第2章 安全

一 火災爆炸

1. 化學反應平衡式

（1）基本概念

燃燒（Combustion）是一個快速放熱的過程，由可燃物與氧化劑（又稱助燃物）進行氧化還原的化學反應，氧氣是燃燒反應中最常見的助燃物，一般來說碳氫氧化合物完全燃燒後，會假設全部生成二氧化碳與水，其化學反應方程式如下：

$$C_aH_bO_c+mO_2 \rightarrow aCO_2+(b/2)H_2O$$

如果遇到燃燒（爆炸）界限計算相關的試題，就需要將題目所給的燃料（碳氫氧化合物，如甲烷、乙醇等），以上式進行化學反應平衡，再去計算燃燒（爆炸）上限或下限。其符號可表示為燃燒 / 爆炸上限：UFL/UEL、燃燒 / 爆炸下限：LFL/LEL。

提醒讀者，試題不一定會提示燃料的分子式，所以要記住常見化合物的分子式，或透過官能基計算該燃料的分子式，這樣才能順利解題，筆者將常見化合物的分子式列在下表提供讀者參考；據以往相關職安衛的考試題型來看，烯烴與烷烴類的出題次數最多，若讀者準備考試的時間有限，務必將此兩種類型的碳氫化合物分子式記住。

類別	通式	化合物	分子式（示性式）
烷烴	C_nH_{2n+2}	甲烷	CH_4
		乙烷	C_2H_6
		丙烷	C_3H_8
烯烴	C_nH_{2n}	乙烯	C_2H_4
		丙烯	C_3H_6
炔烴	C_nH_{2n-2}	乙炔	C_2H_2
		丙炔	C_3H_4

碁峰 www.gotop.com.tw

類別	通式	化合物	分子式（示性式）
芳香烴	C_nH_{2n-6}	苯	C_6H_6
		甲苯（甲基苯）	C_7H_8
		乙苯（乙基苯）	C_8H_{10}
醇類	$C_nH_{2n+2}O$（$C_nH_{2n+1}OH$）	甲醇	CH_4O（CH_3OH）
		乙醇	C_2H_6O（C_2H_5OH）
酮類	$C_{n+1}H_{2n+2}O$（$C_nH_{2n+1}COC_{n'}H_{2n'+1}$）	丙酮	C_3H_6O（CH_3COCH_3）
		丁酮	C_4H_8O（$CH_3COC_2H_5$）
醛類	$C_nH_{2n}O$	甲醛	CH_2O
		乙醛	C_2H_4O（CH_3CHO）

將化學反應方程式進行平衡（使箭號兩邊原子的種類、數目相同）後，可以得到理論燃燒需要的氧氣莫耳數（m），而 m 可以用下式求得：

$m = a + \frac{b}{4} - \frac{c}{2}$（公式 2-1-01）

或者讀者可使用觀察法進行反應平衡，步驟如下：

A. 將最複雜的化合物的係數訂為 1 或 2，如將燃料的莫耳數訂為 1。

B. 依序平衡箭號兩端原子的種類、數目，優先找兩邊各出現一次，且原子數又不等的元素先下手平衡，如碳元素或氫元素。

筆者舉甲醇燃燒為例，以觀察法平衡化學反應方程式的步驟如下：

A. 先寫出反應方程式：

$$CH_4O + mO_2 \rightarrow xCO_2 + yH_2O$$

B. 平衡碳元素莫耳數，左邊只有 1 個碳，所以 x 訂為 1：

$$CH_4O + mO_2 \rightarrow 1CO_2 + yH_2O$$

C. 平衡氫元素莫耳數，左邊有 4 個氫，所以 y 訂為 2（因為 2×2=4）：

$$CH_4O + mO_2 \rightarrow 1CO_2 + 2H_2O$$

D. 分別將左右邊的氧相加，且二邊需相等：

$$1 + 2\text{m} = (1\times2) + (2\times1) = 4$$

碁峰 www.gotop.com.tw

$2m = 4 - 1 = 3$

$m = 3/2 = 1.5$

E. 將所有莫耳數帶入原方程式，檢查是否正確：

$CH_4O + 1.5O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

C：1=1（正確）

H：4=2×2（正確）

O：1+（1.5×2）=（1×2）+（2×1）（正確）

（2）精選試題

1 某科技股份有限公司以丙烷（C_3H_8）作為燃料，用以加熱潮濕粉末，請列出丙烷完全燃燒之化學反應式。

答：

丙烷之完全燃燒化學反應式：

$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$

2 正己烷（C_6H_{14}）與氧氣完全燃燒之完全燃燒反應式為 $mC_6H_{14}+nO_2 \rightarrow pCO_2+qH_2O$，上列反應式中 m、n、p、q 均為正整數。平衡上列完全燃燒反應式後，m、n、p、q 之值為何（最簡單整數）？

答：

$mC_6H_{14}+nO_2 \rightarrow pCO_2+qH_2O$

$1C_6H_{14}+9.5O_2 \rightarrow 6CO_2+7H_2O$

反應式中 m、n、p、q 之正整數值為 $2C_6H_{14}+19O_2 \rightarrow 12CO_2+14H_2O$

反應式中 m、n、p、q 之最簡單整數值 m=2、n=19、p=12、q=14

碁峰 www.gotop.com.tw

2. 燃燒理論空氣量

（1）基本概念

根據燃燒的反應方程式，可以得到完全燃燒時燃料與氧氣的莫耳數比，也就是說可以知道理論上燃燒 1 莫耳的燃料需要搭配多少莫耳的氧氣，以前一節的甲醇燃燒方程式為例，甲醇與氧氣的莫耳數比為 1 比 1.5，亦即欲燃燒 1 莫耳的甲醇需要 1.5 莫耳的氧氣。

但是，地球的大氣環境中並非全部由氧氣組成，在燃燒的計算應用上，通常會考量實際情況，也就是以「空氣」作為助燃物進行計算，所以試題一般會請考生計算燃燒的「理論空氣量」。

因為氧氣大約只佔空氣的 21%（v/v），所以空氣可以下式表示：

$$\frac{21}{100}\times \text{moles Air} = \text{moles } O_2$$

$$\text{moles Air} = \frac{\text{moles } O_2}{0.21}$$ （公式 2-1-02）

以 1 莫耳的甲醇為例，燃燒的理論「氧氣」量為 1.5 莫耳，帶入公式 2-1-02 計算：

$$\text{Air} = \frac{1.5}{0.21} \cong 7.14$$

所以，1 莫耳甲醇的燃燒理論空氣量約為 7.14 莫耳，亦即燃燒 1 莫耳的甲醇約需要 7.14 莫耳的空氣。

另外，試題如果要求燃燒理論空氣量以體積（如 m^3）表示，就要再計算每莫耳空氣的體積，此時要以題目提示的空氣相關條件計算，如無相關提示，可假設空氣條件為 25℃、1 大氣壓，筆者以此條件為例，以理想氣體方程式計算 1 莫耳的空氣體積。

理想氣體方程式：$PV = nRT$

$$1\times V = 1\times 0.082\times(25+273.15)$$

$$V \cong 24.45\ L = 0.02445\ m^3$$

繼續以 1 莫耳甲醇為例，當燃燒理論空氣量約為 7.14 莫耳時，換算成體積約為 0.175 立方公尺，亦即燃燒 32 公克的甲醇（1 莫耳）理論上約需要 0.175 立方公尺的空氣。

碁峰 www.gotop.com.tw

（2）精選試題

3 某科技股份有限公司以丙烷（C_3H_8）作為燃料，用以加熱潮濕粉末，若其每天 8 小時之消耗量為 40 公斤，大氣環境為 1 大氣壓、溫度 25℃、氧氣濃度 21%，為使丙烷完全燃燒，請計算所需之理論空氣量，以每小時立方米（m^3/hr）表示之。

答：

每小時消耗之丙烷量 W 為（40kg×1,000 g/kg）/8hr=5,000 g/hr

5,000 g/hr÷44 g/mole ＝ 113.64 mole/hr

$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$

$$\frac{113.64\ \text{mole}}{1\ \text{mole}} = \frac{X\ \text{mole}}{5\ \text{mole}} \Rightarrow X = 113.64 \times 5 \Rightarrow X = 568.2\ \text{mole}$$

568.2 mole×0.02445 m^3/mole=13.8925

因空氣中氧含量為 21%（體積比），故所需之理論「空氣」量（以體積表示）計算如下：

$$\frac{21}{100} = \frac{13.9209\ m^3}{Y\ m^3} \Rightarrow Y = \frac{13.9209\ m^3 \times 100}{21} = 66.29\ m^3$$

經計算後得知丙烷每小時之燃燒理論空氣量約為 **66.15 m^3**。

4 所謂理論空氣量係指可燃性物質完全燃燒所需要的空氣量，以正己烷為例，其完全燃燒反應式為 $C_6H_{14} + 9.5O_2 \rightarrow 6CO_2 + 7H_2O$。現有正己烷（分子量 86，LEL ＝ 1.1%）每天 8 小時消費 48kg（大氣條件：25℃、一大氣壓、氧氣濃度 21%），正己烷每小時之燃燒理論空氣量（m^3/hr）為何？

答：

每小時使用之正己烷量 W 為（48 kg×1,000 g/kg）/8hr=6,000 g/hr

6,000 g/hr÷86 g/mole ＝ 69.77 mole/hr

碁峰 www.gotop.com.tw

$$C_6H_{14}+9.5O_2 \rightarrow 6CO_2+7H_2O$$

$$\frac{69.77\ \text{mole}}{1\ \text{mole}}=\frac{X\ \text{mole}}{9.5\ \text{mole}} \Rightarrow X=69.77\times 9.5 \Rightarrow X=662.82\ \text{mole}$$

$662.82\ \text{mole}\times 0.02445\ m^3/\text{mole} = 16.21\ m^3$

因空氣中氧含量為 21%（體積比），故所需之理論「空氣」量（以體積表示）計算如下：

$$\frac{21}{100}=\frac{16.21\ m^3}{Y\ m^3} \Rightarrow Y=\frac{16.21\ m^3\times 100}{21}=77.19\ m^3$$

故正己烷每小時之燃燒理論空氣量為 77.19 m^3。

5 所謂理論空氣量係指可燃性物質完全燃燒所需要的空氣量，如碳氫化合物完全燃燒產物為 CO_2 及 H_2O，以丙烷為例，其完全燃燒反應式為 $C_3H_8+5O_2 \rightarrow 3CO_2+4H_2O$。現有四種物質其分別為：丙烷（$C_3H_8$，分子量 44 g/mole）、丙酮（$CH_3COCH_3$，分子量 58 g/mole）、異丙醇（$CH_3CHOHCH_3$，分子量 60 g/mole）、甲乙醚（$CH_3OC_2H_5$，分子量 60 g/mole），試問當上述四種物質質量相等時，何者燃燒時具最低之理論空氣量？

答：

設上述四種物質質量均為 X g，其所需之理論「氧氣」量（以莫耳表示）計算如下：

丙烷 $C_3H_8+5O_2 \rightarrow 3CO_2+4H_2O$

$$\frac{X}{44}\times 5=0.1136\ X\ \text{mole}$$

丙酮 $CH_3COCH_3+4O_2 \rightarrow 3CO_2+3H_2O$

$$\frac{X}{58}\times 4=0.0690\ X\ \text{mole}$$

異丙醇 $CH_3CHOHCH_3+4.5O_2 \rightarrow 3CO_2+4H_2O$

$$\frac{X}{60}\times 4.5=0.075\ X\ \text{mole}$$

甲乙醚 $CH_3OC_2H_5+4.5O_2 \rightarrow 3CO_2+4H_2O$

$$\frac{X}{60}\times 4.5=0.075\ X\ \text{mole}$$

上述四種物質質量相等且氧氣濃度固定時，丙酮燃燒時具最低之理論空氣量。

碁峰 www.gotop.com.tw

第 3 章 衛生

一 噪音振動

1. 噪音容許暴露

（1）基本概念

依職業安全衛生設施規則第 300 條

雇主對於發生噪音之工作場所，應依下列規定辦理：

一、勞工工作場所因機械設備所發生之聲音超過 90 分貝時，雇主應採取工程控制、減少勞工噪音暴露時間，使勞工噪音暴露工作日 8 小時日時量平均不超過規定值或相當之劑量值，且任何時間不得暴露於峰值超過 140 分貝之衝擊性噪音或 115 分貝之連續性噪音；對於勞工 8 小時日時量平均音壓級超過 85 分貝或暴露劑量超過 50% 時，雇主應使勞工戴用有效之耳塞、耳罩等防音防護具。

勞工暴露之噪音音壓級及其工作日容許暴露時間如下列對照表 :

工作日容許暴露時間（小時）	A權噪音音壓級（dBA）
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1	105
1/2	110
1/4	115

A. 五分貝原則

職業安全衛生設施規中對噪音環境，增加 5 分貝時，容許暴露時間減半，容許限值是 90 分貝，並將 80 分貝以上；另外當噪音音量變化不大，可以由噪音計測得音壓級，再計算暴露劑量的噪音列入計算其評估公式如下：

容許暴露時間 $T=\dfrac{8}{2^{\left(\frac{L-90}{5}\right)}}$（公式 3-1-01）

T：容許暴露時間（hr）；L：噪音音壓級（dB，L ≧ 80 分貝）

例 :90dB 之容許暴露時間 :$T=\dfrac{8}{2^{\left(\frac{90-90}{5}\right)}}=8$ hr

95dB 之容許暴露時間 :$T=\dfrac{8}{2^{\left(\frac{95-90}{5}\right)}}=4$ hr

※補充 三分貝原則

概念同五分貝原則，每增加 3 分貝時，容許暴露時間減半。考試題目類型大多為【五分貝原則】。

容許暴露時間 $T=\dfrac{8}{2^{\left(\frac{L-90}{3}\right)}}$

B. 勞工工作日暴露於二種以上之連續性或間歇性音壓級之噪音時，其暴露劑量之計算方法為 :

$$\text{Dose（\%）}=\frac{\text{第一種噪音音壓級之暴露時間}}{\text{該噪音音壓級對應容許暴露時間}}+\frac{\text{第二種噪音音壓級之暴露時間}}{\text{該噪音音壓級對應容許暴露時間}}+\cdots=>\!<1$$

其和大於一（劑量超過 100%）時，即屬超出容許暴露劑量。

測定勞工 8 小時日時量平均音壓級時，應將 80 分貝以上之噪音以增加 5 分貝降低容許暴露時間一半之方式納入計算。

當暴露劑量值求出後，亦可以運用公式的方式將劑量轉換成所謂的 8 小時日時量平均音壓級（TWA，time-weighted average），推導公式如下 :

$$\text{Dose（劑量）}=\frac{8}{T}=\frac{8}{\frac{8}{2^{\left(\frac{TWA-90}{5}\right)}}}=2^{\left(\frac{TWA-90}{5}\right)}\text{（公式 3-1-02）}$$

兩邊取 log → $\log D=\left(\dfrac{TWA-90}{5}\right)\times\log 2$

移項之後→ $\log D\times\dfrac{5}{\log 2}=TWA-90$

最後得到公式 :$TWA=90+16.61\times\log D$

碁峰 www.gotop.com.tw

暴露在噪音源一段時間後測得的劑量，可以透過上述公式換算為相當暴露於一穩定性噪音 8 小時所獲得的劑量，所以我們亦可以假設 t 為一段時間，則工作日時量平均音壓級公式可改寫如下：

$$TWA = 90 + 16.61 \times \log \frac{100 \times D}{12.5 \times t}$$ （公式 3-1-03）

若將 t = 8 小時代入，則就可以得到八小時日時量平均音壓級

$$TWA = 90 + 16.61 \times \log \frac{100 \times D}{12.5 \times 8} = 90 + 16.61 \times \log D$$

（2）精選試題

1 某勞工每日工作 8 小時，經環境監測所得之噪音暴露如下：

時間	噪音類別	測定值
08:00~12:00	變動性	40%
13:30~15:30	穩定性	95dBA
15:30~17:30		無暴露

試回答下列問題：

若噪音源為移動式音源，則其測定點為何？

在監測穩定性噪音及變動性噪音時，請說明你選用之儀器種類及其設定為何？

請由題意所得之測定值評估 :1. 該勞工全程工作日之噪音暴露劑量。2. 該勞工噪音暴露之 8 小時日時量平均音壓級。

對上述評估之結果，依法令規定，雇主是否應提供防音防護具給勞工佩戴？（請說明理由）

答：

（一） 在工廠、辦公場所等作業環境測定噪音時，若噪音源為移動音源者，測定點選在作業員耳邊處。

碁峰 www.gotop.com.tw

（二） 1. 穩定性噪音 :（Steady noise）：

噪音計 - 以 A 權衡電網、慢 Slow（S）特性，注意選擇測定位置及測定高度，由噪音計上顯示的指示值取其平均值即可。

2. 變動性噪音 :（Fluctnating noise）：

噪音劑量計 - 以 A 權衡電網，慢回應特性，配戴在勞工身上實施整個工作日之噪音暴露劑量，至少需測定 4 小時以上。

（三） 1. 該勞工全程工作日之噪音暴露劑量計算如下：

08:00 ~ 12:00 →測定劑量為 40%，所以 D1 ＝ 40% ＝ 0.4

13:30 ~ 15:30（2 小時）

95dBA 容許暴露時間 :$T = \dfrac{8}{2^{\left(\frac{95-90}{5}\right)}} = 4hr$，$D2 = \dfrac{4}{2} = 0.5 = 50\%$

Dose = 0.4 + 0.5 = 0.9

2. 該勞工全程工作日暴露相當之時量平均音壓級計算如下：

勞工總共暴露時間為 :

4（08:00 ~ 12:00）+ 2（13:30 ~ 15:30）+ 2（15:30 ~ 17:30）= 8 小時

$TWA = 90 + 16.61 \times \log \dfrac{100 \text{ x } 0.9}{12.5 \text{ x } 8} = 89.24 \text{ dBA}$

2 某工廠機器區域的噪音量（Noise level）為 83 dBA。若操作員工作位置預計安放新機器的噪音量為 82dBA。從聽力保護計畫的觀點，請用「量化」的方式說明此安裝是否需要對工作區的職業衛生相關措施進行任何更改？

答：

（一） 依合成音壓級公式 $L_P=10\log[10^{L1/10} + 10^{L2/10}]$

$= 10\log[10^{83/10} + 10^{82/10}]$

$= 10 \times 8.55$

$= 85.5$ dBA

碁峰 www.gotop.com.tw

因職安衛管理員技能檢定現已變更為電腦測驗，所以依規定禁止使用電子計算器，另以聲音級合成概算表如下，計算其合成音壓。

L1-L2	0~1	2~4	5~9	10
加值	3	2	1	0

依題意 82dBA 與 83dBA，相差 1 分貝，可直接加值 3 分貝，故合成音壓級為 86dBA。

（二） 因勞工 8 小時日時量平均音壓級 85 dBA 以上或暴露劑量超過 50% 時，應啟動聽力保護計畫，執行職業衛生相關措施：

1. 噪音監測及暴露評估：執行噪音監測計畫，評估噪音區定點及個人年度暴露劑量，將超過 85 dBA 之測量結果公告並知會工作區域之員工，且以醒目公告標示在噪音區域及提醒佩戴聽力防護具。
2. 噪音危害控制：可評估工程改善，如自動化作業，將高噪音區作業儘量減少人員暴露時間；或改變作業程序，將產生高噪音之作業，移至夜間或作業人員較少的時段執行，以降低其暴露之人數。
3. 防音防護具之選用及佩戴：依職業安全衛生設施規則 283 條及 300 條規定，雇主為防止勞工暴露於強烈噪音之工作場所，應置備耳塞、耳罩等防護具，並使勞工確實戴用；對於勞工 8 小時日時量平均音壓級超過 85 分貝或暴露劑量超過 50% 時，應使勞工戴用有效之耳塞、耳罩等防音防護具。
4. 聽力保護教育訓練：依職業安全衛生教育訓練規則第 17 條，雇主對新僱勞工或在職勞工於變更工作前，應使其接受適於各該工作必要之一般安全衛生教育訓練。故適時給予勞工正確認知，說明噪音對聽力之影響，及正確佩戴與使用防音防護具，以降低噪音之危害。
5. 健康檢查及管理：依勞工健康保護規則，暴露於噪音作業場所的勞工，在新進、在職、轉調時應實施體格檢查及定期特殊健康檢查，執行聽力檢查及相關健康分級管理。

碁峰 www.gotop.com.tw

6. 成效評估及改善：執行績效評估及行政管理改善，舉如調整工作輪班，避免暴露人員長期暴露於高噪音場所，降低其聽力損失之發生率；另降低工作暴露時間，將其作業時間縮短等措施。

（三） 因為該勞工全程工作日之噪音暴露劑量為 90%、噪音暴露之 8 小時日時量平均音壓級為 89 分貝，超過「職業安全衛生設施規則」第 300-1 條規定（8 小時日時量平均音壓級 85 分貝或暴露劑量 50%），雇主應提供防音防護具給勞工佩戴。

3 某汽車組裝廠勞工在上午 4 小時暴露的作業環境噪音為 90 分貝，下午 4 小時配戴個人噪音劑量計測得的結果為 30%，在五分貝法的情況下，請問：（一）該勞工整天 8 小時的噪音暴露劑量為何？（二）此噪音暴露劑量相當於多少分貝的 8 小時日時量平均音壓級？（三）該作業環境是否屬於噪音作業場所，理由為何？

答：

（一） 1. 上午：

（1）90 分貝容許暴露時間 $T=\dfrac{8}{2^{\frac{90-90}{5}}}=8\ \text{hr}$

（2）暴露劑量 $:D=\dfrac{t(\text{實際噪音暴露時間})}{T(\text{容許噪音暴露時間})}=\dfrac{4}{8}=0.5$

2. 下午：

4 小時暴露劑量 =30%=0.3

3.8 小時的噪音暴露劑量 = 0.5 + 0.3 = 0.8

（二） 相當於多少分貝的 8 小時日時量平均音壓級：

相當於 8 小時時量平均音壓級 $TWA=90+16.61\times\log\dfrac{100\times80\%}{12.5\times8}=88.4\ \text{dBA}$

（三） 是，噪音作業場所，職安法施行細則第 17 條訂定顯著發生噪音之作業場所需作環境監測，而顯著發生噪音之作業場所就是指勞工噪音暴露工作日八小時日時量平均音壓級 85 分貝以上之作業場所。

碁峰 www.gotop.com.tw

4 某工作場所，經測定其噪音之暴露如下：

時間	噪音類別	測定值
08:00~12:00	穩定性	90 dBA
13:00~16:00	變動性	噪音劑量 :40%
16:00~18:00	穩定性	85 dBA

試回答下列問題：

全程工作日之時量平均音壓級為何？

暴露之 8 小時日時量平均音壓級為多少分貝？

該勞工之噪音暴露是否符合法令之規定？（請說明判定之理由）

答：

（一） 08:00~12:00 90 dBA 容許暴露時間 :T= $\frac{8}{2^{\frac{90-90}{5}}}=8$ hr

16:00~18:00 85 dBA 容許暴露時間 :T= $\frac{8}{2^{\frac{85-90}{5}}}=16$ hr

$$\text{Dose}=\frac{t_1}{T_1}+\frac{t_2}{T_2}+\frac{t_3}{T_3}=\frac{4}{8}+0.4+\frac{2}{16}=0.5+0.4+0.125=1.025=102.5\%$$

全程工作日時量平均音壓級 :

$$TWA_9=90+16.61\times\log\frac{100\times1.025}{12.5\times9}=89.3\text{ dBA}$$

（二） 暴露之 8 小時日時量平均音壓級 :

$$TWA_8=90+16.61\times\log\frac{100\times1.025}{12.5\times8}=90\text{ dBA}$$

（三） 雖然該勞工全程工作日之時量平均音壓級為 89.3 dBA，但暴露之 8 小時日時量平均音壓級為 90.2 dBA，超過法令規定，故不合法。

碁峰 www.gotop.com.tw

第 4 章 人因工程

一 人的體力活動

1. 活動界限（AL）

（1）公式

AL ＝ 40kg×（15/H）×（1–0.004×|V–75|）×（0.7+7.5/D）×（1–F/Fmax）（公式 4-1-01）

AL：kg

H：負荷中心至兩踝中心的水平距離（cm）

V：地面至負荷中心的垂直距離（cm）

D：垂直抬舉高度範圍（cm）

F：抬舉頻率（lifts/min）

F_{max}：可維持之最大抬舉頻率（lifts/min）

（2）最大容許界限（MPL）

MPL ＝ 3×AL（公式 4-1-02）

MPL：kg

（3）說明

A. 流行病學

工作負荷超過 AL，受傷的風險會增加；工作負荷超過 MPL 時，肌肉骨骼受傷率及嚴重性均會顯著增加。

B. 生物力學

大部份作業員 L5/S1 椎間盤可忍受的 AL 壓力約為 3,400N，無法忍受之 MPL 為超過 6,400N。

www.gotop.com.tw

C. 生理學

可忍受之 AL 為 3.5 kcal/min；無法忍受之 MPL 為超過 5.0 kcal/min。

D. 心理物理學法

有 99% 的男性或 75% 的女性可從事 AL 的工作；僅有 25% 的男性或 1% 的女性能從事 MPL 程度的工作。

2.NIOSH（1991 年）抬舉指引

（1）建議重量極限值（Recommended Weight of Limit, RWL）

RWL（recommended weight of limit, 建議重量極限值）（公式 4-1-03）

＝ LC×HM×VM×DM×AM×FM×CM

＝ 23kg×（25/H）×（1-0.003×|V-75|）×（0.82+4.5/D）×（1-0.0032A）×FM×CM

LC：負荷常數（Load Constant）

HM：水平距離乘數（multiplier）

HM ＝ 25 ／ H（單位 : 公分）

H ≦ 25,HM ＝ 1;H ＞ 63,HM ＝ 0;H ＞ 63,HM ＝ 0;0.4 ≦ HM ≦ 1

VM：起始點的垂直高度乘數

VM ＝ 1 － 0.003 ｜ V － 75 ｜（單位 : 公分）

0 ≦ V ≦ 175;V ＞ 175,VM ＝ 0;0.7 ≦ VM ≦ 1,V ＝ 0,VM ＝ 0.78

DM：抬舉的垂直移動距離乘數

DM ＝ 0.82 ＋（4.5 ／ D）（單位 : 公分）

25 ≦ D ≦ 175;D ＜ 25,DM ＝ 1;D ＞ 175,DM ＝ 0;0.85 ≦ DM ≦ 1

AM：身體扭轉角度乘數

AM ＝ 1 － 0.0032A（單位 : 度）

A：身體扭轉角度（相對於矢狀面，sagittal plane）

0 ≦ A ≦ 135;A ＞ 135,AM ＝ 0;A ＝ 90,AM ＝ 0.71;0.57 ≦ AM ≦ 1

FM：抬舉頻率乘數（Frequency Multiplier），查表可得， $1 \geq FM \geq 0.9$ 。

CM：握把乘數（Coupling Multiplier），查表可得。

碁峰 www.gotop.com.tw

（2）抬舉指標（LI,Lifting Index）

$$LI = \frac{\text{Load Lifted}}{RWL}$$ （公式 4-1-04）

LI≤1 則不致產生下背痛，若 LI>1 則會產生下背人因性傷害，當 LI>3 得下背痛的機率大幅增加。

（3）精選試題

1 美國國家職業衛生署於 1991 年提出抬舉指數 LI 來評估人公物料搬運作業對人員下背部傷害的風險。其中 LI- 實際抬舉物品重量 /RWL，而 RWL 為建議抬舉重量限度（Recommended Weight Limit）：$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times CM \times FM$ 某作業員作業時將箱子由 A 輸送帶（手部到地面高度為 30 公分）上台到 B 輸送帶（高度為 75 公分），每分鐘 3 次，每天不到 2 小時，作業時不須轉身，握持情況良好。此作業經 NIOSH 1991 公式分析其 RWL ＝ 6 kg，則若將 A 輸送帶高度提高到 V1 ＝ 75 公分，且改為每分鐘 1 次，其他條件不變的情況之下，RWL 值會變成多少 kg ？

Frequency（lift/min）	≦ 2hr	
	V<75	V ≧ 75
0.5	0.92	0.92
1	0.88	0.88
2	0.84	0.84
3	0.79	0.79

答：

依題旨，

$$VM_1 = 1 - 0.003 \times |30 - 75| = 0.865$$

$$VM_2 = 1 - 0.003 \times |75 - 75| = 1$$

$$DM_1 = 0.82 + \left(\frac{4.5}{45}\right) = 0.92$$

$$D_2 < 25\text{cm}, \therefore DM_2 = 1$$

FM1 ＝ 0.79,FM2 ＝ 0.88

綜上，

$$\frac{RWL_1}{RWL_2} = \frac{(VM_1 \times DM_1 \times FM_1)}{(VM_2 \times DM_2 \times FM_2)} = \frac{6}{RWL_2} = \frac{(0.865 \times 0.92 \times 0.79)}{(1 \times 1 \times 0.88)} = 0.7144$$

RWL2 ＝ 8.4 kg

碁峰 www.gotop.com.tw

2 一位工人從輸送帶上將裝箱好之零件放在貨物推車上，這些箱子每箱重 12 公斤，因為箱子缺乏把手，工人只好抓住每一箱子的底部，箱子的重心衛再離工作者腰椎 35 公分處，此貨物推車的高度自動調整至 90 公分，以及輸送帶的高度是在地板上 60 公分，工人每次搬運需轉身 45 度，每分鐘抬舉 2 次，每天作業 8 小時。請依美國國家職業安全衛生研究所發展的人工物料抬舉公式（1994 NIOSH Lifting Equation）為例，如【表】，回答下列問題：

（一） 列出抬舉公式設計所依據的原理、設計效標及截切值。

（二） 計算推薦重量限值（Recommended Weight Limit,RWL）（計算至小數點後第 1 位，以下四捨五入）。

（三） 評論此工作之安全性。

【表】

HM ＝水平乘數（horizontal multiplier）	25/H
VM ＝垂直乘數（vertical multiplier）	1－（0.003 ｜ V－75 ｜）
DM ＝距離乘數（distance multiplier）	0.82+（4.5/D）
AM ＝不對稱乘數（asymmetric multiplier）	1－（0.0032A）

抬舉次數 / 秒	工作時間長度					
	≤1 小時		≤2 小時		≤8 小時	
	V<75	V≥75	V<75	V≥75	V<75	V≥75
0.2	1.00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0.84	0.84	0.72	0.72	0.45	0.45
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.50	0.50	0.27	0.27
7	0.70	0.70	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.60	0.60	0.35	0.35	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.30	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0.00	0.13
11	0.41	0.41	0.00	0.23	0.00	0.00
12	0.37	0.37	0.00	0.21	0.00	0.00
13	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
>15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

碁峰 www.gotop.com.tw

	力偶乘數	
	V<75cm	V≥75cm
好	1.00	1.00
普通	0.95	0.95
差	0.90	0.90

答：

(一) 依 NIOSH 人工抬舉公式的建議抬舉重量限制（RWL）公式如下：

RWL ＝ LC×HM×VM×DM×AM×FM×CM

＝ 23×（25/H）×（1-0.003×|V-75|）×（0.82+4.5/D）×（1-0.0032A）×FM×CM

LC：負荷常數＝ 23

HM：水平距離乘數＝ 35

VM：起始點的垂直高度乘數＝ 60

DM：抬舉的垂直移動距離乘數＝ 30（90-60）

AM：身體扭轉角度乘數（A ＝ 45）

FM：抬舉頻率乘數＝ 0（每分鐘抬舉 2 次，當題目為抬舉次數 / 秒）

FM：抬舉頻率乘數＝ 0.65（每分鐘抬舉 2 次，將題目修改為抬舉次數 / 分鐘）

CM：力偶乘數＝ 0.95

(二) 將上列數值代入 RWL 公式，

情況 1（題目仍為抬舉次數 / 秒）：

RWL ＝ 23×（25/35）×（1-0.003×|60-75|）×（0.82+4.5/30）×（1-0.0032×45）×0×0.95 ＝ 23×0.714×0.955×0.97×0.856×0×0.95 ＝ 0.0kg

情況 2（題目修改為抬舉次數 / 分鐘）：

RWL ＝ 23×（25/35）×（1-0.003×|60-75|）×（0.82+4.5/30）×（1-0.0032×45）×0.65×0.95 ＝ 23×0.714×0.955×0.97×0.856×0.65×0.95 ＝ 8.0kg

（三） 此工作的安全性說明如下：

情況 1（題目仍為抬舉次數 / 秒）：LI ＝ L/RWL ＝ 12/0 ＝ 0。

因 LI<1，表示該抬舉作業不會有下背傷害的風險。

情況 2（題目修改為抬舉次數 / 分鐘）：LI ＝ L/RWL ＝ 12/8.0 ＝ 1.5。

因 LI>1，表示該抬舉作業會有下背傷害的潛在風險。

碁峰 www.gotop.com.tw