核　技　术

【核技术】以原子核科学理论为基础，利用原子核反应或衰变释放的射线和能量为国民经济、国防等服务的技术领域。由于核能释放过程伴随着核辐射的特殊性，因此核装置及核设施的新材料及工艺生产过程涉及新的技术仪器、以及为保证设备可靠、人员安全的特殊规范和标准。和许多其他新技术一样，核技术是先军用后民用（即和平利用）的。核武器的问世及在二次世界大战中使用是核技术军事应用的一次划时代飞跃。战后，一些国家继续发展军用核技术以增强其潜在的军事实力。同时，由于各种类型反应堆、加速器的建造，放射性核素的批量生产以及军用核技术逐步向民用过渡，加速了核技术的应用和普及。20 世纪 70 年代以后，和平利用核技术获得空前大发展，但军事上为改进核武器性能、发展新型核武器的进程也拓宽了核技术的实际应用。

核技术的主要内容包括：(1) 核能技术。将核反应释放的能量直接利用或转化为其他形式能量的技术。利用核能瞬时释放研制核武器：如利用重元素原子核的裂变反应原理制成的原子弹和利用轻元素原子核的聚变原理制成的氢弹、中子弹等；使裂变燃料维持链式裂变反应并可人为控制核能释放快慢的各种类型反应堆的研制及其结构材料的生产技术，如石墨、重水、锆、铍等生产、反应堆调节与控制，合理利用与排放反应堆的热能等；(2) 核动力技术。利用核反应释放的热能作为驱动力的技术。用于长期

不需供燃料的舰艇，如核航空母舰、核潜艇、核动力破冰船及核动力人造卫星等；(3) 同位素技术。应用稳定或放射性核素的特殊核性质的技术。如：稳定或放射性核素的生产技术，示踪原子技术，放射性核素制成能源或其他制剂的技术等。利用同位素进行地质勘探已成为地质学中一项重要的应用。此外，考古研究中也采用同位素技术鉴定年代。在材料科学、分析化学等领域也有广泛应用；(4) 辐射技术。利用辐射源（包括反应堆、加速器等辐射装置）产生的各种射线或粒子束与物质相互作用的物理、化学和生物效应的相关技术。如：基于中子或其他粒子与物质作用的分析、测试技术，材料的辐照改性以及辐照在农业、医学、工业上的其他应用技术等。利用辐射技术和示踪原子技术改良农作物和研究农作物生长规律等；射线和放射性核素制品广泛应用于诊断或治疗疾病；利用放射性核素和射线特性对各种物理参数检测和控制。如：各种无损探测仪和厚度、密度、料位、成份等检测仪表，勘探石油、煤炭、水及其他资源的仪表等；放射性物质辐射的射线（如中子束和 γ 射线）具有穿透性强、又能与物质发生作用的特点，适当控制（剂量），既可不破坏被辐照对象，又可为辐照对象灭菌、保鲜或改善其性质或给出性能参数。因此辐射技术在工业、农业、医疗、食品等领域的许多应用为其他常规技术所不能代替；(5) 核燃料技术。包括裂变燃料铀的采矿、提取，同位素分离，冶金，核燃料元件加工，乏燃料后处理，核武器装料的制备等技术，以及聚变燃料氘、氚和锂 6 的提取、富集和氘氚靶丸制备等技术；(6) 核安全防护技术。对辐射装置和放射性物质采取特殊的屏蔽、隔离等方式减少放射性物质向环境排放或射线泄漏的技术，包括对各种形态的放射性物质的转移、处理、处置技术以及核事故或核战争条件下，人员、设施防辐射的专门技

术。此外，利用惯性约束聚变等装置模拟核爆炸效应及核爆炸物理问题，在实验室条件下改进核武器设计。

核技术和其他技术一样，它能为人类造福，但放射性物质会不同程度地污染环境和伤害人体。必须采取特殊的防护措施；如采取屏蔽、远距离操作，使放射性物质与人体和环境隔离，对产生的各种放射性物质需专门处理，最大限度地减少放射性物质的逸出，以保护环境。核电厂、反应堆以及所有操作、接触放射性物质的单位在选址、建设和运行各个时期都要严格执行有关放射性物质和辐射安全防护规定。核技术是一项先进技术，配合其他科学技术，在解决人类面临的能源、资源、粮食和环境等重要问题中的作用日益明显。选用新反应堆型，改善安全设计，降低建设造价，核能发电的比重将不断上升，这对缓解能源危机无疑是一个重大的贡献。核技术属新兴技术，人们对它的认识还不够，加上核武器的破坏以及某些核事故的不良影响，也由于部分的错误宣传，使得推广应用核科学技术时，常不易为公众所接受。因此应用和发展核技术，除了加强防护措施外，在许多情况下还应多做宣传解释，克服公众的心理障碍。展望 21 世纪，人类开发新能源，广泛应用核技术将比今天更为迫切。越来越多的人认识到，核能将是逐步代替化石能源的重要能源。可望在下世纪中叶，受控核聚变技术将从实验室走向应用，为人类提供一个取之不尽的干净能源。威力很大的核爆炸将为民用的工程建设、改造环境和开发资源服务。核动力也将在交通运输及星际航行等方面发挥更大的效能。

【核燃料】能产生原子核裂变或聚变反应并释放出巨大核能的物质。核燃料包括裂变燃料和聚变燃料（或称热核燃料）。裂变燃料

主要指含有易裂变同位素铀－235 或钚－239 或铀－233 的物质。铀－238 和钍－232 是转换成易裂变核素的重要原料且它们本身也可产生少量裂变，所以在习惯上也称它们为核燃料。聚变燃料有氘、氚、锂－6 和化合物氘化锂－6 等。铀是最基本的裂变燃料。自然界存在的天然铀中，其主要成分是铀－238，约占 99.28%，易裂变同位素铀－235 的丰度为 0.71%，其余为极微量的铀－234。早期的一些生产堆用核燃料就是天然铀。常用的核燃料，其铀－235 的丰度比天然丰度大，是由天然铀经同位素分离后获得的。铀－233 在自然界中不存在，它通常是利用钍－232 在核反应堆内经中子照射得到。自然界存在的钍几乎 100%是钍－232，常和铀以及稀土元素等共生。自然界中几乎没有钚，易裂变同位素钚－239 是利用铀－238 在核反应堆内经中子照射转换而成的。氘是氢的稳定同位素，存在于普通水中的重水（D_2O）内，但含量很低，需要利用电解、蒸馏或化学交换等分离方法制得。氚是氢的放射性同位素，在自然界中极少，主要是利用金属锂－6 或它的合金，在核反应堆内经中子照射来生产。氚化锂是由锂－6 和氚直接化合而成的固态化合物。核燃料单位质量放出的能量比化学燃料的大得多，例如 1 千克铀－235 全部裂变释放的能量相当于燃烧 2700 吨标准煤的能量。因此核燃料最早用于军事目的，作为原子弹、氢弹等核武器的装药以及核动力潜艇用反应堆和生产堆的燃料元件。裂变燃料现已广泛用于核电站反应堆和各种研究试验堆中。

【天然铀】自然界中天然存在的铀。是铀的数种同位素的混合物，其中铀－238 占 99.28%，铀－235 占 0.71%，其余为铀－234。天然铀存在于岩石和海水中，少数富铀矿石约含 1—4%的铀。利用水冶法和化学转化可从铀矿石中提取和转换成六氟化铀（UF_6）或

金属铀。金属天然铀可制成燃料元件用于重水堆和石墨堆，生产电力、生产新的核燃料和同位素。

【浓缩铀】同位素铀－235 的丰度大于其天然丰度（0.71％）的铀，又称富集铀。铀－235 的丰度小于 10％的浓缩铀称低浓铀，铀－235 的丰度等于或大于 90％的浓缩铀称高浓铀。动力反应堆中使用的核燃料大多是低浓铀，高浓铀大多用于军事目的和少数研究试验堆。制取浓缩铀的方法主要是气体扩散法和气体离心法。都是根据铀的同位素铀－238 和铀－235 之间原子量的差异实现分离和浓缩的。研制中的激光浓缩工艺利用铀的同位素在激光辐射下产生的电离作用，可直接生产金属铀，在经济上更具有竞争力。一座 1000MWe 电功率的压水堆核电厂每年约需 25 吨低浓二氧化铀（铀－235 的丰度约为 3％）。

【贫化铀】同位素铀－235 的丰度小于其天然丰度（0.71％）的铀。通常指天然铀经同位素分离后的尾料和某些从核反应堆卸出的乏燃料元件经后处理分离出的铀。贫化铀可用作快中子堆的可转换材料和制作炮弹等。

【氧化燃料】铀、钚或钍的氧化物。它们属于陶瓷材料，具有熔点高（2750℃），抗水腐蚀，辐照性能稳定和高温强度大等优点。缺点是导热性差，抗冲击强度低。此种核燃料的铀密度较低，在用于核反应堆时，需采用富集铀或钚的氧化燃料。例如，在压水堆核电厂的反应堆中使用富集度 3％左右的二氧化铀燃料，在快中子堆中，使用 15－20％富集度的二氧化铀和二氧化钚的混合燃料。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

【碳化燃料】铀、钚或钍的碳化物。它们也属于陶瓷材料、导热率和铀、钚的密度比氧化燃料高，但与水能起剧烈反应。此种核燃料主要用于高温气冷堆和钠冷快中子堆。

【燃料元件】核燃料的单元体，通常由核燃料芯体、包壳及其附件组成。为满足各种核反应堆设计的需要、燃料元件有棒状、片状、球状、圆管和六角套管等形状。燃料元件以一定的排列形式放置在堆内，藉助于冷却剂将各燃料元件的释热带走。燃料包壳的作用是防止冷却剂对燃料的腐蚀和侵蚀，防止核燃料与冷却剂的化学反应和裂变产物及其放射性进入冷却剂回路，同时可提高燃料元件的结构强度，延长元件的使用寿命。

【核燃料转换与增殖】在核反应堆中，可转换物质如铀－238 和钍232 吸收中子后可分别转换成易裂变物质钚－239、钚－241 和铀－233 等的过程。转换能力用转换比（CR）度量，即平均每消耗一个易裂变原子所产生的新的易裂变原子数。若 CR＞1 则表明反应堆内产生的易裂变物质的原子数要比消耗的多，这种转换过程称增殖，其转换比称增殖比（BR）。例如，快中子增殖堆的增殖比为 1.2—1.5。

【核燃料循环】核燃料从矿石开采，冶炼、同位素分离、加工制造、堆内使用到后处理和再加工等所经历的一系列工艺步骤。通常可将核燃料循环分为两个阶段，在核燃料放入核反应堆内使用之前的阶段称循环前端，在堆内使用之后的阶段称后端。核燃料循环可分为闭式循环和开式循环两种。闭式循环包括后处理和再加工

过程;开式循环是核燃料元件经堆内使用后卸出不再进行后处理，经一定处置后长期贮存，又称一次通过式。

【乏燃料】在反应堆内经辐照后卸出并不再返回堆内使用的核燃料。一座1000MWe电功率的压水堆核电厂每年约卸出25吨乏燃料，其中含有铀、钚等元素的各种同位素和裂变产物，具有很强的放射性。通常需要进行冷却贮存和后处理（回收铀和钚）或长期贮存。

【燃耗】核燃料在反应堆或其他核能（以回收铀和钚）装置内经辐照后其原子发生核转换，造成燃料的消耗。度量核燃料的燃耗程度用燃耗深度表示，通常有两种表示法；(1) 用易裂变物质被消耗的原子百分比菲马（FIMA）表示；(2) 用每吨核燃料在辐照期间发生的总能量兆瓦·日/吨表示。核反应堆运行放出能量的过程，也是核燃料消耗的过程。燃耗深度愈大，表示核燃料“燃烧”愈充分，即核燃料利用率越高。

【乏燃料后处理】对乏燃料进行化学处理，除去其中的裂变产物，回收易裂变物质（铀－235和钚－239等）和可转换物质（铀－238等）。为了降低乏燃料元件的放射性强度，通常在进行后处理前需要有一定的贮存和冷却时间。乏燃料后处理的方法通常分湿法和干法两种。湿法有沉淀法，萃取法和离子交换法等；干法有高温冶金法和挥发法等。工业规模常用的是萃取法，利用有机萃取剂把乏燃料中的铀和钚从乏燃料的硝酸水溶液中萃取出来。广泛应用的工艺为普雷克斯（Purex）流程，即利用磷酸三丁酯（TBP）萃取铀和钚。在后处理过程中产生的高、中、低放射性废物需进

行处理、中间贮存和最终处置。

【核能】曾俗称原子能。原子核结构发生变化（核反应和核衰变）过程中放出的束缚在原子核内的部分能量。在习惯上是指重元素的原子核裂变，轻元素的原子核聚变和放射性同位素的核衰变所放出的能量。核能来自于核子（质子和中子）在核力的作用下凝聚成原子核时的结合能。核裂变反应释放出的能量至少要比化学能大 100 万倍，其大小由原子核的结合能，即核子结合状态的能量，与其自由状态（核子相互分开并无限地相互远离）下的能量之差确定。例如 1000 铀－235 的原子核裂变可释放出 81 太焦的能量，相当于燃烧 2700 吨标准煤所产生的能量。轻原子核聚变反应放出的能量，在相同的质量情况下，约为重原子核裂变反应放出能量的 3—4 倍。核能的开发和利用是在 1938 年发现了铀核的裂变后开始的，最先是制造原子弹、氢弹等核武器和建造生产核武器装料的生产堆以及核潜艇、核动力航空母舰等军用动力装置。迄今在民用方面已取得了很大的成就，主要是利用核裂变能发电和同位素小功率电源。随着世界常规能源的日益紧缺和人们对环境保护意识的日益增强，核能作为现阶段一种成熟的和清洁的新能源，核发电和核供热必将得到更广泛的应用。到 21 世纪核能将成为人类的主要能源之一。

【裂变产物】在核裂变反应过程中，原子核吸收中子后所分裂出的两（或三）个质量不等的碎片及它们的衰变产物。裂变产物的质量数在 72—160 之间，约有 200 种，大多具有放射性。一座 1000MW 电功率的核电厂每年约产出 1200kg 的裂产物。通过乏燃料后处理可将某些裂变产物分离出，用作放射源，在工农业、医

学和科学研究中应用。

【轻水堆】使用普通水作慢化剂和冷却剂的核反应堆。轻水堆中，用高压水作慢化剂和冷却剂，堆芯内的高压水不沸腾的称压水堆；高压水在堆内沸腾并直接产生蒸汽的称沸水堆。轻水堆需采用低浓铀燃料（235 的丰度通常为 2.4—3.5%），堆芯体积较小，功率密度大。压水堆的堆芯压力比沸水堆高，堆芯更紧凑，最早用于军用潜艇。在同样的燃料温度下，沸水堆可得到较高的蒸汽温度，热效率通常比压水堆高。在世界上正在运行和建造中的核电厂中轻水堆是应用最多的一种堆型，约占 80—90%（其中压水堆约为 60%，沸水堆约为 20—30%）。为了进一步提高核电的安全性和经济性，各国正在积极发展新一代具有非能动安全（无需动力源，只靠自然规律来实现安全功能）和固有安全（内在固有的安全功能）的中小型轻水堆。

【气冷堆】利用气体作冷却剂导出核反应堆堆芯内热量的一种堆型。可用于发电和生产核燃料。典型的气冷堆是使用石墨作慢化剂的石墨气冷堆，它经历了三个发展阶段，并产生了天然铀石墨气冷堆，改进型石墨气冷堆和高温石墨气冷堆。下表为这三种气冷堆的主要参数。

【天然铀石墨气冷堆】用金属天然铀作燃料，二氧化碳作冷却剂，石墨作慢化剂的核反应堆。最早在英、法两国建造，使用了在较高温度下不易氧化的镁诺克斯（Magnox）合金作燃料元件的包壳，又称镁诺克斯型堆。这种堆的堆芯由核纯的

名　　称	天然铀石墨气冷堆	改进型石墨气冷堆	高温石墨气冷堆	
			棱柱堆芯	球床堆芯
热功率，MW	1875	1446	842	750
电功率，MW	590	600	330	300
堆芯尺寸，高度×直径，m	9.1×17.4	8.2×9.5	4.76×5.94	6×5.6
平均功率密度，MW/m^3	0.9	2.2	6.3	6.0
冷却剂材料	CO_2	CO_2	He	He
冷却剂进/出口温度，℃	247/414	290/675	406/785	250/750
冷却剂压力，MP_a	2.6	3.2	4.8	4.0
燃料富集度，%^{235}U	天然金属铀，071	二氧化铀，2.3	高浓铀＋钍 93	高浓铀＋钍 90
燃料包壳材料	A180Magnox（铝镁合金）	不锈钢	热解炭和碳化硅	热解炭和碳化硅
平均燃耗深度，MWd/t	3600	18000	100，000	100，000
蒸汽参数，温度℃/压力，Mp_a	400/4.7	566/16.3	538/16.9	535/18.1

石墨块堆砌而成，其中有许多装有棒状燃料元件的通道，以便加压的二氧化碳冷却剂流过，导出堆内的热量。整个堆芯包容在一个钢制的或内衬钢的予应力混凝土压力容器内。第一座天然铀石墨气冷堆电厂是1956年开始运行的英国卡德豪尔核电厂。这种堆型的优点是采用价廉易得的天然金属铀。缺点是功率密度低，堆芯体积大，造价高。同时，受金属铀和镁合金允许温度的限制，冷却剂出口温度只能达400℃左右，所得到的蒸汽参数低，核电厂的热效率仅为30%左右。20世纪60年代末不再建造此种堆。世界上共建造了38座这种堆型的核电厂，装机容量8030MW。

【改进型石墨气冷堆】天然铀石墨气冷堆的改进型堆。用二氧化铀作燃料并将铀—235的丰度提高到2—3%（低浓铀燃料），燃料元件的包壳改用不锈钢以代替镁合金。二氧化碳的堆芯出口温度提高到650℃左右，核电厂的热效率可达42%。堆芯结构与天然铀石墨气冷堆类似，但蒸汽发生器和循环风机布置在反应堆四周，并与核反应堆一起被包容在预应力混凝土压力容器内。英国自1965

年起共建造了14座改进型石墨气冷堆电厂，装机容量8688MW。此种堆型与轻水堆相比，造价和发电成本均较高，从20世纪80年代起已停止建造这种堆型的电厂。

【高温石墨气冷堆】采用陶瓷型涂敷颗粒燃料和氦气作冷却剂的先进气冷堆，简称高温气冷堆。涂敷颗粒燃料由直径为200—400微米的二氧化铀或碳化铀芯，外面涂敷2—3层热解炭和碳化硅组成。将这些直径约1毫米的燃料颗粒弥散在石墨基体中并压制成燃料元件。这种堆型具有良好的内在固有安全性，氦冷却剂温度可达750℃以上，用途十分广泛，不仅可用于热电联供，还可用于燃气轮机发电和提供950℃的高温工艺热，用于煤的气化和液化以及裂解水制氢等生产工艺。高温气冷堆有两种堆芯型式，一种是使用柱状燃料元件的棱柱堆芯，另一种是使用球形元件的球床堆芯。已做出的小型模块式设计，代表了高温气冷堆的发展趋向，在发生事故时，能自动停堆，堆芯的剩余发热可通过辐射传热和自然对流导出，不会发生堆芯熔化。中国已将高温气冷堆列入高技术计划，准备建造一座10MW高温气冷实验堆。

【重水堆】用重水（D_2O）作慢化剂的热中子反应堆。重水堆可以用重水，也可以用普通水，有机物或气体作冷却剂。重水对中子的慢化性能好，吸收中子几率小。重水堆可使用天然铀作燃料且燃耗较深，乏燃料中铀—235的丰度很低（—0.25%），对铀的利用较充分。最初重水堆用于生产新的易裂变物质和其他军用同位素，后来加拿大的坎杜型堆（Candu堆—加拿大氘铀堆的英文缩写）用于发电。这种堆的堆芯由装有棒束型天然铀燃料元件的锆压力管和重水组成。重水堆的重水装量大，每座600MW电功率的

需要全本请访问 www.ertongbook.com

重水堆核电厂约需480吨重水。为防止重水泄漏，设备较复杂，造价较高。

【生产堆】主要利用中子与原子核的核反应，生产易裂变物质（钚—239），热核材料（氚）和其他放射性同位素（如钴—60）的热中子反应堆。通常，生产堆使用金属天然铀作燃料，这有利于获得较高的转换比，生产堆的转换比约为0.8。为了取得较纯净的武器级的钚，生产堆燃料元件的燃耗深度较浅，不允许超过一定的限度。因此，装换料频繁，需要供应和进行后处理的燃料元件量很大，必须有大规模燃料元件生产厂和提取钚的后处理工厂与它配套。生产堆与动力堆不同，不追求高的冷却剂温度，因此，大多生产堆的热工参数都很低，为提高经济性，现在已适当提高了冷却剂的热工参数，将单纯的生产堆改为生产发电两用堆。现有的生产堆按所采用的慢化剂分为石墨生产堆和重水生产堆两种。

【研究试验堆】主要用作研究试验工具的核反应堆。试验研究的范围很广，包括中子物理，材料辐照试验和燃料元件辐照考验等物理研究和为动力堆的设计和运行提供数据。此外，还可以用来生产放射性同位素和培训操作运行人员。对这种堆的基本要求是简单，功率低，运行安全、可靠，实验方便和投资费用较低。中子通量密度值通常是研究试验堆的一个重要性能指标，一般为10^{12}—10^{14}中子/厘米^{2}秒并将平均热中子通量密度高于5.10^{14}中子/厘米^2·秒的研究试验堆称为高通量堆。

【动力堆】用作生产动力的反应堆。主要可分为两类，一类是核电厂和核热电厂用堆，用于生产电力和热电联供。另一类是核潜艇，

核动力航空母舰等用堆，用来获得推进力。

【热中子反应堆】堆内的核裂变反应大部分是由热中子（与所在介质的原子核达到热平衡状态的中子，能量大多在 0.1 电子伏左右）引起的核反应堆。热中子是由核裂变产生的快速中子经与所在介质发生碰撞减速而来的。易裂变材料（铀－235 和钚－239 等）最容易在热中子作用下发生裂变。在设计上，热中子堆比快中子堆具有较大的灵活性，反应堆内的慢化剂（又称减速剂），冷却剂和核燃料都可以有较多的选择余地且热中子堆可以在易裂变材料的装载量较快中子堆少的条件下达到临界，同时比较容易控制。目前实用的核反应堆大多是热中子反应堆。

【脉冲反应堆】在很短的时间间隔（几个至几十毫秒）内超临界，使反应堆功率和中子通量密度产生一个强脉冲的反应堆。脉冲功率峰值通常可大于额定功率 10^3 量级以上，脉冲中子通量密度达 10^{16}—10^{18}中子/厘米^2·秒。脉冲反应堆通常为铀氢锆堆芯，属于先进的研究试验堆，它用途广泛安全可靠，价格低廉。

【聚变堆】能实现自持和受控的热核聚变反应的装置。当聚变能与输入的能量之比远大于 1 即实现点火并能取出热量时，就可从聚变装置发展成聚变堆。托卡马克型聚变装置最有发展希望，正在设计和准备建造的大型国际合作项目 ITER 就是国际托卡马克工程实验堆。预计到 20 世纪末建成实验堆，2030 年左右建成示范堆，到 2050 年左右开始商用化。

【混合堆】将聚变反应和裂变反应组合在一个混合系统中的自持可

控的核能装置。通常是在聚变反应堆芯容器外面包围一层主要由可转换物质铀－238组成的裂变层，使聚变堆芯内产生的中子在裂变层内引起裂变，产生更多的中子和能量。这些中子不仅能与锂（Li）反应生产氚外，还可以用来生产较多的易裂变物质（钚－239或铀－233等）。这种堆型的优点是：（1）中子和能量在包层内得到增殖，降低了对聚变技术的要求。（2）不需要初始易裂变物质并转换铀－238或钍－232为易裂变物质的产量比同规模的快中子增殖堆大。（3）包层区是次临界系统，没有临界安全问题。鉴于此混合堆的聚变堆芯技术要求较低，研究和发展混合堆，可以促进聚变技术的发展，使聚变技术早日在能源经济上发挥作用，保证裂变堆有足够的燃料供应。中国已将混合堆列入高技术计划。

【均匀反应堆】核燃料和慢化剂均匀混合的反应堆。这种均匀混合的状态有液态的如硫酸铀酰溶解于重水中，也有固态的如二氧化铀或碳化铀弥散于石墨中和铀—氢—锆合金。液态的均匀堆仅早期用于研究试验，已不再建造。固态的均匀堆有广泛用于教学研究的TRIGA堆和球床型高温气冷堆。

【空间反应堆】应用于航空航天的小功率自持式核裂变装置。通常以小型快中子堆为主，同时必须防护乘员与仪器设备免受反应堆的辐射影响。前苏联于1964年建成了电功率500瓦的快中子—热电转换器“洛马什卡”动力装置，并曾多次发射太空运行。正在研制的有电功率5到10千瓦的快中子堆—热发射转换器“托巴兹”。美国于1965年成功地将热中子堆—热电转换器SA—NP—10A（电功率500瓦）送入太空。正在研制的是快中子堆—热电转换器SP100，电功率100千瓦。

【核能供热】主要供给工业用热和居民采暖等热能的核能应用技术领域。包括低温核供热，核热电联供和高温工艺供热三部分。为了防止放射性，确保核辐射安全，核能供热需采用三回路系统。核能供热的首要条件是反应堆应具有良好的内在固有安全性。例如，正在研究和发展并得到国际核能界公认为具有高度固有安全特性的核能供热堆有：加拿大的 SLowpoke 型池式自然循环轻水堆（已建成 SLowpoke—Ⅲ），瑞典的 PIUS 型硼水控制的压水堆（Secure-H 和 PIUS－600），美国和德国的模块式高温气冷堆（MHTGR350 和 HTR－Module）等。中国已于 1989 年建成运行 5MW 壳式自然循环一体化低温供热堆，并正研究和发展 PIUS 型压水堆和模块式高温气冷堆，用于核热电联供和高温核工艺供热。

【核能装置】利用核能和将核能转换为机械能、电能、热能以及其他形式能量的装置。核能是由重元素原子核的裂变反应，轻元素原子核的聚变反应释放的能量和放射性同位素的衰变能。核能装置分受控的和不受控的两类，受控的核能装置有核反应堆、核电厂和核供热站等，不受控的有原子弹、氢弹和其他核爆炸装置等。受控的核聚变装置还处于试验研究阶段，目前最有发展前途和研究发展较快的是“托卡马克”装置。应用放射性衰变能的装置有核能电池，电动心脏起博器和其他小功率电源的自持能源，电功率为几瓦到几百瓦。为了防止大量放射性物质逸出和射线的影响，大多数核能装置都设置了多道安全屏障（如燃料包壳、反应堆压力壳和安全壳等），并采取了一系列防御措施（各种专设安全设施），以确保核能装置在运行和事故情况下的安全。随着世界对能源需求的日益增长和核科学技术的不断发展，各种类型和各种用

途的核能装置将得到进一步的开发和推广应用。

【核临界安全】为避免发生核功率骤增的专门技术，即为防止核反应堆和在核燃料后处理过程中有可能发生超临界（核裂变链式反应不断增强趋于发散）事故所必须注意的安全问题。在核反应堆和核燃料后处理过程中，易裂变材料（铀－235 和钚－239）在达到一定的浓度、形状、数量和体积等条件下，便可稳定地维持自持裂变链式反应，称为临界状态。如果，浓度或质量等大于临界值，就会发生超临界事故，并有可能引起堆芯熔化或爆炸的危险。因此，需要在反应堆和核燃料后处理工厂的设计、运行和管理上对易裂变材料的质量、体积或浓度等控制在一定限度内或利用中子吸收体（如控制棒和镉板）和中子监测器来控制和监测临界安全。

【放射性同位素能源】利用放射性同位素的衰变能作为产生小功率电能的自持能源。发电功率通常只有几瓦到几百瓦。适宜做此能源的放射性同位素要放射性强度大，半衰期长（不小于 100 天），如铈－144，锶－90，铯－137，钚－238 和锔－242 等。放射性衰变能转换为电能的方法有热电转换，热发射转换和机械转换。前苏联和美国是发展此种能源的主要国家。例如，有用锶－90 的“贝塔”系列热电发电机，SANP 系列和“哨兵”系列电池，均已用于海洋航行装置，自动无线电气象站，人造地球卫星和航天飞行器中。利用钚－238 制成的心脏起博器已在医疗中应用。

【核能装置退役】核能装置包括核反应堆、核电厂、核潜艇、核动力航空母舰和核爆炸装置等经服役运行到达或超过其寿命期，在

停运关闭后所需进行的清洗去污、安全封存、埋存和拆除，使场址恢复原状等一系列对带有放射性的场所、设备和部件，放射性废物等的处理和处置工作。退役工作十分复杂和艰巨，所需的资金也很多，例如，核电厂的退役费约占基建总投资的10%，现已计入核能装置项目的总成本。

【核能装置辐射安全】为保护生物体免受核能装置的辐射危害的专门技术。核能装置是强辐射源，当发生事故时，有可能发生大量的放射性物质逸出和使生物体受到大剂量的辐射照射。为了使生物体免受辐射危害，在核能装置的设计、运行和管理上，需采用各种防护屏蔽和控制监测等手段。

【受控热核聚变】受控热核聚变反应是在人工控制的条件下，将一团轻元素的原子核（核燃料）在高温等离子体状态下约束足够长时间，聚合成较重原子核的核反应。核反应释放的能量以反应产物的动能形式表现出来。产生热核反应的基本条件，一是核燃料必须加热到足够高的温度（几千万度），此时核燃料已被电离成电子和离子的混合体，即等离子体；二是要将它们约束起来使它们有进行核反应的时间。自然界中太阳等恒星和氢弹爆炸辐射出的能量均起源于热核聚变反应，但它们都不能在人工控制的条件下慢慢地释放核能，人们感兴趣的热核聚变反应有：

$$D+D\rightarrow He_2^3+n+3.72Mev$$

$$D+D\rightarrow T+P+4.03Mev$$

$$D+T\rightarrow He_2^4+n+17.6Mev$$

$$D+H_{ez}^3\rightarrow He_2^4+P+18.34Mev$$

1Mev（兆电子伏）$=1.6\times10^{13}$J（焦）式中D、T、He、N和P，

需要全本请访问 www.ertongbook.com