

航天测控任务不合格概念内涵界定、控制需求分析及实施要点

谢静怡^{1,2}, 章磊¹, 张琛²

¹空军工程大学装备管理与无人机工程学院, 陕西 西安

²中国西安卫星测控中心, 陕西 西安

收稿日期: 2025年3月26日; 录用日期: 2025年6月3日; 发布日期: 2025年6月10日

摘 要

针对当前我国航天发射和测控任务具有高密度、高价值、高风险等现实特点, 为有效评估并促进提升航天测控任务实施质量, 本文界定了航天测控任务不合格的相关概念及相互关系, 分析了不合格控制需求, 针对性总结提炼出航天测控任务不合格控制的实施要点, 对其它业务系统任务执行过程的不合格控制提供了参考借鉴。

关键词

航天测控任务, 不合格, 实施要点

Definition of Nonconformity, Analysis of Control Requirements and Key Points of Implementation in Space TT&C Missions

Jingyi Xie^{1,2}, Lei Zhang¹, Chen Zhang²

¹College of Equipment Management and UAV Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi

²China's Xi'an Satellite Control Center, Xi'an Shaanxi

Received: Mar. 26th, 2025; accepted: Jun. 3rd, 2025; published: Jun. 10th, 2025

Abstract

Aiming at the high density, high value, high risk and other realistic characteristics of China's current space launch and space TT&C missions, this paper defines the relevant concepts and interrelationships of unqualified space TT&C missions, and analyzes the requirements for unqualified control,

文章引用: 谢静怡, 章磊, 张琛. 航天测控任务不合格概念内涵界定、控制需求分析及实施要点[J]. 国际航空航天科学, 2025, 13(2): 23-29. DOI: 10.12677/jast.2025.132003

in order to effectively evaluate and promote the implementation quality of space TT&C missions. This paper summarizes and refines the key points of nonconformity control in space TT&C missions, and provides a reference for nonconformity control in other business systems.

Keywords

Space TT&C Missions, Nonconformity, Implementation Points

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

航天强国借助发射、测控和应用航天器,开启进出太空、利用太空之门。航天测控任务意义非凡,具备社会影响大、投入资源多、实施周期长[1]、风险等级高、相关方众多等显著特征,其实施成效对于确保航天器安全,支持太空科学实验和探索,推动航天事业蓬勃发展均起到至关重要的作用。近年来,我国航天器数量井喷式增长,技术状态错综复杂,测控体制多元融合,应用领域交互渗透,航天测控任务执行标准愈发严苛,任一阶段任一环节发生一点错误,都可能引发全局性、系统性问题,从而影响任务成败[2],容不得丝毫闪失。然而,在实践过程中,长期缺乏衡量与优化航天测控任务的有效策略。鉴于此,引入质量管理体系中的不合格概念,通过界定航天测控任务不合格内涵,深度分析控制需求,并结合实践归纳实施要点,力求为航天测控任务执行分析筑牢方法根基。

2. 概念内涵

从当前实践和理论研究来看,关于航天测控不合格还没有明确的定义,而清晰界定其内涵外延也是当前开展需求分析和控制的重要前提。为此,通过分析航天测控任务质量管控特点,对现有概念进行辨析,进而提出航天测控任务不合格的定义和内涵特征,厘清与有关概念之间的相互关系。

2.1. 任务质量管控特点

航天测控任务质量管控具有阶段性、继承性和实时性三大特点。阶段性体现为任务划分为准备、实施、总结三阶段,通过文件审查、双岗操作、事后评估等节点控制措施,任务阶段内各环节紧密关联,上一环节输出质量直接影响下一环节启动执行情况[3]。继承性源于测控流程的稳定性,通过基线比对和既往经验复用,重点管控技术状态变化点以保证数据传输可靠性。实时性则要求测控信息自动化处理与即时分发,强调异常问题的快速处置和时效约束,因信息不可撤回且超时可能影响航天器安全,需在服务输出的同时,明确不合格判定标准及应急原则,确保任务全程质量可控。三者协同支撑测控信息服务的正确性与航天器运行安全。

2.2. 现有概念辨析

现行标准中,“不合格”“缺陷”“质量问题”等概念在满足要求层面存在模糊地带与交叉重叠[4][5]。航天产品管理惯常将“不合格”聚焦于“不合格品”管控,把产品交付前后顾客不满情形统称为“质量问题”,致使二者界限混淆。航天测控提供的是测控信息服务,而非实体产品,当前缺乏统一标准界定相关概念,阻碍各方达成共识,不利于质量管控工作开展。同时,航天测控常将任务实施中不满足要

求的情形统称为“质量问题”，GJB/Z 194-2021《装备质量问题归零实施指南》要求“当产品和服务发生严重、重大质量问题时，组织应实施问题的技术归零和管理归零”[6]，但从各类质量问题的定义来看，该标准对于哪些质量问题需执行“双五”归零未予以明确[7]，任务实施全过程的低层次、重复性、人为责任质量问题[8]，若一概而论要求质量问题归零，必然导致成本飙升。因此，理清航天测控任务不合格与质量问题等概念的关联关系，精准界定控制范围迫在眉睫。

2.3. 概念界定

2.3.1. 内涵特征

航天测控任务核心在于对外提供运载火箭、航天器的精准测控信息及资源调度服务，任务合格与否取决于是否达标完成既定指标。与之适配，航天测控任务不合格的内涵特征聚焦为：测量控制准确、信息提供及时、数据传输完整、各方用户满意。详见表 1。

Table 1. The connotation and characteristics of unqualified space TT&C mission
表 1. 航天测控任务不合格的内涵特征

特征要素	内涵概念
测量控制准确	是航天测控信息服务提供的核心标准，即航天器进出空间、在轨运行过程中，测控系统对运载火箭、航天器等的位置计算、状态测量、指令上注等均无差错，满足任务文件要求。
信息提供及时	在任务输入规定的时限要求范围内，尽可能在最短时间内向用户发送测控信息，保证用户第一时间掌握航天器状态，并为可能出现的异常情况争取分析处置时间。
数据传输完整	航天测控设备接收航天器信息完整，全系统通信链路畅通，保证航天测控信息由接收信息的设备端完整传输至使用信息的用户端。
各方顾客满意	是航天测控信息服务效果的最终评价标准，即任务下达单位、用户等顾客对于航天测控信息服务的满意程度良好，无投诉及不良情况反馈。

从航天工程的本质需求看，测量控制精准是基石。航天器飞行全程状况复杂多变，只有测控系统对火箭、航天器的位置、状态监测精准且指令传输无误，严格遵循任务文件规范，才能确保飞行轨道的精准校正、关键动作的准确执行，为整个航天任务筑牢安全根基，避免因微小偏差引发灾难性后果。信息提供及时同样不可或缺，在瞬息万变的太空环境下，规定时限内快速投递测控信息，能第一时间察觉异常、迅速决策，及时抢占异常处置先机，将潜在风险扼杀在萌芽，即使发生问题，也能够有效控制影响域。数据传输完整是信息流通的保障，测控设备接收与传输信息若有缺失，犹如链条断裂，会导致关键数据遗漏，影响对航天器状态的全面判断，维持链路畅通无阻才能保证信息的连贯性与完整性，为后续分析、决策提供坚实依据。而各方用户满意作为终极评判标尺，涵盖任务下达单位、航天器用户单位等多方视角，航天测控任务最终是服务于各方需求，杜绝投诉与负面反馈能够促使任务团队不断优化流程、提升技术，形成良性循环，全方位推动任务向更高水平迈进。因此，航天测控任务不合格即航天测控任务提供的信息服务未达到测量控制准确、信息提供及时、数据传输完整、各方顾客满意其中任意一项或多项指标要求。

2.3.2. 有关概念及相互关系

缺陷错误指航天测控任务准备阶段发生的，经过及时纠正且未造成测控任务不合格的情况。通常采取立即纠正予以处置。

质量问题指航天测控任务准备阶段发生的，未及时纠正造成测控任务不合格的情况，及任务实施阶段发生的，直接造成测控任务不合格的情况。通常划分为重大质量问题、严重质量问题、一般质量问题

和轻微质量问题四个等级,采取纠正、归零、举一反三予以处置。

当任务准备阶段发生缺陷错误后未有效纠正整改时,可能导致质量问题的发生,当发生轻微、一般质量问题未有效纠正整改扩大至严重、重大质量问题或发生严重、重大质量问题时,将导致航天测控任务不合格。

风险是指某种特定的危险事件、事故或意外事件发生的可能性与其产生的后果的组合,是不确定性对于目标达成结果的影响。基于风险的思维不仅是 GJB 9001C-2017《质量管理体系要求》[9]的核心要求,更是预防航天测控任务产生不合格、管理导致不合格产生原因的重要手段。当风险识别防控失效时,可能导致缺陷错误、质量问题发生,进而造成航天测控任务不合格,相互关系如图 1。

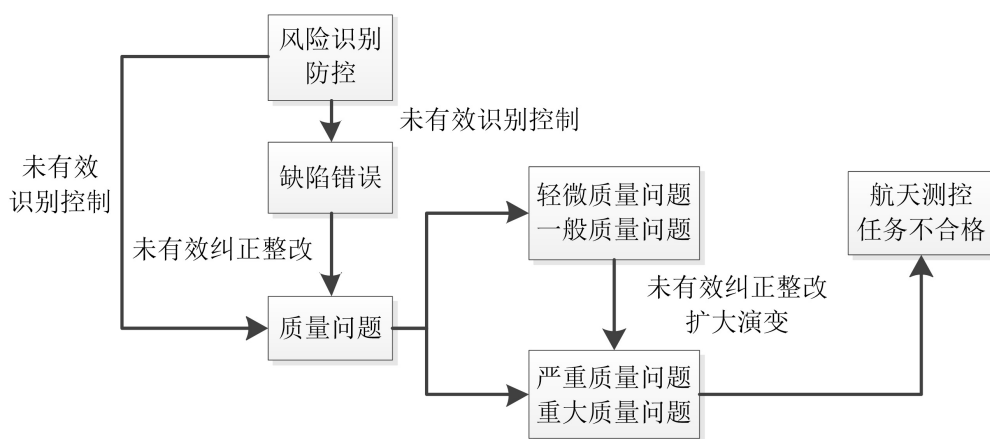


Figure 1. Relationship diagram among unqualified aerospace measurement and control tasks, defects and errors, quality issues, and risk identification and prevention and control

图 1. 航天测控任务不合格与缺陷错误、质量问题、风险识别防控关系图

3. 控制需求分析

按照前文对航天测控任务不合格概念的界定及内涵分析,开展相应质量管理活动前,应结合实际情况分析当前不合格控制的现实需求,确保控制实施的针对性和有效性。

3.1. 任务形势变化带来控制范围扩展需求

当前航天测控装备设计院所、测控体制、工作接口多种多样,从生产设计源头上带来的装备日常使用、维护保养、隐患排查、故障处置等工作难度增大,任务执行前的隐患管控、问题归零的跟踪管理等对航天测控任务能否持续顺利执行起到至关重要的影响。目前 GB/T 29076-2021《航天产品质量问题归零实施要求》、GJB/Z194《装备质量问题归零实施指南》等标准,已对航天产品、装备质量问题的归零原则、归零通用要求、归零程序等内容进行了明确,同时对归零过程中的常见误区进行了更正解读。但作为航天产品研制生产的用户,同时又是测控服务的供方,航天测控任务不合格控制范围不能局限于自身质量问题的处置、归零管理,还应向任务实施全流程及影响任务实施的上下游拓展延伸。

3.2. 情况报送被动带来信息采集自动化需求

开展不合格控制的目的是,通过对不合格情况信息的收集、统计、分析,提炼出发生不合格的共性特点和原因,便于提前防范应对以避免同样不合格情况的再次发生。因此,不合格情况信息获取的全面性、准确性、时效性,是开展不合格控制的数据基础。但经调查了解,目前多数单位对于不合格发生后的处理存在一刀切、从重处理、甚至层层加码等情况,虽然起到了较强的惩戒警示作用,但直接给一线

造成决不能出现一点问题的错误认识，一线发现问题后，第一时间不是主动及时上报，而是尽量内部消化解决，不仅不利于不合格的数据采集，还有可能误判不合格影响域，从而延误处置时机。因此，需要重点规范不合格情况报送的原则要求，并采取技术手段予以监控。

3.3. 质量意识片面带来文化生态构建需求

近年来，在质量管理体系的迭代优化、有效运行下，航天测控任务参试人员质量意识普遍得到提升，因人为出错、有制度不落实等导致的质量问题数量基本为零。但部分人员仍存在“质量问题归零是为了处理人”的片面认识，问题定位不在自身就认为不应归零或消极对待归零工作，致使因报告不及时延误问题处置时机甚至扩大问题影响范围、机理原理掌握不深不透影响问题自主排查处置等情况略有增加，全员参与质量、抓质量工作仍需外部定期督促，积极性还有待提升。因此，需在原有不合格控制要求重在树牢质量问题敬畏意识的基础上，突出培塑个人能力恐慌，增加正面激励，进一步强化人员刀口向内看待问题、主动发现问题、解决问题的意识。

4. 控制实施要点

为适应航天测控任务特点及不合格控制现实需求，需构建覆盖任务全流程、全要素的不合格控制体系，重点围绕分级管控、基线迭代、实时响应、数据驱动等方面优化实施路径，确保测控信息服务高可靠、零中断。控制实施流程详见图 2。

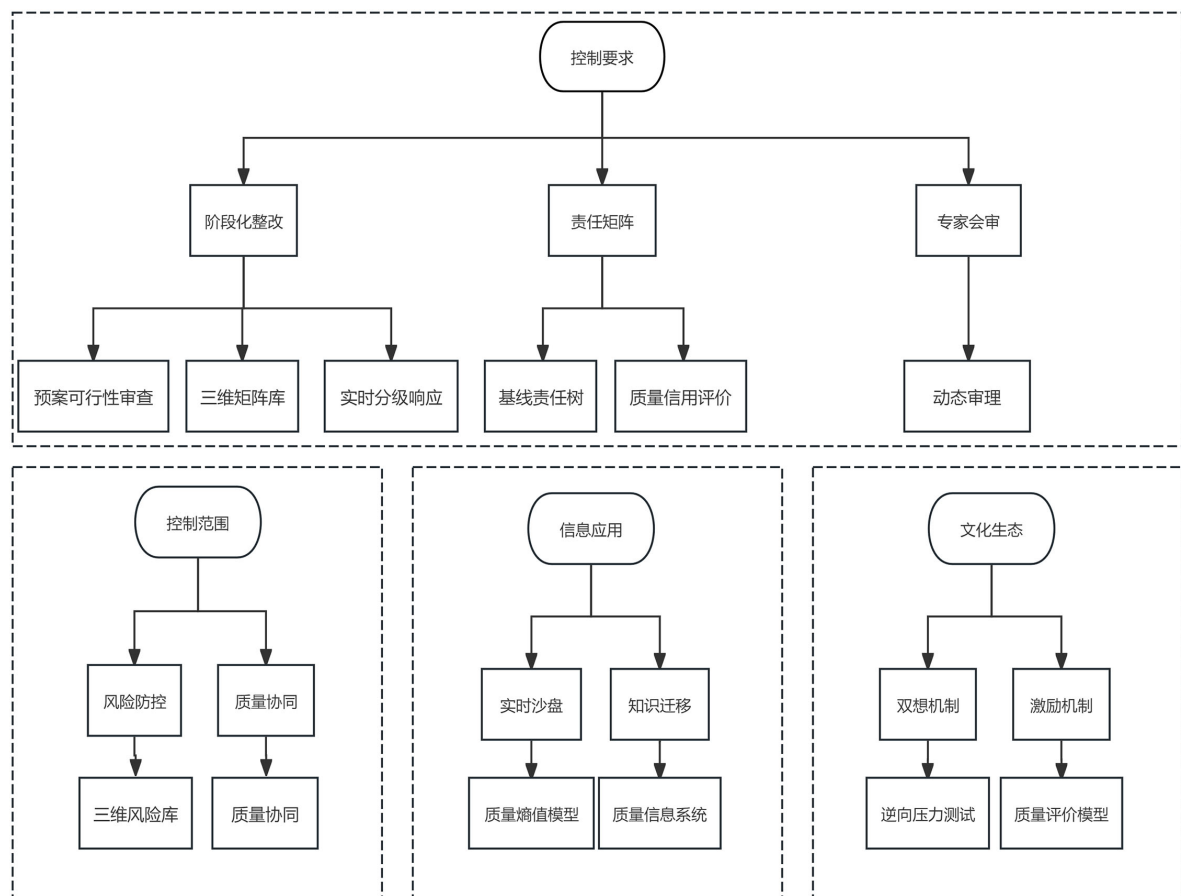


Figure 2. Space TT&C mission unqualified control implementation flow chart
图 2. 航天测控任务不合格控制实施流程图

4.1. 控制要求：分层适配任务阶段与技术基线

4.1.1. 阶段化开展分级整改

基于任务阶段动态调整控制标准。任务准备阶段聚焦预案可行性审查，强制“双归零”预演，针对测控系统与火箭、卫星的接口协议等内容开展全要素仿真验证。任务实施阶段建立实时性分级响应机制，将不合格分为“硬时限失效、软时限降级”两类，前者触发自动化应急切换，后者启动在线参数重构，优先确保信息流连续。任务总结阶段建立“问题-措施-验证”三维矩阵库，深挖管理归因，完成基线更新。

4.1.2. 责任矩阵绑定技术状态

构建基线责任树，按照测控设备、通信链路、软件系统等基线划分技术状态管控责任域，明确总体单位对技术状态变更的归口管理责任，设备研制方对历史问题复现的连带责任，任务执行方对实时操作规范的直接责任。推行历史问题连带责任制，当某型设备发生重复性质量问题时，除任务执行方责任外，需追溯设备研制方是否在出厂测试中遗漏关键环节，并将其纳入供应商质量信用评价体系，形成跨阶段责任追溯链条。

4.1.3. 专家会审嵌入任务节点

由总体、软件、设备、通信等领域专家组成动态审理组，在任务准备实施的关键节点，依据实时影响域模型判定不合格等级，同步触发处置链路。例如在发射窗口确认节点，由轨道动力学专家牵头，基于实时轨道根数偏差，评估测控覆盖率是否满足任务发射要求，对不达标情况启动测控网重构预案，重新规划调配参试测控站点及任务弧段。结合信息系统研发，设计专家决策支持展示页面，集成任务时间轴、设备健康状态、空间环境数据等信息，为不合格判定提供多源数据支撑。

4.2. 控制范围：前伸至型号研制端，后延至数据复现端

4.2.1. 风险库与基线库联动防控

基于历史任务故障案例库，构建“任务-设备-异常”三维风险库，在火箭/卫星研制阶段即开展测控需求符合性验证。例如针对商业星座批产卫星，提前验证其星载测控应答机与地面大口径天线的兼容性，避免任务实施阶段出现多目标信号混叠。实施极限边界测试，在测控设备验收环节，模拟极端工况，验证设备在“最严苛情况”下的服务连续性。任务准备阶段开展基线符合性验证，通过任务间隙遍历回放天地对接数据等方式，提前暴露接口隐患。

4.2.2. 全链条质量协同

向火箭/卫星研制方派驻测控人员跟产跟研跟学，深度参与天地一体化测试场景设计，确保测控需求嵌入型号研制规范，全面学习技术机理，确保任务不合格发生后的快速准确定位和处置归零。建立天地一体化数字孪生平台，将卫星在轨运行参数反向注入地面测控系统仿真环境，优化遥测信息判断、遥控指令注入等策略，模算改进异常处置方案。推行研制到应用的数据闭环，在设备升级改造中，基于任务实测数据，指导研制方优化信号处理算法，并将改进成果固化为新设备出厂验收的必测项目。

4.3. 信息应用：构建任务时序知识图谱

4.3.1. 实时数据沙盘

构建测控信息质量熵值模型，综合遥测参数完备率、遥控指令时间同步精度、跟踪数据连续性等指标，实时监测计算测控服务熵值。当熵值超过规定阈值时，自动触发分级告警机制，黄色预警启动人工复核程序，红色预警强制切换备用系统。实施动态预案智能匹配，基于知识图谱中的故障模式关联规则，

实现应急处置方案的自动推荐,当发生异常时,系统自动关联历史故障案例库,优先推荐最优组合方案,辅助岗位人员完成处置。

4.3.2. 跨任务知识迁移

研发质量信息系统,自动调取、整理、发布任务相关数据信息,确保不合格信息采集的全面性、真实性和信息获取、情况共享分发的时效性。构建故障传播有向图,分析异常事件的关联影响路径,实现不合格根因的自动分析和闭环建议的系统生成。开发经验提取工具,通过自然语言处理技术,将历次任务总结中的非结构化文本,转化为可嵌入基线库的量化规则,实现跨型号知识迁移继承。

4.4. 文化生态:强化高效响应质量信仰

4.4.1. 双想机制场景化

结合模拟训练系统的搭建使用,在任务训练准备阶段开展逆向压力测试,随机删除任务流程中的关键环节步骤,观察岗位人员能否依据应急预案在一定时限内发现异常并采取正规的操作流程处置应对。完善异常时间轴回溯制度,任务后利用时标对齐工具,将系统日志统一映射到绝对时间轴,一比一还原不合格事件的时间演化过程,提升场景化预想回想活动效益。

4.4.2. 激励导向实时性贡献

实施质量信用动态评价,构建涵盖“归零有效性系数(措施覆盖根本原因的程度)”“举一反三扩散度(经验跨任务应用次数)”“实时处置贡献值(避免任务中断的时长)”的量化评价模型,并将其与测控岗位资格认证挂钩。设立质量创新沙盒机制,允许岗位人员在模拟训练环境中自由尝试新型处置方法,对有效提升实时响应速度的方案给予快速转化通道,在完成安全性评估后纳入正式预案。

5. 结束语

有效管控航天测控任务不合格现象,能够精准定位并攻克影响航天测控信息服务质量的薄弱环节与突出矛盾,显著提升任务准备与实施效率,降低管理成本,切实保障信息服务契合顾客期望。本文紧密贴合航天测控任务实践,明晰界定不合格概念内涵,统一行业术语认知,深度剖析现实需求并提出实施要点,为航天测控任务信息服务质量提供了实操指南。后续研究将拓展调研广度深度,持续探索并优化适用于航天测控任务不合格控制的方法体系,提升研究成果普适性,为航天测控事业稳健发展注入源源不断动力。

参考文献

- [1] 王育辉, 咎少东, 邱德敏, 袁野. 航天测控任务全过程管理质效影响因素分析[J]. 无线电工程, 2023, 53(10): 2403-2409.
- [2] 张少靖, 胡航, 孙杨. 浅谈关于航天产品质量管理工作的几点认识和思考[J]. 国防科技工业, 2023(3): 52-53.
- [3] 薛东红. 航天地面站测控任务质量管理问题与对策研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 国防科技大学, 2021.
- [4] 全国信息与文献标准化技术委员会. 质量管理体系基础和术语: GB/T 19000-2016/ISO 9000: 2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [5] 国家标准化管理委员会. 航天产品质量问题归零实施要求: GB/T 29076-2021 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [6] 中央军委装备发展部. 装备质量问题归零实施指南: GJB/Z 194-2021 [S]. 北京: 国家军用标准出版发行部, 2021.
- [7] 董惠鸣, 吉世栋. 有关 GJB/Z 194《装备质量问题归零实施指南》的理解及实施[EB/OL]. <http://mp.weixin.qq.com/s/2iBSrVghOQaMREqrL0SB9w>, 2023-07-24.
- [8] 刘智卿. 航天型号杜绝低层次质量问题管控措施探索与实践[J]. 军民两用技术与产品, 2023(6): 54-56.
- [9] 中央军委装备发展部. 质量管理体系要求: GJB 9001C-2017 [S]. 北京: 国家军用标准出版发行部, 2017.