



## **Xử lý nước, chu trình hoá học, vận hành nồi hơi và các sự cố/ hư hỏng liên quan trong hệ thống sinh hơi > 30bar**

Ludwig Hoehenberger, TUEV SUED, Munich, Germany  
Phone: 49 89 5791 1063; Telefax: 49 89 5791 2070; E – Mail: Ludwig.Hoehenberger@tuev-sued.de

### *Giới thiệu về người báo cáo*

Người báo cáo là chuyên gia cao cấp với hơn 40 năm kinh nghiệm trong lĩnh vực hoá học nước, ăn mòn, phân tích hư hỏng và nghiên cứu vật liệu thuộc Tập đoàn dịch vụ công nghiệp TUEV SUED, Munich, Đức

- 1 Giới thiệu
- 2 Các định nghĩa kỹ thuật và các vấn đề trọng tâm
  - 2.1 Phân loại nồi hơi  
Nồi hơi ống lửa, nồi hơi ống nước, nồi hơi tận dụng nhiệt thải (HRSG), nồi hơi làm mát, nồi hơi sôi lại, nồi hơi đi qua một lần.
  - 2.2 Định nghĩa các loại nước  
Nước mềm, nước khử cacbonat, nước khử khoáng một phần, nước khử khoáng, nước bổ sung, nước ngưng tụ hồi lưu, nước cấp nồi hơi (nước cấp -BFW), nước cấp khử khoáng, nước nồi hơi (nước nồi - BW).
  - 2.3 Định nghĩa các kiểu xử lý hoá học  
Xử lý kiềm rắn (CT, EPT, PT), xử lý bay hơi hoàn toàn (AVT)
- 3 Các vấn đề tiềm ẩn bên phía nước của nồi hơi
  - 3.1 Chất lượng nước và kiểu nồi hơi
    - 3.1.1 Lựa chọn phương án xử lý nước  
Xử lý nước bổ sung, xử lý nước ngưng
    - 3.1.2 Yêu cầu đối với nước cấp và nước nồi hơi  
Các yêu cầu đối với nước cấp và nước nồi hơi phụ thuộc vào: áp suất nồi hơi, kiểu nồi hơi, cách điều nhiệt của hơi, chất lượng hơi.
  - 3.2 Các trường hợp hư hỏng do thiết kế
  - 3.3 Các trường hợp hư hỏng do vận hành  
Nhiệt độ nước cấp, khởi động ở trạng thái nóng, vận hành tại áp suất dưới áp suất thiết kế, sản lượng hơi dao động mạnh và sụt áp nhanh.

## **XỬ LÝ NƯỚC, CHU TRÌNH HOÁ HỌC, VẬN HÀNH NỒI HƠI VÀ CÁC SỰ CỐ/ HƯ HỎNG LIÊN QUAN TRONG HỆ THỐNG SINH HƠI > 30BAR**

Ludwig Hoehenberger, TUEV SUED, Munich, Germany  
Phone: 49 89 5791 1063; Telefax: 49 89 5791 2070; E – Mail: Ludwig.Hoehenberger@tuev-sued.de

### *Giới thiệu về người báo cáo*

Người báo cáo là chuyên gia cao cấp với hơn 40 năm kinh nghiệm trong lĩnh vực hoá học nước, ăn mòn, phân tích hư hỏng và nghiên cứu vật liệu thuộc Tập đoàn dịch vụ công nghiệp TUEV SUED, Munich, Đức

## **1. Giới thiệu**

Trong nhiều nhà máy công nghiệp qui mô nhỏ và trung bình việc sản xuất hơi chỉ được chấp nhận một cách miễn cưỡng và luôn được xem như một yếu tố làm tăng chi phí, cho đến khi sản xuất hơi bị hỏng! Chỉ khi đó người ta mới nhận thức được rằng không có hơi thì không có sản xuất và không có sản phẩm để bán. Các nhà máy công nghiệp cỡ lớn và nhà máy hoá dầu hiểu rõ tầm quan trọng của sản xuất hơi nhưng nó vẫn chỉ được coi là một sản phẩm phụ. Trong nhà máy nhiệt điện, hơi được chuyển gián tiếp thành điện năng và được nhìn nhận rõ ràng là một sản phẩm để bán.

### *Vì vậy*

Nếu sản xuất hơi là cốt lõi cho sản xuất thì nó cần được coi trọng và hỗ trợ hơn nữa về nhiều mặt, trong đó bao gồm cả việc đào tạo người vận hành và tăng cường kiến thức cho họ.

## **2. Các định nghĩa kỹ thuật và các vấn đề trọng tâm**

Bài báo này đề cập đến hệ thống nồi hơi trong các nhà máy công nghiệp (nồi hơi ống lửa và nồi hơi ống nước) cũng như nồi hơi tận dụng nhiệt thải (HRSG) từ tuốcbin khí của nhà máy nhiệt điện chu trình phối hợp (CCPP) và nồi hơi tận dụng nhiệt thải công nghiệp (WHB) trong các nhà máy lọc dầu và hoá dầu.

Do các kiểu nồi hơi rất khác nhau và điều kiện vận hành khác nhau, nên yêu cầu về xử lý nước và chất lượng nước cấp /nước nồi hơi khác nhau, và vì vậy chứa đựng nhiều nguy cơ mắc lỗi. Những lỗi này có thể dẫn đến sự cố hoặc hư hỏng trong nồi hơi, tuốcbin và các thiết bị sản xuất.

Các chuyên gia cần phải xử lý tất cả các yêu cầu này trong điều kiện hài hoà để ngăn ngừa sự cố và hư hỏng do vận hành, tuy nhiên người vận hành cũng phải được đào tạo tốt.

### **2.1 Các kiểu nồi hơi**

*Nồi hơi ống lửa* là kiểu nồi hơi 3 tầng được đốt chủ yếu bằng khí hoặc dầu, có một hoặc hai ống lửa và một vài ống khói, nước nổi vòng quanh các ống. Tùy thuộc vào thiết kế, các nồi hơi này được giới hạn đến áp suất vận hành khoảng 30 bar và sản lượng hơi đạt tới 30 t/h, hiếm khi có bộ tiết kiệm và bộ quá nhiệt. Chúng được lắp đặt liền khối trên một bộ khung và

cung cấp hơi cho các nhà máy cỡ nhỏ hoặc trung bình, nhưng đôi khi cũng được dùng làm nồi hơi phụ để khởi động nồi hơi trong các nhà máy lớn. Hình ảnh tổng thể trên hình 1.

*Nồi hơi ống nước* là nồi hơi cỡ lớn với nước nổi đi trong các ống, tuần hoàn tự nhiên hoặc cưỡng bức, áp suất vận hành lên tới 180 bar và sản lượng hơi trong các nhà máy công nghiệp có thể đạt khoảng 300 t/h, trong các nhà máy nhiệt điện đạt tới 2000 t/h. Nồi hơi loại này sử dụng nhiệt cháy của khí, dầu, than đá, sinh khối ... và được trang bị bộ hâm nhiệt cho nước cấp, bộ tiết kiệm, bộ quá nhiệt, bộ khử quá nhiệt.

*Nồi hơi tận dụng nhiệt thải* (HRSG) của tuốcbin khí (CCPP) phần lớn là kiểu nồi hơi ống nước với tuần hoàn tự nhiên hoặc cưỡng bức và có 3 giải áp suất điều chỉnh trong cùng một hệ thống. Các nồi hơi kiểu này đều có bộ hâm, bộ tiết kiệm, bộ quá nhiệt, bộ khử quá nhiệt. Nhiệt độ khí đầu vào tối đa là 650°C. Nồi hơi có ống bốc hơi nằm ngang thường phải tuần hoàn cưỡng bức để đạt được dòng chảy phù hợp trong ống và phải có đủ hàm lượng nước tại đầu ra của ống sinh hơi (ít nhất là 15% trọng lượng) trong mỗi chu trình vận hành, xem hình 2- 4.

*Nồi hơi tận dụng nhiệt thải công nghiệp* trong các nhà máy lọc dầu và hoá dầu có thể là kiểu nồi hơi ống nước hoặc nồi hơi ống lửa. Nồi hơi ống lửa có thiết kế đặc biệt và phần lớn là thiết bị làm mát khí sản phẩm, với khí sản phẩm đi trong ống còn nước bao quanh ống. áp suất vận hành lên tới 140 bar nhưng sản lượng hơi thường không vượt quá 200 t/h. Đôi khi bao hơi được nối với một số bộ trao đổi nhiệt và hơi quá nhiệt được sinh ra tại các bộ phận riêng biệt.

*Nồi hơi làm mát (Quench- boiler)* và bộ trao đổi nhiệt trực tiếp (trans linear exchanger - TLE), ví dụ trong nhà máy sản xuất êtylen, metanol hoặc amoniac. Các nồi hơi này được gia nhiệt chủ yếu bằng khí sản phẩm có nhiệt độ 900°C và vận hành chủ yếu như thiết bị làm mát tới, nghĩa là chúng phải làm mát khí phản ứng càng nhanh càng tốt để tránh gây do nhiệt và các phản ứng phân hủy. Vì vậy, sự trao đổi nhiệt (kJ/m<sup>2</sup>.h) tại đầu vào dòng khí rất cao. Thiết bị làm mát kiểu ống phải được lắp đặt sao cho không có khe hở tại mối nối giữa ống với mặt sàng, ít nhất là ở phía đầu khí vào (đầu nóng), nhưng qui định này cũng được khuyến cáo cho cả đầu khí ra. ống trong TLE kiểu ống cũng phải được hàn không có khe hở như trên.

*Bộ trao đổi nhiệt trực tiếp* với số lượng lớn ống được đốt nóng bằng khí hydrocarbon nóng, bằng những sản phẩm khác hoặc hơi bão hoà của nồi hơi áp cao tới 30 bar. Nồi hơi kiểu này không được gia nhiệt bằng buồng đốt nên không gặp vấn đề quá nhiệt nhưng phần lớn có vấn đề về ăn mòn do nước cấp thường có chất lượng thấp.

*Nồi hơi bốc hơi một lần (once through boiler)* không được giới thiệu trong bài báo này vì chúng được sử dụng chủ yếu trong nhà máy điện rất lớn vận hành ở áp suất quá tới hạn > 230 bar và nhiệt độ hơi tới 650°C. Nồi hơi kiểu này không được dùng trong các nhà máy công nghiệp và nhà máy nhiệt điện cỡ trung bình vì chúng cần nước cấp bắt buộc phải được khử khoáng.

*Chú ý:* Nhà máy nhiệt điện chu trình hỗn hợp có thể được trang bị nồi hơi bốc hơi một lần!

## 2.2 Định nghĩa các loại nước

*Nước mềm* là nước máy hoặc nước được xử lý bằng hạt nhựa cation axit mạnh dạng natri và được hoàn nguyên bằng muối ăn NaCl. Thiết bị làm mềm chuyển độ cứng (ion Ca và Mg) thành ion Na, xem hình 5. Độ dẫn tương tự độ dẫn của nước thô, hàm lượng oxit silic không thay đổi. Trong suốt chu trình vận hành độ cứng  $< 0,01 \text{ mmol/l}$  tức là  $= < 1 \text{ ppm CaCO}_3$ .

*Nước được khử cacbonat* là nước lọc sau xử lý bằng vôi tôi hoặc nước được xử lý bằng nhựa trao đổi cation axit yếu. Cả hai loại nước này phải được làm mềm nếu chúng được sử dụng làm nước bổ sung. Nước có độ cứng cacbonat và độ dẫn thấp hơn rõ rệt nhưng hàm lượng oxit silic không thay đổi nếu sử dụng cột trao đổi ion. Khử cacbonat bằng sữa vôi nóng có thể làm giảm 10- 30% hàm lượng oxit silic. Quá trình khử cacbonat bằng hạt trao đổi cation axit yếu được minh họa trên hình 6.

*Nước khử khoáng một phần* là nước được làm mềm từ thiết bị lọc ngược chiều (thấm qua) hoặc nước từ thiết bị trao đổi ion bao gồm bình lọc cation và bình lọc anion và không có bình lọc hỗn hợp. Nước được khử cứng ( $< 0,01 \text{ mmol/l}$ ) và ít nhất phải có độ dẫn trực tiếp ở  $25^\circ\text{C} < 30 \mu\text{S/cm}$  (phần lớn  $< 10 \mu\text{S/cm}$ ) và hàm lượng oxit silic  $< 0,2 \text{ mg/l (ppm) SiO}_2$ .

*Nước khử khoáng* là nước được xử lý xuôi chiều trong 1 dây chuyền khử khoáng bao gồm ít nhất là bình lọc cation, bình lọc anion và bình lọc hỗn hợp, có độ dẫn trực tiếp ở  $25^\circ\text{C} < 0,2 \mu\text{S/cm}$ , hàm lượng oxit silic  $< 0,02 \text{ mg/l SiO}_2$  và TOC  $< 0,2 \text{ mg/l}$ . Các phản ứng hoá học được trình bày trên hình 7.

*Nước bổ sung* là nước đã được xử lý dùng để bù lại lượng nước ngưng tụ bị mất đi trong quá trình hoạt động

*Nước ngưng tụ hồi lưu* là nước ngưng tụ sạch từ các thiết bị sử dụng hơi hoặc tuốcbin. Nó không nên trộn lẫn với nước bổ xung chưa được khử khí nhiệt. Nó có thể nhiễm bẩn bởi các tạp chất của quá trình sản xuất hay bởi nước làm mát, vì vậy cần kiểm soát chất lượng nước ngưng hồi lưu trực tiếp trên đường ống (on line), và cần xử lý nước ngưng hồi lưu.

*Nước cấp* (BFW) là nước đã xử lý, đã được điều chỉnh và đã khử khí dùng để cấp cho nồi hơi. Thông thường là hỗn hợp của nước ngưng tụ hồi lưu và nước bổ xung. Để điều chỉnh pH và bắt ôxy, thường bổ xung các hoá chất “điều chỉnh”.

*Nước cấp được khử khoáng* trong quá trình vận hành luôn có độ dẫn axit (cation) ở  $25^\circ\text{C} < 0,2 \mu\text{S/cm}$ , hàm lượng oxit silic  $< 0,02 \text{ mg/l SiO}_2$  và được cho là không còn kiềm tự do ( $\text{NaOH/KOH} < 0,01 \text{ mg/l Na + K}$ ). Nước cấp chất lượng cao này chủ yếu dùng để phun khử quá nhiệt và sử dụng cho “xử lý bay hơi hoàn toàn” AVT.

*Nước nồi hơi* (BW) là nước lưu thông trong nồi hơi. Nó chính là nước cấp bị cô đặc.

### 2.3 Khái niệm chế độ vận hành hoá học

*Xử lý kiềm rắn* được định nghĩa là bổ xung các chất kiềm rắn không bay hơi như  $\text{Na}_3/\text{K}_3\text{PO}_4$  hoặc NaOH để điều chỉnh chính xác pH của nước nồi hơi. Các hoá chất này làm kiềm hoá pha lỏng, ví dụ nước nồi hơi chỉ và chỉ được phép sử dụng cho nước cấp không khử khoáng có chứa các chất rắn hoà tan. Tác dụng kiềm hoá của các hoá chất này rất tuyệt vời ở nhiệt độ phòng và nhiệt độ vận hành nồi hơi, xem hình 8. Các chất kiềm hoá bay hơi như amoniac hoặc amin được đề xuất sử dụng để kiềm hoá hơi và nước ngưng khi các sản phẩm sản xuất tiếp xúc trực tiếp với hơi và nước ngưng không bị ảnh hưởng bởi các hoá chất này. Cần phải

biết rằng xử lý photphat tương hợp (CPT) và phối hợp không còn được khuyến cáo sử dụng nữa vì một số nồi hơi bị hỏng. Gần đây ở Mỹ đã nhất trí với kinh nghiệm lâu năm của Châu Âu là sử dụng  $\text{Na}_3\text{PO}_4 / \text{K}_3\text{PO}_4$  đã xử lý cho nồi hơi cao áp (thông thường có tỷ lệ  $\text{Na}:\text{PO}_4$  bằng 2,8- 3,2 và nay được gọi là xử lý photphat cân bằng (EPT)) và xử lý photphat (PT) cho nồi hơi áp suất thấp hơn, xem hình 9.

*Xử lý bay hơi hoàn toàn (AVT)* là kiểm hoá nước bằng chất kiểm hoá bay hơi và chỉ được phép áp dụng nước cấp đã khử khoáng. Độ dẫn axit của nước nồi được quy định nghiêm ngặt trong xử lý AVT  $< 5\mu\text{S}/\text{cm}$  đối với nồi hơi có sự trao đổi nhiệt cực đại  $250 \text{ kW}/\text{m}^2$ , nếu sự trao đổi nhiệt lớn hơn phải  $< 3\mu\text{S}/\text{cm}$ . Do tỷ lệ phân bố (nồng độ trong pha hơi : nồng độ trong pha lỏng) của các hoá chất bay hơi, pha lỏng có áp suất thấp hơn thường không được kiểm hoá đủ, xem hình 10. Hoá chất bay hơi hoàn toàn có tác dụng kiểm hoá tuyệt vời ở nhiệt độ phòng (trong quá trình phân tích tại phòng thí nghiệm), nhưng ngược lại với chất kiểm hoá thể rắn, tác dụng kiểm hoá của chúng giảm mạnh ở nhiệt độ vận hành nồi hơi, xem hình 11.

### **3 Các sự cố chủ yếu phía nước nồi hơi**

#### **3.1 Chất lượng nước và kiểu nồi hơi**

##### **3.1.1 Lựa chọn dây chuyền xử lý nước**

Cách xử lý nước bổ sung phụ thuộc vào chất lượng nước thô (thay đổi quanh năm) và yêu cầu chất lượng của nước cấp và nước lò trước hết là do nhà sản xuất nồi hơi đưa ra (liên quan đến bảo hành).

Bài báo này giả thiết cho nước thô của các nước Đông Nam á, phần lớn nước ở đây khá mềm (độ cứng tổng  $1- 2 \text{ mmol}/\text{l} = 2- 4 \text{ mg}/\text{l} = 100- 200 \text{ ppm CaCO}_3$ ) và có độ kiềm tổng thấp ( $< 2 \text{ mg}/\text{l}$ ) nhưng chứa một lượng oxit silic đáng kể. Sử dụng nước sông, thì phù sa (là các chất rất nhỏ không hoà tan- thường là huyền phù đất sét) phải được loại bỏ bằng các bộ xử lý thô thích hợp (lọc, keo tụ kết hợp với lọc hoặc phân tách màng như lọc siêu âm) để tránh trục trặc trong dây chuyền xử lý tiếp theo. Một số hạt đất sét rất nhỏ không dễ nhìn thấy bằng mắt (keo), có thể trôi qua bộ trao đổi ion gây trục trặc trong chính nồi hơi do chúng bị phân huỷ nhiệt và tạo thành cặn có hệ số trao đổi nhiệt thấp, đặc biệt là ở những điểm có trao đổi nhiệt lớn.

Đối với bất kỳ nồi hơi nào (trừ nồi hơi ống lửa kiểu đứng có áp suất  $< 10 \text{ bar}$ ) ít nhất cần làm mềm nước bổ sung để tránh tạo cặn.

Đối với nồi hơi có áp suất đến 40 bar nước bổ sung đã được làm mềm trộn với một lượng tương xứng nước ngưng tụ hồi lưu có thể là đạt yêu cầu. Lượng nước ngưng hồi lưu càng ít, độ kiềm và hàm lượng oxit silic của nước thô càng cao thì tỷ lệ xả đáy càng lớn, như vậy vận hành nồi hơi sẽ không kinh tế.

Đối với nồi hơi áp suất trung bình và thấp, lượng nước ngưng tụ hồi lưu ít hơn, thì áp dụng khử cacbonat hoặc lọc ngược chiều cho nước bổ sung là kinh tế hơn.

Với nồi hơi có áp suất đến 60 bar, có thể sử dụng bộ lọc ngược chiều được nếu nước ngưng tụ hồi lưu (có chất lượng tốt) chiếm khoảng  $> 90\%$  của lượng nước cấp.

Với nồi hơi có áp suất trên 60 bar, khuyến cáo sử dụng dây chuyền khử khoáng bao gồm cả bình lọc hỗn hợp, đặc biệt là để loại bỏ oxit silic, nhưng oxit silic không thể hiện ở giá trị độ dẫn.

Nồi hơi có áp suất trên 80 bar và nồi hơi có trao đổi nhiệt lớn (ví dụ thiết bị làm mát khí sản phẩm) thì nước bổ sung và nước ngưng bắt buộc phải được khử khoáng.

Nước phun điều chỉnh nhiệt độ hơi (khử quá nhiệt) phải là nước ngưng tự sạch hoặc tốt hơn là dùng nước cấp đã khử khoáng và chỉ có thể chứa hoá chất xử lý bay hơi như amoniac.

Phần khử khoáng vận hành với chế độ hoàn nguyên ngược chiều sẽ tiết kiệm hoá chất và đạt được chất lượng nước khử khoáng tốt hơn so với dây chuyền kiểu dòng cân bằng. Chúng phải được trang bị máy đo độ dẫn rất nhạy trực tiếp trên hệ thống được hiệu chỉnh về nhiệt độ 25<sup>0</sup>C. Không cần thiết phải đo pH, xem hình 12.

Để hiệu chuẩn lại hệ thống kiểm soát chất lượng trực tiếp (on liine), không chỉ kiểm tra phần điện mà cần tiến hành đo song song độ dẫn bằng thiết bị hiện trường và lấy mẫu để phân tích bằng cách khác.

*Xử lý nước ngưng* cần nêu nước ngưng hồi lưu bị nhiễm thì việc xử lý nước ngưng phải được quan tâm xem xét. Dụng cụ tin cậy để kiểm tra chất lượng nước là cột lõi để phát hiện nhanh nhất các nhiễm bẩn nguy hiểm. Trong một số trường hợp chỉ cần đo độ dẫn trực tiếp và/hoặc đo độ dẫn axit có sự hiệu chỉnh nhiệt độ là đủ. Nhiễm bẩn dầu và chất béo có thể xác định bằng thiết bị đo độ đục. Nước ngưng có hàm lượng chất nhiễm bẩn nguy hiểm cao không được hồi lưu làm nước cấp.

Trong nhiều trường hợp chỉ cần lọc cơ học trong bình lọc chứa lõi giấy dây (paper cartridge filter), than hoạt tính hoặc than cốc là có thể loại bỏ được các sản phẩm ăn mòn không tan. Nếu nước ngưng bị nhiễm bẩn do độ cứng, đối với nồi hơi áp suất thấp chỉ cần làm mềm nước ngưng tự là đủ, nhưng đối với nồi hơi cao áp, thì nước ngưng phải xử lý lại ( bao gồm tầng lọc cation và tầng lọc hỗn hợp) .

Nếu nước ngưng được kiểm hoá bằng amoniac hoặc amin thì khi làm mềm nước ngưng sẽ giải phóng ra NaOH.

Nếu nước ngưng có thể bị nhiễm bẩn bởi hydrocacbon, sản phẩm thực phẩm, axit, kiềm tự do, nước biển.v.v.. thì phải có thiết bị/dụng cụ kiểm tra on-line liên tục đặc biệt và thiết bị xử lý phù hợp.

### *3.1.2 Các yêu cầu đối với nước cấp và nước nồi hơi*

Yêu cầu chất lượng của nước cấp nồi hơi và nước nồi hơi phụ thuộc vào nhiều nhân tố khác nhau nhưng về cơ bản là:

#### **Áp suất nồi hơi:**

Áp suất và sự trao đổi nhiệt càng lớn thì chất lượng của nước cấp và nước nồi hơi càng cao, xem các tiêu chuẩn quốc gia hoặc quốc tế và yêu cầu của nhà sản xuất nồi hơi. Đoạn trích các yêu cầu trong bản thảo cuối cùng (04.2003) của Tài liệu hướng dẫn Châu Âu prEN12953-10 cho nồi hơi ống lửa và prEN 12952- 12 cho nồi hơi ống nước được trình bày trên hình 13/1 – 13/4 và hình 14/1 – 14/7.

Tất cả các tài liệu đều tập trung hướng dẫn cách tạo thành và duy trì lớp bảo vệ trên thép (lớp này chỉ bền trong môi trường kiềm, xem hình 15) cũng như là cách ngăn ngừa sự tạo cặn. Đối với nồi hơi áp cao, hàm lượng oxit silic phải được giới hạn do nó có thể hoà tan trong hơi, để ngăn ngừa tạo cặn silicat trên tuốcbin hơi. Đối với nồi hơi áp thấp oxit silic bị giới hạn để ngăn ngừa cấu cặn oxit silic trên bề mặt gia nhiệt, vì nó làm giảm mạnh trao đổi nhiệt.

*Cần phải biết rằng xử lý photphat phối hợp và tương hợp (CPT) không còn được khuyến cáo sử dụng nữa vì một số hư hỏng nồi hơi. Thử nghiệm gần đây ở Mỹ đã khẳng định kinh nghiệm lâu năm của Châu Âu là sử dụng  $\text{Na}_3\text{PO}_4/\text{K}_3\text{PO}_4$  thông thường có tỷ lệ  $\text{Na}:\text{PO}_4$  bằng 2,8- 3,2 và nay được gọi là xử lý photphat cân bằng (EPT) cho nồi hơi cao áp và xử lý photphat (PT) cho nồi hơi áp suất thấp hơn, xem hình 9.*

### Kiểu nồi hơi:

Các yêu cầu về chất lượng nước cấp và nước nồi hơi (xử lý và bổ sung hoá chất) chủ yếu là tập trung ngăn ngừa sự tạo cặn và ăn mòn trong hệ thống nồi hơi cũng như các thiết bị phụ trợ.

*Nồi hơi ống lửa thông thường* yêu cầu tối thiểu nước cấp có độ cứng tổng  $< 0,02 \text{ mg/l} = 0,01 \text{ mmol/l}$  hoặc  $< 1 \text{ ppm CaCO}_3$ , pH tại  $25^\circ\text{C}$  (8.8)  $9 - 9,3$  và nồng độ oxy  $< 0,02 \text{ mg/l}$  hoặc có dư lượng chất ngậm oxy. Nếu nước mềm có độ dẫn điện  $\leq 30 \mu\text{S/cm}$ , thì nước bổ sung được khử khoáng hoàn toàn hoặc khử một phần có hoặc không có nước ngưng hồi lưu sẽ được dùng như nước cấp, bổ sung  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  được đề xuất khẩn cấp để điều chỉnh và duy trì pH cần thiết trong BW. Không được phép sử dụng Soda kiềm mà không có photphat để giảm nguy cơ ăn mòn ứng lực do kiềm (CSCC) tại những chỗ nối của ống với mặt sàng có các khe bị đun nóng. Phương pháp AVT không được đề xuất cho nồi hơi áp suất  $< 25 \text{ bar}$ .

*Nồi hơi ống nước thông dụng* đòi hỏi những yêu cầu tối thiểu giống như của nồi hơi ống lửa nhưng do áp suất tăng trên 40 bar và lượng nhiệt trao đổi cao hơn nên cần nước cấp có lượng chất rắn hoà tan thấp. Tuy nhiên, với nồi hơi có áp suất vận hành trên 60 bar yêu cầu nước cấp được khử khoáng ở mức độ cao và trên 80 bar và/hoặc truyền nhiệt cục bộ cao, các yêu cầu được đề xuất rõ ràng ở phần trên. Chừng nào nồi hơi được chế tạo không có các khe nhiệt hoặc các đường biên nhiệt thì có thể sử dụng Soda kiềm và  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . AVT là có thể sử dụng cho nồi hơi áp suất  $> 30 \text{ bar}$  và được đề nghị áp dụng cho nồi hơi  $> 100 \text{ bar}$  và/hoặc có sự trao đổi nhiệt cao.

*Nồi hơi tận dụng nhiệt thải của Tuabin khí (HRSG)* đòi hỏi chất lượng nước ít nhất cũng giống như nồi hơi ống nước thông dụng. Với những nồi hơi có hai mức áp lực trở lên, việc xử lý bay hơi hoàn toàn (AVT) có thể gây ra hư hỏng trong bộ tiết kiệm và trong hệ thống hơi áp suất thấp do ăn mòn bào mòn nếu ống được làm bằng thép cacbon thường. Bổ sung các chất kiềm hoá không bay hơi hoặc sử dụng thép hợp kim thấp, xem hình 16, có thể giải quyết được vấn đề này.

*Nồi hơi nhiệt thải (waste heat boiler)* trong các nhà máy lọc dầu và hoá dầu với thiết kế của nồi hơi ống nước thông dụng có thể vận hành trong những điều kiện tương tự như nồi hơi ống nước thông dụng.

*Thiết bị làm mát khí sản phẩm (process gas cooler), nồi hơi làm mát (quench- boiler) và bộ trao đổi nhiệt trực tiếp (trans linear exchange/TLE) trực tiếp (TLE) chỉ được dùng nước cấp đã khử khoáng. AVT được đề nghị cho nồi hơi có áp suất vận hành  $> 100 \text{ bar}$  và/hoặc thiết bị*

bay hơi có trao đổi nhiệt  $> 250 \text{ kW/m}^2$ , nhưng cần chú ý yêu cầu của nước cấp khử khoáng liên tục và giới hạn độ dẫn axit trong nước nồi.

Sử dụng chất kiềm hoá rắn  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  hoặc  $\text{K}_3\text{PO}_4$  với hàm lượng rất nhỏ (  $2 - 5 \text{ mg/l PO}_4$  cho nồi hơi áp suất  $< 120 \text{ bar (g)}$  và  $1.5 - 3 \text{ mg/l PO}_4$  ( $120 \text{ bar}$ ) là bắt buộc nếu chất lượng nước cấp phù hợp không thường xuyên, nhưng phần lớn là áp dụng cho nước cấp đã khử khoáng.

*Nồi hơi tận dụng nhiệt* (proces steam generator/re – boiler) không gia nhiệt bằng lò, cần ít nhất nước cấp và nước lò có chất lượng tương đương với nồi hơi ống lửa hoặc nồi hơi ống nước áp suất thấp. Liều lượng hoá chất bổ sung phụ thuộc vào yêu cầu chất lượng hơi, lượng nước lò cuốn theo hơi cũng cần được quan tâm. Trong trường hợp nước ngưng bị nhiễm bẩn ít nhiều thì trong nước cấp phải sử dụng chất kiềm hoá dạng rắn cùng với bay hơi để giảm vấn đề ăn mòn.

### Cách điều chỉnh nhiệt độ hơi

Có hai cách để điều chỉnh nhiệt độ hơi trong nồi hơi

- Phun nước, thường dùng trong nồi hơi mới,
- Làm lạnh hơi quá nhiệt trong các ống xoắn ở dưới mức nước trong bao hơi, hỗn hợp hơi quá nhiệt và hơi đã làm mát được khống chế nhiệt độ tới mức nhiệt độ mong muốn.

Điều chỉnh nhiệt độ hơi bằng phun nước bắt buộc phải có vì trong quá trình vận hành nhiều lúc turbine hay các phần hơi áp lực cao cần phải giảm áp lực hoặc nhiệt độ

Nước dùng để phun điều chỉnh cần phải được loại hết chất rắn tan và không tan và chỉ được xử lý bằng hoá chất bay hơi. Sự có mặt của hoá chất không bay hơi có thể tạo cặn, làm tắc ống, gây quá nhiệt hoặc ăn mòn ứng lực do kiềm của các ống xoắn trong bộ quá nhiệt nếu nồng độ của các hoá chất này vượt quá độ hoà tan của chúng trong hơi.

Oxit silic và kiềm tự do hoà tan mạnh trong hơi áp cao nhưng lại ít hoà tan trong hơi áp thấp, vì vậy có thể gây nên sự kết tủa của oxit silic trên turbine và của kiềm tự do trên đường hơi áp thấp ở phần áp thấp của turbine. Kết tủa kiềm có thể gây ra ăn mòn ứng lực do kiềm, đặc biệt tại các đường hàn khi hơi áp thấp bị quá nhiệt nhiều hơn  $30^\circ\text{C}$ . Điều này không xảy ra tại điều kiện hơi bão hoà!

Xem lại mục 3.1.1 và hàm lượng có thể của soda kiềm trong nước ngưng lấy sau bộ làm mềm nước ngưng.

### Chất lượng hơi

Nhà sản xuất nồi hơi yêu cầu chất lượng riêng cho nước cấp và nước nồi hơi nhưng cũng phải bảo hành cả độ sạch của hơi. Độ sạch của hơi chính là hàm lượng nước nồi hơi trong hơi. Một vài nhà sản xuất đảm bảo hàm lượng BW trong hơi  $< 0,5\%$ , điều này chỉ chấp nhận được nếu nồi hơi được thiết kế để sản xuất hơi bão hoà cho những mục đích gia nhiệt gián tiếp. Với những nồi hơi có bộ quá nhiệt và vận hành turbine, hàm lượng BW trong hơi phải  $< 0,1\%$  và tốt hơn là  $< 0,05\%$ . Các chỉ số này có thể đạt được với bao hơi được thiết kế chính xác và bên trong bao hơi được tối ưu hoá, bao gồm hơi/ bộ tách hơi/ nước đạt tiêu chuẩn.

Yêu cầu chất lượng hơi của các nhà sản xuất turbine, đặc biệt là đối với độ dẫn axit tại  $25^\circ\text{C}$  phải  $< 0,2 \mu\text{S/cm}$ , chứa đựng tính không rõ ràng liên quan đến bảo hành, bởi vì hàm lượng vết



của CO<sub>2</sub> ảnh hưởng tới độ dẫn (0,1 mg/l CO<sub>2</sub> làm tăng độ dẫn điện tới 0,1 µS/cm) nhưng không thấy một chút kết tủa nào trên tuốcbin.

Để đo chính xác độ sạch của hơi bão hoà đòi hỏi dụng cụ lấy mẫu phải thích hợp với các đầu dò theo tiêu chuẩn quốc tế – dùng một vòi được nối với đường hơi là không chính xác và chắc chắn dẫn tới kết quả sai bởi vì các ống hơi bão hoà luôn luôn có màng nước tại bề mặt bên trong.

Để xác định chất lượng của hơi quá nhiệt đòi hỏi phải có các thiết bị đặc biệt - đo khó khăn hơn nhiều so với hơi bão hoà, vì vậy sử dụng hơi bão hoà và để khử quá nhiệt hơi sử dụng nước cấp đã khử khoáng.

Có thể sử dụng dụng cụ đo Na trực tiếp để đo độ sạch hơi mà không bị ảnh hưởng bởi hoá chất bay hơi như CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, amine và axit hữu cơ. Khi mà nước cấp chứa khoảng 2mg/l = 2,000 µg/l Na, dụng cụ đo Na đạt tiêu chuẩn có thể hiển thị chính xác 1 - 2 µg/l Na, chỉ số này cho biết 0,1% lượng BW bị cuốn theo hơi.

Nếu hơi cần tinh khiết không được bổ sung hoá chất bay hơi, ví dụ để tiếp xúc trực tiếp với sản phẩm thực phẩm hoặc dược phẩm.

### 3.2. Hư hỏng do thiết kế

Nhu cầu sản xuất các nồi hơi rẻ tiền và các nồi hơi thiết kế đặc biệt đã làm tăng nguy cơ hư hỏng nồi hơi do thiết kế và chế tạo.

Các sự cố do thiết kế, điển hình là sự khiếm khuyết trong chu trình tuần hoàn tự nhiên của BW trong các nồi hơi ống nước. Điều này có thể dẫn tới cả hiện tượng quá nhiệt ống sinh hơi do làm mát kém và phân tách nước/hơi đặc biệt là trong các ống góp có độ nghiêng nhỏ (< 3 – 4 độ). Hiện tượng tách nước/hơi sớm gây ra hư hỏng trầm trọng nếu nửa trên của ống – chứa pha hơi – tiếp xúc với dòng khí nóng. Trong trường hợp này, nửa dưới của ống có pha lỏng không bị hư hỏng, nhưng nửa trên xuất hiện một lớp ôxit dày màu đen (magnetite). Phản ứng ôxy hoá quá mãnh liệt này xảy ra tại nhiệt độ tường ống > 570°C và có thể gây ra hư hỏng do hydro và gãy dòn của ống do phản ứng đơn giản sau:



Sản lượng hơi thay đổi nhiều, áp suất dao động và hệ thống điều khiển làm việc không thích hợp có thể dẫn tới dao động mạnh mức nước trong bao hơi và gây ảnh hưởng tới chất lượng hơi vì làm tăng lượng nước cấp cuốn theo hơi.

Điều đó có thể gây nên sự thăng giáng nhiệt độ tại các ống góp và ống sinh hơi cũng có thể dẫn tới hiện tượng sốc nhiệt – cơ của thép và phá hủy lớp magnetite bảo vệ, vì tốc độ giãn nở nhiệt khác nhau của thép và magnetite, xem hình 17.

Ngoài ra, sự rối loạn tuần hoàn có thể xảy ra nếu ống nước xuống bị đốt quá nóng, làm cho dòng chảy không có hướng xác định và bị tắc tùy thuộc vào nhiệt đầu vào. Nước nồi hơi trong các ống nước xuống này sẽ không biết đi lên hay xuống nếu nhiệt vào tăng và lượng hơi sinh ra nhiều.

Các ống góp trên có dòng chảy không ổn định và trao đổi nhiệt lớn có thể bị hơi bao phủ, vì màng hơi làm giảm mạnh trao đổi nhiệt nên vật liệu sẽ bị quá nhiệt.

Các phần yếu khác của các nồi hơi ống nước là chỗ nối giữa ống góp/ống được thiết kế và chế tạo có kẽ hở hoặc thậm chí có khe nứt khi các nối này bị gia nhiệt. Các chất rắn hoà tan có thể bị cô đặc trong các kẽ hở/vết nứt bị gia nhiệt này, ví dụ soda kiềm bị cô đặc tới  $\geq 4\%$  và chịu ứng suất kéo cao (ứng suất dư do hàn) thì ăn mòn ứng lực do kiềm có thể xảy ra. Nồi hơi làm mát khí sản phẩm (process gas cooler) có thể gặp những vấn đề tương tự, đặc biệt ở đầu khí vào (đầu nóng) nếu điểm nối ống và mặt sàng có các kẽ hở và các lỗ rỗng do hàn. Gần đây, nồi hơi áp thấp của các nhà máy CCPP bị ăn mòn bào mòn tại vùng uốn ống trên đầu ra của các ống sinh hơi, việc xử lý bay hơi hoàn toàn được áp dụng và sử dụng thép cacbon thường thay thế thép hợp kim thấp (ví dụ như  $2^{1/4}\%Cr$  và  $1/2\%Mo$ ). Do hệ số phân bố tại áp suất  $< 15$  bar của  $NH_3$  và một vài amin nên nồng độ của chúng trong pha lỏng thấp hơn nhiều so với trong pha hơi, dẫn tới sự vận hành ở pH quá thấp, xem hình 10 và 11. Hỗn hợp hơi/nước thoát từ ống sinh hơi áp suất thấp với tốc độ tương đối cao có thể bào mòn cục bộ lớp ôxit bảo vệ trên thép nhanh hơn sự hình thành lớp ôxit mới và gây ra ăn mòn bào mòn hoặc ăn mòn do dòng chảy (FAC). Thép hợp kim thấp được đề cập ở trên tạo lớp bảo vệ magnetite nhanh hơn thép cacbon, nhưng cần chú ý hơn tới việc hàn. Các vấn đề tương tự có thể xảy ra ở bộ tiết kiểm nếu tốc độ của nước cấp quá cao (vùng chảy rối cục bộ).

Sử dụng các chất kiềm hoá rắn có thể ngăn ngừa được ăn mòn bào mòn trên thép Cacbon

### 3.3. Hư hỏng do vận hành

Những hư hỏng do vận hành không chuẩn rất đa dạng và nhiều nguyên nhân đã được hiểu rõ ràng. Những nguy cơ hư hỏng chưa được nhận thức đầy đủ bao gồm:

- Nhiệt độ nước cấp quá thấp, đặc biệt trong nồi hơi tận dụng nhiệt thải, nồi hơi làm mát khí sản phẩm và cả nồi hơi ống lửa tải trọng cao, cũng như nhiệt độ nước cấp quá cao.
- Khởi động nồi hơi quá nhanh từ trạng thái chờ nóng, đặc biệt nồi hơi ống lửa.
- Vận hành ở áp suất quá thấp so với thiết kế.
- Sản lượng hơi thẳng giáng mạnh và sụt áp quá nhanh.

Nhiệt độ nước cấp nồi hơi thấp đáng kể so với nhiệt độ thiết kế có thể làm cho nhiệt độ nước nồi trong sinh hơi hoặc tại đầu vào bộ trao đổi nhiệt thấp hơn nhiều so với nhiệt độ sôi của nước nồi (tương ứng với áp suất trong bao hơi). Chênh lệch áp suất đo đặc giữa mức nước bao hơi và mức nước đầu vào ống sinh hơi càng làm trầm trọng vấn đề này. Các yếu tố trên gây giảm mát phần dưới bề mặt trao đổi nhiệt, bởi vì tại vùng này nước nồi cần được nâng nhiệt tới nhiệt độ sôi trước khi bắt đầu sôi mầm. Gia nhiệt nước nóng mà không sinh hơi chỉ lấy đi rất ít năng lượng từ bề mặt truyền nhiệt so với khi sản xuất hơi, xem ví dụ sau:

Mức chênh lệch bao hơi/đầu ra ống xuống:  $20m = 2bar$  (a)

Nhiệt độ nước nồi tại đầu ra của ống nước xuống: thấp hơn  $15^{\circ}C$  so với nhiệt độ bao hơi

áp suất bao hơi: 38 bar (a) ;  $247,3^{\circ}C$  ; Enthalpy  $\hat{=}$  1072,7 kJ/kg

áp suất tại đầu ra của ống nước xuống: 40 bar (a) ;  $250,3^{\circ}C$  ; Enthalpy  $\hat{=}$  1087,4 kJ/kg

Nhiệt độ tại đầu ra của ống nước xuống:  $247,3^{\circ}C - 15^{\circ}C = 232,3^{\circ}C$  ; E  $\hat{=}$  1000 kJ/kg

Chênh lệch Enthalpy tới điều kiện sôi:  $1087,4 kJ/kg - 1000 kJ/kg = 87 kJ/kg$

Ví dụ này chỉ rõ 1 kg nước nồi sẽ lấy nhiều nhất 87 kJ từ bề mặt truyền nhiệt nếu chỉ cấp nhiệt cho nó tới điều kiện sôi, nhưng để làm bay hơi 1 kg nước nồi có khả năng lấy đi khoảng 1728 kJ, nghĩa là gấp hơn 20 lần! Chênh lệch nhiệt độ càng lớn bề mặt truyền nhiệt càng cần

phải rộng để tiếp cận điều kiện sôi và càng làm tối đi tác dụng làm mát ở đây. Vì vậy, bề mặt truyền nhiệt phía lửa của nồi hơi ống nước thường được bọc bằng vật liệu chịu lửa – nhưng ở nồi hơi ống lửa và ở thiết bị làm mát khí sản phẩm không xảy ra những vấn đề này. Cần phải biết rằng sôi màng thể hiện hiệu quả làm mát tốt hơn nhiều so với gia nhiệt nước, bởi lẽ chảy qua bộ gia nhiệt của nước cấp không chỉ mất năng lượng – mà có thể khơi mào hư hỏng do quá nhiệt tại đầu vào của bề mặt trao đổi nhiệt cao như trong thiết bị làm mát khí sản phẩm.

Nước cấp nồi hơi có nhiệt độ cao hơn hoặc tương tự nhiệt độ bao hơi có thể dẫn tới sự cố về tuần hoàn trong nồi hơi ống nước do sự bay hơi có thể xảy ra ngay tại đầu vào vòi phun của ống sinh hơi hoặc gây ra ăn mòn do dòng chảy ở đầu ra của bộ tiết kiệm.

Trong nồi hơi ống nước, nước tuần hoàn đi xuống phải được phân bố từ các ống góp chính tới các đầu vào của ống sinh hơi và cần được duy trì trong dạng lỏng để tạo ra dòng chuyển khối tối ưu. Nếu sự bay hơi xảy ra tại những bề mặt giới hạn này do chảy rối, thì thể tích dòng chảy có thể giống nhau nhưng khối lượng dòng chảy sẽ giảm đáng kể. Hiện tượng này cũng có thể xảy ra, nếu ống nước xuống bị gia nhiệt và nước nồi được nạp vào vòi phun ống sinh hơi trong điều kiện sôi. Dòng chuyển khối giảm dẫn tới giảm làm mát ống gia nhiệt. Hiện tượng này không tồn tại ở các nồi hơi ống lửa hoặc các thiết bị làm mát khí sản phẩm.

Điều kiện sôi và sự tạo thành hơi gần đầu ra của bộ tiết kiệm có thể gây ăn mòn do dòng chảy tại đầu ra của nó vì bộ tiết kiệm được thiết kế chỉ để tải pha lỏng. Hơi sinh ra làm tăng thể tích và tốc độ môi trường.

Nồi hơi trong trạng thái chờ nóng thường có nhiệt độ và áp suất vận hành nhưng không có chu trình tuần hoàn tự nhiên của nước nồi. Do đó không cần một gradien nhiệt độ đặc biệt để khởi động lò để khắc phục sự khác nhau đáng kể của nhiệt độ ở nhưng phần có chiều dày lớn hơn. Nếu khởi động nồi hơi quá nhanh, đặc biệt nồi hơi ống lửa, thì tuần hoàn tự nhiên của nước nồi có thể không theo yêu cầu và có thể xuất hiện quá nhiệt.

Vận hành tại áp suất thấp hơn nhiều so với áp suất thiết kế của nồi hơi dẫn tới tăng thể tích riêng của hơi và không gian hơi quá tải trong bao hơi hoặc không gian hơi trong vỏ. Tăng quá tải không gian hơi so với thiết kế thông thường (không gian hơi hoạt động trong bao hơi hoặc vỏ  $\{m^3\}$  chia cho thể tích hơi sinh  $\{m^3/h\} = m^3/m^3.h$ ) sẽ làm giảm chất lượng hơi và làm tăng lượng các hạt nước nồi bị cuốn vật lý theo hơi.

Sản lượng hơi thay đổi nhiều và/hoặc giảm áp hơi quá nhanh trong nồi hơi có thể gây ra:

- Thăng giáng mức nước trong thiết bị sinh hơi.
- Tăng lượng nước cuốn theo nước bởi cơ học và cũng như là giảm chất lượng hơi.
- Rối loạn tuần hoàn trong nồi hơi ống nước.

Đặc biệt tăng tải nhanh kết hợp với giảm áp suất có thể gây hư hỏng trầm trọng nồi hơi do quá nhiệt ống sinh hơi và bộ quá nhiệt (tạo cấu cặn). Giảm áp suất nhiều là kết quả phổ biến sự lấy hơi nhanh và dẫn tới trước tiên là làm tăng mức nước nồi hơi do sinh hơi mãnh liệt và dẫn nở thể tích bọt hơi sinh ra trong pha nước, giống như khi mở nhanh chai nước Sôđa. Tại thời gian này tuần hoàn của nước nồi bị rối loạn nghiêm trọng vì cả ống lên và ống nước xuống đều là ống sinh hơi!

Toàn bộ tác động trên gây ra hiện tượng cuốn nước nồi theo hơi nghiêm trọng và nước cấp bị dừng vì mức nước trong bao hơi cao hơn. Sau sự việc này mức nước nồi giảm xuống dưới mức nước bình thường và một lượng nước cấp tối đa được cấp vào nồi hơi. Sự cấp nhanh của nước cấp có thể lại giảm áp suất và nhiệt độ và lại dẫn tới các sự cố trên.



Trong trường hợp lấy hơi quá nhanh, cần giảm khẩn cấp dòng hơi bằng tiết lưu đầu ra van xả hơi.