

“十四运”场馆场地照度分布研究及照明方案设计

于 瑛¹, 崔梓豪¹, 陈 笑¹, 孙 晴²

(1. 西安建筑科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学 建筑设计研究院 陕西 西安 710055)

摘要: 针对目前综合性体育场馆场地照明设计中, 照明系统一次投入大, 运行能耗高等问题, 以十四运场馆为模型, 采用单马道两侧布灯方式, 以Ⅳ级照明指标为依据, 借助 DIALux 模拟研究了灯具投射角度、旋转角度、开启数量和功率对场地照度空间分布的影响。结果表明: 改变投射角 α 对场地照度影响显著, 而旋转角 β 适用于局部照度微调; 场地底线外灯具对底线附近照度的影响高于底线内灯具, 调整其开启数量和功率可以提高底线附近照度, 从而有效提高场地照度均匀度。基于研究结果提出利用一套灯具, 通过调整灯具角度、开启数量、功率等参数满足多个运动项目场地照明设计方案, 为场地照明优化设计提供依据。

关键词: 综合性体育场馆; Ⅳ级照明指标; DIALux 控制; 照度空间分布; 照明设计

中图分类号: TM923; U113.19⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2021)05-0781-09

Research on illumination distribution and lighting scheme design of the venues of the 14th National Games

YU Ying¹, CUI Zihao¹, CHEN Xiao¹, SUN Qing²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. Institute of Architecture Design, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: In view of the problems of large primary investment and high energy consumption in the lighting design of comprehensive stadiums and gymnasiums, this paper takes the 14th National Games Stadium as the model and adopts the arrangement of lights on both sides of a single track to study the effects of lighting projection angle, rotation angle, opening quantity and power on the site illuminance by means of Dialux simulation based on the level IV lighting index. The results show that changing the projection angle α has a significant effect on the site illumination, while the rotation angle β is suitable for local illumination fine-tuning; the influence of the lamps outside the baseline on the illumination near the baseline is higher than that of the lamps inside the baseline, and adjusting the number and power of the lamps can improve the illumination near the baseline, so as to effectively improve the uniformity of the site illumination. Based on the research results, this paper proposes to use a set of lamps to meet the lighting design of multiple sports venues by adjusting the angle of lamps, the number of lamps, power and other parameters, which provides the basis for the optimization design of venue lighting.

Key words: comprehensive stadium; grade IV lighting index; DIALux control; illuminance spatial distribution; lighting design

体育照明是通过控制目标物的亮度与背景, 从而获得良好的照明环境, 使得运动物体和运动员能清楚地呈现在运动员、现场观众和电视机观众的眼前, 以达到良好的比赛和观赏效果^[1]。《体育场馆照明设计及检测标准》^[2] (JGJ153—2016) 中规定将体育照明等级分为六级, 综合性体育场馆因要适用于多种比赛项目的照度需要^[3], 且有电视转播需求, 场地照明等级一般在Ⅳ级以上。为达到高等级照明要求, 场馆中灯具往往数量多、功

率大, 使得照明能耗成为了体育场馆主要能耗之一, 因此, 照明节能设计就显得尤为重要^[4-5]。

近年来, 国内外学者主要从照明设计和照明控制两个方面对体育场馆节能照明进行了研究。在照明设计研究中, 韩本慧^[6]、黄显雯等^[7]分析了不同设计因素对体育照明质量的影响, 并根据结论进行了场馆照明节能优化设计。朱悦等^[8]研究了灯光投射距离、角度对照度及其均匀度的影响。田紫娟^[9]、赵凯等^[10]研究了马道的形状、数量和高度对场地照

收稿日期: 2021-03-07

修改稿日期: 2021-09-23

基金项目: 陕西省教育厅服务地方专项科学研究计划基金资助项目(20JC021); 榆林市科技计划基金资助项目 CXY-2020-061

第一作者: 于瑛(1979—), 女, 博士, 副教授, 从事建筑能耗监测与节能控制研究。E-mail: yuying@xauat.edu.cn

度分布的影响,为节能设计提供了参考. Sun W S 等^[11]、Fred H. Holmes 等^[12]对体育馆光源进行了改造研究,以在较低的投入中获得更好的照度均匀度. 在照明控制研究中,为使用较少灯具达到多种照明需求,张燕^[13]、彭力^[14]、古铭秀^[15]提出可以根据使用需要事先设定灯具模式以进行调节,使灯具可以重复使用. 彭月月^[16]设计了可根据不同照明需要灯具角度能智能调节的旋转灯具,以获得场地最佳照明. CAO Shengmin^[17]基于 PID 和 Karatsuba 乘法模型,设计了以测光、调节为一体的体育场馆智能照明控制系统.

目前,我国对综合性体育场馆场地照明系统工程设计与研究与国外相比尚存在一定差距. 工程中多以面积最大的比赛场地为布灯依据,对于小面积的比赛场地仅采用关闭部分灯具的简单控制方式,有可能造成场地照度尤其是水平照度远高于标准值,使得照明能耗难以合理控制. 基于此,本文以“十四运”场馆为模型,以比赛场地为研究对象,选择既满足国际、国内比赛转播要求,又拥有良好节能效果和较低运维成本的Ⅳ级指标为照明标准,研究灯具投光角度、间距、数量和功率对综合性体育场馆赛场照度空间分布的影响,并以此为基础,提出满足手球、篮球、排球和羽毛球项目照度标准的场地照明系统设计方案,最后借助 DIALux 照明模拟软件验证设计方案的可行性,为照明节能设计提供依据.

1 比赛场地建模与空间照度采样

1.1 比赛场地建模

本文使用了操作较为简便且常用的 DIALux 照明模拟软件^[18-19]进行“十四运”某场馆比赛场地建模. 根据照明标准^[2]中对灯具布置的建议和对马道长度、位置的规定,如图 1、2 所示. 马道端点与场地底线中点的连线的投影线与底线夹角宜大于 30° ,马道上的灯具瞄准角应在 $25^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 之间,且考虑场地尺寸和距离对照度的影响,故选取体育场馆建模主要参数,如表 1 所示.

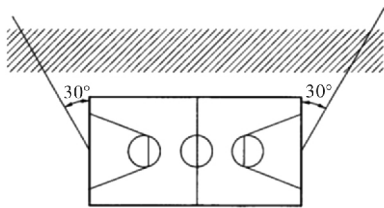


图 1 体育场馆灯具布置位置图

Fig. 1 Layout of lamps and lanterns in stadiums

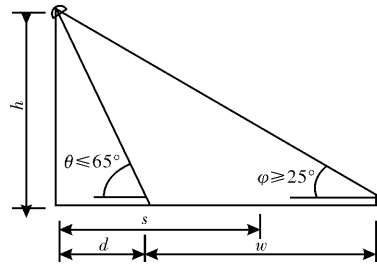


图 2 马道灯具安装位置

Fig. 2 Installation location of catwalk lamps

表 1 体育场馆建模主要参数

Tab. 1 Main parameters of sports venue modeling

体育场馆模型参数		参数选取
马 道 参 数	场馆尺寸/m	76×66×20
	灯具布置方式	单马道两侧布灯
	高度 h /m	16
	长度/m	52
	水平投影距近边线距离 d /m	7.5

根据十四运体育馆尺寸、观众席和选择的马道位置构建出的体育场馆模型,如图 3 所示.



图 3 体育场馆比赛场地模型

Fig. 3 Model of sports venues

1.2 空间照度采样

在《体育场馆照明设计及检测标准》中推荐采用中心点照度算法反映场地内照度分布情况,即将场地划分为网格,取其中点作为照度计算点,其中手球场地网格为 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$,篮球、排球和羽毛球网格均为 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$. 在采样过程中,水平照度采样高度为 1 m . 除了水平照度外,Ⅳ级照明标准对于主、辅摄像机方向垂直照度均有要求. 场地内的主摄像机位置一般都是固定的,根据其典型布置位置^[2],在场地中线延长线的观众席上和羽毛球场地底线后分别布置一台摄像机,如图 4(a)所示,测量主摄像机垂直照度时,测量高度取 1.5 m . 由于比赛项目不同,辅助摄像机位置很难固定,因此,标准规定可将与四条边线平行的垂直面上的照度作为辅摄像机方向照度,即若如图 4(b)所示的 X+、X-、Y+和 Y-四个方向的垂直照度达到标准要求^[20],可认为辅摄像机垂直照度满足使用需要,测量高度为 1 m .

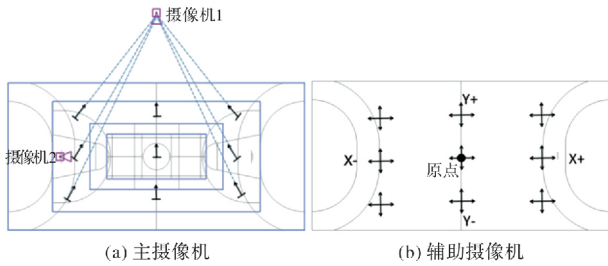


图4 摄像机方向垂直照度示意图

Fig. 4 Schematic diagram of vertical illuminance in camera direction

2 比赛场地照度空间分布

灯具投光角度、数量和功率直接影响比赛场地照度的空间分布, 本文选择目前体育场馆照明使用较多的具有非对称型配光曲线(图5)的LED灯具(425 W)^[2,21-22], 研究改变其投光角度、数量和功率对场地照度空间分布的影响规律。

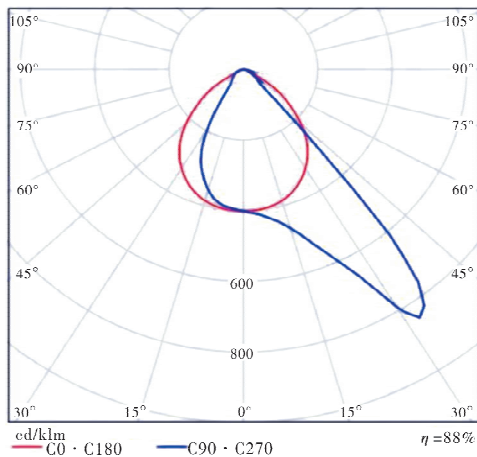


图5 灯具配光曲线

Fig. 5 Light distribution curve of lamps

2.1 灯具投光角对照度空间分布的影响

空间中灯具的投光角度可分为投射角和旋转角。如图6所示, 投射角 α 为光源投射方向与Z轴的夹角; 旋转角 β 为光源投射方向在XOY面上的投影与X轴的夹角。

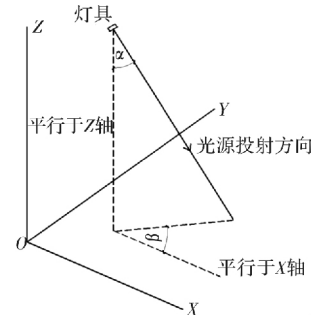


图6 灯具投光角度示意图

Fig. 6 Schematic diagram of lamp projection angle

2.1.1 投射角 α 对照度空间分布的影响

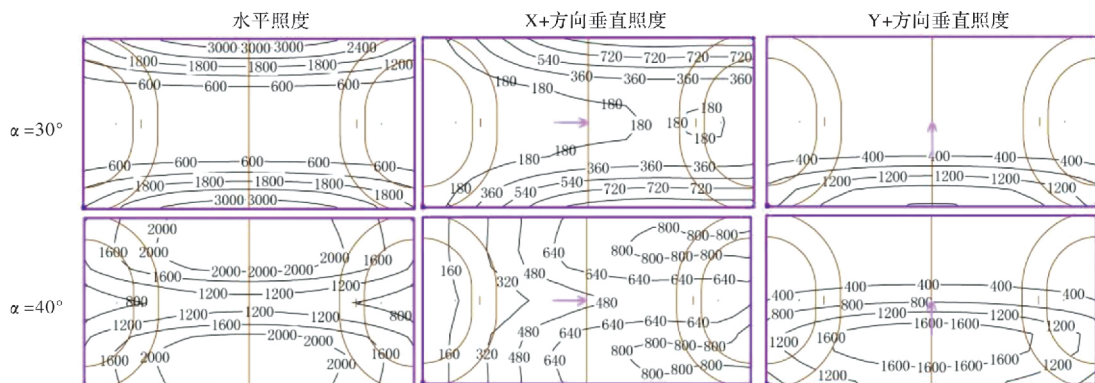
体育场馆场地内灯具多为均匀、对称布置, 常见灯具间距为0.75~1.5 m, 本文将其分为0.75 m、1 m、1.25 m和1.5 m四种间距。首先选择最小间距, 即0.75 m的布置方案, 研究 α 变化对场地照度分布的影响。研究中, 灯具采用单马道两侧布置, 且仅布置在场地底线范围内。体育场馆照明设计中灯具投光点一般位于比赛场地内, 因此可确定 α 的取值范围为25~60°, 对应灯具投射点由本侧边线到对面边线移动范围。

将 α 以10°为步长由小及大变化, 此时保持 β 为0°。不同 α 时场地空间照度分布如图7所示, 由图可以看出:

(1)随着 α 的增大, 场地内水平照度和X+、Y+方向垂直照度皆呈先增大后减小的趋势, 当 $\alpha=50^\circ$ 时, 照度达到最大值。由于对称布灯, X-、Y-方向垂直照度等参数与X+、Y+对称相等。

(2)相对于其他位置, 场地底线附近照度值普遍较小, 影响了场地照度均匀度, 若要提高均匀度, 设计时应考虑增加底线附近照度值。

图8为不同灯具间距下均匀度随 α 的变化曲线, 可以看出不同间距下, 均匀度变化趋势基本相同, 可见间距对均匀度影响不大。当 $\alpha=60^\circ$ 时, 水平和垂直照度均匀度整体较好, 因此, 后续研究中投射角 α 选择60°。



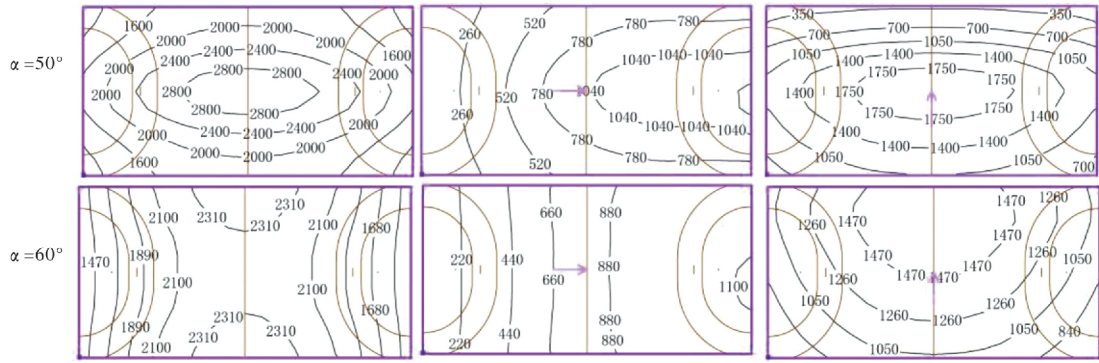
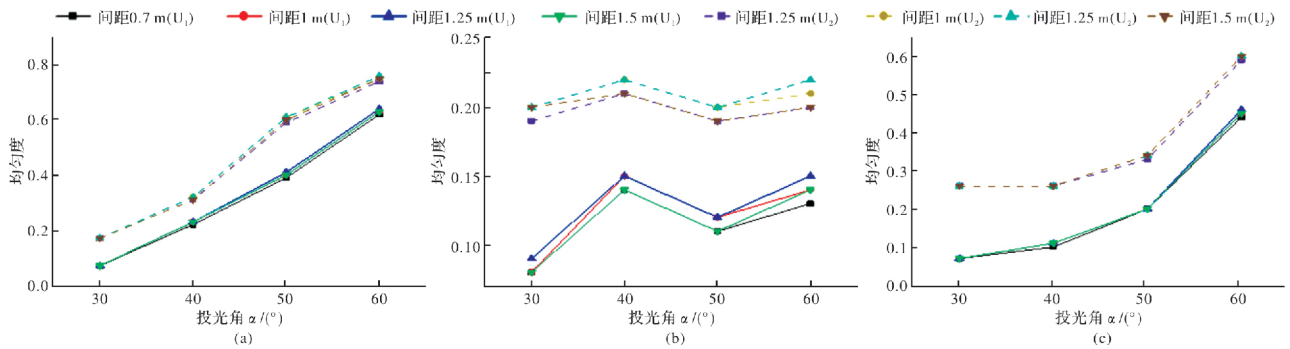
图7 不同 α 角度下照度分布图Fig. 7 Illuminance distribution under different α angle

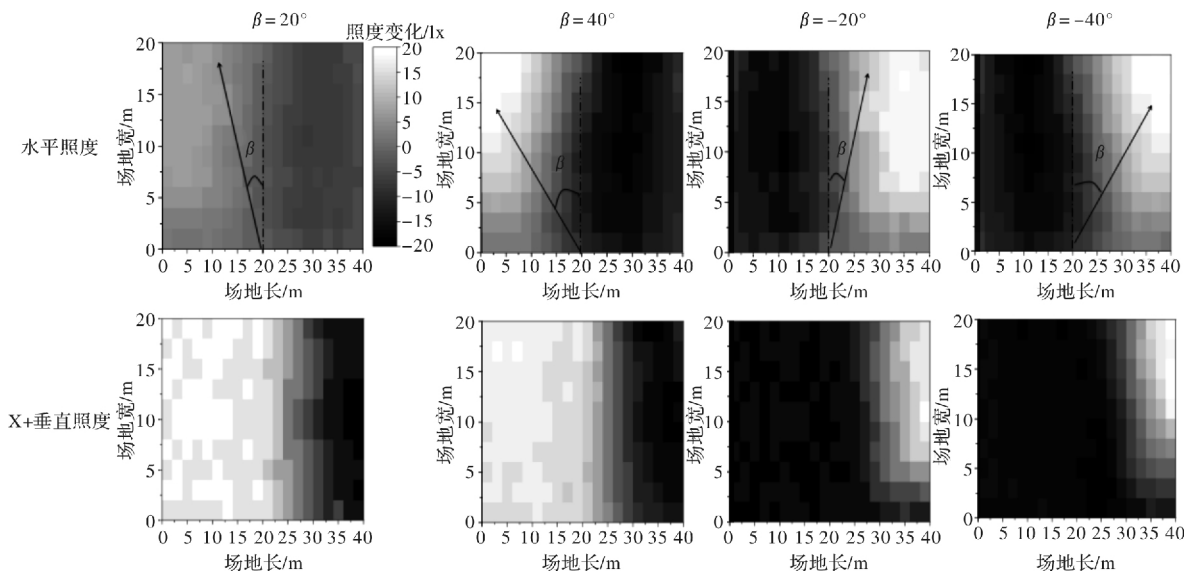
图8 不同灯具间距照度均匀度变化趋势

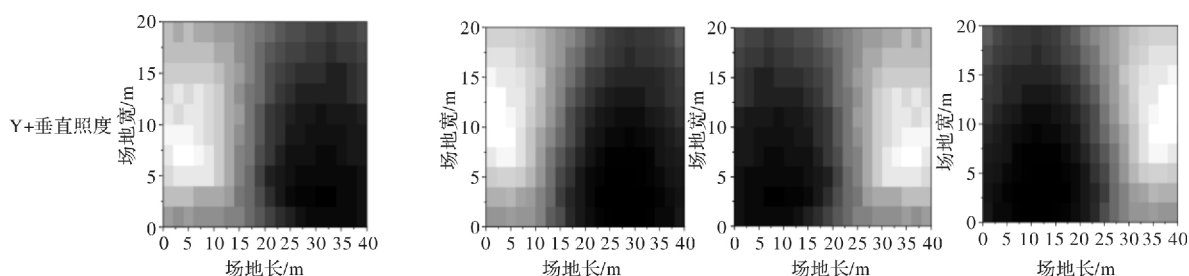
Fig. 8 Variation trend of illuminance uniformity of different lamp spacing

2.1.2 旋转角 β 对照度空间分布的影响

以场地中线延长线上的单灯为例,取投射角 $\alpha = 60^\circ$,当 β 在 $-40^\circ \sim 40^\circ$ 变化时,灯具投光点位于场地内, β 的改变影响了场地照度的分布,以 $\beta = 0^\circ$ 时场地照度为参照,白色表示该区域照度有所增加,反之以黑色标示,如图9所示,可以看出:改变旋转角 β ,可以一定程度提高投射点附近区域水平和垂直照度,但同时也会减小与旋转角相反方

向区域的照度,且 β 越大对于照度分布的变化越明显.虽然改变灯具旋转角 β 可以改变场地某些区域的照度分布,但变化量值却并不大,仿真结果显示最大变化量为20 lx,意味着垂直照度变化率仅为2.7%,水平照度变化率则更低.因此,旋转角 β 适用于对照度方案设计后期进行微调,故在设计初期可将 β 暂取 0° .



图9 β 变化对场地照度分布的影响Fig. 9 The influence of β change on the illuminance distribution of the site

2.2 灯具数量与位置对照度空间分布的影响

赛场灯具数量对场地照度分布有直接影响。本文以手球场地底线为界,将灯具划分为底线内灯具与底线外灯具,以下分别分析底线内、外灯具对场地照度分布的影响。

2.2.1 改变场地底线内灯具数量

将底线内灯具间距分别设定为 0.75 m、1 m、1.25 m 和 1.5 m,对应的场地水平和垂直照度空间分布如图 10 所示。可以看出灯具数量对场地照度影响显著,随着间距的增加,场地照度明显下降。

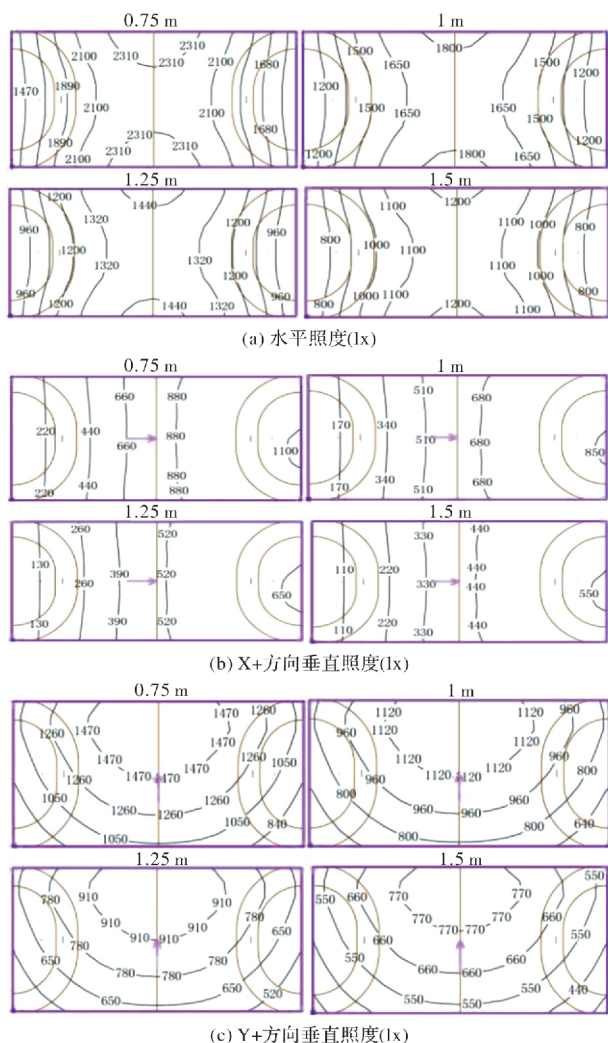


图10 不同灯具间距场地照度分布图

Fig. 10 Illuminance distribution map of different space between lamps

当间距为 1.25 m 和 1.5 m 时显然不能满足 IV 级照明指标要求;当缩短为 0.75 m 和 1 m 时,和场地水平照度和 Y+方向垂直照度均能满足 IV 级照明指标,且间距为 0.75 m 时远高于指标要求;由于马道与 X 方向平行,故该方向垂直照度低于 Y 方向垂直,因此在 0.75 m 和 1 m 间距时,其他照度均达标,而 X 方向的垂直照度仍略低于指标值,该问题后续可以考虑通过增加场地底线外灯具数量、功率等方式解决。结合节能设计理念综合考虑,选择灯具间距为 1 m 的布置方案。

2.2.2 改变场地底线外灯具数量

除了水平和垂直照度以外,照度均匀度也是照度标准中一条重要指标,增加底线内灯具数量可以有效提高场地内照度,但却对底线附近照度改善不大,从而降低了场地照度均匀度,因此考虑在底线外布灯,通过增大底线附近照度,提高场地照度均匀度。

底线外灯具间距仍取 1 m,由于马道长度的限制,每条马道可增加 22 盏灯,两端各为 11 盏,所增加灯具投射角 α 皆取 60° 。根据旋转角 β 对场地照度分布影响的研究,为了更有效地提高场地底线附近照度,应尽可能使投光点靠近底线。以 1/4 场地为例,将底线外灯具分为三组,对应的 β 分别为 -10° 、 -20° 和 -30° ,如图 11 所示。

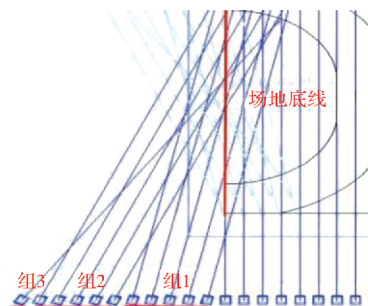


图11 增加灯具后场地灯具布置图

Fig. 11 Layout of lighting in the field after adding lamps

仿真结果(图 12)显示此时场地底线附近的水平和垂直照度较前都有明显提高,可见通过底线外布灯可以提高底线附近的照度,达到提高场地照度均匀度的目的。但仍然存在 X 方向垂直照度

不满足指标要求的问题, 后续将探究增加灯具功率对场地照度分布的影响, 以解决该问题。

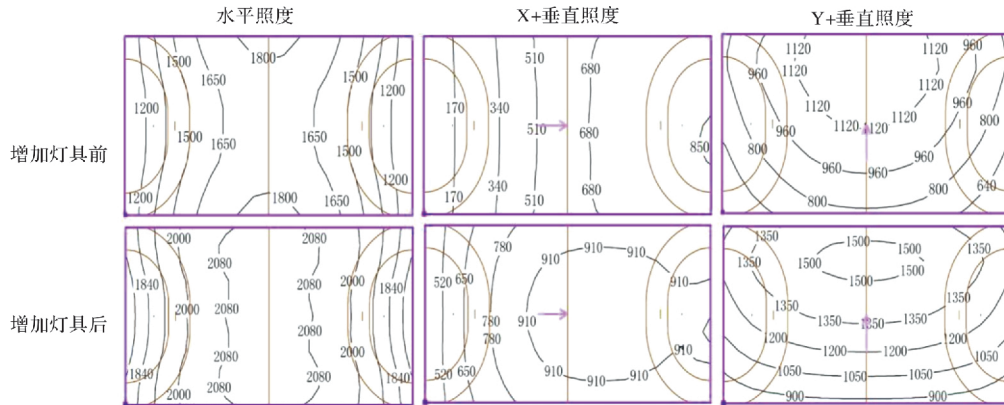


图 12 场地底线外增加灯具前后照度分布图

Fig. 12 Illuminance distribution before and after adding lamps outside the ground line

2.3 灯具功率对照度空间分布的影响

在同等条件下, X 方向垂直照度低于水平照度及 Y 方向垂直照度是单马道两侧布灯方式的必然结果, 仅通过调整灯具角度很难克服。鉴于此考虑增加单灯功率, 通过分析灯具功率对照度分布的影响, 提出解决方案。基于前述研究基础, 分别增加底线内和底线外灯具功率(同类型 850 WLED), 模拟生成场地照度分布, 如图 13 所示。并与未增加功率前场地照度分布(图 12 增加灯具后)对比, 可以看出:

增大底线内、外灯具功率, 可提高场地照度值, 且相比于前者, 增大底线外灯具功率对于提高底线附近 X 方向垂直照度作用更明显。表 2 为增大底线外灯具功率前后场地各照明指标值, 对比 IV 级照明标准, 增大功率后水平、垂直照度及

均匀度均可满足标准要求。综合考虑照明功率密度等节能指标, 仅增加底线外灯具功率的方案更可行。

需要注意的是, 为了保证电视转播时整个场地的照明效果及照明立体感, 在标准中除了对水平或垂直照度自身提出要求以外, 还规定了二者的比值即照度比率的范围: $1.0 \sim 2.0$, 低于此范围则转播画面立体感较弱, 高于此范围将导致画面的立体感过强, 甚至会造成物体扭曲。照明设计中提高 X 方向垂直照度的同时势必也会增加水平照度, 因此控制这个指标比较困难。增大底线外灯具功率在一定程度上改善了该指标, 但仍略有超标。按照 2.2.2 节研究结果, 调节底线内灯具旋转角 β 可以在一定范围内提高 X 方向垂直照度, 基于此, 设计中可以通过调整 β 微调照度比率。

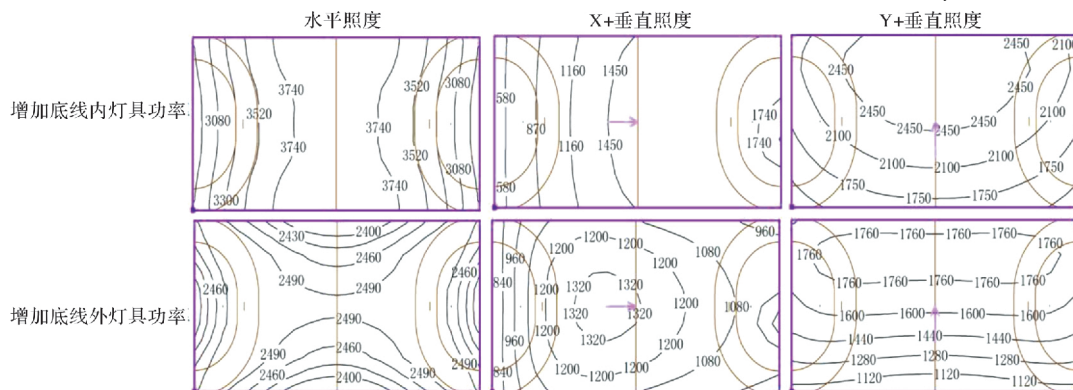


图 13 增加灯具功率后场地照度分布图

Fig. 13 Distribution of site illumination after increasing the power of lamps

表 2 增大底线外灯具功率前后手球场地照明指标

Tab. 2 Lighting index of handball court before and after increasing the power of lamp out of baseline

灯具 功率/W	水平照度			X 方向垂直照度				Y 方向垂直照度			
	E_{\min}/lx	U_1	U_2	E_{\min}/lx	U_1	U_2	$\frac{E_{\text{have}}}{E_{\text{vave}}}$	E_{\min}/lx	U_1	U_2	$\frac{E_{\text{have}}}{E_{\text{vave}}}$
425	1 744	0.82	0.87	445	0.42	0.53	2.40	814	0.53	0.65	1.60
850	2 377	0.94	0.96	798	0.59	0.71	2.19	1 035	0.56	0.67	1.59

注: E_{\min} 为最小照度; E_{have} 为平均水平照度; E_{vave} 为平均垂直照度; U_1 (最小照度与最大照度之比)、 U_2 (最小照度与平均照度之比) 为照度均匀度。

3 场地照明设计方案

3.1 手球场地照明设计

上述场地照度空间分布研究以面积最大的手球场地为对象, 结果表明当灯具间隔为 1 m, 投光角 $\alpha=60^{\circ}$, 增加底线外灯具功率时, 可以满足除 X 方向照度比率以外的所有指标, 并提出通过改变底线内灯具旋转角 β 改善照度比率的设计思路. 以灯具照射点在赛场内为边界, 于是 β_{\max} 为 $|40^{\circ}|$, 统一调节底线内灯具, 步长取 10° , 不同 β 对应的 X 方向照度比率如表 3 所示, 随着 β 的增大, 照度比率逐渐减小, 当 β 为 40° 时可满足标准要求.

综上所述, 手球场地照明设计如图 14 所示, 采用了照明指标, 见表 4, 该方案可以满足 IV 级照明标准.

表 3 不同 β 角度下场地 X 方向照度比率
Tab. 3 X direction illuminance ratio of the venue under different β angles

投光角 $\beta/(^{\circ})$	$E_{\text{have}}/E_{\text{vave}}$
0	2.19
10	2.14
20	2.08
30	2.02
40	1.96

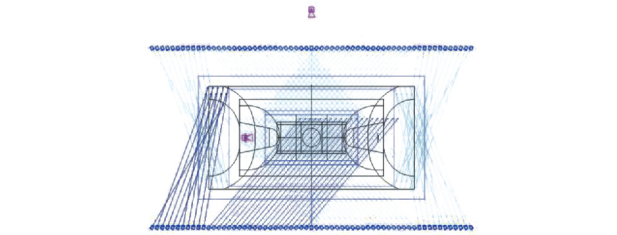


图 14 手球场地灯具布置方案

Fig. 14 Lighting layout of handball court

3.2 其他球类场地照明设计

仍使用手球场地灯具, 根据上述研究结论, 通过调整灯具投光角度、旋转角度以及开启数量, 提出了满足 IV 级照明标准的篮球、排球和羽毛球场地照明设计方案, 如图 15 所示, 照明指标见表 4.

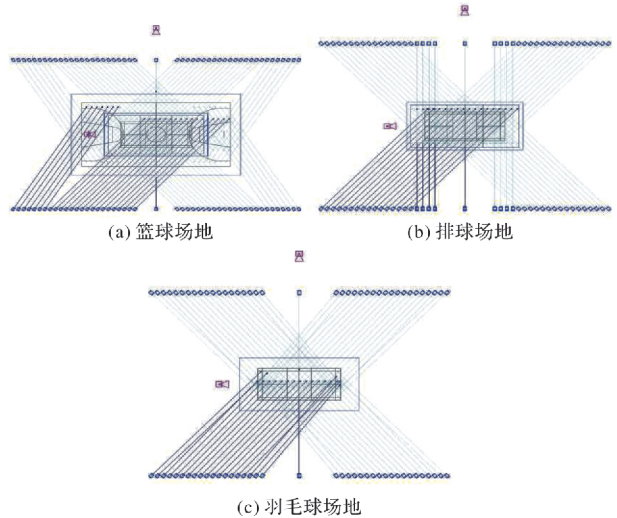


图 15 不同运动项目场地灯具布置方案

Fig. 15 Lighting arrangement of different event

表 4 各项目场地照明指标
Tab. 4 Illuminance index of different sites

运动项目	水平照度			X 方向垂直照度				Y 方向垂直照度				主摄像机方向垂直照度			
	E_{\min}/lx	U_1	U_2	E_{\min}/lx	U_1	U_2	$\frac{E_{\text{have}}}{E_{\text{vave}}}$	E_{\min}/lx	U_1	U_2	$\frac{E_{\text{have}}}{E_{\text{vave}}}$	E_{\min}/lx	U_1	U_2	$\frac{E_{\text{have}}}{E_{\text{vave}}}$
手球	2 146	0.76	0.85	770	0.48	0.60	1.97	1 091	0.57	0.71	1.63	1 354	0.60	0.73	1.36
篮球	19 89	0.78	0.87	782	0.50	0.63	1.86	1 127	0.67	0.78	1.58	1 275	0.63	0.73	1.31
排球	1 982	0.85	0.91	782	0.62	0.70	1.95	1 230	0.80	0.87	1.54	1 409	0.76	0.82	1.27
羽毛球 PA	2 107	0.89	0.93	1 003	0.73	0.86	1.94	1 313	0.85	0.89	1.53	1 058	0.79	0.85	1.81
羽毛球 TA	1 869	0.79	0.87	766	0.55	0.71	1.99	1 075	0.69	0.78	1.56	894	0.67	0.77	1.85

注: PA 为主赛区, TA 总赛区, 手球、篮球、排球只需考虑主赛区照明情况

由此可见, 基于一套灯具, 通过调节其角度、数量、功率等参数完全可以满足不同运动项目场地照明的要求.

4 结论

本文以综合性体育场馆场地照明系统为对象, 研究了灯具投射角度、旋转角度、开启数量和功

率对场地照度空间分布的影响. 基于研究结果, 以体育场馆 IV 级照明指标为依据, 提出了利用一套灯具, 通过调整灯具角度、开启数量、功率等参数满足多个球类运动项目场地照明指标的设计方案. 研究得到以下结论:

(1) 投射角 α 对场地照度空间分布有显著影响, 而旋转角 β 仅适用于局部照度调节; 场地底线外灯

具对底线附近照度的影响高于底线内灯具,调整其开启数量和功率可以有效提高场地照度均匀度;

(2)目前体育场馆场地照明设计采用双马道两侧布灯方案,本文提出单马道双侧布灯的方案,二者在灯具数量、场地照度及其均匀度方面基本相同,虽然灯具总功率后者略高于前者,但后者场地照明照度最小值皆高于标准要求平均值,优于IV级照明标准,且考虑双马道的成本投入往往比单马道增加1倍^[23]。因此,在仅考虑以上条件时,本文的设计方案成本更低,照明效果更好;

(3)文中主要针对比赛场地照明进行研究,未涉及观众席等其他区域照明,而背景亮度又是影响眩光的重要因素^[24],通过改善背景亮度可以改善场地眩光情况^[25],模拟实验表明增加了场馆其他区域照明后,眩光指数能够达到标准要求。

本文针对具有电视转播要求的赛场照明进行了设计,实际运行中,为满足多种使用需求^[26],体育场馆更多是作为训练、健身、业余比赛场地之用,此时照明等级较低,完全可通过此方法调节实现,这种灵活的照明系统设计方式有利于节能减排、降低用户运行维护成本。

参考文献 References

- [1] 魏永健. 体育照明质量检测和设计的新方法[D]. 天津:天津大学,2005.
WEI Yongjian. New method of quality testing and design of sports lighting[D]. Tianjin: Tianjin University, 2005
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 体育场馆照明设计及检测标准:JGJ153-2016[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
MOHURD. Standard for lighting design and test of sports venues:JGJ153-2016[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016
- [3] 陈晓洁. 体育场馆的分类[J]. 中小企业管理与科技, 2011(11):181-182.
CHEN Xiaojie. Classification of sports venues[J]. Management & Technology of SME, 2011(11):181-182.
- [4] 李炳华,董青. 体育照明设计手册[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
LI Binghua, DONG qing. Guide for the lighting design of sports venues[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.
- [5] 郑妍,谢慧,王利峰,等. 北京地区某体育馆类建筑能耗分析[J]. 建筑节能,2012,40(9):54-58.
ZHENG Yan, XIE Hu, WANG Lifeng, et al. Energy Consumption of One Gymnasium Building in Beijing [J]. Building Energy Efficiency, 2012,40(9):54-58.
- [6] 韩本慧. 体育建筑环境下的照明设计研究[D]. 西安:长安大学,2016.
HAN Benhui. The research on illumination design under the environment of sports architecture[D]. Xi'an: Chang'an University, 2016.
- [7] 黄显雯,白荣,薛仁雨,等. 基于DIALux的室内篮球馆照明设计与模拟[J]. 智能建筑电气技术,2018,12(4):39-42.
HUANG Xianwen, BAI Rong, XUE Renyu, et al. Lightin design and simulation of basketball infields based on DIALux[J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings, 2018, 12(4):39-42.
- [8] 朱悦,林若慈. 体育场馆照明灯具位置和配光 照明指标的影响[J]. 照明工程学报, 2015(3):68-75.
ZHU Yue, LIN Ruoci. Impact on lighting effects of luminaire position and it's light distribution in venues lighting[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2015 (3): 68-75.
- [9] 田紫娟. 基于照明节能的综合体育馆人工光环境对比模拟研究[D]. 北京:北京建筑大学,2019.
TIAN Zijuan. Comparative simulation of artificial light environment in comprehensive gymnasium based on lighting energy saving[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019.
- [10] 赵凯,林若慈. 体育场馆照明节能模拟计算分析[J]. 照明工程学报,2015 (1):37-44.
ZHAO Kai, LIN Ruoci. Simulation calculation of the energy-saving analysis in venues lighting[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2015(1):37-44.
- [11] SUN W S, TIEN C L, TSUEI C H, et al. Simulation and comparison of the illuminance, uniformity, and efficiency of different forms of lighting used in basketball court illumination[J]. Applied Optics, 2014, 53(29):H186.
- [12] FRED H. Holmes, Kevin C. Baxter. Led venue lighting system and method: US2015/028094 [P]. 2015-04-2.
- [13] 张燕,沈园云. 体育馆电气改造设计若干问题[J]. 上海应用技术学院学报(自然科学版), 2008, 8(4): 293-296.
ZHANG Yan, SHEN Yuanyun. Several problems about gym alteration design[J]. Journal of Shanghai Institute of Technology, 2008,8(4):293-296.
- [14] 彭力,卢芳琪,何欣雨,等. 室内体育馆智慧照明探讨[J]. 灯与照明, 2015,39(4):21-24,58.
PENG Li, LU Fangqi, HE Xinyu, et al. The research of indoor stadium lighting wisdom[J]. Light & Lighting, 2015,39(4):21-24,58.

- [15] 古铭秀. 智能照明控制技术在体育馆照明改造工程中的应用[J]. 硅谷, 2012, 5(13): 154, 176.
GU M X. Application of intelligent lighting control technology in gymnasium lighting renovation project [J]. Silicon Valley, 2012, 5(13): 154, 176.
- [16] 彭月月. 基于无线射频技术的体育照明系统的研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2016.
PENG Yueyue. Research of sports lighting system based on radio frequency technology [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019.
- [17] CAO S M. Intelligent Lighting control system in large-scale sports competition venues [J]. Light & Engineering, 2018, 26(4): 172-182.
- [18] 胡国剑, 郝洛西. 照明计算软件 Dialux 与 Agi32 的比较分析[J]. 照明工程学报, 2005(3): 54-57.
HU Guojian, HAO Luoxi. Comparison and analysis of lighting calculation software Dialux & Agi32 [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2005(3): 54-57.
- [19] 李金, 魏立明. 基于 DIALux 软件照明设计问题分析[J]. 科学技术创新, 2017(15): 177-177.
LI Jin, WEI Liming. Analysis of lighting design based on Dialux software [J]. Scientific and Technological Innovation, 2017(15): 177-177.
- [20] 赵建平. 体育场馆照明标准及工程检测[J]. 演艺科技, 2019(1): 7-11.
ZHAO Jianping. Lighting standards and engineering inspection of sports venues [J]. Entertainment Technology, 2019(1): 7-11.
- [21] 赵丽, 张炜虹. 光源的色温与显色性及其应用[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 1998, 30(4): 89-91.
ZHAO Li, ZHANG Weihong. The application of colour temperature and colouration of the light source [J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 1998, 30(4): 89-91.
- [22] 李晓彬. 论 LED 在体育馆场地照明改造中的应用[J]. 智能建筑电气技术, 2014, 8(5): 42-47.
LI Xiaobin. Application of LED in stadium lighting transformation [J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings, 2014, 8(5): 42-47.
- [23] 林若慈, 朱悦. 基于体育场馆照明的马道设置方法的研究[J]. 照明工程报, 2014, 25(5): 32-39.
LIN Ruoci, ZHU Yue. Research on catwalk positioning in venues lighting [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2014, 25(5): 32-39.
- [24] 孙岳, 何鹏林, 种栗. 体育场馆区域照明的眩光评价[J]. 照明工程学报, 2007(4): 51-54.
SUN Yue, HE Penglin, CHONG Li. Glare evaluation for sports area lighting [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2007(4): 51-54.
- [25] 基于视觉舒适度的室内 LED 眩光研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2019.
HAO Tiantian. Research on indoor LED glare based on visual comfort [D]. Tianjing: Tiangong University, 2019.
- [26] 李勤, 尹志洲, 田伟东, 等. 基于功能需求的旧工业建筑体育空间再生设计策略研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2020, 52(5): 709-716.
LI Qin, YIN Zhizhou, TIAN Weidong, et al. Research on the design strategy of sports function regeneration space of large span old industrial buildings [J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2020, 52(5): 709-716.

(编辑 沈 波)