

KYANITE ANDALUSITE SILLIMANITE

蓝晶石 红柱石 硅线石

(第3版)

林彬荫 等编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

蓝晶石 红柱石 硅线石

(第3版)

林彬荫 等编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

内 容 提 要

蓝晶石、红柱石、硅线石（简称三石）是用于生产耐火材料的重要矿物原料。全书分为三篇，第一篇为三石矿物总论；第二篇为三石矿物分论；第三篇为三石矿物的应用。本书比较系统、全面地阐述了我国三石矿床类型、选矿工艺，三石各矿物的成分、结构、性质、烧结特性及其在冶金、陶瓷等工业部门的应用。

本书可供从事三石矿物选矿、耐火材料研究和生产的工程技术人员及大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

蓝晶石 红柱石 硅线石/林彬荫等编著. —3 版. —北京:
冶金工业出版社, 2011. 3
ISBN 978-7-5024-5500-2

I. ①蓝… II. ①林… III. ①蓝晶石—研究 ②红柱石—
研究 ③硅线石—研究 IV. ①P578. 94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 031368 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 王之光 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 刘 倩 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5500-2

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1998 年 8 月第 1 版, 2003 年 4 月第 2 版,

2011 年 3 月第 3 版, 2011 年 3 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 26.75 印张; 6 彩页; 531 千字; 402 页

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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

编写人员：

林彬荫 （武汉科技大学）

潘宝明 （中国地质大学（武汉））

张建武 （河南巩义市第五耐火材料总厂）

李居周 （河南巩义市第五耐火材料总厂）

赵永安 （河南巩义市第五耐火材料总厂）

司书庆 （河南南阳市开元蓝晶石矿）

第3版前言

本书编著者之一林彬荫，在武汉科技大学从事教学与科研工作期间，侧重于耐火矿物原料的应用研究，尤其是蓝晶石、红柱石、硅线石（简称三石）的开发应用。在巩义市第五耐火材料总厂任总工程师期间，开发了以“三石”为主要原料的高炉热风炉用低蠕变砖等多种优质产品。长期的生产实践，深感三石对提高耐火材料的品质，尤其是对 Al_2O_3 - SiO_2 系传统耐火材料的品质及开发新的产品起重要的作用。此外，来自 2007~2010 年每年的全国三石研发、生产、使用经验交流会鲜活的生产实践事例，更进一步感受到三石的重要价值。另外，三石是节能原料，不经煅烧可直接使用，更有效地促进了我国铝硅系优质高效耐火材料的发展。

我国三石矿产资源储量大、种类全、品位高，尤以红柱石更佳，是资源大国。这是作者 25 年来对国内已有的矿山、选矿厂实地考察，并参阅大量的地质资料后的肯定看法。也就是说，我国“三石”开发应用有坚实的物质基础。

上海宝钢的建设促进我国三石的开发应用。同行经过近 30 年的努力奋斗，已大有起色，但与欧美发达国家相比，在广度、深度上仍有相当大的差距。但我们相信，在同行大力加强三石的研发力度，不断开拓创新，将为我国工业的各个领域提供更优质的、新的耐火材料。

中国市场之大，三石发展空间之广阔，世上无他国相比，更激励我们为三石事业去奋斗。

本书第 2 版出版距今已有七年，这期间，三石的应用与研发又有了新的发展，为便于读者更好地研发三石，编著者决定修订本书，给

读者提供一些资料,供工作中参考。

此次修订本着以用为主,更多补充国内同行三石的应用实例并尽可能反映国外的信息,使读者从中获益。

借第3版出版之际,向长期帮助、鼓励我们的朋友,向鼎力赞助我们的朋友:

河南五耐集团(巩义五耐)实业有限公司 董事长 张建武

郑州市安耐克实业有限公司

董事长 李富朝 副董事长 李建涛

黑龙江鸡西天盛非金属矿业有限公司

董事长 徐昌伟 经理 刘启山 刘选军

河南南阳市开元蓝晶石矿

董事长 杨敬梅 副总经理、总工 郑玲聪

英格瓷(IMERYS)达姆瑞克(DAMREC)红柱石公司

总经理 达明·圣维尼克(CHAUVEINC Damien)

技术发展部经理 熊小勇博士(XIONG Xiao Yong)

华成国际桐柏华成矿业有限公司 董事长 刘忠 经理 刘 晓

新疆宝安新能源矿业有限公司 董事长 马小虎 总经理 郑胜利

甘肃紫鑫矿业煤化工有限公司 董事长 魏家骏 经理 王金龙

南非红柱石资源有限公司 经理 Andreas Pabst(安俊生)

天津科富莱商贸有限公司 经理 李 刚 邸晓瑜

北京市昌河耐火材料有限公司 董事长、经理 胡 龙

郑州市豫兴耐火材料有限公司 董事长 刘世聚 总经理 周西辰

此外,《中国耐火材料市场》杂志社尹风水、《中国建材报》刘慧康、冶金工业信息标准研究院高建平、仇金辉;国内三石许多生产厂家的领导、朋友,蓝晶石:涂金合、刘新才、杨群英、李保珍、李乐园、沙育锋、刘彬;红柱石:李文生、洪希武;王秋绪、李跃华、

林凤飞、金桂杰；硅线石：孙云山、孙云海、丁弃疾、王春生、柯元硕、刘向荣；湖南湘钢宜兴耐火材料公司章兴高、巩义市天禹耐火材料公司李跃普、巩义市自力耐火材料公司张自力及巩义市靓影照相师李保安；

河南科技大学周宁生，郑州大学叶方保、叶国田，武汉科技大学李亚伟、顾华志，武汉理工大学高惠民、管俊芳、张凌燕，洛阳莱福工贸有限公司刘解华；

林彬荫专题组成员：王建军、王丙乾、郭长江、张新玉、杜培建、李明欢、张晓雷、郝飞虎、王新锋、张振江、王少辉、郝凌军、校阅；尚有原武汉钢铁学院材料系218室成员张忠玉。

致以真挚的感谢！

编著者
2010年11月

第2版前言

《蓝晶石 红柱石 硅线石》一书，自1998年出版以来，受到读者的青睐，国外一些读者甚至建议我出英译本。本书之所以受欢迎，究其原因，一方面是从书中获取大量关于蓝晶石、红柱石及硅线石（简称“三石”）矿产资源的信息；另一方面是可从书中得到有关“三石”开发应用方面的启迪，譬如在矾土中添加“三石”，可以开发出多种高效的新产品，为更好地利用我国丰富的矾土资源增加了一条有益的途径。

“三石”大量应用于冶金工业。2000年我国制定了热风炉用低蠕变高铝砖技术标准，该标准规定抗蠕变性是必检项目，而生产低蠕变砖，“三石”是必不可少的主原料。近年来，我国热风炉内衬用耐材又开始使用红柱石质砖或红柱石莫来石质砖。随着科技迅速发展，低蠕变砖产品理化指标要求也在不断提高，从仅要求蠕变率到应具有一定的抗热震稳定性，并对控制杂质成分如 TiO_2 、 R_2O 、 Fe_2O_3 等更加严格。

本书再版时，补充了“三石”矿产资源及开发应用的一些新信息、新材料，相信对读者有所帮助。本书再版时得到不少朋友和单位的支持与鼓励，尤其是以下的朋友和单位：

原冶金工业部卢钧华教授级高工；中国耐火材料行业协会陶若璋会长、高工；洛阳耐火材料研究院副院长周宁生博士、教授级高工。

巩义市第五耐火材料总厂、河南西峡县林营红柱石有限公司、新疆库尔勒阿克布拉克红柱石有限公司、新疆巴州红柱石矿业有限公司、黑龙江林口信源硅线石矿业有限公司、河北灵寿县东方硅线石有限公司、河南南阳市开元蓝晶石矿及江苏沭阳县东方建筑原料厂等。

在此表示诚挚的感谢！

林彬荫

2002年12月6日于北京

第1版前言

近十余年来,我国蓝晶石、红柱石、硅线石(简称三石)的开发应用取得了可喜的进展。实践表明,利用三石的特性,有效地改善了 Al_2O_3 - SiO_2 系材料的显微结构,提高了其高温性能,从而展示了三石开发应用的良好前景,为更好地利用我国丰富的矾土资源开辟了一条有效途径。

但是,我国三石开发应用与国外相比,起步较晚,至今存在开发力度不够大,推广应用步伐不快的问题。基于此,为了进一步促进我国三石开发应用,把我国高铝耐火材料提高一个档次,多开发高铝耐火材料新型品种,我们在多年研究与实践的基础上,结合国内外的有关研究资料,编著了《蓝晶石 红柱石 硅线石》一书。书中比较系统、全面地阐述了我国三石矿物矿床类型、选矿工艺、三石各矿物的成分、结构、性质、烧结特性及在冶金、陶瓷等工业部门的应用。此外,在附录中介绍了我国部分三石矿物选矿厂、三石矿物应用的部分耐火材料厂的情况及其主要产品,意在沟通信息,搭起供需的桥梁。

本书是武汉冶金科技大学林彬荫、中国地质大学(武汉)潘宝明、南阳市开元蓝晶石矿司书庆、巩义市第五耐火材料总厂张建武、李居周、赵永安共同编著的。可以讲,本书是大专院校、生产厂家、应用厂家三结合的产物。在过去的十年,我们曾友好合作,以三石为基,开发了多种高铝高效新品种,诸如应用于某钢铁公司大型高炉(容积 3200m^3)的低蠕变砖系列产品;应用于某钢铁公司150t、260t鱼雷铁水罐内衬的红柱石-SiC-C砖。这些产品均取得明显的经济与社会效益。

今后,我们将一如既往,搞好科研-生产-应用的三结合,深化三石的开发应用研究。

本书承蒙中国地质大学(北京)博士生导师苏良赫教授,原冶金工业部卢钧华高工审阅,作者特向他们致以深切谢意。

在本书撰写过程中,曾得到很多单位、很多朋友的热情鼓励 and 大力支持,他们是:

中国耐火材料行业协会 陶若璋

冶金工业部规划院 刘鸿权

中国非金属矿工业协会 徐立铨

中国耐火黏土协会 魏存增 王遂群

洛阳耐火材料研究院 方正国 任国斌

武汉冶金科技大学 饶东生

武汉工业大学 曾宪滨

贵州达信矿业有限公司(外资) 黄种嘉 卢时吾

河南鲁山县工业局 李俊峰 许捍东

冶钢集团有限公司耐火材料公司 王建新

南阳市云阳钢厂 李玉先

黑龙江林口县经委 牟丽娟

黑龙江柳毛石墨矿 黄金哲

上海耐火材料厂 朱乃荣

海南省万宁丰谷岛旅游开发区 林琼柏

对本书编写工作给予帮助的还有北京昌河耐火材料厂胡龙;林口县华鑫特种耐火材料厂董志文、于兆才,南阳市云钢蓝晶石选厂刘心才;江苏沐阳蓝晶石矿沙育锋;鞍山赫威红柱石矿曲永久、曲直;西峡红柱石矿张光林;中国冶金矿业总公司马继民、康立民;南阳市镇

平二龙硅线石选厂马平均；河北硅线石厂张玉良；林口硅线石矿业公司李文生、顾广州；河南鲁山县耐火材料厂杨奇、梁建民；郑州磨料磨具厂孟春亮；北京晶石特种耐火材料公司郭海珠及鸡西非金属矿工业公司张宇、张克复。

对本书编写工作做出贡献的尚有原武汉钢铁学院材料系218室成员：王新全、吴畏虎、黄河、宋汝波、刘惠珍、潘峰、录向阳、张少伟、王洪顺、张忠波、贾志勇、苏北平、吴升阳、刘琼瑶、李国庆、杨灿、潘民安等。

中国地质大学（北京）李博文热情为本书提供大量显微结构照片。武汉冶金科技大学尚野茫、路肃、刘新敏、冀哲民做了大量的X衍射、扫描（SEM）及化学分析。许婉平及巩义市第五耐火材料总厂的同志们为本书资料的整理、图表的复制和书稿的缮写做了大量的工作。

借此书出版之际，对上述诸同志一并致以诚挚的感谢。

由于本书内容较新，涉及面较广，加之作者水平有限，书中肯定存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

林彬荫

1996年12月初稿于海南万宁丰谷岛

1997年11月修改稿于巩义市第五耐火材料总厂

目 录

第一篇 三石矿物总论

第一章 我国三石开发应用概况	1
第二章 三石矿产资源简述	11
第一节 世界三石矿产资源	11
第二节 中国三石矿产资源	14
一、三石矿产分布	14
二、三石矿床规模	15
第三章 三石矿床类型与矿床实例	17
第一节 矿床类型	17
第二节 矿床实例	19
一、蓝晶石	19
二、红柱石	26
三、硅线石	35
第四章 三石矿物选矿概论	44
第一节 选矿基本原理与方法	44
一、浮选	44
二、磁选	47
三、重选	48
第二节 三石选矿实例	50
一、蓝晶石	51
二、红柱石	54
三、硅线石	56
第五章 三石矿物的晶体结构和基本性质	58
第一节 硅酸盐矿物的分类	58

第二节 三石矿物晶体结构	60
一、蓝晶石	60
二、红柱石	61
三、硅线石	62
第三节 三石矿物的基本性质	65
一、三石矿物的一般性质	65
二、三石矿物在高温下的转化性能	66
第六章 三石精矿的研究方法	67
第一节 三石的肉眼鉴定和光学显微镜鉴定特征	67
第二节 三石粉末的 X 射线衍射分析	70
第三节 红外吸收光谱分析	73
第四节 差热分析	75
第五节 扫描电镜、电子探针及能谱分析	76

第二篇 三石矿物分论

第七章 三石矿物的莫来石化	79
第八章 蓝晶石	83
第一节 蓝晶石的莫来石化研究	83
一、试样制备	83
二、试样物相定性分析	83
三、蓝晶石的分解速度	84
四、蓝晶石粒度、煅烧温度与莫来石转化的关系	86
第二节 蓝晶石精矿在煅烧过程中显微结构的变化	88
第三节 蓝晶石精矿的膨胀性	92
一、蓝晶石膨胀值的理论计算	92
二、蓝晶石精矿的膨胀性与其纯度的关系	93
三、蓝晶石精矿的膨胀性与其粒度的关系	95
四、蓝晶石精矿的膨胀性与煅烧温度的关系	99
第四节 蓝晶石精矿煅烧过程中体积密度和显气孔率的变化	102
第五节 我国蓝晶石精矿	105
一、蓝晶石精矿技术指标	105
二、蓝晶石精矿生产情况	106
第六节 国外蓝晶石精矿	109

一、美国弗吉尼亚蓝晶石	109
二、其他国家蓝晶石精矿化学成分	112
第九章 红柱石	113
第一节 红柱石的莫来石化行为	113
一、河南西峡红柱石	113
二、新疆红柱石	120
三、南非红柱石	121
四、我国西北、东北及南非四产地红柱石	123
第二节 红柱石莫来石化的 X 射线定量分析	126
第三节 红柱石精矿在不同煅烧温度下显微结构的变化	131
第四节 红柱石精矿的膨胀性	135
第五节 红柱石精矿在煅烧过程中体积密度和显气孔率的变化	137
第六节 我国红柱石精矿	139
一、红柱石精矿技术指标	139
二、红柱石精矿生产情况	139
第七节 国外红柱石精矿简介	141
一、达姆瑞克 (DAMREC) 红柱石	141
二、南非红柱石资源公司红柱石	143
第十章 硅线石	144
第一节 硅线石精矿的基本性能	144
一、硅线石的颜色	144
二、硅线石精矿的化学成分、矿物组成和耐火度	145
三、硅线石精矿的粒度和硅线石晶体尺寸	146
四、硅线石精矿的热分析	147
五、硅线石的抗渣性能	151
第二节 硅线石精矿烧结样品物相定性分析	152
一、红外吸收光谱物相分析	152
二、化学分析	155
第三节 硅线石精矿烧结样品物相定量分析	158
一、硅线石精矿烧结样品物相相对含量	158
二、硅线石莫来石化的 X 射线衍射定量分析	162
第四节 硅线石精矿的膨胀性	165
一、黑龙江鸡西硅线石精矿	165
二、河南镇平硅线石精矿	168

三、河北灵寿硅线石精矿	168
第五节 硅线石精矿煅烧过程中体积密度和显气孔率的变化	169
一、鸡西 GJ-58 酸洗硅线石精矿与细粉混合料的烧结性能	170
二、鸡西不同粒度 GJ-56 精矿的烧结性能	172
第六节 我国硅线石精矿	175
一、硅线石精矿技术指标	175
二、硅线石精矿生产情况	176
第七节 国外硅线石精矿简介	177
一、印度硅线石	177
二、其他国家硅线石精矿化学成分	180

第三篇 三石矿物的应用

第十一章 耐火材料性质	181
第一节 化学矿物组成	181
一、化学组成	181
二、矿物组成	183
第二节 耐火材料组织结构性质	184
一、气孔率、吸水率、真气孔率及体积密度	184
二、真密度、真相对密度、假密度	186
三、透气度	187
第三节 耐火材料力学性质	187
一、常温及高温耐压强度	188
二、常温及高温抗折强度	188
三、荷重软化温度	190
四、高温蠕变性	191
第四节 耐火材料热学性质	192
一、热膨胀性	192
二、导热性	193
三、比热容	194
第五节 耐火材料高温使用性质	194
一、耐火度	194
二、重烧线变化	195
三、抗热震性	196

四、抗 CO 侵蚀性	197
第十二章 焦炉用含三石的耐火材料	199
第一节 焦炉炭化室、燃烧室用砖	199
第二节 干熄焦装置用耐火材料	200
一、关于熄焦	200
二、干熄焦对耐火材料的要求	201
三、莫来石（红柱石）-碳化硅砖	202
第十三章 高炉用硅线石砖	203
第一节 宝钢 1 号高炉使用的硅线石砖	203
第二节 高炉用硅线石砖生产实例	204
一、原山东耐火材料厂	204
二、原河南焦作耐火材料厂	206
三、巩义市第五耐火材料总厂	207
第十四章 热风炉用低蠕变砖	210
第一节 我国热风炉用耐火材料的技术发展	210
一、热风炉的主要类型	210
二、热风炉用耐火材料的发展现状	212
第二节 低蠕变砖研发的技术思路	219
一、在材料中添加三石（加法）	219
二、显微结构控制	222
三、合理设计颗粒组成	224
第十五章 硅线石质低蠕变砖	226
第一节 莫来石-硅线石低蠕变砖	226
一、硅线石砖（H ₂₃ ）的研发	226
二、硅线石砖（H ₂₃ ）在武钢 5BF 上的应用	230
第二节 莫来石-刚玉型和刚玉-莫来石型低蠕变砖	233
第十六章 红柱石质低蠕变砖	239
第一节 热风炉对红柱石质砖的技术要求	239
第二节 红柱石或红柱石复合料对制品荷重软化温度等性能的影响	241
第三节 添加红柱石提高材料的耐热冲击性	243

第四节 蠕变温度 1300℃ 的红柱石质砖	243
第五节 蠕变温度在 1350 ~ 1500℃ 的红柱石质砖	245
第十七章 蓝晶石质低蠕变砖	247
第一节 蓝晶石可以直接制砖	247
第二节 蓝晶石质低蠕变砖生产的关键技术	248
一、蓝晶石粒度	248
二、蓝晶石的加入量	249
三、煅烧温度	249
第三节 蓝晶石低蠕变砖生产实例	250
一、原河南焦作耐火材料厂	250
二、原山东中齐耐火材料有限公司	252
三、河南巩义市第五耐火材料总厂	252
第十八章 高炉热风炉用抗热震低蠕变砖系列	253
第一节 作者的热风炉用耐火材料观	253
第二节 技术构思	253
一、抗蠕变性	253
二、抗热震性	254
第三节 抗热震低蠕变砖系列技术指标	254
第十九章 热风炉陶瓷燃烧器用砖	256
第二十章 鱼雷式铁水罐用红柱石耐火材料	259
第一节 鱼雷式铁水罐的构造、功能与对耐火材料的要求	259
第二节 红柱石砖和以红柱石为基的 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ 砖在国外鱼雷铁水罐 的应用	260
第三节 红柱石-SiC-C 不烧砖的开发	263
一、主体原料的选择	264
二、红柱石-SiC-C 不烧砖生产工艺要点	266
三、红柱石-SiC-C 不烧砖的理化性能	266
第四节 红柱石砖在鱼雷式铁水罐中的应用	269
一、原料理化指标与配比	269
二、制品理化指标	269
第二十一章 特种黏土砖	270
第一节 概述	270