

SPEC-CMS960 光纤光谱仪

文档编号：PYN-FS101

更新日期：2025 年 10 月 21 日

文档编写：沈玉杰（深圳谱研互联科技有限公司）

售前咨询：欧文妍（深圳谱研互联科技有限公司，手机 18002553482，微信 pynect_winter）

技术支持：欧文妍（深圳谱研互联科技有限公司）

导读：本手册第 1-6 章为产品介绍；第 7 章为产品选型指导；第 8-9 章为光谱仪内部原理及常用计算公式说明，推荐在读硕士或博士在做相关实验时能够理解本章公式，做到简单的知其所以然，非常有助于分析和解决问题。本文可作为想了解光栅光谱仪原理、透反射计算公式、辐射定标等知识的小伙伴的查询资料。

一、产品简介



SPEC-CMS960 是一款宽波段高灵敏度的专业型光纤光谱仪，默认波长范围是 190-1100nm，其他波长需求可按需配置。内置消阶衍射滤光片和增强柱面镜，实现了高阶衍射消除和灵敏度提升。

光谱仪配置的电路板，由专业高水平电子工程师设计，运用了反馈、滤波、信号完整性及抗电磁干扰等技术和工艺，使得除探测器噪声外的电路板电子噪声几乎为零，不仅提高了整体信噪比，还具有强大的抗干扰能力，并支持多台光谱仪同时长期不掉线采集数据，非常适合在线设备集成。

对于搭配闪烁氙灯或氙灯使用的紫外测试场景，支持在光学镜片组上采用了紫外增强和谱平衡镀膜工艺，使得紫外相对响应明显高于同级产品。

在通信方式上，同时支持 USB Type-C、RS232 或 RS485 通信，并支持多种通信协议，包括串口通信最常用的 Modbus 协议。通信芯片内置虚拟串口，支持高速串口通信。

二、产品特点

- 高灵敏度，高信噪比。采用日本滨松 2048 像素探测器，柱面增强，高水平电路设计，消除电路板噪声。
- 长期在线测量不掉线。支持多台设备同时长期在线采集，优异的信号完整性和抗干扰设计。
- 紫外增强，平衡镀膜。紫外增强镀膜，可结合光源特性进行光谱分布平衡处理。
- 多种通信，工业协议。支持 USB、RS232 和 RS485 通信，用户可选多种协议，支持工业通信 Modbus 协议。
- 二次开发，全面适配。支持 Windows（C++、C#、Labview、Matlab、Qt）、Linux、Keil 单片机等各种开发平台和语言。对于需要自行封装 SDK 的用户，提供底层通信指令及技术支持。

三、常用光路

光纤光谱仪，可结合光纤和光源等附件，灵活搭建透射、反射、荧光等光路，用于实时测量光谱分布曲线。常用的测量光路包括：

- **积分球测光源光路**。测量光源的波长分布、光功率、光通量、亮度、半高宽、色品坐标、色温等。
- **液体比色皿支架光路**。测量比色皿溶液的透射率或吸光度，对应于国标中的分光光度法。
- **浸入式探头光路**。把探头投掷到溶液中，让溶液充满测量缺口，实时测量透射率或吸光度。
- **流通液体在线测量光路**。采用流通比色皿和支架，搭建透射光路，在线实时测量透射率或吸光度。

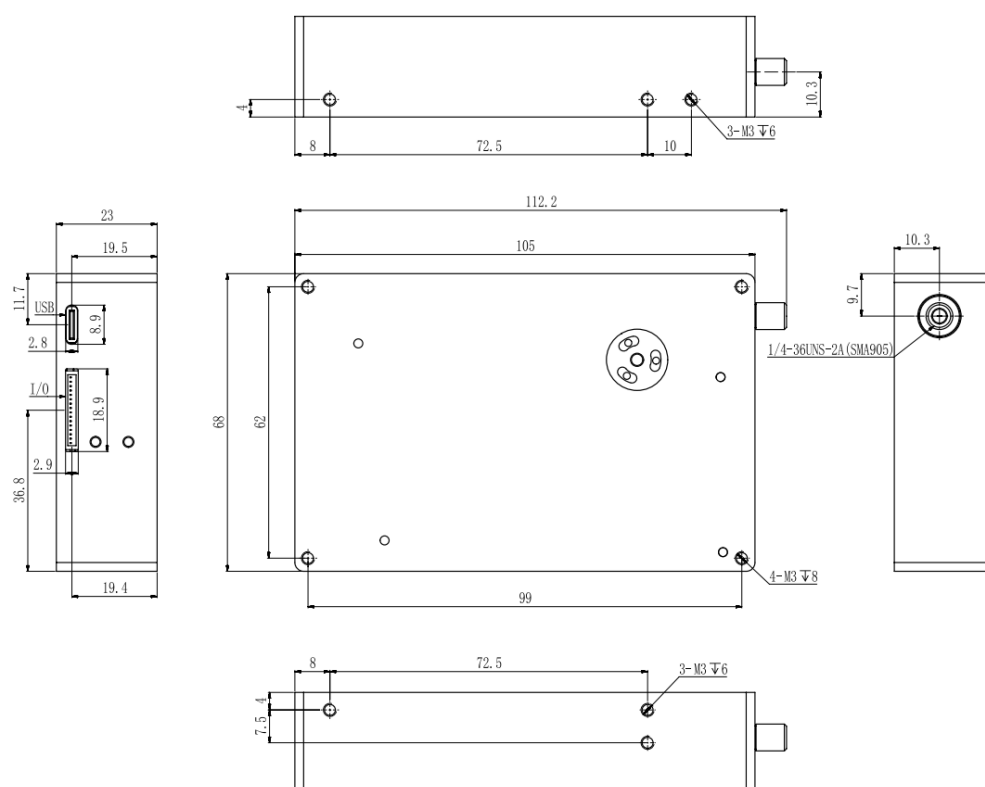
- **固体透射光路。**配置透射支架，测量表面平整的镜片镀膜、塑料、油墨孔等光谱透过率分布。
- **反射探头或反射积分球光路。**测量物体表面光谱反射率分布，如膜厚、颜色、成分等检测。
- **荧光测量光路。**短波单波长光源做激发光，使用反射探头或反射积分球接收发射光。

四、技术参数

属性	规格参数
产品型号	SPEC-CMS960
波长范围	190-1100nm（默认，其他波长范围可按需配置，具体参见第7章产品选型）
光学分辨率	0.3-3.2nm（视配置而定）
波长精度	Typ. $\pm 0.01\text{nm}$
信噪比	350:1
狭缝尺寸	50 μm 默认，可选 10 μm 、25 μm 、100 μm 、200 μm
探测器	Hamamatsu S11637-2048Q
光学接口	SMA905
通讯接口	Type-C / RS232 / RS485
通信协议	USB 标准版 / USB 扩展版 / Modbus（串口）等可选
内置传感器	温度传感器
温漂补偿	内置温漂补偿
供电规格	5V / 0.3A

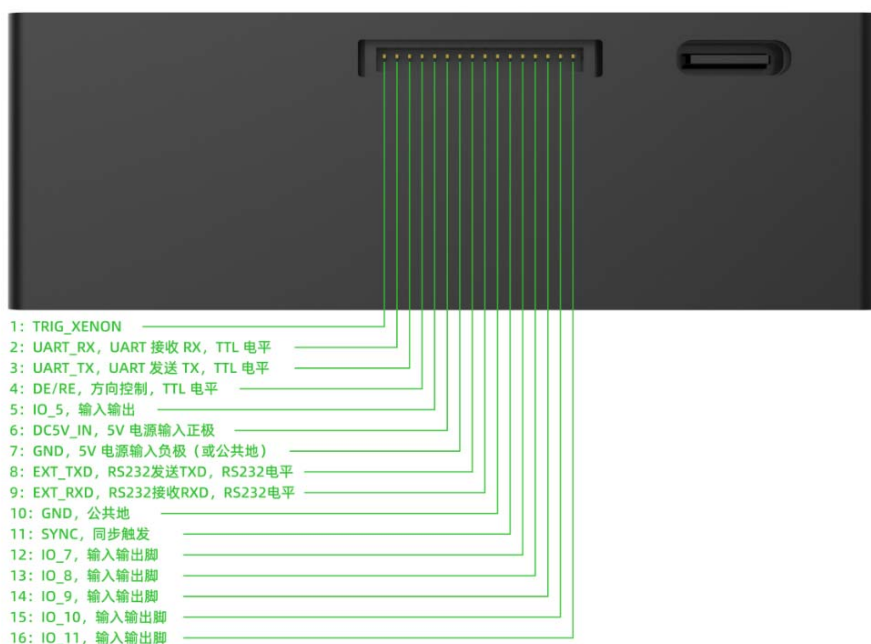
外形尺寸	105mm × 68mm × 23mm
重量	约 230g

五、结构尺寸



六、引脚定义

光谱仪除了 USB TypeC 接口外，还同时具有丰富的 IO 接口，可用于触发氙灯、外部触发光谱仪、多光谱仪同步控制、UART 和 RS232 串口通信、IO 控制引脚与外部设备联动等。引脚定义说明如下：



七、产品选型

在光谱仪选型时，波长范围是一个首要考量因素。然而，波长范围的宽度并非唯一标准，通常还要考虑分辨率和灵敏度。[光栅](#)和[狭缝宽度](#)对分辨率和灵敏度有着显著影响，以下是它们之间关系的概述：

- 1) 光栅线数越高，光学分辨率则越高，但可覆盖的波长跨度就越短。
- 2) 狭缝尺寸越大，灵敏度就越高，但光学分辨率相应越低。
- 3) 波长范围越宽，相对光学分辨率就越低。

[分辨率](#)和[覆盖范围](#)是此消彼长的关系。光栅线数越高，分光越密集，光谱分辨率就越高。然而探测器接收面长度是固定的，能覆盖范围自然就越小。

以 50 μm 的狭缝为例，1200 线光栅，光学分辨率约 [1.0nm](#)，但其覆盖的波长范围仅为 [300nm](#)，可适用于 300-600nm 需求，但覆盖范围较窄，对于 300-800nm 就不再适用。而 600 线光栅，覆盖跨度为 [610nm](#)，对于 300-800nm 就足以适用，但对应光谱分辨率约为 [1.8nm](#)。

那么该如何根据应用场景来权衡光栅和狭缝配置呢？回答这个问题，一般从分辨率和灵敏度两个来评估。

对于[分辨率](#)，可观察应用场景测得的光谱图是否有明显很细的线状尖峰。如果有线状尖峰，就需要高分辨率；如果是平滑的峰，就不需要高分辨率。比如测的是 LED 灯，或者是有机物的透射率或反射率，这类基本都是平滑的峰，对分辨率要求不高，3-5nm 的分辨率一般就可以满足需求。但如果测的是原子谱，比如汞原子、金属原子、等离子体等场景，就需要高分辨率。如果需要测激光器的半高宽，可能需要更高

分辨率。

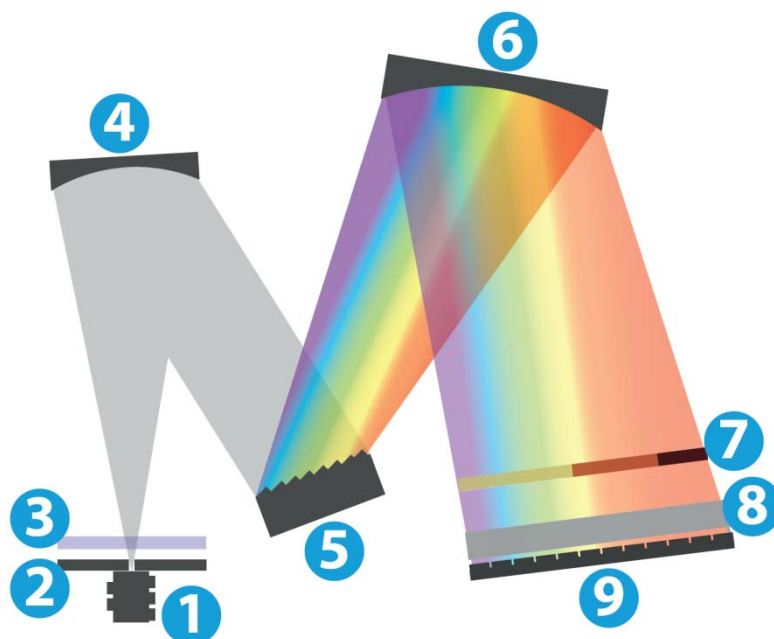
对于**灵敏度**，需要考虑能进入光谱仪入射口的光的强弱。光谱仪的响应一般是 μW 级别，属于很高灵敏度的设备。但有些场景，如需要搭配积分球测透射率或反射率，或需要用积分球接收的光源，如光致发光的量子产率，因为积分球的衰减倍率非常高，导致对光谱仪的灵敏度要求也更高。

下面根据常用的波段范围和场景，给出一些参考分辨率，如有其他特殊分辨率需求，可联系我司销售或技术人员。

波长范围 (nm)	光栅 (lines/mm)	狭缝尺 (μm)	光学分辨 (nm)	应用场景
190-1100	300	50	2.2	常规透反射率及荧光测量
190-1100	300	25	1.5	常规透反射率及荧光测量
190-1100	300	10	1.2	火焰离子、等离子、常规透反射率及荧光测量
190-840	600	50	1.8	水质分析
300-1000	400	10	1.0	火焰离子、等离子、常规透反射率及荧光测量
300-1000	400	50	1.8	常规透反射率、荧光、膜厚测量
600-1100	600	10	0.8	膜厚测量
600-1100	600	50	1.8	短波近红外透反射率测量
750-1100	900	50	1.8	拉曼、光传感、激光器

八、光路原理

光纤光谱仪常用 Czerny-Turner 结构，核心是光栅分光后，不同波长打在线阵探测器的不同像素上，再进行 ADC 转换解析成光谱曲线。内部工作原理图如下：



1) 入射光接口。将光纤连接到光谱仪，与入口狭缝精确对准。具有良好的位置重复性和机械强度，作为通用光学连接器，它支持 $8\mu\text{m}$ 至 $2000\mu\text{m}$ 的光纤直径。

2) 狭缝。主要作用是限制进入光谱仪的光的量。光谱仪厂家一般提供多种狭缝可选，常用宽度从 $10\mu\text{m}$ - $200\mu\text{m}$ 不等。狭缝宽度在确定光谱仪分辨率和灵敏度方面至关重要，通常是狭缝越宽灵敏度越高，但光学分辨率就越小。

3) 长通滤光片。入射口滤光一般用于过滤短波波段，当光谱仪未加消阶衍射滤光片时，可起到消阶作用。对于特定应用场景，有时为了均匀光谱曲线，也会换成特定分布的滤光片。

4) 凹面反射镜。光路调整，约束发散光，增加光程。

5) 光栅。光谱仪最核心部件之一，用于把入射的复合光分成不同波长并反射。常用光栅有平面、凹面和全息光栅。光栅的线数越多，即单位面积刻线越密，光学分辨率就越高，但覆盖的波长范围就越窄。对于反射型闪耀光栅，除了线数，还需要考虑闪耀波长。

6) 凹面反射镜。约束发散光，增加光程。

7) 消阶衍射滤光片。光栅分光后，会产生多阶光谱带，光谱仪使用一阶光谱带，但二阶或以上的高阶光谱带常会与一阶光谱带有重叠区域，如一个需要测 $200\text{-}800\text{nm}$ 透射率的场景，光源发出的 $200\text{-}400\text{nm}$ 的光，对应的二阶衍射光会落在 $400\text{-}800\text{nm}$ ，与光源原本 $400\text{-}800\text{nm}$ 的一阶光有重叠，此时必须把二阶以上的光谱带消除，才能得到正确的光谱，因此当一个光谱仪需要使用宽光谱时，就需要在探测器前加消阶衍射滤光片。

8) 柱面镜。用于把光聚焦到探测器上，增强灵敏度。

9) 线阵或面阵 CCD 探测器。光谱仪最核心部件之一，各像素一次接收不同波长的光，通过 ADC 转为数字量，再由软件构建成完整的光谱曲线。光谱仪的级别和价格大多是以探测器为依据。探测器最常用的是日本滨松的系列型号，也有少部分用日本索尼和日本东芝的某型号。

综上所述，光纤光谱仪的设计目的，就是把原本入射的复合光，分成不同波长的光，用探测器读出并显示为按照波长分布的曲线，因此可以通过光纤光谱仪来对入射光的光谱分布做分析。

九、测量原理

光纤光谱仪最常用的光路包括透射光路、反射光路、光功率测量。涉及到测量和计算公式包括透射（反射）率公式、吸光度公式、辐射定标公式，本章主要针对以上公式做说明，用户在使用相应光路时，建议能够理解相关公式，可帮助理解每个操作步骤对应的变量并分析问题。

1) 透射率和吸光度公式

液体透射光谱测量常用吸光度进行光谱分析，吸光度是一个相对量，是由透射率转换而来。顾名思义，某波长的透射率是指透过样品的该波长相对光强与透过参比光强的比值。对于每个有效波长，则有

透射率公式：

$$(公式 1) \quad T = \frac{Sample-Dark}{Reference-Dark}$$

其中 T 表示透射率 (Transmittance)，Sample 是样品相对光谱强度值，Reference 是参比相对光谱强度值，Dark 是暗背景的相对光谱强度值。相对光谱强度值，就是软件从光谱仪直接读取的纵坐标 counts 值，以下简称光谱值。

对透射率公式作数学变换可得到吸光度公式：

$$(公式 2) \quad A = \lg \frac{1}{T} = -\lg T = \lg \frac{Reference-Dark}{Sample-Dark}$$

由公式 2 可知，要得到液体吸光度值，需要测出 3 组数据，分别为**样品值 Sample**、**参比值 Reference** 和**暗背景 Dark**。

有时为便于对仪器吸光度检测能力做评估，需要用到由吸光度转换为透射率，由公式 (2) 变换可得：

$$(公式 3) \quad T = \frac{1}{10^A}$$

由公式 3，推荐用户记住吸光度和透射率对应的几个典型值：

{ A=1, T=0.1 }、{ A=2, T=0.01 }、{ A=3, T=0.001 }。

用于评价光谱仪的重复性和检测限时，需要由吸光度转换到透射率及相对光谱强度值做评估。

反射率计算公式与透射率公式完全相对，顾名思义，某波长的反射率是指样品反射的该波长相对光强与参比样品反射的相对光强的比值。

2) 辐射定标原理

辐射定标是为了把光谱仪测量得到的相对强度值转换为绝对光功率分布值。该步骤尤其重要，但在光路不变的条件下，通常完成一次辐射定标步骤即可。

辐射定标光源的灯文件给出某个波长对应的功率值 I_0 ，光谱仪在给定积分时间上 t_0 ，测得相对光强度值为 S_0 ，由于积分时间和相对光强成正比关系，则有单位积分时间内的相对光强度为 S_0/t_0 ，其对应的光功率值为 I_0 。

设单位积分时间内的单位相对光强值为 f ，则有

$$I_0 = f * \frac{S_0}{t_0}, \text{ 即有 } f = \frac{I_0}{S_0} * t_0$$

其中 f 定义为辐射定标系数，是指单位积分时间内的单位相对光强值对应的光功率值，即积分时间为 1s 时，每个 counts 对应的功率值。只要测量系统固定，则辐射定标系数 f 为一个常数。

有了定标系数，对于任意量程范围内的光源，只需要知道积分时间 t ，测出相对光谱强度值 S ，则对应的光功率值为

$$I = f * \frac{S}{t}$$

以上公式对于光谱仪测得的任一波长均适用，把波长参数 λ 代入，则可以总结为

$$\text{(公式 4)} \quad f(\lambda) = \frac{I_0(\lambda)}{S_0(\lambda)} * t_0$$

$$\text{(公式 5)} \quad I(\lambda) = f(\lambda) * \frac{S(\lambda)}{t}$$

公式 (4) 中的 $f(\lambda)$ 为辐射校准系数，辐射定标操作是目的是得到的辐射定标系数文件，其物理意义是每个波长在单位积分时间内的单位 count 值对应的光功率值。

公式 (5) 中的 $I(\lambda)$ 待测的光功率，设置好积分时间后，光谱仪实时测得的相对光谱图带入公式即可得到实时的光功率分布图。在辐射度、光度和色度测量中涉及到的被测光学物理量，均由光功率分布图导出。请记住这句话，在测量光学物理量的过程中，脑子里始终强化一个概念，一切源自于光功率分布曲线。