

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2018.04.014



博物馆展示空间采光设计的优化策略

黄险峰, 韦尚佑

(广西大学土木建筑工程学院; 广西防灾减灾与工程安全重点实验室;
工程防灾与结构安全教育部重点实验室, 南宁 530004)

摘要:针对博物馆展示空间的光环境现状,按照展品对采光的要求对展示空间进行分类,归纳出其典型的采光形式和展品陈列布局方式,通过计算展示空间在不同工况下的采光系数、采光均匀度、亮度分布和不舒适眩光指数等采光参数,对展示空间的光环境进行仿真分析,由此确定适宜的采光形式和采光构件,提出相应的采光优化策略,即从采光形式和构件两方面进行采光参数的优化。结果表明:采光优化策略可改善博物馆展示空间的采光质量,使不同类型展示空间获得适宜的光环境。

关键词:展示空间;采光;眩光;优化策略

中图分类号:TU 113.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2018)04-0094-09

Optimization strategy to day-lighting design of exhibition spaces within a museum

Huang Xianfeng, Wei Shangyou

(College of Civil Engineering and Architecture; Guangxi Key Laboratory of Disaster Prevention and Engineering Safety;
Key Laboratory of Disaster Prevention and Structural Safety of Ministry of Education,
Guangxi University, Nanning 530004, P. R. China)

Abstract: As to the luminance environment of the museums, the day-lighting design in their exhibition spaces has been analyzed, the typical museum design factors, such as day-lighting form, and layout of displayed items have been concerned and investigated by field trips. Then, the exhibition spaces are classified into different categories whose natural day-lighting environments are simulated by the requirements of displayed items. Under varied day-lighting conditions, the daylight parameters, i. e. day-lighting factor, day-lighting uniformity, luminance distribution and discomfort glare index (DGI) are evaluated. Therefore, the favorable day-lighting form and members in the corresponding exhibition spaces will be determined. the optimization strategies which optimize the parameters of varied day-lighting forms and members are proposed. It is concluded that the day-lighting quality would be ameliorated by the implement of optimization strategies, and favorable luminance environment in the different exhibition spaces of a museum are achieved.

Keywords: exhibition spaces; daylighting; glare; optimization strategy

收稿日期:2017-10-21

基金项目:国家自然科学基金(51568003);广西自然科学基金(2015GXNSFAA139254,2014GXNSFAA118017)

作者简介:黄险峰(1965-),男,教授,博士,主要从事建筑物物理研究,E-mail:seulee@163.com。

Received:2017-10-21

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No. 51568003); Natural Science Foundation of Guangxi Province (No. 2015GXNSFAA139254,2014GXNSFAA118017)

Author brief: Huang Xianfeng(1965-), professor, PhD, main research interest: building physics, E-mail:seulee@163.com.

博物馆的展示效果在很大程度上取决于其建筑采光设计的优劣,良好的采光设计不仅可赋予展品最佳的色彩还原,还可为观众带来舒适愉悦的观赏体验。随着绿色理念的深入和建筑技术的发展,自然采光在博物馆设计中越来越受到重视。由于天然光环境与博物馆展示空间的设计存在着必然的联系,不同展品的展示空间有着不同采光要求,应首先掌握博物馆的采光设计方法和天然光功能的关系^[1],根据展示空间的实际光环境状况,进行合理的采光设计,在提高视觉舒适度的同时,大幅度减少人工照明的能耗。这就要求设计者要对采光的效果和有效性进行充分预测^[2]。由于天然光和人工光是构成博物馆展示空间光环境的两个要素,若同时从天然采光与人工照明两方面分析博物馆光环境^[3],则其室内的采光(或照明)均匀性预测存在一定困难而难以评价,为此 Saraiji 等^[4]采用标准化采光性能指数(NDI)来表示室内光环境参量的变化特征。为了适应特定地区光环境下,针对炎热地区的光气候特点,Fasi 等^[5]通过设计实例,在满足照明需求的同时,应用采光系数和不舒适眩光指数来评介室内光环境、节能和热舒适的平衡关系。而 Wonuk 等^[6]在考虑室外气温与照度值关联的基础上,建立人工神经网络预测模型,描述室内光环境和热舒适的关系和照度值随节能率的变化趋势。

博物馆建筑中使用自然采光,具有节能、无污染、可再生、心理舒适、昼夜周期、色彩自然等被广泛接受的优点。对于博物馆中陈列的展品而言,Pinilla 等^[7]认为采光既是一种生态和可持续能源的合理利用,也是展品内在艺术性的组成部分。另外,根据视觉特性进行采光设计,可凸显绿色环保和人文关怀。但因其采光量难以准确控制、采光效果难以正确评估而使其备受争议。另一方面,由于博物馆建筑一般存在大面积采光窗和玻璃展柜,应合理选择采光窗玻璃面积,这不仅确保博物馆展厅内的光舒适,还能实现一个可持续的光环境,减少在特定区域的眩光影响^[8],Acosta 等^[9]通过实测发现:室内某区域的采光系数(DF)与周围除了窗户之外的玻璃表面面积成正相关。所以,若设计不当或缺乏有效控制天然光的方法,可能会造成室内局部区域亮度过高、采光均匀度差,致使观众视野范围内产生直接眩光和反射眩光,严重影响人们的观赏体验。研究表明^[10]:人们对眩光所产生的视觉不舒适感是受多种因素影响的,且随时间而不断变化,其中各类眩光是影响博物馆内光环境质量的主要因素,也是一直普遍存在而又难以克服的问题,其原因之一在

于如何评价室内眩光。Collinge 等^[11]强调应由博物馆的参观者通过评价试验来判别采光空间中的视觉不舒适原因,Osterhaus 等^[12]、Sharp 等^[13]、Bouekri^[14]、Tregenza 等^[15]和 Matusiak 等^[16]通过办公建筑的天然光环境研究提出了不同的眩光评价指标,并归纳出各自的优点和局限性,这些眩光评价指标可为博物馆采光设计所借鉴。面对博物馆建筑存在着天然光环境较差和眩光现象较严重的现实,运用量化分析手段对博物馆建筑光环境进行客观的分析与优化十分必要。通过对博物馆建筑展示空间光环境进行仿真模拟,获取相应的采光参数,再通过对这些采光参数的合理分析,实现建筑内部天然光资源的科学运用和有效控制。

营造博物馆建筑良好的天然光环境,应着重于改善其采光质量,提高对眩光的关注度,运用量化手段对眩光进行准确的计算和预测,再根据计算和预测结果制定对应的控制措施,最大程度降低眩光对展示空间造成的影响,目前这已成为博物馆建筑采光设计研究的重点内容之一。因此,本文将根据展品的具体特性,对各类展示空间进行合理的采光设计,契合观众更喜爱在天然光环境进行观赏的心理和习惯,同时营造舒适的光环境。为了避免光环境的不当设计和有效地改善博物馆的光环境质量,剖析和研究由采光所引起的眩光原因。提出应从基于控制眩光、采光系数和采光均匀度等参数的角度来探索展示空间的适宜采光形式和改进采光构件来实现采光设计的优化策略。

1 博物馆采光现状调研

为了掌握博物馆的采光现状,笔者对南宁、广州和深圳 3 个城市的主要博物馆建筑进行了实地调研,调研内容如表 1 所示。目的在于了解这些博物馆的展示空间形式、采光现状、展品类型、陈列布局方式等内容,通过亲身体验这些博物馆的观赏感受,归纳出典型的展示空间形态。

表 1 博物馆的采光调研内容

Table 1 Field trip on daylighting of museums

调研对象	调研方案	数据形式
客观信息	展示空间	展厅的平、剖面形式等建筑信息。
	展品	各博物馆主要的展品类型,进行综合归纳与分类。
	采光现状	各展厅的采光形式,包括窗口形式、窗口位置、采光构件等。
	陈列布局	记录展品的设置位置、观赏过程中的流线形式等。
		展厅平、剖面概况图。
		展品分类记录
		采光设计要点的记录
		陈列布局、绘制观赏流线示意图

续表 1

调研对象	调研方案	数据形式
主观 信息	观看 感觉	分析展示空间的亮度分布、眩光情况等;在各博物馆展示区域向不同年龄段观众发放光环境调查问卷,获取展示空间光环境的主观感受。
		分析现场照片、问卷调查数据。

在分析博物馆采光调研结果后,发现目前在博物馆天然采光设计方面存在几个问题:1)其设计切入点大多集中于自然光对于展品呈现的艺术及美学表达等方面,较少涉及结合展品特性与陈列布局形式等进行的采光设计;2)一些陶瓷、字画展厅仍然是仅有照明,而无采光的“黑暗展馆”;3)对光环境质量控制方面缺乏对眩光的量化分析,对展示空间中的直接或反射眩光控制不够。因此,有必要基于展示空间的采光质量(照度分布和眩光强度等)情况,针对不同展品的要求进行采光设计。在分析调研数据的基础上,表 2 是对展示空间进行的具体分类。

表 2 展示空间分类

Table 2 Classification to exhibition spaces

展示空间	陈列布局形式	所采用的采光形式 (采光窗及其组合)
雕塑展厅	独立式陈列	低侧窗、高侧窗、平天窗
	单线式陈列	平天窗、低侧窗、高侧窗、大面积落地侧窗
	多线式陈列	平天窗、平天窗+低侧窗、平天窗+高侧窗
门厅	混合式陈列	大面积天窗、大面积侧窗、 大面积天窗+大面积落地侧窗
	集中式陈列	中庭式门厅采光、开敞式门厅采光
字画展厅	分散式陈列	中庭式门厅采光、开敞式门厅采光
	悬挂式陈列	平天窗、低侧窗、高侧窗、锯齿形天窗
	水平式陈列	平天窗、低侧窗、高侧窗、锯齿形天窗
陶瓷展厅	斜面式陈列	平天窗、低侧窗、高侧窗、锯齿形天窗
	线式陈列	平天窗、低侧窗
	点线式陈列	平天窗、低侧窗

2 采光仿真与采光模型

2.1 仿真方法

根据表 2 所示的展示空间类别,采用建筑性能分析软件(Autodesk Ecotect Analysis)与光环境模拟分析软件(Radiance)交互协作的工作模式^[17],对表 1 所示的各类展示空间的天然光环境进行仿真分析。天然光环境的采光参数包括:采光系数、采光均

匀度、亮度分布与不舒适眩光指数 DGI (Discomfort Glare Index),其仿真分析流程见图 1。

在仿真计算中均采用博物馆所在地的光气候参数。在此先以独立式陈列的雕塑展示空间光环境仿真分析为例,说明博物馆采光设计优化过程。

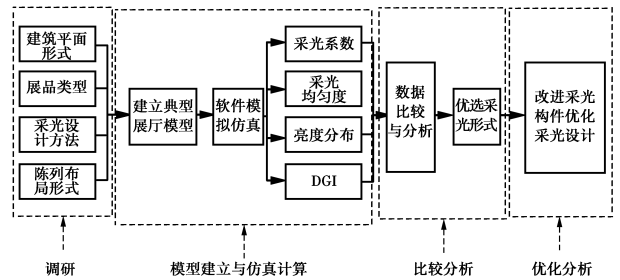


图 1 展示空间采光设计仿真流程

Fig. 1 Flow chart of daylighting design simulation in an exhibition space

2.2 采光模型

采光口按位置的不同一般分为 3 种形式:低侧窗、高侧窗及天窗。低侧窗采光是常见的采光形式,在视线范围内的过亮的低侧窗易产生直接眩光;当窗墙比较高,展品采用玻璃罩保护时,所产生的一次和二次反射眩光将严重影响对展品的辨识,难以看清其中细节。因此,必须对博物馆陈列室的侧窗和展柜进行仔细设计,以消除或减弱直接和反射眩光。矩形展示空间则适合采用条形的采光带。展墙一般会沿着采光带的走向安排展示活动,线性的光照特征加强了空间流线的引导性。有些展示空间则会采用整体的采光顶棚。或由密集的采光口及采光带构成的采光面进行采光。在整体采光顶棚的展室空间,大面积的采光口所提供的漫射光使得展示空间的氛围更加均质化。图 2 所示为陈列雕塑的展厅采光工况:分别低侧窗、高侧窗和平天窗 3 种,其采光口参数如表 3 所示。

图 2 是在 Ecotect 中建立该展厅的建筑模型,其尺寸为 $9\text{ m} \times 6\text{ m} \times 4.5\text{ m}$ (开间 \times 进深 \times 层高),开窗面积相同,朝向设定为南北向。人像雕塑高度 2.2 m ,并置于展厅中部位置。

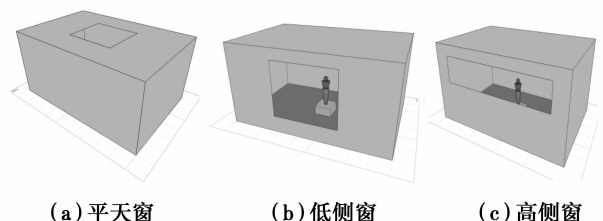


图 2 展厅的采光口

Fig. 2 Opening for daylighting in exhibition halls

表 3 雕塑展厅的采光口参数
Table 3 Size of openings for daylighting in a statue exhibiting hall

工况	窗口形式	窗口尺寸 (宽×高)	窗口位置	窗台高度/m	窗地比
1	低侧窗	3.6 m×3 m	北墙面	0.9	0.2
2	高侧窗	7.2 m×1.5 m	北墙面	2.7	0.2
3	平天窗	3.6 m×3 m	顶棚	3.0	0.2

表 4 为展厅内表面的光反射比。根据各视点高度确定仿真位置,模拟从观众的角度对展品观赏过程中的视觉体验,并做出评判。雕塑展厅的视点设置如图 3 所示,观赏过程以 360°环绕中部区域的雕塑进行,由正东向顺时针依次编号为 1~8。

表 4 展厅内表面及雕塑的光反射比

Table 4 Reflectance of interior surface and statue

构件	材质	光反射比
地面	水泥砂浆抹面	0.3
墙面	白色粉刷	0.7
顶棚	白色粉刷	0.7
雕塑表面	白色大理石	0.6
窗口玻璃	夹层玻璃	0.7

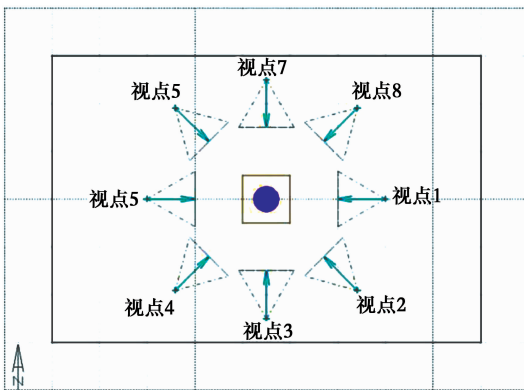


图 3 视点的平面布置

Fig. 3 Plane layout of viewpoint

部区域较高,向四周墙角区域逐渐递减;低侧窗的采光系数在近窗侧位置较高,随着进深增加而迅速降低;高侧窗的采光系数随进深增加出现先缓慢增加,沿进深方向到达某一位置后,再逐渐减小的现象,侧窗采光均表现出不同程度的采光单向性特点。

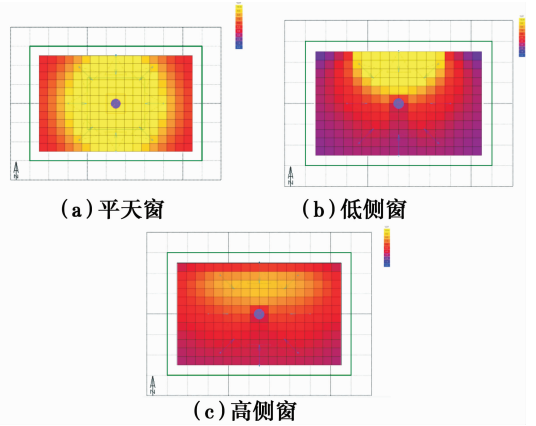


图 4 各类窗采光系数的平面分布

Fig. 4 Daylighting factor plane distribution

将仿真计算区域划分为观赏区与全局区(见图 3),通过计算展厅内部的平均采光系数和采光均匀度(见表 5)以掌握采光系数在不同区域的分布情况。

表 5 不同采光窗的平均采光系数和均匀度

Table 5 Day-lighting factor and uniformity under different windows

采光形式	平均采光系数/%	采光均匀度	
		观赏区	全局
平天窗	8.9	0.59	0.47
低侧窗	5.5	0.41	0.29
高侧窗	5.0	0.59	0.52

比较表 5 中各种采光形式的平均采光系数和均匀度得知:在平天窗下的采光环境,其采光系数和均匀度都是最高,这说明平天窗是最有利于此类展品(独立陈列的雕塑)的展示的采光窗。

3.1.2 亮度分布 图 5 为以亮度分布的伪彩图,选取视点 3(代表观赏的主要视线方向)的亮度图像来分析各采光窗下的展示效果。

根据图 5 可知,平天窗采光条件下视野范围内的亮度分布最为稳定,各视点的亮度分布基本一致,且展品与环境的亮度对比较小;低侧窗和高侧窗情况下,在面对侧窗时展品与窗口的亮度对比过于强烈而易产生直接眩光,看不清展品细节,并导致眼睛

3 仿真结果分析

将所建立的采光分析模型输至 Radiance 光环境模拟软件进行相应采光参数指标的计算,获取采光系数、采光均匀度、亮度和 DGI 的分布情况。

3.1 采光参数的计算

3.1.1 采光系数与采光均匀度 展厅内部的采光系数计算结果如图 4 所示。平天窗的采光系数在中

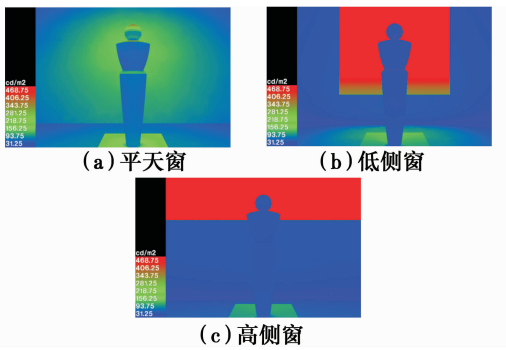


图 5 各类窗在视点 3 的亮度分布

Fig. 5 Luminance distribution at viewpoint 3

参数进行比较与分析,再确定雕塑展厅的合理采光形式。

图 6 说明了无论是观赏区或全局区域,高侧窗采光条件下室内照度的分布最为均匀,平天窗次之,低侧窗的采光均匀度最差。其中,高侧窗的观赏区均匀度与全局区域均匀度差异最小,表明高侧窗在不同区域的采光照度分布较为均匀。比较图 7 中 3 种窗的 DGI 分布曲线发现:平天窗的 DGI 分布曲线较为平稳,各点的 DGI 值均分布在 10 附近,处于较低水平。低侧窗眩光曲线视点 1~5 的 DGI 值较高,在视点 3 时达到峰值且超过临界值,在视点 7 时达到最低值,曲线的变化相对平稳。高侧窗眩光曲线视点 1~5 的 DGI 值较高,基本超过临界值并且有两个峰值点(视点 2 与视点 4),视点 6~8 的 DGI 值迅速下降,在视点 7 达到最低值,曲线的变化率较大。由此可见:当采用侧窗采光时,人眼在面对窗口的观赏区域,会随着视野内窗口面积的增大逐渐产生刺眼的感觉,当视线正对窗口时眩光感基本达到最大程度,其中高侧窗的眩光感较强且持续时间长;而视线背对窗口时,眩光感消失,整个观赏过程视觉感受具有较大的波动,易产生视觉疲劳。而在平天窗采光情况下,8 个视点均无眩光感产生,各视点视觉感受差异不大。

疲劳。

3.1.3 不舒适眩光指数 DGI 窗的 DGI 采用式(1)计算^[18-19]。

$$DGI = 10 \lg \sum G_n \quad (1)$$

其中

$$G_n = 0.478 \frac{L_s^{1.6} \Omega^{0.8}}{L_b + 0.07 \omega^{0.5} L_s} \quad (2)$$

$$\Omega = \int \frac{d\omega}{\rho^2} \quad (3)$$

$$\rho = \exp[(35.2 - 0.31889a - 1.22e^{-2a/9})10^{-3}\beta + (21 + 0.26667a - 0.002963a^2)10^{-5}\beta^2] \quad (4)$$

式中: G_n 为眩光常数; L_s 是窗亮度,通过窗所看到的天空、遮挡物和地面的加权平均亮度, cd/m^2 ; L_b 为背景亮度,观察者视野内各表面的平均亮度, cd/m^2 ; ω 是窗对计算点形成的立体角, sr ; Ω 为考虑窗位置修正的立体角, sr ; ρ 为古斯位置指数; a 是窗对角线与窗垂直方向的夹角; β 表示观察者眼睛与窗中心点的连线与视线方向的夹角。

各视点的 DGI 计算值如表 6 所示。低侧窗在视点 3,高侧窗在视点 2、3、4 的 DGI 值均超标,其中平天窗各视点的 DGI 均未超标,且在分布最为均匀,说明展厅在平天窗采光的环境下观赏雕塑展品时受眩光干扰为最小。

表 6 不同窗户的眩光值 DGI 计算

Table 6 DGI value under different types of windows

采光形式	视点 1	视点 2	视点 3	视点 4	视点 5	视点 6	视点 7	视点 8
平天窗	10.95	10.26	9.87	10.26	10.95	10.26	9.87	10.26
低侧窗	17.98	18.97	20.17	19.02	16.38	12.51	10.52	11.46
高侧窗	18.95	21.34	20.35	22.26	18.86	7.17	6.61	7.81

3.2 采光形式的优化

根据表 5、表 6 中 3 种窗户的采光均匀度及 DGI 值绘制了图 6 和 7,通过对每种采光形式的光环境

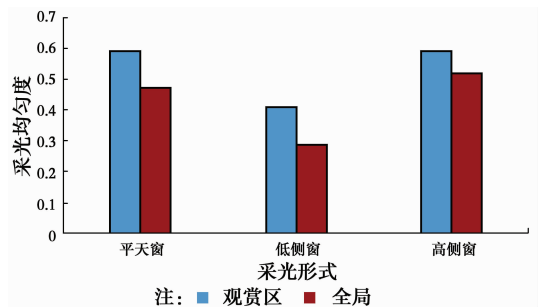


图 6 展厅各工况下的采光均匀度

Fig. 6 Daylighting uniformity under different windows

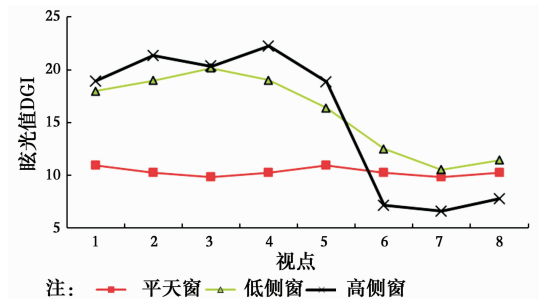


图 7 展厅各工况下的 DGI 值

Fig. 7 Discomfort glare index under different windows

综上所述,平天窗的采光效率高,采光均匀度较好,在主要视点无眩光产生且视觉感受较为一致。

因此,对于独立式陈列的雕塑展厅,采用平天窗是最适宜的采光形式。

4 采光构件优化

由于在平天窗采光条件下,采光系数和 DGI 值均可满足要求,而采光均匀度也是描述展厅空间光环境质量的重要参量之一^[20],下一步通过改善采光均匀度达到优化采光构件之目的。

由于在雕塑正上方集中设立的矩形平天窗导致室内中部区域较亮、四周区域较暗,为使室内照度分布更为均匀,考虑在保持窗地比不变的条件下,将集中式的矩形平天窗拆分成 3 个小型条状平天窗,分散布置于顶棚面,采光面积相同,天窗中线间距为 3 m。此分散式开窗的展厅模型如图 8 所示。

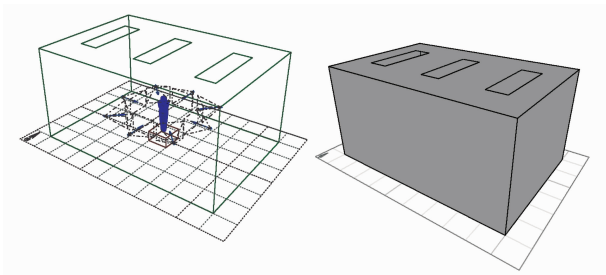


图 8 展厅中的分散式平天窗

Fig. 8 Discrete top light in an exhibiting hall

对分散式开窗的展厅进行采光仿真分析,获得相应的采光均匀度和 DGI 值,并与原来集中式平天窗的采光方案的采光均匀度和 DGI 值进行比较分析。原方案与优化方案的采光均匀度及 DGI 值的比较见表 7、8 和图 9。

表 7 不同平天窗采光方案的采光系数、均匀度

Table 7 Daylighting factors and uniformity of different windows

采光形式	平均采光系数/%	采光均匀度	
		观赏区	全局
集中式	8.9	0.58	0.47
分散式	8.0	0.77	0.63

表 8 平天窗采光方案优化前后的眩光值 DGI

Table 8 DGI value before and after daylighting optimization to the flat toplight

采光形式	视点 1	视点 2	视点 3	视点 4	视点 5	视点 6	视点 7	视点 8
	集中式	10.95	10.26	9.87	10.26	10.95	10.26	9.87
分散式	14.24	15.45	12.96	15.40	14.22	15.43	12.94	15.40

由表 7 可知,在相同的采光口面积相同的情况下,将原来集中式平天窗进行分散布置,观赏区与全局区域的采光均匀度均有大幅改善,其中观赏区均匀度达到 0.77,大于采光要求的 0.7,提高约 30%,全局区域均匀度提高约 34%,可见采用分散式平天窗有利于改善采光均匀度。图 9 显示,在优化方案中,其观赏过程中的 DGI 值较原方案虽略有所高,增幅在 3~5 之间,DGI 峰值点为 15.45,但由于优化后的 DGI 整体曲线仍然处于较平稳的状态,各视点的 DGI 分布均匀,且远小于 DGI 的限值 20,所以并未引起人眼的眩光感觉,所以视觉感受波动不大,产生视觉疲劳的可能性不大。综上分析,对于独立式陈列布局雕塑展厅,当采用平天窗进行采光时,可将集中式平天窗改为分散开窗的形式。这有利于提高采光均匀度,且眩光 DGI 的值虽有增加,但仍然保持在合理的水平,使室内的天然光环境更为舒适宜人。

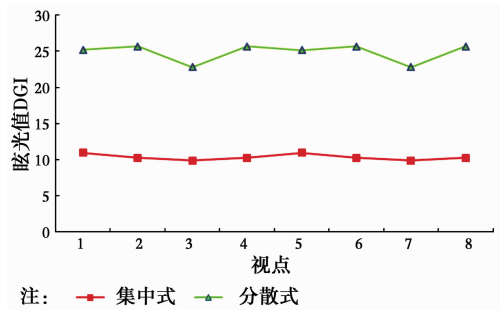


图 9 平天窗的 DGI 值

Fig. 9 DGI values under flat toplight

5 其他类型展厅的采光优化

应用上述方法对博物馆的门厅和字画展厅进行采光设计优化。

5.1 门厅

现代博物馆门厅的一般分为中庭式与开敞式(大面积窗体)两种,可作为展出主题展品的展示空间。本文的中庭式门厅平面为矩形,朝向为南北向,入口设于首层南面,其尺寸为 50 m×44 m×18 m。中庭上部开设平天窗;开敞式门厅平面也为矩形,南北朝向,尺寸为 40 m×27 m×18 m,形成通透开敞式的门厅空间。展品的尺寸为 4.2 m×2.5 m,为集中式陈列。围绕展品一周设 8 个视点。经采光仿真分析,确定中庭式门厅宜采用平天窗采光,开敞式门厅采用“大面积天窗+大面积侧窗”的采光组合。两种门厅的采光系数、均匀度和 DGI 见表 9 和图 10。

表 9 不同门厅采光系数最低值、均匀度计算

Table 9 Daylighting factors and uniformities in different foyer

门厅形态	采光系数/%		采光均匀度	
	观赏区	全局	观赏区	全局
中庭式	7.60	3.91	0.757	0.466
开敞式	37.14	37.14	0.737	0.704

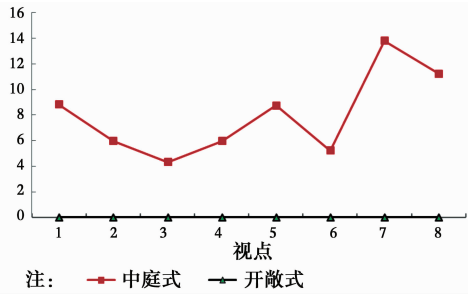


图 10 不同门厅的 DGI 值

Fig. 10 DGI values in different foyer

由表 9 和图 10 可知,两种门厅的采光系数均可满足采光要求,观赏区都具有较高的采光均匀度,且无明显眩光产生。相对而言,采用大面积侧窗和大量天窗的开敞式门厅,其室内的照度分布更为均匀;中庭式门厅在四周的照度低,而中部的照度高,这种照度分布有利于形成视觉焦点,起到突出主题展品的作用。在 2 种门厅的采光优化方面,应注意控制进入门厅的天然光,尤其是开敞式的展厅,由于开窗面积较大和采光系数较高。为了避免过量的太阳直射光所引起室内过热,需采用低透射率的窗玻璃或设置导光板等遮光措施。

5.2 字画展厅

由于一些字画对光线较为敏感,设计时要考虑光线对展品造成的损害,在保证展示要求的前提下,应控制在展品上的光暴露值。本文中的字画展厅为南北朝向,尺寸为 12 m×9 m×4.5 m。在室内的侧墙上布置展品。在观赏流线上设置 12 个视点,由东北向顺时针依次编号为 1~12。由于字画展品一般需要近距离观看。其采光形式有平天窗、低侧窗、高侧窗和锯齿形天窗四种,其采光系数、采光均匀度和 DGI 计算值见表 10 和图 11。

表 10 字画展厅的采光系数和均匀度

Table 10 Daylighting factors and uniformities in the galleries under a variety of window

采光形式	采光系数/%		采光均匀度	
	观赏区	全局	观赏区	全局
平天窗	5.54	3.06	0.480	0.332
低侧窗	1.40	1.40	0.341	0.262

续表 10

采光形式	采光系数/%		采光均匀度	
	观赏区	全局	观赏区	全局
高侧窗	1.93	1.93	0.422	0.407
锯齿形天窗	2.63	2.63	0.264	0.277

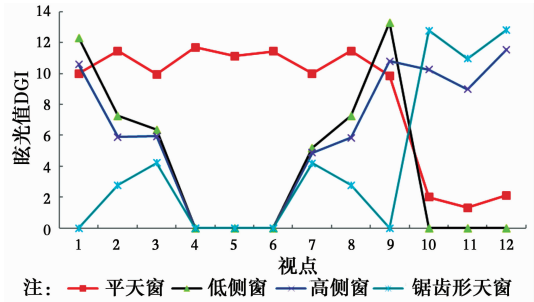


图 11 各类采光形式的 DGI 值

Fig. 11 DGI values under different kind of daylighting

由仿真结果可知,平天窗和锯齿形天窗的采光系数高于低侧窗与高侧窗。这 4 种窗的采光均能在悬挂式的书画展品表面形成较为理想的亮度,即保持展品亮度略高于背景墙的亮度,有利于突出展品的展示效果。平天窗与高侧窗的采光均匀度要高于低侧窗和锯齿形天窗,其中平天窗在观赏区的采光均匀度最高,但全局采光均匀度却较低,表明观众在观赏区域和非观赏区域之间切换时,易引起视觉疲劳;高侧窗的观赏区和全局采光均匀度较为一致,其观赏环境较为适宜;而锯齿形天窗所形成的采光均匀性最低,这是由于此类窗的采光方向性强所造成的。由图 11 可见:低侧窗采光在各视点的 DGI 起伏波动最大,其次为锯齿形天窗,然后是高侧窗,而平天窗的 DGI 值在各视点较为平稳,且 DGI 值均处于较低水平,说明在所有视点上无眩光产生。因此,对于悬挂式陈列的书画展厅来说,平天窗或高侧窗是较为合适的采光形式。考虑到当通过平天窗的太阳直射光直接照射展品时,其照度变化幅度大,且难以控制,可能会对展品造成损害。另外,就室内照度的分布而言,高侧窗在观赏区与全局均能形成较高的照度均匀度,因此,高侧窗更适宜于该类型展厅。由于侧窗采光的方向性强,室内进深较大区域的照度较低,因此需要设法将更多光线引入距窗较远的区域,如考虑将高侧窗设计成凸窗形式,高侧窗下端的凸出表面和顶棚刷光反射涂料,将天然光反射至展厅深处。

按照上述同样方法在对表 1 中所示的各类展示空间进行采光设计优化,确定各类型展厅适宜的采光形式,再进一步优化采光窗等构件,由此提出相应

的采光优化策略,以有效改善室内采光均匀度,抑制和减弱直接和反射眩光的产生。即可获得如表 11 所示的各类展厅的采光设计优化策略。

表 11 各类型展厅较优采光设计优化策略
Table 11 Daylighting optimization strategy
to a variety of exhibiting hall

展示空间	陈列布局形式	适宜的采光形式 (采光窗及其组合)	采光构件的优化
	独立式陈列	平天窗采光	分散布置
	单线式陈列	高侧窗采光	顶棚倾斜设置
雕塑展厅	多线式陈列	平天窗与高侧窗组合采光	高侧窗一侧转角改造
	混合式陈列	大面积天窗采光	设置倾斜密集型导光板
门厅	集中式陈列	中庭式门厅采光	降低自然光透过程率
	分散式陈列	开敞型门厅采光	降低自然光透过程率
字画展厅	悬挂式陈列	高侧窗采光	高侧窗凸窗改造
	水平式陈列	锯齿形天窗采光	天窗面倾斜设置
陶瓷展厅	斜面式陈列	平天窗采光	天窗下方设反射构件
	线式陈列	平天窗采光	展柜玻璃面倾斜设置
	点线式陈列	平天窗采光	增大展柜玻璃顶面高度

6 结语

为了避免仅注重照明而忽略采光的“黑暗博物馆”现象,应考虑同时采用采光和照明的均衡设计来营造展示的光环境。展示空间设计是博物馆设计的主要内容之一,而其中的采光照明设计又是展示空间设计的关键,本文通过对博物馆采光现状的调研,对其中的展示空间进行归纳分类,通过建模仿真计算各类展示空间在不同采光形式下的天然光环境的采光系数、采光均匀度、亮度分布及 DGI 值等采光参数指标。在对比和分析各类展厅天然光环境状况后,获得各工况下展示空间的采光综合评价,确定各类型展厅最佳的采光形式,然后进一步优化相应采光构件(窗、反射板和遮阳设施等)的构造、尺寸以及材料特性等。由此获得博物馆中雕塑、门厅、书画、陶瓷等各类展厅的最为适合采光形式。这样可协助建筑师在博物馆建筑展示空间的采光设计上充分结合展品的特性,合理的运用自然光,提高博物馆的光环境质量,以达到有效改善室内照度均匀度,抑制和减弱直接和反射眩光的产生之目的。

由于人眼在天然光条件下视看舒适自然,视度高,因此,在博物馆建筑设计时应充分考虑在展示空间中有良好的采光设计,本文通过定量的方法论述

了博物馆采光设计的优化过程,提出相应展示空间的采光优化策略。即根据展品特性、陈列布局和建筑环境等提出有针对性的采光设计方案,使不同类型展示空间获得适宜的天然光环境,并在一定程度上避免博物馆疲劳综合症。

参考文献:

- [1] 姜萌. 博物馆自然采光的设计与研究[D]. 北京:中央美术学院, 2010.
JIANG M. A study on day-lighting design of museum [D]. Beijing: China Central Academy of Fine Arts, 2010. (in Chinese)
- [2] GALATIOTO A, BECCALI M. Aspects and issues of daylighting assessment: A review study [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 66: 852-860.
- [3] 王璐. 视觉特性下博物馆空间光环境的应用与研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2013.
WANG L. Application and research of visual conditions in museum exhibition design light environment[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2013. (in Chinese)
- [4] SARAJI R, AL Y, SAFADI M, et al. A comparison of scale-model photometry and computer simulation in day-lit spaces using a normalized daylight performance index [J]. Energy & Buildings, 2015, 89:76-86.
- [5] FASI M, BUDAIWI I. Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates [J]. Energy & Buildings, 2015, 108:307-316
- [6] WONUK K, YONGSEOK J, YONGCHAN K. Simulation-based optimization of an integrated daylighting and HVAC system using the design of experiments method [J]. Applied Energy, 2016, 162: 666-674.
- [7] PINILLA S M, MOLINI D V, FERNANDEZ - BALBUENA A A, et al. Advanced daylighting evaluation applied to cultural heritage buildings and museums: Application to the cloister of Santa Maria El Paular [J]. Renewable Energy, 2016, 85: 1362 -1370.
- [8] HEE W J, ALGHOUL M A, BAKHTYAR B, et al. The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2015, 42:323-343.
- [9] ACOSTA I, MUNOZ C, CAMPANO M A, et al. Analysis of daylight factors and energy saving allowed by windows under overcast sky conditions [J]. Renewable Energy, 2015, 77:194-207.
- [10] ALTOMONTE S, KENT M G, TREGENZA P R, et

- al. Visual task difficulty and temporal influences in glare response[J]. *Building and Environment*, 2016, 95: 209-226.
- [11] COLLINGE W O, LANDIS A E, JONES A K, et al. Productivity metrics in dynamic LCA for whole buildings: using a post-occupancy evaluation of energy and indoor environmental quality trade-offs [J]. *Building and Environment*, 2014, 82: 339-348.
- [12] OSTERHAUS W K E. Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments[J]. *Solar Energy* 2005, 79(2):140-158.
- [13] SHARP F, LINDSEY D, DOLS J, et al. The use and environmental impact of daylighting [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 85: 462-471.
- [14] BOUBEKRI M. *Daylighting, Architecture and Health* [M]. First edition. Oxford, UK: Elsevier, 2008.
- [15] TREGENZA P R, Wilson R. *Daylighting* [M]. Oxon, UK: Routledge, 2011.
- [16] MATUSIAK B S. Glare from a translucent facade, evaluation with an experimental method [J]. *Solar Energy*, 2013, 97: 230-237.
- [17] 周书兵,王永超,叶晓青,等. 重庆居住建筑凹槽自然采光设计参数研究[J]. *建筑科学*, 2016, 32(4):151-154. ZHOU S B, WANG Y C, YE X Q, et al. Study on natural lighting design parameters of residential building grooves in Chongqing [J]. *Building Science*, 2016, 32 (4): 151-154,158. (in Chinese)
- [18] 建筑采光设计标准:GB/T 50033—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013. Design standard for building daylighting:GB/T 50033-2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013. (in Chinese)
- [19] NAZZALI A. A new evaluation method for daylight discomfort glare[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2005, 35:295-306.
- [20] CARLUCCI S, CAUSONE F, DE ROSA F, et al. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2015, 47:1016-1033.

(编辑 胡玲)