

T/ISC

团 体 标 准

T/ISC XXXX—2026

智算中心 OCS 系统性能测试规范

Specification for performance testing of OCS systems in intelligent computing
centers

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026 – XX – XX 发布

2026 – XX – XX 实施

中国互联网协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 测试总则 2

6 测试条件 3

7 测试仪器 3

8 测试准备 4

9 性能测试项目及方法 5

10 测试报告 13

参考文献 14

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。

本文件由中国互联网协会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

智算中心 OCS 系统性能测试规范

1 范围

本文件规范了智算中心光路交换机（简称OCS）系统的测试总则、测试条件、测试仪器、测试准备、性能测试项目及方法、测试报告。

本文件适用于智算中心OCS系统的性能测试。

注：本文件所述的OCS系统包含但不限于基于以下技术的OCS：三维微机电系统（3D MEMS）、硅光、波导阵列光栅（AWG）、液晶、硅基液晶（LCoS）、直接光束转向（DLBS）；包括但不限于工作在850 nm、1310 nm、1550 nm任一波长窗口的OCS。

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 2887—2011 计算机场地通用规范
RFC 2544 网络互连设备性能测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光插入损耗 optical insertion loss

在工作波长范围内，连通输入光端口与输出光端口之间的光功率损耗。

3.2

光插入损耗一致性 optical insertion loss uniformity

全部被测输入输出光端口组合的光插入损耗最大值与最小值之差，单位为分贝（dB）。

3.3

光串扰 optical crosstalk

在工作波长范围内，非目标输入光信号泄漏至目标输出光端口的光功率与目标光路主通路光功率之比的对数表示。

3.4

总光串扰 aggregate optical crosstalk

在工作波长范围内，多条无端口冲突光路同时工作时，所有非目标输入光信号泄漏至目标输出光端口的总光功率与目标光路主通路光功率之比的对数表示。

3.5

偏振模色散 polarization mode dispersion

光信号通过OCS系统时，两个正交偏振主态之间的群时延不同而引起光脉冲展宽的现象。

注：本文件采用工作波长范围内测得的最大差分群时延（DGD）表征被测光路的偏振模色散性能。

3.6

波长相关损耗 wavelength dependent loss

在工作波长范围内，连通输入输出光端口组合的插入损耗随波长变化的最大差值。

3.7

偏振相关损耗 polarization dependent loss

在规定波长下，连通输入输出光端口组合的插入损耗随输入光偏振态变化的最大差值。

3.8

回波损耗（RL） return loss

在工作波长范围内，输入光端口的参考输入光功率与由该端口返回的光功率之比的对数表示。

3.9

方向性 direction

在工作波长范围内，输入光端口的参考输入光功率与泄漏至输入侧其他非目标光端口的光功率之比的对数表示。

3.10

重复性 repeatability

同一输入输出光端口组合经多次断开和重建后，其插入损耗测量值的最大变化量。

3.11

光路重构时延 optical path reconfiguration latency

OCS系统接收到光路切换指令起，至目标输出光端口光功率进入稳态功率值的 ± 0.5 dB范围并连续保持规定稳定判定时间所需的时间，单位为毫秒（ms）。光路重构时延取导通重构时延和阻断重构时延的最大值。

注：光路重构时延为系统级指标，可包含控制面处理、配置下发、光路切换和光功率稳定等过程；单光端口切换时间和全光端口切换时间为器件或端口级指标。

3.12

调度吞吐量 scheduling throughput

单位时间内OCS系统可成功处理的光路重构请求的最大数量。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

OCS：光路交换机（Optical Circuit Switch）

NIC：网络接口卡（Network Interface Card）

GPU：图形处理器（Graphics Processing Unit）

IL：插入损耗（Insertion Loss）

PDL：偏振相关损耗（Polarization Dependent Loss）

WDL：波长相关损耗（Wavelength Dependent Loss）

RL：回波损耗（Return Loss）

PMD：偏振模色散（Polarization Mode Dispersion）

DGD：差分群时延（Differential Group Delay）

5 测试总则

5.1 测试基本原则

所有测试项目应遵循以下原则，确保测试结果的准确性、可复现性与公正性。

- 可复现性原则：所有测试项目的环境、步骤、参数均可复现，相同条件下多次测试结果偏差建议不应超过 $\pm 5\%$ 。
- 隔离性原则：测试流量与生产业务流量物理隔离，测试过程不应影响智算中心现有业务的正常运行。
- 最小侵入性原则：测试过程中不应修改 OCS 系统原厂固件、核心算法与内部逻辑，仅通过标准接口下发指令与采集数据。
- 分层测试原则：按转发面（光层）、控制面、管理面分层开展测试，精准定位各层级性能瓶颈。
- 压力渐进原则：测试负载从低到高阶梯式递增，直至系统达到性能极限，避免突发过载导致设备损坏。
- 真实性原则：测试模型、流量特征需贴合智算中心 AI 训练、推理业务的真实场景，还原集合通信、突发流量等典型特征。

5.2 测试场景分类

本文件规范的测试场景分为四类，覆盖OCS全生命周期的性能验证需求。

- 基础静态光层性能测试：验证 OCS 在固定拓扑下的光层转发核心性能。

- b) 动态重构性能测试：验证 OCS 光路动态切换的核心时延、稳定性等性能。
- c) 控制面性能测试：验证 OCS 控制面的调度吞吐量、业务时延等。
- d) 稳定性与可靠性测试：验证 OCS 在长期运行、异常场景下的性能表现与恢复能力。

6 测试条件

6.1 环境条件

温度、相对湿度参照GB/T 2887—2011中规定的C级要求。测试场地还应满足GB/T 2887—2011中计算机场地的一般要求，并保证供电、接地、网络连接及设备散热条件满足测试要求。

6.2 系统条件

- 6.2.1 被测 OCS 系统：被测 OCS 完成出厂调试，固件为正式/稳定版，无功能限制，所有端口可用。
- 6.2.2 测试所用光纤：采用符合 ITU—T 标准的光纤，光纤端面清洁无划痕或破损，插损正常。
- 6.2.3 测试所用光模块：采用与 OCS 系统匹配的商用光模块，应参照 IEEE 802.3 等相关标准的规定，发光功率、接收灵敏度在标称范围内。
- 6.2.4 链路基线：测试前宜完成所有光链路的端到端损耗测试，确保链路损耗在系统允许范围内，记录基线值。
- 6.2.5 初始状态：测试前 OCS 系统恢复出厂默认配置，清除所有残留配置，所有光路处于初始状态，无告警。

7 测试仪器

7.1 光学测试仪器

光学测试仪器的核心规格与用途见表1的内容。

表 1 光学测试仪器表

仪器名称	核心规格要求	核心用途
光功率计	测试范围：—60 dBm~+30 dBm，绝对精度：±5%	测量光插入损耗、光功率稳定性、串扰、阻断损耗
示波器	带宽≥1 GHz，时间分辨率≤1 ns	测量光路重构动态时延、光信号上升/下降时间
波长可调谐光源	波长范围应覆盖被测OCS的工作波长范围；输出功率应满足被测OCS输入光功率测试要求；功率谱密度稳定度：±0.01 dB/nm/10 min	提供稳定测试光源，用于插入损耗、串扰等基础光层测试
偏振控制器	波长范围应覆盖被测OCS的工作波长范围；偏振消光比：>40 dB；邦加球覆盖率：>99%；偏振相关损耗：<0.005 dB；最大允许输入光功率：≥20 dBm	测试偏振相关损耗
回损测试仪	波长范围应覆盖被测OCS的工作波长范围；测量范围：-75 dB~0 dB；测量精度：±1.0 dB（绝对精度）、±0.4 dB（相对精度）	测试回波损耗
光谱分析仪	波长范围应覆盖被测OCS的工作波长范围；分辨率带宽宜不大于0.05 nm，动态范围宜不小于50 dB，波长精度宜满足测试结果判定要求	测试光信号波长稳定性、光路串扰、光信噪比
可调光衰减器	衰减范围≥40 dB；分辨率≤0.1 dB	插损、灵敏度及功率等测试
偏振模色散测试仪	矢量分析仪工作波长范围应覆盖被测OCS的工作波长范围；DGD测量量程上限不低于10 ps，分辨率≤1 ps，波长扫描间隔宜不大于0.1 nm	测量偏振模色散

7.2 网络与协议测试仪器

网络与协议测试仪器核心规格与用途见表2的内容。

表 2 网络与协议测试仪器表

仪器名称	核心规格要求	核心用途
网络测试仪	支持100 G/400 G/800 G以太网接口及RoCEv2业务流仿真，支持RFC 2544、RFC 6349等性能测试标准，时间戳分辨率 $\leq 10\text{ ns}$ 。	端到端吞吐量、时延、抖动、丢包率测试
协议分析仪	支持NETCONF/YANG、RESTCONF、OpenConfig、gRPC等主流控制协议，可扩展支持OpenFlow；报文捕获时间精度应 $\leq 1\text{ }\mu\text{ s}$	控制面信令分析、收敛时间计算、协议开销统计
时间同步仪	支持IEEE 1588—2019高精度时间同步，时间同步误差 $\leq 50\text{ ns}$ 。	为全测试系统提供统一时间基准，保障时延测量准确性

8 测试准备

8.1 基础硬件检测

测试前，应对智算中心OCS系统机柜进行外观检查，检查机柜完整性、制造商提供的技术文件等，主要包括以下内容：

- a) 检查 OCS 机柜、设备本体外观无变形、划痕、破损，紧固件无松动；
- b) 检查设备指示灯状态正常，无紧急告警；
- c) 核查制造商提供的技术文件，包括产品说明书、出厂测试报告、用户手册、接口协议规范等，文件齐全且与被测设备一致；
- d) 核对设备序列号、固件版本、端口配置与标称参数一致。

8.2 光学链路检查

- 8.2.1 完成所有测试光纤的端面检测与清洁，确保端面无划痕、油污、破损。
- 8.2.2 测试所有光链路的端到端插入损耗，确保损耗在设备允许范围内，记录基线值。
- 8.2.3 验证光模块型号、波长、速率与 OCS 系统匹配，光功率在标称范围内。

8.3 控制与管理通道检查

- 8.3.1 验证 OCS 控制口、管理口与测试终端的网络连通性正常，无丢包、无高时延。
- 8.3.2 验证控制协议连接正常，可正常下发配置指令、采集设备状态。
- 8.3.3 验证管理系统可正常监控设备端口状态、光功率、温度、告警等信息。

8.4 测试拓扑搭建

- 8.4.1 根据测试项目搭建对应测试拓扑，绘制详细拓扑图，标注设备型号、端口号、光纤类型、链路长度、测试仪器接入点等信息。
- 8.4.2 基础光层性能测试拓扑：测试光源接入 OCS 输入端口，输出端口接入光测试仪器，构建端到端光测试链路。
- 8.4.3 控制面性能测试拓扑：测试终端通过控制网络与 OCS 控制单元连接，协议分析仪串接在控制链路中，捕获信令报文。
- 8.4.4 端到端协同性能测试拓扑：网络性能测试仪/AI 服务器通过 NIC/光模块接入 OCS 系统，构建端到端以太网测试链路，模拟真实业务场景。
- 8.4.5 所有测试链路连接完成后，应进行连通性验证，确保无链路故障。

8.5 测试参数配置

- 8.5.1 编制测试参数表，明确每个测试项目的核心参数，包括端口数量、光路数量、调度请求频率、包长、流量模型、测试时长、统计周期等。
- 8.5.2 配置 OCS 系统为测试初始状态，清除所有残留配置，关闭不必要的功能，确保测试环境的一致性。
- 8.5.3 配置测试仪器参数，包括采样率、测试时长、触发条件、统计周期等，确保数据采集的准确性。

8.5.4 完成全系统的测试时间同步，所有设备同步精度满足测试要求。

9 性能测试项目及方法

9.1 基础静态光层性能测试

9.1.1 光功率稳定性测试

9.1.1.1 测试目的：验证 OCS 系统在固定拓扑下长时间运行的光功率稳定性。

9.1.1.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；配置固定光路，光源输出功率稳定在 $0\text{ dBm} \pm 0.1\text{ dB}$ ；测试时长不小于 24 h，采样间隔不大于 1 min。

9.1.1.3 测试步骤如下：

- 配置 OCS 建立固定光路，接入光源与光功率计；
- 待光功率稳定后，记录初始光功率值 P_{init} ；
- 启动连续采样，按设定间隔记录光功率值，持续测试不小于 24 h；
- 测试过程中监控 OCS 系统的温度、告警状态，记录异常事件；
- 测试完成后，统计光功率变化情况。

9.1.1.4 关键指标：光功率波动范围、小时级光功率漂移量、无告警运行时长。

9.1.1.5 数据统计方法：绘制光功率随时间变化曲线，统计波动范围、标准差、最大漂移量。

9.1.2 光串扰测试

9.1.2.1 测试目的：测量非目标输入光信号泄漏至目标输出光端口的光串扰，并验证所有非目标输入光端口同时加载时 OCS 系统的总光串扰性能。

9.1.2.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；测试波长应覆盖 OCS 工作波长范围，并按规定间隔扫描；各测试光源在对应输入光端口处的功率应按测试方案校准并保持稳定。单通道光串扰测试时，仅加载目标输入光端口和一个非目标输入光端口；总光串扰测试时，除目标输入光端口外的其他输入光端口均加载测试光信号。

9.1.2.3 测试步骤如下。

- 配置一组无输入输出端口冲突的光路，选取 IN_i 至 OUT_j 作为目标光路，并选取 IN_m 至 OUT_n 作为非目标光路，其中 $m \neq i$ 且 $n \neq j$ 。
- 仅开启目标输入光端口 IN_i 的测试光源，在规定的各测试波长下，于目标输出光端口 OUT_j 测量并记录主通路光功率 $P_{\text{main},j}(\lambda)$ 。
- 保持 OCS 光路配置不变，关闭目标输入光端口 IN_i 的测试光源，仅开启非目标输入光端口 IN_m 的测试光源。
- 在规定的各测试波长下，于目标输出光端口 OUT_j 测量并记录由非目标输入光端口 IN_m 产生的泄漏光功率 $P_{\text{leak},m-j}(\lambda)$ 。
- 按公式 (1) 计算非目标输入光端口 IN_m 泄漏至目标输出光端口 OUT_j 的光串扰。

$$XT_{m-j} = \max_{\lambda \in \Lambda} [10 \log_{10} (\frac{P_{\text{leak},m-j}(\lambda)}{P_{\text{main},j}(\lambda)})] \dots\dots\dots (1)$$

式中：

XT_{m-j} ——非目标输入光端口 IN_m 泄漏至目标输出光端口 OUT_j 的光串扰，单位为分贝 (dB)；

$P_{\text{main},j}(\lambda)$ ——波长为 λ 时，仅目标输入光端口 IN_i 加载时在目标输出光端口 OUT_j 测得的主通路光功率，单位为毫瓦 (mW)；

$P_{\text{leak},m-j}(\lambda)$ ——波长为 λ 时，仅非目标输入光端口 IN_m 加载时在目标输出光端口 OUT_j 测得的泄漏光功率，单位为毫瓦 (mW)；

Λ ——被测 OCS 的工作波长范围。

f) 更换非目标输入光端口 IN_m 、目标输入光端口 IN_i 和目标输出光端口 OUT_j 的组合，重复步骤 a)～e)，覆盖相邻端口、非相邻端口、边缘端口和其他规定的典型端口组合。

g) 每个测试组合至少重复测量 3 次，对各波长点的主通路光功率和泄漏光功率分别取算术平均后代入公式计算。

- h) 配置一组无输入输出端口冲突的光路,从中选取输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的光路作为目标光路。
- i) 仅开启目标输入光端口 IN_i 的测试光源,关闭其他输入光端口的测试光源,在目标输出光端口 OUT_j 测量并记录主通路光功率 $P_{main,j}$ 。
- j) 保持 OCS 光路配置不变,关闭目标输入光端口 IN_i 的测试光源,同时开启其他输入光端口的测试光源。
- k) 在目标输出光端口 OUT_j 测量并记录总泄漏光功率 $P_{leak,total,j}$ 。
- l) 按公式 (2) 计算目标光路 IN_i 至 OUT_j 的总光串扰。

$$XT_{i-j,total} = \max_{\lambda \in \Lambda} \left[10 \log_{10} \left(\frac{P_{leak,total,j}(\lambda)}{P_{main,j}(\lambda)} \right) \right] \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$XT_{i-j,total}$ ——目标光路 IN_i 至 OUT_j 的总光串扰,单位为分贝 (dB);

$P_{main,j}(\lambda)$ ——波长为 λ 时,仅目标输入光端口 IN_i 加载时在目标输出光端口 OUT_j 测得的主通路光功率,单位为毫瓦 (mW);

$P_{leak,total,j}(\lambda)$ ——波长为 λ 时,其他输入光端口同时加载时在目标输出光端口 OUT_j 测得的总泄漏光功率,单位为毫瓦 (mW);

Λ ——被测 OCS 的工作波长范围。

- m) 更换目标输入输出光端口组合,重复步骤 h) ~ l), 覆盖边缘端口、中间端口和其他规定的典型端口组合。
- n) 每个测试组合至少重复测量 3 次,对各波长点的主通路光功率和总泄漏光功率分别取算术平均后代入公式计算。

9.1.2.4 关键指标:最大光串扰、平均光串扰、相邻端口光串扰和总光串扰。

9.1.2.5 数据统计方法:分别统计各端口组合的光串扰和总光串扰的最小值、最大值及平均值,取最大值作为最差结果。

9.1.3 光插入损耗测试

9.1.3.1 测试目的:验证 OCS 系统各端口的光插入损耗及端口间一致性。

9.1.3.2 测试条件:OCS 系统处于正常工作状态,环境条件符合第 6 章要求;测试光源为可调谐激光器,输出功率稳定在 $0 \text{ dBm} \pm 0.1 \text{ dB}$;测试波长应覆盖被测 OCS 的工作波长范围并按规定间隔扫描;所有被测端口配置为固定连通状态,无动态重构。

9.1.3.3 测试步骤如下。

- a) 将测试光源与光功率计直接连接,在规定的各测试波长下测量并记录参考输入光功率 $P_{IN,i}(\lambda)$ 。
- b) 将测试光源接入输入光端口 IN_i ,配置 OCS 建立 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的固定光路。
- c) 将光功率计接入输出光端口 OUT_j ,在规定的各测试波长下测量并记录输出光功率 $P_{OUT,j}(\lambda)$ 。
- d) 按公式 (3) 计算输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的光插入损耗。

$$IL_{i-j} = \max_{\lambda \in \Lambda} \left[-10 \log_{10} \left(\frac{P_{OUT,j}(\lambda)}{P_{IN,i}(\lambda)} \right) \right] \dots\dots\dots (1)$$

式中:

IL_{i-j} ——输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的光插入损耗,单位为分贝 (dB);

$P_{IN,i}(\lambda)$ ——波长为 λ 时输入光端口 IN_i 的参考输入光功率,单位为毫瓦 (mW);

$P_{OUT,j}(\lambda)$ ——波长为 λ 时输出光端口 OUT_j 的输出光功率,单位为毫瓦 (mW);

Λ ——被测 OCS 的工作波长范围。

- e) 更换输入光端口 IN_i 和输出光端口 OUT_j 的组合,重复步骤 b)~d),覆盖全部或规定的典型端口组合。
- f) 每个端口对进行至少 3 次重复测试,取平均值作为最终结果。

9.1.3.4 关键指标:平均插入损耗、最大插入损耗、插入损耗一致性、端口间插入损耗不均匀度。

9.1.3.5 数据统计方法:统计所有测试值的平均值、最大值、最小值、标准差,形成插入损耗分布表。

9.1.4 插入损耗一致性测试

9.1.4.1 测试目的:验证 OCS 系统不同输入输出端口连通组合之间插入损耗的一致性。

9.1.4.2 测试条件：同 9.1.3。

9.1.4.3 测试步骤如下：

- a) 按照 9.1.3 的方法测量全部或规定数量的输入输出光端口组合的光插入损耗。
- b) 记录各端口对插入损耗测试结果。
- c) 按公式 (4) 计算光插入损耗一致性。

$$U_{IL} = IL_{max} - IL_{min} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

U_{IL} ——全部被测输入输出光端口组合的光插入损耗一致性，单位为分贝（dB）。

IL_{max} 、 IL_{min} ——全部被测端口组合的光插入损耗最大值和最小值，单位为分贝（dB）。

9.1.4.4 关键指标：插入损耗一致性。

9.1.4.5 数据统计方法：统计全部被测端口组合的光插入损耗最大值、最小值，并按上述公式计算光插入损耗一致性。

9.1.5 阻断损耗测试

9.1.5.1 测试目的：验证 OCS 系统光路通断状态的光功率隔离能力。

9.1.5.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；测试光源输出功率稳定在 $0 \text{ dBm} \pm 0.1 \text{ dB}$ ；测试波长应覆盖被测 OCS 的工作波长范围并按规定间隔扫描。

9.1.5.3 测试步骤如下。

- a) 将测试光源与光功率计直接连接，在规定的各测试波长下测量并记录参考输入光功率 $P_{IN,i}(\lambda)$ 。
- b) 将测试光源接入输入光端口 IN_i ，保持 IN_i 至输出光端口 OUT_j 处于阻断状态，在 OUT_j 测量并记录泄漏光功率 $P_{OUT,j,off}(\lambda)$ 。
- c) 按公式 (5) 计算输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的阻断损耗。

$$IL_{i-j,off} = \min_{\lambda \in \Lambda} \left[-10 \log_{10} \left(\frac{P_{OUT,j,off}(\lambda)}{P_{IN,i}(\lambda)} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$IL_{i-j,off}$ ——阻断状态下输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的阻断损耗，单位为分贝（dB）；

$P_{IN,i}(\lambda)$ ——波长为 λ 时输入光端口 IN_i 的参考输入光功率，单位为毫瓦（mW）；

$P_{OUT,j,off}(\lambda)$ ——波长为 λ 时泄漏至输出光端口 OUT_j 的光功率，单位为毫瓦（mW）；

Λ ——被测 OCS 的工作波长范围。更换典型输入输出光端口组合，重复上述测试，每个组合至少测试 3 次，取平均值。

9.1.5.4 关键指标：阻断损耗。

9.1.5.5 数据统计方法：统计所有阻断损耗的最小值、最大值、平均值。

9.1.6 波长相关损耗测试

9.1.6.1 测试目的：验证 OCS 系统连通光路插入损耗随工作波长变化的最大差值。

9.1.6.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；可调谐光源波长范围覆盖被测 OCS 工作波长范围，输出功率稳定度小于等于 $\pm 0.1 \text{ dBm}$ 。

9.1.6.3 测试步骤如下。

- a) 将可调谐光源接入输入光端口 IN_i ，配置 OCS 建立 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的固定光路。
- b) 在被测 OCS 工作波长范围内按规定步进扫描波长。
- c) 记录各波长点的输出光功率并计算对应插入损耗 $IL_{i-j}(\lambda)$ 。
- d) 按公式 (6) 计算输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的波长相关损耗。

$$WDL_{i-j} = \max_{\lambda \in \Lambda} [IL_{i-j}(\lambda)] - \min_{\lambda \in \Lambda} [IL_{i-j}(\lambda)] \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

WDL_{i-j} ——输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的波长相关损耗，单位为分贝（dB）；

$IL_{i-j}(\lambda)$ ——波长为 λ 时输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的光插入损耗，单位为分贝（dB）；

Λ ——被测 OCS 的工作波长范围。

9.1.6.4 关键指标：波长相关损耗（WDL）。

9.1.6.5 数据统计方法：统计不同波长条件下插入损耗的最大值和最小值，计算差值。

9.1.7 偏振模色散测试

9.1.7.1 测试目的：测量 OCS 系统连通光路两个正交偏振主态之间的差分群时延，验证 OCS 系统的偏振模色散性能。

9.1.7.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；偏振模色散测试仪，其工作波长范围和测量精度应满足被测 OCS 的测试要求；测试期间被测输入输出光端口应保持固定连通状态，测试光纤和连接器应保持稳定。

9.1.7.3 测试步骤如下。

- 将测试仪器的发送端和接收端通过测试光纤直接连接，完成参考校准，消除测试光纤、连接器及其他辅助器件对测试结果的影响。
- 将测试仪器的发送端接入 OCS 输入光端口 IN_i ，将接收端接入输出光端口 OUT_j 。
- 配置 OCS 建立输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的固定光路。
- 设置测试波长范围和波长扫描间隔，使测试范围覆盖被测 OCS 的工作波长范围。
- 启动测试，测量并记录各波长点两个正交偏振主态的群时延 $\tau_{i-j,1}(\lambda)$ 和 $\tau_{i-j,2}(\lambda)$ 。
- 按公式 (7) 计算输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 在工作波长范围内的最大差分群时延。

$$DGD_{i-j} = \max_{\lambda \in \Lambda} |\tau_{i-j,1}(\lambda) - \tau_{i-j,2}(\lambda)| \quad (1)$$

式中：

DGD_{i-j} ——输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 在工作波长范围内的最大差分群时延，单位为皮秒 (ps)；

$\tau_{i-j,1}(\lambda)$ 、 $\tau_{i-j,2}(\lambda)$ ——波长为 λ 时两个正交偏振主态的群时延，单位为皮秒 (ps)；

Λ ——被测 OCS 的工作波长范围。

9.1.7.4 关键指标：差分群时延 (DGD)。

9.1.7.5 数据统计方法：统计各输入输出光端口组合在不同波长点的差分群时延，计算最大值。

9.1.8 偏振相关损耗测试

9.1.8.1 测试目的：验证 OCS 系统连通光路插入损耗随输入光偏振态变化的最大差值。

9.1.8.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；测试光源、偏振控制器和光功率计的工作波长范围应覆盖被测 OCS 工作波长范围；在各测试波长点应遍历测试方案规定的偏振态。

9.1.8.3 测试步骤如下。

- 将测试光源经偏振控制器接入输入光端口 IN_i ，配置 OCS 建立 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的固定光路。
- 在被测 OCS 工作波长范围内按规定间隔扫描波长，并在每个波长点遍历测试方案规定的输入光偏振态。
- 记录各波长点不同偏振态下的输出光功率，并计算对应的光插入损耗。
- 按公式 (8) 计算输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 在工作波长范围内的偏振相关损耗。

$$PDL_{i-j} = \max_{\lambda \in \Lambda} [IL_{\max,i-j}(\lambda) - IL_{\min,i-j}(\lambda)] \quad (1)$$

式中：

PDL_{i-j} ——输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 在工作波长范围内的偏振相关损耗，单位为分贝 (dB)；

$IL_{\max,i-j}(\lambda)$ 、 $IL_{\min,i-j}(\lambda)$ ——波长为 λ 时全部被测偏振态下的光插入损耗最大值和最小值，单位为分贝 (dB)；

Λ ——被测 OCS 的工作波长范围。

9.1.8.4 关键指标：偏振相关损耗 (PDL)。

9.1.8.5 数据统计方法：在各测试波长分别统计不同偏振态条件下插入损耗的最大值和最小值并计算差值，取工作波长范围内各波长点差值的最大值作为偏振相关损耗结果。

9.1.9 回波损耗测试

9.1.9.1 测试目的：验证 OCS 系统输入光端口的反射光抑制能力。

9.1.9.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；回波损耗测试仪工作波长范围覆盖被测 OCS 工作波长范围；未测试端口按测试方案接入无回损终端或匹配负载。

9.1.9.3 测试步骤如下。

- 将回波损耗测试仪完成参考校准，在规定的各测试波长下测量并记录输入光端口 IN_i 的参考输入光功率 $P_{IN,i}(\lambda)$ 。
- 将回波损耗测试仪接入输入光端口 IN_i ，配置 OCS 建立 IN_i 至规定输出光端口的连接。
- 在规定的各测试波长下测量并记录由输入光端口 IN_i 返回的光功率 $P_{IN,i,r}(\lambda)$ 。
- 按公式（9）计算输入光端口 IN_i 的回波损耗。

$$RL_i \dots\dots\dots (1)$$

式中：

RL_i ——输入光端口 IN_i 的回波损耗，单位为分贝（dB）；

$P_{IN,i}(\lambda)$ 、 $P_{IN,i,r}(\lambda)$ ——波长为 λ 时输入光端口 IN_i 的参考输入光功率和返回光功率，单位为毫瓦（mW）；

λ ——被测 OCS 的工作波长范围。

- 更换输入光端口和输出光端口连接状态，重复上述测试并记录结果。

9.1.9.4 关键指标：最小回波损耗。

9.1.9.5 数据统计方法：统计各输入端口回波损耗的最小值，取全系统最小值作为最差结果。

9.1.10 方向性测试

9.1.10.1 测试目的：验证输入侧非目标光端口对输入光信号的隔离能力。

9.1.10.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；测试光源输出功率稳定，光功率计测量范围满足弱光功率测试要求。

9.1.10.3 测试步骤如下。

- 将测试光源与光功率计直接连接，在规定的各测试波长下测量并记录输入光端口 IN_i 的参考输入光功率 $P_{IN,i}(\lambda)$ 。
- 将测试光源接入输入光端口 IN_i ，并按测试方案配置 OCS。
- 将光功率计依次接入输入侧其他非目标光端口 IN_k ($k \neq i$)，在规定的各测试波长下测量并记录泄漏光功率 $P_{IN,k}(\lambda)$ 。
- 按公式（10）计算输入光端口 IN_i 至非目标输入光端口 IN_k 的方向性。

$$DC_{i-k} = \min_{\lambda \in \lambda} -10 \log_{10} \left(\frac{P_{IN,k}(\lambda)}{P_{IN,i}(\lambda)} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

DC_{i-k} ——输入光端口 IN_i 至非目标输入光端口 IN_k 的方向性，单位为分贝（dB）；

$P_{IN,i}(\lambda)$ 、 $P_{IN,k}(\lambda)$ ——波长为 λ 时输入光端口 IN_i 的参考输入光功率和泄漏至非目标输入光端口 IN_k 的光功率，单位为毫瓦（mW）；

λ ——被测 OCS 的工作波长范围。

- 更换输入光端口，重复测试并记录结果。

9.1.10.4 关键指标：最小方向性。

9.1.10.5 数据统计方法：统计各输入光端口及端口组合的方向性测试结果，取最小值作为最差结果。

9.1.11 重复性测试

9.1.11.1 测试目的：验证 OCS 系统在多次切换至同一光路连接状态后，光插入损耗测试结果的一致性。

9.1.11.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；测试光源输出功率稳定，光功率计测量范围和精度满足插入损耗测试要求；被测输入光端口和输出光端口处于可配置连接状态。

9.1.11.3 测试步骤如下。

- 将测试光源与光功率计直接连接，在规定波长下测量并记录参考输入光功率。
- 将测试光源接入输入光端口 IN_i ，将光功率计接入输出光端口 OUT_j 。

- c) 配置 OCS 建立输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的连接, 待输出光功率稳定后, 记录输出光功率并计算本次光插入损耗 $IL_{i-j}^{(m)}$ 。
- d) 断开输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的连接, 或切换至其他光路连接状态。
- e) 重新配置输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的连接, 重复步骤 c~d 不少于 100 次, 记录每次光插入损耗测试结果。
- f) 按公式 (11) 计算该输入输出光端口组合的重复性。

$$REP_{i-j} = \max_{1 \leq m \leq M} [IL_{i-j}^{(m)}] - \min_{1 \leq m \leq M} [IL_{i-j}^{(m)}] \cdots \cdots (1)$$

式中:

REP_{i-j} ——输入光端口 IN_i 至输出光端口 OUT_j 的重复性, 单位为分贝 (dB)。

$IL_{i-j}^{(m)}$ ——第 m 次重建光路后测得的光插入损耗, 单位为分贝 (dB)。

M ——重复切换次数。更换输入输出光端口组合, 重复上述测试。

9.1.11.4 关键指标: 重复性、光插入损耗标准差。

9.1.11.5 数据统计方法: 统计同一输入输出端口组合多次切换后的插入损耗测试结果, 取最大插入损耗与最小插入损耗之差作为该端口组合的重复性; 统计各端口组合重复性测试结果, 取最大值作为最差结果。

9.2 动态重构性能测试

9.2.1 单光路重构时延测试

9.2.1.1 测试目的: 验证 OCS 系统自身从接收到单条光路切换指令至目标光路建立并稳定的重构时延, 不包含服务器、网卡、光模块及其他外部系统引入的端到端业务时延。

9.2.1.2 测试条件: OCS 系统处于正常工作状态, 环境条件符合第 6 章要求; 全测试系统时间同步精度不大于 100 ns; 光功率稳定范围设置为稳态值 ± 0.5 dB, 并在测试方案中规定稳定判定保持时间 t_h ; 初始状态下被测光路处于断开状态, 其余端口均接入匹配光负载。

9.2.1.3 测试步骤如下。

- a) 完成测试设备时间同步与触发阈值校准。
- b) 测试终端向 OCS 下发光路建立指令, 同时输出同步触发信号给光示波器, 记录指令下发时刻 T_0 。
- c) 光示波器捕获输出光功率进入稳态值 ± 0.5 dB 范围并连续保持不少于 t_h 的起始时刻 T_1 。
- d) 按公式 (12) 计算单光路重构时延。

$$T_R = T_1 - T_0 \cdots \cdots (1)$$

式中:

T_R ——单光路重构时延, 单位为毫秒 (ms);

T_0 ——光路建立指令下发时刻;

T_1 ——输出光功率进入稳态值 ± 0.5 dB 范围并连续保持不少于 t_h 的起始时刻;

t_h ——测试方案规定的稳定判定保持时间。

e) 对同一条光路进行 1000 次重复通断切换测试, 记录每次的重构时延。

f) 更换不同端口对, 重复步骤 a~e, 覆盖不同位置的端口组合。

9.2.1.4 关键指标: 平均重构时延、最小重构时延、最大重构时延、P95 重构时延、P99 重构时延。

9.2.1.5 数据统计方法: 统计所有测试样本的时延值, 计算平均值、百分位值, 绘制时延分布直方图。

9.2.2 并发光路重构时延测试

9.2.2.1 测试目的: 验证 OCS 系统在多条光路并发重构场景下的时延性能, 匹配智算中心批量调度的真实场景。

9.2.2.2 测试条件: OCS 系统处于正常工作状态, 环境条件符合第 6 章要求; 测试拓扑与时间同步要求同 9.2.1, 支持多通道同步光功率采集; 并发规模: 分别测试 10%、25%、50%、100% 最大无阻塞并发光路数量。

9.2.2.3 测试步骤如下。

- a) 完成测试设备时间同步，设置光功率稳定阈值为稳态值 ± 0.5 dB。
- b) 初始状态：所有被测并发光路均处于断开状态。
- c) 测试终端向 OCS 下发批量光路建立指令，同时输出同步触发信号，记录指令下发时刻 T_0 。
- d) 采集所有并发光路的光功率稳定时刻，记录最后一条光路达到稳定阈值的时刻 T_1 。
- e) 按公式 (13) 计算并发光路重构时延。

$$T_C = T_1 - T_0 \quad (1)$$

式中：

T_C ——并发光路重构时延，单位为毫秒 (ms)；

T_0 ——批量光路建立指令下发时刻；

T_1 ——最后一条并发光路的输出光功率进入稳态值 ± 0.5 dB范围的时刻。

f) 对同一并发规模进行 100 次重复测试，记录每次的时延值。

g) 更换不同并发光路数量，重复步骤 a~f，覆盖所有设定的并发比例。

9.2.2.4 关键指标：平均并发重构时延、最大并发重构时延、P99 并发重构时延、不同并发规模下的时延劣化率。

9.2.2.5 数据统计方法：统计不同并发规模下的时延分布；以相同端口条件下的单光路重构时延 T_R 为基准，按公式 (14) 计算并发时延劣化率；绘制并发规模—时延关系曲线。

$$D_T = \frac{T_C - T_R}{T_R} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

D_T ——并发光路重构时延相对于单光路重构时延的劣化率，单位为百分比 (%)；

T_C ——并发光路重构时延，单位为毫秒 (ms)；

T_R ——相同端口条件下的单光路重构时延，单位为毫秒 (ms)。

9.2.3 光路重构抖动测试

9.2.3.1 测试目的：验证 OCS 系统多次光路重构的时延稳定性，评估调度确定性。

9.2.3.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；测试拓扑与时间同步要求同 9.2.1；测试次数：单条光路连续重构不小于 1000 次。

9.2.3.3 测试步骤如下：

- a) 完成测试设备时间同步与阈值设置；
- b) 对单条被测光路执行连续通断循环操作，每次下发指令后记录重构时延；
- c) 连续测试不小于 1000 次，记录所有时延样本；
- d) 测试过程中监控 OCS 系统的告警、温度状态，无异常。

9.2.3.4 关键指标：时延抖动（最大时延—最小时延）、时延标准差、时延变异系数（标准差/平均值）。

9.2.3.5 数据统计方法：统计所有时延样本的标准差、变异系数，绘制时延抖动趋势图。

9.2.4 光路重构成功率测试（可选）

9.2.4.1 测试目的：验证 OCS 系统在连续动态重构场景下的光路建立成功率。

9.2.4.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；调度请求模型应至少包含均匀请求模型和突发请求模型；请求频率分别为标称最大吞吐量的 10%、50%、100%；总测试请求数不小于 10000 次。

9.2.4.3 测试步骤如下。

- a) 配置测试脚本，按设定的请求模型向 OCS 下发光路重构指令。
- b) 每次指令下发后，检测光路是否在最大允许时延内成功建立，光功率达到可用阈值。
- c) 统计成功建立的光路数量、失败数量。
- d) 按公式 (15) 计算光路重构成功率。

$$R_S = \frac{N_S}{N_T} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

R_S ——光路重构成功率，单位为百分比 (%)；

N_s ——在最大允许时延内成功建立的光路请求数；

N_r ——光路重构请求总数。

e) 更换不同请求频率，重复步骤 a~d，记录不同负载下的成功率。

9.2.4.4 关键指标：平均重构成功率、满负载下的重构成功率、失败次数、失败原因分类。

9.2.4.5 数据统计方法：统计不同负载下的成功率，记录失败事件的原因与发生时间。

9.3 控制面性能测试（可选）

9.3.1 吞吐量测试

9.3.1.1 测试目的：验证 OCS 控制面单位时间内可成功处理的最大光路重构请求数量。

9.3.1.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；测试终端与 OCS 控制面通过以太网连接，网络无拥塞；协议分析仪串接在控制链路中，捕获信令交互过程。

9.3.1.3 测试步骤如下。

a) 初始状态：OCS 所有光路处于空闲状态。

b) 测试脚本以固定频率向 OCS 下发单光路重构请求，逐步提升请求频率。

c) 每一个频率档位持续测试 60 s，统计该时间段内成功处理的请求数量。

d) 当请求成功率低于 99.9% 时，停止提升频率，记录前一个档位的吞吐量为最大稳定吞吐量。

e) 分别测试单光路请求、批量并发请求的调度吞吐量，批量规模分别为 8、16、32、64 条光路。

f) 每个测试场景重复 3 次，取平均值作为最终结果。

9.3.1.4 关键指标：最大单请求调度吞吐量（次/秒）、最大批量请求调度吞吐量（条/秒）、稳定吞吐量、请求处理成功率。

9.3.1.5 数据统计方法：统计不同请求频率下的成功处理数量，绘制吞吐量—成功率曲线，确定最大稳定吞吐量。

9.3.2 业务承载时延与抖动测试

9.3.2.1 测试目的：验证 OCS 系统在承载业务及光路重构过程中对端到端通信时延、抖动、丢包和业务中断时间的影响。

9.3.2.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；测试拓扑：网络性能测试仪通过 100 G/400 G/800 G 光模块接入 OCS 输入输出端口，构建端到端以太网链路；初始状态：OCS 配置固定端到端光路，无丢包、无错误；测试流量：30% 线速的背景流量，包长为 1518 B，符合 RFC 2544 标准；测试时长不小于 60 s，采样间隔不大于 1 ms。

9.3.2.3 测试步骤如下：

a) 配置 OCS 固定光路，网络性能测试仪发送测试流量，记录端到端的双向时延；

b) 持续测试 60 s，采集所有时延样本，计算平均时延、最大时延、最小时延、抖动；

c) 在持续发送业务流量的条件下执行 1000 次光路重构，连续记录重构前、重构期间及重构后的端到端时延、丢包数量和业务中断时间。重复测试 3 次，取平均值。

9.3.2.4 关键指标：平均端到端时延、最大时延、时延抖动（P99—P50）、重构前后时延变化量、重构期间丢包率和业务中断时间。

9.3.2.5 数据统计方法：统计端到端时延的平均值、百分位值和抖动值，对比光路重构前后的时延差异；统计每次光路重构期间的丢包数量、丢包率和业务中断时间，并记录最差测试结果。

9.4 稳定性与异常恢复能力测试

9.4.1 长期运行稳定性测试

9.4.1.1 测试目的：验证 OCS 系统在长期连续运行、持续动态调度场景下的性能稳定性。

9.4.1.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求；测试负载：以 50% 最大调度吞吐量持续下发动态重构请求，同时承载 30% 线速的业务流量；测试时长：标准测试不小于 168 h（7 天），快速测试不小于 72 h（3 天）。

9.4.1.3 测试步骤如下。

a) 测试前完成基线性能测试，记录关键指标的初始值。

b) 启动长期稳定性测试，持续下发调度请求，承载业务流量。

- c) 每 24 h 执行一次全量性能测试，记录插入损耗、重构时延、吞吐量、丢包率等关键性能指标。
- d) 实时监控设备的温度、电压、风扇转速、告警信息，记录所有异常事件。
- e) 测试完成后，对比测试前后的关键性能指标变化，统计系统运行情况。
- f) 对以分贝表示的对数量，按公式（16）计算测试前后的变化量；对线性量，按公式（17）计算关键性能指标的劣化率。

$$\Delta X = X_{after} - X_{before} \quad (1)$$

$$D_X = \frac{X_{after} - X_{before}}{X_{before}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

ΔX ——以分贝表示的性能指标X在长期运行测试前后的变化量，单位为分贝（dB）；

D_X ——数值越小越优的线性性能指标X的劣化率；

X_{before} 、 X_{after} ——长期运行测试前、后的指标测量值。

注：对于数值越小越优的线性指标，采用公式所示分子；对于数值越大越优的线性指标，分子取 $X_{before} - X_{after}$ 。公式仅适用于 $X_{before} \neq 0$ 的线性量。对于光插入损耗、光串扰、回波损耗、方向性等以分贝表示的指标，采用变化量 ΔX ，单位为分贝（dB），并根据指标优劣方向判定是否劣化。

9.4.1.4 关键指标：测试前后线性性能指标劣化率、分贝指标变化量、累计无告警运行时长、光路重构累计成功率、业务零丢包运行时长。

9.4.1.5 数据统计方法：绘制性能指标随时间变化的趋势图，统计异常事件数量和类型；对线性指标计算劣化率，对以分贝表示的指标计算测试前后的变化量。

9.4.2 异常恢复能力测试

9.4.2.1 测试目的：验证 OCS 系统在异常场景下的恢复能力。

9.4.2.2 测试条件：OCS 系统处于正常工作状态，环境条件符合第 6 章要求。

9.4.2.3 测试场景：掉电重启、配置恢复、超负载调度。设备恢复后光路配置与掉电前配置一致。

9.4.2.4 测试步骤如下。

- a) 掉电重启恢复测试：系统正常运行，保存当前配置，承载稳定业务流量；断开设备所有电源，保持断电状态 5 min 后恢复供电；记录系统启动完成、配置恢复、光路重建的总时间；测试重启后的业务连通性、性能指标，对比重启前的差异；重复测试 5 次，记录每次的恢复时间。
- b) 超负载调度恢复测试：向 OCS 下发超过最大吞吐量的调度请求，持续 60 s；停止超负载请求，恢复正常负载，记录系统恢复正常调度的时间；测试恢复后的调度性能，对比异常前的差异；重复测试 3 次。

9.4.2.5 关键指标：系统恢复时间、配置恢复成功率、业务恢复时间、恢复后性能劣化率。

9.4.2.6 数据统计方法：统计不同异常场景下的恢复时间、恢复成功率，对比恢复前后的性能指标。

10 测试报告

测试报告应准确、清晰和客观，包含以下内容。

- a) 报告编号（可选）。
- b) 报告作者。
- c) 报告日期。
- d) 测试执行单位。
- e) 测试地址。
- f) 测试名称。
- g) 测试日期和时间。
- h) 测试环境信息（温度、相对湿度等）。
- i) 系统标识和制造商名称、设备型号与版本信息。
- j) （新增）异常事件记录。
- k) 测试结论（是否符合规范要求）。
- l) 附件：测试原始记录、测试脚本、拓扑图、仪表校准证书、相关照片等支撑材料。

参 考 文 献

- [1] IEEE 802.3 以太网标准
 - [2] IEEE 1588—2019 网络测量和控制系统的精密时钟同步协议标准
 - [2] RFC 6349 TCP 吞吐量测试方法
-