

# 推動石化產業製程安全管理之展望

廖宏章 | 高雄科技大學 特聘教授



## ► 壹、簡介

發生於1984年造成至少3,700人死亡、570,000人受傷的波帕（Bhopal）事件被認為是史上最嚴重的工業災害[1]；因農藥工廠於歲修清洗管線過程發生異氰酸甲酯（Methy Isocyanate, MIC）與不相容性物質水接觸產生大量MIC蒸氣，又因相關防護系統的失效（包括：冷凍系統故障、洗滌塔沒有裝液鹼、洗滌塔與燃燒塔間連接管線因歲修而拆除、水幕系統高度不夠等）造成嚴重的災害。事後的檢討認為，該事故的主要原因不在於工程防護不夠，而是安全管理出了問題，而傳統的職業安全管理明顯不足，因而提出了安全管

理需與製程相結合，即須以製程安全管理（Process Safety Management, PSM）來降低該事故的風險。事實上，波帕事故發生以前，國際上已發生過多起重大化學災害事故，如：1974年的Flixborough事故，即因為28吋的管線改為21吋的管線時未做好評估，發生30,000公斤的環己烷洩漏爆炸，造成28人死亡，將近百人受傷。這些重大化學災害事故讓人們發現，單靠傳統的職業安全管理，無法有效降低化學製程的重大事故風險，必須利用製程安全管理的方式才能降低重大事故的風險。

傳統的職業安全事故（如捲夾、墜落、滑倒），特性為發生頻率高但嚴重性相對較低，而製程安全事故（如火災、爆炸、毒性物質外洩），其特性則為發生頻率低但嚴重性高。因此須以製程危害分析的方式辨識製程中的潛在危害，從而採取相應措施，石化產業因使用到多種高危害化學物質，其事故特性屬於高嚴重性，業者了解該產業事故的高嚴重性特性，並於製程設計時採用多層防護以避免嚴重事故的發生，也因此可將重大事故的發生控制於較低的頻率。因此依石化產業的事故特性，實施製程安全管理，將重大事故的風險控制在可接受的範圍，是必要的。

## ► 貳、國內石化產業製程安全管理現況

波帕事故後，為了避免或降低高危害化學品外洩衍生的後果，1992年美國職業安全衛生署（Occupational Safety and Health Administration, 以下簡稱U.S. OSHA）發布了「高危害化學物質製程安全管理（Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals）」法規29CFR 1910.119 [2]，要求具有高危害化學品的量超過規定量的製程須實施製程安全管理的14個單元。參考美國的規定，我國的行政院勞工委員會（已於103年改制為勞動部）依據民國82年公布的「勞動檢查法」[3]第26條，於民國83年通過「危險性工作場所審查暨檢查辦法」[4]，該辦法為台灣最早的製程安全管理法規，要

求具有危險性工作場所之事業單位實施初步危害分析，以發掘工作場所重大潛在危害，並針對重大潛在危害實施製程安全評估，促使我國包括石化及使用化學品之事業單位重視及執行製程安全管理。

2010年，台塑集團發生了三起重大的火災爆炸事故（7月7日OL-1事故、7月25日RDS#2事故、10月3日南亞嘉義廠事故），該三起重大火災爆炸事故引起的輿論力量讓台塑集團面臨很大的壓力，因此台塑集團邀請了美國德州農工的S. Mannan教授至麥寮廠區進行診斷，Mannan教授建議台塑集團實施製程安全管理制度來降低重大製程安全事故的風險，加上集團內部最高層主管的支持，台塑集團正式用心開始推動製程安全管理，此事件讓台灣石化產業的製程安全管理推動發生了重大轉變。台塑集團撥出大量資金引進國外的製程安全管理工作，並尋求國內專家學者協助，使台塑集團的製程安全管理前進指標，與國內石化產業其他公司產生了差距。雖然在台塑集團開始



用心優化製程安全時，台塑麥寮廠區仍於2011、2012年發生數起火災爆炸事故，但隨著時間之推進，製程安全故事的風險也逐漸降低。鑒於製程安全管理的推動，讓台塑集團的重大製程安全事故風險逐漸受到控制，勞動部職業安全衛生署（以下簡稱職安署）擬訂了「石化及化學工廠製程安全管理監督及檢查注意事項」，並要求大型石化廠推動製程安全管理。以高雄市為例，勞工局勞動檢查處（以下簡稱勞檢處）於民國103年即要求中油高雄煉油廠、中油大林煉油廠、中油林園石化廠、大連化工大發廠、台塑林園廠優先推動製程安全管理；職安署中區職安衛中心也對轄區內麥寮工業區台塑集團各廠、長春集團麥寮與苗栗廠區、中石化頭份廠以及華夏海灣進行製程安全管理查核。民國103年底職安署依「職業安全衛生法」[5]第15條授權訂定發布「製程安全評估定期實施辦法」[6]，要求從事石油裂解之工作場所，或製造、處置、使用危害性化學品達一定量之工作場所，需實施製程安全管理的14個單



元，經濟部工業局（已於112年9月改制為經濟部產業發展署，以下簡稱工業局）也藉著總體檢陸續對麥寮工業區、林園工業區的石化產業實施製程安全管理查核。

長春集團的大連化工大發廠，於民國103年被高雄市勞檢處指定須優先推動製程安全管理，經過一年的推動，大連化工大發廠通過高雄市勞檢處查核後，加上職安署對國內大型石化業的製程安全管理查核及台塑集團推動製程安全管理的成功轉型經驗，讓國內第二大民間石化集團－長春集團開始考慮認真推動製程安全管理，由協助大連化工大發廠推動製程安全管理的集團安環本部統籌規劃、推動，集團三家公司（大連化工、長春石化、長春人造）於國內的九個廠區依安環本部的規劃於各廠區內開始推動製程安全管理，為繼台塑集團後第二個認真推動製程安全管理的石化產業。

長春集團製程安全管理的推動，由安環本部先收集集團內部三家主要公司現有的製程安全管理制度進行整合，並引進外部的專家學者依製程安全管理的精神協助修改程序書，並積極辦理集團內部的製程安全評估訓練，提升製程安全評估的實務分析技巧。在爭取到推動製程安全管理的專職人員後，長春集團於各廠區設置製程安全工程師，與台塑企業的PSM專員不同，長春集團的製程安全工程師為較年輕的專職工程師，負責整合、協調各廠區內的相關人員一同推動、執行製程安全管理，大部分的製程安全工程師具有現場



的實務經驗。為了掌握各廠區的製程安全管理推動績效，安環本部訂定了長春集團的稽核手冊，推動了三個層次的符合性稽核：PSM專家稽核、PSM 14項跨廠區稽核、PSM 14項各廠稽核，其中，PSM專家稽核為集團內部每年正式且最重要的PSM稽核，主要邀請外部專家學者，針對製程安全管理單元中與傳統職業安全管理差異性較大或階段性認為重要的幾個單元，每年選擇5到6個單元對國內9個廠區進行稽核（2022年增加納入信昌廠區共10個廠區），目前實施過的PSM專家稽核單元包括：製程安全資訊（PSI）、製程危害分析（PHA）、機械完整性（MI）、啟動前安全檢查（PSSR）、意外事故調查（II）、緊急應變（ER）、承攬管理（Contractor）、工作安全許可（HWP）。PSM專家稽核前會針對前一年的稽核結果及製程安全管理的新觀念，進行如何精進集團稽核手冊的討論。2020年後，針對PSM專家稽核結果，安環本部舉辦了稽核總結會議，邀請

各廠區廠長、製程安全工程師及製程安全管理推動相關人員參加。

原「危險性工作場所審查暨檢查辦法」發布實施後，中油公司即開始推動製程安全管理，但於工業局對其製程安全管理查核中，專家學者發現中油公司對製程安全管理的認知與製程安全管理的要求有所出入，對於製程安全管理和職業安全管理有所混淆，如承攬管理停留在國內法規對承攬人的要求。經濟部對中油公司的製程安全管理查核，促使中油公司決定認真的了解製程安全管理的要求，由總公司主辦，邀請專家學者對相關人員進行製程安全管理初階訓練，之後，三個主要生產廠區（桃煉、大林、林園）分別以不同的方式，引進外力協助推動製程安全管理，其他事業部也在總公司的要求下，推動製程安全管理。除了總公司的推動外，中油公司各事業部會針對各廠區的需求辦理相關訓練，協助各廠區推動製程安全管理，如煉製事業部即舉辦多場次的製程安全管理

精進訓練課程，部分訓練課程參加學員並不局限於煉製事業部成員，中油訓練所也配合各事業部需求，協助舉辦製程安全管理相關課程。三個主要生產廠區分別設有製程安全管理專責部門，依循總公司的規定推動製程安全管理（如大林廠製程安全組）。三個主要生產廠區的推動方式各自獨立並有所不同，如桃園煉油廠即邀請國外顧問公司協助推動，並配合職安署北區職安衛中心的製程安全管理查核進行精進；大林廠曾請國外顧問公司及外部專家學者協助，對廠區進行符合性稽核及建立符合性稽核制度後自行推動；林園廠會配合階段性任務，不定期邀請外部專家學者針對某些製程安全管理單元的精進作法給予建議。因特性不同，三個主要生產廠區製程安全管理實施的表單設計有所不同，但會結合其他大型石化集團使用的表單互相參考對照。相較於煉製、石化事業部三個主要生產廠區的製程，天然氣事業部的製程較簡單，但各廠區也配合總公司推動製程安全管理，並舉辦相關訓練課程，如永安廠至少舉辦過HAZOP、Procedural HAZOP及符合性稽核的相關訓練。

台聚集團的台氯、華夏海灣、華聚三家公司的產品或原料與氯乙烯單體（VCM）有關，經過職安署中區職安衛中心及高雄市勞檢處的製程安全管理查核後，決定於集團內先行推動製程安全管理，藉由外力的輔導建立初步的製程安全管理制度。台聚集團的台聚公司於相關主管對製程安全管理必要性的認知下隨後也開始推



動製程安全管理。麥寮工業區總體檢結束後，工業局開始針對林園工業區的石化產業進行總體檢，要求其推動製程安全管理。除了台氯、華聚外，台聚集團於林園工業區還有台達化、亞聚，工業局對林園工業區的總體檢促使了台達化、亞聚開始推動製程安全管理。於氯乙烯單體三家相關公司建立初步的製程安全管理制度後，台聚集團成立了設環處，其中一個業務即負責推動整個集團的製程安全管理。李長榮集團則建立自己的製程安全管理制度，集團會對集團內各廠區進行職業安全／製程安全／消防稽核，有時會找外部學者專家協同稽核，甚至由外聘學者專家組成稽核小組進行稽核（如小港廠）。針對某些特殊需求，李長榮集團會尋求外部學者專家針對特定製程安全管理單元進行稽核（如變更管理）。

如前述，職安署各區職安衛中心配合「石化及化學工廠製程安全管理監督及檢查注意事項」的公布，要求轄區內的大型石化產業推動製程安全管理並進行查核，

如：中區職安衛中心持續對麥寮工業區內各廠及轄區內的大型石化廠每年進行10場次的查核（配合工業局對麥寮工業區的總體檢曾暫停一段時間），已完成麥寮工業區內台塑企業各廠第一輪的查核，第二輪的查核目前進行中；北區職安衛中心也持續對轄區內的大型石化廠（如中油桃煉）進行製程安全管理查核。

由於正式推動的時間較早及最高層主管的支持，國內大型石化產業的製程安全管理推動，目前以台塑企業推動最有經驗，被石化產業業界認為推動績效最好。

台塑企業的製程安全管理推動並未局限於台灣的各廠區，現已推廣至海外，如大陸各廠區、越南仁澤廠區及越南河靜鋼鐵。台塑企業由企業總管理處之風險管理處制訂相關製程安全管理程序書，企業內四大公司（塑化、台塑、台化、南亞）依各公司的特性遵循總管理處的規定建立各公司的製程安全管理制度，對於OSHA製程安全管理14個單元，台塑企業依其企業特性做了部分修改，如：動火許可改為工作安全許可、商業機密改為採購安全及商業機密，涵蓋範圍較廣。各廠設有PSM專員負責推動製程安全管理，部分公司的PSM專員的位階為副廠長等級（如台化）。

為了確認各公司內各廠製程安全管理的推動情形，企業內部訂定了「製程安全管理績效查核作業要點」作為稽核手冊，並定期與不定期實施了不同等級的製程安全管理符合性稽核，包括：外部單位稽核和內部稽核，其中，外部單位稽核除了曾

邀請德州農工Mannan教授團隊進行外部稽核外，還包括了：第三公正單位外部稽核（聘請外部機構或外部專家學者實施稽核）、工業局稽核及職安署中區職安衛中心稽核，以2023年第三公正單位外部稽核為例，除了「製程安全管理績效查核作業要點」的內容外，強調了防護層的有效性；內部稽核則包括了總管理處稽核、總公司稽核、事業部稽核和各廠稽核。

針對重大火災爆炸事故，台塑企業設有專責單位「重大火災爆炸事故調查委員會」進行製程安全事故調查，於2019年的ARO-3事故和2020年的RDS#2事故中配合職安署中區職安衛中心的要求，邀請外部專業機構協助事故原因的釐清（如：由管壁減薄分析確認腐蝕機制）[7, 8]，提升事故調查的專業度。

## ◎ 參、製程安全管理的趨勢與精進

除了國內法規「危險性工作場所審查及檢查辦法」（由先前的「危險性工作



場所審查暨檢查辦法」修訂的法令)[9]和「製程安全評估定期實施辦法」[10]的要求外，國內石化產業於製程安全管理的推動過程中，最常參考的資訊為美國 OSHA 的「高危害化學物質製程安全管理」法規 29CFR 1910.119。除了法規本身的條文外，29CFR 1910.119 的內容還包括 Appendix，其中，Appendix C 製程安全管理符合性指引和建議 (Compliance Guidelines and Recommendations for Process Safety Management)，可做為製程安全管理執行細節的參考。

對於製程安全管理的推動，OSHA 的 29CFR 1910.119 提出了大方向的做法，而對於推動的細節和如何做得更好，美國的 CCPS/AIChE 針對許多製程安全管理單元編了很多的指引可供參考，並且不定期更新版本。實際上，這些資料也都是國外製程安全管理輔導顧問公司、國內協助製程安全管理推動相關機構，以及專家學者常使用的參考資料。

除此之外，針對製程安全管理推動所需的相關技術／方法，CCPS/AIChE 也編了一些指引（如：保護層分析，LOPA）。2007 年，CCPS/AIChE 編了「以風險為基準的製程安全指引 (Guidelines for Risk Based Process Safety)」[11]，書中將製程安全管理系統比喻為架構於 20 根支柱的建築物，而這 20 根支柱則建構於 4 個石墩上，20 根支柱指 20 個製程安全管理單元，而這 4 個石墩則將 20 個製程安全管理單元分成 4 個類型，即將 OSHA 的製程安全管理 14 個單元擴大為 20 個單元，這 20 個單元分成：對製程安全的承諾、理解危害與風險、管理風險和經驗中學習 4 個類型。

書中部分和原本 14 個單元相關的單元不只名稱做了修訂內容也做了提升，如製程安全資訊名稱改為製程知識管理 (Process Knowledge Management)，強調須將散亂的資訊變成有用的知識，並做有效的管理。2010 年中國大陸的安全生產行業標準—「化工企業工藝安全管理實



施導則」AQ/T 3034-2010 [12]採用的為參考 OSHA 製程安全管理 14 個單元，但不包括勞工參與和商業機密的 12 個製程安全管理單元，於 2022 年新修定的版本「化工過程安全管理導則」AQ/T 3034-2022 [13]則為參考 RBPS 的 20 個製程安全管理單元版本。

2017 年美國加州勞資關係部 (Department of Industrial Relations, DIR) 公布了「石油煉油廠的製程安全管理 (Process Safety Management for Petroleum Refineries (Title 8, Section 5189.1))」[14]，該法規對於製程安全管理的推動目的和涵蓋範圍說明，比 OSHA 法規更符合實務上的需求。OSHA 的 29 CFR 1910.119 的制定目的為：避免或降低毒性、易燃性、反應性、爆炸性化學品大量外洩衍生的後果，這些洩漏可能造成毒性、火災爆炸危害，而加州 DIR 法規則提到：本節包含對煉油廠降低重大事故風險、消除或最大程度減少員工可能面臨的製程安全危害的要求，而重大事故的定義為：製程中或影響製程的事件，導致火災、爆炸或高危害物質外洩，並可能導致死亡或嚴重的人身傷害。

DIR 法規的目的清楚的澄清了製程安全管理的應用範圍不是只侷限於化學品外洩衍生的危害，包括製程內部的火災爆炸 (如氧化反應製程)、反應性危害均屬於其應用範圍。DIR 法規在符合 OSHA 29CFR 1910.119 的基礎上，對製程安全管理各



單元給出了更明確的要求，如：對於事故原因，OSHA 只要求事故調查報告須包括造成事故的原因，但 DIR 則明確指出應通過根本原因分析確定導致或促成事件的因素，包括直接原因、間接原因和根本原因。

除此之外，文獻上一直有許多與製程安全管理相關的研究報告被提出來，除了實施細節、各國的製程安全管理推動現況介紹 [15-18] 外，針對一些重大製程安全事故，文獻上有許多探討該事故的發生與製程安全管理推動上缺失的關聯性，如：中國大陸的天津爆炸案、台塑麥寮六輕園區的 RDS#2、ARO-3 事故 [7, 8, 19]，這些研究報告往往發現了許多一般製程安全管理指引沒提到但現場遭遇到的實務問題，並提出了建議的解決方式，如 RDS#2 事故提醒了只實施 Normal HAZOP，無法有效辨識非常規作業的操作危害，必須以 Procedural HAZOP 來協助辨識操作上的危害，該事故也促使了台塑集團、長春集團和中油公司部分廠區推動 Procedural HAZOP，也讓其他大型石化公司開始思考

是否執行 Procedural HAZOP，如台聚公司已開始對部分操作程序展開 Procedural HAZOP 分析。由國際上發生的重大製程安全事故案例研究報告所提出的發現和做法可作為補充相關指引的不足，作為石化產業提升製程安全管理制度的參考。

## ► 肆、結論

我國石化產業目前的製程安全管理推動依循「危險性工作場所審查及檢查辦法」

和「製程安全評估定期實施辦法」規定，大型石化業的推動也以符合美國 OSHA 29CFR 1910.119 的要求為目標，並參照職安署訂定之各項製程安全管理指引及參考手冊，推行製程安全管理作為；另參考 RBPS 的精神和 DIR 的要求來精進製程安全管理。整體而言，遵循職安署推行的各項製程安全管理法規及政策、RBPS 的精神、DIR 的要求和重大製程安全事故的經驗學習，應是國內石化產業未來提升製程安全管理的目標。



## 參考文獻

1. Government of Madhya Pradesh: Bhopal gas tragedy relief and rehabilitation department, Bhopal, Available at: <https://web.archive.org/web/20120518020821/http://www.mp.gov.in/bgtrrdmp/relief.htm/>.
2. OSHA (USA). Process safety management of highly hazardous chemicals. USA: Occupational Safety and Health Administration, 1992. (29 CFR 1910.119).
3. 行政院勞委會，勞動檢查法，中華民國 82 年。
4. 行政院勞委會，危險性工作場所審查暨檢查辦法，中華民國 83 年。
5. 勞動部，職業安全衛生法，中華民國 102 年。
6. 勞動部，製程安全評估定期實施辦法，中華民國 103 年。
7. 勞動部，製程安全評估定期實施辦法，中華民國 109 年修正。
8. Liaw, H.-J., Liu C.-C., Wan J.-F., Tzou T.-L., “Process safety management lessons learned from a fire and explosion accident caused by a liquefied petroleum gas leak in an aromatics reforming unit in Taiwan.” *J. Loss Prevent. Proc.*, 83, 105058 (2023).
9. Liaw, H.-J., Liu C.-C., Wan J.-F., Tzou T.-L., “Process safety management lessons learned from a fire accident caused by the reverse flow of high-pressure gas in a residual desulfurization process in Taiwan.” *Proc. Saf. Prog.*, 41 (4), 751-760 (2022).
10. 勞動部，危險性工作場所審查及檢查辦法，中華民國 109 年修正。
11. CCPS/AIChE, 2007. Guidelines for Risk Based Process Safety. John Wiley & Sons, Inc., NJ, USA.
12. 國家安全生產監督管理總局，化工企業工藝安全管理實施導則，2010 (AQ/T 3034-2010)。
13. 中華人民共和國應急管理部，化工過程安全管理導則，2022 (AQ/T 3034-2022)。
14. DIR, 2017. Process Safety Management for Petroleum Refineries (Title 8, Section 5189.1). Department of Industrial Relations, State of California, USA.
15. Zhao, J., Suikkanen, J., Wood, M., 2014. Lessons learned for process safety management in China. *J. Loss Prevent. Proc.*, 29, 170–176.
16. Besserman, J., Mentzer, R. A., 2017. Review of global process safety regulations: United States, European Union, United Kingdom, China, India. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 50, 165–183.
17. Attwood, D., 2017. Regulation of Chemical Process Safety: Current Approaches and Their Effectiveness in Methods in Chemical Process Safety (Volume 1). Elsevier Inc., Cambridge, 255–325.
18. Kwon, H.-M., Lee, C.-J., Seo, D., Moon, I., 2016. Korean experience of process safety management (PSM) regulation for chemical industry. *J. Loss Prev. Process.* 42, 2–5.
19. Huang, P., Zhang J., “Facts related to August 12, 2015 explosion accident in Tianjin, China.” *Proc. Saf. Prog.*, 34 (4), 313-314 (2015).