

试论遵义高铁铝土矿与低铁铝土矿的分带性及形成机制

刘 平 廖友常

(贵州省地矿局 106 地质大队, 贵州 遵义 563000)

摘要:遵义铝土矿带早石炭世沉积型铝土矿及其含铝岩系, 皆沉积—堆积在紫云运动(晚泥盆世至早石炭世)时期形成的略微向南倾斜的夷平面上, 其中的高铁铝土矿与低铁铝土矿具有明显分带性。铝土矿及其含铝岩系的原始物质, 主要是由下奥陶统湄潭组伊利石页岩形成的含三水铝石的红土风化壳。铝土矿的分带性与红土风化壳物质搬运的距离有关, 近处、高处为高铁铝土矿, 远处、低处为低铁铝土矿。总体来看, 搬运距离较短, 属近源搬运、沉积—堆积而成的。

关键词:沉积型铝土矿; 高铁铝土矿; 低铁铝土矿; 分带性; 形成机制; 遵义铝土矿带

中图分类号: P5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)03-0949-07

在中国沉积型铝土矿中, 矿石工业类型可划分为高铁低硫铝土矿、高铁高硫铝土矿和低铁低硫铝土矿、低铁高硫铝土矿, 上述不同类型的铝土矿往往并存于同一个矿区乃至同一个矿段。在多数区内, 初看起来都显得杂乱无章, 无规可循。通过对遵义铝土矿带内多个矿区的研究发现, 高铁铝土矿与低铁铝土矿具有明显的分带性。本文旨在阐述两者之间的分带特征, 探讨其形成机制。

1 概 述

分布于贵阳、清镇、修文、息烽, 向北经遵义、正安、务川、道真, 至重庆市南川、武隆等地的铝土矿, 呈 NNE 向展布, 长约 370 km, 构成黔中—渝南铝土矿成矿带。该成矿带内, 按铝土矿床(点)相对集中的片区, 自南向北, 依次划分有修文、息烽、遵义、正安和道真五个铝土矿带, 矿带之间为无矿带或基本无矿带^[1]。在大地构造上, 该成矿带完全分布在扬子准地台(I 级)黔北台隆(II 级)的遵义断拱(III 级)内^[2]。

黔中—渝南成矿带内, 铝土矿含铝岩系是一套以铝土矿为主, 兼有硫铁矿、铁矿、耐火粘土矿、煤矿的

沉积岩系, 皆为石炭纪沉积产物。南部修文、息烽、遵义三矿带岩石地层为下石炭统九架炉组(C_{1ij}), 主要与下伏寒武系、奥陶系白云岩、灰岩、页岩呈假整合接触; 北部正安、道真两矿带岩石地层为上石炭统大竹园组(C_{2d}), 其基底地层主要为下志留统韩家店群(S_{1hj})页岩、泥岩, 部分地区为上石炭统黄龙组(C_{2h})石灰岩^[3,4,5]; 九架炉组与大竹园组之上为矿系顶板中二叠统梁山组(P_2l)炭质页岩和(或)栖霞组(P_{2q})石灰岩, 假整合覆盖于下伏地层。本文所述遵义铝土矿带位于早石炭世铝土矿沉积区的最北部(图 1)。

九架炉组可分为两个岩性段, 下段为以铁质—粘土岩为主(有时下段不明显), 主要有伊利石粘土岩、高岭石粘土岩、铁质粘土岩, 绿泥石粘土岩, 绿泥石岩, 以及赤铁矿、菱铁矿、褐铁矿等, 局部构成工业铁矿体, 另常有硫铁矿体产出。上段为铝质岩段, 以铝质岩为主, 夹伊利石粘土岩、高岭石粘土岩、炭质粘土岩、煤, 常见硫铁矿体。

铝质岩包括铝土矿和铝土岩。据铝土矿地质勘查规范^[6], 铝土矿指: $Al_2O_3 \geq 40\%$, 且 A/S (铝硅比即 Al_2O_3 与 SiO_2 的比值) ≥ 1.8 。当其中 TS(全硫)含量 \leq

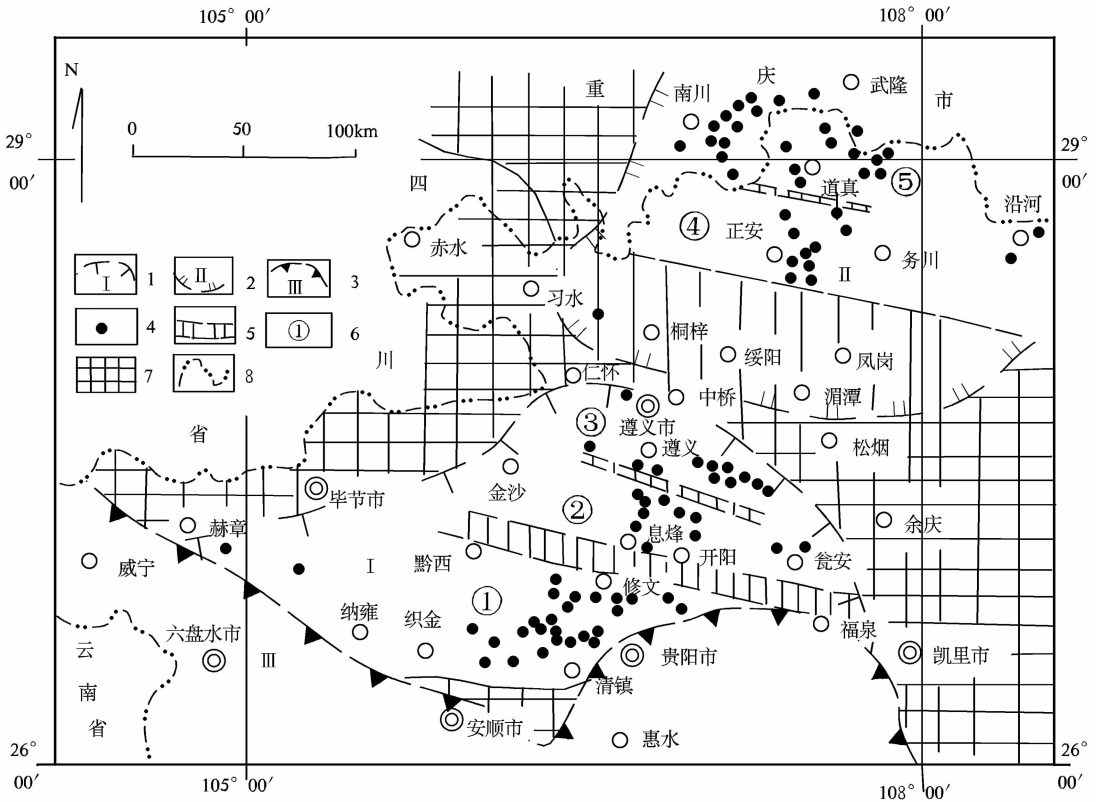


图1 黔中—渝南铝土矿成矿带分布图

1—九架炉组沉积区(推测边界);2—大竹园组沉积区(推测边界);3—石炭纪海相地层沉积区(推测边界);
 4—铝土矿床、点;5—无矿带或基本无矿带;6—铝土矿带编号(①修文铝土矿带,②息烽铝土矿带,
 ③遵义铝土矿带,④正安铝土矿带,⑤道真铝土矿带)7—侵蚀溶蚀剥蚀区;8—省、市界

Fig.1 Distribution of metallogenic belts of bauxite in central Guizhou-southern Chongqing area
 1-Sedimentary area of Jiujialu Formation (inferred boundary); 2-Sedimentary area of Dazhuyuan Formation (inferred boundary); 3-Sedimentary area of Carboniferous marine strata (inferred boundary); 4-Bauxite deposit (ore spot);
 5-Barren zone or basically barren zone, 6-Serial number of bauxite-bearing ore zone: ① Xiuwen;
 ② Xifeng; ③ Zhunyi; ④ Zheng'an; ⑤ Daozhen; 7-depressional karst district; 8-Provincial or municipal boundaries

0.8%时为低硫铝土矿,TS>0.8%时为高硫铝土矿,TS≥8%时为硫铝矿;矿石中Fe₂O₃<15%称为低铁铝土矿,Fe₂O₃≥15%称为高铁铝土矿。炭质粘土岩、粘土岩、铝土岩等岩石中TS≥8%时为硫铁矿;遵义铝土矿带的后槽矿区还产出一种黑色如煤的碎屑状铝土矿,Al₂O₃含量为61.11%~69.35%,含有炭灰3.43%~5.67%,本文将此类称为高炭铝土矿。铝土岩:Al₂O₃在40%以上,1≤A/S<1.8,当其中的Fe₂O₃≥15%时称为铝铁岩。有部分铝土岩可作为耐火粘土矿。

2 遵义铝土矿带高铁铝土矿与低铁铝土矿的地质及分带特征

遵义铝土矿带位于遵义县辖区内,自西向东主要有新站、苟江、宋家大林、后槽、龚家大山、仙人岩、

坑底—大白岩等七个矿区,呈近东西向带状分布,长约60 km,宽15~20 km,面积约1 100 km²。其中,高铁铝土矿皆分布于各矿区北部,低铁铝土矿皆在矿区的中部或南部产出,高铁铝土矿之北和低铁铝土矿之南,皆为无矿带或基本无矿带,具明显分带性(图2)。仙人岩、后槽和苟江三矿区规模较大,分带显著,简述如下。

2.1 仙人岩矿区地质及分带特征

仙人岩矿区自北东向南西,包括花龙门、仙人岩和川主庙三个矿段,皆分布于NE向的仙人岩向斜之中。

花龙门矿段位于仙人岩矿区北东端。九架炉组多被剥蚀而不完整,一般残留厚度1~3 m,少数4~5 m。主要岩性下部为铁质粘土岩,上部为褐红色铝铁

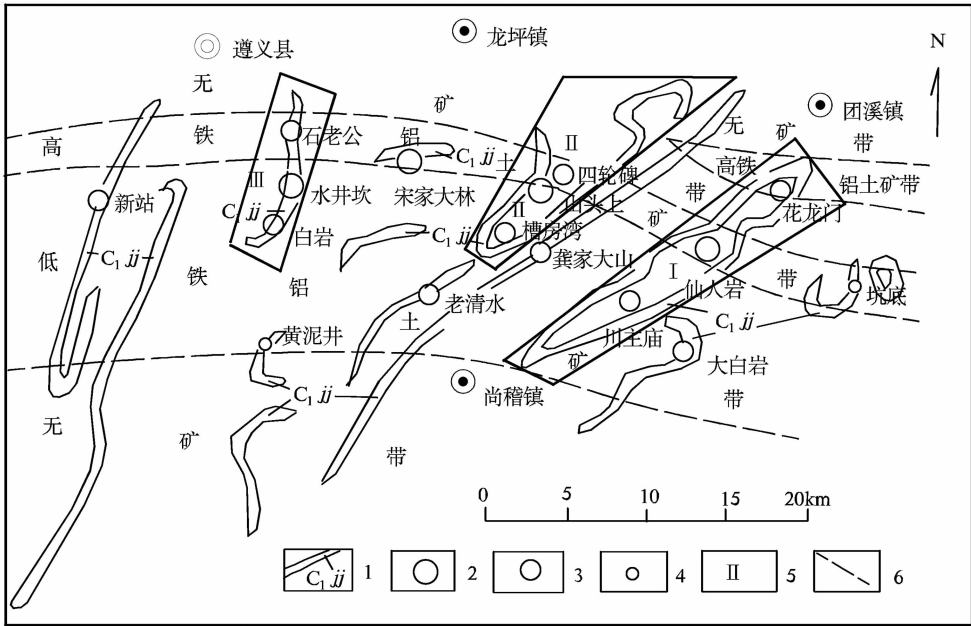


图 2 遵义铝土矿带矿床(点)分布图

1—九架炉组露头;2—中型矿床;3—小型矿床;4—矿点;5—矿区编号(I—仙人岩矿区,II—后槽矿区,III—苟江矿区);6—高铁铝土矿带与低铁铝土矿带、无矿带分界线

Fig.2 The distribution of deposits (ore spots) in the Zunyi bauxite ore belt

1—Outcrop of Jiujialu Formation; 2—Middle-size deposit; 3—Small-size deposit; 4—Ore spot; 5—Serial number of ore district: (I—Xianrenyan, II—Houchao, III—Goujiang); 6—Boundary of high ferric bauxite zone, low ferric bauxite zone and barren ore zone

岩,内夹少量厚度<1 m 的低品位高铁铝土矿,矿石 Al₂O₃ 多在 40%~50%之间,1≤A/S<2.6,Fe₂O₃>15%。矿石自然类型以豆鲕状、豆砾状为主,少数为致密状,矿体小而分布零星,未求获工业储量。下伏基底地层为下奥陶统湄潭组(O_{1m})灰绿、黄绿色伊利石页岩、粉砂质页岩,大部份已被剥蚀,残留厚度 14.20~24.70 m。

仙人岩矿段位于矿区中部,其间与花龙门矿段由一宽 4 km 的一碗井无矿带间隔,为本矿区规模最大矿段^①。九架炉组厚 0~46.47 m,一般厚 8~25 m。全矿段由 21 个矿体组成,矿体长 150~1 340 m,宽 30~560 m,以 8 号、20 号、25 号三个矿体为大(图 3)。全矿段矿体厚 0.80~34.77 m,平均厚 5.10 m。矿石平均品位:Al₂O₃ 57.45%,A/S 6.95;含 SiO₂ 8.27%,Fe₂O₃ 17.73%,TS 0.128%。矿石自然类型有豆鲕状、碎屑状、致密状和少量半土状。矿石工业类型以高铁铝土矿为主,占全矿段矿石总量的 74%,低铁铝土矿

占 26%(其中一部份是由高铁铝土矿于地表风化而成的)。沉积剖面特征见图 4~5。

含矿岩系基底地层,南西部和中部以下奥陶统桐梓组(O_{1t})伊利石页岩为主,东北部为红花园组(O_{1h})灰岩和湄潭组(O_{1m})伊利石页岩,在深溶坑下部可见到 O_{1t} 和中上寒武统娄山关群(ε_{2-3s})白云岩。

川主庙矿段位于矿区南西部,与仙人岩矿段由宽约 1.5 km 的田湾无矿带相间隔。九架炉组厚 0~61.78 m,全矿段包括零星分布、以小为主的 48 个矿体,除少数矿体长 150~250 m,宽 50~150 m 外,大多数长、宽多在 50~100 m。矿体厚 0.80~36.66 m,平均 7.52 m。矿石平均品位 Al₂O₃ 65.65%,A/S 7.21;含 SiO₂ 9.11%,Fe₂O₃ 6.49%,TS 0.03%。矿石自然类型以碎屑状及半土状为主(占 80%~85%),豆鲕状、豆砾状、致密状较少。矿石工业类型以低铁低硫铝土矿为主,低铁高硫铝土矿占 38%;在矿段东北部的田湾无矿带旁侧,有少量(约 4%)高铁铝土矿,矿体呈透

①高企戎,朱成林,郑文祥,等.贵州省遵义县团溪铝土矿仙人岩矿区仙人岩矿段勘探地质报告.贵州省地矿局 106 地质大队,1990.

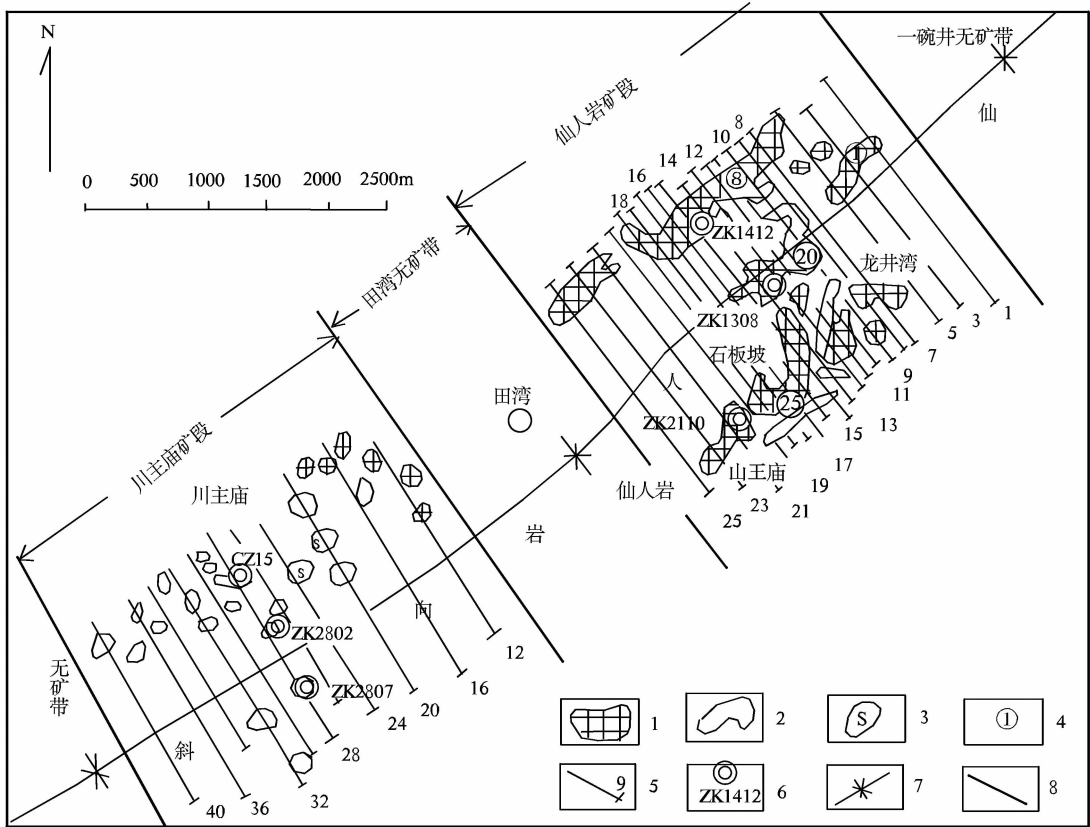


图3 遵义仙人岩矿区铝土矿体分布图^①

1—高铁铝土矿体;2—低铁铝土矿体;3—硫铁矿体;4—主要矿体编号;5—勘探线及编号;
6—钻探工程及编号;7—向斜轴;8—矿段边界线

Fig.3 Distribution of bauxite ore bodies in the Xianrenyan ore district of Zunyi

1—Bauxite ore body with high iron; 2— Bauxite ore body with low iron; 3—Pyrite ore body;
4— Serial number of major ore body; 5—Exploration line and its serial number; 6—Drill hole and its serial number; 7—Syncline axis; 8—Boundary of ore block

镜状分布于较小的溶坑、溶洼、溶斗中,多为单工程见矿的小矿体(图5)。

含矿岩系基底地层以 O_1t 白云岩为主,在深溶坑中可见到 $\epsilon_{2-3}ls$ 白云岩。

2.2 后槽矿区地质及分带特征

自北东南向西,包括四轮碑、山头上和槽房湾三个连续分布的矿段(图6)。

四轮碑矿段有大小不等的7个残留矿体,单个矿体长110~720 m,宽20~470 m。含矿岩系厚0.50~35.80 m,矿体厚0.80~27.13 m,平均厚6.00 m。矿体多为高铁铝土矿(暴露于地表者很多已风化成低铁

铝土矿)。矿石平均品位为 Al_2O_3 58.48%,A/S 7.26;含 SiO_2 8.23%, Fe_2O_3 16.85%,TS 0.085%。矿石自然类型有致密状、豆鲕状、碎屑状。下伏地层主要为 O_1m 伊利石页岩,少数为 O_1h 灰岩。

山头上矿段是矿区内矿石量最多的矿段。九架炉组厚0.40~109.90 m。矿体一般1层,少数2~3层,个别含矿岩系厚度巨大者有矿体11层。矿段单层矿体厚0.80~38.97 m,平均3.83 m。矿段内有矿体26个,矿体长50~2640 m,宽10~1360 m,以3号、5号、7号矿体为大^②。遵义铝土矿带内见含矿岩系最厚的两个钻孔ZK965和ZK901,全分布在同一溶沟

① 贵州地矿局106地质大队1985—1991年仙人岩矿区地质资料。

② 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.贵州省地矿局106地质大队,1987.

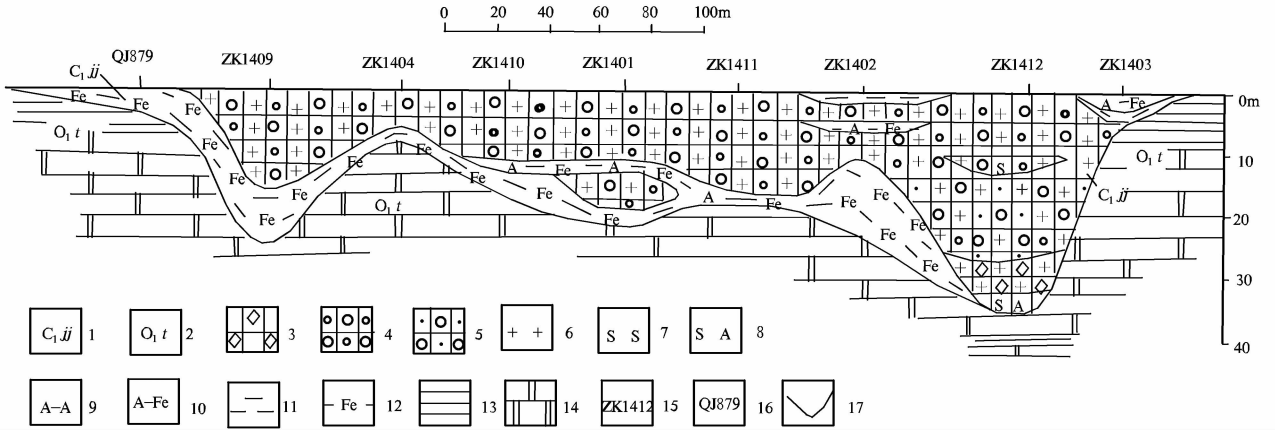


图 4 仙人岩矿段 14 线九架炉组沉积剖面图(据资料综合编制)

- 1—九架炉组;2—桐梓组;3—碎屑状铝土矿;4—豆鲕状铝土矿;5—豆砾状铝土矿;6—高铁铝土矿;7—高硫铝土矿;
- 8—硫铝矿;9—铝土岩;10—铝铁岩;11—粘土岩;12—铁质粘土岩;13—页岩;14—白云岩;
- 15—钻孔编号;16—浅井编号;17—洼地边界

Fig.4 Sedimentary profile of Jiujialu Formation along No. 14 exploration line of the Xianrenyan deposit
 1—Jiujialu Formation; 2—Tongzi Formation; 3—Clastic bauxite; 4—Oolitic bauxite; 5—Gravel bauxite; 6— High ferric bauxite;
 7—High sulfur bauxite; 8—Sulfide bauxite; 9—bauxite;10—Aluminiumferrous rock; 11—Claystone; 12—Ferrous claystone;
 13—Shale; 14—Dolomite; 15—Serial number of drill hole; 16— Serial number of shallow well; 17—Depression boundary

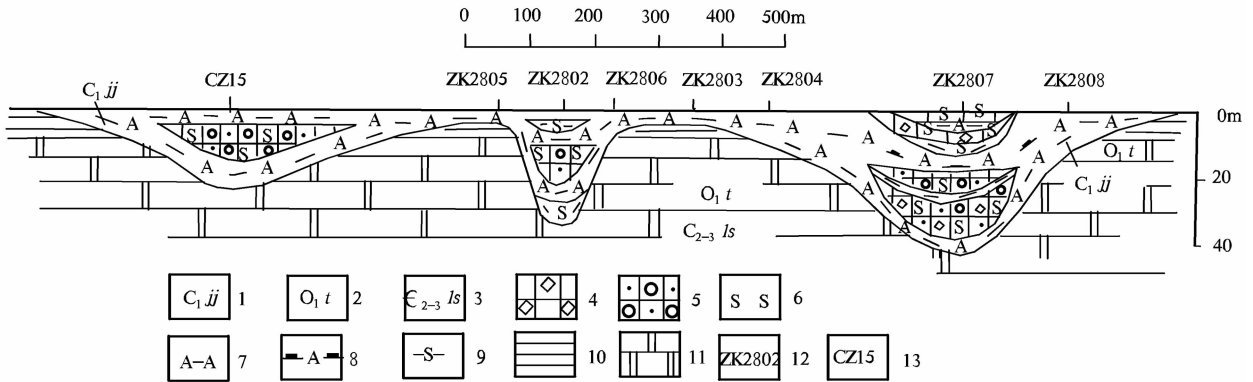


图 5 仙人岩矿区川主庙矿段 28 线九架炉组沉积剖面(据资料综合编制)

- 1—九架炉组;2—桐梓组;3—娄山关群;4—碎屑状铝土矿;5—豆砾状铝土矿;6—高硫铝土矿;7—铝土岩;
- 8—炭质铝土岩;9—硫铁矿体;10—页岩;11—白云岩;12—钻孔编号;13—浅钻编号

Fig.5 Sedimentary profile of Jiujialu formation along No. 28 exploration line of the Chuanzhumiao deposit
 1— Jiujialu Formation; 2—Tongzi Formation; 3—Loushanguan Group; 4—Clastic bauxite; 5—Gravel bauxite; 6—High sulfur
 bauxite; 7—Aluminiumferrous rock; 8—Carbonaceous bauxite; 9—Pyrite ore body; 10—Shale; 11— Dolomite; 12—Serial
 number of drill hole; 13— Serial number of shallow drill hole

中(图 6,图 7-a、b)。前者含矿岩系厚 109.90 m,后者厚 90.71 m。ZK901 大厚度含矿岩系特征见图 7-c、表 1。全矿段矿石平均品位为 Al_2O_3 67.04%,A/S 8.34;含 SiO_2 8.03%, Fe_2O_3 6.25%,TS 0.08%,矿石自然类型以碎屑状为主,豆鲕状、致密状较少。矿石工业

类型主要为低铁低硫铝土矿,少量高硫铝土矿、硫铝矿及高炭铝土矿,在矿体北部边缘有少量高铁铝土矿。含矿岩系基底地层,南西部、中部为 O_1t 页岩、白云岩,在深溶坑、溶沟下部可见 $\epsilon_{2-3}ls$ 白云岩;北东部有少量 O_1h 灰岩和 O_{1m} 伊利石页岩。

① 贵州地矿局 106 地质大队 1985 年川主庙矿段 28 勘探线剖面图。

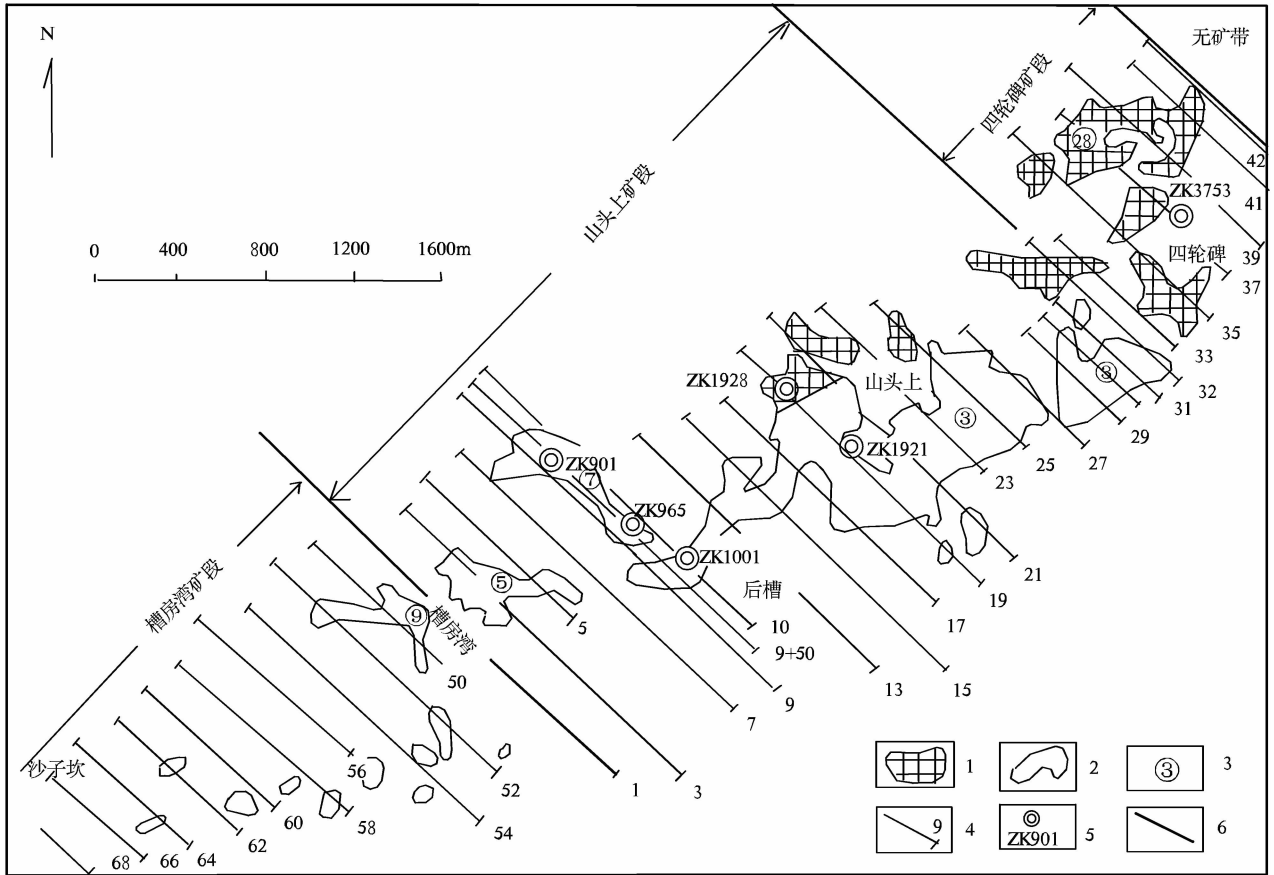


图6 遵义后槽矿区铝土矿体分布图(据资料①综合编制)

1—高铁铝土矿体;2—低铁铝土矿体;3—主要矿体编号;4—勘探线及编号;5—钻探工程编号;6—矿段边界线

Fig.6 Distribution of bauxite ore bodies in the Houchao ore districts of Zunyi

1—Bauxite ore body with high iron; 2—Bauxite ore body with low iron; 3—Serial number of major ore body; 4—Exploration line and its serial number; 5— Serial number of drill hole; 6—Boundary of ore block

槽房湾矿段东北部紧邻山头上矿段5号矿体,九架炉组厚0.95~26.83 m。全矿段共有矿体11个,除最大的9号矿体近EW向长850 m,宽40~250 m,厚0.88~23.48 m,平均厚8.79 m外,其余矿体小而分散,皆属单工程见矿的小矿体,长50~200 m,宽10~100 m,厚0.80~23.32 m。全矿段矿石平均含 Al_2O_3 70.89%, SiO_2 5.43%, Fe_2O_3 5.11%,TS 0.083%,A/S 13.05。矿石自然类型以碎屑状为主,豆鲕状、致密状较少。矿石工业类型为低铁低硫铝土矿。含矿岩系基底地层主要为 O_1t 白云岩夹页岩。

2.3 苟江矿区地质及分带特征^①

NNE向展布的苟江矿区,自北向南有石老公、水井坎和白岩三个连续分布的矿段。

石老公矿段矿体厚0.74~20.03 m,平均7.23 m。矿石自然类型为碎屑状和豆鲕状,工业类型为高铁铝土矿。矿石平均品位 Al_2O_3 50.10%,A/S 7.42;含 SiO_2 6.75%, Fe_2O_3 27.25%,TS <0.1%。含矿岩系基底地层为 O_1m 伊利石页岩。

水井坎矿段位于矿区中部。含矿岩系厚0~89.48 m,矿体厚0.40~36.16 m,矿段平均厚7.58 m。矿体大小不等,最大矿体EW向延伸长1600 m,宽1100 m。一般有矿体1层,少数2层,ZK1304含矿岩系厚度甚大,达89.48 m,矿体多达12层,同时还有煤7层(表2,图7-e)。全矿段矿石平均含 Al_2O_3 65.22%, SiO_2 7.19%, Fe_2O_3 6.80%,A/S 9.07。矿石自然类型以碎屑状和豆鲕状为主,半土状、致密状较

① 贵州地矿局106地质大队1987—1990年后槽矿区地质资料。

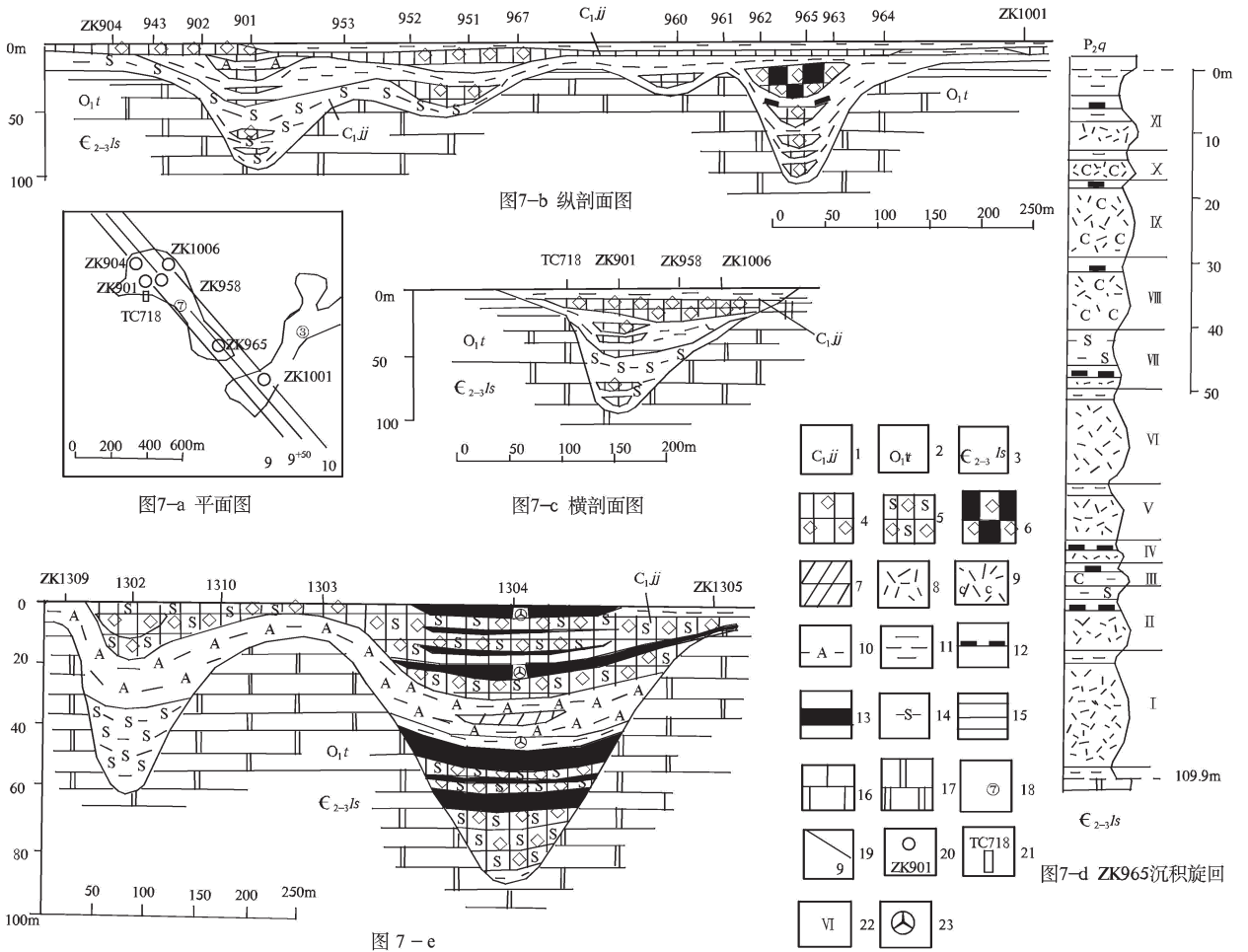


图 7 后槽、苟江矿区九架炉组沉积剖面图^{①②}

a—后槽矿区山头上矿段 9~10 线平面图; b—后槽矿区山头上矿段 9~10 线九架炉组沉积纵剖面图^①; c—后槽矿区山头上矿段 9~10 线九架炉组沉积横剖面图^②; d—后槽矿区山头上矿段 ZK965 沉积旋回^③; e—苟江矿区水井坎矿段 13 线九架炉组沉积剖面图^④; 1—九架炉组; 2—桐梓组; 3—娄山关群; 4—碎屑状铝土矿; 5—碎屑状高硫铝土矿; 6—碎屑状高炭铝土矿; 7—致密状铝土矿; 8—碎屑状铝土矿(柱状图); 9—碎屑状高炭铝土矿(柱状图); 10—铝土岩; 11—粘土岩; 12—炭质粘土岩; 13—煤; 14—硫铁矿体; 15—页岩; 16—石灰岩; 17—白云岩; 18—铝土矿体编号; 19—勘探线及编号; 20—钻孔及编号; 21—探槽及编号; 22—沉积旋回编号; 23—孢粉采样位置

Fig. 7 -a, -b, -c, -d. Sedimentary profile of Jiujiayu Formation along No. 9 and No. 10 exploration line of the Xianrenyan deposit; Fig. 7-e. Sedimentary profile of Jiujiayu Formation along No. 13 exploration line of the Goujiang deposit

1—Jiujiayu Formation; 2—Tongzi Formation; 3—Loushanguan Group; 4—Clastic bauxite; 5—Oolitic bauxite; 6—Clastic bauxite with high carbonate content; 7—Dense bauxite; 8—Clastic bauxite (column); 9—Clastic bauxite with high carbonate content (column); 10—Bauxitic rock; 11—Claystone; 12—Carbonaceous claystone; 13—Coal; 14—Pyrite ore body; 15—Shale; 16—Limestone; 17—Dolomite; 18—Serial number of bauxite ore body; 19—Exploration line and its serial number; 20—Drill hole and its serial number; 21—Trench and its serial number; 22—Serial number of sedimentary cycle; 23—pollen sampling site

少。矿石工业类型: 地表及地下 40 m 以上以高铁低硫铝土矿为主, 40 m 以下多为高硫铝土矿 (TS 0.85%~3.36%), 在矿段北部边缘有少量高铁铝土矿。含矿岩系基底地层为 O_1t 白云岩夹页岩。深溶坑底部见 $\epsilon_{2-3}ls$ 白云岩。

白岩矿段紧邻水井坎矿段, 矿体厚 0.26~20.00 m, 平均 4.94 m。矿体普遍较小, 长、宽多在 200 m 以下, 且分布零星, 多为单工程见矿的小矿体。矿石自然类型主要为碎屑状和豆鲕状; 工业类型以高铁低硫铝土矿为主。矿石平均含 Al_2O_3 66.64%, SiO_2

① 贵州地矿局 106 地质大队 1987—1990 年后槽矿区山头上矿段地质资料。
 ② 贵州地矿局 102 地质大队 1990 年苟江矿区水井坎矿段 13 勘探线剖面图。

表 1 山头上矿段 ZK901 岩矿石化学成分
Table 1 Petrochemical elements in Shantoushang ore block ZK901

地层(代号)	主要岩性	厚度/m	样品/件	Al ₂ O ₃ /%	SiO ₂ /%	Fe ₂ O ₃ /%	TS/%	A/S
中二叠统栖霞组(P ₂ q)	深灰色细晶石灰岩	>18	1	2.35	2.86	6.62	4.16	0.82
	深灰色含黄铁矿碎屑状粘土岩	0.66	1	27.43	37.48	10.63	6.97	0.73
	浅灰夹深灰色碎屑状—半土状铝土矿	9.42	9	73.78	4.86	2.01	0.06	15.18
	黑色碎屑状炭质铝土岩	0.89	1	43.33	33.94	3.19	0.19	1.28
	深灰色碎屑状铝土矿	0.87	1	53.68	24.94	1.92	0.23	2.15
	深灰色含豆砾碎屑状—半土状铝土矿	1.05	1	74.25	5.78	0.72	0.05	12.85
	深灰色含豆砾碎屑状铝土岩	3.12	3	43.75	37.21	0.59	0.11	1.18
	灰色碎屑状粘土岩	3.01	3	36.39	44.25	0.71	0.24	0.82
	深灰色碎屑状铝土矿	6.90	8	62.32	17.83	1.22	0.18	3.50
下石炭统九架炉组(C ₁ ij)	深灰色碎屑状粘土岩	9.54	8	33.76	44.10	3.81	6.05	0.76
	深灰色碎屑状铝土矿	2.94	3	63.65	16.81	0.89	0.18	3.79
	深灰色碎屑状粘土岩(硫铁矿体)	33.11	30	29.68	38.75	10.30	13.17	0.77
	灰色碎屑状硫铝矿	0.32	1	54.11	11.98	12.30	8.99	4.52
	灰色碎屑状粘土岩(硫铁矿体)	5.59	5	31.10	25.46	20.16	14.73	1.22
	灰色碎屑状硫铝矿	4.08	4	48.95	14.39	14.49	10.82	3.40
	灰色碎屑状硫铝岩(硫铁矿体)	1.84	2	39.38	22.95	14.83	14.42	1.72
	灰色碎屑状硫铝矿	1.81	2	51.21	12.68	13.64	10.33	4.04
灰色碎屑状粘土岩(硫铁矿体)	5.56	5	26.12	28.30	21.77	10.21	0.92	
上寒武统娄山关群(∈ ₂₋₃ LS)	灰色细晶白云岩	>5	1	2.34	3.74	0.71	0.43	0.63

注:据贵州地矿局 106 地质大队 1987 年山头上矿段 ZK901 柱状图编制。

8.03%, Fe₂O₃ 4.26%, A/S 8.30。含矿岩系基底地层以 O_{1t} 白云岩为主,溶坑底部见 ∈₂₋₃ls 白云岩。

综合上述三个矿区和其他矿区地质及分带特征,可归纳为如下几点认识。

(1) 遵义铝土矿带内,高铁铝土矿和高铁铝土矿有着明显的分带性,具高铁铝土矿的含矿岩系,多分布在距上部无矿带较近的地势较高处;具低铁铝土矿的含矿岩系,则分布在距上部无矿带较远的地势较低处。

(2) 九架炉组下伏的基底地层,自南(或南西)向北(或北东)依次由老变新,经过剥蚀的地层残留厚度由薄增厚,表明在九架炉组沉积之前和沉积过程中,为一自北(或北东)向南(或南西)缓倾斜的夷平面。在夷平面上,分布着众多大小不等,形态各异的侵蚀、溶蚀洼地,为铝土矿的形成提供了沉积场所。

(3) 从铝土矿含矿岩系分布的面积和厚度来看,亦具有分带特征:最上部具高铁铝土矿含矿岩系的

面积和厚度变化相对较小,中部具低铁铝土矿含矿岩系的面积和厚度变化最大,下部含矿岩系的面积和厚度较中部要小得多。

(4) 具高铁铝土矿的含矿岩系基底地层,主要为 O_{1m} 伊利石页岩,表明二者有密切的成因联系,即原始的含三水铝石的红土风化壳可能主要是由 O_{1m} 伊利石页岩经红土化作用形成的,沉积型铝土矿的成矿母质即为该含三水铝石的红土风化壳物质。

3 遵义高铁铝土矿与低铁铝土矿的分带性及形成机制

3.1 遵义铝土矿带的古地貌特征

3.1.1 九架炉组基底地层及岩性特征

综合前述,遵义铝土矿带内,在九架炉组沉积之前,O_{1m} 伊利石页岩覆盖全区,随着造貌作用的发展与演化,O_{1m} 页岩之下的 O_{1h} 灰岩、O_{1t} 页岩、白

表 2 水井坎矿段 ZK1304 岩矿石化学成分
Table 2 Petrochemical elements in Shuijinkan ore block ZK1304

地层(代号)	主要岩性	厚度/m	样品/件	Al ₂ O ₃ /%	SiO ₂ /%	Fe ₂ O ₃ /%	TS/%	A/S
中二叠统栖霞组(P _{2q})	灰色细晶石灰岩	>50						
	黑色炭质粘土岩	1.88						
	煤、粉状	4.77	3					
	灰色碎屑状高硫铝土矿	4.25	5	70.36	4.13	1.31	0.85	17.04
	煤、粉状	0.50	1					
	灰色碎屑状高硫铝土矿	4.00	4	69.73	4.01	1.59	1.18	17.39
	煤、粉状	0.83	1					
	灰色豆鲕状高硫铝土矿	1.28	1	70.54	2.22	2.32	0.93	31.77
	灰色致密状铝土矿	0.97	1	55.62	23.27	1.32	0.47	2.39
	煤、块状,含黄铁矿结核	5.99	3					
	灰色碎屑状高硫铝土矿	4.85	7	72.09	2.77	2.61	1.62	26.03
	深灰色致密状铝土岩	4.56	5	43.11	37.08	0.57	0.25	1.16
	灰色致密状硫铝矿	1.88	2	54.99	10.11	10.95	8.48	5.44
	下石炭统九架炉组(C _{1ij})	灰色致密状铝土岩	2.30	3	45.74	33.99	0.61	0.34
深灰色致密状伊利石粘土岩		3.43	4	36.46	40.16	1.42	0.93	0.91
煤、块状,含黄铁矿结核		11.54	4					
灰色碎屑状高硫铝土矿		4.05	4	72.01	5.05	1.55	1.16	14.26
煤、块状,含黄铁矿结核		1.44	1					
深灰色碎屑状高硫铝土矿		1.28	1	68.84	3.79	3.91	2.74	18.16
煤、块状,含黄铁矿结核		9.49	3					
灰色碎屑状硫铝矿		1.39	1	51.18	8.45	12.48	10.11	6.06
灰色碎屑状铝土岩		2.84	2	45.49	26.27	4.86	2.67	1.73
深灰色碎屑状高硫铝土矿		9.04	8	69.49	5.41	3.33	2.51	12.84
深灰色碎屑状铝土矿		3.51	4	67.42	10.90	0.89	0.52	6.19
深灰色碎屑状高硫铝土矿		1.08	1	52.62	20.31	5.08	4.03	2.59
深灰色碎屑状伊利石粘土岩		2.33	3	36.75	37.76	2.33	1.70	0.97
上寒武统娄山关群(Є ₂₋₃ LS)		灰白色细晶白云	>5					

注:据贵州地矿局 102 地质大队 1987 年水井坎 ZK1304 柱状图编制。

云岩及Є₂₋₃ls白云岩等,逐渐被侵蚀、溶蚀、剥蚀而暴露于地表。九架炉组下伏基底地层,自新而老简述如下。

下奥陶统湄潭组(O_{1m}):灰绿、黄绿色伊利石页岩为主,夹砂质、粉砂质页岩、粉砂岩及少量薄层灰岩,厚 180~317 m。遵义铝土矿带内多遭剥蚀,残留厚度为 0~103 m。仙人岩矿区花龙门矿段厚 14.18~24.69 m;仙人岩矿段 21 线北东厚 0.38~7.59 m,21 线南西缺失;后槽矿区四轮碑矿段 40 线厚 26.79 m,山头上矿段 29 线厚 1.94 m,29 线南西缺失。

红花园组(O_{1h}):灰、浅灰色生物碎屑灰岩,厚 15~176 m。遵义铝土矿带内残留厚度 0~25 m,在花龙门矿段厚 2.75~5.64 m,仙人岩矿段 21 线北东厚 0.84~4.77 m,21 线南西缺失;后槽矿区山头上矿段 19 线北东厚 0.6~4.94 m,19 线南西缺失。

桐梓组(O_{1t}):上部为浅灰、深灰色白云岩夹灰绿色伊利石页岩,厚 40~70 m;中部为鸭蛋绿色伊利石页岩,顶部夹白云岩透镜体,厚 7~20 m;下部为灰色白云岩夹灰绿、黄绿色伊利石页岩,厚 16~32 m。遵义附近 O_{1t} 共厚 63~122 m。遵义铝土矿带内残缺不全,如花龙门矿段 O_{1t} 厚 36.99~46.13 m,仙人岩矿段 21 线南西至川主庙矿段厚 23.73~36.70 m;后槽矿区厚 16.27~65.68 m。

中、上寒武统娄山关群(Є₂₋₃ls):灰色薄层—中厚层白云岩,多因剥蚀而残缺不全,残留总厚 575~1 045 m。遵义矿带内,多在较深的溶坑深部见其与九架炉组呈假整合接触。

3.1.2 九架炉组形成时期的地貌特征

本区自都匀运动(奥陶纪与志留纪之间)开始大

面积隆升,暴露地表,经长期风化剥蚀,到紫云运动时期(泥盆纪末与石炭纪初)的泥盆纪末期已准平原化^①。早石炭世初,全区处在北纬 8.2°~15.1°的范围,大约在早石炭世岩关期经历了红土化、钙红土化阶段,形成了大范围的含三水铝石的红土风化壳^②。与此同时,地壳表面的造貌作用十分活跃,在不同岩石组合区内,侵蚀、溶蚀、剥蚀作用连续不断。遵义铝土矿带内,有碳酸盐岩、泥质岩和碎屑岩,其中以碳酸盐岩厚度较大,分布广泛且集中连片,在赤道附近湿热气候条件下,具有侵蚀性的流动着的水,对可溶性岩石进行着长期的溶蚀作用,可形成各种形态的岩溶地貌。岩溶地貌个体形态以正地形和负地形形式出现,根据《中国岩溶研究》^③和《黔南岩溶研究》^④的相关成果,结合各铝土矿区地质勘探资料及开采场地实际情况观察,确定本区内主要岩溶负地形个体形态有溶斗(岩溶漏斗)、溶洼(岩溶洼地)、溶盆(岩溶盆地)、溶原(岩溶平原)、溶湖(岩溶湖泊)等。在溶原之内有若干溶盆,溶盆中又可有若干溶洼等。溶洼是本区内数量最多、分布最广的负地形个体形态。溶洼在平面上常呈圆形、椭圆形及不规则形,面积一般小于 0.5 km²,长、宽多在 50~2 000 m,深度大于 30 m 者常称为溶坑。在分水岭或剥蚀区附近,以浅溶洼为主,溶斗、溶坑少见。远离分水岭或剥蚀区,溶斗、溶坑甚为发育。溶洼、溶坑、溶斗常成群出现。遵义铝土矿带当时即处于遵义溶原内。

前述仙人岩、后槽、苟江等矿区资料表明,遵义铝土矿带内,九架炉组基底地层,皆是自南(或南西)向北(北东)由老变新,由薄增厚,据此推测,遵义铝土矿带在九架炉组形成时期的地面,是北东高、南西低,向南西略有倾斜的。据刘文凯等计算,仙人岩矿区的地面坡度为 0.91%^⑤,后槽矿区的坡度为 0.78%~2.3%^⑥,是一个北东部稍陡,南西部平缓,总体向南西倾斜,坡度近于 1%的夷平面(图 8)。

这个大约在紫云运动时期形成,并略微向南西倾斜的夷平面上,最初的地表全为 O_{1m} 伊利石页岩覆盖,经多年风化剥蚀、侵蚀后,自北东向南西,自上而下依次出露了 O_{1h} 灰岩、O_{1t} 白云岩夹伊利石页岩和 ε_{2-3ls} 白云岩。在进一步的造貌过程中,北东部

O_{1m} 页岩分布区以剥蚀、侵蚀作用为主,形成一些深度和范围不是很大的侵蚀洼地,如花龙门矿段、四轮碑矿段和石老公矿段;中部 O_{1t} 白云岩较多,兼有溶蚀、侵蚀作用,加之坡度稍陡,地表水集中,流量较大。在地表水、地下水的综合作用下,溶蚀作用逐渐增强,因而形成了面积和深度都较大的岩溶负地形,如仙人岩矿段、山头上矿段和水井坎矿段所见;南西部地形可能较为平缓,地表水流不易集中,四处分散,水的侵蚀、溶蚀能量降低,仅形成一些小而分散的溶坑、溶洼、溶斗等负地形,如川主庙矿段、槽房湾矿段及白岩矿段所见;再往南西,侵蚀、溶蚀洼地越来越小,越来越浅,虽有含矿岩系沉积,但厚度普遍较小,且大多已无铝土矿存在,为无矿地带。图 3 和图 6 所展示的虽为铝土矿体的大小和形态,但大体反映了侵蚀、溶蚀洼地的平面形态,结合图 8 可以看出下伏地层、岩性对不同工业类型铝土矿含矿岩系及洼地形态的控制作用。图 3、图 6、图 8 充分显示了高铁铝土矿与低铁铝土矿的分带特征。

3.2 遵义铝土矿带含三水铝石红土风化壳的母岩

如前所述,黔中—渝南铝土矿成矿带范围内,大致在泥盆纪末石炭纪初已准平原化,早石炭世岩关期晚期已经历了红土化、钙红土化阶段,形成了含三水铝石的红土风化壳。本区铝土矿含矿岩系,是由含三水铝石的红土风化壳物质被水流搬运、沉积而成的。遵义铝土矿带内,可以形成红土风化壳的岩石有多种,如页岩、灰岩、白云岩等,但最主要的可能是 O_{1m} 伊利石页岩,理由如下。

(1)遵义铝土矿带北部地势较高之处,凡具高铁铝土矿的含矿岩系,皆假整合于 O_{1m} 伊利石页岩之上,O_{1h} 灰岩、O_{1t} 白云岩夹伊利石页岩及 ε_{2-3ls} 白云岩等,皆被 O_{1m} 页岩所覆盖。在外围 O_{1m} 厚 180~317 m,遵义铝土矿带内已被剥蚀,最大残留厚度 103 m,大部分地区厚度小于 30 m,说明 O_{1m} 伊利石页岩最具备形成红土风化壳的条件。当然,O_{1h} 灰岩、O_{1t} 白云岩及所夹伊利石页岩,也是形成红土风化壳的重要岩石。

(2)N.Ozul^⑦对地中海地区岩溶型铝土矿中 Zr、Cr、Ga 进行过深入研究,笔者以 N.Ozul 的 Zr、Cr、

①朱成林,刘文凯,刘平等.贵州省遵义铝土矿仙人岩矿床成矿地质特征研究.贵州省地矿局 106 地质大队,1991.

②刘文凯,刘平,陈有能等.贵州省遵义铝土矿后槽矿床成矿地质特征.贵州省地矿局 106 地质大队,1990.

③N.Ozul.地中海带“岩溶铝土矿”及其母岩中微量元素的含量[C]//中国有色金属总公司贵州地质勘探公司.国外铝土矿地质(国外铝土矿专辑).1985:104-110.

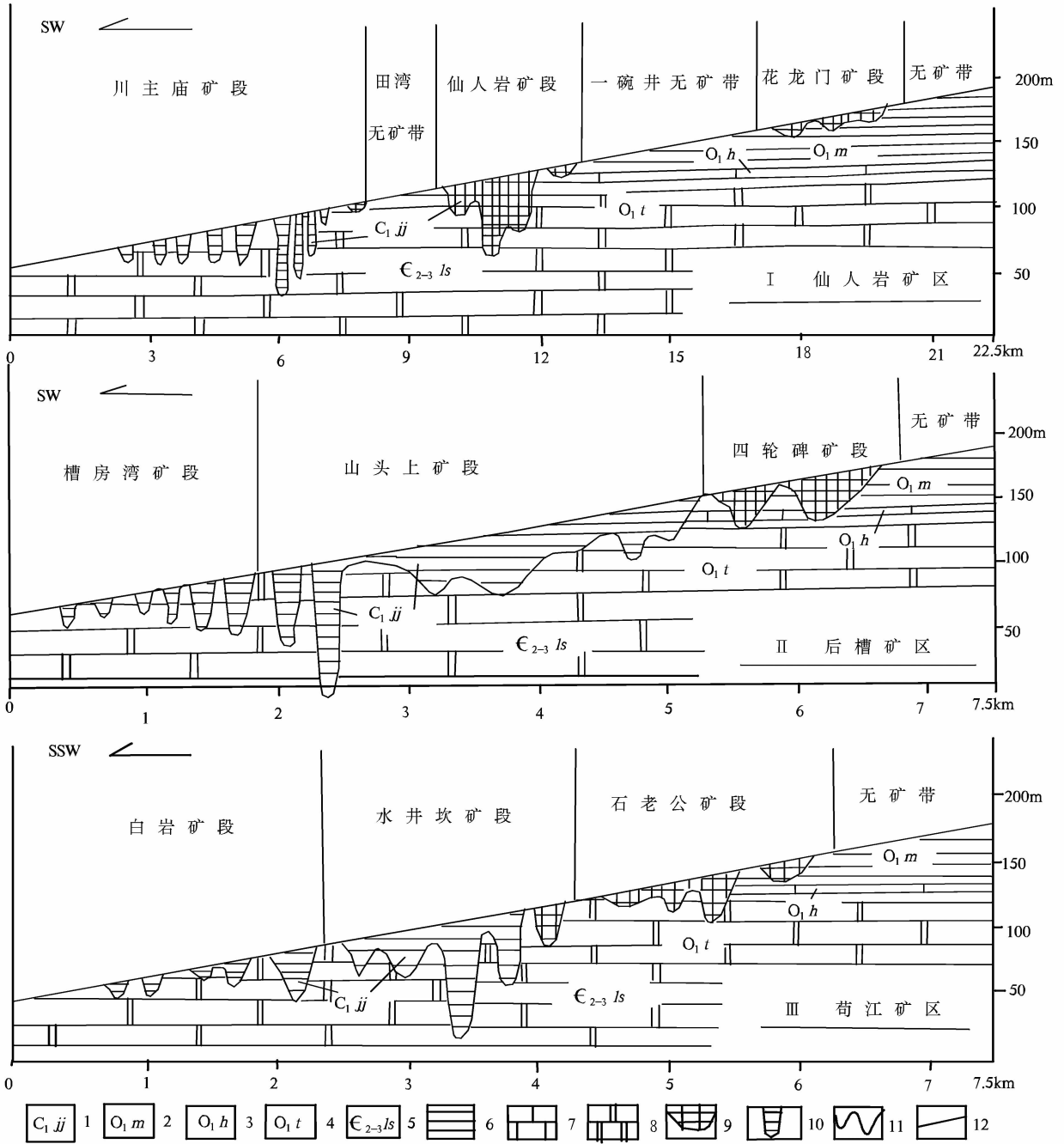


图 8 沉积型铝土矿的分布基底、岩性及洼地形态的关系(仙人岩、后槽矿区据资料^{①②}编制, 苟江矿区据参考文献[7]编制)
 1—下石炭统九架炉组; 2—下奥陶统湄潭组; 3—红花园组; 4—桐梓组; 5—中上寒武统娄山关群; 6—页岩; 7—石灰岩; 8—白云岩;
 9—高铁铝土矿含矿岩系沉积区; 10—低铁铝土矿含矿岩系沉积区; 11—洼地形态; 12—地面斜坡

Fig.8 Relationship between the distribution of sedimentary bauxite and the morphology of basal strata, lithology and depression (after data ^{①②} for Xianrenyan and Houchao ore districts, and Reference [7] for Goujiang ore district)

- 1- Lower Carbonaceous Jiujialu Formation; 2- Lower Ordovician Meitan Formation; 3-Honghuayuan Formation; Tongzi Formation;
- 5- Middle-upper Cambrian Loushanguan Group; 6-Shale; 7-Limestone; 8- Dolomite; 9-Sedimentary area of high ferric bauxite;
- 10-Sedimentary area of low ferric bauxite; 11-Depression form; 12-Slope at the surface

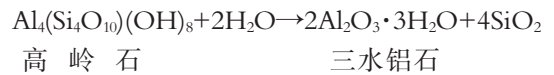
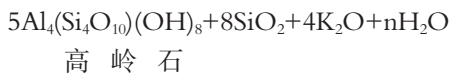
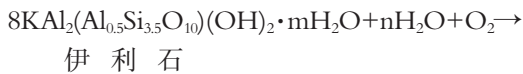
①朱成林, 刘文凯, 刘平等. 贵州省遵义铝土矿仙人岩矿床成矿地质特征研究. 贵州省地矿局 106 地质大队, 1991.

②刘文凯, 刘平, 陈有能等. 贵州省遵义铝土矿后槽矿床成矿地质特征. 贵州省地矿局 106 地质大队, 1990.

Ga 三角图解为底图,将多个铝土矿及下伏 O_{1m} 页岩、 O_{1h} 灰岩、 O_{1t} 白云岩及页岩的 Zr、Cr、Ga 的平均值投入该三角图解中,结果大多落入第Ⅲ区,即中性岩、泥质岩区^{①②}。说明铝土矿与下伏的伊利石页岩、灰岩、白云岩等都具有明显的成因关系。

(3)据 106 地质大队对仙人岩、后槽矿区研究, O_{1m} 、 O_{1t} 伊利石页岩中的伊利石,经 X 衍射分析,其结晶度指数为 11.10、12.38 和 12.80,属 2M 型^③。九架炉组伊利石粘土岩、铝土岩、铝土矿中的伊利石结晶度指数偏低,为 3.66、4.50、4.59、5.00、5.40、5.56 和 6.00 等,属 1M 型^③。结晶度指数大于 7.5 为成岩(沉积带)产物,7.5~4.4 近变质带产物,<4 为浅变质带产物^③。伊利石的 2M 型和 1M 型之间是否存在直接的演变关系,值得研究。

(4)很多学者指出,在红土化过程中,伊利石可演变为高岭石,高岭石再演变为三水铝石,在整个演化过程中,可以排硅、去钾和相对富铝。化学反应式如下:



本区 O_{1m} 伊利石页岩丰富,又长时期暴露地表,由伊利石演变为高岭石再演变为三水铝石,应为必然之途经。

(5)根据仙人岩矿段、山头上矿段铝土矿主要化学成分的平均含量,对比含矿岩系下伏 O_{1m} 伊利石页岩、 O_{1h} 灰岩、 O_{1t} 白云岩、伊利石页岩及 $\epsilon_{2-3}ls$ 白云岩等化学成分的平均含量,分别计算出铝土矿的相对富集率列于表 3。表中列出的 TiO_2 、Ga、Zr、Cr、Nb 等都是非常稳定的,并与 Al_2O_3 呈正相关关系的重要成分。通过对表 3 铝土矿相对富集率的分析对比得知,在形成铝土矿时,所需要母岩的数量,伊利石页岩显然比碳酸盐岩要少得多,有利得多。

3.3 高铁铝土矿含矿岩系形成机制

遵义铝土矿带所在的夷平面上,分布着大量侵蚀、溶蚀洼地。这些洼地,在平面上多近于圆、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,地表水及其所携带的搬运物向泄水中心作向心式汇集,或从高处向低处坑、洼中直接渲泄。在搬运过程中,红土风化壳物质是以砂、砾为

表 3 铝土矿基底地层岩石主要化学成分及铝土矿富集率

Table 3 Major chemical components and concentration ratio of bauxite in the basal rocks of bauxite

矿段	矿石、地层岩性及相对富集率	主要成分/%		微量元素/ 10^{-6}			
		Al_2O_3	TiO_2	Ga	Zr	Cr	Nb
	铝土矿(矿段平均)	57.45	2.61	98	434	357	59
	O_{1m} 伊利石页岩(4)	24.60	0.93	38	119	120	14
仙人岩矿段	O_{1t+h} 白云岩、灰岩 (10)	2.97	0.11	3.17	57	23	2.5
	铝土矿相对页岩富集率	2.34	2.81	2.58	3.81	2.98	4.21
	铝土矿相对灰岩、白云岩富集率	19.34	23.73	30.91	7.61	15.52	23.60
	铝土矿(矿段平均)	67.04	2.80	114	640	412	58
	O_{1t+m} 伊利石页岩(7)	20.72	0.91	31	201	119	14
山头上矿段	$\epsilon_{2-3}ls + O_{1t}$ 白云岩(6)	3.88	0.15	3	30	60	0.7
	铝土矿相对页岩富集率	3.24	3.08	3.68	3.18	3.46	4.14
	铝土矿相对灰岩、白云岩富集率	17.28	18.67	38.00	21.33	6.87	82.86

注:据贵州省地矿局 106 地质大队 1987—1990 年山头上矿段和仙人岩矿段资料综合编制;括号内数字为样品件数。

①朱成林,刘文凯,刘平等.贵州省遵义铝土矿仙人岩矿床成矿地质特征研究.贵州省地矿局 106 地质大队,1991.

②刘文凯,刘平,陈有能等.贵州省遵义铝土矿后槽矿床成矿地质特征.贵州省地矿局 106 地质大队,1990.

③武汉地质学院.粘土矿物 X 衍射分析讲义,1984.

主,伴有粘土质悬浮物的形式被水流携带的。

雨季,特别是大—暴雨期间,红土风化壳表面的松散坡积层、壳体上部不含三水铝石铝土矿块砾的红土以及包裹铝土矿块砾的松散红土等,首先被洪水以泥石流的方式就近冲入洼地中,形成具有碎屑结构的铁质粘土,然后再把已风化开裂的铝土矿块砾破碎、冲刷、搬运、堆积到各个洼地中,沉积在铁质粘土之上。如前所述,高铁铝土矿分布在地势较高处,紧邻含三水铝石的红土风化壳剥蚀区,沉积—堆积在 O_1m 伊利石页岩为主要基底的侵蚀洼地内。根据图3、图6、图8推算,高铁铝土矿都是就近堆积的,搬运距离可能只有数十米至3~4 km,因而保留了诸多红土风化壳中铝土矿块砾的特征。如仙人岩8号矿体的ZK1412(表4),26号矿体的ZK2110(表5)等九架炉组剖面显示的,它们的矿石结构(矿石自然类型)为碎屑状、豆鲕状及致密状,这些在红土型铝土矿块砾中都是常见的。它们的化学成分也与晚近时期国内外红土型铝土矿块砾的化学成分(表6)甚为接近,几乎没有太大变化。红土型铝土矿块砾的矿物成分主要为三水铝石、针铁矿和高岭石、伊利石等,而本区沉积型高铁铝土矿的主要矿物是硬水铝石、赤铁矿及少量褐铁矿、伊利石、高岭石和绿泥石等。伊利石是基底母岩带来的,绿泥石可能主要是新生的,硬水铝石氢氧同位素测定结果表明,是由三水铝石变质而成的^[10]。所以,根据与晚近时期红土型铝土矿的对比,可以认为,沉积型高铁铝土矿与红土型铝土矿是基本相同的。红土型铝土矿的原矿,就是沉积铝土矿含矿岩系的主要成矿母质。从广西贵港蒙

公矿区红土型铝土矿净矿 Al_2O_3 较低来看,该区可能正处在红土化过程中。

遵义铝土矿带内碎屑状高铁铝土矿的碎屑矿物成分主要由硬水铝石、铁矿物、伊利石、高岭石、绿泥石等组成,大小不等,排列无定向,分布杂乱。粒径有砾级、砂级、粉砂级,棱角状—一次浑圆状,砾级碎屑中常见砾中砾、砾中鲕等复合碎屑。说明该高铁铝土矿中的碎屑结构一部分是红土型铝土矿块砾中原有的,一部分是新生的。因红土型铝土矿块砾中有大量砂、砾状构造,这就为沉积型铝土矿碎屑结构的形成提供了充分的便利。豆鲕状、致密状结构主要是继承红土型铝土矿中原有的。高铁铝土矿中,铁离子以亲氧性为主,其中的赤铁矿、针铁矿等为氧化环境的标志矿物。铁离子在介质富硅的条件下,可与硅结合生成各种绿泥石,成为弱氧化—弱还原环境的标志矿物。所以,在含矿岩系下段底部,绿泥石岩、绿泥石粘土岩甚为常见。

高铁铝土矿的存在,说明红土风化壳中三水铝石铝土矿块砾,仅经过短距离搬运就沉积—堆积在附近洼地中,没有充分的时间和条件排除其中的铁质而相对富铝,因而基本上保留了原来的特征。从图3、图6、图8可以看出,遵义铝土矿带内,凡高铁铝土矿分布区上方的无矿带,可能都曾经是含三水铝石红土风化壳的堆积区和剥蚀区。

3.4 低铁铝土矿含矿岩系形成机制

随着搬运距离的增加,含三水铝石的红土风化壳物质越来越远离剥蚀区,在地表弱酸性水的搬运过程中,Fe从铝土矿中被逐渐迁移出来。高道德等

表4 仙人岩矿段 ZK1412 岩矿石化学成分

Table 4 Petrochemical composition of Xianrenyan ore block ZK1412

地层(代号)	主要岩性	厚度/m	样品/件	Al_2O_3 /%	SiO_2 /%	Fe_2O_3 /%	TS/%	A/S
中二叠统栖霞组(P _{2q})	深灰色含燧石条带灰岩	>50						
	紫红色豆鲕状高铁铝土矿	5.76	5	51.23	9.32	24.33	0.14	5.50
	紫红色豆鲕状高铁铝土矿	3.92	4	46.70	8.94	31.28	0.11	5.22
	紫红色豆鲕状高铁高硫铝土矿	3.23	3	43.41	10.91	29.14	3.34	3.98
	紫红色豆砾状高铁铝土矿	3.63	4	47.58	4.61	28.08	0.09	10.32
下石炭统九架炉组(C _{1ij})	紫红色豆砾状高铁铝土矿	2.56	3	44.18	4.42	30.26	0.05	10.00
	紫红色豆鲕状高铁铝土矿	6.15	5	51.56	4.31	25.72	0.02	11.96
	紫红色豆砾状高铁铝土矿	1.90	2	48.60	8.26	24.43	0.02	5.88
	灰色碎屑状铝土矿	6.10	6	64.05	5.96	13.95	0.02	10.75
	灰色碎屑状高硫铝土矿	1.52	2	40.26	21.08	17.50	10.43	1.91
下奥陶统桐梓组(O _{1t})	灰色白云岩夹灰绿色伊利石页岩	>6						

注:据贵州地矿局106地质大队1990年仙人岩矿段ZK1412柱状图编制。

表 5 仙人岩矿段 ZK2110 岩矿石化学成分
Table 5 Petrochemical composition of Xianrenyan ore block ZK2110

地层(代号)	主要岩性	厚度/m	样品/件	Al ₂ O ₃ /%	SiO ₂ /%	Fe ₂ O ₃ /%	TS/%	A/S
中二叠统栖霞组(P ₂ q)	深灰色含燧石团块细晶灰岩	>5						
	铁黑色碎屑状高铁铝土矿	2.35	2	49.35	9.05	24.80	0.15	5.45
	铁黑色碎屑状高铁铝土矿	0.77	1	41.70	9.74	32.44	0.14	4.28
	铁黑色碎屑状高铁铝土矿	5.04	4	51.84	9.01	24.21	0.16	5.75
下石炭统九架炉组(C ₁ ij)	铁黑色碎屑状铝铁岩	0.86	1	39.47	20.36	26.04	0.08	1.94
	灰绿色碎屑状绿泥石粘土岩	4.00	3	31.13	36.94	16.87	0.02	0.84
	灰绿色碎屑状绿泥石粘土岩	1.61	1	32.42	40.69	8.95	2.17	0.80
	灰绿色碎屑状绿泥石粘土岩(硫铁矿体)	2.52	3	27.75	34.38	16.14	11.72	0.81
下奥陶统桐梓组(O ₁ t)	灰绿色伊利石页岩	2.24	3	23.40	46.15	10.01	5.64	0.51
	灰色白云岩夹灰绿色伊利石页岩	>5						

注:据贵州地矿局 106 地质大队 1990 年仙人岩矿段 ZK1412、柱状图编制。

表 6 国内外红土型铝土矿特征一览
Table 6 Characteristics of global lateritic bauxite

矿产地名称	成矿时代	风化壳母岩	结构	Al ₂ O ₃ /%	SiO ₂ /%	Fe ₂ O ₃ /%	TiO ₂ /%	A/S
福建漳浦(净矿) ^①	新近纪	玄武岩	豆鲕状、致密状	42~56	4~9	16~24	1.5~5	5~9
海南蓬莱(原矿) ^①	第四纪	玄武岩	砂状、气孔状、致密状	34	13~19	11~26		1.7~2.6
海南蓬莱(净矿) ^①	第四纪	玄武岩	砂状、气孔状、致密状	44.40	8.18	20.57	2.47	5.43
广西贵港蒙公(净矿) ^①	第四纪	灰岩、白云岩等	致密状、胶状	28.73	8.50	42.99		3.38
几内亚图盖(Tougue) ^②	新近纪-古近纪	泥质砂岩、粉砂岩、粗玄岩	多孔状	45.00	2.40	20~24	2.00	18.75
澳大利亚戈夫(Gove) ^②	新近纪-古近纪	长石砂岩、粘土岩	豆状、蜂窝状	49.60	3.40	17.10	3.40	14.59

注:①刘平,陈有能.福建漳浦、海南蓬莱、广西贵港及平果铝土矿考察报告.黔北地质,1994.(1)(内部刊物);②转引自参考文献[3],其中几内亚图盖矿区铝土矿储量 15 亿 t,澳大利亚戈夫矿区铝土矿储量 2.5 亿 t;原矿指铝土矿块砾及包裹铝土矿块砾的疏松红土;净矿指红土中纯粹的铝土矿块砾(福建漳浦 4 t 原矿可选 1 t 净矿)。

的成矿实验结果表明,在氧化条件下,在含腐植酸的弱酸性水中,铝铁岩或高铁铝土矿的脱铁能力被明显增强了^[3]。Г·И 布申斯基指出,在 Eh 值低于 +350 mV 时,在弱酸性水中,促使不溶的部分氧化铁转变为氧化亚铁而被流水带走^[1]。当其进入溶坑、溶洼后,起初仍处于氧化环境和弱酸性介质条件,堆积物中的 Fe 可被继续淋滤出去,以至在底部形成铁矿石,从而使三水铝石铝土矿中的 Fe 大量减少,并相对富 Al,而成为低铁铝土矿。由于溶坑、溶洼被多次沉积—堆积,逐渐向上增厚,下部沉积物遂与空气隔绝而成为还原环境。沼泽化、泥炭沼泽化使沉积—堆积物中的 Fe³⁺还原成 Fe²⁺,再与水中的 H₂S(可能是有机体中的硫在厌氧细菌作用下生成 H₂S)作用形成黄铁矿,于是形成了高硫铝土矿,以及产于粘土岩、炭质粘土岩、铝土岩和铝土矿中的硫铁矿体。所以高硫铝土矿和硫铁矿体多位于含矿岩系中、下部。

暴雨期间,洪水迅速汇集,以致因排水不畅,在沉积场所内的低洼地带或整个溶坑、溶洼中形成湖泊。暴雨之后的间歇期间由于渗漏、流失、蒸发等原因,水量减少,水位下降而转化为沼泽。因而在一些粘土岩、铝土岩和铝土矿中,常有植物根、茎、叶等化石碎片保存。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,所以常有面积不大的煤和炭质粘土岩产出(图 7-b、图 7-e)。

在某些情况下,当泥炭沼泽正处在发育过程中,突降暴雨,引发泥石流,粉砂、砂、砾级棱角状的铝土质、粘土质碎屑猛烈冲入泥炭沼泽中,与炭质、有机质混合在一起,并被炭质、有机质胶结,成为乌黑如煤的碎屑状高炭铝土矿、碎屑状炭质铝土岩及碎屑状炭质粘土岩等,这从图 7-b、图 7-e、图 9 及表 7 可见其端倪。上述沉积层序组合,经常由下部泥石流

沉积和上部沼泽、泥炭沼泽沉积构成,它们可以多次交替重叠,形成多个沉积旋回,少则 2 个,多可达 11 个旋回(图 7-d)。

当溶坑、溶洼中的堆积物不断增厚,终使其被填平,成为溶盆中一个面积更大而平缓的洼地,一旦发生洪泛沉积,新生的铝土质、粘土质沉积物,就会形成一个超出原溶坑、溶洼范围的层状、似层状矿(岩)体,如图 7-b 顶部的一层铝土矿体和粘土岩层即是。在倾斜的夷平面中部和中下部,含矿岩系基底地层岩性以 O_{1t} 白云岩为主,岩溶发育,溶坑、溶洼深度较大,形成的含矿岩系厚度亦较大,这不仅为铝土矿、同时也为炭质岩和硫铁矿的沉积创造了条件。如后槽山头上矿段 ZK965,含矿岩系厚 109.90 m,有铝土矿体 11 层(从四周探矿工程可知,最顶部的一层铝土矿体已被剥蚀,实为 12 层,含矿岩系厚度当在 115 m 以上),累积厚度 73.05 m,内含碎屑状高炭铝土矿 4 层,单层最厚 16.50 m;另有炭质粘土岩 7 层,硫铁矿体 2 层(图 7-d)。又如山头上矿段 ZK901 所见,含矿岩系厚 90.71 m,有 7 层铝土矿体,累积厚度 27.39 m,单层矿体最厚 9.54 m;另有硫铁矿体 7 层,累积厚度 46.75 m,单层最厚 33.11 m(图 7-b,表 1)。苟江矿区水井坎矿段 ZK1304 所见含矿岩系厚 89.48 m,有铝土矿体 12 层,累积厚度 37.58 m,单层最厚 9.04 m;另有煤和炭质粘土岩 8

层,累积厚度 34.50 m,单层煤最大厚度 11.54 m(图 7-e,表 2)。

低铁铝土矿不仅分布面积大,而且其厚度及厚度变化都明显大于高铁铝土矿。据多个矿区统计,本区内铝土矿体厚度变化均属不稳定类型。其中,高铁铝土矿体厚度变化系数为 84%~88%(据 67 个至 439 个工程统计),低铁铝土矿体厚度变化系数为 98.1%~102.6%(据 62 个至 576 个工程统计),表明后者较前者的厚度变化要大得多。另据统计,矿体厚度与含矿岩系厚度成正相关关系,二者相关系数为 0.60~0.93(据 24 至 80 个工程统计),说明含矿岩系厚度与铝土矿体厚度一样,都是变化很大,属不稳定类型的。显然,这与高铁铝土矿含矿岩系主要分布在 O_{1m} 伊利石页岩形成的侵蚀洼地中,低铁铝土矿含矿岩系多分布在 O_{1t} 白云岩形成的溶蚀洼地中密切相关。

从图 3、图 6、图 8 可知,自高铁铝土矿分布区最高点,到低铁铝土矿分布区最低点,最大水平距离为 6~20 km(如果仙人岩矿区从一碗井无矿带起算,该区最大水平距离只有 11 km)。可以认为,在已沉积—堆积高铁铝土矿上方的无矿带,均为含三水铝石红土风化壳的堆积区,也就是剥蚀区。假设红土风化壳分布区的宽度也是 6~11 km,则形成遵义铝土矿带各矿区沉积型铝土矿及其含矿岩系,所需成矿物质的最大搬运距离只有 12~22 km,其中,高铁铝

表 7 山头上矿段 ZK1921 岩矿石化学成分
Table 7 Petrochemical components of Xianrenyan ore block ZK1921

地层(代号)	主要岩性	厚度/m	样品/件	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	TS/%	A/S
中二叠统栖霞组(P _{2q})	深灰色细晶灰岩	>5						
	浅灰色碎屑状铝土矿	4.34	5	73.83	5.61	1.41	0.75	13.16
	黑色碎屑状炭质铝土岩	1.72	2	46.98	29.27	1.60	1.04	1.61
	黑色碎屑状高硫高炭铝土矿	1.20	1	73.48	4.78	1.12	0.81	15.37
	煤(含黄铁矿)	0.96	1	25.66	14.82	1.54	4.86	1.73
下石炭统九架炉组(C _{1ij})	黑色碎屑状高炭铝土矿	0.79	1	57.94	20.10	0.96	0.26	2.88
	灰色碎屑状高硫铝土矿	5.80	5	73.33	4.46	1.95	1.12	16.44
	浅灰色伊利石粘土岩,含植物化石碎片	3.65	5	37.28	41.50	2.47	3.82	0.90
	灰色豆砾状铝土矿	3.88	4	69.34	11.49	0.51	0.11	6.03
	灰色碎屑状硫铝矿	1.57	1	42.46	16.22	18.43	13.65	2.72
	灰色碎屑状伊利石粘土岩,含植物化石碎片	1.34	2	37.61	41.08	4.93	2.08	0.92
下奥陶统桐梓组(O _{1t})	灰绿色伊利石页岩,含黄铁矿	4.56	5	26.82	45.75	7.38	4.27	0.59
	灰色白云岩	>5						

注:据贵州地矿局 106 地质大队 1987 年山头上矿段 ZK1921 柱状图编制。

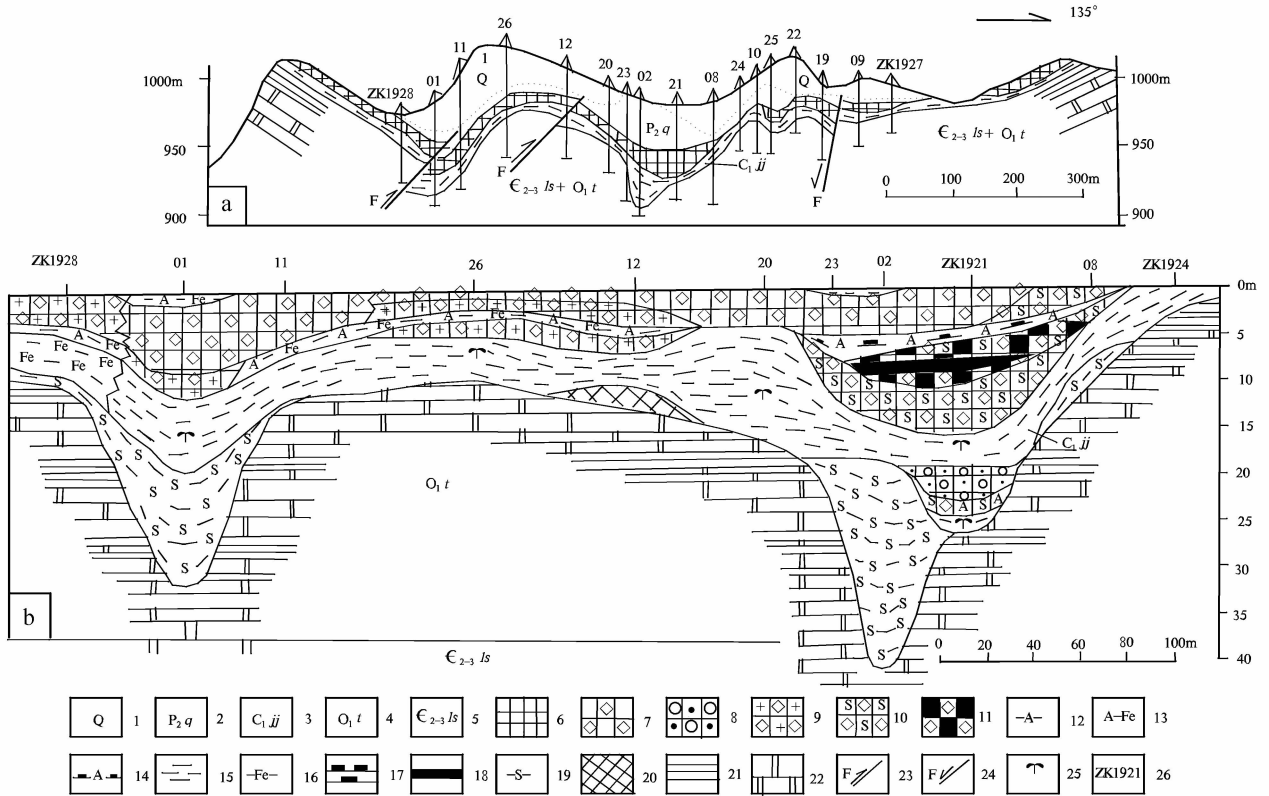


图9 山头上矿段 19 勘探线剖面图(a)及九架炉组沉积剖面图(b)①

- 1—第四系;2—栖霞组;3—九架炉组;4—桐梓组;5—娄山关群;6—铝土矿(a);7—碎屑状铝土矿;8—豆砾状铝土矿;
- 9—碎屑状高铁铝土矿;10—碎屑状高硫铝土矿;11—碎屑状高炭铝土矿;12—铝土岩;13—铝铁岩;14—炭质铝土岩;
- 15—粘土岩;16—铁质粘土岩;17—炭质粘土岩;18—煤;19—硫铁矿体;20—赤铁矿;21—页岩;22—白云岩;23—逆断层;
- 24—正断层;25—植物化石碎片;26—钻孔编号

Fig.9 Sedimentary profile (a) of Shantoushang ore block along No. 19 exploration line and Jiujialu sedimentary profile (b)

- 1-Quaternary; 2- Qixia Formation; 3. Jiujialu Formation; 4-Tongzi Formation; 5-Loushanguan Group; 6-Bauxite (a);
- 7-Clastic bauxite; 8- Pea gravel-shaped bauxite; 9-Clastic high ferric bauxite; 10-Clastic high-sulfur bauxite;
- 11-Clastic high-carbonate bauxite; 12-Bauxite; 13-Aluminiferous rock; 14-Carbonaceous bauxite; 15-Claystone;
- 16-Ferrous claystone; 17- Carbonaceous claystone; 18-Coal; 19-Pyrite ore body; 20- Hematite; 21-Shale; 22-Dolomite;
- 23-Reverse fault; 24-Normal fault ; 25-Fossil plants; 26-Serial number of drill hole

土矿的搬运距离,近者仅数十米至 1~2 km,远者也不过 4~8 km。所以,总体来看,本区搬运距离较短,属近源搬运、异地沉积—堆积而成的。作为近源成矿的依据,还可从铝土矿的矿石结构得到印证。本区铝土矿矿石以碎屑结构为主,碎屑粒度有砾屑、砂屑、粉砂屑等;碎屑成分有铝土矿屑、高岭石粘土岩屑或高岭石化不彻底的伊利石粘土岩屑、绿泥石屑、铁矿物屑、复矿物屑等;按形态有棱角状、次棱角状、次浑圆状、浑圆状,以次棱角—次浑圆状为主。上述碎屑分布密度不均,粒度大小悬殊,碎屑成分杂乱,分选

甚差,等等,说明是经过搬运再沉积的,值得注意的是,高铁铝土矿的碎屑粒度,普遍大于低铁铝土矿的碎屑粒度,表明低铁铝土矿的搬运距离要大于高铁铝土矿。

4 结论

(1)形成含三水铝石红土风化壳的母岩可以有多种,但本区可能主要是 O_{1m} 的伊利石页岩,其次为 O_{1t} 白云岩及所夹伊利石页岩和 O_{1h} 石灰岩,其红土化、钙红土化时期大约为早石炭世岩关期,广泛

①据贵州地矿局 106 地质大队 1987 年山头上矿段 19 勘探线剖面图综合编制。

分布的含三水铝石红土风化壳,为本区沉积型铝土矿的形成,准备了大量的成矿物质。

(2)遵义铝土矿带的沉积型铝土矿及其含矿岩系,皆分布在紫云运动时期形成的、向南略有倾斜的夷平面上,其中高铁铝土矿与低铁铝土矿具有明显分带性。在夷平面上部,紧邻红土风化壳剥蚀区的是含高铁铝土矿的含矿岩系,因受 O_1m 页岩侵蚀洼地面积和深度的限制,范围一般较小,厚度较薄;在中部,距红土风化壳剥蚀区稍远,沉积物已逐渐变为具低铁低硫、低铁高硫和低铁高炭铝土矿的含矿岩系,因受众多面积、深度较大的溶蚀洼地的控制,形成了一些范围较广、厚度较大、层数较多的铝土矿体;到下部,远离红土风化壳剥蚀区,在小而分散的溶坑、溶洼、溶斗的控制下,形成一些小而孤立的含低铁低硫、低铁高硫和低铁高炭的铝土矿体以及硫铁矿体的含矿岩系;再往下,侵蚀、溶蚀洼地越来越小,深度越来越浅,在较薄的含矿岩系中,大多已无铝土矿体存在,表明红土风化壳中的铝土矿块砾已剥蚀殆尽。

(3)沉积型铝土矿的矿石自然类型,与红土型铝土矿块砾的结构构造有关,并基本保留原三水铝石铝土矿块砾的结构构造特点,只是有些增、减而已。矿石工业类型则与红土型铝土矿块砾的搬运距离有关,近处为高铁铝土矿,远处为低铁铝土矿。

(4)从高铁铝土矿与低铁铝土矿的分布以及矿石中的粒度、形态等特征可知,铝土矿成矿物质的最大搬运距离只有 12~22 km,搬运距离较近,属近源搬运、异地沉积—堆积而成的。低铁铝土矿的搬运距离要大于高铁铝土矿。

参考文献 (References):

- [1] 刘平. 初论贵州之铝土矿[J]. 贵州地质, 1987, 4(1):1-12.
Liu Ping. An initial discussion on Guizhou bauxite [J]. Guizhou Geology, 1987, 4(1):1-12(in Chinese with English abstract).
- [2] 贵州地质矿产局. 贵州省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1987:555-596.
Bureau of Geology and Mineral Resource of Guizhou Province. Regional Geology of Guizhou Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987:555-596(in Chinese with English abstract).
- [3] 高道德, 盛章琪, 石善华, 等. 贵州中部铝土矿地质研究 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1992:4-7, 17-20, 76-94.
Gao Daode, Sheng Zhangqi, Shi Shanhua, et al. Studies on the Ba

- xite Deposit in Central Guizhou, China [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1992:4-7, 17-20, 76-94 (in Chinese with English abstract).
- [4] 刘平. 论黔北—川南石炭系大竹园组[J]. 中国区域地质, 1996, 2: 123-130.
Liu Ping. The Carboniferous Dazhuyuan formation in Northern Guizhou—Southern Sichuan [J]. Regional Geology of China, 1996, (2):123-130(in Chinese with English abstract).
- [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. Exploration on the age of bauxite-bearing rock series in central Guizhou—Southern Chongqing [J]. Geology in China, 2012, 39 (3):661-682 (in Chinese with English abstract).
- [6] 中华人民共和国国土资源部发布. 铝土矿、冶镁菱镁矿地质勘查规范(DZ/T0202-2002)[S]. 北京: 地质出版社, 2003:1-31.
P.R.C Land & Resource Department Published. Geological Exploratory Standard of Bauxite and (DZ/T0202-2002) [S]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:1-31 (in Chinese with English abstract).
- [7] 中国科学院地质研究所岩溶研究组. 中国岩溶研究[M]. 北京: 科学出版社, 1979:138-147.
Institute of Karst Geology, CAGS. Study of China Karst [M]. Beijing: Science Press, 1979:138-147 (in Chinese with English abstract).
- [8] 高道德, 张世从, 毕坤, 等. 黔南岩溶研究[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1986:21-43.
Gao Daode, Zhang Shicong, Bi Kun, et al. Karst in South Guizhou, China [M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1986: 21-43(in Chinese with English abstract).
- [9] 刘巽锋, 王庆生, 陈有能, 等. 黔北铝土矿成矿地质特征及成矿规律[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1990:75-78.
Liu xunfeng, Wang Qingsheng, Chen Youneng, et al. Bauxite Minerogenic Geological Characteristic and Minerogenic law in Northern Guizhou, China [M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House. 1990:75-78(in Chinese with English abstract).
- [10] 刘平. 五论贵州之铝土矿—黔中—川南成矿带铝土矿含矿岩系 [J]. 贵州地质, 1995, 12(3):185-203.
Liu ping. On the Bauxite in Guizhou Province—V: The bauxite-bearing rock series in central Guizhou—Southern Sichuan ore-forming zone [J]. Guizhou Geology, 1995, 12 (3):185-203 (in Chinese with English abstract).
- [11] Г. И. 布申斯基. 铝土矿地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1984: 93-95.
Bushinskiy G E. Bauxite Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984:93-95 (in Chinese).

The zonation and genetic mechanism of Zunyi high- and low-ferrous bauxites

LIU Ping, LIAO You-chang

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

Abstract: Early Carbonaceous sedimentary bauxite and its aluminum-bearing rock series in the Zunyi bauxite belt have totally undergone sedimentation-accumulation on the slightly southward inclined platform formed during the late Devonian and Early Carbonaceous Ziyun movement, and the high- and low-ferrous bauxites apparently assume zonation. Original materials of bauxites and the ore-bearing rock series consist dominantly of gibbsite laterite crust formed by illite shale of the Lower Ordovician Meitan Formation. The zonation of bauxite is related to the material-transport distance of the laterite crust, i.e., the high-ferrous bauxites occur in nearby and high places, and the low-ferrous bauxites appear in distant and low places. Generally speaking, the transport distance is relatively short and the bauxites were formed by the near-source transport, sedimentation and accumulation.

Key words: sedimentary bauxite; high-ferrous bauxite; low-ferrous bauxite; zonation; genetic mechanism; Zunyi bauxite

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