

信息化教学下中小学校教室空间平面尺度设计研究

Research on the Dimensional Design of Classrooms in Primary and Middle Schools under Information Teaching

何伟 | HE Wei 杨春宇 | YANG Chunyu 梁树英 | LIANG Shuying

摘要: 中小学校教室广泛采用信息化教学, 改变了教室空间的物理环境。本文通过光谱实测研究了信息化教学方式下教室空间光分布对学生视力健康的影响, 指出现行《中小学设计规范》对教室平面尺度的要求不能适应信息化教学方式, 基于视力健康和光辐射安全角度提出中小学校教室平面尺度合理优化措施, 为信息化教室适应新的教学方式和标准制定提供数据参考。

关键词: 信息化教室、光环境、视力健康、平面尺度、视看距离

Abstract: Informatization teaching is widely adopted in classrooms in primary and middle schools, which has changed the physical environment of the classroom space. The effect of spatial light distribution in classrooms on vision health is studied through spectrum measurement. The requirement of current standards cannot adapt to the classroom plane scales for informatized teaching methods. Based on the perspective of vision health and light radiation safety, reasonable optimization measures for the plane scale of the classroom of primary and middle schools are proposed, provide data reference for the information classroom to adapt to new teaching methods and standard formulation.

Keywords: Information classroom, Light environment, Visual health, Plane scale, Visual distance

一、引言

教育信息化 (informatization of education) 是将互联网、大数据、云计算、人工智能、脑神经科学等现代技术与教育领域深度融合, 使教育管理、教学和科研的发展适应信息化社会的新要求。自 20 世纪 90 年代以来, 世界各国纷纷开展“未来学校”和“未来教室”研究^[1], 2019 年日本发布了《学校教育信息化推进法》, 通过法律来促进和保障学校教育信息化相关措施的落实。近年来我国陆续出台了一系列教育信息化改革的政策法规 (表 1), 推进数字化教学和智慧校园的发展。在新的技术浪潮下, 教育信息化已成为发展趋势, 其核心内容是教学信息化, 通过信息技术的合理运用改变传统教学方式。信息化多媒体教室基于

互联网和数字化媒介快速、方便地获取信息资源, 优化教学内容的呈现和传播, 其优势在 2020 年新冠肺炎疫情期间全国开展的在线教学中得到充分体现。

信息化教学方式很大程度上改变了教室空间的物理环境, 尤其是光环境与传统普通教室有很大区别。中小学生在大部分时间是在教室课堂度过的, 教室空间光环境与学生视力健康有密切关系, 不适宜的教室视觉环境是诱发学生视力不良及引起近视度数加深的主要因素。^{[2][3][4]} 2018 年教育部发布的报告显示, 青少年学生视力不良问题持续突出, 高中生近视率达 83.3%, 并且呈逐年上升趋势。由于青少年眼球屈光发育特征的影响, 10~14 岁是近视的高发期, 中小学阶段发生率最高 (图 1)。青少年视力健康问题与身心健康

作者:

何伟, 重庆大学建筑城规学院博士研究生;

杨春宇 (通讯作者), 重庆大学建筑城规学院山地城镇建设与新技术教育部重点实验室教授, 博士生导师; 梁树英, 重庆大学建筑城规学院山地城镇建设与新技术教育部重点实验室副教授。

国家自然科学基金面上项目 (51478060); 科技部国家重点研发计划 (2018YFC0705102-04)

DOI: 10.12285/jzs.20200525001

我国教育信息化建设的部分政策法规

表 1

相关文件名称	颁发时间	颁发部门	教育信息化改革的相关内容
《教育信息化“十三五”规划》	2016 年 6 月	教育部	融合大数据、互联网等信息技术提升教育信息化发展，推动数字化教育
《未来学校研究与实验计划》	2017 年 10 月	教育部	聚焦基础教育和 0—18 岁儿童的发展，在新技术下推动智慧教育发展，打造智慧教育平台
《教育信息化 2.0 行动计划》	2018 年 4 月	教育部	到 2022 年基本实现“三全两高一大”的发展目标，建成“互联网+教育”大平台
《中国未来学校 2.0：概念框架》	2018 年 11 月	中国教育科学研究院	时代发展塑造出新的学校形态，学习空间、学习方式、课堂管理都会发生新的变化
《加快推进教育现代化实施方案（2018—2022 年）》	2019 年 2 月	国务院	大力推进教育信息化，促进信息技术与教育的深度融合，推进智慧教育发展，构建智慧教育示范区
《中国教育现代化 2035》	2019 年 2 月	国务院	加快教育信息化改革，统筹建设智能化校园，实现智能化教学、管理与服务平台
《以教育信息化推动教育深度变革》	2019 年 12 月	教育部	推动教育信息化落地，完善基础设施建设

密切相关，重度近视甚至可能带来不可逆转的视力损伤和失明风险，已经成为重大的公共卫生问题，受到社会各界的广泛关注。^{[5][6]} 习近平总书记多次对青少年学生的视力健康作出重要指示，要求全面加强中小学卫生与健康相关工作，2018 年教育部、国家卫健委等八个部委联合发布了《综合防控儿童青少年近视实施方案》，明确要求建筑、眼科医院和教育单位展开积极合作，将“改善学校视觉环境”作为青少年近视防控重要内容。

通过调控建筑空间环境满足舒适要求是建筑设计的重要策略^[7]，建筑空间环境质量是评价环境健康与否的重要条件，在新的教学方式下，光环境是其中最主要的因素。^{[8][9]} 中小学是青少年近视率增长最快的阶段，在适应现代信息化教学方式下如何保护学生视力健康已成为现阶段中小学校所关注的核心问题，创造适宜信息化教室空间视觉环境，适应“科技—建筑—人”之间相互协调关系是新时期建筑设计师面临的挑战（图 2）。目前中小学校信息化多媒体教室在新的教学方式下对学生视力健康影响的研究还比较缺乏，信息化

教室空间仍参照传统黑板教学的普通教室规范要求。通过对信息化多媒体教室的现场光谱分布测量实验，研究信息化教学方式下教室空间光分布对学生视力健康的影响，为适应现代信息化教学和学生视力健康需求提出中小学校教室空间平面尺度设计依据和优化措施，有利于建立信息化教室空间设计和实施的科学依据，为信息化教室设计标准提供基础数据。

二、研究方法

1. 信息化教室空间光环境

教学信息化驱动下中小学校班级教室普遍采用数字化智能显示屏（比如教学一体机、触控式电子黑板等）进行教学，以重庆市某中学为例，该校为全国现代教育技术实验学校，其数字化校园建设和信息化多媒体教学设施在全国中小学校具有一定代表性。教室设置有智能触控电子屏幕、滑动式无尘书写白板、智能巡课摄像头、安防摄像头、电子班牌、电子时钟、广播音响等设备（图 3）。中小学校在教

室组织形式上主要采用编班式教学^[10]，空间布局分为教学区、学习区和活动储藏区，学习区按照行、列的空间序列整齐布置，两人一组的课桌椅排布是最受学生欢迎的布局形式，现行《中小学校设计规范》（GB50099—2011）对教室平面布置规定，最前排课桌前沿与黑板的水平距离不宜小于 2.2m，最后排课桌后沿与教室后部空间固定家具或墙壁的距离不小于 1.1m。^[11]

电子屏幕的教学方式下，信息化教室光环境与传统普通教室有很大区别，传统普通教室视觉环境品质主要取决于人工照明和天然采光情况，影响学生视觉功效和视觉环境感受的因素包括照度、亮度、眩光、颜色、亮度对比以及识别对象的特征等照明条件，国家相关规范和标准对这些指标有相应要求。^[12] 首先，信息化多媒体教室除了人工照明和天然光以外，电子显示屏是自主式发光，发出的光线直接入射到学生眼睛（图 4）。其次，在使用电子显示屏教学时学生长时间注视屏幕，青少年视神经发育不完全成熟的情况下，长时间的视看可能造成学生视力安全和视力健康问题。

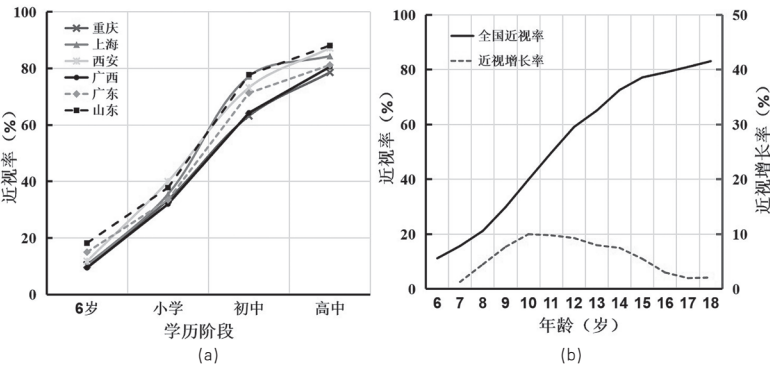


图 1：国内学生近视率 (a) 部分地区近视率；(b) 近视增长率

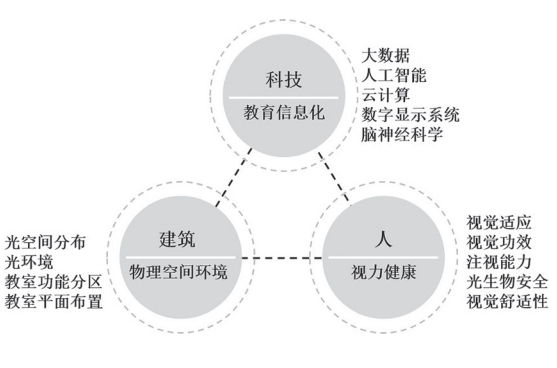


图 2：适应信息化教学的教室空间设计策略



图3: 中小学校信息化教室

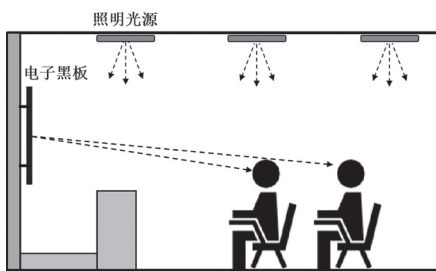


图4: 信息化教室光环境与学生视线

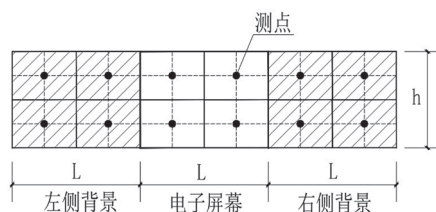


图6: 视觉目标和背景测点布置

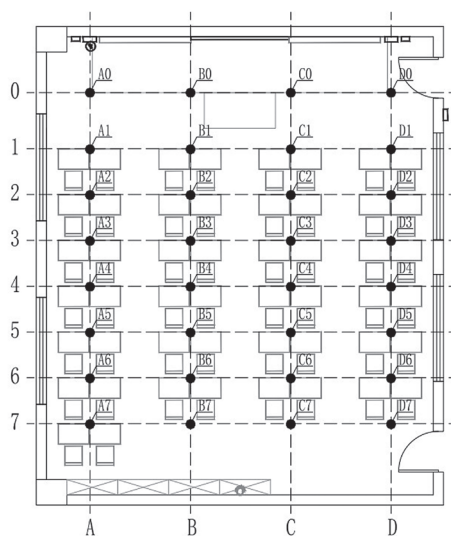


图5: 教室空间光分布测点布置



图7: 测量设备, SRC-2光谱彩色亮度计

2. 现场测量

通过现场实测研究信息化多媒体教室不同座位处的亮度分布, 在标准中学班级教室按照课桌排布方式, 分别在第1排到第7排(纵坐标轴1—7)、第A列到第D列(横坐标轴A—D)不同座位处测量目标亮度和背景亮度(图5)。目标亮度和背景亮度的测量点位根据《照明测量方法》(GB/T 5700—2008), 采用中心布点法选取测量面区域4个代表性的点位进行测量

(图6)。以观察者标准坐姿时眼睛高度为准, 亮度计放置的高度为距离地面1.2m, 在图5中教室空间不同座位处的测点位置通过测量设备模拟人眼对目标亮度和背景亮度进行测量。测量设备使用校准后的便携式SRC-2光谱彩色亮度计(图7), SRC-2光谱彩色亮度计可实现380~780nm全波长范围测量, 亮度显示值的偏差范围为不大于4%, 满足实验精度要求。测量过程中, 将SRC-2光谱彩色亮度计与一台便携式笔记本电脑连接, 采用EXCEL软件

记录测量数据, 测量结果按照《照明测量方法》(GB/T 5700—2008)取平均值。本次实验在使用电子屏幕教学的典型工况下(开启教室灯具, 黑板灯关闭, 开启窗帘的全阴天天然光)进行了测量。电子显示屏教学课件采用常用的白底黑字(宋体, 20号)Power Point课件模版。为了了解电子显示屏的蓝光辐射强度, 采用校准后的CS-2000分光辐射亮度计对电子显示屏的发射光谱进行了测量。

三、实验结果及分析

电子黑板发光的光谱功率分布测量结果如图8所示, 其发光光谱与6500 K LED光源相似, 峰值波长为448nm。这些短波长蓝光很容易被人眼视网膜细胞吸收, 中小学学生视神经发育还不完全成熟, 过量蓝光辐射可能造成视网膜损伤^{[13][14][15]}。根据电子黑板发光的光谱, 其蓝光辐射强度可按照IEC 62471—2006推荐的蓝光加权辐亮度公式(公式1)计算。^{[16][17]}计算结果显示, 在典型工况下最前排位置处接收到的蓝光加权辐亮度 L_B 为 $0.3694\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, 远低于视网膜蓝光曝辐限值 $100\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (t > 100\text{s})$$

$$\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \quad (1)$$

式中 L_{λ} 是波长光谱辐亮度, 单位 $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$; $B(\lambda)$ 是蓝光危害加权函数, 可通过查询IEC 62471—2006第4.3.3条表2获得; $\Delta\lambda$ 是光谱的波长带宽, 单位nm。

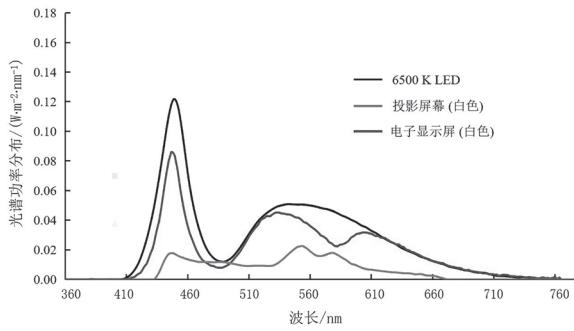


图8: 电子显示屏光谱功率分布

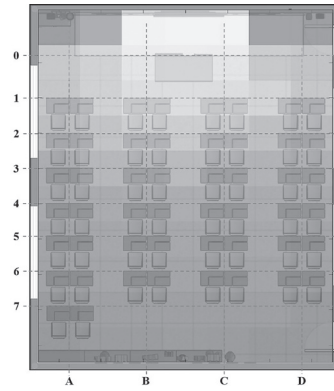


图9: 信息化教室空间视亮度分布

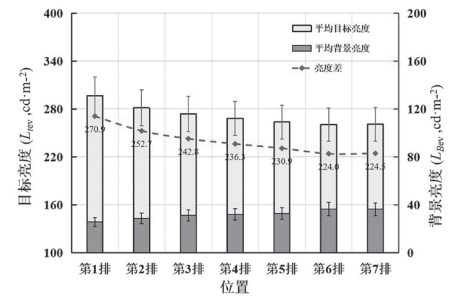


图10: 学习区视亮度变化

教室空间不同座位位置的视觉目标亮度和背景亮度结果见表2, 视亮度是将亮度感觉量化的一种方法, 是教室空间学生视觉舒适度的客观评价标准, 在明亮的光照环境下, 视亮度评价方法比光亮度更加符合学生客观实际视看情况和视觉感受^[18]。影响学生视亮度的主要因素包括目标亮度、背景亮度和视角大小, 视亮度可以通过公式计算。^{[19][20]}

$$B = C_t(\theta)L_t^\kappa - C_t(\theta)[S_0(\theta) + S_1(\theta)L_b^\kappa] \quad (2)$$

式中 B 为视亮度; L_t 为目标亮度; L_b 为背景亮度; $C_t(\theta)$ 、 $S_0(\theta)$ 、 $S_1(\theta)$ 均是视角 θ 的函数; κ 是指数系数, $\kappa=0.31$ 。

通过公式(2)计算出信息化教学方式下教室空间不同座位处学生的视亮度分布, 运用 Matlab 软件进行模拟得到信息化教学时教室空间的视亮度分布图(图9)。结果表明电子黑板的自发光特性和课桌排布方式对信息化教室空间不同位置学生的视觉亮度有显著影响, 学生对视觉目标的视亮度与视看距离密切相关。教室空间自前到后视亮度呈逐渐减小分布, 学习区最前排位置视亮度值大, 后排位置视亮度值小, 视亮度在横向位置呈广口“U”形分布, 中间正对屏幕位置视亮度值比两侧位置更高。同时视看距离对视觉目标亮度和背景亮度的比值有显著影响, 学习区亮度对比值随着与屏幕的距离增大相应变小, 前排位置感受的亮度对比值比后排位置明显更高(图10、图11)。视觉目标与环境背景的亮度差形成亮度对比值, 在一定程度内, 亮度对比值过大或频繁变化会对视觉和心

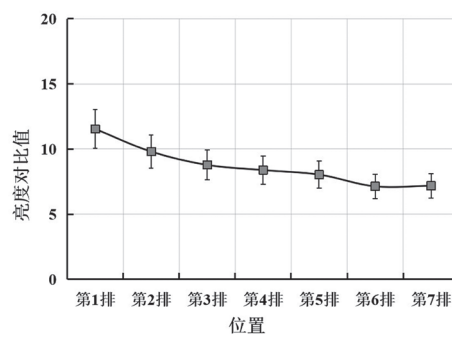


图11: 学习区视亮度对比值

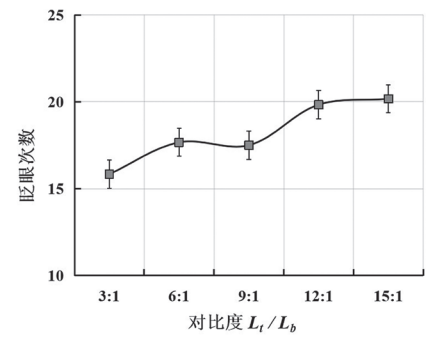


图12: 眨眼次数与亮度对比值关系

理产生不舒适影响。根据之前亮度对比值和眼电的研究结果显示, 对比值越大, 单位时间内人眼眨眼次数越多, 视觉疲劳程度越大(图12)。^{[21][22]} 信息化教学方式下, 目前教室空间平面尺度的布置方式不能适应学生视力健康的需求。

四、信息化教室空间尺度

1. 光空间分布

影响视觉舒适性的主要因素是教室空间亮度分布, 与视觉距离有关。学生与屏

幕距离越小, 感受到的视觉亮度越大。根据室内空间照明调查显示, 通常人们感到舒适的视亮度值不超过 120^[19], 视觉目标的亮度过高会造成眼睛的不适感和疲劳感, 会有眼睛酸痛干涩等现象, 长时间观看下可能造成近视或加深近视度数。根据现行《中小学校设计规范》, 最前排课桌前沿与黑板的水平距离为 2.2m, 按照现行课桌椅布置方法, 学习区最前排的学生位置处的视觉亮度超过了视觉舒适的限值。另一方面, 人眼视野中的视觉目标亮度与背景亮度的对比值大小对人眼视觉疲劳存在显著影响, 亮度对比值过大时

教室空间不同座位位置的亮度和视亮度值

表 2

位置	课桌前沿与屏幕距离 (D_p , m)	平均视亮度 (B_{ev})	亮度差 (L_d , $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	亮度对比值
第1排	2.2	129.5	270.9	11.5
第2排	3.1	120.8	252.7	9.8
第3排	4.0	116.4	242.8	8.8
第4排	4.9	112.0	236.3	8.4
第5排	5.8	107.2	230.9	8.0
第6排	6.7	104.4	224.0	7.1
第7排	7.6	103.0	224.5	7.2

会形成不舒适眩光，引起视觉疲劳和降低视觉功效。^[23] 学生视觉距离对视野中电子黑板 LED 屏幕亮度和环境背景亮度的对比值存在显著影响，从教室前部到后部空间，随着视觉距离增大，视野中亮度对比度逐渐减小。视疲劳实验研究结果显示由于亮度对比度的差异，学习区最前排中间位置比最后排位置眨眼次数更多，增大学生视觉疲劳程度。在信息化教学方式下，视觉距离对学生视觉功效和视力健康有重要影响。

2. 视觉距离

在素质教育和我国教育资源的现实背景下，学习区课桌采用阵列式布局仍是当前中小学班级教室主体空间的主要形式。^{[24][25]} 前排位置的学生能近距离和教师进行互动，有助于提高学习效率，在电子屏幕教学方式下，前排位置的视觉距离长时间观看可能会损害学生视力健康，导致近视的发生或引起视力下降。《室内 LED 显示屏光舒适度评价要求》规定 LED 显示屏的视距可以根据像素中心距计算，计算公式为

$$D_{MVD} = 1700 \times P \tag{3}$$

$$D_{OVD} = 3400 \times P \tag{4}$$

式中 D_{MVD} 是室内 LED 显示屏的最小视距； D_{OVD} 是室内 LED 显示屏的最佳视距； P 为 LED 显示屏的像素中心距。

国际无线电咨询委员会（CCIR）推荐室内 LED 显示屏的最佳视距以屏幕高度的 3~5 倍为宜，根据目前中小学常用的电子 LED 屏幕尺寸其

适宜的视距约为 3~7m。《中小学校设计规范》对于合班教室使用的数字化智能屏幕，规定最前排课桌前沿与显示屏距离不小于显示屏对角线尺寸的 4~5 倍，按照标准普通教室常用 85 寸显示屏的尺寸，最前排与显示屏的距离约为不小于 8~10m，显然不能适用于中小学校普通班级教室。现场光分布测量实验结果显示教室空间平面尺度对视疲劳有重要影响，根据本次研究实验数据和信息化教室空间视亮度平面分布图分析显示，在距离电子黑板屏幕 3.1m 处，电子黑板正对的中间位置的视亮度为 120（图 13），这是人们视觉舒适的视亮度最高限值（临界值）。与电子黑板屏幕距离小于 3.1 m 的区域内视亮度 and 对比值较高，是视觉不舒适区域，会显著增加视觉疲劳和降低视觉功效，增加近视风险，降低学习效率和影响学生视力健康。这与目前 CCIR 推荐的 LED 显示屏视距基本一致。基于视觉健康的中小学校信息化多媒体教室平面尺度合理优化，学生与电子黑板屏幕的水平距离不小于 3.1m，按照标准课桌 0.4m 宽度，学习区最前排课桌前沿与电子黑板的水平距离应不小于 2.7m（图 13）。

教室空间平面尺度对学生视觉健康有显著影响，现行规范要求最前排课桌前沿与黑板的水平距离为 2.2m，在信息化教学方式下会增加前排学生视觉疲劳程度和近视患病风险，基于教室空间内最前排课桌前沿与显示屏的水平距离至少保持 2.7m，按照现行的教室平面尺寸学习区可布置 6 行课桌椅，最后排课桌后沿与显示屏的水平距离为 7.6m，教室后部可提供充足的存储和活动空间，

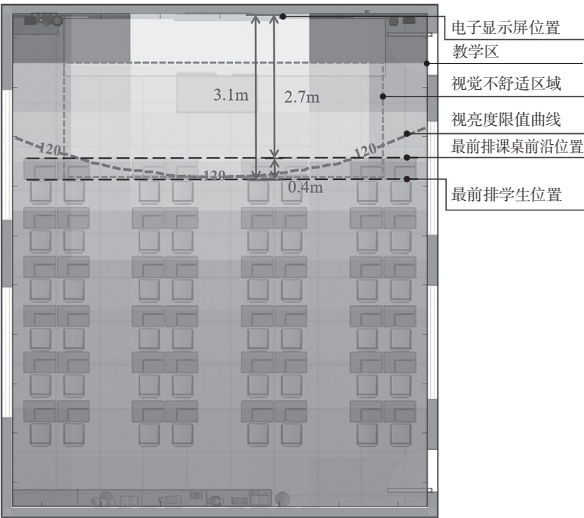


图 13: 信息化多媒体教室适宜视觉距离

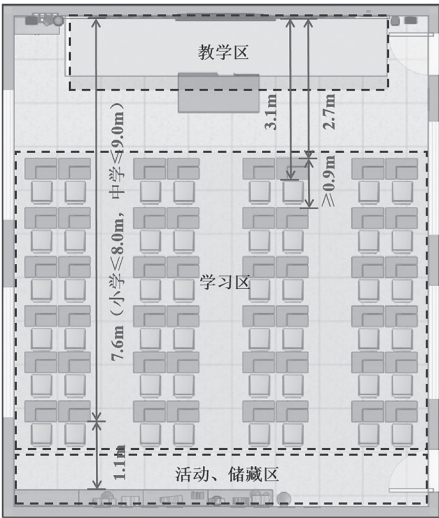


图 14: 适应信息化教学的空间平面尺度

可容纳 48 名学生 (图 14)。教育部明确提出中小学要清除“大班额”教学, 中小学班级教室小班化教学是教育发达国家及地区的趋势, 国外发达国家公立中学班级人数规模通常低于 30 人。^[26] 信息化教室最前排课桌前沿与显示屏的水平距离设置为 2.7m, 既可以确保学生在适宜的视距范围内, 同时基本满足了现行规范对班级规模和人均面积的要求。

五、结论

信息化时代的到来为教育信息化提供了广阔的发展空间和平台, 基于信息技术的智慧教育是未来的发展趋势, 信息化教学方式改变了教室空间的物理环境, 对青少年学生的视力健康和视觉功效有显著影响。在信息化多媒体教室教学中, 现行规范要求的平面尺度不能满足学生视觉舒适感和视力健康要求, 视觉距离不合适情况下可能增加学生视觉疲劳程度, 增加近视患病风险。通过现场试验研究合理优化信息化教学方式下教室空间平面尺度设计措施, 创造适宜的中小学校教室空间视觉环境对于青少年近视防控意义重大, 能够为适应信息化教学方式和改善学生视觉环境的教室平面尺度优化设计提供数据参考。

参考文献

- [1] 陈耀华, 杨现民. 国际智慧教育发展战略及其对我国的启示[J]. 现代教育技术, 2014, 24 (10) : 5-11.
- [2] 姚杨华, 缪晚虹. 视疲劳的相关研究概述[J]. 中国中医眼科杂志, 2016, 04 (26) : 273-276.
- [3] 梁树英, 杨春宇, 李娟洁. 适于多媒体教室光环境研究的视疲劳实验方案[J]. 照明工程学报, 2019, 30 (3) : 43-46.
- [4] 张欣. 重视儿童青少年近视环境危险因素的防控[J]. 中国学校卫生, 2018, 39 (1) : 6-8.
- [5] 高凡, 徐燕, 叶剑. 重庆市城区 1880 名小学生近视状况及其影响因素分析[J]. 第三军医大学学报, 2013, 35 (11) : 1137-1140.
- [6] 瞿佳, 侯方, 周佳玮, 郝洛西, 等. 近视防控教室 LED 照明专家共识[J]. 照明工程学报, 2019, (6) : 36-40, 46.
- [7] 张彤. 环境调控的建筑学自治与空间调节设计策略[J]. 建筑师, 2019 (6) : 4-5.
- [8] Mark Winterbottom, Arnold Wilkins. Lighting and discomfort in the classroom[J]. Journal of Environmental Psychology, 2009, 29 (1) : 63-75.
- [9] 黄海静, 宋扬帆. 绿色建筑评价体系比较研究综述[J]. 建筑师, 2019 (3) : 100-106.
- [10] 周岷, 李曙婷, 李志民, 李玉泉. 中小学校普通教学空间设计研究[J]. 建筑学报, 2009 (z1) : 102-105.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50099—2011 中小学校设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [12] 郝洛西, 曹亦潇, 崔哲, 等. 光与健康的研究动态与应用展望[J]. 照明工程学报, 2017, 28 (6) : 1-12.
- [13] Sotty, Christian. The Benefits and Dangers Of Blue Light[J]. Optometry Times, 2013, 5 (5) : 13.
- [14] PN Youssef, N Sheibani, DM Albert. Retinal light toxicity[J]. Eye, 2011, 25: 1-14.
- [15] Ham WT Jr, Mueller HA, Millen JE. Photochemical lesions in the primate retina under conditions of elevated blood oxygen[J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 1984, 25 (8) : 893-8.
- [16] Photobiological safety of lamps and lamp systems [S]. IEC/EN 62471—2006.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 20145—2006 灯和灯系统的光生物安全性[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [18] 杨公侠. 视觉与视觉环境[M]. 上海: 同济大学出版社, 2002.
- [19] 陈仲林, 刘伟, 杨春宇. 视亮度及其运用[J]. 重庆建筑大学学报, 2001, 23 (6) : 30-32.
- [20] 刘沁, 张乘风, 刘启能. 视亮度理论及其图像特性研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2009, 26 (6) : 593-595.
- [21] 李娟洁. 高校多媒体教室亮度比值与视疲劳分析研究[D]. 重庆大学, 2019.
- [22] Christos Papadelis, Zhe Sage Chen, Chrysoula Kourtidou-Papadeli, Panagiotis D Bamidis. Monitoring sleepiness with on-board electrophysiological recordings for preventing sleep-deprived traffic accidents[J]. Clinical Neurophysiology, 2007, 118 (9) : 1906-1922.
- [23] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50034—2013 建筑照明设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [24] 施琳. 海峡两岸中小学校建筑空间环境构成及规划设计对比研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2014.
- [25] 李志民, 陈雅兰, 李诗娴. 中小学校建筑空间环境变迁及其规律探析[J]. 城市建筑, 2018 (3) : 20-23.
- [26] 日本建筑学会. 建筑设计资料集成: 教育图书篇[M]. 天津: 天津大学出版社, 2007.

图表来源:

图1~图14: 作者绘制。

表1、表2: 作者绘制。