# 航天科研生产风险防控体系建设的优化路径研究

王毅鹏　李骏　陆华
上海航天电子通讯设备研究所　上海市闵行区　201908

【摘　要】航天产品科研生产具有高复杂度、不可逆及多品种小批量的典型特征，同时多型号并举的新常态使风险管控压力持续增大。现行风险防控体系以制度文件、阶段评审与事后归零为主要手段，运行中暴露出识别时序滞后、措施颗粒度偏粗及动态响应不足等结构性短板。为此，本文提出流程前置、工序锚定、数据预警与知识迭代四条优化路径，通过将识别关口前移至工艺准备阶段、管控要求嵌入工序操作、驱动基线实时更新并促成经验制度化转化，推动防控逻辑从被动响应转向主动前馈，为体系效能提升提供可操作优化路径。

【关键词】航天科研；生产风险；工序锚定；知识迭代

Research on Optimization Paths for the Construction of Risk Prevention and Control Systems in Aerospace Scientific Research and Production

Wang Yipeng　Li Jun　Lu Hua;
Shanghai Institute of Aerospace Electronic Communication Equipment, Minhang District, Shanghai　201908

【Abstract】The scientific research and production processes for aerospace products are characterized by high complexity, irreversibility, and multi-variety, small-batch production; meanwhile, the "new normal" featuring the simultaneous development of multiple product models has continuously increased the pressure associated with risk management and control. The current risk prevention and control system primarily relies on institutional documents, phased reviews, and post-event zeroing as its core mechanisms; however, its operational implementation has revealed structural shortcomings, such as delayed identification timelines, coarse-grained control measures, and insufficient dynamic response capabilities. To address these issues, this paper proposes four optimization paths: process pre-positioning, process-level anchoring, data-based early warning, and knowledge iteration. By shifting the identification stage forward to the process preparation phase, embedding control requirements directly into process operations, driving real-time updates to baseline parameters, and facilitating the institutionalization of accumulated experience, this approach promotes a transition in the risk prevention and control logic from passive response to proactive feedforward, thereby providing actionable optimization pathways for enhancing the overall effectiveness of the system.

【Key words】aerospace research; production risk; process anchoring; knowledge iteration

航天型号任务日益呈现出多型号并行、高强度交付与技术状态快速更迭的新常态，科研生产节奏的加快使得传统以阶段评审和质量管理体系为载体的风险防控模式面临越来越突出的适应性问题[1-2]。尽管现行体系在制度架构上日臻完善，程序文件和评审节点覆盖了从设计输入到出厂放行的主要管理环节，但生产一线仍然普遍感受到“体系运转了、风险照旧出”的实践困惑，说明体系的形式完备性与实质有效性之间尚存在较大落差[3-4]。这一差距的存在不仅影响型号任务的顺利推进，更关乎航天产品高可靠要求的根本底线。本文将在系统分析体系运行特征与结构性短板的基础上，提出有针对性的优化路径，以期为航天科研生产单位构建更加贴近生产实际的风险防控体系提供理论参考和实践指导。

## 一、航天产品科研生产风险防控体系现状及特征

### （一）现行体系的基本架构

航天产品科研生产风险防控体系在现行组织框架下主要以质量管理体系的子要素形态存在，其制度载体由质量手册、程序文件和作业指导书三个层级构成。风险识别清单、阶段风险评审和归零报告构成了主要的制度性工具，分别对应风险的事前辨识、事中审查和事后处置三个管理环节[5]。在组织层面，风险管理职能归口于质量管理部门，型号项目团队承担具体的执行填报与措施落实责任，设计、工艺、生产等部门则以配合角色参与风险分析与评审工作。流程维度的运行逻辑体现为一条清晰的主线，即年度策划确定年度风险工作方向，阶段识别在型号研制各节点输出风险清单，节点评审对风险状态进行集中审查，问题归零则在风险实际演化成质量问题后启动追溯与纠正程序。这一流程在型号研制启动、转阶段、出厂放行、发射场等关键管理节点设置风险审查环节，形成按阶段推进、按节点审查的基本运转方式。三个维度的制度安排、组织分工与流程设计（如图 1 所示）共同构成了现行体系的基本运行框架。

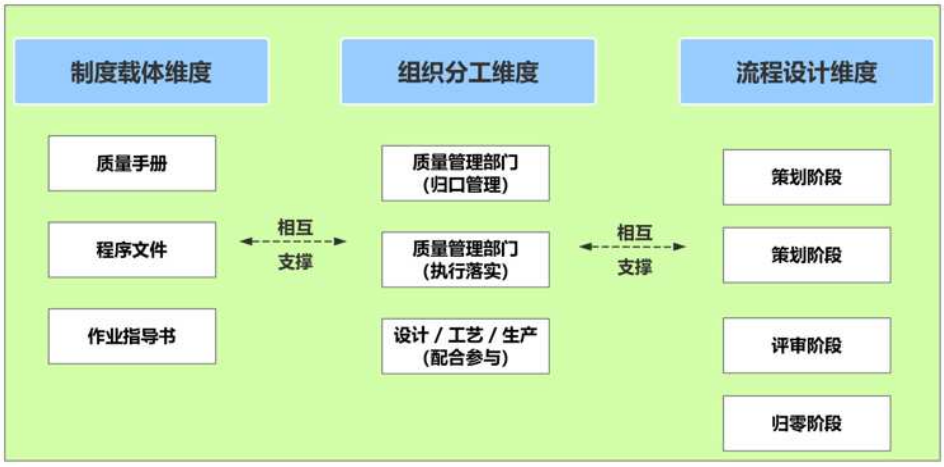



图 1　航天科研生产风险防控体系基本架构图

**（二）科研生产流程中的风险传导**

航天产品的生产流程由设计输出、工艺转化、零件加工、部装、总装、测试等环节串联而成，风险沿此链条呈现出从生成到放大的传导规律。在设计向工艺传递的维度上，设计阶段确定的技术参数、材料选用和公差分配等决策构成了下游生产的输入条件，这些决策在工艺转化阶段面临加工能力、检测手段和工艺稳定性等方面的现实约束，设计余量一旦偏紧，约束条件即直接转化为生产现场需要面对的实操风险，这种传递具有上游决策定基调、下游执行承压力的单向特征。在工序间耦合的维度上，多工序串联作业意味着前序加工产生的尺寸偏差、材料状态变化和残余应力分布等因素会改变后续工序的工艺输入条件，单一工序内看似微小的偏离经过多道工序的逐次叠加后，往往在总装阶段被急剧放大，这正是航天产品“小偏差、大后果”特征的工程根源。在时间维度的累积上，长周期生产中早期工序隐含的质量隐患经过数月甚至数年的逐站传递，常常延迟到最终系统测试阶段才暴露为归零事件，而此时返工所涉及的资源调度难度和进度压缩压力已使纠偏窗口极度收窄，风险呈现出清晰的“潜伏、累积、爆发”时间模式。三个维度共同揭示了风险沿生产链路的运动规律。

**（三）现行防控体系的实际运行效果**

从运行效果来看，现行体系在规范化管理方面建立了基本秩序，这一判断需要从正反两面加以审视。在有效区间内，体系使大多数已知且可预见的风险得到了程序性管控，做到了问题发生后能够快速定位原因、界定责任并完成归零，基本实现了“出错能查、查清能改”的底线保障功能。然而体系在以下三个可观察的现象中暴露出了明显的局限。第一，风险识别清单的内容偏于宏观层面，与具体工序操作之间存在较大的解释距离，一线人员拿到清单后难以将其要求直接转化为操作台上的具体约束。第二，阶段评审所依据的生产信息在会议召开时已经滞后于生产现场的实际变化，而评审通过后的数月内新浮现的风险缺少纳入管控的正式通道。第三，大量归零经验未能有效转化为后续型号的前置防控措施，同类问题在不同型号上重复发生的现象仍时有出现。上述现象指向一个深层追问：一个架构完整、程序规范的体系，为什么仍然难以做到防患于未然。这正是下一章需要深入诊断的核心命题。

## 二、体系运行的结构性短板

**（一）风险识别节点设置滞后**

航天产品在生产推进过程中持续面临新的不确定性因素。设计余量是否充裕只有到加工阶段才能获得验证，工艺窗口的合理性只有通过试切才能确认，外协件的质量水平也只有入厂复验之后才能得到实测数据。这些事实表明，风险并非在某一个特定时间点突然生成，而是随着每一道工序的推进持续显现出来的。然而现行体系的风险识别动作主要设置在转阶段评审和出厂评审等管理里程碑处，两次评审之间往往间隔数月，其间持续生成的风险信息始终未被纳入系统视野。这就构成了一组根本性的时序错位，风险的生成具有连续性和伴随性特征，而体系的风险识别却遵循着离散的管理周期节奏。大量风险在产品已完成加工甚至总装集成后才被正式确认，此时的识别在功能上已经退化为事后确认，失去了在风险演化为质量问题之前进行干预的制度能力。

**（二）防控措施与工序操作脱节**

识别节点的滞后已经使大量风险错过了最佳干预窗口，而即便在识别之后所生成的防控措施，其形式特征与工序操作的实际执行方式之间也存在显著的结构性失配。现行体系输出的控制措施通常以加强过程控制、严格检验把关、关注接口匹配等管理性表述呈现在阶段风险清单或评审结论之中，这类表述的抽象性决定了其必须经历二次转化才能嵌入操作规程的具体条款。航天产品的工序繁多、操作链条长，

工艺文件的编制与风险识别活动分属不同环节、由不同人员完成，抽象的管理要求缺乏逐工序、逐工步的分解与转化机制，到达操作层面时已经失去了可执行性和刚性约束力。防控措施的落地效果因此严重依赖于一线班组长和质量检验员的个人经验与判断能力，同一份风险清单在不同班组和不同操作者手中的执行程度差异显著，整个体系缺少一条不依赖个体认知的标准化传递通道。

**（三）体系更新滞后于状态变化**

防控措施与操作层面的脱节在一定程度上暴露了体系自身的刚性与封闭性特征，这一特征在生产状态持续变化的环境中表现得尤为突出。航天产品科研生产过程中的技术状态更改十分频繁，设计优化、外协件替代、工艺参数调整和工装设备更新等各类变化贯穿整个生产周期，每一次变化都意味着原有风险基线所依据的假设条件发生了实质性的偏移。风险防控体系的基线却是在型号启动时或年度策划时一次性确定下来的，后续体系文件的修订以年度为周期单位，其更新频率远慢于生产现场状态变化的实际节奏。当基线建立时所识别的初始风险已经随状态变化发生转移、衰减或升级之后，体系缺乏相应的刷新机制来保持防控清单与生产实际之间的动态匹配。防控依据与防控对象之间因此存在着持续的滞后性偏差，这一偏差随生产周期的延长而不断累积，体系对风险的判断逐渐偏离现场的实际情况。

**（四）防控信息传递链条过长**

体系更新滞后的深层原因在于风险信息从产生到反馈所经过的组织链路过于漫长，这一问题同时构成了前三项短板的共同底层因素。风险信号从生产现场的操作工人和检验人员出发，须依次经由班组长、车间技术组、型号质量师、质量管理部门直至型号管理层，防控决策形成后再沿同一路径反向传回操作岗位。沿这一链路发生的不仅是时间上的延迟，更有信息本身的衰减与过滤，那些级别较低但具有预警价值的过程信号，例如某尺寸参数连续多件偏向上差、某工序合格率出现季度性波动，在逐级汇总和逐层过滤中往往被舍弃或平滑化处理，最终无法抵达决策层面触发任何响应。当防控决策终于形成之后，措施指令沿同一链路逐级传回现场，组织层级越多、接口越复杂，传递周期越长，而多数风险所允许的容忍时限远远短于这一闭环周期。长链路不仅妨碍了风险的实时响应，也阻塞了归零经验向组织能力的转化通道，

## 三、体系优化的实施路径

**（一）流程前置路径**

针对风险识别节点滞后这一结构性问题，优化路径的切入点在于将风险识别的起始时刻从阶段评审处前移至工艺准备阶段。在工艺总方案编制和关键工序工艺规程制定的环节并行开展风险识别工作，要求设计输出转化为工艺输入的过程中同步完成可制造性风险、检测覆盖性风险和操作可达性风险的逐项排查，风险识别结论作为工艺文件审签的必要输入文件之一，未经风险识别审查的工艺规程不得下发执行。这一前移操作改变了先编工艺、后查风险的既有顺序，使风险暴露的时刻从总装测试阶段提前到生产启动之前，为后续各道工序中防控措施的布置预留出充分的响应空间。该路径的组织前提在于破除设计与工艺之间的信息壁垒，需要建立设计、工艺、生产三方联合的风险审查机制，确保前移后的识别工作在设计约束与工艺可行性之间获得充分的交叉验证。

**（二）工序锚定路径**

识别时机的向前迁移解决了风险被发现的时间窗口问题，但识别所输出的防控措施能否转化为操作层面的有效约束，仍需第二条路径加以保障。 工序锚定的思路是将经过工艺审查确认的风险消减措施逐项嵌入每道工序的操作卡片，使其转化为操作流程中不可绕行的约束条件。具体方式为针对每道关键工序编制风险确认与操作执行的双栏式作业指导书，左栏列出该工序启动前须排除的前置风险项及其判定标准，右栏列出在对应条件满足后方可执行的操作要点与参数范围。操作人员在启动本工序前须逐项核验左栏所列风险项已经消减并签字确认，经此确认后方可进入操作环节。这种锚定方式将风险防控的判断权限从管理和检验岗位前置到操作岗位，同时通过签字确认形成可追溯的执行证据链。经过锚定的防控措施获得了与工艺规程同等的刚性约束力，无需依赖额外的管理环节来监督其执行状态。

**（三）数据预警路径**

前两条路径解决了风险防控在识别时机和执行锚点上的定位问题， 而体系自身的更新频率如何与生产现场的变化速率保持同步，则需要引入数据驱动的预警机制。该路径以实时生产数据取代以年度或阶段为周期的静态基线模式。选取关键工序中的可量化过程参数作为监测对象，涵盖尺寸检测值、力矩施拧值、温度曲线特征值和电性能测试关键指标等类型，基于历史数据的统计分布设定正常波动区间和预警阈值。当某参数连续逼近预警阈值或单次触及红线时，系统自动触发风险提示并锁定后续作业，直至技术复核完成方可解除锁定。这一机制将风险状态的判断依据从人员的定期检查和经验评估转变为系统对生产数据的持续监测与客观判定，预警的触发不再依赖评审会议的召开周期，而完全由生产数据本身的实时状态驱动。预警机制同时构成了体系更新的触发器，当某参数反复进入黄区时，系统将该工序标记为需要修订防控清单的信号，使体系更新获得与状态变化同步的响应能力。

### （四）知识迭代路径

数据预警机制实现了对当前状态变化的实时感知，但历次归零事件中积累的经验教训如何转化为组织层面的持续改进能力，仍需知识迭代路径来完成这一转化。 该路径的思路是在组织层面建立归零信息向防控基线快速转化的标准化通道。具体运作包含两个环节。第一个环节是归零经验的结构化提炼，每次技术归零和管理归零完成后，由归零责任人在归零报告中专门撰写防控规则修订建议附录，将根本原因和纠正措施剥离具体型号背景之后表达为可用于其他型号风险识别清单的通用风险项和可用于工艺文件的可检查项，经技术委员会审议通过后纳入体系基线并同步更新相关工序的防控确认项。第二个环节是防控措施有效性的追溯评价，建立年度回溯机制对已纳入基线的防控措施在后续生产中的实际效用进行核实，将经验证无效的措施淘汰、有效的措施固化、失效的措施重新纳入分析流程。这一迭代机制使知识反馈不再依赖个人经验和非正式的信息传递，而是通过制度化的转化通道融入体系的持续演进过程，从根本上缩短组织层面的信息闭环周期。

## 四、优化路径的实施保障

### （一）数据采集基础改造

数据预警路径的有效运行以生产现场具备关键参数的自动采集与联网传输能力为前提。对于当前仍依赖人工记录和纸质传递的工序环节，须先行完成检测设备的数字化改造或补充便携式数据采集终端，确保预警机制所需的数据源完整到位。各工序检测数据同时须具备统一的格式规范和接口标准，以避免因数据格式不兼容而导致预警系统无法跨工序进行关联分析。此项改造的投入成本和时间周期因各产线现有数字化水平而异，是四条优化路径中物质条件依赖程度最高的一项。

### （二）岗位职责与考核适配

数据采集解决了硬件层面的基础条件问题，而流程前置、工序锚定和知识迭代三条路径的有效运转还依赖于人员行为层面的激励保障。流程前置要求设计人员与工艺人员在方案阶段投入额外的分析工作，知识迭代要求归零责任人承担超出归零报告文本本身的转化劳动，这些行为在现行考核体系中缺乏对应的激励条目。需要将风险识别及时性、防控确认项执行率和归零知识转化贡献度等指标纳入相关技术岗位的绩效考核维度，使防控投入从分外事务转变为分内职责。考核指标的设置须着重考察有效识别和真实执行的实际成效，而非填报数量，防止新的形式主义倾向抵消优化措施的实际效果。

### （三）制度流程配套修订

人员考核解决了行为激励问题，而四条优化路径所提出的新操作流程还需要以正式的制度文件加以固化，方能获得持续执行的制度刚性。双栏式作业指导书的编制规范、预警触发后的锁定与复核程序、归零规则提炼与基线更新流程等操作，均需以正式的程序文件或管理办法予以明确，在组织层面完成相应制度文件的新增或修订，清晰界定各环节的责任主体、流转路径和时间要求，防止优化举措因缺乏制度依据而沦为个别型号的自选动作或短期行为。配套修订的核心原则是融入而非叠加，即优化后的流程应替代旧有流程而非在旧流程之外增设环节，避免增加一线操作人员的额外负担。

## 五、结语

本研究围绕航天科研生产风险防控体系的实际运行困境，诊断出识别滞后、措施脱节、更新迟滞与链路过长四项结构性短板，并据此提出流程前置、工序锚定、数据预警与知识迭代四条互锁递进的优化路径，核心在于将风险防控的起点从阶段评审前移至工艺准备、将防控要求刚性嵌入每道工序操作、以实时数据驱动体系动态更新并以制度化通道实现归零经验持续转化。该优化框架对同类复杂装备研制生产具有推广价值，后续工作建议聚焦于数据采集基础设施的改造落地、考核指标的科学量化及制度流程的配套修订，并进一步探索数字化手段在风险预警与知识管理中的深度应用。

**参考文献**

[1]杨阳.传统航天企业发展商业航天的规章制度体系建设与实践研究[J].航天工业管理,2026(5):48-50.

[4]唐自新,许哲,李大明,周轶丁,胡成威,王耀兵.基于管理熵理论的航天复杂新研产品研制风险控制管理[J].项目管理技术,2022,20(4):95-100

[3]张亮,石欣亚,刘召军,万越,李苗伟.面向航天工程的组织级风险管理机制构建与实施[J].航天工业管理,2025(1):51-55

[4]刘元,李琦,张晖,连宇,任静.基于管理剖面分析办法的航天器风险管控实践[J].航天工业管理,2021(10):51-58

[5]赵鹏飞,杨庆功,张华.基于风险识别的供应链全过程管控模式构建[J].国际航空航天科学,2022,10(3):75-81

作者简介：王毅鹏（1979.10-），男，汉族，籍贯：河北丰润，学历：本科，职称：中级工程师，研究方向：型号管理。