

# APC

## C+L WDM 系统用 超大容量单模光纤

**A SUPER HIGH CAPACITY SINGLE-MODE  
OPTICAL FIBRE FOR C+L WDM SYSTEM**

版本：1.0 (2021)



**APC**

# **C+L WDM 系统用超大容量单模光纤**

版本：1.0 (2021)

**APC**

Asian-Pacific Optical Fiber  
& Cable Industry Association

---

发行人：  
亚太光纤光缆产业协会 (APC)



## C+L WDM 系统用超大容量单模光纤

### 简介：

本文件规定了超大容量单模光纤（简称CL光纤）的几何尺寸、传输特性、机械性能和环境性能等要求。

本文件规定的CL光纤适用于C+L波段的波分复用（WDM）通信系统，可有效提高可用的频谱带宽，以满足高速率大容量的光传输需求。

根据ITU-T G. sup39对光波段的划分，传统的C波段为1530–1565nm，L波段为1565–1625nm，C+L波段即为1530nm至1625nm，本文件所指的C+L波段为1520nm至1625nm。

### 关键词：

单模光纤 CL光纤 WDM系统 超大容量

### 本标准历次制修订说明：

编辑版本	标准号	发布日期	研究单位
V1.0	APC FAT-0001 V1.0 (2021)	2021年12月1日	APC技术委员会



## 目录

1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 缩略 .....	2
5 要求 .....	2
5.1 尺寸参数 .....	2
5.2 传输特性 .....	2
5.3 机械性能 .....	5
5.4 环境性能 .....	6
附录A（资料性附录） .....	7
A.1 概述 .....	7
A.2 选取CL光纤的方法（经验） .....	8
参考文献 .....	10



# C+L WDM 系统用超大容量单模光纤

## 1 范围

本标准规定了一种可用于C+L波段WDM系统的单模光纤特性，简称CL光纤。

CL光纤的传输特性、几何参数、机械特性和环境特性具有以下特征：

- 光纤衰减系数规定在1550nm和1625nm处，且做了最大值规定；
- 定义了光纤衰减翘度参数，并规定了两个C+L波段内的光纤衰减翘度(FAWD)值，分别是1520nm与波段内衰减最小值的差值 $\Delta \alpha_{1520}$ 及1625nm与波段内衰减最小值的差值 $\Delta \alpha_{1625}$ 。同时还规定了光纤衰减翘度差(FAWDD) $\Delta \alpha$ ；

光纤其它传输特性参数要求与G. 652D光纤保持一致；

- 几何尺寸参数规定了涂覆直径分别为250  $\mu\text{m}$ 和200  $\mu\text{m}$ 两种光纤的指标；
- 光纤机械性能和环境性能要求与G. 652D光纤保持一致。

## 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。

ITU-T Recommendation G. 650.1 (2020)，单模光纤光缆的具有线性和确定性特性的参数定义和试验方法

ITU-T Recommendation G. 650.2 (2015)，单模光纤光缆的具有统计和非线性特性的参数定义和试验方法

IEC/TR 62048 (2014)，光纤可靠性的幂次率理论

## 3 术语和定义

除ITU-T G. 650.1和ITU-T G. 650.2中确立的相关术语和定义适用于本文件外，下列术语和定义也适用于本文件。

### 3.1.1 C+L WDM系统用单模光纤

一种衰减性能得到优化的在C+L波段最高可支持240波的WDM系统用的单模光纤。

### 3.1.2 光纤衰减系数翘度

在规定的波长范围内，光纤衰减系数随波长呈现U型状态时某一特定波长处的衰减系数与波长范围内最小衰减系数的差称之为衰减系数翘度。1520nm波长的FAWD用 $\Delta \alpha_{1520}$ 表示，1625nm波长的FAWD用 $\Delta \alpha_{1625}$ 表示。

### 3.1.3 光纤衰减翘度差

两个不同特定波长处的衰减系数翘度的算数差的绝对值称之为翘度差，用 $\Delta \alpha$ 表示。公式为：

$$\Delta \alpha = |\Delta \alpha_{1520} - \Delta \alpha_{1625}| \cdots \cdots (1)$$

#### 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

WDM: 波分复用

FWM: 四波混频

PMD: 偏振模色散

PMD<sub>Q</sub>: 链路偏振模色散系数统计参数

FAWD: 光纤衰减系数翘度

FAWDD: 光纤衰减翘度差

#### 5 要求

##### 5.1 尺寸参数

CL光纤的尺寸参数应符合表1规定

表1 CL光纤的尺寸参数

项目	单位	技术指标	
		250 μm	200 μm
包层内径	μm	125.0±0.7	125.0±0.7
芯/包层同心度误差	μm	≤0.5	≤0.5
包层不圆度	%	≤1.0	≤1.0
涂覆层直径(未着色)	μm	235~255	180~210
涂覆层直径(着色)	μm	235~265	180~220
包层/涂覆层同心度误差	μm	≤12.5	≤10.0

注：光纤带中光纤的尺寸参数可有更严格的要求。

##### 5.2 传输特性

###### 5.2.1 截止波长

光纤截止波长 $\lambda_c$ 暂定为不大于1340nm，且成缆后的截止波长 $\lambda_{cc}$ 在C+L波段应能保证单模传输。

###### 5.2.2 宏弯损耗

CL光纤的宏弯特性应符合表2规定。由于宏弯损耗随波长增加，选择了1625nm波长处的宏弯损耗作为指标。在需要的情况下，可由供应商和用户协定其它波长处宏弯损耗的指标。如果由于实际原因，同样弯曲半径下，选用其它弯曲圈数的试验，最大允许的宏弯损耗值应与表中的指标成比例。

表2 CL光纤的宏弯特性

测试条件		单位	技术指标
弯曲半径	30 mm	dB	0.1
圈数	100		
测试波长	1625nm		

5.2.3 衰减系数

CL光纤的衰减系数应符合表3规定。

表3 CL光纤的衰减特性

项目	单位	技术指标		
		A 级	B 级	C 级
1550nm 衰减系数最大值	dB/km	0.200		
1625nm 衰减系数最大值	dB/km	0.250		
$\Delta \alpha_{1520}$	dB/km	$\leq 0.020$	$\leq 0.018$	$\leq 0.015$
$\Delta \alpha_{1625}$	dB/km			
$\Delta \alpha$ (绝对值)	dB/km	$\leq 0.009$	$\leq 0.006$	$\leq 0.003$

5.2.4 色散特性

在1260nm~1460nm波长区域，任一波长 $\lambda$ 下的色散系数限值 $D(\lambda)$ 应按公式（1）、（2）、（3）计算：

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\min}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (\lambda \leq \lambda_{0\min}) \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (\lambda_{0\min} \leq \lambda \leq \lambda_{0\max}) \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\lambda S_{0\min}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (\lambda_{0\max} \leq \lambda) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $\lambda_{0\max}$ ——零色散波长最大值，单位为纳米（nm）；
- $\lambda_{0\min}$ ——零色散波长最小值，单位为纳米（nm）；
- $S_{0\max}$ ——零色散斜率最大值，单位为皮秒每平方纳米千米（ps/(nm<sup>2</sup>·km)）；
- $S_{0\min}$ ——零色散斜率最小值，单位为皮秒每平方纳米千米（ps/(nm<sup>2</sup>·km)）；

在1460nm~1625nm波长区域，任一波长 $\lambda$ 下的色散系数限值 $D(\lambda)$ 应按公式（4）计算：

$$8.625 + 0.052(\lambda - 1460) \leq D(\lambda) \leq 12.472 + 0.068(\lambda - 1460) \dots\dots\dots (4)$$

CL 光纤的色散特性要求应符合表 4 规定。

表4 CL光纤的色散特性

项目	单位	技术指标
零色散波长最小值 ( $\lambda_{0min}$ ) <sup>a</sup>	nm	1300
零色散波长最大值 ( $\lambda_{0max}$ ) <sup>a</sup>	nm	1324
零色散斜率最小值 ( $S_{0min}$ ) <sup>a</sup>	ps/(nm <sup>2</sup> ·km)	0.073
零色散斜率最大值 ( $S_{0max}$ ) <sup>a</sup>	ps/(nm <sup>2</sup> ·km)	0.092
1550nm 色散系数最小值 $D_{min}$ (1550) <sup>b</sup>	ps/(nm·km)	13.3
1550nm 色散系数最大值 $D_{max}$ (1550) <sup>b</sup>	ps/(nm·km)	18.6
1625nm 色散系数最小值 $D_{min}$ (1625) <sup>b</sup>	ps/(nm·km)	17.2
1625nm 色散系数最大值 $D_{max}$ (1625) <sup>b</sup>	ps/(nm·km)	23.7
<sup>a</sup> 1260nm~1460nm 采用 3 项 Sellmeier 拟合。		
<sup>b</sup> 1460nm~1625nm采用线性拟合。		

在任一波长  $\lambda$  下的色散系数限值  $D(\lambda)$  的限制应按公式 (5) 计算。

$$D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0MAX}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0min}}{\lambda} \right) \right]^4 \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$S_{0max}$ ——零色散斜率最大值, 单位为皮秒每平方纳米千米 (ps/(nm<sup>2</sup>·km));

$\lambda_{0min}$ ——零色散波长最小值, 单位为纳米 (nm);

### 5.2.5 模场直径

CL光纤的模场直径要求应符合表5规定。

表5 CL光纤的模场直径

项目	单位	技术指标
1310nm	$\mu m$	8.6~9.2
容差	$\mu m$	0.4

### 5.2.6 衰减点不连续性

在1310nm和1550nm波长上, 对一光纤连续长度不应有超过0.1dB的不连续点。

### 5.2.7 衰减均匀性

在1310nm和1550nm波长上, 光纤后向散射曲线任意2000m长度上, 实测衰减系数与全段长平均衰减系数之差的最坏值应不大于0.05dB/km。

### 5.2.8 偏振模色散系数

本文件只规定链路PMD系数, 其最大PMD<sub>Q</sub>应符合表6规定。

表6 链路PMD系数最大值

项 目		单 位	技术指标
PMD 系数	M	ps/√km	20
	Q	ps/√km	0.01
	未成缆光纤链路最大 PMD <sub>Q</sub>	ps/√km	0.20

### 5.3 机械性能

#### 5.3.1 筛选试验水平

CL光纤涂覆后的机械强度筛选试验要求应符合表7规定。

表7 筛选试验要求

筛选应力不低于, GPa	0.69
筛选应变不小于, %	1.0
注: 筛选应力值 0.69 GPa 约等于 1%的应变或 8.8N 的张力值。三种不同单位之间的换算参见 IEC/TR 62048。	

当光纤的长期弯曲半径小于30mm, 光纤的断裂几率随着弯曲半径的减小而增大, 光纤的机械可靠性受到光缆的结构, 施工技术以及路由条件的影响, 在一些极小的弯曲应用条件下, 可适当提高筛选等级或其它影响参数, 以保证光纤的机械可靠性和寿命要求。

光纤的筛选等级以及使用寿命中能够达到的机械可靠性建议由供应商和用户协商确定。

#### 5.3.2 抗张强度

光纤老化前的最低抗张强度要求应符合表8的规定。

表8 老化前的最低抗拉强度

光纤标距长度 <sup>a</sup> M	威布尔概率水平为 15%时抗张强度 GPa	威布尔概率水平为 50%时抗张强度 GPa
0.5	3.14	3.80
<sup>a</sup> 试验用长样品进行时, 光纤标距长度可选 10m 或 20m, 标距越长对应的最低抗张强度值会减小。		

#### 5.3.3 翘曲半径

CL光纤翘曲半径R应不小于4m。

#### 5.3.4 其它机械性能

CL光纤其它的机械性能要求应符合表9规定。

表9 光纤其它机械性能要求

项目	单位	技术指标	
		250 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$
涂覆层剥离力(平均值)	N	1.0~5.0	0.4~5.0
涂覆层剥离力(峰值)	N	1.0~8.9	0.4~8.9
动态疲劳参数 $n_d$		$\geq 20$	

注：涂覆层剥离力平均值或峰值都是在试验过程中定义的，可以由供应商和用户协商规定。

## 5.4 环境性能

## 5.4.1 概述

CL光纤的环境性能包括环境试验后光衰减变化和机械性能要求。

## 5.4.2 环境试验后光衰减变化

环境试验光衰减变化要求应符合表10规定。

表10 环境试验光衰减变化要求

试验项目	试验条件	波长	允许的衰减变化 dB/km
恒定湿热	85°C $\pm$ 2°C，相对湿度不低于 85%，放置 30 天。	1550, 1625	$\leq 0.05$
干热	85°C $\pm$ 2°C (35°C 下相对湿度不高于 50%)，放置 30 天。	1550, 1625	$\leq 0.05$
温度特性	Temp. Range -60°C ~ +85°C，2 个循环周期	1550, 1625	$\leq 0.05$
浸水	浸泡在温度为 23°C $\pm$ 5°C 水中 30 天。	1550, 1625	$\leq 0.05$

## 5.4.3 环境试验后机械性能要求

环境试验后机械性能要求应符合表11规定。

表11 环境试验后机械性能要求

试验项目	剥离力平均值 N		剥离力峰值 N		威布尔概率水平为 15%时抗张强度 GPa <sup>a</sup>	威布尔概率水平为 50%时抗张强度 GPa <sup>a</sup>	动态疲劳参数 $n_d$
	250 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$	250 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$			
恒定湿热	1.0~5.0	0.4~5.0	1.0~8.9	0.4~8.9	$\geq 2.76$	$\geq 3.03$	$\geq 20$
浸水	1.0~5.0	0.4~5.0	1.0~8.9	0.4~8.9	—	—	—

<sup>a</sup> 光纤标距长度 0.5m。

## 附录 A

(资料性附录)

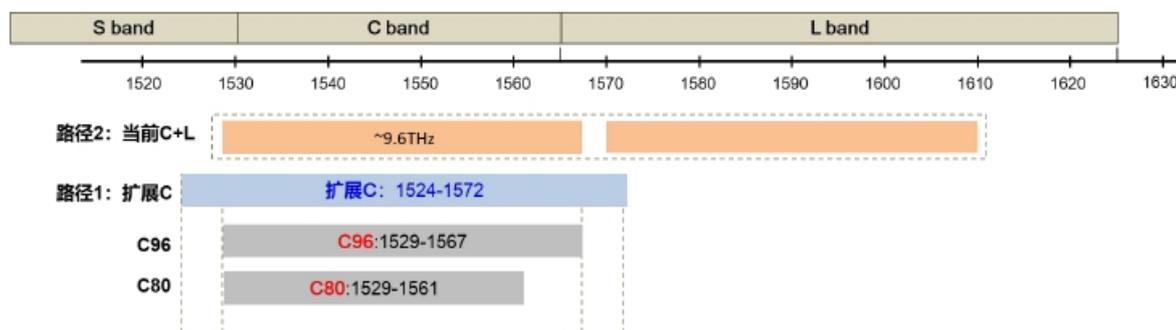
## CL光纤在WDM系统中的应用

## A.1 概述

随着网络流量的持续增长，传统的C波段80波DWDM系统及扩展的C96波均已无法满足未来光通信业务对网络容量的需求。WDM系统增大容量主要通过提高单通道速率和增加系统通道数两个方面达成。当前单通道速率已经达到200Gb/s，正在向400G、800G甚至1T发展，但受香农极限的制约，随着频谱效率的不断提升，信号的传输距离也在相应下降，在现有的技术条件下，增加频谱效率提升单纤容量已难以持续演进。因此需要更进一步在单纤上扩展波段范围，扩大单纤的通道数。当前有两种扩展波段的技术路径：

- 扩展C波段（扩展C），可从80波扩展到96波
- C波段+L波段（C+L），可从80波扩展到192波

典型的光频谱扩展示意图如图A.1所示。



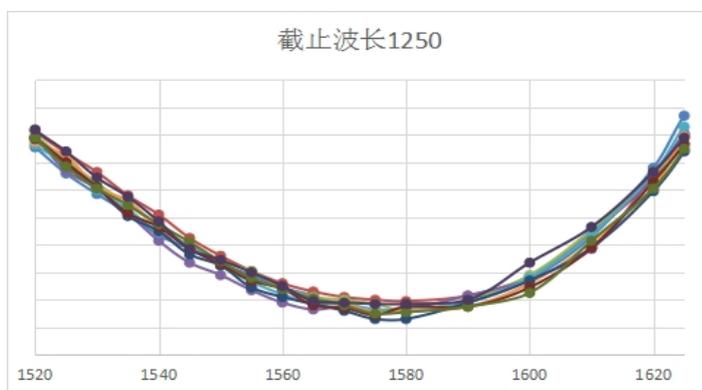
图A.1 DWDM系统可用光频谱扩展示意图

扩展C的技术方案目前已经基本完成，将来需要研究的是C+L波段的技术。C+L就是将C波段和L波段的频谱资源利用起来，共同作为系统的传输频谱区域，可以实现C波段和L波段各容纳96个50GHz间隔的波长，所以C+L的波长总数可以达到192个，频谱带宽可以达到9.6THz，相比于扩展C方案，C+L方案可有效支持系统传输容量提升100%。不过，由于物理特性和当前器件性能水平等因素的影响，L波段系统的性能相比于C波段，会有一定的劣化，主要是因为C/L合分波插损和更强的非线性效应导致。但是，系统在L波段的性能劣化可以通过对光纤衰减特性进行一定的优化而进行补偿，这就是CL光纤。

CL光纤是在G.652D光纤基础上通过优化C+L波段的衰减性能而形成的新一类光纤。根据ITU-T G.652D标准的规定，传统的G.652D光纤在1625nm的衰减系数是不大于0.40dB/km，其中，1530~1565波段最大衰减系数为0.30dB/km。

光纤类型	1260nm	1310nm	1383nm	1310~1625nm	1530~1565nm	1625nm
G.652D	$\Delta 0.07$	0.40	0.40	0.40	0.30	0.40
截止波长 $\lambda_{cc}$	$\leq 1260$					

通过实际调研，国内主要光纤厂商生产的G. 652D在1625nm的最大衰减系数不大于0.30dB/km，1530~1565波段最大衰减系数为0.20dB/km。典型的C+L波段的衰减曲线如图A. 2。



图A. 2 G. 652D光纤在C+L波段的典型衰减曲线示例图

从图A. 2可以看出，传统的G. 652D光纤在C+L波段内衰减曲线并不是平坦的，特别是在1520nm附近和1625nm处衰减系数均较大，出现一定的“翘度”（FAWD）。为更好地支持在这一波段内的DWDM系统传输，抵消光器件的性能劣化，光纤可以在衰减平坦度方面做一些优化。优化的主要思路是控制1520nm和1625nm的FAWD，并限制两端翘度的差FAWDD，由此可以保证光纤在C+L波段对系统支持能力的一致性。

## A. 2 选取CL光纤的方法示例

这个方法仅仅体现了某些厂家从G. 652D中选取CL光纤的经验性方法，此方法并不是规定性方案。

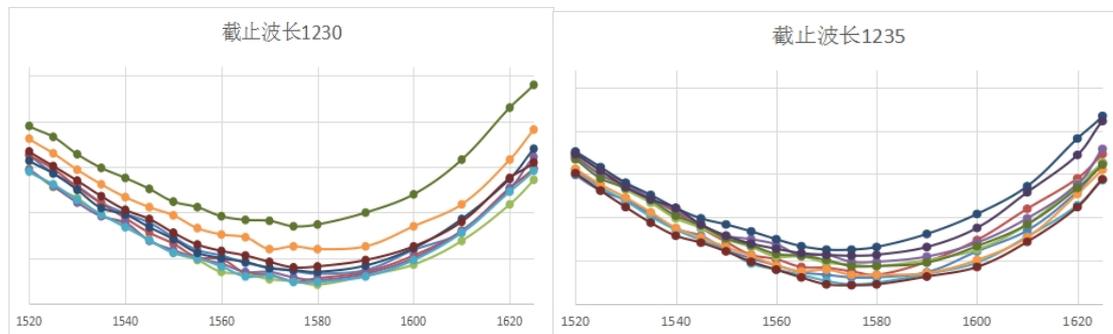
本示例的数据来源于APC收集的国内不同厂家的实际产品，在实际过程中，各厂家只需要取样同一设计的光纤，依照例子中的步骤，通过不同截止波长的归类统计，就可快速选出符合本标准的CL光纤。

### A. 2. 1 步骤1：测试光纤截止波长、光纤衰减谱

首先挑选了不同光纤截止波长（ $\lambda_c$ ）的光纤，然后利用PK2200测试所有光纤的衰减谱。光纤截止波长区段划分为5nm，光纤衰减谱测试步幅为5nm，落在每个截止波长区段内的光纤衰减谱数据不少于10盘。

### A. 2. 2 步骤2：统计分析在不同截止波长区段下，光纤的衰减谱分布

分别选取光纤截止波长 $\lambda_c$ 为1230nm、1235nm、1240nm、1245nm、1250nm、1255nm区段的光纤衰减数据，利用PK2200测试每盘光纤的衰减谱，得到衰减谱图形如下图A. 3所示。



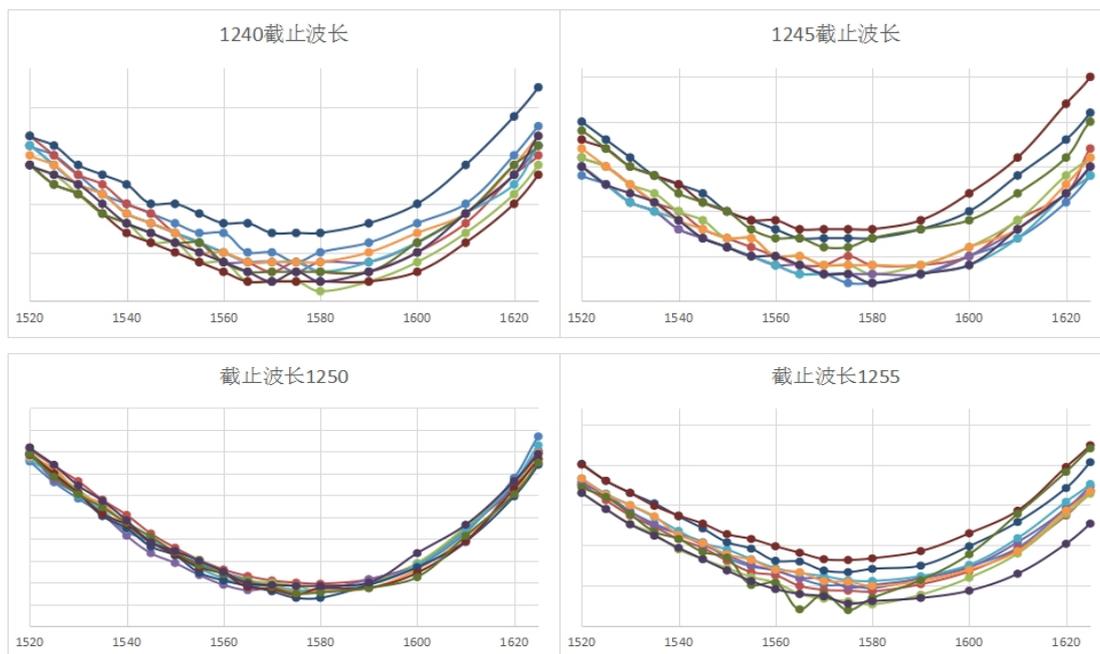


图 A.3 不同截止波长下 1520nm~1625nm 衰减谱图示例

## A.2.3 步骤3: 分析得到最优光纤截止波长区段

对数据进行汇总, 计算不同截止波长下, 1520nm~1625nm 衰减最小值与 1520nm 之间差值 A, 1520nm~1625nm 衰减最小值与 1625nm 衰减值之间的差值 B 以及 A 与 B 的差值。如表 A.1 所示, 通过对比发现, 在截止波长为 1250nm 时, A 与 B 最小且 A 与 B 的差值最小。

表 A.1 不同截止波长下差值 A 与 B 的数据分析

截止波长	MaxA	MinA	Max B	MinB	MaxA-B	MinA-B
1230	0.0138	0.011	0.0155	0.0115	0.0015	-0.0045
1235	0.014	0.0113	0.0155	0.0117	0.0012	-0.0041
1240	0.014	0.01	0.015	0.011	0.002	-0.005
1245	0.013	0.01	0.017	0.012	0.001	-0.007
1250	0.0131	0.012	0.0143	0.012	0.0009	-0.0023
1255	0.0152	0.0118	0.02	0.0099	0.0038	-0.0048

#### 参考文献

- [1] GB/T 9771.3-2021 通信用单模光纤 第3部分：波长段扩展的非色散位移单模光纤特性
- [2] ITU-T Rec. G.652 (11/2016) Characteristics of a single-mode optical fibre and cable
- [3] GB/T 15972.40-2008 光纤试验方法规范 第40部分：传输特性和光学特性的测量方法和试验程序衰减
- [4] GB/T 15972.47-2021 光纤试验方法规范 第47部分：传输特性的测量方法和试验程序宏弯损耗
- [5] 扩展C波段波分复用（WDM）系统技术白皮书