

浅谈白光 LED 在未来海洋平台照明中的应用

张东亮¹ 章怡圣¹ 王祥伟² 方建伟¹

(1. 海洋石油工程股份有限公司, 天津 300451; 2. 南阳二机石油装备(集团)有限公司, 南阳 473000)

摘要: 目前, 海洋平台的照明设备主要为高压钠灯和荧光灯, 随着大功率白光 LED 的出现, LED 照明的高效、节能、环保、长寿等特点, 使其作为一种新的光源用于海洋平台照明系统成为可能。本文对目前海洋平台照明系统与 LED 照明设备进行了对比, 分析了白光 LED 在未来海洋平台作为照明光源的经济性和可行性, 并展望其作为新一代绿色环保光源在海上平台照明的应用前景。

关键词: 白光 LED; 海洋平台; 照明; 应用

Preliminary Discussion on the Application of White LED on Offshore Platform Lighting System in the Future

Zhang Dongliang¹ Zhang Yishen¹ Wang Xiangwei² Fang Jainwei¹

(1. Ocean Petroleum Engineering Co., LTD, Tainjin 300451;

2. RG Petro-machinery (Group) CO. LTD, Nanyang 473000)

Abstract

At present, the main lighting equipments on offshore platform are HPS lamp and fluorescent lamp. With the emergence of high-power white LED, it is possible to be used as a new light sources in offshore platform lighting system for its high efficiency, energy saving, environmental protection and longevity. The paper compares white LED with the lighting system currently used on offshore platform, and analysis its economy and feasibility in the future. As a new type of green environmental light sources, white LED has an extensive prospect in the lighting system on offshore platform.

Key words: white LED; offshore platform; lighting; application

1 引言

LED (Light Emitting Diode) 即发光二极管, 它的核心部分是由 P 型半导体和 N 型半导体组成的晶片 (PN 结), 当对 PN 结加正向电压时, 半导体中的载流子发生复合, 释放出过剩的能量引起光子发射而产生可见光, 把电能直接转化为光能。上世纪 60 年代, 基于半导体这种发光原理, 研制出了世界上第一个红光 LED。近十多年来, 随着半导体制造工艺的不断进步和各种新材料的开发和应用, 各种颜色高亮度 LED 取得了突破性进展, 其发光效率也

有了大幅提高, 其中白光 LED (1996 年日本日亚公司成功研发) 的诞生, 是 LED 发展史上一个重大的里程碑。由于白光 LED 光线接近日光, 能较好的反映物体的真实颜色, 从而其作为一种全新的照明光源成为可能。

与传统的照明光源相比, 白光 LED 具有光效高 (90% 的电能转化为可见光)、发热量低 (没有热辐射)、寿命长 (平均使用寿命为 5 万 ~ 10 万小时)、绿色环保 (灯具中不含汞、钠等有害金属元素, 容易回收) 等特点。LED 作为一种固态光源, 无灯头和灯座连接机构, 发光二极管牢靠固定在灯板上, 耐振、耐冲击、不易破碎。单体驱动电压低, 电流

小，启动时间短，无频闪现象，不存在启动延时问题，其在照明市场的发展值得期待。

目前，大功率白光 LED 在实验室光效已突破 100 lm/W，并已逐步应用到商业领域。随着市场的需求和人类对于 LED 照明能够早日推广到通用照明领域的渴望，促使大功率白光 LED 技术迅速发展，不久的将来，LED 光效将会达到或突破 200 lm/W，超过目前光效最高的气体放电光源。在全球性能源危机日渐加剧，环境压力越来越大的情况下，LED 作为新一代的绿色照明光源所独有的节能、环保、安全、长寿等优点，开辟了照明领域节能环保新途径。

2 海洋平台照明系统分析

照明光源的选择要考虑到光源的光效、显色性、寿命、启动及再启动时间等特性指标，以及周围环境对光源要求等。近年来，气体放电光源（钠灯、荧光灯、金属卤化物灯等）因其光效高、耗电少、寿命长、不锈蚀等优点，已经取代传统白炽灯等照明光源，已经被广泛应用于城市道路、高速公路、机场、广场、工矿业等场所照明。

海洋平台是海洋油气资源开发的基础性设施，是海上生产作业和生活的基地。由于海洋平台空间狭小，各种生产设备布置的空间极为紧凑，生产和作业人员集中，在照明光源的选用上应以安全、高效、经济为原则。

1) 安全，海洋平台在油气开采和油气处理过程中，会产生大量易燃、易爆气体，特别是在人员和设备如此集中的场所，如何防止照明灯具事故性爆

炸的发生已经成为十分重要的课题。由于照明灯具在启动或工作时，会产生电火花或形成炽热的表面，一旦遇到易爆炸性气体，就会导致爆炸，直接危及整个平台生产及生产、作业人员的安全。因此，在照明灯具的选择上必须满足防爆要求；

2) 高效，尽可能选择光效高、寿命长、耗能低的光源。

为确保海洋平台油气生产的安全，目前平台甲板照明设备广泛采用防爆高压钠灯和荧光灯，荧光灯作为辅助光源。照明方式采用一般照明和混合照明方式，对特定区域为满足作业要求，采用局部照明方式以提高作业区域照度，以满足施工人员视觉需求。但是，作为气体放电光源，高压钠灯和荧光灯同时也存在一些不足：

1) 光能利用效率低，光源发出的光线必须经过灯具一次反射或二次反射，光能有效利用率仅为 40% ~ 60%，而其余能量转化成热能而白白消耗掉了，灯具表面温度较高；

2) 由于海洋平台所处的环境恶劣，海上大风加上平台上各种设备在运转过程中所产生的振动。灯丝在炽热的工作环境下强度很低，震动会大大缩短灯泡的使用寿命，造成灯丝断裂、灯泡松动，严重时将与灯座脱离；

3) 高压钠灯光线中含有大量的红外线和紫外线辐射，显色指数较低（ $R_a = 20 \sim 30$ ），色温一般在 1900K ~ 2000K；

4) 灯具含有大量的汞、钠等有害金属元素，损坏后无法全部回收，对环境造成污染。

2.1 光源光效分析

气体放电光源为全向辐射，会使光能照射到不



图 1 海洋平台照明

需要照射的区域，造成光能不必要的浪费或者污染。因此，为了让光源发出的光能尽可能多地利用而又不会产生浪费或光污染，保证光源高效工作，必须使用灯具对光源辐射区域加以限制，尽可能地增加被照射区域的照度。光能量在灯具中产生一次反射或二次反射后，其能量会大量衰减，一部分光能转化为热能而白白浪费掉了。

对于 LED 而言，光能辐射为单向，LED 在封装时，若在出光口装上不同折射角的透镜，射出的光束就具有不同的角度，光线可以不经过反射直接照射到指定区域。由于 LED 灯是由非常多的 LED 组成，通过设计每个 LED 的投射方向，从而使光能够得到最大限度的利用。LED 光的单色性好、光谱窄，无需过滤可直接发出可见光，光源利用率高达 90%。

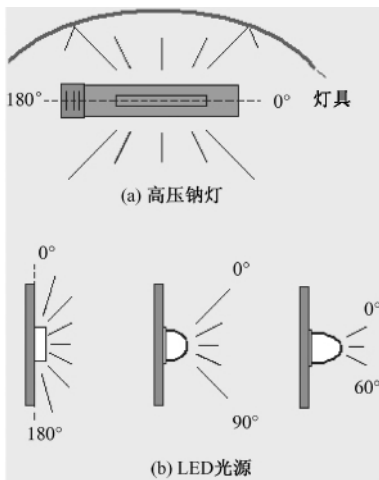


图 2 发光角度对比

2.2 平均照度分析

以渤海某平台主甲板照明系统为例（图 3），照明灯具采用 G. E. 公司生产的高压钠灯（250W，11 只）和节能荧光灯（36W × 2，16 只），荧光灯作为辅助照明光源，用其来改善平台照明光色，假设将光源投射光线全部均匀照射到甲板上，甲板平均照度 E_{av} ：

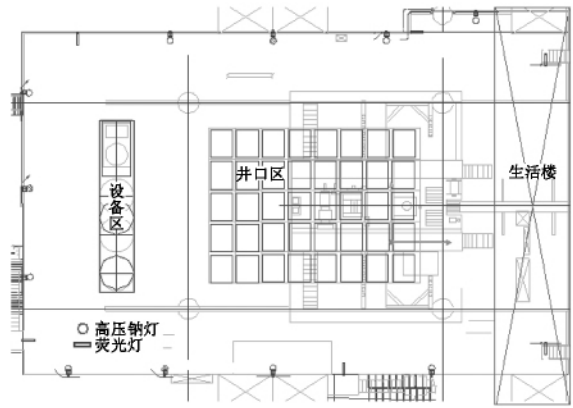


图 3 某平台主甲板灯具布置图

$$E_{av} = (N \cdot \Phi) \cdot CU \cdot \frac{MF}{A}$$

$$= \frac{(11 \times 250 \times 72 + 16 \times 36 \times 56) \times 0.38 \times 0.8}{25 \times 40}$$

$$= 70 \text{ lx}$$

式中 Φ ——光源光通量

N ——灯具数量

CU ——利用系数 (0.38)

MF ——维护系数 (0.7 ~ 0.8)

A ——甲板面积 (25 × 40m)

实验研究表明，人的视网膜视觉细胞对白天视觉（明视觉，环境亮度 $> 10 \text{ cd/m}^2$ ）和夜间视觉（暗视觉，环境亮度 $< 0.01 \text{ cd/m}^2$ ）感觉不同。对于相同的光谱分布，明视觉与暗视觉条件下的亮度，存在明显的差异。LED 灯暗视觉的亮度是明视觉的 2.35 倍，而钠灯暗视觉是明视觉的 0.94 倍。所以在同等照度条件下（仪器测量），LED 路灯比高压钠灯亮 2.5 倍，即要达到同等的亮度，LED 路灯的照度仅需要高压钠灯的 40% 即可。在取得相同照明效果的前提下，采用白光 LED 灯具替代高压钠灯，所用 LED 功率 P ：

$$\Phi = \frac{40\% \cdot E_{av} \cdot A}{(N \cdot CU \cdot MF)}$$

$$P = \frac{(\Phi - 16 \cdot 32 \cdot 56)}{(11 \cdot 108)} = 61 \text{ W}$$

表 1 光效对比

灯具光源	光源光效 (Lm/W)	色温 (K)	发光角度	灯具 (反射器)	灯具效率 (%)	有效光效 (Lm/W)
荧光灯	60 ~ 80	3000 ~ 6500	360°	有	~ 70%	42 ~ 56
高压钠灯	90 ~ 120	2000 ~ 2500	360°	有	45% ~ 60%	54 ~ 72
LED 灯	70 ~ 120	5000 ~ 10000	可控	无	~ 90%	63 ~ 108

综合考虑其他因素对白光 LED 的影响，现采用 90W 白光 LED 灯具替代高压钠灯，平均照度 E_{va} ：

$$E_{av} = N \cdot \Phi \cdot CU \cdot MF / A$$

$$= (11 \cdot 90 \cdot 108 + 16 \cdot 32 \cdot 56) \cdot 0.38 \cdot 0.8 / (25 \cdot 40)$$

$$= 41 \text{ lx}$$

图 4、图 5 是分别渤海某平台主甲板高压钠灯和白光 LED 照度分布，图 6、图 7 是照明效果。

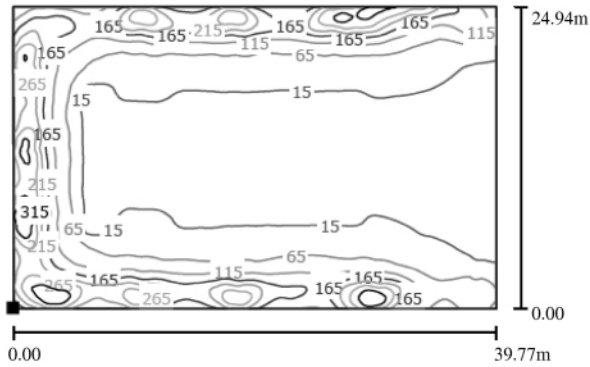


图 4 高压钠灯照度分布

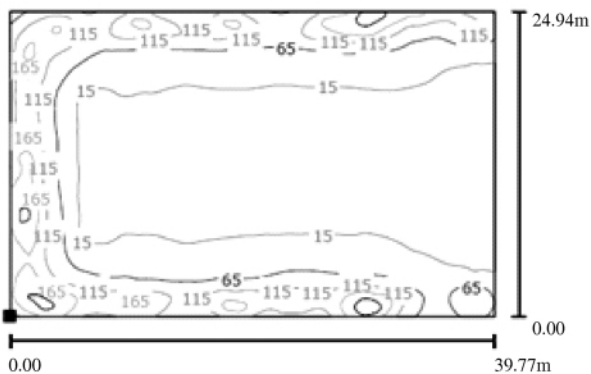


图 5 LED 灯照度分布

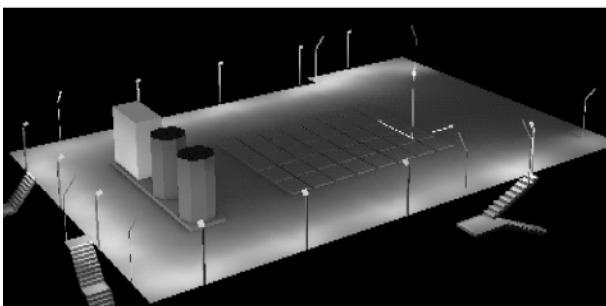


图 6 平台照明模拟图（高压钠灯，色温 2000K）

2.3 显色指数 (R_a)

LED 光源显色指数高达 90，接近日光，无眩光现象，而高压钠灯显色指数仅为 20~30，远远低于

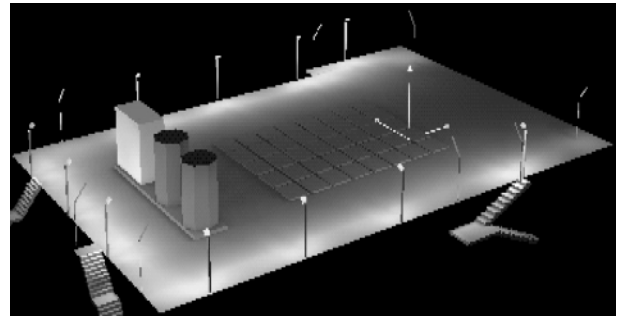


图 7 平台照明模拟图（LED，色温 6500K）

LED 灯。高的显色指数 R_a （色温 $\geq 5000\text{K}$ 时）能更大的反映物体本来的颜色，使被照物体层次更分明，表现更逼真，能更好的分辨出物体的细节，特别是夜间移动的物体，同时可以减轻施工人员眼睛的疲劳感，增加舒适度和安全度。例如平台夜间进行吊装作业时，高的显色指数能更好的使吊装作业人员分辨出被吊装物体的具体位置，从而增加了夜间施工作业的安全性。

2.4 发电机负载影响

高压钠灯、荧光灯是一种高强度气体放电灯泡，由于气体放电灯泡的负阻特性，这类光源在工作时需要镇流器的配合。大量镇流器的使用不仅增加发电机负载，同时使配电系统无功功率增加，降低发电机有功功率的输出。采用 LED 作为照明光源，不仅能减小发电机负载，提高整个平台照明配电系统效率，还可以节省工程项目投资，增强平台配电系统的安全性。

3 LED 平台照明节能分析

以目前平台甲板所用的照明灯具与白光 LED 灯进行节能分析，综合上面对平均照度的分析，现用 90W 白光 LED 取代 250W 高压钠灯。

3.1 前期资金投入（见表 2）

3.2 年电量消耗

由于海洋平台是特殊的工作场所，平台灯具照明时间一般为 24 小时/天，费用按 1 元/度计算：

采用 LED 作为平台照明光源，每年可节约电费 34 万元，耗能仅为传统照明光源的 36%。事实上供电电压波动对钠灯的功耗有着很大的影响，当电源电压达到 250V 时，其功率增加近一倍，消耗的功率要远大于额定功耗，在这种情况下，钠灯的使用

寿命也将会大幅衰减（仅为额定寿命的 30% ~ 40%）。而 LED 的功耗几乎不随供电电压的变化而变化，考虑功率波动的影响，LED 实际能耗仅为钠

灯的 25% ~ 30%，这也是 LED 比高压钠灯节能的另一个重要原因。

表 2 前期投入费用

	功率 (W)	有效光效 (lm)	数量 (套)	总功率 (kW)	总电流 (A)	电缆横截面 面积 (mm ²)	电缆费用 (万元)	灯具费用 (万元)	费用 (万元)
高压钠灯	250	72	243	60.8	264	67	30	24.3	54.3
LED	90	108	243	21.9	95	27	15	97.2	112.2
LED*	45	≥200	243	11	42.5	<14	<15	<<97.2	<<112.2

注：1. LED*：未来光效超过 200lm/W 商用 LED 灯（下同）；

2. 所列费用均为照明灯具设备费用（高压钠灯 1000 元/套，LED 4000 元/套），费用不含箱变、配电箱、控制器等；

3. 按平台甲板实际尺寸计算，照明所用电缆总长度为 2000m；

4. 若平台采用白光 LED 作为照明光源，可以节省作为辅助照明光源的荧光灯。

表 3 年电量消耗

	总功率 (kW)	年耗能 (万度)	年费用 (万元)	实际年费用 (万元)
高压钠灯	60.8	53.3	53.3	>53.3
LED	21.9	19.2	19.2	~19.2
LED*	11	9.6	9.6	~9.6

目前高压钠灯的功率比较固定，一般为 70W、100W、150W、250W 等，而 LED 光源最大优点是可以根据实际需要进行设计，实际需要多少功率就

配备多大功率，从而最大限度的节约能耗，消除电能过度浪费现象。

3.3 后期运营费用

LED 前期一次性投入较大，一旦投入使用，后期运营维护成本低，灯具使用寿命时间长，不用经常更换。与 LED 相比，高压钠灯一年的光衰就高达 60%，其实际寿命也只有额定寿命的 30% ~ 40%，按年 20% 更换率进行更换，运营费用见表 4。

表 4 后期运营成本

光源	光衰 (%/年)	理论寿命 (h)	实际平均 寿命 (h)	使用年限 (24h/天)	年换灯费 用 (万元)	耗电费用 (年)	年运营费 用 (万元)	5 年运营费 用 (万元)	10 年运营 费用 (万元)
高压钠灯	40% ~ 60%	20000	10000	~1 年	4.9	53.3	58.2	291	582
LED	3%	100000	80000	~10 年	0	19.2	19.2	96	192
LED*	<3%	>100000	>80000	>10 年	0	9.6	9.6	48	96

从上述表中对比可以看出，白光 LED 替代传统高压钠灯，在前期成本投入费用方面不占优势，但是在后期运营、维护收益较大。一旦投入使用后，2 ~ 3 年便可收回投入成本。

4 白光 LED 照明技术应用展望

海洋石油资源量约占全球石油资源总量的 34%，在陆地油气资源日益枯竭的情况下，迫使人们把目光投向辽阔的海洋。近年来，海洋油气开发取得了长足发展，目前，海洋石油产量约占全球总产量的 35%，海洋天然气产量约占全球总产量的 25%。据专家估计，到本世纪中期，海洋油气产量有望超过陆地，海洋将成为支撑全球能源、化学等工业部门的主要油气来源。

海上石油钻采平台是海上油气田开发的主要生产设施，随着人类对海洋油气资源开发力度的加大，越来越多的钻采平台将会投入到油气开采之中。日前，平台照明系统大都采用传统照明设备，若采用新型大功率白光 LED 替代传统的照明设备，每年可节省上亿元费用，可见 LED 在未来海洋平台照明系统有着广阔的发展空间。

参考文献

- [1] 崔元日, 潘苏予. 第四代照明光源——白光 LED. 灯与照明, 2004, 28 (2): 31 ~ 34.
- [2] 张国义, 陈志忠. 固态照明光源的基石——氮化镓基白光发光二极管. 物理学和高新技术, 2004, 33 (11): 833 ~ 842.
- [3] 田力军. LED 夜景照明工程的质量检测与评价. 现代显示, 2007 (9): 48 ~ 50.