

工业厂区道路照明设计浅析

李颖旭

(中色科技股份有限公司苏州分公司, 江苏 苏州 215026)

[摘要] 根据道路照明相关国家标准及国际标准,结合工厂道路的实际工况,探讨工业项目中道路照明各项评价指标的选取,认为均匀度、纵向均匀度、环境比以及眩光宜根据 CIE 标准来确定,路面平均亮度和路面平均照度的标准值确定可参考国家标准;然后结合实际工程经验,采用 DIALUX 软件进行模拟计算,针对实际设计中道路照明光源、灯具的选取以及灯具的布置方式等问题提出相关建议。

[关键词] 工业建筑;道路照明;照度;亮度;均匀度;环境比;眩光;灯具布置;设计

[中图分类号] TU113.6⁺63 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2021)02-0033-06

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.02.009

Analysis of Roads Lighting Design in Industrial Plant

LI Ying-xu

Abstract: According to the relevant national standards and international standards of roads lighting, and combined with the actual working condition of factory road, this article studied and analyzed the selection of evaluation indicators of road lighting in industrial projects. The uniformity, longitudinal uniformity, surround ratio and dazzle should be determined according to the CIE standard. The standard values of the average brightness and average illuminance of the pavement can be determined according to the national standards. Then, combined with practical engineering experience, DIALUX software was used for simulation calculation, the selection of road lighting lamps, light sources and lamp layout in the actual design were proposed.

Key words: industrial building; road lighting; illuminance; brightness; uniformity; surround ratio; lamp layout; design

0 前言

工业项目中的道路照明在过去一直未受到足够的关注。设计单位往往根据经验习惯等间距布置灯具;建设方有时为了节省项目投资,甚至取消厂区的道路照明。随着我国工程建设水平的逐步提高和建设方观念的逐步改变,工业项目的道路照明越来越

受到重视。创造一个舒适的道路视觉环境,不但有利于提高作业安全度和工作效率,还有助于提升企业形象。因此,合理设计道路照明非常有必要。

本文结合工业项目中道路的实际工况,依据相关国家标准和国际标准给出道路照明各项指标的建议值,然后结合实际的工程经验使用 DIALUX 软件进行模拟计算,给出工业项目中道路照明的设计建议,可为其他同行进行设计时提供一些参考。

[收稿日期] 2020-11-20

[作者简介] 李颖旭(1990—),男,河南南阳人,本科,工程师,主要从事有色金属加工项目电气设计工作。

1 照明评价指标及其建议值

1.1 照明评价指标

道路照明的评价指标一般包括路面平均亮度 (L_{av}) / 路面平均照度 (E_{av})、路面亮度均匀度 (U_0 、 U_1)、环境比 (SR)、眩光^[1]。

1.1.1 路面平均亮度 (L_{av}) / 路面平均照度 (E_{av})

路面平均亮度 (L_{av}) 与路面平均照度 (E_{av}) 皆是评价道路总体亮度的指标^[1]。国际照明委员会 (CIE) 的标准中以平均亮度评价道路总体亮度, 但由于亮度评价系统的计算十分复杂, 且我国并未对国内路面进行系统的研究和测量, 数据缺乏, 国内工程一般采用路面平均照度 (E_{av}) 作为路面光照强度的评价指标。

1.1.2 路面亮度均匀度

路面亮度均匀度包括两个评价指标: 总均匀度 (U_0) 和纵向均匀度 (U_1)^[1], 这两项指标均是对路面亮度差异的描述。均匀度过低, 会造成路面上出现明暗光带、光斑, 从而一方面可能产生眩光, 另一方面对驾驶员的心理造成影响, 不利于安全驾驶。

1.1.3 环境比 (SR)

出于安全驾驶的考虑, 道路内外存在一定的亮度差, 以使驾驶员更好地观察路面情况。此外, 道路外侧也可能会出现突发情况 (如行人进入道路或障

碍物从道路外侧高处伸进道路等), 道路保证适当的亮度, 能使驾驶员提前了解道路外侧的情况, 并及时做出反应^[1]。

1.1.4 眩光

人在正常视物时, 如受到视野范围内极大光差的影响或受某一时间内高亮度光照的刺激, 就会产生眩光。眩光对于道路安全有着极大的威胁, 会导致驾驶员的视觉疲劳, 严重时会导致驾驶员短暂失明。

眩光一般分为失能眩光和不舒适眩光, 在道路照明设计中, 一般仅考虑失能眩光的影响, 其评价参数为 TI (相对阈值增量)^[1]。

1.2 各项指标标准建议值

城市道路照明的设计实施可以遵照《城市道路照明设计标准》(CJJ 45—2015) 执行, 然而工业建筑区域的道路照明指标却没有国家规范作出明文规定。通过研究 CJJ 45—2015 与国际照明委员会标准《Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic》(CIE 115—2010, 2nd Edition), 并结合实际工程经验, 在满足工业项目经济、实用、安全的前提下提出工业项目中道路照明各项指标的建议值, 供各位同行参考。

1.2.1 国家标准和国际标准中的道路照明标准值
CJJ 45—2015 对于道路照明标准值的要求见表 1。

表 1 国家标准规定的照明标准值

级别	道路类型	平均亮度 L_{av}	总均匀度 U_0	纵向均匀度 U_1	平均照度 E_{av}	眩光限制阈值增量	环境比 SR
		维持值/ $cd \cdot m^{-2}$	最小值	最小值	维持值/ lx	TI 最大初始值/%	最小值
I	快速路、主干路	1.50/2.00	0.40	0.70	20/30	10	0.50
II	次干路	1.00/1.50	0.40	0.50	15/20	10	0.50
III	支路	0.50/0.75	0.40	—	8/10	15	—

CIE 115—2010 对于道路照明标准值的要求见表 2。

表 2 CIE 标准中规定的照明标准值

道路等级	平均亮度	总均	纵向均匀	眩光限制阈值	环境比
	$L_{av} / cd \cdot m^{-2}$	均匀度 U_0 最小值	度 U_1 最小值	增量 TI 最大初始值/%	SR 最小值
M1	2.00	0.40	0.70	10	0.50
M2	1.50	0.40	0.70	10	0.50
M3	1.00	0.40	0.60	10	0.50
M4	0.75	0.40	0.60	15	0.50
M5	0.50	0.35	0.40	15	0.50
M6	0.30	0.35	0.40	20	0.50

1.2.2 工厂道路的照明标准值选取

对于上述指标的确定, CJJ 45—2015 与 CIE 115—2010 综合考虑道路的功能、重要程度、车速、车流量、周边环境亮度、周边交通构成的复杂程度等因素, 国家标准 CJJ 45—2015 同时兼顾了我国的经济的发展以及城市道路照明现状。

CIE 标准中, 道路等级 M 的确定采用公式:

$$M = 6 - V_{ws} \tag{1}$$

式中: V_{ws} ——加权参数 V_w 之和。

结合工业厂区道路的实况, 各项参数的取值见表 3, 根据公式 (1) 即可计算工业厂区的道路等

级 M 。

表3 CIE标准中道路等级 M 选择的相关因素

选择因素	条件情况	加权参数 V_w	工业厂区道路 V_w 取值
车速	非常高	1	0
	高	0.5	
	中等	0	
车流量	非常高	1	-1
	高	0.5	
	中等	0	
	低	-0.5	
交通情况	大量的非机动车	2	1
	机动车、非机动车混合	1	
	仅有机动车	0	
行车道分隔	是	1	0
	否	0	
交叉口密度	高	1	0
	适中	0	
车辆停靠	可临时停车	0.5	0.5
	不可临时停车	0	
环境亮度	高	1	-1
	适中	0	
	低	-1	
可视化指引/交通控制	效果不佳	0.5	0.5
	适中或效果良好	0	
		合计(V_{ws})	0

根据表3,若按照CIE标准,可将工业厂区的道路等级按 $M6$ 级别考虑。

表4 工业厂区道路照明建议标准值

参数	平均亮度 L_{av} 维持值/ $cd \cdot m^{-2}$	总均匀度 U_0	纵向均匀度 U_1	平均照度 E_{av}	眩光限制阈值增量 TI	环境比 SR
		最小值	最小值	维持值/ lx	最大初始值/%	最小值
值域	0.5	0.35	0.4	$8 \times 70\%$	20	0.5

注:为了节省投资,工业项目的路面一般均采用混凝土路面。由于混凝土路面的反射系数比较高,按照CJJ 45—2015的规定,平均照度可以降低30%。

出于舒适性的考虑,道路照明的光源色温不宜过高。考虑到LED光源的特性,光源色温一般以3000~4000K为宜。

LED光源的光效较高,一般可达到95~110 lm/W 。在使用LED光源作为道路照明的光源时,其功率一般选择100W、150W、200W。

2.2 灯具的选择

一般来说,工业项目中虽然道路宽度多种多样,但是实际需要的路灯数量并不多。如果根据不同的道路设计不同的路灯,则不利于产品的采

对比表1与表2可以看出,CJJ 45—2015中“支路”的照明标准对于纵向均匀度和环境比均无要求,但对于总均匀度、平均亮度及眩光的要求均高于CIE标准。工业厂区道路与城市道路相比,有着显著的特点:工业厂区道路一般不考虑车流量和车速的影响,考虑更多的是物流运输的便利,而且道路上通行的主要是大型货运车辆;一般来说,工业厂区内的车速都会限制在很低的范围内,能够给驾驶者更多的时间应对紧急事件。因此,CJJ 45—2015的规定并不完全符合工业厂区道路照明的实际需求,总均匀度、纵向均匀度、环境比以及眩光(CIE标准中对低车速道路的 TI 限值也有相关要求,低于正常道路照明的 TI 限值)宜按照CIE标准来控制,考虑到我国的经济发展和道路现状,路面平均亮度和路面平均照度的标准值确定可参考国家标准。

综上所述,工业厂区内道路照明标准值(建议值)见表4。

2 道路照明设计与分析

2.1 光源的选择

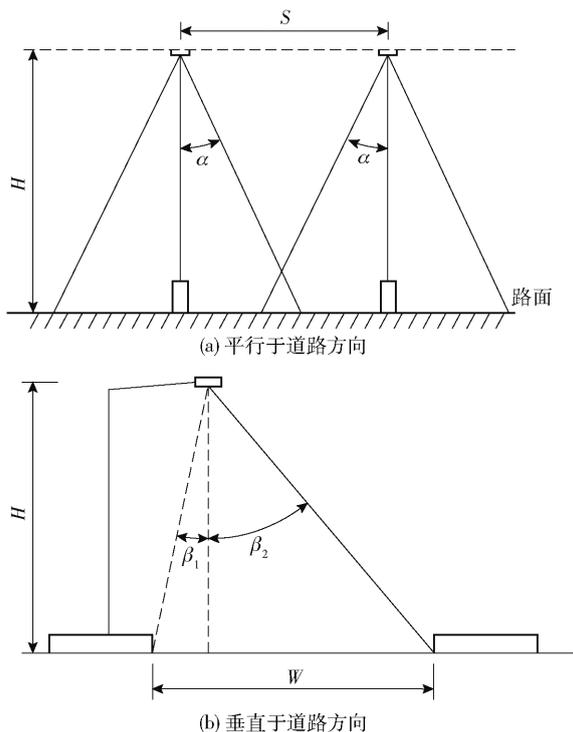
随着LED光源近些年来的飞速发展,其技术性能逐渐趋于稳定,成本也逐渐降低,其优良的节能效果也得到市场的认可,因此LED光源被大范围推广应用。在道路照明中,LED光源逐渐取代高压钠灯成为道路照明光源的首选。

购和备品备件的替换。因此,在工业项目中,一般会兼顾各种道路的实际情况,最终选择同一类型的路灯。

实际项目中,一般选择半截光型灯具;灯具悬挑长度一般为1.5m(满足规范要求);灯具扬角不宜过大,建议设为 5° ,因为减小灯具扬角不仅可以有效降低眩光,而且有利于提高路面亮度均匀度;防护等级不低于IP65。

2.3 灯具布置方式和灯杆高度的确定

道路照明简要模型如图1所示。



H —灯杆高度; S —灯具布置间距; W —道路宽度; α —灯具在 $0 \sim 180^\circ$ 平面最大光强角; β_1 、 β_2 —灯具在 $90 \sim 270^\circ$ 平面最大光强角(灯具扬角为 0° 时)

图1 道路照明模型

表5 根据道路宽度选择的灯具布置方式及灯杆高度

道路宽度(W)	4 m	6 m	9 m	12 m	≥ 16 m
灯具布置方式	单侧布置	单侧布置	双侧交错布置	双侧交错布置 双侧对称布置	双侧对称布置
灯杆高度(H)	≥ 8 m	≥ 8 m	≥ 8 m	≥ 8 m	≥ 8 m

2.4 路面平均照度的计算

路面平均照度的计算公式^[1]如下:

$$E_{av} = \frac{\varphi UKN}{SW} \quad (2)$$

式中: φ ——光源光通量,lm;计算时,光效按 100 lm/W

考虑, $\varphi = 100 P$;

P ——光源功率,W;

U ——利用系数,根据横向宽度与高度比 W/H 查利用系数曲线得到;

K ——维护系数,LED室外照明灯具(IP65)的维护系数取0.7;

N ——单个灯具内的光源数量,一般为1,双排布置时该数据应乘以2;

S ——灯具布置间距,m;

W ——道路宽度,m。

由图1(a)可知,为保证道路上无光照死区,显而易见应 $S \leq 2H \tan \alpha$ 。对于半截光型灯具,最大光强角为 $0 \sim 75^\circ$,该角度范围也可从厂家提供的灯具配光曲线图($0 \sim 180^\circ$ 平面)上查出。考虑到各厂家产品的差异,取 $\alpha = 70^\circ$,则应有 $S \leq 5.5H$ 。

由图1(b)可知,当灯具单侧布置时,应有 $W \leq H(\tan \beta_1 + \tan \beta_2)$, β_1 与 β_2 的取值可从厂家提供的灯具配光曲线图($90 \sim 270^\circ$ 平面)上查出。同样考虑到各厂家产品的差异,取 $\beta_1 = 20^\circ$ 和 $\beta_2 = 40^\circ$,并考虑灯具扬角的影响,应有 $W \leq H[\tan(20^\circ - 5^\circ) + \tan(40^\circ + 5^\circ)] \approx 1.25H$ 。

灯具双侧交错布置及双侧对称布置时也有类似结论,不再赘述。考虑到工程车辆的通行,工业项目中道路照明灯具的灯杆高度不宜过低,一般不低于8 m;在道路宽度较大的情况下,也不可一味增加灯杆的高度,而是应当适当调整灯具的布置方式。根据道路宽度初步确定的灯具布置方式和灯杆高度见表5。

需要注意的是,表5中的初步结论尚需要进一步的计算校验,以确保路面平均照度、眩光、亮度均匀度以及环境比均满足标准值的要求。

灯具的利用系数曲线由灯具厂家提供,产品和品牌不同,利用系数曲线也有所差别,但根据利用系数曲线的分布以及结合多家厂家提供的曲线,利用系数一般为 $0.4 \sim 0.8$ 。

取 $H = 8 \text{ m}$, $U \geq 0.4$, $P \geq 100 \text{ W}$, $S \leq 5.5H$, $W \leq 1.25H$,不难得到路面平均照度 $E_{av} \geq 6.36 \text{ lx}$,高于表4中的控制标准。

上述的计算条件是基于各项参数均取最不利情况,而实际的工程中通常不会出现这类情况。因此,可以得出结论:在灯杆高度为8 m、光源功率不小于100 W时,且满足其他指标的前提下,工业厂区内的道路照明可不考虑路面平均照度的限制。适当延伸一下,在灯杆高度为10 m、光源功率不小于150 W时,且满足其他指标的前提下,工业厂区内的道路照明可不考虑路面平均照度的限制。

2.5 其他控制指标的计算

1) 路面亮度总均匀度 (U_0) 与路面亮度纵向均匀度 (U_1) 的计算公式^[2]如下:

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{\text{av}}} \quad (3)$$

$$U_1 = \frac{L_{\min\text{中心线}}}{L_{\max\text{中心线}}} \quad (4)$$

式中: L_{\min} ——路面最小亮度, cd/m^2 ;

L_{av} ——路面平均亮度, cd/m^2 ;

$L_{\min\text{中心线}}$ ——道路中心线上最小亮度, cd/m^2 ;

$L_{\max\text{中心线}}$ ——道路中心线上最大亮度, cd/m^2 。

2) 环境比 (SR) 的计算公式如下:

$$SR = \frac{E_1}{E_2} \quad (5)$$

式中: E_1 ——与车行道两侧边缘相邻的 5 m 宽的带状区域的平均照度^[3], lx ;

E_2 ——车道上 5 m 宽带状区域与 1/2 宽度车道上的平均照度的最小值^[3], lx 。

3) 相对阈值增量 (TI) 的计算公式^[1]如下:

$$TI = \sum_{i=1}^n \frac{kE_{ei}}{L_{\text{av}}^{0.8}\theta_i^2} (\%) \quad (6)$$

式中: k ——观察者年龄常数, 通常按 23 岁的观察者取值 650;

E_{ei} ——观察者前方 500 m 范围内, 第 i 盏灯具在 x 平面上产生的初始照度 (x 平面为观察者眼睛处垂直于视线方向的表面^[4], 如图 2 所示), lx 。

θ_i ——观察者前方 500 m 范围内的第 i 盏灯具入射光线与视线的夹角 (图 2), ($^\circ$)。

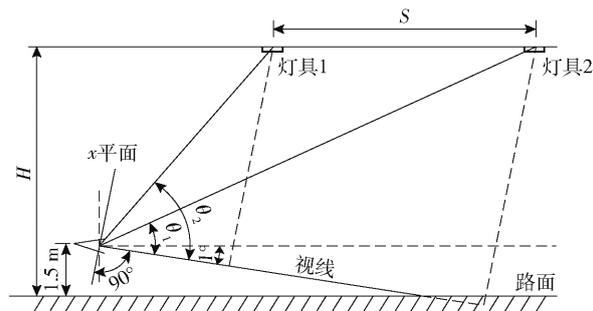


图2 计算 TI 时的观察者视线模型

公式(3)~(6)的计算需要收集大量灯具参数与路面相关参数,且计算过程十分繁杂。因此使用 DIALUX 照明设计软件模拟多种设计场景,校验路面亮度均匀度、环境比以及眩光是否达标^[5]。

2.6 基于 DIALUX 计算的设计建议

依据 DIALUX 的计算结果,在满足本文表 4 的要求下,工业厂区道路照明设计建议见表 6 (灯具均为半截光型灯具,采用 LED 光源,光源功率为 100 W)。

表 6 工业厂区道路照明设计建议表

道路宽度 W	布置方式	灯具扬角	灯杆高度 H	灯具间距 S
4 m	单侧布置	5°	8 m, 10 m	$S \leq 35$ m ($H = 8$ m)
				$S \leq 43$ m ($H = 10$ m)
6 m	单侧布置	5°	8 m, 10 m	$S \leq 35$ m ($H = 8$ m)
				$S \leq 42$ m ($H = 10$ m)
9 m	双侧交错布置	5°	10 m	$S \leq 78$ m (交错布置时 S 为同侧灯具之间的间距)
12 m	双侧交错布置	5°	10 m	$S \leq 66$ m (交错布置时 S 为同侧灯具之间的间距)
12 m	双侧对称布置	5°	10 m	$S \leq 45$ m
16 m	双侧对称布置	5°	10 m	$S \leq 45$ m
18 m	双侧对称布置	5°	10 m	$S \leq 45$ m
20 m	双侧对称布置	5°	10 m	$S \leq 45$ m

注:1) 灯杆高度对于环境比 (SR) 的影响非常大。通过计算,当道路宽度 W 超过 9 m (包含 9 m) 时,灯杆高度选择 10 m 为宜。

2) 本表仅适用于一般情况下的工业厂区道路照明,如有特殊要求,需要根据实际情况重新计算校核。

3) 现在部分工业厂区内会考虑设置主干道或迎宾大道,该部分道路可根据建设方要求以及道路实际工况上调道路照明标准,并根据要求调整路灯类型、高度和布置。

另外,灯具在某一平面或某一点的亮度与灯具光通量近似为成正比关系^[3]。结合 U_0 、 U_1 、 SR 、 TI 的

计算公式以及 DIALUX 的计算结果,在选择同样类型灯具且灯具布置场景不变的前提下,可认为光源

功率对 U_0 、 U_1 、 TI 、 SR 的影响可以忽略不计,故可以得到以下结论:光源功率取 150 W 和 200 W 时,表 6 数据仍可以套用,但 L_{av}/E_{av} 会更高一些。

3 结束语

工业厂区中的道路照明设计不应仅仅局限于让道路亮起来,工程项目的设计单位和建设单位应结合实际道路条件和真实的道路环境,依据道路照明评价系统,设计出科学节能的道路照明方案并予以实施,营造一个安全舒适的道路照明环境。这不仅有利于企业后期的使用,同时对于提升我国工业建设水平,对标国际先进水准,也具有重要的意义。

[参考文献]

- [1] 北京照明学会照明设计专业委员会. 照明设计手册(第三版)[M]. 北京:中国电力出版社,2016.
- [2] 翁季,应文. 亮度均匀度与可见度设计方法研究[J]. 重庆建筑大学学报,2008,30(4):19-22.
- [3] Commission Internationale de L'Eclairage, CIE Central Bureau. Road Lighting Calculation; CIE 140—2019[S]. AUSTRIA, 2019.
- [4] 刘磊实. 城市道路照明设计中失能眩光的计算与控制[J]. 照明工程学报,2008,19(1):77-80.
- [5] 张志远,杨春宇,马俊涛. 基于 DIALUX 软件的道路照明设计[J]. 灯与照明,2015,39(1):1-3,19.

(上接第 23 页)

时间对铅阳极泥氧化浸出的影响如图 5 所示,随着反应时间的延长,铅阳极泥中 Cu、As、Bi、Sb 的浸出率均逐渐增大后趋于稳定,渣率逐渐降低,浸出液中 Ag 浓度逐渐增大。当反应时间为 1 h 时,铅阳极泥中 Cu、As、Bi、Sb 的浸出率分别为 74.69%、76.25%、52.47% 和 64.17%,渣率为 34.98%;当反应时间为 3 h 时,铅阳极泥中 Cu、As、Bi、Sb 的浸出率分别提高至 92.25%、95.89%、99.25% 和 98.58%,渣率降至 24.52%;继续延长反应时间,Cu、As、Bi、Sb 的浸出率和渣率无显著性变化,此时浸出液中 Au 浓度小于 0.1 mg/L,Ag 浓度小于 30 mg/L。综合考虑处理铅阳极泥的成本,确定最佳反应时间为 3 h。

3 结论

以山东某公司铅电解车间产出的铅阳极泥为研究对象,采用盐酸-双氧水氧化浸出的方法处理铅阳极泥,对影响铅阳极泥浸出的重要因素进行考察,经过多次试验确定最佳工艺条件。研究表明,在双氧水用量为 40 g、溶液盐酸浓度为 4.5 mol/L、液固

比为 6:1、浸出时间为 3 h、浸出温度为 80 ℃ 的条件下,可以实现各种金属的选择性浸出,其中 Bi、Sb 浸出率均可超过 98%,As、Cu 浸出率大于 90%;浸出液中 Au 的含量低于 0.1 mg/L,银的含量为 25.2 mg/L,渣率在 25% 以下。

[参考文献]

- [1] 陈汉森,徐瑞东,朱云,等. 电解法从铅阳极泥提取铋的研究[J]. 矿冶,2015,24(1):44-49.
- [2] 金哲男,马致远,杨洪英,等. 铜阳极泥全湿法处理过程中贵贱金属的行为[J]. 东北大学学报(自然科学版),2015(9):1305-1309.
- [3] 杨学林. 高铋铅阳极泥处理新工艺[D]. 长沙:中南大学,2004.
- [4] 刘伟锋. 碱性氧化法处理铜/铅阳极泥的研究[D]. 长沙:中南大学,2011.
- [5] 李阔,徐瑞东,何世伟,等. 高铋铅阳极泥脱砷预处理工艺研究[J]. 矿冶,2015,24(6):37-41.
- [6] 曲超,王永梅,李照刚. 碱性氧压体系下高砷铅阳极泥预脱砷工艺研究[J]. 世界有色金属,2020(4):6-8.
- [7] 贾辉,王兴,崔家友,等. 从铅阳极泥中湿法提取铋、锑试验研究[J]. 湿法冶金,2014,33(5):368-370.