

# 歷史會重演 - - 看 BP 德州煉油廠事件的前車失鑑

藍坤煌

中油公司煉製事業部桃園煉油廠

## 一、前言

2005 年 3 月 23 日，英國石油(BP)在美國德州的 Texas City 煉油廠發生 1990 年以來美國產業界最重大的災害事故，造成 15 人死亡及 180 人受傷，受到全世界的關注。二年之後的 2007 年 3 月，美國化學安全與災害調查局(U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, CSB)公布調查報告，直指 BP 公司各階層皆存在組織上及安全上的缺失才導致此次事故。其實，2000 年 5 月 29 日至 6 月 10 日期間，BP 在英國蘇格蘭地區的 Grangemouth 煉油廠也曾接連發生三次重大事件，英國安全衛生署 (Health and Safety Executive, HSE)介入調查，調查報告於 2003 年 8 月 18 日出爐。這兩件事務都經過官方介入調查，CSB 發現其中有不少共同的問題點，並在報告中特別強調這個現象。

以下根據英<sup>(1)</sup>、美<sup>(2)</sup>兩國官方機構之調查報告，略述這兩次事故之經過，舉出調查所發現 BP 集團所屬兩座工廠一前一後發生事故時所存在共通的問題，藉以探討事故學習之困難所在，以及製程安全之重要，並提出值得吾人思考與學習、提升工廠安全之對策。

## 二、2000 年 5、6 月間 BP 英國 Grangemouth 煉油廠之事故

### (一) 英國 Grangemouth 煉油廠

位於英國蘇格蘭首府愛丁堡(Edinburgh)西方 20 英哩，是 BP 集團唯一集產油、煉製、石化於一處之生產基地，設有碼頭。佔地 700 公頃，廠區有一條通往 Grangemouth 市區的 A904 號公路經過，將工廠分割成南北兩區。1924 年開始生產，共有員工 2,000 人，在工廠附近的蘇格蘭中部地區有協力廠商共約 11,000 人。

該廠先是在 2000 年 5 月 29 日，發生電氣設備事故，導致部分電力供應中斷及工場停爐，Flare 冒煙。然後，在 6 月 7 日，因為 A904 號公路旁邊 9 公尺、一條與公路平行之 18”中壓蒸汽管線破管，圍籬損壞，300 公尺外一位遛狗婦人受驚嚇被狗絆倒，公路被封閉，直到 6 月 22 日才重新開放通行。後來被罰款 £ 250,000。三天後的 6 月 10 日，又發生 FCC 工場開爐時油氣洩漏，引發大火，被罰款 £ 750,000。

#### (二) 2000 年 5 月 29 日電力中斷事故

2,000 年初開始興建乙醇廠，包括從 5 號變電站鋪設一條 11kV 電纜；開挖 700M 長度，已知附近有一條連接 1 號與 5 號變電站之 33kV 電纜。5 月 25 日，一鋪設電纜工人發現該條 33kV 電纜被挖破皮，但未依規定報告(該工人稱當時以為應該有人已經報告，所以未重複報告)。5 月 29 日 18:07，破皮處發生接地(記錄顯示接地電流達 3000A，歷時約 1sec)，應作動之斷路器失效，使上一層的兩個斷路器作動，導致 1,5,10 號變電站電力供應中斷。

#### (三) 2000 年 6 月 7 日中壓蒸汽管線破裂

5 月 30 日，發生斷電過後約 12 小時，經過 A904 公路涵洞下方成 U 形的 18”中壓蒸汽管線系統曾發生巨大聲響，現場出現大量水蒸汽，懷疑有蒸汽洩漏，因此於 6 月 2 日及 5 日安排檢查，但檢查人員未被告知有過巨響；檢查之前將持續噴洩的祛水器關斷，但事後未復原。因為該管線一端的關斷閥有內漏，底部的祛水器被關斷，6 月 7 日 23:18，管內冷凝水累積過高，發生水槌(Condensation induced water hammer)，使管線的三通(Tee) 爆裂，大量蒸汽外洩。

#### (四) 2000 年 6 月 10 日 FCC 工場油氣洩漏火警

FCC 工場因 5 月 29 日電力中斷而停爐，6 月 9 日傍晚重新開爐，午夜時前段開爐完成。隨後主塔及吸收塔也順利進油，約 1:00 時到達去丁烷塔(E5)。6 月 10 日 03:19，去丁烷塔(E5)底部管線的 3“插 6”焊道破裂，大量油氣外洩，隨後引發大火，10:30 完全撲滅。

事後發現：

- 1.插焊焊道疲勞破裂。
- 2.標準設計應為三通，但實際為插焊(可能為 1951 年工場興建時之施工錯誤)。
- 3.該分支管曾經修改過，僅靠該焊道懸空吊著，支撐不良。
- 4.1998 年 revamp 後一直操作不順(事故前 11 週內曾經開爐 19 次，其中 7 次有進入後段操作)。
- 5.1999 年 3 月一條流量計傳送導管曾因震動而疲勞劣化。
- 6.E5 塔底管線曾多次發生震動，一個月前就發生過二次。
- 7.上述這些異常的訊息大都未適當報告或受到重視及處理。

### 三、2005 年 3 月 23 日 BP 美國 Texas City 煉油廠之事故

#### (一) BP 美國 Texas City 煉油廠

美國第三大、BP 集團最大的煉油廠(BP 在美國共擁有 5 座煉油廠)，位於美國德州休士頓東南方 30 英哩，占地 490 公頃(1,200 英畝)。共有 29 座工場，員工 1,800 人，事故發生當時，廠內有 800 位承商工人支援大修工作。

#### (二) 事故經過

2005 年 3 月 23 日 13:20，異構化工場在開爐過程中，一座分離塔排放出高可燃性的輕質油料，引發火警及數次爆炸，造成 15 人死亡、180 人受傷的事故：

1. 2:00 左右，異構化工場操作人員開始把油料引入分離塔。  
正常操作時，分離塔的液位通常在 6.5ft。分離塔底部裝有液位計，液位訊號有傳送到控制室。但是，這個液位計設計上無法量測 10ft 以上的液位。一旦液位超過 10ft，操作人員就無法知道確實的油料高度。  
後來，分離塔液位高過警報值，控制室有出現警報信號及聲響，但是另一套同時運作(Redundant)的液位警報系統卻沒有作動。
2. 3：30 時，進料停止。  
這時液位顯示在 10ft。從此以後，液位計提供之訊息已不

正確！事後估算，當時正確的液位大約在 13ft。

3. 9：50 時，操作人員開始進料循環，持續把油料送進液位已經過高的分離塔，卻沒有正常的流出，控制流出量的閥也關著。
4. 10：00 時，操作人員點燃加熱爐，開始加熱進料，這是正常開爐的一部份。但操作人員不知道，這時塔內的液位正在持續上升，已達到正常液位的 20 倍高：138ft，而液位計卻指示在 10ft，而且訊號顯示是在下降當中！
5. 大約 12：40，分離槽高壓力警報作動，加熱爐 2 支燃燒器被熄掉，使溫度下降。因為控制壓力的閥沒有作動，操作人員操作鍊條把閥打開，把油料導到排放槽，通往大氣。
6. 13:00 時，操作人員打開塔底油通往油槽的閥，這原本有助於緩和分離塔的情況，但是進料持續被高溫的塔底油加熱到超過 150 。
7. 13:05 時，進料開始沸騰、膨脹，使液位持續上升。
8. 13:10 時，分離塔已完全充滿油料，並且從頂部管線溢流，在管內形成 150 ft 液位的靜壓。
9. 13:14 時，三個安全閥作動，液體油料開始經由排放管線，排到工場另一個角落的排放槽。部分油料溢流到暗溝，但排放槽的高液位警報並沒有作動，最後，整個排放槽充滿油料。  
附近的人員看到排放槽煙囪頂部噴出油料，持續約 1 分鐘噴出的油料落到地面，形成大片的蒸氣雲。
10. 13:20 分，蒸氣雲被點燃，產生劇烈的爆炸。火源經判斷是一部停在距離排放槽 25ft 遠的柴油小貨車。

#### 四、兩次事故調查所發現之共通性問題

##### (一) 英國 Grangemouth 煉油廠事故

###### 1. 該廠過去之事故

- (1) 1994-12，蒸餾工場火警，罰款 £ 50,000。

- (2) 1998 年，
- Flare 系統事故一人死亡，罰款 £ 250,000。
  - 氫裂工場爆炸事故一人死亡，罰款 £ 500,000。
- (3) 1999-07-27，新電力系統啟用時失誤，全廠停電，蒸汽中斷，工場停爐，Flare 大量排放。
- (4) 1999-11-20，FCC 工場開爐不順，重新開爐時爐膛超壓。
- (5) 1999-12-28，純水裝置之樹脂床差壓過大，樹脂外洩。
- (6) 2000-01-20，數座蒸汽鍋爐接連跳車，導致全廠停爐，一座鍋爐發生火災受損。

## 2.HSE 調查所做之建議與 BP 之回應

經過調查，HSE 針對 grangemouth 煉油廠此次段時間內接連發生三起重大事故，提出許多建議，其中包括：

- (1) HSE 認為廠方重視人員傷害事故之降低，將它作為安全績效之指標，而且控制良好，導致對於其安全績效過於樂觀，忽略了製程安全的管理。因此，

HSE 建議：

應超越傳統安全管理(跌倒、滑跤、墜落等)的層面，積極管理及降低風險，特別致力於製程安全與潛在重大危害風險的管理。

BP 回應：

已將集團的製程安全及完整性管理系統之全球性標準推廣至類似 Grangemouth 的高風險性工廠。

- (2) HSE 建議：應建立製程安全的績效指標(KPIs)，確實掌握、監督及通報其在製程安全上之績效。

BP 回應：已發展完整系列之 KPIs，足以顯現管控重大危害事故之重要部份。

- (3) HSE 建議：檢討自 1987 之氫裂工場以來諸多事故之相似性、安全之績效何時變差、為何持續改善之文化未能徹底落實。

BP 回應：專案小組已徹底檢討這些事故及其發生之原因，以及過去之安全績效，並已採取許多行動(部份已改善完成)。發展之製程安全 KPIs 將幫助 Grangemouth 持續監督其在製程安全上之表現，以及防範未來任何惡化之情形。

(4) HSE 建議：將安全保證(Safety Assurance)之程序列入集團之重點監督項目，尤其：

- A. 應評估及稽核防範重大危害事故之績效。
- B. 導入工廠可靠度審查機制，讓集團之層級能夠鑑別出可靠度不足之工廠。
- C. 製程安全審查報告之重要事項應送交集團進行分析。
- D. 檢討「事故前」專案審查---在安全績效惡化可能引發重大事故之徵兆出現時能夠及時啟動---之機制。

BP 回應：

- A. 已將多面向之要素列入製程安全績效衡量項目。
- B. 製程安全已列入集團層級之稽核要項。
- C. 各公司已透過許多系統將工廠之可靠度與安全相連結。
- D. 已對集團之重大事件通報進行分析以探究其共通之情境。
- E. 集團已透過發行之安全季刊定期分享事故資訊。
- F. 已實施交叉協助及交叉審查機制，以求事先改善安全績效。

(5) HSE 建議：BP 應將 HSE 調查所發現之事實與結論加以傳達，使其國內各廠能夠學習。

BP 回應：

- A. 針對此次事故的教訓，BP 已進行一項全球性及地區性之完整性管理審查。

- B. 也即將構建組織學習的機制，提高事故學習的能力。
- C. BP 已透過管道在國內溝通事故之事實。
- D. 相關事故與教訓已鍵入通報系統，藉由內部網路對每位員工公開。
- E. 針對此次事故已召集集團內之重要成員辦理研習營，除了傳播本次事故之教訓，也廣泛探討事故學習、安全系統與安全績效之改善等議題。

(6) HSE 建議：BP 應審查工廠經理人對於判斷工場是否應停爐或不宜開爐之作為，當存在嚴重缺陷時，經理人應知曉並瞭解這些缺陷可能產生之重大危害，在管理及文化上應促成且支持經理人面對法律及營運上的困難做出抉擇。

BP 回應：此次事故後，BP 已建立管理製程安全及完整性之標準，已審查年度安環保證系統，促成該標準更圓滿之運作，獲致更多之保障。

## (二) 美國 Texas City 煉油廠事故

### 1. 事故本身浮現的問題

- (1) 貨櫃屋之設置不當、無關人員未撤離。
- (2) 起火源的車輛違反規定停放。
- (3) 通大氣的排放槽煙囪遲未改為安全的 Flare 系統。
- (4) 錯誤顯示及失效的儀控設備給操作人員錯誤訊息。
- (5) 開爐程序不合時宜，導致操作人員依據錯誤的經驗操作。
- (6) 開爐的人力不足未依建議補充。
- (7) 製程安全的問題未獲重視。
- (8) 安全文化、安全管理不良。

### 2. CSB 發現 Texas City 煉油廠組織上的問題

- (1) BP 集團對費用與投資之刪減及生產壓力使該廠之製

程安全惡化。

- (2) BP 董事會未有效監督 BP 之安全文化及預防重大災害之作為，亦無負責之成員。
- (3) 該廠將低職災率作為安全指標，無法反映製程安全績效及健康的安全文化。
- (4) 該廠設備完整性機制運作不良，導致設備 Run to Failure。
- (5) 該廠「打勾」的心態盛行，對於安全政策及程序上的要求採紙上作業，不合規定照樣簽名。
- (6) 該廠欠缺通報與學習的文化，未鼓勵員工反映安全上的問題，有的擔心被修理。未能從大小事件中學習或作為，英國政府對 BP 的安全建議亦未在該廠落實。
- (7) 安全活動、目標及獎勵聚焦於改善人員安全及行為，而不在製程及管理之安全上面。該廠各階層未落實安全政策及程序，主管在安全上亦未以身作則。
- (8) 許多調查、研究、查核提出該廠一些安全上根深蒂固的問題，卻遲未改善。
- (9) 未評估人員、政策、組織上的變動對製程安全的影響。

### 3. 廠方於 2004 年委託 Telos Group 進行安全文化評估之發現

- (1) 管理者受到生產壓力，「安全」被妥協。
- (2) 生產與預算目標的報酬率高於一切。
- (3) 生產、時間、人力之壓力造成以往之事故。
- (4) 訓練之質、量不良。
- (5) 員工受傷時覺得會被責備，事故調查很快將作業人員之疏失定為根本原因而後結案。
- (6) 許多設備上的問題引發嚴重事故，存在會再出事的憂慮感。
- (7) 領導階層更迭與組織的變動導致安全管理十分艱難。
- (8) 資源缺乏削弱領導者強烈的安全承諾，接連的事故無

法解決；多數對生產與降低成本重於安全感到不安。  
(9) 打勾心態十分危險，打了勾而不注意後果；違反規定或重要設施之損壞或故障常被忽略。

#### 4. 兩廠事故所發掘問題之共通情境

- (1) 重視傳統安全管理層面人員傷害頻率(跌倒、滑跤、墜落等)的降低，獲得成效後反而誤認為整體安全績效表現良好，忽略製程安全上對於重大危害風險的管理。
- (2) 未建立製程安全的績效指標(KPIs)，無從監督與掌握製程安全上的績效。
- (3) 對於過去重大事故未能有效檢討，事故相關訊息傳播之功效不佳，經驗教訓或事故學習之功能不彰。
- (4) 安全文化上，營運壓力往往凌駕安全作為。

### 五、從兩次事故之共通性問題看事故學習之困難與製程安全之重要

就美國 Texas City 煉油廠而言，事故發生在英國 Grangemouth 煉油廠事故的 4、5 年之後，BP 集團當時對於 HSE 建議事項都曾有所回應，也許時間不站在 Texas City 煉油廠這邊(Telos Report 在 2005 年元月才完成，即便立即行動，似乎也已來不及作改善了)，也許學習得不夠徹底。歸納上述四項共通之情境，即可看出其實事故學習與安全文化息息相關。

依據 BP 對於 HSE 建議事項的回應，Grangemouth 煉油廠事故所浮現的問題與教訓之資訊已經在集團內部宣導及流通，自然也包含 Texas City 煉油廠在內。他廠出了如此重大的事故，完整訊息也掌握了，剩下的就是採取行動。但是，受到生產、預算、績效的壓力，安全被「妥協」了。經營者受到績效報酬高於一切的驅使(人員傷害率也是績效指標之一，所以該廠該項的表現極為優秀)，員工也專注於個人工作與行為的安全，努力避免生發生工傷。但是，在整個不健全的安全文化氛圍之下，終於，在它自己身上發生了更重大的災難。

Grangemouth 煉油廠出事之後，在製程安全管理方面，兩位 BP 的高級工程師與 Texas City 煉油廠製程安全管理的經理共三個人曾經參與調查，共同提出調查報告，可惜 Texas City 煉油廠仍然發生這次事故。

Grangemouth 煉油廠的事故沒有發生人員傷亡(除了一位遛狗的婦人)，HSE 即明確指出是因為「運氣好」，只是，同時看待這次的運氣好與後來 Texas City 煉油廠重大傷亡的事故，說明了運氣好往往意味著未來歷史重演的必然性。事故學習的目的在吸取經驗，防範未來事故再次發生，但是也需要有良好的安全文化相扶持，BP 這兩大煉油廠的事故即是明證。

BP 集團制訂它的安全衛生與環境架構為”Getting HSE Right (GHSER)”---「環、安、衛要正確」，BP 的承諾是展現對自然環境的尊重，致力於達成零事故、對人員零傷害、對環境零破壞的目標，但是，HSE 調查報告第 65 頁直言：「如果 Grangemouth 煉油廠能夠遵守及符合 BP 高標準的政策與程序，這三件事是可以避免的」。

文化的建立與養成是一條長遠之路，其困難眾所皆知，無庸贅言。雖然如此，CSB 在調查報告第 142 頁將 Texas City 煉油廠的事故稱為「一件組織的事故」(An Organizational Accident, 意即「BP 這個組織出事了！」)之同時，也對 BP 提出幾項高層次的建言：

- (一) 額外指派一位具備煉油及製程安全專業與經驗之非經理人為董事，成為董事會之一員。
- (二) 確認及監督高階經理人將事故通報之架構落實到煉油廠，能夠：
  1. 免於顧忌，鼓勵事故之通報。
  2. 事故報告及建議之改善措施應即時行動，追蹤所管轄之事故部門與類似工廠，直到完成改善。
  3. 將重要之學習事項傳達至管理階層、基層人員及業界。
- (三) 確認及監督高階經理人運用製程安全之領先及落後指標，以衡量及改進各煉油廠之安全績效。

製程安全管理不同於傳統安全觀念上著重於人員傷害事故之防範與降低，而在強調避免發生重大危害的事故。依據美國化學工程師學會(AIChE)下的 CCPS(Center for Chemical Process Safety)組織，所謂製程安全是「化學工廠聚焦於預防火災、爆炸及化學物質外洩的一種紀律」(A discipline that focuses on the prevention of fires, explosions and accidental chemical releases at chemical process facilities)，而製程安全管理則是「運用管理的原則及分析的工具來避免重大事故的發生，而非聚焦在人員滑倒、跌跤與墜落等議題」(Apply management principles and analytical tools to prevent major accidents rather than focusing on personal safety issues such as slips, trips, and falls)。依據美國 OSHA 29 CFR Ch. XVII (7-1-98 Edition)的§1910.119, "Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals" 的法令規定，製程安全管理(PSM)涵蓋下列議題：

- |            |               |
|------------|---------------|
| (a) 適用範圍   | (i) 開爐前安全查核   |
| (b) 定義     | (j) 設備完整性(MI) |
| (c) 員工參與   | (k) 動火許可      |
| (d) 製程安全資料 | (l) 變更管理      |
| (e) 製程危害分析 | (m) 事故調查      |
| (f) 作業程序   | (n) 緊急計畫與應變   |
| (g) 訓練     | (o) 稽核        |
| (h) 承攬商    | (p) 商業機密      |

因為涉及層面廣，層級高，所以 CCPS 發行了下列文件提供化工產業界參考：

1. *Guidelines for Risk Based Process Safety*, New York, AIChE, 2007.
2. *Building Process Safety Culture: Tools to Enhance Process Safety Performance*, New York, AIChE, 2005.
3. *Interface Management: Effective Communication to Improve Process Safety*, New York, AIChE, 2004.

關於製程安全績效指標之建立，英國 HSE 發行一本指導書籍：*Developing Process Safety Indicators: A Step-By-Step Guide for Chemical And Major Hazard Industries*, U.K.:HSE Books, 2006a。CSB 也建議美國石油協會 API 與美國鋼鐵工人國際聯合工會(United Steelworkers International Union(USW)應共同制訂煉油及石化業的製程安全績效指標的國家標準(ANSI)。

製程安全管理在美國已經立法實施，業界必須遵守，國內煉油業界也多所熟悉或部分施行，至於全面實施與落實或許仍有一段距離。由於高風險場所潛在的危害極為重大，實應及早全面運作，刻不容緩，這些參考資料值得參與推動者引進利用。

## 六、結論

良好的安全文化可以有暢通無礙的通報管道，事故真相得以充分呈現，事故學習的效果容易顯著，自然容易避免事故之發生，形成良性循環。如果安全文化的氛圍欠佳，事故調查不易觸及核心或往深處挖掘，資訊較不完整或有所偏離，容易事倍功半，產生負面效應，甚或形成反向學習。自身發生事故後學乖了，是教訓；他人發生事故，從那裡獲得經驗，是學習。教訓通常是付出代價的，一碰就痛；學習則可以不花半毛錢，而且輕鬆愉快。但是，HSE 調查報告第一頁就有 HSE 主管的提醒：「業界切勿自滿於沒有發生類似 Grangemouth 煉油廠的重大事故」(Industry must not become complacent about the risks posed by major accident hazards)，通常只是因為「運氣好」(good fortune)而已。

欲提高事故學習的效能，較易採行、較易發揮效果的對策可以有如下幾項：

- (一) 重視及收集據公信力之事故調查資料，這些資料能完整呈現事故的真相，事故真相挖掘的深度夠，學習效果較完整。
- (二) 召集重要成員，舉辦重大事故案例之焦點式研習，充分討論各部門應學習與改善之具體作為，以提升學習效能。同時將事故訊息及具體作為之結論傳達至經營階層，取得推動改善

行動之資源與支持，並且擴大其效果。

在塑造良好安全文化的長路上，CSB 對 BP 集團提出的高層次建言，亦是值得學習的方案。收集其他重大事故對於事故單位文化層面的探討及建議，應是可行之策。CSB 在其調查報告第 18 頁即說明是比照美國哥倫比亞號太空梭事故的調查模式進行，該事故的調查組織 Columbia Accident Investigation Board(CAIB)認定，美國太空總署 NASA 組織的文化及架構是造成該次事故的直接原因(Immediate cause)！

傳統安全管理持續推動之同時，須防範被該方面的良好績效誤導，忽略了製程安全之管理，步上 BP 上述兩座大型煉油廠的後塵，讓歷史重演。推動製程安全管理，各項議題可以分頭進行，易者先行，困難者求突破。例如，承攬商資格之訂定受採購法約束不易實施，則在承攬商工作人員之資格及技術能力上可以要求或過濾，例如目前已實施的搭架作業人員資格之鑑定與規定、電銲工之資格檢定與管理、非破壞檢測人員技能資格與鑑定等，業務部門多方構思，尋求突破之策，同時，公司層級的主導或充分支持，可以加快完成的腳步。製程安全績效指標 KPIs 可以協助衡量及監督推動製程安全管理之績效是否良好，因此，在推動製程安全管理之際，其 KPIs 之建立宜同步進行。

## 七、參考文獻

- (1) HSE, “*Major Incident Investigation Report, BP Grangemouth, Scotland*,” 18<sup>th</sup> August 2003.
- (2) CSB, “*Investigation Report, Refinery Explosion and Fire*,” Report No. 2005-04-I-TX, March 2007.