

顶层设计，时代“核”心

——核技术应用行业深度报告

行业评级：看好

2024年12月4日

分析师 汪磊
邮箱 wanglei07@stocke.com.cn
证书编号 S1230524050004

研究助理 范笑男
邮箱 fanxiaonan@stocke.com.cn

摘要

1、非动力核技术应用：造福于民的“幕后英雄”

1) 核技术应用一般指非动力民用核技术，其应用领域涵盖了工业、农业、医疗健康、公共安全等多个行业，在国防建设与国民经济中发挥着重要作用；国际原子能机构（IAEA）指出“就应用的广度而言，只有现代电子学和信息技术（ICT）才能与同位素及辐射技术相提并论。”

2) 2022年我国非动力核技术应用产值约占GDP的0.57%，对标海外发达国家（GDP占比2~3%）仍有巨大增长潜力。

3) 顶层设计出台，2024年10月31日，国家原子能机构等十二部门联合印发《核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024—2026年）》，历史上首次专门针对“核技术应用”产业进行顶层设计，要求2026年我国核技术应用产业年直接经济产值达4000亿元，同时针对同位素供应、应用产业化、产业集群与头部企业等方面了明确指引。

2、产业各环节持续完善，中上游布局正当时

1) 加速器：电子加速器是核技术应用的**核心装置**，其将电子的势能转换成动能，以此提供高能粒子束或辐射线；

2) 辐照加工：辐照加工技术主要应用于辐照灭菌、检验检疫以及物质改性等场景，据统计**2023年底我国辐射加工产业规模预计在2000亿元以上**；

3) 同位素：同位素在医学、工业、农业、放射性药物科学、工业应用、环境追踪和生物研究中具有广泛的应用，当前人工放射性同位素的制备方式主要包括在**核反应堆**中生产、用**带电粒子加速器**制备以及从**核燃料后处理液**中分离提取等。

3、下游应用极为广泛，关键领域加速国产化

1) 工业领域：**辐照材料改性**是中国产业化程度最高的辐射技术应用领域，其中随着微电子、家电、汽车、航空、通讯、电力等系统对于电线电缆的性能要求的提高，**辐照交联电线电缆的需求快速增长，预计2023年底产能已突破100亿元**；而其中**核级缆料对于线缆的性能要求更为苛刻**，相关核技术应用供应商的进入门槛较高，伴随着我国核电站电缆的设计自主化和国产化推进，**有相关技术积累以及供货许可证的公司有望率先受益**。

2) 医疗健康：核医学是开展核技术在医学中的应用以及其相关理论研究的学科，从应用范围和侧重点上可分为**实验核医学**和**临床核医学**，当前应用**放射性核素或核射线**进行疾病的诊断、治疗与开展医学科研已成为医学领域的重要组成部分；而我国医用同位素、核医疗装备等关键环节仍依赖进口，伴随着我国政府、投资机构、科研机构等部门针对**核药、质子治疗系统**等关键元素或装备的持续发力，我国核医疗产业国产化快速推进。

3) 农业环保：前核技术在农业领域的应用主要聚焦在**动物生产和健康、食品安全及控制、植物诱变育种和遗传、水土管理及农业环境、害虫防治**等领域，进而促进粮食安全和农业可持续发展并改良生态环境，此外针对**废气、废水、废物的污染**，也可通过核技术应用进行有效处理。

4) 公众安全：核检测技术能够利用射线确定物质种类，从而广泛应用于车站、行李、旅客、集装箱等多个安全检查场景，其中主要的核检测技术包括**X射线安全检查技术**和**中子探测技术**。

4、相关标的与投资建议：建议关注**中广核技**（电子加速器+核技术应用）、**中国同辐**（核医疗+辐照应用）、**中金辐照**（辐照加工）、**同方股份**（核安检）、**盈康生命**（直线加速器+质子治疗设备）、**东诚药业**（核医药）、**沃尔核材**（核辐照材料）、**中国核电**（同位素）、**鑫宏业**（核级线缆）等。

- 1、核技术应用拓展不及预期。**核技术应用的不断拓展对于行业内公司经营状况技术的规模化应用影响重大，若非动力核技术应用拓展不及预期，可能会为相关公司业绩增长带来不利因素。
- 2、非动力核技术国产化进程不及预期。**当前我国以核医疗为代表的多个高端核技术应用领域国产化程度较低，若未来上述行业的国产化进程不及预期，则可能会影响我国相关厂商的业绩情况。
- 3、市场竞争加剧。**当前多个非动力核技术应用的细分环节均有大量厂商布局，若未来市场竞争激烈程度不断增加，将会影响各公司的业绩增长，同时对其盈利能力带来不利影响。
- 4、政策支持力度不及预期。**政策落地执行对非动力核技术应用行业中的公司业绩有重大影响，若政策推进不及预期，可能会对行业内上市公司业绩带来不利影响，进而影响公司的市场表现。

目录

CONTENTS

- 01 核技术应用：造福于民的“幕后英雄”**

首次出台顶层设计，核技术应用已进入高速发展期
多维因素驱动行业发展，产业规模加速突破
- 02 产业各环节持续完善，中上游布局正当时**

加速器：非动力核技术应用的核心装置
辐射加工：非动力核技术应用的核心技术
同位素：非动力核技术应用的重要源头

下游应用极为广泛，关键领域加速国产化

工业领域：材料改性技术较为成熟，核级缆料需求打开
医疗健康：核素诊疗技术快速发展，装备药品国产突围
农业环保：助力动植物生产与粮食安全，改良生态环境
公众安全：安全检查需求旺盛，核检测技术被广泛应用
- 03 相关标的与投资建议**

建议关注中广核技、中国同辐、中金辐照、同方股份、盈康生命、东诚药业、沃尔核材、中国核电、鑫宏业等
- 04 风险提示**

核技术应用拓展不及预期；非动力核技术国产化进程不及预期；
市场竞争加剧；政策支持力度不及预期
- 05**

01

核技术应用：造福于民的“幕后英雄”

- 首次出台顶层设计，核技术应用已进入高速发展期
- 多维因素驱动行业发展，产业规模加速突破

- **核技术应用一般指非动力民用核技术。**核技术是指以原子核结构与变化规律及其固有和伴随产生的物理现象为基础，并通过反应堆、加速器、放射性同位素、核探测器或核仪器仪表等装置来开展实际应用的现代高技术，其一般可分为**核武器技术、动力核技术、非动力军用核技术**和**非动力民用核技术**（亦称**核技术应用**或**同位素及辐射技术应用**）。
- **核技术应用渗透社会各个领域。**由于核技术应用极为广泛，涵盖工业、农业、医疗健康、公共安全等多个领域，在国防建设与国民经济中发挥着重要作用，因此与**核电**并列被国际核能界比作“**车之两轮**”“**鸟之双翼**”。国际原子能机构（IAEA）指出：“就应用的广度而言，只有**现代电子学**和**信息技术（ICT）**才能与**同位素及辐射技术**相提并论。”

图1：核技术分类示意图

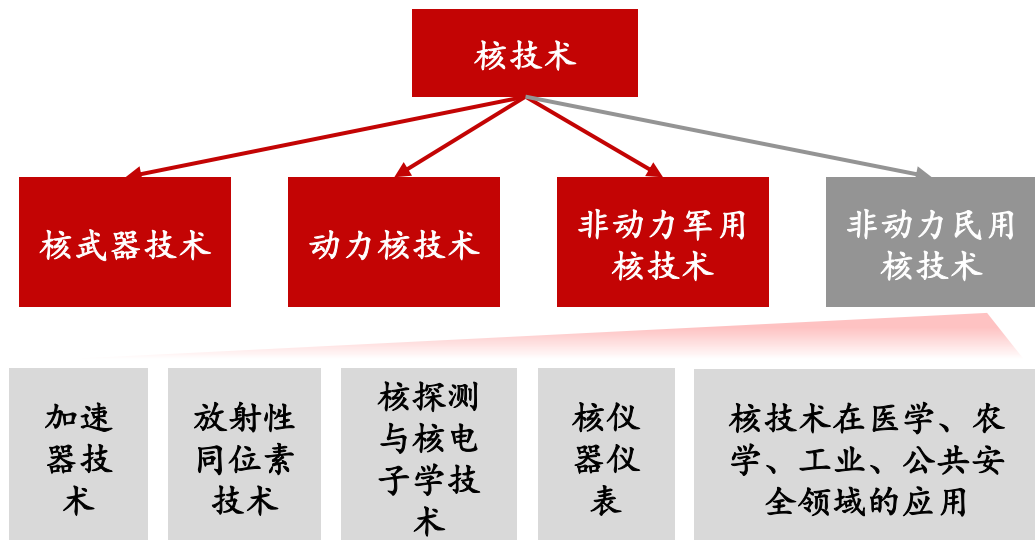
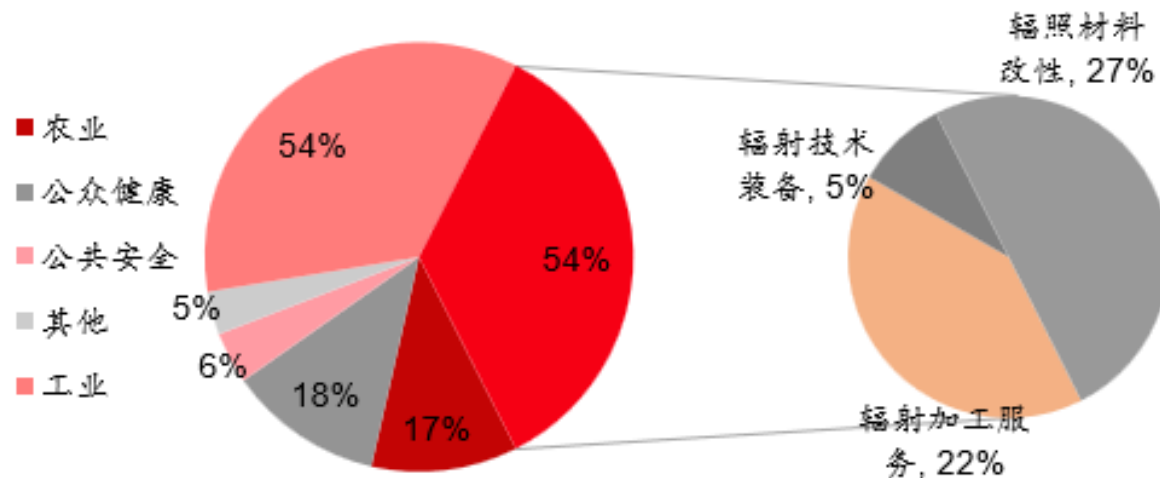


图2：2016年非动力核技术在不同领域的应用占比



首次出台顶层设计，旨在加快核技术应用产业发展

- 国家首次出台顶层设计，推动核技术加速应用。**2024年10月31日，国家原子能机构等十二部门联合印发《**核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024—2026年）**》，历史上首次专门针对“核技术应用”产业进行顶层设计，要求2026年我国核技术应用产业年直接经济产值达4000亿元，同时针对同位素供应、应用产业化、产业集群与头部企业等方面了明确指引。

表1：国家主要核技术应用相关政策

发布时间	政策名称	国家部门	主要内容	重点支持方向
2024/10/31	核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024—2026年）	国家原子能机构、发改委、教育部、科技部、工信部、公安部、生态环境部、交通运输部、农业农村部、国家卫生健康委、国务院国资委、国家药监局	到2026年，我国核技术应用产业自主创新能力显著提升，产业领域进一步拓展，力争核技术应用产业年直接经济产值达 4000亿元 ；具备 3种以上放射性同位素自主化供应能力 ，突破 5种以上放射性同位素生产技术 ；国产化中高能质子回旋加速器等一批 核技术应用产品实现产业化 ；核技术应用研发平台体系进一步优化，产学研协同创新体系基本形成；一批核技术应用特色产业 产业集群基本形成 ，力争打造 2-3家国家专精特新“小巨人”企业 ，不断发挥 头部企业牵引作用 。	
2023/12/27	产业结构调整指导目录（2024年本）	发改委	鼓励核能行业（含核技术应用）	同位素、加速器及辐照应用技术开发、辐射防护技术开发与监测设备制造
2016/3/17	中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要	/	加快开发民用核分析与成像等	民用核分析与成像
2016/3/16	2016年国防科工局军民融合专项行动计划	国防科工局	加强核技术应用产业发展，重点在放射性同位素生产，医用加速器、放疗设备研发等领域加大科技攻关，推动一批项目立项	放射性同位素生产，医用加速器、放疗设备研发
2004/1/30	关于实施民用非动力核技术高技术产业化专项的公告	发改委	加快高技术成果的产业化，促使我国核技术应用产业在5年左右达到1000亿元的产业规模，并保持年均15%以上的增长速度	核探测成像技术系统、新型放射性诊断和治疗装置及创新药物、射线技术在环保领域应用、应用辐射加工和材料改性、新型辐照加速器等辐照装置及同位素制品

资料来源：中央人民政府，国务院，发改委，国防科工局，国家原子能机构、教育部、科技部、工信部、公安部、生态环境部、交通运输部、农业农村部、国家卫生健康委、国务院国资委、国家药监局、新华社，浙商证券研究所

- **非动力核技术发展可从放射性同位素技术和辐照技术两条主线进行回顾。**考虑到核技术应用又称为同位素及辐照技术应用，因此我国非动力核技术的发展历程主要可拆解为放射性同位素技术发展和辐照技术发展两条主线。
- **当前我国非动力核技术已进入高速发展期。**1) **放射性同位素技术：**我国放射性同位素技术已经经历过创业阶段、技术开发阶段、保军转民阶段等三个阶段，近年来随着同位素制备、基础设施以及应用产业的兴起，我国涌现出一批专业化公司，行业进入快速发展新阶段；2) **辐照技术：**我国自1958年开始食品辐射技术研究，20世纪80年代，在“五年计划”的推动下我国辐照食品的研究和应用逐渐形成规模，此后辐照加工技术的应用领域持续拓展，相关法规不断完善，行业进入高速稳定增长时期。

图3：我国放射性同位素和辐照技术发展历程



- **我国非动力核技术应用产业规模快速增长。**据中国核能行业协会估算，截至2022年底，全国从事放射性同位素和射线装置的法人单位已达9万家；在役民用研究堆（临界装置）有18座（可生产同位素的5座）；在用各类射线装置约23万台，放射源15.7万枚。从产值上看，我国核技术应用产值已从**2015年的3000亿元（约占GDP的4.0%）**增长到**2022年底的7000亿元（约占GDP的5.7%）**，年复合增长超15%。
- **对标海外发达国家，我国核技术应用产业增长空间巨大。**当前全球已有150多个国家和地区开展核技术的研发与应用工作，其中美国的核技术应用产值在90年代中期就已达到3310亿美元，**约占GDP的4.7%，是核电产值的3.67倍**，同期日本的核技术应用产值也已超过700亿美元。对标海外发达国家，我国核技术产业发展仍有巨大的增长潜力。

图4：我国核技术应用产业产值和GDP占比

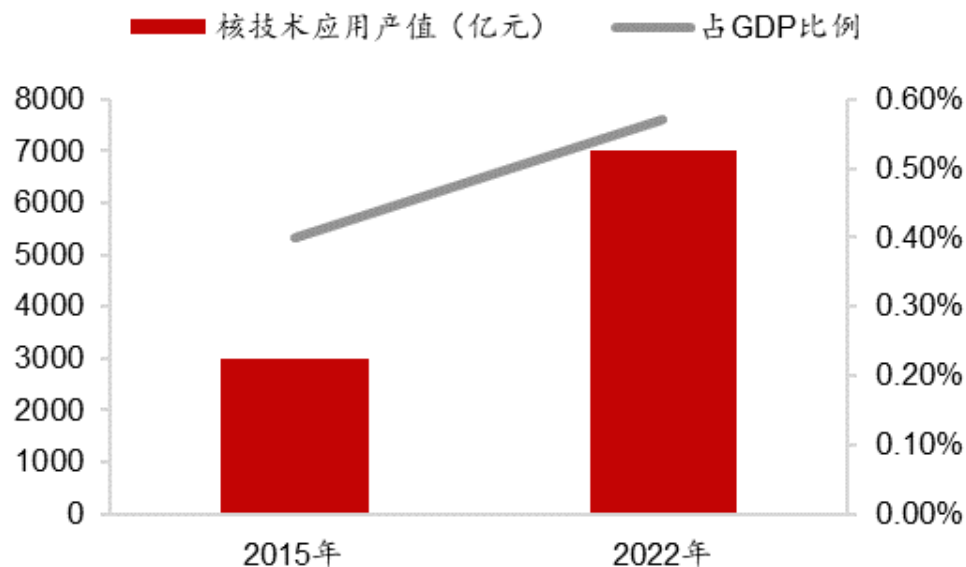
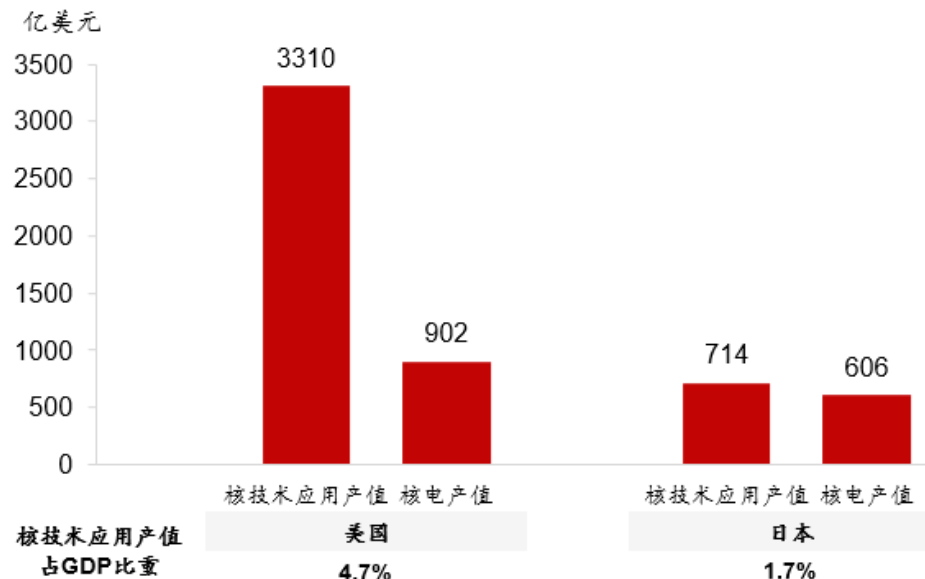


图5：美日早期核技术应用产业产值和GDP占比



- 我国多地已出台同位素应用相关规划，多个产业园项目开工。核技术应用在我国长三角、珠三角、环渤海和成渝经济圈等增长极实现了规模化重点布局，也从嵌入区域经济集群中获得了溢出效应。目前，四川和陕西两省，山东烟台、四川绵阳和湖南衡阳三市，浙江海盐、四川夹江、甘肃金塔三县均已出台同位素应用相关规划，多个产业园项目陆续开工。

图6：我国核技术应用产业版图



02

产业各环节持续完善，中上游 布局正当时

- 加速器：非动力核技术应用的核心装置
- 辐射加工：非动力核技术应用的核心技术
- 同位素：非动力核技术应用的重要源头

- **电子加速器能够提供高能粒子束或辐射线。**电子加速器是一种使用人工方法使电子在真空中受磁场力控制、电场力加速而达到高能量的**电磁装置**，由于其能提供各种高能电子束或辐射线，因此是进行物质深层结构研究的重要工具，目前已广泛应用于物理科学研究以及社会生活的各个领域。本文中所指电子加速器主要指**工业辐照加速器**，即用于辐照各种材料、参与化学反应和进行灭菌消毒等工业生产过程中的加速器装置。
- **电子加速器构成主要包括电子枪和加速结构等。**电子加速器的构成主要包括电子枪、加速结构、导向聚焦系统、束流运输系统和高频功率源或高压电源等五个部分，作用原理体现为将带电粒子引入人工控制的电场，并在电磁力或电位场的作用下加速至预定能量值后，使垂直于粒子运动方向的磁场产生**洛伦兹力**，进而将电子的**势能转换成动能**。

图7：电子加速器的基本构成示意图

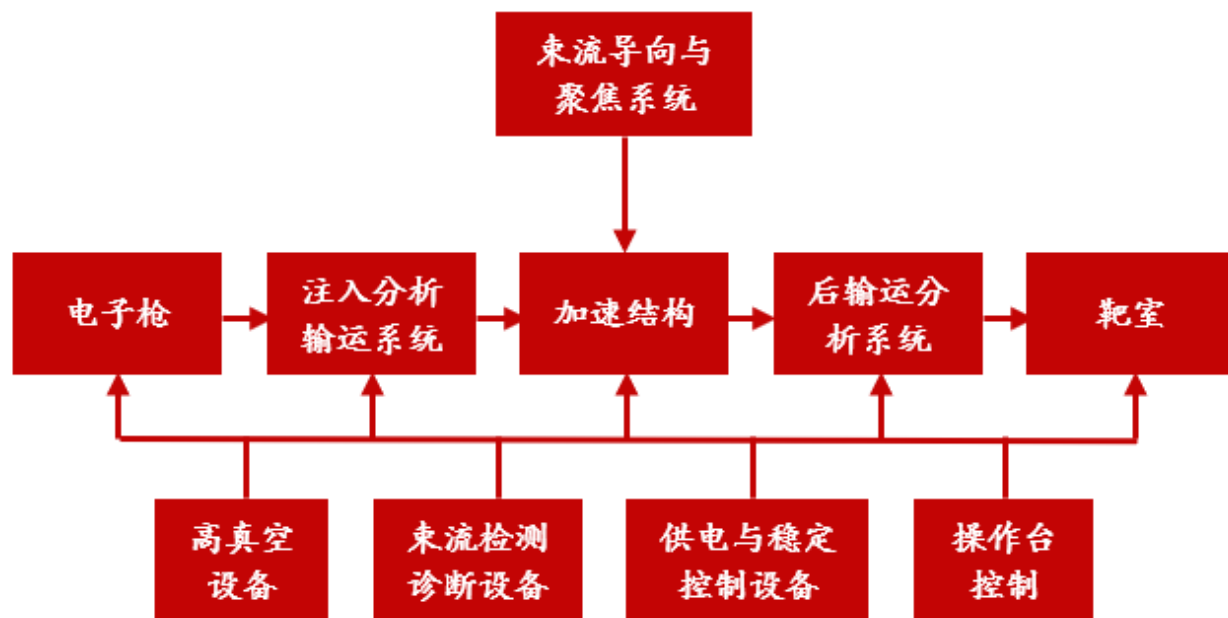
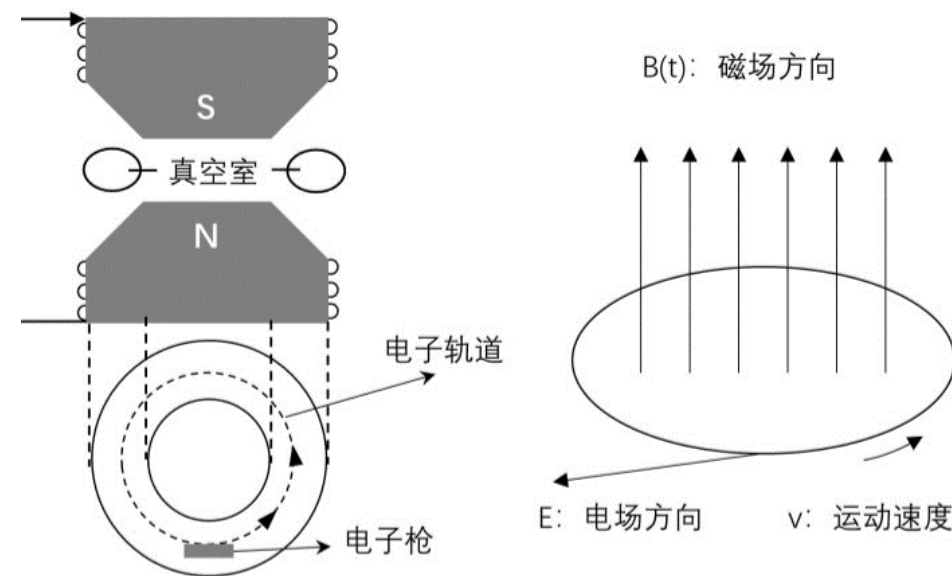
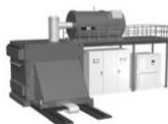




图8：电子加速器的运作原理



- 工业电子辐照加速器可根据应用需求主要分成三个能区。1) 低能加速器 (80keV~0.3MeV) 的代表机型为**电子帘加速器**，其没有加速管和扫描装置，体积较小、外形规整且具有自屏蔽功能，主要应用于农产品辐照灭菌、表面涂层辐射固化以及邮件或包裹等表面的消毒灭菌等；2) 中能加速器 (0.3MeV~5MeV) 的代表机型为**高频高压加速器**，其能量利用率较高，体积较大，可适用于大规模工业生产；3) 高能加速器 (5MeV~10MeV) 的代表机型为**电子直线加速器**，其主要利用微波加速电子，注入和引出效率都比较高，可用于医疗器械和卫生用品的辐照消毒灭菌等。

表2：低、中、高能电子加速器特征对比

电子加速器类型	电子能量	代表机型	结构或性能特点	主要应用领域
低能加速器 	80keV~0.3MeV	电子帘加速器	无加速管和扫描装置，体积小、外形规整，具有自屏蔽功能，结构较为简单	谷物等农产品的辐照灭菌，工程塑料、板材和玻璃等建筑装饰材料或录音磁带等高端产品的表面涂层辐射固化，海水淡化膜，锂电池微孔复合隔膜等及其他功能膜的制备，废气处理，橡胶硫化，邮件或包裹表面的消毒灭菌等
中能加速器 	0.3MeV~5MeV	高频高压加速器	以负载性能良好的并激耦合倍乐线路作为高频高压发生器，产生直流高压，能量利用率较高体积较大，适合于大规模工业生产中使 用	电线电缆的聚乙烯绝缘材料和聚乙烯发泡塑料的辐射交联，橡胶硫化，辐射生产高强度耐温聚乙烯热塑管，防水阻燃木塑地板等
高能加速器 	5MeV~10MeV	电子直线加速器	注入和引出效率都很高，束流强度取决于注入器的入射强度加速结构的束爆破(BBU)阈值和高频电源的荷载能力	医疗器械和卫生用品的辐照消毒灭菌，食品辐照保鲜，粮食灭虫，进出口食品检验检疫，中成药灭菌，抗生素降解，环境保护，半导体器件改性，化工新产品开发等

- 工业电子辐照加速器可根据加速电场分为高压加速器和高频加速器。**
 - 1) 高压加速器**是利用直流高压电场来加速带电粒子的加速器，其是辐射加工生产中应用最广泛的一类加速器；
 - 2) 高频加速器**是利用高频电场加速粒子的加速器，通过高频功率源将功率注入到加速器加速结构中，在加速结构中建立加速电场，电子在加速电场中经过一次或多次加速，即可获得很高的能量。相对于高压加速器，**高频加速器中加速电场低，受到高压击穿的制约小**，因而易于实现较高的束流能量，所以辐射加工领域内(5~10)MeV的高能加速器主要是高频加速器。

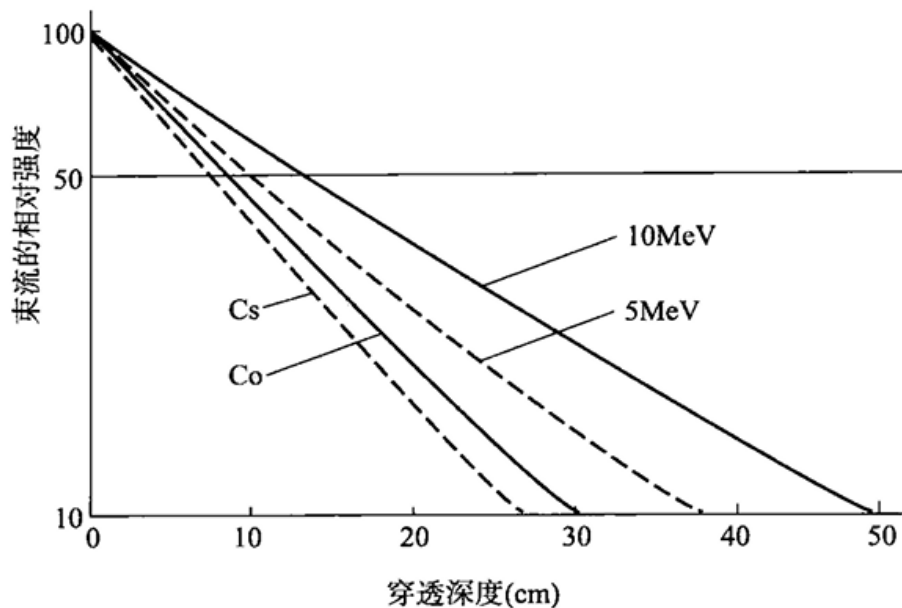
表3：各种类型高压加速器的特点

类型	端电压/MV	特点	主要用途
电子帘加速器	0.08~0.3	束流功率高，结构简单，生产效率高，电源利用率超过50%	表面涂层固化电子辐射加工
倍压加速器	0.1~4	束流品质与能量稳定度不高，但负载能力大，可加速各种粒子，提供连续或脉冲束流	质子与重离子直线加速器的注入器，中子发生器，离子注入机，电子辐照等
高频高压加速器	0.4~5	束流品质较好，高压纹波小，稳定度高，束流功率大，但电源利用率低	电子束辐射加工，也用作核物理实验
变压器型加速器	0.3~5	束流功率较高，但纹波较大，超过2MV时稳定性差，重量大，但电源利用率高，且价格便宜	电子束辐射加工
静电加速器	1~35	束流品质好，发射度与能散度小，能量稳定度高，能量可以在很宽的范围内精细调节，可加速各种粒子，提供连续或脉冲束流	核物理和中子物理实验研究回旋和同步加速器的注入器，高能离子注入、电子辐射加工等
强脉冲加速器	1~12	脉宽(50~100)ns，脉冲功率可达 10^{13} W，产生短脉冲强流电子束与短脉冲强X射线	闪光照相及模拟核武器效应

- **辐照加工技术是非动力核技术应用的核心技术。**辐照加工技术是利用电离辐射与物质相互作用产生的物理学、化学和生物学效应，对物质和材料进行加工处理的一种核技术。由于其具有穿透性强、可在常温下进行、节能、无残毒、无废物、易于控制等特点，因此在传统行业改造、功能材料开发、实现微细加工及三废处理中都具有重要作用。
- **用于辐射加工的辐射源主要有钴60(Co-60)和电子加速器。**Co-60产生 γ 射线，其相较于其他常见的核辐射具有极强的穿透性；而电子加速器则产生电子束和X射线。

表4：三种辐射源辐照加工对比

	高能电子束	γ 射线	高能X射线
作用形式	非弹性碰撞，韧致辐射	康普顿散射、光电、电子对	康普顿散射、光电、电子对
源的类型	电子加速器	Co-60	电子加速器
束流形式	脉冲	恒定	脉冲
能量, MeV	10	1.17/1.33	能量连续分布
计量深度分布	平坦, 下降沿较陡	积累, 指数下降	积累, 准指数下降
穿透能力(水, cm)	2-4(单面照)5-10(双面照)	强, 30	强, 40
环境问题	无	废源处理	无
主要用途	医疗用品的辐射消毒, 食品保藏	食品保藏, 医疗用品的辐射消毒	食品保藏, 医疗用品的辐射消毒, 适用于大型包装
优点	机器关掉辐射停止, 环境保护好, 单向辐射, 传输简单, 高产率	可靠, 辐射源无需修理, 穿透力强, 产品适应性好	机器关掉辐射停止, 环境保护好, 单向辐射, 传输简单, 高产额, 穿透力大, 产品适应性好
缺点	包装尺寸及密度有严格要求	辐射源强度随时下降, 需定期补充, 要考虑辐射源的废弃物处理, 加工产率远低于电子束	X转换效率低, 加工产率远低于电子束

图9： γ 射线和X射线的穿透深度对比

- **辐射装置的核心是辐射源和产品运输系统。**为实现某一辐照加工过程，必须建立一套辐射装置以及与此相对应的辐照工艺与流程。总体来看，辐射装置的基本部分包括（1）辐射源及其附属系统如通风、水冷等，（2）产品传输系统，（3）人员防辐射安全屏蔽，（4）控制系统，以及（5）产品加工前后的储存区等，其中辐射装置的核心是辐射源和产品运输系统。

图10: Co-60辐射源辐射装置示意图

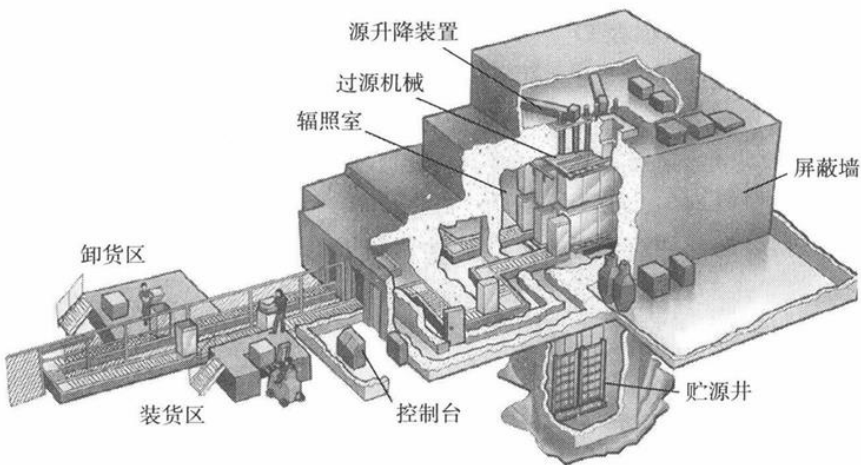


图11: 直立式电子辐射装置示意图

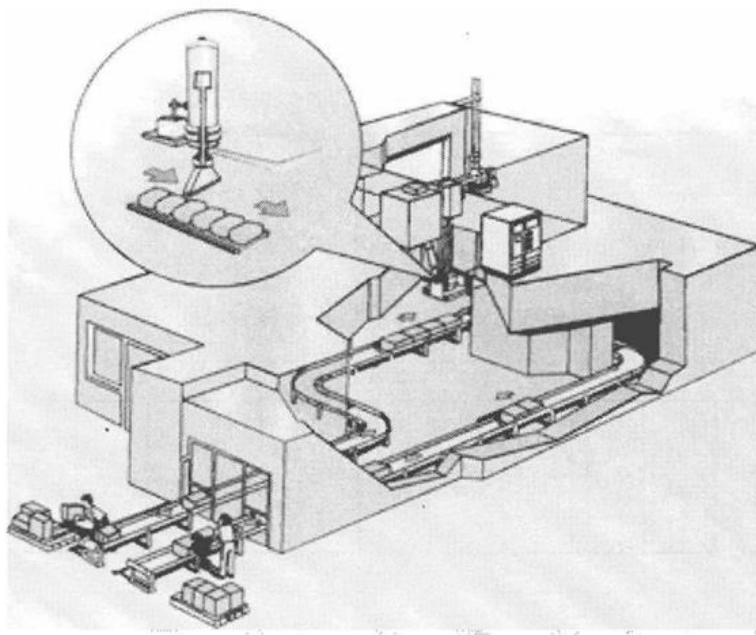
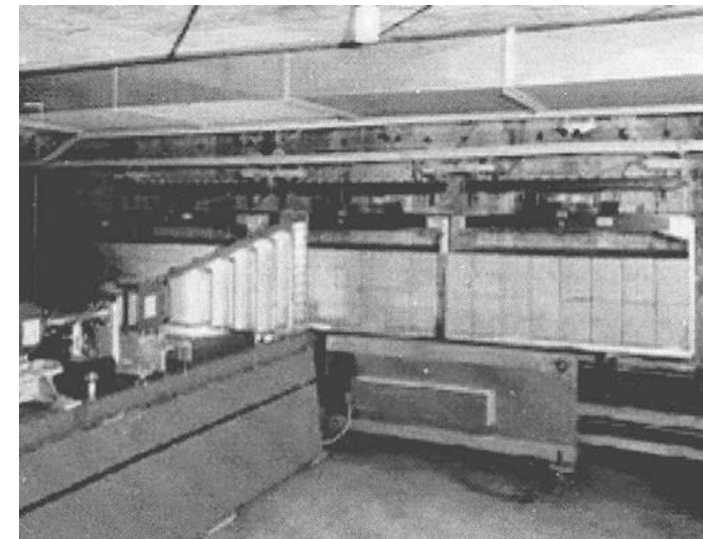


图12: 水平式电子辐射装置示意图



- **辐照加工技术应用主要集中在辐照灭菌、检验检疫以及物质改性。**根据辐照所产生的的加速电压的不同，辐照加工的主应用种类较多，包括辐照化工、辐照灭菌、环境保护、检验检疫、种子诱变以及物质改性等。根据IAEA统计，全球范围内的辐照加工中辐照灭菌、检验检疫及物质改性应用占比超过70%。
- **辐照加工产业规模快速增长，现预计已超2000亿元。**根据可得数据，我国辐射加工产业规模在2010年已达350亿元，至2018年规模已超千亿，按照约15%的年均复合增速估算，2023年底我国辐射加工产业规模预计在2000亿元以上。

图13：中国辐照加工技术应用领域

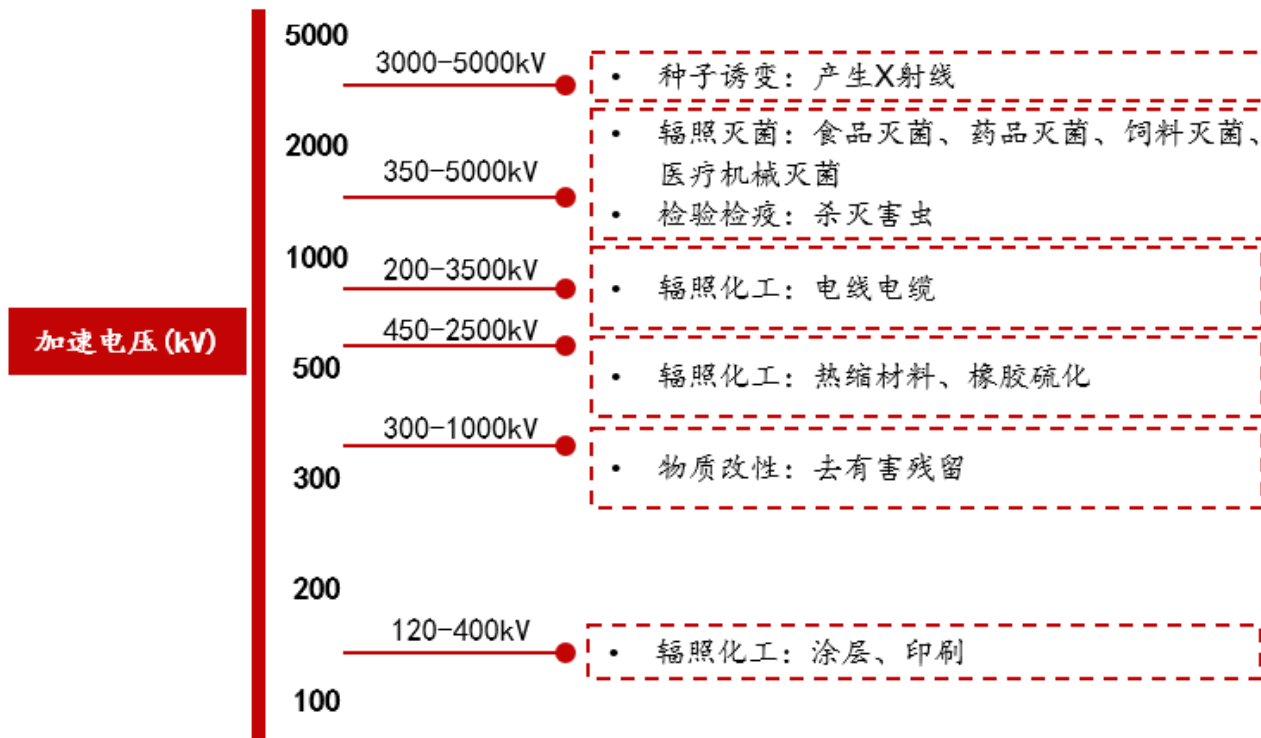
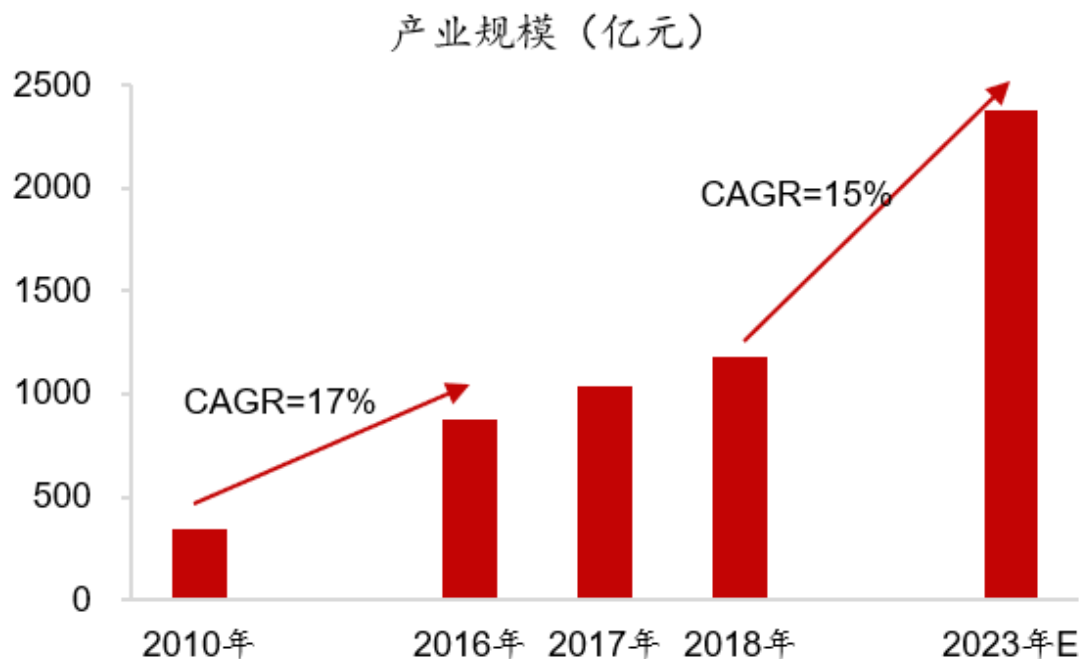


图14：中国辐照加工产业规模估算



- **放射性同位素具有不同性质但处于同一位置的元素。**同位素是指在元素周期表中处于同一位但具有不同性质的元素，其中能够放出射线的同位素称为放射性同位素。总体来看，放射性同位素的特征表现为，1) 能放出 α 、 β 、 γ 或中子射线等各种不同的射线；2) 放出的射线不由原子核本身决定；3) 具有一定的寿命（可用半衰期衡量）。
- **放射性同位素制备是同位素和辐照技术应用的重要物理基础。**当前人工放射性同位素的制备大体有三种方式，包括在核反应堆中生产、用带电粒子加速器制备以及从核燃料后处理液中分离提取等，其中反应堆和加速器生产最为常见。

表5：反应堆和加速器制备放射性同位素的方法对比

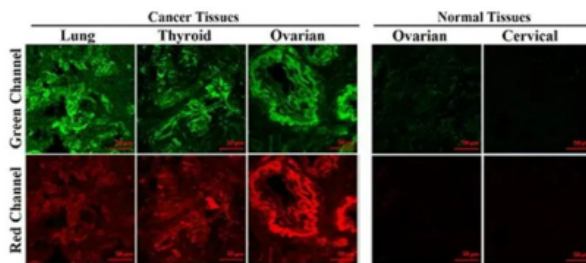
制备方法	基本原理	生产过程	特点
反应堆生产	反应堆作为强中子源，将样品(靶料)置于反应堆辐照室(如活性区)或辐照管道(如孔道)内经中子辐照，利用(n, γ)(n, α)(n,p)等反应，使样品中的稳定同位素变为放射性同位素	制靶、反应堆照射、活度测量和分装等	1) 靶子经反应堆中子照射后，产生的放射性同位素的活度与辐照处的中子注量率、辐照时间、靶核的中子反应截面、靶量、丰度及生成核素的半衰期等有关； 2) 反应堆中主要由(n, γ)反应生产同位素，所生成的同位素与靶料一般是同一元素； 3) 构成生物机体的主要元素(C、N、O)的(n, γ)反应截面小，用反应堆不能有效地生产临床诊断上很需要的这类同位素
加速器生产	由加速器产生的具有一定能量的带电粒子,如质子、氘核和 α 粒子轰击靶料,通过(p,n)(d,n)(d,2n)(d, α)(d,p)和(α ,n)等反应得到放射性同位素	制靶、轰靶、化学分离与精制和配制相应放射性料液等	1) 加速器生产放射性同位素的产额决定于加速器加速粒子能量和整流强度、靶材的靶量和丰度、生成核素的核反应截面、打靶时间和生成核素的半衰期等； 2) 加速器生产的放射性同位素与靶材料一般不相同，故易于化学分离，可进行无载体同位素的生产，从而获得高纯度、高比度放射性同位素； 3) 加速器生产的同位素都是缺中子同位素，衰变时大多是电子俘获或发射正电子，不发射其他带电粒子，所以可用 γ 相机或正电子发射断层扫描(PET)进行医学诊断，病人所受的剂量小； 4) 加速器很容易制备构成生物机体的主要元素(C、N、O)的(n, γ)，并可设置在医院内就近使用，十分方便； 5) 加速器操作简单、可随时启动或停机，工作安全，检查维修方便，工作中放射性污染的危险性小

- 放射性同位素在医学、工业、农业等领域应用广泛。当前已有超过3000种已知的放射性同位素，其是元素的不稳定形式。由于这些放射性同位素会发出不同程度的辐射，因此在医学、工业、农业、放射性药物科学、工业应用、环境追踪和生物研究中颇有用处。

图15：放射性同位素的主要应用领域

医学诊断与放射治疗

- ✓ 区分肿瘤组织与正常组织
- ✓ 骨骼显像
- ✓ 心脏灌注断层显像
- ✓ 甲状腺显像
- ✓ 局部脑血流断层显像
- ✓ 肾动态显像及肾图检查
- ✓ 阿尔茨海默症早期诊断
- ✓ 放射治疗



运用钼-99区分肿瘤组织与正常组织

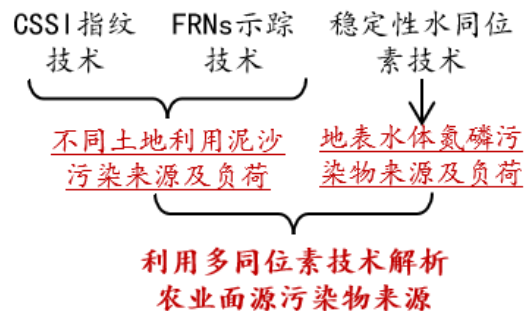
食品保藏

辐照剂量分类	功能与目的
低剂量辐照	抑制发芽 阻止蘑菇开伞 延缓成熟
中剂量辐照	消除谷物中的仓储害虫 预防旋毛虫等 杀灭食品中腐败微生物 杀灭食品中病原菌和寄生虫

农业育种与虫害控制

- ✓ 农业育种：利用各种射线照射农作物使其变异，再培育成新的优良品种
- ✓ 昆虫不育技术：利用电离辐射对在特殊饲养设施内繁殖的雄蝇进行绝育

环境监测

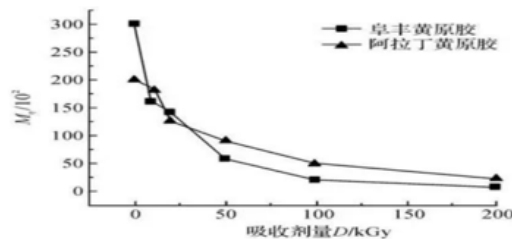


灭菌消毒

- ✓ 疫情期间，工信部发布《医用一次性防护服辐照灭菌应急规范（临时）》手册，辐射灭菌消毒方法，可以缩短消毒时间

废物处理

- ✓ 工业污水、生活废水和抗生素菌渣的无害化处理



辐照降解黄原胶水溶液

热电源

- ✓ 同位素电源（RTG）或同位素热源（RHU）均采用二氧化钷陶瓷（主要为²³⁸Pu）制造，其RTG可将热能转换为电能，为航天器运行提供持续的热能和电能

03

下游应用极为广泛，关键领域 加速国产化

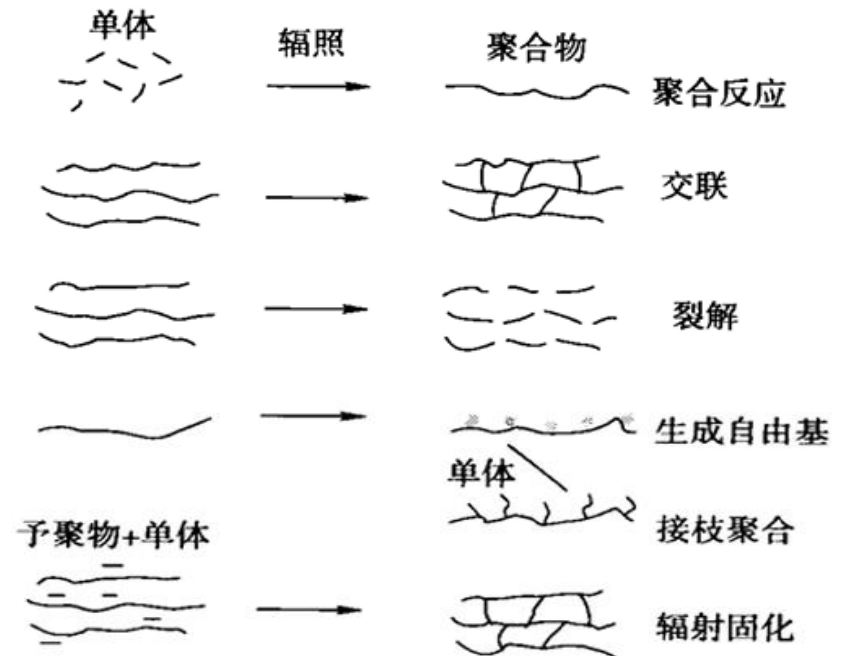
- **工业领域：**材料改性技术较为成熟，核级缆料需求打开
- **医疗健康：**核素诊疗技术快速发展，装备药品国产突围
- **农业环保：**助力动植物生产与粮食安全，改良生态环境
- **公众安全：**安全检查需求旺盛，核检测技术被广泛应用

- **辐照材料改性是中国产业化程度最高的辐射技术应用领域。**核技术在工业领域应用十分广泛，包括在材料改性、工业无损检测、辐照辅助净化工业“三废”等，其中辐照材料改性是中国产业化程度最高的辐射技术应用领域。
- **辐照改性技术可使高分子材料发生辐射交联等反应。**在电离辐射作用下,高分子化合物分子与小分子一样，首先产生电离、激发、离子的中和、自由基等初级过程，其次是这些离子和自由基之间再发生反应。辐照改性技术主要是利用 ^{60}Co - γ 射线或电子加速器产生的电子射线使高分子材料产生**辐射交联、接枝、聚合、降解**等反应，利用这些辐照改性反应可制备热缩材料、电线电缆材料、电池隔膜材料、高吸水树脂、橡胶等，广泛应用于各个行业。

图16：核技术在材料改性领域产业化程度最高



图17：高分子辐射化学反应



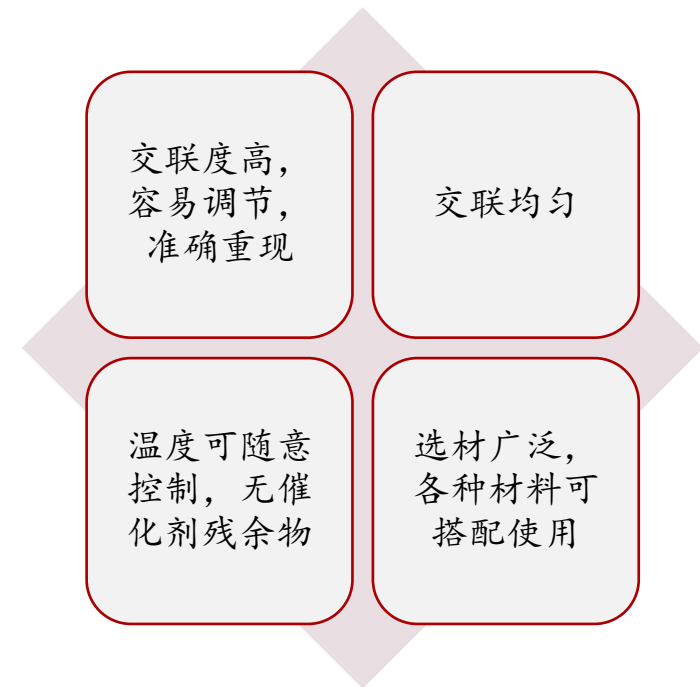
- 我国高分子辐照改性技术已实现产业化应用。我国改性技术多年前已较为成熟，高分子材料的四大辐射效应也均已实现产业化。据统计其中辐射交联高分子材料产业占比最高，约占整个辐射化工产业的85%以上。

表6：化学交联和辐照交联对比

交联技术分类	化学交联	辐射交联
原理	在光、热、高能辐射、机械力、超声波和交联剂等作用下，大分子链间通过化学键联结起来，形成网状或体形结构高分子	在电离辐射作用下，高分子链与链之间通过自由基或离子产生桥键，形成三维网状结构
作用	可改善聚合物的性能	
应用举例	橡胶的硫化、不饱和树脂的交联、环氧树脂的熟化等	辐射硫化、热缩管辐照、电缆改性、涂层固化
特点	占用空间较大，能量消耗高、流程长、交联低速且缓慢	设备占空间小、能量消耗远低于化学交联，加工生产速度快，生产便捷



图18：辐照交联的主要优点



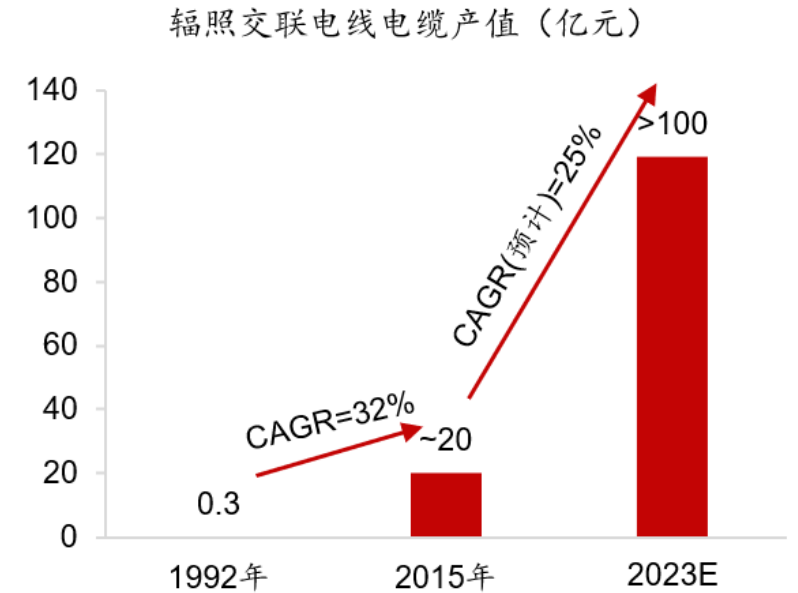
(一) 电线电缆改性：辐照交联优势明显，需求打开增长空间

- **交联改动能大幅提高电线电缆的性能表现。**随着社会城市现代化的发展，微电子、家电、汽车、航空、通讯、电力等系统对于电线电缆的性能提出了更高要求，通过对电线电缆绝缘层进行交联改性，能够大幅提升电线电缆的工作温度、耐溶剂、耐恶劣环境、耐老化、耐开裂、耐磨和阻燃等性能。
- **辐照交联尤其适用于耐温阻燃等高性能材料，辐照交联电线电缆产值快速增长。**交联电缆的绝缘材料是XLPE，其基料是PE等成份，当前交联电缆的交联方式主要有**化学交联**、**硅烷交联**和**辐照交联**，其中化学交联在耐高压、大截面线缆上优势明显，而辐照交联尤其适用于耐温阻燃等高性能材料的改性需求。

表7：三种电线电缆交联方式对比

比较项目	化学交联	辐照交联	硅烷交联
投资	大	较大	小
交联方式	在线100米管道或立塔高压氮气保护、高温、水冷交联	收放线、电子束物理交联	成盘、温水浸泡或蒸气熏蒸8小时以上交联
交联成本	高	低	较高
优势领域	大长度、超高或高压电力电缆(10-110kv)	中、低压电缆、特殊装备用线、阻燃线缆、交联PVC、PP、含氟聚合物等	中、低压电缆、建筑用线、普通控缆等
主要优点	1、挤线和交联过程同步，挤出过程洁净、交联过程密闭； 2、生产设备及生产工艺成熟	1、生产工艺简单，可利用原有设备，交联过程可控制； 2、加工材料的种类多，尤其是耐温、阻燃等高性能的材料	1、生产工艺简单，可利用原有设备； 2、单位生产成本低
主要问题	1、不适合小截面、薄绝缘线缆； 2、有化学残留物	1、不适合10KV以上线缆； 2、部分大线辐照装置存在问题，辐照均匀性差	生产工艺难控制，产品质量不稳定；生产效率低

图19：辐照交联电线电缆产值快速增长



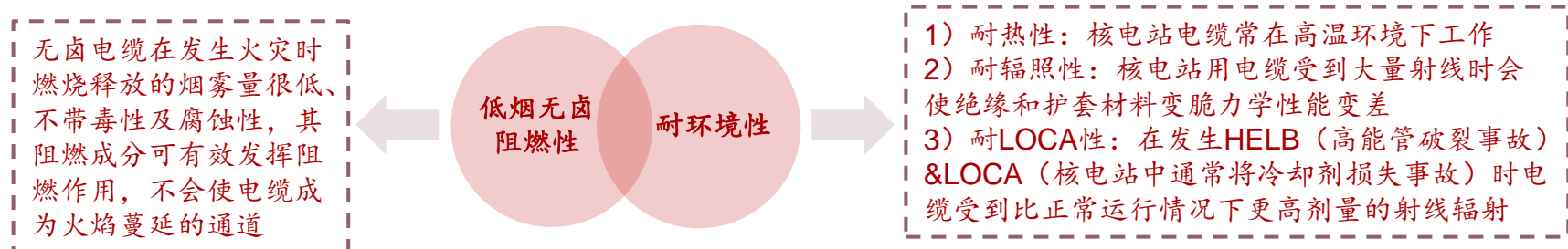
资料来源：山东省线缆协会，《核电站电缆料的研究进展》武卫莉等，广东电线电缆协会，浙商证券研究所

- 核级缆料需要具备**低烟、无卤、阻燃**等特性。核级缆料即核电站电缆绝缘及护套所用原料，据估算一座百万千瓦级的核电机组，所需各类电缆型号有100余种，总长近200万米，价值约1亿元左右；与普通电缆相比，核级缆料需具有**低烟、无卤、阻燃**等特性，并要具有特定的**耐环境性**（如耐辐射性、耐LOCA性），因此技术门槛相对更高。其中，线缆绝缘层的改性改良可采用电子加速器辐照工艺来完成。

表8：核电站用电缆各组成部分的选择

项目	6.6kV电力电缆	1000V电力电缆	1000V控制电缆	测量电缆	通信电缆	硅绝缘电缆
导线	铝绞线	铜或铝绞线	铜绞线	镀锡铜线绞线	实心铜线	铜绞线
绝缘	XLPE	XLPE或阻燃无卤材料	XLPE或阻燃无卤材料	XLPE或阻燃无卤材料	XLPE或阻燃无卤材料	硅橡胶或硅复合物
线芯保护	/	无卤材料	无卤材料	无卤材料	无卤材料	复合物
填充	/	聚酯带	聚酯带	聚酯带	聚酯带	聚酯带+铜带
保护层	/	/	/	无卤阻燃材料	无卤阻燃材料	无卤阻燃材料
内护层	铜带绕包	/	/	镀锡铜丝编织	铝复合袋绕包	/
铠装	/	/	/	/	钢带	钢带
外护套	无卤阻燃材料	无卤阻燃材料	无卤阻燃材料	无卤阻燃材料	无卤阻燃材料	无卤阻燃材料

图20：核电站用电缆材料的性能



(一) 电线电缆改性之核级缆料：1E级电缆供货需持有核安全许可证

- **电缆根据使用工况和安全功能可区分为1E级和非1E级。**其中1E级电缆分为壳内和壳外两类，壳内对应K1类电缆或严酷环境，壳外对应K3类电缆或和缓环境。K2类电缆属于安全壳贯穿类电缆，现已基本采用K1类或K3类电缆代替。
- **1E级电缆供货需持有核安全许可证。**从性能要求上看，1E级电缆需要满足低烟无卤阻燃电缆的要求，其中K3类电缆还需要进行模拟寿命期内耐热和辐射评定，K1类电缆还需要进行模拟寿命期内耐热和辐射评定。一般情况下，1E级电缆供货要持有核安全许可证，持证产品按照电缆功能，主要分为中低压电力电缆、控制电缆、仪表电缆等。
- **我国核级电缆国产化持续提升。**近年来我国核电站电缆的设计自主化和国产化持续推进，有相关技术积累以及供货许可证的公司有望率先受益。

表9：核技术在材料改性领域产业化程度最高

主要特征	严酷环境	和缓环境	非1E级寿命	非1E级非寿命
	1E级K1类电缆	1E级K3类电缆	工程电缆	工程电缆
长期工作温度/°C	90	90	90	90
电性能	设计考虑	设计考虑	设计考虑	设计考虑
机械性能	设计考虑	设计考虑	设计考虑	设计考虑
阻燃性能	设计考虑	设计考虑	设计考虑	设计考虑
耐长期热老化性能	60年/40年	60年/40年	60年/40年	设计不考虑
耐长期辐射老化性能	60年/40年	60年/40年	设计不考虑	设计不考虑
耐事故辐照性能	设计考虑	设计不考虑	设计不考虑	设计不考虑
设计基准事故模拟	设计考虑	设计不考虑	设计不考虑	设计不考虑

表10：高分子辐射化学反应

序号	试验项目	核级功能验证试验	
		K1类	K3类
1	热老化试验	✓	✓
2	常规辐照老化试验	✓	-
3	DBE辐照试验	✓	-
4	DBE模拟试验	✓	-
5	常规老化试验后电缆性能试验	✓	✓
6	后DBE模拟试验	✓	-
7	柔性保持试验	✓	✓
8	燃烧性能试验	✓	✓

(二) 热缩材料：多行业应用重要性凸显

- **热缩材料的工作科学基础是形状保持和记忆效应。**“形状保持效应”是指辐照交联的聚合物加热后仍能保持原始形状，不熔融也不粘流；“形状记忆效应”则是指聚合物在应力下变形并冷却后能记住新形状，加热后可恢复原状。这两种效应是聚合物的交联结构和结晶行为共同作用的结果，是热收缩材料制作和生产的科学技术基础和依据。
- **热缩材料的应用领域十分广泛。**当前，热缩材料制品在电力、电子、通讯、汽车、船舶、国防、航空航天等部门，都已经获得广泛应用，主要用于绝缘、防腐、防潮、密封、电缆连接等领域。

图21：交联结晶聚合物的“形状保持效应”和“形状记忆效应”

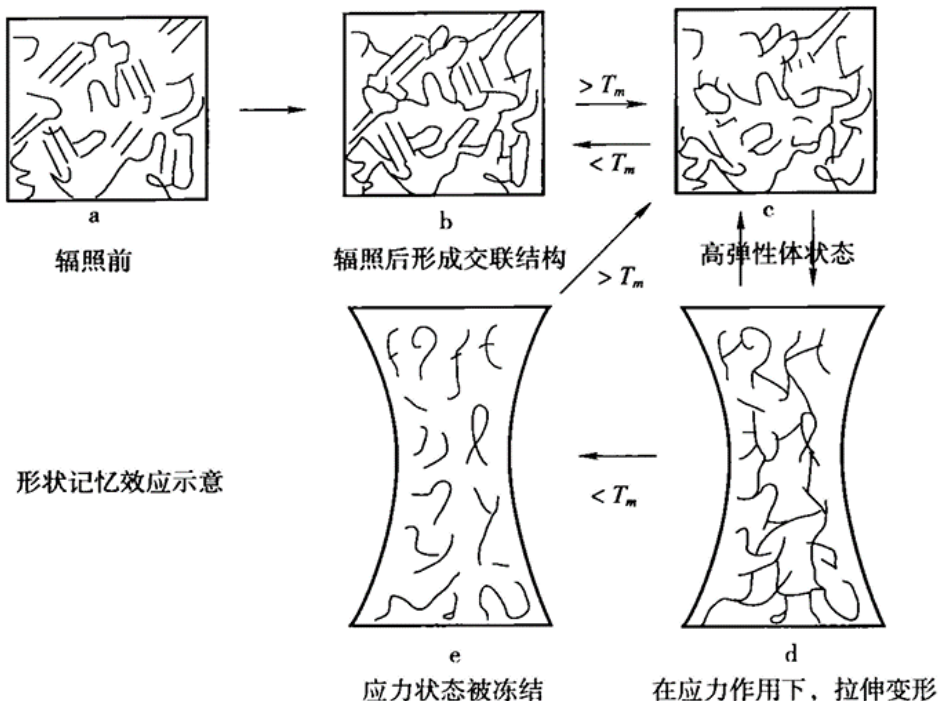
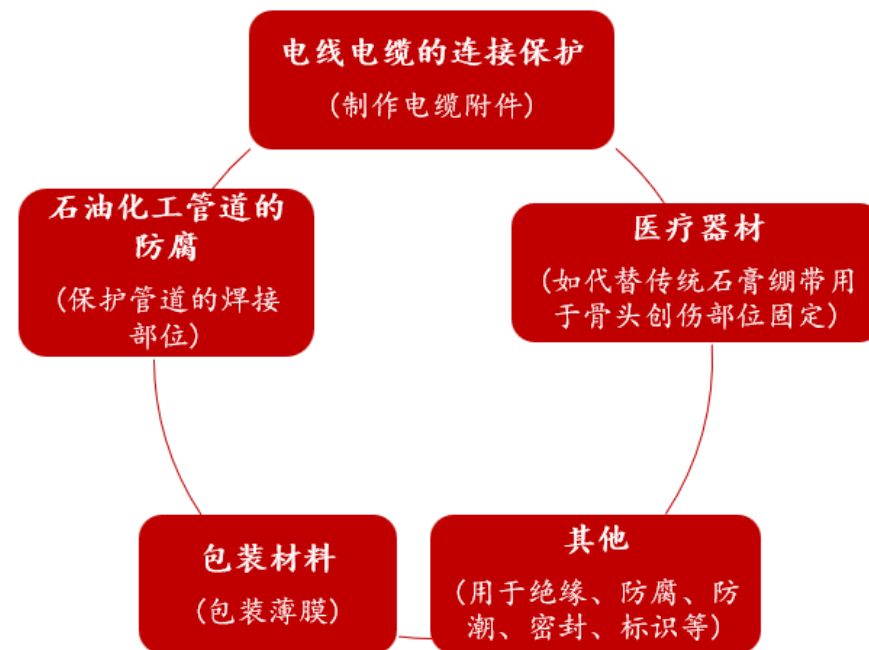
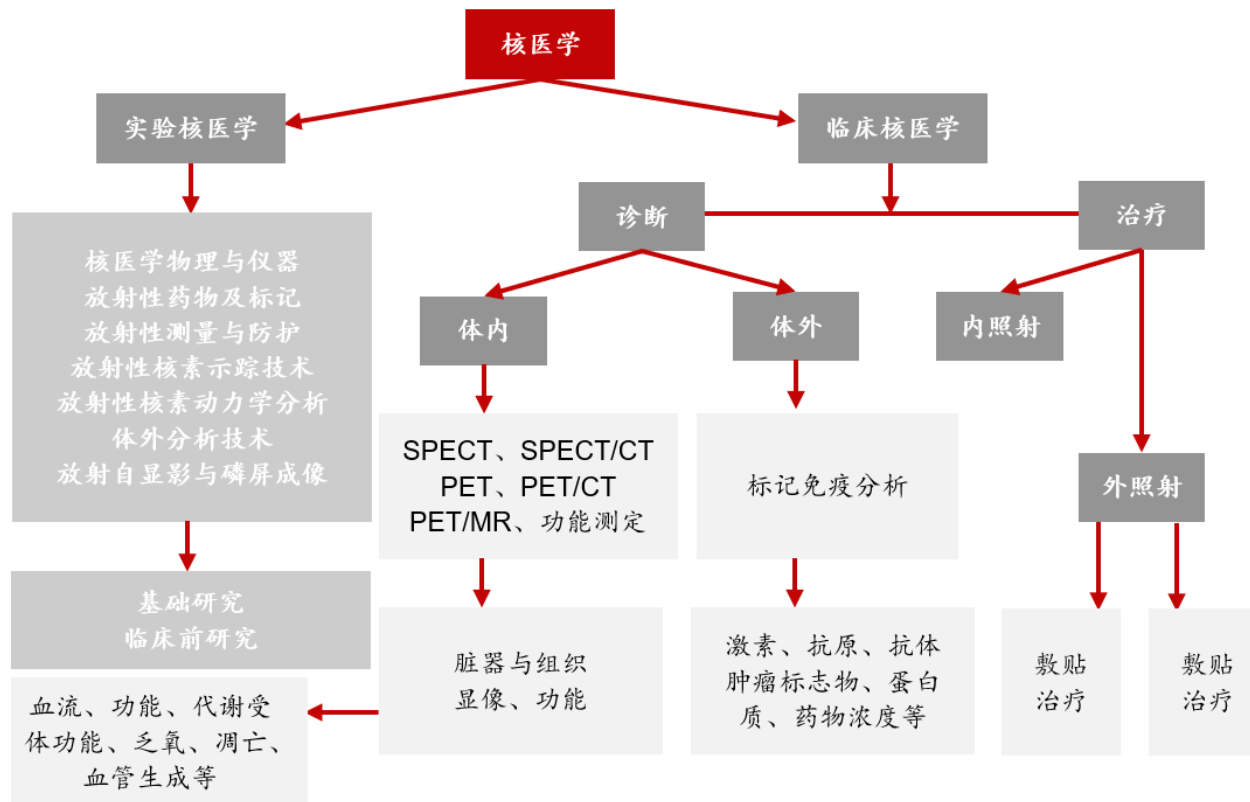


图22：热缩材料的主要应用领域



- 核医学可分为实验核医学和临床核医学。核医学是开展核技术在医学中的应用及其相关理论研究的学科，随着非动力民用核技术的发展以及医疗技术的进步，应用放射性核素或核射线进行疾病的诊断、治疗与开展医学科研已成为医学领域的重要组成部分。从应用范围和侧重点来看，核医学大致可分为实验核医学和临床核医学，其中实验核医学主要包括了放射性药物及标志、放射性核素示踪技术等，而临床核医学主要包括了临床诊断与治疗。

图23：核医学内容主要组成示意图



核医学：利好政策持续不断，资质壁垒较高

- **我国政府近几年密集出台核医学利好政策。**2021年6月《医用同位素中长期发展规划（2021-2035年）》发布，要求2035年我国医用同位素的研制、生产受制于人的局面彻底扭转，此后国家密集出台多项核医学利好政策，我国核医学迎来高速发展期。
- **布局核医学领域的企业需取得相关资质，且准入壁垒较高。**在一系列政策中，需特别注意无论是放射性同位素、射线装置还是核药，企业生产、销售和使用均需要取得相关许可资质，这将进一步提升市场准入门槛，促进产业规范安全发展。

表11：中国部分核医学相关政策

发布时间	政策名称	国家部门	主要内容
2006/1/5	医疗机构制备正电子类放射性药品管理规定	国家食品药品监督管理总局	医疗机构配置PET-CT或PET设备，应当持有卫生行政主管部门的配置与使用许可证明文件；医疗机构制备的正电子类放射性药品不得上市销售
2019/3/18	放射性同位素与射线装置安全和防护条例	生态环境部	生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当事先向有审批权的生态环境主管部门提出许可申请；使用放射性同位素和射线装置进行放射诊疗的医疗卫生机构，还应当获得放射源诊疗技术和医用辐射机构许可
2021/6/25	医用同位素中长期发展规划（2021-2035年）	国家原子能机构等	2025年：一批制约医用同位素发展的关键核心技术取得突破，启动实施1-2座医用同位素生产反应堆建设；2035年：医用同位素研制、生产受制于人的局面得以彻底扭转；2021年至2025年实现三级综合医院核医学科全覆盖，2026年至2035年在全国范围内实现“一县一科”
2021/12/21	“十四五”医疗装备产业发展规划	工信部等	鼓励医疗装备与核工业等行业跨领域合作；攻关包含高分辨率X射线光子计数探测器等在内的关键零部件，重点提升多能谱X射线CT、移动磁共振成像系统、光子计数能谱CT、高性能单光子发射计算机断层扫描（SPECT）系统、三维智能数字化X射线摄影系统（DR）等诊断检测设备的供给能力
2022/3/29	放射性药品管理办法	国家食品药品监督管理总局	放射性新药投入生产，需由国务院药品监督管理部门审核发给批准文号；医疗单位设置核医学科、室（同位素室），必须配备与其医疗任务相适应的并经核医学技术培训的技术人员；无《放射性药品使用许可证》的医疗单位不得临床使用放射性药品
2022/10/28	核医学科建设规范（征求意见稿）	中国同位素与辐射行业协会	中华医学会核医学分会及中国核学会核医学分会组织专家进行核医学科建设与管理文件的修订，结合国家现有政策与实际，兼顾可行性和依从性，提出对未来15年适宜核医学科发展建设与管理的基本要求和条件
2023/2/15	放射性体内治疗药物临床评价技术指导原则	国家药监局药审中心	适用于系统给药的放射性治疗药物的临床研究，明确了放射性治疗药物的特点、临床试验的设计考虑以及辐射防护、环境辐射安全等问题
2024/3/7	关于发布钨标记及正电子类放射性药品检验机构评定程序的公告（2024年第21号）	国家药监局	鼓励有能力和条件的药品检验机构开展钨标记及正电子类放射性药品检验能力的建设，增加有资质的检验机构，国家药监局组织制定了钨标记及正电子类放射性药品检验机构评定程序

资料来源：工信部，国家食品药品监督管理局，生态环境部，国家药监局，国家原子能机构等，中国同位素与辐射行业协会，浙商证券研究所

- 我国医用放射性同位素主要依赖进口，核医疗装备配置严重不足。
- 1) 医用同位素：当前我国常用于临床诊断和治疗的医用放射性同位素国产化率较低，除了中国工程物理研究院利用绵阳堆生产的碘-131能够满足国内20%的市场需求，镭-177和锶-89有小量供应之外，其他反应堆生产的医用放射性同位素均依赖进口。
- 2) 医用放射源：近年来国内外⁶⁰Co伽玛刀源一直维持供不应求的态势，2019年我国成功实现了利用重水堆生产医用⁶⁰Co放射源，形成年产50万居里医用⁶⁰Co放射源的能力，进而保障了关键医用放射源的稳定供应。
- 3) 核医疗装备：与美国等发达国家相比，我国PET/CT、SPECT/CT、放疗设备等核医疗装备保有量严重不足，且设备市场国产化率仅不到10%，国外厂商在我国核医疗装备市场中占据绝对主导地位。

图24：2019年中美核医疗装备保有量对比

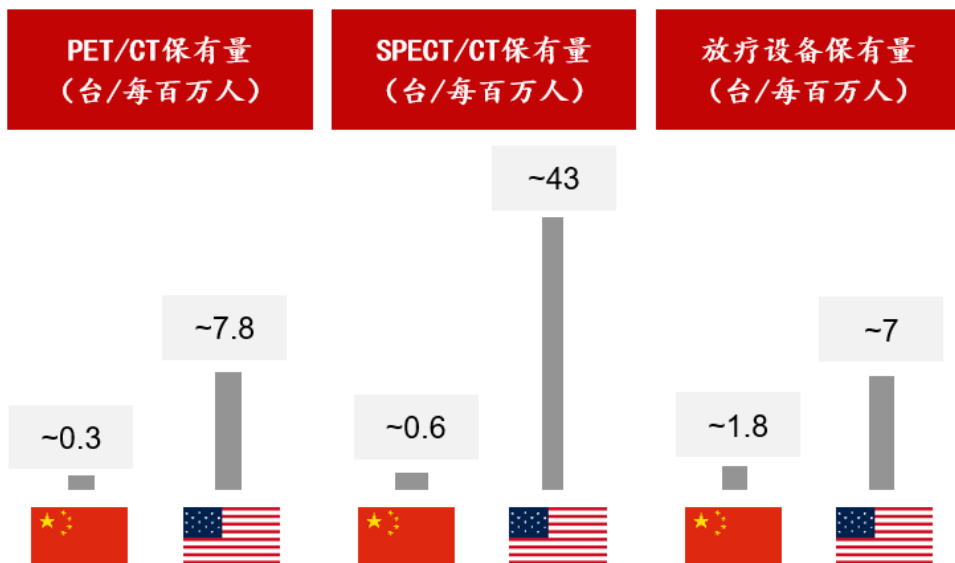
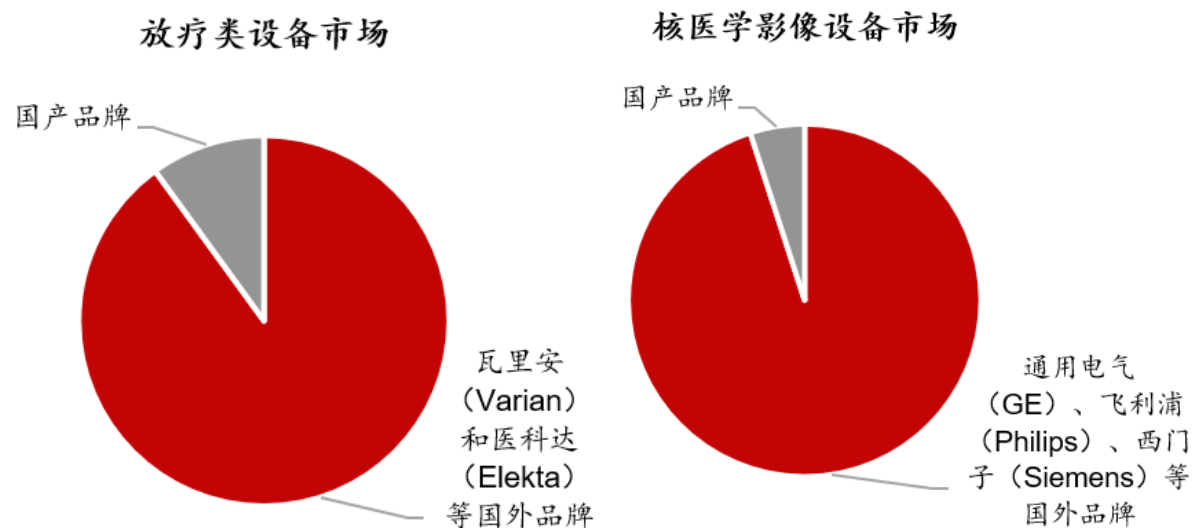


图25：2019年国内核医疗装备市场份额分布



- **我国核医疗需求潜力较大，产业规模有望快速增长。**我国核医疗需求还有较大发掘潜力，以医用同位素为例，对标世界发达国家的核医疗水平，我国同位素实际需求量将会呈现爆发式增长。以核医学领域常用的8种医用同位素为例，保守估计每年需求量将以5%~30%的速度增长，预计到2030年总需求将增长10倍以上。据测算，我国近年来放射性药物、核医疗装备的市场规模复合增速超过15%，2025年核医疗市场规模预计突破1500亿元。

表12：主要医用同位素用量一览表（2019年）

序号	名称	国内用量 (居里/年)	国内需求 增长率
1	钼-99/锝-99m	16000	5%
2	碘-125	3000	20%
3	碘-131	10000	15%
4	碳-14	30	10%
5	镅-177	50	30%
6	氟-18	45000	10%
7	钷-90	-	-
8	铈-89	40	5%

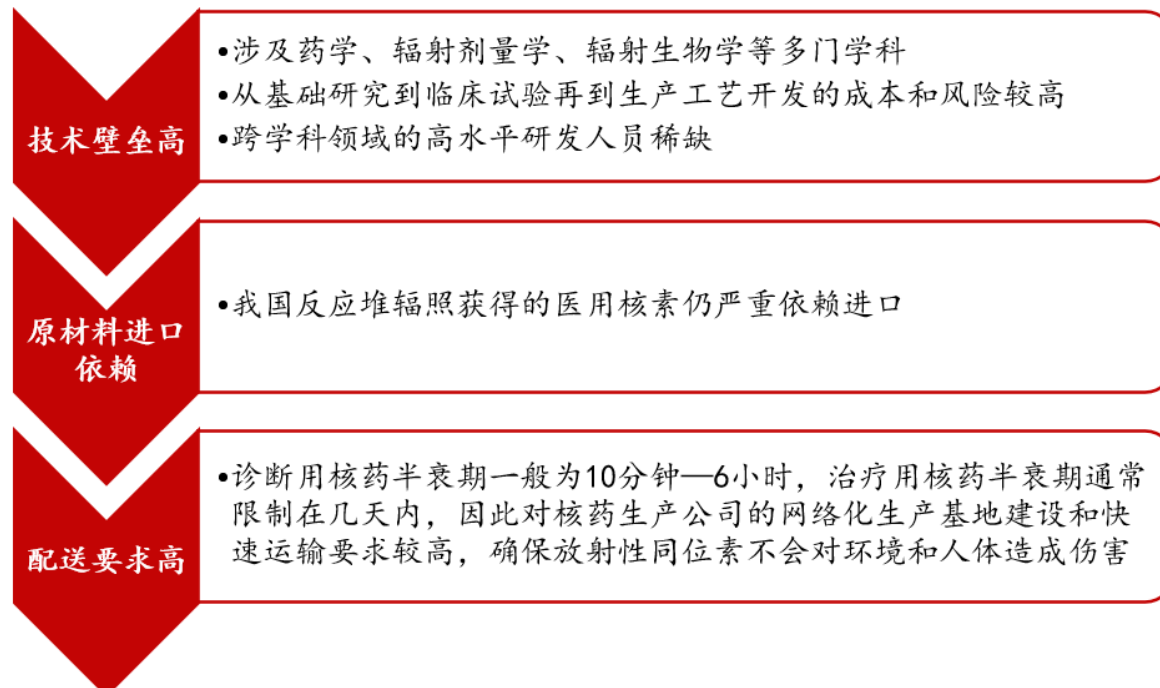
表13：中国核医疗各细分领域市场规模增长情况（亿元）

	2014年	2018年	2025年	2014-2018年 复合增速	2018-2025年 复合增速
放射性药物	25	44	128	15.20%	16.50%
医用放射源	0.8	1	1.7	5.70%	7.90%
核医学影像设备	8	16	55	18.90%	19.30%
放疗设备	15	30	118	18.90%	21.60%
核素诊疗	175	205	400	4.00%	10%
放射治疗	222	387	850	14.90%	11.90%
总计	445.8	683	1552.7	11.30%	12.45%

(一) 核药：诊疗领域作用广泛，产业进入壁垒较高

- **核药在诊疗领域作用广泛，产业进入壁垒较高。**核药是指利用放射性同位素标记的药物，通常由药物和放射性同位素两个部分组成，其中同位素被标记在药物分子上，而药物部分则负责将放射性同位素引导到特定的目标组织或器官。**1) 诊断方面**，核药可以观察人体内部器官结构和功能的变化，从而实现准确的诊断；**2) 治疗方面**，核药可以通过辐射杀死癌细胞或其他病原体来实现治疗效果。
- 从进入门槛来看，核药产业存在**技术壁垒高、原材料进口依赖、配送要求高**等进入壁垒。

图26：核药产业的进入壁垒较高



(一) 核药：资本市场较为活跃，国内企业加速追赶

- 核药资本市场较为活跃，产品研发加速突破。2015-2023年，我国核药市场主要有23家企业发生55起融资事件，尤其是2021年起核药资本市场逐步活跃，融资事件占比超过60%。截至2023年10月，全球已有64款核药上市，但中国仅有6款核药上市，与发达国家相比略有落后。从在研药品来看，近年来我国核药研发脚步加快，尤其是2023年已有多款药品进入临床申请阶段，说明我国企业核药研发正在加速追赶。

表14：中国核药上市情况

药品名称	所属公司	全球最早上市时间	中国上市时间	上市相差时间
氯化锶[89Sr]	中核高通、原子科兴、宁波君安	1993/6	2004	11年
锝[99mTc]-替曲膦	GE 药业	1996/2	2022/4	16年
钇[90Y]-树脂微球	远大医药	2002/1	2022/2	20年
碘[131I]美妥昔单抗	成都华神生物、中国人民解放军第四军医大学	2005/4	2011/5	6年
氯化镭[223Ra]	拜耳医药	2013/5	2020/8	7年
氟[18F]-比他班	先通医药	2014/2	2022/7	8年

图27：中国2015年-2023年发生融资事件次数

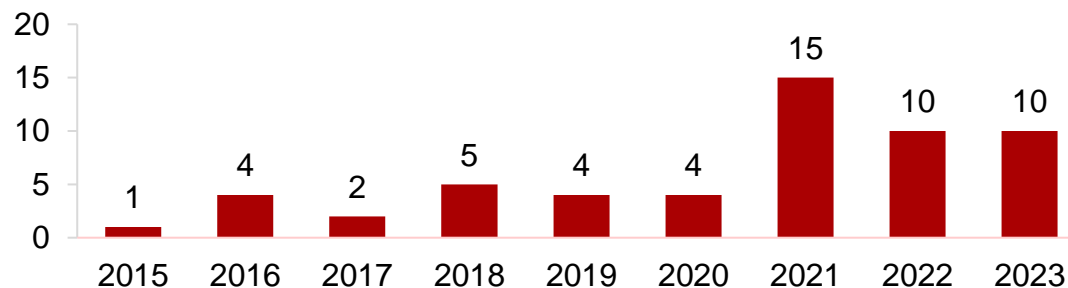
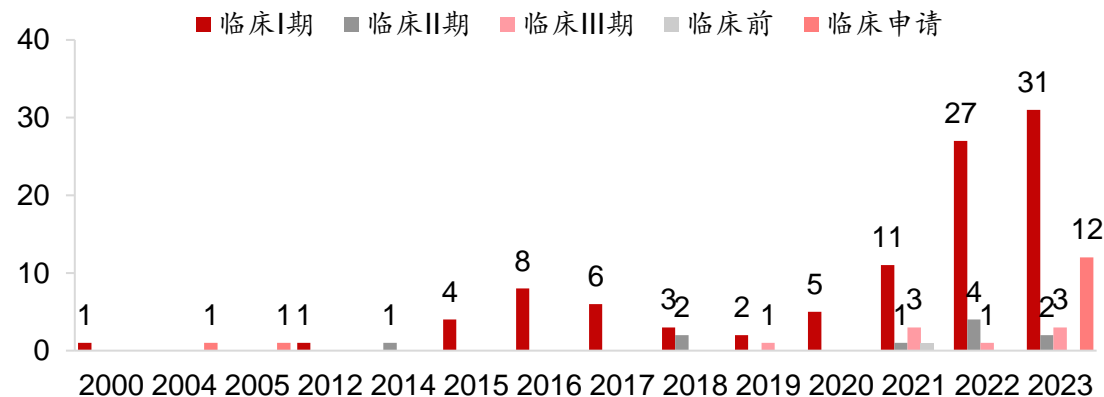


图28：国内在研核药产品数量



(二) 质子治疗系统：相较传统放疗临床优势显著

- **质子可实现对肿瘤无创、精准“照射”打击。**质子是一种能够破坏肿瘤细胞DNA的带电粒子，其能阻止肿瘤细胞的正常复制。而质子加速器能够把质子射线加速到特定能量并准确投射到肿瘤组织内，从而实现对肿瘤的无创、精准“照射”打击，是目前最为先进的**体外放疗**方式。与传统的高能X射线辐射（或光子）不同，质子治疗可以**提供特定深度的辐射剂量然后突然停下**，进而不再有射线照射剂量；而X射线会持续穿透正常组织和器官，导致损伤和毒性。

图29：质子治疗相较传统放疗具有显著临床优势

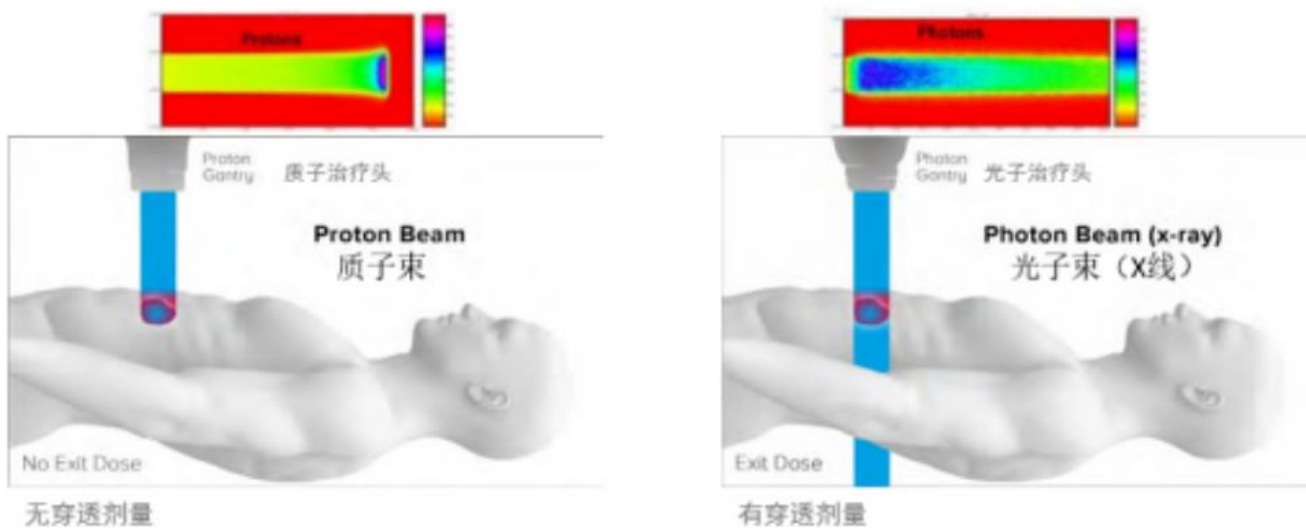
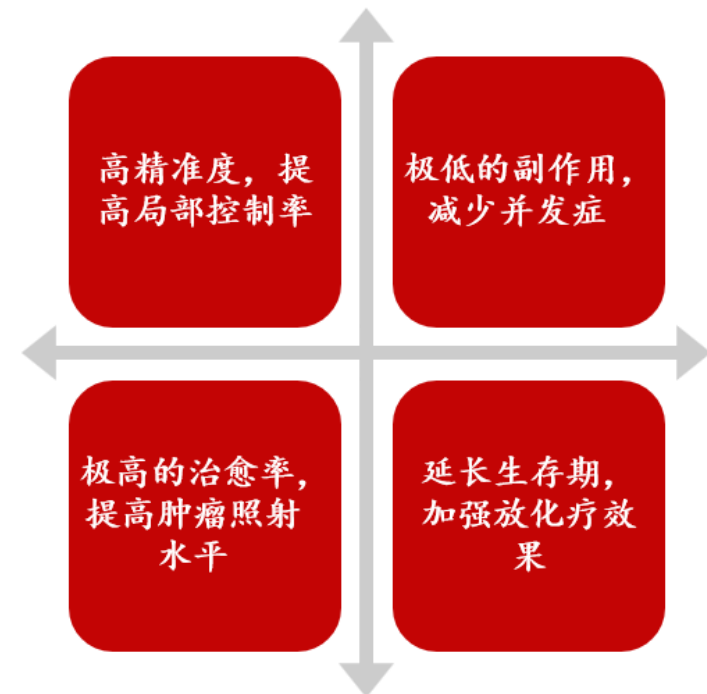


图30：质子治疗的主要优势



(二) 质子治疗系统：多国重点发力，我国国产首台系统已投运

- **各国质子治疗中心加速设立，患者数量逐年增长。**随着各国加速突破质子治疗的相关技术与装置研发，当前全球可以生产质子治疗装置的国家有中国、德国、比利时、美国、日本等，涉及的装置类型涵盖了多室治疗系统和单室治疗系统，而全球接受质子治疗的患者数量也逐年增长，据PTCOG公开报告，截至2021年已超过28万例患者。
- **国产首台质子治疗系统已于去年11月正式运行。**3月26日，上海瑞金医院肿瘤质子中心官宣，2023年11月24日在该院开始正式运营的国产首台质子治疗系统，运营四个月后临床治疗病人数目就已达100例，治疗效果不仅能够有根治性治疗，还能覆盖术后辅助、术后复发、术后残留、寡转移放疗等诸多情况。

表15：各国生产的质子治疗解决方案对比

公司	中国上海艾普强粒子设备有限公司	德国 Siemens	比利时IBA	美国Varian	美国 Mevion	日本日立
产品型号	SAPT-PS-01	IONTRIS	Proteus Plus	ProBeam	S250i	PROBEAT
技术路线	同步加速器	同步加速器	回旋加速器	回旋加速器	回旋加速器	同步加速器
治疗室配置	多室	多室	多室	单室/多室	集成化单室	单室/多室
机架方案	固定/旋转	固定/旋转	旋转	旋转	旋转	旋转

图31：质子治疗系统示意图



(三) 医疗用品辐射灭菌：效果好且节约时间，应用潜力较大

- **医疗用品灭菌主要包括化学灭菌和辐射灭菌。**当前医疗卫生用品的灭菌处理主要包括化学灭菌即**环氧乙烷消毒剂 (ETO) 熏蒸法和辐射灭菌法**，其中辐射灭菌具有节约能源、消毒效果更好、可在常温下灭菌、速度快、穿透性强、无化学残留和污染等多个优势。
- **辐射灭菌适用于多种医疗用品。**辐射灭菌消毒的医疗用品种类包括金属制品、塑料制品以及一次性使用的医疗用品等上千种，目前在医疗领域已得到广泛应用。

表16：各种灭菌方法对比

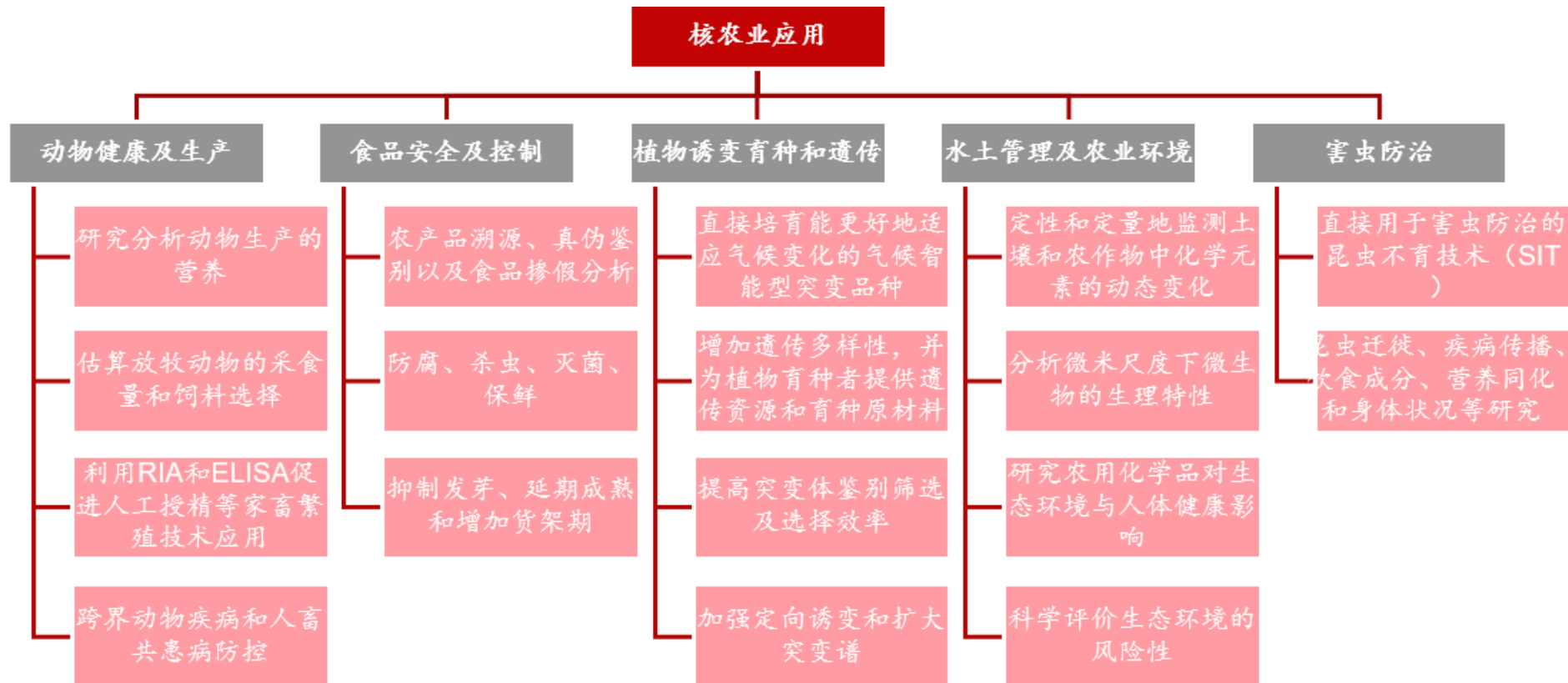
	电子束辐射	γ辐射	高压蒸汽	化学方法
灭菌方法	高能电子束灭菌	Co-60γ辐射	用120°C蒸汽	环氧乙烷ETO
穿透性	低于γ辐射	强	N/A	N/A
加工模式	连续	连续	分批次	分批次
加工时间	小于1分钟	几小时	几小时	超过10小时
后处理	无	无	要求干燥过程	要求废气处理
其他	加速器停，无辐射	不能停止辐射	N/A	N/A

表17：辐射灭菌使用的医疗用品种类

类别	医疗用品种类	医疗用品名称
1	一次性医疗器械	如注射器、针、刀具、骨锉、骨刀、钳子、乳胶手套、采血与输血装置及吸入治疗装置等
2	卫生材料	指以棉织物或无纺布等制作的材料,如胶布、绷带、药棉、罩衣及帽子等
3	药品包装材料	如药品包装的塑料制品、复合膜、PTP铝箔、疫苗包装制品、抗生素铝塑组合等,适用于辐射灭菌的包装材料,有耐辐照的聚乙烯、聚苯乙烯、聚脂、聚酰胺及纤维素质材料等
4	某些生物组织和生物制剂	如移植用的心脏瓣膜、血管、神经末梢、角膜、骨骼、皮肤及血液等
5		中西药与化妆品

- 核技术广泛应用于农业的多个领域。**核技术在农业上的应用主要以核物理和放射化学为主要研究手段，以农业生命物质、生命活动核农业生态环境为主要研究对象，目的是解决农业科技进步和农业生产可持续发展中的关键技术问题。当前核技术在农业领域的应用主要聚焦在**动物生产和健康、食品安全及控制、植物诱变育种和遗传、水土管理及农业环境、害虫防治**等领域，这些应用不仅促进了粮食安全和农业可持续发展，也有助于应对气候变化和改良生态环境。

图32：核技术在农业领域的主要应用



- **食品辐照作用主要包括控制生长发育、杀虫灭菌等。**食品辐照保鲜是利用射线对食品进行辐照，以延迟新鲜食物某些生理过程(发芽和成熟)的发展，或对食品进行**杀虫、消毒、灭菌、防霉**等处理以达到**延长保藏时间、提高食品质量**的目的。与传统技术相比，食品辐照保鲜技术具有节约能源、保鲜能力强、穿透力强、安全卫生、可改善食品品质以及操作简单等优势。

表18：辐照的目的和效果与相对应的剂量范围之间的关系

辐照目的		采用剂量 (kGy)	被照食品	
控制生长发育	抑制发芽、生根	0.05~0.15	马铃薯，大蒜，葱	
	推迟成熟	0.2~0.8	香蕉，木瓜，番薯	
	促进成熟	1	桃子，柿子	
	防止开伞	0.2~0.5	蘑菇，松蘑等	
	特定成分的积累	3	辣椒的类胡萝卜素	
辐照生物学效应	杀虫	杀灭谷物中害虫	0.1~0.3	大米，麦，杂粮
		杀灭果蝇	0.25	桔，橙，芒果
		干制食品的杀螨	0.5~0.7	香辛料，脱水蔬菜
		杀灭寄生虫	0.5	猪肉(旋毛虫)
杀菌	耐藏辐照杀菌	1~3	禽肉，畜肉及制品，鱼贝类	
	辐照巴氏杀菌	5~8	果蔬，畜肉及蛋中的沙门氏菌，肉制品	
	辐照阿氏杀菌	30~50	发酵原料，饲料，病人食品	

- **环境污染主要包括废气、废水、废物的污染，核技术均可进行有效处理。**对于生态系统造成干扰和损害的现象称为环境污染，根据受污染的环境系统，环境污染可分为大气污染、水质污染和土壤污染等，通常称为“三废”（废气、废水、废物），当前以电子束为代表的辐射技术能够针对环境污染的各类问题进行有效处理，可广泛应用于环保领域。

图33：电子束净化废气（如烟气）的工艺流程

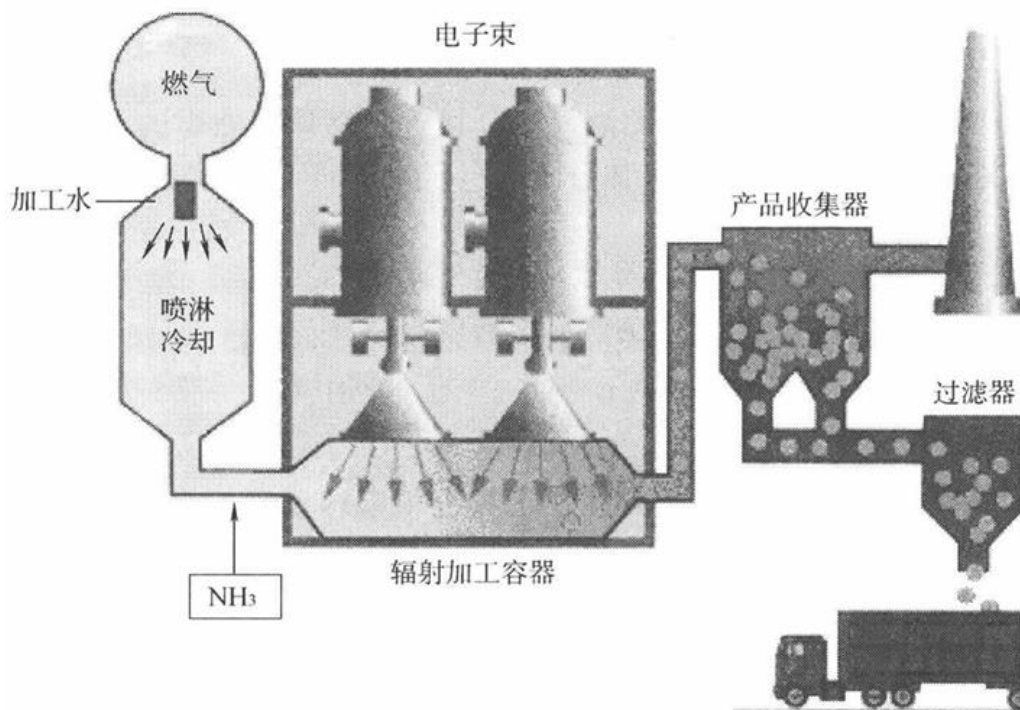
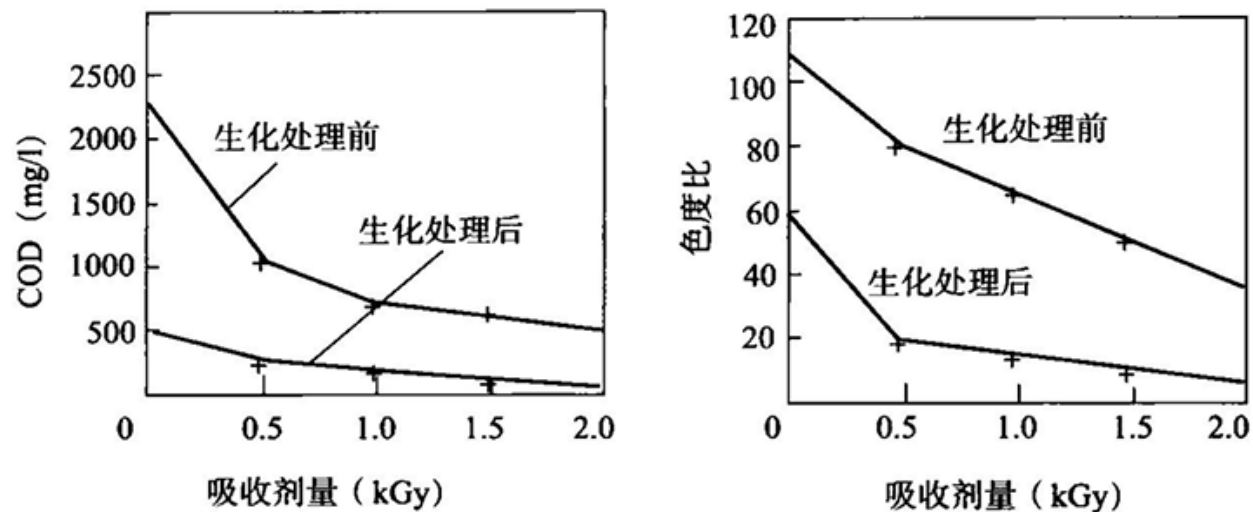


图34：造纸废水在电子束辐照下COD和色度随剂量的变化



- 核检测技术能够利用射线确定物质种类，广泛应用于安全检查。核检测技术是指利用放射性元素做放射源来产生X、 γ 、 α 和中子等高能射线，再利用射线与物质的相互作用来探测物质的原子结构，从而确定物质种类。当前主要的核检测技术包括X射线安全检查技术和中子探测技术。
- 1) X射线安全检查技术：①X射线透视成像技术主要是利用X射线穿过物体时发生的瑞利散射、康普顿散射、光电效应和电子对效应等作用所导致的射线强度衰减，来判断物体的内部结构，从而实现货物或行李的不开箱检查；然而，X射线成像在一定程度上存在着物品影像重叠、图像失真的问题，难以清晰展现复杂行包中的物品结构信息。

图35：X射线透视成像原理图

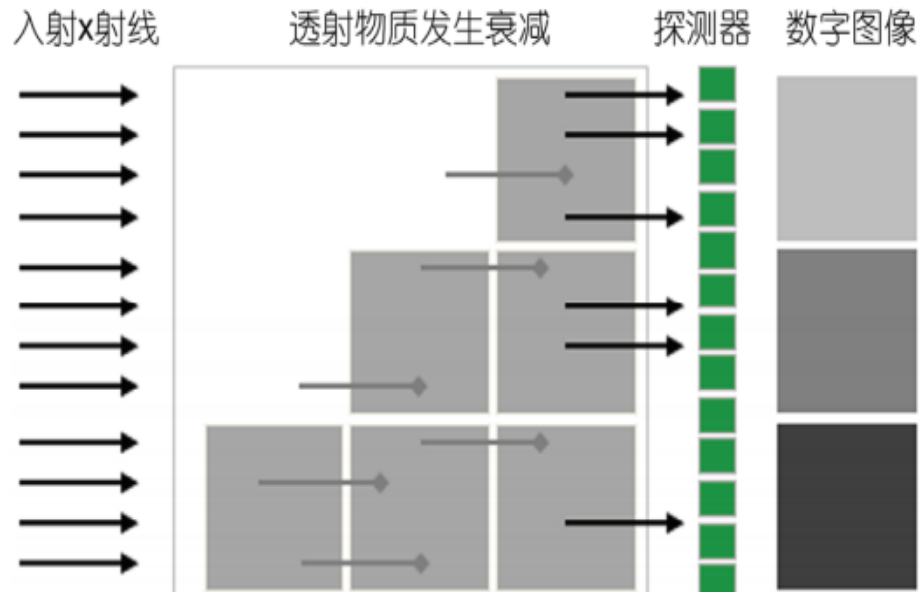
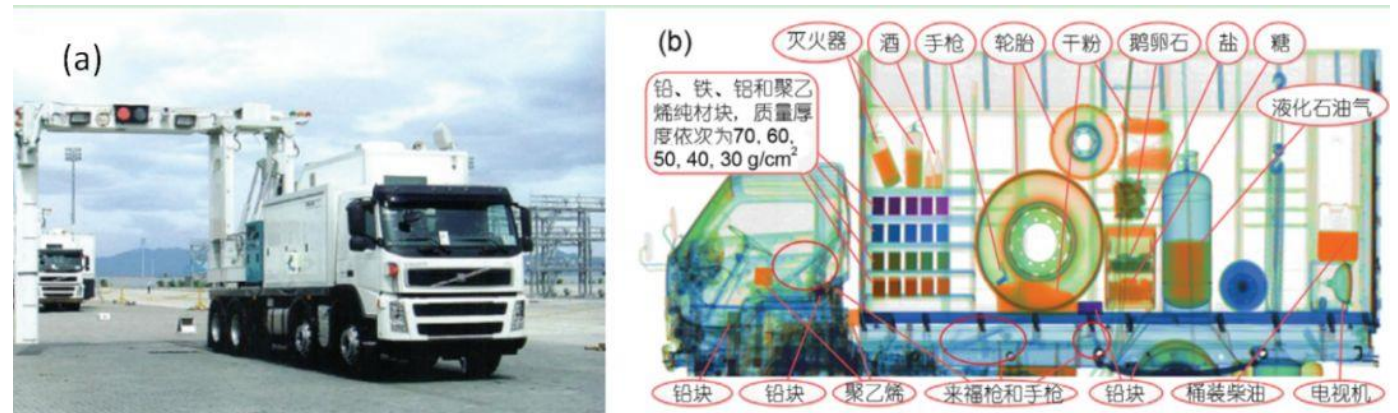
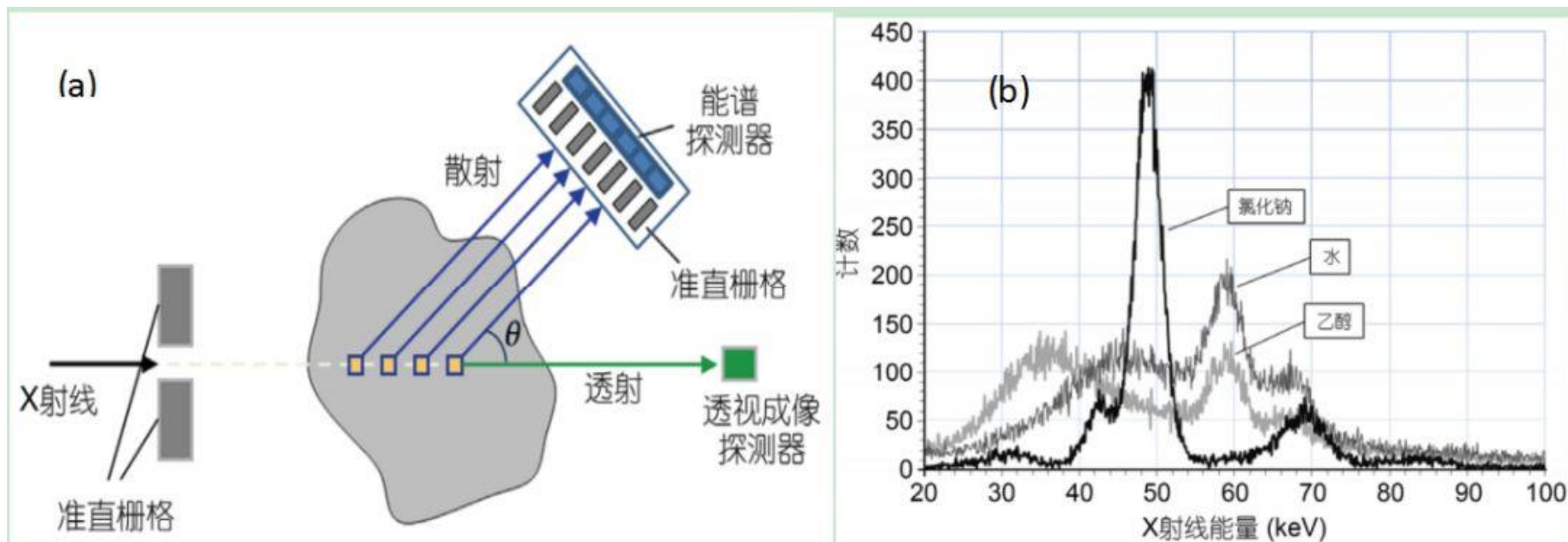


图36：辐射灭菌使用的医疗用品种类



- ② X射线衍射探测技术(XRD)能够利用能谱探测器测量某一固定角下不同能量的散射射线强度，来获得待检测物体的特征图谱。相较于X射线透视成像技术和X射线计算机断层成像技术，XRD技术具有体积小、系统稳定、射线穿透能力强、测量效率高等优点，更适用于安检等应用领域。
- 当前，Halo, Smith Detection, Morpho等国外安检厂商已经推出了基于能量色散的XRD安检产品，这类新型安检设备能够提供传送带连续扫包检查功能，在降低误报率同时也保证了高效的检测率。

图37：能量色散XRD系统 (a) 及其测量的乙醇、水及氯化钠粉末的谱线 (b)



- ③ **X射线计算机断层成像技术(X-CT)**：相较于传统的平面X射线安全检查技术，X-CT技术能够对目标物体进行全方位的三维扫描，利用计算机重建获得被检物体内部三维结构信息，有效提升了违禁品识别率和查验效率。由于X-CT技术在**成像模式、扫描速度和可靠性**等方面具备突出优势，因此被公认是传统X射线透视成像的替代技术，目前已经成为机场、海关等用于行包检查的新手段。
- 其中，**双能CT技术**能够结合双能分解和CT重建技术，获得**物质等效原子序数和电子密度的空间分布**，由于大部分的物品的电子密度和原子序数是确定的，并且爆炸物、毒品等违禁品明显的处于和常见物品不同的位置，因此结合其空间形状信息，双能CT可以准确地发现并定位行李中隐藏的违禁品，实现自动分析及报警功能。

图38：X射线CT成像系统示意图(a)和CT三维重建图像(b)

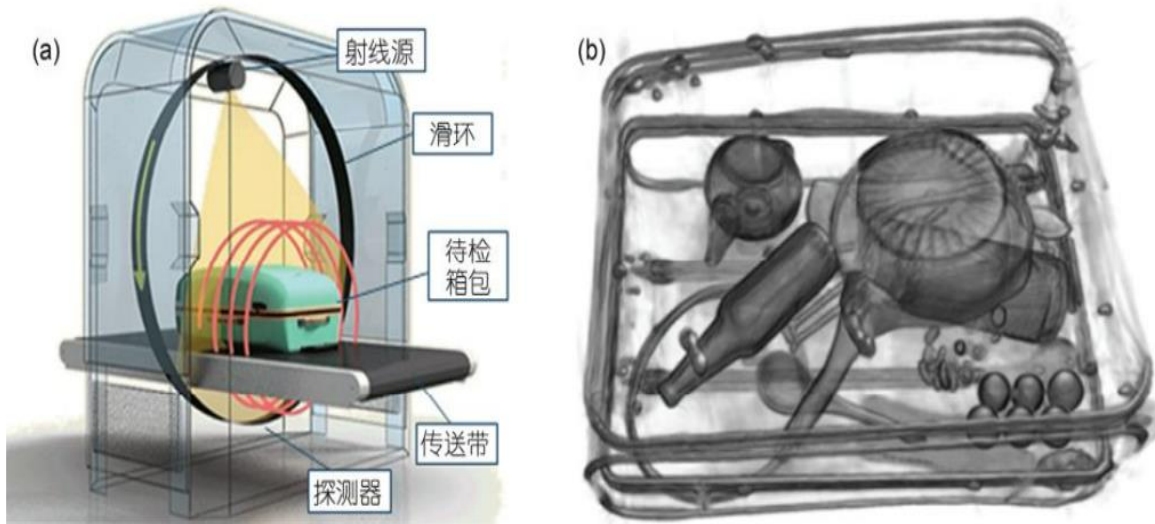
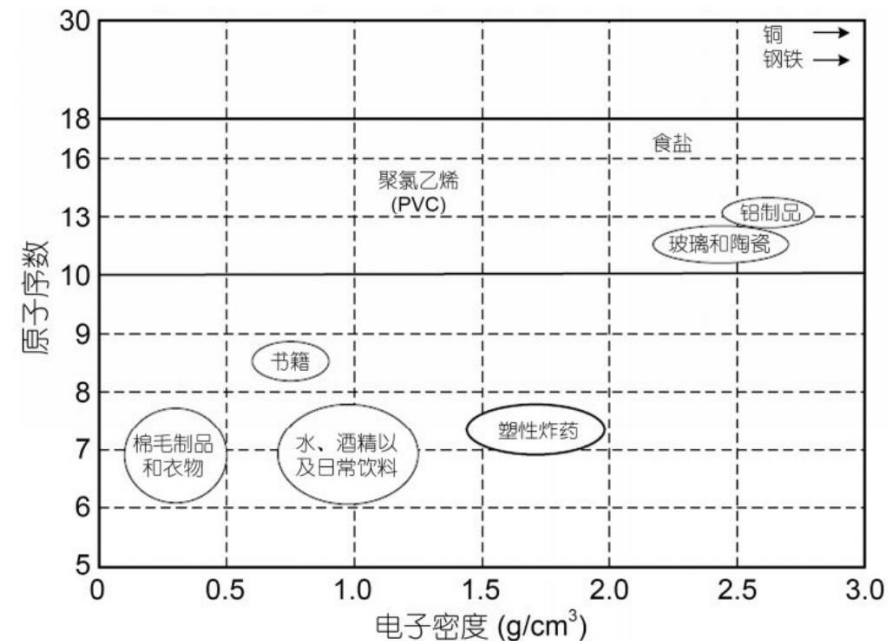


图39：电子密度与原子序数关系图



- **2) 中子探测技术：可判断被检测物的元素含量。**中子探测技术是运用中子照射被检测物，通过元素衰变，辐射出具有元素特征属性的中子或者γ射线，从而判断被检测物中C、H、O、N元素含量和比值，以确定是否是爆炸物。
- **中子探测包括核反冲法、飞行时间法等多种方法。**当前常见的中子探测方法包括核反冲法、飞行时间法、有阈活化剂等，不同探测方法的适用能区和精度均有所差异；从中子探测技术的应用上看，国外发达国家已研发出EURITRACK、PELAN、SENNA等多种系统，用于探测炸药、毒品、武器等危险物品。

表19：中子探测主要方法对比

中子能谱测量	中子注量率测量	探测器	适用能区	能谱精度	注量率精度
核反冲法	核反冲法	半导体探测器	快中子	5%	5%
	核反冲法	含氢正比计数器	几百千电子伏		2%
飞行时间法		有机闪烁晶体		1%	
有阈活化剂法	有阈活化剂法	一组活化片	热中子到快中子	10-20%	10%
	坪响应探测器	含锂闪烁玻璃或含硼正比计数器	千电子伏到快中子		5%

表20：国外典型中子安检探测系统

系统名称	EURITRACK (欧洲)	SENNA系统 (俄罗斯)	PELAN系统 (美国)	FNGR系统 (澳大利亚)
探测器	中子探测器： BC501A γ探测器： 127mm*127m mNaI(Tl)	γ探测器： 63mm*63mm 的BGO，配 R6233-01型 PMT	γ探测器：BGO	中子探测器： 塑料闪烁体， 阵列式 γ探测器： CsI(Tl)，阵列式
检测对象	炸药及毒品	炸药及毒品、 武器	隐藏爆炸物	炸药及毒品、 武器

04

相关标的与投资建议

- 建议关注中广核技（电子加速器+核技术应用）、中国同辐（核医药）、中金辐照（辐照加工）、同方股份（核安检）、盈康生命（直线加速器+质子治疗设备）、东诚药业（核医药）、沃尔核材（核辐照材料）、鑫宏业（核级线缆）等。

- 当前我国非动力核技术应用产业迎来快速发展期，但整体上多数公司的体量较小且业务领域较为单一，根据《核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024—2026年）》，国家将围绕核技术在医学诊疗、农业育种、食品加工、材料改性、安检安保等重点方向或领域的应用，突破一批关键技术，建设一批创新平台，**力争打造2-3家国家专精特新“小巨人”企业**，不断发挥头部企业牵引作用，我们认为其中具备技术和资质优势的企业有望率先受益。
- 建议关注**中广核技**（核技术应用第一股，深耕电子加速器并聚焦材料改性、核医疗等应用领域，背靠中广核成长可期）、**中国同辐**（中核集团的核技术应用产业专业化公司，聚焦核医疗与辐照应用）、**中金辐照**（专注于利用γ射线进行灭菌、食品保鲜、材料改性等辐照加工业务）、**同方股份**（提供安检产品与解决方案）、**盈康生命**（研发、生产与销售直线加速器和质子治疗设备）、**东诚药业**（深耕主流核医药）、**沃尔核材**（核辐照材料）、**中国核电**（同位素）、**鑫宏业**（核级线缆）等。

- 核技术应用第一股，背靠央企成长可期。**公司以“核技术让人类生活更美好”为使命，以A+战略为引领，在巩固加速器制造的核心业务基础上，持续聚焦核技术应用产业布局深化拓展，重点针对加速器及其辐照应用业务（加速器Accelerator+）、质子肿瘤治疗系统及同位素等医疗健康业务（原子Atom+）以及新材料业务及公司整体层面（先进Advanced+）打造发展战略，未来随着一系列初期项目的成果转化，公司成长空间较大。

图40：公司主要业务与产品布局

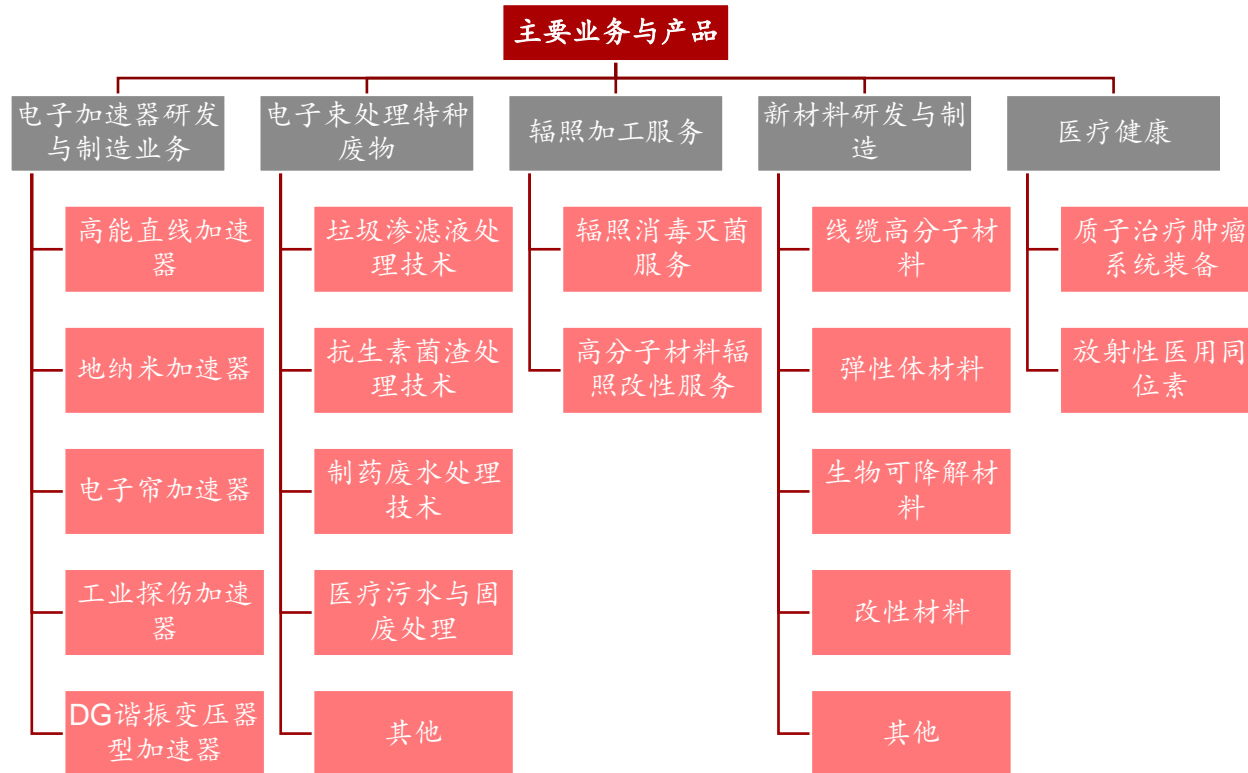


表21：公司主要产品的产能情况（截至2023年）

主要产品	设计产能	产能利用率	在建产能	投资建设情况
电子加速器	90台/年	58.89%	/	/
新材料	73.7万吨/年	63.36%	11.77万吨/年	华南产业基地在建产能及江苏三角洲在建交联聚乙烯项目产能
质子治疗系统	在建	不适用	3-4台/年	目前正在开展生产厂房建设施工
医用同位素（锆68、碘-123、锆镓发生器）	在建	不适用	年产锆-68 3.7E+12Bq(100 Ci)、碘-123 5.18E+13Bq(1400Ci)、锆镓发生器2000台	目前正在开展生产厂房建设施工

- 中核集团核技术应用产业发展主体，聚焦核医疗和辐照应用。**中国同辐(1763.HK)是中核集团的核技术应用产业发展主体，公司聚焦核医疗健康及辐照应用两大产业方向，于2018年7月6日在香港联合交易所成功上市。公司主营业务包括核药品、放射源产品、辐照、放射治疗设备及相关服务以及其他业务。近年来公司营收持续增长，其中**药品**和**核医疗设备**为主要增长来源。

图41：中国同辐2018-2024H1营收和业绩

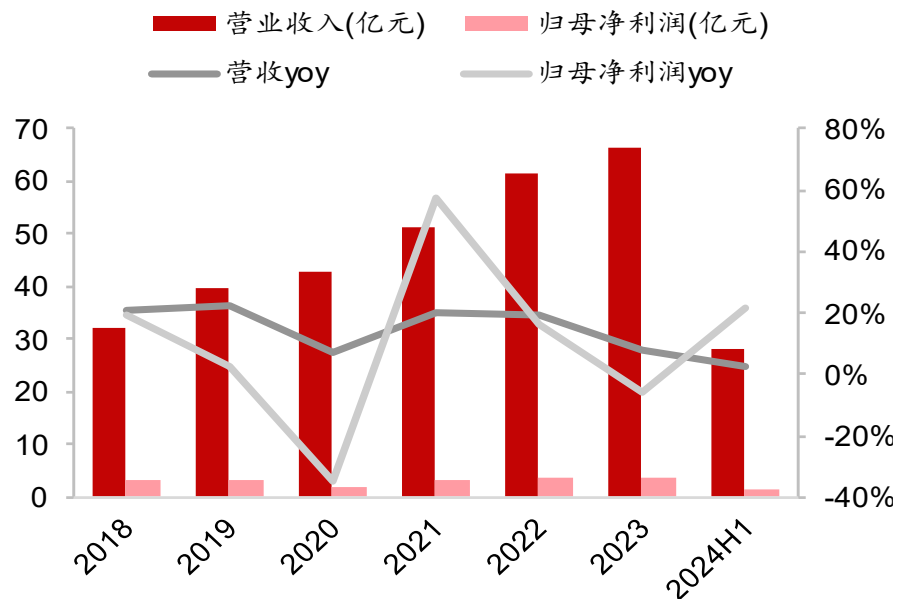
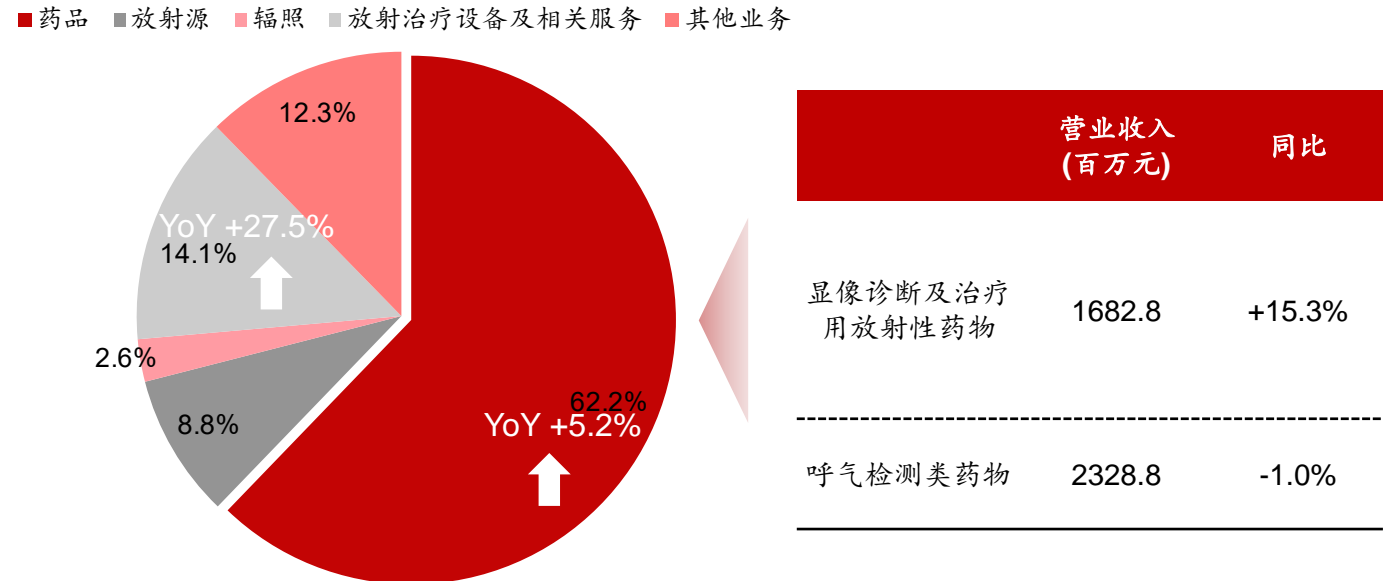


图42：公司2023年营收结构



- **拥有全球安检行业最完整的产品线序列。**同方股份(600100.SH)作为“中核集团科研院所和清华大学及各高校科技成果转化授权承接平台”，逐步形成和打造了核技术应用、智慧能源、数字信息、成果转化等主干产业集群。其中，公司核技术应用业务主要为**安全检测产品和综合解决方案**，其拥有全球安检行业最完整的产品线序列，共计30多个系列、300多个品种，实现了危险物的自动识别、人脸识别、安检数据智能分析，为智慧机场、智慧海关、智慧口岸建设、智慧交通提供方案支撑。

图43：同方股份主要业务板块



图44：同方股份民用核技术布局

同方威视

全球领先的安全检测产品和综合解决方案提供商，与清华大学长期战略合作开展安全检测技术的联合研究和公共安全领域的产品开发，在中国、欧洲、南美洲等地建有本地化生产制造基地，产品覆盖全球**170**多个国家地区



货物及车辆成像检查



行李及包裹成像检查



人体安全检查

- ✓液体安全检查
- ✓辐照应用
- ✓放射性物质检测等

科工产业

聚焦电子通信、海工装备、核技术应用、信息系统集成、MEMS（微机电系统）、激光应用六大业务领域进行科技成果转化及产业化，产品服务体系覆盖科技工业、交通人防、广电教育、海洋渔政、航空气象、环境能源等行业

- 中国黄金集团的七大业务板块之一，聚焦辐照灭菌改性。**中金辐照(300962.SZ)是央企中国黄金集团的七大业务板块之一，旨在为客户提供医疗保健产品、食品（包括宠物食品）、药品、包装材料等产品的辐照灭菌服务以及高分子材料的辐照改性服务。公司以辐照灭菌手段为主，同时发展多种技术手段，设有消毒供应中心主要为医疗机构及医疗器械厂商提供复用诊疗器械、器具及护理包、手术包的消毒灭菌服务，其中**辐照灭菌服务**是公司最主要的收入和利润来源。

图45：中金辐照2018-2024年Q1-3营收和业绩

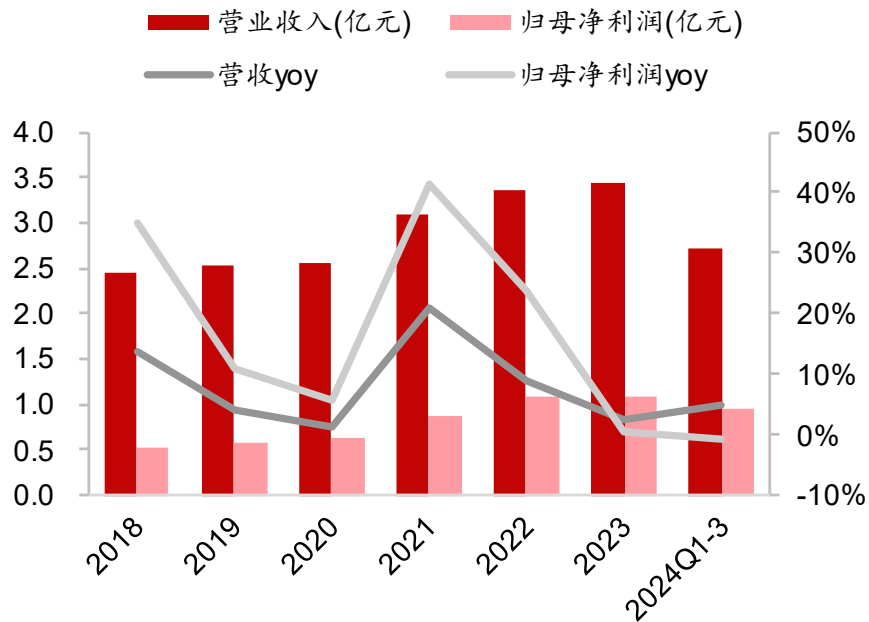


表22：公司辐照技术服务服务范围

服务对象	服务内容
医疗器械及用品辐照灭菌	手术手套及衣帽、注射器、血浆分离器、心血导管、止血纱布等消毒灭菌，优点是灭菌彻底，无化学残留，产品不需加热，操作简捷，连续作业
药品辐照消毒灭菌	尤其适用于不耐高温、成分易挥发的药粉和中成药，如各种中草药，原料粉，药膏，散剂、丸剂、片剂，胶囊的半成品及成品等
食品辐照保鲜	调味品、保健食品、脱水食品、水产品、红肉、宠物食品等的灭菌、杀虫、防霉、抑制发芽、推迟成熟、延长保藏
化妆品辐照消毒灭菌	适用于滑石粉、云母粉、粉底、化妆盒、化妆刷、毛刷、中药面膜及各种膏霜等不耐高温的化妆品，以及干花、香包、羽毛饰品、木制工艺品、沐浴露等日用品
玩具、包装材料辐照消毒灭菌	适用于毛公仔、咬牙、儿童画笔、羽毛玩具、拼装玩具，以及各类果酱类食品软性包装材料
化工材料辐射改性	主要应用包括热收缩材料、辐射交联线缆及橡胶硫化、吸水性材料、导电高分子复合材料等
宝石珍珠辐照着色	可增强或改变许多玉石、宝石、水晶和珍珠的颜色（例如使水晶由无色变成茶色、紫色、金黄色等），从而达到增加产品品种、提高产品质量和增值的目的

- 聚焦医疗器械与服务两大板块，自主研发放射治疗高端装备。**盈康生命(300143.SZ)聚焦打造预/诊/治/康全产业链生态平台，提供以肿瘤为特色的医疗服务以及关键场景、关键设备医疗器械的研发、创新和服务。其中，针对医疗器械板块涉及的放射治疗场景，公司深耕脑科学方向，聚焦脑部疾病的诊疗创新，自主设计研发了**放射治疗高端装备——头部伽玛刀**，其精准水平远超国际标准，多项技术持续领先，累计为全球10万多名患者提供放疗服务。

图46：盈康生命2023年产业布局

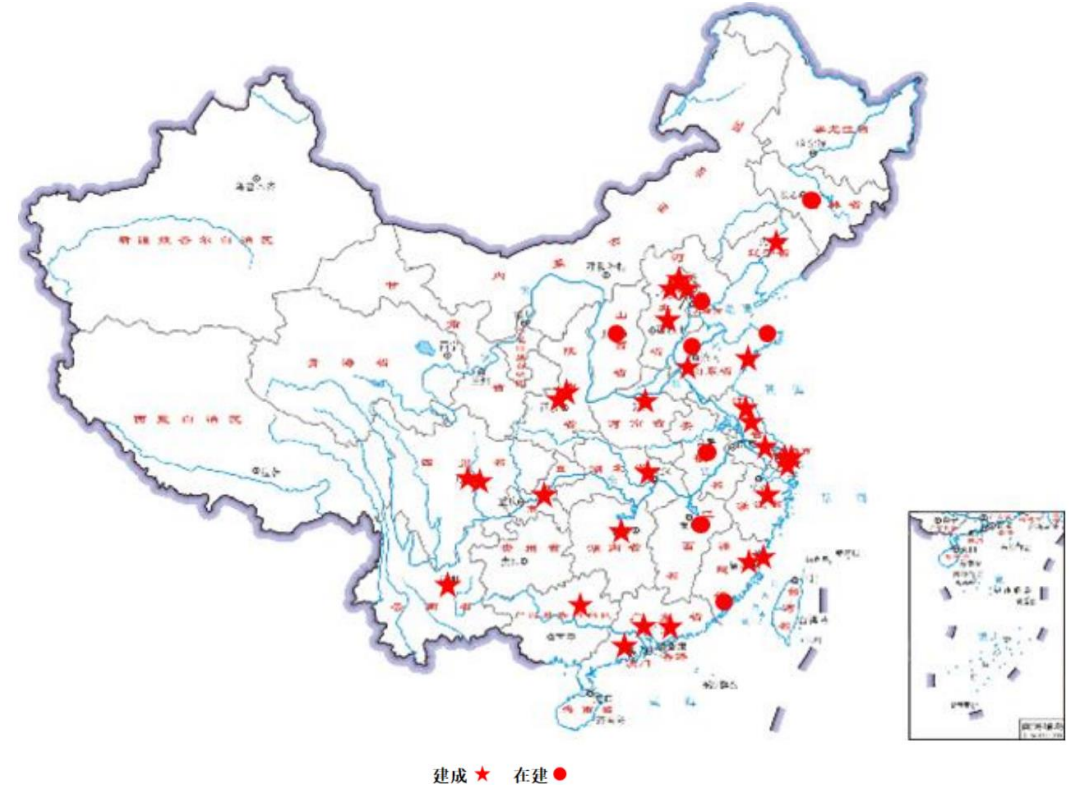


- 重点打造核药从到治疗的全产业链体系。东诚药业(002675.SZ)是一家覆盖生化原料药、制剂、核药、大健康四大领域，融合药品研发、生产、销售于一体的大型制药企业集团。公司近年来重点打造从诊断用核药到治疗用核药的全产业链体系，全面布局诊疗一体化和精准医疗；当前公司具备丰富的核素药物产品，同时依托米度生物提供核药研发服务，未来公司投入运营的核药生产中心将超过 30 个，基本覆盖国内 93.5%人口的核医学的需求。

表23：公司主要核素药品产品

序号	产品名称	主要应用
1	氟[18F]脱氧葡萄糖注射液(18F-FDG)	诊断用核素药物，PET-CT 显像的主要显像剂，主要用于恶性肿瘤的早期诊断筛选、疗效评价、愈后评估等，也可用于测定心脏及脑中的葡萄糖代谢，用于冠心病及神经精神病的早期诊断、鉴别诊断及指导治疗。
2	云克注射液(钨[99Tc]亚甲基二膦酸盐注射液)碘[125I]密封籽源	治疗用核素药物，主要用于治疗类风湿关节炎，同时在强直性脊柱炎等自身免疫性疾病和骨科疾病中也有应用，并具有良好的疗效。药品的放射性剂量水平低于天然本底辐射，环保部门和药监部门对云克注射液进行了免管理，按普通处方药进行管理。
3	碘[125I]密封籽源	治疗用核素药物，主要治疗浅表、胸腹腔内的肿瘤(如头颈部肿瘤、肺癌、胰腺癌)，也适用于经放射线外照射治疗残留的肿瘤以及复发的肿瘤。
4	钨[99mTc]标记药物	SPECT 医学显像剂，根据标记的化合物不同，临床医学显像的应用也不同，可用于心肌病和冠状动脉疾患等鉴别诊断、全身或局部骨显像、肾显像等。
5	尿素[14C]胶囊	诊断用核素药物，鉴别和诊断胃幽门螺旋杆菌感染。
6	碘[131I]化钠口服液	短半衰期核素药物，诊断、治疗药，主要用于诊断和治疗甲状腺疾病及制备碘[131I]标记化合物。

图47：公司核药生产中心布局（截至2023年底）



- **公司布局核能多用途利用，发力同位素制备与应用。**公司大力发展核能、非核清洁能源、战略新兴产业等三大产业，打造核能发电、核能多用途利用、核电技术服务、非核清洁能源、战略新兴清洁技术等五个业务板块。公司设立同位素专项组，开展同位素生产经济性、热室共享模式等分析；2024年4月，秦山核电**重水堆机组**中成功抽出完成辐照的碳-14靶件，这意味着此前长期依赖进口的**碳-14已全面实现供应国产化**；2024年5月，秦山核电在线辐照生产医用同位素装置全面建成，至此**我国掌握了批量化在线辐照生产同位素的关键技术**，镭-177、锿-89和钷-90等多种国内当前紧缺的短半衰期医用同位素将在今年下半年配套厂房建成投产后进入规模化生产阶段。
- 目前秦山核电正在与所在地海盐县携手，目标是建设**全国最大的同位素生产基地**，截至2024年4月，占地1900亩的海盐核技术应用（同位素）产业园已全面启动建设，该产业园将包含同位素生产基地、核药生产基地以及核技术创新中心、核医疗中心。

图48：秦山核电碳-14生产项目历程

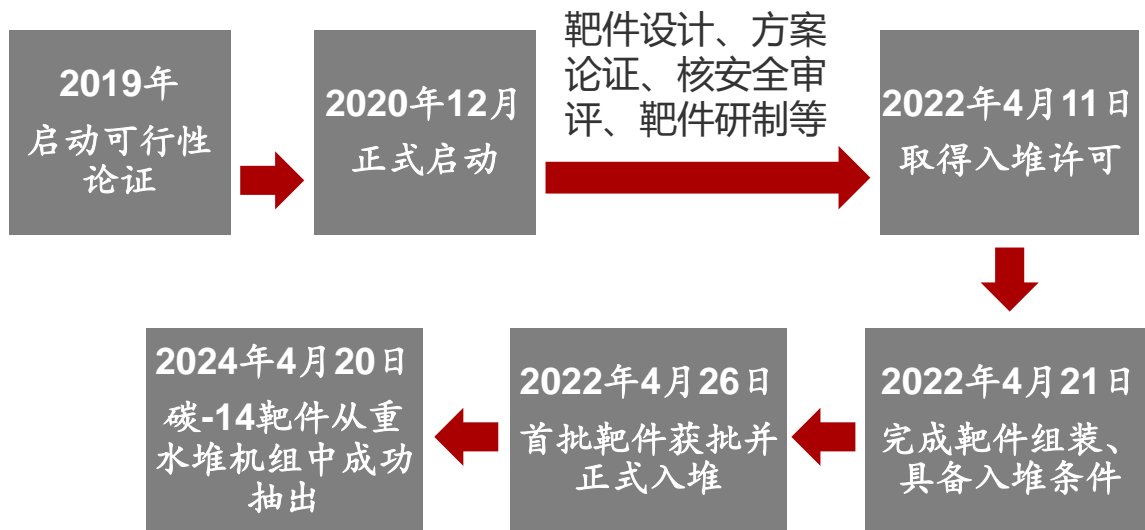
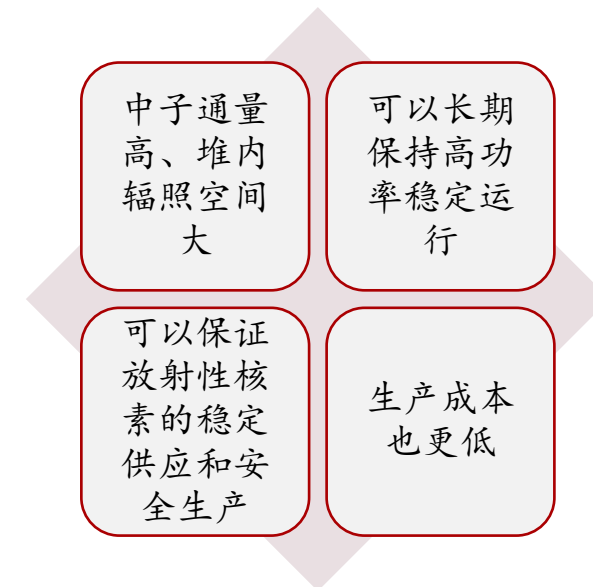


图49：秦山核电重水堆机组生产碳-14的主要优势（与研究堆生产相比）



- **产品覆盖多领域特种线缆，资质与客户资源兼备。**公司主要产品为新能源汽车线缆、充电桩线缆、光伏线缆、核电线电缆及核贯穿件、机器人线缆等特种线缆。公司具备丰富的项目经验与技术服务能力，在新能源特种线缆领域形成了较强的产品优势，不仅陆续通过了国家CNAS认证实验室、TÜV 莱茵授权实验室等权威认证，并且已进入国内外多个知名终端客户的供应商目录。
- **布局核电线电缆，需求空间可期。**在核电领域，公司持有中华人民共和国国家核安全局颁发的 1E 级电缆、电气贯穿件《民用核安全设备设计许可证》和《民用核安全设备制造许可证》、电线电缆的《全国工业产品生产许可证》等资质与证书，是核线缆、核贯穿件国内唯一持有二个核电系列产品设计和制造资质的厂家。考虑到后续机组核准节奏有望稳步推进，核电线电缆的设计与制造技术必须同步跟进，公司核电线电缆产品的需求空间可期。

图50：公司主要产品类型



核电线电缆特点：

- (1) 导体长期工作温度 90 度条件下，线缆寿命超过 60 年；
- (2) 电缆可耐受 γ 射线累积辐照总剂量：2200kGy；
- (3) 耐高温高压试验：电缆可耐受最高温度为 164°C，最大压力为 0.69MPa 的 LOCA 试验，持续时间 15 天；以及后续温度 137°C，压力 0.33Mpa，15 天的化学溶液浸没试验。

05

风险提示

- 非动力核技术应用拓展不及预期
- 非动力核技术国产化进程不及预期
- 市场竞争加剧
- 政策支持力度不及预期

- **非动力核技术应用拓展不及预期：**非动力核技术应用的不断拓展对于行业内公司经营状况技术的规模化应用影响重大，若非动力核技术应用拓展不及预期，可能会为相关公司业绩增长带来不利因素。
- **非动力核技术国产化进程不及预期：**当前我国以核医疗为代表的多个高端核技术应用领域国产化程度较低，若未来上述行业的国产化进程不及预期，则可能会影响我国相关厂商的业绩情况。
- **市场竞争加剧。**当前多个非动力核技术应用的细分环节均有大量厂商布局，若未来市场竞争激烈程度不断增加，将会影响各公司的业绩增长，同时对其盈利能力带来不利影响。
- **政策支持力度不及预期：**政策落地执行对非动力核技术应用行业中的公司业绩有重大影响，若政策推进不及预期，可能会对行业内上市公司业绩带来不利影响，进而影响公司的市场表现。

行业的投资评级

以报告日后的6个月内，行业指数相对于沪深300指数的涨跌幅为标准，定义如下：

- 1、看好：行业指数相对于沪深300指数表现 + 10%以上；
- 2、中性：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10% ~ + 10%以上；
- 3、看淡：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10%以下。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重。

建议：投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者不应仅仅依靠投资评级来推断结论

法律声明及风险提示

本报告由浙商证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，经营许可证编号为：Z39833000）制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但浙商证券股份有限公司及其关联机构（以下统称“本公司”）对这些信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不发生任何变更。本公司没有将变更的信息和建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本报告仅供本公司的客户作参考之用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告仅反映报告作者的出具日的观点和判断，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本公司的交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理公司、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

本报告版权均归本公司所有，未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、发布、传播本报告的全部或部分内容。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明本报告发布人和发布日期，并提示使用本报告的风险。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

浙商证券研究所

上海总部地址：杨高南路729号陆家嘴世纪金融广场1号楼25层

北京地址：北京市东城区朝阳门北大街8号富华大厦E座4层

深圳地址：广东省深圳市福田区广电金融中心33层

邮政编码：200127

电话：(8621)80108518

传真：(8621)80106010

浙商证券研究所：<http://research.stocke.com.cn>