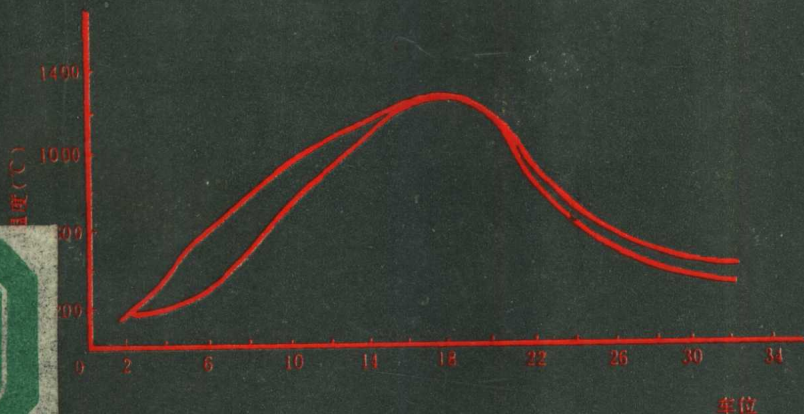


陶瓷窑炉 热工分析与模拟



● 宋崑 蒋欣之 著

● 中国轻工业出版社

陶瓷窑炉热工分析与模拟

宋嵩 蒋欣之 著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国轻工业出版社

060038

(京)新登字034号

陶瓷窑炉热工分析与模拟

宋崇 蒋欣之 著

责任编辑 李春娅

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街6号)

三河宏达印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

850×1168毫米 1/32 印张: 14.625 字数: 354 千字

1993年10月 第1版第1次印刷

印数: 1-2, 000 定价: 14.00元

ISBN7-5019-1462-1 /TQ·068

前 言

本书包括两大部分：陶瓷窑炉热工过程分析及陶瓷窑炉热工过程计算机模拟。

前者以热工理论为基础，针对陶瓷窑炉的生产条件、资料及数据，进行热工过程理论分析与计算。由此寻求各热工参数间的定量关系，为寻求最佳条件提出分析方法。

后者以热工理论为基础，针对陶瓷窑炉设计及操作中的重要问题建立热工过程数学模型，利用数值方法及计算机技术进行计算机模拟。从模拟得出有指导意义的定量结果，为寻求解决问题的措施与方法提供理论根据。并通过实例为今后窑炉热工过程计算机模拟进一步开展提供帮助。

本书由天津大学材料科学与工程系宋崑主编。第一部分陶瓷窑炉热工过程分析由浙江大学材料科学与工程系蒋欣之著；第二部分陶瓷窑炉热工过程计算机模拟由宋崑著。

本书由轻工业部刘秉诚先生审阅。

本书得到谷同恩、肖如亭、解文书、张乙明及赵新力的支持。

PREFACE

This book consists of two parts, namely, the analysis of heating processes in ceramic kilns and the computer simulation of heating processes in ceramic kilns.

The first part is based on the theories of fluid flow, combustion, and heat transfer. In this part, heating processes are analyzed and calculated in accordance with the conditions and data of ceramic production. Thus the quantitative relationship between parameters of heating processes can be found. Analytical methods are presently put forward for obtaining optimal conditions in firing operation.

The second part is based on theories of fluid flow, combustion, and heat mass transfer. In this part, the mathematical models of heating processes are established for solving the important problems in the designing and operating of ceramic kilns. Computer simulations are carried out with numerical methods and computer technique. Quantitative results for establishing the guiding principles in design and operation of ceramic kiln are obtained through simulation. Computer simulation provides theoretical ground and methods for solving

problems in ceramic production. Examples in this part may assist the popularization and development of computer simulation of heating processes in ceramic kilns.

The chief editor of this book is Song Zhuan. The first part—analysis of heating processes in ceramic kilns—is written by Jiang Xin Zhi. The second part—computer simulation of heating processes in ceramic kilns—is written by Song Zhuan.

This book has been read and approved by Mr. Liu Bing Cheng of the Ministry of Light Industry.

The contents of this book are worked out with the assistance of Gu Tong En, Xiao Ru Ting, Xie Wen Shu, Zhang Yi Ming and Zhao Xin Li.

目 录

第一部分 陶瓷窑炉热工过程分析

第一章 陶瓷窑炉热工过程概论	1
1.1 窑炉热工过程的实质	2
1.2 分析窑炉热工过程及性能的意义	3
1.2.1 节能与技术进步	4
1.2.2 技术预测	4
1.2.3 综合技术的应用	5
1.3 陶瓷窑炉中热工过程的相互联系	6
第一章 参考文献	9
第二章 陶瓷窑炉热工性能的评价指标	10
2.1 陶瓷窑炉的能量特性	10
2.1.1 能量特性	10
2.1.2 能量特性的表达	11
2.2 陶瓷窑炉热效率、单位燃耗、单位热耗及相互 关系	14
2.2.1 热效率	14
2.2.2 热效率与单位燃耗间关系	17
2.2.3 热效率与单位热耗间关系	18
2.3 陶瓷窑炉热效率与燃烧效率、传热效率间关系	20
2.3.1 热效率与燃烧效率、传热效率间关系	20
2.3.2 不完全燃烧条件下的单位燃耗与单位热耗	21
2.4 陶瓷窑炉热工性能的评价	22
2.4.1 热工性能的评价指标	22

2.4.2 防止环境污染	23
第二章 参考文献	24
第三章 陶瓷窑炉中气体动力过程分析	26
3.1 陶瓷窑炉中热气体流动的特点	26
3.1.1 气体的压缩性与膨胀性	27
3.1.2 热气体的粘性	32
3.1.3 热气体运动的特点——浮力的作用	34
3.2 伯努利方程在陶瓷窑炉中的应用	36
3.2.1 气体的连续性方程式	37
3.2.2 伯努利方程在陶瓷窑炉中的应用	38
3.2.3 气体的动量方程式	42
3.3 隧道窑中气体运动的动力条件	43
3.3.1 气体流动的分析	44
3.3.2 阻力损失	47
3.4 隧道窑中气体流动对温度分布的影响	49
3.4.1 气体运动的纵向自然对流	49
3.4.2 组织气体顺、逆流动改变预热带压强分布	51
3.4.3 预热带窑道横断面的气体循环	53
3.5 倒焰窑中气体流动的特点	56
3.5.1 气体流动的过程	56
3.5.2 气体流动的特点	58
3.5.3 倒焰窑内压强分布及其变化	60
第三章 参考文献	62
第四章 陶瓷窑炉中燃烧过程分析	63
4.1 燃烧计算	63
4.1.1 燃烧计算的内容与意义	64
4.1.2 燃烧计算的基本公式	65
4.2 燃烧产物(烟气)量、二氧化碳量与空气过剩系数 间关系	71
4.2.1 不完全燃烧的燃烧产物量	71

4.2.2	不完全燃烧产物组成及其生成量计算	74
4.2.3	空气过剩系数的计算式	77
4.2.4	燃烧产物中二氧化碳量与空气过剩系数间关系	80
4.3	空气过剩系数与烟气带走热量和不完全燃烧热 损失间关系	81
4.3.1	空气过剩系数与烟气带走热量和化学不完全燃烧热 损失间关系	82
4.3.2	化学不完全燃烧热损失的计算	82
4.4	燃烧效率与实际燃烧温度间关系	85
4.4.1	实际燃烧温度与燃烧效率间关系	85
4.4.2	量热计式燃烧温度与烟气带走热损失间关系	85
4.5	隧道窑顶烧与间歇式燃烧方法的特点	86
4.5.1	顶烧式隧道窑的燃烧特点	86
4.5.2	间歇式燃烧方法	87
4.6	煤气发生炉的气化效率及其对窑炉热效率的影 响	88
4.6.1	煤气发生炉的气化效率	88
4.6.2	煤气发生炉气化效率与陶瓷窑炉热效率间关系	91
4.7	煤气组成变化对窑炉热工性能的影响	92
4.7.1	燃烧(助燃)用空气量的波动率	92
4.7.2	化学不完全燃烧热损失与烟气带走热损失的增量	94
4.8	配煤对燃烧过程的作用	95
4.8.1	配煤的依据	96
4.8.2	配煤计算	96
4.8.3	配煤的意义	99
第四章 参考文献		100
第五章 陶瓷窑炉传热过程分析		101
5.1	陶瓷窑炉传热过程的特点与计算	101
5.1.1	隧道窑内的对流传热	102
5.1.2	明焰隧道窑内的气体辐射传热	104
5.1.3	明焰隧道窑内的综合传热	108

5.1.4	隔焰隧道窑内的传热特点	109
5.1.5	间歇式窑炉内的传热特点	110
5.2	隧道窑各带传热效率对其热工性能的影响	111
5.2.1	隧道窑各带的传热效率	111
5.2.2	隧道窑的热效率与各带传热效率间的关系	113
5.2.3	普瓷隧道窑热效率剖析	115
5.3	窑体最佳保温条件的确定	125
5.3.1	保温材料的选定	125
5.3.2	保温材料的经济厚度与安全厚度	126
5.3.3	多层保温材料厚度的最佳组成方案	127
第五章 参考文献		129
第六章 陶瓷窑炉的热工性能分析		131
6.1	影响窑炉热工性能的因素	131
6.1.1	烟气的热损失率对热效率的影响	132
6.1.2	空气预热对隧道窑热工性能的影响	134
6.1.3	窑具与输送装置对隧道窑热工性能的影响	134
6.1.4	减少窑体散热损失	136
6.1.5	减少不完全燃烧热损失	136
6.2	匣钵质量对隧道窑热工性能的影响	141
6.2.1	隧道窑的热效率	141
6.2.2	匣钵质量对隧道窑热效率的影响	143
6.3	隧道窑最佳热工条件的确定	146
6.3.1	隧道窑的能量特性与数据整理	146
6.3.2	隧道窑的最佳热工条件	147
6.4	隧道窑预热带温差及其对隧道窑热工性能的影响	150
6.4.1	预热带的温差	150
6.4.2	预热带的温度分布不均匀性系数	152
6.4.3	减小温差以改进隧道窑热工性能	155
6.5	隧道窑中烧成带产品烧成的均匀性	159

6.5.1	不均匀性程度	159
6.5.2	不均匀性程度的确定	160
6.5.3	烧成不均匀性的改进	161
6.6	辊道窑与多通道隧道窑(多孔窑)的热工特点	164
6.6.1	辊道窑的热工特点	164
6.6.2	多通道隧道窑(多孔窑)的热工特点	165
6.7	间歇式窑炉的热工特点	167
6.7.1	倒焰窑的热工特点	167
6.7.2	梭式窑的热工特点	168
6.7.3	钟罩窑的热工特点	170
6.7.4	降低燃料消耗的途径	172
第六章	参考文献	175

第二部分 陶瓷窑炉热工过程的计算机模拟

第七章	陶瓷窑炉热工过程计算机模拟概论	177
7.1	陶瓷窑炉热工过程的研究方法	177
7.1.1	原型研究方法	179
7.1.2	相似模拟方法	179
7.1.3	比拟模拟方法	180
7.1.4	数字模拟方法(计算机模拟方法)	181
7.2	计算流体力学、计算传热学及计算燃烧学	183
7.2.1	计算流体力学	183
7.2.2	计算传热学	185
7.2.3	计算燃烧学	186
7.3	陶瓷窑炉热工过程的数学模型及计算机模拟方法	187
第七章	参考文献	189
第八章	陶瓷窑炉流体动力过程的计算机模拟	192
8.1	流体动力过程基本方程	193
8.2	隧道窑料垛中气体动力过程的计算机模拟	197

8.2.1	隧道窑方柱形料垛无漏风等温气体动力过程的模拟	198
8.2.2	隧道窑方柱形料垛有漏风等温气体动力过程的模拟	201
8.2.3	隧道窑方柱形料垛非等温气体动力过程的模拟	201
8.2.4	隧道窑方柱形料垛气体动力过程模拟实例	203
8.2.5	隧道窑圆柱形料垛气体动力过程的模拟	208
8.3	隧道窑压强曲线的计算机模拟	212
8.3.1	隧道窑窑车接缝及沙封漏气量的模拟	213
8.3.2	隧道窑内气体流量平衡方程式	218
8.3.3	日用陶瓷隧道窑中压强曲线及漏风量的模拟实例	219
8.4	湍流流动过程的模拟	228
8.4.1	应用于湍流的流体动力学基本方程的时均形式	230
8.4.2	零方程模型	234
8.4.3	单方程模型	237
8.4.4	双方程模型	240
8.4.5	k - ϵ 双方程湍流模型的应用实例	243
第八章 参考文献		251
第九章 陶瓷窑炉传热过程的计算机模拟		251
9.1	传热过程基本方程	251
9.1.1	导热方程	253
9.1.2	对流放热方程	254
9.1.3	辐射传热方程	257
9.2	窑体散热过程的计算机模拟	257
9.2.1	一维稳态散热模型	258
9.2.2	二维稳态散热模型	261
9.3	窑内制品传热过程的计算机模拟	266
9.3.1	圆柱形料垛传热过程的计算机模拟	266
9.3.2	方柱形料垛传热过程的计算机模拟	281
9.4	窑内空间传热过程的计算机模拟	283
9.4.1	气体与固体表面间的对流放热	283

9.4.2	气体与固体表面间的辐射传热·····	285
9.4.3	隧道窑预热带空间传热过程的计算机模拟·····	287
9.5	隧道窑窑车蓄热过程的计算机模拟·····	289
9.5.1	陶瓷隧道窑窑车衬料优选问题·····	292
9.5.2	空心砖在隧道窑窑车上的应用·····	296
9.5.3	隧道窑窑车循环使用的计算机模拟·····	302
第九章	参考文献·····	304
第十章	陶瓷窑炉燃烧过程及气化过程的计算机模拟·····	306
10.1	燃烧过程基本方程·····	307
10.1.1	燃烧计算基本公式·····	307
10.1.2	化学动力学基本方程·····	308
10.1.3	化学平衡基本方程·····	308
10.1.4	热化学定律·····	309
10.1.5	流体动力过程基本方程·····	309
10.1.6	传热过程基本方程·····	309
10.1.7	传质过程基本方程·····	309
10.2	理论燃烧温度的计算·····	310
10.2.1	方程及约束条件·····	311
10.2.2	变量数目·····	312
10.2.3	参数数目·····	313
10.2.4	设定变量数目·····	313
10.2.5	求解步骤·····	313
10.3	气体燃料燃烧过程的计算机模拟·····	320
10.3.1	单相湍流扩散燃烧模型·····	320
10.3.2	三种燃烧模型模拟结果的比较·····	323
10.3.3	小结·····	328
10.4	液体燃料燃烧过程的计算机模拟·····	330
10.5	煤气发生炉气化过程的计算机模拟·····	334
10.5.1	简化假设及基本方程·····	335
10.5.2	数学模型的建立·····	338
10.5.3	有关气化过程参数的测定·····	350

10.5.4	计算机模拟结果及讨论	355
10.5.5	小结	364
第十章	参考文献	365
第十一章	陶瓷窑炉综合计算机模拟	367
11.1	明焰窑车式隧道窑热耗综合模拟	368
11.1.1	问题的提出	368
11.1.2	简化假设	369
11.1.3	数学模型的单元划分及计算基准	370
11.1.4	数学模型的基本方程 (MHT方程)	370
11.1.5	数学模型中各项具体计算方法	371
11.1.6	计算机程序框图	378
11.1.7	模拟方案的选择及原始数据	380
11.1.8	计算机模拟结果及讨论	381
11.2	隔焰窑车式隧道窑的传热综合模拟	389
11.2.1	问题的提出	390
11.2.2	数学模型的简化假设	391
11.2.3	隔焰隧道窑窑内传热数学模型的构成	392
11.2.4	窑内辐射传热子模型	392
11.2.5	棚板中的二维非稳态导热子模型	398
11.2.6	制品及窑车的一维非稳态导热子模型	402
11.2.7	计算机程序框图	402
11.2.8	模拟对象及模拟方案的确定	402
11.2.9	计算机模拟结果与实测数据的比较	406
11.2.10	计算机模拟结果及分析	407
11.3	辊道窑最优控制的数学模型	409
11.3.1	最优控制技术的发展	411
11.3.2	最优控制数学模型的一般形式	412
11.3.3	最优控制研究对象的描述	413
11.3.4	烧成质量约束条件的确定	414
11.3.5	陶瓷辊道窑最优控制数学模型的建立	417
第十一章	参考文献	427

附录 I	气体定压平均比热容	430
附录 II	固体平均比热容	430
附录 III	固体导热系数	431
附录参考文献	434

CONTENTS

Part one Analysis of heating processes in ceramic kilns

Chapter 1 An introduction to heating processes in ceramic kilns	1
1.1 Essence of heating processes in ceramic kilns..	2
1.2 Significance on analysis of heating processes and performances of ceramic kilns	3
1.2.1 Economization on energy and progress of tech- nique	4
1.2.2 prediction of technique	4
1.2.3 Application of comprehensive technique	5
1.3 Relation in heating processes of ceramic kilns	6
References	9
Chapter 2 Evaluative indices of heating performances of ceramic kilns	10
2.1 Energy characteristics of ceramic kilns	10
2.1.1 Energy characteristics of ceramic kilns	10
2.1.2 Expression of energy characteristics	11
2.2 Heat efficiency, specific fuel consumption, specific heat consumption and their rela- tions	14
2.2.1 Heat efficiency of ceramic kilns	14

2.2.2	Relation between heat efficiency and specific fuel consumption	17
2.2.3	Relation between heat efficiency and specific heat consumption	18
2.3	Relation between heat efficiency, combustion efficiency and heat transfer efficiency of ceramic kilns	20
2.3.1	Relation between heat efficiency, combustion efficiency and heat transfer efficiency	20
2.3.2	The specific fuel consumption and specific heat consumption under conditions of non-complete combustion	21
2.4	Evaluation of heat performances of ceramic kilns	22
2.4.1	Evaluative indices of heating performances.....	22
2.4.2	Prevention of environment pollution.....	23
	References.....	24
Chapter 3 Analysis of gas dynamic processes in ceramic kilns		
3.1	Peculiarities of hot gas flow in ceramic kilns	26
3.1.1	Compressibility and expansibility of hot gases.....	27
3.1.2	Viscosity of hot gases	32
3.1.3	Characteristics of hot gas flow — action of buoyancy.....	34
3.2	Application of Bernoulli's equation in ceramic kilns	36
3.2.1	Equation of continuous flow of gas.....	37