

贺钱学森院士95华诞

综合集成方法的实践

——“中国载人航天发展战略”研究方法总结

钱振业¹, 杨广耀², 韦德森³, 程珍珠⁴

(1. 中国航天工程咨询中心, 北京 100037; 2. 中国空间技术研究院, 北京 100073;
3. 中国空间技术研究院, 北京 100081; 4. 国务院发展研究中心国际技术经济研究所, 北京 100091)

[摘要] 中国要不要搞载人航天? 怎么搞载人航天? 采取何种发展战略和技术途径, 涉及政治、经济、军事、社会和科技诸多方面。遵照钱学森院士创建的系统学提出的“定性定量相结合的综合集成方法”, 结合中国国情, 以软科学命题, 从指导思想、研究步骤和研究方法几方面进行了研究, 研究表明, “面对世界载人航天的挑战和机遇, 中国载人航天不可不搞, 也不能大搞, 飞船起步, 平稳发展万无一失。盲目赶超或急于缩小差距均将陷入困境, 疑虑过多以至坐视不顾, 也会失掉机会和希望。”文章对该软科学命题做了总结。

[关键词] 决策研究; 综合集成; 飞船工程

[中图分类号] N03; V47 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)12-0010-06

1 前言

在新世纪到来的前夕, 新的科学技术革命浪潮正以日益磅礴之势, 震荡着整个人类社会。1986年春, 我国各科学技术领域围绕着如何发展高技术开展了规划研究; 在航天领域, 中国要不要搞载人航天? 怎么搞载人航天? 众说纷纭, 莫衷一是, 有待决策。

1986年6月30日, 国务院总理召集国防科工委、航空部、航天部领导和专家听取汇报。航空部的“空天飞机方案”与航天部的“航天飞机方案”难以统一。遂决定对两种方案做进一步论证。此时, 钱学森院士提出, 飞船方案也应一并论证。

作为国家决策咨询机构的国务院发展研究中心国际技术经济研究所, 于1986年7月成立航空航天战略研究小组, 钱振业研究员任组长, 成员有杨广耀、韦德森、程珍珠等, 开展了“中国载人航天发展战略”研究。

中国作为一个发展中的大国, 要不要发展载人航天? 如何发展载人航天? 采取怎样的发展战略、

任务目标体系, 以及选取何种发展途径等一系列问题, 都需要做出回答。

发展载人航天, 从表面上看是一个工程技术问题, 或者说工程技术含量很高的命题。仅从工程技术角度来论证, 很难得出正确的结论。这是对这一问题争论不休、难以决策的症结。

载人航天发展战略涉及政治、经济、军事、社会和科技诸多方面, 具有强烈的社会科学属性和自然科学属性。载人航天发展战略又是一个涉及多层次(发展战略、目标体系、技术途径)、多学科、多部门的具有战略性、宏观性和综合性的复杂巨系统。

为此, 我们运用钱学森院士创建的系统学提出的“定性定量相结合的综合集成方法”^[1], 以软科学命题进行研究, 以求做出科学的结论。

2 指导思想

软科学研究同其他科学研究一样, 必须遵循科学的客观规律, 以其研究成果为领导决策提供符合实际的咨询建议。为此, 在研究中遵循以下指导

思想：

1) 用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点指导课题研究 前苏联于 1961 年 4 月 12 日首次把人送入太空，开创了载人航天新纪元。截至 1986 年，载人航天虽仅有 25 年的历史，但是发展迅速，当今科学技术发达的国家都在规划和实施载人航天。

如何分析和认识这一事实，钱学森院士于 1987 年 1 月 5 日明确指示我们：“要说清楚我们社会主义中国为什么要发展航天技术？这从一般的道理上讲完全是可以说得通。或者说用马克思、列宁主义，毛泽东思想来讲清楚。或者说可以用历史唯物主义的观点来讲清楚。”遵循这一教导，用历史唯物主义的观点，把载人航天发展历史同人类发展历史联系起来，同社会主义中国的建设历程联系起来；用辩证唯物主义观点分析发达国家发展载人航天的历程和发展目的、目标、途径，寻求其发展的内在规律；用辩证唯物主义观点分析我国发展载人航天的必然以及优势和劣势，探讨在经济和技术基础都比较薄弱的发展中的中国，如何发展载人航天。

2) 用系统论的方法进行课题研究 该课题涉及面之广之深决非用一般的研究方法所能解决，必须以开阔的视野、多层次地用系统工程的方法去分析研究和综合优化。

遵循钱学森院士倡导的“综合集成方法”，强调从整体上、系统上去研究问题和解决问题。首先从宏观上研究问题的全局，在充分占有信息的基础上，形成总体框架；从总体框架出发，深入地分析研究每一个具体问题；对研究成果不是 $1+1=2$ 的简单合成，不是从某一个局部的优劣来分析判断，而是从整体和全局去寻求最优途径。在系统上进行 $1+1$ 大于 2 的综合集成。

3) 坚持客观性、科学性、针对性 软科学研究的命题是为决策服务的，要使研究的结果不但能为决策提供科学依据，还要经得起实践的检验；要一切从实际出发，充分了解国内外的状况，客观地揭示问题诸方面的内在联系和发展规律；敢于触及对立的观点和看法，敢于否定，敢于创新，做出准确的判断；既不抄袭，又不简单模仿，提出科学的、明确的决策建议。

3 研究步骤

遵循上述指导思想，采用综合集成方法的研究

步骤^[2]。

3.1 总体设计

依据命题将诸多方面涉及的各种约束条件以及内在联系（界面关系）进行总体分析，提出总体框架，并将其分解成多个独立的分系统专题：

- 为什么要发展载人航天；
- 各国发展载人航天的技术途径；
- 我国发展载人航天的技术基础；
- 我国的经济发展与投资强度；
- 我国载人航天的任务目标；
- 载人航天与政治、经济、科学技术和社会发展的关系；

·载人航天发展战略要素及其约束条件；
·载人航天技术发展战略、目标体系、技术途径；

- 我国载人航天的总体发展蓝图。

3.2 专题研究

对总体框架所确立的每一个专题从局部进行研究，通过纵向的具体分析，以得出的结论作为整个命题综合分析的基础。

各专题涉及的领域不同，采用的研究方法也不同。例如对“为什么要发展载人航天”，国外与我国对载人航天的不同认识和争论焦点在于对载人航天的意义与技术途径的认识。因此，我们全面分析了各国是如何决策的，对他们采取的各种技术方案进行比对，摸清楚载人航天与政治、经济、军事、科技和社会的关系，以及各国选择载人航天方案的出发点。结论是：人类进入第四活动领域是历史发展的必然。

3.3 综合集成

在专题研究的基础上，着重从相互关系进行综合、优化，经综合集成，得出满足任务目标要求和全部约束条件的唯一符合中国国情的正确结论，为领导提供决策咨询建议。

综合集成，主要有三个方面：

- 总体—局部—总体；
- 宏观—微观—宏观；
- 实际—理论—实际。

进行“中国载人航天发展战略”研究，首先从中国社会主义建设事业发展的全局（总体）找准发展载人航天的位置（局部），再进行载人航天规划（总体）研究；从宏观社会大环境研究载人航天的必要性；从微观研究载人航天实现的可能性，得出

中国载人航天要不要搞的结论；分析研究中国的实际（投资规模、技术基础、研制周期、人材结构等），通过对各种可能的技术途径进行理论分析，找出符合我国国情的中国载人航天发展途径。

4 研究方法

“中国载人航天发展战略”课题组运用综合集成方法，采取6个相结合的具体研究方法。

4.1 信息收集与独立思考相结合

载人航天发展的历史至1986年已有25年。各国发展载人航天的目的不同，道路不同，认识也不同。钱学森院士1987年1月5日在国防科工委召开的首届航天领域情报分析会上，告诫我们：“要对各国发展航天技术的历史进行分析。分析这些国家走过的道路，总结他们的经验非常重要，这个经验不仅是科学技术的，还有政治、经济、军事、国际形势以至于它本国内人民的思想意识。总结到什么程度呢？我想就是要说清问题：苏联、美国、日本为什么这样搞？西欧、法国、英国、德国为什么这样搞。要弄清楚他们什么做对了，什么做得不对。”为此，我们广泛占有各类信息，并归纳为：对国家决策文件、科学评论和新闻报道三类信息进行分析研究，从而搞清楚了他们是如何决策的，采取技术途径的根由，社会反应的分歧焦点，为我们研究提供客观的依据。同时，对美国的航天飞机、苏联的载人飞船、法国（欧洲）提出要研制的航天飞机，以及德国和英国提出的空天飞机方案，等等，从技术层面进行分析、研究，从而得出我们的认识，即：

- 美国的航天飞机是追求经济的天地往返运输系统的完全失败（每次发射费5亿美元）；
- 苏联的飞船仍是今后一个时期有效的天地往返运输系统；
- 法国（欧洲）提出的航天飞机方案不具有仿效价值；
- 经济的、先进的天地往返运输系统尚待探索。

纵观各国载人航天技术的发展历程，并不存在一个必须遵循的统一模式。要根据本国的财力，物力和人力条件，以及传统优势、技术基础、国内外政治和军事态势，以及社会和经济发展的需求等，来确定本国载人航天发展战略、任务目标和技术途径。

宏观地看，世界各国根据国家发展战略，在航

天领域的发展战略也有所不同。可概括为：超前型发展战略、平行型（或称同步型）发展战略、跟踪型发展战略和逆向型发展战略。

我们应以我国现实条件为基点，根据我国国情、国力、科学地预测我国高技术的发展速度和可能达到的水平，确定我国载人航天发展战略。

信息研究的目的在于借鉴，客观地进行分析，找出规律，“借他山之石，攻中华之玉”。从中国的实际出发，选择中国载人航天发展道路，将立于不败之地。

4.2 实地调查与理论研究相结合

研究中国载人航天的发展，离不开中国的国情，要了解国情就得深入实际调查研究。为此，我们对航空部、航天部的有关研究所和工厂进行了调研，了解我国航空、航天技术基础、研制能力和人才结构的现状。

从航空领域来看，我国的航空技术与国外的差距更大一些，尚不能独立设计制造大型飞机，发展空天飞机是不现实的。

我国航天事业经过30余年的发展，取得了举世瞩目的成就，但技术水平与国外相比还有相当大的差距。要发展载人航天，尚需创造必要的条件和攻克相关的技术关键。

通过对我国航天、航空现有的技术基础及可供选择的方案所需的技术要求，参考国外发展载人航天采取的方案应具有的技术条件和投资强度，进行量化对比分析、研究，得出的结论是：我国发展载人航天，既不能走美、欧的发展道路，又不能坐失良机。只能选择适合中国国情、具有中国特色的载人航天发展途径。

4.3 自然科学与社会科学相结合

载人航天技术属于自然科学范畴，它的发展受到自然科学发展的制约。仅从这个范畴来研究载人航天发展难以得出完整的答案。

纵观世界载人航天的发展，无论是前苏联还是美国，从20世纪60年代开始，都把载人航天与争夺世界第一作为冷战的筹码，具有强烈的社会科学内涵。发展载人航天在某种意义上是一种政治决策。为此，我们将自然科学与社会科学结合起来分析研究。

首先着眼于我国载人航天发展战略要遵循4个要素：**a.** 认清国情及所处的环境是制定发展战略的基石；**b.** 科学地预测未来发展是制定发展战略

的前提；c. 正确地总结经验是制定战略的依据；d. 借鉴世界各国发展载人航天技术的模式。

其次，要选择能够满足载人航天技术全部限制条件的 4 个制约因素：a. 费用是制约大型系统工程发展的决定性因素；b. 先进性和原有技术基础之间的抉择；c. 正确处理好继承与发展、主战场与高技术、跨越研制阶段与循序渐进三个方面的相互关系；d. 满足全部约束条件的技术途径。

通过上述分析研究，得出的结论是，任何发达国家对发展载人航天的决策，都不是单一因素作用的结果，而是对全球和国家战略宏观考量的结果。

4.4 宏观研究与微观研究相结合

宏观研究的重点在于论述任务需求、任务目标，从发展的必要性角度来认识中国载人航天应确立的发展战略；微观研究的着眼点放在根据中国现有和预期可能实现的条件，从技术基础、投资强度、研制周期、风险程度等方面进行分析，选出适合中国国情、国力的中国载人航天发展的技术途径。

在对各种可能的技术途径进行的研究中，着重从以下 5 个方面做具体分析：a. 任务目标（技术性能）；b. 关键技术及解决的途径；c. 现有条件的适应能力和需要创造的条件；d. 全成本费用分析；e. 研制程序及周期。

在此基础上，集我国载人航天的任务需求、系统组成、研制程序、关键技术预研、经费概算于一体，最终可以绘出中国载人航天未来 30 年的发展蓝图，并分三个阶段来实现：

在技术实验阶段，以飞船工程为重点，同时开展空间应用实验及关键技术预研。

在空间实验阶段，以有人照料平台工程为重点，利用飞船作为运输工具与平台结合在一起，形成短期有人照料的实验平台，开展空间实验，同时，开展第二代运载火箭的研制及重大实验设施的建造，积极探索未来的经济的天地往返运输系统的发展途径。

在空间开发阶段，以建造完整的空间体系为重点，采取模块式空间站型式，利用飞船作为空间站的救生艇，选定一种天地往返运输系统开展研制，采用捆绑技术发展大型运载火箭，建造中国航天港。

由此可见，从宏观与微观两个不同层面分析中国载人航天发展战略、目标体系和技术发展途径，

所得出的结论是客观的、科学的和现实的。

4.5 定性研究与定量研究相结合^[3]

在载人航天的天地往返运输系统方案选择中，我们把定性分析与定量分析有机地结合起来，进行多种技术途径的比对。

从定性角度看，多次重复使用的航天飞机具有技术的先进性；飞船是一次使用，属于 20 世纪 60 年代的技术，似乎“落后”了。但随着技术的发展，设计理念的更新，新技术、新材料的应用，我们今天要研制的飞船必然与以前的飞船有很大的不同。飞船作为运输系统用，主要是经济性，追求的目标是在可靠性的基础上降低运输成本。

在对不同的技术途径进行的全成本（指研制费、产品费和使用维护费等的总和）定量分析中可以看出：在载人航天年发射次数有限或年送入空间的载荷有限的情况下，飞船全成本费用是经济的；航天飞机只是在频繁发射和运送大量的载荷时，才有可能“降低”费用。

由此得出结论：美国的航天飞机技术先进而复杂，昂贵而脆弱，它既是一个示范，也是一个教条。航天飞机既是技术上重大的突破，也是追求经济运输系统的完全失败。欧洲要研制的航天飞机其研制费约 80 亿美元，每次运行维护费概算为 1.3 亿美元。欧洲追求的不是经济的运输系统，而是自主的载人航天系统，其技术实现的可能性尚存在问题，还有待时间的验证。

通过概念分析和量化比较得出：纵观全局，在可供选择的 4 种技术途径中，能够满足约束条件的只有以运载火箭加定点着陆（一次使用或可部份重复使用）的飞船，作为中国载人航天发展的第一阶段的任务目标是现实可行的。

我们认识到，在进行软科学研究中只进行定量计算，停留在具体数量的层次上会迷失方向；只停留在概念层次上又会失去比较的依据，只有两者相结合才可能得出符合实际的正确结论。

4.6 群体智慧与专家咨询相结合

科学技术的高速发展，使个人掌握全部技术内涵的时代已经结束；重大工程决策研究涉及多学科和多领域，绝非一人能够胜任。为此，我们采取的模式是：分解课题—分工研究—集体讨论—综合集成—专家咨询—最终报告。这样做既可充分发挥个人的才能，又可激发群体的智慧。为了避免局限性和片面性，在取得初步研究成果的基础上，采取 4

种咨询方式：**a.** 个别征求专家意见；**b.** 组织专家座谈会；**c.** 参加学术讨论会；**d.** 向有关专家、领导汇报。

这样做，所得出的结论既不局限于课题组的科研成果，又吸收了专家们的意见。咨询过程既是交换意见的过程，也是统一认识的过程。

5 研究结果

1) 1986年10月，在中国空间技术研究院召开的第三次空间站研讨会上，宣读了“我国载人航天技术发展途径探讨——谦谈飞船及其应用”报告，得到与会专家们的赞许。该报告提出了研究我国载人航天发展战略的框架，并以此为基础，进行系统深入的研究。

2) 1987年1月5日，在国防科工委召开的首届航天领域情报分析会上宣读了“对国外载人航天技术的剖析”，结论是“纵观各国载人航天技术的发展历程并不存在一个必然遵循的统一模式”，“根据本国的财力、物力和人力条件以及传统优势、技术基础、内外政治和军事等情况、社会和经济发展的需要，来确定本国的发展战略”。

3) 1987年5月，“对载人航天技术的发展战略、目标体系和技术途径的思考”报告引起航天界老专家们的高度重视，为此，我们专门召开了专家座谈会听取意见，提升了对问题的认识。

4) 1988年春，在中国宇航学会第二次载人航天研讨会上，宣读了论文“对发展载人航天技术的再思考”，作为“对载人航天技术的发展战略、目标体系和技术途径的思考”的补充。同年秋在中国宇航学会举办的航天战略研讨会上，发表了“中国航天技术的发展战略”，与会同志进行了广泛的讨论，分别征求了专家的意见，更加充实了我们的论据。

5) 1989年2~3月，分别向国防科工委领导、国防科工委科技委专家和航空航天部领导及科技委专家汇报了“中国载人航天发展战略（不能不搞、不能大搞、飞航起步、平稳发展）”和“中国载人航天三十年发展蓝图（设想）”，经讨论取得了共识。

6) 1989年夏，向国家航天领导小组及钱学森院士呈报了“为占据人类第四活动领域一席之地而奋争”，得到了专家的肯定与高度评价。

7) 1990年5月，应国防科工委领导提议，“对

各国为什么要搞载人航天和所采取的发展途径，再做进一步研究”，撰写了“为什么要搞载人航天”研究报告，报送国防科工委领导、国家专委各位委员并呈送李鹏总理。

8) 1990年6月18日，历经4年完成的“中国载人航天发展战略（系列研究报告）”在国务院发展研究中心主任马洪主持下，召开了有社会科学界和航天界专家参加的鉴定会。鉴定认为，“中国载人航天发展战略（系列研究报告）采用系统工程定量与定性相结合的软科学研究方法进行综合分析研究，系统地分析了世界载人航天技术发展的经验与教训，并结合全球和国家的战略方针，从不同的角度，不同的侧面和层次回答了‘我国为什么要搞载人航天’和‘怎样搞载人航天’，以及‘应采取的发展战略，目标体系和技术途径’”。“研究成果能够为中央和决策领导部门提供咨询意见，为国家宏观决策提供了重要的科学依据，起到了软科学研究为宏观决策服务之目的，是一项成功的高水平的软科学研究成果”。

9) 1990年11月“中国载人航天发展战略（系列研究报告）”由国务院发展研究中心马洪主任题词（**发展航天事业，加强国力建设**）和航空航天部高级顾问任新民院士题词（**群策群力，开拓中国航天新纪元**），呈送中央政治局及李鹏总理。

10) 1991年3月15日下午2时至5时，李鹏总理听取“中国载人航天发展战略”研究结果的汇报后说：“我赞成先从飞船搞起。我们的目标是有限的，基点还是自力更生为主。”

1993年“中国载人航天发展战略（系列研究报告）”获部级科技进步一等奖。

1995年“中国载人航天发展战略——软科科学综合集成方法的实践”，获国家科技进步二等奖。

实践证明，遵照钱学森院士倡导的总体设计思想和综合集成方法取得的“中国载人航天发展战略”研究成果，集中体现了中国自然科学界和社会科学界对发展中国载人航天的认识和对对其技术途径的确认，即“面对世界载人航天的挑战和机遇，中国载人航天不可不搞，也不能大搞，飞船起步，平稳发展万无一失。盲目赶超或急于缩小差距均将陷入困境，疑虑过多以至坐视不顾，也会失掉机会和希望”。

6 认识与体会

实践证明，“中国载人航天发展战略”研究的

结论是正确的，能够取得这样的成果表明所采用的研究方法是有效、科学的。通过这项研究工作，我们体会到：

1) 综合集成方法是研究复杂巨系统的科学方法 钱学森院士 1990 年发表的“一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论”^[2]和于景元同志 1993 年发表的“从定性到定量综合集成方法及其应用”^[3]，指出了“综合集成方法是软科学研究的科学方法”。“中国载人航天发展战略”研究的实践和所取得的成果再一次证明，定性与定量相结合的综合集成方法是进行复杂巨系统决策研究的有效科学方法。

2) 重大工程立项，必需进行决策研究 在进行巨系统乃至是复杂巨系统的工程的决策过程中，应采取“定性定量相结合的综合集成方法”，为正确决策提供科学依据。

3) 综合集成方法的应用要在不断实践中前进

运用钱学森院士提出的综合集成方法研究“中国载人航天发展战略”取得的成果，为国家决策提供了科学的、符合中国国情的咨询建议。实践证明，用该方法研究得出的结论是正确的。

运用“总体设计思想”和采取综合集成方法，进行重大系统工程决策研究，在我国尚处于发展时期，但已显示出它的作用和价值。因此，有必要不断地通过实践去摸索和总结，以促进其在决策研究中发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 钱学森. 论系统工程(修订本)[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1988
- [2] 钱学森,于景元,戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志, 1990, 13(1): 3~10
- [3] 于景元. 从定性到定量综合集成方法及其应用[J]. 中国软科学, 1993, 13(5): 31~5

The Practice of Meta-synthesis

——The Research Method Summarization of “Developing Strategies of Chinese Manned Space Program”

Qian Zhenye¹, Yang Guangyao², Wei Desen³, Cheng Lingzhu⁴

(1. *China Aerospace Engineering Consultation Center, Beijing 100037, China;*

2. *China Academy of Space Technology, Beijing 100073, China;*

3. *China Academy of Space Technology, Beijing 100081, China;*

4. *International Technology and Economy Institute, Development Research Center of the State Council, Beijing 100091, China)*

[Abstract] Should China develop manned space program? How to advance this program? What are the strategies and technical approaches of the manned space program? These are typical decision making issues in soft science area which involve a lot of factors including political, economic, military, social, scientific and technical factors. This paper introduces the research on these significant issues. The research was guided by the systematic methodology “meta-syntheses from qualitative hypotheses to quantitative validation” promoted by the famous scientist Qian Xuesen. The research tried to answer the question that as a developing country why China needs to develop manned space program. And further more, it put forward suggestions on the developing strategies and the technical approaches of Chinese manned space program, of which the main point was to use the spacecraft program.

[Key words] decision-making research; meta-syntheses; spacecraft program