第45卷 第12期（总304期） 自然辩证法通讯 Vol.45, No.12 (Serial No.304)
2023年12月 Journal of Dialectics of Nature December 2023

·人物评传·

罗伯特·戈达德：从非主流到主流的火箭先驱

From Non-mainstream to Mainstream Rocket Pioneers: Robert Goddard

王竞研 /WANG Jingyan

（山西大学科学技术史研究所，山西太原，030006）
(Institute of History of Science and Technology, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi, 030006)

摘　要：罗伯特·戈达德是美国火箭科学技术领域的先驱。少年时代因受科幻作品的影响，幻想制造一种可以登上月亮的飞行器而开始涉足这项创造性事业，大学毕业后正式进入火箭的发明活动。先独立从理论上证明了利用燃烧反冲力的方式飞上天空是可行的，然后进行了长期实验研究，于1926年3月成功发射了第一枚液体火箭。他早年所从事的这项创造活动，不为主流科学界所认可，但在第二次世界大战德国的V–2火箭弹轰炸英国后，才被主流科学界和政府所认可。由此戈达德被公认为美国火箭之父。

关键词：戈达德　液体火箭　齐奥尔科夫斯基　奥伯特

Abstract: Robert Goddard is a pioneer of rocket science and technology in the United States. Influenced by science fiction works, he started his creative career when he was a teenager, fantasizing about making an aircraft that could reach the moon. After graduating from university, he began to invent rockets. First, it was theoretically proved that it was possible to fly into the sky by means of combustion recoil. Then, after a long period of experimental research, the first liquid rocket was successfully launched in March 1926. His early creative work was not recognized by mainstream science, but it was recognized by mainstream science and governments only after German V-2 rockets bombed Britain in World War II. Goddard is recognized as the father of American rocketry.

Key Words: Goddard; Liquid rocket; Ziolkovsky; Oberth

中图分类号：K811　　**文献标识码：**A　　DOI: 10.15994/j.1000–0763.2023.12.014

罗伯特·戈达德

1944年6月6日，盟军部队强渡英吉利海峡，在法国诺曼底登陆，开辟了对纳粹德国的西部战场，第二次世界大战进入最后收尾阶段。但纳粹并没有束手就擒，几天后的6月13日，英国本土和欧洲一些已被盟军收复的城市，同时遭到了德军的猛烈轰炸。这种轰炸不是使用火炮或飞机炸弹，而是一种长距离自动飞行的飞机模样炸弹。盟军很快就搞清楚了这是一种名为V–1的喷气动力推进飞弹。虽然其飞行速度不慢，但仍然可以使用飞机、高炮等防空力量进行有效拦截。三个月后的9月8日，英国伦敦又一次遭到高爆飞弹的轰炸，这一次的飞弹速度奇快，几乎无法拦截。综合情报分析，此飞弹名

收稿日期：2023年4月20日
作者简介：王竞研（1987–）男，北京人，山西大学科学技术史研究所硕士研究生，研究方向为科技史、火箭科学技术史。
Email: wangjy@jzyjspace.com

为“V–2火箭弹”,是一种全新的中程弹道飞弹，飞行距离可达200多公里。从此时起到战争结束前,纳粹德国共发射了约3000枚V–2火箭弹，虽然这种新式武器并不能挽救纳粹最终败亡的命运，但仍给英国本土造成了不小打击。特别是它的高速和难以防备性，以及爆炸前摄人心魄的呼啸声，一时间也闹得英国人心惶惶，不可终日。

美军情报部门通过对V–2火箭的周密调查，发现了它背后隐藏的很多秘密，例如主持V–2火箭研发制造的是沃纳 · 冯 · 布劳恩（Wernher von Braun），当时还只是个三十出头的年轻人。而他所借助的火箭基本技术，竟然也有一部分来自美国自己！

于是，一直不为美国科学界和政府部门看好的火箭先驱者罗伯特 · 哈钦斯 · 戈达德（Robert Hutchings Goddard），就此又回到了人们的视野中，特别是政府和军方，对他的态度发生了几乎180度的转向。但此时，离他去世已经不到一年了。

冯 · 布劳恩是世所公认的第一位开发出实用火箭——导弹的人。但在他背后，实际上还有三位相互独立的火箭先驱者。其一是俄国的康斯坦丁 · 齐奥尔科夫斯基（Konstantin E. Tsiolkovsky），其二是美国的戈达德，其三是出生于奥匈帝国的赫尔曼 · 奥伯特（Hermann Oberth）。作为先驱者之一的戈达德，处于齐奥尔科夫斯基和奥伯特之间，是最早进行实际火箭试验，并对奥伯特及其学生冯 · 布劳恩都产生过影响的人。由于其个性和某些历史原因，导致戈达德几乎是单打独斗进行火箭研究和实验，长期游离于主流科学界之外。究竟历史真相如何，本文将尝试揭开之。

一、家世与少年幻想

罗伯特 · 戈达德于1882年10月5日出生在美国新英格兰地区马萨诸塞州离波士顿不太远的内陆城市伍斯特（Worcester）。城市虽然不大，但却有六所高等院校，其中最著名的就是伍斯特理工学院和克拉克大学。

戈达德家族属于典型的美国中产阶级家庭。他的父亲纳胡姆 · 丹福德 · 戈达德（Nahum Danford Goddard）是一名推销员和商人，喜欢冒险和摆弄一些新鲜玩意，发明过一些小机器，也是无线电和汽车的最早爱好者。他的母亲范妮 · 露易丝（Fannie Louise Goddard）是商人的女儿。

根据戈达德夫人透露给传记作家的说法，戈达德从小就是一个早熟、好奇、积极尝试的孩子，在一个充满爱意的中产阶级家庭长大。[1]但他又是一个体弱多病的孩子，所以在上学和独立方面都比同龄人晚了一步。特别是他母亲自己患了肺结核病后，非常担心小戈达德会因传染导致生命危险，因为在19世纪末的那个年代，肺结核几乎就是个不治之症，医生对此除了建议多多休息之外，基本束手无策。虽然对小戈达德进行了多次检查都证明他并未患上肺结核，但母亲依然不放心，为了她自己和小戈达德的健康，他们家在波士顿和伍斯特之间来回奔波迁移了好多次，而且经常将他留在家中休养。这就导致戈达德基本无法正常进入小学中学上学，从而对学业有所延误。但父母都鼓励戈达德自己去克服这种逆境。小戈达德尽管身体虚弱，但精力还算充沛，对各种各样的新鲜事物都充满兴趣，并喜欢异想天开，也尝试过许多既有游戏成分、又有创新意涵的事情。比如，他曾经组织过一帮小朋友试图在地上挖一个洞去到地球另一端的中国，还发起了一项建造蝌蚪变青蛙的孵化场计划等等。他很小的时候就说服父亲为他买了一架望远镜和一台显微镜,以便满足自己的好奇心。他还订阅了《科学美国人》杂志。总体上看，虽然身体偏弱，戈达德依然算是个正常孩子。

据他自己回忆，少年时代发生的一件事情，让他的人生变得不再寻常，使他突然具有了一种使命感，这就是戈达德后来念念不忘的所谓“樱桃树纪念日”（Cherrytree Anniversary Day）。这件事发生在1899年10月19日。此前的一年中，因为不被允许正常上学，戈达德就经常去伍斯特市图书馆借阅各种图书大量阅读，并且从1898年、当他16岁时开始记日

记。在他所阅读的书籍中，有些书深深吸引了他，其中就包括法国科幻小说家儒勒·凡尔纳（Jules Verne）的《从地球到月球》及其续集《绕月环游》，和美国作家赫伯特·乔治·威尔斯（Herbert George Wells）的作品《星球大战》（*The Warofthe Worlds*）和《第一次登上月亮的人们》（*The First Meninthe Moon*）等。虽然凡尔纳和威尔斯的这些作品主题并不完全是科学，特别是威尔斯的作品，主要是为了宣扬反对帝国主义侵略和建立乌托邦社会等这些小孩子基本不太理解的内容，但其中的星际旅行和登陆外星的想象，才是真正吸引戈达德之处。他开始幻想如何能攀登到如同月亮和火星那么高的地方。

然后，就在1899年10月19日这天下午：

> 我爬上谷仓后面一棵高高的樱桃树……我拿着一把锯子（我现在还留着）和一把斧头，开始修剪樱桃树的枯枝……我想象着，如果能制造出一种甚至有可能登上火星的装置，那该有多好。……在我看来，一个重物在水平轴上旋转，上面比下面移动得更快，由于路径顶部的离心力更大，可以提供升力。无论如何，当我从树上下来时，我已经是一个不同的男孩了，因为生存似乎终于变得很有目的性了。[2]

他登上了高处，然后幻想着能够登到更高地方。既然人们可以想象到达火星或月球这些遥远的高地，那么怎么才能真正地实现它呢？这个想法从此萦绕在伍斯特少年戈达德的心头，像一团火，不断升腾燃烧。

1901年，当戈达德已经19岁的时候，他才有机会进入伍斯特当地的一所高中——南方高中学习。但在学校里，他很快显示出自己在数学和各门科学课程方面的天赋，几乎所有的课程都获得了优异成绩。同时，他也在课余动手做一些实验，包括制作无线电、电话和陀螺仪等简单装置，以锻炼自己的动手能力。

当然，戈达德从没忘记自己想要什么，所以在入学的第一年底，他就写了一篇文章，题目是：“太空航行”（The Navigation of Space）。他在文章中写道：“考虑到其中几乎不可克服的困难，太空航行这个有趣的问题似乎被人忽视了很久，这并不奇怪。”文中他提出用火炮或磁力来发射宇宙飞船，但又觉得这两种方法不太切合实际，然后把自己的注意力放在了宇宙飞船将如何避免流星问题上。文章的最后，他总结道：“我们可以有把握地推断，太空航行在目前是不可能的，然而，在不远的未来，很难预测科学在这个方向上的成就。”（［2］，p.36）他把文章寄给了《大众科学新闻》，却遭到了拒绝。

戈达德并未气馁，继续在学习的同时钻研太空航行问题，并把结果又写了一篇文章：“在其他星球生活居住”（The Habitability of Other Worlds）。这时候的戈达德年轻气盛，不但撰写文章，还不断热切地把自己的各种想法和建议写信发给一些他认为的权威机构，包括史密森学社、陆军医学馆和《科学美国人》杂志等。这些信件大部分都得到了善意回复，但对他的建议则基本都持否定态度。他的这种四处写信推行自己想法的行为，被人认为是一种幼稚和不成熟的表现，但也反映出他聚焦太空飞行问题的态度和坚强信心。

1904年，已经22岁、是当时班里年龄最大的戈达德从南方高中毕业，在毕业演讲中，

他最后这么说道：

> 正如在科学中我们已经知道，我们太无知了，不能断言任何事情都是不可能的……而且事实经常证明，昨天的梦想就是今天的希望，也是明天的现实。（［2］，p.37）

从南方高中毕业的1904年年底，戈达德进入伍斯特理工学院，开始了自己的大学生活。

二、从伍斯特理工到克拉克大学

伍斯特市的六所高等学校，其中以理工技术教育著称的是伍斯特理工学院（Worcester Polytechnic Institute）。该校成立于美国内战时期的1865年，是在当地企业家和商人的赞助下建立的。

戈达德入学后一方面如饥似渴地学习，一方面与同学和老师交往，也逐渐变得成熟和幽

默起来。实际上，他一入学就因为物理成绩方面的优异而获得了物理助教职位，相当于一边上学一边工作，这样也可以偿付上学费用。利用做助教的便利，由此获得了很多动手实验的机会。因此，他不但在伍斯特理工学到了很多理论知识，也锻炼了自己动手的能力，为后来的火箭研究打下坚实基础。

1908年，戈达德以题目为“论一些固体物质粉末所呈现出的若干导电特性”（On Some Peculiarities of Electrical Conductivity Exhibitedby Powders and a Few Solid Substances）为毕业论文，顺利通过了毕业考试。学习期间，他一直没有忘记自己飞向太空的念想，但又不敢流露出来，以免被人耻笑。他想过热气球方式，也琢磨过螺旋桨上升的方式，到最后都自我否决了。曾经有一段时间，因为找不到可行的飞行方式使他很苦恼。他猜测、质疑、否定，各种想入非非，仍然茫无头绪，最后甚至想要放弃登上太空的想法了，最终还是坚持了下来。终于到了1909年，当他留校做物理讲师时，他想到了一种新的飞行方式。在他的日记中有一篇从1907就开始构思的文章“论星际航行的可能性”（On the Possibility of Navigating Interplanetary Space），文中重点讨论太空航行的推力问题，但一直是个难题。当他重新看到这个题目时，他突然想到了一个主意：如果太空中没有空气而只是充满以太，那就不能考虑在空气中飞行的问题。若不用空气浮力，那怎么才能让飞行器飞起来呢？戈达德想到的绝妙办法就是：

> 如果炸药或爆燃器在管道中燃烧，使其所有能量都转化为喷出的粒子的动能，并推动物体，理论上就有可能获得推进力。（[2]，p.47）

这是1909年1月的一天，戈达德所想到的绝妙主意。有了这观念，其他几乎就都水到渠成了：设计爆炸物的构成和爆炸管道的大小与重量等，再根据力学原理计算反冲推力。戈达德将文章写好后，发给了《大众天文学》杂志，结果杂志编辑的回复是：关于这件事的推测是有趣的，但是做这件事是不可能的，这是肯定的，因此它没有实际用处。你写得很好，很清楚，但对科学没有帮助。

被拒绝的主要原因，是戈达德的计算非常粗略，不足以令人相信这种办法能产生足够的推力将飞行器送入太空。所以，戈达德此时的工作就是要从更严格的数学上证明此事的可行性。但这个工作其实在世界的另一端已经有人解决了，那个人就是远在俄国的一个中学教师齐奥尔科夫斯基。齐奥尔科夫斯基比戈达德大25岁，也是科幻作家凡尔纳的铁粉。早在1895年时就开始琢磨火箭问题，最后的成果于1903年以题目为“用反冲装置探索太空”（Exploring Spacewith Reactive Devices）的文章发表在俄罗斯期刊《科学评论》（*The Scientific Review*）上，当然是用俄文书写的。论文证明到达太空不仅是可能的，而且是可行的。

当时戈达德不可能看到俄罗斯期刊，当然也就无从得知齐奥尔科夫斯基的结果，只能另起炉灶自己解决问题，但他已感到自己学识尚浅，需要进一步深造才有可能解决问题。就在此时，一个机会恰如其分地来临了。因为戈达德已在伍斯特理工学院小有名气，甚至传到了同在伍斯特市的克拉克大学物理系，该系主任亚瑟·戈登·韦伯斯特（Arthur Gordon Webster）向戈达德伸出了橄榄枝——邀请他到克拉克大学读研，并提供奖学金。戈达德经过权衡，接受了这个邀请，辞去伍斯特理工学院的工作，来到克拉克大学读研。

克拉克大学（Clark University）创办于1887年，这所大学一开始的办学特点就与伍斯特 理工学院有很大不同，主要是以博雅教育为宗旨，且一开始先设立研究生院，后设本科教学，也是继约翰斯·霍普金斯大学之后第二所设立研究生院的美国大学。科学和学术研究，而不 是纯技术性教学，在克拉克大学受到更大重视。克拉克大学物理系的首任主任是阿尔伯特·迈克尔逊（Albert A. Michelson），①但他

①即在1909年以“迈克尔逊-莫雷实验”成果而成为美国第一个获得诺贝尔物理学奖的人。

任职时间很短，从1889左右开始，到1892年就离任了。接替他的是留学欧洲、在德国获得博士学位的韦伯斯特，他在数学和物理学领域的造诣都很深，是美国物理学会的创建者之一，也是美国著名物理期刊《物理评论》的创办人。他在克拉克大学物理系任职30年，只培养了20多名博士，戈达德是其中之一。

在韦伯斯特指导下，戈达德对经典和现代物理学的理解都得到了进一步的加强和完善，特别是在应用数学方面的技能得到了极大提高。如果说伍斯特理工给予戈达德的是启蒙教育的话，克拉克大学就是正式将他送上科学空间的弹射器。

一年之后的1910年，戈达德以一篇题为“衍射理论”（Theory of Diffraction）的论文获得了硕士学位。翌年，他又以论文“论不同固体接触时的导电性”（On the Conduction of Electricityat Contactsof Dissimilar Solids）进行答辩后获得了博士学位。而且韦伯斯特对他的评价很高，他是克拉克大学物理系唯一以优等成绩获得博士学位的人。

1912年，在戈达德获得克拉克大学博士学位并考虑今后的职业计划时，他先将博士研究阶段的电学相关技术申请了三项专利，主要内容是如何利用带电粒子产生震荡或电脉冲的方法，以及所使用的材料等。这些专利后来被西屋电气公司买走，对美国电气工业的技术发展产生了一定作用。但戈达德个人的研究兴趣仍然集中在火箭问题上，之所以研究电子电器技术，一是为了完成博士学业，二是它也与火箭技术有着内在联系。完成专利申请之后，在韦伯斯特教授的推荐下，戈达德接受了普林斯顿大学的邀请，前往该校做了一名讲师。

三、火箭的设计和理论计算

戈达德进入普林斯顿大学当讲师，但实际上并没有多少课程，主要精力专注于火箭推进技术问题。他当时面临的主要问题就是要精确计算出火箭的推力大小。为此，首先需要确定用什么能源、选择什么推进剂，然后才谈得上对推力效率的计算等。齐奥尔科夫斯基1903年论文中所建议采用的推进剂是氢和氧，并从理论上估算出了其自重和释放推力的大小等问题。但戈达德对他的成果并不知晓，所以只能从头开始，再走一遍齐奥尔科夫斯基已经走过的路。但戈达德的视野其实更宽广了一些，他不但考虑化学能，也将太阳能甚至原子能都纳入可利用的范围，这当然有点过于超前了，他最后逐步排除了后两者，而聚焦于化学能。他当时考虑到的燃烧材料包括无烟硝酸火棉粉末、氢和氧等，并对所考虑到的材料进行了实验，认为只要能保证有足够的质量利用率，就能够成为可供选择的火箭推进剂。此外，戈达德也开始研究火箭的结构，也就是他一开始称之的“圆形长管”的具体形状，以及在空气中飞行时可能产生的阻力问题。还有就是其内部的构造，即如何提供燃料和空气以便使其在内部燃烧释放出能量。他还考虑了火箭在太空中如何控制飞行速度和姿态，以及在高海拔情况下的压力和温度监控问题，最后就是如何返回地球，等等。可以说，戈达德在普林斯顿的几个月时间在火箭的研究方面富有成效，取得了长足进步。

到翌年，即1913年的2月，戈达德已经对自己的火箭有了非常大的信心，认为利用火箭到达高空是完全可能的。并且，他开始着手为自己的火箭设计申请专利。但不幸的是，就在这个节骨眼上，他突然病倒了。

戈达德自小身体偏弱，到大学毕业时情况似乎大有好转。所以他像父亲那样，不但经常西装革履，而且抽起了雪茄，此后就再也没有放下过。在普林斯顿大学的第一个冬天，他一直就有咳嗽。到了3月的时候，转化成严重感冒发烧和胸痛状态。经过诊断，医生认为他得了肺结核，并且很可能活不过这个冬天。于是戈达德回到家乡伍斯特治疗，他一面开始整理自己过去的日记和笔记、论文等，准备为世界留下点什么；另一方面，他开始研究养生问题，想为自己开辟出一条活下去的路。他的办法是冷气呼吸法，把自己包裹在厚厚的衣服里，然后站在雪地深呼吸、大口吸入寒冷的空气。就

这样过了一段时间，医生惊奇地发现，他的肺结核病似乎大大减轻甚至消失了。但还是建议他放弃在室内进行的研究工作，多到户外活动，多休养生息。说如果他能这样坚持上5年，肺结核将不会复发。就这样，戈达德不得不暂时中断了研究工作，转而维持自己的健康。

但就像他无法戒掉雪茄一样，戈达德也没法丢下自己的火箭。在休养了一段时间之后，终于忍不住重新投入研究工作。他在日记中这样写道：

> 生命是如此短暂，而一个人想做的事情又有那么多……我们唯有抓住机会，尽我们之所能。（[1]，p.65）

戈达德开始琢磨已经思考了很久的整体火箭设计中一些细节问题。例如燃烧气体的喷嘴、燃烧室构造、燃料的重新加载和所需的电动泵等。他一边研究一边为这些技术设计申请了专利。其中第一个专利的特征，就是在火箭后端设置了一个喷射嘴。这是一种模仿了蒸汽轮机的锥形喷嘴装置，其原理是可以利用燃烧后的废气膨胀做功，气体在离开燃烧室后对锥体施加压力，从而增加反冲动力。在考虑如何将燃料连续加载到燃烧室问题时，他想到了采用液体燃料的方式，并设计出连续加载液体燃料进入燃烧室的系统。他立即为这个设计申请了专利，这就是他第二个专利的主要内容。此时，戈达德已经清楚地意识到，要使火箭实用化，有两个关键因素：一是提高推进剂在火箭总质量中的比例，或者相反，降低无燃料火箭部分的重量；二是提高火箭发动机排出气体的速度，增加推进火箭的反作用力。至此，戈达德的火箭发明已经基本完成。而他所申请火箭技术的最初两个专利，到第二年、即1914年7月都获得了批准。

戈达德认为他这两项专利涵盖了所谓“戈达德火箭”的三个基本特征：一是具备一体化的燃烧室和喷嘴系统；二是具备将固体或液体推进剂连续载入燃烧室的系统，从而能够产生一个稳定的推进力；三是可分成多级火箭，每级火箭在推进剂耗尽后可被丢弃。

1914年，戈达德因长期离职，辞去了普林斯顿大学职务，就近在伍斯特的克拉克大学担任了助理教授，学校对他的火箭研究予以支持，所以没有安排多少课程，以便他继续自己的研究。此时，戈达德一方面开始收集各种材料准备实际制作实验性火箭，另一方面着手撰写1912年以来就一直在思考的有关火箭的理论性文章。当年8月，他初步写成了一篇题为“把

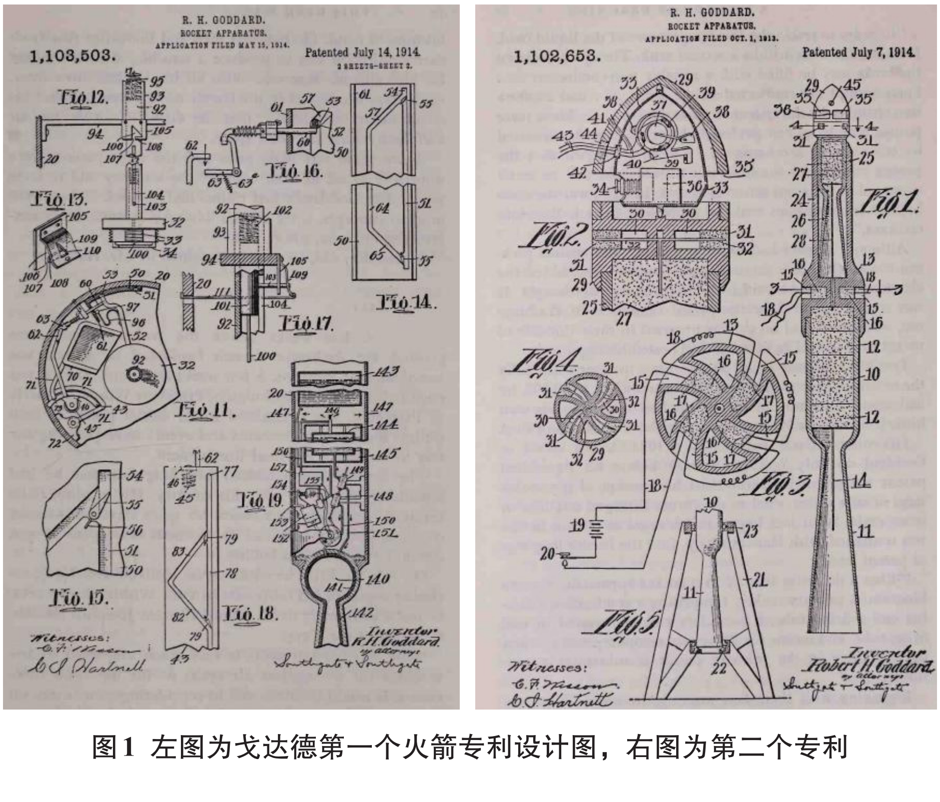

图1 左图为戈达德第一个火箭专利设计图，右图为第二个专利

物体提升到地表之上极端高度的问题”①的长篇文章，[10]这篇文章后来经过修改于1919年在史密森学社编辑的文集中正式出版。[3]文章分为三大部分：（1）理论；（2）实验；（3）基于理论和实验的计算。这篇文章其实可以说已从理论和实验两个方面奠定了火箭的基础。

其中特别有意思的是戈达德的理论几乎与齐奥尔科夫斯基的思路完全一样，例如关于火箭质量问题的计算就与差不多十年前发表的所谓“齐奥尔科夫斯基公式”非常类似：

$$m_0 = m_1 e^{\frac{\Delta v}{v_e}} \quad \text{（齐奥尔科夫斯基公式）}$$

$$M = e^{\frac{at}{c(1-k)}} \quad \text{（戈达德公式）}$$

齐奥尔科夫斯基公式中的m_0和m_1分别是火箭的初始质量和燃料消耗完后的质量，ΔV是加速前后的速差，V_e是喷气速度。戈达德公式中的M也是火箭的初始质量，at是加速t时间后的速度，c(1–k）被戈达德称为“有效喷射速度”，其中c是喷射速度，k是纯火箭质量与燃料质量的比率。两个公式形式上几乎完全一样，当齐奥尔科夫斯基公式中的m_1等于1的时候，就与戈达德公式完全相同了。实际上，这种形式的戈达德公式本身已经假设要将1磅质量的火箭送上天时，整个火箭的质量就表为M。

当然戈达德也有比齐奥尔科夫斯基更进一步之处，对比他们的论文，前者显然考虑了更多实际因素，比如空气阻力、发射角度、姿态控制等等。当然还有一个更大的区别，齐奥尔科夫斯基是纯理论设计和计算，而戈达德则不但有理论，也有实验检验部分，即用真实的实验数据对于理论设计和计算进行了对比检验。毕竟，火箭是一种实实在在的飞行装置，不仅要纸上谈兵，更需要在实际中飞起来。

四、漫长的火箭初试

实际上，戈达德一生的工作大部分都是实验，不但在实验中总结经验、改进技术，而且也在实验中完善设计、丰富理论。他的实验工作起始于罹患结核病的1913–1914年间，患病后他从普林斯顿回到伍斯特的克拉克大学担任助理教授。学校虽然给他提供了实验室和一些常用设备，但实验材料和一些专用设备还得靠他自己解决。

当时戈达德的年收入约1000多美元，他几乎全都投入到了实验中，但也只能做一些小型简单的静态测试。所以他的早期实验主要方向是寻找更有效的燃料，例如硝酸火棉、氢，以及助燃材料氧等方面。他对这些材料进行了多种性能测试，但总体而言，这都属于尝试性实验。

为了扩展实验规模，就必须找到经费。为此，戈达德开始到处写信，将自己的原始论文副本邮寄给很多机构寻求帮助，其中包括军方、科学社团组织、基金会和史密森学社等。其他都石沉大海，唯有史密森学社对这项发明很感兴趣，决定资助他的研究。就这样，戈达德在1916年获得了第一笔5000美元的研究资金。后来史密森学社又追加了支持，前后总共拨给戈达德约1.1万元经费。

研制真实火箭，不但需要经费，也需要时间。理论上的可能性，真正要落实到实际中，有无数的技术细节和困难要克服。戈达德琢磨火箭原理只花了数年时间，而制作出能够升空并携带有效载荷的火箭，几乎花费了他后半生的三十年时间。

他的实验工作大致可分为三个阶段，第一阶段从1913到1919年，以他申请第一个技术专利起始，到史密森学社的论文发表为终点，属于原理推导、理论设计和实验准备与初步尝试阶段。第二阶段从1920年他升任克拉克大学教授起始，到1926–1929年成功发射前两枚较大液体火箭为终结，他终于将火箭从纸上谈兵转变为真正的现实。第三阶段从1929年美国航

①初始题目是：The Problem of Raising a Body to a Great Altitude Above the Surface of the Earth，后来题目简化为：A Method of Reaching Extreme Altitudes于1919年由史密森学社正式出版。

空英雄林德伯格对他的工作青睐有加，并为之争取到古根海姆基金会的赞助为起点，到1943年戈达德病重为终点，他不但为实际火箭飞行的燃料、平衡、有效载荷和续航距离等实际问题的研究积累了大量数据，而且创建了新墨西哥州实验基地，为美国航天时代打下基。

1920年，对于戈达德而言，既是个悲惨的年头，也是幸运的一年。说悲惨，是因为该年初始，几乎照看了他半辈子的母亲去世了。几年前随着祖母的逝去，照顾戈达德前半生的两个上辈女人就剩下一个，随着这最后一个女人的去世，似乎再也无人能照顾他了。

而幸运的方面是，他凭借史密森学社论文和另外将近十项新的火箭相关专利等成果，升任了克拉克大学物理教授，年薪涨到2000多美元。以此为依托，并在学校配备的数名助手参与和帮助下，也借着史密森学社的后续资助和其他来源的资助，戈达德不断朝着实际发射火箭的目标迈进。

他人生最幸运的事情是，即将接替母亲照顾他的一个年轻女人适时出现了，她就是年方19岁，从戈达德母校南方高中毕业后进入克拉克大学读书的艾丝儿·克里斯汀·基斯克（Esther Christine Kisk）。1920年的时候，戈达德实际上已经小有名气，因为鼓吹登月火箭幻想，引起了公众媒体的注意和报道，他被媒体描述为一个能够真正实现人类登月旅行的传奇人物。这吸引了当时正半工半读、在校长室充当打字员的年轻艾丝儿的注意。而经常需要打印资料的戈达德也很快被这个金发碧眼、活泼可爱的女生迷住，两人几乎同时互相爱恋上了。但当时戈达德已经年近40，头发将要掉光、眼窝深陷，又高又瘦，身躯还有点佝偻。艾丝儿的父母一开始坚决不同意他们交往，但架不住艾丝儿本人的坚强意志，最终无奈认可了两个人的恋情。从此这个美丽漂亮兼且才华横溢的知识女性接管了戈达德后半生的生活管理，甚至也成了他科学事业上的强有力帮手。

从1920年开始及随后数年间，随着大众媒体对戈达德火箭登月发明渲染宣传的越来越多，他也开始卷入了更多的社会活动，包括一些商业性活动。他认为通过这些活动也许可以筹集到火箭发射所需要的经费。但几年的轰轰烈烈却徒劳无功，并没有带来经费上的改善，反而浪费了大量时间。另外，德国新出现了一位火箭发明优先权的竞争者赫尔曼·奥伯特（Hermann Julius Oberth），他1921–1923年出版了两本讲述火箭技术的书，号称自己才是最早的火箭发明人。戈达德对此非常不满，从而又花费大量时间捍卫自己的优先权。从现在的资料分析看，奥伯特一开始、即在他自己宣称的1912年左右，应该确实是独立想到了最初的火箭，但在他1921年的第一本著作中，应该有可能参考过戈达德1919年发表的文章。虽然奥伯特自己并不承认这一点。两人在当时的几年中为优先权问题有过几个回合通信和交锋，但没有多大效果，谁也说服不了谁。[4]最后的结果，就是各得其所：德国人认为奥伯特是德国的“火箭之父”，而美国人则认为戈达德是美国的“火箭之父”。[5]

1926年到达美国的空气动力学大师冯·卡门后来对两人的工作做出了相对公允的评价，他说两人在早期宇航文献资料方面都做出了实质性贡献，而戈达德成功发射了第一枚液体火箭，奥伯特则成功培养了一批人才，包括后来大名鼎鼎的冯·布劳恩。[6]意思是，理论上大家各有千秋，实验上戈达德独占鳌头，学生培养方面奥伯特则成绩斐然。

虽然有各种各样干扰，戈达德并没有放弃在火箭实验方面的研究，他从1920年起持续进行了几年的实验，这期间实验的重要成果，一是发现液体燃料比固体要简单易行，比如用液氢和液氧注入燃烧室，不但混合比例简单、点火方便，而且产生的推力也足够大。二是确定了火箭工作的基本流程及其技术装置细节，简单说就是：主体系统包括燃烧室和喷嘴两大部分，前者还需要一个确保持续燃烧的点火器、一个驱动液氧和燃料进入燃烧室的压力泵，以及调节液氧流量阀门等；后者主要涉及叶片、角度和大小等。另外在合金材料方面，戈达德团队也费了很大工夫去寻找。因为实验的常态是失败，而实验能否最后成功，就看能坚持多

久，所以最突出的矛盾还是经费。戈达德经常花时间参加公众媒体活动，基本动机就是想借此解决经费，结果总是落空。经费的来源还得依靠诸如史密森学社和科学促进会这样的科学组织。

最初的突破是在1925年12月6日，戈达德团队设计制作的一个重12磅的火箭发动机，在加注燃料和液氧并点火后发出了呼啸声，也向上跳动了起来，虽然只维持了20多秒，也没真正升起来，但总算有了动起来的意味。在随后的几个月中，戈达德将这台发动机放置在一个金属管子中，里面也放置了燃料罐、液氧罐、压力泵、电机以及连接管道等相关装置，组装成了一个10英尺（3米）长的真正火箭。

1926年3月16日，戈达德在伍斯特郊外的田野上发射了这枚火箭，它在点火后先轰鸣燃烧几秒后就慢慢飞起来，不久跌落在几十米开外的地方。最高飞行高度41英尺（约12.5米），飞行距离184英尺（约56米）。虽然这些数据并不惊人，但这仍然算历史性的一刻，因为这是真实液体火箭的第一次发射成功。（[4]，p.96）

在第一次成功之后，伴随而来的又是一连串失败。戈达德调整了发动机在火箭中的位置，增加了照相设备以及回收的降落伞等装置，但火箭却一直很难再次成功飞上天，直至1929年7月17日，他终于又一次发射成功了一枚比三年前那枚10英尺火箭略大1英尺、重量达到35磅的新火箭。这次飞行最高处距离地面约80英尺（24.3米），飞行距离171英尺（51.3米），在空中停留了2.5秒。比起上次的成绩，飞行高度增加了，但主要原因却是因为发射架更高。飞行距离减少了，可能是因为重量太重。而且火箭落地时发生了爆炸，惊动了周围两英里外的居民。所以当地报纸很快做了报道，纽约以及其他城市的大媒体也跟着做了报道。随着消息的广泛传播，令戈达德一时陷入惴惴不安的状态，因为很多媒体实际上是以某种嘲笑的口吻进行报道的。但消息的传播也带来了一个让他意想不到的好处。

戈达德那时实验研究最棘手的问题还是经费。每次实验都要跟史密森学社的负责人反复申请，陈述利害，最后却获得不多的钱。在那个刚刚发明火箭的年代，登月只是戈达德的个人理想，离真正实现的确非常遥远。特别是在那个美国正处于经济大萧条的年代，所以戈达德想要得到足够经费，绝非易事。但两个人的出现，使经费上的困难发生了转机。这俩人就是美国当时的传奇飞行员查尔斯·林德伯格（Charles A. Lindbergh），[7] 和他背后的财富大亨哈里·古根海姆（Harry Guggenheim）。[8]

五、新墨西哥实验场

1929年11月，有个年方27岁的年轻人出现在戈达德家的门口，这就是两年前因独自驾驶一架螺旋桨飞机从纽约飞到巴黎，连续不停飞越大西洋而大出风头、成为美国乃至世界名人的飞行员林德伯格。

林德伯格早在数年前就已从媒体上听闻了有关戈达德宣扬的登月火箭，一开始他不以为意，只埋头于自己的飞机业务。但在积累大量飞行经验后，他感觉螺旋桨飞机已达极限，要想找到飞得更快更远的航空器，就得另辟蹊径。这时，戈达德火箭实验的消息传来，令他眼前一亮。所以他主动联系了戈达德，并登门造访，希望直接了解事情的真相。在听了戈达德的介绍，参观了他的实验室，也观看了艾丝儿拍摄的火箭发射影片后，立刻断定这就是他想要的东西。[7]

林德伯格此后极力说服他的好友哈里·古根海姆及其父亲财富大亨丹尼尔·古根海姆（Daniel Guggenheim）尽快资助戈达德的火箭研究。古根海姆父子创建了航空促进基金会（Fund for the Promotion of Aeronautics），并由儿子哈里担任基金会董事长，[8] 而林德伯格则是基金会的高级顾问。古根海姆父子一向对林德伯格信任有加，当然也有试图利用他著名公众人物形象的目的。于是，父子俩最后决定对这个项目进行投资。

过去，戈达德获得的资助以千美元计算，有时甚至以百元计，累积起来也没超过2万元，而古根海姆基金会的资助则直接以10万美元起

步。这让戈达德喜出望外。

得到了古根海姆基金资助后，1930年，戈达德宣布将建造一枚“巨型测试火箭”。他与林德伯格和其他人商议后，决定将实验地点挪到自然和气候条件更理想的西部新墨西哥州东南部小城市罗斯维尔（Roswell）附近。同时，克拉克大学为了支持他的研究，特批给予两年假期，以便他集中精力开发新的大型火箭。

1930年7月，戈达德带着妻子和克拉克火箭团队及全部设备，到达了距离伍斯特将近4000公里的西部小城罗斯维尔，在离城市中心约4公里的一个废弃牧场建立实验室工作站，包括建造制作车间、静态实验塔等，又在距此十几公里外的一处山谷里开辟了火箭发射场，开始了新阶段的火箭研发。

经过一年多的准备，1931年12月30日，戈达德在罗斯维尔发射场进行了第一次发射实验，将一枚11英尺长的火箭发射升空，达到2000英尺（600米）的高度，和1000英尺（300米）远的距离。而且火箭也成功地打开了降落伞，平安落地，没有损坏。这个成绩比起之前的两次发射，显然取得了明显进步。但之后当他制作更大火箭时又开始以失败告终，并且这种状况持续了很长时间。戈达德认为火箭坠毁是因为平衡系统出了问题，所以花了很大力气研究控制火箭平衡的陀螺回转仪系统。但冯·卡门认为：“这纯粹是白费时间，因为高空火箭在飞行中根本就不需要回转仪这样复杂的仪器来保持稳定。发射前，火箭靠发射塔保持稳定，这种发射塔比戈达德使用的稍高一些。火箭一飞出发射塔，达到一定速度时，靠固定尾翼就足以保持稳定了。”（[6]，p.268）

这时候，有个意外发生了，最终导致了罗斯维尔实验场的关闭。起因是1930年丹尼尔·古根海姆因病去世，围绕他的遗产发生了一场家族内斗。在法律诉讼的过程中，因正值大萧条到达谷底，终于使古根海姆基金会资金断流，除了已经支付的5万元外，无法继续履行资助协议。1932年7月，戈达德团队不得不返回伍斯特，戈达德本人也销假回了克拉克大学继续任教。当然他决不甘心火箭实验半途而废，不停地给有关政府部门发信寻求帮助，但却一无所获。最后，当经济略有起色时，还是在林德伯格的斡旋下，哈里·古根海姆终于答应继续提供经费，从而使他得以返回新墨西哥继续进行火箭发射实验。1933年7月，戈达德跟他的团队再次踏上了西去新墨西哥州的路。

从1934到1941年的八年间，为了更好的管理实验测试，戈达德把实验火箭分成了“A”、“L”和“P”等三个不同型号序列。其中A序列从1934到1935年，进行了14次测试。A型火箭的最大尺寸为15英尺（4.5米），直径9英寸（22.86厘米），重量为80磅（约36千克），使用汽油和液氧助燃。最高速度达到每小时700英里（约1126公里），或每秒312米，接近音速。最高升空达到海拔7500英尺（2250米）。这些成果的简报以“液体火箭的发展”为题，发表于1936年3月份出版的《史密森学社文选》。[9]

第二个系列L型火箭的实验于1936到1938年持续了两年，进行了30次包括静态和实际发射测试。此类型火箭的长度为18英尺（5.5米），重约85磅（约38.5千克）。最高升空高度达到海拔6565英尺（2754米）。

从1938到1941年，戈达德着手第三个系列P型火箭的实验。此火箭长度最长约24英尺（7.3米），直径18英寸（45.7厘米），共进行了36次测试。其中发射实验大部分都以失败告终，最好的发射记录是升空200英尺（61米），飞行距离400码（约366米）。

1941年10月，在进行了最后一次即第P36实验后，戈达德就再也没有进行过独立的火箭发射实验了。

从1929年到1941年间的这些火箭实验过程的一部分实验记录，后来由戈达德夫人以戈达德文集《火箭发展：1929–1941》的题目在1948年结集出版。[10]

1941年，因珍珠港事件导致美国加入了第二次世界大战，戈达德也开始参与了一些战争军事项目，例如喷气飞机发动机、肩扛火箭筒等方面的研究，从而离开新墨西哥州的实验场，前往东部的安纳波利斯参加军方项目。

从最后实验到战争初期，他将前期关于火箭技术的很多装置都申请了专利，一共达到35项之多。并与政府签订了合同，允许军方在保密的前提下使用这些技术。这在很大程度上体现了他彻底反法西斯主义的立场，也是在得到纳粹德国发射V–2火箭的情报后，所表达出的一种对于“偷窃者”的强烈愤慨情绪。

实际上到1943年后，当他刚满六十岁时，戈达德的身体健康就开始急转直下，先是卧床不起，无法说话，最后因喉癌于1945年8月10日不幸去世，终年63岁。

六、尾　　声

在美国，没有人比他更早开始研究火箭理论和进行实验，所以戈达德毫无疑问是美国火箭之父。正如哈里·古根海姆在1948年出版的戈达德文集《火箭发展：1929–1941》的序言里所说：

> 戈达德博士第一次开始他不朽事业是在1909年左右，那时候关于火箭的研究还没有真正的技术资料。在接下来的35年里，戈达德博士带来了一门新科学和一个新的工程分支，开创了一个新的行业，可能还改变了人类的历史进程。（［10］，p.xi）

那么他对德国的V–2火箭研发是否发生过影响呢？哈里在序言里继续写道：

> 有证据表明，从戈达德博士1919年发表第一份史密森尼报告起，直到他去世，德国火箭工程师一直密切关注着他的工作。他们熟悉他的专利，他所有的出版材料，以及任何其他通过直接通信或通过其他国籍的工程师获得的数据。
>
> 同样显而易见的是，备受讨论的德国V–2火箭虽然更大，但与戈达德博士在飞行中测试的一些导弹几乎完全相同。早在德国人使用V–2型火箭之前，我们就已经掌握了它。（［10］，pp.xi–xii）

这个说法一开始并不为V–2火箭主要开发者冯·布劳恩所认可，但他后来改变了说法，承认曾经受到过戈达德的影响，而且，戈达德经常更早地解决了德国人面临的每一个问题，这让他感到惊讶。（［2］，p.247）公允的说，冯布劳恩应该没有能直接从戈达德的文献或专利

图2 1935年新墨西哥州罗斯维尔，戈达德与他的A型火箭

中受益，但间接影响则肯定会存在。在战后的日子里，冯·布劳恩本人也成为一名戈达德热情的拥趸者，恰如他早年是奥伯特的粉丝一样。

实际上，戈达德及其火箭技术在早年的美国一直就不为主流科学界所认可，这种情况在德国V–2火箭出现之后才得以改变。后来，随着航天时代的到来，他的影响力与日俱增。但他本人没能看到这个盛况，他的一生其实一直在为自己争取科学界的承认而奋斗。

这种不为主流科学界所认可的现象，除了火箭本身有点超前而导致误解外，在一定程度上也与戈达德个人的性格特点有关系。其一是他不善于与人合作，长期处于单打独斗、个人奋斗状态。他虽然先后招募过多名助手，但大多没能长期合作，特别是没能培养出学生或继承人，建立稳定的研发团队，这是他的一大缺陷。其二是他对自己的优先权过于在意，总是千方百计保守技术秘密，除了某些一般的科学原理，很少公开发表稍微详细点的技术细节论文，以至于很少有人确切知道他在干什么。其三是他为了获得影响力，在某些关键时期过多与公众媒体打交道，使科学同行误认为他是个华而不实的人。最后，他的技术研发中确实有很多新颖独创之处，但也走过不少弯路、犯过一些错误，但在别人指出时，他大多没有虚心接受，而是一意孤行，或多或少给同行留下不佳印象。（[6]，pp.267–268）

但瑕不掩瑜，戈达德作为火箭技术的美国独立创始者，不但在理论上有所创新，更是第一个实际上发射成功液体火箭的人。按照美国国家宇航局（NASA）的评价，[5]戈达德有九项重大成就：

1912年，在数学上探索了利用火箭推进到达高空甚至月球的可行性；

1914年，首次获得多级火箭的美国专利；

1926，首次通过静态试验证明火箭可以在真空中工作，不需要空气来推动；

1926年3月16日，首次研制并发射成功液体燃料火箭；

1929年，首次在火箭上搭载有效载荷（气压计和照相机）；

1932年，首次在火箭发动机中使用叶片进行控制；

1932年，首次开发用于火箭飞行的陀螺控制装置；

1937年，研制出适用于火箭燃料的压力泵；

1937–1939年，研制成功能在万向节上转动的发动机。

这些成就足以让他成为一位伟大的科学家、发明者。他持有的专利达到214项，身后留下了多达5500页的实验报告、笔记、日记等文献，还有大量照片。这些都成为宝贵的航天科技史材料。

戈达德之所以能够获得这些成功，也与史密森学社和古根海姆基金的大力资助分不开，两者合计总共为他提供了20多万美元的经费，这是第二次世界大战前民间资助的最大科研项目之一。而美国政府、包括军方，一开始因为科学界的冷淡态度，对他的项目也并不感兴趣。直到V–2火箭之后情况才发生变化。第二次世界大战结束时，美国政府反而开始热心起火箭技术的研发，由此也掀开了一系列纪念戈达德的举动：1958年成立国家宇航局时，将马里兰的一座实验室命名为“戈达德太空中心”；1959年为戈达德的专利支付了高达100万美元的补偿金。他的母校克拉克大学建立了“戈达德图书馆”、伍斯特理工大学则竖起了一座戈达德纪念碑。在新墨西哥州的罗斯维尔市，也建立了一座“戈达德博物馆”，还将一所高中学校命名为“戈达德中学”。1964年，在戈达德逝世20年之际，发行了纪念戈达德邮票；1965年3月16日，即在1926年发射成功第一枚液体火箭的日子，当时的美国总统约翰逊宣布该日为“戈达德纪念日”；1969年，戈达德入选休斯敦航天基地的太空名人堂……

无论如何，在现代火箭发展史上，戈达德都是绕不过去的一座里程碑。

［参考文献］

［1］Lehman, M. *This High Man, the Life of Robert H. Goddard*［M］. New York: Farrar, Straus and Company, 1968.

[2] Clary, D. A. *Rocket Man-Robert H. Goddard and the Birth of the Space Age*[M]. Hachette Books, 2003, 32.

[3] Goddard, R. H. *A Method of Reaching Extreme Altitudes*[M]. Washington: The Smithsonian Institution, 1919.

[4] Pendray, G. E. *The Coming Age of Rockek Power*[M]. New York and London: Harper & Brothers Publishers, 1945, 94.

[5] NASA. Robert H. 'Goddard: American Rocket Pioneer'[J]. *Facts (NASA)*. 2001, 1–3.

[6] 冯・卡门、李・埃德森. 冯・卡门：航空航天时代的科学奇才[M]. 曹开成 译，上海：复旦大学出版社，2019, 264.

[7] A. 斯科特・伯格. 美国空中英雄林德伯格传奇[M]. 谢毅 等译，上海：上海人民出版社，2003.

[8] Davis, J. H. *The Guggenheims, An American Epic*[M]. New York: William Morrow and Company, INC, 1978.

[9] Goddard, R. H. 'Liquid Propellant Rocket Development'[A], *Smithsonian Miscellaneous Collections*[C], Vol. 95, No. 3. Washinton: Smithsonian Instution, 1936.

[10] Goddard, R. H. *Rocket Development, 1929-1941*[M]. New York: Prentige-Hall, Inc., 1948.

［责任编辑　柯遵科］