

数值模拟在改善教室光环境以及节能评估中的运用

An Application of Improving Daylighting Performance and Energy Assessment of a Classroom by Using Simulation Tools

吴晓晨, 车学娅

(同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海)

摘要: 对于学校建筑, 将自然光引进教室是保证学习效率和身心舒适的重要条件。电脑辅助设计给设计初期处理采光, 遮阳以及节能之间矛盾提供新的途径。本文使用整合设计软件 IES-VE™ 并结合专业光模拟软件 Radiance 对某南朝向教室进行光环境评估和遮阳方案比选, 通过上述软件间接口进行遮阳方案节能评估。结果显示可调节外遮阳百叶在不增加额外照明负荷前提下, 可有效改善室内眩光和采光均匀度, 并且使夏季空调冷负荷显著下降。

关键字: 自然采光, 室内光环境, IES-VE™, Radiance, 耦合计算

Abstract: Adequate natural daylight is essential for occupants' comfort and productivity especially in the school building design. Recently computer-aid analysis techniques have emerged as a new approach to address the conflict between daylighting, shading design and energy conservation. The paper is an application of assessing daylighting environment and shading design options of a south facing classroom by using integrated design platform IES-VE™ integrated with robust lighting simulation tool Radiance, in addition, evaluating their energy saving performance by coupling thermal and lighting simulation. The result highlights the advantages of adjustable external blind in improving lighting uniformity, eliminate glare and cutting cooling load without increasing lighting electricity consumption.

Key word: Daylighting, Indoor lighting environment, IES-VE™, Radiance, Coupling simulation

0 引言

人类所获信息中, 80%来自于视觉。光环境是室内环境重要组成部分。从人的视觉功能来看, 人眼在自然光下比人工照明下具有较高的视觉功效和舒适性。于此同时, 人工照明需要利用电能, 增加建筑能耗。据统计, 我国建筑单位面积照明能耗达 $15-40\text{kW}/\text{m}^2$, 接近空调能耗^[1]。随着节能的要求和对生活质量的提高, 人们对建筑的自然采光更加重视起来。尤其对于学校建筑, 适当的将日光引进教室是保证学习效率和身心舒适的重要条件^[2]。国内以及国际上通用以采光系数(DF)为自然采光

设计以及衡量标准,即假设全阴天漫射条件下,室内平面某点上照度与室外天空漫射照度之比。这种算法因简便而被广泛采用,但是此方法不考虑自然光的季节变化甚至是日光直射的影响^[3]。难以准确衡量实际光环境。尤其在南方地区的夏日,过多的引入自然光不仅会引起太阳辐射得热以及空调能耗的上升,同时光照过强也容易导致光照不匀、眩光等采光问题。因此如何较精确的控制天然光,预测设计结果,在采光质量与避免夏季室内过热间寻找平衡点,成为在低运行费用下保证良好室内光环境的基础。

1 研究方法

随着电脑辅助设计的普及和气象参数的完善,使用电脑仿真技术给获得更实际的室内光环境评估以及辅助方案选择提供了新的途径。然而为达到较快计算速度,多数辅助设计软件在评估室内照度时,仍然使用上述简化方法。当有较高精度要求时,则通过接口使用专业采光设计软件以进行更高精度模拟。本文使用整合设计软件 IES-VE[™] 作为基础平台,结合国际公认高精度光模拟软件 Radiance,对某教学楼一南朝向教室进行室内光环境模拟以及改造方案比选。

室内自然光取决于三个因素,直射光,室内以及室外反射光。其中直射光强度随着季节,天气以及天空状况改变,在 Radiance 软件这些变化由“sky file”描述并按需读取。反射光部分 Radiance 使用“Ray-Tracing”法,根据由 IES 平台设定的表面反射比率计算^[4]。光环境质量评估根据《建筑照明设计标准》(GB/T 50034 - 2004),以工作平面照度,照度均匀度,眩光指数评定。Radiance 根据 CIE 在综合各国眩光计算公式的基础上提出的统一眩光值(UGR)的公式进行眩光评估,与国家规定方法相同。同时,Radiance 监测室内照度并且回馈给 IES 提供人工照明控制依据。当室内照度高于设定值时,人工照明自动关闭,实现动态耦合,以避免传统能耗计算中照明负荷预设定造成的计算误差。

2 参数设置

2.0.1 建筑概况

本教学楼地处我国夏热冬冷地区,本文以位于顶层某大教室为评估范例(图 2.0.1-1 红色房间),教室面积 85m²,层高 3.2m,南向外墙设有大面积玻璃窗,窗外为外走廊,走廊上方未设天顶棚。

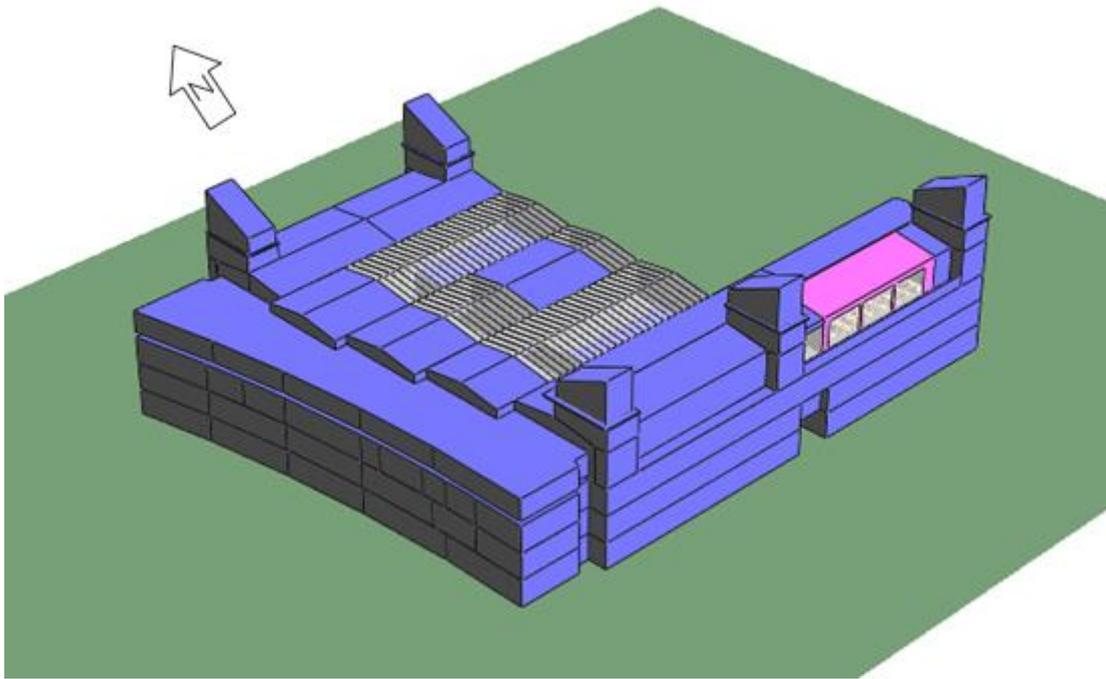


图 2.0.1-1 项目教学楼和教室外形

对于学校建筑，建筑内饰面材料反射比值以《建筑采光设计标准》（GB50033-2001）表 4.0.3 为参考，由软件自带材料数据库确定（见下表 2.0.1-1）。窗玻璃材料为低地透光热反射中空玻璃，立面窗为 6+12A+6 中空玻璃，按《全国民用建筑工程设计技术措施节能专篇-建筑》中查得其光学性能参数见表 2.0.1-2

表 2.0.1-1 饰面材料的反射比 ρ 值

材料名称	材料名称	红反射	绿反射	蓝反射	反射值	粗糙度
外墙内面	水泥砂浆	0.5	0.4	0.3	0.37	0.005
内墙饰面	大白粉刷	0.6	0.7	0.6	0.73	
教室地板	混凝土面	0.2	0.2	0.2	0.19	
天花板	白色乳胶漆	0.4	0.4	0.4	0.40	
课桌椅表面	淡色原木	0.5	0.6	0.5	0.52	

表 2.0.1-2 典型玻璃的光学、热工性能参数

玻璃品种及规格	可见光透射比 τ_v	太阳能总透射比
6 透明+12 空气+6 透明	0.71	0.75

2.0.2 工况选择:

由于该教室较高的窗墙比，经初步计算，室内平均采光系数为 11%，有非常好的自然采光条件。

由于原方案没有任何遮阳措施，教室内有一定过热和眩光风险，因此有增加遮阳方案的必要。在夏热冬冷地区，一般采用外遮阳可以达到较好的遮阳隔热效果。对于南朝向房间，太阳辐射角度较高，外遮阳可采用水平遮阳板、挡板式遮阳以及水平百叶遮阳等。由于窗外学生走廊，挡板式遮阳会进一步遮挡视野。而水平百叶遮阳可根据太阳角度调节开启角度，较为有灵活。本文选用 50cm 铝合金水平遮阳板和可调节铝合金外遮阳水平百叶，作为方案一和方案二用作比选。

一般来说，自然采光条件最好的时间出现于夏日中午 12 时，最差为冬季早晨。因此本文选取 6 月 23 日中午 12 时作为夏季典型工况，天空状况为晴朗无云，进行采光质量以及眩光评估。另外选取 12 月 23 日上午 8 时作为冬季典型工况，天空状况为阴天，以评估教室以及遮阳方案在冬季不利工况下的表现。在夏季工况中，铝合金百叶开启角度设为 45 度，冬季工况中，百叶则完全收起（0 度）使更多的自然光射入室内。模拟工况和方案归纳至下表 2.0.2-1。

表 2.0.2-1 模拟工况和方案

工况	天空状态	原方案	方案一	方案二
夏季 (6-23, 12:00)	晴朗天空	无遮阳	50cm 水平铝合金 遮阳板	铝合金百叶角度 45 度
冬季 (6-23, 12:00)	阴云天空	无遮阳	50cm 水平铝合金 遮阳板	铝合金百叶角度 0 度

据相关规定^{[5][6]}，教室工作面参考平面为课桌表面。为获得实际工作面照度数据，本文按典型教室课桌布局，在教室中布置了 48 对课桌椅，并建立相应模型。照度监测点选取为各课桌面的中心，高度为 0.5m。桌椅布置以及标号由下方图 2.0.2-1 所示。



图 2.0.2-1 教室座椅位置和编号

3 模拟结果分析

基本参数在 IES 中设置完成后，导入 Radiance 对上述方案在夏冬工况下进行照度计算模拟，对截取照片采取伪数字化处理（见图 3-1），并且对桌面中心进行照度取值。可得到以下结果：

(1) 在无遮阳情况下, 教室在夏天的表面照度普遍达到了 500lx 以上, 其中远离外窗课桌面照度为 400lx 左右, 而靠窗排课桌表面照度则达到 2000lx 以上, 照度相差甚远, 采光均匀度低, 不仅会产生眩光, 过高辐射得热也会让人感到灼热感, 光环境很差。此外窗眩光问题严重, 由于阳光直射 Radiance 根据 CIE 算法检测到窗户在夏季存在大面积窗户眩光现象 (图 3-2)。

(2) 夏季工况中, 采用外遮阳板 (方案一) 后, 室内表面照度总体下降, 尤其教室顶部照度下降明显, 远离外窗桌面照度下降至 300lx 左右, 但由于水平遮阳板对直射阳光的遮挡, 窗眩光现象得到改善, 但是靠窗部分照度仍然达到 2000lx 以上, 采光质量没有得到实质性改善。

(3) 采用 45 度角开启百叶窗后 (方案二), 教室在夏季工况中, 平均照度大幅下降, 由于百叶遮挡, 窗户没有出现眩光现象。百叶开启后, 靠窗座椅表面照度下降至 1000lx 以下。此外部分窗口直射光被百叶面和室内墙面反射, 使得靠墙桌椅表面照度保持在 400lx 左右, 与无遮阳情况下照度区别不大, 室内工作面照度变化梯度大幅减小 (图 3-3), 光环境质量得到很好的改善。

(4) 冬季工况下, 室外自然光水平下降。对各课桌中心表面照度取值结果统计 (表 3-1)。可见安装遮阳板之后, 室内照度整体大幅下降, 需要辅助人工照明。而外遮阳百叶在冬季工况完全收起以减少对有利照明的自然光线的阻挡, 此时课桌表面照度接近于无遮阳方案, 对于冬季采光的负面影响较小。

(5) 以典型高效荧光灯作为照明方式, 以中心桌面照度 300lx 为人工照明触发点。经 IES-VE 计算全年空调负荷和照明能耗并归纳入表 3-2, 外遮阳减低夏季辐射得热, 其中百叶遮阳降低了近 10% 的年空调负荷。同时, 固定遮阳板在冬季对于自然光的阻挡, 会造成全年更多时间室内照度低于规定值, 使人工照明能耗上升, 而可调节百叶遮阳可在冬季收起, 减少对有利自然光的遮挡减小, 经模拟结果显示, 年照明负荷没有明显上升。

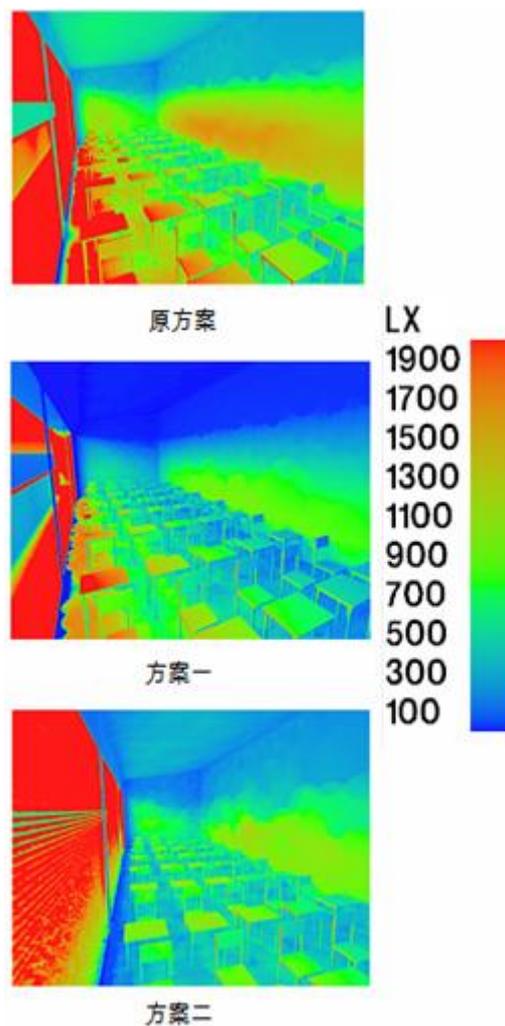


图 3-1 教室表面照度比较



图 3-2 原方案窗眩光检测

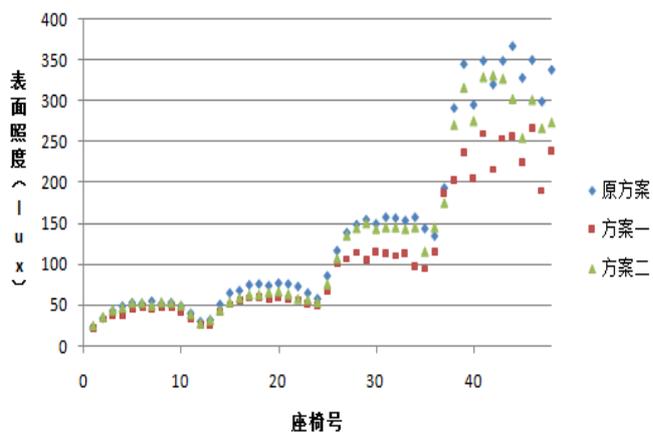


表 3-1 冬季工况监测点表面照度

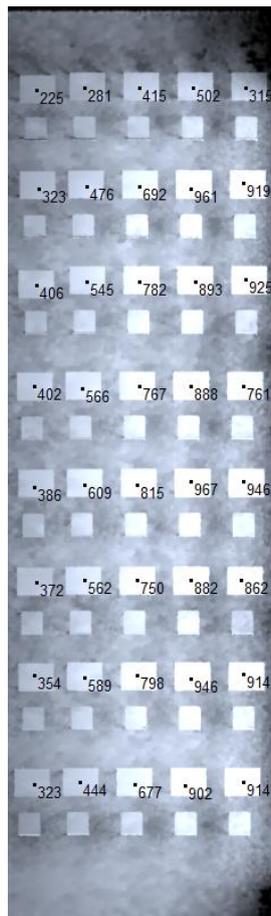


图 3-3 方案二照度监测点表面照度

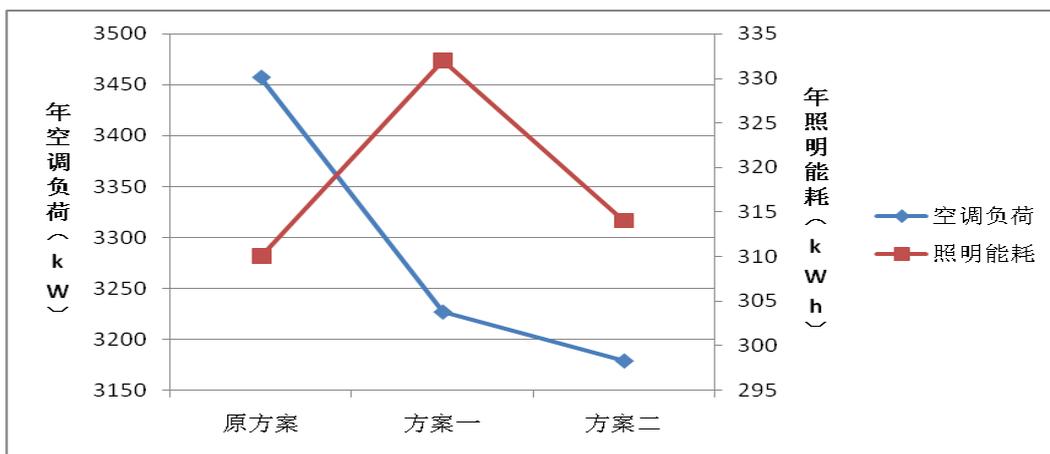


表 3-2 年空调负荷与照明能耗比较

4 总结

本项目中，固定式遮阳在夏季没有根本解决采光质量问题，并且使得全年照明能耗上升。活动式外遮阳可较好的解决遮阳、隔热、和采光之间的矛盾。使得光环境大幅改善的同时，降低了约 10%

的夏季空调负荷，具有较好的灵活和实用性。

对于南向房间，采用大面积玻璃窗在提高采光系数的同时，也会产生窗眩光，采光均匀度等一系列问题隐患。使用专业模拟软件进行仿真模拟，可获得更准确的照度数据和问题检测，在设计初期对各工况下的室内光环境进行有效的光环境评估和方案优化。同时整合设计平台与专业模拟工具之间接口的完善，使得采光和照明能耗实现动态耦合计算，可为方案比选提供更加实际准确的能耗数据，有效促进建筑、采光、遮阳一体化设计。

参考资料

- [1] 清华大学建筑节能中心, 中国建筑节能年度发展研究报告 2010 [R], 北京, 中国建筑工业出版社, 2010
- [2] 龙尾、吴蔚, 浅谈运用 Radiance 模拟自然采光【J】, 照明工程学报, 2008, 19 (1): 25-32
- [3] Mardaljevic; L Heschong and E Lee, 2009, Daylight metrics and energy savings, Lighting Research and Technology, 41; 261
- [4] S. Ubbelohde, C. Humann. Comparative evaluation of four daylighting software programs [J]. 1998. ACEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Proceedings, 1998
- [5] GB/T 50034-2001 建筑照明设计标准 [S]
- [6] GB/T 50033-2004 建筑采光设计标准 [S]