

教育部高等学校博士学科点专项科研基金 (20133718110004)

国家自然科学基金(41372290)

山东省自然科学基金重点项目 (ZR2011EEZ002)

国家自然科学基金重点项目(50539080)

山东科技大学科研创新团队支持计划 (2012KYTD101)

青岛经济技术开发区重点科技发展计划项目 (2013-1-62)

山东科技大学研究生科技创新基金 (YC140103)

矿井地质构造定量化预测

KUANGJING DIZHI GOUZA0 DINGLIANGHUA YUCE

施龙青 邱 梅 韩 进 魏久传 著

 煤炭工业出版社

教育部高等学校博士学科点专项科研基金 (20133718110004)
国家自然科学基金 (41372290)
山东省自然科学基金重点项目 (ZR2011EEZ002)
国家自然科学基金重点项目 (50539080)
山东科技大学科研创新团队支持计划 (2012KYTD101)
青岛经济技术开发区重点科技发展计划项目 (2013-1-62)
山东科技大学研究生科技创新基金 (YC140103)

矿井地质构造定量化预测

施龙青 邱 梅 韩 进 魏久传 著



煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井地质构造量化预测 / 施龙青等著. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2014

ISBN 978-7-5020-4634-7

I. ①矿… II. ①施… III. ①矿井—矿山地质—地质
构造—预测 IV. ①TD163

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 199190 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京市郑庄宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 880mm × 1230mm $1/32$ 印张 $6\frac{3}{4}$ 插页 1

字数 162 千字

2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

社内编号 7489 定价 20.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本文在充分了解国内外矿井地质构造规律、评价及预测理论和方法的基础上,以赵官井田为例,通过大量收集井田勘探、物探、地质资料,并以地质学、岩石力学及矿山压力控制理论为基础,采用统计学、模糊数学、人工智能、数值模拟等多种方法,分析了井田地质构造发育规律,选取了定量化预测及评价指标,定量化预测了井田小断层,划分了井田构造复杂程度分区,评价了断层型底板突水的危险性,模拟了煤层开采过程中断层受力及其变形情况。

本书可供煤矿工程技术人员阅读,也可供大专院校相关专业师生参考。

前 言

煤炭是我国国民经济发展的主要能源之一，在我国的能源结构中占据主导地位。影响煤炭安全高效开采的因素很多，其中矿井断裂构造是主要的因素之一，直接影响和制约着采区布置、工作面划分、开拓部署和掘进率，严重影响着煤矿生产建设的各阶段和各方面。矿井地质构造的定量化预测与评价是当前国内外地质研究中的焦点问题之一，是服务于矿井工作的广大科技人员普遍关注且长期以来一直难以突破的课题，特别是生产矿井小构造的预测问题已成为现场迫切需要解决的关键问题。为此，广大地质工作者在长期生产实践中探索了许多矿井地质构造预测与评价的思路和方法。

赵官井田地质构造尤其是断裂构造发育。因受岩浆岩及小型断裂构造发育的影响，工作面水文地质条件复杂，因此对井田地质构造进行定量化评价研究不仅具有重要的理论意义，而且还具有明显的实际应用价值。著者以赵官井田为研究背景，在总结前人相关研究成果及自己多年研究成果的基础上，深入系统地分析了赵官井田地质构造发育规律，选取了合适的构造参数，模糊综合评价了井田构造复杂程度。以7煤层为研究对象，利用SPSS相关分析法、灰色关联分析法研究了沉积介质条件与小断层的相关性，采用主成分分析法（PCA）、Elman神经网络法进行分析，建立了基于PCA-Elman网络的小断层定量化预测模型。引入支持向量机方法建立可采区域与地损区域的分类模型，实现了对井田内小断层引起的地损区域的预测。通过对断层各要素之间的相

关性分析,运用线性回归方法,建立了矿井小断层延展长度的预测模型。在此基础上,建立了 AHP 型煤层底板脆弱性指数评价模型,对断层的不同部位、断层的上下盘及不同落差的断层突水危险性进行了定量化评价,并利用 FLAC^{3D} 软件对断层上盘不同部位煤层开挖引起断层活化的可能性进行了数值模拟。

本书的撰写,得到了朱鲁副教授,翟培合副教授,郭建斌副教授,李守春副教授,王敏副教授,尹会永副教授,杨思通讲师,山东新汶矿业集团有限责任公司刘同彬副总工程师、李子林副总工程师、阎勇处长、郭全龙副处长,以及山东能源新汶矿业集团赵官能源有限责任公司的宋召谦总工程师、于放副总工程师、尹延平科长及张继鹏工程师等专家和支持,在此表示衷心的感谢。由于作者水平有限,书中错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

著 者

2014 年 5 月于青岛

目 次

1	绪论	1
1.1	课题来源及研究意义	1
1.2	国内外研究状况	2
1.3	主要内容及技术路线	9
2	研究区概况	12
2.1	矿区交通位置及自然地理概况	12
2.2	研究区地质概况	13
2.3	研究区水文地质概况	20
3	研究区地质构造发育规律研究	23
3.1	井田构造的趋势面分析	23
3.2	断层构造发育规律研究	36
3.3	褶皱构造发育规律研究	51
3.4	煤层倾角变异系数	54
3.5	岩浆岩影响指数	56
4	煤层小断层构造分析与预测	62
4.1	构造介质条件与煤层小断层的关系研究	62
4.2	基于 PCA - Elman 神经网络的煤层小断层预测	89
4.3	小断层造成的“地损区”预测	120
4.4	基于线性回归分析的小断层走向延伸长度 预测	129
5	基于模糊综合评判的井田构造复杂程度定量评价	143
5.1	模糊综合评判方法	143

5.2 构造复杂程度定量评价	150
6 断层突水危险性评价	158
6.1 断层突水危险性评价	158
6.2 断层活化数值模拟	175
7 结论	198
 参考文献.....	 201

1 绪 论

1.1 课题来源及研究意义

本课题是在教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20133718110004)、国家自然科学基金(41372290)、山东省自然科学基金重点项目(ZR2011EEZ002)、国家自然科学基金重点项目(50539080)、山东科技大学科研创新团队支持计划(2012KYTD101)、青岛经济技术开发区重点科技发展计划项目(2013 - 1 - 62), 山东科技大学研究生科技创新基金(YC140103)以及新汶矿业集团有限责任公司资助下完成的。

新汶矿业集团是山东省主要的煤炭生产基地之一, 由于矿区开采历史长, 开采深度大, 矿井地质构造复杂, 矿井小断层普遍存在且错综复杂, 再加上探查手段不先进, 导致构造预测的准确性较差, 给煤矿生产和建设带来了很大困难。

本课题在充分收集赵官井田勘探资料、物探资料、开采资料的基础上, 采用理论研究、数值模拟与现场实践相结合的方法, 深入研究赵官井田地质构造的发育规律; 对7煤层小断层进行了定量化预测, 并对井田构造复杂程度进行了定量评价, 在此基础上分析研究了断层型底板突水的危险性, 为以后合理开发利用煤炭资源提供了地质依据, 对于实现矿井安全高效生产具有重大的现实指导意义。

1.2 国内外研究状况

1.2.1 矿井地质构造规律的研究

统计分析研究是矿井地质构造规律最基本、最常用的方法,主要包括展布方向、性质、特征、组合规律、断层力学性质、形成机制等的研究;在此基础上,总结出断层、褶皱的规模、总体分布特征及各构造间的切割、配套关系,并与区域构造格局和演化规律联系起来,提出全矿井的构造发育规律。

一直以来,探采对比都受到生产部门的普遍重视,随着矿井建设和生产的不断深入,要对揭露的新的地质现象及时进行总结和对比,利用已生产区得出的对比结果指导未采区的采掘布置。通过探采对比,及时准确地了解矿井地质规律,对矿井地质条件作出比较准确合理的预测、预报,有效地指导矿井生产。

矿井层滑构造的研究。人们对矿井层滑构造的认识,是随着滑脱构造研究的深入而逐渐深化的。层滑构造使矿井地质构造类型复杂化,与前期构造相互交织,给地质构造的判断处理增加了难度,同时层滑构造引起煤层赋存状态的改变,导致煤层发生突变,使其连续性和完整性遭到破坏,而且对煤质、煤层顶底板稳定性都有一定的控制作用。所以,层滑构造的研究是矿井地质人员必须从事的紧迫任务。近年来,研究人员不仅充分认识了矿井层滑构造的基本特征,开展了层滑构造的分类研究,寻找出了层滑构造与其他构造的关系,总结了层滑构造的研究方法,而且深入探讨了层滑构造的形成机理、制约因素以及煤层的破坏机理,并在此基础上展开了对层滑构造的定量研究。

借助于断层带特征、微观观测或构造地质学及其他学科的成果来研究断层规律:利用矿井立体摄影测量的工作原理和方法,为收集可靠的地质资料提供了手段;利用断层带内的伴生、派生

构造特征,对构造作了定位预测的初步尝试;利用应力场研究和微观测试的一些研究方法,如利用煤镜质组反射率各向异性特征、Etchecopar 电算法、古应力估算法以及有限元模拟法等进行构造研究。

在国外,矿井地质构造规律的研究主要集中在苏联及西欧一些主要产煤国家。苏联专家用几何作图的方法分析煤层内的构造条件,利用煤层中小构造破坏特征综合图来研究构造间的相关性。其他国家主要从成因机制入手,进行力学和数学模拟方面的研究。

1.2.2 矿井地质构造评价及预测

国内外不少人在构造的评价和预测方面做了大量工作,目前已发展出一些独特方法,主要有断层相关构造研究法、构造力学解析法、断层影响带内煤和岩物理性质特征研究法、构造等性块段指数法、构造—地层分析法、模糊数学方法、地质动力区划法、地球物理勘探方法、分形几何法、人工智能方法等。

1. 断层相关构造研究法

断层相关构造研究法是苏联地质学家葛尔比耳总结出来的,其原理是利用与断层相关的小构造来预测断层,断层相关构造主要包括与断层在空间分布上和成因上有密切关系的小褶皱和节理。在断层影响带内,相关构造具有一定的发育特征,掌握这种特征变化,就可以预测断层的赋存及特征。

2. 构造力学解析法

构造力学解析法是德国阿德尔教授(R. E. Adler)等首先提出并应用到煤矿生产中的,是从地质构造的几何分析入手,研究各类构造的力学成因和运动学演化过程,来解释地质构造的发生、发展及构造之间的相互影响和控制关系。

3. 断层影响带内煤、岩物理性质特征研究法

在断层影响带内,煤层和岩层强度的降低,顶底板稳定性显著变差,特别是煤的强度变化要比围岩的更明显、更灵敏,随着采掘工作面向断层面推进,煤的强度明显下降,在靠近断层处值最低。此外,断层带内煤岩应力、煤质、岩石组构及地化指标等,也呈一定的变化规律,因此可以作为断层预测的指标。

4. 断层模线图法

断层模线图法是 A. C. 扎布罗金提出的,其原理是把每条断层看成是岩石差异运动的封闭系统,在系统中心真断距最大,向边缘逐渐减小到零;断层面上真断距等值线形态近似于椭圆,其长轴垂直于断层移位方向,短轴平行于断层移位方向;断层延展长度即为模线图的长轴;断层模线图理论还认为,经历了相同演化过程、地质条件相似的断层,其模线图形态相似,长轴 L 、短轴 H 与断层最大真断距的比值为定值。由此可确定断层的延展长度及方向。

5. 构造等性块段指数法

“等性块段指数法”是我国著名学者詹才高等在总结德国 W. Erharch 教授“构造指数法”的基础上提出来的,用来评价矿井内的构造变化程度,其实质是以等性块段为基本单元,按影响矿井地质构造复杂程度的所有因素的影响程度分级并进行指数赋值,使他们单独或综合叠加后利用定量指标值作为定量评价煤矿构造复杂程度和矿井设计时选取不同开采方法的基本依据。

6. 模糊数学方法和人工智能方法

进入 20 世纪 90 年代以后,矿井地质构造量化预测取得了多方面的突破。徐凤银等(1991)首次应用模糊综合评判法研究矿井地质构造的相对复杂程度,同时在评价指标的设计上,不少人做了大量工作,提出了许多反映矿井地质构造复杂程度的指

标, 并采用统计方法从原始数据计算各个评价指标数据。夏玉成等(1991)将灰色关联分析方法引入模糊综合评判, 用经过归一化处理的关联度代替模糊综合评判中的因素权重, 从而实现了权重集的自动赋值及模糊综合评判过程的计算机化。在此基础上, 将自组织建模技术与人工神经网络方法相结合, 进行指标预测及矿井地质构造量化预测, 摆脱对数据的限制, 免除构造隶属函数之苦, 只需输入评价指标数据和期望输出值, 计算机便会通过自学习过程自动生成评价模型。刘德民、张华等将 MSPS 等专用处理模块与 GIS 有机结合起来, 充分利用 GIS 基础平台的二次开发功能, 设计和实现了矿井地质构造复杂程度模糊综合评判程序, 为实现地质条件的快速评价与预测提供了技术保障。

7. 构造—地层分析法

构造—地层分析法强调构造形迹与地层间的内在关系, 是用含煤地层的岩性特点、组合规律、岩石力学参数及其与煤层在剖面上和平面上的相对关系, 采用指标计算和综合编图来反映煤层构造发育特点(尤指煤层断裂、煤层褶皱), 进而进行煤矿构造预测的一种矿井地质构造研究方法。

8. 地质动力区划法

地质动力区划法是 20 世纪 80 年代在苏联发展起来的, 该方法以板块理论为基础, 以地形地貌学、地质动力学、地球物理学等多学科为依据而形成的一门新兴的边缘学科。它主要是根据地形地貌的基本形态和主要特征决定地质构造形式; 通过对地形地貌的分析, 查明区域断裂的形成与发展; 利用地应力测量、数值分析、GIS 等技术手段, 确定岩体应力状态; 地质动力区划法不仅对研究区域性构造环境具有重要意义, 它在矿山安全方面也得到了实际应用。

9. 分形几何法

关于分形的性质及其应用的理论是当代新几何学和现代动力学理论的最新成果。以 1977 年法国数学家 B. B. 曼德勃罗的《分形：形态、机遇和维数》的出版为标志。最初只限于研究形态或结构上存在自相似性的几何对象，称为“分形几何学”。随着研究的需要和来自系统论、控制论、信息论的冲击，发展成为“广义分形”。20 世纪 80 年代末，一般把在形态（结构）、功能和信息等方面具有自相似性的研究对象统称为“分形”。随着分形理论的建立，断层、节理及显微断裂在几何学、运动学和动力学特征上具有统计意义上的自相似性，可以通过区域和矿区断裂构造来研究和预测矿井断裂构造。对断裂构造的分形分析，不仅能定量地对构造复杂程度进行评价，而且能进行定量预测。

10. 地球物理勘探方法

地球物理勘探包括电法、磁力、重力、地震、放射性物探等。“九五”期间取得了 5 项物探科技成果，即槽波地震法、坑道无线电波透视技术、弹性波层析成像技术、矿井地质雷达和瑞利波探测技术。近年来，矿井地球物理勘探作为应用地球物理学的一个新学科生长点，在实践中取得了显著的社会和经济效益。矿井地球物理勘探，特指在地下巷道、采场中进行的以物性差异为基础，通过观测地下地球物理场分布变化规律来解决地质问题的一类勘查技术。自 20 世纪 50 年代苏联将直流电法应用于煤矿井下，以及 70 年代末联邦德国、英国提取与利用槽波的埃里震相探测工作面内地质构造以来，经过多年努力，矿井地球物理勘探现已发展成为包括矿井地震勘探、直流电法勘探、探地雷达法、无线电波透视法、微重力测量、磁法勘探、放射性测量和红外测温法等多种分支方法的学科体系，其中多种方法已用于构造预测，且取得了良好的效果（表 1-1）。

表 1-1 主要矿井物探技术及其应用

	分类方法	井下施工方法	主要地质应用
矿井直流电法勘探	巷道顶底板电测深法	①固定和活动 MN 法斯伦贝尔电测深法；②温纳测电测深法；③偏置温纳测电测深法；④三极电测深法；⑤断面测深技术	划分底板含水层、隔水层，确定含水层和隔水层的厚度及埋深；调查底板灰岩岩溶水；圈定底板断层、裂隙发育带等垂直导水通道
	矿井电剖面法	①多极矩偶极剖面法；②多极矩三极剖面法；③单极矩偶极法；④复合对称四极剖面法；⑤微分剖面法	圈定底板断层、裂隙发育带的位置，对其含水性作出评价；探测煤层小构造；确定岩层倾斜或直立接触面的位置
	层测深法	①单侧层测深法；②双侧层测深法	煤层小构造探测及其含水性评价；煤层参数反演
	高密度电阻率法	①温纳对称四极 (α 装置)；②温纳偶极装置 (β 装置)；③温纳微分装置 (γ 装置)；④温纳三极装置 (A 装置)；⑤温纳四极装置 (B 装置)	探测底板突水构造，评价岩层含水性；划分底板含水层和隔水层；调查灰岩岩溶发育情况
	直接电透视法	①定点二极电透视法；②定点三极电透视法；③定点偶极电透视法；④同步二极电透视法；⑤同步三极电透视法；⑥同步偶极电透视法	探测工作面内小构造，探测工作面顶底板内小构造；评价构造含水层

表 1-1 (续)

分 类 方 法		井 下 施 工 方 法	主 要 地 质 应 用
矿 井 高 分 辨 地 震 勘 探	巷道地震勘探	①等 TO 法; ②反射法; ③折射法	确定底板岩层埋深; 评价隔水层稳定性; 底板小构造探测
	曹波地震勘探	①反射法; ②透射法	探测工作面内断层、陷落柱、冲刷带、小褶曲等
	瑞雷波勘探	①稳态法; ②瞬态法	划分岩层和探测顶底板小断层及岩溶; 巷道独头超前探测小构造; 探测工作面内小构造
	声波探测	①直达波法; ②反射波法; ③折射波法; ④多孔透射法; ⑤单孔透射法	测定岩石力学参数; 评估岩体质量、硐室和井巷围岩稳定性, 对岩体进行工程地质分类; 探测井巷、硐室围岩松动圈范围和冻结壁的冻结状态及扩展情况等
	声发射与微震技术	①一般监测法; ②定位监测法	研究岩石破坏过程; 预测瓦斯、煤层突出和顶板稳定性; 预测冲击矿压等
探地雷达法		①剖面法; ②宽角法	探测巷道顶底板及工作面前方小断层、老窑、空巷; 探测煤层残厚、灰岩岩溶、底板隔水层厚度和巷道松动圈等

表 1-1 (续)

分 类 方 法	井 下 施 工 方 法	主 要 地 质 应 用
无线电波透视法	①定点发射法；②正同步法；③斜同步法；④多方位测量法	探测煤层内陷落柱、冲刷带、小断层、小褶曲等
井下微重力测量	①布格重力异常测量； ②重力垂直梯度测量	探测底板构造、确定底板岩层密度分界面起伏形态和地质异常体的空间方位，预测岩爆
放射性测量	① α 卡、 α 杯法；② γ 能谱测量	探测小构造；确定构造含水性和突水异常点
红外测温	①定点测量法；②剖面测量法	探测老空区，区分水源类型

1.3 主要内容及技术路线

本书在充分收集赵官井田勘探资料、物探资料、开采资料的基础上，采用理论研究、数值模拟与现场实践相结合的方法，主要研究内容包括以下几个方面：

1. 井田地质构造发育规律研究

主要包括：对井田构造发育规律进行趋势面分析；利用断层密度、断层分维值、褶皱分维值、岩浆岩影响指数、煤层倾角变异系数等定量评价褶皱、岩浆岩、煤层倾角。

2. 煤层小断层构造分析与预测

包括煤层小断层与沉积介质参数的相关性研究，煤层小断层的定量预测，小断层走向延展长度的定量预测。