

中国雷达工业关键起步点 ——第一代波导元件研制始末

赵 轲 操均益 梅鹤飞

(电子科技大学 成都 611731)

摘 要 电子科技博物馆保存了一批研制于 20 世纪 50 年代的三公分波导管,这是中国第一代波导元件。波导元件是雷达系统中的关键元件,它作为电磁波传输线路组成雷达内部的能量传输系统。三公分波导管的成功研制,填补了中国无法自制雷达中波导元件的空白,是中国自主发展雷达工业的起点,在中国电子工业历史中有重要意义。本文根据馆藏藏品、档案馆的馆藏档案和相关文献资料,并对相关科技工作者进行访谈,对这批波导元件的自行研制过程进行研究,让更多人了解中国电子工业起步阶段历史,以此启发后来者。

关键词 波导元件 雷达工业 技术转移

中图分类号 N092:TN95

文献标识码 A **文章编号** 1673-1441(2021)04-0560-08

电子科技大学(原成都电讯工程学院)电子科技博物馆内,保存了记录电子工业发展的 1.4 万件/套藏品,包括通信、雷达、电子元器件、电子计算机等领域的藏品,其中就有中国第一代自主研制的三公分波导管,共有三类七件,包括直波导、弯波导和匹配负载等。

在中国“第一个五年计划”期间,苏联通过“156 项工程”对中国进行援建,帮助建立比较完整的工业体系,电子工业是其中重要部分。同时,在苏联的援助下,通过筹建高校、建立实验室,开展教育教学和技术培训的方式,培养出了中国电子工业第一批科研人员。

中国第一代波导元件就是在这样的背景下研发和生产出来的。它作为电磁波传输线路组成雷达内部的能量传输系统,填补了中国无法自制雷达中波导元件的空白,是中国自主发展雷达工业的起点,在中国电子工业历史中有重要意义。

本文根据电子科技大学电子科技博物馆的馆藏藏品、档案馆的馆藏档案和相关文献资料,并对相关科技工作者进行访谈,追溯和研究这批波导元件的自行研制过程。希望通过该研究,更多人能了解中国电子工业起步阶段的历史,同时希望在中国电子工业蓬勃发展的今天,特别是在各国高端科技领域竞争异常激烈的背景下,给中国创新驱动发展之路

收稿日期: 2020-08-05; 修回日期: 2020-10-31

作者简介: 赵轲,1988 年生,电子科技大学电子科技博物馆主任,研究方向为中国电子科学技术史;操均益,2000 年生,电子科技大学电子科学与技术专业本科生;梅鹤飞,1999 年生,电子科技大学电子信息工程专业本科生。

以有益启示。

1 中国第一代波导元件成功研制的历史背景

1.1 研发背景及必要性

20 世纪 50 年代以前,中国不具备微波技术领域的研发能力,尤其是对雷达零配件进行研发和生产的能力。中国的雷达技术最初以南京为源头,以日本和美国在“二战”中的雷达为基础进行修配,后逐渐开始仿制。1949 年,中华人民共和国成立后,由于西方国家的封锁,开始关注自身国防实力。国家决定“以苏为鉴、以苏为师”([1],页 471—472),与苏联开展合作,学习苏联先进的工业技术,抓紧雷达的仿制和研发^[2]。本文的研究对象——三分波导管便诞生于这样的时代背景之下。

1950 年,中苏签订的《中苏友好同盟互助条约》开启了援建的序幕。1953 年,苏联对华方略调整,中国的“第一个五年计划”在同时期开始实施。中苏两国发表系列决议声明,其中 1954 年两国签订《关于重点高等学校和专家工作范围的决议》^[3],让苏联专家帮助进行高等教育。两国于 1954 年签订《关于援助中华人民共和国建设工业企业,向中国派苏联专家和关于另外接受中国工人来苏联企业学习的决议》([4],页 194),1957 年签订《中苏科学技术合作协定》([4],页 227)。苏联陆续对华提供 3500 套图纸、900 套技术、2950 套专题说明、1100 套设计图纸([4],页 227),形成苏联援建中国的“156 项工程”([1],页 297)。其中 44 项军事工业中,电子工业占 10 项^[5]。苏联对中国的援建,已经深入高精尖技术。

在中国“第一个五年计划”的第三年(1956 年),国家指示,按教育部发文(56)工辛字第 717 号文,对高等工业学校苏联专家配备研究生的计划提出草案,请各学校报送相应计划^[6],将在 1956 至 1957 学年实施。在 1956 年 4 月 7 日的文件中,当时正在筹备的成都电讯工程学院上报,需要超高频电子管方面的专家,拟从南京工学院选拔配备“电气真空技术”专业的毕业生 8 人攻读研究生^[6]。以依·弗·列别捷夫(I. V. Lebedev)博士(图 1)为代表的多位苏联专家到成都,与中国国内其他高等学校抽派的师生一起筹建了新中国第一所无线电专业的大学——成都电讯工程学院。

中国在具备波导元件的研制能力前,该类元器件只能依靠进口。1957 年起,中国出现电子元件进口困难的问题。然而,由于国防建设的需要,中国工业迫切需要元件支持。面临进口困难的问题,在苏联专家的鼓励下,国家决定开始自行研制波导元件,成都电讯工程学院的科研人员和研究生也全心投入,从而发展超高频技术,开启雷达的研制^[7]。

1.2 苏联专家在技术及人才培养上的支援

在自主研制波导元件的过程中,苏联专家列别捷夫起到了非常重大的作用。列别捷夫



图 1 苏联专家依·弗·列别捷夫
(I. V. Lebedev, 1922—2016)

夫是苏联莫斯科莫洛托夫动力学院^①的副教授^[8],1956年9月来到成都,带来了波导元件和其他大量元器件、多套仪器设备、成套的装置图纸,以及一批学术文献,其中波导元件分为两个波段——X波段和S波段^[9]。他到中国工作的原定期限为一年,到中国后看到实际情况困难,主动提出延长到两年。在1957年2月初,他曾短暂回到莫斯科动力学院进行博士论文答辩,并且顺利通过。答辩结束后,他立即返回成都,并再次随身携带了一批新的仪器,当时从苏联携带的仪器并没有得到允许,因为没有时间办理相关手续。回到成都后,他恢复了所有研究、讲课和答疑工作。在列别捷夫的两年聘期中,现中国科学院院士刘盛纲^②是他的俄语翻译,帮助他主动深入地开展教研指导工作。

列别捷夫与刘树杞、孙诗瑛等青年教师一道,建立超高频技术实验室(图2)。他累计指导23人,包括超高频教研组教师6人、研究生6人、外校及科研机构选派来进修老师11人^[7,10]。其中6名研究生都是南京工学院无线电系的毕业生,进修老师与外校研究生来自全国各个高校^[7]。除了这些直接指导的人员外,他还组织了培训班,有时也会在相关学校邀请下到北京邮电学院(现北京邮电大学)等学校讲座讲学^[11]。

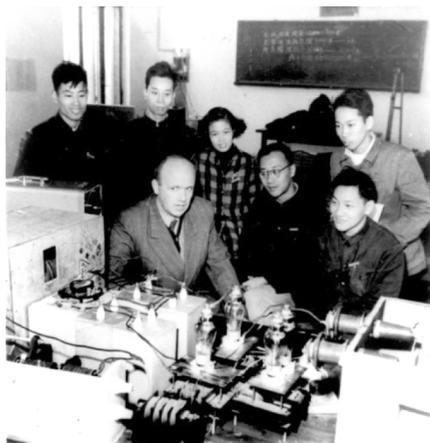


图2 列别捷夫指导研究生实验

列别捷夫讲授了三门课程,分别为超高频技术、超高频电真空器件、超高频电真空器件测试,完整覆盖了微波技术理论、器件生产工艺和器件检验测试等三部分。三门超高频技术的课程,原定的讲课总课时数为155小时,结果实际讲授达到260小时。列别捷夫为三门课程均编著了相应的教材,译成中文后字数累计有60万字,教材在人民教育出版社进行了出版(图3)。三本教材除了提供给成都电讯工程学院师生使用外,也送到相关的工厂、机关、学校及研究所使用。这三门课程也成为中国最早的微波技术课程。

列别捷夫关注工程技术实践及其与工业界的合作,坚持必须考虑教学课程和工业界、国防需求实际任务的联系。他多次安排研究生到成都东郊电子工业基地的电子工业工厂实习,包括七七三厂(国营红光电子管厂、生产微波电子管)、七七六厂(国营国光电子管厂、生产电子束器件)和七八四厂(国营锦江电器厂、生产雷达整机)等^[7]。研究生在这些工厂亲手操作电真空器件的研发和生产过程,每人独立解决生产中急需的任务方案。1957年,列别捷夫曾带领研究生和教师到北京七七四厂、南京七二〇厂及七七二厂参观实习^[10],帮助青年教师和学生将理论结合实践,亲身体验生产,也为考察超高频元件研制后的生产工艺打下基础。

1958年5月,列别捷夫回国,他带来的资料和设备有69份留下来^[12],包括9份技术

① 莫斯科莫洛托夫动力学院创建于1930年,于2013年更名为俄罗斯国立研究大学(莫斯科动力学院)。

② 刘盛纲(1933—),安徽肥东人,1980年当选为中国科学院学部委员(院士),1986年至2001年4月担任电子科技大学校长。

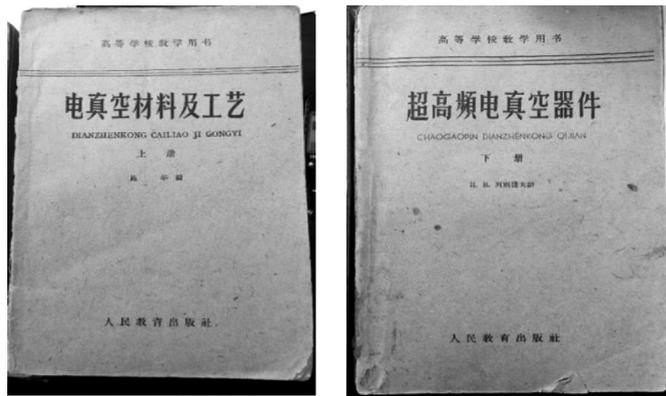


图3 教材《电真空材料及工艺(上册)》与《超高频电真空器件(下册)》中文版

和器件的说明文件 5 份图纸 55 份(套)课程设计图纸、工作报告和测量仪器等。

1958 年的《专家工作年终总结报告》档案描述^[7]:

波导设备的制造当时在中国尚未能掌握,直到 1957 年中由于进口困难及在专家(指列别捷夫)的鼓励下,才决心设法自制波导元件,对此项工作开始重视得较迟,因此至今在设备方面尚未能满足需要,如果我们能及早设法克服困难在自制设备上多作努力,列别捷夫专家的作用今日将得到更好更多的发挥。

2 中国第一代波导元件的自主研制

2.1 自主研制成功,中国雷达工业开始起步

1953 年至 1957 年,在中国的“第一个五年计划”期间,苏联向中国提供大量的技术图纸、工业样品,并派遣了专家对中国的工业技术进行指导。在此基础上,1957 至 1958 年间,在列别捷夫建立实验室、开设超高频技术课程和与工业界紧密合作的基础上,成都电讯工程学院的科研人员改进并补充列别捷夫带来的波导图纸,在四位 8 级技术工人的帮助下,在校办工厂成功试制了三公分波导管,通过调试和测试,性能参数符合标准。后来又陆续生产了 100 多套,每套有 20 件不同类型的波导管。

全国各地的学校、研究机构和工厂^①要求订购波导管^[13]。成都电讯工程学院将修改后的波导元件图纸共 238 张上交于第二机械工业部第十局,并在成都地区的科学技术展上展示。之后,图纸在南京国营七二〇厂进行必要修改后制成样品,向各需求单位开放订购^[13]。所供应给全国各地的波导元件,解决了当时教学科研设备的急需,特别是解了进口国外元器件困难的燃眉之急。

从此,中国具备了波导元件的研制能力,中国的超高频技术开始起步。三公分波导管的试制成功,成为雷达工业发展和电子工业发展的起步点。

1958 年,中苏关系走向冰点,援建的苏联专家开始大范围撤离,列别捷夫也于当年 5

① 主要包括:清华大学、交通大学、复旦大学、武汉大学、北京邮电学院、中国科学院电子学研究所、中国人民解放军总参谋部通信电信科学技术研究所、第二机械部第十二所、第十所、国营七一四厂等。

月回到苏联。在苏联专家离开后,成都电讯工程学院乃至整个中国,依托于“第一个五年计划”已初步建立的工业体系和培养的研究人员,参考相关图纸,在电子工业的各个领域进行了大量尝试,生产试制了宽频带保护放电器、雷达天线开关系统、模拟电子计算机等379项产品,其中32项产品为中国首次自主生产^[2]。

在苏联的援助下,中国陆续建起一系列的雷达整机厂和配套设备厂,雷达工业起步。中国在1961年形成雷达科研体系,雷达工业的门类已比较齐全,形成9个骨干厂、5个地方厂和7个研究所,从仿制阶段进入改进和自行设计阶段;70年代,中国研制成功远程精密跟踪测量雷达和大型相控阵雷达;80年代初期,中国研制出第一部三坐标雷达;1980年到1985年,已有17种型号数百部雷达产品对外出口;到1985年,中国雷达工业系统已有企业52个、研究所14个,年产雷达1361部^[14]。

2.2 中国第一代波导元件的基本情况

电子科技博物馆内现存的波导元件,即1957至1958年试制的第一批三公分波导管,主要包括直波导、弯波导和匹配负载,基本情况如下:

第一类是直波导,是矩形截面的长直空金属管,微波以一定入射角入射,并在波导壁上反射,以合成波沿波导轴向进行传输。直波导(图4①②),由中间的传输线和两边的矩形法兰盘构成,矩形法兰盘的四个顶点分别有圆形缺口。该波导采用盖板-扼流型连接方式,因此其中一端法兰盘中有圆形轴向槽作为扼流圈。

第二类是弯波导,在直波导传输方式的基础上,通过曲形的金属腔体来改变电磁波在波导中的传输方向。弯波导(图4⑥)形状成拱形,其法兰盘结构与上述直波导相同。

第三类是匹配负载,作为终端器吸收全部入射波的能量。匹配负载(图4③④⑤),其一段为法兰盘,而另一端封闭。

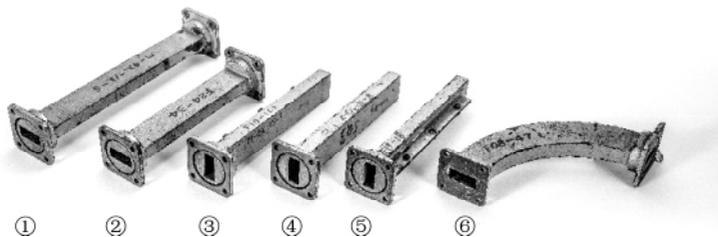


图4 保存于电子科技博物馆的中国第一代波导元件

3 第一代波导元件成功研制的意义

3.1 波导元件的重要性

利用微波的定向性和反射性,人们在第二次世界大战时就研制了雷达,而微波早期的发展正是在雷达需求的推动下才迅速成长起来的。微波同大多数电磁波一样,需要一定的约束机构进行传输,否则会向空中辐射。用以传输微波能量的约束机构和线路就是微波的传输系统,主要分成三类:多导体传输线、金属管传输线和介质传输线。第一类——多导体传输线,由至少两个导体构成,如双根线、同轴线、带状线、微带线等。在低频率时,

两根导线就可以进行电能的传输,但随频率提高,波长短到可以与两根导线间的距离比拟时,电磁能量就会从导线辐射出去,双根线无法传输频率很高的微波。此时,为了避免辐射损耗,人们用一根导线把另一根导体包起来,从而把电磁场限制在内、外导体之间使之无法辐射出去,就构成了同轴线。

但是,当频率进一步提高,又需要将两个导体之间的距离再作减小,这就使得同轴线的横截面必须再减小,不仅会限制同轴线的传输功率容量,而且使损耗(损耗主要集中在内导体)迅速增加。人们自然地想到,可以直接把同轴线内导体去掉,以减小损耗和提高功率容量,直接由外导体形成金属空心管来传输微波的电磁能量。这就是第二类——金属管传输线,称为波导,如矩形波导、圆形波导、椭圆波导、脊波导等,传输横电波或横磁波。1936年,索斯沃斯(G. C. Southworth)采用了内径12.5cm青铜圆管作为波导进行微波的传输^[15]。目前,波导已成为微波领域应用最广泛的传输系统。在雷达中,波导连接各功能部件,形成电磁波的传输系统。它的制造工艺并不复杂,但是作为制造雷达的最基本元件,代表着雷达工业的基础。

3.2 成功研制的意义

在雷达产业方面,三公分波导管研制的成功,填补了雷达基础元器件自主研制的空白。在此之前,中国甚至连波导管这样的基础元器件都无法制造。所以,这实际是自主雷达工业发展的第一步,是一个从无到有的过程,是雷达工业从“修配”到具备“自主研制”可能性的重要进化。列别捷夫等专家带来的理论知识、研发技术和生产经验,为中国建立了学科,培养了人才,促进了高校、科研院所和生产企业的迅猛发展,这为中国雷达工业奠定了一定基础。以三公分波导管的研制为起点,以发展雷达工业为牵引的微波技术,以理论-研发-生产的路径在中国正式建立起来,磁控管、行波管、速调管等雷达关键元器件也相继从仿制开始转为独立研发,为中国雷达整机的自主研制提供了有利条件。

在人才培养方面,在苏联专家直接或间接指导下,仅至1966年,成都电讯工程学院共培养了46名研究生、530名进修生。这些人才后来大多成为了电子领域的骨干,成为中国电子发展的重要力量,如中科院院士刘盛纲教授、清华大学无线电系主任张克潜教授、中国电波传播研究所潘威焱教授、深圳大学杨淑雯教授等。成都电讯工程学院从1981年开始招收博士研究生,1985年培养的第一批博士生共8名毕业,这是中国电子学领域第一批以自己的师资培养的博士,他们成为了电子领域的中坚力量。

在学术研究方面,在苏联专家的援建和带动下,成都电讯工程学院的科研人员从1960年到1982年间,陆续在波导领域发表约20篇期刊论文,主要集中在中文期刊。1961年林为干^①教授发表《波导波型理论的几点补充》,1980年杨淑雯教授发表《开波导的特性测量》和《非圆介质波导的实验研究》,1981年阮成礼发表《成层介质填充矩形波导的截止波长计算法》,1982年彭仲秋发表《波导宽边辐射纵缝中的场分布》,1984年徐孔义发表《变截面波导开放式谐振腔的研究》。阮成礼、彭仲秋、徐孔义是成都电讯工程学院培养的首批8名博士中的成员,分别由林为干教授、刘盛纲教授和谢处方教授指导。

^① 林为干(1919—2015),广东台山人,曾任成都电讯工程学院副院长,1980年当选为中国科学院学部委员(院士),被誉为“中国微波之父”。

中国在波导研究领域产生了第二代、第三代中流砥柱。

4 结论与启示

本文以成都电讯工程学院成功试制中国第一代三公分波导管为主线,探究苏联援助对中国雷达工业所产生的影响。苏联对中国的援助,除了帮助筹建工厂和生产线、培养技术工人,更重要的是在高等教育领域,帮助建立实验室、培养研究生、提高科研人员和教师水平,将科学研究和技术发展的种子播撒在中国。这种在高等教育上的帮助,使中国在1960年后,有了独立、持续地发展科学技术的可能。其中,波导元件的自行试制成功,便是中国具备科技自主能力的起点和标志之一。

当然,苏联的技术转移援助为中国建立了工业基础,具有积极作用,但也存在一定问题。在援助早期出现的“以苏联为主,对苏联专家的绝对盲从”,加之两国国情不同,也导致了问题的出现。比如,苏联援助的领域,是经过选择的,有所保留的,关键技术资料从1958年起就不再提供,苏联甚至在1959年单方面撕毁1957年签订的《中苏国防新技术协定》,到1960年苏联专家大批撤走,导致一些合作项目未能顺利完成,浪费了大量的人力物力^[16]。

同时,由于水土不服、意识形态差异等原因,中国也失去了与西方国家开展更多科技交流的机会。中苏技术转移,以中苏关系的破裂为结局。这种受国际政治所左右的,也可以说地位不对等的技术转移,只能作为部分领域新生时的一种推动力,最终可持续发展仍需要靠自身的人才培养。

在世界发展进程中,发生过多次国家之间的技术转移,这些技术转移,往往遵循“学习-模仿-吸收-自主创新”的规律。没有勇气和精神进行最后一步自主创新的,往往不能建立自己的科技和工业体系。而通过设备援助、知识吸收和自主创新三个阶段的中国,成功试制了波导元件,开启了雷达工业,在一定程度上使中国的工业化进入了新进程。技术转移中,技术强国对弱国的发展有奠基作用,这是无可否认的,但在此基础上,必须坚持学习、消化、吸收和自主创新,坚持培养出自己的工业体系、教育体系,才能走出自己的道路,才能茁壮成长,否则只能望其项背。

当今世界正面临百年未有之大变局,科学技术被各国政府视为重要的国家核心资产,围绕着科学技术的国际竞争也日趋激烈,在科技竞争中落伍的国家,未来在国际权力结构中处于极为被动的位置。此时,尤其是在以美国为首的西方发达国家通过高端芯片出口禁运、打压中国高科技公司等方式开始对中国实施技术封锁的时候,对中国第一代波导元件成功自主研制的历史背景、研制历程进行探究,不仅能让了解中国电子工业起步阶段的历史,也能对当前中国创新驱动发展之路提供有益启示。

参 考 文 献

- 1 薄一波. 若干重大决策与事件的回顾(上卷)[M]. 北京: 中共中央党校出版社, 1993.
- 2 江苏省地方志编纂委员会. 江苏省志·电子工业志[M]. 南京: 江苏古籍出版社, 1999. 19—20.
- 3 中央教育科学研究所. 中华人民共和国教育大事记: 1949—1982[M]. 北京: 教育科学出版社, 1983. 73.
- 4 沈志华. 苏联专家在中国(1948—1960)[M]. 北京: 中国国际广播出版社, 2003.
- 5 张柏春, 张久春, 胡芳. 苏联技术向中国的转移[M]. 山东: 山东教育出版社, 2005. 75.

- 6 希对“为 1956 年所聘苏联专家配备研究生初步方案”提出意见[A]. 中华人民共和国高等教育部. 64 电专[R]. 1956 年 4 月. 成都: 电子科技大学档案馆, 3. 0014, 1[1].
- 7 专家工作年终总结报告[A]. 成都电讯工程学院. 64 电专[R]. 1958 年 2 月. 成都: 电子科技大学档案馆, 13. 0004, 1[1].
- 8 Alybin V G. Scientist and Teacher of Brain-power (to the 90th anniversary of Professor Igor Vsevolodovich Lebedev) [A]. *Proceedings of the 23nd Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”* [C]. Ukraine: CriMiCo’ 2013 Organizing Committee, 2013. 23—25.
- 9 依·弗·列别捷夫书面材料[A]. 成都电讯工程学院. 64 电专[R]. 1957 年 7 月. 成都: 电子科技大学档案馆, 13. 0005, 1[1].
- 10 列别捷夫到校聘用档案[A]. 成都电讯工程学院. 64 电专[R]. 1957 年 3 月. 成都: 电子科技大学档案馆, 13. 0001, 1[1].
- 11 上报 1956 ~ 1957 年拟邀在华苏联专家讲学计划[A]. 成都电讯工程学院. 64 电专[R]. 1956 年 5 月. 成都: 电子科技大学档案馆, 7. 0003, 1[1].
- 12 列别捷夫带来资料清单[A]. 成都电讯工程学院. 64 电专[R]. 1958 年. 成都: 电子科技大学档案馆, 13. 0003, 1[1].
- 13 函复各有关单位要波导管图纸问题[A]. 成都电讯工程学院. 62 科[R]. 1958 年 1 月. 成都: 电子科技大学档案馆, 24. 0002, 1[1].
- 14 中国电子工业年鉴编辑委员会. 中国电子工业年鉴 1986 年[M]. 北京: 电子工业出版社, 1987. IV3-IV4.
- 15 Southworth G. Hyper-frequency wave guides—general considerations and experimental results[J]. *Bell System Technical Journal*, 1936, 15(2): 284—309.
- 16 侯强. 新中国成立初期中苏两国科技合作条约的缔结与实施[J]. *西伯利亚研究*, 2013(5): 48—53.

The Starting Point of China’s Radar Industry: Development of First-Generation Waveguide Components

ZHAO Ke CAO Junyi MEI Hefei

(*University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China*)

Abstract The Electronic Science and Technology Museum (ESTM) houses a batch of the first generation of 3cm waveguide components developed by China in the 1950s. The waveguide components are the key element of the radar system. They act as an electromagnetic wave transmission line, forming the energy transmission system inside the radar. The successful development of the 3cm waveguide has ended the period when China could not make radar components. It is the starting point of China’s independent development of the radar industry, and has important significance in the history of China’s electronics industry. Based on the collections of the ESTM, the archives and related literature materials, and interviews with relevant researchers, this paper conducts research on the self-development process of this batch of waveguide components. This paper aims to inform more people of the history of the initial stage of China’s electronics industry by exploring the historical itinerary, so as to inspire latecomers.

Keywords waveguide components, radar industry, technology transfer