

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2014.00190

工程史

苏联对德国 V-2 火箭的技术复原 (1945—1947)

王芳

(中国科学院自然科学史研究所, 北京 100190)

摘要: 在概述德国 V-2 火箭研制历程的基础上, 考察了苏联人通过与德国专家合作, 修复德国已有的火箭工厂和技术资料, 复原 V-2 火箭的设计制造, 逐步掌握火箭整体、发动机和控制系统的设计、制造、组装、测试与发射准备等技术, 并最终在苏联本土实现火箭成功发射的过程。笔者认为, 苏联采取在德国就地复原德国火箭技术的做法是非常明智的。苏联人最大限度地利用了德国的人才、技术与工业基础, 实现了火箭技术的全面复原, 不仅包括有形的火箭产品, 还包括无形的技术知识。V-2 火箭技术复原工作的成功显著提升了苏联火箭技术的起点, 为以后的发展奠定了各方面的坚实基础。

关键词: V-2 火箭; 技术复原; 技术知识; 工程史

中图分类号: N09

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2014)02-0190-15

第二次世界大战期间, 纳粹德国的火箭技术取得了非凡的成就, 率先研制出实用化的弹道导弹。战争期间, 德军发射 3 000 多枚 V-2 火箭袭击英国、法国、比利时等国家, 造成很大的平民伤亡和财产损失。这种新型武器一经发射, 飞行时间短, 且难以预警和拦截, 它因其所具有的巨大军事潜力和战略价值而引起各国的密切关注。德国战败之后, 美苏两国竞相争夺德国火箭技术, 苏联部分地分享到德国的火箭产品、仪器、设备设施、资料和技术专家等^[1]。为了破解 V-2 火箭技术, 苏联人在德国罗致人才, 组织专家队伍, 建立火箭研究机构^[2]。通过这些举措, 苏联人利用苏德专家的合作, 修复德国技术资料、设备与工厂, 复原 V-2 火箭的设计与制造工艺, 逐步掌握火箭整体、发动机和控制系统等的成套技术。

1 德国 V-2 火箭的研制历程

第一次世界大战德国战败后, 德军装备无论

在数量上还是质量上都受到严格限制。为规避《凡尔赛条约》对枪、炮等常规武器的约束, 德国积极将火箭技术用于研发新型武器, 成为世界上最早对火箭武器提供政府级支持的国家。1930 年底, 德国陆军装备部 (Heereswaffenamt, HWA) 开始筹建官方的火箭研究组织, 随后由陆军军官多恩伯格 (W. Dornberger) 将冯·布劳恩 (W. von Braun) 等人组建成研究小组, 在柏林西南部 40 km 处的库默斯多夫 (Kummersdorf) 测试和开发远程火箭。

火箭武器的研制工作开始并不顺利。一方面, 德国官方对火箭武器的政策摇摆不定, 未给予足够的支持; 另一方面, 研究也没有明确方向。军方高层因不了解火箭技术的前景, 无法规划这种武器的性能和应用, 在 1932—1945 年都未对这项工作提出过明确的书面要求^{[3]396}。由于没多少现成的技术可供冯·布劳恩的研究小组借鉴, 许多问题都要从基本原理开始解决。最终, 研究小组决定从实验火箭入手。1933 年起, 他们相继设计

起初, 德国人和苏联人都未将加了弹头的火箭称为“导弹”。本文主要关注的是 V-2 作为一种火箭运载工具的技术, 而较少关注其弹头部分, 因此文中对 V-2 弹道导弹仍采用“火箭”这一名称。

收稿日期: 2014-02-27; 修回日期: 2014-04-03

作者简介: 王芳 (1984-), 博士研究生, 主要从事苏联与俄罗斯科技史研究。E-mail: anphia215@126.com

和试制了代号为 A-1、A-2、A-3 和 A-5 的实验火箭，为大型火箭的研制奠定了技术基础。

1936 年初，多恩伯格和冯·布劳恩等人开始考虑研制大型实用化的 A-4 火箭，即后来命名的 V-2 火箭。他们以当时威力最大的德制“巴黎大炮”（Paris-Geschütz）为参照，确定了 A-4 火箭最初的性能参数。火炮专家多恩伯格据此提出火箭的技术指标：“第一次世界大战（时）发展出了‘巴黎大炮’，能把直径 21 厘米、装药 22 磅的炮弹发射到 125 千米，新的火箭应当携带 1 吨炸药，飞行两倍于此的距离，即 250 千米”^{[4]58-59}，它应符合公路、乡间道路和远距离铁路运输的条件，其最大尺寸应按照欧洲隧道和铁路的转弯曲率来确定。经初步计算，火箭包括尾翼在内的宽度应不超过 2.74 m，总长不超过 12.80 m^{[3]398}。据此研究人员又推算出一系列技术指标，如火箭总重、推力、发射精度和燃料的燃烧速度等。这些指标成为 A-4 火箭设计的基本依据。

随着 A-4 火箭研制工作的展开，军方将人力和物力资源汇集到该火箭型号的研发中。1936 年 8 月德国空军和陆军开始在波罗的海沿岸的佩内明德（Peenemünde）合作建设庞大的火箭研究中心，即 A-4 等火箭的研制、试验和生产基地。这里先后建设近 70 座大型建筑和复杂设施，包括当时欧洲最大的超音速风洞实验室及大型液态氧制取工厂、装备精良的试验室和制造车间等；大型试验台共有 11 座，均高达 30 米，可进行大型火箭及其发动机的各种试验^{[5]17}。

参与 A-4 火箭研究的核心人员是各领域的优秀科学家和工程师，他们被称为佩内明德团队（Peenemünde Team）。多恩伯格是火箭计划的总负

责人，冯·布劳恩领导各系统的总体协调和设计。里德尔（W. Riedel）、赫尔曼（R. Hermann）、施泰因霍夫（E. Steinhoff）和泰尔（W. Thiel）分别负责火箭设计、风洞建设与空气动力学研究、制导和控制问题，以及火箭发动机研制。鲁道夫（A. Rudolph）管理佩内明德样品车间，并安排 A-4 火箭的生产。一些著名教授也参与了火箭研制，他们多来自德累斯顿（Dresden）、达姆施塔特（Darmstadt）和柏林的高等技术学校，工作主要集中在导航、控制和推进领域^[6]。众多机构和公司也得到火箭研制的任务或订单。

作为大型火箭，A-4 火箭与之前的实验火箭相比有很大的技术跨越，研制中遇到许多前所未有的难题，涉及大量的基础理论和实验技术问题。由于相关的研究文献稀少，研制者们决定由基础研究入手，从各方面探索大型火箭所需的技术。他们集中解决了高速空气动力学设计、大推力发动机设计、燃烧控制、推进剂控制、喷注器设计和弹道控制等一系列重大问题^[7]，实现了许多技术突破。

在空气动力学设计方面，不仅遇到了气动稳定问题，还遇到了全新的超音速空气动力学及气动加热问题。在亚琛高等技术学校（Technische Hochschule Aachen）的专家的帮助下，赫尔曼等人进行了 A-3 和 A-5 火箭的风洞试验，通过在火箭尾部安装小翼面的方法，保证了箭体在超音速飞行中的稳定性。利用佩内明德火箭研究中心的超音速风洞实验室，他们对 A-4 火箭模型做了大量理论研究和试验，包括箭体在低速和高速飞行状态下的稳定性、不同形状和布局中超音速流的压力分布、各种速度喷气流对压力的影响，以及

① 当时德国人并不把 A 系列火箭称为“火箭”，而称为“组合件”（aggregat），A-4 即 Aggregat-4 的缩写。

第一次世界大战中德国用来轰击巴黎的一门火炮，亦称为威廉皇帝炮（Kaiser-Wilhelm-Geschütz）。

这些设备和设施当时在世界上是独一无二的，类似的高科技火箭制造中心直到 10~15 年后才在美国和苏联出现。

主要包括德国航空研究所（Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, DVL）及西门子（Siemens）、阿斯卡尼亚（Askania）、洛伦茨（Lorenz）、卡尔·蔡司（Carl Zeiss AG）、罗德与施瓦茨（R&S）、莱茵金属-博尔西希（Rheinmetall-Borsig）、宝马（BMW）、哈德曼·布朗（H&B）、李斯特（List）、德国通用电气（AEG）、蓝宝（Blaupunkt）等公司的工厂和试验室。

飞行中温度对箭体的影响等。全面细致的空气动力学研究取得了大量重要成果, 仅超音速风洞测试中得到的亚音速到超音速 M10 流速下的数据就超过 10 万个^{[8]82}。根据这些数据, 研制者详细设计了箭体, 特别是解决了稳定尾翼设计和材料选择等问题。火箭试验结果证明了其具有良好的气动设计和稳定性。在某种程度上可以说, A-4 火箭开创了超音速空气动力学的实验研究^{[4]59}。

泰尔等人在发动机(图 1)的燃料供给、燃烧室、喷注器、燃烧室冷却等设计方面做出了代表当时最高水平的创新^{[8]82}。他们放弃用燃料箱增压的传统办法, 而采用涡轮泵为发动机输送液氧和浓度为 75% 的酒精, 其工作原理是: 使分别装在小箱里的过氧化氢和高锰酸钾经过气体发生器形成蒸汽, 蒸汽推动涡轮, 驱动离心泵, 将液氧和酒精分别从贮箱中抽出, 压入燃烧室, 使其雾化、混合和燃烧。精心设计的燃烧室由厚 2.5 mm 的钢板焊接而成, 采用球形结构, 容积较大。为



图 1 A-4 (即 V-2) 火箭发动机

图片来源: 文献[9]。

了实现可靠燃烧, 燃烧室头部设置 18 个喷注器, 呈两圈排列, 外圈 12 个, 内圈 6 个。喷注器要求精确控制液氧和酒精的流量, 其设计、计算、试验和改进经历了长期的试错过程。燃烧室采用薄膜冷却法, 即将少量酒精经燃烧室侧面的管道低速喷入, 在其内壁形成一层薄膜, 隔绝内壁与高温区域。这个巧妙的设计解决了发动机冷却的难题。此外, 发动机尾喷管设计为螺旋形, 大大提高了膨胀比。

火箭制导与控制系统异常复杂, 成为 A-4 火箭研制的一个关键环节。施泰因霍夫等为此做出许多开创性的工作, 如按照飞行轨迹的设计, 使火箭以垂直方式发射, 短时间飞行后向目标方向逐渐缓慢倾斜, 达到最大速度且偏转到与水平方向呈 44°角时发动机关机, 后半程以无动力、无控制的自由飞行状态抵达目标区。其主要控制方法是, 一个三轴陀螺平台通过变换放大器等, 作用于火箭尾部的可控气动翼和燃气舵, 实现对火箭飞行姿态的制导、控制和稳定。可控气动翼在大气层里起作用, 而燃气舵则在大气层外起作用。由于燃气舵处在喷口高温区, 故用高强度的石墨材质制作。平台式惯性陀螺仪是控制系统的核心, 它开创了现代惯性导航之先河^{[4]60}。此外, 用于火箭飞行轨迹的校正与测控的还有无线电遥控技术, 即“维多利亚-夏威夷”(Viktorija/Hawaii) 横向无线电校准系统。其中, “维多利亚”为箭载接收装置, “夏威夷”为地面发射装置。“墨西拿-1”(Messina-1) 无线电遥测系统也是箭载装置, 用于无线电遥测, 记录和传输火箭飞行数据。

1942 年夏, A-4 火箭制造告竣。这种单级液体火箭呈流线型(图 2), 全长 14.03 m, 箭体最大直径 1.66 m, 底部连同尾翼在内宽 3.56 m, 重约 13 t。火箭由弹头、控制设备舱、燃料舱和尾段四部分组成。锥形弹头长 2.01 m, 重约 1 t, 由

①因这项技术容易受到盟军的无线电干扰, V-2 火箭应用于战场时并没有装配此系统。

6 mm 厚的软钢制成^{[4]61}。弹头装载的阿马托炸药 (Amatol) 对热和冲击的敏感性低, 通过撞击式引信起爆。控制设备舱长 1.41 m, 除装有仪表外,

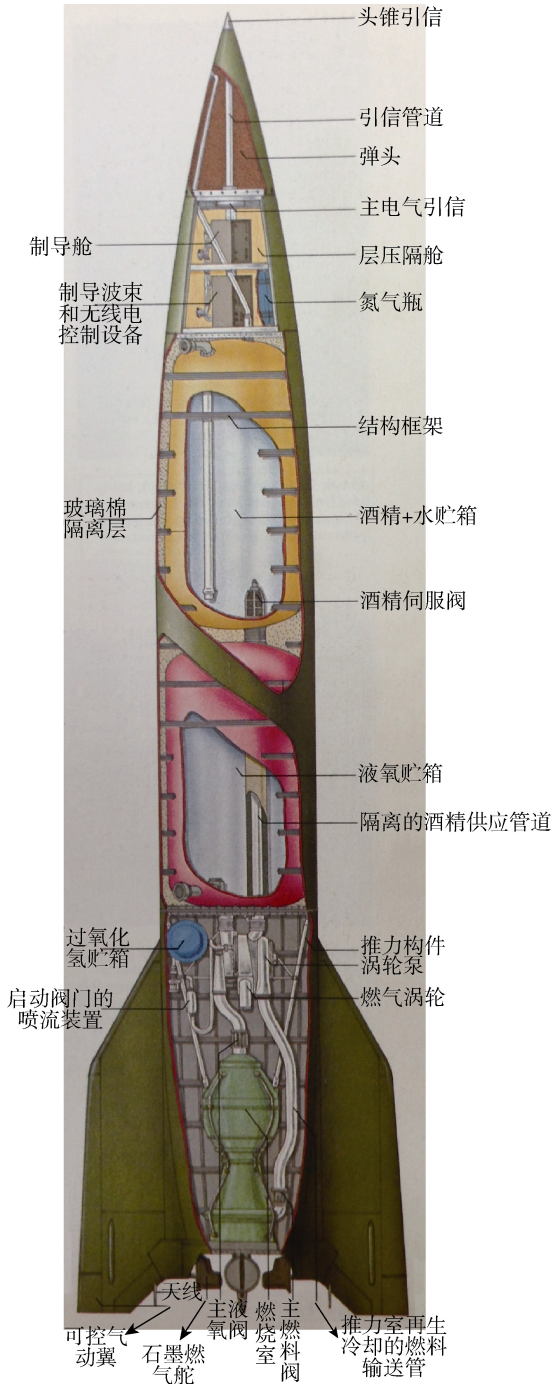


图 2 A-4 (即 V-2) 火箭剖面图

图片来源: 文献[10] (中文译本见文献[8])。

还装有压缩氮钢瓶, 用于提高燃料箱中的压力。燃料舱总长 6.21 m, 是火箭上容积最大、最重的部分, 在注满燃料的情况下, 重量约占火箭总质量的 2/3。燃料舱分为两个燃料箱, 上部为酒精箱, 下部为液氧箱。一根导管从酒精箱中引出, 穿液氧箱, 向燃烧室输送燃料。在两个燃料箱之间, 以及它们与火箭外壳之间充填玻璃纤维, 起隔热作用。尾段内部主要有涡轮泵机组、带动涡轮的蒸汽发生器、两个分别装有过氧化氢和高锰酸钾的小箱, 以及火箭发动机。尾段外部对称配置了 4 个稳定翼片, 翼片长 3.95 m, 尾翼后缘均装有可控气动翼, 火箭底端喷口处还对称安有 4 个燃气舵, 它们都用于调整飞行姿态^{[4]61}。

A-4 火箭工程繁杂。除火箭外, 还有一系列配套设施的研制和其他工作, 如固定式发射台、车载机动式发射台、燃料加注设施、供电设施、无线电接收站、地面观测站、规模化生产及装备部队等。固定式发射台即地下掩体, 容易被发现, 德国人实际采用较多的是车载机动式发射台, 即“梅勒瓦根拖车” (Meillerwagen) (图 3)。它是一个固定在支架上的万向环, 上面装有点火装置, 可将火箭从水平发射状态转成垂直发射状态。另外, 德国人还制成指挥发射的“发射-控制装甲车” (Panzerwagen) (图 4)。



图 3 梅勒瓦根拖车

图片来源: 文献[11]88。

① 这种炸药是由硝酸铵和三硝基甲苯组成的烈性混合炸药。在第一次世界大战和第二次世界大战中, 阿马托作为空投炸弹、弹药、深水炸弹和水雷的原材料被广泛使用。

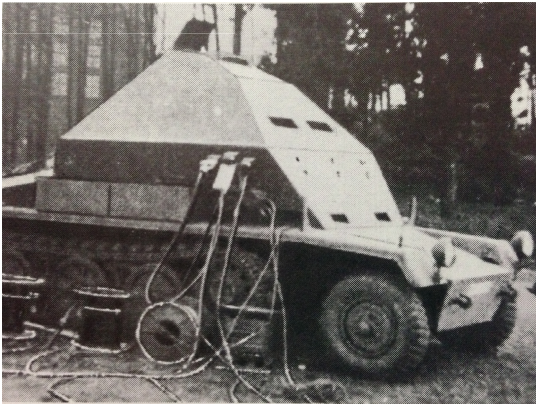


图4 发射-控制装甲车

图片来源:文献[11]89。

1942年10月3日,A-4火箭在佩内明德试验发射成功,后经多次试验和改进,最大射程达到300~320 km。1943年8月中旬,佩内明德遭到盟军轰炸后,A-4火箭研制的后续工作被分割在两地进行,火箭测试与士兵发射培训由位于波兰的试验场承担,火箭的批量生产则安排在德国中部的诺德豪森的米特尔维克(Mittelwerk)地下火箭工厂。1944年,A-4更名为Vergeltungswaffe-2,简称V-2。同年,为扭转战争局势,V-2火箭被德军用于轰炸伦敦和西欧重要的军事目标。

总体看来,V-2火箭是一种不够成熟的新式武器。可以说,德国人解决了推进和弹道问题,但没有解决自动控制问题。由于战时急需,V-2火箭匆忙上阵前,许多技术难题还未解决好,这包括:火箭发动机内两种燃料的混合比精度不高,燃烧不稳定;自动控制系统不够完善,异常复杂、笨重,精度也不高;弹头引信的可靠性低,无法精确地控制爆炸点离地面的距离,以至于火箭或者在飞行中因某种干扰和振动提前爆炸,或者直至钻入地下后才爆炸;V-2火箭的结构设计也不是很好,结构重量还有较大的减轻空间。这些不足,尤其是控制系统的缺陷,自然成为后续改进V-2火箭技术的突破口。

① Vergeltungswaffe 意为复仇武器。

拉贝研究所:1945年7月由一个在布莱谢罗德(Bleicherode)工作的苏德小组自发形成。切尔托克(Б. Е. Черток)为所长,皮柳金(Н. А. Пилюгин)为第一副所长和总工程师。德国工程师罗森普伦特(Rosenplenter)为副所长,是德国员工的负责人。该研究所以复原V-2火箭技术为核心工作,有突出的电气控制专长。

2 苏联复原V-2火箭的准备工作

苏联政府从意识到火箭武器的重要性到决定复原V-2火箭经历了一个认识过程,在此过程中苏联技术专家积极自主的工作起了重要的作用。苏联专家在波兰和德国的考察中,形成了对V-2火箭技术布局、设备设施、人才和研制能力的正确判断,深知在火箭技术方面苏联与德国有较大差距。这种技术差距是刺激他们急于认识和掌握德国火箭技术的重要因素。1945年7月,苏联人在德国对V-2火箭技术展开全面、系统的资料搜集与研究。在这期间,他们邀请德国专家一起开展工作。研究成果使苏联政府意识到火箭武器作为一个新的军工领域有着重要的战略意义。1946年5月13日,苏联部长会议通过《喷气武器问题》(Вопросы реактивного вооружения)决议,确立了在德国火箭技术经验基础上发展本国火箭武器的路径。

苏联在与美国争夺德国火箭技术的过程中总体上处于下风,这直接导致了苏联人复原V-2火箭技术的困难局面。佩内明德火箭研究中心留给苏联人的主要是沉重的大型试验台、各种燃料和氧化剂的贮存车、两座大型氧气工厂、可运行的发电站,以及各种火箭零件^{[5]17}。在诺德豪森的米特尔维克地下火箭工厂能找到的也只是零散的V-2火箭部件,以及为数不多的技术文件^{[12]54}。在1945年7月开始的系统性收集工作中,苏联人又找到一些有价值的V-2火箭零部件和图纸等,但仍未得到完整的V-2技术文件^{[13]136},尤其是缺乏控制系统的技术资料 and 器材。在这样的情况下,苏联人决定从人才、设备和资料三个方面着手开始V-2火箭技术的复原工作。

人才匮乏是苏联人战后开展火箭研究工作所面临的一个突出问题。1945年9月,拉贝研究所(RABE)通过提供良好的生活物质保障,跨占领

区积极招募德国人才，特别是与火箭技术相关或相近领域的专家。他们陆续得到了控制专家格勒特鲁普 (H. Gröttrup)、陀螺仪和理论力学专家马格努斯 (K. Magnus) 博士、自动控制专家霍赫 (J. Hoch) 博士、电气控制专家赫尔曼 (E. Hermann) 博士、弹道专家沃尔夫 (W. Wolff) 博士、推进剂专家乌姆芬巴赫 (K. J. Umpfenbach) 博士、发动机专家施瓦茨 (W. Schwarz) 和西格蒙德 (Sigmund) 等的加盟。此外，苏联人也努力建设本国的人才队伍。经盖杜科夫 (Л. М. Гайдуков) 的个人协调及《喷气武器问题》决议的调配，大批苏联各部委的工程师和科学家被派往德国工作。这些人主要包括无线电专家梁赞斯基 (М. С. Рязанский)、库兹涅佐夫 (В. И. Кузнецов)，以及火箭专家波别多诺斯采夫 (Ю. А. Победоносцев)、科罗廖夫 (С. П. Королёв)、格鲁什科 (В. П. Глушко) 等。到 1946 年 10 月苏联人在德国工作结束时，从事火箭技术复原工作的德国人达 5 870 名，其中工程师和技术人员 840 名、工人 3 851 名；苏联人共 733 名，包括工程师和技术人员 490 名、工人 139 名^{[14]119-120}。

在设备方面苏联人充分利用德国诺德豪森地区原有的火箭工厂开展工作，这个做法是德国专家建议的^{[15]258}。在德国专家的帮助下，切尔托克 (Б. Е. Черток) 等苏联人在诺德豪森的拉贝研究所和各研究小组实现了对德国火箭工厂和设备的修复、V-2 火箭技术资料 and 零部件的大范围搜集，以及初期的研究组织工作。专家们在诺德豪森地下工厂的一条通道中，利用找到的零部件尝试 V-2 火箭主要部分的组装。之后，苏联人将小博敦根 (Kleinbodungen) 的德国火箭修理厂作为拉贝研究所的试验工厂，把找到的所有零部件、试验台和其他设备搬运至此，并于 1945 年 9 月在库里洛 (Е. М. Курило) 领导下装配火箭各部件，

修理地面设备。经粗略清点火箭头部、中段和尾部的数量，他们估计有望组装不少于 15~20 个火箭整体^{[15]270}。拉贝研究所的帕洛 (А. В. Палло) 组织一批苏德发动机专家修复莱厄斯腾 (Lehesten) 带有制氧工厂和试验台的发动机试验站。专家们利用在不同工厂找到的制造发动机的工艺设备和装备，重建了诺德豪森郊区的蒙达尼亚 (Montania) 工厂的生产车间，用于生产发动机。一些专家还在瑟默达 (Zommerde) 莱茵金属 (Rheinmetall) 公司试验工厂的基础上，建立了奥林匹亚 (Олимпия) 苏德设计局，从事技术文件和工艺设备的复原。

1946 年 5 月，拉贝研究所等机构实现整合，成立了统一的诺德豪森研究所 (Институт Нордхаузен)。于是，德国的火箭技术复原工作形成了很有规模的布局 (图 5)：瑟默达的 1 号工厂负责火箭尾部、仪表舱、燃料箱的制造与装配，石墨舵的机械加工，以及火箭模型制造；诺德豪森郊区的蒙达尼亚工厂 (即 2 号工厂) 负责发动机和涡轮泵的装配和生产，莱厄斯腾试验站则负责发动机的点火试验，两者共同承担发动机部分的工作；小博敦根附近的火箭修理厂 (即 3 号工厂) 从事火箭装配；位于松德斯豪森 (Sondershausen) 的 4 号工厂专门研制仪器。



图 5 诺德豪森研究所布局图

图片来源：文献^{[14]114}。

这是 1945 年 7 月苏联人首次考察诺德豪森时，德国工程师罗森普伦特给出的建议。

根据 1946 年 5 月 13 日苏联部长会议通过的《喷气武器问题》决议，所有在德国从事 V-2 火箭技术研究工作的机构进行整合，建立了统一的诺德豪森研究所，专注于 V-2 火箭武器的技术恢复与试验。盖杜科夫担任所长，科罗廖夫为副所长和总设计师。

搜集和复原 V-2 火箭的工艺文件和图纸资料, 是火箭生产中各部门的首要任务。由于没有得到控制飞行的大多数组合件的资料, 控制系统的资料复原一度陷入困境。米申(В. П. Мишин)领导的研究小组在捷克斯洛伐克的布拉格成功发现了一些德军档案, 其中包括 V-2 火箭的技术资料。尽管这份资料不完整, 缺少总体图、线路图、计算和说明, 但却成为复原 V-2 火箭技术资料的核心部分^[16], 推进了工作进展。当苏联人结束在德国的工作时, 诺德豪森研究所的主要技术部门(包括控制部、火箭设计部、发动机设计部、点火试验部、地面设备部、试验发射部、引爆部、总工艺师与总冶金师部)都复原了各自负责部分的 V-2 火箭技术资料、工艺文件和图纸(图 6)。此外, 专家们还完成了一系列物理、化学和技术等方面的计算分析, 编写出详细的技术细则和技术规程, 并翻译制成俄文参考手册。

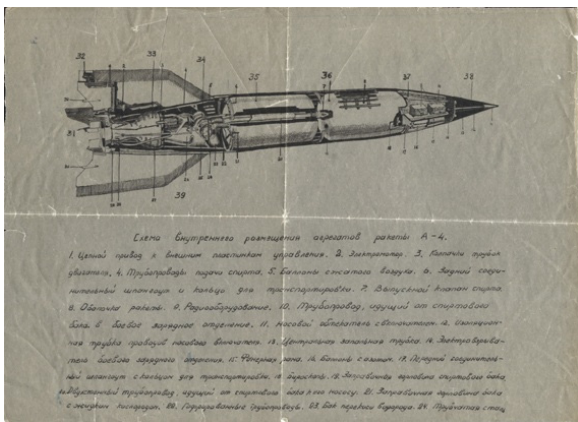


图 6 苏联专家绘制的 V-2 火箭组合件布置图
图片来源: 文献[17]。

在德国的结束时, 苏德专家复原并编写的技术文件量已非常有规模(表 1), 图纸达 18 568 张, 工艺规程达 6 338 份, 技术规程达 314 种, 说明、报告和技术细则共 492 种。这些资料不仅涉及 V-2 火箭, 还包括提高射程的改进型火箭方

表 1 诺德豪森研究所复原并编写的 V-2 火箭技术资料概况

研究所部门	图纸/ 页	工艺 规程 /页	技术规程和 全苏技术规程 /种	说明、报告、 技术细则等 /种
控制部	4 174	500	24	217
火箭设计部	2 083	—	54	63
发动机设计部	1 406	—	63	27
点火试验部	1 093	—	1	34
地面设备部	7 250	—	—	47
试验发射部	—	—	38	63
引爆部	1 087	1 970	5	5
总工艺师与 总冶金师部	1 475	3 868	129	36
总计	18 568	6 338	314	492

资料来源: 文献[14]115。

案。考虑到未来在本土生产火箭的需要, 苏联喷气技术特别委员会(Специальный комитет по реактивной технике)要求增加文件和图纸的复制数量, 以保证众多研究机构的需要, 并规定所有资料底稿统一归到 1946 年 5 月建立的苏联装备部第 88 科学研究所(НИИ-88 МВ)保存。

3 苏联人对 V-2 火箭技术的成功破解

苏联人在发动机零部件的获得方面较其他方面有明显优势。他们在莱厄斯腾的地下仓库找到 50 多套用于测试的全新的燃烧室; 在莱厄斯腾周边地区还发现了 58 个车厢的 V-2 火箭燃烧室、5 个车厢的发射和运输设备, 以及 9 辆液氧运输车^{[15]314}; 在铁路线上发现了从佩内明德运出物品的列车, 其中有 15 个车厢的 V-2 火箭发动机, 以及运输火箭的拖车、液氧运输与加注车、酒精加注车和其他地面设备^{[15]311}。这些成为开展火箭发动机研究的充足资源。

发动机研究小组的领导者帕洛和格鲁什科, 尤其是后者对复原德国火箭发动机技术起了很大作用。通过整理与分析图纸、技术文件和工艺资

根据 1946 年 5 月 13 日苏联部长会议通过的《喷气武器问题》决议建立部长会议喷气技术特别委员会, 旨在领导和协调整个火箭事业。委员会由马林科夫(Г. М. Маленков)任主席, 乌斯季诺夫(Д. Ф. Устинов)和祖博维奇(И. Г. Зубович)任副主席。1947 年 5 月 10 日该委员会更名为第二委员会(Комитет № 2)。

料，发动机专家们从整体上熟悉了 V-2 火箭发动机的技术，以便于更深入地研究其结构和工艺。在发动机装配方面，苏联专家先布置工作内容，然后由德国的 20 个“有文凭的”工程师、11 个工艺师、30 个左右的技师和熟练工人与苏联专家一起工作^{[18]34}。德国人负责弄清设计文件中的发动机结构和工艺，用收集的组合件和设备完成示范性装配。苏联人在此过程中观察学习，直至能够独立完成装配。安东诺夫（Антонов）、加拉宁（Гаранин）、尼茨科维奇（Ницкевич）、库尼岑（Куницын）等 11 名苏联专家组成的小组在蒙达尼亚的发动机总装配车间工作，他们掌握了装配的工艺流程，独立组装了 12 个 V-2 火箭发动机，并完成了必要的作业和检测^{[14]119}。

苏联人原来研制的液体火箭发动机推力不超过 1 200 kg^{[12]55}，而 V-2 火箭的发动机推力达 25 t。要达到这样的性能跨越，并不仅仅是增大燃烧室尺寸那么简单，还需深入解决发动机制造、涡轮制造等许多复杂问题，以及燃烧室喷嘴及其布局、喷注、混合气形成、温度场和冷却等技术问题。苏联人缺乏解决这些实际问题的技术经验和理论积累^{[15]305}，借鉴德国人现成的技术和产品就显得尤为重要。

在装配试验的工艺方面，苏联人采取了与战时德国人不同的做法，或者说做出了创新。战时，德国人将发动机和涡轮泵组分别在两地进行测试和预处理，然后到诺德豪森地下火箭工厂进行火箭整体组装时再将二者连接起来。苏联人认为发动机装置的输出性能，整体上是由发动机和涡轮泵组共同工作条件下确定的^{[15]310}。因此，他们采取将发动机装置进行整体测试，成功后再组装到火箭上。近年有俄国专家认为，苏联在火箭的某些单独部件方面比德国的更为先进^{[18]32}。例如，苏联在 20 世纪 30 年代研制的燃烧室翅片壁比 V-2

火箭的光滑壁具有更好的冷却效果；苏联液体火箭发动机广泛应用离心式喷嘴，比 V-2 火箭的喷射式喷嘴能更好地确保混合气的形成；格鲁什科在到德国前研制成功的 PD-1X3 火箭发动机中使用的化学点火方式比 V-2 火箭的火药点火方式更为安全可靠。

地面试车对火箭发动机的研制非常重要。从某种意义上讲，火箭发动机是试出来的^[19]。切尔托克的一段回忆生动地描述了专家们在最初试验发动机时所面临的困难和表现出的勇气：“最初几乎是盲目的‘比划’，有时还有生命危险：试车台上和火箭发射时常发生火灾和爆炸。我们善意地取笑发动机专家们，阴险地问：首次飞行前到底多少次发动机爆炸是合适的？由于各种各样的低频和高频脉冲，他们一直为最高单位推力和燃烧稳定性等问题所困扰。这种脉冲会产生振动，最初破坏发动机周围的所有装置，然后炸掉整个发动机。但是，为了不惊吓首长，‘爆炸’这个词被替换为术语‘燃烧室打开’。”^{[15]351}

苏联人像战时的德国人那样，进行了大量 V-2 火箭发动机地面试车，对其性能与调试工艺做了大胆的探索，消耗了一些发动机成品。1945 年 7—9 月，帕洛等苏联发动机专家集中学习并掌握 V-2 火箭发动机的测试与调整技术。在莱厄斯腾，他们将发动机置于不同状态下，进行了 40 多次地面试车。通过远超出推力设计极限的试验，他们发现发动机的推力可从原本的 25 吨增加至 35 吨^{[15]311}。苏联人还与德国魏达（Weida）的物理研究所取得联系，在这里招募了德国计量专家乌姆芬巴赫。在乌姆芬巴赫的带领下，苏德专家对发动机技术的测定工艺做了许多探索，完成了推力特性的计量工艺、液氧喷嘴和酒精喷嘴的溢出、燃料管路中节流阀门的计算与选择，以及对燃烧室和气体发生器燃料组元的理化特性快速分析等

① PD-1X3 火箭发动机是战时苏联研制的 PD-1 火箭发动机的改进型，提供战斗机起飞的助推动力。这种发动机以硝酸和煤油为燃料，地面最大推力达 300 千克力（1 千克力=9.80665 N）。PD-1X3 火箭发动机是苏联第一台通过飞行试验并投入量产的液体火箭发动机。

研究。最终,苏联人在发动机及其测试工艺,以及推力、温度、流量特性等方面积累了大量数据,形成了 22 份试验报告^{[15]311},为后续研究打下了基础。

1946 年 1 月格鲁什科开始主持两方面的专题研究^[20-21]:其一,为增加 V-2 火箭射程、提升发动机推力,深入开展发动机的改进研究;其二,为支持小博敦根火箭整体组装工作,进行 V-2 火箭发动机整体试车。第一项工作由德国人施瓦茨和西格蒙德负责。他们尝试选用新的燃料类型,提高燃烧室压力,并做相应的设计改变,以达到研制大功率火箭发动机的目的。施瓦茨和乌姆芬巴赫负责简化发动机组合件设计,研制带有喷注器的发动机。施瓦茨还负责研究设计推力为 75~100 吨的大功率火箭发动机。第二项工作是在德国人帮助下,由苏联发动机专家进行的。他们共完成 200 多次 V-2 火箭发动机试车,发现推力达到 32 吨时发动机仍能稳定工作,个别情况下,推力可达 35~37 吨^{[14]116}。通过这些试验,锻炼了一批苏联专家。沙布拉斯基(В. Л. Шабранский)、费定(Федин)、戈尔舍奇尼科夫(Горшечников)三位工程师率领装备部的 15 名年轻技术人员,掌握了燃烧室试验的工艺流程,独立制造、试验并修理了 54 个燃烧室^{[14]120}。通过试验,他们得到了关于各种性能、指标的大量珍贵数据,后来用于苏联本国 P-2、P-3、P-5 火箭发动机的研制。

与发动机研究有充足的零部件资源不同,控制专家面临的一个极为困难的情况是箭载控制仪器和设备的稀缺。在之前的考察和对德国专家的询问中,苏联人已经明白 V-2 火箭控制系统的重要性、复杂性和精度不够准确等问题,但在后续大范围的搜集中并没有获得足够的箭载控制仪器。苏联人在诺德豪森发现一台陀螺稳定平台。库兹涅佐夫表示要将此仪器送回莫斯科自己的研究所进行研究,而皮柳金强烈反对,两人为此发

生严重冲突。之后,两人的分歧在于到底由谁来研制陀螺仪器、陀螺仪器应该是什么样的^{[15]271}。苏联专家在布莱谢罗德附近的钾矿山里找到一套珍贵的维多利亚装置。德国人还从西方占领区找到一些箭载电气仪表,包括交换放大器、主分配器和临时配电器,以及装配和试验所必需的继电器等^{[15]323}。苏德专家利用有限的控制系统零部件,尝试进行组装、复原和试验。此外,苏联人采取订购和调动国内研究机构现有资源的方式增添控制仪器。

拉贝研究所将收集和复原控制系统仪器和设备作为自己的主要任务,在德国建立了陀螺仪、舵机、无线电仪器等试验室和设计局。后来,还在松德斯豪森建立专门的工厂,生产电气设备。按照苏联专家的布置,先由德国人完成仪器的示范组装工作,而后由苏联人学习掌握。巴卡诺夫(Баканов)领导 6 名苏联造船工业部(МСП)的技师,掌握了水平仪和稳定仪的组装与调试技术,独立制造了 10 个仪器^{[14]120}。苏联通信器材工业部(МПСС)的格拉兹科夫(Глазков)和金兹布鲁克(В. Л. Гинзбург),苏联总军械部(ГАУ)的索洛韦伊(Соловей)、米尔佐扬(Мирзоян)和斯塔里科夫(Стариков)等工程师研究并完善了控制技术。克里莫夫(К. А. Керимов)大尉与来自莫斯科第 20 无线电科研所(НИИ-20)的杰格佳连科(Г. И. Дегтяренко)一起负责复原 6 套十分稀少的墨西哥箭载无线电遥测装置。青年工程师斯捷潘(Г. А. Степан)来自莫斯科仪器制造工厂,以前未曾研究过电动液压舵机。他在皮柳金和切尔托克指导下,研究舵机的构造和基本理论,为火箭制成了舵机和操纵可控气动翼的电机调整片。莫斯科第 627 科研所(НИИ-627)所长约瑟菲扬(А. Г. Иосифьян)是随动系统和电动同步通信的著名专家,他帮助开展电机方面的研究。

对陀螺仪的复原除修复外还采用了订购的方

① 1 吨力=9806.65 N,为尊重原始资料,文中不再做单位转换。

式。苏联专家找到位于耶拿(Jena)的蔡司(Zess)公司,1946年3—4月向该公司订购了20多套陀螺仪——水平仪、稳定仪和积分仪,同年9月蔡司公司就完成了订单。不过,德国专家抱怨这些设备没有达到西门子的制造精度。苏联专家于1947年夏天在国内进行V-2火箭试验时才意识到这个问题^{[15]323}。

实际上,苏联人在控制系统方面有一定的理论和实践基础,具备较为坚实的电机和无线电技术理论基础,以及飞机自动驾驶的经验,并已将陀螺技术成功应用于航海^{[15]307}。他们将一些组装好的仪器或各种部件运回国内,由国内的科研机构帮助完成部分控制系统装置和仪器的复原和改进。根据1946年5月通过的《喷气武器问题》决议,苏联通信器材工业部第885研究所(НИИ-885)主要承担导航和控制系统的研究工作。这个研究所于1947年完成了变换放大器及其检测仪器,以及维多利亚无线电导航装置的复原,改进后用于本国P-1、P-2火箭的控制系统。另外,第885研究所研制了一些短缺的组合件、地面控制站天线和箭载接收器。

苏德专家还开展了控制系统方面的专题研究,如赫尔曼领导开展V-2火箭控制仪器新方案的研究和试验;格勒特鲁普主持火箭弹道、飞行稳定性,以及远程火箭设计和测试方面的理论和试验;布申贝格(Buschberg)负责火箭飞行轨迹无线电技术监测系统的设计和角度检测试验;还有飞行稳定性、空气密度和周围温度对火箭发射准确性的影响等研究。到1946年10月时,苏德专家复原并制造了35套箭载自动稳定仪器,完成23套箭载墨西哥-1无线电遥测系统及15套尚未装配的箭载仪器^{[14]116}。特别是,霍赫博士研制出用于弹道模拟的自动计算装置——班模拟装置(Banmodel)。尽管它与现代电子计算机相差甚远,但首次实现了可变系数情况下对火箭运动方程的模拟。1947年秋天,苏联在本土发射V-2火箭,应用了这些新研制的仪器,验证并总结了其实际

功效。

利用复原的V-2火箭零部件和仪器设备,苏德专家在小博敦根火箭修理工厂进行V-2火箭的整体组装,并于诺德豪森地下火箭工厂完成工艺测试。在德国的工作结束时,他们共装配出35枚适于发射的V-2火箭,还配套了可组装10枚火箭的零部件,预备未来在苏联工厂中进行火箭组装教学使用^{[14]116}。石墨舵在当时的德国无法制造,因此这些组装好的火箭未配齐这一部件。此外,秋林(Г. А. Тюлин)和德国人沃尔夫领导一些苏德专家完成了所有与V-2火箭强度、空气动力学、弹道学有关的计算,以及利用翼面提高火箭飞行高度的计算。这方面已有的计算资料不多,很多数据都是重新计算得到的。由于佩内明德的大型风洞实验室遭到严重破坏,专家们无法通过火箭模型的风洞试验获得空气动力学数据。然而苏德专家通过模拟计算获得的结果,比美国靠风洞试验得到的数据更廉价、更快捷^{[22]41}。

V-2火箭的复原工作还包括掌握其发射技术。科罗廖夫和沃斯克列夫斯基(Л. А. Воскресенский)先后领导发射小组,研究火箭发射前的准备技术、地面加灌和发射装置、瞄准技术、飞行任务计算、点火小分队技术细则和所有必要的技术文件等。考虑到在德国工作的特点及回国后继续工作的前景,苏联专家认为V-2火箭的发射技术复原应以更灵活的方式完成。1945年11月,他们提出利用德国的车厢制造公司研制火箭专列的计划,要求能保障在任何荒凉的地方完成火箭试验和发射的整个过程,而不需要除铁道外的任何基础设施。格勒特鲁普负责V-2火箭发射试验的专项研究,包括队伍组建和火箭专列的制造。这项工作于1946年1月开始迅速实施,位于哥达(Gotha)的德国车厢制造公司负责制作列车,小博敦根火箭修理工厂和诺德豪森研究所控制部承担设备装配,同年12月就完成了两辆火箭专列的全部制造工作。每辆火箭专列都由4种功能的车厢组成:用于检测发动机、飞行控制等仪器和装

置的试验室车厢,用于完成火箭组合件和所有地面辅助设备例行修理的机电修配车厢,用于运输火箭、地面设备的平板车厢和油罐车,以及适于工作人员日常生活的公务车箱。这两辆火箭专列分别提供给苏联工业部委和军方,每辆专列的价值约 250 万马克^[23]。由于仪器设备缺乏,两辆专列制造中出现了争夺设备的紧张局面,这或许是在德国期间苏联工业部门与军方唯一的一次冲突^{[15]323}。

1946 年 10 月,苏联人在德国的火箭生产工作进入收尾阶段。所有在德国组装、生产的火箭、仪器和设备等全部被运回苏联,分配到新建的各火箭技术研究所,而火箭专列则直接开往建设中的苏联卡普斯京亚尔国家中央试验场(ГЦП Капустин Яр),用于以后的发射试验。同时,苏联着手组织在德国从事火箭技术工作的苏德专家转移到苏联境内继续从事研究工作。贝利亚(Л. П. Берия)的助手谢洛夫(И. А. Серов)将军负责德国专家和工人的运送工作。据统计截止到 1947 年 1 月 1 日,共有 378 名德国人来到苏联,他们被分配到从事火箭武器研究的九大部委,其中有 175 人到了装备部^{[13]127}。1950 年苏联成功试验发射 P-1、P-2 火箭后,这些人被陆续送回德国。而苏联专家及其家属也于 1947 年 1 月全部回到莫斯科。

4 V-2 火箭在苏联的试验发射

自 1946 年 5 月苏联部长会议通过《喷气武器问题》决议后,苏联便与德国的火箭技术研究并行,在国内组建起火箭武器制造的相关机构、研究所和试验场。装备部被确定为远程弹道火箭的主导部门,其下新建的第 88 研究所成为远程火箭研制的主导者,负责火箭的设计、研制和整体组装等工作;通信器材工业部第 885 研究所负责远程火箭控制系统和仪器方面的研究;航空工业部(МАП)第 456 试验设计局(ОКБ-456)和 456

工厂(Зд-456)负责发动机的研究;机器和仪器工业部国家专业设计局(ГСКБ)负责地面设备的研究,成为远程火箭的主要协作部门。此外,通信器材工业部第 20 无线电科研所和 886 设计局(КБ-886),造船工业部第 10 科研所(НИИ-10),农业机器制造部(МСХМ)第 6 科研所(НИИ-6)第 137 科研所(НИИ-137)、第 862 科研所(НИИ-862)和第 15 工厂(Зд-15),以及电气工业部第 686 工厂(Зд-686)都参与到这项工作中。这些机构首先合作完成的一个工作就是接收从德国运来的 V-2 火箭及相关的仪器、设备和德国火箭专家,准备在德国的工作基础上实现 V-2 火箭的试验发射。

根据 1946 年 7 月 26 日斯大林签署的苏联部长会议第 2643-818 号决议,由火箭技术特别委员会负责领导 V-2 火箭的试验发射工作。众多部委、科学研究所、设计局和工厂积极保证试验的设施配置和飞行观测。不过,当时卡普斯京亚尔试验场只来得及完成最低要求的必要设施建设,包括点火试验平台、发射场、库房、铁路和其他设施,并配备了 16 个不同系统的探测器负责雷达勤务、6 个摄影经纬仪站提供摄像服务、一个空军团负责航空观测及气象台和通信服务等^{[13]137}。此次试验旨在检查火箭装配的正确性,V-2 火箭发动机、控制稳定仪器、地面设备及火箭整体的可靠性,火箭飞行中借助雷达跟踪和无线电定位的可能性;测试并掌握火箭发射前繁杂的试验和准备技术,取得火箭整个飞行阶段与落点的试验资料,并在此过程中检测、锻炼苏联专家的业务能力^{[18]146}。由此可见,这次试验实际上既是对苏联专家在德国工作的阶段总结,也是进一步锻炼队伍的机会。

在德国领导火箭技术研究的专家们,回到苏联后担任了各科研机构的总设计师,成为这次试验的负责人。装备部第 88 研究所总设计师科罗

① 1 号火箭专列有 67 节车厢,2 号火箭专列有 70 节车厢。

廖夫任此次试验发射的技术总负责，航空工业部第 456 特殊试验局总设计师格鲁什科、通信器材工业部第 885 科研所总设计师梁赞斯基、造船工业部第 10 科研所总设计师库兹涅佐夫、机器和仪器工业部国家专业设计局总设计师巴尔明担任试验发射的分技术系统负责人，分别领导火箭发动机、控制系统、陀螺仪系统、地面发射和加灌设备的相关工作^[24]。这是之后苏联火箭技术事业的核心研究团队。这次的组合表明，苏联通过在德国的工作已经磨合出一支本国较成熟的专家队伍。

专家们对试验发射的火箭做了详细安排。他们准备了两批 V-2 火箭，每批 10 枚，其中一批称为 T 系列，是用从德国运来的零部件在苏联装配的；另一批称为 H 系列，是在德国已经装配好的。这样实际区分了以德国人为主组装的和苏联人自己组装的火箭，更便于分析、比较测试结果。另外，为了得到更多有价值的信息，专家们给火箭安装了不同的测试仪器。所有 20 枚火箭都安装了自动控制系统，T 系列的 10 枚火箭配置了天线装置和墨西拿-1 无线电遥测系统，用于在飞行中监测各种工作数据。H 系列有 5 枚火箭携带了苏联科学院物理研究所专门研制的测试仪器，用于研究高空大气；另外 5 枚装配了“维多利亚-夏威夷”无线电设备，测试这种装置对火箭飞行调整和修正的效果。

在德国专家参与下，1947 年 10 月 16 日至 11 月 13 日在卡普斯京亚尔发射场进行了 V-2 火箭的飞行试验。实际上，总共试验发射了 11 枚 V-2 火箭，所有火箭都装有自动控制仪器。其中，3 枚（4、5、8 号）是 T 系列，安装有墨西拿-1 无线电遥测系统；3 枚（6、7、10 号）是 H 系列，是与苏联科学院物理研究所协作的；2 枚（9、11 号）是 H 系列，装配了维多利亚-夏威夷无线电设备。在试验发射中，第一组的 3 枚火箭（1、2、3 号）与既定方向存在巨大偏差。根据德国专家霍赫的建议，剩下的火箭额外安装了滤波电容器，充当

舵机吸收外来气流，这一措施极大地减少了火箭飞行中的偏移。第二组火箭（4、5、6 号）试验中，5 号火箭过早坠落，经分析是由于控制系统故障和火箭外壳强度不够。通过前两组的调试，第三组的 5 枚火箭（7、8、9、10、11 号）发射较为顺利，尤其是 11 号火箭，当无线电设备从地面改变火箭的方向时，其控制能力得到了良好的结果，达到了应有的射程要求和偏离数值。整体看来，这次试验成功发射的火箭射程基本保持在 260~275 km，偏离准线在 5 km 左右，飞行高度保持在 72~86 km，最大飞行速度达到 1 508 m/s（表 2）。

表 2 1947 年 10—11 月 V-2 火箭在苏联试验发射的结果数据

发射编号	发射时间	火箭射程/km	弹道高度/km	横向偏差/km	最大飞行速度 m/s
1	10 月 18 日	206.7	86	左偏 30	1 350
2	10 月 20 日	231.4	46	左偏 181	1 420
3	10 月 23 日	29.4	—	右偏 3.9	—
4	10 月 28 日	274.3	81	左偏 4	1 508
5	10 月 31 日	2.0	3	左偏 1	—
6	11 月 2 日	260.0	72	左偏 5	1 450
7	11 月 3 日	2.3	4.8	右偏 0.9	—
8	11 月 4 日	268.9	78	左偏 1.1	1 480
9	11 月 10 日	24.4	34	右偏 18.2	—
10	11 月 13 日	270.0	78	右偏 0.1	1 490
11	11 月 13 日	262.2	76	左偏 1.5	1 470

数据来源：文献[13]138。

通过分析这次试验结果，苏联专家证实：对 V-2 火箭技术文件的复原，以及对火箭本身的复原、加工和组装都是正确的；发动机在试车和飞行过程中表现良好；自动控制系统、无线电控制系统和遥测系统工作结果令人满意，地面发射和加油设备也正常地保证了火箭的试验发射。这次发射试验中组织的飞行观测肯定了无线电定位仪探测 V-2 火箭的可能性，并确定距离大于 50 km 时无法跟踪这种火箭^{[13]140}。为保证远距离探测并定向火箭，必须要研究专门的无线电定位仪。

试验结果再次表明,V-2 火箭的某些技术装备在使用中复杂而笨重,不能保证可靠无故障的工作,而在某些情况下结构加工工艺也不够完善,尤其是控制仪器可靠性低,不能保证仪器免受湿度与温度变化、尘土渗入的影响;发射前控制系统的试验和调整很复杂,要求操作员有很高的技能,并需花费大量时间用于调试;发动机在试车时暴露出一些设计问题,而地面发射和加灌设备的组件也有一系列的设计缺陷。

这次试验得到了极为重要的实际经验和试验数据,尤其是使苏联首次获得了无线电试验数据。这些经验和数据成为后续苏联本国火箭制造业专业布局和技术研究的重要依据。在此基础上,专家们制定了苏联未来两年(1947—1948年)火箭武器科研和试验方面的项目计划,布置了射程为250~270 km的P-1火箭、射程为600 km的P-2火箭及射程为3 000 km的P-3火箭的研究方案,拉开了本国自主研制更先进火箭的大幕。

5 结语: V-2 火箭技术复原的意义

实践证明,苏联采取就地复原德国火箭技术的做法是非常明智的。德国为苏联专家开展火箭技术的研究工作提供了宝贵的技术资源,这不仅包括与V-2火箭研究直接有关的各种火箭零部件、仪器、设备、试验台、试验室和厂房等,还包括充足的燃料供给、便捷的运输线路、众多火箭技术生产协作工厂、大学与研究所,以及适宜火箭试验发射的各项条件等。而德国专家和工人的技术能力的示范作用对于苏联专家掌握火箭技术起到不可或缺的重要作用。对此,切尔托克这样评价道:“我们有机会研究的不是文件,而是在自己经验的基础上,研究德国技术的弱点,甚至在德国就开始思考如何改善……我们在德国境内组织研究和复原火箭技术是正确的,在德国专家的参与下拥有了雄厚的技术潜力。第二次世界大战后最初的两年,我们国家无法提供类似规模的工作条件。”^{[15]332}

苏联复原的不仅是火箭产品,而是全面的火箭技术,包括有形的产品和无形的技术知识。比如在大型火箭的设计方面,形成了苏联人自己的技术。在德国人的帮助下,苏联专家逐步掌握了火箭发动机系统和控制系统的试验与研制、火箭的整体组装与测试、繁复的发射准备等技能。在德国的工作结束时,苏德专家共装配35枚适于发射的V-2火箭,并配套了可组装10枚火箭的零部件,并于1947年10月在苏联成功发射,得到了极为重要的实际经验和试验数据。更为重要的是,苏联火箭专家的技术能力在边做边学中得以提高。他们意识到火箭技术是一个大的系统,不能只靠一个机构或一个部门的力量,需要强大的全国性协作,还要具备高水平的仪器制造、无线电技术和发动机制造业^[25]。

在德国异地复原火箭技术,最大限度地利用了德国人才、技术与工业基础。苏联在对V-2火箭遗产的争夺及1945年7月之后开展的系统性收集工作中,获得了一些火箭零部件、仪器设备和技术资料,这些收获对苏联的V-2火箭技术复原工作是十分有价值的。为了破解德国火箭技术,苏联人募集与火箭技术相关或相近领域的德国专家,建立起拉贝研究所和诺德豪森研究所等火箭研究机构,创造了苏德专家共同工作的模式。这些德国专家和工人帮助苏联人了解V-2火箭的结构和技术数据,装配与操作,并在火箭子系统的研究中给予指导。苏德专家修复V-2火箭技术资料、仪器设备和工厂,组装火箭零部件,为整个火箭技术的复原工作做了良好的准备;他们还直接订购德国专业技术工厂的仪器、设备,解决复原工作中的仪器短缺问题。如果没有这些基础,苏联火箭技术不可能那么快地跨上新阶段。

V-2火箭技术复原工作的成功显著提升了苏联火箭技术的起点,为以后的发展奠定了各方面的坚实基础。并且在复原过程中还发现和改进了V-2火箭的不足,促使它走向成熟。V-2火箭在苏联的成功发射是对专家们在德国期间工作成果的

一次检验。试验得到了一系列重要数据，对它们的分析成为苏联本国火箭制造业专业布局和技术研究的重要依据。苏德专家为完善 V-2 火箭技术进行了许多改进研究，包括更大推力发动机的研制、控制系统的简化与完善等。这在技术复原基础上进一步实现技术仿制和再创新奠定了良好的基础。

特别值得一提的是，无论是苏联专家还是德国专家都对这段共同工作的经历给予了很高的评价。德国专家阿尔布林称：“所有的研究都是基于一个全新的集体做出的。我认为我们的一个优势是我们没有得到什么佩内明德的技术报告，受到旧思维的牵绊比较少，而能够走自己的路。”^{[22]41}

致谢

在本研究过程中，导师中国科学院自然科学史研究所张柏春研究员给予了悉心指导，俄罗斯科学院科学技术史研究所巴图林（Ю. М. Батулин）教授、中国科学院自然科学史研究所田淼研究员提供了资料和指导，中国科学院自然科学史研究所刘金岩助理研究员和刘焯昕女士给予了诸多帮助，在此表示衷心感谢！

参考文献

- [1] 王芳. 苏联对纳粹德国火箭技术的争夺(1944—1945) [J]. 自然科学史研究, 2013(4): 551—565.
- [2] 王芳. 苏联在德国复原 V-2 火箭的机构与人才建设(1945—1946) [J]. 自然科学史研究, 2014(1).
- [3] Dornberger W R. The German V-2 [J]. Technology and Culture, 1963, 4(4): 393—409.
- [4] 李成智. 通向宇宙之路: 跨世纪的航天技术[M]. 武汉: 湖北教育出版社, 1997.
- [5] Ивкин В И, Сухина Г А. Доклад записка А И. Шахурина Г. М. Маленкову от 8 июня 1945г. о результатах обследования германского реактивного научно-испытательного института в Пенемюнде (8 июня 1945г.) [G]// Задача особой государственной важности. Из история создания ракетно-ядерного оружия и Ракетных войск стратегического назначения (1945-1959 гг). АП РФ. Ф.3. Оп.47. Д.182. Москва: РОССПЭН, 2010.
- [6] Michael J N. Von Braun: Dreamer of Space, Engineer of War [M]. New York: Vintage Books, 2008: 117.
- [7] 李成智. 中国航天技术发展史稿: 上[M]. 济南: 山东教育出版社, 2006: 17.
- [8] 顾诵芬, 史超礼. 世界航天发展史[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000.
- [9] Matthias U. Stalins V-2: Der Technologietransfer der deutschen Fernlenkwaffentechnik in die UdSSR und der Aufbau der sowjetischen Raketenindustrie 1945 bis 1959[M]. Bonn: Bernard & Graefe-Verlag, 2001: 45.
- [10] Kenneth G, Arthur C C. The Illustrated Encyclopedia of Space Technology: a Comprehensive History of Space Exploration [M]. New York: Harmony Books, 1981: 19.
- [11] Bode V, Kaiser G. Building Hitler's Missiles: Traces of History in Peenemünde [M]. Berlin: Christoph Links Verlag, 2008.
- [12] Ивкин В И, Сухина Г А. Докладная записка Д Ф, Устинова и других И В. Сталину об ознакомлении с работами по реактивному вооружению в Германии [G]// Задача особой государственной важности. Из история создания ракетно-ядерного оружия и Ракетных войск стратегического назначения (1945-1959 гг). АП РФ. Ф.3. Оп.47. Д.182. Москва: РОССПЭН, 2010.
- [13] Ивкин В И, Сухина Г А. Докладная записка Н Д, Яковлева и других И В. Сталину о результатах пусков ракет Фау-2 [G]// Задача особой государственной важности. Из история создания ракетно-ядерного оружия и Ракетных войск стратегического назначения (1945-1959гг). АП РФ. Ф.3. Оп.47. Д.185. Москва: РОССПЭН, 2010.
- [14] Ивкин В И, Сухина Г А. Из отчета о работе института «Нордхаузен» начальника института гвардии генерал-майора артиллерии Л. Гайдукова и главного инженера С. Королева [G]// Задача особой государственной важности. Из история создания ракетно-ядерного оружия и Ракетных войск стратегического назначения (1945-1959 гг). ЦАРИКВ. Ф.19. Оп.16395. Д.1. Москва: РОССПЭН, 2010.
- [15] Черток Б Е, Ракеты и люди. От самолетов до ракет [M]. Москва: Издательство РТСофт, 2010.
- [16] Качур П И, Глушко А В. Валентин Глушко. Конструктор ракетных двигателей и космических систем[M]. СПб.: Политехника, 2008: 399.
- [17] Схема размещения агрегатов ракет А-4 [G/OL]. РГАНТД Ф.133 оп.3 д.69 . [2014-02-20]. http://vystavki.rgantd.ru/korolev/pics/010_005.jpg.
- [18] Рахманин В О. “немецком следе” в истории отечественного ракетостроения [J]. Двигатель, 2005(2) .
- [19] 赵少奎. 导弹与航天技术导论[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2008: 351.

- [20] Ивкин В И, Сухина Г А. Из тематического плана и сметы расходов по Специальной технической комиссии с сопроводительным письмом заместителя председателя Специальной технической комиссии в Германии Г.А. Тюлина начальнику Научно-технического отдела уполномоченному Особого комитета при СНК СССР по Германии Ю.Н. Соловьеву [G]// Задача особой государственной важности. Из история создания ракетно-ядерного оружия и Ракетных войск стратегического назначения (1945-1959 гг). ГА РФ. Ф.Р-7317. Оп.22. Д.3. Москва: РОССПЭН, 2010: 23-27.
- [21] Ивкин В И, Сухина Г А. Из плана работ Специальной технической комиссии в Германии по изучению немецкой ракетной техники на 1946 г. [G]// Задача особой государственной важности. Из история создания ракетно-ядерного оружия и Ракетных войск стратегического назначения (1945-1959 гг). ГА РФ. Ф.Р-7317. Оп.22. Д.3. Москва: РОССПЭН, 2010: 33-35.
- [22] Альбринг В. Городомля немецкие исследователи ракет в России [М]. Санкт-Петербург Европейский дом, 2005.
- [23] Ивкин В И, Сухина Г А. Донесение уполномоченного Специального комитета при Совете Министров СССР по Германии Н.Э. Носовского Главного начальствующему СВАГ В.Д. Соколовскому о состоянии работы по изготовлению специального поезда № 2 для исследования немецких ракет А-4 [G]// Задача особой государственной важности. Из история создания ракетно-ядерного оружия и Ракетных войск стратегического назначения (1945-1959 гг). ГА РФ. Ф.Р-7317. Оп.30. Д.14. Москва: РОССПЭН, 2010: 68-70.
- [24] Ивкин В И, Сухина Г А. Из краткого технического отчета государственной комиссии о проведении опытных пусков ракет дальнего действия А-4 (Фау-2) на Государственном центральном полигоне МВС в октябре-ноябре 1947 года [G]// Задача особой государственной важности. Из история создания ракетно-ядерного оружия и Ракетных войск стратегического назначения (1945-1959 гг). АП РФ. Ф.3. Оп.47. Д.185. Москва: РОССПЭН, 2010: 143-155.
- [25] Черток Б Е.Ракеты и люди. Подлипки-Капустин Яр-Тюратам [М]. Москва: Издательство РТСофт, 2011: 79.

Soviet Union's Technology Reconstruction for Germany's V-2 Rocket (1945—1947)

Wang Fang

(Institute for the History of Natural Sciences, CAS, Beijing 100190, China)

Abstract: Based on an overview of the research and development of the German V-2 Rocket, this paper examines how the Soviets took advantage of the cooperation of German experts to restore German rocket factories, technological materials as well as the design and manufacture of V-2 Rocket. The paper further explains how the Soviets gradually mastered the entire set of the rocket, its engine and its control system including the design, construction, assembling, testing, launch preparation etc., which led to the successful launching of the rocket within the USSR territory. The author believes that it is extremely wise that the Soviets restored the German rocket technology on the spot. They made the utmost use of the talents, technology and industry foundation of Germany and reinstated the rocket technology comprehensively, which includes not only the concrete product of the rocket but also the abstract technical knowledge. The success restoring of V-2 Rocket technology by the Soviets significantly improves the starting point of the Soviet rocket technology and therefore lays a solid foundation for future development in many aspects.

Key words: V-2 Rocket; technology reconstruction; technological knowledge; engineering history