

# 关于冶金学科发展方向之初探

张玉清

(国家自然科学基金委员会材料与工程学部)

**[摘要]** 本文扼要地综述了冶金学科国内外的发展趋势,结合我国的实际情况,初步探讨了国内冶金学科优先发展的分支学科及主要领域,分析了影响冶金学科发展的某些因素,相应地提出了加速其发展的对策。

冶金工业是国民经济发展的支柱。冶金学科为金属提炼全过程提供现代科学基础,为冶金工业的发展提供科技储备。因此,发展冶金学科是促进冶金工业生产现代化的根本任务。

从广义上讲,冶金学分为过程冶金和物理冶金,从狭义上讲,过程冶金通常被称为冶金学,是本文所要讨论的主要内容。无疑研究国内外冶金学科的发展趋势,探讨我国冶金学科的发展方向,结合我国的具体实践制定冶金学科的发展战略,是十分必要的。

## 一、冶金学科的分类及其基本任务

冶金学科主要包括采矿、选矿、焦化、烧结、钢铁冶炼、有色金属冶炼、稀有金属分离提取、冶金过程物理化学、冶金反应工程学、粉末冶金及特殊冶金等。按工艺过程可将冶金分为:火法冶金、湿法冶金和电冶金。按分支学科分类又可分为:

(一) 冶金应用基础理论的分支学科——冶金过程物理化学,其中包括:(1)冶金过程热力学;(2)冶金过程动力学。

(二) 冶金工程应用的分支学科,其中包括:(1)冶金工程;(2)冶金反应工程学。

冶金学科的基本任务是,为金属提炼全过程(从冶金原料至纯金属或合金产品)以及资源综合利用提供现代科学基础,对组成全过程的各分支系统,揭示其内在的关系与规律,探索新概念、新思想、发展新理论、新方法、新技术和新工艺。为实现高效、优质、低能耗、低成本、无污染冶金提供理论依据,指导金属材料的生产 and 推动冶金工业的发展,并跟踪现代冶金学科。

## 二、冶金学科在国内外的的发展趋势

冶金作为一门古老的技术约有 6000 年的历史,从一种“技艺”向“科学”的转变,始于 1925 年英国法拉弟学会的炼钢过程物理化学会议,标志着人们开始应用物理化学,特别是应用热力学原理及研究方法分析论证冶金过程。Schenck 收集了有关炼钢的资料,综合了冶金领域内的理论问题,于 1932 年和 1934 年先后编写出版了《钢铁冶金过程物理化学导论》的第一卷和第二卷,奠定了冶金过程物理化学的学科基础。自 20 世纪 40 年代以后,冶金过程物理化学进而发展到炼铁、有色金属冶金、真空冶金及半导体冶金等领域,并得到了广泛应用。对促进冶

金工业的发展、提高冶金产品质量、增加品种、探索冶金新流程、新工艺及发展冶金新技术等方面起着极为重要的作用。冶金过程物理化学的发展,基本上分三个时期:

第一个时期(1925—1948)是实验总结和学科建立时期。首先是德国的 Shenck 提出了炉渣的分子理论,随后是苏联的 Темкин 于 1946 年提出了炉渣完全离子溶液理论模型,第一次用在脱硫反应上,美国的 Chipman 测定了  $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO}$  三元系炉渣的活度, Ellingham 和 Richardson 建立了氧位图, Bockris 在冶金电化学上做出了突出的贡献。

第二个时期(1948—1980)是冶金物理化学发展比较快的时期,在理论研究上有突破。Darken 提出了三元系活度的计算方法。Wagner 提出了活度相互作用系数,还提出了渣—钢界面传递现象的分析,从理论上对化学动力学若干问题进行了推导,提出了一系列的动力学公式。Guggenheim 发展了溶液模型,提出了准化学模型。

第三个时期(1980 年至今)是新的飞跃时期,即由于计算机等新技术的应用,冶金物理化学从研究方法和理论研究上都出现了新的飞跃。例如:

1. 理论有可能直接用于控制冶金生产实践。当代由于热力学数据库的建立和日趋完善,动力学大量数据的存储,加上冶金生产实践数据的反馈,因此可以建立精度较高的冶金数学物理模型,在计算机上设计冶金新工艺、新流程,开发冶金生产自动化软件,促进了冶金反应工程学的发展,从而促进实现冶金生产自动化。

2. 计算物理化学。利用热力学数据库可以绘制相图以及用计算机由相图计算热力学性质,从而可实现冶金物理化学理论研究计算机化。

3. 材料物理化学。基于物理化学的基础研究,对开发超导、高温陶瓷功能材料的研究会起推动作用。

所有上述学者的杰出贡献,进一步推动了一门独立的冶金物理化学学科的形成。

近二三十年来,由于生产和科学技术的发展,学科间的交叉和渗透,促进了冶金学科的发展。例如,冶金过程动力学吸收了传递理论,即传质、传热及动量传递理论,研究冶金过程多相反应的速率及控制环节,使其从微观动力学扩展进而包括了宏观动力学。近年来,以冶金动力学为基础,应用计算机,采用数学模拟实验,研究反应器内的流速场、浓度及温度场的相互关系,进而进行过程的最优化控制和容器的合理设计,从而初步建立了“冶金反应工程学”。可以看出,物理化学和传递理论,伴随计算机的广泛应用,已使冶金相应地从“技艺”转变为“科学”,即冶金学(国外称为过程冶金学)。

按文献计量学统计分析的方法,从《*Metallurgical Transactions*》的 B 卷《*Process Metallurgy*》在 10 年(1978—1987)内发表的文献中统计分析结果表明:冶金物理化学的论文数占三分之一,具有主导地位;冶金反应工程学和湿法冶金具有上升的发展趋势。在 10 年内的 40 期刊物中,上述分支学科的论文几乎全有刊载,大致可以表明冶金学科发展的趋势。

我国冶金学科原有基础薄弱,但是,近 40 年来,在老科学家带领下,结合国家冶金工业发展需要,进行了具有自己特色的研究,即开展了国家富有资源钒、钛、稀土、铌、有色金属、稀有及贵金属分离提取的应用基础、工艺流程和冶金技术的开发研究。提供了攀枝花钒钛磁铁矿,包头矿炼铁,金川矿的铜、钴、镍的分离提取,以及有色金属钨、铋等的选冶流程的科学依据。我国三大矿综合利用的冶金物理化学应用基础研究居国际先进水平。

50 年代开始大力发展的冶金物理化学学科,著名学者邹元炳、魏寿昆、周志宏、邵象华、陈

新民等做出了重要贡献;70年代至80年代建立了冶金反应工程学学科;湿法冶金学科始建于50年代至60年代,在解决我国有色金属复杂矿的分离提取方面做出了重要贡献。目前,在处理难选难冶金矿上正在显示其特有的学科特点。

表1 冶金学科科研现状的专家评价结果

指标 评价价值 研究领域	该研究领域 目前偏重于	在科学发展过程中, 该研究领域目前处于	该研究领域国内 研究水平与国外比较	从事该研究领域 研究人员的规模
金属凝固过程的机理 及其控制	定向基础研究应用研究	发展期—活跃期	落后5—10年	人员不足
冶金新原理及技术开 发	应用研究	发展期—活跃期	落后4—8年	人员缺乏
钢铁冶金	应用研究研制开发	成熟期	落后3—6年	人员略多
有色金属冶金	应用研究研制开发	活跃期—成熟期	落后3—6年	人员适中
冶金过程物理化学和 反应工程学	定向基础研究	活跃期	落后3—6年	人员略少
冶金热工及热能利用	应用研究研制开发	活跃期	落后3—6年	人员不足
冶炼前矿物材料的准 备与综合利用	应用研究研制开发	活跃期—成熟期	落后3—6年	人员适中
采 矿	应用研究研制开发	成熟期	落后4—8年	人员略少
选 矿	应用研究研制开发	成熟期—成熟后期	落后2—3年	人员略多
焦化、烧结	应用研究研制开发	活跃期—成熟期	落后3—6年	人员不足

注:合肥工业大学预测与发展研究所资料

自1982年以来,国家自然科学基金资助了冶金学科160项基础和应用基础研究。在钒、钛、稀土以及有色金属元素的物理化学研究和钢铁冶金采用新技术、新流程、新工艺的应用基础研究方面,取得了可喜的进展,得到了重要的成果。已有两项获得了国家自然科学基金奖,不少项目的成果获得了部、委级奖励,有的填补了国际文献上的基础科学数据的空白、有的应用基础研究成果已转化为工业生产。例如,铝电解降低阳极超电压的研究成果,已被有色金属总公司采用,决定全国推广,将取得重大经济效益。

冶金学科方面的国内外学术交流活动已有很大发展,相继召开了七届全国冶金过程物理

化学会议、四届冶金动力学和冶金反应工学会、两届湿法冶金物理化学会议；除派员参加国际学术会议人数逐年增多外，还在国内召开了中美、中日冶金学术会议、第一届湿法冶金学术会议以及稀土、钛、钨、锑的国际会议。所有这些学术交流活动，对于促进冶金学科的发展均起了重要的作用。

冶金学科的发展，促进了冶金技术和生产的发展。现代冶金生产已是大型化、高速化、连续化和高效化。高炉生产实现了高风温、高压炉顶和喷煤粉的工艺，为了获得高质量钢，采用了铁水炉外预处理（脱硫、脱磷和脱硅等）、钢水炉外精炼、喷射冶金及固体电解质在冶金中应用等各种技术。转炉实现了复合吹炼和自动化，钢的连铸比有些国家已达 70—80%，有的已达到 100%。

目前，先进的工业国家，为了克服能源危机的影响，正在向工序内部和工序之间的系统化、高效化、节能和环保的方向转变，以求得具有很强的应变能力。为此，国际冶金界正在酝酿着新的突破，探索改变冶金现流程、采用高技术等，均已引起极大的关注。例如日本钢管公司确立了高炉氧气炼铁技术；日本、美国和澳大利亚均已决定拿出巨额投资资助“熔融还原炼铁”研究，此工艺很可能成为 21 世纪后的炼铁流程；转炉复合吹炼已实现工业化，超高功率、直流电孤炉以及大功率等离子孤电炉等炼钢技术，处在开发研究或工业实验阶段；钢和合金的“连铸—连轧一体化”（包括板坯连铸和薄带连铸两类联机操作技术）是高效、高速、节能及有利环保的先进流程。

我国是发展中国家，急需冶金工业为全社会提供原材料。然而，现有产品数量、质量、品种远不适应需要；冶金科学技术虽有很大进步，但距世界先进水平仍有较大的差距。我国虽有一支很大的冶金科技队伍，但其作用尚未得到充分发挥，本身也有知识更新和队伍老化问题，而且后继乏人（见表 1）。当前，还没有形成从基础研究、应用基础研究到技术开发的完整体系，研究成果转化为生产力的渠道不通畅；科技投资甚少，而科技投资中的基础研究投资所占比例也比较低。因此，加强基础和应用基础研究，进一步发展冶金学科是当务之急。

### 三、我国冶金学科的发展方向

从总体上说，冶金学是一门工程学科。具有冶金工业应用前景的基础和应用基础研究的新原理、新流程、新技术、新材料是冶金学科发展的重要源泉，而具有交叉学科特色的研究，往往是新的分支学科的生长点。因此，结合社会和经济发展的需要，研究确定冶金学科的发展方向，充分考虑上述的基本点是极其重要的。

#### （一）冶金学科的应用基础研究

1. 继续加强和发展冶金过程物理化学的研究 我国的实际情况表明，冶金物理化学分支学科是冶金学科的基础和带头学科。因为任何冶金反应均离不开冶金物理化学规律的制约，各种矿产资源的开发利用均需进行冶金反应规律的研究。因此，针对我国矿产资源的特点，继续开展有价值元素分离提取的冶金物理化学研究，为开发资源和综合利用提供科学依据，仍是今后较长时期的任务。

2. 集中力量加强冶金反应工程学的研究 冶金反应工程学是一个新的分支学科，将对现代化冶金生产产生重要影响，应予足够重视。当前，在这个领域已有专著问世，已形成了科学家的群体，国内外的学术活动比较活跃。但力量比较分散，尚未形成具有重要影响的研究中

心或开放实验室。因此,有必要建立一种“开放、流动、合作的新体制”,集中力量开展具有重要应用前景领域的研究,广泛地进行学术交流和合作,以便促进这一分支学科的发展。

3. 结合我国资源特点加强湿法冶金研究 现代的湿法冶金是从20世纪40年代的提铀工业开始,广泛引用于石油及化工技术,应用于有色金属、特别是稀有金属的工业生产中。近几年来,作为防污染的生产方法,尤其引人注目。而地下湿法冶金,可能会成为未来用传统采矿方法处理不经济的矿石就地提取的重要目标。

现代湿法冶金的科学实验十分活跃,每年均有大量文献发表。我国早在50年代就开始研究,如在加压氢还原、电解、离子交换和溶液萃取、浸取、相分离、净化和沉淀,以及其基本理论等方面,目前正处于蓬勃发展的阶段。以水溶液处理矿石为基础的湿法冶金,为开发综合利用我国复杂矿,尤其是有色金属矿方面,使资源优势变成产业优势,生产价值高的产品,为满足国内建设需要和出口创汇将起重要作用。因此,积极开展湿法冶金分支学科和技术的研究,具有重要的战略意义。

## (二) 关于优先发展的研究领域

1. 开展复杂矿和贫矿的分离提取和综合利用的新原理、新流程、新技术、新工艺的应用基础研究 我国矿产资源的特点是贫、杂、细,为其分离提取带来许多困难。攀枝花、包头、金川三大矿虽然已开发利用,但仍有许多问题待解决和完善;同时也应看到,我国铁矿中的95%为贫矿,如何经济合理地开发利用,均有待于创造性的研究成果,提供科学依据。因此,对具有新思想、独创性的研究,必然要优先资助。

2. 凝固 液态金属在凝固过程中,同时发生化学反应、传质、传热、相变和流动诸现象,对金属材料性质有重要影响。从发展趋势看,快速冷却时金属凝固特征及其控制的应用基础研究是优先发展的领域。它是未来实现“连铸-连轧一体化”,尤其是“薄板及线材连铸-连轧一体化”的应用基础。该领域既是我国科研工作的薄弱领域,又是冶金工业发展之急需。

3. 冶金软科学研究 从宏观决策的观点出发,针对我国社会和经济建设总目标的需要,结合我国冶金资源、能源特点、贮量和布局等,在开放搞活方针的指导下,如何发展我国的冶金科学技术和工业生产是决策的重要问题;从地区乃至冶金工业企业的发展均需要良好的决策和优化。因此,冶金软科学的研究是十分重要的。

4. 冶金资源工程 即冶金与相关学科相互联系、渗透建立的多学科交叉的研究领域。

## 四、关于发展冶金学科的对策

### (一) 培养和造就结构合理、具有创造活力的精干队伍

1. 充分发挥现有科技队伍的作用 我国有一支比较大的科技队伍,素质也比较好,特别是开放以来,与国际先进国家广泛地开展了学术和人才交流,对提高我国科技队伍的水平 and 培养人才起了重要作用。但是应该看到,由于种种原因,还未能充分发挥现有科技队伍的作用。一方面是如何发挥老科学家的学术带头作用;另一方面是如何创造各种必要的条件,充分发挥中、青年科技人员的作用。青年科技工作者是祖国科学事业的未来,如何培养、造就结构合理、具有创造活力的精干队伍,是现在就必须着手考虑的战略任务。

2. 科学地划分冶金学科的学科体系 这对促进学科发展和人才培养有直接的关系,应组织有关专家、学者,依据当代科学技术的发展,科学地、合理地划分学科体系。

过去冶金学体系的划分过细、过于专门化,大学毕业生的适应能力比较差,十分值得重视。学科的划分应有利于人才的培养和发展。冶金专业大学毕业生应具有比较坚实的基础知识和较好的专业技能,以及到具体的工作岗位后有较强的应变能力。

## (二) 建立“开放、流动、合作”的新体制

在现有条件下,建立国家或部、委、院级重点实验室,是集中人、财、物的有效政策和措施。但对于尚不具备条件的领域,是否可采取过渡形式,集各家之人才、技术和实验室条件特点,为了突破某些领域的重点研究课题和培养人才,联合起来组织一种“开放、流动、合作”形式的研究体制,进行合作研究。这样做可能会取得更快的进展,做出更好的成果。当然,这要冲破过去分散的思想观念束缚,从大局出发、从发展自己所从事的学科或领域的大局出发,才能实现。

## (三) 尽快建立从基础、应用基础研究到技术开发的完整体系

当前,就冶金领域而言,有些研究成果转化为生产力比较困难,科技人员力不从心;与此同时,生产部门要改变现状,又难于找到直接应用的技术。这中间存在渠道不通,科研成果迅速进入中试有困难,一是资金,二是中试厂所。因此,尽快建立研究成果转化为生产力的完整体系,是十分必要的。

## (四) 增加科技投资、增大基础研究和应用基础研究经费比例

1. 增加自然科学基金投资 当前冶金学科基金项目批准率为18%左右,从总体看,基金如能增加一倍,批准率能上升到36—40%,对基础和应用基础研究将是个大的促进。

2. 扩大联合资助,增加资助来源 自实行基金制以来,对具有重大意义的项目,开展了有针对性的联合资助。例如“熔融还原炼铁应用基础研究”,是由国家基金委与中科院和钢铁研究总院联合资助的,这是一种增加基金资助的渠道。无疑地,对促进冶金学科重大项目的研究是有利的。

3. 建议制定企业应用研究基金法 众所周知,工厂或企业的发展要靠科学技术。但是,没有良好的应用基础研究做后盾,技术开发也是有限的。而应用基础研究成果转化为技术开发需要资金,如能确定工厂从产值中提取1—2%的资金做为技术开发基金,那么应用基础研究成果转化经费就有解决的可能。这样有利于尽早形成科研成果转化为生产力的新体制。

## (五) 积极开展国际合作和学术交流

建国40年来,我国冶金科学技术的发展是比较快的。在某些方面的研究居世界先进水平,但是,从整体上看与世界先进水平相比仍有不小的差距。因此,应积极开展国际合作和学术交流,促进我国冶金学科的发展,尽快达到世界先进水平,为促进冶金工业的发展做出贡献。

本文在撰写过程中得到了中国科学院学部委员魏寿昆教授的热情关怀和帮助,杜挺、柯家骏、杜鹤桂教授、李文超副教授提供了宝贵的意见和资料,在此一并表示衷心的感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 王英,浅论我国钢铁工业的发展战略问题,我国钢铁工业发展战略研究(上册),1988年,120。
- [2] 魏寿昆,评“《过程冶金》评介”——再论冶金过程动力学及冶金反应工程学,稀有金属 6(4)(1987),241。
- [3] T.FUWA, Trends in the Study of the physical chemistry of Steelmaking Australia Japan Extractive Metallurgy Sym-

posium, Sydney, Australia 1980. 1—15.

- [4] 李文超、魏寿昆, 展望2000年的冶金物理化学. 高等教育研究, 北京钢铁学院, 1984, 1—3.
- [5] 许志宏、王乐珊, 无机化学数据库, 1987, 科学出版社.
- [6] 胡文彦译, 湿法冶金的过去、现在和未来(上), 化工冶金, 1(1984), 95—104. 胡文彦译, 湿法冶金的过去、现在和未来(下), 化工冶金, 2(1984), 92—102.
- [7] 蔡志鹏、谢裕生译, 冶金反应工程学, 1981, 科学出版社.
- [8] 肖兴国, 冶金反应工程学, 1989, 东北工学院出版社.
- [9] 曲英、蔡志鹏, 冶金反应工程学在我国的发展, 化工冶金, 3(1988), 76—80.
- [10] 李薰, 十年来中国冶金科学技术的发展, 金属学报, 4(3)(1958) 1—8.
- [11] 中科院化工冶金所, 攀枝花钒钛磁铁矿研究报告选编, 1984, 1—319.
- [12] 吉田保德(日), 现代技术和产业, 钢铁, 5(1988), 56—59.
- [13] 赵淑萍译, 1988年世界各国的连铸钢产量及连铸比, 钢铁, 11(1989), 80—81.
- [14] 刘其宏, 板材生产的新工艺——薄型板坯连铸-连轧系统, 钢铁, 5(1988), 67—70.
- [15] Вяткин, Ю. Ф. И. А. Ф. Вишкорев, Металлургические пути повышения качества стали. Сталь, 7(1987) 17—20.
- [16] Шнеров, Я. А. и К. Г. Ноев, Комбинированная продувка мрамала Кислородом в большегрузных Конвертерах. Сталь, 1(1986), 21—24.
- [17] 邓开文, 我国转炉炼钢的现状和发展. 钢铁, 10(1988), 57—61.
- [18] 杨力争译, 熔融还原炼铁技术的开发(摘译), 国外钢铁, 1(1989), 1—5.
- [19] 徐匡迪, 炼钢工业十年回顾与展望, 上海金属, 6(1989), 10—29.
- [20] 叶才彦, 高炉喷煤技术的发展方向, 钢铁, 8(1989), 68—73.
- [21] 方群英, 我国矿产资源综合利用的现状和前景, 矿产资源保护和利用, 1989(增刊), 25—34.

## DISCUSSION ON THE DEVELOPMENT TRENDS IN PROCESS METALLURGY

Zhang Yuqing

(Department of Materials and Engineering Sciences, NSFC)

### Abstract

A brief summary of the development trends of process metallurgy both at home and abroad has been made in this paper. The branch subjects and main research areas of process Metallurgy, which should be given priority to the development, were explored in the light of the actual conditions of our country. And the some factors affected the development of process Metallurgy were also analyzed. For casting a brich to attract jade and offering a reference, the appropriate countermeasures to accelerate its development were proposed.