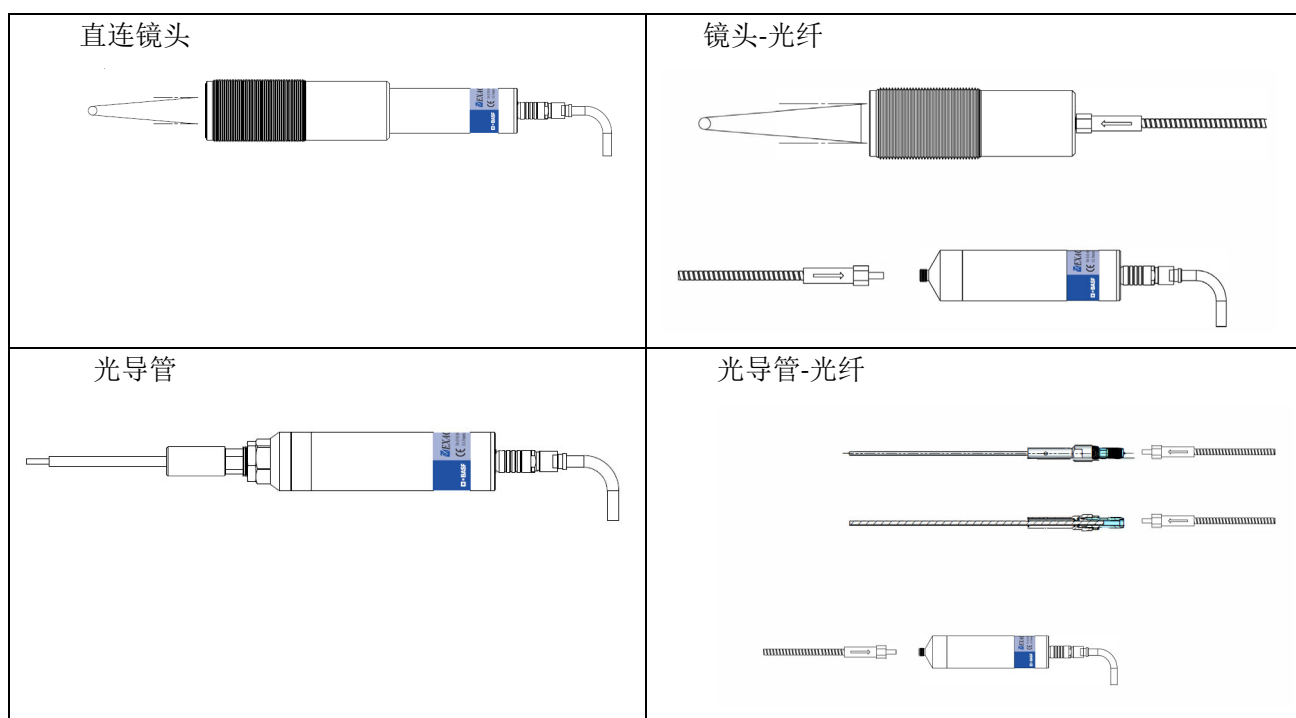


制约红外测温仪温度分辨力的因素及改进方法

红外测温仪的温度分辨力通常被定义为传感器能检测出来的被测信号的最小变化量。究竟哪些因素会影响到这个最小的变化量呢？我们以一款温度分辨率高达 0.01°C 的红外测温仪的实验数据试图来说明相关问题。

Exactus 测温仪，制造商 Basf，目前在中国市场主要被用于外延片及薄膜材料的生长过程中的温度监测。Exactus 测温仪最快响应时间为 1ms ，工作波长集中在短波段包括： 650nm ， 880nm ， 900nm ， 1600nm ， $700\text{-}1650\text{nm}$ ，年温漂 0.15°C ，测温精度可达读数的 0.15% 或者 1.5°C 。

Exactus 测温仪为更好地满足现场应用，光学采集系统有四种形式，包括：直连镜头型，光导管型以及镜头-光纤型，光导管型-光纤型。



为便于比较，我们择取了 900nm ，以及 1600nm 两个波段：直连镜头和光导管两种光学采集系统，光导管直径 2mm ， 3mm 和 4mm 共计 10 个温度范围进行详细说明。详细参数见表一

Photrix 测温仪最低温度和最高温度出厂时已设定。下表中的标准温度范围注释如下：

下限温度：按照 1 个/秒的采样速率，可轻松测量出 1°C 温度变化的最低温度。注意，仪器的工作温度必须低于目标温度；

最低温度：可测量的最低温度。精确测量最低温度需要消除背景的影响，需要稳定的工作温度以及激活的低温信号处理甚至测试数据平均功能；

上限温度：电子达到饱和前可测量的最高温度；

最高温度：可测量的最高温度。高于上限温度，甚或超出线性响应区间，测量精度和分辨力会降低。

测温探头		最低温度	下限温度	上限温度	最高温度	
直连镜头	900nm	低温段	260℃	275℃	2150℃	2250℃
		高温段	290℃	325℃	2600℃	3000℃
	1600nm	低温段	50℃	65℃	975℃	1100℃
		高温段	110℃	135℃	2400℃	2800℃
光导管	900nm	直径 2mm	200℃	220℃	1300℃	1350℃
		直径 3mm	195℃	215℃	1250℃	1300℃
		直径 4mm	190℃	210℃	625℃	700℃
	1600nm	直径 2mm	21℃	35℃	625℃	700℃
		直径 3mm	17℃	30℃	590℃	670℃
		直径 4mm	15℃	25℃	575℃	630℃

以下为 10 组对照表：

温度范围 (275-2150℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	275℃	325℃	390℃	470℃
0.1℃分辨力	325℃	390℃	470℃	570℃
0.01℃分辨力	390℃	470℃	570℃	710℃

温度范围 (325-2600℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	325℃	385℃	465℃	565℃
0.1℃分辨力	385℃	465℃	565℃	700℃
0.01℃分辨力	465℃	560℃	695℃	890℃

温度范围 (65-975℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	65℃	80℃	108℃	148℃
0.1℃分辨力	102℃	125℃	154℃	201℃
0.01℃分辨力	146℃	175℃	215℃	275℃

温度范围 (135-2400℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	135℃	160℃	198℃	255℃
0.1℃分辨力	188℃	225℃	270℃	350℃
0.01℃分辨力	258℃	308℃	370℃	485℃

温度范围 (220-1300℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	220℃	260℃	310℃	372℃

0.1℃分辨力	262℃	310℃	370℃	448℃
0.01℃分辨力	312℃	370℃	442℃	545℃
表七 工作波段 900nm, 光学采集系统 3mm 直径光导管, Exactus 分辨力表				
温度范围 (215-1250℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	215℃	253℃	302℃	362℃
0.1℃分辨力	255℃	300℃	360℃	435℃
0.01℃分辨力	304℃	360℃	430℃	525℃

表八 工作波段 900nm, 光学采集系统 4mm 直径光导管, Exactus 分辨力表				
温度范围 (210-1200℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	210℃	248℃	295℃	355℃
0.1℃分辨力	250℃	295℃	350℃	425℃
0.01℃分辨力	297℃	350℃	422℃	525℃

表九 工作波段 1600nm, 光学采集系统 2mm 直径光导管, Exactus 分辨力表				
温度范围 (35-625℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	35℃	44℃	60℃	90℃
0.1℃分辨力	55℃	75℃	93℃	130℃
0.01℃分辨力	90℃	111℃	138℃	181℃

表十 工作波段 1600nm, 光学采集系统 3mm 直径光导管, Exactus 分辨力表				
温度范围 (30-590℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	30℃	44℃	60℃	90℃
0.1℃分辨力	52℃	75℃	93℃	130℃
0.01℃分辨力	85℃	111℃	138℃	181℃

表十一 工作波段 1600nm, 光学采集系统 4mm 直径光导管, Exactus 分辨力表				
温度范围 (25-575℃)	采样率			
	1 个/秒	10 个/秒	100 个/秒	1000 个/秒
1.0℃分辨力	25℃	36℃	54℃	82℃
0.1℃分辨力	50℃	68℃	88℃	120℃
0.01℃分辨力	82℃	101℃	126℃	150℃

通过上述分辨力的 10 个表格中的数据可以看出：

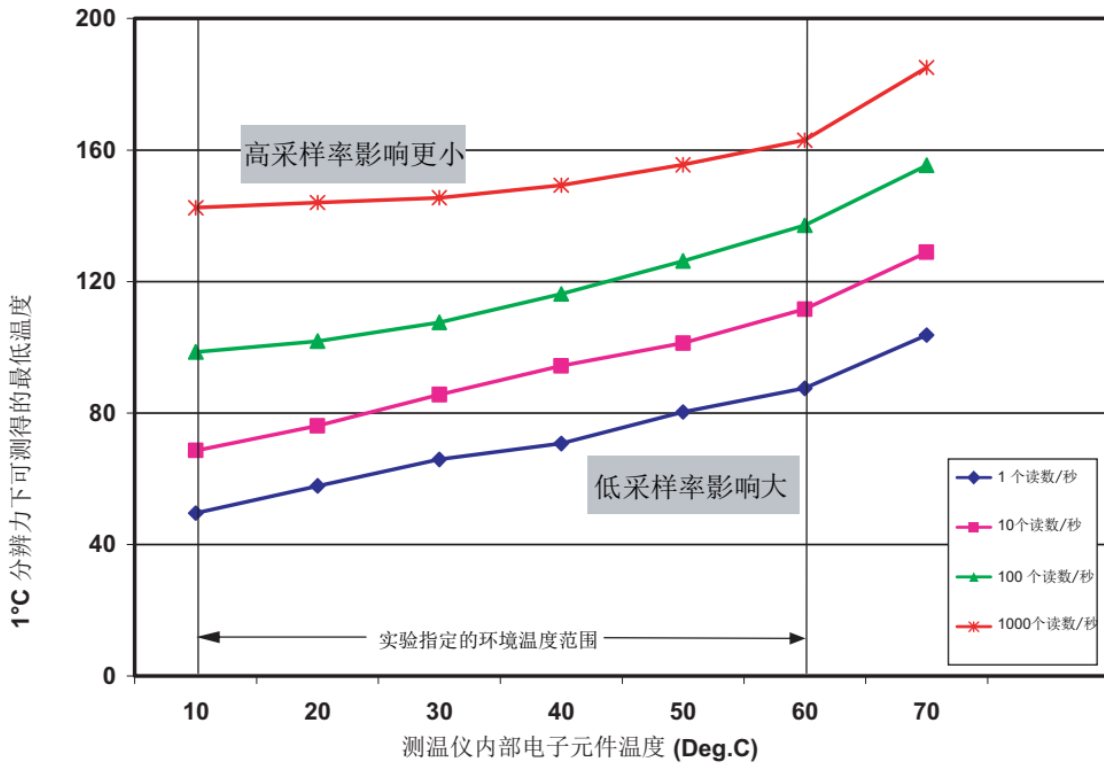
1. 在保证分辨力不变的情况下，若提高采样速度，测温仪理想的测温下限必须提高；
2. 在保证分辨力不变的情况下，若通光孔径减小，测温仪理想的测温下限必须提高；
3. 在保证分辨力不变的情况下，采用同样的采样速度，长波通常比短波测温仪理想测温下限低；

引申：测温仪规格书中所给定的测温范围的下限的条件是指什么条件呢？当我们缩短响应时间后，我们是否还能正常测量仪器所给定的下限温度？

接下来，我们看下测温仪在不同工作温度，不同采样率下，识别 1℃ 温度变化所需要的最低温度。注意，这里的工作温度通常指传感器电子元件工作环境温度而非空气温度。这个温度可以通过配套软件读出

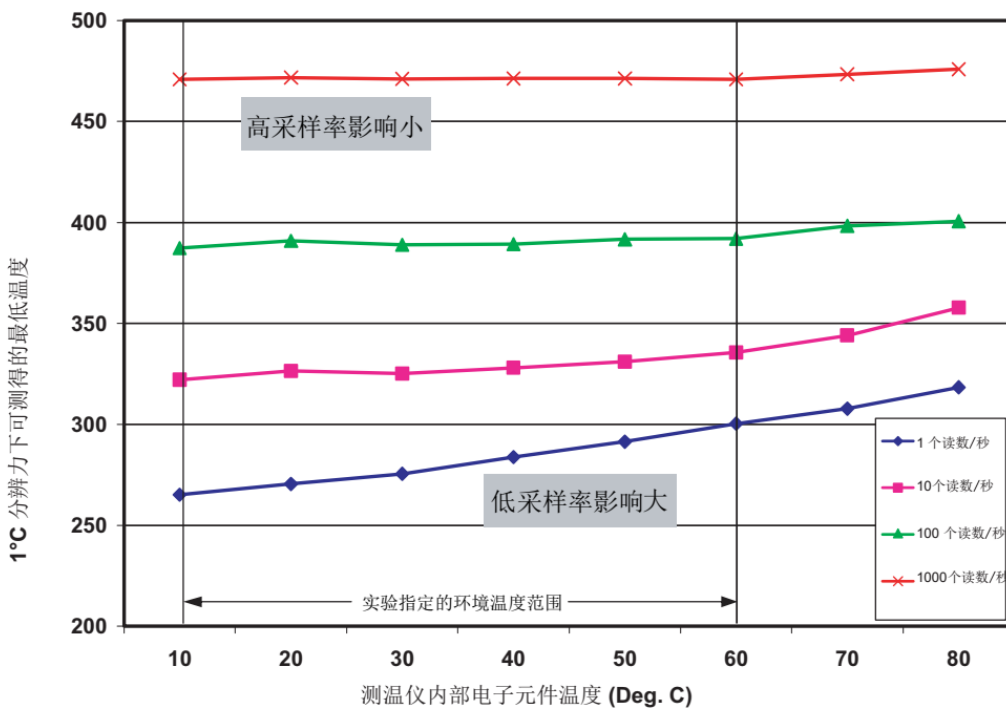
和记录。

表十二



工作波段1600nm, 直连镜头, 低温段在不同环境温度下识别1°C温度变化所需最低温度

表十三



工作波段1600nm, 直连镜头, 低温段在不同环境温度下识别1°C温度变化所需最低温度

从上面两个图表可以看出：

1. 高频采样时，随着工作温度的升高，识别被测目标 1°C 温度的变化所需要的下限温度变化曲线较低频采样明显放缓。
2. 当工作温度高于 60°C 时，下限温度变化明显增大，意味着噪音明显增加。事实上我们测温仪的规格书上通常给出的最高工作环境温度为 60°C-70°C 也是为了避免过大的测量误差出现，而并非过高温度对测温仪镜头造成的额外损伤。

通常而言，在测温仪工作波长既定的情况下，测温仪的分辨力及温度范围主要取决于光学镜头，传感器的工作温度也会在某种程度上产生一定的影响。综合上面的分析，如果我们有意提升测温仪的分辨力可以考虑在以下几个方面做出改进：

1. 测试值平均：如采样率为 100 个读数/秒，设定缓存深度为 10，则 100 个读数的任意一个数值都是基于前 0.1 秒测试值的平均结果。
2. 弱信号平均：如果测量信号比较弱，则仪器会根据信号的情况动态匹配响应时间，随着被测温度的上升，响应时间逐步缩小，直至辐射能量高至不需要平均为止。
3. 降低传感器的工作温度，至于 Photrix 测温仪，Lumasense 推荐的最佳工作温度为 10°C。
4. 测温仪在温度下限时分辨力降低的根本原因是由于被测目标在低温时的辐射能量较低，如果有条件获得更高的能量，则分辨力会显著提高。比如增加被测目标的尺寸；比如采用更大直径的光导管；或者必要时订制光路。图为一些特殊测试过程中采用的辐射增强器，增强器表面采用高反材料，将入射能量汇集进入传感器。