

# 底板突水危险性评价专家系统及应用研究

高延法, 章延平, 张慧敏, 王世法

(中国矿业大学, 北京 100083)

**摘要:** 矿井底板突水危险性评价涉及到水文地质、工程地质、开采条件及岩石力学等诸多因素, 是一个复杂的理论与技术问题, 底板突水危险性评价专家系统正是针对这一难点, 将底板突水领域专家经验和理论成果等与计算机人工智能技术相结合, 采用突水系数法和突水优势面两条推理途径, 提出并运用典型突水案例加权类比的推理策略, 初步具备了底板灰岩岩溶发育状况与隐伏断裂构造的预测功能。系统建立内容较为丰富的典型突水案例、专家经验、突水研究理论成果和防治水措施等四类知识库, 能够对矿井是否会发生底板突水、突水点位置以及突水类型等做出预测与评价, 并具有较强的咨询功能。应用该系统进行实际突水案例的模拟分析, 评价结果与实际情况吻合较好。底板突水危险性评价专家系统将对矿井底板水害防治具有一定的实用价值。

**关键词:** 采矿工程; 底板突水; 专家系统; 危险性评价; 预测预报

**中图分类号:** TD 163

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2009)02 - 0253 - 06

## RESEARCH ON EXPERT SYSTEM FOR RISK ASSESSMENT OF WATER INRUSH FROM COAL FLOOR AND ITS APPLICATION

GAO Yanfa, ZHANG Yanping, ZHANG Huimin, WANG Shifa

(China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Risk assessment of water inrush from coal floor is a complex problem of theory and technology, which is concerned with hydrogeology, engineering geology, mining conditions and rock mechanics. To aim at the above-mentioned problem, the expert system for risk assessment of water inrush from coal floor is combined with experts' experiences and theoretical achievements with artificial intelligence technology, adopting two inferred methods, which are the water inrush coefficient and the preferred water inrush plane. The inference strategy of weighted analogy analysis of typical water inrush cases is put forward. This system is basically capable of forecasting the development of limestone karst and potential fault structure below the coal floor. This system is composed of four knowledge bases, i.e. base of typical water inrush cases, base of expert experiences, base of theoretical achievements, and base of water control measures. The risk, location and type of water inrush can be forecast and assessed through this system. Simultaneously, this system also has a great consultant value for water inrush from coal floor. The answer of simulation analysis applying this system to the realistic water inrush cases is in good accordance with the truth condition. The expert system will be of some values for controlling and preventing water inrush from coal floor.

**Key words:** mining engineering; water inrush from coal floor; expert system; risk assessment; prediction and forecast

**收稿日期:** 2008 - 09 - 12; **修回日期:** 2008 - 10 - 24

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CB209400)

**作者简介:** 高延法(1962 -), 男, 博士, 1982年毕业于山东矿业学院采矿工程系, 现任教授、博士生导师, 主要从事矿山岩石力学方面的教学与研究。E-mail: gyfkd@263.net

## 1 引言

我国许多煤田(特别是华北煤田)水文地质条件十分复杂,随着开采深度的增加,底板灰岩岩溶承压水的突水危险性也不断增大<sup>[1, 2]</sup>。研制“底板突水危险性评价专家系统”<sup>[3]</sup>对矿井突水预测与防治具有重要的应用价值<sup>[4]</sup>。在底板突水预测预报<sup>[5]</sup>专家系统研究方面,张璟等<sup>[6]</sup>将神经网络专家系统(NNES)应用于煤矿突水预测中,将影响底板突水的主要因素参数作为神经网络的结点,利用神经网络模型自动获取知识及并行处理的特点,提高系统运行速度。刘伟韬等<sup>[7]</sup>初步建立了底板突水预测专家系统(FWIP),将影响突水的各种因素赋以一定的程度值进行定量化分析,采用规则的形式表示专家的判断性知识,以可信度反应专家经验的不确定性,进行开采安全性和突水预测综合评价。潘树仁等<sup>[8]</sup>建立了煤矿水害防治专家系统(MWPC),采用Prolog和Pascal混合编程方法及模块化编程技术,通过分析矿井水文地质条件,提出水害防治方案,并结合典型突水案例的分析建立了防治水方案库。

## 2 底板突水危险性评价专家系统概述

新开发的矿井底板突水危险性评价专家系统作为一个预测及咨询系统,能够对具体评价区域的开采安全性做出科学评价,对评价区域是否突水与突水概率、突水点位置与突水类型、突水量等做出预计,为底板突水防治提供依据。该系统主要具有如下特点:

(1) 矿井地质开采信息的数值化。系统进行矿井底板突水危险性评价的直接依据是矿井地质信息资料。为了便于计算机系统存储与推理,将由文字及图表表示的矿井地质信息资料在系统内进行了数值化处理和存储。

(2) 灰岩富水性与断裂构造的预测功能。系统能够根据岩溶理论、地质力学理论以及构造预测理论等来推测底板灰岩岩溶的发育状态和隐伏地质构造。

(3) 突水危险性评价推理的智能化。系统能够根据典型的突水案例、专家经验和突水研究成果,按照一定逻辑关系,分析、评价突水的危险性。专家系统能够发挥信息丰富、计算功能强大和推理过

程严谨等优势,对底板突水危险性做出更为客观、准确的评价。

(4) 系统的可扩充性。该系统为开放式系统,在实际应用中可不断扩充。随着底板突水预测和防治理论的发展,系统的知识库可得到继承与积累,推理过程可日趋完善,功能不断加强。

## 3 底板突水危险性评价专家系统结构

系统包括知识库、推理机、动态数据库、解释机和人机接口五个部分组成,如图1所示。

### 3.1 人机交互界面(人机接口)

人机交互界面(人机接口)是实现用户与系统、知识工程师与系统进行交互的途径。该系统人机交互界面将地质开采信息分为评价区域基本信息、底板岩层结构、地质构造、含水层状况及强径流带五个方面进行输入。对用户未经实测而无法确定的参数采用以下方式处理:

(1) 建议用户经过实测后进行评价,以提高评价的可靠度。

(2) 建议用户与本区域类似条件进行比较后确定,同时给出参数取值的置信度。

(3) 系统通过与相近条件的突水案例类比后给出参数取值,由用户进行确认。底板突水危险性评价专家系统人机交互界面如图2所示。

### 3.2 知识库

(1) 典型突水案例知识库:现已将我国一百多个典型突水案例编入案例知识库,其中构造揭露型底板突水案例56个,断层采动型突水案例38个,底板破坏型突水案例42个。

(2) 专家经验知识库:该知识库正在建立,包括防治水研究领域专家与工程技术人员的防治水理论与工程经验。

(3) 底板突水理论研究成果知识库:主要包括有关底板水防治的论文、专著、科研报告和专利等成果。

(4) 防治水的技术措施及有关国家法规知识库:该知识库中存有目前使用比较广泛、相对成熟的防治水技术措施,如防水煤柱留设技术、探放水技术、疏水降压技术、帷幕注浆截流技术、煤层底板含水层注浆改造技术、注浆封堵技术、巷道过断层预注浆加固技术等;相关的国家安全规程主要有《煤矿安全规程》和《矿井水文地质规程》等。

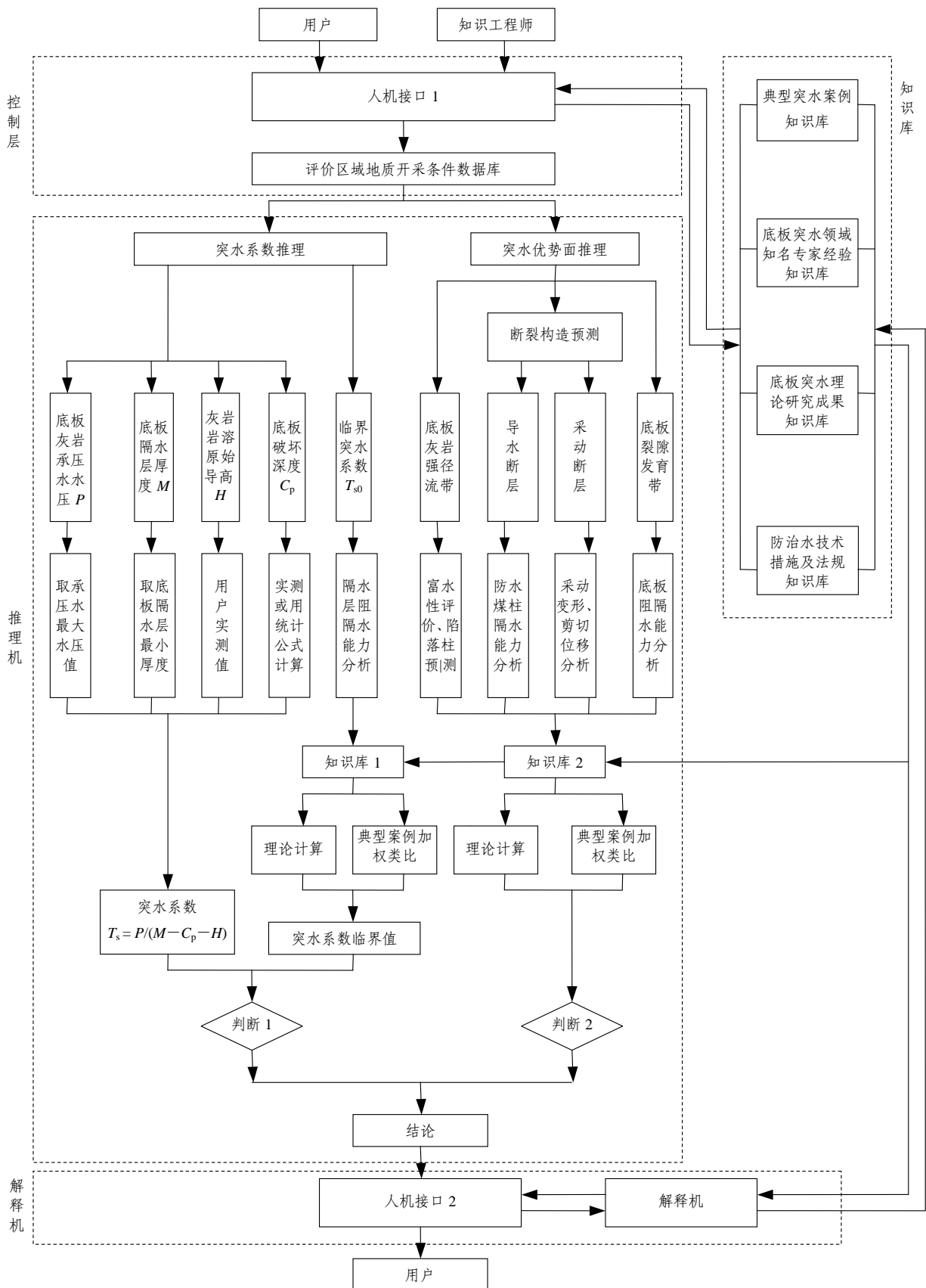


图 1 底板突水危险性评价专家系统结构图

Fig.1 Structural diagram of expert system for risk evaluation of floor water inrush



### 4.2 隐伏构造预测

现有的构造形迹都是各个地质历史时期地层在构造应力场作用下发生地质运动的产物, 各种规模与类型的构造之间存在着一定的内在联系, 在空间上显现出固有的展布特征和组合形式, 在时间上表现出一定的演化序列。煤矿构造都是浅层构造, 以脆性断裂为主, 是多期构造叠加、复合的结果, 而大、中型构造在地质勘探时已基本查明, 因此构造预测以小型构造为主<sup>[10]</sup>。

该系统应用构造地质学、地质力学和趋势面分析等理论与方法, 根据区域构造展布总体规律和构造应力场, 结合钻探、巷探和物探等手段, 进行矿井隐伏构造预测。

## 5 底板突水危险性评价专家系统应用实例

### 5.1 开滦赵各庄矿断层突水危险性评价

开滦赵各庄矿, 煤层底板岩性为砂岩、泥岩、薄层灰岩和腐泥质黏土岩, 底板奥陶系灰岩含水层厚度为 700 m, 岩溶发育, 富水性强, 单孔涌水量为 6 m<sup>3</sup>/min。主采煤层 12 煤到奥灰的层间距约为 150 m, 底板奥灰水压为 6.0 MPa, 奥灰水原始导高为 0.0 m。

该矿九水平(-730 m)井口东 440 m 岩石风道内 F3 断层处, 曾发生底板采动断层突水, 最大突水量为 756 m<sup>3</sup>/h。F3 断层走向 N70°~80°W, 倾向 W 侧, 倾角 40°~50°, 是由数条小断层所组成的张性断裂带, 总落差 20 m。该断层带落差和破碎带随深度加大而增大的趋势, 如图 4 所示。

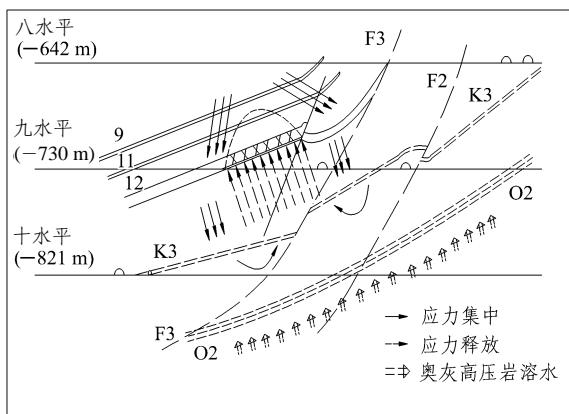


图 4 开滦赵各庄矿九水平突水示意图

Fig.4 Schematic diagram of water inrush graph of level No.9 of Zhaogezhuang mining of Kailuan group

应用该专家系统模拟分析 F3 断层突水危险性, 其推理过程如图 5 所示, 推理途径为突水优势面推理。分析结果表明: 采动影响和断层破碎带阻隔水能力差是引发 F3 断层突水的 2 个主要因素, 评价结果与案例实际情况相符。

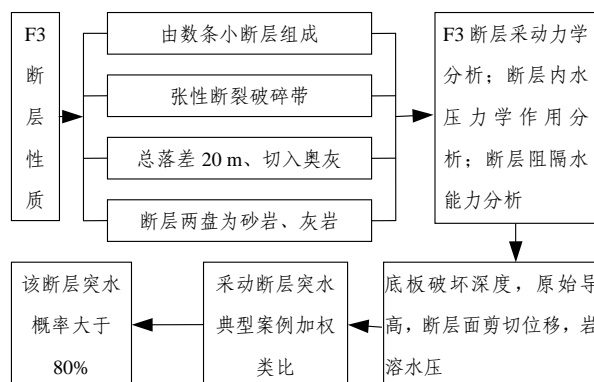


图 5 开滦赵各庄矿九水平石门突水危险性评价推理过程图

Fig.5 Reasoning process graph of risk evaluation for floor water inrush of coal seam crosscut in level No.9 Zhaogezhuang mining of Kailuan group

### 5.2 肥城大封矿采场底板突水危险性评价

肥城大封矿 10204 工作面开采十层煤, 工作面走向长 203 m, 斜长 83 m, 采深为 144 m, 煤层倾角为 10°。工作面内无断层和褶曲构造, 处于岩溶裂隙发育的富水区。直接含水层为本溪组徐家庄灰岩(五灰), 厚度为 12.24 m, 水位高程为+56 m, 距奥灰仅约 12.5 m, 与奥灰水力联系密切。奥灰含水层厚度约为 800 m, 富水性强, 是五灰的主要补给水源。十层煤底板至五灰(含水层)的隔水层岩性主要是黏土岩、粉砂岩, 隔水层厚度约 16.5 m。突水点高程为 41.2 m, 突水时底臆严重(如图 6 所示)。该工作面推采到 38 m, 溜子头发生底板突水, 突水量为 10 m<sup>3</sup>/h, 之后水量逐渐增大, 12 h 后水量达到最大值,

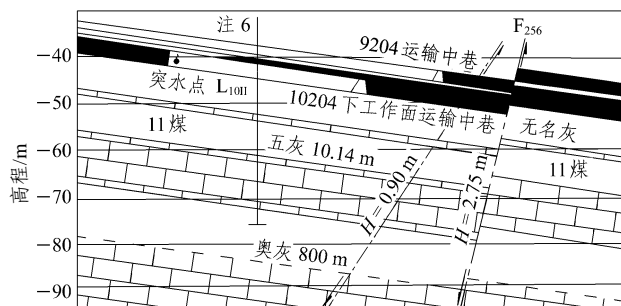


图 6 肥城大封矿 10204 工作面突水示意图

Fig.6 Schematic diagram of water inrush graph of 10204 working face in Dafeng mining of Feicheng group

为 2 035 m<sup>3</sup>/h, 一个月之后水量稳定在 1 660 m<sup>3</sup>/h。

应用该专家系统评价采场底板突水危险性, 其推理过程如图 7 所示。10204 工作面内无断层和褶曲构造, 主要是近距离煤层采动造成煤层底板破坏, 且工作面处于灰岩强径流带而引发突水, 属于底板破坏型突水, 突水概率大于 95%。评价结果与案例实际情况相符。

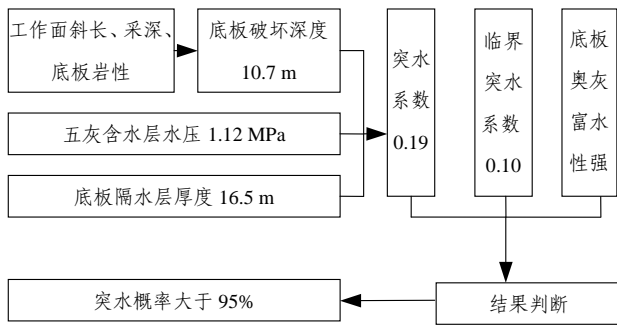


图 7 大封矿 10204 工作面突水危险性评价推理过程图  
Fig.7 Reasoning process graph for risk evaluation of floor water inrush in 10204 working face of Dafeng mining

## 6 结 论

底板突水危险性评价专家系统, 将突水地质开采信息数值化, 采用突水系数与突水优势面两种推理途径, 结合专家经验进行突水预测。系统拥有丰富的知识库和解释系统, 初步具备了底板灰岩岩溶发育状况与隐伏断裂构造预测功能, 兼有突水危险性评价和突水案例、防治水知识的检索与咨询功能, 从而使底板突水危险性评价具备了智能化特征。应用该系统对实际突水案例进行模拟评价, 评价结果与案例吻合良好, 证实了系统评价结果的可靠性。该评价系统为矿井底板突水危险性评价提供了一种新的方法。

### 参考文献(References):

[1] 缪协兴, 浦海, 白海波. 隔水关键层原理及其在保水采煤中的应用研究[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(1): 1 - 4.(MIAO Xiexing, PU Hai, BAI Haibo. Principle of water-resisting key strata and its application to water-preserved mining[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2008, 37(1): 1 - 4.(in Chinese))

[2] 虎维岳. 矿山水害防治理论与方法[M]. 北京: 煤炭工业出版社,

2005.(HU Weiyue. Mine flood control theory and method[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2005.(in Chinese))

[3] 高延法, 施龙清, 娄华君, 等. 底板突水规律与突水优势面[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.(GAO Yanfa, SHI Longqing, LOU Huajun, et al. Rule of water burst and advantage face of water inrush[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1999.(in Chinese))

[4] GIARRATAND L, RILEY G. 专家系统原理与编程[M]. 4 版. 印鉴译. 北京: 机械工业出版社, 2006.(GIARRATAND L, RILEY G. Expert systems principles and programming[M]. 4th ed. Translated by YIN Jian. Beijing: China Machine Industry Press, 2006.(in Chinese))

[5] 胡耀青, 严国超, 石秀伟. 承压水上采煤突水监测预报理论的物理与数值模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(1): 9 - 15. (HU Yaoqing, YAN Guochao, SHI Xiuwei. Study on physical and numerical simulation of water inrush prediction theory for coal mining above confined aquifer[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(1): 9 - 15.(in Chinese))

[6] 张 璟, 王延福, 曾燕京. 神经网络专家系统在煤矿突水预测中的应用[J]. 微电子学与计算机, 1995, (5): 16 - 19.(ZHANG Jing, WANG Yanfu, ZENG Yanjing. Neural network expert system and their application to forecasting the water invasion of colliery[J]. Microelectronics and Computer, 1995, (5): 16 - 19.(in Chinese))

[7] 刘伟韬, 张文泉, 高延法, 等. 底板突水预测专家系统研究[J]. 山东矿业学院学报, 1998, 17(4): 333 - 338.(LIU Weitao, ZHANG Wenquan, GAO Yanfa, et al. Research on expert system to forecast inrush of floor water[J]. Journal of Shandong Mining Institute, 1998, 17(4): 333 - 338.(in Chinese))

[8] 潘树仁, 李宾亭, 杨国勇, 等. 煤矿水害防治专家系统[J]. 煤炭科技, 1999, (4): 12 - 13.(PAN Shuren, LI Binting, YANG Guoyong, et al. Expert system for mine water inrush control[J]. Coal Technology, 1999, (4): 12 - 13.(in Chinese))

[9] 孙亚军, 杨国勇, 郑琳. 基于 GIS 的矿井突水水源判别系统研究[J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35(2): 34 - 37.(SUN Yajun, YANG Guoyong, ZHENG Lin. Distinguishing system study on resource of mine water inrush based on GIS[J]. Coal Geology and Exploration, 2007, 35(2): 34 - 37.(in Chinese))

[10] 徐凤银, 魏铭康. 矿井构造预测与评价的理论、方法及其应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1993.(XU Fengyin, WEI Mingkang. Prediction and evaluation of theory, method and its application to mine construction[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1993.(in Chinese))