

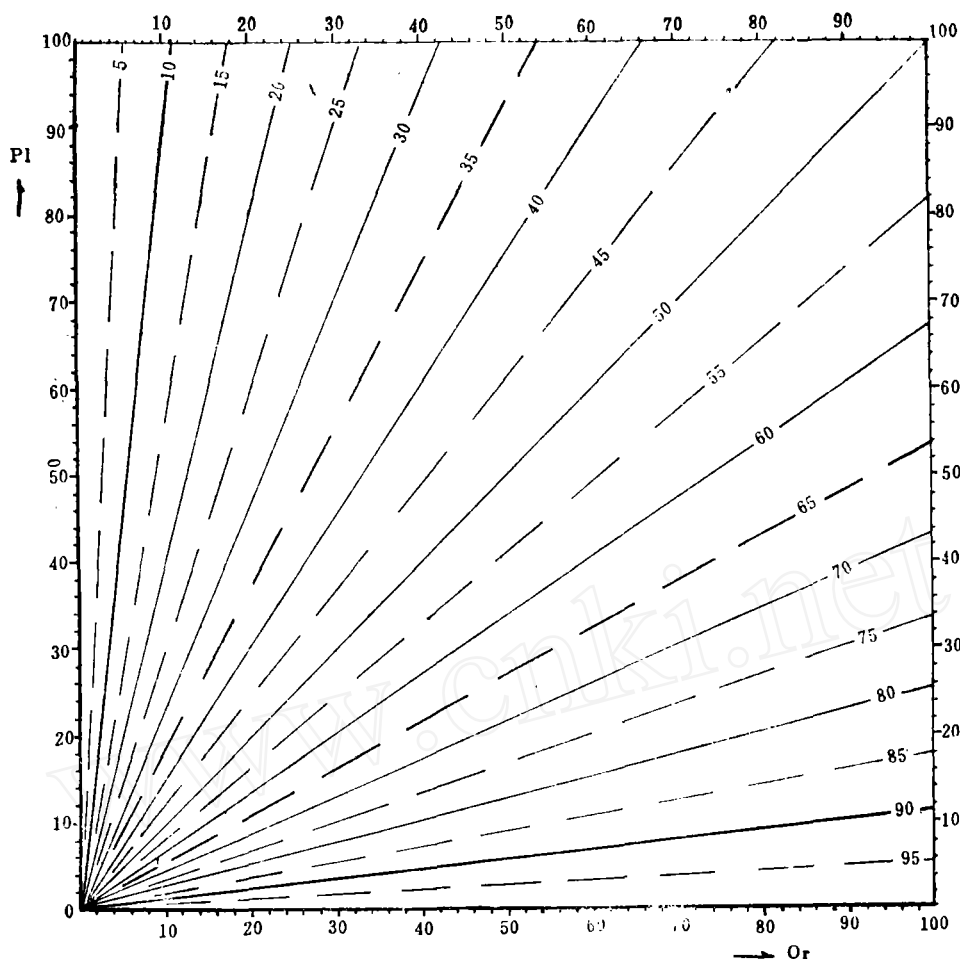


图9 钾长石量比 $Or/(Or + Pl)$ 图解

纵座标—斜长石在岩石中的含量% (体积百分比); 横座标—钾长石在岩石中的含量% (体积百分比); 放射线—钾长石占全部长石含量的百分比

微纹长石、条纹长石等), 所以选择钾长石作一个端元的代表 (Or), 使其和图解上的名称相对应。如果原生的而不是次生的钠长石很多 (这种岩类不多见), 那么就把钾长花岗岩改称钠长花岗岩, 把正长岩改称钠质正长岩 (也有称钠长岩) 等等; 若暗色矿物

为碱性种属则可分别改称为碱性花岗岩、碱性正长岩等等。这样处理重点和一般性问题就都照顾到了。

在成文过程中及成文后, 蒙邱家骧老师、游振东老师和周珣若老师指教, 在此表示感谢。

平果岩溶坠积成因碎屑铝土矿的形成条件及其准胶结物中三水铝石的发现

冶金部天津地质调查所 刘长龄

广西冶金地质勘探公司270队几年来对我国特大型优质铝土矿——平果铝土矿进行了勘探。我们从1978年以来参加了矿区的科研工作*, 现谈谈笔者一些初步认识。

我国铝土矿新的工业类型——岩溶坠积成因碎屑铝土矿的形成条件

许多学者将产在碳酸盐岩岩溶面上的

* 参加工作的还有庞文忠、汪再民等同志。

铝土矿统称为“岩溶铝土矿”，也有称为“岩溶堆积铝土矿”的。布申斯基将原生沉积铝土矿按岩溶洼地距原砖红壤风化壳的远近分为近岩溶铝土矿、远岩溶铝土矿（区域的、地中海的、地槽的、钙红壤的）。平果岩溶堆积铝土矿的主要类型有二：

平果岩溶铝土矿 { 1. 远岩溶铝土矿（原生沉积的）
（或岩溶堆积铝土矿） { 2. 岩溶坠积碎屑铝土矿

平果矿区位于广西山字型构造体系西翼前弧之外缘，右江复向斜之东南端。构造线为北西方向，区内岩溶地貌很发育，如洼地、漏斗、落水洞、暗河等大都沿北西向构造线分布。峰丛、峰林、孤峰、残丘四个不同阶段的岩溶地貌到处可见。第四系岩溶坠积成因碎屑铝土矿体及其准胶结物等形成的覆盖层构成覆盖型岩溶。由于覆盖层薄，覆盖层（含矿层）下面的灰岩溶蚀作用在地面形成洼地，从而使含矿层塌陷，并常呈线状分布（图1、2）。此地岩溶坠积成因碎屑铝土矿体的地质特征与形成条件是：

1. 矿源层的控制 上二迭统底部原生沉积（远岩溶）的一水硬铝石型铝土矿层（ P_2h_1-1 ），是在此区成为大型岩溶坠积成因碎屑铝土矿的物质来源。层厚1~2米，在平果数百平方公里内都有出露，这一

点，与国内外大多数古生代沉积铝土矿颇相类似。

2. 湿热气候的影响 广西是世界典型的热带岩溶地区之一，桂西南更如此。岩溶地貌以峰林为主要特征。在新生代湿热气候强烈风化淋滤作用下，围岩，特别是下部围岩（主要是灰岩）遭受溶蚀，形成岩溶（还有冲蚀和磨蚀作用）；而原生沉积一水硬铝石型铝土矿因具强硬的抗拒风化作用能力，主要表现为物理风化，矿石破碎呈角砾状、碎块状或碎屑状。也有不少因长期的溶蚀、冲蚀、磨蚀而呈次棱角至半滚圆状，而滚圆状很少。并含有少量黄铁矿及有机质，在氧化作用中，产生一定的化学风化。

3. 地质构造的控制 已探明的那豆矿区为一走向北西，两头倾没的背斜构造，伴生许多大小断裂，裂隙及层间裂隙，利于含水透水，强烈风化淋滤（包括有机酸、硫酸及 CO_2 的影响）。至于“背斜成矿”，系因其处于潜水面或活动带之上，易受氧化及溶蚀，从而使碎屑铝土矿形成的矿块由上而降（迁移作用以重力为主，雨水为辅），成为崩塌作用的坠积物，坠落垂直距离在背斜轴部最大可达1300~2000米（如按0.2毫米/年的年溶蚀率计算，可能最早在1千万年前，铝土矿层的氧化、破碎及下面茅口灰岩的溶蚀作用已经初步开始）。然而，在局部或较细颗粒中可以形成以坡积以至冲积为主的碎屑铝土矿。碎屑铝土矿分布遍及整个残留背斜的各个时代灰岩基底的凹地或缓坡丘陵。新构造运动表现为多次缓慢上升，更有利用岩溶作用深一步发展，碎屑矿石充分风化淋滤，质量变富。

4. 矿源层与围岩性质的差异 矿区主要是碳酸盐类岩石（且大部分是较纯净的石灰岩，厚度累计可达2000米以上）与沉积铝土矿层（包括铁铝岩、炭质粘土或煤层，厚数米），二者的化学成分及物理性质在风化作用中的稳定性差异很大，前者易于化学风化（被水流带走），后者则以物理风化为主，从而才有可能使铝土矿呈碎块状并富集成矿。

5. 面型风化控制 矿源层的层面与风化作用面相平行或近于平行，背斜轴部因地势不断缓慢上升，风化淋滤时间较长而强烈，对成矿较有利。如果只限于线型风化是很难



图1 大型坠积铝土矿矿体分布图

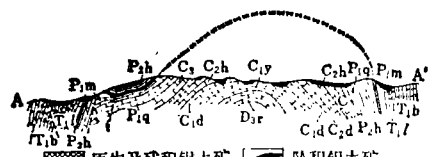


图2 A-A'地质剖面图

有如此巨大规模的碎屑铝土矿床的。

6. 掺和作用 矿层上下围岩的95%以上为灰岩, 没有砂砾及粉砂岩等碎屑岩直接伴生, 掺和作用较少。由于少数粘土岩主要分布在矿源层上部, 较易物理风化, 也有一定的掺和作用(还有铁铝岩), 但在背斜轴部及粗碎屑级中较少。

7. 矿石结构、成分的继承性及演化 坠积成因碎屑铝土矿的物质成分及结构构造继承了原生沉积铝土矿, 但也有一定的因化学风化的演化为多孔状结构与黄铁矿风化及其产物等, 矿石主要矿物为一水硬铝石, 次为高岭石、针铁矿、赤铁矿及少量的绿泥石、水云母、三水铝石及锐钛矿等, 与其它沉积铝土矿一样, 一般不含石英及斜长石、钾长石、角闪石、辉石等矿物。

8. 碎屑铝土矿严格受第四纪地形地貌控制, 地形坡度较大时, 没有或仅有零星碎屑铝土矿分布; 在基岩起伏频繁的地方, 如石牙、石林, 碎屑矿只是稀疏散布, 不形成矿体。在重力作用影响下, 矿体总是坠积于山间盆地、凹地、沟谷、侵蚀平原、缓丘等处, 表现了岩溶的基本特征。

我们认为, 这些成矿条件与因素综合作用的结果, 才有可能形成今日所见的大型岩溶坠积成因碎屑铝土矿床。矿层产状上的变化, 从剖面上看犹如由“弓背”变成为“弓弦”。这种“弓形”变化的产出特征, 并形成大型岩溶坠积成因碎屑铝土矿, 不仅在我国是首次发现, 而且在世界上也极为罕见。

矿体形态在平面上呈带状及不规则状;

剖面上呈缓倾斜之似层状、透镜状、扁豆状等。矿体大小及厚度变化严格受基岩形态控制。如那豆矿区最大的矿体, 长数千米, 宽数百米, 厚数米。矿区含矿率可达45~50%。化学成分中 Al_2O_3 含量富, Fe_2O_3 约17%, SiO_2 约6%, 灼减约14%, Al/Si 约10, 可供拜耳法生产。

根据有关资料指出, 中国铝土矿矿床工业类型可分为两大类六亚类:

(I) 浅海相湖相沉积铝土矿床 (I-1 类为产于碳酸盐类侵蚀基面上, 且间断时间较长的铝土矿床; I-2 类为产于硅酸盐类侵蚀基面上间断时间较短的铝土矿床; I-3 类为产于碳酸盐类侵蚀基面上间断时间较短的铝土矿床; I-4 类为产于硅酸盐类岩石中的铝土矿床)。

(II) 风化型铝土矿床 (II-1 类为坡积型铝土矿床; II-2 类为玄武岩风化壳型铝土矿床)。

平果岩溶坠积成因碎屑矿石铝土矿的工业类型显然属于第II大类风化型铝土矿, 与其中II-1亚类坡积型铝土矿床有相似, 又有差别(表1)。因此应属于我国铝土矿矿床工业类型中的一个新的类型。拟称为: II-3亚类型, 即岩溶坠积型铝土矿较确切。

准胶结物及顶底板中三水铝石的发现

1. 理论依据 平果矿区原生沉积一水硬铝石型铝土矿(远岩溶铝土矿, 包括上下围岩), 常含有少量的黄铁矿, 一般含量百分之几到十几, 少数含量可达30~50%以上,

岩溶坠积铝土矿与坡积铝土矿床的工业类型的主要区别

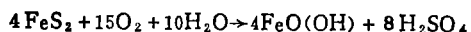
表 1

亚类型	矿体赋存位置	基底岩石性	作用力	主要迁移方向	分选性**	矿床规模
I-3, 坠积型铝土矿*	1. 分布于背斜内侧, 范围广; 2. 一般在较老岩层灰岩侵蚀面上	石灰岩	重力为主	垂直距离>水平距离	块度分选性很差	大一特大型
I-1 坡积型铝土矿	1. 分布于原生沉积矿出露的附近两侧, 范围小; 2. 一般在较新(背斜)或较老(向斜)岩层之上	石灰岩、砂页岩、玄武岩	雨水为主	水平距离>垂直距离	块度分选性较差, 一般较坠积型铝土矿略好	中一小型

* 原统称“堆积铝土矿”;

** 往往坠积物里的碎屑物比在坡积物里更粗, 棱角一滚圆度范围大, 排列不规则。机械掺和作用比后者差,

这对工业利用是有害杂质,但在后期的风化淋滤作用中,则是有利条件,因为黄铁矿的风化伴随着铁和硫的氧化,产生硫酸溶液:



硫酸形成后,可使水溶液的 pH 值显著降低(至 4.1~2 以下)。这种强酸性水介质环境(又在湿热气候条件下)能够部分溶解原生沉积铝土矿(其中粘土矿物——高岭石比一水硬铝石较易溶解)。这样不仅可使坠积碎屑铝土矿的含铝量相对增高(例如原生沉积铝土矿 Al_2O_3 含量可为 50~65~70%,而相应的坠积碎屑铝土矿 Al_2O_3 含量则为 65~75%,S 含量可由 1.5~7~13%,减至千分之几到万分之几)。而且当这种水溶液被水流冲淡或有围岩(灰岩)成分被溶解使其 pH 值增高至 4.1 以上时(但仍 < 5.5),就会有三水铝石(氧化环境)的沉积或形成。因此,在坠积碎屑铝土矿的“胶结物”及围岩粘土中寻找三水型铝土矿是很可能的(何况原生沉积铝土矿还含有机质,有机质的氧化也可产生这种情况)。再者,从相应的矿体分布面积与储量对比来看,在那豆背斜含矿层近百平方公里范围内,坠积铝土矿的储量只是该范围应有的原生沉积铝土矿(矿源层)的几分之一,证明矿源层(原生沉积铝土矿)有不少已被化学分解,从而可形成三水型铝土矿(并有来自围岩的分解),当然还应注意其流失作用及后期的掺和作用。

2. 初步实践 在 270 队的大力协助下,经过几个月的野外工作与室内研究,证实了上述看法。我们首先在坠积碎屑铝土矿的“准胶结物”中发现了三水铝矿,不仅在平果的那豆、太平等矿区的“胶结物”中,而且在其上下围岩、夹层粘土及外围矿区也普遍发现有三水铝矿。我们从矿区的 44 个矿体中采取第一批 63 个 < 1 毫米的胶结物进行了研究,发现 9 个矿体的样品有符合铝土矿的工业指标,即铝硅比 > 2.6; 35 个矿体的胶结物铝硅比 < 2.6,但一般 > 0.85,最高为 6.5; 其 Al_2O_3 含量在 40% 以上(最高可达 50% 以上)。经物相分析三水铝石含量最高的可达 50% 以上。第二批 9 个井 41 个样的分析结果在含量上有变贫变富的现象。可见其质量变化较大,但根据 109 个物相分析结果证明都或多或少含三水铝石,平均含量 28.4%,而且顶底板粘土均同样含三水铝石,数量相差不多

62号矿体38号浅井胶结物中
三水铝石含量(%)

表 2

顶板粘土	含矿层(上)	含矿层(中)	含矿层(下)	底板粘土
40.04	43.49	47.97	50.73	47.36

(表 2), 似乎没有分层的必要, 实际上层理不显, 开采时它们很难分开。总之, 平果等地坠积碎屑铝土矿中 > 1 毫米的胶结物(包括顶底板粘土), 并不是所谓无用的“泥巴”, 至少有一部分可能仍为工业矿石, 有的暂时不能用于炼铝, 也可用作水泥原料或炼钢熔剂等。且这种三水铝石胶结物, 配合一水硬铝石铝土矿角砾, 则其成因应属于“岩溶坠积—再生铝土矿”类型(图 3)。

3. 三水铝石的产出特征 主要有两种情况:

(1) 呈坠积碎屑铝土矿的“胶结物”产出, 浅棕或红褐色(受次生氧化铁或氢氧化铁浸染)。红土状, 较疏松, 未固结成岩(故称准胶结物), 缺乏粘性及可塑性, 伴生氧化铁矿物主要为针铁矿, 次为含水赤铁矿等。伴生粘土矿物主要为高岭石, 次为绿泥石、水云母及蒙脱石等, 其它杂质有石英—燧石及碳酸盐碎屑等。在所研究的“胶结物”中, 均或多或少含有三水铝石, 并常有少量或很少量的一水硬铝石残留, 偶见很少的一水软铝石及湃铝石等。这种三水铝石的富集规律主要是: ①坠积碎屑铝土矿(一水硬铝石), 铝硅比高者, 则三水铝石在胶结物中含量较多。②坠积碎屑铝土矿的孔隙中含三水铝石者, 其胶结物中必含三水铝石, 且含量较高。两者的三水铝石含量往往成正比关系(可见有成因联系, 例外情况另有解释)。③背斜轴部胶结物中三水铝石含量较高, 这与掺合作用较少及风化淋滤时间较长等有关系。④同一矿体因受后期洪积物掺和作用的多少不同, 或因地势差异而三水铝石含量相对有所增减。例如有时地势高则沉淀三水铝石, 地势低因水溶液含 SiO_2 , 而形成多水高岭石(如 25 号矿体)。

(2) 呈洁白色或黄白色产于坠积碎屑铝土矿的角砾中, 致密块状、细脉状及假豆觔或角砾状填充于坠积铝土矿石裂缝与孔穴中, 有时见到的是洁白色或黄白色三水型铝

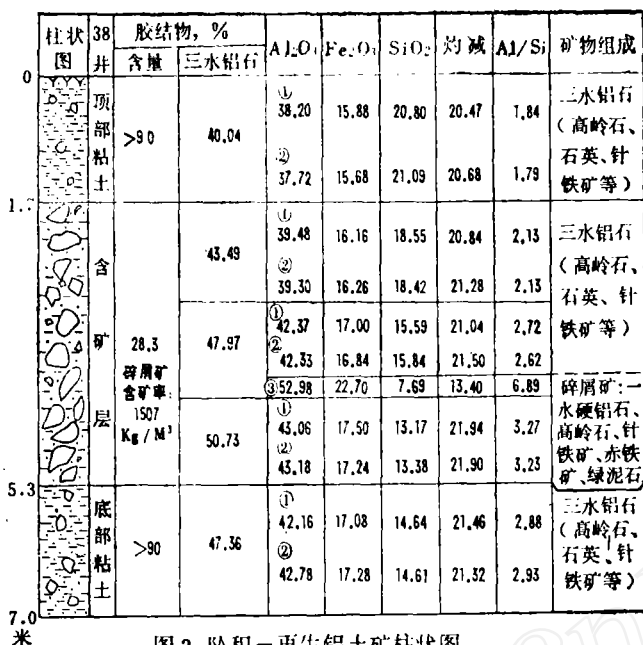


图3 坠积-再生铝土矿柱状图

土矿的角砾(块度最大者可达0.0几~0.几立方米,三水铝石含量可达90%以上),或三水铝石与针铁矿条带状的角砾,块度长几至几十厘米或更大。这种三水铝石在镜下观察,结晶良好($\text{pH} < 5$),清彻透明,未被铁质污染,呈鳞片状和条柱状集合体,偶见鲕状晶体,正突起中度, {001} 劈纹完全,条状切面为斜消交,消交角 $20 \sim 25^\circ$,干涉色一级顶部, (+) 2 V 小。结晶较大的多在0.几毫米,这与溶液浓度、酸性介质中的pH值及结晶速度等有关。与之伴生的粘土矿物主要为高岭石,次为多水高岭石、变水高岭石及水铝英石等。但所见规模不大,这与过去在华北“G层”铝土矿中见到的次生三水铝石颇为类似,但后者结晶较小,至今尚未发现以其为主的工业矿体。因此,矿区呈“胶结物”产出的三水铝石较为重要,而且在多次风化坠积、坡积、冲积等作用中,致密块状者已向“胶结物”状转变。

4.关于工业上利用胶结物中三水铝石等有益成分的建议 已于前述,三水铝石在坠积碎屑铝土矿的胶结物中普遍存在,然而含量高的不多(已用“灼减量法”、“化学成分换算法”及“物相分析法”等作过定量分析),应设法全部利用。合理利用成分较佳的三水铝石,不仅可以扩大矿石储量,而且是“变废为利”或“变害为利”。胶结物中还有

一水硬铝石、稀散元素矿物及针铁矿等。建议用“洗矿溶矿统一法”及“选矿法”,予以利用。

5.矿区三水铝石发现的意义 近20多年来,世界铝土矿储量迅速发展,增长了十多倍,且国外90%以上用三水型铝土矿生产铝氧,因开采条件好(露天),铝硅比高,矿石易溶,成本低、收效快。而我国已知铝土矿主要是一水硬铝石型,多为地下开采,铝硅比不高或不很高,矿石最难溶,成本高,收效慢,生产发展不快。为了适应高速度发展我国国民经济的需要,应多找好矿,富矿。我国大型坠积碎屑铝土矿(平果)具有较多的优点(规模大,质量高,伴生稀散元素,全部露天开采,一般不需爆破,洗

选性能好,水文条件好),但不足的是它仍为一水硬铝石型铝土矿,如其胶结物为三水型铝土矿,不仅扩大较好的矿石储量,变害为利,而且能改善其开采条件和方法,可大量节省人力、物力,加快生产速度,因而具有更大的意义。

在平果矿区的胶结物研究中,通过初步实验,我们还证实了以下三点看法和预想:

1.胶结物中普遍发现稀散元素。经光谱半定量分析计有15种,其中Ga肯定具有综合利用价值,此外还有Yb、Sc、Ce、La、Y、Nd、V、Cr、Be、Nb、Ta、Zr、Co、Ni等,含量也不少。

2.胶结物中仍有一水型铝土矿,其中一个含量较高的样,铝硅比可达6.86(一水硬铝石含量达67.01%);也有铝硅比稍低于2.6的,而一水硬铝石含量达25%左右的,但多数含量较少,能否用选矿方法提取利用,值得注意。

3.用1毫米的筛洗代替箩筐淘洗,可增加1毫米以上的矿石储量,还能较精确地反映矿石的品位(因杂质掺和作用随矿石块度或粒度变小而加大)。

总之,“胶结物”(包括顶底板粘土)不是所谓“无用的泥巴”,若能通过“洗矿溶矿统一法”与“选矿法”予以利用,或作水泥原料及炼钢熔剂 etc,则仅在一个那豆矿区,就可增加数千万吨储量,其意义很大。