

# 排放管制對汽油品質規範 與石油煉製業之影響

---

2020 年 12 月

2020Q4 知識物件—評析類

財團法人台灣綜合研究院 | TAIWAN RESEARCH INSTITUTE

## 一、前言

隨著汽機車普及率提高，使用公路運輸燃料排放之廢氣已成為城市空氣品質之主要威脅。對已開發或是開發中國家而言，如何降低化石燃料之污染排放，推行激勵政策鼓勵民眾使用更低污染與低排放之油品，逐步加嚴油品品質管制項目與規範之清潔燃料政策，減少各類污染物質排放，已成為政府在越來越急迫的空氣污染排放管制壓力下的重要能源政策課題。如美國與歐、亞各國政府自 1970 年代開始針對公路運輸所使用之汽、柴油品質進行管制，並於 1990 年代中後期成功落實汽油「無鉛化」目標，更持續發展車輛技術與調整燃料規範，導入能源效率提升政策、增課國內車用燃料與停車稅賦等財政手段，帶領國際汽、柴油進入「低硫化」、「清潔化」以及「低碳化」時代，以達減少空氣污染之首要目標。

本文將回顧過去 20 年多來，主要國家之燃料政策主管機關在兼顧經濟可行性與環保需求下，逐漸擴大或加嚴汽油之成分管制項目與內容，以及石油煉製業者如何因應汽、柴油低硫化政策需求，調整煉製設備與結構，成功落實油品低硫化目標。

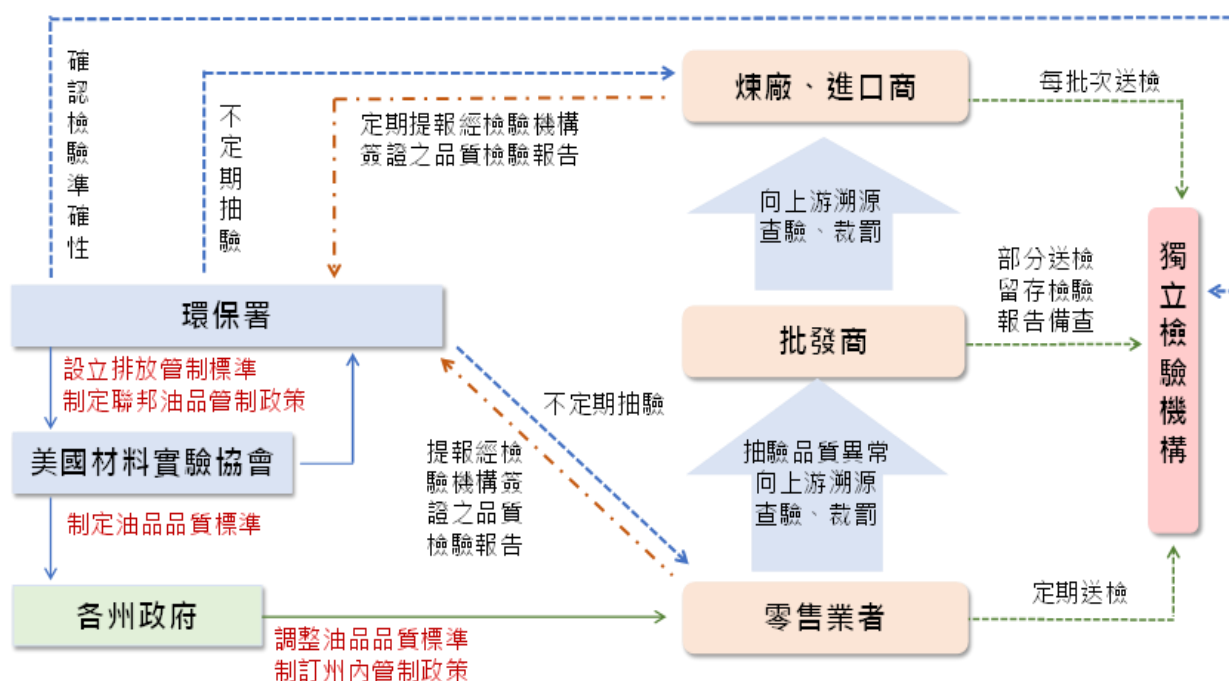
## 二、主要國家汽油品質規範推動情形

過去 20 多年來空氣污染管制成為推動各國油品品質改善之主要動力來源，但各國在制定相關政策前仍須多方溝通與考量，在兼顧政策有效性與經濟性等前提下，擬定適合自身的油品品質管制方式與升級戰略。如何平衡國內環保壓力、汽車製造商之技術瓶頸、煉製業者之設備投資成本，並估算國內油品價格之可能漲幅趨勢，成為各國制訂相關政策之參考依據。以下以美國、歐盟及中國大陸為例進行綜整分析。

### (一)美國

美國於 1990 年通過清潔空氣法案修正案 ( Clean Air Act Amendments of 1990; 1990. CAAA )，納入汽車尾氣排放管制與油品品質要求，希望透過減少排放、調整燃料品質根本性解決空氣品質問題。同時，美國政府對於包含汽油在內之成品油品質設有嚴格的管制機制，從油品之生產登記、品質管理、檢驗以及不合格油品之處罰措施，由國家環境保護署 ( Environment Protection Agency; EPA )、美國材料和試驗協會 ( American Society for Testing and Materials; ASTM ) 及各州政府等三大機關 ( 構 ) 相互分工，業者須同時遵守聯邦政府與州政府之相關規範。

在實務運作方面，煉廠或油品進口商須將每一批次之油品樣本檢驗結果交由美國環保署進行審核，並於約定周期內提報該期間內所有批次之查驗報告與油品樣本予環保署；批發業者僅需自行送驗 10%~20%之批次樣本，並將相關結果留存 3 年備查即可；零售商則需取得煉廠或銷售商之檢驗合格證明，並須接受環保署以及各州政府之不定期抽樣檢查，一旦檢查不合格，主管機關須立即向上游貨源逐步查驗，並依據業者之違法程度進行裁罰（圖 1）。



資料來源：張振、李文濤、焦益龍、杜國敏、吳浩筠（2017），「美國成品油行業監管模式及運行機制」。

**圖1 美國成品油品質管制權責與架構**

早期美國政府之汽油管制策略採取分區管制，1995~2000 年間陸續於國內 9 個臭氧超標區域推行新配方汽油（Reformulated Gasoline; RFG），加州則分別於 1996 年與 2003 年開始實施比 RFG 更嚴格之加州二期與三期汽油標準（California Phase 2、California Phase 3）。美國環保署為了統一全國汽、柴油品質管制規範，於 1999 年 12 月公布第二階段車輛與汽油硫含量計畫（Tier 2 Vehicle and Gasoline Sulfur Program），並於 2004 年更新清潔空氣法案對於污染物排放之相關規範，針對汽油硫含量訂定階段性上限，自 2006 年 1 月開始，業者銷售之汽油年平均硫含量須低於 30 ppm。2014 年 3 月 3 日 EPA 再度發布第三階段車輛燃料標準，後於 2015 年 2 月 19 日正式公告直接最終規定（Direct Final Rule），規劃自 2017 年開始，國內廠商進口與生產之汽油年均硫含量須低

於 10 ppm，並訂定為期六年的平均信用與交易條款與小型煉廠展延規範，以確保國內煉製業者皆能順利完成轉換並減緩衝擊。

整體而言，美國之油品品質管制政策雖然發展最早，但除加州等少數空氣污染較嚴重之區域外，油品品質標準升級速度在 90 年代後期趨緩，聯邦政府雖然對國內業者祭出嚴格之品質監管政策，但為了減緩品質提升對石油煉製業者之衝擊，採行平均出廠品質管制策略、提供 3 年之緩衝期予小型煉廠進行設備調整、建立硫含量配額交易制度，以確保國內煉製業者之操作彈性。

## (二) 歐盟

歐盟為控制跨國空氣污染物濃度，針對空氣污染物排放設立許多規定，如限制大型燃料能源工廠特定污染物排放數量、車輛尾氣排放各種規定、加嚴車輛排放管制等。1992 年 9 月，為了減少污染排放，歐盟先於 1993 年由歐洲標準委員會 ( European Committee for Standardization; CEN ) 公布第一版汽、柴油性能與品質規範建議，希望藉此縮小各國油品品質規範歧異程度；並於 1993 ~ 1996 年間展開第一期汽車油料計畫 ( Auto Oil Program I )，整合產、官、學及環保團體意見，發展解決環境問題之新模式，設定可確保經濟可行性、科學實驗證據之多階段管制目標，為後續之汽油低硫化發展奠定良好基礎，並成為國際清潔燃料推廣典範。

參考第一期汽車油料計畫之研究結果，CEN 於 1998 年推出汽車燃料自願性 CEN 品質規範，制定汽、柴油之密度與辛烷值，以及硫、苯等物質之含量上限標準，並因應油料使用地點之氣候與季節，設定不同之燃料揮發性上限。1997 ~ 2000 年進行的第二期汽車油料計畫 ( Auto Oil Program II )，設立 7 個工作小組進行多項議題研析，評估汽車尾氣排放與空氣品質之未來趨勢，並模擬主要城市 1995 年與 2010 年空氣品質狀況後再設定空氣品質目標，利用成本效益原則比較不同減排措施之政策成本與效果，研擬後續燃油品質管制與相關措施。上述兩階段的汽車油料計畫研究成果使 CEN 技術小組得以修訂相關油品之品質規範，至今已制定包含汽油 ( EN 228 )、柴油 ( EN 590 )、生質柴油 ( EN 14214 ) 等技術性規範供歐盟各會員國參考，並於 1998 年 10 月 13 日頒布具有約束力的燃料品質指令 ( Fuel Quality Directive; FQD )，維持歐洲市場燃料品質之一致性，建立可確保環境保護與民眾健康之最低燃料水準。

除了減少汽油鉛含量外，歐盟亦要求成員國政府逐步加嚴車用油品之品質規範，納入溫室氣體減排目標，增加汽油技術規範、車用柴油與生質燃料以及非公路移動機械之油料規範。根據 2017 年歐洲議會之委託研究報告，2001 ~ 2011 年間歐盟 28 國之煉廠平均脫硫效益約達 1.97 億歐元/家，2009 ~ 2013 年歐盟之道路與非道路燃料之 SO<sub>x</sub> 減排效益約達 6.95 億歐元，NO<sub>x</sub> 減排效益則約達 86.11 億歐元。

整體而言，歐盟之油品升級政策主要根據兩次汽車油料計畫之分析結果，採行階梯式加嚴管制措施，逐步提高境內油品品質標準，有限度鬆綁新進成員國之升級腳步，推動發展歐洲單一燃料市場；此外，歐盟亦積極發展生質燃料，致力於推廣低碳、清潔燃料，成功帶動全球清潔燃料升級風潮，2013 年正式實施之歐 VI 汽柴油品質標準更成為其他國家追隨之參考指標。

### (三)中國大陸

中國大陸於 2000 年落實汽油無鉛化政策後，參考歐盟油品升級路線，歷經國 I ~ 國 VI 六次修正，開始加速成品油質量升級工作。期間油品標準之升級速度雖然一度落後於車輛排放標準，例如 2007 年中國大陸分別於 1 月與 7 月暫停銷售不合乎國 III 排放標準之重型與輕型車輛，但國 III 汽油標準仍延後至 2010 年才正式實施。在國內大型煉製業者全力配合下，最終正式於 2017 年全面實施國 V 汽油標準，將汽油硫含量標準從 1999 年之 1,500 ppm 大減至 2020 年之 10 ppm，宣告達成「低硫化」目標。2019 年實施國 VIA 汽、柴油標準，則再度加嚴汽油之烯烴、苯與芳香烴含量以及 T50 (蒸餾率達 50%時之溫度) 上限規範。

與歐盟、美國不同，中國大陸之油品升級政策主要仍由國家能源局主導，並由石油公司配合進行煉廠設備投資，且由於中國大陸幅員廣大，城鄉落差極大，油品品質政策採行「試點政策」，優先對京津冀、長三角、珠三角區域之沿岸主要城市燃料加嚴管制 (圖 2)，藉此緩解主要城市之霧霾防治壓力。

|      | 中國大陸  | 北京                  | 上海                  | 廣州    | 歐盟  |
|------|-------|---------------------|---------------------|-------|-----|
| 1999 | 1,500 | 1,500               | 1,500               | 1,500 | 500 |
| 2000 | 1,000 | 800                 | 800                 | 800   | 150 |
| 2001 |       |                     |                     |       |     |
| 2002 |       |                     |                     |       |     |
| 2003 | 800   | 500                 | 500                 | 500   | 50  |
| 2004 |       |                     |                     |       |     |
| 2005 |       |                     |                     |       |     |
| 2006 | 500   | 150                 | 50                  | 500   | 50  |
| 2007 |       |                     |                     |       |     |
| 2008 |       | 50                  |                     | 50    |     |
| 2009 |       |                     |                     |       |     |
| 2010 |       |                     |                     |       |     |
| 2011 | 150   |                     | 50                  | 50    |     |
| 2012 |       |                     |                     |       |     |
| 2013 |       |                     |                     |       |     |
| 2014 | 50    | 10<br>(2012.05.31起) | 10<br>(2013.09.01起) | 10    |     |
| 2015 |       |                     |                     |       |     |
| 2016 |       |                     |                     |       |     |
| 2017 | 10    |                     |                     |       |     |
| 2018 |       |                     |                     |       |     |
| 2019 |       |                     |                     |       |     |
| 2020 |       |                     |                     |       |     |

註：單位為 ppm。

資料來源：國際清潔交通委員會（2011），「中國機動車排放控制措施評估成功經驗與未來展望」；柯曉明、王麗敏（2016），「中國第五階段汽柴油質量深及路線圖分析」。

**圖2 中國大陸主要城市汽油硫含量規範實施進程**

### 三、煉製業因應汽油低硫化作法

清潔燃料發展成為驅動過去 20 年全球各地煉製業者進行製程改善之主要原因。整體而言，國際上主要煉廠因應油品品質規範調整之設備投資策略可概分為三大方向，分別為增加煉廠之加氫處理裝置產能降低汽油之硫含量；提升觸媒重組工場產能，降低芳香烴含量；以及增設烷化工場、異構化工場或是 MTBE 工場產能，提升汽油辛烷值，降低雜質含量等。本文將以汽油低硫化發展為例，討論其對於煉製業者之影響及因應對策。

就地區特性而言，亞洲地區煉廠由於進料之硫份偏高，且觸媒裂解工場( fluid catalytic cracking; FCC ) 前處理產能普遍不足，過去 20 年來積極增設較完整之加氫處理工場 ( catalytic feed hydrotreater; CFHT )，先一步降低 FCC 進料之硫含量，提升觸媒裂解工場與 FCC 汽油後處理裝置產能，以確保其產品能滿足清潔燃料規範；相較之下歐盟境內煉廠因深度加工能力略低，且車用油品需求以柴油為大宗，故區域內煉廠設計多以生產柴油為主，主要透過減少原油進料之硫含量以及 FCC 汽油後處理單元 ( FCC gasoline post-treatment units ) 降低汽油之硫含量；美國煉廠則因複雜程度高，除了普遍設置加氫處理工場外，更偏好提升重油轉換工場 ( bottom-of-the barrel conversion units ) 產能以及 FCC 汽油後處理裝置產能，以生產低硫及超低硫燃油。

## (一)增設 FCC 進料預處理單元 ( CFHT 工場 )

觸媒裂解工場為生產裂解汽油之主要製程，一般而言，觸媒裂解工場之裂解汽油脫硫率約為 90%~97%，亦即若目標生產 10 ppm 之超低硫汽油的話，其進料之硫含量需控制在 300 ppm 以內。因此除了透過觸媒改良，提升該製程之脫硫效率外，亦可設法降低觸媒裂解工場進料之硫含量，目前實務上常見的方式為增設 CFHT 工場進行加氫處理，不僅可大幅降低觸媒裂解工場進料之硫含量( 先行去除 95%以上之硫份 )，亦可提升油品轉換效率與汽油產率。

## (二)增設 FCC 汽油後處理單元 ( 加氫脫硫工場 )

相較於投資金額龐大且複雜之 CFHT 工場，對於整體煉製結構影響較小之 FCC 汽油後處理單元 ( 亦即汽油加氫脫硫工場 ) 產能之擴張則更為常見。通常來說 FCC 汽油後處理單元之脫硫效率大約為 92%~98%，市面上常見的 FCC 汽油後處理單元製程包含 Prime G+、SCANfining、CDHydro/CDHDS、RSDS-I/II 以及 OCT-M/OCT-MD 等，其中 Prime G+製程可以有效減少辛烷值損失，且該製程之催化劑對雜質的敏感性低，穩定性極佳，非常適用於裂解原料之加工，並可依據煉廠之脫硫程度高低增加一階段或是兩階段脫硫程序，因而被廣泛使用。

## 四、結語

空氣污染管制成為推動各國油品品質改善之主要動力來源，如何在兼顧政策有效性與經濟性之前提下，擬定適合自身的油品品質管制方式與升級戰略，減少對於產業之衝擊與負擔，成為各國努力方向。

美國之油品品質管制政策雖然發展最早，但其油品品質標準升級步伐在 90 年代後期開始趨緩，並採行平均出廠品質管制策略、提供 3 年之緩衝期予小型煉廠進行設備調整、建立硫含量配額交易制度，以確保國內煉製業者之操作彈性。歐盟之油品升級政策採行階梯式加嚴管制，選擇在政策制定初期即預告最終管制目標與其年限，逐步落實境內油品品質目標，雖然給予成員國調整國內規範之權限，但仍以發展歐洲單一燃料規範為主要目標，其成功經驗成為其他國家油品品質升級規劃之參考標的。中國大陸之油品升級政策主要仍由國家能源局主導，在國內大型石油公司積極配合煉廠設備投資規劃下帶動油品品質規範快速發展，其推行方式採行「試點政策」以緩解主要城市之霧霾防治壓力。

觀察主要國家之汽油品質規劃發展趨勢可發現，低硫化為過去 20 年以來汽油品質提升之主要方向，為確保煉廠之產業競爭力，各國煉製業者大多選擇使用高硫原油為進料，積極增設 FCC 進料預處理單元 - CFHT 工場、FCC 汽油後處理單元等加氫脫硫設備產能，或提升深度加工能力。從全球品質領先地區觀察，汽油現行之 10 ppm 硫含量規範基本上已達到極限，預計在未來 10 年間，全球多數國家之車用油品將逐步達到低硫化目標；而在汽、柴油成功完成低硫化轉型後，油品低硫化政策亦隨著 IMO 2020 政策之正式實施，擴張至海運燃油市場，低硫燃料油需求增加，將可望驅動全球煉製業者展開下一輪之設備投資規劃，擴大重油裂解工場 ( residue fluid catalytic cracking; RFCC )、延遲焦化工場 ( delayed coking ) 產能。

## 參考資料

### 一、中文部分

1. 鄭麗君、朱慶雲、李雪靜、喬明，2015 年，「歐盟汽柴油質量標準與實際質量情況」，國際石油經濟，第 23 卷，第 5 期，頁 42-48。
2. 柯曉明、王麗敏，2016 年，「中國第五階段汽柴油質量深及路線圖分析」，國際石油經濟，第 23 卷，第 5 期，頁 21-27。
3. 張振、李文濤、焦益龍、杜國敏、吳浩筠，2017，「美國成品油行業監管模式及運行機制」，國際石油經濟，第 25 卷，第 5 期，頁 67-76。

### 二、英文部分

1. Amec Foster Wheeler (2017), "Evaluation of Directive 98/70/EC of 13 October 1998 relating to the quality of petrol and diesel fuels as amended," Publications Office of the European Union, Luxembourg.
2. Barletta, T., Golden, Scott W. (2002), "Refiners Must Optimize FCC Feed Hydrotreating When Producing Low-sulfur Gasoline."
3. Eijsbouts, S., Mayo, L., Burns and G. Anderson (2009), "Deactivation of Hydrotreating Catalysts in Different Reaction Zones of a VGO FCC-Pretreatment Reactor."
4. Friedrich, A., Tappe, M. and Wurzel, R. K. W. (2000), "A new approach to EU environmental policy-making? The Auto-Oil I Programme," Journal of European Public Policy, Volume 7, Issue 4, pp. 593-612.
5. Goodwin, F. (1999), "Controlling Traffic Pollution and the Auto Oil Programme," European Federation for Transport and Environment.
6. Largeau, D., Ross, J., Laborde, M. and Wisdom, L. (2012), "Challenges and opportunities of 10 ppm sulphur gasoline: part 1."
7. Largeau, D., Ross, J., Laborde, M. and Wisdom, L. (2012), "Challenges and opportunities of 10 ppm sulphur gasoline: part 2."
8. Taminiau, Y., Molenkamp, G. and Tashchilova, S. (2006), "The Pendulum: The Auto-Oil Programmes Revisited," Energy & Environment, Vol. 17, No. 2, pp. 243-262.

9. The Office of Administrative Law (2014), "The California Reformulated Gasoline Regulations."
10. Watkins, B., Haley, J. and Schiller, R. (2014), "Meeting Tier 3 Gasoline Sulfur Regulations," Grace Catalysts Technologies Catalog, Issue 114, pp. 36-39.