

纪念白云鄂博矿床发现 88 周年

——记中国科学院几代研究者在认知白云鄂博矿床过程中的足迹

□ 王凯怡 胡辅佑

1992 年邓小平南巡时就铿锵有声的说过,中东有石油,中国有稀土。提到稀土,就要追根溯源,中国的稀土在哪里?本文不想概评中国所有的稀土资源,的确,大自然给予了我们一份丰厚的礼物——稀土资源。中国的稀土资源的确很丰富,而最富集的,就是内蒙古白云鄂博矿床,这是世界上最大最富的稀土矿床,其稀土资源占全国稀土资源的 84% 和世界资源量的 36%。除稀土外,该矿床还蕴藏有丰富的钍、铀和铁等,是一个举世无双十分难得的宝藏。

88 年前即 1927 年 7 月 3 日,在辽阔广袤的草原深处,丁道衡先生发现了主矿的铁矿(丁道衡,1933),从此开启了认知世界第一大稀土矿床的序幕。可以说,丁先生是白云鄂博这一稀世珍宝的开拓者。为了永久的纪念,如今,丁先生的全身塑像耸立在白云鄂博镇中心的街心花园。塑像坐南朝北,目光注视着北方的主矿。其实,塑像与主矿的直线距离仅一千米左右。88 年前,丁先生可能就是经过了如今塑像所在的位置奔向了不远处主矿的黑色山峰,找到了铁矿。当时,丁先生何曾想到,他的这一发现日后震惊了世界。

提到白云鄂博的稀土,不能不提一位我们十分尊敬的长者何作霖先生。何先生早年留学德国,是中国地质界最有威望的

元老之一。20 世纪 50 年代,中国地学界仅有 2 位特级研究员,一位是何先生,另一位是李四光先生。早在 1935 年,何先生在白云鄂博的标本中发现了 2 种稀土矿物,并分别定名为白云矿和鄂博矿,严济慈先生利用光谱仪测定了矿物中的镧、铈、镨、钕等稀土元素。何先生将这一研究成果撰写为“綏远白云鄂博稀土类矿物初步研究”一文,发表在中国地质学会会志上(1935, 14(2):279-282)。稀土资源的发现,无疑极大的增加了白云鄂博矿的经济价值,丁先生挂上的大幕由何先生徐徐拉开,人们开始了对白云鄂博稀土奥秘长达半个多世纪的不懈探求。

白云鄂博矿是地球母亲赠与我们的一份无与伦比的资源瑰宝,同时也是岩石学,矿物学,地球化学和年代学研究的不可多得的一块圣地。解放后,一批批工作者和研究者在这里奉献了他们的青春和汗水,他们辛勤刻苦钻研,对探寻白云鄂博矿床秘密作出了巨大的奉献。即使经费短缺,野外工作条件艰苦也仍然坚持自己的理想和追求,默默奉献。这里,值得记叙的事迹很多,但限于篇幅,也限于个人的经历和水平,本文只能着重介绍中国科学院的一些研究者们

吸引更多的人关注和支持白云鄂博矿床的研究,使后继青年精英作出更多突破创新成果。

一 解放后至改革开放前

这段时间涵盖了上世纪 50、60 和 70 年代。中国经历了解放初期的经济全面复苏和 20 世纪 50 年代中后期及 60 年代初期经济及科学技术的飞速发展,但也经历了文化大革命的磨难以及文革期间许多方面停滞不前甚至倒退的尴尬局面。

1951~1955 年,地质矿产部华北地质局 241 队进行了大规模的地质勘探工作,对主东矿进行了详细勘察。但是,矿石中磷含量高,矿山不得不面对高磷矿石的选冶难题。为了查明矿石含磷高的原因,这里要引出本所另一位对白云鄂博矿的研究有卓越贡献的郭承基先生。郭先生是中科院院士,是中国稀有元素矿物化学和地球化学研究的开拓者和引领者。1953 年从日本归国不久的郭先生受何作霖先生的委托利用矿物化学和地球化学方法对白云鄂博矿床中大量存在的白云矿和鄂博矿进行了研究,发现白云矿为铈族稀土氟碳酸盐即氟碳铈矿,鄂博矿则为铈族稀土磷酸盐即独居石,清楚了 2 种矿物的物质成分,物理和化学性质以及解决了如何进行化学分析和选矿等问题。至于矿石含磷高的原因郭先生查明主要是因为矿石中含磷

灰石之故(绥远省白云鄂博矿床白云矿的研究报告,郭承基,1953,未刊),为如何去除铁矿中的磷提供了依据。

1957年,中苏科学院签订了关于白云鄂博铁、稀土研究合作协议,拟合作研究矿床物质成分及成因等问题。中方队长为何作霖,合作队秘书为司幼东。合作队经过两年的工作,写出了地质报告并绘制了相关图件,查明了矿区主要稀土矿物的种类和分布,初步探明了稀土元素的储量;发现了包头矿、黄河矿和钽铁钛石等新矿物(张培善和洪文兴,1963)。报告仅以粗糙的油印本问世,但在相当长一段时间内该报告为绝密级,借出查阅有相当难度。

中苏合作队的研究结束后,由于白云鄂博矿复杂的稀土稀有元素赋存状态、分布规律与铁矿关系等诸多问题仍未完全解决,包钢虽已上马好几年,却仍然没有针对白云鄂博矿石特点确定合适的采选冶工艺流程,在这一生产过程中国家每天都在遭受着重大损失。在这种情况下,研究白云鄂博矿的物质成分及赋存状态已成为国家最重大和紧迫的科研项目之一。1963年,国家科委为了保护和合理利用白云鄂博矿产资源,在北京召开了“4·15”会议。中国科学院地质所承担物质成分和综合利用研究,主要任务是查明稀土、铈和其他可综合利用的元素的赋存状态、分布规律及开发利用价值。与此同时,国家科委还组织了地质部105地质队,地质部、冶金部所属研究单位共同攻关。由侯德封所长提名,郭先生受命主持这一国家级重大研究项目,组建了来自几个研究室包括不同专业人才的“白云队”。白云

队的成员都很年轻,多数刚从各大院校走出来,是土生土长的科研人才。郭先生还有张培善和王中刚作为白云队的负责人和业务指导,对研究工作抓得很紧。为了早日完成任务,为包钢合理开发和利用矿山资源提供依据,大家工作都很努力。实际上,中科院地质所1962年夏就已派遣部分研究人员如张培善、胥怀济、胡辅佑等先期赴白云鄂博开展野外工作。1963年初夏,正式组队后的全队人马浩浩荡荡奔赴白云鄂博进行野外工作。针对白云鄂博矿元素组成的复杂多样,白云队成员进行了分组,每组二三人。有的组专攻稀土,有的专攻铈钽,有的负责同位素年代,有的负责稳定同位素研究,还有专门研究东接触带花岗岩的。我和我的同班同学苏贤泽参与了王中刚领导的稀土组。那时跑野外,没有汽车,主要靠走路。那时的主东矿是两座山(现在已是几百米深的大的露天采场了),我和苏贤泽在野外工作期间天天不是爬东矿就是爬主矿。虽然野外条件比较艰苦,那时中午带饭通常就是馒头窝窝头就咸菜,但大家并不介意,在野外工作了一个多月,才胜利收兵。1964和1965年又进行了2次野外工作。值得一提的是,时任地质所所长的侯德封,1964年曾亲临白云鄂博野外检查指导工作,路途的颠簸还碰伤了他的头部,好在伤得不严重。晚上,他跟大家随便叙谈,谈到作研究他语重心长的叮嘱大家思路可海阔天空,但具体工作要脚踏实地,要能忍受清苦和孤独,作研究就别想发财。他还跟我们生动讲述了他早年在东北考察的故事,晚上住在老乡家里时,睡在棺材上,没想到棺材中

竟藏有人。他还提到他的一些有事业心的同行在旧中国兵荒马乱之际不畏艰苦和险恶的环境在四川和贵州进行考查时不幸被土匪杀害,丧失了年轻的生命。这些都给我们留下了极其深刻的印象。是的,前辈们在那样艰苦的年代依然执着的坚守对地质事业的探索 and 追求,这种高尚的思想境界特别值得当今略显浮躁环境中人们的追忆和学习。

谈到六十年代初期的工作,我们不会忘记当时与我们共同战斗在白云鄂博的地矿部105队的同行们。该队在条件极其艰苦的白云鄂博安营扎寨,作了大量野外实地勘测工作。他们的总工程师就是老一辈革命家任弼时的侄子任湘。四十年代末五十年代初时他在前苏联留学,1949年底,毛主席访问苏联时接见了这批留学生,任湘是他们中的一位,毛主席提笔为他题写了“开发矿业”4个道劲的大字。

接触了白云鄂博的各类型矿石后,才会领教白云鄂博矿床物质成分之复杂,矿物种类之繁多,新矿物种属之多,实属罕见。且矿物粒度又非常细,鉴定和分选十分困难。此时,郭先生的矿物化学这一学科的思路和方法发挥了极大的功用。如过去白云鄂博的铈,仅知道以易解石的形式存在(张培善等,1962),条带状矿石中虽然含铈,却找不到对应的矿物。铈铁矿的性质与赤铁矿有些类似,在富含赤铁矿的条带状矿石中找出铈铁矿就等于在赤铁矿的汪洋大海里去找寻被淹没的铈铁矿。后来,是化学人员利用选择溶解的方法,先溶解了大量的赤铁矿而难溶的铈铁矿残留下来,才将铈铁矿找出。后来铈铁矿被确认是白云鄂博矿的主要铈矿物之一。还有一个例子,李绍

柄和侯鸿泉在研究钠辉石型矿石中的烧绿石时,发现其含锆特别高。后来是化学人员在溶解烧绿石时发现了不溶残渣竟然是锆英石,帮助了地质人员搞清楚烧绿石含锆高的原因是因为其包裹了更细小的锆英石之故。通过这些实践,一种鉴别和分离不同矿物的化学物相法建立了起来。白云鄂博许多极其复杂的稀有元素矿物组合的鉴别和分离正是广泛应用了这种方法而得以解决。1960's 年代初还没有 ICP-MS,当时要测定岩石和矿物的化学性质极其相似而在自然界总是紧密共生的 15 个稀土元素,并非易事。郭先生提出将岩石和矿物中的稀土先用化学方法富集起来,再用 X 荧光光谱进行测定,从而解决了当时这一大难题。当时,郭先生为室主任的第七研究室,除地质研究人员外,还拥有几个化学实验室和一批专业的分析化学骨干人才,在对白云鄂博各种复杂问题的攻克中,他们与地质人员密切配合,发挥了不可替代的作用,虽然他们的名字几乎没有出现在有关白云鄂博研究的各类出版物中,但我们不会忘记他们对白云鄂博研究的默默奉献,这里只能部分提及他们中的代表者,其中有专门从事铈钽分析的黄舜华和何松裕,专门分析稀土的潘景瑜和谢忠信,专门分析锆铪的田淑贵。1964 年时任地质所副所长的涂光炽先生十分重视先进仪器设备的引进和利用,我国进口的第一台电子探针就是他主张引进的。利用这台探针,白云鄂博矿床中首次发现的新矿物及一大批稀土铈钽矿物才得以测定出来。在化学物相法和电子探针相继运用后,白云鄂博矿石的稀土铈钽物质成分的查

定取得了突破性的进展。这些进展以简报的形式不断发往包钢和白云鄂博矿山,如“内蒙白云鄂博矿区矿石及矿物中稀土配分的研究简报”,“内蒙白云鄂博矿区易解石富集带工作简报”,“内蒙白云鄂博矿区主矿上盘钠交代岩中铈钽的分布”,“内蒙白云鄂博矿区锆英石的研究简报”,“内蒙白云鄂博东接触带花岗岩研究简报”,“内蒙白云鄂博矿石,矿物稀有元素分析方法摘要”等,这些成果无疑对采选冶选择正确的生产流程提供了依据。

1965 年初夏,白云队顺利完成任务,提交了矿床研究的“总结报告”和“补充报告”。在 1965 年包头召开的第二次“4·15”会议上,郭先生向大会报告了取得的成果,得到有关领导和部门的高度评价。稍后,国家科委将白云队的研究报告以“科学技术研究报告”0633 号于 1965 年 9 月出版。1963 年科学出版社内部出版了《白云鄂博矿物志》(张培善,洪文兴),1974 年内部出版了《白云鄂博矿床物质成分地球化学及成矿规律的研究》(该成果获 1978 年国家科技大会奖)。在以上非正式出版物及内部出版物中,首次全面阐述了白云鄂博矿区的矿石类型、物质组成、赋存形式和分布规律,并对矿床成因及控制因素提出了看法,一个富钠富氟的成矿热液选择性交代不同成分沉积岩的成矿模式建立起来;首次明确提出白云鄂博是一大型铁、稀土和铈矿床,并估计了稀土和铈的大致储量;首次全面报道了白云鄂博极其丰富的稀土铈钽等稀有元素矿物学研究成果,包括首次发现的许多新矿物。另外,出于对火成碳酸岩认识的局限,未能正确

判断矿床热液的来源,但在三四十年来,我们重新面对这些内部研究报告,依然感到这些研究成果沉甸甸的学术价值及对当时生产实践的重要指导作用。

二 改革开放后

白云队的多数成员参加了 1965~1966 的河南四清运动。接踵而来的是中国科学院地球化学所(简称“地化所”)的分所和搬迁。白云队的多数成员去了贵阳地化所,北京只留下了少部分人。上世纪 70 年代末至 80 年代初,地化所和地质所承担了国家下达的任务,在涂先生和郭先生的指导下,组织了两所不同专业的研究人员又一次更深入研究了白云鄂博矿床的物质组成、分布规律和找矿标志,并在矿区外围展开了研究工作。这个时期的研究成果集中体现在科学出版社出版的《白云鄂博矿床地球化学》(1988)一书中。该书除详细讨论了矿床中的稀有元素矿物学和地球化学外,首次提出矿床形成的多源、多次、多成因的地球化学模式。全书 80 万字,增添了 70 年代还未从事研究的稳定同位素和包裹体等方面的内容,是首次公开出版的涵盖白云鄂博全方位研究成果的一部非常值得参考的巨著。此项研究后获 1986 年中国科学院科技成果一等奖和 1989 年国家自然科学二等奖。

参与上述研究项目的张培善,是研究白云鄂博的元老之一,在大多数白云队的成员迁往贵阳以后,是他带领一个研究小组继续坚持着白云鄂博矿的研究。他和陶克捷对白云鄂博矿床的矿物学进行了系统研究和分析,并于 1986 年由科学出版社出版了《白云鄂博矿物研究》。该专著较为系统的报道了白云鄂博矿的 70

多种矿物,包括首次发现的新矿物,是研究白云鄂博的很有实用价值的一本基础参考书。

经过半个多世纪的研究,对白云鄂博矿床的认知在各方面都取得了很大进展,但随着研究工作的深入,对白云鄂博矿床交代作用的热液的来源,赋矿白云岩的成因和成矿时代却出现了完全不同的看法。这里无需对每种观点给予详细的诠释,但由张培善先生与英国学者合作研究所取得的成果还是值得一提的。上世纪 80 年代末至 90 年代初,张先生与英国著名岩石学家李巴斯博士展开了对白云鄂博碳酸岩成因的研究。他们在对矿床周边的碳酸岩墙进行了详细的地球化学研究、并与主东矿的赋矿白云岩进行对比后,认为二者有完全相似的地球化学特点,从而认为赋矿白云岩是火成成因。李巴斯是研究火成碳酸岩的世界知名学者,但他对白云鄂博碳酸岩极其复杂的表观现象和生成背景也不时感到困惑。其后,张先生的研究生杨学明发表了一系列的文章,进一步阐述了白云鄂博碳酸岩火成成因的矿物化学、元素地球化学和稳定同位素的证据。范宏瑞、杨奎峰等依据白云鄂博地区碳酸岩墙和基性岩墙的年代学和地球化学资料证实白云鄂博矿是发育在华北克拉通北部的裂谷环境之中,与哥伦比亚超级大陆最后

的裂解是同步的。谢奕汉和范宏瑞对白云鄂博矿包裹体的研究阐明了白云鄂博某些矿物中的流体包裹体的高盐特性并伴生有稀土矿物,证明了白云鄂博矿广泛发育的流体是富盐和富稀土的。范宏瑞等最近发文以精确的锆石同位素年龄资料再次确认了一号碳酸岩墙的年龄为 14 亿年,该时间与白云鄂博主东矿的稀土矿化时间大致相当。与此同时,对白云鄂博矿的地质背景也在更大的区域范围内展开了调查,并取得了某些突破性进展。

《地质学报》主编郝梓国先生也是白云鄂博矿的研究者之一,并首次提出白云鄂博碳酸岩是火山成因,主东矿的白云岩为破火山口相的碳酸岩认识。2012 年是白云鄂博矿发现后的第 85 个年头,郝梓国先生在《地质学报》出版了一期有关白云鄂博矿研究的专刊。组稿过程中,受邀的同行们纷纷踊跃投稿。该刊中发表了终生研究白云鄂博且成果卓著的白鸽和袁忠信先生的文章,他们的文章虽然不长,但文中充满了对白云鄂博的深厚情意,回顾了从年轻时起到现在年届八十的从事白云鄂博研究半个多世纪的历程,这里面有艰辛和困难,但更有收获的喜悦。该专刊中有专文提出白云鄂博巨型稀土-铌-铁矿床是与碳酸岩有关的矿床。在碳酸岩的

岩浆阶段,在其导致的蚀变围岩中以及稍晚的热液阶段都有稀土、铌和铁的富集,因此白云鄂博矿不是单一的矿床类型,其涵盖了碳酸岩岩浆型及与碳酸岩有关的交代蚀变和热液型矿床,该种矿床在世界上无可比拟,只能称之为白云鄂博型矿床。

回顾这些年白云鄂博矿床的研究历史,一个有趣的现象是,随着研究越深入似乎问题越多,分歧越大。这或许是白云鄂博矿床的奥秘太深,不易被人们轻易识破;或许是我们现在的认知水平还有局限,我们的观察仍不够细致和准确;或许迄今我们还没有在世界上寻觅到一个可与白云鄂博矿进行类比的相似矿床;或许由于各种最先进的方法手段还应用不够充分。但是,当白云鄂博的主东矿从昔日的山峰已变成了今日的两个深达 300 多米的大凹坑,我们还要等待多久才能真正揭开白云鄂博矿的秘密呢?从上世纪 60 年代初踏上白云鄂博的土地,如今时光已流逝了半个多世纪,但白云鄂博的奥秘依然令人魂牵梦绕,似乎那里还有隐藏很深的秘密在等待我们去发现去探索。从地质学者的眼光来看,白云鄂博的稀土在这个可称为“稀土的时代”无疑具有巨大的经济价值,但其极其复杂的地质历史和背景也同样具有无与伦比的学术研究价值。

□ 作者系中国科学院地质与地球物理研究所研究员