



喀斯特型铝土矿床的特征与形成

喀斯特型铝土矿的时空分布

铝土矿是一种残积或沉积而成的岩石,其中聚集50%以上的铝、铁、钛的氧化物和氢氧化物类的矿物,铝矿物含量远远大于其他矿物的含量。过去有人把铝土矿称之为铝土矿矿石是不确切的。铝土矿,根据其地质特征和沉积单元的不同,从小到大依次可分为:

1. 铝土矿床 属同一成因、空间分布连续的沉积单元,由铝土矿和铝土矿岩石组成。在一个铝土矿床中,可包括若干个铝土矿体,其间可以是铝土矿岩石,也可是粘土、砂层或褐煤等。

2. 铝土矿床群 一般由水平层位上紧密分布在一起的几个铝土矿床组成,被广泛分布的非铝土矿化带与其他群的铝土矿床分开。分布范围一般在10~100平方公里。铝土矿床群通常以含有很多个铝土矿床为特征,但只要在地质特征和地理环境方面都与其他铝土矿群相距很远,差别很大,即使仅有一个矿床,也可以单独划分为一个独立的矿床群。铝土矿床群还可进一步分成亚组。有些地区,不同地质时期的铝土矿床可以重复出现,实际上各个不同地质时期的铝土矿床无论在特征上还是在成因上都是不同的,应划分为不同的铝土矿床群。

3. 铝土矿域 由几个地质上彼此相关的铝土矿床群构成。非含矿带或地质条件的变化可将其与附近的其他铝土矿域分开。空间分布可达几百至几千平方公里。可进一步划分出不同的铝土矿群。

4. 铝土矿带 是二、三级大地构造单元中一组空间上连续的铝土矿域,其地质构造演化历史一致,区域分布达几十万至几百万平方公里,长度和宽度均可达几千公里。有些铝土矿带可由单个构造幕的铝土矿建造组成,而另一些则可以有二个或两个以上构造幕形成的铝土矿建造组成。

5. 铝土矿杂岩体 主要指组成铝土矿床的岩石,其中包括所有与其有成因联系的铝土矿床。

6. 铝土矿建造 指含有铝土矿的地层系列,其中包括有一个以上的层位,在同一层位中可以出现一个以上的铝土矿床。

目前已知地球上所有的铝土矿、粘土质铝土矿和铝土矿粘土总计约 45×10^9 吨。工业矿床中85%为红土型铝土矿,14%为喀斯特型铝土矿,1%为季克文型(Tikhven)铝土矿。全世界已圈定出88个喀斯特型铝土矿域,每个铝土矿域中有1~11个矿床群,共计有191个喀斯特型铝土矿床群。欧洲的已知喀斯特型铝土矿域绝大多数都分布地中海北岸附近地区,称为地中海铝土矿带。该带向东延展,经阿富汗、巴基斯坦到克什米尔,称为伊朗—喜马拉雅铝土矿带。西太平洋一些岛屿上的喀斯特型铝土矿属太平洋铝土矿带。从柬埔寨和越南到中国东北部称为东亚铝土矿带。乌拉尔—西伯利亚—中亚铝土矿带包括苏联亚洲和东欧部分的重要铝土矿区。该矿带最北可延至76

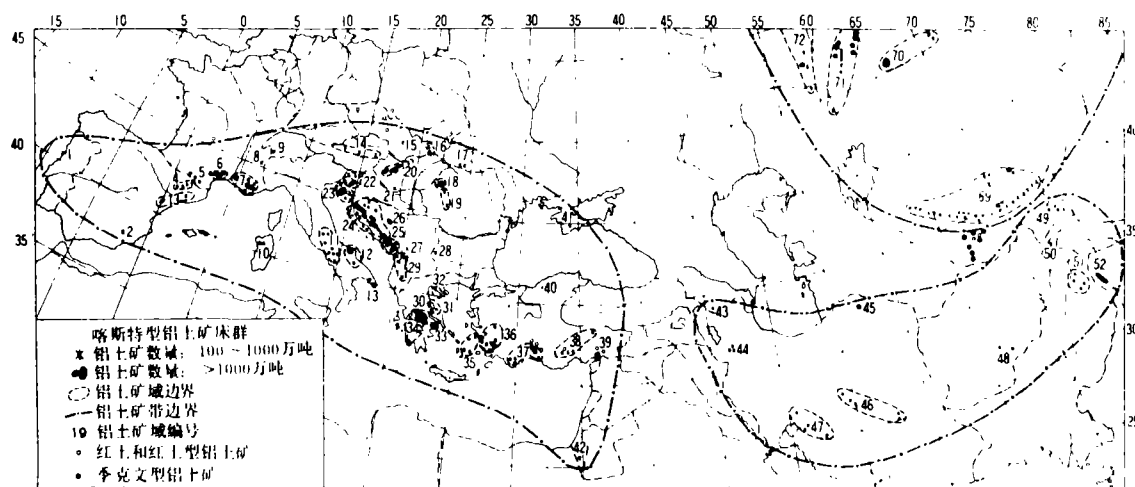


图1 地中海和伊朗—喜马拉雅铝土矿带喀斯特型铝土矿群的分布

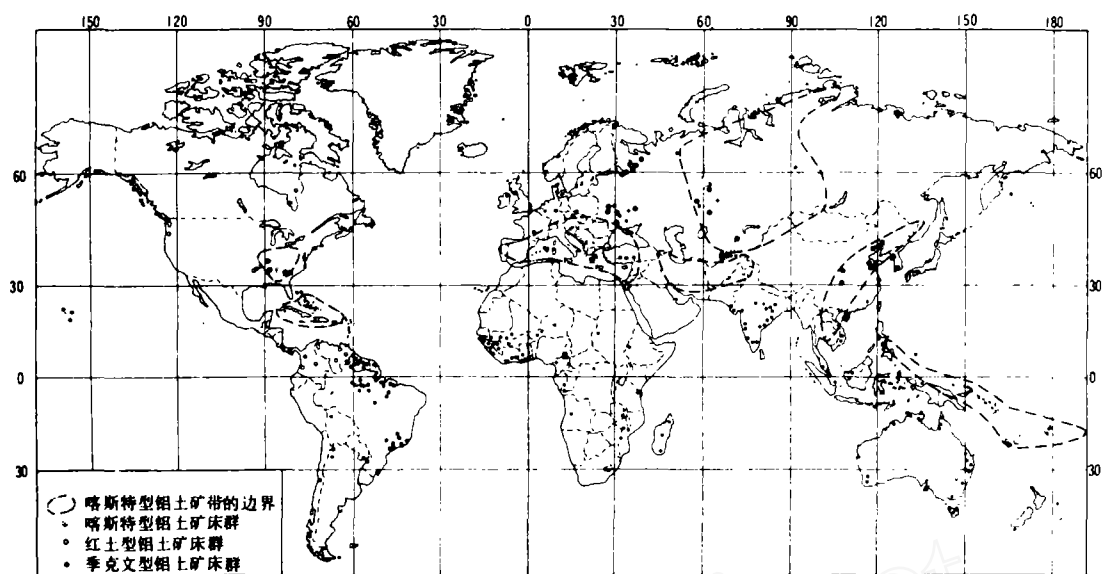


图2 世界铝土矿床群的分布

世界主要喀斯特型铝土矿床及其储量 表1

编 号	喀斯特型铝土矿区	储 量 (百万吨)
1	牙买加	1200
2	希腊中部	415
3	匈牙利多瑙河地区	401
4	法国东南部	325
5	中国贵州省	300
6	南斯拉夫达尔马提亚	295
7	苏联土尔盖	270
8	中国山东省	250
9	苏联北乌拉尔	220
10	南斯拉夫黑山	290
11	法国郎格多克	185
12	越南北部	200
13	苏联中哈萨克斯坦	191
14	苏联提曼山	180
15	中国云南省	130
16	多米尼加共和国	120
17	中国辽宁省	100
总 计		5072

以北,是所有喀斯特型铝土矿带最北的一个。加勒比岛、牙买加、古巴和伊斯帕尼奥拉的铝土矿,称为加勒比铝土矿带。美国东南部也有少量的喀斯特型铝土矿,称为北美铝土矿带。

喀斯特型铝土矿带在全球分布上很有限,大部分集中在北半球北纬10~70°之间,南半球只有一个带,分布在南纬10~25°,称为太平洋带。最广大的红土型铝土矿床(圭亚那地盾、巴西东南部、西非、印度、

澳大利亚等地)位于赤道两侧的喀斯特型铝土矿带的南侧。少量的红土型铝土矿带出现在喀斯特型铝土矿带之中或其附近(图1,2)。

已知世界喀斯特型铝土矿总储量的79%集中在17个铝土矿域中(表1),其余分布在71个铝土矿域中,牙买加铝土矿域的铝土矿储量占喀斯特型铝土矿总储量的19%。

7个喀斯特型铝土矿带的储量分布也相差悬殊(表2)。

世界喀斯特型铝土矿带和储量分布 表2

编 号	喀斯特型铝土矿带	储 量 (百万吨)	%
1	地 中 海	2533	40
2	伊朗—喜马拉雅	128	2
3	太 平 洋	122	2
4	东 亚	1014	16
5	乌拉尔—西伯利亚—中亚	1173	17
6	加 勒 比	1390	22
7	北 美	37	1
总计		6397	100

喀斯特型铝土矿的储量不仅在空间分布上变化很大,而且在不同地质时期也极不相同。目前已知最早的喀斯特铝土矿形成于寒武纪和晚元古代,其中包括苏联东萨彦山的博克桑斯克组的铝土矿床,以及阿拉套的库兹涅夫斯克地区的铝土矿床。奥陶纪的喀斯特

铝土矿无工业意义, 志留纪至今尚未发现喀斯特型铝土矿。已知储量的99%以上集中在古生代至新生代,

时代越新, 储量越多, 而以新生代储量最多, 占储量的38% (表3, 4)。

地质时代与喀斯特型铝土矿储量的分布

表 3

地 质 时 代		铝 土 矿 储 量		铝土矿累加储量	
代	纪	百 万 吨	%	百 万 吨	%
新 生 代	第 四 纪	122	2	2418	38
	中新世—上新世	1500	24		
	渐 新 世	20	< 1		
	古新世—始新世	176	12		
中 生 代	晚白垩世	1501	23	2381	37
	早白垩世	313	5		
	侏 罗 纪	315	5		
	三 迭 纪	252	4		
古 生 代	二 迭 纪	381	6	1598	25
	石 炭 纪	780	12		
	泥 盆 纪	460	6		
	志 留 纪	—	—		
	奥 陶 纪	1	< 1		
前寒武纪	寒武纪和晚元古代	30	< 1		
总 计		6397	100	6397	100

喀斯特型铝土矿床的分类及其特征

1. 分类

喀斯特型铝土矿床长期以来作为一组矿床, 从未详细分类。1964年布希斯基第一次将喀斯特型铝土矿床分为“近喀斯特型”和“远喀斯特型”。1975年萨波金科夫又划分为“单旋回”喀斯特铝土矿和“多旋回”型喀斯特铝土矿。同年, 帕斯图克浩娃又提出“沉积型喀斯特铝土矿”和“沉积红土型喀斯特铝土矿”。

巴道斯瑞根据沉积学原理, 在布希斯基分类方案的基础上, 将喀斯特铝土矿分为以下六类, 并以典型地区加以命名 (表4、5)。

不同类型喀斯特铝土矿与储量分布

表 4

类 型	储 量		矿床数量
	百万吨	%	
地中海	4457	70	145
提 曼	1032	16	14
哈萨克斯坦	636	9	20
阿里埃日	142	2	4
萨伦托	130	2	7
塔尔斯克	1	< 1	1
总 计	6390	100	191

2. 基本特征

(1) 地中海型喀斯特型铝土矿床: 岩相均一, 最好的情况下整个矿床可由高品位的铝土矿组成, 一般情况下高品位的铝土矿向顶部、底部以及边缘地段可逐渐变为铝土质粘土矿或铝土矿质粘土; 个别情况下其中可含有自生的灰岩和 (或) 粒状岩屑。矿体与围岩界线比较清楚, 易于圈定, 但是矿体的规模和形态则变化很大, 大致可划分出八种不同形态特征。

①层状喀斯特型铝土矿床: 规模最大, 长度和宽度均为1公里, 面积多在0.5平方公里以上。含矿层受到喀斯特化作用, 但程度不一。呈波状起伏的形式产出, 其上下变化幅度约1~2米。铝土矿层厚度1~40米不等, 内有5~10米深的落水洞。矿床储量一般在1000~7000万吨, 主要分布在最富的铝土矿区域, 已知最大的这种类型层状喀斯特铝土矿床产在匈牙利哈利姆巴盆地, 面积约7平方公里, 南北长3.5公里, 东西宽约2公里, 厚度5~10米, 最厚35米, 矿体被许多小的正断层和逆掩断层错开。

②平伏状喀斯特型铝土矿床: 矿区范围大小与层状喀斯特型矿床差不多, 有的稍大些。这组矿床中包括许多年轻的矿床, 上新世和第四纪的矿床一般没有沉积盖层, 矿体平伏地产生在平伏的石灰岩层之上。石灰岩层呈平缓的圆丘状隆起和凹陷产出。矿层较薄,

喀斯特型铝土矿床类型、矿带与矿化的关系

表 5

矿带	矿床类型											
	地中海		提曼		哈萨克斯坦		阿里埃日		萨伦托		塔尔斯克	
	矿床数	百万吨	矿床数	百万吨	矿床数	百万吨	矿床数	百万吨	矿床数	百万吨	矿床数	百万吨
地中海	95	2341					4	142	5	50		
伊朗—喜马拉雅	15	128										
太平洋	7	122										
东亚	3	123	6	810	1	1			2	80		
乌拉尔—西伯利亚—中亚	14	353	7	212	15	608						
加勒比	11	1390										
北美			1	10	4	27						
总计	145	4457	14	1032	20	636	4	142	7	130		1

储量一般不超过 500 ~ 7000 万吨。此类矿床的典型分布区是牙买加。该区的平伏状矿床广泛分布, 矿层厚度 4 ~ 10 米, 在喀斯特凹陷区内厚度可达 20 米, 矿区面积 1 ~ 5 平方公里。

③似条带状喀斯特型铝土矿床: 长度可达几公里, 宽度不到 800 米, 有时小于 500 米。矿床规模不一定比层状矿床小, 厚度一般 5 ~ 10 米, 在凹陷中厚度可达 20 米。法国布赖诺莱斯是典型分布区。

④扁豆状喀斯特型铝土矿床: 一般分布面积为 0.01 ~ 0.4 平方公里, 多数为不规则状, 少数为圆形或椭圆形, 矿体直径约为 200 ~ 600 米, 中心部分厚大, 向两端逐渐变小, 矿层厚度一般为 5 ~ 20 米, 最大 30 米, 每个扁豆状矿体储量可达 10 ~ 300 万吨。这种矿床是地中海型喀斯特铝土矿床中分布最广泛的一种。在牙买加的曼彻斯特高原上分布有几百个扁豆状铝土矿体, 其间常为石灰岩隆起隔开, 矿体厚度为 20 ~ 50 米。

⑤地堑中的喀斯特铝土矿床: 矿区分布面积与扁豆体喀斯特铝土矿床近似, 但在其两侧多被断裂切开。矿层在近断裂处最厚, 可达百米, 储量一般在 20 ~ 400 万吨。匈牙利有很多此类矿床, 费尼奥佛矿床就是典型实例之一。

⑥峡谷中的喀斯特铝土矿床: 主要指充填在峡谷凹地中的铝土矿, 长几百米, 宽不超过 10 ~ 50 米, 厚 10 ~ 20 米, 储量多在百万吨以下。这种矿床很少见, 达尔马提亚铝土矿区域的布利希希山谷中就有这种矿床。

⑦“暗沟”中喀斯特铝土矿床: 规模比上述各类都小, 面积仅 0.1 ~ 1 公顷, 呈圆状或椭圆状, 少数为不规则状, 直径 50 ~ 200 米, 中心部位厚度可达 50 米, 储量多在百万吨以下, 法国塔韦尼附近就有这类矿床。

(2) 提曼型喀斯特铝土矿床: 广泛分布在苏联的提曼山。矿体呈层状、似层状, 一般多赋存在同一层位中。在每个层位内部由许多薄层或小透镜状的铝土矿构成铝土矿体, 喀斯特作用不强。世界已知有 14 个矿床群, 储量占喀斯特型铝土矿床总储量的 16%。在 14 个矿床群中, 有 6 个在东亚铝土矿带, 7 个在乌拉尔—西伯利亚—中亚铝土矿带, 1 个在北美铝土矿带。矿体多赋存在强烈喀斯特化的岩层之上, 并向哈萨克斯坦型铝土矿床过渡。

在苏联南提曼山的提曼矿床群中, 矿层产于上泥盆统的粘土质石灰岩之上, 有两种产出形式: 其一为层状, 长 3 ~ 5 公里, 其二为平覆的透镜状, 矿体直径约几百米。大都位于基岩平缓的隆起附近 2 ~ 5 公里处, 层状矿体靠近隆起, 透镜状矿体则离隆起较远。产出部位明显受古地貌控制。两种矿体呈过渡关系。

由这种矿床组成的铝土矿杂岩体, 在基岩平缓的隆起之上, 其厚度约 5 ~ 30 米, 但在基岩的凹陷内厚度则可达百米以上。有的地段矿带分上下两个亚带, 每个亚带的底部都有含细粒的砂质粘土层出现。其上为长石砂岩、粉砂岩及砂质粘土岩覆盖, 上覆岩层中有少量铝土矿夹层出现, 层状矿体中还包括有粘土质铝土矿和铝土矿质粘土。矿层厚度 1 ~ 12 米, 一般 4 ~ 6 米, 但在有些大的层状矿层中其总厚度可达 5 ~ 20 米, 面积约 10 ~ 100 平方公里。单个矿体储量为 5000 ~ 10000 吨。矿层之上的盖层一般为整合覆盖, 其间仅有短暂的沉积间断。

(3) 哈萨克斯坦型喀斯特铝土矿床: 组成这种矿床的铝土矿杂岩体, 主要有粘土岩、砂质—粉砂质粘土岩、钙质粘土岩、褐煤层及粘土质砂层等, 有的还含有少量砂岩、砾岩及鲕状铁矿层。由铝土矿和铝土矿粘土组成的透镜体或巢状矿体产在几个含矿层位;

较好的含矿层位一般多出现在上部。含矿层喀斯特作用强烈。已知的典型地区是苏联哈萨克斯坦地区。世界范围内共有21个矿床群,其中15个分布在乌拉尔—西伯利亚—中亚铝土矿带,4个在北美铝土矿带,东亚铝土矿带仅有一个。总储量约6.36亿吨,占世界喀斯特型铝土矿总储量的10%。矿带走向长5~500公里,分布较集中,一个矿床群内可有几十、几百个矿床。

(4) 阿里埃日型喀斯特粘土矿床:具有独特的双重构造特征,既有喀斯特铝土矿的特征,又有红土型铝土矿的特征。典型矿区是比利牛斯山北坡的阿里埃日矿区。此类矿床是介于喀斯特型和红土型之间的过渡类型,主要由粘土岩或粘土质泥灰岩就地红土化而成。目前已知有4个矿床群,大都在地中海铝土矿带,总储量占喀斯特型矿床总储量的2%。矿床规模不大,矿体呈透镜状,长100~500米,宽100~200米,厚4~15米。矿体主要出现在上部层位,透镜状矿体呈带状分布,长度可达40公里,其上盖层为不整合覆盖。

(5) 萨伦托型喀斯特铝土矿床:是一种次生铝土矿床,由于是已经形成的铝土矿再经剥蚀、搬运堆积而成的,因此在其剥蚀、搬运过程中常与其他沉积物相混,成分变化很大,并被剥蚀搬运的其他沉积物覆盖。这类铝土矿床一般都堆积在石灰岩层的凹陷中。目前仅知几个这类矿床组合,储量约占喀斯特型铝土矿床总储量的2%。地中海矿带有5个矿床群,中亚矿床有两个。典型地区是萨伦托半岛的特雷多川托区,面积达200平方公里,其中的透镜状矿体分布在上白垩统灰岩层之上。矿体规模不大,透镜体直径几百米,厚5~8米,最大14米,喀斯特作用较弱。矿床主要由破碎的土状红色似粘土状铝土矿组成,具有硬铝土矿砾石,砾石直径0.5~3厘米,砾石是高品位低硅的鲕状—豆状铝土矿。矿体大都为粘土岩、钙质粘土岩或褐煤层所覆盖。越南琼山省就有这类重要矿床分布,矿床产出在寒武系—二迭系灰岩的凹陷中。

(6) 塔尔斯克型喀斯特铝土矿床:目前仅知一个矿床群,储量约100万吨,分布在苏联莫斯科盆地的塔尔斯克和梁赞斯克区,典型代表是寒努如乌斯克矿床。该矿床厚10~20米,个别1米,平伏在下石炭统石灰岩之上,在喀斯特凹陷内厚度可达8米。形状不规则,矿体水平延长仅几米,个别达100~150米,主要产在近地表处,一般在地表以下3~30米。有人认为是黄铁矿水解作用的产物。

喀斯特型铝土矿床的形成及其控制因素

(1) 喀斯特型矿床的六种成因假说

(1) 次红土化成因假说:早在1821年就由贝塞尔提出,主要解释法国阿尔卑斯的铝土矿床的成因。1970年尼科拉斯综合很多方面的资料,认为法国阿尔卑斯地区的铝土矿床是各种不同的岩石经过红土型风化作用而成。

(2) 红土化成因假说:认为矿床的形成是碳酸盐岩石经风化作用残留原地而成,很少经过再搬运。这是1904年道尔夫斯在研究法国铝土矿床时提出的。1971年文迪尔进一步指出这种铝土矿床是碳酸盐层经过化学风化作用形成的。

(3) 化学成因假说:在化学风化作用过程中,从岩石中溶解出来的铝、铁和钛呈溶液状态进入湖泊和海洋之中,并沉积形成铝土矿床。也有人认为是含黄铁矿的岩石经风化之后形成硫酸,进而促进喀斯特铝土矿床的形成。

(4) 热液成因假说:认为矿床是从热泉的溶液中沉积而成的。早在1869年陶伯瑞就第一次用这种假说解释法国铝土矿床的形成,后来有人认为不是热泉的直接作用。

(5) 火山成因假说:认为矿床是由降落沉积在碳酸盐岩层之上的火山灰就地风化而成。认为牙买加的矿床就是由火山灰风化而成。

(6) 植物成因假说:认为矿床是在潮湿的沼泽地区植物生长过程中逐渐形成的。

2. 喀斯特型铝土矿床的形成条件和控制因素

(1) 喀斯特型矿床形成的构造位置:

①根据板块构造理论和大地构造单元划分,铝土矿床的分布与一级大地构造单元的关系如表6所示。

不同类型铝土矿床与一级大地构造的关系 表6

一级大地构造单元	红土型铝土矿床 (%)	喀斯特型铝土矿床 (%)	季克文型铝土矿床 (%)
大陆板块	96	8	100
造山带	3	92	
大洋盆地	< 1		

表6说明,绝大部分喀斯特型铝土矿床分布在造山带,其中85%是造山运动中形成的,15%是造山期以后形成的,绝大部分红土型和季克文型矿床分布在大陆板块中,大洋盆地中只有几个孤岛有少数铝土矿床出现,可见不同类型的铝土矿床明显受一级大地构造控制。

②大陆板块和造山带中二级构造单元与铝土矿床分布的关系见表7。

不同类型铝土矿床与二级大地构造单元的关系 表 7

一级构造单元	二级构造单元	红土型铝土矿床 (%)	喀斯特型铝土矿床 (%)	季克文型铝土矿床 (%)
大陆板块	古地盾	45		
	地台	45	2	20
	准地台	10	92	80
造山带	陆间带		9	
	安底斯型带	46		
	阿尔卑斯型带	17	49	
	岛弧型带	32	44	

喀斯特型铝土矿床与构造单元的关系 表 8

矿床类型	构造单元	%	地壳运动特征	%
地中海型	造山带	100	造山运动	100
阿里埃日型	造山带	100	造山运动	100
萨伦托型	造山带	100	造山运动后	74
哈萨克斯坦型	地台	5	造陆运动	5
	造山带	95	造山运动后	95
提曼型	准地台	80	造陆运动	80
	造山带	20	造山运动后	20
塔尔斯克型	地台	100	造陆运动	100

③喀斯特型铝土矿床中不同类矿床的构造位置及其演化的关系见表 8。

④铝土矿床的分布与局部构造的关系:

A. 铝土矿床形成之前的构造运动影响铝土矿床的位置和形式。有很多铝土矿床常常沿着断裂构造分布,最大最厚的矿床往往出现在两组断裂的交叉部位。因为在这种地段,碳酸盐岩层在有利的水系作用下,喀斯特作用强烈,形成喀斯特凹陷,有利于铝土矿床形成。有很多的铝土矿床就是沉积充填在地堑构造之中。

B. 与铝土矿床形成同时发生的构造运动主要影响着铝土矿床的品位和铝土矿建造。象牙头加的铝土矿床,根据其构造运动的关系就可分为地堑型和高原型铝土矿床。前者品位变化大,局部有重新活动的现象,主要富集勃姆石,也有三水铝矿。后者品位变化均一,主要由三水铝矿组成。

C. 铝土矿床形成之后的构造运动,对铝土矿床的影响主要表现在有些矿床形成之后被沉积物所掩埋覆盖,已经形成的铝土矿床受到后期改造,无论是铝土矿的成分、结构构造、矿体形态、岩相等均可受到后期构造活动改造的影响。根据构造活动对铝土矿床影响的程度可以分为以下五类:

a. 未明显变化的矿床:矿层呈水平产出,既没有断裂也没有褶皱。

b. 弱变形的矿床:矿层倾斜 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$,出现少数断裂,没有褶皱现象。

c. 中等变形的矿床:矿层倾斜 45° ,矿层被断层切成断块,亦可出现平缓的褶皱。

d. 强烈变形的矿床:矿层倾斜在 45° 以上,被一系列断层和逆掩断层切开,出现强烈褶皱。

e. 非常强烈变形的矿床:矿层陡倾,有时垂直,出现逆掩断层,呈叠瓦状排布,或强烈褶皱。

(2) 喀斯特型矿床形成的母岩:

①铝硅酸盐矿物组成的岩石;

②沉积的粘土质岩石和泥灰岩;

③石灰岩和白云岩;

④碳酸盐层中的泥灰质、粘土质、凝灰质岩层;

⑤含有黄铁矿的铝硅酸盐岩石;

⑥碳酸盐岩层之上的火山灰;

⑦浮在海上的浮石。

这些岩石经红土化作用、风化作用、溶解作用等可在原地或异地形成各种喀斯特铝土矿床。

(3) 搬运的方式和沉积的环境:

喀斯特型铝土矿床的形成有的是原地风化残留,有的是搬运再沉积。其搬运的形式有的是含在水中搬运,有的是在真溶液中搬运,有的是呈胶体搬运;不仅地表可以搬运,地下的喀斯特河也可能搬运;通过一些特殊的喀斯特泉还能把这些形成铝土矿床的物质重新带回到地表。

地中海型喀斯特型的古生代铝土矿床大部分沉积在沿海的浅海环境,或者沉积在半咸水的泻湖环境;少部分是淡水环境中形成的。在中生代和老第三纪的海相和泻湖环境中,这种类型的铝土矿床相当少见,而且多形成于干旱的陆地。新第三纪到现在的铝土矿床都是在干旱陆地环境中沉积而成的。地中海型喀斯特型铝土矿床大都形成于海侵层层的底部。

哈萨克斯坦型喀斯特铝土矿床主要形成于潮湿环境之中,但湖相沉积的很少,其盖层的层系中有海侵层位。

阿里埃日型铝土矿床既可形成于干旱陆地环境,亦可形成于潮湿环境,还可以在铝土矿化作用期之间的海侵期中形成。

(4) 喀斯特型铝土矿床形成的铝土矿化作用及其条件:

铝土矿化作用是一种特殊的化学风化作用,是一种特殊形式的成土作用。它不仅以形成喀斯特型铝

土矿床,也可以形成红土型铝土矿床。主要条件是:

①气候条件:年平均温度约26℃,最热月份平均温度30℃,最冷月份平均温度20℃,雨季为10~11月,旱季为1~2月,近地表土壤的温度雨季为20~30℃,旱季为35~45℃,年平均降雨量1200~1500毫米,属热带季风气候。

②必须有使铝土矿在最初沉积形成时与石英砂等相混合的地貌特征,即准平原的地貌条件比较理想。要求岩石具有很好的透水性,以便使大量的水渗透,通过水解作用促使化学作用的进行,并移去水溶液中的硅等物质,要有足够的降雨量,并具有向心水系的特征。

③还要具备合适的地球化学和物理化学条件,诸如pH、温度、渗滤雨水的原始成分以及离析出来的CO₂的部分压力等。

形成喀斯特铝土矿床的喀斯特化作用过程是从顶部向下,从旁侧沿水系方向外延。因此一般是其上部硅含量比下部低,而铝土矿的品位则是从中心向外依次渐低。

吴振寰译自: Karst bauxites - bauxite deposits on carbonate rocks, 1982 (developments in economic geology, 14)

简讯

根据激发极化数据估计硫化物含量

在四个斑岩铜矿床露天采掘坑中,对99处各种岩石和各种类型蚀变带上,进行了157次相位和电阻率测量,并从这些地方取回岩样在室内进行了化学分析,研究其蚀变特征和矿化特征,还确定了其硫化物含量。所得结果总地讲,随硫化物含量的增高,电阻率值降低,相位滞后增大。测得的数据很分散,无法总结出有用的规律。但如果取其相位与电阻率的比值,则可以使数据的分散性减小。因此,在许多情况下,可以用相位与电阻率的比值来确定硫化物的含量。其数理基础如下。

百分频率效应(PFE)和金属传导因数(MCF)的定义是:

$$PFE = \frac{\rho(\omega_0) - \rho(A\omega_0)}{\rho(A\omega_0)} \cdot 10^2 \quad (1)$$

$$MCF = \frac{PFE}{\rho(\omega_0)} \cdot 10^3 \quad (2)$$

式中 $\rho(\omega_0)$ 是用低频测得的电阻率, A 是高、低两种工作频率的比,电阻率的单位为欧姆米。

在工作频率范围内,相位移与电阻率有如下的关系:

$$\rho(\omega_0) = k \omega^{-2\phi/\pi} \quad (3)$$

$$\text{代入(1)得 } PFE = (A^{2\phi/\pi} - 1) \cdot 10^2 \quad (4)$$

$$\text{其近似式为 } PFE = \frac{2\phi}{\pi} \ln A \cdot 10^2 \quad (5)$$

ϕ 的值一般都很小,不超过0.1弧度。假定电阻率的虚分量 ρ_i 比其实分量 ρ_r 小得多(即 $\rho_i \ll \rho_r$),那么 $\rho_r \sim \rho$,所以相位就等于

$$\phi = \rho_i / \rho_r \quad (6)$$

复电导率 σ 是复电阻率的倒数,即

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_r + j\rho_i} = \frac{\rho_r - j\rho_i}{\rho_r^2 + \rho_i^2} \quad (7)$$

$$\therefore \sigma_i = \frac{-\rho_i}{\rho_r^2 + \rho_i^2} = \frac{\phi}{\rho_r} \cdot \frac{1}{1 + \phi^2} = \frac{\phi}{\rho_r} \quad (\text{因}\phi^2\text{非常小,于是})$$

$$MCF = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\phi}{\rho} \ln A \cdot 10^3$$

$$\text{或 } MCF = \frac{2}{\pi} \sigma_i \ln A \cdot 10^3$$

上式给出MCF与 σ_i 的近似等价关系,显然这种等价关系取决于测量所用的频率范围 A 以及IP的振幅谱与相位谱的性质。如相位的单位以毫弧度表示,导电率用毫欧姆/米表示,则上式中的 10^3 应变为 10^2 。

根据测得的结果进行统计分析,用最小二乘法拟合得出下面的关系:

$$\sigma_i = 0.1 (\text{硫化物重量百分数})^2$$

$$\text{即 硫化物重量百分数} = \sqrt{10\sigma_i}$$

此式可用于对含硫化物岩石的激发极化现象进行检验。当然使用此公式必须谨慎从事。

岩石的某些其它参数例如有效孔隙率、间隙水的电导率,蚀变矿物的离子交换性质都未考虑,这些还有待进一步研究。

常非摘译自《GEOPHYSICS》, 1983, Vol. 48, No. 1, pp. 62~75

作者 P. H. 纳尔森