

试卷类型：A

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：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 SO<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 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。
2.   ×

目前工业上获取氚是在核反应堆中利用中子辐照 <sup>6</sup>Li 获得的，这种用于生产氚的反应堆称为产氚堆，反应式为<sup>6</sup>Li + <sup>1</sup><sub>0</sub>n → <sup>3</sup><sub>1</sub>H + <sup>4</sup><sub>2</sub>He。
3.   √

4.   ×

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。
5.   ×

解析：加拿大虽然没有掌握铀浓缩技术，但掌握了重水（D<sub>2</sub>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。
6.   √

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。
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：“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。
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：<sup>239</sup>Pu 每次裂变释放 3-5 个中子，<sup>235</sup>U 每次裂变释放 2-3 个中子，<sup>239</sup>Pu 链式反应扩张更快，需要的装料更少。
11.   ×

解析：这三种技术都是核科学在医学方面的应用，但原理不同。（1）核磁共振成像的原理是氢原子核在外加磁场中的自旋特性发生改变，当氢核接收到能量恰好等于不同取向能级差的电磁波时，处于低能态的氢核吸收电磁波跃迁到高能态，在停止射频脉冲后，氢原子核按特定频率发出射电信号，经电子计算机处理获得图像。（2）X 射线成像技术的原理是用加速电子撞击金属
- 第 1 页 / 共 6 页
- 第 2 页 / 共 6 页

靶核或者放射性核素衰变产生 X 射线，其对不同组织结构的穿透性不同，利用这种差异获得图像；（3）放射性治疗的原理是使用由直线加速器或放射性核素制造的高能电离辐射来控制或破坏癌细胞，利用癌细胞对电离辐射相对于正常细胞更敏感的特点。

12. ×

**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。

13. ×

**解析：**热中子是指穿行速度为其热运动速度的中子，能量范围是（0.025 eV，0.1 eV）。

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：**钍-铀循环是指  $^{232}\text{Th}$  吸收中子后经过一系列衰变转换为  $^{233}\text{U}$ ，而非  $^{235}\text{U}$ ， $^{233}\text{U}$  也是一种易裂变核素，任意能量的中子都可以引发其裂变。

17. √

**解析：**流量漂移是典型的静态不稳定性现象，管间脉动是典型的动态不稳定性现象。

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：**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。

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	C	B	D	A	B	A	D	C	A
题号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
答案	D	B	D	C	A	C	B	C	A	B

1. C

**解析：**无论是核裂变还是核聚变，其实都是在利用质量亏损释放原子核的（比）结合能，自然界中  $^{56}\text{Fe}$  的比结合能最大，理论上讲，以  $^{56}\text{Fe}$  为界，质量数小于 56 的轻核可以通过核聚变释放能量，质量数大于 56 的重核可以通过核裂变释放能量。《流浪地球》中的行星发动机利用的是硅原子核聚变， $^{28}\text{Si}$  在  $^{56}\text{Fe}$  的左边，所以行星发动机的能量供应方式在理论上是可行的。

2. C

**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. B

4. D

5. A

6. B

**解析：**超热中子在慢化剂中产生，则慢化剂中超热中子更多，且由于燃料棒中  $^{238}\text{U}$  对超热中子具有很强的共振吸收，使得慢化剂中产生的超热中子刚进入到燃料表面就被吸收，超热中子几乎没有机会进入燃料内部，即燃料外层对内层有屏蔽作用。大家可以想象一下白色粉笔插入墨水瓶内一段时间，对粉笔横向切开，会发现只有外圈被墨水浸染，而内部依然保持干净，这就是粉笔的外层部分对内层有屏蔽作用。

7. A

**解析：**核电站发生严重事故后，会泄漏出具有放射性的  $^{131}\text{I}$ ，甲状腺是人体唯一能摄取并利用碘的器官，进入人体的碘主要在甲状腺富集，如果人体提前摄入了稳定、无害的  $^{127}\text{I}$ ，甲状腺就会因为碘的饱和不再吸收有害的  $^{131}\text{I}$ 。犹

记得福岛第一核电站爆发事故时，有大量居民疯抢含碘食盐，这实际上是非常愚蠢的行为。根据我国《食品安全国家标准食用盐 GB2721-2015》规定，一般的食用盐中碘含量 $\leq 5 \text{ mg/kg}$ ，这样的碘含量太少了，政府应对核事故会专门发放碘化钾片，一片碘化钾内含有纯  $^{127}\text{I}$  100 mg，相当于一般食用盐 20 kg，没人能在稳定碘沉积于甲状腺前保证自己食用 20 kg 的盐依然健康。

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. D

12. B

13. D

**解析：**2002 年 9 月 19 日至 20 日在东京召开的第四代核能系统国际论坛（The Generation IV International Forum, GIF）会议上，与会的 10 个国家在 94 个概念堆的基础上，一致同意开发以下六种第四代核电站概念堆系统：（1）气冷快堆（Gas-cooled Fast Reactor, GFR）；（2）铅冷快堆（Lead-cooled Fast Reactor, LFR）；（3）熔盐堆（Molten Salt Reactor, MSR）；（4）钠冷快堆（Sodium-cooled Fast Reactor, SFR）；（5）超高温气冷堆（Very High Temperature Reactor, VHTR）；（6）超临界水堆（Super Critical Water-cooled Reactor, SCWR）。

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. A

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. B

**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. C

**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. A

20. B

**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。

### 三、补充题（本题共 2 小题，每小题 5 分，共 10 分）

a) B

**解析：**等熵假设是单相临界流动的假设，两相临界流动不满足等熵过程。

b) C

**解析：**再灌水阶段是指冷却剂注入下腔室到水位恢复堆芯底端的过程，这个阶段新注入的冷却剂并没有冷却到堆芯，而之前的冷却剂已经全部丧失，因此冷却能力最差，堆芯裸露。