收回利权”。这些主张反映了当时发展私人资本的要求。据统计这样的企业多集中于上海，总共50家左右，最大的也不过雇工人5~6百人。但是直到90年代，中国私人资本经营的企业仍受种种限制很难发展。

1895年，中日甲午战争爆发，两个几乎同时被迫向西方开放门户的巨人在海上碰撞了，结果在洋务运动中耗钱最多的中国海军全军覆没，这次战争最终导致了洋务运动的彻底失败。

洋务运动虽然没有把中国引导到资本主义，然而在此期间西方的科学技术从蒸汽钢壳暗轮到新式的转炉和平炉炼钢设备，从电报到火车，从微积分到进化论都借洋务运动的东风陆续传入中国，促成了中国近代科学和技术的

发端。

6. 近代科技在东方的传播与发展

19 世纪时东方的科学技术已远远落后于西方。当中、日两国门户开放后，大量的西方科技拥入东方，使东方的学者获得了向西方学习的良机。由于封建制度的制约，中国近代的科技成就较少，而明治维新的成功却使日本学者在某些学科上取得了较大的成就。

(1) 近代中国数学

1840 年鸦片战争之后，西方近代数学开始传入我国，1852 年，李善兰（1811—1882，浙江海宁）与伟烈亚力（1815—1887，英国传教士，汉学家）开始合作翻译欧几里得著的《几何原本》后九卷，于 1857 年刊行，这与 1607 年由徐光启（1562—1633，上海）和利玛窦（1552—1610，意大利传教士）合译的《几何原本》的前六卷联在一起成为我国第一部完整的《几何原本》的译著。1859 年，李善兰与伟烈亚力又共同译出德·摩根（1806—1871，英国数学家）的《代数学》（1835 年）这是我国第一部代数学著作。代数之名称也由此而来。同年，李善兰与伟烈亚力再合译出版《代微积拾级》，这部著作的英文原版为《解析几何与微积分学初步》，系罗密斯（1811—1889，美国数学家）所著。这是我国关于解析几何与微积分学的第一部系统译作。这样解析几何与微积分学在西方诞生了两百年之后终于传入了我国。19 世纪 70 年代，华蘅芳（1833—1902，江苏无锡）与博兰雅（1839—1928，英国传教士）合译了西方多种数学著作，其中最为重要的是《决疑数学》，这是第一部用中文系统介绍概率论的译作。此外，他与艾约瑟（1823—1905，英国）合译了《圆锥曲线》一书，等等。李善兰的翻译工作很有独创性，特别是对于数学名词，如函数、代数、根、方程式、曲线、横轴与纵轴等的创译恰当贴切，沿用至今，但是所用的数学符号一般都被淘汰。华蘅芳的译作文字流畅，叙述明白。李善兰、华蘅芳等为西方数学在中国的传播作出了突出的贡献。

19 世纪的中后期，在西方近代数学传入我国的同时，中国数学也有了发展，一些学者进行了独立的研究，如对高次方程、球面三角与幂级数等的研究。但所得结果，一般都晚于西方。中国学者也撰写出一些著作，为李善兰的《方圆单幽》、《垛积比类》与《考数根法》等，夏鸾翔（1823—1864）的《洞方术图解》等等。李善兰是 19 世纪中国最杰出的数学家，《垛积比类》是他的最重要著作，大约完成于 19 世纪中期，这是一部前期的组合数学的著作，其中最负盛名的是李善兰的组合恒等式：

$$\binom{n+q}{q}^2 = \sum_{k=0}^q \binom{q}{k}^2 \binom{n+2q-k}{2q}。$$

此外，李善兰在《方圆单幽》中提出了尖锥术，得到了相当于微积分的若干结果，这时微积分还未传入中国，是独立发现的成果。华蘅芳在组合数学领域也有很好的工作，如公式

$$\sum_{r=0}^n (-1)^{k+r} \binom{k}{r} \binom{n+r}{r} = \binom{n}{k}$$

是差分理论中的基本公式。《积较术》是他的代表作。

(2) 物理学

在 19 世纪下半叶,近代物理学知识通过中国学者与西方学者的合作翻译作品介绍到中国。在力学方面,李善兰和英国人艾约瑟合译了《重学》的第二部分,将牛顿三大定律介绍来中国;在电学方面,翻译介绍了电报、电话的构造和简单原理;对声学、光学和热学也作了一些一般介绍。在物理学的研究上,邹伯奇(1819—1869)和郑复光研究过几何光学的原理及光学仪器的制造方法,其中邹伯奇研究的“照相术”达到了较高的水平。

日本对物理学的研究始于 80 年代。山川健次郎(1854—1931 年)早年留学美国,后来成为东京大学最早的物理学教授,著有《物理学术语和英法德对译辞典》。另一位物理学元老是冈半太郎(1865—1950),他在 1888 年研究了铁磁材料(如镍)在磁场中的物性变化。1903 年,他又提出过以土星为模式的有核原子模型。这一工作被看作是日本物理学进入近代物理学的转折点。

(3) 地球物理学

自鸦片战争以来,中国学者注重对外国和边疆地理学的研究,其代表作有魏源的《海国图志》、徐继畲的《瀛洲志略》、何秋涛的《朔方备乘》等。黄沛翘认为“南界之防,尤今日之急务也”,为此编写了《西藏图考》。此外曹廷杰著有《东北边防辑要》,并绘制东三省地图。

19 世纪 60 年代后,西方著名的地质学者深入中国内地研究和考察。1862—1865 年,庞培烈(1837—1933,美国)在中国考察了华北和长江下游,著有《中国蒙古及日本之地质研究》,提出“震旦上升系统”是中国的主要地质构成线走向。李希霍芬曾考察过中国 14 个省,著有《中国》,共五卷,附中国地质及地理图。他提出中国黄土高原的风成说,对中国主要地层和地质构造特征都作过有价值的研究。

清末,张相文(1866—1933 年)编有《初等地理教科书》及《中等本国地理教科书》,1905 年,又编写《地文学》和《最新地质学教科书》。1909 年,张相文等人发起创立地学会并当选会长,这是中国近代第一个专业学会。学会还创立了《地学杂志》。

19 世纪,中国的气象观测和研究都是由西方学者进行的,例如 1837 年天主教会上海设立了徐家汇观象台并作过一些气象研究工作。1903 年,北京练兵处设立测绘科,后又另设京师陆军测地局,这是中国最早的地理测绘机构。此后,各省陆续设测量机构。

19 世纪末,日本在气象学和地震学方面取得了杰出的成就。1887 年,北尾次郎(1853—1907 年)发表了《大气的运动及台风理论》,被人认为是“理论气象学最新的进步”,北尾关于大气运动的微分方程解法也被西方学者认为在当时是最卓越的,自 19 世纪 80 年代起,西方学者在日本建立了世界上第一个地震学术团体,即日本地震学会,日本的地震学研究自此居世界领先地位。1899 年,大森房吉(1863—1923 年)提出了著名的“大森公式”,建立了震源到观测点距离与地震初期微动的持续时间的数量关系式。

(4) 化学

1871年，徐寿（1818—1884年）翻译出版了《化学鉴原》，它概略地叙述了化学的基本原理，介绍了重要化学元素的性质。在当时这是一本比较全面系统介绍西方化学知识的教科书，在很长一段时间里流行于中国。徐寿在翻译元素名称时提出了一个取西文名称第一个音节命名的原则，例如定名了钠、锰、钙、镍等元素的中文名。这一命名原则一直沿用至今。稍晚，北京同文馆翻译出版了《化学阐原》。此后，江南制造局在徐寿的主持下先后出版了8种化学书籍。1885年，徐寿和友人发起创立了“格致书院”，从事过化学知识普及和教育活动。在江南制造局，徐寿对“船炮枪弹多所发明，自制强水，棉花（即硝棉），药汞（雷汞），爆药等”。

应用化学在19世纪末的日本得到发展。1887年，著名化学家高峰让吉（1854—1922年）创立了东京人造肥料会社。1894年，他在美国研究出一种消化剂，命名为高淀粉酶。稍后，他从事动物副肾髓质荷尔蒙的提纯。1901年，他提纯成功，命名为肾上腺素，这一成就曾震动国际化学界。

1901年，铃木梅太郎（1874—1943年）在米糠中发现了一种新的营养成分，并提取了这种物质，命名为Oryzanin（即维生素B1）。铃木认为这种物质可以治疗脚气病，但他在国内却受到冷遇，一年后荷兰人重新发现了这种物质，并命名为维他命。

1908年，池田菊苗（1864—1936年）发明味精。他是把物理化学引进到日本的著名化学家。

(5) 生物学与医学

日本的医学（西医）和生物学在80年代后取得了一系列令人瞩目的成就。

1889年，北里柴三郎（1852—1931年）在德国著名医学家柯赫的实验室里作出了一系列重要发现。是年他首先培养出破伤风菌，第二年他获得了破伤风抗毒素，从此开创了血清疗法，解决了医学一大难题。1891年，北里和贝林（1854—1917年，德国）发表《免疫的建立与应用》一文，血清疗法和免疫学由此兴起。

1892年，北里回到日本建立了第一个传染病研究所。1897年，北里的学生志贺洁（1870—1957年）发现了毒痢菌，在当时这是世界第一流的医学成就。

在微生物学方面，1890年高峰让吉（1854—1922年）研究酵母的制取方法而获得专利。1901年，他在美国分离出肾上腺激素的结晶，从而确证了内分泌学说。1909年，他发明了消化药物高淀粉酶。

1836年，日本学者在植物学上获得了重要成就，池野诚一郎（1866—1943年）首次观察到苏铁精子的运动，这一发现在分类学领域曾引起巨大反响。

总起来说，在19世纪末和20世纪初，亚洲各国基本上处在向西方先进科学技术学习的阶段。相对地说，已经开始进入资本主义社会的日本在应用科技的某些部门开始显露出锋芒，取得了一些世界水平的成就。处在封建社会的中国由于洋务运动和变法唯新相继失败，中国资本主义还处在弱小的萌芽状态，加上教育制度没有发生根本变革，使先进的西方科技仅为极少数中国学者了解，因此近代科学技术直到清王朝覆灭也未能在中国兴起。

