

“老科学家学术成长资料采集工程”系列报道③

陈家镛,中国科学院院士,我国著名的化学工程学家和冶金学家。他在大学和研究生期间主修化学工程,1956年回国后加入中国科学院化工冶金研究所,开拓了我国湿法冶金研究的新领域,面向国家重大战略急需开展了长期艰苦卓绝的工作,取得的大量科研成果服务于国家经济和国防建设。主编《溶剂萃取手册》《湿法冶金手册》等专工工具书,先后获国家自然科学基金、技术发明奖、科技进步奖5项,1996年获何梁何利基金科学与技术进步奖。

陈家镛:化工“牵手”冶金

■毛在砂 刘伟

作为著名化工专家,他辛勤耕耘,为推动我国化学工程学科建设和发展作出了积极贡献;作为我国湿法冶金的开拓者之一,他坚持不懈,使我国的湿法冶金在很多方面已达世界先进水平;作为我国首批博士生导师之一,他循循善诱、诲人不倦;作为连续五届的全国政协委员,他积极参政议政,为我国的科技发展建言献策。

心怀科技报国梦想

陈家镛1922年出生于四川成都金堂的一个知识分子家庭,父亲陈松普早年曾开办私塾,祖上还留有一些薄田,足够维持一家人日常生活。陈家镛排行第四,是家中的长子,父母对他寄予了很高的期望。

1925年为躲避战乱,陈松普举家搬至成都市区青龙街的祖屋居住,陈家镛在离家不远的成都县立高等小学和成都县立中学校(现成都七中)度过了十二载光阴。能够在战火纷飞的年代入读成都当时最好的学校,陈家镛倍加珍惜来之不易的学习机会,他学习勤奋刻苦,待人热情诚恳,在学业和操行方面都出类拔萃。他后来曾回忆说,“我从上小学五年级开始,面对日本的军事侵略和工业品倾销就立志要为中华民族的强盛而努力奋斗,人生的每一步都在实践自己的诺言!”

1939年中学毕业后,心怀科学与工业报国理想的陈家镛如愿考取了名师荟萃、专业拔尖的国立中央大学化学工程系。他在重庆遇到了杜长明、高济宇、李景晟、时钧等国内学界一流的老师。凭借学业上的过人天赋和勤奋刻苦,陈家镛赢得了老师们的称赞,毕业后得到了留校任教的机会。

任化学系助教期间,在恩师高济宇的指导下,陈家镛试制成功了被国外垄断的农药滴滴涕(DDT)。作为一种有效的杀虫剂,DDT当时在中国被外国商人渲染成技术含量很高的产品。陈家镛虽然性格内向、不善言辞,但在科研工作上敢于质疑、大胆探索,终于突破了外国的技术垄断,扭转了其“神秘面纱”,他的科研水平和创新能力被系里师生刮目相看。

在高济宇、李景晟等教授的推荐下,陈家镛于1947年申请到了赴美国伊利诺伊大学留学深造的机会。他还经过层层选拔,通过了国民政府组织的公派留学考试。时任该校化学系主任的罗杰·亚当斯教授(Prof. Roger Adams)非常喜欢这位来自中国的留学生,认为他聪明好学、功底扎实、勤奋上进,让他先后师从斯万(Sherlock Swann)和约翰斯通(H.F. Johnston)教授攻读硕士和博士学位。

伊利诺伊大学的学术氛围很好,尊重学生们的想法,鼓励他们原始创新,陈家镛按照自己的兴趣和志愿,开展了碳(石墨)与空气及水的反应动力学的研究,科研装备大都由自己亲手设计制作,仪器仪表都要自己安全调试,既动手又动脑,他也因此掌握了车、钻、焊等方面的技术。陈家镛在绘图方面的特长得到了教授们的青睐,当时建设的五层东化学楼的设计图就是出自他之手,该楼目前保存完好仍在使用。

1952年从伊利诺伊大学毕业后,陈家镛受聘去麻省理工学院做博士后,主要从事C+CO₂→2CO反应动力学研究。一年半以后,约翰斯通教授申请到了“用纤维层过滤气溶胶”的研究课题,邀请陈家镛回校做研究助手,作为项目负责人之一开展博士后研究工作,部分研究结果发表

在1955年美国《化学评论》杂志上,引起了学术界重视,曾被译成多种文字,被认为是那个时期气溶胶过滤领域工作的总结,文中提出的计算公式一直沿用至今。

博士后出站,陈家镛不想留校任教,而打算去企业工作,想更好地了解工业生产过程,毕竟科研教学与工业生产是两回事,最重要的是他考虑将来回国要面对的实践问题比较多,因此他受聘到位于美国布法罗的杜邦公司薄膜部约克斯研究所任工程师,参加了对苯二甲酸二乙基聚酯的连续聚合过程的研究。他根据化学反应工程学概念对该聚合反应速度的控制因素提出的新看法,得到了同事的实验证明,改变了对该聚合过程的强化方法,使得生产流程得以优化改进,企业获益颇丰。陈家镛曾表示,“那时并不是因为我的技术水平比别人高多少,而是得益于胆子够大,敢想敢做,所以才取得了一点点成绩。”从谦逊的话语中能够体会到他心中对科研的那份执著与从容。

开拓湿法冶金新领域

1956年,中美两国政府达成相关协议,中国留学生的归国之路重新开启,与此同时,周恩来总理又代表党中央发出了希望海外学子归国的号召。

陈家镛夫妇决定带着两个女儿回国报效。就在他们起程前的一个傍晚,一位自称联邦调查局“调查员”的不速之客用带有挑衅性的话语对他们进行了盘问,他们处之泰然,完全没有被其恐吓所震慑。

回国前,陈家镛还收到了享誉世界的著名冶金学家叶渚沛先生的来信,邀请他到正在筹建的中国科学院化工冶金研究所(以下简称化工冶金所,2001年更名为过程工程研究所)工作。陈家镛在上大学时早已久闻叶先生大名,于是回国后便欣然接受其邀请,加入了化工冶金所,担任湿法冶金研究室主任,带领同事们开发湿法冶金技术处理国民经济建设急需的多种有色金属矿。在云南东川、墨江,四川攀枝花,上海,天津等地的企业都留下了他们的足迹与汗水。

“火法冶金”又称高温冶炼,这种传统方法有很大局限性,对于复杂、难选、低品位矿石基本“束手无策”,造成资源的极大浪费;而二战时“湿法冶金”提铀曾“大显身手”,它通过浸取将金属浸入溶液然后用萃取方法分离金属,该方法特别适合处理此类矿物,而且耗能低、污染少,是一种环境友好的清洁生产方法。

陈家镛学化工出身,转投冶金领域对他来说可谓一项“挑战”。刚入所的那两年间的压力非常大,那时曾感叹道:“不懂火法冶金,根本无法开展湿法冶金。”于是他了解国家矿产资源分布入手,通读了《矿物通论》,对岩石组成、矿物鉴定、选矿技术等进行了悉心研究。

在钻研“火法冶金”时,他凭借原先的知识积累,在化学反应动力学和热力学方面作了深入研究。功夫不负有心人,陈家镛与同事们开始对含铜约为0.44%的云南东川尾矿回收铜进行技术攻关,在中关村进行了小型实验和中间试验,打通了氨浸流程。其间遇到了许多意想不到的困难:蒸汽锅炉供气不足只能晚上试验,在噪音巨大的车间里协同试验咳嗽嗓子,氨水呛人热浆飞溅仍坚守岗位保证试验等等。

1960年,陈家镛在昆明向中科院数理化学部主任严济慈汇报了东川尾矿氨浸的试验结果,得到了好评,冶金部随后决定在东川建立了日处理量为10吨的氨浸扩试车间。次年待厂房建好后,湿法冶金室先后派杨守志、尤彩真、安震涛、范正、夏光祥等同志去东川工作,组织各系统工程设备的安装调试。1962年下半年正式进行了全系统的中间试验,这是我国第一次利用加压氨浸技术回收铜。

当时全国处于三年自然灾害困难时期,粮食供应不足只能吃土豆,土豆吃多了脑袋疼,现场的同志们只能在试验之余挖野菜、刨土豆。陈家镛经常来东川指导并参与试验,一待就是几个月,他将东川烟厂局向上级申请特批的一点点白面、猪肉、香烟也都贡献出来,让大家的生活能够得

“我从上小学五年级开始,面对日本的军事侵略和工业品倾销就立志要为中华民族的强盛而努力奋斗,人生的每一步都在实践自己的诺言!”

到稍许改善。

就是在这样异常艰苦的环境中,化工冶金所与其他单位的同志们一起完成了日处理10吨矿石的中间试验,撰写了《东川汤丹尾矿连续浸取报告》和《东川汤丹尾矿氨浸取报告》等研究报告,1964年底通过了云南省冶金局的鉴定。日后又建立了日处理量为100吨矿石的中试车间,并一直生产到1976年。

云南东川生产的大量铜矿一直服务于国民经济建设和国防建设,陈家镛与同事们作出了不可磨灭的贡献,时至今日东川矿务局的许多老同志仍清晰记得与化工冶金所同仁们一起在东川技术攻坚度过的日日夜夜。

与此同时,针对我国甘肃金川、四川攀枝花等共生矿中有色金属难于分离的特点,湿法冶金室加强了分离科学与工程的研究。例如,陈家镛和同事们发现,攀枝花钒钛磁铁矿某些矿点有难于分离的钒、铬共生的特点,他们尝试用胺类萃取剂进行有效分离并取得突破,推动了系列经常伴生的金属如钒和铬、钨和钼、铜和镍等之间的分离,以及砷、磷、硅与钨、钼分离的新工艺。他们还将“相转移”原理引入萃取领域,解决了磷酸酯萃取剂中负载的铁难于反萃的问题,为实现磷酸酯萃取除铁在工业中的应用开辟了切实可行的

方向,终获重大突破。

湿法冶金在回收金、银、铜、镍、钴等有色金属方面为国家创造了巨大财富,这项环境友好的清洁生产也成为中国援助第三世界兄弟国家的一份“厚礼”。由化工冶金所承担的“阿尔巴尼亚红土矿综合利用”是“文化大革命”期间国家的重要援外项目,方毅副总理曾多次来所视察并给予高度评价。郭慕孙和陈家镛共同领导科研人员联合攻关,采用流态化还原焙烧—氨浸镍钴—Fe₂O₃磁选—炼钢的路线,在上海进行了每日100吨规模的扩大试验,取得满意结果,后成功在阿建厂生产,为中阿两国的友谊增添了浓墨重彩的一笔。

实现化工技术新飞跃

虽“转攻”湿法冶金研究,但陈家镛始终没有放松对化学工程的探索与创新,深知化学工程作为学科基础的重要性。他倡导将化学反应工程学与湿法冶金结合起来,开展气液固三相反应器及非均相反应动力学的研究,延续至今已取得多项重要成果,成为研究所开展化学工程学研究的基础。

陈家镛用化学反应工程停留时间分布的概念和方法研究环流反应器(Pachuca tank)的流体力学性质,为设计、应用提供了理论依据。湿法冶金室在1980年前后成功开发了作为中试设备的多层气提式环流反应器(5级,总高16.6米,直径800毫米),在东川汤丹尾矿日处理量达100吨铜矿的中试生产中应用;同时亦用于四川攀枝花含钒钒渣的钠化提钒浸取半工业装置(5级,总高7.93米,直径420毫米)。该设备空气搅拌的利用效率高,级内混合好,级间返混弱,占地面积小,是国内湿法冶金工业中首次成功应用。

1981年陈家镛首次提出环流反应器的分区模型,把环流反应器的模型从简单的理想全混流模型推进到更真实的分区模型(上升区、下降区、上部气液分离区),并用于分析、关联环流反应器中的气液传质速率,证实了分区分析的有效性。随后,与国际化工界将计算流体力学推进到多相反应工程的模型化研究趋势同步,陈家镛指导硕士生将分区模型向机理化的方向推进,对环流反应器整体建立了二维两流体模型,首次用稳态算法的自编程序求解,全面地解析了环流反应器中的两相流体力学行为,研究处于当时化学工程前沿,这也为其他多相反应器的深入研究奠定了坚实基础。

上世纪90年代,陈家镛主持国家自然科学基金重点项目,以新的思路和多学科交叉的方法,对滴流床气液固三相反应器中的非线性滞后现象、流动分布的不均匀性和滴流床的数学模型进行研究,大大推动了多相反应器模型化的研究工作。

陈家镛还敏锐地意识到,认识多相化工体系中颗粒(包括液滴、气泡和固体颗粒)在宏观流场和浓度场中的行为,是建立反应和分离设备的整体数学模型的重要基础,他带领学生率先用数值模拟方法研究溶剂萃取体系中的可变形、中等雷诺数单个液滴和液滴群的运动和相间传质,以及固体颗粒群运动和传质的数值模拟。这些化学工程基础研究成果也是2009年国家自然科学二等奖“多相体系的化学反应工程和反应器的基础研究及应用”的重要组成部分。

面对国家重大战略需求,陈家镛在上世纪80年代末期,决定开展抗生素新萃取体系和生物产品分离强化方面的研究,在青霉素、林可霉素、去甲基金霉素等抗生素的提取分离方面发现若干卓有成效的混合溶剂体系,在生物医药产品的提取分离方面已经取得可观的进展。

结合我国“过程工业”的发展现状,坚持应用基础研究与工业实践相结合,坚持“理论—工艺—工程”相结合,开展萃取分离过程与技术创新中带有共性的应用基础研究,对微乳液的技术结构和形成机理开展研究,研究了反胶团萃取、预分散溶剂萃取及液膜萃取等一系列的微乳萃取过程,利用微乳结构的特性形成的“微反应器”来制备超细功能材料。

这些工作大大促进了萃取分离技术的新发展,集成各类分离技术的特点,创造一批先进的科技成果,形成理论向现实生产力转化的桥梁。

此外,陈家镛在材料学方面也颇有建树。“文革”时期,考虑到化工冶金所的学科基础及学科发展,陈家镛等制定了“涂层复合粉末—超细粉末—陶瓷粉末”的制备和应用的研究技术路线。经过湿法冶金室多年的协同攻坚,镍包铝粉、钴包碳化钨、镍包石墨粉、铝包空心玻璃球等复合粉末材料和镍粉、钴粉、铜粉、氧化物超细粉末均研制成功,满足了国民经济建设及国防建设的迫切需要。

陈家镛先后培养了50余名研究生,对学生悉心指导、因材施教,鼓励创新、全力支持,始终坚信“青出于蓝而胜于蓝”,现在这些学生都已经是本学科的学术带头人。

1980年,受方毅副总理委托,陈家镛代表化工冶金所与美国李氏基金会达成协议,自1982年起每年选派一名冶金或材料专业青年研究人员到美国做进修培训,期限一至二年,学成后回国服务。目前已有近20名青年才俊得到项目资助,他们中许多学成后回所工作,现已成为研究所发展的中坚力量。

陈家镛经常教育青年要“学然后知不足”“知之之为知之,不知为不知,是知也”“要实事求是,不要弄虚作假,不要心存侥幸”。他谦虚谨慎、严格求实的作风是留给后辈学生的宝贵精神财富。

(作者毛在砂系中国科学院过程工程研究所研究员,刘伟系中国科学院过程工程研究所离退休及院士专家服务办公室业务主管)

延伸阅读

深入矿山为人民

——记陈家镛先生的云南情

■杨守志

领导及技术骨干讨论研究方案,交换信息。经过协商,矿务局对化工冶金所的研究方向及初步结果给予充分肯定,决定在东川建立一个中试试验厂,以验证其用于生产的可行性。该建议经治金部批准后,第二年即建成试验投产,并取得预期成效,1964年通过技术鉴定。在此期间,陈先生每年都要亲赴现场和大家一起工作。有一次在昆明来东川的公路上遭遇车祸,所幸并无大碍。

此行的第三站是墨江镍矿。当时得知,在云南红河州墨江县发现了氧化镍矿,镍是重要的战略金属,陈先生意识到这一发现的重要意义,决定前往考察。但是该地交通极为不便,经与云南冶金局沟通,正好有一辆大货车空车返回墨江,驾驶室较大,陈先生毫不犹豫地决定搭车前往。同行的除我外,还有昆明冶金所的一位同志,这比搭乘长途汽车要宽敞些,行车速度也快些。当时的云南,主要的交通工具就是汽车,而且无柏油路面,全是凹凸不平的土路,一路穿山越岭,路旁的悬崖峭壁、峡谷深洞令人胆战心惊,行至平坦路面提着的心才能稍微放松。途中在元江县住宿,旅社极为简陋,房间狭小,灯光昏暗,老鼠跑来跑去,被褥略带酸味,只能和衣而卧。次日清晨,天刚蒙蒙亮我们就出发了,司机们都习惯早起,便于赶路。那天真

也凑巧,刚出城翻过一个山岭,忽见路旁山坡上一只大灰狼虎视眈眈向下窥望,我们赶紧关闭车窗疾驰而过,那只灰狼紧跟几步但也未继续追赶,听说山头的狼常追赶卡车觅食,遇到车上有可食之物便会跳上车猎食,还好我们是辆空车。

当天下午平安抵达墨江矿务局,墨江镍矿尚未投产,条件有限。次日我们走访矿区后,陈先生与矿领导对研究方案进行讨论与交流,会后矿务局决定向化工冶金所提供矿样,以便在北京开展研究。墨江镍矿中的镍以硫酸镍形态存在,选矿冶炼都很困难。陈先生决定借鉴国外经验,采用氢气或水煤气在高温下进行还原焙烧,冷却后再用氨水通空气氧化进行浸取,即可使镍溶于氨水中而得以回收。同时伴生的钴亦可一并回收,从而打通了墨江镍矿的技术路线。墨江镍矿矿样运抵北京后,我们随即投入紧张的试验。

从墨江回到昆明,陈先生此次在云南奔波一月有余,途中舟车劳顿,所到之处条件艰苦,但陈先生为了人民的事业深入矿山,亲赴第一线实地考察,充分了解了当地的矿藏情况和需要,为日后开展研究工作打下了良好基础。

(作者为中国科学院过程工程研究所研究员)

1959年秋,为了祖国的冶金事业迅速发展壮大,化工冶金所一行四人,在陈家镛先生的带领下前往昆明,参加有色金属学术会议,并到云南主要几个有色金属矿山考察。陈先生放弃乘飞机,与大家同乘火车和长途车,经长途跋涉抵达云南昆明,屈指算来用了五天时间,在当时来说已经是“大跃进”的速度了。

首次有色金属学术会议由冶金部云南有色局承办,中国科学院数理化学部主任严济慈先生主持。我们就云南东川铜矿的加压湿法冶金提取铜、湖北大冶铜矿的流态化焙烧提取铜这两个国家科技攻关课题作了汇报,得到与会领导的肯定。

会后,我随同陈先生到云南三个矿山调研,这段往事回忆起来,仍然历历在目。第一站是锡都个旧。前往个旧的小火车是法国入侵中国时修建的,称作“米轨”,与如今标准铁轨列车差别不大,就是速度有点慢。抵达目的地的次日,陈先生带我到云南锡业公司的研究所、选矿厂、冶炼厂等参观座谈,所作的报告深受当地技术人员的欢迎。

从个旧返回昆明还未及休息,陈先生又带我马不停蹄地赶往第二站东川。此行赴东川的目的在于亲临矿山考察资源状况,并与矿务局



①1955年,陈家镛夫妇与两个女儿在美国照相馆留影
②1962年,陈家镛(中)在东川与中试车间部分工作人员合影
③1993年,陈家镛夫妇与来访的美国伊利诺伊大学校友会成员合影