

陶瓷窑炉与热工研究

华

74  
3

版社

华南理工大学科学丛书

# 陶瓷窑炉与热工研究



华南理工大学出版社

## 内 容 提 要

本书是著者几十年来在科技方面的理论研究和试验成果的主要论文汇编,内容分为六个方面:(一)古陶瓷窑炉研究;(二)陶瓷工业隧道窑内传热研究;(三)隧道窑结构研究;(四)隧道窑热耗计算公式研究与窑炉节能;(五)计算机设计研究隧道窑;(六)中空窑、水泥窑及其他研究。

本专著适合无机非金属材料、热工、工业窑炉等科研、设计人员、大专院校教师、研究生和本科高年级学生阅读或作参考书。

〔粤〕新登字 12 号

### 陶瓷窑炉与热工研究

刘振群 著

责任编辑 谢树琪

\*

华南理工大学出版社出版

(广州·五山·邮编 510641)

各地新华书店经销

广东第二新华印刷厂印刷

\*

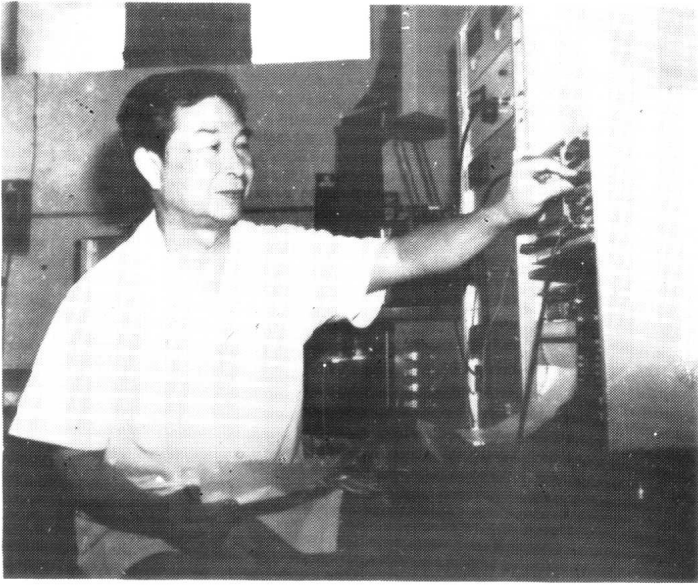
开本 850×1168 1/32 印张 11.5 插页 4 字数 291 千

1992年6月第1版 1992年6月第1次印刷

印数 1—3 000

ISBN 7—5623—0324—X/TB·26

定价: (精装) 12.50 元  
(半精装) 9.50 元



劉抗群

刘振群教授,1982~1991年任华南理工大学校长、博士研究生导师,兼任广东省科协副主席、广东省硅酸盐学会副会长、广州市化工学会名誉理事长、中国硅酸盐学会理事和陶瓷专业委员会副主任、《广州化工》编委会名誉主任、中国教育国际交流协会理事等,是第六、七届全国人大代表。

刘振群教授在科学技术方面的主要成果有:

(一)编写了我国第一本硅酸盐专业《窑炉》高校教材,后改编为《陶瓷工业热工设备》,一直沿用至今。出版的《陶瓷工业窑炉》专著,在国内外有较大的影响。

(二)开创了“窑炉烧成工艺和古陶瓷发展关系”的研究,提出了中国发明陶瓷最早为距今2000年前的战国时代,这种新观点得到了许多考古学家的认可;研究龙窑,总结龙窑的优点及指出其改进方向,使龙窑得以保存并继续发挥其作用。

(三)创建了“稀码理论”,并以此理论解决了西安高压电瓷厂苏联专家多年来未能解决的隧道窑技术难题,并索赔了我国的经济损失。

(四)用现代科技改造老学科,使窑炉热工研究推向新的发展阶段。用“有限元法”、“有限差法”等数值计算法研究窑炉的设计和控制,开创了我国研究窑炉烧成工艺新方法,建立了烧成材料窑中温度场、流速场等动态模拟;在完成国家“七·五”重点攻关项目——“新型墙体材料烧成设备(辊道窑)的计算机控制”的研究,首次开发了窑温与炉温的“智能一模糊一串级”控制系统。

(五)提出了“陶瓷工业窑炉四化”的新观点,即煤气化、轻型化、辊道化和自动化,为设计新窑、改造旧窑提出了方向。

1960年出席全国文教群英会,1989年被评为全国教育系统劳动模范。

## 出版说明

华南理工大学,是国家教育委员会直属的一所全国重点高等学校。自1952年建校以来,尤其是改革开放十多年来,已发展成为以工为主、理工文管结合的颇具规模的多科性综合大学,为国家培养和输送了6万多名各学科、专业的高级建设人才。目前,在校任教的教授、副教授(含相当的其它高级职称人员)有1000多人。正是他们带领4500多名教职员工,沿着党的教育方针指引的道路,把学校办成既是教学中心,又是科研中心。在他们当中有相当一批是在基础理论、应用科学或工程技术领域方面探索研究几十年而取得可喜成果,为繁荣发展我国科学和教育事业作出重要贡献并在国内外享有声誉的著名教授、专家、学者。我们编辑出版《华南理工大学科学丛书》的宗旨是:选择华南理工大学任职的教授、专家、学者科学研究中在某学科或领域处于科学前沿或取得突破性成果的科学论著,按统一的规格要求汇编成丛书,陆续出版面世,以集中反映华南理工大学代表性的科研成果及其在有关学科领域中的地位 and 特色,为科研成果的积累、传播、交流及转化为生产方面提供必要的条件。

《华南理工大学科学丛书》列选的资格由本丛书编审

委员会审定,并由华南理工大学拨出专项基金资助出版。选编的原则是:

一、列入本丛书的作者(或第一作者),必须是在华南理工大学担任现职的教师或在学的研究生。除博士点或博士后流动站的导师外,其他教师或研究生的著作必须有两名以上同行专家提出评论意见推荐。

二、凡申请列入本丛书的著作,均应是反映华南理工大学某学科领域的优势、特色和科学水平的,在国内或国内外处于先进水平或领先地位的学术专著;对科学研究成果卓著、学术界知名度大且年事已高的老教授,有选择地适当安排出版其科学论文集。

三、列入本丛书的著作均应使用中华人民共和国法定计量单位(或国际单位制)和有关的新标准(1990年前发表的著作附新制与旧制对照表);在引用他人著作或观点时,应注明出处和列出参考文献。

四、作者已在国外发表的论著,选用时保留发表时的文种,并注明发表的时间、地点和刊物名称。

出版高层次的科学丛书,我们还是初次尝试,由于缺乏经验,如出现缺点和错误,欢迎读者批评指正。

华南理工大学出版社

# 目 录

<b>一、古陶瓷窑炉研究</b> .....	( 1 )
1. 中国龙窑及阶级窑(陶瓷烧成窑)的热工研究 .....	( 3 )
2. 对无烟煤烧隧道窑和平坡龙窑的几点看法 .....	( 13 )
3. 窑炉的改进和我国古陶瓷发展的关系 .....	( 23 )
4. 闽粤古陶瓷与烧成窑炉的关系 .....	( 41 )
5. 对两个翻译名词的意见 .....	( 46 )
6. “炆器”还是称“石质瓷”为好 .....	( 48 )
7. 中国历代古陶瓷烧成工艺和窑炉的研究 (英文版) .....	( 51 )
8. 计算器辅助研究古陶瓷(英文版) .....	( 64 )
<b>二、陶瓷工业隧道窑窑内传热研究</b> .....	( 73 )
9. 陶瓷、耐火材料快速烧窑的理论分析 .....	( 75 )
10. 陶瓷、耐火材料窑内圆柱形料垛(包括匣钵) 间的传热 .....	( 83 )
11. 隧道窑中钵柱(圆柱形料垛)最合理的码法 .....	( 92 )
12. “稀码”对隧道窑工作状况的改善 .....	( 101 )
13. 隧道窑预热带及冷却带的对流传热研究 .....	( 110 )
14. 隧道窑烧成带对流传热模型研究 .....	( 121 )
<b>三、隧道窑结构研究</b> .....	( 133 )
15. 隧道窑的结构特性 .....	( 135 )
16. 几种隧道窑的分析比较 .....	( 141 )



17. 日用陶瓷快速烧成和窑炉的某些理论问题·····	( 150 )
18. 陶瓷工业隧道窑的合理尺寸·····	( 161 )
19. 煨烧陶瓷的窑炉结构今后发展方向·····	( 166 )
20. 日用细瓷二次烧成的窑炉及经济效果分析·····	( 172 )
21. 对硅酸盐工业窑炉现代化的几点意见	
——在热工理论上应进行哪些工作·····	( 180 )
22. 陶瓷工业窑炉的发展方向·····	( 192 )
23. 油烧陶瓷辊道窑预热带结构及温度控制	
研究·····	( 199 )
<b>四、隧道窑热耗计算公式研究与窑炉节能·····</b>	<b>( 205 )</b>
24. 隧道窑热耗与烧成时间、烧成温度及窑尺寸间的	
关系·····	( 207 )
25. 隧道窑热耗计算公式的探讨·····	( 213 )
26. 硅酸盐工业窑炉的耗能现状和节能措施·····	( 220 )
27. 陶瓷窑炉节能发展方向·····	( 226 )
28. 隧道窑热耗计算公式的推导(英文版)·····	( 229 )
<b>五、计算机设计与研究隧道窑·····</b>	<b>( 235 )</b>
29. 用电子计算机设计和控制隧道窑的探讨·····	( 237 )
30. 在电热隧道窑上用电子计算机按烧成曲线	
分配功率的计算·····	( 253 )
31. 电热隧道窑素烧墙面砖的计算机二维模拟·····	( 267 )
32. 陶瓷面砖料垛温度场的有限元分析·····	( 278 )
33. 有限差法和有限元法分析陶瓷料垛温度场	
(英文版)·····	( 290 )
34. 微型计算机辅助设计最佳烧成曲线	
(英文版)·····	( 303 )

<b>六、中空窑、水泥窑及其他研究</b> .....	( 311 )
35. 对窑内辐射传热计算方法的一些意见 .....	( 313 )
36. 对回转窑产量计算公式的探讨 .....	( 324 )
37. 含气孔建筑陶瓷材料的导热系数 .....	( 332 )
38. 含 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$ - $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 的新型烧绿石化合物 ( 英文版 ) .....	( 342 )
<b>附录 非国际单位制单位与国际单位制单位换算表</b> .....	( 354 )
<b>编后说明</b> .....	( 356 )

# 一、古陶瓷窑炉研究

2023年11月11日

# 中国龙窑及阶级窑（陶瓷烧成窑）的 热工研究

## 摘 要

1. 从热工方面研究出了龙窑及阶级窑的优点，在燃料节省和废热利用方面和近代隧道窑及多室窑相似，远远超过倒焰窑；在根据制品阻力来倾斜砌窑使全窑维持近乎“0”压下操作，这个优点是超过隧道窑和多室窑的。

2. 如果龙窑及阶级窑能达到卸装坯件自动化，则这种窑是陶瓷烧成设备的发展方向。

3. 龙窑及阶级窑也可用于煅烧成型的耐火材料坯件和水泥熟料。

## （一）引 言

中国陶瓷在世界上有最光荣、最悠久的历史，这是我们祖先劳动人民宝贵的遗产。解放前由于反动统治的摧残，陶瓷工业濒于绝境。解放后共产党正确领导，陶瓷工业得到迅速的恢复和发展，尤其现在党提出“鼓足干劲，力争上游，多快好省”的光辉总路线，赶超国际先进水平，用陶瓷代替钢铁的行动，在全国各地得到了迅速的实现和发展，那末对陶瓷工业重要的设备窑炉的研究工作就更迫切需要了。

目前用于烧制陶瓷的新式窑有：隧道窑，多室窑，轮窑及倒焰窑。这些窑投资费用大，其中倒焰窑燃料消耗更大。解放后，这些窑在我国建立了不少，将来这些窑也还是要继续建筑的。不过，我们中国几千年来直到今日大部分陶瓷都是在龙窑和阶级窑

内烧成的，如著名的江苏宜兴，湖南醴陵，广东石湾、高陂、枫溪等地都是用龙窑或阶级窑来烧成陶瓷的，烧出的陶瓷品质优良，在世界市场上有极高的评价，证明这两种窑有甚多的优点。作者在1956年初步总结了龙窑的优点并提出由烧柴改烧煤的可能性和具体步骤，1957年广东石湾在轻工业厅领导下龙窑改烧成功，今年在中央轻工业部领导下全国龙窑及阶级窑改烧煤及煤气成功。在解放后的新中国，龙窑和阶级窑得到了新生，有了光明的前途。

## (二) 龙窑和阶级窑的结构

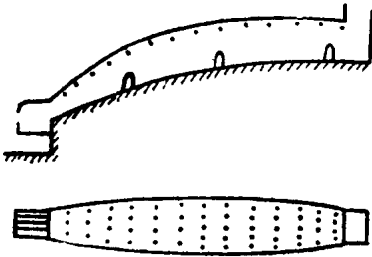


图1-1 龙窑示意图

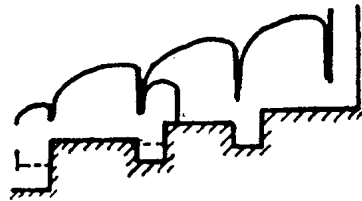


图1-2 阶级窑示意图

龙窑有几千年的历史，1952年在广州西村发现的北宋古代陶瓷龙窑，长35m，宽约3m，内壁挂满长期烧窑的釉质，这个窑距今有一千多年，为目前第一次发现的古龙窑建筑。

龙窑依山倾斜建筑，与地平线所成角度为 $12\sim 20^\circ$ ，窑长一般在 $20\sim 40\text{m}$ (个别还有更长的)，内宽 $1.5\sim 2.5\text{m}$ ，内高 $1.6\sim 2\text{m}$ ，窑头最低，该处设有一个预热火箱，火箱拱顶较窑的拱顶为低，其设计形状务使火焰不直喷窑顶，要火焰充满全窑与窑平行。自窑头至窑尾沿窑顶(窑背)每隔1m左右开一排孔，以便投柴或

煤入窑燃烧。当采用细煤粉为燃料时，可在料垛间不同的高度上用碎匣钵片作临时炉栅（石湾情况）。或在窑底每隔1.5m左右开沟，沟上用砖筑炉栅，投较粗煤块在炉栅上燃烧（宜兴情况）。在烧瓷器时也可将煤粉制成煤条投入窑中燃烧，避免煤灰飞扬。如用煤气可在窑底每隔1.5m左右开一条喷火口，将煤气喷入窑内燃烧，也可在窑墙上开一些煤气喷口补助燃烧。这种窑结构简单，不用铁器（除烧煤时预热火箱用一些炉条或在耐火砖砌的煤气发生炉中用不多的铁器外），不要严格尺寸的拱砖，没有复杂的窑底，积热少，阻力小，不要烟囱，建筑费用极为低廉，其结构像一个斜放的隧道窑，不过制品不动而火焰移动（操作又像轮窑）。

阶级窑也是依山倾斜建筑，一般分成8~10余室，每室大小不同，内高2~3.5m，内宽3~4m，室长3m左右，每室隔墙下有通气孔，隔墙后每室前有炉栅，以便逐室依次燃烧。其作用原理像一个斜放的冷底多室窑，其优点和龙窑相同。这两种窑的建筑费用和其他窑的比较列在表1-1中。

### （三）龙窑和阶级窑的传热和废热利用

龙窑和阶级窑按制品受热情况可分三个暂时的带，自窑尾至窑头顺次为预热带，烧成带，冷却带，正在燃烧的一段为烧成带，高温的燃烧产物流经预热带，将热传给制品使其预热，然后由烟囱排出。燃烧用冷空气自窑头进入，流经冷却带将制品冷却，空气温度得到提高。在预热带及冷却带的传热主要是对流传热，在气流成分大致不变，处于湍流下的对流传热系数按相似论的原则可用公式（1）表示：

$$Nu = f(Re) \dots \dots \dots (1)$$

式中  $Nu$ ——努塞尔准数

**Re——雷诺准数**

传热的好坏和气流温度、速度和料垛码砌方法有关。在烧成带的传热主要是辐射传热，按相似论原则该带的温度和辐射的关系可用公式(2)表示：

$$\theta = \phi (\pi \text{辐}) \dots\dots\dots (2)$$

式中  $\theta$ ——无因次温度准数，即气体温度与理论燃烧温度之比。

$\pi \text{辐}$ ——无因次辐射准数和气体流量、理论燃烧温度、制品的黑度、辐射系数和辐射受热面积等有关。

如果在一定的烧成温度下，使用一定的燃料和空气过量系数，则料垛的码砌方法(料垛密度)无论在预热、冷却、烧成各带中都起着决定性的作用。据研究的结果，这两种窑的传热都是极好的。

这两种窑能利用废热来预热制品，也能利用制品冷却放出的热来预热空气，故燃料消耗少，燃烧温度高，比例焰窑优越，有隧道窑和多室窑相似的优点。虽然燃烧在近窑尾处进行时，废热利用较差，但由于结构简单，传热效率高，周转期快，故燃料消耗只有倒焰窑的一半，和隧道窑及多室窑相近。按石湾及宜兴测定的数据列在表1-1及表1-2中。

表1-1 龙窑阶级窑与其他窑比较表

(以一个容积为400~500m<sup>3</sup>烧陶瓷的隧道窑为基准)

名 称	需要个数	每个容积 (m <sup>3</sup> )	每个周转期 (昼夜)	总 投 资 (万元)	标准燃料消耗占制品%
隧 道 窑	1	400~500	3	60~80	40~50
龙 窑	2~3	100~150	1~2	2~6	45~50
阶 级 窑	5~6	200~250	8~10	10~20	50~60
多 室 窑	3	400~500	8~10	60~70	50~80
倒 焰 窑	8~10	100	4~5	60~70	130~150



表中数字因煨烧制品不同，操作条件不同，可能有出入，只供参考（调控得当时，周转期是可以缩短的）。

表1-2 龙窑烧成情况表

名称	烧窑头预热 火箱时数	烧成温度	烧成带升温速度
石湾烧陶器	10~20	1150℃	10~20min烧一排，由1000℃升至1150℃。
枫溪烧瓷器	10~12	1250℃	约1小时烧一排，由1050℃升至1250℃
宜兴烧陶器	12	1200℃	用煤气烧约1小时烧3排，由1000℃至1200℃。

#### (四) 龙窑及阶级窑全窑处在“0”压附近操作，是任何窑炉所不及的

按陶瓷烧成工艺的要求，坯体需要均匀的预热和煨烧，要求窑内截面上温度分布均匀。温度的分布均匀是靠压力制度来保证的，在窑炉中有很多燃烧喷口、闸门、沙封、装卸口及温度缝等不严密处，故窑内不允许正压太大，以免漏出热气，损失热量，恶化操作条件；也不允许负压太大，以免漏入冷空气，冷气在下，热气在上，使窑内气体分层，上下温度分布不均。最理想的情况是全窑维持“0”压（即等于大气压）空气只从喷口处或冷却带入口处进入，废气由烟囱排出，全窑不漏气。现代隧道窑力图达到这个理想，在冷却带机械鼓风，预热带机械抽风，只能维持烧成带近于“0”压，而预热带仍然处于负压下，通过沙封及不严密处吸入冷空气，造成该带气体分层，使坯体预热不均，这一矛盾和缺点在隧道窑中是无法克服的（虽然短的隧道窑可以减少这个缺点，但不能消灭这个缺点）；至于只靠烟囱或排风机抽气的轮