

中国科学院对攀枝花钒钛磁铁矿综合利用之 化工冶金研究回顾

刘伟¹✉, 方一兵², 柯家骏¹

(1. 中国科学院 过程工程研究所, 北京 100190;

2. 中国科学院 自然科学史研究所, 北京 100190)

摘要:攀西地区是我国矿产资源最为富集的地区之一, 钒钛磁铁矿是一种典型的多金属共伴生铁矿资源, 具有极高的综合利用价值。中国科学院化工冶金研究所(现中国科学院过程工程研究所)早在20世纪50年代就参与了攀枝花钒钛磁铁矿资源综合利用研究和攀枝花钢铁基地建设, 特别是首任所长叶渚沛院士长期致力于该方面工作。在1978年全国科学大会上, 攀枝花矿被确定为全国矿产资源综合利用三大基地之一。在时任国务院副总理方毅的直接关怀和领导下, 集中全国科技力量开展联合攻关, 开启了攀枝花钒钛磁铁矿资源综合利用的科技“大会战”。本文重点回顾了中国科学院(后简称中科院)作为国家战略科技力量, 对攀枝花钒钛磁铁矿综合利用之化工冶金研究的历史(1958—2001), 分析了中科院在我国当代重大矿产资源开发科技攻关中发挥的作用, 反映出过程工程研究所面向国家重大战略需求开展科技攻关的历程、成果与意义。

关键词:攀枝花; 钒钛磁铁矿; 综合利用; 化工冶金

中图分类号: TF1

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2021)04-0381-11

引言

攀枝花、西昌地区(以下简称“攀西地区”)是中国乃至世界矿产资源最富集的地区之一, 是我国第二大铁矿区, 蕴藏着上百亿吨的钒钛磁铁矿资源, 钒资源储量占中国的52%, 钛资源储量占中国的95%, 同时还伴生有钴、铬、镓、钽等10多种稀有金属资源, 综合利用价值极高^[1]。

攀枝花钢铁基地的建设与毛泽东主席“大三线”建设的决策密切相关, 是毛泽东基于当时国内外形势而作出的在西南地区建设新的钢铁基地

的重大决策。从1958年攀枝花矿开发和钢铁基地建设正式列入国家计划, 到1964年酝酿“三五”计划过程中被重新提出来, 毛泽东主席经过深思熟虑, 提出“大三线”建设的战略构想和部署, 筹划建设的攀枝花钢铁基地正处在金沙江畔渡口地区的“大三线”范围内。1964年中央在北京召开会议讨论“三五”计划, 作出集中力量进行“大三线”建设的决定, 时任国务院副总理李富春在全国计划工作会上宣布了“大三线”建设的目标, 提出要用7~8年时间在攀枝花地区初步建立起一个包括冶金、机械、化工、燃料等部门的工业基地^[2],

收稿日期: 2021-04-21; 修回日期: 2021-05-13

基金项目: 中国科协“老科学家学术成长资料采集工程”(郭慕孙院士和陈家镛院士项目); 中科院自然科学史研究所重大突破项目: 中华人民共和国科学技术史纲(Y621081)

作者简介: ✉刘伟(1981—), 男, 六级职员, 研究方向为科学技术史。E-mail: wliu@ipe.ac.cn (通讯作者)

方一兵(1971—), 女, 研究员, 研究方向为近现代技术史。E-mail: flb@163.com

柯家骏(1933—), 男, 研究员, 研究方向为化工冶金。E-mail: kjjlaoshi@aliyun.com

开启了正式建设攀枝花钢铁基地的进程。经过深入调研讨论, 中央最后确定在渡口市(攀枝花市曾用名)弄弄坪作为攀枝花钢铁厂的厂址, 1965 年开始建设。

由于地理条件和钒钛磁铁矿资源的特殊性, 攀枝花钢铁基地的建设是一项极具挑战性的工程, 其在中国当代钢铁工业与技术史上有着特殊意义。攀西地区各矿区具有战略意义的重要矿产资源的探明、在不同历史阶段围绕钒钛磁铁矿开发和冶炼的一系列核心技术问题的解决, 这是在自力更生的理念下进行产学研协同攻关的结果。自 1958 年开始围绕钒钛磁铁矿与国内有关单位合作进行选矿、冶炼试验的研究至今, 中国科学院作为国家战略科技力量, 始终围绕钒钛磁铁矿核心关键问题开展科技攻坚并取得了一系列突破。当时中科院的上海冶金陶瓷研究所、北京冶金冶金研究所、长沙矿冶研究所等单位先后派出许多科学家和技术骨干投身到攀枝花钒钛磁铁矿资源综合利用的研究工作中。

攀枝花钢铁基地的建设是三线建设史中的重要事件, 此前相关的研究大都以回顾攀钢基地的三线建设为主题, 对其建设史和企业文化进行了探讨^[2-4]。在科技史方面, 刘洋对三线建设时期攀枝花矿冶炼技术攻关中的非技术因素进行了较系统的研究^[5], 周传典作为亲身经历者, 回顾了早期攀枝花钒钛磁铁矿试验^[6]以及方毅对攀枝花钢铁基地建设的关怀^[7]。而中科院作为深度参与攀枝花钒钛磁铁矿综合利用技术攻关的重要单位之一, 还原和讨论其参与其中的历史和作用, 对于深入了解 20 世纪 60 年代以来基于国家重要矿产资源综合利用的科技攻关的发展历程有重要意义。本文通过利用中科院化工冶金研究所(现过程工程研究所)档案和其他历史文献, 回顾化工冶金研究所参与攀枝花钒钛磁铁矿资源综合利用的科技攻关的历程, 展示其面向国家重大战略需求, 承担我国复杂矿产资源综合利用难题研究的史实, 从而反映中科院作为国家科技力量在我国

当代重大矿产资源开发利用科技攻关中发挥的重要作用。

1 叶渚沛与攀枝花钒钛磁铁矿冶炼工艺方案的提出

攀枝花钒钛磁铁矿的综合利用技术攻关, 在早期得益于中科院化工冶金研究所创建人叶渚沛先生(1902—1971)的大力推动。叶渚沛是著名的冶金学家, 20 世纪 40 年代受聘于联合国教科文组织任科学组副组长, 并在联合国经济和社会事务部任经济事务官。新中国成立后, 叶渚沛回到祖国, 被任命为重工业部顾问, 后调到中国科学院担任学术秘书, 1955 年当选中科院技术科学部学部委员(院士), 1958 年中国科学院化工冶金研究所正式成立, 他被任命为首任所长。建所之初, 他确立了五方面的研究任务: 强化高炉冶炼过程; 流态化焙烧; 湿法冶金; 转炉炼钢中的问题; 复杂矿的综合利用。对于复杂矿的综合利用, 主要是针对国家急需开发利用的攀枝花钒钛磁铁矿、包头含稀土铁矿、金川硫化铜镍矿三大矿产资源的开发和新冶炼工艺流程的研发, 以及某些丰产资源(如钒、钛、稀土)和镍、钴、铜等的分离提取新方法和综合利用, 进行了大量的应用基础研究和新工艺流程开发^[8]。

叶渚沛为攀钢钒钛磁铁矿主要冶炼工艺的确定起到了引领方向的作用。他回国之后率先对钢铁冶金过程最主要的新技术提出了方向性的预见, 主要包括“三高”炼铁新工艺、氧气顶吹转炉炼钢以及连续铸钢。在他的倡导和直接推动下, 我国从 1955 年之后开始进行“三高”炼铁新工艺和氧气顶吹转炉炼钢的研发, 这为后来攀枝花钢铁基地冶炼工艺的设计打下了基础。1958 年化工冶金研究所成立, 此时正值攀西地区钒钛磁铁矿的工业化利用受到国家层面的重视, 叶渚沛将攀枝花钢铁基地建设的工艺流程研发作为研究所主攻方向之一, 结合“三高”炼铁和氧气顶吹转炉炼钢新工艺的研发成果, 带领研究所参与和进行

了一系列针对攀西地区钒钛磁铁矿冶炼的探索性试验研究。攀钢设计的炼铁高炉采用了他提出的“三高”炼铁新工艺中的“高压炉顶”和“高风温”新技术,并适度采用了高温蒸汽以降低炉渣黏度,炼钢采用了“氧气顶吹转炉”技术。在1971年3月3日致毛泽东主席的函中他这样写道,“面对这种挑战,我所工作人员自力更生,艰苦奋斗,依靠自己的力量成功解决了渡口高钛渣问题。用蒸汽控制25%二氧化钛矿渣的流动性是冶金史上史无前例,是我所青年工作者对祖国创造性的贡献。”^[9]“渡口钢铁厂的设计主要是基于我们所研究的过程。”^[9]

20世纪50年代中期我国在炼钢工艺上曾有平炉和氧气转炉之争,大型平炉因其较氧气转炉更成熟而被认为是优先发展的方向,叶渚沛从技术和经济等方面出发,最早提出应该在中国大力发展新兴的氧气转炉,他的观点得到了1955年来华访问的苏联科学院副院长巴尔金院士的支持,在其影响下他于1955年9月发表文章《论在中国采用吹氧转炉方法炼钢问题》,主张发展氧气转炉新技术并对其在我国的发展做了经济性讨论。同年,在全国十二年科技规划工作会议上,叶渚沛提交了《转炉炼钢的新发展及其理论》规划意见书,1956年11月他与冶金工业部钢铁综合研究所就氧气顶吹转炉炼钢研究问题形成书面意见呈送给国务院第二办公室,在他的推动下,“氧气顶吹转炉炼钢”项目于1956年被列入国家科技发展规划^[9]。1958年化工冶金研究所成立之后,转炉炼钢也成为研究所主要研究题目之一,1959年,叶渚沛带领化工冶金研究所科研人员对“攀枝花含钒铁水炼钢提钒工艺新流程”进行了系统的应用研究。在国内首先采取氧气转炉处理攀枝花含钒铁水,以代替当时国内外传统的空气转炉吹钒法。先后在0.3 t、1.5 t氧气顶吹转炉上进行了含钒铁水吹钒及半成品炼钢的试验研究。此项成果为攀钢第一期建设工程提供了依据和参考^[8],并为20

世纪70年代西昌410厂的工业生产奠定了良好的科学技术基础^[9]。在1958—1962年化工冶金研究所300 kg及1.5 t氧气顶吹转炉组织中间试验的基础上,经主持国家科委工作的聂荣臻元帅批准,在石景山钢铁公司(现首钢)建立17.5 m³(30 t)高炉,于1964年建成并投产^[9]。

“三高”炼铁是叶渚沛大力主张的另一项重要钢铁新工艺,即高压炉顶操作、鼓风的高湿度和高温预热相结合的高炉炼铁,目的是显著提高炼铁产能,降低能耗。叶渚沛早在20世纪30年代受气体工程师奈尔逊(Neilson)关于高炉热风理论的启发,开始关注利用高压鼓风而提高冶炼效率的可能性,后来受美国、苏联和德国的高炉加压和富氧鼓风新思路的影响,在1949年底开始形成了“三高”冶炼新方法的轮廓^[10]。1950年他在鞍钢的报告中便建议采用“三高”炼铁,他认为这是最符合我国具体情况和发展趋势的^[11]。1956年8月,中科院与冶金工业部就筹建科学研究用15 m³高炉问题座谈,并达成协议上报国务院,同年获批在石景山钢铁公司建设17.5 m³的试验高炉(即石钢018车间)^[8,9]。从1958年高炉建立到1962年,叶渚沛带领的化工冶金研究所与石景山钢铁公司合作进行高压高湿度和高预热鼓风的系统组合试验,与数学研究所合作对冶炼进行数理分析,获得了关于顶压、湿度和风温等因素对于高炉产量和焦比的定量影响,并找出最佳组合,为之后攀枝花钒钛磁铁矿的高炉冶炼工艺的研究在理论上打下了基础^[11],如图1所示。1963年叶渚沛大胆提出采用“三高一喷(石灰)”新工艺解决高炉冶炼问题,他领导化工冶金研究所先后在11 m³/28 m³/17.5 m³三种不同规模的高炉进行试验,结果表明“三高一喷(石灰)”工艺可以做到渣铁畅流,不发生悬料崩料现象,钒的回收率达到70%以上,铁中含硫全部合格^[9]。

1964年5—6月,中央在北京召开会议,其中讨论“三五”计划是重要议题之一,会议决策国

家集中力量进行“大三线”建设^[2]。随着中央“大三线”建设决策的出台,攀枝花钢铁基地建设正式提上日程。从1965年开始,冶金工业部在承德集中优势力量开展了攀枝花钒钛铁矿高炉冶炼试验工作。1965年9月,叶渚沛代表化工冶金研究所提出了《攀枝花钒钛铁矿的合理利用与钢铁基地建设流程方案的探讨》,主张采用“矮胖式中型高炉炼铁→氧气顶吹转炉吹炼炼钢→连续铸钢”工艺流程。方案得到了国务院副总理李井泉、国家计委副主任程子华的支持,并决定由国家科委、计委拨款2500万元,委托化工冶金研究所负责设计,在昆明建设 350 m^3 矮胖高炉。由叶渚沛领导,组织专业队伍,历时一年多完成了“ 350 m^3 三高矮胖高炉”的设计任务,后因“文革”而被迫中断^[8]。



图1 1965年叶渚沛到石钢指导 17.5 m^3 高炉攀枝花矿试验

(注:该图为中科院过程工程研究所综合档案室珍藏资料)

实际上,冶金工业部承德工作组提出了与化工冶金研究所不同的方案,即炼铁主张采用大型普通高炉精矿入炉,炼钢吹钒主张采用双联法而不是同炉方案^[12]。虽然攀钢一期建设最终设计更倾向于冶金工业部的方案,即采用 1000 m^3 大型高炉而非中型矮胖型高炉炼铁, 120 t 氧气顶吹转炉进行双联提钒炼钢而非同炉方案^[13],但“三高”炼铁和氧气顶吹转炉炼钢这两项基本的核心工艺在当时得到了应用,不能不说叶渚沛从20世纪

50年代开始积极倡导的在钢铁冶炼核心技术上前瞻性研发工作发挥了关键作用。

2 化工冶金研究所与攀枝花钢铁基地建设(1958—1966)

实现攀枝花钒钛磁铁矿综合利用是我国几代科技工作者持续攻坚的科技难题之一。因此,围绕该矿特点研发自主创新的高炉冶炼技术是攀枝花钢铁基地建设面临的主要任务。这一时期,以1964年攀枝花钢铁基地建设正式提上日程为节点,分成两个阶段开展了与攀枝花钒钛磁铁矿高炉冶炼密切相关的试验研究工作。

1964年之前是相关试验的最初阶段。1956年,因钛合金在国防制造中在材料性能上的优越性和我国钛铁矿资源的发现,在国务院科学规划委员会组织制定的《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要》中,钛冶金及其合金被列为五十七项重要科技任务之一^[14]。1958年,随着西南地质局攀枝花钒钛磁铁矿详细勘探报告的完成,攀枝花铁矿不同矿区的矿样被送至地质和冶金工业部门的相关单位,围绕其选矿和炼铁问题开展了最早的试验研究^[15]。苏联科学院冶金研究所在早期阶段参与了这一工作,但苏联方面得出的结论是攀枝花钒钛磁铁矿在高炉冶炼时渣铁不分,不能出铁^[15]。

这一时期中科院化工冶金所的工作主要在于最初的冶炼试验方面。化工冶金研究所与冶金工业部北京钢铁研究总院合作,在该院的 0.5 m^3 小高炉进行了攀枝花原矿冶炼试验;中科院上海冶金陶瓷研究所在该所的 0.9 m^3 小高炉也进行了攀枝花原矿冶炼试验,分别取得一定成果^[5]。1959年10月15日,冶金工业部决定在石景山钢铁公司 11 m^3 小高炉进行攀枝花钒钛铁矿冶炼试验,该冶炼试验计划是由化工冶金研究所负责召集北京钢铁研究总院、上海冶金陶瓷研究所等单位共同拟定的^[16]。在小高炉冶炼试验完成之后,考虑到小高炉与大高炉的

操作条件有较大差别,还需要进一步在更大的高炉进行冶炼试验。

1964年,党中央、国务院将攀枝花钢铁基地建设被提上正式日程,攀枝花高含钛的铁矿冶炼及其工业化仍然是其面临的最主要问题。为此,冶金工业部于1964年成立了攀枝花铁矿冶炼及综合利用科学研究的技术领导小组,成员单位有西南钢铁研究院、化工冶金研究所、鞍山焦化耐火材料设计研究院、地质部矿产综合利用研究所、黑色冶金设计总院、北京矿冶研究总院、北京有色金属研究总院等单位。国家科委于1965年将“攀枝花钒钛磁铁矿的冶炼技术及其综合利用”增设为《1963—1972年科学技术发展规划》的重点研究项目^[5]。这标志着攀枝花钒钛磁铁矿冶炼的试验研究进入了国家层面自上而下有组织的大规模联合科技攻关阶段。由于三线建设的战略地位,这一时期攀枝花钢铁基地建设与科技攻关备受党和国家领导人关注,毛泽东主席曾说“攀枝花建不成,我睡不好觉。”^[17]

为了争取时间,攀枝花铁矿冶炼及综合利用科学研究的技术领导小组决定,在西昌410厂28 m³高炉建成之前,计划先运出5000 t西昌太和铁矿的矿石,由中科院在北京分别用17.5 m³及1 m³的试验高炉进行原矿和精矿的冶炼试验^[18]。1965年,国务院副总理李井泉视察了化工冶金研究所在17.5 m³高炉进行的攀枝花矿冶炼试验情况。

这一时期冶金工业部组织有关单位开展了攀枝花钒钛磁铁矿的选矿、烧结、高炉冶炼的大规模科学试验,炼铁和炼钢问题是化工冶金研究所参与科技攻关的重点。1965—1967年,炼铁试验分别在承德钢铁厂、西昌410厂和石景山钢铁公司展开。1965年化工冶金研究所首先在石景山17.5 m³高炉进行了50天的太和原矿冶炼试验,采用“三高一喷”新技术,解决了高钛渣冶炼的高炉顺行,渣铁畅流和生铁合格的问题,所产生铁成分

基本上可满足氧气顶吹炼钢和吹钒渣的要求,但也存在铁损大和钒回收率低等问题^[12]。与此同时,冶金工业部承德工作组进行了100 m³高炉精矿模拟试验,渣中二氧化钛含量,由承德矿阶段的20%左右提高到全模拟阶段的35%左右,但生铁未达到全部稳定合格,同时存在铁损大、钒回收率低、顺行等问题。值得一提的是,承德试验与石景山试验在是否采用“三高”技术中的高蒸汽问题上分歧,冶金工业部承德试验组认为可以不采用高蒸汽,在试验中仅做了一天的高蒸汽对比试验^[12]。1965年10月,基于两地试验,国家科委、冶金工业部和中科院共同组织召开了攀枝花矿综合利用试验工作经验交流会,冶金工业部承德工作组和中科院化工冶金研究所在会上分别提出了各自不同的攀枝花炼铁技术方案。

为考量和处理冶炼技术方案的不同意见,1965年会议后冶金工业部组织了西昌28 m³高炉的验证工业试验,并和石景山钢铁公司共同组织516 m³高炉的生产性工业试验,化工冶金研究所均为两次试验的参加单位(表1),两次试验改善了技术经济指标,使高炉冶炼高钛型钒钛精矿初步获得成功^[15]。在高炉试验的同时,化工冶金研究所与其他单位合作开展了攀枝花矿冶金过程的物理化学研究,化工冶金研究所于1969年还在17.5 m³高炉上进行了高硫焦的补充试验。可以说,上述高炉的逐级放大试验和与之相关的冶金过程研究的科技攻关,成功解决了世界上长期以来没有解决的高钛型钒钛精矿冶炼的技术难题,为1970年7月在攀钢建成第一座1000 m³大型高炉并投入生产做出了重要贡献。

在这个时期的科技攻关中,化工冶金研究所先后组织或参与了西昌、石景山等地的高炉冶炼试验,为掌握攀枝花钒钛磁铁矿高炉冶炼的冶金物理化学过程,寻求合理冶炼技术提供理论和实验依据。主要工作见表1。

表 1 化工冶金研究所负责及参加攀枝花矿高炉冶炼试验项目一览^[19]

试验项目	试验地点	试验内容	试验时间	负责单位	参加单位
石景山 17.5 m ³ 高 炉冶炼试验	石景山钢铁 公司	试验不同炉顶压力, 不同风温和不同湿度的单因素和综合因素对高炉产量和焦比的影响	1965—1966.10	中科院化工冶金研究所、石景山钢铁公司	四零公司、北京黑色冶金设计院、重庆黑色冶金设计院、西南钢铁研究院西昌试验工作组
攀枝花矿冶金 过程物理化学 研究		含二氧化钛 30%~50% 的高钛渣物理化学性质的研究等	1965—1966.12	中科院化工冶金研究所、东北工学院、钢铁研究院	北京钢铁学院、北京地质学院、鞍山黑色金属矿山设计院、长沙有色金属矿山设计院、西南钢铁研究院、中科院地质研究所、重庆大学、四零公司、承德钢铁厂
中型高炉“三 高”、原矿冶 炼试验	昆明钢铁厂	具体建设内容和进度另行安排	文革开始未能 进行	中科院化工冶金研究所、北京黑色冶金设计院、昆明钢铁厂	武汉黑色冶金设计院、重庆黑色冶金设计院
西昌 28 m ³ 高 炉冶炼试验	西昌试验厂	进一步寻求合理的冶炼技术等; 探索含二氧化钛 40% 的高钛渣冶炼技术等	1966.1—1966.4	冶金工业部西昌试验工作组、四零公司	中科院化工冶金研究所
石景山 500 m ³ 高炉模拟 试验	石景山钢铁 公司	按选精矿铁粉 52%~53% 进行模拟试验以验证小高炉冶炼试验结果, 为设计提供数据	1966.8—10	冶金工业部西昌工业试验组、石景山钢铁公司	中科院化工冶金研究所

注: 该表在相关参考文献和中科院过程工程研究所科研档案基础上整理修订。

3 攀枝花矿综合利用项目之化工冶金研究 (1973—2001)

1972 年 9 月, 根据冶金工业发展需求, 结合我国资源特点, 中科院同意化工冶金研究所恢复正常科研工作, 因此科研人员很快投入到攀枝花钒钛磁铁矿综合利用的相关工作中。1978 年全国科学大会上, 攀枝花、包头、金川被确定为全国矿产资源综合利用三大基地, 在时任国务院副总理方毅的直接领导下, 聚集了全国各方面多学科的专家学者合力攻关。方毅在部署第四年的工作报告中, 形象地比之为“打一个淮海战役”。他多次去攀枝花、包头和金川实地调查^[7, 20]。20 世纪 80 年代前后至 90 年代初, 攀枝花高炉生产克服了达产攻关阶段的泡沫渣、粘罐、高铁损三大技术难题后, 面临的问题是巩固攻关成果, 推广、开发应用新技术,

提升技术装备水平^[21]。

1980 年, 郭慕孙和陈家镛一同当选中国科学院化学部学部委员 (院士)。他们带领化工冶金研究所科研人员, 针对攀枝花技术需求, 坚持围绕复杂矿综合利用开展科技攻关。与此同时, 化工冶金研究所还与其他单位合作, 持续开展了攀枝花钒钛磁铁矿高炉强化冶炼新技术的科技攻关。

3.1 攀枝花铁精矿综合利用新流程的相关研究

针对高炉冶炼高钛型钒铁精矿的钒总收率不高, 对进入炉渣中的钛未找到经济的回收技术的情况, 国内各家研究机构分别开展了直接还原铁精矿综合回收铁钒钛的新流程研究, 共试验了先提钒回转窑还原法、后提钒回转窑还原法、竖炉还原法、流态化还原法、外热焦炉式还原法等五种流程^[15]。

化工冶金研究所于 1973 年接受了“流态化焙烧还原钒钛铁矿”的任务, 要求结合当地资源,

用天然气还原铁精矿, 用水力发电熔化焙砂, 再从熔渣中提取钒和钛。郭慕孙带领科研人员对流态化还原的若干方面开展了试验研究, 包括铁精矿还原反应数据的获得和有关分析, 以及可供应用的两种流态化反应器的工程研究, 如图 2 所示。第一种是气控式多层流态化床, 第二种是快速流态化反应器。流态化还原法的特点是将粉料精矿直接送入还原反应器, 将还原后的粉料焙砂, 不经压块制团, 直接喷入电炉, 熔化分离。这是一个全部用粉料的流程。此外, 对于流态化还原中的失流以及熔砂的渣-铁分离和从熔渣中提取钒钛, 也进行了试验研究^[22, 23]。

为提高攀枝花铁精矿中铁的还原程度, 以便更好地和钒钛分离, 达到综合利用, 实验证明必须在 750℃ 以上进行还原, 这样才有利于提高还原反应速度和单程气体转化率, 但流态化高温气体还原攀枝花铁精矿时遇到了粘结失流的问题。为防止失流, 对攀矿试验添加了 MgCO_3 、 MgO 、 CaO 、 TiO_2 、纸浆液等添加剂。结果表明, 含 MgO 的添加剂和纸浆液的效果最明显^[23, 24]。

此外, 化工冶金研究所进行了外热焦炉式还原法进行了研究, 并与鞍山热能所、鞍山焦耐院

合作进行了扩大试验, 得到金属化率为 87%~90% (质量), 含碳 1.0%~1.5% (质量) 的球团^[15]。

上述两项研究成果“攀枝花钢铁冶炼新流程——流态化还原法”和“攀枝花钒钛磁铁矿加炭球团外热焦炉式直接还原”分获中科院重大科技成果一等奖 (1980 年)。

3.2 伯胺萃取钒及钒-铬分离的研究

针对攀枝花红格矿区的矿石中含铬高的特点, 陈家镛直接领导于淑秋、孟祥胜等开展了“伯胺萃取钒及钒-铬萃取分离”的试验研究, 取得了高效萃取分离钒-铬的效果, 并对该体系的萃取反应机理进行了深入研究, 提出了新的“伯胺溶剂化萃取钒”的萃取反应机理, 研究工作具有原创性, 受到国内外同行的重视。“伯胺萃取钒及钒-铬萃取分离”科研成果, 获中国科学院重大科技成果一等奖 (1980 年); “胺类溶剂化萃取及其与中性钒萃取剂协同”科研成果, 获国家自然科学基金三等奖 (1987 年)。

3.3 提钒新工艺相关研究

针对攀枝花含钒铁水中含硫高的情况, 化工

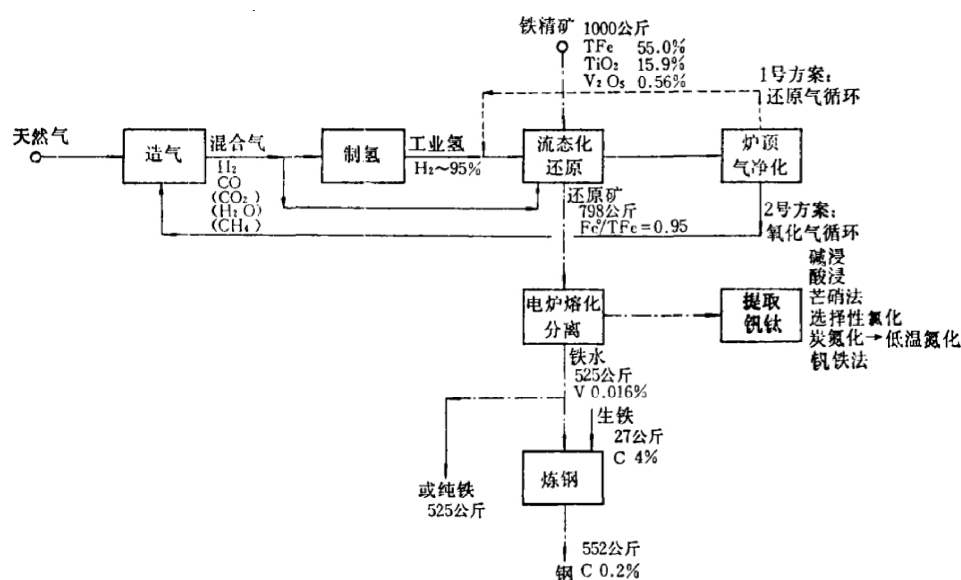


图 2 A 铁精矿综合利用原则流程

(注: 试验用 A 矿主要是纤维状的钛铁晶石, 嵌布于氧化铁基体所组成^[22])

冶金研究所曹洪文等研究人员 1978 年开始研究了含钒铁水钠化提钒新工艺。从含钒钢渣中回收钒也是提高钒的回收率的一个途径, 化工冶金研究所杨守志、柯家骏等在碳酸化浸取工艺研究得基础上开发了碳酸化提钒设备, 破解攀钢等企业在综合利用过程中面临的一些难题, 见表 2。

3.4 钒在攀钢选冶过程中的走向及钒的提取研究

20 世纪 70 年代, 我国地质部门发现攀枝花红格矿区的矿石中含有稀土钒, 方毅即批示化工冶金研究所开展研究稀土钒在冶炼、选矿过程中的走向以及钒的可能提取方法。1979—1982 年, 在陈家镛的指导下, 由柯家骏负责, 组织所内有关科技人员, 与中科院高能物理研究所(主要承担微量钒的分析检测)进行合作, 开展了“钒在攀钢选冶过程中的走向及钒的提取方法”研究, 发现正在开采的攀枝花矿区的钒含量比红格矿区的更高。确定了钒在攀钢选冶过程中的走向之后, 决定从钒精矿氯化时的氯化烟尘中提取钒。在用水浸取氯化烟尘后, 用磷酸三丁酯(TBP)溶剂萃取法富集与分离钒可得到纯度 99%或 99.5%的氧化钒产品^[25]。制备出的高纯氧化钒粉末产品是制作固体激光材料用的主要原料。“攀枝花矿中钒在选冶流程中的走向和冶炼提取”科研成果, 获中国科学院重大科技成果二等奖(1982 年)。

3.5 制取钛白粉的研究

钛白粉是钛工业得主要产品, 在如何利用攀枝花钛铁矿制取钛白粉得研究中, 化工冶金研究所郑国樑、李晋林等进行了高频等离子气相氧化法制取金红石型钛白粉的研究, 在完成实验室试验工作基础上, 到天津化工厂进行了工业性扩大试验取得成功。该成果获中科院重大科技成果奖(1978 年)。

3.6 高炉全钒钛磁铁矿冶炼的研究

用普通高炉及其冶炼钒钛磁铁矿会产生料柱透气性差、冶炼强度低下等困难, 化工冶金研究所李道昭、戚大光等为使高炉成为冶炼钒钛磁铁矿的高效反应器而做了系列研究, 通过破坏饼状结构的软熔带以及控制渣中的低价氧化钛和 Ti(G,N)的浓度, 以改善柱料透气性并使炉渣具有良好的物理化学性质, 使高炉过程得以正常运行。试验表明, 只要选择合适的造渣制度以及控制炉缸内钛的氧化和还原速度就可以实现高效反应。此外, 还与昆明冶金研究所、攀钢公司研究院、攀钢 410 厂合作开展了 28 m³高炉酸性渣冶炼试验, 初步探索了硅石取代普通铁矿进行全钒钛矿冶炼的工艺, 试验表明用硅石等置换普通铁矿中的 SiO₂, 可以实现全钒钛磁铁矿高炉冶炼。作为国家“八五”重点攻关课题, 其研究结果在烧结、炼铁生产中发挥了重要作用^[26]。经过长期协同攻

表 2 化工冶金研究所提钒新工艺研究成果

项目名称	负责人	研究成果	奖项
攀钢含钒钢渣碳酸化浸取提钒新工艺	杨守志、柯家骏等	承担“碳酸化提钒浸取动力学”的试验研究和“碳酸化浸取提钒设备”的设计研究, 新开发出碳酸化提钒设备, 用于在南京铁合金厂进行工业性试验。	“含钒钢渣碳酸化浸取提钒及设备研究”获中科院重大科技成果二等奖(1979 年)
攀枝花含钒铁水钠化处理提钒新工艺	曹洪文、杨守志、孔繁芬、蔡昭铃等	在完成实验室试验工作基础上, 进一步与攀钢研究院等单位合作, 在西昌 410 厂的 28 m ³ 高炉现场进行含钒铁水钠化处理提钒的工业性试验取得成功。	“钠盐处理钒钛铁水提钒新工艺”获中科院重大科技成果一等奖(1981 年)

注: 该表在中科院过程工程研究所获奖成果档案基础上整理修订。

关,“全钒钛磁铁矿高炉冶炼强化技术研究”获得冶金工业部科技进步三等奖(1996年)。

鉴于化工冶金研究所长期围绕攀枝花钒钛磁铁矿综合利用开展科技攻关取得的系列重要成果,“钒钛磁铁矿高炉强化冶炼新技术”获得1998年冶金工业局(原冶金工业部)科技进步特等奖(图3);“攀枝花钒钛磁铁矿高炉强化冶炼新技术”科技项目最终获得1999年度国家科技进步一等奖,参加该项目攻关的主要单位共5个,化工冶金研究所是第四获奖单位,该项目是一个规模宏大、历时较长、厂院联合攻关的结晶^[27]。



图3 1998年国家冶金工业局科技进步特等奖证书
(注:该证书图片由中科院过程工程研究所综合档案室提供)

4 结语

攀枝花钢铁企业是我国第一个完全依靠自己力量建立起来的重要钢铁基地,对发展我国冶金工业和西南地区建设以及巩固国防都有重大作用。中科院对攀枝花钒钛磁铁矿综合利用之化工冶金研究回顾,折射出中科院作为国家战略科技

力量,在推动国家重大资源开发利用上的责任与担当,因为我国低品位多金属矿产资源的高效利用是国家发展和安全保障的根基。

自1949年成立以来,中科院便兼具了全国学术中心和影响重大科技事业决策两方面的作用,过程工程研究所在攀枝花钢铁基地各阶段开展的工作,是中科院这两方面作用在不同历史时期的客观体现。

20世纪50年代,中科院在制定国家重大科技发展规划和学科部署上起主导作用。在冶金领域,以叶渚沛为代表的科学家不仅在适合我国矿产资源的冶炼新工艺方向上起到了引领作用,而且通过直接参与国家科技发展规划的制定,有效地推动攀枝花钒钛矿的开发和综合利用成为国家层面的重大任务,与此同时叶渚沛亲手创建的化工冶金研究所,一经成立便前瞻性地展开相关研究工作,发挥了学术中心的职能。

20世纪60—80年代,以中科院、高等院校、产业部门科研机构、地方科研机构与国防研究机构为主体的科研体系逐步形成和发挥作用。在国家科技发展规划的布局下,围绕重大任务进行全国性的科技协作攻关成为这一时期我国重大项目推进的主要模式,攀枝花矿的开发和综合利用正是以这种举国体制下的科技攻关模式展开的。这一时期,中科院化工冶金研究所在国家任务的部署下,在攀枝花矿冶炼工艺的试验和选择,铁、钒、钛综合利用的研发等方面发挥了自身的学科优势,与企业和其他研究机构密切配合,成为攀枝花钢铁基地建设科技攻关中不可缺少的重要力量。

随着研究范围逐渐扩展,化工冶金研究所于2001年正式更名为过程工程研究所。在国家实施创新驱动发展战略的时代背景下,过程工程研究所针对攀钢等企业在资源深度利用、生态环境保护等方面的迫切需求,在流态化焙烧、钒钛资源利用、工业污水处理、农业生物技术等方面协同合作,为企业在资源环境友好的深度开发上提供科技支持。

回顾历史, 不忘初心。中科院过程工程研究所与攀枝花钢铁企业科技合作的实践, 归根结底体现了双方以解决国家“卡脖子”问题为宗旨的初心和决心, 叶渚沛、郭慕孙、陈家镛等老一辈科学家和几代科学院人为攀枝花钒钛磁铁矿综合利用所贡献的才智, 是中科院作为国家战略科技力量服务国家重大战略需求的真实写照, 体现了各个时期国家重大科技联合攻关的鲜明特征。也充分体现了中科院作为“国家队”, 心系“国家事”, 肩扛“国家责”。

致谢

谨以此文致敬叶渚沛、郭慕孙、陈家镛等老一辈科学家! 感谢过程工程研究所党委书记朱庆山研究员的指导, 感谢许志宏、李道昭等老同志的帮助, 以及张海英、巴敬莉等同事档案资料等方面的支持!

参考文献

- [1] 攀钢集团有限公司. 攀钢简介[EB/OL]. http://www.pzhsteel.com.cn/index.php?s=/Home/Article/pg_jianjie/art_bm_id/89/fl/two/msg_id/544.
- [2] 李生军. 中国大三线建设的记忆: 从攀枝花钢铁基地的建设谈攀枝花精神的铸就[J]. 经济研究导刊, 2018(24): 45-48.
- [3] 向东. 20 世纪六七十年代攀枝花地区三线建设述论[D]. 成都: 四川师范大学, 2010.
- [4] 刘吕红, 阙敏. “三线”建设与四川攀枝花城市的形成[J]. 唐都学刊, 2010, 26(6): 58-62.
- [5] 刘洋. 三线建设时期攀枝花钒钛磁铁矿冶炼技术突破中的非技术因素探析[J]. 中国科技史杂志, 2016, 37(4): 473-484.
- [6] 周传典. 攀枝花钒钛磁铁矿冶炼试验的体会[J]. 炼铁, 2004, 23(3): 1-2.
- [7] 周传典. 缅怀方毅同志对我国三大资源综合利用的遗爱[J]. 冶金经济与管理, 1999(1): 12-15.
- [8] 汪培武, 刘伟. 中国科学院过程工程研究所简史[A]. 北京: 中国科学院过程工程研究所, 2008.
- [9] 周东军, 杨小林. 叶渚沛年谱[J]. 院史资料与研究, 2005(5): 6-39.
- [10] 叶渚沛. 论炼铁高炉熔炼法的新方向[J]. 科学通报, 1957, 2(19): 582-585.
- [11] 叶渚沛. 高炉冶炼的发展趋势与“三高”炼铁[J]. 化工冶金, 1981(3): 62-68.
- [12] 叶渚沛. 叶渚沛纪念文集[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [13] 四川省《攀枝花市志》编纂委员会. 攀枝花市志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 12.
- [14] 中共中央文献研究室. 建国以来重要文献选编-第九册[M]. 北京: 中央文献出版社, 1994.
- [15] 王麦. 当代中国钢铁工业的科学技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987.
- [16] 关于在石景山钢铁公司 11 立方米小高炉上进行攀枝花钒钛铁矿的冶炼试验的决定[A]//攀枝花开发建设史文献资料选编. 攀枝花: 中共攀枝花市委党史研究室编印, 2000.
- [17] 攀枝花文史资料: 攀枝花的足迹[A]. 攀枝花: 攀枝花市政协文史资料委员会, 攀枝花市档案局, 1992.
- [18] 调整一线、建设三线情况简报(第 17 期)[A]//攀枝花开发建设史文献资料选编. 攀枝花: 中共攀枝花市委党史研究室, 2000.
- [19] 关于攀枝花矿铁分离试验工作进展情况的简报[A]//攀枝花开发建设史文献资料选编. 攀枝花: 中共攀枝花市委党史研究室, 2000.
- [20] 王玥. 方毅: 科学春天的使者[J]. 福建党史月刊, 2008(7): 18-20.
- [21] 孙希文. 攀钢高炉炼铁生产的回顾与展望[J]. 炼铁, 2000, 19(S2): 2-7.
- [22] 郭慕孙. 钒钛铁矿综合利用: 流态化还原法[J]. 钢铁, 1979, 14(6): 1-12.
- [23] 欧阳藩, 郭慕孙. 钒钛磁铁矿综合利用—流态化还原法(二)[J]. 化工冶金, 1981(2): 1-15.
- [24] 杨若薰, 郭慕孙. 攀枝花铁精矿流态化气体还原中粘结失流的研究[J]. 化工冶金, 1980(2): 100-115.
- [25] 倪嘉缙, 洪广言. 中国科学院稀土研究五十年[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 23-29.
- [26] 攀钢. 攀钢全钒钛磁铁矿高炉冶炼强化技术研究取得成果[N]. 世界金属导报, 1996-1-25.
- [27] 攀钢“钒钛磁铁矿高炉强化冶炼新技术”获国家科技进步一等奖[J]. 冶金信息导刊, 2000, 37(2): 47.

Overview of Comprehensive Utilization Research on Chemical Metallurgy from Panzhihua Mineral Resources by Chinese Academy of Sciences

Liu Wei^{1✉}, Fang Yibing², Ke Jiajun¹

(1. *Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;*

2. *Institute for the History of Nature Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)*

Abstract: Panzhihua-Xichang region is one of the most abundant areas of mineral resources in China. Vanadium-titanium magnetite of this region is a typical metal-associated iron ore resource with a comprehensive utilization value. Institute of Chemical Metallurgy, Chinese Academy of Sciences (ICM CAS, now Institute of Process Engineering, IPE CAS) conducted an important comprehensive utilization research mission and supported the construction of Panzhihua iron and steel industry base. CAS academician Yap Chu-Phay, the first director of ICM CAS, has been engaged in comprehensive utilization research for a long time. At the National Science Conference in 1978, comprehensive utilization research on Panzhihua mineral resources was listed as one of the three major research centers in China. As deputy premier of the State Council, Fang Yi distributed related scientific and technological tasks to many institutes, universities, and enterprises of China. As national strategic strength in science and technology, this paper analyses the important functions of CAS in utilizing the major mineral resources in China through studying the history of the cooperation of ICM CAS and Panzhihua (1958—2001). From this case study, the paper reflects how Chinese state-run research institutions like IPE CAS have conducted scientific and technological research to meet major national strategic needs since its foundation in 1958.

Key Words: Panzhihua; vanadium-titanium magnetite; comprehensive utilization; chemical metallurgy