



題目：設計生產馬來酐，年產量 50,000 公噸之製程

說明：

1. 順丁烯二酸酐簡稱馬來酐(Maleic Anhydride)，主要用來製造不飽和聚酯樹脂、1,4-丁二醇(BDO)、 γ -丁內酯(GBL)、四氫呋喃(THF)、丁二酸、添加劑、醫藥等重要的有機化學品和精細化學品。

表一：馬來酐產品之規格需求

物態	顆粒
純度	99.9% by wt. 以上
不純物：	
Acrylic Acid	300 ppm by wt.
Phthalic Acid / Anhydride	200 ppm by wt.
Solvent	200 ppm by wt.
Acetic Acid	150 ppm by wt.
Metals (as Fe)	5 ppm by wt.

表二：液態正丁烷之規格

物態	液體
溫度， $^{\circ}\text{C}$	25
壓力， $\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$	2
<u>組成</u> ，wt%	
N-Butane	99.50%
i-Butane	0.35%
i-Pentane	0.04%
n-Pentane	0.05%
Heavy Ends	0.05%

2. 製程提示：

正丁烷氣體，使用固定床或流體化床反應器，在鈮-磷系觸媒催化下，氧化生成。
設計要點如下：

- (1) 氧氣來源：使用空氣
- (2) 安全是首要，氧化反應器之入口、出口組成必須避開可燃範圍，參考文獻(1)，(2)
- (3) 設計 PCF (Process Control Flow Diagram)，特別是氧化反應器之控制與安全防护
- (4) 盡可能減少水污染、空氣污染

3.原物料及公用流體之價格，如表三所示

表三：原物料及公用流體之單價

正丁烷 (純度 99.5% by wt.)	CP & Crude (ICP) & European butane markets
馬來酐 (純度 99.9% by wt.)	ICIS
飽和蒸氣 (壓力 20 kg/cm ² G)	1700 元台幣/公噸
電力	4.5 元台幣/kWh
純水	30 元台幣/公噸
冷卻水 (供應 33 °C，回水不得超過 43°C)	2 元台幣/公噸
冷凍水 (供應 5 °C，回水不得超過 10°C)	5 元台幣/公噸
廢水處理	15 元台幣/公噸

4.參考文獻：

- (1) Ali, E., El-Harbawi, M., "Optimal inflammable operation conditions for maleic anhydride production by butane oxidation in fixed bed reactors", Chemical Papers, <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0444-4>.
- (2) Marszai, E. M., Mitchell, K. J., "Oxidation Reaction Safeguarding with SIS (Safety Interlock System)", Kenexis report, December, 2003.
- (3) Sharma, R. K., Cresswell, D. L., Newson, E. J., "Kinetics and Fixed-Bed Reactor Modeling of Butane Oxidation to Maleic Anhydride", AIChE Journal, 37, 39-47, 1991.
- (4) Partopour, B., Dixon, A. G., "N-butane partial oxidation in a fixed bed: A resolved particle computational fluid dynamics simulation", Canadian Journal of Chemical Engineering, 96, 1946-1956, 2018.
- (5) Lesser, D., Dynamic behavior of industrial fixed bed reactors for the manufacture of maleic anhydride, Ph. D. Dissertation, Technischen Universität Clausthal, Clausthal, Germany, 2016.
- (6) 或可用之後發表的論文取代: Lesser, D., Mestl, G., Turek, T., "Modeling the dynamic behavior of industrial fixed bed reactors for the manufacture of

maleic anhydride”, Chemical Engineering Science, 172, 559-570, 2017.

- (7) Technology Profile - “Maleic Anhydride From N-Butane (Fixed-Bed Process), Chemical Engineering by Intratec Solutions”, Chemical Engineering Magazine, December, 2015, page 33.