

华南青年地学学术研讨会论文集  
South China Youth Geoscience Symposium

# 资源环境与可持续发展

Resources, Environment and Sustainable Development

冯佐海 张桂林 主编



广西科学技术出版社

华南青年地学学术研讨会论文集  
South China Youth Geoscience Symposium

# 资源环境与可持续发展

冯佐海 张桂林 主编

广西科学技术出版社

**图书在版编目 ( C I P ) 数据**

资源环境与可持续发展 / 冯佐海、张桂林主编. — 南宁:  
广西科学技术出版社, 2006. 8  
ISBN 7 - 80666 - 736 - 9

I. 资... II. 冯... III. 可持续发展 - 学术会议 - 文集  
IV. X22 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 119362 号

**资源环境与可持续发展**

冯佐海 张桂林 主编

\*

广西科学技术出版社出版

(南宁市东葛路 66 号 邮政编码 530022)

广西新华书店发行

广西桂林漓江印刷厂印刷

(桂林市西清路 9 号 邮政编码 541001)

\*

开本 889mm×1194mm 1/16 印张 31 字数 868 000

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-80666-736-9/X·3 定价: 120.00 元

本书如有倒装缺页, 请与承印厂调换

# 内容提要

《资源环境与可持续发展》是“华南青年地学学术研讨会”暨广西地质学会第六届“希望之星”学术研讨会论文集，共刊载论文123篇，主要内容包括：基础地质、环境地质、工程地质、资源开发与利用、环境科学与工程、宝（玉）石与矿物材料，以及勘查技术与地球信息。在一定程度上反映了青年地学工作者近期在资源环境与可持续发展及相关领域内所取得的研究成果。本书可供地球科学、环境科学、信息科学及材料科学等学科领域的科研人员、研究生和野外地质工作者参考。

# 《资源环境与可持续发展》

## 编辑委员会

主 编：冯佐海 张桂林

副主编：姚根华 陆有德 丰江红

编 委：（按姓氏汉语拼音字母顺序排列）

陈远荣 邓家凤 丰江红 冯佐海 黄载环

陆有德 欧业成 阮志新 王瑞湖 王 颀

姚根华 喻亨祥 张桂林

# 前 言

当前,地球科学正处于一个新的重大转折和发展时期。固体地球科学的研究重点也正从勘探和开发资源转移到全球规模和区域范围的环境和社会等问题,藉以在对基本地球认识的基础上,在资源、环境、灾害和地球信息等方面,为实现人类社会的可持续发展目标提供科学和技术支撑。因此,地球科学家面临着比以往任何时候都更富有挑战性的复杂难题。

面对地球科学新的发展给青年地学工作者带来的机遇和挑战,以及人类社会对可持续发展进一步的理解和关注。广西地质学会青年工作委员会决定于2006年10月在桂林召开“华南青年地学学术研讨会”暨广西地质学会第六届“希望之星”学术研讨会,并决定公开出版论文集。自2006年2月发出会议第一号征集论文通知到2006年6月,共收到论文180余篇,经会议学术委员会专家评审,有123篇论文被收集到论文集中。内容涉及地质、资源、环境和可持续发展等领域所取得的新进展、新成果,在一定程度上反映了青年地学工作者在地球科学及相关领域的研究水平,以及他们的思辩和活力。

论文集分基础地质与资源利用、环境地质与工程地质、勘查技术与地球信息技术、环境科学与环境工程、宝(玉)石与矿物材料、地学教育及其他等6个专题栏目,每个栏目的中文稿按作者姓名的汉语拼音字母顺序排列。由于我们学识所限,加之时间仓促,书中错误或删改不妥之处在所难免,诚望各方指正。

本论文集出版得到桂林工学院、广西地质学会、广西科学技术协会等单位的大力支持和广西自然科学基金(桂科自:0542001)的资助,论文评审专家认真审阅、修改,在此一并表示衷心的感谢。

华南青年地学学术研讨会学术委员会

2006年8月





# 目 录

## 基础地质与资源利用

|                                                   |                      |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| 超大型矿床的研究现状及进展 .....                               | 白艳萍, 张桂林 (1)         |
| 望儿山金矿成矿后构造应力场数值模拟 .....                           | 曹 超, 钱建平, 余 勇 (6)    |
| 广西贵港市庆丰铅锌矿床地质特征及成因探讨 .....                        | 曹雪春, 刘志乾 (10)        |
| 高松山矿区地质物化探特征及找矿方向 .....                           | 陈桂虎, 王艳忠, 连永牢 (15)   |
| 新疆乌恰县乌鲁干铅锌矿勘探工作进展与远景展望 .....                      | 陈 璐, 吴向伟, 韦盛亮 (19)   |
| 广西贺州市鹰阳关金矿地质特征及找矿标志 .....                         | 陈文伦 (24)             |
| 广西圆石山花岗岩体特征及与成矿的关系 .....                          | 陈文伦, 唐荣富 (27)        |
| 湖南黄沙坪铅锌矿床地质特征及矿床成因 .....                          | 费新强, 庞保成, 杨晓飞等 (31)  |
| 桂林地区晚泥盆世沉积相演化特征和海平面变化对 F/F 生物绝灭事件的影响<br>.....     | 冯日照, 韦龙明, 何 鸿 (35)   |
| 核资源与核能利用 .....                                    | 何 鸿, 韦龙明, 冯日照等 (39)  |
| 广西武宣县盘龙铅锌矿床地质特征 .....                             | 黄大放, 黄庆武 (43)        |
| 桂东北鹿寨地区寒武系地球化学特征及构造环境分析 .....                     | 黄启明, 唐奎保, 李乾等 (47)   |
| 桂东北鹿寨地区早中泥盆世地层特征 .....                            | 黄启明, 潘罗忠, 李文强 (50)   |
| 广西煤炭资源保障程度分析 .....                                | 蒋博宇 (54)             |
| 煤炭资源型城市可持续发展的思路与对策——以山西省为例 .....                  | 康 乐 (57)             |
| 新疆阿其克库勒湖断陷盆地古近系—新近系陆相层序地层及盆地演化探讨 .....            | 李 乾 (61)             |
| 青藏高原羌北查多岗日晚白垩纪火山岩特征及地质意义 .....                    | 李 乾, 黄启明, 张 能等 (65)  |
| 内蒙古中上元古界白云鄂博超群的特征 .....                           | 李尚林, 段俊梅, 赵军等 (71)   |
| 用原地重熔说讨论拉屋矿床的形成及演化 .....                          | 刘延勇, 黄秋荣, 马浩明等 (76)  |
| 贵州独山泥盆系沉积层序 .....                                 | 刘智荣, 李尚林, 段俊梅等 (81)  |
| 应用有限单元方法与计算机程序模拟地质体构造应力场及其地学意义 .....              | 卢汉堤 (85)             |
| 水溪庙锡矿床地质—地球化学找矿模式 .....                           | 路启福, 陆小平, 石士定等 (92)  |
| 桂中地区早中泥盆世地层划分 .....                               | 潘罗忠, 李容森, 李文强等 (98)  |
| 关于桂西堆积铝土矿勘查技术方法的反思 .....                          | 彭志永, 徐文忠, 黄纯粹 (105)  |
| 花岗岩中暗色微粒包体的地质特征及来源探讨 .....                        | 彭卓伦, 陈国能, 庄文明等 (107) |
| 广西德保铜矿难采不规则矿块的采矿方法研究 .....                        | 覃丰魁 (112)            |
| 阿尔金造山带西段蓝晶石铝直闪石片岩的首次发现及其地质意义<br>.....             | 覃小锋, 钟锋运, 陆国斌等 (114) |
| 云开地块及相邻地区基底构造属性的微量元素地球化学和 Nd、Sr、Pb 同位素示踪<br>..... | 覃小锋, 李锦诚, 陆国斌等 (117) |

|                                                 |                      |
|-------------------------------------------------|----------------------|
| 河西金矿构造控矿规律及成因机制初探 .....                         | 孙 涛, 钱建平, 关会明等 (125) |
| 广西九蓬锡矿地质特征及成矿规律 .....                           | 唐朝霞, 陈 剑, 李新华等 (129) |
| 广西佛子冲绿色岩建造及成因浅析 .....                           | 唐朝霞, 李新华, 陈 剑等 (134) |
| 里松岩体暗色闪长质包体的特征及成因探讨 .....                       | 王建辉 (136)            |
| 南岭西段花岗岩的成因类型 .....                              | 王建辉, 袁运军 (140)       |
| 藏北羌塘盆地索县至唐古拉山一带的地层分区特征 .....                    | 王清山, 李尚林, 王根厚等 (144) |
| 我国矿产资源危机的原因及对策 .....                            | 文 灿, 林锦富, 陶中一 (147)  |
| 博白县樟肚金矿地质特征 .....                               | 吴志朝 (150)            |
| 广西平果岩溶堆积型铝土矿成矿机理及成矿预测——以教美矿区岩溶堆积型铝土矿为例<br>..... | 夏楚林, 张起钻, 王爱丽等 (153) |
| 论鹰扬关地区天子地组与拱洞组角度不整合界面特征及地质意义 ...                | 徐志贤, 李锦诚, 黄 勇 (157)  |
| 广西昭平县湾岛金矿地质特征及找矿意义 .....                        | 杨远峰 (161)            |
| 桂中晚古生代含油气盆地构造特征 .....                           | 张明华, 陈贵英, 李容森等 (164) |
| 内蒙古达茂联合旗下二叠统阿木山组沉积环境及体系演化 .....                 | 赵 军, 李尚林, 段俊梅等 (168) |
| 湖南长城岭铅锌银矿床控矿因素及找矿方向 .....                       | 钟江临 (172)            |

### 环境地质与工程地质

|                                         |                      |
|-----------------------------------------|----------------------|
| 玉林师范学院东校区滑坡成因分析与防治 .....                | 黄国彬, 王举平 (177)       |
| 高速公路高边坡稳定分析及加固治理 .....                  | 金惠国, 刘勇文, 赵艳林 (182)  |
| 关于 213 国道临夏至合作段公路翻浆问题探讨.....            | 李宝田, 段俊梅, 刘文红等 (186) |
| CFG 桩在岩溶地区地基处理中的应用实例 .....              | 廖永庆 (189)            |
| 在建建筑物对周边建筑群体的形变影响 .....                 | 林 定 (194)            |
| 关于永福电厂扩建工程桩基础存在问题的探讨 .....              | 容 艳, 张桂林, 韦大仕等 (196) |
| 化学灌浆技术的特点及其应用 .....                     | 苏 阳, 曾克强 (199)       |
| 地面沉降的主要类型和防治措施 .....                    | 许 云, 喻亨祥 (201)       |
| 梧州市龙母庙滑坡变形破坏模式分析与稳定性评价 .....            | 杨 军, 郭纯青 (205)       |
| 湖北“京珠高速”公路养护管理模式刍议 .....                | 杨 伟 (210)            |
| CFG 桩在地基处理中的应用 .....                    | 尹 欣 (215)            |
| 南宁盆地第三系膨胀岩土의 胀缩性及防治对策 .....             | 玉才诚 (218)            |
| 膨胀土工程特性及地基处理方法 .....                    | 玉才诚 (222)            |
| 海水入侵的研究综述 .....                         | 张俊峰, 闫志为, 黄 剑 (227)  |
| 桂林红粘土物理力学参数分析 .....                     | 张林锋, 张桂林, 刘之葵等 (232) |
| 提高颗粒分析试验结果准确性的探讨 .....                  | 钟红名 (235)            |
| 梧州市西环路扶壁式挡土墙变形原因浅析 .....                | 周权保 (239)            |
| 梧州市西环路 2 + 907 至 3 + 013 加筋土挡土墙的应用..... | 周权保 (242)            |

### 勘查技术与地球信息技术

|                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| 湖南衡南刘湾矿区电提取寻找隐伏钨矿应用效果 .....     | 陈 彪, 罗先熔, 陈希泉等 (245) |
| 基于 GIS 应用的地质调查数据采集整理及问题探讨 ..... | 陈润荣 (249)            |
| 基于杨赤中推估法的 DEM 及等值线绘制 .....      | 陈天伟 (253)            |



|                                             |                      |
|---------------------------------------------|----------------------|
| 基于 MODIS 的广西石漠化遥感调查研究 .....                 | 郭建东, 吴 虹, 郭远飞等 (256) |
| 隐伏矿床勘查方法探讨 .....                            | 郭晓东, 张 峰, 徐 涛 (261)  |
| 利用 TM 数据进行广西桂中铝土矿成矿遥感信息提取方法研究 .....         | 胡自宁, 何卫军, 黄宗霞 (268)  |
| AGNPS/Arc View GIS 系统在岩溶区农业面源中的污染负荷预测 ..... | 李亚静, 李金城, 韩 丽等 (273) |
| 带激电效应的水平层状介质大地电磁测深正演计算 .....                | 李 勇, 林品荣, 阮百尧等 (278) |
| 四川会理天宝山铅锌矿矿区土壤吸附相态汞测量寻找隐伏铅锌矿研究 .....        | 米海龙, 胡云沪 (282)       |
| 吉林汪清杜荒岭金矿区地电化学法寻找隐伏金矿研究 .....               | 汤 磊, 罗先熔 (285)       |
| 黑龙江高松山矿区物化探的应用及下步找矿方向 .....                 | 王艳忠, 陈桂虎, 连永牢 (289)  |
| GIS 在水利现代化中的应用和发展趋势 .....                   | 魏立飞, 文正敏 (292)       |
| 遥感技术在漓江水质监测中的应用——以桂林市区段为例 .....             | 张立东, 吴 虹 (296)       |
| 神经网络方法在油田储层孔隙度预测中的应用 .....                  | 周莉莉, 李 操, 韦龙明 (299)  |

### 环境科学与环境工程

|                                          |                      |
|------------------------------------------|----------------------|
| 微污染水源饮用水的光催化氧化处理技术研究 .....               | 曹长春, 韦世凡, 张 坤 (302)  |
| 南方酸沉降状况成因综述及防治对策探究 .....                 | 陈华珍, 钱建平, 孙 涛等 (305) |
| 桃花江流域生态环境综合治理研究 .....                    | 成官文, 严启坤, 孔运铎等 (309) |
| 桃花江流域水环境综合治理研究 .....                     | 成官文, 严启坤, 孔运铎 (313)  |
| 桂林市永福县三皇乡旱片治旱途径初步研究 .....                | 程亚平 (317)            |
| 有机固体废弃物好氧堆肥研究进展 .....                    | 冯国杰, 成官文, 王瑞平等 (320) |
| 涠洲终端处理厂污水处理工程自控系统设计 .....                | 付 强, 张 华, 陆小燕 (324)  |
| 漓江生态护岸水榕扦插试验研究 .....                     | 胡乐宁, 成官文, 廖存主等 (328) |
| 黎塘岩溶水系统的水文地质条件与水化学特征分析 .....             | 黄 剑, 闫志为, 唐健生等 (331) |
| 农田氮肥损失与防治对策研究进展 .....                    | 纪锐琳, 朱义年 (336)       |
| 农业面源污染控制技术研究 .....                       | 李金城, 靳振江, 罗亚平等 (342) |
| 面源污染模型化研究进展 .....                        | 李金城, 李亚静, 朱华丽等 (348) |
| 水资源价值模型研究进展 .....                        | 李军朝 (353)            |
| 酸性矿山废水的治理技术 .....                        | 李亚伟, 解庆林 (358)       |
| 对流占优地下水溶质运移问题方法适用性研究 .....               | 栗圆圆, 郭纯青 (362)       |
| 有机污染物对土壤酶活性的影响 .....                     | 刘辉利, 朱义年 (367)       |
| 推流式 $A^2/O$ 工艺的设计及优化运行 .....             | 刘 荃, 刘 晨, 肖太枝等 (370) |
| 对 BOT 模式运作污水处理项目的思考 .....                | 刘 荃 (373)            |
| SDS 模型在区域生态环境地质质量评价中的应用——以海南省西南部为例 ..... | 刘小明, 郭纯青 (375)       |
| 桂西南锰业发展的生态环境问题研究 .....                   | 吕曼秋 (379)            |
| 铅锌矿土壤重金属污染和生态修复技术 .....                  | 罗亚平, 李 伟, 王英辉等 (383) |
| 桂林漓江水环境问题及其对策分析 .....                    | 潘春玲, 陆燕勤, 李军朝 (386)  |
| 国内外河流健康理论发展状况与实践进展 .....                 | 邱熠晨, 蒋亚萍 (389)       |
| 土壤活性和惰性有机质在温度变化时的相似响应 .....              | 申宏岗, 曹建华 (393)       |
| 农业施肥对土壤中重金属形态的影响 .....                   | 王成贤, 朱义年, 刘 杰 (396)  |

|                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| 漓江流域水资源综合治理的对策研究 .....        | 王 莉, 郭纯青 (400)      |
| 土地利用和土地覆被变化对生态环境的影响研究进展 ..... | 夏 青, 申宏岗 (405)      |
| 活性污泥的特性与污泥膨胀的研究 .....         | 肖太枝, 刘 荃, 刘 晨 (410) |
| 桂林漓江流域水资源承载力浅析 .....          | 姚高峰, 蒋亚萍 (414)      |
| 校园空调冷凝水的利用分析 .....            | 于 晓 (419)           |
| 焊管厂废水处理工程实践 .....             | 张 华, 周自坚, 张学洪 (421) |
| 浅谈矿山开发与生态环境保护 .....           | 钟雪梅, 刘宝章 (424)      |
| 建筑给水设计中的节水 .....              | 周自坚, 张 华 (428)      |

### 宝 (玉) 石与矿物材料

|                                            |                     |
|--------------------------------------------|---------------------|
| 养殖珍珠的辐照改色与宝石学特征 .....                      | 李 耿, 蔡克勤, 余晓艳 (432) |
| $Al_2O_3 - TiC/Fe$ 复合材料的显微结构与合成机理的研究 ..... | 刘苏桥, 李晓敏 (434)      |
| 红宝石宝石学及包裹体特征研究 .....                       | 祁 敏, 胡楚雁, 王 铎 (438) |
| 我国珠宝首饰市场国家标准执行中存在的问题及对策 .....              | 陶中一, 林锦富 (443)      |
| 翡翠颜色成因机制 .....                             | 王 铎, 张良矩, 祁 敏 (447) |
| 粉煤灰、炉渣、变高岭石释放活性铝及活性硅性能的研究 .....            | 赵付明, 蓝俊康, 吴 孟 (451) |

### 地学教育及其他

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| 浅谈高等学校系部教学档案管理工作的改进 .....      | 闭建红, 张 华, 王燕舞 (454)  |
| 关于教师课堂教学质量评价指标的讨论 .....        | 曹长春, 解庆林 (456)       |
| 加强地质资料综合利用及保证措施 .....          | 侯万荣, 李体刚, 金同和等 (459) |
| 浅谈提高职工队伍素质、大力开发人力资源的有效方法 ..... | 黄健芬 (461)            |
| 将环保教育渗透到语文教学中 .....            | 黄望姣 (464)            |
| 对地学专业学生的思想道德引导 .....           | 李军朝, 刘志丽 (466)       |
| 我国中小商业银行应对利率市场化风险的策略 .....     | 廖 俭, 王若晨 (469)       |
| 如何提高大型仪器设备使用效益和利用率探讨 .....     | 刘苏桥, 王葆华, 白艳萍 (473)  |
| 广西地矿局人才资源结构分析与展望 .....         | 罗华中 (477)            |
| 房屋面积测算方法探讨 .....               | 朱小玲 (480)            |

# 超大型矿床的研究现状及进展

白艳萍, 张桂林

(桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004)

**摘 要:** 本文在概述了超大型矿床的基本概念和主要特征后, 对不同类型超大型矿床的成矿条件展开分析和对比研究, 进而就其目前的研究进展一一进行阐释。

**关键词:** 超大型; 矿床; 成矿条件; 进展

## 1 超大型矿床的基本概念

最近十多年来, 由于世界各地发现和开发的储量特别大的矿床越来越多, 人们认识到它们所带来的巨大经济效益及重要理论意义。超大型矿床储量大, 一个超大型矿床要比几个大型、中型矿床所发挥的经济效益和社会效益大得多, 以至于在有些国家, 仅靠一个超大型矿床就可以从贫困迈向富裕。超大型矿床综合了众多复杂的地质因素, 国际上早在 20 世纪 70 年代就开始对超大型矿床进行寻找及理论研究, 并相继发现了一批超大型矿床, 包括澳大利亚的 OlympicDam 矿床和加拿大、美国、日本、太平洋诸岛的一些铀矿床、金矿床、铜矿床等。正由于超大型矿床储量巨大, 若发现一些超大型矿床, 就可以停止一些储量小、品位低的矿床开采, 避免小型的乱采、滥采和破坏性开采, 保护矿产资源和生态环境。

在矿床学研究中, 关于矿床规模的级别(或等级)的划分过去长期沿用三分法, 即将矿床划分为小型、中型和大型。目前国际上总的趋势是从原有的三分法扩大到四分法, 即从三分法的大型矿床中划分出特大型(Superlarge)矿床, 或是巨型(Giant)矿床、超巨型(Super-Giant)矿床、庞大(Gigantic)矿床、世界级(World-Class)矿床等。对这些名词的含义, 目前分歧较大, 对它们的规模尚未取得一致意见。

1983 年, 加拿大学者 Laznicka 提出用吨位富集指数(TAI, 即矿床的金属储量吨位)与该金属的地壳平均丰度的比值作为划分矿床规模的依据<sup>[1]</sup>。大型矿床的吨位富集指数为  $10^8$ 、巨型矿床为  $10^{11}$ 、超巨型矿床为  $10^{12}$ 。这种方法有其优越之处, 即口径一致, 便于全球对比, 但它仅适用于金属矿床, 严格来讲, 仅适用于以金属量作为储量单位的金属矿床, 无法适用于日益重要的非金属矿床。由于地壳中的元素含量是极不均匀的, 不同地区的元素地壳平均含量也有很大的差异; 同时, 由于采样方法、测定精度、计算模型等方面的原因, 不同时期、不同作者发表的元素地壳平均含量值同样出入甚大, 甚至同一作者在不同时期发表的数据也不大一致, 这直接影响对矿床规模的划分。按照 Laznicka 的划分方案, 常量元素矿床极难达到巨型规模。例如铁矿床要有铁储量 53 亿吨以上才算巨型, 如按全铁平均品位 30% 计算则要有铁矿石储量 176 亿吨才算超大型。但是, 某些稀有金属矿床又极易达到巨型规模, 如铈矿床只要铈储量达 4 万吨即可。实际上, 单一的吨位富集指数并不能适用于所有金属矿床。黎彤认为: 根据全球地壳丰度求得的巨型矿床的储量下限具有普遍意义<sup>[2]</sup>, 但是在制定金属矿床储量规模的划分标准时应当充分考虑到不同金属成矿元素富集程度的差异性, 为此, 他提出了国际参考标准。涂光炽等<sup>[3]</sup>曾提出, 拥有国际上公认

收稿日期: 2006-04-07; 修订日期: 2006-06-09

作者简介: 白艳萍(1968-), 女, 高级工程师, 矿产勘查专业。

的大型矿床 3~5 倍储量以上的矿床即可称为超大型矿床, 不仅仅是量, 质 (即品位) 也应当是富的。然而, 迄今为止仍缺乏权威的国际一致的矿床规模划分标准。另外, 超大型不是指矿田, 更不是指矿带, 如夹皮沟金矿田, 它包括十几个矿床, 所以不能叫超大型矿床。

## 2 超大型矿床的主要特征

### 2.1 产出形式

一般分为三种类型:

(1) 点式分布, 如我国白云鄂博 REE-Fe-Nb 矿床 (稀土金属占世界一半)、柿竹园矿床 (W、Sn、Bi、Mo 的储量都是超大型的)、澳大利亚的 Olympic Dam Cu-U-Au 矿床;

(2) 带式分布, 如加拿大的 Saskatchewan 钾盐矿床 (世界之最) 长 1500 千米, 宽 300 千米;

(3) 首领式分布, 其特征是分布于矿田、矿带或矿区中, 与其附近一些同类型矿床在成因上和时空上有密切联系<sup>[4]</sup>。

### 2.2 多元素与单元素共存

许多超大型矿床均具有多元素综合成矿的特征, 其多元素并非只是以伴生元素形式出现, 而是各自均能达到特大型矿床的规模, 如南非维特瓦特斯兰德矿床, 富集大量金和铀, 其中金储量达 54 040 吨, 铀达 14 万吨, 各自均为超大型矿床; 加拿大基德克里克铜、铅和锌、金、银的储量也都很大, 其中铅和锌达 820 万吨、银 1.9 万吨、金 222 吨、铜 388 万吨。说明在同一地点成矿作用是多次叠加的, 作用时间也较长, 因而在一个矿床内往往有多种矿化类型出现, 如美国宾厄姆矿床中既有斑岩铜矿, 又有矽卡岩型和脉型铜铅锌银矿存在。如果是同一种成矿作用, 则往往起叠加、富化作用, 导致形成大而富的矿床, 如乌兹别克斯坦的穆龙套金矿就是这样, 该矿在 960Ma 时间内, 尤其是在加里东期、海西期和基米里期均有矿化产出和叠加, 从而形成巨大的矿床。

### 2.3 多期次成矿作用叠加的结果

如大厂 Sn 矿, 其锡石硫化物矿床在世界上独一无二, 其原因与大厂的成矿背景有关。大厂是产于泥盆系中, 这正是我国南方 (湘中南、桂北、粤北) 一个重要的锑矿产出层位, 其之特殊就是在泥盆系的层控 Pb、Zn、Sb 基础之上, 叠加了燕

山晚期的岩浆热液, 带来了大量的 Sn、W、Cu 和部分 Pb、Zn, 才形成了这样一个具复杂物质组成的矿床。

### 2.4 矿化类型上的选择性

并不是所有的矿化类型都有可能形成超大型矿床, 超大型矿床在成矿类型上也往往具有明显的选择性<sup>[5]</sup>。例如, 全球已知铜矿类型近 20 种, 但据 21 个储量大于 1000 万吨铜矿床的统计, 其中斑岩型 12 个, 占 57%; 变质砂页岩型 5 个, 占 24%; 铜镍硫化物型 2 个, 占 9%。显而易见, 在近 20 种铜矿类型中只有 2~4 种类型可形成超大型矿床, 其中 80% 以上是斑岩型和砂页岩型。全球铅锌矿床类型亦有 20 多种, 但据 21 个储量大于 1000 万吨铅锌矿床的统计, 其中 SEDEX 型 9 个, 占 43%; MVT 型 4 个, 占 19%; VMS 型 2 个, 占 9%; 脉状型 2 个, 占 9%; 热液交代型、砂岩型、沉积变质型和性质不明类型各 1 个, 各占 5%。也就是说, 在 20 多个铅锌矿床类型中只有 7~8 个矿床类型可形成超大型矿床, 并且绝大多数为 SEDEX 型和 MVT 型及 VMS 型。其他矿种的超大型矿床也具有同样情况 (图 1)。这反映了超大型矿床的产出类型具有局部性, 而且仅仅偏爱于不多的几种矿床类型之中。

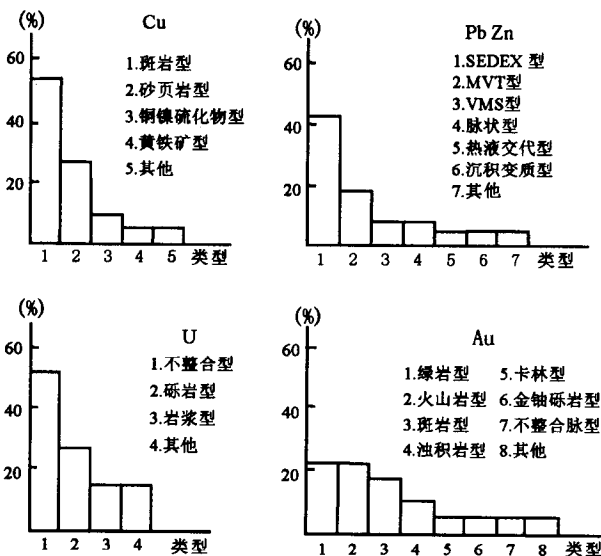


图 1 各种超大型矿床中不同成矿类型分布型式图 (据裴荣富等<sup>[6]</sup>)

## 3 超大型矿床的成矿条件

由于超大型矿床对于人类社会发展和经济建设具有特殊重要的意义, 因而对其成因和分布规

律的研究已引起地质矿产专家的广泛重视。超大型矿床为数很少,且其成因相当复杂,因此,现有对它们成因的认识水平,就不如对一般大中小型矿床那样高。而且,超大型矿床的类型多样,每种类型都有自己特定的成矿过程,不能一概而论。目前讨论较多的是造成矿物质超量富集的因素是什么及超大型矿床的形成条件,现将一些代表性的论点作一概述,以从不同角度对超大型矿床的成因加以分析。

### 3.1 成矿因素的良好匹配

一般矿床的形成需要多种成矿因素的有利组合或匹配,而超大型矿床更需要各种成矿因素的良好匹配或最佳匹配。矿质、流体(运矿介质)、能源(成矿动力)是成矿的三个基本要素。在具备这三要素的前提下,有利的成矿环境、合适的运矿通道和矿质堆积场所,以及导致矿质大量持续稳定堆积的物理化学作用和有关控制因素等动态的最佳组合,是形成超大型矿床的基本因素。如果矿质、流体、能源有充沛供应,成矿机制稳定持续,有局部集中的矿质堆积场所,有足够长的成矿时间,则有可能形成超大型矿床。正是由于在特定的时间、空间条件下,成矿因素的最佳匹配是很少见的,属于地质历史发展过程中的极小概率事件,因此超大型矿床是罕见的。

### 3.2 多重分异富集成矿

这种观点强调,许多超大型矿床不是短期形成的,而是经历了漫长的成矿过程,这个过程是阶段式地表现的,即促使成矿物质浓集的分异作用反复进行,最后使原本分散的成矿物质在一定的时空范围内超巨量汇聚,形成超大型矿床。对于一些小丰度元素,如 Au、Sn、Mo、Hg、Sb 等来说,这种逐级富集作用尤显重要。这一观点大体相当于涂光炽<sup>[5]</sup>提出的多阶段预富集学说。多重分异富集在与岩浆活动有关的矿床中常有表现。例如,著名的湘南柿竹园超大型锡钨钼铋矿床的形成与千里山复式花岗岩体有密切关系。已知该岩体有四期侵入(172~63Ma),最后形成的辉绿岩脉代表了长英质岩浆的最完善分异。晚期的含矿岩体是经过反复分异(高度分异)的,富含矿质和 F、H<sub>2</sub>O 等挥发组分,在其与围岩—泥盆系碳酸盐岩的反复作用中,经过矽卡岩化和石英网脉型矿化等作用,形成矿床。类似的矿床还有美国

Colorado 的 Climax 钼矿,它也是花岗岩浆多次侵入、多期成矿的产物。金川铜镍超大型矿床,据汤中立等<sup>[7]</sup>研究,是深源镁—超镁铁质岩浆经过多次熔离分异,矿质逐级浓集的结果;经过这种反复的分异,金川含矿岩体体积的 40% 左右成为工业矿体,形成“小岩体成大矿”的罕见景象。

在外生成矿中,也有多重分异富集的实例。如西藏扎布耶盐湖的超大型锂矿床,是盐湖卤水经反复蒸发分异作用形成的<sup>[8]</sup>。自晚更新世晚期以来,高原区域气候的节律性变化使扎布耶盐湖经历了一个由泛湖期到泛湖收缩分离汇矿到多级盐湖成矿的过程。在重力场和化学分异作用下,盐类物质逐级向最低阶湖迁移,使海拔最低的扎布耶盐湖成为该区盐类物质汇聚的中心,从而使锂等成矿物质达到异常的巨量富集。

### 3.3 成矿系统的复合与叠加

自然界中成矿系统相当大一部分都经历了长期演化,因而常形成复合叠加成矿系统。复合成矿系统指两种以上成矿系统的联合,如火山—沉积成矿系统就同时受火山活动和沉积作用的双重控制。叠加成矿系统指先期形成的成矿系统,在经相当长时间间隔后,又受到新的成矿系统的重叠,新的成矿系统继承、改造老的成矿系统,促使原有矿质活化和加富,也带来了新的矿质。小丰度元素(Sn、Cu、Pb、Zn、Sb 等)形成矿床,一般需要经过几个矿化阶段的累积叠加,形成大一超大型矿床尤其需要叠加成矿机制,国内外不少大一超大型矿床是复合叠加成矿系统的产物。长江中下游成矿带狮子山矿田的层控矽卡岩型铜、硫矿床、粤北大宝山铁多金属矿床作为叠加成矿系列的实例<sup>[9,10]</sup>,白云鄂博矿床、大厂锡多金属矿床均为复合叠加成矿的实例。上述四个矿区揭露程度和研究水平均较高,认为其属于叠加成矿系统的依据是比较充分的。

### 3.4 特定的地球化学省

一定区域中某些成矿元素的背景含量高,是形成矿床的有利物质基础,也是形成超大型矿床的必要前提。如我国华南地区的地球化学异常图上,W、Sn 背景含量高,是在该区形成钨、锡超大型矿床的物质基础。而华北克拉通,据张本仁等<sup>[11]</sup>研究,Au、Mo 丰度值高,是形成华北金、铂矿床的有利条件。一些学者强调这种不同地块

内地球化学元素分布的不均一性,将富含某种(或某些)金属的地块称为地球化学省或地球化学块体(Geochemical - Block),并用以解释某些地块中常产出某些大到超大型矿床的成因。这种观点对于解释“众星捧月式”超大型矿床的产出环境,有一定的意义。

Auhaluesser<sup>[12]</sup>曾将地幔不均一性和部分矿产的成矿作用相联系,认为区域矿产分布的不均匀性起源于地幔的不均一性;克拉通内部矿产分布的不均匀性、尤其是局部地区的矿化富集和超大型矿床的产出,不能用单一的板块模式来解释。欧阳自远等<sup>[13]</sup>认为,地球原始物质的不均一性应看成是矿化集中区和超大型矿床形成的物质基础,后期不同型式的构造和化学作用则提供了一种过程机制。例如南非的金和金刚石矿,澳洲的金及铅、锌矿,东南亚越北印支陆块西缘的锡矿,胶东金矿,辽东镁矿以及内蒙古的稀土矿床等。关于地球化学组成不均一性的起源,欧阳自远认为在地球形成初期,组成地球的各类堆积星子的化学组成就有差异。地球在早前寒武纪的区域横向不均一性反映了星子间的化学差异,即由堆积星子引起了地球的初始不均一性。在地球形成以后,又经历了复杂的多阶段的演变,包括地球的垂直不均一性和横向不均一性的相互影响<sup>[14]</sup>。这些研究对于深入解释超大型矿床和矿集区在全球的分布特征有重要意义。

### 3.5 全球背景说和全球事件说

这种观点强调某些超大型矿床的形成不是单一区域的局部地质事件产生的,而是与全球地史演化过程中的特定重大事件密切相关。在地球进化过程中,岩石圈、水圈、大气圈及生物圈的逐步形成和演化,决定着各类地质成矿营力的生成、作用强度和方向,因而制约着不同类型、不同规模矿床的形成和分布。JanVeizer认为,局限于太古宙晚期(3000~2500Ma)的Algoma型铁矿的广泛产出与当时海洋的缺氧的还原环境有关,而中元古代和新古生代两个时代中全球性裂谷中SEDEX型金属硫化物矿床的发育可能与当时地球膨胀、大陆拉伸裂解的构造环境有关。此外,中生代滨太平洋矿带活动大陆边缘的斑岩型、浅成低温热液型和火山岩型矿床的发育,也是具有全球意义的成矿事件,且与大陆大洋板块的叠加

作用、岩浆活动、壳幔作用的明显加强密切相关。

上面列举的学说和观点,并不是矛盾的,而是相辅相成的,都有一定的事实依据,从不同的角度和侧面来试图说明超大型矿床的成因,都具有一定的理论和实践意义,都是针对某一类或几类具体的超大型矿床,对它们如何进一步作出科学的解释,并能有效地指导该超大型矿床类型的勘查工作。

## 4 超大型矿床研究进展

### 4.1 典型超大型矿床的对比与寻找

自1987年国际地球物理与大地测量联合会提出将“超大型矿床的全球背景”研究作为20世纪90年代地球科学领域12个重要的前沿课题之一以来,一些国家,包括澳大利亚、美国、加拿大和中国都相继投入力量对超大型矿床进行典型解剖对比研究<sup>[5,15,16]</sup>。如加拿大矿床地质学家在对超大型矿床进行了深入的研究和解剖,尤其是对超大型块状硫化物矿床进行了重点分析研究后,于1994年出版了“世界级MVT和SEDEX Pb-Zn矿床”、“世界级岩浆镍矿床”等方面资料,对各类超大型矿床进行了分析研究,特别是对各类矿床如何形成超大型矿床进行了深入探索。澳大利亚选择了奥林匹克坝超大型Cu-U-Au-Ag矿床进行了典型分析研究,俄罗斯选择了Cu-Ni型矿床进行典型解剖。我国1992年在批准实施的攀登计划中包括“与寻找超大型矿床有关的基础研究”,把白云鄂博稀土-铁-铌矿床等作为典型超大型矿床进行深入研究。上述表明,这些国家都企图通过对典型超大型矿床的解剖和总结来发现新的超大型矿床。

除了对典型超大型矿床进行解剖外,还进行了超大型矿床专家之间的对比研究。如Hitzman等<sup>[17]</sup>把奥林匹克坝超大型Cu-U-Au-Ag矿床、白云鄂博稀土-铁-铌矿床、基鲁纳铁矿和密苏里东南铁矿统归于元古宙铁氧化(Cu-U-REE-Au)矿床,并分为两个亚类:一类为产于火成岩中,另一类是产在沉积岩中,进而进行了对比研究。涂光炽<sup>[18]</sup>也认为奥林匹克坝矿床与白云鄂博矿床可以对比,并指出这两个矿床具有相似之处:①两者的组成物质类似;②形成的时代均为中元古代,均形成于地壳的拉张阶段;③矿床的形成

与当时的富碱岩浆活动有关。

## 4.2 超大型矿床的时空分布特征

超大型矿床金属矿床在时空分布上是很不均匀的。Konstantinov<sup>[19]</sup>对世界上65个大型超大型金矿床的形成年龄进行统计分析,结果显示,金矿床形成的主要时间段是2700~266Ma、400~360Ma、320~280Ma、130~100Ma、90~60Ma、40~5Ma。在金矿床储量中有73%以上集中于寒武纪岩层中。在分布上,金储量在200吨以上的超大型矿床基本分布于北美金矿集中区、澳大利亚集中区、环太平洋集中区和南部非洲集中区。在已报道的56个储量在500万吨以上的超大型铜矿床中,元古宙18个,石炭纪2个,二叠纪—三叠纪7个,侏罗纪1个,白垩纪—第三纪28个。以中国为例,中国大型、超大型在时间分布上具有明显的不均匀性。在地质时代的分布上,具有一定的倾向性。陈毓川等<sup>[20]</sup>对我国52个主要矿种807个大型、超大型矿床进行了统计,结果表明,我国大型、超大型矿床在各个地质时代的分布情况(矿床数百分比)是:太古宙占4.8%,元古宙占11.1%,早古生代占6.9%,晚古生代占22.3%,中生代占34.9%,新生代占20%。从太古宙至中生代大型、超大型矿床的形成由少到多,在中生代达到高峰,进入新生代锐减。超大型铜矿床明显集中于元古宙和白垩纪—第三纪这两个时间段。

而超大型的铁氧化物矿床(奥林匹克坝矿床与白云鄂博矿床等)集中于中元古代。铅锌大量出现在中元古代,并形成了许多超大型矿床,主要分布于北美铅锌矿集中区、澳大利亚集中区、北欧集中区、南部非洲集中区、中国北部—朝鲜集中区等。涂光炽指出,中元古代有大量的稀土和铅出现,主要与中元古代大面积的碱性岩浆活动有关。

## 参考文献:

- [1] Laznicka P. The research for a more realistic metallogenic map format with reference the pine creek geosyncline [J]. BMR Journal of Australia geology and geophysics, 1983, (8): 293~305.
- [2] 关于大型和超大型矿床的储量级别 (30<sup>th</sup> IGCabstract, V.2, 786)
- [3] 涂光炽. 关于超大型矿床的寻找和理论研究 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 1989, (3): 163~167.
- [4] 何知礼. 超大型金矿床成矿流体某些特征及其找矿 [J]. 地学前缘, 1994, (4): 133~139.
- [5] 涂光炽. 超大型矿床的探寻与研究的若干进展 [J]. 地学前缘, 1994, (1): 1~4.
- [6] 裴荣富, 吴良士, 熊群尧. 中国特大型矿床偏在性与异常成矿构造聚敛场 [M]. 北京: 地质出版社, 1998. 1~418.
- [7] 汤中立. 中国镍矿床 [A]. 宋叔和. 中国矿床学 (上册) [C]. 北京: 中国地质科学院矿床地质研究所, 1989. 211~228.
- [8] 郑绵平, 刘文高, 向军. 西藏扎布耶盐湖的研究 [J]. 国际交流地质学术论文集, 1985. 173~184.
- [9] 翟裕生, 姚书振, 林新多, 等. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律 [M]. 北京: 地质出版社, 1992. 188~190.
- [10] 李人澍. 成矿系统分析的理论与实践 [M]. 北京: 地质出版社, 1996. 122~124.
- [11] 张本仁, 骆庭川, 高山, 等. 秦巴岩石圈、构造及成矿规律地球化学研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.
- [12] Auhaluesser C R. Metallogeny in South Africa [J]. Econ. Geol., 1974, (71): 16~43.
- [13] 欧阳自远. 地球的化学不均一性及其起源和演化 [J]. 矿物岩石地球化学, 1995, (2): 88~91.
- [14] 陈胜早. 地球内部物理和演化的几个核心问题 [J]. 地球动力体系. 高校地质学报, 1997, 3 (4): 464~480.
- [15] 芮宗瑶, 艾永德, 王龙生. 金属矿床学的研究热点 [J]. 地质评论, 1996, 42 (4): 25~28.
- [16] 李上森. 关于超大型矿床的几个问题 [J]. 国内外前寒武纪地质, 1996, (3): 46~49.
- [17] Hitzman M W et al. Geological characteristics and tectonics setting of proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits [J]. Precambrian Research, 1992, (58): 1~4.
- [18] 涂光炽. 九十年代固体地球科学及超大型矿床研究若干进展 [J]. 矿物学报, 1997, 17 (4): 357~363.
- [19] Konstantinov M M. Goldgiants [J]. 30<sup>th</sup> international geology congress. Abstract, Beijing, China, 1996, 2~3.
- [20] 陈毓川. 中国主要成矿区带矿产资源远景的评价 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.



# 望儿山金矿成矿后构造应力场数值模拟

曹 超, 钱建平, 余 勇

(桂林工学院, 广西 桂林 541004)

**摘 要:** 文章分析了望儿山金矿矿田构造特征, 在此基础上运用有限单元法对望儿山金矿床进行成矿后构造应力场的数值模拟, 反演出望儿山金矿现今构造应力场, 阐明了望儿山金矿控矿构造特征及成矿规律和望儿山金矿床控水构造特征, 为望儿山金矿矿坑涌水治理提供了一定的理论基础。

**关键词:** 构造应力场; 有限单元法; 望儿山金矿; 控水构造

构造变形在地壳中的分布具有一定的规律, 这种规律受构造应力场和岩石的力学性质所控制。在成矿构造应力场研究方面, 目前已有多种方法, 如地质反演算法、显微构造分析法、岩石变形实验法以及数学、物理模拟法等。其中有限单元数值模拟法在对成矿后构造应力场的反演过程中应用较为广泛, 效果较为显著<sup>[1]</sup>。

有限单元法是实现构造应力场从定性描述到定量、半定量计算的有效方法。在研究区域控矿构造特征的基础上, 建立了研究区地质实体的离散化模型。确定了地质体的边界条件和空间位置关系后, 模拟出望儿山金矿床成矿后的构造应力场, 从而为该矿控水构造的解释提供地质理论基础。

## 1 望儿山金矿床地质构造特征

望儿山金矿床位于著名的山东省招掖金矿带的西部, 属于典型的构造蚀变带金矿床, 其大地构造位置位于沂沭断裂带东侧鲁东地盾胶北隆起、掖县栖霞凸起的西北部。基底断裂表现为 EW 向断裂构造和 NE、NNE 向断裂构造, 前者形成较早, 二者成复合关系, 区域内 NNE、NE 向断裂发育(图 1)<sup>[2]</sup>。

望儿山地区地层主要为第四系全新统 ( $Q^h$ ) 和新太古代胶东群蓬乔组 (Arjd)。第四系全新统主要由沙土、沙质粘土等冲积物、残坡积物组成。

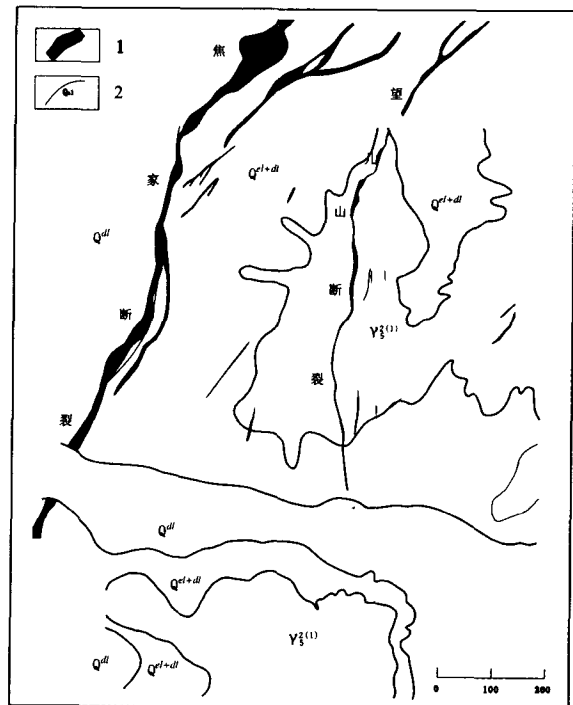


图 1 望儿山矿区地质区域图

1 - 蚀变带; 2 - 地质界线。图中:  $Q^{al}$  - 第四系冲积物;  
 $Q^{al+dl}$  - 第四系残坡积物;  $Y_5^{(1)}$  - 燕山期花岗岩

胶东群蓬乔组原岩属火山—沉积岩系, 已变质成黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、黑云变粒岩、云斜片岩等, 主要以残留体形式分布于黑云母花岗岩中。区内主要有燕山期黑云母花岗岩、绢英岩

等大面积出露，占基岩出露面积的 90% 以上。此外尚有伟晶岩脉、煌斑岩脉、闪长岩脉等，其规模较小，零星分布。

焦家主断裂、河西支断裂和望儿山支断裂的主断面及其附近均有早期韧性变形的表现，韧性断裂均循焦家断裂带的总体展布方向呈 NE - NNE 向延展。由焦家主断裂到望儿山支断裂韧性变形的强度有逐渐减弱的趋势，韧性变形带宽度由 1.5 km 到 1 km。NE - NNE 向焦家韧性变形带，主要发育在片理、片麻理近 EW 向的玲珑片麻状花岗岩岩体和部分太古宇胶东群之中<sup>[3]</sup>。

望儿山断裂是焦家断裂带的一条分支，断裂沿走向 EN 向呈“入”字形与主断裂复合。望儿山断裂是早期韧性剪切变形和晚期张扭性脆性变形叠加作用的产物。主断裂面构造岩发育，且南段与北段具有明显的差异。南段脆性构造岩发育，以角砾岩为主，韧性构造岩系列不甚发育；北段构造岩与主断裂构造岩相似，可分为早期韧性和晚期脆性构造岩系列，前者由糜棱岩和初糜棱岩组成，后者由碎斑岩、碎裂岩、初碎裂岩和断层泥组成，具有明显的水平分带性<sup>[4]</sup>。

## 2 构造应力场的数值模拟

### 2.1 边界条件的确定

确定边界一般要考虑研究对象的范围和边界四周的地质情况，通常取断层面、岩体的边界面等天然界面作边界，也可任取一面为边界<sup>[5]</sup>。该研究区东西两侧分别以望儿山、焦家断裂为界面，北侧以河西断裂为界面，南侧以曲城河为界面。使南、西两边固定，在北、东两边的边界上相对加力。为使模型不发生刚体位移，在西南角加一固定约束。根据邓军等在该地区测定的成矿期最大主应力方向为 305°，成矿后主应力方向发生倒转，则该地区成矿后最大主应力方向为 125°。应用目前国际上先进的计算结构应力、应变的 ALGOR FEAS 软件进行模拟。用有限元的方法反演计算构造应力场，最终得到构造应力场在空间范围内的定量结果（图 2）。

### 2.2 岩石样本的力学性质参数

在野外地质填图和系统研究地质构造特征的基础上，进行岩石力学性质测试样品的采集工作。采集过程中考虑到：①代表性岩石类型，②不同

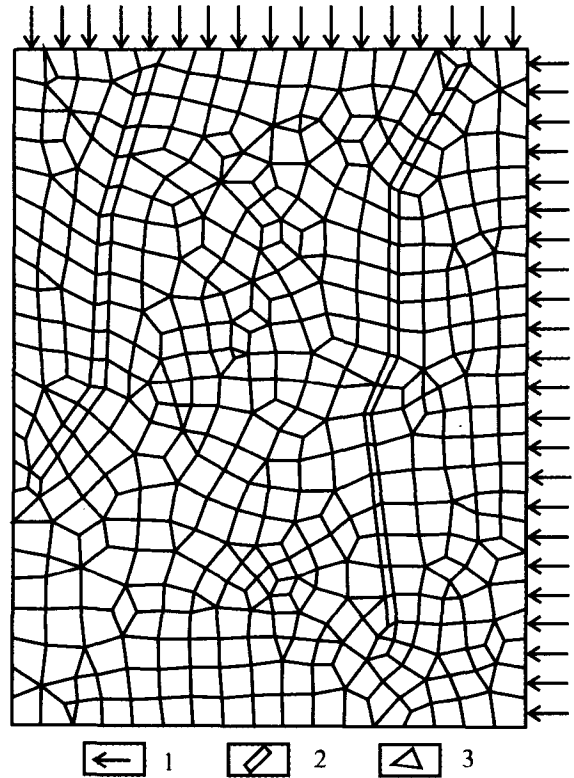


图 2 望儿山矿区构造应力场有限元网格划分

1 - 应力方向；2 - 断裂带；3 - 有限单元

的构造部位，③与已知断裂构造的距离等因素<sup>[6]</sup>，共采集了四种具有代表性的试样。每块试样都以无风化或弱风化、无裂纹为准则，定向采集，规格大于 10 cm × 10 cm × 10 cm。经山东省岩土公司测定，各种试样的岩石力学性质如表 1 所示。

表 1 矿区内不同岩石单元的力学性质参数

| 岩石类型    | 弹性模量<br>( $E/\text{MPa}$ ) | 泊松比<br>( $\mu$ ) | 密度<br>[ $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ ] |
|---------|----------------------------|------------------|--------------------------------------------------|
| 黑云母花岗岩  | $7.1 \times 10^4$          | 0.31             | 2632                                             |
| 钾化花岗岩   | $5.5 \times 10^4$          | 0.27             | 2621                                             |
| 绢英岩化花岗岩 | $8.0 \times 10^4$          | 0.18             | 2644                                             |
| 构造岩     | $0.7 \times 10^4$          | 0.36             | 1850                                             |

### 2.3 有限单元的划分

边界线尽量与构造线、岩体与围岩的接触线、不同力学参数的岩层接触线重合，重点地段加密，次要地段适当放大。三角形单元尽量使其边长近等，避免出现钝角。若边界线是曲线就用几条直线代替曲线作为单元的边。该区共划分 489 个四边形和三角形单元，515 个结点。

### 2.4 模拟结果

应用 ALGOR FEAS 软件模拟后，分别得出研