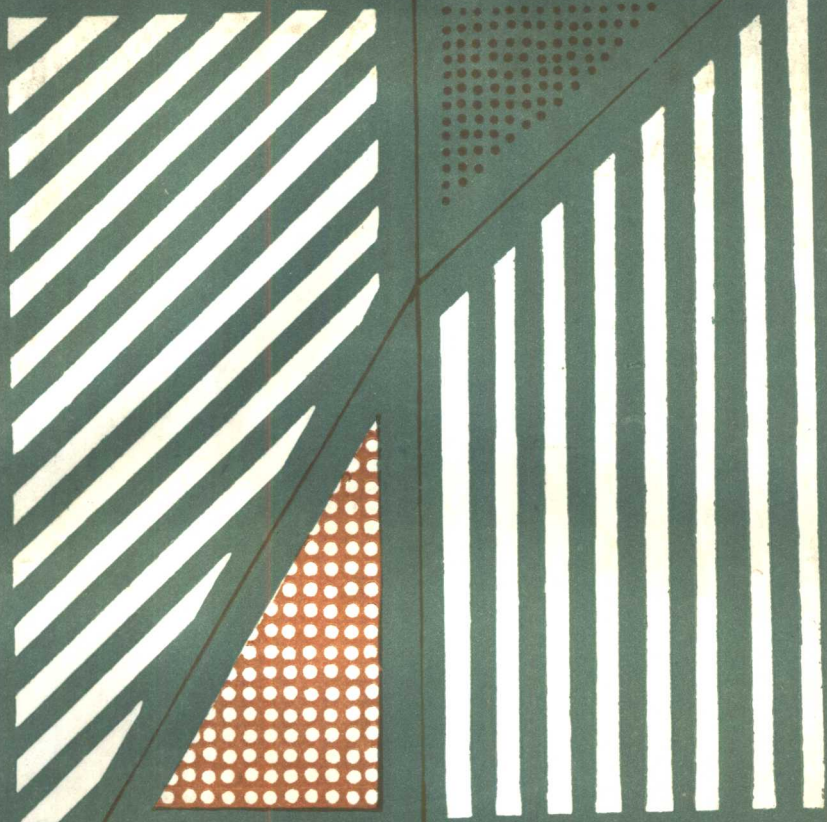


〔苏〕Н. Н. 波罗夫柯 著



金属矿床普查中物探 工作的最优化

地质出版社

金属矿床普查中物探工作 的最优化

〔苏〕 H. H. 波罗夫柯 著

张肇元 熊光楚 译

张昌达 校

地质出版社

内 容 提 要

本书介绍了金属矿床普查中物探工作最优化准则；物探数据的地质解释；普查目标的模拟；工作的最优化方法。书中对金属矿区物探中工作建立目标模型、制定普查准则，并对提高物探工作的地质效果和经济效益等问题作了较系统的论述。书中基本上概括了苏联近代金属矿物探工作的经验。

书中所讨论的问题也是目前我国金属物探界所面临的问题，在普查条件日益复杂的情况下，如何衡量和提高物探工作的经济效果，正在引起我国物探界越来越大的重视，因此，本书对我国物探工作有极大的参考价值。

本书适于从事金属矿的地质、物探及化探的管理、生产、科研及教学人员使用。

Н.Н.Боровко

Оптимизация Геофизических исследований
при поисках рудных месторождений

Ленинград «Недра»

Ленинградское Отделение 1979

金属矿床普查中物探工作的最优化

〔苏〕 Н.Н.波罗夫柯 著

张肇元 熊光楚 译

张昌达 校

*

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：曹 玉

地质出版社出版

（北京 西四）

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：7 字数：181,000

1985年12月北京第一版·1985年12月北京第一次印刷

印数：1—1,490册 定价：2.00元

统一书号：13038·新200

译 者 前 言

H.H.彼罗夫柯所著“金属矿床普查中物探工作的最优化”一书，叙述了四个方面的问题，即物探工作最优化准则，物探数据的地质解释，普查目标的模拟，工作的最优化方法。

作者在这本书中对金属矿区的物探工作，从提出任务到数据解释都做了讨论，尤其对建立目标模型、制定普查准则、如何提高物探工作的地质效果和经济效益等问题做了较系统的论述。书中引用了大量的实际资料，并大体上总结了苏联近代金属矿物探工作的基本经验。

书中所讨论的问题，也是目前我国金属物探界所面临的问题。在普查条件日益复杂的情况下，如何衡量和提高物探工作的经济效果，正在引起我国物探界越来越大的重视。

本书由张肇元和熊光楚合译，张肇元译第一章、第二章的一、二、三节和第四章，熊光楚译第三章和第二章中的第四节。张昌达同志校对了全稿。

我们希望这本书对从事金属矿的地质、物探和化探工作的管理、生产、科研及教学人员能有所帮助，并从中受到启迪。

由于我们的水平不高，译文中难免有不妥之处，敬希同志们批评指正。

译者 张肇元、熊光楚

一九八四年二月于北京

前 言

在金属矿床普查中，物探工作的最优化是提高物探工作效果的重要潜力。任何合理的工作都要有明确的目的和从属于目的的各项任务，以及衡量任务解决的效果和达到既定目标的准则。矿床的普查是极为重要而又花费高昂的过程。这种工作虽然世代都在进行，并且具有毋庸置疑的效益，但在要解决的任务和拟采用的衡量效果准则的表达上仍有含糊不清的地方。近年来，由于普查条件越来越复杂、提高普查效果的必要性日益突出，普查过程最优化问题便引起了人们越来越大的重视。

这一点也和金属矿床普查中物探工作的最优化有关。其中要求分析下述一些问题：

——物探方法要解决的地质任务（或者物探方法要参予解决的任务），工作结果和这些任务具体表达之间的关系；

——解决任务方法的选择、工作结果与这一选择之间的关系；

——解决任务成功性的评价，这种评价的准则；

——在普查工作过程中所获取信息与其他地质资料综合利用的问题。

过去曾经认为，这些问题的解决是不困难的，因为只限于最简单的普查过程模型（例如，“在均匀的周围介质中，查明形体简单性质均匀的”目标）。随着普查条件日益复杂，提高普查效果的潜在能力，为物探方法提出确切的任务和更全面地利用物探方法取得数据等，便起着越来越大的作用。以某种方法解决某项以一般形式提出的任务是否有效问题，往往无法回答。只有在地质资料的总和中和利用某种方法结果的完全肯定的具体方案内才能探讨该方法有效，还是无效。

以任一矿区为例均可说明下述情况。提高普查工作效果的要点是正确认识目标和普查条件。工作最优化要求准确地提出整个工作每一阶段和参予综合的每种方法的**任务**，完全合乎要求地解释获取的数据，适宜地表达随后采纳的实际决策（选择下一步进行更详细工作的地段等）。运用这些潜力往往要比所用技术手段的任何改进会得到更多的效果。

当前物探方法运用的可能性远未得到充分发挥，甚至从现有的物探数据中也未能提取出全部的有用地质信息。所有这一切在很大程度上与整个普查工作（其中包括物探工作）的方法学研究得不够完善有关。正是由于对普查方法学的一些带有根本性的问题研究得不够充分，才造成了这样一些局面。因而轻率地提出了一些要求购置各种有特效的仪器设备的申请书，似乎这类仪器设备能从根本上改变普查效果，好像如此便能代替其余的全部综合方法。殊不知，审查这类申请书分散了对首要工作——发掘和运用提高普查效果的上述现实潜力——的注意力和精力。

成矿理论和普查方法的发展〔9, 11, 60, 146, 200, 201, 226, 244, 248〕；物探方法综合的基本问题的研究〔6, 27~29, 32, 34, 92, 124, 157, 177, 179, 189, 231, 270, 271, 276, 277, 285〕；矿物原料和地质勘探工作经济学〔38, 108, 110, 130, 134, 185, 247, 293, 294, 300, 305〕，其中包括在金属矿物探中经济分析的有益经验〔26, 94, 296〕；金属和其他有用矿产普查中物探工作最优化的研究〔43~45, 91, 132, 133, 264〕，以及针对人类活动各个领域的系统分析的发展〔95, 104, 240〕等，都为在金属矿床普查中物探工作方法学研究的进展准备了条件。许多研究人员都谈到了必须专门研究在金属矿床普查中物探工作最优化问题的紧迫性〔278, 321〕。

本书试图探讨普查最优化问题及该问题与工作目标模拟和获取数据解释过程间的复杂关系，同时还考虑到了现代普查过程的特点：

——普查条件日益复杂，普查目标埋深越来越大，物性差异

越来越小

——越来越重视按控矿因素的总和进行预测，按矿体引起的异常效应直接找矿的作用越来越小，以更复杂和更大的目标——矿田——取代矿体，作为普查的主要目标；

——普查的综合性质，以组合的方法会取得成功，而用单一方法却效果很小；

——数据的解释水平意义重大，其中包括按目标的特征总和对它们（地段，块段）进行识别和分类所起的作用尤不容忽视。

对普查工作成效性的定量评价给予了特殊的重视——这是普查工作效果的量度。实际上这一课题牵涉到金属矿床普查中与物探工作的组织和结果解释有关的极为广泛的问题。所以这里只探讨在专门文献中很少论及或如不能正确地解决它们便会在普查效果上遭到特别明显损失的一些问题。

本书供广大从事金属矿床普查工作的专业人员（物探人员和地质人员）使用。其中主要探讨了有关最优化问题的实质，对最优化的公式化程序谈得较少。力求将专门数学的推导和术语减到最少。目前只能认为，在这方面才刚刚迈出最初的几步，主要的工作还有待将来。

作者十分感谢M.H.斯托尔普纳Ю.Д.叶夫多基莫夫和Л.Т.米申，感谢他们在写作过程中所给予的有益建议。

目 录

前言

1. 物探工作最优化 准 则	1
1.1 物探工作的成效性(概念的内容)	1
1.1.1 任务的提出	1
1.1.2 地质勘探工作经济学的某些特点	2
1.1.3 普查任务变化的基本趋势	3
1.1.4 现代普查过程的特征	6
1.1.5 物探工作最优化任务	8
1.2 物探工作最优化的经济准则	12
1.2.1 普查工作产品数量的确定	12
1.2.2 最优化的经济准则	15
1.2.3 简化的最优化准则	26
1.3 在普查过程不同阶段上工作的最优化特点	29
2. 物探数据的地质解释	33
2.1 解释过程概述	33
2.2 标出异常	35
2.2.1 “异常”概念的详细说明	35
2.2.2 重力勘探中基岩地形影响的估算	37
2.2.3 介质总的不均匀性的估算	40
2.2.4 划分异常的统计方法	42
2.3 深部构造模型的选择	45
2.3.1 解释的非单值性	45
2.3.2 先验模型集选择的影响	50
2.3.3 综合解释的意义	53
2.4 普查目标的识别	54
2.4.1 识别方案的内容	54

2.4.2	建立普查及评价的准则	37
2.4.3	标志信息量评价和远景综合准则的建立	67
2.4.4	目标识别效果的一般性问题	74
2.5	储量预测评价	77
3.	普查目标的模拟	85
3.1	研究目标模拟的一般概念	85
3.1.1	模型的用途	85
3.1.2	模型的分类	87
3.1.3	建立模型的原则	89
3.2	单一目标的模型	91
3.2.1	建立及应用模型的一般方案	91
3.2.2	模型的内容	92
3.2.3	建立模型	94
3.3	类别目标的综合模型	97
3.3.1	建立综合模型的程序	97
3.3.2	确定目标的最终集合	99
3.3.3	标准选取的代表性	100
3.3.4	典型目标	102
3.3.5	目标的类比问题	104
3.3.6	调查方案对标准抽样性质的影响	106
3.4	类别目标综合模型的应用	109
3.4.1	数据解释	109
3.4.2	在直接找矿任务中普查工作效果的描述	112
3.4.3	预测时物探工作效果的描述	119
3.5	最重要类型矿床模拟的现状	125
3.5.1	含铁石英岩矿床	125
3.5.2	磁铁矿矿床	127
3.5.3	硫化铜镍矿床	132
3.5.4	含铜黄铁矿床及黄铁矿—多金属矿床	138
3.5.5	斑岩铜矿床	143
3.5.6	稀有金属矿床	145
3.5.7	模拟普查目标时出现问题的一般评述	149
3.6	模型的信息量	154

4.工作的最优化方法	158
4.1 最优化的基本原理	158
4.2 根据在类似条件下的工作结果, 实现综合的最优化	160
4.3 用离散的观测网发现目标	162
4.4 在干扰背景上发现异常	164
4.5 复杂的最优化模型	173
4.6 评价远景地段和矿点的任务	181
4.7 解决局部的地质任务	185
4.8 普查过程管理自动化的远景	191
4.9 必要资料的来源	193
结论	196
参考文献	199

1. 物探工作最优化准则

1.1 物探工作的成效性（概念的内容）

1.1.1 任务的提出

综合普查工作最优化的基础在于对比所获信息的价值和必要的花费。一般说来只能论及为解决某项任务所需的整个综合方法的效果。分出与该综合方法中某些方法的利用有关的效果往往是有条件的。因此，首先必须探讨整个矿床普查工作的效果，然后，在这一基础上——探讨参予综合的物探方法的效果。

普查工作最优化准则的研究目前处于初始阶段[36、130、203、247]，离最终解决还相差甚远。对这一课题的分析表明，不能对普查工作组织的所有层次，队、大队、局、部门，要求统一的准则。所有上述层次的准则都应服从于整个部门的最优化任务，相互协调，但它们又因层次不同而各异。下面只想谈一谈物探或地质-物探队活动的最优化准则。

任务是在工作设计阶段，借助于评价它们的预期效果使综合最优化。评价已完成的工作，作为促进提高效果措施的依据——这一特殊课题，不拟在这里探讨。看起来，这一课题大体上应在同样的原则基础上加以解决。然而评价已完成工作的效果，作为在相似条件下论证综合方法的依据与我们的题目有直接的关系。

1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.2 各节用来分析在金属矿床普查中物探工作地质效果的性质，特别是论证最优化准则；在第2章中探讨数据解释水平对普查效果的影响以及在对综合进行最优化时如何考虑这一因素；在第3章中讨论拟寻目标的模型，这是普查综合最

优化的基础，在第4章中提出综合工作最优化的具体方法。

1.1.2 地质勘探工作经济学的某些特点

在普查工作最优化准则中必须充分考虑下述地质勘探工作的特点[130, 203, 246, 293, 294]。

1.地质勘探工作作为多阶段过程，并且，在某一阶段上的成功不能保证在随后各阶段上的成功。过程的最终结果（生产花费的结果）只有在开采工业范围内才能体现出来。因此地质勘探工作最优化的基本原则——在获取矿物原料的整个过程中，包括开采和选矿，以最小的花费取得最大的利润。对这一过程中各阶段效果的评价准则应服从于整个过程的最优化任务。

普查工作为复杂多阶段过程的中间阶段，产品的主要特点是它的潜在性质。这种产品的使用价值取决于在随后的各阶段上能否对它充分地加以利用。在少数的情况下，如果这种信息未予利用，那么就不会对获取矿物原料的过程产生影响，因此从国民经济利益的观点来看，相应的普查工作就是无效果的。普查工作的所有这些特点使普查（和全部地质勘探过程一样）在最终产品——矿物原料——的价值中所占份额的问题变得极其复杂。

普查的效果与早期已完成的工作结果关系甚大。影响可能是双重性质的。一方面，在整体工作中，某一阶段工作的顺利完成会使下一阶段的工作更有效地进行。另一方面，早期工作可能已揭露出某些位于该地区的矿床，一般是最易发现的矿床。这样，随后阶段的普查工作，在相同的自然条件下，便会变得“效果较差”，因为矿床会更小些，查明这些矿床也就更加困难。

2.地质勘探工作每一具体行动的结果与自然因素关系甚大。例如，按加拿大地质人员的统计，为发现一个工业矿床野外队需要有数百个工作季节[314]，即对每一个具体的野外队来说，在普查区域内工业矿床的有无在颇大程度上是一种偶然事件*，概率

* 由几百个普查队精心组织的普查工作具有一定的工业生产过程的性质，可以保证每年稳定地提交若干工业矿床，这是另外一回事。

为几百分之一，或甚而几千分之一。发现大型矿床是更为罕见的事件。最后，一处巨大型的矿床能立刻显著地影响原料基地的状况，就是说也会影响有关普查工作效果的概念。

普查的成败还取决于拟寻目标的其他自然特征，以及工作条件：疏松沉积的厚度和成分，各类干扰现象等。

3.有数十乃至数百个拟寻矿产的无工业价值的矿点才会有一个工业矿床。提高地质勘探工作效果的最重要潜力——尽可能早的和足够可靠的对目标做出评价。因此在一般普查的亚阶段中要考虑到随后详细普查和普查评价工作的花费。

4.普查工作的产品是信息，其中绝大部分应适于一次和多次利用。虽然这种信息会自然老化，但是在普查工作最优化的要求下，只着眼于具体的普查目标是不完全正确的，而应在某种程度上考虑到可预见的未来普查工作能否顺便和较便宜地获取资料。

概略地说，信息的有效性与其能否充分被利用有关，即与在研究信息时表现出来的能力有关。信息的潜在价值有可能不会完全体现出来[174]。有必要指出，信息的潜在价值不易估计：新的信息，补充已有的信息，能显著地提高它的意义。

5.对地质勘探工作，尤其是对普查阶段来说，其特点是由造成花费的时刻起到获得结果（矿物原料），其间的时间间隔极长。在如此长的时期内，矿物原料经济学，开采和加工工艺学，对原料的要求，对原料各种来源的评价等会发生各种变化，所以当前普查的目标有可能明显地不同于当前开采工作的目标。

1.1.3 普查任务变化的基本趋势

论证普查工作最优化准则时，必须考虑到金属矿普查在任务提法上出现的主要变化趋势。普查的条件越来越复杂[109]，在通行条件困难和开发差的地区内工作量日益增加，深埋和难发现矿床所占的比重越来越大。

在一些外国（主要是加拿大的）专家的著作中，谈到了这类变化趋势的某些定量数据。按H·佩特森的资料[312]由50年代初

到60年代末发现一个有经济价值的工业矿床的花费从1.9增长到18.7百万美元。D.A.克兰斯顿也提出了大致相同的数字[301]，按他的数据，由1946到1971年，花费从2百万美元增长到14百万美元。按P.C.亨肖的资料[308]，大致在同一时期内，发现大型矿床的花费由10增长到15~30百万美元。多少使人感到欣慰的情况是，随着发现矿床费用增长的，矿床的平均规模也增大了，即找出一吨金属储量的花费增长缓慢。按D.A.克兰斯顿的资料[301]，在由1946到1971年时期内，找出一吨金属的成本只增长了一倍，而发现矿床的平均规模在25年内“增长了”2.5倍。

普查工作效果降低的主要原因是：（1）过渡到边远，研究程度差的地区找矿（在所援引的加拿大地质人员著作中这类地区是不列颠哥伦比亚、育空和西北地区）；（2）开发物性差异较小的矿石；（3）研究埋藏深度较深的矿床；（4）各类干扰的相对作用增强。

下面较详细地探讨一下后三种降低普查工作效果的因素。

1. 规模不大和中等的富矿体，尤其是铜和多金属，即使埋藏很深，从长远看还将具有工业价值。但是，总起来说，工业将在越来越大的程度上仰仗于开发巨大、适于露天开采的浅部贫矿体。实际上，所有分析矿物原料经济学发展趋势的专家们都认为，未来金属的主要来源是巨大的贫矿石矿床。这类矿床储量甚大，其所占体积由十分之几到几立方公里。可以想象，对这类矿石会有相应水平的加工方法，这样，综合利用矿石中所含组分会变得有利可图[168, 319]。例如铜矿工业已开采含铜0.2%的斑岩铜矿石。

降低矿石中有用组分的品位不可避免地会导致缩小矿石和围岩间的差异，因而使这类矿体的找矿工作更加困难。

2. 寻找出露差和深部矿体在保证工业所用的矿物原料方面发挥着重要的作用。按Д.И.戈尔日夫斯基、Э.Н.巴兰诺夫、П.С.列瓦金的数据[82]，在鲁得内依阿尔泰于1945~1970年间未发现一个出露地表的工业矿床。全部已发现的矿床（基森、奥尔洛

夫、诺沃佐洛图森、柯尔巴立欣、斯杰普诺、扎列琴等)按储量约占早先已知储量的50%，均属隐伏矿床。

在中乌拉尔含铜黄铁矿床开采的矿体中，70%为隐伏矿体，是在坑道中打开采钻的过程中发现的。在开发较晚的地区内，目前大部分已知矿床仍是出露的和埋深不大的矿床。例如，在南乌拉尔32个含铜黄铁矿脉中，27个位于厚度不足30m的中新生代岩石覆盖层之下；30个矿脉为受剥蚀的块状矿或矿化的热液蚀变岩。

在疏松沉积较厚的情况下，如块状矿埋深不大于100~150m，见矿的希望很大。这一点已为用综合地质——物探工作在贾依勒干和马勒德古萨依地区发现的一些矿床——如阿腊琴、春日矿床、秋日矿床、夏日矿床[55]，所证实。

揭露深部矿体是项复杂的任务。在这方面很难赞同如H.O.西格尔[316]等人的意见，他们宣称，现代的技术手段，实际上可以发现离地表小于100m的任何有价值的多金属矿体。下面将要谈到，只有在附加一些不容忽视的限制条件下，才能同意这种看法。

3. 在研究埋藏较深的目标，而矿石和围岩间的差异缩小的情况下，地质干扰影响增大。在这方面，重要的不仅是异常减弱，而且干扰的绝对显示又增强。这一点和覆盖层的不均匀性有关。在划分有意义的异常时，必须考虑附加的干扰源。

在鲁得内依阿尔泰[82]对埋深超过150~200m的“典型”矿体来说，如疏松沉积的厚度达10m，则重力、导电率和极化率异常便相当于干扰水平。如果疏松沉积厚度增大到30~60m，勘探深度就会减小1/3~1/5，而接近于覆盖层的厚度。例如，矿体的重力异常会被与漏斗状风化壳有关的负异常抵消而显示不出来。

在南乌拉尔由巨大的黄铁矿体，当其埋深为400~500m时，预期会产生0.5~0.7mGal的异常[158]。然而在多数情况下，围岩的密度降低或疏松盖层厚度增大，矿体的重力效应会显著地减

小。因此，在深度很浅的情况下，重力勘探也有可能漏掉大的矿脉。

在普查的目标中，所谓复杂掩盖的近地表矿床占主要位置〔62〕。这类矿床的大部分矿石均埋藏在露天开采所能达到的深度上，但在地面上只有部分出露，它们往往会造成工业价值不大的印象。

在综合调查最优化时，应注意上述趋势。今天的普查目标经10~15年后才会开始开采，并将开采25~50年。在如此长的时期内，类似上述的趋势会明显地改变典型矿床的面貌，而使它极不同于大部分现代的矿物原料产地。因此，普查综合的选择不应着眼于今天正处于开采中的那类目标，而应着眼于能符合明天要求的一类目标*。

1.1.4 现代普查过程的特征

可以相当有把握地断言，提高普查工作效果的重要潜力是改进它的组织方法（普查方法），选择普查手段，布署普查力量，以及在所有的工作阶段上更全面和合理地使用获得的信息。有关模拟普查过程的办法，往往只限于描述用某种方法研究某个区域，以及随后对划分出异常的检查工作〔86，151，321〕。但是，这种方式不能保证有效地解决繁多的普查任务。大量无工业价值的矿点，众多的假异常，高强度的干扰、普查手段的勘探深度不够都会招致甚大的花费和漏掉有价值的目标。

在多数情况下，普查效果——其经济上的合理性和足够的勘探深度（譬如，达500m）——只应以能否划分出有利的构造——可能的矿田〔11、103、105、231〕为依据加以评论。换句话说，在现代条件下，决定普查工作的战略和战术的主要目标，不同于传统概念上的矿体，而是矿田，矿田是预测局部矿体的基础，其中包括隐伏矿体。

* 在设计普查的技术手段时这一点尤为重要。由于还要加上这类手段的研制期限，因此这些手段的目标更加不同于今日的矿床。

进行普查工作的一般方式概述如下[11, c.5]。

阶段一。根据相当于1:200,000比例尺地质测量阶段的全部资料做中比例尺(1:200,000)预测。划分出矿区、矿结。本阶段末应对既定矿结的工业价值做出预测评价。这种评价的方法是目下大力研究的课题[290]。

阶段二。根据相当于1:50,000比例尺地质测量阶段的全部资料做大比例尺(1:50,000~1:25,000)预测。划分出可能的矿田。所谓一般普查的亚阶段[94, 294],部分解决这一阶段的任务,部分解决以下阶段(三和四)的任务。

阶段三。矿田的预测评价。

阶段四。划分出具体的目标(矿床),以进行初步勘探。

阶段三和四部分地包括一般普查亚阶段以及深部地质填图,详查和普查——评价工作[94, 294]。阶段三和四的任务部分地可借助于按下述顺序进行的工作同时加以解决。

1. 矿田近地表部分的详细调查。1:10,000~1:5,000比例尺的航空和地面物探测量、地质测量、化探工作、山地工程。

2. 深部物探工作。研究矿田构造。深部电法、地震勘探、填图钻探。

3. 打深(700~1000m或更深)部构造和普查钻孔,配合作井中物探和化探。

必须强调的是,解决阶段三的任务时,工作目标是整个矿田。因此见到的矿苗,或甚而个别矿体都不能作为在相应的地段上投放大量详测性和评价性工作量的理由(现在往往是这样做的),而只能把它们看做为评价整个矿田的一种准则,连同许多其他准则一并加以考虑。在阶段四上要在矿田范围内划分并评价最有远景的块段(矿床),而且应当在三维空间内——在面上并沿深度方向进行。

在大比例尺和评价工作阶段任务的这种表达方式至少可以提出这样的问题——怎样做有利:是将全部详测性和评价性工作量都投放在对大量矿石聚集不甚有利的含矿露头区呢?还是把工作