

适用于配方设计者的

UV测量：第一部分

UV工艺中，UV测量和工艺控制很重要。通过这种测量可以回答一些关键的问题如“我们如何知道采用的工艺是否正确？”“我们如何解决固化时可能产生的问题？”“首先我们应该制订什么样的生产工艺”或“对已有的工艺我们应该怎样进行控制管理”。这些问题都可以通过了解UV测量方法帮助解决。而且这些正是各种现有的有关UV测量方面的信息所能解决的问题。

但这些与配方设计者和原材料供应商所关注的方面不完全相同，他们还需要考虑如何制订使他们的客户可以参考的UV说明书，如何使他们的固化说明最优化并且更易被理解，如何使他们的说明具有可重复性并可实际应用。

虽然最终用户经常关心的是相对的UV测量（今天的UV量与昨天是不是不同？我可以进行生产吗？），供应商经常要求提供绝对的UV测量值。对特定的产品和应用，这些是我们已经确定为达到“足够的固化”的开始点的条件和范围。虽然这些对供应商而言已足够制订一种独特的适用于他们的生产环境的表达方法，但是，

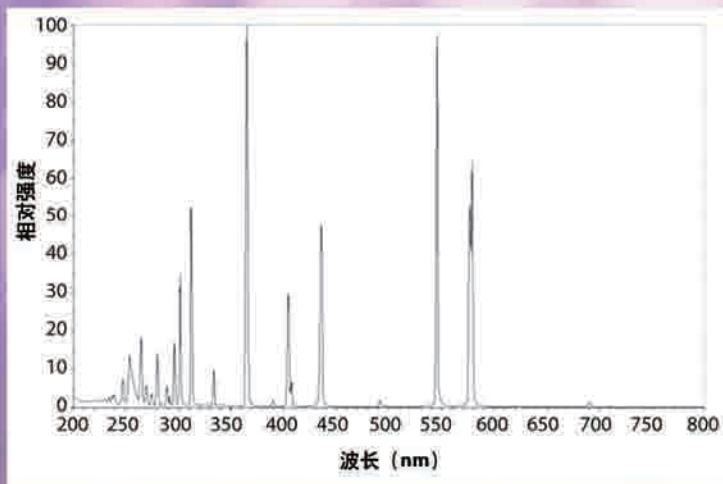
供应商需要采用一种能更广泛应用的表达方式，从而达到使任何客户都可以清楚地理解和利用这些信息，也可以在他们的整个供应链相关人员之间进行沟通。

目的是进行清楚的、有意义的和有益的沟通。通常在配方的特性问题上产生争执时需要利用清楚的、有意义的和有益的信息。我们希望配方设计者可以单独就能与他们的客户共同协作得到他们所需要的信息并成功解决问题。配方设计者需要提供他们的客户以足够的初始信息，使客户可以在工厂里重现实验室固化条件。但是为了达到这一目的，双方都必须知道完全描述和重现工艺需要哪些必需的信息。进行这些测量。

本文目的是为UV设备和化学品相关的供应商提供相关信息，当然也有益于制造商。事实上，正如那个知名的男装制造商广告词所说的：“受过教育的客户是最好的客户”。对供应商，如果更多的产业链中的个体能采用同一种表达方式，事情就会简单得多。

配方设计者，受益于清楚的沟通后，可能会发现以前所担心的“为什么你的产品不固化？”之类的电话会少多了。

图1：中压汞灯放电管光谱分布



UV测量的基本知识

我们首先来回顾下UV测量时最重要的三个基本参数：波长，辐射度和能量强度。

波长

辐射是指（电磁的）能量从一个点到另一个点的运动。电灯打开时产生可见光辐射。加热炉打开时产生红外辐射。UV光源打开时产生紫外辐射。UV是电磁光谱的某一部分的能量发射的表征，其名称的含义是指在紫色光之“外”（拉丁文中的在...之上）。紫色光位于可见光谱的能量最高端，具有最短的波长，接近400纳米（nm）。紫外线波段与其相连，波长从10 nm到400 nm。

UV中约200 nm以下主要存在于真空状态下，对工业应用没有什么用处。

我们认为“工业”的UV是指200 nm到400 nm的范围。电磁光谱的这一区域没有相应的颜色命名，如“绿色”或“橙色”，根据ISO-DIS-21348通常用字母命名UV色（UVA、UVB和UVC），单独的光谱峰有时用纳米表示。常用的UV波段及其范围包括：UVA是400~315 nm；UVB是315~280 nm；UVC是280~200 nm。

波长小于200 nm的UV有时称为真空UV（VUV），而波长稍长位于UV-可见光交界处的UV有时称为UVV。不要将两者混淆。

从实际应用角度，UV光源，特别是宽谱灯如中压汞灯和带有添加成分如铁或镓的类型具有各种峰，会落于各种不同的区域。图1是典型的UV灯光谱。配方设计者通常选择能满足照相组件（光引发剂，光敏剂，光稳定剂和其他材料）UV吸收性能的灯源。这些材料具有其自有的吸收光谱，其必须与计划需要的UV源相符以提供可用的体系。

在理想情况下，UV光源选择需根据配方设计者的要求。但在实际情况下，配方设计者通常需要采用已有的UV光源（适用于某种配方的客户已有的或是计划要用的光源）。

测量由UV灯源发出的单个的波长（几个纳米）需要复杂的仪器即分光计或光谱辐射计。

光谱辐射计，由于其可以测量单个的峰，可用作研究和开发光学组件或新灯泡类型的工具。对配方设计者和终端用户，UV灯源的光谱输出是熟知的。在生产环境下，通常用光谱辐射计进行详细的光谱测量不是很切合实际。更常见的、可提供的、实际的和易使用的是测量更宽波段的UV发射的更简单的装置。

UV强度和辐射

用简单的术语表达，强度是指UV光源的输出能量。可以把UV灯源想象成餐厅里的树枝形装饰灯，

图2 光引发剂的吸收特性。如图表中所示，是对UV灯源的输出光谱的补充

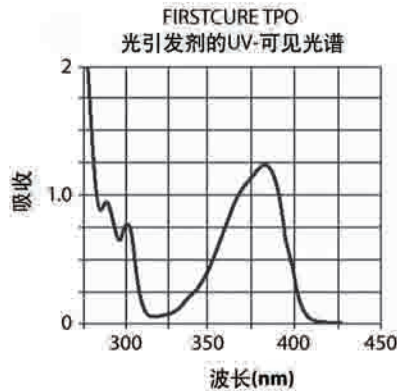
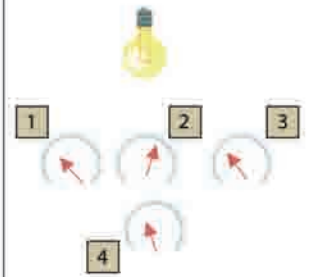


图3 测得的辐射度与距离之间的关系描述



当把灯的调光器开大时，会产生更多的能量，可见光输出能量提高。我们也可以通过将调光器开大提高UV输出量。像产生可见光的灯泡一样，一些UV灯也能产生比其他UV灯源更高的能量强度。当加上更多的能量后，UV灯源通常也一样能产生更多的UV。能量加倍并不意味着UV输出量会加倍。UV灯源是根据加在光源上的电能数量分类。对每英寸灯泡，300 w/in 的灯泡具有电能是每英寸300 w。10in的300 w/in体系灯泡具有电能是3000 w。20in的300 w体系灯泡具有电能是6000 w。

但所加的能量并不表示(a)UV量和类型，(b)是否该UV适用于某一特定配方或(c)有多少UV到达了固化表面。到达固化表面的UV量称为辐射度。常用平方厘米作为单位面积追踪记录从所有角度到达的UV，通常通过直接测量确定。理论上，我们总喜欢在固化表面测量。在实验室这通常比生产设备实际应用测量要简单。

在实际应用时，术语强度和辐射度有时互换使用，但从科学角度，辐射度是指到达特定（固化）表面的UV，是基于特定的区域 - 在这里是指平方厘米。

如何和在哪里测量辐射度很重要。许多UV灯带有反射器，可以使UV能量聚焦或漫反射。UV输出改变取

决于反射器几何结构以及是否灯的能量是集中于某一区域（聚焦）还是漫射（非聚焦），而且通常在电极灯的两端还会明显下降。如果我们想象一下在UV灯附近区域移动一把“光尺”，当我们移动尺子时，指针会左右跳动。由于这种变化，可能最能提供信息的是记录测得的最大值；这种“峰值辐射度”是一个值，它传达了一些用其他方法难以得到的有用的信息。峰值辐射，通常指定为在距光源特定距离处测得，因而是一种常用的光源输出表达方法。

你可以想象一下，回顾一下有些类似的树枝型装饰灯，存在许多因素影响峰值强度和辐射度：灯的输出（调光器调到多高是“调高”），与灯的距离和入射光到达仪器的角度。

图3描述了一个简单的现象，其中灯的输出保持在某一常数，仪器从位置1移至位置2，然后是位置3和4；仪器响应准确。当移进光源的直接通路时仪器数据提高，然后移至另一面时又下降。当从位置2移到位置3时距离增加，因此数据下降。我们知道我们正离开光源，测得的辐射度下降。辐射度是以距离的平方关系下降；将测量点移远2倍，辐射度将下降至原来的1/4（因此，能量下降至原来的1/4）。

辐射度测量，更常见的是峰值辐射度，通常用单位W/cm²或mW/cm²表示。对典型的UV灯源输出可以从小于100 mW/cm²(UVA)，到5000mW/cm²(5 W/cm²) (UVA)以上。

在以UV固化时，辐射度常被认为是“最有效的能量”。辐射度（假定波长适合）提供需要的能量以渗透更厚的涂膜使整个涂层达到固化完全。对某些应用，不合适的辐射度会抑制完全固化，对很多应用，辐射度和能量强度协同作用提供最佳的固化条件。

UV能量强度

能量强度因素体现UV暴露的时间相关因素。1 wos=1焦耳。能量强度以术语J /cm²（或mJ/cm²）表示。在实际情况下，要固化的产品将暴露于相同的或恒定的辐射度水平的UV下。一种暴露条件是UV灯源打开，产品是静止的并有一个百叶窗以一设定的时间开关以实现大致相同的暴露条件。如果可以像知道暴露时间一样知道辐射度，能量强度就可以控制。表面

暴露于“公平”的峰值辐射度750 mW/cm²的UV灯源下3s将受到的能量强度读数为3×750=2250 mJ/cm² (2.25 J/cm²)。但在实际情况下，大多数暴露不是“公平”的暴露。无论是产品在灯下移动还是灯在产品上移动，由于辐射量的改变，要借助辐射计测量暴露然后计算总的能量强度，

能量强度对材料的固化是重要的，历来是最常用的最终用户和配方设计者都会用到的“UV值”。但它并不能完全准确进行描述。

对“D”（剂量）一词的注释：在实际情况下，“剂量”通常用于替代术语“能量强度”或“辐射能量强度”。在UV固化领域，能量强度术语更好，但要知道客户可能会同时使用两种术语。需要协商确定要使用哪种使所用术语保持一致。在本文中，都使用能量强度。

为理解辐射和能量强度有何不同，以及它们在UV固化中的各自作用，以用微波炉制爆米花为例加以说明，在Orville Reddenbacker®的包装袋说明上可能会建议在高火用微波炉加热3 min。如果用微波炉的最低档加热，做好爆米花要多少时间？答案可能是永远也做不好。为什么？因为要制作爆米花，微波能量（辐射度）要超过一定的阈值。这对制作爆米花来说是一种常识（烤蛋糕或感恩节火鸡也一样）。烘烤火鸡时，将烤炉从375°F调高到1500°F，可能并不能保证能在短时间内得到烤好的金棕色的火鸡。同样，提高辐射度的有利影响是有限的。正如从爆米花的经验所获得的，过程中时间也起关键作用。将微波炉过早关闭，可能会使得在袋子底部残存未爆开的玉米粒。虽然辐射和能量强度的数学关系有直接和线性的关系，但这并不表示我们就能就此断定材料将按比例关系固化。虽然对窄的工艺操作来说，这可能保持正确，但在极端条件下往往产生错误。

实验室中确定在UV灯源下需要多少焦耳的能量使某一产品固化和施工。另外使另一块样板放置于室外太阳光下相同焦耳的暴露条件下。放置于太阳光下的性能将不同，这是由于其中的UV辐射度要低得多。

简言之，波长取决于选择的灯的类型（不是常用需要测量的参数），对制作完美的UV火鸡或爆米花而言，最佳峰值辐射度(W/cm²)和能量强度(J/cm²)仍是两个关键的配方变量。可以说，有许多因素可能影响这些测量并导致可能出现的光源选择错误。

辐射度测量 — 了解你的仪器

了解你的UV仪器及其正确使用方法和限制将同时有助于你和你的客户更好地理解读数。哪些存在因素会导致潜在的混淆和测量误差？这些因素是由于仪器限制造成的，还是由于客户错误使用造成的，还是预期值本身不对？其中一些是由于UV测量装置限制导致，一些是由于测量方法导致，但不管怎样，了解这些将可以避免错误地记录或错用数据。

带通滤波和衰减

在工程探测器电路中，工程师在需要的波段使用带通滤波器防止无关信号干扰并尽可能提高电路的敏感性是测量常用的手段。我们每天都能碰到的带通滤波的一个例子是电话和其它的音频电路。为获得最好的人类语音，电话复制声音从200到20000循环（Hz）。这与UV有什么关系呢？对整个UV光谱，更方便的是

将波段细分，即UVAUVB、UVC和可见的UVV。这样细分使得可以在各个波段进行更准确的测量。但问题是各个“频道”使用带通滤波器会使在波段的两端的测量衰减。单一滤波器的优点是其用于单个波段，提高了敏感性，但缺点是它不能准确测量带通边缘的极限数据。

一些实际的带通滤波器响应曲线如图4和5所示。图4曲线是单一的宽波段仪器，而图5曲线是四频段辐射仪。

与滤波相关的问题总是确实会产生。例如，具有窄的、单波长输出的位于395 nm附近的UV LED光源与现有的一些滤波器并不匹配，因为这一区域LED输出强，目前的过滤器在这一区域的光谱响应低。现在正开发新的滤波器以适用于这种情况。

不同制造商之间的带宽存在不同。各个制造商都是基于他们的产品/仪器设计选择光学响应元件。对用户而言，这意味着即使在完全相同条件下，用一种品牌的辐射仪得到的读数将会与由另一种仪器得到的不同。例如，一种EIT辐射仪用320 - 390 nm范围的滤波器测量UVA，而另一种品牌则用250 - 415 nm的滤波器。用这两种设备测得的读数会不同。事实上，模型与模型之间以及设备与设备之间细微的差别是常见的，因为制造商需要平衡光学性能和成本之间的关系。光学元件的制造水平已越来越高，但是光学和/或批次之间存在细微的差别仍是常见的。消除这些细微的差别将导致仪器成本大大提高。

大多数辐射仪使用照相检测器（如照相二极管），通过光学元件的组合实现，用于收集、过滤和散射入射光。这些组件的典型“光学结构”如图6所示。材料和方法因制造商不同而改变。

余弦误差

大多数辐射仪都尽可能复制余弦响应。为什么？这是因为一般认为UV固化涂料特性符合余弦规律，即在90°到达的UV光会趋于比在45°或一些其它角度到达的UV光提供更多的“固化”能量。理论上，组件的“固化”能量的下降与入射光角度的余弦成比例关系。例如，如图7所示，在45°角，读数会降低到 $\text{Cos}(45^\circ)$ ，即最高读数的0.707倍。这种余弦组件是一种理想情况，辐射仪的光学组件都尽可能与这一响应匹配。

图4 单一、宽带仪器的带通滤波器响应

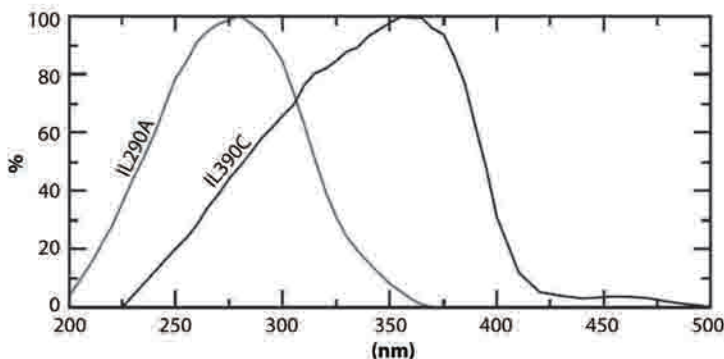
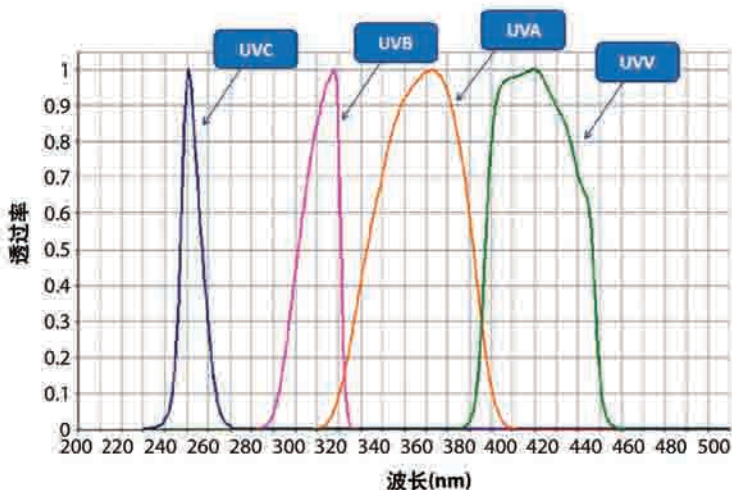


图5 四频道辐射仪的带通滤波器的响应



第二种类型的误差与测量几何原理有关。当测量工具位于与光源直接一致的位置，可以得到最大读数。如图7所示，可以看到移动辐射计使其离开轴时读数下降。图8所示是一种实际情况的光学仪器如何误读预期的响应的例子。最里面的曲线是具有原始光学设计的探针型仪器产生的，其余弦响应与由预期值得到的最外面的余弦曲线明显有偏差。在重新设计后，实际响应，如图中间曲线所示，就相符多了并能提供更多更准确的数据。余弦响应是一个重要的特征，这样设计的光源用于测量时无需直接采用灯的最大辐射度。同时可能通过移动辐射计至固定光源的已知的角度检验单位余弦响应，并与理想的余弦曲线对比，这可能更便于从制造商购买仪器，使其可了解他们的辐射计的光学结构件的质量。

确的测量值，因为车重地秤是为称更重得多的物体设计的。因此也要为你的测量选择具有正确的感量的辐射计。将适用于低（能量）强度光源的仪器用于高（能量）强度光源破坏仪器的可能性会增大。

辐射计借助小型电子检测器测量和许多光学元件来调节输入UV能量。仪器需要平衡UV到达检测器的数量。需要有足够的UV到达检测器，这样可以产生正确的信号，但太多的UV会由于可能存在的曝光过度破坏光学元件。一些元件在连续暴露于高水平的UV场中会导致恶化，或者随着老化产生“曝光过度”。曝光过度通常会改变材料的传送性能并由于衰减而影响准确的测量，或随时间推移降低UV的测量能力。虽然曝光过度可能通过选择极好的材料最大程度减少，但不幸的是通常不可避免。定期的校正可以补偿小的变化，但长期使用后，一些光学元件可能需要更换。

动态范围/光学件的曝光过度

在一个车重地秤上称一个小孩可能得不到非常准

图6：典型的光学元件构造

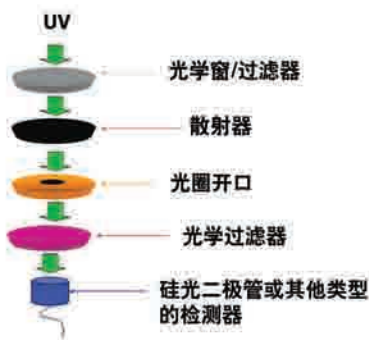


图7：测量余弦误差

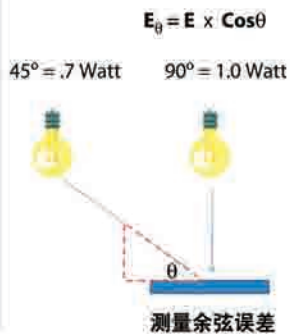
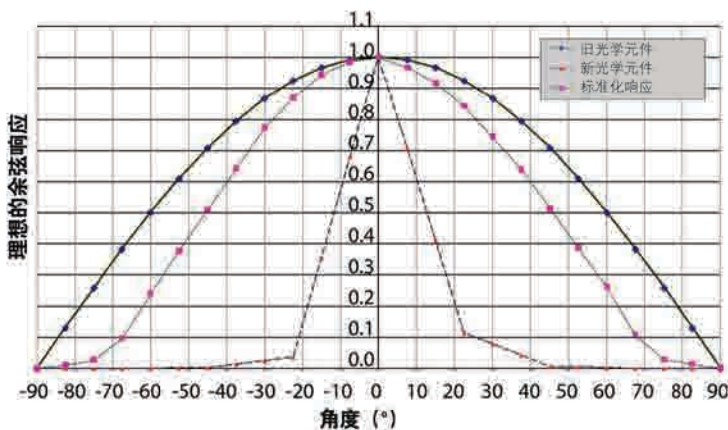


图8：余弦响应曲线显示光学元件是如何误读预期的响应值的



温度

过程中产生的热是不需要的，但通常是不可避免的UV固化副产品。许多UV灯在长波红外和光谱对流部分辐射出比UV区域更多的能量。UV辐射仪可能不能测得这些能量并会受到影响，过程中产生的热量可能会不知不觉地导致UV测量误差，特别是长期暴露于非常高能量源下时。与供应商沟通一下看一看他们的仪器的检测器是如何响应的。许多检测器的响应将导致读数的轻微下降。

极端温度甚至会破坏一些仪器，通常，“如果热得都不能摸了，对测量来说就是太热了。”一些辐射计提供了方便的内部温度显示，这样可以记录在实验室记录本上，内部警告在内部温度超过推荐的操作温度（如65℃）时会报警。

记录UV的说明

对供应商帮助进行良好的测量实际操作最常见和重要的是制订固化说明书。希望通过本文进行的讨论能对好的说明书中哪些参数更重要提供一些建议。波长、辐射度和能量强度对工艺而言都重要，是好的说明书中必需的一部分。

虽然常常需要保护知识产权信息，但固化说明书

仍应视做一种交流的工具和成为使你的客户优化工艺的出发点的依据。

仅描述UV光源是不够的，因为光源输出可能（确实）随时间改变，同时也是因为不是所有客户都会选择使用特定的光源。这样，测试时可以采用300 W/in熔丝H灯或200 W/in添加铁的灯，这种描述是不能用于替代说明的。

UV说明的一些例子列举如下

熔丝600 W/in灯

这种描述太简单了，提供的信息太少以至不能利用它做什么。600 W/in是测量的输入灯泡的能量，没有提供任何有关部件UV方面的信息。波长多少？是H灯、V灯还是D灯？能量强度多少？

400 W/in水银弧光灯5秒

这种说明稍好一些，但提供更多的仍是光源方面而不是元件UV读数方面的信息。我们需要的是一些辐射度或剂量测量方面的信息。

600 mJ/cm²

稍好一些，至少提供了一些测量信息。但许多重要的数据仍未体现出来，例如波长是多少？

600 mJ/cm² UVA

一种较好的说明。我们只需知道所用的是哪种测量工具，就足以重复这一说明的条件。

600 mJ/cm² UVA (EIT 320-390)

更好的说明。我们可以了解是使用哪种辐射计测量这些数据的。

300 mW/cm² 600 mJ/cm² UVA (EIT 320-390)

最佳的说明，提供了一套信息，有助于保证正确的固化以及如何

在车间重复实验室条件。

对一些涂装过程，需要两种灯从而使表层和涂层内都达到完全的固化。这必须用准确的数据和固化信息来描述。所有情况下，附加的信息如UV灯泡类型、涂膜厚度和施工数据将有助于客户了解你的想法，提供更完整的指导方针以帮助他们的建立和保持合适的工艺条件。这种预先的沟通有助于消除昂贵的在实际应用时由于措手不及应对产生的错误。

总结

最终的用户要借助于UV测量来控制他们的工艺，并在出问题时代当故障检修员。但是经常需要供应商帮助制订这些规范说明。和其他任何的标准工艺一样，清晰的沟通是必须的以保证信息的接受可以清楚地理解信息提供者的意

图。某种程度上，包括了需要重复工艺的基本元素的说明书是必须的。

综上所述，UV测量涉及与波长、辐射度（典型的是峰值辐射度）和能量强度（剂量）相关的描述。在第一部分我们考察了一些能影响辐射度测量的因素如滤波器、曝光过度和余弦误差。在第二部分我们将检验一些能影响能量强度的因素，反射器是如何影响测量的以及如何选择实验室研究用的辐射计。■

如需获得更多信息，请联系
pmillsoh@aol.com或访问网站：
www.uvrobotics.com

EIT Instrument Markets

108 Carpenter Drive
Sterling, Virginia 20164
Tel 703-478-0700
Fax 703-478-0815
Email: uv@eitinc.com
Web: www.eitinc.com