

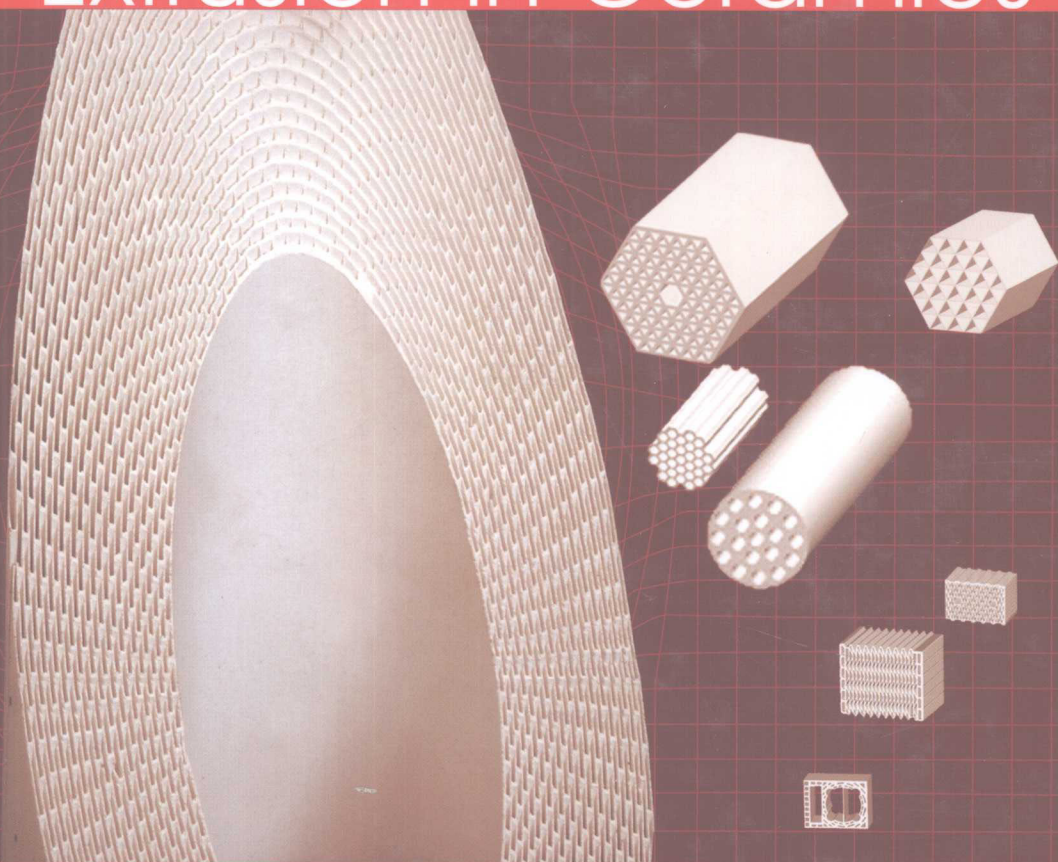
 Springer

陶瓷材料 挤出成型技术

【德】弗兰克·翰德乐 (Frank Händle) 主编

张文法 湛轩业 译

Extrusion in Ceramics



化学工业出版社

陶瓷材料 挤出成型技术

【德】弗兰克·翰德乐 (Frank Händle) 主编

张文法 湛轩业 译

Extrusion in Ceramics



化学工业出版社

·北京·

本书是全世界第一本系统、全面地介绍陶瓷材料挤出成型技术的书籍,介绍了结构陶瓷、日用陶瓷及高技术陶瓷的挤出成型技术。本书分别对挤出成型技术的历史,挤出成型的原理,挤出成型坯体材料的流变学特性,挤出成型的添加剂,挤出成型的摩擦学原理及磨损防护,挤出成型主要部件(如模具、压力头、螺旋绞刀、内衬、抽真空系统等),以及对挤出成型的计算机模拟做了详细的论述。每一章的内容由该方面的欧洲著名专家学者执笔。

本书是陶瓷材料挤出成型(包括砖瓦挤出成型和高技术陶瓷挤出成型)工程和工艺方面很好的教科书,适于该方面的管理人员和工程技术人员学习和查阅;同时该书也可作为大专院校和研究单位的陶瓷制造工艺与材料、陶瓷机械设备和建筑材料与装备专业的教学科研参考书。

图书在版编目(CIP)数据

陶瓷材料挤出成型技术/[德]翰德乐(Händle, F.)主编;
张文法,湛轩译译. —北京:化学工业出版社,2012.8

书名原文:Extrusion in Ceramics

ISBN 978-7-122-14355-6

I. ①陶… II. ①翰…②张…③湛… III. ①陶瓷-装饰材料-
挤出成型 IV. ①TQ174.6②TU56

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第103612号

Extrusion in Ceramics by Frank Händle (ed.)

ISBN 978-3-540-27100-0

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007. Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science+Business Media. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Springer Science+Business Media.

本书中文简体字版由 Springer Science+Business Media 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分,违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2012-0658

责任编辑:吕佳丽

装帧设计:尹琳琳

责任校对:徐贞珍

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张25 $\frac{3}{4}$ 彩插1 字数471千字

2012年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:120.00元

版权所有 违者必究

京化广临宇2012—19号

译者的话

中国的陶瓷历史悠久，早已载誉海内外。特别是近三十年来，随着中国经济的发展步伐加快，中国的陶瓷业（包括建筑陶瓷、砖瓦、日用陶瓷、卫生陶瓷、艺术陶瓷及高级工业陶瓷）也得以快速发展，中国已经成为名副其实的世界陶瓷大国。但遗憾的是，我们现在还称不上是陶瓷强国，无论生产工艺技术，还是工厂装备和工厂管理，或者产品质量、品牌价值、市场营销等方面，还远远落后于工业发达国家。这种局面可以归咎于多种原因，其中的重要原因之一来自于技术方面。这也就是我们翻译这本书的主要目的。如果读者能从这本书中发现一些技术上的差距，找到生产工艺中遇到问题的答案，明确今后改进工艺技术装备的方向，那么我们辛勤劳作的目的就达到了。

该书作者弗兰克·翰德乐（Frank Händle）先生曾经是德国翰德乐公司的总裁。德国翰德乐公司是一家族公司（Händle GmbH），创建于1870年，主要从事于陶瓷和砖瓦工业中的原料制备和真空挤出成型设备的设计制造，是世界该领域中享有盛誉、技术领先的公司。该公司研发生产的砖、瓦、陶板、陶瓷材料、耐火材料原料制备和挤出成型设备遍布世界各地，在中国大陆就有六十几条生产线。20世纪90年代末由于世界性的经济萧条，建材设备订单锐减，德国翰德乐公司于2000年将其大部分股份转让给美国斯蒂尔公司。此后弗兰克·翰德乐先生创建了ECT公司（陶瓷材料挤出成型技术公司），专门从事于高级工业陶瓷制品的挤出成型机和相关技术。他凭着多年的制造挤出成型机的经验和在欧洲该行业的影响力，汇合了欧洲众多专家，成功地编辑出版了世界上第一本全面系统地论述陶瓷材料挤出成型的著作。经过与弗兰克·翰德乐先生多年的接触和交流，感到他是一位博学多才、诚实严谨、人生阅历丰富、知识底蕴丰厚的学者。

完全有理由说本书是欧洲该行业的著名专家学者集体智慧的结晶，从书中最后20多位作者简历就可以清楚地了解这一点。全书由浅入深、由综合到具体，对陶瓷材料挤出成型技术的各个方面做了简繁适当的论述。整本书二十几章，各章主题鲜明、内容翔实，每个章节又可以自成体系，方便读者查阅；同时该书还有一个突出特点是实用性，能针对陶瓷材料挤出成型的具体过程和工艺来分析和解决问题。

本书的出版得到了双鸭山东方墙材集团有限公司、山东淄博功力机械制造有限公司和合肥乐华建材机械有限公司的鼎力资助，在此表示诚挚的感谢！

我们诚恳地等待着广大读者的评价、批评和建议。

张文法 湛轩业
2012年4月于北京

直到今天，我们所知道的世界第一个陶瓷罐约在公元前43世纪或公元前44世纪在中国或韩国产生。据我所知，中国第一个陶器窑炉的产生可追溯至公元前50世纪。在全世界，中国不仅是拥有最古老陶瓷的地方，而且也是拥有最丰富的陶瓷传统的地方。只要想想中国建造的万里长城，或者是令人惊叹的地下墓葬中使用的罕见的砖，就可以知道中国陶瓷生产历史的辉煌。

1982年我接受中国科学院的邀请，与一些同事一起出席了在北京召开的以现代制砖技术为主题的研讨会。在这次研讨会期间，我不仅有幸参观了中国的砖瓦厂，而且也参观了生产其他陶瓷制品的工厂，中国工人熟练的劳动技能给我留下了深刻的印象。看来中国人民在对陶瓷原料和生产工艺技术的理解方面保留着集体的记忆。

自从那时以来，中国不仅在传统陶瓷领域，也在高级（工业）陶瓷领域内以惊人的速度发展着。

近些年来，我真的为能与我们的中国客户和中国科学家建立良好的合作关系感到莫大的荣幸。因此，我的书现在能够在中国以中文形式翻译出版，我感到非常高兴。这本书重点总结了关于陶瓷原材料坯体挤出成型的一些最重要的发现。

借此机会我要向张文法先生表示感谢，感谢他为本书的翻译和出版做出了不寻常的努力。

我真诚地希望阅读这本书的朋友们万事如意，事业成功。

· 弗兰克·翰德乐 (Frank Händle)

Preface to Chinese Version of "Extrusion in Ceramics"

As far as we know today the first ceramic jars were produced in China or Korea around the 43th or 44th century BC. To my knowledge the first pottery kilns in China date back to the 50th

century BC. Not only does China possess the oldest, but also the richest, ceramic tradition worldwide; just think of the unusual bricks used for the building of the Great Wall of China, or the marvellous burial objects.

At the invitation of the Chinese Academy of Science, together with some colleagues, I attended a seminar in Beijing in 1982 on the subject of modern brick making technique. Within the framework of this seminar I was offered the opportunity to visit not only brickworks, but also factories producing other ceramic items and I was impressed by the skill of the Chinese workforce, both female and male. It appears that understanding of ceramic technology and materials is imprinted on the collective memory of the Chinese people.

Since that time China has enjoyed development at a breathtaking pace, not only in the field of traditional ceramics but also in the area of advanced ceramics.

I do consider it a great privilege to have been able to establish a good and cooperative relationship with our Chinese customers and with Chinese scientists over recent years. It is therefore a real pleasure for me that my book is now published in China, the emphasis of the book being on the summarization of the most important findings on the subject of extrusion of ceramic bodies.

At this point I would express my thanks to Wenfa Zhang for his great efforts in helping to promote and translate this book.

To those who read this book-I wish you every success.

Frank Händle

1 绪论	
弗兰克·翰德乐 (Frank Händle)	1
2 陶瓷材料成型技术纵览	
安德烈·布列什亚尼 (Andrea Bresciani)	14
3 陶瓷材料的现代分类	
胡贝图斯·雷 (Hubertus Reh)	36
4 挤出成型机的类型	
维利·本德尔 (Willi Bender)	57
5 挤出成型机的发展简史	
维利·本德尔 (Willi Bender), 汉斯 H. 伯杰 (Hans H. Böger)	81
6 螺旋绞刀挤出机的工作原理	
约翰·布里奇沃特 (John Bridgwater)	124
7 陶瓷坯体材料的流变学特性	
弗里茨·兰恩杰 (Fritz Laenger)	137
8 坯体混合料的流变特性与可挤出性能	
沃尔夫冈·格雷斯科 (Wolfgang Gleissle), 简·格拉茨克 (Jan Graczyk)	155
9 挤出成型常见问题与解决方案	
迪特马尔·卢茨 (Dietmar Lutz)	165
10 挤出成型过程中的分层现象	
莱纳·巴塔斯克 (Rainer Bartusch), 弗兰克·翰德乐 (Frank Händle)	179
11 用于挤出成型的添加剂	
迈克尔·霍尔茨根 (Michael Hölzgen), 彼得·奎尔姆巴奇	

	(Peter Quirnbach)	203
12	挤出成型模具、压力头、格栅板及其他 哈拉尔德·伯格 (Harald Berger)	213
13	双螺旋绞刀挤出机 沃纳·维德曼 (Werner Wiedmann), 玛丽亚·霍尔泽尔 (Maria Hölzel)	232
14	活塞式挤出机 冈瑟·多尔 (Günther Doll), 弗兰克·翰德乐 (Frank Händle), 弗里茨·斯皮斯伯格 (Fritz Spiessberger)	251
15	挤出成型的抽真空——关系曲线及所处环境 弗里茨·兰恩杰 (Fritz Laenger)	265
16	陶瓷材料挤出成型的抽真空技术 马克·雷德曼 (Mark Redmann)	271
17	陶瓷材料坯体的热塑性挤出成型 弗兰克·克莱门斯 (Frank Clemens)	284
18	摩擦学原理 冈特·门尼格 (Günter Mennig)	300
19	挤出机螺旋绞刀的磨损防护 瓦尔特·赖辛格 (Walter Reisinger)	307
20	挤出机使用陶瓷构件降低磨损的前景 霍尔格·瓦姆泊斯 (Holger Wampers)	315
21	可塑性和挤出性能的试验方法 卡特林·戈赫勒特 (Katrin Göhlert) 马瑞·于贝尔 (Maren Übel)	330
22	陶瓷材料挤出成型过程的模拟 鲍里斯·布什塔拉 (Boris Buchtala), 西格利德·朗格 (Sigrid Lang) ...	344
	参考文献选录	360
	作者简介	376
	名词解释 (英汉对照)	391

1

绪论

弗兰克·翰德乐 (Frank Händle)

1.1 我的期盼

很长时间以来，我的脑海里一直萦绕着写一本关于“陶瓷材料挤出成型”的书的想法，因为令我吃惊的是我已经不能将这个主题（塑性挤出成型）定位于单一现有的、泛泛的综合论述上。尽管事实上有很多关于某一个主题的优秀文献可以被找到，例如由雷德 (Reed)^[1]、克劳斯 (Krause)^[2]、本德尔和翰德乐 (Bender/Händle)^[3]所写的教科书。

按照伍德·艾伦 (Woody Allen) 命名精彩讽刺电影的类似方法——“你总想知道关于性的所有” (Everything You Always Wanted to Know about Sex)，最初我打算把这本书称为“你总想知道的关于陶瓷挤出的所有” (Everything You Always Wanted to Know about Ceramic Extrusion)。但是在有了几个其他想法之后，最终决定用一个稍微醒目一些的标题。不过考虑到我们的目标读者和他们的想法，我的同伴作者和我已经竭尽全力不使用难以理解但显得更科学的行话。

这本书奉献给那些想全面掌握或了解陶瓷材料挤出成型的读者们。我们知道大部分读者买这本书不是为了好玩或者超出理智的好奇心，而是因为他们希望从中获得一些对他们的工作有用的知识。换句话说，从经济学家约瑟夫·舒穆彼特 (Joseph Schumpeter) 那里借用一个隐喻，这本书就像是一个“工具箱”。这将由读者来决定可能用得上哪一件“工具”。

以下各章节将介绍陶瓷材料挤出成型的各个方面。每一章都是独立成章，也就是说读者可以未经读过其他文献来阅读每一章。当然这样会导致内容上有一些重复和冗长，但这是不可避免的。当我还是一个牵着父亲手的小男孩时，在附近的一个制砖厂里第一次见到了挤出机。我记得很惊讶，这样一个东西居然会

吐出砖来。如今 60 年过去了，我还一直在惊叹，或者正如爱因斯坦（Einstein）的一个学生曾说过的话：“我依然被迷惑，但这是在一个更高的层次上。”

1.2 历史的困扰

1971 年，我因工作关系得到了首次涉足挤出机制造的机会。从那时起，我就希望为挤出机的进一步发展做出贡献，当时仅有一些少许概念和冲动。当然这些想法和冲动是建立在反复灌输的理论、个人经验、各种各样的成就和失败之上的，同时还伴随着顾客的意见、一些竞争对手理念上的好奇注视，以及还有过多的有用信息和有意及无意的错误信息。所有这些必须经过分析或者评估，或者被彻底扔掉和忘记。我与这一领域内的众多同行们保持着密切的联系。实际上他们中的一些人曾在很多情况下竭力反对我，尽管如此，我还是非常感谢他们，其中包括那些与我的观点和看法相反的人们。

现在我将给大家介绍关于陶瓷材料挤出的少许故事。这些故事也许可以阐明在过去 35 年里挤出成型工艺的发展，同时也介绍一些主要的参与者。

按时间先后顺序排列，和我一起参与讨论的最重要的合作者包括卡尔·O. 佩尔斯·洛伊斯登（Carl O. Pels Leusden）。他在成为纽伦堡（德国城市）大学的应用科学方面的教授之前，在埃森（德国西部城市）的砖瓦研究所工作过很长一段时间。他在 1965 年发表的关于挤出机螺旋绞刀运行方式的专题论文中，将德国关于陶瓷材料挤出机的论述提升到一个新的水平。我们确实应该感激他在说德语的国家多年来最先发表关于陶瓷材料挤出成型的专题论文^[4]。

位于埃森的应用科学大学的恩斯特·哈尔曼（Ernst Hallmann）教授是第一位尝试为陶瓷材料挤出坯体构建“挤出理论”的人。据我们现在所知，这个理论构建了一个不寻常的“求积器”（“integrator”），它没有借助流变学或以观察实验为依据。在本书中也必须提及施勒格尔（Schlegel）的一些著作^[5-7]。

我曾经试图让斯图加特（德国南部城市）大学塑料工业技术研究院的格尔哈德·申科尔（Gerhardt Schenkel）教授相信，当时现有的塑料挤出机的模型仅仅是有条件地适用于陶瓷坯体的挤出机^[8]，但是结果失败了。后来，在该研究院曾与他的继任者们——H. G. 弗里茨（H. G. Fritz）教授和 K. 盖格尔（K. Geiger）教授举行过一次友好的会面^[9]。

我们也曾与匈牙利籍科学家，现在是密斯库尔科（Miskolc）大学的 L. A. 戈木茨（L. A. Gömze）教授进行过某些友好的交流。他开发出一套以经验为基础的，并且是非常有趣的挤出机的设计方法^[10]。

关于“升级问题”，即从实验室挤出机的测量数据很难转移到大规模的、产

业化的挤出机设计上。我们有理由去调查研究那些有关相似或类同行业的规律^[11,12]，即调查挤出成型技术上的一般性文献^[13]和关于塑料、食品、饲料、煤、石墨、水泥混合体等的挤出成型技术方面的众多文献。

上面提到的“我们”基本上是指我在翰德乐公司 (Handle GmbH) 工作时的同事——W. 本德尔 (W. Bender), K. 艾斯乐 (K. Eisele), F. 拉恩格尔 (F. Laenger), D. 卢茨 (D. Lutz) 和我们应用导向实验室的三位主管——R. 费尔德迈埃尔 (R. Feldmeier), M. 普罗伯斯特 (M. Probst) 和 K. 戈莱特 (K. Göhlert)。

后来，我们曾经寻找过三个至关重要的问题的答案：

(1) 关于挤出成型陶瓷坯体的挤出机或真空设备中在不同区域上发生的流动过程，我们真的知道些什么？

(2) 我们有没有机会发展一种适于多种陶瓷坯体的挤出成型理论？这样的挤出成型理论应该能够足够精确地预测有关的实际生产过程参数，例如挤出压力、扭矩、轴向压力、热量变化等。

(3) 什么质量水平的经验数据才有资格作为陶瓷坯体挤出成型理论的运算依据？

在接触陶瓷材料挤出机的早期，我就对其数学公式很着迷，越是数学的越好。可是，稍后我认识到它们中的大多数是“不切合实际”的。因为当时不是找不到试验的流变学结构数据，就是材料的经验测定数据或者说“挤出泥条法则”不合适，因此这就为寻找这种预测分析留下了广阔的空间。甚至在那个时候用于测量挤出材料数据和测定有关挤出成型性能的仪器都是不需要的。

当一些陶瓷学家信奉借助“普氏冲压”(Pfefferkorn)方法得到测量数据的时候，其他人更偏重于使用毛细管流变仪方法测量的数据，同时还有其他一些人，其中包括克劳斯塔-策勒费尔德 (Clausthal-Zellerfeld—德国下萨克森州) 大学的 H. W. 亨尼克 (H. W. Hennicke) 和艾森 (Essen) 砖瓦研究所的研究者都建立了他们自己的实验方法。在美国的有关文献中，能够频繁地遇到基于布拉本德尔 (Brabender) 测量捏合机^[14]的研究文献。

所有这些不同的方法都有它们自身非常独特的长处，但是得到的结果不能直接相互比照，因为在每一种方法中测量的物理量都有不同的设置。

造成这种困境的原因是常说的陶瓷行业基本术语“塑性”，更恰当地说是“表观塑性”在起作用，也有的称之为可加工性。而这些同样的术语也将在后来的文献中逐渐被提到。

时至今日，正如 J. G. 海因里希 (J. G. Heinrich) 在他的引言中所记述的，在陶瓷学的意义上仍然没有对塑性做出明确的定义，尽管从前这种术语在其他

领域已经非常明白和清楚了：“虽然无数次地去尝试定义和准确地辨别可塑性这个术语，但是一种统一的定量测试可塑性特性的方法至今仍在研究中。可塑性在本质上就是材料屈服点的一个函数，它是用在规定的一套几何条件下使材料开始发生变形，并有效地保持这种变形一直到开裂形成之前可达到的最大变形过程中测量的力来表示^[15,16]。”

我们可以根据流变学的知识很好地理解该定义的前部分，同时可以用合适的仪器进行足够精确的测量。然而，定义的后半部分，也就是“开裂形成之前可达到的最大变形”可能在实际中 useful，但是在理论上的确留下了令人不满意之处，因为“开裂形成”并不是可精确检测的物理现象^[17-25]。

最近几年，关于陶瓷材料可塑性的绝大部分的精华论述都可以在英语文献中找到，例如 N. F. 阿斯特布里 (N. F. Astbury) 或 H. H. 马瑟 (H. H. Macey) 所写的关于可塑性的论著，在以经验数据为依据的 F. J. 戈德森 (F. J. Goodson) 的论著^[26]，尤其是 H. R. 赫杰金森 (H. R. Hodgkinson) 在 1963 年为英国陶瓷协会所著的教育电影——一部真正的经典作品^[27]。我也认为由 W. G. 劳伦斯 (W. G. Lawrence) 为纽约阿尔费德 (Alferd) 大学所写的“黏土水系统的可塑性”^[28] 非常有用。

在整个资料收集期间，我从与 H. W. 亨尼克 (H. W. Henniecke) 教授的定期的悠闲讨论中受益匪浅，他还帮我组织了一个关于“可塑性测量方法”的研究讨论会。当然，我同时也和其他的德国大学和国外大学保持着联系。

由于建立了这些信息网络，为了能制造出性能更好的挤出机，我很容易地担任了发起人兼推动者，同时也要推动建立能实际模拟陶瓷材料挤出工艺过程的预测理论。

所有这一切的基础工作依赖于翰德乐公司的 F. 兰恩杰 (F. Laenger) 以及他公开发表的一系列关于“挤出机模拟模型”的文章^[29]。

一直以来，我们与 H. W. 布格吉施 (H. W. Buggisch) 教授^[30] 牵头的“卡尔斯鲁厄 (Karlsruhe) 流变学”团队的紧密合作是卓有成效的。

在 20 世纪 90 年代早期，我们当时了解了挤出机压力产生元件中发生的作用过程，在得到结论之后，我们向我们自己提出了新的课题，以便把这些事情向前推进一步，这些新课题就是陶瓷坯体成型过程中在压力消耗元件中，即在压力头/机口模具中所发生的流动过程。

然而，最终由于多种原因，那些有关的试验并不是十分成功^[31]。

那时，我们的确已经获得为了构建我们自己的数学模型所需的行业流变学的工具，但是我们的模拟方法还不成熟。由布希塔拉 (Buchtala) 和朗格 (Lang) 所发表的著作中对这种方法给予了很大改进，自此之后这种方法已经成

为可利用的方法。

关于挤出理论的里程碑式的重要著作，是由 J. J. 本博 (J. J. Benbow) 和 J. 布里吉瓦特 (J. Bridgwater) 于 1993 年发表的“黏滞 (泥料) 流动与挤出”；最终，一种可计算出能再现数据的、在实际应用中能经得起检验的新方法出现了^[32,33]。我们立即联系了剑桥大学的约翰·布里吉瓦特 (John Bridgwater) 教授，并有机会能与他讨论了 F. 兰恩杰 (F. Laenger) 的模型和方法。

我们也和慕尼黑 (Munich) 的德国军事大学的 K. 霍尔努恩格 (K. Hornung) 和 O. 库里考夫 (O. Kulikov) 以及来自凯普鲁斯 (Cyprus) 大学的 A. N. 亚历山德鲁 (A. N. Alexandrou) 进行了咨询商讨^[1,34-39]。

无可否认，这些个人故事自然没有介绍挤出机理论的历史，也没有充分地或代表性地描述挤出不同陶瓷坯体和产品的挤出机演变。然而，这些确实对最近几年的陶瓷材料挤出成型技术的发展提供了许多深刻的见解，它还提供了该方面最重要的人物，以及未来的远景规划和课题。下面我还会论述这些问题。

1.3 关于各章内容

(1) 前面已经提到，我想在绪论中明确此书的结构、它的目标读者以及你期望从中得到什么。

(2) 挤出成型仅仅是许多种可用于陶瓷材料成型方法当中的一种。这些成型方法包括从用木模手工制造软泥砖，到各种浇注模技术、等静压压制和干法压制，以及那些从国外引进来的极易引起争论的成型方法。所有这些各种各样的技术都在布罗奈尔 (Brownell)、海因里希 (Heinrich)、霍尔曼 (Herrmann)、胡尔森伯格 (Hulsenberg)、雷德 (Reed)、科林伯格 (Kollenberg)、里车桑恩 (Richerson)^[40] 等人的著作中以不同的方式或多或少地详细描述过，在有关的辞典和出版物中也有记载。

这些陶瓷材料成型方法当中的每一种都有它们自己的优点和弊端，例如，对于某种陶瓷产品的制造应采用哪种方法为宜需要预先确定^[41]。

在安德烈·布列什亚尼 (Andrea Bresciani) 写的陶瓷材料成型技术纵览一章中，他利用世界上最大的陶瓷工厂装备承包商萨克米 (SACMI) 提供的资料，描述和对比了三种最重要的陶瓷材料成型方法。

如果不熟悉各种成型方法的细节，我们就不能理解挤出成型的各个细节。换言之，在什么时间和什么地点选定挤出成型方法比其他成型技术优越，或者在什么时间和什么地点选定其他成型技术比挤出成型方法优越。

(3) 事实上，数千年以来人们一直都在烧制陶瓷，这的确是没有什新

鲜的。

然而，考虑到如今陶瓷材料领域的迅速发展，究竟什么是现实中的“陶瓷”的问题需要一个有事实根据的、更加精确的定义。对于这个复杂的问题，我知道没有人能比胡贝图斯·雷（Hubertus Reh）可以提供更好的答案。胡贝图斯·雷是陶瓷行业杂志的总编辑，写过很多文章，同时也是陶瓷工业内的资深行家，他写的现代陶瓷材料的分类一章介绍了他多年的相关经验。

(4) 维利·本德尔（Willy Bender）撰写的挤出成型机的类型一章，介绍了各种各样的挤出机和联合真空挤出机组。

他在本章中列举的每一类型的挤出机都能在陶瓷工业的这个或那个地方找到，还列举了每种类型机器的传统历史、产品的细节、适用材料的特殊性以及与挤出工艺有关的原因。

(5) 挤出成型机的发展历史简介是维利·本德尔（Willy Bender）和汉斯·H. 伯杰（Hans H. Boger）对陶瓷领域使用的挤出成型机发展历史的追溯。本章是这本书中最长的章节。许多插图有助于我们更贴近这项技术的发展历史，我们惊讶地发现许多现今称为创新性的概念实际在历史上已经孕育了很久很久。

牛顿是正确的，那时他就冥想到我们都是“站在巨人的肩膀上”。

(6) 与德国作家不同，盎格鲁撒克逊人的（Anglo-Saxon，英国人，是指约翰·布里奇沃特为一个盎格鲁撒克逊人——译者注）科学家有能够以一个可理解的方式来解释复杂事物的美誉。约翰·布里奇沃特（John Bridgewater）算得上是在挤出成型理论方面最优秀的作者之一，我邀请他参与本书的写作，在他的名为螺旋绞刀挤出机的工作原理一章中恰当地解释了螺旋绞刀挤出机实际是什么。

所以对于从来没有接触过挤出成型的人来说，本章无疑将是一个好的起点。

(7) 以上各章都是从各种各样的角度来介绍我们本书的主题。这本书的第一篇理论性文章出自弗里茨·兰恩杰（Fritz Laenger）的笔下，他深入地研究了一个关键的、称为坯体原材料的流变学特性的课题。实际上前面已经提到过此事（但是常常不能让人们充分地理解），如果没有坯体原材料方面相关的有效知识，要想适当地挤出含有许多种性能迥然不同的陶瓷成分的混合料，那就会像在黑洞中跌跌撞撞地寻找电灯开关一样。

(8) 考虑到挤出成型中流变学的相关性，弗里茨·兰恩杰（Fritz Laenger）的内容必须由沃尔夫冈·格雷斯勒（Wolfgang Gleissle）的坯体混合料的流变特性与可挤出性能来做出合理的补充。作为在卡尔斯鲁厄（Karlsruhe，德国）大学“卡尔斯鲁厄流变学组织”的一员，格雷斯勒更擅长于陶瓷材料混合料的流变学特性研究。在这一章，他为陶瓷材料混合料的可挤出特性建立了明确的

准则。

(9) 一个必须面对的事实是实践家和理论家之间日常的合作常常事与愿违，因为实践家认为理论家的公式不切实际，而实践家的业务经验又很难去归类，实际中处理问题就如同医生围绕症状治疗一样。迪特马尔·卢茨 (Dietmar Lutz) 挤出成型常见问题与解决方案一章中，应用一些基本几何学知识对挤出成型中遇到最多的常见问题与解决方案进行了阐述，展示出发生了什么、为什么、什么时间出现问题，比如生产能力下降是由于挤出材料发生了变化或者其他成型因素的引入而引起的。

这些“教学式”的方法能够充分、准确地去“诊断”出实际挤出成型的各种问题，然后正确地制定出“治疗对策”。

(10) 当提到挤出成型方法与其他成型方法对比优点和缺点时，“分层现象”一直是一个争论的源头。整个图书馆里都充满了关于这种现象的论著，都声称对分层的预防有惊人的发明和确实可靠的公式。在挤出成型过程中的分层现象一章中，莱纳·巴塔斯克 (Rainer Bartusch) 和我试图使该方面的讨论更客观化。

(11) 由迈克尔·霍尔茨根 (Michael Hölzgen) 和彼得·奎尔姆巴奇 (Peter Quirnbach) 所写的用于挤出成型的添加剂一章是对用于挤出成型添加剂复杂世界的一个简介。常常以名副其实的“鸡尾酒”的方式来形容添加剂，足以说明添加剂的重要性。没有它，某些陶瓷材料混合物就不能被挤出成型，在它的帮助下挤出成型的质量可以得到很大改善。

(12) 当提到用挤出方法成型任何制品时，例如从简单的三孔砖到大的、重型的电气陶瓷泥段，或者甚至是薄壁多孔的蜂巢状结构陶瓷，挤出成型相比其他成型方法一直具有优势。对挤出成型质量具有决定性作用的不仅仅是挤出机本身——压力产生器，还有压力头、机口模具和过滤格栅板——压力消耗器。

在决定生产某些横截面产品的可能性或者不可能性时，要经常地涉及这些。

哈拉尔德·伯格 (Harald Berger) 在挤出成型模具、压力头、格栅板及其他这章中阐明了很多种类的可选择方案和选择对象。

(13) 在陶瓷生产中，大多选择使用双螺旋绞刀挤出机不是为了产生高度要求的、必不可少的挤出压力，就是为了捏合以及均匀化陶瓷混合料而引入特殊要求的或是合适的剪切力。数十年以来，沃纳和普弗雷德尔 (Werner & Pfeleiderer) 公司——现在的康派利恩 (COPERION) 公司一直为知名生产企业提供这样的挤出机。沃纳·维德曼 (Werner Wiedmann) 和玛丽亚·霍尔泽尔 (Maria Holz) 描述了双螺旋绞刀挤出机的操作和技术上的结构。

(14) 并非所有的陶瓷材料混合料都是通过使用单螺旋绞刀和双螺旋绞刀挤

出机挤出成型。如果想要达到非常高的挤出压力、最低的污染、很短的操作时间等，间歇式活塞挤出机可以作为一种选择。

在活塞式挤出机一章中，冈瑟·多尔（Günther Doll）、弗里茨·斯皮斯伯格（Fritz Spiessberger）和我设法解释清楚它们的功能、设计、优点和缺点。

(15) 正如亚里士多德（Aristotle——古希腊哲学家科学家）曾经观察到的，自然界厌恶真空。所以自然界总是在试图填充真空的空间。相比之下，大多数挤出机的操作者似乎在这件事情上产生的问题不多，也许对他们来说这个真空度老是不够，因为他们一直在努力使陶瓷材料挤出过程中需要的真空度达到一个好的水平。在挤出成型的抽真空——关系曲线以及所处环境这章中，弗里茨·兰恩杰（Fritz Laenger）描述了抽真空的基本要素。

(16) 陶瓷材料挤出成型的抽真空技术这章由马克·雷德曼（Mark Redmann）所撰写，探讨了适用于挤出成型陶瓷混合料的、各种类型的真空泵。

(17) 值得注意的是，除少量的热塑成型产品之外，大多数陶瓷材料坯体都是在冷态（相对于热塑成型而言，此处是指在常温下——译者注）条件下挤出成型的，这与塑料坯体挤出不同。其实，常常必须要冷却在挤出机中的混合料，因为由剪切力和摩擦力产生的热量引起了坯体可塑性的恶化，或者引起了挤出成型添加剂的凝胶体形成。然而在最近一些年来，可以这么说，对陶瓷和塑料的混合料进行热塑性挤出成型已经初具规模。

弗兰克·克莱门斯（Frank Clemens）在陶瓷坯体材料的热塑性挤出一章中描述了这项新技术目前发展的相关状况。

(18) 设备磨损带来潜在的宏观经济后果是一个频繁探讨的话题。鉴于陶瓷材料混合料在挤出成型时的这种现象的关联性，以及它以磨损的形式、腐蚀的形式或是以黏附的形式是怎样表现出来的，接下来的三章都是来论述这个问题的复杂性。

例如，冈特·门尼格（Günter Mennig）对摩擦学原理进行了简明描述。

(19) 挤出机螺旋绞刀的磨损防护技术的发展水平是瓦尔特·赖辛格（Walter Reisinger）的研究领域，在这章他介绍了目前以工业规模使用的、最重要的几种保护层。

读者无需去寻找那些奇异种类的硬化表面，这样的东西仅能应用在超薄层上，或者一直在文献中承诺“大有前途”，那就意味着它们仍停留在开发阶段。

(20) 然而，我们应该回顾对陶瓷材料挤出螺旋绞刀最新的发展和实际应用情况。除硬质合金以外，多孔体陶瓷在包括有高磨蚀作用的陶瓷材料混合料的挤出成型中应用具有极大的质量和经济优势。

有关该方面的发展状况，霍尔格·瓦姆泊斯（Holger Wampers）在他的挤

出机部件抗磨损的发展前景一章中调查研究了相应的发展形势。

(21) 在可塑性和挤出性能的试验方法一章中, 卡特林·戈赫勒特 (Katrin Göhlert) 和马瑞·于贝尔 (Maren Übel) 将注意力集中在对流变学数据的描述和测量的特别重要的方法上。本章主要研究各种用于测定可塑性的仪器以及流变学特性的示踪剂。

(22) 所有那些有关陶瓷材料混合料挤出成型的一个古老梦想即将实现: 陶瓷材料挤出过程的模拟。

如今, 现代 CFD 程序所需要的高度综合性工具和巨大的计算机容量至少是可以利用的。现在依然存在的主要挑战是为这样的模拟建立和提供合适的材料数据。鲍里斯·布什塔拉 (Boris Buchtala) 和西格瑞德·朗格 (Sigrid Lang) 在陶瓷材料挤出成型过程的模拟一章中描述了现代模拟技术的基本原理和潜在的可能。

(23) 在本书的最后一部分, 就是参考文献选录中, 克斯汀·赫尔菲尔德 (Kerstin Hohlfeld) 和我已经汇集了所有的各种参考书目文献, 包括个别的著作、扩展成目录的参考文献, 以及许多在本书文章中没有提及的有关重要参考文献。这些参考书目并不意味着包括了所有。我们完全意识到选录中可能没有出现用法文、意大利文、日文、俄文、中文和其他语言出版的重要文献。其实, 有关“陶瓷材料挤出成型技术”的参考书目中出自我的个人意愿的目录占首位。

1.4 充满希望的结束语

(1) 当施普林格出版社 (SPRINGER Verlag) 已经同意出版这本书的消息传开时, 很多人就说他们认为我应该将“陶瓷材料挤出成型技术”的这个主题给予更加广泛的论述。然而, 考虑到在这本书中陶瓷材料挤出成型的类型和应用上的多样性已经是很广泛的了, 我就不再想过多地斟酌它所涉及的内容。

那种用于生产整块泥团的真空挤出机十分类似于用于挤出内墙砌筑砖 (指双层夹心墙内墙的砌筑砖, 在一定程度上也可以理解为空心砖或多孔砖——译者注) 的挤出机, 事实上它们之间的关系如同赛车用的跑车与坚固耐用的家庭面包车那样接近。

一台巨大的联合真空挤出机组有一个直径 850mm 的宽大泥缸, 具有可同时挤出多达 12 根泥条的砖坯的生产能力, 它与泥缸直径只有 20mm 的微型挤出机几乎一样。或者, 将一台用于挤出污水管的、直径达 1.50m 的垂直挤出机与间歇式动作的、可以垂直工作, 同样也可水平工作的活塞式挤出机进行比较。将