

刘平, 廖友常, 张雅静. 沉积型铝土矿及其含矿岩系在溶蚀洼地中的沉积特征——以遵义后槽矿区为例[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 546–563.
Liu Ping, Liao Youchang, Zhang Yajing. Sedimentary characteristics of sedimentary bauxite and ore-bearing rock series in corroded depression: A case study of the Houcao mining area in Zunyi[J]. Geology in China, 2016, 43(2): 546–563(in Chinese with English abstract).

沉积型铝土矿及其含矿岩系在溶蚀洼地中的 沉积特征——以遵义后槽矿区为例

刘 平 廖友常 张雅静

(贵州省地矿局 106 地质大队, 贵州 遵义 563000)

摘要: 位于遵义铝土矿带中部的后槽矿区, 受 NE-SW 向岩溶盆地控制, 溶盆内分布有众多形态各异的中、小型溶洼、溶坑和溶沟, 在这些溶蚀洼地中, 沉积了下石炭统九架炉组的铝土矿含矿岩系。其中主要有似泥石流沉积、沼泽、泥炭沼泽沉积和洪泛漫流沉积。似泥石流沉积物与沼泽、泥炭沼泽沉积物多次交替重叠, 构成了多个沉积旋回, 表明沉积环境发生过多次周期性变化。似泥石流沉积和洪泛漫流沉积, 是形成铝土矿的主要沉积作用。洪泛漫流沉积形成的、覆盖全区所有溶蚀洼地的铝土矿体最为重要, 称为“主流面状矿体”。“主流面状矿体”形成之后, 本区原始的红土风化壳物质向九架炉组铝土矿含矿岩系沉积物的转变阶段即告终结。铝土矿含矿岩系的形成, 主要是在各种溶蚀洼地中陆相复合沉积作用的结果。

关键词: 沉积型铝土矿; 溶蚀洼地; 沉积特征; 后槽矿区; 遵义

中图分类号: P536 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)02-0546-18

Sedimentary characteristics of sedimentary bauxite and ore-bearing rock series in corroded depression: A case study of the Houcao mining area in Zunyi

LIU Ping, LIAO You-chang, ZHANG Ya-jing

(No. 106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Zunyi 563000,
Guizhou, China)

Abstract: There are many medium and small karst depressions, karst pits and karst ditches with varied morphology in the NE-SW karst basin of the Houcao mining area in the middle of Zunyi bauxite belt. The bauxite-bearing rock series of Lower Carboniferous Jiujialu Formation was deposited in these corroded depressions. The sedimentary types were mainly debris flow-like deposition, swamp deposition, peat bog deposition and flooding sheetflood deposition. Sediments of these sedimentary types were alternatively deposited in multiple depositional cycles. This shows that the depositional environment changed repeatedly and periodically. Debris flow deposit and flooding sheetflood deposit seem to have been the main sedimentary types in the bauxite mineralization process. Bauxite orebodies were formed by flooding sheetflood deposition, called "mainstream planar orebodies", which constituted the main

收稿日期: 2015-03-02; 改回日期: 2015-04-26

作者简介: 刘平, 男, 1935 年生, 高级工程师, 长期从事地质和矿产资源勘查工作; E-mail: lyc106@163.com。

sedimentary type and covered all the corroded depressions in the mining area. After the formation of "mainstream planar orebodies", the conversion of the original laterite weathering crust material to the sediments of bauxite ore-bearing rock series in Jiujiulu Formation drew to an end. The formation of bauxite-bearing rock series in corroded depressions was mainly affected by complex continental deposition.

Key words: sedimentary bauxite; corroded depression; sedimentary characteristics; Houcao mining area; Zunyi

About the first author: LIU Ping, male, born in 1935, senior engineer, long engages in geological study and mineral resources exploration; E-mail: lyc106@163.com.

在黔中—渝南铝土矿成矿带中部的遵义铝土矿带内,铝土矿含矿岩系主要假整合在下奥陶统桐梓组(O_1t)白云岩侵蚀面上,岩溶特征殊为显著,兹以后槽铝土矿区为例,阐述如后。

1 概述

遵义铝土矿带自都匀运动(奥陶纪与志留纪之间)和广西运动(志留纪与泥盆纪之间)以来,在地壳不断隆升的同时,各种地貌作用也十分活跃,到泥盆纪末,全区已准平原化^[1]。由于遵义铝土矿带基底下奥陶统桐梓组(O_1t)和中上寒武统娄山关群($C_{2-3}ls$)碳酸盐岩甚为发育,形成了一个近东西向延伸的,北部稍高,南部略低的准溶原(准岩溶平原),面积约为1100 km²。在这个准溶原内,自西向东分布着新站、苟江、宋家大林、后槽、龚家大山、仙人岩和坑底一大白岩7个铝土矿区。这些铝土矿区分别受7个溶盆(岩溶盆地)控制,溶盆面积为10~35 km²,一般呈椭圆形或不规则状。溶盆之内又包含若干溶洼(岩溶洼地),溶洼面积一般小于0.5 km²,长、宽多在50~300 m,深度多为10~60 m,深度大于30 m者称为溶坑。溶洼、溶坑常成群出现,分布广泛。

后槽铝土矿区位于遵义铝土矿带中部(仅指含矿地段),靠近松烟—中桥—仁怀古隆起带^[2]。NE向长7.1 km, NW-SE向宽0.5~2.0 km,面积10.7 km²,受NE向后槽向斜控制。矿床属中型规模,包含有四轮碑、山头上和槽房湾3个矿段,以山头上矿段矿石储量最多,约占全矿区总储量的74%^[3,4]。若根据含矿岩系中有矿与无矿地段推算,控制后槽矿区的溶盆长度在10 km以上,平均宽度约为3 km,面积大于30 km²。据矿区溶洼、溶坑中铝土矿矿体直径计算,这些溶洼、溶坑的直径约50~300 m,大多在100 m左右;据含矿岩系厚度计算,溶洼、溶坑深度多在10~50 m,属小型溶蚀洼地。

在后槽矿区中部,有一NW向展布的溶沟(或称溶槽),横亘在NE向的溶盆中(图1中的⑦矿体分布区),长约800 m, NE-SW向宽100~300 m,一般深20~60 m,最深处可达90.71 m, (ZK901)和118.14 m (ZK965)。是聚集铝土矿矿石最多的岩溶负地形之一。

后槽矿区铝土矿及其含矿岩系的岩石地层为下石炭统九架炉组(C_{1jj})^[1,5],自下而上,主要岩性有伊利石黏土岩、铁质黏土岩、高岭石伊利石黏土岩、各种类型的铝土质黏土岩(简称铝土岩)、铝土矿、时夹黑色炭质岩(如煤、炭质黏土岩、炭质铝土岩、高炭铝土矿)及硫铁矿层等。高铁铝土矿($Fe_2O_3 \geq 15\%$,下同)多分布在古地形较高处,低铁铝土矿($Fe_2O_3 \leq 15\%$,下同)全分布在古地形较低处^[1]。铝土矿含矿岩系的九架炉组主要产于以下奥陶统桐梓组和中上寒武统娄山关群碳酸盐岩为基底的各种溶蚀洼地内。

图1为后槽矿区主要铝土矿体的平面分布图,图中铝土矿体总体呈NE-SW向分布,少量矿体呈NW向和近EW向,表明矿体完全受溶蚀洼地的展布方向和形态所控制。图1包含了后槽溶盆中的有矿范围,其中的钻孔实际代表了部分溶洼、溶坑的位置。图中的黑色圆点表示该溶蚀洼地内有黑色炭质岩沉积。图中9、9+50及10勘探线范围内的NW向矿体(即7号矿体),大致就是后槽溶沟的位置。

在铝土矿及其含矿岩系的形成过程中,如从空中鸟瞰,可以看到后槽溶盆内星罗棋布的分布着大小各异、深浅不等的溶洼、溶坑及溶沟,其中遍布沼泽和泥炭沼泽,水生植物繁茂,一派美丽诱人的湿地景观。与笔者2013年的论文^[1]相比,前者是论述一个准溶原中,遵义铝土矿带内高铁铝土矿与低铁铝土矿的分带性及其形成机制,本文则是论述准溶原中一个溶盆内,沉积型铝土矿及其含矿岩系的分

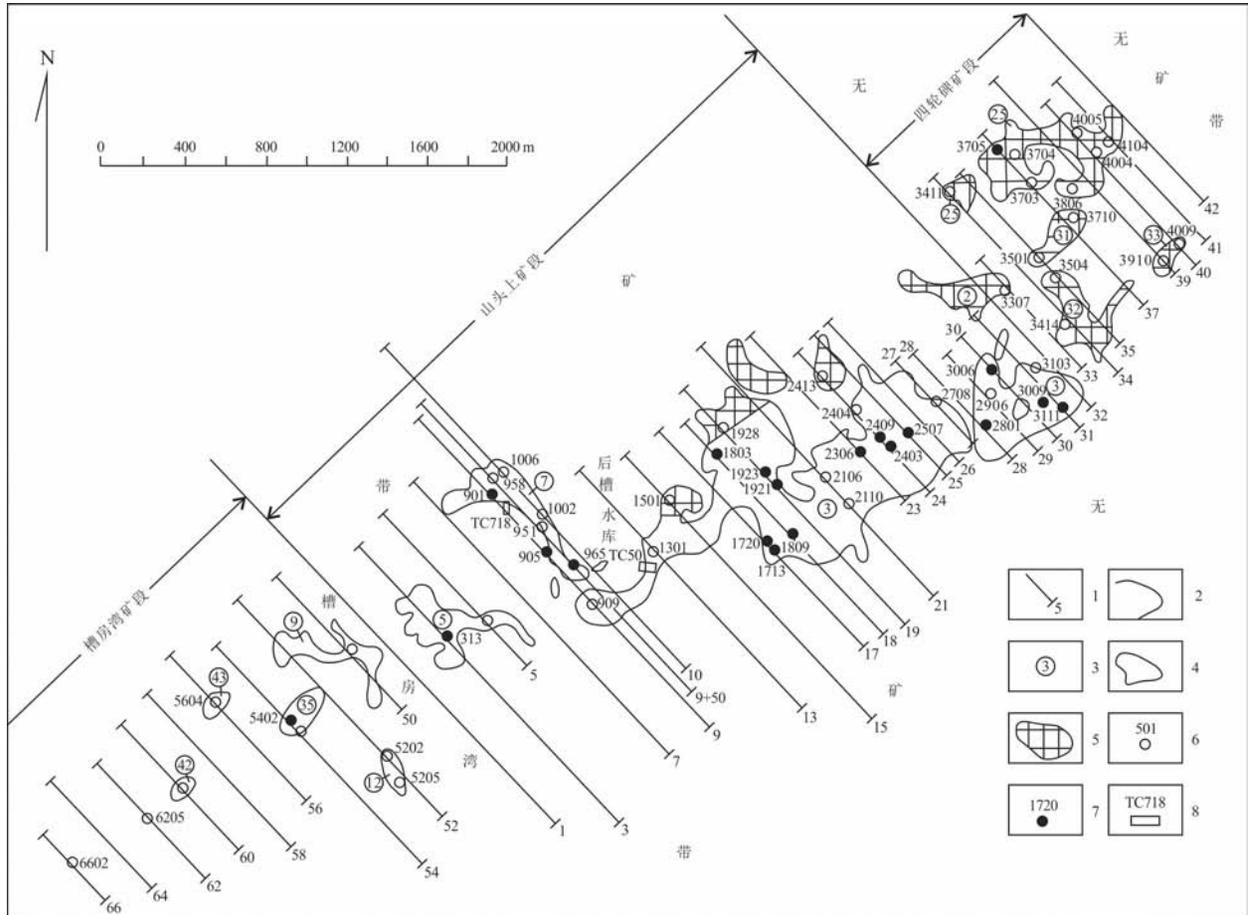


图1 遵义后槽铝土矿区主要铝土矿体平面分布图(据文献[3]、[4]中有关资料编绘)

1—勘查线及编号; 2—矿体边界线; 3—主要矿体编号; 4—低铁铝土矿体; 5—高铁铝土矿体; 6—见矿钻孔及编号(大多数钻孔已省略); 7—见炭质岩钻孔及编号; 8—探槽及编号

Fig. 1 Distribution of main bauxite orebodies in the Houcao mining area in Zunyi(modified after references [3,4])

1—Exploration line and its serial number; 2—Orebody boundary; 3—Serial number of main bauxite orebody; 4—Low-iron bauxite orebody; 5—High-iron bauxite orebody; 6—Ore-intersecting drill hole and its serial number (most drill holes omitted); 7—Carbonaceous rock-intersecting drill hole and its serial number; 8—Trench and its serial number

布及形成机制,二者当属姊妹篇。

2 溶洼、溶坑中铝土矿含矿岩系沉积特征

笔者从众多勘探线剖面中,大致按等间距选出4个代表性剖面,编绘的九架炉组沉积剖面图列于图2之中,37线(图2-a)为后槽矿区四轮碑矿段的高铁铝土矿及其含矿岩系,31线、24线及17线为山头上矿段的低铁铝土矿及其含矿岩系(图2-b~d)。铝土矿含矿岩系主要分布在大小不等的溶洼、溶坑中。

为了进一步阐述各类溶蚀洼地中的铝土矿及其含矿岩系的沉积物特征,选择一些代表性钻孔,

详述九架炉组地层及岩矿石化学成分(表1~表6)。结合图表,可看出如下几个特点。

(1) 从后槽矿区北东端四轮碑矿段的ZK4104到南西端槽房湾矿段的ZK5402,九架炉组内的矿石类型从高铁铝土矿到低铁铝土矿、再到完全没有铝土矿(如ZK6205)。表明矿区北东部及北西部曾是铝土矿原始母质(含三水铝石铝土矿块砾的红土风化壳)的堆积区和剥蚀区^[1],矿区南西部及南东部的无矿带则是九架炉组沉积区的边缘地段,充分展示了后槽溶盆中一个完整的铝土矿及其含矿岩系的沉积环境。

(2) 区内所有溶洼、溶坑中,含砾、砂、粉砂级的

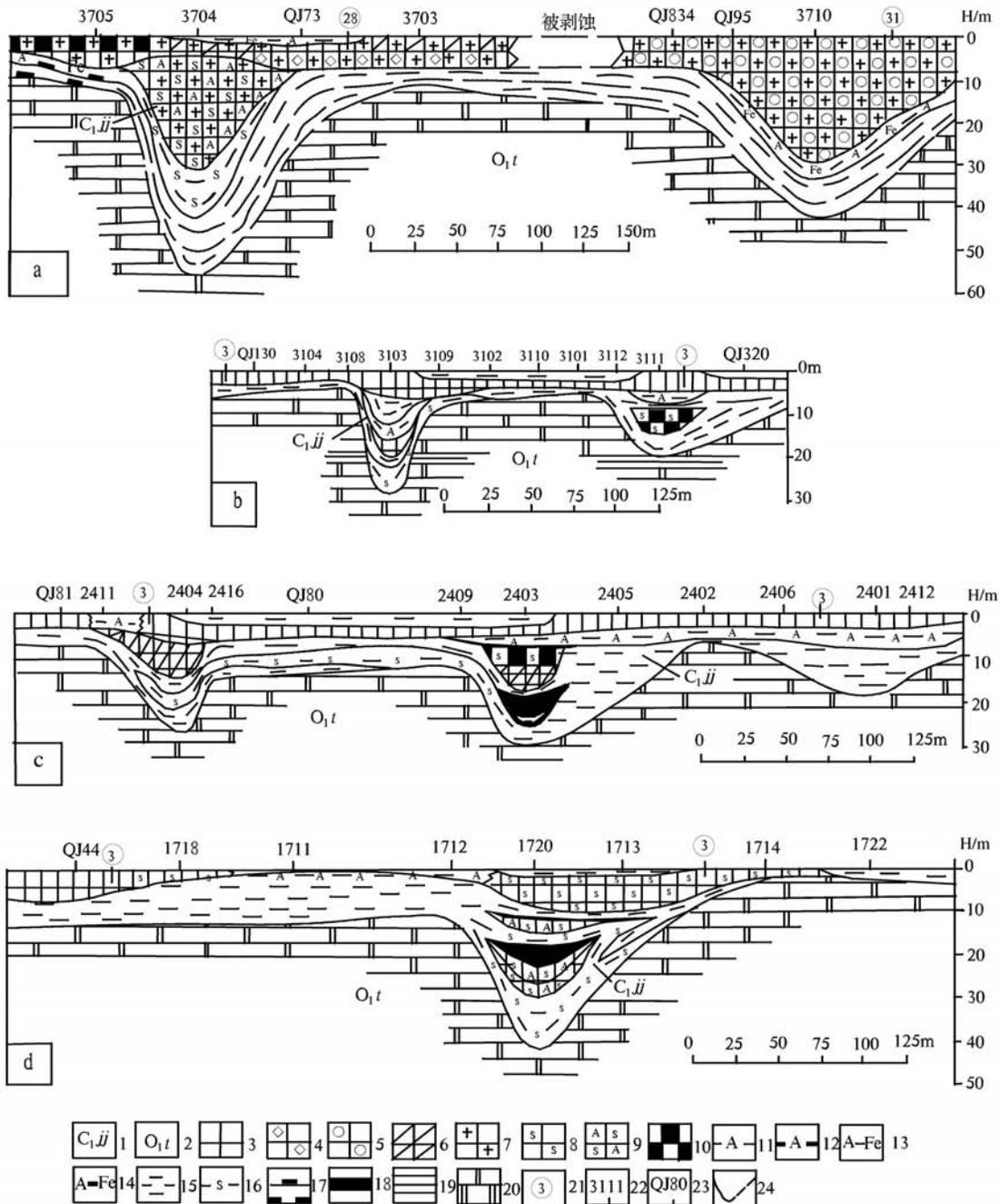


图2 后槽矿区 37(a)、31(b)、24(c)、17(d) 勘查线九架炉组沉积剖面图(据文献[3]中有关资料综合编制)

1—九架炉组; 2—桐梓组; 3—半土状低铁低硫铝土矿; 4—碎屑状铝土矿; 5—豆砾状铝土矿; 6—致密状铝土矿; 7—高铁铝土矿; 8—高硫铝土矿; 9—硫铝矿; 10—高碳铝土矿; 11—铝土质黏土岩(铝土岩); 12—炭质铝土岩; 13—铝铁岩; 14—炭质铝铁岩; 15—黏土岩; 16—硫铁矿层; 17—炭质黏土岩; 18—煤; 19—页岩; 20—白云岩; 21—矿体编号; 22—钻孔及编号; 23—浅井及编号; 24—实测、推测九架炉组底板界线

Fig. 2 Sedimentary profile of Jiujialu Formation along exploration line 37(a), 31(b), 24(c), 17(d) in the Houcao mining area (modified after references[3])

1—Jiujialu Formation; 2—Tongzi Formation; 3—Low-sulfur low-iron semi-earthly bauxite; 4—Clastic bauxite; 5—Pisolitic bauxite; 6—Dense bauxite; 7—High-iron bauxite; 8—High-sulfur bauxite; 9—S-Al ores; 10—High-carbon bauxite; 11—Bauxitic clay rock (bauxitic rock); 12—Carbonaceous bauxitic rock; 13—Aluminiferous; 14—Carbonaceous aluminiferous; 15—Clay rock; 16—Pyrite ore bed; 17—Carbonaceous clay rock; 18—Coal; 19—Shale; 20—Dolomite; 21—Serial number of bauxite orebody; 22—Drill hole and its serial number; 23—Shallow bored well and its serial number; 24—Measured and inferred bottom boundaries of Jiujialu Formation

表1 后槽矿区 ZK4104 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 1 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK4104 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	厚度/m	样品/件	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
Q	浮土: 黄色粘土与腐植土	0.93						
C _{ijj}	灰绿-褐色致密状高铁铝土矿(28号矿体)	9.53	12	55.23	8.70	20.78	0.16	6.35
(42.47 m)	灰色豆砾状高铁铝土矿(28号矿体)	5.14	6	54.29	8.42	22.43	0.22	6.45
	浅灰色碎屑状铝土矿(28号矿体)	6.95	8	64.57	5.51	14.05	0.18	11.72
	灰色含豆砾碎屑状高铁铝土矿(28号矿体)	8.97	10	45.86	7.45	29.48	0.09	6.16
	灰、深灰色含豆砾碎屑状铝铁岩	8.94	9	35.40	7.47	39.23	0.25	4.74
	硫铁矿层, 黄铁矿产于深灰色铝土质粘土岩中	2.94	3	38.84	15.07	25.33	11.48	2.58
	O _{1t}	灰色中厚层细晶白云岩	0.20					

注: 据文献[4]中的有关钻孔柱状图编制。

表2 后槽矿区 ZK3705 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 2 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK3705 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	厚度/m	样品/件	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
P _{2q}	黄色黏土夹燧石及灰岩碎块(灰岩风化而成)	8.60						
C _{ijj}	黑色致密状高炭高铁铝土矿(28号矿体)	8.02	9	48.83	12.22	24.40	0.24	4.00
(12.58 m)	黑色炭质铝铁岩	1.03	2	35.43	24.54	25.62	0.08	1.44
	黑色炭质黏土岩	3.53	2	29.85	43.08	10.52	0.04	0.69
O _{1t}	灰、深灰色中厚层细晶白云岩	>20						

注: 据文献[4]中的有关钻孔柱状图编制。

表3 后槽矿区 ZK3111 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 3 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK3111 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	厚度/m	样品/件	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
P _{2q}	黄色黏土夹燧石及灰岩碎块(灰岩风化而成)	>5						
P _{2l}	黑色炭质页岩	0.53						
C _{ijj}	浅灰色含碎屑半土状高硫铝土矿(3号矿体)	3.79	5	71.12	7.64	1.88	0.99	9.31
(18.24 m)	灰色铝土岩	1.65	2	45.86	34.47	1.01	0.49	1.33
	深灰色致密状铝土质黏土岩	3.23	4	38.67	33.37	4.83	3.45	1.16
	黑色碎屑状高炭高硫铝土矿	4.49	5	61.42	11.76	3.48	2.12	5.22
	灰色碎屑状黏土岩	5.08	4	34.66	35.68	7.69	5.60	0.97
	O _{1t}	灰、灰绿色伊利石页岩	2.78	2	20.26	49.00	10.34	5.54
	灰色中厚层细晶白云岩	>10						

注: 据文献[3]中有关钻孔柱状图编制。

碎屑状铝土矿、铝土岩及碎屑状黏土岩极为普遍, 表明在冲、洪积作用下, 曾经发生过多“泥石流”沉积。

(3) 所有溶洼、溶坑中, 凡低铁铝土矿分布区内

的铝土矿、铝土岩及黏土岩中, 常见植物化石碎片及炭屑, 或是在岩矿层之间有各类炭质岩分布, 说明那里曾是沼泽、泥炭沼泽环境。凡有黑色炭质岩或炭屑之处及附近, 几乎都有大量硫铁矿层产出,

表4 后槽矿区 ZK313 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 4 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK313 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	厚度/m	样品/件	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
P ₂ q	黄色粘土夹燧石及灰岩碎块(灰岩风化而成)	2.90						
C _{1ij}	灰、浅灰色含碎屑状半土状铝土矿(5号矿体)	5.16	7	72.25	5.57	3.38	0.22	12.97
(35.36 m)	黑色碎屑状高炭高硫铝土矿	6.11	7	55.22	8.63	12.39	8.72	6.40
	黑色炭质铝土质黏土岩(硫铁矿层)	2.31	2	26.92	13.39	19.72	16.28	2.01
	黑色碎屑状高炭高硫铝土矿	1.50	2	57.57	12.39	6.66	3.13	4.65
	灰色碎屑状高硫铝土矿	7.47	8	63.28	9.44	6.22	4.35	6.70
	深灰色含碎屑半土状铝土矿	4.60	5	72.17	7.25	1.20	0.32	9.95
	深灰色碎屑状铝土岩	0.86	1	48.52	31.10	1.45	0.74	1.56
	灰、深灰色致密状黏土岩	7.35	9	35.34	42.36	3.35	1.54	0.83
O _{1t}	以灰绿色为主的杂色伊利石页岩	0.30						

注: 据文献[3]中有关钻孔柱状图编制。

表5 后槽矿区 ZK5402 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 5 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK5402 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	厚度/m	样品/件	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
P ₂ q	深灰色厚层含燧石团块灰岩	>5						
P ₂ l	黑色含黄铁矿炭质页岩	0.14	1	28.88	31.96	16.47	12.83	0.90
C _{1ij}	深灰色碎屑状高硫铝土矿(35号矿体)	4.68	6	66.62	11.00	2.41	1.54	6.06
(15.12 m)	灰色含黄铁矿粉晶铝土质黏土岩	2.21	4	39.80	31.03	5.54	4.41	1.28
	灰色含黄铁矿粉晶黏土岩	3.20	4	29.09	35.91	6.79	6.17	0.81
	黑色炭质黏土岩	0.62	1	23.09	36.76	9.80	6.98	0.63
	灰、灰绿色黏土岩	3.62	5	28.73	45.82	3.01	1.36	0.63
O _{1t}	灰色中厚层细晶白云岩	>5						

注: 据文献[4]中的有关钻孔柱状图编制。

表6 后槽矿区 ZK6205 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 6 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK6205 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	厚度/m	样品/件	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
P ₂ q	灰色中—厚层细晶灰岩	>0.5						
P ₂ l	黑色炭质页岩	0.65						
C _{1ij}	灰色致密状黏土岩, 含星点状黄铁矿	3.46	4	35.55	41.93	4.79	3.24	0.84
(7.42 m)	硫铁矿层, 黄铁矿产于灰色致密状黏土岩中	0.86	1	28.23	33.02	17.42	12.84	0.85
	硫铁矿层, 黄铁矿产于灰色致密状黏土岩中	0.47	1	7.33	8.04	53.13	40.14	0.91
	灰色致密状黏土岩, 含星点状黄铁矿	0.95	1	31.84	37.41	11.61	8.51	0.85
	灰色致密状黏土岩	1.68	2	33.33	47.31	1.66	0.94	0.70
O _{1t}	灰绿色伊利石页岩	0.78						
	灰、灰白色中厚层细晶白云岩, 顶部含硅质	4.50						
	灰绿色伊利石页岩	3.00						
	灰色中厚层细晶白云岩	>5						

注: 据文献[4]中的有关钻孔柱状图编制。

说明有炭质岩的泥炭沼泽环境可为硫铁矿的形成提供充分的 H_2S 。在高铁铝土矿分布区内,也见到少量炭质岩分布,在其附近同样有厚度较大的硫铁矿层产出,如ZK3705有厚12.58 m的炭质岩,在其旁侧的ZK3704中,就有厚达26.12 m的高铁高硫铝土矿,其TS平均含量达15.33%。而在其SE侧的溶坑中,无炭质岩沉积,则在ZK3710的高铁铝土矿中全无硫铁矿产出。

3 溶沟中铝土矿含矿岩系的沉积特征

位于后槽矿区中部9、9+50和10勘探线的7号矿体分布区,也就是后槽溶沟的分布地段(图1、图3-c)。为深入了解铝土矿含矿岩系的地质特征,以下分别研究该溶沟横向和纵向的九架炉组沉积特征。

3.1 溶沟中铝土矿含矿岩系横向沉积剖面特征

图3-c为9、9+50和10勘探线NW段平面图,图中9、9+50、10线之间的间距皆为50 m,但其中部分钻孔,如ZK960~ZK965与9线的线间距为60 m。笔者选编了TC718—ZK901—ZK958—ZK1006(图3-a)和ZK905—ZK951—ZK1002(图3-b)2个九架炉组横向沉积剖面图。

通过图3及表7(ZK905)、表8(ZK951)、表9(ZK1002)等,可以看出该溶沟中九架炉组地层及岩矿石化学成分的变化。

(1)在溶沟NE侧或N侧,沉积物以粗粒的碎屑状铝土矿、碎屑状铝土岩为主,而在SW侧则以细碎屑颗粒的黏土岩较多,相距较近的ZK958与ZK901、ZK951与ZK905都有明显的差别。

(2)溶沟NE侧或N侧,出现较多高铁铝土矿和铝铁岩,如ZK951、ZK1002、ZK1006;而在中部和SW侧,则全为低铁铝土矿。

上述表明,溶沟的NE侧或N侧地势较高,SW侧地势较低,含三水铝石的红土风化壳物质自NE或N向SW或S方搬运,粗颗粒的碎屑状铝土矿、铝土岩必然会就近沉积,细颗粒黏土质、铝土质随水向SW方向漂流。由于搬运距离较近,还没有充分的时间和条件排除其中的铁质而使其相对富铝,因而在溶沟NE侧基本保持了原红土风化壳中铝土矿块砾含铁较高的特征^[1]。

3.2 溶沟中铝土矿含矿岩系纵向沉积剖面特征

图4是沿溶沟NW—SE向长轴方向,主要据9线

和9+50线上的钻孔资料编制的九架炉组纵向沉积剖面图。据图4所见,不仅溶沟各地溶蚀深度不等,而且九架炉组的岩矿石性质也相差较大,说明同一溶沟内,在其发展演化过程中,各地的沉积小环境是不相同的,加之各地的物源差异,就更加突显了它们的区别。例如,偏NW侧的ZK901,深度大于90 m,以沼泽环境为主,沉积了大量富含硫铁矿的黏土岩(见文献[1]之表1);位居中部的ZK958、ZK951(图3)等,溶蚀深度大于40 m,以“似泥石流”沉积的碎屑状铝土矿为主;位于溶沟SE的ZK965(表10),则是连续泥炭沼泽沉积与“似泥石流”沉积的多次重叠。

4 溶蚀洼地中铝土矿含矿岩系的沉积相

在后槽溶盆内,分布着大量溶蚀洼地,这些洼地,平面上多近于圆、椭圆形,常成群出现,且多处于封闭半封闭状态,成为一定范围内水流排泄中心,地表水携带大量含三水铝石的红土风化壳物质向泄水中心汇集,或从高处向低处坑、洼中直接渲泻。笔者曾详细阐述过高铁铝土矿与低铁铝土矿的形成机制及分布特征^[1]。高铁铝土矿主要分布在靠近含三水铝石红土风化壳剥蚀区的地势较高处,低铁铝土矿全分布在远离红土风化壳剥蚀区的低洼处。

“暴雨期间,洪水迅速汇集,以至因排水不畅,在沉积场所内的低洼地带或整个溶洼、溶坑中形成湖泊。暴雨之后的间歇期间由于渗漏、流失、蒸发等原因,水量减少,水位下降而转变为沼泽。”“早石炭世正是地球上植物繁盛的时期之一,大量快速生长的植物,使众多溶坑、溶洼中的沼泽演变为泥炭沼泽”^[1]。

雨季,特别是大—暴雨期间,冲、洪积水体携带大量红土风化壳物质以“泥石流”方式冲入溶洼、溶坑和溶沟中,成为碎屑状铝土矿、碎屑状铝土岩和碎屑状黏土岩。

随着溶洼、溶坑、溶沟中的沉积物不断增厚,终使所有洼地被逐渐填平,并连接成为溶盆中一个面积更大而平缓的洼地。一旦洪水泛滥,就会发生较大面积的洪泛沉积,新生的铝土质、黏土质沉积物就会形成一个超出原溶洼、溶坑、溶沟范围的层状、似

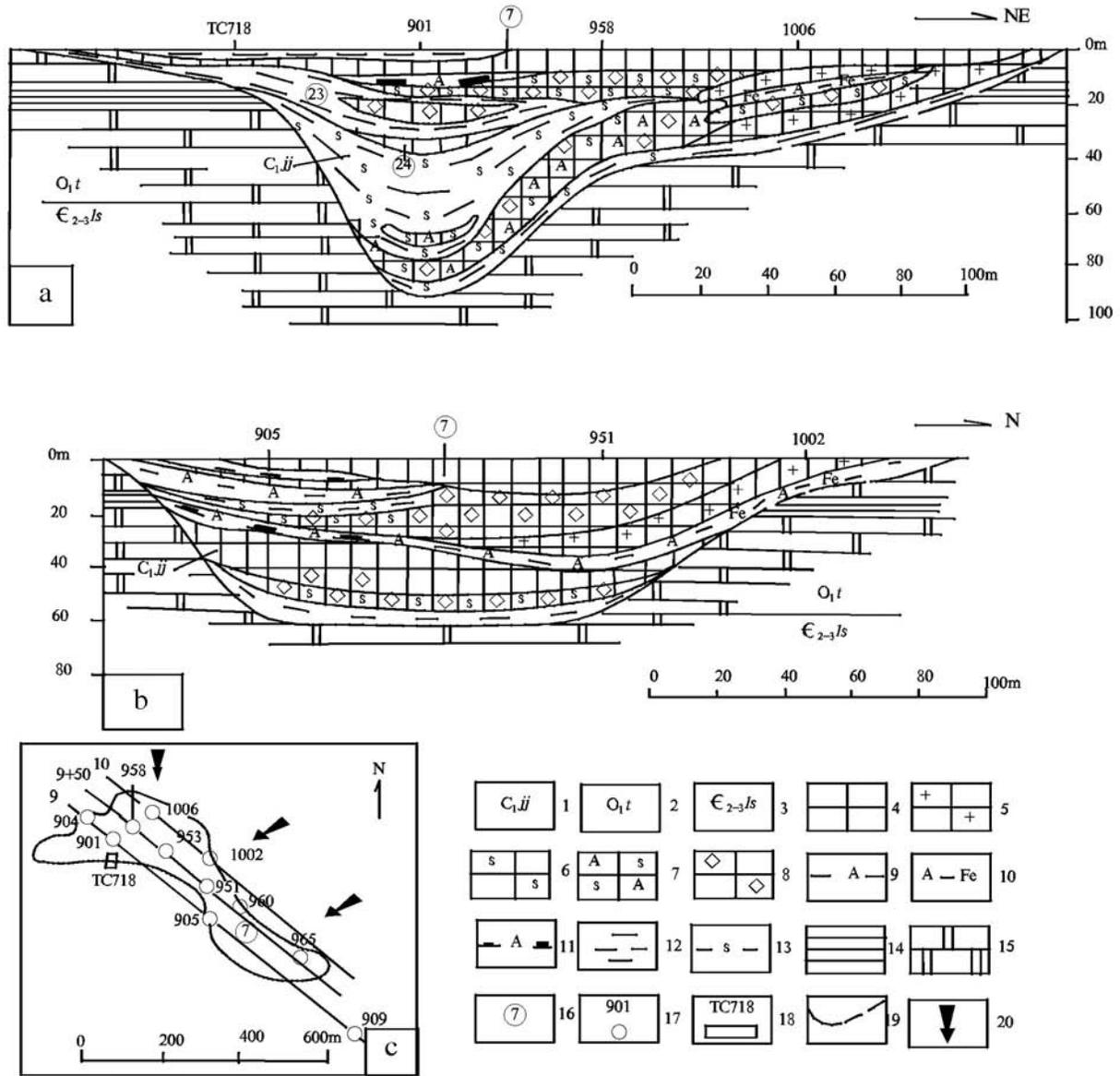


图3 后槽矿区9-10勘探线九架炉组沉积横剖面图(据文献[3]中有关资料综合编制)

a—后槽矿区 TC718-1006 钻孔九架炉组沉积横剖面图; b—后槽矿区 905-1002 钻孔九架炉组沉积横剖面图; c—后槽矿区 9-10 勘探线平面图; 1—九架炉组; 2—桐梓组; 3—娄山关群; 4—半土状低铁低硫铝土矿; 5—高铁铝土矿; 6—高硫铝土矿; 7—硫铝矿; 8—碎屑状铝土矿; 9—铝土岩; 10—铝铁岩; 11—炭质铝土岩; 12—黏土岩; 13—硫铁矿层; 14—伊利石页岩; 15—白云岩; 16—矿体编号; 17—钻孔及编号; 18—探槽及编号; 19—实测、推测九架炉组底板界线; 20—成矿物质搬运方向

Fig.3 Sedimentary cross section of Jiujialu Formation along exploration line 9-10 in the Houcao mining area(modified after reference[3]) a-Sedimentary cross section of Jiujialu Formation of TC718-1006 in the Houcao mining area; b-Sedimentary cross section of Jiujialu Formation of ZK905-1002 in the Houcao mining area; c-Plan view of exploration line 9-10 in the Houcao mining area

1-Jiujialu Formation; 2-Tongzi Formation; 3-Loushanguan Group; 4-Low-sulfur low-iron semi-earthy bauxite; 5-High-iron bauxite; 6-High-sulfur bauxite; 7-S-Al ores; 8-Clastic bauxite; 9-Bauxitic rock; 10-Aluminiferous; 11-Carbonaceous bauxitic rock; 12-Clay rock; 13-Pyrite ore beds; 14-Illite shales; 15-Dolomite; 16-Serial number of bauxite orebody; 17-Drill hole and its serial number; 18-Trench and its serial number; 19-Measured and inferred bottom boundaries of Jiujialu Formation; 20-Transportation direction of metallogenic material

表7 后槽矿区 ZK905 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 7 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK905 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	厚度/m	样品/件	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
Q	坡积层, 松散沉积物	>3						
C _{1ij} (58.53 m)	灰白色含碎屑半土状铝土矿(7号矿体)	2.69	3	74.71	5.07	2.34	0.07	14.74
	黑色炭质黏土岩	0.90	1	24.59	19.17	1.41	3.07	1.28
	黑色高硫高炭铝土矿	1.51	2	63.39	5.07	3.29	0.97	12.50
	灰、褐灰色夹黑色铝土质黏土岩	13.27	15	29.36	7.00	6.06	1.56	4.19
	灰、深灰色含黄铁矿黏土岩(硫铁矿层)	2.50	3	16.95	12.83	22.59	17.85	1.32
	灰黑色致密状高炭铝土矿	2.31	3	57.53	11.99	8.96	1.50	4.80
	褐黄色含碎屑半土状高硫铝土矿(20号矿体)	2.67	3	70.49	3.03	6.39	0.84	23.26
	深灰、灰黑色炭质铝土岩	2.43	3	40.32	33.43	2.82	1.25	1.21
	深灰色碎屑状与浅灰色半土状铝土矿互层(21号矿体)	16.71	18	68.62	9.98	2.19	0.56	6.88
	浅灰-深灰色碎屑状高硫铝土矿	4.59	4	66.57	11.18	2.50	1.30	5.95
	灰色含黄铁矿黏土岩(硫铁矿层)	8.95	1	31.39	37.28	11.02	8.49	0.84
	O _{1t}	灰白色中厚层细晶白云岩	>2					

注: 据文献[3]中有关钻孔柱状图编制。

表8 后槽矿区 ZK951 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 8 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK951 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	厚度/m	样品/件	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
P _{2q}	黄褐色粘土(石灰岩风化产物)	>2						
C _{1ij} (53.62 m)	灰、黄灰色含碎屑半土状铝土矿(7号矿体)	9.87	11	72.15	5.60	3.13	0.02	12.88
	灰黄、黄灰色碎屑状夹致密状铝土矿(7号矿体)	14.51	15	67.87	5.45	7.86	0.26	12.45
	灰黄、黄灰色致密状夹碎屑状高铁铝土矿	12.79	13	59.47	3.95	19.25	0.08	15.06
	灰、黄灰色含碎屑半土状铝土矿	1.62	2	75.83	2.99	2.58	0.05	25.36
	灰黑色含黄铁矿铝土岩	1.41	2	40.83	32.22	7.81	3.79	1.27
	灰黑、灰黄色含碎屑半土状铝土矿	6.16	7	70.55	3.54	7.33	0.75	19.93
	灰黑、浅灰黄色碎屑状高硫铝土矿	3.86	4	65.21	5.95	8.39	4.77	10.96
	深灰、浅黄色含黄铁矿黏土岩	3.40	3	28.94	36.62	12.76	5.55	0.79
O _{1t}	褐黄、黄色粘土(白云岩风化而成)	3.50						
	灰色细晶白云岩	>0.5						

注: 据文献[3]中有关钻孔柱状图编制。

层状铝土矿体和黏土岩层。如图2-a上部的28号和31号矿体, 图2-b~d上部的3号矿体, 以及图3、图4上部的7号和3号矿体及其之上的黏土岩层等。

经研究对比, 图1中的28、31、32、33、2、3、5、7、9、12号以及南部零星的35、42、43号等大小矿体, 曾经就是一个覆盖整个溶盆的完整矿体, 由于在以后的演变过程中, 曾遭受多次褶皱、断裂, 冲刷、剥蚀而支离破碎, 以致被人们误认为是多个孤立的矿体。这个覆盖整个溶盆的完整矿体, 是在沉积后期

洪泛漫流沉积形成的, 笔者将其称为“主流面状矿体”, 以便与其下的、在各类溶蚀洼地中形成的“孤立矿体”相区分。“主流面状矿体”与“孤立矿体”的纵向分布特征在图5中表现得尤为显著。

综合前述, 本区内铝土矿含矿岩系, 是在各类溶蚀洼地中形成的一套以铝土矿为主, 兼有硫铁矿、煤矿等陆相沉积岩系。这套岩系中主要有“泥石流”相、沼泽相、泥炭沼泽相和洪泛漫流沉积相等, 分别简述如下。

表9 后槽矿区 ZK1002 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 9 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK1002 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	样号	厚度/m	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
P ₂ q	灰色灰岩, 下部已风化成黄色黏土		>5					
C ₁ ij(7.68 m)	深灰色致密状铝铁岩	Hy3259	0.74	38.53	16.84	28.63	0.02	2.29
	深灰色致密状高铁铝土矿, 含炭屑(7号矿体)	Hy3260	0.65	52.01	9.80	22.89	0.14	5.31
	深灰色致密状高铁铝土矿, 含炭屑(7号矿体)	Hy3261	0.65	45.91	13.29	25.87	0.06	3.45
	深灰色致密状高铁铝土矿, 含炭屑(7号矿体)	Hy3262	0.68	46.81	13.20	24.51	0.03	3.55
	深灰色致密状高铁铝土矿, 含炭屑(7号矿体)	Hy3263	1.01	41.05	15.84	28.64	0.05	2.59
	深灰、灰绿色铝铁岩	Hy3264	0.63	35.85	22.75	25.86	0.02	1.58
	深灰、灰绿色铝铁岩	Hy3265	0.84	32.08	28.26	25.12	0.02	1.14
	深灰、灰黑色致密状高铁铝土矿	Hy3266	0.89	42.14	19.14	22.67	0.09	2.20
	深灰、灰绿色铝铁岩	Hy3267	0.82	34.37	29.60	22.24	0.04	1.16
	深灰、灰黑色致密状高铁铝土矿	Hy3268	0.77	41.30	18.45	24.43	0.08	2.24
	O ₁ t	鸭蛋绿色伊利石页岩	Hy3269	0.82	23.90	44.32	13.56	0.01
鸭蛋绿色伊利石页岩			4.20					
灰、浅灰色中厚层细晶白云岩			>3					

注: 据文献[3]中有关钻孔柱状图编制。

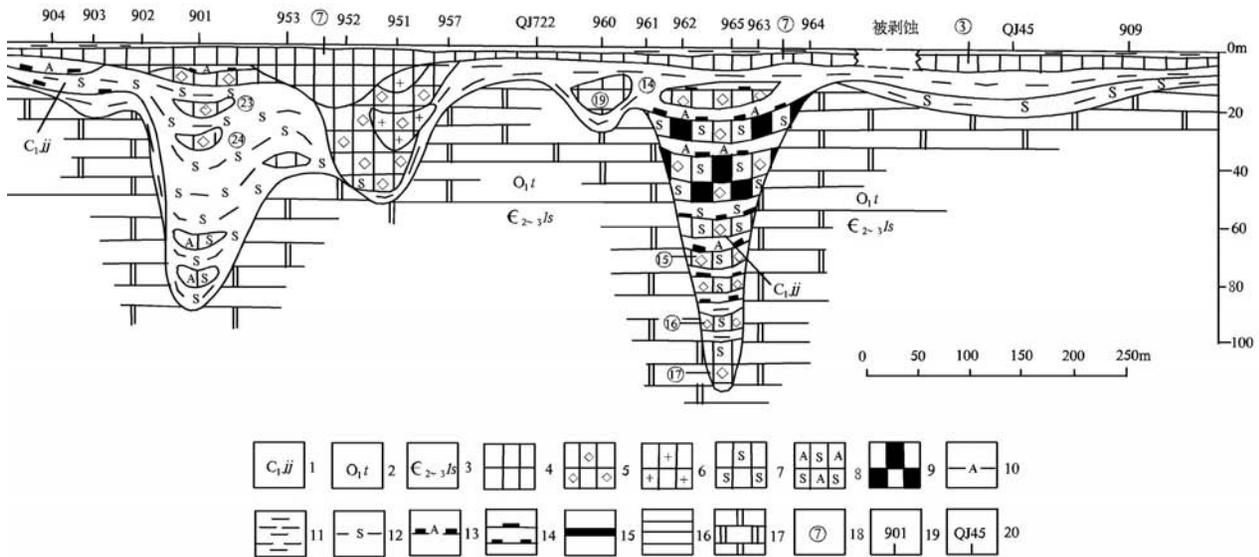


图4 后槽矿区 9—9⁵⁰ 勘查线(溶沟)九架炉组纵向沉积剖面图

(据文献[3]中有关资料编制; 本图平面位置见图3-c(9-10线平面图))

1—九架炉组; 2—桐梓组; 3—娄山关群; 4—半土状低铁低硫铝土矿; 5—碎屑状铝土矿; 6—高铁铝土矿; 7—高硫铝土矿; 8—硫铝矿; 9—高碳铝土矿; 10—铝土岩; 11—黏土岩; 12—黄铁矿黏土岩、铝土岩(硫铁矿层); 13—炭质铝土岩; 14—炭质黏土岩; 15—煤; 16—页岩; 17—白云岩; 18—铝土矿体编号; 19—钻孔位置及编号; 20—浅井位置及编号

Fig. 4 Sedimentary lengthwise section of Jiujialu Formation along exploration line 9—9⁵⁰ (karst ditches) in the Houcao mining area
 1—Jiujialu Formation; 2—Tongzi Formation; 3—Loushanguan Group; 4—Low-sulfur low-iron semi-earthy bauxite; 5—Clastic bauxite; 6—High-iron bauxite; 7—High-sulfur bauxite; 8—S—Al ores; 9—High-carbon bauxite; 10—Bauxitic rock; 11—Clay rock; 12—Clay rock and bauxitic rock containing pyrite (pyrite ore beds); 13—Carbonaceous bauxitic rock; 14—Carbonaceous clay rock; 15—Coal; 16—Shale; 17—Dolomite; 18—Serial number of bauxite orebody; 19—Drill hole and its serial number; 20—Shallow bored well and its serial number

表 10 后槽矿区 ZK965 九架炉组地层及岩矿石化学成分

Table 10 Chemical constituents of rock and ore of Jiujialu Formation of ZK965 in the Houcao mining area

地层代号	主要岩性	厚度/m	样品/件	化学成分/%				A/S
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	
P ₂ q	灰色细晶灰岩, 底部已风化成黄色黏土	>4						
C ₁ ijj(118.14 m)	灰色黏土岩	1.27	1	29.86	38.33	7.01	0.04	0.78
	灰、浅灰色半土状铝土矿(7号矿体)	6.87	8	71.43	6.85	3.72	0.03	10.43
	灰色铝土岩	2.83	3	45.67	34.16	3.51	0.03	1.34
	灰、灰绿色黏土岩	5.31	5	34.92	43.74	7.71	0.04	0.80
	黑色炭质黏土岩	1.02	1	27.75	35.85	9.65	7.28	0.77
	深灰色黏土岩	0.49	1	35.88	44.17	1.04	0.07	0.81
	灰白色含碎屑半土状铝土矿(14号矿体)	3.30	3	71.86	8.26	2.13	0.08	8.70
	黑色炭质铝土岩	1.01	2	42.27	24.34	2.49	1.96	1.74
	黑灰色含碎屑高硫铝土矿	3.11	3	73.78	3.74	1.95	1.05	19.73
	黑色致密状高炭高硫铝土矿	3.19	4	47.27	19.37	2.22	2.79	2.44
	灰黑色碎屑状炭质高硫铝土矿	10.15	11	66.64	6.03	3.56	2.92	11.05
	灰黑色炭质铝土岩	1.84	2	45.51	30.11	1.90	1.67	1.51
	黑色碎屑状高炭高硫铝土矿	8.89	8	63.14	9.42	5.37	4.39	6.70
	黑灰色铝土质黏土岩(硫铁矿层)	8.56	9	24.70	18.67	7.89	9.39	1.32
	黑灰色致密状硫铝矿	1.04	2	42.74	19.64	12.39	9.98	2.18
	深灰色碎屑状高硫铝土矿	15.30	14	67.99	6.78	4.33	3.38	10.03
	深灰色铝土岩	0.95	1	42.75	37.93	0.62	0.47	1.13
	深灰色含碎屑高硫铝土矿(15号矿体)	5.79	6	76.85	3.16	1.13	0.88	24.32
	黑色炭质铝土岩	1.46	2	47.63	29.53	1.25	1.20	1.61
	深灰色含碎屑状高硫铝土矿	2.47	3	71.63	7.90	1.79	1.34	9.07
	黑色炭质铝土岩	2.15	2	45.76	28.71	1.43	1.57	1.59
	灰黑色碎屑状含炭质高硫铝土矿	0.88	1	64.93	11.08	4.03	3.07	5.86
	灰黑色炭质铝土质黏土岩	4.82	4	37.34	33.36	5.45	4.63	1.12
	灰、浅灰色含碎屑高硫铝土矿(16号矿体)	6.00	5	75.19	3.18	1.25	1.09	23.64
	灰色铝土岩	1.11	1	42.79	34.44	0.95	0.94	1.24
	灰、浅灰色含碎屑高硫铝土矿	8.25	8	76.66	1.94	1.85	1.35	39.52
	灰、浅灰色碎屑状铝土矿(17号矿体)	9.43	11	67.57	13.34	0.41	0.21	5.07
灰色铝土岩	0.65	1	44.16	28.66	4.00	3.33	1.54	
€ ₂₋₃ ls	灰、浅灰色细晶白云岩	>2						

注: 据参考文献[3]中 ZK965 柱状图编制(由于 ZK965 顶部 7 号矿体及直接顶底板地层被剥蚀, 本表借用邻近钻孔资料予以补充)。

4.1 “似泥石流”沉积相

“泥石流”是本区溶蚀洼地最常见的冲洪积相中的一种沉积微相。本文所述“泥石流”与现代山区在暴雨时于冲沟中形成的泥石流不完全相同。这里所述“泥石流”是指洪水携带大量含三水铝石铝土矿块砾的红土风化壳碎屑物质, 由较为平缓的斜坡泄入或跌入封闭、半封闭的各种溶蚀洼地中形成的, 碎屑粒度较小, 多为 <2~30 mm 的砂及细-中粒砾石, 偶见个别 100~200 mm 的粗砾石, 比现代山

区沟口冲、洪积扇中泥石流的砾石直径小得多。

本区“泥石流”中的砂、砾级碎屑, 多呈棱角、次棱角状, 少量次圆状, 排列杂乱, 无序, 无分选; 碎屑成分为铝土矿(岩)屑、黏土岩屑及铁矿物屑等, 多为古红土风化壳物质碎屑及溶盆内自生矿物的内碎屑, 碎屑状铝土矿中的碎屑含量一般为 20%~60%, 局部可达 80%; 杂基和泥质支撑, 呈完全不显层理的块状构造, 显示快速堆积特征; 岩石多呈深灰色, 硬水铝石含量 50%~80%, 黏土矿物含量为 15%~

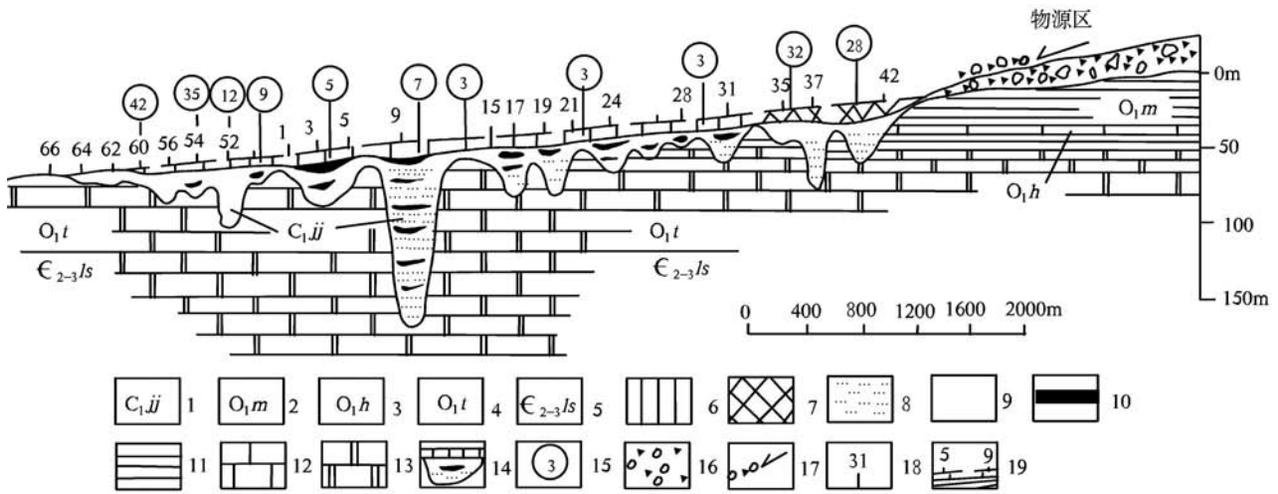


图5 后槽矿区溶蚀、侵蚀洼地内九架炉组沉积纵剖面示意图(据参考文献[3]、[4]中有关资料综合编制)

- 1—下石炭统九架炉组; 2—下奥陶统湄潭组; 3—红花园组; 4—桐梓组; 5—中上寒武统娄山关群; 6—洪泛漫流沉积低铁铝土矿;
- 7—洪泛漫流沉积高铁铝土矿; 8—泥石流沉积的碎屑铝土矿、铝土岩; 9—沼泽沉积的黏土岩、铁质黏土岩;
- 10—煤、炭质黏土岩、炭质铝土岩及高炭铝土矿; 11—伊利石页岩; 12—石灰岩; 13—白云岩; 14—溶蚀、侵蚀洼地; 15—矿体编号;
- 16—含三水铝石红土风化壳; 17—成矿物质搬运方向; 18—勘查线编号; 19—地表空白区为矿体被剥蚀地段

Fig 5 Schematic diagram of sedimentary lengthwise section of the Jiujialu Formation of corroded and erosion depressions in the Houcao mining area(modified after references[3,4])

- 1—Lower Carboniferous Jiujialu Formation; 2—Lower Ordovician Meitan Formation; 3—Honghuayuan Formation; 4—Tongzi Formation;
- 5—Middle—Upper Cambrian Loushuan Group; 6—Low-iron bauxite (flooding sheetflood deposit); 7—High-iron bauxite (flooding sheetflood deposit); 8—Clastic bauxite and bauxitic rock (debris flow deposit); 9—Clay rock and ferruginous clay rock by swamp deposit;
- 10—Coal, carbonaceous clay rock, carbonaceous bauxitic rock and high-carbon bauxitic rock; 11—Illite shales; 12—Limestone; 13—Dolomite;
- 14—Corroded and erosion depressions; 15—Serial number of bauxite orebody; 16—Laterite weathering crust containing gibbsite;
- 17—Transportation direction of metallogenic material; 18—Exploration line and its serial number; 19—Surface blank area (ore body eroded)

50%; Al₂O₃含量 60%~65%, A/S 多为 4~8。具粘性泥石流特征。是另一种高密度重力流, 本文将之统称为“似泥石流”。

4.2 沼泽沉积相

在九架炉组地层中分布普遍, 以中、下部为主, 垂向层序组合比较简单, 主要为略具水平纹理和块状构造的泥质结构黏土岩、铝土岩、粉砂质泥状结构黏土岩、铝土岩及致密状铝土矿(镜下常显示为凝胶状、泥状及少量细屑的混合物), 其中常见植物根、茎、叶化石碎片或炭屑。

4.3 泥炭沼泽沉积相

零星分布于各类洼地中, 非常普遍, 但规模较小, 长、宽多在 100 m 以下, 主要为煤(劣质煤为主)、炭质黏土岩、炭质铝土岩和高炭铝土矿。这些炭质岩中常具碎屑结构, 表明在泥炭沼泽发育过程中, 突降暴雨, 引发泥石流, 一些棱角状、次棱角状的砂、砾级铝土矿屑、黏土岩屑等, 猛烈冲入泥炭沼泽中, 并被泥炭、有机胶胶结, 成为乌黑如煤的碎屑状

高炭铝土矿、碎屑状炭质铝土岩和碎屑状炭质黏土岩等。后槽矿区 3 件碎屑状高炭铝土矿 Al₂O₃ 含量为 61.11%~69.35%, 有机炭含量为 3.43%~5.67%。

4.4 洪泛漫流沉积相

洪泛漫流沉积物分布在后槽溶盆内所有溶蚀洼地的最上部, 多为铝土矿层, 其上常有少量黏土岩层或铝土岩层, 均呈层状、似层状, 厚薄不等, 视沉积时所在地的凹陷程度而定。铝土矿层一般厚 2~10 m, 个别大于 30 m。岩性主要是含碎屑的半土状铝土矿, 其中碎屑含量为 5%~25%, 个别大于 30%; 碎屑粒径多为 0.01~8 mm, 以细砂屑至细砾屑为主。碎屑分选性较差, 砂、砾屑多为次棱角状、次圆状, 少数浑圆状, 局部可见定向排列; 基质含量大于 50%, 具泥晶、粉晶结构。矿物成分以硬水铝石为主, 占 90%~95%, 黏土矿物含量甚少; Al₂O₃ 含量多大于 70%, A/S 普遍大于 10。具稀性泥石流特征。

洪泛漫流沉积物中, 时见岩性突变及冲刷面, 说明现今所见洪泛漫流沉积物不是一次性沉积的, 其中

有过多次短暂沉积间断,是多次沉积叠加而成的。

从全区来看,洪泛漫流沉积的铝土矿,在各地的矿石类型和化学成分大致是相近的,但因冲、洪积水体流经的地域不同,物源各异,搬运的距离不等,故其在各地的沉积物也会有一定差别,这从表1~表10中的28号、3号、5号、7号、35号等矿体(即“主流面状矿体”)的矿石类型及化学成分可以概略看出其变化。

在本矿区内,铝土矿含矿岩系与岩溶地貌是在同一时期内形成的,它们均形成于早石炭世大塘期。

本区沉积的铝土矿及其含矿岩系的母岩,主要是由下奥陶统湄潭组(O_{1m})伊利石页岩和红花园组(O_{1h})、桐梓组(O_{1t})碳酸盐岩所夹伊利石页岩,在稳定的地质构造隆起区与赤道附近湿热气候等多种因素的控制下,经长期风化作用形成的含三水铝石铝土矿块砾的红土风化壳。沉积型铝土矿是红土风化壳中含三水铝石的铝土矿,以碎屑或胶体溶液的方式被地表水短距离搬运到附近的溶蚀洼地沉积而成的。

形成铝土矿及其含矿岩系的沉积作用,有物理沉积作用、化学沉积作用和生物沉积作用,其中的物理沉积作用即机械沉积作用最为重要,大多数铝土矿、铝土岩、黏土岩都具有碎屑结构就是明证。本区含矿岩系中的部分赤铁矿、黄铁矿,分别是在强氧化条件和强还原条件下真溶液中沉积形成的;

沼泽、泥炭沼泽沉积物中常见凝胶状硬水铝石集合体,是由胶体溶液的沉积作用形成的,这些均属化学沉积作用;泥炭和煤的形成,显然是生物沉积作用的结果;铝土矿含矿岩系中大部分黄铁矿,可能主要是生物化学沉积作用形成的。据研究,在水溶液中确有使铝富集的细菌存在^[6]。综上,铝土矿及其含矿岩系的形成,是陆相复合沉积作用的结果。

在后槽溶盆内,原始风化壳物质主要是通过冲洪积作用中的似泥石流沉积和洪泛漫流沉积形成含碎屑的铝土矿。这2种成因形成的铝土矿,既有相近之处,又有明显差别。这里借用碎屑沉积岩的成熟度概念^[7],来比较两种成因铝土矿的差异性。表11列出了洪泛漫流与似泥石流沉积作用形成的铝土矿的主要参数,通过对比得知,无论从成分或是从结构来看,洪泛漫流沉积形成的含碎屑半土状铝土矿的成熟度,均优于似泥石流沉积形成的碎屑状铝土矿。

5 溶蚀洼地中铝土矿含矿岩系的垂向充填序列

本区铝土矿含矿岩系即九架炉组在溶蚀洼地中的沉积相已如前述,总体上比较简单,主要有泥石流相、沼泽相、泥炭沼泽相与洪泛漫流沉积相,但由于在各类溶蚀洼地中,不同岩相沉积物因季节的

表 11 后槽矿区不同成因铝土矿成熟度对比

Table 11 Maturity comparison of bauxite with different geneses in the Houcao mining area

成熟度	铝土矿 ^a		
	洪泛漫流沉积 ^a	似泥石流沉积 ^b	
成分成熟度	Al ₂ O ₃ /%	73.81	63.14
	SiO ₂ /%	5.13	10.25
	Fe ₂ O ₃ /%	1.85	3.71
	K ₂ O/%	0.94	2.51
	Na ₂ O/%	0.023	0.026
	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	14.39	6.16
	Al ₂ O ₃ /Na ₂ O	3209	2428
	硬水铝石/%	90~95	50~85
	黏土矿物/%	<1~10	15~50
	综合评价	成熟	次成熟
	碎屑含量/%	<15 为主, 个别>30	30~60 为主 偶见 100~200 者
结构成熟度	碎屑磨圆度	次棱角-次圆状为主	稜角-次棱角为主
	碎屑分选度	差	差
	碎屑粒度/mm	0.01~8 为主, 偶见 20~40 者	0.02~20 为主, 偶见 100~200 者
	综合评价	次成熟	不成熟
矿石自然类型	含碎屑半土状铝土矿	碎屑状铝土矿 ^a	
矿石颜色	浅灰、灰白色	灰?深灰色	
矿石产出位置	溶洼、溶坑、溶沟顶部	溶洼、溶坑、溶沟中-下部	

注: a—据后槽矿区 32 件全分析结果平均和 12 件岩矿鉴定成果描述; b—据 15 件化学全分析结果平均和 11 件岩矿鉴定成果描述。

周期性变化(旱季、雨季变化)而多次重叠,以致在不同环境中形成的垂向充填序列也是有较大差别的。图6列出了后槽矿区从NE到SW的几个代表性剖面。图中3、5、7、和35号等矿体皆为洪泛漫流沉积形成的“主流面状矿体”。在各种溶蚀洼地中,在“主流面状矿体”之下的沉积层序组合中,经常是由下部似泥石流沉积和上部沼泽、泥炭沼泽沉积构成,它们多次交替重叠,常可形成若干个沉积旋回。位于溶盆最上部洪泛漫流沉积的铝土矿及黏土岩层形成之后,九架炉组含矿岩系的沉积阶段即告终结,进而转化为沉积物的固结成岩与进一步的持续演化阶段。

在铝土矿含矿岩系的岩层之间,常可看到岩性突变、冲刷槽、滚圆状的砾石层(砾石多为铝土矿)和侵蚀面等(图7),表明在铝土矿含矿岩系沉积过程中,曾发生过多冲刷、侵蚀和沉积间断,沉积环境是不断变化着的。

6 溶蚀洼地中铝土矿含矿岩系的岩石化学特征

据本区各种溶蚀洼地中的30件低铁铝土矿的化学全分析结果,其平均含量如表12。经过计算,该矿石中 Al_2O_3 与 TiO_2 、Ga、Cr、Zr、Nb、Ta等均呈正相关关系, Al_2O_3 与 TiO_2 的相关系数为0.771, Al_2O_3 与

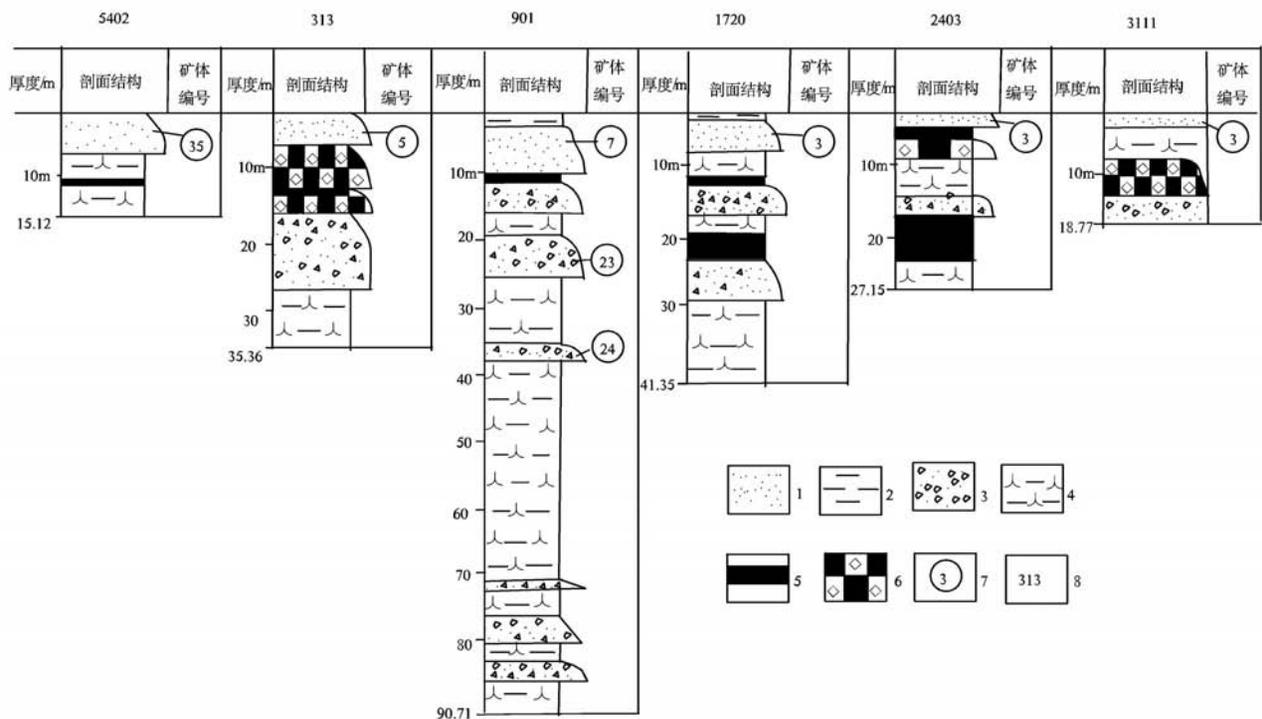


图6 后槽矿区九架炉组在溶蚀洼地中的垂向充填序列及沉积环境(据文献[3,4]中有关资料编制)

- 1—块状含砂、砾屑泥-粉晶结构半土状铝土矿(洪泛漫流沉积); 2—块状含粉砂、砂、砾屑泥质结构黏土岩、铝土岩(洪泛漫流沉积);
- 3—块状砂、砾屑碎屑结构铝土矿(似泥石流沉积); 4—块状含粉砂、砂级碎屑泥质结构黏土岩、铝土岩、致密状铝土矿(沼泽沉积);
- 5—块状煤、炭质黏土岩、炭质铝土岩(泥炭沼泽沉积); 6—块状碎屑结构炭质铝土矿、铝土岩(似泥石流冲入泥炭沼泽中的沉积);
- 7—矿体编号; 8—钻孔编号(钻孔平面位置见图1)

Fig. 6 The vertical infilling sequence and depositional environment of Jiujialu Formation in corroded depression in the Houcao mining area(modified after references[3,4])

- 1—Massive clay-powder crystal structure semi-earthly bauxite containing sand and rubble - flooding sheetflood deposit; 2—Massive pelitic structure clay rock and bauxitic rock containing silty sand, sand and rubble - flooding sheetflood deposit; 3—Massive clastic bauxite containing sand and rubble - debris flow-like deposit; 4—Massive pelitic structure clay rock, bauxitic rock and dense bauxite containing silty sand, sand - swamp deposit; 5—Massive coal, carbonaceous clay rock, carbonaceous bauxitic rock - peat bog deposit; 6—Massive clastic carbonaceous bauxite, bauxitic rock - debris flow-like washed to peat bog deposit; 7—Serial number of bauxite orebody; 8—Serial number of drill hole (see Fig. 1 for plan view of location of drill holes)

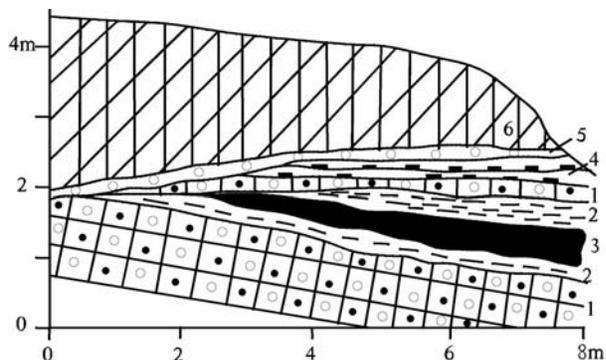


图7 遵义后槽矿区贺家槽采场素描图

1—豆砾状铝土矿; 2—黏土岩; 3—含球状黄铁矿的煤层; 4—炭质黏土岩; 5—砾岩(砾石由铝土矿组成); 6—致密状铝土矿

Fig. 7 Sketch of Hejiacao pit in the Houcao mining area in Zunyi

1—Pisolitic bauxite; 2—Clay rock; 3—Coal seam containing framboidal pyrite; 4—Carbonaceous clay rock; 5—Conglomerate (the composition of the gravel is bauxite); 6—Dense bauxite

Ga 为 0.598, Al_2O_3 与 Cr 为 0.471, Al_2O_3 与 Zr 为 0.573, Al_2O_3 与 Nb 为 0.735, 等。矿石中 Al_2O_3 与 SiO_2 、 Fe_2O_3 、TS、 K_2O 、 Na_2O 、MgO、Li、Ba 等呈负相关关系, Al_2O_3 与 SiO_2 的相关系数为 -0.726 , Al_2O_3 与 Fe_2O_3 为 -0.484 , Al_2O_3 与 TS 为 -0.413 , Al_2O_3 与 K_2O 为 -0.658 , Al_2O_3 与 Na_2O 为 -0.521 , Al_2O_3 与 Li 为 -0.535 ; SiO_2 与 TiO_2 为 -0.759 , SiO_2 与 Ga 为 -0.517 ; SiO_2 与 K_2O 为 0.967, SiO_2 与 Li 为 0.768, 等; RE_2O_3 与任何成分均无相关性^[8]。

(1) Al_2O_3 是铝土矿的主要成分, 绝大部分赋存在硬水铝石中, 少量在伊利石、高岭石和绿泥石内。铝土矿中的 TiO_2 主要存在于金红石、锐钛矿中, 少量存在于板钛矿、榍石内。Zr 是锆石、变锆石的主要成份。金红石、锆石、变锆石、榍石皆为陆源碎屑矿物, 锐钛矿是与硬水铝石大致同时期形成的原生矿物, 这些都是比重大于 3 的稳定重矿物^[9]。这些物理化学性质稳定的重矿物, 常随基底母岩的风化而保存在含三水铝石的红土风化壳中, 故 TiO_2 、Zr 与 Al_2O_3 含量同步增长, 并随铝土矿的成熟而逐步富集。在硬水铝石、伊利石、高岭石中, 还含有较多的 Ti、Ga、Cr、Zr; Nb、Ta 主要在钛矿物中, 硬水铝石中也有分布, 故铝土矿中硬水铝石越多, Ti、Ga、Cr、Zr、Nb、Ta 也相应增高, 而与 Al_2O_3 呈正相关性。

(2) 铝土矿中的 SiO_2 主要在伊利石、高岭石、绿

泥石中, Fe_2O_3 主要在赤铁矿、针铁矿、褐铁矿内, 或以 Fe^{2+} 的形式存在于黄铁矿、菱铁矿中; TS 主要在黄铁矿中; K_2O 、 Na_2O 大多在伊利石内; CaO、MgO 是方解石、白云石的主要成分, MgO 在绿泥石中也有分布。当铝土矿成熟度越高、硬水铝石含量越多, 黏土矿物、绿泥石、铁矿物、硫矿物、碳酸盐岩矿物就越少, 故 Al_2O_3 与 SiO_2 、 Fe_2O_3 、TS、 K_2O 、 Na_2O 、MgO、Li 等呈负相关。

(3) 铝土矿中的 Ga, 主要赋存在硬水铝石中, 本矿区铝土矿中 Ga 含量较高, $10^4 \times \text{Ga}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 1.92, 高于世界 1.09 和中国 1.50 的平均值^[10]。与黔中—渝南成矿带 130 件铝土矿的 $10^4 \times \text{Ga}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 1.91 几乎相同^[11]。刘英俊等认为, “镓同铝、锌、铁等元素(特别是铝)在化学和结晶化学性质上的近似性, 决定了它们的紧密共生关系, 岩石圈中绝大部分的镓都是隐藏在各种不同成因的大量含铝矿物之中, 特别是铝硅酸盐及其它铝的化合物内”, 镓来源于基底母岩, “不含镓的岩石, 其风化产物照例也是不含镓的”^[12]。本区铝土矿中的 Ga, 主要来自基底成矿母岩下奥陶统湄潭组、桐梓组的伊利石页岩之中^[13]。

20 世纪 80 年代, 贵州省地矿局 106 地质大队在后槽矿区及相邻的仙人岩矿区地质勘查期间, 共采集 10 件不同工业类型矿石, 分别进行初步可溶性试验、详细可溶性试验和烧成试验, 试验结果表明, 在低铁低硫、高铁和高硫铝土矿的赤泥中, 镓的绝对量仅占原矿石中镓绝对量的 5%~20% 以下, 证实绝大部分镓均可回收利用^[13]。

(4) 锂在本区铝土矿中有一定含量(表 12、表 13), 比黔中修文铝土矿带 12 件铝土矿的平均含量为 52×10^{-6} 要高得多, 而与黔北正安一道真地区 31 件铝土矿的平均值 535×10^{-6} 又相差甚远^[14], 表明基底母岩及沉积环境是各不相同的。

刘英俊等研究认为, 锂的电势低, 外层电子易失去而成为 1 价阳离子。在风化作用中, 原岩发生分解, 一部份锂可以从矿物晶格中析出 Li^+ 离子与卤族元素化合成可溶盐(如 LiCl)进行迁移被流水带走。

但锂很容易被风化形成的黏土矿物吸附。“由于锂离子半径小(0.68Å), 与镁(0.66Å)、铝(0.51Å)、铁(0.74Å)等离子半径相近, 因此, 在铁镁硅酸盐或铝硅酸盐矿物中可以形成类质同象置换”。在伊利

表12 后槽矿区铝土矿(30件)化学成分平均含量

Table 12 Average content of bauxite (30 pieces) chemical composition in the Houcao mining area

主要化学成分/%										A/S
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	TS	LOI	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	
65.63	11.26	3.88	2.91	0.26	13.40	2.08	0.025	0.13	0.17	5.83
微量元素/10 ⁻⁶										
Ga	Cr	Zr	Li	Ba	Sr	Nb	Ta	Ge	RE ₂ O ₃	Zr/Cr
135	412	640	73	131	103	58	4	4	394	1.55

注: 据贵州省地矿局106地质大队后槽矿区1989年前铝土矿化学全分析结果平均。

表13 后槽矿区铝土矿与粘土岩的平均化学成分

Table 13 Average content of chemical composition of bauxite and clay rock in Houcao mining area

化学成分	半土状铝土矿 ^a 32件	铝土矿 ^b 60件	高铁铝土矿 ^c 38件	黏土岩 ^d 35件
Al ₂ O ₃ /%	73.81	62.36	51.75	32.74
SiO ₂ /%	5.13	11.98	9.29	35.67
Fe ₂ O ₃ /%	1.85	6.17	22.88	10.26
TS/%	0.32	1.64	0.57	3.27
K ₂ O/%	0.94	2.11	0.18	5.51
Ga/10 ⁻⁶	139.81	119.77	94.18	51.09
Li/10 ⁻⁶	28.22	110.93	151.05	229.74
RE ₂ O ₃ /10 ⁻⁶	393.44	366.17	260.00	490.20
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	14.39	5.21	5.57	0.92

注: 据贵州省地矿局106地质大队后槽矿区和仙人岩矿区资料编制。半土状铝土矿据后槽矿区资料; 铝土矿由后槽矿区36件高铁低硫铝土矿与12件高铁铝土矿、12件高硫铝土矿组成; 高铁铝土矿由后槽矿区13件与相邻的仙人岩矿区25件组成; 黏土岩由后槽矿区由27件黏土岩与8件铝土质黏土岩组成。

石、绿泥石矿物中锂含量较高, 因为这些矿物具层状硅酸盐结构, 有利于锂在矿物中进行类质同象^[12]。

本区铝土矿中锂的平均含量如表12, 表13所列, 锂的含量变化较大, 且与Al₂O₃呈负相关, 而与SiO₂、K₂O、Na₂O、MgO等呈正相关(表14); 表明锂与铝土矿中伊利石、绿泥石密切相关。在黏土岩中, 锂含量较高且与Al₂O₃呈正相关, 而与SiO₂、K₂O无相关性(表15)。

(5) 铝土矿中RE₂O₃(稀土氧化物总量)含量较多, 但变化较大, 其含量可从100×10⁻⁶至1130×10⁻⁶, RE₂O₃与其他各种成分的关系极不明显, 在铝土矿和黏土岩中, 均未见任何相关性(表14~15)。

综合前述, 铝土矿矿床是大陆风化作用形成的最典型最常见的矿床实例, 因为它们几乎可以由任何原岩(除石英砂岩和富铁岩层)风化形成。但在地壳中, 铝的含量是8.1%, 而铝土矿矿石中Al₂O₃含量应大于45%(铝含量为23.8%), 说明地壳中铝的富集率是较低的^[15]。铝土矿矿床, 特别是沉积型铝土矿

矿床的形成, 除需具备适宜的母岩条件外, 还必须同时具备有利的构造、气候、地貌等因素。它是各种有利因素综合控制的结果。与黔中猫场矿区、黔北大竹园矿区的大型溶蚀洼地中的湖泊相沉积相比(参见文献[14]之图2、图3), 本区容纳、沉积了铝土矿含矿岩系的主要是分布零星、形态各异的中、小型溶洼、溶坑及溶沟, 它们的出现, 使岩溶型铝土矿床(体)更加多姿多彩。

7 讨论与结论

(1) 后槽溶盆是一个NE侧略高, SW侧稍低的椭圆形洼地。大约在早石炭世岩关期末, 基底的下奥陶统湄潭组(O_{1m})伊利石页岩、红花园组(C_{2h})灰岩和桐梓组(O_{1t})白云岩夹伊利石页岩, 经历了红土化、钙红土化阶段, 形成的含三水铝石的红土风化壳覆盖全区。在随后的造貌作用和沉积作用中, 红土风化壳物质被流水搬运、迁移、聚集, 高铁铝土矿沉积在剥蚀区附近地势较高的洼地内, 高铁铝土矿则沉

表 14 铝土矿(60件)化学成分相关系数矩阵

Table 14 Correlative coefficient matrix of chemical composition of bauxite (60 pieces)

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	K ₂ O	Ga	Li	RE ₂ O ₃
Al ₂ O ₃	1							
SiO ₂	-0.762	1						
Fe ₂ O ₃	-0.585	-0.051	1					
TS	-0.312	-0.114	0.460	1				
K ₂ O	-0.567	0.941	-0.316	0.096	1			
Ga	0.720	-0.638	0.319	-0.310	-0.560	1		
Li	-0.581	-0.600	0.178	-0.180	0.443	-0.332	1	
RE ₂ O ₃	-0.045	0.199	-0.231	0.116	0.269	-0.120	0.134	1

表 15 黏土岩(35件)化学成分相关系数矩阵

Table 15 Correlative coefficient matrix of chemical composition of clay rock (35 pieces)

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TS	K ₂ O	Ga	Li	RE ₂ O ₃
Al ₂ O ₃	1							
SiO ₂	0.153	1						
Fe ₂ O ₃	-0.231	-0.694	1					
TS	-0.752	-0.194	0.253	1				
K ₂ O	-0.197	0.445	-0.346	0.201	1			
Ga	0.595	-0.407	0.317	-0.466	-0.405	1		
Li	0.594	-0.088	-0.302	-0.424	-0.341	0.256	1	
RE ₂ O ₃	-0.051	0.239	-0.203	-0.105	0.196	-0.134	0.071	1

积在距剥蚀区较远的溶蚀洼地中。

(2) 铝土矿含矿岩系与岩溶地貌是在同一时期内形成的,它们均形成于早石炭世大塘期早中期。在铝土矿含矿岩系沉积过程中,各溶蚀洼地内,经常发生似泥石流沉积物与沼泽、泥炭沼泽沉积物的多次交替重叠,表明其环境发生过多次周期性变化。本区九架炉组内岩层之间,多次见到沉积间断、冲刷构造和侵蚀面等,表明铝土矿含矿岩系在沉积过程中还发生过多次短暂的环境突变。

(3) 当所有中、小型溶洼、溶坑及溶沟逐渐被各种沉积物充满填平,成为溶盆中唯一的更大、更平缓的连续洼地,一旦洪水暴发,就会造成溶盆内大面积的洪泛漫流,沉积形成一个超出原溶洼、溶坑、溶沟范围的完整的铝土矿体,即“主流面状矿体”。“主流面状矿体”形成之后,本区原始的含三水铝石铝土矿块砾的红土风化壳物质,向九架炉组铝土矿含矿岩系沉积物的转变阶段即告完成。

(4) 同一矿区不同地段,或同一地段不同时间不

同环境形成的铝土矿,由于成熟度不同,其化学成分含量会有一定差别,但化学成分之间的相关性大体是一致的,即铝土矿中 Al₂O₃ 与 TiO₂、Ga、Cr、Zr、Nb、Ta 等具正相关性,而 Al₂O₃ 与 SiO₂、Fe₂O₃、TS、K₂O、Na₂O、MgO、Li 等皆为负相关关系。这是因为所有铝土矿中那些稳定的稀散元素(如 Ti、Ga、Cr、Zr、Nb、Ta 等)皆来自同一基底母岩风化形成的红土风化壳,它们都是在铝土矿形成过程中,与 Al₂O₃ 同步聚集的元素;而 SiO₂ 与 Fe₂O₃、TS、Li、MgO、Ba 等,虽也来自同一红土风化壳,但它们都是随铝土矿成熟度的提高而逐渐减少的组分。所有化学成分,特别是微量元素含量与下伏基底岩石有着密切的成因联系。

(5) 本区铝土矿及其含矿岩系,是由物理沉积作用、化学沉积作用和生物沉积作用,在溶盆内各类溶蚀洼地中共同形成的,是陆相环境中复合沉积作用的结果,其中以物理沉积作用即机械沉积作用最为重要。

致谢: 在本文写作过程中,许效松研究员提出了宝贵的意见和建议;责任编辑杨艳老师及审稿专家对论文提出了宝贵修改意见,特表谢忱。

参考文献(references):

- [1] 刘平,廖友常. 试论遵义高铁铝土矿与低铁铝土矿的分带性及形成机制[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 949-966.
Liu Ping, Liao Youchang. The zonation and genetic mechanism of Zunyi high and low ferrous bauxites[J]. *Geology in China*, 2013, 40(3): 949-966(in Chinese with English Abstract).
- [2] 刘平,廖友常,张雅静. 黔中—渝南石炭纪铝土矿含矿岩系中的海相沉积特征[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 641-654.
Liu Ping, Liao Youchang, Zhang Yajing. The Characteristics of Marine Deposit of the Bauxite-bearing Rock Series in Central Guizhou-Southern Chongqing[J]. *Geology in China*. 2015, 42(2): 641-654. (in Chinese with English Abstract).
- [3] 郭文良,蒲德昌,杨祖庆,等. 贵州省遵义县团溪铝土矿后槽矿区山头上矿段详细勘探地质报告[R]. 贵州省地质矿产局106地质大队, 1987.
Guo Wenliang, Pu Dechang, Yang Zuqing, etc. Report of Detailed Geologic Exploration of Shantoushang Ore Section of Houcao Bauxite Mining Area in Tuanxi, Zunyi, China[R]. No. 106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, 1987.
- [4] 蒲德昌,包月富,郭文良,等. 贵州省遵义县团溪铝土矿后槽矿区四轮碑、槽房湾矿段详查地质报告[R]. 贵州省地质矿产局106地质大队, 1989.
Pu Dechang, Bao Yuefu, Guo Wenliang, et al. Report of Detailed Geologic Exploration of Caofangwan and Silunbei Ore Section of Houcao Bauxite Mining Area in Tuanxi, Zunyi, China[R]. No. 106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, 1989.
- [5] 刘平,廖友常. 黔中—渝南铝土矿含矿岩系时代探讨[J]. 中国地质, 2012, 39(3): 661-682.
Liu Ping, Liao Youchang. A tentative discussion on the age of bauxite-bearing rock series in Central Guizhou-Southern Chongqing area[J]. *Geology in China*, 2012, 39(3): 661-682(in Chinese with English Abstract).
- [6] 刘宝珺. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1980: 235-241.
Liu Baojun. *Sedimentary Petrology*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980: 235-241(in Chinese).
- [7] 路凤香,桑隆康. 岩石学[M]. 北京:地质出版社, 2002: 165-187.
Lu Fengxiang, Sang Longkang. *Petrology*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 165-187(in Chinese).
- [8] 刘平. 再论贵州之铝土矿——从化学组分特征探讨后槽铝土矿物质来源[J]. 贵州地质, 1991, 8(4): 313-320.
Liu Ping. Another discussion on Guizhou bauxite deposits——A study of Houcao bauxite material resources according to chemical composition features[J]. *Guizhou Geology* 1991, 8(4): 313-320(in Chinese with English Abstract).
- [9] 刘平. 七论贵州之铝土矿——含矿岩系重矿物分布特征[J]. 贵州地质, 1997, 14(4): 303-311.
Liu Ping. Bauxite deposits in Guizhou: Part VII. Features of heavy minerals in bauxitebearing profiles[J]. *Guizhou Geology*, 1997, 14(4): 303-311(in Chinese with English Abstract).
- [10] 刘长龄,覃志安. 我国铝土矿中微量元素的地球化学特征[J]. 沉积学报, 1991, (2): 25-33.
Liu Changling, Qin Zhi'an. Geo chemistry of trace elements in bauxite of China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, (2): 25-33 (in Chinese with English Abstract).
- [11] 刘平. 黔中—川南石炭纪铝土矿的地球化学特征[J]. 中国区域地质, 1999, 18(2): 210-217.
Liu Ping. Geochemical characteristics of carboniferous bauxite deposits in central Guizhou-Southern Sichuan[J]. *Regional Geology of China*, 1999, 18(2): 210-217(in Chinese with English abstract).
- [12] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1984: 125-137, 378-387.
Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin, etc. *Element Geochemistry*[M]. Beijing: Science Press, 1984: 125-137, 378-387.
- [13] 刘平. 九论贵州之铝土矿——贵州铝土矿伴生镓的分布特征及综合利用前景[J]. 贵州地质, 2007, 24(2): 90-96.
Liu Ping. Characteristics of associated gallium distributed in the bauxite in Guizhou and Prospects for Comprehensive Utilization: Nine treatments of bauxite ores[J]. *Guizhou Geology*, 2007, 24(2): 90-96(in Chinese with English abstract).
- [14] 刘平,廖友常. 黔中—渝南沉积型铝土矿区域成矿模式及找矿模型[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2063-2082.
Liu Ping, Liao Youchang. Regional metallogenic model and prospecting criteria of sedimentary bauxite deposits in central Guizhou-Southern Chongqing region[J]. *Geology in China*, 2014, 41(6): 2063-2082 (in Chinese with English Abstract).
- [15] J C 萨玛玛著,章锦统,胡明安,高怀忠,等译. 蒋明霞,夏卫华校. 矿田与大陆风化[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1991: 201-224.
J C Samama. *Ore Fields and Continental Weathering* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991: 201-224.