



国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

**有色金属** 理论与技术前沿丛书  
SERIES OF THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FRONTIERS OF  
**NONFERROUS METALS**

# 地下矿山岩体结构解构理论 方法及应用

THEORY AND METHODS OF DECONSTRUCTION ON ROCKMASS STRUCTURE  
FOR UNDERGROUND MINE

陈庆发 古德生 著  
Chen Qingfa Gu Desheng



中南大学出版社  
www.csupress.com.cn



中国有色集团



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属理论与技术前沿丛书

# 地下矿山岩体结构解构 理论方法及应用

THEORY AND METHODS OF DECONSTRUCTION ON  
ROCKMASS STRUCTURE FOR UNDERGROUND MINE

陈庆发 古德生 著

Chen Qingfa Gu Desheng



中南大学出版社  
www.csupress.com.cn



中国有色集团

---

图书在版编目(CIP)数据

地下矿山岩体结构解构理论方法及应用/陈庆发,古德生著.  
—长沙:中南大学出版社,2016.1  
ISBN 978-7-5487-2267-0

I.地... II.①陈...②古... III.矿山-地下开采-裂缝(岩石)-  
岩体结构面-研究 IV.TD31

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第104880号

---

地下矿山岩体结构解构理论方法及应用

DIXIA KUANGSHAN YANTI JIEGOU JIEGOU LILUN FANGFA JI YINGYONG

陈庆发 古德生 著

- 
- 责任编辑 史海燕 胡业民  
责任印制 易红卫  
出版发行 中南大学出版社  
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083  
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482  
印 装 长沙超峰印刷有限公司
- 

- 开 本 720×1000 1/16 印张 20.25 字数 403千字  
版 次 2016年1月第1版 印次 2016年1月第1次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5487-2267-0  
定 价 100.00元
- 

图书出现印装问题,请与经销商调换

# 内容简介

Introduction

本书首次提出岩体结构解构概念，系统阐述地下矿山岩体结构解构理论、方法及其应用。其内容主要包括：岩体结构解构理论形成、地下矿山结构面实测新方法、结构面连通性原理与判别方法、连通性结构面查询软件；空场法与崩落法开采岩体结构解构方法、结构体可移动性分析方法、结构体稳定性计算方法；裂隙矿岩崩落法开采凿岩巷道顶板回采失稳机制；裂隙岩体环境下巷道轴向优化方法。研究成果试图架起一座复杂裂隙环境下岩石力学与采矿工艺连通的桥梁，可为地下矿山复杂裂隙岩体环境下工程结构参数选择、采矿工艺优化及工程地质灾害预防提供相应的理论与技术支撑。

本书可供采矿工程、隧道工程、岩土工程及其他岩石地下工程等领域的科研与工程技术人员、高等院校的教师、高年级本科生和研究生参考使用。

## 作者简介

About the Authors

**陈庆发** 男, 1979年7月生, 河南郸城人, 博士, 教授, 硕士生导师。1998—2002年在南方冶金学院采矿工程专业学习, 获学士学位; 2002—2005年在武汉理工大学采矿工程专业学习, 获硕士学位; 2007—2009年在中南大学安全技术及工程专业学习, 获博士学位。2010—2012年为中南大学矿业工程博士后流动站和广西华锡集团股份有限公司博士后工作站博士后研究人员, 指导老师为古德生院士。

现任广西大学资源与冶金学院副院长, 中国有色金属学会矿山信息化智能化专业委员会委员, 广西水土保持学会理事, 广西安全生产专家, 广西岩石力学与工程学会副秘书长, 广西高校矿物工程重点实验室副主任等。

目前主要从事非传统采矿理论与工艺、岩土力学、工程灾害防治等方面的研究工作, 先后提出“协同开采”重大采矿技术命题和“同步充填”采矿技术理念, 系统开展了采空区隐患资源协同开采理论、柔性隔离层作用下散体介质流理论和地下矿山岩体结构解构理论等研究。主持和承担国家级与省部级科研课题20余项; 出版学术专著4部, 在国内外学术期刊上发表论文50多篇, 其中被SCI、EI检索40余篇; 授权国家发明专利2项; 获省部级科技进步一等奖1项, 二等奖2项, 三等奖2项, 2012年获湖南省优秀博士学位论文奖。

**古德生**，男，汉族，1937年10月生，广东省梅县人。现任中南大学教授、博士生导师，湖南省政协委员、全国政协委员。中国工程院院士。

长期从事采矿设备和工艺的教学、科研工作。创立了以振能有效作用范围、受振矿石性态、振能耗散规律及振机埋设参数优化等内容为核心的振动出矿原理，和以采矿连续工艺系统、连续作业的大块管理及连续作业机组优化配套为主要内容的采矿连续工艺优化理论。创立的振动出矿技术和地下矿连续开采技术具有重大的工程意义和社会经济效益。先后荣获中国有色金属工业“劳动模范”“国家级中青年有突出贡献专家”，国务院“政府特殊津贴”。在“七五”和“九五”的国家科技攻关中，两次荣获国家科技部、国家财政部、国家计委和国家经贸委联合颁发的“国家重大科技攻关突出贡献者”奖牌。

# 学术委员会

Academic Committee

国家出版基金项目  
有色金属理论与技术前沿丛书

## 主 任

王淀佐 中国科学院院士 中国工程院院士

## 委 员 (按姓氏笔画排序)

于润沧	中国工程院院士	古德生	中国工程院院士
左铁镛	中国工程院院士	刘业翔	中国工程院院士
刘宝琛	中国工程院院士	孙传尧	中国工程院院士
李东英	中国工程院院士	邱定蕃	中国工程院院士
何季麟	中国工程院院士	何继善	中国工程院院士
余永富	中国工程院院士	汪旭光	中国工程院院士
张文海	中国工程院院士	张国成	中国工程院院士
张懿	中国工程院院士	陈景	中国工程院院士
金展鹏	中国科学院院士	周克崧	中国工程院院士
周廉	中国工程院院士	钟掘	中国工程院院士
黄伯云	中国工程院院士	黄培云	中国工程院院士
屠海令	中国工程院院士	曾苏民	中国工程院院士
戴永年	中国工程院院士		

# 编辑出版委员会

Editorial and Publishing Committee

国家出版基金项目  
有色金属理论与技术前沿丛书

## 主任

罗 涛(教授级高工 中国有色矿业集团有限公司总经理)

## 副主任

邱冠周(教授 国家“973”项目首席科学家)

陈春阳(教授 中南大学党委常委、副校长)

田红旗(教授 中南大学副校长)

尹飞舟(编审 湖南省新闻出版局副局长)

张 麟(教授级高工 大冶有色金属集团控股有限公司董事长)

## 执行副主任

王海东 王飞跃

## 委员

苏仁进 文援朝 李昌佳 彭超群 谭晓萍

陈灿华 胡业民 史海燕 刘 辉 谭 平

张 曦 周 颖 汪宜晔 易建国 唐立红

李海亮



# 总序

Preface

当今有色金属已成为决定一个国家经济、科学技术、国防建设等发展的重要物质基础，是提升国家综合实力和保障国家安全的关键性战略资源。作为有色金属生产第一大国，我国在有色金属研究领域，特别是在复杂低品位有色金属资源的开发与利用上取得了长足进展。

我国有色金属工业近 30 年来发展迅速，产量连年来居世界首位，有色金属科技在国民经济建设和现代化国防建设中发挥着越来越重要的作用。与此同时，有色金属资源短缺与国民经济发展需求之间的矛盾也日益突出，对国外资源的依赖程度逐年增加，严重影响我国国民经济的健康发展。

随着经济的发展，已探明的优质矿产资源接近枯竭，不仅使我国面临有色金属材料总量供应严重短缺的危机，而且因为“难探、难采、难选、难冶”的复杂低品位矿石资源或二次资源逐步成为主体原料后，对传统的地质、采矿、选矿、冶金、材料、加工、环境等科学技术提出了巨大挑战。资源的低质化将会使我国有色金属工业及相关产业面临生存竞争的危机。我国有色金属工业的发展迫切需要适应我国资源特点的新理论、新技术。系统完整、水平领先和相互融合有色金属科技图书的出版，对于提高我国有色金属工业的自主创新能力，促进高效、低耗、无污染、综合利用有色金属资源的新理论与新技术的应用，确保我国有色金属产业的可持续发展，具有重大的推动作用。

作为国家出版基金资助的国家重大出版项目，“有色金属理论与技术前沿丛书”计划出版 100 种图书，涵盖材料、冶金、矿业、地学和机电等学科。丛书的作者荟萃了有色金属研究领域的院士、国家重大科研计划项目的首席科学家、长江学者特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、全国优秀博士论文奖获得者、国家重大人才计划入选者、有色金属大型研究院所及骨干企

业的顶尖专家。

国家出版基金由国家设立，用于鼓励和支持优秀公益性出版项目，代表我国学术出版的最高水平。“有色金属理论与技术前沿丛书”瞄准有色金属研究发展前沿，把握国内外有色金属学科的最新动态，全面、及时、准确地反映有色金属科学与工程方面的新理论、新技术和新应用，发掘与采集极富价值的研究成果，具有很高的学术价值。

中南大学出版社长期倾力服务有色金属的图书出版，在“有色金属理论与技术前沿丛书”的策划与出版过程中做了大量极富成效的工作，大力推动了我国有色金属行业优秀科技著作的出版，对高等院校、科研院所及大中型企业的有色金属学科人才培养具有直接而重大的促进作用。

王淀佐

2010年12月

矿业是国民经济的基础产业，矿产资源是国民经济和社会发展的物质基础。随着我国建设事业的发展，矿产资源开发利用的规模越来越大，预计今后 20 ~ 30 年将是我国矿产资源消耗强度的高峰期。我国金属矿山 80% 以上为地下开采，且呈逐年增长趋势，随之而来的矿产资源高效开采与岩体工程安全的矛盾日益加剧。岩石力学作为解决这一矛盾的重要手段，是采矿技术从经验向科学过渡的桥梁。

在裂隙矿岩环境中，结构面交错切割形成大量结构体，结构面与结构体排列组合形式(岩体结构)很大程度上控制了矿岩体工程稳定性，在复杂岩体结构的影响下，矿产资源回收困难，灾害事故频发，严重制约了裂隙环境下矿产资源的安全高效开发利用。遗憾的是，目前人们对地下矿山岩体结构的认识还受限于观察空间、技术水平、工具手段等因素制约，有关研究仍处于初期阶段。

为了刻画岩体结构单元形态、阐明裂隙岩体结构力学特性，作者努力探索岩体结构与采矿工艺、工程的关联性，首次提出了“岩体结构解构”的概念，系统阐述了地下矿山岩体结构解构理论与方法；精细刻画了结构面在岩体内的空间位置与交切形式；揭示了结构面的连通特性与展布规律，以及结构体在岩体内的空间形态与分布特征；结合不同采矿方法的特点，剖析结构体在采矿过程的移动特性与稳定状态，并据此开展一系列应用研究。研究成果对地下矿山复杂裂隙岩体环境下的工程结构参数选择、采矿工艺优化及工程地质灾害预防具有重要指导意义。

本书集成了作者近年来的研究成果，全面阐述了岩体结构的基础知识与理论、岩体结构解构概念与理论形成、地下矿山结构面实测新方法、结构面连通性基本原理与判别方法、连通性结构面查询软件等内容；系统介绍了空场法开采矿块单元结构体嵌套

## 2 / 地下矿山岩体结构解构理论方法及应用

形式、巷道围岩危险结构体解算与显现、采场结构体解构及回采可移动性分析、矿柱结构体解构等内容；详细探索了介绍崩落法开采凿岩巷道顶板危险区域确定方法、凿岩巷道顶板回采失稳机制以及裂隙岩体环境下巷道轴向优化方法等内容。

本书内容丰富，逻辑性强，重点突出，具有较高的学术价值和实用性。愿该书的付梓问世，能为我国裂隙环境下矿产资源的安全高效开发利用提供借鉴与启迪。

中南大学教授  
中国工程院院士



2016年1月

# 前言

Foreword

岩体是在地质历史时期形成的具有一定组分和结构的地质体，存在于岩体内的断层、软弱层面、大多数节理、软弱片理和软弱带等众多结构面，将其切割成各种规模、形态的块体，因此严格意义上人们通常说的岩体应当称之为裂隙岩体。

裂隙岩体力学特性及工程稳定性最早受到 L. Muller, Stini 等奥地利学者的关注，他们提倡重视岩体裂隙性质，极大地推动了人们对岩体内部结构性质的研究。20 世纪 60 年代，谷德振院士、孙玉科教授先后提出了岩体结构的术语与概念，为岩体结构理论的形成奠定了基础。20 世纪 80 年代，孙广忠教授建立了完整的岩体结构力学理论体系，自此人们对岩体的认识进入了岩体结构阶段。岩体结构的基本单元是结构面与结构体，结构面空间展布形式、结构体三维赋存形态很大程度控制了岩体的力学性质及工程稳定性，因此对结构单元在岩体内三维排列组合形式的精细描述显得尤为重要。为刻画岩体结构单元形态、阐明裂隙岩体结构力学特性，本书引入“解构”一词，首次提出岩体结构解构概念。

我国金属矿山 80% 以上为地下开采，为国民经济和社会发展提供了大部分的物质资源。但在地下矿山开采过程中，由于矿体与围岩裂隙发育等原因，造成了大量矿产资源浪费，不同危害程度的工程地质灾害事故也频繁发生，人们对地下矿山的岩体结构及其危害性的认识不足严重制约了裂隙岩体环境下矿产资源的安全高效开发利用。正如蔡美峰院士指出“采矿是一门复杂的系统工程，其复杂性既在于开采结构的复杂性，也在于开采条件和环境的复杂性”。由此可见，有必要充分融合采矿工程的工艺与环境特点，开展地下矿山裂隙环境下岩体结构解构理论、方法及其应用研究，强化人们对复杂采矿环境的认识，优化采矿工艺，从而保障复杂裂隙岩体环境下的矿产资源的安全、顺利开采。遗憾的是，目前人们对地下矿山的认识还受限于观察空间、技术水平、工具手段等因素制约，还很难全面掌握相关地质

信息,有关研究仍处于初期阶段。

本书系统阐述了地下矿山裂隙岩体结构解构理论与方法,精细刻画结构面在岩体内的空间位置、交切形式,准确判断结构面的连通特性、展布规律,详细解算结构体在岩体内的空间形态、分布特征,结合不同采矿方法回采工艺特点,深入剖析岩体结构与采矿工艺关系,揭示结构体在采矿过程的移动特性与稳定状态,并据此开展一系列应用研究。研究成果对地下矿山复杂裂隙岩体环境下的工程结构参数选择、采矿工艺优化及工程地质灾害预防具有重要指导意义。

广义上说,充填采矿法充填前采矿工艺与空场法相近,充填开采条件下岩体结构解构与空场法类似,故本书着重对空场法和崩落法开采条件下的岩体结构解构研究成果进行详细介绍。全书共14章,其中第1~4章为地下矿山岩体结构解构的公共基础理论与方法,主要介绍岩体结构基础知识与理论发展、岩体结构解构概念与理论形成、地下矿山结构面实测新方法、结构面连通性基本原理与判别方法、连通性结构面查询软件等内容;第5~9章为空场法开采岩体结构解构研究成果,主要介绍空场法开采矿块单位结构体嵌套形式、巷道围岩危险结构体解算与显现、采场结构体解构及回采可移动性分析、矿柱结构体解构等内容;第10~14章为崩落法开采岩体结构解构研究成果。主要介绍崩落法开采凿岩巷道顶板危险区域确定的解构法、凿岩巷道顶板回采失稳机制以及裂隙岩体环境下巷道轴向优化方法等内容。

全书篇章结构由陈庆发教授策划,中国工程院院士古德生教授终审。参加本书撰写的有:陈庆发(第1~3章、第13章),吴桂才、张敏(第4章),罗先伟(第5章),陈德炎(第6章),牛文静(第7~9章),张绍国(第10章),郑文师(第11章),刘俊广(第12章)。

本书的研究工作获得了国家自然科学基金(4142306)、广西自然科学基金重点项目(2014GXNSFDA118034)、广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻14251011)的资助,得到了古德生院士、苏家红教授、周科平教授和蔡明海研究员的指导,易丽军副教授、胡运金副教授参与了全书部分文字的校对工作,在此一并表示感谢!

由于作者水平有限,本书作为学术探讨,难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正!

著者

2016年1月于广西大学

<b>第1章 绪论</b>	1
1.1 岩体结构概念及分类	1
1.2 岩体结构理论发展	5
1.3 岩体结构解构理论形成	9
1.4 地下矿山岩体结构解构意义	9
1.5 地下矿山岩体结构解构方法	10
参考文献	21
<b>第2章 地下矿山结构面实测新方法</b>	27
2.1 矿用远距离喷漆标识方法	27
2.2 非接触式结构面产状测量方法	30
2.3 精测网法	36
2.4 钻孔电视成像系统测量方法	40
参考文献	43
<b>第3章 结构面连通性基本原理与判别方法</b>	45
3.1 基于数字钻孔图像的结构面连通性判断方法	46
3.2 结构面连通性基本原理	47
3.3 结构面连通性判别方法	52
参考文献	53
<b>第4章 连通性结构面查询软件</b>	54
4.1 软件实现技术路线	54
4.2 主要源代码	55
4.3 CDSC 软件操作界面	61

4.4	CDSC 软件运行操作	63
	参考文献	67
<b>第5章</b>	<b>空场法开采岩体结构解构基础</b>	<b>68</b>
5.1	空场法开采矿块单元组成及结构体嵌套模式	68
5.2	空场法开采矿块单元岩体结构解构内容	69
5.3	空场法开采矿块单元岩体结构解构流程	70
5.4	空场法开采应用工程背景	71
5.5	空场法开采试验区结构面调查分析	75
5.6	空场法试验区连通性结构面搜索结果	79
5.7	空场法试验区结构面 3DMine 模型构建方法	81
	参考文献	86
<b>第6章</b>	<b>空场法开采巷道围岩危险块体的搜索与显现</b>	<b>87</b>
6.1	巷道围岩危险结构体搜索与显现思路	87
6.2	巷道围岩危险结构体的解算与自动搜索	89
6.3	危险结构体分析结果统计方法	90
6.4	危险结构体系统显现途径	91
6.5	锌多金属矿体主要巷道工程危险结构体解算与显现	91
	参考文献	94
<b>第7章</b>	<b>空场法开采采场结构体解构</b>	<b>95</b>
7.1	采场模型与采场结构体模型	95
7.2	采场结构体初步解构	96
7.3	采场结构体真实性分析	97
7.4	采场结构体赋存位置解构	98
7.5	采场固定结构体最小固定面面积计算	99
7.6	空场法开采试验区采场结构体解构	104
	参考文献	110
<b>第8章</b>	<b>空场法开采采场结构体回采可移动性分析</b>	<b>112</b>
8.1	结构体各结构面分类	112
8.2	回采顺序与采场结构体移动性关系	113
8.3	采场结构体回采可移动性分析方法	114



8.4 采场结构体回采稳定性计算方法	122
8.5 空场法开采试验区采场结构体回采可移动性分析	125
参考文献	131
<b>第9章 空场法开采矿柱结构体解构</b>	<b>133</b>
9.1 矿柱模型与矿柱结构体模型	133
9.2 矿柱结构体初步解构	134
9.3 矿柱结构体真实性分析	134
9.4 矿柱结构体赋存位置	135
9.5 矿柱结构体最小固定面面积计算	136
9.6 矿柱结构体可移动性分析	138
9.7 矿柱结构体稳定性计算	140
9.8 空场法开采试验区内矿柱结构体解构	142
参考文献	148
<b>第10章 崩落法开采岩体结构解构基础</b>	<b>149</b>
10.1 崩落法开采岩体结构解构内容与流程	149
10.2 崩落法开采应用工程背景	150
10.3 崩落法开采试验区选择	155
10.4 崩落法开采试验区巷道失稳破坏现象现场调查分析	159
10.5 崩落法开采试验区结构面调查	163
参考文献	170
<b>第11章 崩落法开采凿岩巷道顶板危险区域确定的解构法</b>	<b>171</b>
11.1 崩落法开采凿岩巷道围岩结构体模型	171
11.2 崩落法开采巷道顶板结构体初步解构	173
11.3 巷道顶板结构体赋存位置与最小固定面面积解构	173
11.4 崩落法开采巷道顶板结构体可移动性	174
11.5 崩落法开采巷道顶板结构体稳定性计算	179
11.6 崩落法开采巷道顶板危险区域显现	180
11.7 崩落法开采试验区巷道围岩结构解构	181
参考文献	208