

试卷类型：B

2024 年西安交通大学未来核能研究社第一届核科技知识竞赛  
答 案

本次竞赛将涵盖广泛的核能领域，包括核反应原理、核能发电技术、核废物管理、核医学应用以及核安全等方面的知识。参赛选手将通过在理论知识、实践应用和创新思维等方面的综合考验，展示自己在核科技领域的独到见解和技能。

加入未来核能研究社，你将有机会与一群志同道合的核能科技爱好者一起探索前沿科技，开展创新研究，培养科学精神和创新思维。无论你是对核能感兴趣的本科生还是具有专业背景的研究生，我们都欢迎你的加入！

活动主办： 西安交通大学校团委、能动学院、NECP 实验室  
活动承办： 未来核能研究社、南洋学辅  
命题人： 张恺、夏启越、周世龙



一、判断题（本题共 20 小题，每小题 2 分，共 40 分）

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	√	×	×	×	√	×	×	√	×	√
题号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
答案	×	×	√	√	×	×	√	×	×	×

1. √  
解析： $^{239}\text{Pu}$  每次裂变释放 3-5 个中子， $^{235}\text{U}$  每次裂变释放 2-3 个中子， $^{239}\text{Pu}$  链式反应扩张更快，需要的装料更少。
2. ×  
目前工业上获取氚是在核反应堆中利用中子辐照  $^6\text{Li}$  获得的，这种用于生产氚的反应堆称为产氚堆，反应式为  $^6_3\text{Li} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^4_2\text{He}$ 。
3. ×  
解析：核反应虽然产生了新物质，但反应层面在原子核尺度，而化学反应的

反应层面在原子尺度，并不涉原子核的变化，因此核反应并不属于化学反应。

4. ×  
解析：加拿大虽然没有掌握铀浓缩技术，但掌握了重水（ $\text{D}_2\text{O}$ ）的获取与储存技术，重水的慢化比最大，可以节约热中子。加拿大设计的 CANDU 堆使用重水做慢化剂，即便使用天然铀，也可以保证链式裂变反应进行下去。
5. √  
解析：人体组织对电离辐射的敏感性与构成该组织细胞的繁殖能力成正比，与其分化程度成反比，癌细胞的分裂繁殖能力远超正常细胞，对电离辐射很敏感，这就是放射治疗的原理。
6. ×  
解析：“M310”中的“M”是法语 Méga 的缩写，代表“兆”；“3”是指一回路有 3 个环路；“10”是指这 3 个环路上的主泵单泵功率为 10 MW。
7. ×  
解析：快中子堆利用快中子进行链式裂变反应，不需要中子慢化，使用液态金属钠作为冷却剂的原因是钠的导热性能好，沸点比较高。
8. √  
解析：ADS 中的核反应堆本身就处于次临界状态（中子的产生小于中子的消失），如果缺少了外中子源的补充，堆内的中子就会逐渐消耗殆尽，最终反应堆停闭。
9. ×  
解析：导热和对流换热都需要外部介质，在太空中无法实现，因此空间核电源的余热排出途径只有辐射换热，通常采用液滴辐射器或热管辐射器。
10. √  
解析：清洁能源是指对能源清洁、高效、系统化应用的技术体系，核能在投入生产的过程中对  $\text{SO}_2$  和  $\text{CO}_2$  等的污染的排放量接近于 0，可以有效避免温室效应，属于清洁能源。
11. ×  
解析：剩余反应性为负值时反应堆无法再启动，故这一时间段称为强迫停堆时间。
12. ×  
解析：核反应堆停闭后，可能有未被吸收的中子继续引发裂变产热、燃料棒中未被带走的显热和裂变产物衰变释放的衰变热，这些热量依然需要冷却剂

导出。

- 13. √
- 14. √
- 15. ×

**解析：**即便发生“谱硬化”，也只是在热中子能区分布能量更高，其能量范围还是远低于快中子的。

- 16. ×

**解析：**由于  $^{135}\text{Xe}$  的平衡浓度与功率水平成正比，所以新的平衡浓度一定小于降功率前的平衡浓度。

- 17. √

**解析：**1958 年，美国的 Shippingport 原子电站成为全球第一个商业运行的核电站。

- 18. ×

**解析：**不论核反应堆有几个冷却剂环路，它们彼此的压力都是互相连通的，因此一个核反应堆只需要一个稳压器即可。

- 19. ×

**解析：**共振峰对应能量处的中子注量率出现急剧下陷的现象称为“能量自屏效应”，造成这种现象的原因是在共振能附近吸收截面极大，使得中子在接近到共振峰时就被吸收掉，无法继续慢化到共振峰内部能量处，所以共振峰内部能量处的中子注量率很低。也就是说，这里的中子注量率低并不是因为在此处发生了大量的吸收反应导致中子大量消失，而是因为本来就几乎没有中子到达这个能量。

- 20. ×

**解析：**缓发中子虽然占比很小，但其平均寿命相对瞬发中子而言很长，加权平均后的中子寿命较长，延长了反应堆周期，使得核反应堆的控制成为可能，因此缓发中子的地位非常重要，绝对不可以忽视。

二、选择题（本题共 20 小题，每小题 2.5 分，共 50 分）

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	C	B	D	B	A	B	D	D	C	A
题号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
答案	A	D	C	C	B	C	D	A	D	D

- 1. C

**解析：**（1）光电效应：当一个光子与物质的原子相互作用时，光子将其全部能量给予一个轨道电子，这个光子整个被吸收，电子获得光子能量脱离原子而运动，称为光电子，失去了电子的原子即被电离，这一现象称为光电效应；

（2）康普顿效应：当入射光子与电子发生弹性碰撞，光子失去部分能量，改变了原来运动方向，称为散射光子，电子获得光子那部分能量，以与入射光子方向成小于  $90^\circ$  角的某一角度射出，称为反冲电子，这一现象称为康普顿散射效应；（3）电子对效应：当入射光子能量大于 1.022 兆电子伏特时与物质作用，可能产生一对正、负电子（电子-正电子对），入射光子失去全部能量而消失，产生的正、负电子对从不同方向飞出，这一现象称为电子对生成效应；（4）穆斯堡尔效应：某种核素所发射的无反冲  $\gamma$  射线会被另一样品的同种核素所共振吸收，这一效应被称之为穆斯堡尔效应。

- 2. B

**解析：**镉（Cd）是控制棒中“黑棒”[Ag（80%）–In（15%）–Cd（5%）]的组成成分之一，是中子吸收体，此外硼（B）、钆（Gd）、铪（Hf）等都是良好的中子吸收体。

- 3. D

**解析：**自然循环与主泵无关；如果压力容器上腔室存在不凝结气体，那么有可能导致自然循环中断；蒸汽发生器冷却能力过强导致上升段流体和下降段流体无密度差，不满足自然循环建立的必要条件。

- 4. B

- 5. A

**解析：**球床型高温气冷堆采用的核燃料元件是耐高温全陶瓷包覆颗粒燃料球，其直径 6 厘米，最外层是石墨层，里面是弥散在基体石墨粉中的约 12000 个四层全陶瓷材料包覆的、直径 0.9 毫米的核燃料颗粒。

- 6. B

**解析：**多层防御作用：（1）防止偏离正常运行和系统故障；（2）防止运行偏差发展成事故；（3）限制事故引起的放射性后果（专设安全设施：停堆、安注、辅助给水、安全壳等）；（4）确保放射性释放保持在尽可能低的水平；（5）场外应急相应，减轻事故工况下可能的放射性物质释放后果。

- 7. D

- 8. D

- 9. C

解析：C 项的设计更偏向于应对共因故障，即引入不同原理的安全系统来提升系统的可靠性。

10. A

解析：香蕉内含有  $^{40}\text{K}$ ，吃 1 根生长状况正常的成熟香蕉的有效剂量约为 0.078 mSv；做 1 次胸肺部常规 X 射线检查的有效剂量约为 0.05 mSv；根据本人的实验记录，做 1 次核辐射防护实验的吸收剂量大约为 0.12 mGy，乘以  $\gamma$  射线的辐射权重因子 1 和人体皮肤的组织权重因子 0.01，有效剂量大约是 0.0012 mSv；手机辐射是电磁辐射，不属于电离辐射。

11. A

解析：影响燃料元件温度场分布主要因素：（1）燃料元件内释热功率；（2）燃料元件的结构形式及材料；（3）冷却剂流动状态及设计参数。虽然在一般压水堆中冷却剂和慢化剂都是轻水（ $\text{H}_2\text{O}$ ），但此处应该严谨地分开表述，例如有少部分的重水堆是重水（ $\text{D}_2\text{O}$ ）慢化，轻水（ $\text{H}_2\text{O}$ ）冷却。

12. D

13. C

解析：我国台湾省目前共有三座运行中的核电站，分别是核一、核二和核三。这三座核电站都采用的是沸水堆（BWR）技术。

14. C

解析：一回路压力边界包括压力容器壁和主冷却剂管道管壁。

15. B

解析：核废物的长期储存通常要求将其远离人类居住区，以减小辐射风险

16. C

解析：一次通过燃料循环：核燃料经过核反应堆燃耗后直接作为核废料处理，不再进行回收利用的循环；回收铀循环：经过辐照的燃料可以送入后处理厂提取  $^{239}\text{Pu}$ ，同时对  $^{235}\text{U}$  重新富集，制成新的核燃料；燃料增殖循环： $^{238}\text{U}$  增殖为  $^{239}\text{Pu}$ ， $^{232}\text{Th}$  增殖为  $^{233}\text{U}$  再重新利用的循环；燃料联合循环：一种堆型卸出的乏燃料可以通过简单处理被另一种堆型加以利用的循环，例如压水堆和 CANDU 堆的联合循环。

17. D

解析：（1）快中子在燃料棒内裂变产生，其在燃料块中分布高于慢化剂中，将增加  $^{238}\text{U}$  裂变可能性，则快中子倍增系数  $\epsilon \uparrow$ ；（2）由于空间自屏效应的存在，超热中子几乎没有机会进入燃料棒内部，则燃料棒内部对超热中子的共

振吸收减少，逃脱共振吸收概率  $p \uparrow$ ；（3）经过充分慢化，中子能量可能越过共振吸收段，逃脱共振吸收概率  $p \uparrow$ ；（4）热中子在慢化剂中产生，其在慢化剂中分布高于燃料棒中，燃料吸收热中子的概率减小，热中子利用系数  $f \downarrow$ 。

18. A

解析：突然停堆后， $^{135}\text{I}$  不断衰变为  $^{135}\text{Xe}$ ，同时  $^{135}\text{Xe}$  也在衰变，但  $^{135}\text{I}$  的衰变速度更快，使得  $^{135}\text{Xe}$  浓度先增加；随着  $^{135}\text{I}$  逐渐消耗殆尽， $^{135}\text{Xe}$  的核子密度也随自身的衰变而降低；由于  $^{135}\text{Xe}$  浓度先增加后减少的变化，使得核反应堆的剩余反应性出现先减少后增加的变化，形成了“碘坑”。

19. D

解析：在非能动氢气复合器中，铂+钯是常见的催化组合，铂是主要的催化成分，钯是为了加快在低温下反应的初始速度。

20. D

解析：（1）高温气冷堆采用小型模块式设计，每一个小模块都可以采用很低的功率密度，使停堆后产生的余热处于较低水平。发生任何意外时，即使不进行人为的能动冷却，停堆后堆芯的余热也可以通过热传导、热辐射等基本自然现象安全地散发出去；（2）高温气冷堆采用的核燃料元件是耐高温全陶瓷包覆颗粒燃料球，层层包覆的牢固结构、耐高温高压的强悍属性、严苛的质量标准检验，可以有效防止放射性物质泄漏；（3）压水堆核电站运行一段时间后要把反应堆停下来换料。新装入的燃料棒能量有富余或者是过量的，存在核反应的过剩反应性，这就给核裂变反应的有效控制带来了压力。高温气冷堆采用不停堆在线换料，提高了运行效率，且不用一次性装入过多核燃料，大幅减少了堆内的过剩反应性；（4）高温气冷堆具有很大的反应性“负温度系数”：即使控制失误无法停堆，只要反应堆温度升高，它自己就会“刹车”减少核反应直至停堆，进一步支撑了固有安全。

三、补充题（本题共 2 小题，每小题 5 分，共 10 分）

a) D

解析：由动量守恒和能量守恒可得，次级中子在 L 系的平均散射角余弦大于 0，结合余弦函数的性质，这说明更多的次级中子的散射角都分布在第 I 和第 IV 象限。

b) C

解析：给定慢化能量区间时，更高的平均对数能降增量可以减少中子碰撞次数，更大的散射截面可以增加碰撞几率，更小的吸收截面可以减少中子损失。