

动力工程中 的耐火材料及炉渣

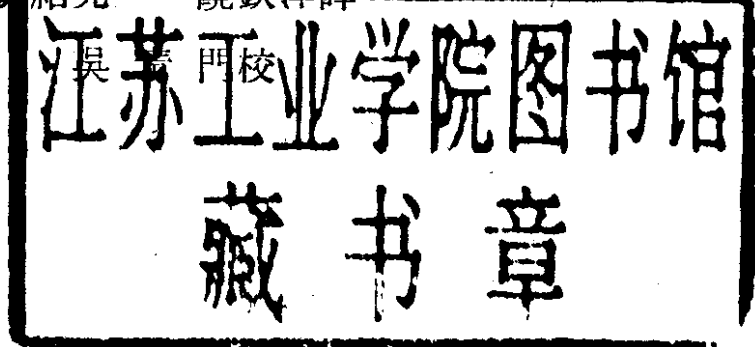
苏联 B.A. 郭鲁布佐夫 И.Я. 查尔金特著

水利电力出版社

动力工程中的 耐火材料及炉渣

苏联 B.A. 郭魯布佐夫 И.Я. 查尔金特著

黃紹元 姚欽祥譯



水利电力出版社

內 容 提 要

· 本书敘述了耐火材料和炉渣在鍋炉燃燒室运行过程中的物理-化学过程。

本书引述了一些有关硅酸盐物理-化学方面的主要資料，这些資料仅在專門的关于造渣和在鍋炉燃燒室內耐火材料的运行文献中才有論述；此外，并介紹了在高溫条件下研究耐火材料和溶渣的方法。

本书适用于工程师、科学工作者，也可作为动力学院学生的补充教材。

В.А. ГОЛУБЦОВ И.Я. ЗАЛКИНД

ОГНЕУПОРЫ И ШЛАКИ В ЭНЕРГЕТИКИ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1953

动力工程中的耐火材料及炉渣

根据苏联国立动力出版社1953年莫斯科版翻譯

黃紹元 饒欽澤譯 吳青門校

*

2718R454

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168 $\frac{1}{2}$ 开本*5 $\frac{1}{2}$ 印張*134千字*定价(第10类)0.91元

1960年3月北京第1版

1960年3月北京第1次印刷(0001—2,680册)

前 言

在战后的年代里，苏联繼續沿着和平发展的道路前进，并逐步由社会主义社会过渡到共产主义社会。

斯大林同志在“苏联社会主义經濟問題”一书中指出，由社会主义社会过渡到共产主义社会所需的基本的先决条件，其中最重要的是保証全部社会生产的不断增长，而生产資料生产的增长要占优先地位。

第十九次党代表大会关于苏联发展的第五个五年（1951～1955年）计划的決議，保証了国民經济各部門的进一步高涨，其中包括居于重要地位之一的动力經濟。

在动力經濟中占很大比重的火力发电厂，于第五个五年計劃內拟定增加鍋炉机組的生产2.7倍。这一决定責成苏联动力工作者全面地研究鍋炉机組。然而热能动力工程中的問題之一，是燃燒室造渣的物理-化学过程和耐火材料的应用，在一般文献中談得較少。

近年来，苏联的耐火材料工业取得了很大的成就，掌握了各种标号的高鋁氧土耐火材料的生产，其中尤其应当提出的是莫来石的熔制品和再結晶剛玉制品的工艺生产。莫来石的熔制品除了具有很高的耐火度以外，还具有很高的密度和机械强度。再結晶剛玉制品本身具有很高的耐火度和接近于金属的强度。掌握塑性鉻矿砂的生产，直接解决了动力工程的需要，由于它具有很多有价值的性能，因此被广泛地采用为带刺的水冷壁管的填充料，減輕了高热应力燃燒室的結構。

在炉牆主要材料的熟料耐火材料生产中的巨大成就，是掌握了各种火磚的压制成型法，这种方法比旧式的制磚法有着很多的优点。

应当指出，虽然耐火材料工业方面有了这些成就，但还很少应用在动力工程中。

现代热能动力工程的特点是广泛地采用粒状除渣的煤粉燃烧室，很少采用炉排燃烧室。为了防止炉墙结焦，在燃烧室四周装有稠密的水冷壁管，这与以前没有水冷壁或水冷壁效力不高的燃烧室相比较已大大减低了炉墙的温度。因此，粒状除渣的燃烧室对于耐火材料的要求也随即降低，仅在个别情况下，例如所谓“燃烧带”处所需的耐火材料例外，相反，要求比过去更为严格。

随着热能动力工程的发展，大型锅炉机组日益广泛地采用液态除渣及旋风燃烧式燃烧室。在这种情况下，必须采用高稳定性的耐火材料，对这种耐火材料要求极高，甚至可与从前没有水冷壁装置的燃烧室相提并论。

在某些特殊燃烧室中，耐火材料在艰难的条件下运行，例如在燃气轮机的燃烧室，关于耐火材料的选择以及衬砖的结构，到目前还没有得到解决。

同样必须指出，小容量的工业用锅炉，一般是用炉排式燃烧室，很少甚至完全没有水冷壁装置。当然，对于这种设备，耐火砌砖的质量问题是有其一定意义的。

本书没有谈到关于各种熔炉所需的耐火材料，因为这与各种熔炉的运行情况及其制造过程有密切的联系，况且也超出了本书作者所拟定的范围。本书仅谈到关于熔炉的热力利用装置——蓄热室、废气余热利用装置、利用废气余热的锅炉——的耐火材料问题。

即使耐火材料问题在目前并不是所有锅炉机组都需要迫切解决，然而结焦问题往往是大部分燃料的严重问题。锅炉受热面的结焦常常成为限制锅炉机组效率提高的一种原因。

关于受热面结焦的原因及其规律，造渣的机构、熔渣的物理-化学性能，以及与炉墙的相互作用过程等问题，到目前还没有足够的研究。必须在物理化学方面具有一定的专门知识，才可较详尽地研究这些问题。本书以简明的方式分析了属于动力工程一

部分的硅酸盐物理化学方面的主要問題，在很大程度上可減輕热力工作者查閱专门資料的麻煩。

熔渣的利用具有国民經济意义。书中也簡短地叙述了在各种工业部門內可能利用燃料熔渣的方法。

苏联学者在这方面作了許多研究工作，但还没有足够地将这些研究出来的方法付諸实行。

本书由于篇幅有限，不可能对这个重要而又很有价值的問題加以詳述，因此作者仅将个别最有价值的問題予以簡要的說明。

本书适用于热力工程方面的技术人員和动力工作者，同时也可作为高等动力学校的教学参考书；此外，关于耐火材料的使用及鍋炉燃燒室結渣过程等某些章节，对于动力工程範圍內的陶业工作者也很适用。

在編写本书时，作者曾遇到一些不容易解决的問題，因此估計一定存在很多的缺点，希望讀者对本书多提意見和要求，以便今后作必要的修改使之成为更有价值的书籍。

本书承技术科学博士H.A.謝勉宁科教授，Л.Н.波魯伯雅林諾夫教授提供了宝貴的意見和許多資料，特致謝意。

作 者

序 言

关于耐火材料及燃料熔渣方面的知识，对具有现代燃烧室的锅炉技术是有很大的意义的。近年来现代锅炉技术正向如何加强燃烧过程的方向发展着。

耐火材料及熔渣，在锅炉燃烧室技术中起着十分重要的作用。关于耐火材料及熔渣问题，通常由从事于陶业方面的专门人员研究。但是由于燃烧室热应力的增加，以及燃烧室温度的提高，这些问题在许多情况下，只有直接参加工作的热工技术人员才能解决。

耐火材料的价值是在于能承受燃烧室内强烈的燃烧，在一般情况下，燃烧室温度愈高，经济效果就愈大。但在很多情况下，耐火衬砖的稳定性成为限制提高燃烧室温度的原因。

在锅炉技术中，随着锅炉机组的单位容量及燃烧室单位负荷的增加，耐火材料问题就成为最有现实意义的问题了。在分层式燃烧的燃烧室中，很难使用低燃烧拱，以及很难防止燃烧室侧面墙壁遭受熔渣的侵蚀。

当改用煤粉作为燃料时，在开始的时候，由于熔渣对衬砖起着强烈的侵蚀作用，耐火材料很快地被耗损；同时在这种情况下，普通的耐火砖根本不能符合燃烧室正常运行的要求，普通耐火砖不能承受熔渣的影响，例如用顿涅茨煤当温度为 $1,350^{\circ}\text{C}$ 时，即受熔渣影响。由于这个情况，便不可能进一步提高燃烧室的热应力，因为这要联系到提高燃烧室的温度。

有水冷壁装置的燃烧室特别给含挥发物较高的燃料解决了耐火材料的问题。水冷壁管的间距愈小，则对衬砖的要求愈低。现在有几种锅炉衬砖的温度仅达 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。

但是装有水冷壁的燃烧室会大大地降低锅炉机组的机动性，

这意味着当負荷显著地低于額定值时稳定燃燒是否可能。此外，在动力經濟方面十分貴重的燃料(无烟煤，頓涅茨瘦煤)在有水冷壁的燃燒室內，由于水冷壁管將火焰剧烈地冷却，而使燃燒极不完全。所以必須將火焰对面一定区域內的水冷壁上盖以耐火材料，这就形成了“燃燒带”。这些燃燒带，是在十分艰难的温度条件下，即在熔渣强烈影响下工作的，因此它們的效用到目前为止还是不够滿意的。

提高燃燒室的热应力和符合总的其他各种运行上的要求，需要采用液态除渣。在这种情况下，耐火材料的工作条件，更为艰难。目前解决这个問題的方法(所謂帶刺的水冷壁)，符合于大量制造的耐火材料的特性。从加强燃燒过程及便于除渣的观点來說，燃燒室內最好具有更高的温度，但目前所采用的耐火材料还不可能达到。

远在1937年，苏联的动力工作者們(B.A.郭魯布佐夫等)为了防止衬磚受熔渣的侵蝕，按“以渣攻渣”的原理作出了建議，利用了这个原理，在許多情况下可以降低液态除渣燃燒室对衬磚的要求。

关于液态除渣燃燒室的进一步发展，使苏联热工工作者創造了高效率的具有液态除渣裝置的ЦКТИ和ВТИ型新式燃燒室結構。

現代的燃燒室結構，着重于燃料是否能达到强烈燃燒。被熔渣复盖的耐火材料所承受的温度愈高，燃燒过程就进行得愈强烈，則燃燒的效果愈經濟。目前砌筑这种型式的燃燒室时，采用了可塑性的鉻矿物，它在长時間处于熔渣的作用下，能承受的温度可达 $1,300 \sim 1,350^{\circ}\text{C}$ 以上。

假使耐火材料能承受較高的温度，則可使燃料的燃燒加剧。燃燒速度与温度之关系曲綫，如图1。

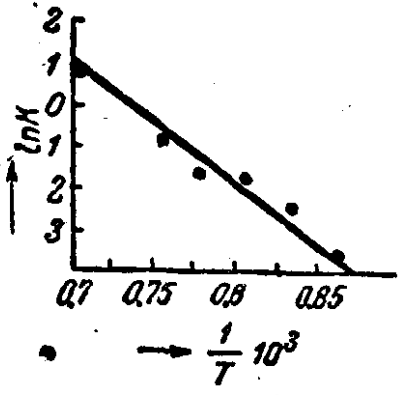


图1 燃燒速度常数与温度之关系曲綫图

近代热工技术正向高热应力的燃燒室裝置方向努力，这在燃气輪机的燃燒室中表現得特別明显。这种燃燒室中的热应力达 1×10^6 大卡/米³①，

① 热应力亦称燃燒室热負荷，其单位应为大卡/米³时。——校者

而煤粉燃燒室的最高熱應力僅 $20\sim 30$ 萬大卡/米²。假使認為選擇供現代煤粉燃燒室用的耐火材料的價格很昂貴，那末選擇供燃氣輪機燃燒室用的衬磚的耐火材料的價格就很低。因為所需耐火材料的數量是不大的。同時因為衬磚要有承受高溫的效果，因此通常用最高貴的特制耐火材料。目前關於燃氣輪機燃燒室所用的衬磚的運行條件的研究遠比鍋爐燃燒室的少，但是，可以確信，以後對於燃氣輪機燃燒室耐火材料的運行條件，尤其用固體燃料的燃氣輪機燃燒室，它的嚴格程度將數倍於鍋爐。由此可見，目前耐火材料在熱工技術中的作用是很大的。

在其他工業部門，耐火材料的意義同樣也很重要，例如在冶金工業中，若提高平爐的溫度 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，就可大大提高生產率，但是因為平爐的爐拱不能在極限溫度下工作，所以不可能提高。若提高玻璃熔爐的溫度，可將熔玻璃的時間減少 $2\sim 4$ 倍，但這也是不成的，因為熔爐衬磚及玻璃熔罐要被熔化的玻璃腐蝕。同樣可以舉出水泥、陶業和國民經濟其他部門的例子。

蘇維埃的技術愈來愈廣泛地採用綜合的方法，也就是把製造工藝和動力裝置妥善地結合起來，甚至往往很難區分動力和製造之間熱力機組的界限；例如，冶金爐和其他熔爐的廢氣余熱的利用，也部分地作為動力工業的相應的裝置。本書內提到關於製造工藝方面熔爐的熱力利用裝置的衬磚問題，這些廢熱利用裝置如蓄熱室、廢氣余熱利用裝置和利用廢氣余熱的鍋爐。這裡我們不談純屬於製造方面的熔爐。關於製造工藝方面的熔爐設備所使用的耐火材料，其性質和使用問題，在其他文獻內已有很多記載。

選擇耐火材料往往是很複雜的。因為有各種原因使衬磚遭受破壞：由於熔渣的腐蝕，由於溫度應力而開裂，機械磨損以及由於軟化而逐漸變形。無論哪一種破壞原因，都是一個十分複雜的物理-化學過程。

實驗室的試驗方法，不能正確地確定耐火材料對上述各種破壞因素共同作用的抵抗性。另一方面，在現有的生產條件下，也很難從上述原因中確定哪一種因素起了主要破壞作用。往往遇到

这样的情况，即耐火材料的生产者完全不能区分耐火材料由于何种原因遭受破坏，也就很难选择适当的耐火材料。目前制陶工业中已能制造出工作性能指标十分广泛的各种耐火材料，而主要的任务是在于必须准确地和十分详细地决定在技术上的要求。

在过去的五年计划的年代里，苏联的耐火材料工业及科学研究部门已经做了很多工作，因此，在耐火材料的生产方面，苏联是个先进的国家。在这一方面，苏联的学者们作了很多重要的研究：A.A.巴依可夫院士、Д.С.别良金、И.И.布德尼可夫、Д.Н.波鲁伯雅林诺夫教授、С.В.格列鲍夫教授、Г.В.库可列夫教授等，进一步说明了目前耐火材料在高温下所发生的作用，以及提供了构成我们所希望的耐火材料的可能性。

关于燃料熔渣方面的研究，与耐火材料有直接的关系。熔渣本身大多也属于硅酸铝类的化合物，在化学成分、研究方法以及高温下的物理-化学过程等方面，它与耐火材料有很多共同点。除此以外，耐火材料在锅炉燃烧室内的耐久性，主要决定于燃料熔渣在高温下对耐火材料所起的作用。衬砖大约有70%是由于熔渣的腐蚀而被破坏的。如在沒有熔渣的燃气燃烧室，衬砖的使用期限是很长久的。所以研究耐火材料的使用时，同时必须研究熔渣和灰的性质。

燃料熔渣研究不限于熔渣对耐火材料的腐蚀过程，即对此物质本身也具有很大的价值，因为它与燃烧室的运行情况有着密切的关系。燃料的灰即使只有1%时也影响着燃烧室的运行情况，甚至使用液体燃料——重油、石油，其含灰量不超过0.3~0.5%——的燃烧室内，灰也是有影响的。

衬砖除了熔渣腐蚀过程以外，燃料灰分对它的影响是：

- (1) 受热面结焦，即灰分的颗粒沉积在受热面的向火面上；
- (2) 对沿烟气流布置的锅炉机组各受热面产生磨损，以及将吸风机罩和叶轮磨损。

飞灰对于锅炉机组各部分的磨损主要决定于气流状况、机组的结构以及燃料中灰的含量。

受热面的結焦过程主要也同样取决于燃料灰分的物理化学性质、温度状况以及燃燒室的結構。灰分的結焦能力，主要决定于不同温度下灰中所发生的熔化过程。对于鍋炉机組的工作情况来讲，結焦过程的意义是十分重大的。众所周知，目前所謂鍋炉机組的无結焦出力，是决定鍋炉机組生产率的主要极限指标之一。所謂无結焦出力，即蒸汽鍋炉的最大生产率，此时受热面的結焦还没有成为破坏鍋炉机組正常运行的主要作用。一方面由于管子表面上沉积的熔渣增加了对热的阻力，另一方面由于熔渣将烟道部分堵塞，增加了燃燒室烟气通路的阻力并增加了吸风机的負荷，这样通常就急剧降低了鍋炉机組的出力。

要提高鍋炉机組的无結焦出力，燃燒室的負荷以及在鍋炉燃燒室內沉积最大数量的灰分，是发展燃燒室利用液态除渣的原因之一，也就是在高温燃燒室內构成完全熔化的熔渣呈液态排出燃燒室。在这种具有許多純粹热力技术上的优点的燃燒室中，燃燒室本身的状况完全受到所生成熔渣的流动性和粘度指标的限制。所以，这种燃燒室的发展引起了对熔化了了的熔渣粘度的广泛的研究以及提高了对熔渣的該項指标的兴趣。

燃燒室中生成的熔渣和飞灰，往往可用作工业上建筑材料的原料。松散多孔的熔渣可用为混凝土中的填充料。在摻有各种填料的灰浆中加入粉碎的熔渣，常用作胶結材料。有些胶結材料就是从具有收集設備的燃燒室中将得到的細熔渣直接加入填料而制成。

近年来，苏联的研究工作者对于从燃料灰分中提取氧化铝(Al_2O_3)方面的工作有着很大的兴趣。氧化铝是提炼铝的原料。有些熔点很高的灰(莫斯科近郊煤的灰分)已部分地作为耐火材料中的填充料了。

上面所引的例子，并没有詳細論到利用燃料熔渣及灰分的所有可能。

在苏联，对于熔渣問題有很大兴趣，这是由于苏联的燃料政策是为了达到全国各地动力工业发展的目的。从此可見，有必要掌握燃燒具有应有效果的当地燃料(褐煤，泥煤，选矿厂的廢

料等)的技能,通常这些燃料与其他燃料不同,灰分很高。

各种冶金炉被废气带走的和在动力工业中遇到的,属于特殊的熔渣。当利用废气余热时这种带出的熔渣就在运行上起了一系列的麻烦,对于利用废热装置的锅炉,带出的熔渣往往是设备主要的障碍。

要合理解决动力工业中耐火材料和熔渣方面所提出的问题,只有进行硅酸盐的物理化学方面的工作。可惜,热工-动力工作者对这方面的学识还不太熟悉。

在高温下,熔渣和耐火材料中所起的物理-化学过程的特性,在于耐火材料和熔渣,正与大多数的陶瓷材料一样,不是同质的化合物,而是由结晶的和玻璃的部分(相)所构成的各种矿物的非同质混合物。按成分说,耐火材料和熔渣都是非同质的,没有固定的熔点,存在着温度的间隔,在此间隔内,上述材料从开始软化达到全部熔化,就是说,材料中从一种组成成分熔化直到完全熔化,也即所有组成成分转变为液态。所以,把熔点作为一固定点的概念在这里是不适合的。在耐火材料中,物质的结晶状态占绝对优势,在熔渣中,则依温度和组成成分的不同,物质呈结晶状态或呈玻璃状态。受到它们的生产条件限制的这些材料的性质,决定于其中不溶解的结晶化合物所处的结晶的几何形状,同时,这些性质也决定于材料液体部分的粘度。同时根据情况的不同,结晶部分可以溶于液体部分中,而相反地玻璃部分也可从组成成分中析出某种化合物。此过程服从于熟知的所谓“相律”。根据某些化合物和它们的混合物的熔化以及凝结的所有试验资料,就可以作出所谓平衡图。

目前主要由冶金工业部负责对耐火材料作广泛的研究,它们解决的是有关冶金问题。而在其他工业部门正在根据耐火材料和熔渣问题进行专门的工作,例如苏联地区发电厂及线路改进局(ОПТЭО)的陶器实验室负责研究动力工程中使用的耐火材料;燃料熔渣的研究则主要集中在全苏热工研究所、苏联地区发电厂及线路改进局莫斯科动力学院(МЭИ)等部门负责。

目 录

序言

第一章 在高温下耐火材料及熔渣所经受的

物理-化学过程.....12

1. 结晶状态和玻璃状态12
2. 硅酸盐的多相系统22
3. 相律和平衡状态图26

第二章 耐火材料的特性42

1. 耐火材料的性质和技术指标43
2. 耐火材料的分类及各组的特性63

第三章 灰分与燃料熔渣的物理-化学特性

和研究方法.....80

1. 熔渣的成分及其分类82
2. 熔渣自固态过渡到液态过程中的特性及其研究方法85
3. 化学和矿物成分对熔渣可熔性的影响95
4. 熔渣的粘度及其在熔融状态时的特性和研究方法99
5. 炉渣的化学成分对粘度的影响106
6. 锅炉燃烧室在运行时灰和熔渣的性质108

第四章 燃料熔渣与耐火材料的交互作用——

熔渣侵蚀作用.....121

1. 耐火材料和熔渣的化学成分的意义122
2. 耐火材料结构的意义125
3. 熔渣粘度对于熔渣侵蚀过程的影响127
4. 温度对于熔渣侵蚀作用的影响128
5. 抗渣性的测定方法129
6. 各种耐火材料对燃料熔渣的抗渣性能136

第五章 耐火材料在燃烧室内的应用.....137

1. 燃烧带142

2. 混凝土炉衬144
3. 熔渣侵蚀和热开裂的共同作用147
4. 在液体燃料燃烧室内耐火材料的损坏情况148
5. 耐火材料的机械损伤(泥煤燃烧室)149
6. 液态除渣燃烧室的炉衬150
7. 在动力工程中使用耐火材料的特种情况151

第六章 冶金炉热力利用装置中耐火材料的应用

及造渣过程153

1. 平炉蓄热室的造渣及耐火材料的破坏153
2. 废气余热利用装置156
3. 利用废气余热的锅炉的造渣作用157

第七章 燃料炉渣在工业中的利用158

1. 利用燃料的炉渣和灰制造建筑材料159
2. 炉灰在耐火材料工业中的利用162
3. 从燃烧室内流出的熔渣的利用163
4. 利用燃料灰制造氧化铝164

前 言

在战后的年代里，苏联繼續沿着和平发展的道路前进，并逐步由社会主义社会过渡到共产主义社会。

斯大林同志在“苏联社会主义經濟問題”一书中指出，由社会主义社会过渡到共产主义社会所需的基本的先决条件，其中最重要的是保証全部社会生产的不断增长，而生产資料生产的增长要占优先地位。

第十九次党代表大会关于苏联发展的第五个五年（1951～1955年）计划的決議，保証了国民經济各部門的进一步高涨，其中包括居于重要地位之一的动力經濟。

在动力經濟中占很大比重的火力发电厂，于第五个五年計劃內拟定增加鍋炉机組的生产2.7倍。这一决定責成苏联动力工作者全面地研究鍋炉机組。然而热能动力工程中的問題之一，是燃燒室造渣的物理-化学过程和耐火材料的应用，在一般文献中談得較少。

近年来，苏联的耐火材料工业取得了很大的成就，掌握了各种标号的高鋁氧土耐火材料的生产，其中尤其应当提出的是莫来石的熔制品和再結晶剛玉制品的工艺生产。莫来石的熔制品除了具有很高的耐火度以外，还具有很高的密度和机械强度。再結晶剛玉制品本身具有很高的耐火度和接近于金属的强度。掌握塑性鉻矿砂的生产，直接解决了动力工程的需要，由于它具有很多有价值的性能，因此被广泛地采用为带刺的水冷壁管的填充料，減輕了高热应力燃燒室的結構。

在炉牆主要材料的熟料耐火材料生产中的巨大成就，是掌握了各种火磚的压制成型法，这种方法比旧式的制磚法有着很多的优点。

应当指出，虽然耐火材料工业方面有了这些成就，但还很少应用在动力工程中。

现代热能动力工程的特点是广泛地采用粒状除渣的煤粉燃烧室，很少采用炉排燃烧室。为了防止炉墙结焦，在燃烧室四周装有稠密的水冷壁管，这与以前没有水冷壁或水冷壁效力不高的燃烧室相比较已大大减低了炉墙的温度。因此，粒状除渣的燃烧室对于耐火材料的要求也随即降低，仅在个别情况下，例如所谓“燃烧带”处所需的耐火材料例外，相反，要求比过去更为严格。

随着热能动力工程的发展，大型锅炉机组日益广泛地采用液态除渣及旋风燃烧式燃烧室。在这种情况下，必须采用高稳定性的耐火材料，对这种耐火材料要求极高，甚至可与从前没有水冷壁装置的燃烧室相提并论。

在某些特殊燃烧室中，耐火材料在艰难的条件下运行，例如在燃气轮机的燃烧室，关于耐火材料的选择以及衬砖的结构，到目前还没有得到解决。

同样必须指出，小容量的工业用锅炉，一般是用炉排式燃烧室，很少甚至完全没有水冷壁装置。当然，对于这种设备，耐火砌砖的质量问题是有其一定意义的。

本书没有谈到关于各种熔炉所需的耐火材料，因为这与各种熔炉的运行情况及其制造过程有密切的联系，况且也超出了本书作者所拟定的范围。本书仅谈到关于熔炉的热力利用装置——蓄热室、废气余热利用装置、利用废气余热的锅炉——的耐火材料问题。

即使耐火材料问题在目前并不是所有锅炉机组都需要迫切解决，然而结焦问题往往是大部分燃料的严重问题。锅炉受热面的结焦常常成为限制锅炉机组效率提高的一种原因。

关于受热面结焦的原因及其规律，造渣的机构、熔渣的物理-化学性能，以及与炉墙的相互作用过程等问题，到目前还没有足够的研究。必须在物理化学方面具有一定的专门知识，才可较详尽地研究这些问题。本书以简明的方式分析了属于动力工程一

部分的硅酸盐物理化学方面的主要問題，在很大程度上可減輕热力工作者查閱专门資料的麻煩。

熔渣的利用具有国民經济意义。书中也簡短地叙述了在各种工业部門內可能利用燃料熔渣的方法。

苏联学者在这方面作了許多研究工作，但还没有足够地将这些研究出来的方法付諸实行。

本书由于篇幅有限，不可能对这个重要而又很有价值的問題加以詳述，因此作者仅将个别最有价值的問題予以簡要的說明。

本书适用于热力工程方面的技术人員和动力工作者，同时也可作为高等动力学校的教学参考书；此外，关于耐火材料的使用及鍋炉燃燒室結渣过程等某些章节，对于动力工程範圍內的陶业工作者也很适用。

在編写本书时，作者曾遇到一些不容易解决的問題，因此估計一定存在很多的缺点，希望讀者对本书多提意見和要求，以便今后作必要的修改使之成为更有价值的书籍。

本书承技术科学博士H.A.謝勉宁科教授，Л.Н.波魯伯雅林諾夫教授提供了宝貴的意見和許多資料，特致謝意。

作 者