

东启德室内运动场高输出 T5 荧光灯试验计划报告

机电工程署能源效益事务处
屋宇装备工程师/能源效益 A2/1
胡国田先生拟备

摘要

为推行鼓励使用创新节能设备的能源管理机会实施试验计划，机电工程署能源效益事务处最近在东启德室内运动场进行了一项照明系统试验计划，计划现已完成。新照明系统利用最新的 T5 照明技术，为该楼顶很高的室内运动场提供照明。与现有使用高强度放电灯的高位照明系统比较，新高输出 T5 照明系统不仅更节省能源，且具有其他多项优点，让运动场使用者在进行体育活动时，有更舒适的视觉环境。该运动场目前共有 48 个高位照明器，其中半数为 400 瓦的金属卤化物灯，其余则为 250 瓦的高压钠灯。新 T5 照明系统由 56 个特制的耐撞击照明器组成，照明器内置 3 x 49 瓦高输出 T5 灯和电子镇流器(共有 168 盏 T5 灯)。现有照明系统的耗电量是 17.2 千瓦，安装新 T5 照明系统后，该场地录得的耗电量是 8.7 千瓦，耗电量减少近 50%。新 T5 照明系统的地面平均照明度为 760 勒克斯，而现有高位照明系统则为 480 勒克斯。除照明度提高 58% 外，就眩光、色表、色彩再现等方面而言，照明质素亦有所改善。此外，亦有进行调查，搜集使用者对新 T5 照明系统的意见。大部分用户均对该系统赞好，普遍认为新系统更光亮、更舒适、眩光较少、视觉环境更柔和、色表更佳。此试验计划共需 182,400 元，预计回本期少于 3.7 年。

1. 引言

东启德室内运动场的现有照明装置，由 24 盏 400 瓦金属卤化物灯和 24 盏 250 瓦高压钠灯组成，这些灯安装于备有抛物柱面反射镜的工业用高位照明器内。现有照明系统平面图见图 1，装有高强度放电灯的现有照明环境见图 2。按其设计，金属卤化物灯与高压钠灯应配对使用(图 3)，相间安装，以便混和颜色。由于所有现有高强度放电灯需最少 5 分钟预备，方能开启，且不能于关掉后或电力中断后马上重新开启，所以在运动场开放的整段时间内必须时刻开启。金属卤化物灯的典型色表是冷白色(6000°K)，高压钠灯则是黄色(2000°K)。金属卤化物灯(过冷)和高压钠灯(过暖)均不宜单独作室内运动场照明之用，因此必须将两种灯配对使用，以混和颜色，缔造运动项目所需的适当视觉环境。金属卤化物灯的特点是色彩再现效果佳(电视直播的必要条件)，但光效低(76 流明/瓦)。高压钠灯的色彩再现效果较差(颜

色偏黄/橙), 在运作时色表更可能会有变化, 但光效则较高(100 流明/瓦)。

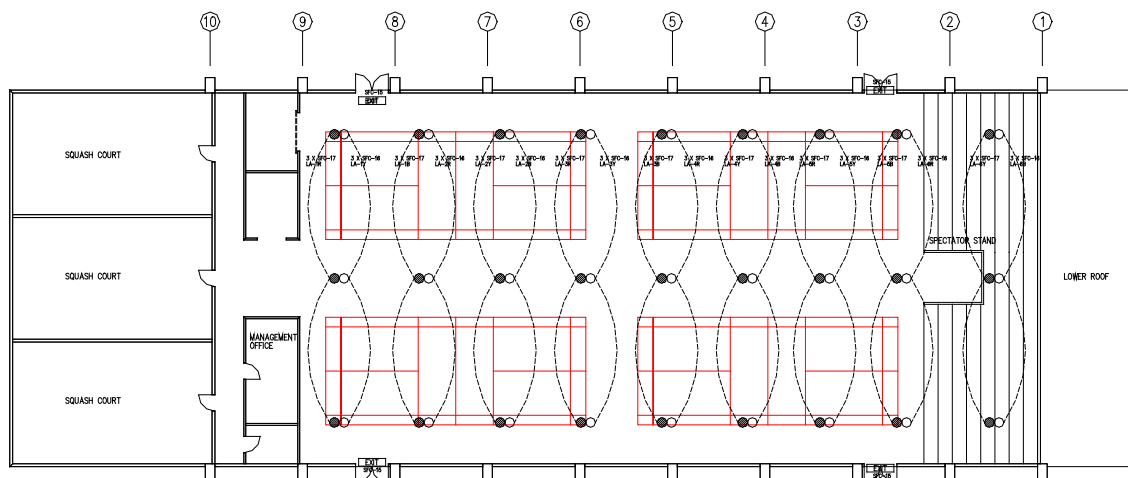


图 1: 东启德室内运动场现有高强度放电灯平面图

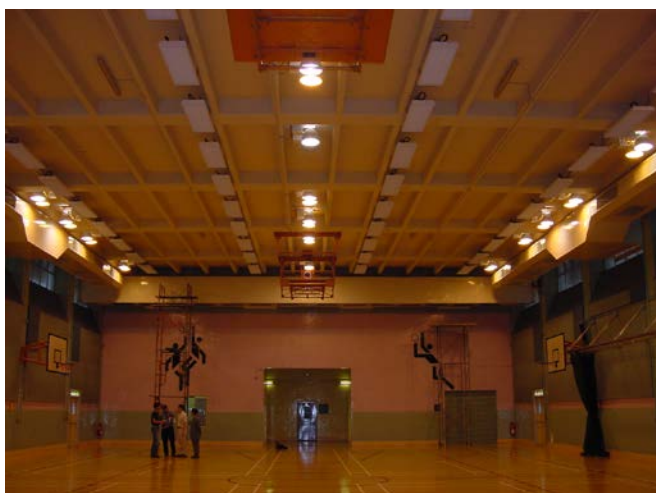


图 2: 现有高强度放电灯的照明环境



图 3: 东启德室内运动场现有高强度放电灯及高位照明器

管状荧光灯属"线源"灯，与属"点源"的高强度放电灯截然不同，从长玻璃管发出的光较分散。由于备有光线较分散的特点，所以楼顶不高于 5 米的商业楼宇、院校和工业场地，大多采用此类荧光照明器。不过，近年面世的 T5 荧光灯密度较高，效能较好，再加上特别设计的反光照明器，荧光灯系统遂能打破天花板的高度限制，直接与适合于室内天花板较高地方使用的高强度放电灯竞争。

在此试验计划中，我们尝试引入高输出 T5 灯，供室内运动场照明之用。我们在现有高强度放电灯系统之外，另外安装新 T5 照明系统，并对两个系统进行深入研究，以便比较在改善能源表现和视觉环境方面，两者的高下如何。

2. 新高输出 T5 照明系统

东启德室内运动场试验计划采用的新 T5 荧光照明系统由 4 排灯组成，每排有 14 个特别设计的耐撞击照明器，每个照明器装有 3 x 49 瓦高输出 T5 灯及电子镇流器(图 4 及 5)。根据英国屋宇装备工程师学会有关照明(第 II 类)的建议，室内运动场及中级比赛举办场地，即观众人数属中等且观赏距离为中距的区域或本地会社比赛等，设计地面照明度应为 500 勒克斯，高级培训亦属此类。

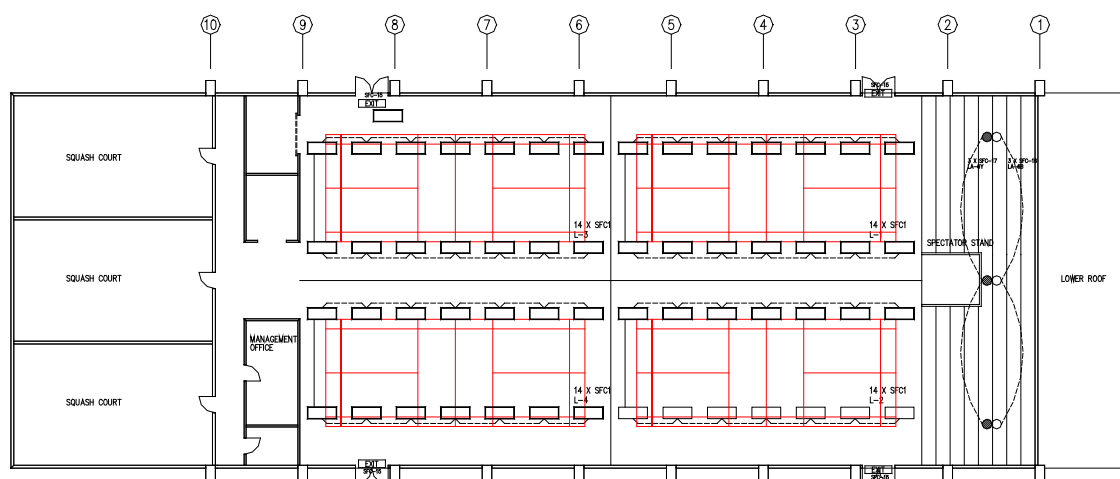


图 4：东启德室内运动场新高输出 T5 照明系统平面图

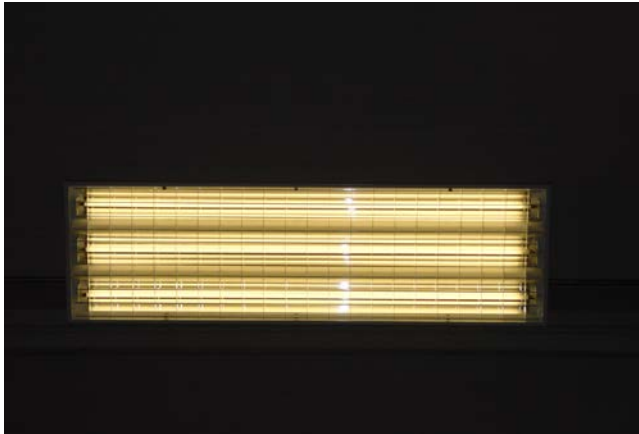


图 5：新耐撞击照明器连 3 x 49 瓦 T5 灯及电子镇流器

与高强度放电灯不同，T5 荧光灯可实时开关，无须一段长时间预备。因此，新 T5 照明系统可配合室内运动场的预约时间表操作，开关电路亦按照 4 个羽毛球场的位 置，分别设于 4 个不同位置。



图 6：东启德室内运动场新 T5 照明系统的视觉环境

3. 能源表现

我们分别在能源效益事务处办事处量度同类高强度放电灯和新 T5 照明器的电参数。表 1 及图 7 载列与东启德室内运动场所用 400 瓦金属卤化物灯同类的电灯量度得的电参数。电灯的总电路功率为 460 瓦，相应的功率因子及电流总谐波失真率，分别为 0.91 和 36.7%。就供电系统而言，总谐波失真率是一个重要的电参数，可影响供电质素和指示出供电系统功率损耗的严重程度。该室内运动场安装的新高输出 T5 照明器(3 x 49 瓦)的电参数，见表 2 及图 8。结果显示，若以电子镇流器操作，该照明器的总电路功率仅为 156 瓦，电路功率因子几乎一致，电流总谐波失真仅为 4.7%。

表 1: 400 瓦金属卤化物灯量度所得的电参数

			电压	电流
频率	50 赫兹	有效值	220.4 瓦	2.29 安培
功率:		□值	306.5	3.82 安培
瓦	460 瓦	直流电偏差	0.0	-0.03
伏安	505 伏安	□顶	1.39	1.67
无功伏安	122 无功伏安	总谐波失真有效值	2.30%	34.45%
瓦□值	98	基本总谐波失真	2.30%	36.70%
相位	14° 滞后	谐波有效值	5.1V	0.84A
总功率因子	0.91	K 因子		8.96
功率因子偏差	0.97			

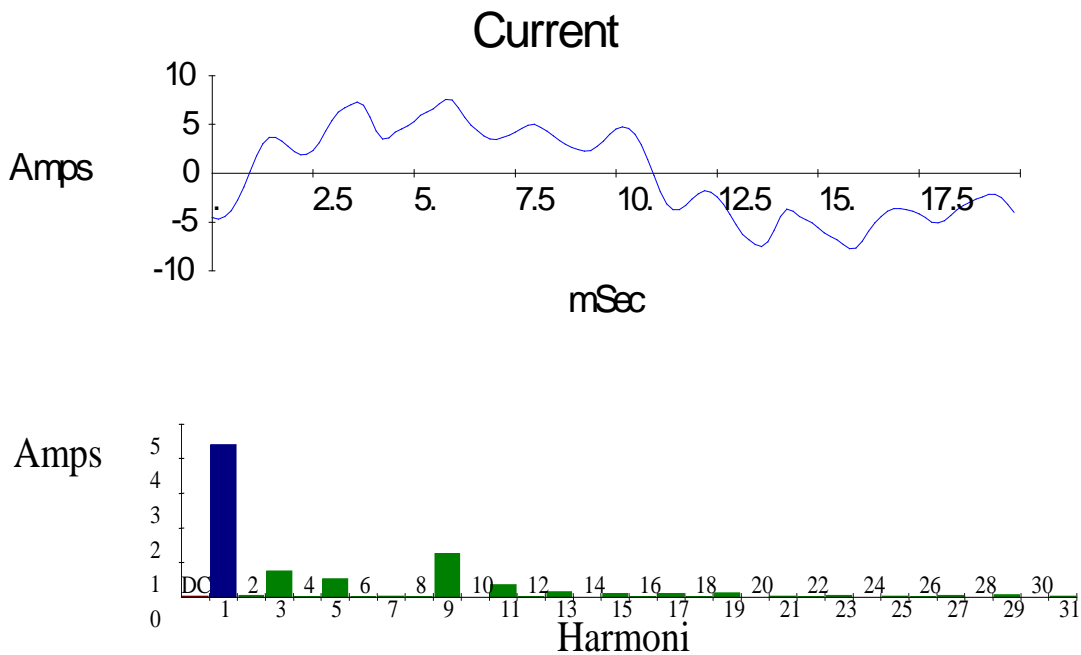


图 7: 400 瓦金属卤化物灯的电波形及谐波含量

表 2: 新 3 x 49 瓦 T5 照明器量度所得的电参数

			电压	电流
频率	50 赫兹	有效值	220.4V	0.72A
功率:		□值	308.5V	1.04A
瓦	156 瓦	直流电偏差	0.0V	-0.03A
伏安	158 伏安	□顶	1.39	1.44
无功伏安	22 无功伏安	总谐波失真有效值	2.30%	4.60%
瓦特□值	98 瓦	基本总谐波失真	2.30%	4.70%
相位	8° 超前	谐波有效值	5.1V	0.03A
总功率因子	0.99	K 因子		1.19
功率因子偏差	0.99			

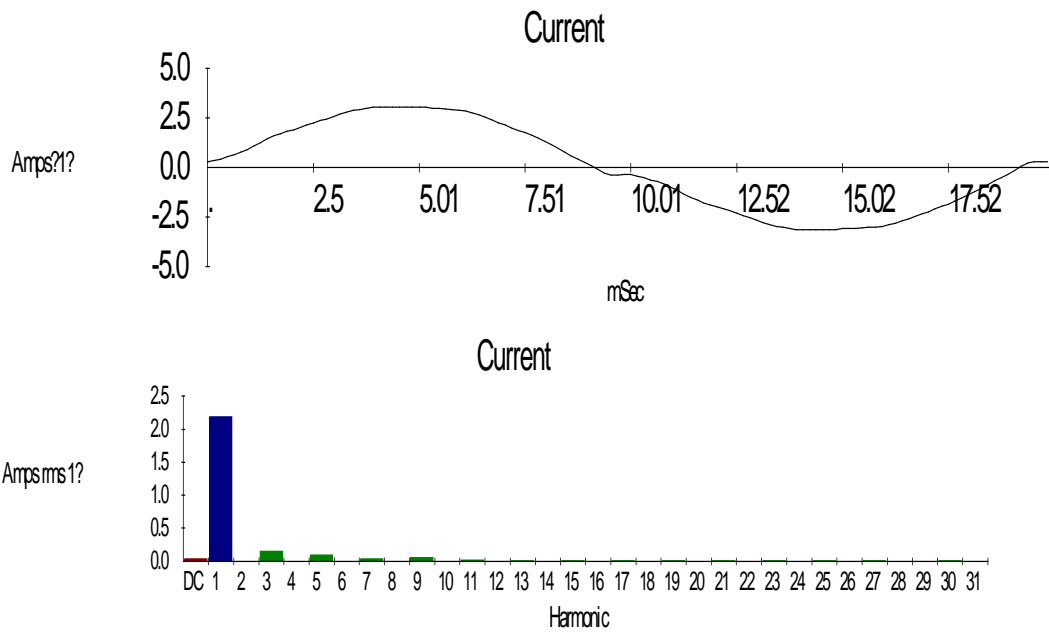


图 8：新 T5 照明器的电流波形及谐波含量

2001 年 7 月 23 日，我们实地量度了两种照明系统的能源表现，结果发现新 T5 照明系统的总功率减少 8.5 千瓦(49%)，而电流总谐波失真亦有明显的改善(由 23.6%减至 4.7%)，量度结果摘录于表 3。鉴于该运动场整个装有空调，若照明系统产生的热量得以减少，则空调装置的冷冻负荷亦可随之减低。预计冷冻负荷的减幅约为照明负荷减幅的 30%(即 2.5 千瓦)。

表 3：现有高强度放电灯和新 T5 照明系统的能源表现

	现有高强度放电灯系统	新 T5 照明系统	差别 (以百分率计)
有效功率	17.2 千瓦	8.7 千瓦	- 49%
功率因子	0.97	0.99	+ 2%
电流总谐波失真	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. 视觉表现

界定某一点所受光量的最重要参数，是按勒克斯计算某一水平面的某一点被照明系统光照的照明度(即流明/平方米)。2001 年 5 月 22 日，我们量度了高强度放电灯及 T5 照明系统的地面水平照明度，结果见表 4 及表 5。现有照明系统录得的平均照明度为 479 勒克斯，在运动场中央录得最高的照明度达 642 勒克斯。新 T5 照明系统的平均照明度为 760 勒克斯，在运动场

中央录得的最高照明度达 998 勒克斯。运动场若使用新 T5 灯，照明度平均可提高 58%。新旧照明系统的一致率分别为 0.51 和 0.48。由于 T5 照明器安装得较接近天花板，所以情况较旧系统稍有改善。

表 4：现有高强度放电灯系统量度得的照明度(以勒克斯计算)

X(m)	Y(m)																	Average
	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	
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	407	464	467	501	522	546	556	558	570	583	573	544	512	436	362	299	245	479

表 5：新 T5 照明系统量度得的照明度

X(m)	Y(m)																	Average
	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	
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	544	660	736	779	803	830	836	845	845	844	831	815	790	760	715	681	615	760

对运动员和观众而言，室内运动场的眩光问题最令人关注。高强度放电灯

的光源集中于一点，造成棘手的眩光问题。当人直视或在近距离望向高强度放电灯的光源时，便会感到目眩。眼睛在望向极亮的光源后，瞳孔会缩小。眼睛之后若再望向别处，便有数秒不能聚焦，情况一如拍照时，眼睛对闪光灯的反应一样。T5灯属线性及分散光源，并没有这个问题。虽然T5灯相当明亮，却不会如高强度放电灯一般，令人目眩。

光源产生的眩光与亮度成正比。照明度(以每平方米新烛光量计算)是计算灯光或反射在平面产生的亮度的物理测量法。从不同观察角度量度出高强度放电灯和T5照明器的照明度见表6。由于抛物线效应，所以录得的最高照明度(1.160×10^5 新烛光/平方米)，是250瓦高压钠灯在约60度的位置发出的，较新T5照明器在同一观察角度录得的照明度差不多高出11倍。就运动员在运动场内向上望遇到眩光问题而言，高强度放电灯造成的问题远较T5照明器严重。

表6：东启德室内运动场高位及T5照明器录得的照明度

光源观察角度	按每平方米新烛光计算量度得的照明度:		
	400瓦高位金属卤化物照明器	250瓦高位高压钠灯	3x49瓦高输出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

从不同观赏角度量度出高强度放电灯和T5照明系统在室内运动场天花板的照明度结果，载于表7。装有T5灯的天花板较装有高强度放电灯的光亮100倍以上。换言之，T5照明器与背景天花板的对比，远较高强度放电灯系统为低，因此对运动员和观众造成的眩光不适亦较少。图9突显出高强度放电灯造成的眩光问题和地面的平面反射效应。

表7：东启德室内运动场高强度放电灯及T5照明系统的天花照明度

光源观察角度	按每平方米新烛光计算量度得的天花板照明度:	
	现有高位高强度放电灯系统	新高输出T5照明系统
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



图 9：高强度放电灯在地板的反射眩光

除上述评核两个照明系统视觉环境质素的量度参数外，色温和色彩再现效果对评核亦有重大影响。灯光的颜色，以开氏色温计算。试验计划所用的 T5 灯的色温为 4000° K(即冷白色)，在使用寿命期内，色表可维持一致。金属卤化物灯及高压钠灯最初的色温分别为 6000 °K(日光色)和 2000° K(黄色)，但在使用寿命期内，色表会有所变化，导致各灯的色表不一。

色彩再现指数指光源能否准确将同一光源的 8 种标准颜色再现的能力，评分级数由 0 至 100。若光源色彩再现指数较高，则色彩再现效果较光源指数低的为佳。本计划所用的 T5 灯的色彩再现指数高逾 80，而金属卤化物灯和高压钠灯的指数则分别为 65 和 27。英国屋宇装备工程师学会有关照明的指引 4 建议，多用途运动场的色彩再现指数最少应为 60，以便显示出场地界线的正确颜色。

高强度放电灯的平均额定寿命约为 20 000 小时，T5 灯则为 16 000 小时，光输出会随灯老化而减弱。若以量化形式表达，在使用寿命期内，高强度放电灯的光输出一般会衰减近 40%，T5 灯的流明衰减则低至 5%。因此，在使用寿命期内，T5 灯能维持一致的亮度，优于高强度放电灯。就大型更换计划而言，若把经济电灯寿命(即亮度衰减 30%)考虑在内，则高强度放电灯寿命较长的优点会被抵销。

5. 使用者意见调查

为搜集使用者对东启德室内运动场新高输出 T5 照明系统的意见，我们分别在 2001 年 5 月 22 日和 7 月 23 日进行了两次意见调查，调查以问卷

形式进行。我们请曾在两种不同照明系统环境下打羽毛球的同一批使用者填写问卷，发表对两种不同系统的意见。我们共收回 32 份问卷，大部分回应者认为新 T5 照明系统在亮度、舒适度、眩光、色表以至色彩再现效果方面，均较现有的高强度放电灯系统优胜，用户意见载于图 10。

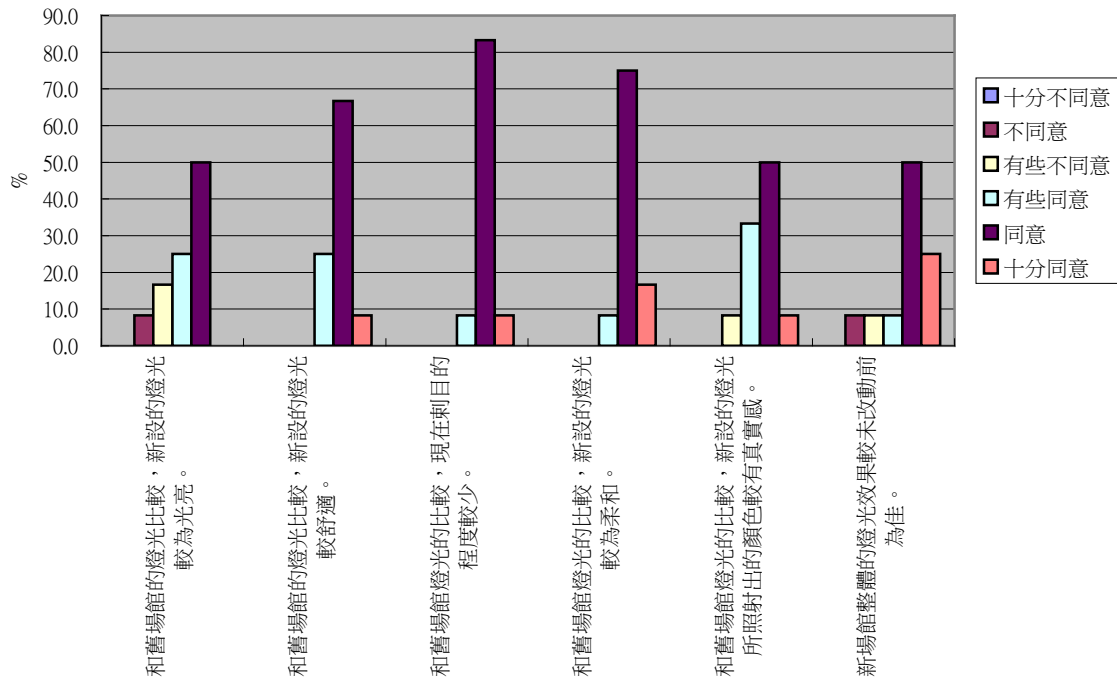


图 10: 东启德室内运动场使用者对新 T5 灯系统的意见

6. 结论

自本署在 2001 年 5 月 21 日于东启德室内运动场安装新高输出 T5 灯以来，该系统已连续运作了超过 3 个月。根据室内运动场管理人员的意见，新 T5 灯让他们可按照场地的订租时间表，灵活控制运动场内的灯光，而 4 个羽毛球场的灯现在可以独立开关。东启德室内运动场在 2001 年 6 月及 7 月所录得的总能源消耗量(照明及空调)为 123 670 千瓦小时，而去年同期的能源消耗量则为 131 330 千瓦小时。在夏季这两个繁忙的月份内明显节省了 7 660 千瓦小时的电力，即大约 7,350 元，预计每年最少可节省 45,000 元。我们根据上述报告中的数据，把两种照明系统以表列形式作比较，以方便参考。

参考项目	现有的高强度放电灯	新高输出 T5 灯
------	-----------	-----------

1	照明安排	24x400 瓦金属卤化物灯及 24x250 瓦高压钠灯高位照 明器	54 盏 3x49 瓦高输出 T5 耐撞 击照明器
2	总电路功率	17.2 千瓦	8.7 千瓦
3	总功率因子	0.97	0.99
4	电流总谐波失真率 (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	开关安排	1 个区	4 个区 (以配合 4 个羽毛球 场)
8	建设费用	350,000 港元 (估计)	182,400 港元 (实际)
9	按每日操作 16 小时计算的 每年运作成本	100,000 港元	51,000 港元
10	额定寿命	20,000 小时	16,000 小时
11	灯的费用	300 港元	50 港元
12	使用寿命期内的亮度衰减	40%	10%
13	燃亮及重燃时间	> 5 分钟	实时
14	色温	金属卤化物灯为 6000°K, 而 高压钠灯则为 2000°K	4000°K
15	色彩再现指数	金属卤化物灯为 65, 而高压 钠灯则为 27	>80
16	光暗调校	不可能	使用可调校光暗的电子镇流 器即可
17	眩光	点源较强故眩光较严重	光源属线性分散, 故眩光较 轻微

假设运动场的灯全部开启, 以一天操作 16 小时(上午 7 时至晚上 11 时), 为时一年计算, 新高输出 T5 灯的回本期约为 3.7 年。若因应运动场的实际需要而只使用部分灯或光暗调校功能, 则回本期将会大为缩短。

在康乐及文化事务署的批准下, 机电工程署现正计划在九龙湾室内运动场进行另一项 T5 灯计划。新的试验计划会利用崭新 T5 灯科技和数码光暗控制器, 以配合多用途运动场的各种功能和照明要求。