ICS 73.020;73.060.99
D 12

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0203—20**
代替 DZ/T 0203-2002

矿产地质勘查规范 稀有金属

Specifications for rare metal mineral exploration

（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
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　勘查目的及勘查阶段 1
3.1　勘查目的 1
3.2　勘查阶段 1
4　勘查工作程度 2
4.1　勘查控制基本要求 2
4.2　普查阶段要求 3
4.3　详查阶段要求 4
4.4　勘探阶段要求 6
4.5　供矿山建设设计的小型和复杂矿床的勘查工作程度要求 8
5　绿色勘查要求 8
5.1　基本要求 8
5.2　勘查设计 8
5.3　勘查施工 8
5.4　环境恢复治理与验收 9
6　勘查工作及质量要求 9
6.1　地形测量与工程测量 9
6.2　地质填图 9
6.3　水文地质、工程地质、环境地质工作 9
6.4　物探、化探工作 10
6.5　重砂测量工作 10
6.6　探矿工程 10
6.7　采样与样品制备测试 11
7　可行性评价 14
7.1　基本要求 14
7.2　概略研究 14
7.3　预可行性研究 14
7.4　可行性研究 15
8　资源储量类型条件 15
8.1　资源量 15
8.2　储量 16
9　矿产资源储量估算 16

9.1 工业指标 16
9.2 矿体圈定 17
9.3 资源量估算要求 18
9.4 估算参数的确定 18
9.5 储量估算要求 19
9.6 资源储量分类 19
9.7 资源储量估算结果 19
附录A（规范性附录） 资源量和储量类型及其转换关系 20
附录B（资料性附录） 稀有金属矿床各勘查阶段探求的资源量及其比例的一般要求 21
附录C（资料性附录） 稀有金属矿床勘查类型的确定及勘查工程间距参考 22
附录D（资料性附录） 稀有金属矿产资源储量估算工业指标 25
附录E（资料性附录） 稀有金属矿产资源储量规模划分 27
附录F（资料性附录） 稀有金属矿床分类及主要工业类型 28
附录G（资料性附录） 稀有金属性质、用途 34
附录H（资料性附录） 稀有金属主要矿物及性质 37
附录I（资料性附录） 各种稀有金属精矿质量指标 40
参考文献 43

前　言

本标准依据GB/T 1.1-2009 《标准化工作导则　第1部分：标准的结构和编写》 给出的规则起草。

本标准代替DZ/T 0203-2002 《稀有金属矿产地质勘查规范》。本标准与DZ/T 0203-2002 相比，主要技术内容变化如下：

---增加了勘查的目的，取消了预查阶段，修改了各勘查阶段的内涵（见3）。

---将勘查研究程度与勘查控制程度合并为勘查工作程度（见4）。

---增加了绿色勘查要求（见5）。

---修订了地质填图精度要求（见6.2.3）。

---增加了水文地质、工程地质、环境地质工作质量要求（见6.3）。

---修订 “钉入式半合管钻探”为“赣南钻”（见6.6.5）。

---删除了人工重砂分析（见6.7.5）。

---修订了化学分析质量要求（见6.7.2.5）。

---删除了原附录F（矿体圈定和矿产资源/储量估算方法说明），将其内容修改后纳入正文（9.2～9.3）；修订了矿体圈定及矿体外推原则（见9.2）。

---增加了各勘查阶段探求的资源量比例的一般要求（见附录B）。

---修订了钽铌矿床参考性工业指标（见附录D，D.4）。

---补充更新了稀有金属矿物南平石、兴安石（见附录H）。

---更新了稀有金属矿床分类，增加了典型矿床实例（见附录F）。

---更新了稀有金属精矿质量指标（见附录I）。

本标准由中华人民共和国自然资源部提出。

本标准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。

本标准起草单位：自然资源部矿产资源储量评审中心、江西有色地质勘查局、江西有色地质矿产勘查开发院、中国瑞林工程技术股份有限公司。

本标准起草人：张云蛟、曾晓建、雷存友、黄中敏、黄贺、万昌林、谢春华、张彦伟、高利民、陈正钱、张涛、王定生、余浔、朱志成、程群喜、吴德新、舒顺平、俞寒飞、张敏、汪邦勤、易先奎、黄美俊、董晨、闵道勇、司志伟。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

—— DZ/T 0203—2002。

矿产地质勘查规范 稀有金属

1 范围

本标准规定了锂（Li）、铷（Rb）、铯（Cs）、铍（Be）、铌（Nb）、钽（Ta）、锆（Zr）、铪（Hf）等稀有金属矿产地质勘查工作的目的及勘查阶段、勘查工作程度、绿色勘查要求、勘查工作及质量要求、可行性评价、资源储量类型条件、矿产资源储量估算等。

本标准适用于稀有金属矿产地质勘查工作、资源储量估算及其成果评价。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 3838 地表水环境质量标准

GB 12719 矿区水文地质工程地质勘查规范

GB/T 13908 固体矿产地质勘查规范总则

GB/T 14848 地下水质量标准

GB/T 17766 固体矿产资源储量分类

GB/T 18341 地质矿产勘查测量规范

GB/T 25283 矿产资源综合勘查评价规范

GB/T 33444 固体矿产勘查工作规范

DZ/T 0032 地质勘查钻探岩矿心管理通则

DZ/T 0033 固体矿产勘查/矿山闭坑地质报告编写规范

DZ/T 0078 固体矿产勘查原始地质编录规程

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 0130 地质矿产实验室测试质量管理规范

DZ/T 0141 地质勘查坑探规程

DZ/T 0227 地质岩心钻探规程

3 勘查目的及勘查阶段

3.1 勘查目的

发现和评价可供进一步勘查或开采的矿床（体），为勘查或开发决策提供相关地质信息，最终为矿山建设设计提供必需的地质资料，以降低矿床勘查开发的投资风险，获得合理的经济效益。

3.2 勘查阶段

3.2.1 勘查阶段划分

勘查工作按GB/T 17766、GB/T 13908划分为普查、详查和勘探三个阶段。一般应按阶段循序渐进地进行。合并或者跨阶段提交勘查成果时，也宜参照勘查阶段要求分步实施。

3.2.2 各阶段的目的任务

3.2.2.1 普查

在区域地质调查、研究的基础上，通过有效的勘查手段，寻找、检查、验证、追索矿化线索，发现稀有金属矿（化）体，并通过稀疏的取样工程控制和测试、试验研究，初步查明矿体（床）地质特征以及矿石加工选冶技术性能，初步了解开采技术条件。开展概略研究，估算推断资源量，作出是否有必要转入详查的评价，并提出可供详查的范围；对项目进行初步评价，作出是否具有经济开发远景的评价。

3.2.2.2 详查

在普查的基础上，通过有效勘查手段、系统取样工程控制和测试、试验研究，基本查明稀有金属矿床地质特征、矿石加工选冶性能以及开采技术条件，为划分矿区、确定勘探区等提供地质依据。开展概略研究，估算推断资源量和控制资源量，作出是否有必要转入勘探的评价，提出可供勘探的范围；也可开展预可行性研究或可行性研究，估算可信储量，作出是否具有经济价值的评价。

3.2.2.3 勘探

在详查的基础上，通过有效勘查手段、加密取样工程控制和测试、深入试验研究，详细查明稀有金属矿床地质特征、矿石加工选冶性能以及开采技术条件，为矿山建设设计确定矿山生产规模、产品方案、开采方式、开拓方案、矿石加工选冶工艺，以及矿山总体布置等提供必需的地质资料。开展概略研究，估算推断、控制、探明资源量；也可开展预可行性研究或可行性研究，估算可信、证实储量。

4 勘查工作程度

4.1 勘查控制基本要求

4.1.1 勘查类型的确定

4.1.1.1 目的

矿床勘查类型的确定旨在合理地选择勘查方法和手段、确定勘查工程间距及有效地控制和圈定矿体。

4.1.1.2 确定因素

矿床勘查类型由主要矿体的规模、形态复杂程度、厚度稳定程度、有用组分分布均匀程度、矿床的构造影响程度等五个主要地质因素来确定。勘查阶段一般根据矿体的资源量规模确定主要矿体，将资源量（一般为主矿产，必要时考虑共生矿产）从大到小累计超过勘查区总资源量60%的一个或多个矿体确定为主要矿体。对大矿体可依据其在不同地段变化程度，分段确定勘查类型；对于成带良好的伟晶岩矿床按一个或几个含矿带构成的矿体确定勘查类型。普查阶段可与同类矿床类比，初步确定勘查类型；详查阶段应根据影响勘查类型的主要地质因素确定勘查类型;勘探阶段应根据影响勘查类型的主要地质因素的变化情况验证勘查类型，经验证不合理的，应调整勘查类型。

4.1.1.3 类型

勘查类型划分为简单（Ⅰ类型）、中等（Ⅱ类型）、复杂（Ⅲ类型）。由于地质因素的复杂性，允许有过渡类型存在。各类型的确定依据见附录C。

4.1.2 勘查工程间距的确定

根据勘查类型确定工程间距。当矿体沿走向和倾向变化不一致时，工程间距要适应其变化；矿体出露地表时，地表工程间距应适当加密。对于有类比条件的小型矿床，用传统的类比法确定最佳工程间距；对于中、大型矿床，应进行不同工程间距试验，以确定最佳工程间距。不同勘查类型的矿床，其控制的矿产资源储量的勘查工程间距，可参考我国稀有金属矿床的勘查经验总结出来的工程间距，见附录C，在勘查过程中结合矿床实际情况具体使用。对于勘查工程数量较多的矿床，可应用地质统计学法或SD法确定最佳工程间距，见GB/T 13908—2002附录C。

4.1.3 勘查工程选择与布置

4.1.3.1 勘查手段的选择和应用

根据矿床勘查类型和地形条件选定。一般第Ⅰ勘查类型用钻探手段可以提供探明的矿产资源储量；第Ⅱ勘探类型，根据具体情况，以钻探为主，坑探为辅；第Ⅲ勘查类型，应以坑钻结合进行勘探，对较复杂的矿床，根据需要施工适当数量的坑探，探明矿体的连续性。对风化壳矿床勘查应结合地形地貌特征合理布置，可用钻探、人工冲击取样钻探或浅井，若使用人工冲击取样钻探与钻探手段勘查，要保证岩心完整、层次不乱，并需用钻孔数量3%—5%的浅井验证。

4.1.3.2 勘查工程布置

4.1.3.2.1 根据矿床地质特征和矿山建设的需要，参考同类型矿床的勘查经验，按普查、详查和勘探不同阶段的要求布置勘查工程。施工顺序应本着先地表后地下、先浅部后深部、先稀后密、典型解剖、具体对待的原则进行。采用多种勘查手段进行勘查时，各种勘查工程要求尽可能布置在勘查剖面线上，勘查剖面线应垂直主矿体走向。

4.1.3.2.2 普查阶段：按大致控制矿体的需要布置有限的取样工程，地表工程应比深部工程加密一倍，深部应有工程证实，工程间距应控制矿体或矿化带的规模，工程布置应考虑后续勘查工作的利用。

4.1.3.2.3 详查阶段：在普查大致控制矿体之后，布置系统取样工程对矿体加以控制，其间距根据勘查类型来确定，应达到系统控制矿体的工程间距，满足估算控制的矿产资源储量的工程间距要求。

4.1.3.2.4 勘探阶段：在详查系统控制矿体之后，加密工程圈定矿体，对主要地段一般在详查工程间距的基础上加密一倍。

4.1.3.3 勘查深度

矿产勘查工作应科学合理地确定勘查深度，既不应过浅，也不宜过深。有类比条件的，鼓励通过类比确定勘查深度，不具备类比条件的，通过论证确定勘查深度。勘查深部矿体应适当加强开采技术条件研究。

4.2 普查阶段要求

4.2.1 成矿地质条件

收集地质、物探、化探、重砂、遥感地质资料以及有关的地质研究成果，通过1∶25000～1∶5 000比例尺勘查区地质填图（一般为简测图）、遥感解译、露头检查，结合工程揭露，研究成矿地质规律，对比已知矿床，探讨矿床成因，总结找矿标志，初步查明勘查区的成矿地质条件和矿化地质体特征。

4.2.2 矿体特征

通过矿（化）点检查、1:10000 ～ 1∶2 000比例尺的物探、化探剖面测量或面积性测量、必要的取样工程等，对勘查区内发现的矿化线索逐一进行验证、检查、追索和评价。对发现的矿体，特别是主要矿体，地表应用取样工程稀疏控制，深部应有工程证实，不要求系统控制，但应尽可能兼顾与后续勘查工程布置的合理衔接。当矿（化）体出露地表时，应根据需要开展1:2000～1:1000比例尺的矿床地质填图（简测或正测图）。通过控制研究，对矿体的连续性作出合理推测，初步查明主要矿体的地质特征和勘查区内矿体的总体分布范围。

4.2.3 矿石特征

初步查明矿石品位、矿石矿物、脉石矿物、嵌布特征、化学成分、结构构造特征、矿石自然类型，以及可供综合利用有用组分的含量和赋存状态。发现放射性异常时应进行采样测试。

4.2.4 矿石加工选冶技术性能

在矿石工艺矿物学研究基础上，对于易选矿石进行类比研究；对于较易选矿石一般进行类比研究，必要时进行可选性试验;对于新类型矿石和难选矿石一般进行可选性试验,必要时进行实验室流程试验。

4.2.5 矿床开采技术条件

初步了解区域和普查区的水文地质、工程地质、环境地质条件，为详查工作提供依据。对开采技术条件简单的矿区可依据与同类型矿山开采条件对比，对开采技术条件做出评价；对开采技术条件复杂的矿区，应进行适当的开采技术条件调查研究工作，初步了解地表水体分布，地下水的类型、水质、水量及近矿围岩的强度等。

4.2.6 综合勘查综合评价

初步查明共生、伴生矿产的种类、含量、赋存特点，对综合利用做出初步评价，为详查工作提供依据。

4.2.7 普查成果

普查阶段除初步查明矿床（体）地质特征外，发现矿体时，根据地质成矿规律估算推断资源量。

4.3 详查阶段要求

4.3.1 成矿地质条件

通过1∶5 000～1∶2 000比例尺地质填图（正测图，矿体部位也可用1∶1 000～1∶500），应用各种有效的综合勘查方法和手段，采用系统取样工程，基本查明地层、构造、岩浆岩、变质岩及变质作用、矿化蚀变等地质特征及其与成矿的关系。

4.3.2 矿体特征

通过系统取样工程，基本查明矿体总体分布范围、数量及相互关系；基本查明主要矿体及规划首期开采矿体的规模、产状、形态、厚度、空间分布及品位变化；基本确定矿体的连续性以及矿体中的夹石分布情况，控制矿体界线，建立矿床的找矿模型。对风化壳矿床，应基本查明风化带的发育程度、分布范围、风化深度，基本确定全风化带、半风化带、原生矿带的界线。对破坏矿体及影响井巷开拓和开采的断层、破碎带、岩脉等应有工程对其产状和规模加以控制。

4.3.3 矿石特征

基本查明矿石矿物和脉石矿物种类、共生组合、嵌布特征、结构构造；基本查明矿石的有用、有害组分含量、赋存状态、分布规律；基本确定矿石品位，基本查明主要稀有金属组分的集中率和分散率，划分矿石自然类型和工业类型，对矿石的工业利用价值做出评价，为矿山建设的项目建议书和预可行性研究提供依据。

4.3.4 矿石加工选冶技术性能

在矿石工艺矿物学研究基础上，基本查明主要矿石类型的选（冶）性能。一般情况下，应进行矿石可选（冶）性试验；对生产矿山附近有类比条件的易选矿石可进行类比评价，不做可选（冶）性试验；对成分或结构较复杂的矿石，进行实验室流程试验；对难选矿石或新类型矿石还应做实验室扩大连续试验。

4.3.5 矿床开采技术条件

4.3.5.1 水文地质：基本查明当地最低侵蚀基准面标高；基本查明老窿采空区水文地质特征；基本查明矿区含水层、隔水层、构造破碎带、风化带、岩溶发育带的水文地质特征；基本查明矿区内地表水体分布及其与矿床主要充水、含水层的水力联系并评价其对矿床充水的影响；基本查明地下水补给、径流、排泄条件，矿体主要充水因素。对水文地质条件中等、复杂的矿床，充分利用地质工程选择有代表性的地段对矿床充水的主要含水层及矿体围岩性质进行水文地质研究，获取水文地质参数，为估算矿坑涌水量提供依据。

4.3.5.2 工程地质：基本查明矿体（层）围岩及矿石类型的主要力学性质及其稳定性能；基本查明矿区内断层破碎带、节理、裂隙、岩溶、风化带、软弱岩层的分布以及老窿采空区的分布和充填、积水情况。评价对矿体及其顶底板近矿围岩稳固性的影响，露天采场应对边坡稳定性提出评价意见。

4.3.5.3 环境地质：针对矿床开采的影响范围，开展环境地质调查，基本查明环境地质条件。未开发新区，对矿床开采可能引发的环境地质问题进行调查，基本查明矿山废水排放、废石堆放可能造成对环境的影响；基本查明岩石、矿石和地下水（含热水）中对人体有害元素、放射性及其他有害气体成分、含量；搜集地震、泥石流、滑坡、岩溶等自然地质灾害的有关资料，分析其对矿山生产的影响，预测矿山开采对本区环境、生态可能产生的影响。对已开发的老矿区，基本查明矿山开采区的地面变形破坏、矿山废水排放与废渣堆放引发的环境地质问题，提出治理意见。

4.3.5.4 综合水文、工程、环境地质条件，划分矿床开采技术条件勘查类型。各类型的条件按 GB/T 13908—2002 附录 B 的要求进行。详查阶段可办理采矿证或直接开采的矿体，矿床开采技术条件研究应达到开采要求。

4.3.6 综合勘查综合评价

4.3.6.1 基本查明共、伴生矿产的品位、矿物组分、赋存状态、嵌布特点、产出特征，及其与主矿产的关系。对易选矿石（包括手选）与同类型矿床类比，做出矿石加工技术性能的评价；对组分复杂、嵌布粒度细小的新类型矿床，应进行选（冶）加工试验研究，基本查明其工业利用的可能性。根据选矿试验成果，初步了解选矿尾砂的矿物成分及综合利用的可能性。露天开采矿床应对剥离物的综合利用进行评价。

4.3.6.2 在控制主矿产的同时，对同体共生矿种进行综合勘查，应用综合指标圈定综合矿体，合理划分矿石工业类型和品级。对异体共生的矿种，应进行单独圈定，应用论证工业指标圈定异体共生矿体，估算控制的各种矿产资源储量，对矿床的工业利用价值做出整体评价。

4.3.6.3　对供矿山建设设计利用的详查报告，共、伴生矿产资源储量规模达中型及以上，其矿石加工选冶性能试验研究、综合评价的程度应达到勘探阶段要求。

4.3.7　资源量比例

详查阶段资源量比例要求见附录B。在确定的勘查深度以上，一般探求控制和推断资源量，且应具有合理的比例分布。控制资源量一般应集中分布在资源量最优、可能首先或先期开采的地段。在确定的勘查深度以下，一般不作深入工作，可对成矿远景作出评价。

4.4　勘探阶段要求

4.4.1　成矿地质条件

在详查的基础上，视需要修测勘查区地质图、矿床地质图（均应为正测图），或开展1∶2 000～1∶1 000（矿体部位可用1∶500）地质填图（正测图）及各种有效的勘查方法和手段、加密取样工程，详细查明矿区地层特征；详细查明与成矿有关的岩浆岩的岩性、岩相、产状、形态、规模及其含矿性；详细查明控矿构造特征以及成矿后构造的破坏影响程度；详细查明变质岩及变质作用特征；详细查明与成矿有关的蚀变类型、强度、分带、范围、变化规律及其与矿化关系。

4.4.2　矿体特征

通过加密的取样工程，详细查明勘探区内的矿体数量、赋存部位、分布范围及顶底板岩性；详细查明工业矿体规模、形态、产状、厚度、空间分布、内部结构、品位及其变化特点，确定矿体的连续性；详细查明矿体内部的无矿地段及夹石的规模、形态、产状及分布规律。对地下开采的矿床，应控制主要矿体沿走向和顶部的边界及风化带界线；对风化壳矿床，详细查明风化壳的发育程度、矿物组合，确定全风化带、半风化带、原生带的界线；对露采的矿床，应对矿体四周采场底部矿体边界进行系统控制，对能与主矿体同时开采的周围小矿体应适当加密控制，掌握矿体底部界线的起伏变化规律。

4.4.3　矿石特征

4.4.3.1　矿石组分及赋存状态研究：详细查明矿石的稀有金属矿物、脉石矿物的种类及含量、共生组合、嵌布粒度特征及矿石的结构构造特征；详细查明矿石的化学成分，共、伴生的有用组分及有害组分的含量变化特征、赋存状态、分布规律；详细查明主要稀有金属组分的集中率和分散率，对风化壳矿石应详细查明稀有金属矿物各粒级段的分布及单体自然解离度，对具有工业价值的共、伴生组分进行综合评价。

4.4.3.2　矿石类型划分研究：按矿石中所含稀有金属种类，结合脉（岩）体的内部构造（或岩相带）划分矿石类型；按矿石中稀有金属矿物晶体大小划分手选矿石和机选矿石。对风化壳矿床，按稀有金属矿物种类、含量、组构特征、风化程度，划分全风化矿石、半风化矿石和原生矿石等自然类型。

4.4.3.3　根据矿物共生组合及选冶特点划分主要和次要工业类型，并研究其分布范围和所占比例。矿石质量研究应满足矿山开采设计和可行性研究的需要。

4.4.4　矿石加工选冶技术性能

在矿石工艺矿物学详细研究基础上，详细查明矿石加工选冶技术性能。对易选矿石，应进行实验室流程试验；较易选矿石应在实验室流程试验基础上，进行实验室扩大连续试验；对难选矿石和新类型的矿石，应进行实验室扩大连续试验，必要时进行半工业试验。

4.4.5　矿床开采技术条件

4.4.5.1 水文地质：研究区域水文地质条件，圈定汇水边界，详细查明矿区地下水的补给、径流、排泄条件；详细查明矿区各含水层和隔水层的岩性、厚度、产状、分布及埋藏条件，含水层的富水性、导水性、渗透系数，各含水层间的水力联系，地下水的水位、水温、水量及其动态变化，隔水层的稳定程度和隔水程度；详细查明断层破碎带、节理、风化裂隙带、溶洞的发育程度、分布规律、含水性及导水性，地表水体的分布及其与矿区主要充水含水层水力联系的途径和程度等，评价其对矿区充水的影响；划分矿区水文地质类型和确定水文地质条件复杂程度；根据矿区水文地质条件，结合矿床开拓方案，合理选择计算方法和公式，计算第一开采水平正常和最大的矿坑涌水量，预测下一开采水平或最低开采水平的涌水量；对矿床排水、矿坑水利用、矿山供水进行综合评价，指出供水水源方向并提供水量、水质资料。

4.4.5.2 工程地质：测定矿体及顶底板岩石的力学性质参数，如体积质量（体重）、硬度、湿度、含泥率、块度、软化系数、松散系数、安息角节理密度、RQD 值、弹性模量、抗压强度、抗剪强度、抗拉强度等，研究其稳定性能；详细查明构造、破碎带、风化带、软弱夹层对矿床开采的影响；详细查明第四系的岩性、厚度和分布范围；对露天采场边坡稳定性做出评价；调查并研究老窿或溶洞的分布、充填和积水情况；详细划分矿区工程地质类型和确定工程地质条件复杂程度，预测矿床开采时可能出现的主要工程地质问题并提出防治建议。

4.4.5.3 环境地质：详细查明矿居区、基本农田、各类保护区等人居环境及建筑物的分布情况，详细查明土壤、水体、矿石、围岩、废石、尾砂中的放射性元素、有害物质组分及含量，详细调查矿区内的岩崩、滑坡、泥石流、岩溶、地温等环境地质现象，详细查明地表水和地下水的质量，对矿床开采前的地质环境质量做出评价；预测在矿床开采中，对矿区环境、生态可能造成破坏和影响做出评价，如采选（冶）废水及废气排放、采矿废石及尾矿堆放与处置、采空区塌陷等，并提出预防建议；搜集有关地震、新构造活动资料、阐明矿区地震地质情况和矿区的稳定性。老矿区则应针对已出现的环境地质问题（如放射性、有害气体、地质灾害及各种不良地质现象的展布及危害性）进行详细调查，找出产生和形成条件，预测其发展趋势，提出治理措施。

4.4.5.4 根据上述水文地质、工程地质、环境地质条件，确定矿床开采技术条件类型，做出水文、工程、环境方面的总体评价，为矿山建设设计提供依据。

4.4.6 综合勘查综合评价

4.4.6.1 对具有工业价值的共生矿产（包括同体和异体共生），详细查明其赋存部位、分布、矿体规模、形态产状、品位、厚度变化及其与主元素矿产的关系，并详细查明矿石选（冶）加工技术性能和综合回收的途径，估算共生矿产资源储量。评价选矿尾砂综合利用的可能性及利用方向。露天开采矿床应对剥离物的综合利用进行评价。在花岗伟晶岩型稀有金属矿床中，不同的相带稀有金属组分含量不同，分别研究各相带的共、伴生矿种分别进行综合评价和勘探。

4.4.6.2 对矿床中伴生有用组分，详细查明种类、含量及赋存状态和分布规律，研究其综合利用及综合回收的途径，对在选（冶）过程中能回收利用者，在勘探主元素矿产的同时应系统采取组合样品，了解含量与分布，并分别估算矿产资源储量。

4.4.6.3 共、伴生组分资源储量类型视主元素勘探研究程度而定，参与资源储量估算的共、伴生组分的样品均应做内外检查。锂（Li）、铷（Rb）、铯（Cs）、铍（Be）、铌（Nb）、钽（Ta）、锆（Zr）、铪（Hf）矿床伴生组分评价参考指标见附录 D。

4.4.6.4 对伟晶岩型稀有金属矿床中共、伴生宝石、玉石、彩石或具有特殊物理性能的晶体矿物，查明其种类、数量、产出地质条件，以及其所达到的技术品级或工艺品级，其评价标准参见相关规范。

4.4.6.5 对钠长石化花岗岩型钽（Ta）、铌（Nb）矿床的选矿尾砂，进行物性分析、岩石化学分析，分别按不同的工业用途的要求（如陶瓷原料、玻璃原料、工业高岭土原料等），参考有关指标，确定尾砂的用途，做出工业利用价值的综合评价。

4.4.7 资源量比例

确定的勘查深度以上，探求探明、控制和推断资源量，资源量比例的一般要求见附录B。应根据详查结果选择资源量和开采技术条件综合最优的地段作为首采区，并以首采区为重点，兼顾全区，有针对性地开展勘探阶段工作。首采区内原则上应为探明和控制资源量。在确定的勘查深度以下，一般不作深入工作，可对成矿远景作出评价。鼓励按照保证矿山建设设计安全和首期还本付息的原则，通过论证，合理确定各级资源量的比例。

4.5 供矿山建设设计的小型和复杂矿床的勘查工作程度要求

4.5.1 复杂的大、中型矿床，在基本工程间距基础上加密控制后仍不能探求探明资源量的，可只探求到控制资源量，提交详终报告，作为矿山设计开采的依据；复杂的小型矿床，用基本勘查工程间距系统控制后仍不能探求控制资源量的，可只探求到推断资源量，提交普终报告，作为矿山生产阶段边探边采的依据。

4.5.2 一般小型矿床也可以提交详终报告，作为矿山设计开采的依据。

4.5.3 详终程度的矿体特征和矿石质量特征的勘查控制研究程度应达到详查程度，普终程度的矿体特征和矿石质量特征的勘查控制研究程度应达到普查程度，除此之外，其他方面的勘查控制研究程度均应达到勘探程度要求。资源量比例的参考要求见附录 B。

4.5.4 详终、普终报告作为矿山设计开采的地质依据，应充分考虑地质风险，一般不宜建设大、中型矿山。

5 绿色勘查要求

5.1 基本要求

5.1.1 应将绿色发展和生态环境保护要求贯穿于矿产勘查设计、施工、验收、成果提交的全过程，实施勘查全过程的环境影响最小化控制。

5.1.2 依靠科技和管理创新，最大限度地避免或减轻勘查活动对生态环境的扰动、污染和破坏。倡导采用能够有效替代槽探、井探的勘查技术手段；鼓励采用“一基多孔、一孔多支”等少占地的勘查技术。

5.1.3 应对施工人员进行环境保护知识、技能培训，增强环境保护意识，切实落实绿色勘查要求。

5.2 勘查设计

5.2.1 勘查设计应充分体现并明确提出绿色勘查要求。

5.2.2 勘查设计前，应进行实地调查，对勘查活动可能造成的生态环境影响及程度作出预判。

5.2.3 勘查设计中，应统筹勘查目的任务与生态环境保护之间的关系，采用适宜的勘查方法、技术手段、设备、工艺和新材料，合理部署勘查工程，并对场地选址、道路选线、物料堆存、废弃物处理、环境恢复治理、各项工程施工等勘查活动各环节的绿色勘查工作作出明确的业务技术安排，制定明确的预防控制措施和组织管理措施。

5.3 勘查施工

5.3.1 勘查施工过程中，应严格按照勘查设计落实绿色勘查要求。优化工程设计时，应充分考虑绿色勘查要求。

5.3.2 应对车辆、人员通行，工程占地、对土壤植被的损毁，机械运行排放的废气污染，设备运行产生的光噪干扰，挖坑埋置检波器和激发放炮造成的破坏，开挖土石造成的滑塌或坡面泥石流，以及泥浆（废水、废渣、废油料等）、生活垃圾、废弃物引起的污染等进行有效管控。

5.4 环境恢复治理与验收

5.4.1 勘查工作或阶段工作结束，应针对勘查活动造成的生态环境影响，根据国家法律法规、强制性标准和恢复治理设计要求，结合地方社会经济发展需求，及时开展生态环境恢复治理，消除勘查活动对生态环境造成的负面影响。

5.4.2 项目竣工验收应将绿色勘查要求落实情况作为重要考核内容。

6 勘查工作及质量要求

6.1 地形测量与工程测量

地形测量和地质勘查工程测量，平面坐标系统应采用 2000国家大地坐标系。无联测条件的可建立相对独立的坐标系统。高程系采用1985国家高程基准，不具备条件的地区可采用1956年黄海高程系或暂用独立高程系。当采用独立高程系时，应尽量与国家高程基准联测，如果勘查区周围没有可供联测的基准点，可采用全球卫星定位系统静态测量技术结合似大地水准面精化成果测量高程。测量精度与要求按GB/T 18341的规定执行。

6.2 地质填图

6.2.1 目的

以地质观察为基础，调查研究成矿地质条件、控矿地质因素、矿床和矿体分布规律，指导布置勘查工程。

6.2.2 比例尺选择

根据不同勘查阶段的目的任务和地质条件复杂程度，进行不同比例尺地质填图，其精度要求按相应比例尺地质填图规范执行。对于薄矿体或伟晶岩脉的标志带及其他有意义的地质现象，必要时扩大表示。

6.2.3 精度要求

6.2.3.1 普查阶段可测制地质简图，详查和勘探阶段应测制正测地质图。地质简测图可以使用简测或精测地形底图。详查、勘探阶段，矿床大比例尺正测地质填图，应以质量达到相同比例尺精度的地形图作底图。

6.2.3.2 地质填图前应选择 1 条-2 条基本穿越全区地质体的地质剖面实测地质剖面图或地质、物化探综合剖面图，充分观察研究与矿化有关的各种地质现象，建立地层柱状图，确定填图单位、内容、要求和方法。对矿体分布地段和覆盖区的重要地质界线必须采用槽探、井探或浅钻工程揭露控制。

6.2.3.3 地质草图、地质简图观测点可用手持 GPS 定位，正测地质图地质观测点须用仪器法定测。所有见矿地质点和探矿工程须用仪器法定测，勘探线剖面地形应实测。地质图的精度应达到相同比例尺地质填图的质量要求。

6.2.4 遥感资料的应用

在条件适宜地区充分利用各种遥感资料，提取尽可能多的矿化蚀变信息，提高工作效率和质量。

6.2.5 地质填图的质量

地质填图质量按GB/T 33444及DZ/T 0078的规定执行。

6.3 水文地质、工程地质、环境地质工作

6.3.1 矿区水文地质、工程地质的工作方法、技术及质量要求按照 GB 12719 执行。

6.3.2 按有关规范要求采取地表水及地下水样品，其水质评价要求参见 GB/T 14848 和 GB 3838。

6.3.3 根据不同勘查阶段要求，开展环境地质工作，预测矿床开采可能引发的次生地质灾害；预测有毒、有害物质对环境造成的影响；预测废水排放、尾矿堆放可能造成的污染，对废石、废水、尾矿的堆（排）放及利用提出建议。参照 GB 12719 确定地质环境类型。

6.4 物探、化探工作

6.4.1 工作内容

根据勘查区的地质、地球物理、地球化学条件、自然地理因素和地质工作要求，开展方法试验，测定有关参数，实测地质、地球物理、地球化学的综合剖面，选择有效的物探、化探方法进行综合勘查。

6.4.2 评价

对有找矿意义的物探、化探异常，综合运用地质、物探、化探、探矿工程进行检查评价。

6.4.3 放射性工作

普查阶段了解放射性情况；详查、勘探阶段应进行放射性检查。

6.4.4 要求

物探、化探工作质量精度应符合现行专业规范和规程要求。野外工作结束后要及时整理资料，编制与地质图比例尺相适应的物探、化探图件，提交工作总结报告。矿产勘查报告中应简要阐明物化探工作成果，评述其质量。

6.5 重砂测量工作

根据勘查区地形地貌、水系发育等条件，开展与中、小比例尺地质测量相适应的自然重砂测量，选择水系支流及支谷中取样，尤其在源头的残坡积层或风化壳更要重视采样，藉以圈定重砂异常，并与化探异常进行对比分析。自然重砂测量和风化壳矿床勘查工程中重砂采样、淘洗、分析等质量，应符合现行重砂测量规范要求。

6.6 探矿工程

6.6.1 槽探

主要用于系统揭露地表地质界线，控制矿体在地表及浅部的实际位置，其间距可参照附录C，一般加密一倍。在矿体变化较大部位还应适当加密。勘探阶段，在条件可能的情况下，应选择有代表性的矿体，取其一段或全脉沿走向挖探槽或剥土，研究矿体内部变化特征。在岩石露头少、构造复杂的矿区，应施工主干探槽。槽探工程应掘进至基岩。

6.6.2 井探

表土层超过3 m或风化壳厚度大于3 m时，应采用浅井揭露，其间距参见附录C，可根据实际情况适当加密。当采用浅井勘查风化壳矿床时，要求揭穿风化层，进入原生矿体。

6.6.3 坑探

一般用于勘查和评价复杂矿床、采取试验样品、控制矿床首采区或主要储量区段，以探明矿产资源储量为主，兼顾矿山生产利用。坑探工程质量按DZ/T 0141规定执行。

6.6.4 钻探

6.6.4.1 矿体及其顶底板 3 m～5 m 内的矿心、岩心平均采取率不低于 80%，厚大矿体内部矿心采取率低于 80%的连续累计进尺不得超过 5 m。岩心采取率不得低于 70%。若岩矿心达不到上述要求或矿心选择性磨损严重，需采取补救措施。

6.6.4.2 使用的钻探工艺应能保持矿石原有结构特点和完整性，避免矿心粉碎贫化。在复脉型和多脉带型矿床中，要严格控制钻进回次进尺及回次采取率，防止钻进中漏矿。采用金刚石钻探工艺时，穿矿孔径要满足取样要求。钻孔终孔孔径不小于 75mm。

6.6.4.3 准确测量钻孔顶角和方位角，做好孔深误差验证、原始记录、简易水文观测、封孔和岩心保管等工作。钻孔弯曲度应符合规程和地质设计要求，钻孔偏斜超差时要及时设法补救。见矿点（及矿体厚度大于 30 m 的矿体出矿点）应测定钻孔弯曲度。

6.6.4.4 应按有关要求做好封孔工作，封孔质量不符合规程或设计要求时需返工重封。钻探工程质量按照 DZ/T 0227 要求执行，岩矿心管理按照 DZ/T 0032 的规定执行。

6.6.5 赣南钻

采用赣南钻勘查风化壳矿床时，矿心平均采取率不得低于85%，应有3%一5%的钻孔用浅井做质量检查。矿区勘查钻孔数不足50个的，检查浅井数不应少于5个。

6.7 采样与样品制备测试

6.7.1 基本要求

6.7.1.1 采样应具有代表性。采样的方法应根据采样目的，结合勘查手段、矿体规模和厚度、矿石结构构造、矿物粒度大小等因素确定；采样规格应通过试验或类比确定；样品重量应满足测试需要。采样质量按 GB/T 33444-2016，14.1 中规定及 DZ/T 0078-2015 第 10 章的要求执行。

6.7.1.2 样品制备一般采用逐级缩分或联动线流程。无论采用哪一流程，均应按切乔特经验公式进行缩分，制备全过程中总损失率≤5%，样品缩分误差≤3%。钻孔矿心样品，各次缩分所剩部分，按不同矿体和不同矿石类型全部保留，以备它用。样品制备质量按照 DZ/T 0130 执行。

6.7.1.3 样品缩分：按照切乔特公式 $Q=Kd^2$ 进行加工缩分。K 为缩分系数；Q 为样品质量（kg）；d 为破碎后最大颗粒直径（mm）。样品加工流程和 K 值选择应通过试验确定，经验值一般为 0.1～0.5。对伟晶岩型矿床可采用 0.5，甚至更大，对于花岗岩型矿床可采用 0.2。

6.7.1.4 机械联动线加工：经过一次破碎、缩分，直接达到要求粒度和质量（重量）。采用此法加工应对样品缩分均匀性要进行试验，应严格按照确定的加工方法和操作规程。

6.7.1.5 样品加工全部达到粒径 1 mm～0.83 mm（-16 目～-20 目）后，缩分为正、副样两部分，进一步磨细至规定粒度，送化验室的正样要求最大粒径 0.074 mm（-200 目），最小质量不少于 300g，副样保存最小质量根据 K 值确定。

6.7.1.6 样品分析测试，应由国家或省级认证的有资质的单位承担，测试方法须符合国家或省级认证管理部门认定的《检验检测机构资质认定证书附表》要求。

6.7.2 化学样品

6.7.2.1 光谱全分析

为确定组合分析和化学全分析项目，在矿体不同空间部位、不同矿石类型（或品级）及某些围岩、蚀变带取样。样品可从基本分析副样中挑取或单独采取。

6.7.2.2 矿石化学全分析

为全面了解矿石中各组分含量，在光谱全分析基础上，按主要矿体、分矿石类型（或品级）采取基本分析副样或单独采取有代表性的样品。每种矿石类型或品级一般做1～2个。

6.7.2.3 基本分析

6.7.2.3.1 在各项探矿工程中按矿体（分矿石类型、品级）、矿化带及夹石连续取样，样品要控制矿体、矿化带的顶底板界线。样品长度一般为矿体最小可采厚度，即 0.8 m～2 m。

6.7.2.3.2 穿脉、槽探、井探样品一般沿矿体物质成分变化的最大方向采取，按不同矿石类型分层、分段连续取样。取样方法、样品规格应根据矿体规模、厚度、矿石结构构造、矿化均匀程度确定。一般刻槽样断面规格为 10 cm× 5 cm。当矿体厚度大、矿石结构构造简单、矿物粒度细小、矿化均匀时，样槽规格可以缩小，样长可适当延长，但需要有验证对比资料证明其具代表性。穿脉坑道一般在一壁腰线连续取样，矿化不均匀时可在两壁取样。沿脉坑道在掌子面或顶板取样，样品间距视矿化均匀程度而定，一般为 5 m～10 m。除刻槽取样外，通过试验也可以选择其他方法取样。在矿石矿物结晶粗大（＞5 cm）的矿体中取样时，应根据矿床的特点，可选用大规格刻槽法、集束刻线法、剥层法、全巷法；其规格应根据矿物晶体颗粒大小确定，应有全巷法验证资料对比，说明所采用取样方法的代表性及合理性。当矿床工业矿物有手选价值时，应获得手选矿物品位。由于采样不可避免地产生过粉碎现象，应经过试验求得过粉碎系数，对手选矿物品位进行校正。

6.7.2.3.3 岩矿心取样应按矿石类型分层沿矿心长轴方向连续劈取或切取采样，一半送验，一半保留。矿化均匀时，样长可适当加长。对不同回次的岩矿心直径或采取率相差较大者应分别取样。

6.7.2.3.4 基本分析样品分析结果为金属氧化物品位（%）。工业矿物具有手选价值的矿床，应测试手选的矿物品位（%）和手选后尾矿的氧化物品位。

6.7.2.3.5 一般铌、钽矿床分析项目为 Nb_2O_5、Ta_2O_5；铍矿床分析项目为 BeO；锂、铷、铯矿床分析 Li_2O、Rb_2O、Cs_2O；锆、铪矿床分析 ZrO_2、HfO_2；边界品位以上的有用组分和资源储量达小型规模以上且能单独出产品的伴生组分，应列入基本分析项目。

6.7.2.4 组合分析

组合分析目的是系统查定矿石中伴生有用、有益、有害组分的含量及其分布状况，作为综合评价和估算伴生组分资源储量的品位参数。组合分析样应按矿体从同一块段、一个或几个相邻探矿工程的基本分析副样中，分矿石类型（或品级）依样品长度的比例组合成一个样品，单个组合分析样品质量一般为 200 g ～ 400 g。根据基本分析、光谱分析、矿石全分析资料及岩矿鉴定结果，结合矿床地质特点及矿石加工选冶技术性能确定，选择有实际意义的伴生有用组分和有益、有害组分确定组合分析项目。

6.7.2.5 化学分析质量

6.7.2.5.1 化学分析质量检查应分期分批进行；内检样品按边界品位附近及以上样品总数不少于 10%的数量在粗副样（＜0.84mm，即 20 目）中抽取，编密码送原分析实验室进行试验；外检样品按不少于5%的比例从内检合格的正样中抽取，明码送具国家级检验检测机构资质认定的实验室进行测试。矿区样品数≥2 000 件，内检样品数可减少到 5%，外检样品可减少到 3%。当样品少时，可适当提高内检、外检样品抽查比例，内检样品不少于 30 件，外检样品不少于 30 件。内外检分析合格率应不低于 90%。化学分析允许误差按 DZ/T 0130 规定执行。岩石矿物试样化学成分重复分析相对偏差允许限的数学模型为：

$$Y_c = C \times (14.37\bar{X}^{-0.1263} - 7.659) \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

Yc——重复分析试样中某组分的相对偏差允许限（%）；

C——重复分析相对偏差允许限系数：Li_2O 1.00、Rb_2O 1.00、Cs_2O 1.00、Ta_2O_5 0.67、Nb_2O_5 0.67、BeO 0.67、ZrO_2 1.00、HfO_2 1.00；

X——重复分析试样中某组分平均质量分数（%）。

在实际应用上述公式中，可编程序自动判断，也可以用计算表进行人工查询。

6.7.2.5.2 内检合格率不符合要求须抽取同批（期）次同样数量未验证过的样品再次内检。再次内检后，若合格率仍不符合要求，则相应批（期）次样品原分析结果全部无效，对此应及时查找原因，并根据具体情况进行处理。

6.7.2.5.3 原分析结果较外检分析结果75%以上偏高或偏低，即认为存在系统误差。外检样品合格率不符合要求或存在系统误差时，原测试单位和外检单位应共同查明原因；原测试单位和外检单位不能确定原因或者有分歧意见时，应选择有经验的分析单位，做仲裁分析，查明原因，妥善处理。

6.7.2.5.4 化学分析工作质量应严格按DZ/T 0130的规定执行。

6.7.3 矿石物质组分研究

6.7.3.1 矿石物质组分研究样品应按不同矿石类型（或品级），并考虑在不同矿体、不同部位（深部或浅部）的代表性，分别采取一定质量组合成50 kg～150 kg的样品。

6.7.3.2 矿石物质组分研究样品制备应在研究矿物嵌布粒度大小的基础上，按不同粒级，由粗到细，逐级加工破碎、淘洗（或机械重选、磁选、电选），分别计算各粒级稀有金属矿物含量，最后统计重量，并对各级尾矿进行化学分析，了解尾矿品位，计算回收率。

6.7.3.3 矿石物质组分研究目的为查明矿石中各种稀有金属单矿物及主要造岩矿物，并对单矿物进行化学分析，查明稀有金属组分在各种矿物中的含量、占有率及平衡分配。

6.7.4 矿石选冶试验样品采集与试验

6.7.4.1 样品采集前矿产勘查人员应与试验单位共同编制采样设计书，与探矿权人协商一致后实施。可选（冶）性试验与室验室流程试验可由勘查单位完成，实验室扩大连续试验以及半工业试验应由具有相应能力的单位完成。

6.7.4.2 样品应考虑矿石类型、品级、组构特征和空间分布的代表性，可分采的应分类型采集，否则采混合样；实验室流程试验，扩大连续试验及半工业试验的样品采集时，应考虑开采时的矿石贫化；矿石中有共、伴生有用组分时，应一并考虑采样的代表性，以便试验时了解其赋存状态和综合回收的工艺流程。

6.7.4.3 各种稀有金属矿产经选矿获得的精矿产品，应符合我国现行的稀有金属精矿产品质量标准，参见附录I。

6.7.5 自然重砂样品

6.7.5.1 自然重砂样品采取要求按GB/T 33444-2016第7章中规定执行。自然重砂样品采用淘洗方法测试，野外淘洗流程应经试验研究确定，尾砂应做检查淘洗；检查样数应不小于总样数的5%；尾砂淘洗获得的目标重矿物量应不大于原样相应重矿物量的5%，样品合格率应不小于90%。

6.7.5.2 对风化壳矿床勘查，采用重砂样品作为基本分析估算资源储量的，应对重砂分析品位进行质量检查；内检样品数应不少于基本分析样总数的5%，样数不少于30件，合格率应不小于90%；外检样品应在内检合格样品中挑选，数量应不少于基本分析样品数的3%，外检样数不少于30件，合格率应不小于80%；允许误差见表1。

表1 自然重砂分析允许偶然误差

含量（品位）	内检允许相对偶然误差　%	外检允许相对偶然误差　%
大于最低工业品位	＜10	＜15
最低工业品位—边界品位	＜15	＜20
小于边界品位	不计误差	不计误差

6.7.6　岩矿石物理技术性能测试样品采集与试验

6.7.6.1　试验项目

测试项目包括矿石体积质量（体重）、湿度、块度、孔隙度、节理裂隙度、松散系数、含泥率、凿岩性、可爆性、硬度、安息角以及抗压、抗剪、抗拉强度，沙性土及粘性土的土工试验等。

6.7.6.2　大小体积质量（体重）样

按矿石类型和品级分别采样，在空间分布上应有代表性。大体积质量（体重）在采样现场测定，小体积质量（体重）样品应在野外塑封或蜡封。详查、勘探阶段，每种主要矿石类型或品级的小体积质量（体重）样品测定数量不少于30个。对疏松或多裂隙孔洞的矿石（风化壳型矿石），每种矿石类型或品级应测定2～5个大体积质量（体重）样，用于校正小体积质量（体重）值或直接参与矿产资源储量估算。小体积质量（体重）样品体积一般60 cm^3～120 cm^3，大体积质量（体重）样体积不小于0.125 m^3。测定矿石体积质量（体重）时要测定主要有用组分品位，矿石湿度和孔隙度（风化壳矿石）。

6.7.6.3　岩矿石力学性质样

岩、矿石（土）力学性质样应重点在矿体的上下盘采取。采样要有代表性，能反映出各种岩矿石（土）的主要特征。抗压、抗拉、抗剪试验样品规格及数量应满足试验要求。

7　可行性评价

7.1　基本要求

7.1.1　在普查、详查和勘探各阶段，均应进行可行性评价工作，以使矿产勘查工作与下一步勘查或矿山建设紧密衔接，减少矿产勘查、矿山开发的投资风险，提高矿产勘查开发的经济社会效益。

7.1.2　可行性评价根据研究深度由浅到深划分概略研究、预可行性研究和可行性研究三个阶段。概略研究可由勘查单位完成；预可行研究和可行性研究应由具有相应能力的单位完成。

7.1.3　可行性评价应视研究深度的需要，根据矿山建设的资源条件和外部建设条件、资源配置和市场需求、可能的开采技术和装备条件、资金筹措及投资效果等，分析研究矿山建设的投资机会、必要性、可行性、合理性，并作出是否宜由较低勘查阶段转入较高勘查阶段、矿山开发是否可行的结论。

7.2　概略研究

7.2.1　通过了解分析项目的地质、采矿、加工选冶、基础设施、经济、市场、法律、环境、社区和政策等因素，对项目的技术可行性和经济合理性的简略研究，作出矿床开发是否可能、是否转入下一勘查阶段工作的结论。

7.2.2　概略研究可以在各勘查工作程度的基础上进行。

7.3　预可行性研究

7.3.1 通过分析项目的地质、采矿、加工选冶、基础设施、经济、市场、法律、环境、社区和政策等因素，对项目的技术可行性和经济合理性的初步研究。作出矿山建设是否可行的基本评价，为矿山建设立项提供决策依据。

7.3.2 预可行性研究应在详查及以上工作程度基础上进行。

7.4 可行性研究

7.4.1 通过分析项目的地质、采矿、加工选冶、基础设施、经济、市场、法律、环境、社区和政策等因素，对项目的技术可行性和经济合理性的详细研究。作出矿山建设是否可行的详细评价，为矿山建设投资决策、确定工程项目建设计划和编制矿山建设初步设计等提供依据。

7.4.2 可行性研究一般应在勘探工作程度基础上进行。

8 资源储量类型条件

8.1 资源量

8.1.1 资源量类型划分

按照地质可靠程度由低到高，资源量分为推断资源量、控制资源量和探明资源量。资源量和储量类型及其转换关系见附录A.1。

8.1.2 推断资源量

经稀疏取样工程圈定的资源量，地质可靠程度较低。矿体形态、产状、空间分布连续性是合理推测的，矿石数量、质量、开采技术条件、加工选冶技术性能的控制和研究程度较低。包括用稀疏的系统取样工程控制的，或者是达不到控制的地质可靠程度降级的，或者是见矿工程合理外推的资源量。其地质可靠程度的具体条件如下：

a) 初步控制矿体的形态、产状和空间位置；
b) 初步控制控矿和破坏矿体的较大褶皱、断裂、破碎带的性质、产状和分布范围；大致控制主要岩浆岩、含矿岩系、夹石、无矿带岩石的岩性、产状及其分布变化规律；
c) 初步控制影响矿石综合回收技术效果的有用有害组分及其赋存状态、矿石类型、品级、比例及其分布变化规律。

8.1.3 控制资源量

经系统取样工程圈定的资源量，地质可靠程度较高。矿体形态、产状、空间分布连续性已基本确定，矿石数量、质量、开采技术条件、加工选冶技术性能的控制和研究程度较高。其地质可靠程度的具体条件如下：

a) 基本控制矿体的形态、产状、空间位置；
b) 基本控制对矿体有控制或破坏作用，影响中段（或水平）开拓的较大褶皱、断裂、破碎带的性质、产状和分布范围；初步控制主要岩浆岩、含矿岩系、夹石、无矿带岩石的岩性、产状及其分布变化规律；
c) 基本控制影响矿石综合回收技术效果的有用有害组分及其赋存状态、矿石类型、品级、比例及其分布变化规律；在需要分采和地质条件可能的情况下，基本圈定分采矿石的类型和品级。

8.1.4 探明资源量

在系统取样工程基础上经加密工程圈定并估算的资源量；矿体的空间分布、形态、产状和连续性已确定；其数量、品位或质量是基于充足的取样工程和详尽的信息数据来估算的，地质可靠程度高。其地质可靠程度的具体条件如下：

a) 详细控制矿体的形态、产状和空间位置；
b) 详细控制影响中段（或水平）采准的较大褶皱、断层、破碎带的性质、产状和分布范围；基本控制主要岩浆岩、含矿岩系、夹石、无矿带岩石的岩性、产状及其分布变化规律；
c) 详细控制影响矿石综合回收技术效果的有用有害组分及其赋存状态、矿石类型、品级、比例及其分布变化规律；在需要分采和地质条件可能的情况下，详细圈定分采矿石的类型和品级。

8.2 储量

8.2.1 储量类型划分

考虑地质可靠程度，按照采矿、加工选冶、基础设施、经济、市场、法律、环境、社区和政策等转换因素的确定程度由低到高，储量可分为可信储量和证实储量。

8.2.2 可信储量

经过预可行性研究、可行性研究或与之相当的技术经济评价，基于控制资源量估算的储量；或某些转换因素尚存在不确定性时，基于探明资源量而估算的储量。

8.2.3 证实储量

经过预可行性研究、可行性研究或与之相当的技术经济评价，基于探明资源量而估算的储量。

9 矿产资源储量估算

9.1 工业指标

9.1.1 工业指标的确定

工业指标是当前技术经济条件下评价矿床的工业价值、圈定矿体、估算矿产资源储量的标准和依据。按矿产勘查的不同阶段，工作程度的差别，执行不同的工业指标。在矿产普查阶段，未进行可行性研究的矿区，应采用一般参考性工业指标，见附录D。详查、勘探阶段，应由具有相应能力的矿山建设设计单位进行预可行性和可行性研究，通过多方案工业指标试算论证，推荐出圈定矿体形态完整、资源回收率高、有开采效益的工业指标及伴生组分综合评价指标方案，方可按推荐指标圈定矿体。

9.1.2 工业指标的项目与内容

9.1.2.1 边界品位：圈定矿体的单个样品中有用组分含量的最低标准，作为划分矿体与岩体（脉）或围岩的依据。

9.1.2.2 最低工业品位：即经济平衡品位，亦称最低可采品位。规定单工程的最低工业品位，目的在于保证矿床品位能达到工业开发所要求的平均品位。采用地质统计学方法，用计算机计算矿床储量时，只用边界品位和矿床平均品位估算矿产资源储量。

9.1.2.3 最低可采厚度：根据采矿工艺确定的矿体的最小真厚度。

9.1.2.4 最低米百分值：最低工业品位与最低可采厚度的乘积，适用于小于最低可采厚度的富矿体。

9.1.2.5 夹石剔除厚度：若矿体中存在夹石，大于或等于这一指标者（以真厚度计算）应剔除，小于这一指标者可作为矿石圈入矿体。

9.1.2.6　综合最低工业品位：在矿床或矿体中，大部分地段已有一种稀有金属符合工业指标的条件下，某些局部地段虽含多种稀有金属，但无一种达到最低工业品位者，应根据其主、伴生组分的采矿贫化率、选矿回收率与精矿等级及其单位价格，按等价原则，折算为主组分的等价品位，制定综合最低工业品位，相应地确定其综合边界品位。

9.1.2.7　伴生有用组分综合回收最低品位：稀有金属矿床，在已有一种稀有金属符合工业指标的条件下，对其他伴生组分应根据选矿工艺，在技术上可行、经济上合理的前提下，制定伴生组分综合回收最低品位。对含稀有金属重矿物的矿床，已有一种稀有重矿物品位或化学品位分别符合工业指标的条件下，若其中还含有其他伴生的有用重矿物，只要重选能顺便回收，得出合格产品，均应估算储量，提供矿山选矿设计考虑综合回收。

9.1.2.8　非金属矿物原料综合利用指标：若矿床中的非金属矿物原料具有综合利用价值，应制定非金属矿物原料综合利用指标。

9.2　矿体圈定

9.2.1　单工程矿体的圈定

9.2.1.1　单工程中从等于或大于边界品位的样品圈定，矿体中大于夹石剔除厚度的无矿样品作夹石剔除；矿体厚度小于最小可采厚度、品位高，品位与厚度乘积达到最低米·百分值者，圈定为矿体。

9.2.1.2　矿体的边部（或上、下部位）为厚大且成片分布的低品位样品，在不过于拉低矿床平均品位的前提下，优先组合工业矿体，其余单独圈定为低品位矿。

9.2.1.3　沿脉坑道中圈定矿体时，上下工程对应的无矿地段的剔除标准为 10m-15m，上下工程不对应时为 20m-30m。

9.2.1.4　稀有金属矿床不同的岩相（或内部结构）带，具有不同的稀有金属矿化类型和矿化特征，圈定矿体时应考虑其岩相（或内部结构）带的特征。矿体内有不同矿石类型构成的矿段，需分采分选的，应分别圈定。

9.2.2　工程间矿体边界连接

矿体连接应符合地质规律，应考虑两工程、两剖面各地质体的对应与和谐情况，先连接矿体上、下的地质体，再根据地质体特征连接矿体，两工程间矿体一般以直线连接，仅在矿体地质特征研究清楚的情况下，可用自然趋势法连接，但圈定矿体的厚度，不能大于相邻两工程中最大的见矿厚度。

9.2.3　矿体外推原则

9.2.3.1　有限外推原则：相邻两个工程一个见矿，另一个不见矿，按两个工程间距的二分之一尖推或四分之一平推。当矿体边部相邻工程中存在矿化时（大于边界品位的二分之一），可按工程间距三分之二尖推或三分之一平推。相邻工程一个见工业矿，一个见低品位矿，相互作楔形尖灭。工程间距小于基本工程间距，外推距离按实际工程间距确定；工程间距大于基本工程间距，外推距离按基本工程间距确定。

9.2.3.2　无限外推原则：有规律时应按规律确定矿体边界。无规律可循时，边缘见矿工程按基本工程间距的二分之一尖推或四分之一平推。采用米·百分值圈定矿体时，不得外推。深部矿体无限外推，应视矿体稳定程度和周围工程控制程度而定，最大平推距离不得超过基本工程间距的四分之一。

9.2.4　块段的划分原则

资源储量块段是矿产资源储量估算的基本单元，块段的划分应考虑矿石的类型、品级、矿体的厚薄以及工程控制与分采等情况划分。采用地质块段法时，对品位变化均匀或较均匀的矿床，圈定块段的每

一个单项工程的平均品位应达到最低工业品位要求。对品位变化不均匀或极不均匀的矿体，在块段圈定中允许有个别工程平均品位低于最低工业品位，但不得连续有两个以上工程都低于最低工业品位。

9.3 资源量估算要求

9.3.1 估算方法选择

资源量估算应根据矿体特征(矿体的形态和内部结构;产状及其变化情况;厚度和品位变化情况等)、取样工程分布情况和取样数量等选择适宜估算方法，并以实际测定值为基础依据，合理确定资源量估算参数。资源量估算方法的选择与运用按相关规程执行。

9.3.2 估算的一般原则

9.3.2.1 估算应在综合研究矿床地质条件、控矿因素的基础上，按确定的工业指标圈定矿体进行估算。

9.3.2.2 参与估算的各项工程的质量，应符合有关规范、规程和规定的要求。

9.3.2.3 根据 GB/T 17766 确定的矿产资源量分类及各类型条件，按矿体的不同块段、不同矿石工业类型及不同的资源量类型，分别估算块段、矿体及全矿床的矿石量、平均品位和金属氧化物量(或矿物量)，并在相应的矿产资源储量估算图上标明各类资源量估算结果。

9.3.2.4 按化学分析品位估算金属氧化物资源量时，应查清有用组分在矿石中的赋存状态，各矿物的分配值及分配率；按重砂品位估算矿物资源量时，必须求得淘洗系数，并在资源量估算中校正。

9.3.2.5 同体共生的组分按照共生规律统一圈定矿体，异体共生的组分分别圈定矿体，估算资源量。

9.3.2.6 估算伴生矿产的资源量时，不需要单独圈定矿体，应分块段估算矿体或矿床中伴生矿产的金属氧化物总量。伴生矿产只进行了组合分析而未做基本分析的，归类为推断资源量。未达到综合评价指标要求的伴生组分但可单独出产品或在精矿及某一产品中可以富集回收利用的，归类为推断资源量。伴生矿产资源储量估算及类型的确定按照 GB/T 25283 执行。

9.3.2.7 对于稀有金属矿物含量达到手选工业指标的，应计算手选矿物品位和手选矿物资源量，并应计算该矿种矿石的金属氧化物总品位和总资源量。

9.3.2.8 矿产资源量估算的方法应根据矿床地质特征，矿体的赋存状态，勘查工程的分布情况等因素进行选择。对计算方法及其结果的正确性应进行检验。可选择一部分有代表性的块段或矿体，采用其他方法进行检验计算。

9.4 估算参数的确定

9.4.1 面积测定

块段面积的测定应在1∶500～1∶1 000比例尺的矿产资源储量计算图件上，采用计算机制图软件进行计算。

9.4.2 平均品位计算

9.4.2.1 单工程平均品位

采用样长加权法求得。当样品中有特高品位时，则应先处理特高品位，再计算单项工程平均品位。

9.4.2.2 块段平均品位计算

用地质块段法估算矿产资源量时，通常用单工程平均品位与厚度加权法求得。用垂直剖面法和水平断面法计算时，先用单工程厚度加权求得垂直剖面或水平断面平均品位，再用面积加权求得块段平均品位。

9.4.3 特高品位处理

9.4.3.1 通常品位值高于矿体（矿床）平均品位 6～8 倍的样品品位称特高品位。品位变化均匀的取 6，较均匀的取 7，不均匀的取 8。

9.4.3.2 处理的方法为先用特高品位参加其所影响的块段或单工程平均品位计算，再用计算获得的块段或单工程（矿体厚度大时）平均品位，代替该样品品位计算块段或单工程平均品位。若对特高品位处理后，所在单工程仍为特高品位时，须再次进行特高品位处理，直到消除特高品位为止。

9.4.3.3 如果存在特高品位地段，可以单独划分特高品位块段，不进行特高品位处理。

9.4.3.4 采用地质统计学法估算时，特高品位按相关软件提供的方法及要求处理。特高品位处理的合理性检验参见 GB/T 33444-2016 附录 O。

9.4.4 平均厚度计算

一般用算术平均法求得；当矿体厚度变化大，且工程分布不均匀时，应采用单工程中矿体厚度与该工程上下或两侧影响的长度或面积加权平均求得。

9.4.5 矿石体积质量（体重）

参与估算的矿石体积质量（体重）、湿度等参数，应以实测值为依据。各类型矿石体积质量（体重）差异大时，资源量估算应分别取该类型的平均体积质量（体重）进行。一般取小体积质量（体重）样的平均值进行矿产资源量估算，风化壳矿石应采取大体积质量（体重）估算，伟晶岩型矿床凡结晶颗粒粗大时，应采大体积质量（体重）样。直接用大体重质量值参与矿产资源量估算时，每种矿石类型的大体积质量测试样品不少于5个。当湿度大于3%时，体积质量值应进行湿度校正。普查阶段体积质量（体重）、湿度等参数可参照同类型矿石的数值。

9.5 储量估算要求

分析研究采矿、加工、选冶、基础设施、经济、市场、法律、环境、社区和政策等因素（简称转换因素），通过预可行性研究、可行性研究或与之相当的技术经济评价，认为矿产资源开发项目技术可行、经济合理、环境允许时，考虑可能的矿石损失和贫化后，探明资源量、控制资源量扣除设计损失和采矿损失后方能转为储量。

9.6 资源储量分类

应根据矿床不同矿体、不同地段（块段）的勘查控制研究程度，客观评价分类对象的地质可靠程度，并结合可行性评价的研究程度和结论，对勘查工作所获得的矿产资源储量进行分类。资源储量分类按 GB/T 17766执行。

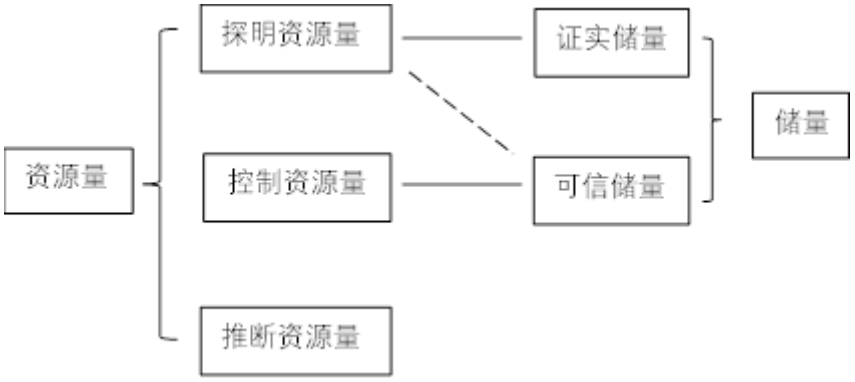
9.7 资源储量估算结果

资源储量估算结果应以文、图、表的方式，按保有、动用和累计查明，主矿产、共生矿产和伴生矿产，不同矿石工业类型，不同资源储量类别反映清楚。反映的内容包括矿石量、金属氧化物量、金属氧化物平均品位。矿石量用千吨（kt）表示（取整数）；金属氧化物量和矿物量用吨（t）表示（取整数）；矿石品位以氧化物质量分数（%）计，手选矿物品位以手选矿物质量分数（%）计，小数点后保留两位有效数字；风化壳矿床重砂品位以g/m^3计。其他共（伴）生矿产资源储量的单位，按其矿种规范和有关要求执行。

附 录 A
（规范性附录）
资源量和储量类型及其转换关系

A.1 资源量和储量类型及其转换关系图

资源量和储量类型及其转换关系见图A.1。



图A.1 资源量和储量类型及转换关系示意图

A.2 资源量和储量的相互关系

A.2.1 资源量和储量之间可相互转换。

A.2.2 探明资源量、控制资源量可转换为储量。

A.2.3 资源量转换为储量至少要经过预可行性研究，或与之相当的技术经济评价。

A.2.4 当转换因素发生改变，已无法满足技术可行性和经济合理性的要求时，储量应适时转换为资源量。

附 录 B
（资料性附录）
稀有金属矿床各勘查阶段探求的资源量及其比例的一般要求

稀有金属矿床各勘查阶段探求的资源量及其比例的一般要求见表B.1

表B.1 稀有金属矿床各勘查阶段探求的资源量及其比例的一般要求

<table>
<tr><td colspan="2">复杂程度</td><td colspan="3">一般</td><td colspan="2">复杂</td></tr>
<tr><td colspan="2">资源量规模</td><td colspan="2">大、中型</td><td>小 型</td><td>大、中型</td><td>小 型</td></tr>
<tr><td>普查</td><td>探求资源量类型</td><td colspan="5">推断资源量</td></tr>
<tr><td rowspan="2">详查</td><td>探求资源量类型</td><td colspan="4">控制+推断资源量</td><td rowspan="2">推断资源量</td></tr>
<tr><td>占比最低要求（%）</td><td colspan="4">控制资源量30</td></tr>
<tr><td rowspan="3">勘探</td><td>探求资源量类型</td><td colspan="3">探明+控制+推断资源量</td><td colspan="2" rowspan="3">不要求达到勘探程度才能作为矿山建设设计的依据</td></tr>
<tr><td rowspan="2">占比最低要求（%）</td><td>探明资源量</td><td>探明+控制资源量</td><td rowspan="2">推断资源量</td></tr>
<tr><td>10</td><td>50</td></tr>
<tr><td rowspan="3">供矿山建设设计的小型和复杂矿床</td><td>探求资源量类型</td><td colspan="3" rowspan="2"></td><td colspan="3">控制+推断资源量</td><td rowspan="3">推断资源量</td></tr>
<tr><td rowspan="2">占比最低要求（%）</td><td>控制资源量</td><td rowspan="2">推断资源量</td><td>控制资源量</td><td rowspan="2">推断资源量</td></tr>
<tr><td>60</td><td>60</td></tr>
</table>

注1：勘探阶段、供矿山建设设计的小型和复杂矿床，鼓励按照“保证首采区还本付息、矿山建设风险可控”的原则，通过论证合理确定各级资源量的比例。

注2：复杂矿床是指III勘查类型矿床中，用探明的勘查工程间距难以探求探明资源量或用控制的勘查工程间距难以探求控制资源量的矿床。

注3：复杂的小型矿床，只能探求推断资源量，供矿山生产阶段边探边采。

附 录 C
（资料性附录）
稀有金属矿床勘查类型的确定及勘查工程间距参考

C.1 勘查类型的确定

C.1.1 确定的因素

依据主要矿体规模、形态、有用组分的均匀程度、厚度稳定程度和构造的影响程度等五个因素确定勘查类型。为了量化这五个因素的影响大小，每个因素都赋予一定的数值，称类型系数。应用每个矿床相对应的上述五个地质因素的类型系数之和确定勘查类型。在影响勘查类型的五个因素中，主矿体的规模大小，比较重要，所赋的类型系数值约占总值的30%；稀有金属矿床，品位变化大，对确定勘查类型影响较大，所赋的类型系数值，约占23.3%；形态复杂程度约占20%；厚度稳定程度约占16.7%；构造对矿体形状有影响与矿体规模有间接联系，所赋的数值最小，约占10%。

C.1.2 矿体规模分为大、中、小三类，具体划分标准如下：

a) 大型：长 ×（宽或延探）（＞800 m）×（＞500 m）；
b) 中型：长 ×（宽或延深）（400 m～800 m）×（200 m～500 m）；
c) 小型：长 ×（宽或延深）[（＜200 m）～400 m]×[（＜100 m）～200 m]。

根据矿床规模大小，赋予不同的类型系数如表C.1。

表C.1 矿体规模及类型系数分级表

矿体规模		类型系数	备注
长 m	延深或宽 m		
＞800	＞500	0.9	
（＞500）～800	（＞250）～500	0.6～0.8	
（＞300）～500	（＞150）～250	0.3～0.5	
100～300	50～150	0.1～0.2	

C.1.3 矿体形态复杂程度：

a) 简单：类型系数 0.6。形态规则，产状稳定的层状、似层状、板状与规模巨大的透镜状、脉状矿体；内部无夹石或很少夹石，基本无分枝复合；
b) 较简单：类型系数 0.4。矿体形态较规则，产状有变化似层状、透镜状或其他形态复杂而可肢解成数个形态较简单的矿体；
c) 复杂：类型系数 0.2。形态不规则，沿走向与倾向产状均有变化的脉状、复脉状、串珠状、阶梯状、回曲状矿体、分支复合的脉状矿体、透镜状矿体或其他形态复杂至很复杂的矿体。内部夹石多，分支复合多且无规律。

C.1.4 有用组分分布均匀程度：

a) 均匀：矿化连续，有用矿物颗粒细小，分布均匀；
b) 较均匀：矿化基本连续，有用矿物较小，分布比较均匀；
c) 不均匀：矿化不连续，有用矿物一般或粗大，甚至成聚晶产出，常达到和大于手选要求的矿物粒度，分布不均匀或很不均匀。

有用组分均匀程度具体划分及相应类型系数值见表C.2。

表C.2 主要有用组分分布均匀程度表

均匀程度	品位变化系数 %	类型系数	备　注
均　匀	＜80	0.7	
较均匀	80～180	0.6～0.3	
不均匀	＞180	0.2～0.1	

C.1.5 厚度稳定程度：

各种稳定程度的厚度变化系数及类型系数见表C.3

表C.3 矿体厚度稳定程度表

稳　定　程　度	厚度变化系数 %	类　型　系　数
稳　定	＜60	0.5
较稳定	60～130	0.4～0.2
不稳定	＞130	0.1

C.1.6 构造影响程度：

a) 小：类型系数 0.3，矿体基本无断层破坏,没有无矿岩脉穿插错动，构造对矿体形状影响小；
b) 中：类型系数 0.2，有断层破坏或岩脉穿插,并可见断层错动矿体,构造对矿体形状影响明显；
c) 大：类型系数 0.1，有多条断层或岩脉穿插矿体，常见矿体被错动成若干小段，错动距离大，严重影响矿体形态。

C.1.7 矿床勘查类型划分

a) 第Ⅰ勘查类型：为简单型，五个地质因素的类型系数的和为 2.5～3。主矿体规模大到巨大，形态简单到较简单，厚度稳定至较稳定，主要组分分布均匀到较均匀，构造对矿体影响小到明显。属于本类型的有江西宜春碱性长石花岗岩钽铌矿床、江西横峰松树岗钠长石花岗岩钽铌矿床、江西会昌钠长石花岗岩风化壳钽铌矿床；
b) 第Ⅱ勘查类型：为中等型，五个地质因素的类型系数之和为 1.7～2.4，主矿体规模中等到大，形态复杂到较复杂，厚度不稳定到较稳定，主要有用组分分布较均匀到不均匀，构造对矿体有明显影响或影响很小。属于本类型的有广西老虎头碱性长石花岗岩型钽铌矿床，广东博罗 525 风化壳铌矿床，新疆柯鲁木特伟晶岩 112 号脉，湖北庙垭碱性岩—碳酸岩铌—稀土矿床；
c) 第Ⅲ勘查类型：为复杂型，五个地质因素的类型系数之和小于或等于 1.6，主矿体规模小到中等，形态复杂、厚度不稳定，主要有用组分分布不均匀或极不均匀，构造对矿体影响大。属于本类型的有群库尔二号花岗伟晶岩矿脉，柯鲁木特 2 号矿带，画眉坳气成—热液石英脉型绿柱石、锡石矿床，上堡钠长石化花岗岩矿床等。

C.2 勘查工程间距

稀有金属矿床勘查工程间距见表C.4。

表C.4　稀有金属矿床勘查类型工程间距参考表

矿床勘查类型	勘查工程	勘查工程间距 m	
		控　制　的	
		沿　走　向	沿　倾　向
Ⅰ	钻探	160～200	120～160
Ⅱ	钻探	80～160	60～80
Ⅲ	钻探	40～80	30～40
	坑探	40～80	40～60
注1：工程间距钻探坑探（沿倾向为中段高度）指探矿工程实际控制矿体距离。 **注2**：同一勘查类型中工程间距视矿床规模及复杂程度择优选用。 **注3**：当矿体沿倾向变化较走向稳定时，沿走向的工程间距可密于倾向。			

附 录 D
（资料性附录）
稀有金属矿产资源储量估算工业指标[1)]

D.1 铍矿床工业指标

表D.1 铍矿床参考性工业指标

矿床类型	边界品位		最低工业品位		最低可采厚度 m	夹石剔除厚度 m
	机选 BeO %	手选绿柱石 %	机选 BeO %	手选绿柱石 %		
气成—热液矿床	0.04～0.06	0.05～0.10	0.08～0.12	0.2～0.7	0.8～1.5	2.0
花岗伟晶岩类矿床	0.04～0.06	0.05～0.10	0.08～0.12	0.2～0.7	0.8～1.5	2.0
碱性长石花岗岩类矿床	0.05～0.07		0.10～0.14		1～1.5	4.0

D.2 锂矿床工业指标

表D.2 锂矿床参考性工业指标

矿床类型	边界品位		最低工业品位		最低可采厚度 m	夹石剔除厚度 m
	机选 Li_2O %	手选锂辉石 %	机选 Li_2O %	手选锂辉石 %		
花岗伟晶岩类矿床	0.4～0.6		0.8～1.1	5.0～8.0	1.0	2.0
碱性长石花岗岩类矿床	0.5～0.7		0.9～1.2		1.0～2.0	4.0

D.3 锆矿床工业指标

表D.3 锆矿床参考性工业指标

矿床类型	边界品位	最低工业品位	最低可采厚度 m	夹石剔除厚度 m
	ZrO_2 %	ZrO_2 %		
风化壳矿床	0.3	0.8	0.8～1.5	
内生矿床	3.0	8.0	0.8～1.5	2.0

1) 手选矿石的参考标准。绿柱石的粒径＞0.5cm，矿物品位在 0.1%～0.2%以上；锂辉石粒径＞3cm，矿物品位 2%～3%以上，适于手选，应划分出手选矿石，并进行储量计算。铌钽铁矿粒径＞0.3cm，铯榴石粒径＞3cm，在开采过程中，可附带手选。手选矿石的尾矿具机选价值者与不适于手选的矿石，都属于机选矿石。

D.4 钽铌矿床工业指标

表D.4 铌钽矿床参考性工业指标

矿床类型	$\frac{Ta_2O_5质量分数}{Nb_2O_5质量分数}$	边界品位		最低工业品位		最低可采厚度 m	夹石剔除厚度 m
		（Ta，Nb）$_2O_5$	或 Ta_2O_5	（Ta，Nb）$_2O_5$	或 Ta_2O_5		
花岗伟晶岩类矿床	≥1.0	0.012 %～0.015%	0.007%～0.008%	0.022%～0.026%	0.012%～0.014%	0.8～1.5	2.0
	<1.0		0.007%～0.008%		0.012%～0.014%	0.8～1.5	2.0
碱性长石花岗岩矿床	≥1.0	0.015%～0.018%	0.008%～0.01%	0.024%～0.028%	0.012%～0.015%	1.5～2.0	4.0
	<1.0		0.008%～0.01%		0.012%～0.015%	1.5～2.0	4.0
风化壳（褐钇铌矿或铌铁矿）矿		0.008%～0.010%	重砂品位 80～100）g/m^3	0.016%～0.020%	重砂品位（250～280）g/m^3	0.5～1.0	
原生铌矿床		0.05%～0.06%		0.08%～0.12%		5.0	5.0

D.5 伴生铍锂钽铌综合评价指标

表D.5 伴生铍锂钽铌综合评价参考指标

矿 床 类 型	铍	锂	铌 钽	
	BeO %	Li_2O %	（Ta，Nb）$_2O_5$ % $\frac{Ta_2O_5质量分数}{Nb_2O_5质量分数}>0.4$	或 Ta_2O_5 %
花岗伟晶岩类矿床与气成—热液矿床	0.04	0.2	0.007	0.003
碱性长石花岗岩类矿床	0.04	0.3	0.01	0.005

D.6 伴生铯铷综合评价指标

表D.6 伴生铯铷综合评价参考指标

金属种类	矿 床 类 型	机选氧化物，%	手选铯榴石，%
铯	花岗伟晶岩类矿床		0.3
	含锂云母的碱性长石花岗岩类与花岗伟晶岩类矿床	0.05	
铷	含锂云母的碱性长石花岗岩类与花岗伟晶岩类矿床	0.1	

附 录 E
（资料性附录）
稀有金属矿产资源储量规模划分

稀有金属矿产资源/储量规模划分见表E.1

表E.1 稀有金属矿产资源/储量规模划分表

序号	矿种名称	氧化物（矿物）	规模		
			大型	中型	小型
1	铌				
	原生矿	Nb_2O_5 万吨	≥10	1～10	＜1
	风化壳矿床	矿物 吨	≥2 000	500～2 000	＜500
2	钽				
	原生矿	Ta_2O_5 吨	≥1 000	500～1 000	＜500
	风化壳矿床	矿物 吨	≥500	100～500	＜100
3	铍	BeO 吨	≥10 000	2 000～10 000	＜2 000
4	锂（矿物锂矿）	Li_2O 万吨	≥10	1～10	＜1
5	铷	Rb_2O 吨	≥2 000	500～2 000	＜500
6	铯	Cs_2O 吨	≥2 000	500～2 000	＜500
7	锆（锆英石）	矿物 万吨	≥20	5～20	＜5
8	铪	HfO_2 吨	≥500	100～500	＜100

附 录 F
（资料性附录）
稀有金属矿床分类及主要工业类型

F.1 稀有金属矿床分类

F.1.1 碱性长石花岗岩型矿床

F.1.1.1 钠长石、锂云母花岗岩型钽、铌、锂、铷、铯矿床。
F.1.1.2 钠长石、铁锂云母花岗岩型钽、铌矿床。
F.1.1.3 钠长石、白云母花岗岩型钽、铌（钨、锡）矿床。
F.1.1.4 钠长石、锂白云母花岗岩型钽、铌-稀土矿床。
F.1.1.5 钠长石、黑鳞云母花岗岩型铌铁矿矿床。
F.1.1.6 天河石花岗岩型铷矿床

F.1.2 碱性花岗岩型铌-稀土矿床

F.1.3 碱性岩—碳酸岩型铌-稀土矿床

F.1.4 伟晶岩型矿床

F.1.4.1 花岗伟晶岩型钽、铌、锂、铷、铯、铍矿床。
F.1.4.2 碱性伟晶岩型铌-钍、铀矿床。

F.1.5 气成热液型矿床

F.1.5.1 氟硼镁石-电气石-萤石组合类铍矿床（含铍条纹岩）。
F.1.5.2 矽卡岩型铍矿床。
F.1.5.3 云英岩型铍矿床。
F.1.5.4 石英脉型绿柱石、黑钨矿、锡石矿床。

F.1.6 火山岩型铍铀矿床

F.1.7 白云鄂博型铌-稀土矿床

F.1.8 风化壳型矿床

F.1.8.1 风化壳型铌铁矿矿床。
F.1.8.2 风化壳型锆、铪矿床。
F.1.8.3 风化壳型稀有（稀土）多金属矿床。

F.1.9 沉积型砂矿床

F.1.9.1 滨海沉积型砂锆矿
F.1.9.2 河流冲积型砂锆矿

F.1.10 卤水型锂矿床

F.1.11　热泉型铯矿床

F.2　稀有金属矿床主要工业类型的地质特征、矿物组合、矿床规模

详见表F.1

表F.1　稀有金属矿床主要工业类型简表

矿床工业类型	成矿地质特征	矿体形态	稀有金属矿物及主要共生矿物	规模，品位（质量分数）%	伴（共）生组分	矿床实例
钠长石、锂云母花岗岩型钽、铌、锂、铷、铯矿床	矿床产于燕山中晚期花岗岩侵入体内，矿体赋存于侵入体顶部，围岩有早期岩浆岩类或沉积变质岩类，含矿岩体富含钠长石、锂云母，在空间上具有明显的垂直分带现象，自上而下可分为五带： 1.似伟晶岩带，一般含矿品位低； 2.富钠长石、锂云母花岗岩带，为工业矿体； 3.中钠长石、锂云母花岗岩带，为低品位矿； 4.少钠长石、锂白云母花岗岩带； 5.中粒二云母花岗岩带。	似层状、透镜状	锰铌钽铁矿、细晶石、含钽锡石、锂云母、富铪锆石、含铯石榴子石、少量绿柱石、锡石、磷铁锰矿、萤石、黄玉	矿床规模属特大型或大型 Ta_2O_5：0.0110～0.0148 Nb_2O_5：0.0064～0.0094 Li_2O：0.337～0.928 Rb_2O：0.2045～0.2937 Cs_2O：0.0213～0.0761 BeO：0.038	共生锂、铷、铯；伴生铍、锆、铪	江西宜春钽铌矿
钠长石、铁锂云母花岗岩型钽铌矿床	含矿花岗岩体为隐伏花岗岩体，呈岩钟状产出，全岩钽铌矿化。在空间上具有明显的垂直分带现象，从上到下可划分为： 1. 伟晶岩带； 2. 钾长石化花岗岩带； 3. 钾长石化（钠长石化）云英岩化花岗岩带； 4. 弱钠长石化花岗岩带； 5. 中钠长石化花岗岩带； 6. 强钠长石化花岗岩带； 7. 中细粒正长花岗岩带。	钟状	铌铁矿、钽铁矿、铌钽铁矿、钽铌铁矿、铀细晶石、铁锂云母、黑钨矿、锡石	特大型 云英岩化花岗岩型矿体平均品位： Ta_2O_5：0.015 Nb_2O_5：0.017 Rb_2O：0.247 Li_2O：0.484 钠长石化花岗岩型矿体平均品位： Ta_2O_5：0.014 Nb_2O_5：0.021 Rb_2O：0.207 Li_2O：0.174	伴生：锂、铷	江西横峰松树岗
	含矿花岗岩体呈小岩瘤、岩株状产出，属于黑磷云母花岗岩，顶部富含钠长石和铁锂云母。垂直剖面上，从上到下，可划分为似伟晶岩、云英岩带；富钠长石、铁锂云母花岗岩带；钠长石、铁锂云母花岗岩带；少钠长石、铁锂云母—黑鳞云母花岗岩带，本类型矿床锂、铷、铯含量较前类型低，并伴随有稀土矿物出现	透镜状、扁豆状	铌钽铁矿、富铪锆石、锡石、钍石，其次钽铌铁矿、细晶石、磷钇矿、白钨、黑钨矿、独居石	中、小型规模 Ta_2O_5：0.016～0.0198 Nb_2O_5：0.0089～0.0119	伴生：锂、铷、铯、锆、铪	江西石城姜坑里

表F.1　稀有金属矿床主要工业类型简表（续）

矿床工业类型	成矿地质特征	矿体形态	稀有金属矿物及主要共生矿物	规模，品位（质量分数）%	伴（共）生组分	矿床实例
钠长石、白云母花岗岩型钽、铌矿床	白云母花岗岩分布于岩体顶部，向下演化为二云母花岗岩、黑云母花岗岩，赋矿岩体具有钠长石化、黄玉化、云英岩化特征，以富钠长石、白云母花岗岩含矿最富，或者以富钠长石化、黄玉化含矿较富。本类型锂、铷、铯含量低，钨或锡矿化较强，均可综合回收	形态简单，以透镜状、扁豆状为主	细晶石、铌钽锰矿、钽铁矿，钛钽铌矿，黑钨矿、白钨矿，锡石，有的矿区有易解石、硅铍石、绿柱石	中型规模 Ta_2O；：0.01～0.02 Nb_2O_5：0.008～0.02 Sn：0.04～0.3 WO_3：0.203	共生：钨、锡（铍）	广西恭城栗木，江西大吉山
钠长石、锂白云母花岗岩型钽、铌、稀土矿床	含矿岩体为钠长石、锂白云母细粒花岗岩，自上而下，分为似伟晶岩、云英岩；富钠长石、锂白云母花岗岩；钠长石、锂白云母花岗岩；少钠长石、白云母花岗岩。以富钠长石、锂白云母花岗岩矿化最强，矿种最复杂，铌、钽、稀土、锡等含量较高	矿体形态简单，以透镜状为主	铌钽矿物：黄钇钽矿、钇钽矿、铌钽铁矿、细晶石、褐钇铌矿、含钽锡石、含铌、钽、黑钨矿等；稀土矿物：氟碳钙钇矿、硅铍钇矿、磷钇矿、独居石、钍石以及富铪锆石	中小型规模 Ta_2O_5：0.0066～0.013 Nb_2O_5：0.0021～0.0027 $RE_2O_5$0.012 1～0.0459 Sn：0.033～0.0565	伴生：锆、铪、、锂、铷、铯	江西牛岭坳
钠长石、黑磷云母花岗岩型铌钽矿床	一般含矿岩体具有垂直分带特征，自上而下，呈现富钠长石、黑磷云母花岗岩带；钠长石、黑磷云母花岗岩带：微斜长石、黑云母花岗岩带，矿体主要赋存在富钠长石、黑磷云母丹花岗岩中，以铌矿为主，伴生稀土矿物	矿体形态简单，主要为透镜状、扁豆状	铌铁矿，少量铌钽铁矿，伴生褐钇铌矿、磷钇矿、烧绿石、钍石、含铪锆石，独居石	中小型规模 Nb_2O_5：0.0086～0.0122 Ta_2O_5：0.0037～0.0076	伴生：锆、铪、钇、钍	江西会昌旱叫山、江西葛源灵山，广东博罗525、524
钠长石、钠闪石、花岗岩型铌、稀土矿床	含矿岩体富含钠的深色矿物：钠闪石、霓辉石、霓石等，矿床产于钠闪石、钠长石花岗侵入体的顶部，岩体侵入于中侏罗统火山碎屑岩及火山熔岩内，呈岩株状产出，钠长石自上向下逐渐减少，稀有金属矿化逐渐减弱	形态简单呈似层状、透镜状	稀有金属矿物：铌铁矿、烧绿石、锆石、硅铍钇矿；稀土矿物：氟碳铈矿、铈铀钛铁矿、独居石、日光榴石、黑稀金矿、钍石	特大型铌、稀土矿床 品位中等	伴生：锆、稀土	八〇一
碱性岩—碳酸岩铌、稀土矿床	矿床由碳酸岩类杂岩体与碱性长石类杂岩体组成，岩体侵入于下震旦统耀岭河群一下志留统梅子垭组，其中碳酸岩类杂岩体，包括黑云母碳酸岩，含碳质方解石碳酸岩、铁白云石碳酸岩。碱性岩杂岩体：包括正长岩、混杂正长岩、正长斑岩、混杂钠质正长斑岩等，呈中细粒花岗变晶，变余斑状结构	形态简单，呈透镜状、脉状	稀有金属矿物：铌金红石、烧绿石、铌铁矿、锆石；稀土矿物：独居石、氟碳铈矿、氟碳钙铈矿、褐帘石	大型铌、稀土矿床 Nb_2O_5：0.068～0.152 RE_2O_c：0.174～2.120	伴生：锆、钽、锶	湖北庙垭

表F.1　稀有金属矿床主要工业类型简表（续）

矿床工业类型	成矿地质特征	矿体形态	稀有金属矿物及主要共生矿物	规模，品位（质量分数）%	伴（共）生组分	矿床实例
花岗伟晶岩型钽、铌、锂、铷、铯、铍矿床	伟晶岩脉总体走向长度 2000 米，沿倾向长 1500 米，由岩钟状及缓倾斜脉状体两部分构成。脉体内部可划分不同结构带，不同结构带含不同的稀有金属组分，岩钟状体由外向内可划分为 9 个带： 1. 文象变文象结构中粗粒伟晶岩带； 2. 细粒钠长石带主要含铍矿带； 3. 块体微斜长石带； 4. 石英－白云母带含铍矿带； 5. 叶钠长石－锂辉石带含铍、钽铌的锂矿带； 6. 石英－锂辉石带含铍、钽铌的锂矿带； 7. 白云母－薄片钠长石带含锂、铍的钽铌矿带； 8. 锂云母－薄片钠长石带（透镜体）含钽铌的锂矿带； 9. 块体石英带（核）。	矿体分为岩钟状体与缓倾斜脉状体两部分。岩钟状部分形态复杂，缓倾斜脉状体部分形态较简单，厚度稳定	主要矿物：绿柱石、金绿宝石、硅铍石、羟硅铍石、锂辉石、锂云母、磷锂铝石、磷锰锂矿、锂绿泥石、铌钽铁矿—钽铁矿族、细晶石族、锑钇矿族、铌钇矿族、铯榴石	大型规模，含矿品位变化大，不同的岩相带常含不同的稀有金属组分 平均品位： BeO：0.186 Li_2O：1.40； Nb_2O_5：0.0210； Ta_2O_5：0.0314；	伴生：铷、铯、宝石、玉石、彩石	新疆富蕴县可可托海 3 号脉
	花岗伟晶岩矿床，常由数条至数十条伟晶岩脉组成，大小差异悬殊，长由数十米至数百米，少数达千米以上，宽由几米至数十米，少数达数百米以上。由斜长石、微斜长石、钠长石、石英、黑云母、白云母等矿物组成，按矿物组合特征可分为以下几种： 1. 斜长石-微斜长石型花岗伟晶岩，含铍或稀土； 2. 微斜长石-钠长石型花岗伟晶岩脉含：铍、铌、钽； 3. 钠长石型伟晶岩脉常含钽、铌、锂、铍、铷、铯、锆、铪； 4. 锂辉石-钠长石型花岗伟晶岩脉含：锂、钽、铌、铍、铯、铷、锆、铪。	矿体形态复杂，有脉状、透镜状、巢状、舌状及不规则状、串珠状、网状等	主要矿物：锂辉石、锂云母、锂磷铝石、磷锰锂矿、透锂长石、铯榴石、绿柱石、金绿宝石、锆石、富铪锆石、铌钽铁矿—钽铁矿、锰铌铁矿、锰钽矿、重钽矿、细晶石等；次要矿物：锡石、钨锰铁矿、多色电气石等	中、小型规模，含矿品位变化大，不同的岩相带常含不同的稀有金属组分，以薄片状钠长石—锂云母带含矿品位最富 平均品位： Li_2O：2.57； Rb_2O：0.91； Cs_2O：0.20； Nb_2O_5：0.0183； Ta_2O_5：0.0176； BeO：0.145	伴生：锆、铪、宝石、玉石、彩石	新疆阿勒泰，内蒙古大青山，湖北幕阜山，福建南平西坑、四川康定甲基卡、会理，江西石城
碱性伟晶岩型铌—钍铀矿床	碱性伟晶岩多产于大理岩、白云岩内或其接触处，常成群、成组产出。一般规模小，长由几十米至百米，宽由几米至几十米。内部由不同的矿物组合形成的相带构成。组成伟晶岩脉的主要矿物：微斜长石、条纹长石、钠长石、钠更长石、金云母、钠闪石、霓辉石、霞石等	矿体形态复杂，有脉状、透镜状、串珠状、囊状、浑圆状、网状	锆石、烧绿石、异性石、钍石、铀钍石	中、小型规模，品位变化大	伴生：钍、铀	新疆拜城，四川会理

表F.1　稀有金属矿床主要工业类型简表（续）

矿床工业类型	成矿地质特征	矿体形态	稀有金属矿物及主要共生矿物	规模，品位（质量分数）%	伴（共）生组分	矿床实例
含铍条纹岩矿床	矿体赋存于花岗岩侵入体的内外接触带的白云岩、大理岩的断裂带内及侵人体顶部凹陷处，由氟硼镁石—电气石—萤石组合呈含铍条纹岩，以密集的小脉、细脉、微脉、形成似条带状一条纹状产出。矿体长数百米至数千米，宽数十米至数百	矿体呈复杂的脉体产出及不规则的团块状	主要铍矿物：金绿宝石、塔非石、香花石、硅铍石、日光榴石、双晶石、钽铍石	大型规模，品位富，BeO 0.062～0.6 矿物粒度小，选矿成本高	伴生：锡	湖南香花岭
云英岩型铍矿床	矿体主要产于花岗岩中或火山岩中，铍矿物赋存于石英、白云母或黑磷云母组成的云英岩中，长数十米至数百米，宽数十厘米至数米	矿体呈脉状、板状、不规则巢状产出	绿柱石、硅铍石	小型规模，BeO 品位较高，可手选	伴生：钨、钼	广东惠阳杓麻山、潮安万峰山，湖南临湘虎形山，江西星子枭木山
石英脉型矿床	矿脉产于变质砂岩、粉砂岩、花岗岩中，矿脉成组成带产出，长数十米至数百米，绿柱石常与黑钨矿、锡石共生，分布不均匀，个别矿脉的局部地段较富。	脉状	绿柱石	小型规模，BeO 品位变化大，可供手选	共生：黑钨矿、锡石	江西荡平、画眉坳
白云鄂博型铌、稀土矿床	矿床产于前寒武系白云鄂博群的白云岩、板岩及石英岩带中，铌、稀土分布于铁矿体、白云岩及板岩中，主要的工业矿石类型有：磁铁矿石型铌-稀土矿石，白云岩型铌-稀土矿石，板岩型铌-稀土矿石	形态简单，矿体呈厚大的层状、似层状产出，与地层产状基本一致	稀有金属矿物：铌铁矿、黄绿石、易解石、钛易解石、铌铁金红石、铌铅矿，包头矿； 稀土矿物：氟碳铈矿、独居石、黄河石、氟碳钙铈矿、褐铈铌矿、硅钛铈矿、铈磷灰石、褐帘石	特大型规模，磁铁矿石型：Nb_2O_5 平均 0.126～0.141；RE_2O_3 平均 5.71～6.19；白云岩矿石：Nb_2O_5 平均 0.126～1.51；RE_2O_3 平均 2.3～3.18；板岩矿石：Nb_2O_5 平均 0.11～0.153；RE_2O_3 平均 0.80～2.1	共生：铁矿、稀土	内蒙古白云鄂博
风化壳型铌铁矿床	矿床是钠长石化花岗岩经风化作用形成，原岩中细粒钠长石花岗岩含矿性较好，风化形成的矿石类型有全风化[a]和半风化[b]两类，从上到下呈似层状叠置，厚度 10～20 m	矿体形态简单，有似层状、等轴状、长条状	铌铁矿、锆石、含铪锆石	中小型规模：铌铁矿，品位为 330 g/m^3～425 g/m^3	伴生：锆石	广东博罗 524、525

a.全风化矿石：①长石绝大部分风化为高岭土，偶尔保留长石残骸。②松散或手捏即碎散，抗压强度＜2×9.8 N/cm^2。若将其置于水中，大部分矿物的单体能自然松散解离。③与其下部半风化矿石接触面处的长石残余率不大于 10%。④用水压（7～9）×9.8 N/cm^{2}的水枪能正常开采，矿石中矿物能自然单体解离。

b.半风化矿石：①长石部分风化成高岭土，其分解率在 50%～90%，部分未彻底风化的长石尚保留原来的晶形。②用小铁锤锤击即松散或碎成小块，十字镐可挖掘，若置于水中大部分矿物能单体自然解离。③用水压（7～9）×9.8 N/cm^{2}的水枪开采困难，采下的部分矿石不易单体解离。

附 录 G
（资料性附录）
稀有金属性质[2)]、用途

G.1 锂的性质及用途

锂是最轻的碱土金属，原子序数3，原子密度为0.534（g/cm^3），熔点为179℃，沸点1 317℃。锂在干燥的空气中呈银白色，比铅软，富延展性。用途主要如下。

原子能工业：锂的同位素^{6}Li是制造氢弹不可缺少的原料，在核反应堆中锂可作铀、钍的熔剂。

飞机、导弹和宇航工业：锂及其化合物作成的高能燃料，具有燃烧温度高、速度快等优点，常用作飞机、火箭、潜艇的燃料，锂在高空飞机、载人飞船、潜艇密封仓中作为CO_2的吸附剂，铝锂、镁锂合金可用于航空航天飞机的结构材料。

在冶金工业上制造轻合金，耐磨合金，生产稀有金属的还原剂和精炼金属的除气剂。铝电解槽中加入锂盐，可以大大降低熔点，提高电流效率。

溴化锂制冷剂已取代氟利昂，节能、无毒、无噪音、无震动，减少环境污染。

锂基润滑脂，具有耐热、耐寒、耐水的优良性能，广泛用于军事装备、飞机、轧钢、拖拉机等各种机械的润滑。

锂电池是一种新型能源，广泛用于信息产品、无人飞机、摄像机、照相机、电子手表的能源。锂离子动力电池已广泛用于电动汽车和民用电力调峰电源。

^{6}Li捕捉低速中子能力很强，可以用来控制铀反应堆中核反应发生的速度，同时还可以在防辐射和延长核导弹使用寿命。^{6}Li在核装置中可用作冷却剂。

在石油工业、电器电子工业，也有广泛的用途。锂产品还可用于制作润滑剂、合成橡胶、玻璃、陶瓷、烟火、和炸药炼钢、医药等工业。

锂常与氧形成氧化物赋存于硅酸盐类矿物中。在自然界中有两个锂的同位素：即^{6}Li与^{7}Li。锂常与钾、铀、铷、铯发生置换，并与铍、硼密切共生。锂主要聚集于岩浆结晶分异的晚期，伟晶作用阶段和气成热液阶段，尤其是伟晶作用晚期，常形成有价值的锂矿床。在富硼镁的盐湖里，锂以离子状态赋存于卤水中，形成规模巨大的锂矿床。

G.2 铷的性质和用途

铷是银白色轻金属。原子序数37，原子密度1.532（g/cm^3），熔点很低（38.89℃），沸点688℃。质软，在空气中能自燃，遇水激烈燃烧甚至爆炸。具有较高的正电性和最大的光电效应。铷可用于制造电子器件（光电倍增管、光电管）、分光光度计、自动控制、光谱测定、彩色电影、彩色电视、雷达、激光器，以及玻璃、陶瓷、电子钟等；在空间技术方面，离子推进器和热离子能转换器需要大量的铷；铷的氢化物和硼化物可作高能固体燃料；放射性铷可测定矿物年龄，此外铷的化合物还可应用于制药、造纸业。

2) 稀有元素主要地球化学参数：原子序数、原子密度、沸点、熔点等数据，根据刘英俊等编著《元素地球化学》，科学出版社，1984 年；根据《矿产资源工业要求手册》编委会编著《矿产资源工业要求手册》，地质出版社，2014 年修订本修订了部分数据。

铷和铯由于化学性质相近而密切共生，铷与钾的地球化学性质相近，而参与钾矿物的晶格中，一般含在云母与长石中（在锂云母可高达4.5%），迄今为止尚未发现铷的独立矿物。

G.3 铯的性质和用途

铯是银白色的轻金属。原子序数55，原子密度1.878 5（g/cm^3），熔点28.5℃，沸点690℃，其特性与铷相似。铯的用途与铷相同外。铯的氧化物亦可作高能固体燃料，铯可制造人工铯离子云、铯离子加速器，以及反作用系统材料与烟火制造材料。铯是制造原子钟和全球卫星定位系统不可缺少的材料。

用铯的化合物制成的红外辐射灯可发现夜间不易发现的讯号，放射性铯用于辐射化学、医学、食品和药品的照射等，铯还可作化工催化剂、特种玻璃原料。

铯除了形成铯榴石矿物外，还参加到锂、铍、钾的矿物晶格中（在红柱石中含量达3%），有时在伟晶岩的围岩中形成铯云母（含氧化铯3%～10%）。铯和铷都富集在岩浆作用晚期，尤其是在伟晶作用期。

G.4 铍的性质和用途

铍原子序数4，原子密度（1.85g/cm^3），熔点（1 278±5）℃，沸点2 970℃，属于轻金属。致密的铍呈浅灰色，粉状为深灰色，有良好的耐腐蚀性和高温强度，导热率大，良好的辐射透过性和对中子慢化、反射及红外线的反射性能。

铍是国防工业上的重要材料，由于它的中子吸收截面小，散射截面大，对热中子有很大的反射性能和减速作用，因而金属铍被用作原子能反应堆的防护材料和制备中子源。在宇航和航空工业用于制造火箭、导弹、宇宙飞船的转接壳体和蒙皮，大型飞船的结构材料，制作飞机制动器和飞机、飞船、导弹的导航部件，火箭、导弹、喷气飞机的高能燃料的添加剂。在冶金工业是合金钢的添加剂，制作铍铜、铍镍、铍铝等合金，还可用作耐火材料。铍还可用于陶瓷、特种玻璃、集成电路、天线等。

铍与硅的地球化学性质近似而置换硅氧四面体中的硅。在碱性岩中，铍的含量虽然很高，因其中的钛、锆、稀土的丰度高，碱性环境有利于铍形成络离子，故铍大量分散。在碱性岩浆期后气成热液作用时，由于铍重新聚合，才能形成独立矿物；在花岗岩结晶的早期，铍因缺乏高价的氧离子而很少富集，绿柱石产于钠长石花岗岩、花岗伟晶岩及气成热液矿床的整个形成过程中。

G.5 铌、钽的性质和用途

铌（Nb）旧名钶（Cb），铌是银白色，原子序数41，原子密度8.57 g/cm^3，熔点（2 468±10）℃，沸点5 127℃。钽（Ta）是深灰色的耐熔金属，原子序数73，原子密度16.6 g/cm^3，沸点5 427℃，熔点2 996℃。铌、钽具有强度高，抗疲劳，抗变形，抗腐蚀，导热，超导，单极导电及吸收气体等优良特性。广泛应用在电子、宇航、机械工业及原子反应堆中。

电气工业：用于制造无线电、雷达、X- 射线设备的零件、微型电容器（用在火箭、宇宙飞船、人造卫星）、真空设备材料、受热元件（电子管阳极、栅极）、强力发射管、整流器、电子计算机记忆装置，超导合金制造大功率磁铁，铌酸盐、钽酸盐可作压电、光电材料。

铌钽作添加剂可生产多种合金，如热强合金、耐热合金、超硬合金、结构合金、磁性合金等；用于制造原子反应堆结构材料和防护材料，制造火箭和导弹的喷嘴及切削工具和钻头等；各种合金钢在铁路、桥梁、管道、造船、汽车、飞机、机械制造等方面广泛应用，特别是在化工耐腐机械方面锆铌、钽合金可代替铂。

利用铌钽吸附性，排除真空管的微量气体。

铌钽还可作有机合成的催化剂、人造丝拉丝模、光学玻璃等。

钽在外科医学治疗上有特殊的用途，钽片、钽条可代替零星骨骼，钽丝可作医用缝合线。

铌和钽具有完全相同的外层电子分布，相近的原子半径、离子半径因而密切共生，并形成极完全的类质同象系列（如铌铁矿—钽铁矿族）。两者常与钛、锆、钨、锡、铀、钍等共生。其中铌和钛的关系最为密切。铌和钽虽然密切共生，但因其地球化学性质尚有差异之处，所以各有其富集机制，从超基性岩至酸性岩或碱性岩，铌含量渐增，在霞石正长岩中达到最大富集，钽多富集于碱性长石花岗岩中。在花岗岩和伟晶岩中，随着岩浆的演化，钽和铌相对富集而形成矿床。在表生作用中，钽、铌矿物比重大，抗腐蚀、耐风化等特点，易形成风化壳矿床及各类砂矿矿床。

G.6 锆的性质及用途

锆有银灰色致密状及深灰色到黑色的粉末状两种，锆的原子序数40，原子密度6.49（g/cm^3），熔点1 852℃，沸点3 578℃。锆耐高温，抗腐蚀、易加工，机械加工性能好，是原子能工业的重要材料，锆的热中子捕获截面小，广泛用于原子反应堆、核潜艇和铀棒保护外壳的结构材料，在无线电、电气工业中生产X—光管、电子管、回转加速器及特种电子仪器等；机械工业制造耐腐的化工机械和一般机械，冶金工业生产各种合金，其中有耐热合金、耐腐合金、结构合金、轻质合金、磁性合金、超硬合金等，可用于制造火箭喷嘴、喷气发动机叶片等；国防上生产武器、特种用途的火药和照明弹；锆在耐火材料、陶瓷、搪瓷、釉和玻璃生产中用量很大，如生产冶金耐火材料，绝缘陶瓷和铸造型砂等；在轻化工业中用以制革、有机合成催化剂，锆的玻璃纤维用于生产强化水泥；其他还用于医疗、纺织等工业。

G.7 铪的性质和用途

铪是光亮的银白色金属，原子序数72，原子密度13.31 g/cm^3，熔点2 150℃，沸点4 602℃。纯铪具可塑性、易加工、耐高温抗腐蚀，是原子能工业重要材料。铪的热中子捕获截面大，是较理想的中子吸收体，可作原子反应堆的控制棒和保护装置；铪粉可作火箭的推进器。在电器工业上可制造X射线管的阴极。电灯丝和电子管内的吸气剂。铪的合金可作火箭喷嘴和滑翔式重返大气层的飞行器的前沿保护层，Hf-Ta合金可制造工具钢及电阻材料。铪还应用于冶金、化工、火药及特种耐火材料。

锆和铪具有完全相同的外层电子结构，相近的原子半径、离子半径、氧化价而密切共生。在自然界中，锆主要形成独立矿物而很少分散，而铪却很少形成独立矿物，多分散在锆矿物内，在花岗岩中，锆、铪形成锆石及其变种。在花岗伟晶岩中，锆和铪也较富集，尤其是铪，在花岗伟晶岩结晶的晚期可形成富铪锆石，甚至铪锆石，无论在花岗岩或花岗伟晶岩矿床中，从早期向晚期演化时，随着铪的含量逐渐增高，锆铪比值逐渐降低。在表生作用中，锆石和斜锆石因耐风化而常形成风化壳矿床和各种砂矿矿床。

附 录 H
（资料性附录）
稀有金属主要矿物及性质

表H.1 稀有金属主要矿物表

	矿物名称	英文名称	化学式	质量分数%	
				Nb_2O_5	Ta_2O_5
主要铌钽矿物	铌铁矿	Columbite	$FeNb_2O_6$	＞63.77	＜14.55
	钽铁矿	Tantalite	$FeTa_2O_6$	＜10.33	＞72.18
	铌锰矿	Maganocolumbite	$MnNb_2O_6$	75.17	2.43
	钽锰矿	Maganotantalite	$MnTa_2O_6$	10.33	72.18
	重钽铁矿	Tapiolite	$FeTa_2O_6$	1.37	82.55～86
	重铌铁矿	Mossite	$Fe(Nb,Ta)_2O_6$	31.00	52.00
	细晶石	Microlite	$(Ca,Na)_2(Ta,Nb)_2O_6(O,OH,F)$	7.74	68.63
	钽铝石	Simpsonlte	$AlTaO_4$	0.33	72.31
	黄钇钽矿	Formanite	$YTaO_4$	9.15	49.38
	钽锡矿	Thoreaulite	$Sn(Ta,Nb)_2O_7$	痕	72.83～74
	钽钇矿	Yttrotantalitc	$(Y,Fe)_5[(Ta,Nb)_2O_7]_3$	12.32	46.25
	钽钠石	Rankamaite	$(Na,K)_6(Ta,Nb,Al)_{22}(O,OH)_{60}$	17.40	69.47
	钽黑稀金矿	Tanteuxenitc	$(Y,Ca,U)(Ta,Ti)_2O_6$	3.83	47.31
	钽铋矿	Bismutotantalite	$Bi(Ta,Nb)O_4$	1.26	46.54
	钽锑矿	Stibiotantalite	$Sb(Ta,Nb)O_4$	1.79	57.29
	钽铁金红石	Strueverite	$(Ti,Ta,Nb,Fe)O_2$	13.41	38.20
	铌铁金红石	Ilmenorutilc	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	23.67	0.13
	钠铌矿	Natroniobite	$NaNbO_3$	74.06	0.83
	褐钇铌矿	Fcrgusonitc	$YNbO_4$	42.90	2.50
	铌锑矿	Stibiocolumbite	$Sb(Nb,Ta)O_4$	39.14	11.16
	铌镁矿	Magnoniobite	$(Mg,Fe)(Nb,Ta)_2O_6$	70.59	10.45
	黑稀金矿	Euxenite	$(Y,U)(Nb,Ti)_2O_6$	33.70	
	复稀金矿	Polycrase	$(Y,U,Th)(Ti,Nb)_2O_6$	17.99	0.89
	铌钙矿	Fersmite	$CaNb_2O_6$	75.04	0.15
	易解石	Aeschynite	$(Ce,Th,Y)(Ti,Nb)_2O_6$	23.59	0.26
	烧绿石	Pyrochlore	$(Ca,Na)_2Nb_2O_6(OH,F)$	57.84	1.44
	贝塔石	Betafite	$(U,Ca)_2(Nb,Ti)_2O_6(OH)$	34.80	痕
	钽贝塔石	Tantalbetafirte	$(Ca,U,Y)_2(Ti,Ta,Nb)_2O_6(OH)$	8.70	39.00
	铌钇矿	Samarskite	$(Y,U,Fe)_2(Nb,Ti,Fe)_2O_8$	51.35	3.27

表H.1　稀有金属主要矿物表（续）

	矿物名称	英文名称	化学式	Li_2O 的质量分数%
主要锂矿物	锂辉石	Spodumene	$LiAl[Si_2O_6]$	5.8～8.1
	锂冰晶石	Cryolithionite	$Na_3Li_3lAl_2F_{12}$	5.6
	硼锂铍矿	Rhodizite	$(K, Cs)_2(Al, Li)_8[Be_3B_{10}O_{27}]$	7.81
	粒硅铝锂石	Bikitaite	$LiAl[SiO_3]_2H_2O$	6.55
	锂云母	Lepidolite	$K_2(Li, Al)_{5-6}[Si_{6-7}Al_{2-1}O_{20}](OH,F)_4$	3.2～6.45
	多硅锂云母	Polylithionite	$K_2Li,Al[Si_4O_{10}](F, OH)_2$	7.68
	铁锂云母	Zinnwaldite	$KLiFeAl[AlSi_3O_{10}](F, OM)_2$	3.62
	透锂长石	Petalite	$Li[AlSi_4O_{10}]$	4.90
	锂霞石	Eucryptite	$Li[AlSiO_4]$	11.88
	锂铍石	Liberite	$Li_2[BeSiO_4]$	23.43
	磷铁锂矿	Triphylinte	$Li(Fe, Mn)[PO_4]$	6.83
	磷锰锂矿	Lithiophilrte	$Li(Mn, Fe)[PO_4]$	6.06
	块磷锂矿	Lithiophosphate	$Li_3[PO_4]$	37.07
	锂磷铝石	Amblygonite	$LiAl[PO_4]F$	10.10
	矿物名称	英文名称	化学式	Cs_2O 的质量分数%
主要铯矿物	铯榴石[a]	Pollucite	$Cs[AlSi_2O_6]\cdot nH_2O$	42.53
	氟硼钾石	Avogadrite	$(K, Cs)[BF_4]$	7.0
	南平石	Nanpingite	$[CsAl_2(Si, Al)_4O_{10}](OH,F)_2$	25.28
	矿物名称	英文名称	化学式	BeO 的质量分数%
主要铍矿物	绿柱石	Beryl	$Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$	9.26～14.4
	蓝柱石	Euclase	$Al[BeSiO_4](OH)$	17.28
	金绿宝石	Chrysoberyl	Al_2BeO_4	21.15
	硅铍石	Phenakite	$Be_2[SiO_4]$	43.82
	铍石	Bromellitc	BeO	98.02
	羟铍石	Behoite	$Be(OH)_2$	58.15
	羟硅铍石	Bertrandite	$Be_4[Si_2O_7](OH)_2$	42.77
	日光榴石	Helvite	$Mn_4[BeSiO_4]_3S$	13.52
	铍榴石	Danalite	$Fe_4[BeSiO_4]_3S$	13.43
	锑钠铍矿	Swedenborgite	$NaSbBe_4O_7$	34.18
	水硅铍石	Beryllite	$Be_3[SiO_4](OH)_2\cdot H_2O$	40.0
	锌日光榴石	Genthelvite	$Zn_2[BeSiO_4]_3S$	12.58
	香花石	Hsianghualite	$Li_2Ca_3[BeSiO_4]_3F_2$	15.70
	顾家石	Gugiaite	$Ca_2[BeSi_2O_7]$	9.49
	硼铍石	Hambergite	$Be_2[BO_3](OH)$	53.25
	磷铍钠石	Beryllonite	$Na\{Be[PO_4]\}$	24.41
	磷钙铍石	Hurlbutite	$CaBe_2[PO_4]_2$	21.30
	兴安石	Hingganite	$(Y,Ce)BeSiO_4(OH)$	10.4

表H.1　稀有金属主要矿物表（续）

	矿物名称	英文名称	化学式	ZrO_2、HfO_2的质量分数%
主要锆（铪）矿物	锆石（锆英石）	Zircon	$Zr[SiO_4]$	（ZrHf）O_2：65.50
	铪锆石	Hafnon zircon	（Zr，Hf）$[SiO_4]$	ZrO_2：39.2 HfO_2：31.0
	水钛锆矿	Olivelraite	$Zr_3Ti_2O_{10}\cdot 2H_2O$	ZrO_2：63.36
	等轴钙锆钛矿	Tageranite	（Zr,Ca，Ti）$_4O_7$	ZrO_2：72.48
	钙锆钛矿	Calzirtite	Ca（Zr，Ca）$_2Zr_4$（Ti，Nb，Fe）$_2O_{16}$	ZrO_2：70.56
	斜锆石	Baddeleyite	ZrO_2	ZrO_2：98.90
	钛锆钍矿	Zirkelite	（Zr，Ca，Ti，Fe^{2+}，Th）$_3O_5$	ZrO_2：52.89
	胶锆石	gelzircon	$Zr[SiO_4]\cdot nH_2O$	ZrO_2：47.60 HfO_2：1.3～4
	钙钛锆石	Zirconolite	$CaZrTi_2O_7$	ZrO_2：36.33
注1：w_B是质量分数符号。 注2：铌铁矿、钽铌铁矿、铌钽铁矿、钽铁矿均是铌铁矿—钽铁矿类质同象系列，Nb_2O_5与Ta_2O_5间存在着相互消长关系。为简便计，凡w（Ta_2O_5）＜15%称铌铁矿，w（Nb_2O_5＜10%时称钽铁矿。w（Nb_2O_5）＞w（Ta_2O_5）称钽铌铁矿，w（Ta_2O_5）＞w（Nb_2O_5）时称铌钽铁矿，w（Fe）/w（Mn）＜1称铌锰矿，w（Fe）/w（Mn）＞1时称铌铁矿。				
a 有的资料认为属于沸石矿物，也称铯沸石。				

附 录 I
（资料性附录）
各种稀有金属精矿质量指标

I.1 铍精矿

表I.1 绿柱石精矿质量标准（YS/T 262-2011）

类别	品级	BeO 质量分数 %	杂质质量分数 %				
			Fe_2O_3	Li_2O	Ca	P	F
块状精矿	一级品	≥11.0	≤1.5	≤1.00	≤0.5	≤0.15	≤0.40
	二级品	≥10.0	≤2.0	≤1.20	≤1.0	≤0.20	≤0.50
	三级品	≥8.0	≤2.5	≤1.50	≤1.5	≤0.20	≤0.50
粉状精矿	一级品	≥9.0	≤2.5	≤1.50	≤0.5	≤0.15	≤1.00
	二级品	≥8.0	≤3.0	≤1.80	≤1.0	≤0.20	≤1.20
	三级品	≥6.0	≤3.5	≤2.00	≤1.5	≤0.30	≤1.50
注：①绿柱石精矿以干矿品位计算应符合本表规定，如需方另有要求，可双方议定。②块状精矿的粒度不得大于100mm，其中90%大于10mm。③粉状精矿的粒度小于0.125mm的不小于65%。④精矿中不得混入目视可见外来夹杂物。⑤块状精矿水分不大于0.5%；粉状精矿水分不大于8%。							

I.2 锂精矿

表I.2 锂辉石精矿质量标准（YS/T 261-2011）

品级	Li_2O 质量分数 %	杂质质量分数 %					推荐性用途
		Fe_2O_3	MnO	MgO	K_2O+Na_2O	P_2O_5	
微晶级-1	≥7.50	≤0.15	≤0.10	—	≤1.0	≤0.5	主要用于生产微晶玻璃和高档陶瓷釉料
微晶级-2	≥7.00	≤0.30	≤0.15	—	≤1.5	≤0.5	
陶瓷级	≥6.50	≤0.60	≤0.25	—	≤1.8	≤0.5	主要用于生产陶瓷
化工级-1	≥6.00	≤2.5	≤0.40	≤0.20	≤2.00	≤0.5	主要用于生产锂的其他化工产品
化工级-2	≥5.50	≤2.8	≤0.50	≤0.30	≤3.00	≤0.5	
玻璃级	≥5.00	≤0.25	≤0.15	—	≤3.00	≤0.5	主要用于生产玻璃
注：①锂辉石精矿水分不大于8%。②粒度大小由供需双方商定。③精矿产品中不得混入目视可见的外来夹杂物。							

表I.3 锂云母精矿质量标准（YS/T 236-2009）

品　级	Li_2O 质量分数 %	K_2O+Na_2O 质量分数 %	Fe_2O_3 质量分数 %	Al_2O_3 质量分数 %
一级	≥4.4	≥9.5	≤0.25	≤23.00
二级	≥4.0	≥9.0	≤0.25	≤22.00
三级	≥3.5	≥8.0	≤0.25	≤21.00
四级	≥2.5	≥7.0	≤0.25	≤19.00
注：产品水分不大于5%，粒度不大于2mm，不得混入外来夹杂物。				

表I.4 低铁锂辉石精矿质量标准

品　组	Li_2O 质量分数 %	SiO_2 质量分数 %	Al_2O_3 质量分数 %	杂质质量分数 %		
				Fe_2O_3+MnO	P_2O_5	K_2O+Na_2O
微晶玻璃级锂辉石精矿	≥6	≥65	≥22	≤0.2	≤0.2	≤1.0
陶瓷级锂辉石精矿	≥6	≥65	≥22	≤0.4～0.8	≤0.2	≤1.5

I.3 铯精矿

铯榴石精矿质量标准：Cs_2O质量分数≥20%

I.4 铌钽精矿

表I.5 中国钽精矿质量标准（YS/T 394-2007）

品级	化学成分（质量分数） %				
	$Ta_2O_5+Nb_2O_5$	Ta_2O_5	杂质含量		
			TiO_2	SiO_2	WO_3
一级品	≥50	≥32	≤6	≤7	≤2
二级品	≥44	≥28	≤6	≤7	≤2
三级品	≥35	≥23	≤7	≤13	≤2
四级品	≥30	≥20	≤7	≤18	≤2
注1：产品中U_3O_8、ThO_2的含量应提供实测数据。 注2：产品的化学成分有其他要求时，由供需双方协商确定。 注3：产品粒度不大于2mm，其中大于0.8mm的不超过10%。 注4：产品中天然放射性核素应符合国家标准（GB 20664-2006）的规定。					

表I.6　中国褐钇铌钽矿精矿质量标准（XB/T 106-1995）

品级	化学成分（质量分数） %			
	$(Ta，Nb)_2O_5$	杂质含量		
		TiO_2	SiO_2	P
Ⅰ等品	≥35	≤4	≤4	≤0.5
Ⅱ等品	≥30	≤5	≤6	≤0.5
注1：精矿中$(Ta_2，Nb)_2O_5$含量小于30%时由供需双方商定。 注2：精矿中不得混入外来夹杂物。				

I.5　锆铪精矿

表I.7　锆精矿质量标准（YS/T 858—2013）

品级		ZrO_2+HfO_2 质量分数 %	水分 w_B%	杂质含量 %			
				Fe_2O_3	TiO_2	Al_2O_3	SiO_2
Ⅰ级品		≥66	≤0.3	≤0.1	≤0.15	≤0.8	≤33
Ⅱ级品	$Ⅱ_1$	≥65	≤0.3	≤0.2	≤0.3	≤1.0	≤33
	$Ⅱ_2$	≥65		≤0.2	≤0.8	≤1.5	≤33
Ⅲ级品		≥63	≤0.3	≤0.3	≤1	≤2	≤34
Ⅳ级品		≥60	≤0.5	≤0.5	≤3	≤3	≤35
Ⅴ级品		≥5		-	-	-	-
注：总放射性比活度U、Th、Ra不大于10%，K不大于5%，合计不大于15%。							

参 考 文 献

[1]侯德义主编.找矿勘探地质学。北京：地质出版社，1984.11。
[2]侯德义、刘鹏鄂、李守义、叶松青编.矿产勘查学。北京：地质出版社，1997.11。
[3]GB 51060-2014 有色金属矿山水文地质勘探规范。
[4]DZ/T 0130-2006 地质矿产实验室测试质量管理规范。
[5]DZ/T 0275.1-2015 岩矿鉴定技术规范。
[6]DZ/T 0287-2015 矿山地质环境监测技术规程。
[7]T/CMAS 0001 绿色勘查指南。
[8]HJ 651-2013 矿山生态环境保护与恢复治理技术规范（试行）。
[9]中国地质调查局1:50000区域地质调查工作指南（试行）。
[10]中国地质调查局1:50000覆盖区区域地质调查工作指南（试行）。