

ICS 49.020
CCS V07

团 体 标 准

T/ GFQX XXXXX—202X

低空空管系统设计要求

Design requirements for low-altitude air traffic control system

(征求意见稿)

202X—XX—XX 发布

202X—XX—XX 实施

中国国防工业企业协会
国家国防标准创新基地 发布

目 次

前 言.....	1
低空空管系统设计要求.....	1
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	1
5 设计依据.....	1
5.1 功能要求.....	1
5.2 可靠性要求.....	2
5.3 安全性要求.....	2
5.4 时间性能要求.....	2
5.5 工作环境要求.....	2
6 设计准则.....	2
7 设计流程.....	3
8 设计内容.....	3
8.1 总体设计.....	3
8.2 应用软件层.....	4
8.3 智算中台层.....	5
8.4 低空飞行航图生产层.....	7
8.5 低空物联网基础设施层.....	7
9 设计验证.....	8
9.1 功能验证.....	8
9.2 时间性能验证.....	8
9.3 可靠性验证.....	8
9.4 环境适应性验证.....	8
参 考 文 献.....	10

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由沈阳美行科技股份有限公司提出。

本文件由中国国防工业企业协会、国家国防标准创新基地联合归口。

本文件起草单位：沈阳美行科技股份有限公司、成都美行瑞空科技有限公司、湖南经纬航通信息技术有限公司。

本文件主要起草人：王作磊、郑虎男、焦迎冬、李根明、刘秋平、谢巍、赖克、罗静、易显。

先进技术与应用团体标准

低空空管系统设计要求

1 范围

本文件规定了低空空管系统的设计依据、设计准则、设计内容、设计流程和设计验证。
本文件适用于低空空管系统设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 22239—2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 35276—2017 信息安全技术 SM2 密码算法使用规范

T/ GFQX XXXXX—202X 低空飞行航图数据要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低空空管系统 low-altitude air traffic control system

通过融合通信、导航、监视等技术手段，对低空空域的无人驾驶航空器的实施飞行服务和管理的智能化综合系统。

4 缩略语

下列缩略语适用本文件。

ADS-B——广播式自动相关监视（Automatic Dependent Surveillance Broadcast）

AI——人工智能（Artificial Intelligence）

FPS——每秒帧数（Frames Per Second）

MTBF——平均故障间隔时间（Mean Time Between Failures）

PB——拍字节（Petabyte）

RTK——实时动态差分技术（Real-Time Kinematic）

WebGL——网络图形库（Web Graphics Library）

5 设计依据

5.1 功能要求

低空空管系统设计应满足以下功能要求：

- a) 具有对所有合作目标航空器在所管辖空域范围内的飞行活动进行审批、实时监视、安全风险先验感知与告警、安全管制行为决策与通知功能；
- b) 具有包括对管辖空域、常态化航路网、起降场等低空飞行资源进行智能划设与入网管理等功能；
- c) 具有对管辖空域内所有违规飞行以及安全风险进行实时监视、告警与协同处理；
- d) 具有对入网企业、载运具和起降场等的合规运行情况进行动态监管与告警；
- e) 具有对安全事件进行实时监控、应急联动指挥与问题溯源；

- f) 具有为入网企业和载运具提供管制情报服务、仿真测试服务、自有起降场选址评估服务、自设航路适飞评估服务、平台与外部系统对接服务等功能。

5.2 可靠性要求

低空空管系统应符合以下可靠性要求：

- a) 单台服务器的 MTBF：不低于 10000 h；
- b) 监视数据处理的 MTBF：不低于 30000 h；
- a) 系统时钟同步误差：不大于 100 ms。

5.3 安全性要求

低空空管系统应满足以下安全性要求：

- a) 使用国产成熟的操作系统，及时下载并更新操作系统供应商发布的安全补丁；
- b) 使用满足保密性、完整性、一致性和可用性等特性的数据库；
- c) 支持用户权限设置；
- d) 确保数据的存储安全；
- e) 采用相关保密措施保护重要及敏感信息数据；
- f) 系统应有应急措施应对灾难事件。

5.4 时间性能要求

低空空管系统应满足以下时间性能要求：

- a) 系统冷启动时间不大于 15 min；
- b) 单台服务器冷启动时间不大于 10 min；
- c) 单台工作站冷启动时间不大于 3 min。

5.5 工作环境要求

低空空管系统应满足以下工作环境要求：

- a) 环境温度：5℃~40℃；
- b) 相对湿度：40%~70%；
- c) 供电电源：220V±22V，50Hz±5Hz；
- d) 避雷接地：不大于 4Ω。

6 设计准则

低空空管系统设计应遵循以下原则：

- a) 通过分层与模块化设计支持多应用、多源数据、多类型飞行器及多场景的灵活适配；
- b) 实现多源异构数据的数据融合和应用；
- c) 支持弹性扩容，可根据业务量动态扩展计算资源；
- d) 实现 PB 级数据的存储管理；
- e) 实现高并发、低延迟数据和信号处理；
- f) 采用软硬件安全冗余部署策略，提升平台鲁棒性；
- g) 实现对数据收集与传输过程中的敏感信息的保护；

h) 系统的软硬件符合国产化要求。

7 设计流程

低空空管系统设计流程图见图 1。

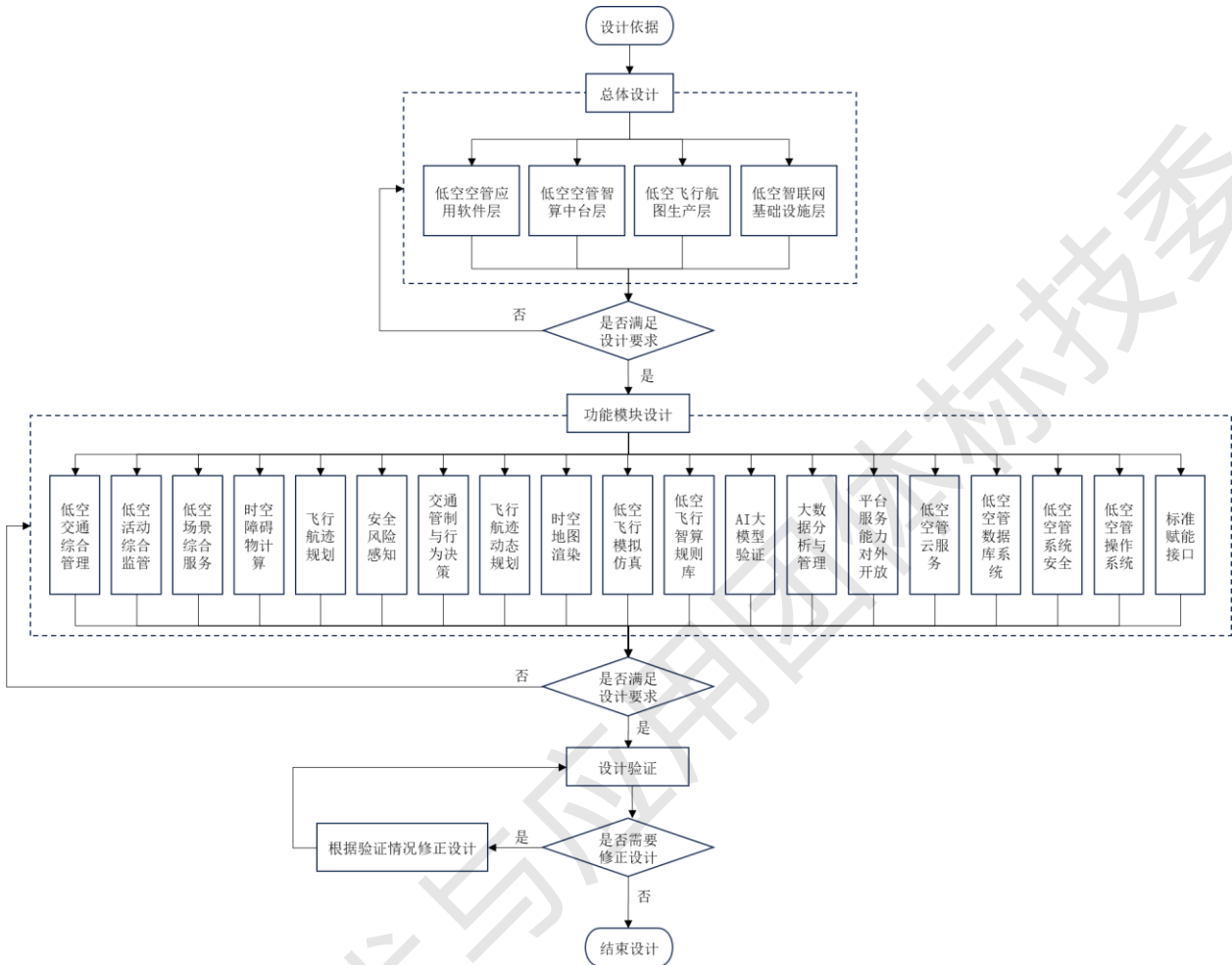


图 1 低空空管系统设计流程图

8 设计内容

8.1 总体设计

8.1.1 低空空管系统构成见图 2，主要包括：

- 应用软件层，包含低空交通综合管理、低空活动综合监管和低空场景综合服务三个应用；
- 智算中台层，包含基于规则库和 AI 大模型验证的时空障碍物计算、飞行航迹规划、安全风险感知和交通管制与行为决策以及时空地图渲染、低空飞行模拟仿真、大数据分析与管理、平台服务能力对外开放、低空飞行航图、低空空管云服务、低空空管数据库系统、低空空管系统安全和低空空管操作系统；
- 低空飞行航图生产层，包含低空飞行航图生产系统。低空飞行航图生产系统使用地理要素、空间要素和环境要素生成低空飞行航图；
- 低空智联网基础设施层，包含标准赋能接口、低空通信、低空定位增强、低空气象和低空察打。

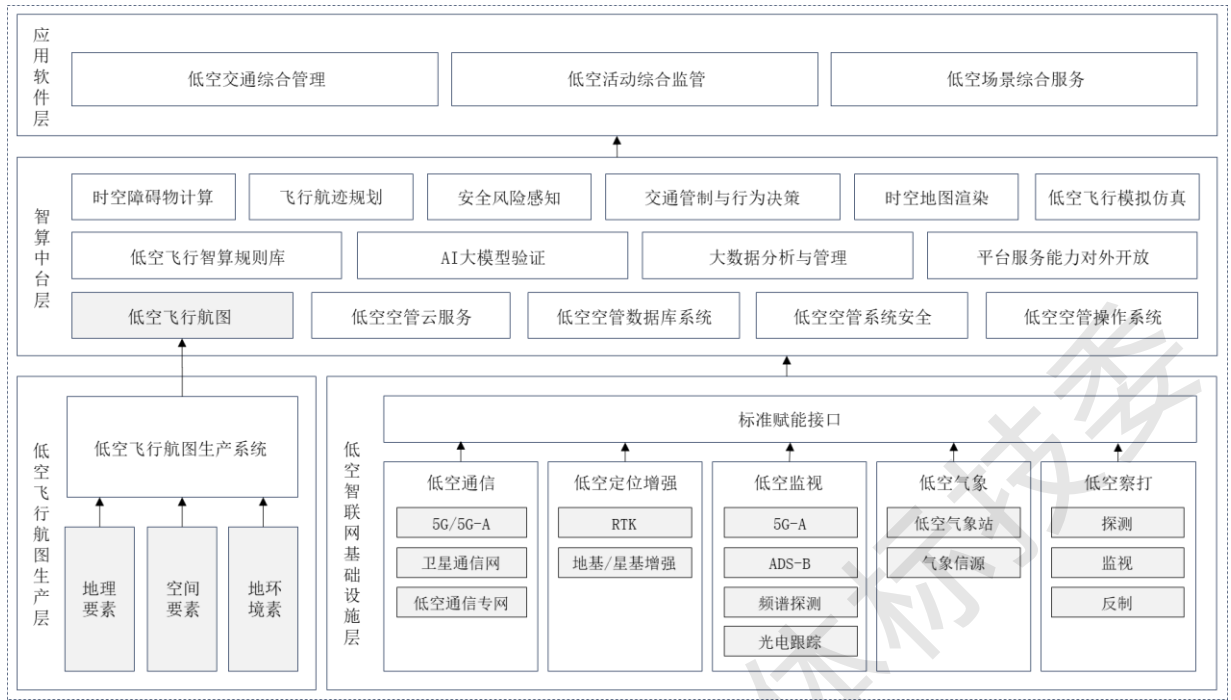


图 2 低空空管系统组成

8.1.2 低空空管系统总体设计要求如下：

- a) 提供空中交通综合管理、低空活动综合监管、低空场景综合服务的配套运行；
- b) 提供军、政、民协同分级管理机制；
- c) 提供与运营商平台的对接与协同；
- d) 提供飞行安全保障、任务协同分配、实现快速应急响应速度和高效处置；
- e) 提供一站式飞行计划申请与自动审批服务；
- f) 提供多源信息融合能力，包括但不限于气象、交通管制、鸟情、电磁场、空域/航路网/起降场更新等信息；
- g) 本设计要求不包含提供通信、定位增强、低空气象和察打反制等的物理设备的设计内容。

8.2 应用软件层

8.2.1 低空交通综合管理设计

低空交通综合管理设计要求如下：

- a) 提供对所有合作目标航空器在所管辖空域范围内的飞行活动进行智能审批与实时监控、安全风险先验感知与告警、安全管制行为决策与通知；
- b) 提供对管辖空域、航路和起降场等低空飞行资源的智能划设与入网管理等。

8.2.2 低空活动综合监管设计

低空活动综合监管设计要求如下：

- a) 提供对管辖空域内所有违规飞行行为以及安全风险进行实时监控、告警与协同处理；
- b) 提供对入网企业 / 智能载运具 / 起降场合规运行情况进行动态监管与告警；
- c) 提供对安全事件进行实时监控、应急联动指挥与问题溯源。

8.2.3 低空场景综合服务设计

低空场景综合服务设计要求如下：

- a) 提供企业入网登记、低空载运具入网登记、飞行计划服务、风险告警服务、管制情报服务以

及仿真测试服务等；

- b) 提供起降场选址评估服务、自设航路适飞评估服务、空管平台赋能服务等扩展服务。

8.3 智算中台层

8.3.1 时空障碍物计算设计

时空障碍物计算的设计要求如下：

- a) 支持对低空飞行的时空障碍物的网格化建模，地表障碍物建模精度不大于 10 m，空间障碍物网格不大于 500 m；
- b) 利用时空配准、噪声滤除技术实现障碍物数据的多源融合，坐标对齐误差不大于 0.1° ；
- c) 应用障碍物网格化实现航路规划、空域评估、风险评估等的计算。

8.3.2 飞行航迹动态规划设计

飞行航迹动态规划的设计要求如下：

- a) 提供航迹的动态生成，航迹生成时间不大于 3 s / 架次；
- b) 提供基于 AI 辅助验证进行航迹择优和优化，航迹优化效率提升不低于 30 %。

8.3.3 安全风险感知设计

安全风险感知的设计要求如下：

- a) 支持采用处理不确定信息技术（贝叶斯网络技术）计算潜在的冲突风险，风险判定准确率不低于 99 %，延迟不大于 50 ms；
- b) 利用消息队列机制实现将安全感知结果输入给决策模块。

8.3.4 交通管制与行为决策设计

交通管制与行为决策的设计要求如下：

- a) 利用影响图建模技术等量化风险对航路、空域的链式影响；
- b) 通过空间缓冲区分析技术计算风险辐射范围，提供对潜在的安全风险的影响范围和影响严重程度等判断，决策成功率不低于 99.9 %，漏报率低于 0.01 %；
- c) 基于内置规则库触发提供告警、交通管制等行为决策，动态生成管制指令。

8.3.5 时空地图渲染设计

时空地图渲染的设计要求如下：

- a) 使用 WebGL 技术实现地理信息环境、空域、航路、起降场、气象环境等的渲染；
- b) 支持时空要素的动态渲染，可视化气象、鸟情演变；
- c) 满足渲染的帧率不低于 30 FPS。

8.3.6 低空飞行模拟仿真设计

低空飞行模拟仿真的设计要求如下：

- a) 提供低空飞行模拟仿真，实现现实与虚拟环境联动，用于试飞、校飞等需求；
- b) 提供模拟仿真数据制作、日志回放等测试方式，数据回放延迟不高于 5 ms；
- c) 使用时序数据库存储历史数据。

8.3.7 低空飞行智算规则库设计

低空飞行智算规则库的设计要求如下：

- a) 支持动态可伸缩设计，通过动态加载引擎，实现实时规则注入，如支持突发政策更新（如临时禁飞区）；
- b) 通过规则权重赋值、采用 Rete 算法（网络算法）等技术支持多源规则融合；

- c) 应实现安全可信保障设计，通过采用内存加密、规则行为监控等实现分层防护机制。

8.3.8 AI 大模型验证设计

AI 大模型验证的设计要求如下：

- a) 支持使用 AI 大模型实现航迹优化计算；
- b) 支持基于深度强化学习构建空域资源分配 AI 智能体，生成弹性空域分区方案；
- c) 利用人工智能大模型实时识别 ADS-B 数据中的异常轨迹（如侵入禁飞区），识别违规飞行；
- d) 基于历史飞行数据和环境数据，利用 AI 大模型实现高仿真度环境模拟、飞行模拟，用于试飞、校飞的验证。

8.3.9 大数据分析与管理设计

大数据分析与管理的设计要求如下：

- a) 提供分布式数据库存储，以应对 PB 级甚至更大规模的数据存储需求；
- b) 实现通过边缘计算，完成初步数据过滤、降噪和压缩，减少传输到中心系统的数据量；
- c) 提供不同的数据存储策略，将高频实时数据存储在内数据库，历史数据则存入冷存储；
- d) 支持 AI 驱动的数据挖掘与预测。

8.3.10 平台服务能力对外开放设计

平台服务能力对外开放的设计要求如下：

- a) 实现对平台服务能力的标准 API 接口的封装；
- b) 支持双向认证和依据 GB/T35276—2017 的实现的加密 API 网关；
- c) 通过开源 SDK（Python / Java / C++工具包）、调试插件等实现工具链的支持；
- d) 具有利用高斯噪声扰动等技术进行坐标模糊化的能力，实现数据脱敏。

8.3.11 低空飞行航图设计

低空飞行航图的设计要求应满足 T/ GFQX XXXXX—202X 的规定。

8.3.12 低空空管系统云服务设计

低空空管系统云服务的设计要求如下：

- a) 通过高性能消息队列与异步通信机制，解耦数据收发系统之间的相互交互，提高系统响应及时性和并发性，降低数据和信号的传输延迟；
- b) 运用负载均衡工具分发请求，避免单点过载，造成通信堵塞；
- c) 基于云原生技术，根据实际流量动态调整计算资源，确保系统在高并发时仍能稳定运行；
- d) 提供通过微服务架构与容器化实现服务的动态扩容，确保系统在高并发场景下能够快速响应流量波动；
- a) 具有鲁棒性设计，将应用部署在服务器集群中，以保证即使单个节点故障，服务仍可用。

8.3.13 低空空管数据库系统设计

低空空管数据库系统的设计要求如下：

- a) 提供分布式数据库存储，以应对 PB 级甚至更大规模的数据存储需求；
- b) 通过边缘计算，完成初步数据过滤、降噪和压缩，减少传输到中心系统的数据量；
- c) 提供不同的数据存储策略，将高频实时数据存储在内数据库，历史数据则存入冷存储；
- d) 数据存储层通过使用不同的数据库和组件，实现结构化数据、非结构化数据、高频使用数据和历史数据等的存储，支撑数据处理层对数据的查询、处理等操作；
- e) 应用访问控制技术（基于角色的访问控制、基于用户属性动态授权）、加密技术、访问日志等

技术实现数据库系统保密性设计；

- f) 利用数据溯源技术、语义校验、防篡改技术等实现数据库的完整性设计；
- g) 通过事务管理机制、数据校验（哈希校验和、逻辑约束）、时间一致性判断等技术实现数据库一致性设计；
- h) 通过主从复制、集群管理、分片技术、多地备份和持续归档等实现数据库系统的可用性。

8.3.14 低空空管系统安全设计

低空空管系统安全的设计要求如下：

- a) 提供端到端数据通信加密技术，选用依据 GB/T 35276—2017 的对传输数据进行加密处理，确保数据在传输过程中不被窃取、篡改；
- b) 应满足 GB/T 22239—2019 规定的第三级及以上安全要求，涉及核心数据的还应满足 GB/T 22239—2019 规定的第四级安全要求。

8.3.15 低空空管操作系统设计

低空空管操作系统的设计要求如下：

- a) 应采用国产化、成熟的操作系统，及时下载并更新操作系统供应商发布的安全补丁；
- b) 软件及内核开发采用国产化技术路线，自主研发或选用国产成熟软件框架；
- c) 通过优化硬件自检环节、定制驱动异步加载、系统服务分级启动、应用预支快照恢复技术等提升系统启动性能；
- d) 应实施安全冗余部署策略，使用冗余电源、风扇、网卡、热备服务器等硬件冗余。

8.4 低空飞行航图生产层

低空飞行航图生产系统生产用于生产低空飞行航图，设计要求如下：

- a) 应包含地理要素、空间要素、环境要素等静态及动态信息的低空飞行航图的生产；
- b) 提供低空飞行航图的动态更新数据的生产制作；
- c) 满足不同数据更新频度。

8.5 低空物联网基础设施层

8.5.1 标准赋能接口设计

标准赋能接口的设计要求如下：

- a) 能够实现多源异构数据的采集、标准化处理及对外提供；
- b) 利用大数据处理框架进行实时流式计算和批量计算；
- c) 对大数据的结构化 / 半结构化、非结构化分类预处理和存储；
- d) 支持多源异构数据的高效融合与分析。

8.5.2 低空通信设计

低空通信设计要求如下：

- a) 依据 GB/T 35276—2017 实现合作目标航空器与空管平台之间安全可靠的加密通讯；
- b) 应实现合作目标航空器与空管系统间的双向链路；
- c) 设备应符合 5.5 工作环境要求。

8.5.3 低空定位增强设计

低空定位增强设计要求如下：

- a) 利用 RTK 技术、地基/星基增强技术等，实现对飞行器的高精度定位；

b) 设备应符合 5.5 工作环境要求。

8.5.4 低空监视设计

低空监视的设计要求如下：

a) 应对于已经有的应用场景、或者不适合安装机载通信单元的飞行器，通过监视获得其位置、高度、速度、航姿等信息等的设计；

b) 设备应符合 5.5 工作环境要求。

8.5.5 低空气象设计

低空气象的设计要求如下：

a) 通过在起降点部署专门气象站，提供测起降点不同高度的气象；

b) 通过在航线上利用各级气象机构的精准化的气象点格数据，提供航路沿线上的实时气象；

c) 设备应符合 5.5 工作环境要求。

8.5.6 低空察打设计

低空察打的设计要求如下：

a) 提供有对违规飞行的无人驾驶航空器的精准定位、追踪和反制功能；

b) 设备应符合 5.5 工作环境要求。

9 设计验证

9.1 功能验证

9.1.1 模拟验证

依据系统功能定义，通过数据模拟等方式验证系统功能是否已经完整实现。

9.1.2 实飞验证

对于无法通过模拟方式验证的功能，依据系统功能定义，通过实飞方式验证功能是否已经完整实现。

9.2 时间性能验证

部署高精度网络时间协议（NTP）服务器，确保其与 UTC 标准时间同步误差不大于 10 ms。采用支持毫秒级时间戳记录的工具分别部署于时间源端和被测系统端。使用脚本周期性（建议间隔 10 s）采集被测系统时间 T_s 与 NTP 服务器时间 T_n ，持续时长不少于 24 h 以覆盖网络波动周期。计算误差 $\Delta t = |T_s - T_n|$ 及进行统计分析。

9.3 可靠性验证

9.3.1 平均无故障工作时间（MTBF）验证

搭建与生产环境一致的环境配置，通过虚拟化工具模拟多节点，让系统在额定负载下连续运行，记录故障次数和总运行时间，计算出 MTBF。可通过统计置信度缩短时间。

9.3.2 时钟同步误差验证

确定基准时钟源，确保基准源自身误差不大约 100 ms，同步获取基准时间 T_0 与节点本地时间 T_i ，计算 $|T_i - T_0|$ ，重复不少于 10 次，计算误差值。

9.4 环境适应性验证

9.4.1 供电电源验证

使用万用表和功率计实时监测电压、频率及功耗，模拟电压波动（±10%）和频率偏差（±10%），

T/GFQX XXXXX—XXXX

持续运行 24 h，系统无重启、异常关机或性能下降。

9.4.2 避雷接地验证

采用三线法重复测量 3 次取平均值。实测电阻值不大于设计阈值，雷雨天气后复测应无明显变化。

先进技术与应用团体标技委

参 考 文 献

- [1] GB/T 22080—2016 信息技术安全技术信息安全管理要求
 - [2] GB/T 31167—2014 信息安全技术云计算服务安全指南
 - [3] GB/T 31168—2014 信息安全技术云计算服务安全能力要求
 - [4] GB/T 35274—2017 信息技术大数据服务能力要求
 - [5] GB/T 37973—2019 大数据安全管理指南
 - [6] GB/T 38152—2019 无人驾驶航空器系统术语
 - [7] GB/T 38667—2020 信息技术大数据系统通用规范
 - [8] MH/T 4055 低空飞行服务系统技术规范
-

先进技术与应用团体标技委