

# LED 照明产品检测方法中的缺陷和改善的对策

俞安琪

国家电光源质量监督检验中心(上海)、国家灯具质量监督检验中心

上海时代之光照明电器检测有限公司

## 摘要:

传统的LED及其模块光、色、电参数检测方法有电脉冲驱动, CCD快速光谱测量法, 也有在一定的条件下, 热平衡后的测量法, 但这些方法的测量条件和结果与LED进入照明器具内的实际工作情况都相差甚远。文章介绍了通过 $V_f-T_j$ 曲线的标出并控制LED在控定的结温下测量其光、色、电参数不仅对采用LED的照明器具的如何保证LED工作结温提供了目标限位, 同时也使LED及其模块的光、色、电参数的测量参数更接近于实际的应用条件。文章还介绍了采用LED的照明器具如何测量LED的结温并确定LED参考点的限值温度与结温的函数关系。这对快速评估采用LED的照明器具的工作状态和使用寿命提供了一个有效的途径。

## 关键词:

标定、 $V_f-T_j$ 曲线、LED结温、修正、参考点温度

Deficiency and improvement means of testing methods of LED lighting products

Yu Anqi,

China National Light Source Quality Supervision Testing Centre (Shanghai),

China National Lighting Fitting Quality Supervision Testing Centre,

Shanghai Alpha Lighting Equipment Testing Ltd.

## Abstract:

Traditional testing methods of electrical and photometric parameters of LED and its module are electric pulse-driving, CCD transient spectral testing methods, and testing methods after thermal equilibrium under given condition. But these testing conditions and results are far from the actual operating state when LED built in lighting apparatus. This article introduces, through the  $V_f-T_j$  curve, the testing methods of LED's electrical and photometric parameters at a controlled and set junction temperature. It not only provides the target limit of how to ensure LED's operating junction temperature for lighting apparatus applying LED, but also makes the tested electrical and photometric parameters of LED and its module be closer to actual operating condition. This article also introduces, for lighting apparatus applying LED, how to test LED's junction temperature and confirm the function of LED reference point's limit temperature and junction temperature. It provides an effective method to rapidly evaluate the operating state and life of lighting apparatus applying LED.

## Key word:

control and set,  $V_f$ - $T_j$  curve, LED junction temperature, control, reference point temperature

## 一、 序言

对于一个新兴的产品，其产品自身的发展总是先于产品标准和检测方法。虽然产品的标准和检测方法不可能先于产品的研发，但是，产品的标准和检测方法应尽可能地紧跟产品设计开发的进度，因为产品的标准和检测方法的制定过程本身就是对产品研发过程的回顾研讨和小结，只要条件基本成熟，产品标准和检测方法的制订越及时，就越能减少产品研发过程的盲目性。LED 照明产业发展到现在，我们对 LED 照明产品标准和检测方法的回顾、小结的时候已经基本到来。

## 二、 LED 模块的光电参数和检测方法的现状和改进方法

### 1、传统的 LED 模块的检测方法

目前传统的 LED 模块的检测方法主要有两种，第一种是采用脉冲测量的方法，它是把照明 LED 模块固定在测量装置上（例如积分球的测量位置等），采用脉冲恒流电源与瞬时测量光谱仪的同步联动，即对 LED 发出数十毫秒~数百毫秒恒流的脉冲电流的同时，同步打开瞬时测量光谱仪器的快门，对 LED 发出的光参数（光通量、光色参数等）进行快速检测，同时，也同步采集 LED 的正向压降和功率等参数。由于这种方式在检测过程中，LED 的结温几乎等同于室温，所以，测量结果的光效高，光色和电参数与实际使用情况有明显差异，这一般都是 LED 芯片（器件）生产商采用的快速检测方法，而与 LED 实际应用在最终照明器具中的状态不具有可参比性。

第二种检测方法是把 LED 模块安装在检测装置上后，可能带上一固定的散热器（也可能具有基座控温功能），给 LED 施加其声称的工作电流，受传统的照明光源检测方法的影响，也是等到 LED 达到热平衡后再开始测量它的光电参数。这种方法看似比较严密，但实际上，它的热平衡条件和工作条件与此类 LED 装入最终的照明器具中的状态仍没有好的关联性，因此所测的光电参数与今后实际的应用状态的参数仍不具有可参比性。已经颁布的 GB/T24824—2009/CIE 127-2007 NEQ《普通照明用 LED 模块的基本性能的测量方法》标准中，在这方面是这样规定的：

“试验或测量时 LED 模块应工作在热平衡状态下，在监视环境温度的同时，最好能监视 LED 模块自身的工作温度，以保证试验的可复现性。如可能监测 LED 模块结电压，则应首选监测结电压。否则，应监测 LED 模块指定温度测量点的温度”。

可见在监测结电压的条件下来测量 LED 模块的光电参数是保证检测重现性的首选方案，但是，标准中没有指明在模拟实际使用结温条件下检测 LED 模块的光、色、电参数。

### 2、LED 模块测量方法的改进

众所周知，LED 的光、电参数特性与它的工作时的结温密切相关，同一个 LED 产品，结温的不同会造成这些参数的明显不同，这也造成了同一个 LED 光、色、电参数测量结果的明显不一致性，所以测量 LED 的光电参数首先应考虑在设定的工作结温的条件下来进行。另外，LED 因为封装的工艺、材料等差异，其声称的最高工作结温是明显不同的，为了保证 LED 照明产品具有高效、长寿的特点，LED 实际的工作结温应明显低于最高工作结温。例如，目前我们大量采用的 LED 封装方法和技术，在 LED 的发光面前，都具有高分子硅胶加荧光粉的覆盖层。实践证明，要使此类 LED 照明器具，到 70% 的光通维持率的时间要  $\geq 6$  万小时，其工作结温必须保持在  $70^{\circ}\text{C} \sim 75^{\circ}\text{C}$  以下。从提高光效和使用寿命的

角度来讲, LED 的工作结温能保持在  $60^{\circ}\text{C}$  以下更好, 但从照明器具的造型、体积、性价比来讲, 则应该控制在能达到预期的光效和使用寿命的基础上把 LED 的最高工作结温控制在  $70^{\circ}\text{C}\sim 75^{\circ}\text{C}$  最为合适。为了使 LED 及其模块的光、色、电参数的检测也尽可能接近于实际应用的结温状态, 就必须解决如何测量 LED 的结温并能在这一结温下进行光、色、电参数的检测问题。

### (1) 目前 LED 的结温测量方法大概有

- 1) 通过测量管脚温度和芯片耗散功率和热阻系数求得结温。但是因为耗散功率和热阻系数的不准确, 所以测量精度比较低。
- 2) 红外热成像法, 利用红外非接触温度计直接测量 LED 芯片的温度, 但要求被测器件处于未封装的状态, 另外对 LED 封装材料折射率有特殊要求, 否则无法准确测量, 测量精度比较低。
- 3) 利用发光光谱峰位移测定结温, 也是一种非接触的测量方法, 直接从发光光谱确定禁带宽度移动技术来测量结温, 这一方法对光谱测试仪器分辨精度要求较高, 发光峰位的精度测定难度较大, 而光谱峰位移 1 纳米的误差变化就对应着测量结温约  $30^{\circ}\text{C}$  的变化, 所以测量精度和重复性都比较低。
- 4) 向列型液晶热成像技术, 对仪器分辨率要求高, 只能测量未封装的单个裸芯片, 不能测量封装后的 LED。
- 5) 利用二极管 PN 结电压与结温的  $V_f-T_j$  关系曲线, 来测量 LED 的结温。

从上述介绍的各种 LED 结温的测量方法可看出, 采用监视二极管 PN 结电压的变化来推算结温的方法最具有可行性并且测量精度也最高, 所以在很多集成 IC 电路中, 为了检测 IC 芯片的工作结温, 往往会刻出或值入 1 个或几个二极管, 通过测量其正向电压降的变化来达到测量芯片结温的目的。

### (2) 目前国际上较先进的 $V_f-T_j$ 测量方法

目前国际上先进的  $V_f-T_j$  测量方法是把被测的 LED 连上引出线放入在硅油缸内, 随后加热硅油缸使硅油的温度达到  $140^{\circ}\text{C}$  左右, 随后让缸内硅油自然冷却, 只要冷却时硅油温度下降的速度足够慢, 就可以认为 LED 的结温与 LED 的热沉的温度是基本一致的, 在此过程中, 根据所测的硅油温度, 每下降  $2^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$  时瞬时给 LED 输入规定的电流脉冲, 并测量其在这一温度下的正向电压降, 把这一测量点的温度和正向电压降导入到电脑软件的数据库, 从  $140^{\circ}\text{C}$  左右开始, 随温度的下降, 每下降一个设定的等分温度测量一次热沉温度和正向电压降, 一直测量到  $25^{\circ}\text{C}$  左右, 当完成这一组测量数据并导入到电脑软件的数据库后, 由软件产生一个  $V_f-T_j$  曲线。这一方法属于在温度下降时测量方法, 对于测量来说是可行的, 但是因为试验室的环境温度是衡定的 (一般为  $25^{\circ}\text{C}$ ), 而硅油缸的油温是从高到低下降的, 这就造成当硅油缸的油温较高时, 因为与试验室环境温度的温差大而使冷却速度较快, 为了保证测量的准确性采用了适当的措施使硅油缸在温度较高时温度下降不致于太快, 但当硅油缸温度较低时, 因为与室温的温差太小而使冷却的速度太慢, 这大大延长了这一检测过程的测量时间。因为上述原因, 这一温度下降时的测量方法在标定  $V_f-T_j$  过程是不可能短的, (大约需  $4\sim 5$  小时), 否则将产生明显的测量误差。另外, 这种检测装置油缸是固定的, 要测量第二组, 时间很慢。还有上述加热装置是在硅油缸外面的底部, 加热与控温以及测量的温度都存在明显的滞后, 这也造成这一方法测量结温的准确性比较差。

### (3) 新的 $V_f-T_j$ 检测方法

本机构发明的检测方法是采用温度上升时的测量方法, 采用电脑设定的 PID



(积分、微分加上加热与不加热时间比例控制)方法来加热和控制硅油缸的温度,即在硅油缸加热的起始段,加热时间与不加热时间的比例是很小的,并且可调,使硅油缸温度上升速率能保证 LED 结温、热沉与硅油温度的一致性,随着硅油温度的逐步上升,与室温的温差也随之加大,此时 PID 加热和控温系统会自动加大加热时间与不加热时间的比例,(实际加大了单位时间内的加热功率)所以能保证硅油缸内硅油的温度上升速率始终保持在设定的速率上,不会因为硅油温度与环境温度的差异不同而发生油温上升的速率不同。可以设定让硅油平衡在应用温度范围的任一温度值上,也可以实现  $0.1^{\circ}\text{C}/\text{分钟}\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$  的升温速率。

在每次升温阶段后,具有一个平衡控制阶段,即升温阶段和平衡阶段形成了阶梯式控温曲线。随着温度阶梯式上升,测量正向电压可以设定成每上升  $0.5^{\circ}\text{C}$  测量一次,并且可以以  $0.5^{\circ}\text{C}$  的间隔,可逐步调整到每上升  $10^{\circ}\text{C}$  测量一次。为了保证控温以及测量的温度的及时性,采用内置式加热,另外又为了保证硅油缸内油温的一致性,在油缸底部加有一个磁性感应的搅拌条,利用外部电机转动并通过磁感应带动这一搅拌磁条在油缸内转动,这一转动速度可调,从而保证了油缸内的硅油温差保持在  $0.2^{\circ}\text{C}$  范围内。本测量装置因为硅油温度上升的速率几乎一致,并且实行阶梯式升温 and 控温,从而能保证在合理的温度上升速率的条件下得到准确的检测结果,并且检测时间(从  $25^{\circ}\text{C}$  到  $140^{\circ}\text{C}$  约为 2.5 个小时左右)能明显低于目前国际上已有的检测装置的测量时间。目前国际上已有的检测装置是单硅油缸结构,本测量装置采用双硅油缸结构,当完成一组样品的测量后,更换一个硅油缸可立刻开始第二组 LED 的检测。本测量装置在每一个测量温度点测得的温度和 LED 正向电压降后,导入到数据库并由编制的软件生成  $V_f-T_j$  曲线。

#### (4) 照明 LED 结温测量及利用 $V_f-T_j$ 关系曲线指导光、色、电参数的测量

得到被测 LED 的  $V_f-T_j$  的曲线后,最重要的是用于定结温条件下的光、色、电参数测量。检测系统见图 1。把被测 LED 固定到带控温/恒温基座的积分球内,给 LED 通以工作电流,给 LED 燃点 15~20 分钟基本达到稳定后,快速切换到测量电流(即前面标定  $V_f-T_j$  曲线的测量电流)用数毫秒时间快速测定被测 LED 的正向电压  $V_f$ ,通过与  $V_f-T_j$  曲线中设定结温值对应的  $V_f$  比较,如与目标值有差异,控制程序将自动调整恒温基座的温度来使 LED 的正向电压  $V_f$  达到目标结温值对应的结电压。在快速测定  $V_f$  后,装置将自动回复使 LED 通以工作电流的状态。当被测 LED 在通过工作电流的情况下,其结温达到目标值(即达到目标结温值对应的  $V_f$  值)且热平衡后,系统将自动启动光谱仪测量光、色参数同时读取其电参数。

上述测量方法最明显的优点是,在 LED 实际的应用中,只要照明器具中 LED 工作在目标结温值附近,用这一方法参数有很好的模拟性,也使它的这些所测量的参数变得有意义,并且其光、色、电参数 also 具有很好的测量结果的重现性。



图 1 LED结温测量及利用 $V_f-T_j$ 曲线在设定结温条件下的光、色、电参数测量系统。

### 三、 LED 进入照明器具后结温的测量

#### 1、LED 进入照明器具后结温控制和测量的必要性

LED 应用到照明器具中时，人们普遍希望具有几万小时的使用寿命，但是要测量采用 LED 的照明器具的光衰减和寿命，按照美国 DOE 的 LM80 要求往往要化 300 天以上的时间（6000h），这在很多工程招标和验收时是无法实施的。

结温作为衡量一个 LED 照明器具性能优劣的重要参数，是 LED 照明器具在工程应用中可靠性测量的核心要素。如果能准确测量出灯具内 LED 的 PN 结结温和 PN 结到散热器某指定点的热阻这两个定量的指标，就不仅能衡量采用 LED 的照明器具散热特性的优劣，还能定性地知道各种采用 LED 的同类照明器具的大致使用寿命，另外还能得知 LED 照明器具的光效和其他光参数的测量值是在什么结温条件下测得的，并且能得出照明器具中功率型 LED 热沉上的某一点（参考温度点）与结温之间的函数关系，从而指导企业正确地标出热沉参考点的温度限值。

#### 2、测量方法介绍

目前国内外对 LED 的 PN 结的结温，只能进行单个 LED 或者单个 LED 模块的结温和热阻的测量，还没有完整的对照明器具内 LED 实际工作结温和热阻的测量方法，下面介绍一种完整的对照明器具内 LED 实际工作结温和热阻的测量方法。

##### 1) $V_f-T_j$ 曲线标定

（1）将照明器具内 LED 矩阵中间的某一串联 LED 组中处于或者接近中间部位的

一颗LED作为被测LED，按图 2 电路连接，在这一颗LED的热沉（LED自身所带的小散热器）上粘上一个热电偶。使灯具在  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  的环境下放置 6~12 小时（视所测灯具的体积大小确定放置时间），然后给图 2 中的被测LED通上一支测量电流 $I_f$ ， $I_f$ 视被测LED的功率大小可在 2mA~50 mA范围选定。通电测量时间为 0.005S~2S，在此期间连续测量被测LED的正向电压降 $V_f$ 可得出如图 3 所示曲线。从该曲线上可得出该照明器具内被测LED在通过某一恒定的测量电流时，在单位的测量时间  $\Delta t$  内 $V_f$ 下降的数值  $\Delta V_f$ 。该数值留作下述检测过程作为测量电流引起的 $V_f$ 变化的修正量。当测量时间小于 3ms并且测量电流比较小时，可以不引入修正量。

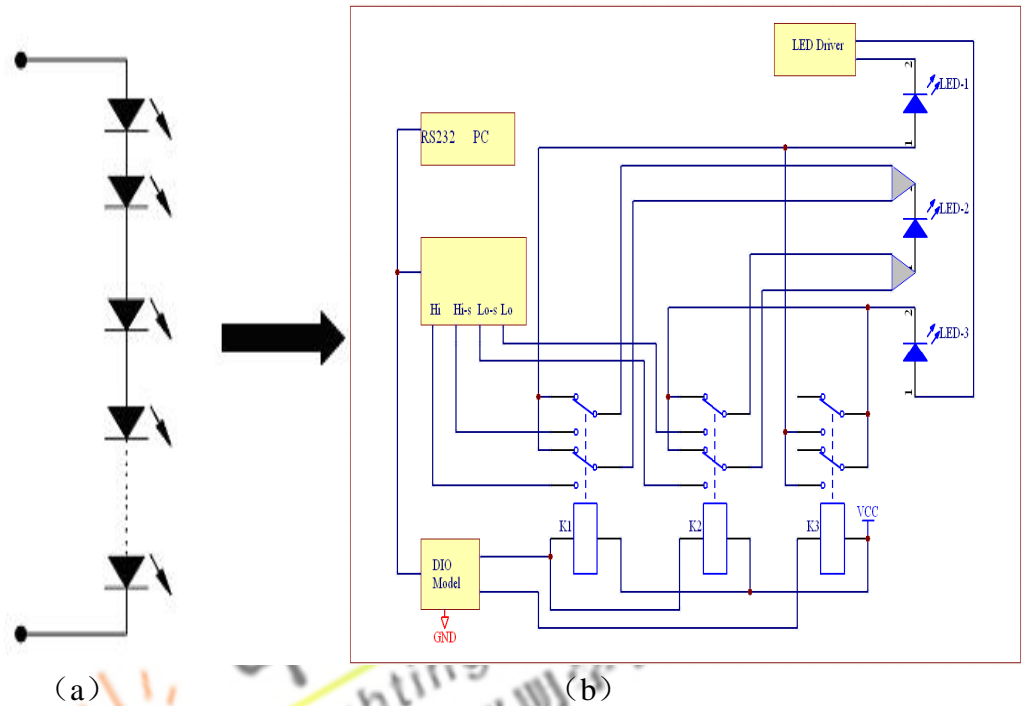


图 2 LED 的灯具中 LED 矩阵某一串 LED 组的测量电路连接图

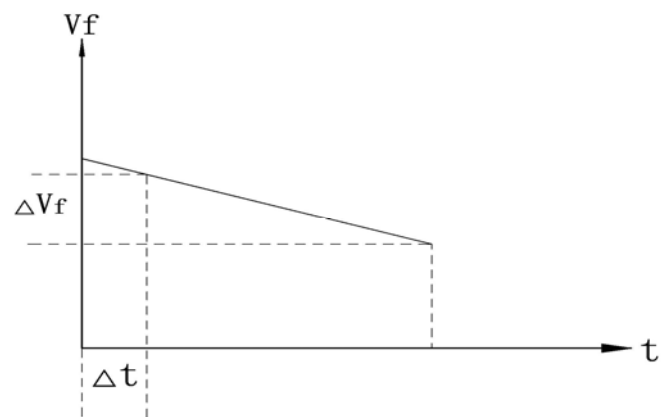


图 3 在单位的测量时间内通过测量电流时，被测LED的 $V_f$ 下降的数值  $\Delta V_f$ 和测量时间  $\Delta t$ 的关系曲线

(2) 把三个 2 刀 2 掷转换继电器调到测量位置,把LED灯具放入一个可编程控制的专用加热箱内,该加热箱采用PID编程方式,设定阶梯式加温方式对箱体内LED

灯具进行加热。阶梯式加温的控温曲线见图 4。图 4 中每一阶梯分为恒温时间段和升温时间段，这两个时间段可分别设定，设定范围为 1 分钟~30 分钟中的任一值。根据LED的热沉上粘上的热电偶反映的温度值，并且最终是以图 2 电路测量被测LED的正向电压降稳定时，说明灯具内LED已达到某一设定点温度的热平衡。当每一个恒温时间段即将结束，开始测量被测LED的正向电压降 $V_f$ ，根据实际测量的时间 $\Delta t$ ，从图 3 中得出修正是 $\Delta V_f$ 。把测得的 $V_f$ 值再加上 $\Delta V_f$ ，得出 $D_1$ 在该温度下不受测量电流影响的 $V_{f1}'$ ，即 $V_{f1}' = V_f + \Delta V_f$ ，把这一 $V_{f1}'$ 和用热电偶测的温度 $T_1$ 导入到设定的电脑数据库中，重复这一步骤，可以得出一组经修正的数值。把这一组经修正的数值自动导入数据库，就能生成照明器具内LED的 $V_f-T_j$ 曲线。

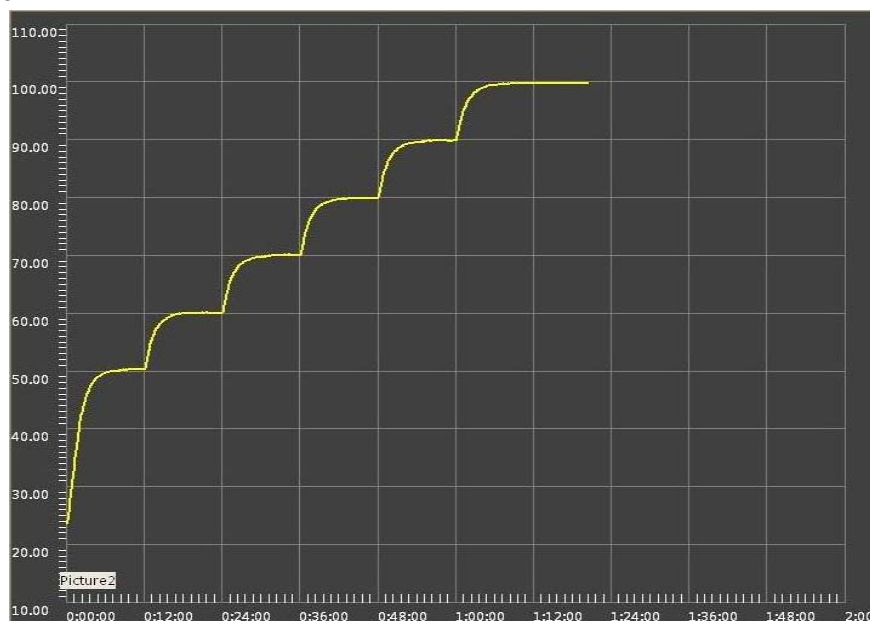


图 3 加热箱阶梯式加温的控温曲线

## 2) 照明器具中 LED 热阻的测量

把上述在加热箱内已完成 $V_f-T_j$ 关系曲线标定的照明器具取出冷却后，按如下步骤进行LED热阻的测量。

- (1) 把该照明器具放入到GB 7000.1 标准附录D规定的防风罩内，按正常的热试验位置布置好灯具，除了原来已经粘接在被测LED  $D_1$ 上的热电偶外，还可根据检测委托方要求，在灯具内LED的散热器的某些指定点甚至灯具外壳上某些点上粘接热电偶，(可以是单个或多个热电偶)。把每一热电偶连接到测温仪上，使照明器具在  $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  条件下放置 8 小时。
- (2) 根据照明器具内LED控制装置输出给 $D_1$ 的实测工作电流值，设定测试恒流电源，按图 2 电路给 $D_1$ 通上一个实测工作电流，加热 1 分钟~30 分钟，其间每隔 1 分钟用原来标定的测量电流对 $D_1$ 进行一次 $V_f$ 的测量，并按 $V_f-T_j$ 曲线查出对应的结温值，同时监视热电偶的测量温度，把测量的结温值和监视热电偶的测量温度值自动导入数据库。当测量的 $V_f$ 查得的结温与热电偶所测温度达到最大差值时，记录下此时的 $V_{fR}$ 值和热电偶的测量的某一点温度值 $T_B$ 。把 $V_{fR}$ 值通过 $V_f-T_j$ 曲线，得到该 $D_1$ 即时的结温值 $T_{fR}$ 。按热阻 $R_{AB} = (T_{fR} - T_B) / P$ 公式计算出 $D_1$ 的PN结到热沉或散热器甚至外壳的热阻值。



式中:

$T_{FR}$ ——是 $D_1$ 的PN结结温与热电偶的测量值差达到最大值时 $D_1$ 的正向电压降 $V_{fa}$ 值再根据 $V_f-T_J$ 曲线查得的该时刻LED的结温。

$T_B$ ——是当测量的 $V_f$ 查得的结温与热电偶所测温度达到最大差值时,热电偶测得的该时刻的参考点的测度值(该参考点可以是热沉,也可以是散热器上的某一点,亦可以是灯具外壳散热器上的某一点)。

$P$ ——被测LED测热阻时的加热功率,是实测工作电流与结温测量过程被测LED正向电压降的平均值的乘积。

### 3) 照明器具中LED结温的测量

把LED照明器具从专用加热箱内取出,本条试验可以和照明器具的热试验同时进行。把采用LED的照明器具仍放在GB 7000.1标准的附录D规定的防风罩内,照明器具处于正常工作位置。把三个2刀2掷转换继电器调到工作位置,按GB7000.1标准中12.4热试验的要求进行热试验,通过照明器具内的LED控制装置把照明器具中的LED矩阵点亮,此时LED照明器具处于正常工作状态,观察LED的热沉上粘上的热电偶反映的温度值,当温度值达到热平衡(每小时温度变化小于 $1^{\circ}\text{C}$ )时,把三个2刀2掷转换继电器调到测量位置,连续5次,每次间隔数十毫秒测量出5个被测LED的正向电压值,通过电脑和专用函数计算软件,计算出被测LED在断开工作电流瞬间的正向电压降,并根据上述正向电压降与结温的关系曲线查出LED照明器具中被测LED在连续工作至热平衡时的结温值,同时,也可以得到灯具连续工作至热平衡时热沉上参考点的温度值。

## 四、回顾和总结

对LED结温的测量和控制,是LED进入照明领域不可缺少的重要步骤,它使LED器件与LED照明器具前后工序有机地结合起来。通过对某一型号LED的 $V_f-T_J$ 曲线标定,并利用这一曲线能指导并控制LED在预定的结温下测量光、色、电参数,使LED这些参数的测量值更接近于实际应用状态的参数,另外LED的预定结温的确定也给LED照明器具设计者指明了散热控制的限值。同样通过对照明器具内LED的 $V_f-T_J$ 曲线标定,能测量出照明器具在额定的 $t_a$ 条件下的LED结温,这不仅能客观地评价采用LED器具散热设计的合理与否,而且还能揭示出LED热沉上参考点温度与结温的函数关系,并进一步得知LED的PN结到照明器具上某一点的热阻,从而指导LED照明器具的生产企业能正确地标明参考点温度的限值,并能在批量生产中,方便地通过测量参考点的温度而基本得知LED的工作结温。

LED照明灯具在正常工作时,其散热特性的好坏直接关系到光效,光衰和使用寿命,对应的指标是LED工作时的PN结结温及散热的热阻,如果这两个指标做好了,就说明该灯具在效率和使用寿命方面是有保证的,就如对人体的检查,如果验血的指标、彩色CT的检查及血液造影结果都是好的话,这个人体一定是健康的。本检验方法的意义就在于,建立了LED照明灯具“验血和彩色CT的检查及血液造影仪”及其方法。

可以预见,这一方法的确立将是指导LED照明器具改进设计、制造环节,使LED照明器具设计和生产技术走向更高层次的有力推手。