

基于全年动态光环境模拟条件的典型 阅览空间参数设计研究

项路遥¹, 倪蔚超², 吴恩融¹

(1. 香港中文大学 建筑学院, 香港特别行政区 999077; 2. 华南理工大学 建筑学院, 广东 广州 510000)

摘要: 天然光环境是阅览空间重要的因素, 其质量的好坏对阅读的效率、人眼的健康均有重要的影响。因此在阅览空间的设计过程中需着重予以考虑。现阶段我国实行的《建筑采光设计标准》(GB 50033—2013) 以采光系数(DF) 作为评价标准, 但该系数的局限性已被国内外研究者论证多次。我们结合新的天然采光系数(DA, CDA, UDI), 在全年动态光环境模拟条件下, 对典型阅览空间进行探索。通过控制设计中的参数变量, 如阅览空间的进深、层高、采光形式、开窗方式, 发现南向采光进深18 m、层高4.5 m时采用水平长条窗能够有效增加全年阅览空间中可利用天然光的空间。并且, 将窗地比控制在0.12左右, 可最大程度地降低 $UDI_{<100\text{ lx}}$ [50%] 与 $UDI_{>2000\text{ lx}}$ [50%] 的空间占比。

关键词: 全年动态光环境模拟; UDI; DA; 阅览空间; Daysim; 参数; 设计; 照明; 天然光
中图分类号: TM923 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-440X.2017.03.005

The Parameter Design Study of Typical Reading Space Based on Dynamic Annual Daylight Simulation

XIAN Luyao¹, NI Weichao², WU Enrong¹

(1. School of Architecture, The Chinese University of Hongkong, Hongkong 999077, China;
2. School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou 510000, China)

Abstract: Daylighting is an important factor for the reading space. It relates to the reading efficiency and eyesight. Therefore it should be highlighted in the process of reading space design. Now China take Daylight Factor (DF) as standard of assessment, but its drawbacks have been demonstrated many times by foreign researchers. The study will take Daylight Autonomy, Continuous Daylight Autonomy and Useful Daylight Illuminance as assessment standard to explore the reading space. Through controlling the parameters, with a reading space of 18 meters in depth, 4.5 meters in height, and using combination of horizon clerestory and vertical windows, this study finds that it will perform better on enhancing UDI.

Key words: dynamic annual daylight simulation; UDI; DA; reading space; Daysim; parameter; design; lighting; daylight

引言

对于使用者来说, 一个优秀的阅览空间除了拥有丰富的书籍、安静的阅读环境外, 还必须拥有良好的光环境, 既可以降低照明使用能耗, 又能创造

良好的视觉体验, 缓解在阅读过程中产生的视觉疲劳, 提升阅读效率^[1]。阅览空间因其独特的功能属性, 人眼对天然采光有持续的, 高质量的需求, 因此, 在推敲设计方案的过程中, 除了排除先从美学角度出发的理念外, 相较别的建筑类型, 其更需引入更加科学、全面和准确的光环境评价方法与标准,

辅助设计^[2]。

国外的天然采光研究起步早发展快, 从1885年L. Webe提出采光系数(DF)的理论雏形^[3], 到1989年光环境模拟软件Radiance的发布的过程, 象征了天然采光由定性研究转变为科学性更强的定量研究。而在2005年, Nabil和John Mardajevic基于参考平面照度信息提出的动态自然采光评价标准UDI^[4-5], 使光环境评价标准与方式出现范式变化。

我国目前的采光标准为《建筑采光设计标准》(GB 50033—2013)中仍以DF来制定^[6]。但是DF具有许多缺陷的, 如: 只有全阴天模拟模型(CIE overcast); 计算结果与建筑朝向无关; 仅有水平工作面的照度水平, 缺少垂直面的情况。因此, 以DF作为主要评价标准的静态模拟只能评价研究对象光环境的一部分情况, 并不全面及准确。相反, 动态光环境模拟可以根据全年气象动态数据模拟计算研究对象全年逐时天然采光照度, 对全年光环境做出评价。文献[7]中介绍了全年动态光环境指标的优缺点, 并对取代DF作为天然光评价指标做了初步研究。

目前对阅览空间的天然采光研究大部分依然停留在定性分析和案例研究上, 在光环境评价中依旧参照传统的评价指标, 还未有从全年动态光环境评价指标入手, 对阅览空间光环境进行定量的研究。因此, 本文将以全年动态光环境为模拟条件, 结合阅览空间类型与使用特点, 考虑家具的摆放对光环境的影响, 通过对进深、层高、采光形式、开窗方式这些设计参数的控制模拟, 最终归纳出窗地比与全年动态光环境指标的回归模型。研究结果对南京地区未来阅览空间的设计, 特别在进深、层高、采光形式与开窗方式等方面有借鉴意义, 对于其他地区, 亦可沿用同样的研究思路。

1 典型阅览空间模型

阅览空间有不同的管理模式, 主要分为三种: 开架阅览室、半开架阅览室、闭架阅览室。^[8]但从天然采光的角理解, 开架式阅览室本质上是属于双侧采光的空间模式。故在本文的模拟中, 均以开架式阅览空间为典型模型。

在尺度方面, 阅览室进深、开间大小、柱网的选择都对阅览室的使用效率和天然采光效果有很大

的影响。统计已建成落地的阅览空间, 最常见的为7.5 m柱网与4.5 m层高, 进深从15 m变化到28.5 m不等, 面积一般在300~500 m²之间。根据图书馆设计的经验来看, 在层高设置上, 首层5.4 m, 2~5层4.5 m是较为常见的选择。考虑这些实际情况, 研究中将典型阅览空间的层高设置为4.5 m, 进深为15 m, 面宽为30 m, 柱距为7.5 m(见图1)。

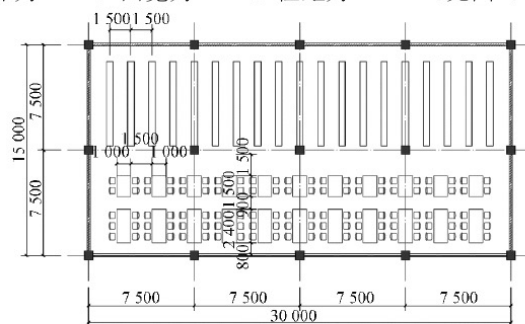


图1 典型阅览空间平面布置图

Fig. 1 Plan of classical reading room

2 研究方法

2.1 模拟软件及模拟量化指标选择

本文将选择Daysim软件, 使用全年动态光环境DF, DA, UDI指标, 对阅览空间光环境进行更全面的评价。

Daysim运算核心为Radiance, 采用Perez全气象条件天空模型和Radiance的蒙特卡洛采样和反向的光线追踪算法。^[9]已有大量研究证明了其准确度与有效性^[10-14]。为了比较现行的《建筑设计采光标准》中采用的静态光环境评价指标DF与新引入动态光环境评价指标UDI, DA, CDA, 我们将以这四种指标为评价标准, 量化光环境质量。DA(Daylight Autonomy)定义为全年工作时段中仅靠天然采光就可达到最低照度要求的时间百分比; CDA(Continuous Daylight Autonomy)在天然采光照度小于标准照度时, 使用权衡系数的方式来考虑这种不满足的程度。UDI(Useful Daylight Illuminance)是照度临界值, 分为<100 lx、100~2 000 lx、>2 000 lx三个临界区间, 分别对应三种情况: 照度过低状况、可利用照度范围、照度过高状况(易引起不舒适眩光且会带来过强的热辐射)。本研究使用的阅览空间光环境评价指标如表1所示。

表1 本研究使用的阅览空间光环境评价指标
Table 1 Reading room daylight assessment indicators used in the study

采光系数	DF
全自然采光百分比	$DA_{>450\text{ lx}}$
连续全自然采光时间百分比	$CDA_{>450\text{ lx}}$
有效天然采光照度	$UDI_{<100\text{ lx}}/100\text{ lx} < UDI_{<2000\text{ lx}}/UDI_{>2000\text{ lx}}$

同时,讨论结果时,均采用统一的标准。在每一个评价指标下,统计每一种工况全年中超过一半工作时段满足要求的空间占整个阅览空间的比例。^[5]如 $DA_{450\text{ lx}} [50\%]$ 的意思是,全年超过一半的工作时段满足全自然采光大于 450 lx 的空间占整个室内面积的比例。

2.2 建模与参数设置

根据实际调研,多数的阅览空间可利用天然光时间为 $8:00-18:00$ 。使用动态光环境模拟软件 Daysim 模拟不同设计因素条件下典型阅览空间全年不同工况的室内光环境,对模拟结果以 DF/DA/UDI 为指标评价,评价不同设计因素对典型阅览空间室内天然光环境的影响,其中 DA 最小照度值设置为 450 lx 。Daysim 模拟全局设置及其他基准参数设置如表 2 所示。

表2 Daysim 模拟全局设置及其他基准参数设置表^[6]

Daysim 全局设置		其他基准参数设置	
天空模型	Perez 天空模型	采光方式	单侧采光
模拟地点	南京	进深	15 m
气象数据 ^d	CHN_ Jiangsu Nanjing 582380_ CSWD. epw	面宽	30 m
地面反射率	0.2	层高	4.5 m
室外障碍物	无	净高	3.2 m
模拟步长	60 min	窗地比 ^a	0.17
模拟时间	8:00—18:00	玻璃太阳光透射比 ^b	0.8
遮阳方式	无	室内材质反射比 ^c	墙面 0.84
参数平面高度	750 mm		地面 0.3
是否有人使用	是		顶棚 0.6

注: a. 参照《建筑采光设计标准》(GB 50033—2013) 对应光气候 IV 区; b. 玻璃以常见 12 mm 普通白玻为例; c. 墙、地面和顶棚分别以常见的白色乳胶漆、浅色塑胶地板和白色矿棉板为例; d. 数据参考美国能源部网站 <http://www.eere.energy.gov/>

2.3 模拟工况

朝向对采光的影响已经被许多研究所证实,所以本研究不再对此进行讨论。阅览空间中书架的摆放会对室内光环境分布产生重要的影响,因

此研究中将在布置家具的情况下,模拟进深、层高、采光形式与开窗方式四种设计参数对采光的影响。

原典型阅览空间模型采取 7.5 m 的柱跨,进深 15 m 。比对方案选取常见的图书馆柱跨 6 m 、 7.5 m 、 8.1 m ,并按两跨与三跨设置模拟模型进深。

层高对采光的影响主要体现在净高上,通过对图书馆阅览空间层高与净高的统计,大部分阅览空间在吊顶高度加结构高度可达 1.3 m 。

本文研究的采光形式主要为在图书馆阅览空间普遍使用的侧窗采光,分为单侧窗和南北双侧窗采光。

在南向采光基础上,补充在层高、进深和采光形式一致的情况下仅改变开窗大小与开窗方式来改变窗地面积比所带来的全年天然光指标变化数据,对比这些数据,研究窗地面积比室内天然光环境的影响,见表 3。

综上,本文研究共涉及 16 种工况。

3 模拟结果与讨论

3.1 模拟结果

模拟结果显示,同样的工况下,传统 DF 采光评价指标与动态光环境评价指标差别较大。采光空间分布特征上,DF 与 DA, CDA 的走势相同,有效采光范围则与之相反。

举例来说,工况 2_D 中,若简单以 DF 为评价标准,越远离采光窗户的阅览区域光环境越不佳(见表 4)。UDI 指标的趋势则与之相反,近窗处仅有 $20\% \sim 30\%$ 的时间处在有效采光范围内,这是因为在没有遮阳措施的情况下,阅览空间外围的照度值过高,随着空间远离采光窗户,有效采光时间百分比增高。这与平时使用空间的感知是相似的。同样,在工况 3_D 中,当阅览空间采用南北双侧采光模式时,DF 在近窗处评价结果较好。而 UDI 评价体系中两侧近窗处满足有效采光的时间不足 20% ,阅览空间中部区域满足有效采光时间高达 90% 。

统计所有工况下,全年过程中,满足 $DA_{450\text{ lx}}$, $CDA_{450\text{ lx}}$, $DA_{\max 450\text{ lx}}$ 以及 $UDI_{<100\text{ lx}} \cdot 100\text{ lx} < UDI_{<2000\text{ lx}}$, $UDI_{>2000\text{ lx}}$ 的时间大于 50% 的区域面积占整个空间面积的比例,如图 2 所示。

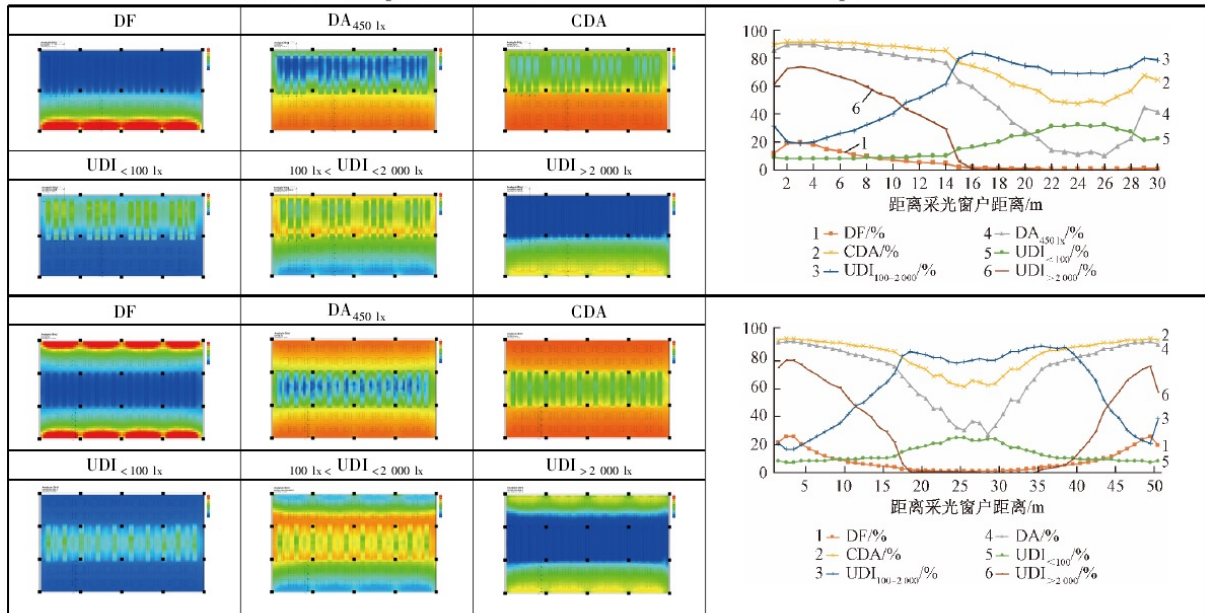
表 3 模拟工况设置

Table 3 Simulation condition setting

组 1—进深					组 3—采光形式				
工况	1_ A	1_ B	1_ C	1_ D	工况	3_ C	3_ D	3_ E	3_ F
柱跨/m	6	7.5	8.1	6	柱跨/m	6	6	7.5	8.1
进深/m	12	15	16.2	18	进深/m	18	18	22.5	24.3
窗户面积/m ²	69	69	69	69	窗户面积/m ²	69	138	138	138
地面面积/m ²	360	450	486	540	地面面积/m ²	540	540	675	729
窗地面积比	0.192	0.153	0.142	0.128	窗地面积比	0.128	0.256	0.204	0.189
座位数/个	88	110	132	176	座位数/个	176	176	220	264
藏书量/万册	4	4.9	5.7	4.9	藏书量/万册	4.9	5.3	6.5	7.1
家具布置					家具布置				
模拟模型					模拟模型				
组 2—层高					组 4—开窗方式				
工况	2_ A	2_ B	2_ C	2_ D	工况	4_ A	4_ B	4_ C	4_ D
层高/m	4.2	4.5	4.8	5.4	进深/m	15	15	15	15
净高/m	2.9	3.2	3.5	4.2	开窗面积/m ²	42.75	50.4	60.752	69
窗户面积/m ²	60.72	69	77.27	85.56	窗地面积比	0.095	0.112	0.135	0.153
窗户面积比	0.135	0.153	0.172	0.19	开窗方式				

表 4 举例工况伪色图及不同指标之间比较

Table 4 Comparison between different indicators of the example conditions



在进深组中, 可以发现, 随着进深增加: $DA_{450\text{ lx}}$ [50%] 的差别不大, 空间内有 50% 左右的面积满足条件; 同样的情况发生在 $UDI_{100-2000\text{ lx}}$ [50%], 面积比最大的为进深 18 m 的工况 1_ D, 最小的为进深 12 m 的工况 1_ A, 但是差距并不大, 均在 58% ~ 65% 之间。因此对于南向采光情况, 仅

考虑可利用天然光时数, 4.5 m 层高 18 m 的工况 1_ D 表现最佳。

在层高组中, 有效天然采光时间大于 50% 的面积比最大的是工况 2_ A (层高 4.2 m), 为 63%。然而若仅观察 DA 以及 CDA 指标, 表现最优的为工况 2_ D (层高 5.4 m), 工况 2_ A 表现较差。综合

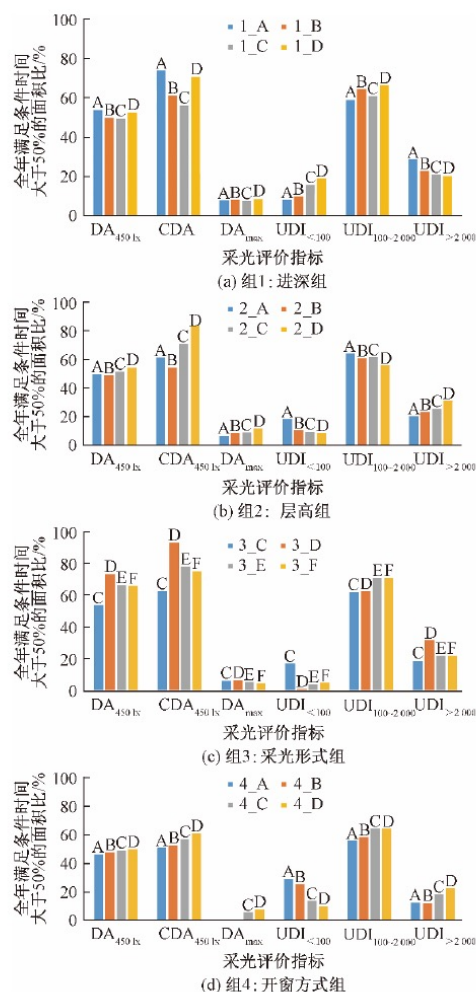


图2 不同工况下不同采光评价标准的对比

Fig.2 Comparison between different daylight indicators

比较, 工况 2_ B (层高 4.5 m) 和 2_ C (层高 4.8

m) 在所有指标评价下都较为理想。

采光组工况 3_ C 单侧采光效果不如其他双侧采光工况。在双侧采光中, 虽然 3_ D 在 DA 以及 CDA 评价下, 面积比较高, 但是其有效采光范围比较小。综合考虑, 3_ E 为该组中表现最佳的工况。

在开窗方式组中, 无论从 DA、CDA 还是 UDI 角度评价, 工况 4_ D 均是较优的选择, 有效天然采光时间大于 50% 的面积比为 65%。

综上所述, 南侧单向采光, 设置 18 m 进深最为合适, 此时, 窗地面积比达到 0.128; 南北向同时采光时, 首先应注意南向设置有效遮阳措施, 设置 22.5 m 进深时可以最大程度增加室内有效天然采光的范围, 此时, 窗地面积比达到 0.204。不同层高工况, 在南向单侧采光时, 全年可利用天然光时间相差不大, 其中层高 4.8 m 时有效天然采光范围最大。若设计中层高超过 5.4 m 时, 此时近窗处照度容易过高, 必须在近窗处设置遮阳措施。水平长条窗相比垂直条窗更能有效提高 UDI 水平。

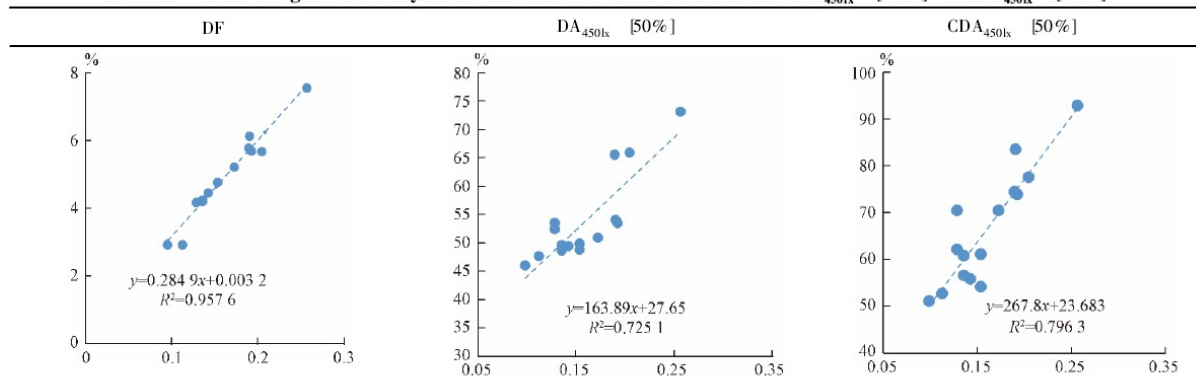
3.2 设计参数与评价指标的回归分析

在以上研究中, 模拟了进深、层高、采光形式和开窗方式的不同工况改变的室内全年光环境, 提取模拟数据中窗地面积比的信息, 研究窗地面积比与阅览空间全年光环境评价标准的关系。已知窗地面积比与 DF 是存在一定线性关系的, 另外选择 DA_{450lx} [50%] 和 UDI [50%] 作为研究对象, 前者代表了全年天然采光达到标准要求时间超过一半的面积比; 后者代表了全年可利用天然光时间超过一半的面积比, 都具有一定的实际使用意义。

使用回归分析方法, 将窗地面积比分别与 DF/DA_{450lx} [50%] /CDA_{450lx} [50%] 做回归分析得出如表 5 所示。

表5 窗地面积比与 DF/DA_{450lx} [50%] /CDA_{450lx} [50%] 的线性回归分析

Table 5 Linear Regression analysis between window area ratio and DF/DA_{450lx} [50%] /CDA_{450lx} [50%]



从线性分析可以看出, 窗地比与 DF/DA_{450lx} [50%] / CDA_{450lx} [50%] 均呈现显著线性相关, 拟合指数都大于 0.7。得出窗地比与 DF 的相关性在一定程度上说明上文模拟结果的准确性。根据窗地比与 DF 的线性回归公式 $y = 0.2849x + 0.0032$, 可推出在本次模拟工况中, 窗地比大于 0.094 时, $DF > 3\%$ (阅览室最低要求), 同理推出, 当窗地比大于 0.136, DA_{450lx} [50%] $> 50\%$ 。

再将窗地面积比与有效采光区间 UDI [50%] 做回归分析如图 3 所示。

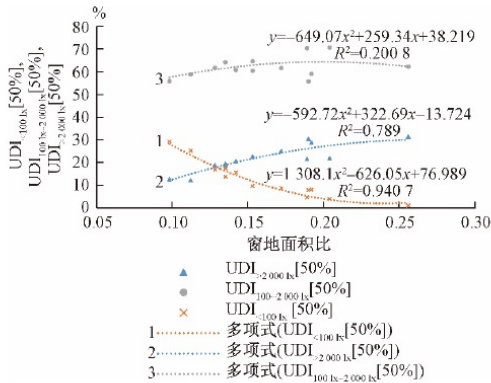


图 3 窗地面积比与 UDI [50%] 回归分析 (一)

Fig. 3 Regression analysis between window area ratio and UDI [50%] (I)

在三个区间中, 窗地比与 $UDI_{<100lx}$ [50%], $UDI_{>2000lx}$ [50%] 都有较高的拟合关系。本文中的工况均是在满足阅览空间的使用合理性、经济性的前提下提出的, 根据所有模拟工况的结果得到的拟合公式推测, 当阅览空间窗地比为 0.27 时, $UDI_{>2000lx}$ [50%] 将达到最大值; 当阅览空间窗地比为 0.24 时, $UDI_{<100lx}$ [50%] 达到最小值。然而, $UDI_{100-2000lx}$ [50%] 与窗地比的拟合关系并不显著。

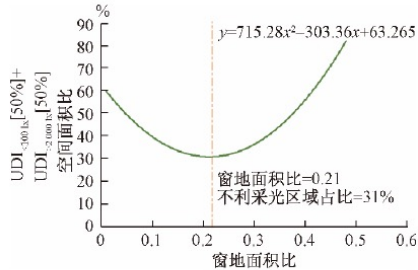


图 4 窗地面积比与 UDI [50%] 回归分析 (二)

Fig. 4 Regression analysis between window area ratio and UDI [50%] (II)

因此, 从最小化采光不足区域与避免出现过多照度过高无法正常阅读区域的角度出发, 将阅览空间的窗地面积比控制在 0.21 左右, 能够减少非有效采光面积比, 充分利用阅览空间, 优化阅读质量, 如图 4 所示。

4 结论

本文基于设计经验、空间使用合理性及经济性, 提出典型阅览空间研究模型, 并在此基础上变换产生 16 种工况。这些工况中涉及进深、层高、采光形式和开窗方式设计参数的变化。使用 Daysim 进行了模拟实验, 模拟中以南京地区气候为气象数据背景。并在传统采光系数评价指标上引入了动态光环境评价指标 DA , CDA 与 UDI , 更加科学、全面地提出了阅览空间的设计建议。在模拟过程中, 对比了相同工况下静态光环境评价指标采光系数 DF 与动态光环境评价指标 DA , CDA , UDI , 发现在满足最低采光系数 DF 标准的情况下, 实际全年可利用天然采光 UDI 时长有时并不理想。因此, 在评价阅览空间的天然光环境时, 使用动态光环境指标代替传统 DF 有其必要性。

窗地面积比作为一个空间天然采光水平的重要指标, 与 $DF/DA/CDA$ 呈现了较强的线性关系。针对 UDI 指标, 虽然在其定义的有效采光范围 $100\text{ lx} \sim 2000\text{ lx}$ 内尚未找到窗地比与其的显著性关系, 但是在小于 100 lx 与大于 2000 lx 的区间内, 发现窗地比与其均有显著的二次函数关系, 且曲线拟合效果较好。在符合阅览空间使用合理性与设计经验的前提下, 若从减少不利于阅读的采光范围角度出发, 建议将窗地比设置在 0.21 左右, 可以最大程度地减少无效采光空间的占比, 从而提高阅览空间整体的使用效率。

参考文献

- [1] 绿色建筑评价标准: GB/T 50378—2014 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] DEAN Edward M, AIA. Daylighting Design in Libraries. Libris Design Project [http://www.librisdesign.org/], supported by the U. S. Institute of Museum and Library Services under the provisions of the Library Services and Technology Act, administered in California by the State Librarian.

(下转第 35 页)

- [4] 城市居住区规划设计规范: GB 50180—93 [S].
- [5] 建筑气候区划标准: GB 50178—93 [S].
- [6] WARD LG, SHAKESPEARE R. Rendering with Radiance [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers (USA), 1998.
- [7] REINHART C, HERKEL S. The simulation of annual daylight illuminance distributions—a state-of-art comparison of six Radiance-based methods [J]. Energy and Buildings, 2000, 32: 167-187.
- [8] REINHART C, WALKENHORST O. Validation of dynamic Radiance-based daylight simulations for a test office with external blinds [J]. Energy and Buildings, 2001, (33): 683-697.
- [9] TREGENZA P, WATERS M I. Daylight Coefficients. Lighting Research and Technology [J]. 1983, 15 (2): 65-71.
- [10] PEREZ R, SEALS R, MICHALSKY J. All-weather model for sky luminance distribution—preliminary configuration and validation. Solar Energy, 1993, 50 (3): 235-245.
- [11] EnergyPlus software weather data. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm.

(上接第29页)

- [3] WSLSH J W T. The Early Years of Illuminating Engineering in Great Britain [J]. Transactions of the Illuminating Engineering Society, 1951 (3): 49-60.
- [4] NABIL A, MARDAJEVIC J. Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings [J]. Lighting Research and Technology, 2005.
- [5] NABIL A, MARDAJEVIC J. Useful daylight illuminance: A replacement for day light factors [J]. Energy and buildings, 2006, 38 (7): 905-913.
- [6] 建筑采光设计标准: GB 50033—2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [7] 吴蔚, 刘坤鹏. 浅析可取代采光系数的新天然采光评价参数 [J]. 照明工程学报, 2012, 23 (2): 1-7.
- [8] 鲍家声. 现代图书馆建筑设计 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [9] <http://daysim.ning.com/>.
- [10] MARDALJEVIC J. Validation of a lighting simulation program under real sky accuracy condition. Lighting Research & Technology, 1995.
- [11] REINHART Christoph F. The daylighting dashboard—A simulation-based design analysis for daylight spaces [J]. Building and Environment, 2011, 46 (2): 386-396.
- [12] 尤伟, 吴蔚. 浅探运用 Radiance 模拟天然采光 [J]. 照明工程学报, 2008, 19 (1): 25-32.
- [13] 罗涛, 燕达, 赵建平, 等. 天然光光环境模拟软件的对比研究 [J]. 建筑科学, 2011, (10): 1-6.
- [14] 刘昆明. 全年动态模拟软件 DAYSIM 在天然采光设计中的适用性研究 [D]. 南京: 南京大学, 2011.
- [15] BIAN Yu, MA Yuan. Analysis of daylight metrics of side-lit room in Canton, south China: A comparison between daylight autonomy and daylight factor. Energy and Buildings, 2017.
- [16] 美国能源部气候参数数据. <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdate.html>.

本刊声明

为适应我国信息化建设, 扩大本刊及作者知识信息交流渠道, 本刊已被俄罗斯《文摘杂志》(AJ, VINITI), 《万方数据库》、《中国学术期刊网络出版总库》及 CNKI 系列数据库、《中文科技期刊数据库》、《中国学术期刊文摘数据库》、中国邮政中邮阅读网、超星数字图书馆等多家机构收录, 其作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。免费提供作者文章引用统计分析资料。若作者不同意文章被收录, 请在来稿时向本刊声明, 本刊将做适当处理。