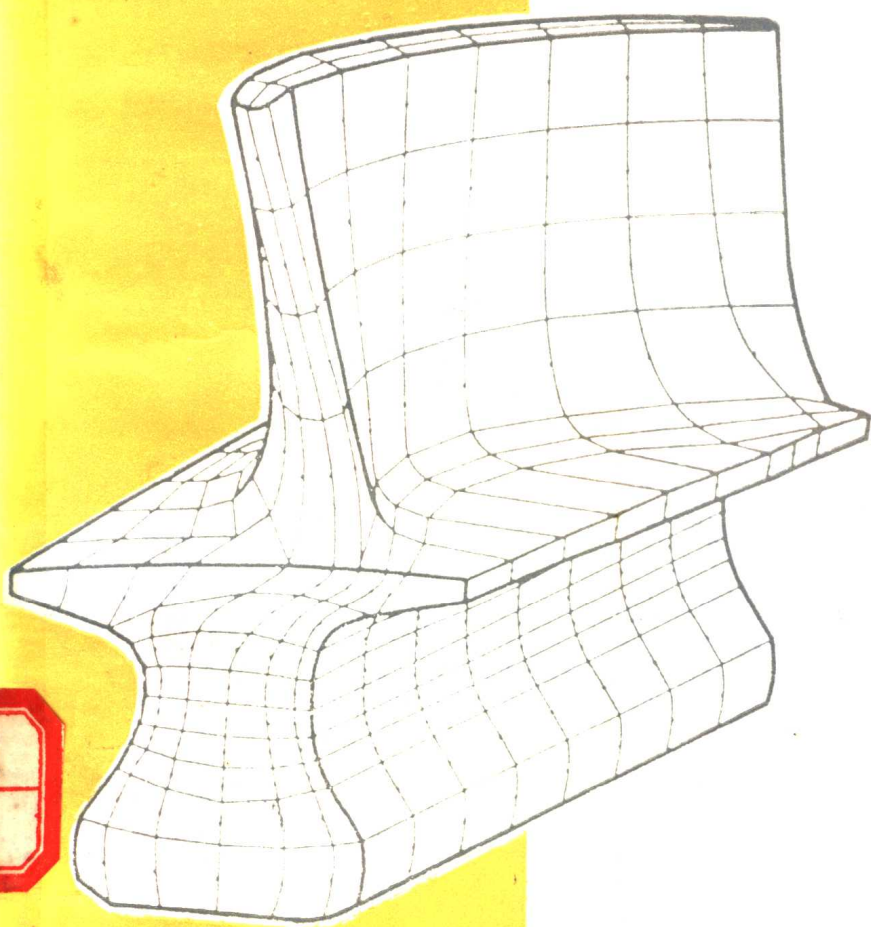


中国建筑工业出版社

现代陶瓷工程

性能·工艺·设计

● [美] 戴维 W·里彻辛 著
徐秀芳 宪 文 译



现代陶瓷工程

性能·工艺·设计

[美] 戴维W·里彻辛 著

徐秀芳 完文 译

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

• • •
Modern Ceramic Engineering
Properties, Processing, and Use in Design
David W. Richerson
1982 by Marcel Dekker, Inc.

• • •
现 代 陶 瓷 工 程
性能·工艺·设计
徐秀芳 宪 文 译

•
中国建筑工程出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
新 华 书 店 经 销
北京市平谷县大华山印刷厂印刷

•
开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 12 字数: 322千字
1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷
印数: 1—2,200册 定价: 8.10元
ISBN7—112—01061—6/TU·769

(6135)

译 者 的 话

现代陶瓷具有强度高、重量轻、耐高温、和耐磨蚀等特性，其化学组成、所用原料、生产工艺、成形方法与产品的加工和设计，均与传统陶瓷有所不同，因而现代陶瓷正以一种崭新的材料进入工程的各个领域，渗入到机械、电子、化工、轻工、航天和航空等工业以及日常生活中。因此，了解现代陶瓷和现代陶瓷工程，对各专业的师生和各行业的工程技术人员，都是必要的。

本书颇有特色，其特点之一是从陶瓷应用亦即陶瓷工程的角度阐述陶瓷的性能和结构、制造工艺和设计方法；不是纯理论性的或工艺的介绍，而是着重论述陶瓷在应用方面的实际问题且作了机理上的剖析。书中阐述了陶瓷特性的由来，制造工艺中质量控制的重要性，以及陶瓷材料中出现缺陷的原因等。作者曾在美国Garrett涡轮发动机公司担任管理工作，具有陶瓷应用方面的多年实践经验，作过现代陶瓷材料的力学性能试验，研制出供高温热发动机用的陶瓷工艺和设计技术，并使制造部件的技术最优化，曾获得5项美国专利。本书反映了现代陶瓷在美国应用的信息和经验，因此它对工程陶瓷材料在我国的应用和推广将具有实用价值。

本书的特点之二是，附有大量的实例和图片，诸如一些公司的设计应用实例和陶瓷材料缺陷及断裂分析的电子显微镜照片，对读者了解和研究材料的缺陷和断裂原因会有所帮助。

特点之三是，书中阐述了现代陶瓷的许多特殊应用、陶瓷的设计方法和断裂分析以及如何选择陶瓷材料等。本书从陶瓷的结构到生产工艺以至陶瓷设计，均详细介绍了陶瓷与金属和有机材料的差异，从而指出选择陶瓷材料的准则和技术，以解决设计中

的材料问题。这些内容更是其他书中难以看到的。本书不仅对从事陶瓷材料研制和生产的科学技术人员有参考价值，而且对使用和设计陶瓷材料，包括使用和设计金属材料 and 有机材料的工程技术人员，也是难得的参考书。

本书既是很好的教科书，可供陶瓷专业和非陶瓷专业的学生阅读，又是一本内容广泛而实用的指南，可供现代的工程师了解现代陶瓷工程时参考。希望它能对我国读者有所裨益。由于本书涉及面较广，翻译中推敲不周，谬误之处敬请读者批评指正。

译 者

序 言

陶瓷材料在现代工业品和消费品的生产工艺中越来越重要，可是许多工程师和工艺师几乎没有学过陶瓷或没有受过陶瓷的培训，因而对陶瓷材料具有独特性能的优越性是不了解的。本书就是给工程师、学生、教师及技术员介绍现代陶瓷的结构、性能、生产工艺、设计概念以及应用。重点放在使读者进一步了解陶瓷为什么不同于金属和有机材料，从而运用这些知识去选择最佳材料。书中论述了现代陶瓷的许多特殊应用，其中包括热发动机部件、铠甲、永久磁铁、荧光体、点火器、电容器电介质、热保护层及氧敏元件。

本书原先打算作为非陶瓷专业的工科学生的教科书，以填补这方面的空白。然而，最终编成的这本书却变成既适合非陶瓷专业又可供陶瓷专业的学生作为教学用书和教学参考书。

本书分三部分。每部分都互为补充，但也可独自成篇。第一篇的题目叫做“结构与性能”，阐述陶瓷的物理性能、热学性能、力学性能、电学性能、磁学性能和光学性能的由来，并与金属材料 and 有机材料作了对比。在介绍可供各种应用、具有最佳性能的特种陶瓷材料的同时也指出其潜在的局限性。

第二篇的题目叫做“陶瓷生产工艺”，复习制造陶瓷部件用的生产工艺。在这一篇内论述每种工艺中在材料内有可能形成性能-限制性缺陷的特定工序，并给读者提供检测这些缺陷以及 与陶瓷制造商一道去消除这些缺陷的方法。

第三篇的题目是“陶瓷设计”，运用在前两篇内学过的性能、制造工艺和检验原则去选择和设计供现代工程应用的陶瓷部件。

根据在亚利桑那州立大学三个学期学时的陶瓷课程和为美国金属协会（ASM）教的一连串的半天和三天的陶瓷课程的备课和教学的实践，作者深感有必要编写一本广泛论述陶瓷材料和工艺的新教科书或教学参考书。

在亚利桑那州立大学（ASU）的课程是从1975年开始的，其目的是让工程和工艺专业的学生和非陶瓷专业的有经验的工程师更好地了解陶瓷材料及其独特的性能、生产工艺和设计要求。每当教这门课时曾尝试使用各种教材，包括由kingery、Bowen和Uhlman等的《陶瓷导论》（Introduction to Ceramics）、由Van Vlack等的《供工程师用的物理陶瓷》（Physical Ceramics for Engineers）和Burke、Lenoe和Katz编的《供高性能应用的陶瓷》（Ceramics for high Performance Applications）。这三本书均是很好的书，但是没有一本适合作这门课的教材。《陶瓷导论》论述太详细，且是分析性的，没有涉及生产工艺和生产工艺对性能、机加工、非破损检验、破坏分析和陶瓷设计方法的影响。《供工程师用的物理陶瓷》偏重于工程方面，但也没有包括本课程所需的内容。《供高性能应用的陶瓷》大部分介绍燃气轮机和现代热发动机的应用，所以其范围也太窄。因此，在亚利桑那州立大学教的这门课，其内容主要来自从大量资料和个人经验摘录的笔记。

给美国金属协会教的两门三天学时的课程名称是“工程应用的高强陶瓷”和“现代工程用陶瓷的冲击性”。半天上课时间教的内容是名为“高温结构材料”三天课程的一部分。这些课程都是为来自各种专业的工程师和技术员开设的。正如在亚利桑那州立大学教的课程一样，弄不到合适的教材或教学参考书。于是在笔记基础上进一步扩充，特别是在结构和工艺对性能、设计方法、破坏分析的关系以及特殊应用的论述方面作了大量扩充，以供这些课程的教学用。

在亚利桑那大学和美国金属协会教的这些课程清楚地说明，需要一本新的教科书或教学参考书来广泛阐述陶瓷材料和工艺，

而其内容又是工程师、技术员、学生和教师所能了解和接受的。这本书是花了两年时间编成的，根据教学笔记加上大量的补充文献研究资料。

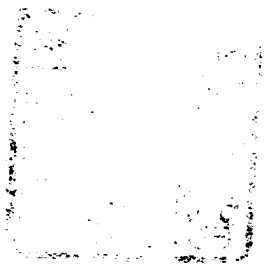
许多组织和个人对本书的编写给予了支持，我愿借此机会向他们表示衷心的感谢：倡议和支持陶瓷课程的亚利桑那州立大学工艺部和美国金属协会（特别是Nick Jessen），资助说明书给书中增加许多示例和照片的国防部现代研究计划公司、空气动力材料试验室和空气动力空气推进器实验室；提供技术数据和照片并帮助编写手稿的Garrett涡轮发动机公司；制作大量线条图的Greg Brigham；在编写手稿中得到他的鼓励和帮助的Floyd Brown；帮助查找参考资料和数据的Dr. Nelson W. Hope和Denise B. Birnbaum；Robert Shane博士给予关怀、鼓励并提供技术上和编辑上的许多建议；特别是Christy F. Johnson, Judith A. Martinale, Angie F. Peters和Micherson，在本书最初的草稿和最后的手稿编写过程中作了大量的文字加工。

David W. Richerson

《现代陶瓷工程》根据1982年美国出版的版本译出。本书反映了现代陶瓷在美国应用的信息和经验，对工程陶瓷材料在我国的应用和推广将具有参考价值。

全书共分三篇。第Ⅰ篇阐述了陶瓷的物理、热学、力学等性能，并在与金属及有机材料对比的基础上，重点介绍了可供各种应用、具有最佳性能的特种陶瓷材料。第Ⅱ篇详细研究了陶瓷制造从原料选择到成形以至质量控制的所有工序，每一工序都从它与陶瓷部件的性能和合格性的关系来论述，能帮助工程师解决许多应用问题。第Ⅲ篇运用前两篇学过的性能、制造工艺和检验原则选择和设计供现代工程应用的陶瓷部件。内容丰富、实用。

本书可供从事陶瓷材料研制和生产的技术人员阅读，对使用和设计金属材料 and 有机材料的工程技术人员来说，也是难得的参考书。



引 言

本书的目的是使读者对陶瓷工艺和陶瓷的实际应用增加了了解，其方法是非数理性的，而是让读者掌握更重要的陶瓷材料 and 设计问题所必需的有关材料和性能的基本概念。

本书分三篇：

第 I 篇，结构与性能

第 II 篇，陶瓷生产工艺

第 III 篇，陶瓷设计

第 I 篇仔细研究陶瓷的物理性能、热学性能和力学性能，以及这些性能与原子键合、晶体结构和显微结构之间的关系。重点放在与金属和有机材料的对比，并开始引出陶瓷设计的概念。

第 II 篇研究陶瓷制造工艺，详细阐述了从原料选择到成形以至质量控制的每一工序。每一工序都是从它与最后的陶瓷部件的性能和合格性的关系来论述的。了解部件是如何制造出来的，能帮助工程师解决应用问题。

第 III 篇是将前两篇内的信息应用于陶瓷设计中。重点放在陶瓷要求的设计方法与金属和塑料的差异。在第 III 篇内还论述了断裂分析的重要性的技术。最后一章论述了为特定用途如何选择材料。

陶瓷实际上是工业上和日常生活中各个方面常遇到的材料。了解陶瓷是什么东西，陶瓷能做什么，可使工程师、技术员或教师明显地扩大眼界和提高效率。

下面的练习将有助于说明陶瓷材料在工程上的各种应用。在读本书下面各章之前，请读者对下面各项选择哪种陶瓷材料或材料最佳，是什么特定性能使每种陶瓷可供最佳选择，写出您的最

佳答案（根据以往的经验）。

1. 喷砂喷嘴
2. 炉衬用的隔热耐火材料
3. 密封
4. 陶瓷器
5. 高温热交换器
6. 装甲
7. 永久磁铁
8. 将热量尽可能迅速地从热源引出的陶瓷骤冷板块
9. 返回-宇宙飞船如宇航飞船需用的热防护材料
10. 要求在各个方向上具有均匀性的（各向同性）透明材料
11. 在一个方向具有高的热膨胀性和在另一个方向具有低的热膨胀性的材料
12. 能做成坯体形状而且在致密化或烧结操作期间不会改变尺寸的材料
13. 球磨机内的研磨介质
14. 用于结构上的以有机物将低成本纤维粘成的复合材料
15. 能用熔融颗粒喷射技术，显著降低基片在随后高温暴露期间温度的涂层
16. 泥浆浇注用的低成本模具材料
17. 分隔和保护热电偶金属丝的材料
18. 能经受极大热震的材料
19. 电气设备的基板
20. 供掺杂二极管和其他电气设备用的高纯度扩散炉的窑炉设施
21. 使电容器的蓄电能力提高1600倍的陶瓷材料
22. 高温炉结构隔热用的密度很低的材料
23. 屏蔽罩
24. 燃气轮机定子
25. 能就地使用的高温胶结料

26. 切割和研磨砂轮用的材料

虽然上面列出的各项只代表许多种陶瓷和它们的不同应用场合的小部分抽样，但可说明陶瓷的应用如何广泛，工程师熟悉陶瓷材料的名词术语和种类以及性能是如何重要。为了进一步说明这一点，请读者回答这个问题：陶瓷材料在一般家庭中的应用有哪些？列出10种应该是很容易的；列出20种要困难一些，但也是可以做到的。

目 录

引 言

第 I 篇 结构与性能	1
1. 原子键合和晶体结构	2
1.1 原子内的电子排布	2
1.2 键合	5
1.3 多晶型和多晶转变	17
1.4 非晶态结构	19
1.5 分子结构	21
问题	27
问题的答案	28
参考文献	30
2. 物理性能、热学性能、电学性能、 磁学性能和光学性能	31
2.1 物理性能	31
2.2 热学性能	36
2.3 电学性能	44
2.4 磁学性能	53
2.5 光学性能	56
问题	61
问题的答案	62
参考文献	64
3. 力学性能及其测量	66
3.1 弹性	66
3.2 强度	72

3.3 断裂韧性	89
问题	92
问题的答案	92
参考文献	93
4. 时间、温度和环境对性能的影响	96
4.1 蠕变	96
4.2 静态疲劳	108
4.3 化学的影响	111
4.4 磨蚀	129
4.5 冲击	130
4.6 热震性	134
问题	136
问题的答案	137
参考文献	138

第Ⅱ篇 陶瓷生产工艺

5. 粉末制备工艺	140
5.1 原料	140
5.2 粉末分级	146
5.3 预密实	160
5.4 粉末制备工艺小结	164
参考文献	164
6. 成形工艺	166
6.1 压制成形	166
6.2 浇注	175
6.3 可塑成形	186
6.4 其他成形工艺	194
参考文献	199
7. 致密化	201
7.1 烧结理论	201
7.2 改进的致密化工艺	222
参考文献	240

8. 最后的加工	242
8.1 除去材料的机理	242
8.2 对强度的影响	245
参考文献	254
9. 质量控制	256
9.1 在线质量控制	256
9.2 技术条件与合格检验	257
9.3 验收试验	260
9.4 非破损检验	262
参考文献	277

第三篇 陶瓷设计.....279

10. 设计依据	280
10.1 应用上的要求	280
10.2 性能上的限制	282
10.3 制造上的限制	283
10.4 成本问题	286
10.5 可靠性的要求	286
10.6 小结	287
参考文献	287
11. 设计方法	288
11.1 经验性设计	288
11.2 定量性设计	288
11.3 概率性设计	290
11.4 线弹性断裂力学方法	297
11.5 综合的方法	297
参考文献	297
12. 破坏分析	299
12.1 断面显微照片	299
12.2 小结	348
参考文献	348
13. 应用: 材料的选择	351

13.1	喷砂喷嘴	351
13.2	隔热耐火炉衬	352
13.3	密封	353
13.4	陶瓷器	354
13.5	高温热交换器	355
13.6	装甲	357
13.7	永久磁铁	357
13.8	陶瓷骤冷板块	358
13.9	返回-宇宙飞船的热防护罩	358
13.10	各向同性的透明材料	359
13.11	具有各向异性热膨胀的材料	359
13.12	致密化期间尺寸不变化的陶瓷	361
13.13	球磨机内的研磨介质	361
13.14	低成本的纤维-有机物复合材料	362
13.15	隔热涂层	362
13.16	低成本的泥浆浇注模具	363
13.17	热电偶金属丝保护层	363
13.18	抗热震材料	364
13.19	电气设备的基板	365
13.20	制造二极管用的窑炉设施	365
13.21	高蓄电能力	365
13.22	低密度窑炉隔热层	365
13.23	屏蔽罩	366
13.24	燃气轮机定子	366
13.25	高温胶结料	367
13.26	切割和研磨砂轮用的磨料	367
	参考文献	368

第 I 篇 结构与性能

没有预先研究过陶瓷的人一般地会问：“陶瓷是什么东西？”或“陶瓷与金属之间的差别何在？”大多数人的概念是，陶瓷是脆性的，具有很高的熔点，是不良的导热体和导电体，而且是非磁性体；金属是延性的，是良好的导热和导电体，而且可以是磁性体。这些老一套的观念对陶瓷或金属都不一定确切。事实上，没有明显的界限可将陶瓷划为一类，而将金属划入另一类。相反地，有一些居于两者之间的化合物，既具有陶瓷的某些典型特性又具有金属的某些典型特性。

材料的性质在很大程度上是由其所含的原子和原子的键合机理所决定的。第 1 章讨论原子键合的类型，形成的结构，以及最容易化合形成陶瓷、金属和有机材料的原子元素，第 2 章从所含的原子元素、键合机理和晶体结构方面，论述材料的物理性能、电气性能、磁学性能和热学性能。第 3 章也是从这些方面论述机械性能。第 4 章阐述取决于时间和取决于环境的性能。第 2、3 和 4 章均考虑到主要的陶瓷材料的这些性能使应用受到的限制。