

黔北务正道铝土矿 成矿理论及预测

黄智龙 金中国 向贤礼 谷 静 武国辉 著
陈兴龙 苏之良 赵远由 叶 霖 邹 林



科学出版社

黔北务正道铝土矿 成矿理论及预测

**Metallogenic Theory and Prediction of Bauxite Deposits in the
Wuchuan-Zheng'an-Daozhen Area, Northern Guizhou Province, China**

黄智龙 金中国 向贤礼 谷 静 武国辉 著
陈兴龙 苏之良 赵远由 叶 霖 邹 林

国家重点基础研究发展计划项目 (2007CB411402)

国家十二五科技支撑项目 (2011BAB04B04)

贵州省省长基金项目 (黔科教办 [2008] 04) 联合资助

贵州省地质勘查基金 (TK2009-004)

矿床地球化学国家重点实验室开放基金 (出版专项)

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

黔北务正道铝土矿是渝南-黔中铝土矿成矿带的重要组成部分,成矿条件优越,为全国第一批 47 个整装勘查区之一,但成矿理论研究程度低,严重制约了成矿预测研究。本书在总结前人地质资料的基础上,通过系统的地质学、矿物学、元素地球化学和碎屑锆石年代学研究,探讨了该区铝土矿成矿地质条件、成矿环境以及成矿物质来源,揭示了铝土矿的成矿作用过程,建立了成矿模式,总结出区域成矿规律和找矿标志;结合遥感及地球物理找矿方法研究,初步集成了该区铝土矿成矿预测方法体系,建立了有效的找矿模型;同时对该区进行了成矿预测,取得了重大找矿突破。

本书可供从事矿床学、地球化学和成矿预测等有关的科研、教学、地质勘探人员和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

黔北务正道铝土矿成矿理论及预测 / 黄智龙等著. —北京:科学出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-03-042457-0

I. 黔… II. ①黄… III. ①铝土矿-研究-贵州省 IV. ①P578.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 268348 号

责任编辑:王 运 / 责任校对:韩 杨
责任印制:肖 兴 / 封面设计:华路天然

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 12 月第一次印刷 印张: 16 3/4

字数: 400 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

铝土矿是铝工业建设和发展的决定因素，我国铝工业是产业关联度较高的产业，铝生产量、消费水平与 GDP 的相关系数分别达到 0.980 和 0.933（罗建川，2006）。铝土矿是我国较为紧缺的大宗矿产之一，近十年消耗量居世界前列，2011 年中国进口铝土矿总量为 4484.49 万 t，同比增长 49.73%，对外依存度高达 60%（中国铝业网，2011；中国商情网，2012）。铝土矿矿产资源供需矛盾日益突出，影响国家铝资源安全与社会和谐稳定，制约铝企业生存和铝行业可持续发展。因此，创新成矿理论和找矿方法，实现找矿突破，是迫在眉睫的艰巨任务和重大课题。

黔北务（川）-正（安）-道（真）地区铝土矿是渝南-黔中铝土矿成矿带的重要组成部分，成矿条件优越，为全国第一批 47 个整装勘查区之一。该区铝土矿调查始于 20 世纪 60 年代，至 20 世纪 90 年代主要开展了区域调查和预查工作，仅在局部矿区开展了普查工作，总计提交资源量 1600 余万 t，这与该区具有优越的成矿条件、良好的找矿远景、巨大的找矿潜力极不吻合。但是，务正道地区铝土矿研究程度低、找矿难度大。①地质认识难度大：研究区地质环境复杂、地壳多期次、多旋回隆升作用强烈、成矿演化机制不清、成矿作用过程不明，导致成矿规律的认识难度明显加大；②技术难度大：矿床主控因素模糊、矿体定位规律不清晰、大厚度覆盖层干扰大、矿体埋藏深度大、高地压、水文条件复杂等因素，导致传统成矿理论与找矿技术方法难以达到预期找矿效果；③地形条件恶劣：地处武夷山区，峡谷深切、高山纵横，找矿勘探工作困难重重。

21 世纪初，贵州省有色金属和核工业地质勘查局三总队、地质矿产勘查院开展了新一轮选区调查工作，通过找矿潜力分析，认为务正道地区具有寻找大型、超大型铝土矿的前景。该成果受到有关部门的高度重视，相继获得国家重点基础研究发展计划（973 计划）项目（2007CB411402）、国家十二五科技支撑项目（2011BAB04B04）、贵州省优秀科技教育人才省长基金项目（黔科教办〔2008〕04）和贵州省地质勘查基金（TK2009-004）等项目支持，贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院、中国科学院地球化学研究所和贵州省有色金属和核工业地质勘查局三总队联合，围绕创新成矿理论和找矿增储的目标，在前人工作和研究的基础上，对该区铝土矿进行了系统的成矿规律和成矿预测研究，揭示了成矿规律，初步集成了找矿方法技术体系，实现了找矿重大突破。

全书共分八章。第一章首先从全球和我国铝土矿分布介绍了铝土矿资源概况，然后从矿床类型、含矿岩系、成矿环境、成矿物质来源和成矿过程等方面综述了铝土矿主要研究进展，同时概述了黔北务正道铝土矿勘查历史和研究现状，最后介绍了本书主要研究内容和取得的主要成果。第二章从地层、构造、岩相古地理和矿产等方面介绍了务正道铝土矿区域地质背景。第三章从矿区地质、矿体地质和矿石特征等方面介绍了务正道地区 4 个典型矿床的地质特征，包括务川县瓦厂坪矿床、道真县新民矿床、道真县三清庙矿床和正安

县新木-晏溪矿床。第四章首先根据矿石类型和矿物组合介绍了务正道铝土矿的矿石学特征,然后从矿物成分及铝矿物形成等方面总结了该区铝土矿的矿物学特征。第五章首先介绍了务正道铝土矿主量元素、微量元素和稀土元素地球化学特征,然后根据这些地球化学资料分析了该区铝土矿成矿物源、成矿环境和成矿过程。第六章首先介绍了务正道铝土矿矿层及下伏地层黄龙组和韩家店组中碎屑锆石的形貌及阴极发光特征,然后介绍了这些碎屑锆石的稀土含量、配分模式、成因类型以及提供的物源信息,最后根据碎屑锆石 U-Pb 定年结果分析了成矿物质来源。第七章首先分析了务正道铝土矿成矿条件和主要控矿因素,然后从铝矿物形成过程和成矿过程中元素活动规模等方面分析了该区铝土矿成矿过程,最后建立了成矿模型、总结了区域成矿规律。第八章首先介绍了务正道铝土矿遥感和地球物理方法成矿预测的试验结果,然后根据主要找矿标志和找矿方法建立了找矿模型,最后介绍了该区铝土矿找矿预测成果。

各章编写分工是:前言,黄智龙、金中国、向贤礼、谷静;第一章,黄智龙、向贤礼、谷静、金中国、邹林;第二章,金中国、武国辉、黄智龙、向贤礼、苏之良、陈兴龙、赵远由、谷静、邹林;第三章,金中国、黄智龙、武国辉、向贤礼、苏之良、陈兴龙、邹林、赵远由、谷静、叶霖;第四章,黄智龙、向贤礼、谷静、金中国、叶霖;第五章,黄智龙、金中国、谷静、向贤礼、叶霖、邹林、陈兴龙、赵远由、苏之良;第六章,黄智龙、金中国、谷静、向贤礼、武国辉、叶霖;第七章,黄智龙、金中国、向贤礼、谷静、武国辉、陈兴龙、邹林、苏之良、赵远由、叶霖;第八章,金中国、武国辉、邹林、赵远由、苏之良、黄智龙。全书由黄智龙、金中国、向贤礼和谷静统一修改定稿。

研究过程中得到贵州省有色金属和核工业地质勘查局、中国科学院地球化学研究所各级领导的大力支持和帮助,同时得到中国科学院地球化学研究所刘丛强院士和胡瑞忠研究员的指导。除本书作者外,参加野外和室内研究工作的还有各合作单位的许多科研和地质勘探人员。中国科学院地球化学研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、西北大学地质系、中国地质大学(武汉)和南京大学现代分析测试中心完成了本次工作的分析测试。中国地质科学院矿产资源研究所裴荣富院士,中国科学院地球化学研究所刘丛强院士、胡瑞忠研究员、裴愉卓研究员、张乾研究员、毕献武研究员、温汉捷研究员、钟宏研究员、宋谢炎研究员,昆明理工大学韩润生教授、李峰教授、冉崇英教授、王学焜教授、胡煜昭教授,贵州大学何明勤教授、杨瑞东教授以及贵州省有色金属和核工业地质勘查局三总队苏书烂教授高级工程师等以不同方式审阅过全书或部分章节,并提出了宝贵的修改意见。中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室资助了部分出版经费。在此一并表示真诚的谢意!

感谢国家科技部、国家财政部、中国地质调查局、贵州省科技厅和贵州省有色金属和核工业地质勘查局资助的科研项目,有机会让贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院、中国科学院地球化学研究所、贵州省有色金属和核工业地质勘查局三总队密切合作,开展对黔北务正道铝土矿的成矿理论和成矿预测研究。

由于各种原因,书中的认识和解释难免有不妥之处,敬请批评指正。

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 铝土矿资源概况	1
一、世界铝土矿分布	1
二、中国铝土矿分布	3
第二节 铝土矿研究进展	4
一、矿床类型	4
二、含矿岩系	5
三、成矿环境	7
四、成矿物质来源	9
五、成矿过程	9
第三节 务正道铝土矿研究现状	10
一、勘查历史	10
二、研究现状	11
三、存在主要问题	15
第四节 研究背景和研究意义	16
一、研究背景	16
二、研究意义	18
第五节 研究内容和主要成果	18
一、主要研究内容	18
二、取得的主要成果	19
第二章 区域地质	21
第一节 区域地层	22
一、基底	22
二、盖层	23
三、含矿岩系	25
第二节 区域构造	25
一、褶皱	26
二、断裂	28
第三节 岩相古地理	28

一、加里东期	30
二、海西—印支早期	30
三、印支晚期—燕山期	31
第四节 区域矿产	32
一、铝土矿	32
二、其他矿产	32
第三章 矿床地质	34
第一节 务川瓦厂坪矿床	35
一、矿区地质	35
二、矿体地质	37
三、矿石特征	39
第二节 道真新民矿床	40
一、矿区地质	40
二、矿体地质	43
三、矿石特征	45
第三节 正安新木—晏溪矿床	47
一、矿区地质	47
二、矿体地质	49
三、矿石特征	51
第四节 道真三清庙矿床	52
一、矿区地质	52
二、矿体地质	54
三、矿石特征	56
第四章 矿石学和矿物学	60
第一节 矿石学	60
一、矿石类型	60
二、矿物组合	61
三、成矿指示意义	67
第二节 矿物学	67
一、矿物特征及成分	68
二、铝矿物形成	73
第五章 矿床地球化学	75
第一节 主量元素	75
一、样品及分析方法	75
二、含量特征及变化规律	75
三、成矿物源与成矿过程	88

第二节 微量元素	89
一、含量特征及配分模式	90
二、聚类分析及变化规律	97
三、成矿物源及成矿环境	99
第三节 稀土元素	102
一、含量特征及配分模式	102
二、富稀土层及成因	111
三、稀土矿物及意义	115
第六章 碎屑锆石微量元素及年代学	122
第一节 样品及分析方法	122
一、样品	122
二、分析方法	123
第二节 锆石特征	124
一、概述	124
二、铝土矿中的碎屑锆石	125
三、韩家店组中的碎屑锆石	130
四、黄龙组中的碎屑锆石	132
第三节 锆石稀土元素	133
一、含量特征及配分模式	133
二、锆石成因类型及物源信息	140
第四节 锆石年代学	145
一、定年结果	145
二、定年意义	153
第七章 矿床成因和成矿规律	160
第一节 成矿条件及控矿因素	160
一、成矿条件	160
二、主要控矿因素	162
第二节 成矿作用过程	164
一、铝矿物形成过程	164
二、成矿过程中元素活动规律	166
第三节 成矿模型及成矿规律	174
一、成矿模型	174
二、成矿规律	176
第八章 成矿预测	178
第一节 成矿预测方法试验	178
一、遥感成矿预测	178

二、地球物理成矿预测	181
第二节 找矿模型	185
一、主要找矿标志	185
二、找矿方法	186
第三节 找矿效果	187
一、成矿远景区	187
二、找矿重大突破	189
主要参考文献	190
附表	205
图版说明	242
图版	

第一章 绪 论

第一节 铝土矿资源概况

铝是地壳中分布最广泛的元素之一，在自然界中多呈氧化物、氢氧化物和含氧的铝硅酸盐形式存在。金属铝是世界上仅次于钢铁的第二重要金属，具有密度小、导电导热性好、易于加工及其他优良性能，广泛应用于国民经济各部门，是建筑、交通运输、包装以及电器、飞机制造、机械和民用器具等不可缺少的原材料。铝土矿指工业上能利用的，以三水铝石、一水软铝石或一水硬铝石为主要矿物所组成的矿石，其应用领域有金属和非金属两个方面，金属用途是生产金属铝的最佳原料，也是最主要的应用领域，用量占世界铝土矿总产量的90%以上；非金属用途主要是耐火材料、研磨材料、化学制品及高铝水泥等的重要原料。

一、世界铝土矿分布

世界范围铝土矿资源较为丰富，主要分布在热带、亚热带地区，遍及五大洲50多个国家（图1-1）。美国地质调查局（USGS）公布的数据显示，世界铝土矿资源总量（探明储量+次经济资源+推测资源）约为550亿~750亿t，其中非洲160亿~200亿t、南美洲190亿~250亿t、大洋洲70亿~100亿t、亚洲80亿~130亿t、加勒比海地区20亿~30亿t、欧洲30亿~40亿t。世界铝土矿资源分布相对集中，据USGS（2010）统计，目前全球铝土矿探明储量约为270亿t，几内亚和澳大利亚探明储量高居前两位，分别约为74亿t和62亿t，占50.37%，位于3~6位依次为越南21亿t、牙买加20亿t、巴西19亿t和印度7.7亿t，我国约为7.5亿t，占全球探明储量的2.78%，位于第7位。探明储量超过亿吨的国家还有圭亚那7亿t、希腊6亿t、苏里南5.8亿t、哈萨克斯坦3.6亿t、委内瑞拉3.2亿t和俄罗斯2亿t。

世界铝土矿按下伏基岩性质大体可分为三种类型（刘中凡，2001），即红土型、岩溶型和沉积型（齐赫文型）铝土矿。其中红土型铝土矿下伏基岩为铝硅酸盐岩，如玄武岩、花岗岩、粒玄岩、长石砂岩、麻粒岩等，在热带-亚热带气候条件下，经红土化作用形成，与基岩呈渐变过渡关系。该类型矿床储量占世界总储量的86%左右，主要分布于南、北纬30°之间热带-亚热带大陆边缘的近海平原、中低高地、台地和岛屿上，Bárdossy 和 Aleva（1990）将全球这种类型铝土矿划分为8个成矿省（图1-1）：南美地台成矿省（ L_1 ）、巴西东南部成矿省（ L_2 ）、西非成矿省（ L_3 ）、东南非成矿省（ L_4 ）、印度成矿省（ L_5 ）、东南亚成矿省（ L_6 ）、西澳及北澳成矿省（ L_7 ）和东南澳成矿省（ L_8 ）。

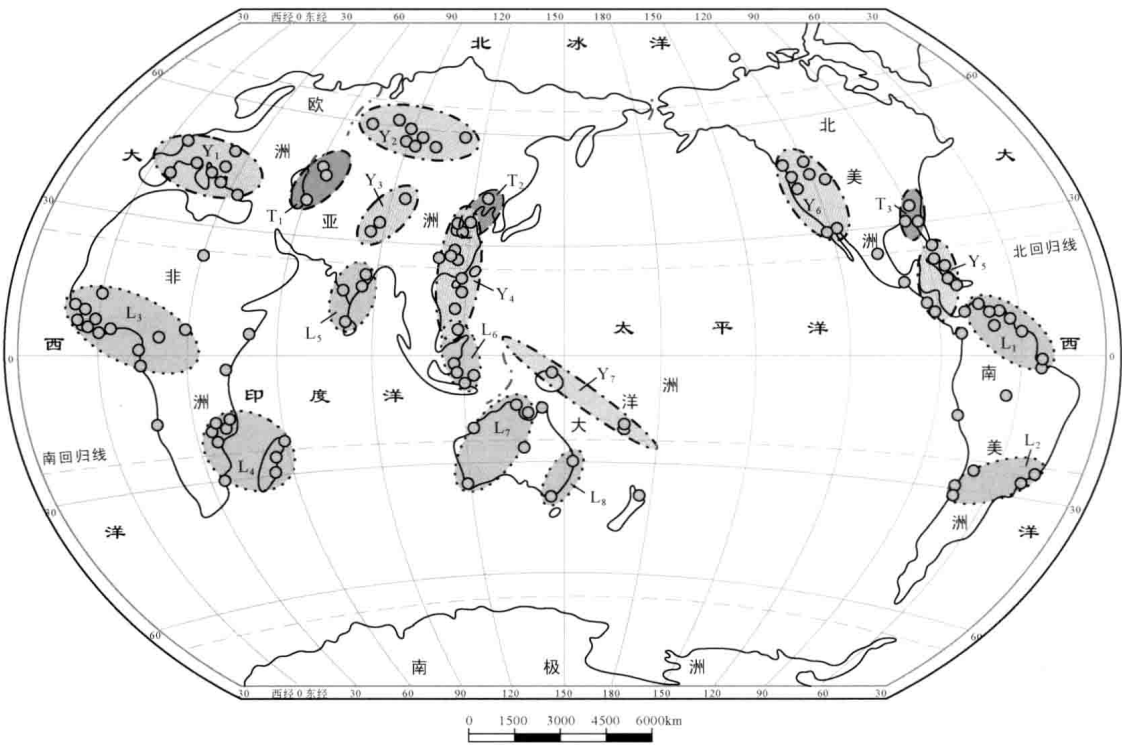


图 1-1 世界铝土矿分布略图 (据 Bárdossy and Aleva, 1990; 修改)

红土型铝土矿：L₁-南美地台成矿省，L₂-巴西东南部成矿省，L₃-西非成矿省，L₄-东南非成矿省，L₅-印度成矿省，L₆-东南亚成矿省，L₇-西澳及北澳成矿省，L₈-东南澳成矿省；岩溶型铝土矿：Y₁-地中海成矿带，Y₂-乌拉尔-西伯利亚-中亚成矿带，Y₃-伊朗-喜马拉雅成矿带，Y₄-东亚成矿带，Y₅-加勒比海成矿带，Y₆-北美洲成矿带，Y₇-太平洋西南成矿带；沉积型铝土矿：T₁-东欧成矿省，T₂-中朝成矿省，T₃-北美成矿省

岩溶型铝土矿是覆盖在灰岩、白云岩等碳酸盐岩凹凸不平岩溶面上的铝土矿，与下伏基岩呈不整合或假整合接触关系，矿体为古红土风化壳被剥蚀、长距离（30～40km）搬运、沉积于岩溶地形中形成。此类型铝土矿储量占世界总储量的13%左右，主要分布于北纬30°～60°间及附近的温带地区，Bárdossy 和 Aleva（1990）将全球这种类型铝土矿划分为7个成矿带（图 1-1）：地中海成矿带（Y₁）、乌拉尔-西伯利亚-中亚成矿带（Y₂）、伊朗-喜马拉雅成矿带（Y₃）、东亚成矿带（Y₄）、加勒比海成矿带（Y₅）、北美洲成矿带（Y₆）和太平洋西南成矿带（Y₇）。我国铝土矿主要为这种类型，分布于东亚成矿带（Y₄）。

沉积型（齐赫文型）铝土矿是覆盖在铝硅酸盐岩剥蚀面上的碎屑沉积铝土矿，与下伏基岩一般呈不整合接触关系，没有直接成因关系，成矿物质由远方红土风化壳搬运而来，矿床规模较小，其储量仅占世界总储量的1%左右。此类型矿床分布于温带，典型矿床产于俄罗斯齐赫文市，中国、朝鲜和美国也有分布，Bárdossy 和 Aleva（1990）将全球这种类型铝土矿划分为3个成矿省（图 1-1）：东欧成矿省（T₁）、中朝成矿省（T₂）和北美成矿省（T₃）。

二、中国铝土矿分布

我国铝土矿资源较为丰富，华北地台、扬子地台、华南褶皱系及东南沿海均有分布（图 1-2），其中晋中-晋北、豫西-晋南、渝南-黔中三个成矿带成矿条件优越，资源远景较好，桂西-滇东等成矿带也有一定的远景，中国地质调查局根据已有成矿地质条件，预测我国铝土矿资源总量可达 50 亿 t。目前，我国已探明铝土矿矿区 300 多处，储量大于 2000 万 t 的大型-超大型矿床 31 个，500 万~2000 万 t 的中型矿床 83 个，分布于全国 19 个省、自治区、直辖市，主要集中于山西、贵州、河南和广西四个省（区）（图 1-2），探明储量合计占全国总储量的 90.9%，其中山西 41.6%、贵州 17.1%、河南 16.7%、广西 15.5%。

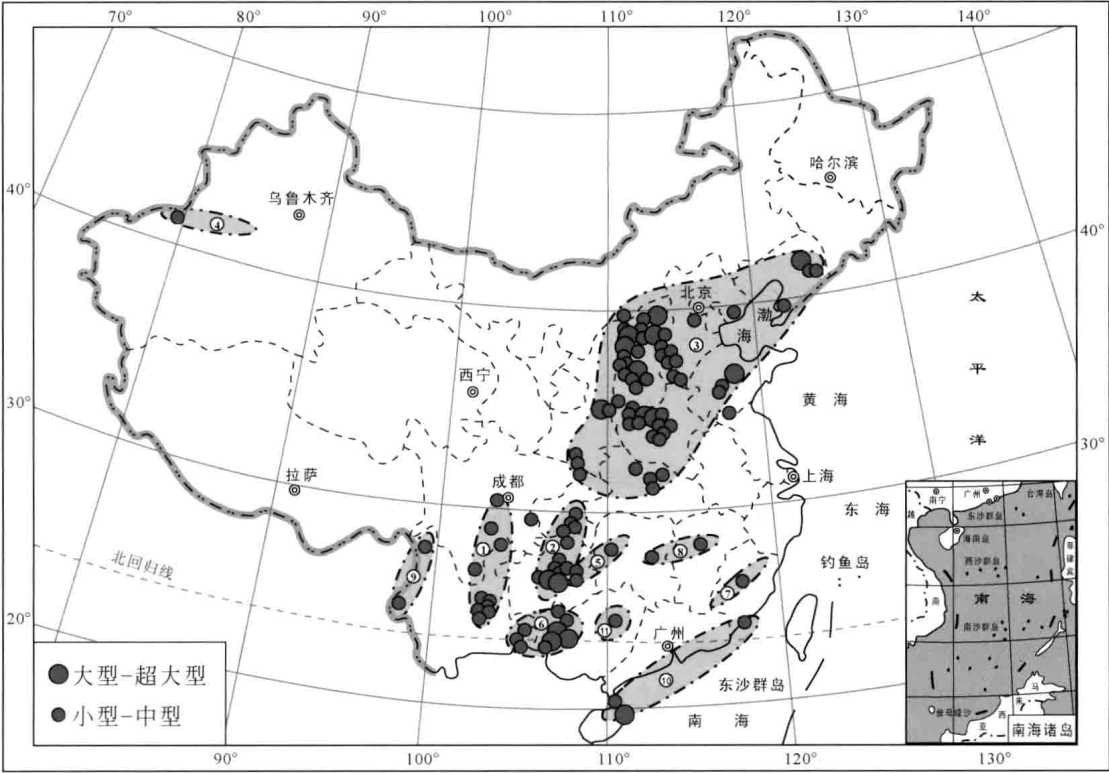


图 1-2 中国铝土矿分布略图（原始资料据中国地质调查局；略修改）

成矿区（带）划分（据刘长龄和王双彬，1990）：①-康滇成矿带；②-黔渝成矿区；③-华北成矿区；④-南天山成矿带；⑤-湘黔成矿区；⑥-滇桂成矿区；⑦-闽南成矿区；⑧-赣中成矿区；⑨-滇西成矿区；⑩-东南沿海成矿区；⑪-桂中成矿区

山西铝土矿主要分布在孝义、交口、汾阳、阳泉、盂县、宁武、原平、兴县、保德、平陆等 42 个县（市）境内，面积约 6.7 万 km²，探明储量居全国第一，预测资源总量可达 20 亿 t；贵州铝土矿主要分布在“黔中隆起”南北两侧的遵义、息烽、开阳、瓮安、正安、道真、修文、清镇、白云、乌当、平坝、织金、苟江、黄平等十几个县（区、市）境

内,面积约2400km²,探明储量居全国第2位,预测资源总量超过10亿t;河南铝土矿集中分布在黄河以南、京广线以西的巩县、登封、偃师、新安、三门峡、陕县、宝丰、鲁山、临汝、禹县等十几个县(市)境内,面积大于3万km²,探明储量居全国第3位,预测资源总量可达10亿t;广西铝土矿集中分布在全平果、田东、田阳、德保、靖西、桂县、那坡、果化、隆安、邕宁、崇左等十几个县(市)境内,面积超过2000km²,探明储量居全国第4位,预测资源总量超过8亿t。

刘长龄和王双彬(1990)根据我国铝土矿分布特征,划分出11个成矿区(带)(图1-2):①康滇成矿带、②黔渝成矿区、③华北成矿区、④南天山成矿带、⑤湘黔成矿区、⑥滇桂成矿区、⑦闽南成矿区、⑧赣中成矿区、⑨滇西成矿区、⑩东南沿海成矿区、⑪桂中成矿区,其中华北成矿区、黔渝成矿区和滇桂成矿区成矿条件优越,目前探明的绝大部分大中型矿床都分布于这3个成矿区内,如山西和河南铝土矿分布于华北成矿区、贵州铝土矿主要分布于黔渝成矿区、广西铝土矿主要分布于滇桂成矿区。

第二节 铝土矿研究进展

国际上铝土矿研究起步于20世纪初期,目前已对世界上许多重要的铝土矿成矿区(带)、典型矿床进行了系统研究,在成矿背景、成矿条件、矿床地质、控矿因素、物质组成及来源、成因类型、成矿过程以及成矿预测等诸多方面取得了许多研究成果;虽然我国铝土矿研究起步相对较晚,但在上述各方面同样取得了一系列研究进展。

一、矿床类型

目前,铝土矿还没有统一的分类标准和命名方案,国内外学者从物质组成、矿体形态、地质产状、基岩类型、矿床成因以及产出大地构造背景等方面对其进行过分类。根据成矿过程,Fox(1932)将铝土矿划分为2种类型,即铝硅酸盐岩风化形成的红土型铝土矿和碳酸盐岩风化形成的钙红土型或地中海型铝土矿;C. Ф. 马列夫金(1934;转引自韩景敏,2005)将铝土矿划分为4种类型,即红土型、交代型、生物成因型和变质型铝土矿;Vadász(1951)将铝土矿划分为红土型、岩溶型和机械碎屑沉积型铝土矿三大类。根据成矿古地理环境,Архангельский(1937)将铝土矿划分为海相沉积铝土矿和湖相沉积铝土矿两大类;M. Ф. 维库洛娃(1946;转引自韩景敏,2005)将铝土矿划分为红土型、潟湖型、湖泊型、谷地型和古喀斯特洼地型铝土矿5种类型。根据成矿大地构造背景,Пейве(1947)将铝土矿划分为台地型铝土矿和地槽型铝土矿两大类;Ю. К. 戈列斯基(1960;转引自韩景敏,2005)将铝土矿划分为三大类,即地台稳定地段的铝土矿、地台活动地段的铝土矿和地槽区的铝土矿。根据成矿基岩,Bárdossy(1982)将铝土矿主要划分为喀斯特型和红土型两类,前者为产于碳酸盐岩古喀斯特面之上的铝土矿,后者为产于铝硅酸盐岩之上的红土型铝土矿,这是目前应用最广泛的铝土矿分类方案(Bárdossy and Aleva, 1990; D'Argenio and Mindszenty, 1995; Horbe and Costa, 1999; Mordberg et al., 2001; Laskou, 2003; Mameli et al., 2007; Deng et al., 2010)。

铝土矿形成受多种因素控制,在实际工作过程中,许多学者对矿床类型进行了更详细的划分,如 Бушинский (1975) 首先将铝土矿划分为 3 个大类、5 个亚类和 13 个类型,3 个大类包括红土型大类、沉积型大类(碎屑的或再沉积的红土)和溶液沉积大类,其中沉积型大类按基岩性质分为产于铝硅酸盐岩之上的铝土矿和产于碳酸盐岩之上的铝土矿两个亚类,按赋存条件及与红土的距离,进一步细分为坡地型、谷地型、近坡地型、近喀斯特型和远喀斯特型 5 个类型,其中远喀斯特型主要产于地槽区,其余 4 个类型主要产于地台区; Bárdossy (1982) 首先将铝土矿分为三大类,即红土类(产于火成岩、变质岩等铝硅酸盐岩之上)、喀斯特类(产于碳酸盐岩喀斯特侵蚀面之上)和过渡类(源于残积红土,后经搬运再沉积于铝硅酸盐岩之上),其中喀斯特类又细分为 6 个类型:地中海型(原地型)、哈萨克斯坦型(准原地型,含矿岩系中除铝质岩外,尚有碎屑岩和碳质岩类)、阿里埃日型(介于红土类和喀斯特类之间)、提曼型(原地、准原地,含矿岩系中除铝质岩外,尚有碎屑岩,时有煤层)、萨伦托型(异地型,早先已形成的铝土矿,后经搬运再堆积于喀斯特洼地中)和土尔斯克型(淋滤型)。

我国学者也提出过多种铝土矿类型划分方案,全国矿产储量委员会(1984)将我国铝土矿划分为 3 个类型,即沉积型、堆积型和红土型;章柏盛(1984)将我国铝土矿分为 4 个类型,即沉积型、堆积型、古风化壳型和红土型;殷子明(1988)根据成矿大地构造背景,将世界铝土矿划分为 4 个类型,即地槽型、地台区、地洼型和大洋活动区型;廖士范和梁同荣(1991)将我国铝土矿划分为 2 个类型,即古风化壳型(I 型)和红土型(II 型),其中 I 型包括 4 个亚类,即贵州修文式、贵州遵义式、广西平果式和河南新安式,II 型包括福建漳浦式;刘平(1996)将我国铝土矿划分为红土型、堆积型、沉积型及其他类型四大类,同时根据赋矿地层时代、成矿环境、基岩岩性及矿石工业类型等特征,将贵州沉积类铝土矿划分为 5 个类型,即猫场型、后槽型、仙人岩型、凤王槽型和大竹园型;国土资源部 2003 年发布实施的《铝土矿、菱铁矿地质勘查规范》(DZ/T 0202—2002)则以规范形式将我国铝土矿划分为沉积型、堆积型、红土型三种,其中沉积型又分为产于碳酸盐岩侵蚀面上和产于铝硅酸盐岩之上的铝土矿两个亚类。

另外,刘长龄(1987)对我国铝土矿进行了详细的成因类型划分,首先根据我国大地构造将铝土矿划分为地台区铝土矿及地槽区铝土矿,然后根据主要成矿作用划分出 8 个大类及 2 个准大类,再根据矿物组合、沉积环境等特征划分出 21 个成因类型及 9 个准成因类型。

二、含矿岩系

含矿岩系层序研究有助于揭示铝土矿的形成过程和指导成矿预测,国内外学者通过对世界典型铝土矿矿集区沉积学、层序地层学、沉积古地理、矿田构造、地貌地形学、岩溶学和数理统计等多学科综合研究,建立了铝土矿含矿岩系的层序格架(文献众多,略)。以下主要简介我国主要铝土矿矿集区含矿岩系的层序格架。

1. 华北铝土矿

含矿岩系层序严格受喀斯特地形控制。华北 G 层铝土矿溶斗型矿体内部,自下到上包

括铝质黏土、豆鲕状铝土矿、块状铝土矿、铝土质黏土、碳质泥页岩、砂岩/灰岩（顶板）；溶斗周围隆起处，自下而上包括风化壳（铁质黏土）、块状铝土矿、铝土质黏土岩、碳质泥页岩、砂岩/灰岩（顶板）；局部地形更高的区域，层序中缺失铝土矿层，自下而上包括风化壳（铁质黏土）、铝土质黏土岩、砂岩/灰岩（顶板）。G 层铝土矿溶洼型矿体内部，自下而上包括铝质黏土（含菱铁矿黏土）、豆鲕状铝土矿、黏土质铝土矿/黏土岩/碳质泥页岩、块状铝土矿、铝质黏土岩、碳质泥页岩、砂岩/灰岩（顶板）；向溶洼开口方向延伸，层序组成逐渐减少，自下而上包括铁质黏土、块状铝土矿、铝土质黏土、碳质泥页岩、顶板砂岩/灰岩（图 1-3）。

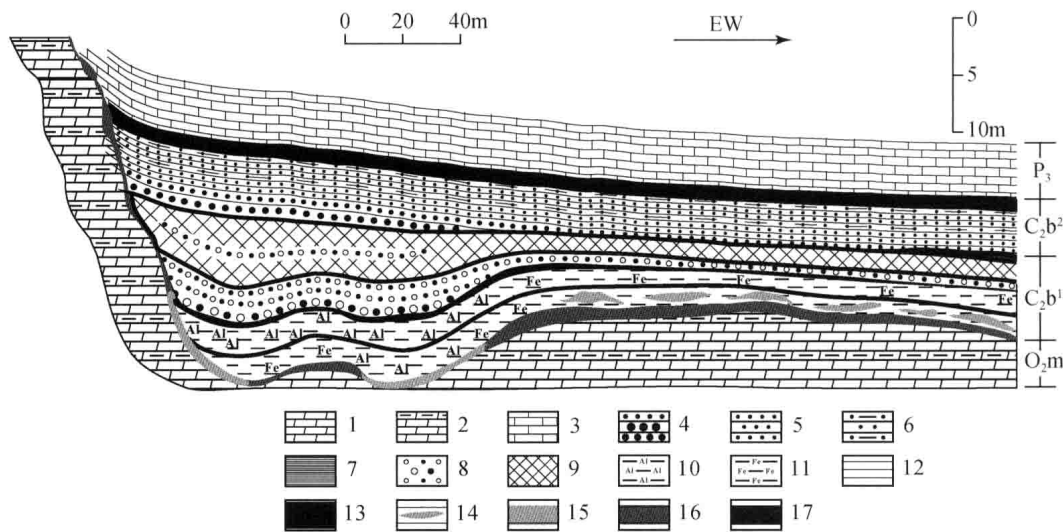


图 1-3 华北溶洼型铝土矿层序格架示意图（据王庆飞等，2012）

1-白云岩；2-泥质白云岩；3-灰岩；4-粗砂岩；5-砂岩；6-泥砂岩；7-泥页岩；8-豆鲕粒铝土矿；9-块状铝土矿；10-铝质黏土；11-铁质黏土；12-碳质泥岩；13-杂色泥页岩；14-铁锰质团块；15-铝质泥岩；16-铁质风化壳；17-煤层

2. 桂西铝土矿

桂西喀斯特型铝土矿包括二叠系沉积型和第四系堆积型两种类型。喀斯特型铝土矿赋存于二叠系三合组底部，茅口组古喀斯特面之上，含矿岩系层序受古喀斯特地形地貌控制（图 1-4），主体由下部的铁质黏土岩/铁帽和上部的含铝岩系组成，在喀斯特洼地中，经常包含两个以上铝土矿-碳质泥岩/黏土岩旋回，在岩溶高地，通常只包含一个铝土矿-碳质泥岩/黏土岩旋回。堆积型铝土矿赋存于岩溶洼地内的第四系岩溶堆积红土层中，含矿岩系层序从底向上包括红土层、堆积型铝土矿和上部黏土层。

3. 桂中铝土矿

红土型铝土矿主要分布在泥盆系、石炭系岩溶准平原内低丘、矮岭和台地的第四系红土层中，具有明显的垂向分带性，自下向上依次为灰岩、黏土层、铝土矿层、表土层，由于水动力条件，不同地区含矿岩系垂直分带存在明显差异，剖面类型主要包括：①底板灰岩之上为表层土，矿化较弱；②底板灰岩之上为铝土矿层，含矿率较高；③底板灰岩之上为黏土层、铝土矿层；④自下而上为黏土层、铝土矿层、表层土或没有表层土；⑤单一的

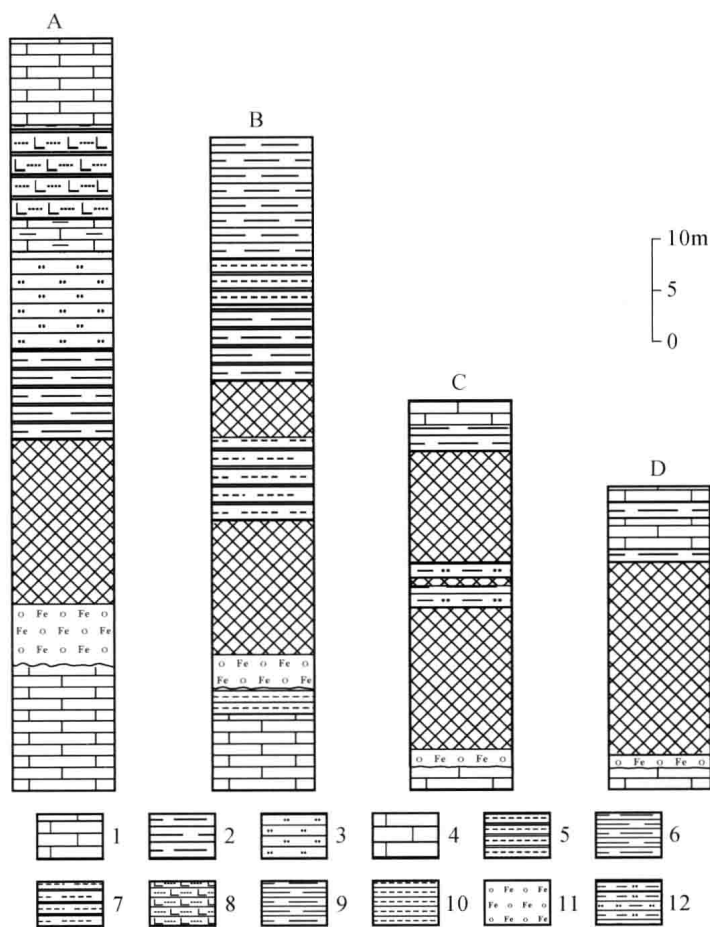


图 1-4 桂西二叠系铝土矿含矿岩系层序组成特征（据王庆飞等，2012）

A-平果高基铝土矿；B-平果太平 11 号矿体；C、D-平果那沙 37 号铝土矿体；1-粉砂岩；2-粉砂质泥岩；3-碳质页岩；4-泥页岩；5-碳质泥页岩；6-钙质泥页岩；7-铝土岩；8-黏土岩；9-灰岩；10-泥质灰岩；11-铁帽；12-铝土矿铝土矿层；⑥高岭土层、表层土。

4. 黔中铝土矿

赋矿地层主要为上石炭统九架炉组，主要包括两种剖面类型（刘平，1995），第一为铁质岩-铝质岩类型，下部主要为铁质黏土岩、绿泥石黏土岩、绿泥石岩，常夹块状、豆鲕状的赤铁矿、绿泥石铁矿、菱铁矿及褐铁矿透镜体和结核，局部构成铁矿体，并时与黄铁矿体共生，剖面中上部为铝质岩，包括各种类型的铝土矿和铝土岩，常夹黏土岩，偶尔有碳质黏土岩和劣质煤；第二为黏土岩-铝质岩类型，下部主要为伊利石黏土岩，常含星点状、结核状、致密块状黄铁矿，局部构成工业矿体，中上部有各种铝质岩夹黏土岩，偶尔夹碳质黏土岩和劣质煤。

三、成矿环境

成矿古地理条件是影响成矿环境的重要因素，前人通过沉积层序、沉积构造、古生物

化石、微量元素、同位素等特征对国内外许多铝土矿矿集区沉积环境进行过研究。吴国炎(1996)对豫西喀斯特型铝土矿沉积环境进行了全面的归纳、总结和分析,根据岩性组合、沉积构造以及微量元素等特征,将全区中石炭统分为3大相组、4个相和10个微相,在此基础上构建了成矿期岩相古地理图,认为研究区存在秦岭、中条山与嵩箕等古陆,地形整体西南高、东北低,这种古地理格局不仅对岩溶洼地的发育有重要控制作用,也控制了铝土矿和黏土矿的分带性。

事实上,很多研究方法可以用来分析铝土矿的成矿环境,如传统的地质调查方法、沉积相、岩相古地理、矿物学、岩石学和地球化学等,目前已总结出多种判别成矿环境的地球化学指标:①陆相淡水环境 $B < 60\text{ppm}$ 、过渡相半咸水环境 $60\text{ppm} < B < 100\text{ppm}$ 、海相咸水环境 $B > 100\text{ppm}$ (李国胜和杨锐,1992;邓宏文和钱凯,1993;孙镇城,1997);②海相沉积物中 Sr 通常大于 160ppm 、陆相沉积物中 Sr 小于 160ppm (俞缙等,2009),陆相沉积物中 $\text{Sr}/\text{Ba} < 1$ 、海相沉积物中 $\text{Sr}/\text{Ba} > 1$ 、半咸水沉积物中 $0.6 < \text{Sr}/\text{Ba} < 1$ (王益友等,1979);③ V/Zr 为 $0.12 \sim 0.40$ 指示陆相环境、 $0.25 \sim 4.0$ 指示海相环境 (陈平和柴东浩,1997);④咸水环境生物标志化合物姥鲛烷 (Pr)/植烷 (Ph) 为 $0.2 \sim 0.8$ 、过渡环境为 $0.8 \sim 2.8$ 、淡水环境为 $2.8 \sim 40$ (梅博文和刘希江,1980)。研究表明铝土矿成矿环境主要为表生环境,岩相古地理大致可分为三类:陆相、海相以及海陆过渡相。

1. 陆相

Schwarz (1997) 通过对德国中部 Vogelsberg 铝土矿和母岩结构构造进行分析,认为其形成环境为陆相环境;Mongelli 和 Acquafredda (1999) 指出意大利晚白垩世岩溶型铝土矿形成于水不饱和的环境;王志华等 (2004) 认为山西宽草坪铝土矿形成于陆相环境,局部可能受到海水的影响;Chardon 等 (2006) 利用 B 、 Ga 、 Sr 、 Ba 等对沉积环境较敏感的微量元素分析,判定西非三合铝土矿为陆相沉积环境;Laskou 和 Economou-Eliopoulos (2007) 通过 Th/U 值分析认为希腊 Pamassos-Ghiona 铝土矿的成矿环境为陆相环境。

2. 海相

范忠仁 (1989) 通过分析 V/Zr 、 Sr/Ba 、 B/Ga 值,认为河南中西部的铝土矿主要为海相环境,局部地段可能有淡水作用;戴塔根等 (2003) 对桂西铝土矿及围岩的稀土元素进行分析,认为原生沉积型铝土矿形成于海相的沉积环境,堆积型铝土矿则由原生沉积型铝土矿风化淋滤而成;王力等 (2004) 的研究同样认为桂西原生沉积型铝土矿形成于海相环境,属于海相碎屑沉积矿床;李中明等 (2009) 利用沉积物中 B 含量与水盐度的函数关系,结合 B 、 Ga 、 Rb 三角图判别出豫西郁山铝土矿的成矿环境为海相。

3. 海陆过渡相

汤明章和刘香玲 (1996) 通过对山西宁武铝土矿的成因类型进行分析,认为其形成于海陆过渡环境下的水流机械分异作用和胶体化学沉积分异作用;李海光 (1998) 通过对比铝土矿与海水硫酸盐的 $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 值,得出该区铝土矿的成矿环境为封闭半封闭的潟湖海湾环境;张巧梅等 (2002) 等在对铝土矿矿石的物质成分及其特征研究的基础上,指出石寺铝土矿沉积