

北京图书馆藏

N 8064

中文资料

电 站 锅 炉

鍋 內 译 丛

电 站 锅 炉 行 业 联 合 情 报 组

武 汉 锅 炉 厂

1975年10月

编 者 前 言

本着毛主席关于“洋为中用”的教导，我们选编了这本“锅内译丛”。目的是借鉴国外锅炉技术方面的经验，以期对我们电站锅炉的设计、制造和运行，有所补益。

直流锅炉是近年来世界各国发展大型机组普遍采用的锅内型式，直流锅炉中锅内方面的一个基本问题是强烈受热的下辐射区安全问题，而这又与其管圈结构型式及其水动力学性质有关，在很大的程度上炉膛水冷壁的运行可靠性决定着整套锅炉的安全投运，国外在这方面的试验研究工作是不不少的，我们只能选译一部份。

屏式受热面的安全性问题，也是近年来大型锅炉中经常碰到的一个重点问题。原因是屏直接悬吊在炉膛出口处，它对炉内工况的变异感受最敏感。屏区的热负荷不均，再加上水力不均和其多值特性，是造成事故的根源。这方面的资料我们也收集了几篇。苏联 TПП—110 锅炉屏的事故及处理经过，颇带有某种典型性。研究这些经验，将可引为借鉴。

关于汽包锅炉中提高汽水分离装置的效能，减小旋风筒阻力，缩小汽包直径等问题，在大容量高参数锅炉中亦需认真研究。本文所选的几篇文章可资参考。

限于时间和我们的工作能力有限，在选题、编译上定会有一些问题。敬请读者指正。

武 汉 锅 炉 厂



A 842093

目 录

关于超临界压力锅炉中多值水动力特性的上升下降管圈水冷壁的可靠性·····	(1)
超临界压力直流锅炉组件中多值水动力特性的稳定性问题·····	(9)
直流锅炉U形管圈中流体的稳定性·····	(13)
超临界压力锅炉蒸发段的水动力特性·····	(21)
并列蒸发管系流量分配和流体稳定性的研究·····	(33)
受热蒸发管两相流体的压力损失·····	(47)
论避免蒸发管出现临界管壁温度问题·····	(57)
平行水平蒸发管系中流体稳定性边界之确定·····	(68)
垂直平行受热管圈中的流体稳定性·····	(72)
超临界压力锅炉水冷壁中的计算水力偏差与热力偏差·····	(77)
热力水力偏差及其对直流锅炉可靠性的影响·····	(83)
热力水力偏差条件下平行蒸发管受热面管子的金属温度·····	(90)
TΠΠ—110锅炉屏式过热器中流动稳定性的破坏·····	(97)
TΠΠ—110锅炉屏式过热器中工质运动稳定性条件的分析·····	(105)
关于带有蒸汽清洗装置的大容量锅炉机组缩小汽包直径的可能性·····	(113)
压力 155公斤/厘米 ² 汽包锅炉清洗分离装置的效能·····	(118)
带有汽泡穿层装置的锅炉以高含盐量及超临界含盐量锅水运行的可能性·····	(124)
关于带有汽泡穿层分离装置的小直径锅炉汽包	
在以高含盐量锅水运行时的极限负荷·····	(130)
小阻力的锅内旋风筒·····	(138)

关于超临界压力锅炉中多值水动力特性的 的上升下降管圈水冷壁的可靠性*

〔提要〕研究了保证工质在多值区运动的稳定性条件，给出在超临界压力锅炉中，具有多值水动力特性曲线的水冷壁运行试验分析，并对多值水动力特性水冷壁中的流量选择作了推荐。

在苏联、美国、西德等国发展超临界参数大型机组的初期，锅炉水冷壁受热面的管圈布置型式有好几种：一次上升管圈、上升下降管圈以及水平上升管圈等。此外，在专门的工业性试验机组上（如ΠK—30，ΠK—37）也还装有一次下降管圈和各种复杂结构形式的上升下降运动管圈。迄今为止，已经积累了相当的一批试验研究运行资料，从这些资料的分析中，有可能来对各种类型管圈布置的运行可靠性问题进行评判。如果说一次垂直上升管圈的优点是无可争议的话，那么在鉴定其他种类型（如上升下降管圈）系统时，就有必要先分析一下现有的一些试验研究资料。

大家知道：所谓水动力特性的多值性是指 $\Delta P = f(WP)$ 这个函数关系式在 $i_H = \text{const}$ （即入口焓、译者）及 $q = \text{const}$ 时，管圈回路中的管子在设计结构上全相同，并且受热相同，对应于同一个压差值下，介质的流量或方向表现出很大差异，图(1)中列出三种水动力特性多值性的基本形式，管圈简图及其相应的特性曲线见图。

图(1)上升下降回路的多值水动力特性。

a) 下部联箱的Π形管圈及多程Π形管圈，0—1和5—6单值流量区。1—5多值流量区。2、3——特性曲线的最大值点与最小值点。

б) 上部联箱的U形管圈及多程U形管圈，5—6单值流量区，0—5（可能是1—5译者）多值流量区，2、3——最大值点与最小值点。

в) 一次下降管圈，5—6，1—5，2、3意义

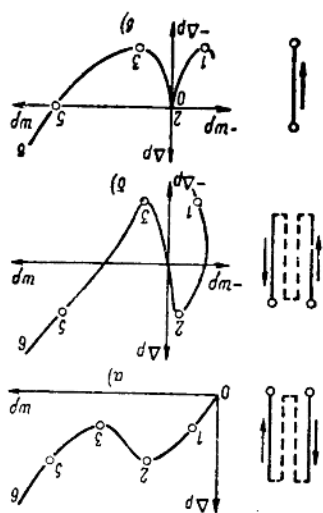


图 1

*编者按：关于上升下降垂直管圈的水动力特性多值性的问题不仅为超临界压力下所特有，在亚临界压力下亦有此问题，因两者具有同一物理本质——工质比重的急剧变化，此比重差造成附加的水准压头，由于此水准压头的作用在一定的条件下不能使工质速度增加并且还使管圈中的总压差下降，如同未加装带流孔圈的水平管圈一样。

同6), 1—2——第一分支; 2—3——第二分支; 3—6——第三分支。

在增大入口焓, 受热负荷及介质行程数量时, 多值性的区段减小, 并且对于每一种特定结构型式的管圈, 当这些参数取一定数值时, 其特性即变为单值性的。能否求出在多值范围内的的工作点, 实质上是决定着上升下降管圈是否能被采用的问题, 因为在这个范围以外, 介质的速度积高, 以致实际上不可能采用, 因此多值水动力特性回路水力学研究的任务, 首先就应当是着手解决在多值区内回路工作的可能性问题, 并求出其安全运行的边界。

ЛКТМ对U形Π形管圈在模型上所作的研究[文1、2], 在ТПП—110 锅炉上屏式过热器的研究[文3]和ПК—30试验锅炉[文4]上各种管圈的研究表明:

1. 在所有多值水动力特性的第三支(多值区以外)上, (图(1)中3—6区段)在每根管子中都能保持流量相同的稳定流动。当在回路中的流量小于相应的水动力特性的最小值时(图(1)点3), 特性的单值性就得不到保证了, 这时某些个别管子中的流量将相对应于特性曲线上三个分支中的某一—支的流量。

2. 在受热不均及管圈中管子结构不全相同的条件下, (这种情况在实际锅炉的水冷壁管圈中是常可碰到的) 流动的稳定性取决于产生偏差的那根管子水力特性, 特别不利的是偏差管的特性曲线中的最小值高于整个回路特性曲线的最小值(图2)时, 例如受热积强、高度小、及在某些情况下沿管圈行程受热不均。这时, 当到达偏差管特性曲线的最小值时(图2中点3'), 即在整个回路特性的点4处, 即可发生偏差管特性曲线向第一分支的“跳跃”(点1'), 这时对于Π形回路则对应于很低的流速, 而对于U形回路则对应于介质的反向运动。在实际的锅炉运行条件下, 最重要的是第二类稳定性破

图(2)回路的多值特性曲线和偏差管的

多值特性曲线。a—带下部联箱, б—带上

部联箱; I——回路, II——偏差管;

1—6见图(1), 4——相应于偏差管特性曲

线上最小值之在第三分支上的点, 1'—6'

—偏差管上的点。

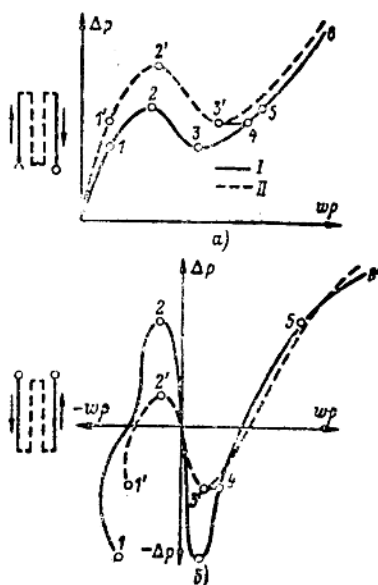


图 2

坏形式，因此多值特性回路可靠性的边界取决于那根具有最高最低限值的偏差管特性曲线，而相应于偏差管的 ΔP_{a} 条件下，在管圈中介质的平均速度与（图2中点4对应）可为可靠性边界的另一种表现形式。此种给出稳定性边界的办法是较为合理的，因为通过此边界产生的过渡是不允许的，那么安全性的裕度范围应选为：在所有可能的，甚至在不常见的流量偏差和热流偏斜情况下，都应当保证所有的平行管系都对应于特性曲线的第三分支。

ВТИ和ОРГРЭС在对ТПП—110锅炉的屏式过热器研究[文5、6及C形管圈模型研究[文9、10的基础上也曾得出了类似的结论。

为了决定能否在特性的多值区内工作并衡量可靠性的裕度范围，应当先来考察一下超临界压力锅炉上升下降管圈受热面的运行经验。这其中遇到的主要困难在于缺乏热不均匀方面的足够可信的数据，因此关于可靠性裕度范围的分析只得按对整个水冷壁回路特性曲线的最低允许速度值之比来考虑，即按 $\frac{W\rho_{\text{max}}}{W\rho_3}$ （图2），而不能按对偏差管之

最小之比 $\frac{W\rho_{\text{max}}}{W\rho_4}$ 考虑，而显然 $\frac{W\rho_{\text{max}}}{W\rho_3} > \frac{W\rho_{\text{max}}}{W\rho_4}$ 。

以下列出超临界压力锅炉中，具有多值特性的上升下降管圈水冷壁的各种布置方案：

①ТПП—110及ПК—39型锅炉的下辐射区。上部入口联箱多程管圈。（ТПП—110—10行程，ПК—39——8行程）

②ТПП—110锅炉的上辐射区及ПК—39锅炉的中辐射区。U形管圈。

③ТПП—110锅炉屏式受热面，U形管圈。

④ПК—30试验锅炉水冷壁，下部联箱的Π形、U形及4行程回路。

⑤ПК—37及ПК—30锅炉水冷壁。一次下降管圈。

⑥ПК—37锅炉的下辐射区。C形管圈。

分析上述受热面的水动力特性表明：当 $W\rho$ 、 i_{H} 、及 q 都同时较低时，其工作点要么就位于特性曲线的单值区；要么就仅在点火时才位于多值区；在额定参数下水动力特性或是单值性的，或是多值性范围不大，并且离工作流量较远。

下表中列出锅炉点火时，表征受热面在多值区运行的数据资料，点火时介质的平均质量速度为相应于特性曲线上最小值的流速（图2中点3）和多值区的上限（图2中点5）以及其安全裕度。（可表示为点火时的质速与特性曲线上最小值时的质速之比，即 $\frac{W\rho_{\text{max}}}{W\rho_3}$ ）。由表可见：对上述所考察的各种类型的管圈，在点火工况下，均在特性曲线的第三分支范围内运行，并且其安全裕度基本上为2—5。

ТПП—锅炉及ПК—39锅炉的上辐射区（上部入口联箱、多程管圈）的水动力工况特性对应着单值区，但由于在点火时其工作点离多值区的上限很近，这样，在点火时的某阶段内，当流量减小时，就不能排除这部份受热面变到多值区工作的可能性。

除了通过这些头一批机组上试验所得的一些资料外，受热面的可靠程度，主要的还可由受热面发生的一些事故来分析。在所有多值性管圈发生的事故中，直接相关的有ТПП—110锅炉一级屏式过热器在多值区运行的损坏，由表可见：点火时其中质速很低 $W\rho = 150-200$ 公斤/米²秒，这是由于锅炉本体布置的不对称造成的。此外，还由于有

表：在点火工况下于多值区内受热面运行的特性

受 热 面 名 称	布置形式	点火时 速度 $W_{\rho_{\text{PaCT}}}$	水力特性中 最小值处的 速度 W_{ρ_3}	多值区上限 的速度 W_{ρ_6}	对于水力特 性最小值之 余度 $\frac{W_{\rho_{\text{PaCT}}}}{W_{\rho_3}}$
TΠΠ—110 上辐射区	U形管圈	320	50—100	1200	5
ΠK—39中辐射区	同上	560	50—100	1200	5
TΠΠ—110 I 级 屏	U形管圈	200/300*	10—70	>1200	3/4*
TΠΠ—110 II 级屏	同上	150	10—70	>1100	2
第ⅩⅢ管组	同上	700	10—50	>1000	14
ΠK—30 第Ⅹ管组	Π形管	700	150—200	>1000	8
ΠK—30第Ⅹ 管组	下部联箱4 行程回路	700	200—300	>1000	2
ΠK—30第 V管组	一次下降管圈	1200	100	1200	12
ΠK—37 下辐射区	同上	800	350—400	900—1200	2
KΠ—37 下辐射区	“C”形管圈	800	100	>1000	8

*分子表示屏的设计采用值，而分母表示改装之后的数值。

较短的固定定位连接管的存在以及沿屏的宽度和深度受热不均，特别是在运行初期当喷嘴的运行情况未经调整时，个别管子之间的水动力特性差别很大。

所进行的试验研究表明（文3，5，6）：变到特性曲线第一分支后，运动方向改变的这种情况可在下述情况的管子中发生，即这些管子的特性曲线的最小值大大地高于整个屏的平均特性曲线的最小值时，这即是发生在定位连接管和被烟气正面冲刷的管子中。在点火初期运动方向的改变，在不同的入口水温之下都可以观察到，但主要是在 350—380°C 假相变区的范围内，这与进口介质温度增加时，特性曲线的形式随即改变有关。在较高温度下，如图(3)a可见，显著地减小了特性曲线最低点的压差值，并增大了与此压差相对应的速度值，在这种情况下，当在较低的点火速度下，那怕是不大的一点吸热不均就能导致偏差管中的介质流向发生改变。

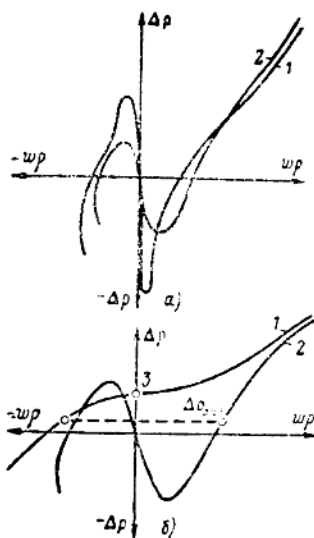


图 3

图(3) ТПП— 锅炉屏式过热器在点火期

间的水力特性。

a) 增大入口介质温度时水力特性的变化情况

况。1—低温工质 2—高温工质。

б) 投入喷嘴后管子水力特性。1—不

受热管子的特性，2—大多数管子的特性曲线。

特别有趣的是这样一种情况：即在火嘴点着火以后，立即往屏中给进冷水时，在屏的某些个别管子中，出现工质的反向运动。出现这种可能的原因是与在点火初期常遇到的屏的所有管子不同时受热相关，而未经调整的喷嘴的运行情况更加加深了屏的受热不均与受热不同时，未经试调的喷嘴其出力相差可达1—1.5倍，由于雾化得不好使火焰达于屏底，或部份地冲刷屏区(文3)，沿屏的宽度及深度方向的受热不均仅与个别燃烧器的运行特性有关，这样，那些在通常条件下受热较强的管子，就可能出现某些受热滞后的现象。而当大部份管子受热以后，且这些管子(对于U形管圈而言)具有如图(3)б.的特性曲线2时，而那些未经强烈受热的管子水力特性曲线将仅仅取决于摩擦损失(曲线1)。因为在ТПП—110锅炉中出口联箱布置得高于进口联箱，故此特性曲线不通过坐标原点，由图(3)б可见，假若在这些条件下，屏中的压差值低于曲线中点3的数值时，那么在受热较弱的管子中就出现了工质的倒流情况，这时最不利的是当集汽联箱布置得位置较高时，因为在此种情况下，甚至是在正压差值时，也可能出现介质的反向流动。

在(文6)中阐明，点火初期介质运动方向的改变与罕见的《热击》密切相关，由于《热击》的结果形成在下行支路中的水有短暂的过热(与上行支路相比)。

在进行了改装(割掉部份管子)以后，即当屏中重速提高到300—350公斤/米²秒，定位连接管也作了改制、并调整了燃烧工况等之后，这时尽管点火时的工作点仍在多值区范围内，但屏的爆管事故停止了。对于水力特性最小值的安全余度此时由3增至4。

在其余的多值特性水冷壁管圈中，要么就是没有发生事故，要么就是与多值特性的范围无关。例如ТПП—110锅炉的上辐射区，爆管的主要原因是由于硬度盐的沉积而过热烧坏；ТПП—110及ПК—39锅炉的下辐射区的损坏是因为在管圈中很大的焓增下，有

较大的热力不均所致。

在ПР-30试验锅炉上所装的具有多值特性的各种类型管圈的四面墙上的水冷壁受热面，一直没发生事故，五年的运行实践中有80次点火启动，及以所作的一些专题试验都证明，这些管圈的运行是完全可靠的。

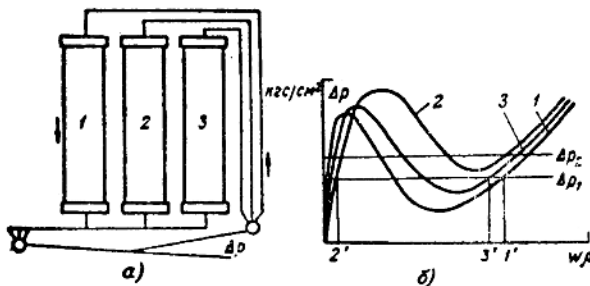
ПР-37锅炉上的一次下降管圈和C形管圈同样也没有发生过事故，按ВТИ的推荐〔文7〕：取点火流量为额定负荷下流量的42%，可保证最不利的下降管圈的最小的安全系数值为1.5—2.0。

美国Philo, Breed, Sporn等电厂锅炉的上升下降管圈也同样有长时间的安 全 运行的经验〔文8〕。

以上所作关于在点火时其工作点在多值区内的上升下降运动各种类型布置管圈的概况分析表明：即使是有极大的热力偏差条件下，当有足够大的安全余度时，无论是在稳定工况或是在变工况下，这些受热面都是完全可靠的。一个特殊的情况是短时间的给水中断，例如在切换给水泵时。在ЦКТИ “U”形管圈试验台上所作的一些专题试验中，入口焓 $in = 200 \div 300$ 大卡/公斤和 $q = 100 - 300$ 瓩/米²时，中断给水1—2分钟之后，所有处在多值区的管子中的介质运动状态都能够恢复到正常流动，并无论是在正压差或是在负压差下运行的管子均如此（图(2)中点2、3之间）。

在ВТИ “C”形管圈模型上的试验中，给水中断了15—60秒以后，才开始恢复正常的运动，并且不论流量是在相应于多值区内，或是在相应于单值区较高的流量之下，都是这样〔文10〕。这说明：上升下降管圈水冷壁的结构不同，在给水中断时，其水动力特性的稳定性亦也相同。看来，此问题尚需进一步研究。但可指出：目前锅炉的运行经验还不能说明多值特性管圈在点火时的可靠性，按给水中断条件论受到哪些因素的限制。

在某些情况下，甚至受热面管圈为单值特性时，由于其外部不受热的导管接法不正确也构成一个多值特性的管圈回路。例如，由图(4)a可见，由具有单值特性的、介质呈



图(4) 无上联箱条件下对垂直上升管圈接入不受热的下降管时之“Π”形回路及其多值水动力特性曲线。

a—回路系统，1—3 并联受热管圈

б—在有热力不均时管圈之水力特性

ΔP_1 ——在流速不高时，回路中的压降，
 ΔP_2 ——保证回路中稳定运动时的压差。1—3 受热程度不同的管圈特性，1'—3'——流速不高时管圈中的介质流量。

上升运动的平行垂直受热管圈组成的水冷壁，当对其接入下降导管时，在不装公共的上联箱条件下，则此种形式的回路即变成多值特性的“Π”形回路。这时，当有热力不均和流速低时，在受热最强的管圈中的流量将对应于多值特性的第一分支，（图(4)6中的管圈2，当回路中的压降为 ΔP_1 时），这就不能保证管子的安全运行了。假若回路的工作点选择在相应于压差为 ΔP_2 时，那么将可在全部三个管圈中，流速相近的情况下保持有稳定可靠的流动状态。30万瓩机组锅炉的水冷壁特性曲线的多值性，正是由于在原锅炉TIII—200型的双面水冷壁的吊挂管中，接入了外部不受热的管子而造成的（文11），同样，TIII—210及TIII—312型锅炉的下辐射区的情况亦是如此。

多值特性的回路也还能在下述情况下形成：即对于串联的上升运动管圈，在具有外部的不受热连接管时，在具有不可控制的支流存在的条件下，也能形成。

由上所述，掌握在多值区内保证受热面管圈安全工作的条件，不仅对于上升下降管圈十分必需，甚至对于所有锅炉的垂直吊挂管屏在点火时无内置分离器时，乃至对于任一种水冷壁系统，当对其连接有大量不受热的连接导管或交叉管而又没有相应布置的中间联箱时，研究这种受热面安全运行的条件，都很有实践意义。

试验台的研究及超临界压力锅炉的运行经验可使我们认为：具有多值特性的上升下降管圈受热面，在多值区运行是完全可能的。保证安全的基本条件是：在充分考虑到热力不均和水力不均的条件下，正确地选择水冷壁管圈的工作点。由前表可以看出：对于回路特性曲线最小值时的速度余度系数等于2—3时，即可保证在适度的热力不均情况下的受热面能安全运行。对于平均速度相应于偏差管特性曲线最小值的压差（图(2)中点）时的安全余度，如现有的试验数据表明可取为等于1.3—1.5，进一步积累运行经验后，此系数还可减小并可按回路型式进行微分。

结 论

1. ЦКТИ的试验台研究和工业性的研究可得出：多值特性曲线的管圈回路中，在其特性曲线的第三分支整个区段上都可保持流体的稳定运动。若流量小于特性曲线的相应最低点之流量以及回路中的工作压差等于或小于产生偏差管的特性曲线的最小值时，运动的单值性即得不到保证了。

2. 国内外多值特性受热面锅炉所积累的运行经验可作出如下结论：在考虑到热力不均及结构不一致的条件下，正确地选择最低允许的重速是完全可以保证在多值区长期运行的。这时，对水冷壁管圈中相应于偏差管特性曲线最小值时的平均重速的安全余度，应取为等于1.3—1.5。对于精确计算尚需进一步积累试验资料。

3. 在设计水冷壁系统时，当接入不受热的导出管和连接管时，必须倍加小心以避免构成多值性回路。在出现此种回路的情况下，则应象对一般多值回路那样，在考虑热偏差及其结构特点的条件下，对其进行计算。

文 献

1. 直流锅炉U形管圈中流体的稳定性《Теплоэнергетика》1963 №11
2. 亚临界和超临界压力下介质上升下降运动的平行蛇形管中流体稳定性研究
《Труды ЦКТИ》1965.№59
3. ТПП—110锅炉受热面热力与水力工况《Труды ЦКТИ》1968.№90
4. 超临界压力上升下降水冷壁运行研究《Теплоэнергетика》1967.№9
5. ТПП—110锅炉屏式过热器中流动稳定性的破坏《Теплоэнергетика》
1966.№5
6. ТПП—110锅炉屏式过热器中工质运动稳定性条件的分析
《Теплоэнергетика》1966.№8
7. 超临界压力直流锅炉组件中多值水力特性的稳定性问题
《Электрические станции》1969.№9
8. 美国临界压力锅炉中的水力系统和水力学组织НИИИ информтяжмаш
3—71—21.1971
9. 超临界压力直流锅炉的受热面组件中动态扰动对流体稳定性之影响
《Теплоэнергетика》1971.№4
10. 超临界压力直流锅炉受热面组件中流体稳定性的试验研究
《Теплоэнергетика》1971.№3
11. 超临界压力直流锅炉受热面各种布置型式的可靠性的某些问题
《Труды ЦКТИ》1968.№90
12. 负压单炉体950吨/时锅炉下辐射区的设计经验。《Энергомашиностроение》
1972.№1

田正渠 译自《Теплоэнергетика》

1973.№1

超临界压力直流锅炉组件中多值水动力特性的稳定性问题

在超临界参数大型直流锅炉的设计和运行中，许多情况下，锅炉机组可靠性的评判，取决于水动力特性的型式——是为单值性或是为多值性。

在一定的条件下（管圈受热面的几何结构形式，热负荷，入口焓等），水动力特性（联箱之间的压降 ΔP 与其间受热面中的介质流量或重量流速 $w\gamma$ 之间的关系曲线）可具有非单值性，即对应于同一压降，在理论上可相应有三种不同的流量。

在具有两个极值点的多值特性曲线上，可以划出四条分枝（图1），当压降大于相应图中 δ' 点时，为1分枝，对应着 ΔP 与 $w\gamma$ 的单值关系。

如ВТИ和 ЦКТИ 的试验台研究所表明：在平行多管系受热面组件均匀受热的条件下，沿多值特性曲线各分枝流量偏差，可在管圈中平均重量流速相应于特性曲线中下行段（3分枝）时出现，即在该段曲线中，有 $\frac{d(\Delta P)}{d(w\gamma)} < 0$ 。

当重速在相应于曲线中4分枝时（几近于零或相应于“倒流”运动），就不能保证正常的管子冷却情况了。

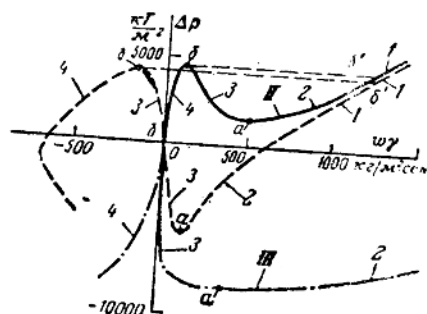
因此，在特性曲线的多值区，其工作段仅可为2分枝，在此段内，其运行稳定性条件论述如下：

在ВТИ试验台中，管子不均匀受热条件下（热负荷异于平均值的管子还附加有电加热，以保证介质参数与放热无关）曾证明：在管圈内发生偏差的个别管子中压降等于或小于图(1)中a点之值时，即转入4分枝之重速区，从而在此区内就不能保证可靠的温度工况了。

由此得出：若要保证管圈的平均重速在相应于2分枝曲线范围内稳定运行，就必须使个别发生热偏差的管子的压降 ΔP 大于图中a点的压降值，并还有一定的压降储备量。

为了评判多值特性组件的运行可靠性，应当考虑到各种动态扰动对于稳定性的影响，这其中影响最大的是给水暂时中断（例如由一台给水泵切换到另一台时）。

试验台研究确定：在多值特性组件中，于2分枝曲线范围内的重速运行的受热面，

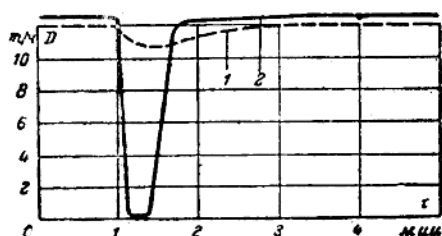


图(1) 水动力特性的型式 I—U型管圈 II—Π型管圈 III—向下流动管圈

当短时中断给水并在给水恢复之后，将会产生多值运行状态，即将会有个别的一些管子转移到4分枝曲线范围内运行。仅仅当给水恢复以后的所有管子的重速均相应于特性曲线中1分枝时，多值状态始告终止。

在超临界压力直流试验锅炉CKД60—ОП上进行的短时中断给水的专题研究表明：

(文1) 在低入口焓的锅炉受热面组件中，在中断给水15—35秒时，流量几乎降到零，而同时在入口焓大于相应最大热容量点的焓 i_{Cp}^{ma} 时，流量仅依给水中断时间下降10—



图(2) 在60—ОП 锅炉中给水中断15秒时，给水流量和蒸汽流量变化图。1. 蒸汽流量 2. 给水流量。

40% (图2)。这样，在低入口焓的受热面组件中，在中断给水时，由于流量降到零，为了评判在特性曲线多值区的稳定性，应该考虑到在个别一些管子中，有可能出现多值状态，即个别一些管子中的流量在相应于4分枝曲线范围内。此种类似的例可在ПК—33 锅炉改装前的吊挂管系统中见到。(文2)

因此，在多值特性的受热面组件中，当考虑到如给水中断这样一些动态干扰时，其特性的稳定性在实际的运行工况下，与进口焓 i_{ax} 密切相关，故应区分以下两种情况， $i_{ax} > i_{Cp}^{max}$ 及 $i_{ax} < i_{Cp}^{max}$ 两

种，分别在这两种情况下加以评定。

在点火工况之下，当处于额定负荷时具有很大入口焓的汽水通道受热面组件（该时则有单值特性），则在很低的入口焓及很低的热负荷之下运行，那么就将出现多值状态，其稳定性应特殊考虑。

由工业性调整试验资料得出(文3)：在点火工况下，热负荷沿炉膛高度的分布和正常运行工况下相比是具有很大的不均匀的，在过热器受热面区内，温度水平是很低的，这特别影响到这些受热面的多值特性曲线，因这时点 $a(\Delta P_{min})$ 的位置移到低重速区去了(文4)。

考虑到点火工况短暂和不连续性，并且对于许多受热面组件来说，在点火工况下都处在较低的温度水平之下，鉴定其稳定性时可以勿须考虑如给水中断的这一类动态干扰。在这种情况下，为保证其稳定性应从发生热偏差的管子之特性与整个组件之特性两者的差别如吸热的不均匀性、结构上的不一致等出发，来定出通过整个组件的最小允许的流量。锅炉点火时的给水流量应按在受到限制的组件中的最小允许流量来求出，对该组件而言，此数值具有最大值。

$$(W\gamma_{PACT}) = m(W\gamma_{min})$$

量 $W\gamma_{min}$ 按组件的多值特性曲线之2分枝，在压降相应于产生偏差之管子的特性曲线上的a点处求得。(图3) 储备系数 m 考虑到可能出现的流体波动及热负荷偏差。

图(3) ПК—37 锅炉下辐射区下行管圈的水动力图。I—对于 $i_{BX}=400$ 大卡/公斤和 $q=10 \times 10^6$ 卡/米²时管圈的水动力特性。II—在热力不均系数为2和结构的水阻力不一致系数为1.2时的管子的特性曲线。

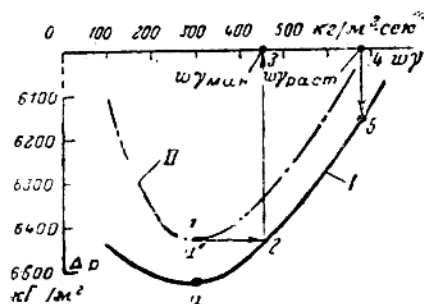


图 3

对于倒装的ПК—37锅炉，蒸发量 $D=196$ 公斤/秒（710吨/时）， $t_{\text{пр}}=655/565^{\circ}\text{C}$ $P=31\text{MN}/\text{m}^2$ （315公斤/厘米²），计算分析表明：受到限制的组件是下辐射区第一行程的下行管圈。

按ВТИ—300联合试调组的初步试验结果：在点火时，下辐射区下行管圈的热负荷，随点火方法及点火燃料（煤粉重油混烧或单烧重油）的不同，而有如下值：

方案1： $i_{BX}=1250$ 千焦/公斤（300大卡/公斤）

$q=8.7$ 千瓦/米²（ 7.5×10^6 卡/米²时）

$i_{BX}=400$ 大卡/公斤 $q=12 \times 10^6$ 卡/米²时

$i_{BX}=500$ 大卡/公斤 $q=15 \times 10^6$ 卡/米²时

方案2： $i_{BX}=300$ 大卡/公斤， $q=5 \times 10^6$ 卡/米²时

$i_{BX}=400$ 大卡/公斤， $q=7.5 \times 10^6$ 卡/米²时

$i_{BX}=500$ 大卡/公斤， $q=14.5 \times 10^6$ 卡/米²时

图4中用图解标出下辐射区第一行程（前墙）在两种储备系数 m 下点火时重速与额定工况下重速之比随入口焓的变化关系。

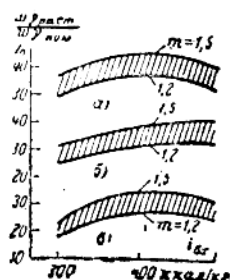


图4 ПК—37 锅炉下辐射区下行管圈中重速与入口焓的变化曲线。a—热负荷 $7.5-15 \times 10^6$ 卡/米²时
б 5— 14.5×10^6 卡/米²时
в 2— 8.5×10^6 卡/米²时

（曲线a——对于方案1，曲线б——对于方案2）

相对的点火重速及其随入口焓的变化关系曲线与点火时的热负荷有关。如若在更低的热负荷之下（自 2×10^6 卡/米²时 $i_{BX}=300$ 大卡/公斤，至 8.5×10^6 卡/米²时 $i_{BX}=500$ 大卡/公斤）则由图4可见即对应着曲线в。

按现有的工业性试验资料，系数 m 对点火工况应取为等于1.5。

在正常运行工况下，当入口焓小于相应于大热容区内之焓时，受热面组件在多值区（2分枝）运行仅在较低的热负荷（接近于点火时的热负荷）下才允许。为

保证通过受热面组件的流量的稳定性不仅应保证将 $W\gamma_{\min}$ 值提高(储备系数1,3),但在短时中断给水的情况下,给水中断恢复以后的流量应使受热面组件中的全部管子均移至单值区运行。因此,应保证恢复以后的流量相应于特性曲线1分枝内,并随后平滑地降至其原始流量。

这样一来,组件和管子水动力特性应按下法作出:

求出压差极值点 $\Delta p_{\max}$,按此点之纵坐标对应于特性曲线右分枝上一点 δ' ,以 δ' 为所求曲线之起点, δ' 点以右之曲线即为所求。

对于入口焓大于相变点之组件,在给定结构条件下,评判其特性的稳定性可归结为如评判点火工况下的稳定性一样,应求出通过受到限制的组件的介质最小允许流量,从而定出锅炉的最小允许负荷。此时,最小允许流量将通过以下重速来决定:

$$W\gamma = km' W\gamma_{\min}$$

附加系数 k 考虑到在短时中断给水时,汽水通道中最大热容点后介质重量流量的减小,此系数 k 值与给水中断时间有关。从目前现有的关于给水中断时间的数据资料来看, k 值可取为1.3—1.4。系数 m' 是考虑到比点火工况下还要更易于稳定些之工况稳定系数,应取为 $m' = 1.2 \div 1.3$ 。

文 献

1. 超临界参数直流锅炉中过渡过程研究《Теплоэнергетика》1963№4
2. ПК—33—83СП直流锅炉吊挂管系统的改装《Электрические станции》1963№4
3. ТПП—110锅炉屏过热器中运动稳定性条件分析《Теплоэнергетика》1966№8
4. 超临界参数直流锅炉受热面之水动力特性《Электрические станции》1965№4

田正渠 译自《Электрические станции》1969 №9

直流锅炉U形管圈中流体的稳定性

〔摘要〕本文列举了当压力为140、180和230个绝对大气压、进口给水焓为200—400大卡/公斤，热负荷为30—150.10³大卡/米²·小时，直流锅炉U形管圈模型上流体运动稳定性的试验研究结果。

试验是在两种模型上进行的：小模型由6根并联的管子组成， $d_{BH}=10$ 毫米，高3.43米；大模型由3根管子组成， $d_{BH}=20$ 毫米，高13.64米。小模型采用蒸汽加热，大模型采用蒸汽和电联合加热。

小模型的示意图见图1。从图上可以看出，该装置是由6根通过总管并联的套管式热交换器组成，其内腔就是我们要研究的对象。过热蒸汽是从环形间隙进入加热，由节流孔板1保证蒸汽均匀地分配到热交换器中。流体在热交换器中呈逆流运动。

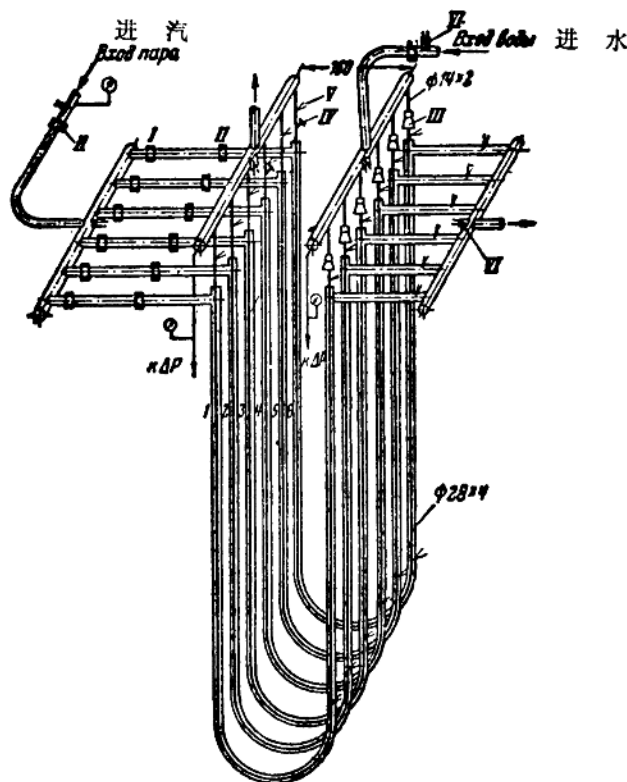


图1 U形管小模型及仪表布置示意图

仪表的安装是既考虑到对整个装置,又考虑到对单个蛇形管可实行质量和热量监督的。采用了孔板Ⅱ文丘里管Ⅲ和ЦКТИ芯管Ⅳ作为测量流量的一次仪表。最重要的流量测量是由双波段伸缩筒式差压计计录的,并用玻璃差示压力计校核,温度是由热电偶V、Ⅵ测量的。

大模型的系统图和测试方法与小模型相类似,所不同的只是管子采用蒸汽和电联合加热。因为热交换器的长度太长,所以必须采用这种加热方式。

大量的试验是在小模型上进行的。小模型上并联管子的数目多,因此可以更好地研究多管并联工作时的流体稳定性。在大模型上仅进行了校核性的试验,目的是校核试验所得数据在实际管圈上应用的可能性。

小模型上的试验是在下列条件下进行的: $P = 140、180$ 和 230 个绝对大气压,进口给水焓为 $200-400$ 大卡/公斤,管子内表面的热流量为 $q = 30-150 \cdot 10^3$ 大卡/米²小时。换算成炉膛辐射有效受热面的热负荷为 $94-470 \cdot 10^3$ 大卡/米²小时。

大模型上的试验是在 $P = 230$ 个绝对大气压, $q = 50 \cdot 10^3$ 大卡/米²·小时的条件下进行的。

分布在四个象限内的U形管水力特性示如图2。图中的特性是这种回路所特有的。该回路(具有上入口联箱的U形管回路)的水准压头和摩擦阻力反向。图2示出了当压力为140、180和230个绝对大气压, $q = 50 \cdot 10^3$ 大卡/米²·小时和 $i_{\text{BX}} = 300$ 大卡/公斤,小模型上的水力特性计算值如图所示,在试验的压力波动范围内,压力对水力特性曲线影响很小。然而,计算表明:热负荷和进口介质焓对水力特性却有明显的影响。

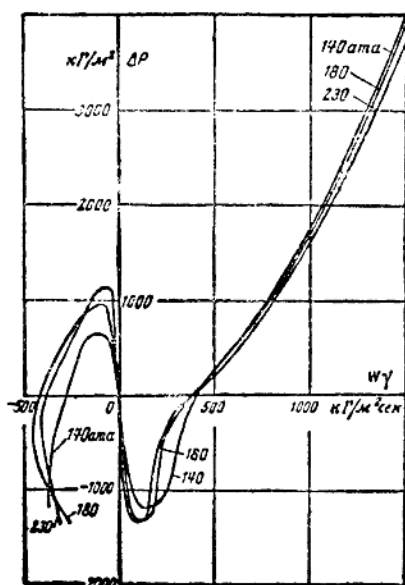


图2 当 $q = 50 \cdot 10^3$ 大卡/米²小时, $t_{\text{BX}} = 285^\circ\text{C}$, 小模型U形管在不同压力下的水力特性图。

在具有此种水力特性时,并联管子中流体运动稳定性的破坏有三种形式:流量脉动,不改变运动方向的流量偏差和某些个别并联蛇形管中流体运动方向发生改变。试验证实存在着这三种破坏形式的可能性。

如果说先前认为在并联的管路中压力和流量脉动只存在于两相介质中,即仅为亚临界压力下所特有,则现在试验证明,在超临界压力下也存在脉动,虽然很少,但其特点与两相介质中的脉动实际并无区别。流量脉动可以分为两种类型。第一种类型存在于 $i_{\text{BX}} > 230$ 大卡/公斤及高热负荷之下,看来与强烈的汽化有关,或者是在超临界压力下临界点附近强烈的汽化作用下。第二种类型的脉动通常发生在流体运动方向发生改变之前,其特点是频率很低,振幅是逐渐加大的。

在试验中还记录了运动方向不变的流量偏差。当在试验时的最小热流量 $q =$