

姚宝魁 刘竹华 李春元 等著

矿山地下开采 稳定性研究

中国科学技术出版社

矿山地下开采稳定性研究

姚宝魁 刘竹华 李春元 等著

中国科学院地质研究所
中国科学院地质研究所工程地质力学
开放研究实验室
三山岛金矿

中国科学技术出版社

(京)新登字175号

图书在版编目(CIP)数据

矿山地下开采稳定性研究/姚宝魁等著. —北京: 中国科学技术出版社,

1994.10

ISBN 7-5046-1761-X

I. 矿…

Ⅱ. 姚…

Ⅲ. 矿山开采-地下开采-稳定性-研究

Ⅳ. TD803

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第09080号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路32号 邮政编码, 100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市海淀区东华印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 14 插页: 7 字数: 360千字

1994年10月第1版 1994年10月第1次印刷

印数: 1—1000册 定价: 30.00元

内容提要

本书是在三山岛金矿矿区稳定性综合研究的基础上,对矿山地下开采稳定性的系统总结。其特点是,强调地质基础及构造的控制作用,将矿山地下开采作为一个系统的地质工程问题,综合运用了岩体工程地质力学及矿山岩石力学,对矿山开采可能产生的各种稳定性问题进行了系统、全面的分析及评价。作者首先介绍了矿山工程地质及水文地质方面的研究成果,以及与稳定性有关的各种地质工程问题;然后针对矿山地下开采过程中可能出现的各种稳定性问题,从矿区的地应力场及岩体的物理力学性质方面进行了详细的研究和多方案的物理模拟试验,以及系统的数值模拟分析,不但进行了平面数值模拟,且进行了三维数值模拟计算;在上述研究的基础上,提出了矿区稳定性分析的程序与方法,对矿区的各种稳定性问题,诸如矿柱稳定性、采场及围岩稳定性、地表稳定性、涌突水稳定性等进行了综合的评价,并提出相应的工程技术措施。

本书不但适用于各类金属矿山,而且适用于煤炭矿山、地下工程、铁路隧道,以及类似的各种岩土工程和地质工程。可供从事各类矿山工程、煤炭、隧道、水电及各类地质工程等方面的科研、设计和工程技术人员以及有关高等院校师生参考。

编委:

姚宝魁	孙广忠	李春元	刘竹华
祁凤茹	黄福君	曲永新	易善锋
曾宪启	张 诚	王文泽	葛玉环
刘国富	许 兵	李洪海	华彦文

责任编辑: 沈国峰

封面设计: 赵一东

前 言

矿产资源的开采是国民经济的基础性支柱产业之一,涉及国民经济的许多领域,诸如钢铁、煤炭、有色金属、黄金、化工及非金属矿山等。目前矿产资源的开采主要采用地下开采及露天开采两种方法,且前者应用更为广泛。据统计,黑色及有色矿山地下开采的比重约占80%左右,而煤炭地下开采所占的比重则高达95%左右。地下开采的深度目前一般为数百米,深者已达1000米左右,且今后的开采深度还将进一步向深部发展,这就必然带来较多的矿山地质工程问题及矿山岩体力学问题。有效地解决这些问题是保证矿山安全生产的前提条件。

矿山安全生产的标志是矿山的各环节及矿山环境具有良好的稳定性或状态,即矿山井巷的稳定性、采场及围岩的稳定性、地表及上覆岩体的稳定性,以及矿区的稳定性等。上述各种稳定性之间虽然存在着有机的内在联系而相互制约,但亦存在着明显的区别,不但在于其所考虑的对象或范围不同,且其影响程度及考虑的出发点亦不尽相同。矿山稳定性或矿区稳定性反映矿山的稳定条件,涉及矿山上覆岩层及地表的变形破坏特征,对矿山的安全具有总体的影响;而井巷稳定性及采场稳定性虽然对矿山来说一般仅为局部影响,但可以对矿区的整体稳定性产生长期的效应和影响。显然,矿区稳定性是采场及井巷稳定性的累积效应。工程实践表明,岩体工程地质力学及矿山岩石力学的综合运用是解决矿山生产中各种稳定性问题的有效方法。

本书是在三山岛金矿矿区稳定性综合研究的基础上,对矿山地下开采稳定性的系统总结。三山岛金矿为我国最大的黄金地下矿山,不但具有复杂的工程地质及水文地质条件,且具近海或临海、浅埋、大规模机械化开采的特点,存在诸多的地质工程问题及稳定性问题,对地下开采矿山来说,具有一定的代表性。该矿基建期间采用下盘斜坡道开拓运输系统,投产 after 改用竖井、石门开拓及双翼对角式通风系统,采用点柱式机械化水平分层充填采矿方法。建矿以来,矿山发生多次突水、井巷溃砂及冒顶片帮等地质灾害,从而担心矿山大规模开采后可能出现比较严重的矿山安全问题。1983年加拿大皮特奥土工咨询公司提交的“三山岛金矿岩石力学评价和设计报告”虽然满足了当时设计的需要,但对矿山的有关地质工程问题及可能出现的各种矿山岩石力学问题并未作比较充分的评价和研究,为此国家黄金总公司及中国科学院立项对三山岛金矿的矿区稳定性进行了综合研究。研究内容包括矿区工程地质条件、地质构造及岩体结构;矿区原岩应力场及应力场分析;岩体结构面及各类岩石的力学特性;矿区水文地质结构及渗流场评价;采场顶板稳定性控制及合理支护形式与参数;矿区稳定性的物理模拟、数值模拟及矿区稳定性综合评价等方面。其研究成果不但适用于三山岛金矿,而且对各类地下开采矿山的稳定性评价具有普遍意义,其研究内容、分析和评价方法均可供借鉴,且岩体工程地质力学与矿山岩石力学的紧密结合及综合运用,为分析和评价地下矿山的各种稳定性问题及为解决矿山开采引起的各种地质工程问题提供了理论基础,具有普遍的指导意义。

全书由姚宝魁主笔撰写,编写各章中有关内容或提交相应报告内容的有:第一章(王存玉、

姚宝魁、付洪岭),第二章(丁恩保、曲永新、姚宝魁),第三章(张寿全、姚宝魁、黄巍、刘青山),第四章(刘竹华、姚宝魁、曾宪启),第五章(郭志、盛祝平、姚宝魁),第六章(刘竹华、吴玉庚、陈月娥),第七章(盛祝平、刘竹华、姚宝魁),第八章(姚宝魁、刘竹华、付洪岭、丁恩保),第九章(姚宝魁、刘竹华)。参加部分编写或研究工作的还有:王杰、杜永廉、肖远、杨俊峰、马燕合、姚腾霄、田楚华、何芳志、张承娟、杨蒙录、徐晓岚、姜衍祥、李建华、王秀兰、刘国富、葛玉环、奚锡明、郭佩瑜、张秋、杨仕春、徐京苑、韩屹、谭金胜、王善飞、魏喜迎、于晓峰、吴芝兰、许朝辉、陈宗琴等。

本书在编写过程中得到了于学馥教授的多方面支持与帮助,他对本书的内容提出了一些宝贵的意见;缝块模型的力学性质主要参考了马瑾研究员等人的研究成果;王津津为本书绘制了全部图件,在此一并表示衷心的感谢。

著者

1994.7

目 录

前言

第一章 矿区地质环境及矿山开采	(1)
第一节 矿区的区域地质背景.....	(1)
一、地层、岩性.....	(2)
二、区域断裂构造特征.....	(2)
三、地质构造及构造应力场演化.....	(5)
第二节 矿体赋存及矿山工程地质条件.....	(6)
一、矿区工程地质条件及水文地质条件.....	(6)
二、矿体的赋存及开采条件.....	(10)
第三节 矿山开采.....	(12)
一、开拓系统.....	(13)
二、采矿方法及工艺.....	(14)
三、矿山开采存在的主要地质工程问题.....	(19)
第二章 矿区稳定性的工程地质研究	(21)
第一节 矿山节理裂隙的分布规律及其特征.....	(21)
第二节 矿区软弱岩体(带)的工程地质特征.....	(24)
一、碎裂状断层岩(I).....	(25)
二、松散状断层岩(II).....	(25)
三、膨胀岩(III).....	(26)
第三节 矿区岩体结构分类及岩体质量评价.....	(31)
一、岩体结构.....	(32)
二、岩体质量评价.....	(36)
第四节 矿区岩体工程地质分区及稳定性评价.....	(37)
第三章 矿区水文地质结构及其渗流场特征	(44)
第一节 矿区水文地质结构及系统.....	(44)
一、矿区地下水水文地质结构.....	(44)
二、矿区基岩水文地质分区.....	(46)
第二节 矿区地下水水文地球化学特征研究.....	(50)
一、水文地球化学研究.....	(50)
二、矿区地下水同位素研究.....	(51)
三、矿区水文地热学研究.....	(54)
第三节 矿区主要水文地质问题.....	(55)
一、海水渗透路径.....	(55)

二、卤水补给问题.....	(55)
三、涌水对矿区稳定性影响.....	(56)
第四章 矿区地应力场及其特性研究.....	(57)
第一节 矿区区域构造应力场分析.....	(57)
第二节 矿区地应力量测.....	(59)
一、原理及方法.....	(59)
二、量测结果.....	(63)
第三节 地应力声发射凯萨尔效应实验研究.....	(65)
一、实验研究的原理与方法.....	(65)
二、试样采集及加工.....	(68)
三、实验结果.....	(68)
四、实验结果分析.....	(74)
五、结语.....	(75)
第四节 水压致裂地应力量测.....	(76)
一、水压致裂理论.....	(76)
二、水压致裂试验.....	(77)
第五章 岩体物理力学性质研究.....	(79)
第一节 矿区岩体常规力学试验.....	(79)
一、试样及试验条件.....	(79)
二、试验结果.....	(80)
三、试验结果分析.....	(85)
第二节 结构面力学性质研究.....	(87)
一、试验方法的改进及试验条件.....	(88)
二、试验结果.....	(89)
三、试验结果分析.....	(93)
第三节 软弱夹层的力学性质.....	(94)
一、试验条件及方法.....	(94)
二、试验结果.....	(95)
三、试验结果分析.....	(97)
四、软弱夹层的流变试验.....	(98)
第四节 矿(点)柱稳定性的缝块模型力学试验研究.....	(100)
一、模型及实验条件.....	(100)
二、缝块试件的变形与破坏.....	(101)
三、组合切缝缝块模型试验.....	(105)
第五节 岩石应力应变全过程试验.....	(110)
一、刚性试验机及岩石应力应变全过程曲线.....	(110)
二、矿(点)柱残余强度评价.....	(112)
第六章 矿区稳定性的物理模拟试验研究.....	(113)
第一节 地质力学模拟试验的原理.....	(113)

第二节 地质力学模拟试验研究	(114)
一、模拟试验方案	(114)
二、模型制作	(116)
三、试验开挖及变形监测	(118)
第三节 试验结果及其分析	(121)
一、方案 I 模型试验结果及分析	(122)
二、方案 II 模型试验结果及分析	(126)
三、方案 III 模型试验结果及分析	(131)
第四节 软材料变弹模光弹性模拟实验研究	(135)
一、光弹性模拟实验的原理	(136)
二、实验模型及实验条件	(138)
三、实验结果及分析	(138)
第七章 矿区稳定性的数值模拟	(141)
第一节 数值模拟研究的内容及特点	(142)
一、研究内容	(142)
二、数值模拟的特点	(143)
三、基本假设	(145)
第二节 数值模拟的地质及力学模型	(146)
一、计算剖面选择	(146)
二、采场结构的简化	(147)
三、计算域及计算模型的离散化	(148)
四、边界应力及约束条件	(150)
五、岩体介质及其力学参数	(150)
第三节 数值模拟计算方案	(151)
一、沿矿体走向剖面的数值模拟方案	(152)
二、沿矿体倾向剖面的数值模拟方案	(154)
三、三维有限元数值模拟	(155)
第四节 平面模型数值模拟结果及分析	(156)
一、沿倾向剖面开采引起的应力状态及其变化	(156)
二、沿矿体走向纵剖面开采引起的应力分布特征	(161)
三、围岩的变形与位移特征	(162)
四、回采顺序及其优化	(163)
第五节 三维数值模拟及其分析	(166)
第八章 矿区稳定性综合评价	(169)
第一节 矿山(区)稳定性分析的程序与方法	(169)
一、矿山地质工程的特点	(169)
二、矿山稳定性研究的程序与方法	(170)
三、三山岛金矿矿山稳定性的地质工程问题	(172)
第二节 矿(点)柱稳定性	(173)

一、矿(点)柱强度及承载力·····	(173)
二、点柱的变形破坏形式及其主要影响因素·····	(174)
三、点柱加固措施·····	(183)
四、点柱尺寸及其布置形式·····	(185)
第三节 采场围岩的稳定性·····	(187)
一、采场直接顶板及顶底柱的稳定性·····	(187)
二、上盘护顶矿层的稳定性·····	(189)
三、上盘围岩的稳定性·····	(189)
四、下盘底板围岩的稳定性·····	(191)
第四节 地表稳定性·····	(192)
一、地下开采引起的地表变形·····	(193)
二、影响地表变形及沉降的主要因素·····	(196)
三、控制矿区地面沉降变形的措施·····	(198)
第五节 矿山突水稳定性·····	(200)
一、涌突水的类型·····	(200)
二、涌突水稳定性评价·····	(201)
第九章 主要结论·····	(205)
参考文献·····	(211)

第一章 矿区地质环境及矿山开采

矿区地质环境不但决定着成矿的地质背景，且是进行矿山开采的基础条件，从而从总体上决定着矿山开采的稳定特性，亦即决定着矿山开采过程中可能存在的与矿山稳定有关的各种地质工程问题及矿山岩石力学问题。显然，对于三山岛金矿，为了对矿山的稳定性进行合理的评价，必须充分认识矿区的地质条件及矿山的开采条件。本章内容主要包括矿区的区域地质背景；矿体的赋存及其相应的工程地质条件；矿山开采方法；开采过程中存在的主要矿山岩体工程地质力学问题等几个方面。

第一节 矿区的区域地质背景

三山岛金矿位于山东省莱州市以北27km的莱州湾之滨（图1-1-1）。胶东半岛的招远县和掖县是我国的重要金矿区，俗称招掖金矿区，该成矿区西起掖县三山岛及仓上，东至招远九曲，东西长约70km，南北宽约15~20km，三山岛金矿位于该成矿区的西部。以地质构造单元而论，三山岛金矿地处中朝地台胶辽台隆的胶东隆起带的西北部及郯庐断裂带（山东省境内称沂沭断裂带）东侧。区内具有复杂的区域地质背景，不但地层、岩性、断裂构造条件复杂，且具有复杂的地质构造演化过程。

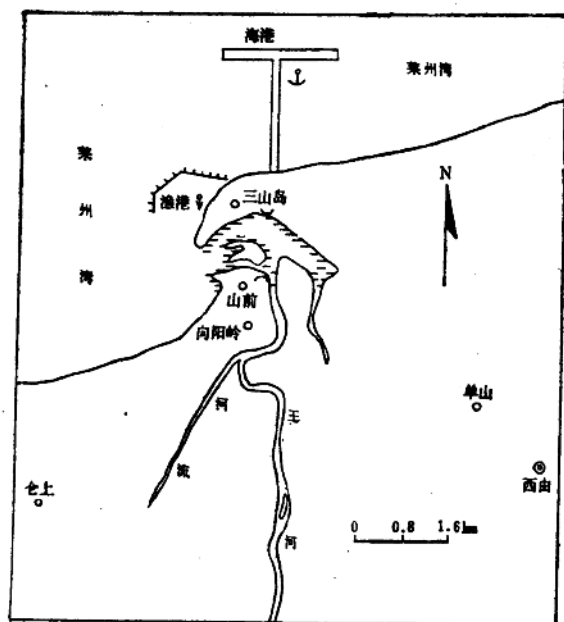


图1-1-1 三山岛金矿地理位置

一、地层、岩性

区内出露的地层以太古界胶东群为主,下元古界粉子山群和上元古界蓬莱群次之。胶东群主要是一套呈层状产出的变质岩系,是胶东古隆起结晶基底的重要组成部分,主要分布在掖县-栖霞复背斜的核部,其原始地层形成时间为26.7亿年,属晚太古代产物。岩石类型主要包括黑云斜长片麻岩、绢云斜长片麻岩、白云母片岩、黑云角闪斜长片麻岩、黑云变粒岩、黑云角闪变粒岩及斜长角闪岩等,岩石的混合岩化较为强烈,属中-深变质。其原岩下部为一套基性火山岩和泥砂质陆源碎屑建造,中部为钙泥质碳酸盐建造,上部为粉砂质陆源细碎屑建造。粉子山群主要分布在掖县-栖霞复背斜的两翼,由各种片岩、片麻岩、斜长角闪岩及变粒岩等组成。混合岩化作用较微弱,属低-中等变质,与胶东群呈整合渐变关系。上元古界蓬莱群是一套由浅变质的石英岩、板岩组成的陆源碎屑-碳酸岩建造,零星分布,与胶东群、粉子山群呈角度不整合接触。由于区域构造活动,胶东隆起的基底之上缺失古生代地层,盖层主要为中、新生界地层。

区内元古代花岗岩类岩石分布相当广泛,多数属于混合花岗岩,呈带状巨大岩基产出,在招远县一带岩体近东西向展布,在掖县东南则呈北东向延伸。这类混合花岗岩是胶东金矿的主要围岩,内部有大量胶东群(或粉子山群)地层之残留体,且其岩性和胶东群地层相同,产状基本一致,说明此类混合花岗岩是由胶东群地层经混合岩化而形成的产物。燕山期花岗岩的出露虽亦不少,但多以小的岩基、岩墙产出。区内产出的花岗岩体的岩石类型比较复杂,岩性变化甚大,大致可以分为以下三类。

1. 玲珑花岗岩(似片麻状黑云母混合花岗岩)

主要分布在掖县-栖霞复背斜的南北两翼,即招远县西北和掖县东南部,岩体中普遍发育有片麻理和大量的变质岩残留体,片麻理产状稳定,与地层产状基本一致,呈近东西走向。残留体以黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩为主,其产状也与区域地层产状基本一致。该类花岗岩以具有交代结构为特点,如交代变余结构、似斑状结构、缝合线结构、蠕虫结构等,其构造主要为片麻状构造、块状构造和交代变余条带状构造等。本类岩石是金矿体的主要围岩,三山岛金矿即位于玲珑花岗岩中。

2. 唐家河花岗岩(黑云母钾长花岗岩)

主要分布在掖县-栖霞复背斜的轴部及其附近,岩体的中央部位呈东西向带状分布,岩石具花岗结构、块状结构,内部基本无地层的残留体,岩性和化学成分均一。该类岩体内部金矿很少,金矿大多分布于该类岩体的外带-似片麻状黑云混合花岗岩和似斑状角闪花岗岩一侧。

3. 郭家岭花岗岩(似斑状角闪花岗岩)

主要分布于掖县-栖霞复背斜的北翼,即栖霞县、招远县、蓬莱南部和掖县西北部,呈近东西向展布,岩体内多见大小不等的斜长角闪岩和角闪变粒岩的残留体,岩石呈似斑状结构,块状构造。该类花岗岩也是金矿的主要围岩。

二、区域断裂构造特征

招掖金矿区位于沂沭断裂带以东,构造复杂。褶皱构造以横贯全区的掖县-栖霞复背斜为主,轴向近东西,但西部转为北东东向。断裂构造主要发育有北东向断裂、北西向断裂和

近东西向断裂。北东向断裂主要有三山岛断裂带、新成焦家断裂带、招平断裂带等；北西向断裂以三山岛-三元断裂为代表；近东西向断裂以黄县断裂规模最大。区内断裂的发生、发展与郯庐断裂带和掖县-栖霞复背斜的发生、发展有着成因上的联系，经历了漫长的地质演化历史，具有多期次活动，不同力学性质断裂的迭加和继承性等特点（图1-1-2）。图1-1-3显示矿区的区域地质背景及矿山的地理环境。

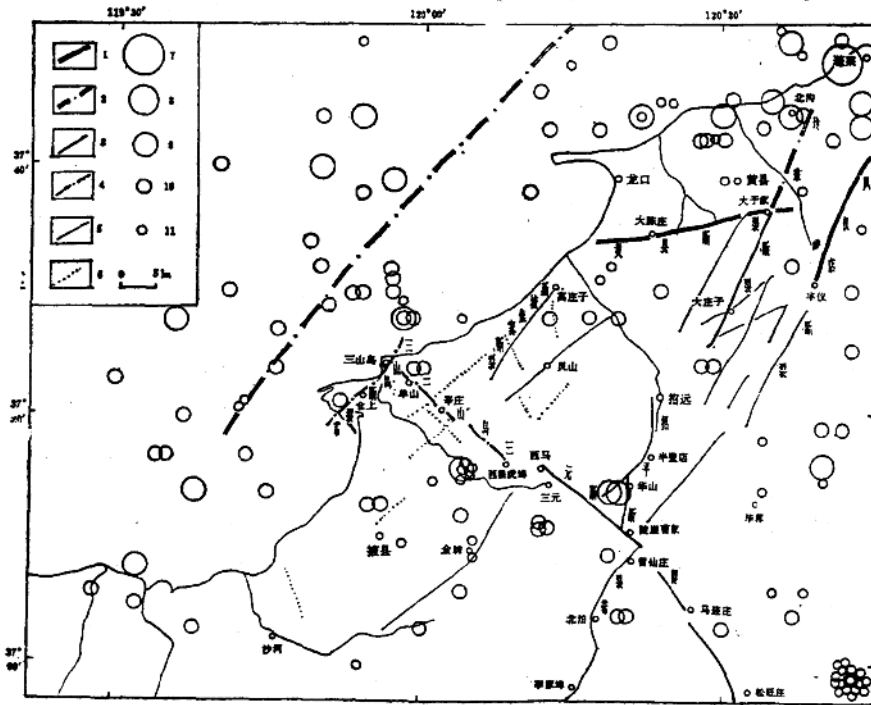


图1-1-2 三山岛金矿区区域断裂构造及地震震中分布

- 1.第四纪晚期活动断裂；2.第四纪晚期活动的隐伏断裂；
- 3.第四纪的活动断裂；4.第四纪活动的隐伏断裂；
- 5.第四纪晚期活动不明显的断裂；6.线性构造；7.M（地震级别）6.0~6.9；
- 8.M5.0~5.9；9.M4.0~4.9；10.M3.0~3.9；11.M2.0~2.9

1. 北东向断裂

(1) 三山岛断裂带 在多时相、多波段的卫星图象上均可见到由深浅色调界面显示的线性影象，反映三山岛断裂带的形迹，走向北35°东。现场地质调查发现三山岛村出露，可见长度2km，南西端及北东端均延伸入海，宽约700m。三山岛断裂带位于胶东群地层和玲珑混合花岗岩的过渡带，且靠近玲珑混合花岗岩一侧，表现为强大的构造破碎带。上盘岩性为胶东群斜长角闪岩、黑云变粒岩等，下盘岩性为玲珑混合花岗岩。断裂带中以位于金矿体上盘的F₁断层为最大，其产状为NE40°，SE∠40°，有连续而稳定的主裂面，裂面下盘有10~20cm（局部达40cm）厚的断层泥。断层面平直，呈舒缓波状展布，沿倾斜垂深达450m尚未尖灭。从卫星图像上看，三山岛断裂带向南西方向延伸经由仓上入莱州湾。

(2) 新城焦家断裂带 自朱桥向北东经焦家、新城至黄山馆，总体走向北东30°，倾

向北西, 倾角 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$, 出露长度约30km, 宽约2km, 平面形态呈波状展布, 断裂带内既有早期塑性变形活动产物, 也有后期迭加的脆性变形所形成的构造岩, 是一个多次活动的断裂带。根据石英显微刻蚀形貌法对断层泥样品的鉴定, 断裂在早更新世-新第三纪晚期有过活动。活动形式以粘滑运动为主, 可以见到快速运动形成的撞击楔入现象, 兼有少量稳滑, 同时还见到少量再生石英晶, 表示断层已经历相对稳定阶段。

(3) 招平断裂带 招平断裂带规模较大, 平面上及剖面上的形态均为不规则曲线状, 总体走向北东 40° , 以勾山水库为界的南段向南西延伸经平度, 北段向北东方向延伸至招远。南端大致由2~3条断裂组成, 宽约5~6km, 总体倾向南东, 倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$, 构造形迹复杂; 北段大致由4~5条断裂构成, 宽约10km, 总体倾向北西, 倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$, 构造形迹较南段简单。沿断裂带可见到连续而稳定的断裂面, 带中构造岩、构造透镜体、派生构造以及分支张裂隙和扭裂隙等普遍发育, 个别地段尚出现节理密集带。

(4) 玲珑断裂 该断裂在南部于远招县台上之西切割破头青断裂($N40^{\circ}\sim 60^{\circ}E$, 倾向南东, 倾角 42°), 向北东方向经上庄、蓬莱入海, 断裂走向 $N27^{\circ}E$, 倾向倾角多变, 以倾向北西为主。断层面上有反映正断性质的擦痕, 说明该断裂有过正断活动。

2. 近东西向断裂

本区内发育的近东西向断裂以黄县断裂规模最大, 为南升北降的正断层, 断裂西起黄县的黄山馆, 向东经大陈庄、员外刘家、沙沟, 延至大于家。走向北东 80° 。在威海幅TM卫星图象上, 可以看到黄县断裂被北北东向的玲珑断裂切割的形迹, 大陈庄、员外刘家一带, 流经断裂带上的一系列河流的河谷发生同步扭曲, 显示黄县断裂为正右旋走滑断裂。黄县盆地明显受黄县断裂和北北东向的玲珑断裂控制, 盆地内中生代沉积厚达2400m, 早第三纪沉积厚达947m, 第四纪该盆地又有微弱下沉, 沉积厚度达30~40m, 最厚可达100m。

3. 北西向断裂

(1) 三山岛-三元断裂 自三山岛向南东方向, 经单山、辛庄、西狼虎埠、三元乡西马至徒崖曹家, 总体走向北西 315° , 不同地段主断裂面的走向和倾向都有所变化, 表现出明显的摆动性。断裂在平面上表现为雁列式排列, 第四纪以来仍有一定活动性。在三山岛南方向约4km的单山有一采石场、岩石露头甚佳, 在其北侧岩壁上可清楚地见到北西向、北东向和近南北向三组主要断层在此通过, 岩体松散而破碎, 破碎带宽15~20m。北西向断层可见长度8m, 断层面粗糙不平直, 可见破碎岩, 但未见断层泥, 产状为 $NW315^{\circ}$, $SW\angle 75^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。单山北头的另一采石场中, 胶东群片麻岩中发育一条北西向断层, 产状 $NW310^{\circ}$, $SW\angle 80^{\circ}$, 断层破碎带宽8m, 具压性结构面和压性构造透镜体, 同时在断层面上有明显的垂直向擦痕, 显示出逆断层性质。在西马村东北约200m处的冲沟中岩石露头极佳, 见到在等粒钾长花岗岩中发育走向 $300^{\circ}\sim 320^{\circ}$, 倾向南西, 倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的断层, 断层面宽约20~40cm, 充填灰白色断层泥, 破碎带宽约10m, 断层面上见有水平擦痕, 显示右旋平移性质。从三山岛金矿区来看, 在掖县船厂南部围墙附近的辉绿岩脉处发现走向北西 304° , 倾向南西, 倾角 80° 的断层, 充填灰白色粘土质断层泥, 断层面上可见水平擦痕, 显示左行平移性质。断裂破碎带可见宽度5m。在彩红外航空照片上三山岛金矿南端, 由色调差异显示出走向北西 305° 的线性影象, 线性影象两侧微地貌有差异, 在影象的南东段正好控制积水洼地的北部边界, 而北西端则恰好控制了海岸线缺口的发育。此线性影象在矿区被称为 F_3 断层, 位于1740勘探线附近Ⅰ号和Ⅲ号采场之间, 深度大于600m, 宽在10~25m之间, 由黄铁绢岩岩化

花岗岩夹几条辉绿岩脉组成。

(2) 其它北西向断裂 在招掖金成矿区内的北西向断裂,除三山岛-三元断裂外还有两条,一条是本区北部的张星-大秦家断裂,另一条是本区南部的双山庙-罗头断裂。同三山岛-三元断裂相比较,这两条断裂的规模较小,构造形迹也不甚典型。本区的北西向断裂在其发展的历史过程中,曾经历过多次活动(至少三次主要活动),有着较为复杂的相对运动(早期左行扭动,中期为右行扭动,晚期又为左行扭动),而且在不同地段其活动性不甚相同(一般来说,断裂中段活动期次多,强度大,而两端则活动期次相对较少,强度也较弱)。对三山岛-三元断裂取断层泥样品进行热释光测定和石英SEM显微刻蚀形貌法鉴定表明,单山取样点所取断层泥进行热释光测定最后一次活动年龄为 30.99 ± 2.65 万年,勾山水库以西的北陡崖曹家村取样进行热释光测定断层最后一次活动年龄为 30.70 ± 2.21 万年左右。显微刻蚀形貌法鉴定表明,断层在早更新世-新第三纪晚期有活动,活动形式为兼有粘滑和稳滑,既有反映快速运动的撞击、楔入现象,同时,还可以见到少量的再生石英晶,表明断层已经相对稳定。

三、地质构造及构造应力场演化

山东为一古老地块,鲁东未见太古界出露,只有中、下元古界的胶东群、粉子山群和蓬莱群出露,中元古代末的中岳运动(约17亿年前)使胶东地区的中、下元古界回返、固结,并在早、中元古代的胶东群、粉子山群和蓬莱群中形成一系列北东东-近东西向的褶皱、断裂等构造形迹,如掖县-栖霞复背斜,黄县断裂等均属此类构造。这时的区域构造应力方向应为近南北向的挤压,除形成轴向近东西向的褶皱和断裂之外,还形成两组扭性断裂,一组走向北东右列反扭,另一组走向北西左列顺扭。鲁东地区的一系列北东向断裂如三山岛断裂、招平断裂、新城-焦家断裂等,均应属此类断裂。这些北东向断裂控制了胶东地区混合花岗岩的形成,且在混合花岗岩形成之后仍有多次活动,切割了混合花岗岩。

自晚元古代开始到古生代各个时期内,沂沭断裂带以西的鲁西地区分布着古生代地层,而鲁东地区至今尚未发现古生代的地层沉积,这一事实是由于沂沭断裂相对东升西降的断裂运动所致。

事实上,自中生代三叠纪和早、中侏罗世,鲁东地区继续处于隆起状态,缺失三叠系和早、中侏罗统,仅局部低凹地区发育有下、中侏罗统,如在潍坊的坊子堆积的坊子组,上侏罗世鲁东地区发育了拗陷型沉积-莱阳组。早白垩世时,由于沂沭断裂带发生强烈拉张开裂,并迅速向纵深扩展,切穿地壳达上地幔,出现了大规模中性火山岩的喷发和熔岩流的溢出,在断裂带内充填了数百至数千米厚度不等的火山-沉积岩系。之后,断裂带在引张状态下边断边沉积,形成了晚白垩世地壳厚达几千米的以砾岩、砂砾岩、砂页岩为主的红色碎屑岩系。

自中生代至新生代的早第三纪时期,中国东部的区域应力场继承早期的应力状态,一直为北西-南东向的挤压-引张交替作用的应力场,晚第三纪以来,应力场发生了根本的改变,变为北东东-南西西向挤压为主的应力场。因此,沂沭断裂及其以东的大多数北东向断裂的性质,早期表现出压扭和左旋平移的性质,而后期又表现出以右旋为主的运动性质。或者说,它们自元古代生成以来的漫长地质历史中都表现了压扭和左旋平移的性质,只是到了晚第三纪区域应力场发生根本改变之后才表现出挤压兼有右旋平移性质。

第二节 矿体赋存及矿山工程地质条件

三山岛金矿位于莱州湾南部三山半岛上,三面环水,矿体的成矿及矿山的水文地质和工程地质条件均比较复杂,且矿体属热液接触蚀变成矿,矿体形态不太规则,变化较大,这些都给三山岛金矿的开采带来一定的影响。

一、矿区工程地质条件及水文地质条件

三山岛金矿矿区主要分布燕山期玲珑花岗岩,它侵入在胶东群变质岩系内,呈岩基产出。矿区地表除三个小山包基岩出露外,均被第四系海砂、海泥覆盖。第四系覆盖层包括两层中粗砂和砾石组成的含水层及两层由海泥等构成的隔水层。上部隔水层厚7~8m,底部隔水层一般厚3~5m,直接沉积在基岩风化壳上,其粘粒含量高,隔水性能好,但覆盖不完整,局部缺失。第四系总厚度30~40m,最大厚度可达50m。在花岗岩体中有不同时期的多种岩脉侵入。太古界和下元古界胶东群变质岩距矿体较远,在矿区采矿系统中没有遇到。

三山岛金矿体分布在三山岛断裂带内的构造蚀变带中,在胶东群变质岩系与燕山期玲珑花岗岩接触带的花岗岩一侧。该岩体经历了中生代以来的多次构造活动,岩浆侵入,热液的蚀变和胶结作用,因绢云母化、绿泥石化、硅化、黄铁矿化、方解石化和磁铁矿化,以及石英受力重结晶等,使断裂破碎带的岩石产生了一定的胶结作用,提高了碎裂蚀变花岗岩的完整性和岩石强度。从岩石学的角度,矿区围岩主要是构造岩。根据破碎和蚀变程度不同,可分为未蚀变的碎裂花岗岩,绢英岩化碎裂花岗岩,绢英质碎斑岩,黄铁绢英质碎斑岩和黄铁绢英质糜棱岩五种类型,矿体赋存在后两种岩石中。由于蚀变和胶结作用,后三种岩石的物理力学特性差别不大。从工程地质力学观点和肉眼识别的便利出发,自三山岛断裂带中心向两侧的岩性可依次分为黄铁绢英岩,黄铁绢英岩化花岗岩和未蚀变的中粗粒斑状黑云母花岗岩。

黄铁绢英岩是斑状黑云母花岗岩受动力挤压破碎后,经黄铁绢英岩化而成,是蚀变较强而均匀的岩石。岩石为压碎结构,后经黄铁矿,石英脉,多金属硫化物和碳酸岩脉充填胶结,主要矿物成分为60%~80%的石英,10%~20%的绢云母,1%的黄铁矿。绢云母呈鳞片状集合体,斜长石碎斑被绢云母交代呈假象出现,黑云母等暗色矿物消失,花岗结构不明显,与其它两种岩石显著区别。由于细脉状裂隙中的高岭土充填和黄铁矿风化后形成硫酸根离子的腐蚀作用,使其强度略有降低,单轴抗压强度为80~100MPa,绝大部分金矿赋存在该类岩石中。黄铁绢英岩化花岗岩属中-轻度蚀变岩石,蚀变矿物相对较少,主要为绢云母和碳酸岩,黑云母较少,主要分布在矿体上、下盘。

由三山岛断裂带中心向两侧,即由黄铁绢英岩到斑状黑云母花岗岩,随蚀变程度由强到弱,岩石强度逐渐增大。上述岩性之间的界限为过渡渐变性质。矿区的基岩工程地质平面图如图1-2-1,该图系在原矿区基岩地质图的基础上加入了大量最新工程地质研究资料绘制而成。

矿山岩体中分布有众多的辉绿岩、细粒花岗岩、伟晶岩和闪长玢岩等岩脉。除部分辉绿岩脉被后期断裂利用,脉体破碎,强烈蒙脱石化而工程地质条件极差外,都与围岩呈紧密充填胶结,脉体完整,无特殊工程地质问题。

在地下开采过程中,还遇到一些软弱岩石,除上述的强烈蒙脱石化辉绿岩外,还有F₁