

# 中国绿色照明产品节能认证ALT方法的研究

产品名称	中国绿色照明产品节能认证ALT方法的研究
公司名称	深圳市实测通技术服务有限公司
价格	.00/个
规格参数	服务1:速度快 服务2:价格优 服务3:包通过
公司地址	深圳市罗湖区翠竹街道翠宁社区太宁路145号二单元705
联系电话	17324413130 17324413130

## 产品详情

摘要：该文以广泛应用的普通照明用自镇流荧光灯、LED灯为例，对绿色照明产品的可靠性和寿命技术指标要求、ALT方法和意义，以及数学模型进行讨论，研究Arrhenius、Egring模型在绿色照明产品ALT方法中的具体应用等。

## 0 引言

大力推广绿色照明产品是中国实行低碳经济、提高能源利用效率的一个重要举措。与传统的白炽灯相比，普通照明用自镇流荧光灯(俗称节能灯、紧凑型荧光灯CFL)、线性荧光灯LFL、新型卤素灯等新兴节能绿色照明产品具有更高的发光效率、更低的能耗，特别是新型LED灯代表了绿色照明产品的未来。我国每年照明用电4 300亿千瓦时，占电力总消耗的12%，预计到2015年照明用电将达6 000亿千瓦时。若绿色照明产品占有20%以上的照明市场，每年不仅可节约用电1 000亿千瓦时，同时可减少二氧化碳、二氧化硫、粉尘的排放1.5亿吨。然而，在中国，节能绿色照明产品的推广却遭遇窘境：世界上90%的节能灯产自中国，而中国节能灯使用比例还不到20%。其中主要的原因是在上充斥着大量质量低劣、价格低廉、寿命只有1~2年、甚至几个月的“短命节能灯”。表面上看，这种节能灯具有价格竞争优势，但从产品的整个生命周期来看，这种节能灯既不节能，又耗费大量资源，给大众留下“节能不节钱”的印象，使绿色照明推广工作面临严峻的挑战。

## 1 绿色照明产品的可靠性和寿命技术指标要求

绿色照明产品除了安全、环保、高效、低能耗要求外，更重要的是可靠性要高，使用寿命要长，这才能符合绿色生态的设计要求。

## 1.1 欧盟2009/244/EC指令要求

根据欧盟2009/244/EC《关于执行非定向家用灯生态设计要求的EUP指令》[1]要求，节能灯除了光通量、大额定功率、启动时间、预热时间、紫外线辐射、功率因素、显色性、汞含量等可以立即测量的技术指标要求外，涉及可靠性和寿命指标要求有：6 000h的残存率、2 000h的照度维护率、损坏之前的开关周期数(灯的一半寿命)、过早损坏率(200h/400h)等。

## 1.2 我国对节能灯的要求

在GB 19044-2003[2]、GB/T 17263-2002[3]中，我国对节能灯的可靠性和寿命指标要求有：燃点2 000h时光通维持率不应低于80%，额定平均寿命不得低于6 000h。

## 1.3 我国对普通照明用LED模块的要求

在GB/T 24823-2009[4]中，我国对普通照明用LED模块的可靠性和寿命指标要求有：模块在燃点3 000h时光通维持率不应低于92%，在燃点6 000h时光通维持率不应低于88%，在燃点至70%额定寿命时光通维持率不应低于70%；模块平均寿命不低于25 000h。

## 1.4 我国对普通照明用自镇流LED灯的要求

在GB/T 24908-2010[5]中，我国对普通照明用自镇流LED灯的可靠性和寿命指标要求有：灯在燃点3 000h时光通维持率不应低于92%，在燃点6 000h时光通维持率不应低于88%，在燃点至70%额定寿命时光通维持率不应低于70%；模块平均寿命不低于25 000h；开关次数大于15 000。

对于新型绿色照明产品LED灯来说，有的寿命更是长达5~6万小时以上。这些高可靠性、长寿命的技术指标要求确保了“既节能又省钱”的目的。

## 2 ALT方法和意义

为了弄清产品的寿命分布，估计产品的各项可靠性指标，研究产品的失效机理，都要进行寿命试验。通常企业和检测机构都是按标准要求、模拟正常使用情况进行产品的寿命试验，除开关次数可以通过自动编程控制器在较短时间内自动完成测量外，寿命技术指标包括光通维持率和平均寿命的试验往往需要花数个月时间，有的更是需要长达数年时间。因此，一般检测机构要么不测，要么引用企业的经验数据。在GB/T 24824-2009[6]给出一种LED模块和自镇流LED灯寿命外推的方法：通过测量1 000h至6 000h光通量的下降值，外推至下降70%的时间，如图1所示。由于光通量的衰减与实际寿命通常不呈线性关系，而且数据分布不均匀，推算的寿命值与实际值相差较大。即使这样，试验仍要持续进行6 000h，即8个多月。

### 图1 寿命试验外推法示意图

目前，国外也有研究LED器件燃点时波长的漂移、光通量的波动、器件连接的热沉温度与寿命之间的关系。然而，实际LED器件的寿命与组成灯具的系统寿命存在较大差距。另外，由于实际使用环境的特殊性和严酷性，可靠性和寿命往往比理论值偏低了许多。

据统计，通常一个工业产品若在设计阶段改进缺陷费用为35美元，到采购阶段前改进需要177美元，到生产阶段前改进需要368美元，到发货前要17 000美元，而在用户现场改进则需要69 000美元。由此可见，发现缺陷和实施改进越早，花费的费用越少。从产品全寿命周期的费用来看，及早发现和改进设计缺陷尤为重要。因此，必须在尽可能短的时间内对长寿命、高可靠性的绿色照明产品进行比较科学的判定，

尽早发现薄弱环节，以便在大规模生产之前为产品的设计、生产提供更为科学的指导。

加速寿命试验(Accelerated Life Testing,ALT)是指超过正常应力水平下的寿命试验。ALT方法是研究产品寿命及其分布、解决、验证高可靠、长寿命产品的设计正确性，且具有试验经费少、研制和试验周期短等优点的试验方法。ALT方法早在国外主要应用于航天、航空、等高、高可靠性领域，后来成为民用公司研发新产品的一种重要手段，主要应用于电子元器件、材料和通用可靠性领域。

根据应力变化情况ALT方法通常划分为恒定应力、变应力、步进应力、序进应力等几种试验类型。ALT方法是利用高应力下的寿命特征去外推正常应力水平下的寿命特征,其关键在于建立寿命特征与应力水平之间的关系，由此实现外推正常应力水平下寿命特征的目的。这种寿命特征与应力水平之间的关系就是加速模型。下面对两种典型的ALT方法模型进行讨论。

### 3 Arrhenius模型及其应用

#### 3.1 Arrhenius模型

Arrhenius模型[8]是典型、应用广的ALT模型，主要研究退化量与温度的关系。其表达式为：

(1)

在式(1)中， $D$ 为退化量，在照明产品中通常以光通量作为特性参数，表示温度在 $T$ 时的退化速率，退化速率是时间 $t$ 的函数； $A_0$ 为常数； $E$ 为失效机理激活能，是不随温度变化的一个常数； $k$ 为玻尔兹曼常数； $T$ 为温度。

根据式(1)，有：

(2)

则：

(3)

设 $LT=t_2-t_1$ ，即照明产品在温度 $T$ 时从 $t_1$ 开始延续到 $t_2$ 的寿命，根据式(3)，有：

(4)

在式(4)中， $B = \frac{E}{k}$ 。

式(4)反映了产品寿命 $LT$ 与温度 $T$ 的关系，即产品寿命的对数与温度的倒数呈线性关系，斜率为 $B$ 。

根据式(4)，ALT方法的加速系数为：

(5)

(6)

在式(6)中， $LT_1$ 、 $LT_2$ 是对应两个不同温度 $T_1$ 、 $T_2$ 的不同寿命。

#### 3.2 Arrhenius模型的应用

下面以常用的节能灯为例。试验标准要求要求在 $15 \sim 40$  的环境温度中进行，灯头垂直在上。通常环境温度 $T$

a取25，样品数n=10，通常取20支。根据GB 19044-2003、GB/T 17263-2002的要求，节能灯光通维持率在燃点2000h时不应低于80%，即 $L_m-25 \geq 0.8 \times 2000$ ，额定平均寿命不得低于6000h，即 $L_a-25 \geq 6000$ h。

从失效机理和温度应力分析，影响节能灯可靠性和寿命的因素主要有电子镇流器和灯管，其中，电子镇流器关键器件有脉冲变压器、功率三极管、灯丝谐振电容、电解电容、扼流电感等。

在GB 16844-2008[7]中，规定灯头温升不得超过120K(E27等)，即145℃（环境温度 $T_a$ 取25℃），通常工作稳定后灯头温升20~40K，视不同功率、厂家、型号规格而定。绝缘材料耐热温度通常要求125℃以上。为了摸清样灯所能承受的温度和光通量的变化，试验时先在145℃附近进行摸底试验。采用恒定应力ALT方法，烘箱温度 $T_a$ 分别取100℃、120℃，每次试验样灯为20支，每隔100h监测样灯光通量，根据光通量的衰减情况和上述不同标准要求测量出寿命(包括光通维持率)数据，通常试验温度和寿命的关系分布如图2所示。

图2 恒定应力ALT方法-试验温度与寿命的关系

若光通量发生明显变化，则缩小监测周期，每隔50h监测样灯光通量，必要时逐渐增加测量时间的密度。测量后样灯继续进行老练。

当无法准确测量每个样灯的具体寿命时，可用以下方法计算：已知样灯在 $(t_{i-1}, t_i)$ 时间内有 $l_j$ 个样灯失效，可以用等间隔方法估计此 $l_j$ 个样灯的失效时间，即寿命。即在 $(t_{i-1}, t_i)$ 内第 $k$ 个失效时间为：

(7)

根据上述标准判定，在一次试验中，分别测量出样灯在100℃和120℃温度下的光通维持率和寿命的平均值为 $L_m-100 = 159$ h、 $L_a-100 = 428$ h、 $L_m-120 = 91$ h、 $L_a-120 = 246$ h，根据式(5)、式(6)得出， $B=4.072$ ，后计算出 $L_m-25 = 2480$ h、 $L_a-25 = 6679$ h。经过验证，这个数据与实际寿命较为接近。

采用Arrhenius模型的ALT方法试验时间通常只需200~400h，比正常试验的6000h至数万小时大大缩短。对于LED灯同样可以测出寿命值。大功率LED灯对温度特别敏感，一般功耗的75%~85%都转为热能。因此，整灯的散热系统非常重要。温度不仅会影响寿命，而且会造成相对色温的漂移。所以，大功率LED灯都配有温度补偿电路和高精度温度传感器电路等。

#### 4 Eyring模型及其应用

广义的Eyring模型研究退化量与温度，以及另外一个应力的关系。其表达式为：

(8)

很明显，式(8)和式(1)相比，增加了一个应力 $V$ 。这个应力可以是电压波动因素，也可以是环境湿度因素等。很多绿色照明产品工作在室外恶劣环境，如城市路灯、交通信号灯、广告显示屏、指示灯等，影响可靠性和寿命因素很多，如开关冲击、工作环境振动、冲击、电源通断、电源谐波干扰等，可以视具体情况而定。

参照式(4)、式(5)、式(6)，可以证明：

(9)

在式(9)中，(10)

其中,是与温度、电压相关的加速系数。

即在双重应力条件下,如温度、电压同时作用时,寿命加速试验时间可以大大缩短,通常只需近百个小时。这点有些类似高加速寿命试验(HALT),即快速激发产品的设计缺陷,暴露设计薄弱环节,确定产品的工作极限和破坏极限。

以上面第3.2为例,若,则根据式(10),。很明显,试验时间可以大大缩短。

其他一些常见的可靠性和寿命模型还有Weibull分布:

(11)

以及指数分布、对数正态分布等,这些模型和具体应用和上述讨论的类似,限于篇幅在此不一一列举了。

## 5 结论

本文探讨了绿色照明产品的常见的可靠性和寿命技术标准要求,以及ALT方法和模型,说明ALT方法除了可以在较短时间内检测出绿色照明产品的寿命,还能应用于绿色照明产品的可靠性试验中。对一些具体型号规格的产品可以通过模型修正使之更加接近实际值。这对于研究和提升绿色照明产品的质量,设计符合绿色生态要求的产品,都具有重要的意义。