

轮胎企业照明系统的配置及优化分析

王其营, 王征光, 蒋跃

(中策橡胶(天津)有限公司, 天津 滨海 300452)

0 前言

据统计, 国内照明耗电量约占全国总用电量的12%, 而工业照明在全国照明用电量的比例则超过30%。轮胎企业作为重点用能单位, 用电总量较高, 照明用电量约占总用电量的4%~8%, 在非生产用电中占比较高。为降低轮胎企业照明用电占比, 减少照明用电总量, 应该在照明系统的设计、照明灯具的选择及控制、现有照明系统的优化改造等方面采取措施, 在满足工艺要求和安全标准的前提下, 做到低碳节能、经济高效。本文根据轮胎生产企业的实际情况, 对企业照明系统常用的术语及灯具、照度标准、照明方式、灯具参数及性能进行简要介绍, 以便于合理选择和配置照明系统; 同时, 对轮胎生产企业照明系统的配置、存在的问题、优化方案进行阐述, 并对照明系统的改造效益进行分析, 以便于企业参照实施。

1 照明系统设计、管理需要考虑的因素

传统的轮胎生产属于劳动密集型行业, 虽然目前该行业的自动化、智能化水平逐步提高, 但是对照明的要求仍然相对较高, 在照明系统设计、管理时需要考虑的因素也相对较多。

1.1 常见专用术语解释

下面对照明系统常见的专用术语进行解释, 并对常用灯具进行介绍, 以便于轮胎生产企业正确选择和管理照明系统。

(1) 照度 (illuminance), 俗称光通量密度, 代表在单位面积上可以获得的光的总量, 用来衡量光照强度, 其单位是勒克斯 (lux)。

(2) 光通量 (luminous flux), 光源在单位时间内向所有方向辐射出的可见光总能量, 其单位是流明 (lumen)。

(3) 光衰 (lumen depreciation), 是指光源在使用过程中, 其发出的光通量随着时间推移而逐渐减少的现象和过程。

(4) 频闪 (stroboscopic), 是指电光源光通量以一定频率的波动。频闪会对人眼造成疲劳, 影响视力健康。

(5) 眩光 (glare), 是指过强的光线照射作用于视觉器官所引起的不适反应, 眩光分为直接眩光、不舒服眩光、反射眩光等。

(6) 光效, 即光源的发光效能, 指光源发出的光通量除以光源功率所得的商, 位为流明每瓦特 (lm/W)。

(7) LED灯 (Light Emitting Diode, 发光二极管), 是指使用LED作为光源的照明装置, 包括LED灯泡、灯管、筒灯、射灯等。

(8) HID灯 (High-Intensity Discharge Lamp), 是指通过高压气体电弧放电发光的电光源, 包括高压汞灯、高压钠灯、金卤灯、氙气灯等。

(9) LFL灯 (Long Tubular Fluorescent lamp), 是长管荧光灯的缩写。常见的LFL灯有冷阴极荧光灯 (CCFL)、紧凑型荧光灯 (CFL)、水银荧光灯等类型。

1.2 常见的照明方式

常见的照明方式可分为一般照明、局部照明、混合照明和重点照明等类型。

(1) 一般照明, 也称为普通照明, 是指在整个工作区域内提供均匀分布的照明, 使整个空间的照度基本相同, 确保整个工作区域都有足够的光线, 以便人们能够安全、舒适地进行各种活动。而同一个企业的不同区域, 其照度会有不同的要求, 为节约能源, 需要贯彻照度“该高就高、该低则低”的原则。例如,

轮胎企业生产区域的照明，一般照度 ≥ 300 Lux；而库房、辅房等区域的照明，照度一般在100~200 Lux之间；成检区域，照度要求较高，一般照度 ≥ 750 Lux。

(2) 局部照明，是指在一般照明的基础上，对某些特殊区域增加光源，提高作业面照度，以满足这些特殊区域的照明要求。在轮胎企业，常见的局部照明有：炼胶生产线胶片字头更换处、挤出机样板更换处、压延机主机喂料处、成型机成型鼓上方、硫化机模具侧机台、硫化物流线上方机台等部位的照明等都属于局部照明。

(3) 重点照明，是指需要突出显示某些特定的目标，采用特殊的光源以提高该目标的照度。在轮胎企业，常见的重点照明有：企业的厂貌模拟沙盘、企业俱乐部舞台、轮胎展览厅、现场宣传栏等区域。

(4) 混合照明，是指由一般照明与局部照明或重点照明等多种照明方式同时使用的照明方式。此种照明方式的特点是运用灵活，组合方式较多，属于便于营造特殊照明效果的照明方式。像上述提到的局部照明和重点照明其实就是混合照明的体现。

1.3 常见灯具的种类、性能及参数对比

目前，轮胎生产企业常用的灯具主要有LED工矿灯具，HID系列中的金卤灯、高压钠灯、高压汞灯，以及紧凑型荧光灯CFL和普通直管荧光灯LFL等。下面对这几种灯具的节电、光效、光衰等性能进行对比，详见表1；同时，为便于合理选择照明灯具，或对现有照明系统进行改造，将同等可视照度下常见灯具的参数进行对比，以便于参考和选择，详见表2。

表 1 常见灯具的性能参数对照表

类型	LED灯具	金卤灯	高压钠灯	高压汞灯	紧凑型荧光灯CFL	水银荧光灯LFL
寿命/h	50 000	6 000~20 000	24 000	3 000~6 000	8 000~10 000	8 000~12 000
节电性能	优越，耗电低	较差，耗电较高	较差，耗电较高	很差，耗电很高	好，耗电较低	较差，耗电较高
有效光效/(l m·w ⁻¹)	160~240	110~140	90	43	85	69
光衰	很小，<5%	较大，40%	大，30%	很大，45%	大，30%	大，25%
灯温/℃	较低，<80	高，>300	高，>350	高，>300	低，<45	低，<40
频闪	无	有	有	有	有	有
眩光	无	有	有	有	有	有
环保	无废灯回收、汞污染	有废灯回收问题	有废灯回收问题	有废灯回收、汞污染问题	有废灯回收、汞污染问题	有废灯回收、汞污染问题

表2 同等照度下常见灯具的参数对比表

灯具种类	光效/(l m·w ⁻¹)	校正系数	有效光效	使用寿命/h	显色性指数/Ra	色温
白炽灯泡	15	1.26	19	1 000	100	2800
石英卤素灯	15	1.32	20	2 000~3 000	100	3000
普通日光灯	70	0.98	69	8 000	70	全系列
三基色日光灯	90	1.58	142	10 000	80~98	全系列
高压汞灯	50	0.86	43	6 000	45	3 300/4 300
低压钠灯	200	0.38	76	28 000	44	1 700
高压钠灯	120	0.76	91	24 000	23/60/90	1 950/2 200/2 500
金属卤化物灯	75~95	1.49	111~141	6 000~20 000	65~92	3 000/4 500/5 600
LED灯	120~					
140	1.85	222~				
259	50 000	>80	全系列			

2 轮胎企业照明系统的配置选择

2.1 轮胎企业照明照度标准

按照相关标准规定，轮胎企业不同区域的照明应符合相关标准要求，详见表3。其中，表中UGR、Uo、Ra的含义详见表4。

2.2 轮胎企业不同区域照明方式的选择

从上述照明方式的介绍内容中可以看出，轮胎企

业不同的区域，所需要的照度有较大区别，因此，所选择的照明方式也就有明显的差别。表5为轮胎企业不同区域照明方式的建议方案，可以根据实际情况进行选择或参考。

2.3 轮胎企业照明系统常见问题分析

由于各轮胎企业所处地理位置、建厂时间、建筑结构、工艺布局、设备配置等不同，其照明系统在设

表3 轮胎企业不同区域的照明标准

作业场所	参考平面及高度	照度标准值	UGR	Uo	Ra	备注	
生产主区域	炼胶车间	0.75m 水平面	300 Lux	--	0.60	80	--
	压延压出工段	0.75m 水平面	300 Lux	--	0.60	80	--
	成型裁断工段	0.75m 水平面	300 Lux	22	0.60	80	--
	硫化工段	0.75m 水平面	300 Lux	--	0.60	80	--
控制室	变配电站	0.75m 水平面	200 Lux	--	0.60	80	--
	一般控制室	0.75m 水平面	300 Lux	22	0.60	80	--
	主控制室	0.75m 水平面	500 Lux	19	0.60	80	--
动力站	风机、空调房	地面	100 Lux	--	0.60	60	--
	泵房	地面	100 Lux	--	0.60	60	--
	冷冻站	地面	150 Lux	--	0.60	60	--
	压缩空气站	地面	150 Lux	--	0.60	60	--
	锅炉房	地面	100 Lux	--	0.60	60	--
	普通办公室	----	300 Lux	--	0.60	60	--
办公场所	设计室研究所	----	500 Lux	--	0.60	60	--
	会议室	----	300 Lux	--	0.60	60	--
	公共大厅	----	200 Lux	--	0.60	60	--
成检区域	成品修剪区	0.75m 水平面	750Lux	16	0.60	80	
	成品检验区	0.75m 水平面	750Lux	16	0.60	80	

表4 UGR、Uo、Ra涵义解释

UGR	unified glare rating	统一眩光值	UGR
	国际照明委员会(CCIE)用于度量处于室内视觉环境中的照明装置发出的光，对人眼引起不舒适感主观反应的心理参量。		
Uo	uniformity ratio of illuminance	照度均匀度	Uo
	规定表面上的最小照度与平均照度之比		
Ra	general colour rendering index	一般显色指数	Ra
	光源对国际照明委员会（CIE）规定的第1-8种标准颜色样品显色指数的平均值。通称显色指数		

表5 轮胎企业不同区域照明方式的选择方案

总区域	局部区域	照明方式	照明灯具
生产区域照明	车间照明	一般照明	工矿灯照明（顶灯照明）
		自然采光	采光带照明
			光导照明
	物流照明（移动式）	局部照明	道路投光灯（柱灯照明）
			机台照明
			叉车投光灯、拖车投光灯、航车投光灯、塔吊投光灯、头灯、手电等
	路灯照明	太阳能路灯、风电路灯	
生活区照明	宿舍食堂照明、浴室照明、超市照明、车库照明、快递站照明、员工俱乐部照明、门岗照明		
	吸烟室照明、厕所、垃圾站		
	非生活区照明	实验楼、综合楼、污水站、防爆仓库、工装模具库、原材料库、充电站、锅炉房、水泵房、机房、油库、风机房、维修间、动火点、工地照明、有限空间照明、临时照明等	
上述区域一般以荧光灯、卤素灯、白炽灯、无极灯、声控吸顶灯、红外吸顶灯、毫米波灯具、LED工矿灯灯具为主，部分区域可安装光伏照明系统。			
备注：成型区域局部照明一般安装在成型鼓上方0.3~0.5 m之间，并直射成型鼓。硫化区域局部照明，一半在硫化机模具斜上方，离地1.5 m左右；或者在硫化锅口侧方，离地1.2 m左右，支架可以调整，使投光灯可直射模具区域。			

计、使用及管理方面就有较大的差距。从目前的情况看，轮胎企业照明系统常见的问题主要有以下类型，详见表6。

3 轮胎企业照明系统优化及改造

针对轮胎企业照明系统现场的问题，可以有针对性进行优化和改造。

3.1 针对照明系统常见问题的优化或改造

针对表6所列轮胎企业照明系统问题，可以按照表7所列进行优化或改造。

3.2 选用优质的电光源是照明系统节能的首选

达到相同的光效，选用不同的电光源所耗用的电量有明显的差别。因此，选用优质的电光源，是照明系统节能的首选。表8为不同电光源的光效、寿命及显

表6 轮胎企业照明系统常见问题汇总表

区域	常见问题点
生活区域	灯具类型繁杂，控制复杂。
	灯具路线不统一，照度和照明时间需要规划。
	缺乏一体化管理。
	照明不足和过度照明矛盾。
	监控不到位，造成电力浪费。
非生活区域	各部门没有专门人员负责照明。
	关键性照明灯具损坏，照明不足带来安全隐患。
	深夜灯火通明，浪费能源。
	仓库的灯具不需要时全开；保证照度足够的情况下，没有分时分天气选择性开灯。
	灯具故障监管困难，照度分布不均匀，过度照明和照明不足共存；能源浪费，管理难度大，难以做到均衡照明。
车间照明	各分厂/车间/工序照明系统没有专人负责，造成有些地方照明足够的情况下长明灯；灯具损坏或异常无人修理。
	新设备安装调试时，白天现场照明和设备局部照明开启，晚上无人情况下彻夜长明，造成能源浪费。

表7 针对照明系统常见问题的优化及改造汇总表

部位	优化措施
开关控制	根据区域或工作需要，将任意一盏或一个回路的照明开关做到即时或定时控制，减少或杜绝无效照明，节约照明用电。
调光控制	根据工作区域，将任意一盏或一个回路的照明的调光做到即时或定时控制，以达到最佳照明效果。
自由编组	可根据实际需要，按照任意方式进行照明灯编组或分区；在满足照明要求的前提下，做到照明灯开启数量最少或用电量最低。
地图指引	将照明系统的功能做到可视化，例如能直观体现全区域灯具开关状态、故障情况、亮灯率、节能效率等。
智能运行	根据季节或天气变化，系统自动控制照明灯开闭时间，实现适时、适位、适量、适度照明。
故障报警	自动显示照明系统灯具及线路故障，并对非正常工作状态、漏电以及相应异常即时报警
负荷控制	可根据企业的电源供应情况，设置负荷调控优先级，可自动或手动进行负荷投切（用电等级划分）。

色指数的对照表。

从表8可以看出，采用一只功率为9 W、平均寿命9 000 h的紧凑型荧光灯可以替代功率为60 W、寿命为1 000 h的白炽灯。按照电光源功率因数0.9核算（下

同），在紧凑型荧光灯寿命周期内，可以比白炽灯节电413kWh【 $(60-9) \times 0.9 \times 9\,000 \div 1\,000 = 413.1(\text{kWh})$ 】，而且可以减少9次更换白炽灯的人工成本、误工成本和购买白炽灯的成本，节电效果比较明显。

表8 不同电光源的光效、寿命及显色指数对照表

电光源种类	电光源型号	光效/(lm·w ⁻¹)	寿命/h	显色指数/ra
传统灯具	白炽灯泡	7~20	1 000	100
	紧凑型荧光灯	90~110	8 000~10 000	100
节能灯	低压钠灯	150~200	28000+	极低≈0
	高压汞灯	35~65	3000~6000	40~60
	高压钠灯	80~140	24 000+	20~30
	金属卤化物灯	111~141	6 000~20 000	65~90
高强气体放电灯	微波硫灯	100~150	60 000+	>80
	无极灯	60~90	60 000+	70~85
	半导体照明灯	100~240	50 000+	>80
发光二极管	LED灯	100~200	50 000+	70~95
说明	上表中有光效、寿命范围的，按照平均值对照或核算。			

同样道理，采用一只功率为9 W、平均寿命50 000 h的LED灯可以替代功率为100W、寿命为1 000 h的白炽灯。在LED灯寿命周期内，可以比白炽灯节电4 095 kWh【 $(100-9) \times 0.9 \times 50\,000 \div 1\,000 = 4\,095(\text{kWh})$ 】，而且可以减少50次更换白炽灯的人工成本、误工成本和购买白炽灯的成本，节电效果更为显著，这也是目前LED灯越来越普及的原因。

当然，在选择光效较高的光源时要考虑应用场

所，根据场所的特点和电光源的特性进行合理、适度的照明改造。例如，在办公楼大厅、走廊、厕所等公用部位照明，应采用延时自动熄灭或自动降低照度等节能措施；当应急疏散照明灯具采用节能自熄开关时，应采取消防时强制点亮的措施等，可以兼顾照明效果和节电要求。

3.3 轮胎企业电光源的选择原则

表8虽然把电光源的光效、寿命及显色指数等参

数进行对照,但是轮胎生产企业不同部位的照明有特定的要求,需要根据实际情况进行合理选择。一般情况下,可以按照以下原则进行选择:

(1) 一般照明不应采用荧光高压汞灯,在满足眩光限制和配光要求及照度均匀度条件下,宜选择单灯功率较大、光效较高的光源。

(2) 选用照明光源、镇流器的能效应符合相关能效标准的节能评价价值应通过国家强制性产品认证(3C认证)。

(3) 当办公楼或实验楼、食堂、宿舍,健身俱乐部选用单灯功率小于或等于25 W的气体放电灯时,除自镇流荧光灯外,其镇流器宜选用谐波含量低的产品。

(4) 办公楼、宿舍、实验楼等的走廊、楼梯间、厕所等场所宜选用配用感应式自动控制的发光二极管灯。

(5) 硫化、成型、磨具库、机修分厂等安装有巨型桥式起重吊车的场合灯具应有防震和防脱落的保护措施。

(6) 无人长时间逗留、只进行检查、巡视和短时操作等的工作的场所(仓库、充电站、卫生间、配电室、机房、浴室等)宜选用感应微波、红外的自动控制的发光二极管灯。

(7) 当有条件时,压延压出和成型区域宜利用各种导光(光带)和反光装置(光导系统)将天然光引入室内进行照明。

(8) 轮胎企业正常照明单相分支回路的电流不宜大于16A,所接光源数或者发光二极管灯具数不宜超过25个;连接高强度气体放电灯具的单相分支回路电流不宜大于25A。

(9) 当轮胎企业照明装置采用安全特低电压(AC 50V以下或DC 120V以下)供电时,应采用安全隔离变压器,且二次侧不应接地,一般用在新建厂房和绿地草坪、车间流动工作站等场合的临时照明装置上。

(10) 合理选择照度值,要与所进行的视觉工作相适应。合理的照度值和优良的照明质量形成的光环境可以提高工作效果,改善员工的情绪。如果照度太低,会损害工作人员的视力,影响产品质量和生产效率;而不合理的高照度,不但浪费电力,也会影响照

明系统的总效率。

(11) 维护管理要到位。要以节电宣传教育和建立实施照明节电制度为主,使人们养成随手关灯的习惯;及时清洁灯泡、灯具、玻璃、墙壁,以提高电光源的光通量;当电光源出现闪动时,要及时更换,可做到安全、节能。

(12) 优先选择通过EN 60598-2-1工业灯具认证的产品;硫化区域灯具需额外通过ISO9227盐雾测试。如果照明系统与BIM平台集成,实现三维运维管理,则更加节能低碳。

(13) 合理的选择控制开关,充分利用自然光,其节电效果也比较明显。

(14) 合理选择照明方式,在满足标准度的条件下,应恰当地选用一般照明、局部照明和混合照明结合的方式。例如,硫化车间特别是有巨型硫化的区域,如果只用一般照明,即使采用很多电光源也很难达到精细视觉作业所要求的照度值;但是如果在每台设备机台上安装一个局部照明光源,则在照明用电量较少的前提下就能满足照明要求。

3.4 轮胎企业照明节能案例

以某轮胎生产企业成型工序照明系统改造为例,分析照明系统改造的节能效果。

(1) 照明系统改造前状况

该工序照明系统在改造前,照明全部采用高压钠灯,每套灯具的总功率为280W,其中高压钠灯灯泡功率为250W,整流器功率为30W,照明耗电量较高。由于灯具安装时间较长,安装高度较高,灯泡表面污染严重,车间照度偏低,工作面晚上照度不足80LUX,无法达到工艺要求的光通量;而且在长时间使用后,电光源的光衰、频闪、眩光等现象比较严重,加剧了车间照度不足的矛盾。

(2) 照明系统改造后的照度效果对比

针对照明系统存在的问题,结合现场照度要求,按照“照度高、用电少、安全性高”的原则,选用光束角为90°、功率150W的LED工矿灯。

为验证选用LED工矿灯的照明效果,先选取6组总功率为280 W的高压钠灯改造为功率150 W的LED工矿灯,将改造前后不同时段的照度进行实际测量,照度效果对比见表9。

由表9可以看出，在将280W高压钠灯改造为150W的LED灯后，亮度更高。其中，在相同位置，改造后LED灯的平均照度在早晨是改造前高压钠灯照度的2.3~7.6倍，在中午是2.1~3.9倍，在晚上是3.4~10倍；

改造后，全天的平均照度是改造前的2.1~10倍。

(3) 照明系统改造后的节电效益对比

改造前，高压钠灯的总功率为280W，改造后LED灯的功率是150W。在照度提高2倍以上的前提下，照

表9 高压钠灯与LED工矿灯不同时段照度对照表

项目	类别	功率	早晨(LUX)	中午 (LUX)	晚上 (LUX)	灯具位置
改造前 照度及位置	高压 钠灯	280 W	60	112	30	1#
			125	150	53	2#
			111	127	76	3#
			50	116	30	4#
			100	146	50	5#
			110	129	60	6#
			260	300	221	1#
改造后 照度及位置	LED 灯具	150 W	288	320	243	2#
			298	350	262	3#
			382	407	300	4#
			350	448	320	5#
			400	500	399	6#

明灯的功率下降46.4%，即相当于节电46.4%。

按照某轮胎企业冬季（按照150天计算）平均照明时间为14h/d，非冬季（按照215天计算）平均照明时间为12h/d，照明灯的功率因数为0.9，则改造前后，每套照明灯每年的节电量为：

$$(280-150) \times (14 \times 150 + 12 \times 215) \times 0.9 \div 1\,000 = 547.56 \text{ (kW)}。$$

一家规模轮胎生产企业，其照明灯至少在4000套以上。如果按照4 000套照明灯全部改造，则每年的节电量为：

$$547.56 \times 4\,000 = 2\,190\,240 \text{ (kWh)} \approx 219 \text{ 万 kWh}。$$

按照0.75元/kWh的电费单价计算，每年可以节约的电费支出为：

$$0.75 \times 2\,190\,240 = \text{¥}1\,642\,680 \text{ (元)} \approx 164.3 \text{ 万元}。$$

由于将高压钠灯改造为LED灯后，照度比改造前提高2倍以上，按照满足工艺要求的照明来衡量，改造后照明灯数量可以比改造前减少30%以上。这部分减少的照明灯每年节电量为：

$$280 \times 4\,000 \times 30\% \times (14 \times 150 + 12 \times 215) \times 0.9 \div 1\,000 = 1\,415\,232 \text{ (kW)}；$$

连同改造后的节电量，全年的节电量为：

$$1\,415\,232 + 2\,190\,240 = 3\,605\,472 \text{ (kWh)} \approx 360.5 \text{ 万}$$

kWh；

每年可以节约的电费支出为：

$$0.75 \times 3\,605\,472 = 2\,704\,104 \text{ (元)} \approx 270.4 \text{ 万元}。$$

从上述分析来看，适时、适当的照明灯改造经济效益十分明显。

4 结束语

轮胎生产企业照明用电量一般占总用电量的4%~8%，而且照明用电量也会随着季节不同（即昼夜时长）而有所变化。正常情况下，夏季昼长夜短，照明时间稍短，用电量占总用电量的4%~6%；其他季节，逐步昼短夜长，用电量占总用电量的6%~8%。如果对照明系统按照最新标准进行专业化设计、选用适宜的节能灯具、实施智能化控制，同时进行合理到位的管理，照明用电量可以在原有基础上下降40%~60%，即照明用电量可以降至总用电量的1.6%~4.8%，其综合效益明显且持久。因此，轮胎生产企业在新厂房设计、在用厂房管理过程中，应该根据实际情况，对照明系统适时进行优化和改造，可以在满足照明要求的前提下，节约照明电量，减少电费支出，降低碳排放量。

