

T5 燊光燈及照明器 - 第三代辦公室照明

機電工程署屋宇裝備工程師(能源效益事務處)
胡國田先生

摘要：

香港是亞洲的主要商業及金融中心，過去 10 年，每年的能源消耗量均有大幅增長。商界的用電量每年約增加 7%，是增長速度最快的界別。機電工程署的能源效益事務處一直積極研究減低能源消耗量的方法，並實施一連串措施，以達到這個目標，包括研究先進及創新的節能科技，俾能將其在政府建築物內推廣使用。有關研究包括照明、空調、升降機及自動梯設施。本文件將臚列在辦公室照明方面使用 T5 燈的技術背景、本署研究結果的現時情況及日後擬進行研究的項目。

關鍵詞彙：熒光燈、鎮流器、T5 燈及照明器、試驗計劃、前景

1. 引言

機電工程署能源效益事務處致力在能源管理機會實施試驗計劃中，使用節能的電燈和照明器作照明裝置。這項研究旨在探討採用新一代 T5(直徑 16 毫米)熒光燈，並在熒光照明器使用合適鎮流器的可行性。由於 T5 燈的尺寸極小和重量極輕，在設計照明器時較具彈性，故是次研究會比較使用 T5 燈和一般 T8 或 T12 燈的照明器的優劣。所有有關的背景資料、新電燈型號的詳細技術資料、新電燈的電子鎮流器及新照明器的設計，均會在文中一一論述，並會臚列本署其中一項使用 T5 照明器的試驗計劃結果。

2. 技術資料

本節會簡述熒光燈及其控制器的基本操作原則。

2.1 熒光燈

熒光燈(或稱低壓汞蒸汽燈)是現今一般照明最普遍採用的放電燈類型，差不多全球通用，特別是辦公室的照明。而引進緊湊型節能熒光燈後，其應用已擴展至住宅式建築物。最普遍的熒光燈類型，是長度由 600 毫米(18 瓦特)至 1500 毫米(58 瓦特)的管狀燈。這種放電管，每端均有一個密封的電極，並有惰性氣體及小量水銀，水銀以液態及氣態存在。長管內裏以一層熒光粉混合物包裹，這些東西會在視覺範圍內，將汞放射的紫外光，轉化為較長的波長。這種燈備有不同的熒光粉或磷光劑，為想要得到不同色溫及顏色特徵而設。

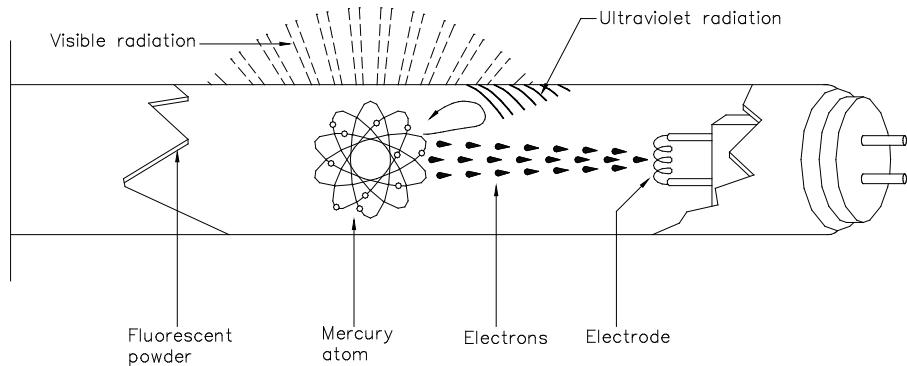


圖 1：熒光燈的基本構造及操作

基本而言，管狀熒光燈已發展了三代，細分如下：

- 第一代的管狀熒光燈直徑為 38 毫米(1.5 吋)，長度由電功率(20 瓦特、30 瓦特、40 瓦特及 65 瓦特)決定的 T12 燈，這些所謂「舊式」或「粗身」燈，均以電磁式鎮流器起穩定作用，現時大多已被新型的 T8 燈所取代。其功效約為每瓦特 70 流明範圍。
- 第二代的管狀熒光燈直徑為 26 毫米(1 吋)，長度由電功率(18 至 70 瓦特)決定的 T8 氪氣燈，這些所謂「幼身」燈，以電磁式鎮流器或配備額外改良功效及流明保養的電子鎮流器，均可達致穩定作用。其功能約為每瓦特 80 流明範圍。
- 第三代的管狀熒光燈為新的 T5 燈配有 G5 燈座，直徑為 16 毫米(5/8 吋)。30 多年來，T5 燈一直有 4 瓦特、6 瓦特、8 瓦特及 13 瓦特的輸出可供選擇。不過，這些型號的燈主要用於傢具、指示牌及桌面照明。不過，電功率較高的新型 T5 燈已於數年前面世，由於其發光效率的輸出較佳(約每瓦特 100 流明)，故對一般的熒光燈構成劇烈的競爭。新型 T5 燈的標準電功率為 14 瓦特、21 瓦特、28 瓦特及 35 瓦特，這些新型的電燈原則上必須使用高頻電子鎮流器，以節省更多電力。由於其外型纖巧，新型 T5 燈可進一步將外殼的尺寸縮細，令照明器的設計得以革新。此外，各型號燈身的長度均比 T12/T8 燈短 50 毫米，其尺寸剛好可以裝入懸掛在天花板的一般格欄內(600 毫米及 1200 毫米)。

2.2 熒光燈的控制器

與白熾燈不同，熒光燈不能直接接駁到電源去，電路中必須有限制電流通過熒光燈的器件，這可以是配備□動器開關的電磁式鎮流器(一般或低損耗型)或高頻電子鎮流器。為方便□動，多數熒光燈，均以預熱電壓的方法，在燃亮前預熱電極。

熒光燈能否發揮最大效能，很大程度上取決於所用控制器的功能。單靠電源供電電壓，熒光燈不能正常地操作，必須在電燈電路上加上一

些器件。控制器起著多種作用：

- 限制及穩定電燈的電流。
- 每半個循環沒有電壓通過之際，仍確保電燈持續操作。
- 為電燈初次起動時，提供燃亮電壓。
- 在燃亮時為預熱電極提供經控制的能源。
- 達致其他需求如確保有高功率因數、限制諧波失真、壓抑電磁波干擾、限制短路及起動電流、延長壽命及減低損耗及噪音程度等。

2.2.1 電磁式(一般及低損耗型)鎮流器

電磁式控制系統的各樣獨立部件，包括鎮流器、引燃啟動開關、電容器及過濾線圈與電燈結合之下，便能達致上述對電燈的要求。

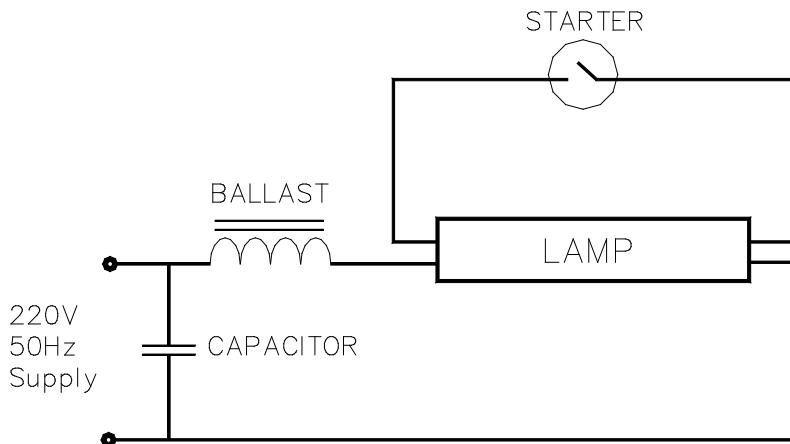


圖 2：使用電磁式鎮流器的電燈電路

這類控制器以引燃開關，在放電前將電極的燈絲預熱。當有電壓到達時，開關的雙金屬電極間，會有少量放電。放電所產生的熱力，會使雙金屬電極彎曲，並將接觸點關合以完成電路。在開關冷卻前，電燈的電極會預熱一段時間，並將電路打開。就在此時，在鎮流器節流線圈上產生的高感應電壓，會使熒光燈燃亮開來。如果電燈的首次燃亮失敗，上述程序會持續進行，直至成功燃亮為止。

電燈燃亮後，鎮流器會與電燈串聯連接，成為限制電流的器件。在鎮流器內損耗的鐵質和銅質，會以熱力的形態，散發到房間的空間去。以一般或低損耗型鎮流器操作的 36 瓦特熒光燈而言，通常的「熱」損耗量分別會是 12 瓦特及 9 瓦特。一般而言，要操作一個熒光燈，便需使用一套控制器。

2.2.2 電子鎮流器

典型電子鎮流器的基本構造，包括有一個高頻過濾器、一個整流器、

一個電容器緩衝器及一個高頻振盪器。電子鎮流器系統雖是匯聚在一個「黑盒」內，但其不同的作用及需求則可分為若干獨立的單元。基本操作原則為：50 赫茲電力頻度的電源電壓，通過高頻過濾器後，在一個交流電/直流電變壓器內整流，該變壓器內亦有以直流電壓充電的電容器緩衝器，而在高頻發電機內的直流電壓，會轉化為給電燈操控器供電的高頻電壓。而鎮流器的操控器則操控著這一切功能。

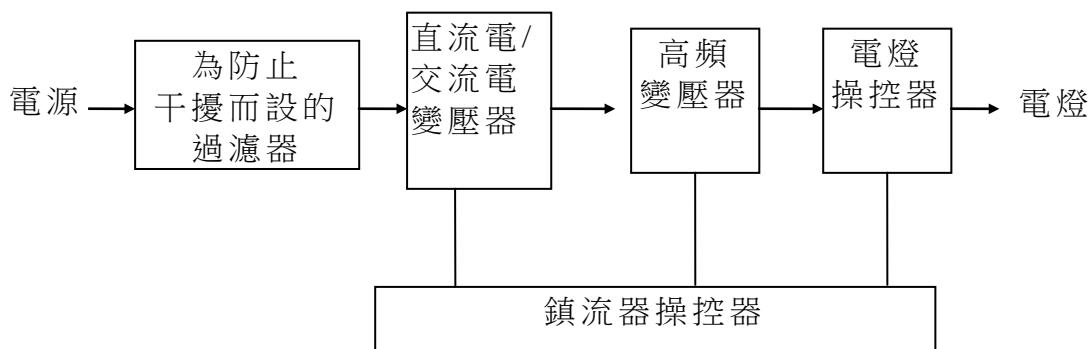


圖 3：顯示電子鎮流器主要功能的單元圖

鎮流器利用熒光燈以高於 10 千赫茲的高頻操作便可得較大照明度的特性。基於下列三個主要原因，照明系統的整體功效可提高 20 至 30%：

1. 以高頻率操作時，能增強電燈的發光率。
2. 減低電路的電功率損耗。
3. 在大部分封閉的照明環境下，電燈可發揮接近最高效能。

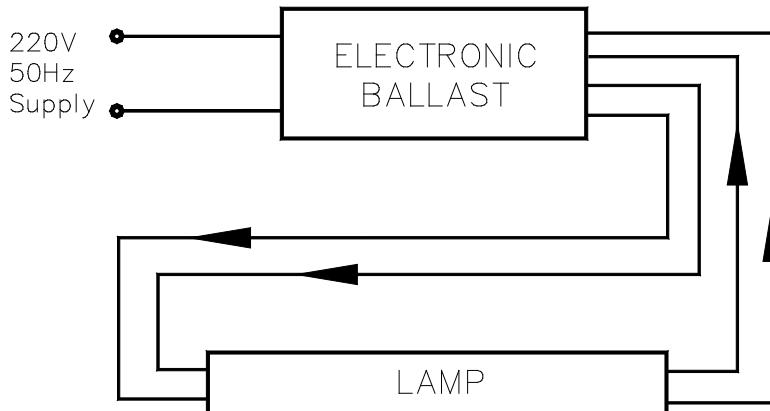


圖 4：使用電子鎮流器的電燈電路

高頻操作令效能提高約 10%，因此電燈可以低於 50 赫茲電力網頻率的輸入功率操作。以一個 36 瓦特 1200 毫米的 T8 燈為例，如裝設一般鎮流器，通常需要電路功率為 47 瓦特，但現在只需 36 瓦特便能輸出同等光能。就典型照明器而言，使用電子鎮流器的淨效應是可以較低輸入功率，輸出相同的有效光能。

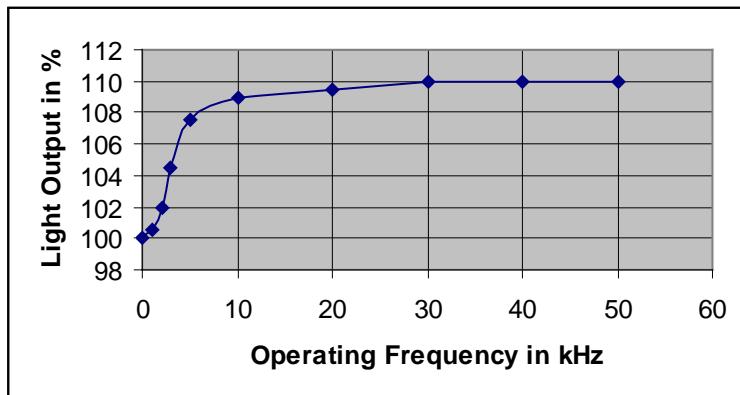


圖 5：熒光燈的光束與以恒定功率的電源頻率作比較

由於電子鎮流器的固體電路並沒有一般的銅繞組，因此比電磁鎮流器的損耗為少。如使用電子鎮流器，一對 1200 毫米 36 瓦特照明電路的損耗量可由 24 瓦特減少至只有 6 瓦特。因此，如使用適當的照明器，整體可節省能源可達 20% 至 30%。這些節能功效，可讓照明水平維持不變，但電費卻可大幅減少。由於產生的熱量會較少，對空調設備的冷卻負荷亦可相應減少。

使用電子鎮流器的其他優點包括：

- 快速或即時亮□電燈而不會出現閃爍情況。
- 一個鎮流器可設計以驅動一個、兩個、三個甚或四個電燈。
- 由於電燈的操作電流較低，電燈的使用期可予延長。
- 操作寧靜而不會產生可聽見的噪音。
- 具備可調校明暗的類型。
- 操作時不會出現可見的閃爍情況。
- 高頻操作時不會出現頻閃效應。
- 無論有否安裝功率因數校正電容器，大部分新款的設計的總諧波失真都較一般鎮流器為低。
- 由於總諧波失真及餘弦 θ 較低，故總功率因數會較高。
- 照明器內的環境溫度較低，令電燈、控制裝置、電容器及作緊急照明用電池有更佳的操作效果。
- 操作溫度較低，以減少對照明器及其附近裝飾出現碳化及熏黑的情況。
- 由於電源供電電壓變動而令光束出現變化的影響較微。
- 重量輕得多。

新 T5 燈與其他 T8 燈不同，T5 燈是特別設計以電子鎮流器操作，務求效率更高。下文表 1 摘述適合不同種類熒光燈所用的鎮流器類別。

表 1：適合不同種類熒光燈所用的鎮流器類別

燈類	一般 鎮流器	低損耗 鎮流器	電子 鎮流器	可調節明 暗的 鎮流器 (磁力)	可調節 明暗的 鎮流器 (電子)
T12 (38 毫米)	√	√	X	√	X
T8 氪氣燈 (25 毫米)	√	√	√	X	√
T5 (16 毫米)	X	X	√	X	√

2.2.3 照明器的設計

設計照明器的一個重要元素是光度的控制。光度設計的目的是將無屏蔽光源的光轉折照射到有需要的地方，以減低可能出現刺眼強光地方的光度，並且為電燈提供外形美觀的外罩，同時(如有需要)又能保護電燈。白膠片、菱形控制器及拋物柱面反射鏡，是熒光照明器最為常用的光度控制用具。

至於裝有 T5 燈的熒光照明器，最有效的光度控制方法是使用拋物柱面反射法。拋物線是最常用的反射鏡等值線：這是通過 $y^2=4ax$ 的等式來界定的，而 a 是焦距與反射鏡之間的最短距離。拋物柱面反射鏡的最重要光學性能是假如線光源是放於反射鏡的聚焦點，便能發出平行光束。圖 6 說明了由拋物柱面反射鏡聚焦點上的線光源所產生的反射光束。實際上，理想的線光源是很難從光管處取得的，而分布曲線的形狀須取決於由反射鏡的焦距及開口闊度所造成的光源大小。由於 T5 燈的直徑遠較 T8 及 T12 燈的直徑為小，並且較接近線光源，因此裝有 T5 燈及拋物柱面反射鏡的照明器的光度控制便能更準確和有效。

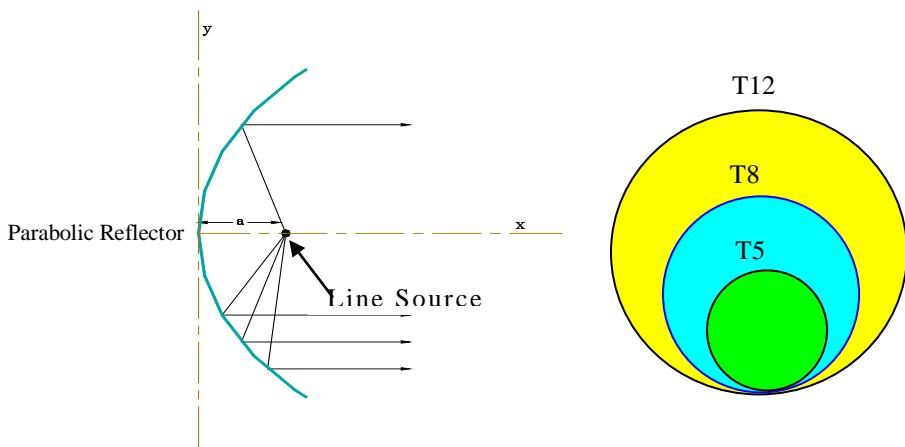


圖 6：處於拋物線形反射鏡聚焦點的線光源所產生的平行光束及

T12、T8 及 T5 燈的相對大小

3. 裝有 1x28 瓦特 T5 燈的照明器測試

科藝照明(香港)有限公司向機電工程署能源效益事務處提供了一個裝有 28 瓦特 T5 燈的照明器樣本，以便進行一般性能測試。照明器樣本屬隱藏組合式(1200 毫米 x 125 毫米)，並裝有 1 個 28 瓦特 T5 燈(飛利浦牌 TL5 28 瓦特/835 型號)、1 個電子鎮流器(飛利浦牌 HF-P128 TL5 220-240 型號)，以及 1 個專為 T5 燈而設計的鋁質拋物柱面反射鏡。圖 7 顯示了接受測試照明器的實際大小，以及與 28 瓦特 T5 燈、36 瓦特 T8 燈及 40 瓦特 T12 燈的比較。顯示符合英國屋宇裝備工程師學會第 II 類有關 T5 燈設計規定的照明器光線分布極線，載錄於圖 8。



圖 7 接受測試 T5 照明器的實際大小，以及與 T8 及 T12 燈的比較

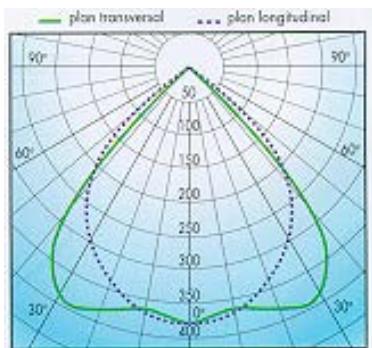


圖 8 接受測試照明器的極線

3.1 測試結果

在能源效益事務處設置了 1 個照明測試架，以便裝嵌接受測試的照明器，此外，亦使用了數碼照度計(Lutron 牌 LX-102 型號)，以測量在照明器之下 1 個固定測試點的照明度(以勒克司計算)，以作比較之用，以及 1 個功率諧波分析儀(Fluke 牌 41B 型號)連 1 部 IBM 筆記簿型電腦，以記錄測試中的所有電參數，包括有效功率、視在功率、功率因數、電壓、電流及總諧波失真等。測試時所列印的電腦資料，以及照明器的產品說明書，夾附於附錄 1，以供參考。下文表 2 綜述了 28 瓦特 T5 照明器與 36 瓦特 T8 照明器以傳統及電子鎮流器操作(以相同流明輸出量計)進行比較的測試結果。

表 2：裝有傳統及電子鎮流器的 28 瓦特 T5 照明器與 36 瓦特 T8 照明器進行比較的測試結果

	電流	電路功率	節省電力	功率因數	總諧波失真
裝有傳統鎮流器的 36 瓦特 T8 照明器	0.4 安培	47 瓦特	--	0.52	9%
裝有電子鎮流器的 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. 警政大樓的 T5 照明試驗計劃

試驗計劃包括將設於警政大樓 27 樓辦公室範圍的現有 320 套 3 x 18 瓦特 T8 600 毫米 x 600 毫米隱藏組合式熒光照明器，更換為新的 3 x 14 瓦特 T5 600 毫米 x 600 毫米隱藏組合式熒光照明器，連同電子鎮流器(3 支燈共用 1 個鎮流器的款式)和設計符合英國屋宇裝備工程師學會 LG3 第 II 類規定的拋物柱面反射鏡。該樓層的照明簡圖及所使用的新照明器載錄於下文圖 9 及圖 10。

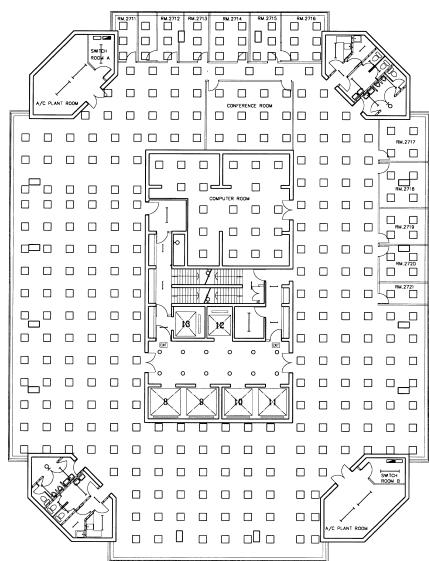


圖 9 警政大樓 27 樓的照明簡圖



圖 10 警政大樓使用的新 3 x 14 瓦特 T5 照明器

下文表 3 及圖 11 載錄了從有關地點拆除的現有 3 x 18 瓦特 T8 照明器的測試數據。

表 3：舊有 3 x 18 瓦特 T8 照明器的電參數

			電壓	電流
頻率	49.99Hz	有效值	223.4V	0.754A
功率：		□值	312.7V	1.095A
瓦特	90W	直流電偏差	0.2V	-0.02A
伏安	168VA	□頂因數	1.4	1.45
無功伏安	142var	總諧波失真有效值	2.23%	8.80%
瓦特□值	244	基本總諧波失真	2.23%	8.84%
相位	58° 滯後	諧波有效值	5.0V	0.66A
總功率因數	0.53	K 因數		1.51
功率因素(偏差)	0.53			

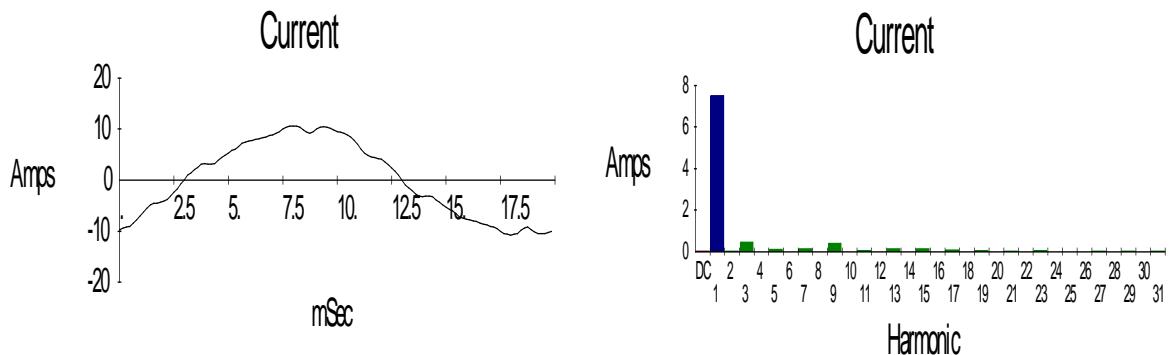


圖 11 舊式 3 x 18 瓦特 T8 照明器的電流波形及諧波含量

下文表 4 及圖 12 載錄了計劃中所用新 3 x 14 瓦特 T5 照明器的測試數據。

表 4：新 T5 照明器的電參數

			電壓	電流
頻率	49.94Hz	有效值	221.8V	0.22
功率：		□值	308.5V	0.316
瓦特	48W	直流電偏差	0.0V	-0.03
伏安	49VA	□頂因數	1.39	1.44
無功伏安	7var	總諧波失真有效值	2.30%	8.60%
瓦特□值	98	基本總諧波失真	2.30%	8.63%
相位	8° 超前	諧波有效值	5.1V	0.19A
總功率因數	0.99	K 因數		1.19
功率因素(偏差)	0.99			

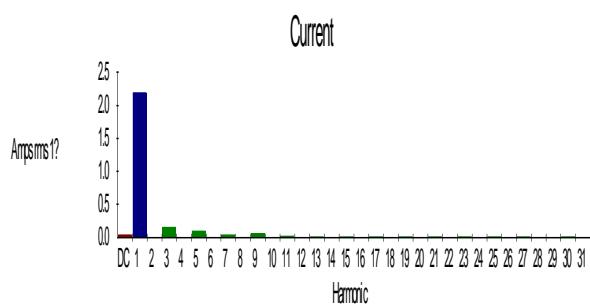
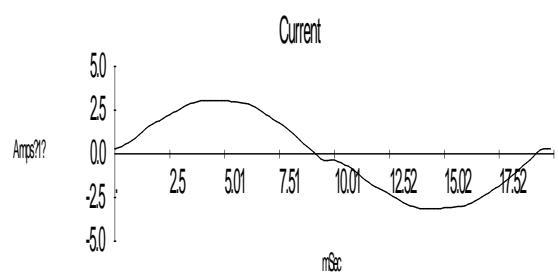


圖 12 新 T5 照明器的電流波形及諧波含量

在有關地點更換照明器之前進行的測量顯示，該樓層的總照明負荷量為 28 千瓦，平均每日使用能源 470 千瓦小時。現有每個 3×18 瓦特 T8 照明器耗用 90 瓦特電力，功率因數為 0.53。功率因數低主要是因為照明器內電容器的設計安全系數不足(整個照明器只使用 1 個 $5.5\mu\text{F}$ 電容器)。下文表 5 綜述了新 T5 照明裝置與舊有照明系統在性能方面的比較。

表 5：警政大樓 27 樓改裝照明裝置綜述表

	現有 T8 照明系統	新 T5 照明系統	差別 (以百分率計)
有效功率	28 千瓦	16 千瓦	-42%
功率因素	0.53	0.99	+87%
總諧波失真	11%	8.6%	-21.8%
視在功率	52.8 千伏安	16.2 千伏安	-69%
無效功率	23.7 千無功伏安	2.3 千無功伏安	-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%

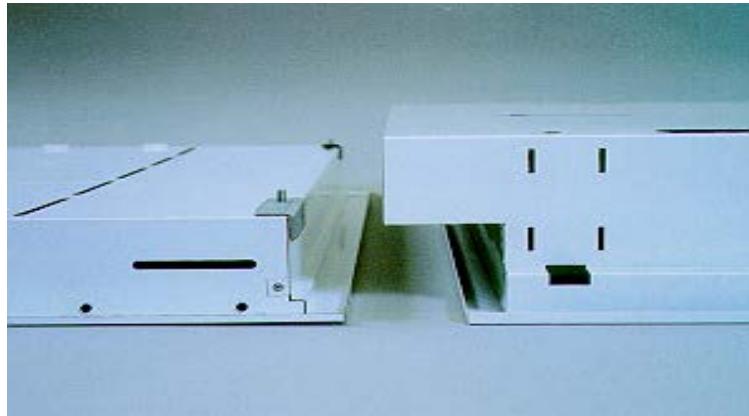
根據上述資料，從 T5 照明設備改裝試驗計劃中得出下列觀察資料：

- ◆ 進行改裝工程前，在有關地點測量得的平均每日照明能源消耗量為 470 千瓦小時。進行改裝工程後，測量得的平均每日照明能源消耗量則為 270 千瓦小時。預計每層建築物每年可節省能源 55 000 千瓦小時。
- ◆ 照明電路的功率因數由 0.53 大大提高至 0.99，以致電路電流減低、無效功率減少、配電損失減少，而按需量供電亦可能得到減省。
- ◆ 該樓層的照明負載無效功率減少 21.4 千無功伏安。假如樓高 30 層的辦公室/工場全部改為裝上新的 T5 照明器，整座建築物的無效功率便可減少 642 千無功伏安。這樣可消除總配電箱加裝電容器組合，以更正功率因數的需要。
- ◆ 進行改裝工程前，平均照明功率密度為 30 瓦特/平方米，這超逾了《照明守則》所訂明的最高限額 25 瓦特/平方米。進行改裝工程後，新的照明功率密度為 18 瓦特/平方米。
- ◆ 電流總諧波失真亦有輕微減少，令建築物的供電質量出現較少問題。

- ◆ 由於拋物柱面反射鏡的設計有所改善，且有更多線性 T5 光源，新照明器的利用率亦較高。進行改裝工程後測量所得平均照明度為 500 勒克司，較原本的照明裝置光亮 11%。不過，辦公室天花板看來較前陰暗，這是因為第 II 類照明器是設計供使用電腦的層數使用。

5. 總結及建議

- 5.1 新系列 T5 燈的系統節能效果較佳，體積更為纖小。配合適當的照明器和拋物柱面反射鏡的設計，T5 燈能更有效利用工作平面中可供使用的光線。就節能效果而言，28 瓦特的 T5 照明器僅耗用 30 瓦特電力，較裝有一般鎮流器的 36 瓦特 T8 照明器省電 36%。
- 5.2 按其設計，T5 燈配備節能效果更佳，壽命更長(15 000 小時)的電子鎮流器，是專為經常使用而設。T5 燈的燈身較短、較幼(更接近線光源)，令照明器的設計可更多樣化，並能輕易地裝置於一般天花公制系統(如 600 毫米 x 600 毫米、600 毫米 x 1200 毫米等)，不會延伸至附近的天花骨架之內。圖 13 顯示出典型 T5 照明器和 T8 照明器在長度和深度方面的分別。典型 T5 照明器可隱藏於假天花之內，終端盒不會突出，而典型 T8 照明器的終端盒則會突出在假



天花之外。

圖 13 隱藏組合式 T5 照明器(左)和終端盒突出的 T8 照明器(右)

- 5.3 就體積而言，T5 隱藏組合式照明器較纖小，正適合安裝於標準的天花骨架，無須佔用附近的地方。倘若通風格柵可直接安裝在照明器末端或照明器可連貫成行，則將在假天花進行的各項工程協調起來會更為容易。
- 5.4 就 T5 燈的應用而言，諧波失真的問題最為人關注。由於 T5 燈使用裝有非線性電子轉換器及高頻發生器的電子鎮流器，為免影響現有配電系統的供電質素，鎮流器必須裝置諧波濾波器，以減少諧波失真，特別是三次諧波失真的情況。目前，大部分新設計的電子鎮流器在總諧波失真方面已有改善，上述測試得出的總諧波

失真約為 9%。

- 5.5 在開啟照明器或全組照明裝置後首數毫秒內通過電路的電流，稱為起動電流。假設電燈的瓦特數相同，電子鎮流器的起動電流原則上較一般的鎮流器為高。倘若在一個 10 安培(C 類微型斷路器)照明電路上，由單一個 10 安培電燈開關掣控制的裝有電子鎮流器的照明器不多於 10 個，則無須就起動電流作出特別安排。
- 5.6 沒有裝置無效功率補償電容器的一般及低損耗鎮流器的功率因數可低至 0.4。目前，大部分電子鎮流器的功率因數偏差趨於劃一，而總功率則超過 0.95。
- 5.7 新開展的工程採用 T5 燒光照明器後，所耗用的電力和須繳交的電費隨即有所減少，同時亦取得電力公司非住宅界別用電需求管理計劃的參加資格，並可就減少發電過程中產生溫室氣體這個全球性問題，作出貢獻。
- 5.8 28 瓦特的 T5 照明器的總電路功率，經測試後證實為 30 瓦特。控制器的耗損完全符合照明裝置工作守則的規定(即最高 10 瓦特)。T5 燈的發光率約為每一瓦特 100 流明，照明效果甚佳，因此可提高其照明功率密度至照明裝置能源效益工作守則的水平。
- 5.9 T5 燒光燈所含的水銀少於 30 毫克，T12 燈所含的水銀則為 40 毫克，因此在重新安裝燒光燈的過程中所需處置的水銀和排放於大氣中的水銀亦較少。
- 5.10 從經濟角度而言，新工程若安裝 T5 照明器，所需的材料費用較安裝傳統 T8 照明器高出 15%左右。不過，更佳的照明效果、更高的使用因素、電燈壽命更長、熱擴散、耗用的能源和繳交的電費減少等各項改善，應可抵銷安裝 T5 照明器所需較高的初始費用。
- 5.11 選用 T5 照明器的工程師可能最關注電子鎮流器是否穩定可靠。從技術角度而言，應選用符合機電工程署相關規格的電子鎮流器，以確保產品的質素符合標準。
- 5.12 就以電子鎮流器運作的 T5 照明器而言，電磁兼容性的問題基本上取決於電子鎮流器的特性及照明器的設計。就電磁兼容性而言，將電子鎮流器安裝於照明器前，必須考慮下列技術問題和基本原則：
 - 1) 金屬照明器所有外露帶電部分，必須裝有有效的接地保護。
 - 2) 必須具備功能接地，以符合某些電磁兼容性的規定或確保系統能正常運作。

- 3) 確保電子鎮流器與金屬照明器之間的電氣連接穩固。
- 4) 照明器內的總電線和電燈電線盡量以短為宜，並應盡量分開，且牢固地固定於定位格架上，以減少雜散電容。
- 5) 金屬照明器與反射鏡及/或燈罩之間的電氣接觸必須良好。反射鏡和燈罩的作用，是作為電燈周圍的保護罩。

5.13 機電工程署能源效益事務處曾在政府辦事處進行智能照明控制系統等有關 T5 燈的其他試驗計劃。測試結果將會為建議政府在日後的工程採用 T5 燈方面提供寶貴的資料。

參考資料

- 【1】 《照明裝置能源效益守則》，1998 年版，機電工程署。
- 【2】 《電力裝置能源效益守則》，1998 年版，機電工程署。
- 【3】 S.T.Henderson 及 A.M.Marsden,《燈與照明》(Lamps and Lighting) 第二版。
- 【4】 李路東及胡國田，《熒光燈電子鎮流器》，高層建築設計與施工技術研討會，北京，1999 年。
- 【5】 IEC 1000-3-2《諧波電流放射限制(設備輸入電流每相 ≤ 16 安培)》，1995 年。