

基于BIM技术的广西某高校公共建筑外墙隔热性能模拟研究

□ 李程程 魏 炜 彭 来

[摘 要] 公共建筑的外围护结构复杂，热工性能计算评价困难。本文在分析外围护热工计算理论的基础上，以广西交通职业技术学院交通实训基地路桥建筑楼为例，应用BIM软件对其外墙进行隔热性能的评价计算。通过计算表明，该建筑物外墙隔热性能满足相关规范要求，也验证了BIM技术应用在外墙隔热计算的可行性。

[关键词] BIM技术；公共建筑；隔热性能

我国的建筑能耗约占世界建筑总能耗的35%^[1]，其中，公共建筑物不仅能耗高而且能源利用率低，在建筑业中能耗占比较大^[2]。相关调查研究指出，现今建筑外墙热量消散问题在所有建筑问题中占据非常高的比例，建筑外围护结构的热工性能好对建筑节能、建筑暖通系统设计、室内热环境质量高低等均有重要影响^[3]。近年来，随着高校招生规模的扩大，高校公共建筑的需求越来越大，能耗问题也日益突出^[4]，因此研究和解决高校公共建筑的能耗问题十分必要。

由于外墙的构造形式多，选用的节能保温技术复杂^[5]，这对传统的外墙的热工性能评价带来很大的困难。因此，应尝试将BIM技术引入能耗计算中，主动提取三维模型中的关键信息，快速准确模拟评估建筑节能性能。本文以广西交通职业技术学院昆仑校区交通实训基地项目为例，采用BIM技术对路桥建筑楼外墙的隔热性能进行定量评估。

1 外墙隔热性能评价理论

1.1 评价标准

建筑物隔热是减少室内高温和太阳辐射的有效方法，主要通过提高围护结构的性能实现限制温度上升的目标，保持室内的温度，进而提升室内的体感舒适度。对于外墙隔热性能的评价标准，目前根据《民用建筑热工设计规范》（GB 50176—2016）的相关要求，以外墙内表面最高温度指标来进行评判。对于需要空调调节

的房间，在给定外墙两侧空气温度及变化规律的情况下，重质围护结构内表面最高温度不能高于室内温度标准2℃，轻质围护结构内表面最高温度不能高于室内温度标准3℃^{[6]30}。

1.2 评价理论

热量在外墙等围护结构中传递时，会因为被外墙吸收、传递、散出而发生改变，外墙的隔热性能会对热量的传递产生一定的影响。评价外墙的隔热性能好坏，主要是以热量经过外墙后对内表面产生的温度进行衡量，按照《民用建筑热工设计规范》（GB 50176—2016）规定，其主要的计算理论^{[6]45}主要如下：

(1) 对于建立常物性、无内热源的一维非稳态导热的内部微分方程，微分方程的求解可采用有限差分法：

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (\text{公式1})$$

式中： $\frac{\partial t}{\partial \tau}$ ：温度对于时间的导数，℃/s。

α ：材料的导温系数， $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c}$ ，m²/s。

(2) 对于建立第三类边界条件隐式差分格式边界节点方程（边界节点1，节点 n 可参照）：

$$\begin{aligned} & -\frac{\lambda}{\Delta x} (t_1^k - t_2^k) + \alpha (t_f^k - t_1^k) + \rho_s I^k \\ & = C_p \rho \frac{\Delta x}{2} \cdot \frac{t_1^k - t_1^{k-1}}{\Delta \tau} \end{aligned} \quad (\text{公式2})$$

[基金项目] 2020年度广西高校中青年教师基础能力提升项目“基于BIM技术的高校公共建筑绿色性能评价研究”（编号：2020KY34010）研究成果；2020年度广西高校中青年教师基础能力提升项目“基于‘BIM+F-AHP’的工程施工安全评价体系应用研究”（编号：2020KY34025）研究成果。

[作者简介] 李程程，广西交通职业技术学院，工程师。

魏 炜，广西交通职业技术学院，副教授，硕士。

彭 来，广西交通职业技术学院，讲师、工程师，硕士。

式中， C_p ：材料的比热，J/（kg·K）；
 ρ ：材料的密度，kg/m³；
 α ：材料的导温系数， $\alpha=\frac{\lambda}{\rho c}$ ，m²/s；
 Δx ：差分步长，m；
 λ ：材料的导热系数，[W/（m·K）]；
 t_f^k ：对流换热温度，℃。
(3) 对于各内部节点和边界点的节点方程，并求解节点方程组得到外墙、屋顶内表面温度值。

$$t_i=\sum_{j=1}^na_{ij}t_j+c_i, \quad i=1, 2, \cdots, n$$
 (公式3)

式中， t_i ：差分节点温度值，℃。

2 工程案例

2.1 工程概况

本次研究的工程案例项目为广西交通职业技术学院昆仑校区实训楼建设项目，位于广西交通职业技术学院昆仑校区校园内。本项目规划总用地面积63951.26m²，总建筑面积66354.36m²，计算容积率建筑面积63527.67m²，占地面积17834.95m²，由2栋实训楼组成。汽车、轨道实训楼共7层，建筑高度23.6m，路桥

建筑实训楼共8层，建筑高度33.5m，结构类型都为框架结构。项目所在气候区为夏热冬暖区，外墙太阳辐射吸收系数为0.75。本次研究仅选用路桥建筑实训楼，一层平面图和三维模型图分别见图1和图2。

2.2 外墙材料及参数

根据广西交通职业技术学院昆仑校区实训楼建设项目路桥建筑楼实训楼施工图方案，本次研究所用的工程案例采用的材料类型见表1，表1中有关材料的性能基础数据来源于《广西壮族自治区居住建筑节能设计标准》（DBJ 45/029—2016）。

2.3 空气室内外温度

2.3.1 室外温度

夏季室外计算参数值应为历年最高日平均温度中的最大值所在日的室外温度逐时值^[7]。本次研究按照《民用建筑热工设计规范》（GB 50176—2016）配套软件气象数据取用，详见表2，逐时曲线图见图3。

2.3.2 室内温度

本次研究的室内温度根据《民用建筑热工设计规范》（GB 50176—2016）第3.3.2条的规定取26℃。

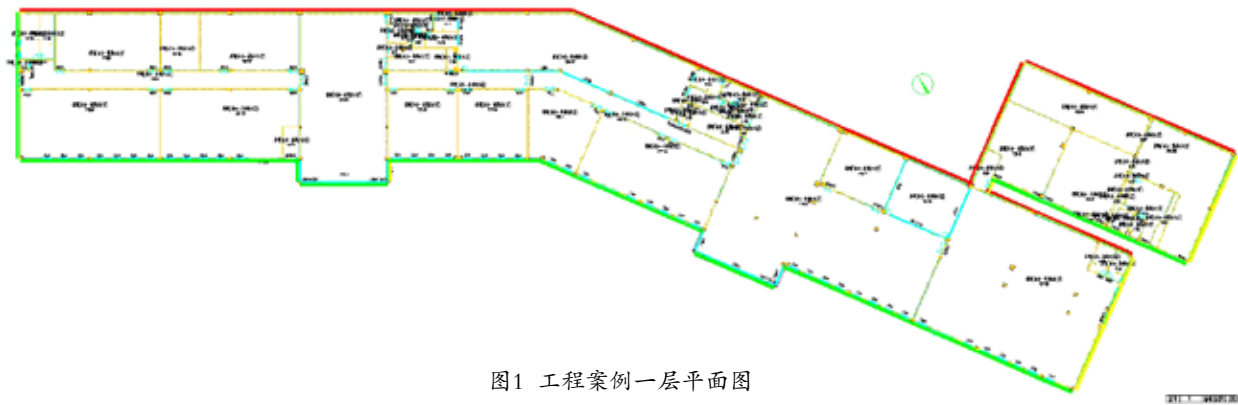


图1 工程案例一层平面图

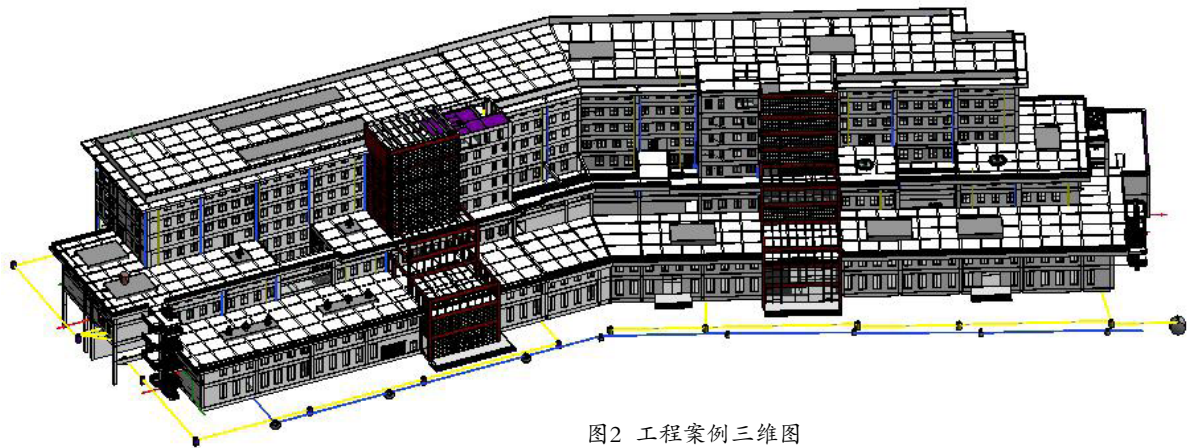


图2 工程案例三维图

表1 工程案例外墙材料性能及参数

材料名称 由外到内	厚度	差分步长	导热系数	蓄热系数	修正系数	热阻	热惰性指标
	(mm)	(mm)	W/ (m.K)	W/ (m².K)	α	(m²K) /W	$D=R*S$
水泥砂浆	20	10.000	0.930	11.370	1.000	0.022	0.245
烧结页岩多孔砖 (1)	190	10.000	0.600	7.840	1.000	0.317	2.483
EVB无机保温砂浆	30	6.000	0.070	1.260	1.300	0.330	0.540
抗裂砂浆	5	5.000	0.930	11.306	1.000	0.005	0.061
各层之和Σ	245	—	—	—	—	0.673	3.328
差分时间步长 (分钟)	5.0						
外表面太阳辐射吸收系数	0.75						
传热系数K=1/(0.16+ΣR)	1.20						
重质/轻质	重质围护结构						

表2 南宁夏季室外温度逐时表

时刻	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
温度/℃	30.0	29.7	29.6	29.4	29.3	28.0	27.0	29.6	30.0	31.0	31.9	33.0
时刻	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
温度/℃	34.0	34.9	35.0	35.0	35.4	35.0	32.0	33.4	30.0	29.0	31.5	30.9

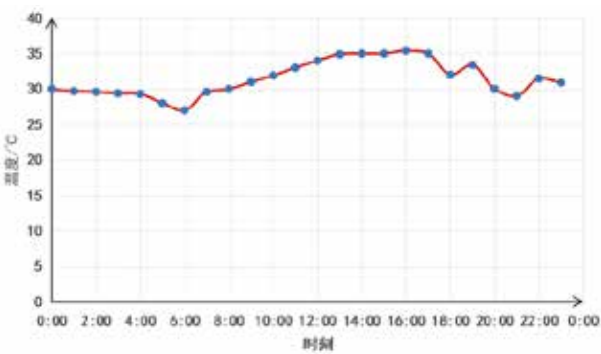


图3 南宁市夏季室外温度逐时曲线图

2.4 室外太阳辐射照度

室外太阳辐射照度采用地球表面法向太阳总辐射强度，包括直射和散射。夏季各朝向室外太阳辐射逐时值应为与温度逐时值同一天的各朝向太阳辐射逐时值^[8]。本次研究按照《民用建筑热工设计规范》（GB 50176—2016）配套软件气象数据取用，见表3，各朝向室外太阳辐射照度时刻曲线图见图4。

表3 项目所在区域室外太阳辐射照度（W/m²）

时刻\朝向	东向	南向	西向	北向	水平
0:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5:00	37.44	21.42	21.57	12.16	37.60
6:00	120.47	68.93	66.28	41.09	127.50
7:00	307.47	168.25	155.70	105.24	345.20
8:00	433.55	230.47	201.65	154.15	548.70
9:00	477.49	313.30	252.85	207.06	767.60
10:00	352.37	321.29	247.78	203.00	755.40
11:00	259.75	342.66	259.75	213.31	811.20
12:00	254.49	331.69	370.84	209.25	805.10
13:00	230.03	285.48	452.29	189.09	725.90
14:00	185.32	209.22	438.73	141.00	541.20
15:00	143.01	145.30	348.54	89.36	354.40
16:00	77.42	62.98	221.80	31.78	174.40
17:00	0.29	0.33	0.39	0.20	0.50
18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

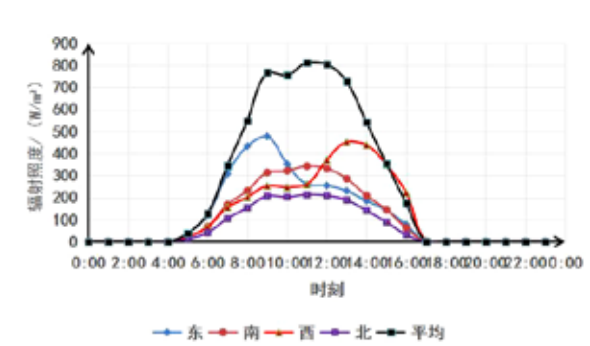


图4 各朝向室外太阳辐射照度时刻曲线图

2.5 BIM软件及建模

本次研究使用的BIM软件是能耗计算BESl。能耗计算BESl软件^[9]由北京绿建软件有限公司开发，用于建筑节能与能耗计算的专业软件，以三维模型为基础，通过导入项目所在区域系一系列的相关数据后，可以模拟计算出建筑能耗相关数据，并根据相关标准规范进行对比，计算出节能率，如图5所示。

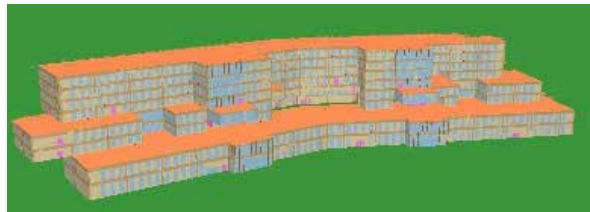


图5 项目案例三维图导入BIM软件模型

在本次研究中，通过Revit软件构建工程案例的三维模型，然后以gbXML的格式输出，再导入能耗计算BESl中，计算建筑的墙窗的面积比、外墙结构的保温性能、外墙的热阻、建筑体形系数、光气候地区以及内表面的最高温度等数据，跟规范要求对比得出结论。

2.6 模拟计算结果

将模型及参数导入计算软件，经过运行得到各朝向不同时段的外墙表面温度，对计算结果统计如表4，外墙各方向不同时刻温度曲线图见图6。

2.7 结果分析

根据表1可知，工程案例外墙构造热惰性指标为3.328，为重质围护结构，其空调房间内表面最高温度允许极限为在室内温度的基础上提升2℃，故本次研究外墙的内表面温度限制值为28℃。根据表4和图6模拟计算结果可知，工程案例东、西、南、北向的内表面温度都没有超过限制温度28℃，说明都满足《民用建筑热工设计规范》（GB 50176—2016）的相关要求。

表4 工程案例外墙各方向不同时段内表面温度计算结果（℃）

时间	东向	西向	南向	北向
0:00	27.5	27.67	27.46	27.24
1:00	27.41	27.57	27.38	27.18
2:00	27.34	27.47	27.3	27.13
3:00	27.26	27.39	27.23	27.08
4:00	27.19	27.3	27.16	27.02
5:00	27.12	27.22	27.09	26.97
6:00	27.05	27.14	27.03	26.92
7:00	26.99	27.07	26.97	26.87
8:00	26.95	27.01	26.92	26.83
9:00	26.94	26.97	26.89	26.8
10:00	26.99	26.96	26.9	26.79
11:00	27.1	26.99	26.95	26.82
12:00	27.24	27.05	27.03	26.87
13:00	27.37	27.14	27.15	26.95
14:00	27.5	27.25	27.28	27.04
15:00	27.6	27.39	27.42	27.14
16:00	27.69	27.56	27.54	27.24
17:00	27.76	27.73	27.64	27.32
18:00	27.8	27.87	27.71	27.38
19:00	27.81	27.95	27.73	27.41
20:00	27.79	27.97	27.72	27.41
21:00	27.74	27.94	27.68	27.39
22:00	27.67	27.86	27.62	27.36
23:00	27.59	27.77	27.54	27.3

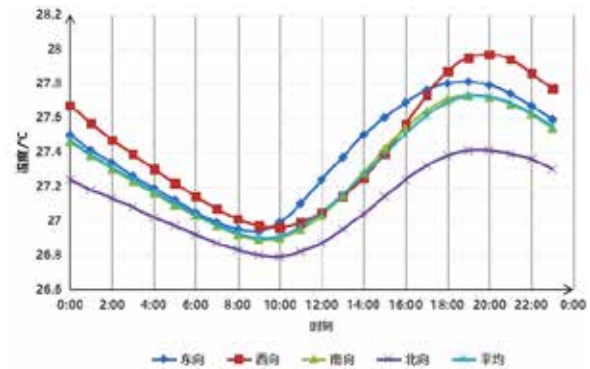


图6 外墙各方向不同时刻温度曲线图

由表3可知，一天中太阳的辐射照度峰值为9：00—10：00，室外温度峰值在14：00—17：00，外墙内表明温度峰值在19：00—20：00，具有2h~5h的延后，说明工程案例的外墙热惰性性能比较好。

3 结论

（1）公共建筑外围护结构体量较大，其热工性能的计算比较复杂，采用BIM技术来进行信息提取及计算，能高效率地进行评价。

（2）本次研究以广西交通职业技术学院交通实训基地路桥建筑楼为工程案例进行模拟计算，经过计算可知，该建筑物能够符合《民用建筑热工设计规范》（GB 50176—2016）中有关热工性能的要求。

[参考文献]

- [1]邓燕,丁云飞,王宁宁,等.外墙复合相变贴片材料相变及隔热性能研究[J].功能材料,2020,51(8):8014-8018+8152.
- [2]中国建筑能耗研究报告2020[J].建筑节能(中英文),2021,49(2):1-6.

（上接第65页）

4.2 建筑造型设计

对幼儿园建筑而言，建筑体量不会像高层建筑那样规模宏大，仅有简单几层，不会产生过大压迫感。建筑立面造型的活泼性与色彩的丰富性，均是幼儿园建筑设计需要考虑的因素。设计中要全面遵循儿童的特性来构建空间布局，可搭配鲜明的色彩，培养及增进儿童开朗乐观的性格。建筑的空间布局需进行各种造型建设，同时要以明快、简洁的浅色调作为建筑主色调，不但能衬出建筑活泼形态，还能获得和谐、统一的建筑综合效果。局部色调可大胆运用不同亮色，以此穿插在基本形体中，成为一种点缀的活跃元素，起到点睛与丰富的作用^[3]。幼儿园外立面可运用多彩的色彩元素，墙面可涂刷不同的色调，或是在不同体块上呈现不同卡通人物，引人注目。楼梯间部位可做成方锥塔造型，打破原本平

- [3]文学艺.基于绿色建筑节能的外墙保温材料实践运用分析[J].合成材料老化与应用,2020,49(4):163-165.
- [4]吴扬,韦国玲,梁思斯,等.广西民用建筑绿色节能外墙构造研究[J].建筑节能,2019,47(12):128-132+137.
- [5]朱思潼.宁夏装配式钢结构精密厂房外墙保温隔热性能优化与应用研究[D].银川:宁夏大学,2020.
- [6]《民用建筑热工设计规范》编制组.民用建筑热工设计规范技术导则[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [7]陈洁,杨柳,罗智星.吐鲁番地区居住建筑室内热环境研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2019,51(4):578-583.
- [8]罗松钦,杨昌智,李洪强,等.夏热冬冷地区太阳辐射对建筑围护结构能耗影响分析[J].湖南大学学报(自然科学版),2018,45(5):149-156.
- [9]许泓.基于BIM的绿色建筑节能效果评价研究[D].北京:华北电力大学,2019.

淡的墙体视觉。立面造型可利用多种窗户形状，比如多边形、圆形、半圆形等窗型交替配用，形成生动活泼的园区氛围。

5 结语

新时代背景下，幼儿园建筑设计是新兴领域，我们需为其发展添加新鲜血液，给儿童提供更健康、安全的生活环境，让幼儿园建筑设计走出不一样的发展道路。

[参考文献]

- [1]张君瑛.基于体验式教育理念的幼儿园绿色建筑设计研究[J].绿色建筑,2020,12(4):70-72.
- [2]吴丹.幼儿园室内设计之浅谈国外幼儿园装修设计理念[J].建筑与预算,2020(3):38-40.
- [3]赵婵.适应幼儿教育发展的幼儿园建筑设计思路[J].科学技术创新,2019(8):120-121.