

## 落實清潔生產理念於研發階段之作法

蘇宗榮\*

### 摘 要

清潔生產是一自始即規劃，儘可能不讓生產製程、產品以及服務活動對環境產生有害影響之理念。所有之生產活動皆源自於研發階段，研發階段若能融入清潔生產理念，將可使研發成果落實於實際生產時，減少對環境之衝擊。本文將剖析清潔生產理念在研發階段之必要性，並提出三種清潔生產指標，可據以評估一研發或量產製程或產品之清潔程度。此三種量化指標之計算方式將以苯乙烯製程為例說明之。文中最後將針對研發執行前、執行中和執行後，如何融入清潔生產理念之可行作法提出建議。

#### 【關鍵字】

1. 清潔生產(cleaner production)
2. 研發階段(R&D stage)
3. 清潔生產指標(cleaner production indices)
4. 廢棄物生成量指標(waste generation index)
5. 能源耗用指標(energy consumption index)
6. 危害性指標(hazard index)

---

\*工業技術研究院化學工業研究所副所長兼中華民國清潔生產中心主任

## 一、前言

清潔生產是一自始即規劃，儘可能不讓生產製程、產品以及服務活動對環境產生有害影響之理念。其與傳統環保理念最大之不同點在於傳統上，遇到環境層面的問題，首先想到的是如何解決此環境問題；而清潔生產則是先考慮為什麼會產生這樣的環境問題，由源頭去解決，而不只是針對已產生之問題去想解決之道。這種理念在一九九〇年由聯合國環境規劃署提出後，已引起世界各國廣泛之重視。各個國家不僅依其產業及活動特性，選擇重點積極推動，而且各區域性組織，例如亞太經濟合作組織(APEC)亦以清潔生產為區域性活動之重點，可以預見清潔生產將成為未來產業活動依據之重要理念。

清潔生產理念之所以如此受到重視，是因近年來之研究顯示百分之七十之環境問題，皆來自於設計階段，包括產品設計、製程設計和管理系統之設計，而設計階段之想法，則源自於研發階段，若能在研發階段即納入清潔生產之理念，則可大幅減少環境的問題。

## 二、清潔生產理念在研發過程之必要性

清潔生產理念在研發過程之必要性，除了前述百分之七十之環境問題皆源自於研發設計外，清潔生產理念若已融入研發過程中，研發成果落實於實際量產時，量產技術即具備清潔生產之本質；且參與研發之人員即具備清潔生產理念，可為推廣清潔生產之種子人員，對提升整體產業界進入清潔生產將產生很好之相乘效果(圖1)。

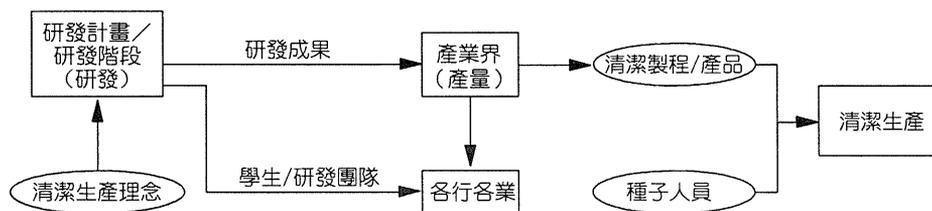


圖1 融入清潔生產理念於研發階段可產生之效益

此外，由研發階段作起，通常是在發展新製程。新製程比舊製程更易執行清潔生產理念，除了因其無舊製程之既有包袱外，美國化學工業製造者協會之研究發現在研發階段融入污染預防理念，最具經濟效益(圖2)。因此在研發階段整合清潔生產理念，不僅有其必要性，且具經濟性。

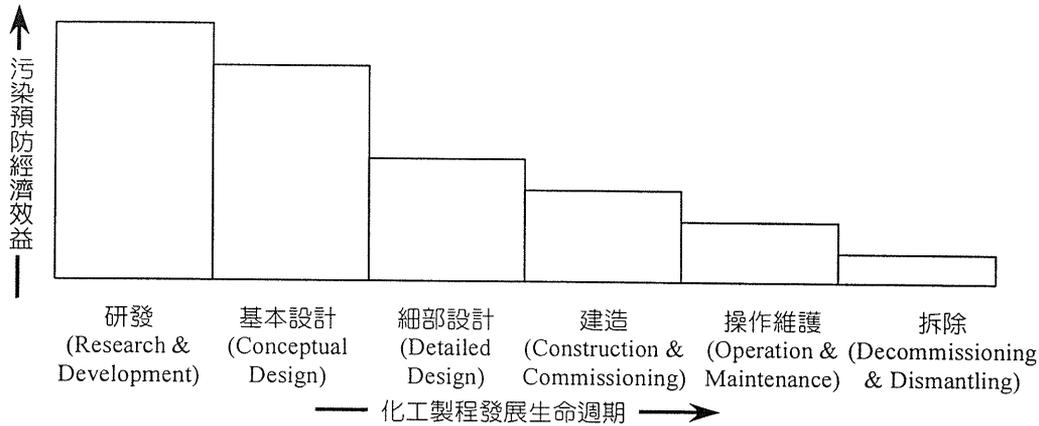


圖2 污染預防經濟效益(p2 cost effectiveness)與化工製程開發階段之關係

對我國產業來說，清潔生產更有其必要性。根據調查，我國製造業及非製造業廢棄物每日產量(表1)在三萬二千多噸規模，其中有害廢棄物量近一千七百噸。這些廢棄物若不能減少其之產生，或將其轉變為有用之副產物，將需予以處理。根據最近之一調查顯示，廢棄物之成本並不只限於處理成本。除了處理成本外，尚包括原料成本和人工成本，其中又以原料成本為最大宗。換言之，廢棄物之產生係因產業界未能將花錢購入之原料有效地轉變為有價之產品。若能在研發階段，開發出一有效之清潔生產製程，將原料皆轉換為有價之產品，不僅可省去廢棄物之處理費用，且可出售更多之產品，將可大幅降低生產成本，提升一企業之競爭力。以杜邦公司為例，其新近開發之一尼龍生產技術已使得尼龍產品回收率由過去之百分之七十五提升至百分之九十二，大幅減少工廠之廢棄物。此外，原料之利用率可高達99.8%，除了生產尼龍外，產生之副產品皆善加運用，開發市場需求。根據杜邦公司之報導，在一九九七年秋季，其位於Chattanooga之工廠廢棄物處理設施將關閉不用，工廠廢水將直接導入城市污水處理場。杜邦公司估計，此清潔生產製程產生之經濟效益不只是節省每年二十五萬美金之廢棄物處理費用，最大之效益將來自於未來需投資之二千萬美元之廢棄物處理設施改善費用。此實例說明減少廢棄物之產生，不僅對環境有正面之影響，對公司之經濟利益亦是顯而易見的。

由此可見，以有效利用資源和能源，由根源著手之清潔生產理念，確能增強產業之競爭力，同時亦可符合法規之要求。落實清潔生產理念將可與社會認同和企業形象產生良好之互動關係，可使產業邁向永續發展之境界(圖3)，其重要性不言自明。

表1 我國製造業及非製造業廢棄物日產量

行業別	總量(公斤/日)	有害比例	有害廢棄物(公斤/日)
食品業	9,525,245	0.14%	13,355
金屬基本工業	9,338,906	4.79%	447,334
化學材料業	1,815,034	24.98%	453,395
金屬製品業	1,678,304	20.93%	351,269
木材及傢俱業	1,476,617	0.12%	1,772
非金屬礦物業	1,395,721	0.12%	1,675
電力及電子業	1,334,201	15.17%	202,398
造紙及印刷業	1,160,546	0.69%	8,008
塑膠製造業	978,994	0.27%	2,643
機械設備製造業	814,898	6.65%	54,191
運輸製造業	751,882	9.91%	74,512
紡織業	719,920	0.41%	2,952
橡膠製造業	375,493	0.01%	38
飲料煙草業	241,857	0.00%	0
皮革毛皮業	189,882	28.73%	54,553
化學製品業	147,952	10.68%	15,801
成衣服飾業	46,655	0.21%	98
精密器械製造業	36,941	9.38%	3,465
石油及煤製造業	7,157	19.31%	1,382
雜項工業	591,752	0.57%	3,373
非製造業	34,418	7.13%	595
總計	32,662,176	5.18%	1,691,901

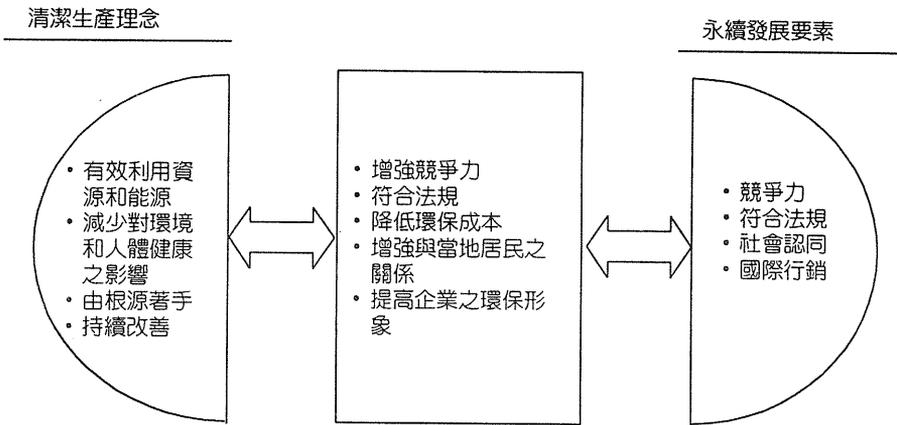


圖3 永續發展之基礎及與清潔生產之關係

### 三、清潔生產評估工具

依據清潔生產之定義，有效利用資源和能源，儘可能不用有害物質是最重要之課題。因此要評估一研發規劃或量產技術是否為清潔生產，可以三項指標為評估工具，其分別為廢棄物生成量指標，能源耗用指標和危害性指標。

所謂廢棄物生成量指標是指生產一重量單位、產值單位或其他單位產品廢棄物之量；此指標可用以評估購入原材料或水資源有效利用情形。能源耗用指標是指生產一重量單位、產值單位或其他單位產品所需耗用之能源，由於能源種類不同，因此需將各種能源轉換為同一單位。危害性指標是指生產一重量單位、產值單位或其他單位產品所用危害性物質之量。以下以一苯乙烯製程說明此三項指標之計算方法。

在計算清潔生產指標時，首先需了解產品製程，建立流程圖，同時確定製程之投入和產出，建立質量平衡表。為便於分析，製程之投入(原料和水)和產出(產品和廢棄物)儘可能分別列於流程圖之二邊。圖4為苯乙烯製造流程圖。表2為該製程之質量平衡表。由表2，本製程之廢棄物，若包括水資源，為 $(191,630 - 133,436 = 58,194)$ 公斤，產品量為133,436公斤，因此廢棄物產生量指標為 $58,194 / 133,436 = 0.436$ 公斤廢棄物/公斤產品；若不考慮水資源，則生產一公斤苯乙烯，產生之廢棄物為0.116公斤。

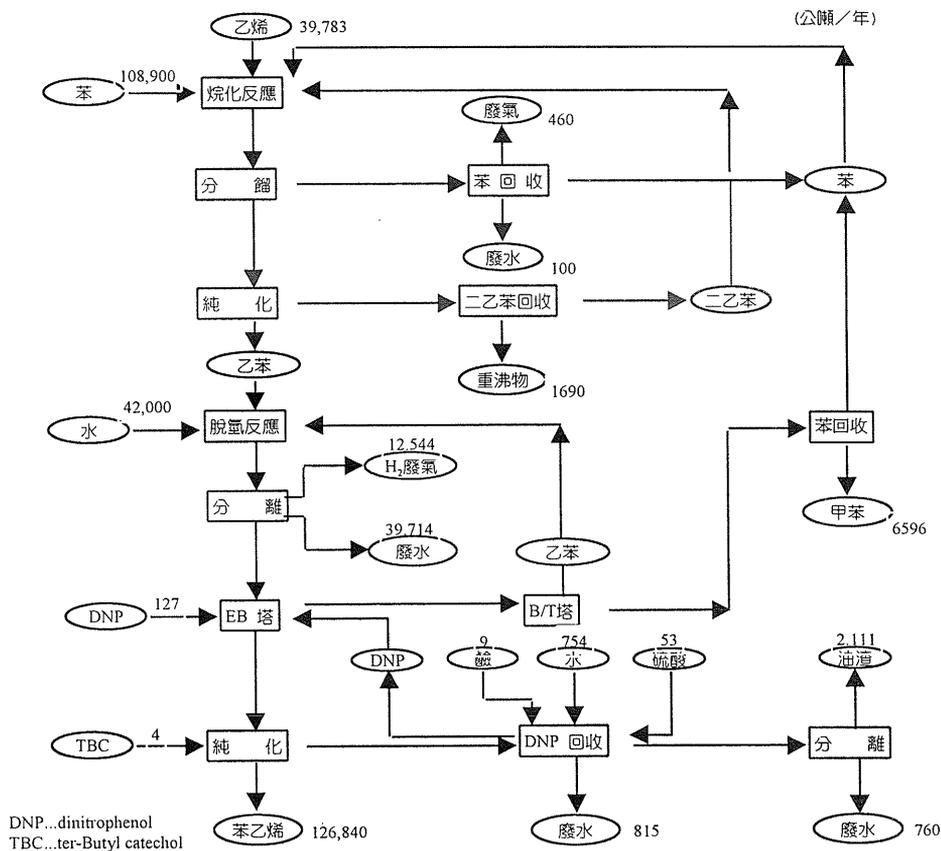


圖4 苯乙烯製造流程圖

根據製程所用能源分析，本製程所用之能源包括冷卻水、蒸汽、製程水、電力、惰性氣體、天然氣等，將所用能源之用量應用能源會公告之熱值表轉換為統一單位，例如油當量，則可得表3之油當量耗用情形，由此表可以得出生產一公噸之苯乙烯，需402公升之燃油。

要計算苯乙烯製程之危害性指標，首先需收集此製程之毒性物質資源。根據苯乙烯製程之分析，此製程可能使用或產生之毒性物質包括苯、乙烯、苯乙烯、DNP、乙苯和甲苯，其毒性資料綜合於表4。依據毒性資料和各化學品之蒸氣壓，以下列公式計算各化學品之危害性指標：

$$VHI = VP_{25}(\text{mmHg}) / (\text{TLV或PEL})$$

依據各化學品之單位用量可進一步計算製程之危害性指標。所得之結果綜合於表5。由表5可見以苯為原料，是產生危害性最大之來源。若要降低此製程之危害性，可研發不以苯為原料之新製程，目前美國Dow Chemical已發展一由丁二烯(butadiene)為原料之苯乙烯新製程，其經濟性和環保性相當被看好。

危害性指標 = VHI × 單位用量

表2 苯乙烯製程之質量平衡表

(噸/年)

投入		產出		
名稱	數量		名稱	數量
乙烯	39,783	產 品	苯乙烯	126,840
苯	108,900		甲苯	6,596
二硝基酚	127			
其他化學品	66	廢 棄 物	廢氣	13,004
水	42,754		廢水	41,389
沸石觸媒	5*		油渣	3,801
氧化鐵觸媒	200*			
合計191,630 (191,835*)		191,630		

\* 固定床觸媒，二年換一次

表3 苯乙烯製程能源耗用分析表

項 目	單位	用量/噸	轉換因子	油當量
1 冷卻水	M <sup>3</sup>	80	0.28*	22.4
2 蒸汽	Ton	2.6	80**	208.0
3 製程水	M <sup>3</sup>	1.8	0.61*	1.1
4 電力	KWH	193	0.24**	46.9
5 惰性氣體	NM <sup>3</sup>	5.9	0.27*	1.6
6 天然氣	10 <sup>6</sup> cal.	1,108	0.11**	122.0
合 計				402.0

註： \*水及惰性氣體以價格換算

\*\*蒸氣、電力及天然氣以熱值換算

表4 苯乙烯製程相關化學品之毒性資料

項目	苯	乙炔	苯乙烯	DNP	乙苯	甲苯
中華民國 TKV	10ppm(皮) (84.9) 5ppm (皮,瘤)	—	10ppm (84.9) 5ppm (皮)	—	—	10ppm(皮) (84.9) 100ppm (皮)
OSHA PEL	1ppm	—	50 ppm (皮)	—	10ppm	100 ppm
IDLH	Ca (A <sub>2</sub> )	—	5,000 ppm	—	2,000ppm	2,000 ppm
LC <sub>50</sub>	10,000ppm/7h	—	24,000 mg/m <sup>3</sup> /4h	—	—	<26,700ppm/1h
LD <sub>50</sub>	930mg/kg	—	5,000 mg/kg	30 mg/kg	3500 mg/kg	636mg/kg

表5 苯乙烯製程主要化學品之危害性指標

化學品名稱	Vapor Pressure at 25°C (mm Hg)	TLV (PPM)	VHI	單位用量	HZI
苯	96	10	9.6	0.86	8.26
乙苯	9.6	100*	0.1	1.09	0.11
甲苯	28	100	0.36	0.05	0.02
苯乙烯	7.3	100	0.07	1	0.07
合計					8.46

\* 國內無乙苯之標準，故採用美國OSHA之標準進行分析

#### 四、清潔生產理念落實於研發階段之可行作法

由於研發階段皆為小規模之實驗，不易進行能源耗用評估，建議研發階段以考慮廢棄物生成量指標和危害性指標為主(圖5)。

在執行計畫前，先了解相同或類似製程或產品之清潔生產指標值，找出參考點；再以擬研發之製程或產品，以預期回收率，估算預期產生之廢棄物量以及了解規劃製程中有無使用危害性物質，擬定改善方案。

在執行計畫中，持續蒐集新製程或產品趨勢，法規管制方向，以及操作作業程序之改進對策，掌握國際技術進步情形和研發過程之改善空間。

計畫執行後，將有足夠數據可據以建立質量平衡表，和掌握危害性物質用量，因此可精算研發製程或產品之清潔生產指標，此指標可作為日後研發類似製程或產品之比較基準。

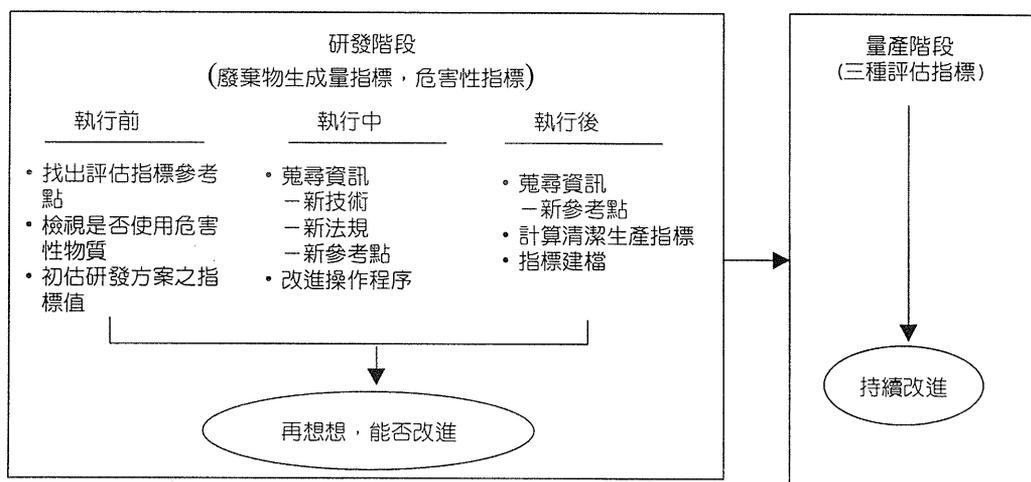


圖5 落實清潔生產理念於研發階段之可行作法

## 五、結 論

清潔生產是一自始即規劃，儘可能不讓生產製程、產品以及服務活動對環境產生有害影響之理念。所有之生產活動皆源自於研發階段，若在研發執行前、執行中和執行後，皆能充分融入清潔生產理念，以量化指標評估研發規劃及結果，並與參考點作比較，將可使研發階段之成果於落實量產時，不僅對環境之衝擊減至最低，且由於資源和能源能更有效利用，廢棄物產生量減少，將可降低生產成本，提升產業之競爭力。

## 參考文獻

1. 蘇宗榮，清潔生產技術，化工資訊月刊，第十一卷第七期，中華民國八十六年七月。

- 2.CMA, Cost Effectiveness of Pollution Prevention Modifications during the Life-Cycle of a Chemical Process, 1993.
- 3.Business Quarterly, 56(4), Spring, pp.49-54. 1992.
- 4.S.L. Wilkinson, Green is practical, even profitable C&EN, August 4, pp.35-43. 1997.

Copyright © 2003 by Taylor & Francis Ltd. All rights reserved. This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly.