

## Tech Note

### 关键词

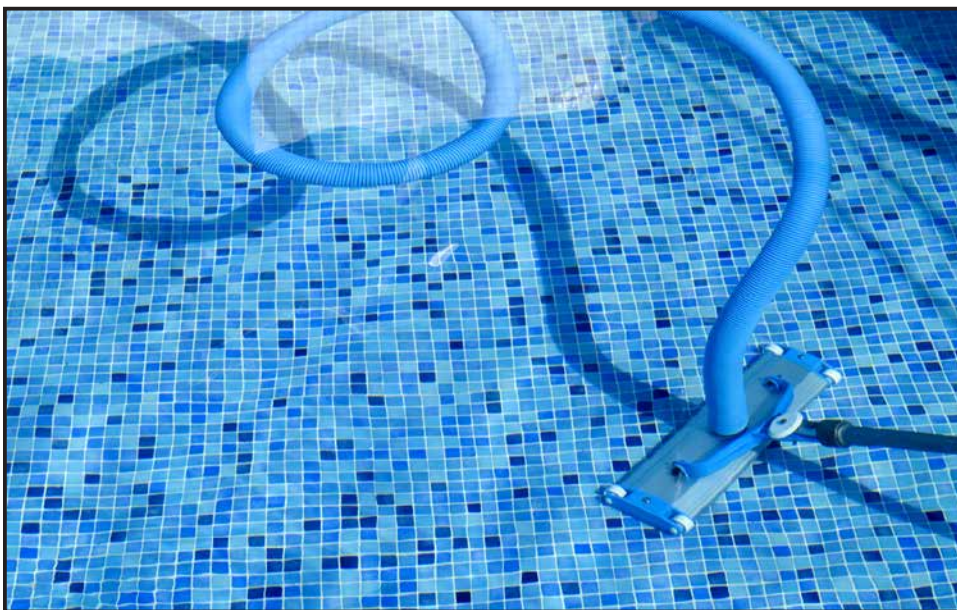
- 光谱仪噪音
- 检出限
- 暗光谱
- 信噪比
- 热噪音
- 读出噪音
- 光谱平均
- 平滑度VS.分辨率

# 光谱仪噪音（上）

Written by Dieter Bingemann, Ph.D.

盛夏。。。阳光。。。泳池。手拿冰饮，躺下，放松心情，你可能会想到是否有一个类似于过滤的系统已经将眼前的景色过滤过了。您的侄子将颜色鲜亮的运动饮料泼到了游泳池里，它真的就消失不见了吗？还是依然在水里面“生根发芽”？大多数情况下我们都是加入次氯酸来消毒，但是光谱学家会帮你找到更精确的答案！

海洋光学一直在考虑我们的光谱仪检测这样的指标灵敏度够吗？Flame系列光谱仪能检测那稀释了的运动饮料吗？带TE制冷的QEpro能帮助我们获得最低检出限（LOD）吗？我们使用各种系列的光谱仪进行测试并希望得到结果，但是首先我们必须先弄清楚什么事光谱仪噪音。



### “噪音”不是很吵的音乐

当你的汽车调频在隧道里没了信号，你会听到“ZZ”的噪音。噪音也存在于光谱仪的电子信号中，而且他也不止一次地困扰着光谱学家。光谱仪的噪音是由于机械振动或者环境电磁场引起的，比如AC电源线。良好的机械、电路设计会有效得改善噪音的大小。

## 热噪音

不可避免的温度，检测器电子随机运动，这些并非由于光带来的信号，一般我们把它们归于“暗”噪音。暗噪音一般为关闭电源，测试到的仪器自身噪音。但是，暗噪音在软件操作和计算时都减去了，只是它的多变性会给测量带来一些不确定性。

CCD类型的检测器，比如说用在Flames-S，Maya2000Pro或者QE Pro这类光谱仪上的检测器，温度每下降7°C，热噪音都会有一半的削减，热电致冷式检测器（比如QEpro）都会降低暗噪音值，而且伴随着噪音的降低，检测器也就能检测更低能量的信号了。

热噪音在近红外检测器中的表现尤其重要，这影响到仪器能否测试到更低能量的光子信号（伴随着波长的不同，有些能被人眼识别，有些则不能）。光子在近红外检测器上产生信号只需要非常低的能量，因此热能很容易转换成“暗”噪音。引起热噪音跳跃的能量阈值会随着波长越长而发生动态变化。而CCD检测器，在靠近近红外波段，检测器的暗噪音很容易再生，但是可以通过减法将其去除。另外，制冷检测器可以很有效地降低暗噪音。

## 计算噪音

CCD型检测器通过“阱深”（像素）获得的光子转换成电子并表现为电子的counts值。根据CCD的“阱深”，单个像素所能获得的最大电子数大概在100,000（Flame-S检测器）到一百万（QE pro检测器）。

根据计算过程的数理特性，检测到的电子数会由于测量方法的差异存在相对标准偏差，而该偏差是与满阱深所需要的电子总数的均方根相对应的。Flame-S使用的检测器，阱深大概是62,500个电子/像素，那计算噪音大概为250个电子。

然而，我们同样也能根据数理的原理通过多次平均测量的方法来减少计算噪音。在Ocean-View软件中，就对应于设置“平均扫描次数”。噪音会以平均次数的均方根降低，就像图1中显示的，当我们使用平均次数100时，仪器则降低了1/10的噪音。需要谨记的是，尽管我们使用更多的平均次数，能带来信号的稳定性，但是是以获取光谱时间变长为代价的。所以对于快速采集光谱的应用来说，这显然是不适用的。另外，光源的不稳定性飘移和光谱仪内部温度的变化都会影响长时间的光谱获取。因此平均次数的设置必须权衡，需要依据不同形式的测量和测试环境而定。

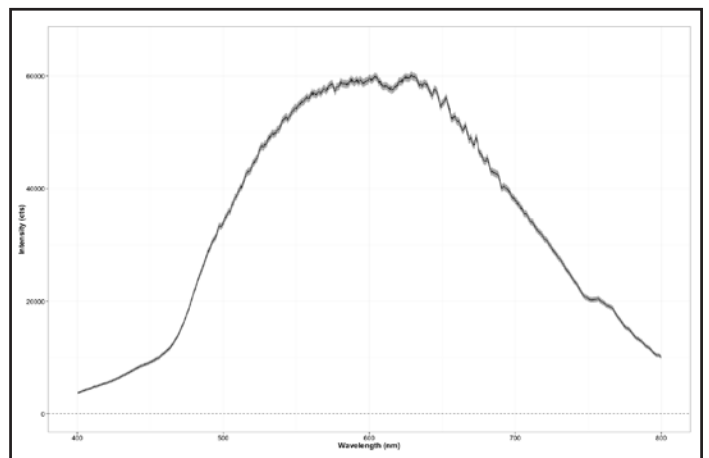


图1：Flame-S光谱仪测试卤素灯的光谱，查看平均次数对光谱的影响。途中灰色的光谱线可以明显看出光谱的抖动，随着平均次数的增加，灰色线的抖动会越来越窄。

## 像素差异

光电二极管线性光谱仪中相邻的像素都会接收相类似波长的光子，因此会产生类似的光信号。之前所提到的计算噪音，也能导致相邻像素点的信号差异，并给出看上去有“噪音”的光谱。然而，不是所有信号中的每个像素差异都是因为噪音引起。比如说，近红外检测器（比如Flame-NIR的检测器）每个像素点的暗噪音都是不一样的，所以我们会看到看上去“有噪音”的光谱，但其实该信号是随着一次次测量引起的，这个不是噪音，是可以通过扣暗扣除的。

大多数光谱仪在测量多次样品获取光谱后（也就是说，光学分辨率超出了两像素的距离），我们可以通过对多个相邻像素进行平均（即平滑）来减少噪音，平滑的次数是指相对于其中一个像素的左右相同个数像素进行平滑（比如设置平滑度为3，即取中间像素的左右各3个像素点进行平滑），如果设置为0，则表示不进行平滑。

$$\text{像素平均即平滑} = 2 * \text{平滑度} + 1$$

然而，一旦平滑度设置过大，就会影响光谱仪的分辨率。像素分辨率依赖于光谱仪的光学平台和狭缝大小。对于Flame-S光谱仪来说，10um的狭缝，平滑度设置2或者更多，这时候平滑度就会影响光谱仪的分辨率了，即光谱已经失真。这种情况并不是一个真正的问题，但是我们在需要高分辨率的应用中就必须考虑，或者在检测器出现非常陡峭的特征峰饱和现象，就像氙灯有特征的D-alpha峰一样。

如果设置的平滑度太高，使得光谱仪的分辨率无法计算出，这时，平滑后的分辨率可以简单地使用平滑度来表示，而非理论上的分辨率。图2为不同的平滑度设置下，卤素灯光谱的形状变化。

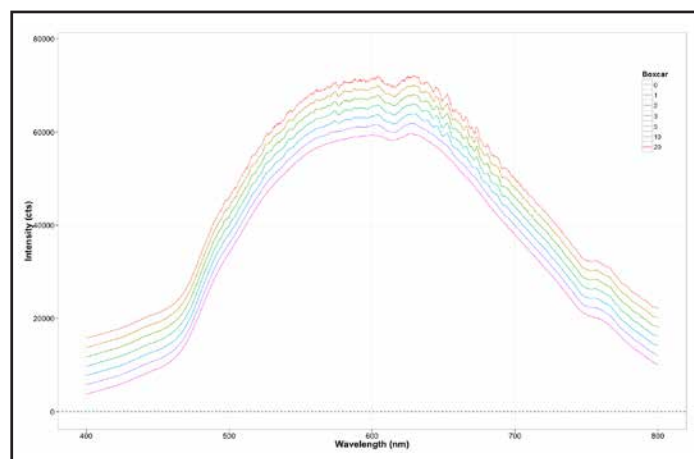


图2：平滑度的设置对卤素灯光谱的影响（使用Flame-S光谱仪测试）。随着平滑度的增加，光谱噪音减少了，但是反映的光谱也越来越不真实。

高质量的光谱其中一个最重要的指标即为信噪比水平；如果信号本身非常地小，想要通过一些操作来降低噪音是非常困难的。但是另一方面，海洋光学的STS光谱仪在测试非常弱的信号时的噪音却异常地小，这就是基于STS拥有很好的信噪比。

除了前面讲到的减少噪音的方法，另外一面就是可以通过提高信号值来提高信噪比和测量的质量。一般情况下，我们必须尽可能多地使用到检测器的全动态范围来测量，就是信噪比的提升是跟信号值得均方根成正比的。有如下的方法可以获得很好的信噪比：

- 增大光源输出
- 使用大芯径光纤
- 增加积分时间
- 提高光源光谱有效利用率，增加光谱在需检测波段的实际信噪比，使得光谱仪尽可能在全动态范围工作。特别对于光谱的边缘段，信号响应非常弱的时候，该方法非常有效。

## 结论

减少噪音，提高信噪比，是我们在做非常微弱信号的测试时必须考虑的参数，就像你的侄子把一点运动饮料泼到了游泳池一样，人眼不能辨认游泳池里到底被多少饮料污染。我们这里讨论的噪音，可以通过适当地设置平滑度，增加平均次数来降低（但是必须注意的是，平均次数越多，获取光谱时间越长）。我们也讨论了不同光谱仪间不同的噪音，信号及信噪比，以及我们可以通过光学平台设计和软件设置来协助提高信噪比。

噪音的下一章节我们会讨论最小化的噪音和最大化的信号如何在低检出限测试中发挥作用。稀释到游泳池的运动饮料我们能检测出来吗？请大家关注第二章的内容



[www.oceanoptics.cn](http://www.oceanoptics.cn) | [asiasales@oceanoptics.com](mailto:asiasales@oceanoptics.com)

US +1 727-733-2447 EUROPE +31 26 3190500 ASIA +86-21-6295-6600