

怎樣防止汽輪機凝汽器生垢

蘇聯工程師彭肯 著
唐 實 譯

燃料工業出版社

出版者的話

凝汽器是凝汽式汽輪發電機的主要附屬設備之一。目前在我國電廠中，由於凝汽器冷却面污穢所產生的運行不良，是一個嚴重的問題。因為凝汽器運行不良，會使汽輪機的經濟性能降低，甚至會使它停止運行。

這本小冊子是蘇聯工程師彭青原著，內容着重防止凝汽器生垢的方法，而不是專門研究生垢後的清洗方法；這是社會主義國家工作方式的特點，從這本小冊子裏也可證明這一點。

我們應該學習蘇聯先進的經驗，更應該理解蘇聯工作方式的優越性，才能把它運用到我國工業技術的改進上，這是我社出版這本小冊子的主要原因。

燃料工業出版社

一九五二年七月



目 錄

一、緒 言	5
二、凝汽器管和進水管道內附着物的形成	8
(一)凝汽器管內的有機附着物	8
(二)海濱發電廠進水管道內有機附着物的簇生	10
(三)凝汽器管冷却水側的結垢	11
(四)凝汽器管蒸汽側的污垢	18
三、凝汽器管的定期清洗法	20
四、防止凝汽器管內聚結有機附着物的方法	26
(一)冷却水的加氯法	26
(二)硫酸銅及其他化學藥品的應用	42
五、循環供水設備系統中預防結垢的方法	44
(一)循環供水設備系統的排污放水	44
(二)利用爐烟處理循環水	49
(三)利用酸類處理循環水	65
(四)用磷質物處理循環水法	71
六、凝汽器管板污垢的防止和清除法	79
七、海濱發電廠進水管道中貝介簇生物的清除法	83

八、供水設備系統用水的監察工作	86
(一)水中活性氯的測定法	86
(二)循環供水設備系統用水的監察	89
(三)水中游離二氧化碳含有量的測定法	94
(四)爐烟中無水亞硫酸含有量的測定法	95
(五)水中六偏磷酸鈉含有量測定法	96

一、緒 言

在一切能引起汽輪機設備真空惡化和經濟性降低的因素中，凝汽器冷却面的污髒要算是嚴重的一種。

倘若對於凝汽器的污髒未能採取某些適當的處理辦法，那麼幾乎是所有的火力發電廠，不論它的水源如何，供水設備系統又如何，都要無例外地在程度上或多或少地發生凝汽器污髒的現象。

凝汽器管內各種附着物具有的特性、成分及其嚴重的程度，首先取決於冷却水的自然品質和供水設備系統的方式。

一切天然水都含有各種有機物和無機物，而這些有機物和無機物在一定的有利於它們的條件下，就要附着在凝汽器管的內壁上，形成一層導熱不良的物質。

因此，凝汽器的污髒可能具有有機物的或無機物的特性，也往往同時具有兩種特性。而且這類附着物中的有機物和無機物在數量的相互關係上是多種多樣的。

爲了保持凝汽器的潔淨，要根據附着物中究竟那一種成分佔最多，來選定適當的處理方法。

有時根據當地的具體情況，須用綜合的水處理法，以期對凝汽器管內所結的無論是有機物或無機物的附着物，都能夠收到效果。

今天已有一些爲大家所熟悉，並且在實踐中受到過考驗的方

法，如能使用得當，可使凝汽器永久保持潔淨，不再有些微顯著的污髒。

即使在極嚴重的結垢情況下，利用這些方法作水處理，也可使利用任何水源和任何供水設備系統的凝汽器管結垢現象大為減少，甚至達到最低的程度。

如凝汽器管內結有有機物的附着物時，採用加氯法是可以保證凝汽器在長久時期內無污垢地運行的。蘇聯的發電廠從一九三六年起就採用了加氯法，現在這個方法已經得到廣泛地採用。

也有一些發電廠在上述同樣的情況下，採用硫酸銅、氯氨或者氧化砷來作水處理，也很有成效。

在防止凝汽器結垢這一問題上，採用酸液、爐烟和磷質進行水處理，都有良好的效果。

爲了減低水中碳酸鹽類的硬度，某些國家很早就已採用了陽離子軟水法和石灰軟水法。這些方法都是從鍋爐設備運行的實踐中得來的。

採用陽離子軟水法時，將所有碳酸鹽類硬度的各種鹽質變爲具有高度溶解性的化合物，使其不可能結成污垢，這對防止結垢，毫無疑問是有效的。不過將這種方法使用到循環供水設備系統，要處理極大量的水的時候，無論是基本建設費用，或運行的開支，爲數都極大。

採用石灰軟水法時，主要是將各種重碳酸鹽類變爲不易溶解的化合物，使它在未進到循環供水設備系統前的補給水中就已經沉澱下去。像這種軟水方法蘇聯的發電廠在個別情況下也採用着。這方法防止結垢的可能性是有的，但是應該加以說明，採用這種方法時，必須估計能充分軟化循環水，因爲石灰的軟化作用會使得水中

的游離二氧化碳全部消失。

在循環供水設備系統中採用陽離子軟水法和石灰軟水法來防止結垢，因為所處理的水量比鍋爐設備所需大得多，必須修建容積龐大、價值高昂的設備，並且還需要消耗大量的軟化劑，因而大大地增加了基本建設和運行的開支。所以這兩種冷却水處理法沒有得到普遍的採用，因之在這本小冊子裏不再詳細介紹。

所有上面談到的凝汽器冷却面防除污垢的辦法，如果適合該供水設備系統的具體情況，而使用得當和正規化的話，就可以得到良好的效果。至於選用那一種方法，首先決定於當地的各種條件，要考慮到冷却水的特性、供水設備系統的方式、現有的適當軟化劑或者是否可能經常不斷地得到這類藥品、是否可能取得或可能在當地製作所需設備等等問題。

此外，還應當注意到使用那一種設備的維持費用問題，大家是可以理解到的。上述所有的除垢方法，不論那一種，以它們本身所特具的作用來講，這類費用是極其微小的。因為在任何情況下，由於凝汽器無污垢，汽輪機真空加高，並且不需定期清洗凝汽器管，使發電廠運行獲得很大的節約，則上面所談到的開支祇等於這項節約的極小部分。

二、凝汽器管和進水管道內

附着物的形成

(一)凝汽器管內的有機附着物

冷却水中含有水藻和微生物是使凝汽器的冷却面結有機附着物的主要原因。這類水藻和微生物附着在管壁上，從冷却水中得到營養，就繼續生長起來。

這類附着物屬於植物方面的計有：浮游生物、粘泥、植物殘餘、泥煤分子等。像這些雜質在池塘、湖沼，以及水流緩慢的或有堰堤的河渠水裏含得最多。

日常生活用的和工業用的排出的廢水（主要的是製革業、啤酒業、酵母製造廠、屠宰場、澡堂、洗衣房等）所污髒了的貯水池中的水也同樣含有上述各種植物，而且除此之外，這類水還有一最大特點，即含有大量的名目繁多的微生物和細菌，還有有機物的分解物，像蛋白質、脂肪、碳水化合物等。

通常生長在凝汽器中的有機附着物，都呈灰綠色或褐紅色粘膜狀態，往往帶有臭味。

凝汽器管內有機附着物簇生的快慢，與水中有機物污髒的程度有關，同時也與凝汽器內對於微生物和水藻的生活條件好壞有關。其中尤以凝汽器管內壁的溫度為最重要的條件。大多數微生物

的生長繁殖最合適的溫度是攝氏零上10度到20度。反之，倘溫度高於攝氏35度時，則大部分在凝汽器內所常見的細菌都要死掉。因此，凝汽器內的有機附着物一般講來在冬天要比夏天簇生得快些。

但是，根據運行的經驗，由於凝汽器內有機附着物的簇生而引起的種種困難，總是在夏季的運行中感覺得多些。這一情況的解釋，是因夏季冷卻水的溫度比較高，即使凝汽器的污穢程度比冬季少些，也要往往使得汽輪機的排汽溫度升高到事實所容許的極限。

另一方面，由於某一季節的水中含有某種細菌過多，也可能加速凝汽器內有機附着物的簇生。

這裏應該提出一點，就是洪氾時期的凝汽器管內照例看不到有機附着物，這是因為水中含有機械性混合物（如粘土、細沙等），能把凝汽器管擦洗得乾乾淨淨，不容有機物附着在管壁上。

管壁的潔淨程度如何，也同樣是影響凝汽器內有機附着物簇生快慢的主要因素之一。事實證明，細菌不大逗留在潔淨的金屬表面上，所以有機附着物在新管內簇生要比在舊管內遲緩得很多。根據試驗結果，同一期限內舊管內附着物的數量比新管內的大四倍。

阻礙微生物在潔淨金屬上附着的原因，可能是由於新管的內壁上具有一層含毒性的銅的氧化物所致。那麼我們就可以假定，舊管內有機附着物所以簇生得比較迅速，正是由於這些管子的內壁上有了「絕緣層」，使管子的銅的氧化物不能毒害微生物。而這類「絕緣層」可能是金屬的腐蝕產物，或者是各種各樣的附着物。

凝汽器管內有機附着物的簇生程度，若按冷卻水通過路程的前後來區分，也不完全一致。這一點可能用溫度情況的不同來作解釋。例如通常在凝汽器冷卻水第一道通路內附着物的數量最多，雖

然在第一道通路內附着物簇生速度往往比較其後幾道通路內要慢一些。我們還應當指出另一種情況，就是清洗凝汽器後最初運行的幾天，有機附着物以第一道通路內佔多數，然而在以後的日子裏，則在其後的幾道通路內慢慢的多起來。

最後還應指出的，大多數微生物的生長繁殖須仰賴大量溶解於水中的氧；但是也有一種細菌能够在缺氧的污水中生長繁殖，這種細菌有時也可大量生長在凝汽器管內，成爲附着物。

(二)海濱發電廠進水管道內

有機附着物的簇生

在蘇聯各海濱發電廠內，除了管內結有有機附着物之外，往往在凝汽器的水室和進水管的內壁生長着貝介和其他海產有機物。尤其是裏海、亞述海和黑海海濱的發電廠，都發現這些現象。

根據這些發電廠的實際運行經驗，及由蘇聯國家電力事業聯合改進局(ОПРЭС)工程師維·雅·列舍夫和恩·聶·切連契耶所進行的專門研究，這類附着物一年內生長厚度往往達到50公厘，而在個別情況下，半年內竟達100至150公厘。根據他們在刊物上發表的數字，克里米亞地區每1平方公尺的管面一年內所簇生的附着物數量重約20公斤；而在新俄羅斯地區——兩個月內重約12公斤。

生長在進水管內壁的海產有機物中，最多的是牡蠣類的雙殼黑貝介和白貝介，以及小蝦和具有海產植物形狀的珊瑚科動物。

在這些簇生附着物中也會遇到各類水藻。至於設在江河入海口附近，並使用鹹淡混合水的發電廠內，管中的簇生附着物以淡水貝

介居多。

一個僅有十分之一公厘大小的雙殼黑貝介的幼蟲，進到進水管道內，附着在進水管的內壁上，從水中取得自己的營養品而逐漸長大起來，可以長到 100 公厘以上的長度。因此，往往由於進水管道內海產有機物和植物簇生得非常繁多，以致使管內過水截門的通路面積大為縮小，增加了管道的水阻力，而減少了循環水泵能打進凝汽器內的水量。

進水管內壁上的各種貝介被循環水流沖落而被帶到凝汽器裏去，堵塞住凝汽器管和管板架，也同樣使得通過凝汽器的冷却水量減少。總之，生長在進水管內壁的貝介，以及這些貝介將凝汽器管架板堵塞，都能使汽輪機的真空惡化。

(三)凝汽器管冷却水側的結垢

凝汽器管和其他有冷却水流過的設備的表面上，通常在循環供水設備系統(即同一的水要在供水系統內多次循環的供水系統)內，更易於產生結垢現象。

凝汽器管內有了水垢，對於汽輪機的運行為害極大。因為水垢使得凝汽器內排汽與冷却水之間的傳熱不良，於是真空惡化，汽輪機的經濟性能就大為降低。

如凝汽器管、進水管和噴水池的噴嘴內結有水垢，便要縮小冷却水通過的截面，增大管道中的水阻力，因之降低了循環水泵的能力(排水量)。減少冷却水的數量，也要引起真空惡化和汽輪機汽耗增大。噴水池噴嘴內結有水垢還要阻礙冷却水的正常噴射，也使得冷却水的冷却條件不良。

冷水塔分水槽的洩水管如結有大量水垢時，也縮減冷却水通過

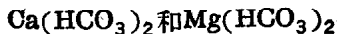
的截面，可能使得分水槽中的水位高漲，而從分水槽的槽緣溢流出來。於是這部分從分水槽溢流出來的水，不是噴射狀濺到淋水台上，而是成爲密度極大的注雨。這一現象使得冷水塔的冷却效能降低，冷却水溫度增高，因而也要使汽輪機的真空惡化和經濟性降低。

蘇聯發電廠在個別情況下，循環冷却水設備系統結垢的現象是非常厲害的。例如畢爾曼*所指出的，在一個月期間內凝汽器管內結垢厚度可達3—5公厘，噴水池的噴嘴在同樣時期內可達3—3.5公厘，冷却水進水管內壁的結垢在一年內可達7公厘。有時甚至將凝汽器管和噴水池噴嘴完全堵塞。

凝汽器管和供水設備系統其他部分已經結有水垢，而進行定期除垢工作是一件相當複雜又極其費事的工作，並且在除垢工作進行時，必然使汽輪機的負荷降低。因此，從運行觀點來講，處理這一問題不應着眼於凝汽器和供水設備系統其他部分的定期除垢，而應着眼於防止結成水垢的辦法。

結垢的主要原因是由於一切冷却水中或多或少地有着一些礦物質的鹽類。

某些叫做碳酸鹽性硬度的鹽類，主要的是由鈣鹽所組成，小部分也由鎂鹽所組成，都以重碳酸鹽的形式溶解於冷却水中。它們的化學式如下：



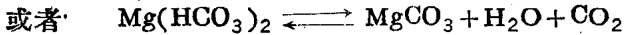
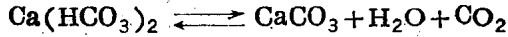
重碳酸鹽能溶解於水中的數量不得超過它的飽和極限，而這一飽和極限與許多因素有關。當遇到溶液中這些碳酸鹽性硬度的鹽類

*：見“和電廠循環冷却水系統結垢的鬥爭”一文，畢爾曼著，原載蘇聯「電廠」雜誌1944年第五、六期。

濃度超過一定的極限情況時，就要有一部分過剩的鹽類分解出來（所謂過剩的部分，即針對當時所具條件下所超過飽和極限的部分）。

當重碳酸鹽從水中分解出來時，形成碳酸鹽類。這種鹽類附着在冷却水所沖過的金屬表面上，成爲堅硬的水垢；同時，還分解出游離的二氧化碳。

碳酸鹽性硬度的鹽類分解過程可用下面的公式表示之：



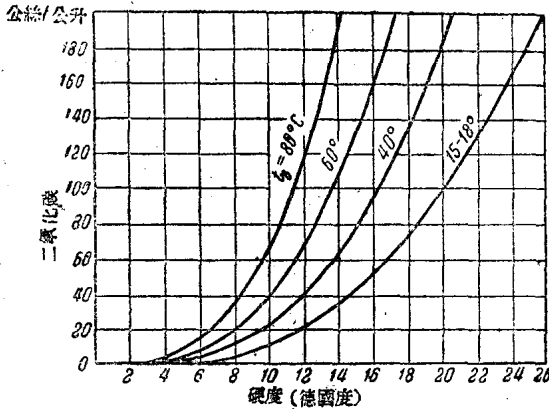
在循環供水設備系統中，促使冷却水中總含鹽量增多，並使碳酸鹽性硬度的鹽類達到飽和極限的原因，首先是因一部分循環水蒸發的結果，使溶解於水中礦物質鹽類的濃度逐漸增大，同時爲了彌補循環供水設備系統中各種損耗，而增加的補給生水也要帶來一些新的鹽類。

此外，在循環供水設備系統中，還具有促使鹽類在水中溶解限量降低和加速達到飽和極限時間的條件。水中游離二氧化碳的損耗是這些情況的主要因素，因爲水中含有最大可能的碳酸鹽性硬度正與它所含有的游離二氧化碳的數量有密切關係。

第一圖正表示水在不同溫度時的這一關係，它說明由於水中碳酸鹽性硬度的增大，所需的游離二氧化碳數量也大大增大。換言之，由於水中游離二氧化碳含量的減少，則水中鹽類的溶解限量也要減低。

從第一圖還可以看出一點，即水的溫度在這裏也起着極重要的作用：水中所需游離二氧化碳的數量，由於水溫的增高而要大大增加。

如果在純淨的水溶液中，除了鈣的重碳酸鹽和二氧化碳之外，再



第一圖 在不同溫度下，水中碳酸鹽性硬度與其相對所需游離二氧化碳關係曲線圖

加上一些中和電解物，像鈣、鈉、鎂的氯化物和硫化物等，則在同一碳酸鹽性硬度的水中所需游離二氧化碳的數量就顯著地減少。再者，如水中含有非碳酸鹽性硬度的鹽類，則其中重碳酸鹽的溶解限量便要降低。如果水中含有各種有機物，也要大大影響第一圖所示的關係曲線，而在水的碳酸鹽性硬度不變的條件下，減少游離二氧化碳的需要量。

因此，在水的碳酸鹽性硬度和所需游離二氧化碳之間的關係上，要想相當準確地計算影響它們數量的一切可能因素，到今天為止，還沒有這種可能性。

循環供水設備系統內，水中消失游離二氧化碳，主要地有下列兩種原因：首先，最易大量消失游離二氧化碳的地方是在冷水塔和噴水池內，因為在這類冷卻設備內的水分分割成細流或水滴，因之具有較大的空氣接觸面，就易使二氧化碳消失；第二，在凝汽器內加熱，則因為水溫增高而減低了水中氣體的可溶性。

因此，總含鹽量的增加，一方面由於一部分水被蒸發和補給水

中又帶來新的鹽類；另一方面是由於水中游離二氧化碳在冷卻設備裏消失。這兩點都使含鹽量加速達到飽和極限，促使重碳酸鹽加速分解，形成了水垢附着物。

這裏需要說明一點，就是在這些情況下，並不是所有水中的重碳酸鹽全都分解出來，而僅僅是其中超過了溶解極限的那一部分。至於溶解限量的數值是決定於水中現有的游離二氧化碳的數量、有機物的數量、總含鹽量和溫度等等條件。

剩餘在水中的那部分未分解出來的重碳酸鹽所以能夠保持在水溶液中，是由於其他部分的重碳酸鹽分解出來時，同時增加了水中的游離二氧化碳所致。

這一情況部分地彌補了冷卻設備中消失的二氧化碳，並且在碳酸鹽性硬度的鹽類分解過程中好像起了制止作用。

假定在循環供水設備系統中不發生重碳酸鹽分解出來的現象，則循環在這個設備系統中的水的碳酸鹽性硬度將要逐漸增大，而達到某一最大數值（ $a_{\text{最大}}$ ）。這個最大數值決定於補給水的數量、硬度和由於蒸發、吹散、洩漏的損耗數量以及排洩放水的數量。

當達到這一極限數值（ $a_{\text{最大}}$ ）時，水中含鹽量停止繼續增多，水的硬度穩定地保留在這一水平上，也就是說， $a_{\text{最大}}$ 的數值應是常數。

在循環供水設備系統中能夠獲得這一極限硬度（ $a_{\text{最大}}$ ）所需的時間，除了上面所談到的各種因素之外，還與循環倍數有關，即與循環設備系統的容積和冷卻水每小時需用量的比值有關。倘若其他的條件都相同時，則顯然是循環供水設備系統的容積越小，達到這一最大數值所需時間越短。這是因為容積越小的供水系統由於蒸發和補充水所帶來鹽類的影響而使濃度增大也越快。

上面所談到的關於循環供水設備系統中水的碳酸鹽性硬度的按時遞增量可以用「鹽類平衡方程式」求出。這一方程式（微分方程式）如下：

$$W_c da = \frac{P_0 W_u}{100} a_0 dt - \frac{(P_2 + P_3)}{100} W_u a dt$$

其中 W_c —— 整個循環水設備系統的容積（包括冷却水池等的容積）；立方公尺；

W_u —— 循環於系統內的水量；立方公尺/小時；

a_0 —— 補充水的碳酸鹽性硬度（一度硬度相當於1公升水中含有10公絲的CaO或者7.19公絲的MgO）；

a —— 循環水中現有碳酸鹽性硬度數值；

$P_0 = P_1 + P_2 + P_3$ —— 用於補充水系統內蒸發（ P_1 ），吹散（ P_2 ），排洩（ P_3 ）三項損耗的補充水量；以 W_u 的百分數（%）表示的。

這一方程式是以設備系統內最初裝用的水，假定其硬度為 a_0 而擬成的。

如將各項可變值劃分開來，分別規定在 $t = 0$ （相對的 $a = a_0$ ）到 $t = t$ （相對的 $a = a_t$ ）的限度內，我們可以求得系統工作 t 小時後循環水的碳酸鹽性硬度的公式：

$$a_t = a_0 \frac{P_0 - P_1 e^{-A}}{P_0 - P_1} ; \text{ 在這式裏：}$$

$$A = \frac{P_2 + P_3}{100} \cdot \frac{W_u t}{W_c}, e = 2.718$$

在無結垢運行條件下，碳酸鹽性硬度的最大可能數值（ $a_{\text{最大}}$ ）也可用這鹽類平衡方程式求出。確定這數值的條件是補充水所帶來的鹽類數量與吹散、洩漏、排污所帶走的鹽類數量彼此相等，因此