

白云鄂博矿床 地质特征和成因论证

白 鸽 袁忠信 等著

?

Nb. Fe. REE. P. F. C.

地 质 出 版 社

白云鄂博矿床 地质特征和成因论证

白 鸽 袁忠信 吴澄宇 著
张宗清 郑立嬗



地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

白云鄂博矿床是个超大型铁—铌—稀土矿床,其成因一直是中外地质学家争论的热点。本专著全面收集了国内外有关文献资料,结合作者 30 多年来的研究积累,重点阐述了矿床所处大地构造环境及其与白云鄂博裂谷发展演化的依存关系;全面系统地介绍了矿床地质及铌、稀土矿化特征;通过 8 种稳定同位素和包裹体成分研究及标型矿物对比,确定矿质来自地幔;以系统的钐—钕法测年资料为基础,结合矿体地质产状及其他 8 种同位素测年数据的分析对比,查明主要成矿时代是中元古代。总之,白云鄂博矿床是在白云鄂博裂谷发展演化时期,在地台边缘一个半封闭不对称海盆中,由富稀土和挥发的幔源流体长时间地喷溢而形成的。

本书图文并茂,并附有大量的数据和照片,可供广大构造地质、矿床地质、地球化学及岩石矿物专业人员和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

白云鄂博矿床地质特征和成因论证/白鸽等著. —北京:地质出版社,1996. 8
ISBN 7-116-02239-2

I. 白… II. 白… III. 矿床成因论—中国—白云鄂博 IV. P617.226

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 14529 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:渠洁瑜

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 印张:6.875 铜版图:2 页 字数:165 千

1996 年 8 月第一版·1996 年 8 月第一次印刷

印数:1—350 册 定价:13.00 元

ISBN 7-116-02239-2

P·1684

前 言

白云鄂博矿床位于我国内蒙古自治区中部,阴山山脉以北,南距包头市区 150km。行政区划属包头市白云矿区。地理坐标为东经 $109^{\circ}57'13''$,北纬 $41^{\circ}46'22''$ 。该矿床既是一个超大型铁—铌—稀土矿床(其稀土储量居世界已知矿床之首),又是一个矿物博物馆(首次发现的新矿物和新变种矿物竟达 16 种之多),且在矿床成因、地层时代和大地构造背景等诸方面存在着争议,故一直为中外地质学界同仁所关注,并相继云集本区勘查研究和旅游参观。

白云鄂博主铁矿体是丁道衡先生 1927 年首先发现的(丁道衡,1933);1935 年,何作霖先生在铁矿石中发现了稀土矿物,并定名为白云矿和鄂博矿(何作霖,1935),后查明为氟碳铈矿和独居石。黄春江先生 1944 年又发现了东铁矿和西铁矿群(黄春江,1946)。中华人民共和国成立后至 80 年代初,为适应国民经济建设的需要,在本区广泛开展了地质调查和矿产普查勘探工作,先后来此的单位有白云鄂博铁矿调查队(1950~1952),地质部 241 地质队(1953~1956)和 105 地质队(1963~1967),内蒙古地质局 205 地质队(1962)、102 地质队(1975)、第一区测队(1964~1972)和物探队;还有冶金工业部包头钢铁总公司 541 地质队(1963~1966)、西矿会战指挥部和第一地质队(1978~1983)以及内蒙古有色地质勘探公司(1984~1987)等。近年在本区进行地质调查工作的还有武警黄金部队第一总队十一支队和内蒙古地质矿产局区调队。他们先后对主矿、东矿、西矿群,东介勒格勒、菠萝头、苏木图矿段铁矿体,白云岩、富钾板岩和夕卡岩中的铁、铌、稀土进行了普查勘探和物质成分的研究;对北铁矿及赛乌苏金矿作了勘查评价;在矿区附近进行了 1:1 万、1:5 万和 1:20 万的地质填图及物化探工作。

与地质普查勘探工作相配合,到白云鄂博矿区进行过地质调查的科研单位及高等院校有中国科学院地质研究所(下称中科院地质所)、地球化学研究所(下称地化所);地质矿产部地质研究所(下称地矿部地质所)、矿床地质研究所(下称矿床所)、天津地质矿产研究所(下称天津地矿所)、沈阳地矿所、地质力学研究所(下称力学所)、内蒙古地矿局及其地质研究队和实验测试中心;冶金部天津地质研究院、有色金属工业总公司地质矿产研究院;核工业总局北京地质研究院及北京大学、中国地质大学、河北地质学院等单位。到白云鄂博矿区进行过地质调查的外国学者有日本人石井清彦、岩崎航介(1939)、远藤六郎、袁部龙一(1940);前苏联人 Г. А. Соколов、А. О. Онтоев、А. И. Тугаринов、И. В. Александров、Е. И. Семенов、А. Т. суслов(1958~1959)和欧美人 P. Henderson、M. J. LeBas、J. Keller、F. Wall、C. T. Wittiams、L. J. Drew、E. C. T. Chao、J. A. Minkin、J. M. Back、E. H. McKee、G. A. Gross,等等。最近几年,每年到白云鄂博矿区参观旅行的外国地质人员达数十人,因此该矿区是最受欢迎的地质旅游区之一。

作者等从 1963 年开始对白云鄂博矿区进行踏勘调查,1964 年 7 月首次在白陶(菠萝头)地段白云岩中找到了铌铁矿,年底又在东部接触带发现了新矿物褐铈铌矿(当时称为铈铌矿)。1965 年初提交了“白云鄂博白云岩中铌矿化特征”研究报告。该报告指出,白云鄂博

矿区白云岩中普遍存在铈稀土矿化,这是矿区重要的铈稀土矿石类型,从而引发了后来对白云岩和整个矿床成因的争论。1965~1966年参加了105地质队从事主东铁矿体内物质成分研究的会战工作。1975年赴矿区参加了关于白云鄂博群地层时代的讨论会,并做了进一步的调查(取样分析)工作。该调查首次确认铁矿上盘富钾板岩是粗面质火山岩,含矿岩系与宽沟北面的 H_8 和 H_9 岩段不能对比,提出白云鄂博矿床系“海相火山沉积稀有金属碳酸岩矿床”等新见解,并开创了对白云鄂博群中火山岩研究的先河(地质部地矿所稀有组,1977)。1983年测得矿区白云岩、铁矿石、碳酸岩脉的全岩铷—锶年龄属加里东期,锶初始值低,属幔源物质沉积;而宽沟以北 H_8 灰岩锶初始值高,属壳源物质沉积,并首次解释了白云岩碳氧同位素与典型岩浆碳酸岩的差异系幔源碳氧与海水碳氧混合所造成,这也揭示了由矿化中心(主、东矿)向矿化边缘成岩成矿物质递变的规律。1991年首次用钐—钕等时线法测定了白云岩和铁矿石的形成时代属中元古代,直接查明了层状稀土矿体的成矿时代与地层一致,属同生沉积。1991年获得地质行业基金会资助,到矿区又作了些补充调研工作,并与张宗清、蒋少涌等协作,对矿区含矿岩系作了系统的钐—钕同位素和硅同位素的取样分析,查明层状矿层(白云岩、铁矿层和碳酸岩脉)的钐—钕年龄为1300Ma左右,层状矿体中后期含矿细脉的钐—钕年龄为 $422\pm 18\text{Ma}$,含矿岩系硅同位素都为深源正值,一般地层的硅同位素都为壳源负值。1983年我们发表了“白云鄂博矿床成因分析”论文,1985年又发表了《碳酸岩地质及其矿产》专著。此后十多年来,我们和中外地质学家对白云鄂博矿床又做了大量的研究工作,特别是在矿床产出的区域地质环境、成矿物质来源、成矿时代和成矿机制等方面,都有明显的进展。许多新资料与我们提出的白云鄂博矿床系“海相火山沉积稀有金属碳酸岩”的世界创新见解极为一致;因此,在以往工作的基础上,结合大量新资料,对矿床地质、成矿时代、矿床成因、区域地质背景做了系统总结和论证。

最初大力支持我们从事白云鄂博矿床研究的是矿床学家、学部委员孟宪民先生。宋叔和学部委员和裴荣富研究员也极力支持,并给予了宝贵指导。在工作中,我们自始至终得到了包头钢铁公司矿山处、白云鄂博铁矿、内蒙古地矿局及有关地质队和研究所的支持和帮助。中科院地质所、贵阳地化所,冶金部天津地质研究院、有色金属工业总公司矿产地质研究院,北京大学地质系,地矿部天津地矿所等单位的同仁也与我们友好协作,文中引用了他们的许多宝贵资料,在此,对上述个人和单位表示深切的谢意。

白云鄂博矿床大而复杂,资料极其丰富;但是,由于我们水平有限,书中的不足之处,敬请批评指正。

目 录

前言

第一章 区域地质及矿区地质	(1)
第一节 区域地层及矿区地层	(1)
一、南部地台区地层	(1)
二、北部褶皱区地层	(3)
三、矿区地层	(3)
第二节 区域及矿区代表性侵入岩体	(13)
一、区域代表性侵入岩体	(13)
二、白云鄂博矿区侵入岩体	(19)
第三节 区域构造及矿区构造	(22)
第二章 矿床地质特征	(24)
第一节 矿床基本特征	(24)
第二节 矿段和矿体的展布	(24)
一、中部矿段	(24)
二、西部矿段	(26)
三、东部矿段	(27)
四、苏木图矿段(又称 C105-2 异常)	(29)
第三节 矿石类型及各类矿石的分布	(31)
一、铌稀土铁矿石	(31)
二、白云岩铌稀土矿石及白云岩铌矿石	(33)
三、硅酸盐岩铌稀土矿石	(33)
四、碳酸岩脉型铌稀土矿石	(36)
第四节 矿石的矿物组合及结构构造	(36)
一、矿石的矿物组合	(36)
二、矿石的结构构造	(39)
第五节 铌和稀土元素的赋存状态	(42)
第三章 含矿岩系物质来源探讨	(45)
第一节 简要回顾	(47)
第二节 含矿岩系的稳定同位素特征	(47)
一、硫同位素	(48)
二、锶同位素	(49)
三、硅同位素	(50)
四、钨同位素	(50)

五、氢同位素	(50)
六、铅同位素	(51)
七、氧同位素	(52)
八、碳同位素	(55)
第三节 含矿岩系矿物包裹体特征	(57)
一、矿物包裹体类型及形成温度	(57)
二、矿物包裹体化学成分及同位素组成	(58)
第四节 含矿岩系的原岩性质	(60)
一、含矿岩系的层位归属	(60)
二、白云岩特征(习惯称“H ₈ ”)及原岩恢复	(60)
三、铁矿上盘板岩(习惯称“H ₉ ”)特征及原岩恢复	(62)
第四章 矿床成矿时代	(68)
第一节 矿床成矿时代认识的回顾	(68)
第二节 各种同位素年龄数据的综合分析	(68)
一、钐—钐法测龄结果分析	(69)
二、钾—氩法和氩—氩法测龄结果分析	(78)
三、铀—钍—铅法测龄结果分析	(78)
四、铷—锶法和铯—钐法测龄结果分析	(80)
第三节 成矿时代的确定和区域地质热事件分析	(80)
一、成矿时代确定	(80)
二、地质热事件分析	(80)
第五章 成矿机制、成矿模式和找矿方向	(82)
第一节 层状含矿岩系是沉积地层不是侵入体	(82)
第二节 交代现象的分析	(82)
第三节 成岩成矿同生沉积的依据	(83)
一、含矿岩系层位的专属性	(83)
二、沉积成岩中心与矿化中心的统一性	(84)
三、矿石结构构造的同生沉积性	(84)
四、矿石类型的展布顺序	(86)
第四节 成矿机制和成矿模式	(87)
一、成矿环境	(87)
二、成矿机制和成矿模式	(87)
第五节 与国内外相似矿床对比及找矿方向	(89)
一、相似稀土矿床对比	(89)
二、找矿方向	(91)
结论	(93)
参考文献	(96)
英文摘要	(101)
图版说明及图版	(104)

第一章 区域地质及矿区地质

白云鄂博矿床位于包头市以北 150km 处,其大地构造位置,按槽—台学说,处于华北地台北缘与内蒙古大兴安岭褶皱系的衔接地带;按板块学说,则处于中朝板块北缘与古中亚洋板块的连接带。白云鄂博矿区北东二十余公里处就是这一构造分界线,即北纬 42°线附近由西向东川井—白云鄂博—布鲁台庙—镶黄旗—赤峰以东的断裂带,它也是一条重力梯度为 $-50 \times 10^{-5} \sim -45 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的线性异常带;因此白云鄂博矿床的区域地质特征就兼具两大构造单元的特点(图 1-1)。

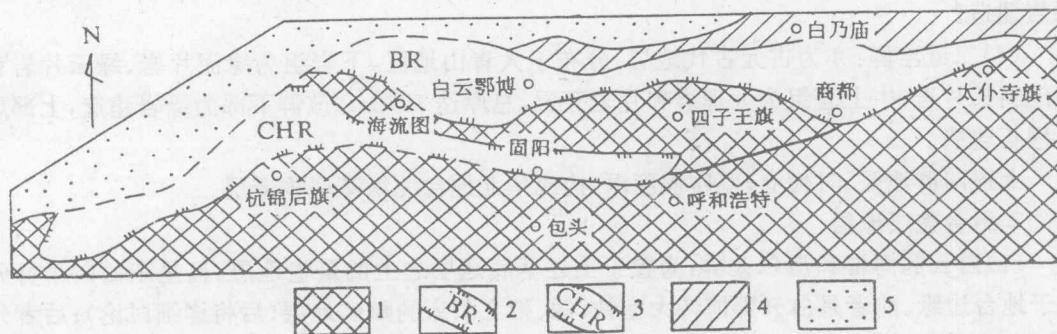


图 1-1 华北地台北缘西部构造示意图

(据王揖,1992;王荃,1991;聂凤军,1993 资料综合)

1—华北古陆块;2—白云鄂博裂谷带;3—渣尔太裂谷带;4—新元古—早古生代褶皱系;5—晚古生代褶皱系

Fig. 1-1 Schematic map showing the tectonics of the western part of the north margin of North China platform

(Data from Wang Ji, 1992; Wang Quan, 1991 and Nie Fengjun, 1993)

1—Huabei ancient land; 2—Bayan Obo rift zone; 3—Zhaertai rift zone; 4—Upper Proterozoic—lower Paleozoic fold system; 5—Upper Paleozoic fold system

第一节 区域地层及矿区地层

矿区外围区域地层性质明显分成南北两区,南部属地台区系统,北部属褶皱区系统,两者都呈三段结构式;但构造层的发育各具特色。

一、南部地台区地层

地台北缘地区地层的特点是太古宙及古元古代基底地层发育,中元古代有巨厚的裂谷性沉积,新元古代和古生代盖层地层分布不广,厚度薄,且缺志留—泥盆纪地层;中新生代地层多分布在一些陆相断陷盆地中。

1. 古老基底地层

(1)集宁群:台区最老的地层是下集宁群,分布于兴和、集宁和丰镇等地。岩性以麻粒岩为主,夹辉石斜长片麻岩和透辉磁铁石英岩等。上集宁群以夕线榴石片麻岩为主,夹含榴石浅粒岩和黑云斜长片麻岩等;主要分布于大青山和乌拉山地区。太古宙地层,其总厚度大于5692m,变质程度达麻粒岩相;原岩恢复为夹泥、砂及碳酸盐的中—基性火山岩建造,是华北地台初始陆核区之一。

(2)乌拉山群:为新太古代地层,其岩石组合为长石石英岩、透辉大理岩、石墨片麻岩、角闪斜长片麻岩、含石榴黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、透辉石岩和磁铁石英岩等。厚度大于4158m,分布于乌拉山、大青山、狼山、渣尔太等地。变质程度达高角闪岩相。原岩恢复属泥砂质碳酸盐建造、碎屑岩建造和中—基性火山岩建造,属陆核增生区。

(3)色尔腾山群:为古元古代地层,分布于狼山、色尔腾山北部和中部。岩石为混合岩化片麻岩、混合岩、残斑状片岩、硅铁质岩、角闪斜长片岩、次闪石岩、变粒岩和磁铁石英岩等,总厚达6038m。原岩恢复除沉积岩外,还有钙碱性火山岩、安山岩和玄武岩等。该群属典型的绿岩建造。

(4)二道洼群:亦为古元古代地层,分布于大青山地区,下岩组为绿泥片岩、绿云片岩和角闪斜长片岩;中上岩组为大理岩和片岩互层,总厚达1972m。该群下部为绿岩建造,上部属复理石建造。

上述四群地层,时代老,变质程度深,构成华北地台北缘基底构造层。

2. 地台盖层地层

(1)白云鄂博群和渣尔太群:为置于上述基底地层之上的最老地层,且呈东西向平行分布于地台边缘。前者是白云鄂博特大型铁、铌、稀土矿床的赋矿地层(后将详细讨论);后者分布于狼山、渣尔太山和武川一带,东西长350km,宽数公里到数十公里,出露厚度达3600m,由4个岩组构成。该地层由下而上依次为书记沟组(砂砾岩、石英岩、砂岩、粉砂岩夹碱性中基性火山岩)、增隆昌组(条带状灰岩、白云岩、板岩、长石石英砂岩)、阿古鲁沟组(碳质板岩、钙质板岩、粉砂质板岩、千枚岩、灰岩夹硫铅锌矿层)和刘洪湾组(绢云石英片岩、石英岩),含丰富的叠层石。变质程度属低绿片岩相。时代属中元古代。

(2)什那干群:零星分布于武川及色尔腾山一带。主要岩性为燧石条带或硅质条带的白云岩、硅质白云质灰岩夹砂岩、页岩和底部铁锰质页岩,厚约1000m,是含丰富叠层石的新元古代地层。

(3)古生代地层:仅分布于大青山和大余太等地。寒武系和奥陶系出露齐全,下部为碎屑岩建造,上部为碳酸盐建造,总厚1000~1200m。志留系和泥盆系缺失,石炭系和二叠系为陆相碎屑岩含煤建造,沉积厚度变化较大。

中新元古代时期,地台基底尚不稳定,故在地台边缘沉积的第一个盖层属裂谷性质的白云鄂博群和渣尔太群。什那干群以后,属典型的地台型沉积,与华北地台其他地区地层完全可以对比。

3. 断陷盆地沉积地层

中、新生代属滨太平洋大陆边缘活动阶段,形成许多大、小断陷盆地,其地层以陆相碎屑岩含煤建造、湖相含石膏碳酸盐建造为主。上侏罗统白女羊盘组主要为陆相玄武岩和安山岩、流纹凝灰岩火山岩建造,最厚达3910m。第三系中新统有汉诺坝玄武岩,表明受滨太平洋

构造活化的影响。

二、北部褶皱区地层

北部褶皱区前寒武纪地层在一些古地体碎片中产出,分布零星。古生代地层发育齐全,有海相碎屑岩、碳酸盐和火山岩建造,前石炭纪地层多变形、变质。中—新生代地层属断陷盆地沉积建造。

1. 前寒武纪地层

北区前寒武纪地层主要见于一些古地体中,如狼山北侧的宝音图群和四子王旗北部的爱力格庙群。宝音图群岩石组合为石英岩、榴石云英片岩、大理岩、角闪变粒岩和片麻岩等,总厚大于7664m。爱力格庙群岩石组合上部为大理岩夹绢英片岩、变质晶屑凝灰岩和石英砂岩;下部为大理岩与变质流纹岩、凝灰岩互层,夹变质石英砂岩,厚度达2362m。近年聂凤军等(1993)在白乃庙地区测得白银都西群变质沉积岩系的钐—钕模式年龄为990~1763Ma;白乃庙群残斑阳起斜长片岩锆石铀—铅不一致线四点等时线年龄,下交点为381.513Ma,上交点为1130.513Ma;温都尔庙群花岗斑岩中长石铅同位素年龄为772~1236Ma。从而确定白银都西群和白乃庙群皆属中元古代,温都尔庙群属新元古代,并在紧靠地台北缘划出了一条中、新元古代褶皱带。

2. 古生代地层

该地层在褶皱区发育齐全。其中包尔汉图群的玄武岩、英安质熔岩、凝灰质砂岩、火山碎屑岩及硅质泥质岩石等属岛弧型沉积;志留系和泥盆系岩石组合多为海相碎屑岩、碳酸盐建造,属弧后盆地和洋盆聚合期沉积;石炭—二叠纪巨厚的火山—沉积岩建造,代表洋盆聚合后再次拉张的裂谷性沉积。古生代地层总厚近两千米。

3. 中、新生代地层

中生界仅发育陆相碎屑岩、火山岩含煤建造,厚度大于5000m。新生界第三系发育齐全,分布广泛,主要为湖相泥岩、碎屑岩夹碳酸盐建造,含石膏、天青石和丰富的哺乳动物化石,总厚300m;第四系为冰碛、冲洪积、残积和风积的产物,局部有盐碱矿化。上更新统见有玄武岩喷溢,表明受滨太平洋构造活动影响出现的断陷盆地和火山盆地沉积建造特色。

三、矿区地层

矿区出露的地层有色尔腾山群和白云鄂博群。前者分布在宽沟背斜东段(图1—2),位于白云鄂博群之下,与后者呈不整合接触。色尔腾山群岩石的片理产状为 $5^{\circ}\angle 85^{\circ}$,白云鄂博群 H_1 砂砾岩的产状为 $155^{\circ}\angle 48^{\circ}$ 。色尔腾山群岩石有黑云石英片岩、角闪斜长片麻岩、变粒岩及硅化灰岩等。取自侵入该岩系的片麻状花岗岩中的锆石铀—铅法年龄为 $1996.7 \pm 5.5\text{Ma}$ (王楫,1992)。

1. 白云鄂博群地层特征

该群厚万余米,据1991年出版的《内蒙古自治区区域地质志》所列包括6个岩组,18个岩段(表1—1),还包含两个大的沉积旋回,6个次级沉积旋回和多个沉积韵律及若干火山岩层。第一个大旋回自都拉哈拉组到比鲁特组,是矿区主要出露地层,也是白云鄂博群的主体;其沉积环境依次为河流相、滨海相、浅海相、次深海相。第二个沉积大旋回自白音宝拉格组到呼吉尔图组,沉积环境由浅海相退为滨海相。各组基本特征为:

(1)都拉哈拉组:为白云鄂博群底部岩组,包括 H_1 — H_3 三个岩段,以碎屑岩为主。 H_1 为砾岩、含砾长石砂岩, H_2 为石英岩, H_3 为黑色板岩、砂质灰岩;总厚大于千米。岩石化学成分

及微量元素含量见表 1—2 和表 1—3。岩层斜层理和交错层发育,反映出都拉哈拉组是在基底隆起背景上,发生引张断裂形成地堑式快速堆积,构成河流三角洲砂砾岩到滨海砂岩、泥页岩组合,形成白云鄂博群第一个亚旋回。

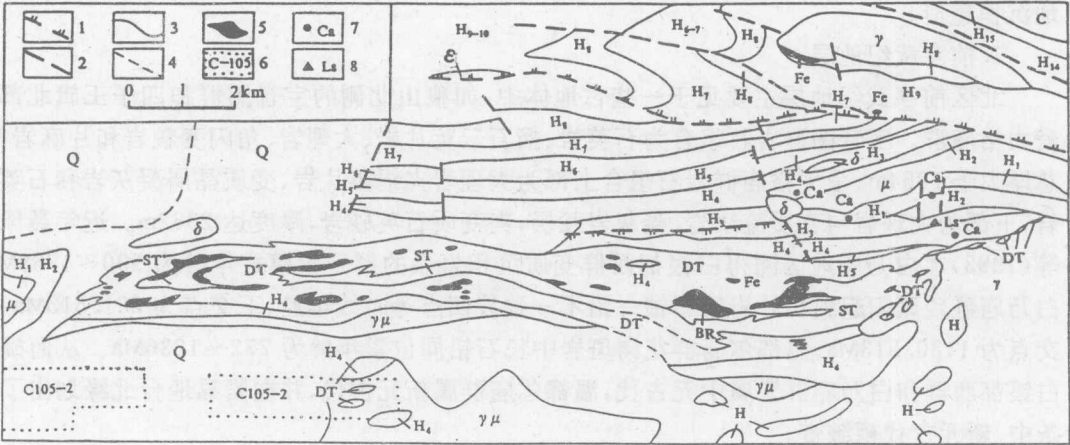


图 1—2 白云鄂博矿区地质示意图
(据地质部 241 地质队 1955 年资料)

1—逆掩断层;2—推断断层;3—地质界限;4—推断地质界限;5—铁矿体;6—隐伏磁异常带;7—碳酸岩脉;8—灰岩。H₁—H₁₅—白云鄂博群岩段代号(见表 1—1);C—石炭系火山岩;H—白云鄂博群硅铝质岩残留体;DT—白云岩;ST—板岩;BR—黑云母岩;ε—变质超基性岩;μ—色尔腾山群混合片麻岩;γ—花岗岩;γμ—混合岩化花岗岩;δ—中基性岩

Fig. 1—2 Schematic geological map of Bayan Obo ore deposit
(Data from the No. 241 Geological Team of MGMR, 1955)

1—Overthrust;2—Inferred fault;3—Geological boundaries;4—Inferred geological boundaries;5—Iron orebodies;6—Buried magnetic anomalies;7—Carbonatite veins;8—Limestone lenses. H₁—Coarse-grained quartzite;H₂—Light quartzite;H₃—Dark slate;H₄—Dark quartzite;H₅—Dark slate;H₆—Light quartzite;H₇—Siliceous limestone interbedded with quartzite;H₈—Limestone;H₉—Siltstone and slate;H₁₄—Limestone;H₁₅—Uralite-epidosite;C—Carboniferous;H—Relicts of slate and quartzite;DT—Dolomite ores;ST—Mineralized slate;BR—Mineralized biotite rock;ε—Meta-ultrabasic rocks;μ—Migmatitic gneisses;γ—Granites;γμ—Migmatitic granites;δ—Basic-intermediate rocks

(2)尖山组:为紧接都拉哈拉组之后沉积且为白云鄂博群中的一个重要岩组。该组在多数地区是由碎屑岩(H₄石英砂岩)、泥质岩夹灰岩(H₅)组成,厚度为 450~500m,灰岩中有叠层石(在熊包子);属滨海—浅海相沉积,为白云鄂博群第二个亚旋回。白云鄂博矿区西南 50km 处布龙土磷矿区的尖山组为含磷建造,共分三段:J¹ 为铁锰质板岩夹砂岩,厚 862m,产有第 I 含磷层;J² 为长石石英砂岩夹板岩,厚 795m;产有第 II 含磷层;J³ 为砂质灰岩、板岩夹砂岩,厚 390m,产有第 III 含磷层。其总厚为 2047m。近年来,王楫(1986)、张鹏远(1991)等把白云鄂博矿区含铁、铌、稀土的含矿岩系划归 H₅(将另行讨论)。

(3)哈拉霍疙特组:本组由 H₆—H₈ 三个岩段组成,厚度为 819~1354m,为碎屑岩—碳酸盐建造。H₆ 为砂砾岩段,H₇ 为砂质灰岩段,H₈ 为灰岩段。碳酸盐岩层占全组厚度的一半,其

次是碎屑岩、泥页岩,约占 15%,构成第三个沉积亚旋回。碳酸盐岩中,以灰岩为主,部分为白云质灰岩,砂泥质、炭质成分较高, SiO_2 含量为 4.68%~32.86%, Al_2O_3 为 0.71%~5.6% (表 1—2)。岩石层理较薄,有小型斜层理、包卷层理、槽状交错层,并有水下滑坡同生沉积构造,显示具浊流沉积的特征。

表 1—1 白云鄂博群地层表

Table 1—1 Stratigraphy of Bayan Obo group

群	组	段	厚度(m)	岩石组合	火山建造
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	中—基性火山岩
		H ₁₇	406	深灰色变质不等粒石英砂岩夹钙质砂岩,顶部为浅灰色砂质灰岩	
		H ₁₆	410	深灰色粉砂质板岩夹石英砂岩和灰岩	
		H ₁₅	280~335	灰绿色条带状一致密块状微晶闪绿帘石岩、次闪石岩、阳起绿帘石岩夹石英岩,见枕状构造	
		H ₁₄	45~256	灰白、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、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,具波痕和交错层	
	比鲁特组	H ₁₀	2340~2387	灰黑色含碳斑点板岩、红柱石斑点板岩夹深灰色变质粉砂岩、硅质灰岩及灰色蛇纹质砾岩、透闪石片岩、滑石片岩等滑塌堆积	蛇纹质角砾混杂岩
		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	海相喷溢碱—基性火山岩、碳酸岩
		H ₇	406~453	灰褐色变质中粗粒长石石英砂岩与含碳粉砂质灰岩互层,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	178~1155	一般为灰黑色碳质板岩夹暗色石英砂岩及灰岩透镜体,厚 284m,在宽沟南为白云岩、铁矿层、长石板岩、黑云母板岩、斜长角闪板岩	
		H ₄	168~193	暗灰、深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	灰黑色碳质板岩、砂质板岩夹细砂岩,灰褐色碳质砂质灰岩	
		H ₂	391~483	灰白、浅灰色细粒石英岩夹含长石石英岩,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	

(4)比鲁特组:由 H₉ 和 H₁₀两岩段构成,厚度为 2500~2800m,占全群总厚度的 1/4~1/3;岩组以泥页岩为主,占 88%,细碎屑岩占 12%,多斑点板岩、红柱石板岩和红黑色交替板岩,可能属深海沉积物。本组最为特征的标志是有一层厚约 130m 的滑塌堆积砾岩(李继亮等,1981;王楫等,1989)。该砾岩由两类角砾岩构成,下部(南侧)由泥板岩、硅质板岩和灰岩角砾组成,角砾上可见到原始沉积细层纹理的塑性变形;上部(北侧)为辉橄岩、蛇纹石化透

表 1—2 矿区宽沟白云鄂博群沉积岩化学成分(%)
Table 1—2 Chemical compositions of sedimentary rocks of Bayan Obo group in the north of Kuangou
in the ore district

序号	岩石名称	层位	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO (BaO)	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	灼失量	总计
1	碳质泥板岩	H ₉	64.39	0.48	15.51	3.14	0.73	0.06	3.87	0.37	0.11	0.08	5.66	0.10	5.69	100.18
2	石英砂岩	H ₉	87.26	0.14	5.46	2.60	0.79	0.02	0.37	0.13	0.01	0.05	1.67	0.10	1.68	100.28
3	薄层灰岩	H ₈	14.65	0.00	0.80	0.75	0.23	0.04	1.00	44.94	0.03	0.14	0.29	0.09	37.02	99.98
4	厚层灰岩	H ₈	7.25	0.00	0.95	0.54	0.13	0.04	1.03	49.70	—	0.08	0.14	0.09	40.15	100.10
5	泥质灰岩	H ₇	10.42	0.03	0.40	0.39	0.24	0.07	0.55	48.33	0.03	0.06	0.22	0.04	39.58	100.36
6	灰色石英岩	H ₆	83.39	0.00	1.57	1.13	0.69	0.05	2.48	4.11	0.06	0.02	0.75	0.05	6.30	100.60
7	暗色板岩	H ₅	72.28	0.57	12.93	3.99	0.52	0.03	0.95	0.01	0.07	0.76	3.98	0.11	3.83	100.03
8	黑色石英岩	H ₄	92.08	0.11	3.09	1.42	0.22	0.23	0.35	0.00	0.01	0.06	1.52	0.09	0.81	99.99
9	砂质灰岩	H ₃	16.47	0.10	1.72	0.17	0.52	0.34	0.46	44.48	—	0.08	0.48	0.03	34.69	99.54
10	碳质板岩	H ₃	70.47	0.60	14.26	1.97	0.27	0.03	1.04	0.02	0.04	0.23	3.89	0.11	6.74	99.67
11	白色石英岩	H ₂	97.51	0.03	0.97	0.11	0.50	0.08	0.30	0.18	—	0.15	0.30	0.08	0.30	100.51
12	细粒长石砂岩	H ₁	86.84	0.42	4.44	0.90	0.44	0.13	0.12	1.21	—	0.40	3.05	0.13	0.64	98.72

注:序号 11、12 引自中科院地化所 1988 年资料。

表 1—3 矿区白云鄂博群岩石微量元素含量(10⁻⁴)
Table 1—3 Minor element contents of rocks of Bayan Obo group in the ore district

层位	岩性	样品数 (个)	Ba	Sr	Nb (Ta)	Zr	Li	Rb	Be	Pb	Ga	Zn	Bi	V	Cr	Sn	Ni	Co	Cu	REE
H ₉	板岩	16	968	146	15	155	23	147	2	35	9	68	25	109	90	9	18	3	187	125
H ₈	灰岩	12	746	160	12	18	10	31	1	7.5	1	17	—	17	19	9	5	1	161	92
H ₇	灰岩	5	430	184	14	54	8	23	1	12	2	20	1	26	22	2	6	4	41	40
H ₆	石英砂岩	10	824	318	13	147	15	69	5	36	3.3	30	5	37	18	2	8	3	110	50
H ₅	板岩	7	703	248	21	158	23	142	1	9	8	18	—	93	103	1	20	3	162	71
H ₄	石英砂岩	11	618	166	18	174	13	38	2	7	1	27	6	31	23	—	22	2	140	109
H ₃	板岩	8	1634	172	30	289	16	35	2	19	12	痕	6	127	105	5	19	5	204	162
H ₂	石英砂岩	10	591	55	14	117	12	22	1	3	3	痕	—	26	25	6	7	1	188	—
H ₁	石英砂岩	10	1208	106	16	159	14	63	1	33	4	23	—	58	38	7	7	—	142	122

注:引自中科院地化所 1988 年资料。

闪片岩、滑石绿泥片岩角砾,并夹有灰岩和页岩角砾等。粉砂岩、板岩中发育有水平细纹层、微细斜层理,具沟膜、槽膜、砂枕等构造,显示裂隙较深、海底地貌差异较大而形成的滑塌堆积和浊流沉积。

(5)白音宝拉格组:厚达 2166m,包括 H_{11} — H_{13} 三个岩性段,以碎屑岩、泥页岩为主。下岩段砂粒磨圆度高,分选性好;上岩段略差。岩石以中厚层状为主,水平层理发育,有小型斜层理和交错层,呈现由浅海向滨海过渡环境,属白云鄂博群第二大旋回(海退旋回)中的第一个亚旋回。

(6)呼吉尔图组:为白云鄂博群最上部的岩组,由五个岩性段组成,总厚达 2078m。其中碳酸盐岩(H_{14} 、 H_{18} 岩段)占全组厚度的 38%;其次为泥页岩和碎屑岩(H_{16} 、 H_{17} 岩段),占 47%;次闪绿帘岩(原岩恢复为中基性火山岩)占 15%。砂岩粒度细,分选性好。碳酸盐岩多为含叠层石的鲕状灰岩。岩组的岩层厚度中等,具小型斜层理和槽状层理以及龟裂纹和同生碎屑构造等;属滨海岸带沉积相。

宽沟北白云鄂博群沉积岩的岩石化学成分与一般相应的沉积岩一致, $Fe_2O_3 > FeO$, $K_2O > Na_2O$,微量元素含量与维诺格拉多夫沉积岩中平均含量对比,本区沉积地层中高于沉积岩中平均值的仅有钡和铜,近于平均值的有铈(镓)锆和稀土元素,其他元素多低于沉积岩中的平均值(表 1-2、表 1-3)。

2. 白云鄂博群的时代

该群的时代一直存在着争议,其变化沿革见表 1-4。早期调研人员把他划归震旦纪,1957 年杨杰在白云鄂博地层的 S_6 — S_7 岩段中鉴定出管状珊瑚,定为奥陶—志留纪。1960 年,前苏联科学院研究队根据全岩铅同位素年龄为 15.5Ma 而定为相当渚沱纪;内蒙古地质局区调一队在地填 1:20 万白云鄂博幅地质图时,在 H_8 岩段中发现“蜂巢珊瑚”等,定其时代为寒武—早志留世;但 1975 年吴冰等又将“蜂巢珊瑚”否定。1989 年王楫、梁玉左等根据叠层石及古植物化石和同位素年龄及地层对比定为中元古宙长城纪。王东方等(1990)根据小壳虫化石和同位素资料定为早寒武世。张鹏远(1991)、孙淑芬(1992)在 H_8 岩段中发现床板珊瑚和海绵类化石,在 H_3 和 H_5 岩段中发现若干小壳类动物化石和微古植物化石 14 属 46 种,确定其时代为早寒武世—早奥陶世。梁玉左(1992)把 H_8 灰岩中“珊瑚化石”又改定为微小型叠层石,时代属前寒武纪。易善锋 1993 年 11 月 15 日在《中国科学》报上发表文章,认为王东方的小壳化石属“假化石”。三十多年来,地层学家和古生物学家在白云鄂博群中对化石的寻找和鉴定做了大量的工作,但从已发表的化石资料看,“珊瑚化石”几次反复,真假未定。对小壳虫化石和微古植物化石多为浸渍产物存在很大争议。叠层石种属少,数量不丰,更难以作为确定时代的依据;因此到目前为止,已有的“化石”资料尚不足以确定白云鄂博群的时代。

从 1960 年开始,陆续发表了白云鄂博群中许多同位素测龄资料,尤以铁—铈—稀土含矿岩系的资料最为丰富,这将在后面讨论。这里仅列出了非含矿岩系中的一些数据(表 1-5)加以分析。用于测定非含矿地层的同位素方法有五种,其中钾—氩法四件, $t = 272.6(H_3) \sim 607.9(H_{10})$ Ma;铷—锶法五组, $t = 353 \pm 30 \sim 753.99 + 42.28$ Ma,众数为 700Ma 左右;铀—铅、钍—铅和铅—铅法八组,其中多数数据显中新元古代值,少量数据显古元古代以前的信息,部分显示古生代放射性组分的加入;最近张宗清(1994)对北矿附近 H_9 岩段所作钐—钕等时线年龄亦属中元古代。

从地层对比看,白云鄂博群与渣尔太群是同时代的相似建造,他们的底部都直接盖在古元古代地层之上,而其上覆地层除少量上古生界以外,与之关系较密切的还有相当于蓟县系的什那干群和腮林忽洞组,后者与白云鄂博群同在毛忽洞大沟南侧产出;其间接接触关系虽不能确定,但可确定腮林忽洞组下伏地层是古元古代的变质岩系。白云鄂博群是浅变质、轻变形岩石,而腮林忽洞组是未变质的地台型盖层沉积,结合后面第四章白云鄂博矿床主要成矿时代为中元古代的情况,可确定白云鄂博群应属中新元古代地层。

表 1—4 白云鄂博群地层时代沿革表
Table 1—4 Research history of stratigraphic time of Bayan Obo group

研究者或单位,年份	厘定时代	地层名称
丁道衡,1993 何作霖,1935 严坤元,1950~1954	震旦纪	
李毓英,1955 杨杰,1957	古元古代 奥陶—志留纪	白云鄂博系
中苏科学院合作研究队,1958~1960 内蒙古地质局 105 地质队,1963~1966 内蒙古地质局区测一队,1964~1971 华北地层表办公室,1975 张允平等,1986 中科院地化所,1988 王楫等,1989 王东方,1990	古元古代 元古宙 奥陶—寒武纪 元古宙 新元古代—寒武纪 中新元古代 长城纪 早寒武世	白云鄂博群
张鹏远等,1991	早中奥陶世 早寒武世	查干楚鲁群 白云鄂博群
《内蒙古区域地质志》编写组,1991	中元古代	白云鄂博群

3. 白云鄂博群中的火山岩和堆积岩

1977 年,笔者首先提出,白云鄂博群中有火山岩,并认为含矿岩系的白云岩为海相火山沉积稀有金属碳酸岩,铁矿上盘的富钾板岩为粗面凝灰岩;随后在东矿以东及西矿地段,周振玲等(1980)、李继亮(1982)和中科院地化所(1988)均报道发现有辉绿岩、酸性火山岩等,这在第三章中将作详细介绍。除上述厚含千余米的含矿岩系属火山岩系外,在呼吉尔图组、比鲁特组和尖山组中,也有火山岩和堆积岩的存在。

(1)呼吉尔图组 H₁₅岩段中的次闪绿帘石岩:层位稳定,分布广泛,厚达 335m。岩石呈灰绿色,具隐晶—微晶结构,纤状、柱状变晶结构及条带状、块状、枕状构造。其矿物成分为绿帘石、次闪石、阳起石、钠长石、石英、绢云母;其岩石成分以次闪绿帘石岩为主,其次为阳起绿帘石岩、次闪石岩等。岩石化学成分列于表 1—6。由该表可见 SiO₂ 含量为 47%~65%,众数为 50%,在尼格里图解中全投在火成岩区,在邱家驷火山岩名称及酸碱度组合图解中,多数

表 1-5 白云鄂博群同位素年龄数据 (Ma)

Table 1-5 Isotopic ages of Bayan Obo group (Ma)

测试方法	样号	取样地点及层位	样品名称	测试结果					资料来源
				U-Pb 一致线	U-Pb 谐和图	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	φ 值	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
铀—铅法和铅—铅法	5地 T-2 2022/7	白音宝拉格, H ₁₂ 布鲁特, H ₁₀	硅化泥灰岩 灰岩			1425±88.9		440 785	1787 1154
		主矿西北 3.5km, H ₈ 北矿附近, H ₈	碳质灰岩 大理岩		1529.4		971.9	401.32 1249.21	1535 2374
		宽沟以北, H ₇	泥质灰岩			1480.4±37.5			1713
	49-67(5件) 91-95(4件) 102-106(4件)	宽沟北尖山, H ₃	暗色板岩	t_1 1675 (n=5) 0	3604 (n=3)	异常铅	(Pb-Pb 等时线)		
		宽沟南, H ₃ (东段) 宽沟南, H ₃ (西段)	暗色板岩 暗色板岩	2663 (n=3) 3035 (n=5) 8	1648 (n=5) 2540 (n=5)	2663 (n=3) 3594 (n=3)	4432 (n=14)		中科院地化所, 1988
铷—锶法	T8401(7件) 49-67(9件) 91-95(5件) 96-106(5件)	呼吉尔图组, H ₁₅	次闪绿帘石岩	$^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ 0.7241			等时线	t 353±30	刁乃昌, 1990
		白云北加水站, H ₁₀	暗色板岩				模式	552.9±96.65	王楷, 1989
		宽沟北尖山东西, H ₃ 宽沟南, H ₃ (东段) 宽沟南, H ₃ (西段)	暗色板岩 暗色板岩 暗色板岩	0.7229 0.7079 0.7253			等时线 等时线 等时线	753.99±42.28 749.60±62.11 685.91±24.12	成忠礼等, 1983
		哈特布齐, H ₁₀ 布鲁特, H ₀ 宽沟北, H ₃ 东矿东北, H ₄ (?)	暗色板岩 云母橄榄岩 暗色板岩 暗色板岩	t t t t					刁乃昌, 1990
钐—钕法	T8429 T43-1 T-10 45/1	北矿附近, H ₉	板岩	中新元古代					中科院地化所, 1988 张宗清, 1994

注: n 为样品数, 下同。

表 1-6 白云鄂博群中火山岩和堆积岩化学成分(%)

Table 1-6 Chemical compositions (%) of volcanic rocks and cumulates of Bayan Obo group

赋存层位		呼吉尔图组 H ₁₅ 岩段					比鲁特组 H ₁₀ 岩段中蛇纹质滑塌堆积					尖山组				
岩石名称		次闪绿帘石岩					胶结物		角 砾			堆积辉长岩类				
样号		76	77	WL ₂	WL ₃	WL ₄	B ₁₀	B ₂₇	B ₁₃	B ₁₄	B ₂₁	B ₇₉	P ₅₋₂₁	P ₅₋₂₂	B ₁₃₆₋₁	
化学成分		SiO ₂	65.58	57.22	50.92	47.02	50.58	51.35	41.97	44.84	45.86	41.26	44.22	44.52	46.28	44.76
		TiO ₂	0.42	0.54	0.69	0.74	1.02	痕	—	—	—	—	0.08	0.22	0.56	0.04
		Al ₂ O ₃	17.62	13.30	12.51	13.05	9.88	6.84	1.90	3.64	3.38	2.69	2.03	19.64	17.27	32.11
		Fe ₂ O ₃	2.09	3.54	3.47	6.09	3.21	0.11	2.60	1.60	2.88	0.47	1.18	0.60	1.72	0.15
		FeO	3.44	2.81	6.04	3.69	6.39	6.72	3.86	3.39	2.85	7.27	5.14	7.46	6.47	1.14
		MnO	0.05	0.12	0.24	0.20	0.23	0.16	0.12	0.04	0.05	0.10	0.06	0.11	0.13	0.02
		MgO	1.07	3.34	9.37	16.84	11.01	28.67	36.68	35.24	34.99	36.90	35.00	11.70	9.22	1.70
		CaO	2.47	11.34	9.85	5.01	9.85	—	1.27	—	0.15	1.05	1.47	10.09	13.32	17.14
		Na ₂ O	4.60	2.66	3.50	2.50	3.50	0.05	0.11	0.06	0.11	0.10	0.18	1.18	1.06	1.23
		K ₂ O	1.90	3.42	1.62	0.80	1.62	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.07	0.57	1.01	0.25
		P ₂ O ₅	0.22	0.00	0.26	0.25	0.26	—	—	—	—	—	0.01	0.09	0.07	0.04
		H ₂ O ⁺	—	—	1.85	3.02	1.85	6.55	11.20	10.51	10.52	11.14	10.51	3.70	2.87	0.80
		总 计	99.41	97.63	100.32	99.21	99.40	100.46	99.72	99.33	100.83	100.79	9.95	99.99	100.04	99.64
原岩名称		英安岩	安山岩	碱性玄武岩(细碧岩)			超 基 性 岩				辉橄岩		辉玄岩	辉长岩	斜长岩	
资料来源		王焯, 1992	李继亮, 1982			李继亮, 1981						张鹏远, 1991				