



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 25283—2010

---

## 矿产资源综合勘查评价规范

Specification for comprehensive exploration and evaluation  
of mineral resources

2010-11-10 发布

2011-02-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 综合勘查评价的目的和任务 .....	2
4.1 预查阶段 .....	2
4.2 普查阶段 .....	2
4.3 详查阶段 .....	2
4.4 勘探阶段 .....	3
4.5 矿山地质工作阶段 .....	3
5 综合勘查评价基本原则及工作要求 .....	3
5.1 共伴生矿产综合勘查评价的基本原则 .....	3
5.2 共生矿产勘查的工作要求 .....	3
5.3 测试 .....	3
5.4 共伴生矿产综合评价研究 .....	4
6 矿产资源储量估算与分类 .....	5
6.1 共伴生矿产资源储量估算原则与方法 .....	5
6.2 伴生矿产品位的确定 .....	6
6.3 综合工业品位的制定 .....	6
6.4 共伴生矿产资源储量类型的确定 .....	6
6.5 低品位矿产资源储量类型的确定 .....	7
附录 A (资料性附录) 共伴生矿石矿产 .....	8
附录 B (资料性附录) 共伴生矿物矿产 .....	9
附录 C (资料性附录) 共伴生元素矿产及其他 .....	11
附录 D (资料性附录) 我国部分矿种各主要矿床类型共伴生矿产 .....	15
附录 E (资料性附录) 伴生组分资源储量估算方法 .....	19
附录 F (资料性附录) 铀矿床伴生组分综合评价 .....	22
附录 G (资料性附录) 铁锰铬矿床伴生组分综合评价 .....	23
附录 H (资料性附录) 钨、锡、汞、锑矿床伴生组分综合评价 .....	25
附录 I (资料性附录) 铝土矿、冶镁菱镁矿床伴生组分综合评价 .....	27
附录 J (资料性附录) 稀有金属矿产伴生组分综合评价 .....	28
附录 K (资料性附录) 岩金矿床伴生组分综合评价 .....	29
附录 L (资料性附录) 铜铅锌银镍钴钼矿床伴生组分综合评价 .....	30
附录 M (资料性附录) 硫铁矿磷矿床伴生组分综合评价 .....	32
附录 N (资料性附录) 盐类盐湖矿床地热水伴生组分综合评价 .....	33
附录 O (资料性附录) 煤的勘查中对煤层气及其他有益矿产的勘查评价 .....	35

附录 P (资料性附录) 伴生组分综合评价最低品位参考指标汇总表 ..... 36

附录 Q (资料性附录) 伴生组分综合评价品位计算公式 ..... 38

附录 R (资料性附录) 共伴生矿产综合经济评价计算方法 ..... 40

参考文献 ..... 42

## 前 言

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H、附录 I、附录 J、附录 K、附录 L、附录 M、附录 N、附录 O、附录 P、附录 Q、附录 R 均为资料性附录。

本标准由中华人民共和国国土资源部提出。

本标准由全国国土资源标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本标准起草单位：国土资源部地质勘查司、矿产资源储量司、矿产资源储量评审中心、中国地质调查局、国土资源标准化研究中心、中国冶金地质总局、有色金属矿产地地质调查中心、中国煤炭地质总局、中国人民武装警察部队黄金指挥部、中化地质矿山总局、中国建筑材料工业地质勘查中心、核工业地质局、中国石油勘探与生产公司。

本标准起草人：杨强、邓善德、袁琦、唐正国、邵厥年、徐金芳、雍卫华、万会、白冶、余中平、熊军、王炳铨、杨兵、张子光、苗建华、张金带、程永才。

## 引 言

本标准是根据《中华人民共和国矿产资源法》第二十四条、第二十五条等条款,依据 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》,参照 DZ/T 0199—2002《铀矿地质勘查规范》等 18 个矿种(类)规范,以及相关法律、法规、规范编制。

# 矿产资源综合勘查评价规范

## 1 范围

本标准规定了矿产资源勘查各阶段和矿山地质工作中,综合勘查评价的目的和任务、基本原则及工作要求、共生伴生矿产资源储量类型的确定和估算等。

本标准适用于矿产资源勘查各阶段和矿山地质工作的综合勘查评价,可作为评审、验收矿产资源勘查成果,估算、核实、评价共生伴生矿产资源储量,以及矿产资源勘查开发监督的技术依据之一。

## 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 固体矿产资源/储量分类

DZ/T 0130(所有部分) 地质矿产实验室测试质量管理规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**综合勘查** comprehensive exploration

按照主矿产地质勘查规范要求勘查某种主矿产的同时,根据本规范及相关规定,对共生伴生(以下简称共伴生)矿产进行的勘查工作(参见附录 A、附录 B、附录 C)。

### 3.2

**综合评价** comprehensive evaluation

在对主矿产进行勘查评价的同时,对共伴生矿产的赋存形式、分布规律、品位指标、可利用性、经济意义、矿产资源储量估算等进行研究评价,为综合开发和综合利用提供依据。

### 3.3

**共生矿产** coexisting minerals

同一矿床或矿区内,存在两种或两种以上有用组分(矿石、矿物、元素,下同),分别达到工业品位,或虽未达到工业品位,但已达到边界品位以上,经论证后可以制定综合工业指标的一组矿产,即为共生矿产。

其中经济社会价值较高或资源储量规模较大的矿产可确定为主矿产,其他则为共生矿产。共生矿产又分为同体共生矿产和异体共生矿产。

### 3.4

**同体共生矿产** multi-mineral orebody

同一矿体中,在其三维方向上赋存有或衍变为两种及两种以上有用组分,分别达到工业品位,或虽未达到工业品位,但已达到边界品位以上,经论证后可以制定综合工业指标的矿产。

### 3.5

**异体共生矿产** coexisting mineral in different orebody

同一矿床或矿区内,在不同的空间部位、矿段、区段,赋存有另一种或多种有用组分达到工业品位,或虽未达到工业品位但已达到边界品位以上,经论证后可以制定综合工业指标,并可分别单独圈出矿体的矿产。

### 3.6

#### 伴生矿产 associated minerals

在主矿产矿体中赋存的未达到工业品位但已达到综合评价参考指标,或虽未达到综合评价参考指标,但可在加工选冶过程中单独出产品或可在主矿产的精矿及某一产品中富集且达到计价标准,通过开采主矿产可综合回收利用的其他有用组分矿产。

### 3.7

#### 边界品位 cutoff grade (boundary tenor)

矿体圈定时对单个矿样中有用组分含量的最低要求,以作为区分矿石与围岩的一个最低界限。

### 3.8

#### 工业品位 industrial grade

圈定矿体、估算矿产资源储量的一项指标。一般是指在当前的技术经济条件下可利用的、按单个工程(或块段)计算的有用组分含量的最低要求。

### 3.9

#### 低品位矿 low-grade mineral

介于边界品位与工业品位之间、在当前技术经济条件下不具开采价值的矿产。

### 3.10

#### 综合工业品位 comprehensive industrial grade

在同一矿床或矿体中存在两种或两种以上达不到工业品位一般要求的有用组分、但多种组分综合回收在技术经济上可行,或虽然有的组分达到工业品位一般要求、但因不同组分不均匀交互变化不宜分采分选,或多种组分综合回收后可降低工业品位要求的,经论证后综合确定的各有用组分的最低工业品位要求,或按等价原则折算为某一主组分的最低工业品位要求。

按相同原则,可同时制定相应的综合边界品位。

### 3.11

#### 工业指标 industrial index

又称矿产工业要求。是通过技术经济论证提出的用于矿床勘查、圈定矿体、划分矿石类型、品级、估算矿产资源储量的技术标准或要求。主要包括矿石质量及开采技术条件方面的要求,如边界品位、工业品位、可采厚度、夹石剔除厚度、边坡角、剥采比以及某些矿产的矿石、矿物的物理技术性能等。

## 4 综合勘查评价的目的和任务

通过各勘查阶段及矿山地质工作中的矿产资源综合勘查评价工作,研究有用组分在矿床中的赋存状态、分布规律及可利用性,为资源评价、矿山建设设计、矿山生产提供矿产资源综合开发利用必要的地质资料,科学、合理地利用矿产资源。

### 4.1 预查阶段

全面收集区域矿产地质及物探、化探等资料,通过综合研究、类比、预测及初步的野外观察、极少量的工程验证,初步了解预查区内矿产资源远景,提出可供普查的矿化潜力较大地区,在勘查主矿产的同时,初步研究可能存在的共伴生矿产种类。

### 4.2 普查阶段

通过对矿化潜力较大地区开展地质、物探、化探工作,投入数量有限的工程和采样,对已知矿化区做出初步评价,在大致查明主矿产的分布、规模、产状和矿石质量的同时,进行必要的可选性试验,大致了解共伴生矿产的物质组成、赋存状况及回收途径,并对共伴生矿产的综合开发利用做出初步评价。

### 4.3 详查阶段

采用各种有效的勘查方法和手段,系统的勘查工程和取样,控制矿体总体分布范围,基本控制主矿体、矿体特征及空间分布,圈出勘探区范围,做出是否具有工业价值的评价。基本查明主矿产、基本查明

(特定条件下也可大致查明)共生矿产、大致查明伴生矿产的地质特征、矿石质量、物质组成、赋存状态,划分主矿产和共生矿产的矿石类型;进行矿石加工选冶性能试验研究,对主矿产、共伴生矿产的综合开发利用做出评价。

#### 4.4 勘探阶段

在详查阶段工作的基础上,通过加密各种勘查工程及采用其他方法技术手段,详细查明主矿产、详细或基本查明共生矿产、基本查明伴生矿产的矿产地质特征,深入进行矿石物质组成、赋存状态、矿石类型、矿石质量、矿石加工选冶性能试验研究,对主矿产、共伴生矿产的综合开发利用做出详细评价,以满足矿山建设设计的需要。

对供矿山建设设计利用的详查报告,若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、共伴生矿产综合评价的程度应达到勘探阶段要求。

#### 4.5 矿山地质工作阶段

在深化对矿床地质特征认识的同时,应加强对共伴生矿产的评价及综合开发利用研究,进一步提高共伴生矿产资源利用率。

### 5 综合勘查评价基本原则及工作要求

#### 5.1 共伴生矿产综合勘查评价的基本原则

5.1.1 根据经济、社会发展的需要和矿床实际,确定综合勘查评价的有用组分。

5.1.2 根据各勘查阶段的要求,对共伴生矿产应同时进行相应的勘查和评价,并按要求估算资源储量。

5.1.3 具有多种用途的矿产,应根据需要按相应用途的工业要求进行研究评价。

5.1.4 妥善处理经济效益、社会效益和环境效益之间的关系。

#### 5.2 共生矿产勘查的工作要求

同体共生矿产应随主矿产一起进行综合勘查评价工作,其提交的矿产资源储量类别,按相应矿种(类)规范执行。对达到工业利用要求、矿产资源储量规模达到中型及以上的同体共生矿产,当主矿产勘查程度达不到共生矿产相应要求时,可根据实际需要和可能,按该矿种的勘查规范适当增加勘查工程或进行专门的勘查工作。

异体共生矿产的勘查工作,一般情况下应根据需要,利用揭露主矿产的工程或增加适当工作量,对矿体进行勘查和评价;对矿产资源储量规模达到中型及以上、揭露主矿产的工程达不到相应控制程度的,应根据实际需要和可能,按该矿种的勘查规范进行专门的勘查和评价工作。

#### 5.3 测试

##### 5.3.1 测试及样品采取

###### 5.3.1.1 采样原则

主矿产及共伴生矿产的采样方法和测试项目应一并综合考虑,按矿石类型、品级、结构、构造特征分别采样,采样点的布置在空间分布上应力求合理,具有代表性,以满足综合勘查评价任务和矿产资源储量估算的要求。

###### 5.3.1.2 光谱全分析

目的是了解或大致了解矿石及围岩中有用、有益、有害元素的种类及其含量。

光谱全分析样可在矿体不同部位、不同矿石类型中采取,也可以采用具代表性地段的基本分析副样和组合分析副样。

光谱全分析结果是确定基本分析、组合分析、全分析项目的依据。

###### 5.3.1.3 基本分析

目的是查定矿石中有用组分含量,为圈定矿体、划分矿石类型和品级、估算矿产资源储量提供依据。

基本分析样可在各项探矿工程中按矿体(分矿石类型、品级)对可能含矿的岩石、矿化带及夹石连续取样,使所取样品能控制矿体、矿化带的顶底板界限。样品长度以不大于矿体最低可采厚度为宜。



对用于圈定矿体和参与综合工业指标计算的主要组分、共生组分以及能在矿石加工选冶过程中单独回收利用的伴生组分,应做基本分析。

对矿体圈定、产品质量有严重影响的有害组分,也应做基本分析。当经过一定数量的基本分析,表明某些有害组分含量变化不大时,可改做组合分析。

#### 5.3.1.4 组合分析

目的是查定矿石中伴生组分的含量,研究其在矿体中的分布规律,为制定综合工业指标、评价伴生有用有益组分的综合利用价值、有害组分的影响程度提供依据。

组合样品应按工程、分矿体、矿石类型、品级,依基本分析副样按比例进行组合,并尽可能与主矿产的资源储量估算块段保持一致。对伴生组分分布均匀的零星小矿体,可视具体情况按矿体进行组合。

对参与矿产资源储量估算的伴生组分,应系统进行组合分析。

#### 5.3.1.5 化学全分析

主要是全面查定不同岩石、矿石类型中各种组分的含量。

在光谱全分析的基础上,按主要岩石、主要矿体、分矿石类型(或品级)从组合分析副样中采取,或单独采取有代表性的样品,一般每种矿石类型(或品级)应采取(1~2)件样品。

#### 5.3.1.6 物相分析

主要是了解矿床自然分带。应自矿体顶部至深部进行分析。

物相分析可与基本分析同时进行,分析样品可在基本分析副样中抽取或专门采集。

#### 5.3.1.7 单矿物分析

主要是查明伴生、分散元素的分布特征,测定其在矿物中的含量,研究其分布规律。每一种矿石类型的单矿物分析应在矿石类型划分的基础上进行,样品应具有代表性。

单矿物样所包含的被选矿物应不少于90%。

#### 5.3.2 共伴生组分测试的内、外检要求

共生组分测试的内、外检要求与主矿产相同,即内检样品由送检单位分期分批从基本分析样品的副样中抽取10%,编密码送同一有资质的测试单位进行分析,两次加工试样质量检查的总体合格率应不低于90%;外检样品应从测试单位内检合格样品的正余样中,抽取基本分析样品总数的5%送同级或更高级资质的测试单位进行外检分析,外检合格率应不低于90%。各组分测试误差要求按DZ/T 0130执行。

有特殊要求的伴生组分测试的内、外检样品比例可与主组分相同或适当降低。

### 5.4 共伴生矿产综合评价研究

#### 5.4.1 共伴生矿产的物质组成研究

对矿床内的各类矿石,应查证共伴生矿产的矿石矿物组成、粒度、结构构造特征,有用、有益和有害组分的赋存状态,矿物之间的共生关系。对呈分散状态存在的组分,应查明载体矿物及赋存形式(如呈类质同象、呈固溶体或微晶分散状态的包裹体、呈离子或络合离子状态吸附于矿物表面、胶体等),并加强工艺矿物学的研究,以指导选择合理的加工选冶方法和流程条件。

我国部分矿种各主要矿床类型可能存在的共伴生矿产参见附录D。

#### 5.4.2 矿石加工选冶试验研究

主要是研究共伴生组分综合回收利用的技术可行性和经济合理性。

呈独立矿物形式存在的共伴生组分,通过矿石加工选冶试验研究,查证其分离、富集、制备得到合格产品的可能性。

呈分散状态存在的共伴生组分,通过矿石加工选冶试验研究,了解其富集规律和回收利用的途径。

共伴生矿产的加工选冶样品采取应考虑矿石类型、品级、结构特征和空间分布,以及各有用、有益、有害组分的代表性,能分采、分选的分应类型采集,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,应考虑开采时的矿石贫化。样品采集应符合相关技术规程规范的要求。

#### 5.4.2.1 矿石加工选冶试验样品的矿石物质组成研究

矿石加工选冶试验物质组成研究样品采自相应的矿石加工选冶试验类型样或综合样,其矿石物质组成研究内容参照 5.4.1。

#### 5.4.2.2 矿石加工选冶试验程度要求

根据下列不同勘查阶段要求,应对共伴生矿产进行相应的矿石加工选冶试验研究,查明其回收利用途径,综合评价其经济效益、环境效益和社会效益。

- a) 预查阶段可通过类比研究,对可能存在的共伴生矿产种类做出预测和初步判断;
- b) 普查阶段对工业利用技术已成熟的易加工选冶的矿石,应在进行矿石物质组成、结构构造、粒度、嵌布特征、品位、有害组分等类比研究的基础上,进行可选性验证试验;对工业利用尚有难度的矿石,应进行可选性试验;对组分复杂、矿物粒度细、品位低,在国内工业利用尚存问题的难加工选冶或有找矿前景的新类型矿石,应进行实验室流程试验。本阶段应对共伴生矿产是否可利用做出初步评价;
- c) 详查阶段对邻近有可类比生产矿山的易加工选冶的矿石,应在类比研究验证基础上,进行可选性试验;对加工选冶性能一般的矿石应进行实验室流程试验;对矿产资源储量规模为大型、难加工选冶的矿石或国家急需的战略资源,应进行实验室扩大连续试验。本阶段应对共伴生矿产的回收利用途径及可行性做出评价;
- d) 勘探阶段对邻近有可类比生产矿山的易加工选冶矿石,应进行实验室流程试验;对加工选冶性能一般、综合利用价值较高、新类型矿石,应进行实验室扩大连续试验;对矿产资源储量规模为大型、难加工选冶的矿石,应进行半工业试验,必要时进行工业试验。本阶段应为共伴生矿产工业回收利用工艺流程的确定提供依据。

#### 5.4.3 低品位矿及尾矿的利用研究与评价

应根据国家的资源开发利用政策、市场需求、矿产品价格及矿产开发的各种因素,对低品位矿及尾矿中有利用价值的有用组分适时进行利用研究与评价。

#### 5.4.4 零星分散的共伴生矿石矿产评价

对零星分散存在的共伴生矿石矿产,应根据地质因素的查明程度、综合回收利用的途径及可行性,做出是否具有工业价值的评价。

### 6 矿产资源储量估算与分类

预查、普查阶段,共生矿产的综合评价采用该矿种地质勘查规范规定的矿产工业指标一般要求;伴生矿产的综合评价可参照主矿产地质勘查规范中所列的综合评价参考指标。

详查、勘探阶段,应对主矿产、共生矿产的工业指标进行论证,并根据矿石加工选冶试验结果确定伴生矿产综合评价指标;对易选矿石,详查阶段伴生矿产的综合评价可采用主矿产地质勘查规范中所列的综合评价参考指标。

#### 6.1 共伴生矿产资源储量估算原则与方法

6.1.1 同体共生矿产各有用组分品位均达到工业品位要求时,可根据矿床特征确定采用相应矿种的工业品位或综合工业品位,按相应矿种矿产资源储量估算的原则与方法进行估算。

6.1.2 异体共生矿产分别按相应矿种矿产资源储量估算的原则与方法进行估算。

6.1.3 对有用组分分布不均匀或极不均匀的共生矿产,可采用块段或矿体的综合工业品位估算矿产资源储量。

6.1.4 达到边界品位未达到工业品位,经论证采用综合工业指标的共生矿产,应按综合工业指标圈定矿体并估算矿产资源储量。

6.1.5 达到边界品位未达到工业品位且未能参与综合工业指标制定的有用组分,按伴生矿产处理。

6.1.6 达到综合评价参考指标的伴生有用组分,矿产资源储量估算依照主组分估算的原则和方法进

行。除平均品位要单独确定外,其余估算参数均与主组分的参数一致。伴生有用组分矿产资源储量估算方法可采用传统估算法、相关分析法,对于有条件的生产矿山,还可以采用单矿物法和精矿法等(参见附录 E)。

6.1.7 对未列入或未达到综合评价参考指标中的伴生组分,可根据矿石加工选冶试验结果或矿山生产实际,或参照相近矿种地质勘查规范中所列的伴生组分综合评价参考指标估算矿产资源储量,其中:

- a) 以分散状态存在、可在主矿产的精矿或某一产品中富集且达到计价标准的伴生有用组分,可根据其在精矿中的品位折算为原矿中的品位进行评价,或按其在精矿或某一产品中的含量直接计量;
- b) 以独立矿物存在的伴生有用组分,按综合回收状况确定评价指标;
- c) 在矿石加工选冶过程中可单独出产品的伴生组分,按实际回收状况确定评价指标。

6.1.8 达到综合评价参考指标的伴生组分,经矿石加工选冶试验或生产实际确定当前不能回收利用的,不予估算资源量。

## 6.2 伴生矿产品位的确定

### 6.2.1 伴生组分种类与品位确定的原则

6.2.1.1 各勘查阶段应按工作程度要求,相应查明伴生组分的种类、数量、质量、赋存状态、分布规律、技术经济条件等,确定可回收利用的组分种类。

6.2.1.2 伴生矿产的综合评价参考指标,一般情况下采用单一品位指标。

6.2.1.3 对于品位变化较大、需单独设立加工选冶流程的伴生组分,应根据回收该组分的综合效益确定块段平均品位指标。

### 6.2.2 伴生组分综合评价参考指标

伴生组分综合评价参考指标参见附录 F、附录 G、附录 H、附录 I、附录 J、附录 K、附录 L、附录 M、附录 N、附录 O,汇总指标参见附录 P。

## 6.3 综合工业品位的制定

### 6.3.1 基本原则和方法

6.3.1.1 充分考虑矿床的成因类型,矿体的形态、产状、规模、矿石结构构造,有用、有益、有害组分的赋存状态、分布规律等。

6.3.1.2 充分考虑国家资源政策、市场需求及发展趋势、矿床开采技术条件、矿山开采方式、矿石加工选冶性能、外部建设条件、(3~5)年的矿产品平均价格和经济效益,经过多方案比较,制定合理的综合工业品位。

6.3.1.3 在地质、技术、经济综合论证的基础上进行综合研究,可采用综合指标评价法,研究选择适合该矿区地质特征的综合指标体系,综合圈定矿体并估算矿产资源储量。

6.3.1.4 根据各有用组分含量高低、开采条件、加工选冶回收状况、产品价格及矿产资源储量规模等条件,划分主要有用组分和次要有用组分,进行综合论证,确定各有用组分的最低品位指标,或将矿石中的有用组分按等价原则折算成主矿产的综合品位指标,用于圈定矿体(参见附录 Q、附录 R)。

### 6.3.2 制定综合工业品位的前提

6.3.2.1 已查明或基本查明矿石的矿物成分、结构构造,有用组分的赋存状态、含量及其变化规律。

6.3.2.2 已按照不同地质勘查阶段的要求,通过矿石加工选冶试验查明了有用组分的回收方式、富集途径,确定了主组分和共生组分,对于可供矿山建设设计利用的,已确定了工业回收利用的工艺流程、产品方案及产品数质量。

6.3.2.3 已取得参与综合工业品位计算的各种组分的技术经济参数。

## 6.4 共伴生矿产资源储量类型的确定

6.4.1 主矿产和共生矿产的资源储量类型的确定,应按 GB/T 17766 及相应矿种(类)有关规范的原则和要求进行。

6.4.2 当伴生矿产的研究达到以下要求,并进行了基本分析,其矿产资源储量类型的确定可与主矿产相同:

- a) 地质研究程度要求:伴生矿产的质量、赋存状态、分布规律等达到与主矿产相同的查明程度;
- b) 矿石加工选冶试验要求:伴生矿产的物质组成与回收利用的加工选冶试验研究等达到与主矿产相应的查明程度;
- c) 可行性评价要求:不同勘查阶段的可行性评价中,对伴生矿产综合回收的经济意义做出了相应评价。

6.4.3 当伴生矿产进行了基本分析但未能满足其他条件时,应降低资源储量类别。

6.4.4 当伴生矿产只进行了组合分析而未做基本分析时,归类为推断的资源量。

6.4.5 未达到综合评价指标要求的伴生组分,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,归类为推断的资源量。

6.4.6 伴生组分虽达到综合评价参考指标要求,但其赋存状态和回收情况尚未查清的,只作定性的综合评价,不予估算资源量。

#### 6.5 低品位矿产资源储量类型的确定

低品位矿产资源量类型的确定按 GB/T 17766 的原则和要求进行。

**附录 A**  
**(资料性附录)**  
**共伴生矿石矿产**

共伴生矿石矿产是指与主矿产一起产出的矿石矿产,或在主要矿产的围岩或剥离层内形成独立的矿产,但由于有用组分品位低或矿层厚度薄,达到或未达到工业开采指标,矿石零星分散,达到或未达到资源储量规模,经济上不具单独开采价值,综合开采能增加效益,可随同主矿产一起开发利用的各种矿石。

例如露采境界内的有用剥离岩石和可混采混用的低品位夹层;煤矿床中的耐火粘土、陶瓷粘土;铝土矿床中的铁矿石、耐火粘土;多金属矿床中的硫铁矿石、重晶石矿石、萤石矿石;呈零星分散状态存在的其他各种矿产的矿巢、透镜体等。这些不具单独开采价值的共伴生矿石矿产产于主要矿产的矿体及围岩中,能在开采主矿产(矿体)的同时,综合开发利用。由于开发利用这类共伴生矿石矿产的主要费用已列入主矿产开发成本,降低了对其开发利用的直接成本,虽未“达标”或未“成型”,也能合理地开发利用,故需对这些共伴生矿石进行综合勘查评价。

部分矿产的主要共伴生矿石矿产如下:

- a) 高岭土:黄铁矿、明矾石、菱镁矿、叶蜡石、膨润土、瓷土、铝土矿、煤、贵金属、稀有元素;
- b) 石膏:岩盐、芒硝、天青石、自然硫;
- c) 膨润土:沸石、珍珠岩、高岭土、煤、石膏、白垩;
- d) 白云岩:石膏、石灰岩、菱镁矿、磷、方镁石、硅灰石;
- e) 重晶石:毒重石、萤石、黄铁矿;
- f) 叶蜡石矿床:明矾石、高岭石、红柱石、矽线石;
- g) 石灰岩矿床:铁矿石、黄铜矿矿石、方铅矿矿石、闪锌矿矿石、岩金矿矿石;
- h) 磷矿:含钾页岩等;
- i) 煤矿:天然焦、高灰煤(高炭泥岩)、油页岩、锰铁矿、赤铁矿、菱铁矿、硫铁矿、铝土矿、膨润土、高岭土、耐火粘土、硅藻土、稀散 Ga、Ge、Sc、稀有 Li、稀土元素、陶瓷原料、建筑原料、常规砂岩气(或油)、煤层气、地下水(热水)、铀矿物(沥青铀矿、晶质铀矿、铀黑)等;
- j) 金属矿床:硫铁矿石、重金属矿石、萤石矿石等,呈串珠状、囊状赋存的其他矿石。

**附 录 B**  
(资料性附录)  
**共伴生矿物矿产**

共伴生矿物矿产是在矿床中的分布较为普遍,以矿物形式存在并可在加工选冶过程中富集回收的共伴生有用组分。在主矿产的加工选冶流程中,通常可同时选出其合格精矿产品或中间产品;或虽然在矿石中的含量较低,但因特殊需要或经济价值较高,有必要进行加工选别的某些重要矿物,由于可以分选出精矿产品,扩大了矿石组分回收利用的范围,对进一步提高矿床的经济价值具有重要意义。

属于这一类共伴生的矿物种类较多(包括金属矿物和非金属矿物),但在具体矿床中,实际上需要进行加工选别的共伴生矿产的矿物却是比较有限的,通常只有若干种,但砂矿矿床的有用组分多呈矿物形式,需要选别的矿物种类较多。

呈矿物形式的共伴生矿产在各类矿床中的分布,虽受成矿专属性等因素的制约,但由于矿床的形成和演变往往经历漫长的地质年代,各种地质作用的叠加和改造也极其复杂,特别是成矿时代较老的矿床更是如此。因此,在矿床的综合勘查中要因地制宜,按照矿床的实际情况结合技术、经济条件,认真查定,深入研究,并做出合理的评价。

按矿床的工业原料性质进行分类,将其中可能出现的常见的共伴生矿物矿产初步归纳举例如下:

a) 金属矿床的共伴生矿物矿产

- 1) 铁矿床:钛磁铁矿、铬铁矿、钛铁矿、金红石、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿、钴黄铁矿、黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、辉锑矿、锡石、重晶石、磷灰石、铌钽及稀土矿物、自然金和铂族元素矿物,硼镁铁矿中伴生的晶质铀矿和沥青铀矿等;
- 2) 锰矿床:钴土矿、硫镍钴矿、黄铁矿、银金矿等;
- 3) 铬铁矿矿床:磁黄铁矿、镍黄铁矿、钛铁矿、铂族元素矿物等;
- 4) 铜镍硫化物矿床:黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿、铂族元素矿物、碲银矿、自然金、银金矿、硒硫铋矿等;
- 5) 铜矿床:磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、镜铁矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、辉钴矿、锡石、黑钨矿、白钨矿、辉铋矿、辉锑矿、辉银矿、碲铋矿、自然金、银金矿、磷灰石、重晶石等;
- 6) 铅锌矿床:黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、锡石、辉钼矿、辉铋矿、白钨矿、辉锑矿、菱铁矿、辉银矿、自然金及金矿物、萤石、重晶石等;
- 7) 钨矿床:锡石、辉钼矿、辉铋矿、绿柱石、铁锂云母、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、辉锑矿、萤石、水晶、黄玉、铌钽矿物、独居石、磷钇矿等;
- 8) 锡矿床:白钨矿、黑钨矿、黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、辉铋矿、毒砂、铀矿物、银金矿物、铌钽矿物、绿柱石、锂云母、萤石、黄玉、褐钇铌矿、磷钇矿、独居石、锆石、金红石、磁铁矿、锰结核等;
- 9) 钼矿床:黄铁矿、黄铜矿、白钨矿、黑钨矿、锡石、辉铋矿、方铅矿、闪锌矿、萤石、黄玉、绿柱石、金和铂族元素矿物等;
- 10) 汞矿床:辉锑矿、黄铁矿、辉钼矿、沥青铀矿、铀黑、雄黄、雌黄、自然硫、萤石、重晶石等(有时可能还有金);
- 11) 稀有及稀土矿床:常见具有工业意义的矿物有锂辉石、锂云母、透锂长石、磷锂铝石、铁锂云母、绿柱石、烧绿石、细晶石、铈榴石、日光榴石、绿帘硅铈钛矿、羟硅铈石、金绿宝石、香花石、铈铁矿、钽铁矿、黑稀金矿-复稀金矿、褐钇铌矿、磷钇矿、硅铈钼矿、铈钼矿、氟碳铈矿、锡石、钛铁矿、锆石、斜锆石、异性石、黑钨矿、金红石、独居石、天青石、菱铈矿、磁铁矿等;

- 12) 金矿床:黄铁矿、毒砂、黄铜矿、砷黝铜矿、辉银矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、辉铋矿、辉铊矿、白钨矿、黑钨矿、锡石等;
  - 13) 铀矿床:磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、铌钽矿物、羟硅铍石、磷灰石等;
  - 14) 锆英石砂矿床:钛铁石、金红石、独居石、电气石、锐钛矿、石英等;
  - 15) 钛铁矿砂矿床:锆英石、金红石、独居石、石英等;
  - 16) 风化残积型钛铁矿砂矿床:锆英石、金红石、石英、高岭土等;
  - 17) 风化残积型铝土矿矿床:钴土矿(含镓)、蓝刚玉和红锆石(宝石)等;
  - 18) 金红石矿床:石榴子石矿。
- b) 非金属矿床的共伴生矿物矿产
- 1) 磷灰石矿床:磁铁矿、钒钛磁铁矿、黄铁矿、金红石、锆石、霞石、石墨、矽线石、萤石、蛭石、稀土和伴生铀元素等;
  - 2) 硫铁矿矿床:磁铁矿、赤铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉钼矿、金、银、钴、石墨矿物等;
  - 3) 硼矿床:锡矿、黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿、磁铁矿、金红石、锆石、稀土矿物、磷灰石等;
  - 4) 明矾石矿床:黄铁矿、磁铁矿、锆石、金红石、刚玉、叶蜡石、黄铜矿、方铅矿、黝铜矿、高岭土、金、银等;
  - 5) 石墨矿床:霞石、锆石、矽线石、磷灰石、金红石、磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、铌钽矿物、稀土矿物等;
  - 6) 云母矿床:长石、石英、磷灰石、绿柱石、铌钽铁矿、锂云母、电气石、锡石、稀土矿物等;
  - 7) 石英砂矿床:钛铁矿、锆英石、金红石、独居石等;
  - 8) 砂质高岭土矿床:石英、长石、云母等;
  - 9) 重晶石矿床:黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等;
  - 10) 萤石矿床:石英、方铅矿、内锌矿、重晶石等。

## 附 录 C

### (资料性附录)

### 共伴生元素矿产及其他

#### C.1 概述

共伴生元素矿产是指含量低、呈分散状态存在、可以在加工选冶过程中附带回收的共伴生有用组分,包括赋存在其他有用矿物中的类质同象成分、机械混入物、微细包裹体;离子吸附型的有用组分;煤和油页岩中各种可以附带提取的有机化合物;油气藏中的溶解气、凝析气、各种工业气体和元素附产物;固体和液体盐类矿床中的各种共伴生的元素化合物等,有呈固态的,也有呈液态或气态的。它们大多数属于稀有、稀土、分散元素、贵金属和一部分有色、黑色、放射性金属和卤族元素。对其中主要以矿物形式富集和提取的已列入共伴生矿物矿产,例如铍、锆等元素。非工业矿物和散布于各种造岩矿物中的分散元素,目前无法利用,不属于共伴生元素矿产。

共伴生元素矿产提取的方式取决于主矿产的加工选冶方式。需要选矿的矿种,能伴随精矿富集,并可以在加工精矿时提取;矿产原料直接用于冶金、化工、动力生产时,可在生产过程中的某一阶段富集回收或在最终的“废料”中提取。

共伴生元素矿产可细分为贵金属共伴生矿产;稀有、稀土、分散元素共伴生矿产和液体、气体共伴生矿产。

#### C.2 贵金属共伴生矿产

##### C.2.1 金(Au)

金和铜、银同属元素周期表中的 IB 族,通称铜族元素。金的最主要的工业矿物是自然金、银金矿和碲金矿。

金在矿床中一般不形成独立硫化物,而常与黄铜矿或其他硫化物伴生。所有金矿物都含有一些银;以银为主的矿石也含金。伴生金主要赋存于铜矿床、铜镍矿床,其次赋存于汞锑矿床以及铅锌等有色金属矿床、铜铀矿床和磁铁矿床等。几乎各种类型的铜矿石,特别是斑岩铜矿、矽卡岩铜矿、黄铁矿型铜矿、黄铁矿型多金属矿都有伴生金。

##### C.2.2 银(Ag)

银属铜族亲硫元素,常形成辉银矿等矿物并富集在硫化物中,目前已发现的银矿物有 47 种,主要的有自然银、辉银矿、硫锑银矿、深红银矿、淡红银矿、硫锑铜银矿、碲银矿、碲金银矿、碲硫银矿、辉银铜矿、角银矿、脆银矿和金银矿等 14 种。

银与金具有相同的原子半径,故两者极易形成连续的固熔体系。银与铜的离子半径和负电性相近;与铅离子电位相似,因而能和 Pb、Cu 发生类质同象互换,因此自然界中银大多呈类质同象或微细包裹体存在于铜的硫化物和方铅矿、闪锌矿中;铜的硫化物和方铅矿则是最常见的银的载体矿物。银在矿物中聚集能力的递增次序为:闪锌矿→黄铜矿→方铅矿→黝铜矿。伴生银主要是与有色金属矿床有关,重要的伴生银矿床有斑岩铜矿、矽(页)岩铜矿、块状硫化铜镍矿、交代型铅锌矿、灰岩及白云岩中的层控型铅锌矿床。

##### C.2.3 铂族(包括 Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt 六个元素)

铂族元素具有亲硫性和亲铁性;其亲铁性从属于亲硫性。铂族金属的原子半径( $1.34 \text{ \AA} \sim 1.38 \text{ \AA}$ )极为相近,相互之间的固熔体十分广泛;与铁( $1.27 \text{ \AA}$ )、镍( $1.24 \text{ \AA}$ )和铜( $1.28 \text{ \AA}$ )也很接近,所以也可以相互替换而共生在一起。

铂族元素在自然界产出的形式主要有两种:一是铂族元素与硫、砷、铋、锑呈化合物的铂族矿物,这



类矿物很多。但主要的是砷铂矿和铋碲钨矿；二是铂族元素之间以及铂族元素与铁、镍、铜、金等的天然合金或金属互化物。由于铂族元素具有很强的亲硫性，因而常呈类质同象（或显微矿物颗粒）赋存在磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿等硫化物中，或为重要的伴生矿产。

铂族元素，尤其是 Pt 和 Pd，不但在与基性、超基性岩有关的岩浆阶段可以富集，而且在与中酸性岩浆有关的热液阶段也能富集。因此，岩浆期后的各种多金属矿，也常有伴生的铂族元素；值得注意的多金属矿床有斑岩铜钼矿床、矽卡岩铜钼矿床和铜矿床、石英脉型金、硫化物铜矿床以及汞、锑、铋矿床等。

此外在表生作用条件下，黑色页岩中也发现有铂、钨富集，例如我国南方下寒武系黑色页岩沉积型镍钼矿床中，含铂、钨并与镍呈正比关系。铂族金属矿物主要是天然合金，化学性质稳定，比重大，在某些砂矿床中也具有工业意义，也是值得注意的伴生矿产之一。

### C.3 部分稀有、稀土、分散元素共伴生矿产

#### C.3.1 稀有、稀土、分散元素伴生矿产特征概述

分散元素很少形成独立矿物，工业上都是从主矿产和共伴生矿产的加工中提取的，其地球化学特性、赋存形式及提取利用情况如下。

##### C.3.1.1 锗(Ge)

锗的地球化学参数与锌、锡、铁比较接近，锗常呈类质同象在闪锌矿中富集，并在煤层中及煤层上下页岩中富集，有时可形成锗、铀、煤综合矿床。

已知主要的含锗矿物有闪锌矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、斜方硫砷铜矿、砷黝铜矿、锡石、毒砂、磁铁矿、赤铁矿、硬锰矿、菱锌矿和有机岩。上述有色金属硫化物对提取锗具有工业意义；个别锗特别富集的硫化物矿床及煤矿，锗也可以成为主矿产。已知有 50 多种非金属矿物含微量锗，但目前尚无开发利用价值。

目前锗主要从炼锌厂的烟化挥发物中和炼锡厂、炼铜厂的烟尘与升华物中提取，也从燃煤的烟尘中提取。

##### C.3.1.2 镓(Ga)

镓原子与锌具有类似的电子构型。镓同铝在化学及结晶化学性质上也十分近似，从而决定二者的紧密共生关系。地壳中绝大部分镓都存在于铝的矿物中，对提取镓有实际意义的有铝土矿和霞石。

##### C.3.1.3 铟(In)

铟在地壳中也处于分散状态，它在矿物中呈类质同象存在。铟主要和  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Sn}^{4+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  等离子有类质同象关系，常在铁闪锌矿中富集。已知有四种铟矿物；自然铟、硫铟铜矿、铟石和氢氧铟石，但为量甚少。在各种含铟的金属硫化物中，最有意义的是闪锌矿、黄铜矿、锡石，有时还有方铅矿。

目前主要从锌冶炼厂的残渣和烟尘中提取铟。

##### C.3.1.4 硒(Se)

硒是亲硫元素，离子半径与硫接近，常呈类质同象替换硫，进入硫化物的晶格。硒有 39 种独立矿物，但都很少见；其中硒银矿、硒铅矿、六方硒铜矿、硒铊银铜矿、红硒铜矿、硒铋矿、锥锯硒矿等相对稍多。主要的含硒矿物有：黄铁矿、白铁矿、毒砂、黄铜矿、辉钼矿、辰砂、方铅矿、斑铜矿、铜兰、硫砷铜矿、辉铋矿、镍黄铁矿、闪锌矿等。

目前主要在硫精矿、铜精矿和铅精矿的加工过程中提取硒。

##### C.3.1.5 碲(Te)

碲的地球化学性质与硫、硒十分相似，常与铜、铅、铋、金、银在一起，也能形成独立矿物。已知含碲矿物约 70 种，独立矿物有 40 多种，但都很少见。较常见的碲矿物为碲银矿、碲金银矿、针碲金矿、辉碲铋矿、叶碲矿。对于提取碲有实际意义的矿物为方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿等。

目前主要从精炼铜、镍、铅、锌和银的电解阳极泥、生产硫酸的酸泥以及硫酸厂收尘器捕集的烟尘中

回收。

### C.3.1.6 镉(Cd)

镉是亲硫元素,化学性质近似锌,所以与锌关系密切,也常进入铅、锌、铜和铁的硫化物中。

镉的独立矿物已发现有硫镉矿、黄硫镉矿、方镉矿、菱镉矿、锥镉硒矿和非晶硫镉矿等6种;其中以硫镉矿最重要。镉主要在闪锌矿、方铅矿、黄铜矿中富集。

目前镉主要从锌精矿中提取,也可从方铅矿和黄铜矿中提取。

### C.3.1.7 铊(Tl)

铊具有亲石、亲硫性。化学性质与钾、铷近似,常进入长石和云母中,同时又常与铜、铅、锌、银、锰和砷伴生。

铊的单矿物有五种:硫砷铊锑矿、红铊矿、硒铊银铜矿、硫砷铊铅矿、阿维森纳矿,但都很少见。有利用价值的含铊矿物通常为白铁矿、黄铁矿和方铅矿。

目前铊主要从有色金属加工过程中,特别是炼锌残渣和烟尘、焙烧黄铁矿制酸过程中提取。

### C.3.1.8 铼(Re)

铼具有亲硫性,地球化学特性近似钼和铜,所以常与其结合在一起。铼又是高度分散的元素,很难形成独立矿物,目前仅发现铼石一种独立矿物,其他含铼的矿物中的含量也都很低。

常见的含铼矿物有:辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、硒铅矿、斑铜矿、辉铜矿、硅铈铋矿等。对提取铼有实际意义的有辉钼矿、黄铜矿及斑铜矿、辉铜矿;所有的钼矿床中几乎都含铼。目前铼主要从斑岩型铜钼矿床的辉钼矿中提取回收。

### C.3.1.9 钪(Sc)

钪是典型的亲石元素。已知有三种独立矿物:钪钇石、水磷钪石、铁硅钪矿,但都很少见。含钪的矿物有100多种,较为主要的为黑钨矿、褐帘石、锡石、杂铋矿、磷钇矿、铁锂云母、绿柱石、黑稀金矿、钇易解石、烧绿石、独居石、磁铁矿、黝铜矿、钛铈铀矿、褐钇铋矿、锆石和铌钽铁矿等。

目前以黑钨矿、锡石以及某些矿物为提取钪的主要对象。

著名的白云鄂博矿床主东矿的铁铈稀土矿体中, $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 平均品位 $>0.01\%$ ,有些矿物含钪很高,如硅铈钼石含 $\text{Sc}_2\text{O}_3$  2.1%,铈铁金红石含 $\text{Sc}_2\text{O}_3$  0.15%。

### C.3.1.10 铪(Hf)

铪和锆的地球化学性质极为相似,在矿物中毫无例外地紧密伴随同时出现。仅发现铪的独立矿物铪石一种。主要的含铪矿物有:钙钛矿、铜铈铋矿、铈铈黑稀金矿、黑钽铀矿、锆英石、铪钽锆矿、水锆石、曲晶石、锆钽矿、异性石和锡石等,其中具有重要工业意义的是锆石、曲晶石、水锆石和斜锆石。

## C.3.2 稀有、稀土、分散元素伴生矿产富集的一般情况

上述稀有稀土分散元素在各种不同类型矿床中的富集,也按照组成矿床的矿石矿物共生关系,形成一定的分散元素组合:

- 多金属矿床中,通常伴生有镉、铟、硒、碲、铊、镓等分散元素的组合(有时含锆);在含锡的多金属矿床中,铟的含量较高;在含铜和砷的铅锌矿床中,锆和铊(有时还有硒和碲)的富集程度相对偏高;
- 铜矿床通常含有硒和少量的碲、镉、铊、锆、镓、铟;随着其中锌含量的增高,锆、铟和镉的含量往往也随之增加;含铜砂岩往往含铈,其次是锆、硒和铊;铜钼矿床往往含铈、硒、碲,其次是铟、锆和铊;硒、碲可作为铜镍矿床的特征元素,此外含有铊、镓和锆;
- 锡石硫化物矿床中,铟的含量相对偏高,在石英-锡石和黑钨矿床中铈的含量偏高;钼矿床铈含量相对偏高,此外还含有少量的硒、碲、锆和镓;锑和汞矿床通常含铊和硒;
- 砷(毒砂)矿床含硒和碲,还有少量的锆、镓和铊;
- 石英-金矿床往往含碲;含金硫化物矿床中有时有铟、铊、硒和碲;
- 铝矿床含镓(铝土矿床、明矾石矿床、霞石矿床)和铈(铝土矿床),有的赋存少量金和锆;有的可

提取钪、钛、钒、铬、铁、镍、钴、铂、银、铈和钽等；

- g) 在有色金属选矿时,其中所含分散元素在选矿产品(精矿或尾矿)中的分布情况,依这些元素的载体矿物的富集情况而定,如:锌精矿含镉、硒、碲、铟、镓,有时含锗;铅精矿含硒、碲、镉、铟及少量铋和锗;铜精矿含硒、锗、碲、铟、镓,有时含有镉和铋;锡精矿含钪、铟、钽;钨精矿含钪、钽;铍精矿含钪;钼精矿含铋;黄铁矿精矿含铈、硒、碲;
- h) 在精矿和矿石的冶炼和化学处理时,分散元素同样分布在各种不同的冶炼产品中。在有色金属矿石或精矿冶炼时,分散元素通常聚集在水冶液、烟尘、滤渣、矿泥或电解泥里,一部分进入工厂的主要产品中,一部分丢失在熔渣里,还有一部分随气体逸散到大气中。硫酸厂在处理黄铁矿精矿时,分散元素聚集在矿泥和电解泥里,但大部分损失在黄铁矿灰渣中;
- i) 矿石中有一部分分散元素随非金属矿物(石英、石榴石、云母、长石及其他硅酸盐、碳酸盐矿物)以及没有选入精矿中的金属矿物一起进入尾矿中,无法回收利用。

#### C.4 液体和气体共伴生矿产

C.4.1 石油中往往伴生有凝析气或溶解气,非烃化合物氧、氮、硫三种元素的化合物也不少,有时可达石油重量的30%,含氧化合物有石油酸、酚;含硫化合物如硫化氢( $H_2S$ )、硫醇(RSH);含氮化合物;沥青也是非烃的一部分,是油渣的主要成分。此外,有时还有钒、镍金属等可以回收,要注意分析。石油中的共伴生液体和气体矿产目前已回收利用的有液化烃、凝析液、碳酸气、硫醇、硫、氮、氢、碘、溴、硼等。

C.4.2 油田水中常含有钾和一些特有的微量元素,如碘、溴、硼、锶、铍等;其中碘和溴含量较高,可作为伴生矿产开采利用,但在油气开采中常因人工注水而稀释,是否具有利用价值,视具体情况确定。

C.4.3 天然气中往往伴生有凝析油及非烃气体(包括 $CO_2$ 、 $N_2$ 、 $H_2S$ 以及He和Ar)。它们的含量不高,但个别也有含二氧化碳、硫化氢或氮很高,甚至成为以二氧化碳为主的气藏。He、Ar等稀有气体,在天然气中含量较少,一般仅千分之几。个别含量也可较高,如美国四角区最高达7.5%。我国四川震旦系的天然气中,亦含相当数量的惰性气体。He和Ar是极其宝贵的工业原料,特别是前者,目前大多数He采自天然气中。

C.4.4 煤中共伴生的煤层气是成分以甲烷为主的烃类气体,按有关规定进行煤和煤层气的综合勘查评价。其综合开发利用不仅可提高经济效益,同时可以防止瓦斯所造成的危害,有良好的社会及环境效益。

C.4.5 高矿化度的地下水和某些温泉也常含有碘、溴、钾、镁、硼、锂、铷、铯、锶、锗等,通过取样分析以确定其是否具有利用价值。

C.4.6 固体和液体盐矿床中常有锂、铷和铯的富集,它们和钾、钠的性质相似。铷和铯的离子半径与钾相近,可呈类质同象置换钾,因此在盐类矿床中光卤石常是提取铷和铯的来源。由于钾盐矿床往往资源储量规模巨大,尽管伴生的铷、铯的品位低,仍然具有重要的经济意义。锂常在盐矿床中富集,主要含在层间卤水和晶间卤水中,以晶间卤水最为常见。例如美国加利福尼亚的西尔兹盐湖在结晶盐层内,锂主要充填在晶间空隙和空洞的残余卤水中( $LiCl$  0.032%);我国青海大柴旦盐湖的地表卤水和地下晶间卤水中含硼、锂、钾、镁、溴等多种有用组分,均呈离子状态,锂的品位为(700~1300)mg/L。

#### C.5 非金属共伴生的矿产

磷矿床中伴生的F、Cl、I、U等元素可以在矿石加工过程中提取。

附 录 D  
(资料性附录)

我国部分矿种各主要矿床类型共生矿产

我国部分矿种各主要矿床类型共生矿产见表 D. 1。

表 D. 1

矿床	矿床类型	可能存在的共生矿产	对选冶有害组分
铁	岩浆晚期矿床	黑色 Mn、V、Ti、Cr；有色 Cu、Ni、Co；贵 Pt、Pd；稀土 Sc；稀散 Te、Ga；化工 S、P；放射 U	S、P、SiO <sub>2</sub> 、Cu、Pb、Zn、As、Sn、F
	火山岩型矿床	黑色 Mn、V；有色 Cu、Co、Pb、Zn；稀散 Ge；化工 S、P	
	矽卡岩型矿床	有色 Cu、Pb、Zn、Ni、Co、W、Sn、Bi、Mo、Sb；贵 Au、Ag、Pt、Pd；稀有 Be、Rb；稀土 Rh；稀散 In、Ga、Cd、Se、Te；化工 S、P、B	
	受变质矿床	黑色 Mn；有色 Cu、Pb、Zn、Co；稀散 Ge	
	沉积型矿床	黑色 Mn、V；有色 Ni、Co、Mo；稀有 Be；化工 P	
	风化型矿床	黑色 Mn、V、Cr、Ti；有色 Pb、Zn、Cu、Co、Ni、W、Bi、Al；稀土 Sc；化工 As、S	
	铁-氟-稀土矿床	黑色 Mn；稀有 Nb、Ta；稀土 Ce；化工 S、P、F	
锰	海相沉积型矿床	黑色 Fe；有色 Cu、Ni、Co；化工 P、B	S、P
	沉积变质型矿床	黑色 Fe；化工 S	
	风化型矿床	黑色 Fe；有色 Cu、Ni、Co、Pb、Zn；贵 Au、Ag；化工 S	
钛	岩浆晚期矿床	黑色 Fe、V	
	滨海沉积型矿床	稀有 Zr(Hf)、Nb、Ta；稀土 Ce、La、Dy	
	风化残积型矿床	稀有 Zr(Hf)、Nb、Ta	
铬	岩浆晚期矿床	黑色 Fe、V、Ti；有色 Ni；贵 Au、Pt、Ir、Os	
铜	变质岩层状矿床	黑色 Fe、V；有色 Al、Pb、Zn、Ni、Co、Mo、Bi；贵 Au、Ag、Pt、Pd；稀散 Ge、Tl、Re、Cd、Se、Te；放射 U、Th；化工 S、As	As、F、Zn、Mg
	斑岩型矿床	有色 W、Sn、Mo、Co、Pb、Zn；贵 Au、Ag；稀散 In、Ge、Tl、Re、Cd、Se、Te；化工 S	
	矽卡岩型矿床	黑色 Fe、V；有色 Mo、Pb、Zn、Co、W、Sn、Bi、Mo；贵 Au、Ag、Pt、Pd、Os；稀有 Be；稀散 Ge、Ga、In、Tl、Re、Cd、Se、Te；放射 U；化工 S	
	超基性岩铜矿床	黑色 Fe；有色 Ni、Co；贵 Au、Ag、Pt、Pd、Rh、Ru；稀散 Ga、Ge、Tl、Se、Te；化工 S	
	火山岩黄铁矿型矿床	有色 Pb、Zn、Mo、Bi、Hg；贵 Au、Ag；稀散 In、Ga、Ge、Cd、Se、Te；化工 S、As	
	砂岩铜矿床	有色 W、Mo；贵 Au、Ag；放射 U；化工 S	
	各类岩石中脉状矿床	有色 Pb、Zn、W、Mo、Co；贵 Au、Ag；化工 S	

表 D.1 (续)

矿床	矿床类型	可能存在的共生伴生矿产	对选冶有害组分
铅锌	碳酸盐岩型矿床	有色 Cu、Sb; 贵 Au、Ag; 稀散 Ga、Ge、Cd; 化工 S	Cu、As、Fe、F、MgO、 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、SiO <sub>2</sub>
	沉积-细碎屑岩型矿床	有色 Cu; 贵 Au、Ag; 稀散 Ga、In、Ge、Cd; 稀有 Sr; 化工 S; 石膏	
	矽卡岩型矿床	有色 Cu、Mo、Ni、Co、Hg、Bi、W、mFe; 贵 Au、Ag; 稀散 Ga、In、Ge、Tl、Cd、Se、Te; 放射 U; 化工 S	
	海相火山岩型矿床	有色 Mo、Sn; 贵 Au、Ag; 稀散 Cd、Tl、Ge、In; 化工 S	
	砂、砾岩型矿床	有色 Sb、Bi、Mo、Co; 贵 Au; 稀散 Cd、Tl、Ge; 化工 S	
	各类岩石中脉状矿床	有色 Cu、Sn、Sb、Bi; 贵 Au、Ag; 稀散 Cd、Ge、In; 化工 S	
银	碳酸岩型矿床	有色 Pb、Zn、Cu、Sb; 稀散 Ga、Ge、Cd; 化工 S	
	泥岩-碎屑岩型矿床	黑色 V; 有色 Sb; 贵 Au、铂族元素; 稀散 Se、Ge	
	海相火山岩型矿床	有色 Zn、Cu、Sn、Sb; 贵 Au; 稀散 Ga、Ge、In; 化工 S	
	陆相火山岩型矿床	黑色 Mn; 有色 Pb、Zn、Bi、Hg; 贵 Au; 稀散 Se、Te; 化工 As	
	千枚岩、页岩型矿床	有色 Pb、Zn、Cu; 贵 Au; 稀散 Cd; 化工 S	
	各类岩石中脉状矿床	有色 Cu、Pb、Zn、Sn、Sb; 贵 Au; 稀散 Cd、Ge、In、Se	
镍	超基性岩型铜镍矿床	黑色 Fe、Cr; 有色 Cu、Co; 贵 Au、Ag、Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os; 稀散 Ga、Ge、Tl、Se、Te; 化工 S	Pb、Zn、As、F、Cr、 Cu、Mn、Sb、Bi
	沉积型硫化镍矿床	黑色 V; 有色 Mo、Cu、Pb、Zn、Co; 贵 Au、Ag、Pt; 稀散 Re; 放射 U; 化工 S、As	
	脉状硫化镍-砷化镍矿床	有色 Cu、Bi、Sb; 贵 Ag; 化工 As	
	风化壳型镍矿床	黑色 Fe、Mn; 有色 Co、Mg	
钼	斑岩型矿床	有色 Cu、W、Pb、Zn、Co; 贵 Au、Ag; 稀有 Nb; 稀散 Re; 化工 S	Cu、Pb、Sn、As、P、 Ca、SiO <sub>2</sub>
	矽卡岩型矿床	有色 Cu、W、Pb、Zn、Bi; 贵 Au、Ag; 稀散 Re; 化工 S、As	
	沉积型矿床	黑色 Fe、V; 有色 Cu、Pb、Zn、Co、Ni; 稀散 Ge、Re、Se; 放射 U; 化工 P	
	脉状钼矿床	有色 Cu、W、Pb; 贵 Au、Ag; 稀散 Re; 化工 S	
钨	石英脉型矿床	有色 Co、Sn、Mo、Bi、Sb; 稀有 Li、Nb、Ta、Be; 稀土 TR; 稀散 Ge、Ga、In、Cd; 化工萤石	As、S、Cu、P、Sn、Mo、 Ca、Mn、Sb、Bi、 Pb、Zn
	矽卡岩型矿床	有色 Mo、Pb、Zn、Cu、Bi、Sn; 贵 Au、Ag; 化工萤石	
	斑岩型矿床	黑色 Fe; 有色 Mo、Pb、Zn、Cu、Bi、Sn; 贵 Au、Ag; 化工 S	
	云英岩型矿床	有色 Mo、Bi、Sn	
	硅质岩型矿床	黑色 Fe; 有色 Cu、Mo、Bi; 贵 Au、Ag; 化工 S	
锡	矽卡岩型矿床	黑色 Fe、Mn; 有色 Cu、Pb、Zn; 化工 S、F	As、Bi、Cu、Fe、Pb、Sb
	斑岩型矿床	有色 W、Mo	
	锡石硅酸盐型矿床	有色 W、Pb、Zn、Cu、Bi; 稀散 In	

表 D.1 (续)

矿床	矿床类型	可能存在的共生矿产	对选冶有害组分
锡	锡石硫化物脉型矿床	有色 W、Pb、Zn、Cu、Bi; 贵 Au; 稀散 In	As、Bi、Cu、Fe、Pb、Sb
	石英脉及云英岩型矿床	有色 W、Bi; 稀有 Nb、Ta、Be、Li; 稀土 Sc	
锑	层状矿床	有色 Hg; 化工 As	S
	脉状矿床	有色 Cu、Pb、Zn、Ni、Co、W、Sn、Bi、Hg; 贵 Au、Ag; 化工 As、BaSO <sub>4</sub> 、CaF <sub>2</sub> ; 稀散 Se	
汞	层状矿床	有色 Sn、Cu、Pb、Zn; 稀散 Te	S
	脉状矿床	有色 Sn、Cu、Pb、Zn、Bi; 化工 As	
铝土矿	沉积型矿床	黑色 Fe、Ti、V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; 稀散 Ga、Ge; 稀有 Li、Ta; 稀土 Ce、Sc; 非金属石灰岩、硫铁矿、耐火粘土、煤等	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、S
	风化型矿床	黑色 Fe; 稀散 Ga	
金	石英脉型矿床	有色 Cu、Pb、Zn、W、Mo; 稀散 Cd、In、Ga、Ge	
	蚀变岩型矿床	有色 Cu、Pb、Zn; 贵 Ag	
	斑岩型矿床	有色 Cu; 贵 Ag	
	砂卡岩型矿床	黑色 Fe; 有色 Cu、Pb、Zn、Bi	
	角砾岩型矿床	有色 Cu; 贵 Ag; 化工 S	
	硅质岩层中金矿床	有色 Co; 化工 As	
	微细浸染型矿床	有色 Sb、Hg	
稀有	钠长石锂云母花岗岩型钽铌锂铯矿床	稀有 Be、Zr、Hf	
	钠长石铁锂云母花岗岩型钽铌矿床	稀有 Li、Rb、Cs、Zr、Hf	
	钠长石白云母花岗岩型钽铌矿床	有色 W、Sn; 稀有 Be	
	钠长石锂白云母花岗岩型钽铌稀土矿床	有色 W、Sn; 稀有 Zr、Hf、Li、Rb、Cs	
	钠长石黑磷云母花岗岩型钽铌矿床	稀有 Hf; 稀土 Y; 放射 Th	
	钠长石钠闪石花岗岩型钽稀土矿床	稀土元素	
	碱性岩-碳酸盐岩钽稀土矿床	稀有 Zr、Ta、Sr	
	花岗伟晶岩型钽铌锂铯钽矿床	稀有 Zr、Hf; 有色 Sn; 非金属长石、石英、云母	
	云英岩型钽矿床	有色 W、Mo	

表 D.1 (续)

矿床	矿床类型	可能存在的共生矿产	对选冶有害组分
铀	花岗岩型矿床	黑色 Fe; 有色 Cu、Pb、Zn、Ni、Co、W、Mo、Bi; 稀土 La、Ce、Y	
	火山岩型矿床	有色 Mo、Cu、Pb、Zn; 贵 Au、Ag; 放射 Th; 化工 S、P; 稀有 Be、Nb、Ta; 稀散 Ga、Cd、Tl	
	沉积矿床	黑色 V; 有色 Cu、Pb、Zn、Re、Hg; 化工 P、S; 燃料煤; 贵 Ag; 稀散 Ge、Ga、In、Te	
	岩浆岩型矿床	黑色 V、Cr; 有色 Al、Mo; 稀土 Ce、Y; 稀散 Ga、Se、Te; 放射性 Th; 稀有 Zr	
磷	沉积型(磷块岩)矿床	黑色 V; 有色 Mo、Ni; 稀有 Sr; 稀土 TR; 放射 U; 冶辅 F; 化工 K、Cl、I、明矾; 燃料石煤	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、MgO、CaO、CO <sub>2</sub> 、SiO <sub>2</sub>
	变质型(磷灰岩)矿床	黑色 Fe、Mn、Ti、V; 有色 Co; 稀散 Ga; 放射 U; 冶辅 F; 化工 K、明矾	
	岩浆岩型(碱性基性-超基性)磷灰石矿床	黑色 Fe、V、Ti; 有色 Cu、Co、Hg; 稀有 Ta、Zr; 稀土 La、Ce、Ho、Tm、Ln、Y; 化工 K、S; 建材蛭石	
硫铁	煤系沉积型矿床	黑色 Fe; 有色 Al; 稀散 Ga; 冶辅耐火粘土; 燃料煤、油页岩	制硫酸: As、Fe、Pb、Zn、C、Ca、Mg
	沉积变质型矿床	黑色 Fe; 稀散 Tl、Se、Te、Cd	
	火山岩、砂卡岩型矿床	黑色 Fe; 有色 Cu、Pb、Zn、Mo、Ni、Co; 贵 Au、Ag、Pt; 稀散 Ga	
石膏、硬石膏	海相沉积矿床	稀有 Sr; 化工 B、S、盐类	
	湖相沉积矿床	化工 S、盐类	
耐火粘土	沉积矿床	黑色 Fe、Ti; 有色 Al、Zr; 燃料煤	K <sub>2</sub> O、Na <sub>2</sub> O、MnO <sub>2</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、Fe
	残积矿床	黑色 Fe; 有色 Al	
萤石	内生矿床	有色 Pb、Zn; 化工 重晶石、石英	冶金: S、P、SiO <sub>2</sub>
	沉积矿床	建材 石膏	化工: SiO <sub>2</sub> 、S
石墨	晶质矿床	黑色 V; 稀有 Zr、Sr; 冶辅蓝晶石; 化工 S、P	Fe、S、SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、CaO、MgO
	非晶质石墨	稀散 Ge; 建材 瓷土	
盐类	海相沉积矿床 湖相沉积矿床 卤水矿床	稀有 Li、Rb、Cs、Sr; 稀散 Ga、Ge; 化工 B、I、Br; 气体 N、He、CO <sub>2</sub>	As、Fe、Mg、F、Ba、Cu、Pb、Zn
煤	海相沉积矿床 湖相沉积矿床	天然焦、高灰煤(高炭泥岩)、油页岩、锰铁矿、赤铁矿、菱铁矿、硫铁矿、铝土矿、膨润土、高岭土、耐火粘土、硅藻土、稀散 Ga、Ge、Sc; 稀有 Li、稀土元素、陶瓷原料、建筑原料、常规砂岩气(或油)、煤层气、地下水(热水)、铀矿物(沥青铀矿、晶质铀矿、铀黑)等	S、SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

## 附录 E

## (资料性附录)

## 伴生组分资源储量估算方法

## E.1 传统估算法

在主组分矿产资源储量估算的基础上,利用系统组合分析或基本分析得到的伴生组分的平均品位,乘以主组分矿石量,即得出伴生组分的资源储量。

估算矿产资源储量的平均品位,是由全部组合样品或基本分析样品平均求得,不作特高品位处理。当个别样品品位为零时,以零值参加平均品位计算。

这种方法简便,应用普遍,尤其在主组分和伴生组分之间无明显相关性时,宜用此法。

## E.2 相关分析法

当伴生组分与主组分之间存在相关性时,可用统计相关分析法估算矿产资源储量。其步骤如下:

a) 按式(E.1)计算矿体中伴生组分与主组分之间的相关系数( $\gamma$ )。

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{.....(E.1)}$$

式中:

$\gamma_i$ ——某组分样品中伴生组分与主组分品位间的相关系数;

$\bar{\gamma}$ ——伴生组分与主组分品位间的相关系数的平均值;

$n$ ——样品数;

$X_i$ ——某组分样品中伴生组分的品位;

$\bar{X}$ ——各组合样中主组分的平均品位;

$Y_i$ ——某组分样品中主组分的品位;

$\bar{Y}$ ——各组合样中伴生组分的平均品位。

相关性判别:当  $\gamma=0$  时,则无相关; $\gamma>0$  时,则正相关; $\gamma<0$  时,则负相关;当  $\gamma=\pm 1$  时,则完全相关。在实践中, $\gamma$  的绝对值大于某一定值,才能认为两者相关性明显,否则不能用线性相关分析估算资源储量,判别方法是:计算相关系数后,查相关系数检验表(见表 E.1)来加以判别。当  $|\gamma \pm \alpha| \geq 0.5$  时,可确定主组分与伴生组分具有相关性。

例:当  $n=10$ ,  $\gamma=0.82$ ,所需求的相关系数信度  $\alpha$  为 5%,查表中  $n-2=8$  那一行,得 0.632,而  $0.82 > 0.632$ ,说明相关明显,可以用线性相关分析法估算资源储量。

b) 求每一具体块段的伴生组分的品位  $X$ ,用直线回归方程式(E.2)计算。

$$X = \gamma \frac{\delta_X}{\delta_Y} (Y - \bar{Y}) + \bar{X} \quad \text{.....(E.2)}$$

为了使块段平均品位计算得更准确,常用联合回归方程式(E.3)、式(E.4)、式(E.5)同时计算。

$$X = \frac{1}{2} \left( \gamma + \frac{1}{\gamma} \right) \frac{\delta_X}{\delta_Y} (Y - \bar{Y}) + \bar{X} \quad \text{.....(E.3)}$$

$$\delta_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{.....(E.4)}$$

$$\delta_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad \text{.....(E.5)}$$



式中：

$\bar{X}$ ——所计算块段伴生组分的平均品位；

$\bar{Y}$ ——所计算块段主组分的平均品位；

$\delta_x$ ——伴生组分品位的均方差；

$\delta_y$ ——主组分品位的均方差。

用直线回归方程和联合回归方程计算的结果若有差值，是因为  $X$  和  $Y$  之间并非完全相关（即为非函数关系），差值愈大，相关性愈不明显。这种差值说明伴生组分和主组分之间有部分不相关。

c) 根据块段矿石量  $Q$  按式(E. 6)求出伴生组分资源储量  $P$ ：

$$P = Q \cdot \bar{X} \dots\dots\dots (E. 6)$$

表 E. 1

$n-2$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$	$n-2$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$	$n-2$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$
1	0.997	1.000	16	0.468	0.590	35	0.325	0.418
2	0.950	0.990	17	0.456	0.575	40	0.301	0.393
3	0.878	0.959	18	0.444	0.561	45	0.288	0.372
4	0.811	0.917	19	0.433	0.549	50	0.273	0.354
5	0.754	0.874	20	0.423	0.537	60	0.250	0.325
6	0.707	0.834	21	0.413	0.526	70	0.232	0.302
7	0.666	0.798	22	0.404	0.515	80	0.217	0.283
8	0.623	0.765	23	0.396	0.505	90	0.205	0.267
9	0.602	0.735	24	0.388	0.496	100	0.195	0.254
10	0.576	0.708	25	0.381	0.487	125	0.175	0.228
11	0.553	0.684	26	0.374	0.478	150	0.159	0.208
12	0.532	0.661	27	0.367	0.470	200	0.138	0.181
13	0.514	0.641	28	0.361	0.463	300	0.113	0.148
14	0.479	0.623	29	0.355	0.456	400	0.098	0.128
15	0.482	0.606	30	0.349	0.449	1 000	0.062	0.080

E. 3 单矿物法

伴生组分呈类质同象状态赋存于某种或某些有用矿物中，而主组分矿物比较单纯时，可通过对某些单矿物样品的分析得到其中伴生组分的品位，其具体操作是将矿物样碎至适当粒度后，在双筒放大镜下挑选出含有伴生元素的单矿物，然后通过分析测试获得单矿物中各组分的含量。

用单矿物中伴生组分品位估算资源储量为式(E. 7)：

$$P_i = P_0 \frac{b}{e} \cdot C_i \cdot h \dots\dots\dots (E. 7)$$

式中：

$P_i$ ——伴生组分的资源储量；

$P_0$ ——主组分的资源储量；

$b$ ——单矿物分子量；

$e$ ——单矿物中主组分(元素)的原子量；

$C_i$ ——单矿物中伴生组分  $i$  的平均品位；

$h$ ——单矿物纯度(单矿物中各组分含量之和,%)。

#### E.4 精矿法

根据实际选矿生产资料,利用获得的主组分精矿按式(E.8)估算伴生组分的资源量。

$$P_i = \frac{P_0}{C_0} \cdot \bar{C} \quad \dots\dots\dots (E.8)$$

式中:

$P_i$ ——伴生组分的资源储量;

$P_0$ ——主组分的资源储量;

$C_0$ ——精矿中主组分平均品位;

$\bar{C}$ ——精矿中伴生组分平均品位。

精矿法适用伴生组分基本赋存于主组分矿物中的矿产,为此,在选用此种方法前,需要进行各组分在矿物中的配比计算,其公式为式(E.9)和式(E.10):

$$C_i = a \cdot b \quad \dots\dots\dots (E.9)$$

$$d_i = \frac{C_i}{\sum C_i} \quad \dots\dots\dots (E.10)$$

式中:

$C_i$ ——矿物中某一组分的配分量;

$a$ ——某矿物含量;

$b$ ——某矿物中某组分的品位;

$d_i$ ——某组分在某矿物中的配分量;

$\sum C_i$ ——各矿物中某组分配分量总和。

理论上  $\sum C_i$  等于矿样的实测分析品位,如误差较大时,重新检查分析其单矿物的纯度和样品加工质量,以确定矿物分析数量的精度,并按式(E.11)求出组分的配分误差系数:

$$\gamma = \frac{C - \sum C_i}{C} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (E.11)$$

式中:

$C$ ——矿物中某组分的含量。

一般认为: $\gamma$  在  $\pm 10\%$  时为合格。

附 录 F  
(资料性附录)  
铀矿床伴生组分综合评价

花岗岩型铀矿床多为单一元素矿床。火山岩型、砂岩型、碳硅泥岩型和地浸砂岩型等铀矿床一般含有钼(Mo)、铼(Re)、银(Ag)、铅(Pb)、锌(Zn)、铜(Cu)、镍(Ni)、锗(Ge)、硒(Se)、氟(F)、磷(P)、钒(V)、铍(Be)等有用元素,在勘查铀矿同时要注意综合研究和评价。铀矿床伴生组分综合评价参考指标见表 F.1。

表 F.1

伴生元素	含量		伴生元素	含量 %
	%	10 <sup>-6</sup>		
金		0.5	钼	0.01
银		5	钒(V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.08
钴	0.01		磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	8
镍	0.02		钽(Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.01
铋	0.01		铌(Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.01
铁(mFe)	6		锗、硒、碲	0.001
铜	0.1		钨	0.000 2
铅	0.3		镓	0.001
锌	0.3		铯	0.000 02~0.001
汞	0.03		铊	0.003
铈	0.08~0.1		镉	0.002
铍	0.04			

附 录 G  
(资料性附录)  
铁锰铬矿床伴生组分综合评价

G.1 铁矿床综合评价

铁矿床中常伴生有钒(V)、钛(Ti)、钴(Co)、铜(Cu)、镍(Ni)、铅(Pb)、锌(Zn)、锡(Sn)、钼(Mo)、铝(Al)、硫(S)、磷(P)、镓(Ga)、锗(Ge)、硼(B)、铂(Pt)族元素、稀有稀土元素及铀(U)等。不同的矿床伴生有不同的组分。一些组分当其超过一定限量时,成为有害组分,但若这些有害组分通过选、冶途径可以分离出来综合回收时,它又变成了有用组分。因此,在铁矿勘查过程中需查明伴生组分的含量、赋存状态、分布规律、综合利用途径、回收的难易程度等,以便做出确切的评价。

铁矿床中的伴生元素达到铁矿石中伴生组分综合评价参考指标(见表 G.1)的含量要求时,注意综合评价。

当某些矿床中的伴生组分含量虽低于表 G.1 的要求,但在选矿后的尾矿中能高度富集时,需进行评价。

表 G.1

伴生组分		Co	Ni	Zn	Ag	S	Au	Pb	Cu	B
含量	%	0.02	0.1~0.2	0.2		2~4		0.2	0.1~0.2	1~2
	10 <sup>-6</sup>				5		0.1~0.2			
伴生组分		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sn	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mo	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	U	
含量/%		1~2	0.1	0.15~0.20	0.05	0.02	0.5	3~5	0.005	

伴生有用组分综合评价参考指标表说明:

- a) 表中 Co、Cu、Ni、Pb、Zn、Mo、S、Au、Ag 系指这些元素赋存于硫化物中的含量;
- b) V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 指赋存于有用铁矿物中的含量;
- c) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 指磷灰石状态时的含量;
- d) U 指以晶质铀矿、方钍石等独立矿物存在时的含量;
- e) Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 指以铌铁矿物为主的含量;
- f) TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 指以独居石、氟碳铈矿矿物为主时的含量;
- g) Sn 指富集在铁精矿中的锡,当铁精矿还原焙烧时,锡被挥发,可在烟道中回收或在铁尾矿中呈锡石单独矿物的含量;
- h) TiO<sub>2</sub> 指钒钛磁铁矿床中,可被选出的粒状钛铁矿中的含量;
- i) 铁矿石中其他有用组分,如铬、镓、锗、硼等达到多少含量即时综合回收,目前尚无成熟经验,在工作中可据具体情况与有关部门商定;
- j) 表中含量一般为块段平均品位。

G.2 锰矿床综合评价

G.2.1 锰矿石的用途不同,对矿石的含锰量等的要求亦不同,特别是矿石中 MnO<sub>2</sub> 含量高、可用于制作干电池的,在勘查中要特别注意,单独圈出,以便优质优用。

G.2.2 在锰矿中常有铁(Fe)、钴(C)、镍(Ni)及有色、贵金属等伴生,在勘查中需注意评价。根据有关试验成果,采用化学选矿工艺,综合回收效果较好,技术经济上可行,可提高锰矿石利用价值,需根据加工选冶试验结果制订合理的工业指标。锰矿石中伴生组分综合评价参考指标见表 G.2。

表 G.2

元素或组分		Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S
含量	%	0.02~0.03	0.1~0.2	0.1~0.2	0.4	0.4			1~3	2~4
	10 <sup>-6</sup>						0.2	5		

G.2.3 锰矿石中伴生元素多成细微粒分散、包裹,或与锰铁矿物结合的状态存在。

G.3 铬矿床综合评价

在铬矿中常伴生有铂族(Pt)[以钌(Ru)、铱(Ir)、钌(Ru)为主]及钴(Co)、镍(Ni)等元素,当铂族总量>0.2×10<sup>-6</sup>、Co>0.02%、Ni>0.2%时,需作出评价。铬矿体的围岩纯橄岩、斜方辉岩、蛇纹岩,可做耐火材料和制作钙镁磷肥的配料,围岩里有时还见有石棉、滑石、水镁石、菱镁矿等,勘查工作中需注意评价。

附 录 H  
(资料性附录)

钨、锡、汞、锑矿床伴生组分综合评价

H.1 钨矿床综合评价

钨矿床中伴生组分有锡(Sn)、钼(Mo)、铋(Bi)、铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、锑(Sb)、铍(Be)、钴(Co)、金(Au)、银(Ag)、铌(Nb)、钽(Ta)、稀土(TR)、锂(Li)、砷(As)、硫(S)、磷(P)、压电水晶和熔炼水晶、萤石等。这些组分大多数对钨的冶炼工艺和钨制品而言是有害杂质,但经选冶富集综合回收,可成为有用组分。

据当前技术经济条件,当钨矿床中伴生组分达到了钨矿床伴生组分综合评价参考指标(见表 H.1)的含量时,要注意综合评价。

表 H.1

元素	含量		元素	含量/%
	%	10 <sup>-6</sup>		
Cu	0.05		Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01
Zn	0.2		Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02
Pb	0.2		BeO	0.03
Co	0.01		Sb	0.3
Sn	0.03		Li <sub>2</sub> O	0.3
Mo	0.01		TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03
Bi	0.03		S	4
In	0.001		Ga	0.001
Au		0.1	Ge	0.001
Ag		1	Cd	0.001

H.2 锡矿床综合评价

原生锡矿中常伴生钨(W)、铅(Pb)、锡(Sn)、铜(Cu)、锑(Sb)、铌(Nb)、钽(Ta)、铍(Be)、铋(Bi)等,有时还有硫(S)、砷(As)和铁(Fe)。砂锡矿中通常共生、伴生有自然金、黑钨矿、白钨矿、独居石、金红石、白铅矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等有用矿物,以及铌、钽等稀有元素,要注意综合评价。锡矿床伴生有用组分综合评价参考指标见表 H.2。

表 H.2

元素	Cu	Pb	Zn	Bi	WO <sub>3</sub>	Mn	mFe	S
含量/%	0.2	0.4	0.4	0.01	0.02	4	3~6	6

H.3 汞矿床综合评价

汞矿常伴生有分散元素硒、放射性元素铀等,在勘查中要注意综合评价,同时对具有综合利用价值的共生矿产或上覆、下伏的有用矿产,需阐明其矿物种类、含量变化、分布规律及其回收情况等。

一定数量的砷在冶炼时会随辰砂升华而降低水银的纯度,一定数量的辉锑矿也易于结焦而影响汞回收率;因此,评价中要确定其含量,查明伴生组分对矿石加工选冶的有益或不利影响。

H.4 锑矿床综合评价

我国锑矿石往往与金(Au)、钨(W)、铅(Pb)、锌(Zn)、汞(Hg),以及锡(Sn)、铜(Cu)、铋(Bi)、砷(As)、硫

(S)、铁(Fe)、镍(Ni)、钴(Co)、锰(Mn)、镉(Cd)、铂(Pt)、钯(Pd)、钌(Ru)、硒(Se)等相伴生。当杂质砷超过 0.05%、铁超过 0.02%、硫超过 0.04%、铜超过 0.01%，或者杂质总量超过 0.15%，不符合我国金属锑标准化学成分的工业要求时，则要系统地确定综合评价参考指标。锑矿床中伴生组分综合评价参考指标见表 H.3。

表 H.3

伴生组分	含量		伴生组分	含量	
	%	10 <sup>-6</sup>		%	10 <sup>-6</sup>
Au		0.1	Sn	0.08	
Zn	0.2		Ag		2
WO <sub>3</sub>	0.05		Bi	0.05	
Hg	0.005		Se	0.001	
Pb	0.2		Co	0.01	
As	0.2		Ni	0.1	
S	4		CaF <sub>2</sub>	5	
Cu	0.1		BaSO <sub>4</sub>	8	

**附 录 I**  
**(资料性附录)**

**铝土矿、冶镁菱镁矿矿床伴生组分综合评价**

**I.1 铝土矿综合评价**

铝土矿矿石中含有镓(Ga)、钒(V)、钽(Ta)、钛(Ti)、铈(Ce)、锂(Li)及放射性元素等有用组分,目前已综合利用的有镓。沉积型铝土矿层常常相变为耐火粘土,其上部、下部常常共生多种有用矿产,如铁矿、硫铁矿、熔剂灰岩、煤矿、高岭土、陶瓷土、铁矾土等;红土型铝土矿常共生有钴土矿等。对具有价值的共伴生矿产,需注意综合评价。

**I.2 镁矿床综合评价**

镁质碳酸盐岩层中的菱镁矿矿床内共伴生矿产一般有镁化白云岩、白云岩滑石、石棉、透闪石和石料等。超基性岩中的菱镁矿床还要注意镍(Ni)、镉(Cd)、铬(Cr)、铂(Pt)、钴(Co)及蛇纹岩。

菱镁矿常与白云岩、大理岩、蛇纹岩、石棉、滑石、石膏、盐矿等矿产共生,尤其是产在超基性岩蛇纹石中的菱镁矿,可能伴生有镍(Ni)、镉(Cd)、铬(Cr)、铂(Pt)、钴(Co),需注意综合评价。



附录 J  
(资料性附录)

稀有金属矿产伴生组分综合评价

J.1 锂矿床综合评价

锂(Li)常与铌(Nb)、钽(Ta)、铍(Be)、铷(Rb)、铯(Cs)、云母、长石、萤石伴生;盐湖锂矿常伴生有钠盐、钾、芒硝、镁盐、天然碱、硼、溴、碘等。在矿床勘查时要注意综合评价。

J.2 铍矿床综合评价

铍矿床中常有锂(Li)、钽(Ta)、铌(Nb)、铯(Cs)、钨(W)、锡(Sn)、铅(Pb)、锌(Zn)及云母等伴生组分,要注意综合评价。BeO在花岗伟晶岩类矿床及气成-热液矿床中 $\geq 0.04\%$ ;在碱性钠长石花岗岩类矿床中 $0.04\% \sim 0.06\%$ 即有意义。

J.3 铌钽矿床综合评价

铌钽常与锂(Li)、铍(Be)、铷(Rb)、铯(Cs)、锆(Zr)、锡(Sn)、钍(Th)等元素伴生,在砂矿中常与独居石、锡石、金红石、锆英石、钛铁矿等伴生,除上述金属矿物伴生外,还有一些非金属矿物如长石、石英等,在花岗伟晶岩型的矿床中常产有各种宝石、玉石、彩石矿物和石材等,因此要注意综合评价。伴生锂铍铌钽综合评价参考指标见表 J.1。

表 J.1

矿床类型	铍	锂	铌 钽	
	BeO %	Li <sub>2</sub> O %	$(Ta, Nb)_2O_5$ % ( $Ta_2O_5/Nb_2O_5 > 0.4$ )	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %
花岗伟晶岩矿床与 气成-热液矿床	0.04	0.2	0.007~0.01	0.003
碱性长石花岗岩矿床	0.04~0.06	0.03	0.01~0.015	0.005

附 录 K

(资料性附录)

岩金矿床伴生组分综合评价

金矿床中伴生有用组分多,在岩金矿床中常伴生有银(Ag)、铜(Cu)、锌(Zn)、铅(Pb)、钨(W)、锑(Sb)、钼(Mo)、硫(S)、铋(Bi)、钇(Y)矿、白钨矿、独居石、刚玉等。为了综合利用矿产资源,当伴生组分达到岩金矿床中伴生组分综合评价参考指标(见表 K. 1)时,需做出综合评价。

表 K. 1

元素或组分		Cu	Pb	Zn	WO <sub>3</sub>	Sb	Mo	As	Co	S	Ag
含量	%	0.1	0.2	0.2	0.05	0.3	0.01	0.2	0.01	2.0	
	10 <sup>-6</sup>										2

附 录 L  
(资料性附录)

铜铅锌银镍钴钼矿床伴生组分综合评价

L.1 铜矿床综合评价

当铜矿床中伴生组分达到铜矿床伴生组分综合评价参考指标(见表 L.1)所列含量时,要认真进行取样分析研究,作出综合评价。

表 L.1

元素 或组分		Pb	Zn	Mo	Co	WO <sub>3</sub>	Sn	Ni	S	Bi	Au	Ag	Cd、Se、Te、Ga、Ge、Re、 In、Tl
含量	%	0.2	0.2	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1	1	0.05			0.001
	10 <sup>-6</sup>										0.1	1	

L.2 铅锌矿床综合评价

在铅锌矿床中常伴生多种具有综合利用价值的伴生组分,如铜(Cu)、钨(W)、锡(Sn)、钼(Mo)、铋(Bi)、砷(As)、汞(Hg)、钴(Co)、镍(Ni)、金(Au)、银(Ag)、铂(Pt)、稀有金属、稀散元素、铀以及硫铁矿、磁铁矿、萤石、天青石、重晶石等,需注意综合评价。铅锌矿床伴生组分综合评价参考指标见表 L.2。

表 L.2

元素		Cu	WO <sub>3</sub>	Sn	Mo	Bi	S	Sb	CaF <sub>2</sub>	Au	Ag	As
含量	%	0.06	0.06	0.08	0.02	0.02	4	0.3	5			0.2
	10 <sup>-6</sup>									0.1	2	
元素		U	Cd	In	Ga	Ge	Se	Te	Tl	Hg	mFe	
含量/%		0.02	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	3~6	

L.3 银矿床综合评价

在勘查银矿床时,注意对金(Au)、铅(Pb)、锌(Zn)、铜(Cu)、硫(S)、镉(Cd)、锰(Mn)、锗(Ge)、镓(Ga)等伴生组分的综合评价工作。另外,银经常伴生于铜矿、多金属矿床。因此,在勘查多金属矿床时,要重视综合评价银及其他伴生组分,银矿床伴生组分综合评价参考指标(见表 L.3);当银的平均含量达到  $40\times 10^{-6}\sim 50\times 10^{-6}$ ,也可按主矿产进行评价。

表 L.3

元素		Au	Pb	Zn	Cu	S	Cd	Mn
含量	%		0.2	0.2	0.1	2	0.005	4
	10 <sup>-6</sup>	0.1						

L.4 镍矿床综合评价

硫化镍矿床普遍含铜,常称含铜硫化镍矿床。镍矿体中铜无需单独制定指标和圈定矿体,当镍品位达不到指标而铜可形成单独矿体时,其指标可按铜执行。除铜外,一般常伴生有铁(Fe)、铬(Cr)、钴

(Co)、锰(Mn)、铂(Pt)族元素、金(Au)、银(Ag)及硒(Se)、碲(Te)等。镍矿床伴生组分综合评价参考指标见表 L. 4。

表 L. 4

元素	Pt,Pd	Os,Ru,Rh,Ir	Au	Ag	Co	Se	Te
含量/ $10^{-6}$	0.03	0.02	0.05~0.1	1.0	100	6	2

在蛇纹岩、滑石等矿床中含有较高的镍,常有回收价值,在评价该类矿床时要注意综合评价。

L.5 钴矿床综合评价

单独的钴矿床较少。钴大量分散在矽卡岩型铁矿、钒钛磁铁矿、热溶多金属矿、各种类型铜矿、沉积钴锰矿、硫化铜镍矿、硅酸镍等矿床中。其品位虽低,但规模往往较大,是提取钴的主要来源。

复合矿床选冶性能较好的矿石,当含钴品位大于 0.01%,钴精矿品位达 0.2%时便有价值。

L.6 钼矿床综合评价

钼矿床中常伴生有钨(W)、铋(Bi)、铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、钴(Co)、铁(Fe)、金(Au)、铌(Nb)、铍(Be)、铼(Re)、铟(In)、硒(Se)、碲(Te)、铀(U)、硫(S)等,尤其是铼主要伴生在辉钼矿中,为提取钼时的重要副产品。当钼矿床伴生组分达到钼矿床伴生组分评价参考指标(见表 L. 5)要求时,要注意综合评价。

表 L. 5

元素		WO <sub>3</sub>	Cu	Pb	Zn	mFe	S	Bi	Re
含量	%	0.06	0.1	0.2	0.2	3~6	1	0.03	
	$10^{-6}$								10

伴生有用组分评价参考指标表说明:

- a) 矿石中伴生元素含量大于表 L. 5 中指标时,需研究回收利用途径;
- b) 表中“S”含量指标系指黄铁矿中硫在矿石中的含量;
- c) 伴生元素中的 Cu、WO<sub>3</sub>、Pb、Zn、Sn、Mo、Fe、Bi、CaF<sub>2</sub>、Sb 等主要是对能形成独立的有用矿物,通过加工选矿能选出单独精矿产品而言的,如:Pb、Zn、Cu 主要系指赋存于硫化矿物中者;WO<sub>3</sub> 主要系指赋存于白钨矿、黑钨矿中者;Sn 主要系指赋存于锡石中者;Mo 主要系指赋存于辉钼矿中者;CaF<sub>2</sub> 主要指赋存于萤石中者;Sb 主要系指赋存于硫锑铅矿和脆硫锑铅矿中者;Fe 主要系指赋存于磁铁矿中者;Bi 主要系指赋存于辉铋矿中者;
- d) Ge、Ga、In、Se、Te、Cd 等分散元素,经选矿一般富集在铜、铅、锌的精矿中,通过冶炼回收。

附录 M  
(资料性附录)

硫铁矿磷矿床伴生组分综合评价

M.1 硫铁矿矿床综合评价

硫铁矿常与多金属矿共、伴生。共、伴生矿产主要有：铁(Fe)、铅(Pb)、锌(Zn)、铜(Cu)等矿产和金(Au)、银(Ag)、钴(Co)、硒(Se)、碲(Te)、镉(Cd)等元素，以及其他金属和某些非金属矿产，要注意综合评价。在沉积矿床中，黄铁矿常与煤、铝土矿、耐火粘土等共生，需注意综合勘查，综合评价，供综合开发利用。硫铁矿伴生组分综合评价参考指标见表 M.1。

表 M.1

组 分		Cu	Pb	Zn	Co	Se	Te	Cd	Au	Ag
含量	%	0.1~0.2	0.2~0.4	0.2~0.4	0.01~0.02	0.001	0.005	0.001		
	10 <sup>-5</sup>								0.2	5

M.2 磷矿床综合评价

在磷矿床中常伴生有氟(F)、碘(I)、稀土元素，放射性元素，以及锰、含钒钛磁铁矿、钛铁矿、黄铜矿、黄铁矿、石墨、蛭石等矿产，在评价磷矿床时，要注意综合评价。当磷矿石中的伴生元素含量达到：U>0.02%~0.03%、I>0.004%~0.005%、mFe>3%~6%时，需考虑综合回收。

附录 N  
(资料性附录)

盐类盐湖矿床地热热水伴生组分综合评价

N.1 钾盐矿床综合评价

钾盐矿床常与岩盐、镁盐、芒硝、石膏等伴(共)生,并常伴生有硼(B)、锂(Li)、碘(I)、溴(Br)、铯(Cs)、铷(Rb)等元素,需注意综合评价。

N.2 芒硝矿床综合评价

芒硝是蒸发作用使水介质中的可溶盐发生化学沉淀形成的蒸发岩型矿床,和其他盐类矿物有密切关系。在碳酸盐类型的盐湖中,常与天然碱、苏打等形成矿物组合;在硫酸盐类型的盐湖中,常与石膏、石盐、白钠镁矾等形成矿物组合;在一些盐湖卤水和晶间卤水中,可含硼(B)、锂(Li)、溴(Br)、碘(I)、锶(Sr)等稀有元素,需注意综合评价。

N.3 石膏和硬石膏矿床综合评价

石膏和硬石膏矿床综合评价遵循以下原则:

- a) 石膏矿床的生成条件与盐类矿床(如钾盐、岩盐等)极为相似,有时以石膏、硬石膏为主,成为石膏矿床,有时则以岩盐为主,成为重要的岩盐矿床,或者膏盐均有工业价值,需综合勘查、综合评价;
- b) 某些石膏的膏层及粘土质膏层中,常含较多天青石矿物(含锶),要注意分析测试与评价;
- c) 由于硬石膏可代替含水石膏,用于生产硅酸盐水泥的缓凝剂,因此,要重视对硬石膏的评价和利用。

N.4 重晶石矿床综合评价

重晶石常与各种硫化物(黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿)及其氧化产物以及石英、碧玉、菱镁矿、菱锰矿、天青石、萤石等矿物共生,在铜铅锌等有色金属矿床中常伴生重晶石,在金银稀土矿床中重晶石是主要脉石矿物,需注意综合评价。

N.5 天然碱矿床综合评价

天然碱矿床常伴生有盐、芒硝、无水芒硝等矿产,并含有少量钾、硼、碘、溴等元素,要注意综合评价。盐类矿产伴生组分综合评价参考指标见表 N.1。

表 N.1

组 分		KCl	MgCl <sub>2</sub>	NaCl	LiCl	Li <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
含量 %	固体	1	5	20		0.06	8~20
	卤水	0.2	1	5	150 mg/L		3
组 分		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Br <sup>-</sup>	Rb <sub>2</sub> O	Cs <sub>2</sub> O	I <sup>-</sup>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
含量 %	固体	10~15		0.02	0.01	0.005~0.01	0.2~0.5
	卤水	1.5	(50~60)mg/L	50 mg/L	(20~30)mg/L	(15~20)mg/L	400 mg/L

N.6 硼矿床综合评价

硼镁铁矿床常与磁铁矿、硼镁石紧密共生,并伴生磷灰石,放射性铀等;硼镁石矿床共生蛇纹岩,可作含硼的钙镁磷肥的原料。硼镁铁矿床、硼镁石矿床均需进行综合勘查、评价。

盐湖硼矿床共、伴生石盐、芒硝、天然碱、镁盐、钾盐、锂等也可综合利用。

N.7 地热水可以提取伴生元素的最低含量标准

根据热田规模综合评价,地热水可以提取伴生元素的综合评价参考指标见表 N.2。

表 N.2

元 素	碘(I)	溴(Br)	铯(Cs)	锂(Li)	铷(Rb)	锗(Ge)
指标 mg/L	20	50	80	25	200	5

## 附录 O

### (资料性附录)

#### 煤的勘查中对煤层气及其他有益矿产的勘查评价

##### O.1 煤的勘查中对煤层气的勘查评价

O.1.1 煤层气的勘查评价工作与煤炭的勘查同时部署,同时进行,并提交煤炭和煤层气综合勘查报告。

O.1.2 在预查阶段,需开展野外和邻近矿井煤层气地质调查,了解煤层割理发育情况及方向,调查邻近矿井瓦斯情况。

O.1.3 在普查阶段要着重了解勘查区内煤层气赋存的基本特征,并对其进一步工作的前景做出评价。

O.1.4 在勘查过程中,当发现勘查区主要可采煤层的煤层气含量达到《煤层气资源/储量规范》规定指标时,适当加密采样进行控制。

O.1.5 在详查、勘探阶段,当发现勘查区主要可采煤层的煤层气平均含量达到《煤层气资源/储量规范》规定指标时,选择钻孔对主要可采煤层施工参数井。

O.1.6 在勘探阶段,大、中型煤炭矿产地的主要可采煤层,煤层气含量高于《煤层气资源/储量规范》规定指标且具备规模化地面抽采条件时,通过试采工程进行煤层气抽采试验。

O.1.7 当勘查区主要可采煤层的煤层气含量达到规定指标时,按照《煤层气资源/储量规范》估算煤层气资源储量。

##### O.2 煤的勘查中对其他有益矿产的勘查评价(参见附录 D)

O.2.1 预查和普查阶段,在详细研究区内和邻区有关资料的基础上,对已知的矿层和可能具有某种工业意义的岩层,进行描述、鉴定和采样分析测试,大致了解有益矿产的种类及其分布范围、厚度和品位。对具有含矿特征的岩层和可能用作建筑材料的岩层、松散沉积物等,进行详细的分层描述,并采取样品进行分析试验。选择部分探槽、探井、小煤矿和少量钻孔,对所有煤层(包括夹矸和顶底板)、炭质泥岩进行系统采样,先做光谱分析,然后根据微量元素的含量进行定量分析。还需选择一至两个钻孔,对所有岩层分别采样作光谱分析,发现有价值的元素做定量分析。

O.2.2 在详查阶段,对已初步确定达到工业品位的矿产,利用自然露头、小煤矿和钻孔,布置一定数量的采样点进行采样分析,初步查明其厚度和品位变化,做出有无工业价值的初步评价。

O.2.3 在勘探阶段,对具有工业价值的有益矿产,圈定符合工业品位和可采厚度要求的范围。根据实际达到的工作程度,估算其资源储量,并对开发利用的可能性和途径做出评价。若需要进行专门性的勘查工作,参照有关矿种规范研究确定。



附 录 P  
(资料性附录)

伴生组分综合评价最低品位参考指标汇总表

伴生组分综合评价最低品位参考指标汇总表 P.1。

表 P.1

伴生组分	铁 矿 床	锰 矿 床	铬 矿 床	钨 矿 床	锡 矿 床	钼 矿 床	铜 矿 床	镍 矿 床	铅 锌 矿 床	锑 矿 床	金 矿 床	银 矿 床	铀 矿 床	硫 铁 矿 床	磷 矿 床
铁(mFe)/%					3~6	3~6			3~6				6		3~6
锰(Mn)/%					4							4			
钛(TiO <sub>2</sub> )/%	3~5														
钒(V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/%	0.15~ 0.2												0.08		
钨(WO <sub>3</sub> )/%					0.02	0.06	0.05		0.06	0.05	0.05		0.08~ 0.1		
锡(Sn)/%	0.1			0.03			0.05		0.08	0.08					0.04
铋(Bi)/%				0.03	0.01	0.03	0.05		0.02	0.05			0.01		
钼(Mo)/%	0.02			0.01			0.01		0.02		0.01		0.01		
铜(Cu)/%	0.1~ 0.2	0.1~ 0.2		0.05	0.1	0.1			0.06	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1~ 0.2	
钴(Co)/%	0.02	0.02~ 0.03	0.02	0.01			0.01	0.01		0.01	0.01		0.01	0.01~ 0.02	
镍(Ni)/%	0.1~ 0.2	0.1~ 0.2	0.2				0.1			0.1			0.02		
铅(Pb)/%	0.2	0.4		0.2	0.4	0.2	0.2			0.2	0.2	0.2	0.3	0.2~ 0.4	
锌(Zn)/%	0.2	0.4		0.2	0.4	0.2	0.2			0.2	0.2	0.2	0.3	0.2~ 0.4	
砷(As)/%									0.2	0.2	0.2				
锑(Sb)/%				0.3					0.3		0.3				
汞(Hg)/%									0.005	0.005			0.03		
碘(I)/%															0.004
金(Au)10 <sup>-6</sup>	0.1~ 0.2	0.2		0.1			0.1	0.05~ 0.1	0.1	0.1		0.1	0.5	0.2	
银(Ag)10 <sup>-6</sup>	5	5		1			1	1	2	2	2		5	5	

表 P.1 (续)

伴生组分	铁 矿床	锰 矿床	铬 矿床	钨 矿床	锡 矿床	钼 矿床	铜 矿床	镍 矿床	铅 锌 矿床	锑 矿床	金 矿床	银 矿床	铀 矿床	硫 铁 矿床	磷 矿床
铂族 (总量) $10^{-6}$			0.2					0.02							
锂(Li <sub>2</sub> O)/%				0.3											
铍(BeO)/%				0.03									0.04		
铌(Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/ %	0.05			0.02									0.01		
钽(Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/ %				0.01									0.01		
镓(Ga)/%				0.001			0.001		0.001				0.001		
锗(Ge)/%				0.001			0.001		0.001				0.001		
镉(Cd)/%				0.001			0.001		0.01			0.005	0.002	0.001	
铟(In)/%				0.001			0.001		0.001				0.000 2		
铼(Re) $10^{-6}$						10	10						0.2~ 10		
铊(Tl)/%							0.001		0.001				0.003		
硒(Se)/%							0.001	0.000 6	0.001	0.001			0.001	0.001	
碲(Te)/%							0.001	0.000 2	0.001				0.001	0.005	
稀土 (REO)/% (TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/%	0.5			0.03											
铀(U)/%	0.005								0.02						0.02
钡(BaSO <sub>4</sub> )/%										8					
硼(B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/%	1~2	1~3													
磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/%	1~2												8		
硫(S)/%	2~4	2~4		4	6	1	1		4	4	2	2			
氟(CaF <sub>2</sub> )/%									5	5					

附 录 Q  
(资料性附录)  
伴生组分综合评价品位计算公式

Q.1 以独立矿物存在的伴生有用组分品位计算公式[见式(Q.1)]

$$C \geq \frac{\beta \cdot \alpha}{(1 - \gamma) \cdot \epsilon \cdot \rho} \dots\dots\dots (Q.1)$$

式中：  
C——某伴生组分的品位(%)；  
β——伴生组分精矿产品品位(%)；  
α——回收伴生组分的直接成本，单位为元每吨(元/t)；  
γ——采矿贫化率(%)；  
ε——伴生组分选矿回收率(%)；  
ρ——伴生组分精矿产品价格，单位为元每吨(元/t)。

Q.2 综合最低品位的计算公式[见式(Q.2)]

$$C = C_z + \sum_1^n K \cdot C_c \dots\dots\dots (Q.2)$$

式中：  
C——将次要有用组分品位折算成主要有用组分的品位后的矿石综合最低品位(%)；  
C<sub>z</sub>——主要有用组分品位(%)；  
C<sub>c</sub>——次要有用组分品位(%)；  
n——矿石中伴生有用组分种类数；  
K——品位折算系数。  
K 的确定方法：  
a) 价格比法[见式(Q.3)]

$$K = \frac{J_c}{J_z} \dots\dots\dots (Q.3)$$

式中：  
K——折算系数；  
J<sub>c</sub>——次要有用组分产品销售价格，单位为元每吨(元/t)；  
J<sub>z</sub>——主要有用组分产品销售价格，单位为元每吨(元/t)。  
b) 产值比法[见式(Q.4)]

$$K = \frac{J_c \cdot C_c \cdot \epsilon_c \cdot \beta_c}{J_z \cdot C_z \cdot \epsilon_z \cdot \beta_z} \dots\dots\dots (Q.4)$$

式中：  
K——折算系数；  
J<sub>c</sub>——次要有用组分产品销售价格，单位为元每吨(元/t)；  
C<sub>c</sub>——次要组分地质品位(%)；  
ε<sub>c</sub>——次要组分选矿回收率(%)；  
β<sub>c</sub>——次要组分最终产品组分品位(%)；  
J<sub>z</sub>——主要有用组分产品销售价格，单位为元每吨(元/t)；

$C_z$ ——主要组分地质品位(%)；

$\epsilon_c$ ——主要组分选矿回收率(%)；

$\beta_z$ ——主要组分最终产品组分品位(%)。

c) 利润比法[见式(Q.5)]

$$K = \frac{(J_c - Ch_c) \cdot C_c \cdot \epsilon_c \cdot \beta_c}{(J_z - Ch_z) \cdot C_z \cdot \epsilon_z \cdot \beta_z} \dots\dots\dots (Q.5)$$

式中：

$Ch_c$ ——次要组分的产品成本，单位为元每吨(元/t)；

$Ch_z$ ——主要组分的产品成本，单位为元每吨(元/t)。

### Q.3 矿产综合评价品位

在制定综合工业品位时，品位指标有可能比只利用其中某一单项矿产的指标有所降低。

#### a) 综合品位评价矿产的实例

河南某钽铌共生的矿床，采用钽+铌的综合品位为：

——钽及铌氧化物总量： $(Ta, Nb)_2O_5 > 0.02\%$ ；

——氧化钽及氧化铌比值： $Ta_2O_5:Nb_2O_5 > 1:3$ ；

——可回收的铌钽重矿物、人工重砂  $> 200 \times 10^{-6}$ 。

#### b) 用金属折算等值系数评价矿产的实例

江西某钨、锡矿床  $1 \text{ Sn} = 0.6 \text{ WO}_3$ 。

江西某铜矿  $1 \text{ S} = 0.016 \text{ Cu}$ 。

江西某钨、铋矿床  $1 \text{ Mo} = 0.77 \text{ WO}_3$ ；

$1 \text{ Bi} = 0.59 \text{ WO}_3$ ；

$1 \text{ Bi} = 0.44 \text{ MO}$ 。

江西某铜铁矿床  $1 \text{ Cu} = 60 \text{ S}$ 。

安徽某铜矿床  $1 \text{ Fe} = 0.0047 \text{ Cu}$ 。

福建某钨矿床  $1 \text{ WO}_3 = 0.56 \text{ MO}$ 。

吉林某铜矿床  $\text{Ag } 1 \times 10^{-6} = \text{Cu } 0.18\%$ ；

$0.2 \text{ Li}_2\text{O} = 0.01(Ta, Nb)_2O_5$ 。

江西某钨铍矿床  $\text{Be } 1\% = 0.5\% \text{ WO}_3$ ；

$\text{Bi } 1\% = 0.1\% \text{ WO}_3$ ；

$\text{Zn } 1\% = 0.013 \text{ WO}_3$ 。

中南某花岗伟晶岩矿床  $\text{Li}_2\text{O } 0.2\% = 0.01\%(Ta, Nb)_2O_5$ 。

内蒙某银铅锌矿床  $\text{Pb } 1\% = \text{Ag } 50 \times 10^{-6}$ 。

注1：某有色冶金设计院对于不能分别开采的伴生有用组分，用等值比方法，提出一个换算的参考公式，供参考。

等值系数  $K = \text{主元素金属价格} \times \text{主元素实收率} / \text{伴生元素金属价格} \times \text{伴生元素实收率}$ 。

注2：文中采用的矿产品价格、精矿价格均以最近3年~5年的平均价格为准。

附录 R  
(资料性附录)

共生伴生矿产综合经济评价计算方法

R.1 共生矿产综合经济评价计算方法

可采用总利润法计算其在全采期的期望总利润值,其公式如式(R.1)所示:

$$I_{\text{共}} = K \sum_{j=1}^n Q_j \epsilon_j (P_j - G_j) - R_{\text{共}} \quad \dots\dots\dots (\text{R.1})$$

式中:

- $I_{\text{共}}$ ——全采期共生矿产开发利用的期望总利润(万元);
- $K$ ——可采资源储量系数;
- $n$ ——共生矿产种类数;
- $Q_j$ ——各种共生矿产资源储量(万吨);
- $\epsilon_j$ ——不同共生矿产采选冶回收率(%);
- $P_j$ ——不同共生矿产的产品售价,单位为元每吨(元/t);
- $G_j$ ——不同共生矿产的单位综合成本,单位为元每吨(元/t);
- $R_{\text{共}}$ ——共生矿产开发总投资。

以上公式可用于:

- a) 计算包括主矿产在内的整个矿床开发的期望总利润;
- b) 若赋予符号的不同含义,也可以计算不包括主矿产的其余所有共生矿产的期望总利润。此时, $G_j$ 则表示不包括主矿产的其他共生矿产的单位综合成本, $R_{\text{共}}$ 中也减去开发主矿产的总投资;
- c) 当 $R_{\text{共}}$ 仅表示开发某种共生矿产的投资, $G_j$ 表示开发某种共生矿产的单位成本时,以上公式又可以计算开发某种共生矿产的期望利润。

R.2 伴生矿产综合经济评价计算方法中的期望总利润法

伴生矿产综合经济评价使用期望总利润的基本步骤分二步:  
第一步,确定某种伴生组分综合利用是否合算。其评价公式可分不计评价和计时评价两种。

a) 不计评价公式[见式(R.2)]

$$I = Z - S - J \quad \dots\dots\dots (\text{R.2})$$

式中:

- $I$ ——回收某种伴生组分期望总利润,应 $\geq 0$ ;
- $Z$ ——回收某种伴生组分的产值;
- $S$ ——回收某种伴生组分的直接生产费用;
- $J$ ——追加的基建投资。

b) 计时评价公式[见式(R.3)]

$$\Delta R = \sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \Delta S_i) a_i - \Delta J \geq 0 \quad \dots\dots\dots (\text{R.3})$$

式中:

- $\Delta R$ ——回收某种伴生组分贴现总利润,应 $\geq 0$ ;
- $\Delta Z_i$ ——相应年产值增量;

$\Delta S_i$ ——相应年直接生产费用增量；

$\Delta J$ ——相应年基本建设投资增量；

$\alpha_t$ ——现值换算系数；

$n$ ——回收年限。

第二步，用期望总利润法评价矿床综合利用伴生组分在经济效果。

用期望总利润法进行评价的计算公式如式(R. 4)所示：

$$I_{\text{并}} = KQ_{\text{主}} \epsilon_{\text{采}} \sum_{i=1}^n \beta_i \epsilon_i (P_i - G_i) - R_{\text{并}} \quad \text{..... ( R. 4 )}$$

式中：

$I_{\text{并}}$ ——全采期综合利用期望总利润(万元)；

$K$ ——地质可靠程度系数；

$Q_{\text{主}}$ ——地质查明主组分资源储量(万吨)；

$\epsilon_{\text{采}}$ ——采矿回收率(%)；

$n$ ——伴生有用组分个数；

$\beta_i$ ——伴生组分地质品位(%)；

$\epsilon_i$ ——伴生组分选冶回收率(%)；

$P_i$ ——伴生组分产品售价，单位为元每吨(元/t)；

$G_i$ ——伴生组分加工直接成本，单位为元每吨(元/t)；

$R_{\text{并}}$ ——回收伴生组分所增加的投资(万元)。

参 考 文 献

- [1] GB/T 13908—2002 固体矿产地质勘查规范总则
  - [2] DZ/T 0199—2002 铀矿地质勘查规范
  - [3] DZ/T 0200—2002 铁、锰、铬矿地质勘查规范
  - [4] DZ/T 0201—2002 钨、锡、汞、锑矿产地质勘查规范
  - [5] DZ/T 0202—2002 铝土矿、冶镁菱镁矿地质勘查规范
  - [6] DZ/T 0203—2002 稀有金属矿产地质勘查规范
  - [7] DZ/T 0204—2002 稀土矿产地质勘查规范
  - [8] DZ/T 0205—2002 岩金矿地质勘查规范
  - [9] DZ/T 0206—2002 高岭土、膨润土、耐火粘土矿产地质勘查规范
  - [10] DZ/T 0207—2002 玻璃硅质原料、饰面石材、石膏、温石棉、硅灰石、滑石、石墨矿产地质勘查规范
  - [11] DZ/T 0208—2002 砂矿(金属矿产)地质勘查规范
  - [12] DZ/T 0209—2002 磷矿地质勘查规范
  - [13] DZ/T 0210—2002 硫铁矿地质勘查规范
  - [14] DZ/T 0211—2002 重晶石、毒重石、萤石、硼矿地质勘查规范
  - [15] DZ/T 0212—2002 盐湖和盐类矿产地质勘查规范
  - [16] DZ/T 0213—2002 冶金、化工石灰岩及白云岩、水泥原料矿产地质勘查规范
  - [17] DZ/T 0214—2002 铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范
  - [18] DZ/T 0215—2002 煤、泥炭地质勘查规范
  - [19] DZ/T 0216—2002 煤层气资源/储量规范
-