Enterprise Education & Training Consultant, EETC
企業教育訓練顧問

Shr-Hong Tang (Barry)
湯士弘 (百瑞)
0922-998305
segatang@pchome.com.tw

勞工安全衛生及其重要性

- 墜落 (重力位能)
- 感電 (電能)
- 被夾、被捲、被撞 (機械能)
- 火災、爆炸 (危險物之化學能)
- 缺氧窒息及中毒 (有害物)
- 勞工安全 vs. 職業傷害 (一次性)
- 勞工健康 vs. 職業疾病 (慢性健康影響)

直接　危害因子

物理性、化學性、生物性、人因工程

能量失控

重力位能
電能
機械能

危險物 — 會燒會爆

有害物 — 缺氧中毒

病毒細菌 — 針扎

重複壓力傷害

→ 疾病、傷害、失能、死亡

常見物理性危害

聽骨、耳道、鼓膜

- 噪音作業場所產生煩燥、失眠、耳鳴、聽力受損 (傳音 vs. 感音)　毛細胞
- 高溫環境作業造成：脫水、熱痙攣 (抽筋)、熱衰竭 (休克)、中暑　不孕
- 低溫作業環境工作可能造成凍傷和神經與肌肉效能的降低
- 振動造成白指病　局部傷害或暈眩

化學性危害因子

概念相當於密度

- 粒狀污染物 (mg/m³)
- 氣態污染物 (ppm)　相對的概念
- 有機溶劑
- 特定化學物質　排除
- …

非氧氣體降低比例

$$\frac{20}{100}$$

$$\frac{20}{100+100}$$

$$\frac{100}{10^6} \quad \frac{(100-50)}{10^6} \quad \frac{100}{10^6+10^6}$$

稀釋

常見生物性危害

接觸生物病原體之工作人員

- 醫護人員常接觸血液或被針扎而得B型或C型肝炎等　侵入性
- 醫護人員因接觸SARS、肺結核或禽流感病患而罹患同種疾病　吸入性
- 農場工人、礦工較易感染寄生蟲 (如住血吸蟲、胞蟲症)、黃熱病等

國際檢疫傳染病

International Quarantine Diseases

- 霍亂：弧菌，飲水傳染，致死率50%
- 鼠疫：淋巴腺型、敗血症型、肺炎型
- 黃(疸、發)熱病：蚊子傳染病毒性發燒
- SARS 嚴重急性呼吸道症候群

法定傳染病

第一類：天花、鼠疫、SARS
第二類：白喉、傷寒、登革熱
第三類：百日咳、破傷風、日本腦炎
第四類：前三款外，須監視與防治者
第五類：前四款外，新興傳染病

WHO5大法定寄生蟲傳染疾病

- 瘧疾
- 血絲蟲病：象皮病
- 血吸蟲病：大肚子病
- 非洲錐蟲病：非洲昏睡病
- 利什曼原蟲病：黑熱病

生物性病原體所引致健康障礙

- 感染 (infection)：生物病原體在人體體內繁殖生長，如細菌、病毒
- 過敏 (allergy)：生物病原體導致人體免疫系統過度反映，如氣喘等
- 中毒 (toxicity)：生物病原體所帶毒素使人體器官功能受損，如金黃色葡萄球菌、肉毒桿菌之毒素引發食物中毒

生物安全等級 Biological Safety Level

- 等級1：不會使健康人致病、對工作人員及環境具最低潛在危險，如：大腸桿菌
- 等級2：用於中度潛在危險的病原，如：金黃色葡萄球菌

生物安全等級 Biological Safety Level

- 等級3：可經氣膠傳播之本土或外來病原，會嚴重危害健康，如：SARS病毒
- 等級4：可經由氣膠傳播或未知傳染危險之危險生物病原，會引起對生命之高度危險的疾病，如：依波拉病毒

實驗室緊急應變程序

H **Hazard Identification** 危害確認
A_1 **Action Plan** 擬定行動方案
Z **Zoning** 區域管制
M **Managing** 建立管理應變組織
A_2 **Assistance** 請求外界支援
T **Termination** 除污善後

複數有害物獨立效應 Q

	TWA_8	PEL-TWA_8
硫酸 (特化)	0.7mg/m³	1mg/m³
鉛 (鉛作業)	0.06mg/m³	0.1mg/m³

其勞工暴露是否符合法規？

複數有害物相加效應 Q

	TWA_8	PEL-TWA_8
甲苯	80 ppm	100 ppm
二甲苯	70 ppm	100 ppm

其勞工累積劑量是否符合法規？

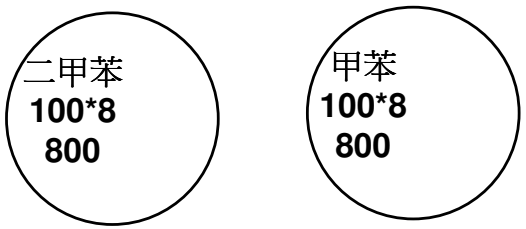
$$\frac{C_a}{PEL_a}+\frac{C_b}{PEL_b}+\ldots<100\%$$

複數有害物相加效應

	TWA_8	PEL-TWA_8
甲苯	80 ppm	100 ppm
二甲苯	70 ppm	100 ppm

- 其8小時累積劑量是否符合法規？
- 短時間累積劑量是否符合法規？
- 若工程改善之整體換氣使兩者< ½PEL-TWA_8 (例如40ppm)？
- 若行政管理從8小時減至6小時？

累積劑量Dose關鍵概念



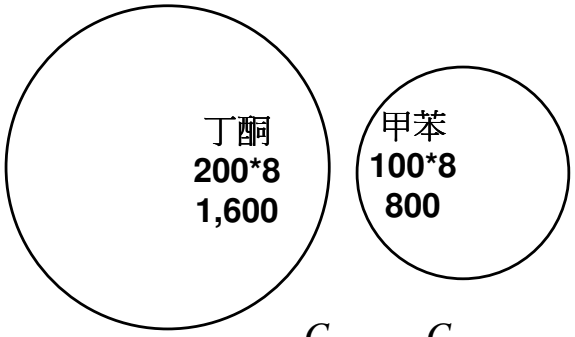
$$\frac{C_a}{PEL_a}+\frac{C_b}{PEL_b}<100\%$$

複數有害物相加效應

	TWA_8	PEL-TWA_8
甲苯	60 ppm	100 ppm
丁酮	120 ppm	200 ppm

- 其8小時累積劑量是否符合法規？
- 短時間累積劑量是否符合法規？
- 若工程改善之整體換氣使兩者<½PEL-TWA_8 (例如40與80ppm)？
- 若行政管理從8小時減少至6小時？

累積劑量Dose關鍵概念

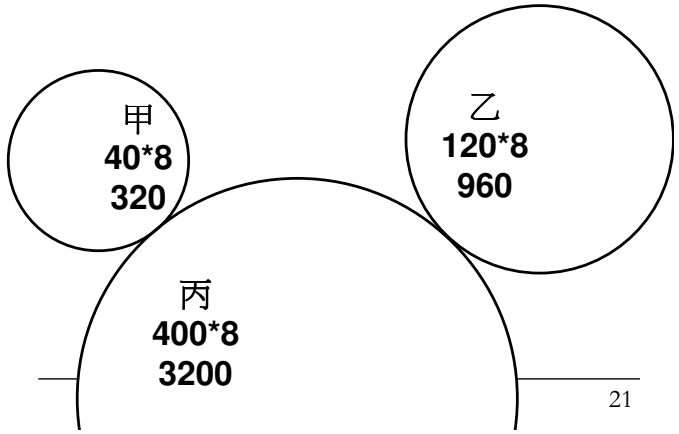


$$\frac{C_a}{PEL_a}+\frac{C_b}{PEL_b}<100\%$$

複數有害物相加效應 (Quota)

ppm	PEL-TWA$_8$	A (4)	B (2)	C (2)
甲物質	40	20	40	0
乙物質	120	80	0	80
丙物質	400	0	100	300

累積劑量Dose關鍵概念



複數有害物相加效應 (Quota)

ppm	PEL-TWA$_8$	A (4)	B (1)	C (2)
甲物質	40	20	40	0
乙物質	120	80	0	60
丙物質	400	0	100	200

穩定性噪音容許暴露時間

- **5**分貝原理：
  又稱 **5**分貝減半率，每增加**5**分貝，容許暴露等級 **(PEL)** 時間減半

$$PEL_{[hr]}=\frac{8}{2^{\left(\frac{L_p-90}{5}\right)}}$$

- **3**分貝原理：日本採用，更嚴格

劑量計算

- 勞工工作日暴露於**2**種以上連續性或變動性音壓級噪音時，其累積劑量 **(Dose)** 計算公式：

$$\frac{T_a}{PEL_a}+\frac{T_b}{PEL_b}+\ldots<100\%$$

Remark

相當於將<u>不同噪音能量視為不同程度危害物</u>，有其對應容許暴露等級**PEL**

劑量計算

- 各勞工於噪音場所測得分貝值與作業時間如下所示，求**3**位員工暴露是否合乎法規？

作業時間	員工**A**	員工**B**	員工**C**
95dB	**3**小時	**2**小時	**1**小時
90dB	**0**	**1**小時	**2**小時
85dB	**5**小時	**5**小時	**5**小時

噪音劑量與音壓級換算公式

$$L_{p,t}=16.61\times\log\left(\frac{Dose_{\%}}{12.5\times t}\right)+90$$

- 例如**8**小時工作累積劑量**D = 50%**，其音壓級為

$$L_{p,8}=16.61\times\log\left(\frac{50}{12.5\times 8}\right)+90$$

$=85dB$ 表示**85dB**可工作**16**小時，若工作**8**小時，則累積劑量**50%**

牛刀小試 Q

- 某工作場所待**6**小時，測得累積劑量**50%**，試求對應音壓級？
- 某工作場所待**6**小時，測得累積劑量**150%**，試求對應音壓級？

穩定性噪音危害範例 Q

上午08:00 ~ 10:00 (2) 噪音80 dB
上午10:00 ~ 12:00 (2) 噪音75 dB
下午13:00 ~ 15:00 (2) 噪音90 dB
下午15:00 ~ 17:00 (2) 噪音95 dB
求累積劑量與時量平均音壓級

穩定性噪音危害範例 Q

- 累積劑量Dose：81.25%
- 實際噪音暴露時間內時量平均音壓級
- 工作日全程暴露之時量平均音壓級

複合性噪音危害範例 Q

- 勞工工作8小時，08:00~12:00 (4小時) 為穩定性噪音90dB，而13:00~16:00 (3小時) 為變動性噪音，噪音劑量為60%，試求累積劑量，與平均音壓級

Remark 範例 Q

- 勞工工作8小時，08:00~12:00 (4小時) 為穩定性噪音90dB，而13:00~18:00 (5小時) 為變動性噪音，噪音劑量為60%，試求累積劑量，與平均音壓級

Remark 範例 Q

- 累積劑量Dose：110%
- 噪音暴露時間內之時量平均音壓級
- 工作日全程暴露之時量平均音壓級

關鍵概念

濃度C：

- 採密度：粒狀物質[*mg/m*³] 配合環測
- 採相對比例：氣體分子 (均勻混合V/V)
- 百萬分之一(%%%, *ppm*) [無單位]：10^{-6}
- 百分之一(%) [無單位]：10^{-2} (10^{4}*ppm*)

關鍵概念

$$V = 22.4 \times \frac{273+T}{273}$$

- NTP (1atm 25°C)， 1mole氣體V為 24.45 [*l*]
- 1mole氣體重量等於分子量M [*g*]
  例如：$C_xH_yO_z$ = 12x+1y+16z
- 純氣體密度

$$\frac{M_{[g/mole]}}{V_{[l/mole]}} = \left(\frac{10^3 \times M_{[mg]}}{10^{-3} \times V_{[m^3]}}\right) = 10^6 \times \left(\frac{M_{[mg]}}{V_{[m^3]}}\right)$$

氣體分子 vs. 粒狀物質

- *ppm* (比例) 轉[*mg/m*³] (密度)

$$C_{ppm} \times \underbrace{\left(\frac{M_{[g/mol]}}{V_{[l/mol]}}\right)}_{\text{純物質密度}} = C \times 10^{-6}\left(\frac{10^3 \times M_{[mg]}}{10^{-3} \times V_{[m^3]}}\right) = C \times \left(\frac{M}{V}\right)_{[mg/m^3]}$$

- [*mg/m*³] (密度) 轉*ppm* (比例)

$$\frac{C_{[mg/m^3]}}{\underbrace{\left(\frac{M_{[g/mol]}}{V_{[l/mol]}}\right)}_{\text{純物質密度}}} = \frac{C_{[mg/m^3]}}{\left(\frac{10^3 \times M_{[mg]}}{10^{-3} \times V_{[m^3]}}\right)} = \left(\frac{C}{\frac{M}{V}}\right) \times 10^{-6} = \left(\frac{C}{\frac{M}{V}}\right)_{ppm}$$

氣體 ppm vs. 粒狀 [mg/m³]

- 1大氣壓，25度環境下，請問80 ppm 甲苯等於多少mg/m³？(甲苯M = 92)
- 反之376.28 mg/m³甲苯為幾ppm？

氣體 ppm VS. 粒狀 [mg/m³]

- 1大氣壓，25度環境下，請問100 ppm 甲苯等於多少mg/m³？(甲苯M = 92)
- 反之，301.02 mg/m³甲苯為幾ppm？

氣體 ppm VS. 粒狀 [mg/m³]

- 1大氣壓，25度環境下，請問300 ppm CO_2等於多少mg/m³？(M = 44)
- 反之，1,079 mg/m³ CO_2為幾ppm？

有機溶劑平均常數V

類型	數量	常數	平均 PEL-TWA_8	平均 M	巧合	
I	7	0.3	10	154	四氯化碳	氯 (烷、碳、烯)
II	41	0.04	100	92	甲苯	醇、醚、酮、苯
III	7	0.01	500	85	汽油	生活用品

$$Q_{[m^3/\min]} = 常數 \times W_{[g/hr]}$$

Note: 運算時要注意W單位需為g/hr

有機溶劑平均常數計算題

- 有一工作場所使用甲苯為清潔劑，一天工作8小時其消費量20 kg，甲苯為第2種有機溶劑，試計算其換氣量Q
- 某工廠每日消耗二甲苯2.5 kg，丁酮1.4 kg (皆屬第二種有機溶劑)，該廠採用整體換氣裝置，其換氣量需為？

容許消費量

- 試利用稀釋有害物換氣量 (ppm) 公式，推導無法實施整體換氣下，具有氣積V [m³] 之作業空間有害物之容許使用量 W [g]。
- 提示：將Q [m³/min] 改成V [m³]，使用量W [g/hr] 改成 W' [g]

容許消費量 based on 有害物稀釋公式

$$V_{[m^3]} \geq \frac{24.45_{[l/mol]} \times 10^3_{[m^3/l]} \times W'_{[g]}}{C_{ppm} \times M_{[g/mol]}}$$

容許消費量

- 容許消費量
  僅限於整體換氣無法實施時
- 氣積高度僅算到4m
  (≧4m不算)
- 氣積最大用到150m³
  (>150m³，仍為150m³)

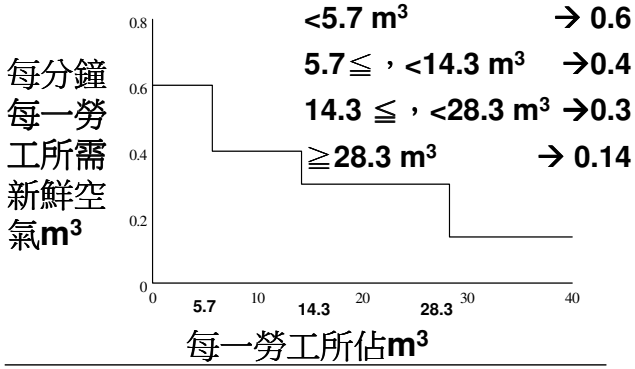
容許消費量之應用

- 通風不充分室內作業場所除外室內作業場所為1小時容許消費量
- 儲槽等作業場所或通風不充分室內作業場所，則為1日間容許消費量

有機溶劑或其混存物容許消費量計算 That's why we need 整體換氣

有機溶劑或其混存物之種類	有機溶劑或其混存物之容許消費量
第I種或其混存物 (< g)	容許消費量 [g] = ( ) 1/15 ×作業場所氣積 [m³]
第II種或其混存物 (< g)	容許消費量 [g] = ( ) 2/5 ×作業場所氣積 [m³]
第III種或其混存物 (< g)	容許消費量 [g] = ( ) 3/2 ×作業場所氣積 [m³]

不同氣積下應供給新鮮空氣量



鉛中毒預防規則

- 軟焊作業 (鉛作業)，每人所需氣積

$$Q_{[m^3/hr]} \geq 100_{[m^3/hr]}$$

- 相當於

$$Q_{[m^3/\min]} \geq 1.67_{[m^3/\min]}$$

綜合題組

有一作業場所勞工120人，作業場所長25 m，寬15 m，高2.8 m，求其一般換氣量？

綜合題組

- 承上題，該工廠每小時甲苯與丙酮使用量、分子量、TWA為2kg, 92g, 100 ppm; 4kg, 58g, 750ppm 若用整體換氣裝置控制時，其最小換氣量Q為何？
- 若依有機溶劑中毒預防規則規定 (平均常數) 換氣量Q為？

音壓級 Sound Pressure Level

- 因人類音壓變化過大，故以20μPa為基準音壓P_0，用對數轉成音壓級 SPL, L_p，變為0 dB (聽覺閾值) ~ 140 dB (痛覺閾值) 範圍

$$L_p = 10\log\left(\frac{P^2}{P_0^2}\right) = 20\log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

求音壓倍數與音壓級 Q

- 正常人耳能聽到的最弱聲音 2×10^{-5} Pa
- 普通說話聲(1m遠處) 2×10^{-2} Pa
- 公共汽車內 0.2 Pa
- 織布間 2 Pa
- 柴油發動機、球磨機 20Pa
- 噴射飛機起飛 200Pa

壓力單位換算 Q

- Pascal = $N/m^2 = mkgs^{-2}/m^2 = kg/ms^2$
- bar (巴) = 100 kN/m^2 = 100,000 Pa
- mbar (毫巴) = 100 N/m^2 = 100 Pa

牛刀小試

- 0.2, 1.8, 2.0 毫巴分別等於多少分貝？

自由音場音功率與音強度

- 在均勻等方向性介質中，介質周界對音波完全吸收而沒有半點反射的自由音場
- 點音源發出音功率W，距離音源r音強度$I = W/4\pi r^2$
- 線音源$W/(2\pi r*1)$

半自由音場音功率與音強度

- 室內音場有一硬反射面而其他表面吸收所有入射音能的半自由音場
- 點音源音強度$I = W/2\pi r^2$
- 線音源$W/(\pi r*1)$

Note1: 1乃單位長度

Note2: 在r > 波長，才有可接受準確度

L_p vs. L_w vs. L_I

- 自由音場點音源 (point source)

$$L_p \approx L_I = L_w - 20\log r - 11$$

- 線音源 (line source)

$$L_p \approx L_I = L_w - 10\log r - 8$$

- 半自由音場 (Semi-anechoic) 點音源

$$L_p \approx L_I = L_w - 20\log r - 8$$

- 線音源 $L_p \approx L_I = L_w - 10\log r - 5$

噪音傳播之距離衰減

- 當音源為點音源，向四面八方傳播，自由音場，距$r_1 > r_2$音壓

$$L_{p1} = L_w - 20\log r_1 - 11$$

$$L_{p2} = L_w - 20\log r_2 - 11$$

$$L_{p1} - L_{p2} = 20\log(r_1/r_2)$$

牛刀小試

線音源

- 當$r_1=2r_2$，衰減6dB，半自由音場亦同

音壓級合成・相減

- 複數噪音源合成

$$L_{eq} = 10\log\left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \ldots + 10^{L_n/10}\right)$$

Note: L除10轉回Bell，以log的反函數，10次方轉回原始物理量

- 扣除作業場所背景噪音

$$L_{eq} = 10\log\left(10^{L/10} - 10^{L_b/10}\right)$$

聲音合成 – 牛刀小試 Q

- 某機械測得90 dB，兩台機械則為？
- 三個L = 85 dB之聲音合成
- L_1 = 85 dB及L_2 = 79 dB聲音合成

Note: L除10轉回Bell，以log的反函數，10次方轉回原始物理量

複數噪音源 Q

- 4部機械，各別距5m處測定噪音為88dB，若該四部機械置於同一處，距5m測定之音壓級應為多少？

L_1與L_2差值	0 ~ 1	2 ~ 4	5 ~ 9	10
加值	3	2	1	0

兩音壓級相減概算表

- 常用於背景噪音存在狀況之音源音壓級計算，計算某特定音源發出的噪音量時，需先扣除作業場所背景噪音

音壓級相差≧10dB，較低者可忽略不計

L_1與L_2差值	1	3	4 ~ 5	6 ~ 9
加值	-7	-3	-2	-1

噪音測定綜合題組 Q

- 自由音場甲勞工暴露於穩定性噪音環境5hr，以噪音計測定，每分鐘讀取1次並記錄4分鐘，結果資料為82, 87, 88, 81 dB，求此噪音測定平均值、對應容許暴露時間T以及暴露劑量Dose

噪音測定綜合題組 Q

- 承上題，甲勞工之後又在距離音功率為0.05W另一穩定性線音源5m工作3hr，試計算甲勞工當日總暴露劑量Dose與工作日全程暴露之時量平均音壓級TWA_8