

# 2024 年第一届核科学知识竞赛题库

主办：校团委、能动学院

协办：未来核能研究社、南洋学辅

命题：张恺、夏启越、周世龙

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。

## 一、判断题（每题 2 分）

1. 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、供热或生产的动力设施，在核反应进行的过程中，会产生新的原子核，例如  $^{135}\text{I}$  和  $^{149}\text{Pm}$ ，还会产生新的中子，因此核反应是一种化学反应。 (×)

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。

2. 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。 (√)

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。

3. 通常来讲，核机组是以其“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。 (×)

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。

4. 铀是人类能在自然界找到的最重的金属元素，它的同位素  $^{235}\text{U}$  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。 (×)

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. 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“氘氘反应”，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。 (×)

解析：目前工业上获取氘是在核反应堆中利用中子辐照  $^6\text{Li}$  获得的，这种用于生产氘的反应堆称为产氘堆，反应式为  $^6_3\text{Li} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^4_2\text{He}$ 。

6. 压水堆由于其设计方案的成熟性和优秀的安全性，是全球范围内运行数量最多的堆型。 (√)

7. 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。 (×)

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. 在使用  $^{235}\text{U}$  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。 (×)

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。

9. 同样材料的堆芯，有反射层时反应堆的临界尺寸一定比裸堆时的临界尺寸要小。 (√)

解析：反射层可以减少中子的泄漏，从而节省一部分燃料，在使用相同材料达到相同设计功率的情况下，反射层的存在可以使堆芯临界尺寸比裸堆时的临界尺寸小，这个差值称为“反射层节省”。

10. 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。 (√)

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。

11. 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。 (×)

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)。

12. 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。 (√)

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。

13. 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。 (×)

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。

14. 在正常运行工况下，压水堆一回路通常流动着单相的水，既作为冷却剂带走热量，也作为慢化剂慢化裂变中子。在单相水流动的过程中，假设忽略其密度的变化，则一般只需要考虑提升压降、摩擦压降和形阻压降。 (√)

解析：单相流体的压降一般从四个方面考虑：(1) 提升压降，由于重力势能变化产生的；(2) 摩擦压降，受到管壁摩擦阻力产生的；(3) 加速压降，由于流体密度变化产生的；(4) 形阻压降，流体流过部件、弯管接口或截面突然变化的位置时产生的。忽略密度变化，则只需要考虑提升压降、摩擦压降和形阻压降。

15. 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。 (×)

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。

16. 从《工程热力学》中我们知道，提高蒸汽的温度和压力是提高朗肯循环热效率的一个办法，例如火电厂的超超临界机组可以得到压力 25 MPa、温度 580°C 以上的蒸汽，这样的火电厂发电效率可以达到 44% 左右。在核电厂中，直流式蒸汽发生器可以得到微过热蒸汽，可以提高核电厂的经济性，因此大部分核电厂的蒸汽发生器都采用直流式的。 (×)

解析：虽然直流式蒸汽发生器有不需汽水分离器、体积较小、可获得温度较高的微过热蒸汽以提高

热效率等优点，但同时它过热段蒸汽侧的传热系数小，要求较多的换热面积，使贵金属管材需求量增加，对二回路水质要求更严格，还有一些制造工艺上的问题，因此大部分核电厂采用的蒸汽发生器是立式 U 形管/卧式自然循环蒸汽发生器。

17. 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。（×）

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。

18. 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， $^{232}\text{Th}$  吸收中子后经过一系列衰变转换为  $^{235}\text{U}$ ，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。（×）

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。

19. 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  $^{239}\text{Pu}$ ， $^{239}\text{Pu}$  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。（√）

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。

20. 第二次世界大战期间，美国启动了代号为“曼哈顿”的绝密计划，目的是为了制造出“深海杀手”核动力潜艇。（×）

解析：美国“曼哈顿”计划是为了制造出原子弹，奥本海默是该计划的负责人之一。

21. 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，随着镉棒缓慢地被抽出，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。（√）

22. 为了充分利用重力的自然规律，核反应堆内的冷却剂是自上而下流动的，这样设计也可以把主循环泵的设计功率做小，节约成本。（×）

解析：为了让冷却剂充分受热，核反应堆内的冷却剂是自下而上流动的，这部分提升压降和其他压降一起由 MW 级功率的主循环泵来弥补。

23. 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。（×）

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。

24. 核反应堆内经受过辐照、使用过的核燃料称为乏燃料，乏燃料的妥善处理是业内非常重要的议题，通常可以利用嬗变技术来处理这些具有高放射性、长半衰期的乏燃料。 (√)

解析：嬗变是一种化学元素转化成另外一种元素，或一种化学元素的某种同位素转化为另一种同位素的过程，经过合理嬗变，可以把高放射性的核素变为低放射性的，把长半衰期的核素变为短半衰期或者稳定的核素。

25. 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。 (×)

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。

26. 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。 (×)

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。

27. 在流动沸腾传热的饱和沸腾高含汽量区会出现环状流，即汽相沿着壁面呈环形连续流，液相在中心部分流动。 (×)

解析：发生在饱和沸腾高含汽量区的是环状流，液相在管壁上形成一个环形的连续流，而连续的汽相则在管道的中心部分流动；发生在过冷的稳定膜态沸腾区的是反环状流，汽相沿着壁面呈环形连续流，液相在中心部分流动。

28. 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。 (√)

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。

29. 燃料元件外表面不允许发生沸腾临界，通常用临界热流密度比 (DNBR) 来定量地表示这个限制条件，DNBR 的计算式是某处的实际热流密度与该处计算得到的临界热流密度之比。 (×)

解析：DNBR 是某处计算得到的临界热流密度与该处实际热流密度之比。

30. 核反应堆内某一燃料元件表面温度最高的点称为热点。 (×)

解析：应当是某一燃料元件表面热流密度最大的点称为热点。

31. 易裂变核素包括  $^{232}\text{Th}$ 、 $^{233}\text{U}$  和  $^{235}\text{U}$ ，其中只有  $^{235}\text{U}$  是自然界天然存在的。 (×)

解析：易裂变核素包括  $^{233}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$  和  $^{239}\text{Pu}$ ，其中只有  $^{235}\text{U}$  是自然界天然存在的。

32. 多普勒效应对核反应堆的安全起着十分重要的作用，是因为多普勒效应能使慢化剂温度系数为负值。 (×)

解析：燃料温度增加，燃料中的具有共振特性的超铀核素（比如  $^{238}\text{U}$ ）的吸收截面由于多普勒效应会发生共振展宽，共振峰会下降，这样能量自屏效应就会削弱，共振峰内的中子数就会增加，总体共振吸收的中子数就会增加，逃脱共振吸收概率就会减少，结果反应性就会减少。因此燃料温度系数一定为负，且这种引发的过程是非常迅速的，所以常称为瞬发的。

33. 当核反应堆降功率运行时，核反应堆的  $^{135}\text{Xe}$  浓度会先增加后减少，最终达到新的平衡浓度，新的平衡浓度大于降功率前的平衡浓度。 (×)

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。

34. 假如核反应堆已经运行一定时间后突然停堆，在碘坑时间段中，有一段剩余反应性为负值的时间，

称为允许停堆时间。 (X)

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。

35. 可以用一个加上反射层节省的裸堆来等效原来那个带有反射层的核反应堆, 这个核反应堆称之为等效裸堆。 (✓)

36. 所有类型的核反应堆都需要用水作为冷却剂。 (X)

解析: 不是所有类型的核反应堆都使用水作为冷却剂, 例如高温气冷堆 (HTGR) 使用氦气作为冷却剂。

37. 美国是全球第一个商业运行核电站的国家。 (✓)

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。

38. 重水反应堆可以使用未经浓缩的天然铀作为燃料。 (✓)

解析: 由于重水是非常有效的中子减速剂, 重水反应堆可以使用未经浓缩的天然铀作为燃料, 这是与使用普通水的轻水反应堆不同的地方。

39. 快堆利用慢化剂维持核链式反应。 (X)

解析: 快堆利用快中子进行反应, 不需要慢化剂 (如重水或普通水) 来慢化中子, 这使得它们能利用燃料更加高效。

40. 秦山 CANDU 堆生产的碳-14 靶件出堆后可以直接投入医学使用。 (X)

解析: 靶件出堆以后, 在中核秦山同位素有限公司的分离提取生产线上进行靶件拆解、碳-14 元素提取、碳-14 固化等工作, 将靶件中的碳-14 转化为稳定的碳酸钡化合物, 再供应市场, 供后端制药、科研等使用。

## 二、单项选择题 (每题 3 分)

41. 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)

- 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

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。

42. 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量能量, 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)

- A. 聚变能
- B. 强作用能
- C. (比) 结合能
- D. 动能

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。

43. 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？ (D)
- A.超临界水堆
  - B.钠冷快堆
  - C.熔盐堆
  - D.压水堆

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)。

44. 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? (C)
- A.铝
  - B.锆
  - C.镉
  - D.铁

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

45. 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 (B)
- A.热中子反应堆内本就少有超热中子
  - B.空间自屏效应
  - C.超热中子被燃料芯块内部的 $^{238}\text{U}$ 大量吸收
  - D.能量自屏效应

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。

46. 核电厂的多道安全屏障是指燃料芯块、燃料包壳、\_\_\_\_\_、安全壳。 (C)
- A.压力容器
  - B.主冷却剂管道
  - C.一回路压力边界
  - D.稳压器

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。

47. 流经反应堆堆芯的冷却剂单相流动压降分为提升压降、\_\_\_\_\_、加速压降、形阻压降。 (A)
- A.摩擦压降
  - B.重位压降
  - C.循环压降

- D.强迫对流压降
48. 在两相流压降的分析计算中，人们设计了一些适用模型，其中有模型假设两相均匀混合，把两相流动看作为某一个具有假想物性的单相流动，该假想物性与每一个相的流体的特性有关，这种模型称为 (C)
- A.分离流模型  
B.滑移平衡模型  
C.均匀流模型  
D.漂移流模型
49. 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，自然循环的建立对系统的安全性有重大提升，那么建立自然循环的必要条件中不包括 (B)
- 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
50. 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 \_\_\_\_\_。 (D)
- 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
51. 发生管间脉动时，并联通道的总流量及上下腔室的压降并无显著变化，但其中某些通道的进口流量会发生周期性的变化，影响管间脉动的主要因素有压力、\_\_\_\_\_、热流密度、流速。 (D)
- A.管壁粗糙度  
B.质量流量  
C.进口过冷度  
D.出口含汽量
52. 热管是堆芯内具有最大 \_\_\_\_\_ 的冷却剂通道。 (A)
- A.焓升  
B.温升  
C.熵升  
D.焘升
53. 在对核反应堆的安全性进行瞬态分析的时候，需要了解四类电厂工况，包括正常运行和运行瞬变、\_\_\_\_\_、稀有故障、极限事故。 (B)
- A.小频率故障  
B.中等频率故障  
C.较高频率故障  
D.常见故障
54. 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？ (A)

- 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

55. 一回路压力边界的任何地方发生破裂，或安全阀卡开等都会造成冷却剂流失，这种事故统称为冷却剂丧失事故，该事故的英文简称是 (C)

- A.RIA
- B.LOFA
- C.LOCA
- D.ATWS

解析：A 选项，反应性引入事故 (Reactivity Insertion Accident, RIA)；B 选项，失流事故 (Loss of Flow Accident, LOFA)；C 选项，冷却剂丧失事故 (Loss of Coolant Accident, LOCA) D 选项，误提棒未能紧急停堆 (Anticipated Transient Without SCRAM, ATWS)

56. 核反应堆严重事故预防的本质是采取一切措施，\_\_\_\_\_。 (B)

- A.减少放射性向厂外释放
- B.防止堆芯熔化
- C.防止安全壳破损
- D.防止燃料棒破损导致放射性外泄

57. 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 (C)

- 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

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。

58. 自然循环的建立对系统的安全可靠性有重大提升，但有时出现的一些状况会使得自然循环中断，以下不属于导致自然循环中断的原因是 (D)

- A.驱动压头过小
- B.回路被蒸汽隔断
- C.蒸汽发生器冷却能力过弱
- D.蒸汽发生器冷却能力过强

解析：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。

59. 设计基准事故是一组有代表性的、能冲击核电厂安全并经有关规章确定下来的事故的集合，冷却剂丧失事故的设计基准事故是 (A)

- A.主管道双端剪切断裂
- B.小破口事故
- C.中等破口事故
- D.大破口事故

60. 大破口失水事故的进程包括喷放、再灌水、\_\_\_\_\_、长期冷却。 (C)

- A.短期冷却



- B.安全注射
- C.再淹没
- D.蒸汽粘结

61. 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 (B)
- A.铂+铜
  - B.铂+钯
  - C.银+钯
  - D.银+镁

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。

62. 核电厂降低电能成本的措施不包括 (D)
- 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
63. 大破口事故的危害之一是发生剧烈的锆水反应,锆元素主要存在于 (C)
- A.燃料芯块
  - B.定位格架
  - C.燃料包壳
  - D.压力容器壁面

解析:常见的燃料包壳主要是由锆-4合金制成的。

64. 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 $^{10}\text{B}$ 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 $\alpha$ 粒子和 $^7\text{Li}$ 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 (B)
- A.热中子束
  - B.超热中子束
  - C.中能中子束
  - D.快中子束

65. 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)
- 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

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  $0.078\text{ mSv}$ ；做 1 次胸肺部常规 X 射线检查的有效剂量约为  $0.05\text{ mSv}$ ；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  $0.12\text{ mGy}$ ，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  $0.0012\text{ mSv}$ ；手机辐射是电磁辐射，不属于电离辐射。

66. 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 (D)
- 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
67. 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、\_\_\_\_\_。(C)
- 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

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。

68. 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？(D)
- A. 快中子倍增系数  $\epsilon$
  - B. 逃脱共振吸收概率  $p$
  - C. 热中子利用系数  $f$
  - D. 有效裂变中子数  $\eta$

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  $f\downarrow$ 。

69. 假如核反应堆在  $^{135}\text{I}$  和  $^{135}\text{Xe}$  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 (C)
- A.  $^{135}\text{I}$  的核子密度曲线出现了下陷的“坑”
  - B.  $^{135}\text{Xe}$  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”

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”。

70. 以下哪种反应性温度系数的响应最快，影响最大？ (A)

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

71. 核反应堆三大安全功能不包括以下哪个？ (D)

A. 有效控制反应性

B. 确保堆芯冷却

C. 包容放射性产物

D. 保证固有安全

72. 核反应堆的纵深屏障包括以下哪个部分？ (A)

A.燃料基体

B.整个一回路

C.蒸汽发生器

D.慢化剂

73. 在核反应堆中，事故工况下应该用哪种系统来确保堆芯冷却？ (C)

A.SG

B.RRA

C.PXS+PCS

D.PTR

解析：(1) 正常工况：

SG：正常给水/辅助给水及旁路系统

(2) 停闭工况：

SG：辅助给水及旁路系统

RRA：设冷水及重要厂用水系统

(3) 事故工况：

(a) 能动：

SG：辅助给水及旁路系统

RRA：设冷水及重要厂用水系统

专设安全设施：换料水箱、安注箱、设冷水和重要厂用水系统

(b) 非能动：PXS+PCS

(4) 乏燃料冷却工况：

PTR：设冷水和重要厂用水系统

74. 为了确保核反应堆的安全性，在设计核反应堆时使用了“纵深防御”的设计理念，多层防御可以显著增加核反应堆在事故工况下的安全性，使得核设施和核活动置于多重保护中，即使一种手段失效，也将得到补偿/纠正，而不致危工作人员、公众、环境。多层防御的作用不包括？ (B)

- A.防止偏离正常运行和系统故障
- B.确保事故后放射性存留率处于比较低的水平
- C.防止运行偏差发展成事故
- D.限制事故引起的放射性后果

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

75. 以下哪次事故属于堆芯熔化事故（CMAs）？ (A)

- A.日本福岛核电站事故
- B.切尔诺贝利核电站事故
- C.美国戴维斯-贝斯反应堆事故
- D.日本东海村核电泄露事故

解析：(1) 堆芯熔化事故（CMAs）：由于堆芯冷却不充分，引起堆芯裸露、升温和熔化的过程，其发展较为缓慢，时间尺度为小时量级。三哩岛和福岛

- (2) 堆芯解体事故（CDAs）：堆芯解体事故是由于快速引入巨大的反应性，引起功率陡增和燃料碎裂的过程，其发展非常迅速，时间尺度为秒量级。切尔诺贝利
- (3) 堆芯解体事故发生在 PWR 中的可能性很小

76. 核事故的最严重级别是： (D)

- A. 1 级
- B. 3 级
- C. 5 级
- D. 7 级

解析：核事故的最严重级别是 7 级，例如切尔诺贝利核事故。

77. 核废物的长期储存通常要求： (B)

- A. 放置在水下
- B. 远离人类居住区
- C. 将其转化为非放射性物质
- D. 将其埋藏在火山口附近

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

78. 核医学中常用的疾病诊断技术有： (C)

- A. 核磁共振
- B. 放射治疗
- C. 放射性同位素扫描
- D. 放射性同位素治疗

解析：核医学中常用的疾病诊断技术包括放射性同位素扫描，如 PET 扫描、甲状腺扫描等。

79. 核医学中的 SPECT 技术用于： (D)

- A.感染检测
- B.体检
- C.骨折的诊断
- D.心脏疾病的诊断

解析：SPECT（单光子发射计算机断层扫描）是核医学中常用的心脏疾病诊断技术。

80. 以下哪个不是核电厂区别于常规电厂的核安全问题？ (C)
- A. 停堆后存在大量衰变余热
  - B. 潜在的放射性危害
  - C. 运行时会加剧温室效应
  - D. 反应性控制要求高

81. 以下哪个选项不是影响燃料元件温度场分布的主要因素？ (A)
- A. 慢化剂流动状态及设计参数
  - B. 燃料元件内释热功率
  - C. 燃料元件的结构形式及材料
  - D. 冷却剂流动状态及设计参数

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。

82. 为什么要分析燃料元件的温度场？ (B)
- A. 保证任何情况下不会发生燃料元件熔化
  - B. 燃料元件表面温度分布特性与二回路水化学有关
  - C. 燃料元件设计时需要考虑由于温度梯度存在产生的热应力
  - D. 反应堆堆芯核热耦合，存在温度反馈效应

解析：为什么要分析燃料元件的温度场：1) 保证任何情况下不会发生燃料元件熔化；2) 燃料元件设计时需要考虑由于温度梯度存在产生的热应力；3) 燃料元件表面温度分布特性与一回路水化学有关；4) 反应堆堆芯核热耦合，存在温度反馈效应。

83. 下面哪个物理量不会在开式通道的交混时发生交换？ (D)
- A. 质量
  - B. 动量
  - C. 能量
  - D. 冲量

84. 核电站的核反应堆采用的燃料一般是？ (C)
- A. 国产的铀燃料
  - B. 核废料
  - C. 高浓缩铀燃料
  - D. 重水燃料

解析：核电站的核反应堆一般采用高浓缩铀燃料，其中铀-235的浓度高于天然铀。

85. 核反应堆中的反应速率是通过调节什么来控制的？ (C)
- A. 温度
  - B. 压力
  - C. 控制棒位置
  - D. 冷却剂流速

解析：核反应堆中的反应速率是通过调节控制棒的位置来控制的，控制棒的插入程度影响核裂变反应的速率。

86. 以下哪种反应堆类型使用液态金属作为冷却剂？ (D)
- A. 压水堆
  - B. 沸水堆

- C.气冷堆
- D.快中子堆

解析：快中子堆中使用液态金属（通常是钠或铯）作为冷却剂和中子减速剂。

87. 核废物管理的主要目标是？ (D)
- A.产生更少的核废物
  - B.将核废物投放到地下
  - C.将核废物转化为可再利用的物质
  - D.安全处理和储存核废物

解析：核废物管理的主要目标是安全地处理和储存核废物，以减少对环境 and 人类健康的风险。

88. 目前最常用的核废物处置方法是？ (A)
- A.地下埋藏
  - B.海洋倾倒
  - C.空气燃烧
  - D.循环再利用

解析：目前最常用的核废物处置方法是将核废物埋藏在地下容器或地质层中。

89. 绿色核能的概念指的是： (D)
- A.利用植物作为能源来源
  - B.将核废物转化为可再利用的物质
  - C.通过延长核燃料的使用寿命减少废物产生
  - D.提倡低碳、安全和可持续的核能发展

90. 目前最常用的核能发电技术是什么？ (D)
- A. 激光聚变
  - B. 核裂变
  - C. 压水堆
  - D. 高温气冷反应堆

解析：目前最常用的核能发电技术是压水堆，它在全球范围内被广泛采用

91. 核电厂中最常见的燃料形式是什么？ (A)
- A.固体球形燃料
  - B.液体燃料
  - C.气体燃料
  - D.压缩燃料板

解析：核电厂中最常见的燃料形式是由铀燃料制成的固体球形燃料。

92.  $\gamma$  光子把全部能量转移给某个束缚电子，使之发射出去，而光子本身消失的过程叫做 (C)
- A. 电子对效应
  - B. 康普顿效应
  - C. 光电效应
  - D. 穆斯堡尔效应

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。

93. 中国原子能科学研究院研发的快中子试验反应堆属先进反应堆，其重要长处是 (A)
- A. 可大大提高铀资源的利用率
  - B. 不需使用慢化剂
  - C. 可以使用核燃料  $^{239}\text{Pu}$
  - D. 发电效率高

解析：快中子反应堆不用  $^{235}\text{U}$ ，而用  $^{239}\text{Pu}$  作燃料，不过在堆芯燃料  $^{239}\text{Pu}$  的外围再生区里放置  $^{238}\text{U}$ 。 $^{239}\text{Pu}$  产生裂变反应时放出来的快中子，被装在外围再生区的  $^{238}\text{U}$  吸收， $^{238}\text{U}$  就会很快变成  $^{239}\text{Pu}$ 。这样， $^{239}\text{Pu}$  裂变，在产生能量的同时，又不断地将  $^{238}\text{U}$  变成可用燃料  $^{239}\text{Pu}$ ，而且再生速度高于消耗速度，核燃料越烧越多，快速增殖，所以这种反应堆又称“快速增殖堆”。据计算，如快中子反应堆推广应用，将使铀资源的利用率提高 50-60 倍，大量  $^{238}\text{U}$  堆积浪费、污染环境等问题将能得到解决。

94. 以下四种慢化剂中慢化比最大的是 (C)
- A. 石墨
  - B. 铍
  - C. 重水
  - D. 轻水

解析：四种慢化剂的慢化比从大到小排序为：重水、石墨、铍、轻水。

95. 四因子公式中的四个因子分别为 (D)
- A. 快中子倍增系数、慢化不泄露概率、逃脱共振吸收概率、扩散不泄露概率
  - B. 快中子倍增系数、慢化不泄露概率、热中子利用系数、有效裂变中子数
  - C. 快中子倍增系数、逃脱共振吸收概率、扩散不泄露概率、热中子利用系数
  - D. 快中子倍增系数、逃脱共振吸收概率、热中子利用系数、有效裂变中子数

96. 中子能谱是关于 \_\_\_\_\_ 的分布函数 (B)
- A. 中子注量率随空间位置
  - B. 中子注量率随中子能量
  - C. 中子能量随空间位置
  - D. 截面随中子能量

97. 2023 年 12 月 6 日，我国具有完全自主知识产权的国家科技重大专项高温气冷堆核电站示范工程开始商业运行，高温气冷堆采用的燃料元件是什么形式？ (A)
- A. 全陶瓷包覆颗粒球形燃料元件
  - B. 板形燃料元件
  - C. 方形燃料元件
  - D. 六角形燃料元件

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。

98. 我国高温气冷堆核电站示范工程被称为世界首座商业规模“不会熔毁的核反应堆”，下面哪项不属于高温气冷堆固有安全的原因？ (D)
- A. 模块式反应堆设计
  - B. 采用耐高温全陶瓷包覆颗粒燃料球

C. 不停堆在线换料

D. 螺旋管蒸汽发生器具有高换热效率

**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、热辐射等基本的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。

99. 我国沸水堆核电站建设在哪个地区？

（C）

A. 浙江省

B. 海南省

C. 台湾省

D. 福建省

**解析：**台湾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。

100. 下列哪种类型的反应堆没有蒸汽发生器？

（C）

A. 压水堆

B. 高温气冷堆

C. 沸水堆

D. 重水堆

**解析：**沸水堆中，冷却剂直接在反应堆压力容器中沸腾，产生蒸汽，蒸汽直接从反应堆压力容器内部上升到位于顶部的蒸汽分离器，其中水蒸汽从水蒸气中分离出来。然后，干燥的蒸汽直接被输送到涡轮机，驱动涡轮机转动以产生电力。使用过的蒸汽在冷凝器中被冷却并转换回液态水，再次被送回反应堆继续循环。