



火力发电厂

炉墙与保温

（原苏联人编） 王公等 译

水利电力出版社

内 容 提 要

本书共分三篇九章，主要论述了炉墙与保温材料的种类、性能及其应用；系统地介绍了炉墙与保温的结构特点、设计要求、热力计算方法、施工工艺及运行维护等问题；对磷酸铝胶凝材料在电厂锅炉上的应用和炉墙与保温体的露天防护也重点的作了介绍。在本书附录中还列有保温层厚度计算表。

本书适合于从事火力发电厂锅炉炉墙与热力系统保温设计、施工及运行维护的技术人员阅读，也可作为本专业施工和检修工人的培训读物以及供有关学校的教学参考。

火力发电厂炉墙与保温

吉林省火电工程公司 刘崇

水利电力出版社出版

（北京德胜门外六铺炕）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

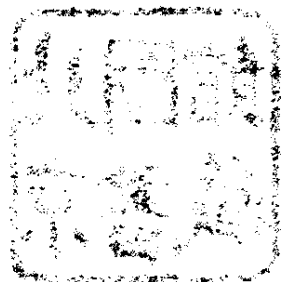
水利电力出版社印刷厂印刷

1978年3月北京第一版

1978年3月北京第一次印刷

印数 00001—9300 册 每册 1.05 元

书号 15143·3301



前 言

锅炉炉墙与热力系统保温是火力发电厂的重要组成部分。随着我国电力工业、锅炉制造业及耐火保温材料制造业的发展，特别是高参数大容量火力发电机组的大量投入，使炉墙和保温所采用的结构、材料和施工工艺都发生了很大变化。广大电业职工，高举毛泽东思想伟大红旗，认真贯彻“鞍钢宪法”，深入开展“工业学大庆”运动，走自己工业发展的道路，积累了不少经验，有许多革新和创造。为了把炉墙和保温工作提高到一个新水平，遵照毛主席“要认真总结经验”的教导，在互相学习和交流经验的基础上编写了《火力发电厂炉墙与保温》一书，供本专业的技术人员和工人同志参考。

本书共分三篇：第一篇主要论述耐火和保温材料的基本性能、种类及其应用，并着重介绍了磷酸铝胶凝材料在电厂锅炉上的使用情况；第二篇介绍炉墙的类型、结构特点、热力计算方法和对烘炉的要求；第三篇介绍保温的作用，结构形式，设计主要原则，热力计算方法，施工特点，并对炉墙与保温体露天防护问题做了探讨。

本书收集了许多数据和资料，附录中还列有保温层厚度计算表，以便读者在工作中使用和参考。在炉墙与保温的热力计算两章中，仅列出了最必要的公式，还分别举出计算实例，以便于读者掌握这些公式的运算。炉墙与保温工作的性质基本相同，都是为了隔绝热源，减少散热损失并控制一定的表面温度，而且使用的材料也较接近，但在某些技术要求上有所区别。因此，在本书的第一篇中对于耐火和保温材料综合性论述较多，这些论述与第二、三篇有关章节关系密切，阅读时可以前后参照。

在编写本书过程中，曾得到吉林省火电工程公司第二工程处

领导和同志们的大力支持；哈尔滨锅炉厂、北京锅炉厂、武汉锅炉厂、上海锅炉厂及有关设计院和安装单位的同志们曾给予热情帮助，为本书提供了许多宝贵经验和资料；吉林省火电工程公司第二工程处、上海电力建设公司、陕西省火电工程公司第三工程处和陕西省韩城发电厂等单位的同志曾对书稿进行了“三结合”审查，对书稿的修改和充实提出了宝贵的意见和建议，在此一并表示衷心感谢。

由于本人实践经验和理论水平有限，调查研究也不全面，书中遗漏和错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

刘 崇

一九七七年六月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一篇 材 料

第一章 材料的基本性能	4
-------------------	---

第一节 耐火及保温材料的分类	4
----------------------	---

一、耐火材料的分类；二、保温材料的分类

第二节 材料的性能及检验	6
--------------------	---

一、组织结构；二、常温及高温耐压强度；三、高温使用性能；

四、热工及化学性能

第二章 材料的种类及其应用	22
---------------------	----

第一节 耐火材料	23
----------------	----

一、粘土质耐火砖；二、耐火粘土；三、粘土质耐火泥；四、高铝

砖；五、硅砖；六、轻质耐火砖；七、碳化硅；八、耐火混凝土；

九、捣打料；十、耐火涂料；十一、磷酸铝胶凝材料

第二节 保温材料	57
----------------	----

一、硅藻土；二、硅藻土制品；三、硅藻土熟料；四、石棉及其制品；

五、硅藻土石棉粉；六、石棉氧化镁材料；七、矿质棉及其制品；

八、蛭石及其制品；九、珍珠岩及其制品；十、微孔硅酸钙制品；

十一、箔；十二、泡沫混凝土制品；十三、保温混凝土

第三节 密封涂料	81
----------------	----

一、石棉珍珠岩涂料；二、石棉烧粘土涂料；三、镁质密封涂料；

四、不透气密封涂料；五、石棉沥青膏密封涂料

第四节 保温体的覆盖保护层	85
---------------------	----

第五节 建筑及金属辅助材料	87
---------------------	----

一、水泥；二、普通粘土砖；三、普通泥浆；四、聚醋酸乙烯乳

液；五、金属材料

第二篇 锅炉炉墙

第三章 锅炉炉墙的结构	93
第一节 炉墙的要求及分类	93
一、炉墙的基本要求；二、炉墙的分类和发展趋势	
第二节 燃烧室炉墙的特性	97
第三节 垂直炉墙的结构	112
一、砖砌炉墙；二、混凝土炉墙	
第四节 敷管式炉墙	126
一、敷管式炉墙的布置范围；二、敷管式炉墙的加强设施、三、刚性带的结构设计；四、敷管式炉墙的敷设	
第五节 顶棚炉墙的结构	145
第六节 斜墙、喷燃器炉墙及冷灰斗炉墙	152
一、斜墙；二、喷燃器炉墙；三、冷灰斗炉墙	
第七节 穿墙管子部位的密封结构	161
第八节 卫燃带	170
第四章 炉墙的热力计算	176
第一节 水冷壁燃烧室炉墙内壁温度的确定	179
一、炉墙内壁平均温度的确定；二、平均角系数的建立及计算；三、鳍片管的热流量及平均角系数的求法；四、炉墙内壁最高温度的确定；五、有关吸收系数的取法；六、管壁及鳍片平均温度的求法	
第二节 无水冷壁的装有对流管组烟道炉墙内壁温度的确定	206
第三节 炉墙内壁最高温度的取用	207
第四节 炉墙各层厚度的温度计算	208
一、炉墙热力计算的任务；二、放热系数及导热系数的求法；三、炉墙结构层的计算方法	
第五节 计算实例	215
第五章 烘炉	230

第三篇 设备及管道保温

第六章 保温设计的主要原则	237
第一节 保温的作用及施工特点	237

一、保温的作用及意义；二、保温工作的施工特点	
第二节 保温体外表面温度的规定	239
第三节 保温体热损失的标准数值	240
第四节 保温结构的合理要求	249
第五节 确定保温层经济厚度的依据	250
一、保温层经济厚度的选取；二、保温材料经济比较	
第七章 保温结构及制品的使用范围	255
第一节 各种保温结构的形式	255
一、涂抹式保温法；二、填充保温法；三、缠绕保温法；四、成型制品保温法；五、装拆式保温法；六、喷涂保温法	
第二节 保温层的固定构件	264
第三节 保温体的预组合吊装	269
第四节 覆盖层的施工工艺	270
一、膨胀间隙的处理；二、抹面层的操作要求	
第五节 保温制品的使用范围	277
第八章 保温的热力计算	282
第一节 热力计算的基本原理	282
第二节 热力计算方法	287
一、试算法；二、简化算法；三、曲线图解法；四、查表法	
第三节 计算实例	302
第九章 炉墙及保温体的露天防护	309
第一节 炉墙的防护	309
第二节 保温体的防护	312
附录一 碳化硅的粒度号及基本颗粒尺寸范围	315
附录二 自然对数表	316
附录三 室内布置的管道及设备按规定外表面温度主保温层厚度(毫米)计算表	318
附录四 露天布置的管道及设备按控制热损失主保温层厚度(毫米)计算表	337

绪 论

在火力发电厂中，除装设蒸汽锅炉和汽轮发电机等主要设备外，还装设有全厂的热力管道系统及许多辅助设备。这些设备和系统，主要是为了产生热能，将热能转变为机械功，而最后达到发电的目的，或将热能送出去供热。图 0-1 为火力发电厂的主要生产系统示意图。

蒸汽锅炉是把燃料燃烧的化学能转变为热能的主要设备。这些热能的介质又需要反复不已地通过热力系统而循环。在电厂的主要设备和热力系统中会有许多热量损失掉，实际上电厂有效利用的热量仅为燃料燃烧所发出热量的25~35%。单就锅炉设备损失的热量而言，约占全部热量的10~20%；热力系统敷设保温层后损失的热量虽然不多，如果保温不好，热损失也是可观的；其余热损失绝大部分被凝汽器中的冷却水带走了。

显然，对锅炉设备和热力系统来说，尽量减少它们的散热损失，就能够提高火力发电厂的热经济性和发电能力，从而节省大量的燃料。锅炉设备中的炉墙与热力系统的保温主要就是解决这个问题，所以它们是火力发电厂不可缺少的组成部分。

使锅炉本体燃烧室（包括炉顶及炉底）和尾部烟道等区域的火焰及高温烟气与外界隔开的围墙，均称为“炉墙”。

热力系统中的设备和管道以及有关附属系统外表面敷设的保温层，统称为“保温”。

炉墙与保温工作，随着我国电力工业建设和发电设备制造业的飞跃发展，不论是对所用材料的生产上，还是在设计与施工的质量上，均获得了很大的进展。新材料、新设备、新技术、新工艺不断涌现，既加快了发电厂的建设速度，又节省了国家的投资，对火力发电厂的安全生产和经济运行起着重要作用。

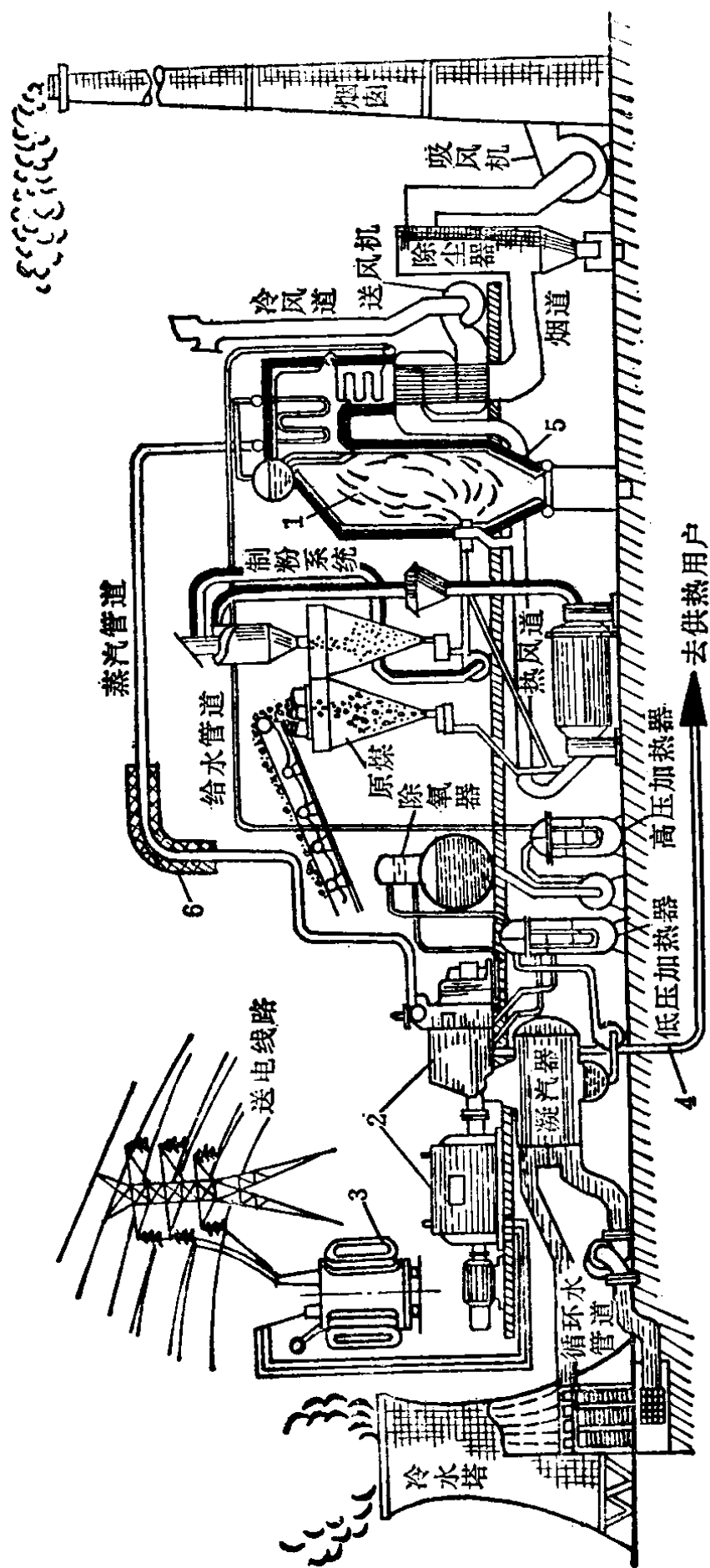


图 0-1 火力发电厂的主要生产系统示意图

1—蒸汽锅炉, 2—汽轮发电机, 3—主变压器, 4—供热管道, 5—锅炉炉墙;
6—管道保温层

目前发电厂在炉墙与保温体上还不同程度地存在一些问题，如重型炉墙的开裂、鼓胀，轻型框架式炉墙的局部烧坏、塌落、漏烟以及敷管式炉墙的振动、裂缝等；保温体的松动及其表面层的裂纹脱皮；部分保温材料制品的耐热性能差以及导热系数还不很稳定等。

为此，根据国内原有发电设备及新产品系列的出现，新型材料的大批生产，设计与施工技术的迅速提高和大、中、小型发电厂的特点，在本书内着重地比较系统地将炉墙与保温工程中使用的材料、结构、热力计算、施工及运行维护等方面的经验，力求结合实际进行讨论和总结。以期对火力发电厂锅炉炉墙与热力系统保温工作的改进和发展再提高一步，为加快我国电力工业发展速度，努力赶超世界先进水平而奋斗。

第一篇 材 料

第一章 材料的基本性能

第一节 耐火及保温材料的分类

火力发电厂锅炉炉墙和设备及管道保温所使用的主要材料与制品不外乎耐火材料和保温（绝热）材料两类。

选用和评价耐火材料或保温材料时，必须注意使用条件的适应性，同时又要考虑到经济性。既不应该盲目追求过高过全的性能指标，也不应该使采用的耐火材料或保温材料对某一具体使用条件不适应。

一、耐火材料的分类

耐火材料主要是指热工设备上能够抵抗高温作用的无机非金属建筑材料，其耐火度不低于 1580°C 。

耐火材料制品可以根据不同角度进行分类：

1.按耐火度可分为：

- （1）普通耐火材料，耐火度为 $1580\sim 1770^{\circ}\text{C}$ 。
- （2）高级耐火材料，耐火度为 $1770\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 。
- （3）特级耐火材料，耐火度在 2000°C 以上。

2.按形状和尺寸可分为：

- （1）普型制品（直形及楔形），一般重量为 $2\sim 10$ 公斤。
- （2）异型制品（简单异型），一般重量为 $2\sim 18$ 公斤。
- （3）特型制品（复杂异型及大块异型），一般重量为 $1.5\sim 35$ 公斤。

3.按耐火的基本化学-矿物组成可分为：

- （1）硅砖（酸性），含 SiO_2 大于 93% 。

(2) 硅酸铝质制品:

1) 半硅砖, 含 SiO_2 大于65%、 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}$ 小于30%。

2) 粘土砖, 含 SiO_2 小于65%、 Al_2O_3 30~48%。

3) 高铝砖, 含 Al_2O_3 48%以上 (分为48~55%、55~65%及65~75%三级) 。

(3) 镁砖 (碱性), 含 MgO 85%以上。

(4) 铬砖 (中性), 含 Cr_2O_3 大于30%。

(5) 炭质制品 (中性):

1) 炭砖, 含碳70~90%。

2) 碳化硅制品, 有再结晶和无机物结合两种。

在发电厂锅炉炉墙中, 用量最多的是粘土砖类, 高铝砖也常用。半硅砖的热稳定性及其它特性均低于粘土砖, 因而在锅炉上较少采用, 仅在缺乏粘土砖时作为代用品。现代锅炉砖砌炉墙很少采用复杂异型及大块异型制品, 有时只用在重型炉墙上。轻型炉墙仅用一些简单异型的耐火材料制品, 因其重量不大, 煅烧质量容易保证, 并便于砌筑。

随着锅炉构造的不断改进和发展, 在现代大容量锅炉中采用的耐火砖类 (普型或异型) 的数量是很有限的, 而代之较普遍地采用了浇制性的混凝土或捣打性的耐火材料。根据使用条件及部位的不同, 大致可归纳为以下几种:

(1) 耐火混凝土。

(2) 捣打料。

(3) 耐火涂料。

(4) 磷酸盐胶凝材料。

锅炉炉墙内壁温度大部分在400~800℃范围内。这样的温度既不会对耐火材料有严重的损坏, 也不会丧失其必需的承载能力, 而且普通耐火材料的理化性能完全能够满足上述要求。因此, 过去有人将用于发电厂锅炉炉墙上的普通耐火材料叫做“耐热材料”。但是为了不使耐火与保温材料在概念上与实际工作应用中混淆, 本书还是对上述材料统称为“耐火材料”。

二、保温材料的分类

保温材料的承受高温性能介于耐火和非耐火材料之间。通常将多孔的、温度在 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 时的导热系数小于 0.25 大卡/米·时· $^{\circ}\text{C}$ 、能够起到隔热保温作用的材料叫做“保温材料”或“绝热材料”。

一般保温材料按其使用最高温度限度可分为三类：

(1) 普通保温材料 能在 900°C 以下使用，如硅藻土制品、石棉等。

(2) 中级保温材料 能在 1200°C 以下使用，如蛭石、轻质耐火粘土制品等。

(3) 高级保温材料 使用温度可在 1200°C 以上。

后两类保温材料又称为“轻质耐火材料”。它们也往往作为锅炉内衬墙，有时直接接触火焰或炉烟。

保温材料按照形状又可分为松散粉末、丝状物（如玻璃棉等）、粒状、砖、瓦和大块等。

由于喷涂保温工艺的出现和锅炉耐火混凝土炉墙密封的需要，曾广泛推广了一种以硅藻土制品碎料或膨胀珍珠岩为基料的保温混凝土。根据它们的性能指标，这种保温混凝土亦属于普通保温材料范畴。

在发电厂热力系统上敷设的保温材料，因不直接与介质接触，且介质温度目前最高不超过 600°C ，所以采用普通保温材料完全能够适应。

此外，在本篇内还将炉墙与保温结构中常用的密封涂料、覆盖保护层，以及建筑及金属材料的性能、品种等进行了介绍。

第二节 材料的性能及检验

在实验室中系统地对耐火和保温材料与制品的物理化学性能进行检验，预测其使用情况，固然是一项很重要的工作；而在实际工程应用中，校核其出厂产品质量是否符合设计与使用的要

求，也是很有必要的。

通常检验耐火材料和保温材料性能的项目如下：

一、组织结构

1. 容重

容重也叫“体积密度”，是材料经 110℃干燥后单位体积的重量。如用 V 表示体积， G 表示重量，则容重 γ_1 一般可按下式计算：

$$\gamma_1 = \frac{G}{V} \quad \text{公斤/厘米}^3 \quad (1-1)$$

检验结果的计算公式如下：

$$\gamma_1 = \frac{G_1}{G_2 - G_3} \quad \text{克/厘米}^3 \quad (1-2)$$

式中 G_1 ——干燥试样的重量，克；

G_2 ——水饱和后在空气中的试样重量，以体积单位表示为厘米³；

G_3 ——水饱和后在水中的试样重量，以体积单位表示为厘米³。

容重与比重有所不同，容重是试样的重量与试样的总体积，即与包括全部气孔的体积之比。比重见下面所述。

具有几何形状制品的容重可用计算方法确定；对于粉状或纤维状的材料，可以由专门的度量器具通过一定的方法测定。

耐火及保温材料的容重直接关系到电厂设备与管道的承载能力，如果使用容重小的材料，即可节约设备承重构架和管道支吊结构的钢材。容重与材料本身的强度和绝热性能均有关系。一般来讲，耐火及保温材料的容重大，耐压强度高，其导热系数也大。

2. 真比重

耐火制品及原材料的出厂证件上，往往以真比重表示，其意义是不包括全部气孔的单位体积的重量。它与假比重的区别在于后者仅包括闭口气孔在内的体积重量。若以 U 表示真比重体积时，同样重的材料，在孔隙状态下，所占据的体积 $V > U$ 。多孔材料的容重 γ_1 小于其真比重 γ ，故一般 $\gamma_1 \leq \gamma$ 。真比重按下式计算：

$$\gamma = \frac{S}{U} = \frac{S\gamma_{\text{液}}}{S - (G_1 - G_2)} \quad \text{克/厘米}^3 \quad (1-3)$$

式中 S —— 试样的干燥重量，克；

U —— 试样的真比重体积，厘米³， $U = \frac{S - G}{\gamma_{\text{液}}}$ ；

$\gamma_{\text{液}}$ —— 所用液体的比重，克/厘米³；

G —— 试样在液体中的重量，克， $G = G_1 - G_2$ 。

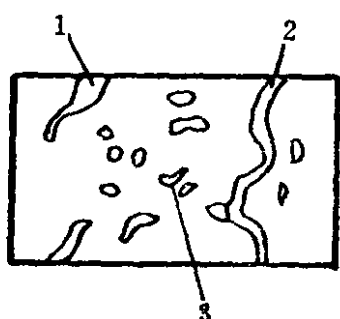


图 1-1 气孔的形状及分布示意图

1—开口气孔；2—连通气孔；3—闭口气孔

3. 气孔率

气孔率（或孔隙度）是材料体积被孔隙充实的程度。由于气孔形状及其分布情况的不同，参见图 1-1，表达方法也不同。如果耐火制品的总体积和重量仍以 V 和 G 表示，开口、连通和闭口气孔的体积各为 V_1 、 V_2 及 V_3 ，则气孔率的表达式有三种：

$$\left. \begin{aligned} \text{真(总)气孔率} &= \frac{V_1 + V_2 + V_3}{V} \times 100\% \\ \text{开口(显)气孔率} &= \frac{V_1 + V_2}{V} \times 100\% \\ \text{闭口气孔率} &= \frac{V_3}{V} \times 100\% \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

由于直接测定闭口气孔率和得知其真比重过程较复杂，所以常限于测定其开口气孔率，以 B 代表，其检验结果的计算式如下。

$$B = \frac{G_2 - G_1}{G_2 - G_3} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中符号的意义同式 (1-2)。

为了估价材料的导热系数和组织性质，既要知道气孔率，也应晓得气孔的形状及分布程度。因为导热系数在许多情况下，取决于气孔的组织和在孔隙内的空气状态。对于纤维和层状组织的材料有着纵横不同的方向，热流极易从其纵向通过。若是闭

口气孔小而且分布均匀，则导热系数就低。要是增大气孔，特别是开口或连通气孔，热流在其内部会形成对流，严重的影响绝热性能。不规则形状的气孔，易使材料制品的应力集中，并从气孔处破裂，从而使材料的强度降低。

低气孔率的耐火砖或耐火混凝土，还可以减少被炉焦的侵蚀程度。一般耐火砖的气孔率约为24~28%，耐火混凝土约为25~30%。然而，保温材料的气孔率变动范围较大，可由50%到98%

4. 吸水率

材料体积用水充实的程度称为吸水率。材料的吸水率与气孔率之间有着密切的连系，测定吸水率即可计算出气孔率。一般吸水率是小于气孔率的。吸水率可根据材料在水饱和状态下与干燥状态下的重量差所求得。吸水率 W 计算公式如下：

$$W = \frac{(G_2 - G_1) \times 100}{G_1} \% \quad (1-6)$$

式中符号的代表意义同公式(1-2)。

为什么谈到吸水率呢？因为耐火材料，如粘土质耐火制品被水浸透后其强度大约降低20~25%。未经焙烧的粘土材料在水中能够软化，甚至要分解。对于保温材料，含有水分时其导热率会骤然增大，这是因为水的导热系数是0.5大卡/米·时·℃，水将气孔充实把空气排挤之故。即便在材料中含有的水分很少，也会使容重和导热系数增加。譬如容重为500公斤/米³的硅藻土制品，在自然空气中其容重能增大4%，而在饱和的潮湿空气中能增大10%；容重为300公斤/米³的泡沫混凝土，与上述条件相同时，相应地也能使容重增大1.25%到2.9%左右。再如玻璃棉的吸水率若提高1%，则导热系数即可增加0.002大卡/米·时·℃。由此可见，耐火材料和保温材料在保存和使用过程中，必须充分注意如何防潮防水的问题。

5. 透气度

透气度用透气度系数来表示，与材料的气孔率有着密切的关

系。提出透气度的问题,主要是考虑到锅炉炉墙的密封性。当然,炉墙的严密与否,还与其结构是否存在缺陷有关了。这里讲的是炉墙砌体材料自身的透气度。但也顺便联系到砌体砖缝空隙形成的原因。透气度系数 K 按式(1-7)计算:

$$K = 4586000 \frac{Vh}{d^2 t P} \quad \frac{\text{升} \cdot \text{毫米}}{\text{毫米}^2 \cdot \text{秒} \cdot \text{毫米水柱}} \quad (1-7)$$

式中 V ——空气通过量, 升;
 d ——试样直径, 毫米;
 h ——试样厚度, 毫米;
 P ——操作压力, 毫米水柱;
 t ——通过气体的时间, 秒。

譬如, 普通粘土砖的透气度系数为0.32~0.55, 粘土质耐火砖为0.6~1.5, 硅藻土砖为2.6, 碳酸镁石棉板为6。从上述材料的透气度系数即可确定通过炉墙渗透的气体数量, 这个数量实际上是很小的。重要的是有害活性物质(如碱性氧化物、二氧化碳及燃料中的蒸汽等)对砌体砖缝的渗入。以粘土质耐火泥为例, 它不是多孔的透气物, 本身的透气性并不比耐火砖大, 但它是形成砌体的大量粘结物, 在高温作用下, 由于存在着残余收缩率, 在砖缝中容易产生裂隙或空隙。由于砖缝内既然有了空隙, 不仅足以侵入空气, 而且炉灰也能渗漏出来, 造成砌体破损, 也显著增加了锅炉的散热损失。一旦熔渣侵入到砌体的一定深度, 遇有存在着的连通气孔, 会使耐火材料的抗渣性降低。

关于炉墙的透气性过去大家注意的不够。一般来讲, 在锅炉炉墙上二氧化碳的渗透作用比较大。所以, 在较高的温度工作下, 对减小砌体的残余收缩性能并保证其粘结力及强度的问题, 还是值得研究的。对于现代锅炉结构中的膜式壁气密性炉墙, 因耐火或保温材料不与烟气接触, 砌体层的透气度就不必考虑了。

二、常温及高温耐压强度

1. 常温耐压强度

常温耐压强度系指常温耐压极限强度, 是材料在常温状态