

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

本次竞赛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）

- 2024 年 2 月 29 日，国家统计局发布《中华人民共和国 2023 年国民经济和社会发展统计公报》，全年清洁能源发电量 31906 亿千瓦时，比上年增长 7.8%，核能也是一种清洁能源。（ ）
- 2023 年 8 月 25 日下午，新一代人造太阳“中国环流三号”取得重大科研进展，首次实现 100 万安培等离子体电流下的高约束模式运行，标志着我国磁约束核聚变研究向高性能聚变等离子体运行迈出重要一步。目前公认的核聚变技术趋势是实现“氘氚反应”，氘在海水中微量分布，目前工业上获取氘采用的方式是从海水中提取。（ ）
- 放射治疗是一种治疗癌症的方式，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，这是利用了癌细胞对电离辐射相对于正常细胞更敏感的特点。（ ）
- 核电站是一种利用原子核自持可控链式裂变反应产生热量进行大规模发电、供热或生产的设施，在核反应进行的过程中，会产生新的原子核，例如 ^{135}I 和 ^{149}Pm ，还会产生新的中子，因此核反应是一种化学反应。（ ）

- 铀是人类能在自然界找到的最重的金属元素，它的同位素 ^{235}U 是绝大多数核反应堆的燃料，但其天然相对丰度仅有 0.714%，只有掌握了铀浓缩技术的国家才可以发展自主核电技术。（ ）
- 加速器驱动次临界系统（Accelerator Driven Sub-critical System, ADS）利用加速器产生的高能强流质子束轰击重核时产生的外源中子，来驱动次临界堆芯中裂变材料发生持续的链式反应，一旦加速器断电，那么被驱动的反应堆也会逐步停闭。（ ）
- 快中子堆通常使用液态金属钠作为冷却剂，这是因为液态钠的中子慢化性能比较好。（ ）
- 通常来讲，核电机组是以其“技术/堆型特征+设计电功率”命名的，例如我国的华龙一号 HPR1000（Hua-long Pressurized Reactor, 1000 MW），美国的 AP1000（Advanced Passive PWR, 1000 MW）。以此类推，法国著名的 M310 机组中的“M”是法语 Méga 的缩写，“310”是指其设计电功率为 310 MW。（ ）
- 核能具有能量密度大、功率范围广（kW 级至 MW 级）、体积小、环境适应性强、不依赖于阳光等优势，是高功率航天应用的理想电源选型，更是深空探测不可替代的电源选型。美、苏早在冷战时期就对空间核反应堆进行了深入的研究和实验，由于太空的温度相对地球大气温度低了很多，因此空间核电源的余热排出系统中的对流换热效率比地面更高。（ ）
- 2024 年 3 月 29 日，在奥斯卡上斩获 7 项大奖的《奥本海默》于日本上映，日本作为全球唯一受到原子弹打击的国家，这一举措引起了非常大的讨论。1945 年 8 月 9 日，美军在日本长崎市投放了代号为“胖子”的原子弹，这颗能量大约为 $8.4 \times 10^{13} \text{ J}$ 的炸弹里面的核装料为 ^{239}Pu ， ^{239}Pu 每次裂变释放 3-5 个中子，因此钚弹的装料质量要比铀弹的小。（ ）
- 核磁共振成像（MRI）技术已经成为一种常见的医学影像检查方式，与 X 射线成像技术、放射性治疗技术一样都是核科学在医学方面的应用，都利用了放射性原子核可以通过衰变产生放射线的原理。（ ）
- 在使用 ^{235}U 为燃料的热中子动力堆中，有 99% 以上的中子在裂变反应发生的瞬间（大约 10^{-14} 秒）就发射出来，它们是下一代中子的主要组成部分；而有大约 0.65% 的中子是由裂变碎片衰变产生的，这部分中子称为缓发中子，由于其占比很小，在工程研究过程中可以忽略不计。（ ）
- 快中子因其能量高（ $> 1 \text{ MeV}$ ），穿行速度快而得名，热中子是因为其维持链式裂变反应时的温度高而得名。（ ）

14. 1942 年 12 月，在物理学家费米的领导下，工人们于芝加哥大学废弃的球场下一层一层堆叠起了石墨作为中子慢化剂，随着镅棒缓慢地被抽出，世界上第一个实现自持链式裂变反应的反应堆达到临界，这是人类和平利用核能的开端。（ ）
15. 热中子通常会出现“谱硬化”现象，是指更多的热中子会出现在能量较高的区域，也即中子能谱向高能区发生了偏移，因此要对其麦克斯韦-玻尔兹曼分布做相应的修正。由此可见，发生了“谱硬化”的热中子反应堆中的平均中子能量要比快中子反应堆中的平均中子能量高。（ ）
16. 2023 年 6 月，位于甘肃省武威市的 2 MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆获得由国家核安全局颁发的运行许可证，这是由中国科学院上海应用物理研究所自主设计的第四代先进核能系统。钍基熔盐堆的核心原理是利用“钍-铀(Th-U)循环”的燃料增殖技术， ^{232}Th 吸收中子后经过一系列衰变转换为 ^{235}U ，再利用链式裂变反应产生能量。我国是钍元素矿产储藏量丰富的大国，大力发展钍基熔盐堆技术对我国的核能发展有重要意义。（ ）
17. 静态不稳定性是指当流动突然受到扰动后，系统逐渐过度到一个新的稳定状态，流量漂移就属于此类不稳定性。（ ）
18. 冷却剂流经核反应堆堆芯会被加热，而流体温度的变化会引起压力的波动，这样可能会导致冷却剂沸点改变，从而在堆芯内沸腾影响压水堆的正常运行。为了避免这个问题，人们设计出了稳压器，该设备的核心功能之一是对一回路进行压力控制和保护。M310 堆型的一回路有三个环路，人们为 M310 安装了三个稳压器，以此来保证一回路冷却剂的压力安全。（ ）
19. 当快中子慢化成超热中子时，其与很多重核素和部分中等核素会发生共振吸收反应，在共振能谱上的表现是共振峰对应能量处的中子注量率出现急剧下陷，这是因为该能量处的共振吸收截面很大，吸收了大量中子，因此中子注量率很低。（ ）
20. 核反应堆在达到其设计寿命后，就需要根据实际情况选择延长服役时间或直接停闭，由于核反应堆停闭后不再产生热量，因此不用继续冷却。（ ）
2. 移动中子吸收体是核反应堆常用的反应性控制方式，用优良的中子吸收材料制成控制棒，通过下插或上抽控制棒来达到启动/停闭反应堆或调节功率的目的。下面哪种物质的中子吸收本领最强？（ ）
3. 自然循环是指在闭合回路内依靠热段（向上流）和冷段（向下流）中的流体密度差在重力作用下所产生的驱动压头来实现的流动循环，自然循环的建立对核反应堆系统的安全可靠性有重大提升，那么建立自然循环的必要条件中不包括（ ）
4. 核电厂降低电能成本的措施不包括（ ）

A. 聚变能
B. 强作用能
C. （比）结合能
D. 动能

A. 铝
B. 铅
C. 镅
D. 铁

A. 系统必须在重力场内
B. 系统冷却剂必须要发生相变
C. 系统内必须有热阱和热源之间的高度差（热阱在上，热源在下）
D. 系统中的流体密度必须存在密度差

A. 提高动力循环热效率
B. 提高燃耗深度
C. 降低核电厂的厂用电
D. 降低核电厂操纵员的薪资待遇

A. 及时收集堆芯熔融物
B. 有效地控制反应性
C. 确保堆芯的冷却
D. 包容放射性产物

5. 为了保障核反应堆安全运行，人们为其专门设计了安全装置，称为“专设安全设施”，这类设施可以实现特定安全功能，不包括下面哪一项？（ ）
6. 对于热中子反应堆，其燃料芯块内的超热中子分布很少，这是因为（ ）
- A. 热中子反应堆内本就少有超热中子
B. 空间自屏效应

二、选择题（本题共 20 小题，每小题 2.5 分，共 50 分）

1. 刘慈欣的科幻作品《流浪地球》中的行星发动机利用硅原子核聚变释放大能量，足以改变地球的运动状态。核子（质子和中子）结合成原子核时会有质量亏损，根据爱因斯坦质能方程，亏损的质量会以能量的形式释放出来，这个能量叫做原子核的（ ）

- C. 超热中子被燃料芯块内部的 ^{238}U 大量吸收
D. 能量自屏效应
7. 在核电站发生严重事故后，通常要向周围居民发放并服用碘片，其主要目的是 ()
A. 稳定碘沉积于甲状腺，可以排斥放射性碘的沉积
B. 稳定碘沉积于骨质，可以排斥放射性碘的沉积
C. 稳定碘沉积于肺，可以排斥放射性碘的沉积
D. 稳定碘沉积于胃及肠道，可以排斥放射性碘的沉积
8. 单相临界流动是指当流体自系统中流出的速率不再受下游压力下降的影响时的流动，该现象对反应堆冷却剂丧失事故的安全考虑非常重要，因为破口处的临界流量决定了冷却剂丧失的速度和 ()
A. 一回路断裂速度
B. 一回路振荡速度
C. 一回路过热速度
D. 一回路卸压速度
9. 单一故障是指导致某一部件不能执行其预定功能的一种随机故障，为了避免单一故障，通常采用冗余设计，下面不属于应对单一故障的是 ()
A. ECCS 系统设置 3 列高压安注
B. 安全壳喷淋系统设置 2 个喷淋阀
C. 辅助给水系统设置 1 个汽动泵+1 个电动泵
D. 主冷却剂系统存在多个并联管线
10. 电离辐射是指携带足以使物质原子或分子中的电子成为自由态，从而使这些原子或分子发生电离现象的能量的辐射，以下活动承受电离辐射的平均有效剂量最大的是 ()
A. 吃 1 根生长状况正常的成熟香蕉
B. 做 1 次胸肺部常规 X 射线检查
C. 做 1 次西安交通大学核科学与技术学院设计的核辐射防护实验
D. 玩 1 整天的《原神》手游
11. 外照射是指放射性核素在生物体外，使生物受到来自外部的照射，其防护方式有 ()
A. 缩短受照射时间
B. 增大与辐射源的距离
C. 在辐射源与生物体之间增设屏蔽体
D. 以上都是
12. 硼中子俘获治疗技术 (Boron Neutron Capture Therapy, BNCT) 是近年来国际肿瘤治疗领域新兴快速发展的精准诊疗技术，其对于复发性、浸润性、局部转移肿瘤具有突出临床优势，已在全球上千例临床上证明在复发性头颈癌、恶性脑瘤、黑色素皮肤癌、骨肉瘤、乳癌等多种实体肿瘤上有显著可靠的疗效。将携带 ^{10}B 的靶向分子药物注射到患者体内，使其高特异性集聚于肿瘤组织，再通过具有指向性的中子束对肿瘤部位进行外照射，照射后发生硼中子俘获作用放出 α 粒子和 ^7Li 粒子，使肿瘤细胞 DNA 双股螺旋断键，致使肿瘤细胞不可修复而彻底死亡，从而实现在细胞尺度定点点击杀癌细胞而不损伤正常组织。BNCT 治疗癌症的一大难题是中子源的生产，这项技术需要的中子束是 ()
A. 热中子束
B. 超热中子束
C. 中能中子束
D. 快中子束
13. 第四代核能系统是一种具有更好安全性、经济性，并且能有效防止核扩散的先进核能系统，代表着核能技术的发展趋势。下面哪一种堆型不属于第四代核能系统？ ()
A. 超临界水堆
B. 钠冷快堆
C. 熔盐堆
D. 压水堆
14. 为有效包容放射性产物，核电厂设有多道安全屏障，即燃料芯块、燃料包壳、_____、安全壳。 ()
A. 压力容器
B. 主冷却剂管道
C. 一回路压力边界
D. 稳压器
15. 热管是堆芯内具有最大 _____ 的冷却剂通道。 ()
A. 焓升
B. 温升

- C. 熵升
D. 焓升
16. 与火电厂不同，在核电厂中，辐照过的燃料元件从核反应堆内卸下后，通常经过后处理可以重新制成新的核燃料装入核反应堆内再次使用，这样便形成了核燃料循环过程，常见的动力堆燃料循环过程包括一次通过燃料循环、回收铀循环、燃料增殖循环和 ()
A. 燃料粉碎循环
B. 燃料嬗变循环
C. 燃料联合循环
D. 以上都不是
17. 压水堆中栅格的非均匀效应不会影响到四因子模型中的哪个参数？ ()
A. 快中子倍增系数 ε
B. 有效裂变中子数 η
C. 热中子利用系数 f
D. 逃脱共振吸收概率 p
18. 假如核反应堆在 ^{135}I 和 ^{135}Xe 的浓度已建立平衡后突然停堆，那么此时会发生“碘坑现象”，该现象表现为 ()
A. ^{135}I 的核子密度曲线出现了下陷的“坑”
B. ^{135}Xe 的核子密度曲线出现了下陷的“坑”
C. 剩余反应性曲线出现了下陷的“坑”
D. 热效率曲线出现了下陷的“坑”
19. 以下哪种反应性温度系数的响应最快，影响最大？ ()
A. 燃料温度系数
B. 慢化剂温度系数
C. 堆芯基体温度系数
D. 反射层温度系数
20. 2023 年 8 月 24 日，日本福岛第一核电站启动核污染水排海，引发多方谴责。2011 年 3 月 11 日，日本发生 9.0 级地震并伴随着强烈的海啸，冲破了福岛第一核电站的防御设施，导致所有厂外电源（包括应急柴油发电机）失效，核电站丧失了把堆芯热量排到最终热阱的手段，在堆芯余热的作用下，堆内发生了剧烈的锆水反应，产生了大量的氢气并发生爆炸，进一步加重了事故后果。氢气爆炸导致堆芯出现裸露，为了阻止放射性进一步泄漏，福岛第一核

电站于 2011 年 3 月 25 日建立淡水供应管线，向堆内和乏燃料水池内注入淡水，并在之后的十多年里，厂内一直在收集沾染了放射性的雨水，这就是福岛第一核电站大量核污染水的来源。从此次事故中可以看出，核反应堆内氢气的消除是非常重要的，非能动氢气复合器是常用的氢气消除器件，其利用催化金属来促使氢气在较低温度下与氧气复合，常见的催化金属是 ()

- A. 铂+铜
B. 铂+钯
C. 银+钯
D. 银+镁

三、补充题（本题共 2 小题，每小题 5 分，共 10 分）

1. 冷却剂丧失事故（Loss Of Coolant Accident, LOCA）是指核电站一回路压力边界的任何地方发生破裂，或者安全阀卡开等原因造成冷却剂的丧失，使堆芯逐渐失去冷却，导致堆芯温度升高，燃料芯块或包壳面临烧毁风险的事故。在发生 LOCA 时，通常会发生临界流动现象（喷放），破口处的临界流量大小直接影响堆芯冷却能力，还会决定各种安全和应急系统开始工作的时间。在大破口 LOCA 中，一般会出现冷却剂管道双端断裂的严重现象，安全壳可能超温超压，剧烈的锆水反应导致氢爆，最终大量放射性泄漏。

➤ 阅读以上材料，回答下面两个问题。

- a) 在压水堆中，单相临界流动和两相临界流动都有可能发生，下列选项不属于两相临界流动现象的是 ()
A. 两相之间存在质量、动量和能量交换
B. 临界截面上，两相流速等于等熵声速
C. 出现不同的流型
D. 卸压过程中可能发生相变
- b) 大破口 LOCA 事故一般按照事故进程分为四个阶段，在哪个阶段冷却能力最差，可能出现堆芯裸露？ ()
A. 长期冷却
B. 再淹没
C. 再灌水
D. 喷放