

# 目 录

前 言	
第一章	开端..... (6)
第二章	佩内明德和喷气推进实验室..... (17)
第三章	寻找自然推进剂..... (32)
第四章	自燃燃料的配伍——硝基氧化剂..... (59)
第五章	过氧化氢——永远充当配角..... (80)
第六章	卤素、策略和深层空间..... (87)
第七章	能量特性..... (109)
第八章	液氧、液氟-液氧混合物..... (123)
第九章	苏联人的工作..... (137)
第十章	稀贵推进剂..... (143)
第十一章	有希望的单元推进剂..... (155)
第十二章	高密度和超高密度笑话..... (208)
第十三章	今后的发展..... (229)

## 前 言

人们已经写了许许多多有关火箭和宇宙航行以及火箭发展史方面的文章，可是如果有人探询与之并行的火箭推进剂（燃料和氧化剂）的发展史，他还找不到一本能满足要求的读物。有些教科书虽然叙述了常用的推进剂，但它没有告诉人们为什么土星-V、大力神-I或SS-9用这些而不用别的燃料。在这本书中我将整理一切可供利用的资料，来阐述液体火箭推进剂的发展历史，即说明各种推进剂是由谁、于何时何地、以何种方式、基于什么原因发展的。至于固体推进剂的历史，也一定会有人写的。

液体推进剂的研究，经历了四十年代末期、五十年代和六十年代前半期的兴盛阶段，现已逐渐衰落了。尽管从事这一工作的人们仍在继续解决各种问题，但总结一下的时机似乎已经成熟；我也征求了一些人的意见，他们极表赞同，并表示积极合作；所以从各方面看，现时可谓本书问世之吉日。另外，我也要献出所保留的许多非正式的著作和十分宝贵的资料，否则它们将随其作者的遗忘而消逝。正如其中一位同事写信给我时所说：“好一个发表异议的机会！”我很赞同这种说法。

我有各种各样的资料来源：合同商和政府机构的进度报告、公开发表的各种会议录、有关人物的回忆录、情报机构的报告等等。由于本书不是一部正史，而是一位当年积极参与者对往事的回顾，所以我不打算提供证件，因为在许多情

---

①美国海军航空火箭试验站简称NARTS，在新泽西州的多佛，丹马克湖”。1960年由陆军接管，改称液体火箭推进实验室，属皮卡蒂尼兵工厂”。

况下，提供这样的证件虽说不上危险，但会招致麻烦，生活中要对消息来源保密的不光是新闻记者！

当然我还利用了我的记录和回忆录。从1949年11月1日我加入美国海军航空火箭试验站，到1970年1月2日退休离开皮卡蒂尼（Picatinny）兵工厂液体火箭推进实验室<sup>①</sup>，在这二十多年中我确实不是液体推进剂组织中的官员，但美国和英国液体推进剂领域的进展是极其熟悉的（苏联在这方面的研究情况直到五十年代末期才得以大量获悉，而这三个国家以外的情况则了解的很少）。

我所以写这本书，不仅是为了一些感兴趣的外行们（为了他们我已经努力使问题尽可能简化），而且也是为了火箭事业中的专职工程师，因为我发现他们对自己专业的历史往往一无所知。如果不作强行约束，无疑会重蹈我们十五年前的覆辙，这不仅愚蠢而且还会招致灾难。桑塔亚纳（Santayana）很了解这些，他曾经谈过此事。

所以，我在本书中不仅介绍了卓越的研究与发展计划，而且也以同样的篇幅描述了那些说得委婉点是不那么周到的计划；我讲了推进剂研究的成功史；也讲了许多失败的过程。关于这些，推进剂界至今还不时提起。

书中对各种由个人提出的计划、建议或资料，我都无保留地阐述了自己的见解，或指出其不足之处。对此我并无歉意，我向读者保证，这并不是事后高明。在本书的写作过程中，当我要对某人的提议作稍苛刻的评论时，我总要考虑是否和当时的情况有出入，为此翻阅我的记录（纯属私人的），发现那时我就已经把这些意见简单地称作：“妙主意或精神错乱”。可见我的见解没有改变，至少没有明显的改变。

我没有追求本书的完美性，但我力求提供主要研究路线

的准确记事。假如有人认为我无理地忽视了他的工作或遗漏了一些事情，那请他写信给我，我将在下一版中订正。如果认为我似乎过分强调了在我的实验室所发生过的一些事情，这并不是因为我的实验室与众不同（尽管与绝大多数实验室比较起来，我的实验室所发生的一切更为狂热），而是因为这里的事是全国各地几十个实验室里都同时出现过的这类事情的一个例子。

本书中对个别人姓名的处理不太一致，除我极熟悉的人外，书中涉及的人物一般都是在姓氏后面用他的全名，而不是他名字的第一个字母。头衔和学位就不考虑了，因为工作中级别晋升的事多得很。所以某人在这章中是属于某一机构的，而在下一章中又属于别的单位请不要混淆。另外，在生活中一个人的工作经常变动，象我这样在同一单位呆了二十年，算是创记录的了。

这里值得一提的，本书是围绕着少数几个人写的。一个领导和从事或致力于液体推进剂研究和发展的组织并不算大，至多二百人左右，其中四分之三是助手，值得引起人们关注的只是其中的四分之一，这里面还要去掉那么少数几个（与绝大多数同样规模的其他组织相比）不可思议的笨蛋或骗子。我们彼此很熟，情报资料可以闪电般随便传递。这一点对我特别有利，因为我是为美国政府而不是为相互竞争的承包商工作的，给我“专利资料”谁也不会犹豫。如果我要从某人手里获得可靠的内部资料，我就在下一次推进剂会议时到酒吧去取（一般大型的推进剂会议都在旅馆举行，聪明的承办人往往在紧挨着会议大厅的外面设一个酒吧）。如果会议不在旅馆举行，我就到附近的鸡尾酒俱乐部去寻找（我的人多半在那里）。找到他后，就在旁边坐下来，等到我

的饮料拿来后，我开始提问：“伙计，上次你做的点火试验发现什么啦？真的，我已经看到了你的报告，我已经写好了我的报告，你到底发现什么啦？”立刻毫不费力地进行了准确的情报交流。

在这样的组织里，协调融洽的人是很难找到的，他们几乎毫无例外地都是些个性极其特别的人，他们不时地往一起聚，有时则合不来，厂方也掌握了这种情况。有一次当查利·泰特 (Charlire Tait) 离开怀恩多特化学公司时，卢·拉普 (Lou Rapp) 也离开了反作用发动机公司，他们准备一起去航空喷气公司，而反作用发动机公司的消息灵通的出奇，把他们一个留在萨克拉门托，另一个留在了阿祖萨，中间隔着大半个加利福尼亚州。卢还有这么一个习惯：当查利在会议上作报告时，偷偷塞一、二张白纸到他的幻灯片中去，而查利也习以为常。

不管是不是朋友，是不是竞争对手，我们每做一件事总要考虑着对付组织中的其它成员。我们知识分子不仅互相竞争，“你能做的事，我要做得比你更好”，而且我们每人都知道：组织中的其他成员往往是评判他的工作的人。领导人员很少具有技术专长，加之从我们的绝大部分工作列为保密项目以来，我们就不能对较大的科学团体公开介绍我们的工作，所以来自内部的赞扬相应地就受到重视了（当欧夫·格拉斯曼—Irv. Glassman推荐一份报告中提到：“克拉克关于爆炸灵敏度的权威性工作”时，使我狂喜了整整七天，啊！权威性的！）。这样做的结果使这类组织自我陶醉起来，这恐怕是不受欢迎的，但它却使我们拼命地工作。

我们无论如何得干！因为我们当时正处在一个新的、使人激奋的领域之中，它正等待着这些默默无闻的人去开

发，前景不可估量。我们不知道面临的那些问题的答案，但我们确信我们有能力很快找到它们，从而以巨大的热情——这是我所能用的唯一字眼——开始了这种研究。这是空前绝后的壮举，我绝不能把这段经历埋没，我要对亲爱的朋友们和曾经是不共戴天的竞斗对手们说：“先生们，结识你们我感到荣幸！”

约翰·克拉克

1971年1月于

新泽西州纽芬兰

## 第一章 开 端

这正是1903年。尊贵的英国女王终于结束了她的犒赏活动，爱德华（Edward）七世国王无限陶醉于他所统治的日永不落疆土。德国威廉（Wihelm）二世皇帝和美国的西奥多·罗斯福（Theodore Roosevelt）总统都在建造战舰，并对时局作出不慎重的议论。年底前，赖特（Wright）兄弟俩的第一架飞机短暂地摇摇晃晃上了天空。在沙皇统治国土上的圣·彼得堡（St. Petersburg），有一刊名为《科学评论》的杂志上发表了一篇不引人注目的文章，标题是“利用反作用装置探索太空”。它给人的印象深刻，但没有很多信息。该文作者是康斯坦丁·埃都阿尔多维奇·齐奥科夫斯基（Konstantin·Eduardovitch·Tsiokovsky），他是卡卢加（kaluga）省的一个不出名城市波罗夫斯克（Borovsk）中一位不知名的教师。该文的主要内容可概括为下列五点。

（1）航天是可行的。

（2）航天可以用、也只能用火箭推进手段来实现，因为火箭是已知的、唯一能在太空中工作的推进装置。

（3）火药火箭不能采用（无烟火药也不行），因为仅是火药没有足够的能量来完成这项任务。

（4）某些液体具有所需要的能量。

（5）液氢是一种好燃料，液氧是一种好氧化剂，这一对将成为接近于理想的推进剂组合。

若有人听到前面四点，他肯定会目瞪口呆，但是没有人

议论，这四点得到的反应是聋哑人般的沉默。

第五点则是另一回事，要是再早几年提出，它不仅会使人吃惊，而且会觉得荒唐。液氢、液氧在当时的世界上是新东西。

从1823年迈克尔·法拉第 (Michael Faraday) 开始，全欧洲的一些科学家企图用冷冻、压缩或两者相结合的办法将普通的气体转化为液体。第一个被征服的是氯气，接着是氨、二氧化碳及其它气体。到十九世纪七十年代，只有少数几种未被征服的气体不能液化。它们是氧气、氢气和氮气（氟气还未被分离出来，稀有气体尚未发现）。人们悲观地称这些气体为“永久气体”。

直到1883年4月，奥属波兰的克拉科夫 (Krakow) 大学的沃罗伯列夫斯基 (Z. F. Wroblewski) 向法国科学院报告，他和他的同事奥尔泽夫斯基 (K. S. Olszewski) 从事液化氧气获得成功。几天后氮气被液化了，两年内空气也被液化了。到1891年，就可以得到实验室用量的液氧。1895年林德 (Linde) 研制了一套实用的、能大量生产液体空气的流程，经简单的分馏就可以得到液氧（或液氮）。

伦敦皇家科学院 (Royal Institute in London) 的詹姆斯·杜瓦 (James Dewar, 后来称詹姆斯爵士，杜瓦瓶和热水瓶的发明人) 于1897年液化了由莫瓦桑 (Moisson) 在十一年前分离出来的氟气，并报导液氟的密度为1.108。这个粗糙的和难以理解的错误数据（真实密度是1.50），正式记载在文献上达六十年之久无人过问，实际上所有的人都被蒙蔽了。1898年，在他的努力下，终于征服了最后一个较顽固的气体——氢气，他自豪地报导说：“1901年6月30日，5升液氢成功地从皇家科学院的实验室通过伦敦大



街，运送到了皇家协会！”。

只是在此以后，齐奥科夫斯基才能写出用液氢、液氧作推进剂的火箭来航天的文章，没有沃罗伯列夫斯基和杜瓦，齐奥科夫斯基就不可能对此发表议论了。

在齐奥科夫斯基以后的一些文章中，他讨论了其它可能使用的火箭燃料，如甲烷、乙稀、苯、甲醇和乙醇、松节油、汽油、煤油等，实际上都是一些能流动和燃烧的物质。他好像从不考虑液氧以外的氧化剂。尽管逝世前（1935年）他不断地写文章，但他的火箭一直停留在纸面上，从没有做过实际的火箭工作，真正动手做的是罗伯特·戈达德（Robert H. Goddard）。

早在1909年，戈达德博士就在考虑液体火箭了，他得到的结论与俄国的先驱者相同（关于齐奥科夫斯基他从未听说过），即液氢、液氧是一对理想的组合。1922年，当他任克拉克（Clark）大学的物理学教授时就开始了液体火箭及其部件的试验工作。那时液氢是不可能得到的，所以他就用汽油和液氧做实验，并在他以后的实验工作中沿用了很长时间。1923年11月，他在试车台上点燃了一台火箭发动机；1926年3月16日，进行了第一次液体火箭飞行试验，在2.5秒的时间内飞行了184英尺。有趣的是，在40年后的同一天里，阿姆斯特朗（Armstrong）和斯科特（Scott）两人正在拼命地制服着剧烈旋转的双子星座-8（Gemini-8）卫星。

戈达德早期使用汽油、液氧的一个奇异特点，是采用低的氧化剂燃料比，每烧一磅汽油只用1.3—1.4磅的液氧，而接近最佳值的氧量是3磅。因此他的发动机能量特性很差，比冲很少达到170秒（比冲是火箭和推进剂的能量特性

标志之一，以磅为单位的火箭推力除以磅/秒为单位的推进剂消耗量；例如推力是200磅，推进剂消耗量是每秒一磅，那比冲就是200秒）。偏离最佳比值的可能原因是为了降低燃烧温度以延长部件寿命，或简单地说，是为了使他的发动机免于烧坏。

激发第二代试验人员的热情，是来自1923年一本由一位不出名的特兰斯斐尼亚（Transylvanian）德国人赫尔曼·奥伯特（Herman Oberth）写的书，书名为《达到星际空间的火箭》（Die Rakete zu den Planetenraumen），奇怪的是该书成为少有的畅销货。

开始考虑火箭的人实际上没有听到过戈达德，因为他的工作过分地、又不必要地保密着。他们当中的一些人决定动手干了，首先组织了协会。1927年6月，首先建立了德国宇航协会，一般称为VfR；1930年初，建立了美国星际协会；1933年英国星际协会（Interplanetary Society）成立；1929年苏联的二个小组分别在列宁格勒和莫斯科相继建立。在此以后，他们就开始演讲、编著介绍火箭星际航行的书籍；其中较重要的一本是1930年罗伯·埃诺-佩尔蒂里（Robert Esnault-Pelterie）所写的内容广泛又详尽的《宇宙航行学》（L'Astronautique）。以后弗里茨·兰格在制作一部《月亮女神》影片时，请奥伯特当技术顾问，宇宙影片公司同意付给奥伯特一笔足够的资金，用于设计、制造液体火箭，使它能在影片首映时点火，以招揽顾客。

奥伯特和电影界的冒险活动，在滑稽剧中是一种引人注目的贡献（在别的地方描述的更有声有色）。尽管他们的工作夭折了，但却引导出一种有趣的推进剂工艺来。在他们打算于影片首映时进行汽油、液氧火箭飞行的一系列努力失

败后（期限短的可笑），奥伯特设计了另一种火箭，并希望能在短促的时间内研制出来。这种火箭是用中间装有几根碳棒，周围加上液氧的垂直铝管做成的。他的想法是使炭棒从顶端燃烧下来的速度与氧消耗的速度相同，而燃气从火箭末端的一个喷管中喷射出来。但他的火箭未能飞起来，而象所预示的那样爆炸了。然而这却是第一次记录下来的固液混合火箭，即采用固体燃料和液体氧化剂火箭（另一种液固火箭是用的固体氧化剂和液体燃料）。

不管如何，首映还是在1929年10月15日举行了（无火箭起飞仪式）。德国宇航协会支付少量经费后，接管奥伯特的设备，并于1930年初开展他们自己的工作。

这时情况就变得复杂了。德国宇航协会不了解，先前也没人知道至少有三个研究小组在辛勤地工作着。仓德耳（Tsander）在莫斯科领导一个小组，他是一位飞机工程师，写了一些关于火箭和宇宙航行方面富于想象的文章，他在一篇已发表的文章中提出宇航员可以模仿菲利佛格（Phileas Fogg）的做法以扩大他的燃料来源。当燃料贮箱用空后，宇航员可以简单地把它磨碎，把得到的铝粉添加到其它剩余的燃料中去，这样燃料的热值就相应提高了。这是“八十天绕地球一周的英雄们”的最新模仿，当他们的煤烧光后就烧掉部分船体，以继续他们的航程。然而仓德耳不拘泥于纸面上，实验工作也很少带有虚幻的色彩，他从1929年开始用汽油和空气（1931年后改用汽油和液氧）进行着实验工作。

在意大利的另一个小组是由卢其·克洛柯（Luigi Crocco）领导的，意大利的斯塔夫（Staff）<sup>①</sup>将军勉强地给他们提供一些资金。克洛柯于1929年开始从事液

体火箭工作，到1930年初，点火试验的工作已准备就绪。在他的工作中，值得注意的不仅在于精巧的发动机设计，更突出的是他所用的推进剂。他用汽油作为燃料，这并没有什么值得惊讶，但在氧化剂上他摆脱了惯用的液氧，采用了在室温下能长期贮存的四氧化二氮 ( $N_2O_4$ )，这是很大的进步。但是除了该小组的成员外，在以后的二十四年内没有人知道这项工作<sup>②</sup>。

德国宇航协会开始工作时完全不了解上述情况。奥伯特原来想用甲烷作为燃料，但甲烷在柏林很难得到，所以首先使用了汽油和氧气。然而约翰尼斯·温克勒 (Johannes Winkler) 采纳了他的想法，独立于德国宇航协会之外进行工作。1930年初他点燃了一个用液氧、甲烷的发动机，这项工作没有什么特别的结果，因为甲烷的能量特性仅比汽油稍高一点，然而它的处理和使用却很困难。没有人认为继续对甲烷做实验有什么好处。

更重要的是弗里德里希·威廉·桑德 (Friedrich Wilhelm Sander) 的实验。他是一位商业火药技术员 (他

---

①全部计划由G. A. 克洛柯将军领导不是事实，他是卢其 (Luigi) 的父亲，而一位意大利的父亲和犹太人的母亲是相似的。

②1927年10月7日秘鲁利马的康默西奥 (El Comercio) 得到的一封信中，有一位秘鲁的化学工程师佩得罗·玻利特 (Pedro A. Paulet) 宣称，他在1895年至1897年间做过用汽油和四氧化二氮在火箭发动机上燃烧试验，如果这种说法有任何事实基础的话，玻利特不仅比戈达德早，甚至比齐奥科夫斯基还早。

然而让我们考虑这些事实，玻利特宣称，他的发动机推力是200磅，不象通常火箭发动机那样连续工作，而是一分钟内断续点火300次，他还说，这个试验是在巴黎做的。

现在我知道，推力为200磅的发动机要产生好大的声响，同时还了解象闹钟滴答速度的一分钟内点火300次，它的声响就象一门口径75毫米的自动化高射炮，这样的火箭会使巴黎人相信公社会回来用它对共和国进行报复。这种事肯定除玻利特以外的人能回忆起来的。

在本书内，认为玻利特的断言是错误的，他所说的点火从来没有进行过。

制造过商用的黑火药火箭)。1931年3月初,他点燃了一个火箭发动机,但不公开它的燃料,只称它为“炭的携带物”。威利·利·(Willy Ley)认为它可能是一种拌着碳粉或碳黑的轻质燃料油或苯,作为一位火药技术员的桑德,很自然地会想到以碳作为燃料。在这之前,赫尔曼·努尔登(Herman Noordung,他是一位奥地利帝国军队中波托克尼克船长)曾建议过将碳黑悬浮在苯里做为燃料(这种想法是为了增大燃料的密度,以减小贮箱的体积),桑德工作中最重要的是他引进了另一种氧化剂-红烟硝酸(含四氧化二氮达5%—20%的硝酸),他的试验成了另一类推进剂发展方向的起点。

埃诺-佩尔蒂里是一位航空先驱者,他也是一位航空机械师。1931年,他先用汽油和液氧,以后用苯和四氧化二氮进行了实验。他是第三位独立使用四氧化二氮氧化剂的人。这是推进剂研究中的重复现象,大约有一半的试验人员以同样的热情在做重复的工作。他使用苯做燃料是相当奇怪的(格鲁施柯用甲苯),就能量特性来说,它们(两个中任一个)都超不过汽油,而价格却比汽油贵得多。埃诺-佩尔蒂里曾试用过四硝基甲烷作氧化剂,致使他的四个手指头给崩掉了(这是说明四硝基甲烷危险性的典型事例)。

在列宁格勒的格鲁施柯,拣起了桑德遗弃的工作,从1932年至1937年在硝酸、煤油工作中取得的很大的成就,这组推进剂苏联一直在使用着。1937年,他无视众所周知的埃诺-佩尔蒂里的经历,成功地点燃了煤油和四硝基甲烷,但是这项工作没有继续下去。

1931年底,德国宇航协会的克劳斯·里迪尔(Klaus Riedel)设计了一个使用新燃料的发动机,并于1932年初点

了火。他使用了常用的液氧，而燃料却是里迪尔和献利·利想出来的，是乙醇和水60—40的混合物。能量特性虽然低于汽油，但火焰温度低，发动机冷却容易解决，部件工作时间可以更长。这是德国宇航协会对推进剂技术的主要贡献，并直接导致A-4火箭（或V-2）的出现，那是后来的事了。1932年11月，在陆军授意下，威尔诺·冯·布劳恩（Wernhner von Braun）开始在库默村-西（Kummersdorf West）做关于火箭燃烧现象的博士论文，秘密警察企图夺取德国宇航协会，协会于1933年底关闭。

维也纳大学的欧根·桑格（Dr. Eugen Sänger）博士在1931—1932年做了一系列的点火试验，他用的推进剂是常用的液氧（有时是气氧）和轻质燃料油，他引进了精巧的化学方法来点燃发动机。他把二乙基锌灌到临接发动机的燃料管道内，作为我们现在所称的自燃起动机。当它喷进发动机内，与氧相遇时，就自燃起来。这样，后来喷进的燃料油就烧得很顺利。他罗列了一长串的物质，从可能的燃料-氢起一直排到碳，并计算它们与氧、五氧化二氮（ $N_2O_5$ ）的能量特性（后者不仅不稳定，而且还是固体，未被采用过）。不幸的是在他的计算里天真地认为热效率是100%，这意味着：（a）燃烧室的压力无限大；（b）喷管出口压力为零，即在绝对真空中燃烧，或使用一个难以制造的无限长的喷管（火箭发动机的热效率通常为50%—60%）。他还建议用臭氧做氧化剂和象桑德那样在燃料中添加铝粉。

意大利的卢其·克洛柯后来又有另一种设想，要求航空局提供一笔经费来做实验，他的新设想就是单元推进剂。液体单元推进剂是一种同时含有氧化剂和燃料的液体物质，它可以是处在同一分子内的化合物，如硝基甲烷（ $CH_3NO_2$ ），

其中的氧能烧掉碳和氢；也可以是氧化剂和燃料的混合液，如苯溶于四氧化二氮中的溶液。从纸面上讲，这种想法是很能吸引人的，只要把一种液体喷到燃烧室去就行了，从而简化管路阀门系统：混合比又是现成的，而且可以按需要预先调节好，不必担心混合氧化剂和燃料时喷注器的排列是否合适，所有的问题都变得简单了。但要知道，任何燃料和氧化剂的紧密结合体都是一种潜在的炸药！一个分子内的一端是还原基（燃料），另一端是氧化基，中间隔着一对坚固交叉的骨架，也将是一种灾难的源头。

所有这些，克洛柯都知道，但是他具有一种很难与疯狂行为相区别的勇敢精神。他于1932年开始了一系列的硝化甘油点火试验，为了使硝化甘油稳定下来，他加进了30%的乙醇。庆幸的是他竟没有被炸死。以后他把工作领域扩大至敏感性较低的确基甲烷上，结果不错，但在1935年因经费枯竭而终止。该研究工作未得到有价值的东西。

另一位单元推进剂的早期研究者是锡拉丘兹大学的哈里·贝尔（Harry W. Bell）。1932年他独自工作，采用气氧和汽油、乙醚、煤油、燃料油和乙醇进行燃烧试验，继后又做乙醇与30%过氧化氢（ $H_2O_2$ ，当时在美国能得到的最高浓度）的燃烧，但没有成功。还做了松节油与硝酸（可能是70%）的燃烧。1934年，他试验了自己发明的、称为亚特灵（Atalene）的单元推进剂，但对这种单元推进剂并无任何详细说明。结果，发生了爆炸，并把他送进了医院，以死亡而告终。

在柏林国立化学研究所的赫尔穆特·沃尔特（Helmuth Walter），于1934~1935年间研制了一台燃烧80% $H_2O_2$ 单元推进剂的发动机，这 $H_2O_2$ 只是后期才能买到，经适当

的催化作用或加热， $H_2O_2$ 就会分解为氧气和过热蒸气，因此可做为一种单元推进剂。这项工作当时没有公开，空军看出对其有用，于是继续研究了数年，取得了许多成就。

值得提出的是弗兰克·马列纳 (Frank Malina) 小组在加利福尼亚理工学院的古根亥姆航空实验室 (GALCIT) 进行的战前研究工作。1936年2月马列纳制订了研制液体燃料探空火箭的博士论文计划。参加这项工作的小组成员是逐步组合起来的，于1937年夏组建成，共有六个人，包括马列纳自己、约翰·帕森斯 (John W. Parsons 该小组的化学家)、韦尔德·阿诺德 (Weld Arnold, 他支付少量经费)、钱学森 (三十年后他被誉为中国弹道导弹的创始人)、西奥多·冯·卡门极其亲切地关怀着整个小组的工作。

这个小组于1936年10月首先以如何操作火箭发动机和进行热试车为目的，开始了他们的研究工作，所用的推进剂是甲醇和氧气，当然也考虑了其它的推进剂。帕森斯于1937年6月编了一份数据表，表中除列有桑德所用的燃料外，还罗列有各种醇类、饱和及不饱和的碳氢化合物、以及一些稀贵燃料如甲氧基锂、十硼烷、氢化锂、三甲基铝等等。作为氧化剂的有硝酸、四氧化二氮和氧。计算了数十种推进剂组合的理论性能 (象桑格那样假定效率为100%)。

从1937年8月开始，该小组试验了下一个推进剂组合，用的是甲醇和四氧化二氮。马列纳不象一般明智的人那样在室外进行试验，而他接受一些错误的建议，在机械加工车间里做试验。有时点火失败，整个车间就充满了甲醇和四氧化二氮的烟雾，后者和氧及空气中的水蒸气反应，很容易转变为硝酸，而硝酸沉积在车间中的一些贵重设备上，有强烈的腐蚀作用。马列纳的声望急转直下，他和他的设备遭到了厄



运，他本人和他的仪器以及他的追随者全被撵出车间。从此以后，马列纳被冠以敢死队头子的称号。唉！拓荒者是很少受人称赞的。

该小组继续工作至1939年7月1日。当时陆军航空兵在哈普·阿诺德（Hap Arnold）将军的鼓动下，负责提出一个研制飞机起飞助推器（JATO）的计划，即一种帮助载重飞机从短跑道上起飞的火箭。

从那时起，火箭研究工作的资金全由军事部门支付，同时也加以保密了。随着马列纳小组的第一次爆炸声，古根亥姆航空实验室失去了她的纯洁性，失去了业余性质的地位。