

防止鍋爐苛性脆化技術經驗

中華人民共和國造紙工業管理局彙編

防止鍋爐苛性脆化技術經驗

中華人民共和國造紙工業管理局

防止鍋爐苛性脆化目錄

一、苏联專家普拉克辛同志对鍋爐苛性脆化問題的報告·····	1
二、鍋爐苛性脆化的破裂現象·····	36
三、防止鍋爐苛性脆化破裂現象的方法·····	44
四、金屬腐蝕与防腐實驗·····	53
五、討論鍋爐苛性脆化問題的技術報告·····	66
六、鍋爐的苛性脆化及其防止方法·····	70
七、鍋爐檢驗工作·····	83
八、鍋爐用水水質处理·····	91
九、鍋爐鋼的材料及其性能·····	121
十、鍋爐 r—射線的透視·····	143
十一、苏联專家伊、阿莫尔察諾夫同志关于因檢修錯誤而引 起的蒸汽鍋炉的事故及正确的蒸汽鍋爐檢修方法·····	167

鍋爐苛性脆化問題

苏联鍋爐專家普拉克辛同志在重工業部禮堂的報告
輕工業部造紙工業管理局生產處傳達

一九五六年元月 日

(本資料經整理后,未經專家審閱,如有錯誤概由我處負責)
同志們:

這次講的是:延長鍋爐壽命、保證安全運行,提高使用水平。

由於工業的迅速發展,不但是發電用的鍋爐有所增加,其他工業用汽鍋爐也隨而增多。現在中國有許多來自國外的各種老舊型式的鍋爐,構造上各有不同,運行人員須要掌握着它的特征。才能保證安全運行,這是一個很重要的任務。

根據現有資料看來,工業用汽鍋爐很不安全、而且很危險,很可能發生傷亡事故和造成物資損失;以天津鍋爐的爆炸事故來說,就造成過重大傷亡和物資的損失。余局長說過:「1950~1955年全國共發生了25次鍋爐爆炸事故」,應該說是個重大事件,在同一時期里,蘇聯只發生過一次鍋爐爆炸事故,原因是鍋爐結構與操作上的不良,產生了苛性脆化(不治之症),這種不治之症肇起了爆炸事故。即是修理也得費很大的檢修力量;應該特別注意鉚接鍋爐的下水鼓最易產生這種毛病。所以今天講的是「鍋爐苛性脆化問題」。

因鍋爐在運行中經常受有溫度、壓力、水汽腐蝕等的影響,所以製造爐鼓和聯箱等用的鋼板,應有很高的質量要求。尤其在運行中要保持鍋爐結構的正常狀態,更應保持金屬的金相組織及以下各性能:

1. 機械性能;

2.耐溫性能；

3.彈 性；

4.防止金屬时效硬化。

保證以上各性能不發生變化；才能保證安全運行。

鍋爐在運行中因某種原因，使其部份結構性能發生變化，甚至造成損壞與爆炸，此種損壞不是在各部份同時發生的，而是特殊部份先行損壞，如爐鼓的鉚縫、脹口等處容易損壞；苛性脆化也就是主要產生在這些地方，若發現有苛性脆化後，往往因未進行徹底檢修而肇起爆炸事故，當經檢查發覺後，就應該極端重視、及時地進行徹底性的大修理。如天津、鞍山、西安、鄭州等地的鍋爐曾產生過苛性脆化，均及時地進行了徹底性的大修工作和其他處理措施。

一、鉚縫和脹口容易產生苛性脆化

1. 高度的附加的局部機械應力，（整理者註：這是指在合理情況下鉚合或脹口工作中金屬內所產生的機械應力）。

為了使鉚縫和脹口到達必要的強度，就會有應力的產生。設計上已考慮到並有預定的安全係數。把它計算在安全範圍以內。

2. 冷加工變形。

在設計上不好考慮這個問題，因安裝工作對它的影響很大。冷加工變形就是在低溫度下進行加工，使其在彈性限度內變形，溫度愈低，此現象愈嚴重，鋼及脹管在 650°C 以下加工就會有冷加工變形；若在這溫度以上加工，則不會產生此種現象。鉚釘冷卻到 600°C 以下加工時，也會產生此種現象。

金屬經冷加工變形後，抗拉強度增大，硬度增大，彈性及韌性減小，這就是金屬變形衰弱的現象。抗拉強度增大，似乎是很好的，實際是不對的，抗拉強度的大小，設計上已有安全係數的規定；所以不能單獨從抗拉強度看問題，同時還要考察彈性，韌性

的減小。冷加工變形雖然沒有危險，但能附帶產生金屬時效硬化的作用。

3. 時效硬化現象。

時效硬化是金屬組織結構和性能的变化，其發展與溫度有關，常溫下發展得慢，在 200°C 左右時發展甚快（它的發展速度與溫度成比例即低溫時發展得慢（如表），到達 200°C 以上時就加速發展）。不論任何情況下冷加工時，均会引起金屬時效硬化現象，它是隨着載荷、時間而增大，金屬的抗拉強度及硬度也繼續增大，彈性及韌性繼續減小，屈伏點升高，特別是衝擊強度減小很快，甚至到不能承受衝擊載荷（動載荷）；所以金屬產生時效硬化現象以後，彈性、韌性就會急劇下降。其变化如下表一。

三號炭素鋼在溫度 20°C 保持時間 (一晝夜——24小時)	沖 擊 強 度 公斤/平方公分
經冷加工变化后	6.3
1	4.7
7	4.4
30	4.3
90	3.5
180	3.3
360	3.2

因此，冷加工變形並不十分危險，問題在金屬時效硬化發展得很快，金屬溫度在 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 時，僅經過一小時半的時間，衝擊強度就降低到3.3公斤/平方公分，相當於金屬在溫度 20°C 情況下使用了半年。

在脹口和鉚合時，不可能避免有這兩種現象；在設計中要考慮和避免此等現象，因冷加工變形能引起金屬時效硬化的影响，使金屬的組織結構在運行中繼續惡化。因為既不能消除，而只是儘可能減少此等現象，所以現代鍋爐的制造趨向於用電焊，而不用鉚合，這是用焊接的主要原因之一。

鉚合的鍋爐先經安裝而減弱，运行中又更減弱，經运行相当時間后，直至不能承受鍋爐應力的要求時，特別易生苛性脆化。前面說過苛性脆化是「不治之症」，中國的25次鍋爐爆炸事故中，雖然無具體材料可據；但與苛性脆化是有關係的。蘇聯那次的鍋爐爆炸事故，就是因為苛性脆化而發生的。

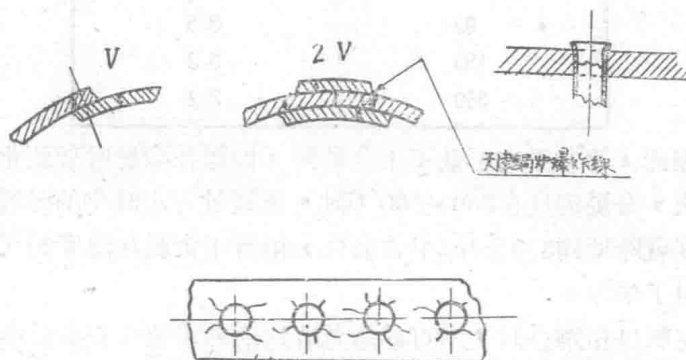
（苛性脆化又名結晶邊緣的腐蝕）

這三種現象並不能產生苛性脆化，只是容易促使苛性脆化的產生。

二、苛性脆化的情況

1. 首先在鉚縫接觸面發生裂紋，繼續發展使兩裂紋連成一條，不論任何形式裂紋均由接觸面開始發展。
2. 各裂紋依箭頭方向由接觸面往外發展，如圖1。
3. 脹口也是由接觸面開始往管內發展，如圖1。
4. 搭接鉚縫的苛性脆化速度為1V，則對接雙復鉚縫就要快一倍，即等於2V，天津鍋爐爆炸線如圖1示。

圖 1.



5. 鉚釘孔是呈放射性的裂紋，若各裂紋連接起來，結果因減弱而不能承受壓力到發生問題。如圖1。

6. 脹口裂紋發展成為環形，或成為佔有一定弧度的裂紋，

如此弧度位于管子的上半圓部份强度还够，若位于管子的下半圓部份，則会使管子脫出；不久前鄭州就發生过此事。

7. 鉚縫苛性脆化比脹口危險得多，因舊式設計水汽鼓容量大，蒸汽多，爆炸力非常大；脹口放出的水少，蒸汽少，不能發生很大的事故。总之，兩者都是最危險的，不許發生有此現象。

三、苛性脆化的危險性

1. 主要因苛性脆化在發展階段中不易檢查出來，（但有間接方法能發現），因鉚縫裂紋由接觸面向外發展，脹口裂紋也同样的由接觸面向外發展，所以不易檢查出來；当裂紋穿透能檢查出來時，已是接近爆炸或發生爆炸了！但不易檢查，並不等于不能用間接方法檢查。

2. 裂紋不是按平均速度發展的，而是在按加速度發展着。例如第一个月是3公厘，經過三个月后，不一定是9公厘，实际是發展到20公厘或更多。

3. 如不能及时防止苛性脆化，可能需要很多人力物力來修復它。

4. 脹口裂紋是不能用什麼檢修方法修理，而是要換裝新管；鉚縫裂紋也是要割去坏的鋼板、換補上另一塊新的鋼板。

根据以上各点說明苛性脆化是「不治之症」，研究其產生的原因及預防方法是具有很大的意义；苏联的鍋爐是焊接的，無鉚縫，因而它对苏联的鍋爐說來已無实际的意义，但对中國的鍋爐却是有很大的意义。

四、苛性脆化的主要特徵

主要的是先熟悉了苛性脆化与其他損坏不同的特征，而后才好進行檢查。

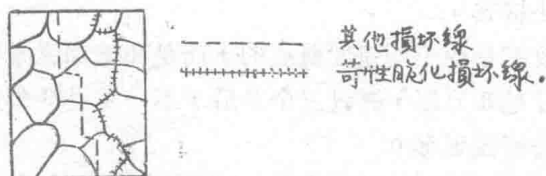
1. 已產生裂紋的鋼板，沒有尺寸上的变化，即仍保持原有

尺寸，一点也沒有变化；其他损坏所生的象征：如受拉力而损坏，則鋼板先薄后断；受弯曲力而损坏，則先弯后断；管子壁是起包变薄后才爆裂的。苛性脆化裂紋就沒有这些象征，所以又叫做「無变形损伤」，証明並不是因应力或机械性能等变化所引起的，即使所承受的載荷与金屬等在正常情況下也会產生苛性脆化。

2. 金屬还保持原有机械性能：抗拉强度、彈性、延伸率、屈伏点等，金屬的組織結構也沒有变化。

3. 金屬是由各个結晶所組成，其他损坏是从結晶中間破裂。苛性脆化裂紋是沿着結晶邊緣破裂。所以又叫做結晶邊緣腐蝕，如圖2。

圖 2.



4. 金屬过載荷断裂时，断面新鮮發亮。苛性脆化断裂，因断面是經過較長時間的發展，並不是突然裂开，所呈現的是舊伤痕。

五、產生苛性脆化的原因

現已找出了它的規律，只有以下兩個条件同时作用，一定產生苛性脆化。

1. 高度的附加的局部机械应力（第一个条件）。

設計中並未考慮及此，这种高度的附加的局部机械应力要比工作中產生的应力大得多，有时达到破坏强度或屈伏点。

$$Q > B_b > B_r$$

Q 高度的附加的局部机械应力 公斤/平方公厘

B_T 屈伏点

公斤/平方公厘

B_b 破坏强度

公斤/平方公厘

2. 鍋爐水中高度濃集的苛性鈉 (NaOH) (第二个条件)。

在正常运行中鍋爐水內似乎不可能有大到1000倍或更多的苛性鈉，但因鍋爐結構及操作不良，在个别部份是会產生的。

NaOH 毫克/公升 $\times 1000$

苏联科学院曾做过試驗，証明兩者同时作用，一定產生苛性脆化，試驗如下：

1) 使 $Q > B_T$, $\text{NaOH} = 0$, $t_{CT} = 300^\circ\text{C}$.

試驗溫度为 300°C ，高度的附加的局部机械应力大于 屈伏点，並使爐水中苛性鈉含量为零，在这些条件下經過了五年的試驗，鋼鈑終於沒有產生裂紋。

2) 使 $Q = 0$, $\text{NaOH} = 35\%$, $t_{CT} = 300^\circ\text{C}$.

試驗期滿三个月后，鋼鈑也沒有發現裂紋。

3) 合併以上兩個方法進行試驗，使成为

$Q > B_T$, $\text{NaOH} = 35\%$, $t_{CT} = 300^\circ\text{C}$.

經過31天的合併試驗后，鋼鈑就發現了裂紋。

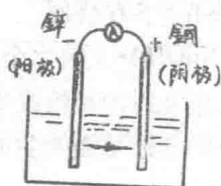
这些一連串的試驗，証明了上述規律的正确性、証明了高度的附加的局部机械应力与高度的濃集的苛性鈉同时作用，一定会產生苛性脆化。

(一) 苛性脆化的性質

苛性脆化过程屬於电化学性質。金屬有單純化学的损坏，也有电化学上的损坏：只是區別于單純化学损坏不会產生电流，电化学损坏產生有电流(电子的流动)。电流的產生需要有兩電極，含有酸或碱的溶液。有电流时，則正極放出氫气，負極進行损坏。如圖3。

鍋爐的腐蝕与以上的原理一样，鍋爐鋼鈑產生多量的電極，电流很小，因为鋼鈑是由很多元素組成的，雜質与鋼板形成極多

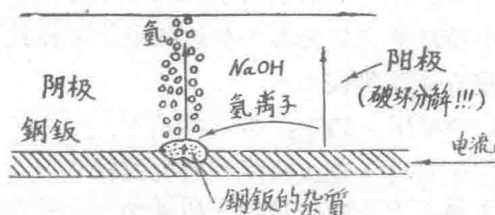
圖3.



(整理者：銅屬於陽電性、
鋅屬於陰電性)。

对电极，夾雜物为陽極，銅板为陰極，又因鍋爐水中含有碱液为
电解質，所以負極损坏，正極放出氫气。如圖4。

圖 4.



結晶是正極，結晶邊緣是負極，只有鋼板有高度的机械应力
时，才能变为負極（现在还未知其所以然），有了含碱的溶液而
开始电离，元素即开始腐蝕並放出氫气，氫气的体積逐漸增大，
因結晶間的封密、压力增大；由于此压力超过金屬結構連接处的
力量，迫使結晶間發生裂紋。

苏联認為这是多种看法中比較正确的理論，完全符合于沒有
高度的机械应力，就沒有負極的產生；沒有苛性鈉的濃集，也不
會產生苛性脆化。

也可看为是夾在金屬中的雜質物少，則苛性脆化的可能性也
少。

(二) 高度的附加機械應力的產生

1. $Q \geq B_T = B_b$ 时，脹口上机械应力的產生。

先談因加热而起的高度机械应力，鍋爐的脹口在爐鼓或联箱

上，受热后不能自由膨胀，因膨胀受到阻碍而产生应力。但管子还有弯管和直管之分，直管补偿应力很小，甚致没有；弯管受到伸缩时应有补偿，补偿性能用 $P \cdot R$ 表示，(如图5b)其乘积越大，补偿性能越好，管子不能膨胀所生的应力是非常大的(如图5a表)，横坐标表示管子因受热不能膨胀的长度，纵坐标表示管子胀口处所生的应力。

圖 5a

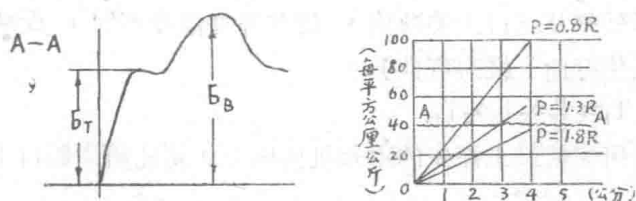
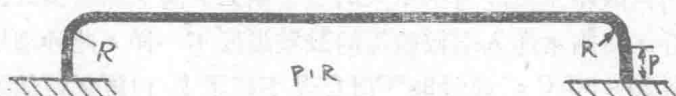


圖 5b



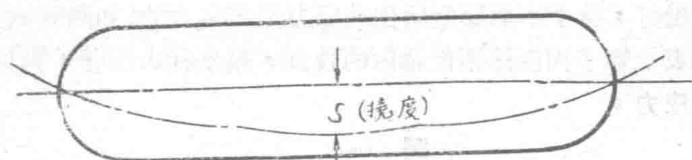
以上代表胀口附加的高度机械应力，本身工作应力尚未计算在内，由此可看出管子不能自由膨胀时，附加的机械应力，并不是等于工作中应力的20~30%，而是达到了屈服点，当管的悬臂长度 P 等于弯曲半径 R 的1.3倍时，则当30公厘膨胀长度受阻碍时，其附加应力即达屈服点，又 $P=1.8R$ 时，则40公厘膨胀长度受阻碍所生附加机械应力即达屈服点、 $P=0.8R$ 时，则10余公厘膨胀长度受阻碍所生的附加机械应力即达屈服点。

胀口产生附加机械应力的唯一原因，就是受热不能自由膨胀，当附加的机械应力接近或等于屈服点时，则只能使管子变形、没有超过破坏强度是不会破坏的。若同时有苛性钠的作用，就一定会产生苛性脆化，此种脆化比炉鼓的危险性小。

2、 爐鼓上附加机械应力的产生， $Q \leq b_B > b_T$

其原因虽然很复杂、综合起来也只有一个原因，即爐鼓的弯曲，弯曲到一定程度使產生高度的附加机械应力，（如图6）。

圖 6.



由于結構及运行上的缺陷，使其各处温度不同，受热不均匀、而产生弯曲（纵向弯曲）。

$$T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4.$$

所以研究爐鼓上產生的附加机械应力，要比研究脹口上的复杂得多。

(1) 由于爐鼓結構上有缺陷而生弯曲的原因：

1) 当汽鼓給水温度与饱和水的温度相差大时，給水進入鼓內不易混合，使給水進入端較他端的鼓壁温度不一样，此种温度差不得超过 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，超过 30°C 时已是不好了！但舊鍋爐給水温度只有 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，与饱和水的温度差很大，即接近于 180°C ；舊有鉚合鍋爐饱和温度常在 $180 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，理應使給水温度与其饱和水温度一样大，或其温度差应小于 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，如图7。

圖 7.



提高鍋爐給水温度，並不影响鼓壁对液体的热傳導，鼓壁的温度因而也得到均匀。

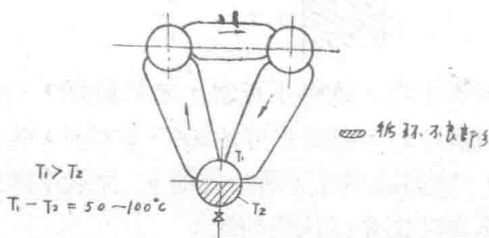
2) 給水進入汽鼓是集成的，与爐水接觸面很少、甚至只有一个小眼，使集中部份的鼓壁急剧冷却，結果產生很大的热应力使其弯曲。舊鍋爐不但是給水集中，而且离鼓壁很近，有时只距离150公厘，一般距离为300~400公厘，如图8。

圖 8.



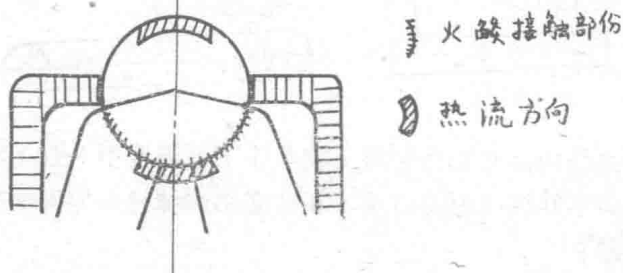
3) 水循环不良、使水包下部的水不能循环上去，或者速度很慢，因該部份加热又小，故上下部份溫度相差很大，能差到 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，甚至大到 150°C ，而使鍋爐產生很大的弯曲，比前面的两个原因影响还大，若此三个原因同时存在，結果更形嚴重，如圖9。

圖 9.



4) 汽鼓与火燄接觸的表面未加保溫物保护，則汽鼓壁上下部份的溫度会有差别，如圖与火燄接觸处鼓壁的热流动方向，由外往內，其他部分鼓壁的热流方向則由內往外，因热流方向不一致，而發生了扭力，如圖10。

(圖 10)



汽鼓壁上下部份溫度差，主要由于金屬傳導阻力不同；即热

阻力不同，它促成了热应力的產生，如圖11。

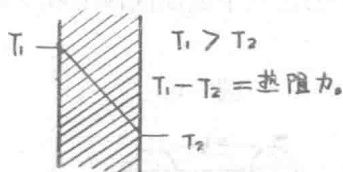
兩者構成了汽鼓的弯曲。

若加設了保溫層，則整個汽鼓溫度一致，不能使汽鼓弯曲。

中國很多鍋爐無此種保溫層保護，于是溫度差大，热流方向不一致。（如圖10）。

若上述四个原因同时存在，更易使汽鼓發生很大的弯曲。

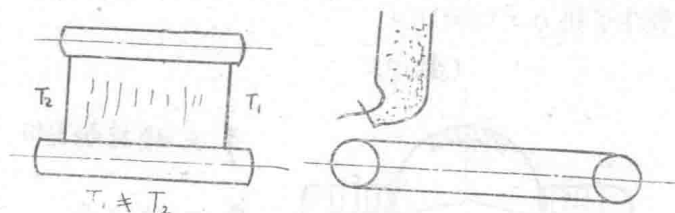
(圖 11)



5) 火燄分佈不平均，燒燃不正常，未調整好，一側溫度高，一側溫度低（如圖12），溫度差可達 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，也可能由于爐膛結構不正確，噴燃器不好等所形成的。雖然沒經過檢查和測量，可能有好多鍋爐都存在這些問題。

這些原因是多方面的，不像脹口只有一個原因產生附加機械應力。

圖 12.



6) 水鼓內沒有加熱裝置，使其上下部溫度不一致，30年前設計人員尚不知热应力的后果，現在必須去掉這一原因，裝上此種加熱裝置。

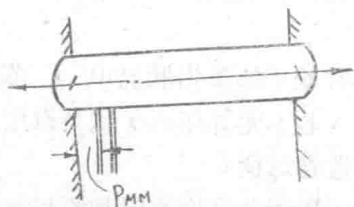
7) 爐鼓受熱後，向兩旁膨脹（如圖13），若不能達到它的要求，如管子和磚牆或其他物件靠緊，使爐鼓不能膨脹等，就要

重點的檢查其伸長够不够，檢查的方法是安裝熱膨脹指示器，中國很多鍋爐對膨脹問題很不注意，工業用汽的鍋爐就很多無法膨脹，管子也無法膨脹，這種情況是很嚴重的。

鞍山發電廠鍋爐大修理後，在運行中膨脹指示器不動、經過停爐再修理，把卡住處修好後，再運行時、膨脹指示器上可看出膨脹伸長了10公厘。

只是爐鼓彎曲並不危險，危險的是彎曲後鉚縫漏水，也可說漏水就是彎曲的信號，但苛性鹼化最要注意防止的是漏水和漏汽。

圖 13.



(2) 由於操作運行的缺陷，使爐鼓彎曲的原因有七個：—

1) 沒有檢查爐鼓有無彎曲的工具，運行人員就不去檢查它，這種彎曲是有方法能測定的，問題是在於不重視而沒去檢查。

2) 不採用特殊的水處理來防止苛性鹼化，水的化學處理主要是消滅水在電解中的苛性鈉溶液，或使苛性鈉不能濃集到鹼化程度，如此就可100%的防止苛性鹼化現象。

3) 苛性鹼化裂紋由內向外發展，為肉眼不能看見，因此，就須要安設苛性鹼化檢驗器（又叫做爐水檢驗器），借以反映它的實際情況。

4) 運行人員不注意鍋爐結構的受熱膨脹，不注意檢查，不知道膨脹的方向和伸長得够不够，不能保證其自由膨脹。

5) 沒有防止鍋爐苛性鹼化的規程，焊接或單汽鼓鍋爐不須要這個規程，鉚合鍋爐就一定要有，現在所遺憾的就連一台鍋爐都還沒有此種規程，規程內容：—

- (1)保証正确的昇火；
- (2)停爐时正确的冷却方法；
- (3)事故停爐；
- (4)其 他。

6)不允許在低負荷及負荷变化大情況下运行，有些鍋爐在30~50%負荷下运行，使水的循环不好，溫度差很大，負荷变化大，就是由于給水所引起的溫度差也变化大，均会造成爐鼓弯曲，都是鉚合鍋爐最不允許的；反之，当高負荷或正常負荷在穩定的条件下运行时，水循环快，可將下部的水多帶些到上部，促使溫度一致，所以允許在高負荷及正常負荷均匀穩定的条件下运行。

7)鍋爐不应經常处于热备用狀況中，苏联曾有明文規定：「禁止热备用爐」、也不允許压火，保持汽压不变，因能影响水的循环緩慢，最易造成弯曲。

爐鼓变弯曲时，所產生高度的附加的局部机械应力，可达到几十噸，單这一項还不很危險，危險的是因弯曲而招致鉚縫漏汽漏水。鍋爐漏水就会有苛性脆化，不漏水就不会產生苛性脆化，所以要消除鍋爐結構及运行上有关的缺陷后，才能防止苛性脆化。

(天津有兩台鍋爐的水鼓弯曲撓度达到7公厘，成为了永久变形)。

(三) 高度濃集的苛性鈉

1. 苛性鈉的濃集。

溶液中的苛性鈉怎样会濃集起來？使其濃集到較正常运行大于1,000倍，完全是可能的，例如以一公斤的水加入1克NaOH，經热溶解后，再把蒸發的水補充到一公升，又投入半克NaOH，因为NaOH不蒸發，就变成了一克半，如再試驗一次，NaOH則变成了2克，繼續的試驗下去，NaOH含量就不斷地加濃到飽和狀