

文章编号: 1001-1986(2010)02-0023-05

# 华北东部深部岩溶及煤矿岩溶水害特征

虎维岳

(煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 针对我国华北东部煤矿井开采深度迅速增加, 矿井岩溶水害日益加重的客观问题, 文章分析讨论了深矿井开采的基本概念, 通过统计分析, 得出中国东部主要煤矿井目前开采深度达到 600 m 左右且以 12 m/a 左右的速度向深部延伸的变化趋势。从华北东部地区沉积古地理环境与地壳运动演化史方面分析了该地区厚层奥陶纪灰岩的形成及其后期岩溶发育过程。通过对研究区几个重点矿区揭露的奥陶系灰岩岩溶发育特征在穿层和顺层方向上随深度变化规律的分析, 揭示出华北东部主要煤矿区奥陶系灰岩岩溶发育特征在垂向上具有弱-强-弱和顺层方向上随埋深具有由强到弱的变化规律。提出了华北东部煤矿深部开采将面临的岩溶水害问题及其防治水技术思路。

**关键词:** 华北东部; 深部采煤; 岩溶水; 水害防治

**中图分类号:** P641.4; TD741 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.02.006

## The characteristics of karst and deep coal mine karst water hazards in eastern North China

HU Weiyue

(Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Focused on the problems of karst water hazard with mining depth, the paper discusses the concept of deep coal mining. The present mining depth reaches about 600 m and increases 12 m per year in key coal mines of eastern North China on the basis of on statistical information. Karst process and karst results of Ordovician limestone in eastern North China coal mine were analyzed from historical sedimentary environment and geological evaluation. The karst extent changed with the regularity of weak to strong to weak in vertical section and strong to weak along the same rock layer with depth in the coal mine region on the basis of observation and survey information. Some suggestions for deep coal mine water control are given.

**Key words:** eastern North China; deep coal mining; karst water; water hazardous prevention

岩溶水害是威胁我国华北地区石炭二叠系煤炭资源安全开采的主要灾害之一。长期以来, 煤矿水文地质工作者针对华北奥陶系灰岩岩溶发育规律及其煤矿岩溶水害防治技术做了大量研究工作。王梦玉、李金凯、项远法等教授研究了岩溶陷落柱发育条件、岩溶矿井水害形成机理等<sup>[1-4]</sup>, 得出了华北奥陶系岩溶发育的垂直分带性特征和构造对岩溶陷落柱发育的控制作用等结论。B.A.Luke、Ford D.C.等研究了岩溶发育特征的探测技术方法<sup>[5-7]</sup>, 提出了利用地球物理及其同位素示踪等探测岩溶发育特征的技术方法。近年来, 华北东部煤矿开采深度快速增加, 煤层底板岩溶水害日益加重, 因此, 对煤矿区深部岩溶发育特征、岩溶水深循环条件、特别是奥

陶系岩溶发育强度随埋藏深度的变化规律及其形成机理的研究显得十分迫切。本文通过对华北地区古地理环境演化过程分析, 结合重点岩溶大水矿区揭露的岩溶特征资料, 分析研究了华北东部深矿井岩溶及煤矿井岩溶水害特征, 得出一些有意义的结论。

### 1 华北东部煤矿井深部资源开采状态

所谓深部开采的界定只是个相对概念, 从地质学的概念来说, 大深度指的是地表以下一定的距离。不同的学者从不同的工程性质出发, 对大深度有着不同的理解和认识。对于一般的地下工程而言, 大深度是指开挖工程将导致围岩中出现超应力状态, 从而产生岩体的破坏和失效。按照这种理解, 一个矿

收稿日期: 2009-11-04

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006CB202205); 国家自然科学基金项目(40772163)

作者简介: 虎维岳(1963—), 男, 甘肃镇原人, 博士, 研究员, 博士生导师, 从事水文地质与工程地质科研和教学工作。

井开采深度能否被认为深,主要取决于矿山工程部位的岩体强度。不同强度中的采矿工程对大深度的理解是不一样的。如花岗岩、变质石英岩等高强度岩体,深度超过 1 800~2 000 m 的矿山才被认为是大深度(如南非、印度和加拿大等的金矿)<sup>[8]</sup>。而对于岩体强度相对较小的砂、泥岩类煤矿,采掘深度超过 500 m 时则被认为就是深矿井了。即使同样针对煤炭资源开采,因各国煤矿地质条件与开采条件的差异,对深度标准的界定也不一样。据相关资料表明,英国与波兰煤矿把深部开采的起点定为 750 m;日本定为 600 m;俄罗斯定为 800 m;德国煤矿则把 800~1 200 m 定为深部开采,而把 1 200 m 以下者称为超深开采或大深度开采。我国煤矿以井工开采为主,井工矿井数量占总生产矿井数量的 98% 以上,生产能力占总产能的 95% 以上。特别在我国华北东部,几乎所有矿井采用井工开采,近年来,中国的煤矿开采深度快速增加,2004 年平均开采深度为 422 m,2006 年平均开采深度 455 m,其中华北东部地区平均开采深度达到 647 m。且平均每年采深增加 10~20 m<sup>[9]</sup>。图 1 所示为我国华北中东部地区国有重点矿井 2006 年开采深度分布情况。目前,我国已有 33 对矿井开采深度超过 1 000 m。随着矿井开采深度的增加,高压、高地温、高地压的问题日益严重。

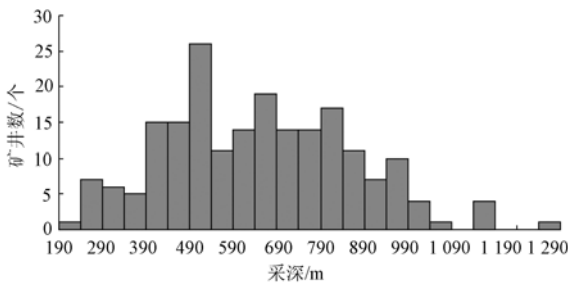


图 1 华北东部不同采深煤矿数量分布图

Fig. 1 Coal mines with different depth in eastern North China

## 2 华北东部奥陶系灰岩岩溶发育的古地理环境与地质演化史

华北地区自古生代以来约 6 亿 a,大致上可分为 4 个地质时期,包括两个主要沉积期和两个主要剥蚀期,每个时期大约经历 1.5 亿 a<sup>[10]</sup>,在这 4 个时期,奥陶系马家沟灰岩先后经历了沉积成岩、溶蚀破坏、充填胶结和再度溶蚀破坏的过程(图 2)。目前看到的岩溶结果是历史岩溶作用和岩溶叠加的产物。

华北地区奥陶纪主要为陆表浅海相沉积环境,为巨厚可溶性灰岩的形成创造了良好的地质地理环境,是奥陶系灰岩的建造期。马家沟灰岩沉积后不久就受到加里东运动的影响,使得该地区大面积抬升露出水面,海水退出,陆地抬升,开始了长达 1.5 亿 a 的加里东运动剥蚀期,加里东期的古岩溶组成部分是马家沟灰岩顶部的古剥蚀面以及同它联系着的古溶蚀带及残留堆积物,其主要特点是:剥蚀面具有平行不整合性质,剥蚀面的负地形区普遍发育山西式铁矿和铝土页岩,总厚 10~30 m。这是马家沟灰岩顶面长期接受风化的证据。其次,由于加里东剥蚀期的华北古地台非常平缓,地形起伏不足 20 m,所以,该时期本区地下水交替十分缓慢,加之地貌表层覆盖有 10~30 m 的铝土层,岩溶发育强度实际上比较微弱,只是在南北陆台隆起带和边缘地区岩溶发育相对较强。加里东运动后期,马家沟灰岩也从遭受剥蚀和岩溶转化为接受充填、胶结,且这种充填和胶结在强烈的还原环境中进行。形成了黄铁矿,马家沟灰岩古剥蚀岩溶被方解石大量充填,岩石的岩溶裂隙率降低,渗透性减弱,这是目前多种资料证明马家沟灰岩顶部岩溶充填充分,岩层渗透性差的根本原因。

从中石炭纪开始,华北地区接受了从本溪组到石千峰组巨厚煤系地层的沉积,初期为海陆交互相

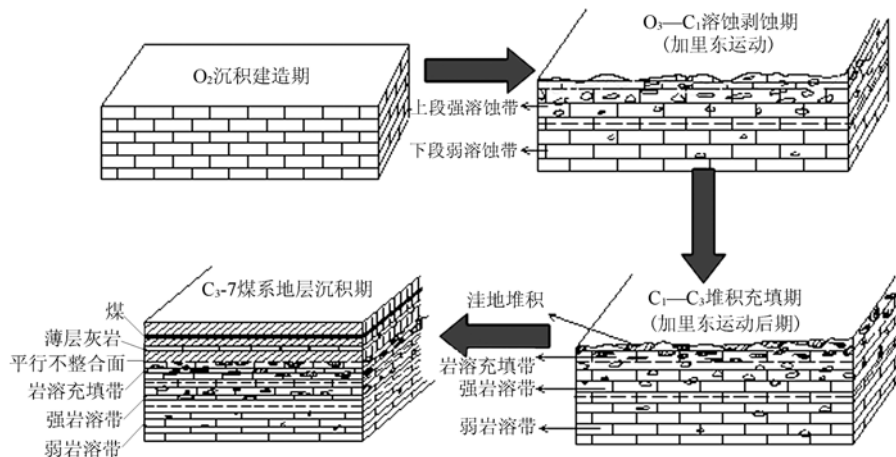


图 2 华北东部地区奥陶纪灰岩岩溶化过程演变示意图

Fig. 2 Sketch of karst evolution of Ordovician in easter North China

沉积,后转化为内陆河湖相沉积,这一时期沉积了多个薄层灰岩地层和煤层。到了中晚石炭纪,华北地区地形开始振荡式下降,该区出现了海、陆、湖交互式环境,气候湿润,植被繁茂,形成了薄层灰岩、煤系、泥岩、砂岩互层的沉积建造。这一时期沉积建造的最大特点是虽然地层相变较大,但沉积厚度在横向上分布稳定,说明当时地壳虽有下降,但下降幅度微弱,且带有缓慢的振荡式,地形总体为北高南低,南部受海侵的频次要多于北区,这点可从石炭系薄层灰岩的发育频次规律中获得反映(淮南地区发育薄灰12层,徐州地区发育薄灰11~13层,淄博和山西地区发育薄灰4~5层,开平(唐山)地区发育薄灰2层<sup>[11]</sup>)。到了晚石炭和二叠纪,华北地区地面又开始缓慢下降,进入了滨潜海环境,由于海陆环境的交互出现,沉积了大量的薄层灰岩和煤系地层。

大约从侏罗纪开始,本区受燕山运动影响,再次上升剥蚀,早晚古生代灰岩地层一起卷入燕山造山构造体系,这一时期大陆的不断抬升,地形高差加大,水循环和水交替活动加剧,岩溶发育强度大且连续,膏溶角砾岩层、岩溶陷落柱等都是这一时期的地质活动产物,岩溶陷落柱中充填着晚古生代沉积岩石说明了主要岩溶活动发生在晚古生代后期。所以这一时期的地形、构造及其水循环条件是控制岩溶发育特征的主要因素。华北二叠纪时,除了局部地区有海侵以外,基本上脱离了海洋环境,地形条件逐渐转入内陆盆地状态。地形由沼泽低地向河湖盆地转化,气候由潮湿向干燥转化。

到了三叠纪以后,发生了强烈的地壳运动和火山活动,出现北北东或北东向排列的小盆地。断裂活动频繁,岩层发生褶皱和倾斜,地形起伏加剧,河湖发育,地下水循环加剧,河流、地貌、断裂控制着地下水循环特点,深循环水造成现代岩溶的发生。古岩溶化可溶岩抬升裸露地面后,在浅部露头区受到垂直水流的作用,已经充填的古岩溶再次遭受现代岩溶作用,形成现代岩溶带。较深部的加里东期未被充填的古岩溶受分异岩溶的叠加作用,形成岩溶暗河、大的岩溶洞穴,大量的岩溶陷落柱正是这一时期的岩溶产物。形成分异岩溶和叠加岩溶带。

### 3 煤矿区岩溶发育强度随深度变化特征

根据华北地区岩溶发育的地质历史、古气候环境演化史和岩溶过程的优先分异现象和叠加效应原理分析可知,我国华北东部地区主要断陷盆地控制的煤矿区,其底板主要岩溶含水层岩溶发育特征受古岩溶和现代岩溶的共同作用,现代岩溶主要是在古岩溶的基础上,通过岩溶分异和岩溶叠加作用,进一步使得岩溶非均匀化,同时奥陶系灰岩顶部的古岩溶遭受到较为强烈的充填胶结作用,使得其渗透能力大幅度降低。总之,现今的深部岩溶特征是古岩溶、现代岩溶、岩溶分异、岩溶后期充填等共同作用的结果,岩溶发育特征无论是顺层或穿层方向上随埋藏深度都具有一定的变化规律,且这些变化规律在许多矿井揭露的岩溶现象中得到了证实。图3所示为该几个矿区揭露的奥陶系灰岩岩溶发育强度在穿层方向上随深度的变化规律。

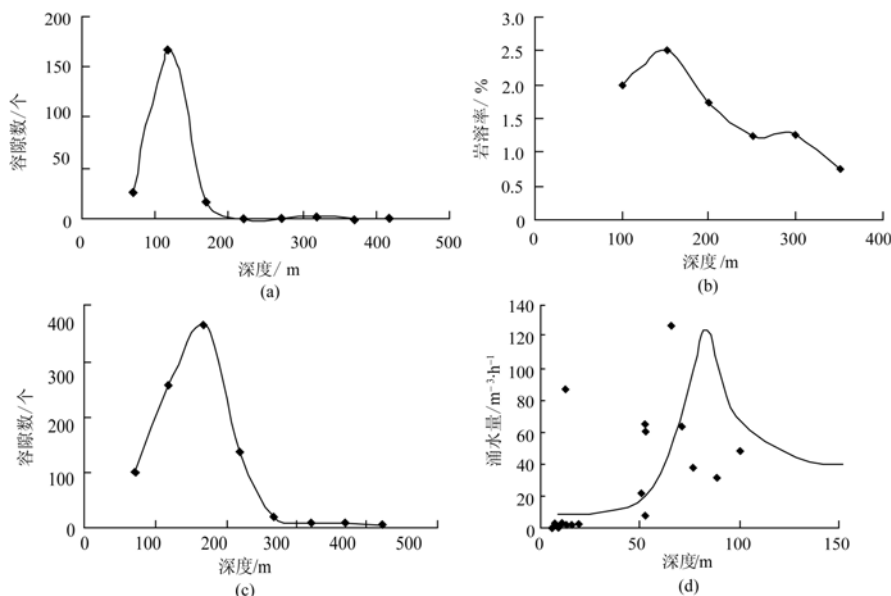


图3 华北东部几个矿区揭露的奥灰岩溶随穿层深度变化规律

Fig. 3 Karst intensity with depth in across section of Ordovician limestone in eastern North China's coal mines  
a—峰峰矿区上段; b—焦作矿区; c—峰峰矿区中段; d—兖州矿区

由上述不同矿区实际观测资料可以看出，对于巨厚层的奥陶系灰岩而言，在穿层方向上，随着深度的增加，其岩溶发育强度普遍表现出由弱到强再到弱的变化规律。其实，岩溶发育的本来规律是由浅而深呈现出由强到弱的特点，上述规律的出现，主要是奥陶系顶部岩溶后期充填的结果，由于奥陶系顶部岩溶的后期充填作用，使得其在穿层方向上顶部岩溶空隙率大大降低，从而形成了岩溶发育强度在穿层方向上随深度的增加普遍表现出由弱到强再到弱的变化规律。

图 4 所示为华北东部主要煤矿区揭露的奥陶系

灰岩在顺层方向上岩溶发育强度随埋藏深度的变化规律。奥陶系灰岩同一层位随着埋藏深度的增加，其岩溶发育强度呈现出由强变弱的基本规律，这主要是浅部岩溶属于古岩溶与现代岩溶共同叠加的结果，而到了深部，现代岩溶作用强度较弱，揭露的岩溶主要为未被充填的古岩溶。

综上所述，华北东部主要煤矿区奥陶系灰岩岩溶发育强度(具有透水能力的岩溶空隙)随着埋藏深度的变化，其灰岩岩溶发育强度沿顺层方向和穿层方向上具有不同的变化规律，岩溶发育的具体变化和分布规律具有图 5 所示特点：

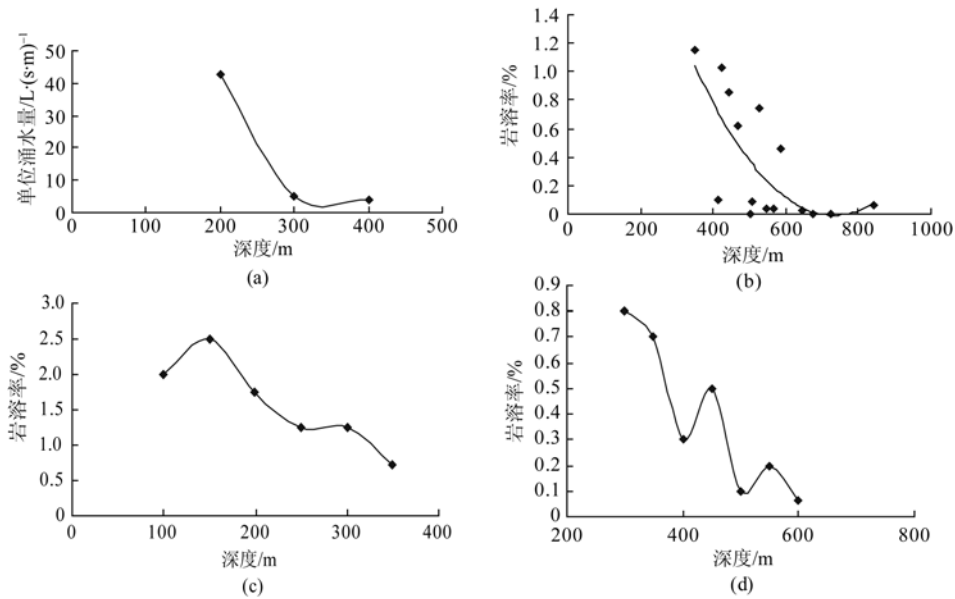


图 4 华北东部几个矿区揭露的奥灰岩溶随顺层深度变化规律

Fig. 4 Karst intensity with buried depth along the same layer of Ordovician limestone in eastern North China's coal mines

a—峰峰矿区; b—兖州矿区; c—焦作矿区; d—开滦矿区

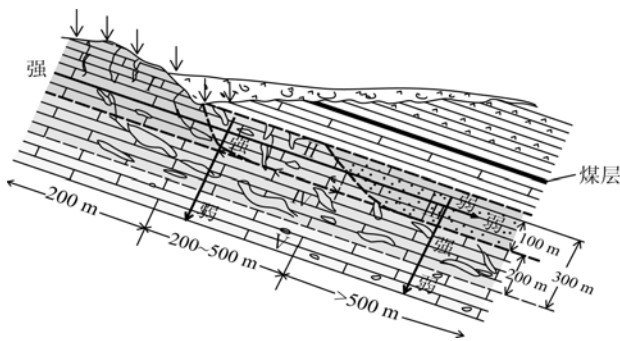


图 5 华北东部奥灰岩溶发育特征随深度分带变化规律示意图

Fig. 5 Karst characters of Ordovician lime stone in eastern North China

a. 裸露露头及浅部隐伏露头上段区(< 200 m)，为现代岩溶强烈发育区。这一区域为大气降水直接补给区和第四系潜水含水层覆盖层下的渗漏补给区，地下水垂直运动循环交替强烈，含水层一般属

于非饱和的包气带，地下水位具有明显的季节性变动，水循环对可溶岩具有生物化学溶蚀和机械侵蚀双重作用。现代岩溶在古岩溶基础上正在发育。

b. 中深部(200~500 m)厚层灰岩上段区，为古岩溶充填物冲刷和现代岩溶发育区。地下水处于垂直运动和水平运动的过度区，地下水运动的水力梯度较大，地下水流速较快，岩溶发育强烈，部分已充填的古岩溶被重新冲刷，灰岩上部的充填带不明显，对矿井浅部开采带来严重的水害威胁。

c. 深部(>500 m)厚层灰岩上段区，为古岩溶充填区。该区段地下水循环交替弱，地下水转为以顺层运动循环为主，驱使地下水运动的水力梯度较小，地下水循环速度较缓，由于岩溶分异作用，灰岩上部古充填带中水循环极弱。

d. 厚层灰岩中段区，为古岩溶和现代岩溶叠加发育区。地下水转为以顺层运动循环为主，驱使地

下水运动的水力梯度较小,地下水循环速度较缓,但由于岩溶分异作用,深循环地下水主要运动于古岩溶空洞之中,形成岩溶叠加效果,大型岩溶暗河和岩溶陷落柱主要发育于该层位段。

#### 4 华北东部深矿井岩溶水害特征及防治水技术思路

华北东部地区存在岩溶水害的矿井,随着开采深度的增加,矿井岩溶水害发生的条件会产生较大变化,这种变化主要表现在几个方面:一是随着岩溶含水层埋藏深度的增加,地下水补给条件明显变弱,深部岩溶水循环条件变差,地下水动态补给量不足,一旦发生矿井岩溶水突水,往往在突水初期含水层水压很大,突水量较大,对矿井的威胁和冲击很大,随突水过程的进行,突水量会很快减小。二是当岩溶含水层埋藏深度超过 500 m 时,由于受现代岩溶改造较小,在奥陶系灰岩顶部普遍发育有厚度不等的古岩溶充填胶结层,由于该层往往具有较好的隔水性能,所以,在评价矿井水文地质条件时,应把其与煤层底板隔水岩层一并视为隔水层,这样,虽然到深部岩溶水压增加了,但隔水层的厚度也有不同程度的增加,会大大改善矿井的突水水害条件。三是随深度的增加,含水层水顺层向深部运动的阻力会明显加大,这将导致地下水在深部具有穿层向浅部越流的趋势,增加了高压岩溶水对煤层底板隔水层的侵入破坏力,从而增加了采煤工作面底板突水的危险性。四是深部岩溶水文地质条件勘探难度明显增大,主要表现为现行的地面勘探钻孔难以有效穿越浅部煤层采空区而进入深部含水层、地面地球物理勘探技术难以解决浅部采空区屏蔽问题、井下探放水钻孔存在孔口高压水的安全控制技术难题等。五是深部开采疏水降压难度加大,很难实现大降深预疏水技术,现有评价底板突水条件的突水系数及其防水煤岩柱留设技术规范都难适应深部开采环境,缺乏新的有效的相关技术规程规范。

针对深部岩溶水及其水害发生条件的特点,提出在深部煤炭资源开采防治水过程中,应减少采用

疏水降压技术,充分勘探试验利用奥灰顶面风化充填带,研究分析煤层底板隔水岩层与奥灰顶面风化充填带双层隔水层对高压水的综合阻抗能力,积极进行带水压开采防治水技术;研究尝试对奥陶系灰岩含水层进行自压式泄水泄压,将泄压系统与地面清水供给系统结合起来,实施供排结合,避免将疏泄水与矿井污泥水混排。积极探索和研究尝试对奥陶系灰岩含水层进行层控注浆改造(只改造厚层灰岩顶部有限厚度),以改造其水文地质性质,提高改造层段的阻水能力,进而为带压开采创造有利条件。

#### 参考文献

- [1] 《中国北方岩溶地下水资源及大水矿区岩溶水的预测、利用与管理的研究》项目综合组.中国北方岩溶含水介质研究[J].中国岩溶,1990,9(4):318-329.
- [2] 王梦玉,章至洁.北方煤矿床充水与岩溶水系统[J].煤炭学报,1991,16(4):1-13.
- [3] 李金凯,周万芳.华北型煤矿床陷落柱作为导水通道突水的水文地质环境及预测[J].中国岩溶,1989,8(3):192-199.
- [4] 项远法.陷落柱突水力学模型[J].煤田地质与勘探,1993,21(5):36-39.
- [5] LUKE B A, CHASE D S. Detecting caves using seismic surface waves: A Feasibility study [C]// The Engineering Geology and Hydrogeology of Karst Terranes: Proceedings of the Sixth Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, Springfield, Missouri, 1997: 6-9.
- [6] JENNINGS J N. Karst geomorphology [M]. U.K.: Basil Blackwell, 1985.
- [7] FORD D C, EWERS R O. The development of limestone caves in the dimensions of length and depth[J]. Can. J. Earth Sci., 1978, 15: 1783-1798.
- [8] 刘同有,周成浦.矿山地质力学与环保[R].金川有色金属公司研究报告,1996.
- [9] 虎维岳,何满潮.深部煤炭资源及其开发地质条件[M].北京:煤炭工业出版社,2008.
- [10] 傅英祺,叶鹏遥,杨季楷,等.古生物地史学简明教程[M].北京:地质出版社,1981:147-249.
- [11] 王梦玉.中国北方岩溶分布及发育规律研究报告[R].煤炭科学研究总院西安分院,1989.