

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

矿产预测专家系统及其在新疆 铜-镍硫化物矿床中的应用

肖树建 武润亭 肖人岳

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院, 桂林)

内容提要 系统地使用综合地质、地球物理、地球化学信息预测深部岩浆铜-镍硫化物矿床的找矿预测专家系统,已在新疆哈密地区香山岩体上应用并取得明显效果,设计的两个验证钻孔都已打到矿体。

关键词 专家系统(CGES) 找矿预测 铜-镍矿床 新疆哈密

人工智能技术的重要分支——专家系统,是当今地质找矿工作与计算机结合的重要方面,把它引入找矿预测,将使地质找矿工作的科学化、规范化和计算机化向前迈进一步。1990年,我们研制成功了我国岩浆铜-镍硫化物矿床类型的第一个找矿预测专家系统——寻找岩浆铜-镍硫化物矿床专家系统(CGES),由中国有色金属工业总公司地质勘察局704队试用,经多个岩带、岩体筛选,在香山岩体中部设计了两个验证钻孔,结果两孔都见到了矿体。

1 系统的特点

CGES系统是在总结国内14个铜-镍矿床,参照国外重要矿床资料的基础上,建立了能反映成矿规律及找矿标志的矿床地质、地球物理、地球化学模式,使之成为一个既能对基性-超基性岩带、岩体进行地表评价,也能重点对隐伏矿床进行大比例尺预测,并致力于提高预测命中率的专家系统。

1.1 领域知识和元知识

领域知识是各领域具体的专门知识。例如“橄榄岩”是指橄榄石、辉石等矿物在一定数量和结构上的结合,它有着明确的含义。元知识是如何使用领域知识的知识。例如要得到“岩体深部形态”的推论,就必须综合“地表形态”、“地电断面”、“重磁反演”、“钻探结果”等领域知识的成果才能得到。各领域知识综合向前逻辑推理时,它们的结论可能趋于统一,也可能完全相反。元知识就是协调使用领域知识的知识。它主要来自专家的经验。

1.2 压制多解性,提高预测命中率

多解性的含义 在找矿过程中,人类的思维方式通常要经历正反两个过程,正过程,即通过已知同类型矿床研究,总结规律,找到一批能反映此类矿床存在的预测标志;反过程,即在未知区,利用总结的标志,推演地下含矿的情况。

一般说来,在解决反过程的问题时,用一种地表所获得的标志来推演深部地质问题,可以

有许多解释同时满足这一标志所要满足的条件,这就是多解性的含义。例如图1中正重力异常G的解释,高密度的铜-镍硫化物矿体,在地面一定会引起正重力异常,只要其规模与埋深为观测精度所允许,在地表就一定会观测到正重力异常。通过正向思维,人们得出“地面正重力异常是寻找铜-镍矿床的一个找矿标志”这一结论。但可以引起正重力异常的原因,却要多得多。图1中在G范围内列举了10个原因,如覆盖下的基岩隆起,不含矿的基性-超基性岩体,中基性火山岩,钒钛磁铁矿等等。因此,异常的解释,除了铜-镍矿床外,还有许多非矿解同时满足这一地面标志的条件。一般说来,采用任何地面信息去推演深部地质问题时,都是多解的,其推演结果都不是一个解,而是一个解集。例如据原苏联统计资料,20年来对发现的8万个化探异常进行查证表明,矿异常仅占0.03%^[1]。如何从解集中筛选出少数最可能的解,就是限制多解性的问题,也即是如何使用元知识的问题。

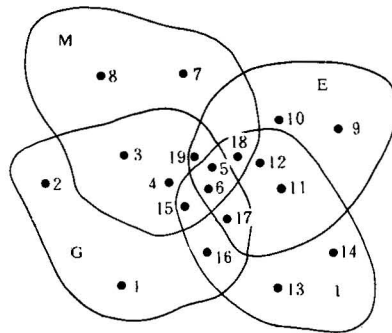


图1 综合方法限制多解性示意图

Fig. 1 The sketch map of that synthetic methods limit multiinterpretation

M—正磁异常解集;G—正重力异常解集;E—低电阻率异常解集;I—高极化率异常解集;1—基岩隆起;2—围岩密度不均匀;3—无矿基性-超基性岩体;4—中基性火山岩;5—块状或稠密浸染状铜-镍矿体;6—钒钛磁铁矿岩体;7—含少量磁铁矿围岩;8—酸性岩体周边的围岩角岩化;9—断层破碎带;10—低阻地层;11—石墨化地层;12—块状或稠密浸染黄铁矿化;13—浸染状炭质;14—浸染状黄铁矿化;15—岩体中浸染状铜-镍矿化;16—炭质基岩隆起;17—石墨化基岩隆起;18—浸染状磁铁矿化和破碎带;19—无矿岩体加破碎带

M, G, E, I—Representative respectively the interpretative assemblies of positive magnetic anomaly, positive gravitational anomaly, low resistivity anomaly and high polarizability anomaly; 1—domed base rock; 2—uneven density of wall rock; 3—barren basic and ultrabasic rock; 4—intermediate and basic volcanic rock; 5—massive or densely disseminated Cu and Ni ore body; 6—vanadic-titaniferous-magnetite ore body; 7—wall rock with some magnetites; 8—acidic igneous rock in company with brecciated surrounding rock; 9—fault broken zone; 10—low resistance formation; 11—graphitized strata; 12—massive or densely disseminated pyritization; 13—disseminated carbon; 14—disseminated pyritization; 15—disseminated Cu and Ni mineralization in magmatic rock; 16—domed carbonaceous base rock; 17—domed graphitized base rock; 18—disseminated magnetite mineralized and fracture zone; 19—barren intrusive body and fracture zone

如何限制多解性 图1说明,限制多解性的最佳途径,是解集的重叠。

图中列出了4种信息的解集:G(重力)、M(磁法)、J(激电)、E(低电阻率)。例如由基岩隆起引起的正重力异常,由于围岩一般无磁性,不产生正磁异常,也不会有低阻、高极化率异常,则图中G解集不能与M、E、I解集重叠,证明它是一个非矿解。又如炭质引起的低阻、高极化异

常,对电法是个极难解决的问题,但因它无法引起正重、磁异常,I和E无法与M和G重叠,等等。经过解集的重叠,原来G解集中的10个解,只剩下铜-镍矿、钒钛磁铁矿两个解、压制了多解性,如果再和地质的、地球化学的解集重叠,还能得到进一步压制。

这里强调指出,所谓解集的重叠,不是简单的重、磁、电异常的重叠,而是指引起异常的源在三维空间中的重叠,因为异常在平面上的一致并不等于它们一定同源。

2 CGES系统的功能

(1)它以语音、文字方式输入,进行逻辑运算。这比数字输入和运算的系统更接近地质找矿预测,这是灰色系统的实际情况。(2)它可以用于各种比例尺的找矿预测,包括1:20万基性-超基性岩带评价;1:5万岩体评价;1:1万出露岩体地表含矿性评价、深部含矿性评价及隐伏岩体含矿性评估;1:2000剖面工作,进行验证钻孔定位设计等。(3)它兼有找矿预测咨询及辅助决策两种功能。后者是对进一步工作提出建议,为用户提供决策服务,如怎样选择最佳工作方法组合,新信息的获取及质量要求等。为管理人员在找矿规范化上的决策提供意见。(4)由于采取了友好的人机界面和采用分级管理技术,使能在微机上实现较大型知识库的管理,并加快了运算速度。

3 CGES系统的结构

3.1 系统的总体结构

整个系统由以下部分组成(图2)。

(1)主菜单及相应的功能模块;(2)知识库及库选择系统;(3)推理机及控制系统;(4)中间数据库;(5)与用户交互系统;(6)解释系统;(7)知识自学习系统。

系统共建规则330条。

3.2 知识库结构

整个知识库包括1:20万、1:5万、1:1万、1:2000四个分库,仅以1:1万第三分库之3-2子库(出露岩体深部含矿性评价,分库之另外两个子库是3-1出露岩体地表含矿性评价和3-3隐伏岩体含矿性评估)为例说明。图3是经简化后的子库框图。

(1)图中每一框都是一个节点,箭头为节点间逻辑推理的方向。一个节点的结论是由其下一层的信息推理得到,同时它又作为信息向上一层节点推理。最底层为用户接口,由用户提供所需信息。当用户缺乏某种资料时,可回答“无资料”。当然,这种回答过多将严重影响结论的信度。

(2)为了限制多解性,提高命中率,一些重要的节点都是由综合信息推理而来。例如图中“岩体深部矿化综合评价”是由9个节点综合推理。综合时使用的元知识是:

分清知识的层次:例如当地面存在铜-镍化探异常时,电提取的结果一定也会有铜-镍异常而无论深部有矿与否,因此后者是低层次的知识^[2,3];

分清知识的信度:如假定钻孔资料信度为0.9,则重磁反演和电法所推测的深部结论的信度将不超过0.2(视干扰程度和工作精度而定,最高不超过0.2)。

强度信息“源”在三维空间上的重叠:图中是先分析钻孔矿化、高磁性体、良导体三者是否在深部重合,并是否重合在岩体成矿有利部位,再与上部6个信息重合,例如地面化探中程指示元素铬、银晕是否位于它们的上方等等。这种信息“源”重叠性越好,则致矿的有利程度就越高,

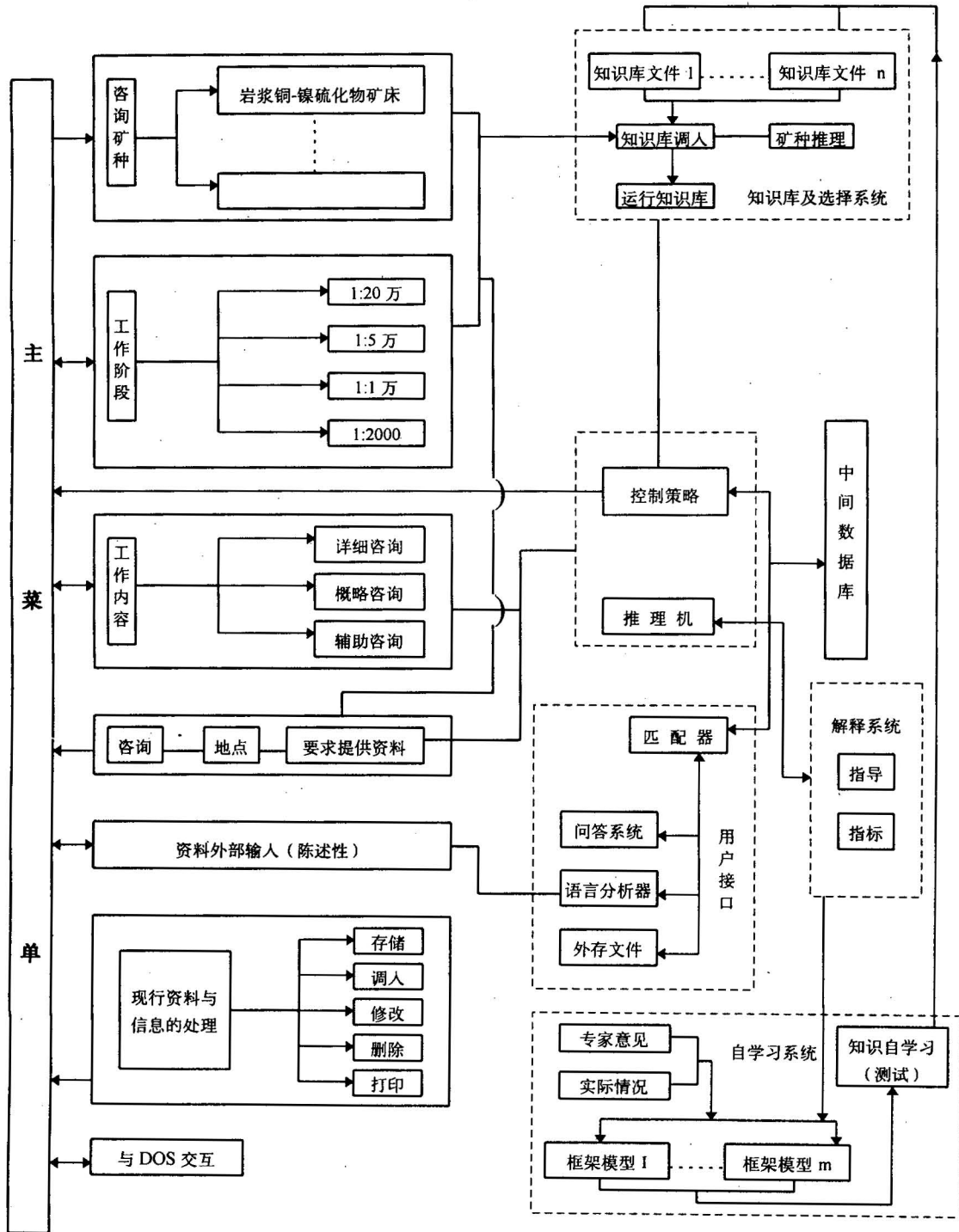


图2 系统总体结构

Fig.2 The general structure of information systems

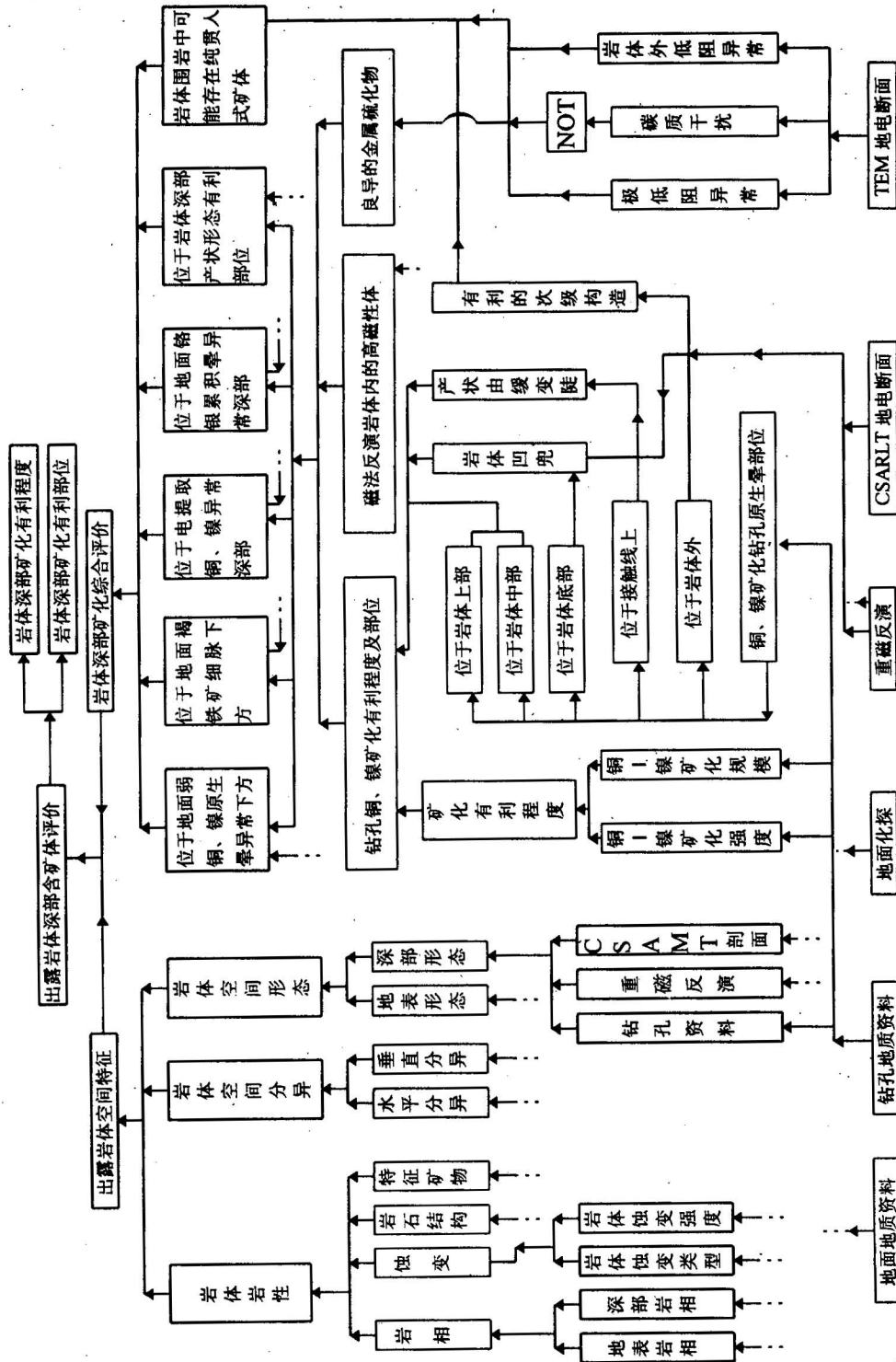


图 3 3-2 子库省略图
 Fig.3 The brief frame diagram of 3-2 information subsystem

反之,则致矿的程度将大大降低^[4]。

在各个推理层都列出可能的干扰因素,以便在各个层次反复排除。如不能排除,则极大地降低致矿的信度。

(3)上述9个信息,分别由更下一层的领域知识推理得到,如地面铜-镍异常,则由异常强度、异常面积、铜-镍异常平面上是否重叠等信息得到。经过9层推理,最终由岩体的空间特征和深部矿化综合评价两者共同得出深部矿化有利程度和矿化有利部位的结论^[5-7]。

4 CGES 系统的应用

1990年7月,系统研制完成后,以中国有色金属工业总公司新疆地质勘察局704队为第一个用户,进行找矿预测咨询。在对北山笔架山岩带、哈密香山杂岩体进行了1:20万—1:5万咨询后,选出香山岩体中段作了进一步咨询。

4.1 找矿预测咨询

出露岩体深部含矿性评价(1:1万,3-2子库) 计算机预测结果:靶区等级为一级。

靶区解释:岩体岩性有利、全岩肯定为有利成矿的岩相,全岩空间分异完善,岩体空间形态规模有利成矿;特征矿物较有利,蚀变很强,岩石结构有利,地表矿化较强,钻孔矿化较强,岩体可能有纯贯入式矿体。综上所述认为该岩体具有很好的成矿条件,找矿前景较大,建议继续工作,寻找工业矿体。

1:2000详查评价(26勘探线剖面) 预测结果:靶区等级为二级。

靶区解释:新发现的重磁异常无资料,磁测井异常肯定是铜-镍矿化引起的异常;高极化、低电阻异常肯定是铜-镍矿化引起的异常;坑道物探异常无资料,根据上述资料推断:在方法有效的范围内可能有被勘探网遗漏的盲矿体(包括岩体中的盲矿体和岩体边部的贯入式矿体),其位置可能位于已知矿化的深部,可酌情考虑深部验证。

此预测由于所缺资料过多,降低了预测等级。

4.2 验证工作

验证孔的设计 在1:2000咨询的26线设计了ZK2604孔,见图4。

剖面南端,在超基性岩与围岩接触部位,地表发现铜-镍矿化。80年代中,施工ZK2602和ZK2603两个钻孔,相距仅65m,都未在深部见到矿体。根据预测,我们在两孔之间的狭窄地段内设计了ZK2604孔。此外,在18线也在两个未见矿孔之间设计了一个ZK1804验证孔。

验证结果 ZK2604孔,于孔深111.98m至132.31m见视厚度20.33m,品位镍0.35%,铜0.45%的矿体;ZK1804孔,于孔深81.45m至103.77m见视厚度22.32m,镍0.29%,铜0.28%之矿体,成为一小型铜-镍矿床评价基地,经后几年工作,已勘探出一个近中型铜-镍矿床。

从CGES系统的研制完成,到验证见矿,为时4个月,

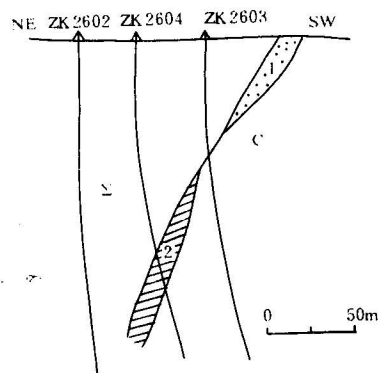


图4 ZK2604验证钻孔设计示意图

Fig. 4 Sketch section of ZK2604 drilling hole

Σ—超基性岩体;C—围岩;

1—矿化体;2—铜-镍矿体

Σ—Ultrabasic rock; C—wall rock;

1—mineralized body; 2—Cu-Ni ore body

这种速度,在国内外研制专家系统的历史上是极为罕见的。因此,CGES系统的研制和应用获得了良好的效果。

参加系统研制的人员还有武润亭、黄书俊、刘月星和北方工业大学的刘成、高洪深、叶响玉等;对支持系统应用的蒋斌、杨升祖、徐光祥、聂永、申茂德等中国有色金属总公司新疆有色地质勘察局及其704勘察队的同志们,笔者在此表示深切的感谢。

参 考 文 献

- 1 王润民,赵昌龙等.新疆喀拉通克一号铜-镍硫化物矿床.北京:地质出版社,1991.253—291页.
- 2 刘承祚,陈亚光.地质专家系统.北京:海洋出版社.1991.19—169页.
- 3 丁矢勇.化探异常评价的几个准则.地质与勘探,1992,308(2):41—43.
- 4 肖树建.试谈金属矿区物理-地质模型的建立和应用.地质与勘探,1988,202(3):36—41.
- 5 Duda R O et al.. Development of the PROSPECTOR consultation system for mineral exploration, Annual report, SRI International project. 1978.
- 6 Duda R O et al.. Operations manual for the PROSPECTOR consultant system, final report, SRI International, 1981.
- 7 Gasching J. PROSPECTOR: An expert system for mineral exploration, in: Michie D. (ed). Introductory readings in expert systems, Gordon and Brech science publishers, New York, 1982,47—64.

THE EXPERT SYSTEM FOR MINERAL DEPOSIT PROGNOSIS AND ITS APPLICATION IN EXPLORATION OF COPPER- NICKLE SULPHIDE DEPOSITS IN XINJIANG

Xiao Shujian, Wu Runting and Xiao Renyue

(Research Institute of Geology for Mineral Resources, CNNC, Guilin, Guangxi)

Abstract

The development and application of the expert system for searching for magmatic copper—nickel sulphide deposits (CGES) are discussed in this paper. The system is mainly characterized by the organic use of integrated in geological, geophysical and geochemical information in the prediction of hidden copper—nickel sulphide orebodies and aimed at increasing the percentage of hits in the prognosis. In the expert system one may find the authors' originality in using the logical inference of polyvalues and comprehensive and domain knowledge. The expert system has yielded good results. For example, orebodies of economic value have been encountered by two holes designed for checking the system on the Xiangshan intrusion in Hami, Xingjiang.

Key words: expert system (CGES), mineral deposit prognosis, copper—nickel sulphide deposit, Hami, Xinjiang

作 者 简 介

肖树建,男,1936年11月生。1959年毕业于北京地质学院物探系。现任中国有色金属工业总公司矿产地质研究院物探室高级工程师。长期从事有色金属矿床的物理-地质模型研究。近十年承担国家科研重点攻关305项目研究。通讯处:广西桂林三里店矿产地质研究院物探室,邮政编码:541004。