

BIM于气候适宜性的被动式建筑设计策略研究

李權宸 曾辉鹏* 梁东瑶

惠州学院 建筑与土木工程学院 建筑学系 广东惠州 516007

【摘要】本研究导入「可持续设计(Sustainable design)」理念,运用建筑信息模型(BIM, Building Information Modeling)技术,进行绿色建筑气候适宜性设计。研究方法为基于被动式建筑设计策略-运用BIM于可持续设计;首先依建筑场地气候适宜性条件,分析建筑体量最佳朝向为南向,围护结构的体形系数采0.24,以降低体表面积,减少太阳幅射热。墙体使用具有具有90%之反射率之较高明度白色石材;再者采用传热系数0.71 W/m²K以下,具备良好隔热层的铝金属帷幕玻璃,作为优良节能外壳之围护构造。通过案例分析,运用BIM的日光路径模式进行自然采光分析,日光设置分别采用“静止”、“一天”及“多天”三种日光模式。研究业已具质性研究及如体形系数建筑节能量化指标设计成果。

【关键词】可持续设计;建筑信息模型;气候适宜性;被动式建筑设计策略;体形系数;传热系数

受资助基金项目:

1. 惠州市公共建筑围护结构被动式节能技术集成与研究(2015B010002004);
2. 惠州学院2020-2021年理工科研究资助项目(2020JB061)

1 引言

21世纪以来,建筑所造成的环境影响令人震惊,建筑是中国当前的能耗大户,建筑节能也是“十二五”节能减排规划的重要组成部分^[1]。据美国能源部(DOE)称,在美国商用和住宅建筑消耗了近40%的总能源、76%的电力、40%的原材料和12%的淡水。它们排放出30%的温室气体,并产生1.36亿吨重的施工和拆毁废料(约2.8磅/人/天);而现有建筑也约占欧盟能源消耗的40%和温室气体排放的36%,这表示建筑是欧洲最大的单一能源消耗者。为应对能源危机、人口增长等问题,绿色、低碳等可持续发展理念逐渐深入人心。环境友好型可持续建筑设计是世界各国建筑发展的战略目标。

可持续设计是在“自然—建筑—人”的宏观视野下,尊重场地环境与气候特征,追求风、光、热、声、水等建筑物物理环境与微气候的适宜与健康,寻求人、建筑与自然的互动共生,注重建筑功能多样性与个性的融合,延续当地风土人情与历史文化,减少建筑与环境之间资源与物质交换需求,在全生命周期内,最大限度节约资源、保护环境、减少污染,为人们提供健康、适用和高效的使用空间,通过建筑促进自然与人和谐共生永续发展的建筑设计^[2]。

1.1 BIM应用现状

BIM是一种创新的建筑设计、施工和管理方法,其主要特点是可以持续、实时地提供高质量、一致性、可靠性的项目设计规模、进程和成本信息。就BIM于建筑设计应用现

状,主要体现在下列几个阶段:

1.1.1 概念设计阶段

现阶段绿色建筑设计中,BIM技术在概念设计中的应用主要集中在场地建模中的应用,其中BIM技术软件Autodesk Revit中的部分功能能够满足设计者对于简单场地建模的需求,包括土方量的计算以及道路的坡度的设计,及可视化功能还能够实现对坡度和朝向的分析,以满足绿色建筑设计要求。

1.1.2 方案设计阶段

现况运用BIM技术于方案设计阶段时,基于BIM的建筑环境与性能模拟方法相比传统评估方法,能帮助设计人员对建筑朝向以及长宽比等关键环节进行构思能更加准确、全面性的;而在建筑性能的模拟中,设计人员需要对建筑场地、日照模拟、风环境和建筑能耗方面进行模拟,在绿色建筑设计的基础上确定最佳的设计方案。如运用Autodesk公司研发的专门用于日照研究的可视化模拟分析软件Revit,日照水平可通过与Autodesk Ecotect Analysis相同气候数据进行计算。

1.1.3 初步设计阶段

在开展了上述1、2阶段工作后,设计者需要依据建筑模型对设计方案进行精细化处理,对绿色建筑的设计方向需要进一步深入。在初步设计阶段中,应当基于BIM技术搭建协同化平台对建筑模型进行设计,确保整体设计工作的专业性和系统性。对于设计人员来说,不仅要考虑绿色

建筑的各项性能,同时也要考虑各项使用性能对于生态环境可能带来的影响:(1)要对风环境进行模拟和优化,根据模拟结果为建筑自然通风系统的设计以及优化提供数据支撑;(2)进行建筑热舒适性之空间环境分析,通过Ecotect等软件对环境温度等参数进行模拟分析,综合提升建筑的隔热、保温能力,减少建筑能耗;(3)进行建筑采光分析,分别从自然光、人工照明以及可视度的方向进行模拟,通过朝向、开窗位置与大小的调整提高自然光的利用率,节约能源,或是采取设置遮阳板等措施解决光照分布不均的问题等^[3-4]。

1.2 将BIM技术应用于可持续建筑设计的创新之处及实用性

1.2.1 传统绿建筑设计模式:设计思维缺乏创新性

目前,许多数字建筑模型都不包含可持续建筑设计的建筑模块,设计人员欠缺对绿建筑气候适宜性设计方法的研究,仍采用传统CAD等二维平面设计软件进行基本设计后再行建立三维模型,对建筑体量进行性能和能耗分析计算,然后再返回对设计方案进行反复修改。分析计算的性能数据与建筑空间和形态的关联性不强,缺少对方案空间形象和性能技术的整体掌控,导致工作效率的降低。

1.2.2 应用BIM技术于地域性视角下气候适宜性的被动式建筑设计策略

结合研究场地的气候适宜性,运用被动式节能技术:台湾台中市地区处于夏热冬暖地区,在节能设计中主要考虑夏季之隔热制冷,及冬季防止热散失及保温功能^[5-6]。

对于在改善建筑设计的可持续性的研究上,会采用多种设计策略。虽然没有单一的最佳方法,但是通常的步骤包括:

(1)考虑被动式建筑设计策略—包括建筑的方位与朝向,建筑组合形式,通过建筑外窗和开口设计,提高建筑的自然采光与自然采暖制冷。

(2)运用自然采光设计策略—改善室内自然采光:一般自然采光是指包括太阳直射光+天空漫射光+地面反射光

(3)合理使用建筑材料,设计合适的建筑围护结构,减少能源消耗并且降低建筑的碳足迹。

1.2.3 结合BIM技术进行可持续建筑设计的创新之处及实用性

本研究运用BIM技术于绿色建筑节能设计,进行研究项目的敷地计划,进一步介入建筑方案的辅助设计,确认包括建筑体量的位置、气候条件、最佳朝向、体量尺寸、高

度等设计要素(如图1~6所示),从而为后续绿色设计和环境分析提供数据基础和准备;以洞察潜在的建筑设计性能,因这些性能对建筑生态可持续设计有巨大的作用,如果忽略了建筑体量的关键性影响因素中的量化信息,如建筑朝向、长宽比、围护结构的最大表面积及体形系数 T_x 、墙体及围护建材之反射率及对于建筑物节能隔热效果相当重要的指标—传热系数 U 值(W/m^2K)^[7-9]等定量分析,可能会影响建筑后期设计及造价。

2 研究方法

2.1 研究思路

本研究主要运用可持续设计的理念来进行采光、遮阳、被动式制冷和采暖,以及BIM模型如何支持模拟软件进行更详细的采光和能耗分析。对于气候和朝向的考虑,显然对于任何以围护结构能耗负荷为主的可持续建筑设计,都是至关重要的,不仅一般气候条件,对适当的设计回馈有着深远的影响。

基于太阳几何学和日照采光分析而确定的建筑朝向,将决定大部份被动式制冷和采暖策略的有效性^[10-13],主要研究目标如下:

2.1.1 夏季时通过建筑外围护遮阳遮阳构件减少直射光线并有助于更均匀地进入室内,可减少传入的太阳辐射热量,防止夏季室内过热,是可持续建筑被动节能的关键措施之一。

2.1.2 冬季时增加建筑外维护结构的采光面积,即被动式得热,获得理想的太阳辐射。

2.1.3 具体作法为:

(1)增加建筑外维护结构的采光面积—增加建筑周长和外表面积,以最大限度的挖掘自然采光的潜力。

(2)在室内空间的高处设置采光口:在墙壁上部设计开窗(例如,高窗),或者在屋顶上设置开窗(例如,天窗)可以使光线进入室内进深更大的地方,这样可以降低过高的亮度,减少眩光;反射自然光,以增加房间亮度:同时降低窗口过高的亮度。并运用前述自然采光设计策略—强调地面反射光的功能,以改善室内自然采光:例如可铺设偏白色、橙黄色系的石材或木质地板,以达到反射自然光的效果以提升室内空间的亮度。倾斜的天花板可以引入更多的光线:从天窗口向下倾斜的天花板有助于进一步提高室内的亮度。

(3)过滤和软化日光:使用窗帘、遮阳构建、天窗、自然植被或者其它过滤装置,可以柔化直射光线,并有助

于更均匀地进入室内。

(4) 有效的采光设计, 还取决于建筑表面的朝向和太阳的位置。采光策略恰当组合的变化通常基于建筑每个表面上日光的路径。

2.2 绿建筑气候适宜性设计方法的研究

研究方法为基于被动式设计策略—运用BIM于可持续性设计, 主要包括场地规划、气候条件及建筑体量设计等, 以进一步达成绿色建筑节能设计。

2.2.1 首先透过BIM技术录入包括地理位置, 周边环境、气候条件等外界因素, 再运用BIM技术进行通风、采

光、日照等基础分析, 并建立初步的建筑模型, 确定建筑的位置、朝向、大致体量尺寸、高度等设计要素, 从而为后续绿色生态设计和环境分析提供数据基础和准备^[14]。

2.2.2 进一步利用BIM技术的协调性及可视化特点及提高各工种间合作效率。另一方面, 在绿色建筑设计过程中, 将涉及到包括日照、采光、通风、节能、给排水、暖通空调等性能分析, BIM中包含的建筑信息可直接作为其分析的基础, 经过直观的结果回馈之后, 可对设计进行及时调整。

2.2.3 研究运用Autodesk Revit软件基于气候和环境因素的建筑物理环境模拟之BIM技术平台, 作为可持续绿色建

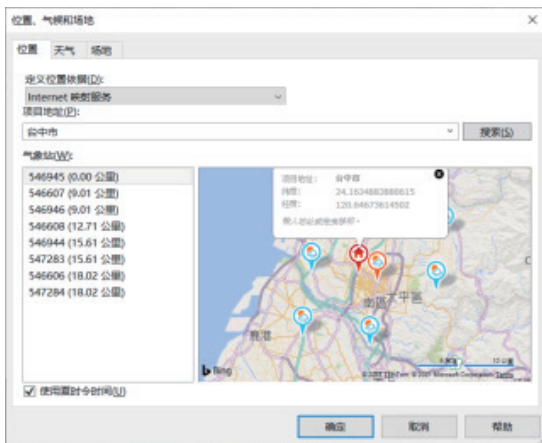


图1: 场地位置图

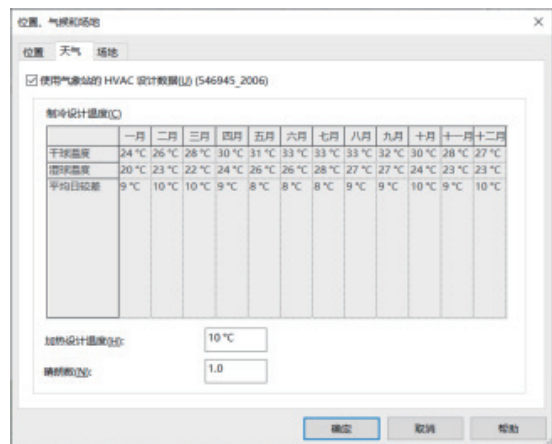


图2: 气候数据

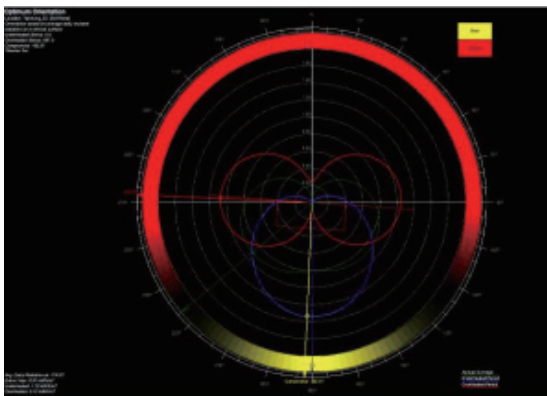


图3: 最佳朝向分析图

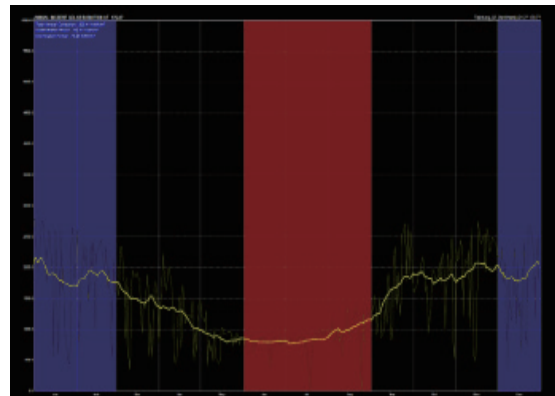


图4: 太阳辐射分析

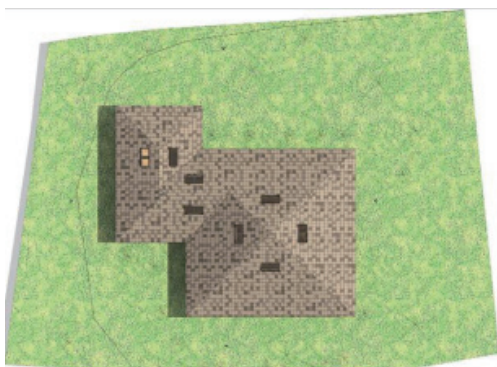


图5: 场地建筑体量规划平面图

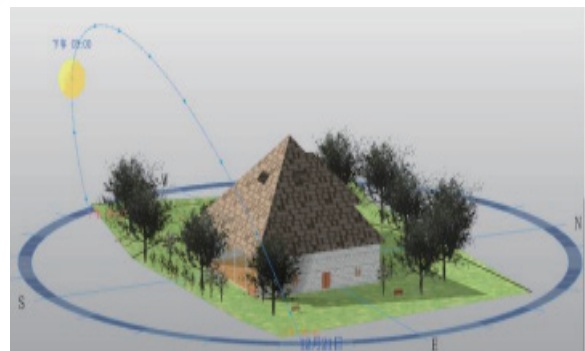


图6: 建筑体量最佳朝向日光路径图

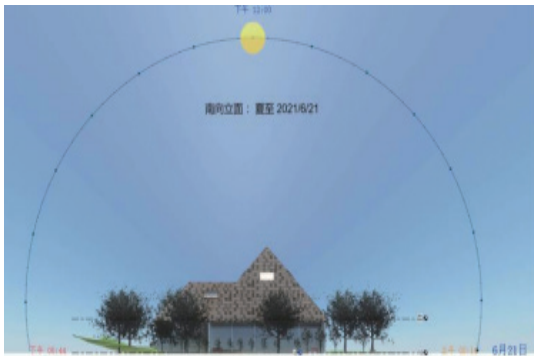
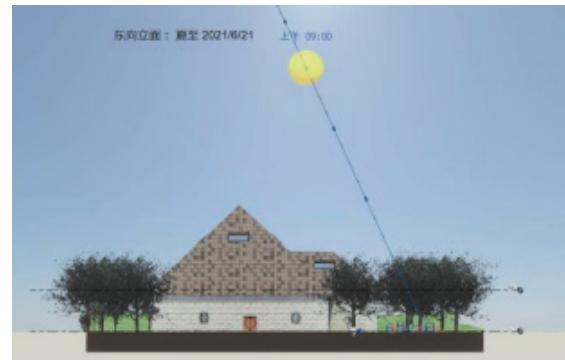


图7：日光路径立面图



筑设计及分析工具。其中Ecotect Analysis可以在加载气候资料的基础上进行各种模拟计算。主要分析包括建筑最佳朝向、能耗分析、热工性能、太阳辐射、自然采光及阴影和反射等生态建筑设计过程内容^[15]。

2.2.4 研究实际案例现场，进行包括一自然采光、日照阴影及热工性能分析，场地气候适宜性设计条件如下：

(1) 研究场地地理位置：台湾台中市（经度：120.65° E，纬度：24.16° N），如图1所示。(2) 导入气候数据，如图2所示。(3) 场地建筑体量分析

场地建筑最佳朝向分析图中(图3)，绿色箭头表示全年辐射量最多的朝向，蓝色箭头表示过冷时间段内辐射量最多的朝向，红色箭头表示过热时间段内辐射量最多的朝向。黄色粗箭头表示该地区建筑最佳朝向；依分析结果显示，本研究依所在地区建筑最佳朝向为一南向，如图3。太阳辐射分析，图中红色和蓝色区域分别代表全年中过热与过冷的时段。细黄线代表全年逐时辐射量，粗黄线代表平均辐射量(图4)。

1. 朝向：正东西向(坐西朝东)，室内空间主要采光面为朝南向设置；依分析结果进行场地建筑体量最佳朝向规划设计(图5、6)。

2. 体量尺寸：研究项目建筑采单体设计^[16]，并设计为较集中的矩形建筑平面外廓，长宽比值约呈1.5，以透过降

低体表面积，减少太阳辐射热；围护结构的体形系数 T_x 采0.24设计(图5)。

3. 可视化模拟分析。

4. 日光路径(日轨)。

2.3 场地日照分析—可视化模拟分析

建筑遮阳设计，使用BIM设计平台—Autodesk Revit在建筑设计中设置日光路径进行日照分析，透过可视化设计环境可以进行日照阴影分析，模拟分析自然光与阴影对建筑及场地的影响。BIM日照分析传统有三个时间点，即冬至、春分(春天和秋天是相同的)及夏至(图7)。

3 研究案例分析成果

研究通过案例1~3，运用BIM设计平台工具Autodesk Revit的日光路径设定模式进行自然采光分析，日光设置分别采用”静止(静态)”、“一天”及”多天”三种日光研究模式，可以在概念设计环境及项目环境中应用。

即对于日照或阴影分析，运用Revit软件进行，这些分析能显示从创建视图在一年中某一时刻的日照阴影(称为静止(静态)日照分析，图8)，到运用动画显示一天中建筑阴影的动态(一天日照分析，图11)，再者对于呈现项目所在位置之地形和建筑体量于一年中、一个月或一段特定时间范围及时间间隔内日照阴影样式与移动(多天日照分析，图14)。

3.1 案例1：静止日照分析

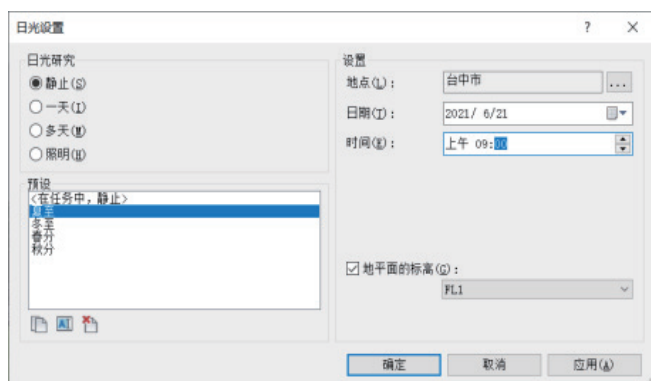


图8：静止日照分析之日光设置

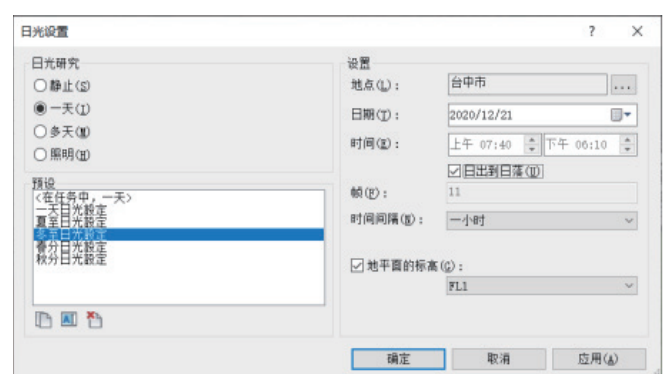


图11：一天日照分析之日光设置

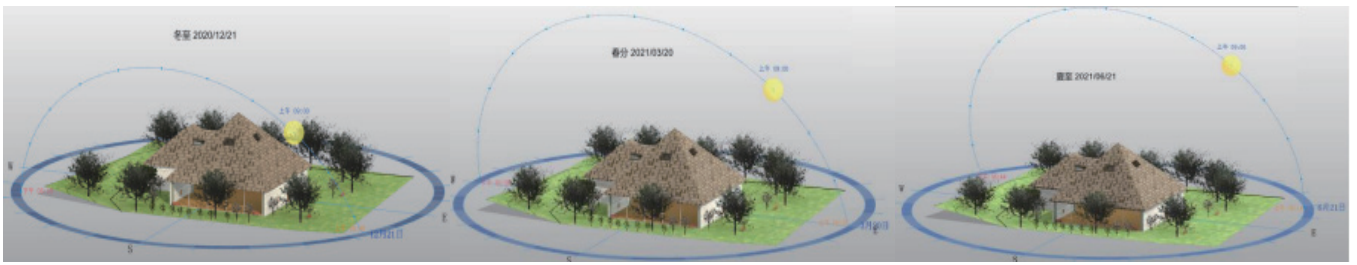


图9：静止日照分析(室外日光分析)



图10：静止日照分析(室内日光分析)

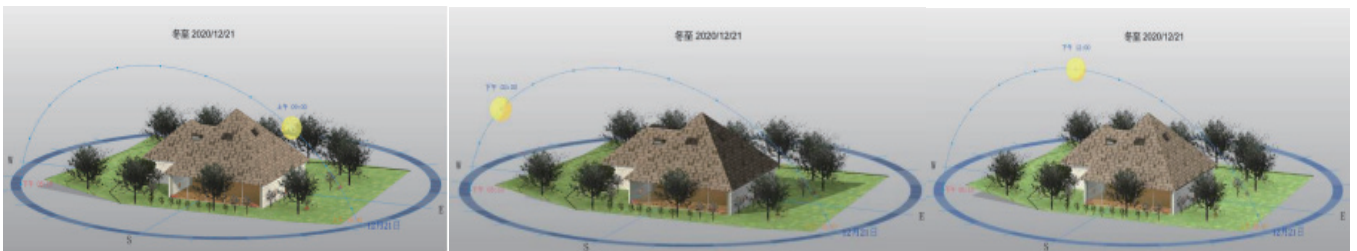


图12：一天日照分析(室外日光分析)



图13：一天日照分析(室内日光分析)

3.1.1 室外日光分析：可以显示在一年中某一特定日子(冬至、春分或夏至)的日照阴影，在特定时间(上午09:00)，日光对地形环境和建筑体量各朝向的阴影是如何影响。(图9)

3.1.2 室内日光分析：在一年中某一特定日子(冬至、春

分或夏至)的日照阴影，在特定时间(上午09:00)，自然光进入建筑室内的位置。(图10)

3.2 案例2：一天日照分析(图11)

3.2.1 室外日光分析：可以显示可以显示一天中(冬至)，在特定时间日光对地形环境和建筑体量各朝向的阴影是如何影响场地的。(图12)

3.2.2 室内日光分析：可以显示一天中(冬至)在特定时间，自然光进入建筑室内的位置。(图13)

3.3 案例3：多天日照分析

呈现项目所在位置台中市之地形和建筑体量于一年中、一个月或一段特定时间范围及时间间隔内日照阴影样式与移动(通常可以动画方式呈现)。

3.3.1 室外日光分析：研究日光对地形环境和建筑体量各朝向的阴影产生如何影响。

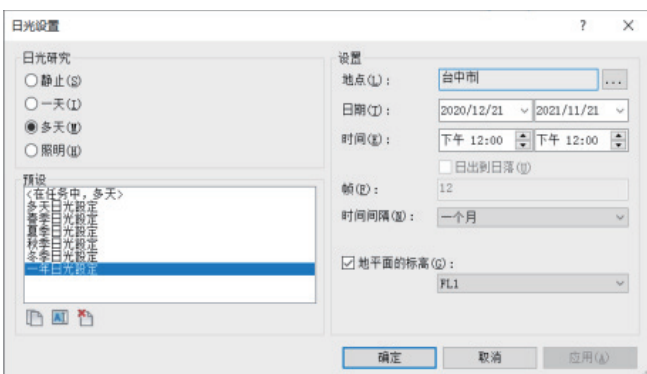


图14：多天日照分析之日光设置

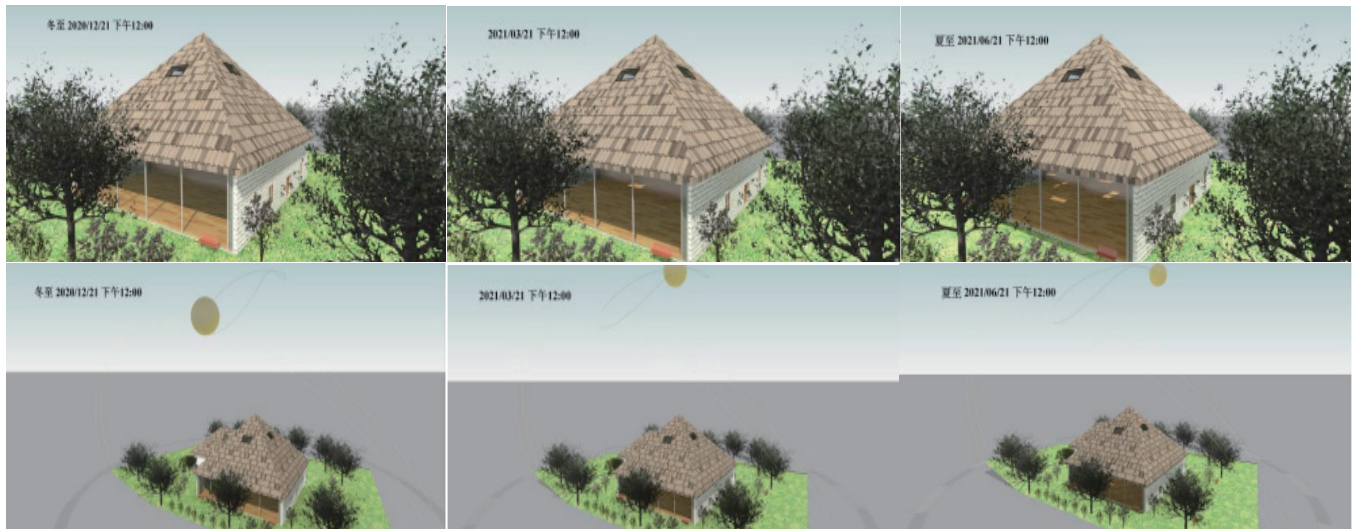


图15: 多天日照分析(室外日光分析, 项目案例(1))

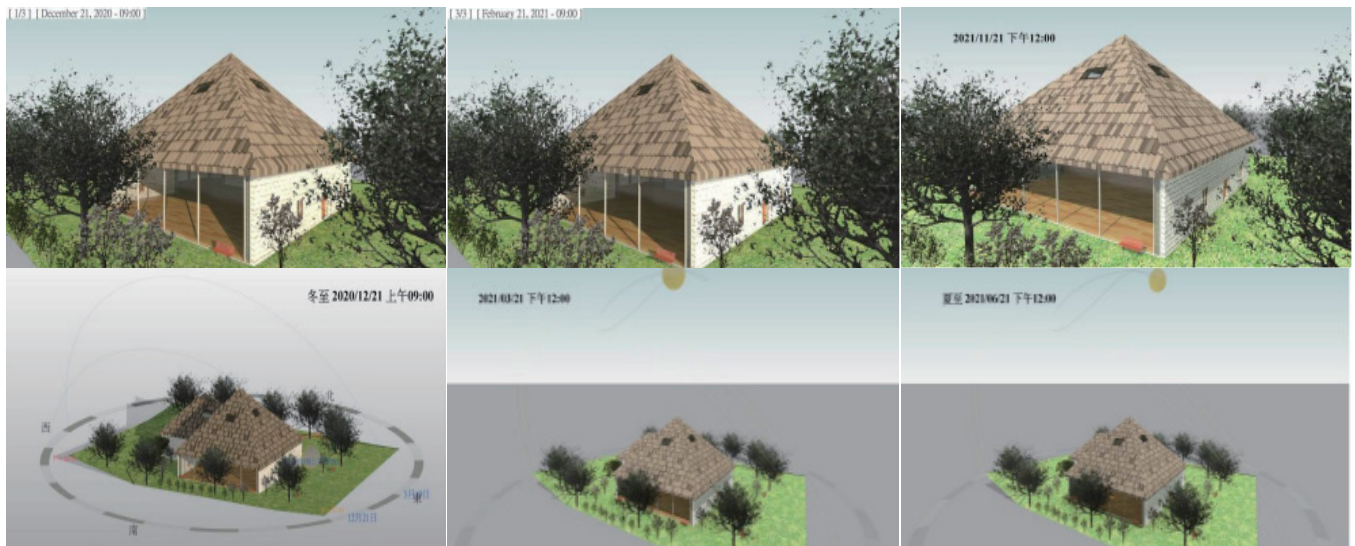


图16: 多天日照分析(室外日光分析, 项目案例(2))

项目案例(1): 从 2020年12月21日到2021年11月21日一年中(包含冬至、夏至在内), 间隔一个月的当日下午12点的阴影样式。(图15)

项目案例(2): 从 2020年12月21日到2021年3月19日冬季范围(从冬至到春分之间)每天上午09:00, 以间隔1个月的日照阴影分析研究日光对地形环境和建筑体量各朝向的阴影产生的影响。(图16)

3.3.2 室内日光分析: 显示一年中、一个月或一段特定时间内, 自然光进入室内的位置。

项目案例(1): 从 2020年12月21日到2021年11月21日一年中, 每隔一个月的21日(包含冬至、夏至在内), 当日下午12点, 自然光进入室内的位置及阴影样式。(图17)

项目案例(2): 从 2020年12月21日到2021年3月19日冬季范围(从冬至到春分之间)每天上午09:00, 以间隔1个月的日照阴影分析自然光进入室内的位置及阴影样式。

(图18)

4 结论与建议

4.1 结论

4.1.1 体形系数(Tx)之设计

研究运用Autodesk Revit作为BIM 进行可持续设计之平台, 依建筑场地位置等分析条件, 进行体量尺寸之设计, 为透过降低体表面积, 减少太阳辐射热, 故提出体形系数Tx之设计, 即为了使特定体积的建筑在冬季和夏季冷热作用下, 从面积因素考虑, 合理选择传热面积, 使建筑物的外围护部分接受的冷、热量最少, 从而减少冬季的热损失与夏季的冷损失; 体形系数越大, 单位建筑面积对应的外表面积越大, 外围护结构的传热损失越大, 能耗就越多。

本研究项目建筑采单体设计, 体量尺寸设计为较集中的矩形建筑平面外廓, 长宽比值约呈1.5, 以透过降低体量表

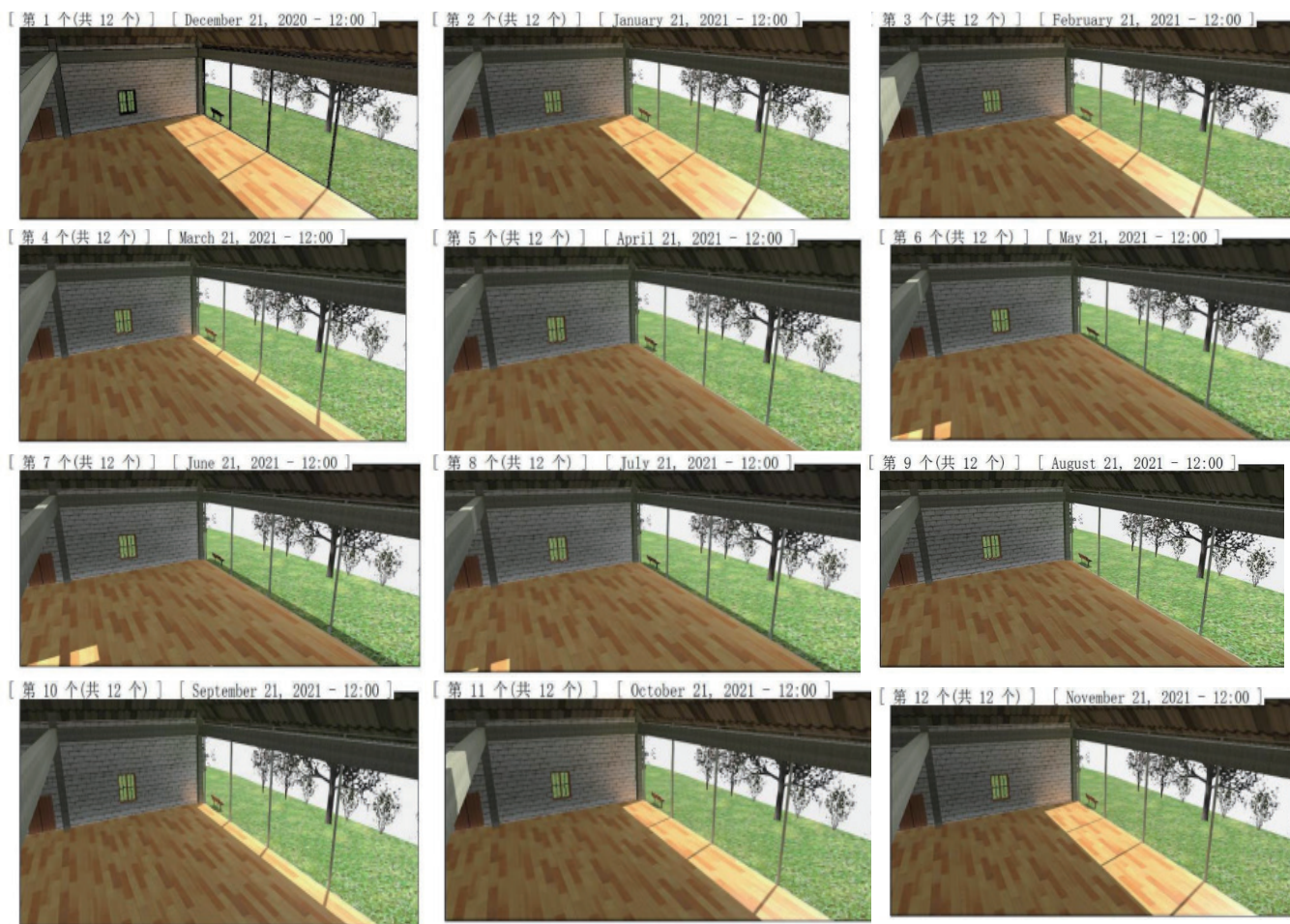


图17: 多天日照分析(室内日光分析, 项目案例(1))



图18: 多天日照分析(室内日光分析, 项目案例(2))

面积, 减少太阳辐射热; 依《民用建筑热工设计规范》^[17], 相关规范条例中指出, 体形系数是指建筑物的外表面积和外表面积所包的体积之比: $T_x = F/V$ (式中: T_x —体形系数; F —建筑物的外表面积; V —建筑物外表面积所包的体积); 体形系数越大, 单位建筑面积对应的外表面积越大, 外围护结构的传热损失越大, 能耗就越多。即建筑体形系数是影响建筑物耗热量指标的重要因素之一, 是建筑节能设计一个重要指标。再者依《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JG326—95)第4.1.2条规定^[18], 建筑物体形系数 T_x 宜控制在0.30及0.30以下; 《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ75-2012)广东省实施细则第4.1.3条规定^[19], 单元式、通廊式住宅之体形系数不应超过0.35, 故现阶段研究项目依所在台湾台中市地理位置之气候条

件, 所进行围护结构的体形系数 T_x 采 0.24设计, 即符合相关建筑节能设计标准。

4.1.2 传热系数(U)之设计

就建筑体量外墙构造之传热系数(U)而言, 针对不透明部分的外墙围护构造之节能特性主要与壁体的传热系数, 即隔热能力有关, 但是它也承受来自日射的吸热影响, 因此增加隔热性能与降低日射吸热因子是其节能之道。而于以12cm厚的RC外墙为例其U值高达3.78 W/m²K, 则设计加装隔热材以达较佳之节能外壳。

本研究项目之墙体设计采用具有90%之反射率之较高明度白色石材; 就围护构造, 则需考虑日照采光之透明围护, 如在受太阳辐射热之采光面积较大的门窗围护材料, 设计具有轻量化的玻璃之良好隔热层的铝金

属帷幕墙(U值在0.71以下, <4), 具有优良好之节能外壳^[20-21]。

4.1.3 静止(静态)日照成果分析(案例1)

依静止日照模式进行室内日光分析, 项目方案采一年中冬至、春分及夏至日, 之上午09:00之同一时间, 分析自然光进入建筑室内的位置及涵盖范围, 以南向室内空间采光为例, 本建筑设计于冬至日有较大的采光面积(可提升室内温度, 藉以达保暖成效)、而夏至日则有良好的遮阳效果, 足见此项目所进行之被动式建筑设计能达成隔热遮阴进而达节能效果, 故符合具绿色节能及自然采暖制冷之设计, 即为冬暖夏凉之绿色建筑, 如图10所示。

4.1.4 一天日照成果分析(案例2)

研究项目建筑场地所处的地理位置台湾, 气候上以夏、冬两季为主, 也就是两个季节占了一年中的大半时间, 因此以冬季之冬至日一天日照进行日光分析将极具参考与代表性, 如图13。

日照分析结果呈现, 在冬至日一天中三个特定时间(上午09:00、下午12:00及15:00), 自然光进入室内的位置及阴影样式, 其皆有大范围的直射光线进入, 即具有较佳自然采暖机制。

4.1.5 多天日照成果分析(案例3)

研究以建筑场地所在位置台中市为案例, 从2020年12月21日到2021年11月21日一年中, 每隔一个月的21日(包含冬至、夏至在内), 采同一时间, 即当日下午12点, 分析自然光进入室内的位置及阴影样式(以南向落地门窗之大片采光玻璃为主), 即遮阳效果。可归纳出此建筑设计从前一年12月21日(冬至日)至来年3月21日(即春分日3月20日左右)即整个冬季时节, 皆有较大面积的自然采光进入, 既可提高室内光线亮, 达到避免阳光直射和过高的亮度, 且有较佳自然采暖机制; 然后时节从3月21日至9月21日(包含夏至日, 一直到秋分时)即于夏季时, 太阳辐射大幅减少直射进入建筑内部, 室内空间处于相当大范围的阴影样式, 可降低室内温度达到隔热效果, 如图17。

故进一步以从2020年12月21日到2021年3月19日冬季范围(从冬至到春分之间)每天上午09:00, 以间隔1个月的日照阴影分析自然光进入室内的位置及阴影样式。可较完整的呈现出整体日照由冬至日开始(第1个月), 自然光进入室内的范围最大, 越往春季(春分后)靠近(第3个月), 室内直射光线范围渐次缩小, 如图18所示, 仍至进入夏季后至秋分前, 已几无直射光线进入室内, 于整个夏季, 建筑室内

温度应可明显下降之趋势, 符合生态绿建筑设计之制冷机制, 如图17。

4.2 建议

4.2.1 本研究建筑体量之朝向选择的原理为使建筑物冬季能获得尽可能更多的日照, 且主要室内空间避开冬季主导风向, 同时考虑夏季尽量减少太阳辐射得热。故研究项目运用气候适宜性的被动式建筑设计策略与自然采光设计策略, 于室内铺设大片偏黄橙色木质地板及内外墙面装饰整面白色系之石材进行围护, 确可达到反射自然光的效果, 除可达到降低室内温度之隔热效果, 另外可提升室内自然采光效果。为过滤和软化日光, 本研究运用BIM模型设计先协助决定建筑体量之大面积玻璃朝向, 再透过遮阳构件的挑檐设计、天窗等被动式围护组件及自然植被等, 可以柔化直射光线, 并有助于更均匀地进入室内, 达到避免阳光直射和过高的亮度及使人感到不适或者能见度差。项目研究于分析反射自然光的设计在建筑南向有很明显的效果。(如图19~21)

4.2.2 如3.2.1小节, 应用BIM进行项目之可持续建筑体量设计理念, 采场地建筑最佳朝向分析结果, 结合被动式建筑节能设计之理念于南向开设大面积的落地门窗, 在白天室内已不需要任何种类的人工照明, 再者台湾位处热湿地区纬度较低, 屋顶接受极大太阳辐射热, 屋顶节能要增加屋顶的遮阳能力: 水平天窗会使建筑物外壳耗能量值(ENVLOAD)剧增^[22], 台湾水平方位的太阳辐射量为南向的2.78倍^[23], 即表每在水平面开一面窗, 在南面就必须减少2.78倍的开窗面积, 故本项目天窗设计采侧向型, 避免引进大量的水平太阳辐射热。再同时透过斜屋顶设计让天花板可以引入更多的光线: 从天窗口向下倾斜的天花板有助于进一步提高室内的亮度, 减少使用人工照明, 亦可大幅降低能耗(如图22), 藉以达成绿色建筑节能设计之成效。



图19: 绿色建筑设计一室外南向落地门窗自然采光、东向墙面围护隔热效果

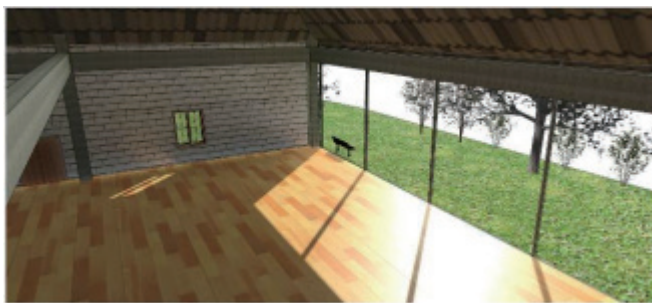


图20: 绿色建筑设计一室内南向透视图分析成果



图21: 绿色建筑设计一室外西向墙面围护隔热效果

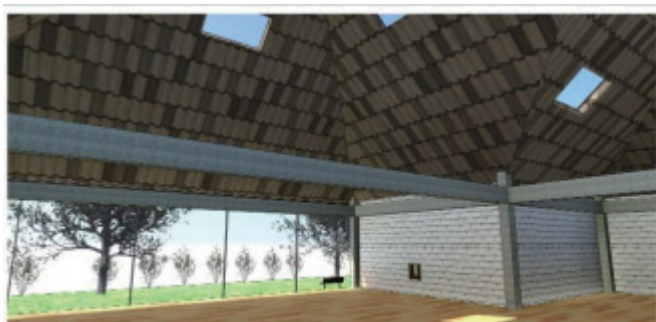


图22: 被动式建筑节能设计之理念一斜屋顶、天窗设计

参考文献:

[1] 赵东来, 胡春雨, 柏德胜, 等. 我国建筑节能技术现状与发展趋势[J]. 建筑节能: 中英文. 2015, 43(3): 116-121.

[2] 冯康曾, 彭国忠, 高海军, 等. 节地·节能·节水·节材-BIM与绿色建筑 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[3] 许蓁主编. BIM应用·设计[M]. 上海: 同济大学出版社, 2016.

[4] 周欣. BIM技术在绿色建筑中的应用探究[J]. 四川水泥, 2022, (02): 147-149.

[5] 住房和城乡建设部. JGJ75-2012夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准[S]. 中国建筑工业出版社, 2013.

[6] 左春雷, 葛坚, 赵康, 沈杰, 等. 遮阳与保温一体化窗户系统及保温性能研究[J]. 建筑科学, 2022, 38(4): 121-127.

[7] 常民. 基于BIM 技术的绿色建筑节能设计应用研究[J]. 新技术新工艺, 2019, (01): 62-65.

[8] 弗朗索瓦·勒维着, 邹越, 等译. 小型可持续设计中的BIM应用[M]. 中国建筑工业出版社, 2017.

[9] 付玉. BIM技术在绿色建筑节能设计中的应用[J]. 建筑技术研究, 2019, 2(4): 25-26.

[10] 阙平. 绿色建筑智能外遮阳与自然采光集成系统设计及性能研究[J]. 建筑科学, 2021, 37(2): 77-87

[11] 余理论, 郑洁. 建筑外遮阳对室内光环境的影响研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.

[12] 李峥嵘, 杜澎磊, 朱晗, 等. 办公建筑遮阳调节预测逻辑的探讨[J]. 建筑科学, 2018, 34(10): 51-57.

[13] 弗朗索瓦·勒维著. 小型可持续设计中的BIM应用[M]. 中国建筑工业出版社, 2017.

[14] 李宝鑫, 芦岩, 刘小芳, 等. 基于可持续设计的生态规划和绿色建筑实践方法研究[J]. 绿色建筑, 2013(4): 34-36.

[15] 王文韬, 赵吉坤. 基于BIM技术的绿色建筑节能优化研究[J]. 建筑节能, 2022, 377(07) 41-49.

[16] 黄亚鹏, 曾旭东, 于敏. 基于BIM技术的建筑方案阶段被动式节能设计研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.

[17] 国家住房和城乡建设部. 民用建筑热工设计规范(GB 50176-2016) [S]. 中国建筑工业出版社, 2017. 4. 1.

[18] 中国建筑科学研究院主编. 民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)(JG326-95)第4.1.2条[S]. 中国建筑工业出版社, 1996. 7. 1.

[19] 中国建筑科学研究院主编, 夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准(JGJ75-2012)广东省实施细则第4.1.3条[S]. 中国建筑工业出版社, 2013. 4. 1.

[20] 张升, 吴翌祯, 许家瑛, 等. 建筑节能分析与可视化模拟之研究[J]. 高雄应用科技大学学报, 2010(39): 79-108.

[21] 宋海罡, 张玉伟, 张进, 等. 既有玻璃幕墙节能改造实测结果分析[J]. 建筑节能: 中英文. 2022, 374(04) 93-98

[22] 林宪德, 陈怡蓉. 建筑节能指标新ENVLOAD与其基准之研究[J]. 台湾建筑学会建筑学报, 2018(104): 35-51.

[23] 台湾绿色生产力基金会, 建筑节能应用技术手册[S]. 2013.

作者简介:

李權宸(1967.1-), 男, 博士, 主要研究方向: 可持续建筑设计、BIM、数字化建筑设计。