

生命起源问题

王孔江

(中国科学院生物物理研究所,北京 100101)

[摘要] 在2006—2020国家中长期科学和技术发展规划纲要中,生命起源与演化被列为生命科学基础研究的13个主要研究方向之一。本文简要介绍了生命起源研究的一些基本情况,研究现状及中国的生命起源研究。中国的生命起源研究局部取得了一些成果,但是整体差距很大。

[关键词] 生命起源,生命科学

生命起源问题是自然科学面临的几个主要的未知基础科学问题之一。几乎所有的自然历史及生物学教科书总会有章节介绍生命起源。按照大爆炸理论,大致是从150亿年前大爆炸开始的宇宙起源,到约50亿年前太阳系的起源,到约45亿年前地球的起源,到大约37亿年前地球上生命的起源。地球生命体系是已知的宇宙中惟一的生命体系,也是已知的宇宙中最复杂的分子体系,更是自然演化出的最完美的分子体系。在地球上生命起源的过程是如此复杂,生命起源的过程是如此偶然,有人做过一个形象的比喻:如果一只猴子在打字机的键盘上随机跳动能打印出大英博物馆的所有图书,那么在地球上发生生命的几率仍比这还小。

但是,在地球上的的确确自然产生了生命,而且产生了智慧生命人类这一宇宙最美丽最灿烂的花朵。如果说生命在地球上的起源是一个奇迹,那么对地球上这一奇迹的发生发展的过程及原理的探索当然是一个激动人心的事业,也是自然科学的主要任务之一。显然,对生命起源的研究不仅有利于深入了解自然的奥秘,揭示生命的奥秘,而且推动自然科学的发展,并无疑对人类的思想史及文明史产生重要影响。

本文主要对生命起源研究的基本问题进行介绍并简要介绍了国际生命起源研究的现状及中国的生命起源研究。希望更多人了解生命起源问题,更多人关注生命起源问题,更多人加入生命起源的研究。

1 生命起源研究的基本原则

生命起源研究就是探索生命是如何从原始地球条件下自然发生的,简单地说就是研究物质是如何在自然条件下由“死”变“活”的问题。生命起源问题是典型的多学科问题,涉及天文学,物理,化学,地质,生物学等多个学科。更为棘手的是,生命起源的过程是在大约37亿年前的原始地球上发生的。由于地球表面上岩石圈,水圈,大气圈及后来生命圈等的剧烈活动,37亿年前的原始地球已经被破坏殆尽。现在的地球表面已经基本上找不到37亿年前的原始地球岩石圈的痕迹,更不知道原始地球的水圈及大气圈是什么样子。面对一个如此棘手的问题,建立一些研究的基本原则显然对于推动生命起源研究的发展有重要意义。这些原则也是国际生命起源研究公认的基本原则。

1.1 现代生命起源研究是建立在坚实的实验基础上

生命起源的确看起来是个奇迹,但是生命起源的过程是在原始地球条件下由一系列化学及生物化学过程构成的,是没有任何奇迹的。现代生命起源研究是建立在坚实的实验研究基础之上。目前尽管对Miller-Urey放电实验合成氨基酸在生命起源中的意义仍然存在争论,但是对Miller-Urey放电实验在生命起源研究中的历史意义是没有任何争议的。因为Miller-Urey放电实验是第一个通过模拟实验探索生命起源的实验,它开创了对生命起源问题的实验研究的新纪元。

本文于2006年4月7日收到。

生命起源过程完全服从已知的物理及化学原理,也是没有什么神秘的“奇迹”。例如,基于已知的化学原理碳元素是惟一可能构成生命分子骨架的元素,生命起源的能量转化主要与磷酸键及硫酯键有关。因为生命体系的反应几乎都是在酶的高效催化之下完成的,所以生命起源的研究过程也越来越对催化问题给予特别关注。近十年来发现了矿物(如蒙脱土)催化 RNA 的合成,以及部分 RNA 分子催化的合成反应等。

生命起源研究就是希望基于已知的物理及化学原理重现生命起源过程中的一系列化学及生化反应。由于生命起源问题的复杂性,在这一过程研究中发现新的原理或理论是可以预期的,在实验的基础上可以提出假说。但是在严肃的生命起源研究中没有空想的位置,更没有狂想的位置。

1.2 生命起源于地球

在生命起源的研究中,一般认为地球生命是从地球起源的。虽然世界著名科学家如 Francis Crick 及 Leslie Orgel (Salk Institute for Biological Studies, San Diego, USA) 等曾经提出过现代版的“泛生论”。但是,到目前为止尚无任何关于地球以外存在生命的证据,况且“泛生论”实际上面临着外星生命是如何起源的问题,所以“泛生论”只是把生命起源问题换一个地方而已。目前“泛生论”已经不被认为是一种严肃的科学理论。

需要强调的是,到目前为止还没有发现任何外星生命的痕迹。虽然在美国如哈佛大学、普林斯顿大学以及加州大学 Berkeley 分校有研究小组仍然在通过对太空无线电信号等的监测和分析对是否存在外星智慧生命进行研究,美国的 SETI Institute (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) 也主要从事外星生命的探测及生命起源相关的研究。但是,到目前为止没有任何关于外星智慧生命存在的科学证据,所以不存在地球生命是从外星上迁移而来的可能。人类的航天器已经接近或登陆了太阳系中的主要行星,虽然近两三年在月球极地及火星表面发现了水的痕迹,并有假说提出在月球或火星的地层或冰盖下面存在生命的可能性,尚无任何有生命存在的直接证据。

也许是出于人类对生命起源问题的本能关注,媒体对生命起源问题及外星生命等问题一直给予很高的关注。在美国早就有美国政府已经俘获了外星人并进行秘密研究的报道,在好莱坞外星人甚至已经与地球人在银幕上发生了星球大战。美国媒体关

于美国人俘获外星人类似的报道图文并茂使人无法分辨真伪。笔者在美国 NASA(美国航空航天局)建立的纽约生命起源研究中心进行博士后研究期间,有幸当面向 SETI Institute 的主任 Dr. Jill Tarter 问及此事。Dr. Jill Tarter 严肃地告诉我,根本就不存在美国政府俘获的外星人,媒体的不断演绎只有一个目的:赚钱。

1.3 水是生命起源反应的溶剂

生命体系可以看成是一个超级分子体系,这个超级体系是由一系列化学反应来维持的。任何化学反应必须在一定的溶剂中进行,而且溶剂的性质对反应的进程及结果有重大影响。在化学合成中,绝大多数合成反应是在有机溶剂而不是在水溶液中进行的。但是,生命起源研究的一个公认的原则是,生命体系的化学反应是在水溶液中进行的,而且很可能是起源于原始海洋。这就是为什么在近几年 NASA(美国航空航天局)及 ESA(欧洲航天局)进行的火星探测,月球探测等太空计划中,探测水的存在是其主要的科学目标之一。在近几年 *Science* 及 *Nature* 等重要科学期刊上多次报道在火星及月球的极地上发现水的痕迹。原因就是水是生命的溶剂,是生命存在的前提。

根据已知的化学原理,水溶液并不适合许多生命体系反应的进行。例如,多肽及核酸等生命关键分子的合成反应实质上就是化学上的脱水反应。在水溶液中进行脱水反应无论在热力学或动力学上都是非常不利的。但是生命的奇妙就在于,生命的所有反应不仅都是在水溶液中进行的,而且是在水溶液中高效进行的。

生命在其起源及演化过程中,发展了多种方式使得不少在化学看来难以在水溶液中进行的反应在水溶液中高效进行。最近几年化学上兴起的“绿色化学”的重要特点之一就是利用水溶液作为化学反应的溶剂。而大自然在 37 亿年前就选择了“绿色化学”,并且已经发展出了众多我们还不清楚的机理使生命反应在水溶液中高效进行。

2 生命起源研究的特点

连续性原则和简单性原则是生命起源研究的主要特点。

生命起源的连续性原则包括两个方面,一是生命发生发展过程的连续性,二是生命起源的各个阶段与地球演化历史的连续性。生命起源的研究必须回答在原始地球条件下,从简单的生命小分子开始

到生命相关大分子的合成到最终实现一个能自复制分子体系形成的各个阶段。由于生命起源的过程是在原始地球条件下发生的,所以生命起源的每一个阶段必须与原始地球的天文学、地质、大气和海洋等演化的历史相吻合。

简单性原则是指,生命是在原始地球上自然发生的,所以生命起源的反应条件必然是简单的。Stanley L. Miller 将其总结为“*If it is simple, it's probably not prebiotic*”。模拟生命起源的反应必须是简单的并与当时原始地球的天文学、地质、大气、海洋等演化的历史相吻合。简单性原则实际上也隐含一个复杂性问题。在化学反应中,为了得到希望的产物,实验室内的反应体系应该是越简单越好。但是,因为生命是起源于自然的环境,而自然的环境往往又不可能像实验室人造的反应体系那么简单。所以,生命起源反应往往采用混合体系。这是生命起源研究与其他化学研究的一个重要区别。而且在生命起源研究的化学反应体系中一般没有高温及高压,也没有极端 pH。

在生命起源研究中,一个常用的词是 prebiotic (前生命)。它体现了上述生命起源研究的特点。回顾经典的 Miller-Urey 放电实验也可以帮助理解生命起源研究的特点。由于现在大气中的氧气是由于生命活动代谢产生的,所以一般认为原始地球是还原性的。原始地壳的不稳定性决定了原始地球上频繁的火山活动,火山的活动即意味着放电,再加上生命是起源于水溶液体系。以上因素构成了 Miller-Urey 实验的主要环节:用甲烷及氨模拟原始还原大气,用水相来模拟原始海洋,用放电来模拟火山闪电。

3 生命起源研究的主要内容

生命起源研究的目标是希望通过对原始地球上生命发生过程的研究进一步揭示生命的奥秘。生命起源研究的具体目标不是希望在试管中合成一个活的细菌,更不是合成一只活的老鼠。生命起源研究的具体目标是:如何在原始地球条件下建立一个自复制分子体系。之所以强调自复制体系是因为,只有自复制分子体系才具有了储存信息的能力,也才具有向更复杂分子体系进化的能力并最终导致生命的产生。

如果详细分解,生命起源的研究内容大致包括以下方面:

(1) 生命必需的有机小分子的合成,如氨基酸,核酸碱基,核苷,核苷酸,核糖,脂类等。这方面的问

题自 1953 年 Miller-Urey 放电实验以来已经取得了很大进展。目前已经发现了多种反应途径可以在原始地球条件下有效合成生命必须的大多数小分子。

(2) 有机小分子如何聚合成生命大分子如多肽,蛋白及核酸等。基于蛋白质化学原理,只有 30 个氨基酸残基以上的肽才能形成稳定的空间构象,也才可能形成特定的功能如催化功能等。所以,生命起源过程需要在自然条件下(没有蛋白酶催化的条件下)形成 30 个氨基酸残基以上的肽。近年来这方面的研究取得了较大进展。

(3) 遗传密码的起源。如果大分子肽(或蛋白)与核酸之间不能形成明确的密码关系,这个分子体系就不具备储存信息的能力,这个分子体系也就无法进化发展。所以,遗传密码的起源是大分子体系向生命体系发展的关键。

(4) 手性的起源。这是关于生物分子的对称性破缺问题。1847 年 Louis Pasteur 偶然发现酒石酸的化学活性后,他立即把光学活性作为生命分子的主要标志。自上世纪初以来,化学的发展建立了分子手性的概念,即分子立体对称性概念。化学体系的合成(包括 Miller-Urey 实验合成的氨基酸)的手性是守恒的,遵循“不对称来自于不对称”原则。尽管所有前生命合成的氨基酸都是 D 型及 L 型氨基酸相等的,但是生命体系的大分子均是由两种手性分子中的一种手性分子构成的,如蛋白质是由 L-型氨基酸,而核酸是由 D-核糖构成的,是手性完全破缺的。从自然系统来看,没有其他任何体系的对称性破缺像生命体系这么完全。

虽然对手性起源问题进行了大量研究,提出了多种理论,但是没有一种理论得到公认。手性起源问题是由生命小分子合成大分子的主要障碍之一,是生命起源研究亟待解决的难题。目前,对于手性起源的研究已经远远超越了生命起源的范畴。因为涉及生命体系的“对称性破缺”,越来越多的物理学家,化学家及生物化学家等投入对手性起源问题的研究。尽管如此,在 Louis Pasteur 发现分子不对称 150 多年以后的今天,这个问题仍然是一个谜。

(5) 自复制分子体系的起源研究仍然处于探索阶段,与此密切相关的细胞膜的起源可以使生命进化/发展获得一个稳定的小环境。

(6) 以上每个问题相关的是生命起源反应的推动力问题,即能量转换问题。

整体来看,除第一个问题之外,其他的问题仍远未找到答案。

4 生命起源研究历史及现状

1828年, F. Wholer 从 CO_2 , H_2O 及 NH_3 等简单无机小分子合成了尿素, 打破了当时统治科学界的绝对信念——与生命相关的分子只能通过活的有机体才能实现。人们认识到, 生物合成有机物占主导地位只是当今地球的特征。这一发现冲破了“活力论”, 打破了分子“活”与“死”之间的鸿沟。对生命起源进行严肃的科学研究大致可以说是从 1924 年开始的, 以苏联生物化学家 A. L. Oparin 的“生命的起源”一书的出版为标志。在此书中, Oparin 提出了化学进化的概念, 并科学地划分了生命起源的几个阶段即可能的反应途径。1953年, 芝加哥大学化学系研究生 Stanley L. Miller 在其导师诺贝尔奖获得者 H. C. Urey 的指导下进行的气体放电实验合成了甘氨酸, 丙氨酸, 谷氨酸, 天冬氨酸等有机物, 开创了对生命起源的实验研究。自 Miller-Urey 实验之后的大量实验研究表明, 生命所需的主要小分子完全可能在原始地球条件下合成。自 Miller-Urey 放电实验以后对生命起源问题的实验研究也引起科学界及社会对生命起源研究的重视及尊重。

生命起源研究的另一次突破来自分子生物学。在生命起源研究中有一个著名的悖论是, 究竟先有核酸还是先有蛋白质, 更形象的版本是先有蛋还是先有鸡, 这就是“鸡-蛋悖论”。早在 1967, 三位著名的科学家 Carl Woese, Francis Crick 以及 Leslie Orgel 就曾经提出: 如果 RNA(核糖核酸)具有催化功能, 这个问题就迎刃而解。因为已知 RNA 分子具有储存信息的能力(如 RNA 病毒)。但是, 他们谁也没有预料到在现代生命体系中 RNA 还存在的催化功能。上世纪 80 年代初期, T. R. Cech 及 S. Altman 分别独立发现了 RNA 的催化功能。并很快形成了“RNA World”这一概念。这一假说认为, 在生命起源的早期, 存在一个 RNA 分子体系, 其中一些 RNA 分子具有催化功能, 一些 RNA 分子具有储存信息的能力, 在这一分子体系中进行不断的选择及进化最终导致了一个自复制分子体系的出现。关于“RNA World”的研究在 80 年代及 90 年代形成了一股巨大的热潮, 仅在 *Science* 及 *Nature* 杂志发表的相关论文就数以百计。

但是, 实验发现“RNA World”理论存在许多难以克服的问题。比如, 核酶(Ribozyme)催化反应的种类非常有限, 催化效率较相应的蛋白酶差多个数量级。而且, 由于 RNA 分子核糖 2-位羟基的存在使

其非常不稳定。另外, 从化学的角度来看, 从核糖的合成到立体选择性地合成 β -D-核苷到核苷酸的合成, 到 RNA 分子的合成, 每一步都近乎是不可能的事。尽管如此, “RNA World”仍然是得到最广泛认可的理论。

当前, 生命起源的研究集中在对“RNA World”理论的完善, 对多肽及蛋白在生命起源过程中重要意义的重新认识, 细胞膜起源的可能途径, 手性起源问题, 蛋白及 RNA 大分子的前生命合成, 遗传密码的起源, 自复制分子体系及其进化, 以及以上过程的能量转换等方面。

国际生命起源研究的中心无疑是在美国。NASA 的 Ames 实验室主要进行生命起源研究, 1998 年 NASA 又建立了 NASA Astrobiology Institute (NAI) 并与美国国内其他大学及研究所组成了超过 700 名多学科研究人员的研究队伍。近几年, 在 NASA 对月球, 火星, 彗星等的一系列探测计划中, 与生命起源相关的研究是其主要的科学目标之一, 引起社会及科学界极大关注。欧洲也有不少研究小组取得了引人注目的结果, 同时 ESA(European Space Administration) 也在火星探测等项目中把生命起源作为一个重要科学目标。日本, 以色列, 巴西, 墨西哥及俄罗斯等也有一些研究小组进行生命起源的一些研究。

5 中国的生命起源研究

中国的生命起源研究不仅起步晚, 而且多种原因造成直到现在仍未引起科学界对其研究的理解。所以中国的生命起源研究大多都是“业余”研究或“顺带”研究。

中国科学院生物物理研究所的贝时璋先生、邹承鲁先生、杨福瑜先生及梁栋材先生等均对生命起源问题给予过关注, 并有相关的论文介绍国际生命起源研究。对生命起源的实验研究是改革开放后北京大学王文清教授到美国马里兰大学 Cyril Ponnamperuma 实验室进修回国后开始的。从 90 年代以来赵玉芬先生从磷化学的角度对氨基酸成肽反应等进行了研究。内蒙古大学罗辽复先生对遗传密码的起源问题进行了理论探索。近几年, 在极端环境的化学反应, 极端微生物等与生命起源相关领域一些科学家加入研究的行列。在赵玉芬先生等的努力下, 第 14 届国际生命起源会议已于 2005 年 6 月在清华大学召开。

中国的生命起源研究也取得了一些可喜的成

果。王文清教授发现在 Miller-Urey 放电实验中加入三氢化磷(PH_3)氨基酸合成的产量及种类大大增加,王教授近年对手性起源问题也有新的结果。赵玉芬先生发现了氨基酸通过磷酸化后生成短肽。

近期,中国科学院生物物理研究所王孔江小组在进行模拟生命起源的多肽合成反应中偶然发现,碱金属离子对酸性氨基酸,氯离子等对碱性氨基酸成肽反应的催化效应。众所周知,钠离子,钾离子及氯离子等是海洋中最主要的离子,同时也是生物体内最主要的离子。它们的生理功能公认是保持渗透压平衡,神经信号传递等非催化功能。生物无机化学教科书认为,碱金属离子注定只具有非催化功能“predestined for noncatalytic functions”。但是我们发现钠离子,钾离子及氯离子等常见离子不仅具有催化功能,而且发现它们的催化效率较已知最有效的金属离子高得多,甚至比已知的最有效的固体催化剂更有效。钠离子,钾离子及氯离子催化的成肽反应另一个主要特点是主要促进长肽的形成同时减少短肽的形成。也就是说,海洋中最常见的盐(NaCl)可以有效催化酸性及碱性氨基酸的成肽反应并主要形成生命起源所需的长肽,这显然对于生命起源中的长肽及蛋白质合成问题有重要意义。有趣的是,与碱金属离子化学性质接近的碱土金属离子的催化效率较碱金属离子相差很远。上述结果已经得到国际学术界的初步承认。这一现象的详细机理研究正在进行之中。

6 结束语

杨振宁先生在谈到其研究经验时,对科学家特别是对年轻科学家提出的期望是:关注基本科学问题研究,因为基本科学问题的突破往往是基础性的也是最重要的突破。我们认为,对基础科学问题的研究太少,而模仿跟踪研究太多是中国科学研究缺少原始创新的重要原因之一。2005年9月《科技导报》发表了122年前(1883年)美国著名物理学家、第一届美国物理学会会长亨利·罗兰(Henry A. Rowland)所撰写的题为“为纯科学呼吁”(A Plea for Pure Science)。此文被称是美国科学界的“独立宣言”,对美国科学的发展产生了重大影响。在今天读来不少内容好像专为提醒当今中国科学界所作。他指出“假如我们停止科学的进步而只留意科学的应用,我们很快就会退化中国人那样——多少代人以来他们(在科学上)没有什么进步,因为他们只满足于科学的应用,却从来没有追问过它们所作事情的原

理。这些原理就构成了纯科学。中国人知道火药的应用已经若干世纪,如果它们用正确的方法探索其特殊应用的原理,它们就会在获得众多应用的同时发展出化学,甚至物理学。因为只满足于火药爆炸的事实而没有刨根问底,中国人已经远远落后于世界的进步。”

生命起源研究的重要科学意义是无庸置疑的。我相信 Miller-Urey 放电实验将会永载史册。近年来由生命起源的“RNA World”理论衍生出的分子的试管内进化(*In vitro* selection, SELEX),矿物催化 RNA 的合成,与生命起源相关的极端环境合成及极端微生物等都对生命科学有重要意义。可以预期,外地生命探测,分子手性起源(对称性破缺),自复制的分子体系,遗传密码起源,水溶液体系的生物分子合成等任何一个课题的突破都将对科学的发展产生重要影响。

生命起源研究的目的是为了直接的“社会效益及经济效益”,但是生命起源研究绝不是空中楼阁。例如,在探索生命起源小分子合成过程中偶然发现了从简单小分子高效合成抗白血病药——阿拉伯糖苷胞嘧啶的方法(Leslie Orgel 小组)。“RNA World”理论(1986, W. Gilbert)的一个重要内容是 RNA 分子的选择及进化出特定功能的 RNA 分子。在1990年, G. F. Joyce (La Jolla), J. W. Szostak (Boston), and L. Gold (Boulder) 就独立发展出了 RNA 分子的定向功能进化技术“*in vitro* evolution” or “SELEX” (systematic evolution of ligands by exponential enrichment)。这一方法正成为分子生物学中越来越重要的工具,对整个分子生物学都产生了重要影响。同样,“RNA World”理论要求稳定的 RNA 分子存在,但是由于2位羟基的存在 RNA 分子很不稳定。由此上世纪90年代以来,有机化学发展出了很多不同的核酸连接方式,如 PNA (peptide nucleic acid)。由于它们的稳定性较天然 RNA 高,这些合成的非天然连接的 RNA 分子正成为治疗性 RNA 分子的首选。

所以,生命起源研究的意义并不止生命起源的本身。通过生命起源过程的研究,加深对生命本质的认识,并发展出新的思想,新的方法。因而我们期待更多的中国科学家加入生命起源等基础科学的研究。希望中国科学界有更多的真正原始科学创新,为全面建设创新型国家而努力。

承蒙王志新院士审阅并提出修改意见,在此表示感谢。

RESEARCH OF LIFE'S ORIGIN

Wang Kongjiang

(Institute of Biophysics, CAS, Beijing 100101)

Abstract In the syllabus of 2006—2020 national medium & long term Sci. & Tech. development layout, life's origin and evolution were placed in one of 13 major research topics in the fundamental research of life science. This paper briefly summarized basic situations in the research of life's origin, current research state and its status in china. In china, research in this field achieved quite a few progresses, but still has a big gap in comparison with advanced nations.

Key words life's origin, life sciences

·资料·信息·

“临近空间飞行器的发展趋势和重大基础科学问题研讨会” 在京召开

为了研讨近空间飞行器的关键基础科学问题,探讨发展近空间飞行器的有效途径,国家自然科学基金委员会数理科学部于2006年4月17—18日在北京组织召开了“临近空间飞行器的发展趋势和重大基础科学问题研讨会”。此次研讨会得到了中国人民解放军总装备部、国防科学技术工业委员会、中国航天科技集团公司、中国航空工业第一集团公司、中国科学院和高等院校等相关部门和专家的高度重视和积极响应。国家自然科学基金委员会主任陈宜瑜院士、副主任沈文庆院士、国家两弹一星功勋奖章获得者王希季院士,国家最高科技奖获得者、载人航天工程总设计师王永志院士,中国人民解放军总装备部、国防科学技术工业委员会、航天航空部门有关领导以及相关领域专家80余人出席了会议,其中中国科学院院士、中国工程院院士20人。

陈宜瑜主任在开幕上发表重要讲话。他首先介绍了科学基金目前的形势,2006年基金受理情况和资助计划,以及“十一五”期间科学基金的发展态势。他强调指出:(1)科学基金在国家创新体系中的战略定位是“支持基础研究,坚持自由探索,发挥引导作用”,新时期的工作方针是“尊重科学,发扬民主,提倡竞争,促进合作,激励创新,引领未来”。(2)基础研究所涉及的科学问题包括科学自身发展和经济社会发展“两个来源”,其发展受“双动力驱动”。从科学基金资助实际情况看,经济社会发展需求对基础研究的推动力已经大大超过单纯的科学自身发展的吸引力,基础研究不应再区分为纯基础研究和应用基础研究。(3)“十一五”期间,科学基金要积极促

进学科均衡、协调和可持续发展,花大力气支持优秀人才成长,培养和造就一批具有国际影响力的杰出科学家和进入国际科学前沿的创新团队。(4)经过试点证明,重大研究计划是一种比较成功的资助方式,但现在看来还不够成熟,需要进一步探索实施的模式。重大研究计划要围绕科学自身发展或经济社会发展的重大基础科学问题,选择目标比较明确的方向,坚持有限目标,在一定的时间内能做出工作。(5)“空天飞行器的若干重大基础问题”重大研究计划经过前期的努力,进展顺利。希望以此次研讨会为契机,认真调研国际上尤其是发达国家近空间飞行器的发展状况及趋势,探讨学科交叉与集成。同中国人民解放军总装备部、国防科学技术工业委员会等建立更密切的联系,结合国家需求提炼重大基础科学问题,开展基础研究。

研讨会邀请中国航天科技集团公司第十一研究院、“空天飞行器的若干重大基础问题”重大研究计划指导专家组组长崔尔杰院士、西北工业大学张立同院士、中国航天科技集团公司第五研究院第502研究所吴宏鑫院士、中国航空工业第一集团公司第611研究所聂海涛研究员、中国航天科技集团公司第一研究院第14研究所安复兴研究员、国防科技大学王振国教授和空军司令部军事理论研究部朱荣昌研究员作大会报告。与会专家就近空间飞行器的需求背景、发展状况、关键技术和科学问题等进行了研讨,还对应称为“近空间”还是“临近空间”进行了讨论。

(数理科学部 詹世革 供稿)