



國立高雄應用科技大學  
企業管理系  
高階經營管理碩士在職專班  
碩士論文

探討燃燒塔廢氣回收之使用效率提升

**Investigation of Efficiency Enhancement for Flare with  
Waste Gas Recycling in Oil Refinery Plants**

研究生：朱紹西

指導教授：余銘忠 博士

中華民國 105 年 6 月


# 探討燃燒塔廢氣回收之使用效率提升

## Investigation of Efficiency Enhancement for Flare with Waste Gas Recycling in Oil Refinery Plants

國立高雄應用科技大學  
企業管理系高階經營管理碩士在職專班  
碩士論文

研究生：朱紹西

指導教授：余銘忠 博士



A Thesis  
Submitted to  
Department of Business Administration  
National Kaohsiung University of Applied Sciences  
In Partial Fulfillment of Requirements  
For the Degree of Master of Business Administration

June 2016  
Kaohsiung, Taiwan, Republic of China

中華民國 105 年 6 月

# 探討燃燒塔廢氣回收之使用效率提升

研 究 生：朱紹西

指 導 教 授：余銘忠 博士

國立高雄應用科技大學企業管理系高階經營管理碩士在職專班

## 摘 要

廢氣燃燒塔被認為是一個安全且對環境友善的設備，也是全世界煉油廠公認工廠安全處理可燃性氣體排放主要方法之一。然而隨著民眾環保意識抬頭，生活品質提升，以燃燒塔處理排放廢氣造成環境與健康的危害受到重視，各國的煉油業者紛紛設置燃燒塔廢氣回收裝置以降低排放，甚至以零排放為目標。本研究以 D 煉油廠為例，針對 2015 年設置完成之燃燒塔廢氣回收系統，進行個案研究，探討如何提升煉油廠燃燒塔廢氣回收之使用效率。透過由現場操作、技術、環保及維修部門專業人員組成的改善團隊腦力激盪，進行魚骨圖分析。研究結果認為唯有透過人員、品質及通路搭配進行才能提升廢氣回收使用效率。根據改善策略，團隊列舉了在管理、工程及操作上多項可行改善方案，著手進行並持續追蹤改善成果及方案修正，符合 PDCA 管理循環的精神。經由廢氣排放量、廢氣熱值數據收集與分析，印證改善方案是可行且改善成效斐然。

關鍵字：燃燒塔、廢氣回收、魚骨圖、個案研究、能源管理

# Investigation of Efficiency Enhancement for Flare with Waste Gas Recycling in Oil Refinery Plants

Student: Shao-Hsi Chu

Advisor: Dr Min-Chun Yu

Department of Business Administration

National Kaoshiung University of Applied Sciences

## Abstract

Flares have always been considered as a safe and environment-friendly equipment, and one of the major methods recognized by refineries around the globe to safely process the emission of combustible gases. However, with the rise of public environment protection awareness and the elevation of living qualities, damages to the environment and health caused by waste emissions from flares have been brought to attention. The refining industry began to install flare gas recovery systems to lower the waste emissions, even aiming for zero-emission. This study has conducted a case study on D refinery plant with two sets of flare gas recovery system installed in 2015 to investigate the improvement of flare gas recovery efficiency. By implementing cause and effect analysis via brainstorming of the improvement team made up of site supervisor and staffs from onsite operators, technical service, environmental protection, and maintenance departments. It had been confirmed that, only through joint efforts of operating personnel, gas quality and flow paths can the efficiency of flare gas recovery be

enhanced. In accordance with this strategy, the team had come up with multiple practical improvement plans for management, engineering, and operations, continuously kept track of the enforcing results, and made adjustments accordingly, inherent to the PDCA cycle. Collecting and analyzing the data of waste emission quantity and waste heating values, it is evident that the improvement plan is feasible with splendid results.

Keywords : Flare, Waste gas recovery, Fishbone diagrams, Case study, Energy management



# 第一章 緒論

## 第一節 研究背景

### 一、全球與國內能源消耗現況

隨著全球的經濟發展，對能源的需求及耗用持續增加，造成原油蘊藏量日益枯竭及氣候變化等問題。依據英國石油公司的世界能源統計資料，1988-2013年全球一次能源消耗趨勢如圖1-1所示，2013年全球一次能源消耗總量增長2.3%，主要是石油、煤炭及核能的增長帶動，預測未來主要能源仍為石油，而再生能源的重要性將增加。依據趙家緯(2015)引用國際能源署的《世界能源展望2014》資料之世界能源展望報告，預估全球2014~2040年能源需求狀況，需求量會以每年1.1%的速度增長，總體增幅達37%，與過去數十年快速增長比較，有減慢趨勢，主要得益於不斷提升的能源效益及全球經濟結構傾向減少消耗能源的經濟活動。

我國能源供給來源主要是以石油、煤、天然氣、核能、水力發電等，其中石油占有極大比例，而能源的使用量也隨著人口增多、工業化、經濟成長而快速的增加，工業部門為最大宗。依據經濟部能源局出版之能源統計手冊(2014)顯示，我國能源需求在過去二十年間成長快速，國內能源消費自1994年6,280萬公秉油當量增至2014年11,532萬公秉油當量，年平均成長率為3.09%，圖1-2顯示我國1999-2014年能源供給與消費趨勢。在能源供給上，我國能源總供給自1994年7,121萬公秉油當量逐年成長，2014年達14,745萬公秉油當量，年平均成長率為3.71%。

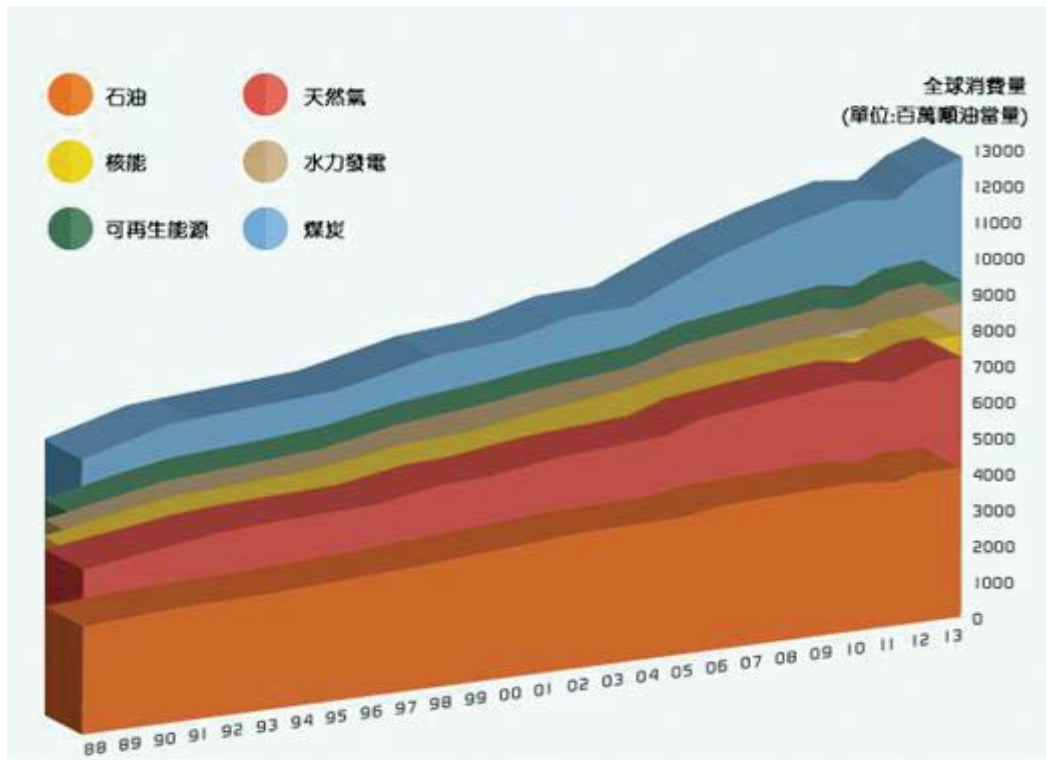


圖 1-1 1988-2013 年全球一次能源消耗趨勢圖

資料來源：<https://www.ls-energy.hk/world-energy-consumption.html>

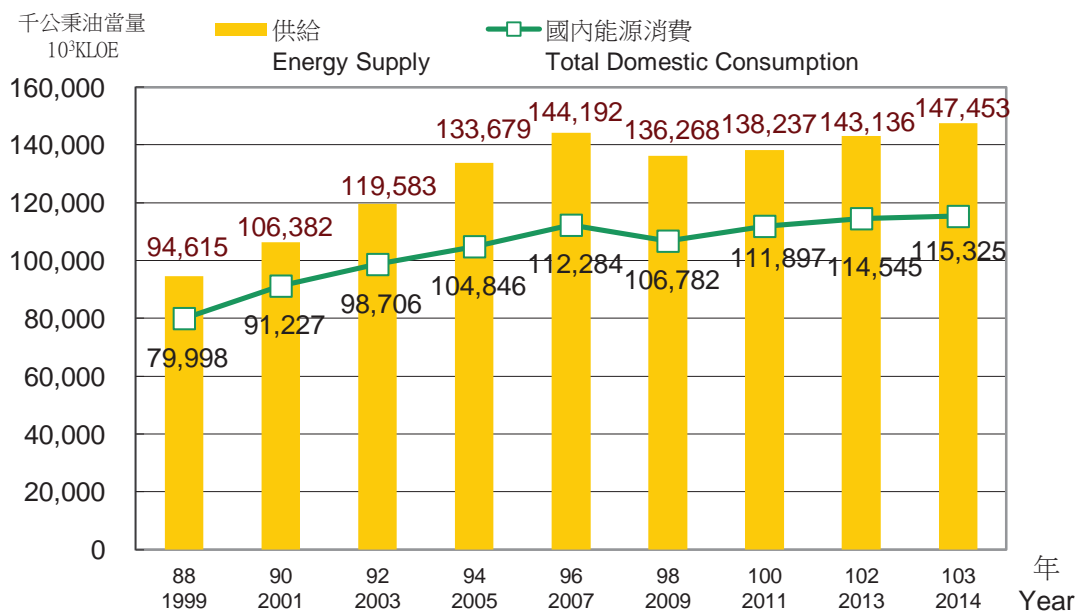


圖 1-2 1999-2014 年中華民國能源供給與消費趨勢圖

資料來源：[http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentLink.aspx?menu\\_id=378](http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentLink.aspx?menu_id=378)



## 二、煉油廠能源的耗用情形

煉油廠是高度耗能的工業之一(陳彥尹等, 2008), 其能源耗用多寡又隨著原油種類、產品的多樣性及產品低硫含量要求而變。因化石油源長年開採導致日益匱乏, 專家預估可開採年限約剩40年。近年來受中國大陸經濟起飛影響, 化石能源需求殷切, 也縮短了可開採年限。另現今的原油開採技術日益精進, 深度開挖的原油含硫份高且比重大, 煉油業者亟需改變煉製結構, 增加新製程以符合油品低硫含量的法規要求。因原油比重大, 第一次加工產出更多的低價重質油, 為了創造更高利潤, 必須盡可能將此股原做為低價出售的燃料油產品經裂解轉化為汽油、柴油等高價產品, 更深度且複雜的加工程序意味著更多的能耗(蔡信行, 2004)。Worrell & Galitsky (2004)對美國加州煉油廠的研究報告中, 即明確指出, 美國與世界各國煉油產業面臨著一樣的問題, 煉油程序所需耗用能源用量隨著原油種類、煉製結構的複雜化及最終產品低硫量的要求而增加, 其它如設備利用率、維修及設備逐漸老舊也會影響每年能耗量。

隨著全球能源消費需求日增, 各煉油廠莫不以改善煉製結構或擴增產能的方式因應, 影響所及的便是煉油廠能耗增加。「煉油廠提升能源效率與節省成本機會」研究是美國環保署委託, 屬於政府資助的研究計畫, 目的在幫助事業單位藉由能源效率提升達到節省成本的要求。該研究報告(Worrell & Galitsky, 2005)明確指出, 典型的煉油廠能源花費約為現金操作成本(不含資金與折舊)的50%, 提升能源效率可達到節省能源費用及降低污染排放的雙重效果。若以製程別區分, 煉油廠主要耗能製程依序為原油常壓蒸餾、加氫處理、重組、真空蒸餾、烷化、觸媒裂解及加氫裂解, 美國煉油廠能耗約占全國總能耗的7%, 而80%以上能源來自自產的副產物, 依據美國Energy Information Administration 製造業能源耗用調查資料, 2010年石油煉製業合



計作為燃料使用的初級能耗為3,176百萬兆Btu (British Thermal Units)。Worrell et al. (2015)研究指出1988-2010年美國煉油廠能源成本耗用趨勢如圖1-3，其中燃料為主要能源成本，可看出呈穩定成長的趨勢，2008年達到最高峰，2009年突然下降是受到經濟衰退的影響。圖1-4為粗估2011年美國煉油廠各製程包括燃料、蒸汽及電力初級能源耗用平衡圖，可看出主要能源耗用工場，包括常壓原油蒸餾(CDU)、加氫處理(Hydrotreater)、重組、真空蒸餾(VDU)等工場。依據美國加州環保局對加州煉油廠發表的統計資料，煉油廠內前述製程即占所有能耗的一半。

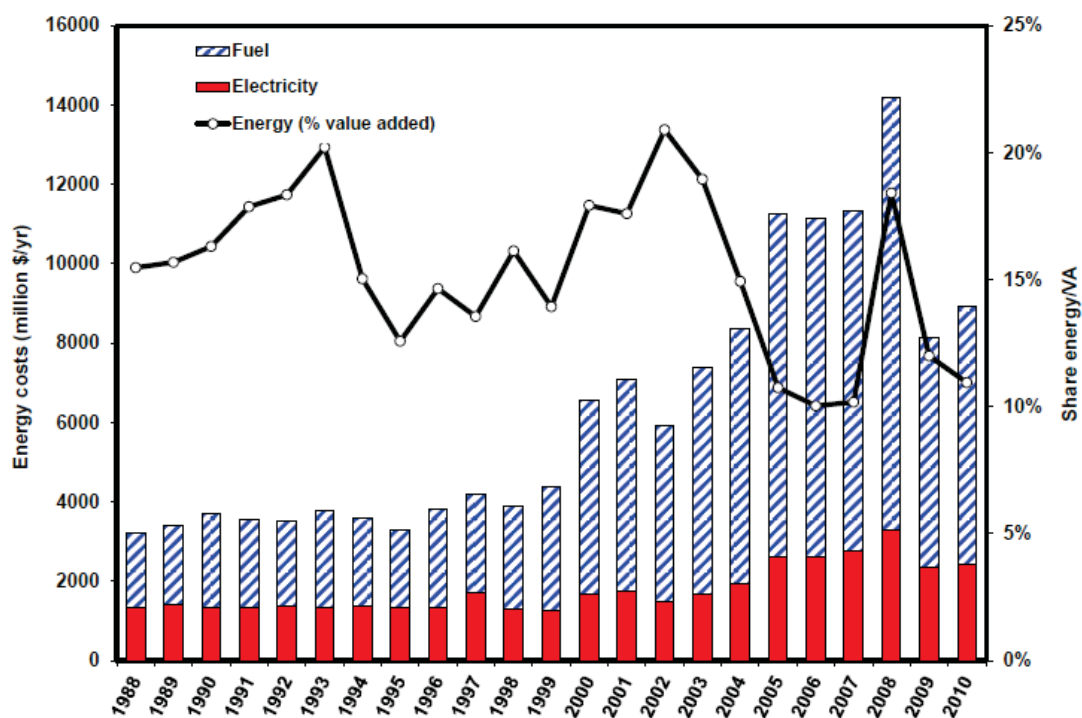


圖1-3 1988-2010年美國煉油廠能源成本耗用趨勢圖(不包括自產的製程氣、焦炭及電力)

資料來源：Worrell et al. (2015)

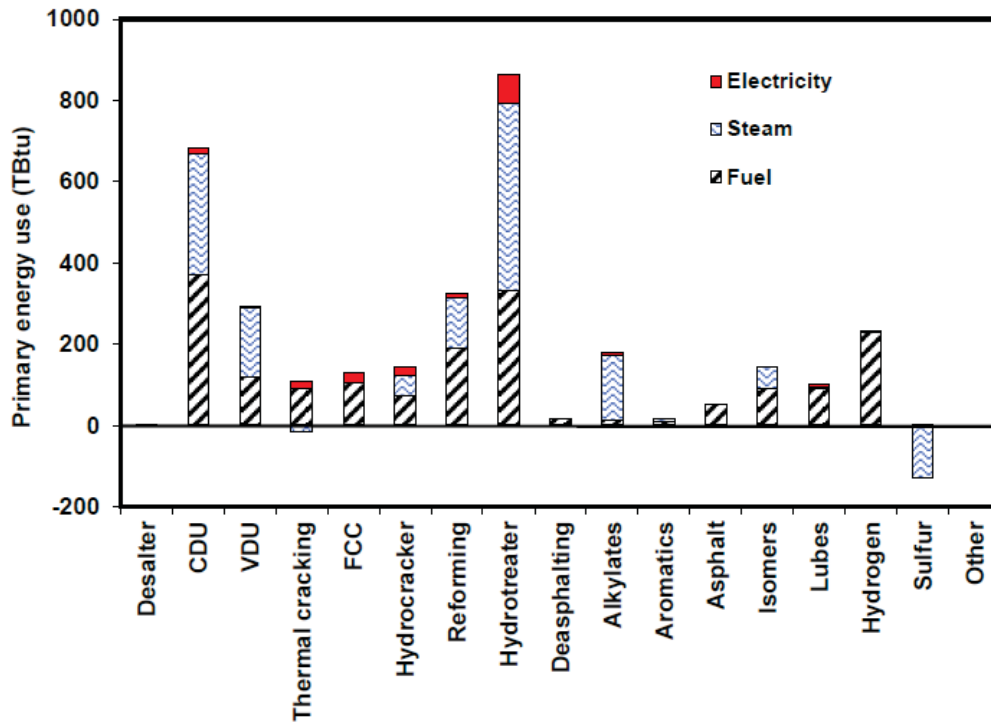


圖1-4 2011年美國煉油廠各製程初級能耗平衡圖(電力轉換為燃料係數為10,660Btu/kWh，鍋爐產生蒸汽效率為77%)

資料來源：Worrell et al. (2015)

典型煉油廠使用的燃料包括天然氣、燃料氣、液化石油氣及低硫燃料油等。2009年美國煉油廠能源種類使用量及佔比統計如表1-1，可以看出燃料氣使用占有極高的比例，是燃料的大宗，燃料氣的充份利用對煉油廠有正面意義。

燃料氣又稱製程氣，是煉製過程的副產品，燃料氣集管來源包括各股不同組成的尾氣、體積平衡需要的補充氣體、一種或多種添加氣體，燃料氣可使用在鍋爐或加熱爐上，壓力高時可釋壓至廢氣燃燒系統，雖然補充氣體有時會導致燃料氣品質無法控制，進行週期性添加如液化石油氣，可確保加熱爐燃料有足夠的品質。不穩定的壓力與品質是使用燃料氣部門面臨的共通問題。而釋壓至廢氣燃燒系統或添加高碳值的氣體，也增加二氧化碳的排放，將此股廢氣回收充作燃料氣使用，對煉油廠節能減碳有正面效益，但瞬間大

量排放造成壓力突升，或硫化氫含量高、熱值偏低等未有效管控品質，均會造成使用端的困擾。

表1-1 美國加州煉油廠2009年能源種類使用量及占比統計

燃料種類	能量耗用(百萬BTU)	總能耗占比
燃料氣	298,000,000	70%
天然氣	65,000,000	15%
焦炭	17,000,000	4%
電力*	16,000,000	4%
其它料源	27,000,000	7%
總計	423,000,000	100%

\*：電力包括自產及外購

資料來源：Refinery Sector Public Report (2013)

## 第二節 研究動機

煉油業是高污染的產業，於營運期間，無法避免地會產生廢水、空氣、噪音、固體廢棄物、土壤及地下水等環境污染問題，隨著民眾環保意識抬頭，煉油業者不再純粹以短期利潤為目標，為了善盡企業責任，追求永續發展，紛紛投入大筆經費進行污染整治，企圖扭轉形象，以正民眾觀感。

煉油廠各種環境污染中，空氣污染主要來自化石燃料燃燒轉化成能源的過程，由於無地域性，影響範圍最廣。產生的主要污染物包括硫氧化物(SO<sub>x</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)和總懸浮微粒(TSP)等，各項降低空氣污染的管末處理技術已臻成熟，只要業者有心，都可以得到明顯改善。但「預防勝於治療」的道理同樣適用於煉油業污染防治上，業者應該思考預防之道。

為預防及減輕開發行為對環境造成不良影響，藉以達成環境保護之目的，政府制定「環境影響評估法」，業者依規模於開發前提出環境說明書或環境影響評估，提出預防及減輕開發行為對環境不良影響對策，並承諾達到優於各項污染物排放管制標準，故除了從源頭進行改善外，同時利用各種最佳可行控制技術(BACT)降低污染物排放量。國內煉油廠新增製程均要經過環境影響評估審查程序，污染物排放量不能高於既有製程排放總量是基本要求，新製程的設置才有實現的機會。

煉油廠硫氧化物、氮氧化物、總懸浮微粒及二氧化碳的排放大多與能源使用有關，化石燃料因其硫含量及含碳組成，且燃燒過程需要空氣，含有79%的氮氣，故高溫燃燒產生能源過程伴隨著硫氧化物、氮氧化物、總懸浮微粒和二氧化碳，前三者有「固定污染源空氣污染物排放標準」規範，而隨著科技的進步與生活水準的提升，民眾關切空氣污染物的種類及程度更甚以往，例如懸浮微粒從早期關切的PM<sub>10</sub>到目前的PM<sub>2.5</sub>，揮發性有機化合物(VOC)造成的污染亦開始受到重視，甚至連人類呼吸、植物賴以進行光合作用的二氧化碳都成了眾矢之的。

二氧化碳是造成今日氣候變遷的禍首，全球氣候暖化的問題已成為本世紀國際社會必須共同面對的重大挑戰，而人類高度仰賴化石能源的發展，預估將使全球溫度在21世紀內劇烈升高約4.5°C，對生態環境造成重大衝擊，當務之急便是尋求解決之道，將升溫幅度控制在2°C內。隨著2015年7月1日我國「溫室氣體減量及管理法」的公布，象徵著國內環保新紀元的開始，法規第四條即明訂國家溫室氣體長期減量目標為2050年溫室氣體排放量降為2005年溫室氣體排放量50%以下。這是一項嚴苛的挑戰，國際上採行的因應策略包括1.提升能源效率；2.使用替代能源；3.二氧化碳捕集後貯存技術(Carbon Dioxide Capture & Storage, CCS)，其中使用替代能源及二氧化碳捕

集後貯存技術尚不具經濟效益或安全顧慮致使無法被民眾接受(Duraccio et al., 2015; Sara et al., 2015)。業者將重點放在自身改善，改用更乾淨的能源可以得到明顯改善效果回饋到新增製程，卻也增加生產成本。另一種方式即進行能源管理，提升能源使用效率，除了因節省能源用量減少污染物排放量外，能源成本亦可降低，甚至產生正向經濟效益，此效益在未來實施二氧化碳排放稅徵收、二氧化碳排放量許可後將更明顯。

基於操作安全考量，全世界煉油廠均會設置廢氣燃燒塔(以下簡稱燃燒塔)，至今，燃燒塔仍被全世界認為是工廠安全處理這些可燃性氣體最主要方法之一。這些廢氣主要的來源包括：1.氣體產銷的不平衡，如產出多於消費需求，多餘部分需排出燒掉；2.工場操作出現不穩定或設備進行維修、安裝時；3.貯槽裝填作業過程，上升的壓力需排放；4.掩埋場產生的可燃性氣體；5.工場停爐時製程釋壓；6.工場緊急狀況進行緊急釋壓，如電力系統故障等，透過廢氣集管收集後，經過分液槽、水封槽，再進入燃燒塔燃燒，此燃燒塔不僅是工廠安全保障，也提供操作員工及周遭居民安全的防護(Bussman & Baukal, 2012)，今日卻成了空氣污染元凶之一。

全世界每年均有大量的廢氣排至燃燒塔，因為典型的廢氣排放都沒有設置流量監測儀器，確切的量無法計算。愈來愈多的人士認為這是工場無謂的能源浪費且產生環境污染，並開始思考如何將其回收並引用至需要能源的製程中，期望能完全消除燃燒塔的排放。設置燃燒塔廢氣回收系統(以下簡稱廢氣回收系統)是當前公認最直接有效的方法之一，將廢氣回收當作燃料氣，充分使用則可達到節能減碳的預期效果，有著強大的經濟、環境誘因，減碳的成果也可作為日後擴廠污染抵減使用。

廢氣回收系統的設置必然對既有的燃料氣系統與燃燒塔造成影響，透過適當的調整，三者密切整合，功能才得以充分發揮。本研究即以國內南部 D



煉油廠(以下簡稱個案煉油廠)為例進行個案研究，在環保法規壓力及新建工場環境影響評估報告書所做的善意承諾下，新設廢氣回收系統，必要仰賴一套完善的管理制度，配合周邊相關工程改善，現場操作人員心態上有所認知、調整，一方面從源頭減量做起，另一方面將回收的廢氣完全去化，才能充份發揮廢氣回收系統的功能。加上該廠所處的工業區內正推動區域資源整合計畫，廢氣回收充做燃料氣應可在此計畫中做出貢獻，如何融入該整合計畫是個案煉油廠未來可努力的方向。

對照同一期間與個案煉油廠隸屬同公司的北部煉油廠亦設置一套廢氣回收系統，相同的流程，列入操作後，廢氣幾乎達到零排放，也確認技術可行性。然而個案煉油廠操作後卻仍有少量排放的情形，分析可能造成原因，主要為：(1)個案煉油廠轄內工場多，規模遠大於北部煉油廠；(2)個案煉油廠幅員廣闊，因地域關係而分成南、北兩區，不若北部煉油廠集中在同一廠區；(3)個案煉油廠燃料氣分成高、低壓兩個系統，北部煉油廠為單一系統。

本研究以提升燃燒塔回收廢氣之使用效率為主題，進行個案研究，透過魚骨圖分析，探討回收廢氣無法完全去化的原因，及提升回收廢氣之使用效率的改善對策，並分就管理面、工程面及操作面等三個構面，提出具體可行的改善方案，為本研究之動機。

### 第三節 研究目的

本研究以個案煉油廠新設廢氣回收系統為例，進行個案研究，驗證在廢氣回收系統設置後，需配合工廠特性，搭配進行相關措施，如必須思考一套合適的管理系統讓使用端有所依循，區內甚至是區外整合的有效去化方式，

工場端自主管理進行製程減廢等，透過各項具體改善方案的執行，才能實現零排放目標。故本研究目的如下：

- 一、探討建立一套新的管理系統，包括指定專責管理單位、建制燃料氣資訊系統、制訂管控機制的標準步驟及訂定授權、獎懲機制等作為管理依據。
- 二、探討工程改善建議，一方面進行減少廢氣產生所需要之管線修改，另一方面進行區內、區外配管增加去化彈性。
- 三、探討操作部門在不影響正常操作下，包括減少連續再生、吹驅頻率及使用量等可調整作業方式的內容。

#### 第四節 研究流程

由於個案煉油廠已逐漸成為國內煉油業在南部的重心，煉製結構必須進行調整，新建工場或既有工場擴增產能計畫勢在必行，為了符合相關環保法規，新設廢氣回收系統功能有效發揮，將有助於計畫的推動。如何使燃料氣有適當的配置與使用，達到更高的使用效率，有必要進行深入研究，故以此為本研究主題。

本研究採個案研究方式，確立研究主題為燃燒塔廢氣回收之使用效率提升。本研究進行之規劃，首先說明本研究背景與動機並建立研究目的，接著就相關文獻進行收集、探討，其次確認個案煉油廠為個案研究對象並著手進行相關調查，之後開始以個案研究法進行個案分析，探討並擬訂改善方案，最後提出結論與建議。本研究流程如圖 1-5。



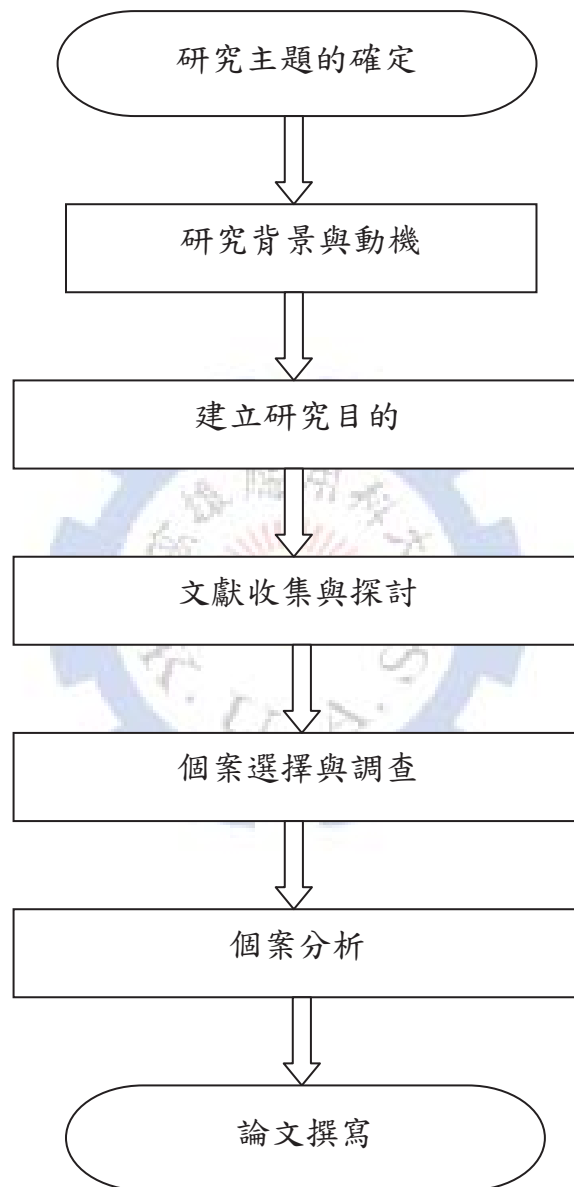


圖1-5 研究流程圖

# 參考文獻

## 一、中文部份

- 1.趙家緯(2015)。世界能源展望報告。工業技術研究院 綠能與環境研究所。
- 2.經濟部能源局(2014)。中華民國103年能源統計手冊(ISSN 1726 3743)。
- 3.陳彥尹、吳榮華、黃韻勳(2008)。台灣耗能產業二氧化碳排放驅動力之研究。礦冶，3，40-52。
- 4.蔡信行(2004)。台灣的石油工業與油品煉製。科學發展，382，30-35。
- 5.賴宗福、張之樺(2010)。環保與經濟雙贏。科學發展，455，28-35。
- 6.詹益亮、林煒峻、謝幸芸(2013)。石化業能源使用現況與節能減碳。工業技術研究院 綠能與環境研究所。
- 7.顏道信(2011)。臺灣煉油石化工業發展與未來展望。中工高雄會刊，4，24-26。
- 8.謝世傑(2010)。煉油廠尾氣回收再應用之研究。國立高雄第一科技大學碩士論文。
- 9.蔡佳倫(2014)。石化廠燃燒塔製程廢氣組成與回收應用。國立中山大學碩士論文。
- 10.林大惠、侯順雄(2004)。臨海工業區之區域性能源資源整合規劃(I)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告(編號：NSC93-ET-7-006-003-ET)，未出版。
- 11.林大惠、侯順雄(2005)。臨海工業區之區域性能源資源整合規劃(II)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告(編號：NSC93-ET-7-006-003-ET)，未出版。
- 12.Yin, R. K. (2009)。個案研究設計與方法。台北市：五南。
- 13.台灣中油股份有限公司(2013)。大林煉油廠蒸餾工場汰舊換新暨相關工場更新計畫環境影響說明書。

## 二、英文部份

1. Akeredolu, F.A. & Sonibare, J.A. (2004). A review of the usefulness of gas flares in air pollution control. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 15, 574-583.
2. Bailey, O. & Worrell, E. (2005). A Preliminary Inventory of the Potential for Electricity Generation. University of California Berkeley, CA 94720: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
3. Bussman W. R. & Baukal C.E. (2012). Environmentally-Friendly Flaring. Tulsa, Oklahoma: John Zink Company LLC.
4. California Air Resources Board Stationary Source Division (2013). Energy Efficiency and Co-Benefits Assessment of Large Industrial Sources-Refinery Sector Public Report. California Air Resources Board.
5. Duraccio, V., Gnoni, M. G. & Elia, V. (2015). Carbon capture and reuse in an industrial district: A technical and economic feasibility study. *Journal of CO2 Utilization*, 10, 23-29.
6. Fisher, P. W. & Brennan, D. (2002). Minimize Flaring with Flare Gas Recovery. *Hydrocarbon Processing*, 81,(6), 83-85.
7. Honeywell (2009). Energy Management Solutions for Refining- Dynamic, Technology - Integrated Optimization Solutions. Phoenix, AZ 85027: Honeywell.
8. Rabiei, Z. (2012). Hydrogen Management in Refineries. *Petroleum & Coal* , 54, 357-368.
9. Rahimpour, M. R., Jamshidnejad, Z., Jokar, S.M., Karimi, G., Ghorbani, A., & Mohammadi, A. H. (2012). A comparative study of three different methods for flare gas recovery of Asalooeye Gas Refinery. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 4, 17-28.

10. Samimi, A. (2013). Preservation Ways and Energy Consumption in Oil Refinery. *International Journal of Chemistry*, ISSN 2306-6415, 41-47.
11. Sara, J., Stikkelman, R M., & Herder, P. M. (2015). Assessing relative importance and mutual influence of barriers for CCS deployment of the ROAD project using AHP and DEMATEL methods. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 41, 336-357.
12. Sinaki, S. Y., Tarighaleslami, A. H., & Jafarigol, F. (2011). Study on External Costs of Flare Gases Using Asian Development Bank Method. *Chemical Engineering Transactions*, 25, 39-44.
13. Worrell, E. & Galitsky C. (2004). Profile of the Petroleum Refining Industry in California- California Industries of the Future Program. University of California Berkeley, CA 94720: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
14. Worrell, E. & Galitsky, C. (2005). Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities For Petroleum Refineries- An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. University of California Berkeley, CA 94720: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
15. Worrell, E., Corsten, M. & Galitsky, C. (2015). Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities For Petroleum Refineries- An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. University of California Berkeley, CA 94720: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
16. Zadakbar, O., Vatani, A. & Karimpour, K. (2008). Flare Gas Recovery in Oil and Gas Refineries. *Oil & Gas Science and Technology*, 63, 705-711.

### 三、網頁部份

1. International Energy Agency , World Energy Outlook 2014 (Released on 12 November 2014) , <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2014/>
2. 中電網頁，全球能源現況，  
<https://www.ls-energy.hk/world-energy-consumption.html>
3. [http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentLink.aspx?menu\\_id=378](http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentLink.aspx?menu_id=378)

