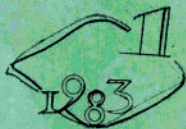


四川物化探论文集

四川省地质学会、物化探专业委员会



503

97(2-2)

3133

成都地质学院情报资料室
冶金部成都勘察公司

前 言

奉献给读者的这本《四川物化探论文集》是四川省地质学会物化探专业委员会为庆祝中国地质学会成立六十周年而召开的“四川省第三届物化探学术交流大会”及“水文、工程物化探学术交流会”选出的部分物化探学术论文，同时也收编了八一年“四川省第二届物化探学术交流会”上部分物化探论文。共计三十篇。

这本论文集，反映了近几年来我省的物化探工作者在理论研究、仪器研制、方法技术的改进及物化探成果的应用等方面的概貌，可以毫不夸张的说：七十年代末、八十年代初，面对日益增加的找矿难度大的情况下，经过广大物化探工作者的努力仍取得相当的进展，同时面对日益增长的社会与经济发展的需要，物化探工作者们在努力开拓新的应用领域。电子计算技术的广泛应用，促进了物化探异常的解释和理论研究水平的提高。

为了总结、交流我省各单位的生产经验、科研成果，活跃我省的学术空气，促进我省物化探水平的提高，同时加强专业委员会与广大会员及物化探工作者的联系，专委会决定不定期的出版《四川物化探论文集》。欢迎广大物化探工作者支持、关心和帮助它，使它成为一个交流、讨论和学习的园地。

有些论文已在其它刊物上发表的未列入本论文集中。

本论文集是由于汇津（付教授）、章金良、韩风举、林盛表、庠成荣、耿奉明等同志编审的，最后委托成都地质学院资料情报室、冶金部成都勘察公司出版。

文集编选过程中，冶金部成都勘察公司物探主任工程师韩风举同志作了论文（修饰、删节）加工、编排工作。

冶金部成都勘察公司的高级工程师、付经理刘海冲对有关水文地质内容进行了审核。

文内大部份插图是由冶金部成都勘察公司航测二队杜莲芝同志完成的。

封面由冶金部成都勘察公司团委的韩伟同志设计。

论文集的打样校对是由冶金部成都勘察公司印刷厂、情报室和成都地院情报资料室完成的。

论文集的印刷由冶金部成都勘察公司印刷厂完成。

在此一并表示感谢。

限于编辑的力量、水平，文章中的缺点、错误在所难免，因篇幅所限原文参考资料省略，敬请读者批评、指正和谅解。

四川省地质学会物化探专业委员会

一九八三年四月

《四川物化探论文集》目录

现代地球物理探测方法的发展特点与趋势	林盛表 (1)
对当前金属物探几个问题的认识	林盛表 (3)
模糊聚类分析及其在岩体评价中的应用	成必清 (8)
电法勘探寻找油气田	于汇津 (17)
点源二维任意地电断面电阻率法的有限单元法正演计算	周熙襄、钟本善、 严忠琼、汪玉乐 (25)
点电源二维介质中电场近似计算初步	董春山 (33)
青杠坪物探储量试算方法	吕星照 (41)
综合方法找铀矿在303地区的应用效果	杜永启 (47)
磁法的发展方向——磁性地质学(概论)	郭绍雍 (52)
斜坡地形直接解释磁异常的另一途径	郭绍雍 (60)
利用磁场 Z_n 平面特征量确定埋深的方法	王帮华 (68)
放射性普查中因地制宜开展综合方法找矿	余广基 (74)
找矿评价中的伽玛评价指标 ($\overline{X}_{\mu_s}$)	黄福祿 (77)
用裂变径迹法寻找铀矿的初步尝试	要全泰、李志平、邱元德、石柏镇 (82)
平衡系数的研究及应用	刘彝筠、庠成荣 (87)
放射性同位素X射线荧光技术在地质勘探中的应用	章晔等人 (98)
筠连煤田沐爱勘探区北段测井曲线的初步研究	牛一桐 (104)
磁化率测井在红格钒钛磁铁矿床上的应用	李忠禹 (108)
应用电阻率法在筠连煤田沐爱矿区探测断层的体会	陈彰金 (121)
论电测深曲线数字处理效果	洪涛、李震源、侯金武 (126)
物探在第四纪地层找地下水的应用	周勤祥 (138)
音频大地电位法试验效果及其问题的探讨	罗德银 (143)
解释电测深曲线的三种新方法	韩凤举 (148)
浅层地震折射分层的探讨	宋正宗 (156)
天然放射性在水文地质学中的应用	吴致军 (168)
天然放射性找水在川东红层中的应用	物探组 (172)
井中测流理论及实践的初步研究	杨杰 (177)
在红层地区井液电阻率法划分咸淡水位置及介面的应用	李震源、李万芳 (187)
音频大地电位法在铁路工程地质上的初步应用和体会	王家训 (191)
α 卡找矿方法的进展	庠成荣 (196)

现代地球物理探测方法的发展特点与趋势

成都地质学院 林盛表

现代地球物理探测方法（包括探测地球深部构造和矿产普查、工程基础探测的方法，即广义的物探方法）在地学发展过程中的作用，正如D. F. Merriam所说的“十九世纪显微镜的引入能够提供岩石成因的新鲜解释，引起地质学第一次革命。二十世纪初把（天然）地震技术用于研究地球内部结构，引起了地质学的第二次革命。现在板块学说的创立是地质学的第三次革命。”J. T. Wilson等人认为地磁（航磁和岩石磁性）资料为创立板块学说奠定了基础。由此可见物探在发展地学中具有很重要的地位。

由于矿产普查、工程基础的探测需要，以及物理学、数学、工业电子技术等的发展，创造了物探发展的良好条件，同时物探资料的积累、理论的研究，使得物探资料的解释获得了良好的地质效果和经济效果，因此物探的应用不仅遍及地质学研究的多数领域（岩石学、地层学、构造学、矿床学、水文工程学、探矿工程学、地震地质学、地球动力学等），各种矿产（铁、有色金属、稀有金属、放射元素、非金属矿、石油、天然气、煤）、水与地热资源的普查、勘探，同时深入到军事、农业、考古、环境保护等领域中。

当前物探发展中具有如下特点

1、所依据的物性参数有了变化，由过去的宏观的岩石物理参数：磁性、电性、密度、放射性、弹性波传播等发展了新的物性参数：无线电波、声波、热导率等，同时利用了元素的微观结构的差异，例如中子活化、X射线荧光等。

2、探测的范围不仅在地面、井中广泛进行，而且在海上、空中进行了大规模的探测活动。甚至扩展到星球的探测。

3、物探的发展不仅受经济发展需要所驱动，如矿产资源的勘探，而且受基础学科——地质学、地球物理学发展需要所促进，如当前大规模的区域物探工作的展开。

4、物探的发展丰富了、革新了地质学的内容，同时形成了新的地球物理——地质学之边缘学科，如磁性地层学、地震地层学、放射性同位素地质学等。

5、物探的发展和近代工业技术的进步分不开，由于工业材料质量的提高和电子技术的发展，使得物探仪器能够向轻便化、自动化、数字化和综合化发展。

6、数学、物理学、电子计算机的发展，使得物探资料的处理、提取数量越来越多的地质信息成为可能，并且在解释过程中可以模型化，提高了解释的质量。

通过回顾近期物探发展过程与特点，可以预料将来物探发展的趋势：

（一）航空物探将会有更大的发展

目前已有航空磁测、航空放射性、航空电磁法、遥感（航空雷达、红外线）等较成熟的方法，今后会得到更广泛的使用；航空重力今后会得到改进；航空地震，目前已利用飞机把仪器装备运到人、车、船难以到达的地区，以及空中激发震源，实现了“半航空”，今后将采用空中投放（激发）、空中仪器记录。

由于航空物探在地质填图、找矿的作用日益扩大，综合航空物探系统的发展将日益普遍受到重视。航空物探测量的成果——区域地球物理图件将会像地质图、地形图那样受到普遍的应用。

（二）深部探测工作会继续发展

为了解决全球构造和深部构造问题，卫星地磁测量、重力测量的计划及遥感系统的计划还会继续，同时大地电磁场法、地热测量、古地磁测量会有一个较大的发展。

（三）物性研究会得到加强

物性研究是物探理论中的重要课题，受到各国的普遍重视，主要方向是：1、对岩矿标本做系统测量，目前主要是研究磁性、电性、光学性质等在常温常压下这些物性测量，较易实现，今后应注意在极端条件（高温、高压、含水量在 $10^{-2}/t$ ——饱和）下的物性测量，只有在物性研究中弄清一些问题之后，才能发展相应的方法。2、查明现有方法中产生的异常的物理机制。3、研究物性的统计整理方法以及这些参数所表记的地质信息。

（四）基础理论的研究会得到加强

1、当前的物探理论尚有许多不完善的地方，例如把“三维”模型，当做“一维”或“二维”模型解释，显然会使结果出现误差，今后将会克服困难提出三维模型的解释方法。

2、大量的物探资料积累会出现新的问题，或用已知的地质概念无法解释的问题，需要研究新的解释理论模型，或产生这一地球物理过程的机制。这种研究可能导致新的概念引入，出现学科发展的新突破。

（五）仪器的研究

1、向多参数的发展，60年代以前物探仪器只是单分量测量，现已有为数不多的几个参量测量，今后将会出现多种物性参数、多分量的地球物理测量。

2、记录向数字化、操作自动化发展。

3、在仪器中带有计算机，可将资料进行初步整理、成图与初步解释。

（六）计算技术的应用

1、目前普及程度差，今后会迅速普及到各种物探方法中，并且会出现更多更完善的物探方法的程序。以便从物探数据中提取更多的地质信息。

2、计算机网络的普及与人机联系的实现，将使物探、地质人员在探讨大量可能的地质条件时变得更容易。

3、使大量的物探数据贮存成为可能，目前各国及世界性组织，开始在建立数据库，收存各种物探数据及有关的地质、空间坐标数据。

对当前金属物探几个问题的认识

成都地质学院 林盛表

我国的物探工作开始于20年代,发展于50年代,当时物探工作广泛应用于普查各种矿产(煤、石油、天然气、铁、铜及其他金属矿产)。53年开始进行航空磁测、担负着寻找大型铁矿床与研究地质构造两重任务。50年代末期,随着物探队伍的壮大,开始建立各种专业队伍。

金属物探,一般是泛指除了以普查石油、天然气为目的物探工作以外的物探工作。金属物探工作,在60年代,由于激发极化法的应用和对低级磁异常解释的研究,获得较大的进步;把物探方法应用到低品位的浸染型矿床以及普查埋深较大的磁性矿床。

八十年代以来,我国的金属物探面临着新的形势,遇到了巨大的挑战,但由于七十年代中、后期开始的电算技术的应用和区域物探、化探工作的开展,以及对30年来积累的资料深入研究,估计在不久的将来,金属物探工作将会出现一个新的发展时期。

一、当前金属物探现状的估计

随着地质工作重点的转移,金属物探工作也出现了新的形势:

1、由“磁法热”、“电算热”转向区域物探、化探和电法工作。各省区已削减磁法工作量(有些省区81年根本没有磁法野外工作),同时恢复和发展了电法工作。

2、调整和加强了综合研究队伍,加强了对以往的物探资料整理、分析和综合研究工作,着手编制各种物化探图件。

3、为了尽快地发展农业和解决各地工业及人民饮用水的问题,已有一批队伍转向普查、勘探地下水工作。

4、现时队伍的构成与任务不相适应,当前的物探队伍中,技术人员(大专毕业生)约占15—20%,这与以智慧密集型劳动为特点 of 物探工作很不适应。西方物探队伍中大专毕业生占85%(需要野外工作时,招临时工),苏联约占50%。

“知识老化”问题也很突出,十年动乱,迫使技术人员很少学习(也很难得到新的技术资料),同时长期以来很少与国外交流,因此新的知识很少。

5、现时物探工作的管理体制改革正在试点,三十年来物探工作视为一种施工工种,对物探工作的要求是面积、物理点、而未能将已得的资料进行认真的研究。寻找一种按科研性工作的管理体制是目前体改工作的重点。

6、近几年来，重视了情报工作，建立了全国、大区、省级的情报组织。有了一批专业与业余的情报队伍，对国外物探工作现状作了系统的调研，并提出了很好的建议，在国内开展了学术、情报交流，促进了物探工作的发展。

二、金属物探面临的新任务

1、找矿的新任务：

以往的物探任务主要是寻找物性差异明显的铁矿、有色金属矿及某些非金属矿，而且这些矿床大多为埋藏浅、大、中型的矿床，异常明显，找矿目的容易达到。现在的主要找矿对象为：①物性差异明显，但埋深较大的矿床；②物性差异不明显但埋深不大的矿床；③新类型的矿床。

当前金属物探找矿的主要任务是：①与能源有关的煤、铀、地热田；②有色金属与贵金属：如黄金、铂族元素、银、铜、铅、锌、钨、锡、钼等；③贵重的非金属矿如：金刚石、各种宝石、云母、石墨等。在寻找各种矿产时，不仅有大家已熟悉的岩浆型、变质型、热液型、而且还有斑岩型、淋滤型及卤水型等。

2、地质研究的新课题：

以往利用物探资料研究局部地区，浅部的岩石、构造的分布、发育情况，现在则更利用物探资料研究大范围、深部的地质建造、构造发育情况，并且要根据大区域内地质演变历史、地壳的性质、组分等资料来分析、评价金属矿产的成矿远景。

3、支援农业：

农业是国民经济的基础，为了尽快地把农业搞上去，物探工作者负有义不容辞的任务，这些任务是：①为农业区划提供地球物理资料；②参加土壤学的研究，提供新的参数与技术；③提供足够的水文地质、工程地质以及地下水资源等方面的资料；④为发展农肥、农药提供足够的矿产资源。这四个任务中，后两个任务为多数人所熟知，并且做出了贡献。前两个任务，国外已搞得很多，国内了解这一方面情况的人尚不多，因此工作尚未开展起来。但是在农业部门已有人在做少量工作了。

4、为重大建设工程提供基础资料：

今后近二十年内将有大量的重大工程建设：电站、工厂、铁路、公路、港口等极需大量的地质资料，物探不仅可以提供地质资料、而且可以提供选择施工手段的资料。为工程节约资金和提高效率。

5、为环境保护做贡献：

随着工农业的发展，人口的集中，要求地质工作者提供一个安全、不受污染的环境做出贡献。物探工作，利用自己的技术长处，可以探测复盖层下岩石性质、破碎情况，指出滑坡、塌方等地质灾害可能发生的地段；可以参加预报地震发生的监测；可以监测放射性元素的污染及其他有害元素污染状况。

三、今后工作的几点看法

如上所述，当前金属物探工作面临着新的形势与新的任务，为了实现新时期提出的新的任务，抓好以下几项工作是很重要的：

1、继续开展区域物探工作:

区域物探工作是一项基础性的工作,一张区域地球物理图件其重要性可以和地形图、地质图相提并论,但是区域物探面临着投资多、要求数量大、业务人员水平高,同时经济效益一时未能显示出来,因此要求有关领导要下决心,坚持搞下去。

苏、美等国一直重视这一工作。苏联的地质投资占国民经济总投资的4.5%,区域物探投资占有重要地位(在为油气普查的区域物探占物探投资的11—20%)。

在搞区域物探时,应从我国当前的财力、人力出发,先搞一些力所能及的方法,如航磁、航放、重力以及物性等。对于一些新的、先进的方法,则应先选择一些投资不多、解决地质问题广泛的方法,如古地磁、地热(岩石热导率、热流、井中温度等)。至于一些投资多、技术复杂的方法,特别是我国当前不能研制、而需靠引进设备的方法则应暂缓。

2、大力开展有色金属与贵重金属矿产的物探工作:

在开展这一工作时,首先遇到的问题是到哪里找?其次是用什么方法?第三是能得到什么样的异常?为了解决这些问题,必须从研究区域物探资料和地质资料入手。

内生的有色金属和某些贵重金属与区域地球物理场有密切的联系,国内外已有不少文章进行了介绍。但国内大多为定性的资料。

在寻找浸染型的有色金属矿床和贵重金属时,由于矿物品位低,往往在地面上不能直接显示出物探异常,但是这些矿床的形成往往和某些岩石有密切关系。如铜、镍矿和基性侵入岩有关,金、铂族元素和基性——超基性侵入岩有关。钨、锡矿和酸性岩有关。在各个地区(大的成矿区域内)这些成矿的岩体又是分属于不同的地质时代。因此,为了开展有色金属与贵重金属矿种的物探工作,物探人员必须熟悉有关的各种矿床的成因与成矿控制因素。物探工作大多数情况下只是寻找成矿控制因素——各种地质构造(特别是断裂带)、各种岩体的分布与蚀变带等。

各种物探方法探测各种构造、划分岩体(岩层)、寻找矿床的能力是不相同的,因此物探工作者要了解工区内各种探测对象的形成、性质及周围岩石物性状况,估计可能遇到的干扰,并据此,根据现有的设备能力,选择合适的物探方法,制订合理的技术方案,方能取得较好的效果,相反的例子是68—76年美国在西部地区寻找斑岩型铜,由于物探人员不了解铜矿形成于砾石岩以下,八年间做了大量激电工作,没有发现一个矿床,这一教训是深刻的。

在开展有色与贵重金属普查时,勘查地球化学(即化探)具有重要的地位,应当像以往那样,把物探与化探紧密配合使用,这样可以获得较好的地质效果。

3、加强水文、工程和环境物探工作

这方面的工作涉及的面较广,许多部门、单位都有点力量、地质部系统过去注意得不够,今后,随着四化建设的开展、水电站、交通线、城市建设都有大量的工程地质问题,供水问题、环境质量问题的出现,因此:

(1)适当的把一部分物探力量转移到这一方面来,开展一些急需上马的工程物探。

(2)加强工程物探中的某些方法、技术研究。

(3) 加强与有关部门、单位配合,把有限的力量投入到急需的地方去,不要扯皮、不要搞重复的工作。

(4) 收集各部门、各单位已有资料编制工程物探程度图及各种比例尺的工程地质图。并着手研究已有的资料,编出一些必要的成果图(如各种地质灾害可能发生的位置图等)。

4、正确地对待新的方法技术:

不少人认为,要打开当前金属物探工作的局面,非有新的仪器、新的方法与技术不可,而新仪器、新技术的获得都寄希望于引进。三十年来的历史经验告诉我们:每一种新的物探仪器和方法,都有一定的使用条件,都有一定的局限性。三十年来,引进不少国外的仪器、设备,但真正发挥效益的不多,除了主观上重视对新仪器的试验情况进行总结、研究不够之外,多数是属于这些新仪器在已知的矿床上使用,并未提供一些新的地质信息,相反,却遇到了许多干扰,造成了异常解释的复杂化,因之也就不能推广到未知矿区的普查了。

从74—79年掀起的“电算热”,在研究了大量的重、磁异常的正反演问题计算方法、解析延拓、以及重磁、化探数据处理方法之后,虽然获得了一定有用的信息、但与其所花的资金和时间相比,可谓效益不多,因此,目前已有“退热”趋势了。最近不少同志认为:物探人员必须从生产实际出发,提出问题、制订出一套正确的、经济的方案,在数据处理之后,又必须认真地加以对资料的分析、解释,这才是发挥电算作用的途径。

有些新的方法技术的研究或引进,并不需要花费大量的资金和时间,如重磁的解释方法的研究,其中76年引进航磁特征线解释方法,经过研究、试验,现已较广泛地用于确定断裂构造的位置、构造模式,并取得了较好的效果。

随着区域物探工作的开展,对三度物探异常解释方法的研究已提到重要的议事日程了,尽管已有不少三度异常中心剖面的解释方法,但这不能满足生产的需要,而且这些方法还存在着许多问题。因此发展三度异常解释方法是一个急待解决的问题,从国内已有的研究情况来看,三度磁异常已从Za等值线平面图中,直接获得磁性体的走向、走向长度、埋深、中心位置等资料。

5、提高物探资料解释质量的途径:

物探异常解释的质量关系到物探工作的成效问题,如何提高异常解释质量呢?长时期以来许多人寄希望于研究单个异常的定量计算,这没有抓住问题的关键,目前要提高解释质量应从以下几方面下功夫:

(1) 学习地质与地质结合

目前物探人员老的地质知识忘得差不多了,即使没忘的知识也不能适应当前的需要,对新的地质知识,物探人员也很少有人有学习的兴趣,这是对提高物探异常解释质量的极大妨碍,国外的物探人员往往是精于一门的专家,又是通晓各门的通才,即既是物探专家又是地质学家,或者既是地质专家又通晓物探的基本问题的行家。

与物探工作关系较密切的地质学科有:构造地质学,矿床学(矿床成因、分类)、岩石学,大地构造学(板块、力学等)。为了提高物探人员的地质知识水平,有些省,

在冬训期间举行了地质知识讲座，这是值得提倡的。

（2）研究综合物探的解释方法

物探资料的综合研究强调了多年，但对资料的综合解释方法却没有进行认真的研究。因此，综合物探解释方法未能获得广泛地、普遍的推广，这对提高物探异常解释质量不利。因为综合物探资料解释结果不仅能获得比单一物探方法成果解释还多的地质信息，而且还可以排除单一物探方法所推断的不肯定性，有时还可以从各种物探方法所揭露的矛盾情况，更好地研究地下的地质问题。

在应用多种物探资料和地质资料进行综合分析、研究、解释时，以前大多数为定性的，目前已开始应用数理统计——概率模型和相关分析的办法，以达到半定量的解释，这是一种有前途的、值得研究、推广的方法。

6、扩大物探的应用范围：

扩大物探的应用范围是社会和经济发展的自然要求和必然趋势，目前看来有如下几方面：

（1）加强和扩大非金属矿产普查中的物探工作：目前国外非金属矿产的产值约占整个矿产产值的40%左右，非金属矿产是指：金刚石、各种宝石、水晶、云母、石棉、硼、石墨、高级大理石等。我国当前从事非金属矿产地质工作队伍很小，其中物探人员更少，因此扩大物探在非金属材料普查工作是大有前途的。

（2）扩大在农业生产中的服务：如前所述，农业生产发展向物探工作提出了四项任务，为完成这些任务涉及到电法、磁法、地震、放射性、重力及测井等物探方法以及地球化学方法，为了在这广阔的天地中作出一番事业，当前需要一批人转入以水文工程物探为主以解决干旱、半干旱地区农水调查工作。需要加强普查农用矿物原料（如磷矿、钾盐等）普查、勘探工作。

（3）其他领域的应用：探测被掩盖的古迹，在国内、国外都曾有报道、获得良好的效果，对某些文化古迹年代的确定，物探也是有可能的，但国内未甚注意。

如何扩大物探工作范围，关键在于有关的领导机关的决心，以及当前组织管理体制的改革。

由于作者收集的资料不多、水平有限、文中缺点、错误在所难免，希不吝指正。

于一九八一年八月

模糊聚类分析及其在岩体评价中的应用

四川冶金地质勘探公司六〇五队 成必清

一、前言

在日常生活和各个科学领域里，模糊概念的存在是极其普遍的。在地质领域中尤其如此。

这首先在于其理论还未达到完善的程度，往往是以语言的形式来表述它，这就不可避免地带有模糊性。其次，在进行找矿或者解决其它的一些地质问题时，往往采用理论和经济相结合进行由已知到未知的地质、地球化学的推理方法，显然，经验性的东西和简单的类比推论也是具有模糊性的。

因而应利用模糊数学来给出经验的数学模型，并进行模糊逻辑推理以解决一些地质找矿和化探中的问题。

作为一种尝试，我们将模糊聚类分析方法用于岩体的含矿性评价中，提出了岩体含矿性的模糊评价方法，并设计了自动计算的电子计算机程序。

本文介绍了这一方法的原理和程序设计框图，并给出了一个应用实例——盐边地区基性超基性岩体的含矿性评价。

二、模糊聚类分析方法

通常的聚类分析可以分为谱系的和非谱系的两大类。将模糊数学用于聚类分析，同样可以有相应的两类模糊聚类方法。前者以模糊等价关系为基础；后者是采用迭代法通过求解某种泛函的极小来实现。

1、以模糊等价关系为基础的模糊聚类方法

通常的谱系聚类分析方法中所构造的相似性矩阵并非是一种等价关系矩阵，而后者却是集中样本正确分类先决条件。对于某些相似性度量（例如相关系数和夹角余弦等），通过一些变换可使其成为相容关系矩阵，但仍不能变换为等价关系，因而通常的聚类分析是有缺限的。

将模糊数学应用于聚类分析时仍然从这种初始相似性矩阵出发，将其看作为模糊矩阵，它只是一种模糊相容关系的矩阵。

然而在模糊数学中已经证明了，在一含有 n 个元素的集合 X 中，若给定了一个模糊相容关系 R 的话，则通过对其施行至多 $n-2$ 次的自复合运算后所得到的复合关系 R^{n-1}

是 X 上的一个模糊等价关系。而模糊矩阵的自复合运算与一般矩阵的乘积运算十分类似, 只需将后者的“ $*$ ”和“ $+$ ”改为“ $\wedge$ ”(求极小)和“ $\vee$ ”(求极大)即可, 显然这是很容易的事情。

在模糊数学中又证明了, 若给定了集合 X 上的一个模糊等价关系 R , 则对任意的

$0 \leq \lambda \leq 1$, 可按 $r_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当 } r_{ij} \geq \lambda \\ 0 & \text{当 } r_{ij} < \lambda \end{cases}$ 构造出 X 上的一个普通的等价关系 R_λ , 通过

R_λ 即可将 X 剖分成各不相同的一些等价类, 即完成 X 中元素的分类。这就是基于模糊等价关系的模糊聚类方法。

综上所述, 其一般步骤为:

(i) 构造一个初始相似性矩阵 R , 使之满足自反性: $r_{ii} = 1$; 对称性: $r_{ij} = r_{ji}$;

(ii) 利用自复合运算不断地求取

$$R^2, R^4, \dots, R^{2K}, \dots$$

若在某步(例如第 K 步)有 $R^K = R^{2K} = R^*$ 的话, 则 R^* 即为一个模糊等价关系矩阵了, 可以转向下一步, 否则仍继续(ii)。

(iii) 输出 R^* 、手工或计算机连群, 绘制谱系图。

2、一种非谱系的聚类方法——ISODATA模糊聚类方法

ISODATA 是 Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques A 的缩写, 意即迭代自组织数据分析方法A, 它是通过迭代法不断地分裂与合并原有的各群, 从而在某种意义上得出最佳的分类结果, 常用来实现大容量样本的聚类或者检验某种分类结果的正误。

这里介绍的ISODATA模糊聚类方法是在已知某种初始分类的情况下, 认为各样本以各不相同的隶属度隶属于各类, 并通过迭代不断地修改隶属度, 使得最后得到在某种意义上(例如使某个泛函达到最小)最佳的结果。最后的结果为各类的聚类中心和各样本对各类的隶属度, 其数学原理如下。

设集合 X 含有 n 个元素, 将其分为 G 个类的任一种分法都可用满足如下三个条件的矩阵 $U_t = [U_{ij}]_{G \times n}$ 来表示:

(i) $U_{ij} \in [0, 1]$, 表示 X 中的第 j 个元素 X_j 隶属于第 i 类的隶属度, 它只能在 $[0, 1]$ 上取值;

$$(ii) \quad \sum_{i=1}^G U_{ij} = 1;$$

$$(iii) \quad \sum_{i=1}^n U_{ij} > 0.$$

显然这样的 U_i 将有无限多个, 我们希望求得其中最优者。有一个方法就是把泛函

$$J(U_i, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^G U_{ij} \|X_j - V_i\|^2$$

极小化的 U_i 和 V (各类的聚类中心) 作为最优解, 然而这个泛函极值问题的求解相当困难。

所幸的是有人证明了, 对于如下问题:

$$J_m(U_i^*, V) = \min \{ J_m(U_i, V) \}$$

其中 $J_m(U_i, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^G U_{ij}^m \|X_j - V_i\|^2$, 当 $m > 1$, $X_j \neq V_i$ 时, 可以采

用如下的迭代格式来求解 U_i^* 和 V , 而且迭代过程是收敛的:

(i) 任选一初始划分 U_i ;

(ii) 用公式

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n (U_{ij})^m X_j}{\sum_{j=1}^n (U_{ij})^m}$$

算出各个 V_i ;

(iii) 用公式

$$U_{ij}^* = \frac{1}{\sum_{t=1}^G \left(\frac{\|X_j - V_i\|}{\|X_j - V_t\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}$$

计算 U_i^* 的全部元素;

(IV) 若 $\max_{i,j} \left\{ |U_{ij}^* - U_{ij}| \right\} < \varepsilon$, ε 为预先指定的一个小的正数, 则此时的

U_i^* 、 V 即为所求, 否则, $U_i^* \Rightarrow U_i$, 并返回(ii)进行下次迭代;

(V) 输出 U_i^* 和 V 。

得到最后结果 U_i 和 V 后, 可按如下方法之一使模糊划分清晰化:

(i) 若 $U_{io,j} = \max_i (U_{ij})$, 则将 X_j 划属 i_o 类;

(ii) 若 $\|X_j - V_{i_o}\| = \min_i \|X_j - V_i\|$, 则将 X_j 划属 i_o 类。

三、岩体含矿性的模糊评价法

在以往的岩体评价中通常是把已知岩体简单地分成含矿的和不含矿的两大类, 研究二者各元素含量上的差别后, 再对一些未知岩体的含矿性作出评价的。这种作法显然是

不恰当的。因为同属含矿的岩体，也可能会由于其所受各种因素的影响程度的不同而造成某些元素含量有较大的差别。将这些有较大差异的对象强行纳入同一母体后作为对未知评判的标准，显然结果是会产生较大的偏倚的。

有时也采用聚类分析将已知岩体分成不同的类后再用判别分析对未知岩体进行评价，也会出现效果不好的情况，其原因首先在于如前所述的普通聚类分析的缺点，其次是在实际应用中有时满足不了判别分析对各已知母体(由样本来代表)的正态性、等协方差性以及样本容量等方面的要求。

针对以上问题，我们提出了以下的岩体含矿性的模糊评价方案。

1、控制样本的选取

选取待评价地区的全部含矿岩体组成控制样本。假设这个控制样本有 n 个岩体，每个岩体取了 p 个变量，则全部控制样本就可以表为 p 维线性空间 R^p 中的 n 个向量。

2、含矿模式的获得

采用模糊聚类分析将控制样本分类。为使分类更加准确，并能获取各样本对于各类的隶属度，我们采用先按模糊等价聚类获得初始分类，后以此为初值进行 ISODATA 模糊聚类的方式，最后可以得出类别数 G 、划分矩阵 U 和聚类中心矩阵 V 。

由于全部控制样本都是含矿岩体，因而其任一所得分类均反应一种含矿模式，利用这 G 个含矿模式

$$K_1, K_2, \dots, K_G$$

即可对未知岩体的含矿性作出评价。

3、模糊模式识别及未知岩体的评价

将这 G 个含矿模式扩展为 R^p 上的 G 个模糊子集 $K_1, K_2, \dots, K_G$ 其相应的隶属函数为

$$\mu_{K_1}(x), \mu_{K_2}(x), \dots, \mu_{K_G}(x)$$

对于任一未知岩体 X_0 ，利用下式算出它对于各个子集的隶属度

$$\mu_{K_i}(x_0) = \begin{cases} 1 - a_i \|X_0 - V_i\|, & \text{当 } 1 - a_i \|X_0 - V_i\| \geq 0 \text{ 时} \\ 0 & \text{当 } 1 - a_i \|X_0 - V_i\| < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

其中 a_i 是与各类最大聚类半径有关的系数，并求出了

$$\mu_{K_{i_0}}(x_0) = \bigvee_{i=1}^G \mu_{K_i}(x_0) = \theta$$

后则可将 X_0 划属第 i_0 类，若已予先取定了阈值 α_0 ，就可按如下准则判断其含矿性：

若 $\theta \geq \alpha_0$ ，认为 X_0 属第 i_0 类含矿岩体；

若 $\theta < \alpha_0$ ，认为 X_0 属第 i_0 类不含矿岩体。

4、程序简介

以上所述的模糊评价法可以概括为图 1 中的方框图，以此为基础可编制出电子计算机程序。我们已用 ALGOL-60 算法语言编制了该法的程序，该程序能自动完成上述

评价方法的全过程。能够打印出宽行谱系图，以便现场确定合适的相似性水平决定初始分类，且程序执行速度较快。



图1 岩体含矿性的模糊评价法方框图

1、控制样本的选取

该区仅有三个已知含矿岩体(1、2、3号)，显然作为控制样本是太少了。因此，又选取了我队七五年对整个西昌地区岩体进行评价时的部分含矿岩体和矿化岩体的资料，同时又选取了该区在钻孔中或者地表确实已见矿化且又具有一定特殊性的一些岩体，一共二十个岩体。对每个岩体取如下十六个变量的平均值作为评价量：Cu、Ni、SNi、S、Co、Cr、V及其部分比值Cu/SNi、SNi/S、Cu/S、Ni/Co、Cr/V和四个反映岩相特征的二态变量橄榄岩相、辉石岩相、辉长岩相及玢岩相，各岩体特征见表一。

2、已知岩体的分类

将控制样本穿孔上机后得到了图2、表二和表三形式的结果，图2是按模等价关系聚类的谱系图。由该图可以看到，在0.85的水平上可将控制样本分为六类。第一类和第五类为玢岩。第二类包括

四、一个应用实例——盐边地区基性、超基性岩体的含矿评价

在盐边地区分布有大量的基性、超基性岩体(至今为止已发现了九十九个岩体)，其中部分岩体(1、2、3号岩体)富含 Cu 、 Ni 矿化，已求得若干工业储量。为进一步扩大该区储量，我队于八一年起就开始在该区投入地球化学评价，并应用了一些多元统计分析进行处理，但效果不佳，至今仍未打开该区的局面。分析原来作法的缺点后，我们采用了模糊评价法，具体作法如下：



图2 已知岩体聚类谱系图

表 一
表 征 特 本 样 制 控

序 号	岩体号	Cu	Ni	S	Cr	Co	V	Cu/SNi	SNi/S	Cu/S	Ni/Co	Cr/V	橄 榄 岩 相	辉 石 岩 相	长 石 岩 相	注 备	
1	新民	494	880	220	843	1968	70	38	2.2	0.23	0.59	12.6	52.0	1	1	1	含矿
2	黄草坪	581	1181	469	2170	1519	87	30	1.3	0.21	0.27	13.6	50.6	1	1	1	"
3	铁田沟	319	670	148	1646	1450	61	69	2.1	0.1	0.21	11.0	21.01	1	1	0	"
4	清水河	199	895	370	1644	1220	73	132	0.54	0.22	0.12	12.2	9.24	1	1	1	"
5	胜I	89	814	186	1808	971	64	33	0.34	0.14	0.05	12.5	29.42	1	1	0	"
6	胜II	161	778	286	4032	694	72	42	0.56	0.07	0.04	10.8	16.52	1	1	0	"
7	1#	53	684	97	580	1105	73	38	0.55	0.17	0.09	9.37	29.08	1	1	0	"
8	2#	48	714	88	580	1000	89	39	0.55	0.15	0.08	8.02	25.64	1	1	0	"
9	3#	83	1044	93	630	420	116	21	0.89	0.15	0.13	9.0	20.00	1	1	0	"
10	12#	22	657	109	310	846	50	34	0.20	0.35	0.07	13.14	24.88	0	1	0	Ni矿化
11	59#	208	400	250	8540	374	112	35	0.83	0.03	0.02	3.57	10.69	0	1	0	"
12	36#	31	704	76	130	1552	92	34	0.41	0.58	0.24	7.72	45.63	1	0	0	Cr矿化
13	42#	37	601	46	259	664	60	25	0.8	0.18	0.15	10.02	26.56	1	0	0	Cr、Ni矿化
14	小关河	130	340	100	2062	580	54	100	1.3	0.05	0.06	6.3	5.8	1	1	1	Ni矿化
15	杨合五	306	610	124	858	1190	56	115	2.4	0.14	0.35	9.2	10.3	1	1	1	"
16	田房	60	780	114	374	1118	88	99	0.52	0.3	0.16	8.8	11.0	1	1	1	"
17	18A	116	1107	107	390	394	56	60	1.08	0.27	0.30	19.77	6.57	1	0	0	给岩
18	18B	107	1341	101	440	478	60	58	1.06	0.25	0.24	22.35	8.24	1	0	0	"
19	21A	132	1122	80	460	894	89	112	1.65	0.17	0.29	12.61	7.98	0	1	0	"
20	21B	108	1122	104	290	915	94	59	1.04	0.36	0.37	11.94	15.51	1	0	0	"

了西昌地区的含矿及矿化岩体。第三类主要特征是有Cr矿化。第四、第六类分别为有差异的Ni矿化岩体。

在0.9的水平上仅将第二类型细分为盐边式和其它式两类,但此时含矿与矿化混杂在一起的第三类分辨不了矿与矿化岩体,显然按0.95的水平分类更为恰当。此时全部控制样本被分为九类。第一类仍为玢岩类。第二类中除秧田沟含矿岩体外,其余均为评价地区的含矿岩体,是该区的主要含矿类。第三类由两个含矿岩体组成、第四类除清水河岩体含矿外,其余均为矿化岩体,其余全为单岩体类,36号和42号岩体虽然含Cr矿化,但42号也有Ni矿化,分别为一类是合理的,再者12号和59号虽均见矿化(前者为钻孔所见,后者地表已见),但59号的S含量相当高这是其二者的不同之处。因而我们按0.95水平上的分类结果作为初始分类进入ISODATA聚类。最后结果示于表二、表三。按最大隶属度清晰化后的结果示于表四。

3、未知岩体的含矿性评价

我们只选取分析资料较齐全的五十一一个岩体(即1—59号的岩体)进行含矿性评价。

评价结果示于表五。

由表五可以看到,分到第I类的有8个岩体,并且这八个岩体中除18号外全都是玢岩。

第II类是最有意义的类。划属该类的岩体中除已知的含矿岩体(1、2、3号)外,还有55号、48号和32号,但其中仅55号岩体对该类隶属度大于阈值,说明55号是相当有希望的岩体,48号岩体也有一定的希望,但应放到次一级的地位上,而32则放在最后的位置。

模 糊 划 分 矩 阵 表 二

2	2	6	5	2	7	2	2	7	0	0	0	0	4	2	3	97	95	0	83
5	4	69	13	92	72	92	92	73	0	0	0	0	12	5	10	1	2	0	8
85	89	10	17	2	8	2	2	7	0	0	0	0	7	5	7	1	1	0	4
8	5	15	66	4	14	4	4	13	0	0	0	0	76	88	80	1	1	0	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注:表中数据均扩大了100倍。

第Ⅲ、第Ⅳ类为其它地区的含矿和矿化岩体类,本区没有一个岩体被划属该二类