

# 模糊综合评价法在实物地质资料筛选分级中的应用： 以我国锡矿实物地质资料为例

易锦俊<sup>1,2</sup>，张新元<sup>3</sup>，季根源<sup>2</sup>，杨 兵<sup>2</sup>，孔令湖<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 国土资源实物地质资料中心, 河北 三河 065201; 3. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

**摘 要:** 矿产实物地质资料的筛选分级是实物地质资料采集、收藏的必要环节。本文在前人研究的基础上,引入模糊综合评价法,以地质特征、成矿背景和经济特征 3 类 8 项为评判因素,建立矿产实物地质资料的筛选分级评判模型。同时,以我国典型锡矿床为例,根据锡矿床的成矿背景、成矿区(带)、成矿时代、成因类型等资源分布特征,采用模糊综合评价法对锡矿实物地质资料进行筛选分级。结果表明,利用模糊综合评价法进行筛选分级是一种较为有效的手段。

**关键词:** 实物地质资料; 模糊评判; 锡矿资源; 成矿时代; 成因类型

**中图分类号:** P621 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4051(2016)07-0138-06

## The application of fuzzy comprehensive evaluation method in the mineral physical geological data: taking an example of tin-ore physical geological data in China

YI Jin-jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Xin-yuan<sup>3</sup>, JI Gen-yuan<sup>2</sup>, YANG Bing<sup>2</sup>, KONG Ling-hu<sup>2</sup>

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;  
2. Cores and Samples Centre of Land and Resources, China Geological Survey, Sanhe 065201, China;  
3. Development Research Center, China Geological Survey, China Geological Survey, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Resource distribution characteristics are considered as main factors for mineral physical geological data screening. In this paper, with comprehensive consideration of influence of various factors on the physical geological data screening, comprehensively fuzzy evaluation method is introduced on the basis of predecessors' research. Furthermore, the principle of screening classification for mineral physical geological data is established by the evaluation factors which include 8 items of 3 categories such as geological characteristics, metallogenic background and economic characteristics. Meanwhile, taking an example of China tin deposit, we selected and classified typical Chinese tin deposits according to the screening and grading principle by systematically analysis of resource distribution characteristics such as the metallogenic background, metallogenic zones (belts), metallogenic epoch, genetic types. Results showed that, fuzzy evaluation is a relatively more effective method for classified screening due to the great fuzziness of the evaluation factors themselves on the tin physical geological data.

**Key words:** physical geological data; fuzzy evaluation; tin-ore resources; metallogenic epoch; genetic types

收稿日期: 2015-12-07

基金项目: 中国地质调查实物地质资料汇交监管与筛选示范项目资助(编号:12120114080601)

作者简介: 易锦俊(1984-),男,汉族,江西余江人,博士研究生,工程师,攻读中国地质大学(北京)岩石学、矿物学、矿床学专业,主要从事矿床地质研究和实物地质资料管理工作。E-mail:282062982@qq.com。

实物地质资料的筛选分级是实物地质资料采集、收储并提供服务的必经环节,它是按照一定的原则和程序,从地质工作产生的大量实物地质资料中,挑选出各级馆藏机构藏品的过程。根据实物地质资料代表性、典型性、特殊性的原则,我们可以筛选出 I 类、II 类、III 类三个等级的实物地质资料。

前人对实物地质资料的筛选分级进行了大量的研究,包括实物地质资料筛选分级的意义、因素和原则<sup>[1-4]</sup>,以及国家实物地质资料库矿床名录的确定<sup>[5-7]</sup>等。但这些研究成果均未从实际操作的角度解决实物地质资料的筛选分级问题。尤其是矿产实物地质资料的筛选,常用的方法是以矿产资源分布等地质因素的综合考量来划分其等级,这是一种以个体经验为依据的定性评判,具有很大的偶然性和主观性。而模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评判方法,它根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,具有结果清晰、系统性强等特点,适合各种非确定性问题的解决<sup>[8]</sup>。因此,它为受多因素影响的实物地质资料筛选分级提供了一种新的手段。本文以我国典型锡矿床为例,

在分析我国锡矿资源总体分布特征的基础上,尝试应用模糊综合评价法开展实物地质资料的筛选分级研究,以期为全国实物地质资料的筛选工作提供借鉴和参考。

### 1 评判模型的建立

前人的研究表明,资源分布特征(包括成矿区(带)、成矿时代、成因类型等方面)是矿产实物地质资料筛选的主要考虑因素<sup>[4-7]</sup>。根据前人对固体矿产实物地质资料筛选的研究成果,结合当前地质工作的服务需求,笔者选取地质特征、成矿背景和经济特征 3 大类共 8 个要素作为筛选分级评判因素。

由于各评判因素变量都是离散型的,其隶属度和权重的确定均采用专家打分的形式。各因素的评判标准见表 1。

表 1 评价因子及分级标准

因素	等 级		
	I 类	II 类	III 类
地质特征	①矿床规模	大型以上	小型
	②成因类型	罕见	非常常见
	③成矿时代	重要	其它
成矿背景	④构造背景	罕见	非常常见
	⑤成矿区带	重要	其它
经济特征	⑥矿种	研究对象为主要矿产的多金属矿床	研究对象为难开矿产的多金属生矿床(选冶困难等)
	⑦矿山现状	计划关闭的矿山	正在开采的矿山
	⑧勘探程度及找矿远景	前期勘探程度有限,找矿远景很好	前期勘探活跃,找矿远景较好
			前期勘探程度很高,找矿远景小

具体综合评判步骤如下所示。

- 1) 确定因素集  $U = (U_1, U_2, U_3)$ 。
- 2) 确定评判集  $V = (V_1, V_2, V_3, V_4)$ 。
- 3) 进行单因素评判,得到隶属度矩阵。

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix}$$

4) 确定各因素的权重值;计算综合评判向量,对于权重  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ ,计算  $B = A \cdot R$ 。

5) 根据最大隶属度原则作出评判。

### 2 模型应用

中国是世界上锡矿资源最丰富的国家<sup>[9]</sup>,锡矿作为国家优势矿种和重点矿种,笔者认为十分有必要以我国典型锡矿床为研究对象、利用模糊综合评价法对其进行实物地质资料的筛选分级研究。

#### 2.1 中国锡矿资源总体分布特征

##### 2.1.1 成矿构造背景和重要成矿区(带)

受大地构造的强烈控制,我国锡矿床主要沿几

个特定的大地构造部位呈带状集中分布,特别是板块俯冲碰撞所形成的环太平洋、特提斯—喜马拉雅、天山—大兴安岭等深断裂体系和造山带<sup>[10-12]</sup>。集中分布的锡矿床由此形成了 5 大锡矿成矿区(带)<sup>[13]</sup>:华南锡多金属成矿区、东南沿海锡矿成矿带、三江锡矿成矿带、扬子地台西南缘锡矿成矿区、大兴安岭锡多金属成矿区。

华南锡多金属成矿区集中了我国大部分的锡矿资源,分布有一系列的大型、超大型矿床,如世界闻名的个旧、大厂、柿竹园超大型矿床均分布于该区域;而三江锡矿成矿带、扬子地台西南缘锡矿成矿区、大兴安岭锡多金属成矿区则仅零星分布几个大型矿床,资源储量占比相对较小;同时,在准噶尔造山系、天山造山系、秦岭造山系、东昆仑造山系、祁连造山系等地区也有少量锡矿床分布。

##### 2.1.2 成矿时代

除新生代为砂锡矿外,中国原生锡矿大部分与各时代花岗岩有关,各时代的锡矿床时空分布特点

突出,一般认为其成矿时代主要有:元古宙、加里东期、海西期、印支期、燕山期和喜马拉雅早期<sup>[13-15]</sup>。

中国锡矿成矿时代以燕山期为主,该期锡矿资源储量占比很大,而第四纪次之,接下来依次为元古宙、喜山期、加里东期等<sup>[13]</sup>。但是,近年来的一些研究表明,华南地区可能广泛存在印支期的锡成矿作用<sup>[14-21]</sup>,这表明印支期可能也是我国锡成矿作用的一个重要时代。

### 2.1.3 成因类型

锡矿主要有原生锡矿和砂锡矿两类,我国的锡矿资源以原生锡矿为主。研究和统计表明,我国原生锡矿床大多都与花岗岩类岩体有关,而东南沿海的西岭式矿床则与火山一次火山热液有关<sup>[13-14,22]</sup>。据此,我国原生锡矿床主要分为砂卡岩型、石英脉型、锡石-硫化物型、云英岩型、伟晶岩型、岩体型、陆相火山岩型等 7 类。

据统计,砂卡岩型、锡石-硫化物型和石英脉型的锡矿床资源占比相对较多,其次是岩体型、云英岩型锡矿床,陆相火山岩型、伟晶岩型等其它类型较少<sup>[13]</sup>。

### 2.1.4 有益组分

我国大部分锡矿床都含有共伴生的有益组分,这些共伴生元素丰富多样,主要包括铜、铅、锌、钨、钼、银、铋、锑等。据统计,锡矿作为单一矿产形式出现的占比较小,大部分以主要矿产的形式出现,另有相当部分的锡作为共伴生组分开采利用,而矿石中具有工业价值的锡矿物几乎仅有锡石一种,其它锡矿物的采选较难,甚至有部分尚无法利用的“呆矿”,如黄岗式锡铁共生矿床<sup>[23-24]</sup>。

### 2.2 中国锡矿典型矿床概况

根据锡矿资源总体分布特征,为使得筛选分级的研究更有代表性,本文选取了 36 个典型锡矿。这些矿床大部分来自于 5 大锡矿成矿区(带),少部分来自于西秦岭成矿带、东昆仑祁漫塔格铁钨铜多金属成矿带等其它成矿带;既有砂卡岩型、石英脉型、锡石-硫化物型、云英岩型、伟晶岩型等主要成因类型,也涵盖了蚀变底砾岩型、隐爆层间裂隙带型等新类型;选取的矿床以燕山期为主,也有元古宙、喜山期、加里东期、海西期等时代的;既有闻名于世的个旧锡矿、大厂锡矿等,也有新发现的白腊水锡矿、白干湖锡钨矿等(表 2)。

表 2 中国部分典型锡矿一览表

名称	成矿背景		矿床规模	地质特征		矿种
	构造背景	成矿区(带)		成矿时代	成因类型	
个旧锡矿	环太平洋构造域,华南晚加里东造山带,右江褶皱带西缘	华南锡多金属成矿区	特大型	燕山期	砂卡岩型	锡铜(钨)等多金属
大厂锡矿	环太平洋构造域,华南晚加里东造山带,右江褶皱带北东缘	华南锡多金属成矿区	超大型	燕山期	锡石硫化物型	锡锑等多金属
都龙锡矿	环太平洋构造域,华南晚加里东造山带,滇东南褶皱带	华南锡多金属成矿区	超大型	燕山期	锡石硫化物型	锡锌多金属
栗木锡矿	环太平洋构造域,华南晚加里东造山带,桂东北凹陷北东缘	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	岩体型	锡,钨,钼,铋
大垌钨锡矿	环太平洋构造域,华南晚加里东造山带,湘粤北凹陷	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	岩体型	钨,锡
白腊水锡矿	环太平洋构造域,华南晚加里东造山带,湘粤北凹陷	华南锡多金属成矿区	超大型	燕山期	中-高温热液矿床	锡多金属
西坑锡石-伟晶岩型钨钼矿	环太平洋构造域,华南晚加里东造山带,浙中-武夷山隆起	华南锡多金属成矿区	大型	印支-海西期	伟晶岩型	锡,钨,钼,铋,锑
野鸡尾锡多金属矿	环太平洋构造域,华南晚加里东造山带,湘粤北凹陷	华南锡多金属成矿区	超大型	燕山期	斑岩、砂卡岩复合型矿床	锡多金属
来利山锡矿	特提斯-喜马拉雅构造域,羌北-扬子板块,腾冲-梁河弧形构造	三江锡成矿带	大型	喜山期	云英岩型	锡
白干湖锡钨矿	古亚洲洋构造域,东昆仑与阿尔金造山带交汇处,祁漫塔格褶皱带西段	其他——东昆仑祁漫塔格铁钨铜多金属成矿带	超大型	加里东期	石英脉型	锡、钨多金属

续表 2-1

名称	成矿背景			地质特征		矿种
	构造背景	成矿区(带)	矿床规模	成矿时代	成因类型	
新寨锡矿	环太平洋构造域, 扬子地台南缘, 滇东南褶皱带老君山花岗岩北部	扬子地台西南缘锡矿成矿区	大型	晚加里东-印支期	锡石-硫化物型、矽卡岩型	锡多金属
九逢锡矿	环太平洋构造域, 扬子地台南缘, 桂北台隆九万大山穹褶皱带	扬子地台西南缘锡矿成矿区	大型	元古宙	花岗岩型	锡多金属
宝坛锡矿	环太平洋构造域, 扬子地台南缘, 桂北台隆九万大山穹褶皱带	扬子地台西南缘锡矿成矿区	大型	元古宙	云英岩型	锡多金属
西盟锡矿	特提斯-喜马拉雅构造域, 冈底斯-念青唐古拉褶皱系, 昌宁-勐海褶皱带中部	三江锡矿成矿带	中型	喜山期	伟晶岩型、石英脉型	锡、铍、钨
姑婆山锡矿	环太平洋构造域, 扬子板块与华夏板块接合部, 湘南桂东北凹陷	华南锡多金属成矿区	中型	燕山期	矽卡岩型	钨、锡多金属
香花岭锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 湘南粤北凹陷	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	锡石-硫化物型、蚀变底砾岩型	锡、铍、铅、锌
锡田锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 扬子板块与华夏板块间钦-杭结合带中段	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	矽卡岩型、云英岩型、蚀变破碎带型	钨、锡多金属
岔河锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 扬子地台西缘康滇地轴中段	扬子地台西南缘锡矿成矿区	大型	元古宙	矽卡岩型	锡
淘锡坝锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 武夷山后加里东隆起区南段	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	隐爆层间裂隙带型	锡
岩背锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 武夷山后加里东隆起区南段	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	岩体型	锡
大顶铁锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 湘南粤北凹陷	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	矽卡岩型	铁、锡
银岩锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 云开背斜与湘赣粤向斜交接部	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	岩体型	锡(钨、钼)
珊瑚钨锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 湘西南-桂东北隆起	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	石英脉型	锡、钨(银)
措莫隆锡矿	特提斯-喜马拉雅构造域, 羌北-扬子板块, 义敦-香格里拉岛弧	三江锡矿成矿带	中型	燕山期	矽卡岩型	锡
塞北弄锡矿	特提斯-喜马拉雅构造域, 羌北-扬子板块, 北澜沧江逆冲推覆带东侧	三江锡矿成矿带	小型	燕山期	石英脉型	锡
翠宏山铁锡多金属矿	古亚洲构造域, 吉黑地块, 小兴安岭-张广才岭造山带	其他——小兴安岭-张广才岭锡(钨)多金属成矿带	大型	海西期	矽卡岩型	铁、锡多金属
黄岗梁铁锡矿	古亚洲构造域, 西伯利亚地块, 天山-大兴安岭造山系东部	大兴安岭锡多金属成矿区	大型	燕山期	矽卡岩型	铁、锌、锡
毛登锡矿	古亚洲构造域, 西伯利亚地块, 内蒙古华力西晚期褶皱带中部	大兴安岭锡多金属成矿区	中型	燕山期	石英脉型	钼、锡、铜多金属
日龙沟锡矿	特提斯-喜马拉雅构造域, 华北板块, 东昆仑山与西秦岭的交接部位	其他——西秦岭成矿带	中型	燕山期	矽卡岩型	锡、铜多金属

续表 2-2

名称	成矿背景		地质特征			矿种
	构造背景	成矿区(带)	矿床规模	成矿时代	成因类型	
萨惹什克锡矿	古亚洲构造域, 乌拉尔蒙古造山带, 东准噶尔造山带	其它——贝勒库都克锡矿带	小型	海西期	石英脉型	锡
喀孜别克锡矿	古亚洲构造域, 哈萨克斯坦地块, 伊利微板块北东缘	其它——伊利微板块北东缘成矿带	中型	海西期	石英脉型	锡、钨
薄坝地锡矿	特提斯-喜马拉雅构造域, 羌北—扬子板块, 保山—镇康县背斜复合部位东南侧	三江锡矿成矿带	中型	燕山期	石英脉型	锡
漂塘钨锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 武夷山后加里东隆起区南段	华南锡多金属成矿区	大型	燕山期	石英脉型	钨、锡多金属
九毛锡矿	环太平洋构造域; 扬子地台南缘, 桂北台隆南端	扬子地台西南缘锡矿成矿区	大型	元古宙	锡石-硫化物型	锡、铜多金属
厚婆坳锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 潮安—普宁断裂与韩江断裂交汇部位北西侧	东南沿海锡矿成矿带	大型	燕山期	锡石-硫化物型	锡、银、铅、锌多金属
西岭锡矿	环太平洋构造域, 华南晚加里东造山带, 潮安—陂沟构造带南端与肇庆—惠来构造带交接部位	东南沿海锡矿成矿带	中型	燕山期	陆相火山岩型	锡

2.3 锡矿实物地质资料的筛选分级

本文以郴州骑田岭矿田白腊水锡矿为例, 采用模糊综合评价法展示实物地质资料的筛选分级过程。

2.3.1 建立一级模糊评判

根据白腊水锡矿的实际情况(表 2), 通过专家打分, 确定各因素与实物地质资料级别相对应的隶属度(表 3)。由此可得地质特征、成矿背景和经济特征的模糊关系矩阵  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 。

$$R_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.7 \\ 0.6 & 0.3 & 0.7 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0.75 & 0.25 \\ 0.75 & 0.75 & 0.05 \end{pmatrix}$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.75 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \end{pmatrix}$$

由专家打分法确定一级权重矩阵  $A_1$ 、 $A_2$  和  $A_3$ , 具体如下:  $A_1 = (0.4, 0.3, 0.3)$ ;  $A_2 = (0.3, 0.7)$ ;  $A_3 = (0.4, 0.2, 0.4)$ 。

由一级模糊关系矩阵  $R$  与一级权重矩阵  $A$  进行一级评判得到影响实物地质资料筛选分级三大因素的模糊向量  $b_1, b_2, b_3$ :  $b_1 = A_1 \times R_1 = (0.6100, 0.1500, 0.2400)^T$ ;  $b_2 = A_2 \times R_2 = (0.5250, 0.3650, 0.1100)^T$ ;  $b_3 = A_3 \times R_3 = (0.6800, 0.1700, 0.1500)^T$ 。

表 3 各指标隶属度取值表

一级指标	二级指标	I 类	II 类	III 类
地质特征	矿床规模	1	0	0
	成因类型	0.1	0.2	0.7
成矿背景	成矿时代	0.6	0.3	0.1
	构造背景	0	0.75	0.25
经济特征	成矿区带	0.75	0.2	0.05
	矿种	1	0	0
	矿山现状	0	0.25	0.75
勘探程度及找矿远景		0.7	0.3	0

2.3.2 建立二级模糊评判

由  $b_1, b_2, b_3$  组成二级模糊评判的模糊关系矩阵  $B = \begin{pmatrix} 0.6100 & 0.1500 & 0.2400 \\ 0.5252 & 0.3650 & 0.1100 \\ 0.6800 & 0.1700 & 0.1500 \end{pmatrix}^T$ 。

同理由专家打分法(德尔菲法)得出二级权重矩阵:  $C = (0.5, 0.2, 0.3)^T$ 。

最终  $B$  与  $C$  进行二级评判, 求出影响实物地质资料筛选分级 3 个一级影响因素的隶属度矩阵:

$$D = B \times C = (0.6140, 0.1990, 0.1870)^T$$

从综合评判结果可以看出, 根据最大隶属度原则, 白腊水锡矿属于“I 类”水平。

2.3.3 筛选结果

根据上述步骤, 依次将表 2 中 36 个典型锡矿进行综合评价, 最终结果见表 4。

表4 典型锡矿筛选分级表

序号	矿床名称	筛选等级	序号	矿床名称	筛选等级
1	个旧锡矿	I类	19	淘锡坝锡矿	I类
2	大厂锡矿	I类	20	岩背锡矿	I类
3	都龙锡矿	I类	21	大顶铁锡矿	I类
4	栗木锡矿	I类	22	银岩锡矿	I类
5	大坳钨锡矿	I类	23	珊瑚钨锡矿	I类
6	白腊水锡矿	I类	24	措莫隆锡矿	II类
7	西坑锡石-伟晶岩型铌钽矿	I类	25	塞北弄锡矿	III类
8	野鸡尾锡多金属矿	I类	26	翠宏山铁锡多金属矿	I类
9	来利山锡矿	I类	27	黄岗铁锡矿	I类
10	白干湖锡钨矿	I类	28	毛登锡矿	II类
11	新寨锡矿	I类	29	日龙沟锡矿	II类
12	九逢锡矿	I类	30	萨惹什克锡矿	II类
13	宝坛锡矿	I类	31	喀孜别克锡矿	I类
14	西盟锡矿	I类	32	薄坝地锡矿	II类
15	姑婆山锡矿	II类	33	漂塘钨锡矿	I类
16	香花岭锡矿	I类	34	九毛锡矿	II类
17	锡田锡矿	I类	35	厚婆坳锡矿	I类
18	岔河锡矿	I类	36	西岭锡矿	I类

这些典型锡矿床中 I 类 27 个、II 类 8 个、III 类 1 个, I 类、II 类均是各成矿区(带)、成矿时代的重要矿床,基本符合现今国内锡矿床的资源分布特点; 27 个 I 类锡矿床是国家馆藏机构的重点收藏目标,也与国家级锡矿实物地质资料名录基本一致。

### 3 结论

1) 根据前人的研究成果,结合当前地质工作的服务需求,笔者选取地质特征、成矿背景和经济特征 3 大类共 8 个要素作为筛选分级评判因素,并借此建立了实物地质资料筛选分级的评价模型。

2) 根据实物地质资料筛选分级原则,采用模糊综合评价法对我国 36 个典型锡矿床进行了筛选分级,结果表明,利用模糊综合评价法进行筛选分级是一种较为有效的手段。但由于模糊综合评价法中隶属度与权重的确定是关键,隶属度又与各影响因素的参数直接相关,故对各因素参数一定要准确评估。本文采用专家调查法个人主观因素的影响仍然较大,未来应该采用是判断矩阵分析法等方法减少主观判断的影响。

### 参考文献

[1] 李寅,赵世煌. 矿产资源调查评价项目实物地质资料筛选[J]. 地质通报,2003,22(10):814-817.

- [2] 夏浩东,邓会娟,杨富全,等. 国家级矿产实物地质资料的筛选和管理意义[J]. 地质通报,2005,24(10-11):1069-1073.
- [3] 夏浩东,王志强,邓会娟. 中国铜矿主要特点及国家实物地质资料库铜矿床入选名录的确定[C]//刘玉才,李寅,等. 实物地质资料管理论文选编. 北京:地质出版社,2007:73-77.
- [4] 崔立伟,夏浩东,王聪,等. 中国铁矿资源现状与铁矿实物地质资料筛选[J]. 地质与勘探,2012,48(5):894-905.
- [5] 崔立伟,夏浩东,王聪,等. 国家实物地质资料馆馆藏体系建设—以铁矿实物地质资料为例[J]. 中国矿业,2013,22(2):35-39.
- [6] 易锦俊,高鹏鑫. 西澳大利亚州岩心馆矿产岩心筛选准则及其启示[J]. 中国矿业,2013,22(12):117-120.
- [7] 陈新宇,张立海,张晨光,等. 浅谈实物地质资料的筛选[J]. 中国矿业,2014,23(S2):344-348.
- [8] 孟衡. 模糊数学在岩质边坡稳定性分析中的应用[J]. 岩土工程技术,2008,22(4):178-181.
- [9] 张莓. 全球锡矿资源及开发现状[J]. 中国金属通报,2011(32):19-21.
- [10] 杜方权. 华南地壳的演化与锡的成矿作用[J]. 大地构造与成矿学,1987,11(3):233-245.
- [11] 孙虎,王建平,王玉峰,王雄伟. 我国锡矿开发利用现状及可持续发展建议[J]. 资源与产业,2012,14(4):58-62.
- [12] 曹华文,张寿庭,林进展,等. 滇西锡矿带地质特征与成矿构造背景[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2013,40(4):457-467.
- [13] 赵一鸣,吴良士,白鸽,等. 中国主要金属成矿规律[M]. 北京:地质出版社,2004:165-193.

(下转第 156 页)

后不论何时何地使用,仅通过实例化方法引用此模型即可。这种方法不仅能够节省大量内存空间,而且还能提高建模速度。

在实际过程中,应根据实际情况来选用上述优化策略,本研究主要采用了纹理替代技术、实例化等技术。

### 5 模型加载与可视化

模型加载的技术较多,八叉树是三维空间数据划分的数据结构之一,也是大型三维游戏场景管理和虚拟现实地理场景数据管理与渲染的主流技术。它是在满足约束条件的前提下,把指定范围空间作为一个立方体,将其划分为八个小立方体,递归地分割小立方体。这种场景管理渲染技术的优势体现在以下几个方面:①加速局部场景在视域和当前窗体中的可见性查询过程,以便快速剔除不在视域的场景;②加速场景渲染实体的射线查询过程,避免射线与每一个实体以及三角面进行判断。

作为主流的场景管理技术,虽然对一般场景能保障查询效率,但对于具有特殊的空间分布特征数据,效果不是很明显。比如:海量模型数据离散分布、局部空间内数据密集等。因此,还需使用 LOD 等技术对其进一步对其进行改进。

结合 EV-Globe 平台,对各个功能进行集成,可最终实现电缆、通道模型的快速加载与现实,并支持线路规划、编辑等功能。

### 6 结 语

本文针对电缆及通道的三维海量建模技术存在的不足,使用参数化模型、自动化建模技术、弯道建模、LOD 技术、八叉树等技术,实现了海量三维电缆模型的快速化建模、加载、显示、调用,并进一步实现模型编辑和线路规划,对于实现电力建设的数字化、信息化、可视化具有重要的意义。

### 参考文献

[1] 张弛,吴尊东,王少华. 基于 GIS 的电力电缆三维图形可视化管理系统[J]. 浙江电力,2013(6):24-26.

[2] 栾悉道,应龙,谢毓湘,等. 三维建模技术研究进展[J]. 计算机科学,2008,35(2):208-210.

[3] 蒋楠. 三维 GIS 在输电管理中的关键技术应用研究[D]. 成都:电子科技大学,2010.

[4] 郭玉,罗研. 地下管线综合管理系统设计与实现[J]. 测绘与空间地理信息,2015,38(5):134-136.

[5] 赵雅丽. 三维建模技术的研究及其在楼宇结构与管网中的应用[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2007.

[6] 马佳,金尚军. 三维地下管线建模及系统实现研究[J]. 城市建设理论研究,2014(1):182-182.

[7] 郑国平. 城市地下空间信息系统设计及关键技术研究[D]. 上海:同济大学,2004.

[8] 朱学明,曹峰,宋志勇. 基于三维技术的地下管线数据智能化质检系统设计与实现[J]. 现代测绘,2013,36(5):24-26.

[9] 胡莹. 三维建模流程的优化和简化[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2014,37(2):90-94.

\*\*\*\*\*

(上接第 143 页)

[14] 陈毓川,王登红. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京:地质出版社,2010.

[15] 赵龙云. 矿区找矿效果潜力评价与成矿规律及矿床定位预测[M]. 北京:中国矿业大学出版社,2010.

[16] 郭春丽,郑佳浩,楼法生,等. 华南印支期花岗岩类的岩石特征、成因类型及其构造动力学背景探讨[J]. 大地构造与成矿学,2012,36(3):457-472.

[17] 刘耀荣,邝军,马铁球,等. 湖南大义山花岗岩南体黑云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 定年及地质意义[J]. 资源调查与环境,2005,26(4):244-249.

[18] 伍光英,潘仲芳,李金冬,等. 湘南大义山花岗岩地质地球化学特征及其与成矿的关系[J]. 中国地质,2005,32(3):434-442.

[19] 蔡明海,陈开旭,屈文俊,等. 湘南荷花坪锡多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 测年[J]. 矿床地质,2006,25(3):263-268.

[20] 毛景文,谢桂青,郭春丽,等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报,2008,14(4):510-526.

[21] 冯佳睿,毛景文,裴荣富,等. 滇东南老君山地区印支期成矿时间初探——以新寨锡矿床和南秧田钨矿床为例[J]. 矿床地质,2011,30(1):57-73.

[22] 李希勤,杨庄,施琳,等. 中国锡矿床[C]//中国矿床编委会. 中国矿床(中册). 北京:地质出版社,1994:105-186.

[23] 韦栋梁,何绘宇,夏斌. 对我国锡矿业发展的几点思考[J]. 中国矿业,2006,15(1):58-61.

[24] 刘月,林海,董颖博,等. 锡选矿过程重金属污染源分析[J]. 有色金属工程,2014,4(1):60-63.