

ICS 33.040.40

CCS M 15

T/CICC

中国指挥与控制学会团体标准

T/CICC 35014—2025

卫星通信网络

可靠性和可用性参数体系

Reliability and availability parameters for satellite communication
networks

2025-09-12 发布

2025-09-12 实施

中国指挥与控制学会

发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语与定义 1

4 参数体系架构与参数说明 3

 4.1 参数体系架构 3

 4.2 参数说明 4

 4.2.1 覆盖确信可靠度 4

 4.2.2 连通确信可靠度 4

 4.2.3 业务确信可靠度 5

 4.2.4 覆盖确信可用度 5

 4.2.5 连通确信可用度 6

 4.2.6 业务确信可用度 6

5 参数选用要求和节点范围选择要求 6

 5.1 参数选用要求 6

 5.2 节点范围选择要求 7

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》的规定编写。
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。

本文件由中国指挥与控制学会提出并归口。

本文件起草单位：杭州市北京航空航天大学国际创新研究院（北京航空航天大学国际创新学院）、北京航空航天大学、华为技术有限公司、深圳市为民可靠性系统工程研究院、中国航空综合技术研究所、中国空间技术研究院、航天东方红卫星有限公司、中国电子科技集团公司电子科学研究院。

本文件主要起草人：康锐、李瑞莹、马骥、赖凯霖、黄宁、伍湘平、林聪、彭文胜、高莹、田雨、宋叶晴、税长江、刘亮、王学望、王靖、马文杰、王柔溪。

卫星通信网络可靠性和可用性参数体系

1 范围

本文件规定了卫星通信网络可靠性和可用性参数体系架构、参数定义和参数选用方法。

本文件适用于卫星通信网络可靠性和可用性指标论证、定量设计、分析和试验评估、使用评估的参数选用。

2 规范性引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本文件的条款。凡注日期或版次的引用文件，其后的任何修改（不包括勘误的内容）或修订版本都不适用于本文件，凡不注日期或版次的引用文件，其最新版本适用于本文件。

GJB 421 卫星术语

GJB 451 装备通用质量特性术语

GJB 1909 装备可靠性维修性保障性要求论证

T/CICC 35001 确信可靠性术语

3 术语与定义

GJB 421、GJB 451、GJB 1909和T/CICC 35001界定的以及下列术语与定义适用于本文件。

3.1 基本术语

3.1.1

卫星通信网络 **satellite communication network**

一种利用卫星作为中继站，为用户提供通信业务的网络系统。

3.1.2

服务区 **service zone**

卫星通信网络提供服务的区域。

3.1.3

信关站 **gateway**

卫星通信网络中负责呼叫处理、交换并与地面通信网连接的设备。

3.1.4

节点 **node**

卫星通信网络中的卫星、信关站和各种移动或固定的用户终端。

3.1.5

虚拟节点 **virtual node**

一个基于地理网格抽象创建的服务接入点，其功能是聚合该网格内所有用户终端的业务流量负载。

3.1.6

节点对 node pair

有通信连接需求的两个节点/虚拟节点的逻辑组合。

3.1.7

覆盖重数 coverage number

信关站/用户终端可以连接到的卫星数。

3.1.8

不确定性 uncertainty

系统行为的非决定性。

[来源：T/CICC 35001—2025，3.1.8]

3.1.9

随机不确定性 aleatory uncertainty

系统固有存在的不确定性（3.1.8）。

[来源：T/CICC 35001—2025，3.1.9]

3.1.10

认知不确定性 epistemic uncertainty

系统由于知识不完备或信息不充足而呈现的不确定性（3.1.8）。

[来源：T/CICC 35001—2025，3.1.10]

3.2 可靠性术语

3.2.1

覆盖可靠性 coverage reliability

卫星通信网络在规定条件下和规定时间内，满足覆盖重数的服务区面积达到规定要求的能力，可用覆盖确信可靠度量。

3.2.2

连通可靠性 connection reliability

卫星通信网络在规定条件下和规定时间内，能连通的节点对数达到规定要求的能力，可用连通确信可靠度量。

3.2.3

业务可靠性 application reliability

卫星通信网络在规定条件下和规定时间内，能成功执行业务的节点对数达到规定要求的能力，可用业务确信可靠度量。成功执行业务是指满足业务规定的性能要求（如时延、丢包率、误码率、容量等）。

3.3 可用性术语

3.3.1

覆盖可用性 coverage availability

卫星通信网络在任意时刻需要和开始执行任务时，满足覆盖重数的服务区面积达到规定要求的程度，可用覆盖确信可用度量。

3.3.2

连通可用性 connection availability

卫星通信网络在任意时刻需要和开始执行任务时，能连通的节点对数达到规定要求的程度，可用连通确信可用度度量。

3.3.3

业务可用性 application availability

卫星通信网络在任意时刻需要和开始执行任务时，能成功执行业务（3.2.3）的节点对数达到规定要求的程度，可用业务确信可用度度量。

4 参数体系架构与参数说明

4.1 参数体系架构

卫星通信网络可靠性和可用性参数分为三个方面：覆盖可靠性/可用性、连通可靠性/可用性和业务可靠性/可用性，其对应的参数分别是覆盖确信可靠度/可用度、连通确信可靠度/可用度和业务确信可靠度/可用度。其中，覆盖确信可靠度/可用度用于表征卫星通信网络对地覆盖能力；连通确信可靠度/可用度用于表征系统基础设施层面满足网络连通要求的能力；业务确信可靠度/可用度则侧重于终端用户感知，表征系统在不同业务使用下满足相应性能要求的能力。卫星通信网络可靠性和可用性参数体系架构如图1所示。

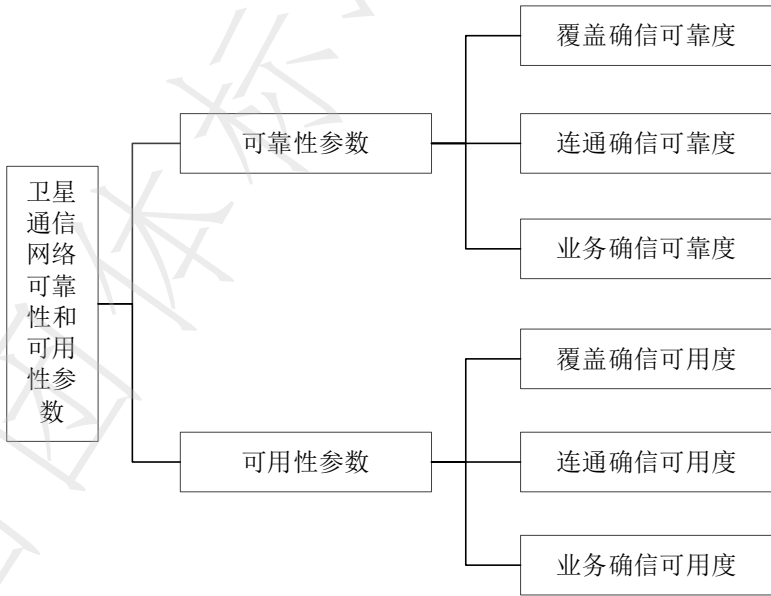


图1 卫星通信网络可靠性和可用性参数体系架构

下述卫星通信网络可靠性和可用性参数均通过确信可靠性理论中的机会测度 $Ch\{\}$ 描述。具体使用过程中，当性能裕量为机会变量（包含随机和认知混合不确定性）时， $Ch\{\}$ 为机会测度；当性能裕量为随机变量（仅包含随机不确定性）时， $Ch\{\}$ 转化为概率测度，记作 $Pr\{\}$ ；当性能裕量为不确定变量

(仅包含认知不确定性)时, $\text{Ch}\{\cdot\}$ 转化为不确定测度, 记作 $\mathcal{M}\{\cdot\}$ 。同时, 下述参数中的时间参数均为退化时间, 为简便起见省略确信可靠性中的符号 $\cdot$ 。

4.2 参数说明

4.2.1 覆盖确信可靠度

覆盖确信可靠度是度量卫星通信网络覆盖能力的可靠性参数。在实际计算中, 首先定义覆盖面积裕量, 即网络在时间段 $[t_0, t_0+T]$ 内满足覆盖重数要求的最小服务区面积与覆盖面积阈值之间的差距, 覆盖面积裕量计算见公式(1)。

$$M_{\text{cov}}(t_0, T) = \min_{t_0 \leq t \leq t_0 + T} \text{cov}(t) - \text{cov}_{\text{th}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$M_{\text{cov}}(t_0, T)$ ——网络在时间段 $[t_0, t_0+T]$ 内的覆盖面积裕量;

t_0 ——规定时间的起始时刻;

T ——规定的时间段长度;

$\text{cov}(t)$ ——网络在 t 时刻满足覆盖重数要求的服务区面积;

cov_{th} ——网络规定的覆盖面积阈值。

通过计算卫星通信网络满足覆盖面积裕量大于零的机会, 得出覆盖确信可靠度。覆盖确信可靠度计算见公式(2)。

$$R_{\text{cov}}(t_0, T) = \text{Ch}\{\tilde{M}_{\text{cov}}(t_0, T) > 0\} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$R_{\text{cov}}(t_0, T)$ ——网络在时间段 $[t_0, t_0+T]$ 内的覆盖确信可靠度;

$\text{Ch}\{\cdot\}$ ——机会测度;

$\tilde{M}_{\text{cov}}(t_0, T)$ ——考虑不确定性的覆盖面积裕量, $\tilde{\cdot}$ 表示该参数含不确定性。

4.2.2 连通确信可靠度

连通确信可靠度是度量卫星通信网络连通能力的可靠性参数。在实际计算中, 首先定义连通节点对数裕量, 即在时间段 $[t_0, t_0+T]$ 内, 网络所需连通的节点对中实际可连通的最小节点对数与其阈值之间的差距, 连通节点对数裕量计算见公式(3)。

$$M_{\text{con}}(t_0, T) = \min_{t_0 \leq t \leq t_0 + T} N_{\text{con}}(t) - N_{\text{con, th}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$M_{\text{con}}(t_0, T)$ ——网络在时间段 $[t_0, t_0+T]$ 内的连通节点对数裕量;

t_0 ——规定时间的起始时刻;

T ——规定的时间段长度;

$N_{\text{con}}(t)$ ——网络所需连通的节点对在 t 时刻能连通的节点对数;

$N_{\text{con, th}}$ ——网络规定的连通节点对数阈值。

通过计算卫星通信网络连通节点对数裕量大于零的机会, 得出连通确信可靠度。连通确信可靠度计算见公式(4)。

$$R_{\text{con}}(t_0, T) = \text{Ch}\{\tilde{M}_{\text{con}}(t_0, T) > 0\} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$R_{\text{con}}(t_0, T)$ ——网络在时间段 $[t_0, t_0+T]$ 内的连通可信可靠度；

$\text{Ch}\{\cdot\}$ ——机会测度；

$\tilde{M}_{\text{con}}(t_0, T)$ ——考虑不确定性的连通节点对数裕量， $\tilde{\cdot}$ 表示该参数含不确定性。

4.2.3 业务确信可靠度

业务确信可靠度是度量卫星通信网络执行业务能力的可靠性参数。在实际计算中，首先定义成功执行业务的节点对数裕量，即在时间段 $[t_0, t_0+T]$ 内，网络所需成功执行业务的节点对中可成功执行的最小节点对数与其阈值之间的差距，成功执行业务的节点对数裕量计算见公式(5)。

$$M_{\text{app}}(t_0, T) = \min_{t_0 \leq t \leq t_0 + T} N_{\text{app}}(t) - N_{\text{app, th}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$M_{\text{app}}(t_0, T)$ ——网络在时间段 $[t_0, t_0+T]$ 内成功执行业务的节点对数裕量；

t_0 ——规定时间的起始时刻；

T ——规定的时间段长度；

$N_{\text{app}}(t)$ ——网络所需成功执行业务的节点对在 t 时刻能够成功执行的节点对数；

$N_{\text{app, th}}$ ——网络规定的成功执行业务的节点对数阈值。

注：判断节点对能否成功执行业务，可以通过分析其性能参数（如时延、丢包率、误码率、容量等）实现。假设该业务涉及 n 个关键性能参数，则成功执行业务的判据为所有 n 个关键性能参数均满足其各自的性能阈值。如，若业务的关键性能参数仅为时延，则判据为端到端时延低于时延阈值；若业务的关键性能参数包括时延和丢包率，则需同时满足时延低于时延阈值且丢包率低于丢包率阈值。

通过计算卫星通信网络成功执行业务的节点对数裕量大于零的机会，得出业务确信可靠度。业务确信可靠度计算见公式(6)。

$$R_{\text{app}}(t_0, T) = \text{Ch}\{\tilde{M}_{\text{app}}(t_0, T) > 0\} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$R_{\text{app}}(t_0, T)$ ——网络在时间段 $[t_0, t_0+T]$ 内的业务确信可靠度；

$\text{Ch}\{\cdot\}$ ——机会测度；

$\tilde{M}_{\text{app}}(t_0, T)$ ——考虑不确定性的成功执行业务的节点对数裕量， $\tilde{\cdot}$ 表示该参数含不确定性。

4.2.4 覆盖确信可用度

覆盖确信可用度是度量卫星通信网络处于覆盖可用状态的可用性参数。在实际计算中，通过计算网络满足覆盖要求的时间与总时间（即满足覆盖要求的时间和未满足覆盖要求的时间之和）比值的期望，得到覆盖确信可用度。其中，覆盖要求是指满足覆盖重数的服务区面积要求。覆盖确信可用度计算见公式(7)。

$$A_{\text{cov}} = E\left[\frac{t_{\text{cov}}}{t_{\text{cov}} + t_{\text{uncov}}}\right] \dots\dots\dots (7)$$

式中：

A_{cov} ——网络的覆盖确信可用度；

$E[\bullet]$ —— $\bullet$ 的期望值；

t_{cov} ——网络满足覆盖要求的时间；

t_{uncov} ——网络不满足覆盖要求的时间。

4.2.5 连通确信可用度

连通确信可用度是度量卫星通信网络处于连通可用状态的可用性参数。在实际计算中，通过计算网络满足连通要求的时间与总时间（即满足连通要求的时间和不满足连通要求的时间之和）比值的期望，得到连通确信可用度。其中，连通要求是指能连通的节点对数要求。连通确信可用度计算见公式(8)。

$$A_{\text{con}} = E\left[\frac{t_{\text{con}}}{t_{\text{con}} + t_{\text{uncon}}}\right] \dots\dots\dots (8)$$

式中：

A_{con} ——网络的连通确信可用度；

$E[\bullet]$ —— $\bullet$ 的期望值；

t_{con} ——网络满足连通要求的时间；

t_{uncon} ——网络不满足连通要求的时间。

4.2.6 业务确信可用度

业务确信可用度是度量卫星通信网络处于业务可用状态的可用性参数。在实际计算中，通过计算网络满足业务要求的时间与总时间（即满足业务要求的时间和不满足业务要求的时间之和）比值的期望，得到业务确信可用度。其中，业务要求是指能够成功执行业务的节点对数要求。判断节点对能否成功执行业务，可以通过分析其性能参数（如时延、丢包率、误码率、容量等）实现，与业务确信可靠度中节点对能否成功执行业务的判据相同（见4.2.3）。业务确信可用度计算见公式(9)。

$$A_{\text{app}} = E\left[\frac{t_{\text{app}}}{t_{\text{app}} + t_{\text{unapp}}}\right] \dots\dots\dots (9)$$

式中：

A_{app} ——网络的业务确信可用度；

$E[\bullet]$ —— $\bullet$ 的期望值；

t_{app} ——网络满足业务要求的时间；

t_{unapp} ——网络不满足业务要求的时间。

5 参数选用要求和节点范围选择要求

5.1 参数选用要求

卫星通信网络可靠性和可用性参数选用要求如下：

- a) 按评估目的选用：评估网络对地覆盖能力时，选用覆盖确信可靠度/可用度；评估网络基础设施互连互通能力时，选用连通确信可靠度/可用度；评估网络在业务运行过程中满足业务性能要求的能力时，则选用业务确信可靠度/可用度；
- b) 按是否考虑计划性中断和补发卫星选用：若不考虑，考察一段时间内网络持续满足规定要求的能力，则选择可靠性参数；若考虑，则选择可用性参数；

- c) 按用户角色选用：若用户为网络建设方或制造方，可选用覆盖确信可靠度/可用度和连通确信可靠度/可用度；若用户为网络服务供应商或终端用户，可选用业务确信可靠度/可用度。

5.2 节点范围选择要求

卫星通信网络可靠性和可用性参数选定后，需进一步确定考察的节点范围，相关范围选择要求如下：

- a) 对覆盖可靠性/可用性参数，一般选择设计所要求覆盖的全部服务区和信关站，也可以指定部分或者一定比例的服务区/信关站；
 - b) 对连通可靠性/可用性参数，一般选择设计所要求覆盖的全部服务区中全部虚拟节点和信关站组成的节点对，也可以指定部分节点对或者一定比例的节点对；
 - c) 对业务可靠性/可用性参数，一般选择支持该业务的全部服务区中虚拟节点和信关站组成的节点对，也可以指定部分节点对或者一定比例的节点对。
-