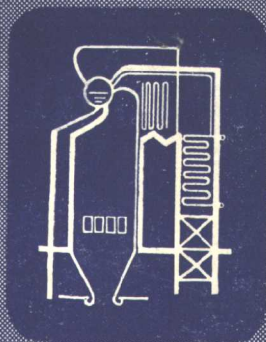


鍋爐工人叢書

第 六 冊



过热器、省煤器 及 空气預热器

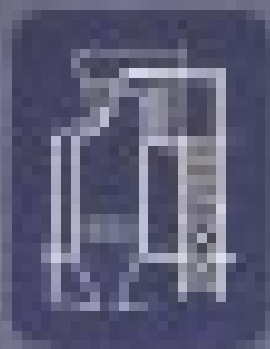
沈 言 匡編著

水利电力出版社

22
7

化工工艺设计

第 1 版



过热器、省煤器 及 空气预热器

王 明 编著

机械工业出版社

內 容 提 要

本書綜合介紹了鍋爐設備中過熱器、省煤器及空氣預熱器的構造、型式，運行中注意事項以及這些設備常見的故障與防止對策。

書中對這些設備的使用以及如何保證這些設備的安全經濟運行，作了比較詳細的敘述。

本書可供具有高小以上文化程度的鍋爐工人閱讀。

過熱器、省煤器及空氣預熱器

沈 言 匡編著

*

1135R238

水利電力出版社出版(北京西郊科學路二號)

北京市書刊出版登記證出字第 106 號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 2 $\frac{1}{2}$ 印張 * 55千字

1958年9月北京第1版

1953年9月北京第1次印刷(0001—6,100冊)

統一書號: T15143·151 定價(第9類)0.28元

出版者的話

解放以來，由于我國電力工業的迅速發展，廣大電業工人日益迫切要求有系統地學習技術理論知識，以求提高自己的業務水平，改進工作。我社過去雖曾出版了一些工人讀物，但選題比較零星，缺乏有計劃有系統的安排。我們曾多次征求社外有關單位及工人同志的意見，認為有必要按照電業工人不同的專業，分別出版幾套叢書，着重講述有關專業的設備構造原理和安裝檢修、運行的基本理論。文字和內容要求盡量通俗、淺顯，使工人在進一步掌握技術上打好理論基礎，並從叢書中更好地掌握一些基本的操作技術。根據這一出書原則，我社已初步擬定了鍋爐、汽機、電氣、綫路、化學、熱工儀表、水電等七套供電業工人閱讀的叢書。此外，我社還決定不斷地出版“電業工人學習文選”，專門介紹安裝、檢修、運行中的具體工藝過程和經驗、體會，以及結合現場實際情況進一步闡述叢書中的某些重要問題。

“鍋爐工人叢書”共分13冊：燃料和燃料管理、輸煤設備、煤粉制造設備與運行、煤粉制造設備的安裝和檢修、鍋爐本体、過熱器省煤器及空氣預熱器、鍋爐通風設備和通風系統、除灰和除塵設備、鍋爐運行、鍋爐安裝、鍋爐的試驗和檢修、蒸汽鍋爐爐牆的施工及檢修、汽水管道及管道配件。這套叢書專門供給鍋爐運行、檢修及安裝方面的工人同志們閱讀。

我社出版工人叢書是十分缺乏經驗的，希望工人同志們對於書中取材的範圍、內容的深淺各方面提供意見，使我社出版的工人讀物能更好地適應工人同志的需要。

目 錄

出版者的話

第一章 总論.....	3
第二章 过热器.....	7
第一节 过热器的結構与型式.....	7
第二节 过热器的运行.....	20
第三节 过热蒸汽温度的調整.....	35
第四节 过热器的损坏、故障及防止对策.....	47
第三章 省煤器.....	55
第一节 省煤器的結構与型式.....	55
第二节 省煤器的运行.....	58
第三节 省煤器的损坏、故障及防止对策.....	62
第四章 空气預热器.....	72
第一节 空气預热器的結構与型式.....	72
第二节 空气預热器的运行.....	75
第三节 空气預热器的损坏、故障及防止对策.....	78

第一章 总 論

过热器、省煤器与空气預热器，都是鍋爐設備的構成部件。除了一些旧式的，或者是小容量的鍋爐机組沒有以上裝置的一种或全部外，近代的鍋爐設備，过热器、省煤器与空气預热器已是必不可少的重要組成部分。

鍋爐，不管它裝有較大蒸汽容积的汽鼓，也不管它在汽鼓內裝有性能很好的汽水分离設備，或者它另外裝有飽和蒸汽的集汽鼓，都不可能得到真正的干飽和蒸汽。一般由汽鼓中出来的飽和蒸汽，它的干度約在98%左右。同时，鍋爐生产的蒸汽，在进入汽輪机以前，还有一段或長或短的管道，而在管道外壁，不管保温情况如何良好，蒸汽流經管道后，总有一部分热要散失。因此，这种蒸汽就会出现下面兩種情况：

1. 蒸汽中含有水分、水滴或水珠。这是由于飽和蒸汽不是真正的干飽和蒸汽，以及由于部分蒸汽遇冷凝結成水的結果。

2. 蒸汽压力降低。这是由于一部分蒸汽冷凝成水，而水的容积是远較蒸汽小得多，因此就使一定容积內的蒸汽压力降低。

具有上面兩種情况的蒸汽，如在汽輪机內进行工作的話，將有以下的后果：

1. 汽輪机的輪叶因受到水滴的冲刷而侵蝕损坏。

2. 由于水的重量較同体积蒸汽的重量为大，在一定的速度下，水的作用力就大。因此增加了汽輪机的推力，軸承就有损坏的可能。

3. 使汽輪机的效率降低。一般当蒸汽温度較定額低 10°C 时，汽輪机的汽耗將增加 $1 \sim 1.5\%$ ；当蒸汽压力較定額降低 1 表大气压时，中压汽輪机的燃料消耗將增加 0.6% ；高压汽輪机則將增加 0.1% 。

根据上面所談的情况，假如我們利用过热蒸汽来代替飽和蒸汽而进入汽輪机工作的話，就可以完全消除上述的缺点。不仅如此，由于飽和蒸汽的全部含热量完全决定于汽压；压力降低，飽和蒸汽的温度就降低，因此汽輪机工作时所需要利用的蒸汽中的热能就减少。而过热蒸汽，由于是在一定压力下，提高了蒸汽的温度，使蒸汽能更多的吸收热量，这样也就增加了蒸汽本身内部的能量。因此过热蒸汽的全部含热量，就与过热温度有关。我們知道，汽輪机的工作效率是与蒸汽含热量的降差有关，蒸汽含热量的降差愈大，汽輪机的效率就愈高，而过热蒸汽的含热量是比飽和蒸汽的含热量提高很多，这样就使蒸汽进入汽輪机后，增大了降差，因此可以提高汽輪机的热效率，从而降低发电厂的生产成本。

因为使用过热蒸汽可以得到以上所講的好处，所以近代一般鍋爐設備都裝置过热器来加热飽和蒸汽。同时过热器的發展，也趋向于使过热温度提到更高的程度。由于冶金工业以及焊接技术的发展，鍋爐过热蒸汽的定額温度已由最初的 190°C 升高到 650°C ，甚至比上述温度更高。

鍋爐是使燃料中的化学能轉变为热能的一种机械裝置。它利用燃料在爐膛內燃燒后产生的烟气来加热鍋爐設備中的爐管受热面。但烟气在离开鍋爐时，它的温度仍然很高。一般旧式的鍋爐，烟温最低时有 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ，有时还要更高。这部分的烟气，如任其排出到大气中而不加利用，是很大的損失。省煤器就是利用这一部分热烟来加热进入汽鼓的給水的。

一种热交换裝置。

鍋爐設備中裝置省煤器，主要是从經濟上来考虑。它利用了一部分的烟氣余熱，而使鍋爐效率提高。在一般的条件下，当給水溫度增高 7°C ，約可节省燃料 1%；省煤器出口水温增高 1°C ，烟氣溫度約降低 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。总的來說，鍋爐裝置省煤器以后，可以减少燃料消耗約 5~15%。除了提高鍋爐效率以外，裝置省煤器后，还可以用較便宜的省煤器受熱面来代替一部分較昂貴的鍋爐受熱面。这是因为省煤器能使进入汽鼓的給水的水温提高，这些溫度較高的水在鍋爐蒸发受熱面內，可以吸收較少的热量，也就是可以在較少的受熱面內，就蒸发成飽和蒸汽。这种利用省煤器受熱面积来代替鍋爐受熱面积的作用，特別是在高压鍋爐設備中，更加显著。因为蒸汽压力愈高，飽和水的含热量就愈大，而飽和水变成飽和蒸汽所需要吸收的蒸发潛热跟着减低，这样，在高压鍋爐中，鍋爐的受熱面就可更为减少，或者是同等的鍋爐受熱面积，它的蒸发量就大为提高。因此，省煤器的发展，已由將給水加热至飽和溫度以下而提高到飽和溫度。

此外，由于省煤器使进入鍋爐汽鼓的給水溫度提高，也改善了汽鼓的工作条件，使汽鼓进水管附近的鼓壁不致因为溫度过低而增加收縮应力。但对由于給水溫度的变动，使鼓壁承受交变应力的情况，并不能有所改善。

空气預热器与省煤器一样，是鍋爐設備中热交换裝置的一种。空气預热器是利用一部分烟氣余熱来加热燃燒所需要的空气。烟氣經過省煤器以后，溫度仍然很高，特別是在一般采用回热循环的发电厂中，因为已經利用了汽輪机的一部分抽汽来加热給水，因此給水在省煤器中吸收热量就相应减少，这样就更使排烟溫度增高。裝置空气預热器后，可以减少

少鍋爐的排烟熱損失，提高鍋爐效率。

由于空氣預熱器是加熱燃燒所需要的空氣，因此對鍋爐的燃燒，就有了影響。空氣溫度的增高，促使燃料在爐膛內燃燒速率加快，使燃燒室的溫度增高，而輻射熱與溫度的四次方成正比例，因此使鍋爐吸收輻射的熱量大大地提高，这样就提高了鍋爐的出力，換句話說，也就可以相對的來減少鍋爐的對流受熱面。因此，空氣預熱器的裝置，也能够代替部分鍋爐受熱面。

裝置空氣預熱器可以提高空氣溫度，这样也就可以提高燃料燃燒的溫度，因此對於濕分較大的燃料，以及揮發分較低的燃料的正常燃燒有很大幫助。因為它們都需要依靠高溫的空氣使燃料良好地引燃與保持燃燒穩定。这样也就有助於使低值煤的大量應用。

熱空氣還能使燃料燃燒完全，使灰中可燃物減少。雖然在鍋爐上裝置空氣預熱器以後，會增加一些煙道的阻力，增加廠用电量，以及使運行及維護上增加麻煩；但由於前面所述的一些優點，同時近代的鍋爐，由於採用煤粉燃燒以及增大輻射受熱面，於是空氣預熱器已是鍋爐設備中必不可少的一個部件。

鍋爐本体、過熱器、省煤器及空氣預熱器都是熱交換設備，都具有受熱面來吸收熱量和加熱介質。它們的受熱面積是互相配合的，在現代的鍋爐設備中，它們的受熱面積的分配比例關係，粗略估算一下，大約依次為1:2:4:16。例如鍋爐本體的受熱面積如為500公尺²，則過熱器約為1,000公尺²，省煤器約為2,000公尺²，空氣預熱器約為8,000公尺²。在整个鍋爐設備的布置上，一般來講，過熱器是在鍋爐受熱面之後，有的過熱器也直接並列於爐管間，以吸收一部分的

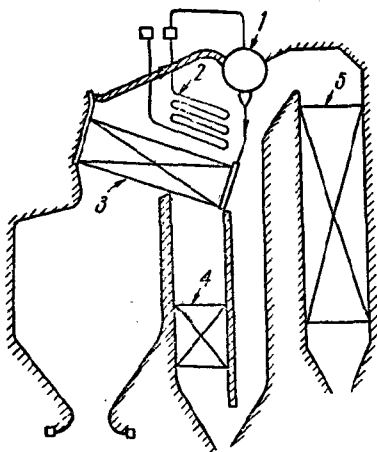


图 1-1 旧式分联箱鍋爐布置图

1—鍋爐主汽鼓；2—蒸汽过热器；3—鍋爐排管；4—省煤器；5—空气預热器。

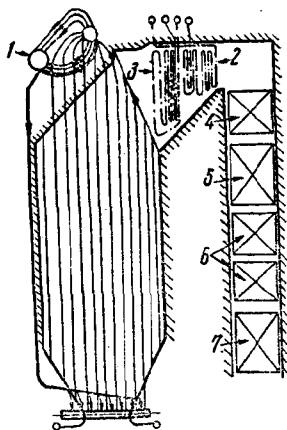


图 1-2 現代鍋爐布置图

1—鍋爐主汽鼓；2—第一段蒸汽过热器；3—第二段蒸汽过热器；4—第二段省煤器；5—第二段空气預热器；6—第一段省煤器；7—第一段空气預热器。

輻射热。省煤器則裝置在鍋爐后部，而空气預热器則又裝置在省煤器的后部。容量較大的鍋爐設備，也經常將过热器，省煤器及空气預热器与段交錯布置。图 1-1 是一般旧式分联箱鍋爐的布置，图 1-2 是現代鍋爐的布置。

第二章 过 热 器

第一节 过热器的結構与型式

一、过热器的構造

構成过热器的主要部件是联箱与过热器管，如图 2-1 所

示。

联箱一般有二个。一个是过热器进口联箱，它的作用是将汽鼓中蒸发出来的饱和蒸汽汇集起来后，以便分

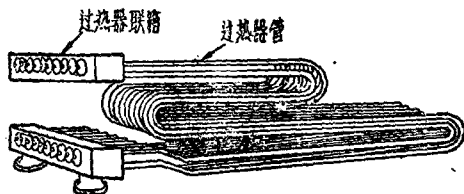


图 2-1 过热器

配进入过热器管。另一个是过热器出口联箱，它的作用是在过热器管中经过受热后的过热蒸汽汇集起来，经过主汽门输送到主蒸汽管。

联箱的型式有方形与圆形二种。方形联箱有的用铸钢制成，也有锻制而成或者用钢板焊接制成。圆形联箱有的用无缝钢管制成，也有锻制而成或者用钢板卷压后焊接而成。

联箱通常是装在炉顶或锅炉两侧的，但也有装在锅炉内部烟气温度较低的地方。如果是装在锅炉内部时，一般在联箱位置前部的地方，装有挡火牆，使联箱不受高温，同时也可以防止炉烟的冲刷。联箱不管是装置在炉内或炉外，都应该妥善地加以保温，以防金属过热烧坏，或因散热而影响工作人员的安全。

过热器管都是由无缝钢管经焊接后弯曲成蛇形管的形状。它的管径一般为38公厘。在某些高压锅炉设备中，用在高温地方的过热器管，也有采用42公厘管径的无缝钢管。过热器管的排列，一般是固定跨距或交变跨距，是廊柱式顺列的式样，如图 2-2 所示。图中每一排可以由 2 根、3 根或 3 根以上的过热器管组成。

联箱与过热器管的连接方法，通常见到的有二种。一种

是脹接，就是將過熱器管擴張在聯箱的管孔上。此時在聯箱管孔的對側，開有手孔，手孔有方形、圓形或橢圓形

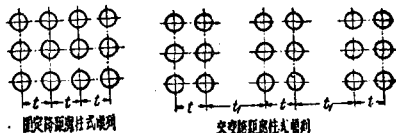


圖 2-2 過熱器管排列示意圖

三種，主要是便于脹管之用。手孔用手孔蓋密閉，但也有不開大的手孔而只開小孔用堵頭來密閉的。脹接方法，一般多采用于中、低壓鍋爐，它的優點是更換個別的過熱器管比較方便，缺點是脹口及手孔與手孔蓋的結合面處容易造成泄漏故障。

近代的中壓與高壓鍋爐中，過熱器連箱與過熱器管的連接，幾乎全部採用了焊接方法。製造廠在聯箱上每一個管孔處，都焊上一段短管節，以便在安裝或檢修時再將過熱器管焊在短管節上。採用了焊接方法，就能消除過熱器管的一些泄漏事故。但是在焊接的過熱器上，如果要想更換個別的過熱器管是不便于施焊的。在這種情況下，可以考慮臨時的一些措施來補救，如圖 2-3 所示，在故障處便于施焊的某一彎曲段上，暫時直接焊上一段短管段使蛇形管短路。

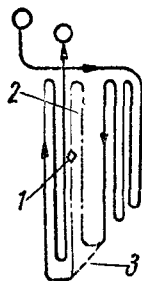


圖 2-3 故障管壓短路圖

1—故障點；2—損壞管段；3—焊接的短管段。

有的中壓爐，也有將過熱器管插入帶有坡口的聯箱管孔中，用螺絲壓緊。其連接方式如圖 2-4 所示。但這種連接方式，并不多見。

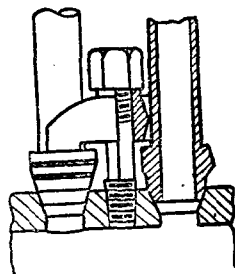


圖 2-4 過熱器管插入聯箱的連接圖

为了減輕联箱及脹口处承受的全部重量与防止运行中过热器管的燒弯情况，过热器还裝置了支吊架及过热器管組間的墊鉄支持物。

有的吊架利用圓鉄制成，圓鉄的一端固定在爐頂橫梁上，另一端則吊固蛇形管，如图2-5所示。近代的鍋爐，对臥式过热器的支持則多在其中加置二排或数排垂直过热器管，在垂直过热管上焊有支架，水平过热器管即放置在支架上。也有利用水冷壁管焊上支架来放置过热器管。如图2-6所示。在立式过热器中也有直接利用本身管段作支架的，如图2-7所示，它是將蛇形管的一段伸出爐牆之外，在牆外的一段上焊有支架，擱置在工字梁上。

过热器管間的墊鉄，有的用生鉄澆鑄成鋸齒狀后嵌在管子中間。也有的在过热器管上焊一墊鉄。

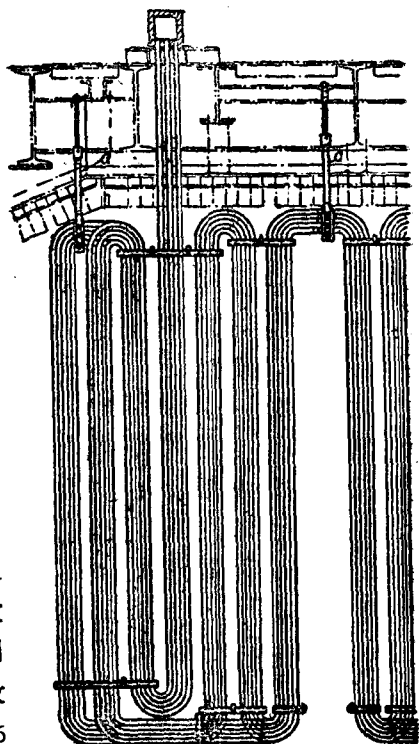


图 2-5 立式蒸汽过热器的固定图

a—吊架。

二、对过热器材料的要求与检验

过热器在鍋爐設備中，是承受温度最高的承压部件。由于金属材料的某一些特性与温度有密切的关系，因此对制造过热器的材料，就有了严格的要求。

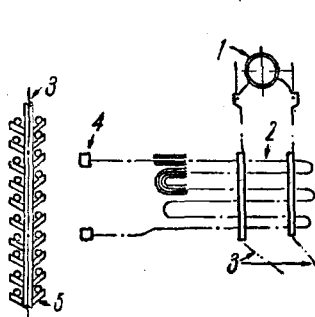


图2-6 卧式过热器管支架图

1—前置辅助汽鼓；2—第二段卧式过热器管；3—水冷壁管；4—过热器联箱；5—焊上的支架。

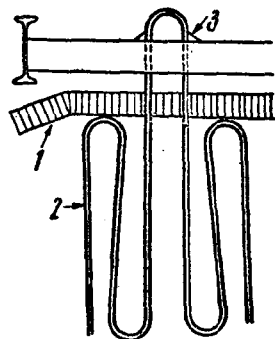


图2-7 过热器管段支架图

1—爐牆；2—过热器管；3—焊上的支架。

用碳素鋼制成的过热器联箱，可以用在蒸汽温度不超过 450°C 的鍋爐上。如果用鋼号为15П与20П鉬鋼制成的联箱，則蒸汽温度不应超过 485°C ；用鋼号为12П π 鉬鉻合金鋼制成的联箱，其蒸汽温度不得超过 530°C ；而用鋼号为15П π 鉬鉻合金鋼所制成的联箱，其蒸汽温度不得超过 550°C 。

过热器管所应采用的鋼材，是根据强度計算来确定，也就是根据管壁厚度与鋼材在过热器管壁工作温度下的强度来决定。一般在蒸汽温度不超过 425°C ，或者管壁工作温度不超过 500°C 时，可以采用碳素鋼。当过热蒸汽温度不超过 450°C 时，可以采用鋼号为12П、15П鉬鋼，或12П π 鉬鉻

鋼。当过热蒸汽温度为 510°C 时，可以采用鋼号为 15分П鉬鉻鋼。鉬鋼也有用在 475°C 的设备上，另外鉻鉬鋼也有用在 500°C 的设备上。当蒸汽温度为 $580-600^{\circ}\text{C}$ 时，則采用高級合金鋼（奧司丁体級），其中含有鉻、鎳、鎢、鉬、等元素。

在高温烟氣区域下工作的过热器吊架，也需要采用耐热的合金鋼，通常可采用矽鉻合金鋼或者鉻鎳合金鋼。矽鉻合金鋼在含硫的烟道氣體中，是具有高度耐热性的；但是它的可焊性^①不良，同时在較長的运行時間后，有受热脆化^②的傾向。用鉻鎳合金鋼来制作吊架，就沒有显著的受热脆化現象，但它对含硫烟氣的抗腐蝕性能不高。如鉻与鎳的含量提高时，抗腐蝕性能也將會随之提高。工作温度低于 750°C 的区域内，可以采用苏联鋼号为 CX6M 合金鋼；温度达 800°C 时，可以采用苏联鋼号为 ЭЯ1Т 合金鋼；在燃燒室內或第一烟氣通道的部分，温度达 $1,000^{\circ}\text{C}$ 时，可以采用苏联鋼号为 ЭИ-211 的合金鋼。在焊接上面所談的鉻鎳合金鋼时，建議使用苏联鋼号 X25H20C2 成分制成的焊条。

由于过热器設備对材料有严格的要求。因此我們在安裝使用前，應該將材料加以細致的檢驗。檢驗的目的，一方面是檢查是否錯用了鋼号，例如以碳素鋼代替了合金鋼，一方面是鑑定材料的机械性能与化学成分等是否与規定相符合。

應該使用合金鋼的部件，現場在安裝前，除了已經有制造厂的材料證明書以外，还應該用光譜分析或滴定試驗的檢驗方法来鑑定是否为合金鋼。

① 金屬焊接是否优良与能否焊接的性能，称做可焊性。

② 金屬長期在 $400-550^{\circ}\text{C}$ 温度之間工作后，在正常温度时，它的韌性降低而变脆的現象，称做受热脆化。

光譜分析是利用光譜儀與被試的金屬二者，形成一對電極，通電後在這對電極中產生電弧，這樣就會達到 $5,000-9,000^{\circ}\text{C}$ 的高溫。被試金屬中的化學元素，在高溫的情況下形成氣化，然後使光線通過光譜儀中的透鏡與三稜鏡的系統，就會產生各種不同色彩的光譜。這樣就可以根據色彩的不同來表示各種不同元素的存在，同時也就根據色彩的深淺來表示這種元素含量的多少。用光譜儀來確定金屬的化學成分，它的誤差不會超過20%，而這一誤差，對確定鋼材牌號來講，是不会有影響的。

滴定試驗是利用酸性溶液，與鋼材中所含不同的合金元素所生成不同的化學反應來判斷各種元素的存在與大致的含量。作滴定試驗時，應該在被試金屬的表面，清理並磨出一塊大約2平方公分的面積，然後用玻璃棒蘸某一種酸性溶液，滴在磨光的金屬表面。這種試驗，應該尽可能在一般室溫及白晝的情況下進行。

確定鋼中是否含有鉻元素時，溶液可以按照容積取30分硝酸 (HNO_3 ，比重1.4)，30分硫酸 (H_2SO_4 ，比重1.84) 和40分蒸餾水配制。將溶液滴在磨光的金屬表面上幾分鐘後，就會出現泡沫，或者形成一片金屬鹽類的有色薄層。當鋼中不含鉻元素時，反應的顏色由黃棕色轉到棕色。當鉻元素的含量超過0.6%時，反應的顏色就呈現淡灰綠色，然後轉到暗灰色，這種轉變是隨鉻的含量而定。當鉻元素的含量超過8%時，則溶液保持透明，不起任何反應。這一種方法，如果鋼內含有0.2%以上的鎳元素時，就不能應用。倘若鋼內含有普通量的鋁和銅時，則不會影響試驗的正確性。

另一種確定鋼中鉻元素的方法是溶液，可按容積取13分硝酸（比重1.4）和4分蒸餾水配制。當鉻的含量為3%

时，溶液在刚开始时是明朗的，后来在下层会出现暗淡的綠灰色的腐蝕斑点；当鉬含量超过3%时，溶液保持透明，不起任何反应。

确定鋼中的鉬元素时，溶液可按容积由2分硝酸（比重1.4）、9分鹽酸（HCl、比重1.19）和15分蒸餾水配制。当含鉬量小于0.2%时，溶液保持透明；当含鉬量超过0.2%时，溶液滴在金屬表面三四分鐘后，就呈現淡黃色。時間的長短是随含鉬量的多少而改变。这种試驗方法，如果鋼中的含鉬量不超过3%时，以及鋼中含有銅或鈮时，都不会影响試驗的結果。

为了清晰地察看滴定試驗后反应的顏色，可以应用濾紙吸取溶液察看。

过热器管及联箱在安裝以前，除了对合金鋼管及鋼材應該进行上面所講的檢驗以外，还应该再进行机械性能試驗与水压試驗。

过热器的机械性能試驗項目，有拉力試驗、压扁試驗与扩脹試驗。机械性能試驗的試样，应该是同批运到工作地点的同一类的过热器管，每200根中取出1根作为代表；如果不足200根时，也应该按照200根办理。在安裝以前，每根过热器管都应该进行水压試驗。試驗压力是鍋爐工作压力的2倍，但最低应为50表大气压。如果制管厂对这批过热器管，能够保証承受規定的水压試驗的压力时，就可以免作水压試驗。对于工作压力高于60表大气压的过热器管，还应该进行显微組織的檢查，試样的采取与机械性能試驗相同。

焊接过热器管时，应由考試合格的焊工担任，焊后对焊缝要做外觀的檢查，并按2%的数量抽取样品进行拉力試驗和弯曲試驗来鉴定接头的焊接質量。