

# 鍋爐系統

能源查核及節約能源案例手冊

# 鍋爐系統能源查核及節約能源案例手冊

## 目錄

### 摘要

#### 一、前言

#### 二、鍋爐系統簡介

(一)鍋爐原理及種類

(二)鍋爐系統及流程介紹

#### 三、燃料及排放物

(一)燃料的分類

(二)燃料的基本條件

(三)排氣分析

(四)排氣溫度與露點

#### 四、鍋爐效率及最佳化操作

(一)鍋爐最佳化操作

(二)鍋爐效率的提昇及效率計算

(三)鍋爐能源效率標準

#### 五、鍋爐系統能源查核事項

(一)過剩空氣量

(二)排煙溫度

(三)爐壁溫度

(四)排煙中 CO 濃度之檢測

(五)燃煤鍋爐灰中未燃碳

(六)能源查核及節能管理要項

(七)鍋爐系統點檢紀錄及維護保養彙整

#### 六、鍋爐系統節能方法與節能案例分析

(一)降低鍋爐排氣溫度

(二)閃化後的熱水回收使用

(三)裝設液壓聯軸器節省用電

(四)送風機加裝變頻器節省用電

(五)煙管鍋爐積油灰清理週期修訂

## 七、參考資料

附錄一 日本有關鍋爐的基準空氣比、排氣溫度及爐壁表面溫度基準值

附錄二 鍋爐系統能源查核表

附錄三 鍋爐系統基本資料

附錄四 瓦斯的分類及組成

# 摘要

鍋爐系統在工業上使用極為頻繁，一般蒸汽鍋爐，其產生之蒸汽不僅是使用在製程上作為直接加熱、間接加熱之熱源；高壓蒸汽也應用於汽電共生，甚至在火力發電上，推動渦輪機等原動機，產生電力。另外，常見之熱媒鍋爐也常被用來作為工廠中重要之加熱熱源。

近年，能源價格日益高漲，如何使鍋爐在最有效率之條件下運轉，以降低能源耗用，減少 CO<sub>2</sub> 之排放量，提升產品競爭力，成為刻不容緩之重要議題。本手冊將就鍋爐之系統簡介、燃料及排放物、鍋爐效率、鍋爐系統能源查核事項及鍋爐系統節能方法與節能案例分析等五部分進行討論，作為各業界鍋爐相關規劃、操作、保養之參考，使鍋爐在最適化的情形下操作，以提昇能源使用效率。

## 一、前言

鍋爐系統在工業上使用極為頻繁，一般蒸汽鍋爐，其產生之蒸汽不僅是使用在製程上作為直接加熱、間接加熱之熱源；高壓蒸汽也應用於汽電共生，甚至在火力發電上，推動渦輪機等原動機，產生電力。另外，常見之熱媒鍋爐也常被用來作為工廠中重要之加熱熱源。

近日，能源價格日益高漲，如何使鍋爐在最有效率之條件下運轉，以降低能源耗用，減少 CO<sub>2</sub> 之排放量，提升產品競爭力，成為刻不容緩之重要議題。本手冊將就鍋爐之系統簡介、燃料及排放物、鍋爐效率、鍋爐系統能源查核事項及鍋爐系統節能方法與節能案例分析等五部分進行相關討論，作為各業界鍋爐相關規劃、操作、保養之參考，使鍋爐在最適化的情形下操作，以提昇能源使用效率並增加產品之競爭力。

## 二、鍋爐系統簡介

### (一)鍋爐原理及種類

所謂鍋爐，簡單而言係指一個設備，它藉由燃燒的過程，穩定連續的將燃料中的化學能轉變為熱能，此熱能再將水蒸發變成高溫高壓的蒸汽。而產生的蒸汽，則提供作為各種製程上使用，如石化製程、紡織業製程加熱，或各種乾燥的熱量來源，另外，也使用在推動汽輪機(Turbine)等原動機來帶動壓縮機、泵甚至發電機等大型轉動設備。

鍋爐的種類以用途分類有：工業鍋爐、船用鍋爐、汽電鍋爐、熱水鍋爐，而工業鍋爐又可分為水管式鍋爐、火管式鍋爐、熱煤鍋爐、貫流式鍋爐。其中水管式適用於高壓力蒸汽，如一般鍋爐及汽電鍋爐，效率較高；火管式鍋爐因煙道熱氣走管內亦稱為煙管式鍋爐，結構上不適用於高壓蒸汽系統，且其效率較水管式鍋爐為低。

鍋爐所使用的燃料目前較常用的都是一些化石燃料，例如固體的煤炭、液體的燃料油、氣體的天然氣等；各種燃料都有它的優缺點，例如煤炭比較便宜，天然氣比較潔淨等。

而吸收熱的介質除了水之外，還可以是其他的流體，例如熱煤鍋爐中的熱煤。在本手冊中則將針對蒸汽鍋爐做較深入之探討。

### (二)鍋爐系統及流程介紹

整個鍋爐系統主要包含燃料及其輸送、燃燒器、爐膛、燃燒控制系統、預熱器、節煤器、集塵設備、排煙脫流、給水系統、汽水循環系統等，下圖則為鍋爐系統之示意圖。

本手冊著重在鍋爐本體及周邊附屬設備節能管理介紹，蒸汽系統部分則於另冊探討。

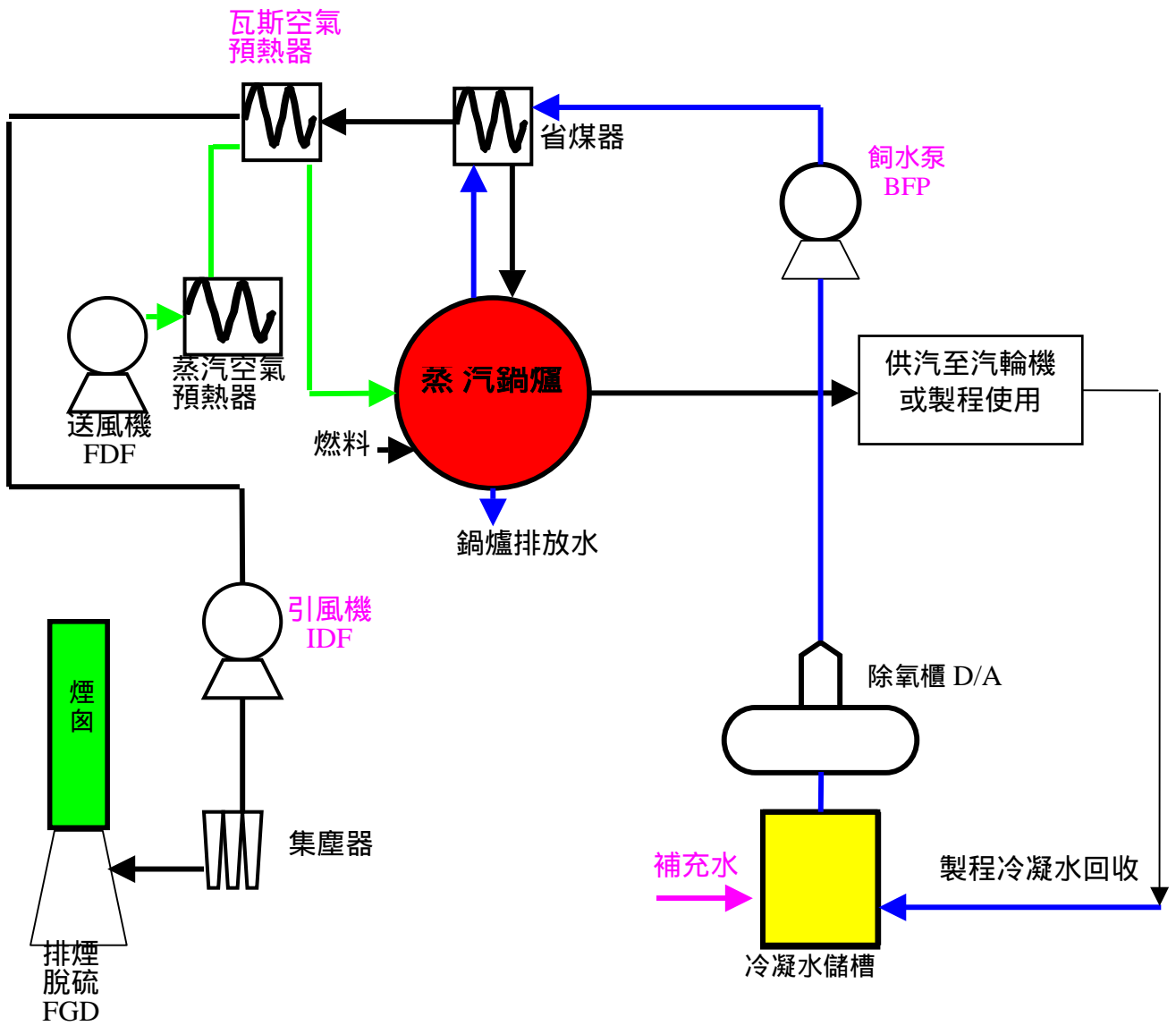


圖 1 鍋爐系統流程示意圖

### 三、燃料及排放物

#### (一)、燃料的分類

燃料是一種容易在空氣中燃燒而能經濟地利用其燃燒熱之物質總稱，因此須具備供應容易、穩定、價格便宜、貯存及搬運處理方便等條件，依使用狀態可分為固體燃料、氣體燃料、液體燃料三種。

##### 1. 固體燃料

以固體狀態使用之燃料謂之固體燃料，以植物及其變質物為主，如：木材、蔗渣、泥煤、褐煤、瀝青煤等，木材、蔗渣及煤之加工品如焦炭，一般均用在小型回收鍋爐，在較大型鍋爐用之燃料則以煤為主。煤炭之種類，各學派創見頗多，標準亦不盡一致，大致列舉如下：

##### (1) 依煤質分類

煤炭依碳化程度分為無煙煤(Anthracite)，瀝青煤(Bituminous)，褐煤(Lignite)，及泥煤(Peat)等，成分以碳為主，另外含氫、氧、硫、氮等元素及水份、灰份，而無一定比例。碳化度高者以燃料比(固定炭/揮發物)分類，碳化度低者以純碳發熱量(換成無水無灰之發熱量)之多少分類。

##### (2) 依煤種分類

- A. 以產地別、煤田、礦坑名稱分類，如美國煤、澳洲煤、大同煤……等。
- B. 以粒度大小分類，如：通過篩子 20~30mm 者為細煤(煤屑)，40~64mm 者為中塊煤，64mm 以上者為大塊煤。
- C. 以用途別分類，如鍋爐用、原料用、一般燃燒用等。
- D. 以性狀別分類，如強粘結煤、弱粘結煤，水洗煤等。

##### 2. 液體燃料

以液體狀態使用之燃料謂之液體燃料，以石油產品為主，比重 0.75~0.97，發熱量 10100~11000kcal/kg 是一種複雜之碳氫化合物，依不同產地其性質有很大之差異，由原油分餾為汽油、煤油、輕柴油，剩下者為重油(又稱 C 重油)。重油為一般鍋爐之主要燃



料，柴油機發電以輕柴油、B 重油爲主，氣渦輪機則以汽油、煤油、輕柴油爲其燃料。

### 3、氣體燃料

氣體燃料可分爲由地下噴出之可燃天然氣，工業副產品之煤氣、鍊鋼爐氣、液化石油氣……等。

#### (1)天然氣

主要可燃物是甲烷(Methane)謂之乾性氣，由氣田、沼澤地、泥煤地、煤田地帶等較淺部位產出又稱熔解性氣，另外成份爲碳氫化合物，以冷卻、吸收等方法可變爲汽油謂之濕性氣，在油田地帶隨油產出謂之石油，加以冷凍液化者謂之液化天然氣(L.N.G.)。

#### (2)煤氣

煤炭乾餾製造之氣體總稱爲煤氣，蒸餾(Retort)製造之氣體謂之蒸餾氣，焦炭爐(Coke Oven)製造者謂之焦爐氣，在大都市使用之煤氣則以水性氣混入，冷卻洗淨除去焦油(tar)、氨、苯、硫等，回收後供作燃料謂之都市煤氣(City Gas)。

#### (3)鍊鋼爐氣

在鍊鋼、熔礦過程中使煤炭、焦炭不完全燃燒所得之一氧化碳可燃性氣體及二氧化碳、氮、灰塵等不可燃性氣體。

#### (4)液化石油氣

石油蒸餾及石油分解時產生之氣體或製造汽油時副產之氣體經壓縮液化稱爲液化石油氣(L.P.G.)或稱丙烷氣(Propane Gas)爲家庭用主要燃料。

#### (5)其他

化學合成、精製時排出之氣體尚含有甚多可燃物，可收回做燃料，多用於小型之自家發電。

## (二)燃料的基本條件

燃燒也就是燃料之氧化作用，燃料的氧化作用如急遽持續地進行會產生大量的熱，這種現象稱爲燃燒。燃料燃燒之難易，視其揮發爲氣體之快慢而不同，同時視其最初氧化反應所聚積熱量遞增值之多寡而有很大的差異。

燃料燃燒時須有一定限度以上之溫度、空氣量及時間，燃料的燃燒無論何種燃料必先揮發為氣體，而後始能繼續安定的燃燒。

燃料之成分大部分為碳、氫的化合物，氫氣在常態時均為氣體，所以燃燒較易，碳元素在常溫時為固體，加熱亦不易全部揮發，故燃燒較難。

燃料與空氣作適當之混合後只需外界略予熱源，待其氧化連鎖反應快到其所放出之熱量比散去之熱量大時，燃料與空氣之混合物即能保持連續安定之燃燒，此時所需之最低溫度稱為著火點，實際之著火點因周圍之環境、爐膛壓力、燃料與空氣之混合比等的不同而異。

燃料與空氣如混合之比例不當，則空氣太多時燃料濃度較稀薄，反之則較濃，太薄或太濃之燃料與空氣混合物除無法得到連續穩定之燃燒外，太濃會造成不完全燃燒，太薄會增加排氣熱損失，故欲得到穩定、完全之燃燒，燃料與空氣的混合比有其一定之範圍，此範圍內之混合物謂之可燃性混合物(Inflammable Mixture)，實際的燃燒過程比理論更複雜，首先空氣須預熱至接近著火溫度以幫助燃燒，燃料與空氣雖依照適當的比例送入燃燒室，但由於噴嘴、分配器、導向片等設備之不良及爐膛有偏流，都可能在燃燒室中混合不均勻使某一部份混合物太稀薄，另一部份又太濃而造成燃燒不穩定。

### (三)排氣分析

為使燃料完全燃燒必須供給比理論空氣量多而能與燃料均勻混合之最少量過剩空氣，此過剩空氣量依燃料之性質及燃燒裝置而異。一般而言之，在使燃料完全燃燒之前提下，過剩空氣量愈少，愈能提高燃燒溫度而促進良好的燃燒，並能減少排氣所帶走的熱損失；而低硫份燃料可減低  $\text{SO}_3$  生成量並可抑低排氣對鍋爐之低溫腐蝕及對環境所造成之污染，故低過剩空氣量之運轉非常重要。

為判斷燃燒之好壞以節省燃料及防止公害，必須做燃燒管理。普通以分析排氣中之  $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{N}_2$  含量( $\text{CO}_2+\text{O}_2+\text{CO}+\text{N}_2=100\%$ )及計

算排氣中應含有之 $(CO_2)_{max}$  與過剩空氣量來判斷，完全燃燒則排氣成份中無 CO，且  $CO_2$  含量接近 $(CO_2)_{max}$ ；如排氣中有 CO 則為不完全燃燒現象。灰渣中可燃物成份太高則為混合不均勻或粉煤細度太粗所致。排氣中  $CO_2$  含量若與計算應有之 $(CO_2)_{max}$  相差很大，若非不完全燃燒便是過剩空氣太多。這些現象都要做燃燒調整。

為便於隨時瞭解燃燒情況，鍋爐都裝有物理式之  $CO_2$  分析計或  $O_2$  分析計來監視，並以化學式之 ORSAT 氣體分析器來定期分析排氣之成份及校驗  $CO_2$  計或  $O_2$  計之準確性。

下圖即是排氣  $CO_2$  及  $O_2$  含量與過剩空氣量之關係，可由  $CO_2$  計或  $O_2$  計之指示含量由圖中求出過剩空氣量。 $CO_2$  與過剩空氣之關係依燃料種類大有差異；而  $O_2$  與過剩空氣之關係受燃料種類影響很少，故近年來大部份較大型鍋爐均採用  $O_2$  計來監視。

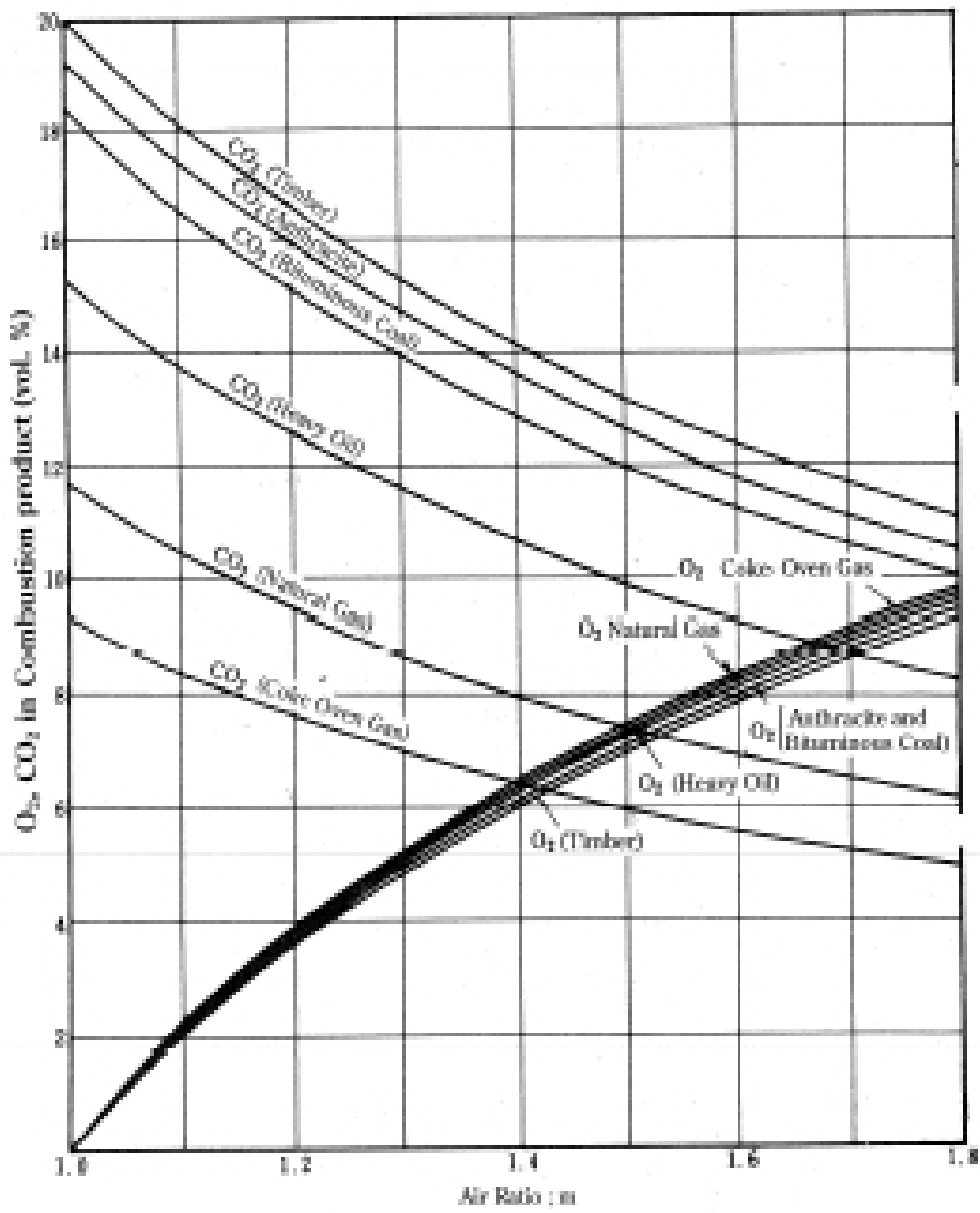


圖 2 排氣  $CO_2$  及  $O_2$  含量與過剩空氣量之關係

#### (四)排氣溫度與露點

排氣溫度也是決定鍋爐熱損失之重要因素之一，排氣溫度太高，隨排氣排放至大氣中之熱量就愈大，熱損失也愈高。故在鍋爐後半部設有省煤器及空氣預熱器等裝置來回收熱量，降低排氣溫度。

但如排氣溫度低於煙氣之露點(Dew Point)，則其中之水汽開始凝結為水滴而有害於空氣預熱器之低溫段及其下游之煙道設備。煙氣之露點即為煙氣中水汽(Water Vapor)之分壓力(Partial Pressure)所相當之飽和溫度。硫化物會使排氣之露點較理論值為高，故凡燃燒含較高硫份之燃料時，其煙氣溫度之設定要較高。理論上煙氣之露點可由計算求得，但實際應用數值則大多由實驗求得(參閱附件一：日本有關鍋爐之排氣溫度基準)。

## 四、鍋爐最佳化操作及鍋爐效率

### (一)鍋爐最佳化操作

我們評估一個蒸汽鍋爐是否為最佳化操作，至少有下列幾個重點須要被考慮：第一個就是能量的利用，這一部份包括如何有效的將燃料中的化學能藉由燃燒的過程儘量全部轉換成熱能，接著就是如何的藉由適當的設備及妥善的操作將熱能傳遞到水這個介質，這一部份亦是本手冊研討的主題。

第二個部分就是鍋爐產出的蒸汽品質，影響的有補充水的水質控制，以及鍋爐操作的控制等。包含補充水製程的操作管理以及鍋爐系統的給水、爐水水質調整，例如：加中和胺調整給水的 PH，避免腐蝕等異常發生；加脫氧劑，例如聯氨，降低水中的溶存氧，避免腐蝕發生，以及加磷酸鹽類之清罐劑防止鍋爐產生鍋垢等。不同種類、壓力等級之鍋爐的相關水質控制基準在 JIS 及 ASME CODE 等都有詳細規範。水質的控制技巧，添加藥品的種類、濃度，目前都有水處理的專業廠商能提供客戶最好的建議。爐水、蒸汽品質控制不良，會造成鍋爐設備腐蝕或結垢，同時爐水或蒸汽品質不良造成的異常也會使蒸汽鍋爐，甚至蒸汽用戶整個系統的危害，所以必須特別注意加以控制。

第三個部分就是鍋爐系統的穩定性，鍋爐一般產生的產品”蒸汽”，往往使用的客戶眾多，一旦蒸汽品質例如壓力、溫度不符合要求，甚至因為設備異常，發生非預期的停車，造成停止供應蒸汽，經常會造成連鎖反應，導致下游眾多客戶的連帶影響，所以蒸汽鍋爐系統運轉的穩定度、可靠度，也是它操作最適化與否的一項重要指標。這一部份除了上述所講的燃燒調整、水質控制以外，包含了建廠之初的規劃是否妥當，鍋爐於試車運轉後，除了要建立標準操作程序(SOP)及標準保養程序(SMP)，要求相關人員確實遵守執行，避免因人為失誤造成設備系統的損壞外，設備的保養也應該從傳統的故障保養，改為藉由振動分析儀、紅外線測溫儀等儀器，對相關設備進行量測記錄及趨勢管理，達到設備在發生重大異常前，就能預先判斷，事先進行備料、生產調度以及安排計劃性的停車檢修，

來達到不單是對蒸汽鍋爐，甚至是整個公司不利影響降到最低的安排。

除了上述三個項目外，蒸汽鍋爐的操作亦必須符合相關的工安、環保的法規要求，以較大型的蒸汽鍋爐而言，是所謂的危險性設備，依照現有的工安法規，需要申請危險性工作場所、製程危害分析(HAZOP)等，操作人員也必須受訓取得鍋爐操作等證照，另外還必須每年向工檢單位申請檢查等等。以環保而言，蒸汽鍋爐通常須要有設置許可、操作許可，還要定期進行排煙檢測，甚至安裝連續排煙監視系統(CEMS)，確保排煙中污染物符合環保法規，也要每季依污染物排放量、燃用燃料種類申報空污費。以上種種都與蒸汽鍋爐是否能合法穩定運轉習習相關。

## (二)鍋爐效率的提昇及效率計算

要使鍋爐達到能量的充分利用以提升效率，基本上有下列三種方式：

第一個是藉由調整燃燒條件，使燃料在鍋爐內充分完全的燃燒，也就是將燃料中的化學能儘量轉換成熱能。再來就是將生成的熱能儘量的回收使用，這部份除了可以藉由水吸收熱轉變成高溫高壓的蒸汽外；也可以將這些熱量回收，用來加熱助燃空氣或燃料，以達到能量的充份回收。另一種提升鍋爐效率的方法就是減少鍋爐系統的電力等能源使用，這一部份常藉由良好的設計及適當的設備來達到節省能量的目的，例如適當煙風道或管路尺寸的設計減少壓損，相對降低風車或泵的電力耗用，或著是使用液壓聯軸器、變頻器等設備替代風門、控制閥等浪費能源的設備，以達到節省電力能源之目的。

鍋爐是一個很成熟的製程設備，所以第二、三項有關能量的充份回收及節省，一般在系統規劃設計階段，應該都已經充份考慮，故在本手冊不再贅述，後面章節中則以節能改善的實例說明。

至於燃燒的最佳化調整，往往跟燃料的特性及人員的操作習慣有很大的關係，尤其是大型蒸汽鍋爐，一般因為能源耗用量比較

大，爲了考量降低燃料費用及燃料取得的穩定性，往往使用價格最便宜，蘊藏量最豐富的煤碳做爲燃料，而煤碳一般均直接由礦坑挖掘出來，未經特殊處理就送給客戶使用，而每一個礦坑所產的煤碳性質產異性很大。

藉由燃燒的調整可以達到降低燃料的殘餘未燃份，也就是將燃料中的化學能充份的轉換爲熱能，一般而言，可以將灰中之未燃碳(U.B.C.)降低到 4~6%。在這裏要補充說明的一點是，目前因爲環保法規嚴格要求排煙中的 NO<sub>x</sub> 含量不得超過管制值，所以新設鍋爐使用分段燃燒的低氮氧化物燃燒器(Low Nox Burner)配合火上風(OFA)以降低燃燒溫度，抑制 thermal Nox 生成量的燃燒方式已變爲主流，這種方式雖可將 Nox 排放量由大概 500ppm 降至約 200ppm，相對而言也犧牲了燃燒效率，前面所說將灰中之未燃碳降低到 4~6%，是在將 NO<sub>x</sub> 控制在約 200ppm 前提下，如果不考慮 thermal NO<sub>x</sub> 生成量，而以其他方式控制 NO<sub>x</sub> 排放濃度，藉由適當的調整燃燒條件應可將 U.B.C. 控制在 4% 以下，更進一步提高燃燒效率。

另外藉由適當調整操作條件及適當裝置熱回收設備，可以盡量降低排煙溫度，也就是減少能量損失，增加能量的回收率，提高鍋爐效率，但是一般燃料除了天然氣外都有硫份存在，而硫份在燃燒過程中將氧化成硫氧化物，如果排煙溫度低於硫氧化物的冷凝點，一般稱爲露點；硫氧化物將冷凝成硫酸或亞硫酸，造成系統的腐蝕，影響系統的穩定安全運轉。

硫氧化物的露點隨排煙中水份的含量及硫氧化物的組成而定，一般約在 130~150°C，所以在安全運轉的考量下，排煙溫度除考量能量的回收外，也要考量避免腐蝕的發生，所以以燃煤鍋爐而言，一般都將鍋爐排煙控制在 130°C 左右。

要提升鍋爐效率，就必須對所謂燃燒做較深入之探討，所謂燃燒是指燃料的氧化作用，即氧化作用持續急速地進行，而且產生大量的熱，我們就稱這種現象爲燃燒。

在此需強調，不論是固體燃料、液體燃料或氣體燃料，燃燒前都必須先揮發成氣體，所以燃料燃燒的難易，視燃料成分揮發爲氣



體的快慢而不同，同時也視他最初氧化反應所聚積熱量遞增值的多少，而有很大的差異。

從燃燒的定義可以發現，要構成燃燒須要有三個最基本的條件，燃料、熱(溫度)，氧氣(指助燃物)，因為空氣中含有 20.9%的氧氣，所以一般都是以空氣做為燃燒的助燃物。

燃料如前述可依照物理性質分為氣體燃料、液體燃料以及固體燃料，成分大部分為碳、氫、氧等的化合物，氫氣在常態時是氣體，所以燃燒較容易，碳元素在常溫時是固體，加熱也不容易全部揮發為氣體，所以燃燒較困難。

燃料跟助燃物作適當混合後，只需要外界稍微給他加一點熱源，當這些混合物的氧化連鎖反應快到他所放出的熱量比散去的熱量還大的時候，燃料跟助燃物的混合物就能夠保持連續安定的燃燒，在這裡所需要的最低溫度就稱為著火點，實際的著火點因為周圍的環境、爐膛的壓力、燃料與助燃物混合比等的不同而不同。

燃料跟助燃物混合的比例不當，如果助燃物太多的時候，燃料濃度就比較稀薄，反過來燃料濃度就太濃，太薄或太濃的燃料跟助燃物的混合物，除了無法得到連續穩定的燃燒之外，燃料太濃會造成不完全燃燒，燃料太薄會增加排氣的熱量損失，所以要得到穩定、完全的燃燒，燃料跟助燃物的混合比，有一定的範圍，這個範圍內的混合物我們稱之為可燃性混合物(Inflammable Mixture)

固體燃料跟液體燃料的主要成份都是碳氫化合物，其燃燒所需助燃物的計算，是先依照元素分析，來分析燃料成份的重量比，再依燃燒反應式來計算他所需要的助燃物量。而氣體燃料的主要成份則是多種含不同碳氫原子數的分子混合物，他燃燒所需助燃物的計算一般是以成份的容積比，再依燃燒反應式計算來計算他所需要的助燃物量。以下為較常用的公式是計算公式，供參考。

#### 1. 理論空氣量與實際空氣量的計算

理論空氣量一般以  $A_0$  表示，是代表依燃料燃燒的化學反應所求出之乾空氣量。

A. 以固體及液體燃料而言

常用的計算公式：

$$A_o = 11.47C + 34.48 (H - O/8) + 4.31 \quad (\text{Kg/Kg 燃料})$$

$$A_o = 8.89C + 26.66 (H - O/8) + 3.33 \quad (\text{Nm}^3/\text{Kg 燃料})$$

B. 以氣體燃料而言

常用的計算公式：

$$A_o = 4.76 \times \{0.5(H_2) + 0.5(CO) + 2(CH_4) + 7.5 (C_6H_6) - (O_2)\} \\ (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ 燃料})$$

在上面三個公式中 C、H、O、S 代表固體及液體燃料的成份重量比(Kg/Kg)；而 H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub> 等則代表氣體燃料成份的容積比(Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>)

在實際應用的時候，在燃燒的過程中，應該多供給些空氣才能得到完全燃燒，這一部分比理論所需量多出來的空氣量，稱之為過剩空氣(excess air)。

實際空氣量(一般以 A 表示)一般都用與理論空氣量的百分比表示，而所供給的空氣一般是直接由大氣中抽取，所以都是含有濕度的濕空氣量(一般以 A<sub>w</sub> 表示)，有關實際空氣量、濕空氣量的計算式如下面兩個公式所示：

$$A = A_o m,$$

$$A_w = (1 + y) A$$

在上面公式中 m 代表的是過剩空氣比

$y = 47 \times X / 29$ ，為含乾空氣量 1Nm<sup>3</sup> 之空氣中所含之水蒸氣量(Nm<sup>3</sup>)，X 為空氣之絕對濕度(Kg/Kg)。

一般而言，過剩空氣比愈高，燃料愈容易完全燃燒，但因爐膛等設備熱交換面積及容積為固定，過多的過剩空氣進入系統，相對在系統內的燃燒、停留時間縮短，熱量傳遞給水等介質的量反而降低，而且由物質不滅定律可以知道，由煙囪排出的煙氣總質量將增

加，所以排出系統的熱量相對增加，反而降低系統的總熱效率，就總體熱效率而言，過剩空氣比並不是愈高愈好。

依經驗值，各種燃料的合理空氣過剩比是：

固體燃料一般在 1.15~1.20 之間，相對而言，也就是排煙在爐膛出口的氧氣濃度控制在 2.8 到 3.5%之間

液體燃料一般在 1.10~1.15 之間，也就是排煙在爐膛出口的氧氣濃度控制在 1.9 到 2.8%之間

氣體燃料一般在 1.05~1.10 之間，也就是排煙在爐膛出口的氧氣濃度控制在 1 到 1.9%之間

有關於不同過剩空氣量的情形下，爐膛出口氧氣濃度的簡易的計算公式，就是將過剩空氣量減 1，乘以 21 再除以過剩空氣量，即可以得到爐膛出口氧氣濃度，例如以過剩空氣量 1.2 為例，1.2 減 1，等於 0.2，再乘以 21 等於 4.2，再除以過剩空氣量 1.2 等於 3.5，所以過剩空氣量 1.2 時，爐膛出口氧氣濃度理論上應該是 3.5%。(參閱表 1：過剩空氣與煙氣中含氧量關係圖及附件一日本有關鍋爐之過剩空氣比基準)。

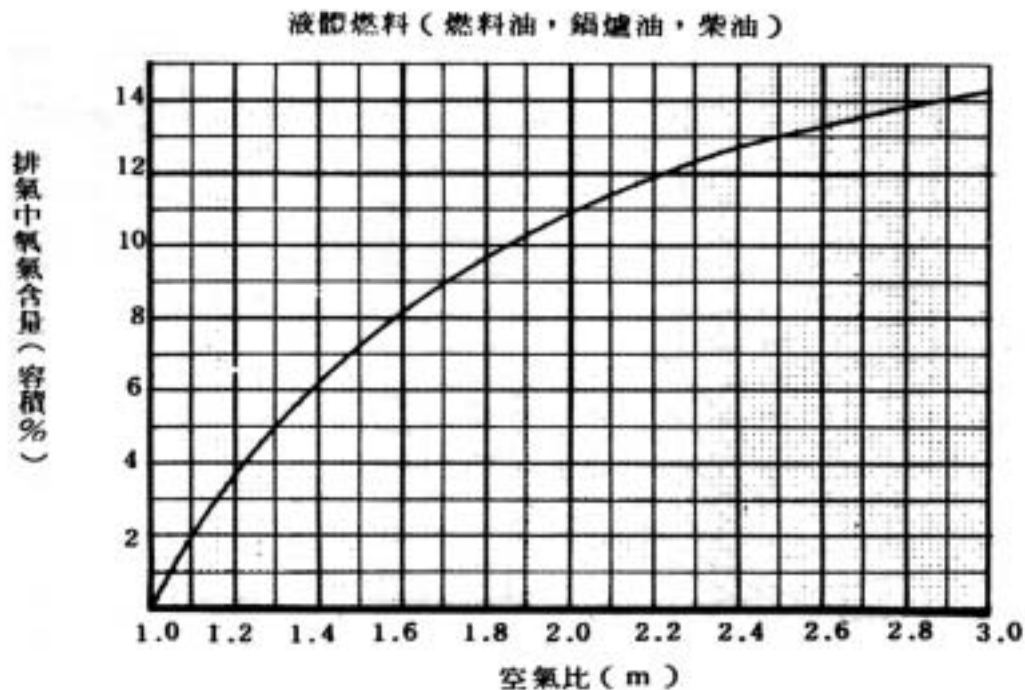


圖 3 過剩空氣與煙氣中含氧量關係圖

從上面我們瞭解了燃燒的三個基本條件對鍋爐效率的影響，接下來針對在鍋爐系統燃燒過程中，一般操作上可以調整的三個燃燒參數討論，他們分別是溫度(Temperature)、時間(Time)、紊流(Turbulence)，因為每一個英文字的第一個字母都是 T，所以習慣上我們稱之為”三 T”。

首先來看溫度：不論是燃料或助燃物，溫度愈高，燃燒就愈完全，燃料一般藉由預熱或乾燥來提升他的溫度。在燃料安全運轉的條件下，將燃料以適當方式加熱，例如燃油以蒸汽式熱交換器或電熱式加熱器加熱，除了可以提高燃燒的溫度，相對而言，縮短他在爐膛揮發為氣體所需的時間，也就可延長燃料在燃燒區燃燒時間，可以有效提高燃燒效率。而燃料油在加熱的過程中，往往會析出瀝青的雜質，附著於加熱器的換熱表面，影響熱交換效率，造成燃油溫度無法到達設計值，降低燃燒效率，或需要耗用較多蒸汽或電力等異常，故需紀錄相關運轉實際燃油溫度，加以追蹤了解加熱器之性能，必要時需加以拆解清理。

或者是將燃料以適當方式乾燥，例如粉煤在粉煤機以一次熱風乾燥並加熱，除了可以提高燃燒溫度，相對而言，也延長燃料在燃燒區燃燒時間，可以提高燃燒的效率。

以助燃物而言，通常將助燃物(空氣)經由各種熱回收設備，例如瓦斯空氣預熱器等，以排煙等將助燃物進入爐膛溫度提高，除了可以降低排氣熱量的損失，也可以提高燃燒效率。而鍋爐常用燃料一般都會產生油灰或煤灰，這些雜質極易附著於瓦斯空氣預熱器，影響熱交換效率，造成熱量無法有效的由熱排煙傳遞到助燃空氣中，造成煙囪排煙溫度偏高等異常，降低鍋爐之效率(一般而言，排煙溫度每提高 10°C，鍋爐效率降低 0.6~0.7%)，故除須定期使用吹灰器等將附著於熱交換器表面積灰清除外，提升熱交換器性能，降低排煙溫度外，亦需紀錄相關運轉實際排煙溫度，加以追蹤了解熱交換器性能，必要時需進行人工清潔熱交換器之工作。

以時間而言，燃燒滯留時間愈長，燃燒愈完全，但一般鍋爐的燃燒爐膛在設計施工完成後，幾乎是一個定值，在同樣的負載下，燃燒時間也相對是定值，所以除非是系統有尖、離峰負載調整，可以在離峰時段藉由平均降低各鍋爐負載，以延長燃燒時間外，否則一般均是以減小燃料顆粒或降低過剩空氣等方式，以相對延長燃燒時間的方式，來提升燃燒效率。

以燃料而言，可以藉由粉碎相對延長燃燒時間，例如屑煤經由粉煤機輾磨，使其粉碎，除可增加燃料與助燃物接觸面積，提高燃燒效率之外，並且因為屑煤顆粒變小，可以減少各粉煤燃燒所需時間，相對地，就是延長燃燒時間，提升燃燒效率。

一般目前的燃燒器對粉煤的要求大約在下面這種粒度的標準：

通過 200 mesh 篩網的粉煤百分比需在 75% 以上

通過 50 mesh 篩網的粉煤百分比需要在 99% 以上

一般粉煤機內部磨輪及磨盤等，均使用如高鉻合金耐磨件製作，以確保使用壽命及性能，但仍應定期檢視、量測各元件之磨耗情形，當磨耗超出廠商建議基準值時，應予以更新，確保粉煤粒度

符合需求。並應定期取樣檢驗粉煤粒度，除作為粉煤機性能之參考外，亦可作為燃燒條件調整之依據。

就助燃物而言，助燃物愈少，相對燃燒滯留時間愈長，燃燒愈完全。除了適當調整過剩空氣量，將其控制在最低值，以提昇燃燒效果之外，如前面所提到的，因為環保要求，目前高壓鍋爐一般均使用低氮氧化物燃燒器(LOW NO<sub>x</sub> BURNER)及火上風等環保設備，適當搭配調整，除了可以降低 NO<sub>x</sub> 排放，仍可維持燃燒效率在一定水準以上。

就紊流效果而言，系統紊流愈大，使燃料及助燃物接觸機會就愈多，燃燒也就愈完全。

以燃料來講，例如粉煤一般藉由一次風輸送，在燃燒器內經過旋風器或文氏管產生較大旋轉或流速，來達到增加系統紊流的目的。或是重油經由油槍頭之噴灑、霧化，來達到增加系統紊流的目的。如前所述，燃料油除本身可能在製造或運輸過程中可能會有雜質外，在加熱過程也容易析出瀝青，造成油槍噴頭阻塞，故定期清理油槍噴嘴甚至更新，也是確保燃燒效率不可或缺之工作。

以助燃物來講，助燃物在燃燒器或火上風等設備藉由旋風器、文氏管或噴嘴產生較大旋轉或流速，來增加系統紊流，提升燃燒效率。通常此部分是最常需要運轉人員配合燃料特性而調整的，而實際調整的方式，需要配合燃燒器等設備元件的操作方式來執行。

一般來講，經由旋風器將空氣等助燃物調整得旋轉越利害，燃燒器出口火焰就會越寬越短，燃燒效果越好，反之，燃燒器出口火焰會較狹長，燃燒效果較差，需要特別注意的是，在進行這方面的調整前，應該將各調整單元的相關位置及燃燒狀況紀錄後，再進行調整，調整完，等系統穩定後，應將各調整單元的相關位置及燃燒狀況，再予以紀錄，以便進行比較，確認調整前後燃燒狀況後，再決定更進一步的調整。另外需特別注意的是，調整過程中各燃燒器所生成旋風不要彼此接觸干擾，以及火焰不要直接衝擊水牆管等設備，以免造成局部過熱而燒損設備。

相關調整元件因長期與高速流體接觸，無可避免的會有磨耗現象產生，因此適當的耐磨材質選用及定期檢查修補甚至更換，是確保燃燒效率必須的工作項目。

### (三)鍋爐能源效率標準

新設鍋爐其效率標準，需依照經濟部九十年九月公告(經(九0)能字第0900四六一八九八0號)之標準。修正後之「鍋爐能源效率標準」如下表，實施日期為九十二年七月一日。此公告適用於以燃油或燃氣為燃料之蒸汽鍋爐，效率標準則依國家標準(CNS2141)之熱損失法計算，並依燃料低熱值計算涵蓋廢熱回收裝置之鍋爐全載時之能源效率。

表 1 鍋爐能源效率標準

#### 一、鍋爐能源效率標準

種類	容量(公噸/小時)	能源效率標準(%)	備註
水管式燃油鍋爐	三十以上	九十二·五	標準適用範圍及計算方式： 1、本效率標準適用於以燃油或燃氣為燃料之蒸汽鍋爐，不適用於貫流式鍋爐。 2、效率標準依國家標準(CNS2141)之熱損失法計算，並依燃料低熱值計算涵蓋廢熱回收裝置之鍋爐全載時之能源效率。
	十以上未達三十	九十一	
	五以上未達十	八十九·五	
	未達五	八十八·五	
水管式燃氣鍋爐	三十以上	九十三·五	
	十以上未達三十	九十二·五	
	五以上未達十	九十一·五	
	未達五	九十·五	
煙管式燃油鍋爐	三十以上	九十	
	十以上未達三十	八十九	
	五以上未達十	八十八	

	未達五	八十七	
煙管式燃氣 鍋爐	三十以上	九十二	
	十以上未達 三十	九十一	
	五以上未達 十	九十	
	未達五	八十九	

二、本鍋爐能源效率標準自民國九十二年七月一日起施行。



## 五、鍋爐系統能源查核事項

綜合以上燃燒條件的調整，彙總以下五個重點，可作為日常鍋爐燃燒操作調整的查核依據。

### (一)過剩空氣量

過剩空氣量太多造成熱源排放的浪費，太少造成燃燒不完全。以固體燃料而言，過剩空氣量應控制在 15~20%之間；液體燃料一般在 10~15%之間；氣體燃料一般在 5~10% 之間。一般可以用鍋爐出口 O<sub>2</sub> 含量來確認過剩空氣量控制是否恰當，以固體燃料而言應控制在 2.8~3.5%之間，液體燃料一般在 1.9 到 2.8%之間；氣體燃料一般在 1 到 1.9%之間。

### (二)排煙溫度

排煙溫度直接影響鍋爐效率，應藉由調整燃燒條件，使用適當的熱回收裝置(如加熱助燃空氣、鍋爐給水、燃料等)，以降低排煙溫度，提升鍋爐效率。但須注意，排煙溫度不得低於排氣之露點溫度，以免造成設備的低溫腐蝕。排煙溫度及過剩空氣與鍋爐效率關係圖如圖 所示。

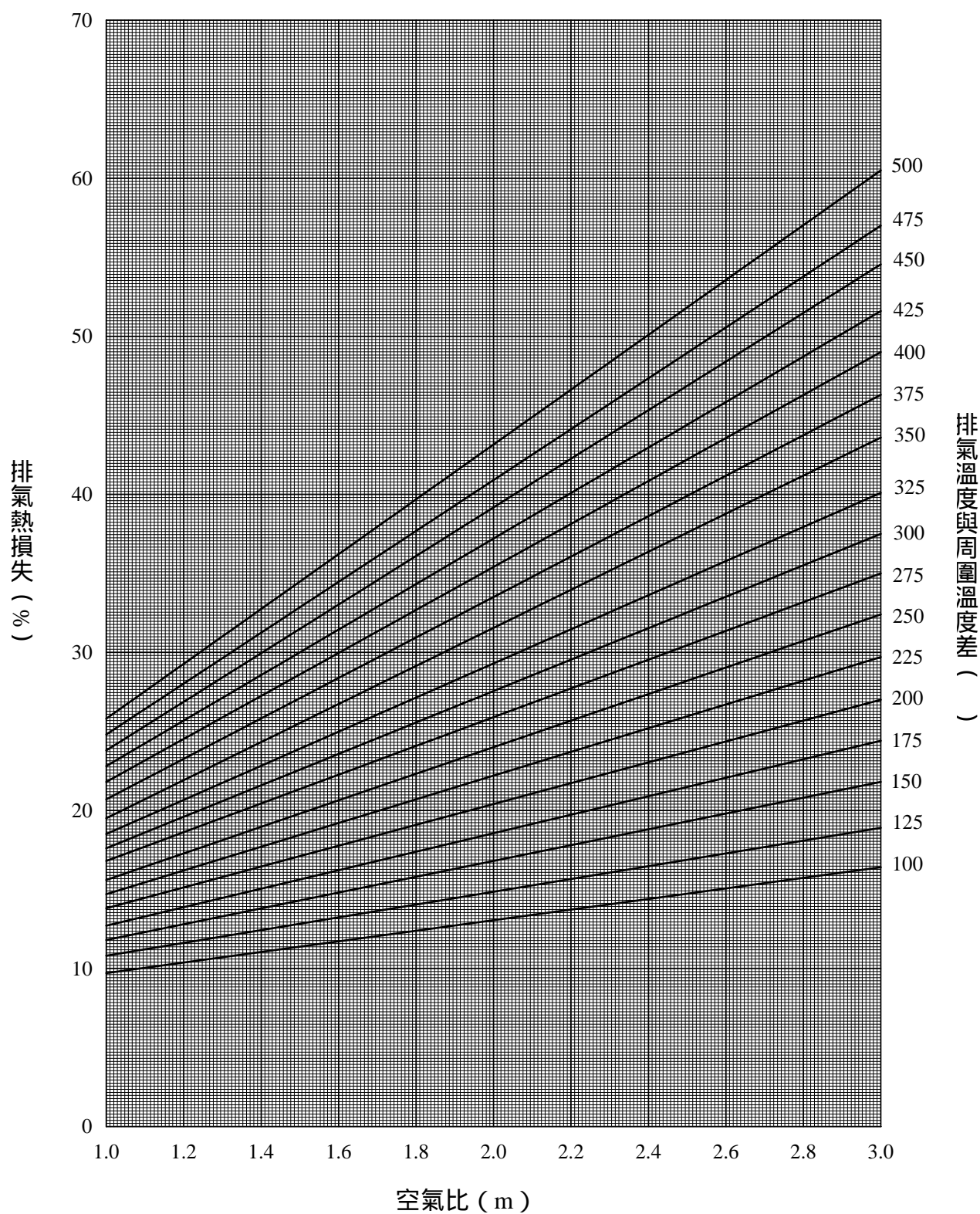


圖 4 排煙溫度及過剩空氣與鍋爐效率關係圖

### (三)爐壁溫度

鍋爐爐壁保溫不良，造成爐壁溫度偏高，除了直接造成熱能損失，易造成操作空間高溫，除易使相關設備劣化外，也可能造成人員燙傷等工安意外。故除依相關工程基準施工外，隨時檢測爐壁溫度，發現異常立即檢修，亦為提升鍋爐效率之重要日常查核項目。可參考附件一日本有關鍋爐爐壁表面溫度基準值。

### (四)排煙中 CO 濃度之檢測

排煙中 CO 濃度如偏高，則表示燃料在鍋爐中燃燒不完全，需針對鍋爐之燃料、助燃空氣量、燃燒溫度、爐內紊流狀況進行全面性之點檢及針對問題點改善。

### (五)燃煤鍋爐灰中未燃碳

燃煤鍋爐灰中未燃碳如偏高(一般高於 6%以上即可視為異常)，則表示燃料在鍋爐中燃燒不完全，除依(四)項所列項目進行全面性之點檢及改善外；粉煤粒徑亦應列入檢查項目重點，若粉煤粒度不符合原設計規格，則粉煤機磨輪、磨盤、分離機等機構之磨耗量、間隙應與量測檢查及針對問題點改善。

### (六)其他能源查核事項

鍋爐系統能源查核除了以上詳述各項重點之外，其他尚有能源查核及節能管理要項彙整如下清單，能源管理人員可藉此瞭解可能的節能作法及其節能改善空間，下表僅為一般通則，節能診斷及估算仍需依各廠設備系統狀況及實際運轉操作狀況而定。

表 2 鍋爐系統能源查核及節能管理要項說明

項目	範圍及條件	節能通則
尾氣溫度 °C	取決於酸露點	每降低 20°C 可節約 1%燃料
含氧量%	燃氣 1~2% 燃油 3~4%	每降低 3%可節約 1%燃料
排放量%	脫礦水(純水)<1% 軟水 5%	節省水、能源及化學藥劑

鍋爐水排放熱回收	顯熱 170~300°C	每 1%排放可節約 0.2~0.4%能耗
冷凝水回收	儘可能回收	節省水、能源及化學藥劑
飼水溫度 °C	愈高愈好	每提升 6°C 可省 1%能耗
蒸汽空氣預熱器	取決於酸露點	硫份高時需裝設
節煤器	取決於酸露點	每提升 6°C 可省 1%能耗
蒸汽品質	乾燥度愈高愈好	每 1%乾燥度影響 0.2~0.4%效率
燃油預熱溫度	98~105°C	影響霧化
鍋爐壓力	蒸汽壓=設計壓	低壓降低效率
飼水泵浦	流量、揚程及控制	省電
送風機	流量、揚程及控制	省電
抽風機	流量、揚程及控制	省電
霧化蒸氣	壓力：2K>燃料 流量：30%燃料	霧化效果
乳化油	水 5~10%	2~3%節能 30% NO <sub>x</sub> 減量
冷凝水儲槽	減少排放損失	省水、熱能及化學藥劑
除氧櫃	位置及溫度	回收排放熱

備註：有關蒸汽系統能源查核事項，將於另冊中詳探討。

## (七)鍋爐系統點檢紀錄及維護保養彙整

對於鍋爐系統運轉操作者或能源管理者，下面則是一般需注意之檢測、紀錄及保養、點檢；同樣地，這也是一般通則性的參考建議，實際做法 仍需按各廠設備狀況及管理程序作適當的規劃執行，以達到良好的節能管理。

### 1. 檢測及紀錄

(1) 檢測及紀錄項目如表 所示。

表 3 鍋爐系統檢測及紀錄項目

設備名稱	檢測項目	檢測方法	基準	檢測週期	紀錄表格編號
鍋爐	空氣比	含氧量量測	1.15~1.3	每小時	
	廢氣溫度	溫度計	200°C	每小時	
	爐壁表面溫度	溫度計	頂部/側壁/底部 110/95/120°C	每月	
	能源使用量	流量計	—	每日	
	鍋爐給水水質	CNS 10231	—	每日	
	鍋爐水水質	CNS 10231	—	每日	
	給水溫度、給水量、給水壓力	溫度計、 流量計、 壓力表	—	每小時	
	蒸汽壓力	壓力計	—	每小時	
	蒸汽溫度	溫度表	—	每小時	

爐水排放 - 處理		—	每班	
水質再生 - 處理		—	每班	
燃燒器前 燃料溫度	溫度計	—	每小時	
油泵出口 壓力	壓力計	—	每小時	
燃燒器入 口壓力	壓力計	—	每小時	
鍋爐效率	CNS 2141 B1025	91%(新設鍋 爐)	每月	
蒸汽管路 及閥	目視	無洩漏	每班	
保溫	目視	無脫落或表皮 焦黑異常	每班	
風機電流	電流表	額定電流以下	每小時	
泵電流	電流表	額定電流以下	每小時	
水值調整 加藥槽液 位	液位計	-	每班	
爐膛火焰	目視	火燄明亮無黑 煙	每班	
油槍噴嘴	目視	油槍噴嘴無堵 塞，必要時清 洗	每日或停 車後或有 黑煙時	
排煙	目視	透明無黑煙	每班	
爐膛結渣	目視	無結渣	每班	
粉煤粒徑	取樣分析	200 MESH 75 %以上	每月	

	灰中未燃份	取樣分析	6%以下	每月	
	却水器	1.目視 2.溫度計	1.無大量蒸汽洩漏或阻塞 2.却水器表面溫度應低於蒸汽飽和溫度之10~20℃，溫度過高表示卻水器有蒸汽洩漏，溫度過低表示卻水器有阻塞無閥排水現象	1.每班 2.每月	

## 2.保養及點檢

鍋爐系統的高效率運轉，除了要隨時配合燃料特性進行相關調整，並就蒸汽產出、能源耗用、排煙情形等運轉情形紀錄，以瞭解其實際運轉情形，並就相關運轉異常進行調控外；各設備單元的正常及高效率的運轉，更是確保鍋爐效率的重要工具，現就針對鍋爐各單元常見設備日常點檢、定期保養彙總如下表格，作為鍋爐各單元設備日常保養及定期點檢參考。但須注意的是，鍋爐各單元一般均是利用定期檢修進行點檢、校正、保養，但若運轉參數有明顯偏移設計值時，則必須利用適當時機安排該異常單元進行點檢保養，以免異常擴大(例如若燃油熱交換器出口燃油溫度不足，且經點檢各外部控制單元無異常，則可研判是燃油熱交換器內部雜質沉積或阻塞，應儘速安排該單元拆檢)

表 5 鍋爐設備日常點檢、定期保養彙總表

項目	設備單元	檢查項目	檢查清理基準	檢查頻率	
				日常	定檢
1	鍋爐本體	傳熱面檢查清理	1. 無積灰 2. 無腐蝕 3. 無沖蝕 4. 耐火泥無脫落 5. 汽水鼓內部檢查清理 6. 爐管測厚及衰變檢查		✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓
2	燃燒器	燃燒器各部組件	1. 各組件調整機構正常 2. 無沖蝕損壞 3. 無過熱燒毀		✓ ✓ ✓
3	吹灰器	吹灰器定位情形、噴嘴、卸水	1. 吹灰器正常定位 2. 噴嘴無沖蝕破損 3. 吹灰蒸汽管路卸水正常		✓ ✓ ✓
4	油槍	油槍噴霧機構	1. 油槍噴嘴無堵塞、沖蝕 2. 油槍定位正確	✓	✓
5	空氣瓦斯熱交換器	熱傳面檢查清理、SEALING 間隙	1. 無積灰 2. 無腐蝕 3. 無沖蝕 4. SEALING 間隙依設計檢查調整		✓ ✓ ✓ ✓
6	燃油&給水熱交換器	熱傳面檢查清理	1. 無積垢 2. 無腐蝕 3. 測厚及衰變檢查		✓ ✓ ✓
7	粉煤機	耐磨件、潤滑系統	1. 耐磨件無磨耗損壞 & 間隙調整(含滾輪及分離器等) 2. 潤滑系統清理及滑油更換		✓ ✓
8	風機	對心、葉片、潤滑系統、風門	1. 風機及馬達對心 2. 葉片間係依基準量測調整 3. 潤滑系統清理及滑油更換		✓ ✓ ✓ ✓



			4. 風門潤滑及調整機構正常		
9	水泵	對心、葉片、潤滑系統、控制閥	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水泵及馬達對心</li> <li>2. 葉片間係依基準量測調整</li> <li>3. 潤滑系統清理及滑油更換</li> <li>4. 控制閥潤滑及調整機構正常</li> </ol>		<p>✓</p> <p>✓</p> <p>✓</p> <p>✓</p>
10	保溫	保溫效果	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 保溫棉無脫落</li> <li>2. 日常量測保溫不佳部位保溫棉更換</li> </ol>	✓	✓
11	卻水器	卻水效果	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無大量蒸汽洩漏或阻塞</li> <li>2. 却水器表面溫度應低於蒸汽飽和溫度之 10 ~20 °C，溫度過高表示卻水器有蒸汽洩漏，溫度過低表示卻水器有阻塞無閥排水現象</li> </ol>	<p>✓</p> <p>✓</p>	

## 六、鍋爐系統節能方法與節能案例分析

### (一)降低鍋爐排氣溫度

某工廠燃油鍋爐其排氣溫度高達 200°C，應可以再降低排氣溫度，且以 0.5%低硫燃油而言，應無因此而造成低溫腐蝕之虞。

#### 節能改善案例：

建議可改善鍋爐系統空氣預熱器，或將鍋爐補充水先經排氣預熱，如此應可降低排氣溫度至 150°C，回收熱能，預估可增加鍋爐效率 2%。

效益計算：該工廠鍋爐全年工作 360 天，且 24 小時連續運轉，全年燃油量為 13,932 公秉，平均燃油量為每小時 1.6 公秉，排氣量以 19,500Nm<sup>3</sup>/h 估算，煙氣比熱 0.3kcal/°C Nm<sup>3</sup>，燃料油熱能以 9,200 千卡/公秉計，計算其省能效益為：

$$(200-150)^{\circ}\text{C}\times 19,500\text{Nm}^3/\text{h}\times 0.3\text{kcal}/^{\circ}\text{C Nm}^3=292,500 \text{ 千卡}/\text{時}$$
$$292,500 \text{ 千卡}/\text{時}\div 9,200 \text{ 千卡}/\text{公秉}\times 360 \text{ 天}/\text{年}\times 24 \text{ 時}/\text{天}\div 1,000=274.7 \text{ 公秉}/\text{年}$$

節約的金額約為 274.7 公秉/年×8000 元/公秉=1,980,000 元

而其投資費用以各增設一套瓦斯空氣預熱氣計，2 組共投資約 140 萬元，回收年限僅 0.7 年。

### (二)閃化後的熱水回收使用

在高壓蒸汽鍋爐系統，一般都使用超純水做為補充水，雖然水中雜質很少，但是經過高壓蒸汽鍋爐高倍數的濃縮以後，雜質濃度提高，而且系統中的加藥、腐蝕產物等等，也相對增加系統水中雜質濃度，為了避免水中雜質濃度持續升高，造成系統的危害，所以必須藉由爐水的連續沖放將雜質排放。

一般高壓蒸汽鍋爐的連續沖放水，都是由汽鼓或泥鼓中引出的高溫飽和水，以汽鼓壓力 152kg/cm<sup>2</sup> 而言，其連續沖放水熱焓高達 386 千卡/公斤，這一部份的熱水一般設計是先將他送到閃汽槽，經由閃化的過程分為較低壓力的飽和蒸汽及飽和水，蒸汽回收供加熱使用，此蒸汽通常是回收到脫氧器做為加熱蒸汽。至於低壓飽和

水，一般則經由排放槽(Blowdown tank)排放，實際上，這一部份的熱水熱值仍然頗高，且水質比一般的工業水比較還好，應可充份回收利用，所以除了可回收熱能，還可以回收水質源，一舉兩得。

#### 節能改善案例：

某廠將其 500T/H、 $129\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $541^\circ\text{C}$  的鍋爐連續沖放水，先經閃化槽閃化後回收  $7\text{kg}/\text{cm}^2$  的蒸汽，送到脫氧器，作為加熱源，另外再將  $7\text{kg}/\text{cm}^2$  的飽和水，經由配管回收，作為排煙脫硫(FGD)的吸收劑氧化鎂苛化成氫氧化鎂製程的熱源及水源。

實際投資配管等費用大約 10 萬元，每小時可回收  $7\text{kg}/\text{cm}^2$ ， $172^\circ\text{C}$  的熱水 230kg，如果以煤碳單價每公斤 1.2 元計算，每年則可節省 6 萬元，回收年限為 1.6 年。其省能效益計算如下：

$$(172-25)\text{kcal}/\text{kg}\times 230\text{kg}/\text{H}\times 8,760\text{H}/\text{年}=302,220,000\text{kcal}/\text{年}$$

節省費用：

$$302,220,000\text{ kcal}/\text{年} / 6000\text{ kcal}/\text{kg}-\text{煤}\times 1.2\text{ 元}/\text{kg}-\text{煤}=60,444\text{ 元}/\text{年}$$

回收年限：

$$100,000\text{ 元} / 60,444\text{ 元}/\text{年}=1.6\text{ 年}$$

而如果再加上水質源的節省費用及廢水排放的處理費用，其效益則更加卓著。

#### (三)裝設液壓聯軸器節省用電

一般鍋爐在設置時，其相關的輔機設備，因考量設備操作彈性及設備性能衰退等因素，在購買時都會有相當的餘裕(即安全係數)。以風車為例，購置的規格相較於設計需要，其風量通常會增加 15%，風壓則會增加 32%，整體而言，馬達增加了 52%的馬力數，而在實際操作時，則常以風門開度調整，使風車運轉在實際所要的風量及風壓。

這樣的操作控制模式，有很大一部份的風壓是消耗在對系統沒有助益的半開風門上，相對地就造成了電力的浪費。

### 節能改善案例：

某工廠 350T/H 鍋爐的平衡通風送風機上，其原來使用入口風門控制時，配合燃燒調整，入口風門在全載時開度僅約 36%，馬達耗電量 524kW。經過改善，入口風門全開，以新增的液壓聯軸器來控制風車轉速，以符合系統所需要的風量風壓，耗電量降到 434kW，節省 90kW，以 1 度電 1.5 元的平均單價計，每年可以節省電力費用 118 萬元，相較於投資購買液壓聯軸器等改善費用 384 萬元，回收年限為 3.2 年。所以相關大型輔機設備，例如引風機、鍋爐給水泵等，應都可評估安裝液壓聯軸器的經濟效益。本案省能效益估算如下：

改善前馬達運轉電流 108A，相當於 524kW(馬達效率及功率因素等以 0.85 計)

$$3.3\text{kV}\times 108\text{A}\times 0.85\times\sqrt{3}=524\text{kW}$$

改善後馬達運轉電流 89A，相當於 434kW(馬達效率及功率因素等以 0.85 計)

$$3.3\text{kV}\times 89\text{A}\times 0.85\times\sqrt{3}=434\text{kW}$$

$$524\text{kW}-434\text{kW}=90\text{kW}$$

節省費用：

$$90\text{kW}\times 1.5\text{元/kW}\times 8,760\text{h/年}=1,182,600\text{元/年}$$

回收年限：

$$3,840,000\text{元}\div 1,182,000\text{元/年}=3.2\text{年}$$

#### (四)送風機加裝變頻器節省用電

上述案例一般應用在大型馬達有良好實績，但液壓聯軸器等設備多為國外進口，投資費用較高，較不適合在小型風車、泵之改善。而目前國產小型變頻器之設置費用、實際應用之穩定度及節能效果均能符合一般設備需求。下面提供之節能實例即是一般較小型的鍋爐系統，送風機以變頻調速控制，節省用電。

## 節能改善案例：

某工廠鍋爐系統的 100hp(額定電流 231A)送風機，這一台送風機原來使用出口風門控制，配合現場蒸汽需求，該鍋爐大多以~78%負載運轉，配合燃燒調整，經過調整出口風門，實際馬達運轉馬力數為~76hp(運轉電流~180A)。

經過評估增設變頻器改善，將出口風門全開，以新增的變頻器控制馬達及風車轉速，以符合系統所需要的風量風壓，預估耗電量可降到 64hp，節省 12hp，以 1 度電 1.5 元的平均單價計，每年可以節省電力費用 12 萬元，相較於投資購置變頻器等改善費用 37 萬元，3.1 年就可以回收。

本案省能效益估算如下：改善前鍋爐負載在 78%時，馬達運轉電流~180A，相當於 76hp(馬達效率及功率因素等以馬達額定時之 97%計)

$$100\text{hp} \times 180\text{A} \div 231\text{A} \times 0.97 = 76\text{hp}$$

使用變頻器後改善後，預估馬達轉速為原轉速之 80%時，即可提供所需風量及風壓，預估運轉所需電力為 64hp(使用變頻器降速運轉後，預估整體風車及馬達效率降低為原轉速之 80%)

$$0.80^3 \times 100\text{hp} \div 80\% = 64\text{hp}$$

$$76\text{hp} - 64\text{hp} = 12\text{hp} = 9\text{kW}$$

節省費用：

$$9\text{kW} \times 1.5 \text{元/kW} \times 8,760\text{h/年} = 118,260 \text{元/年}$$

回收年限：

$$370,000 \text{元} \div 118,200 \text{元/年} = 3.1 \text{年}$$

(五)煙管鍋爐積油灰清理週期修訂

一般煙管式鍋爐於燃燒使用過程，會產生油灰，附著在煙管上會造成熱傳效率不佳，排煙溫度過高，浪費能源。目前各廠家多以時間週期配合鍋爐定期檢修，進行各鍋爐煙管積油灰清理。

#### 節能改善案例：

某公司依各鍋爐單位產汽耗油量統計資料分析，清理前後之產汽耗油量有明顯差異，最高可達 10 L-油/T-蒸汽，經檢討後，依各鍋爐單位產汽耗油量統計資料排定煙管清理時間，以確保鍋爐效率。以產汽量 4T/H，單位產汽耗油量差異 10 L-油/T-蒸汽計算，每月可節省 20 萬元/月，相較於清理工資 10 萬元/次，僅需半個月即可回收。其省能效益計算如下：

$$4T/H \times 10 \text{ L-油}/T \times 720H/\text{月} = 28,800 \text{ L-油}/\text{月}$$

節省費用：

$$28,800 \text{ L-油}/\text{月} \times 7 \text{ 元}/\text{L-油} = 201,600 \text{ 元}/\text{月}$$

回收年限：

$$100,000 \text{ 元} \div 201,600 \text{ 元}/\text{月} = 0.5 \text{ 月}$$

## 七、參考資料

1. HANDBOOK FOR THERMAL AND NUCLEAR POWER ENGINEERS ,  
THERMAL AND NUCLEAR POWER ENGINEERS SOCIETY , JAPAN
2. 火力發電，盧象時、孫常漢、邱遠揚，中國工程師學會出版。
3. 火力發電大全，許金和，高雄復文圖書社出版。
4. 中英鍋爐名詞辭典，陳文能，科技圖書出版。
5. COMBUSTION FOSSIL POWER , JOSEPH G. SINGER , P.E. ,  
COMBUSTION ENGINEERING , INC.
6. 紡織業能源查核及節約能源案例手冊，經濟部能源局/工研院能資所，2003。
7. 造紙業能源查核及節約能源案例手冊，經濟部能源局/工研院能資所，2003。
8. 鍋爐系統節能管理，李凱，經濟部能源局/工研院能資所，2004。
9. 百大實地能源查核報告，經濟部能源局/工研院能資所，2003。
10. 節約能源技術手冊，經濟部能源局/工研院能資所，2001。。

## 附錄

附錄一：日本有關鍋爐的基準空氣比、排氣溫度及爐壁表面溫度基準值

日本有關鍋爐的基準空氣比

區分		負載率 (單位 %)	基準空氣比				高爐氣 與 其他副 產氣
			固體燃料		液體 燃料	氣體 燃料	
			固定床	流動床			
發電事業		75~100	-	-	1.05~1.2	1.05~1.1	1.2
其 他	蒸發量每小時 30 公噸以上者	50~100	1.3~1.45	1.2~1.45	1.1~1.25	1.1~1.2	1.2~1.3
	蒸發量每小時 10 公噸以上 30 公噸以下者	50~100	1.3~1.45	1.2~1.45	1.15~1.3	1.15~1.3	-
	蒸發量每小時 5 公噸以上 10 公噸以下者	50~100	-	-	1.2~1.3	1.2~1.3	-
	蒸發量每小時 5 公噸以下者	50~100	-	-	1.2~1.3	1.2~1.3	-



日本有關鍋爐之基準廢氣溫度(單位℃)

區分		基準空氣比				
		固體燃料		液體 燃料	氣體 燃料	高爐氣與 其他副產氣
		固定床	流動床			
發電事業		-	-	145	110	200
其 他	蒸發量每小時 30公噸以上者	200	200	200	170	200
	蒸發量每小時 10公噸以上 30 公噸以下者	250	200	200	170	-
	蒸發量每小時 5 公噸以上 10公 噸以下者	-	-	220	200	-
	蒸發量每小時 5 公噸以下者	-	-	250	220	-

日本有關鍋爐基準爐壁表面溫度

爐內溫度(單位：℃)	基準爐壁表面溫度(單位：℃)		
	頂部	側壁	與外部空氣接觸底部
1,300 以上	140	120	180
1,100 以上 1,300 以下	125	110	145
900 以上 1,100 以下	110	95	120
900 以下	90	80	100

附錄二：鍋爐系統能源查核自我評核表

查核主要項目	查核子項目	自我評核結果	改善說明及時間	專家意見
(一) 蒸汽鍋爐系統 1. 鍋爐本體	(1) 鍋爐效率值 (高發熱量)			
	(2) 排氣含氧量 (%) 之控制範圍			
	(3) 鍋爐平均負載率			
	(4) 燃料預熱溫度			
	(5) 排氣溫度			
	(6) 鍋爐壓力及容量			
	(7) 定期清理水側及火側結垢和積碳灰沈積物			
	(8) 給水入口溫度			
	(9) 純水補充量			
2. 燃燒器	(1) 定燃燒機調整與清除積灰及沈積物			

查核主要項目	查核子項目	自我評核結果	改善說明及時間	專家意見
	(2)型式／數量／熱值			
3.水處理	(1)鍋爐水及補充水水質分析 SiO <sub>2</sub> , pH, 導電度			
	(2)水質控制參數			
4.保溫及管路	(1)蒸汽洩漏處理方式			
	(2)蒸汽卻水器型式及檢查方 及頻率、安裝示意圖			
	(3)蒸汽管路系統保溫			
	(4)管路斜度			
5.熱回收	(1)冷凝水回收比率			
	(2)鍋爐水連續排放量及處理 方式			
	(3)鍋爐給水預熱方式及溫度			

附錄三：鍋爐系統基本資料表

項 目	單 位	NO.1	NO.2	
1. 廠牌				
2. 型式				
3. 製造年份	西元			
4. 投資金額	仟元			
5. 設備動力	千瓦			
6. 額定容量 (m <sup>2</sup> )	噸/時			
7. 運轉時數	時/年			
8. 使用壓力	公斤/平方公分			
9. 負載率	%			
10. 燃料種類				
11. 燃料預熱溫度	°C			
12. 給水量	噸/時			
13. 給水溫度	°C			
14. 排氣溫度	°C			
15. 排氣 O <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> )	%			
16. 爐體表面溫度	°C			
17. 室外溫度	°C			
18. 鍋爐水排放比	%			
19. 鍋爐效率	低發熱值%			

附錄四：瓦斯的分類及組成

Gas Fuel		Composition (%)										Stoichiometric Combustion air (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Stoichiometric Combustion product (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Max. CO <sub>2</sub> in product (%)	Heating Value (kcal/m <sup>3</sup> )	
		H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>				High	Low
Natural Gas	Alaska (Kenai)	—	99.8	0.1	0.0	0.0	0.0	—	—	—	0.1	9.52	10.52	11.7	9,500	8,550
	Brunei (Lumut)	—	88.6	5.2	3.6	1.6	0.0	—	—	—	0.0	10.81	11.88	12.1	10,700	9,700
	Abu Dhabi (Das)	—	80.4	17.5	2.0	0.0	0.0	—	—	—	0.1	11.05	12.16	12.3	11,000	10,000
	Indonesia (Badak)	—	89.6	5.7	3.3	1.4	0.0	—	—	—	0.0	10.70	11.78	12.1	10,600	9,800
	Indonesia (Arun)	—	86.1	8.8	4.1	1.0	0.0	—	—	—	0.0	10.96	12.06	12.2	10,800	9,900
	Malaysia (Sarawak)	—	91.6	4.1	2.7	1.5	—	—	—	—	0.1	10.45	11.58	12.1	10,550	9,510
	Australia (Karratah)	—	89.0	7.4	2.5	1.1	0.0	—	—	—	0.0	10.65	11.72	12.1	10,600	9,600
	Japan (Niigata)	—	96.4	2.4	0.4	0.3	0.1	0.4	—	—	—	9.81	10.83	11.9	9,780	8,820
Blast furnace gas		2.8	—	—	—	—	—	21.9	21.9	—	53.4	0.59	1.46	28.1	740 (700–770)	730
Converter gas		1.1	—	—	—	—	—	13.1	76.0	—	9.8	1.84	2.45	36.5	2,330	2,320
Coke-oven gas		55.2	28.1	C <sub>n</sub> H <sub>n</sub> = 3.1			2.7	8.0	0.3	2.6	4.61	5.30	10.9	5,100	4,500	
Producer gas		12.1	3.6	C <sub>n</sub> H <sub>n</sub> = 0.4			4.8	25.5	0.2	53.4	1.29	2.10	18.3	1,550	1,450	
Gas Fuel		Composition (%)				Stoichiometric Combustion air (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Stoichiometric Combustion product (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Max. CO <sub>2</sub> in product (%)	Heating Value (kcal/m <sup>3</sup> )							
		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>				High	Low						
Liquefied petroleum gas	JIS type 2 No.1 standard product	2.0	96.0	2.0	—	23.81	25.81	13.8	23,990	22,350						
	(JIS type 2 No.4 standard product)	—	3.0	95.0	2.0	30.88	30.94	15.4	31,860	29,380						

