

沉积型铝土矿预测方法及其影响因素

——以贵州省铝土矿为例

陶 平^{1,2}, 许启松³, 刘 坤³

TAO Ping^{1,2}, XU Qi-song³, LIU Kun³

1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074;

2. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550004;

3. 贵州大学, 贵州 贵阳 550003

1. *China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;*

2. *Guizhou Academy of Geological Survey, Guiyang 550004, Guizhou, China;*

3. *Guizhou University, Guiyang 550003, Guizhou, China*

摘要:以全国矿产资源潜力评价技术要求为基础,以贵州省铝土矿预测方法为实例,在简述国内沉积型铝土矿矿床类型、特征和预测方法的基础上,重点论述了地质单元法、网格单元法中划分预测单元、拟选预测要素和赋值的方法,以及地质填图精度、矿床特征、地-物-化-遥等信息对矿产预测的影响。该网格单元法考虑因素较全面,应用信息较充分,预测精度达到了矿体-矿床级。

关键词:沉积型铝土矿;预测方法;影响因素;贵州

中图分类号: P618.45; P612

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2010)10-1533-06

Tao P, Xu Q S, Liu K. The prediction methods and its influencing factors of the sedimentary bauxite resource, taking bauxite resource of Guizhou Province, China as an example. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(10): 1533-1538

Abstract: According to the technical requirements of national mineral resources potential evaluation, this article, taking the bauxite resource prediction in Guizhou Province as the example, this paper focuses on the prediction units division of the geological-unit and grid-unit method, the selection of essential factors for prediction, assigning value to essential factors as well as discussion of the influence of geological mapping scale, the characteristics of mineral deposit, geophysical and geochemical remote sensing information on mineral resource prediction, with the introduction of mineralizing types and its characteristics, prediction methods of sedimentary bauxite resource in China. This grid-unit method has considered the most essential prediction factors, and its accuracy has reaches to each single orebody or deposit.

Key words: sedimentary type bauxite deposit; prediction method; affecting factors; Guizhou Province

贵州省铝土矿主要分布于黔北务川—正安—道真(简称“务正道”)、遵义—开阳和黔中、黔东凯里地区,其潜力评价成果报告在 2009 年底全国潜力评价成果报告示范性验收会上评为优秀,其中的矿产预测方法得到专家的充分肯定。笔者作为该项目的成员,以此为实例,以全国矿产资源潜力评价技术要求

为基础,进一步探讨沉积岩型铝土矿的预测方法及其影响因素。

1 沉积型铝土矿的特征及其预测方法

1.1 沉积型铝土矿矿床类型和特征

沉积型矿床成矿主要受沉积成矿作用的影响,

收稿日期:2010-04-03;修订日期:2010-09-19

地调项目:中国地质调查局项目《全国矿产资源潜力评价》的子项目《贵州省矿产资源潜力评价》(编号:1212010813023)资助

作者简介:陶平(1960-),男,研究员,从事矿产地质、基础地质调查及研究。E-mail: pingtao666@sina.com

往往受地层层位、岩性与岩相的控制,可细分为沉积型(狭义)、第四纪沉积型、沉积内生型3类。

据《中国矿床》^[1],中国铝土矿矿床成因分类分为古风化壳沉积型和红土型铝土矿两大类,分别相当于上述(狭义)沉积型和第四纪沉积型。其中,古风化壳沉积型占了绝大多数,为98.33%,可细分为修文式(碳酸盐岩基底上的异地堆积)、新安式(碳酸盐岩基底上的原地堆积)、平果式(碳酸盐岩基底上的原地堆积—现代喀斯特堆积)和遵义式(铝硅酸盐岩基底上的原地残积)4类,分别占古风化壳型沉积型的74.76%、5.00%、15.04%、5.20%。它们在贵州都有分布,但以修文式和遵义式为主,次为新安式。因此,贵州铝土矿绝大多数为古风化壳沉积型,在国内很有代表性。

论成矿系列,贵州铝土矿可据王世称^[2]归类为沉积同生成矿系列,其含矿岩系主要受沉积盆地和基底构造的控制,矿体分布主要受层位和岩相古地理的控制,成矿作用主要是沉积成岩作用,成矿影响因素主要为沉积期的地质环境和沉积作用,而第四纪风化沉积作用和内生热液流体作用影响较小。

综合多种资料^[3-7],贵州铝土矿的特征如下。

含矿岩系:从黔中地区向黔北务正道地区地层层位逐渐提高,由下石炭统九架炉组变为中二叠统大竹园组,厚度0~15m。其中,九架炉组主要沉积于寒武系—奥陶系碳酸盐岩岩溶洼地内,大竹园组沉积于石炭系碳酸盐岩岩溶洼地或志留纪碎屑岩侵蚀洼地内。岩性组合多样,主要有粘土岩—铝质岩类组合、铝质岩—粘土岩—铁质岩类组合、粘土岩类组合及硅质岩—粘土岩类组合。

矿体特征:矿体形态一般呈层状、似层状、透镜状,个别小矿体呈囊状、不规则状。矿体产状与地层产状基本一致。矿体沿走向长度100~5054m,沿倾向长度100~1080m,矿体厚度0.8~14.35m。

矿石特征:矿石自然类型有土状、半土状、碎屑状、致密状、豆鲕状等。矿石工业类型有低铁低硫型、高铁型、高硫型、高铁高硫型等;矿石矿物主要为一水硬铝石。矿石品位在不同矿床之间差别较大,从低品位矿石到优质矿石均有。

1.2 沉积型铝土矿预测方法概述

沉积型铝土矿严格受地层层位和岩性的控制,矿体呈层状、似层状产于含矿岩系中。按全国矿产资源潜力评价技术要求,预测方法类型选择

沉积型矿产预测方法,要点是:预测要素主要选与沉积岩特征有关者,预测底图选择岩相古地理图,预测区优选要素主要是岩相古地理参数,定量预测方法为体积法。

笔者根据沉积型铝土矿的特点,在遵循以上方法的大前提下,采用地质单元法、网格单元法2种预测方案,并在许多探索性工作环节中正确分析处理了多种因素,获得了较理想的预测效果。

2 预测单元的圈定方法

2.1 地质单元法

地质单元法是以客观地质体的自然边界圈定预测单元,然后进行矿产预测的方法。在沉积型铝土矿预测中,以含矿岩系自然边界为预测单元边界,以含矿岩系、矿体分布特征和矿体规模、稳定程度确定预测单元的大小和形状。一般,如果含矿岩系面积大、受构造破坏少,矿体规模大、变化小,则预测地质单元可大一些,形状也可简单一些。

贵州铝土矿往往分布于某个向斜或断块中,因此该向斜或断块就可以作为一个预测单元。但是,由于某些向斜或断块过大(面积大于50km²),并且其内各个部位的成矿条件、矿体规模、产出特征有较大的区别,因此可据其区别再细分为几块(面积n~50km²),分别作为一个预测单元,以便提高预测精度。

地质单元法对矿产勘查程度要求较低,开展过矿产远景调查的区域一般都能满足预测要求。但是,该方法的预测精度较低,为矿床级或矿田级。

2.2 网格单元法

网格单元法是将地质体划分为一定尺寸的规则网格,以此作为预测单元进行矿产预测的方法。贵州铝土矿多数达到预查或普查的程度,沿含矿岩系露头的探矿工程或剖面控制密度达400~3200m,同时铝土矿体延伸稳定,沿走向延伸0.n~n km。因此,划分地质单元后,再按2km×2km网格细分为若干个预测单元。显然,网格单元法预测精度远远高于地质单元法,已达到了矿体级—矿床级的预测精度。

笔者认为,沉积型铝土矿一般具规模大、区域延伸稳定、矿体呈层状—似层状产出的特点,因此用网格单元法预测效果较好。网格单元法实质上建立于地质单元法大框架之下,是一项精细化的预测工作,并最终将回归到地质单元法,即最终将按网格单元和

地质单元逐级统计和表达预测资源量,分别指出具体找矿方向和总的资源潜力,其成果分别适宜于大致指导探矿工程布置和宏观指导找矿工作部署。所以,该方法对沉积型铝土矿预测十分有效。

综上所述,可将沉积型铝土矿预测单元类型及其应用条件、找矿意义总结于表 1。

3 预测要素的拟选与赋值

寻找多种信息来源中与成矿和找矿相关的各种有用信息,研究它们对矿产预测可能扮演的角色,然后进行科学合理的筛选、归类、赋值,从而构成预测要素组合并应用于矿产预测,即综合信息矿产预测,是预测工作的核心。研究预测要素是成功地进行预测的重要基础。

3.1 预测要素的拟选

研究预测要素的首要工作是拟选预测要素。据肖克炎等^[8],因为成矿作用具有随机性,相同地质背景的地区不一定会有相同的矿床出现,因此矿产预测评价仅依赖于典型矿床研究和成矿作用对比是不够的,在很大程度上还依赖于对地球物理、地球化学等信息的合理评价。据此,结合贵州铝土矿成矿作用的特点,拟选预测要素时,从成矿背景和成矿要素分析、已知矿床及其找矿标志研究,以及已有物化遥等信息的综合应用等环节入手,初步拟选结果见表 2。

经过表 2 的预测要素研究,初步选取含矿岩系、岩相古地理、次生富集边界等作为定位预测要素,初步选取含矿岩系岩性组合、矿系厚度、矿层厚度、 Al_2O_3 、 A/S 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 TS 等作为定量预测要素,而现有的物、化、遥、自然重砂信息基本不适宜大比例尺铝土矿定量预测,因此落选。

其后,再将预测要素归类或转化为二态变量、离

散变量和连续变量,并通过多元统计分析、图面套合分析方法,研究它们与铝土矿成矿-找矿的关系,从而筛选出最佳预测变量。由此,最终确定的预测要素有含矿岩系岩性组合、亚相、 A/S 、 Al_2O_3 、矿系厚度、矿层厚度等。此外,务正道地区、遵义地区还选了次生富集边界作为预测变量。

3.2 预测变量的赋值

研究预测要素的另一重要环节是对其赋值。预测要素按功能分为定位、定量 2 类,分别用于圈定找矿靶区和预测资源量。按数学形式分为二态、三态、离散和连续变量等,可相互转换,但转换过程中会生成矿-找矿信息的增强或衰减。按信息来源分为地、物、化、遥、矿等多元信息,它们对预测工作的贡献各不相同。通过实践,笔者对预测变量赋值的原则和方法主要有以下体会。

- (1)应尽可能不将连续型预测变量转化为二态变量或离散变量,不将离散型变量转化为二态变量,以便最大限度地保留或揭示丰富的成矿-找矿信息。相应地,在变量研究和矿产预测时所采用的数学模型也要选择能够有效利用成矿-找矿信息者,例如适宜于连续型变量的多元统计分析和数学预测模型。否则,将含矿岩系厚度、矿层厚度、矿石品位等转化为离散变量甚至二态变量再进行矿产预测,无疑将大大衰减所携带的矿产信息。
- (2)对于离散型预测变量,可利用专家经验赋值。例如,不同的岩性组合类型、沉积亚相等对成矿的有利度,可以通过专家经验和理论推测的方式评估它们与成矿的关系后进行合理的赋值。
- (3)对于定位预测变量,按二态变量赋值即可——对成矿有利(例如有含矿岩系分布)赋值 1,无利(例如无含矿岩系分布)赋值 0。
- (4)由于地质工作精度、上覆地层覆盖等原因,

表 1 沉积型铝土矿预测单元类型及其应用条件

Table 1 The prediction-unit and its application conditions of sedimentary type bauxite

预测方法	预测单元的确定方法	预测精度	应用条件	找矿意义
地质单元法	以含矿地质体(如某些向斜或断块)的自然边界为预测单元边界;对于部分面积过大者,据其成矿条件、矿体规模、产出特征等区别划分为数个地质单元	矿床级或矿田级	达到远景调查或预查工作程度	宏观部署找矿工作
网格单元法	在圈定地质单元的基础上,按一定尺寸的矩形网格进一步划分预测单元;对于边部和深部工作程度较低的地段,可用内插法或趋势面分析方法获取数据	矿体级或矿床级	达到预查或普查以上工作程度	既宏观部署找矿工作,又大致指导工程布置

表 2 贵州省沉积型铝土矿拟选预测要素

Table 2 The essential factors for sedimentary bauxite prediction in Guizhou Province

拟选预测要素	分 析 研 究 和 初 步 结 论
(1) 成矿地质环境要素	
成矿时代	中二叠世梁山期大竹园亚期(务正道地区)、早石炭世九架炉组沉积时期(其他地区)。但该要素可用更直观的预测要素——含铝岩系代替
成矿构造背景	上扬子陆块南部被动边缘褶皱带,与成矿没有直接联系,不作为预测要素
岩相古地理	含矿岩系不同沉积相或亚相的成矿有利度不同,是矿产预测的大前提,应作为重要的预测要素:丘陵隆起剥蚀区无铝土矿;滨湖区基本无铝土矿;浅湖区有小型、中型或大型铝土矿;深湖区基本无铝土矿(务正道地区)或有少量铝土矿(其他地区)
沉积期古构造	该要素对沉积成矿作用有一定的影响,但因对古构造研究不够具体,仅推断在个别区域对成矿有控制作用,因此对大比例尺预测的意义很小
古地貌及沉积基底的性质	贵州主要以下古生界碳酸盐岩古风化壳上的岩溶洼地为含铝岩系的沉积基底,但在务正道地区还有以碎屑岩地层为沉积基底者(志留系韩家店组),似乎其成矿条件不如碳酸盐岩沉积基底,但无定论。因预测区难知该要素的详情,故不能作为预测要素
次生富集边界	主要见于务正道地区。该边界以下常为铝土岩,以上则因硅、硫、铁、碳减少和铝的富集而成矿。该边界是由含矿岩系埋深、地形切割、断裂、褶皱构造等因素共同构成的复合变量,在褶皱转折端和断层发育地段,该边界深度可达 700m,而其他地段一般小于 500m
(2) 铝土矿矿床特征	
含矿岩系	下二叠统大竹园组为含矿岩系,为必要的预测要素,即为定位预测变量
岩性组合	含矿岩系剖面结构及岩性组合不同则成矿可能不同:粘土岩-铝质岩类组合、铁质岩-粘土岩-铝质岩类组合常有铝土矿产出;粘土岩类组合、硅质岩-粘土岩类组合基本无铝土矿
含矿岩系厚度	务正道和遵义地区含矿岩系厚度 3~13m 有零星的铝土矿体,大于 13m 有一定规模的铝土矿体;黔中、凯里地区 3~5m 有零星的铝土矿体, >5m 并且面积较大时有一定规模的铝土矿体
矿层厚度	直接指示了铝土矿存在与否: $\geq 0.8\text{m}$ 为工业矿体;值越大对成矿越有利。当预测区勘查工作程度较高时,它可作为成矿预测的重要要素
矿石 Al_2O_3	是铝土矿的主要工业指标: $\geq 55\%$ 为工业矿体(坑采),值越大对成矿越有利。当勘查程度高时可作为重要预测要素
铝硅比值 (A/S)	是铝土矿的主要工业指标: ≥ 3.8 为工业矿体(坑采),值越大对成矿越有利。当勘查程度高时可作为重要预测要素
矿石 SiO_2	铝土矿的基本分析项目,其含量高则矿石质量差,因此可作为预测要素。但它也可由铝硅比 (A/S) 代替,并反映出更多信息
矿石 Fe_2O_3	是铝土矿工业指标和化学的基本分析项目,其含量高则矿石质量差: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 15\%$ 时为低铁铝土矿石, $>15\%$ 时为高铁铝土矿石, $>18\%$ 时 Al_2O_3 常达不到工业品位,故可选为预测变量
矿石 TiO_2	是化学的基本分析项目,其高低主要反映物源区的性质和古风化-剥蚀-搬运-沉积作用,也许与铝土矿成矿作用有一定的联系,可拟选为预测变量再作进一步研究
矿石 TS	TS(全硫)是铝土矿的基本分析项目,是矿石中的有害杂质, $\text{TS} \leq 0.7\%$ 时为低硫铝土矿石, $>0.7\%$ 时则为高硫铝土矿石,而过高则 Al_2O_3 达不到工业品位要求,故可选为预测要素
矿物组合	岩、矿石的矿物组合可指示沉积环境和矿化富集的程度,但勘查工作中一般不系统地进行岩矿鉴定,难于采集数据,因此不宜选作预测要素
结构构造	岩、矿石结构构造也可指示沉积环境和矿化富集的程度,但勘查工作中一般不系统地进行岩矿鉴定,难于采集数据,因此不宜选作预测要素
(3) 物、化、遥、自然重砂信息	
重力信息	1:20 万区域重力信息对铝土矿反映较差,不宜作为预测要素
航磁信息	1:100 万区域航磁信息可推断隐伏古断裂,它似乎控制了沉积环境,但其指相效果不如直接利用沉积相;1:20 万区域航磁信息反映个别矿床分布于垂向一阶导数圈闭垂向一阶导数异常的边部,可能为含矿岩系中铁矿的弱磁性所致,但不确定因素多,不宜作为预测要素
化探信息	1:20 万化探的 Al_2O_3 、La、Y、Ti、Zr 等地球化学异常,与含矿岩系和铝土矿床、点的关系不明显,不适宜用于预测铝土矿
遥感线性影像	遥感线性影像可解译出含铝岩系常处于中二叠统栖霞组灰岩形成的陡崖之下,但不完全如此。应用该要素的效果不如直接利用含铝岩系出露线
遥感异常	羟基异常和铁染异常多个含铝土矿向斜均有较为密集的中心,但多数与含铝岩系出露线不吻合,因此不宜作为预测要素
自然重砂异常	1:20 万自然重砂样品稀疏,难于控制分布区域狭长的含矿岩系及其铝土矿体,故其异常一般远离含矿岩系及其铝土矿体,不宜作为预测要素

某些预测变量在部分区域取值困难,可以利用已有的信息,结合地质理论推测,或通过趋势面分析法、等值线内插法,拟合成逼近客观实际的预测变量等值线图。

4 沉积型铝土矿预测方法的影响因素

4.1 地质填图精度对矿产预测的影响

笔者认为,区域地质调查、矿产普查、详查、勘探等阶段不同比例尺的地质填图,决定了对含矿岩系分布及厚度、岩性组合及其剖面结构、岩相古地理划分、次生富集条件、地质构造影响情况等的了解程度,决定了采集到相关数据的可能性,从而影响到预测单元类别及大小、预测要素的拟选、预测变量类型的确定、赋值等。

(1)地质填图精度对预测单元类型及大小的影响:地质填图精度低者使用地质单元法,高者使用网格单元法,精度越高网格单元可划得越小,从而预测精度越高。具体到沉积型铝土矿,1:5万区调地区和矿产远景调查地区宜采用地质单元法,预测精度为矿床级—矿田级;预查或普查以上勘查程度地区及其边部、深部,则可采用2km×2km或更密的网格单元法。但是,有的地质项目,虽然总体地质填图比例尺较小,但对含矿岩系控制密度大,因此也适宜用网格单元法预测矿产。

(2)地质填图精度对拟选预测要素、确定预测变量类型和赋值的影响:地质填图精度越高,则对含矿岩系厚度、岩性组合类型、沉积亚相、地质构造、次生富集条件等方面了解越精细,从而可供选则的预测要素种类越多,预测变量级别越高(二态变量级别<离散变量级别<连续变量级别),能够精确赋值的可能性越大。

4.2 矿床特征和控制程度对矿产预测的影响

(1)含矿岩系和地质构造特征:主要对预测单元类别、大小和含矿岩系厚度、次生富集边界等预测要素产生影响。如果预测区地质构造简单,含矿岩系受构造破坏小、分布稳定,则划分预测单元可大一点,或者说在相同单元大小的情况下构造简单者预测精度较高。此外,含矿岩系沉积期古地貌和基底岩溶不整合面的发育特征也将对预测单元类别和大小产生影响。

(2)矿体形态、规模及其变化情况:主要对预测单元类型、网格单元大小、矿体厚度等预测变量取值

产生影响。大多数沉积型铝土矿的矿体形态一般比较简单(层状、似层状),矿体规模大,横向延伸稳定,因此采用地质单元法和网格单元法都可取得良好的预测效果,而且进行网格单元的赋值也比较容易——用趋势面分析法或等值线内插法均可,可靠性较高。但是,也有个别矿体形态复杂,受碳酸盐岩岩溶漏斗、洼地的影响较大,呈透镜状、囊状、不规则状,矿体规模小,从而难于划分预测单元和赋值,导致预测精度变低。

(3)矿石品位稳定及其变化情况:主要影响网格单元大小和预测精度。矿石品位横向变化小或变化的规律性强(例如,因氧化作用由深部高硫型铝土矿向地表低硫型铝土矿过渡,因次生富集作用由深部铝土岩向浅部铝土矿过渡),则容易划分预测单元,容易区分有矿和无矿单元,采集数据的代表性较好,从而预测精度较高。

(4)探矿工程控制程度:槽、井、坑、钻、剥土、含矿岩系剖面、采矿场等对含矿岩系和矿体的控制程度,直接影响到网格单元大小的确定,影响到与含矿岩系、矿体、矿石等相关预测要素的拟选和赋值。但当模型区与预测区探矿工程控制程度悬殊很大时,还得结合铝土矿体、矿石的横向稳定性及其变化规律性进行矿产预测。

(5)矿床地质综合研究程度:显然,矿床综合研究程度越高,对成矿作用、成矿要素、找矿标志的认识就越深入全面,从而可供选择的成矿要素数量越多,预测变量归类和赋值越合理。

4.3 物探、化探、遥感等多元信息对矿产预测的影响

(1)据叶天竺等^[9],物、化、遥等多元信息研究主要包括2个方面,一是将已有的信息应用于地质构造的推断解释,间接服务于预测;二是研究其局部异常,直接确定为找矿信息,为矿产预测提供依据。笔者认为,可从以下3个方面分析多元信息的作用:①从成矿理论分析,看该信息是否对预测有用;②从异常图上分析套合关系或分布规律,看所圈定的异常与所预测的矿产是否有必然联系;③通过多元统计分析,看多元信息是否可指导成矿预测。

(2)通过上述方法分析,若认为某种信息可作为成矿或找矿信息,则可按尺度对等准则加以利用:若该信息比例尺与预测比例尺对等,则直接作为预测变量;若信息比例尺偏小,则只能作为定位预测变量;若比例尺悬殊很大,则只能说明整个预测工作区

对找矿有利或无利,所有预测单元都取值为 1 或都取值为 0,为常量,故不能应用于矿产预测模型中。

(3)如果物-化-遥-自然重砂资料中某些信息可用于指示找矿信息,还要权衡它在矿产预测变量中的权重;如果与其他预测变量相比,物-化-遥-自然重砂信息某些变量权重很大,则对预测单元类别及大小、预测要素的拟选、预测变量类型的确定、赋值有重大影响。

(4)从贵州省沉积型铝土矿预测成果来看,现有的区域物、化、遥信息对矿产预测的指导意义比较小,不宜作为预测要素及其预测变量(详见表 2)。但是,不能据此说明物-化-遥-自然重砂资料对矿产预测无意义。因为如果有大比例尺的物化遥资料,则对矿产预测的意义应将另当别论。

5 结 论

(1)沉积型铝土矿严格受地层层位和岩性的控制,预测方法类型宜选择沉积型矿产预测方法,定量预测方法宜选择体积法,具体预测方案宜采用地质单元法和网格单元法。其中,网格单元法在网格单元圈定、预测要素拟选、赋值等环节已充分考虑各种因素,充分利用预测要素所携带的各种信息,使预测精度达到了矿体—矿床级。

(2)拟选预测要素时,应从成矿背景、成矿作用、矿床特征、找矿标志等的研究,以及已有的物化遥等信息综合的应用入手初步拟选,再通过多元统计分析、图面套合分析等,研究它们与成矿-找矿的关系,从而筛选出最佳的预测变量。

(3)确定预测变量类型和赋值时,应尽可能不将连续型预测变量转化为二态变量或离散变量,不将

离散型变量转化为二态变量,以便最大限度地保留或揭示丰富的成矿-找矿信息。相应地,所采用的数学模型也要尽可能适宜于连续型变量者。

(4)沉积型铝土矿预测方法的影响因素包括地质填图精度、矿床特征、探矿工程控制程度、已有物化遥等多元信息类别和精度等,它们综合地影响了预测方法类型、预测单元类型及大小、预测要素种类、预测变量赋值等,从而影响到预测精度。

致谢:项目成员杜芳应、曾昭光、中德书、姚会录等技术人员的相关工作成果给本文的编写奠定了基础,中国地质科学院矿产资源研究所肖克炎研究员、娄德波博士给予了热诚的指导,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1]《中国矿床》编委会. 中国矿床(上册)[M]. 北京:地质出版社,1998: 267-336.
- [2]王世称.综合信息矿床成矿系列预测原理和方法[M]//陈毓川,王宝良,王安建.当代矿产资源勘查评价的理论与方法.北京:地震出版社,1999:293-301.
- [3]刘平.黔北务—正一道地区铝土矿地质概要[J].地质与勘探,2007,43(5):29-33.
- [4]武国辉,刘幼平,张应文.黔北务—正一道地区铝土矿地质特征及资源潜力分析[J].地质与勘探,2006,42(2):39-43.
- [5]朱永红,朱成林.遵义铝土矿(带)找矿模式及远景预测[J].地质与勘探,2007,43(5):23-28.
- [6]廖士范,梁同荣.中国铝土矿地质学[M].贵阳:贵州科技出版社,1991.
- [7]刘平.八论贵州之铝土矿——黔中-渝南铝土矿成矿背景及成因探讨[J].贵州地质,2001,(4).
- [8]肖克炎,丁建华,娄德波.东天山斑岩铜矿资源潜力评价[J].地质与勘探,2009,45(6):637-644.
- [9]叶天竺,肖克炎,严光生.矿床模型综合地质信息预测技术研究[J].地学前缘,2007,14(5):11-19.