

東啟德室內運動場高輸出 T5 燈光燈試驗計劃報告

機電工程署能源效益事務處
屋宇裝備工程師/能源效益 A2/1
胡國田先生擬備

摘要

為推行鼓勵使用創新節能設備的能源管理機會實施試驗計劃，機電工程署能源效益事務處最近在東啟德室內運動場進行了一項照明系統試驗計劃，計劃現已完成。新照明系統利用最新的 T5 照明技術，為該樓頂很高的室內運動場提供照明。與現有使用高強度放電燈的高位照明系統比較，新高輸出 T5 照明系統不僅更節省能源，且具有其他多項優點，讓運動場使用者在進行體育活動時，有更舒適的視覺環境。該運動場目前共有 48 個高位照明器，其中半數為 400 瓦的金屬鹵化物燈，其餘則為 250 瓦的高壓鈉燈。新 T5 照明系統由 56 個特製的耐撞擊照明器組成，照明器內置 3×49 瓦高輸出 T5 燈和電子鎮流器(共有 168 盞 T5 燈)。現有照明系統的耗電量是 17.2 千瓦，安裝新 T5 照明系統後，該場地錄得的耗電量是 8.7 千瓦，耗電量減少近 50%。新 T5 照明系統的地面平均照明度為 760 勒克斯，而現有高位照明系統則為 480 勒克斯。除照明度提高 58% 外，就眩光、色表、色彩再現等方面而言，照明質素亦有所改善。此外，亦有進行調查，蒐集使用者對新 T5 照明系統的意見。大部分使用者均對該系統讚好，普遍認為新系統更光亮、更舒適、眩光較少、視覺環境更柔和、色表更佳。此試驗計劃共需 182,400 元，預計回本期少於 3.7 年。

1. 引言

東啟德室內運動場的現有照明裝置，由 24 盞 400 瓦金屬鹵化物燈和 24 盞 250 瓦高壓鈉燈組成，這些燈安裝於備有拋物柱面反射鏡的工業用高位照明器內。現有照明系統平面圖見圖 1，裝有高強度放電燈的現有照明環境見圖 2。按其設計，金屬鹵化物燈與高壓鈉燈應配對使用(圖 3)，相間安裝，以便混和顏色。由於所有現有高強度放電燈需最少 5 分鐘預備，方能開啟，且不能於關掉後或電力中斷後馬上重新開啟，所以在運動場開放的整段時間內必須時刻開啟。金屬鹵化物燈的典型色表是冷白色(6000°K)，高壓鈉燈則是黃色(2000°K)。金屬鹵化物燈(過冷)和高壓鈉燈(過暖)均不宜單獨作室內運動場照明之用，因此必須將兩種燈配對使用，以混和顏色，締造運動項目所需的適當視覺環境。金屬鹵化物燈的特點是色彩再現效果佳(電視直播的必要條件)，但光效低(76 流明/瓦)。高壓鈉燈的色彩再現效果較差(顏

色偏黃/橙)，在運作時色表更可能會有變化，但光效則較高(100 流明/瓦)。

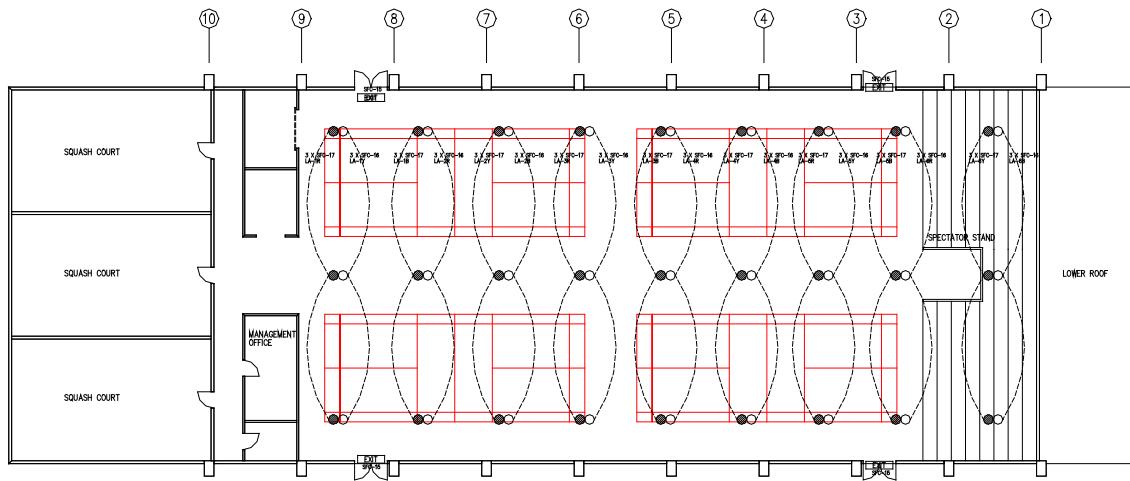


圖 1：東啟德室內運動場現有高強度放電燈平面圖

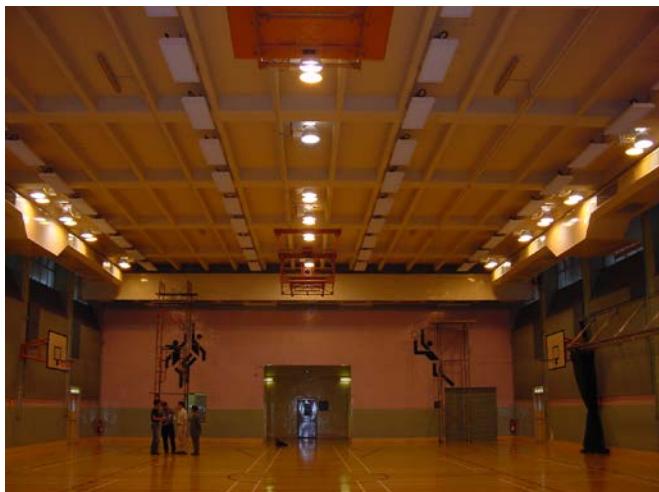


圖 2：現有高強度放電燈的照明環境



圖 3：東啟德室內運動場現有高強度放電燈及高位照明器

管狀熒光燈屬"線源"燈，與屬"點源"的高強度放電燈截然不同，從長玻璃管發出的光較分散。由於備有光線較分散的特點，所以樓頂不高於 5 米的商業樓宇、院校和工業場地，大多採用此類熒光照明器。不過，近年面世的 T5 熒光燈密度較高，效能較好，再加上特別設計的反光照明器，熒光燈系統遂能打破天花板的高度限制，直接與適合於室內天花板較高地方使用的高強度放電燈競爭。

在此試驗計劃中，我們嘗試引入高輸出 T5 燈，供室內運動場照明之用。我們在現有高強度放電燈系統之外，另外安裝新 T5 照明系統，並對兩個系統進行深入研究，以便比較在改善能源表現和視覺環境方面，兩者的高下如何。

2. 新高輸出 T5 照明系統

東啟德室內運動場試驗計劃採用的新 T5 熒光照明系統由 4 排燈組成，每排有 14 個特別設計的耐撞擊照明器，每個照明器裝有 3×49 瓦高輸出 T5 燈及電子鎮流器(圖 4 及 5)。根據英國屋宇裝備工程師學會有關照明(第 II 類)的建議，室內運動場及中級比賽舉辦場地，即觀眾人數屬中等且觀賞距離為中距的區域或本地會社比賽等，設計地面照明度應為 500 勒克斯，高級培訓亦屬此類。

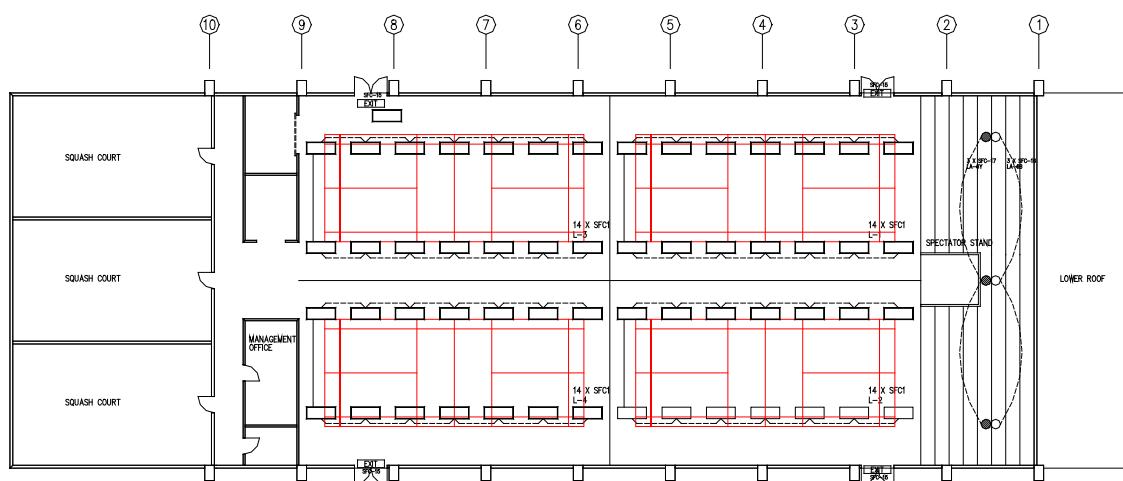


圖 4：東啟德室內運動場新高輸出 T5 照明系統平面圖

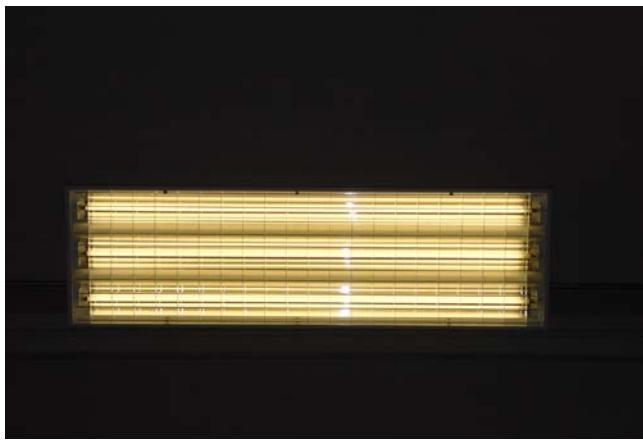


圖 5：新耐撞擊照明器連 3×49 瓦 T5 燈及電子鎮流器

與高強度放電燈不同，T5 燈可即時開關，無須一段長時間預備。因此，新 T5 照明系統可配合室內運動場的預約時間表操作，開關電路亦按照 4 個羽毛球場的位置，分別設於 4 個不同位置。

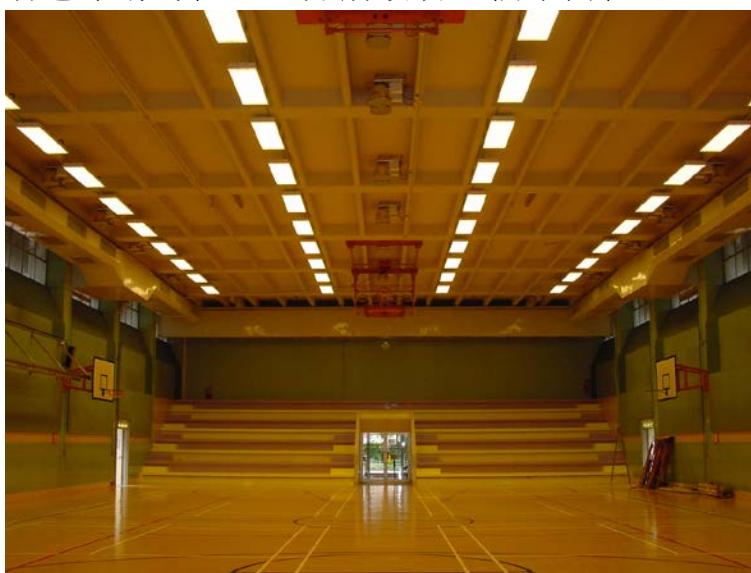


圖 6：東啟德室內運動場新 T5 照明系統的視覺環境

3. 能源表現

我們分別在能源效益事務處辦事處量度同類高強度放電燈和新 T5 照明器的電參數。表 1 及圖 7 載列與東啟德室內運動場所用 400 瓦金屬鹵化物燈同類的電燈量度得的電參數。電燈的總電路功率為 460 瓦，相應的功率因數及電流總諧波失真率，分別為 0.91 和 36.7%。就供電系統而言，總諧波失真率是一個重要的電參數，可影響供電質素和指示出供電系統功率損耗的嚴重程度。該室內運動場安裝的新高輸出 T5 照明器(3×49 瓦)的電參數，見表 2 及圖 8。結果顯示，若以電子鎮流器操作，該照明器的總電路功率僅為 156 瓦，電路功率因數幾乎一致，電流總諧波失真僅為 4.7%。

表 1 : 400 瓦金屬鹵化物燈量度所得的電參數

			電壓	電流
頻率	50 赫茲	有效值	220.4 瓦	2.29 安培
功率:		□值	306.5	3.82 安培
瓦	460 瓦	直流電偏差	0.0	-0.03
伏安	505 伏安	□頂	1.39	1.67
無功伏安	122 無功伏安	總諧波失真有效值	2.30%	34.45%
瓦□值	98	基本總諧波失真	2.30%	36.70%
相位	14°滯後	諧波有效值	5.1V	0.84A
總功率因數	0.91	K 因數		8.96
功率因數偏差	0.97			

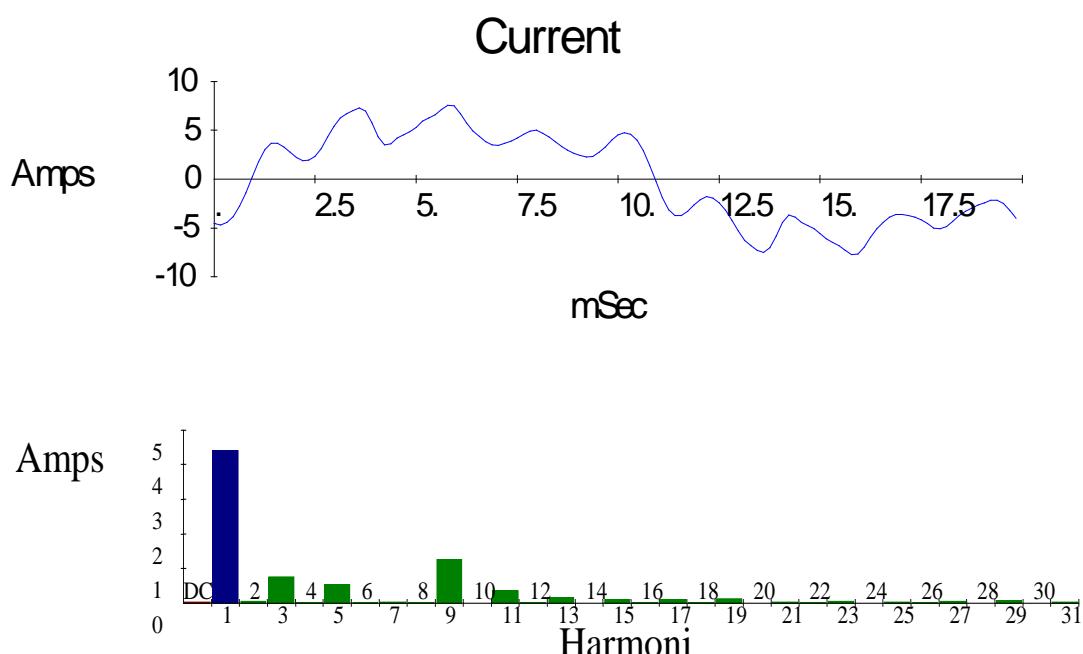


圖 7 : 400 瓦金屬鹵化物燈的電流波形及諧波含量

表 2 : 新 3 x 49 瓦 T5 照明器量度所得的電參數

			電壓	電流
頻率	50 赫茲	有效值	220.4V	0.72A
功率:		□值	308.5V	1.04A
瓦	156 瓦	直流電偏差	0.0V	-0.03A
伏安	158 伏安	□頂	1.39	1.44
無功伏安	22 無功伏安	總諧波失真有效值	2.30%	4.60%
瓦特□值	98 瓦	基本總諧波失真	2.30%	4.70%
相位	8°超前	諧波有效值	5.1V	0.03A
總功率因數	0.99	K 因數		1.19
功率因數偏差	0.99			

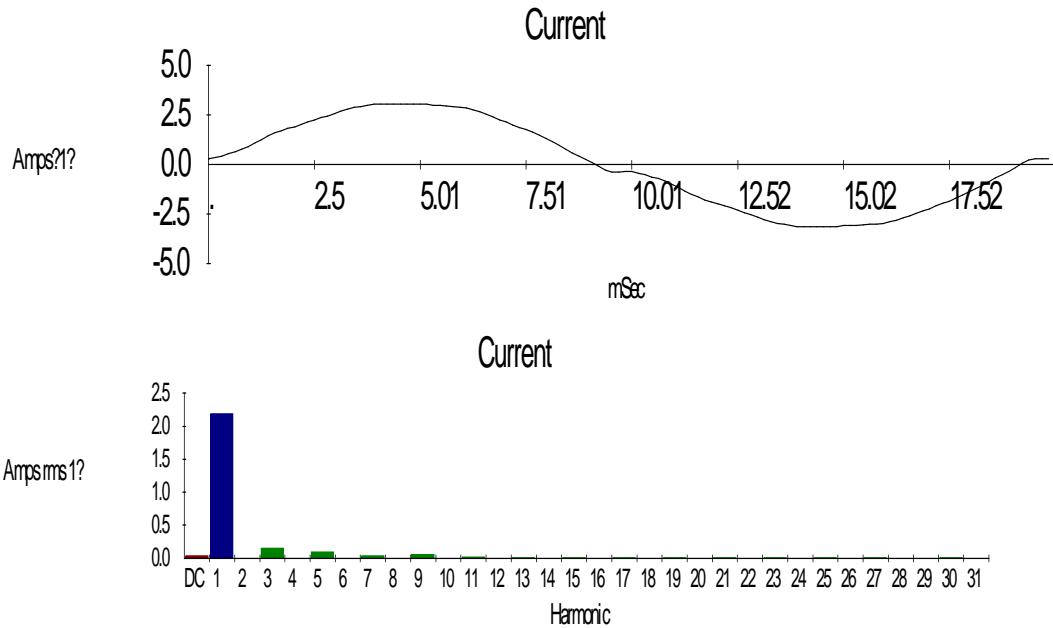


圖 8：新 T5 照明器的電流波形及諧波含量

2001 年 7 月 23 日，我們實地量度了兩種照明系統的能源表現，結果發現新 T5 照明系統的總功率減少 8.5 千瓦(49%)，而電流總諧波失真亦有很明顯的改善(由 23.6% 減至 4.7%)，量度結果摘錄於表 3。鑑於該運動場整個裝有空調，若照明系統產生的熱量得以減少，則空調裝置的冷凍負荷亦可隨之減低。預計冷凍負荷的減幅約為照明負荷減幅的 30%(即 2.5 千瓦)。

表 3：現有高強度放電燈和新 T5 照明系統的能源表現

	現有高強度放電燈 系統	新 T5 照明系統	差別 (以百分率計)
有效功率	17.2 千瓦	8.7 千瓦	- 49%
功率因數	0.97	0.99	+ 2%
電流總諧波失真	23.6%	4.7%	- 80%
照明功率密度	26.3 瓦/平方米	13.3 瓦/平方米	- 49%

4. 視覺表現

界定某一點所受光量的最重要參數，是按勒克斯計算某一水平面的某一點被照明系統光照的照明度(即流明/平方米)。2001 年 5 月 22 日，我們量度了高強度放電燈及 T5 照明系統的地面水平照明度，結果見表 4 及表 5。現有照明系統錄得的平均照明度為 479 勒克斯，在運動場中央錄得最高的照明度達 642 勒克斯。新 T5 照明系統的平均照明度為 760 勒克斯，在運動場

中央錄得的最高照明度達 998 勒克斯。運動場若使用新 T5 燈，照明度平均可提高 58%。新舊照明系統的一致率分別為 0.51 和 0.48。由於 T5 照明器安裝得較接近天花板，所以情況較舊系統稍有改善。

表 4：現有高強度放電燈系統量度得的照明度(以勒克斯計算)

X(m)	Y(m)	0.75	2.75	4.75	6.75	8.75	10.8	12.8	14.8	16.8	18.8	20.8	22.8	24.8	26.8	28.8	30.8	32.8	Average
0.75	343	387	370	364	374	426	469	492	508	513	457	342	356	375	343	278	235	390	
2.25	374	431	452	452	481	505	497	523	541	558	565	540	496	428	370	299	243	456	
3.75	403	456	480	473	522	535	545	553	565	588	592	569	520	447	379	309	253	482	
5.25	423	485	506	504	544	566	574	579	594	609	615	594	545	446	366	304	251	500	
6.75	455	500	522	532	562	579	588	597	611	619	618	605	550	440	364	301	272	513	
8.25	424	517	452	531	571	591	598	603	611	631	628	616	564	448	363	298	233	511	
9.75	447	520	446	547	570	600	604	606	613	642	637	621	564	450	364	300	230	515	
11.3	474	523	519	553	565	590	600	603	613	629	628	613	554	446	365	301	231	518	
12.8	455	499	522	528	568	590	596	593	602	619	617	606	548	446	366	308	270	514	
14.3	411	467	493	547	551	565	578	581	578	600	601	580	530	447	367	312	269	499	
15.8	367	434	443	530	516	539	544	554	536	558	559	542	493	442	372	306	239	469	
17.3	352	412	431	499	477	523	526	539	527	543	530	532	495	425	351	280	230	451	
18.8	366	397	434	453	484	490	513	433	510	469	404	308	442	425	336	292	229	411	
Average																		479	

表 5：新 T5 照明系統量度得的照明度

X(m)	Y(m)	0.75	2.75	4.75	6.75	8.75	10.8	12.8	14.8	16.8	18.8	20.8	22.8	24.8	26.8	28.8	30.8	32.8	Average
0.75	402	509	566	582	606	625	641	639	648	640	628	610	597	574	544	519	519	579	
2.25	489	598	680	715	747	742	749	747	753	748	760	747	720	674	649	615	626	692	
3.75	552	685	756	796	827	837	850	850	856	847	847	826	800	759	723	694	687	776	
5.25	594	727	817	865	897	913	921	925	926	923	918	903	876	837	792	745	714	841	
6.75	609	744	836	891	932	944	956	960	960	958	952	936	905	861	814	769	760	870	
8.25	624	746	846	907	956	971	979	985	985	982	973	956	927	884	828	776	608	878	
9.75	628	746	862	918	956	978	983	998	998	996	985	970	939	895	836	783	609	887	
11.3	620	749	826	891	928	958	963	971	968	972	964	952	915	876	818	776	653	871	
12.8	610	742	815	863	902	925	926	938	937	944	931	925	892	853	803	760	768	855	
14.3	586	705	766	826	851	877	871	890	883	896	882	879	840	806	751	720	704	808	
15.8	525	636	702	750	763	793	785	807	792	807	787	782	744	722	670	652	558	722	
17.3	449	545	589	641	642	677	660	686	668	683	653	659	635	619	575	559	384	607	
18.8	384	450	502	478	432	546	579	584	605	582	527	453	476	521	495	485	417	501	
Average																		760	

對運動員和觀眾而言，室內運動場的眩光問題最令人關注。高強度放電燈

的光源集中於一點，造成棘手的眩光問題。當人直視或在近距離望向高強度放電燈的光源時，便會感到目眩。眼睛在望向極亮的光源後，瞳孔會縮細。眼睛之後若再望向別處，便有數秒不能聚焦，情況一如拍照時，眼睛對閃光燈的反應一樣。T5 燈屬線性及分散光源，並沒有這個問題。雖然 T5 燈相當明亮，卻不會如高強度放電燈一般，令人目眩。

光源產生的眩光與亮度成正比。照明度(以每平方米新燭光量計算)是計算燈光或反射在平面產生的光度的物理測量法。從不同觀察角度量度出高強度放電燈和 T5 照明器的照明度見表 6。由於拋物線效應，所以錄得的最高照明度(1.160×10^5 新燭光/平方米)，是 250 瓦高壓鈉燈在約 60 度的位置發出的，較新 T5 照明器在同一觀察角度錄得的照明度差不多高出 11 倍。就運動員在運動場內向上望遇到眩光問題而言，高強度放電燈造成的問題遠較 T5 照明器嚴重。

表 6：東啟德室內運動場高位及 T5 照明器錄得的照明度

光源觀察角度	按每平方米新燭光計算量度得的照明度:		
	400 瓦高位金屬鹵化物照明器	250 瓦高位高壓鈉燈	3x49 瓦高輸出 T5 照明器
90° (垂直)	0.772×10^5	0.694×10^5	1.120×10^4
75°	0.748×10^5	0.951×10^5	1.042×10^4
60°	0.925×10^5	1.160×10^5	0.613×10^4
45°	0.518×10^5	0.636×10^5	0.570×10^4
30°	0.220×10^5	0.301×10^5	0.264×10^4
15°	0.628×10^4	-----	0.210×10^4

從不同觀賞角度量度出高強度放電燈和 T5 照明系統在室內運動場天花板的照明度結果，載於表 7。裝有 T5 燈的天花板較裝有高強度放電燈的光亮 100 倍以上。換言之，T5 照明器與背景天花板的對比，遠較高強度放電燈系統為低，因此對運動員和觀眾造成的眩光不適亦較少。圖 9 突顯出高強度放電燈造成的眩光問題和地面的平面反射效應。

表 7：東啟德室內運動場高強度放電燈及 T5 照明系統的天花照明度

光源觀察角度	按每平方米新燭光計算量度得的天花板照明度:	
	現有高位高強度放電燈系統	新高輸出 T5 照明系統
90° (垂直)	0.327×10^2	0.402×10^4
75°	0.363×10^2	0.390×10^4
60°	0.426×10^2	0.442×10^4
45°	0.427×10^2	0.388×10^4
30°	0.450×10^2	0.415×10^4
15°	0.419×10^2	0.485×10^4



圖 9：高強度放電燈在地板的反射眩光

除上述評核兩個照明系統視覺環境質素的量度參數外，色溫和色彩再現效果對評核亦有重大影響。燈光的顏色，以開氏色溫計算。試驗計劃所用的 T5 燈的色溫為 4000°K (即冷白色)，在使用壽命期內，色表可維持一致。金屬鹵化物燈及高壓鈉燈最初的色溫分別為 6000°K (日光色)和 2000°K (黃色)，但在使用壽命期內，色表會有所變化，導致各燈的色表不一。

色彩再現指數指光源能否準確將同一光源的 8 種標準顏色再現的能力，評分級數由 0 至 100。若光源色彩再現指數較高，則色彩再現效果較光源指數低的為佳。本計劃所用的 T5 燈的色彩再現指數高逾 80，而金屬鹵化物燈和高壓鈉燈的指數則分別為 65 和 27。英國屋宇裝備工程師學會有關照明的指引 4 建議，多用途運動場的色彩再現指數最少應為 60，以便顯示出場地界線的正確顏色。

高強度放電燈的平均額定壽命約為 20 000 小時，T5 燈則為 16 000 小時，光輸出會隨燈老化而減弱。若以量化形式表達，在使用壽命期內，高強度放電燈的光輸出一般會衰減近 40%，T5 燈的流明衰減則低至 5%。因此，在使用壽命期內，T5 燈能維持一致的亮度，優於高強度放電燈。就大型更換計劃而言，若把經濟電燈壽命(即亮度衰減 30%)考慮在內，則高強度放電燈壽命較長的優點會被抵銷。

5. 使用者意見調查

為蒐集使用者對東啟德室內運動場新高輸出 T5 照明系統的意見，我們分別在 2001 年 5 月 22 日和 7 月 23 日進行了兩次意見調查，調查以問卷

形式進行。我們請曾在兩種不同照明系統環境下打羽毛球的同一批使用者填寫問卷，發表對兩種不同系統的意見。我們共收回 32 份問卷，大部分回應者認為新 T5 照明系統在光度、舒適度、眩光、色表以至色彩再現效果方面，均較現有的高強度放電燈系統優勝，使用者意見載於圖 10。

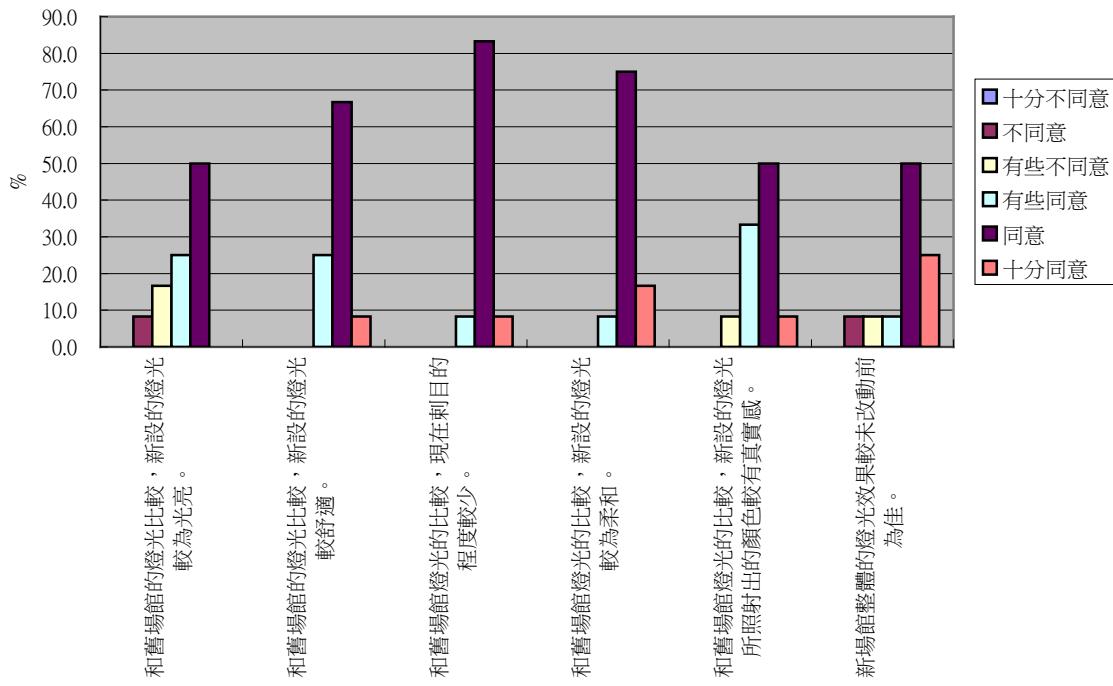


圖 10：東啟德室內運動場使用者對新 T5 燈系統的意見

6. 結論

自本署在 2001 年 5 月 21 日於東啟德室內運動場安裝新高輸出 T5 燈以來，該系統已連續運作了超過 3 個月。根據室內運動場管理人員的意見，新 T5 燈讓他們可按照場地的訂租時間表，靈活控制運動場內的燈光，而 4 個羽毛球場的燈現在可以獨立開關。東啟德室內運動場在 2001 年 6 月及 7 月所錄得的總能源消耗量(照明及空調)為 123 670 千瓦小時，而去年同期的能源消耗量則為 131 330 千瓦小時。在夏季這兩個繁忙的月份內明顯節省了 7 660 千瓦小時的電力，即大約 7,350 元，預計每年最少可節省 45,000 元。我們根據上述報告中的資料，把兩種照明系統以表列形式作比較，以方便參考。

	參考項目	現有的高強度放電燈	新高輸出 T5 燈
1	照明安排	24x400 瓦金屬鹵化物燈及 24x250 瓦高壓鈉燈高位照 明器	54 盞 3x49 瓦高輸出 T5 耐撞 擊照明器
2	總電路功率	17.2 千瓦	8.7 千瓦
3	總功率因數	0.97	0.99
4	電流總諧波失真率 (THD)	23.6%	4.7%
5	照明功率密度	26.3 瓦/平方米	13.3 瓦/平方米
6	量度所得的平均照明度	479 勒克斯	760 勒克斯
7	開關安排	1 個區	4 個區 (以配合 4 個羽毛球 場)
8	建設費用	350,000 港元 (估計)	182,400 港元 (實際)
9	按每日操作 16 小時計算的 每年運作成本	100,000 港元	51,000 港元
10	額定壽命	20,000 小時	16,000 小時
11	燈的費用	300 港元	50 港元
12	使用壽命期內的亮度衰減	40%	10%
13	燃亮及重燃時間	> 5 分鐘	即時
14	色溫	金屬鹵化物燈為 6000°K，而 高壓鈉燈則為 2000°K	4000°K
15	色彩再現指數	金屬鹵化物燈為 65，而高壓 鈉燈則為 27	>80
16	光暗調校	不可能	使用可調校光暗的電子鎮流 器即可
17	眩光	點源較強故眩光較嚴重	光源屬線性分散，故眩光較 輕微

假設運動場的燈全部開啟，以一天操作 16 小時(上午 7 時至晚上 11 時)，為時一年計算，新高輸出 T5 燈的回本期約為 3.7 年。若因應運動場的實際需要而只使用部分燈或光暗調校功能，則回本期將會大為縮短。

在康樂及文化事務署的批准下，機電工程署現正計劃在九龍灣室內運動場進行另一項 T5 燈計劃。新的試驗計劃會利用嶄新 T5 燈科技和數碼光暗控制器，以配合多用途運動場的各種功能和照明要求。