

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201604007

# 动态采光指标分析与侧窗采光范围

边宇<sup>1</sup>,袁磊<sup>2</sup>,冷天翔<sup>1</sup>

(1.亚热带建筑科学国家重点实验室(华南理工大学),广州 510640;2.深圳大学建筑与城市规划学院,广东深圳 518060)

**摘要:**为指明动态采光指标的先进性并倡导在建筑采光设计案例中应用动态指标进行分析,首先,通过理论分析说明在评价天然光表现时动态采光指标较之静态指标(采光系数)更为合理;进而,以广州的天气数据为计算条件,基于 Daysim 动态采光模拟结果,使用 DF/DA/UDI 指标针对 4 种不同立面类型进行了采光效果排序并与基于采光系数的排序结果进行比较,结果说明了动态采光指标在方案择优方面的优越性。此外,分析了不同窗墙比、遮阳悬挑尺寸建筑立面的有效采光范围与眩光出现概率,相关结果可纳为设计指导。研究表明:采光系数用于评价建筑采光存在不足,推荐在建筑采光分析中使用动态采光指标;将 DA 指标值不低于 DA<sub>300</sub> lx[50%]的范围定义为有效采光区域,该量值可以较好地反映侧窗采光的有效范围。

**关键词:**动态采光指标;采光系数;遮阳控制;采光范围;视觉舒适

**中图分类号:** TM923 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2017)10-0172-05

## An analysis of dynamic daylight performance metrics & the daylight availability of side-lit windows

BIAN Yu<sup>1</sup>, YUAN Lei<sup>2</sup>, LENG Tianxiang<sup>1</sup>

(1.State Key Laboratory of Subtropical Building Science(South China University of Technology), Guangzhou 510640, China;  
2.College of Architecture & Urban planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, Guangdong, China)

**Abstract:** The aim of this topic is to indicate the advantages of dynamic daylight performance metrics and advocate the acceptance of dynamic metrics in analysis of building daylight design cases. Firstly, this paper indicates that the dynamic metrics are more reasonable than statistic metrics (daylight factor) in evaluating the daylight environment via theoretical analysis. Then taking the weather data in Guangzhou as the calculation input, based on Daysim simulation results, the depth of daylight available area is defined by DA metric. Under the regional weather condition in Guangzhou, based on Daysim dynamic daylight simulation data, the daylight performance of 4 facade types is ranked via metrics DF/DA/UDI and compared with that ranked by daylight factor, and the result indicates the superiority of dynamic metrics in selecting the optimal design schemes. Furthermore, the daylight available area and probability of glare occurrence towards facades with various WWR and shading overhang size are analyzed, and the results can be adopted as design references which suggest that the dynamic metrics should be used to evaluate daylight performance and the areas where DA metric values are no less than DA<sub>300</sub> lx[50%] should be defined as daylight available area that could indicate the availability of side-lit windows well.

**Keywords:** dynamic daylight performance metrics; daylight factor; shading control; daylight available area; visual comfort

采光指标是衡量建筑采光性能的度量衡,选择合理的采光指标对于指导采光设计、分析照明能耗起着关键的作用<sup>[1]</sup>。中国标准(GB50033-2013)《建筑采光设计标准》中使用采光系数(daylight factor, DF)作为衡量建筑物采光能力的指标:通过设定室外临界照度值并以此为基础给出了不同的 DF 标准

值对应的不同室内照度水平<sup>[2-3]</sup>,在诸多采光指标中 DF 是最广为接受的指标<sup>[4]</sup>。DF 是在天空漫射光条件下定义的静态采光指标,量值仅与建筑空间形态、开窗的几何尺寸以及建筑内外表面材料的光学性能相关<sup>[5]</sup>,未能反应地域性光气候特征、立面朝向以及动态遮阳(涉及使用者行为)等因素,而这些因素对于室内的天然光环境有着显著的影响,使用 DF 评价建筑采光表现不免得出采光口越大越好的结论<sup>[6]</sup>。伴随着 CBDM 理论的发展若干动态采光指标被提出并逐渐采用,其中具有代表性的为文献[1]改进后提出的“自主采光阈”(daylight autonomy, DA)以及 Nabil 等<sup>[7]</sup>提出的“有效采光度”(useful daylight illuminance, UDI)等。

收稿日期:2016-04-01

基金项目:国家自然科学基金青年基金(51208205);亚热带建筑科学国家重点实验室自主课题“华南区光气候下的侧窗采光空间光环境评价”(2015ZC15);亚热带建筑科学国家重点实验室自主课题“天然光环境视觉舒适度评价与建筑动态采光模拟研究”(2017KB11)

作者简介:边宇(1982—),男,博士,副教授

通信作者:袁磊,aryubian@163.com

本文以广州为研究对象,使用基于 Radiance 的 Daysim 程序针对建筑立面的动态采光表现进行研究,在分析时考虑了遮阳控制对室内天然光环境的影响,说明了通过动态采光指标评价建筑采光表现较之静态指标更为合理,通过 DF/DA/UDI 等指标针对 4 种不同立面类型分析了侧窗采光空间的天然光分布问题,最后给出了基于 DA 指标的有效采光范围可作为采光设计指导。

## 1 动态天然光环境

### 1.1 使用者行为与室内光环境

太阳方位以及天空亮度分布随时间连续变化,当过量的直射光入射工作面时,使用者会选择关合遮阳百叶(或窗帘等遮阳装置)以调节室内光环境



(a) 遮阳百叶收起时室内光环境



(b) 遮阳百叶拉下时室内光环境

图 1 手动控制遮阳百叶对室内天然光环境的影响

Fig.1 The impact of manual controlled blinds on interior daylight environment

### 1.2 动态采光评价指标

动态采光指标通过在年周期上统计天然光照度出现的概率以评价采光表现.以 DA 为例,其意义为室内某点在年周期内(每日取值时段为 8:00-18:00)照度高于某值的概率,既 DA<sub>300 lx</sub> 意为某位置年周期内照度值超过 300 lx 的出现概率<sup>[1]</sup>.

将动态遮阳视作影响因素之一时,使用者行为则对室内的采光表现有直接的影响,根据上述研究成果:认定计算模型中工作面上太阳直射光辐照度值大于 50 W/m<sup>2</sup>时则动态遮阳设施动作以遮蔽太阳直射光<sup>[14]</sup>.本文采用的模拟算法为分别模拟遮阳完全打开/半打开/全关闭 3 种情况下的室内照度分布,并依据上述临界条件将 3 组数据“拼合”为年周期上的天然光分布数值,这种模拟方式考虑了使用者行为对眩光的干预,使得室内天然光环境的模拟更符合实际使用中的情况.在此基础上通过年周期上室内天然光照度的统计得出 DA 或 UDI 等数值则更可以准确评价室内天然光环境的优劣,有助于开

展建筑节能方面的研究.境<sup>[8]</sup>,如图 1(a)所示为太阳光直射入室内时收起百叶的情况:桌面上有强烈的太阳直射光,眩光强烈(DGP=0.23 / DGI=18.61);图 1(b)所示为当百叶闭合时室内的光环境,由于百叶闭合桌面直射光消失、室内变暗、眩光减弱(DGP=0.06/DGI=11.68),眩光程度处于可接受区间<sup>[9-10]</sup>.由此可知,使用者行为(遮阳的控制操作及其他)的目的是为了实现视觉舒适的室内光环境,因此使用者行为与房间照明能耗的相关性强<sup>[11]</sup>,考虑使用者行为的室内光环境分析更为切合实际情况.国内外学者<sup>[12-13]</sup>以视觉舒适为出发研究了房间的遮阳控制问题,动态遮阳可以在年周期上实现舒适的动态采光效果.对于考虑动态遮阳的室内天然光环境则需使用动态采光指标进行定量研究.

展建筑节能方面的研究.

## 2 采光指标的分析比较

### 2.1 研究模型

本文选定某侧窗采光房间作为参考房间,以此房间为基本模型比较研究不同开窗方式的采光表现,参考房间如图 2 中所示:房间进深 7.64 m,仅开有两扇单侧窗,窗上沿距地面 2.5 m,下沿距地面 0.8 m,房间内各表面反射率及窗玻璃透射率见表 1.参考房间中测量点距地面 0.8 m,间距 1.0 m 共 3 排,近处取值点进深 2.0 m,远处取值点进深 6.0 m(如图 2 所示).

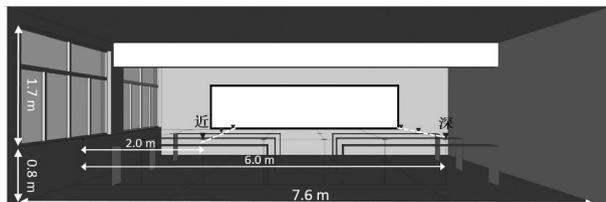


图 2 参考空间视图

Fig.2 View of reference space

表 1 参考房间材料光学参数

Tab.1 Optical parameters of reference space

名称	墙面	屋顶	地板	采光窗玻璃	悬挑遮阳	反光板	半透明帘
光学特性	反射率 $\rho=0.80$	反射率 $\rho=0.80$	反射率 $\rho=0.30$	透射率 $\tau=0.55$	反射率 $\rho=0.75$	反射率 $\rho=0.85$	透射率 $\tau=0.20$

如图 3 中所示,4 种具有相同遮阳效果的立面形式作为研究对象,4 个立面均朝南向,其中:A 为参考立面,开窗部分通高安装百叶;B 为安装了悬挑遮阳的立面,窗下半段安装百叶;C 为在侧窗上沿外侧安装遮阳板,中段内侧安装反光板,窗下半段安装百叶;D 为在侧窗上半段安装了半透明遮阳帘,下半段安装遮阳百叶。

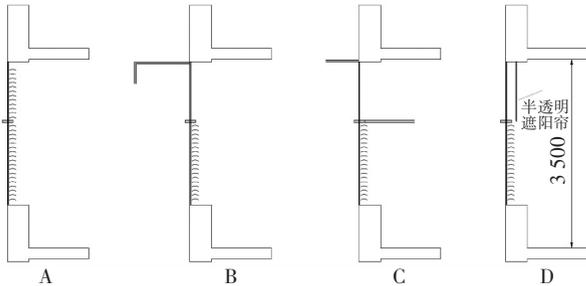


图 3 4 种立面形式

Fig.3 4 facade types

## 2.2 模拟程序验证

Daysim 是国际学术界认可的采光模拟计算程序,众多学者<sup>[15-16]</sup>通过比较研究分别证实了其准确程度。为了进一步验证该程序模拟结果在广州地区的准确程度,课题组成员比较了天然光照度实测值与软件模拟值。一方面,选定某模型房间沿进深方向对天然光照度进行连续测量(如图 4 所示);另一方面,采用 Daysim 程序加载广州市天气文件(CSWD 源)在年周期上以 10 min 为步长针对模型房间的计算机模型进行天然光照度模拟。

Daysim 程序中 Radiance 计算关键配置参数如下: ab/ad/as/ar/aa/lr/st/sj/lw/dj/ds/dr/dp 等的取值为 5/1 000/20/300/0.1/6/0.15/1/0.004/0/0.2/2/512。通过对模型房间内两年间实测的 DA 分布数值以及模拟值得知平均误差控制在 15% 以内,该误差水平介于可接受范围。在进一步的研究中课题组计划通过仪器观测获得照度/辐照度数据以校正广州地区天气文件,以期进一步提高程序模拟的准确程度。

存在太阳直射光照射的环境下,无遮阳措施的侧窗并不能在全年时段内均有良好的采光表现,当有较为强烈的太阳直射光入射桌面或室内局部过亮等情况出现时需要使用遮阳措施,而这种情况下诸如 DF 等静态采光指标不能反映遮阳状态的变化对室内光环境的影响,因此有必要采纳使用动态采光指标。



图 4 模型房间内天然光照度测量

Fig.4 Daylight illuminance measurement in model room

## 2.3 采光指标值分析

在进行不同立面采光效果分析时考虑了遮阳百叶调整带来的动态效果,针对 DF/DA/UDI 等不同指标的模拟结果见表 2,根据不同指标的采光性能排序结果见表 3。

根据上述结果可知:使用 DF 指标进行方案择优时 4 种立面类型采光能力的排序结果为  $A > C > B > D$ ,该结果说明仅在天空漫射光情况下分析建筑采光问题时采光口面积大且遮挡较少的立面类型占有优势;当使用 DA 或 UDI 等动态采光指标时分析结果的排序为  $C > D > A > B$ ,该结果与使用 DF 指标的结果不同,说明当考虑到立面的朝向、遮阳设计、使用者行为控制等因素,则建筑采光设计的评价结果与使用 DF 指标存在明显的差异,进一步说明建筑侧窗的采光设计并非开窗面积越大越好,在进行采光设计时应该做到具体问题具体分析,充分考虑地域性气候特征、建筑场地环境、立面朝向、固定遮阳、动态遮阳等因素,以确保室内光环境在更多的时间内可以达到理想效果。

根据动态采光指标的定义可知动态指标可更直观地反映建筑照明能耗情况,假定某房间内灯具 A 下方工作面照度低于  $E_a$  ( $E_a = 300 \text{ lx}$ ) 则灯 A 开启,由此可知灯 A 下方工作面上有效采光阈 DA300 lx 的数值与 1 的差值可认为是灯具 A 的累计开启时间,因此相比较于静态指标动态采光指标可以较为准确地反映房间的照明能耗。除此之外,UDI 指标还可以反应室内过亮的情况,也正是由于动态采光分析的发展使得在年周期内评价天然光眩光成为了可能。

表 2 采光指标计算结果

Tab.2 Simulated results of daylight performance metrics

对象	A		B		C		D			
立面	参照		外遮阳		内、外遮阳		半透遮阳帘			
朝向	南		南		南		南			
取值位置	近	深	近	深	近	深	近	深		
采光系数/ DF	4.3	0.4	2.4	0.2	3.1	0.2	2.1	0.2		
自主采光阈/ DA	DA300 lx (未考虑动态遮阳)/%		88	6	64	0	82	0	65	0
	DA300 lx (考虑动态遮阳)/%		78	1	72	0	89	6	81	0
有效采光度/ UDI	UDI<100/%		17	60	38	84	14	19	17	43
	100<UDI<3 000/%		65	40	45	16	67	81	58	57
	UDI>3 000/%		18	0	17	0	19	0	25	0

表 3 4 种立面排序结果

Tab.3 The benchmark of 4 facade types

指标	第 1	第 2	第 3	第 4
采光系数/ DF	TYPEA	TYPEC	TYPEB	TYPED
自主采光阈/ DA	TYPEC	TYPED	TYPEA	TYPEB
有效采光度/ UDI	TYPEC	TYPED	TYPEA	TYPEB

### 3 有效采光进深

根据上述研究成果,比较 DF、照度绝对值(300 lx)以及 DA\_300 lx[50%]3 个指标值,并在广州地区连续测试并进行视觉舒适度的评价得知:工作时段天然光照度高于 300 lx 的概率超过 50%对于办公以及教育建筑而言可以保证仅依靠天然光进行作业,本文将符合此情况的区域视为有效采光范围,将 DA\_300 lx[50%]出现的进深位置称作有效采光进深.这里有效采光进深的定义相比较于某 DF 数量值(如 2%)所在进深位置更为合理,因为 DF 指标本身仅反应了较少的采光影响因素.

按照不同的朝向、开窗面积、窗玻璃透光率、遮阳设施等因素获知有效采光进深可用于指导建筑采光设计.除此之外,本部分还基于 DGP 指标简要列出了眩光出现的概率.如图 5 中所示为窗墙比分别为 40%、60%的侧窗,窗上沿安装遮阳板,遮阳板挑出长度与窗高分别呈 0/15°/30°,窗玻璃透光率 0.55.

针对图 5 中立面的参数,在 4 个方向上使用 DA\_300 lx[50%]指标计算得出的有效采光进深以及眩光概率结果如图 6 所示.图 6 中纵坐标代表采光进深,条形图灰度代表眩光出现情况,从图 6 中数据可知:广州地区除部分北向立面无需遮阳,其他朝向的立面建议进行遮阳,其中 15°~30°的水平遮阳可以有效地降低眩光出现的可能,增加遮阳后有效采光进深下降在 1/4 以内,即对采光的影响介于可接受范围.具体的有效采光进深数值如图 6 所示,限于篇幅仅列出部分参数下的有效采光进深,本部分取得的有效采光进深结果可作为建筑采光设计的参考.

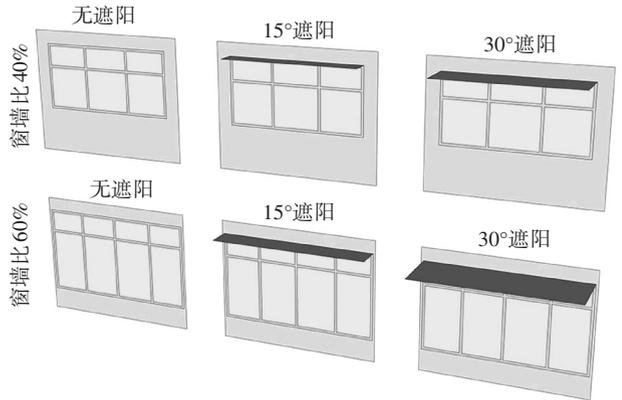


图 5 不同窗墙比/遮阳尺寸的立面类型

Fig.5 Facade types with various WWR/shading size

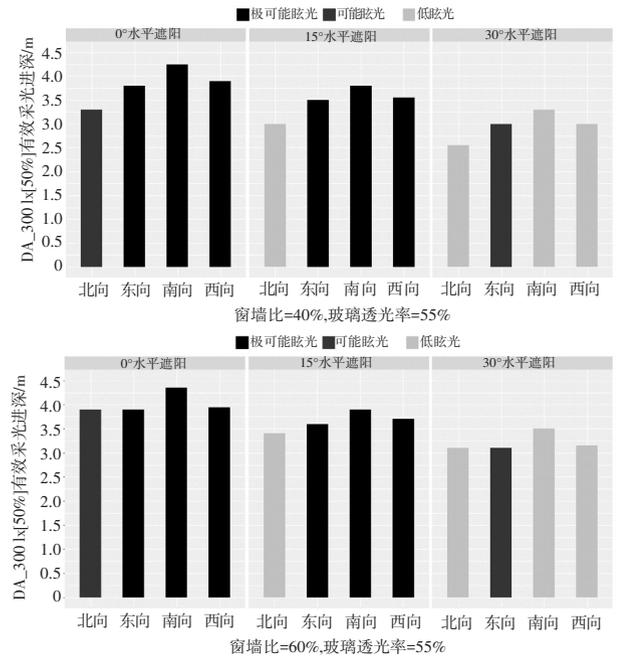


图 6 有效采光进深

Fig.6 Depth of daylight available area

### 4 结论

1) 通过分析可知使用 DF 指标评价建筑采光能力存在不足之处,该指标在漫射光下定义不能用于描述建筑物动态采光表现,使用诸如自主采光阈(DA)等动态采光指标评价建筑物动态采光性能较

为合理,以工作面上的视看舒适度为出发点进行动态遮阳装置的控制并得出年周期上室内天然光照度的分布情况,基于此获取 DA 等动态照明指标值,通过 DA 指标进行立面采光方案的择优较之 DF 指标更为合理且符合照明节能预期。

2) 将不低于 DA<sub>300 lx</sub>[50%] 的范围定义为有效采光区域,该范围出现的最大进深距离定义为有效采光进深,该量值可以较好地描述建筑物采光的有效范围。本文最后在广州地区光气候条件下针对 40%、60% 窗墙比的开窗以及使用 0/15°/30° 遮阳板的立面进行分析给出了有效采光进深数值,该部分结果可用于采光设计参考。

## 参考文献

- [1] REINHART C F, MARDALJEVIC J, ROGERS Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design [J]. *Leukos*, 2006, 3(1): 7-31. DOI: 10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑采光设计标准: GB/T 500033—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013. Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Standard for daylighting design of buildings: GB/T 500033—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.
- [3] 林若慈, 赵建平. 新版《建筑采光设计标准》主要技术特点解析 [J]. 照明工程学报, 2013, 24(1): 5-11. DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2013.01.002. LIN Ruoci, ZHAO Jianping. Analysis of main technical characteristics to the new version "Standard of daylighting design of buildings" [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2013, 24(1): 5-11. DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2013.01.002.
- [4] 边宇, 马源, 遇大兴. 参考天空亮度分布模型下的建筑采光设计优化 [J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2015, 43(7): 100-105. DOI: 10.3969/j.issn.1000-565X.2015.07.014. BIAN Yu, MA Yuan, YU Daxing. Optimization of building daylighting design under reference sky luminance distribution model [J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2015, 43(7): 100-105. DOI: 10.3969/j.issn.1000-565X.2015.07.014.
- [5] 马源, 边宇, 陈建华, 等. 华南地区天空亮度分布的观测研究 [J]. 照明工程学报, 2015, 26(1): 1-5. DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2015.01.001. MA Yuan, BIAN Yu, CHEN Jianhua, et al. Observation of the sky luminous distribution in southern China [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2015, 26(1): 1-5. DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2015.01.001.
- [6] REINHART C F, WEISSMAN D A. The daylight area-Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics [J]. *Building and Environment*, 2012, 50: 155-164. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.10.024.
- [7] NABIL A, MARDALJEVIC J. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors [J]. *Energy and Buildings*, 2006, 38(7): 905-913. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.03.013.
- [8] HIRNING M B, ISOARDI G L, COYNE S, et al. Post occupancy evaluations relating to discomfort glare: a study of green buildings in Brisbane [J]. *Building and Environment*, 2013, 59: 349-357. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.08.032.
- [9] WIMTERBOTTOM M, WILKINS A. Lighting and discomfort in the classroom [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2009, 29(1): 63-75. DOI: 10.1016/j.jenvp.2008.11.007.
- [10] BIAN Yu, LUO Ta. Investigation of visual comfort metrics from subjective responses in China: a study in offices with daylight [J]. *Building and Environment*, 2017, 123: 661-671. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.07.035.
- [11] REINHART C F. Lightswitch - 2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds [J]. *Solar Energy*, 2004, 77(1): 15-28. DOI: 10.1016/j.solener.2004.04.003.
- [12] TZEMPELIKOS A, CHAN Y C. Estimating detailed optical properties of window shades from basic available data and modeling implications on daylighting and visual comfort [J]. *Energy and Buildings*, 2016, 126: 396-407. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.05.038.
- [13] 肖辉, 刘金. 基于模糊控制算法的室内遮阳百叶控制系统研究 [J]. 照明工程学报, 2014, 25(2): 98-101. DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2014.02.016. XIAO Hui, LIU Jin. A study on the interior blinds control system based on fuzzy control algorithm [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2014, 25(2): 7-10. DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2014.02.016.
- [14] JAKUBIEC J A, REINHART C F. The 'adaptive zone' - A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces [J]. *Lighting Research & Technology*, 2012, 44(2): 149-170. DOI: 10.1177/1477153511420097
- [15] REINHART C F, WIENOLD J. The daylighting dashboard-A simulation-based design analysis for daylight spaces [J]. *Building and Environment*, 2011, 46(2): 386-396. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.08.001.
- [16] BIAN Yu, MA Yuan. Analysis of daylight metrics of side-lit room in Canton, south China: A comparison between daylight autonomy and daylight factor [J]. *Energy and Buildings*, 2017, 138: 347-354. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.059.

(编辑 张红)