

蒸汽鍋爐的排污

秦金藻 何輝純 宋珊卿編著



電力工業出版社

572
84

內 容 提 要

本書說明了蒸汽鍋爐進行排污的重要意義，介紹了定期排污和連續排污以及這兩種排污方式相結合的必要性；特別詳盡地敘述了如何科學、合理的排污的方法。

本書除可供發電廠鍋爐和化學分場技術工人學習之外，還可供化學工業場的技术人員參考。

蒸 汽 鍋 爐 的 排 污

秦金藻 何輝純 宋珊卿編著

494R116

電力工業出版社出版(北京市右街26號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{32}$ 開本 * 1 $\frac{1}{2}$ 印張 * 32千字

1957年3月北京第1版

1957年3月北京第1次印刷(0001—5,600冊)

統一書號: 15036·425 定價(第10類)0.28元

目 录

第一章 蒸汽鍋爐为什么要排污	2
第一节 水中含有什么	2
第二节 水在鍋爐中工作的情况	3
第三节 爐水濃度增高和生成沉淀物的害处	6
第二章 排污的种类	14
第一节 定期排污	14
第二节 連續排污	15
第三章 怎样进行合理的排污	17
第一节 怎样确定鍋爐的排污量	19
第二节 連續排污量的控制	29
第三节 排污的操作	41
第四节 怎样减少排污的损失	42
第五节 排污水的利用	46
附录	54

第一章 蒸汽鍋爐为什么要排污

第一节 水中含有什么

在火力發電廠中所使用的水源，絕大部分是河水、江水或井水等。在這些水中，除混雜有許多泥砂之外，還溶解有許多的礦物質（也叫做鹽類）和氣體。

將一定量的水，用過濾方法除去泥砂後，放在試驗室用的磁蒸發皿中加熱，水就會化為蒸汽散到空氣中，經過一定時間後，蒸發皿中的水就會被蒸干。這時在蒸發皿的底部，就出現許多灰色或略帶紅色的固體物質，這就是原來溶解在水中的礦物質。

水中含有礦物質數量，是以單位體積的水中所含鹽類的重量來表示，一般都採用毫克/公升作單位。也就是一公升的水中含有鹽類的毫克數，或一噸水中含有鹽類的克數作為單位（1克等於1000毫克）。例如將1公升的水蒸干後，剩下的固體鹽類為500毫克，就說明此水中的固體鹽類是500毫克/公升。

各種水中（無論河水或井水）所含有的礦物質的數量是不同的，常常有很大差別。譬如有的水中只含有100毫克/公升，也有的水中就含有2000毫克/公升。對發電廠的用水來講，當然是水中含有礦物質愈多就愈不好。

水中的礦物質都是些什麼呢？經過化學試驗室分析的

結果，一般有下列主要的成分：

1. 鈣化合物：水中所含鈣的化合物為重碳酸鈣、硫酸鈣、氯化鈣等，其中的重碳酸鈣是由碳酸鈣和水中的二氧化碳作用而成。也就是重碳酸鈣受熱后就分解出碳酸鈣的沉淀。

2. 鎂化合物：水中所含鎂化合物為氯化鎂、硫酸鎂等，其中以氯化鎂為主，它極易溶解於水中，在鍋爐的高溫高壓運行下易產生鹽酸，增強了水的腐蝕性。

3. 鈉化合物：如氯化鈉、硫酸鈉、重碳酸鈉、硝酸鈉等。

4. 鐵和鋁的化合物。

5. 矽化合物：如氧化矽及矽酸鹽等，氧化矽在冷水中不易溶解，它在鍋爐中積聚而成的硬垢，也很難除去。

在這些成分中，鈣和鎂的化合物是我們常說的硬度的成分，這種礦物質是使鍋爐受熱面生成水垢的有害物質。

水中能溶解這些礦物質的性質，可以用我們日常生活中的事實證明。譬如將食鹽放在水中調味時，當放入水中後不久就消失了，也就是食鹽溶解在水中了。這是水的一項很重要的性質。

關於水中溶解的氣體，經化學分析證明，有氧氣、二氧化碳和氨氣等。這些氣體對發電廠用水來說，都是有害的。主要是它們會使金屬設備遭受嚴重的腐蝕。但是它們是可隨着水的溫度升高而減少。這些問題因為和排污無關，所以在本文中不準備詳細介紹。

第二節 水在鍋爐中工作的情况

火力發電廠中的鍋爐，是要不間斷地供給汽輪機足夠的和質量合格的蒸汽。為了完成這個任務，就要求化學分場將質量合格的足夠的水送給鍋爐使用。當含有礦物質的水送入鍋爐之後，因受高熱而劇烈的蒸發。當水受熱汽化之後，水中所含有的礦物質就必然存留在鍋爐中。但是，因為鍋爐中必須經常保持一定量的水，而不是被蒸干，所以存留在爐水中的礦物質，實際上是溶解在爐水中，而不是馬上就會在水中沉淀。

但是，爐水中溶解着的礦物質，並不是可以無限量地溶解的。也就是各種礦物質都有它在水中一定的溶解度。同時，除一般的礦物質之外，有些礦物質是隨着水的溫度的升高而不斷減少溶解的數量。尤其是鈣或鎂的化合物，要比鈉的化合物在水中溶解的數量少得多。因之，當爐水不斷地被蒸發，爐水中含有的礦物質愈來愈多，當這些物質多到不能再溶解在爐水中時，首先是鈣和鎂的化合物，就會由水中沉淀出來，而變為固體物質。這和鍋爐燃燒時的情況一樣。鍋爐燃燒時是不斷地向鍋爐中給煤的，任何種類的煤都帶有灰分，這和給水中都帶有鹽類一樣。煤在爐膛中燃燒後，一部分灰被煙氣帶走，其餘的便遺留在爐膛內。這些灰若不除去，便會在爐膛內堆積起來。同樣地，爐水不斷濃縮，許多礦物質（鹽類）沉淀，變為固體物質，也是這個道理（如圖 1 所示）。因此，鍋爐如不進行排污，這種固體物質愈來愈多，對鍋爐設備的運行是非常不利的；輕則浪費燃煤，重則造成事故。

在鍋爐中沉淀出這些物質的多少，首先和不斷送入鍋

爐的水中含有的礦物質多少有直接關係，尤其是和含有的鈣和鎂的化合物的多少有直接關係。鍋爐水中含有的鈣和鎂化合物的礦物質愈多，就愈易使鍋爐水在濃縮時產生更多的沉淀物。另外，也和鍋爐的蒸發倍率^①有關係。蒸發倍率愈大，爐水濃縮就愈快，也就容易使爐水濃度達到生成沉淀的數值。

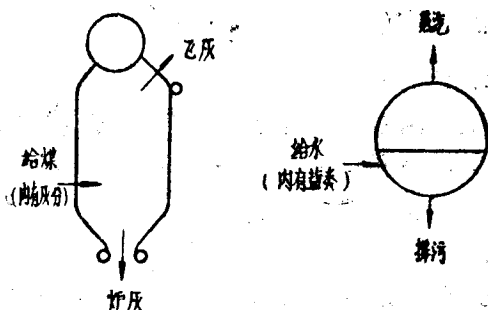


圖 1

可是，即使送入鍋爐中的水中含有的礦物質很少（譬如經過蒸餾了），或是礦物質中的鈣和鎂化合物很少（譬如經過高度的軟化了），而且鍋爐的蒸發倍率很小；爐水也會由於不斷蒸發而濃縮，並生成固體物質。

譬如在鍋爐的壓力、補充水量和蒸發倍率相同的情況下，用蒸餾水做鍋爐補充水時，因蒸餾水中含有微量的礦物質，爐水也會被濃縮和生成固體物質，但這過程很慢。如果用軟化水做補充水時，雖然軟化水中含有的鈣和

① 用鍋爐在水位下的全部容水量噸數去除鍋爐每小時的蒸發量噸數的數值，就是該鍋爐的蒸發倍率。譬如某鍋爐的正常水位下容水量為 40 噸/小時，它的蒸發量是 80 噸/小時，那麼，它的蒸發倍率就是 $80/40=2$ 。

鎂的化合物較少，但所含有的鈉化合物還是很多的（用陰離子和陽離子交換劑的方式軟化的除外），因之，爐水也較易被濃縮甚至生成固體物質。假若是用生水做補充水，因為其中含有的各種礦物質很多，就非常容易被濃縮和生成固體物質了。所以，“電力工業技術管理暫行法規”中規定，除非在事故的情況下，是不許可往鍋爐中送入生水的。

第三節 爐水濃度增高和生成沉淀物的害處

當爐水的濃度太高或是鍋爐中含有很多的沉淀物時，都會對水、汽系統設備運行的安全可靠有不良的影響，也會直接影響到鍋爐的熱效率。過去許多發電廠都有實際事例可以充分證明。現簡單介紹如下：

一、爐水濃度增高的害處

這裡所說的爐水濃度的增高，是說當爐水濃度增高超過一定的限度時所發生的問題。

用什麼來表示爐水的濃度呢？在電力系統的發電廠中，一般用兩種形式表示。

第一種是用一公升爐水中含有的全部礦物質的毫克數來表示（如前所述），也就是一般所說的用全固體物的多少或是含鹽量的多少來表示。這種表示方法，是用在爐水中含有很多的鈉化合物的時候。

第二種是用爐水的鹼度（現用德國度，也就是 1000 毫升水中含有 10 毫克的氧化鈣叫做一度）來表示。這種表示方法，是用在爐水鹼度較大而且容易變化的時候。所謂鹼度主要是指水中含有的氫氧化鈉（火鹼）、碳酸鈉（鹼面）和

重碳酸鈉(小苏打)等成分。

不論是採用那種方式來表示，有一個共同的問題，就是當爐水的濃度很大時，也就是爐水中的全固體物或是硬度很高時，就會使鍋爐所發生的蒸汽質量變壞，帶有較多爐水水滴的蒸汽，會由於成分的不同，在過熱器、調速器中或是汽輪機葉片上生成許多鹽質物。

在過熱器中，飽和蒸汽因被過熱而乾燥，這樣由過熱器引出的蒸汽就變為過熱蒸汽(或干蒸汽)了。因此，在飽和蒸汽中所帶的爐水就會被蒸發，也就是可使蒸汽中所含有的礦物質沉淀出來，附着在過熱器管壁和過熱器聯箱的內部，當這些固體物質受熱後就可結成相當堅硬的鹽垢。這種情況發生後，首先會減小了蒸汽的流通截面。尤其是這些堅硬的鹽垢不易傳熱，可使過熱器管不能被充分的冷卻，也就容易使過熱器管發生過熱的現象，甚至因此可使金屬管破裂。這對設備安全運行的威脅是很大的。

當蒸汽中所帶的較多的爐水，污染了蒸汽質量之後，不僅可在過熱器中生成鹽垢，還可在調速門中生成鹽垢，這就必然要使調速門動作不靈。甚至造成損壞汽輪機的後果。

假若因蒸汽質量不好，在汽輪機葉片上生成鹽垢時，還可降低設備的出力。譬如××發電廠就因為這種原因(汽輪機葉片上結垢2毫米)，迫使汽輪機的出力由15000瓩降低至12000瓩。

爐水的濃度增大到一定程度之後，為何會使蒸汽的質量變壞呢？我們可由日常生活中煮開水的情況來說明。

在已經沸騰的水中有許多汽泡向水面上升，同時在水面上會積有許多汽泡。這些汽泡會不斷的破裂消失。但是，在汽泡破裂的時候，我們可以看到，會濺出較小的水滴（水珠）。這種現象，在鍋爐汽包內也是同樣存在的（如圖2

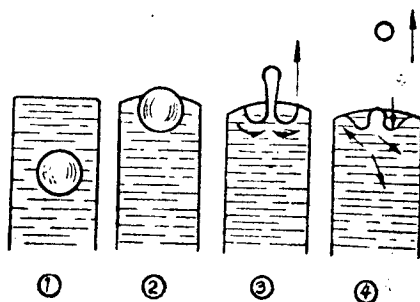


圖 2 汽泡受熱上升爆破情況

1—汽泡上升；2—汽泡在破裂前的情況；3—汽泡破裂後所形成的波浪；4—水滴從浪頭濺出。

所示）。假若這些小水滴被蒸汽帶走，當然就會使蒸汽質量變壞。

根據蘇聯的先進經驗得知，當爐水不斷被濃縮，爐水中含有的固體鹽類或鹼度的成分達到一定高的濃度時，情況就和上面所談的不同了，而是會在爐水表面產生許多的泡沫。這種泡沫的性質是不穩定的，很容易破裂，當它破裂後，泡沫的薄膜就進行分裂，這樣就會產生許多高度分散的細小的水滴，並且可以連續不斷地進入蒸汽空間，最後被蒸汽由鍋爐中帶出。

當爐水不斷蒸發時，爐水的固體物不斷增多或是爐水的鹼度不斷增大，如前所述，在達到一定濃度界限之前，

并不会使爐水發生很多的泡沫。但是，当达到使爐水發生泡沫的濃度时，若再繼續增加爐水的濃度，就会产生更多的泡沫，使泡沫分裂成的小水滴会更多的帶到蒸汽中去。因之，也就使蒸汽的質量更坏。

應該指出，蒸汽質量惡化，并不能單由爐水的質量決定，还必須充分注意鍋爐設備的構造和运行上的許多問題。因为在一般情况下，爐水表面上分散的小水滴并不容

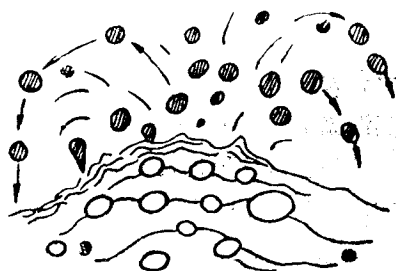


圖 3

易被蒸汽大量帶走，因为水滴本身有一定的重量，当它們溅出水面而尚未离开汽包时，又会落回到水中的（如圖 3 所示）。同时，很多汽包內都有汽水分离裝置，水滴更不易被大量帶出（如圖 4 所示）。但是，假如鍋爐汽包內每單位空間每小时所通过的蒸汽量很多，也就是以蒸汽体积为單位的蒸發量很大时，情况便又不同了。因为在这种情况下，流动的蒸汽便有足够的力量能把水面上的水滴从汽包中帶出，这样，蒸汽便会被污穢。根据这一点，我們便可知道鍋爐的蒸汽品質是和鍋爐的蒸汽流量（或鍋爐負荷）有很大

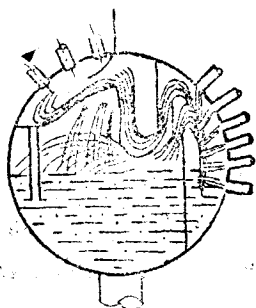


圖 4

关系的。当鍋爐的負荷达到某一程度，以致使蒸汽帶走大量的水滴时，这負荷我們称之为“临界負荷”（即鍋爐蒸發極限强度），也就是蒸汽开始被污穢的負荷。但应该指出，并非在临界負荷下蒸汽便不会帶走水滴，而只是帶得很少罷了！

水滴被蒸汽帶走，还和鍋爐的水位及压力有关。因为水位升高，鍋爐的蒸汽空間便減小，在相同蒸汽流量的情況下，蒸汽空間減小后，每單位体积空間所通过的蒸汽体积也就增加。这和水在管子中的流动情况相同，假如每小时水的流量一定，則水通过細管子时的流速一定要比通过粗管子时的流速大得多。根据这种現象，便可了解到鍋爐水位升高后，汽包空間的蒸汽流速便会增加。同样，压力減低（不是驟然的），相同重量的蒸汽体积便会增大，在相同負荷、相同蒸汽空間的情況下，当压力降低，蒸汽体积增大后，每單位空間体积所通过的蒸汽体积也就增加，这样水滴也容易被帶出。

根据以上所述，可以知道蒸汽品質是和鍋爐負荷、水位及压力都有关系的。更切实地說，蒸汽品質与每小时每單位空間体积所通过的蒸汽体积有关，也就是与以蒸汽体积計算的單位蒸汽蒸發强度有关。这蒸發强度可由鍋爐的負荷、水位及压力計算得到，單位以米³/米³-小时表示。当鍋爐的蒸發强度超过允許值后，蒸汽品質便会惡化。

根据科学家的研究，在不同的爐水濃度下，蒸發強度的允許值是不同的。爐水濃度愈大，蒸發強度的允許值便愈小。在一定蒸發強度下，開始使蒸汽品質惡化的爐水濃度，叫做爐水的臨界濃度。為了獲得合乎標準質量的蒸汽，在鍋爐一定的蒸發強度下，應控制其爐水濃度永遠小於臨界濃度。由於每台鍋爐的構造不同，所以每台鍋爐的允許蒸發強度和臨界爐水濃度也不同。允許的蒸發強度和爐水臨界濃度是可以通过試驗測得的，這試驗便是所謂“熱力化學試驗”。正如“電力工業技術管理暫行法規”第387條(1)所規定：“鍋爐水水質的標準應根據每一鍋爐的熱力化學試驗來規定。熱力化學試驗應求出鍋爐機組在各種不同運行方式中，鍋爐水的極限規範”。

△ 另外，當爐水含有的鹼度很高時，還不只是發生蒸汽品質惡化的後果，還會因為爐水鹼度過高，促使鍋爐金屬發生晶粒間的腐蝕，也就是我們常說的苛性脆化（當然，鍋爐金屬發生苛性脆化，主要原因往往由於金屬遭受過高的應力和金屬連接的地方有細縫，但是爐水鹼度過高也是因素之一），這不但嚴重的縮短鍋爐使用的壽命，尤其是會發生人身和設備的事故，這是值得萬分注意的問題。

二、爐水產生固體物的危害

△ 當溶解在爐水中的礦物質，因為濃縮的原因，由爐水中沉淀出來的時候，首先是附着在鍋爐的受熱面上，尤其是受熱最利害的牆管的地方。這些固體物質附着在受熱面之後，經受較高的溫度的作用，就會變成堅硬的水垢。這就給鍋爐運行工作帶來很多麻煩。一方面要影響爐水的

正常循环，一方面因为水垢的傳热效率很低，無法使爐管外的高溫很快地傳送給爐水，也就是不能使金屬管壁得到正常的冷却，因此，金屬管壁就会遭受过热的危險，当超过金屬管的耐热溫度極限时（一般碳素鋼是 450°C ），輕則使管壁鼓起，重則使管壁破裂。同时，当金屬受热而生成水垢之后，因为水垢的傳热效率很低，为了生产一定量的蒸汽，就必然要多消耗一些燃料。因之，也就降低了設備运行的經濟性，增加了电厂的成本。水垢对燃料損失的影响如表 1 所示。

表 1

水 垢 性 質	水垢厚度(毫米)	主 要 成 分	燃料燃燒的損失, %
硬	0.50	碳鹽酸	5.4
軟	0.73	碳鹽酸	7.2
硬	0.78	碳鹽酸	8.5
軟	1.02	碳鹽酸	8.0
硬	1.02	硫鹽酸	9.3
硬	1.25	硫鹽酸	11.1
軟	1.70	硫鹽酸	10.8
硬	1.70	碳鹽酸	11.0
軟	2.03	碳鹽酸	15.0
硬	2.73	硫鹽酸	15.9

当鍋爐中生成有固体物質时，也会影响蒸汽的質量，一般是沉淀物的粒子愈小，对蒸汽質量的影响就愈大。尤其是鍋爐中生成的固体物，在鍋爐水循环的过程中，較大的沉淀粒子較易沉积在底部（例如泥包或下联箱）；較小的沉淀粒子，則容易存留在爐水的表面。这也就更促

使蒸汽的質量變壞。

三、爐水中含有矽酸根對高溫高壓鍋爐的危害

在近代化的高溫高壓的鍋爐設備中，除了要嚴格控制爐水的全固體物或鹼度之外，還要特別注意到爐水中矽酸根(SiO_3^{2-})含量的濃縮問題。因為高溫高壓的鍋爐發生蒸汽的性質，和中壓鍋爐發生蒸汽的性質有顯然不同的地方。就是高溫高壓的鍋爐所發生的蒸汽，具有選擇性攜帶爐水中矽酸根的特性。爐水中含有矽酸根愈多，被蒸汽帶走的矽酸根也就愈多；反之，也就愈少。因此，當爐水不斷被濃縮時，則爐水中的矽酸根也就會不斷增加，那麼，蒸汽中含有的矽酸根也就不斷增加了。

蒸汽中含有矽酸根量超過標準時(一般是0.05毫克/公升以下)，就要在蒸汽系統，主要是汽輪機葉片上結成非常堅硬的矽酸鹽硬垢。這樣，不但要降低設備的出力，而且增加了檢修的困難。

最後，要特別指出，即使給水質量較好，爐水又進行了爐內磷酸鈉處理，也要注意生成沉淀物和結成水垢的危害。因為爐水用磷酸鈉處理後，可在鍋爐中生成不易附着在管壁上的鹽基性磷灰石和矽酸鎂的沉淀物，這些沉淀物如不及時排出，就會愈來愈多，也會影響蒸汽的質量，並會有附着在受熱面上的可能。

總的說來，當爐水不斷被蒸發後便會產生下述情況：

1. 增加蒸汽的含礦物質的數量，促使在蒸汽系統中生成鹽質物。
2. 促使鍋爐金屬材料發生苛性脆化。

3. 促使金屬受熱面生成水垢和沉淀物。

這些情況會影響設備運行的安全、降低設備的出力、增高耗煤量和縮短設備使用時間。因之，在鍋爐不間斷的運行中，就必須用人為的方法，防止爐水濃度過高，並經常地維持在一定的數值內。為了達到這個目的，最有效的方法之一，就是進行鍋爐的排污。

第二章 排污的種類

根據蘇聯的先進經驗，蒸汽鍋爐排污可分為定期排污和連續排污兩種方式。因此，“電力工業技術管理暫行法規”（以下簡稱“法規”）第 162 條規定：“每一自然循環的鍋爐應備有下列設備：

（1）上部連續排污裝置，以便自含鹽量最大的一個汽包蒸發面下放出爐水，並利用其熱和水；

（2）定期排污設備，以便自鍋爐及水冷壁管的低點施行排污……。

第一節 定期排污

定期排污又叫間斷排污和泥包或下部排污。這是由於定期排污是在鍋爐水系統的最低的地方間斷地進行，如在鍋爐的泥包和聯箱等處。

定期排污的目的，是為了排除鍋爐內所形成的粘質物、爐水殘余硬度和磷酸鈉或鹼性物質作用後所產生的軟

質沉淀，以及由給水管路帶來或是鍋爐本身受腐蝕所生成的氫氧化鐵的沉淀物等。

定期排污的特点，是排除鍋爐內的沉淀物等作用很强，同时延續的時間很短。

按“法規”第 162 条規定，定期排污管道上要裝有串聯着的兩個截門。其中一个是做为調整使用，另一个是为了保證設備运行的安全之用。不仅如此，這兩個截門还可防止經常洩漏所造成的熱損失，这也是很需要的。

第二节 連續排污

連續排污也叫表面排污，这种排污的方式是連續不断地將鍋爐汽包中的爐水排出，而不是由鍋爐泥鼓等底部进行排放。

这种排污的方式，解放前在電力系統的火力發電廠中是没有采用的。解放后，由于苏联專家無私的帮助，使我們認識到，为了保證蒸汽的質量和爐水的質量，为了減少鍋爐的熱損失，就必须进行連續排污的工作。因之，目前絕大部分發電廠中都先后安裝了这种裝置。

連續排污的實質，在于它可不間斷地將鍋爐中濃度最大的水排出。

对不分段蒸發的鍋爐來說，爐水濃度最大的地方，是汽包水面下約 80~100 毫米厚的地方；这是由于此处爐水蒸發面較大而更易濃縮。对分段蒸發的鍋爐來說，鹽段的爐水濃度較淨段爐水的濃度大得多；这是由于鹽段爐水的給水就是淨段爐水。因此，連續排污就是要不斷地將這些