

# 一种航天测控设备技术状态快速自动建立方法

梁 祯<sup>1,2</sup>, 秦明暖<sup>1,2</sup>, 张 垚<sup>1,2</sup>, 杨鹏辉<sup>1,2</sup>  
(1 西安卫星测控中心 西安 710043  
2 宇航动力学国家重点实验室 西安 710043)

**摘要:** 根据传统测控设备技术状态的建立方法, 每个参数宏对应唯一一种技术状态, 一个测控任务可能需要装订上百个甚至上千个参数宏, 当航天器技术状态发生变化时, 还需要人工操作更换参数宏, 这为测控设备技术状态的建立、设备操作、应急处理和技术状态管理带来了很大困难。提出了一种测控设备技术状态快速自动建立方法, 设计了支持多测控体制、多工作频段、多目标的参数宏结构以及与之匹配的设备工作计划, 实现了测控设备技术状态的快速自动建立。

**关键词:** 测控设备; 参数宏; 设备工作计划; 自适应

中图分类号: V556.6 文献标识码: A 文章编号: CN11-1780(2021)04-0006-06

DOI: 10.12347/j.ycyk.20210324001

**引用格式:** 梁祯, 秦明暖, 张垚, 等. 一种航天测控设备技术状态快速自动建立方法[J/OL]. 遥测遥控, 2021, 42(4): 60–65[20XX-XX-XX]. <http://ycyk.brit.com.cn/ycyk/article/abstract/20210324001>.

## A rapid and automatic establishment method for technical state of TT&C equipment

LIANG Zhen<sup>1,2</sup>, QIN Mingnuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Yao<sup>1,2</sup>, YANG Penghui<sup>1,2</sup>  
(1. Xi'an Satellite Control Center, Xi'an 710043, China;  
2. State Key Laboratory of Astronautic Dynamics, Xi'an 710043, China)

**Abstract:** According to the traditional establishment method for technical state of the TT&C equipment, each parameter macro has only one technical state, and a TT&C mission may need to establish hundreds or even thousands of parameter macros, when the state on the spacecraft changes, it needs manual operation to replace the parameter macro, which brings great difficulties to the establishment of the equipment's technical state, operation, emergency handling and management of the technical status. In this paper, a fast and automatic establishment method for technical state of TT&C equipment is proposed, which supports multiple TT&C systems, multiple working bands, multiple targets, and matches the equipment work plan, realizing rapid and automatic technical state establishing of the TT&C equipment.

**Key words:** TT&C equipment; Parameter macro; Equipment work plan; Self-adaption

**DOI:** 10.12347/j.ycyk.20210324001

**Citation:** LIANG Zhen, QIN Mingnuan, ZHANG Yao, et al. A rapid and automatic establishment method for technical state of TT&C equipment [J/OL]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2021, 42(4): 60–65[20XX-XX-XX]. <http://ycyk.brit.com.cn/ycyk/article/abstract/20210324001>.

## 引 言

航天地面测控设备均为通用设备, 但不同航天器对地测控的接口却不尽相同<sup>[1]</sup>, 为此, 测控设备在每次跟踪测量前均需建立适应相应测控任务的技术状态。

为使测控设备快速建立技术状态, 将建立技术状态需要设置参数的集合定义为参数宏, 在任务准备阶段创建该航天器任务的参数宏, 后续跟踪测量时, 仅需调用相应的参数宏即可建立状态。

在传统测控设备中,每个参数宏对应唯一一种技术状态。对于以往工作频段和测控体制相对单一的单目标航天器测控任务而言,任务准备阶段创建参数宏数量较少,设备操作相对简单。但是,随着一箭多星任务常态化<sup>[2]</sup>以及新测控体制<sup>[3]</sup>、更高频段<sup>[4]</sup>测控技术的发展及应用,航天测控设备由支持单一工作频段、单目标测控、具备少数测控体制发展为具备多工作频段、多测控体制<sup>[5]</sup>和多目标任务管理<sup>[6]</sup>的综合测控设备。面对复杂的航天器状态以及井喷式发展的航天器数量,测控设备若按传统技术状态的建立方法,不仅需要装订大量的参数宏,耗费大量的人力和时间,还需要人工干预,增加了人工操作带来的风险。为提高设备应急响应速度、解放人力、降低人工操作风险,急需寻求一种快速自动的技术状态建立方法。

本文设计了支持多测控体制、多工作频段和多目标的参数宏结构以及与之匹配的设备工作计划,描述了技术状态建立的过程,并对其建立效率进行了评估。本文提出的技术状态建立方法实现了技术状态的快速自动建立,较传统方法建立效率提高了60%以上。

## 1 传统方法适应性分析

传统的技术状态建立方法存在以下三方面突出问题:

① 参数宏装订工作量大。每个参数宏对应唯一一种技术状态,只能适应多种技术状态中的一种技术状态需求,对于复杂测控任务,为适应其所有技术状态,需要装订上百甚至上千个参数宏。

② 不适应自动化运行的需求。当在轨航天器技术状态发生变化,需要地面测控设备技术状态变化时,传统方法不能实现技术状态的自动切换,需人工干预。

③ 不利于测控设备技术状态集中配置管理及移植<sup>[7]</sup>。随着地面测控设备数量以及在轨航天器数量的剧增,急需实现对设备技术状态的集中配置管理以及不同设备技术状态的移植。由于不同阶段,设备所需的技术状态可能不一致,并且不同研制厂家的设备,其设备参数宏中包含的参数名称及意义也不同,以上均不利于设备技术状态的集中配置管理及移植。

## 2 快速自动建立方法

### 2.1 总体思路

按照为一个航天器创建一个参数宏的思路,将在轨航天器寿命期内可能使用的所有技术状态装订在一个参数宏中,合理设计参数宏结构、设备工作计划,并根据测控任务的技术状态需求,在跟踪测量前,根据设备工作计划中明确的要求,自适应匹配并调用相应航天器参数宏中的相关参数,从而快速建立起满足当前测控任务需求的技术状态。

### 2.2 参数宏结构设计

综合考虑任务需求,将参数宏结构设计为三层,如图1所示。

第一层为航天器名称,用于区分不同的航天器。第二层为航天器具备的工作频段和测控体制,称作工作体制,包括航天器具备的所有工作体制,根据航天器的实际需求创建。第三层为航天器具备的各工作体制下所有参数的集合。具体设计如下:

① 将参数划分为星地接口类参数和设备类参数,为多套设备技术状态的集中配置管理以及不同设备间参数宏移植提供支持。

把与航天器对地测控接口密切相关的参数定义为星地接口参数,对于不同的航天器,此类参数的设置内容可能不同,例如:工作频率、极化、上下行码速率等;把与航天器星地接口无关的参数定义为设备参数,此类参数的设置内容仅和设备自身链路相关,例如:变频器衰减、发射机控制方式等。

② 设计“可变参数”。

针对部分航天器在轨运行的不同阶段,对地测控接口需要动态变化,为适应此类需求的自动切换,设计“可变参数”。

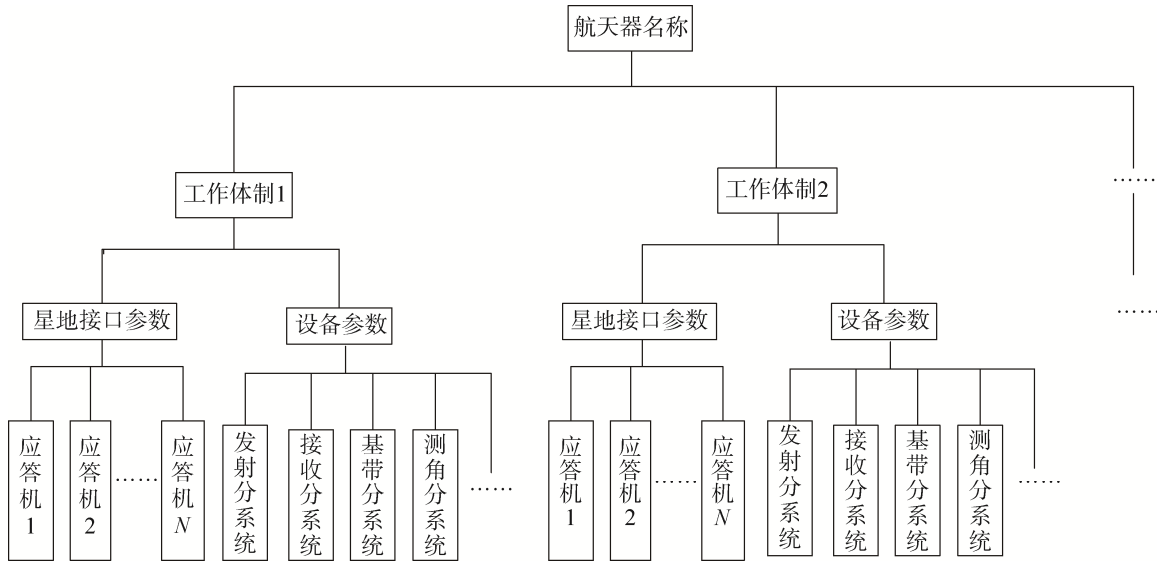


图 1 参数宏结构

Fig. 1 Structure of parameter macro

对于可变参数, 可动态编辑装订, 一次可装订多个数值, 以适应航天器不同运行阶段技术状态变化的需求。

③ 同一工作体制下设置一组设备参数、设置多组星地接口参数。

为提高参数宏结构的灵活性, 同一工作体制下可设置多组星地接口参数, 每组星地接口参数均独立可设。

对于设备参数, 同一工作体制下参数设置内容固定, 只需设置一组设备参数。

### 2.3 设备工作计划

测控设备自动化运行通过设备工作计划驱动<sup>[8]</sup>, 传统方法中设备工作计划要素单一, 仅支持技术状态固定不变的需求, 在面临多工作频段、多测控体制和多目标等复杂情况下, 当工作频段变更、测控体制变化或是目标数量变化时, 均需人工干预, 手动操作更换参数宏, 不能实现自动化。

为此, 本文综合考虑测控任务需求以及与参数宏的适配性, 设计了全新的设备工作计划。

按照系统、任务、目标、链路四层结构设计, 设计了相关计划要素, 计划要素及对应的需求详见表 1。

表 1 新增计划要素及对应的测控任务需求

Table 1 New elements of plan and corresponding TT&C requirements

序号	新增计划要素	所在层次	任务需求
1	资源调度方式	系统	支持资源重组系统的资源调度
2	目标数量、主跟目标	任务	支持多目标跟踪测量
3	开/关上行信号时间……	目标	支持对上行的不同测控需求
4	数传开始/结束时间	目标	支持数传接收自动化
5	各类中心	目标	支持不同中心发令、数据接收自动化
6	链路数量	链路	支持同一目标具有多条测控、数传链路的任务
7	工作体制、工作点频、码率……	链路	支持不同工作体制、不同点频、不同码率的航天器技术状态切换

由表 1 可知, 增加了系统层次的计划要素, 使其适应包括资源重组系统<sup>[9]</sup>在内的各种类型测控设备; 增加了“目标数量、主跟目标”等任务层次的计划要素, 使其适应多目标测控任务; 增加了“开/关上行信号时间、数传开始/结束时间、各类中心”等目标类信息, 以适应航天器对上行的不同测控需求、下行数传精确化接收等需求; 增加了“链路数量、工作点频、测控体制、码率”等链路类信息, 以适应航天器不同工作体制、不同点频、不同码率等技术状态的自动切换。

同时,为使设备工作计划具有良好的适配性和可扩展能力,新的工作计划可采用模块化、可重用性高的XML格式文本文件<sup>[10]</sup>。

### 2.4 自适应匹配调用

测控设备跟踪测量前,根据设备工作计划或人工指定的任务需求,自适应匹配任务参数宏,自动调用匹配的参数集合,从而建立技术状态,自适应匹配调用示意图如图2所示。

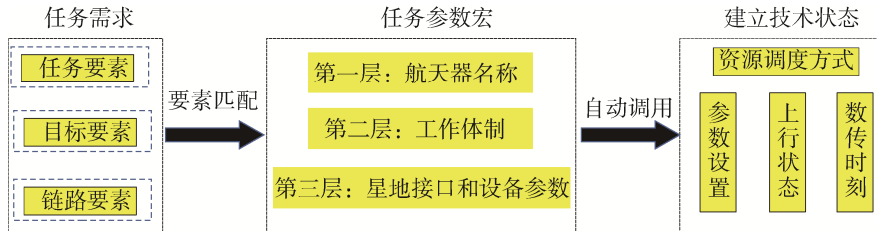


图2 自适应匹配调用示意图

Fig. 2 Chart of self-adaption and matching

根据任务层次的要素,包括“目标数量、主跟目标”等信息索引相应航天器名称下的参数宏;根据目标层次的要素,包括“开/关上行信号时间、数传开始/结束时间”等信息,设置设备调制器状态;根据链路层次的要素,包括“链路数量、工作体制、工作点频、码率”等信息,自适应匹配该航天器下的参数宏,调用相应工作体制、应答机、可变参数下的参数集合,从而快速自动建立设备的技术状态。在测控任务对地技术状态发生变化时,通过更新设备工作计划中的相关要素,测控设备自动匹配调用参数宏中的参数集合,自动实现不同技术状态的切换,解决了状态调整时人为干预风险高的问题。

为降低数据库与应用程序间的耦合度,可采用 Docker 容器技术<sup>[11]</sup>进行参数宏管理,增强数据的可共享性,实现数据的统一控制、参数宏的导入导出、异构设备间参数宏的迁移,为设备升级扩展、任务应急处置、参数远程集中配置管理等提供支持。

## 3 技术状态建立流程

测控设备技术状态建立流程如图3所示。

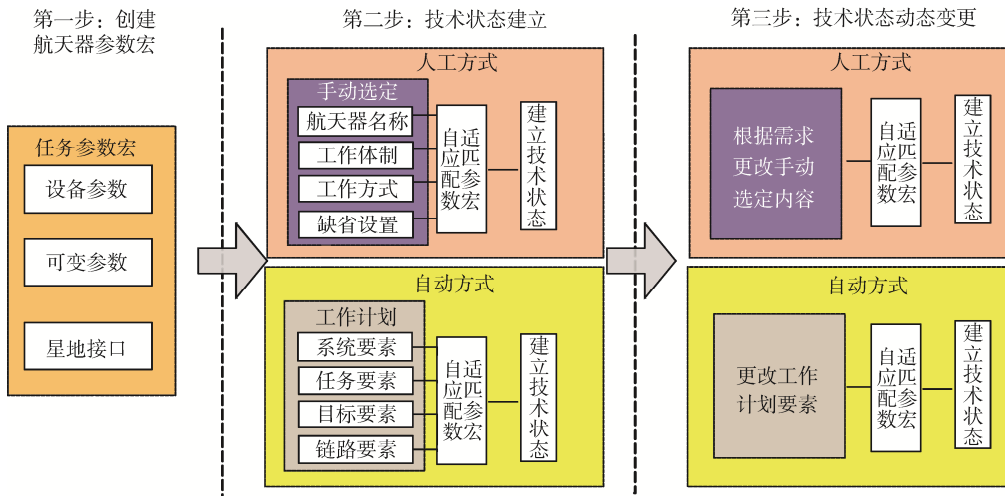


图3 技术状态建立流程

Fig. 3 Establishment process of technical status

第一步:在准备阶段创建航天器参数宏,需要创建测控任务包含的所有航天器的参数宏。

首先,创建航天器的参数宏,包括航天器名称、工作体制以及各工作体制下所有应答机的数目,用于生成参数宏中相应的星地接口参数、设备参数及其数量。

其次,编辑参数宏,根据航天器对地测控相关文件,编辑“星地接口参数”,根据星地链路电平估

算及设备特点, 编辑“设备参数”。对于星地接口参数, 每个应答机的参数均是完整的, 对于可变参数, 根据任务要求动态增加编辑装订。

最后, 明确“可变参数”和任务需求相关参数的缺省值, 用于设备在“人工”运行方式时调用参数宏, 以及在“自动”运行方式时和/或设备工作计划要素不完整时设备自动调用参数宏。

第二步: 实施前建立技术状态。

根据设备的运行方式分为以下两种索引调用方式。

一是人工运行方式: 通过手动选择各目标的“航天器名称、工作体制、工作方式”索引调用参数宏来建立技术状态, 其中, “可变参数”和任务需求相关参数根据装订的缺省值建立技术状态。

二是自动运行方式: 根据设备工作计划中明确的“航天器名称、工作体制、任务类型、开/关上行信号时间、数传开始/结束时间”等索引调用相应参数宏来建立技术状态, 其中, “可变参数”和任务需求相关参数以设备工作计划为主。

第三步: 跟踪测量时动态更改技术状态。

跟踪测量时, 若测控任务对地测控需求发生变化, 需要更改设备的技术状态。

自动运行方式时, 通过更新设备工作计划中的相关要素, 测控设备自动匹配设备工作计划, 自适应匹配并调用相应参数宏, 实现测控任务不同技术状态的自动切换。

人工运行方式时, 通过更新缺省设置值, 测控设备自动匹配缺省值, 从而自适应匹配并调用相应参数宏, 实现测控任务不同技术状态的切换。

### 4 评估技术状态建立效率

本文提出的技术状态建立方法较传统建立方法效率提高了 60%以上。

假设航天器具备  $M$  个工作体制, 每个工作体制有  $N$  个工作点频, 按照传统方法, 测控设备建立单目标任务的技术状态, 需要创建参数宏个数为  $L$ ,  $L$  按照“1 个工作体制+2 个工作体制+……+( $M-1$ ) 个工作体制+ $M$  个工作体制”计算公式如式 (1) 所示; 建立多目标任务 ( $J$  个目标) 的技术状态, 需要创建参数宏个数为  $K$ ,  $K$  按照“单目标宏个数+双目标宏个数+……+( $J-1$ ) 个目标宏个数+ $J$  个目标宏个数”计算, 计算公式如 (2) 所示。

$$L = C_M^1 \times C_N^1 + C_M^2 \times (C_N^1)^2 + \dots + C_M^{M-1} \times (C_N^1)^{M-1} + C_M^M \times (C_N^1)^M \tag{1}$$

$$K = C_J^1 \times C_L^1 + C_J^2 \times (C_L^1)^2 + \dots + C_J^{J-1} \times (C_L^1)^{J-1} + C_J^J \times (C_L^1)^J \tag{2}$$

式中,  $C_N^1$ 、 $C_L^1$ 、 $C_M^1$ 、 $C_M^2$ …… $C_M^M$ ,  $C_J^1$ 、 $C_J^2$ …… $C_J^J$  均为  $C_n^m$  组合数,  $C_n^m$  表示从  $n$  个不同元素中取出  $m(m \leq n)$  个元素的所有组合的个数。

结合实际, 假设创建一个全新工作体制的参数宏需要 20 min, 在此基础上编辑生成另一个技术状态的参数宏, 或通过组合多个单目标参数宏, 生成一个多目标参数宏需要 10 min。

则按照传统方法, 创建任务技术状态需要的时间  $T$  如公式 (3) 所示, 而本文提出的快速自动方法需要的时间  $T'$  如公式 (4) 所示。

$$T = M \times 20 + (K - M) \times 10 \tag{3}$$

$$T' = J \times M \times 20 \tag{4}$$

为方便效率评估, 假设每个航天器有两个工作体制, 每个工作体制有两个点频, 即  $M=2, N=2$ , 多目标任务按照双目标、三目标列举, 即  $J=2$  或 3, 带入公式 (1)~公式 (4), 则按照传统方法和本

文提出的快速自动建立方法, 分别建立技术状态需要创建的参数宏数量及建立时间见表 2。

由表 2 可知, 对于单目标、双目标、三目标任务, 本文提出的快速自动方法较传统方法, 参数宏创

表 2 参数宏创建数量及建立时间对照表

Table 2 Check table of parameter macro number and build time

工作模式	传统方法		快速自动建立方法		效率提升/%
	参数宏个数	建立时间/min	参数宏个数	建立时间/min	
单目标	8	100	1	2×20=40	60
双目标	80	820	2	2×2×20=80	90.2
三目标	728	7 300	3	3×2×20=120	98.4

建数量、建立时间大幅下降,技术状态建立效率分别提高了60%、90.2%、98.4%。随着航天器工作体制、点频数量、多目标数量等需求的不断增加,传统方法创建参数宏的数量及时间将急剧增加,而本文提出的快速自动方法优势将更加明显。

## 5 结束语

本文提出的快速自动技术状态建立方法已在我国多套测控设备中应用,实现了测控设备技术状态的快速自动建立、测控任务不同技术状态调整自动化,简化了技术状态维护管理和人员操作,提高了系统运行的自动化能力以及快速响应能力,便于实现任务参数的集中配置管理和移植,对提升测控设备在高密度复杂任务条件下遂行任务的能力具有重大意义。

## 参考文献

- [1] 于志坚. 我国航天测控系统的现状与发展[J]. 中国工程科学, 2006, 8(10): 42–46.  
YU Zhijian. Status quo and development of spaceflight TT&C systems[J]. Engineering Science, 2006, 8(10): 42–46.
- [2] 肖伟, 陈忠贵, 钱志英. 一箭多星发射直接入轨的卫星构型研究[J]. 航天器工程, 2012(1): 43–47.  
XIAO Wei, CHEN Zhonggui, QIAN Zhiying. Study on satellite configuration for one vehicle with multi-satellites[J]. Spacecraft Engineering, 2012(1): 43–47.
- [3] 薛晔, 李晶. 测控数传一体化系统的设计与实现[J]. 信息技术, 2015(7): 128–130, 136.  
XUE Ye, LI Jing. Design and implementation of measurement and control data transmission integrate system[J]. Information Technology, 2015(7): 128–130, 136.
- [4] 王东东, 刘德喜, 王莉莉, 等. 航天器测控频段应用现状与展望[J]. 遥测遥控, 2016, 37(6): 45–53.  
WANG Dongdong, LIU Dexi, WANG Lili, et al. The current application status and development of TT&C frequency band for spacecraft[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2016, 37(6): 45–53.
- [5] 曲卫, 贾鑫. 我国航天测控系统体制与技术现状以及发展[J]. 科技信息, 2010(14): 491–492.
- [6] 李源泉, 申建平. 多目标自动运行系统设计[J]. 无线电工程, 2012, 12(6): 35–38.  
LI Yuanquan, SHEN Jianping. Design of auto-running system in multi-target TT&C system[J]. Radio Engineering, 2012, 12(6): 35–38.
- [7] 党琦, 苟茹军, 吴涛, 等. 航天测控设备状态配置和管理方法[J]. 电讯技术, 2017, 57(1): 106–110.  
DANG Qi, GOU Rujun, WU Tao, et al. State configuration and management methods for aerospace TT&C equipment [J]. Telecommunication Engineering, 2017, 57(1): 106–110.
- [8] 王彦伟, 高奕, 胡兴, 等. S波段活动测控设备自动化程度提高研究[J]. 飞行器测控学报, 2005, 24(3): 63–68.  
WANG Yanwei, GAO Yi, HU Xing, et al. Improvement of the degree of automation of s-band mobile TT&C equipment [J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2005, 24(3): 63–68.
- [9] QIN Mingnuan, ZHANG Yao, YAN Yalong, et al. The resource dynamic recombination and its technology development of space TT&C[C]//2020 5th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS). Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2020: 697–702.
- [10] 崔晓峰. 基于 XML 的航天测控数据处理新体制研究[C]//2002 年航天测控技术研讨会论文集. 北京: 中国宇航学会, 2002: 324–331.
- [11] 易升海, 彭江强, 卿勇军, 等. 浅析 Docker 容器技术的发展前景[J]. 电信工程技术与标准化, 2018, 31(6): 88–91.  
YI Shenghai, PENG Jiangqiang, QING Yongjun, et al. Analysis on the development of Docker container technology[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2018, 31(6): 88–91.

## [作者简介]

- 梁 祯 1982年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为测运设备总体与运行管理。  
秦明暖 1966年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为航天测控通信设备总体。  
张 垚 1982年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向航天地面装备健康管理。  
杨鹏辉 1989年生, 学士, 工程师, 主要研究方向航天地面测运控设备。