

14-18

## 铬矿石储量及利用前景

P618.330.9

10391

C. H. 比留切夫等

比, CU

## 铬及其化合物的应用领域

铬及其化合物在国民经济中得到广泛应用。铬矿石和铬精矿的主要用户是铁合金工业(55~65%)、耐火材料工业(30~35%)和化学工业部门(10~15%)。

在冶金工业中,用铬矿石来制取铁铬合金和金属铬,后者可用以生产高强度、耐酸、防锈、耐热的工具钢和其他特种钢。含碳、钴、镍、硅、锌、铜和铂的铬合金得到广泛应用。钢制品镀铬,可以提高其硬度、耐磨性并防止氧化。镀铬可加大反光镜镜面的反射能力,减小气体介质的影响。

铬矿石和铬精矿因耐火性强、化学中性和稳定性、加热到熔点温度时体积变化不大,而被用于制作优质耐火材料。在飞机和火箭制造业使用大量的金属铬。

医学上在广泛使用铬的放射性同位素<sup>50</sup>Cr。铬的化合物用以制造颜料、酸洗剂、鞣料和催化剂。

铬被广泛用于30多个工业领域。现在,从所需求的铬矿石数量上看,铁合金生产居第一位,耐火材料工业居第二位,化学工业居第三位。

铁合金工业对原料的要求涉及三氧化二铬含量、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO 比值以及废石的物理性质和成分。为了制取60%合金,矿石中的三氧化二铬含量不应少于48%。合金中的铬含量随着矿石或精矿中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO 比值的增大而增大。这一比值不应小于3。磷和硫被认为是有害杂质,它们进入合金钢,可损害合金钢的性质。

冶金和耐火材料工业生产实践表明,现代冶金工业需要的耐火材料应当具有下列性质:在常温和高温加热条件下,应具有高密度、体积的极大稳定性、足够的强度,对任何成分的粉尘、熔融体和熔渣的侵蚀作用都具有良好的稳定性和较高的耐热性。

耐火材料生产中使用的是天然铬铁矿,即常常是在天然铬铁矿基础上制备的铬铁矿和镁铬铁矿混合物,熔点温度大约为2000℃。为此使用的是Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量不少于32%、SiO<sub>2</sub>不超过6%、CaO为1%的矿石。

(接上页)

普通闪石和黝帘石发生蚀变,释放出Cr,后者进入外接触变质成因的黑云母和电气石,而且还通过滞留孔隙流体扩散到伟晶岩-脉系统的边缘,在这里优先进入绿柱石,造成祖母绿染色。正如根据富F云母成分所确定的那样,岩浆流体中的阴离子以近于等量的F和Cl为主,BO<sub>3</sub>也很重要。因此,在伟晶岩-脉系统内,氟化物络合物可能搬运了大部分铍离子、氢离子以及其他阳离子。进入角闪岩的溶液引起蚀变而释放出Ca,并且沉淀出萤石,这可能使Be氟化物络合物丧失稳定,从而形成绿柱石。

火成矿物和热液矿物的氧同位素分析表明, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=8\%$ 的单一岩浆成因流体是在温度为550~400℃的温度区间内生成伟晶岩-脉系统并产生热液蚀变的。导致形成祖母绿的是富含HF的岩浆-热液流体进入角闪岩,这引起了氢离子交代作用,并将Cr和Fe释放到伟晶岩-脉系统中。

(良可摘摘自 The Canadian Mineralogist, 1996, V. 34, p. 1253~1286)

在生产镁铬铁矿制品的混合料中,铬铁矿矿石占20~30%;对铬镁制品来说,混合料中的铬铁矿矿石占50~60%。对耐火材料制品来说,使用粒度为-3~0.5、3~0mm(0.5mm粒级的含量不超过40%)和0.06mm的铬铁矿矿石或精矿。生产耐火材料时,铬铁矿矿石中的二氧化硅、氧化钙和氧化铁是有害组分。以游离态残留下来的氧化钙包裹体可能在耐火砖内形成裂隙网和所谓的“突起物”,因此,制品的坚固性会明显下降,生产过程中废品率加大。

因此,用来生产耐火材料的铬铁矿矿石,不仅必须进行化学成分评价,而且还要对矿物成分、围岩的强度、矿石密度和铬尖晶石粒径进行评价。

在化学工业中,铬铁矿矿石和精矿主要用来生产重铬酸盐。在制革、纺织、油漆颜料等不同工业部门,重铬酸盐被作为终端产物来使用。此外,它还是生产许多铬化合物和制剂的原材料。

向铬化合物工厂提供的是 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 含量为53~54%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 不超过14~16%、 $\text{SiO}_2$ 不超过5%的矿石。加工 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 含量高的矿石时,回收率达90%,每生产1吨重铬酸盐要耗费1.5吨矿石。矿石和精矿中的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 与 $\text{SiO}_2$ 含量偏高可对生产流程产生不利影响,因为这些氧化物能使水进入钙的铝酸盐和铝硅酸盐类中,导致矿石在炉内难以分解,铬的氧化率下降。氧化亚铁和氧化铁可使炉料的熔点降低,减慢焙烧速度,降低铬的氧化程度。氧化镁具有化学惰性,在焙烧温度下不会熔融。任何物理状态的铬铁矿矿石都可用于化学工业,但最好是粉末状或者是疏松的无需很多费用即可再磨碎的矿石。

#### 独联体国家铁合金部门的状况

独联体国家铁合金的现有生产能力大约为600万吨,有10个专门化的铁合金工厂和一系列冶金企业的车间,不仅可以完全满足前苏联国民经济的需要,近年来还出口了大约70万吨铁合金。主要生产企业如车里雅宾斯克电冶金联合企业股份公司(俄罗斯)、“谢罗夫铁合金工厂”股份公司(俄罗斯)、“克柳切夫铁合金工厂”股份公司(俄罗斯)、叶尔马科夫铁合金工厂(哈萨克斯坦)和阿克纠宾斯克铁合金工厂(哈萨克斯坦)。俄罗斯的所有铬铁合金都是用顿斯克采选公司的铬铁矿矿石生产的。

俄罗斯的铬铁合金产量可以满足76%的国内需求量。俄罗斯的低碳铬铁合金生产能力过剩,除了本国需求外,还可满足乌克兰和独联体其他国家的工业需求。

随着不锈钢冶炼能力的增大,高碳铬铁合金的需求量增多,昂贵的低碳铬铁合金(其生产费用比高碳铬铁合金高出1倍)产量亦相应减少。

#### 铬铁矿矿床的工业类型

铬矿石(铬铁矿,即铬尖晶石类的天然集合体)是世界经济中获得铬的唯一工业来源。

铬铁矿矿床同超基性岩杂岩有空间和成因联系。除了结核状残积-坡积砂矿、海岸附近的砂矿和风化壳矿石而外,所有的铬铁矿矿床按其成因、产出条件和矿化性质可以归为两大工业类型:与地台已分异成层的超基性岩体有关的,由浸染状和块状矿石构成的层状矿床(早期岩浆分凝矿床);优地槽纯橄岩-斜方辉橄岩建造岩体中的块状矿石透镜体、巢状体和脉体(晚期岩浆矿床)。南非的布什维尔德、津巴布韦的大岩墙、美国的斯蒂利奥特、芬兰的凯米、俄罗斯的卡累利阿和摩尔曼斯克州的矿床属第一类矿床。哈萨克斯坦的南肯皮尔赛矿床群、土耳其的古列明、菲律宾的巴拉望等矿床属于第二类矿床。

与前两类原生来源有关的表生铬铁矿矿床也属于一个工业类型,但在铬铁矿原料的世界储量和开采量中不具重要意义(占1~2%)。萨拉诺夫矿床和大岩墙的砾状矿石、日本的

滨海砂矿、肯皮尔赛矿床的疏松状矿石都属于这一类型。近年来,由于发现了新矿床(例如巴布亚新几内亚的拉穆-里韦尔大矿床),这一工业类型的意义有所增大。

在世界市场上,铬铁矿矿石供需稳定,需求量逐渐增长,从而在长期经济基础上决定了商品矿石产量的逐步增长。

必须指出,世界主要经济大国实际上没有自己的生产铬铁矿的原料来源(从1991年开始,俄罗斯也属于其中之列)。在铬铁矿矿石的出口国和主要需求国之间,已形成多年的传统密切经济联系。

据《Mineral Commodity Suwfries》杂志(1994)和俄罗斯的资料,将世界各地商品铬铁矿矿石的证实储量和产量概括于表1。可以有条件地将生产商品铬铁矿矿石的国家分为三类。从表1可见,87%的世界铬铁矿储量集中在3个国家:南非共和国(58.5%),哈萨克斯坦(17.5%),津巴布韦(11%)。直到最近,南非共和国和哈萨克斯坦都是世界上铬铁矿矿石的主要生产国,保证了世界经济60~65%的铬铁矿矿石需求量。土耳其、印度、芬兰、阿尔巴尼亚属第二类国家,它们具有中等规模的原料基地,有相当规模的产量,利用有利的市场行情,出口商品铬铁矿矿石。中国、巴西、古巴、马达加斯加、塞浦路斯等属第三类国家,这些国家的商品铬铁矿矿石产量较少。

表1 商品铬铁矿矿石的世界储量和产量

国 家	至1993年初的证实 储量,万吨	矿石 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 平均 含量, %	商品矿石的产量,万吨	
			1992	1993*
阿尔巴尼亚	700	44	32.2	28.1
保加利亚	20	12	—	—
越 南	20	44	0.4	0.4
津巴布韦	19500	48	52.2	26.4
印 度	8000	32	100	108.4
哈萨克斯坦	31200	50.4	358.9	282.8
中 国	50	32	8	8
古 巴	120	32	5	5
俄 罗 斯	560	38	13	12.3
土 耳 其	3400	37	75.8	53.3
芬 兰	2900	26	49.9	51
南非共和国	104000	40	336.3	282.7
南斯拉夫	50	25	4.6	4.6
其他国家	7260	—	77.5	80.8
总 计	177730	—	113.8	943.8

\* 初步资料

#### 独联体国家铬铁矿矿石矿物原料资源的有关数据

在独联体国家中,只有俄罗斯和哈萨克斯坦拥有铬铁矿矿石储量。而且,在哈萨克斯坦就集中了所有探明储量的97%和整个开采量的98%。

南肯皮尔赛矿床群(18个矿床)位于哈萨克斯坦的阿克纠宾斯克州。1991年1月1日,这些矿床的平衡表内A+B+C<sub>1</sub>级储量3.19372亿吨,C<sub>2</sub>级储量0.98706亿吨,平衡表外储量35.2万吨。矿床产于肯皮尔赛超基性岩体。从化学成分上看,铬矿石多为优质矿石,三氧化二铬含量高(平均50.4%),铁、二氧化硅、磷、硫、氧化钙含量低。

1995年,顿斯克采选公司计划生产230万吨商品铬铁矿矿石,向俄罗斯提供81万吨,

其中,铬铁合金生产——48.8万吨,耐火材料——12.2万吨,化学工业——20万吨。

总体来看,A+B+C<sub>1</sub>级探明储量可保证顿斯克采选公司使用,按其已达到的产量(366万吨)看,可采年限超过50年,但是,运营中的露天矿的工业储量保证程度平均只有7年。

#### 俄罗斯铬铁矿矿物原料基地的有关数据

位于彼尔姆州的萨拉诺夫铬铁矿床群是俄罗斯唯一已探明的铬铁矿产地,该矿床群包括正在开采的萨拉诺夫主矿床、萨拉诺夫砂矿群和后备的南萨拉诺夫矿床。至1995年1月1日,这些矿床的储量为:萨拉诺夫主矿床(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均含量为38.40%)可供地下开采的B+C<sub>1</sub>级储量276.4万吨,C<sub>2</sub>级储量426.2万吨,平衡表外储量83.1万吨;萨拉诺夫砂矿群(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均含量为39.40%)的C<sub>1</sub>级储量有10.5万吨;南萨拉诺夫矿床(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均含量为37.60%)可供露天开采的C<sub>1</sub>级储量有34.8万吨,平衡表外储量6万吨,可供地下开采的C<sub>1</sub>级储量(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均含量为37.70%)有209.6万吨,C<sub>2</sub>级储量88.5万吨,平衡表外储量210.2万吨。萨拉诺夫矿床群B+C<sub>1</sub>级总储量为531.3万吨,C<sub>2</sub>级储量514.7万吨,平衡表外储量299.3万吨。

表2 俄罗斯铬铁矿矿床的预测资源评价

经济区,(自治)共和国,边疆区,州	1988年1月1日的 预测资源量, 百万吨	1993年1月1日的预测资源量,百万吨		
		总 计	其 中	
			P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
北部经济区	200	150	115	35
摩尔曼斯克州	—	50	15	35
卡累利阿共和国	200	100	100	—
乌拉尔经济区	145	45	0.5	44.5
彼尔姆州	20	—	—	—
奥伦堡州	50	16	—	16
斯维尔德洛夫斯克州	75	21	—	21
车里雅宾斯克州	—	8	0.5	7.5
西西伯利亚经济区	175	74	22	52
秋明州	145	50	22	28
克麦罗沃州	30	24	—	24
东西伯利亚经济区	90	20	—	20
克拉斯诺亚尔斯克边疆区	—	5	—	5
图瓦共和国	—	5	—	5
赤塔州	40	10	—	10
远东经济区	74	11	—	11
堪察加州	30	10	—	10
马加丹州	30	—	—	—
萨哈林州	14	1	—	1
俄罗斯总计	684	300	137.5	162.5

在萨拉诺夫主矿床,卢德纳亚矿山正在进行开采,其年设计生产能力为24万吨原矿石。1994年,该矿山并入“乌拉尔矿山”联合公司,目前已私有化,同谢罗夫铬铁合金工厂一起归属私营公司。每年的实际开采量为12~16万吨原矿石。原矿石经破碎、筛选、手选和重悬浮液富选,获得4~100mm和0.5mm粒级的商品精矿。1997年,从采出的14万吨原矿(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 33.3%)中获得9.87万吨4~100mm粒级的精矿(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 36.4%)和0.78万吨0.5~4.0mm粒级的精矿(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 37.2%)。在南萨拉诺夫矿床的露天矿开展了剥离作业,以便开采铬铁

地下水, 反演模拟, 水头, 流量  
预测

P641.74

18-24

# 反演模型:地下水模拟中必要的下一步

E.P. 波埃特等

波埃, EP  
叶兴茂

## 概 论

管理机构越来越强调,在地下水模拟项目中,应解决预测可靠性问题,但这一要求仅仅用非自动校准方法(如常用的试凑法)是难以达到的。应用反演模型(如非线性最小二乘回归和相关的统计方法)有助于评价预测的可靠性,因为其结果不仅能给出参数估值,给出针对所研究的受力状况模拟的水头和流量,而且还能给出估值参数、水头和流量的置信区间,从而便于把结果的可靠性告知管理者。利用敏感度、参数的标准偏差和相关性以及预测值的标准偏差,有助于评价用现有数据能否可靠地计算出模拟参数的估值和预测值,评价什么样的补充数据对改善模型最有用。

反演模型最重要的好处是能自动地计算在实测水头、流量与模拟水头、流量之间产生最佳拟合的参数值。其二,能把校准质量、数据不足和数据需求以及估值和预测值的置信度定量化。其三,能揭示在非自动校准情况下甚至有经验的模拟者也容易忽视的问题。

## 用反演模拟进行参数估计

水文项目的流程图如图1所示。如果用于项目的模型是数字模型,那么第6、7和10步既耗资又费时。用反演模拟来进行参数估值可以降低这几步的成本,提高输出的质量。与非

(接上页)矿,同时采出砾状矿石。每年可开采1.2~1.5万吨砾状矿石。1995年,露采场揭露出原生矿石。萨拉诺夫矿床的铬铁矿矿石主要用于生产耐火材料,其次是冶炼铬铁合金。

表2给出了俄罗斯铬铁矿预测资源的评价数据。必须指出的是,与上一次评价(1988年1月1日)相比,1993年1月1日的预测资源量评价数字少了一半多。

总的来看,俄罗斯铬铁矿的预测资源量有3亿吨,可与津巴布韦和哈萨克斯坦这些国家的原料潜力相比,比芬兰和印度这样的铬铁矿开采大国的证实储量多出1个数量级。

在预测评价中,P<sub>1</sub>级资源约占46%,这证明评价的可靠程度较高。

在地域方面,乌拉尔、北部和西西伯利亚经济区最有远景,这三个经济区集中了大约70%的预测资源。东西伯利亚和远东地区的预测资源规模有限,离原料用户也很远。

西北部地区,即卡累利阿共和国和摩尔曼斯克州是发现工业铬铁矿矿体的远景区。在卡累利阿,划出了面积为12km<sup>2</sup>、以深度达370m的钻探揭露的阿加诺泽尔含铬铁矿地块。该地段300m深度内的C<sub>2</sub>级储量和P<sub>1</sub>级预测资源量估计为2.12亿吨铬铁矿,其中可露天开采的有0.4亿吨。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量为20%至26~32%。在摩尔曼斯克州,位于阿帕季特山以南10~12km温巴列琴超基性岩体是铬铁矿的主要远景区。划出了几个含铬铁矿矿化的远景地段。1995年11月,前俄罗斯地下资源委员会和摩尔曼斯克州行政当局对两个地段的地质研究和开采进行公开招标。其200m深度内的总预测资源量估计有2000~2500万吨。

乌拉尔地区(包括斯维尔德洛夫州在内)是俄联邦内铬铁矿矿石的主要用户。在斯维尔德洛夫州,有一些规模巨大的铬铁矿用户单位。因此,最好采取措施,开发乌拉尔(包括斯维尔德洛夫州)的铬铁矿矿物原料基地,这样就可以使铬铁矿生产厂家最大限度地靠近用户。

(刘吉成摘译自 Известия ВУЗ, Горный журнал, 1997, N. 3/4, с. 22~35)