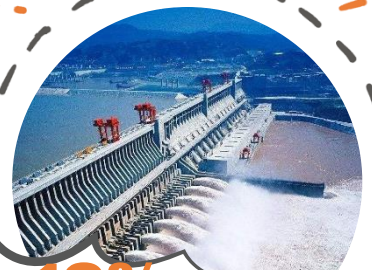
上海市核电办
科普教材

章节一
能源发展

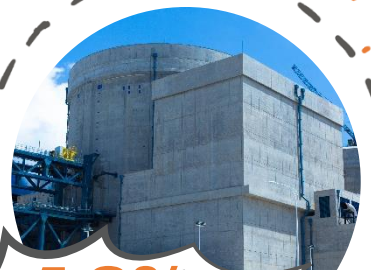
SCIENCE
E = mc2
microscope
PHYSICS
电灯的电
从哪里来

我们都一样

67.4%
火电



16%
水电



4.9%
核电

风电

光伏

潮汐

等可再生
能源 11.7%

煤够烧多少年？
烧完了怎么办？

“比起烧完，
环境问题
更值得我们关注”

酸雨，石油燃烧导致的污染

全球正在
变暖

核能，人类能源的
终极选项
人类终将从石油文明，
跨度到核能文明

章节二
核的起源

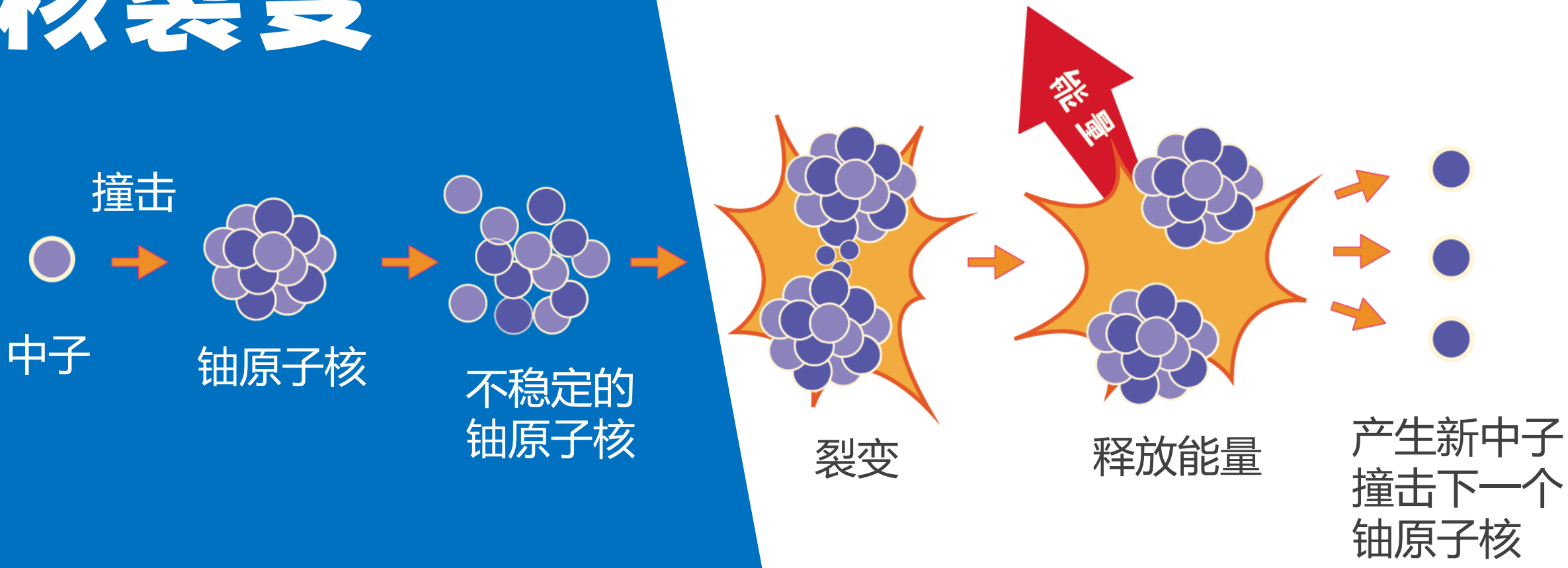
世界万物都由原子组成

原子就是由电子和原子核组成

原子核又由比他更小的微粒
质子和中子组成

正常状态下，质子和中子是紧紧抱在一起的
假设我用一个中子去撞击原子核，会发生什么呢？

核裂变



除了裂变
还有聚变

人类未来终极能源=80%
聚变+20%可再生

人造太阳
托克马克装置
Solonoid
Magnets
Torodial
Magnets
Plasma

核能发电
人类终极能源的解决方案

章节三
核电概述

常规岛
核岛

核电站七神器

反应堆

核电站的“心脏”

蒸汽发生器

我真的不是“加湿器”

堆芯

强悍的内“芯”

稳压器

不让反应堆“发脾气”

控制棒

没有人比我更懂“自律”

汽轮机发电机

欢乐“二人转”

主泵

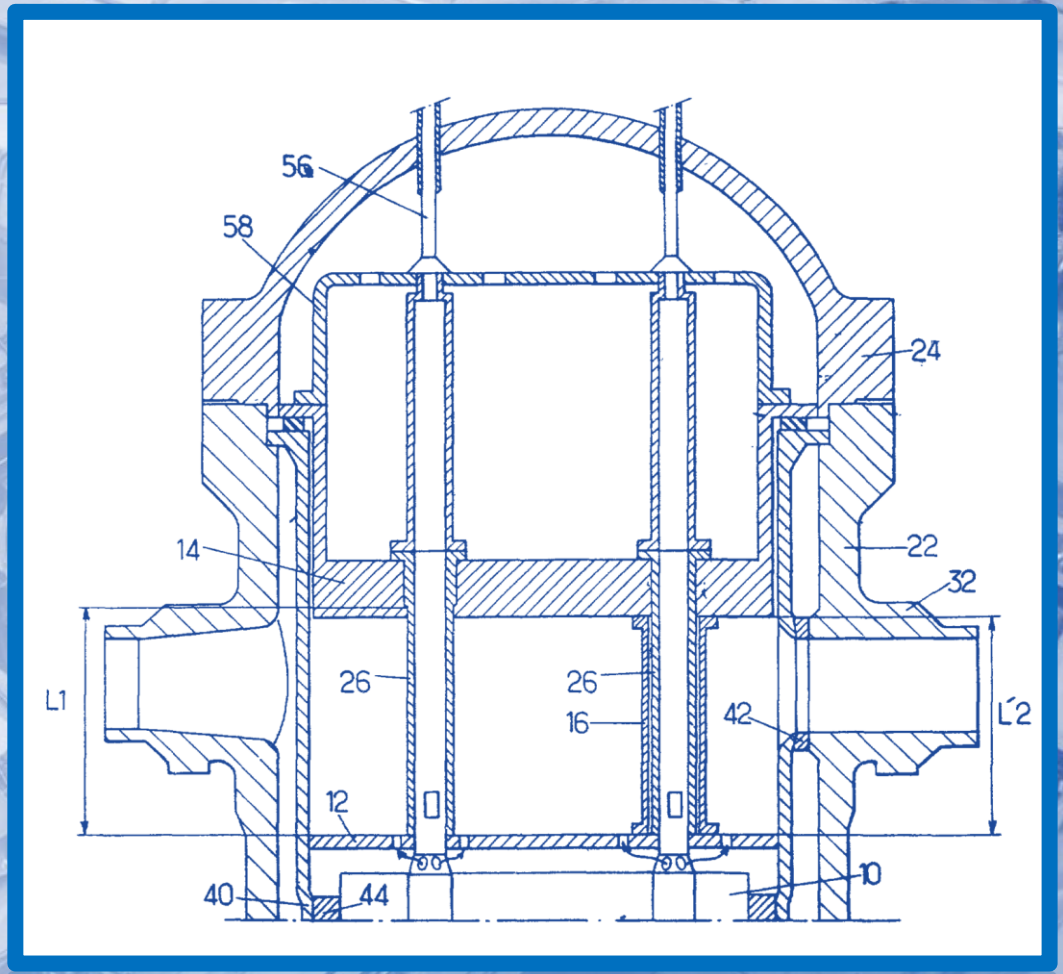
最强“搬运工”

反应堆外壳是个圆柱体的压力容器，内部由燃料组件、冷却剂、慢化剂、控制棒等组成

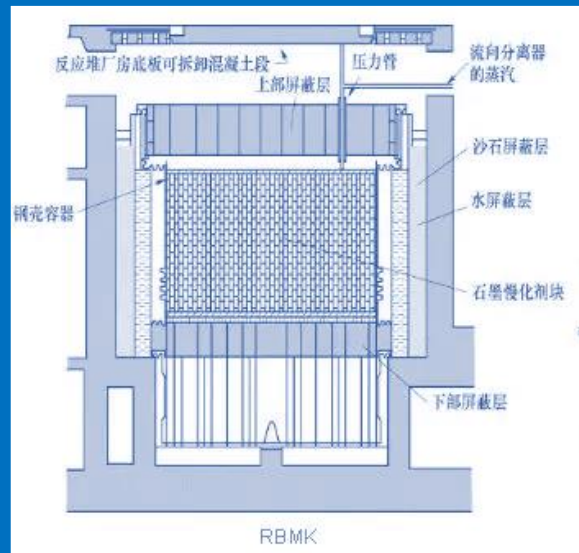
反应堆压力容器在高温、高压强辐照与强腐蚀的条件下必须能可靠地持续工作40~60年，使用过程中不可更换。

反应堆

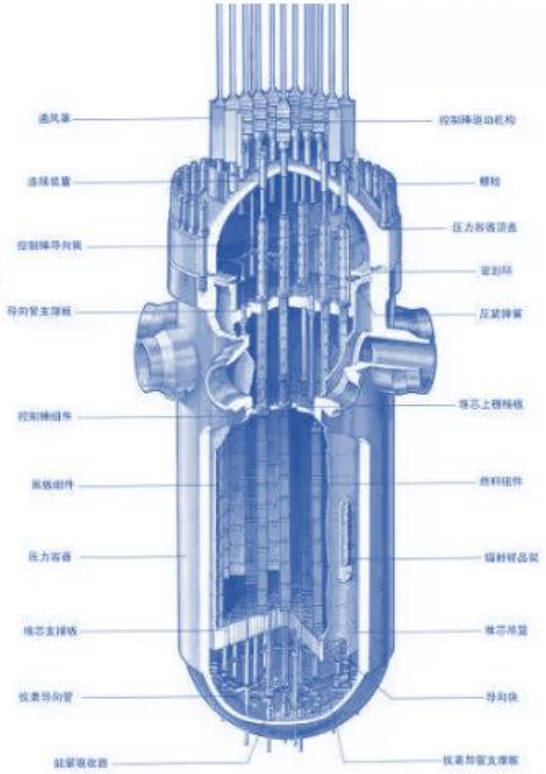
核电站的“心脏”



堆芯
强悍的内“芯”



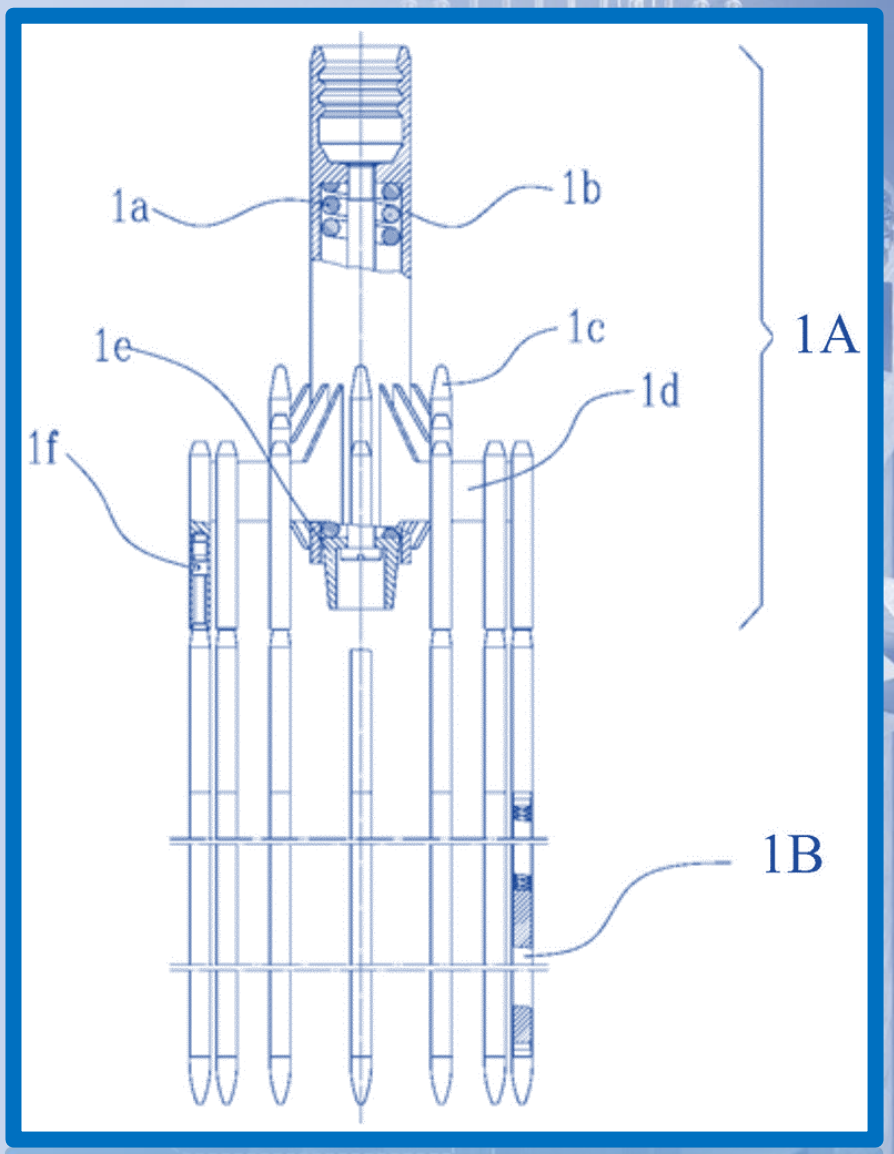
RBMK

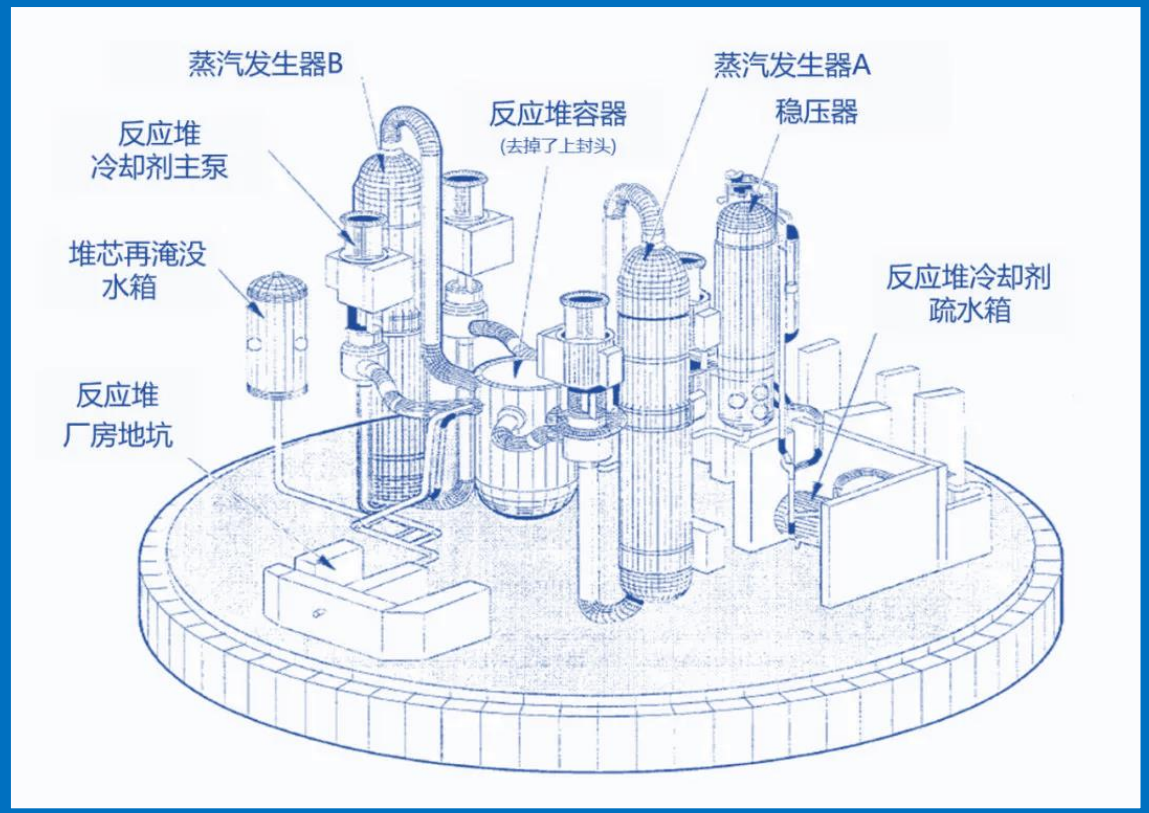

压水堆

核反应堆的堆芯也称为反应堆活性区，由安置在具有一定栅格的堆芯格架中的燃料组件构成，燃料组件由制成一定形状(板、棒、管)的燃料元件通过各种构件按一定的栅格布置组装而成，以满足物理和热工水力学的要求。

控制棒
没有人比我更懂“自律”

为了控制链式反应的速率在一个预定的水平上，需用吸收中子的材料做成控制棒。控制棒通常是由硼和镉等强力吸收中子的材料制成，并根据吸收强弱细分为调节棒和安全棒等。



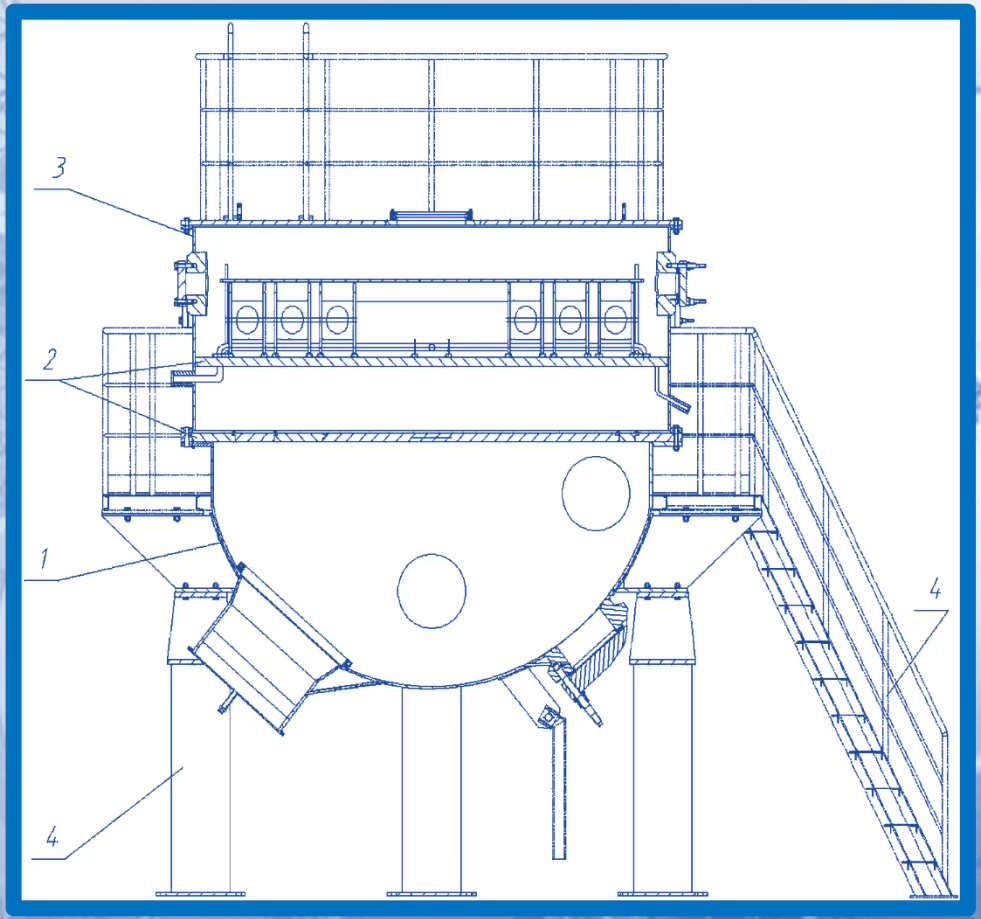


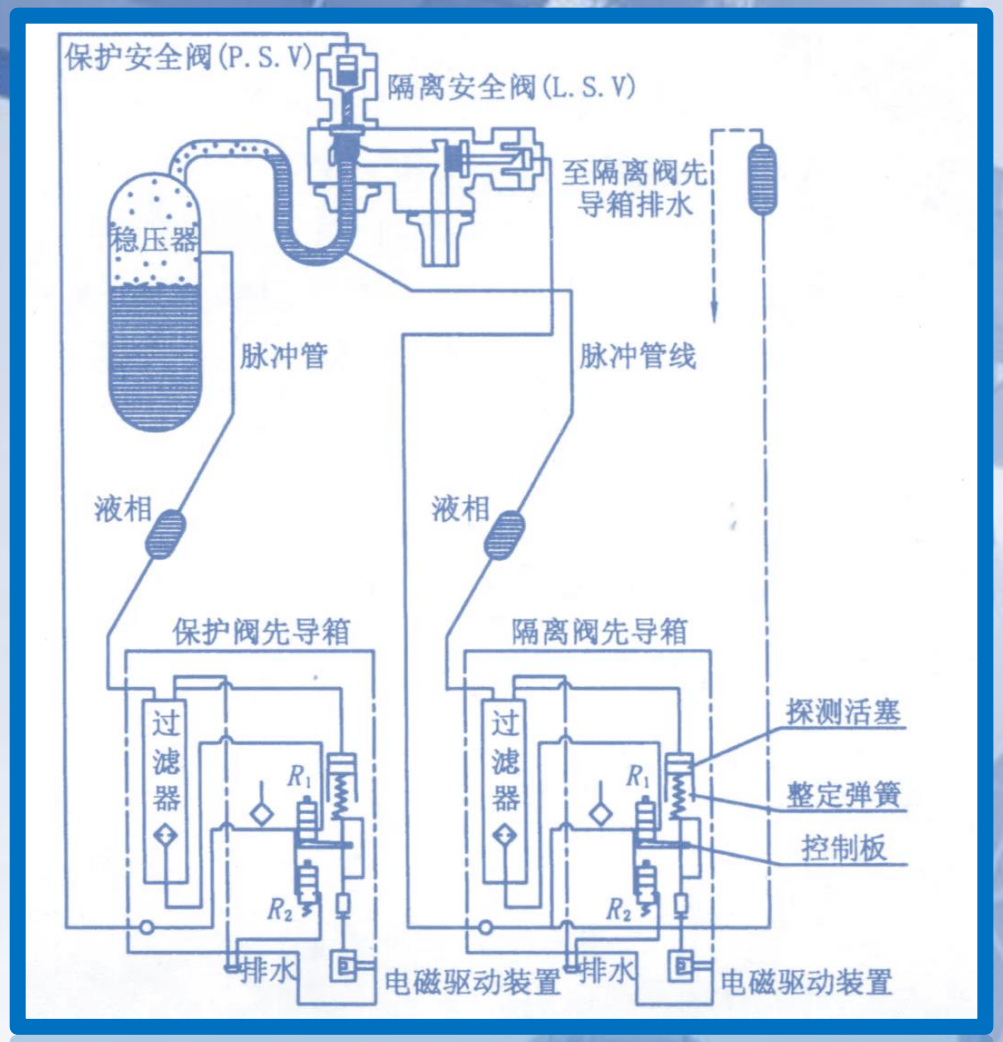
主泵
最强“搬运工”

主泵也是核电站一回路系统的关键设备，位于核岛心脏部位，它承担着将反应堆出来的冷却剂送到蒸汽发生器一次侧，并将冷却剂再送回反应堆的重要功能，从而实现将一回路热量通过蒸汽发生器传递给二回路给水，使二回路给水加热成蒸汽，推动汽轮机发电。

蒸汽发生器
我真的不是“加湿器”

蒸汽发生器是一个约高20米的热交换器，其功能是将反应堆产生的热能传递给二回路介质，产生用于发电的蒸汽。





稳压器
不让反应堆“发脾气”

稳压器的作用是补偿一回路冷却水温度变化引起的回路水容积的变化，以及调节和控制一回路系统冷却剂的工作压力。

汽轮机&发电机 欢乐“二人转”

汽轮机

是一种以蒸汽为动力，并将蒸汽的热能转化为机械能的旋转机械，是现代火力发电厂中应用最广泛的原动机。

发电机

是将其他形式的能源转换成电能的机械设备。在核电站中由它将机械能转换为电能，从而将原子核裂变反应产生的能量转化为千家万户都离不开的电力。

核电是怎么发电的呢？

红色

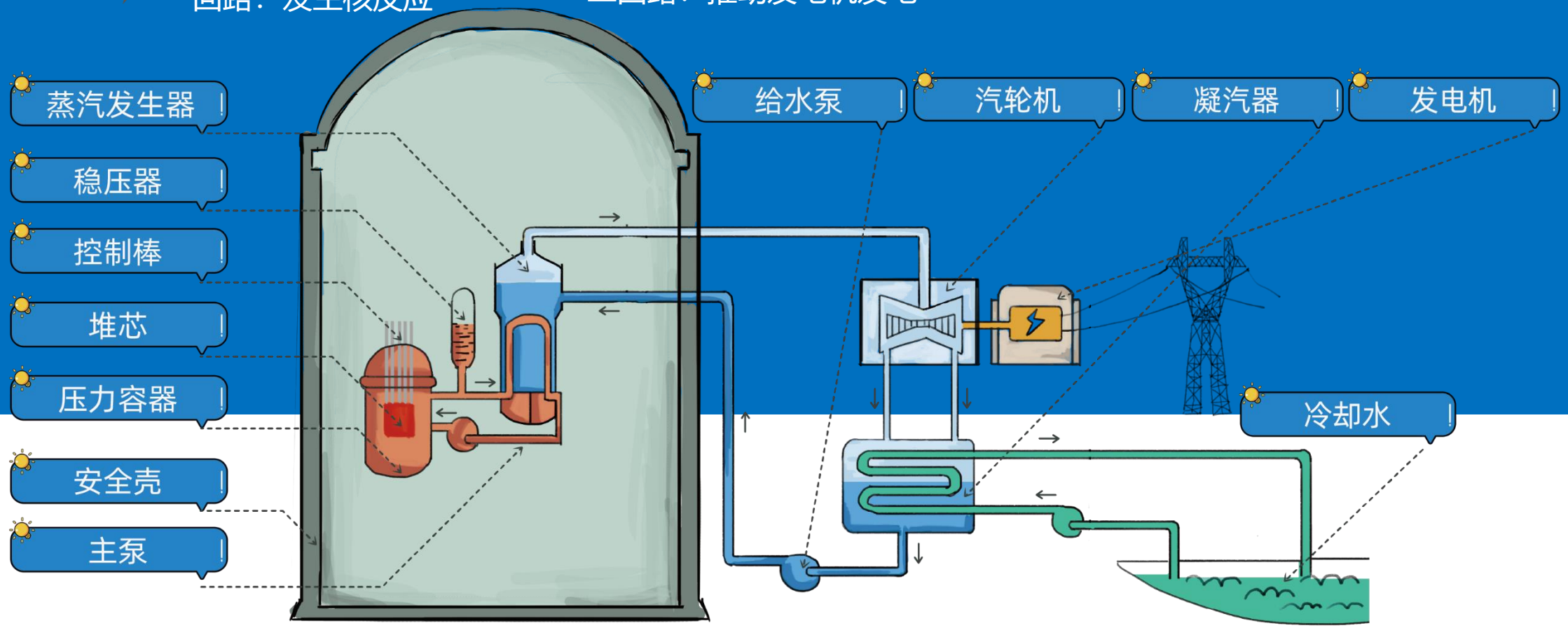
一回路：发生核反应

蓝色

二回路：推动发电机发电

绿色

三回路：给二回路降降温



一回路

四大金刚

稳压器

唐僧的紧箍咒

压力容器

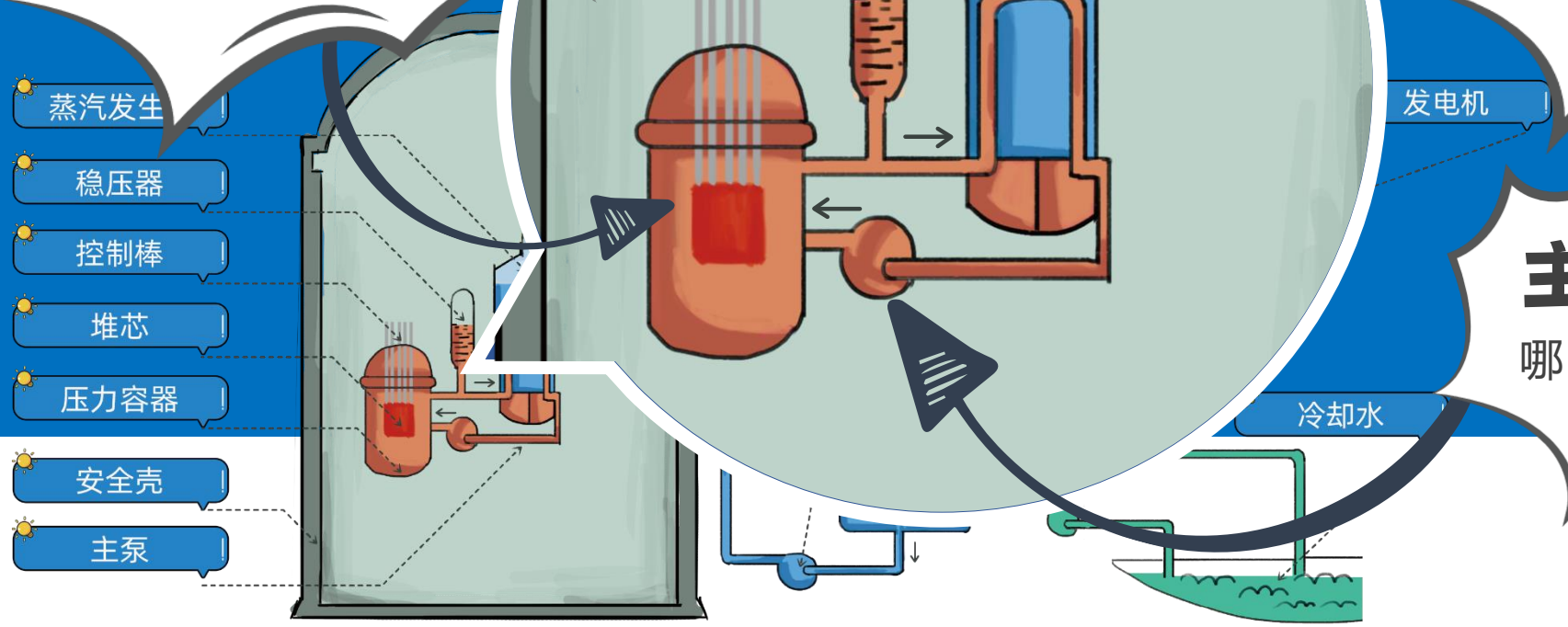
太上老君的炼丹炉

蒸汽发生器

金角大王的紫荆葫芦
孙悟空的七十二变

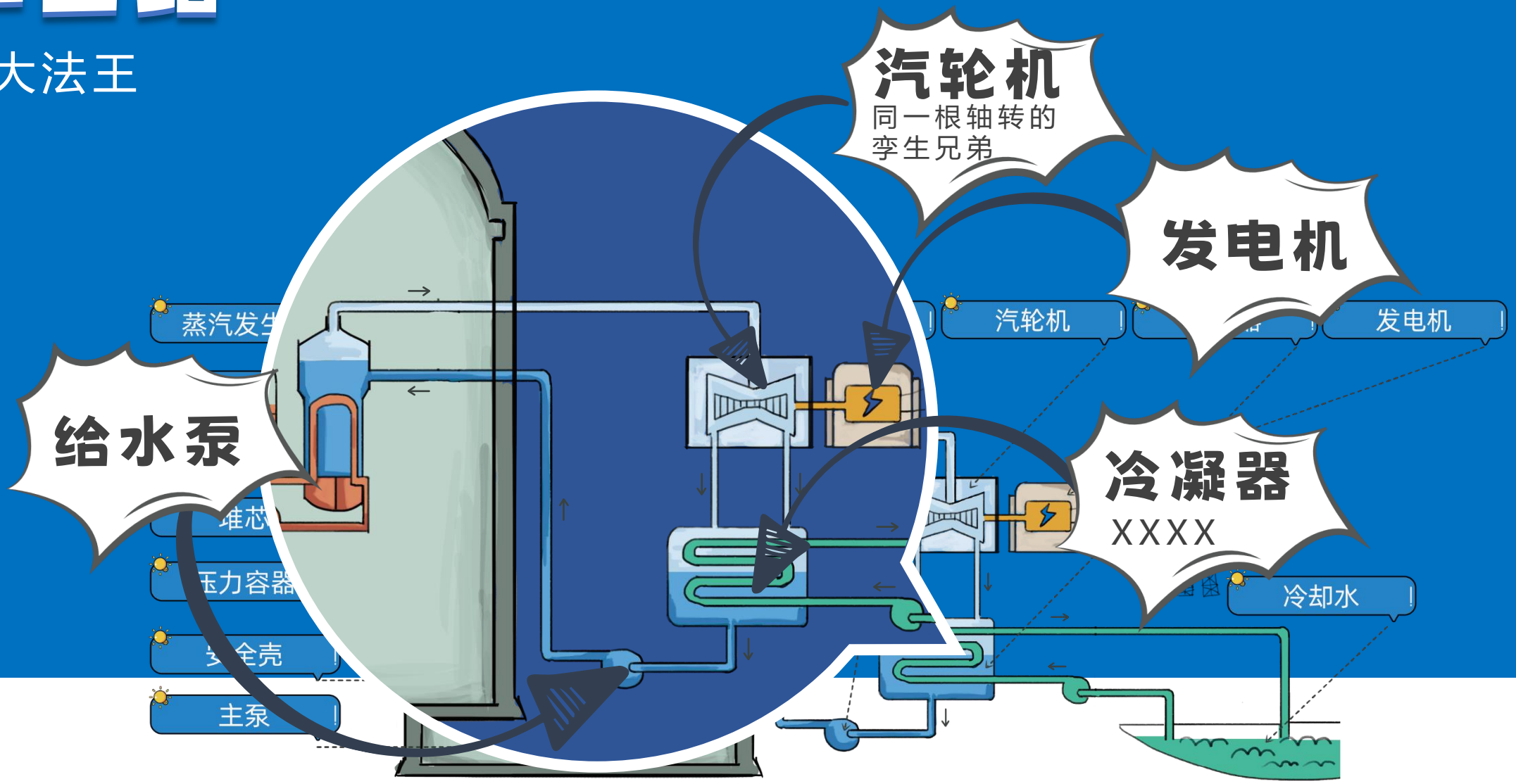
主泵

哪吒的风火轮



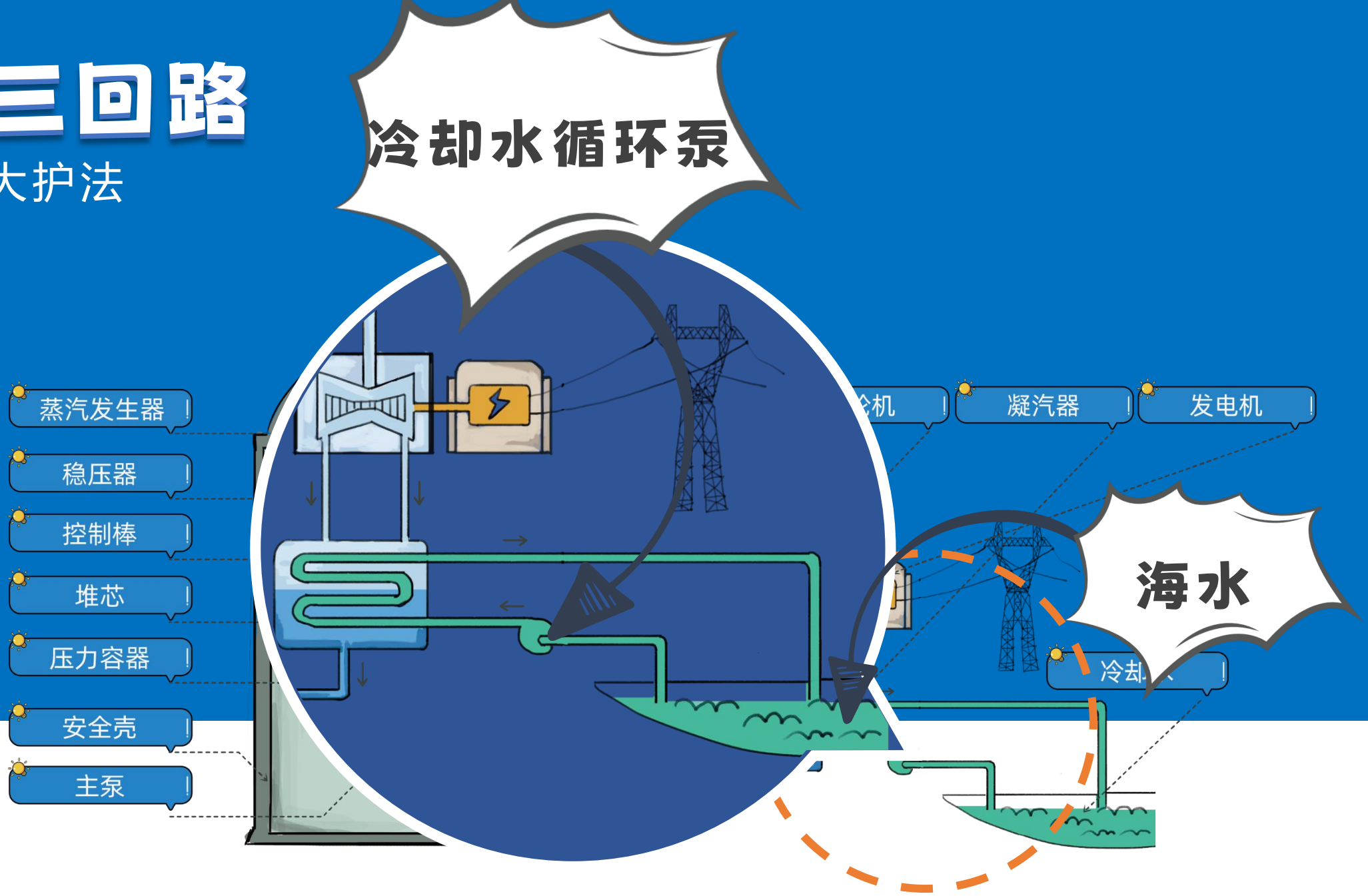
二回路

四大法王


汽轮机
同一根轴转的
孪生兄弟
发电机
给水泵
冷凝器
XXXX
蒸汽发生
汽轮机
发电机
堆芯
压力容器
安全壳
主泵
冷却水

三回路

大护法

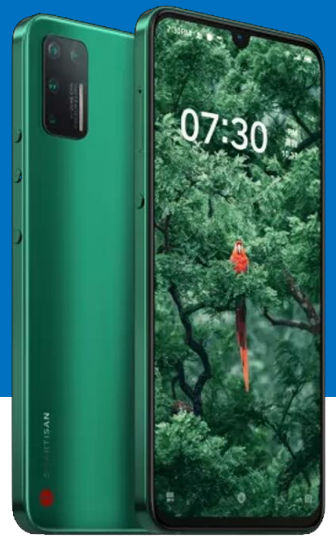


作为用来发电的核电站
也有不同的类型

小米

苹果

华为



锤子

1+

核电天团

压水堆

沸水堆

钠冷快堆

重水堆

高温气冷堆

核电的发展也经历了四个阶段

一代核电

验证核能是可以发电的

——— 大哥大

二代核电

商业化批量化应用

———按键手机

三代核电

提升安全性

——— 智能手机

四代核电

未来更经济安全的选择

——— 概念手机（360度环绕屏）

故事要从核电站的
筹备建设开始说起

那我们要建造一座核电站，最先考虑的问题应该是什么呢？

盖房子

坚如磐石
稳如泰山

阳光明媚
岁月静好

静水流深
源远流长

地广人稀
不闻世事

世外桃源
与我无尤

阡陌交通
鸡犬相闻

建核电站

稳定的地质
条件

良好的气
象环境

充足的
水源

低人口
密度

与空中、
水上航道
保持安全
距离

靠近电力
负荷中心

核电站设计

设备制造

常规岛设备

核岛主设备

辅助系统

01 浇注第一罐混凝土，标志主体工程开工建设，常称为FCD

02 核电站核岛穹顶环圈吊装就位

03 核电站核岛穹顶盖封顶，标志工程建设由土建为主转入安装建造为主阶段

04 核电站反应堆主回路水压试验结束，工程进入系统调试阶段

05 核电站汽轮机实现首次非核蒸汽冲转成功，标志核电站建筑安装工程基本结束

调试是核电站建造过程的最后一个阶段，也是综合验证设计、建造质量，发现缺陷、消除缺陷，使设备与系统的性能符合规定要求的重要环节。

核电人的体验

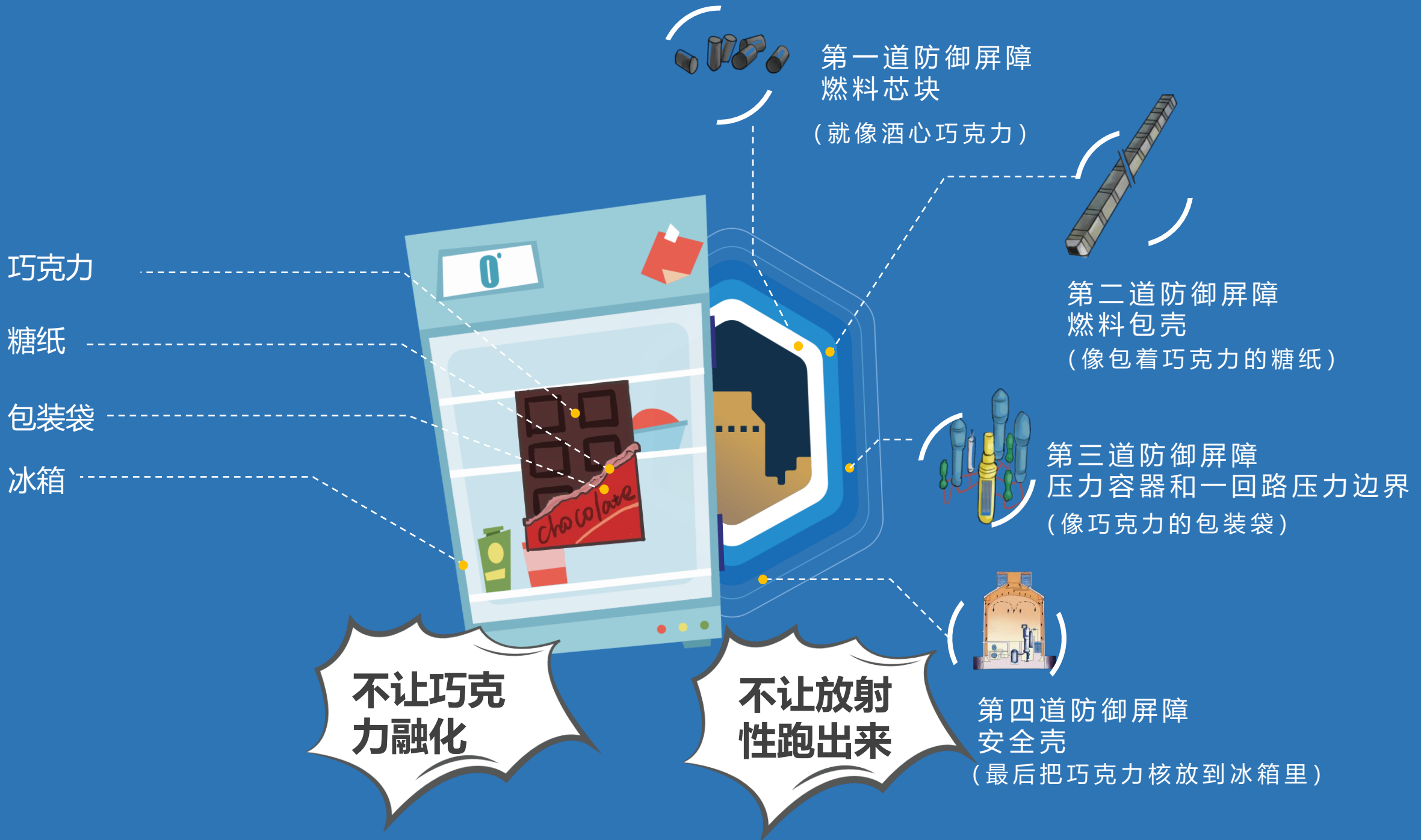
章节四

核电是安全的能源

不安全
辐射
僵尸
畸形
大老鼠
核泄漏
基因变异
污染
变异
爆炸
绿巨人
寸草不生
DNA损坏

带一路
华龙一号
改进
国家名片
总理点赞
45个无核电国家正认真考虑
30到100的跨越
自主三代核电技术
积极投身公益
节能减排
为社会创造价值
安全稳定运营业绩

“打铁还需自身硬”
为了不让Ta漏出来，我们也是拼了


第一道防御屏障
燃料芯块
（就像酒心巧克力）
第二道防御屏障
燃料包壳
（像包着巧克力的糖纸）
第三道防御屏障
压力容器和一回路压力边界
（像巧克力的包装袋）
第四道防御屏障
安全壳
（最后把巧克力核放到冰箱里）
巧克力
糖纸
包装袋
冰箱
chocolate
不让巧克力融化
不让放射性跑出来

“绣花更要心思巧”
核电站：筑得起屏障
核电人：守得住防线

第一 保证核电站建造的质量

选个好的树苗

第二 严格执行监测维护规章制度

经常浇水，保证营养

第三 应急自我防护

缺少营养，减缓生长

第四 防止核泄漏扩散

虫害除虫

第五 及时疏散民众

伐木用作柴禾

看不见的电波
让安全深入到每一个基因中

切尔诺贝利

原因 违反规定，设计缺陷

结果 催生了核安全文化

三哩岛

原因 元件损坏

结果 未造成重大影响

福岛

原因 9级地震

结果 中国核电全面升级了安全措施

中国为什么不会发生三大核事故?

自身设计
更科学

地质条件
更稳固

气象环境
更稳定

核事故应急等级

场外应急
及时补救最重要，群众必须保护好

应急待命
时刻戒备不松懈，听闻危机不恐慌

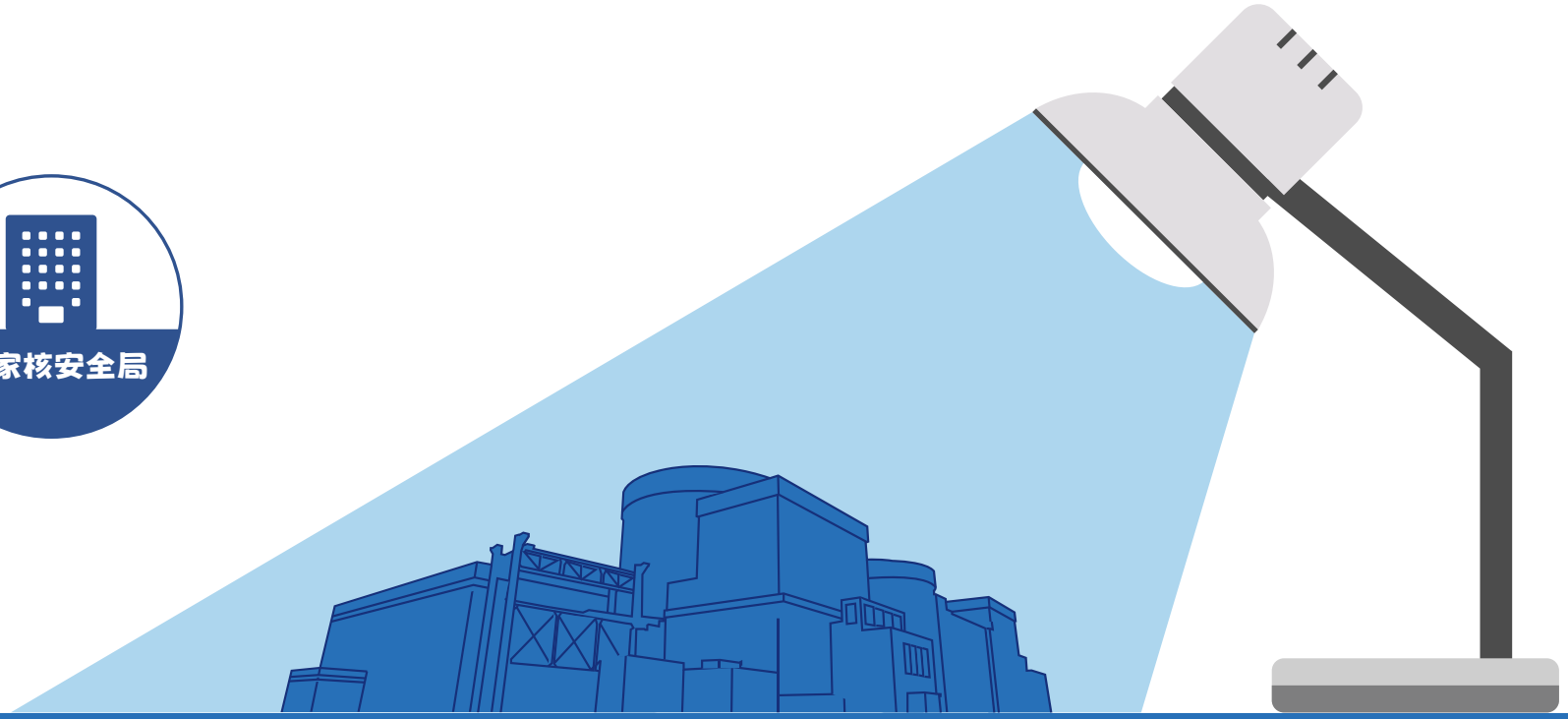
厂房应急
威胁不大别慌乱，厂房内部能解决

场区应急
听安排有序撤离，事故就能遏制住

看得见的辐射
一切公开透明

直接监管

国家核安全局



间接管束

- 国家能源局
- 国防科工局
- 核与辐射安全中心
- 核与辐射安全监督站
- 各地方环保部门

看不见的辐射
也有人监管吗
Thermo
SCIENTIFIC
0.78 μSv/h
RADEYE G-10
Gamma Survey Meter
Menu
Info

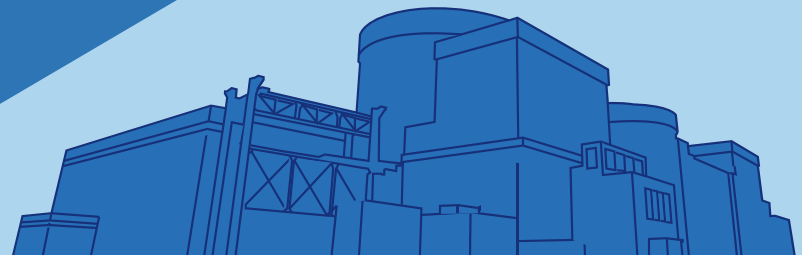
环境监测体系

独立监督站

内部监测探头

外部监测点

取样分析



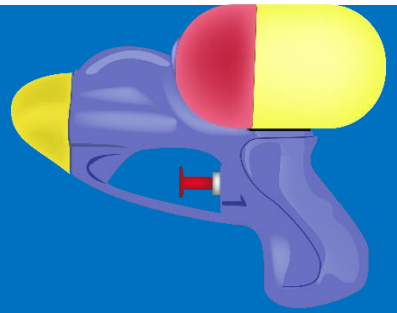
环境监测的是辐射
那辐射距离我们很远吗？
我们来好好聊一聊
Thermo
SCIENTIFIC
Gamma Survey Meter
Info
Menu
On

辐射指的是以波或粒子（如α粒子、β粒子等）的形式向周围空间或物质发射并在其中传播的能量的统称。

那我们常说的辐射又可分为电离辐射和电磁辐射

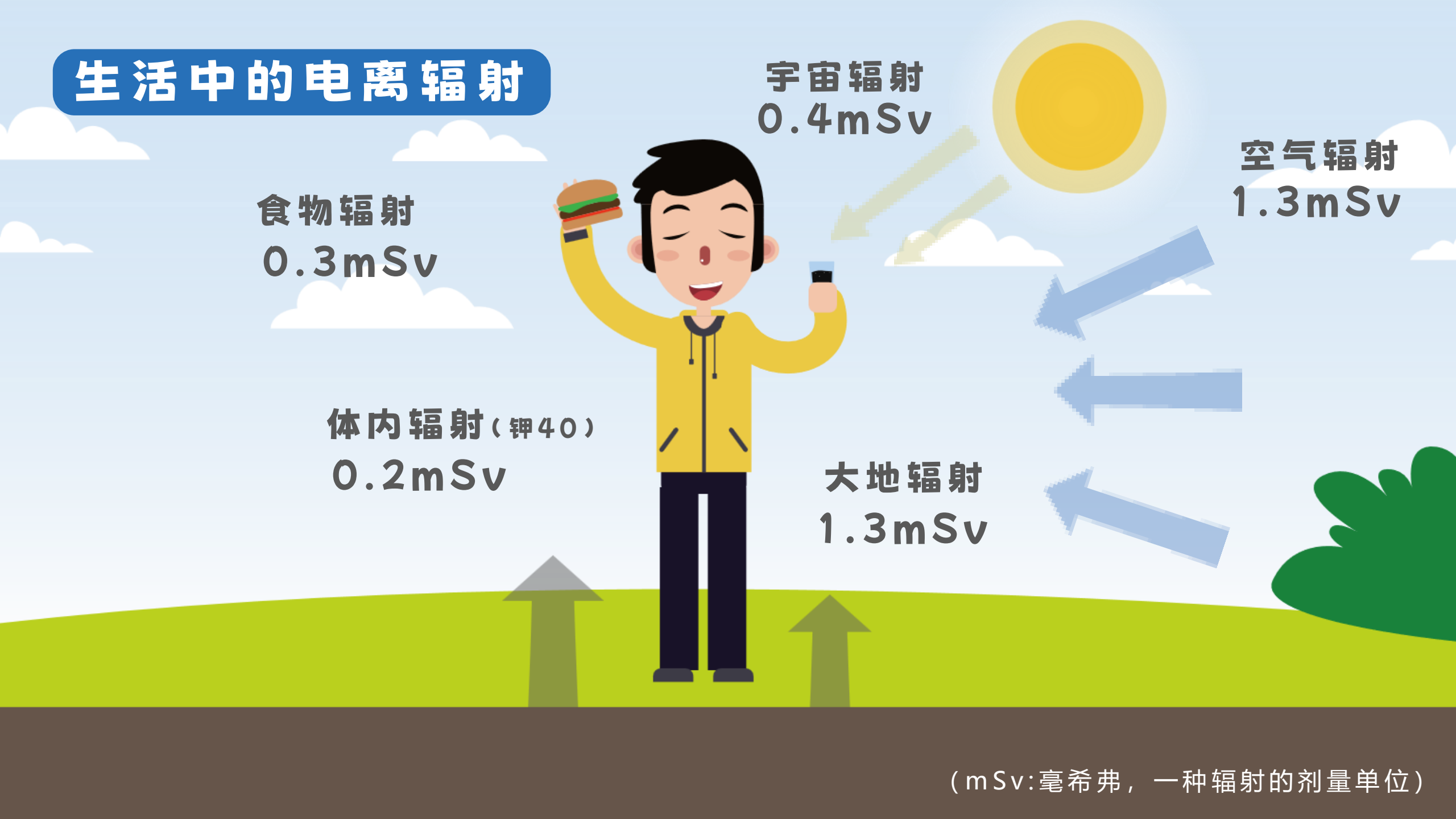
电离辐射

电磁辐射



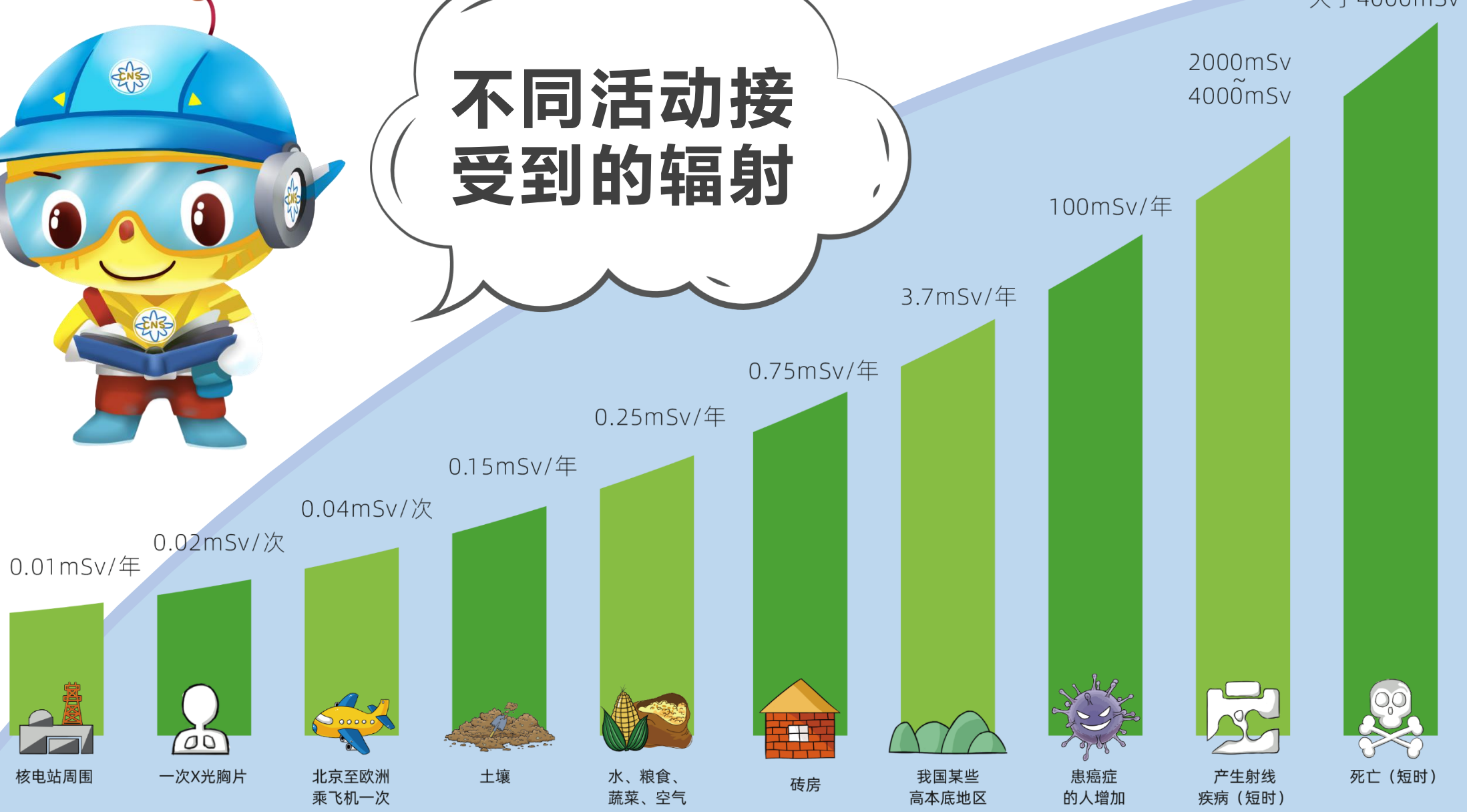
所以我们能够想象
我们的生活中应该是充满了辐射

生活中的电离辐射



（mSv:毫希弗，一种辐射的剂量单位）

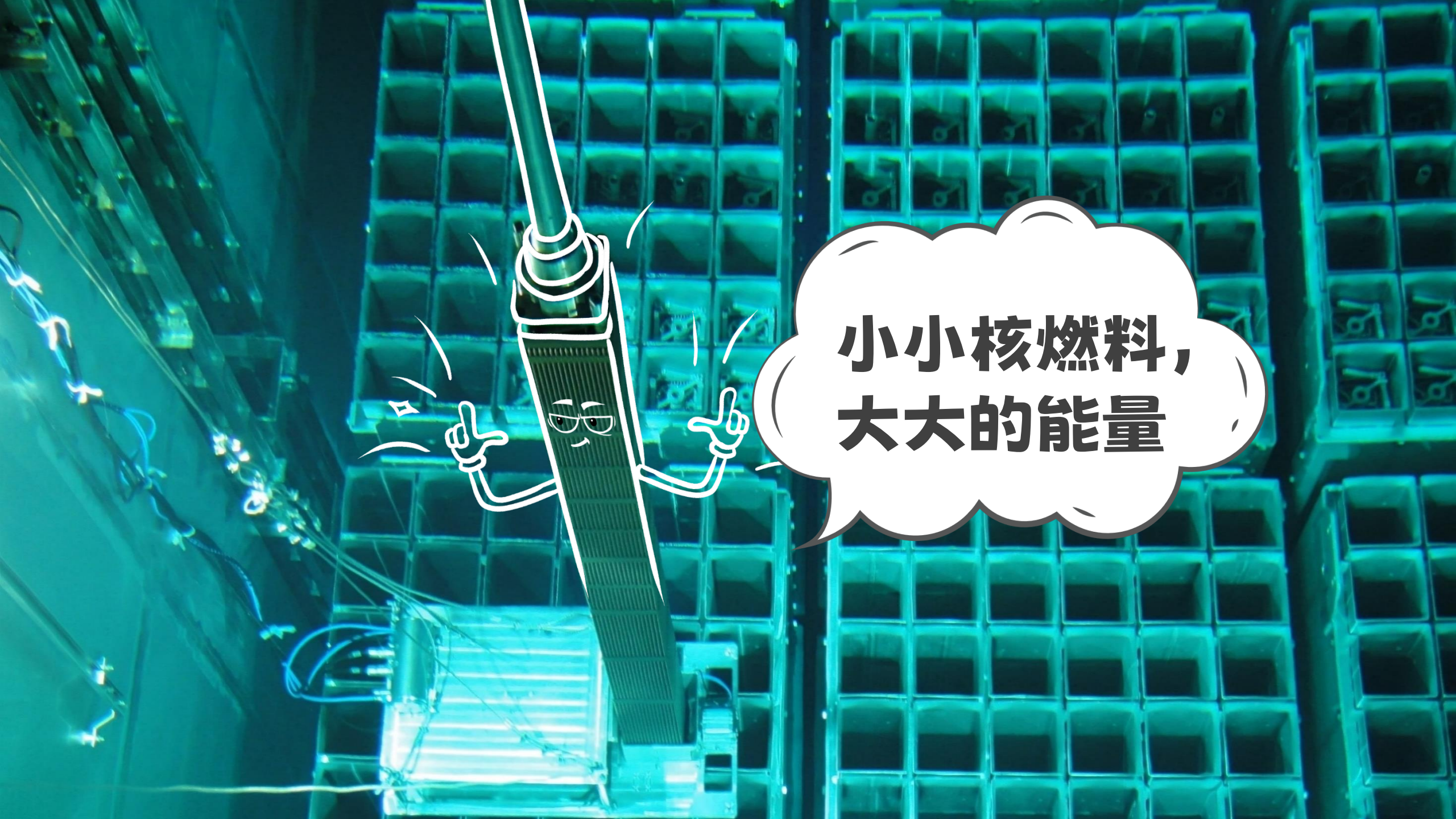
不同活动接受到的辐射


0.01mSv/年
核电站周围
0.02mSv/次
一次X光胸片
0.04mSv/次
北京至欧洲
乘飞机一次
0.15mSv/年
土壤
0.25mSv/年
水、粮食、
蔬菜、空气
0.75mSv/年
砖房
3.7mSv/年
我国某些
高本底地区
100mSv/年
患癌症
的人增加
2000mSv
~
4000mSv
产生射线
疾病（短时）
大于4000mSv
死亡（短时）

中看更中用
颜值和实力并存

新时代 新征程
大家知道三峡水电站什么样吗？现在在脑海中回想一下

三峡水电站只有一座，但核电站可以建很多座


小小核燃料，
大大的能量

核电站VS燃煤站
年耗
核燃料
30吨=1辆重卡/年
年耗
原煤
300万吨=40节火车/天

福利不止
这些哦

促进当地经济
社会发展

章节五
中国核电

核电，从小到大的中国“轨迹”

我国的核电事业发展

初创期

以建设秦山核电站和大亚湾核电站为标志，主要任务是学习、研究、掌握核电技术，发展我国相关配套产业，建成有关管理体系，建立一支从事核电事业的队伍，为后续发展打下坚实的基础。

发展期

以后续持续建设的30多台核电机组为标志，包括中加合作建设的秦山重水堆核电站（二台CANDU型重水堆核电机组）以及中俄合作建设的田湾核电站（四台俄罗斯型压水堆核电机组），通过这些项目建设，使我国核电技术掌握更加成熟，培育了一大批设计、制造、建设、运行队伍以及配套行业，国产化能力有了极大的提升。

突破期

以我国三代核电建设为标志，通过中美合作建设AP1000非能动压水堆核电机组、中法合作建设EPR大功率压水堆核电机组，以及自主研发建设“华龙一号”、“国和一号”等世界先进压水堆核电机组，我国核电建设水平达到世界先进水平，成为世界第三代、第四代先进核电最主要的市场。

最早最大的核电基地

秦山核电　国之光荣

浙江海盐秦山30万千瓦核电站于1991年12月15日并网发电。结束了我国大陆无核电的历史，实现“零的突破”，被中央领导称赞为“国之光荣”。是继核武器、潜艇核动力装置研制成功后的又一历史性重大突破，成为核工业发展新的里程碑。

最早投入商业运行的核电机组

大亚湾核电厂1号机组

浙江海盐秦山30万千瓦核电站于1991年12月15日并网发电。结束了我国大陆无核电的历史，实现“零的突破”，被中央领导称赞为“国之光荣”。是继核武器、潜艇核动力装置研制成功后的又一历史性重大突破，成为核工业发展新的里程碑。

中俄最大能源合作项目
田湾核电

田湾核电站位于江苏省连云港市高公岛乡柳河村田湾境内
分三期建设
其中一、二期工程是与俄罗斯合作建设的
采用的是俄罗斯AES-91型核电技术
是两国间迄今最大的技术经济合作项目

2021年

福清核电

“华龙一号”的先锋

福清核电站位于福建省福清市三山镇前薛村的岐尾山前沿，其一期工程建设了四台百万千瓦级的核电机组。其二期工程5、6号机组采用我国自主研发的“华龙一号”核电技术，5号机组于 2015 年 5 月正式开工建设，2020年9月4日获得生态环境部颁发的运行许可证并开始首次核燃料装载，并于2020 年 11 月 27日实现首次并网发电，标志着机组进入了运行阶段。

世界最早建成的非能动核电机组

三门核电站位于浙江省台州市三门县健跳镇，规划建设6台125万千瓦核电机组，一期工程二台机组采用美国西屋公司的AP1000型核电技术，也是在全球首次采用这种三代核电技术，设计寿命60年。AP1000技术最大特点是采用了“非能动”的安全系统，进一步提高了核电站的安全性、可靠性。

我国第四代堆的先锋

石岛湾高温气冷堆示范工程

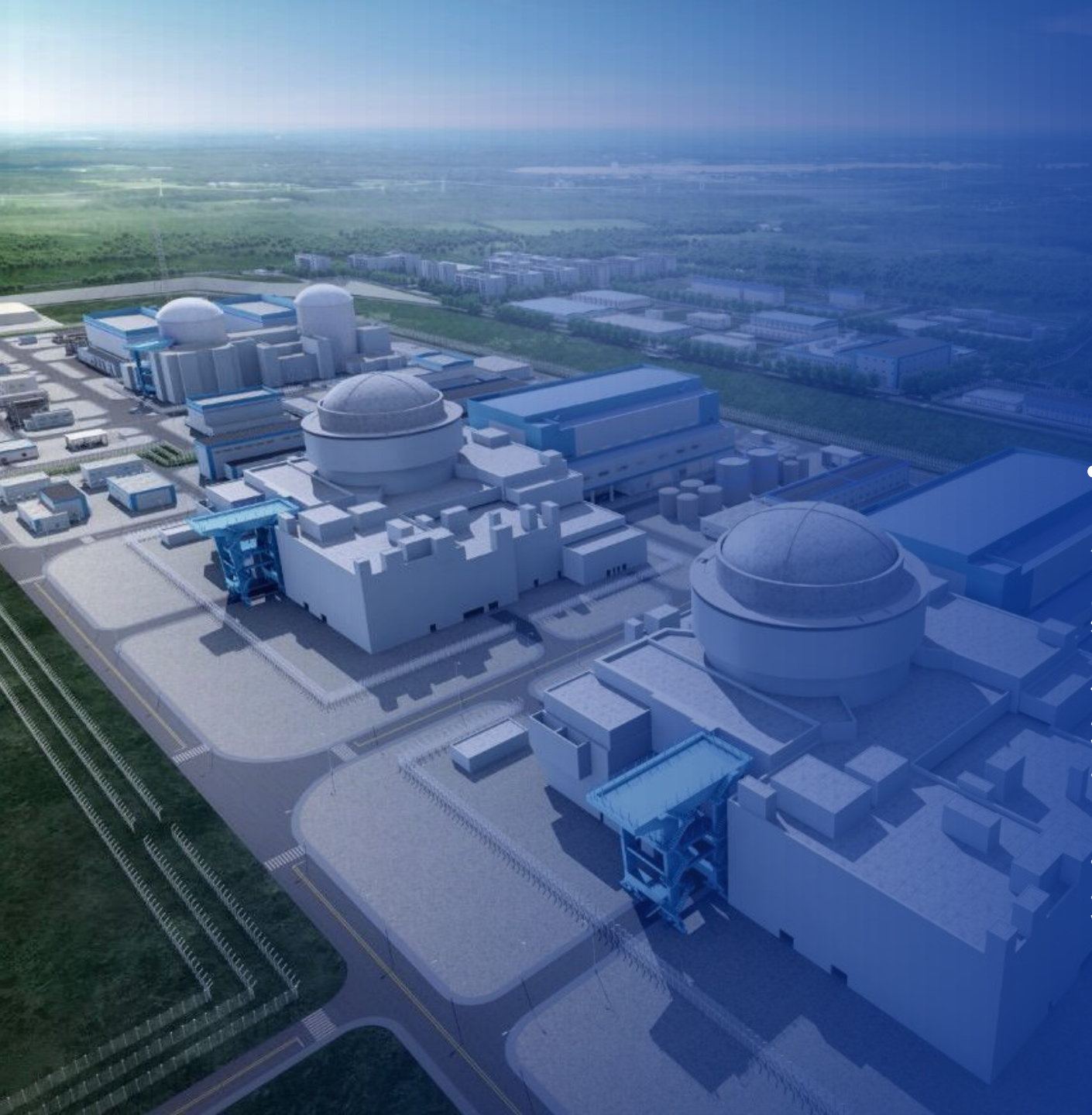
石岛湾高温气冷堆核电站示范工程的厂址在山东省威海市荣成石岛湾以北的宁津湾，将建设一台采用四代核电先进技术的高温气冷堆核电机组，电功率为211MW，是我国在建的第一台四代商用核电站。2012年12月9日开工建设。2021年12月20日，全球首座球床模块式高温气冷堆核电站——华能石岛湾核电高温气冷堆示范工程送电成功。

国家十六个重大科技专项之一

“国和一号”

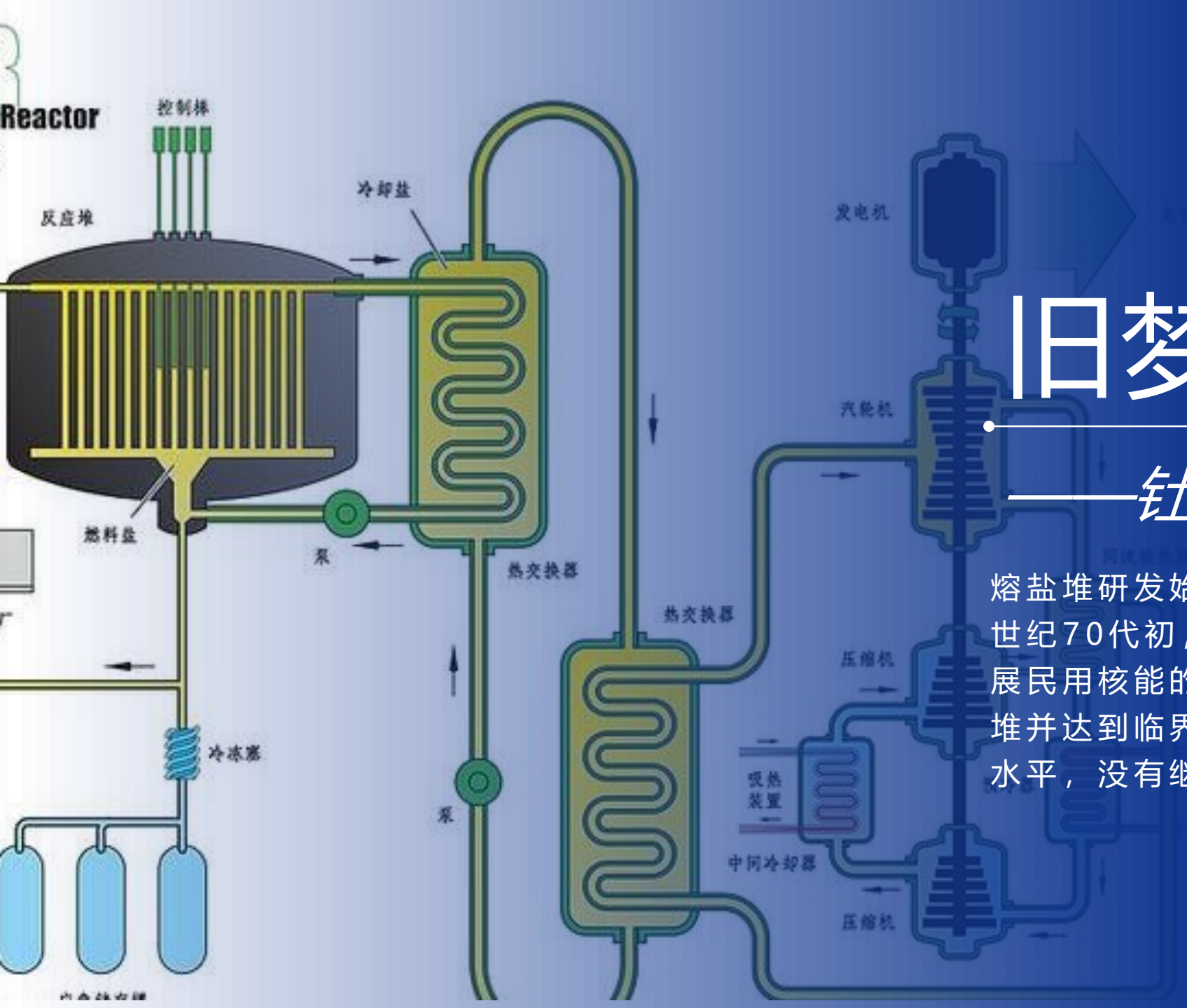
“国和一号”是我国在引进消化吸收三代非能动压水堆核电技术的基础上，通过大型先进压水堆及高温气冷堆核电站国家科技重大专项开发的、具有自主知识产权的大型先进压水堆核电型号。

2008年，“国和一号”（又名CAP1400）研发工作正式启动。历时12年，国家电力投资集团有限公司作为牵头单位，组织全国600多家单位、31000余名技术人员参与，累计形成知识产权成果超7611项，建成了我国三代核电自主创新体系和产业链供应体系，标志着我国核电技术实现了从“二代”到“三代”的跨越，具备先进核电自主化、批量化、规模化建设能力。



海南昌江小堆示范工程

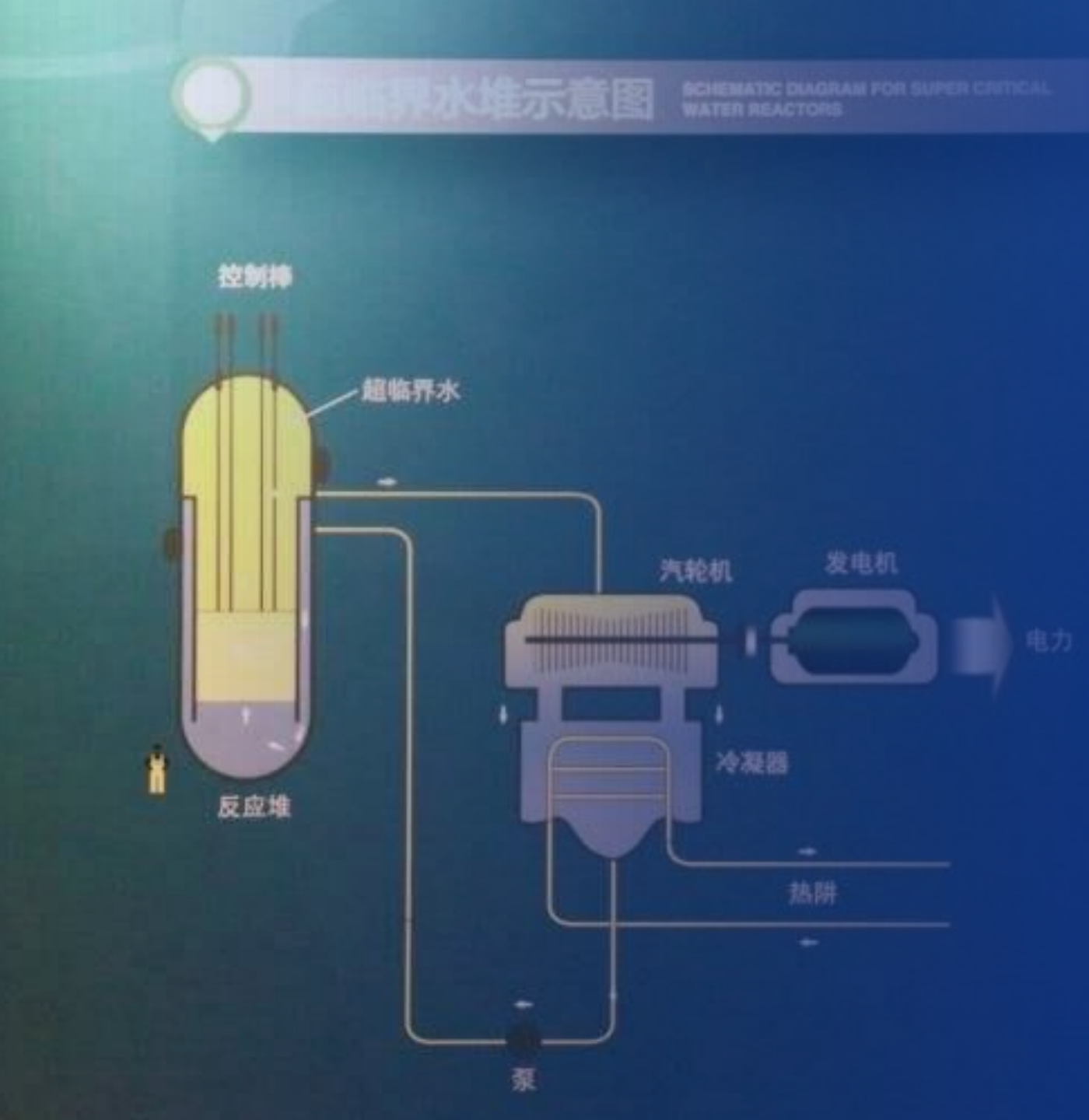
海南昌江规划建设一台ACP100核电机组及其配套辅助设施，此机组功率125MW，反应堆热功率为385MWt，是一台多用途模块式小型反应堆。工程位于海南昌江核电站西北侧，同属一个厂址。2021年7月13日上午，中核集团海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程“玲龙一号“在海南昌江核电开工建设。



旧梦重拾

——钍基熔盐堆技术

熔盐堆研发始于20 世纪 40 年代末的美国，20 世纪70代初，我国也曾选择钍基熔盐堆作为发展民用核能的起步点，并建成了零功率冷态熔盐堆并达到临界，但限于当时的科技、工业和经济水平，没有继续下去。

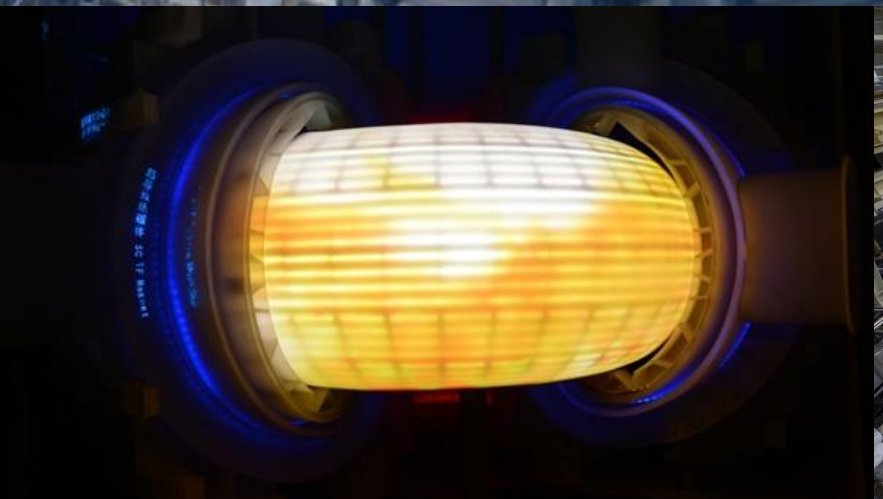


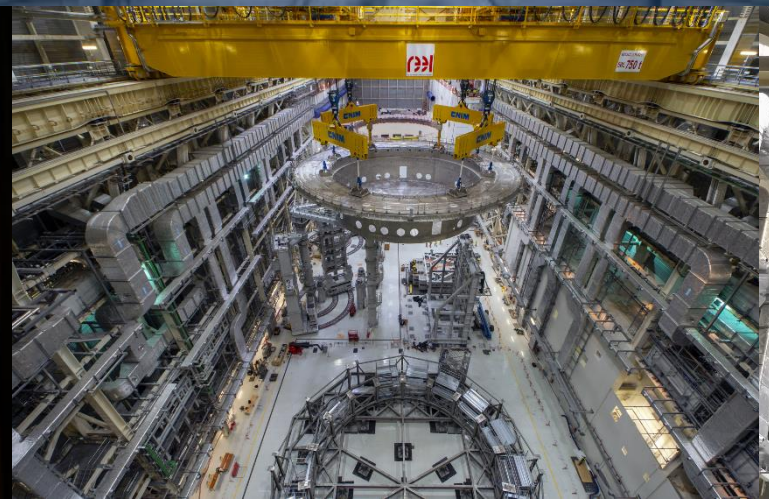
压水堆的超级版本

——超临界水冷堆技术

超临界水冷堆（SCWR）是运行在水的临界点（374℃、22.1 MPa）以上的高温高压水冷堆，是第四代核能系统国际论坛推荐的六种概念反应堆中唯一的水冷反应堆，是在现有轻水堆和超临界火电技术基础上发展起来的革新型设计。

人类的终极能源
——聚变堆技术





章节六
核能应用

核其精彩

工业

工业中，采用射线探伤的方法检验焊接质量，用同位素追踪法可以帮助我们地质勘探，搞清地下油水分布的情况，提高采油效率，“辐射手”帮助我们获得更多特殊性能的材料。

农业

农业中，从食品保鲜到无害杀虫剂再到辐射育种处处都离不开核技术的有力支持。我国已通过辐照育种培育出了“原丰早”水稻、“鲁棉”1号棉花、“铁丰”18号大豆、“鲁原”早4号玉米、“太辐”1号小麦等优良品种。

医学

医学中，核磁共振、X光机以及放射性核素标记药物可以帮助进行诊断，且放射治疗更可以杀死癌细胞，是人类目前与肿瘤作战的最有力的武器之一。

军事

世界上目前有1亿颗以上的地雷遗留在70多个国家地下。常规方法需要1100年扫雷。

中子源释放的中子和地雷释放的氯会形成慢中子。可以更加安全、快速地找出地雷。当然在军事方面还有其他应用啦~

供暖

核能供热以核裂变产生的能量为热源的城市集中供热方式。它是解决城市能源供应，减轻运输压力和消除烧煤造成的环境污染的一种新途径。

供汽

我国首个工业用途核能供汽工程，在中核集团田湾核电基地打下第一根桩基。采用田湾核电3、4号机组蒸汽作为热源，将蒸汽输送至连云港石化产业基地进行工业生产利用，预计2023年底投产供汽