



白云鄂博

矿床年龄和地球化学

AGE AND GEOCHEMISTRY OF THE
BAYAN OBO ORE DEPOSIT

张宗清 袁忠信 唐索寒

白 鸽 王进辉

等著



地 质 出 版 社

殷洪福先生指正

作者

2004年4月8日

白云鄂博矿床 年龄和地球化学

AGE AND GEOCHEMISTRY OF THE
BAYAN OBO ORE DEPOSIT

张宗清 袁忠信 唐索寒 等著
白 鸽 王进辉

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

白云鄂博矿床位于内蒙古自治区包头市,东经 $109^{\circ}57'$,北纬 $41^{\circ}46'$,是一富含铈、铁、稀土等多种有用组分的大型-超大型矿床。稀土储量居世界已发现稀土矿床首位。其形成年龄和成因受到中、外地质学家关注。但是,由于成矿地质作用复杂,矿床形成年龄和成因至今仍是争论激烈的问题。

本书是作者近年来对白云鄂博矿床年龄和成因研究结果的总结。共分十章,系统介绍了矿床矿石、矿石矿物、赋矿白云岩、矿床主覆板岩、矿床地层岩石和侵入地层碳酸岩脉、辉长岩和花岗岩的同位素年代学、同位素地球化学和元素地球化学研究成果;讨论了矿床的形成年龄、成矿物质源区特征、矿床形成过程和形成环境。矿床可能源于地幔深部地幔柱碱性-碳酸岩岩浆,经分异结晶、热液交代作用产物,形成于中、新元古代大陆边缘裂谷海盆环境。矿床属碱性-碳酸岩浆喷溢热液交代型矿床。

本书内容丰富,数据充分翔实,综合分析全面,可供地质、地球化学领域科研工作者、地质类院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

白云鄂博矿床年龄和地球化学/张宗清等著. 北京:地质出版社,2003.12
ISBN 7-116-03969-4

I. ①白… II. ①张… III. ①成矿期-研究-包头市 ②矿床-地球化学-研究-包头市
IV. ①P617.226.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第105983号

BAIYUNEBO KUANGCHUANG NIANLING HE DIQIUHUAXUE

责任编辑:蔡卫东、赵俊磊

责任校对:李玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324571(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zls@-gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京长宇印刷有限公司

开 本:787mm $\times$ 1092mm $\frac{1}{32}$

印 张:14.5 图版:2 页

字 数:350千字

印 数:1—800册

版 次:2003年12月北京第一版·第一次印刷

定 价:45.00元

ISBN 7-116-03969-4 P·2435

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

白云鄂博铌铁稀土矿床位于内蒙古自治区包头市白云鄂博区,是我国最大的稀土矿床,也是世界上已发现的最大稀土矿床,对其研究具有十分重要理论意义和实际意义。自 20 世纪 50 年代起,我国对白云鄂博矿床组织过多次综合研究,取得了极其丰富资料。但是由于成矿地质作用复杂,其形成年龄和成因至今仍然是一个争论激烈的问题。

1990 年,我们开始涉足白云鄂博矿床年代学工作。由于经费缺乏,仅断续做过一点工作。2000 年国家地质大调查计划启动。基于我国许多具有重要经济价值,并在国内外占有重要位置的大型矿床的成矿时代和成因长期争论的现实,2000 年初,中国地质科学院根据国家地质调查规划和工作部署下达“白云鄂博铁铌稀土矿床和金川铜镍矿床年龄及同位素地球化学特征研究”课题。试图通过矿床年代学和同位素地球化学研究解决矿床形成年龄争议,并搞清矿区不同岩类的关系。

白云鄂博矿床已做过大量年代学和地球化学的工作。基于前人工作和白云鄂博矿床复杂地质作用特点,我们在加强野外地质工作基础上,采用多种同位素年代学方法和同位素地球化学方法,并配合元素地球化学方法,对白云鄂博矿床铌稀土铁矿石、白云岩、铁矿上覆板岩、地层岩石、矿区花岗岩和辉长岩及侵入地层的碳酸岩脉进行了比较系统的工作。这本专著汇集了所获得的研究成果。

本书共分十章。第一章,区域地质及矿床地质,介绍了矿床产出地质背景和矿体有关问题;第二章介绍了矿床成矿时代和成因认识研究的演变过程和有关的争论;第三章介绍了本次研究所用的同位素年代学和同位素地球化学方法的实验流程和有关参数;第四章至第九章系统介绍了白云鄂博矿床铌稀土铁矿石、铌稀土矿石,矿石矿物,赋矿白云岩,矿床上覆富钾板岩、暗色板岩、黑云母岩,矿区地层岩石和侵入地层碳酸岩脉,辉长岩和花岗岩的不同年代学方法年龄结果和地球化学结果,讨论了它们的形成年龄、遭受后期地质作用改造时期、成因及与矿床关系。第十章集矿床所获得年代学和地球化学资料对矿床的形成年龄,成矿物质源区特征,矿床形成过程和形成环境进行了讨论。所获得的资料显示,白云鄂博矿区经历过多期强烈地质作用,矿床可能形成于中、新元古代;西矿有形成于新元古代的信息;成矿物质来自深部地幔源区,可能与地幔柱岩浆活动有关;矿床形成过程中来自地幔深部碱性-碳酸岩岩浆可能发生过分异,并受到岩浆析出富含成矿物质、挥发分流体-海水热液交代。

白云鄂博矿床十分复杂。其复杂性不仅表现在其形成过程中叠加的多种成矿过程,而且在其形成后又遭受过后期多次强烈地质作用改造。矿床元素、同位素系统也被强烈改造。由于经费、时间限制,有些地质现象可能尚未被发现。加之工作人员水平限制,得到的地质、地球化学资料的认识也一定存在不妥之处。望批评指正。

参加本项目的工作人员有张宗清、袁忠信、唐索寒、白鸽、王进辉、宋彪、叶笑江、张巧大、陈文、陈启桐、付国民、谭惠玲、张思红、丁悌平、白瑞梅、罗续荣等。Th-Pb 年龄由铀矿地质研究所赵簿云高级工程师分析。Pb 同位素由中国科学院地质与地球物理研究所许荣华研究员分析。U-Pb 年龄由天津地矿所李惠民研究员分析。第一章由袁忠信编写,第二章由白

白鸽编写,第三章至第九章,由张宗清编写,第十章由张宗清、袁忠信、白鸽编写。

在野外地质调查和采样中得到包头钢铁公司矿山处、白云鄂博矿地测科协助;在项目论证和实施过程中得到沈其韩院士、肖序常院士、陈毓川院士、李廷栋院士、任纪舜院士、许志琴院士、刘敦一研究员、耿元生研究员、赵一鸣研究员、王宗起研究员、吴良士研究员和姚培敦研究员的支持和帮助;曹云龙研究员、郑永飞研究员、乔秀夫研究员、郝梓国研究员、王希斌研究员、张雨旭研究员、刘淑春研究员提供了有关文献;许荣华研究员、赵簿云高级工程师、李惠民研究员百忙中为之分析 Pb 同位素、Th-Pb 年龄和 U-Pb 年龄;江博明(Bor-ming Jahn)教授多次询问课题进展,并提出许多有益建议。书稿由周玮打印,地质图件由张森清绘。在此一并表示致谢。

目 录

前 言

第一章 区域地质及矿床地质	(1)
第一节 地层	(1)
第二节 构造	(3)
第三节 岩浆岩	(4)
一、侵入岩	(4)
(一) 花岗岩	(4)
(二) 辉长岩	(5)
(三) 碳酸岩脉	(5)
二、火山岩	(6)
第四节 矿体	(7)
第二章 白云鄂博矿床地质勘探调查研究沿革及成因认识演变	(10)
第三章 实验方法和年龄计算方法	(15)
第一节 Sm-Nd 同位素年龄和 Nd 同位素测定实验方法	(15)
第二节 Rb-Sr 同位素年龄和 Sr 同位素测定实验方法	(15)
第三节 锆石 U-Pb 同位素年龄和 Pb 同位素测定实验方法	(16)
一、颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄测定实验方法	(16)
二、锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年龄测定实验方法	(16)
三、Pb 同位素测定实验方法	(16)
第四节 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄测定实验方法	(16)
第五节 硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}$ 测定实验方法	(17)
第六节 主元素和微量元素分析实验方法	(17)
第七节 Nd 模式年龄和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值的计算	(17)
第四章 白云鄂博矿床铈-稀土-铁矿石、铈-稀土矿石年龄和地球化学	(18)
第一节 主矿、东矿铈-稀土-铁矿石、铈-稀土矿石年龄和地球化学	(18)
一、主矿、东矿矿区地质概况和样品地球化学特征	(18)
二、主矿、东矿铈-稀土-铁矿石、铈-稀土矿石样品同位素年龄测定结果	(21)
(一) 矿石样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(21)
(二) 矿石样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(23)
(三) 矿石样品 Pb 同位素组成分析结果和 ^{206}Pb - ^{238}U 、 ^{208}Pb - ^{232}Th 等时年龄	(25)
三、主矿、东矿铈-稀土-铁矿石、铈-稀土矿石矿物样品同位素年龄测定结果	(26)
(一) 东矿黑云母磷灰石型铈-稀土矿石矿物样品同位素年龄测定结果	(26)
(二) 东矿萤石型铈-稀土矿石矿物样品同位素年龄测定结果	(28)

(三) 主矿萤石霓石型铈-稀土-铁矿石矿物样品同位素年龄测定结果	(30)
(四) 东矿萤石磷灰石型铈-稀土-铁矿石矿物样品同位素年龄测定结果	(33)
(五) 主矿铁矿石组合样独居石 Th-Pb 同位素年龄和 Sr、Nd 同位素分析结果	(35)
四、主矿、东矿晚期脉体矿物年龄测定结果	(37)
(一) 晚期脉体地质产状	(37)
(二) 晚期脉体矿物样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(37)
(三) 晚期脉体矿物样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(38)
第二节 西矿铈-稀土-铁矿石、铈-稀土矿石年龄和地球化学	(39)
一、西矿矿区地质概况和样品地球化学特征	(39)
二、西矿铈-稀土-铁矿石、铈-稀土矿石样品和白云岩样品同位素年龄测定结果	(46)
(一) Sm-Nd 年龄同位素数据	(46)
(二) Rb-Sr 年龄同位素数据	(47)
(三) Pb 同位素分析结果	(49)
第三节 北矿赤铁矿石和围岩的年龄与地球化学	(50)
一、北矿矿区地质概况和样品地球化学特征	(50)
二、北矿赤铁矿石样品及围岩灰岩、炭质板岩样品同位素年龄测定结果	(52)
(一) Sm-Nd 年龄同位素数据	(52)
(二) Rb-Sr 年龄同位素数据	(53)
三、北矿赤铁矿石样品 Pb 同位素组成	(55)
第五章 白云鄂博矿床赋矿岩石：白云大理岩的年龄和地球化学	(56)
第一节 主矿、东矿和菠萝头白云岩的年龄和地球化学	(56)
一、采样点地质概况和样品地球化学特征	(56)
二、主矿、东矿，菠萝头白云岩样品同位素年龄测定结果	(59)
(一) 全岩样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(59)
(二) 全岩样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(62)
(三) 全岩样品 Pb 同位素分析结果和 Pb-Pb 等时年龄	(64)
三、白云岩矿物样品同位素年龄测定结果	(65)
(一) Sm-Nd 年龄同位素数据	(65)
(二) Rb-Sr 年龄同位素数据	(66)
第二节 白云岩夹层（或包体）钠闪石岩的年龄和地球化学	(67)
一、白云岩夹层（或包体）钠闪石岩产出地质概况和样品主元素、微量元素组成	(67)
二、白云岩夹层（或包体）钠闪石岩样品同位素年龄测定结果	(70)
(一) 钠闪石岩矿物样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(70)
(二) 钠闪石岩矿物样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(71)
(三) 钠闪石岩矿物样品钠闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄同位素分析结果	(71)
三、钠闪石岩 Pb 同位素组成及其对岩石成因的限制	(73)
第三节 苏蒙图白云岩及其互层板岩的年龄和地球化学	(73)
一、采样点地质概况	(73)
二、苏蒙图白云岩及其互层板岩样品同位素年龄测定结果	(74)

(一) 全岩样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(74)
(二) 全岩样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(74)
(三) 钠闪石化长石石英砂岩锆英石 SHRIMP U-Pb 年龄	(76)
第四节 白云岩和铈-稀土-铁矿体的关系	(77)
一、主矿、东矿白云岩和铈-稀土-铁矿体的关系	(77)
二、西矿白云岩和铁矿体的关系	(80)
第六章 白云鄂博矿床赋矿岩石: 原划 H ₉ 板岩年龄和地球化学	(81)
第一节 H ₉ 板岩的分类、成因争论和年代学研究程度	(81)
第二节 H ₉ 富钾板岩年龄和地球化学	(82)
一、采样位置和样品地球化学特征	(82)
二、主矿、东矿富钾板岩样品同位素年龄测定结果	(85)
(一) 全岩样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(85)
(二) 全岩样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(86)
第三节 H ₉ 黑云母岩年龄和地球化学	(88)
一、采样位置和样品地球化学特征	(88)
二、主矿、东矿黑云母岩样品同位素年龄测定结果	(90)
(一) 全岩样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(90)
(二) 全岩样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(92)
第四节 H ₉ 暗色板岩年龄和地球化学	(93)
一、采样位置和样品地球化学特征	(93)
二、东矿暗色板岩样品同位素年龄测定结果	(96)
(一) 全岩样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(96)
(二) 全岩样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(97)
第五节 变质基性火山岩(黑云母板岩)年龄和地球化学	(98)
一、采样位置和样品地球化学特征	(98)
二、东矿东变质基性火山岩(黑云母板岩)样品同位素年龄测定结果	(101)
(一) 全岩样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(101)
(二) 全岩样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(102)
第六节 讨论: H ₉ 板岩成因及和主矿、东矿铈-稀土-铁矿、白云岩关系	(103)
一、H ₉ 板岩关系和成因	(103)
(一) 主元素、微量元素关系	(103)
(二) Sr、Nd 同位素特征	(104)
二、H ₉ 板岩——变质镁铁质火山岩形成环境	(107)
(一) 主元素组成反映的形成环境	(107)
(二) 微量元素组成反映的形成环境	(107)
(三) Nd、Sr 同位素组成反映的 H ₉ 板岩——变质镁铁质火山岩源区的特征	(110)
三、H ₉ 板岩与主矿、东矿铈-稀土-铁矿床关系	(110)
第七章 白云鄂博矿区地层岩石年龄和地球化学	(111)
第一节 白云鄂博矿区地层岩石组成、地球化学特征及其形成年龄的研究程度	(111)

一、白云鄂博矿区地层划分, 岩石组成及其主元素、微量元素特征	(111)
二、白云鄂博矿区地层年龄研究程度	(114)
第二节 白云鄂博矿区地层岩石样品同位素年龄测定结果	(115)
一、全岩样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(115)
二、全岩样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(117)
三、白云鄂博群 H ₄ 层位含长石石英砂岩锆英石 U-Pb 年龄	(120)
四、地层变质沉积岩样品 Pb 同位素组成和 Pb-Pb 等时年龄	(121)
第三节 白云鄂博矿区地层变质沉积岩的年龄及其与白云鄂博矿床的关系	(122)
一、色尔腾山群片麻岩的形成年龄	(122)
二、白云鄂博群的形成年龄	(122)
三、地层与白云鄂博矿床关系	(123)
(一) 主元素组成	(123)
(二) 微量元素特征	(123)
(三) Nd 同位素特征	(126)
(四) Sr 同位素特征	(128)
(五) Pb 同位素特征	(130)
第八章 白云鄂博矿区侵入岩: 辉长岩和花岗岩的年龄与地球化学	(133)
第一节 辉长岩的年龄和地球化学	(133)
一、采样点地质概况和样品岩石学特征	(133)
二、辉长岩同位素年龄测定结果	(133)
(一) 辉长岩全岩样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(133)
(二) 辉长岩矿物样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(134)
(三) 辉长岩全岩样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(135)
(四) 辉长岩锆英石 SHRIMP U-Pb 年龄数据	(136)
第二节 花岗岩的年龄和地球化学	(138)
一、采样点地质概况和样品地球化学特征	(138)
二、花岗岩样品同位素年龄测定结果	(140)
(一) 全岩样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(140)
(二) 全岩样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(142)
第三节 讨论: 辉长岩和花岗岩的年龄、成因及它们与白云鄂博矿床的关系	(143)
一、辉长岩和花岗岩的年龄	(143)
二、辉长岩和花岗岩的成因	(144)
三、辉长岩、花岗岩与白云鄂博矿床的关系	(146)
第九章 白云鄂博矿区侵入岩: 侵入地层碳酸岩脉年龄与地球化学	(148)
第一节 侵入碳酸岩脉研究概况	(148)
第二节 白云鄂博矿区侵入白云鄂博群长石石英砂岩碳酸岩脉样品同位素年龄 测定结果	(148)
一、采样点地质概况和样品地球化学特征	(148)
二、碳酸岩脉样品 Sm-Nd 年龄同位素数据	(153)

三、碳酸岩脉样品 Rb-Sr 年龄同位素数据	(155)
四、碳酸岩脉样品 Pb 同位素组成	(156)
第三节 侵入地层碳酸岩脉与白云鄂博矿床关系	(157)
一、侵入地层碳酸岩脉与白云鄂博矿床赋矿白云岩和铈-稀土-铁矿石具有相似主元素、微量元素组成	(157)
二、侵入地层碳酸岩脉与矿床主矿、东矿铈-稀土-铁矿石和赋矿白云岩形成于同一时期	(157)
三、侵入地层碳酸岩脉与矿床铈-稀土-铁矿石和赋矿白云岩样品具有类似 Nd 同位素组成	(158)
四、侵入地层碳酸岩脉与矿床铈-稀土-铁矿石和赋矿白云岩样品具有类似 Sr 同位素组成	(158)
五、侵入地层碳酸岩脉与矿床铈-稀土-铁矿石和赋矿白云岩样品具有类似 Pb 同位素组成	(158)
第十章 讨论：白云鄂博矿床的形成年龄和成因	(160)
第一节 白云鄂博矿床的形成年龄、被改造时间和白云鄂博群的形成年龄	(160)
一、白云鄂博矿床的形成年龄	(160)
二、白云鄂博矿床形成后遭受强烈地质作用时间	(174)
三、关于白云鄂博群的形成年龄	(174)
第二节 白云鄂博矿床物质源区	(174)
一、关于白云鄂博矿床物质源区的争论	(174)
二、成矿物质与地层正常沉积岩无关	(174)
三、成矿物质与侵入岩辉长岩、花岗岩无关	(175)
四、关于矿床的物质源区	(176)
五、关于铁矿 Fe 物质来源	(181)
第三节 矿床形成过程和环境：白云鄂博矿床可能是来自地幔深部地幔柱岩浆活动产物	(183)
一、矿化白云岩的岩浆岩特征	(183)
二、岩浆的分异作用	(185)
三、成矿过程中的交代作用	(188)
(一) 在铁矿上覆火山岩中的交代作用	(188)
(二) 在长石石英砂岩中的交代作用	(188)
(三) F 交代作用	(189)
四、关于矿床形成环境	(191)
第四节 白云鄂博矿床 S、O、C 同位素地球化学特征及其与矿床形成环境的关系	(195)
一、硫同位素地球化学特征	(195)
(一) 硫化物硫同位素特征	(195)
(二) 硫酸盐硫同位素特征	(195)
二、白云岩碳、氧同位素地球化学特征	(196)
第五节 关于西矿的形成过程及与主矿、东矿的差别	(200)
一、主矿、东矿铈-稀土-铁矿石、铈-稀土矿石和白云岩与西矿铈-稀土-铁矿石、铈-稀土矿石和白云岩具有相同物质源区	(200)
二、主矿、东矿铈-稀土-铁矿和白云岩与西矿铈-稀土-铁矿和白云岩具有不同形成年龄和	

不同形成过程 (202)

三、白云鄂博矿床不同时间形成矿段空间关系 (203)

结 论 (204)

参考文献 (206)

英文摘要 (212)

图版说明及图版 (222)

第一章 区域地质及矿床地质

白云鄂博矿床位于东经 109°57′，北纬 41°46′，包头市以北 150km 处。区域大地构造位于中朝克拉通华北陆块与蒙古-大兴安岭褶皱系的过渡带，总体上属于华北陆块北缘范围。《内蒙古自治区区域地质志》(1991) 将该区称做狼山-白云鄂博台缘拗陷。

第一节 地 层

区内出露的最老地层属古元古界色尔腾山群，主要由斜长绿泥片岩、石英黑云绿泥片岩、角闪斜长片麻岩及混合岩组成，分布在区域东北部(图 1-1)。

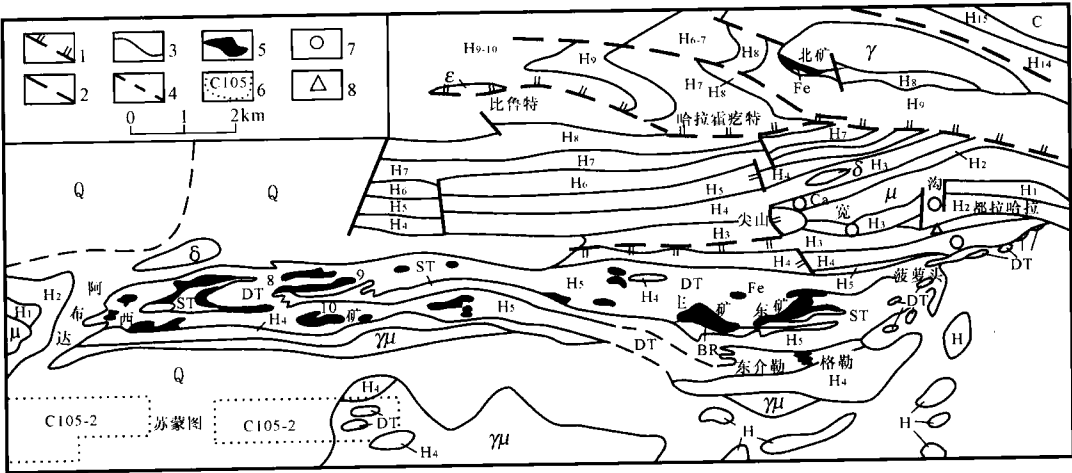


图 1-1 白云鄂博矿区地质略图

1—逆掩断层；2—推断断层；3—地质界线；4—推断地质界线；5—铁矿体及其编号；6—隐伏磁异常带；7—碳酸岩脉；8—灰岩。H₁~H₁₅—白云鄂博群（见表 1-1）；C—石炭系；Q—第四系；H—白云鄂博群残留体；DT—白云大理岩；ST—板岩；BR—黑云母岩；ε—变质超基性岩；μ—混合片麻岩；γ—花岗岩；γμ—混合岩化花岗岩；δ—中基性岩

Fig. 1-1 Schematic geological map of the Bayan obo ore district

1—Overthrust; 2—Inferred fault; 3—Geological boundaries; 4—Inferred geological boundaries; 5—Iron orebodies and their serial number; 6—Buried magnetic anomalies; 7—Carbonatitic veins; 8—Limestone lenses; H₁~H₁₅—Stratigraphy of the Bayan obo Group (in table 1-1); C—Carboniferous system; Q—Quaternary system; H—Relicts of the Bayan obo Group; DT—Dolomite marble; ST—Slate; BR—Biotite rock; ε—Meta-ultrabasic rock; μ—Migmatitic gneisses; γ—Granites; γμ—Migmatitic granites; δ—Basic-intermediate rocks

其上不整合覆盖中元古界白云鄂博群。据《内蒙古自治区区域地质志》，区域白云鄂博群厚逾万米，岩性以陆源碎屑砂泥质建造为主，夹有薄层碳酸盐沉积，包括 6 个岩组，

18 个岩段、可分出两个大的沉积旋回和 6 个次级沉积亚旋回（表 1-1）。从都拉哈拉组经尖山组、哈拉霍疙特组到比鲁特组构成第一大沉积旋回，是一长时期海进层序，沉积环境由三角洲—海滩（都拉哈拉组），经滨海（尖山组），再经滨海—浅海（哈拉霍疙特组）直至海水深度较大的浅海—半浅海（比鲁特组）。从白音宝拉格组到呼吉尔图组是第二大沉积旋回，是一较短时期的不完全的海退层序。白云鄂博群各岩组的岩性及厚度变化较大，钙质砂岩及砂质灰岩频繁出现而且相互过渡，说明海水沉积分异作用不完善或不充分，沉积物具有快速沉积特征。在比鲁特组沉积时期，由于海盆加深，沉积了厚达 2000 多米的半深海沉积并伴随着断裂活动及海盆边坡滑塌，形成了范围较广的浊流沉积及滑塌堆积岩。

表 1-1 白云鄂博群层序特征
Table 1-1 Stratigraphic sequence of the Bayan Obo Group

群	组	段	厚度/m	岩石组合
白云鄂博群	呼吉尔图组	H ₁₈	882	深灰色厚层角砾状灰岩、硅质灰岩、结晶灰岩夹灰黄色板岩，不等粒砂岩
		H ₁₇	406	深灰色变质不等粒石英砂岩夹钙质砂岩，顶部浅灰色砂质灰岩
		H ₁₆	410	深灰色粉砂质板岩夹石英砂岩和灰岩
		H ₁₅	280~335	灰绿色条带状-致密块状微晶闪石绿帘石岩，次闪石岩、阳起绿帘石岩夹石英岩，具枕状构造
		H ₁₄	45~256	灰白色、青灰色条带状结晶灰岩
	白音宝拉格组	H ₁₃	473	浅褐色不等粒变质石英砂岩、砂质板岩，下部为灰白色含砾粗砂岩
		H ₁₂	1584	暗灰色，灰绿色变质粉砂岩，含磷灰石、电气石板岩，硅质板岩夹一层大理岩
		H ₁₁	109	灰白色块状细粒石英岩，具波痕，交错层
	比鲁特组	H ₁₀	2340~2387	灰黑色含炭斑点板岩，红柱石斑点板岩夹深灰色变质粉砂岩、硅质灰岩，灰色蛇纹质砾岩、透闪石片岩、滑石片岩等滑塌堆积
		H ₉	161~428	暗灰色变质细粒石英砂岩夹深灰色板岩、粉砂岩
	哈拉霍疙特组	H ₈	272~593	灰色砂质灰岩、钙质石英砂岩、砂质板岩互层，含微古植物
		H ₇	406~453	灰褐色变质中粗粒长石石英砂岩与含炭粉砂质灰岩互层，夹钙质板岩
		H ₆	141~308	灰黄色变质中粗粒长石石英砂岩夹板岩、粉砂质灰岩
	尖山组	H ₅ ^①	178~1155	一般为灰黑色炭质板岩夹暗色石英砂岩及灰岩透镜体，厚 284m，在宽沟以南为白云质大理岩、铁矿层、长石板岩、黑云母板岩、斜长角闪石板岩等
		H ₄	168~193	暗灰色变质不等粒石英砂岩夹砂质泥板岩
	都拉哈拉组	H ₃	233~291	灰黑色炭质板岩、砂质板岩夹细砂岩、灰褐色炭质砂质灰岩
		H ₂	391~483	灰白色、浅灰色细粒石英岩夹含长石英岩，灰黑色变质粉砂岩
		H ₁	295	暗灰色含砾长石石英粗砂岩、细砾岩夹含砾石英岩

①H₅ 相当于李毓英（1959）的 H₅~H₆ 层位。

白云鄂博群的时代一直存在着不同认识。一些学者将其定为中元古代长城纪（梁玉左等，1992），另一些学者将其定为早寒武世（王东方等，1991），也有学者确定的时代为早

寒武世-早奥陶世(孙淑芬, 1992)。《内蒙古自治区区域地质志》(1991)将其定为中元古代。

白云鄂博铁-铌-稀土(Fe-Nb-REE)矿床赋存于区域南部白云鄂博群尖山组的上部, 具有独特的岩性和构造特征。矿区含矿白云大理岩和板岩在岩性上与区域其他地段白云鄂博群中的碳酸盐岩和板岩明显不同。这在后面有专门论述。

第二节 构造

白云鄂博地区构造地质图

在大地构造上,《内蒙古自治区区域地质志》称白云鄂博地区为拗拉谷,王楫等(1992)称之为白云鄂博裂谷带。上述区域地层岩性及沉积特征说明,白云鄂博海盆在发展中后期快速沉陷,沉降幅度近万米,具有拗拉谷构造特征。

白云鄂博矿区附近东西向紧密褶皱和断裂发育。褶皱构造由北而南依次为北矿背斜、文果坎果-比鲁特向斜、宽沟背斜、白云鄂博矿区向斜(白云向斜)、白云鄂博矿区南背斜、苏蒙图向斜和白云镇南背斜。宽沟背斜为区内最主要的褶皱构造,背斜向西倾伏,轴部出露古元古界色尔腾山群混合片麻岩和白云鄂博群 H_1 和 H_2 岩段,两翼为 H_3 和 H_4 岩段。

白云鄂博矿区向斜已为许多勘探剖面所证实,其轴长约 15km,西端翘起收敛闭合,东端南翼被花岗岩侵吞,中部倾斜较陡。东铁矿体及其下盘白云岩处于向斜北翼,向南倾,平均倾角 63° 。东介勒格铁矿体及白云岩处于向斜南翼,向北倾,倾角 73° 。向斜核部为长石板岩等。白云鄂博矿区向斜南翼白云岩的下盘见有暗色石英岩、暗色板岩及糜棱岩等 $H_4 \sim H_1$ 岩段地层。

区域及矿区断裂构造以东西向断裂及韧性剪切带为主,并产生若干次一级北东向和北西向断裂,主要有:

(1) 赛乌苏金矿区韧性剪切带。为东西向韧性剪切带及其附近的近东西向推覆构造。后者呈叠瓦式产出,断层面北倾,倾角 $10^\circ \sim 30^\circ$,由北而南呈现逆掩推覆的特点。

(2) 宽沟断裂。由冲断断层和韧性剪切带组成,其糜棱岩带宽 70~150m,沿断裂有辉绿岩、正长岩和碳酸岩等岩性脉体贯入。矿区厚达千米的含矿岩系在宽沟背斜北面未见出露,说明当时就有同生沉积断裂存在。

(3) 白云鄂博矿区向斜南逆冲断层和韧性剪切带。断裂带产生在含矿岩系与 H_4 岩段之间及 H_4 暗色石英岩中,从东介勒格南到西矿西端断续出露。在断裂带中有大量糜棱岩和板岩。该断裂存在。

(4) 北东向断裂。主要分布在矿区东部及东南部。北东向辉长岩体的延展反映了这一构造行迹。

(5) 北西向断裂。以乌兰宝力格深断裂为主,其两侧发育一系列平行的推覆断裂。

与成矿关系最密切的是宽沟断裂及其南翼的同生沉积断裂。它们导致宽沟背斜南翼同生断陷盆地的形成,从而控制了矿区含矿白云岩的沉积。该同生断陷盆地的北部地段下陷最深,向南逐渐变浅,相应北部地段的白云岩厚度最大,向南白云岩厚度逐渐减小。在东西向同生断陷盆地的基础上有可能存在次一级的南北向断陷盆地,表现为从东向西不同地段的白云岩厚度不同,而以东矿附近白云岩的沉积厚度最大。

王楫等(1992)认为,矿区白云岩东西延长 18km,南北宽 3~4km,呈狭长带状展

布，总体构成轴向东西的向斜构造。如果将矿区剖面平衡展开，该岩石可能呈圆形或椭圆形分布，反映出岩石形成时受筒状或环状构造控制。

第三节 岩 浆 岩

总体分布图

一、侵 入 岩

概述(193)

白云鄂博矿区的侵入岩以花岗岩类为主，呈岩基状大面积分布于白云鄂博矿区南部，其次是辉长岩类，呈小岩株和岩墙产出，此外还有各类中基性、碱性和酸性岩脉。

(一) 花岗岩

矿区花岗岩在矿区南面从东部接触带到西部阿布达皆有出露，与白云鄂博群呈侵入接触。岩体主体为中粗粒黑云母钾长花岗岩和二长花岗岩，块状构造，局部似斑状构造。岩石含石英 25%~30%，斜长石 20%~25% ($An = 15 \sim 25$)，微斜长石 32%~36% (有序度 0.9)，微斜条纹长石 5%~10%，黑云母 5%~8%。副矿物有磁铁矿、钛铁矿、独居石、磷灰石、锆石。细粒黑云母花岗岩属钾长-碱长花岗岩类，常呈脉状成群产在中粗粒花岗岩中，厚度由几米到几十米，岩石灰色，细粒等粒结构，块状构造。岩石含石英 30%~35%，斜长石 25%~30% ($An = 12 \sim 20$)，微斜长石 40%~45% (有序度 0.87)，其中，微斜条纹长石约 5%，黑云母 5%~6%。副矿物有钛铁矿、磁铁矿、独居石、锆石。花岗闪长岩见于矿区西北。岩石为中粒结构，含斜长石 45%~50% ($An = 31.35$)，正长微斜长石 15%~20% (有序度 0.77)，石英 20%~25%，角闪石 5%~10%，铁质黑云母 5%。副矿物有钛铁矿、磁铁矿、褐帘石、榍石、磷灰石、锆石。矿区内，花岗岩体与白云鄂博群砂泥质岩石接触处，在内接触带见有混染花岗岩。在与白云岩接触时，由于混染作用在内接触带常产出角闪石花岗岩、花岗正长岩及辉石正长岩等。岩石化学成分见表 1-2。

花岗岩的年龄和成因及与矿床关系本书后面有专门章节讨论。

表 1-2 白云鄂博矿区花岗岩和辉长岩的岩石化学成分 ($w_B/\%$)

Table 1-2 Chemical compositions of Granites and gabbroites in the Bayan Obo ore district

	中粗粒钾长花岗岩 ^① (6)	细粒碱长花岗岩 ^① (8)	花岗闪长岩 ^① (3)	辉长岩 ^②	碱性辉长岩 ^② (1)	淡辉长岩 ^② (1)	辉长闪长岩 ^② (1)
SiO ₂	74.67	73.27	66.07	49.19	48.03	47.86	50.31
TiO ₂	0.06	0.15	0.35	1.00	1.56	0.29	0.52
Al ₂ O ₃	13.03	13.45	16.15	16.01	18.25	24.17	16.36
Fe ₂ O ₃	0.71	1.42	4.64	2.74	5.00	2.04	4.01
FeO	0.68	1.47	3.58	8.94	7.01	4.11	5.23
MnO	0.05	0.07	0.08	0.18	0.22	0.10	0.16
MgO	0.29	0.32	1.69	5.86	4.06	4.46	6.34
CaO	0.46	0.97	3.75	11.06	7.68	12.97	11.41
Na ₂ O	3.80	3.58	3.43	2.85	3.67	1.90	2.53
K ₂ O	5.63	4.66	3.21	1.13	2.70	0.50	0.70
P ₂ O ₅	0.03	0.05	0.17	0.17	0.05	0.08	0.17
H ₂ O	—	—	—	1.10	1.25	1.10	1.36
总计	99.41	99.4	103.12	100.23	99.48	99.58	99.10

①据杨学明，1990，内部资料；②据中国科学院地球化学研究所，1988；括号内为样品数。

(二) 辉长岩 称早于花岗岩

辉长岩类也广泛出露于矿区及其附近，主要见于东部接触带以南，白云村到火车站附近，尖山南坡，以及西矿西北端等地。岩体主要呈小的岩株、岩墙及岩脉产出，明显穿切白云鄂博群又被花岗岩穿切。花岗岩基中的辉长岩呈捕虏体和残留体形式出现，由于受花岗岩浆作用影响，捕虏体中长石含量增多，出现石英，岩石具闪长岩或花岗闪长岩成分。辉长岩类岩石为灰黑色，暗绿色，中粒斑状结构，块状构造，斑晶主要为角闪石。岩石主要由斜长石，角闪石和辉石组成，其中碱性辉长岩含微斜长石，副矿物有磁铁矿、榍石、磷灰石及绿帘石等。

辉长岩类的岩石化学成分见表 1-2。按岩石化学成分，辉长岩可分为四类：①辉长岩；②碱性辉长岩；③淡色辉长岩；④辉长闪长岩。四类中辉长岩分布最广，碱性辉长岩约占辉长岩类总体的五分之一，辉长闪长岩多数出现于辉长岩体边缘，为辉长岩与花岗岩浆混染作用产物。

除上述花岗岩类及辉长岩类岩石外，区内尚见多种岩脉，包括辉绿岩脉、煌斑岩脉、正长岩脉、钠长岩脉、钠闪石岩脉、钠辉石或霓石岩脉、碳酸岩脉、闪长玢岩脉、细晶岩脉以及霏细岩脉等。这些岩脉的规模不大，分布不广，一般厚十多厘米到 1~2m，长数十米到百余米。

(三) 碳酸岩脉

区内的碳酸岩脉与主矿、东矿的含矿白云岩在岩性及含矿性上相似，有的岩脉稀土含量高，构成稀土矿体。研究碳酸岩脉对了解白云鄂博矿床成因有重要意义，已引起国内外学者的极大兴趣（白鸽等，1985；陶克捷等，1996；杨学明等，1998；Le Bas et al., 1992；杨晓勇等，2000）。

碳酸岩脉分布广泛，有数十条分布在宽沟背斜轴部及其两翼的 $H_1 \sim H_4$ 碎屑岩层中，在白云鄂博矿区向斜轴部及其南翼也有产出。碳酸岩脉的脉体走向与地层走向垂直或斜交，产状较陡，一般长 30~50m，最长 100m，脉宽 1~2m，薄者仅 0.4m，最宽达 17m。

碳酸岩脉的矿物组合与含矿白云岩大体相似。只是前者碳酸盐矿物多为方解石，后者多为白云石。在结构构造上，岩脉具中粗粒结构，局部具伟晶结构。岩脉具带状构造，以

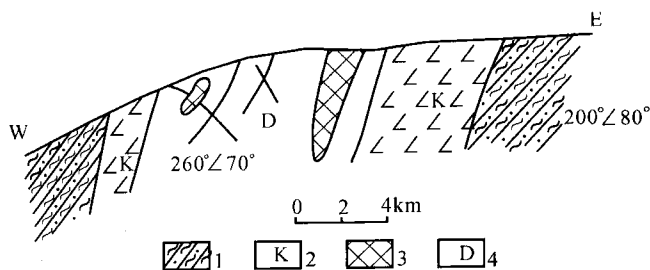


图 1-2 尖山东南坡碳酸岩脉地质剖面示意图

1—含砾石英岩及含砾长石英砂岩；2—微斜长石块体带；3—磁铁矿块体；4—碳酸岩块体带

Fig. 1-2 Schematic section of carbonatite vein at southeast slope Jianshan

1—Pebble-bearing Quartzite and feldspar-Quartz Sandstone; 2—Microcline mass zone;

3—Magnetite mass; 4—Carbonatite mass zone

尖山东南 H₁ 地层中的岩脉为例，脉的两侧为微斜长石带，中心为方解石带。中心带中不规则地分布着霓石和钠闪石集合体团块，以及磁铁矿集合体团块。有的大团块在方解石中心带中已构成独立的带（图 1-2）。岩脉两侧含砾长石石英砂岩及石英岩中发育着由钠闪石及以钠长石为主的霓长岩化蚀变带。

二、火 山 岩

白云鄂博群中的火山岩，研究程度很差，仅近十多年才有较多资料发表，而且还存在相当大的争论。20 世纪 80 年代孙未君等（1981）对产出于白云鄂博矿区向斜核部的 H₉ 富钾浅变质岩系的正常沉积成因提出了疑义，认为这套岩石是变质中酸性火山凝灰岩。20 世纪 90 年代，袁忠信等（1995）对白云鄂博矿区向斜核部的 H₉ 浅变质岩——斜长角闪板岩、暗色板岩、浅色板岩、富钾板岩、钾长石岩、黑云母岩进行了岩石学、矿物学和岩石化学成分的详细研究后指出，H₉ 地层岩石是一套呈互层状产出的粗面岩、流纹岩、流纹英安岩、变辉绿岩及少量掺杂其中的石英岩和白云大理岩。对白云鄂博矿床赋矿岩石——矿化白云大理岩的成因也有不同争论。

矿化白云大理岩东西向延展，长约 18km，南北最宽处约 1200m，构成矿区白云鄂博向斜南、北两翼。岩石层理清晰，与其下伏石英砂岩和砂质板岩间为清楚沉积接触，与上覆板岩也为沉积接触。在矿区西端西矿一带，白云大理岩与石英砂岩、钾长石岩、黑云母岩等呈互层产出，与可能为变质基性火山岩的黑云母岩互层。在中部，白云大理岩与板岩构成同步褶皱，延长逾 10km，组成矿区向斜构造。

矿区白云石大理岩，在不同地段岩石组成略有不同。中部主矿、东矿矿段，白云岩占 95%，灰岩约 5%。东部和西部矿段，白云岩约 70%，白云质灰岩约 20%，灰岩约 10%。苏蒙图矿段的东段主要为白云岩，西端主要为灰岩。白云大理岩的岩石化学成分列于表 1-3。

表 1-3 白云鄂博矿区白云大理岩的岩石化学成分

Table 1-3 Chemical compositions of the dolomite marble in the Bayan Obo ore district

取样地段	化 学 成 分 (w _B /%)													
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	F	S	REE ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅
西段 (12) ^①	12	0.7	2.6	16	1.4	12	27	1.1	0.6	0.57	1.56	1	1.78	0.1
中段 (15)	9	0.31	1.6	14	1.4	13	26.5	0.3	1.3	0.63	2.55	0.5	3.56	0.08
东段 (13)	10	0.26	2.1	15	1	12.5	26	1.2	0.3	1.66	0.9	0.15	2.7	0.12
苏蒙图 (6)	7.73	0.1	0.36	6.75	0.5	11.4	34.7	0.21	0.27	3.28	—	—	0.2	0.14
变化范围	2~27	0.04~	0.1~	8~25	0.5~	1~27	20.47	0.1~	0.1~	0.2~	0.1~	0.02~	0.1~	0.02~
(46)		2.57	5.0		3.3			3.5	3.5	5.0	17.0	5.0	5.0	1.00
平均 (46)	9.9	0.37	1.84	13.9	1.17	12.64	27.56	0.75	0.70	1.25	1.49	0.47	2.41	0.1

① 括号中数字为样品数。

按矿物粒度白云大理岩可分为粗晶白云大理岩和细晶白云大理岩两类。二者无明显界线。前者矿物粒度约 0.5~3mm，分布于主矿、东矿外围，直接与北侧石英砂岩接触。沿接触带出现大量由钠铁闪石和钠长石等组成的霓长岩，是碱性碳酸岩岩浆活动的又一证明。细晶白云大理岩，矿物粒度约 0.02~0.5mm，直接分布在铁矿体周围，与铁矿逐渐过渡。自形细晶白云石彼此紧密镶嵌，具三连晶结构。有的地段上，细晶白云石与粗晶白云石共同产出，可见细晶白云石围绕粗晶白云石分布。有的细晶白云石集合体呈粗晶白云石假象。