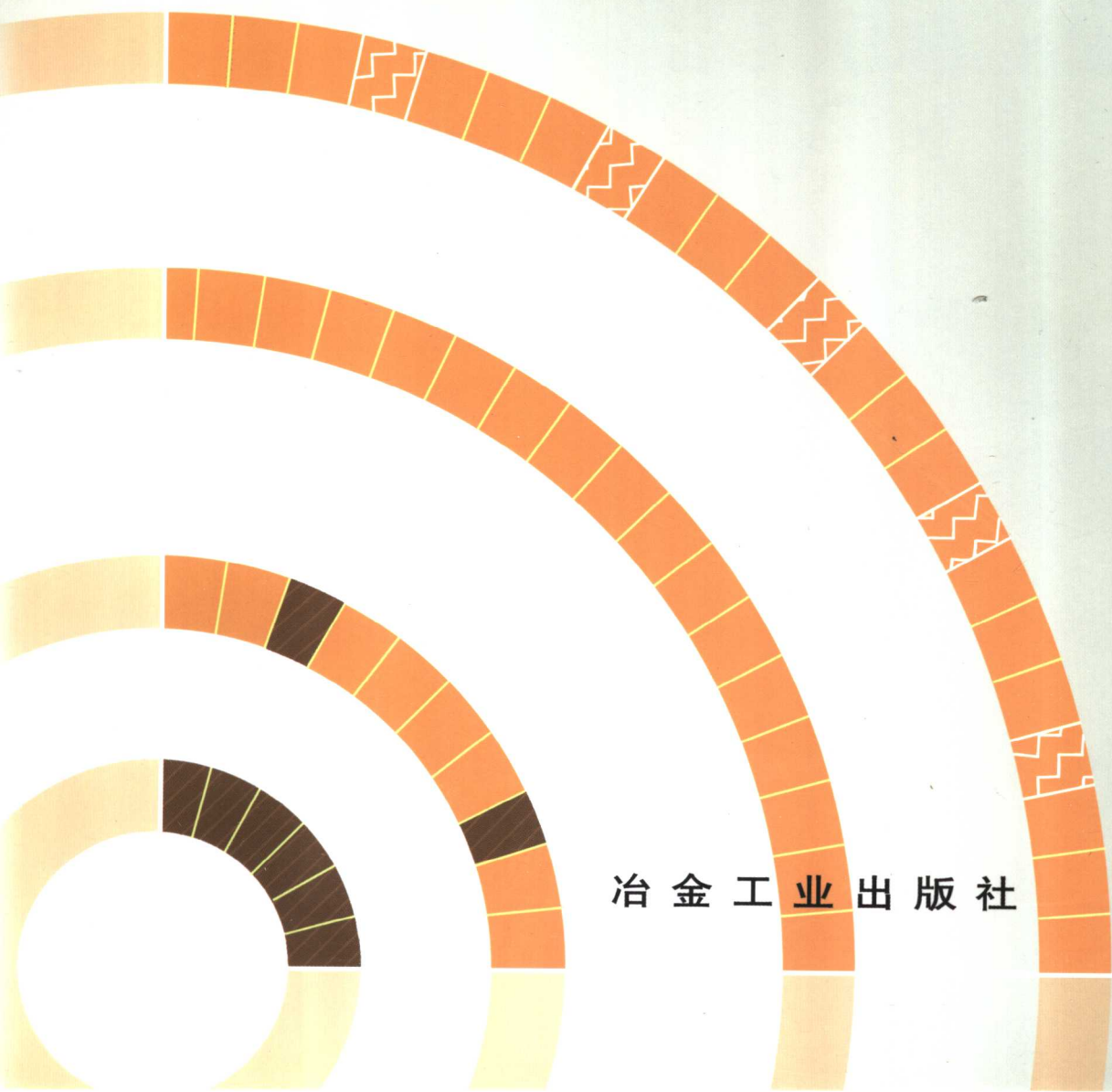


# 炉窑衬砖尺寸设计与 辐射形砌砖计算手册

薛启文 万小平 著



冶金工业出版社

# 炉窑衬砖尺寸设计与辐射形 砌砖计算手册

薛启文 万小平 著

北 京

冶金工业出版社

2005

## 内 容 简 介

全书共分5章:1~3章叙述了高炉、转炉、回转窑用耐火砖尺寸设计及环形砌砖计算,第4章介绍了一般工业炉窑通用耐火砖尺寸设计及拱形砌砖计算,第5章详细讨论了最复杂的辐射形砌砖——球顶砌砖,以热风炉及电炉球顶为例,对球顶砌砖结构、球顶砖尺寸设计及砖量简化计算进行了深入研究。

本书可供耐火材料生产、炉子修筑、炉窑设计的工程技术人员以及科研、管理人员阅读查用,也可供大专院校有关专业师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

炉窑衬砖尺寸设计与辐射形砌砖计算手册/薛启文  
等著. —北京:冶金工业出版社,2005. 2

ISBN 7-5024-3628-6

I. 炉… II. 薛… III. 冶金炉—砖衬砌—尺寸—  
设计计算—手册 IV. TF063—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 101404 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 章秀珍 美术编辑 王耀忠

责任校对 符燕蓉 李文彦 责任印制 李玉山

北京铁成印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2005年2月第1版,2005年2月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 29印张; 700千字; 456页; 1—3000册

79.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 序 言

工业炉窑等热工设备耐火砖衬的直形砌砖(墙、底)和辐射形砌砖(如高炉、转炉及回转窑的环形砌砖,一般工业炉窑拱形砌砖,热风炉和电炉的球顶砌砖等)中,经常采用直形砖、楔形砖、拱脚砖和球顶砖。这些耐火砖的形状和尺寸,不能随意选取。耐火砖形状尺寸的设计及标准化关系到耐火砖生产、筑炉操作、炉窑砖衬设计、辐射形砌砖计算以及炉窑等热工设备砖衬的使用效果(使用寿命等)。因此,耐火砖尺寸及其标准体现一个国家耐火砖生产、筑炉与修炉、炉窑设计与科研的综合水平。每个砖号耐火砖的尺寸,是由尺寸参数(半径、极限块数及一块砖的半径变化量等)、尺寸系列与辐射形砌砖计算等决定的。虽然国外对这方面的研究,早在20世纪50年代就开始了,但进展缓慢,至今未见这方面系统完整的文献专著。本书作者从20世纪50年代中期开始到80年代中期,鉴于从国外引进耐火砖尺寸标准中某些尺寸的不合理性,对耐火砖尺寸参数、尺寸系列与辐射形砌砖计算开展了研究,并用所取得的初步成果(如一块楔形砖半径变化量、楔形砖间尺寸关系规律及辐射形砌砖的简化计算等)指导并参与制订了YB 894—1979平炉用镁铝砖形状尺寸、GB 1590—1979镁砖和镁硅砖形状及尺寸、GB 2278—1980高炉及热风炉用砖形状及尺寸、GB 2992—1982通用耐火砖形状尺寸、YB 2217—1982环砌法电炉顶用砖形状尺寸,以及GB 8725—1988高炉炭块尺寸等国家标准和冶金行业标准。为配合这些耐火砖尺寸标准的贯彻实施,本书作者于1984年编著出版了国内有关耐火砖尺寸设计与辐射形砌砖计算方面的第一本工具书——《耐火砖尺寸设计计算手册》,深受读者欢迎。

20世纪90年代,作为主要起草人,笔者制订了YB/T 060—1994炼钢转炉用耐火砖形状尺寸和GB/T 17912—1999回转窑用耐火砖形状尺寸;修订了YB/T 894—1994平炉用镁铝砖形状尺寸、YB/T 5012—1997高炉及热风炉用砖形状尺寸、GB/T 2992—1998通用耐火砖形状尺寸以及YB/T 2217—1999电炉用球顶砖形状尺寸国家和行业标准。原手册显然不能为这些新标准的实施服务,需要增加新的内容。在制订及修订这些耐火砖尺寸新标准过程中,耐火砖尺寸参数理论逐步深化,合理的中国耐火砖尺寸系列经过研究已经建立起来,辐射形砌砖计算式得到进一步简化。考虑到这些因素,新编著了《炉窑衬砖尺寸设计与辐射形砌砖计算手册》。

本手册是在《耐火砖尺寸设计计算手册》的基础上进行编写的,采取由浅入深及循序渐进的原则,前3章叙述了高炉、转炉和回转窑用耐火砖尺寸设计及环形砌砖计算;第4章介绍了一般工业炉窑通用耐火砖尺寸设计及拱形砌砖计算;第5章详细讨论了最复杂的辐射形砌砖——球顶砌砖,以热风炉及电炉球顶为例,对球顶砌砖结构、球顶砖尺寸设计及砖量简化计算进行了深入研究。

为避免以往辐射形砌砖计算中繁杂的计算式,采取基于砖尺寸参数的简化计算式。本手册进一步发展并简化为简易计算式,而且详细叙述了这些计算式的推导及证明过程。

为减轻炉衬设计人员、筑炉及修炉工程技术人员,以及耐火材料营销人员在工作中繁琐的砖量配比计算,本手册编制了耐火砖量配比表。随着内容的增加,但又不过多增加篇幅,对《耐火砖尺寸设计计算手册》中的砖量表做了适当改进与增删,同时重点介绍了砖量表的编制原理及快速编制方法。

对于辐射形砌砖计算图,本手册为节省篇幅又能从图上查出较精确砖量来,按图以致用原则,各章均绘制了辐射形砌砖坐标计算图,而且研究开发出各标准中心角的拱形砌砖坐标计算图及简化计算图(线)。

在讨论辐射形砌砖计算及其用砖尺寸设计中,本手册坚持了等大端、等小端及等中间尺寸系列并举,废弃了平炉用砖,而以转炉及通用砖为重点内容。

在本手册的编写上,作为科技书籍重视文字叙述的说理性;作为工具手册尽可能体现图表数据的可查找性、实用性及精确性。

作为贯彻实施我国一系列耐火砖尺寸新标准的工具书,受到标准修订时间的制约。书中遇有与正在实施标准不符之处,均以现行实施标准为准。

由于作者水平所限,本手册如有不足和疏漏之处,敬请读者批评指正。

作 者

2004年10月29日于武汉

# 目 录

<b>1 高炉环形砌砖计算及用砖尺寸设计</b> .....	1
1.1 高炉用砖尺寸参数 .....	1
1.1.1 单楔形砖砖环及宽楔形砖尺寸参数 .....	1
1.1.2 混合砖环及直形砖尺寸参数 .....	4
1.2 高炉环形砌砖简化计算 .....	7
1.2.1 高炉混合砖环计算 .....	7
1.2.2 高炉双楔形砖砖环计算 .....	8
1.3 高炉环形砌砖砖量表 .....	15
1.3.1 高炉混合砖环砖量表 .....	15
1.3.2 高炉双楔形砖砖环砖量表 .....	47
1.4 高炉环形砌砖计算图 .....	58
1.4.1 高炉混合砖环计算图 .....	58
1.4.2 高炉双楔形砖砖环计算图 .....	63
1.5 高炉环形砌砖结构与砖尺寸 .....	68
1.5.1 减少环形砌砖环缝数量 .....	68
1.5.2 减小环形砌砖环缝厚度 .....	70
1.5.3 高炉楔形砖间尺寸关系规律 .....	74
1.6 高炉环形炭块尺寸标准化 .....	77
<b>2 转炉衬砖尺寸设计及计算</b> .....	84
2.1 转炉衬砖尺寸设计 .....	84
2.1.1 转炉衬砖尺寸参数 .....	84
2.1.2 转炉衬砖尺寸设计 .....	88
2.2 转炉衬砖量计算 .....	94
2.2.1 转炉衬混合砖环计算 .....	94
2.2.2 转炉衬双楔形砖砖环计算 .....	98
2.3 转炉衬砖砖量表 .....	121
2.3.1 转炉衬混合砖环砖量表 .....	121
2.3.2 转炉衬双楔形砖砖环砖量表 .....	122
2.4 转炉砌砖计算图 .....	131
2.4.1 转炉混合砖环计算图 .....	131
2.4.2 转炉双楔形砖砖环计算图 .....	133
2.4.3 转炉砖环简化计算图 .....	136
<b>3 回转窑用砖形状尺寸设计及计算</b> .....	150
3.1 回转窑用砖形状 .....	150

3.2	回转窑用砖尺寸设计 .....	152
3.3	回转窑内衬砖环计算 .....	163
3.3.1	回转窑内衬等大端尺寸双楔形砖砖环计算 .....	164
3.3.2	回转窑内衬不等端尺寸双楔形砖砖环计算 .....	172
3.3.3	回转窑内衬等中间尺寸双楔形砖砖环计算 .....	175
3.4	回转窑内衬砖环计算图 .....	192
<b>4</b>	<b>工业炉窑通用耐火砖尺寸设计及计算 .....</b>	<b>227</b>
4.1	耐火砖尺寸系列与标准 .....	227
4.1.1	通用耐火砖定义及规格 .....	227
4.1.2	耐火砖尺寸参数 .....	230
4.1.3	直形砖尺寸系列与标准 .....	233
4.1.4	楔形砖尺寸系列与标准 .....	241
4.1.5	拱脚砖尺寸与拱顶标准中心角 .....	251
4.2	辐射形砌砖计算 .....	252
4.2.1	辐射形混合砌砖计算 .....	252
4.2.2	辐射形双楔形砌砖计算 .....	265
4.2.3	拱形砌砖计算 .....	304
4.3	拱形砌砖计算图 .....	309
<b>5</b>	<b>球顶砖尺寸设计及计算 .....</b>	<b>352</b>
5.1	球顶砖及其尺寸参数 .....	352
5.2	热风炉球顶砖尺寸设计及计算 .....	353
5.2.1	热风炉球顶砌砖结构 .....	353
5.2.2	热风炉球顶砖尺寸设计 .....	357
5.2.3	热风炉球顶砖量计算 .....	358
5.3	电炉球顶砖尺寸设计及计算 .....	394
5.3.1	电炉球顶砖尺寸设计 .....	396
5.3.2	电炉球顶砖量计算 .....	403
	<b>参考文献 .....</b>	<b>451</b>

# 1 高炉环形砌砖计算及用砖尺寸设计

## 1.1 高炉用砖尺寸参数

1981年10月,首次发布实施的国家标准 GB 2278—1980 高炉及热风炉用砖形状尺寸<sup>[1]</sup>(后调整为冶金行业标准 YB/T 5012—1993)的附录中试用了高炉砖的尺寸参数。经修订从1997年10月开始实施的冶金行业标准 YB/T 5012—1997 高炉及热风炉用砖形状尺寸<sup>[2]</sup>的正文采用了尺寸参数。本节介绍了尺寸参数的定义及其计算式的推导。

### 1.1.1 单楔形砖砖环及宽楔形砖尺寸参数

具有外半径  $R$ 、中心角  $\theta=360^\circ$  的辐射形耐火砌砖称为环形砌砖,高炉及热风炉墙采用环形砌砖。全部用一种尺寸楔形砖砌筑的环形砌砖称为单楔形砖砌砖或单楔形砖砖环,如图 1-1 所示。

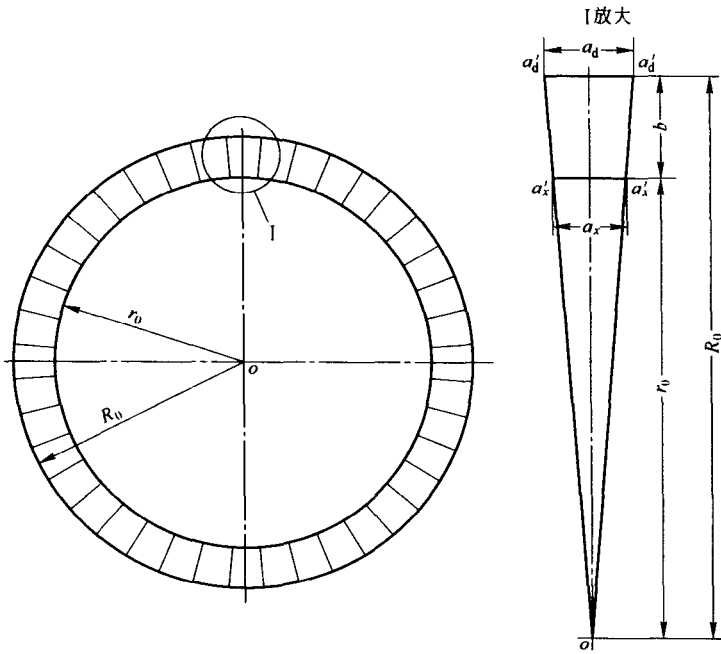


图 1-1 单楔形砖砖环

从图 1-1 看出,一个砖环实际上由若干( $K$ )个梯形砖体砌筑的。内外圆周长  $2\pi r_0$  及  $2\pi R_0$  只能近似等于  $a_x K$  及  $a_d K$ , 因为弧长  $a'_x a'_x$  及  $a'_d a'_d$  只能近似等于弦长  $a'_x a'_x$  及  $a'_d a'_d$ 。同理,在图 1-1 的放大图中,内外半径  $r_0$  及  $R_0$  只能近似等于  $0 a'_x$  及  $0 a'_d$ , 人们将单楔形砖砖环的外(或内)半径  $R_0$ (或  $r_0$ ) 近似地当作该楔形砖的外(或内)半径  $R_0$ (或  $r_0$ )。  $R_0$  或  $r_0$



均指楔形砖对称中心线的外端处或内端处的尺寸,即以楔形砖大小端距离  $b$  为计算基础,未采取其斜边长  $a'_d a'_x$  [3]。

高炉及热风炉单楔形砖环用砖如图 1-1 所示,其长与宽形成的表面  $a'_d a'_d a'_x a'_x$  为对称梯形,最初称为梯形砖,后来称为楔形砖。此梯形两底较大尺寸及较小尺寸分别称为楔形砖的大端尺寸  $a_d$  及小端尺寸  $a_x$ ,习惯上大小端尺寸常写作  $a_d/a_x$ 。梯形的高(两底间的垂直距离)称为楔形砖的大小端距离  $b$ 。由于大小端距离  $b$  设计在长度上、大小端尺寸  $a_d/a_x$  设计在宽度上,高炉及热风炉环形砌砖用楔形砖在 YB/T 5012—1997 中定义为竖宽楔形砖或简称为宽楔形砖,如图 1-2 所示。决定楔形砖尺寸参数的有效尺寸有  $b$  及  $a_d/a_x$ ,而另一尺寸  $c$ (此处为砖的厚度)为非有效尺寸。为突出有效尺寸 YB/T 5012—1997 规定了宽楔形砖规格表示式: $b \times (a_d/a_x) \times c$ 。每一具体尺寸的砖的砖号:短横线(“—”)前的 G 或 R 分别为高炉砖或热风炉砖汉语拼音字首,短横线后的数字为顺序号。

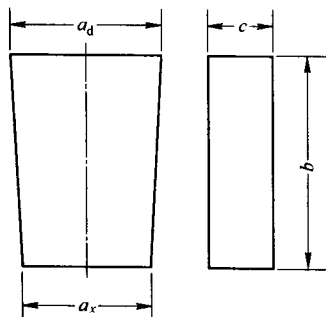


图 1-2 高炉用宽楔形砖

如前已述,单楔形砖砖环的半径( $R_0$  或  $r_0$ )可近似地视为该宽楔形砖的半径( $R_0$  或  $r_0$ )。在 YB/T 5012—1997 中将宽楔形砖的外半径  $R_0$  定义为全部用一种楔形砖砌筑的砖环(单楔形砖砖环)的外半径。由图 1-1 放大图  $a_d/a_x = R_0/(R_0 - b)$  或  $a_d/a_x = (r_0 + b)/r_0$  可导出:

$$R_0 = \frac{a_d b}{a_d - a_x} \quad (1-1)$$

或

$$r_0 = \frac{a_x b}{a_d - a_x} \quad (1-1a)$$

式中,  $a_d$  及  $a_x$  应另加砖缝厚度,这里取 1mm。作为宽楔形砖的主要尺寸参数之一的外半径  $R_0$  或内半径  $r_0$  完全决定于砖本身的有效尺寸及砌砖砖缝厚度。

YB/T 5012—1997 对宽楔形砖每环极限块数  $K'_0$  定义为单楔形砖砖环内楔形砖的最多块数。由图 1-1 知

$$K'_0 = \frac{2\pi R_0}{a_d} = \frac{2\pi(r_0 + b)}{a_d} \quad (1-2)$$

或

$$K'_0 = \frac{2\pi r_0}{a_x} \quad (1-2a)$$

由式 1-2 得

$$a_d K'_0 = 2\pi r_0 + 2\pi b$$

由式 1-2a 得

$$2\pi r_0 = a_x K'_0$$

显然

$$a_d K'_0 = a_x K'_0 + 2\pi b$$

从而

$$K'_0 = \frac{2\pi b}{a_d - a_x} \quad (1-2b)$$

其实,将式 1-1 或式 1-1a 代入式 1-2 或式 1-2a 可直接得到式 1-2b:

$$K'_0 = \frac{2\pi R_0}{a_d} = \frac{2\pi}{a_d} \times \frac{a_d b}{a_d - a_x} = \frac{2\pi b}{a_d - a_x}$$

或

$$K'_0 = \frac{2\pi r_0}{a_x} = \frac{2\pi}{a_x} \times \frac{a_x b}{a_d - a_x} = \frac{2\pi b}{a_d - a_x}$$

单楔形砖砖环内外圆周长之差  $\Delta O$  等于该楔形砖块数  $K'_0$  与其大小端尺寸差  $a_d - a_x$  之积:

$\Delta O = (a_d - a_x) K'_0$ 。而  $\Delta O = 2\pi R_0 - 2\pi r_0 = 2\pi(r_0 + b) - 2\pi r_0 = 2\pi b$ , 即单楔形砖砖环内外圆周长之差  $\Delta O$  为  $2\pi b$  的定值, 所以,  $2\pi b = (a_d - a_x) K'_0$ 。可见,  $K'_0 = 2\pi b / (a_d - a_x)$ , 即为式 1-2b。宽楔形砖的极限块数  $K'_0$  仅决定于本身的有效尺寸  $b$  及  $a_d/a_x$ , 它与砌砖砖缝厚度无关, 也被视为主要尺寸参数之一。

每一具有一定有效尺寸的宽楔形砖, 都具有一定的中心夹角  $\theta_0$ :

$$\theta_0 = \frac{360^\circ}{K'_0} \quad (1-3)$$

将式 1-2b  $K'_0 = 2\pi b / (a_d - a_x)$  代入之得

$$\theta_0 = \frac{180^\circ (a_d - a_x)}{\pi b} \quad (1-3a)$$

由式 1-3 也可得出

$$K'_0 = \frac{360^\circ}{\theta_0} \quad (1-2c)$$

在 YB/T 5012—1997 中, 对环形砌砖用宽楔形砖的名称、砖号、尺寸、规格及主要尺寸参数给出了定义并计算出来, 见表 1-1。

表 1-1 高炉及热风炉用宽楔形砖

砖号	名称	尺寸/mm			规格/mm $b \times (a_d/a_x) \times c$	外半径 $R_0$ /mm	每环极限 块数 $K'_0$	中心夹角 $\theta_0$ /(°)	体积 /cm <sup>3</sup>
		$b$	$a_d/a_x$	$c$					
G-3, R-3	钝楔形砖	230	150/135	75	230×(150/135)×75	2315.3	96.3	3.738	2458.1
G-5, R-5	锐楔形砖	230	150/120	75	230×(150/120)×75	1157.7	48.2	7.468	2328.8
G-7, R-7	特锐楔形砖	230	150/90	75	230×(150/90)×75	578.8	24.1	14.947	2070.0
G-9, R-9	错缝条砖	230	114/104	75	230×(114/104)×75	2645.0	144.5		1880.3
G-4, R-4	钝楔形砖	345	150/130	75	345×(150/130)×75	2604.8	108.4	3.321	3622.5
G-6, R-6	锐楔形砖	345	150/110	75	345×(150/110)×75	1302.4	54.2	6.643	3363.8
G-8, R-8	特锐楔形砖	345	150/90	75	345×(150/90)×75	868.3	36.1	9.965	3105.0
G-10, R-10	错缝条砖	345	114/90	75	230×(114/99)×75	2645.0	144.5		2755.7
G-31, R-31	钝楔形砖	460	150/130	75	460×(150/130)×75	3473.0	144.5	2.491	4380.0
G-32, R-32	锐楔形砖	460	150/110	75	460×(150/110)×75	1736.5	72.3	4.982	4485.0
G-33, R-33	错缝条砖	460	114/94	75	460×(114/94)×75	2645.0	144.5		3588.0

注: 1. 经供需双方协商,  $C$  可采用 100mm;

2. 按宽楔形砖大小尺寸差  $a_d - a_x$  由小到大, 将其分为钝楔形砖、锐楔形砖及特锐楔形砖;

3. 尺寸符号意义见图 1-2。

### 1.1.2 混合砖环及直形砖尺寸参数

按设计外半径  $R$  设计单楔形砖砖环及其宽楔形砖的尺寸,这种方法不容易实施标准化。为实现标准化,便产生了宽楔形砖与直形砖配合砌筑的混合砌砖或混合砖环<sup>[3]</sup>。混合砖环中所用的直形砖为仅由长、宽及厚 3 个尺寸构成的直平行六面体。直形砖的尺寸应与相配砌的宽楔形砖相对应,如图 1-3 所示:(1)它们的大小端距离  $b$  相同,同为砖长;(2)与宽楔形砖大小端尺寸  $a_d/a_r$  配合,直形砖的配砌尺寸为砖宽  $a$ ;(3)为便于砖量计算,直形砖的配砌尺寸与宽楔形砖的大端尺寸相同,即采用等大端尺寸系列  $a = a_d$ ;(4)非有效尺寸  $c$  此处为砖厚,与宽楔形砖相同。为便于记忆、管理及计算,高炉及热风炉混合砌砖用直形砖的规格表示式为  $b \times a \times c$ 。

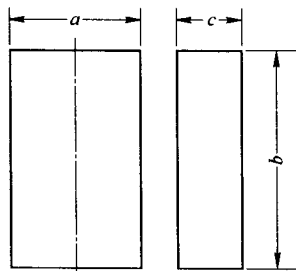


图 1-3 高炉用直形砖

在宽楔形砖的大端尺寸与直形砖的配砌尺寸均为  $a$  ( $a = 150\text{mm}$ ) 的等大端尺寸混合砖环,宽楔形砖块数  $K_0$  与直形砖块数  $K_z$  可由下面的方程组导出:

$$\begin{cases} aK_z + aK_0 = 2\pi R \\ aK_z + a_r K_0 = 2\pi(R - b) \end{cases}$$

解:

$$K_0 = \frac{2\pi b}{a - a_r} = \frac{2\pi b}{a_d - a_r} = K'_0 \quad (1-2b)$$

$$K_z = \frac{2\pi R}{a} - K'_0 \quad (1-4)$$

混合砖环内直形砖块数  $K_z$  计算式 1-4 容易理解,这是因为在等大端尺寸系列直形砖块数等于混合砖环总砖数  $2\pi R/a$  与宽楔形砖块数  $K_0$  之差。但对于混合砖环内宽楔形砖块数  $K_0$  仍等于单楔形砖砖环宽楔形砖块数(也就是楔形砖的每环极限块数)  $K'_0$  的现实,并不是都能被人立刻理解的。

图 1-4 所示,砖环 I 是完全由规格为  $b \times (a_d/a_r) \times c$  的宽楔形砖砌筑的单楔形砖砖环,其外半径  $R_0 = a_d b / (a_d - a_r)$ ,外圆周长  $O_{1w} = 2\pi R_0$ ,内圆周长  $O_{1n} = 2\pi(R_0 - b)$ ,内外圆周长之差  $\Delta O_1 = O_{1w} - O_{1n} = 2\pi R_0 - 2\pi(R_0 - b) = 2\pi b$ ,砌以  $2\pi b / (a_d - a_r) = K'_0$  块宽楔形砖。砖环 II 是砌以  $K_0$  块规格为  $b \times (a_d/a_r) \times c$  的宽楔形砖与  $K_z$  块规格为  $b \times a \times c$  的直形砖的混合砖环。砖环 II 的外半径  $R$  较砖环 I 增大  $\Delta R$ ,即  $R = R_0 + \Delta R$ ,砖环 II 的外圆周长  $O_{2w} = 2\pi(R_0 + \Delta R) = 2\pi R_0 + 2\pi \Delta R$ ,内圆周长  $O_{2n} = 2\pi(R - b) = 2\pi R - 2\pi b = 2\pi(R_0 + \Delta R) - 2\pi b = 2\pi R_0 + 2\pi \Delta R - 2\pi b$ ,内外圆周长之差  $\Delta O_2 = O_{2w} - O_{2n} = 2\pi b$ ,宽楔形砖块数  $K_0 = 2\pi b / (a_d - a_r) = K'_0$ 。可见混合砖环的内外圆周长之差仍与单楔形砖砖环一样为  $2\pi b$  的定值,因之楔形砖块数  $K_0$  也等于单楔形砖砖环楔形砖块数(也就是楔形砖的每环极限块数)  $K'_0 = 2\pi b / (a_d - a_r)$ 。混合砖环 II 外圆周长  $O_{2w}$  比单楔形砖砖环 I 外圆周长  $O_{1w}$  多  $aK_z$ ,  $O_{2w} - O_{1w} = 2\pi R_0 + 2\pi \Delta R - 2\pi R_0 = 2\pi \Delta R$ ,则  $aK_z = 2\pi \Delta R$ ;混合砖环 II 内圆周长  $O_{2n}$  比单楔形砖砖环 I 内圆周长  $O_{1n}$  也多  $aK_z$ ,  $O_{2n} - O_{1n} = 2\pi R_0 + 2\pi \Delta R - 2\pi b - 2\pi(R_0 - b) = 2\pi \Delta R$ ,则  $aK_z = 2\pi \Delta R$ 。混合砖环与单楔形砖砖环比较,两砖环外圆周长之差与内圆周长之差相等(都等于  $2\pi \Delta R$ ),

可见只有增加直形砖了,而楔形砖块数不变(不能增加)。

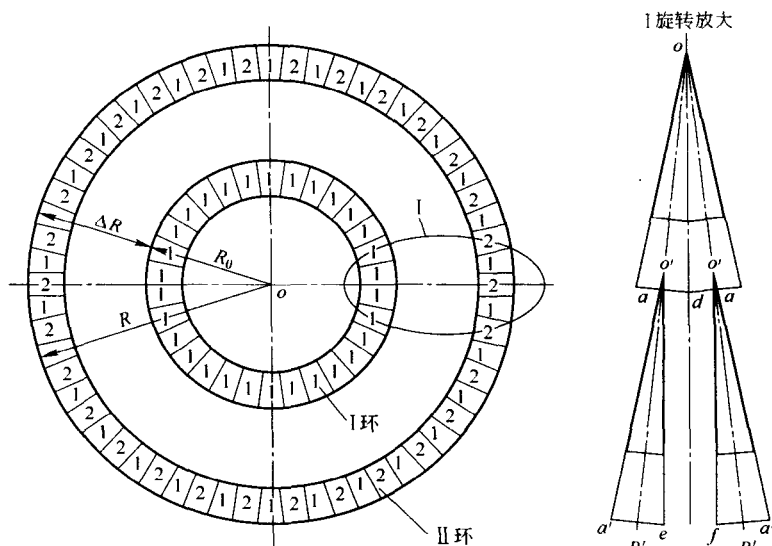


图 1-4 混合砖环

在图 1-4 及其放大图中,砖环 I 的楔形砖是相邻紧靠着砌筑的。通过砖环 I 每块楔形砖的放射中心线  $oR'$ ,在砖环 II 砌筑同样楔形砖,那么可直观看出两砖环楔形砖块数是相等的。 $oo' = aa' = \Delta R$ ,  $\angle aod = \angle a'o'e = \theta_0$ ,  $\angle doa = \angle fo'a' = \theta_0$ ,  $o'e \parallel od \parallel o'f$ , 所以  $o'e \parallel o'f$ , 证明了混合砖环楔形砖间剩余间隙为矩形,需配砌直形砖,这些矩形之和等于  $aK_z$ 。

从每块楔形砖都具有一定的中心夹角  $\theta_0$  及式  $(1-2c)K'_0 = 360^\circ/\theta_0$  知,无论外半径为  $R_0$  的单楔形砖砖环,或外半径增大到  $R(R > R_0)$  的混合砖环,两砖环的中心角  $\theta$  都为  $360^\circ$ ,因此楔形砖的块数都为相等的定值。

为强调单楔形砖砖环内楔形砖块数的定值及混合砖环内楔形砖块数的最多值,有理由将其称为每环极限块数,并作为每种楔形砖重要尺寸参数计算出来列入 YB/T 5012—1997 尺寸表中,见表 1-1,供人们方便查找。楔形砖的极限块数概念是非常重要的。它可以识别混合砖环的计算错误。例如某高炉炉身上部混合砖环采用  $2 \times 345\text{mm}$  奇数砖层及  $3 \times 230\text{mm}$  偶数砖层。设计图上标明工作内环的 G-4 及 G-3 数量分别为 110 块及 98 块,第二环及第三环 G-4 及 G-3 数量比 110 块及 95 块还多。由 YB/T 5012—1997 查得 G-4 及 G-3 的极限块数分别为 108.4 块及 96.3 块,无论工作内环或是外环,它们的数量不变。

有了楔形砖极限块数概念及其在砖尺寸表中的计算值,混合砖环的计算实质上仅为砖环内直形砖块数的计算。

直形砖块数  $K_z$  计算式 1-4 是基于楔形砖极限块数的计算式。将  $K'_0 = 2\pi b/(a_d - a_r)$  代入之并按  $ab/(a_d - a_r) = R_0$  化简得

$$K_z = \frac{2\pi(R - R_0)}{a} = \frac{2\pi\Delta R}{a} \quad (1-5)$$

式 1-5 为基于楔形砖外半径  $R_0$  的直形砖量计算式,可由其导出混合砖环内与楔形砖配砌的直形砖的尺寸参数——1 块直形砖半径增大量  $(\Delta R)_1$ 。从图 1-4 已证实  $aK_z = 2\pi\Delta R$  或

变换式 1-5 可求出砌以  $K_z$  块直形砖的混合砖环的半径增量  $\Delta R$

$$\Delta R = \frac{aK_z}{2\pi}$$

当  $K_z=1$  即混合砖环仅砌一块直形砖时, 砖环半径增量(简称一块直形砖半径增量)  $(\Delta R)_1$

$$(\Delta R)_1 = \frac{a}{2\pi} \quad (1-6)$$

式中,  $a$  为另加砖缝厚度的直形砖配砌尺寸, mm。

对于高炉及热风炉环形混合砌砖而言, 直形砖的配砌尺寸  $a=150\text{mm}$ 。砖缝厚度不同  $(\Delta R)_1$  也不同。例如, 当砖缝厚度取 0.5mm、1.0mm、1.5mm、2.0mm 时,  $(\Delta R)_1$  分别为 23.95mm、24.03mm、24.11mm、24.19mm。YB/T 5012—1997 的  $(\Delta R)_1$  取 24.03mm, 已列入表 1-2。

式 1-5 中  $2\pi/a=1/(\Delta R)_1$ , 则式 1-5 进一步简化为

$$K_z = \frac{R-R_0}{(\Delta R)_1} \quad (1-7)$$

由式 1-7 得

$$(\Delta R)_1 = \frac{R-R_0}{K_z} \quad (1-6a)$$

我们可以这样理解式 1-6a: 配砌  $K_z$  块直形砖时混合砖环外半径  $R$ , 比单楔形砖砖环外半径  $R_0$  增大了  $R-R_0$ , 那么配砌每一块直形砖后混合砖环半径的增量就必为式 1-6a  $(R-R_0)/K_z$  的定值。其实这也就是 1 块直形砖半径变化量的直观定义式。将  $K_z=2\pi R/a-K'_0$ ,  $R_0=a_d b/(a_d-a_r)$  及  $K'_0=2\pi b/(a_d-a_r)$  代入式 1-6a 又得到式 1-6。一块直形砖半径增量虽然是仅砌一块直形砖时混合砖环半径增大量的简称, 它是混合砖环的尺寸参数, 但能在尺寸表中以有具体配砌尺寸的直形砖来体现, 因此可视为直形砖的尺寸参数。

表 1-2 高炉及热风炉用直形砖

砖号	尺寸/mm			规格/mm $b \times a \times c$	一块直形砖 半径增长量 $(\Delta R)_1/\text{mm}$	体积/ $\text{cm}^3$
	$b$	$a$	$c$			
G-1, R-1	230	150	75	230×150×75	24.03	2587.5
G-2, R-2	345	150	75	345×150×75	24.03	3881.3
G-11	400	150	75	400×150×90		5400.0
G-30, R-30	460	150	75	460×150×75	24.03	5175.0

注: 1. 经供需双方协商  $c$  可采用 100mm;

2. 尺寸符号意义见图 1-3。

YB/T 5012—1997 的正文采用的砖尺寸参数定义式, 是经数学推导出的, 完全适用于环形砌砖的计算。宽楔形砖极限块数概念非常重要, 无论在单楔形砖砖环还是在任意外半径混合砖环, 每环极限块数为不变的定值。这一概念省去了混合砖环内宽楔形砖量的计算。宽楔形砖外半径及直形砖的 1 块砖半径增量都列入砖尺寸表中, 同时简化了砖环内直形砖的计算<sup>[4]</sup>。

## 1.2 高炉环形砌砖简化计算

高炉环形砌砖的计算,是辐射形砌砖计算的基础,人们都重视对它的研究。高炉环形砌砖的计算还影响到高炉砖尺寸的设计,在修订 YB/T 5012—1997 时采用了简化计算成果。

高炉环形砌砖包括两种砖环:

- (1) 楔形砖与直形砖配合砌筑的混合砖环;
- (2) 两种楔形砖配合砌筑的双楔形砖砖环。

以往这两种砖环的原有计算式是基于砖尺寸的,比较繁杂,容易出错。本研究导出的简易计算式是基于尺寸参数的,不仅简化及精确,而且界定了应用范围,不易出错。为便于 YB/T 5012—1997 的实施,本节详细介绍了环形砌砖简易计算式的推导及应用。

### 1.2.1 高炉混合砖环计算

混合砖环的计算,实质上仅为砖环内直形砖块数  $K_z$  的计算,因为砖环内楔形砖数量  $K_0$  为其极限块数  $K'_0$  的定值(可由 YB/T 5012—1997 直接查到)。由于高炉用砖采用等大端尺寸系列( $a=a_d$ ),直形砖量  $K_z$  等于砖环总砖数  $2\pi R/a$ (式中  $R$  为砖环外半径)与楔形砖数极限块数  $K'_0$  之差,即式 1-4 称为基于楔形砖极限块数  $K'_0$  的计算式。由混合砖环与单楔形砖砖环圆周长之差  $2\pi\Delta R$  等于  $aK_z$ (即  $aK_z=2\pi\Delta R$ ) 导出的混合砖环内直形砖量计算式 1-5 称为基于楔形砖环外半径  $R_0$  的计算式,它们可以互相转换。将尺寸参数  $K'_0=2\pi b/(a_d-a_r)$  代入式 1-4 并按  $ab/(a_d-a_r)=R_0$  化简得式 1-5。将尺寸参数  $R_0=ab/(a_d-a_r)$  代入式 1-5 并按  $2\pi b/(a_d-a_r)=K'_0$  化简得式 1-4。将  $K'_0=2\pi b/(a_d-a_r)$  代入式 1-4 并按  $ab/(a_d-a_r)=R_0$  及  $2\pi/a=1/(\Delta R)_1$  化简得基于直形砖尺寸参数[一块直形砖半径增量  $(\Delta R)_1=a/2\pi$ ]的直形砖量简化计算式 1-7。式 1-5 直接按  $2\pi/a=1/(\Delta R)_1$  化简也得式 1-7。

将 YB/T 5012—1997 提供的尺寸参数  $K'_0$ 、 $R_0$ 、 $(\Delta R)_1$  及尺寸  $a$  代入式 1-4、式 1-5 及式 1-7,得到高炉及热风炉各种混合砖环内直形砖量的简易计算式,见表 1-3。

表 1-3 高炉及热风炉混合砖环内直形砖量简易计算式

配砌砖号		砖环厚度 /mm	砖环外半径 $R$ 应用范围/mm	直形砖量 $K_z$ 简易 计算式	计算式 编号
楔形砖	直形砖				
G-3	G-1	230	$R>2315.3$	$K_{G-1}=0.04161R-96.3$	1-4a
G-3	G-1	230	$R>2315.3$	$K_{G-1}=0.04161(R-2315.3)$	1-5a
G-3	G-1	230	$R>2315.3$	$K_{G-1}=(R-2315.3)/24.03$	1-7a
G-4	G-2	345	$R>2604.8$	$K_{G-2}=0.04161R-108.4$	1-4b
G-4	G-2	345	$R>2604.8$	$K_{G-2}=0.04161(R-2604.8)$	1-5b
G-4	G-2	345	$R>2604.8$	$K_{G-2}=(R-2604.8)/24.03$	1-7b
G-31	G-30	460	$R>3473.0$	$K_{G-30}=0.04161R-144.5$	1-4c
G-31	G-30	460	$R>3473.0$	$K_{G-30}=0.04161(R-3473.0)$	1-5c
G-31	G-30	460	$R>3473.0$	$K_{G-30}=(R-3473.0)/24.03$	1-7c
G-5	G-1	230	$R>1157.7$	$K_{G-1}=0.04161R-48.2$	1-4d
G-5	G-1	230	$R>1157.7$	$K_{G-1}=0.04161(R-1157.7)$	1-5d
G-5	G-1	230	$R>1157.7$	$K_{G-1}=(R-1157.7)/24.03$	1-7d

续表 1-3

配砌砖号		砖环厚度 /mm	砖环外半径 $R$ 应用范围/mm	直形砖量 $K_x$ 简易 计算式	计算式 编号
楔形砖	直形砖				
G-6	G-2	345	$R > 1302.4$	$K_{G_2} = 0.04161R - 54.2$	1-4e
G-6	G-2	345	$R > 1302.4$	$K_{G_2} = 0.04161(R - 1302.4)$	1-5e
G-6	G-2	345	$R > 1302.4$	$K_{G_2} = (R - 1302.4)/24.03$	1-7e
G-32	G-30	460	$R > 1736.5$	$K_{G_{30}} = 0.04161R - 72.3$	1-4f
G-32	G-30	460	$R > 1736.5$	$K_{G_{30}} = 0.04161(R - 1736.5)$	1-5f
G-32	G-30	460	$R > 1736.5$	$K_{G_{30}} = (R - 1736.5)/24.03$	1-7f

表 1-3 内各直形砖量的简易计算式中,定值项 48.2、54.2、72.3、96.3、108.4 及 144.5 分别为 G-5、G-6、G-32、G-3、G-4 及 G-31 的极限块数;括号内的 1157.7、1302.4、1736.5、2315.3、2604.8 及 3473.0 分别为 G-5、G-6、G-32、G-3、G-4 及 G-31 的外半径;分母 24.032 为 1 块直形砖半径增大量; $R$  的系数 0.04161 为  $2\pi/151$ 。诸式的规范(例如  $R$  系数均为 0.04161 及分母均为 24.032)便于记忆,一方面是采用合理尺寸参数的结果;另一方面表明等大端尺寸系列的方便性。

**【例 1】** 外半径  $R = 3500\text{mm}$  混合砖环,分别砌以 230mm、345mm 及 460mm 砖时,计算这 3 种单砖环的用砖量。从表 1-3 知,230mm、345mm 及 460mm 砖环应分别砌以楔形砖 G-3、G-4 及 G-31 与直形砖 G-1、G-2 及 G-30。由 YB/T 5012—1997(即本章表 1-1)查得 G-3、G-4 及 G-31 的极限块数分别为 96.3 块、108.4 块及 144.5 块,即为每砖环的用砖量。与 G-3 配砌的 G-1 数量  $K_{G_1}$  按式 1-4a、式 1-5a 或式 1-7a 计算:

$$K_{G_1} = 0.04161 \times 3500 - 96.3 = 49.3 \text{ 块}$$

$$K_{G_1} = 0.04161(3500 - 2315.3) = 49.3 \text{ 块}$$

或  $K_{G_1} = (3500 - 2315.3)/24.03 = 49.3 \text{ 块}$

与 G-4 配砌的 G-2 数量  $K_{G_2}$  按式 1-4b、式 1-5b 或式 1-7b 计算:

$$K_{G_2} = 0.04161 \times 3500 - 108.4 = 37.2 \text{ 块}$$

$$K_{G_2} = 0.04161(3500 - 2604.8) = 37.2 \text{ 块}$$

或  $K_{G_2} = (3500 - 2604.8)/24.03 = 37.2 \text{ 块}$

与 G-31 配砌的 G-30 数量  $K_{G_{30}}$  按式 1-4c、式 1-5c 或式 1-7c 计算:

$$K_{G_{30}} = 0.04161 \times 3500 - 144.5 = 1.1 \text{ 块}$$

$$K_{G_{30}} = 0.04161(3500 - 3473.0) = 1.1 \text{ 块}$$

$$K_{G_{30}} = (3500 - 3473.0)/24.03 = 1.1 \text{ 块}$$

### 1.2.2 高炉双楔形砖砖环计算

在外半径为  $R$  的高炉双楔形砖砖环内砌以两种楔形砖:大端尺寸为  $a_d$  及小端尺寸为  $a_{1r}$  的大半径宽楔形砖  $K_d$  块;大端尺寸  $a_d$  及小端尺寸为  $a_{2r}$  的小半径宽楔形砖  $K_x$  块。该双楔形砖砖环的内外圆周长之差近似等于  $2\pi b = (a_d - a_{1r})K_d + (a_d - a_{2r})K_x$

由此解出大半径楔形砖块数  $K_d$

$$K_d = \frac{2\pi b - (a_d - a_{2r})K_x}{a_d - a_{1r}} = \frac{2\pi b}{a_d - a_{1r}} - \frac{(a_d - a_{2r})K_x}{a_d - a_{1r}} \quad (1-8)$$

外圆周长  $2\pi R = a_d(K_d + K_r)$ , 将式 1-8 代入之, 并解之得小半径楔形砖块数  $K_r$

$$K_r = \frac{a_d - a_{1x}}{a_{1x} - a_{2x}} \left( \frac{2\pi b}{a_d - a_{1x}} - \frac{2\pi R}{a_d} \right) \quad (1-9)$$

式 1-8 及式 1-9 按  $2\pi b / (a_d - a_{1x}) = K'_d$  (大半径楔形砖的极限块数) 化简后, 再将式 1-9 代入式 1-8 得基于极限块数的计算式:

$$K_d = \frac{2\pi(a_d - a_{2x})R}{a_d(a_{1x} - a_{2x})} - \frac{(a_d - a_{1x})K'_d}{a_{1x} - a_{2x}} \quad (1-10)$$

$$K_r = \frac{a_d - a_{1x}}{a_{1x} - a_{2x}} \left( K'_d - \frac{2\pi R}{a_d} \right) \quad (1-11)$$

由图 1-5 可推导出基于楔形砖外半径的计算式。砖环 I 为全部由小半径楔形砖砌筑的单楔形砖砖环; 砖环外半径可近似地视为小半径楔形砖的外半径  $R_x = a_d b / (a_d - a_{2x})$ , 砖环内该楔形砖的块数为其极限块数  $K'_x = 2\pi b (a_d - a_{2x})$ 。砖环 III 为全部由大半径楔形砖砌筑的单楔形砖砖环; 砖环外半径可近似地视为大半径楔形砖的外半径  $R_d = a_d b (a_d - a_{1x})$ , 砖环内该楔形砖的块数为其极限块数  $K'_d = 2\pi b (a_d - a_{1x})$ 。砖环 I 与砖环 III 之间的任一双楔形砖砖环 II 的外半径为  $R$  (即  $R_x \leq R \leq R_d$ )。按习惯的混合砌砖方法, 向砖环 I 配砌  $K_x$  块配砌尺寸为  $a$  的直形砖也可砌成砖环 II。如果用  $K_r$  块小半径楔形砖来代替  $K_x$  块直形砖, 则砖环内端圆周必然开缝。一块小半径楔形砖代替一块直形砖时, 砖环内端圆周形成  $a - a_{2x}$  的开缝,  $K_x$  块直形砖全部被小半径楔形砖代替时, 则砖环内端圆周形成  $(a - a_{2x})K_x$  的开缝。为消除这些开缝, 当不用直形砖时, 必须用  $K_d$  块大半径楔形砖替换部分小半径楔形砖。一块大半径楔形砖替换一块小半径楔形砖时可减少砖环 II 内圆周开缝  $a_{1x} - a_{2x}$ , 为消除砖环 II 内圆周的全部开缝  $(a - a_{2x})K_x$  需用大半径楔形砖的块数  $K_d = (a - a_{2x})K_x / (a_{1x} - a_{2x})$ 。式中,  $K_x$  为原先配加入砖环 II 的直形砖量  $K_x = 2\pi(R - R_x) / a$ , 在等大端尺寸系列  $a$

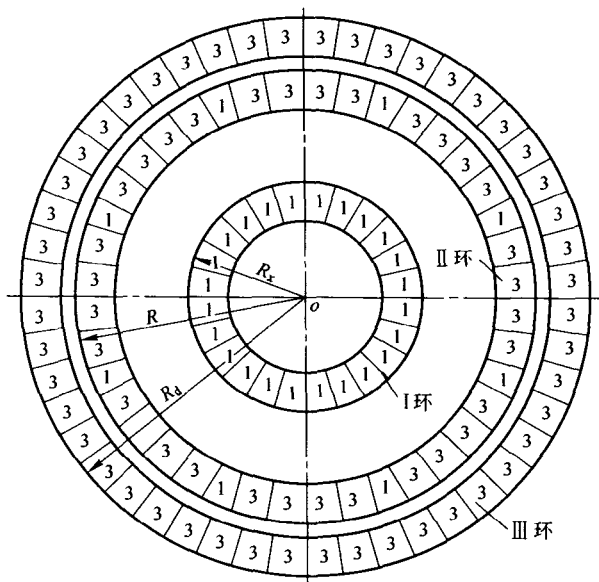


图 1-5 高炉双楔形砖砖环



$=a_d$ , 将它们代入之得

$$K_d = \frac{2\pi(a_d - a_{2x})(R - R_x)}{a_d(a_{1x} - a_{2x})} \quad (1-12)$$

砖环 II 的总砖数  $2\pi R/a_d$  减去大半径楔形砖块数  $K_d$  计算式 1-12 即得小半径楔形砖块数  $K_x$

$$\begin{aligned} K_x &= \frac{2\pi R}{a_d} - K_d = \frac{2\pi R}{a_d} - \frac{2\pi(a_d - a_{2x})(R - R_x)}{a_d(a_{1x} - a_{2x})} \\ &= \frac{2\pi[(a_d - a_{2x})R_x - (a_d - a_{1x})R]}{a_d(a_{1x} - a_{2x})} \end{aligned} \quad (1-13)$$

将  $R_x = a_d b / (a_d - a_{2x})$  代入式 1-1 及式 1-13 得基于砖尺寸的计算式:

$$K_d = \frac{2\pi[a_d(R - b) - a_{2x}R]}{a_d(a_{1x} - a_{2x})} \quad (1-14)$$

$$K_x = \frac{2\pi[a_{1x}R - a_d(R - b)]}{a_d(a_{1x} - a_{2x})} \quad (1-15)$$

其实, 由下面的方程组直接解出式 1-14 及式 1-15:

$$\begin{cases} a_d K_d + a_d K_x = 2\pi R \\ a_{1x} K_d + a_{2x} K_x = 2\pi(R - b) \end{cases}$$

基于砖尺寸的双楔形砖砖环砖量计算式 1-14 及式 1-15 比较繁杂, 不便直接应用。不过从它们可推导出简化计算式。式 1-14 及式 1-15 中, 砖环外半径  $R$  的应用范围就在小半径楔形砖外半径  $R_x$  与大半径楔形砖外半径  $R_d$  之间, 即  $R_x \leq R \leq R_d$ 。在小半径砖环,  $R = R_x = a_d b / (a_d - a_{2x})$ , 将其代入式 1-14 并化简得  $K_d = 0$ , 还不需大半径楔形砖; 将其代入式 1-15 并化简得  $K_x = K'_x$ , 即小半径楔形砖为其极限块数。在大半径砖环,  $R = R_d = a_d b / (a_d - a_{1x})$ , 将其代入式 1-14 并化简得  $K_d = K'_d$ , 即大半径楔形砖量为其极限块数; 将其代入式 1-15 并化简得  $K_x = 0$ , 即已不需要小半径楔形砖。可见双楔形砖砖环内两种楔形砖的块数都不超过该砖的极限块数。这也是称之为极限块数的理由之一。

早在 20 世纪 60 年代, 为顺利编制双楔形砖砖环砖量配比表, 就提出一个课题: 能否与混合砖环的一块直形砖半径增大量计算式 1-6a 相似, 双楔形砖砖环的一块楔形砖半径变化量也为定值<sup>[6]</sup>? 为此变换式 1-14 及式 1-15 的形式:

$$K_d = \frac{2\pi(a_d - a_{2x})R}{a_d(a_{1x} - a_{2x})} - \frac{2\pi b}{a_{1x} - a_{2x}} \quad (1-14a)$$

$$K_x = \frac{2\pi(a_{1x} - a_d)R}{a_d(a_{1x} - a_{2x})} + \frac{2\pi b}{a_{1x} - a_{2x}} \quad (1-15a)$$

可见式 1-14a 及式 1-15a 均为直线方程。式 1-14a 中  $R$  的系数  $2\pi(a_d - a_{2x})/a_d(a_{1x} - a_{2x})$  为正值, 式 1-15a 中  $R$  的系数  $2\pi(a_{1x} - a_d)/a_d(a_{1x} - a_{2x})$  为负值。那么, 在  $R_x \leq R \leq R_d$  范围内, 双楔形砖砖环中大半径楔形砖块数  $K_d$  的增多及小半径楔形砖块数  $K_x$  的减少都分别同时与砖环外半径  $R$  的增大成直线关系。由此可以推论: 增多一块大半径楔形砖时砖环半径的增大量  $(\Delta R)'_d$  及减少一块小半径楔形砖时砖环半径的增大量  $(\Delta R)'_x$  (统称一块楔形砖半径变化量) 必为用下式计算的定值:

$$(\Delta R)'_d = \frac{R_d - R_x}{K'_d} \quad (1-16)$$