

送审专业：建筑

围护结构隔热性能分析报告

——居住部分

项目名称：福建技师学院石狮（蚶江）校区三期工程

建设单位：福建石狮产投教育集团有限公司

设计单位：福建省机电沿海建筑设计研究院有限公司

自评星级：一星级

福建省机电沿海建筑设计研究院有限公司编制

2023 年 07 月

一、项目概况

项目总用地面积 36400.74 平方米，总建筑面积 65613.42 平方米，其中地上建筑面积 56004.19 m²，地下建筑面积 9609.23 m²。前期已建三栋楼：教学楼、科学楼、宿舍。新建三栋宿舍楼、两栋教学楼、一栋综合楼及门卫等。

本次方案设计范围仅体现新建内容。主要建设内容包括三栋宿舍楼，两栋教学楼、一栋综合楼、门卫及其配套建设的道路、给排水、供电、照明、通讯、土石方、绿化景观工程等公用工程和设施。



图 1-1 建筑效果图

1 评价依据

1. 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB55015-2021
2. 《建筑环境通用规范》GB 55016
3. 福建省《绿色建筑评价标准》DBJT13-118-2021
4. 《民用建筑热工设计规范》GB50176
5. 施工图、设计说明、墙身大样图、节能计算书

2 评价目标与方法

2.1 评价目标

1. 依据《建筑环境通用规范》和福建省《绿色建筑评价标准》DBJT13-118-2021的要求和规定，屋顶和外墙的隔热性能应满足要求。
2. 通过房间围护结构的内表面温度计算，判断是否不大于《建筑环境通用规范》给出的内表面最高温度。

2.2 评价方法

1. 在给定两侧空气温度及变化规律的情况下，外墙内表面最高温度应符合表3.2.1的要求：

表 3.2.1 外墙内表面最高温度的限值

房间类型	自然通风房间	空调房间	
		重质围护结构 ($D \geq 2.5$)	轻质围护结构 ($D < 2.5$)
内表面最高温度 $\theta_{i,max}$	$\leq t_{e,max}$	$\leq t_i + 2$	$\leq t_i + 3$

2. 在给定两侧空气温度及变化规律的情况下，屋面内表面最高温度应符合表3.2.2的要求：

表 3.2.2 屋顶内表面最高温度的限值

房间类型	自然通风房间	空调房间	
		重质围护结构 ($D \geq 2.5$)	轻质围护结构 ($D < 2.5$)
内表面最高温度 $\theta_{i,max}$	$\leq t_{e,max}$	$\leq t_i + 2.5$	$\leq t_i + 3.5$

表中： $\theta_{i,max}$ —围护结构内表面最高温度（℃），应按《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016附录C.3的规定计算；

t_i —室内空气温度，（℃）。

$t_{e,max}$ —累年日平均温度最高日的最高温度（℃），应按《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016配套软件气象数据取用。

3. 外围护结构内表面最高温度按照规范《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016附录C.3的规定计算：

- 1) 按式 3.2.3-1 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：

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (3.2.3-1)$$

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) 按式 3.2.3-2 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）：

$$-\frac{\lambda}{\Delta x}(t_1^k - t_2^k) + \alpha(t_f^k - t_1^k) + \rho_s l^k = C_p \rho \frac{\Delta x}{2} \cdot \frac{t_1^k - t_1^{k-1}}{\Delta \tau} \quad (3.2.3-2)$$

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, °C。

- 3) 按式 3.2.3-3 列出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。

$$t_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} t_j + c_i, i=1,2,\dots,n \quad (3.2.3-3)$$

式中: t_i —差分节点温度值, °C。

3 边界条件参数设置

3.1 基本设置

公式及变量	变量名	数值	说明
(一) 内表面边界条件 (第三类边界条件)			
$t_{f,1}$	夏季室内温度, °C		按《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016 第 3.3.2 条的规定取值。
h_1	室内侧对流换热系数, W/(m ² ·K)	8.7	按《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016 附录 B.4.1, 表 B.4.1-1 取值。
(二) 外表面边界条件 (第三类边界条件)			
h_{n+1}	室外侧对流换热系数, (m ² ·K)	19.0	按《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016 附录 B.4.1, 表 B.4.1-2 取值。
t_{sh}	室外空气逐时温度, °C		按《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016 配套软件气象数据取用。
I^k	表面法向太阳总辐射强度, 包括直射和散射, W/m ²		按《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016 配套软件气象参数取值。
ρ_s	外表面太阳辐射吸收系数		根据工程构造取值。

3.2 室外空气温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
30.00	30.00	29.10	28.00	28.00	27.70	28.00	30.00	30.00	31.00	33.00	34.10
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
35.00	35.00	36.20	36.00	35.00	32.60	34.00	33.00	30.40	31.00	31.00	29.00

注: 气象数据参考 福建-厦门

3.3 室外太阳辐射照度

变量	变量名	公式来源
I^k	表面法向太阳总辐射强度, 包括直射和散射, W/m ²	按《民用建筑热工设计规范 GB 50176-2016》配套软件气象数据取用。

时刻\朝向	东	南	西	北	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	22.47	12.94	13.35	7.22	23.50
6:00	143.15	66.25	70.56	36.97	142.60
7:00	292.62	143.38	141.59	86.70	325.90
8:00	365.60	191.45	175.86	124.63	473.60
9:00	372.12	244.30	206.56	168.45	606.90
10:00	346.64	303.13	243.15	199.50	752.70
11:00	260.16	329.91	260.16	213.62	811.60
12:00	270.84	337.83	388.82	222.46	847.50
13:00	249.10	293.84	467.17	203.88	761.10
14:00	223.18	235.27	528.80	153.68	662.70
15:00	185.23	153.75	559.62	85.08	531.60
16:00	126.52	76.84	412.03	27.13	309.20
17:00	44.61	24.06	127.85	5.32	85.70
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

注：气象数据参考 福建-厦门

3.4 室内空气温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
31.67	31.10	30.66	30.39	30.30	30.39	30.66	31.10	31.67	32.33	33.05	33.76
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
34.42	34.99	35.43	35.70	35.80	35.70	35.43	34.99	34.42	33.76	33.05	32.33

4 工程材料

材料名称	导热系数 λ	蓄热系数 S	密度 ρ	比热容 C_p	蒸汽渗透系数 u	备注
	W/(m.K)	W/(m ² .K)	kg/m ³	J/(kg.K)	g/(m.h.kPa)	
夯实粘土($\rho=1800$)	0.930	11.088	1800.0	1010.0	0.0000	
钢筋混凝土	1.740	17.200	2500.0	920.0	0.0158	来源：《民用建筑热工设计规范（GB50176-93）》
细石混凝土（双向配筋）	1.740	17.060	2500.0	920.0	0.0000	
绝热挤塑聚苯乙烯泡沫板（ $\rho=40\sim50$ ）	0.030	0.320	45.0	1320.1	0.0000	墙体、屋面保温层，修正系数=1.15
水泥砂浆	0.930	11.270	1800.0	1043.3	0.0000	抹灰层、找平层

钢筋混凝土（1）	1.740	17.200	2500.0	935.2	0.0000	
柔性耐水腻子，涂料	—	—	—	—	—	
抗裂砂浆	—	—	—	—	—	
界面剂	—	—	—	—	—	
蒸压加气混凝土砌块	0.160	3.200	700.0	1150.8	0.0000	修正系数=1.20
无机保温干粉砂浆	0.060	1.200	410.0	999.2	0.0000	修正系数=1.15
合成高分子防水卷材	0.230	9.370	900.0	1620.0	0.0000	
合成高分子防水涂料	0.170	4.710	1050.0	1709.0	0.0000	
ALC板	0.160	3.200	600.0	1466.8	0.0000	修正系数=1.15

5 工程构造

5.1 屋顶构造

5.1.1 屋顶构造一

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	(m² K)/W	D=R*S
细石混凝土（双向配筋）	40	10.0	1.740	17.060	1.00	0.023	0.392
水泥砂浆	10	10.0	0.930	11.270	1.00	0.011	0.121
合成高分子防水卷材	1.5	1.5	0.230	9.370	1.00	0.007	0.061
合成高分子防水涂料	1.5	1.5	0.170	4.710	1.00	0.009	0.042
绝热挤塑聚苯乙烯泡沫板 ($\rho=40\sim50$)	80	10.0	0.030	0.320	1.20	2.222	0.853
合成高分子防水涂料	1.5	1.5	0.170	4.710	1.00	0.009	0.042
水泥砂浆	20	10.0	0.930	11.270	1.00	0.022	0.242
钢筋混凝土（1）	120	12.0	1.740	17.200	1.00	0.069	1.186
各层之和 Σ	274.5	—	—	—	—	2.371	2.939
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 $K=1/(0.16+\Sigma R)$	0.40						
重质/轻质	重质围护结构						

5.1.1.1 自然通风房间：逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.75	33.45	33.16	32.88	32.65	32.47	32.34	32.29	32.31	32.40	32.57	32.80
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.09	33.40	33.72	34.02	34.29	34.50	34.62	34.66	34.61	34.48	34.29	34.03

5.2 外墙构造

5.2.1 外墙构造一

材料名称	厚度	差分	导热	蓄热	修正	热阻	热惰性
------	----	----	----	----	----	----	-----

由外到内		步长	系数	系数	系数		指标
	(mm)	(mm)	W/(m.K)	W/(m².K)	α	(m² K)/W	D=R*S
柔性耐水腻子, 涂料	3	3.0	200.000	200.000	1.00	0.000	0.000
无机保温干粉砂浆	20	5.0	0.060	1.200	1.15	0.290	0.400
蒸压加气混凝土砌块	200	6.7	0.160	3.200	1.20	1.042	4.000
界面剂	5	5.0	200.000	200.000	1.00	0.000	0.000
水泥砂浆	20	10.0	0.930	11.270	1.00	0.022	0.242
柔性耐水腻子, 涂料	3	3.0	200.000	200.000	1.00	0.000	0.000
各层之和 Σ	251	—	—	—	—	1.353	4.642
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 $K=1/(0.16+\Sigma R)$	0.66						
重质/轻质	重质围护结构						

5.2.1.1 自然通风房间：东向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.20	32.68	32.20	31.80	31.50	31.32	31.28	31.37	31.58	31.91	32.33	32.83
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.36	33.88	34.37	34.79	35.10	35.29	35.34	35.25	35.02	34.68	34.24	33.73

5.2.1.2 自然通风房间：西向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.38	32.86	32.37	31.96	31.65	31.47	31.41	31.49	31.69	32.00	32.41	32.88
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.38	33.87	34.34	34.74	35.05	35.25	35.34	35.30	35.13	34.82	34.40	33.91

5.2.1.3 自然通风房间：南向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.14	32.62	32.15	31.75	31.46	31.29	31.25	31.34	31.56	31.88	32.30	32.78
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.29	33.80	34.27	34.69	35.00	35.19	35.25	35.17	34.95	34.61	34.17	33.67

5.2.1.4 自然通风房间：北向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------

33.00	32.49	32.03	31.64	31.36	31.19	31.16	31.26	31.49	31.82	32.23	32.71
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.22	33.72	34.19	34.58	34.88	35.06	35.11	35.02	34.80	34.45	34.02	33.52

5.3 热桥柱构造

5.3.1 热桥柱构造一

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	(m² K)/W	D=R*S
抗裂砂浆	6	6.0	200.000	200.000	1.00	0.000	0.000
无机保温干粉砂浆	20	5.0	0.060	1.200	1.15	0.290	0.400
钢筋混凝土(1)	200	12.5	1.740	17.200	1.00	0.115	1.977
各层之和 Σ	226	—	—	—	—	0.405	2.377
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 $K=1/(0.16+\Sigma R)$	1.77						
重质/轻质	轻质围护结构						

5.3.1.1 自然通风房间：东向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.85	33.51	33.19	32.90	32.65	32.46	32.32	32.27	32.34	32.52	32.81	33.16
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.54	33.92	34.28	34.60	34.86	35.04	35.13	35.10	34.97	34.77	34.50	34.19

5.3.1.2 自然通风房间：西向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
34.25	33.89	33.54	33.22	32.95	32.73	32.58	32.50	32.52	32.63	32.83	33.10
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.42	33.78	34.17	34.58	34.97	35.31	35.53	35.57	35.46	35.25	34.96	34.62

5.3.1.3 自然通风房间：南向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.73	33.40	33.08	32.80	32.56	32.37	32.24	32.19	32.23	32.36	32.59	32.89
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.25	33.64	34.04	34.39	34.68	34.87	34.96	34.93	34.81	34.61	34.35	34.05

5.3.1.4 自然通风房间：北向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.43	33.12	32.83	32.56	32.34	32.17	32.05	32.01	32.05	32.17	32.38	32.66
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
32.98	33.34	33.70	34.02	34.28	34.46	34.54	34.52	34.42	34.25	34.01	33.73

5.4 热桥梁构造

5.4.1 热桥梁构造一

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	(m² K)/W	D=R*S
抗裂砂浆	6	6.0	200.000	200.000	1.00	0.000	0.000
无机保温干粉砂浆	20	5.0	0.060	1.200	1.15	0.290	0.400
钢筋混凝土 (1)	200	12.5	1.740	17.200	1.00	0.115	1.977
各层之和 Σ	226	—	—	—	—	0.405	2.377
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 $K=1/(0.16+\Sigma R)$	1.77						
重质/轻质	轻质围护结构						

5.4.1.1 自然通风房间：东向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.85	33.51	33.19	32.90	32.65	32.46	32.32	32.27	32.34	32.52	32.81	33.16
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.54	33.92	34.28	34.60	34.86	35.04	35.13	35.10	34.97	34.77	34.50	34.19

5.4.1.2 自然通风房间：西向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
34.25	33.89	33.54	33.22	32.95	32.73	32.58	32.50	32.52	32.63	32.83	33.10
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.42	33.78	34.17	34.58	34.97	35.31	35.53	35.57	35.46	35.25	34.96	34.62

5.4.1.3 自然通风房间：南向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.73	33.40	33.08	32.80	32.56	32.37	32.24	32.19	32.23	32.36	32.59	32.89
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
33.25	33.64	34.04	34.39	34.68	34.87	34.96	34.93	34.81	34.61	34.35	34.05

5.4.1.4 自然通风房间：北向逐时温度

0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
33.43	33.12	32.83	32.56	32.34	32.17	32.05	32.01	32.05	32.17	32.38	32.66
12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
32.98	33.34	33.70	34.02	34.28	34.46	34.54	34.52	34.42	34.25	34.01	33.73

6 验算结论

6.1 自然通风房间

类型	构造	时刻	最高温度(°C)	限值(°C)	结论
屋顶	上:屋顶构造一	19:00	34.66	36.20	满足
外墙	东:外墙构造一	18:00	35.34	36.20	满足
	西:外墙构造一	18:10	35.35	36.20	满足
	南:外墙构造一	18:00	35.25	36.20	满足
	北:外墙构造一	17:55	35.11	36.20	满足
热桥柱	东:热桥柱构造一	18:10	35.13	36.20	满足
	西:热桥柱构造一	18:45	35.57	36.20	满足
	南:热桥柱构造一	18:10	34.96	36.20	满足
	北:热桥柱构造一	18:15	34.54	36.20	满足
热桥梁	东:热桥梁构造一	18:10	35.13	36.20	满足
	西:热桥梁构造一	18:45	35.57	36.20	满足
	南:热桥梁构造一	18:10	34.96	36.20	满足
	北:热桥梁构造一	18:15	34.54	36.20	满足