

# GOTChA方法在美国空天动力发展的应用研究

## Application Research on GOTChA in American Aerospace Power Development

■ 王巍巍 李茜 / 中国航发涡轮院

空天动力是实现空天一体、攻防兼备、全域打击、雷霆出击作战战略的驱动力，能够使飞行器具备全球到达、全球打击和全球机动的能力，是军事强国竞相研发的重点，是占领战略制高点的杀手锏。美国高度重视空天动力的发展，从20世纪60年代开始，先后开展了40多个科研发展计划。这些计划是基于什么目标开展的、这些计划彼此之间是如何续接的？

美国在空天动力领域的研究工作普遍采用了被称作GOTChA的方法，GOTChA是由顶层目标（goals）、分目标（objectives）、技术挑战（technical challenges）和技术途径（approaches）的首字母缩写构成。该方法最早应用在美国航空航天领域的发展规划中，由于应用效果显著，后来被美国国防部（DoD）、能源部（DoE）和国家航空航天局（NASA）等广泛应用于各种发展战略规划和技术开发计划的管理上。

### GOTChA方法基本架构

GOTChA方法的核心是顶层目标至上，所有科技活动的开展都是为了实现顶层目标，所有管理步骤都以它为中心，其架构如图1所示。分目标是从顶层目标分解下来的子目标，是实现顶层目标不可分割的组成部分。技术挑战是实现顶层目标可能遇到的困难和瓶颈问题。而实施途径则是针对这些问题，有的放矢地提出解决方法。GOTChA方法在顶层目标分解过程中是自上而下，层层

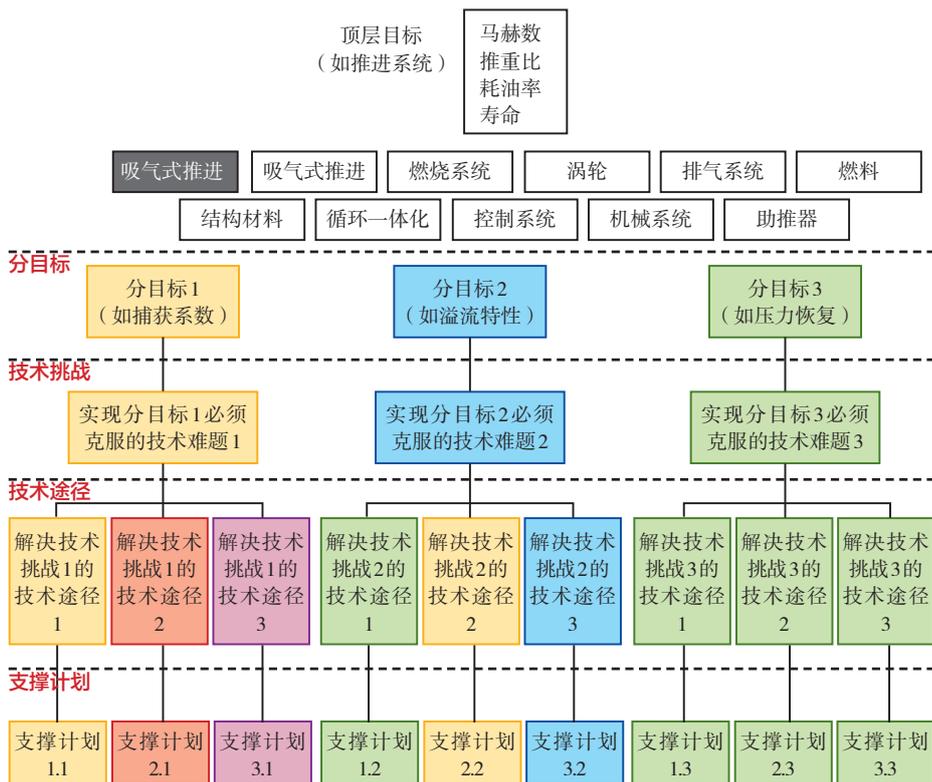


图1 GOTChA方法架构图

分解，但在具体实施过程中是自下而上，逐级实现。通过采用GOTChA方法可以把底层的科技活动与最顶层的目标紧密相连，做到目标牵引，

### 顶层目标牵引

美国从20世纪80年代至今的典型空



图2 美国在空天动力领域开展的研发计划

天计划如图2所示。这些计划按照近期、中期和远期应用目标逐步推进，层层突破，滚动式发展。通过采用

GOTChA方法的梳理，可以发现这些计划的发展脉络和实现途径，了解到长远的战略目标与当下的科研活

动的关系，进一步确认顶层目标和底层科研活动的关联性。通过采用这个方法还能够追根溯源，找到科技活动的终极目标。

美国国家综合科技发展和验证(NAI)计划是GOTChA方法应用的典型案例，如图3所示。NAI计划是由DoD和NASA联合推出的国家级大型科技发展计划，其顶层目标是“高速飞行、全球打击和空天一体”，旨在通过该计划的实施产生对美国国防安全发挥重大作用的尖端技术。为实现顶层目标，分解出3大关键领域，分别是高速高超声速(high-speed/hypersonics)<sup>[1]</sup>、进入太空(space access)和空间技术(space technology)，通过实现这3个分目标来支撑顶层目标的实现。每一个分目标的实现，又牵引出一系列子规划和关键技术项，每一个子规划都是围绕实现顶层目标需要的关键技术进行攻关。

高速高超声速飞行是在NAI计划顶层目标牵引出的子目标，在具体实施过程中，按照GOTChA方法把高速高超声速飞行作为顶层目标来牵引关键技术和梳理面临的挑战与问题。在高速飞行这个目标的牵引下，确定出高速涡轮发动机、涡轮基冲压组合(TBCC)发动机、碳氢燃料超燃冲压发动机等推进技术是实现高速飞行的关键技术。而高速涡轮发动机作为高超声速飞行顶层目标分解出的子目标，其目标的实现又通过综合高性能涡轮发动机技术(IHPTET)计划、通用经济可承受先进涡轮发动机(VAATE)计划和高速涡轮发动机验证机(HiSTED)计划等的开展来持续推动(见图4)。

通过GOTChA方法对NAI计划的

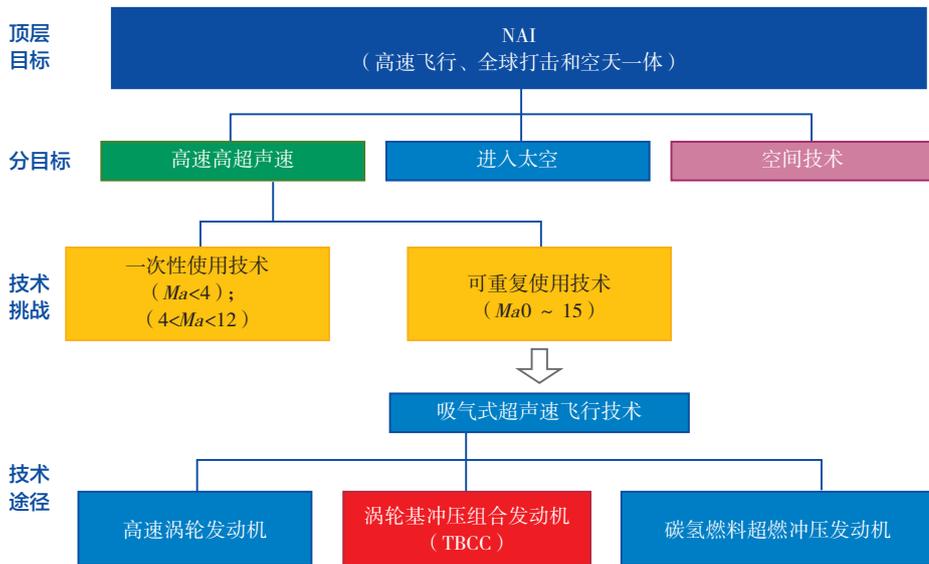


图3 GOTChA方法在NAI计划中的应用

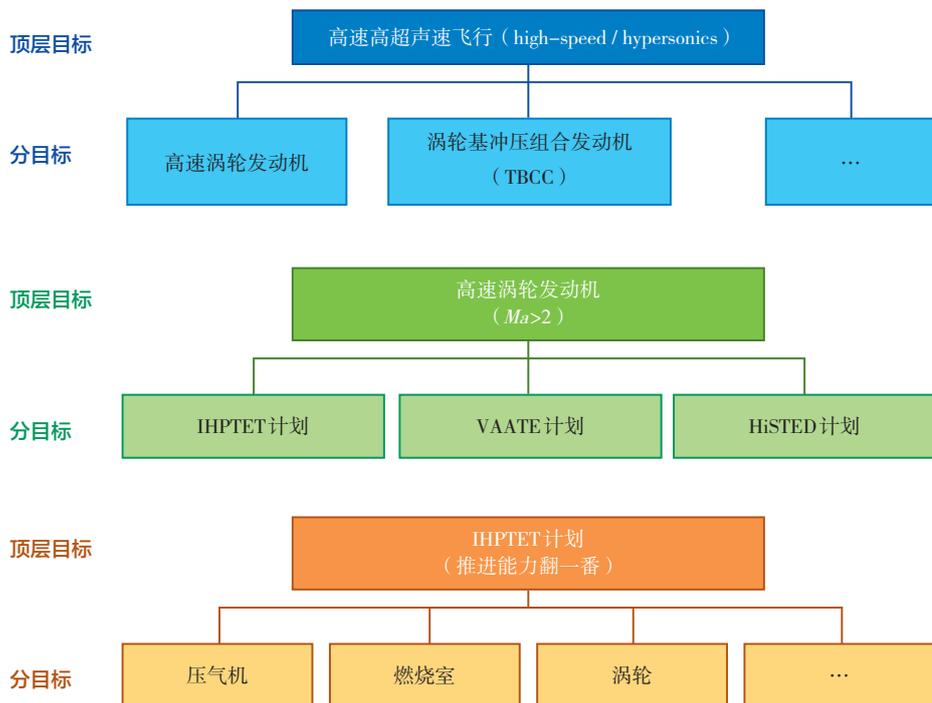


图4 GOTChA管理方法中顶层目标的牵引性示例

梳理可以看出，在顶层目标的牵引下，分解出若干个分目标，每一个分目标的实现都面临技术挑战和难点，为突破这些难点需要若干技术来实现。而每一个关键技术攻关的同时又可以按照GOTChA方法来梳理出自己的分目标，面临的技术挑战和解决问题的途径。从这种环环相扣的技术路线梳理不难看出，采用GOTChA方法管理顶层规划思路清晰、逻辑缜密，每一个分目标都是为顶层目标做贡献，每一个分目标还可以作为下一级的顶层目标来实施，层层分解落实，牵引出的每一个项目或者技术都是在为最顶层目标做贡献，都是为实现顶层目标服务。由此不难发现，美国在空天动力领域实施的众多计划都是围绕最顶层战略目标而开展的，所有的科研计划都是在顶层目标的牵引下推出的，而大型计划的顶层战略目标

则是从DoD的战略需求提取的，由军方、科研机构和企业联合制订的。

### 技术途径的选择

长期以来，美国在空天动力领域的

顶层规划都是围绕着高速飞行、全球打击和空天一体这个顶层目标来开展的，为此推出了一系列的计划，这些计划通过滚动推进、交叉开展，不断修正技术途径，最终达到顶层目标。通过采用GOTChA方法对美国空天动力领域开展的美国国家空天飞机(NASP)计划、高超声速技术(HyTech)计划和超级飞行(Hyper-X)计划等的梳理，阐释在顶层目标牵引下，技术途径是如何不断更改、修正或者补充完善的。综上所述，美国在空天领域的计划都是在顶层目标牵引下开展的，但具体实施需要自上而下分解。在分解子目标时，如果由于认知不足、基础科研技术成熟度不高、技术途径走不通，无法实现顶层目标时就需要实时地重新选择子目标，重新梳理问题，重新选择技术途径，重新确定关键技术。例如，NASP是1985年由DoD与NASA共同制订的，是在高速飞行、全球打击和空天一体的战略目标牵引下开展的，目标

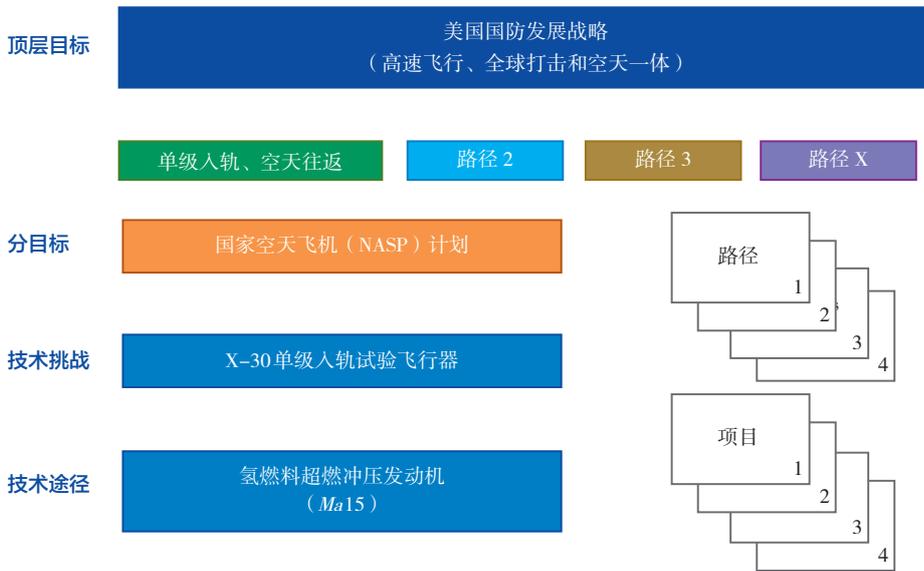


图5 GOTChA方法梳理的NASP计划

是研发马赫数 ( $Ma$ ) 15 的氢燃料超燃冲压发动机, 使 X-30 飞机实现单级入轨, 如图 5 所示。

NASP 计划在执行了大约 10 年的时间后被迫终止了, 其中最主要的原因之一是技术途径的选择不合理。当时选择的是  $Ma$  15 的碳氢燃料超燃冲压发动机, 基于当时的科技基础很难达到这么高的飞行速度。DoD 很快纠正了错误的技术路线, 在 1995 年启动了 HyTech 计划。该计划作为顶层目标的分目标, 吸取了

NASP 计划失败的教训, 把速度范围降低到  $Ma$  4 ~ 8, 动力形式也调整为碳氢燃料双模态超燃冲压发动机, 如图 6 所示。

HyTech 计划成功验证了马赫数降低后的超燃冲压发动机的可行性, 积累了丰富的地面试验数据。在该计划执行过程中, 通过开展大量地面试验认识到, 超燃冲压发动机的全面技术验证仅靠地面试验是不行的, 需要更多飞行验证, 因此在 1996 年启动了 Hyper-X。该计划推出

了 X-43A、X-43B、X-43C 和 X-43D 等 4 型飞行器, 用于对空天动力技术进行飞行验证, 如图 7 所示。在 Hyper-X 计划下, X-43A 飞行器飞行试验的成功, 标志着超燃冲压发动机技术从实验室研究阶段走向工程研制阶段。同时在该计划框架下还探索了其他动力形式, 如 TBCC 发动机和火箭基组合循环 (RBCC) 发动机, 拓宽了实现高超声速飞行的技术途径。

通过这几个案例的梳理, 可以看出每一个子计划是如何围绕顶层目标来确定技术途径的。技术途径的选择是为实现顶层目标服务的, 如果这个技术途径选择得不合理, 顶层目标就不容易实现, 因此需要不断对技术途径进行调整。但每一次的调整也不是对之前完成工作的全面否定, 而是批判性继承。像 NASP 计划虽然失败了, 但该计划在超燃冲压发动机地面试验上做了一些工作, 尤其是试验设备的建设上, 为后续的 HyTech 计划开展地面试验提供了条件。Hyper-X 是在 HyTech 计划执行过程中推出的, 是前者在推进过程中对实现顶层目标的技术途径有了更进一步的认识, 对技术途径进行了补充与完善。

通过采用 GOTChA 方法对这些计划的梳理可以看出, 美国在空天动力领域技术途径的确定不是一蹴而就的, 是不断地调整和修正的。采用 GOTChA 方法对这些计划的发展进行研究, 进一步了解到美国在空天领域开展的所有计划都是在顶层目标牵引下开展的, 都是为了推进顶层目标的实现。不论技术途径如何更迭替换, 顶层的目标却岿然不动。也就是说, 国家从战略高度确定的顶层目标不会轻易更改, 而

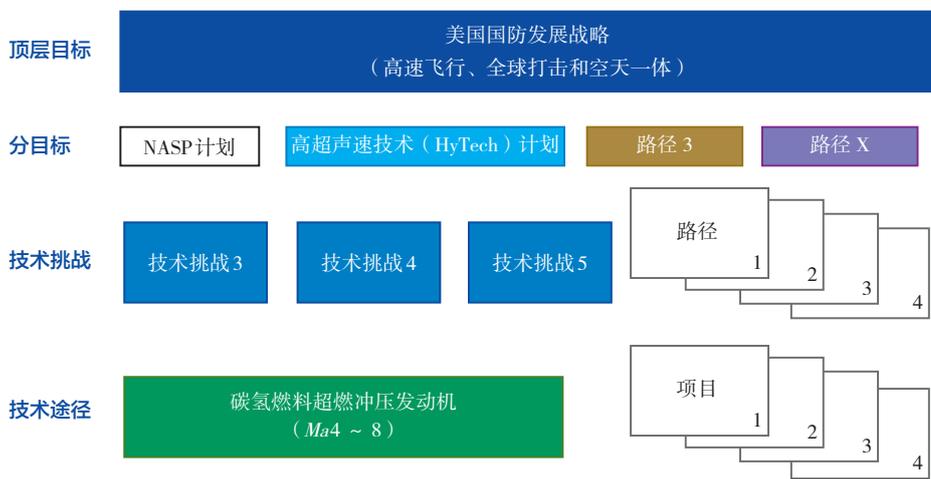


图6 GOTChA方法梳理的HyTech计划

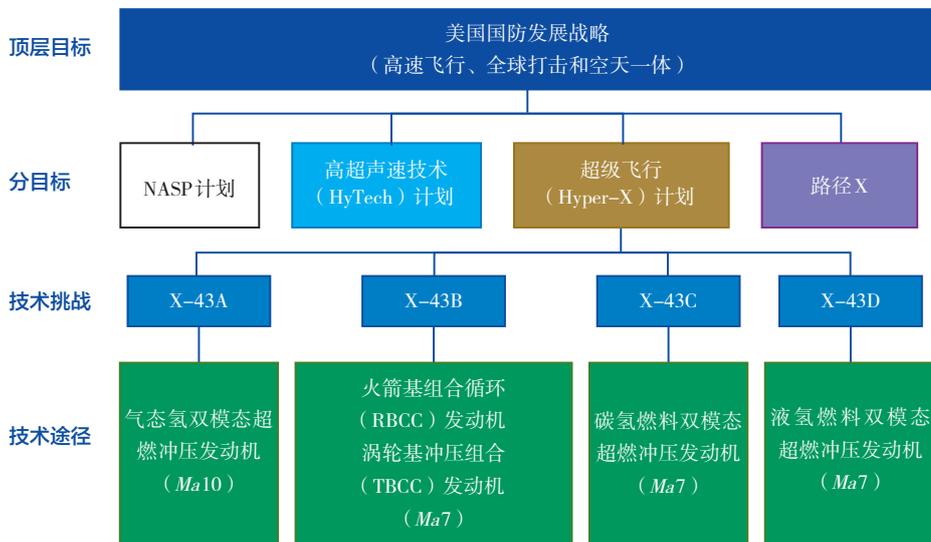


图7 GOTChA方法梳理的Hyper-X计划

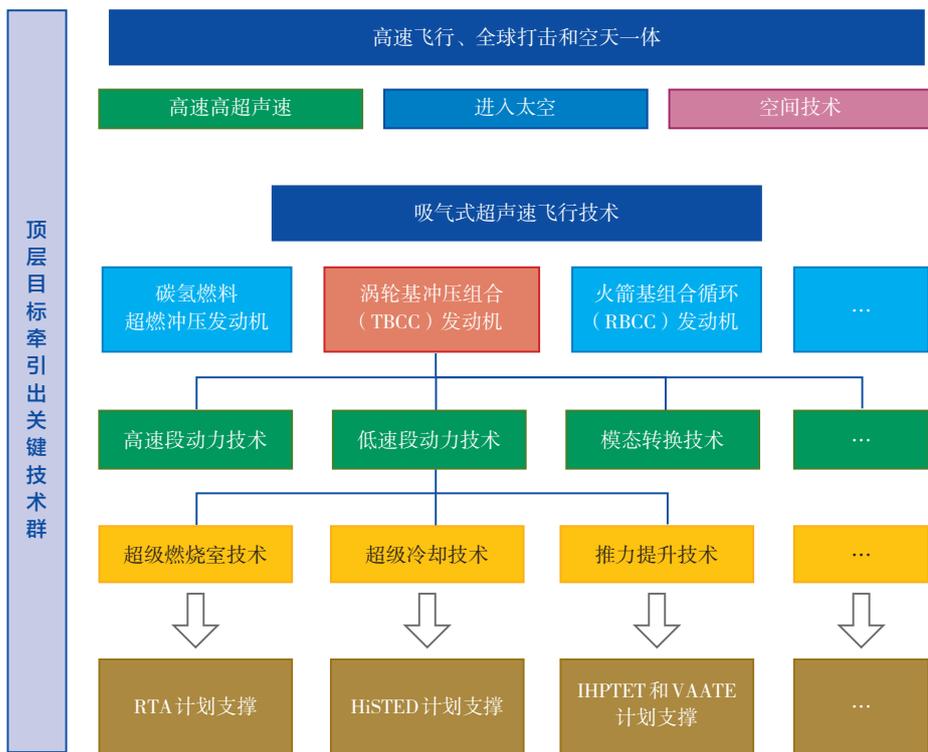


图8 关键技术识别路线图

实现的技术途径要随着基础研究和科技发展的速度不断优化选择。

### 关键技术的识别

通常在开展关键技术攻关时，很难直接把该技术与顶层目标的关系梳理清晰，而GOTChA方法则能够建立起关键技术与顶层目标的直接关系，通过该方法递进式的梳理，识别出哪些关键技术是实现顶层目标所必需的。识别关键技术需要有目标来牵引，而GOTChA方法的核心正是目标牵引，在顶层目标牵引下，分解出各个层级的目标，而每一个层级目标的实现都面临很多挑战和具体问题，这样一来，就牵引出一系列关键技术群来应对这些挑战和问题。

以TBCC发动机为例，进一步说明关键技术的识别思路。TBCC发动

机作为能够实现高超声速飞行的关键动力系统之一，支撑其发展的关键技术主要有低速段动力技术、高速段动力技术和模态转换技术等。低速段动力发展需要攻克的关键技术有超级燃烧室技术、超级冷却技术、射流预冷技术和推力提升技术等。通过采用GOTChA架构，可以看出TBCC不是作为单一的技术在发展，它是顶层规划下牵引出的关键技术群之一。TBCC技术一方面是美国国家级顶层规划核心目标牵引出的关键技术，另一方面自身的发展又牵引出一系列关键技术群。采用GOTChA这种架构能够有针对性地识别出关键技术，不攻克这些关键技术，TBCC的研制就不能向前推进，顶层目标就不能实现。图8用TBCC发动机的发展来演示关键技术的识别和技术攻关的支撑计划。

在科研实践中，关键技术的识别往往缺少牵引，也很难把关键技术的突破与顶层目标的实现建立联系，在缺少牵引的情况下确定出的关键技术可能并不是实现顶层目标所需要的，而为实现顶层目标所需要的关键技术又没有识别出来，而采用GOTChA方法来管理发展规划，通过顶层目标的牵引、分目标的梳理，技术挑战的推断，有助于识别出关键技术。

### 启示

通过GOTChA方法在美国空天动力技术领域应用的案例，清晰地看出所有的科研活动都应聚焦到核心目标上，所有的科研活动都是在顶层目标的牵引下开展，所有的研究方向都是为顶层目标服务，所有的关键技术都是围绕顶层目标梳理。而分目标的确定、技术途径的选择和关键技术的识别都与顶层目标紧密相关；由此也可以看出GOTChA方法强调系统关联，强调继承性发展，注重上下联动；每一个技术途径的选择都是基于对前序技术途径失败教训的借鉴和成功经验的继承，每一个关键技术的识别都是有的放矢，都是实现目标所必需的。目前，我国正处于“十四五”规划论证与编制的关键阶段，建议参考GOTChA方法来梳理发展思路，选择发展途径和识别关键技术。

**航空动力**

(王巍巍，中国航发涡轮院，研究员，主要从事科技情报研究)

#### 参考文献

- [1] Richman M S, Kenyon J A. High speed and hypersonic science and technology [R]. AIAA 2005-4099, 2005.