

等 別：高考二級
類 科：核子工程
科 目：核工原理研究
考試時間：2 小時

座號：_____

※注意：(一)可以使用電子計算器。

(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

(三)請以黑色鋼筆或原子筆在申論試卷上作答。

一、政府決定核能電廠除役，有關除役的議題，請說明下列問題：

(一)核能電廠除役與一般工廠拆除有何不同？要注意那些事情？(5 分)

(二)國際上對核能電廠的除役考慮輻射影響，分成那三種？並解釋之。臺灣採用那種方式？(5 分)

二、核子燃料在爐心停止運轉 (shut down) 後仍會產生餘熱，如果核子燃料在停止運轉後的熱產生為下列公式：

$$\frac{P(t)}{P_0} = 0.065 \times [t^{-0.2} - (t + T)^{-0.2}]$$

$P(t)$ ：當時的餘熱 (MW)； P_0 ：運轉時的功率 (MW)； t ：停機後時間 (sec)；
 T ：燃料運轉時間 (sec)

假設一座反應器 1000 MW 運轉一年後停機：

(一)請問餘熱的來源及停機後 1 分鐘及 10 天後的餘熱各為多少？(10 分)

(二)停機後 1 分鐘至 10 天核子燃料所產生的熱，可以使 1000 m^3 60°C 的水升高多少溫度？如會沸騰，請問會有多少 kg 水蒸發？(15 分)
(比熱：4200 J/kg-K；潛熱：2.26 MJ/kg)

三、核子燃料棒的燃料部分直徑為 1 cm，燃料棒護套是鋁合金，其厚度為 0.06 cm，燃料棒長度為 370 cm，燃料中心線溫度為 1000°C ，假設熱功率密度為 $q''' = 200 \text{ W/cm}^3$ ，燃料的傳導係數為 $k_f = 2.8 \text{ W/m-K}$ ，護套之傳導係數為 $k_c = 13 \text{ W/m-K}$ ，忽略燃料與護套間的空隙，請問燃料棒護套的表面溫度？(20 分)

四、一座反應器之額定熱功率為 2775 MW(t)，裝置容量為 951 MW(e)，燃料束共有 157 束，每束燃料鈾平均重 423 kg，如果這週期至週期末共燃耗 23.1 GWD/MTU，請問這週期反應器共發了多少度電？(10 分)

等 別：高考二級
 類 科：核子工程
 科 目：核工原理研究

五、假設 PWR 的燃料束的 $k_{\text{inf}} = 1.38$ ， M^2 （遷移面積，migration area） $= 50 \text{ cm}^2$ ， δ 延伸尺寸為延伸距離（extrapolated distance）加上反射體縮短（reflector saving） $\delta = d + \delta_r = 7.5 \text{ cm}$ ，燃料束大小為 $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ，高度 4 m

反應器形狀	反應器尺寸	幾何曲度（buckling）
長方體	$a \times b \times c$ （長寬高）	$[\pi/(a + 2\delta)]^2 + [\pi/(b + 2\delta)]^2 + [\pi/(c + 2\delta)]^2$
圓柱體	半徑 R + 高度 H	$[2.405/(R + \delta)]^2 + [\pi/(H + 2\delta)]^2$
球體	半徑 R	$[\pi/(R + \delta)]^2$

請估計：

(一) 一根 PWR 的燃料束之 k_{eff} ？（5 分）

(二) 需要多少根 PWR 燃料束才能達到臨界？（10 分）

六、(一) 核能電廠是透過多重屏障的設計原理，縱使發生最嚴重的假想事故時，可將核分裂產生的放射性物質重重包封，防止釋放至外界，危及民眾的安全。請說明核能電廠設計了那些多重屏障防止放射性物質外洩至環境。（10 分）

(二) 何謂機率風險評估（Probabilistic Risk Analysis, PRA），請寫出風險（risk）的基本公式？（5 分）

(三) 請說明 PRA 的評估分為那三級？（5 分）