DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ / T 0203-2002

稀有金属矿产地质勘查规范

Specifications for rare metal mineral exploration

2002-12-17 发布　　2003-03-01 实施

中华人民共和国国土资源部　发布

目　　次

前　言
1　范围
2　规范性引用文件
3　勘查的目的任务
3.1　预查阶段
3.2　普查阶段
3.3　详查阶段
3.4　勘探阶段
4　勘查研究程度
4.1　地质研究程度
4.2　矿石质量研究
4.3　矿石选（冶）和加工技术条件研究
4.4　矿床开采技术条件研究
4.5　综合勘查综合评价
5　勘查控制程度
5.1　勘查类型的确定
5.2　勘查工程间距的确定
5.3　勘查控制程度的确定
6　勘查工作及质量要求
6.1　测量工作
6.2　地质填图
6.3　物探、化探工作
6.4　重砂测量工作
6.5　探矿工程
6.6　化学样品的采集、加工和测试
6.7 重砂样品采集与分析检查
6.8　矿石物质组分研究样品的采集、加工、化验
6.9　矿石选（冶）试验样品的采集试验
6.10　岩石、矿石物理技术性能测试样品的采集与试验
6.11　原始资料编录、综合整理和报告编写等
7　可行性评价
7.1　可行性评价工作
7.2　概略研究
7.3　预可行性研究
7.4　可行性研究
8　矿产资源 / 储量分类及类型条件
8.1　矿产资源 / 储量分类
8.2　矿产资源 / 储量类型条件
9　矿产资源 / 储量估算

9.1　矿产资源／储量估算的工业指标
9.2　矿产资源／储量估算的一般原则
9.3　确定矿产资源／储量估算参数的要求
9.4　矿产资源／储量分类结果表
附录 A （规范性附录）　固体矿产资源／储量分类
附录 B （资料性附录）　稀有金属矿产资源／储量规模划分
附录 C （资料性附录）　稀有金属性质、用途及主要矿物
C.1　稀有金属陛质、用途
C.2　稀有金属主要矿物
附录 D （资料性附录）　稀有金属矿床分类及主要工业类型
D.1　稀有金属矿床分类
D.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
附录 E （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
E.1　勘查类型的确定
E.2　勘查工程间距
附录 F （资料性附录）　矿体圈定和矿产资源／储量估算方法说明
F.1　矿体的圈定和连接
F.2　块段的划分原则
F.3　矿产资源／储量估算方法
附录 G （资料性附录）　稀有金属矿床参考性工业指标
附录 H （资料性附录）　各种稀有金属精矿质量指标
H.1　铍精矿
H.2　锂精矿
H.3　铯精矿
H.4　铌钽精矿
H.5　锆铪精矿
H.6　各种稀有金属精矿质量标准说明
附录 I （资料性附录）　花岗伟晶岩中宝石、玉石、彩石的质量要求参考指标

前　言

本标准是在原全国矿产储量委员会 1984 年 2 月储发（1984）第 7 号文颁发的《稀有金属矿地质勘探规范》（试行）的基础上，考虑到社会主义市场经济对稀有金属矿产的地质勘查工作的要求及与国际接　　轨等因素修订而成的，增加了稀有金属矿产预查阶段、普查阶段、详查阶段的勘查要求。

本标准自实施之日起，代替 1984 年《稀有金属矿地质勘探规范》（试行），作为稀有金属矿产地质勘查工作的质量标准。

本标准附录 A 是规范性附录。

本标准附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H、附录 I 是资料性附录。

本标准由中华人民共和国国土资源部提出。

本标准由全国地质矿产标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：国家有色金属工业局地质勘查总局江西有色地质勘查局。

本标准起草人：黄世全、韦星林、邓国萍、张云蛟、何维基、张涛、舒顺平。

本标准由中华人民共和国国土资源部负责解释。

稀有金属矿产地质勘查规范

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任务、勘查研究程度、勘查控制程度、勘查工作及质量要求、矿产资源 / 储量分类及各类型条件、矿产资源 / 储量估算等。

本标准适用于稀有金属矿产勘查各阶段工作部署和资源 / 储量估算；也适用于验收、评审稀有金属 矿产地质勘查报告；还可以作为矿业权转让、矿产勘查开发筹资、融资、股票上市等活动中评价、估算矿产资源 / 储量的依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB / T 17766—1999 固体矿产资源 / 储量分类

GB / T 13908—2002 固体矿产地质勘查规范总则

DZ / T 0033—2002 固体矿产勘查 / 矿山闭坑地质报告编写规范

GB l2719—91 矿区水文地质工程地质勘探规范

DZ 0130—94 地质矿产实验室测试质量管理规范

DZ / T 0091 地质矿产勘查测量规范

DZ / T 0078—93 固体矿产勘查原始地质编录规定

DZ / T 0079—93 固体矿产勘查地质资料综合整理、综合研究规定

3 勘查的目的任务

3.1 预查阶段

对锂、铷、铯、铍、铌、钽、锆、铪矿成矿远景区的资料进行综合研究、类比及初步野外观测、极少量的工程验证，初步查明区内稀有金属矿产资源远景，提出可供普查的矿化潜力较大地区。

3.2 普查阶段

通过对矿化潜力较大地区开展地质、物探、化探、重砂测量工作和取样工程，寻找有工业价值的矿点、矿床，并通过可行性评价的概略研究，对已知矿化区做出初步评价，对有详查价值地段圈出详查区范围。

3.3 详查阶段

对详查区内采用各种有效的勘查方法和手段，进行系统的工作和取样，并通过预可行性研究，做出是否具有工业价值的评价，圈出勘探区范围，为勘探提供依据，并为制订矿山总体规划、项目建议书提供资料。

3.4 勘探阶段

对已知具有工业价值的矿区或经详查圈出的勘探区，通过应用各种有效的勘查手段和方法，加密各种采样，开展可行性研究，为确定未来矿山生产规模、产品方案、开采方式、开拓方案、矿石加工选（冶）工艺、矿山总体布置、矿山建设设计等方面提供依据。

4 勘查研究程度

4.1 地质研究程度

4.1.1 预查阶段

收集预查区内的地质、物探、化探、重砂、遥感地质以及有关的地质研究成果，通过（1∶50 000）～（1∶25 000）的路线地质踏勘和有效的物探、化探、重砂测量等辅助工作，初步查明预查区地层、构造、岩浆岩等地质特征以及与成矿有关的矿化蚀变情况，对有找矿远景的物探、化探、重砂异常和矿（化）体，用极少量的工程揭露。对已发现的矿体，应初步查明其规模、产状、品位及变化，初步查明稀有金属矿石物质组分。

4.1.2 普查阶段

对选定的普查区，通过（ 1∶50 000 ）～（ 1∶25 000 ）比例尺地质填图等地质工作，大致查明区内的地层、构造、岩浆岩、矿化蚀变等地质特征。对发现的矿体、矿化点，通过（ 1∶10 000 ）～（ 1∶2 000 ）比例尺地质填图和有效的物探、化探、人工重砂等方法手段及有限的取样工程，大致查明地表或浅部矿体的规模、产状、形态、矿体数量、分布特征及相互关系，大致查明稀有金属矿石的物质组成、矿石质量，并进行相应的评价。

4.1.3 详查阶段

对普查阶段圈出的详查区，通过（ 1∶10 000 ）～（ 1∶2 000 ）比例尺地质填图（ 矿体部位也可用 1∶1 000 ），应用各种有效的综合勘查方法和手段，投入比普查更密的系统取样工程，基本查明地层、构造、岩浆岩、蚀变的地质特征与成矿关系。

通过系统取样工程，基本查明矿体的产状、形态、厚度、品位变化、矿体规模、数量、空间分布特征；基本查明矿体的连续性以及矿体中的夹石分布情况，控制矿体界线，描述矿床的地质模型。

根据矿床的风化特点，基本查明风化带的发育程度、分布范围、风化深度、矿物组合和可选性能，基本确定全风化带、半风化带、原生矿带的界线。

综合各种勘查资料，为矿区转入勘探或为矿山（区）总体规划以及矿山项目建议书提供依据。

4.1.4 勘探阶段

4.1.4.1 矿区地质

通过（1∶2 000）～（1∶1 000）（必要时矿体部位可用 1∶500）比例尺填图，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；详细查明与成矿有关的蚀变类型、蚀变强度和蚀变分带及分布范围、变化规律及其与矿化关系。

4.1.4.2 矿床（体）地质

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、顶底板岩性、分布范围；详细查明工业矿体规模、形态、产状、内部结构、厚度、品位及其变化特点，肯定矿体的连续性；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。对风化壳矿床，详细查明风化壳的发育程度、矿物组合，稀有金属矿物在各粒级中的分布与单体的自然解离度以及可选性能。确定全风化带、半风化带、原生带的界线；对露采的矿床（体），要对矿体四周采场底部矿体边界进行系统控制，掌握矿体底部界线的起伏变化规律。

通过勘探工作，估算各种类型的矿产资源／储量，对矿床工业价值做出评价，为矿山建设设计提供依据。

4.2 矿石质量研究

4.2.1 预查阶段

初步查明矿石品位、矿物成分、化学成分、结构构造以及矿石自然类型。

4.2.2 普查阶段

大致查明矿石品位、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，以及可供综合利用的有用组分。通过数量有限的人工重砂分析等手段初步评价矿石的经济价值。

4.2.3 详查阶段

基本查明矿石矿物种类和脉石矿物种类、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；基本确定含矿品位和品级，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。

4.2.4 勘探阶段

4.2.4.1 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分散率和集中率，对风化壳矿石应详细查明稀有金属矿物在矿石的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。

4.2.4.2 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）划分矿石品种；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；按矿石中所含的主要稀有金属组分的富集程度划分贫矿和富矿。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。

4.2.4.3 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。

4.3 矿石选（冶）和加工技术条件研究

4.3.1 预查阶段

通过类比研究，做出矿石是否可选的预测。

4.3.2 普查阶段

一般进行矿石选（冶）性能对比研究，做出是否可选的评价。对组分复杂、粒度较细，国内尚无成熟的经验的新类型矿石，应进行可选性试验或实验室流程试验，大致查明其可选性能。

4.3.3 详查阶段

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）性试验或实验室流程试验；对生产矿山附近的，有类比条件的易选矿石可进行类比评价，不做可选（冶）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。不论哪一种矿石，详查阶段的试验程度应达到可供设计要求。

4.3.4 勘探阶段

对易选矿石，一般进行实验室流程试验。在此基础上，选择最佳流程进行实验室扩大连续试验，提高流程的可信度。对难选矿石和新类型的矿石，应进行半工业试验，拟建大型矿山应进行工业试验，为确定矿山设计最佳工艺流程提供依据。

4.4 矿床开采技术条件研究

4.4.1 预查阶段

收集水文地质、工程地质、环境地质资料，初步了解开采技术条件，为进一步开展工作提供依据。4.4.2 普查阶段

大致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；对水文地质条件复杂的矿区，应进行适当的水文地质工作，大致了解地表水体分布，地下水的类型、水质、水量及近矿围岩的强度等。

4.4.3 详查阶段

4.4.3.1 水文地质：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、排泄条件，矿体主要充水因素。对水文地质条件复杂的矿床，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。

4.4.3.2 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。

4.4.3.3 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。

4.4.3.4 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《固体矿产地质勘查规范总则》附录 E（资料性附录）的要求进行划分。

4.4.4 勘探阶段

4.4.4.1 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；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。

4.4.4.2 工程地质研究：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、块度、坑压、抗剪程度、松散系数、安息角、节理密度、RQD 值等，研究其

稳定性能；查明构造、破碎带、风化带、软弱夹层对矿床开采的影响；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；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。

4.4.4.3　环境地质：详细调查矿区内的环境地质现象（岩崩、滑坡、泥石流、岩溶、地温等），地表水和地下水的质量、放射性和其他有害物质的含量，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。

4.4.4.4　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。

有关各项水文地质、工程地质和环境地质工作要求执行 GB 12719—91《矿区水文地质工程地质勘探规范》。

4.5　综合勘查综合评价

4.5.1　综合评价

稀有金属矿产以多组分共、伴生为特点，综合勘查综合评价成为稀有金属矿产勘查的基本方针，各阶段地质勘查工作应进行不同程度研究。

4.5.2　预查阶段

初步查明与主元素共生、伴生矿产的种类及其地质特征。

4.5.3　普查阶段

大致查明共生、伴生矿产的种类、含量、赋存特点，研究综合利用的可能性，为详查工作提供依据。

4.5.4　详查阶段

基本查明的共、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。对花岗岩型钽、铌、钨矿床，其精矿品位钨含量超过钽铌精矿的允许 WO_3 含量的指标时，进行钽、铌和钨分离的选矿研究。

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，应用一般参考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。

4.5.5　勘探阶段

4.5.5.1　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。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。

4.5.5.2　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。

4.5.5.3　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 G（资料性附录）。

4.5.5.4　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，其评价标准参见附录 I（资料性附录）。

4.5.5.5　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。

5　勘查控制程度

5.1　勘查类型的确定

5.1.1　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。

5.1.2　确定因素

矿床勘查类型由主要矿体的规模、形态及内部结构、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。对巨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。

5.1.3　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 E（资料性附录）。

5.2　勘查工程间距的确定

5.2.1　勘查工程布置

5.2.1.1　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，按预查、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施工，主导剖面和基准孔应优先施工。

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，勘查剖面线应垂直矿体走向。

5.2.1.2　预查阶段：投入极少量勘查工程对异常和矿体进行验证，应按验证的目的布置工程。

5.2.1.3　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或更多，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。

5.2.1.4　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基本网度，满足估算控制的矿产资源／储量的工程网度要求。

5.2.1.5　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。

5.2.2　勘查工程间距的确定

根据勘查类型确定工程间距。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《固体矿产地质勘查规范总则》、附录E（资料性附录）。对于有类比条件的中、小型矿床，用传统的类比法确定最佳工程间距；对于大型矿床，应进行不同工程间距网度试验，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E（资料性附录），在勘查过程中结合矿床实际情况具体使用。

5.2.3 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，如地形条件有利，经济合算，也可多采用坑探；第Ⅲ勘查类型，应以坑探为主，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，可用钻探或浅井，若使用钻探手段勘查，要保证岩心完整、层次不乱，并需用一定数量浅井验证。

5.3 勘查控制程度的确定

首先应控制勘查范围内矿体的分布范围、相互关系，对出露地表的矿体边界应用工程控制，对基底起伏较大的风化壳型矿体要控制矿体的底部边界；对无矿段、破坏矿体和影响开采的构造、岩脉、岩溶、泥垄、泥柱、老窿及划分井田的构造等地质体的产状和规模要有工程控制。对于与主矿体能同时开采的邻近小矿体应适当加密控制。对于地下开采的矿床，重点控制主矿体两端、上下界面和延伸情况。对于露天开采的矿床要注重系统控制矿体四周的边界和采场底部矿体边界。对主要盲矿体应该注意控制其顶部边界。对矿石质量稳定、埋藏浅或裸露地表的花岗岩型稀有金属矿产，在普查阶段应以地表采样工程为主，深部施以少量工程用以验证矿体延展及矿石质量。

6 勘查工作及质量要求

6.1 测量工作

地形测量和地质勘查工程测量应采用全国统一坐标系统和最新的国家高程基准。边远地区的勘查区周围没有可供联测的全国坐标系统基准点时，可采用全球卫星定位系统，建立独立坐标系统测图。测量精度与要求按DZ／T 0091《地质矿产勘查测量规范》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矿体复杂程度，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。（地形）地质图比例尺一般为：矿区（1∶25 000）～（1∶5 000），矿床（1∶2 000）～（1∶1 000），有特殊需要时，应填制（1∶500）矿体地形地质图。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

详查、勘探阶段，矿床大比例尺地质填图，应以质量达到相同比例尺精度的地形图作底图。地质填图前应测制地质剖面图或地质、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，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，所有地表工程和地质观测点均须用全仪器法

测定位置，见矿工程要测量坐标，勘探线剖面图必须实测。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 利用遥感资料

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

6.3 物探、化探工作

6.3.1 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。

6.3.2 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。

6.3.3 放射性工作

详查、勘探阶段应进行放射性检查。

6.3.4 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。

6.4 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。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。

6.5 探矿工程

6.5.1 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 E，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。

槽探工程应掘进基岩 0.3 m。

6.5.2 井探

表土层超过 5 m 或风化壳厚度大于 5 m 时，应采用浅井进行揭露，其间距参照附录 E（资料性附录），或根据实际情况适当加密。当采用浅井勘探风化壳矿床时，要求揭穿中风化层，进入原生矿体 0.3 m。

6.5.3 坑探

一般用于矿床首采区或主要储量区。坑探布设，以探明矿产资源／储量为主，并应顾及将来矿山生产所利用。坑探工程质量按 DZ／T 0141—94《地质勘查坑探工程规范》执行。

6.5.4 钻探

6.5.4.1 钻探工程质量按《岩心钻探规程》执行。

6.5.4.2　矿体及其顶底板 3 m～5 m 内的矿心、岩心平均采取率不低 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 65%。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。岩矿心要求入库保存，编码、有序排列，妥善保管。

6.5.4.3　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。

6.5.4.4　认真测量钻孔顶角和方位角，做好孔深校正、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。封孔质量不符合规程或设计要求时需返工重封。

6.5.5　钉入式半合管钻探

采用钉人式半合管钻探勘查风化壳矿床时，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。

6.6　化学样品的采集、加工和测试

6.6.1　要求

采样和加工质量按《金属非金属矿产地质普查勘探采样规定及方法》执行。

6.6.2　基本分析样品采集

6.6.2.1　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 1 m～2 m，以不大于矿体可采厚度为宜。

6.6.2.2　坑探、槽探、井探等工程取样：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、矿化均匀程度而定。一般刻槽样断面规格 10 cm× 5 cm，样长 1 m～2 m；矿体厚度大、矿石结构构造简单、组成矿石的矿物粒度细小、矿化均匀的矿床，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，选用大规格刻槽法、密集刻线法、剥层法、全巷法。其规格需视矿物晶体颗粒大小而定，但必须有全巷法验证对比资料，并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，须获得手选矿物品位。由于采样不可避免地产生过粉碎现象。因此，必须经过试验，求得过粉碎系数，对手选矿物品位进行校正。

6.6.2.3　岩矿心取样：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，样长一般 1 m～2 m。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要分别取样。

6.6.3　光谱全分析样品采取

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。

6.6.4　矿石化学全分析样品采样

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作 1～2 个。

6.6.5 组合分析样品采取

目的是系统了解矿石中伴生有用、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。在矿体的不同部位，从同一探矿工程的基本分析副样中连续提取，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 100 g ～ 200 g。根据矿石全分析资料并结合矿床地质特点，选择有实际意义的伴生组分（有益的或有害的）确定组合分析项目。

6.6.6 样品加工

6.6.6.1 目前可采用两种方法加工样品。总的要求在样品加工全过程中总损失率≤5%，样品缩分误差≤3%。钻孔矿心样品，各次缩分所剩部分，按矿体和不同矿石类型全部保留，以备它用。

6.6.6.2 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 0.1～0.3 对伟晶岩型矿床可采用 0.3 至更大，对于花岗岩型矿床可采用 0.2。

6.6.6.3 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）。采用此法加工要求对样品缩分均匀性要进行试验，要求严格按照确定的加工方法和操作规程。

6.6.6.4 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 300 g，副样保存最小质量 200 g～400 g。

6.6.7 样品分析

6.6.7.1 矿床所取的基本分析样品，要求提交金属氧化物品位（%）。其中工业矿物具有手选价值的矿床，要求提交手选的矿物品位（g / t 或 kg / t）后，还要求提交手选后尾矿的氧化物品位。采用重选方法回收矿物的原生矿床、风化壳矿床，为了解不同工业重矿物的含量及空间分布规律，做适量人工重砂分析检查化学分析结果，一般人工重砂样品的数目是基本分析的 5%～15%。提交目的工业矿物重砂品位， 用 g / t 表示。

6.6.7.2 样品分析项目：一般铌、钽矿床对应的分析项目为 Nb_2O_5、Ta_2O_5；铍矿床对应的分析项目为 BeO；锂、铷、铯矿床分析 Li_2O、Rb_2O、Cs_2O；锆、铪矿床分析 ZrO_2、H_2O：。当其他有用组分达到工业要求时，也应列入基本分析项目。

6.6.7.3 化学分析质量检查：由地质人员抽取基本分析样品，总数 l0%的样品按不同品位等级编密码，分期分批次进行内检，5%样品进行外检。矿区样品数≥2 000 个时,内检样品数可减少到 5%～10%，外检样品可减少到 3%。当样品少时，内检样品不少于 50 个，外检样品不少于 30 个。当分析质量不稳定时，可酌情增加检查样品比例。内外检分析合格率一般要求≥90%。新方法分析初期，样品合格率要求≥70%。化学分析允许误差标准执行中华人民共和国行业标准（DZ 0130.130・13—94）《地质矿产实验室测试质量管理规范》。规范给出的矿石分析允许相对双差计算公式：

$$y=\begin{cases} C\times 20\,x^{-0.60} & x \geqslant 3.08\% \\ C\times 20\,x^{-0.182} & x < 3.08\% \end{cases}$$

式中：

y——计算相对双差值（%）；

c ——修正系数：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 0.67、HfO_2 0.67；

x——测定结果值（%）。

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。

6.6.7.4　系统误差处理：发现系统误差，即累计 30 个检查样品中，有 75%的分析结果偏高或偏低，必须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　重砂样品采集与分析检查

6.7.1　人工重砂样品采集与分析

在预查、普查阶段，人工重砂可对部分稀有金属矿石的工业价值快速评估。采用重选方法回收矿物的原生矿床、风化壳矿床，以了解不同工业矿物的含量及空间分布规律，要求采集适量的人工重砂样品，以检查化学分析结果；人工重砂样品在矿体的不同空间部位，分块段、矿石自然类型，在槽、井、坑探工程中采取。采样方法一般为刻槽法或剥层法，也可用拣块法，样品质量一般 20 kg～30 kg。样品数量为矿区化学基本分析样品总数 5%～15%。人工重砂分析提交目的工业矿物重砂品位，用 g / t 表示。

6.7.2　人工重砂分析检查

内检样品数应占基本分析的 5%～10%，合格率必须达 90%；外检样品数占基本分析的 3%～5%，合格率≥75%。如果质量不稳定，可适当增加检查比例。小于边界品位的样品一般不送外检，大于最低工业品位的样品，要求分析误差<30%。

6.7.3　自然重砂分析质量检查

对风化壳矿床勘查，当采用重砂样品做基本分析计算储量时，应对重砂分析品位进行质量检查，其内检样品数应占基本分析样品数的 5%～10%，合格率必须≥90%；外检样品应在内检合格样品挑选，其数量应占基本分析样品数 3%～5%，合格率要求≥80%，其允许误差见表 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

野外砂矿样品淘洗流程须经试验研究确定，对尾砂还必须做检查淘洗，其数目占样品的 5%～10%。尾砂淘洗获得的目的重矿物量不得大于原样相应重矿物量的 5%，样品合格率要求≥90%。

6.8　矿石物质组分研究样品的采集、加工、化验

6.8.1　样品采取

物质组分研究主要目的，是查明稀有矿物种类、矿物含量、赋存状态、嵌布粒度等，为选矿试验提供依据。其样品的采取，应按不同矿石类型（或品级）分别采取，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。

6.8.2　样品加工

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（或重选），分别计算各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。

6.8.3　单矿物分析

要求对各种稀有金属单矿物及主要造岩矿物，分别精选提纯进行化学分析，了解稀有金属组分在各种矿物中的占有率和分散率。

6.9 矿石选（冶）试验样品的采集试验

6.9.1 样品采集

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，经矿产勘查投资人批准后实施。矿石加工技术条件试验研究程度由矿产勘查投资人决定。

6.9.2 样品要求

样品采取要考虑矿石类型、品级、组构特征和空间分布的代表性，能分采的应分类型采集，否则可采混合样。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，还要考虑开采时的矿石贫化。当矿石中有共、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。样品采集和加工选（冶）试验的各环节质量，必须符合《金属非金属矿产地质普查勘探采样规定及方法》等相关技术规程规范的要求。

6.9.3 精矿产品质量要求

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，参考附录 H（资料性附录）。

6.10 岩石、矿石物理技术性能测试样品的采集与试验

6.10.1 试验项目一般包括

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。样品采集和测试在详查和勘探阶段进行，采样方法、数量、质量按《金属非金属矿产地质普查勘探采样规定及方法》执行。

6.10.2 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）时要测定它的主元素品位，湿度和孔隙度（风化壳矿石）。

6.10.3 岩矿石物理力学样

岩、矿石（土）物理力学样重点放在矿体的上下盘。采样要有代表性，能反映出各种岩矿石（土）的主要特征。

6.11 原始资料编录、综合整理和报告编写等

6.11.1 资料编录、整理要求

矿产勘查各阶段，原始编录必须在现场认真及时进行，客观、准确、真实、齐全反映第一性地质情况。各项原始编录资料应及时进行质量检查验收和综合整理，各工作项目结束后及时提交图件，要求原始资料与综合资料清晰、文字简练、文图相符。工作质量按 DZ／T 0078—93《固体矿产勘查原始地质编录规定》和 DZ／T 0079—93《固体矿产勘查地质资料综合整理、综合研究规定》执行。

6.11.2 报告编写要求

每一勘查阶段工作结束，一般应编写相应阶段的地质勘查报告。投资人或上级主管部门确定各阶段连续工作，中间不单独编写报告的，应在该勘查项目结束时以全部勘查资料编

写报告。因项目中途撤销而停止地质勘查工作的，应在已取得资料的基础上编写地质勘查报告。

6.11.3 验收

地质勘查野外工作结束前，应按照本规范标准和勘查设计的要求，由勘查投资人或上级主管部门组织，对勘查区的工作程度和第一性资料的质量进行野外检查验收。检查验收中发现的重大问题，应责成勘查单位在报告编写前解决。地质勘查工作未经野外验收不应进行报告编写。

6.11.4 编写提纲

在地质勘查报告编写前，编写责任人应结合稀有金属矿种的特点和勘查工作实际情况以及勘查投资人或上级主管部门、矿山设计单位的具体要求，按照 DZ / T 0033—2002《固体矿产勘查 / 矿山闭坑地质报告编写规范》附录 A 及附录 B 的提纲为基础，拟定切合实际的编写提纲，报送勘查投资人或上级主管部门批准后，编写责任人应根据批准的报告编写提纲制定工作计划，组织编写。

6.11.5 报告的提交

地质勘查报告经勘查投资人或上级主管部门初审后，按照政府有关矿产资源储量评审认定的规定送审。编写责任人按照评审中提出的修改意见组织对报告的修改。复制后的报告，按政府有关地质资料汇交的规定进行汇交。

6.11.6 原始资料的处理

勘查工作中形成的原始资料，由编写责任人组织，按照有关技术标准的要求立卷归档。

7 可行性评价

7.1 可行性评价工作

在矿产勘查工作的普查、详查和勘探三个阶段都需相应进行可行性评价，按研究程度分为概略研究、预可行性研究和可行性研究。

7.2 概略研究

对矿床开发经济意义的概略评价。通常是在收集分析该矿产资源国内、外市场供需状况的基础上，分析已取得的地质资料，类比已知矿床，结合矿区的自然经济条件、环境保护等，以我国类似企业经验的技术经济指标或扩大指标对矿床做出技术经济评价。从而为矿床进一步勘查或开发、为制定长远规划决策提供依据。概略研究可采用总利润、投资利润率、投资回收期等经济评价指标，对矿床进行静态的经济评价。

7.3 预可行性研究

对矿床开发经济意义的初步评价。通常需要有详查或勘探后采用工业指标估算探明的或控制的矿产资源 / 储量、实验室的加工选（冶）试验资料，以及通过价目表或类似矿山开采对比所获数据估算的成本；需要比较系统地对国内、外该矿种的资源 / 储量、生产、消费进行调查和初步分析；并对国内、外市场的需求量、产品品种、质量要求和价格趋势做出初步预测。根据矿床规模和矿床地质特征以及矿区地形地貌，借鉴类似企业的实践经验，初步研究并提出项目建设规模、产品种类、矿区总体建设轮廓和工艺技术的原则方案；参照类似企业，选择适合评价当时市场价格的技术经济指标，初步提出建设总投资，主要工程量和主要设备以及生产成本等。通过初步经济分析,圈定并估算不同的矿产资源 / 储量类型。

通过国内、外市场调查和预测，综合矿区资源条件、工艺技术、建设条件、环境保护以及项目建设的经济效益等各方面因素，从总体上、宏观上对项目建设的必要性、建设条件

的可行性以及经济效益的合理性做出评价，为是否进行勘探以及推荐项目和编制项目建议书提供依据。

预可行性研究的内容与可行性研究的内容相同，只是详细程度次之。投资估算的误差一般在 25%左右。一般采用内部收益率、净现值和动态的投资回收期等经济评价指标，进行动态经济分析。

7.4 可行性研究

对矿床开发经济意义的详细评价。通常依据勘探所获得的探明的资源／储量数及相应的加工选（冶）性能试验成果，其成本和设备报价所需各项参数是当时的市场价格，具有很强的时效性。首先对国内、国外该矿种的资源／储量、生产消费要认真调研、统计和分析；并对国内、国外市场的需求量、产品品种、价格、竞争能力进行分析研究和预测。对资源条件要认真进行分析研究，充分考虑地质、工程、环境、法律和政府经济政策各种因素的影响。对企业生产规模、开采方式、开拓方案、选（冶）工艺流程、产品方案、主要设备的选择、供水、供电、总体布局和环境保护等方面进行深入细致的调查研究，分析计算和多案比较，并依据评价当时的市场价格确定投资、生产经营成本、销售收入、利润和现金流人流出等，其工作深度都需要达到进行经济评价的要求，所采用的成本数据精度高，能满足投资有关各方面的审查、评价的需要。投资估算和初步设计概算的误差不得大于 10%,一般用内部收益率、净现值、动态的投资回收期等经济评价指标,进行动态的企业经济分析。其结果可以详细评价拟建项目的技术经济可靠性,圈定并估算不同的矿产资源／储量类型,从而得出拟建项目是否应该建设以及如何建设的基本认识。

通过可行性研究的论证和评价，为有关部门投资决策编制和下达设计任务书、确定工程项目建设计划等提供依据。

8 矿产资源／储量分类及类型条件

8.1 矿产资源／储量分类

8.1.1 分类

根据经济意义（E）、可行性研究评价阶段（F）和地质可靠程度（G）等三维要素，把矿产资源量分为储量、基础储量、资源量三大类 16 种类型（见附录 A）。

8.1.2 储量

是指基础储量中的经济可采部分。在预可行性研究、可行性研究或编制年度采掘计划当时，经过了对经济、开采、选冶、环境、法律、市场、社会和政府等因素的研究及相应修改，结果表明在当时是经济可采或已经开采的部分。用扣除了设计、采矿损失的可实际开采数量表述，依据地质可靠程度和可行性评价阶段不同，又可分为探明的可采储量（111）、预可采储量（121）及控制的预可采储量（122）3 个类型。

8.1.3 基础储量

是查明矿产资源的一部分，它能满足现行采矿和生产所需的指标要求（包括品位、质量、厚度、开采技术条件等），是经详查、勘探所获控制的、探明的并通过可行性研究、预可行性研究认为属于经济的、边际经济的部分，用未扣除设计、采矿损失的数量表述。可分为 3 个类型，探明的（可研）经济基础储量（111b）、探明的（预可研）经济基础储量（121b）、控制的经济基础储量（122b）。边际经济基础储量，其平均内部收益率介于本行业内部收益率与零之间那部分。也有 3 个类型，即探明的（可研）边际经济基础储量（2M11）、探明的（预可研）边际经济基础储量（2M21）、控制的边际经济基础储量（2M22）。

8.1.4 资源量

是指查明矿产资源的一部分和潜在矿产资源。包括经可行性研究或预可行性研究证实为次边际经济的矿产资源以及经过勘查而未进行可行性研究或预可行性研究的内蕴经济的矿产资源，以及经过预查后预测的矿产资源三部分：即内蕴经济资源量，次边际经济资源量和预测资源量。

内蕴经济的资源量。即自普查至勘探，地质可靠程度达到了推断的至探明的，但可行性评价工作只进行了概略研究，尚不清楚其真实的经济意义，统归为内蕴经济资源量，可细分为 3 个类型：探明的内蕴经济资源量（331）、控制的内蕴经济资源量（332）、推断的内蕴经济资源量（333）。

次边际经济的矿产资源量。即经过详查、勘探的成果，进行了预可行性、可行性研究后，其内部收益率呈负值，在当时开采是不经济的，只有在技术上有了很大的进步，产品能大幅度降低成本或大幅度提高价格※时，才能使其变为经济的那部分矿产资源。也分为 3 个类型：探明的（可研）次边际经济资源量（2S11）、探明的（预可研）次边际经济资源量（2S21）、控制的次边际经济资源量（2522）。

预测的矿产资源。即经过预查工作，根据已有资料分析、类比、估算的资源量（334）?，属潜在矿产资源。

8.2 矿产资源／储量类型条件

8.2.1 储量

8.2.1.1 可采储量（111）：探明的经济基础储量的可采部分。它是指在已按勘探阶段要求加密工程的地段，在三维空间上详细圈定了矿体，肯定了矿体的连续性，详细查明了矿床地质特征、矿石质量和开采技术条件，并有相应的矿石加工选（冶）试验成果，已进行了可行性研究，包括对开采、选冶、经济、市场、法律、环境、社会和政府因素的研究及相应修改，证实其在计算的当时开采是经济的。计算的可采储量及可行性评价结果，可信度高。

※原文为“降价”

8.2.1.2 预可采储量（121）：探明的经济基础储量的可采部分，它是指在已达到勘探阶段加密工程的地段，地质可靠程度、矿石质量和开采技术条件同（111）所述，并有相应的矿石加工选（冶）试验成果，但只进行预可行性研究，表明当时开采是经济的。计算的可采储量可信度高，可行性评价结果的可信度一般。

8.2.1.3 预可采储量（122）：控制的经济基础储量的可采部分。是指已达到详查阶段工作程度要求的地段，基本上圈定了矿体三维形态，能够较有把握地确定矿体连续性的地段，基本查明矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件，提供了矿石加工选（冶）性能条件试验的成果。对于工艺流程成熟的易选矿石，也可利用同类型矿产的试验成果。预可行性研究结果表明开采是经济的，计算的可采储量可信度较高，可行性评价结果的可信度一般。

8.2.2 基础储量

8.2.2.1 探明的（可研）经济基础储量（111b）：它所达到的勘查阶段、地质可靠程度、可行性评价阶段及经济意义的分类同（8.2.1.1）所述，与其惟一的差别在于本类型是采用未扣除设计，采矿损失的数量表述。

8.2.2.2 探明的（预可研）经济基础储量（121b）：它所达到的勘查阶段、地质可靠程度、可行性评价阶段及经济意义的分类同（8.2.1.2）所述，与其惟一的差别在于本类型是用未扣除设计，采矿损失的数量表述。

8.2.2.3 控制的经济基础储量（122b）：它所达到的勘查阶段、地质可靠程度、可行性评价阶段及经济意义的分类同（8.2.1.3）所述，与其惟一的差别在于本类型是用未扣除设计、开采损失的数量表述。

8.2.2.4　探明的（可研）边际经济基础储量（2M11）：是指达到勘探阶段工作程度要求的地段，详细查明了矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件，圈定了矿体三维形态，肯定了矿体的连续性，有相应的加工选（冶）试验成果。可行性研究结果表明，在确定当时，开采是不经济的，但接近盈亏边界，只有当技术、经济等条件改善后才可变成经济的。这部分基础储量可以覆盖全勘探区的，也可是勘探区中的一部分，在可采储量周围或其间分布，计算的基础储量和可行性评价结果的可信度高。

8.2.2.5　探明的（预可研）边际经济基础储量（2M21）：是指达到勘探阶段工作程度要求的地段，详细查明了矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件，圈定了矿体的三维形态，肯定了矿体的连续性，有相应的矿石加工选（冶）性能试验成果。预可行性研究结果表明，在确定当时，开采是不经济的，但接近盈亏边界，待将来技术经济条件改善后可变成经济的。其分布特征同（2M11），计算的基础储量的可信度高，可行性评价结果的可信度一般。

8.2.2.6　控制的边际经济基础储量（2M22）：是指在达到详查阶段工作程度的地段，基本查明了矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件，基本圈定了矿体的三维形态，预可行性研究结果表明，在确定当时，开采是不经济的，但接近盈亏边界，待将来技术经济条件改善后可变成经济的。其分布特征类似于（2M11），计算的基础储量可信度较高，可行性评价结果的可信度一般。

8.2.3　资源量

8.2.3.1　探明的（可研）次边际经济资源量（2S11）：是指在勘查工作程度已达到勘探阶段要求的地段，地质可靠程度为探明的，可行性研究结果表明，在确定当时，开采是不经济的，必须大幅度提高矿产品价格或大幅度降低成本后，才能变成经济的，计算的资源量和可行性评价结果的可信度高。

8.2.3.2　探明的（预可研）次边际经济资源量（2S21）：是指在勘查工作程度已达到勘探阶段要求的地段，地质可靠程度为探明的，预可行性研究结果表明，在确定当时，开采是不经济的，需要大幅度提高矿产品价格或大幅度降低成本后，才能变成经济的。计算的资源量可信度高，可行性评价结果的可信度一般。

8.2.3.3　控制的次边际经济资源量（2S22）：是指在勘查工作程度已达到详查阶段要求的地段，地质可靠程度为控制的，预可行性研究结果表明，在确定当时，开采是不经济的，需大幅度提高矿产品价格或大幅度降低成本后，才能变成经济的。计算资源量可信度较高，可行性评价结果的可信度一般。

8.2.3.4　探明的内蕴经济资源量（331）：是指勘查工作程度已达到勘探阶段要求的地段，地质可靠程度为探明的，但未做可行性研究或预可行性研究，仅作了概略研究，经济意义介于经济的一次边际经济的范围内，计算资源量可信度高，可行性评价结果可信度低。

8.2.3.5　控制的内蕴经济资源量（332）：是指在勘查工作程度已达到详查阶段要求的地段，地质可靠程度为控制的，可行性评价仅做了概略研究，经济意义介于经济的一次边际经济的范围内，计算资源量可信度较高，可行性评价可信度低。

8.2.3.6　推断的内蕴经济资源量（333）：是指在勘查工作程度只达到普查阶段要求的地段，地质可靠程度为推断的，资源量只根据有限的数据计算的，其可信度低。可行性评价仅做了概略研究，经济意义介于经济的一次边际经济的范围内，可行性评价可信度低。

8.2.3.7　预测的资源量〔（334）?〕：依据区域地质研究成果，航空、遥感、地球物理、地球化学等异常极少量工程资料，确定具有矿化潜力的地区，并和已知矿床类比而估计的资源量，属于潜在矿产资源，有无经济意义尚不确定。

9　矿产资源／储量估算

9.1　矿产资源／储量估算的工业指标

9.1.1 工业指标

工业指标是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。在矿产预查、普查、详查阶段，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G（资料性附录）。矿区勘探阶段，应通过预可行性和可行性研究，按当时市场对该矿种的销售价格及有关因素，通过多方案试算比较，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方案，征求投资人的意见，严格执行国家规定程序，上报上级矿产主管部门审批下达。

9.1.2 工业指标的项目与内容

9.1.2.1 边界品位：边界品位是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：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：最低米百分值等于最低工业品位与最低可采厚度的乘积。它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）必须剔除，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。并据此确定其相应的综合边界品位。

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 矿产资源／储量估算的一般原则

9.2.1 矿产资源／储量估算必须在充分综合研究矿床地质条件、控矿因素的基础上，严格按有关主管部门正式审批下达的工业指标正确圈定矿体进行估算。

9.2.2 参与矿产资源／储量估算的各项工程的质量，应符合有关规程、规范和规定的要求。

9.2.3 根据本标准确定的矿产资源／储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和储量类型，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和储量的估算结果。

9.2.4 凡按化学分析品位计算金属氧化物储量时，必须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；按重砂品位计算矿物储量时，必须求得淘洗系数，并在储量中校正。

9.2.5 达到工业指标要求（以审批下达的工业指标为准）的共生组分，应分别圈定矿体估算矿产资源／储量。

9.2.6　估算伴生矿产的矿产资源／储量时，不需要单独圈定矿体，而采用块段或矿体的矿石量并在此矿石量的范围内计算出的平均品位，估算矿体或矿床中伴生矿产的金属氧化物总量。

9.2.7　地质勘查报告中所估算的矿产资源量／储量是探获的实有储量或资源量，其中探明的储量是扣除了设计、开采损失的数量，探明的基础储量和资源量是未扣除设计、开采损失的数量。但在估算探获的储量和资源量时应扣除截止到勘查工作结束时所有采空区的储量和资源量。

9.2.8　对于达到手选工业指标的稀有金属矿物，要计算手选矿物品位和手选矿物储量，并应求得该矿种的金属氧化物总品位和总储量或总资源量。

9.2.9　矿产资源／储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，以检验所采用的矿产资源／储量估算方法的正确性。

9.2.10　运用地质统计学方法估算矿产资源／储量时，应按 DZ／T 0033—2002《固体矿产勘查／矿山闭坑地质报告编写规范》附录 B（规范性附录）关于“运用地质统计学方法估算储量的编写提纲”要求进行。

9.3　确定矿产资源／储量估算参数的要求

9.3.1　面积测定

块段面积的测定要求在（1∶500）～（1∶1 000）比例尺的矿产资源／储量计算图件上，采用几何图形法、方格法或求积仪法进行测定，每块段面积均应测定两次以上，并且测定的结果满足误差要求，然后取两次测定的平均值作为矿产资源／储量估算的块段面积。

9.3.2　平均品位计算

9.3.2.1　单工程平均品位计算：一般采用样长加权法求得，当取样长度基本相等，或样品品位变化均匀至较均匀，样品数量多时，可用算术平均法进行计算。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。

9.3.2.2　特高品位处理：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。当矿体品位变化大时取上限值，变化小时取下限值。处理特高品位前，首先对被视为特高品位的样品的副样进行第二次内检分析，当两次分析的结果在允许误差范围内确定为特高品位时。用第一次的结果作为处理特高品位值。处理的方法是，用特高品位参加其所影响到的块段或单工程平均品位计算，用计算出的块段或单工程（矿体厚度大时）平均品位，代替该样品品位，参与块段或单工程平均品位的正常计算。如果特高品位有规律分布，且可以圈出高品位带时，则将高品位带单独圈出，分别计算储量，不再进行特高品位处理。

9.3.2.3　块段平均品位计算：用地质块段法计估算矿产资源／储量时，块段平均品位，通常用单工程（或样品段）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（或样品段）厚度加权，再用面积进行加权求得块段平均品位。

9.3.3　平均厚度计算

一般用算术平均法求得，只有当矿体厚度变化大时，且工程分布不均匀时，才用单工程中矿体厚度与该工程上下或两侧影响的长度加权平均求得。

9.3.4　矿石体积质量（体重）

参与矿产资源／储量估算的体积质量（体重）、湿度等参数，必须以实际测定值为依据。各类型矿石体积质量（体重）差异大时，储量计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／储量估算，对风化壳矿石

应采取大体积质量（体重）计算，对伟晶岩型矿床凡结晶颗粒粗大时，须采大体积质量（体重）样，一般用小体积质量（体重）样。

9.3.5 参数获取困难时办法

预查、普查阶段估算矿产资源／储量时，可参照上述方法确定估算参数。在获取体积质量（体重）、湿度等参数有困难的情况下，可参照同类型矿石的数值进行。

9.4 矿产资源／储量分类结果表

根据矿体的勘查控制程度、地质可靠程度、可行性研究和预可行性研究结果，对勘查工作所获得矿产资源／储量进行分类、估算，并编制矿产资源／储量估算结果表。用以说明地质勘查工作所获得的矿产资源／储量数量，表的内容应包括矿石量，平均品位，金属氧化物量以及地质可靠程度和经济意义，并标明储量的编码。

附 录 A
（规范性附录）
固体矿产资源 / 储量分类

表 A.1 固体矿产资源 / 储量分类表

<table>
<tr><td rowspan="3">经济意义</td><td colspan="4">地质可靠程度</td></tr>
<tr><td colspan="3">查明矿产资源</td><td>潜在矿产资源</td></tr>
<tr><td>探明的</td><td>控制的</td><td>推断的</td><td>预测的</td></tr>
<tr><td rowspan="4">经济的</td><td>可采储量（111）</td><td rowspan="2" colspan="2"></td><td rowspan="8"></td></tr>
<tr><td>基础储量（111b）</td></tr>
<tr><td>预可采储量（121）</td><td>预可采储量（122）</td><td rowspan="4" colspan="2"></td></tr>
<tr><td>基础储量（121b）</td><td>基础储量（122b）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">边际经济的</td><td>基础储量（2M11）</td><td></td></tr>
<tr><td>基础储量（2M21）</td><td>基础储量（2M22）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">次边际经济的</td><td>资源量（2S11）</td><td></td></tr>
<tr><td>资源量（2S21）</td><td>资源量（2S22）</td></tr>
<tr><td>内蕴经济的</td><td>资源量（331）</td><td>资源量（332）</td><td>资源量（333）</td><td>资源量（334）？</td></tr>
<tr><td colspan="5">注：表中所用编码（111～334），第 1 位数表示经济意义，即 1＝经济的，2M＝边际经济的，2S＝次边际经济的，3＝内蕴经济的，?＝经济意义未定的；第 2 位数表示可行性评价阶段，即 1＝可行性研究，2＝预可行性研究，3＝概略研究；第 3 位数表示地质可靠程度，即 1＝探明的，2＝控制的，3＝推断的，4＝预测的，b＝未扣除设计、采矿损失的可采储量。</td></tr>
</table>

附 录 B
资料性附录
稀有金属矿产资源/储量规模划分

表 B.1 稀有金属矿产资源/储量规模划分表

序号	矿种名称	矿 物	规 模		
			大 型	中 型	小 型
1	铌				
	（原生矿）	Nb_2O_9 万 t	≥10	1～10	<1
	风化壳矿床	矿物 t	≥2000	500～2 000	<500
2	钽				
	（原生矿）	Ta_2O_5 t	≥1 000	500～1 000	<500
	风化壳矿床	矿物 t	≥500	100～500	<100
3	铍	BeO t	≥10 000	2 000～10 000	<2 000
4	锂（矿物锂矿）	Li_20 万 t	≥10	1～10	<1
5	铷	Rb_20 t	≥2 000	500～2 000	<500
6	铯	Cs_20 t	≥2 000	500～2 000	<500
7	锆（锆英石）	矿物 万 t	≥20	5～20	<5
8	铪	$Hf0_2$ t	≥500	100～500	<100

附 录 C
（资料性附录）
稀有金属性质、用途及主要矿物

C.1 稀有金属性质、用途

C.1.1 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° C。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 ^6Li 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。

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。

在石油工业、电器电子工业，也有广泛的用途。还可制作润滑剂、锂电池、玻璃、陶瓷、烟火和炸药等。

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 ^6Li 与 ^7Li。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。

C.1.2 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。

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。

C.1.3 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。

1）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。

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。

C.1.4 铍的性质和用途

铍原子序数 4，原子密度（1.85g / cm^3），熔点（1278 土 5）° C，沸点 2 970° C，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。

C.1.5 铌、钽的性质和用途

铌（Nb）又名珂（Cb），铌是银白色，原子序数 41，原子密度 8.57 g / cm^3，沸点 4927 ℃，熔点（2468 土 10）℃。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。

C.1.6 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 3578℃。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。

C.1.7 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 2150℃，沸点 5400℃。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。

C.2 稀有金属主要矿物

稀有金属主要矿物见表 C.1。

表 C.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	$A1TaO_4$	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	$(Na,K)_6(Ta, Nb, A1)_{22}(O, OH)_{60}$	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	$(Y, U, Fe)_2(Nb, Ti, Fe)_2O_7$	51.35	3.27

表 C.1 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
	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
	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

表 C.1 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	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_2：47.60HfO_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 D
（资料性附录）
稀有金属矿床分类及主要工业类型

D.1 稀有金属矿床分类

D.1.1 碱性长石花岗岩型矿床

D.1.1.1 钠长石、锂云母花岗岩型钽、铌、锂、铷、铯矿床。

D.1.1.2 钠长石、铁锂云母花岗岩型钽、铌矿床。

D.1.1.3 钠长石、白云母花岗岩型钽、铌（钨、锡）矿床。

D.1.1.4 钠长石、锂白云母花岗岩型钽、铌-稀土矿床。

D.1.1.5 钠长石、黑鳞云母花岗岩型铌铁矿矿床。

D.1.2 碱性花岗岩型铌-稀土矿床

D.1.3 碱性岩—碳酸岩型铌-稀土矿床

D.1.4 伟晶岩型矿床

D.1.4.1 花岗伟晶岩型钽、铌、锂、铷、铯、铍矿床。

D.1.4.2 碱性伟晶岩型铌-钍、铀矿床。

D.1.5 气成热液型矿床

D.1.5.1 氟硼镁石-电气石-萤石组合类铍矿床（含铍条纹岩）。

D.1.5.2 矽卡岩型铍矿床。

D.1.5.3 云英岩型铍矿床。

D.1.5.4 石英脉型绿柱石、黑钨矿、锡石矿床。

D.1.6 火山岩型矿床

D.1.7 白云鄂博型铌-稀土矿床

D.1.8 风化壳型铌铁矿矿床

D.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 D.1

表 D.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，为富矿体； 3.中钠长石、锂云母花岗岩带，为工业矿体； 4.少钠长石、锂白云母花岗岩带，常为贫矿体； 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	矿床规模属特大型或大型 Ta_2O_5：0.0125～0.022 Nb_2O_5：0.009～0.011 Li_2O：1.114～1.844 Rb_2O：0.0179～0.299 Cs_2O：0.017～0.093 BeO：0.0423	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	中型规模、小型也有 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
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	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_3$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	锆、铪、钇、钍	江西会昌旱叫山、江西葛源灵山，广东博罗 525、524

表 D.1（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、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	大一巨大型铌、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_3：0.174～2.120	伴生：锆、钽、锶	庙垭
花岗伟晶岩型，钽、铌、锂、铷、铯、铍矿床	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： 4. 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	锆、铪、宝石、玉石、彩石	新疆阿勒泰，内蒙古大青山，湖北幕阜山，四川康定、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	钍、铀	新疆拜城，四川会理

表 D.1（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	规模大，品位富，BeO 0.062～0.6 矿物粒度小，选矿成本高	伴生有锡石	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	小型为主，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	中一小型规模：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 E
（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

E.1 勘查类型的确定

E.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就可以确定是何种勘查类型。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，所赋的类型系数值要大些，约占 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，也要大一些，约占 23.3%，形态约占 20%，厚度约占 16.7%，构造对矿体形状有影响与矿体规模有间接联系，所赋的数值要小些，约占 10%。

E.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 E.1。

表 E.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）～400	0.6～0.8	
（＞300）～500	（＞150）～250	0.3～0.5	
100～300	50～150	0.1～0.2	

E.1.3 矿体形态复杂程度划分三类：

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。

E.1.4 有用组分分布均匀程度：根据主元素品位变化系数划分为均匀、较均匀、不均匀三种：

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 E.2。

E.1.5　厚度稳定程度：根据厚度变化系数划分为稳定、较稳定、不稳定三种，各种不稳定程度的厚度变化系数及类型系数见表 E.3

表 E.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	

表 E.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

E.1.6　构造影响程度分为三种：

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。

E.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、江西会昌钠长石花岗岩风化壳钽铌矿床，白云鄂博型铌-稀土矿床；

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，构造对矿体的影响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，锂辉石—钠长石型花岗伟晶岩脉，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为 1.1～1.6，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，构造对矿体影响大或影响明显。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。

还有一些稀有金属矿床矿体规模小，形态很复杂，呈透镜状、脉状、巢状、网状，矿化不均匀至很不均匀。但具有一定的工业价值，可进行边采边探，不属于上述三种勘查类型。

E.2　勘查工程间距

稀有金属矿床勘查工程间距见表 E.4。

表 E.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的距离。

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　F
（资料性附录）
矿体圈定和矿产资源／储量估算方法说明

F.1　矿体的圈定和连接

F.1.1　圈定矿体时，应在单项工程中从等于或大于边界品位的样品圈定，将矿体中大于夹石剔除厚度的无矿样品作夹石剔除。当矿体厚度小于最小可采厚度时，但品位高，其品位与厚度乘积达到米百分值者，可圈定为矿体。

F.1.2　在圈定矿体时，如果矿体的边部（或上下部位）为厚大的且成片分布的低品位矿，其平均品位高于边界品位，但低于最低工业品位应单独圈定，并结合可行性或预可行研究评价，划为边际经济或次边际经济的资源／储量，不得以工程平均品位或块段平均品位代替的办法划入经济的资源／储量。

F.1.3　在确定边界的基础上，应根据勘查工程的控制程度，分别圈定探明的、控制的、推断的、预测的不同勘查程度的资源／储量，再结合可行性或预可行性研究结果，依据 GB／T 17766—1999《固体矿产资源／储量分类》标准，详细划分，并圈定出各类型的资源量和储量。

F.1.4　矿体连接应考虑两工程、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，两工程间矿体的连接一般应近于直线，只有掌握了矿体地质特征的情况下，可用自然趋势法连接，但圈定矿体的厚度，不能大于两工程的见矿厚度。

F.1.5　稀有金属矿床不同的岩相（或构造）带，常有不同的稀有金属矿化类型和矿化特征。因此，在连接矿体时应考虑其岩相（或构造）带的特征。

F.1.6　矿体外推，在有充分依据的情况下，可科学地确定外推长度。当无规律可循时，按网度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大于边界品位而且厚度大于工程间距的二分之一矿化时，可作三分之二尖推或三分之一平推。采用米•克／吨值圈定矿体时，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，最大外推距离不得超过勘探网度的工程间距。

F.2　块段的划分原则

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。

对品位变化均匀或较均匀的矿床，圈定矿块的每一个单项工程的平均品位必须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，在矿块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。

F.3　矿产资源／储量估算方法

F.3.1　传统的矿产资源／储量估算方法选择，主要依据矿体地质特征、勘查工程布置方式和勘查手段确定，常用的方法有垂直剖面法、水平断面法、地质块段法。

F.3.1.1　垂直剖面法：一般按勘查网度布置工程，并以钻孔为主圈定的厚大矿体，常采用垂直剖面法估算矿产资源／储量。它是在矿产资源／储量估算的勘探线剖面上进行，在两条勘探线间，按矿体、矿石类型和矿产资源／储量类型及地质上的对应关系等因素来划分矿产资源／储量估算块段，其特点是能较好的反映出矿床的地质特征，矿体在三维地质空间上沿走向及倾向的变化规律。

F.3.1.2　水平断面法：一般按一定的工程间距布置勘查工程，并且以水平坑道为主（或有一定的水平钻孔）圈定的厚大矿体，常用水平断面法进行矿产资源／储量估算。

F.3.1.3　地质块段法：当勘探工程布置不均匀，或用垂直剖面法不能正确的反映剖面间矿体的体积变化时，或者是厚度、品位变化不大的层状或脉状矿体，一般用地质块段法。

F.3.2　地质统计学估算矿产资源／储量的方法

随着电子计算机的广泛应用，要求尽可能推广使用地质统计学方法估算矿产资源／储量，全方位实现矿产资源／储量计算微机处理。

常用的地质统计学估算矿产资源／储量的方法有克里格法、距离反比法、SD 法等，用计算储量的计算机软件，必须是国家资源储量管理部门指定的，或是工业部门长期应用的，经过实践，证明是可行的软件。目前工业部门用得较多的软件有：DATAMINE、VOL、CAN、MINTIC 等。凡运用地质统计学方法估算矿产资源／储量的矿区，必须按 DZ／T 0033—2002《固体矿产勘查／矿山闭坑地质报告编写规范》的附录 B，编写地质统计学估算资源／储量报告，作为矿产地质勘查报告的有关章节。

附 录 G
（资料性附录）
稀有金属矿床参考性工业指标 2）

表 G.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 质量分数 %	手选绿柱石质量分数 %	机选 BeO 质量分数 %	手选绿柱石质量分数 %		
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
残坡积类砂矿床		0.6 kg / m^3		2～2.5kg / m^3	1.0	

表 G.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 质量分数 %	手选锂辉石质量分数 %	机选 Li_2O 质量分数 %	手选锂辉石质量分数 %		
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

表 G.3 伴生铯铷综合回收参考性工业指标

金属种类	矿 床 类 型	边界品位	最低工业品位	
		机选氧化物质量分数 %	机选氧化物质量分数 %	手选铯榴石质量分数 %
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		0.05～0.06	
铷	含锂云母的碱性长石花岗岩类与花岗伟晶岩类矿床	0.04～0.06	0.1～0.2	

表 G.4 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 %	锆英石 kg·m^{-3}	ZrO_2 %	锆英石 kg·m^{-3}		
滨海类砂矿床	0.04～0.06	1～1.5	0.16～0.24	4～6	0.5	
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

2） 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。

表 G.5　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_2		
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
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
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%～0.012%		5.0	≥5
河流类砂矿床（铌铁矿或褐钇铌矿）		0.004%～0.006 %	重砂品位 40 g / m^3	0.01%～0.012%	重砂品位 250 g / m^3	0.5	≥2

表 G.6　伴生铍锂钽铌综合回收参考性工业指标

矿　床　类　型	铍	锂	铌　　钽	
	BeO 质量分数%	Li_2O 质量分数 %	（Ta，Nb）$_2O_5$质量分数 % $\frac{Ta_2O_5质量分数}{Nb_2O_5质量分数}>0.4$	或 Ta_2O_5质量分数 %
花岗伟晶岩类矿床与气成—热液矿床	≥0.04	≥0.2	≥0.007～0.01	≥0.003
碱性长石花岗岩类矿床	≥0.04～0.06	≥0.3	≥0.01～0.015	≥0.005

附 录 H
（资料性附录）
各种稀有金属精矿质量指标

H.1 铍精矿

表 H. 1 绿柱石精矿质量标准（YB 746—75）

精矿种类	等 级	BeO 质量分数 %	杂质质量分数 %		
			Fe_2O_3	Li_2O	F
浮选精矿	1	≥10	≤2	≤1.2	≤0.5
	2	≥8	≤3	≤1.5	≤1.0
	3	≥8	≤4	≤1.8	≤1.0
手选精矿	1	≥10	≤4	≤1.5	≤0.5
	2	≥8	≤5	≤1.8	≤1.5

H.2 锂精矿

表 H. 2 锂辉石精矿质量标准（YB 836—75）

等 级	Li_2O 质量分数 %	杂质质量分数%			
		Fe_2O_3	MnO	P_2O_5	K_2O+Na_2O
1	≥6	≤3	≤0.5	≤0.5	≤3
2	≥5	≤3	≤0.5	≤0.5	≤3
3	≥4	≤4	≤0.6	≤0.6	≤4
4	≥3.5	≤4.5	≤1.0	≤1.0	≤4

表 H.3 锂云母精矿质量标准（GB 3201—82）

品 级	主成分质量分数（不小于） %				
	$Li_2O+Rb_2O+Cs_2O$				Li_2O
特级品	6				4.7
一级品	5				4.0
玻璃、陶瓷用					
品 级	主成分质量分数（不小于） %			杂质质量分数（不大于） %	
	Li_2O 十 Rb_2O+Cs_2O	Li_2O	K_2O+Na_2O	Fe_2O_3	Al_2O_3
一级品	5	4	8	0.4	26
二级品	4	3	7	0.5	28
三级品	3	2	6	0.6	28

表 H.4 低铁锂辉石精矿质量标准

晶　　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

H.3　铯精矿

铯榴石精矿质量标准：Cs_2O 质量分数≥20%

H.4　铌钽精矿

表 H. 5　中国钽铌精矿质量标准

等级	类型	精矿名称	$(NbTa)_2O_5$质量分数（不小于）%	Ta_2O_5质量分数（不小于）%	杂质质量分数（不大于） %			
					TiO_2	SiO_2	WO_3	P
一等品	一级 二级 三级	钽铌精矿 钽铌精矿 钽铌精矿	60 55 55	40 38 35	5	7	3	
	一级 二级 三级	钽铌精矿 钽铌精矿 钽铌精矿	50 45 45	32 29 26	6	11	3.5	
三等品		钽铌精矿	40	22	7	15	4	
一等品 二等品		褐钇铌钽精矿 褐钇铌钽精矿	35 30		4 5	4 6		0.5 0.5
注：该标准是 1987 年修改 YB 831-75 标准而成的。								

H.5　锆铪精矿

表 H.6　锆英石精矿质量标准（YB 834—75）

等　　级		（ZrHf）O_2 质量分数 %	杂质质量分数　%		
		TiO_2	P_2O_5	Fe_2O_3	
一级品	一类	≥65	≤0.5	≤0.15	≤0.30
	二类	≥65	≤1.0	≤0.30	≤0.30
二级品		≥63	≤2.0	≤0.50	≤0.70
三级品		≥60	≤3.0	≤0.80	≤1.00

H.6　各种稀有金属精矿质量标准说明

H.6.1　若稀有金属矿质量不符合标准，属于下列情况之一者，须由供需双方商定：

a)　铍精矿中的 BeO 质量分数＜8%者；

b)　锂精矿中 LiO 品位达不到标准，但其中 Li_2O+Rb_2O+Cs_2O 品位达到标准规定的 Li_2O 品位标准者；

c) 钽铌精矿中（NbTa）$_2O_5$质量分数＜30％，或其中的杂质含量超过标准者；

d） 锆英石精矿中（Zr、Hf）O_2质量分数＜60％者；

e） 锆英石精矿中的 HfO：质量分数＜2％者。

H.6.2 若需方采用硫酸法生产 BeO，则要求铍精矿中的 Ca 质量分数＜0.5％。

H.6.3 若需方采用碱熔融法生产 BeO，则精矿中的 Ca 含量不受限制。

H.6.4 若需方采用硅氟酸钠生产 BeO，则铍精矿中的 F 含量不受限制。

H.6.5 若钽铌精矿或锆铪精矿中含 U_3O_5 与 ThO_2，应进行化学分析。

H.6.6 用于铸造型砂的锆英石精矿中的放射性物质含量按国家标准 GBT—8—74 放射性防护有关规定执行

H.6.7 用于红外炉的锆英石精矿应提出放射性元素含量资料。

附 录 I
（资料性附录）
花岗伟晶岩中宝石、玉石的质量要求参考指标

表 I.1 花岗伟晶岩中宝石、玉石的质量要求参考指标

类别	宝石名称 （矿物名称）	最小尺寸 mm×mm×mm	高质量标志	低品级 （有少量缺点）	备　　注
宝石	祖母绿（祖母绿）	2×2×2	深绿色透明度高，＞20 mm	色浅,有小裂纹及少量矿物包裹体，半透明	
	海蓝宝石（海蓝宝石）	4×4×4	较深的天蓝色,透明,裂纹极少，＞20 mm	浅色，蓝绿色，有少量裂纹及包裹体,透明至半透明	最小尺寸以能切磨成一个戒指面为准
	红色绿宝石（绿柱石）	4×4×4	深玫瑰色,透明度高,裂纹极少，＞20 mm	浅红色,有少量裂纹及包裹体，半透明	
	金色绿宝石（绿柱石）	4×4×4	金黄色，透明度高,裂纹极少，＞20 mm	浅黄色，黄绿色，有少量裂纹及矿物包裹体,半透明	
	绿色绿宝石（绿柱石）	4×4×4	鲜绿色，透明度高。裂纹极少，＞20 mm	浅绿色，黄绿色，有少量裂纹及矿物包裹体,半透明	绿色由铬所引起
	纯绿宝石（绿柱石）	4×4×4	无色透明，裂纹和矿物包裹体极少，＞20 mm	很浅的蓝色，绿色，有少量裂纹及矿物包裹体，半透明	
	猫眼海蓝宝石（绿柱石）	4×4×4	天蓝色，半透明，裂纹极少，＞20 mm	浅蓝色,有少量裂纹及矿物包裹体	
	金绿猫眼石（金绿宝石）	3×3×3	黄绿色，密黄色，裂纹和矿物包裹体极少，半透明，＞10 mm	颜色带褐，杂质增多,有少量裂纹，质量在5克拉以下	
	翠绿宝石（变石）	3×3×3	翠绿色，蓝绿色，裂纹极少，变色显著＞10 mm	浅绿色,有少量裂纹及矿物包裹体，质量在5克拉以下	
	酒黄宝石（黄玉）	6×6×5	三色，玫瑰色，酒黄色，裂纹极少，＞15 mm× 5 mm× 12mm	色浅或无色,有少量裂纹	
	红碧玺（红色电气石）	4×4×4	双桃红色，裂纹少,透明，＞20 mm	浅红色，裂纹较多，透明度稍差	
	绿碧玺（绿色电气石）	4×4×4	碧绿色，裂纹少，透明，＞20 mm	浅绿色，裂纹较多，半透明	