

# 面向智能制造的冶金-信息交叉领域人才培养模式创新探究

张红亮<sup>1</sup>, 李劫<sup>1</sup>, 阳春华<sup>2</sup>, 陈晓方<sup>2</sup>, 谢永芳<sup>2</sup>, 陈爱良<sup>1</sup>

(1.中南大学冶金与环境学院, 湖南长沙, 410083;

2.中南大学信息科学与工程学院, 湖南长沙, 410083)

**[摘要]** 现代有色冶金工业正承受着资源、能源、环保及人力资源等方面的巨大压力, 其可持续发展已受到严重挑战, 培养面向智能制造的冶金与信息类交叉领域高端人才是传统冶金领域进行供给侧改革的基础支撑。文章以笔者所在的团队为例, 对冶金-信息交叉领域研究型人才培养体系进行规划, 确定模式与定位、体系建设、师资与平台基地建设的目标。从学生理论体系的学习、论文的选题、冶金信息交叉专业技能的掌握、课题研究与实践等方面进行改革与创新, 建设并形成了一套系统的冶金-信息交叉领域研究型人才培养模式。实践表明, 该模式可为学生毕业后独立从事冶金信息类交叉领域专业工作提供坚实保障。

**[关键词]** 冶金工程; 智能制造; 交叉领域; 创新人才; 工程实践; 新工科

**[中图分类号]** G640

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1674-893X(2018)05-0059-05

## 一、背景

有色金属冶炼是现代发展的支柱产业, 在国民经济中占主导地位, 并为后续相关产业链提供基础原材料。当前, 我国已经成为世界上品类最齐全、规模最大的有色金属工业国家, 其产业集中化程度和产业规模世界罕见, 其中主要的有色金属, 如铝和铜等, 产量和消费量均占世界一半以上, 且国内对有色金属材料的需求在未来相当长时期内将持续增长<sup>[1]</sup>。

经过数十年的发展, 我国有色金属生产技术、工艺和生产装备水平已得到大幅提升, 但受到资源、能源、环境等方面的严重制约, 其可持续健康发展已受到挑战。以下将以铝电解为例进行详细阐述。

我国铝电解工业正受到以下挑战: ① 资源挑战: 国内优质铝土矿接近消耗殆尽, 各类型低品位铝土矿已被大量开采, 其杂质已进入铝电解流程, 对生产形成极大冲击; ② 能源挑战: 我国铝电解工业规模巨大, 年耗电量占全国年总发电量的 5%

以上, 且能源价格居高不下(为国际水平的两倍), 导致我国原铝的国际竞争力严重不足; ③ 环保挑战: 铝电解污染物的排放量比钢铁行业还要高 7~9 倍, 而随着《新环保法》的实施, 铝电解的废气、废渣排放要求势必更为严格; ④ 产业人力资源挑战: 在西北部的新疆、内蒙古等地(我国铝电解工业发展的龙头所在地), 熟练的铝电解工人供不应求, 且我国铝电解劳动效率也较低(为国际水平的一半), 因此高素质的技术人员与产业工人的不足已成为铝电解行业日渐严重的挑战。

尽管在铝电解领域, 本团队经过近 30 年的积累, 已成功开发并广泛推广了铝电解自适应控制<sup>[2-3]</sup>、智能模糊控制<sup>[4]</sup>以及低电压高效节能新工艺与控制技术<sup>[5]</sup>等系列技术, 有利促进了铝冶炼技术的发展, 但距离完全智能化尚有很大的差距。管窥一豹, 对于我国有色金属这一典型的传统行业来说, 由于工业现场环境恶劣(高温、强酸、强腐蚀、高粉尘等), 再加之当前有色金属冶炼过程检测装置和手段较为缺乏, 现场参数与信息获取量不足, 同

**[收稿日期]** 2017-11-08; **[修回日期]** 2018-09-21

**[基金项目]** 2017 年中南大学研究生教育教学改革与研究项目“面向智能制造的冶金与信息交叉领域创新人才的培养”(2017JG12); 国家自然科学基金资助项目“基于全数字化电解槽的智慧型铝电解优化生产方法”(51874365); “流程工业过程操作优化决策的知识自动化方法及应用”(61751312); “基于大数据和云计算的铝电解生产知识自动化决策系统设计方法与应用验证”(61533020)

**[作者简介]** 张红亮(1979—), 男, 湖南临湘人, 博士, 中南大学副教授, 主要研究方向: 有色金属冶炼过程智能制造, 联系邮箱: csu13574831278@csu.edu.cn

时在企业内部还存在各种信息孤岛,造成了当前大型冶炼企业或集团化冶炼企业内工序之间信息传递不畅通、企业内部各层级调度与优化手段落后、企业信息化水平较其他行业(如汽车行业)普遍偏低,这已经成为有色金属这一传统行业可持续发展的巨大障碍。因此,对于我国有色金属工业来说,急需推进全流程整体智能优化制造,实现生产的高效化和绿色化,换言之亟须实施有色金属工业的智能优化制造<sup>[6-7]</sup>。

当前,智能制造是世界公认的提升制造业整体竞争力的核心高技术,智能优化制造是以企业全局及生产经营全过程的高效化与绿色化为目标,形成以生产全流程整体智能优化为特征的制造模式。世界各国相继出台相关支持计划,我国在党的十九大也做出了关于信息化和工业化深度融合的战略部署,提出了走中国特色新型工业化道路的策略。而培养以有色冶金为专业背景的智能制造交叉学科人才,对推动有色金属工业的智能制造与传统产业的转型升级有极大的意义,可极大提升行业技术水平和关键有色金属原材料的自主保障能力<sup>[8]</sup>。

目前,主流冶金过程的生产工艺均已大体成熟,面对冶炼工艺的开发多为现有工艺的小幅优化,而以“互联网+”和“智能制造”为主要技术手段的传统行业升级改造正如火如荼地进行,故仅掌握冶金类基础知识已不足以充当现代冶金工业的中坚技术人才,即当前对冶金类高端人才的培养应注重多学科交叉人才的培养。随着信息技术的高速发展,当前的高端人才培养模式已经与实际需求存在不少差距,因此亟须对这一领域的人才培养方式进行创新与改革。这一工作既契合国家与有色金属行业发展的重大需求,对冶金类高端信息化人才的培养具有重要的意义,同时,通过“以教促研”“以研哺教”等方法能提升我校在冶金工程领域信息化方向上的科研水平<sup>[9]</sup>。

面向智能制造的冶金信息交叉领域创新人才培养模式以已经具备一定专业素养的冶金-信息类研究生为主要对象(亦可适用于高年级本科生的创新创业领域),以国家级重大课题为支撑,以大数据、云计算及冶金基础技术为手段,在研究生学位论文的选题、科学研究素养的培养上创新,以具体问题具体对象为导向,培养学生解决冶金过程智能制造的相关问题,逐步树立智能制造与互联网+冶金的

创新思维模式。

## 二、冶金信息类交叉领域人才培养体系建设初探

### (一) 建设规划

#### 1. 培养模式与目标定位

由于智能制造为近几年新出现的一个新概念,并已逐步在有色金属工业领域全面渗透,但现有人才培养模式基本局限于单一学科的培养,仅仅从冶金或信息学科的角度来培养,很显然无法匹配国家整体政策布局及产业发展的布局,导致企业招不到高素质交叉学科人才。因此,在进行冶金-信息交叉领域人才培养时,应全面了解目前冶金工业智能制造对高端交叉领域研究生实践能力和创新能力的的需求,掌握冶金与信息专业教学中的改革方向及其研究成果,将培养模式和培养目标定位在具备独立科研能力的新型交叉学科人才,既拥有冶金的专业背景,又能够应用新一代信息技术解决传统冶金工业中出现的问题。

#### 2. 冶金-信息类交叉人才创新培养体系建设规划

鉴于冶金-信息交叉学科人才培养体系不规范,且未能紧跟智能制造高速发展的步伐,故在具体交叉学科研究生的培养过程中,首先以当前冶金行业智能制造的前沿方向作为研究生的选题方向;进而在已有的交叉领域创新科研基地让研究生融入具体冶金流程中,掌握冶金类专业基础及与选题相关的背景知识;同时通过新一代信息类专业知识的学习与实践使用,确定冶金类实际问题用新信息技术的创新解决方案;最后在已建设的交叉领域创新科研基地完成课题的研究。换言之,可从理论体系学习、课题选题、冶金信息交叉专业知识的学习、基地与平台建设等方面进行改革与创新,建成冶金-信息交叉学科人才培养体系。

#### 3. 高水平的导师队伍建设规划

对交叉学科领域高水平导师的要求较高,需要其既洞悉冶金过程机理,又掌握新一代信息技术。而这一要求也造成了该领域合格的导师十分缺乏。因此,为了培养冶金-信息交叉领域人才,首先需要培养不仅掌握冶金专业理论知识,而且能熟练应用新一代信息技术并指导工程实践的专任教师。具体的培养方法可以通过团队协同指导的模式,即通过集体教研、以老带新、岗位练兵等方式迅速提高

青年教师的冶金工厂智能制造上的科研与教学业务水平, 制定科学可行的中青年教师培养计划, 实现教学团队的建设, 形成知识和学历结构、年龄结构和科研方向布局合理的实践教学团队。

#### 4. 冶金智能制造培养基地的软、硬件建设规划

对于冶金-信息交叉领域高水平人才的培养, 还必须以实践为基础, 故需要基于我校在冶金工程与控制工程学科上的优势, 以相关国家级与省部级平台(如难冶有色金属资源高效利用国家工程实验室、有色冶金自动化教育部工程研究中心和铝电解大数据中心等)为支撑, 建设冶金智能制造高端研究生人才培养基地。一方面, 需要立足于平台硬件的建设, 如建设冶金大数据中心、冶金-信息交叉实践平台等; 另一方面, 还必须重视软件建设, 包括撰写冶金过程建模与控制相关教材与著作、建设冶金过程虚拟仿真软件等。

#### (二) 建设内容

通过上述建设, 可获得了一套冶金-信息交叉领域高端人才培养体系, 如图 1 所示, 基于现行的冶金-信息学科研究生培养模式, 着重培养学生在冶金与信息领域的创新与实践能力, 培养具有中南大学特色的面向智能制造的高层次研究生。实施的总体原则是冶金与信息类高层次专业人才培养的多元化和交叉化, 大力深入改进研究生的理论与实践环节的教学, 使学生建立强烈的信息工程意识,

具备应用新一代信息技术解决冶金工程相关实际问题的能力。

具体的实施步骤如下:

第一步: 在基础课程学习阶段, 初步确定培养模式与目标。

在现有研究生培养方案上, 适当增加了交叉学科领域研究的培养内容, 以冶金类学生为例, 增加了系列信息类相关的基础必修课程、选修课课程的学习, 强调拥有冶金背景的研究生掌握信息理论知识与实用工具。鉴于信息学科内容庞大, 我们确定了几个主要的领域, 如自动化、大数据、软件工程等, 在具体实践中, 强化“互联网+”思维、“大数据”理论与方法、智能制造理论与方法等方面的基础知识及其在冶金中的应用案例解析教学。

第二步: 在选题阶段, 以实际项目为导向, 选定交叉学科反向的课题。

在研究生选题或本科生创新创业的选题阶段, 以省部级以上冶金类智能制造项目为支撑, 从工程实践与基础应用的角度确定具体课题研究内容, 既可选择这类项目研究的部分内容, 亦可为这类项目的适当延伸与扩展, 可视具体情况而定。

实施案例: 以我们团队所主持承担的国家自然科学基金重点项目《基于大数据和云计算的铝电解生产知识自动化决策系统设计方法与应用验证》(项目编号: 61533020)、《流程工业过程操作优化决策

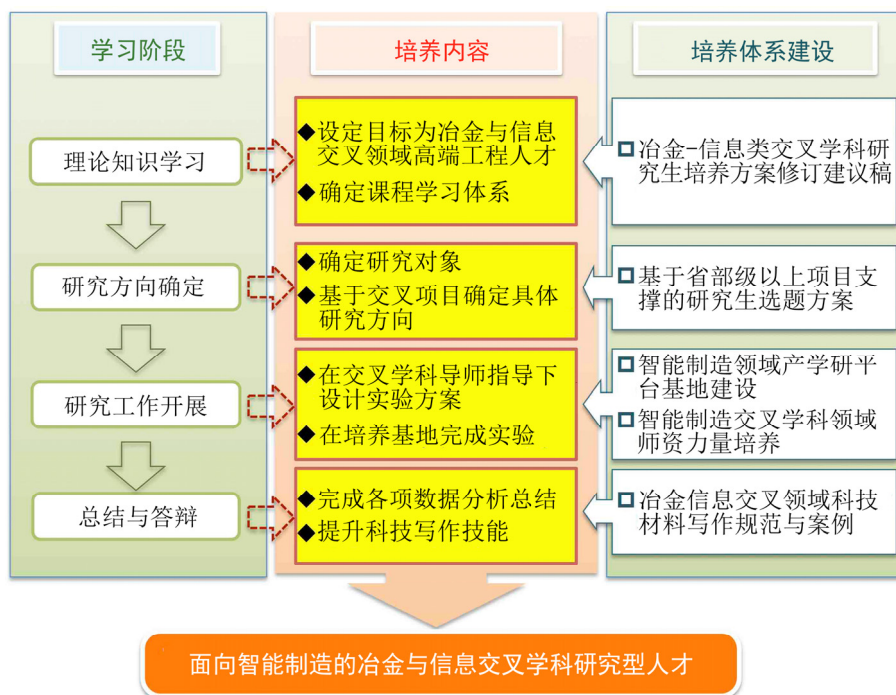


图 1 冶金信息类交叉领域高端人才培养体系

的知识自动化方法及应用》(项目编号: 61751312)为契机, 结合我校冶金-信息类研究生具体情况, 对冶金类的研究生, 其选题定位于应用信息技术解决冶金的基础问题, 其研究内容仍为与冶金相关; 而对于信息类的研究生, 则结合铝电解的特征, 以某个具体的工艺上的知识自动化作为选题。以中南大学冶金与环境学院李劫教授团队及中南大学信息科学与工程学院桂卫华教授团队的部分研究生为例, 详细的论文选题如表 1 所示。

表 1 冶金-信息交叉领域研究生选题实践

序号	姓名	专业	研究生论文选题	硕/博
1	陈祖国	自动化	基于机器视觉的铝电解槽火眼处理	博士
2	岳伟超	自动化	基于多源知识融合的铝电解工况变化溯源分析	博士
3	曾朝辉	自动化	基于表观溶解滞后系数的氧化铝浓度识别	博士
4	国辉	有色金属冶金	基于大数据的铝电解槽寿命预测与预警	硕士
5	汤卓	有色金属冶金	基于数学模型的底吹炼铅炉工艺优化	硕士

第三步: 在研究生课题研究阶段, 由交叉学科领域教师为课题指导老师, 在共建的领域平台上完成课题的研究。

在研究生课题的具体研究过程中, 首先需要相关交叉领域教师指导, 其次需要跨学科的平台支撑, 这样才能够最大限度地提升研究生的培养效果。在具体实践过程中, 结合我校在冶金与控制工程学科优势, 立足于智能化、节能与资源高效利用, 以难冶有色金属资源高效利用国家工程实验室、有色冶金自动化教育部工程研究中心等平台为核心, 搭建和完善以铝电解为代表的冶金信息交叉学科人才培养基地, 拥有数十位冶金-信息交叉领域的高级职称教师。

教学团队主要包括: 中国工程院院士 1 人(桂卫华教授)、教育部长江学者 1 人(李劫教授)、国家自然科学基金杰出青年基金获得者 2 人(阳春华教授、谢永芳教授)、其他高级职称人员超过 20 人, 均为长期从事有色金属冶炼及其自动化控制相关领域研究的专家, 拥有丰富的理论和实践积累。

在平台硬件搭建上, 配置包括“冶金工业过程监测、控制与优化”研究平台、智能信息处理和数

据挖掘平台、3D 虚拟现实仿真平台、流程仿真 IBM 高性能并行计算实验系统、集散控制系统及其开发平台、自主研发的铝电解槽多相多场耦合仿真和智能控制实验开发平台、基于多现场总线的网络控制系统。特别是本团队于 2016 年搭建了国内首家铝电解工业大数据中心, 通过 VPN 方式连接铝电解企业的生产现场获取工业运行数据, 并配置数据服务器和 HADOOP 集群实时处理铝电解生产数据, 形成铝电解过程工况实时分析与监测平台。

此外, 还优化平台的软实力建设, 开发了《铝电解虚拟仿真教学软件》, 可为冶金-信息交叉领域的学生提供基础理论的支撑, 同时, 还在相关课程设置上进行了大量探索, 如优化研究生课程“冶金过程计算机模拟与程序设计”等, 通过面向全校开发的模式, 为学生灌输交叉学科的思想。

在上述教学团队与平台支撑下, 可实现在研究生选题、现场实习、课题完成等环节的精细化培养。

第四步: 在总结和答辩阶段, 由交叉领域的教师把关, 对学生的成果及相关写作能力予以指导。

此环节主要为总结和归纳研究生在研究生期间的研究成果, 学生一方面完成课题的总结报告, 另一方面完成硕士学位论文和学术论文的撰写。同时, 在交叉领域的教师指导下, 规范论文或报告的文字表述、图表处理等, 培养学生的文字表述能力。

### (三) 达到效果

经历以上四步的培养, 可以让一个纯冶金专业或信息专业的研究生, 初步具备独立从事冶金-信息交叉领域科学研究的能力, 实现高端人才培养目标。本团队组经过这一改革过程, 已成功培养冶金信息交叉领域高端人才多人, 获得用人单位的一致好评。其中, 已毕业的有色金属冶金专业的硕士生汤卓, 在校期间, 通过我们这一创新体系的培养, 同时兼具了有色金属冶炼的专业背景及信息化相关的知识, 他毕业后签约华为技术有限公司, 精准定位于该公司在非洲相关冶炼项目的研发与服务上, 只需在特定的专业信息技术上简单培训便直接上岗, 为企业节约大量的培训时间, 学生本人对我们的培养模式十分认可, 真正实现了学校与企业的直线对接。

### 三、结论

面向智能制造是当前有色金属发展的大趋势, 而冶金与信息类交叉领域高端人才是有色金属智

能制造变革的基本支撑。针对冶金-信息交叉领域人才的缺乏, 论文探索了人才的培养体系及相关实践, 主要结论如下:

(1) 对冶金-信息交叉领域人才培养模式与定位、培养体系、师资与平台建设进行设计与规划, 基本确定了一套人才培养的原型系统。

(2) 在研究生理论体系学习、课题选题、课题研究及答辩等阶段, 针对基础课程设置、选题范围及课题研究模式等方面进行创新实践, 探索形成一套系统的冶金-信息交叉学科人才培养体系, 为学生毕业后独立从事冶金信息交叉领域专业工作打下坚实基础。

#### 参考文献:

- [1] 莫欣达. 铝冶炼行业盈利情况好转下行压力犹存[N]. 中国有色金属报, 2015-1-22(03).
- [2] LI Jie, XIAO Jin, LIU Yexiang. Hierarchical intelligent control system for aluminum reduction cells[C]// Huglen, Reidar. Light Metals 1997. Orlando, Florida: The Minerals, Metals & Materials Society, 1997: 463-467.
- [3] LI Jie, HUANG Yongzhong, WANG Huazhang. An estimation model of alumina concentration for point-feeding aluminum reduction cells[C]// Mannweiler Ulrich. Light Metals 1994. Nashville, Tennessee: The Minerals, Metals & Materials Society, 1994: 441-443.
- [4] LI Jie, DING Fengqi, ZOU Zhong. Development of fuzzy expert control technique for aluminum electrolysis[C]// Anjier Joseph. Light Metals 2001. Nashville, Tennessee: The Minerals, Metals & Materials Society, 2001: 1-6.
- [5] LI Jie, LÜ Xiaojun, ZHANG Hongliang. Development of low-voltage energy-saving aluminum reduction technology[C]// Barry Sadler. Light Metals 2013. San Antonio, Texas: The Minerals, Metals & Materials Society, 2013: 557-559.
- [6] 桂卫华, 王成红, 谢永芳, 等. 流程工业实现跨越式发展的必由之路[J]. 中国科学基金, 2015(9): 337-342.
- [7] FENG Qian. Smart and optimal manufacturing: the key for the transformation and development of the process industry[J]. Engineering, 2017, 3(2): 151.
- [8] 唐堂, 滕琳, 吴杰, 等. 全面实现数字化是通向智能制造的必由之路——解读《智能制造之路: 数字化工厂》[J]. 中国机械工程, 2018, 29(3): 366-377.
- [9] 黄润, 陈朝轶. 浅析冶金工程专业人才培养现状[J]. 教学研究, 2017, 44(7): 113-114.

[编辑: 何彩章]