

追寻半导体材料的自立自强：十二年科技规划时期 江苏锗提炼的探索过程

李 昕^{1, 2}, 孙 烈¹✉

(1. 中国科学院 自然科学史研究所, 北京 100190 ;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 1956 年制定的《1956~1967 年科学技术发展远景规划》将解决锗的原材料问题列为发展半导体技术的核心环节。20 世纪 50 年代末至 60 年代初, 国内多地开始尝试锗提炼。江苏溧水发现含锗赤铁矿后, 在中国科学院江苏分院 (江苏省科委) 和江苏省冶金局先后主持下, 探索出了一套独特的工艺和设备方案。梳理了半导体技术在江苏取得锗提炼突破的具体探索过程, 认为探索活动也是规划科学技术时期不可忽视的一部分。

关键词: 锗; 半导体; 十二年科技规划; 江苏

中图分类号: TN304 ; K27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-4969(2021)01-0065-09

引言

1956 年,《1956~1967 年科学技术发展远景规划》(简称“十二年科技规划”)制定并开始实施,“半导体技术的建立”成为“国家重要科学技术任务”。第 40 项规划明确指出:“在开始阶段,解决锗的原材料和提纯问题,以及掌握和发展锗和硅电子学器件的制造和应用技术是本任务的首要工作”^[1]416-417。

中国学者当时的判断是准确的。早期半导体材料的主角就是锗^[2]203。美国的锗工业化供应促成了 1948 年贝尔实验室发明点接触晶体管,至 1959 年,全球销售锗半导体器件超过 1 亿个,而硅半导体器件才 480 万个^[3]。时至今日,尽管硅已成为主要的半导体材料,但由于锗的独特性能,仍被用于制造高频大功率器件、太阳能电池和红外探测器等电子元件,在国防军事和航空航天等

领域发挥着重要作用。

锗作为一种稀有分散元素,在自然界中存在于极其稀有的锗矿(如锗石、硫银锗矿和硫铜锗矿等),或者呈分散状态分布于其他元素组成的多金属矿床中。锗资源不同,富集提取方法往往也不一样。晶体管的出现直接带动了锗提炼技术的发展。20 世纪 50 年代,美国国内主要从铅锌矿中提炼锗,在比利时则是用非洲运来的锗矿提炼锗^[4]61;英国主要从煤的烟尘中提炼锗;日本的东京煤气公司从煤气液中回收锗,而三菱金属矿业公司利用烟化法制取锌时产生的烟尘提炼锗^[5];苏联主要从炼焦副产物中提炼锗^[6]。以美国为例,相比于 1948 年年产还原锗锭所用的原料——二氧化锗 0.4536 吨,到 1955 年,二氧化锗年生产量已经达到 31.71 吨,增加了 70 倍;1956 年,美国精炼锗的产量已达 11.3 吨^[7]。

收稿日期: 2020-12-24; 修回日期: 2021-01-08

基金项目: 国家自然科学基金“基础研究引领重大原创性突破的科技启示”(L1924019)

作者简介: 李 昕 (1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事中国早期半导体史研究。

✉孙 烈 (1972-), 男, 博士, 研究员, 研究方向为近现代科技史。E-mail: sunlie@ihns.ac.cn (通讯作者)

显然,中国若要发展半导体技术,制备足够量的锗是首当其冲的问题之一。王守武等跟踪了国外的发展动态后认为:“锗是当前试制和生产半导体电子器件中最重要的原料之一。如果没有足够量的锗来供应需要,一切研究成果都会落空”^[8],“目前我国建立与发展锗工业是刻不容缓的任务。要完成这个任务,首先就应该解决锗的原料来源问题”^[6]。

20世纪50至60年代,锗资源的发现与提炼是中国自主发展半导体技术的核心环节。目前已有物理学人物传记提供了中国早期半导体技术发展的线索^[9],但尚未重视从多学科的视角理解与审视锗材料的自主化历程。

十二年科技规划对半导体等新兴技术的发展产生了深远影响^[10]。如果刻板地从规划来理解中国早期半导体的发展,容易忽视其中大量的探索甚至试错过程。目前关于十二年科技规划的研究,大多提及半导体技术等四项紧急措施的规划^[11,12],结果似乎不言而喻。然而从规划到突破,毕竟不是一蹴而就的。本文选取的20世纪50至60年代江苏从赤铁矿中提炼锗一事,就不是一个按部就班的“规定”动作,而是一个颇具探索与独创的过程。

1 江苏锗提炼的背景

1954年,王守武所在的中国科学院应用物理所为了从国外获得100g纯锗费尽周折^[13]¹⁶。同年,重工业部有色局有色金属工业试验所(后更名为北京有色金属研究院)尝试用丹宁(亦被译作“单宁”)沉淀法从炼焦厂氨水中回收锗,但收效甚微,难以规模化生产来解决国内需求。江苏地区之所以要从含锗赤铁矿中提炼锗,走一条与国内外已有方案不同的发展之路,有其深刻的背景。

十二年科技规划后,国内多个地区都尝试提炼锗。其中,中科院长春应用化学研究所、北京有色金属研究院、吉林冶金试验所、长春市煤气

公司等率先从煤烟灰中提炼出二氧化锗。特别是在长春市煤气公司试验成功后,国家技术委员会在该公司召开了现场会议以推广此经验。江苏提炼锗的最初方案,受到了长春的影响。1958年7月,江苏省工业厅化工研究所(以下简称“江苏省化工研究所”)开始借鉴长春市煤气公司的方法进行从烟道灰中提炼二氧化锗的试验工作^[14]。

1958年华东地质勘探部门在普查找矿工作中,在江苏省溧水、高淳、江浦和安徽省的宣城、当涂等县二十余处发现了一种含锗的赤铁矿,资源丰富^[15],其中最重要的是位于溧水渔歌乡的南山头含锗赤铁矿。根据1959年的地质报告,南山头含锗赤铁矿在当时已探明赤铁矿储量2.25万吨,锗的储量为3.2268吨^[16],1962年探明远景锗储量50吨以上^[17]。由于锗品位较高,具有较大价值,被地矿部门视为一种具有开发价值的锗矿体,而铁“仅作为附带利用”^[18]。

含锗赤铁矿的发现,使得江苏提炼锗不仅比使用烟道灰资源更有潜力,而且还有综合回收铁的可能。可是,含锗赤铁矿的开发利用鲜见于国内外的研究^[19]。面对具有本地特色的全新矿体资源,江苏需要新的技术方案。1958年江苏省科学工作委员会(1959年7月更名为科学技术委员会,以下均简称为“江苏省科委”)成立了由江苏省化工研究所、江苏省地质局实验室、南京大学化学系和物理系、南京化工学院化工系、南京化工厂772厂和714厂等机构组成的技术组,任务是在最短时间内提出冶炼和提纯锗的方案^[20]。同年底,中国科学院江苏分院(与江苏省科委实行“两块牌子、一套机构”的模式合署办公)开始筹建半导体研究所(以下简称“江苏半导体所”),开展半导体材料与器件的研究工作^[21]。

不可忽视的是,“大跃进”对全国提炼锗也产生了影响。“大跃进”运动开始后,在中央号召大办科学、大闹技术革命、向尖端技术进军和综合利用资源的背景下,全国多地开始组织单位和群众提炼和回收锗,但远没有估计到实

际的难度。

1958年9月,中国科学院党组邀请各省市自治区科技工作负责人及各部门研究机构代表举行了一次座谈会,会上对各省市自治区提炼锗材料提出了初步建议,向负责编制十二年科技规划的国务院科学规划委员会汇报后得到了聂荣臻的同意。在建议中,江苏、安徽、浙江、江西、上海、山东、辽宁、黑龙江、吉林、河北、山西、陕西、四川、云南、广东和广西等省市都被分配了锗的生产指标,全国合计达到24.1吨,江苏省被分配到了2吨,并希望一旦某省生产出半导体材料,要“分成支援中央和各兄弟省”^[22]。这些指标远远超出了当地的实际能力,很多地方才刚刚开始尝试生产锗原料,产量往往以“克”而论。

2 工艺流程的探索

江苏提炼锗的目的是获得还原锗锭(也可称作还原锗、粗锗、金属锗等),经过多次区熔提纯后,通过直拉法、水平拉法和无坩埚区域熔炼法等方法同时加入Ga、Sb等掺杂剂制备锗单晶,用于半导体器件的制造。

技术组在提炼锗的技术方案中曾经提出了两类试验性的提炼锗工艺,分别是以湿法为主的直接提炼锗工艺和以火法为核心的烟尘富集提炼锗工艺^[20]。后者的特点在于通过冶炼炉富集烟尘产生锗精矿,完整工艺流程由南京军区后勤302厂(以下简称“302厂”)和南京化工学院等机构提出,后被以北京有色金属研究院为主的工作组在中间性试验中改进,并确立为最终方案。

2.1 直接提炼工艺

直接提炼锗工艺是指将含锗赤铁矿石直接用于锗的分离与提取的方法。由于技术组主要是由化工方面的技术力量组成,所以按照化工实验室操作的思路,提出了浸取法、机械处理法、焙烧法、熔融法和直接氯化法等初期的工艺。技术组的各参与机构在1958年11月到12月间密集开展了有针对

性的尝试。在试验中,技术组发现机械处理法、焙烧法、熔融法和直接氯化法均“效果不好”^[23]。这些试验说明技术组当时还不了解含锗赤铁矿的基本性质,仅能通过化工经验寻找适用方案。

相比而言,浸取法是技术组在初期直接提炼锗试验中尝试最多,也是较有成效的方法。江苏省化工研究所在探索盐酸和硫酸比例、硫化氢沉淀工作中的适当条件及硫化物的提纯方法后^[23],确定了一套直接提炼锗工艺流程。

这套直接提炼锗工艺尽管可产出大量铁盐,具有综合利用资源的优点,但需消耗大量酸,每千克成品耗用硫酸24吨、盐酸31吨、煤20吨;而且不宜处理万分之一以下的低品位矿,唯有矿石品位高,此法才具经济价值^[24]。

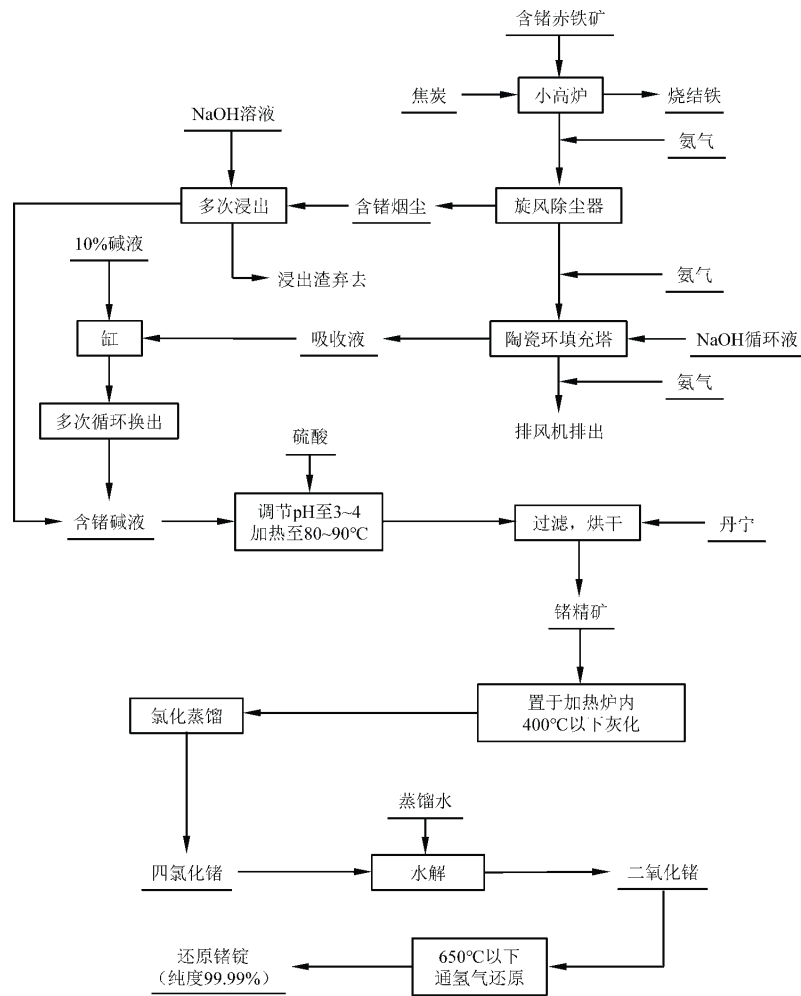
由此可知,从化工原理出发的直接提炼锗工艺,远未达到需要考虑设备问题和用于工业化生产的程度。从技术组中各机构的化工背景来看,初期试验提出了以湿法为主的工艺思路,虽然在常见的化工实验室可以完成,但难以克服经济成本问题。不过,研究湿法工艺对于另一工艺方案——烟尘富集提炼锗的烟尘浸出的摸索还是有积极的影响。

2.2 烟尘富集提炼工艺

江苏也采用冶金常用的火法工艺探究了在高炉炼铁过程中锗是否会在某一产物中富集。

在初期试验中,技术组并未立刻发现合理的方案。1958年11月,南京化工学院在技术工人、金工设备和劳动力充足的南京军区后勤302厂^[25]开展了小高炉进行试验,但炉渣和铁中均未能检测到锗^[23]。

虽然江苏曾在1958年就推测炼铁烟尘中可能有锗^[20, 23],但是利用冶炼炉富集的工艺雏形在1959年才逐渐形成,如图1所示^[26],其理念核心在于利用冶炼炉富集烟尘,而特点是火法和湿法联合使用。当烟尘富集到一定程度后,得到锗精矿。冶炼部分的操作与小高炉炼铁基本相同,但

图1 1959年提出的烟尘富集提炼锗工艺流程框图^[26]

要求炉顶温度在 500°C 以上, 焦比为 0.66。小高炉开始运行后, 锗会随着高炉烟气挥发逸出, 用旋风收尘器将高炉烟气中的烟尘收集, 而后用陶瓷环填充塔以 10% 的 NaOH 循环液吸收气体中的锗。旋风收尘器所得烟尘用 10% 的 NaOH 溶液在 80°C 左右浸取得到含锗碱液。陶瓷环填充塔以 $35\sim 40\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 的喷淋率运行, 当 NaOH 循环液的含锗量为 $0.007\%\sim 0.01\%$ 时^①, 与浸取烟尘所得含锗碱液混合, 用硫酸调溶液 pH 值至 3~4, 并加热至 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$, 再加入丹宁 (按含锗量的 2000 倍) 沉淀, 然后经过滤和烘干得到品位约为 10% 的锗精矿。最后, 将锗精矿在 400°C 下灰化, 再经酸浸氯化、蒸馏、水解、氢

气还原等常规提炼流程即可得到金属锗^[26]。

烟尘富集法工艺雏形主要是由 302 厂和南京化工学院合作完成, 前者主要提供设备研发, 后者主要是工艺试验。截止到当年 11 月, 302 厂为试验研究提供了设备和场地, 其中包括为提炼锗建成的 3 座小高炉^[27], 发挥了关键的作用。因此, 这种富集烟尘的方法后来被江苏省锗生产专门工厂凤凰山冶炼厂 (以下简称“718 厂”) 称为“302 冶炼炉从赤铁矿中提炼锗的方法”^[15]。

此外, 江苏半导体所在 1959 年也探索了用冶炼法提炼锗, 尽管刚建所不久, 技术上落后于 302 厂, 但一年内就打通了整套流程^[28]。溧水县 1959

① 档案原文中有“20000v/ml 即 2%”的表述, 据此推算原文的“70~100v/ml”应为 $0.007\%\sim 0.01\%$ 。

年也仿照 302 厂的冶炼方法筹建了高炉^[27]。

由于火法试验设备和试验条件比湿法复杂, 上述方法是在北京有色金属研究院介入后才有了进一步的推进。实际上, 由冶金部领导的北京有色金属研究院在 1954 年就已经开始探索锗冶金的相关问题。1960 年底, 该院与江苏省冶金工业

局有色处、江苏省冶金研究所等在江苏开展中间性试验(简称“中试”)^[29]。北京有色金属研究院等明确了酸浸的适当条件和制取锗精矿的适宜条件, 还改进了冶炼炉, 并将收集烟尘的主设备更改为有色冶金工业中常用的布袋收尘器^[30], 如图 2 所示^[19]。

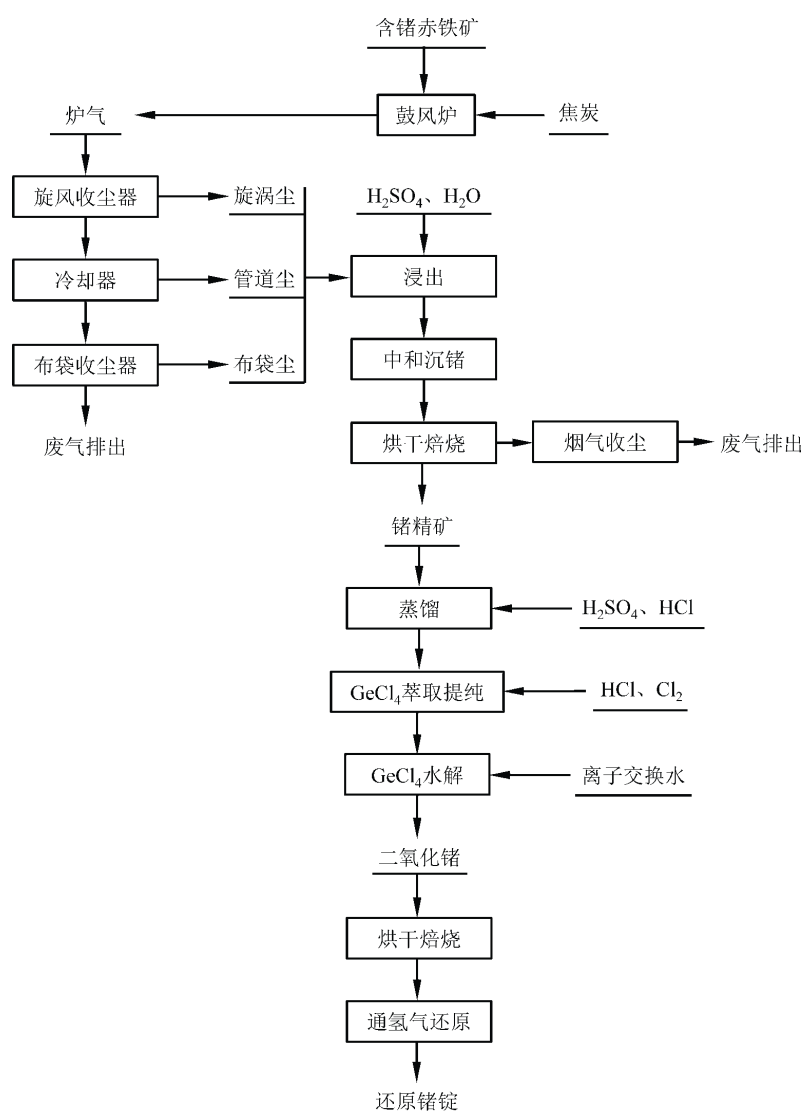


图 2 最终确立的烟尘富集提炼锗工艺原则流程框图^[19]

3 提炼设备

在烟尘富集提炼锗工艺中, 锗精矿的生产是核心环节, 而相关设备直接关系到整个提炼锗方案的成败。因此, 江苏地区提炼锗在设备上的探索, 是在北京有色金属研究院的主导下, 围绕提

高锗精矿的回收率与生产的稳定性而进行, 最终形成了适用于当时工业技术条件的一套工艺与设备方案。

为了进一步确定江苏溧水地区含锗赤铁矿的提炼锗流程, 并促使 718 厂尽快建成投产, 中间性试

验利用溧水县溧水铁厂原有 $0.1\mu\text{m}^2$ 鼓风炉添加布袋收尘设备和在江苏省冶金研究所内新建的直径 0.4m、长 5m 的试验型回转窑进行了多次试验, 从冶炼设备和收尘设备两个方面进行了改进^[29]。

3.1 冶炼设备

概括而言, 探索的关键点在于冶炼设备是选鼓风炉还是回转窑的问题。根据试验方案, 中试的目标和内容主要包括: 研究现有鼓风炉低料柱高温熔炼的过程, 解决铁的综合利用、延长炉子寿命、提高回收率等问题; 为 718 厂培训操作工人、收尘设备的查定与改进、找出影响回收率的因素及改善方法等任务; 验证回转窑还原焙烧挥发氧化锆的可行性, 提出操控条件(如: 炉型结构、气氛、温度、料粒度及配料等) 为设计提供依据^[29]。

(1) 鼓风炉

鼓风炉与炼铁高炉原理基本相同。鼓风炉是竖炉的一种, 是将含有金属组分的炉料(矿石、烧结块或团矿) 在鼓入空气或富氧空气的情况下进行熔炼, 以获得锆或粗金属的冶炼炉, 其熔炼方式可分为还原熔炼、氧化挥发熔炼和造锆熔炼。炼铁高炉也是鼓风炉的一种, 其基本原理是用还原熔炼的方式将铁矿中的铁还原。而在小高炉中挥发富集锆也是利用小高炉的还原气氛, 将二氧化锆在高温下还原成一氧化锆挥发富集^[19]。

尽管两者运行原理相同, 但考虑锆的亲铁性等特征, 最终生产上用的富集锆鼓风炉还是有所改进, 其构造和操作具备若干特点: 鼓风炉外型虽类似于炼铁的矮高炉, 但没有出铁口, 仅有出渣口; 为防止锆的挥发物在炉内冷凝, 且为提高锆的挥发率, 需采用低料柱(0.8~1m) 和高炉顶温度(600~700℃) 操作; 冶炼配料时不加石灰石做熔剂, 防止锆铁合金或锆酸钙生成; 炉气中 $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$ 的值以 55%~65% 为宜, 防止铁的还原, 需采取正压操作(控制炉顶压力 0.0126~0.0174 个大气压), 以使炉缸达到所需温度^[19]。

除上述第一个特点之外, 其余均不是结构问题, 这说明由炼铁小高炉向富集锆鼓风炉的改造是可行的。事实上, 自大跃进以来到 1959 年 6 月份为止, 江苏省全省共建成 8m^3 以上的炼铁小高炉就有 203 座^[31]。北京有色金属研究院论证认为, 若利用南京地区附近下马的炼铁小高炉做改进后用于富集锆, “对完成今后国家计划有保障, 且充分利用现有的装置设备可以大量节约国家投资”^[30]。

通过中试阶段的改进, 鼓风炉富集锆的效果也得到优化: 焦炭的消耗量占加入矿石比重从原来的 100%~140% 降至 40%~50%; 克服了炉缸积铁严重结石的现象; 鼓风炉处理矿石的效率由原来的每天 1 吨提高至 4~4.5 吨($0.1\mu\text{m}^2$ 鼓风炉); 烟尘中锆的回收率提高至 45% (比原来提高三倍)^[30]。至此, 技术人员能够确定鼓风炉作为富集锆的主要冶炼设备, 在操作、效率和成本等方面具有可行性。

(2) 回转窑

采用鼓风炉并不是当时唯一的考虑。北京有色金属研究院曾提出不用鼓风炉而用回转窑的方案^[29], 毕竟在“大跃进”运动时期, 铁的综合利用当然是值得重视的, 但最终却未获成功。

挥发富集锆所用鼓风炉虽类似于炼铁的小高炉, 但没有出铁口, 仅有出渣口^[19]。这说明鼓风炉虽然能较好地挥发富集锆烟尘, 但不能炼铁。从原料的特性来看, 回转窑能够满足综合利用的愿望。但回转窑法毕竟是炼铁的方法, 锆的亲铁性导致锆极易与还原生成的铁形成锆铁合金, 使锆的回收率降低。试验初步结果表明挥发率很低(仅 20%~30%), 还原气氛无法控制, 最终没有使用该方案^[30]。

其实, 回转窑法是在当时并非成熟的技术。在不用高炉的情况下, 从铁矿石中炼出低碳金属铁(海绵铁) 是一个行业性的难题^[32]。直到 20 世纪 90 年代初, 中国才实现了直接还原铁的工业化, 以当时条件, 实现直接还原铁无疑非常困难,

更不用说同时提炼锗了。

江苏提炼锗始终未能解决铁的综合利用问题。尽管如此, 在回转窑试验结果不理想的情况下, 试验人员仍想坚持这样的探索, 他们曾在简报中写道: “为了江苏整个锗铁矿的综合回收, 铁、锗及进一步处理高氧化硅矿的长远方向计, 应继续做回转窑挥发锗兼回收铁(试验)”^[30]。

3.2 收尘设备

北京有色金属研究院主导中间性试验后, 陶瓷环填充塔迅速被布袋收尘器替代。从试验结果来看, 在炉顶大量冒烟, 锗损失严重的条件下, 锗的布袋收尘中的实收率依旧由原来的 10% 提高到了 40% 以上, 效果非常好^[30]。

由于设备构造等原因, 旋风收尘器对烟尘的收集效率非常低, 只能用作初步净化, 这也是用陶瓷环填充塔收尘的原因之一。另外, 江苏省化工研究所、南京大学化学系、南京化工学院化工系等都有化工经验, 自然会想到用陶瓷环填充塔这种化工设备来吸收烟尘。

可是在有色冶金工业中通常使用电气收尘或布袋收尘, 而旋风收尘器则作为前者的辅助设备。进一步地, 在铅锌工业中, 由于导电性和烟尘粒度问题, 一般采用布袋收尘器来捕集烟尘; 同时, 布袋收尘法与电收尘法相比, 还有收尘成本更低、结构简单等优点。在此领域更加专业的北京有色金属研究院提出的方案显然更加合理。

中间性试验结束后, 这种利用含锗赤铁矿以鼓风炉挥发并经旋风收尘器和布袋收尘器富集含锗烟尘, 再经湿法处理及还原制取还原锗锭的提炼锗工艺流程被正式作为 718 厂提炼锗的技术方案^[17]。1962 年, 718 厂成立试验车间, 当年生产还原锗锭 13.5 千克, 纯度在 99.99% 以上^[17]; 20 世纪 60 年代后期, 年产还原锗锭均在 200 千克以上^[15]。尽管此产量与美国在 1956 年 11.3 吨的年产量存在显著的差距, 但相比长春煤气公司在 1960 年 10 月停产前的两年总产量仅 104.235 千

克^[33]^[116-117], 江苏提炼锗的方案无疑更能满足国家需求。这一结果也从另一侧面说明, 1958 年中国科学院座谈会上提出 2 吨的跃进目标不切实际。无论如何, 从 1959 年开始, 江苏就建起了一座小型车间, “承担了国家部分生产任务”^[34]。至“文革”前, 718 厂按冶金工业部指令生产, “由国防科委统一收购”^[17], 产品经武装护送至北京, “甚至连江苏省也无权分配一克锗产品”^[15]。可见当时江苏锗产品在国家半导体事业中的重要性。

1972 年, 718 厂更名为“南京锗厂”。7 年后, 矿石资源枯竭, 含锗赤铁矿矿区闭坑停产, 南京锗厂转向外购原材料加工生产锗单晶等产品。2000 年起, 该厂经多次改制, 现为“中锗科技有限公司”。

4 结论

1956 年, 中国制定并开始实施《1956~1967 年科学技术发展远景规划》, 解决锗材料问题成为第 40 项任务“半导体技术的建立”的关键。事实上, 中国能够获取锗材料, 既不是靠进口原材料, 或模仿美欧的技术路线, 也不是直接引进了苏联的成套技术, 而是在这一过程中发现了新的矿体, 摸索出了适合的工艺与设备, 超出了原有的“计划”。江苏地区在发现含锗赤铁矿资源后, 开展了一系列提炼锗的探索, 重点解决了含锗赤铁矿提炼锗涉及的工艺和设备问题, 最终形成了一套利用含锗赤铁矿以鼓风炉挥发并经旋风收尘器和布袋收尘器富集含锗烟尘, 再经湿法处理及还原制取还原锗锭的提炼锗方案, 为中国早期半导体技术与产业的发展做出了重要贡献。

江苏从含锗赤铁矿中成功提炼锗是在规划科学技术时期做出的一项探索性较强的成就。此类探索活动表现出以下两个特征。

(1) 探索是以计划任务的结果为导向的。江苏提炼锗的研发过程中, 各机构之间的协作目标很清楚, 探索围绕国家任务, 实现了跨行业、跨部门的协作, 发挥了“集中力量办大事”的优势,

弥补了初期专业不对口等问题。尤其是在早期尝试以化工为主的直接提炼锗工艺难以施用的情况下, 北京有色金属研究院等有色冶金研究机构加入, 进而在江苏省、中国科学院、冶金部的相互配合之下, 江苏才摸索出一条适用的技术方案。

(2) 探索的过程具有多样性和不确定性。国内各地开始尝试提炼锗时, 国内外均未提出工业化提炼含锗赤铁矿中锗的方案, 这个状况也激发了更多尝试性的方案。江苏提炼锗的两大要素——工艺和设备, 都经历了至少两种方案的探索: 直接提炼锗工艺的提出是由于冶炼性试验条件的不足, 烟尘富集提炼锗工艺的提出则是对其他地区提炼锗经验的认知; 鼓风炉设备的提出是基于炼铁高炉, 回转窑的提出则是由于炼铁的需要; 陶瓷环境充塔的提出是由于旋风收尘器的不足, 布袋收尘器的提出则是由于北京有色金属研究院在有色冶金方面的经验。在技术方案的选择过程中, 相关人员实事求是的态度无疑是值得肯定的。这是在大跃进时期突破江苏锗提炼技术难关的关键因素。

可以看出, 规划的实施并不排斥相对自由的探索, 实施的路径或方案的不确定性甚至带有“偶然性”。一般认为, 计划科学与学术自由之间存在距离^[35]。本案例说明, 从科技规划到具体实施, 并非总是按规定动作照章可循。在江苏溧水研究提炼锗的案例中, 我们就可以看到在制定规划后, 探索活动存在一定程度的自由。部分原因在于, 科技规划制定的目标与实际结果之间存在着一段距离, 由此为探索留下了空间。因此, 探索同样是规划科学技术时期不可忽视的内容。

致谢

感谢中国科学院自然科学史研究所陈朴副研究员、关晓武研究员与姚大志研究员对本研究的支持与帮助! 感谢佟路明、贾泽宇两位同学参与讨论! 感谢审稿专家提出修改意见!

参考文献

- [1] 中共中央文献研究室. 建国以来重要文献选编 第 9 册 [M]. 北京: 中央文献出版社, 2011.
- [2] Hansen W L. G - Germanium[M]// Mahajan S, Kimerling L C. Concise Encyclopedia of Semiconducting Materials & Related Technologies. Oxford: Pergamon, 1992: 203-206.
- [3] Seidenberg P. From Germanium to Silicon, A History of Change in the Technology of the Semiconductors[J]. Facets: New perspectives on the history of semiconductors, 1997: 35-74.
- [4] 苏联国家计划委员会设计科学研究总院中央有色冶金情报研究所. 资本主义国家的稀有金属 统计资料[M]. 冶金工业部有色金属研究院资料室, 译. 北京: 冶金工业出版社, 1959.
- [5] 岡元敬藏, 植田安昭, 木寺来次郎. ゲルマニウムの製錬[M]// 有色金属研究院. 冶炼参考资料 18 稀散金属 IV 锗. 北京: 内部资料.
- [6] 鲁湘. 对解决我国锗工业原料问题的几点建议[J]. 科学通报, 1956(9): 90-91.
- [7] 冶金工业部政策研究室. 资本主义国家的有色金属工业资料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1960.
- [8] 王守武. 考察归来谈发展半导体事业[N]. 光明日报, 1957-06-15(03 版).
- [9] 李艳平, 康静, 尹晓冬. 硅芯筑梦 王守武传[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2015.
- [10] 张久春, 张柏春. 规划科学技术: 《1956-1967 年科学技术发展远景规划》的制定与实施[J]. 中国科学院院刊, 2019,34(9): 982-991.
- [11] 胡维佳. “十二年科技规划”的制定、作用及其启示[J]. 中国科学院院刊, 2006(3): 207-212.
- [12] 胡维佳, 张利华, 杨丽凡. 中国科技规划、计划与政策研究[M]. 济南: 山东教育出版社, 2007.
- [13] 夏建白, 陈辰嘉, 何春藩. 自主创新之路 纪念中国半导体事业五十周年[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [14] 江苏省工业厅工业研究所. 工业研究所关于如何开展从烟道灰中提取二氧化锗的意见[G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0034, 1958.
- [15] 南京市冶金公司史志办. 南京锗厂简志 (1960 年~1985 年) [G]. 南京市档案馆: 5035000000401620028, 1986.
- [16] 江苏省冶金工业局. 江苏省稀有金属矿产资源情况说明[G]. 江苏省档案馆: 4034-002-0141, 1959.
- [17] 江苏省冶金工业局. 凤凰山冶炼厂设计任务书[G]. 江苏省档案馆: 4034-003-1161, 1963.
- [18] 南京市地质队. 溧水南山头含锗赤铁矿地质勘探最终报告[G]. 全国地质资料馆: 15205, 1959.

- [19] 王文彩. 从南山头锗铁矿中提取金属锗[J]. 江苏冶金, 1988(S1): 61-65.
- [20] 江苏省科学工作委员会. 生产半导体锗 100 公斤的初步计划[G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0034, 1958.
- [21] 中国科学院江苏分院半导体研究所. 中国科学院南京分院半导体研究所 1959 年建所设计任务书[G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0151, 1959.
- [22] 江苏省科学工作委员会. 1958 年 9 月中国科学院专业会文件(半导体、无线电电子学、计算技术、自动化) [G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0028, 1958.
- [23] 江苏省科学工作委员会. 提炼半导体锗的情况简报[G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0034, 1958.
- [24] 中共江苏省科学技术委员会党组. 关于 1961 年半导体锗的小型生产计划的报告[G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0200, 1961.
- [25] 江苏省科学技术委员会. 江苏省 1960 年生产锗的计划[G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0150, 1960.
- [26] 江苏省科学技术委员会. 关于 1960 年生产金属锗 200 公斤的计划草案[G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0150, 1960.
- [27] 江苏省科学技术委员会. 江苏省科委党组关于提锗向省委的报告[G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0090, 1959.
- [28] 中国科学院江苏分院半导体研究所. 中国科学院江苏分院半导体研究所关于一年来建所工作情况报告(初稿) [G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0151, 1959.
- [29] 江苏省冶金工业局. 江苏含锗铁矿综合利用半工业试验方案[G]. 江苏省档案馆: 4034-003-0521, 1960.
- [30] 北京有色金属研究院. 江苏省锗铁矿回收锗试验简报[G]. 溧水县档案馆, 1960.
- [31] 冶金部江苏省钢铁工业布局调查组. 江苏省小高炉情况调查及改进意见[G]. 江苏省档案馆: 4034-002-0128, 1959.
- [32] 中国科学技术情报研究所重庆分所. 冶金参考资料 国外回转窑还原[M]. 重庆: 中国科学技术情报研究所重庆分所, 1974.
- [33] 侯曙光. 古今人物[M]. 长春: 长春出版社, 2000.
- [34] 江苏省科学技术委员会. 1960 年重大科学技术项目计划任务书[G]. 江苏省档案馆: 4014-003-0150, 1960.
- [35] 李醒民. 科学自主、学术自由与计划科学[J]. 山东科技大学学报(社会科学版), 2008(5): 1-16.

To Seek Self-reliance and Self-strengthening in Semiconductor Materials: Exploration Process of Germanium Extraction in Jiangsu Province during the Period of 12-Year Program

Li Xin^{1, 2}, Sun Lie¹✉

(1. Institute for the History of National Sciences, CAS, Beijing 100190, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In 1956, the framers of the “Long-term Program for Developing Sciences and Technology from 1956 to 1967” proposed resolving raw materials of germanium-related issues as one of the core concerns for the development of the semiconductor technology. From end-1950s to early-1960s, germanium extraction was attempted in different places across China. After the germanium-containing hematite was discovered in Lishui, Jiangsu province, a unique set of techniques and equipment plans were developed under the leadership of the Science and Technology Commission of Jiangsu Province, i.e., the predecessor of Jiangsu Branch of the Chinese Academy of Sciences, and the Province’s Metallurgical Industry Bureau. This article goes through the explorative process regarding the germanium extraction breakthrough in Jiangsu for the development of the semiconductor technology, and holds that explorations were an unignorable part of the planned science and technology era.

Key Words: germanium; semiconductor; the 12-year program; Jiangsu