

高等学校教学用书

鍋炉内部过程

苏联 M.A.斯狄利柯維奇著

電力工業出版社

高等学校教学用书

鍋爐內部过程

苏联 M. A. 斯狄利柯維奇著

范从振译

苏联高等教育部高等工业和机器制造学校管理总局批准
作为高等学校热力动力专业学生的教材

电力工业出版社

內 容 提 要

本書所討論的是与鍋爐机組中工質有关的問題，它包括：汽鼓式和直流式鍋爐中蒸汽和水的流动；受热質和工質間的热交換；蒸汽和水的分离；蒸汽中的混杂物及其在汽水系統中的沉积。

本書为动力学院和大学动力系的热能动力、热化学、工程热物理專業“鍋爐內部过程”課程的教材，也可以供研究鍋爐裝置設計、制造和运行方面的專家使用。

М. А. СТЫРИКОВИЧ

ВНУТРИКОТЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1954

鍋 爐 內 部 过 程

根据苏联国立动力出版社1954年莫斯科修訂第2版翻譯

范 从 振譯

*

642R161

电力工業出版社出版(北京府右街26号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第082号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 11 $\frac{1}{2}$ 印張 * 246 千字 * 定价(第10类)1.40 元

1957年9月北京第1版

1957年9月北京第1次印刷(0001—4,100册)

序 言

在很久以前人們就想研究鍋爐內部过程的各个部分。第一部工厂用蒸汽机的創始人И.И. 波尔宗諾夫就曾試用显微鏡研究蒸汽發生过程。以后許多俄国科学家曾对沸騰时的热交换过程和溶液蒸發时鹽类的性能进行研究。但只是在偉大的十月社会主义革命之后，才开始对鍋爐內部过程做系統性的研究，并在第一个五年計劃的年代中得到大量發展，在这期間苏联的动力工程迅速發展，同时大規模地改用較高的蒸汽参数，并广泛采用热化。

在鍋爐內部过程的研究中，下述主要研究部門的全体人員起了特殊作用：以波尔宗諾夫命名的中央鍋爐汽机研究所和以捷尔任斯基命名的全苏热工研究所，这些研究机关从三十年代起在試驗室、半工業性設備和实际应用的鍋爐机组中广泛地开展了鍋爐內部过程的研究。直瀘鍋爐制造局、苏联地区發电厂及綫路改进局和鍋爐制造厂設計局的人員也进行了很多研究和設計工作。

从四十年代起，特別在偉大的衛国战争后，苏联动力工程大規模地改用高压蒸汽，这时对鍋爐內部过程需要扩大并加速研究工作。在这期間內除各研究机关繼續开展這項工作外，苏联科学院动力研究所在鍋爐內部过程方面也展开了很多研究工作。苏联高等学校的貢獻也是很大的，特別是莫斯科莫洛托夫动力学院，該校对于蒸汽分离、鹽类在蒸汽中的溶解度、鍋爐水的规范开展了研究。

由于进行了这些研究，因而形成了“鍋爐內部工程”这門課程，其内容包括：鍋爐机组受热面与工質間的热交换过程、汽水系統中的流体力学、蒸汽由水中的分离，以及蒸發时与水中杂质情况有关的物理化学过程。

著者于1944年在莫斯科莫洛托夫动力学院第一次講授“鍋

爐內部過程”課程，為該課程寫一本教科書是著者的初次嘗試性的工作，從那時起這門課程一直成為動力大學熱能和熱化學專業教學計劃中的一門課程。

但是在寫作時不僅沒有敘述全部課程內容的專門論文，而且就連有關該書個別章節的綜合性著述也沒有，因此創作這樣的教科書是很困難的。而這種情況的產生多半是由于在蘇聯這種新的科學部門的發展速度太快的緣故。本書的寫出幾乎全部根據本國的研究資料，由此可以看出在研究鍋爐內部過程方面蘇維埃動力科學所起的重要作用。

由於本書所討論的許多問題的資料都很新，因而對於試驗資料有着各種不同的解釋，同時由於某些假說還不曾被公認，因此在教科書中便應當說明各種不同的觀點，或者推斷某些根據不夠的假說。特別是考慮到對於工科學校學生——未來的工程師——不僅要傳授給他們一定的知識，而且還要使他們對研究資料養成批判的能力，因此就不能不這樣做。

本書除直接用為教科書外，因其為系統地說明有關問題的第一本書，對於從事設計、研究和使用蒸汽動力裝置的科學研究人員和工程技術工作人員也可能是有興趣的。

超出熱能動力專業課程大綱範圍以外的許多問題，以及有關各個問題的更深入的討論（主要為研究方法部分）均用小體字標出。

著 者

目 录

序言

第一章	研究鍋爐内部过程的意义、实質及方法	6
第二章	受热面金屬的工作情况	12
2-1	总論	12
2-2	受热面金屬的工作情况和金屬选择	16
第三章	省煤器和蒸汽过热器中的热交换 和流体动力学	22
3-1	总論	22
3-2	非沸騰式省煤器中的流体动力学和热交换	30
3-3	蒸汽过热器的連接和佈置	36
3-4	蒸汽过热器的流动“偏差”	43
3-5	蒸汽过热器的热“偏差”	49
3-6	过热蒸汽温度的調节	57
第四章	兩相流体的不同流动工况下蒸發受热面的 工作情况	62
4-1	沸騰管工作情况的一般特性	62
4-2	汽水混合物的基本流动情况	64
4-3	平置管中气液混合物的流动情况	68
4-4	在蒸汽鍋爐的平置管和傾斜管中汽水混合物流动的分層	73
第五章	沸騰时的热交换及其对沸騰管金屬温度 高低的影响	80
5-1	沸騰时热交换的一般規律	80
5-2	蒸汽鍋爐管中沸騰时的热交换	87
第六章	汽水混合物在管子中的流动特性	98
6-1	总論	98
6-2	平置管中汽水混合物流动时的摩擦阻力	100
6-3	立置管中汽水混合物流动时的压头损失	104

6-4	汽水混合物順管子流动时的压降試驗研究, 以及按这些数据所拟訂的計算方法	108
第七章	強制工質流动的沸騰管流体动力工作情况	119
7-1	弯管的流体动力特性及其稳定方法	119
7-2	沸騰式省煤器和多次强制循环鍋爐的弯管	124
7-3	直流鍋爐的弯管	127
第八章	工質自然循环路綫的流动情况和計算	132
8-1	自然循环的最簡單路綫	132
8-2	自然循环的复杂路綫	139
8-3	下降管的工作情况	143
第九章	鍋爐机組汽水系統的变动工作情况	149
9-1	总論	149
9-2	汽鼓式鍋爐的变动工作情况	152
9-3	直流鍋爐的不稳定工作情况	161
第十章	自然循环安全性的标准	166
10-1	循环工况安全性的一般評价	166
10-2	循环路綫的总特性綫	168
10-3	受热不均时正常循环情况的破坏	171
10-4	由于循环破坏受热面的损坏	179
第十一章	蒸汽动力裝置水的工作制度及对鍋爐生产出的 蒸汽的清潔度的要求	186
11-1	蒸汽动力裝置水的工作制度	186
11-2	污染物进入电厂汽水系統的根源	187
11-3	水的制度及补充水的制备	192
11-4	蒸汽的品質	195
11-5	蒸汽品質的測量方法	197
第十二章	鍋爐水对蒸汽的污染	202
12-1	蒸汽机械地携帶出鍋爐水	202
12-2	鍋爐水的成分对帶鹽系数的影响	211
12-3	蒸汽鍋爐汽鼓中的汽水分离机構	219
第十三章	水蒸汽中鹽和硅酸的溶解度	229
13-1	各种化合物在水蒸汽中的溶解度对污染蒸汽和	

在蒸汽动力裝置系統中所形成的沉淀的影响·····	229
13-2 鹽类在飽和水蒸汽中的溶解度·····	231
13-3 过热蒸汽中鹽类的溶解度·····	238
13-4 硅酸的選擇性帶出和其在蒸汽动力裝置系統中的沉淀·····	242
第十四章 鍋爐汽水系統的腐蝕 ·····	250
14-1 总論·····	250
14-2 溶解在水中的氧的影响·····	254
14-3 水中氫离子濃度的影响·····	255
14-4 溶解在水中的电解質的影响·····	257
14-5 介質和金屬應力的綜合影响·····	260
14-6 “停用时”的腐蝕·····	261
第十五章 水垢的形成及其防止 ·····	263
15-1 总論·····	263
15-2 汽鼓式鍋爐不生水垢的工况的組織·····	266
15-3 在鍋爐各种不同的工作情況下鍋爐水的磷酸鹽处理标准·····	271
第十六章 汽鼓式鍋爐的水的制度 ·····	276
16-1 总論·····	276
16-2 分段蒸發·····	280
16-3 蒸汽的清洗·····	288
第十七章 直流鍋爐的水的制度 ·····	293

第一章

研究鍋爐內部過程的意義、實質及方法

對工業、農業、城市生活和公用事業及運輸業繼續不斷地供應電能，是國家國民經濟正常發展的最重要因素之一。同時集中供能的意義愈來愈重大，工業的電能幾乎完全由聯合到大電力網中的中心電廠來供應。在農業及鐵路運輸上集中供電的作用已增大很多。實際上只有汽車運輸、空運及水路運輸沒有使用集中供能。

在蘇聯的國民經濟中，集中供應用戶熱能（蒸汽、熱水）的規模也在不斷擴大。

在蘇聯，偉大的水電站建設事業已在開展。但是電能的需要增加得那麼快，以致於今後絕大部分的電能還要由熱電廠發出。國民經濟所需總電量的 75% 左右是由熱電廠發出的，這些熱電廠完全是以低位熱能集中供應用戶。在最近時期內可期望：熱力裝置在發出電能及低位能熱量的同時，也開始供應高熱值燃氣至工業及日常生活用戶。

在集中供能中，就是有短時間的中斷也會引起國民經濟的巨大損失，因此保證電廠主要設備繼續不斷地工作，是擺在蘇聯力能工作者面前的最重要任務之一。

在電力系統中沒有足夠的熱後備設備的情況下，鍋爐及汽機設備的事故停止，使國民經濟遭受的損失特別大，這些設備的停止促使負荷降低以及對個別用戶暫時停電。自然，當在電力系統中沒有冷的後備時，也就是設備未處於工作情况、但在較短時間可以開動時（對於新式大型蒸汽動裝置需 2—3 小時），在這情況下鍋爐和汽機的事故後果就更為嚴重。在此情況下當大型設備即使有 1—2 晝夜較短時間的事故停用时，給國民經濟帶來的損失常常會超過了停用設備的價值。

以低位能熱量供應工業企業和城市事業的設備，其工作的中

断更为明显，因为这时由系统中其他电厂补偿停用容量的可能性非常小。这是由于热网的有效半径比较小，因此不可能从距离停用设备电厂很远的电厂来补偿缩减的热量。此外，在冬季时集中供热的大量缩减，可能使生活条件骤然变坏，或者使供暖系统和管路受到破坏。

这样，保证电厂主要设备——锅炉和汽机——继续不断的工作，是国民经济对动力装置所提出的最重要要求之一。

为了保证锅炉机组能继续不断地工作，与产生蒸汽直接有关的锅炉内部过程的正确组织具有特别重大的意义。锅炉内部过程对锅炉机组热经济的影响较小，但是当这些过程的正常运行发生较小破坏时，如循环停止、水垢沉淀、蒸汽由锅炉汽鼓带水，都可能引起锅炉机组或汽机的严重事故，或者为了清洗和检修使设备过早地停歇。

现在在热力工程中，已明确地提出，希望在电厂中不设置后备锅炉，改用更简单的锅炉——汽机组合系统。因此锅炉设备工作的持久性，也就是锅炉机组能够继续不断地带接近额定的负荷的期限，就具有特别重大意义。在一部锅炉供应与其本身连接的汽机的组合系统中，当锅炉停用时，整个组合便都要停止。在采用高参数和超高参数蒸汽的情况下，这种系统特别合适，此时用这种系统可使管路系统的价格降低很多，因为高参数蒸汽的管路价格是非常大的。贵重的和需要很大维持费的附件的数量也可缩减很多。显然，只有当锅炉机组工作的持久性接近于汽机工作的持久性时，采用组合系统才是合适的。

从前锅炉工作的持久性受砖工的磨损和结渣、机械化炉零件的磨损和引风机叶子的飞灰磨损的限制。但是具有全部水冷壁的炉子和采用室燃的近代锅炉机组，炉子工作的持久性很大。在引风机前装设有效的除尘器装置，实际上可使引风机的工作期限无限延长。

因此近代大型锅炉机组工作的可靠性及其工作的持久性，在很大程度上决定于锅炉内部过程的组织。

在这方面已有一定的成效。采用鍋爐水制度的校正法已能达到無水垢的工作情况，并且已完全消除了为清洗受热面内部而停用鍋爐机組。只有直流式鍋爐为了清洗內面的沉积鹽类还需要有定期的停爐。不过这种停爐，虽說比較頻繁，可是为时很短。

改善蒸汽由水中分离出的方法，便能得到高度清潔的，实际上不致使蒸汽过热器过分堆积鹽类的饱和蒸汽。所有这些均促使近代鍋爐机組成为很可靠的設備。但是在与汽輪發电机相比时，照例鍋爐机組工作的持久性还是比較小，最低限度必須努力將鍋爐机組的可靠性提高至汽輪發电机的运行可靠性的水平。

为了增大鍋爐机組各別部分的工作期限，正确組織鍋爐内部过程是具有决定性意义的。当鍋爐内部过程正常进行时，近代鍋爐机組中受压力的受热面(省煤器、爐膛水冷壁、蒸汽过热器)的工作期限是很長的。但是当鍋爐内部过程的正常进行受到破坏时，受热面的各別部分可能在不多几小时，几分鐘甚至几秒钟內损坏掉。对于近代鍋爐爐膛中的受热很强的沸騰管，这是特别严重的。在正常情况下，这些管子可以繼續工作好几十年，但是当他們的冷却中断时，可能不到一分鐘就足以使这些管子發生破裂，引起整个鍋爐机組的事故停爐。

为了保証汽輪机的正常工作情况和很高的运行經濟性，正确地組織鍋爐内部过程具有很大的意义。維持固定的过热蒸汽初温为汽輪机正常运行最重要条件之一。即使当蒸汽温度高出設計的温度不多时，也將會使近代汽輪机中許多部分的蠕变过程加速很多，因此根据“發电厂技术管理法規”当超过額定蒸汽温度稍多时，必須立即停机。

另一方面，过热蒸汽温度的降低將减小电厂的經濟性，蒸汽温度的驟然降低有發生事故的危險，也需要立即停机。

直流式鍋爐基本上正是用組織鍋爐内部过程来求得稳定的汽温。在汽鼓式鍋爐中要維持过热蒸汽温度不变是比較容易的事，但是在这些鍋爐中調节过热蒸汽温度所用的方法，在大多数情况下与鍋爐内部过程的組織有关(用噴射凝結水冷却蒸汽或在表面

式蒸汽冷却器中冷却蒸汽)。

蒸汽的清潔对于增加汽机工作的持久性，以及使汽机裝置維持較高的經濟性方面，具有特別重要的意义。100 千瓩容量的近代化汽机，每年約流过 3 百万吨蒸汽。每公斤蒸汽的含鹽是以千分之几的公絲来測定的，即使蒸汽的含鹽有很少一点沉落在汽輪机中，一年內汽机叶片上沉淀的鹽类也將有几十公斤。結果高压汽机叶片間的流通截面便縮小很多，叶片的形狀便会改变，于是使汽机發出的容量降低并使設備的經濟性減小。由于沉淀有鹽类，必須对汽机进行清洗，同时当沉淀有难溶解的硅酸鹽时，还必须对叶片及噴管进行机械清理。如果汽机的清洗只是在減低部分負荷下較短的时间內（不超过 2—3 小时）进行，那么在机械清理时至少要使汽机停止好几天。

实际上，鍋爐机組的热經濟几乎同鍋爐內部过程的組織無關。提高蒸汽参数是增加电厂經濟性的最重要方法。采用高压力高初温和利用二次过热蒸汽是提高蒸汽动力循环經濟性的最重要方法。实际上，如果初温的提高，基本上决定于生产耐热的同时价格不太貴的鋼料冶金技术能否發展，那么提高蒸汽压力的限度便基本上决定于能否克服組織鍋爐內部过程的許多困难。

随着压力的增高(当然蒸發的温度也高)，鍋爐水制度的組織便复杂很多，因为当温度增高时水垢生成物的溶解度大为降低，而且腐蝕过程也加强。

当压力提高时获得清潔蒸汽的問題也复杂起来，一方面由于蒸汽由水中分离大为困难，另一方面由于在高压蒸汽中硅酸有显著的溶解性。

在超高压的情况下，蒸汽中也会溶解有許多鈉和鈣鹽，这样，在高压和超高压条件下，进入汽机的鹽質不仅是蒸汽携帶水分中所含的鹽类，而且也有被蒸汽直接携帶的分子狀鹽类。

由上述可見，深入地了解鍋爐內部过程的實質，是掌握高参数蒸汽，因而也就是提高蒸汽动力裝置的經濟性所必須的最重要条件之一。

在鍋爐機組的液体和蒸汽系統中所進行的個別現象的綜合，總稱為“鍋爐內部過程”。鍋爐內部過程是下述諸問題的複雜配合：熱交換和流體力學過程，與給水和爐水所含混雜物性質有關的許多物理-化學過程，以及水和蒸汽對鍋爐受熱面和給水管路金屬的作用。這裡所述每一種過程單獨說來也是很複雜的。例如在近代鍋爐機組的管子中，流體的流動為兩相流動（蒸汽和水），這種兩相流動在流體力學中很少研究過。鍋爐蒸發段中的熱交換也是很複雜的，而且是以以前較少研究的物態變化時的放熱過程。最後物理化學過程會引起高溫條件下的腐蝕現象，以及促進金屬與由溶液中放出的氣體間，及金屬與水中物質的溶液本身間的相互作用。這些溶液的特點是其濃度變動範圍很大——由很少一點（1 公斤水中不到 1 毫克的鹽）到很多（在 1 公斤水中有幾千和幾萬毫克的鹽）。同時，水中含有各式各樣的混雜物。在水中除了有幾乎完全離解的鹽類和鹽基類之外，還有弱酸和有機化合物的分子，以及顆粒較大的膠體質點和懸浮分散狀態的泥渣顆粒。當溶液在生成蒸汽過程中蒸發時，這些物質可能有一部分形成水垢，並且水垢生成的過程是在受熱面和鍋爐水之間有強烈熱交換的情況下進行的。鹽類在飽和蒸汽和過熱蒸汽中的溶解過程特別複雜而且很少研究過。

根據最近 20—25 年來蘇聯對鍋爐內部過程所進行的研究結果，制訂了鍋爐汽水系統中工質循環的近代計算方法，因而已能使蘇聯的設計師們創制高度可靠的鍋爐機組。這種鍋爐機組幾乎不再發生循環事故。但是對於許多外國設計的鍋爐來說，在長時期內以至到目前還仍然常有循環事故發生。

正確的循環計算方法的發展以及對決定鍋爐機組可靠工作的許多因素的闡明，使我國鍋爐製造工業所製造的鍋爐類型，在燃用很低級的燃料以及水制度很壞時（對於用大量化學淨潔水作補充水的電廠），仍能安全可靠的工作。蘇聯研究人員擬制了在鍋爐排污水含鹽濃度很高的情況下，得到含鹽量非常低的蒸汽的方法。

最後，由於建立了基本內部過程進行方式的明晰概念，已使

苏联研究家們能够拟定許多方法，改正循环、分离和水制度的缺点，使能在最省力和最省時間的情况下消除鍋爐内部过程进行中所發生的不正常情况。

在資本主义国家，由于只是用純經驗方法解决这些問題，而且又缺乏系統的綜合研究，类似缺点的消除往往要延緩許多年。

在世界的热工学中，研究鍋爐内部过程的苏維埃学派，佔有首要的地位，这不仅是由于这个学派所用的特殊方法是优越的，而且也是由于最近十年来苏联累积的大量实际資料，这些資料比所有外国工程論文中所公佈的研究要多得多。

在研究鍋爐内部过程时，不可能只限于在試驗室的情况下对其組成部分进行研究，或者只是在实际大蒸發量鍋爐机組中对所有这些过程的綜合現象进行观察。而且必須要將下述两种互相配合：第一种为在特种試驗室裝置上，能够使用近代物理化学試驗的精確方法，对各別組成鍋爐内部过程的基本規律进行研究；第二种为在过程进行的情况接近大蒸發量鍋爐机組中所进行的情况的半工業性試驗台中进行研究。同时在电厂的鍋爐机組中必須进行类似的研究，使能全面地考虑到在运行条件下鍋爐内部过程进行中的一切复杂的綜合現象。

这三种基本研究方法的配合是研究鍋爐内部过程的苏維埃学系所采用的标准方法。这一学系的發展特点就是不仅在鍋爐和半工業性試驗台上由各別过程的研究轉入对这些过程的总和进行綜合研究，而且也同样在純試驗室条件下进行这种研究。例如就沸騰管中鹽类沉淀的研究來說，如果說到現在为止外国研究家們仍限于固态分离的物理化学过程的研究，則苏联研究家們在研究这一过程中，总的考虑了管壁上發生各种不同鹽类沉淀的管子中热交换情况和汽水混合物的流动特性。

苏联研究的其他特点是广泛地使用了最新的物理試驗方法。例如，在研究水垢形成过程中使用了电子显微鏡、 x 光、热自动記錄和結晶光学的方法；对于蒸汽品質和水处理过程的研究，广泛地使用离子交換過濾器濃縮試样、染色綜合物吸收等方法。

放射性同位素的使用方法特別迅速地發展了，這種方法可以將任何其他研究方法所不能發現的微量混雜物作出定量的測定，並且能夠不用測量儀器，不用取出樣品而確定鍋爐各部分內部所發生的過程。

有計劃地安排研究工作使之系統化並採用近代化試驗方法，是蘇聯鍋爐內部過程研究學派得到如此迅速發展的根源，以致在最近幾十年來幾乎使這方面的所有基本問題都發生了根本的改變。

第二章 受熱面金屬的工作情況

2-1. 總 論

只有當受熱牆壁的温度不超過製造容器所用金屬的許可温度時，才能保證受熱面工作的安全和持久。受熱面牆壁內面的温度 $t_{en.cm}^{\circ}\text{C}$ 一般比冷卻牆壁的工質温度 $t_{p.m}^{\circ}\text{C}$ 要高 $\Delta t^{\circ}\text{C}$ ，熱負荷 q 千卡/公尺²·小時越高，由牆壁向受熱介質的放熱系數 α_2 千卡/公尺²·小時· $^{\circ}\text{C}$ 越低，內部污垢層 $\delta_{en.s}$ 公尺越厚，以及污垢層傳熱率 $\lambda_{en.s}$ 千卡/公尺·小時· $^{\circ}\text{C}$ 越低時，則温度差 $\Delta t^{\circ}\text{C}$ 越大。這些數值間的關係近似地用公式表示為：

$$t_{en.cm} = t_{p.m} + \Delta t = t_{p.m} + q \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{en.s}}{\lambda_{en.s}} \right)^{\circ}\text{C}. \quad (2-1)$$

這裡冷卻金屬的工質的温度決定於鍋爐機組的工作參數。

鍋爐內部過程的正確組織便在於使牆壁温度儘可能地接近於工質温度，同時牆壁温度不應超過該種金屬在相應應力下的許可温度值。

由公式(2-1)可知，對於現代鍋爐機組說來，由於蒸汽參數提高而將工質温度提高，以及由於熱負荷的增大，而使這問題更為複雜了。對於低壓及小蒸發量的鍋爐機組，即便沒有適當組織鍋爐內部過程也能保證安全可靠工作，然而在使用大型中壓鍋爐時

就必須特別注意鍋爐內部過程的組織問題。

例如，在低压鍋爐的蒸汽過熱器中，過熱蒸汽的溫度為 375°C ，此即比碳素鋼所能承受的溫度 (500°C) 低得多。在這種情況下，就是考慮到蒸汽過熱器個別蛇形管中不可避免的汽溫不均現象，還是能夠許可在管壁與冷卻介質之間有相當大的溫度差的。

當在個別蛇形管中蒸汽溫度差為 $\pm(20-25)^{\circ}\text{C}$ 時，蒸汽的最高溫度可能等於 400°C 。因為低压鍋爐蒸汽過熱器的熱負荷不大 ($q \approx 15\,000$ 千卡/公尺²·小時)，即使由管壁到蒸汽的放熱系數非常低 (150 千卡/公尺²·小時· $^{\circ}\text{C}$)。還是能保證金屬的安全工作。

在中压鍋爐機組的蒸汽過熱器中，過熱蒸汽的溫度為 450°C ，同時熱負荷 q 達到 $25\,000-30\,000$ 千卡/公尺²·小時。在這種情況下，為了使金屬溫度不超過碳素鋼的許可限度（考慮到在個別蛇形管中蒸汽溫度的差別），必須使由牆壁到蒸汽的放熱系數 α_2 的數值在 $800-1000$ 千卡/公尺²·小時· $^{\circ}\text{C}$ 的範圍中，為此需要保證在蒸汽過熱器的蛇形管中有相當大的蒸汽流速。

對高压及超高压蒸汽，當鍋爐內部過程的組織不夠精確時，鍋爐機組的運行一般是不可能的。

這樣，為了保證高压及超高压受熱面金屬的安全工作，鍋爐內部過程的正確組織便具有決定性的意義，因為正是這些過程表明由牆壁帶走熱量的強度和牆壁的冷卻。

應當考慮到，現代鍋爐機組的受熱面是由許多具有不同熱負荷及不同液體流動特性的併列工作的管子組成。對於受熱面管壁金屬，不僅應當保證全部受熱面的平均溫度要在許可溫度範圍內，而且對任何個別蛇形管，包括處在最不利情況下的蛇形管在內，均應保證不超過許可溫度。

因此，必須將由併列裝置的蛇形管排出的冷卻介質的溫度（熱含量差）消除或者縮減到最小，也就是說使各個蛇形管中工質熱含量的增加值劃一。任何蛇形管中的熱含量增加值與全部受熱面熱含量的平均增加值之比，可以用來確定所謂熱偏差

$$\chi = \left(\frac{\Delta i}{\Delta i_{cp}} - 1 \right) 100\%. \quad (2-2)$$

自然， χ 的数值可能有正值及负值，但只有是正值时才是危险的，因为只有在这种情况下该蛇形管壁的温度才会高于许可温度。

根据金属工作的条件，总能定出工质的最大许可温度，因之也就能定出其热含量的最大许可增加值。与此相应的热偏差称为许可热偏差，

$$\chi_{don} = \left(\frac{\Delta i_{max}}{\Delta i_{cp}} - 1 \right) 100\%. \quad (2-2a)$$

任何蛇形管的热偏差值不应超过许可值。

虽然对所有受热面说来发生热偏差的原因是一样的，但对个别受热面要用不同的方法求得许可热偏差值，并且要在检查每一部分受热面时来确定。

热含量的增加值与蛇形管的热负荷成比例，与通过管子冷却金属的工质的数量成反比，即

$$\Delta i_g = A \frac{Q_g}{D_g} \text{ 千卡/公斤}, \quad (2-3)$$

式中 A ——比例系数；

Δi_g ——热含量的增加值，千卡/公斤；

Q_g ——热负荷，千卡/小时；

D_g ——工质流量，公斤/小时。

全部受热面的含热量平均增加值

$$\Delta i_{cp} = A \frac{Q_{cp}}{D_{cp}} \text{ 千卡/公斤}. \quad (2-3a)$$

由此知一个蛇形管的热偏差等于：

$$\chi = \left(\frac{\Delta i_g}{\Delta i_{cp}} - 1 \right) 100\% = \left(\frac{Q_g D_{cp}}{Q_{cp} D_g} - 1 \right) 100\%, \quad (2-4)$$

也就是说热偏差或者是由于热的不一致 $\frac{Q_g}{Q_{cp}} \neq 1$ ，或者是由于液