

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

深部矿产远景调查技术要求

Technical requirements for deep mineral prospect investigation

（报批稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言..... III

引言.....IV

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 总则..... 2

 4.1 目的任务..... 2

 4.2 基本要求..... 2

5 资料二次开发与设计书编审.....3

 5.1 资料收集利用..... 3

 5.2 设计书编写与审查..... 4

6 深部调查内容.....5

 6.1 深部矿产地质特征调查..... 5

 6.2 成矿控矿要素、成矿规律、含矿建造构造特征调查..... 5

 6.3 深部地质矿产地球物理、地球化学特征调查.....5

 6.4 其他需要调查的内容..... 5

7 深部调查方法.....5

 7.1 矿产地质补充调查..... 5

 7.2 构造地球化学调查..... 6

 7.3 重力调查..... 7

 7.4 磁力调查..... 7

 7.5 岩矿石物性调查..... 8

 7.6 其他地球化学和地球物理深部调查方法.....8

 7.7 钻探验证..... 9

8 三维地质建模.....9

 8.1 三维地质概念模型建立.....9

 8.2 地质-地球物理三维模型建立..... 10

9 深部成矿预测..... 11

 9.1 深部找矿预测模型建立..... 11

 9.2 成矿要素提取及成矿有利条件分析..... 11

 9.3 深部矿产预测评价..... 11

 9.4 深部找矿靶区圈定..... 11

9.5 深部成矿预测图和找矿靶区登记表编制.....12

10 质量控制..... 12

10.1 质量检查..... 12

10.2 野外验收..... 12

11 成果编审..... 13

11.1 报告编写..... 13

11.2 图件编制..... 13

11.3 成果提交..... 13

11.4 资料汇交..... 13

附 录 A（规范性）深部矿产远景调查项目设计书编写提纲.....14

附 录 B（资料性）地球化学深部调查方法..... 15

附 录 C（资料性）地球物理深部探测方法.....23

附 录 D（资料性）不同类型深部矿产常用的地球物理和地球化学调查方法..... 35

附 录 E（规范性）深部矿产远景调查图件样式..... 37

附 录 F（规范性）深部矿产远景调查报告编写提纲..... 39

参考文献..... 40

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本文件起草单位：中国地质科学院、自然资源部中国地质调查局、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中国地质调查局发展研究中心、中国科学技术大学、中国地质大学（北京）、北京探矿工程研究所、中国冶金地质总局地球物理勘查院。

本文件主要起草人：刘彦、吕庆田、张生辉、严加永、张昆、阮帅、吕志成、姚华建、高文利、王学求、张必敏、李惠、梁锋、王志辉、杨少平、陈建平、邹长春、朱文鉴、齐帅军、赵金花、袁慧香、曲晗、叶青。

引 言

矿产资源是经济社会发展的重要物质基础。随着浅部矿产资源的逐步减少和枯竭,找矿空间向深部拓展已成为必然趋势。深部矿产远景调查是一项集知识密集性与技术密集性为一体的系统工程,其顺利开展依赖于理论创新与技术进步。深部找矿难度大、投资多,应建立一套科学合理、可实施的技术要求,以满足深部矿产远景调查工作需要。为此,编写组在充分收集、研究国内外深部矿产勘查技术发展现状,结合国内深部矿产远景调查试点成果,同时参考国家和行业相关标准,制定了本文件。

本文件针对地下 500 m~3 000 m 深度的固体矿产地质调查给出了地球化学、地球物理深部调查方法和方法组合以及三维地质建模要求,对今后我国开展深部矿产远景调查工作具有重要的指导意义。

深部矿产远景调查技术要求

1 范围

本文件规定了深部矿产远景调查的资料二次开发与设计书编审、深部调查内容、深部调查方法、三维地质建模、深部成矿预测、质量控制与成果编审等工作的基本要求。

本文件适用于深部矿产调查与远景评价工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 33583 陆上石油地震勘探资料采集技术规程
DZ/T 0004 重力调查技术规范（1：50 000）
DZ/T 0011 地球化学普查规范（1：50 000）
DZ/T 0167 区域地球化学勘查规范
DZ/T 0071 地面高精度磁测技术规程
DZ/T 0173 大地电磁测深法技术规程
DZ/T 0079 固体矿产勘查地质资料综合整理综合研究技术要求
DZ/T 0142 航空磁测技术规范
DZ/T 0187 地面磁性源瞬变电磁法技术规程
DZ/T 0204 井中激发极化法技术规程
DZ/T 0227 地质岩心钻探规程
DZ/T 0248 - 2014 岩石地球化学测量技术规程
DZ/T 0280 可控源音频大地电磁法技术规程
DZ/T 0293 井中磁测技术规程
DZ/T 0297 金属矿地球物理测井规范
DZ/T 0305 天然场音频大地电磁法技术规程
DZ/T 0374 绿色地质勘查工作规范
DZ/T 0382 固体矿产勘查地质填图规范
DZ/T 0383 固体矿产勘查三维地质建模技术要求
DZ/T 0404 钻孔电磁波法技术规程
DZ/T 0426 固体矿产地质调查规范（1：50 000）
SY/T 5332 陆上地震勘探数据处理技术规范
SY/T 5481 地震勘探资料解释技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

深部矿产远景调查 deep mineral prospective survey

以成矿理论为指导，以查明工作区地下500 m~3 000 m左右深度内成矿条件、矿床特征和找矿潜力，圈定深部找矿靶区为主要目标的矿产地质调查工作。

3.2

深部找矿靶区 prospecting target area in deep

预测依据充分、成矿条件有利、资源潜力较大，预期可发现 500 m~3 000 m 深度可供进一步开展矿产评价工作的三维空间区域。

注：深部找矿靶区一般投影到平面的面积为几平方千米到几十平方千米。

3.3

区域地质概念模型 conceptual model of regional geology

通过对工作区地质、地球物理、地球化学、遥感、重砂、钻探、已知矿体（矿点）、地形高程等资料的研究判断，获得工作区域一定的构造、结构等地质方面的认知，并借助于形象的图像直观描述出来的几何形态体。

3.4

三维地质建模 three dimensional geological modeling

在掌握工作区地质、矿产、地球物理、地球化学、遥感、钻探等信息的基础上，建立区域地质概念模型，再运用计算机技术，将空间信息管理、地质解译、空间分析和预测、地学统计、实体内容分析及图形可视化等工具结合起来，生成用于地质矿产研究的三维地质模型的方法。

4 总则

4.1 目的任务

4.1.1 深部矿产远景调查的目的是通过调查工作区成矿地质条件、成矿系统结构和矿产资源特征，建立三维地质模型，评价工作区深部资源潜力，圈定深部找矿靶区，实现深部找矿突破，为后续矿产勘查工作提供依据，服务国家能源资源需求。

4.1.2 深部矿产远景调查的任务主要为：

- a) 开展工作区资料的二次开发和综合研究，了解工作区成矿地质条件和工作条件，确定深部调查的目标地质体，明确主攻矿产类型和调查方法。
- b) 开展矿产地质、地球物理、地球化学、钻探等深部补充调查工作，获取三维地质建模的数据信息，研究工作区主要控矿与成矿地质体的空间分布、结构及相互关系，大致了解深部矿产资源的规模、形态、厚度、品位等特征。
- c) 开展三维地质建模工作，基于地质矿产、地球物理、地球化学等信息，建立工作区三维地质矿产综合模型。
- d) 开展深部找矿预测工作，编制系列图件，评价深部找矿潜力，圈定深部找矿靶区。

4.2 基本要求

4.2.1 深部矿产远景调查应以成矿理论为指导，遵循资料的二次开发和利用、地表补充调查、深部综合探测的工作模式，全方位获取成矿找矿信息。

4.2.2 深部矿产远景调查应部署在已有矿产地质调查和矿产勘查圈定的成矿条件有利、找矿潜力大的地区，以矿集区为重点。

4.2.3 深部矿产远景调查比例尺一般为1:50 000，重点找矿地段的调查比例尺不小于1:10 000。调查深度一般为500 m~2 000 m，最大调查深度不宜超过3 000 m。

4.2.4 深部矿产远景调查应坚持有效性、可行性、经济性原则，充分利用已有资料，开展必要的补充调查，以高精度重力、磁力和构造地球化学调查为主，辅以其他调查方法，获取地质矿产、地球物理、地球化学等深部综合信息。针对工作区成矿地质背景、矿床类型，合理选择调查方法或方法组合。

4.2.5 深部矿产远景调查应将综合研究贯穿于调查全过程，促进地质调查和科学研究深度融合。针对制约找矿突破的理论、方法技术和资源综合利用等问题，鼓励开展专题研究。

4.2.6 深部矿产远景调查应贯彻绿色勘查理念，执行DZ/T 0374要求。需要开展的资源环境和技术经济条件综合评价工作，按DZ/T 0426要求执行。

4.2.7 深部矿产远景调查按资料收集与综合研究→野外踏勘→设计书编写与审查→野外工作（含以目标地质体为调查对象的剖面调查和面积性调查的填平补齐、针对性探测、钻探验证等）→野外验收→系统集成（三维地质建模和找矿预测）→报告编写→评审验收→资料汇交等程序进行。

5 资料二次开发与设计书编审

5.1 资料收集利用

5.1.1 应充分收集与深部矿产远景调查相关的各类资料，主要有：

- a) 自然地理与社会经济资料。包括：行政区划、自然地理、地貌、水文、气象及社会经济现状等资料；国家和地方社会经济发展、国土空间利用、生态环境保护、地质调查和矿产勘查等相关规划。
- b) 基础地质资料。包括：地质调查成果资料；地质图、地质矿产图、构造纲要图、岩相古地理图、建造构造图等资料；实测地层剖面图、实测地质构造剖面图等资料；实际材料图及野外记录本（卡）等资料；岩矿鉴定、岩矿分析、古生物鉴定及同位素测年等成果资料。
- c) 地球物理资料。包括：重力、磁法、电法、放射性测量、地震及井中物探等原始数据和成果资料，区域和工作区物性资料。
- d) 地球化学资料。包括：水系沉积物测量、土壤测量、岩石测量、自然重砂测量等原始数据及成果资料。
- e) 遥感信息资料。包括：不同时相、不同空间分辨率、不同频谱的航空、卫星遥感数据及解译成果，岩矿波谱测量等其他遥感资料。
- f) 地质资源条件。包括：矿业权设置情况等资料；工作区及邻区矿产资源调查评价成果资料及相关原始地质资料；已有矿床、矿（化）点地质资料，包含主要矿种、成矿作用类型、资源储量规模、勘查程度、矿体特征等。
- g) 科研资料。包括：矿产资源潜力评价、区域成矿规律、矿产地质志和典型矿床研究等成果资

料；涉及工作区及邻区的专题报告、专著及论文等资料。

5.1.2 应对收集到的各类资料进行分类整理，提取和利用有用信息。了解工作区自然地理、社会经济、矿业权设置和已有矿产等情况，初步掌握工作区地质、地球物理、地球化学特征等。在分析利用已有资料的基础上，确定工作区深部找矿远景区和调查工作重点及调查方法等，为设计书编制奠定基础。主要包括：

- a) 通过获取的已有地质信息，掌握工作区地层、岩石、构造、典型矿床的基本特征，分析建造构造与成矿的关系，初步确定目标地质体、主攻矿种、矿床类型。
- b) 分析研究工作区成矿地质条件、成矿规律和典型矿床特征，初步确定成矿地质体、成矿构造与成矿结构面、成矿作用的特征标志。
- c) 以寻找深部隐伏矿、难识别矿为重点，系统开展已有地球物理数据资料的再处理、再利用，提取地球物理综合找矿信息，筛选出针对性的技术方法组合。
- d) 应用国内外地球化学新理论、新技术、新方法，系统开展工作区已有地球化学数据资料的再处理、再利用；在全面分析成矿及其伴生指示元素组合特征的基础上，针对工作区具体矿种和矿化类型，定性或定量分析各种异常的空间关系和成因，提取地球化学综合找矿信息。
- e) 分析与成矿有关的建造构造类型及特征，编制成矿规律草图等相关图件。
- f) 梳理急需解决的关键成矿理论、找矿方法技术及资源综合利用等问题，提出拟开展的专题研究内容。
- g) 依据已有资料，结合分析研究成果，编制区域地质矿产图、工作程度图、成矿规律草图，地球物理、地球化学、自然重砂、遥感异常图、工作部署图、钻孔设计图及其他相关附图。

5.1.3 建立数据库。基于地理信息系统（GIS）建立包含所有已知数据和资料的综合信息数据库。

5.2 设计书编写与审查

5.2.1 野外踏勘

设计书编写前，视需要进行野外现场踏勘。全面了解工作区地质、矿产、地球物理、地球化学、遥感工作条件以及自然地理、地形地貌、植被覆盖、社会经济、道路交通等情况，并对室内收集的资料进行必要的野外验证。野外踏勘以能最大程度穿越不同类型的代表性矿化带、典型地质体等的地质路线为宜。

5.2.2 设计书编写与审查

应根据任务书和任务下达单位要求编写设计书。设计书主要内容包括：项目概况、目的任务、研究现状、存在的主要问题、技术路线和方法、工作内容和工作部署、实物工作量、预期成果、组织机构与人员安排、质量保障与安全措施、设备使用和购置计划、经费预算、绩效分析等，并附工作区地质矿产图、工作程度图以及工作部署图等图件。设计书的内容应齐全，重点应突出，文字应简练。设计书编写的具体内容及格式见附录A。

设计书经任务书下达单位审查批准后方可实施。变更设计书，需再次得到批准。

6 深部调查内容

6.1 深部矿产地质特征调查

调查深部矿产种类、数量、质量、规模、分布、地质特征及资源潜力；深部矿产类型、控矿因素及找矿标志；矿化蚀变特征，矿石质量及找矿前景。

6.2 成矿控矿要素、成矿规律、含矿建造构造特征调查

6.2.1 调查成矿地质背景、成矿地质条件、成矿时代，控矿因素及矿化蚀变特征等，主要有：

- a) 成矿有关的目标地质体类型及基本特征，包括岩石组合、形态、规模、产状、时空分布等，分析其成因、含矿性及其判别标志。
- b) 成矿、控矿构造特征，包括类型、样式、产状、活动期次、强度、深部变化特征及其与矿产的关系等。
- c) 找矿标志，包括矿化蚀变类型及分带，矿物共生组合及矿物标型特征，成矿流体矿物学标志、流体包裹体标志、成矿物质来源，空间分布及其与成矿的关系，建立找矿标志。

6.2.2 调查研究矿床（体）时空分布特征和演化规律，了解工作区三维地质结构。主要有：

- a) 矿（化）体赋存的地层层位、岩体部位和构造位置。
- b) 含矿建造和控矿构造的空间延伸及展布特征。

6.3 深部地质矿产地球物理、地球化学特征调查

调查地球物理特征、地球化学特征以及与建造、构造和矿化蚀变的关系；地球物理、地球化学、自然重砂、遥感等异常的范围、强度、成因及其与矿（化）体的关系等。

6.4 其他需要调查的内容

针对其他制约深部找矿突破的关键地质问题开展的专题研究工作等。

7 深部调查方法

7.1 矿产地质补充调查

7.1.1 矿产地质补充调查的目的是掌握目标地质体的产状、平面分布范围及深部延伸情况，详细了解目标地质体的岩性特征、矿化及蚀变特征，详细研究目标地质体的地球物理和地球化学特征及异常特征，大致查明与成矿有关的各类成矿控矿要素，编制矿集区矿产地质图。为地球物理和地球化学异常解释、成矿规律研究、找矿靶区圈定和矿产资源潜力评价提供基础地质资料。

7.1.2 应在前期区域地质调查和区域矿产调查工作的基础上，选择深部成矿控矿因素、矿化蚀变特征及地球物理和地球化学异常特征在地表有显示的地区进行。重点针对与成矿有关的目标地质体、深部矿产矿化蚀变、成矿及控矿条件，开展矿产地质补充调查工作。

7.1.3 根据工作需求选择调查比例尺。为查明成矿地质背景、成矿地质条件及区域成矿规律而开展的矿产地质补充调查，比例尺可选择1：25 000或1：10 000；为查明矿体特征和矿床成矿规律的矿产地质补充调查，比例尺可放大至1：5 000～1：500。

7.1.4 矿产地质补充调查，宜采用简测方法。对于以往已开展过相应比例尺专项矿产地质调查的地区可采用修测方法。地质路线应以穿越法为主，对重要地质体、地质界线、接触带、矿化带、标志层等辅以追索法控制或布设少量地表工程进行揭露。具体要求执行DZ/T 0382。

7.1.5 矿产地质野外补充调查，宜采用1:25 000地形图作为工作底图，没有1:25 000地形图的地区可采用1:50 000地形图放大作为底图，或应用满足精度要求的公开卫星影像数据产品作为工作底图。

7.1.6 矿产地质补充调查过程中，应综合运用地球物理、地球化学、遥感等调查成果，充分利用已有探矿工程资料，多途径、多角度获取与成矿相关的地质信息，综合分析深部成矿地质条件。

7.1.7 矿产地质补充调查应大致查明工作区深部成矿控矿因素在地表的地质特征，包括目标地质体、控矿构造的分布、规模、强度等基本地质特征；大致了解或识别深部矿体或矿化带在地表的矿化蚀变响应及特征，包括分布、规模、产状、蚀变及矿化类型等特征；初步总结深部成矿地质条件、控矿因素和找矿标志。

7.2 构造地球化学调查

7.2.1 构造地球化学调查的目的是大致查明工作区主要元素（同位素）在构造作用中的分配和迁移、分散和富集状态，发现深部成矿找矿的地球化学信息，分析和评价构造的含矿性。

7.2.2 构造地球化学调查，适宜于对区域上已发现的多个典型矿床的矿床类型、成矿模式、矿体就位空间和成矿元素组合等有较深入研究的矿集区。

7.2.3 构造地球化学调查，一般采用1:50 000、1:10 000的面积性测量，但不拘泥于网格取样，遵循“近构造蚀变带密”和“远构造蚀变带疏”的原则。以1:10 000面积性测量为例，大致采用100 m×40 m网格，图面采样点位周围20 m范围内采集构造和蚀变样品。若单点位附近构造和蚀变较发育，可采集多个样品；若单点位附近未发现上述介质则停止采样。同理进行1:50 000的采样工作。

7.2.4 样品主要采集构造岩（赋存在节理、裂隙、小揉皱、断裂、背斜及背形处的岩石）和蚀变岩。要求为：

- a) 采样介质。采取断层角砾岩、断层泥、碎裂岩、糜棱岩、节理和裂隙充填物、穿层细脉、背斜和背形核部岩石以及蚀变岩石。
- b) 采样方法及样重。在采样点周围沿着构造带连续采样或多点（大于5点）采样，均匀敲取同种类型岩性的岩石碎块，组合成一个子样品。样品重量应不少于500 g。记录构造性质、样品性质、矿化蚀变特征、构造产状（走向与倾向）、构造带宽度、坐标、构造两侧岩性。并拍下采样点照片。每个采样大格采集5个~8个子样，再组合成一个大样。按照均匀分布的原则布设2%的重采样。
- c) 样品组合。将每一个采样格子中的每个子样品先加工，缩分成两份，一份细碎，一份做副样，等重量进行组合，每个组合样品重量应大于或等于500 g。子样单独保留，用于异常检查时使用。

7.2.5 分析测试。根据元素组合特征，选择与成矿相关的元素进行分析测试。

7.2.6 其他要求。测网布置、样品采集、图件编制、分析测试及质量监控等按照DZ/T 0248执行。

7.3 重力调查

7.3.1 重力调查的目的是获取反映地下深部密度信息的高精度重力数据,提取工作区断裂构造、隐伏岩体、接触界面等要素,为三维地质建模、推断控矿地质体三维几何形态、分析成矿地质条件和找矿预测提供基础重力资料。

7.3.2 收集完整的覆盖工作区1:50 000比例尺的重力数据,当数据覆盖范围不全或数据质量达不到三维建模和后续反演精度要求时,应补充采集同等比例尺的面积性重力数据,达到完整覆盖整个工作区为止。

7.3.3 重力数据采集相关要求按DZ/T 0004执行。对于地表地形复杂的工作区,宜采用无人机摄影测量等手段获得地形数据,进行高精度近区、中区地形改正,以提高重力调查数据精度。

7.3.4 重力数据按要​​求解算为布格重力异常,每个测点应包含平面坐标、高程、布格重力异常等基本要素,形成重力原始数据表,编制布格重力异常平面图。

7.3.5 开展区域场与局部场分离工作。以1:200 000区域重力场为区域场背景,提取3 000 m以浅局部重力异常,可以采用滑动窗口平均法、波数域向上延拓法、趋势面法、波数域低通滤波法、插值切割等方法,进行对比分析,选择与地表地质图或已知地质情况吻合的剩余异常,为三维反演和地质建模提供重力数据。

7.3.6 采用多尺度边缘检测、小波分析等边界增强和识别技术,提取断裂、主要地质体边界等控矿构造。

7.3.7 获取布格重力数据和反映3 000 m以浅的剩余重力异常数据, 编制布格重力异常图、剩余重力异常图和重力异常综合解释图等图件。

7.4 磁力调查

7.4.1 磁力调查的目的是获取反映地下深部磁性信息的高精度磁异常数据,提取断裂构造、隐伏岩体、接触界面等要素,为三维地质建模、推断控矿地质体三维几何形态、分析成矿地质条件和找矿预测提供基础磁力资料。

7.4.2 收集完整覆盖工作区1:50 000或1:25 000比例尺的地面和航空磁测数据,当数据覆盖范围不全或数据质量达不到三维建模和后续反演精度要求时,应补充采集1:50 000比例尺地面磁测或1:25 000比例尺低空航磁面积性磁力数据,完整覆盖整个工作区。

7.4.3 地面磁测按DZ/T 0071执行，航空磁测建议优先采用超低空无人机或有人直升机航磁，获取1:25 000高精度磁测数据，技术要求执行DZ/T 0142。

7.4.4 地面磁测和航空磁测数据均应整理形成成果表。地面磁测数据成果表内容包括：平面坐标、高程、磁力仪探头高度、测量年月日，日变改正值和各项改正后的磁异常。航空磁测数据成果表内容包括：平面坐标、飞行高度、测量年月日，日变改正值和各项改正后的磁异常。

7.4.5 开展化极处理。把斜磁化的异常转化为垂直磁化,以便异常归位,特别是低纬度地区,需采用针对性的化极方法,形成化极磁异常数据,编制化极磁异常平面图。

7.4.6 对化极磁异常应开展区域场与局部场分离,提取3 000 m以浅局部磁异常。区域场分离可以采用滑动窗口平均法、波数域向上延拓法、趋势面法、波数域低通滤波法和插值切割等方法,进行对比分析,选择与已知地质情况吻合的剩余异常为三维反演和地质建模提供磁异常数据。

7.4.7 采用多尺度边缘检测、小波分析等边界增强和识别技术,提取断裂、主要地质体边界等控矿构造。

7.4.8 获取磁异常成果数据和反映3 000 m以浅的剩余化极磁异常数据，编制磁异常图、化极磁异常图、剩余化极磁异常图和磁异常综合解释图等图件。

7.5 岩矿石物性调查

7.5.1 岩矿石物性调查目的是获取岩矿石物性数据，分析物性和岩性的关系，为三维地质建模和三维反演地质解释提供可靠依据。

7.5.2 收集工作区所有地层、岩石和矿体的物性资料。获取岩矿石名称、蚀变、密度、磁化率、电阻率和磁化率等物性参数信息。必要时，收集波速等其他物性参数信息。

7.5.3 若收集物性参数不全或达不到工作要求时，应补充采集物性样本。样品类型应全面覆盖工作区所有地层、岩体等地质单元，每一类岩石样品数量应不少于30个。采样位置应均匀分布在工作区。样品记录表应包括采样点坐标、野外定名等基本信息。

7.5.4 密度样品测量，应将样品在清水中浸泡达到水饱和，固结样品浸泡时间一般为24 h，半固结的样品浸泡约4 h左右，以不泡烂为宜。未固结的松散沉积物样品可不进行水饱和，按大样法测量密度，也可对样品进行封蜡处理后，采用天平法测定密度。

7.5.5 强磁性样品测量，可用手持磁化率仪测定；测量弱磁性标本，可用标本架或卡帕桥磁化率仪器测定。

7.5.6 电阻率测定，可采用露头法、标本法、电测井和井旁测深法测定，实际工作中应根据具体情况选择测定方法。当客观条件受限或者难于直接确定某种方法的效果时，宜采用综合性测定方法。

7.5.7 样品极化率测量，采用封蜡法、双盆边架法、标本架法、泥（面）团法或直接用SCIP等电性标本测量仪测定，露头极化率用对称小四极法测量。

7.5.8 物性资料整理后应填写物性数据表。内容包括：样品编号、采样点坐标、岩矿石名称、蚀变情况、密度、磁化率、剩余磁化强度、电阻率、极化率、纵波速度、横波速度、其他物性、备注等。要求岩矿石名称要准确，宜通过薄片鉴定方式给出准确定名。标本破碎、孔隙等情况需在备注中说明。

7.5.9 统计分析物性和岩性的关系，建立工作区物性和岩性对应关系，为三维地质建模中的建模地质单元物性赋值提供可靠依据。

7.5.10 编制工作区物性数据表，岩性-物性统计表，岩性-物性交汇图和统计直方图。

7.6 其他地球化学和地球物理深部调查方法

7.6.1 构造叠加晕法、土壤微细粒分离法和元素活动态法也可获取深部地球化学找矿信息。有条件的工作区，可视能力和需要，选择其中的一种或多种方法，开展深部地球化学调查。调查方法和要求参见附录B。

7.6.2 电磁法、地震法、测井和井中物探法（参见附录C）等地球物理方法，可探测不同深度的目标地质体，以获取深部的地球物理找矿信息。不同的工作区，可根据方法的应用条件、探测效果以及财力状况等，适当选择上述方法中的一种或多种方法，配合重力和磁力开展深部地球物理调查工作。

7.6.3 探测深部不同类型矿产，可采用不同的地球化学和地球物理调查方法。主要矿床类型深部探测宜选择的地球化学地球物理方法参见附录D。

7.7 钻探验证

7.7.1 地质钻探的目的是获取地下深部岩心地质资料，验证地质、地球化学、地球物理研究成果的准确性。地质钻探对了解区域地质体及矿体（层）数量、总厚度、埋深、产状、形态、长度、延深、厚度、品位、岩石力学性质等至关重要。

7.7.2 应充分收集利用已有的钻孔资料，为地球物理、地球化学异常解释提供参数，为三维地质模型建立提供可靠数据。当已有钻孔资料不能满足三维建模数据要求时，应根据需要安排钻探验证。钻探技术要求按DZ/T 0227执行。

8 三维地质建模

8.1 三维地质概念模型建立

8.1.1 在全面收集整理工作区已有和实测资料、建立综合数据库的基础上，按照DZ/T 0383要求，采用三维建模软件，构建三维地质概念模型。以三维可视化方式直观呈现，能够描述地质构造、地层、岩浆岩、蚀变带、矿体等地质对象的形态、分布、接触关系等要素，提取深部成矿条件、控矿要素、找矿标志和目标地质体空间分布特征等信息，为后续建立的地质-地球物理三维模型提供初始模型。

8.1.2 三维地质概念模型的具体建模过程和要求如下：

- a) 区域矿产调查综合数据库建立。收集整理工作区地质、地球物理、地球化学、遥感、重砂、钻探、已知矿体（矿点）、地形高程等相关资料，建立矿产调查综合数据库矢量文件，包括平面GIS数据和三维建模基本数据两类矢量数据。
- b) 地质界面模型构建。根据区域地质情况，以工作区地质剖面（实测剖面）、钻孔、地球物理、地球化学、地形高程、遥感影像等资料为依据，结合大比例尺地质图及相关剖面图等相关资料，运用计算机自动处理和人机交互处理技术，采用插值、直接连线、添加辅助线等方式，构建包含工作区地表、地层、构造、岩浆岩、矿产及区域成矿关键特征（蚀变带等）的地质界面模型。
- c) 三维建模变量提取。研究工作区地质图及相关剖面图确定构造的性质、形态、形成期次及与矿体的关系，通过对构造的现状及其形成过程的理解和推测，分析区域构造演化特征。根据地质构造的复杂程度及构造的展布情况，突出控岩、控矿构造，提炼与成矿相关的有利成矿构造作为三维建模变量。
- d) 地质体界线三维模拟。首先进行构造分区，之后依据主干剖面方向进行二维剖面创建，根据具体地质情况对剖面进行修编，将修编后的文件转换为三维空间线文件。再采用连接面、封闭面、面裁剪等多种方式，建立各类地质体模型。不同矿种以及同一矿种不同成因类型的矿床，应分别建立综合信息找矿模型，区分不同构造层和分区，确定地质建模目标对象。
- e) 三维地质体构建。在上述工作的基础上，将不同地质体界线进行三维连接形成地质曲面，通过建造各层曲面的三维拓扑关系形成三维地质体，完成三维地质概念模型的构建。构建的三维地质体原则上应符合已知信息和对工作区整体地质认识的要求，能够为靶区圈定和远景评价提供依据，为调查区攻深找盲提供有价值的线索。

8.1.3 完成三维地质概念模型图图件编制。应编制三维地质概念模型图图件，包括：地层、构造、岩浆岩、矿化蚀变带、矿体、钻孔的空间位置关系，三维坐标等信息。

8.2 地质-地球物理三维模型建立

8.2.1 地质-地球物理三维模型应在构建的三维地质概念模型基础上，根据地球物理观测数据（主要为重力和磁力数据）反演而建立。依据建立的三维地质-地球物理模型，可深入分析地质体空间结构，提取地质信息开展深部成矿预测；分析与成矿有关地质体的空间关系，建立成矿模式；还可开展矿山设计、储量计算和深、边部矿体预测等工作。

8.2.2 建立地质-地球物理三维模型，宜选用离散体重磁反演建模方法。建模过程和要求如下：

- a) 建模区域空间位置确定。包括建模区域的地表纵横坐标范围和深度范围以及二维剖面的间距。剖面间距的选择应以数据精度、模型预期分辨率等为依据。一般情况下，建模剖面间距应与工作区测量剖面间距相同。
- b) 已知信息整理。包括地表岩性单元或地质单元的简化，钻孔岩性、年代和岩石物性的测量，岩性与物性对应关系的分析，数据的预处理（编辑、网格化、滤波和位场分离等），以及其他地球物理数据的地质解释等。建模过程中应将钻探获得的深部主要地层单元边界深度作为重要的已知约束信息。
- c) 二维初始模型构建。根据确定的剖面间距，结合已有地质、地球物理、钻孔资料的分析判断，尤其是上述地质概念模型，依次推断、绘制建模区域内所有的二维地质剖面。每条二维剖面由若干离散模型体（地质体）构成，基本反映剖面穿过区域的地层、构造、岩体和矿体空间分布。创建二维地质剖面时，应基于对工作区的充分地质认识和理解，以便得到相对合理可靠的地质模型，其后的建模过程是对初始模型的修改和完善。
- d) 2.5维反演模拟。采用离散体模型应以二维初始剖面为基础，假设走向长度足够（增加长度对异常精度无影响），建立截面为任意形态多面体的2.5维模型。给每一个模型体赋予初始密度和磁化率，使用人机交互法对二维剖面上的模型进行修改，直到获得合理的地质模型和满意的数据拟合误差为止。在模型体物性和空间形态受物性数值和地质条件约束的情况下，完成建模区域内所有二维剖面的重磁位场模拟工作。
- e) 三维反演拟合。将每条二维剖面的模型走向长度缩短为剖面间距，按照空间顺序依次将2.5维模型拼合成三维模型。再对比三维模型的理论异常与实际异常，拟合误差较大处或较大区域，需返回到二维剖面进行修改，直到获得满意的拟合误差为止。在整个模拟过程中，物性与岩性的对应关系应保持不变。
- f) 可视化与解释。将所建模型导入到三维可视化平台，实现三维动态视图观测。

8.2.3 完成三维地质-地球物理模型图图件编制。该模型包括工作区坐标、地层、断裂构造、岩体、矿体、钻孔、地质图、遥感影像图等信息，图件样式详见附件E。

9 深部成矿预测

9.1 深部找矿预测模型建立

9.1.1 在总结工作区成矿带和矿集区内不同的矿床类型，分析控矿条件和区域成矿地质背景的基础上，应根据具体的成矿模式，建立对应的找矿概念模型。

9.1.2 依据不同找矿概念模型的主要控矿条件，应选择合适的变量类型，建立控矿要素定量表达的找矿数字模型，构建预测要素（变量）图层结构。

9.2 成矿要素提取及成矿有利条件分析

9.2.1 根据工作区已建立的地层、构造、岩体、矿体等三维实体模型，建立工作区三维立方体块体模型，并将找矿量化信息赋予到每一个立方体。

9.2.2 将所建三维地质模型以三维可视化方式显示，直观呈现各预测要素特征。

9.2.3 提取地质体空间结构和与成矿有关地质体的空间关系、矿（化）体赋存的有利地层层位、岩体部位、构造位置信息，以及工作区成矿条件、控矿要素、找矿标志、地球物理标志、地球化学标志和区域三维成矿要素等信息。

9.2.4 分析各控矿要素、成矿地质异常特征和异常值阈的组合区间，研究矿区控矿地质条件和找矿标志在空间上、特别是在深部的变化规律，综合分析处理各种深部找矿评价的量化信息。

9.3 深部矿产预测评价

9.3.1 深部矿产定位预测评价。在分析总结工作区地质模型、成矿模型及数学模型的基础上，应用三维建模软件，对工作区进行数字化模拟，建立立方体预测模型。应根据量化后的三维立方体模型，选择合适的数学方法对各立方体单元的信息数据进行统计处理，计算得到各块的找矿有利度，从而预测评价深部矿产。深部矿产预测评价的数学方法有：条件概率分析法、特征分析法、找矿信息量法、三维证据权法、因子分析法、地质统计学法、统计分形法和人工神经网络法等。结合近年实践，使用三维证据权法或人工神经网络法进行矿产定位预测效果为宜。以三维证据权法为例，具体工作流程如下：

- a) 根据所建的预测模型，将研究区内各个标志变量所对应的立方体模型分别进行属性赋值，得到各个立方体三维坐标和属性值为0或者1的各个证据图层的二维数据表；
- b) 运用证据权法公式进行先验概率 W_+ 、后验概率 W_- 及正负权差值 C 的计算；
- c) 借助三维软件的可视化功能显示结果，查看各个证据图层的权重值， C 值大小表示证据因子与成矿的相关性；
- d) 根据 C 值选取合理的证据因子层，并进行条件独立检验，对选取的证据因子层进行后概率计算，后概率大于临界值的区域可作为预测的找矿靶区。

9.3.2 深部矿产资源潜力定量评价。在完成工作区深部矿产资源定位预测，圈定深部找矿靶区的基础上，应对深部潜在矿产资源量进行估算，定量评价深部矿产资源潜力。

9.4 深部找矿靶区圈定

9.4.1 深部找矿靶区圈定原则。应充分考虑矿产资源禀赋特征、资源潜力、技术经济和地质环境保护等因素的影响，按照技术可行、经济合理、环境允许的原则圈定深部找矿靶区。

9.4.2 深部找矿靶区圈定方法。根据工作区各处成矿有利度值空间分布情况，选择最大成矿有利度的三维空间范围，圈定深部找矿靶区。

9.4.3 深部找矿靶区分类。依据成矿地质条件、矿产资源潜力和地质工作程度，将深部找矿靶区分为A类、B类、C类。A类为成矿地质条件好、资源潜力大，地球物理、地球化学找矿异常明显、有深部钻探工程控制，发现符合一般工业指标要求的矿体，可圈定出供开展普查工作的范围；B类为成矿地质条件较好，资源潜力较大，有地球物理、地球化学等异常，与已知矿床可类比，经深部揭露发现矿（化）点、矿化蚀变现象等。C类：成矿地质条件有利，有资源潜力，依据地球物理、地球化学、自然重砂等异常圈定的找矿靶区，经踏勘检查，确定了异常的位置和范围，初步查明引起异常的原因。

9.4.4 深部找矿靶区圈定范围。面积一般在4 km²以内，而以1 km²~2 km²为佳，深度在2 000 m以浅为宜。圈定深部找矿靶区时，应在综合研究的基础上，最大限度地缩小靶区面积，以提高钻探验证的命中率。

9.5 深部成矿预测图和找矿靶区登记表编制

9.5.1 深部成矿预测图编制。应在编制三维地质模型图件的基础上，编制深部成矿预测图。深部成矿预测图的内容主要包括：三维坐标系，指北针，矿（化）体赋存的地层、岩体和构造位置，靶区名称和位置等，图件样式见附录E。

9.5.2 深部找矿靶区登记表编制。深部找矿靶区圈定后，应编制深部找矿靶区登记表。主要内容包括：靶区名称、位置、拐点坐标、空间位置、深度范围、体积、主要矿种、矿床类型、靶区类别、成矿要素、找矿标志、投入工作量、见矿情况、提交单位、主要完成人、评审专家等。

10 质量控制

10.1 质量检查

10.1.1 质量检查内容包括：项目在实施过程中形成的原始资料（含野外记录本（卡）、送样单、各类图、表、数据等）、实物资料（含标本、样品、岩心等）、中间性成果资料（分析测试结果、数据处理结果、工作小结、阶段性成果总结报告等）。

10.1.2 质量检查要求包括：项目自检互检应达到100%，抽查达到30%，原始资料检查不少于10%。对未达到质量要求的资料和数据应视情况采取整改、补做或重做等措施，直到满足质量要求为止。

10.2 野外验收

10.2.1 野外工作结束后，应进行项目野外验收，主要验收以下内容：

- a) 检查资料收集齐全程度和利用情况；
- b) 检查设计工作量完成情况；
- c) 检查原始资料质量情况；
- d) 检查地质矿产问题解决情况；
- e) 实地核查地质矿产补充调查、地球物理、地球化学以及钻探工作的开展情况等。

10.2.2 野外验收须达到规定的质量要求，对未达到质量要求的项目，应采取相应的措施，指导符合要求为止，未通过质量验收的项目，不得进入报告成果编制阶段。

11 成果编审

11.1 报告编写

11.1.1 项目完成后，应编写成果报告。报告应重点突出、论述有据、图文并茂、文字精炼。报告编写提纲见附录F。

11.1.2 项目在实施中开展的面积性地球物理调查、地球化学调查工作等，应按相关专业规范标准要求，同步编写报告。

11.2 图件编制

11.2.1 深部靶区预测图。应编制工作区深部靶区预测图。内容应包括：工作区空间位置（经纬度坐标）、重要地名、主要地层、岩体、断层、重要矿产与成矿时代，地球物理与地球化学异常区等。

11.2.2 其他图件。应编制地质矿产平面图、勘探线剖面图、典型剖面解释图、钻孔柱状图、骨干剖面解释图、三维地质模型图和综合评价图等。

11.3 成果提交

项目成果编制完成后，应提交评审。提交的资料包括：

- a) 项目成果报告。包括方法专项报告、专题研究报告。
- b) 项目成果图件。包括调查区骨干剖面解释图、三维模型图、综合评价图等。
- c) 项目原始数据。包括主要地质剖面、重要采样点观测记录，地球物理、地球化学采集数据，以及钻探资料等。
- d) 建模数据库。
- e) 其他需要提交的资料。

11.4 资料汇交

成果评审通过后，应按地质资料管理有关规定汇交资料。

附录 A

(规范性)

深部矿产远景调查项目设计书编写提纲

第一章 前言

- 一、项目概况
- 二、目的任务
- 三、研究区范围

第二章 选区依据

- 一、工作区地质矿产概况
- 二、工作区以往矿产地质工作状况
- 三、国内外研究状况及进展
- 四、工作区以往物探、化探、遥感工作状况
- 五、前人成果资料综合分析
- 六、本次调查拟解决的问题

第三章 技术路线和技术方法

- 一、技术路线
- 二、技术方法
- 三、质量要求

第四章 研究内容和工作部署

- 一、研究内容
- 二、工作方法
- 三、工作部署

第五章 实物工作量

第六章 预期成果

- 一、项目总预期成果
- 二、年度预期成果

第七章 组织机构及人员安排

- 一、项目负责人简况
- 二、项目主要技术人员及分工

第八章 设备使用和购置计划

- 一、现有仪器设备使用情况
- 二、仪器设备购置计划

第九章 经费预算

- 一、项目概况
- 二、预算编制依据
- 三、预算采用的费用标准及编制办法
- 四、项目预算的合理性及可靠性分析
- 五、需要说明的问题
- 六、项目预算表

第十章 质量保障与安全措施

- 一、质量保障措施
- 二、安全保障措施

第十一章 绩效分析

附 录 B
(资料性)
地球化学深部调查方法

B.1 构造叠加晕法

B.1.1 适用范围

构造叠加晕法通过研究主成矿期不同阶段形成矿体-晕的轴向分带及其在构造空间上叠加结构,建立盲矿预测的构造叠加晕模型,进行盲矿预测。适用于矿区深部、外围盲矿预测,成矿区带和整装勘查区成矿预测。适应的矿床类型为热液成因的金、铜、银、铅、锌、钨、锡、锑等有色金属矿床,或者沉积-变质热液改造型有色金属矿床。

构造叠加晕方法的预测深度,取决于前缘晕离开矿体头部的距离。构造叠加晕预测盲矿体头的最大深度一般为采样最深部位置下推 200 m~300 m。

B.1.2 采样点布设与采样

具体要求如下:

- a) 工作布置。在控制已知矿体-晕的构造带内(即地表-坑道及钻孔岩心中)布样:点距 5 m~10 m,当构造带宽度大于 2 m 时,垂直构造带每 2 m 采一件样品,在采样点 2 m~5 m 构造带范围内多点采样,样品重量 300 g~400 g 左右。不同成矿阶段样品的布置,按已划分不同成矿阶段,在钻孔、坑道沿构造带布样,每个阶段样品 20 件~30 件。背景样布置在矿区内不受蚀变矿化影响的所有地层、岩浆岩中,每个岩性 5 个~10 个。
- b) 构造叠加晕采样方法。在对地表、坑道、钻孔构造带仔细观察基础上,选择有主要成矿阶段形成的蚀变-矿化最强部位采样,如石英脉型金矿,不采第一阶段(不成矿)形成的乳白色大石英脉,在大石英脉边缘有第 II-III 阶段成矿形成的烟灰色石英或含细粒黄铁矿细脉中采样;蚀变岩型金矿,则选择蚀变最强部位采样;角砾岩型金矿,应避开角砾采集胶结物中主要成矿阶段的蚀变-矿化样品,矽卡岩型矿床,在矽卡岩体内选择有热液期主要成矿阶段的蚀变矿化叠加的样品。
- c) 采样记录内容。包括:样品编号、采样号、位置、构造带产状、厚度、矿化蚀变特点、围岩特点等。采样点定位,根据坑道图(1:1 000~1:500)用测绳量距定点,地表采用罗盘定向、测绳量距定点。采样后将实际采样位置准确标注在图上。

B.1.3 样品加工及分析方法

同岩石地球化学,分析元素应根据各矿种总结出的最佳指示元素,具体参见 DZ/T 0248 中附录 E。

B.1.4 参数计算与图件编制

要求如下:

- a) 地球化学特征参数计算。计算矿区不同岩石微量元素平均值及矿区背景几何平均值。确定矿床元素组合:按不同矿种最低工业品位要求值。如, $Au \geq 1 \text{ g/t}$,从已采样矿体中选择 30 个样品,求矿体各元素的几何平均值,再求出其衬度值(元素的几何平均值/矿区相应元素背景平

均值)。以元素衬度值 ≥ 2 为标准遴选出矿床特征元素组合；即凡是衬度值 ≥ 2 的元素都列入矿床元素组合。计算矿床中各元素相关系数矩阵。

计算不同阶段样品元素含量几何平均值、衬度值及元素相关系数矩阵。原生晕轴向分带序列计算。研究矿体-晕地球化学数据在轴(垂)向上的变化规律，即计算从矿体前缘→头部→中部-尾部不同标高的构造叠加晕地球化学参数：如前缘晕元素/尾晕元素，前缘晕元素（标准化）累加或累乘/尾缘晕元素（标准化）累加或累乘。为判断盲矿头深度或判别矿体剥蚀程度(延伸大小)，研究建立判别分析、回归分析数学模型等。

- b) 图件编制。编制采样点位图、单元素数据图；构造叠加晕平面图、剖面图、垂直纵投影图；矿床构造叠加晕模式图；构造叠加晕预测靶位剖面图、垂直纵投影图。

B.1.5 异常解释推断

要求如下：

- a) 确定构造叠加晕内、中、外带分带。一般以本矿区各元素背景值的 2、4、8 倍或 2、8、32 倍作为外、中、内带的下限值。确定矿床主要成矿阶段矿体-晕轴向分带，即确定已知矿体的前缘晕、近矿晕及尾晕的特征指示元素。识别不同阶段形成的矿体原生晕叠加：在构造叠加晕剖面图和垂直纵投影图上的识别标志是矿体及近矿晕元素内、中带强异常有多中心，前、尾晕元素内、中带强异常也相对应有中心，前、尾晕元素强异常共存、地球化学参数轴向转折、原生晕轴向分带序列出现反分带等都指示叠加。
- b) 建立盲矿预测的构造叠加晕模型（模式图和盲矿预测标志）。矿床构造叠加晕模式图可用剖面图、垂直纵投影图或立体图来表述。典型矿床的构造叠加晕模式图是对同一类矿床(体)构造叠加晕特征的高度概括。图中要展示矿体形态及在构造中赋存部位，突出表示单一次成矿形成的矿体-晕在构造空间上的分带规律，特别是轴向分带(矿体的前缘晕、近矿晕和尾晕)和不同成矿阶段形成矿体-晕在空间上的叠加结构；用于指导预测盲矿时，需用文字说明预测盲矿的最佳指示元素组合及前缘晕、近矿晕和尾晕的特征指示元素组合。
- c) 盲矿预测。在矿区深部及外围进行盲矿预测，确定盲矿具体靶位，预测靶位内金属资源量。构造叠加晕研究与预测应结合成矿规律、控矿构造特点等，以
- d) 提高预测的准确性。具体为：
- 1) 根据控矿断裂构造的性质、构造控矿特点，矿体在构造中赋存规律(等距分布、无矿间隔、侧伏规律、叠瓦式分布)等成矿规律、确定有利成矿空间。
 - 2) 根据构造叠加晕模式和盲矿预测标志确定有利成矿空间是否有盲矿存在。若矿床深部构造叠加晕特征符合预测模式和标志，将有利成矿空间变成预测靶位。
 - 3) 预测金属资源量。根据成矿规律、矿体在构造空间分布，确定有利成矿空间；再根据构造叠加晕前缘晕叠加特点，判断有利成矿空间是否有前缘晕叠加，确定预测靶位。
 - 4) 计算靶位内金属资源量。靶位内金属资源量预测公式=预测靶位在垂直纵投影图上长度×宽度÷ $\sin \angle$ 矿体倾角×上部金属矿体平均厚度×矿床的矿石体重×上部矿体金属平均品位×准确系数 80%。其中，上述长度、宽度和平均厚度的单位均为 m，矿石体重的单位为 g/m^3 。

B.2 土壤微细粒分离法

B.2.1 适用范围

土壤微细粒分离法适用于在矿集区，特别是在覆盖区开展 1：10 000、1：50 000 比例尺地球化学深部勘查工作。

B.2.2 采样点布设和采样

方法如下：

- a) 点位布置。矿区及其外围普查，采样密度一般几个样至十几个样/1 km²，面积一般几十至几百 km²。比例尺一般为 1：25 000、1：50 000；矿区详查，可以使用网格采样或使用点线测量，采样密度一般几十个样/1 km²，采样线距 50 m～500 m，点距 20 m～200 m。采样密度与比例尺。采样密度与成图比例尺的对应关系见表 B.1。

表 B.1 采样密度与成图比例尺的对应关系表

勘查阶段	比例尺	采样密度
矿区详查	1：5 000	1 个样/50 m×100 m，1 个样/25 m×50 m 等
	1：10 000	1 个样/100 m×100 m
矿区及其外围普查	1：25 000	1 个样/250 m×250 m
	1：50 000	1 个样/500 m×500 m

- b) 采样介质。有机质不发育的荒漠戈壁、半干旱草原等景观区，采样介质选择 0 cm～30 cm 深度的细粒级土壤，采样粒级选择-200 目。湿润草原、湿润-半湿润草原草甸等景观，采样介质选择细粒级土壤，采样层位主要为腐殖质层和钙积层的接触层，深度根据腐殖质层的厚度不同而不同，一般在 20 cm～80 cm 深度范围内，采样粒级根据筛分难度而定，选择-120 目或-200 目，如野外土壤湿润或胶结较硬，可采集大样，回驻地进行筛分。
- c) 样品重量。过筛后样品重量为±1 000 g。
- d) 野外定点。使用手持全球卫星导航定位系统定位，一般定点误差要求在采样点距 10%。对于采样密度很大的剖面性和矿区详查工作，需使用测绳或大地测量定点。
- e) 采样工具。包括：工兵锹、不锈钢筛、棉布制作的样品袋。
- f) 样品编号。矿区及其外围普查，样品编号规则为：项目编号+图幅号+每一采样格子的样品顺序号。顺序号按图幅从左至右、由上至下的原则以数字顺序编排；在一个大格子号后加 1（或 2 或 3 或 4）编排。重复采样在图表上预先标明，重复样编号为原样号后加字母“R”。例如：F321-11-46-43D2-1，F321 表示项目编号，11-46-43D 表示一个 1：5 万图幅号，2 表示这幅图中的第 2 号采样格子；-1 表示第 2 号采样格子中的 1 号样品。重复样编号为：F321-11-46-43D2-1R。矿区勘查，样品使用点线号编号规则。
- g) 野外记录。深部地球化学调查使用统一的野外记录格式，见表 B.2。表中各项内容须在现场用 2H 以上硬度的铅笔填写，字迹应工整清晰，不得重抄和涂改。回驻地后将野外手写记录

输入电脑。

- h) 野外样品管理、加工和储运。野外采样人员每日采样结束后，应整理填写好送样单，将样品送交样品管理或加工人员验收登记。管理人员检查发现错号、漏采和不符合要求的样品应及时纠正或重采。样品需在野外自然晾干。潮湿未筛分土壤样品，在干燥过程中要不时揉搓样品，以免样品结块。干燥后的样品要用木槌轻轻敲打以使粘土胶结物中的颗粒解体，按采样粒级方案要求，用不锈钢筛进行过筛。在野外加工处理样品时应防止样品间相互污染。每处理完一个样品，凡与上一个样品接触过的筛子，台秤等物品都要清理干净，然后再进行下一个样品的加工处理。整理好的每件样品应充分混匀，再称取约 200 g，分装入塑料瓶或纸袋中，用于送样分析。同时，随机抽取 3% 的样品，分成两份密码插入整批样品之中，用于监控分析。填写送样单及编制加工号码表后妥善保管。每次加工完毕后进行质量检查，确保加工处理准确无误。预备送实验室分析的土壤样品按样品号顺序分箱装好，运回单位或直接运至实验室。同时，应避免各个环节中的样品可能受到的污染。
- i) 野外工作质量检查。采样小组和样品管理或加工人员应作好日常自检工作。组长应对当天所采样品、编录、点位等进行检查，发现问题及时纠正。大组技术负责人或项目负责人应分阶段到各采样组和样品加工组进行方法技术和工作质量检查。室内检查主要校对采样点位图、编录等，检查量总工作量的 10%。野外检查包括抽取一些采样点实地核对采样部位，定位误差，记录内容以及重复采样检查等。检查量为总工作量的 5%。不允许用同时在同一点采双样来代替重复采样。重复采样应布设在可能出现地球化学异常地段和可疑地段。各类检查结果应形成记录。

表 B.2 野外记录格式表

时间：_____ 地点：_____ 天气：_____

操作者：_____ 记录者：_____ 检查者：_____

序号	样号			采样 深度 m	采样 层位	覆盖物 特征	地质特征 (如有地层露头)	采样 时间	备注
		经度	纬度						

B.2.3 样品测试

要求如下：

- a) 实验室样品加工及管理。实验室负责样品的验收、检查、发送和保管。野外采样的工作单位将样品送交给承担样品分析任务的实验室时，均需办理样品交接手续。在双方交接样品过程中，发现样品不符合规定的，实验室应拒收样品，并应及时通知送样单位处理。对于野外已

筛分成-200 目的土壤样品，实验室无需再碎样加工，对野外仅过-120 目筛的样品，需对样品进行细碎加工至-200 目。样品加工中，多余的样品不能丢弃，应装回原样袋中备用。

- b) 分析测试项目。根据工作区已知矿化特点及其矿床元素组合特征，选择相应的指示元素，参见 DZ/T 0248 的附录 E。矿区外围普查宜选择数种至十余种已知矿化元素和有意义的伴生元素。如寻找斑岩型铜钼矿，可分析 Cu、Mo、Ag、Au、As、Pb、Zn、Sb、Bi、W 等元素。每个成矿区带中，分析测试的元素种类须统一。
- c) 配套分析方案参照 DZ/T 0167 中 39 种元素分析配套方案执行。分析方案的检出限在满足测区内所有元素的报出率（P） $\geq 85\%$ 时，方可用于样品测试。

B.2.4 质量监控

参照 DZ/T 0011 执行。

B.2.5 图件表达

采用 MAPGIS、Geoexpl, Surfer、Grapher、GeoIPAS、Geochem Studio 等制图软件，编制地球化学图件。成图比例尺可根据工作需要确定，但一个研究区内同类工作须统一。成图比例尺确定的基本原则是在图面上每 1 cm² 格子内至少应有 1 个数据。各种成图比例尺与采样密度的对应关系参见表 B.1。编制的地球化学图件主要有以下几种：

- a) 采样点位图。根据实际测量的坐标形成采样点位图，内容包括采样点位、点号、经纬网、方里网（2 000 坐标系）、主要城镇、主要矿点或矿体、铁路、公路等。
- b) 原始数据图。将每个点分析数据标注在采样点位处，可根据需要确定成图比例尺，采样点符号的直径在图面上为 2 mm。
- c) 元素地球化学图。采用克里格法网格化数据绘制等直线图。将 0.1log 间距作为等量线间隔。如，金的等量线大致是 0.3、0.4、0.5、0.65、0.8、1.0、1.2、1.5、2、2.5、3、4、5、6.5、8、10... $\times 10^{-9}$ 。可根据实际情况适当调整。也可采用累计频率划分等量线间隔，如，累计频率分别为 0，0.5%，1.5%，4%，8%，15%，25%，40%，60%，75%，85%，92%，95%，97%，98.5%，99.5%，100%。可根据实际情况适当调整。

成图色阶采用背景值加减倍数方差划分。地球化学数据经 $X \pm 3s$ 反复剔除后的平均值（背景值）及标准离差作为参考值，用背景值加减倍数离差划分色阶。一般可划分为 11 个色阶，分别为：(1) $C_{min} \sim C_0 - 4s$ ；(2) $C_0 - 4s \sim C_0 - 3s$ ；(3) $C_0 - 3s \sim C_0 - 2s$ ；(4) $C_0 - 2s \sim C_0 - 1s$ ；(5) $C_0 - 1s \sim C_0$ ；(6) $C_0 \sim C_0 + 1s$ ；(7) $C_0 + s \sim C_0 + 2s$ ；(8) $C_0 + 2s \sim C_0 + 3s$ ；(9) $C_0 + 3s \sim C_0 + 4s$ ；(10) $C_0 + 4s \sim C_0 + 5s$ ；(11) $C_0 + 5s \sim C_{max}$ 。其中： C_0 和 s 分别为背景值和标准离差； C_{min} 和 C_{max} 分别为最小值和最大值。对个别数据梯度较大的元素，其色阶选取加二倍离差增值来划分色阶，对数据相对集中的元素，也可采用加减 1/2 倍数离差划分色阶。色阶从低含量到高含量采用由深蓝到深红的逐渐过渡，一般以背景值为橙绿色、加 1 倍离差为黄色、加 2 倍离差为淡红色色阶。主要以达到可清晰辨认异常为目的。

- d) 异常解释图。包括单元素异常图、多元素组合异常图、综合异常图、剖面异常解释图、元素累加或累乘图、因子得分图等。剖面异常解释图，应将相应的地质剖面图置于异常图下方。

B.2.6 异常的筛选与分类

异常的筛选和分类，应在充分地掌握工作区景观条件、地质背景、以往地质、物化探及矿产勘查工作的基础上进行。应注意覆盖物的类型和覆盖层的厚度对异常特征的影响。

B.2.7 异常推断解释

根据异常特征、异常所处位置的地貌特征、地质背景、区域成矿规律、伴生的物探和遥感异常特征、前人矿产工作成果，对异常的找矿意义进行初步推断解释。提出进一步工作建议。

B.3 元素活动态提取法

B.3.1 适用范围

元素活动态适用于在矿集区和覆盖区开展的 1:10 000、1:50 000 比例尺地球化学深部勘查工作。

B.3.2 采样点布设和采样

同 B.2.2。

B.3.3 样品测试

要求如下：

- a) 实验室资质要求和样品加工及管理。同 B.2.3。
- b) 活动态提取分析。使用循序两步提取的分析方案（见图 B.1）。在循序进行水提取（WEM），吸附态提取（AEM），有机结合态提取（OBM）及铁锰氧化物态提取（FMM）时，每种提取都分两步进行，第一步用各种弱溶剂使活动态金属与载体分离。第二步用强溶剂（ $\text{HNO}_3+\text{HF}+\text{HClO}_4$ ）破坏胶体使活动态金属（超微细金属）摆脱胶体的吸附。活动态提取分析具体方法为：

1) 水提取态金属（water extractable metals，简称 WEM）

提取剂：去离子水

提取形式：金属离子、部分纳微级超微细粒金属、可溶性盐类中的金属、可溶性胶体及可溶性无机络合物与可溶性有机络合物络合的金属。

操作方法：准确称取 10 g 样品加入 100 mL 去离子水，充分搅拌，放置 24 h，滤出清液送仪器测试，残渣留作下一个活动态提取。

2) 黏土吸附态和可交换金属（adsorbed & exchangeable metals on clay minerals，简称 AEM）

提取剂：5%柠檬酸铵溶液

提取对象：黏土矿物表面吸附或黏土矿物层间可交换组份

操作方法：将第 1) 步剩余的残渣中加入 5%的柠檬酸铵溶液 100 mL，充分搅拌，静置 24 h，滤出清液送仪器测试，残渣留作下一步活动态提取。

3) 有机质结合态金属（organically bound metals，简称 OBM）

提取剂：0.1 M NaOH+0.1M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7\cdot\text{H}_2\text{O}$ 溶液，pH=13

提取对象：部分有机物结合或有机质表面吸附的金属

操作方法：第 2) 步剩余的残渣中加入 0.1M NaOH+0.1M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7\cdot\text{H}_2\text{O}$ 溶液充分搅拌，静置 24 h，滤出清液送仪器测试，残渣作最后一个活动态提取。

4) 铁锰氧化物包裹态金属（metals occluded in Fe、Mn oxides，简称 FMM）

提取剂：0.25 M 盐酸羟胺+盐酸混合溶液

提取对象：矿物颗粒表面铁锰氧化物膜吸附的金属

操作方法：第 3) 步剩余的残渣中加入 100 mL 0.25 M 盐酸羟胺+盐酸混合溶液，充分搅拌，静置 24 h，滤出清液送仪器测试。

5) 硫化物态

提取剂：浓氯酸钾+浓盐酸溶液

提取对象：硫化物结合形式金属

操作方法：第 4) 步剩余的残渣中加入 100 mL 浓氯酸钾+浓盐酸溶液，充分搅拌，静置 24 h，滤出清液送仪器测试；残渣留作相对稳定态提取。

6) 残渣

提取剂：高氯酸+氢氟酸+盐酸+硝酸

提取对象：硫化物结合形式金属+硅酸盐包裹及结合金属

操作方法：第 5) 步剩余的残渣中加入 100 mL 高氯酸+氢氟酸+盐酸+硝酸溶液，充分搅拌，静置 24 h，滤出清液送仪器测试。

- c) 分析配套方案与检出限。分析配套方案以等离子质谱 (ICP-MS) 为主干，配合石墨炉原子吸收 (GF-AAS)、预富集化学光谱 (CP-AES) 和原子荧光光谱 (AFS) 等分析方法系统，可分析 30 余种元素。分析检出限选用的分析方法经过检出限、准确度、精密度检验合格，并满足测区内所有元素的报出率 (P) $\geq 85\%$ 时，方可用于样品测试，否则其分析数据只能作为参考值。每个成矿区带中，分析测试的元素种类和相态须统一。根据具体成矿区带的成矿特点及其矿床元素组合特征，参见 DZ/T 0248 中的附录 E，确定需要分析测试的元素种类，一般选择元素 5 种~6 种成矿元素和/或重要伴生元素即可。

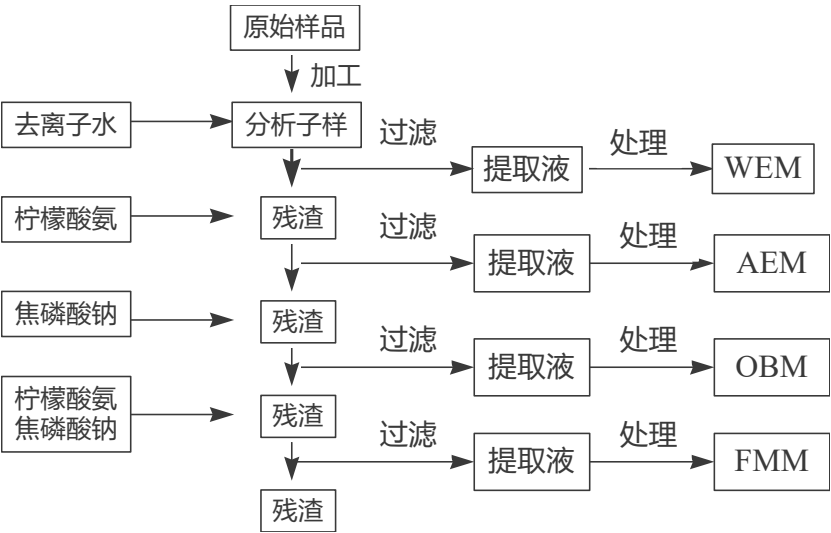


图 B.1 活动态金属循序提取流程

WEM—水提取金属，AEM—吸附和可交换金属，OBM—有机质结合金属，
FMM—铁锰氧化物中金属

B.3.4 质量监控

可采用如下方法进行：

- a) 同时称取几份子样进行平行提取以监控样品提取和提取液处理误差。

- b) 同一样品提取后将提取液分成若干份以监控提取液处理和分析误差。
- c) 将内部管理样插入一批样品中同时提取以监控样品提取、提取液处理和分析误差。

金属活动态分析的精密度采用两次分析的重现性来表示，在提取和分析中随机加入 5% 的重复样，采用相同的提取和分析方法，其精密度采用相对误差 RE% ($RE\% = \frac{|C_1 - C_2|}{(C_1 + C_2)/2} \times 100\%$, C_1 、 C_2 分别为基本分析样和重复样的分析结果) 来表示，对于原子吸收和原子荧光分析方法，单次测定偏差要求：元素含量>3 倍检出限时，RE%<50%；元素含量<3 倍检出限时，RE%<100%。

B.3.5 图件表达及异常解释

同 B.2.5~B.2.7。

附 录 C

（资料性）

地球物理深部探测方法

C.1 音频大地电磁探测法

C.1.1 测网设计

测网设计按 DZ/T0305 中规定执行。要求测网比例尺大于 1:20 000, 点距小于探测目标深度的 1/20, 剖面测量时测线应尽量垂直于目标构造走向, 三维探测时测点应尽量均匀分布。

C.1.2 数据采集

C.1.2.1 电场传感器应使用不极化电极观测, 配对极差稳定且小于 10 mV。磁传感器需保证进场标定曲线稳定光滑, 且间隔 24 h 的标定曲线平移误差小于 5%。观测频带应根据目标探测深度和工区先验地球物理工作确定, 按工作区 AMT 视电阻率曲线水平选择背景电阻率, 以趋肤深度的 $\sqrt{\frac{1}{2}}$ 确定目标低频。无先验资料地区需在工区典型测点实验, 以确定观测频带并选择合适的磁传感器。

C.1.2.2 构造走向单一地区, 原则上采用沿测线布设(定义测线方向为“北”)的方式, 以避免反演中因旋转导致数据质量变差。三维测网式观测系统的北方向一般为地理北或整体垂直构造走向的方向。设计的原则上应尽量不旋转, 且尽量垂直区域构造走向。当观测频带需低于 10 Hz 时, 观测过程中所有电道、磁道电缆须间隔几米, 用石块或土堆压实, 以压制风及植被扰动导致的电、磁道低频死带噪声。

C.1.2.3 所有电缆接头处须做绝缘处理, 不得有任何金属部分接触大地, 以免影响 10 Hz 以下频带的数
据可靠性。可根据勘探需求, 使用五分量或四分量观测方式, 采集时间需在工区典型测点实验确定, 以
同点长时间序列进行 20 min、40 min、60 min 不同时序长度的数据处理结果对比确定合理观测时间。

C.1.2.4 检查点工作量应不少于设计测点数的 5%, 检查点相对误差计算时允许剔除高频死带(5 000
Hz~1 000 Hz)的数据, 但应在验收中说明。检查点和一致性测试的合格指标为目标频段内的所有副对
角视电阻率(ρ_{xy} 、 ρ_{yx})平均相对误差小于 5%, 对应阻抗相位平均误差为 1.43 度。中度噪音地区检
查点标准可放宽至阻抗相位平均误差 2.87 度, 视电阻率平均相对误差 10%。质量控制以曲线形态一致
性为主要依据, 按照 DZ/T 0173 评级为三级点的数据应复测。

C.1.3 数据处理

使用仪器厂家配套的数据处理软件进行数据处理, 若使用第三方数据处理软件进行数据处理时, 需
提供典型测点官方数据处理软件和第三方数据处理软件的对比结果。数据处理流程为:

- a) 检查并修正数据表头的测点名称、电极距、磁棒方位角、磁偏角及北参考方式等字段;
- b) 进行傅里叶变换并扣除仪器标定响应;
- c) 根据相干度进行 robust 功率谱叠加;
- d) 调整自动选谱规则(强近源干扰地区不应根据相干度选谱)取得最优选谱结果;
- e) 手动检查并剔除其它时间相关的噪音功率谱;
- f) 输出功率谱 edi 文件和阻抗 edi 文件两种文本格式。

带远参考处理的流程同上，需要对比无远参和带远参两种模式处理结果，择优选择处理方法。

C.1.4 数据解释

C.1.4.1 数据分析

根据一维 ρ 或其它一维反演的拟合情况剔除视电阻率和阻抗相位曲线上的飞点。然后绘制不同极化模式的视电阻率、阻抗相位拟断面图。频点的剔除情况需在图上清晰标识。计算副对角阻抗相位旋转不变量绘制拟断面或工区同频平面图进行构造及地层形态分析。对比视电阻率图件估计静位移分布情况。检查主对角阻抗 Z_{xx} 、 Z_{yy} 的数据质量，质量较好时，可采用相位张量等技术进行电性主轴和维性分析。当二者质量较差时，分析结果不应作为解释依据。对于五分量观测数据，剔除所有实部或虚部大于 1 的倾子数据，剔除沿频率不光滑的倾子数据，绘制感应矢量图件以进行异常体水平方位的定性分析。

C.1.4.2 反演

电性主轴和维性分析结果不满足二维条件时，使用三维反演方法反演阻抗和倾子数据获得三维电性结构模型。可依据数据质量筛选阻抗和倾子分量数据。根据工区测点分布、维性分析结果、现有反演软件等客观条件选择反演技术。反演分为二维、三维两种情况：

1) 二维反演。将数据旋转至垂直构造走向，检查并进行 TE/TM 模式的曲线识别，若施工时测线垂直构造走向且沿着测线布设观测系统，则推荐不旋转，以避免旋转后质量变差。进行初始模型为均匀半空间的 TM 模式数据反演，检查拟合情况，并得到相对光滑的参考模型。调整正则因子等得到最优。根据 TM 模式反演结果的 TE 响应对 TE 模式实测数据进行静位移校正，尝试进行 TE 模式反演，并检查拟合情况。调整不同点的校正因子直到数据拟合较好。原则上不提倡 TE+TM 模式的反演方式，一般使用 TM 模式的反演结果，解释背景地层形态，用 TE 模式的反演结果解释低阻异常体倾向。若要进行 TE+TM 模式的反演，需反复调整数据门槛误差和加权关系以使得联合结果与单独反演的结果都吻合。在有先验模型的地区可尝试修改参考模型或固定部分模型，以提高反演解的可靠性和分辨率。

2) 三维反演。三维反演的拟合数据组合方式有 Z2 (Z_{xy} 、 Z_{yx})，Z4 (Z_{xy} 、 Z_{yx} 、 Z_{xx} 、 Z_{yy}) 以及 Z2T2 (Z_{xy} 、 Z_{yx} 、 T_{zx} 、 T_{zy}) 和 Z4T2 (全部张量和倾子数据) 四种。一般先进行 Z2 反演，通过 Z2 反演的结果评估拟合情况、初始模型等，得到初步结果。并评估当前模型的倾子误差门槛，以倾子拟合项约为阻抗拟合项的 1/2 左右为宜。多次调参后，进行 Z2T2 反演，增强横向分辨能力。估计 Z_{xx} 和 Z_{yy} 的合理门槛误差，进行 Z4T2 反演。可考虑多频段“剥皮”反演方案，以提升深部分辨率。在三维静态畸变严重地区，应首先对高频段进行试反演，选择分辨率和岩性调查一致的模型估算畸变张量，然后拟合无畸变数据。

C.1.4.3 解释

基于数据分析和不同维度的反演结果进行地球物理解释，并编制相关图件。二维勘探项目的图件有视电阻率、阻抗相位拟断面图，阻抗相位不变量拟断面图，倾子感应矢量拟断面图（四分量无此图），二维反演电阻率断面图，二维反演结果的正演数据拟断面图（与观测拟断面对比）。其它，如 L 曲线确定正则因子等相关图件。三维勘探项目的图件除二维图件之外，还应选频绘制高、中、低频的阻抗相

位不变量平面图，对应的相位张量平面图（如进行维性分析），倾子感应矢量平面图，三维电性结构的电阻率平面切片，目标异常体的三维等值面等其它图件。

C.1.4.4 解译

解译应遵循大地电磁解释学科原则，按照数据拟合程度区分不同区域的可信度，避免对冗余构造（因反演正则参数不合理导致）的解释。对于不同类型的目标体选取对其最灵敏的数据做反演结果解释。如二维反演中，缓变地层形态及深度解释应使用单一 TM 模式反演结果，断层破碎带、低阻脉状体倾向等应使用单一 TE 模式反演结果解释。

所有根据反演结果解释的异常体、构造形态等，需在相应阻抗相位拟断面的对应频带上找到依据。拟断面中不存在而在反演结果中存在的异常应明确标注，其可信度偏低。应结合区域地质、地球化学等综合研究成果，落实目标探测深度范围内的电性结构和地质单元的对应关系，进行地球物理、地质综合解释。

C.2 可控源音频大地电磁探测法

C.2.1 测网设计

测网设计应满足 DZ/T 0280 规定要求。测网比例尺大于 1：20 000，点距小于探测目标深度的 1/20，测线近垂直于目标构造走向。

C.2.2 数据采集

C.2.2.1 场源设计、数据采集应符合 DZ/T 0280 要求。按测区地球物理先验信息或数据试采集选择背景电阻率，并根据趋肤深度公式和需求探深，确定最低频率并设计频率表。根据背景电阻率和需求探深，开展收发距试验工作。对于 10 $\Omega \cdot m$ 、100 $\Omega \cdot m$ 、1 000 $\Omega \cdot m$ 的背景电阻率，一般收发距大致为探测深度的 5、9、17 倍左右。选择发射点时尽量选择场源与测区之间无大型水体、平行测线断裂的一侧，可保证接收端信号强度，并压制过渡区和近区的场源阴影。

C.2.2.2 数据采集工作初始阶段应对归一化电场、磁场频谱进行分析，确定实际远场频带，保证重点勘探目标位于远场频带内。观测数据的视电阻率曲线和阻抗相位曲线应光滑，允许少量跳点。电、磁场传感器的要求与音频大地电磁观测相同。

C.2.2.3 检查点工作量应不少于设计测点数的 5%。检查点和一致性测试的合格标准为目标频段内的视电阻率平均相对误差小于 5%，对应阻抗相位平均误差为 1.43 度。

C.2.3 数据处理

野外数据的时间序列，经分时傅里叶变换后，依据发射频率表进行窄带积分叠加。若仪器自带野外实时处理功能，在室内需对每个测点每个频率的分时谱进行手动选择，剔除大离群值。检查并修正电极距，检查并修正电磁道极性，重新根据叠加谱计算视电阻率和阻抗相位。以文本格式导出的视电阻率，可用于一般音频大地电磁解释手段，导出的阻抗相位或归一化电磁场幅值、相位，可用于直接反演场值的解释方法。若采用场值反演技术，需检查发射电流的频谱记录是否正确，电流记录不正确的测点需重新观测。

C.2.4 数据解释

C.2.4.1 数据分析

计算并绘制视电阻率和阻抗相位拟断面图，标量可控源音频大地电磁方法需结合阻抗相位拟断面，估计视电阻率受静位移影响的程度。在拟断面上标识出勘探主频段的有效异常以作为反演结果可靠性的验证。

C.2.4.2 反演

可控源音频大地电磁的反演技术有三类，应根据数据定性分析结果、勘探目标和已有反演软件及工作经验合理选择。三类技术的处理方法为：

1) 音频大地电磁反演阻抗数据。同音频大地电磁反演方法一致，唯一的区别是观测数据需进行近场校正，过渡带的数据需用插值算法根据远场和校正后的近场数据插值替代（或剔除不参与反演）；

2) 2.5 维或三维的带源反演阻抗数据。反演方式的输入数据为根据标量阻抗计算公式（ $Z=E/H$ ）计算的阻抗，不需要进行近场校正。

3) 使用 2.5 维或三维的带源反演场值数据。反演方式直接拟合归一化电场和磁场，并不进行比值操作，同样不需要进行近场校正。

无论采用何种反演技术，均应按照模型分辨率由粗到细的原则。无先验信息的情况下，反演应在保证拟合的同时，选择最大正则因子对应的结果。有一定先验信息时，可使用修改参考模型、固定部分模型电阻率、约束电阻率上下界的方法提高反演分辨率。

C.2.4.3 解释

远场频带的解释与常规音频大地电磁类似。但对异常体倾向的判断需慎重。过渡带和近场部分频带对应的反演电阻率模型在解释时需考虑“记录点偏移”的问题，即近场和过渡带对收发之间的地层更灵敏。当异常体在阻抗相位拟断面上处于过渡带和近场频带时，应综合多条测线并结合测区地质条件判断该异常的正确水平位置。编制的解释图件包括，视电阻率和阻抗相位拟断面图、反演电阻率断面图或水平切片图；反演模型响应的视电阻率和阻抗相位拟断面图等。

C.2.4.4 解译

应按照先远场、后近场的顺序，对可靠的远场频带及其控制深度的模型，所有根据反演结果解释的异常体、构造形态等，须在相应阻抗相位拟断面的对应频带上找到依据。拟断面中不存在而在反演结果中存在的异常应明确标注，其可信度偏低。近场频带控制深度的电性结构模型通常可信度较弱，重点区域应适当开展音频大地电磁或大收发距可控源电磁方法验证。应结合区域地质、地球化学等综合研究成果，落实目标探测深度范围内的电性结构和对应的地质单元，进行地球物理、地质综合解释。

C.3 大地电磁探测法

C.3.1 测网设计

与音频大地电磁测深基本相同，不同之处为五分量。测网设计执行 DZ/T0173 中的规定。测网比例尺大于 1:50 000，点距小于探测目标深度的 1/10。剖面测量时测线应尽量垂直于目标构造走向，三维探测时测点应尽量均匀分布。

C.3.2 数据采集

依据 DZ/T 0173 规定进行数据采集。观测过程中所有电道、磁道电缆须间隔几米，用石块或土堆压实。以压制风及植被扰动导致的电、磁道低频死带噪声。观测过程中所有过长的电道、磁道电缆不得绕圈，应折叠处理。大地电磁测深须观测五分量，远参考点通常选择在需求探深的 7 倍以上。其它采集要求同 C.1。

C.3.3 数据处理与解释同 C.1.3 和 C.1.4。

C.4 磁偶源瞬变电磁探测法

C.4.1 测网设计

测网设计执行 DZ/T 0187 中的规定。测网比例尺大于 1:10 000，测点均匀分布。

C.4.2 数据采集

数据采集依据 DZ/T 0187 规定执行。施工之前，需根据测区先验地球物理资料确定对应需求探深的延时。根据仪器厂家的发射磁矩和噪声水平对照表，设计发射磁矩的大小。若无以上资料，则需在野外进行不同发射磁矩的同点采集试验，并对试验数据进行一维 OCCAM 反演，确定满足探深的发射装置和发射方波周期。发射机和接收机需具备测区工频（50 Hz）周期偶数倍的时间域占空比 1:1 双极性方波的发射和接收功能。数据采集发射和接收波形优先选择这些周期。数据采集质量控制依应满足 DZ/T 0187 要求，检查点工作量应不少于设计测点数的 5%，合格指标为需求延时之前的所有 dB/dt 平均相对误差小于 5%，或关断时间后，需求延时之前的晚期视电阻率平均相对误差小于 5%。

C.4.3 数据处理

按 DZ/T 0187 规定执行。叠后 dB/dt 曲线应为原始叠加结果，不得使用时间域或频率域的滤波功能，不得使用曲线平滑功能。若在数据处理中使用了小波变换等非常规滤波技术，需在野外数据验收中提供低噪音测点不使用此技术的曲线对比，并向验收人员提供应用此技术的可靠性证明。对叠后 dB/dt 序列应进行重抽样，一般选择需求延时之前关断时间之后的数据段进行分析和反演。对于非工频周期偶数倍的发射波形，抽样点应选择在工频周期零点处。对重抽样后的 dB/dt 或晚期视电阻率曲线进行飞点剔除，导出文本格式的 dB/dt 数据。数据中需标识每个测点的接收线圈坐标和发射线圈的角点坐标（可适应非规则发射线圈）。

C.4.4 数据解释

C.4.4.1 数据分析

绘制不同时间道的 dB/dt 多道曲线图，识别并标识沿剖面的断层及脉状体。对于大回线中心 1/3 之外或发射线圈外的测点，应用参考模型计算大回线在均匀空间下的理论多道曲线，扣除偏移距的影响后再绘制多道曲线图进行定性分析。

C.4.4.2 反演

瞬变电磁的实用反演有以下两种方式：

1) 基于一维层状模型理论的最优化反演。需选择典型测点进行反演参数组合实验，确定参与反演的最优时间段、初始模型、反演层数等，然后对所有数据进行反演并检查每个测点的拟合情况。拟合较差的测点或区域若排除观测噪声影响则需在剖面图上标注。

2) 基于人机交互的板状体拟合反演。根据层状模型反演的结果,把剖面简化为几个方块体的组合,然后对需精细解释的脉状体,建立倾斜板模型或模型组合,不断调整参数以达到对异常数据的最佳拟合。在有钻井或其它地层先验信息的情况下,可以考虑采取固定部分层厚或层电阻率的方式,增加反演可靠性和分辨率。

C.4.4.3 解释

瞬变电磁的主流反演,需结合 dB/dt 多测道图和一维反演电阻率剖面进行解释,一维反演中不能拟合的测点通常是二维或三维局部异常体的反应。总体电性结构解释的原则是在 dB/dt 多测道图中,寻找横向不均匀体,其深度由一维反演的半定量结果围岩部分的深度确定。解释应提交的图件为: dB/dt 多测道图,一维反演电阻率剖面,沿测线的拟合差曲线,以及其它综合分析解释图件。

C.4.4.4 解译

瞬变电磁的 dB/dt 响应对低阻敏感,对高阻相对不敏感,根据这一特性,不得将反演断面中的高阻体形态和电阻率值作为地质解释依据。解译中需充分结合一维拟合差曲线和多测道图,对剖面上的横向不均匀低阻体逐一确认,利用多测道图分析倾向,并根据反演剖面上的围岩区域形状确定异常体深度。结合拟合较差的测点位置和测区构造图,分析异常是否为二维性引起。无明显走向,但一维又很难拟合的可能是三维体响应。划分异常体并定性、定量厚,结合地质、地球物理、地球化学资料,对目标异常体进行综合地质解释。

C.5 高分辨率反射地震法

C.5.1 测线设计

按 GB/T 33583-2017 规定执行。

C.5.2 数据采集

C.5.2.1 地震采集试验

开工前,应做好表层和深层地震-地质条件分析,开展表层结构调查,干扰波调查、井深和药量分析、可控震源激发参数、检波器组合方式、道间距、偏移距,仪器记录因素等试验工作。有条件时,收集工区地质资料,建立地质地球物理模型,通过地震波正演模拟方法论证分析道间距、炮间距、最小和最大偏移距、激发药量和井深等参数、研究不同构造部位的地震波场特征,指导和优化观测系统设计。

C.5.2.2 地震激发方式选择

首选井炮激发,小药量、浅井多组合方式可以改善激发效果。根据工区地表与地下条件,也可选择可控震源激发,要求参见 SY/T 5249。正式施工前,应有针对性的开展激发参数试验,逐点优选设计激发点位和参数。采用细黏土闷井方法,压制面波和声波;确保炸药与井孔的几何耦合,提高激发下传能量。

C.5.2.3 地震波接收

一般采用 10 Hz 的模拟波器或其它同等性能及以上检波器。检波器组合方式可以根据具体情况分析,原则上有利于压制规则干扰波和环境噪音,并尽可能保护高频有效信息。有条件时,可采用数字检波器接收。检波器埋置时,要达到“平、稳、正、直、紧”的要求,保证其与地面充分耦合。在岩石直接裸露地段采用垫土、粘泥饼等方法插牢检波器。

C.5.2.4 仪器选择

采用性能稳定、抗干扰能力强的数字地震仪或节点式采集系统。对于复杂地表地质条件的矿产勘查

工作区，宜采用分布式数据采集系统。仪器采样间隔设定要满足采样定理要求，避免出现假频，一般设定为 0.5 ms、1 ms、2 ms。记录长度通常需根据地层平均速度和勘探深度而定。数据记录格式为标准的 SEG-Y 或 SEG-D。

C.5.2.5 地震观测系统选择

观测系统通常要结合勘探任务、试验结果设计。有条件时，可通过建立工区合理的物理模型，采用正演模拟软件，针对目的层和构造进行模拟采集和照明，选择最佳观测系统。道间距选择要满足空间采样定理，依据不同勘探任务，一般选择 5 m~10 m。接收排列长度不应小于最大勘探深度的 2/3。覆盖次数需要根据试验数据的信噪比和生产成本而定，炮点距选择则根据覆盖次数确定。

C.5.3 数据处理

通过对野外采集的原始数据进行处理、加工，以提高信噪比、分辨率，提取地震属性参数，获得地下地质结构、构造、矿体等信息。预处理、振幅补偿、反褶积、剩余静校正、叠加、叠后修饰等参照 SY/T 5332 要求执行。主要地震数据处理方法如下：

- a) 叠前噪音、干扰波衰减处理。地震数据分辨率和信噪比的提高贯穿金属矿地震数据处理的全过程。常见的噪音类型主要有：面波、线性、高频、高能、随机等。在噪音衰减过程中，应先浏览和分析单炮数据，观察主要噪音类型。依据分析结果，在处理过程中，本着“先主后次”原则，先剔除主要的干扰，然后再衰减次要干扰。
- b) 静校正。常用的静校正方法有：高程静校正、模型静校正、折射静校正、层析静校正等。宜采用折射静校正和层析静校正。折射静校正适用于速度和厚度变化的层状模型地区；层析法适合于近地表速度横向变化大、无明显折射层、速度随深度连续变化的地区。
- c) 速度分析。应做常规速度分析，确保形成高质量的速度谱。同时，结合工作区地质特征，确定不同位置的速度场特征。依据常规速度分析结果，进行交互速度分析和偏移速度分析，提高速度的精度。在技术允许的条件下，可依据偏移速度分析结果，进行速度场反演，提高速度场的精准性。
- d) 倾角时差校正。针对倾斜反射层的情况，共中心点道集的各道不包含在一个共反射点而进行校正。倾角时差校正能有效地校正倾斜反射叠加时产生的反射点模糊现象。倾角时差校正应用的偏移孔径应根据炮检距、反射时间、动校正速度和地层倾角确定，一般小于最大炮检距的三分之二；倾角应大于实际资料存在的最大倾角。
- e) 偏移。偏移处理可提高地震剖面的空间分辨率，达到地震剖面上同相轴与实际反射界面的位置、长度、倾角等的一致性，还原地质体的实际地下位置。应依据不同的数据、计算效率和地质特征选择不同的偏移方法进行偏移处理。方法有：
 - 1) F-K 偏移。可处理陡倾角构造，当速度场横向和纵向发生变化时，精度较差。
 - 2) 相移法偏移。可处理陡倾角，速度场不能横向变化，使用均方根速度或层速度。
 - 3) 有限差分法偏移。近似的求解波动方程，可处理空变和时变的速度场，横向速度变化做近似处理，分显式和隐式两种算法，隐式算法精度低、频散严重。
 - 4) 克希霍夫偏移 (Kirchhoff)。在时间域或深度域求解波动方程，可处理陡倾角构造，较好地处理空变和时变速度场，横向速度变化也能获得较好的结果。

C.5.4 资料解释

C.5.4.1 资料收集

充分收集研究区内的地质、重力、磁力、电法、地球化学、钻井、测井、地表高程、浮动基准面高程、地震测线位置图、测量成果、交点桩号、井位坐标、井轨迹、前人研究成果、报告、图件等资料，为解释工作奠定基础。

C.5.4.2 构造解释

含地震地质层位标定、层位和断层解释。编制构造图及地震资料构造解释等。

C.5.4.3 速度分析

根据叠加速度、测井、VSP 等资料，进行层速度和平均速度的计算，分析研究区的速度变化规律，建立速度场和时深关系。

C.5.4.4 地层和岩性解释

基于区域地震剖面，判别层序界面，确定层序和体系域地层单元，进行层序、体系域地层单元解释、识别地震剖面上岩体、构造和矿体反射波特征，建立地质解释框架。

C.5.4.5 目标地质体解释

在区域地质构造背景下，结合已收集的资料进行综合解释。解释与成矿作用有关的岩体和构造，包括岩体的侵入特征，深部控矿、容矿构造的形态特征，矿体所在层位顶底界面，以及其它物性参数的解释和矿体预测。

C.5.4.6 综合解释

在完成上述解释工作后，应结合地质、钻井、测井以及其他地球物理资料，分析构造发展、演化过程，总结成藏（成矿）规律，在此基础上提出勘探部署建议及下一步工作重点。

C.5.4.7 其他解释

参照 SY/T 5481 要求执行。

C.6 短周期密集台阵噪声成像法

C.6.1 技术设计

进行技术设计前，应收集工区的地质构造、地球物理普查、钻孔、水文以及人文和工业厂矿等资料，根据已有资料判断噪声成像的地震探测方法是否适用于目标工区，矿体、控矿构造与围岩的地震波速差异是否在可分辨的范围。应充分利用勘探区域已有的地质地球物理和钻孔资料确定矿层埋深、层厚和展布特征，为地震台阵设计提供先验信息。

C.6.2 数据采集

C.6.2.1 仪器设备准备

使用的探测设备应为短周期三分量或单分量短周期地震仪，仪器的低频端响应能够达到周期 3 s~5 s，或经过实际测试同一种仪器的背景噪声互相关能够恢复 3 s~5 s 的面波信号，以确保能够查明目标工区地下 500 m~3 000 m 深度范围内的主要控矿构造和成矿特征。辅助实验设备和材料主要包括地震仪的充/供电设备（例如蓄电池或锂电池）、手持 GPS/RTK 设备、指南针/寻北仪、万用表等。

C.6.2.2 仪器一致性检测

野外布设台站之前要做好仪器一致性检测，通常将所有拟布设于野外的仪器布设在一起，在远处进行敲击震动实验，确保地震仪及其辅助设备能够正常工作，并对地震仪同一分量的传感器同一信号有一致响应，对于三分量的不同仪器同一分量记录到的信号的极性不应一致。

C.6.2.3 密集短周期地震台阵设计

地震台阵的设计，应参考工区的地质构造和钻孔资料，线性/长方形面状密集台阵走向应垂直控岩、控矿构造走向。正方形/圆形密集台阵，应充分覆盖控岩/控矿构造。应在充分考虑当地水文环境对仪器设备影响的前提下，根据矿体的埋深和展布特征设计台阵的台站间距、台阵孔径和台阵形状等。台阵的尺度取决于矿体的规模和埋深，台阵尺度宜达到4倍~6倍的最大探测深度。例如，若有效分辨工区下方500 m~3 000 m的横波速度结构，台阵尺度宜达到12 km~15 km。应在考虑成本的前提下，适当在核心区域加密台站，以提高浅层分辨率。

C.6.2.4 数据采集和观测

台阵布设时应设置好仪器的采样率，对于背景噪声浅层面波勘探，100 Hz 采样率可满足要求。同时应准确记录台站的编号、经纬度和高程信息，确保全球卫星定位系统授时正常工作。所有台站应连续观测一个月。远离海洋和人类活动的西部地区（例如新疆、西藏等地区）环境噪声较弱，需要连续观测2月~3月才能恢复较好的面波信号。

C.6.2.5 数据质量检查

台阵完成观测后，需检查地震仪记录的波形是否连续，有无异常波形，授时是否准确，极性是否正确。宜以台阵记录的远震波形作为参考进行检查，短周期密集台阵的孔径普遍较小，台阵记录的远震波形一致性很好，将同一分量的远震波形按震中距排列画在一起对比可以有效检测地震仪的授时准确性、极性的可靠性以及仪器响应的一致性。同时，可以通过检查每一天噪声互相关面波信号的到时和极性的一致性，判断仪器是否存在问题。

C.6.3 背景噪声数据处理

C.6.3.1 单台资料预处理

在不同台站记录的背景噪声进行互相关之前，应对单台数据进行预处理，包括：

- 1) 将台站的连续波形记录截为长度为一天（或 1h）的波形记录；
- 2) 对每一段波形去除仪器响应、均值和倾斜；
- 3) 将每一段波形分别变换到频率域进行谱白化；
- 4) 对波形进行时间域归一化。宜将波形滤波的多个相互连接的窄频带分别进行时间域归一化，然后再叠加组成宽频带的归一化波形，以更好地恢复不同频带的面波信号，具体频带选取应参考噪声频谱特征。

C.6.3.2 背景噪声互相关函数计算

不同台站预处理后的波形段分别进行互相关，得到每天/每小时的台站对互相关函数。两个接收器记录的空间互相关函数定义如下：

$$C_{1,2}(r,\omega) = \langle \mu(X_1,\omega)\mu(X_2,\omega)^* \rangle \quad (1)$$

式中：

ω —角频率；

X_1 、 X_2 —两个接收器的位置点；

$\mu(X_1, \omega)$ 、 $\mu(X_2, \omega)$ —两个接收器在频率域的波形记录（已经经过单台处理后的波形）；

$\langle \rangle$ —长时间平均；

$*$ —复数共轭；

$r = |X_1 - X_2|$ —台站对之间的距离。

将同一台站对不同时间段的所有互相关函数进行线性/相位加权叠加，得到该台站对最终的互相关函数。若台阵记录时间较长，线性叠加通常可以得到较好结果。当台阵记录时间较短、最终互相关函数信噪比较差时，宜使用相位加权叠加方法或更优的时频域相位加权叠加方法，叠加 d/h 的互相关函数，能够提高信噪比。

C.6.4 双台面波频散数据提取和质量控制

基于频散图像分析方法或时频分析方法，提取双台之间的瑞利面波群速度/相速度频散数据。提取过程中，设置信噪比阈值和台站间距阈值，以区域参考模型的理论频散数据或区域平均频散数据作为参考，根据噪声互相关数据质量，可采取手动、半自动或者自动方式提取面波频散数据。提取数据后，基于面波频散形态以及路径聚束分析方法，剔除存在剧烈跳动以及路径相似但频散数据值差异较大的数据点，以保证频散数据质量。

C.6.5 地下三维横波速度结构的面波成像

通过噪声互相关函数测量得到双台面波频散数据后，采用面波成像方法反演频散数据得到地下三维横波速度结构。面波成像方法分为两步法和一步法。宜采用一步法成像，利用所有测量得到的频散数据，直接反演得到三维横波速度结构模型。一步法反演三维各向同性横波速度结构构建的面波走时数据扰动与地下介质参数扰动之间的关系式：

$$\delta t_i(\omega) = \sum_{k=1}^K \left(-\frac{\nu_{ik}}{C_k^2(\omega)} \right) \sum_{j=1}^J \left[R_\alpha(z_j) \frac{\partial C_k(\omega)}{\partial \alpha_k(z_j)} + R_\rho(z_j) \frac{\partial C_k(\omega)}{\partial \rho_k(z_j)} + \frac{\partial C_k(\omega)}{\partial \beta_k(z_j)} \right] |_{\Theta_k} \delta \beta_k(z_j) = \sum_{l=1}^M G_{il} m_l \quad (2)$$

式中：

ω —角频率；

C —相速度频散数据；

α —纵波速度；

β —横波速度；

ρ —密度；

$\delta t_i(\omega)$ —第 i 条路径在角频率为 ω 时的面波走时数据扰动（相对于初始参考模型或反演迭代过程中获得的更新模型）。

右边项为相速度频散数据 C 相对于地下介质参数纵波速度 α 、横波速度 β 和密度 ρ 之间的扰动。其中，纵波速度和密度可以通过经验关系或根据实际情况从横波速度转化。

在反演时需要根据实际频散数据来设置合适的三维网格点，反演的最深网格一般设置为观测数据的最大波长深度附近，反演结果通常选取在 $1/2$ 最大波长深度以上。反演需设置模型平滑参数，以确保反演结果的稳定性。

除反演各向同性的横波速度结构外，还可采用一步法反演三维方位各向异性速度结构。先反演获得三维各向同性的横波速度结构模型，再同时反演各向同性与方位各向异性模型参数，以约束地下介质的

物性差异和变形状态。

C.6.6 台阵面波频散分析与反演

除双台法提取面波频散开展三维结构成像外,基于线性密集台阵的噪声面波频散分析方法也可用于台阵下方二维横波速度结构的成像反演。步骤如下:

- a) 计算台站之间的背景噪声互相关函数。
- b) 将台阵划分为相互连接(或部分重叠)的子台阵,基于子台阵台站之间的背景噪声面波信号,采用多道面波分析方法提取子台阵的面波相速度频散曲线,例如相移法、高分辨率拉东变换法、频率-贝塞尔变换法等。
- c) 基于子台阵的面波频散曲线,采用线性迭代反演方法或全局优化反演方法反演获得子台阵下方的一维层状横波速度模型。
- d) 将所有一维模型拼合起来,形成剖面下方的二维速度结构模型。

在 b) 步中,还可以利用不同子台阵之间的噪声面波数据,采用双重聚束、拓距相移等方法来提取子台阵下方更为低频的频散曲线,从而反演更深的结构。

C.6.7 综合解释

综合解释前,应进行反演结果的检测板实验和误差分析,确定反演结果的横向和垂向分辨率,以及稳定可靠异常体的分布范围。然后绘制成像结果的纵横剖面速度分布图,或通过三维或二维图像展示异常体的三维或二维空间分布形态。进行模型解释需收集工作区地质、地球化学、构造背景、岩性、测井等资料,结合特定矿床属性,分析成矿带是否与围岩存在较大速度差异及变形差异,再确定控矿构造特征和展布范围,探讨成矿带形成的深部构造背景。

C.7 测井与井中物探方法

C.7.1 适用范围。收集调查区所有钻孔的测井与井中物探资料,包括:测井收集钻孔地质剖面、钻孔岩石物性以及钻孔见矿、近矿围岩、矿化带等资料;井中物探收集井旁或井底盲矿、钻孔见矿、隐伏构造等空间形态的资料。若收集的资料不全或质量不高,有钻孔条件的,宜适当补充开展地球物理测井与井中物探工作,工作区部署的所有钻探查证钻孔,应开展测井和井中物探工作。

C.7.2 方法选择。根据矿种和物性差异选择电测井、磁测井、弹性波测井、放射性测井等相应的测井方法,进行钻遇矿层的定性、定深、定厚。针对深部找矿钻孔资料要求精准的特点,可选择自然伽马能谱测井、成像测井等方法。根据矿种和物性差异,选择井中物探方法,发现井旁或井底盲矿,确定矿体相对钻孔方位。选择原则如下:

- a) 铁磁性矿床,可选择井中磁测方法。发现井旁或井底盲矿、确定矿体相对于钻孔方位,结合地面磁测数据确定矿体的形态。井中磁测法技术要求按 DZ/T 0293 执行。
- b) 金属硫化物矿、铜和多金属矿,可选择井中激发极化法和大功率充电法。圈定矿体或矿化层段、岩体范围,发现井旁或井底盲矿和隐伏构造等、确定目标体方位。井中激发极化法技术要求按 DZ/T 0204 执行。
- c) 电阻率异常的金属矿,可选择地-井瞬变电磁法。发现井旁或井底盲矿、确定矿体方位,确定钻孔已见矿体的延伸,并可贫中找富。地-井瞬变电磁法技术要求按照现行的标准执行。
- d) 具备跨孔工作条件时,宜选择钻孔电磁波法、跨孔弹性波法、跨孔电阻率测量等跨孔层析成像技术,发现井间盲矿、确定钻孔见矿体的延伸。钻孔电磁波法技术要求按 DZ/T 0404 执行。

C.7.3 数据采集。技术要求参见 DZ/T 0297 执行。

C.7.4 处理与解释。数据处理分析前应进行资料预处理，包括曲线的深度校正、畸变点剔除、平滑滤波等，必要时进行井斜校正、地形改正等。测井数据处理包括数据编辑、修改校正、深度对齐、曲线合并、数值计算、数值滤波、图件输出等功能。井中物探数据处理宜采用井-地联合约束反演方法和人机联作反演，推断目标体的性质、位置、产状、形态、规模及其相互关系。要求如下：

- a) 井中磁测定性解释分析井中磁异常与地面磁异常的相关性，重点分析井旁、井底异常的意义；定量解释一般二度体选择二维反演方法，三度体选择三维反演方法。
- b) 井中激发极化定性解释，可采用类比法和对比法等，对激电异常的性质、规模及起因进行分析判断；定量解释可采用三维正反演技术。
- c) 地-井瞬变电磁定性解释，利用整理后的曲线与理论曲线比较，依据测区物性、已知地质资料和地质规律对异常的可能起因进行解释；定量解释可采用三维正演拟合法。
- d) 钻孔电磁波定性解释，利用整理后的测量曲线与理论曲线比较，依据工区物性、已知地质资料和地质规律对井间异常的可能起因进行解释；半定量解释采用交会法；定量解释采用层析成像法。

C.7.5 提交的成果。在单孔解释推断基础上，结合地质、地球物理等资料，综合单孔或跨孔解释推断成果，得出测井和井中物探综合地质解释以及全测区规律性认识成果。测井成果包括测井曲线图、钻孔地质剖面图，矿体异常层位定深定厚成果表，岩性层、破碎带成果表和岩矿层物性参数统计表；井中物探成果包括实际材料图、测量曲线图、反演计算图、综合地质解释图。

附录 D

(资料性)

不同类型深部矿产常用的地球物理和地球化学调查方法

不同类型的深部矿产应选取适合的地球物理和地球化学调查方法。具体为：

- a) 基性-超基性岩型矿床。可选用重力、磁力、激发极化法、土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学方法；
- b) 花岗岩类矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、重力方法；
- c) 稀土矿。可选用重力、磁力、电磁法、土壤微细粒分离、岩石地球化学方法；
- d) 云英岩型钨锡矿。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、激发极化法、重力、音频大地电磁法；
- e) 斑岩型矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学、激发极化法、重力、音频大地电磁法；
- f) 矽卡岩型矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学、重力、磁力、激发极化法、频率域电磁法；
- g) 浅成低温热液型矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、地电化学、构造叠加晕、激发极化法、频率域电磁法；
- h) 铁氧化物铜金型矿。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学、频率域电磁法、重力、磁力方法；
- i) 火山块状硫化物矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学、重力、激发极化法、频率域电磁法、磁测法；
- j) 陆相次火山岩型矿床。可选用磁力、重力、频率域电磁法、瞬变电磁法；
- k) 胶体化学沉积型矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、重力、磁力、频率域电磁法；
- l) 生物化学沉积型矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学法；
- m) 黑色岩系型矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、重力、激发极化法、频率域电磁法；
- n) 热水喷流沉积型矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、重力、激发极化法、频率域电磁法；
- o) 层控后生热液型矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、重力、激发极化法、地震法、频率域电磁法；
- p) 变质作用矿床。可选用磁力、重力、频率域电磁法以及土壤微细粒分离、岩石地球化学法；
- q) 造山型矿床。可选用土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、构造叠加晕、激发极化法、频率域电磁法。

具体矿床类型深部探测常用的方法见表 D.1。

表 D.1 主要矿床类型深部探测常用的地球化学和地球物理方法

主要矿床类型	宜采用的深部矿产调查方法
岩浆型铜镍硫化物（±PGE）矿 ^a	重力、磁力、激发极化法、电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学
岩浆型铬铁矿	重力、磁力、电磁法
岩浆型钒钛磁铁矿 ^a	磁力、重力、电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学
钠长花岗岩型稀有稀土矿	重力、电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学
碱性花岗岩型稀有稀土矿	重力、磁力、电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学

主要矿床类型	宜采用的深部矿产调查方法
碳酸岩型稀土矿	磁力、电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学
伟晶岩型稀有稀土矿	重力 土壤微细粒分离、岩石地球化学
云英岩型钨锡矿	激发极化法、重力、音频大地电磁 土壤微细粒分离、岩石地球化学
斑岩型铜（钼）、铜金、钼矿	激发极化法、重力、音频大地电磁 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学
矽卡岩型铁矿	重力、磁力、激发极化法、频率域电磁法
矽卡岩型铜、钼、铅锌矿	重力、磁力、激发极化法、频率域电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学
矽卡岩型钨、锡矿	重力、磁力、激发极化法、频率域电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学
浅成低温热液型金矿	磁力、激发极化法、频率域电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学、地电化学、构造叠加晕
铁氧化物-铜-金-铀-稀土矿（IOCG）	频率域电磁法、重力、磁力 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学
火山成因块状硫化物矿床（VMS）	重力、激发极化法、频率域电磁法、磁力 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、地电化学
陆相次火山岩型铁矿	磁力、重力、频率域电磁法、瞬变电磁法
沉积型铁矿、铝土矿	重力、磁力、频率域电磁法
沉积型锰矿	重力、磁力、频率域电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学
沉积型磷块岩矿	电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学
黑色岩系型镍、钼、钒、铀、钴等矿	重力、激发极化法、频率域电磁法 土壤微细粒分离、岩石
喷流沉积型铅锌矿（SEDEX）	重力、激发极化法、频率域电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态
密西西比河谷型铅锌矿（MVT）	激发极化法、频率域电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态
沉积岩容矿型铜（钴）矿	重力、激发极化法、地震法、频率域电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态
砂岩型铀矿	地震法、放射性法 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态
卡林型金矿	电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态
BIF 型铁矿	磁力、重力、频率域电磁法
沉积变质型硼矿	土壤微细粒分离、岩石地球化学
变质型石墨矿	激发极化法、频率域电磁法
造山型金矿	磁力、激发极化法、频率域电磁法 土壤微细粒分离、岩石地球化学、元素活动态、构造叠加晕

附 录 E
(规范性)
深部矿产远景调查图件样式

图 E.1 给出了三维地质模型图样式。

XX地区三维地质模型图

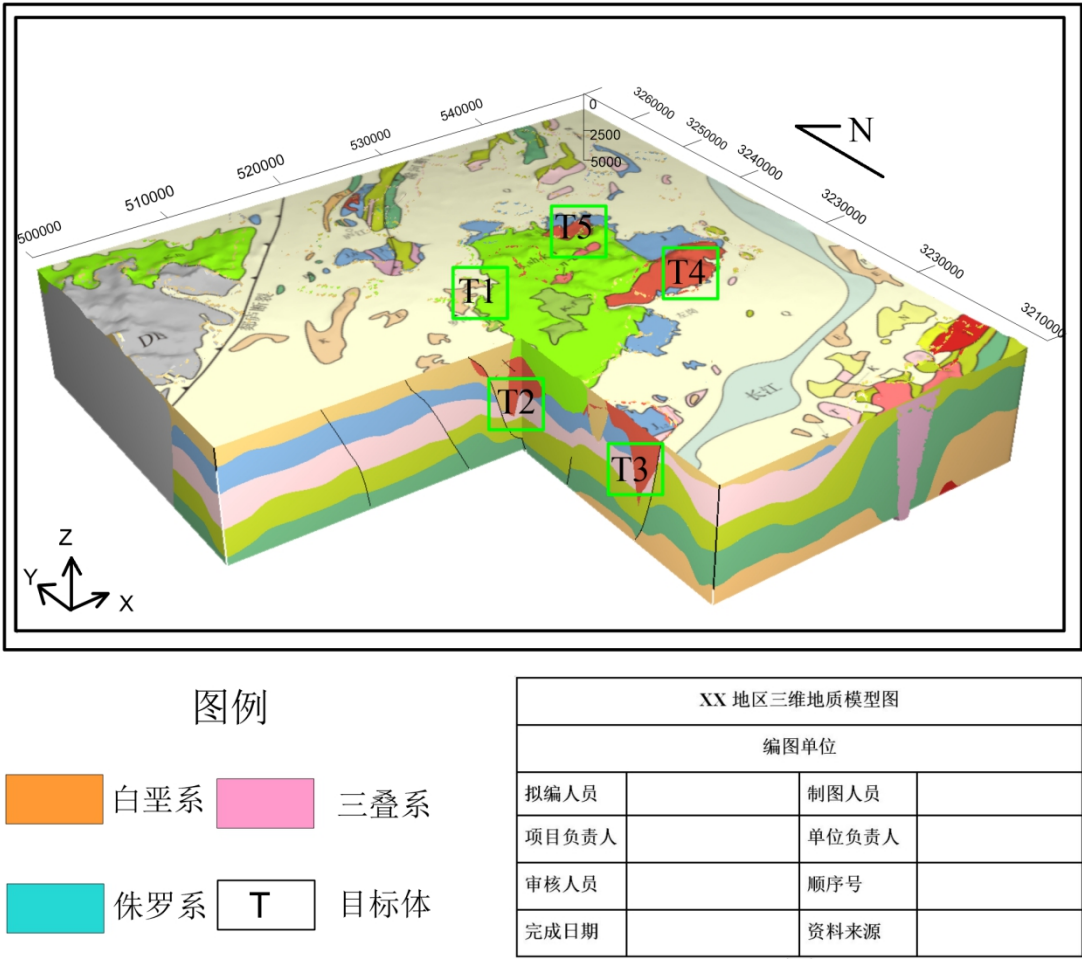


图 E. 1 三维地质模型图样式

图 E.2 给出了深部成矿预测图样式。

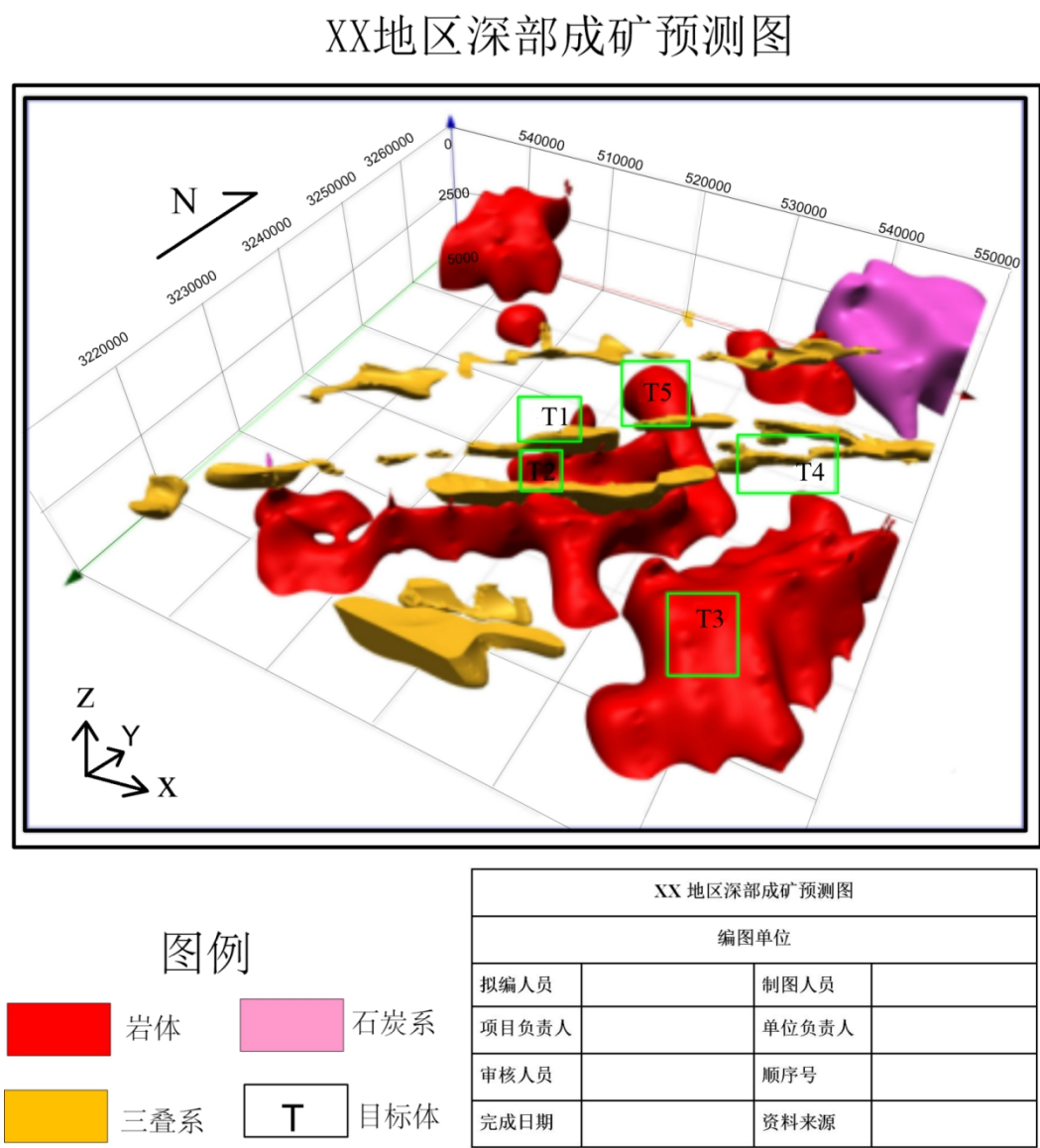


图 E. 2 深部成矿预测图样式

附 录 F

(规范性)

深部矿产远景调查报告编写提纲

第一章 前言

- 一、工作目的和任务
- 二、工作区以往地质矿产工作概述
- 三、工作区以往物探、化探、遥感工作概述
- 四、本次工作情况及主要进展

第二章 区域地质背景与成矿条件

- 一、区域地质特征
- 二、区域矿产特征
- 三、地球物理特征
- 四、地球化学特征
- 五、遥感异常特征

第三章 工作区地质矿产特征

- 一、地质特征
- 二、矿产特征
- 三、物化遥特征

第四章 工作方法与质量评述

- 一、矿产地质调查
- 二、地球物理调查
- 三、地球化学调查
- 四、地质钻探
- 五、其他方法

第五章 成矿规律与远景预测

- 一、成矿规律研究
 - (一) 成矿时间演化规律
 - (二) 矿床(点)空间展布特征
 - (三) 成矿区(带)的划分
- 二、区域找矿信息与找矿模式
 - (一) 控矿地质因素分析
 - (二) 找矿信息分析
 - (三) 找矿模式建立
- 三、远景预测
 - (一) 三维地质建模
 - (二) 远景区圈定及优选
 - (三) 矿产远景预测及潜力评价

第六章 结论

- 一、主要成果
- 二、存在问题
- 三、今后工作建议

参 考 文 献

- [1] DZ/T 0353-2020 地球化学详查规范
- [2] DD 2019-02 固体矿产地质调查技术要求（1：50000）
- [3] DD 2006-03 岩矿石物性调查技术规程
- [4] DD 2019-11 地-井瞬变电磁法技术规程
- [5] Lü Q T, Qi G, Yan J Y. 2013. 3D geological model of Shizishan ore field constrained by gravity and magnetic interactive modeling: A case history, *Geophysics*, 78(1): B25-B35
- [6] 严加永, 吕庆田, 陈向斌, 等. 2014. 基于重磁反演的三维岩性填图试验-以安徽庐枞矿集区为例. *岩石学报*, 30(4): 1041-1053
- [7] 刘彦, 严加永, 吴明安, 等. 2012. 基于重力异常分离方法寻找深部隐伏铁矿—以安徽泥河铁矿为例. *地球物理学报*, 55(12): 4181-4193
- [8] 姚华建, 罗松, 李成, 等. 2022. 基于面波走时的三维结构面波直接成像: 方法综述与应用. *地球与行星物理论评*, 54, doi: 10.19975/j.dqyxx.2022-063
- [9] Bensen G D, Ritzwoller M H, Barmin M P, et al. 2007. Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad band surface wave dispersion measurements. *Geophysical Journal International*, 169(3): 1239-1260
- [10] Deng B, Li J, Liu J, et al. 2022. The extended range phase shift method for broadband surface wave dispersion measurement from ambient noise and its application in ore deposit characterization. *Geophysics*, 87(3): JM29-JM40
- [11] Fang H J, Yao H J, Zhang H, et al. 2015. Direct inversion of surface wave dispersion for three-dimensional shallow crustal structure based on ray tracing: Methodology and application. *Geophysical Journal International*, 201(3): 1251-1263
- [12] Liu C M, Yao H J, Yang H Y, et al. 2019. Direct inversion for three-dimensional shear wave speed azimuthal anisotropy based on surface wave ray tracing: Methodology and application to Yunnan, southwest China. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(11): 11394-11413
- [13] Luo Y H, Xia J H, Miller R D, et al. 2009. Rayleigh-wave mode separation by high-resolution linear Radon transform. *Geophysical Journal International*, 179: 254-264
- [14] Zhang Y Y, Yao H J, Yang H Y, et al. 2018. 3-D crustal shear-wave velocity structure of the Taiwan Strait and Fujian, SE China, revealed by ambient noise tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(9): 8016-8031