

中华人民共和国通信行业标准

YD/T XXXX—202X

量子密钥分发与经典光通信共纤传输技术
要求

Technical requirements of co-propagation in optical fibre for quantum key
distribution and classic optical communication

(报批稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

目 次

前言.....	2
1 范围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 术语和定义.....	3
4 缩略语.....	4
5 分类和应用代码.....	4
5.1 分类.....	4
5.2 波长分配.....	5
5.3 应用代码.....	5
6 模型和参考点.....	5
7 参数要求.....	6
8 共纤传输设备技术要求.....	6
8.1 共纤传输发送端.....	6
8.2 共纤传输接收端.....	8
8.3 管理接口.....	9
8.4 光功率控制.....	9
8.5 光功率监测.....	9
8.6 波长转换.....	9
8.7 管理控制.....	9
9 网元管理技术要求.....	10
9.1 量子信道管理.....	10
9.2 配置管理.....	10
9.3 故障管理.....	10
9.4 性能管理.....	10
附录 A（资料性） 典型共纤传输系统链路模型与应用参数参考指标.....	11

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。

本文件由中国通信标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：中国电信集团有限公司、中国信息通信研究院、科大国盾量子技术股份有限公司、国科量子通信网络有限公司、中国信息通信科技集团有限公司、安徽问天量子科技股份有限公司、华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、安徽皖通邮电股份有限公司、北京邮电大学、浙江九州量子信息技术股份有限公司、中国通信建设集团有限公司、上海循态量子科技有限公司、国开启科量子技术（北京）有限公司。

本文件主要起草人：程明、张萌、陶俊、唐建军、赖俊森、马彰超、周慧、刘云、李政宇、徐文华、王立伟、曾翔昊、古渊、黎定军、张一辰、齐若琳、申虹、周颖明、陈柳平、王其兵、李亚麟、钱懿。

量子密钥分发与经典光通信共纤传输技术要求

1 范围

本文件规定了基于BB84协议和GG02类协议的量子密钥分发与经典光通信共纤传输的技术要求，包括分类和应用代码、模型和参考点、参数要求、共纤传输设备技术要求、网元管理技术要求等。

本文件适用于城域中短距应用场景下量子密钥分发与经典光通信共纤传输系统（以下简称共纤传输系统）的研发和生产，其他应用场景可参照使用。

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。

YD/T 1383-2005 波分复用（WDM）网元管理系统技术要求

YD/T 3391-2018 光波分复用（WDM）系统总体技术要求

YD/T 3834.1-2021 量子密钥分发(QKD)系统技术要求 第1部分：基于诱骗态BB84协议的QKD系统

IEEE 802.3-2018 IEEE以太网标准（IEEE Standard for Ethernet）

IETF RFC 3411-2002 描述简单网络管理协议（SNMP）管理框架的体系结构（An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks）

3 术语和定义

GB/T xxxxx-xxxx界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

共纤传输 co-propagation in optical fibre

一路或多路量子态光信号与经典光信号在同一光纤中传输。

3.2

共纤传输设备网元 quantum and classical division multiplexing equipment network element

实现量子态光信号与经典光信号在一根光纤中传输的设备实体。

3.3

BB84协议 BB84 protocol

首个基于单光子有限可数的量子态进行密钥分发的协议，由Bennett和Brassard在1984年提出。

3.4

GG02类协议 GG02 class protocol

基于零差探测或外差探测的高斯调制相干态QKD协议，典型协议包括GG02协议、No-Switching协议等。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CV-QKD 连续变量量子密钥分发 (Continuous Variable Quantum Key Distribution)

CWDM 粗波分复用 (Coarse Wavelength Division Multiplexing)

DV-QKD 离散变量量子密钥分发 (Discrete Variable Quantum Key Distribution)

DWDM 密集波分复用 (Dense Wavelength Division Multiplexing)

OSC 光监控通道 (Optical Supervisory Channel)

QKD 量子密钥分发 (Quantum Key Distribution)

WDM 波分复用 (Wavelength Division Multiplexing)

5 分类和应用代码

5.1 分类

5.1.1 按 QKD 技术路线分类

共纤传输系统按QKD系统的技术路线可分为：

——DV-QKD；

——CV-QKD；

——其他。

5.1.2 按 QKD 协议分类

共纤传输系统按QKD系统使用的协议可分为：

——BB84；

——GG02类；

——其他。

5.1.3 按波长类型分类

共纤传输系统按波长类型可分为：

——CWDM波长；

——DWDM波长；

——CWDM+DWDM波长；

——其他。

5.1.4 按波长数分类

共纤传输系统按总波长数可分为：

——3/4路；

——5/6路；

——其他。

注：总波长数包括量子态光信号波长数和经典光信号（包括同步光、协商光、数据光）波长数，示例参见附录A。

5.2 波长分配

量子态光信号可采用的中心波长应符合YD/T 3834.1-2021的4.2节。

经典光信号可采用不同波段，基于CWDM和DWDM波长分配要求应符合YD/T 3391-2018的6.4节，基于OSC波长分配要求应符合YD/T 3391-2018的18.1.2节。

注：基于其他波长分配要求待研究。

5.3 应用代码

共纤传输系统的应用代码如下：

P-S-QmCn

其中：

P表示QKD系统使用的协议：

——BB84：表示采用诱骗态BB84协议的DV-QKD系统；

——GG02：表示采用GG02类协议的CV-QKD系统；

注：其他协议系统待研究。

S表示共纤传输系统使用的波长类型。

——CWDM：表示采用CWDM波长；

——DWDM：表示采用DWDM波长；

——WDM：表示采用CWDM+DWDM波长；

注1：其他波长类型待研究。

注2：DWDM波长包括OSC波长。

Q表示量子信道，m表示量子信道波长数，C表示经典信道，n表示经典信道波长数。

示例1：BB84-CWDM-Q1C5表示可接入采用BB84协议的DV-QKD系统，使用CWDM波长，最大支持1路量子态光信号和5路经典光信号。

示例2：GG02-WDM-Q1C4表示可接入采用GG02类协议的CV-QKD系统，使用CWDM+DWDM波长，最大支持1路量子态光信号和4路经典光信号。

6 模型和参考点

共纤传输系统通过对量子态光信号和经典光信号进行合分波等处理，实现量子态光信号和经典光信号在同一光纤中传输，包括共纤传输发送端、共纤传输接收端等设备，系统模型和参考配置如图1所示。

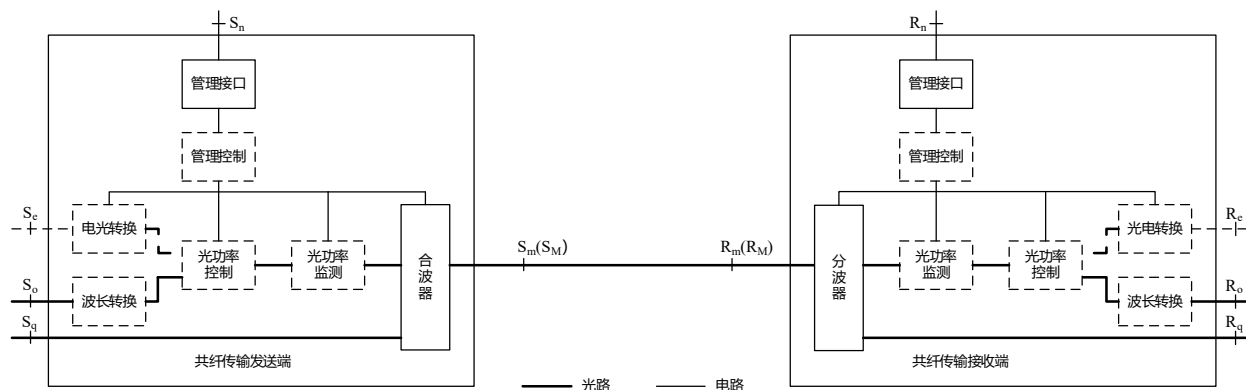


图1 共纤传输系统模型和参考配置

图1中定义了共纤传输系统10个外部参考点，具体含义如下：

—— S_e 表示共纤传输发送端电信号输入参考点；

—— R_e 表示共纤传输接收端电信号输出参考点；

- S_o 表示共纤传输发送端经典光信号输入参考点；
- R_o 表示共纤传输接收端经典光信号输出参考点；
- S_q 表示共纤传输发送端量子态光信号输入参考点；
- R_q 表示共纤传输接收端量子态光信号输出参考点；
- S_m 表示共纤传输发送端合波信号输出参考点，与WDM系统中 S_M 位置相同；
- R_m 表示共纤传输接收端合波信号输入参考点，与WDM系统中 R_M 位置相同；
- S_n 表示共纤传输发送端管理接口参考点；
- R_n 表示共纤传输接收端管理接口参考点。

共纤传输发送端和接收端均以量子态光信号的发送和接收作为参考方向。经典光在合波器和分波器之间采用单纤双向模式进行传输。

共纤传输发送端包含合波器，实现量子态光信号和经典光信号的波分复用功能；电光转换（可选），实现电信号转换成特定波长的光信号。

共纤传输接收端包含分波器，实现合波信号的波分解复用功能；光电转换（可选），实现经典光信号转换成电信号。

共纤传输发送端和接收端均包含：

——管理接口，提供系统网管与本地维护接口，共纤传输设备可与QKD设备集成，也可为外置式独立设备，共纤传输设备与QKD设备集成时，可由QKD设备提供管理接口功能；

——光功率控制（可选），实现对经典光信号的功率进行衰减或放大，当使用光功率控制对经典光信号进行功率衰减时，宜配置在经典光信号发送端，当使用光功率控制对经典光信号进行功率放大时，宜配置在经典光信号接收端；

——光功率监测（可选），实现光路功率监测功能；

——波长转换（可选），实现光信号转换成特定波长的光信号；

——管理控制（可选），实现系统管理控制功能。

7 参数要求

共纤传输系统参数包括光纤长度、共纤传输系统衰耗（含合分波器）、 S_m/R_m 点信号光功率（包括单波光信号功率和合波光信号总功率）等。典型共纤传输系统应用参数示例参见附录A。

注：具体参数指标要求待研究。

8 共纤传输设备技术要求

8.1 共纤传输发送端

8.1.1 合波器

共纤传输系统合波器实现量子态光信号与经典光信号的波分复用功能。

采用CWDM的共纤传输系统合波器技术要求应符合表1，采用CWDM+DWDM的共纤传输系统合波器技术要求应符合表2。

注：采用DWDM的共纤传输系统合波器技术要求待研究。

表 1 采用 CWDM 的共纤传输系统合波器性能参数指标

参数名称	参数值	单位
------	-----	----

通道数	3/4	5/6	-
中心波长	1271、1291、1551 ^a 、1571 ^b	1271、1291、1311、1331、1551 ^a 、1571 ^b	nm
中心波长偏差（最大）	±1.5		nm
1dB通带宽度	≥13		nm
通带平坦度	≤0.5		dB
量子信道最大通道插入损耗	1.5	1.5	dB
经典信道最大通道插入损耗	2.0	2.0	dB
相邻通道隔离度	≥25		dB
量子信道与经典信道的隔离度	≥60 ^c		dB
波长热稳定性	≤0.002		nm/°C
插入损耗热稳定性	≤0.007		dB/°C
偏振相关损耗	≤0.15		dB
回波损耗	≥40		dB
工作温度	0~+70		°C
储存温度	-40~+85		°C
<p>^a 1551nm为量子态光信号中心波长；</p> <p>^b 1571nm为DV-QKD系统同步光中心波长，CV-QKD系统可不包含该波长；</p> <p>^c CV-QKD共纤传输系统该指标可以放宽到30dB。</p>			

表 2 采用 CWDM+DWDM 的共纤传输系统合波器性能参数指标

参数名称	参数值		单位
通道数	3/4	5/6	-
中心波长	YD/T 3391-2018表2~表5		nm
CWDM中心波长偏差（最大）	±1.5		nm
DWDM中心波长偏差（最大）	±0.05		nm
CWDM 1dB通带宽度	≥13		nm
DWDM 1dB通带宽度	≥0.4		nm
通带平坦度	≤1.5		dB
量子信道最大通道插入损耗	1.8	1.8	dB
经典信道最大通道插入损耗	2.5	2.5	dB
相邻通道隔离度	≥22		dB
量子信道与经典信道的隔离度	≥80 ^a		dB
波长热稳定性	≤0.002		nm/°C
插入损耗热稳定性	≤0.007		dB/°C
偏振相关损耗	≤0.2		dB
回波损耗	≥40		dB

表 2 采用 CWDM+DWDM 的共纤传输系统合波器性能参数指标（续）

参数名称	参数值		单位
------	-----	--	----

工作温度	0~+70	°C
储存温度	-40~+85	°C
a 量子信道选择DWDM波长时该指标可以放宽到60dB，CV-QKD共纤传输系统该指标可以放宽到30dB。		

8.1.2 电光转换

电光转换应支持将电信号转换成对应速率的指定波长经典光信号。

8.2 共纤传输接收端

8.2.1 分波器

共纤传输系统分波器实现合波信号的波分解复用功能。

采用CWDM的共纤传输系统分波器技术要求应符合表3，采用CWDM+DWDM的共纤传输系统分波器技术要求应符合表4。

注：采用DWDM的共纤传输系统分波器技术要求待研究。

表3 采用 CWDM 的共纤传输系统分波器性能参数指标

参数名称	参数值		单位
通道数	3/4	5/6	-
中心波长	1271、1291、1551 ^a 、1571 ^b	1271、1291、1311、1331、1551 ^a 、1571 ^b	nm
中心波长偏差（最大）	±1.5		nm
1dB通带宽度	≥13		nm
通带平坦度	≤0.5		dB
量子信道最大通道插入损耗	1.5	1.5	dB
经典信道最大通道插入损耗	2.0	2.0	dB
相邻通道隔离度	≥25		dB
量子信道与经典信道的隔离度	≥60 ^c		dB
波长热稳定性	≤0.002		nm/°C
插入损耗热稳定性	≤0.007		dB/°C
偏振相关损耗	≤0.15		dB
回波损耗	≥40		dB
工作温度	0~+70		°C
储存温度	-40~+85		°C
a 1551nm为量子态光信号中心波长； b 1571nm为DV-QKD系统同步光中心波长，CV-QKD系统可不包含该波长； c CV-QKD共纤传输系统该指标可以放宽到30dB。			

表4 采用 CWDM+DWDM 的共纤传输系统分波器性能参数指标

参数名称	参数值		单位
通道数	3/4	5/6	-
中心波长	YD/T 3391-2018表2~表5		nm
CWDM中心波长偏差（最大）	±1.5		nm
DWDM中心波长偏差（最大）	±0.05		nm
CWDM 1dB通带宽度	≥13		nm
DWDM 1dB通带宽度	≥0.4		nm
通带平坦度	≤1.5		dB
量子信道最大通道插入损耗	1.8	1.8	dB
经典信道最大通道插入损耗	2.5	2.5	dB
相邻通道隔离度	≥22		dB
量子信道与经典信道的隔离度	≥80 ^a		dB
波长热稳定性	≤0.002		nm/℃
插入损耗热稳定性	≤0.007		dB/℃
偏振相关损耗	≤0.2		dB
回波损耗	≥40		dB
工作温度	0~+70		℃
储存温度	-40~+85		℃
^a 量子信道选择DWDM波长时该指标可以放宽到60dB，CV-QKD共纤传输系统该指标可以放宽到30dB。			

8.2.2 光电转换

光电转换应支持将经典光信号转换成对应速率的电信号。

8.3 管理接口

共纤传输系统管理接口实现与上层网管系统接口功能或本地维护功能，可采用多种实现方案。对于Sn/Rn采用标准速率电接口实现方案，接口参数应符合IEEE 802.3-2018的要求。接口应支持SNMPv3网管协议，协议要求应符合IETF RFC 3411-2002及相关系列标准要求。

8.4 光功率控制

光功率控制应支持对经典光信号功率的衰减或放大。光信号功率衰减范围应不小于30dB。

注：光信号功率放大范围待研究。

8.5 光功率监测

光功率监测应支持对经典光信号功率进行检测，并上报管理控制。

8.6 波长转换

波长转换应支持在发送端将经典光信号转换为符合5.2的标准波长光信号，在接收端将符合5.2的标准波长光信号转换为经典光信号。波长转换应符合YD/T 3391-2018第10章的要求。

8.7 管理控制

共纤传输系统发送端和接收端的管理控制对系统中的其他功能组件进行管理控制。

9 网元管理技术要求

9.1 量子信道管理

共纤传输系统网元管理应支持对量子信道的管理。

注：具体管理方式待研究。

9.2 配置管理

共纤传输系统网元管理应支持共纤传输设备网元（以下简称设备网元）的入离网管理、参数配置和查询等功能，具体包括：

- 参数配置管理应符合YD/T 1383-2005 6.2.3.3.4的要求；
- 应支持设备网元的软硬件版本查询、工作参数配置与查询、工作状态（包括性能参数和状态告警）的实时监控与查询；
- 应为上述配置和查询操作提供网管日志，以及日志信息的记录、查询和上报功能；
- 应为上述配置、查询、记录和上报操作提供简洁、易用和图形化的管理操作界面；
- 应提供用于说明网管功能、配置和查询使用方法以及注意事项的使用手册和用户帮助文档，并提供相应的技术支持信息。

9.3 故障管理

共纤传输系统网元管理应支持设备网元、关键组件和链路状态的告警监测和故障管理，支持对于告警和故障信息的等级分类、定时定位、处理清除、统计存储和查询上报等功能。告警监测功能应支持监视的告警有：输入/输出信号丢失、输入/输出光功率过低、单元盘故障、外部环境告警事件等。

9.4 性能管理

共纤传输系统网元管理应支持对设备网元、关键组件和链路状态的性能参数监测和越限判定，支持对性能参数信息的等级分类、定时定位、统计存储和查询上报等功能。性能参数监测功能应支持监视的性能参数有：输入光功率、输出光功率、单板温度（可选）、激光器偏置电流（可选）等。

附录 A

(资料性)

典型共纤传输系统链路模型与应用参数参考指标

参考运营商城域光纤链路及维护情况，设定以下典型共纤传输系统链路模型：

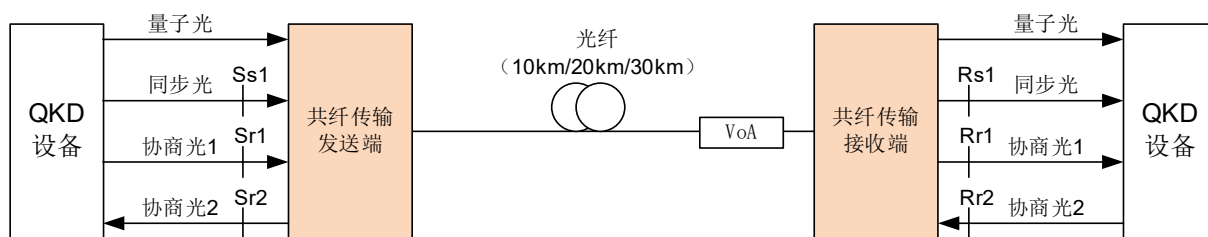
——短距链路，适用于接入层场景，光纤长度10km，活动连接器4个，1550nm波长下线路损耗按5dB计算（包括3dB光纤传输损耗和2dB活动连接器损耗），预留维护冗余按2dB计算；

——中距链路，适用于接入层场景，光纤长度20km，活动连接器7个，1550nm波长下线路损耗按9.5dB计算（包括6dB光纤传输损耗和3.5dB活动连接器损耗），预留维护冗余按3dB计算；

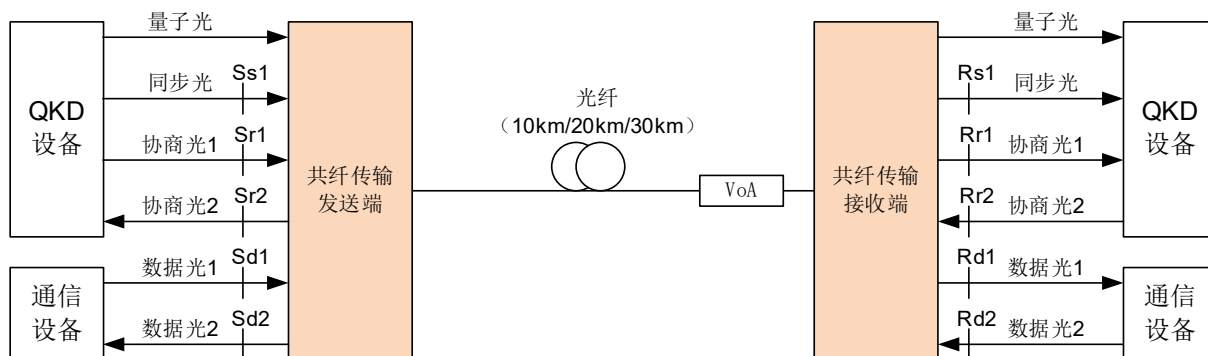
——长距链路，适用于核心汇聚层场景，光纤长度30km，活动连接器6个，1550nm波长下线路损耗按12dB计算（包括9dB光纤传输损耗和3dB活动连接器损耗），预留维护冗余按3dB计算。

在实验室测试时，可通过对应长度的光纤和可调光衰减器控制线路总损耗来模拟现网环境。

基于上述链路模型，QKD设备厂商搭建了实验室测试环境，在保证QKD设备和通信设备正常工作（符合业务系统要求）的情况下记录典型共纤传输系统的平均密钥成码率和各参考点光功率，测试框图和参考点见图A.1和图A.2。图A.1所示为QKD设备共纤传输应用场景（对应总波长数3/4路），图A.2所示为QKD设备与通信设备共纤传输应用场景（对应总波长数5/6路）。



图A.1 QKD设备共纤传输测试框图



图A.2 QKD设备与通信设备共纤传输测试框图

厂商A进入共纤传输系统的光信号标称指标见表A.1。不同链路模型下QKD设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率见表A.2。不同链路模型下QKD设备与通信设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率见表A.3。

表 A.1 厂商 A 进入共纤传输系统的光信号标称指标

量子光		同步光		协商光			数据光		
中心波长 nm	脉冲频率 MHz	中心波长 nm	脉冲频率 MHz	中心波长1 nm	中心波长2 nm	速率 MHz	中心波长1 nm	中心波长2 nm	速率 MHz
1550.12	100	1571	0.1	1291	1271	155	1331	1311	1250

表 A.2 不同链路模型下厂商 A QKD 设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率

链路模型		参数名称	测试值	单位	
10km 光纤	5dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率	31.77	kbps	
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.41	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.75	dBm
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-47.16	dBm
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.7	dBm
	协商光2发射光功率 (Rr2)		3.5	dBm	
	7dB损耗 (线路损耗+维护余 量)	平均密钥成码率	23.59	kbps	
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.41	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.69	dBm
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-48.96	dBm
协商光1接收光功率 (Rr1)			-42.63	dBm	
协商光2发射光功率 (Rr2)	3.5		dBm		
20km 光纤	9.5dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率	14.68	kbps	
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.41	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.1	dBm
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-51.35	dBm
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.62	dBm
	协商光2发射光功率 (Rr2)		3.5	dBm	
	12.5dB损耗 (线路损耗+维护余 量)	平均密钥成码率	8.08	kbps	
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.46	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.98	dBm
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-54.66	dBm

			协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.53	dBm
			协商光2发射光功率 (Rr2)	3.5	dBm
30km 光纤	12dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率		9.02	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.46	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.28	dBm
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-54.05	dBm
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.82	dBm
	协商光2发射光功率 (Rr2)		3.5	dBm	
	15dB损耗 (线路损耗+维护余 量)	平均密钥成码率		4.67	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.46	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm
协商光2接收光功率 (Sr2)			-42.71	dBm	

表 A.2 不同链路模型下厂商 A QKD 设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率 (续)

链路模型		参数名称		测试值	单位
30km 光纤	15dB损耗 (线路损耗+维护余 量)	接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-56.89	dBm
			协商光1接收光功率 (Rr1)	42.32	dBm
			协商光2发射光功率 (Rr2)	3.5	dBm

表 A.3 不同链路模型下厂商 A QKD 设备与通信设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率

链路模型		参数名称		测试值	单位
10km 光纤	5dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率		30.6	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.15	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.75	dBm
			数据光1发射光功率 (Sd1)	4.32	dBm

		接收端	数据光2接收光功率 (Sd2)	-34.62	dBm	
			同步光接收光功率 (Rs1)	-47.38	dBm	
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.7	dBm	
			协商光2发射光功率 (Rr2)	3.5	dBm	
			数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.17	dBm	
			数据光2发射光功率 (Rd2)	4.11	dBm	
	7dB损耗 (线路损耗+维护余量)	平均密钥成码率			22.8	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.15	dBm	
			协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm	
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.69	dBm	
			数据光1发射光功率 (Sd1)	4.32	dBm	
			数据光2接收光功率 (Sd2)	-34.88	dBm	
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-49.14	dBm	
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.63	dBm	
			协商光2发射光功率 (Rr2)	3.5	dBm	
数据光1接收光功率 (Rd1)			-35.23	dBm		
数据光2发射光功率 (Rd2)	4.11		dBm			
20km 光纤	9.5dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率			13.89	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.15	dBm	
			协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm	
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.1	dBm	
			数据光1发射光功率 (Sd1)	4.32	dBm	
			数据光2接收光功率 (Sd2)	-35.03	dBm	
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-51.33	dBm	
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.62	dBm	

			协商光2发射光功率 (Rr2)	3.5	dBm
			数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.12	dBm

表 A.3 不同链路模型下厂商 A QKD 设备与通信设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率
(续)

链路模型		参数名称		测试值	单位		
20km 光纤	9.5dB损耗 (线路损耗)	接收端	数据光2发射光功率 (Rd2)	4.11	dBm		
		平均密钥成码率		6.44	kbps		
	12.5dB损耗 (线路损耗+维护余量)	发送端		同步光发射光功率 (Ss1)	-40.15	dBm	
				协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm	
				协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.98	dBm	
				数据光1发射光功率 (Sd1)	4.32	dBm	
				数据光2接收光功率 (Sd2)	-34.97	dBm	
		接收端		同步光接收光功率 (Rs1)	-54.35	dBm	
				协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.53	dBm	
				协商光2发射光功率 (Rr2)	3.5	dBm	
			数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.26	dBm		
			数据光2发射光功率 (Rd2)	4.11	dBm		
	30km 光纤	12dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率		7.46	kbps	
			发送端		同步光发射光功率 (Ss1)	-40.15	dBm
					协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm
				协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.28	dBm	
				数据光1发射光功率 (Sd1)	4.32	dBm	
				数据光2接收光功率 (Sd2)	-34.85	dBm	
接收端				同步光接收光功率 (Rs1)	-53.82	dBm	
				协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.82	dBm	

15dB损耗 (线路损耗+维护余量)		协商光2发射光功率 (Rr2)	3.5	dBm
		数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.01	dBm
		数据光2发射光功率 (Rd2)	4.11	dBm
	平均密钥成码率		2.29	kbps
	发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-40.15	dBm
		协商光1发射光功率 (Sr1)	3.3	dBm
		协商光2接收光功率 (Sr2)	-42.71	dBm
		数据光1发射光功率 (Sd1)	4.32	dBm
		数据光2接收光功率 (Sd2)	-35.06	dBm
	接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-56.76	dBm
		协商光1接收光功率 (Rr1)	-42.32	dBm
		协商光2发射光功率 (Rr2)	3.5	dBm
		数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.31	dBm
数据光2发射光功率 (Rd2)		4.11	dBm	

厂商B进入共纤传输系统的光信号标称指标见表A.4。不同链路模型下QKD设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率见表A.5。不同链路模型下QKD设备与通信设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率见表A.6。

表A.4 厂商B进入共纤传输系统的光信号标称指标

量子光		同步光		协商光			数据光		
中心波长 nm	脉冲频率 MHz	中心波长 nm	脉冲频率 MHz	中心波长1 nm	中心波长2 nm	速率 MHz	中心波长1 nm	中心波长2 nm	速率 MHz
1550.12	625	1569.59	0.1	1291	1271	1250	1331	1311	1250

表A.5 不同链路模型下厂商B QKD设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率

链路模型		参数名称		测试值	单位
10km 光纤	5dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率		194.9	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	-21.79	dBm

20km 光纤		接收端	协商光2接收光功率 (Sr2)	-35.52	dBm	
			同步光接收光功率 (Rs1)	-28.91	dBm	
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-30.24	dBm	
			协商光2发射光功率 (Rr2)	-27.34	dBm	
	7dB损耗 (线路损耗+维护余量)	平均密钥成码率		143.3	kbps	
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm	
			协商光1发射光功率 (Sr1)	-17.31	dBm	
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-36.34	dBm	
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-30.88	dBm	
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-31.14	dBm	
			协商光2发射光功率 (Rr2)	-26.17	dBm	
		9.5dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率		108.1	kbps
			发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm
	协商光1发射光功率 (Sr1)			-15.46	dBm	
	协商光2接收光功率 (Sr2)			-35.93	dBm	
接收端	同步光接收光功率 (Rs1)		-33.38	dBm		
	协商光1接收光功率 (Rr1)		-28.48	dBm		
	协商光2发射光功率 (Rr2)		-22.03	dBm		
12.5dB损耗 (线路损耗+维护余量)	平均密钥成码率		57.9	kbps		
	发送端		同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm	
		协商光1发射光功率 (Sr1)	-11.59	dBm		
		协商光2接收光功率 (Sr2)	-35.28	dBm		
	接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-32.38	dBm		
		协商光1接收光功率 (Rr1)	-28.4	dBm		
		协商光2发射光功率 (Rr2)	-18.23	dBm		
	30km 光纤	12dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率		66.9	kbps
			发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm

			协商光1发射光功率 (Sr1)	-11.91	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-35.7	dBm
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-35.88	dBm

表 A.5 不同链路模型下厂商 B QKD 设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率 (续)

链路模型		参数名称		测试值	单位
30km 光纤	12dB损耗 (线路损耗)	接收端	协商光1接收光功率 (Rr1)	-29.95	dBm
			协商光2发射光功率 (Rr2)	-17.18	dBm
	15dB损耗 (线路损耗+维护余量)	平均密钥成码率		30.8	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	-7.64	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-35.34	dBm
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-38.88	dBm
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-28.9	dBm
			协商光2发射光功率 (Rr2)	-13.63	dBm

表 A.6 不同链路模型下厂商 B QKD 设备与通信设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率

链路模型		参数名称		测试值	单位
10km 光纤	5dB损耗 (线路损耗)	平均密钥成码率		188.5	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	-21.25	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-35.38	dBm
			数据光1发射光功率 (Sd1)	-27.39	dBm
			数据光2接收光功率 (Sd2)	-30.56	dBm
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-28.88	dBm
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-29.51	dBm
			协商光2发射光功率 (Rr2)	-27.3	dBm
			数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.45	dBm

			数据光2发射光功率 (Rd2)	-22.43	dBm
	7dB损耗 (线路损耗+维护余量)		平均密钥成码率	142.9	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	-19.78	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-35.84	dBm
			数据光1发射光功率 (Sd1)	-25.49	dBm
			数据光2接收光功率 (Sd2)	-30.33	dBm
		接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-30.88	dBm
			协商光1接收光功率 (Rr1)	-29.83	dBm
			协商光2发射光功率 (Rr2)	-26.22	dBm
			数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.42	dBm
	数据光2发射光功率 (Rd2)		-20.71	dBm	
20km 光纤	9.5dB损耗 (线路损耗)		平均密钥成码率	100.9	kbps
		发送端	同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm
			协商光1发射光功率 (Sr1)	-15.46	dBm
			协商光2接收光功率 (Sr2)	-35.88	dBm
			数据光1发射光功率 (Sd1)	-22.37	dBm
			数据光2接收光功率 (Sd2)	-30.72	dBm

表 A.6 不同链路模型下厂商 B QKD 设备与通信设备共纤传输的平均密钥成码率和各参考点光功率 (续)

链路模型		参数名称	测试值	单位	
20km 光纤	9.5dB损耗 (线路损耗)	接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-33.38	dBm
		协商光1接收光功率 (Rr1)	-29.35	dBm	
		协商光2发射光功率 (Rr2)	-21.9	dBm	
		数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.79	dBm	

30km 光纤	12.5dB损耗 (线路损耗+维护余量)		数据光2发射光功率 (Rd2)	-17.1	dBm			
			平均密钥成码率		39.2	kbps		
		发送端		同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm		
				协商光1发射光功率 (Sr1)	-12.33	dBm		
				协商光2接收光功率 (Sr2)	-35.21	dBm		
				数据光1发射光功率 (Sd1)	-19.23	dBm		
				数据光2接收光功率 (Sd2)	-31.66	dBm		
		接收端		同步光接收光功率 (Rs1)	-36.38	dBm		
				协商光1接收光功率 (Rr1)	-29.3	dBm		
				协商光2发射光功率 (Rr2)	-18.26	dBm		
				数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.52	dBm		
				数据光2发射光功率 (Rd2)	-14.96	dBm		
		30km 光纤	12dB损耗 (线路损耗)		平均密钥成码率		46.8	kbps
				发送端		同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm
						协商光1发射光功率 (Sr1)	-11.91	dBm
	协商光2接收光功率 (Sr2)				-35.7	dBm		
	数据光1发射光功率 (Sd1)				-18.03	dBm		
	数据光2接收光功率 (Sd2)				-31.39	dBm		
接收端				同步光接收光功率 (Rs1)	-35.88	dBm		
				协商光1接收光功率 (Rr1)	-29.95	dBm		
				协商光2发射光功率 (Rr2)	-17.18	dBm		
				数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.34	dBm		
				数据光2发射光功率 (Rd2)	-13.63	dBm		
15dB损耗 (线路损耗+维护余量)				平均密钥成码率		25.2	kbps	
	发送端		同步光发射光功率 (Ss1)	-21.47	dBm			

量)		协商光1发射光功率 (Sr1)	-7.71	dBm
		协商光2接收光功率 (Sr2)	-35.91	dBm
		数据光1发射光功率 (Sd1)	-14.89	dBm
		数据光2接收光功率 (Sd2)	-31.66	dBm
	接收端	同步光接收光功率 (Rs1)	-38.88	dBm
		协商光1接收光功率 (Rr1)	-29.43	dBm
		协商光2发射光功率 (Rr2)	-13.6	dBm
		数据光1接收光功率 (Rd1)	-35.4	dBm
		数据光2发射光功率 (Rd2)	-10.43	dBm