

# T5 荧光灯及照明器 - 第三代办公室照明

机电工程署屋宇装备工程师(能源效益事务处)

胡国田先生

## 摘要：

香港是亚洲的主要商业及金融中心，过去 10 年，每年的能源消耗量均有大幅增长。商界的用电量每年约增加 7%，是增长速度最快的界别。机电工程署的能源效益事务处一直积极研究减低能源消耗量的方法，并实施一连串措施，以达到这个目标，包括研究先进及创新的节能科技，俾能将其在政府建筑物内推广使用。有关研究包括照明、空调、升降机及自动梯设施。本文件将胪列在办公室照明方面使用 T5 灯的技术背景、本署研究结果的现时情况及日后拟进行研究的项目。

**关键词汇：** 荧光灯、镇流器、T5 灯及照明器、试验计划、前景

## 1. 引言

机电工程署能源效益事务处致力在能源管理机会实施试验计划中，使用节能的电灯和照明器作照明装置。这项研究旨在探讨采用新一代 T5(直径 16 毫米)荧光灯，并在荧光照明器使用合适镇流器的可行性。由于 T5 灯的尺寸极小和重量极轻，在设计照明器时较具弹性，故是次研究会比较使用 T5 灯和一般 T8 或 T12 灯的照明器的优劣。所有有关的背景资料、新电灯型号的详细技术数据、新电灯的电子镇流器及新照明器的设计，均会在文中一一论述，并会胪列本署其中一项使用 T5 照明器的试验计划结果。

## 2. 技术数据

本节会简述荧光灯及其控制器的基本操作策略。

### 2.1 荧光灯

荧光灯(或称低压汞蒸汽灯)是现今一般照明最普遍采用的放电灯类型，差不多全球通用，特别是办公室的照明。而引进紧凑型节能荧光灯后，其应用已扩展至住宅式建筑物。最普遍的荧光灯类型，是长度由 600 毫米(18 瓦特)至 1500 毫米(58 瓦特)的管状灯。这种放电管，每端均有一个密封的电极，并有惰性气体及小量水银，水银以液态及气态存在。长管内里以一层荧光粉混合物包裹，这些东西会在视觉范围内，将汞放射的紫外光，转化为较长的波长。这种灯备有不同的荧光粉或磷光剂，为想要得到不同色温及颜色特征而设。

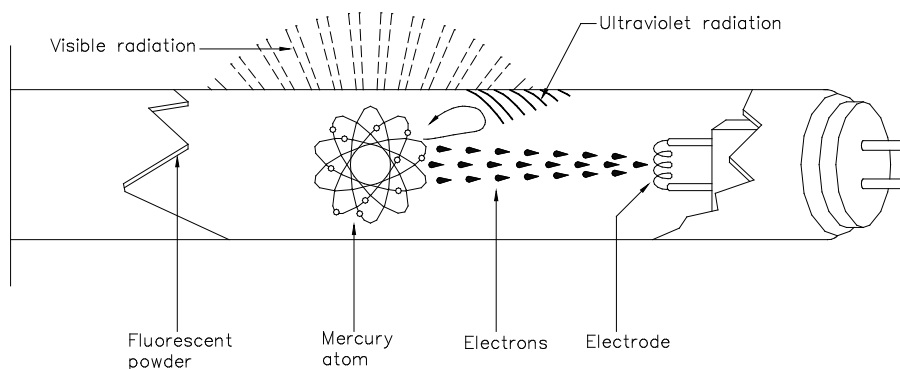


图 1: 荧光灯的基本构造及操作

基本而言，管状荧光灯已发展了三代，细分如下：

- a) 第一代的管状荧光灯直径为 38 毫米(1.5 吋)，长度由电功率(20 瓦特、30 瓦特、40 瓦特及 65 瓦特)决定的 T12 灯，这些所谓「旧式」或「粗身」灯，均以电磁式镇流器起稳定作用，现时大多已被新型的 T8 灯所取代。其功效约为每瓦特 70 流明范围。
- b) 第二代的管状荧光灯直径为 26 毫米(1 吋)，长度由电功率(18 至 70 瓦特)决定的 T8 氩气灯，这些所谓「幼身」灯，以电磁式镇流器或配备额外改良功效及流明保养的电子镇流器，均可达致稳定作用。其功能约为每瓦特 80 流明范围。
- c) 第三代的管状荧光灯为新的 T5 灯配有 G5 灯座，直径为 16 毫米(5/8 吋)。30 多年来，T5 灯一直有 4 瓦特、6 瓦特、8 瓦特及 13 瓦特的输出可供选择。不过，这些型号的灯主要用于家具、指示牌及桌面照明。不过，电功率较高的新型 T5 灯已于数年前面世，由于其发光效率的输出较佳(约每瓦特 100 流明)，故对一般的荧光灯构成剧烈的竞争。新型 T5 灯的标准电功率为 14 瓦特、21 瓦特、28 瓦特及 35 瓦特，这些新型的电灯原则上必须使用高频电子镇流器，以节省更多电力。由于其外型纤巧，新型 T5 灯可进一步将外壳的尺寸缩细，令照明器的设计得以革新。此外，各型号灯身的长度均比 T12/T8 灯短 50 毫米，其尺寸刚好可以装入悬挂在天花板的一般格栅内(600 毫米及 1200 毫米)。

## 2.2 荧光灯的控制器

与白炽灯不同，荧光灯不能直接接驳到电源去，电路中必须有限制电流通过荧光灯的器件，这可以是配备□动器开关的电磁式镇流器(一般或低损耗型)或高频电子镇流器。为方便□动，多数荧光灯，均以预热电压的方法，在燃亮前预热电极。

荧光灯能否发挥最大效能，很大程度上取决于所用控制器的功能。单靠电源供电电压，荧光灯不能正常地操作，必须在电灯电路上加上一

些器件。控制器起着多种作用：

- 限制及稳定电灯的电流。
- 每半个循环没有电压通过之际，仍确保电灯持续操作。
- 为电灯初次起动时，提供燃亮电压。
- 在燃亮时为预热电极提供经控制的能源。
- 达致其他需求如确保有高功率因子、限制谐波失真、压抑电磁波干扰、限制短路及起动电流、延长寿命及减低损耗及噪音程度等。

### 2.2.1 电磁式(一般及低损耗型)镇流器

电磁式控制系统的各样独立部件，包括镇流器、引燃启动开关、电容器及过滤线圈与电灯结合之下，便能达致上述对电灯的要求。

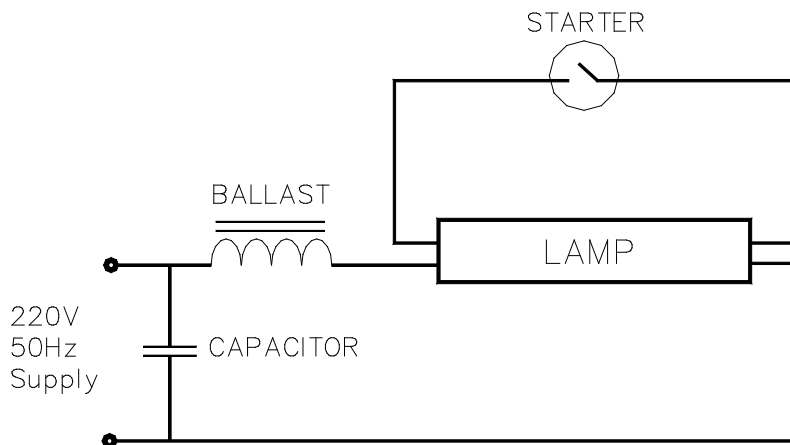


图 2：使用电磁式镇流器的电灯电路

这类控制器以引燃□动开关，在放电前将电极的灯丝预热。当有电压到达时，□动器的双金属电极间，会有少量放电。放电所产生的热力，会使双金属电极弯曲，并将接触点关合以完成电路。在□动器冷却前，电灯的电极会预热一段时间，并将电路打开。就在此时，在镇流器节流线路上产生的高感应电压，会使荧光灯燃亮□来。如果电灯的首次燃亮失败，上述程序会持续进行，直至成功燃亮为止。

电灯燃亮后，镇流器会与电灯串联连接，成为限制电流的器件。在镇流器内损耗的铁质和铜质，会以热力的形态，散发到房间的空间去。以一般或低损耗型镇流器操作的 36 瓦特荧光灯而言，通常的「热」损耗量分别会是 12 瓦特及 9 瓦特。一般而言，要操作一个荧光灯，便需使用一套控制器。

### 2.2.2 电子镇流器

典型电子镇流器的基本构造，包括有一个高频过滤器、一个整流器、一个电容器缓冲器及一个高频振荡器。电子镇流器系统虽是汇聚在一个

「黑盒」内，但其不同的作用及需求则可分为若干独立的单元。基本操作策略为：50 赫兹电力频度的电源电压，通过高频过滤器后，在一个交流电/直流电变压器内整流，该变压器内亦有以直流电压充电的电容器缓冲器，而在高频发电机内的直流电压，会转化为给电灯操控器供电的高频电压。而镇流器的操控器则操控着这一切功能。

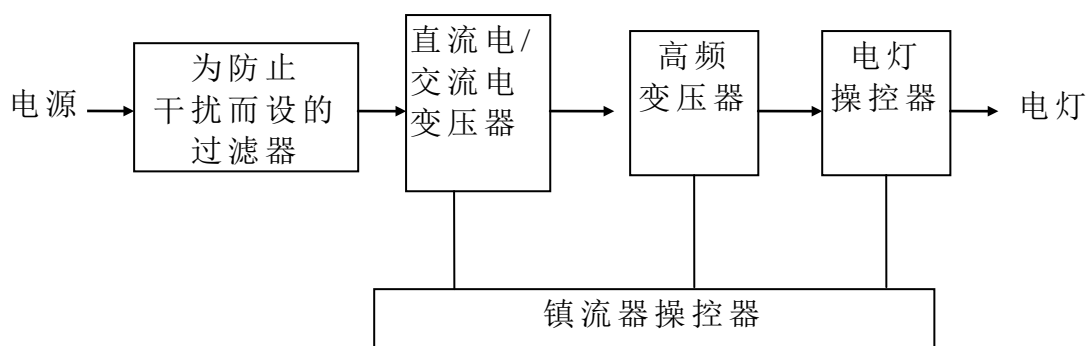


图 3：显示电子镇流器主要功能的单元图

镇流器利用荧光灯以高于 10 千赫兹的高频操作便可得较大照明度的特性。基于下列三个主要理由，照明系统的整体功效可提高 20 至 30%：

1. 以高频率操作时，能增强电灯的发光率。
2. 减低电路的电功率损耗。
3. 在大部分封闭的照明环境下，电灯可发挥接近最高效能。

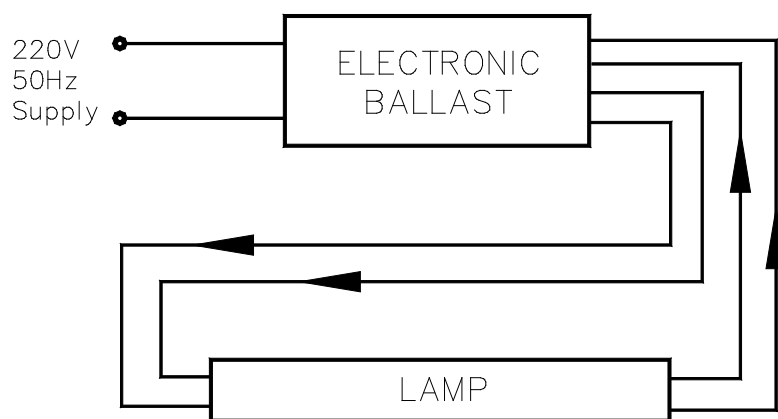


图 4：使用电子镇流器的电灯电路

高频操作令效能提高约 10%，因此电灯可以低于 50 赫兹电力网频率的输入功率操作。以一个 36 瓦特 1200 毫米的 T8 灯为例，如装设一般镇流器，通常需要电路功率为 47 瓦特，但现在只需 36 瓦特便能输出同等光能。就典型照明器而言，使用电子镇流器的净效应是可以较低输入功率，输出相同的有效光能。

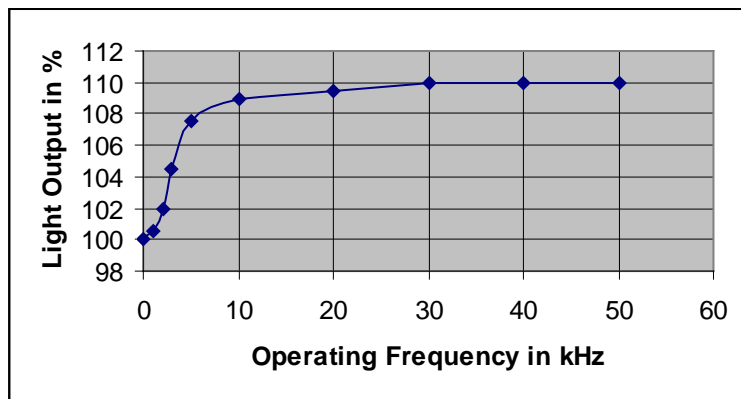


图 5：荧光灯的光束与以恒定功率的电源频率作比较

由于电子镇流器的固体电路并没有一般的铜绕组，因此比电磁镇流器的损耗为少。如使用电子镇流器，一对 1200 毫米 36 瓦特照明电路的损耗量可由 24 瓦特减少至只有 6 瓦特。因此，如使用适当的照明器，整体可节省能源可达 20% 至 30%。这些节能功效，可让照明水平维持不变，但电费却可大幅减少。由于产生的热量会较少，对空调设备的冷却负荷亦可相应减少。

使用电子镇流器的其他优点包括：

- 快速或实时亮□电灯而不会出现闪烁情况。
- 一个镇流器可设计以驱动一个、两个、三个甚或四个电灯。
- 由于电灯的操作电流较低，电灯的使用期可予延长。
- 操作宁静而不会产生可听见的噪音。
- 具备可调校明暗的类型。
- 操作时不会出现可见的闪烁情况。
- 高频操作时不会出现频闪效应。
- 无论有否安装功率因子校正电容器，大部分新款的设计的总谐波失真都较一般镇流器为低。
- 由于总谐波失真及余弦 $\theta$ 较低，故总功率因子会较高。
- 照明器内的环境温度较低，令电灯、控制装置、电容器及作紧急照明用电池有更佳的操作效果。
- 操作温度较低，以减少对照明器及其附近装饰出现碳化及熏黑的情况。
- 由于电源供电电压变动而令光束出现变化的影响较微。
- 重量轻得多。

新 T5 灯与其他 T8 灯不同，T5 灯是特别设计以电子镇流器操作，务求效率更高。下文表 1 撮述适合不同种类荧光灯所用的镇流器类别。

表 1: 适合不同类型荧光灯所用的镇流器类别

灯类	一般镇流器	低损耗镇流器	电子镇流器	可调节明暗的镇流器(磁力)	可调节明暗的镇流器(电子)
T12 (38 毫米)	√	√	X	√	X
T8 氩气灯 (25 毫米)	√	√	√	X	√
T5 (16 毫米)	X	X	√	X	√

### 2.2.3 照明器的设计

设计照明器的一个重要元素是亮度的控制。亮度设计的目的是将无屏蔽光源的光转折照射到有需要的地方，以减低可能出现刺眼强光地方的亮度，并且为电灯提供外形美观的外罩，同时(如有需要)又能保护电灯。白胶片、菱形控制器及抛物柱面反射镜，是荧光照明器最为常用的亮度控制用具。

至于装有 T5 灯的荧光照明器，最有效的亮度控制方法是使用抛物柱面反射法。抛物线是最常用的反射镜等值线：这是通过  $y^2=4ax$  的等式来界定的，而  $a$  是焦距与反射镜之间的最短距离。抛物柱面反射镜的最重要光学性能是假如线光源是放于反射镜的聚焦点，便能发出平行光束。图 6 说明了由抛物柱面反射镜聚焦点上的线光源所产生的反射光束。实际上，理想的线光源是很难从光管处取得的，而分布曲线的形状须取决于由反射镜的焦距及开口阔度所造成的光源大小。由于 T5 灯的直径远较 T8 及 T12 灯的直径为小，并且较接近线光源，因此装有 T5 灯及抛物柱面反射镜的照明器的亮度控制便能更准确和有效。

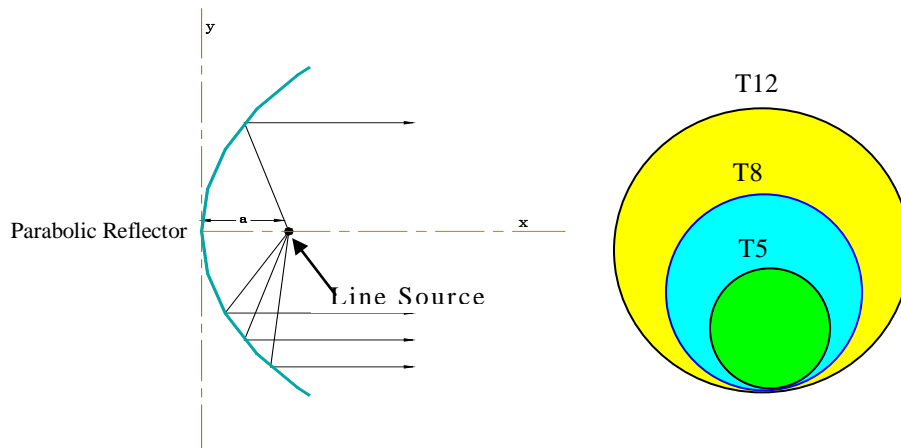


图 6: 处于抛物线形反射镜聚焦点的线光源所产生的平行光束及 T12、T8 及 T5 灯的相对大小

### 3. 装有 1x28 瓦特 T5 灯的照明器测试

科艺照明(香港)有限公司向机电工程署能源效益事务处提供了一个装有 28 瓦特 T5 灯的照明器样本, 以便进行一般性能测试。照明器样本属隐藏组合式(1200 毫米 x 125 毫米), 并装有 1 个 28 瓦特 T5 灯(飞利浦牌 TL5 28 瓦特/835 型号)、1 个电子镇流器(飞利浦牌 HF-P128 TL5 220-240 型号), 以及 1 个专为 T5 灯而设计的铝质抛物柱面反射镜。图 7 显示了接受测试照明器的实际大小, 以及与 28 瓦特 T5 灯、36 瓦特 T8 灯及 40 瓦特 T12 灯的比较。显示符合英国屋宇装备工程师学会第 II 类有关 T5 灯设计规定的照明器光线分布极线, 载录于图 8。



图 7 接受测试 T5 照明器的实际大小, 以及与 T8 及 T12 灯的比较

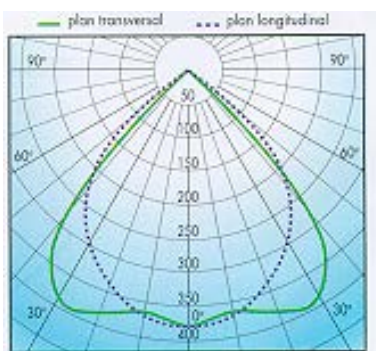


图 8 接受测试照明器的极线

#### 3.1 测试结果

在能源效益事务处设置了 1 个照明测试架, 以便装嵌接受测试的照明器, 此外, 亦使用了数码照度计(Lutron 牌 LX-102 型号), 以测量在照明器之下 1 个固定测试点的照明度(以勒克司计算), 以作比较之用, 以及 1 个功率谐波分析仪(Fluke 牌 41B 型号)连 1 部 IBM 笔记簿型计算机, 以记录测试中的所有电参数, 包括有效功率、视在功率、功率因子、电压、电流及总谐波失真等。测试时所打印的计算机数据, 以及照明器的产品说明书, 夹附于附录 1, 以供参考。下文表 2 综述了 28 瓦特 T5 照明器与 36 瓦特 T8 照明器以传统及电子镇流器操作(以相同流明输出量计)进行比较的测试结果。

表 2：装有传统及电子镇流器的 28 瓦特 T5 照明器与 36 瓦特 T8 照明器进行比较的测试结果

	电流	电路功率	节省电力	功率因子	总谐波失真
装有传统镇流器的 36 瓦特 T8 照明器	0.4 安培	47 瓦特	--	0.52	9%
装有电子镇流器的 36 瓦特 T8 照明器	0.16 安培	34 瓦特	28%	0.99	5%
28 瓦特 T5 照明器	0.14 安培	30 瓦特	36%	0.98	9%

#### 4. 警政大楼的 T5 照明试验计划

试验计划包括将设于警政大楼 27 楼办公室范围的现有 320 套 3 x 18 瓦特 T8 600 毫米 x 600 毫米隐藏组合式荧光照明器，更换为新的 3 x 14 瓦特 T5 600 毫米 x 600 毫米隐藏组合式荧光照明器，连同电子镇流器 (3 支灯共享 1 个镇流器的款式) 和设计符合英国屋宇装备工程师学会 LG3 第 II 类规定的抛物柱面反射镜。该楼层的照明简图及所使用的新照明器载录于下文图 9 及图 10。

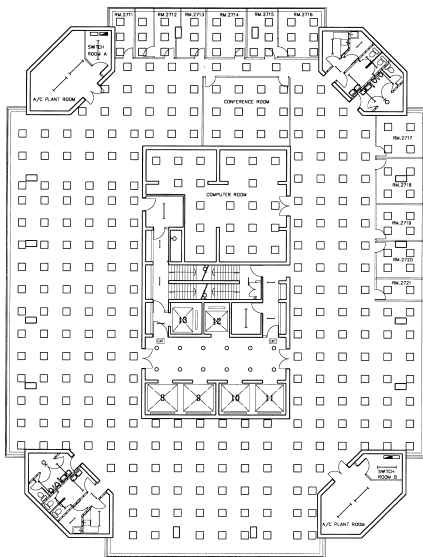


图9 警政大楼27楼的照明简图



图10 警政大楼使用的新 3 x 14 瓦特 T5 照明器



下文表 3 及图 11 载录了从有关地点拆除的现有 3 x 18 瓦特 T8 照明器的测试数据。

表 3：旧有 3 x 18 瓦特 T8 照明器的电参数

			电压	电流
频率	49.99Hz	有效值	223.4V	0.754A
功率：		□ 值	312.7V	1.095A
瓦特	90W	直流电偏差	0.2V	-0.02A
伏安	168VA	□ 顶因子	1.4	1.45
无功伏安	142var	总谐波失真有效值	2.23%	8.80%
瓦特 □ 值	244	基本总谐波失真	2.23%	8.84%
相位	58° 滞后	谐波有效值	5.0V	0.66A
总功率因子	0.53	K 因子		1.51
功率因素(偏差)	0.53			

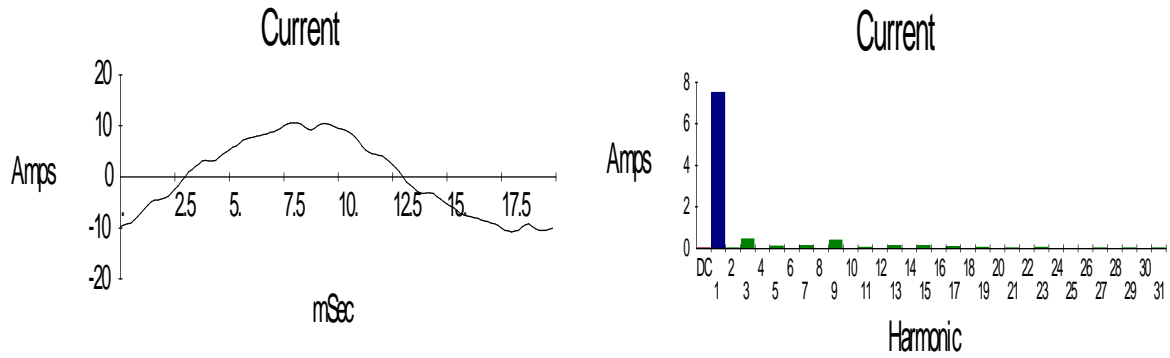


图 11 旧式 3 x 18 瓦特 T8 照明器的电流波形及谐波含量

下文表 4 及图 12 载录了计划中所用新 3 x 14 瓦特 T5 照明器的测试数据。

表 4：新 T5 照明器的电参数

			电压	电流
频率	49.94Hz	有效值	221.8V	0.22
功率：		□ 值	308.5V	0.316
瓦特	48W	直流电偏差	0.0V	-0.03
伏安	49VA	□ 顶因子	1.39	1.44
无功伏安	7var	总谐波失真有效值	2.30%	8.60%
瓦特 □ 值	98	基本总谐波失真	2.30%	8.63%
相位	8° 超前	谐波有效值	5.1V	0.19A
总功率因子	0.99	K 因子		1.19
功率因素(偏差)	0.99			

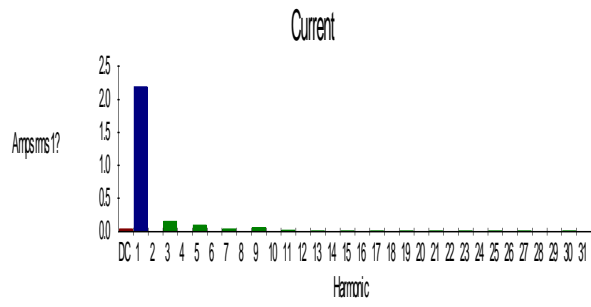
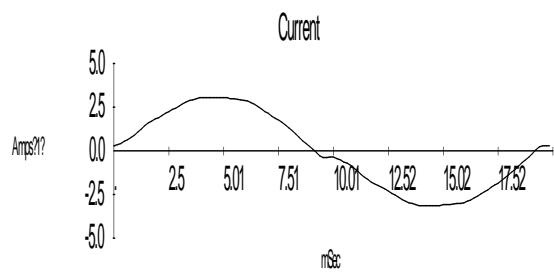


图 12 新 T5 照明器的电流波形及谐波含量

在有关地点更换照明器之前进行的测量显示，该楼层的总照明负荷量为 28 千瓦，平均每日使用能源 470 千瓦小时。现有每个 3 x 18 瓦特 T8 照明器耗用 90 瓦特电力，功率因子为 0.53。功率因子低主要是因为照明器内电容器的设计安全系数不足(整个照明器只使用 1 个 5.5uF 电容器)。下文表 5 综述了新 T5 照明装置与旧有照明系统在性能方面的比较。

表 5：警政大楼 27 楼改装照明装置综述表

	现有 T8 照明系统	新 T5 照明系统	差别 (以百分率计)
有效功率	28 千瓦	16 千瓦	-42%
功率因素	0.53	0.99	+87%
总谐波失真	11%	8.6%	-21.8%
视在功率	52.8 千伏安	16.2 千伏安	-69%
无效功率	23.7 千无功伏安	2.3 千无功伏安	-90%
平均照明度	450 勒克司	500 勒克司	+11%
照明功率密度	30 瓦特/平方米	18 瓦特/平方米	-40%

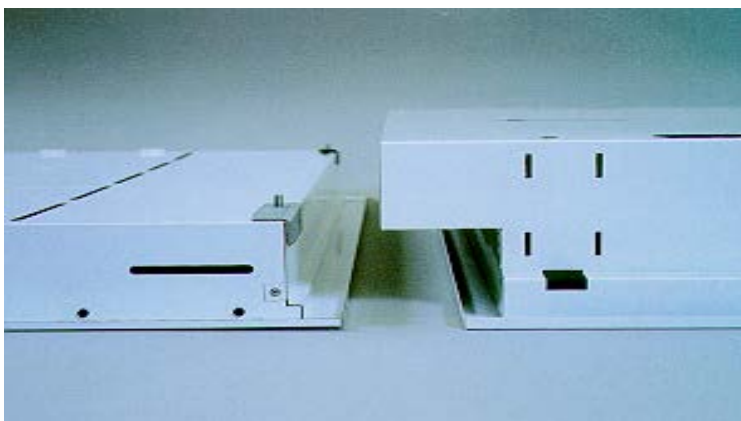
根据上述资料，从 T5 照明设备改装试验计划中得出下列观察数据：

- ◆ 进行改装工程前，在有关地点测量得的平均每日照明能源消耗量为 470 千瓦小时。进行改装工程后，测量得的平均每日照明能源消耗量则为 270 千瓦小时。预计每层建筑物每年可节省能源 55 000 千瓦小时。
- ◆ 照明电路的功率因子由 0.53 大大提高至 0.99，以致电路电流减低、无效功率减少、配电损失减少，而按需量供电亦可能得到减省。
- ◆ 该楼层的照明负载无效功率减少 21.4 千无功伏安。假如楼高 30 层的办公室/工场全部改为装上新的 T5 照明器，整座建筑物的无效功率便可减少 642 千无功伏安。这样可消除总配电箱加装电容器组合，以更正功率因子的需要。
- ◆ 进行改装工程前，平均照明功率密度为 30 瓦特/平方米，这超逾了《照明守则》所订明的最高限额 25 瓦特/平方米。进行改装工程后，新的照明功率密度为 18 瓦特/平方米。
- ◆ 电流总谐波失真亦有轻微减少，令建筑物的供电质量出现较少问题。
- ◆ 由于抛物柱面反射镜的设计有所改善，且有更多线性 T5 光源，新照明器的利用率亦较高。进行改装工程后测量所得平均照明度为

500 勒克司，较原本的照明装置光亮 11%。不过，办公室天花板看来较前阴暗，这是因为第 II 类照明器是设计供使用计算机的层数使用。

## 5. 总结及建议

- 5.1 新系列 T5 灯的系统节能效果较佳，体积更为纤小。配合适当的照明器和抛物柱面反射镜的设计，T5 灯能更有效利用工作平面中可供使用的光线。就节能效果而言，28 瓦特的 T5 照明器仅耗用 30 瓦特电力，较装有一般镇流器的 36 瓦特 T8 照明器省电 36%。
- 5.2 按其设计，T5 灯配备节能效果更佳，寿命更长(15 000 小时)的电子镇流器，是专为经常使用而设。T5 灯的灯身较短、较幼(更接近线光源)，令照明器的设计可更多样化，并能轻易地装置于一般天花公制系统(如 600 毫米 x600 毫米、600 毫米 x1200 毫米等)，不会延伸至附近的天花骨架之内。图 13 显示出典型 T5 照明器和 T8 照明器在长度和深度方面的分别。典型 T5 照明器可隐藏于假天花之内，终端盒不会突出，而典型 T8 照明器的终端盒则会突出在假天花之外。



花之外。

图 13 隐藏组合式 T5 照明器(左)和终端盒突出的 T8 照明器(右)

- 5.3 就体积而言，T5 隐藏组合式照明器较纤小，正适合安装于标准的天花骨架，无须占用附近的地方。倘若通风格栅可直接安装在照明器末端或照明器可连贯成行，则将在假天花进行的各项工程协调起来会更为容易。
- 5.4 就 T5 灯的应用而言，谐波失真的问题最为人关注。由于 T5 灯使用装有非线性电子转换器及高频发生器的电子镇流器，为免影响现有配电系统的供电质素，镇流器必须装置谐波滤波器，以减少谐波失真，特别是三次谐波失真的情况。目前，大部分新设计的电子镇流器在总谐波失真方面已有改善，上述测试得出的总谐波失真约为 9%。

- 5.5 在开启照明器或全组照明装置后首数毫秒内通过电路的电流,称为起动电流。假设电灯的瓦特数相同,电子镇流器的起动电流原则上较一般的镇流器为高。倘若在一个 10 安培(C 类微型断路器)照明电路上,由单一个 10 安培电灯开关掣控制的装有电子镇流器的照明器不多于 10 个,则无须就起动电流作出特别安排。
- 5.6 没有装置无效功率补偿电容器的一般及低损耗镇流器的功率因子可低至 0.4。目前,大部分电子镇流器的功率因子偏差趋于划一,而总功率则超过 0.95。
- 5.7 新开展的工程采用 T5 荧光照明器后,所耗用的电力和须缴交的电费随即有所减少,同时亦取得电力公司非住宅界别用电需求管理计划的参加资格,并可就减少发电过程中产生温室气体这个全球性问题,作出贡献。
- 5.8 28 瓦特的 T5 照明器的总电路功率,经测试后证实为 30 瓦特。控制器的耗损完全符合照明装置工作守则的规定(即最高 10 瓦特)。T5 灯的发光率约为每一瓦特 100 流明,照明效果甚佳,因此可提高其照明功率密度至照明装置能源效益工作守则的水平。
- 5.9 T5 荧光灯所含的水银少于 30 毫克, T12 灯所含的水银则为 40 毫克,因此在重新安装荧光灯的过程中所需处置的水银和排放于大气中的水银亦较少。
- 5.10 从经济角度而言,新工程若安装 T5 照明器,所需的材料费用较安装传统 T8 照明器高出 15%左右。不过,更佳的照明效果、更高的使用因素、电灯寿命更长、热扩散、耗用的能源和缴交的电费减少等各项改善,应可抵销安装 T5 照明器所需较高的初始费用。
- 5.11 选用 T5 照明器的工程师可能最关注电子镇流器是否稳定可靠。从技术角度而言,应选用符合机电工程署相关规格的电子镇流器,以确保产品的质素符合标准。
- 5.12 就以电子镇流器运作的 T5 照明器而言,电磁兼容性的问题基本上取决于电子镇流器的特性及照明器的设计。就电磁兼容性而言,将电子镇流器安装于照明器前,必须考虑下列技术问题和基本原则:
- 1) 金属照明器所有外露带电部分,必须装有有效的接地保护。
  - 2) 必须具备功能接地,以符合某些电磁兼容性的规定或确保系统能正常运作。
  - 3) 确保电子镇流器与金属照明器之间的电气连接稳固。
  - 4) 照明器内的总电线和电灯电线尽量以短为宜,并应尽量分开,

且牢固地固定于定位格架上，以减少杂散电容。

- 5) 金属照明器与反射镜及/或灯罩之间的电气接触必须良好。反射镜和灯罩的作用，是作为电灯周围的保护罩。

5.13 机电工程署能源效益事务处曾在政府办事处进行智能照明控制系统等有关 T5 灯的其他试验计划。测试结果将会为建议政府在日后的工程采用 T5 灯方面提供宝贵的数据。

### 参考数据

- 【1】 《照明装置能源效益守则》，1998 年版，机电工程署。
- 【2】 《电力装置能源效益守则》，1998 年版，机电工程署。
- 【3】 S.T.Henderson 及 A.M.Marsden,《灯与照明》(Lamps and Lighting) 第二版。
- 【4】 李路东及胡国田，《荧光灯电子镇流器》，高层建筑设计及施工技术研讨会，北京，1999 年。
- 【5】 IEC 1000-3-2《谐波电流放射限制(设备输入电流每相 $\leq 16$  安培)》，1995 年。