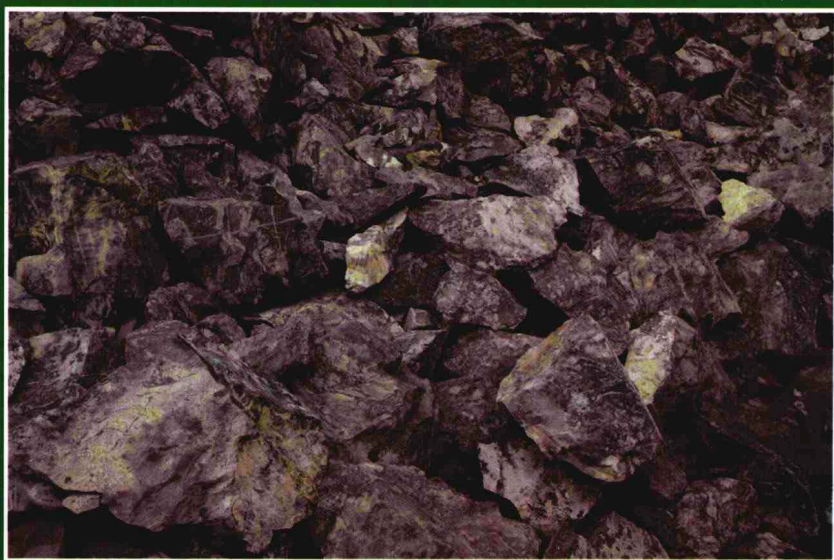


硼铁矿加工

PENGTIEKUANG JIAGONG

郑学家 主编



化学工业出版社

硼铁矿加工

PENGTIEKUANG
JIAGONG

郑学家 主编



化学工业出版社

·北京·

本书是一本关于硼铁矿加工的论文集,收集了约70篇关于硼铁矿开发、硼铁矿加工利用以及硼精细化工发展的论文。本书可供从事硼行业生产、科研、教学的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

硼铁矿加工/郑学家主编. —北京:化学工业出版社, 2009. 2
ISBN 978-7-122-04345-0

I. 硼… II. 郑… III. 硼铁矿-加工-文集 IV. P578.93-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第199338号

责任编辑:靳星瑞

文字编辑:颜克俭

责任校对:宋 玮

装帧设计:周 遥

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:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张19¼ 字数402千字 2009年3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:75.00元

版权所有 违者必究

编写人员

主 编：郑学家

副主编：李洪岭 孙 云 王德民 王国昌

肖景波 汤建良

撰稿人（按姓氏笔画排列）：

于淑伟	王 洁	王 斌	王国昌	王国胜
王秋霞	王常任	王德民	卢秉亮	宁桂玲
孙 云	曲 升	吕 品	吕秉玲	任学峰
全 跃	刘 然	刘其昌	刘幽若	刘素兰
刘景泽	汤建良	孙晓红	孙新民	孙新华
苏吉仁	杜强善	李 刚	李 武	李庆和
李治涛	李洪岭	杨 合	杨兆祥	杨增焜
肖景波	宋明志	宋海燕	初君学	张永春
张吉昌	张建良	张显鹏	张继宇	张淑会
周泓强	郑吉岩	郑绵平	郑学家	孟祥春
赵庆杰	郝占忠	胡德生	胡耀第	钟剑初
段培宁	施春辉	姜 涛	姜元平	倪 坤
高佳令	黄大威	阎群英	崔传孟	董广前
董亚萍	蒋丽娟	程 巨	曾庆强	薛向欣
穆永亮	鑫 晓			

序

硼矿是一种用途很广的化工矿物原料，已在 100 多个行业直接、间接得到广泛应用，尤其是在玻璃、玻璃纤维、搪瓷和洗涤业用量最大。硼酸盐作为一种微肥可提高农作物产量。硼钢具有高强度、耐腐蚀和耐热性能。硼具有吸收中子的性能而被应用于原子能工业。硼在医药、涂料、电子和机械工业等许多领域也有重要的用途。世界硼的需求量和产量在稳步增长。

世界硼矿资源丰富，主要集中在土耳其、美国、俄罗斯、阿根廷等国。硼资源主要以火山沉积型为主，其次为盐湖型、沉积变质型和砂卡岩型。

中国硼资源丰富，主要集中于辽宁、吉林和青藏高原，前二者的硼矿为沉积变质型，青藏高原的为盐湖型。据笔者等研究，青藏高原有希望找到火山沉积型。目前，硼矿生产主要来自辽吉沉积变质型的硼镁矿。青藏盐湖镁硼矿（青藏盐湖镁硼酸盐矿石由各种水合镁硼酸盐矿物构成，不同于辽宁、吉林镁硼酸盐矿石）限于交通条件，仅生产 $B_2O_3 \geq 24\%$ 的“富矿”，产量较小。辽宁、吉林硼矿按矿石组分不同，分为硼镁石、硼镁铁矿和硼镁石-硼镁铁矿 3 种类型。据不完全统计，它们的平均品位只有 8.27%，但是经过本书主编郑学家总工程师等硼化工科技人员的不懈努力，研发了碳碱法加工硼镁矿制取硼砂工艺，有效地解决了品位较低的硼矿利用难题，成为我国具有自主知识产权的独创工艺，为我国硼工业发展创造了巨大经济效益，是我国无机盐工业值得称道的技术创新。

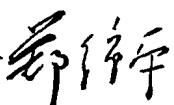
随着我国国民经济发展，经过 50 多年硼镁矿的大量开采，目前硼镁矿型 B_2O_3 储量已不足 300 万吨，大多数矿山在 10 年之内将陆续闭坑。辽宁硼镁铁矿型储量巨大，已探明矿石储量 2.8 亿吨，目前除东台子矿段已开发外，其余 4 个矿段如本书所介绍：硼镁铁矿石的硼铁和铀分离技术已基本得到解决。

本书主要是对于硼镁铁矿加工技术的总结，可作为我国硼工业的一个“标杆”，标志着我国硼镁铁矿全面开发利用已提上议事日程。本书又是一个硼加工“平台”，在此基础上，可参照以往碳碱法加工硼镁矿工艺经验，先小规模开发试产，以使硼镁铁矿加工工艺日臻优化、完善。

我国硼工业从无到有、从小到大，已取得了长足进步。目前已达到年产量近 30 万吨硼砂当量规模，生产各种硼化合物产品约达 60 多个品种。但是，随着我国经济的快速发展，目前我国硼砂、硼酸约 50% 要进口，且与发达国家相比，硼化

物数量和质量也还有相当大的差距。

笔者期望通过我国硼资源和硼化工工作者共同努力，继续发扬艰苦创业精神，以开创我国硼资源和硼工业新局面。

中国工程院院士 

2008 年 12 月 25 日于北京

前 言

辽宁省凤城翁泉沟硼铁矿的储量约占全国硼矿资源总储量的 58%，自 20 世纪 50 年代末被发现以来，大专院校、科研院所和硼有关企业对此硼铁矿进行了大量的有成效的开发研究工作，为掌握这种极难加工的硼矿的加工利用技术，在没有可借鉴的国外资料情况下，科研人员付出了辛勤的汗水和劳动，取得了不少可喜的成果和技术，许多学者为此发表了不少有价值的论文。

作为后备硼资源，目前，国家和地方政府对硼铁矿十分关注，有鉴于此，编写组为推动硼铁矿的开发，展示硼铁矿科研开发丰富的科技成果，推进其产业化，活跃学术思想，将多年积累的科技成果、论文一并收集。我们这个想法已酝酿了多年，今天终于成行，确感欣慰！虽然我们尽最大努力力争收集全面，但可能还有未收集上来的，望各位作者见谅。

基于本书在选题方面系国内空白，我们受化学工业出版社之约编写此书。

我们荣幸地请到中国工程院郑绵平院士为本书作序，感到莫大的荣耀，并向他表示深深的谢意。

本书由郑学家担任主编，李洪岭、孙云、王德民、王国昌、肖景波、汤建良任副主编。郑吉岩为本书的编写做了许多事务性工作。

本书共分九章，包括硼铁矿的组成；硼铁矿床储量评价；含铀硼铁矿开发初期可行性研究状况；硼铁矿选矿技术；含硼铁精矿的加工利用和硼铁矿系列开发利用方案的研究；铀的利用和处理；硼精矿焙烧活化和设备及其硼砂硼酸生产工艺的选择；硼铁矿加工的各专题论文；综合利用循环经济以及硼铁矿加工要走精细化之路。

在书的编排次序上，基本上按照含硼原料及其预处理、“两硼”（硼砂、硼酸）含硼基本产品及其相关加工工艺、精细化工、综合利用副产品的应用“一条线”进行，其中第七章——硼铁矿加工专论中的文章次序，大体按照发表的时间次序进行编排的。

在编写过程中东北大学赵庆杰教授对本书赋予了极大的热忱并对稿件提出了宝贵意见，全国硼化物专家组成员，原凤城市铁硼办主任卢秉亮，辽宁首钢硼铁有限责任公司孟祥春关心和鼎力支持本书的出版，以及大连理工大学吕秉玲教授提供了珍贵的资料，我们特表示诚挚的敬意。

可以预见，随着翁泉沟硼铁矿的开发利用，我国未来硼矿的供应将形成“西有青藏，北有辽东”的总体格局。在我们迎来我国改革开放的 30 周年之际，为开创

我国硼工业新局面而奋发努力！

我们在这里特别向论文的撰稿人表示深切的谢意！由于时间仓促、水平有限，本书可能有许多不足之处，敬请硼行业同仁和广大读者批评指正。

郑学家

2008年12月于大连

目 录

第一章 硼铁矿床及国内外硼铁矿组成	1
一、硼矿床类型与中国硼矿资源的远景	
中国工程院院士 中国地质科学院 郑绵平	1
二、翁泉沟硼铁矿及国内外硼铁矿组成	
全国硼化物专家组	2
三、对“辽宁省凤城县翁泉沟硼铁矿床总结勘探报告”的审查意见	
辽宁省地质局	10
第二章 含铀硼铁矿科研可行性研究(1960—1982)及加工路线图	15
一、含铀硼铁矿科研可行性研究报告	
化工部含铀硼铁矿科研可行性研究调研组	15
二、凤城翁泉沟硼铁矿加工利用路线及加工路线图	
全国硼化物专家组	22
第三章 硼铁矿选矿技术	23
一、简论硼铁矿选矿分离技术	
全国硼化物专家组	23
二、辽宁省凤城翁泉沟含铀硼铁矿选矿及化工提取硼铁镁半工业试验报告	
地矿部郑州矿产综合利用研究所 广东省矿产应用研究所	
辽宁省地质实验研究所	30
三、硼铁矿磁-重选分离综合利用技术及发展前景	
东北大学 赵庆杰 王常任 凤城灯塔硼铁选矿厂 王德民	36
四、硼铁矿的开发利用	
东北大学 赵庆杰 王常任	40
五、翁泉沟硼铁矿(业家沟和翁泉沟矿段)的选矿	
长沙矿冶研究院	43
六、宽甸五道岭硼铁矿之选矿	
宽甸牛毛坞五道岭选矿厂	50
第四章 含硼铁精矿加工和利用	52
一、论翁泉沟硼铁矿选矿后的硼精矿加工利用硼化工实施方案	
全国硼化物专家组 郑学家	52
二、丹东凤城硼铁矿磁选分离含硼铁精矿综合利用方案分析及建议	

东北大学钢铁冶金系	65
三、含硼生铁的应用	
东北大学 崔传孟	72
第五章 铈的利用和处理	75
一、火法加工硼铁矿铈的走向及处理	
东北大学 张显鹏	75
二、浅谈硼铁矿中铈的利用和处理	
鑫 晓 郑吉岩	76
三、翁泉沟硼铁矿中铈的利用——铈水冶	
核工业衡阳设计院	79
第六章 硼精矿焙烧活化及硼砂、硼酸制造	84
一、硼矿活化焙烧机理及工艺的探讨	
东北大学材料与冶金学院 赵庆杰	84
二、凤城硼铁矿磁选硼精矿活化焙烧 实验室试验研究报告（补充）	
东北大学	88
三、工业焙烧活化的几种窑型选择	
全国硼化物专家组 张继宇 程 巨	91
四、旋流动态焙烧活化	
辽宁东大粉体工程有限公司 张继宇 程 巨	95
五、凤城矿翁泉沟硼铁矿区硼精矿焙烧和制取硼砂小型	
试验审定会议纪要	96
六、论高浓度 CO ₂ 碳解强化碳碱法制取硼砂	
全国硼化物专家组 郑学家 卢秉亮	98
七、高浓度二氧化碳生产硼砂中试实验（阶段性）技术总结报告	
大连理工大学化工学院 张永春 凤城矿 李庆和	104
八、多硼酸钠法生产硼酸工艺	
鑫 晓	109
九、添加活化剂的碳碱法生产硼砂	
大连理工大学化工学院 吕秉玲	111
十、我国硼酸生产现状及发展建议	
辽宁省政府镁资源保护办公室 吕 品 施春辉 刘景泽 于淑伟	116
十一、论翁泉沟硼铁矿规模开发——硼化工部分	
天津化工研究院 宋海燕 孙新华 王 洁 董广前等	121
第七章 硼铁矿加工专论	133
一、辽宁硼铁矿的开发与资源保护意见及建议	
东北大学 赵庆杰 泰丰（大连）新素材有限公司 郑学家	133
二、试论我国后备硼资源的开发	

全国硼化物专家组 郑学家·····	140
三、大力发展循环经济 加快硼产品结构调整 促进我省硼工业持续健康快速发展	
辽宁省硼工业协会 全 跃·····	143
四、找出差距,积极应对,促进我国硼工业发展——兼论后备资源——硼铁矿的开发	
辽宁省石油化工规划设计院 孙 云 全国硼化物协作组 张吉昌·····	146
五、论“十五”期间辽宁硼工业的发展	
辽宁省石化行业管理办公室 胡耀第·····	150
六、浅论翁泉沟硼铁资源开发的迫切性和综合利用的基本途径	
辽宁首钢硼铁有限责任公司 初君学 周泓强·····	154
七、翁泉沟硼铁矿的开发研究	
辽宁首钢硼铁有限责任公司 孟祥春 曾庆强·····	160
八、含硼铁精矿中硼的回收利用技术——固相还原-熔化分离法	
东北大学材料与冶金学院 赵庆杰·····	163
九、不含铀硼镁铁矿宽甸五道岭综合利用研究可行性论证报告——直接还原-熔化分离-熔分渣制取硼砂新工艺	
东北工学院钢铁冶金系·····	165
十、硼铁矿资源综合利用的“火法”——硼铁矿高炉分离生产含硼生铁及富硼渣技术研究	
东北大学 凤城钢铁厂 项目负责人 张显鹏 刘素兰·····	170
十一、低品位硼矿(硼铁矿)综合利用	
胡德生 钟剑初·····	178
十二、翁泉沟硼铁矿综合利用“湿法工艺”	
丹东阳光硼化工有限公司 姜元平·····	182
十三、辽宁省翁泉沟含铀硼铁矿工艺特性及加工工艺研究	
中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所 王秋霞·····	183
十四、硼铁矿“火法”分离工艺技术生产硼系列产品	
东北大学 张显鹏 凤城钢铁有限公司 苏吉仁·····	187
十五、酸解法硼铁矿综合利用工艺研究	
大连理工大学 吕秉玲·····	191
十六、碳碱法加工硼镁铁矿生产硼砂现状及展望	
凤城化工集团有限公司 杜强善·····	193
十七、硼铁精矿合理利用途径的探讨	
东北大学材料冶金学院 杨兆祥·····	203
十八、硼镁铁矿反应活性的研究	
大连理工大学化工学院 钟剑初 胡德生·····	207

十九、关于翁泉沟硼铁矿开发利用的探讨	
凤城化工集团有限公司 杜强善	214
二十、中国硼资源开发及硼工业发展概况	
大连理工大学 胡德生 钟剑初	221
二十一、低品位硼镁铁矿生产硼酸及其综合利用	
化工部长沙化工设计研究院 汤建良	225
二十二、硼铁矿资源综合利用的经济评价	
辽宁省石油化工规划设计院 孙晓红 孙 云	228
第八章 综合利用、循环经济	233
一、发展循环经济 综合利用硼矿	
中国化工学会无机酸碱盐专业委员会 刘幽若	233
二、硼化工要发展循环经济 走可持续发展的路子	
山东鸿基化工有限公司 肖景波	236
三、硼砂生产中的废渣——硼泥的综合利用	
辽宁辽科东达化工有限公司 高佳令	239
四、硼泥的综合利用	
辽宁省政府镁资源保护办公室 吕 品 刘景泽 于淑伟	244
五、论硼工业经济增长方式的转变——发展循环经济及硼产品精细化	
青海利亚达化工厂 李洪岭 凤城昌利硼镁肥厂 王国昌	248
六、利用硼泥生产轻质碳酸镁的工业化研究	
辽宁省宽甸满族自治县计划委员会 李治涛	252
七、利用硼泥研制新型节能砖	
东北大学 任学峰 李 刚 刘素兰 穆永亮	256
第九章 硼精细化工及含硼材料	262
一、硼铁矿开发要走硼精细化工之路	
全国硼化物专家组 郑学家	262
二、硼矿资源的深加工初探	
中国科学院青海盐湖研究所 董亚萍 李武	264
三、我国硼精细化工现状与发展前景	
大连理工大学 宁桂玲 丹东市化工研究有限责任公司 倪 坤	267
四、硼矿资源及其加工和硼精细化工的现状与未来	
丹东市化工研究所 宋明志	273
五、硼精细化工及含硼材料开发与展望	
丹东市化工研究有限责任公司 倪 坤	276
六、硼及硼化物的应用现状与研究进展	
东北大学材料与冶金学院 刘 然 薛向欣 姜 涛 张淑会	
段培宁 杨 合 黄大威	279

七、稀土硼化物的发展及展望与对策	
北京科技大学冶金与生态工程学院 郝占忠 张建良	
包头师范学院计算机系 王 斌	285
八、硼酸铝纳米材料的一维可控制备	
沈阳化工学院化学工程学院 王国胜 阎群英 蒋丽娟	292
参考文献	297
附录 硼铁矿加工相关单位简介	301

第一章 硼铁矿床及国内外硼铁矿组成

一、硼矿床类型与中国硼矿资源的远景

中国工程院院士 中国地质科学院 郑绵平

据硼矿床成矿作用特点，本文将硼矿床成因类型划分为内生、变质、火山沉积和外生沉积 4 个成因组，9 种类型（亚组），28 种建造（矿床），见表 1-1 所列。

表 1-1 硼矿床成因类型

成因组	类型(亚组)	建造(矿床)
1. 内生	A 矽卡岩型	赛黄晶-硅硼钙石矿床 硼镁石-硼镁铁石矿床 镁硼石-硼镁石矿床 钙硼石-硼镁石矿床 西钙硼石-碳硼石矿床
2. 变质	B 变质-再造型	硼镁石-遂安石矿床 硼镁石-硼镁铁石矿床 硼镁铁石-硼镁石矿床
3. 火山沉积	C 火山沉积型	硼砂-贫水硼砂矿床 硬硼钙石矿床 硬硼钙石-钠硼解石矿床 白硼钙石矿床 硅硼钙石矿床
	D 温泉喷出型	铵硼酸盐-硼酸矿床 硼砂-钠硼解石矿床 水方硼石-钠硼解石矿床 硼酸-硼砂矿床
4. 外生沉积	E 盐湖型	硼砂-卤水矿床 硼砂-钠硼解石-卤水矿床 钠硼解石-柱硼镁石-卤水矿床 钠硼解石-镁硼酸盐-卤水矿床
	F 盐沼型	含硼卤水矿床 硼砂矿床 硼砂-钠硼解石矿床
	G 海相卤素型	水方硼石-硼镁石矿床 地下卤水矿床
	H 海相碳酸盐型	锰方硼石矿床
	I 油田水型	富硼油田水矿床

中国硼矿床主要分布于太平洋南北向硼矿带和青藏高原东西向硼矿带。前者以辽吉变质型为主，以及较次要的矽卡岩型（如湖南七里坪）和海相碳酸岩型（如蓟

县)。辽吉变质型形成于下元古界裂谷盆地,主要工业硼矿石为“白硼”,即硼镁石-遂安石矿床和硼镁铁矿-硼镁石矿床,其次为“黑硼”,即硼镁石-硼镁铁矿床。由于长期开采,辽吉“白硼”作为主要硼矿石,其后备资源量已不敷需求,今后继续加强成矿地质构造研究,辽吉“白硼”在中深部还有一定的潜力,但为满足日益增长的国内硼资源需求,其缺口将日渐扩大。“黑硼”的硼镁铁矿资源较大,有待进一步加强提取研究以有效开发利用。

在青藏高原东西向硼矿带已知盐湖型硼矿有较大远景。其中固态矿主要为硼砂矿床和钠硼解石-镁硼酸盐(库水硼镁石和柱硼镁石)矿床;液态硼矿通常与锂钾共存,且硼的资源量较盐湖型固态矿大,其 B_2O_3 达千万吨以上。该硼矿带除了盐湖型液体矿外,还有含硼油田水性资源,其 B_2O_3 远景达数千万吨。这两种液态硼矿值得引起重视,有待大力加强综合提取实验研究,以便早日大量开发和充分发挥硼锂钾液体矿的综合效益。还应着重指出,青藏高原硼矿带还具备世界规模最大的硼矿床类型——火山沉积硼矿床的成矿远景,目前已发现重要成矿标志。

总之,我国硼资源远景较大,今后加强调查研究,上述两个成矿带还可望有新的发现。但就全国硼的地质成矿背景和经济建设而言,未来青藏高原将成为我国接替东北硼基地的主要产地。

二、翁泉沟硼铁矿及国内外硼铁矿组成

全国硼化物专家组

(一) 翁泉沟矿床简介

翁泉沟硼铁矿是一座综合性的大型硼铁矿床,位于辽宁省凤城市刘家河镇和四门子镇的两镇交界处,行政区划分刘家河镇的伙茸沟村和四门子镇的大荒村。矿床地址坐标:东经 $123^{\circ}47'39''\sim 123^{\circ}51'30''$;北纬 $40^{\circ}39'27''\sim 40^{\circ}40'38''$ 。

其矿区交通位置如图 1-1 所示。凤城市翁泉沟硼铁矿是 1958 年群众报矿发现的。1958~1976 年间,辽宁省地质局原六三一队和丹东地质大队、本溪地质大队、铁岭地质大队等地质单位,分别做了大量的工作。丹东地质大队在充分归纳整理大量以往地质资料的基础上,于 1977 年 8 月提交了该矿床总结勘探报告。前后两次的地质工作,共施用了钻探 73856m、洞探 104m、槽探 45755m³、井探 3161m,累计探求了铁矿储量 B+C+D 级 28302 万吨,铁综合品位 30.65%,其中; B_2O_3 组分储量 2185 万吨,硼综合品位 7.23%,其中 B 级储量 507 万吨、C 级储量 967 万吨、D 级储量 711 万吨,按 1972 年统计,该硼矿资源占我国硼矿资源储量的 58%。

矿区共划分为五个矿段:东台子、叶家沟、翁泉沟、蔡家大院及周家大院。其矿床矿体模型如图 1-1 (用 Surpac 软件制作的三维矿体模型)。

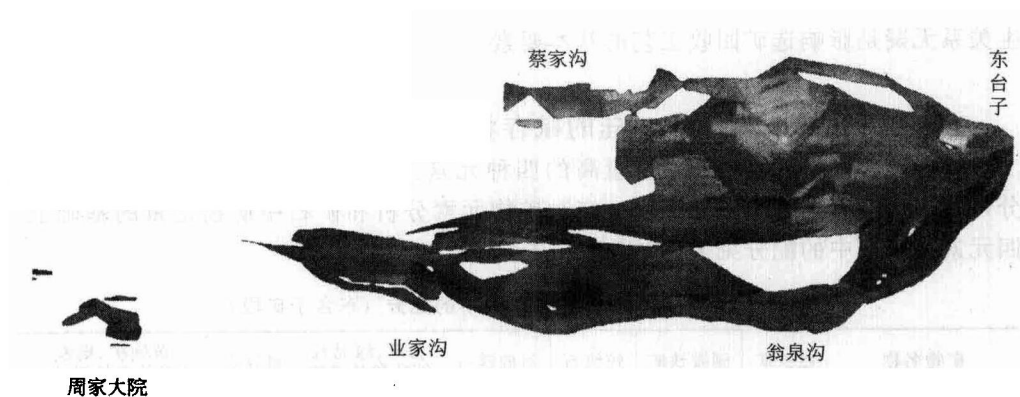


图 1-1 翁泉沟硼铁矿矿床矿体模型

(二) 根据东北大学报告指出的原矿矿物组成

1. 矿石组成矿物分类

矿石中矿物组成复杂，现已查明的各类矿物共计 30 余种。然而由于各自的含量、嵌布粒度、工艺性质以及元素组成上的差异，它们对矿石性质的影响并不相同。按照它们在矿石组成中的作用和地位，可将其划分为矿石矿物和脉石矿物两大类。脉石矿物又依其含量的多寡分为主要、次要和少见。矿石组成矿物的分类见表 1-2 所列。

表 1-2 矿石组成矿物一览

矿石矿物		磁铁矿、硼镁石、硼镁铁矿
脉石矿物	主要矿物	蛇纹石(包括叶蛇纹石、纤维蛇纹石和胶蛇纹石)
	次要矿物	斜硅镁石、云母(金云母、黑云母)、绿泥石、斜绿泥石、普通角闪石、透闪石、镁橄榄石、方解石、白云石、黄铁矿、磁黄铁矿、褐铁矿
	少见矿物	菱镁石、磷灰石、水镁石、锆石、石英、萤石、长石、电气石、硬石膏、闪锌矿、黄铜矿、石墨、钠长石、榍石

2. 主要组成矿物含量

主要组成矿物含量的观测结果见表 1-3 所列。测定时，对含量在 0.10% 以下的少见矿物和部分次要脉石矿物予以合并处理。

表 1-3 矿石主要组成矿物含量

矿物名称	磁铁矿	硼镁铁矿	硼镁石	蛇纹石	云母	碳酸盐	斜硅镁石	绿泥石	褐铁矿	铁的硫化物	其他
含量/% (质量)	30.09	1.87	21.66	30.64	3.31	2.07	6.21	1.20	0.81	1.54	0.60

从表 1-3 可以看出，影响矿石工艺矿物学性质的主要矿物是：磁铁矿、硼镁石和蛇纹石，三者合计占有矿石量的 82.39%。它们各自在矿石中的状态和相互间共

生关系无疑是影响选矿回收工艺的基本要素。

3. 矿石中铁、硼、镁、硅的赋存状态

铁、硼、镁、硅是矿石中含量高的四种元素。它们在矿石各组成矿物中的配分，直接影响着矿石的加工性质。在对矿物元素分析和矿石中矿物定量的基础上，四元素在矿石中的配分见表 1-4 所列。

表 1-4 铁、硼、镁、硅在矿石中的配分（东台子矿段）

矿物名称		磁铁矿	硼镁铁矿	蛇纹石	斜硅镁石	云母、绿泥石等硅酸盐矿物	硼镁石	黄铁矿、褐铁矿等含铁矿物
矿物含量/%(质量)		30.09	1.87	30.64	6.21	4.71	21.66	2.45
TFe/%	配分量	21.66	0.86	0.06	0.22	0.09	0.82	1.47
	配分比	86.02	3.42	0.24	0.87	0.36	3.26	5.83
B ₂ O ₃ /%	配分量	—	0.25	—	—	—	8.15	—
	配分比	—	2.98	—	—	—	97.02	—
MgO/%	配分量	0.58	0.42	13.12	3.36	1.50	9.74	—
	配分比	2.02	1.46	45.68	11.71	5.22	33.91	—
SiO ₂ /%	配分量	—	0.02	12.92	2.25	2.12	0.08	—
	配分比	—	0.12	74.29	12.94	12.19	0.46	—

表 1-4 所列主要元素在矿石中的配分值反映出铁、硼、镁、硅在矿石中有着极高的集中系数，除镁元素外，其他三种元素几乎均集中于矿石中的某一种矿物。例如，Fe 量的 86.02% 存在于磁铁矿中，B₂O₃ 的 97.02% 存在于硼镁石中，SiO₂ 的 74.29% 存在于蛇纹石中。而硼镁石和蛇纹石中的 MgO 则占矿石所含镁量的 79.59%。

4. 主要矿物产出特征

(1) 磁铁矿 它是矿石中最主要的含铁矿物，在矿石各组成矿物中，在含量上它和蛇纹石有近乎相等的重要地位。按产出形式可将其分为：原生粒状磁铁矿、后期蚀变细粒磁铁矿和网脉状磁铁矿等三种类型。

① 原生粒状磁铁矿多与橄榄石（蛇纹石）、斜硅镁石共生。粒径一般大于 0.5mm，它在磁铁矿中的含量不超过 15%。

② 细粒磁铁矿是矿石中磁铁矿的主体，系由硼镁铁矿后期风化而来。硼镁石是与它共生关系最密切的矿物，两者共同组成了海绵陨铁构造。这类磁铁矿也经常和蛇纹石共生。由硼镁石、蛇纹石、细粒磁铁矿组成的集合体，是矿石中最普遍的一种构造形式。

③ 网脉状磁铁矿是含量最低的一种磁铁矿。它多零星地分布于蛇纹石等脉石矿物的裂隙或晶界中。