

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2015.06.005

基于 Modpath 的矿井突水应用

朱 玮, 邓红卫, 吴彦霖

(中南大学 资源与安全工程学院, 长沙 410083)

摘 要:运用粒子反向示踪理论,根据安徽铜陵新桥硫铁矿各含水层的水文地质条件、工程地质条件,利用抽压水试验得出的渗流系数、给水度等岩性特征,针对突水水源识别问题,建立 Modpath 的矿井突水可视化模型,并以时步分段量化研究水源渗透规律,分析了矿井突水的水源来向、侵害范围、影响程度等特征元素。研究结果验证了突水点上层含水层的岩溶裂隙带和断裂带对突水点的重要补给关系,并且有较强的直观判别能力;模型可以清晰判别分析矿井突水现象。

关键词:时段分步;粒子反向示踪;矿井突水;Modpath

中图分类号:TD12

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2015)06-031-06

Research on mine water inrush based on Modpath

ZHU Wei, DENG Hongwei, WU Yanlin

(Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, P.R.China)

Abstract: By using reverse tracer particle theory, the seepage coefficients and the specific yields of Tongling Xinqiao pyrite aquifers are obtained according to their hydro-geological and engineering geological conditions by pump pressure test. To identify the source of water inrush, a Modpath visualization model for water inrush is established. Water penetration rules are quantitatively researched by time step, and source direction, influencing range and degree of water inrush are analyzed. Results show that the fissure zone and the rift zone of the aquifer upon water inrush are important supply for the water inrush. The model has strong visual discrimination ability and can clearly discriminate mine water inrush.

Key words: time step; reverse tracer particle; mine water inrush; Modpath

矿井突水是矿山生产过程中最具威胁的灾害之一,一旦发生矿井突水将造成巨大的人员伤亡和经济损失。如何及时准确地判断突水成因,查找突水水源,是解决和进一步预防突水灾害的关键问题。目前研究较多的是利用数学函数判别矿井突水水源,定性地分析和评价矿井突水现象,而对实际工程的矿井突水三维模拟较少,缺乏对矿井突水宏观认识,以及对突水量的评估。陈红江等^[1-2]运用 Fisher 判别方法和多组逐步 Bayes 方法,根据含水层的标型组分和涌水点水样的化学成分,考虑了水化学指标对水源判别的重要性,建立了 Fisher 的线性判别函数模型和典型判别的函数模型,对该方法进行了验证和分析;闫志刚等^[3-4]采用支持向量机模型建立了 SVM 模型和 H-SVMs 模型,有效地分析了两类水源混和情况,根据判决函数值的大小预测水文地质异常,结合 RS 分析突水决策表,提取预测规则,提高了预测强度;张健等^[5]利用三维可视化技术

收稿日期:2015-07-08

基金项目:国家自然科学基金(51074178)。

Supported by National Natural Science Foundation of China(51074178).

作者简介:朱玮(1989-),男,主要从事岩土工程灾害、矿山水资源安全管理等方面的研究,(E-mail) csuzhuwei@csu.edu.cn.

模拟矿井突水事故的发生过程,直观地了解引起矿井突水灾害的各方面因素,为预防灾害提供技术支持;张许良等^[6]利用数量化理论对矿井突(涌)水水源进行判别;周健等^[7]应用距离判别分析理论,结合矿井含水层的水化学分析资料对梧桐庄煤矿的突水水源进行了识别;张瑞钢等^[8]以水质指标为判别因子,应用可拓识别方法,建立了谢桥矿井突水水源判别模型;鲁金涛等^[9]根据水化学成分的差异性,利用主成分分析与 Fisher 判别分析法对新庄煤矿不同水层的水化学特征进行了模型分析与验证;李忠建等^[10]运用突水系数法和模糊聚类法以南屯下组煤十一采区为例,提取采深、隔水层厚度和水压为关键指标,综合评价了煤层底板突水危险性;杨永国等^[11]利用 BP 神经网络与灰色关联有效判别矿井突水水源;孙亚军等^[12]基于 GIS 强大的数据处理功能,直观明确地实现了突水水源的点查询和空间分区。李燕等^[13]综合对比分析了矿井突水水源的判别方法,探讨了各方法的适用条件和优越性。目前,国内外矿山在防治水方面定量分析与仿真模拟技术上应用较多的地下水数值模拟软件主要有 GMS、Visual Modflow、Feflow、Visual Groundwater 等,胡艳卉等^[14]利用 GMS 建立 1016 面开采涌水模拟模型,通过对模型的检验分析,验证模型的准确性,为研究岩层的破坏机理和突水条件以及为煤矿防治水设计提供依据;韩程辉等^[15]介绍了 GMS 软件的优点以及关于矿井防治水模拟的优势,提出了 GMS 软件对矿井突水的广阔应用前景;马从安等^[16]运用 Visual Modflow 建立了某露天矿地下水数值模型,运用 Modpath 和 MT3D 对地下水的水质点示踪和三维污染羽进行了模拟,其模型有助于识别地下水污染的污染源及污染途径,为预测地下水位和水质的变化,以及选取保护措施提供了决策依据。但这些研究主要从理论模型入手,没有考虑真实的地形地貌、矿井突水的水文地质和工程地质等影响,采用数学函数模型对矿井突水现象的分析也只能局限在小范围的评价,难以全方位解析突水水源以及影响程度。笔者结合某矿的实际工程背景,在已有资料和数据的支持下,针对地下矿区突水点的实际情况,利用 Modpath 建立以突水点为研究中心的三维模型,反向示踪突水水源,定性定量分析突水水源来向、影响范围和影响程度。

1 粒子示踪理论及建模思路

粒子示踪技术可分为向前和向后两种方法。示踪理论主要是指将一定数量的示踪水质点连接排泄区和补给区,正向示踪是示踪质点由补给区指向排泄区,反向示踪是示踪质点由排泄区指向补给区。在本次矿井突水点数值模拟中,采用向后示踪方法,通过显示水质点时段分步情况可以显示不同时段矿井突水的补给水源和补给通道。Modpath 模块所显示的示踪流线是三维立体的,对准确判别突水情况以及建立对应的帷幕工程、隔水壳等防治水措施提供有效的数据支持。

以某矿突水点为对象,利用 GMS 8.0 的 Modflow 和 Modpath 模块分析并建立了研究区的地下水三维渗流规律模型,以抽水井替代突水点,抽水量为突水量的思路模拟矿井突水现象,利用粒子反向示踪的计算方法定性分析了矿井突水水源的来向以及影响范围,以及大井法定量分析各水源范围的影响程度,利用粒子反向示踪理论是建立在地下水渗流规律的基础上,所以准确判别矿井突水水源就必要先掌握研究区地下水运动规律。从而宏观控制地下水渗流规律,建立相关防水设施设备。

2 研究区工程背景

以安徽铜陵新桥硫铁矿为例开展的数值模拟,该区域地表水系发育。矿区有关的地表水体主要有新西河和圣冲河。新西河沿 F_1 、 F_2 断裂带,流径矿区北部汇入河流。圣冲河由南向北贯穿矿区,在矿区北部与新西河汇流。矿区内的含水层有第四纪含水层,茅口灰岩、栖霞灰岩含水层,构造含水带、矿体含水层等,主要隔水层有:高骊山组及五通组、孤峰隔水层等,各地层的主要地质资料见表 1,地层分布及地形如图 1 所示。研究区以新西河和圣冲河为定水头边界,底部为隔水边界,以第四纪含水层的渗透系数分区如图 2 所示。第四纪含水层和茅口灰岩含水层的渗透系数见表 2 和表 3。

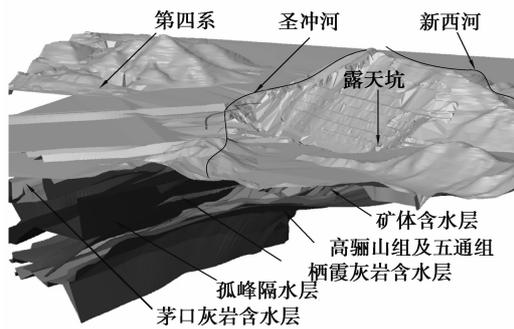


图 1 研究区三维地层

Fig.1 3D stratums of the survey region

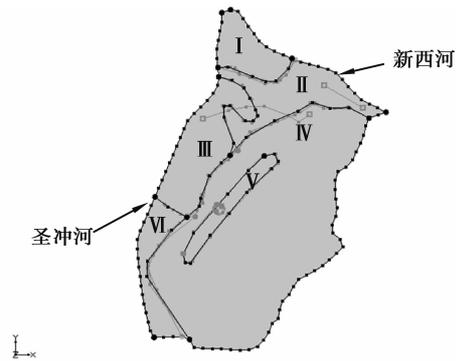


图 2 第四纪含水层渗透系数分区图

Fig.2 The partition map of the aquifer hydraulic conductivity of Quaternary period

表 1 各含水层特征表

Table 1 Characters of every aquifer

含水层类别	主要岩体	地下水类型	富水性	渗透系数范围 $K/(m \cdot d^{-1})$	厚度/m	分布范围
第四纪	上部为砂、砾石及粘土互层下部为粘土、亚粘土夹碎石	地表水、孔隙潜水与基岩地下水	强	0.036~111.38	50~150	新西河、圣冲河两岸
茅口灰岩	茅口灰岩、砾石以及少部分粘土	裂隙岩溶水、裂隙水	较强, 不均匀	0.008 8~25.257	100~150	矿体上盘
栖霞及船山灰岩	栖霞灰岩与船山灰岩	裂隙岩溶水、孔隙水	强, 不均匀	0.236~8.06	300~400	矿体直接顶板

表 2 第四纪含水层渗透系数 K 初值表

Table 2 The aquifer hydraulic conductivity K of Quaternary period m/d

岩层	I	II	III	IV	V	VI
K_x	2.20	13.61	8.04	0.32	3.152	8.26
K_y	2.20	13.61	8.04	0.32	3.152	8.26
K_z	0.88	6.57	5.24	0.24	1.086	5.27

表 3 茅口灰岩含水层渗透系数 K 初值表

Table 3 The aquifer hydraulic conductivity K of Spear mouth limestone m/d

岩层	I	II	III	IV	V	VI
K_x	4.51	8.26	5.06	1.41	8.152	3.16
K_y	4.51	8.26	5.06	1.41	8.152	3.16
K_z	2.32	3.61	1.24	0.24	2.086	1.02

3 矿井突水数值模型的建立与结果分析

3.1 水源地分析

图 3 可以清晰看出岩体分层情况, 矿井突水时突水点、水流域等特征元素。

3.2 矿井突水水源范围

各含水层之间的隔水层起到了一定了阻水效果, 但其主要的水源还是来自其上部含水层的直接补给, 导致了矿井突水的直接原因是以栖霞及船山灰岩含水层为顶板。根据其模拟得出的突水点上部各含水层对矿井突水的影响范围见图 4。第四纪含水层突水量影响范围比茅口灰岩含水层突水量范围扩大了一倍。随着反向示踪越来越明晰, 可以看出突水水源由下到上, 逐渐向西南侧蔓延, 最终指向圣冲河。

3.3 矿井突水上部含水层影响分区的涌水量

通过对矿井突水上部含水层的影响范围可以确定突水水源主要来自 III、IV、V、VI 四个分区, 利用大井法

估量各分区的涌水量比重,如图 5 所示。

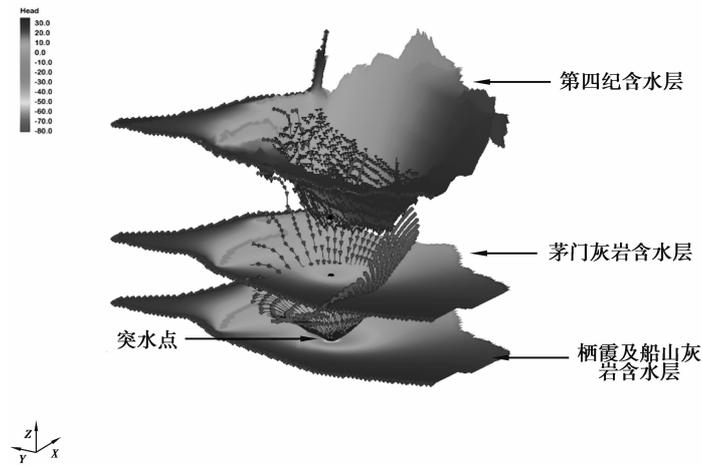


图 3 研究区矿井突水现象模拟

Fig.3 Water inrush simulation of the survey region

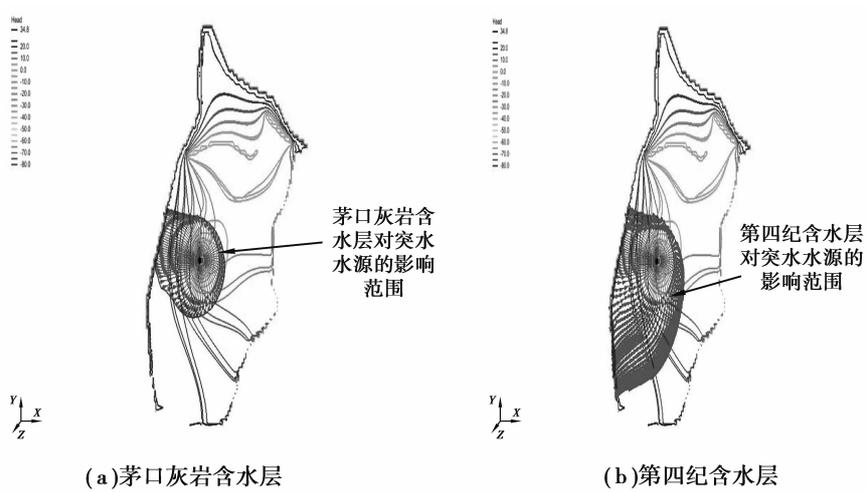


图 4 上部含水层对突水影响范围

Fig.4 Influencing range of upper aquifer on water inrush

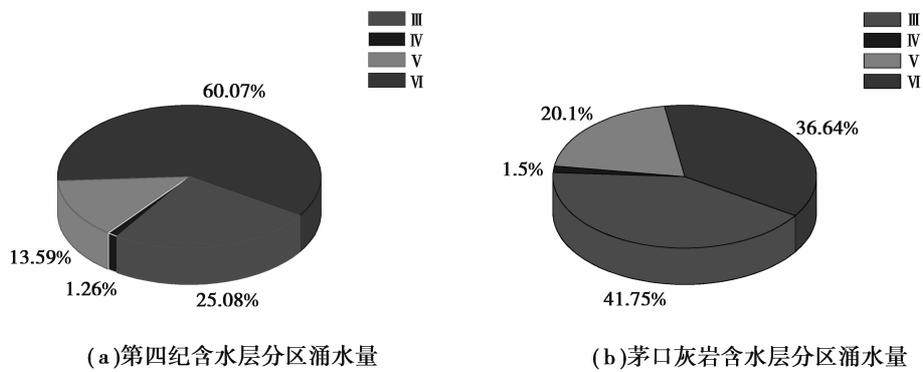


图 5 突水点上部各含水层分区涌水量

Fig.5 Aquifer water partition of water bursting point

从图 5(a)表明:大量水源主要来自于左边界的圣冲河,随着工程的不断加深,地下的溶洞、裂隙分布以及各岩层特征对地下水的渗流规律以及水量分布起到了至关重要的作用。图 5(b)表明:由于 III 分区岩溶裂隙带和 V 分区断裂带的源汇效应,III 分区对突水点补给的百分比由 25.08% 逐渐升高至 41.75%,V 分区对突水点补给的百分比由 13.59% 升至 20.1%。

含水层涌水量如图 6 所示,分区影响程度差别标准见表 4。图 6 表明,由第四纪含水层到茅口灰岩含水层,III、IV、V、VI 分区的涌水量都有所降低。其中 VI 分区随着工程的不断加深,降得尤为突出,但 VI 分区的涌水量也不容忽视,不仅是第四纪含水层还是茅口灰岩含水层在该分区的涌水量占据了相当大的比重;III 分区对突水的补给比重越来越大。根据分区影响判别标准,第四纪含水层 IV、VI 两分区的影响程度为高,III 和 V 两分区的影响程度为中;茅口灰岩含水层 IV 分区的影响程度为高,III 和 VI 分区为中,V 分区为低。由此表明 IV 和 VI 分区对矿井突水的影响程度最高,应采取相应的防治水工程措施,如在 IV 和 VI 分区与突水点相近处建立隔水层,在栖霞含水层底部建立隔水壳等。

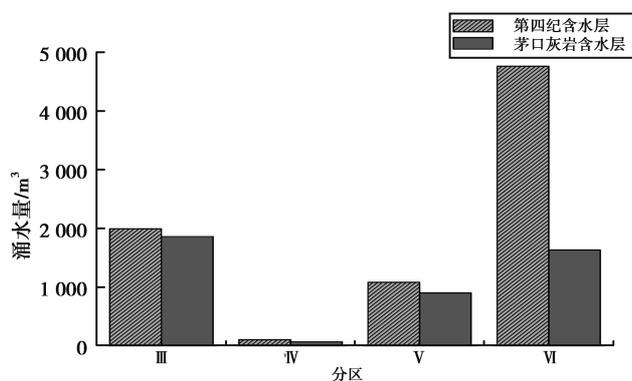


图 6 含水层涌水量对比图

Fig.6 Comparison of aquifer water

表 4 分区影响程度判别标准

Table 4 Criteria of influencing degree

影响程度	影响范围 S/m^2	关系	影响突水量 Q/m^3
高	$\geq 50\ 000$	或	$\geq 2\ 000$
中	$50\ 000 > S \geq 10\ 000$	或	$2\ 000 > Q \geq 1\ 000$
低	$10\ 000 <$	且	$1\ 000 <$

4 结 论

1) 用粒子反向示踪理论,根据安徽铜陵新桥硫铁矿各含水层的水文地质条件、工程地质条件,利用抽压水试验得出岩层的渗流系数,针对突水水源识别,建立 Modpath 的矿井突水可视化模型,并以时步分段量化研究水源渗透规律,分析了矿井突水的水源来向、侵害范围、影响程度等特征元素。

2) 利用 Modpath 模型处理矿井突水信息,主要依赖周边岩层渗透率、断裂带以及裂隙带的空间分布等信息,更接近工程实例。根据不同矿井的不同地质信息,获取对应水力关系,为合理预测突水规则,选取防治水方案提供依据。

3) 利用 GMS 数值计算方法,对影响突水点的上部各含水层范围进行划分,并且通过大井法对各个含水层的涌水量进行定量定性分析,结果直观,可视化强。

参考文献:

- [1] 陈红江,李夕兵,刘爱华,等. 用 Fisher 判别确定矿井突水水源[J].中南大学学报(自然科学版)2009,40(8):1114-1119.
CHEN Hongjiang, LI Xibing, LIU Aihua, et al. Identifying of mine water inrush sources by Fisher discriminant analysis method[J]. Central South University (Natural Science), 2009, 40(8): 1114-1119. (in Chinese)
- [2] 陈红江,李夕兵,刘爱华. 矿井突水水源判别的多组逐步 Bayes 判别方法研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(12): 3655-3659.
CHEN Hongjiang, LI Xibing, LIU Aihua. Studies of water source determination method of mine water inrush based on Bayes' multi-group stepwise discriminant analysis theory[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(12): 3655-3659. (in Chinese)
- [3] 闫志刚,杜培军,郭达志. 矿井涌水水源分析的支持向量机模型[J]. 煤炭学报, 2007, 32(8): 842-847.
YAN Zhigang, DU Peijun, GUO Dazhi. SVM models for analysing the headstreams of mine water inrush[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(8): 842-847. (in Chinese)

- [4] 闫志刚,杜培军,张海荣.矿井突水信息处理的 SVM-RS 模型[J].中国矿业大学学报,2008,37(3):295-299.
YAN Zhigang,DU Peijun,ZHANG Hairong.Processing Predictors of Water Inrush in Coal Mines Using a SVM-RS Model [J].
Journal of China University of Mining and Technology,2008,37(3):295-299.(in Chinese)
- [5] 张健,郝多虎,孙丽慧,等.基于三维可视化技术的林南仓矿水害事故分析[J].煤炭科学技术,2010,38(10):106-108,113.
ZHANG Jian,HE Duohu,SUN Lihui,et al.Analysis on LinNancang Mine water inrush accidents based on the 3D
visualization technology[J].Coal Science and Technology,2010,38(10):106-108,113.(in Chinese)
- [6] 张许良,张子戌,彭苏萍.数量化理论在矿井突(涌)水水源判别中的应用[J].中国矿业大学学报,2003,32(3):251-254.
ZHANG Xuliang,ZHANG Zhixu,PENG Shuping.Application of the second theory of quantification in identifying gushing
water sources of coal mines[J].China University of Mining Technology,2003,32(5):251-254.(in Chinese)
- [7] 周健,史秀志,王怀勇.矿井突水水源识别的距离判别分析模型[J].煤炭学报,2010,35(2):278-282.
ZHOU Jian,SHI Xiuzhi,WANG Huaiyong.Water-bursting source dtermination of mine based on distance discriminant
analysis model[J].Journal of China Coal Society,2010,35(2):278-282.(in Chinese)
- [8] 张瑞钢,钱家忠,马雷,等.可拓识别方法在矿井突水水源判别中的应用[J].煤炭学报,2009,34(1):33-38.
ZHANG Ruigang,QIAN Jiazong,MA Lei,et al.Application of extension identification method in mine water-bursting
source discrimination[J].Journal of China Coal Society,2009,34(1):33-38.(in Chinese)
- [9] 鲁金涛,李夕兵,宫凤强,等.基于主成分分析与 Fisher 判别分析法的矿井突水水源识别方法[J].中国安全科学学报,
2012,22(7):109-115.
LU Jintao,LI Xibing,GONG Fengqiang,et al.Recognizing of mine water inrush sources based on principal components
analysis and Fisher discrimination analysis method[J].China Safety Science Journal,2012,22(7):109-115.(in Chinese)
- [10] 李忠建,魏久传,郭建斌,等.运用突水系数法和模糊聚类法综合评价煤层底板突水危险性[J].矿业安全与环保,2010,37
(1):24-26.
LI Zhongjian,WEI Jiuchuan,GUO Jianbin,et al.Comprehensive evaluation of water-inrush risk from coal floor by both
water-inrush coefficient and fuzzy cluster methods[J].Mining Safety & Environmental Protection,2010,37(1):24-26.(in
Chinese)
- [11] 杨永国,黄福臣.非线性方法在矿井突水水源判别中的应用研究[J].中国矿业大学学报,2007,36(3):283-286.
YANG Yongguo,HUANG Fuchen.Water source determination of mine inflow based on non-linear method[J].Journal of
China University of Mining & Technology,2007,36(3):283-286.(in Chinese)
- [12] 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& Exploration,2007,35(2):34-37.(in Chinese)
- [13] 李燕,徐志敏,刘勇.矿井突水水源判别方法概述[J].煤炭技术,2010,29(11):87-89.
LI Yan,XU Zhimin,LIU Yong.Summary on methods of distinguishing sources of mine water-invasion [J]. Coal
Technology,2010,29(11):87-89.(in Chinese)
- [14] 胡艳卉,张文泉,任仰辉,等.安徽五沟煤矿 1016 面底板突水 GMS 模拟模型研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),
2009,28(4):35-39.
HU Yanhui,ZHANG Wenquan,REN Yanghui,et al.Study on GMS simulation model of floor water inrush in No.1016
coalface of Anhui Wugou mine[J].Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science),2009,
28(4):35-39.(in Chinese)
- [15] 韩程辉,刘文生.地下水模拟系统(GMS)与矿井防治水[J].矿业安全与环保,2005,32(2):25-26.
HAN chenghui,LIU Wensheng.Groundwater modeling system (GMS) and prevention and control of mine water [J].
Mining Safety & Environmental Protection,2005,32(2):25-26.(in Chinese)
- [16] 马从安,李克民,石磊,等.Visual MODFLOW 在露天矿地下水模拟中的应用[J].环境工程,2011,29(2):98-101.
MA Cong'an,LI Kemin,SHI Lei,et al.Application of visual MODFLOW in simulation of of an opencast mine underground
water [J].Environmental Engineering,2011,29(2):98-101.(in Chinese)