

送审专业：建筑

围护结构隔热性能分析报告

项目名称：福建技师学院石狮（蚶江）校区三期工程
-教学楼

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

2025 年 04 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

1.1 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≥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≥2.5) | 轻质围护结构 (D<2.5) |
| 内表面最高温度 | $\leq t_{e,max}$ | $\leq t_i+2.5$ | $\leq t_i+3.5$ |

| | | | |
|------------------|--|--|--|
| $\theta_{i,max}$ | | | |
|------------------|--|--|--|

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，℃。

- 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，℃。

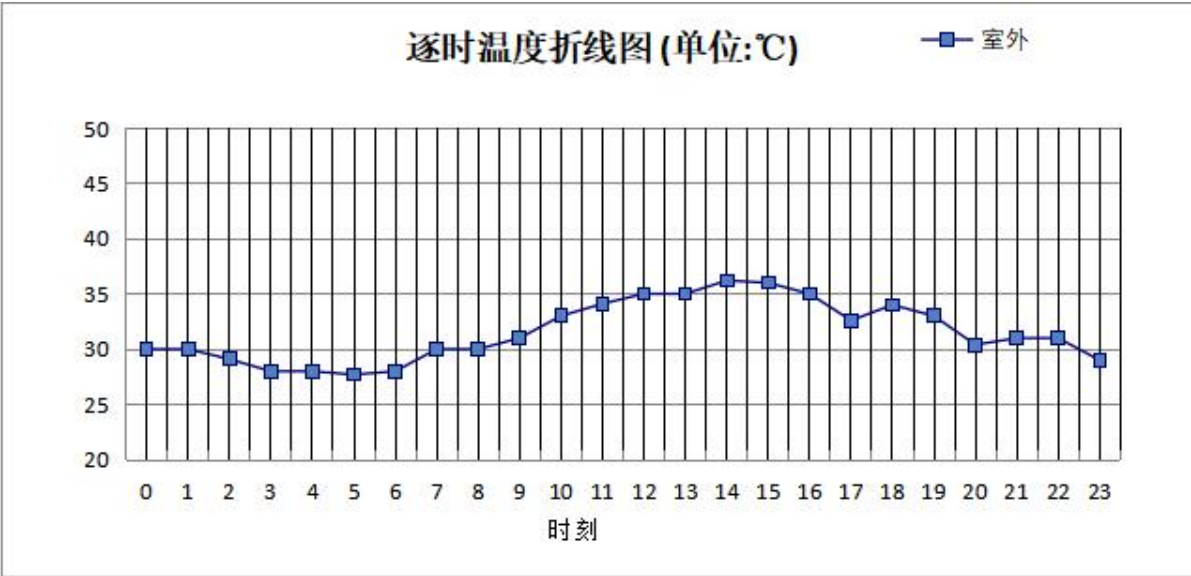
2 边界条件参数设置

2.1 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，℃ | | 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, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ | 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, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ | 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, $^{\circ}\text{C}$ | | 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。 |

2.2 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

2.3 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

2.4 室内空气温度

根据《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016 第 3.3.2 条的规定取 26 摄氏度

3 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 | 数据来源 |
|---------------------|----------------|-----------------------|-------------------|-----------|-------------|------|
| | 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 | |
| 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 | |
| 水泥砂浆 | 0.930 | 11.270 | 1800.0 | 1043.3 | 0.0000 | |
| 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 ($\rho=600$) | 0.160 | 2.710 | 600.0 | 1052.0 | 0.0000 | 《福建省民用建筑围护结构节能工程做法及数据》2023-J-06 |
| 无机保温干粉砂浆 | 0.060 | 1.200 | 410.0 | 999.2 | 0.0000 | |
| 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 | |

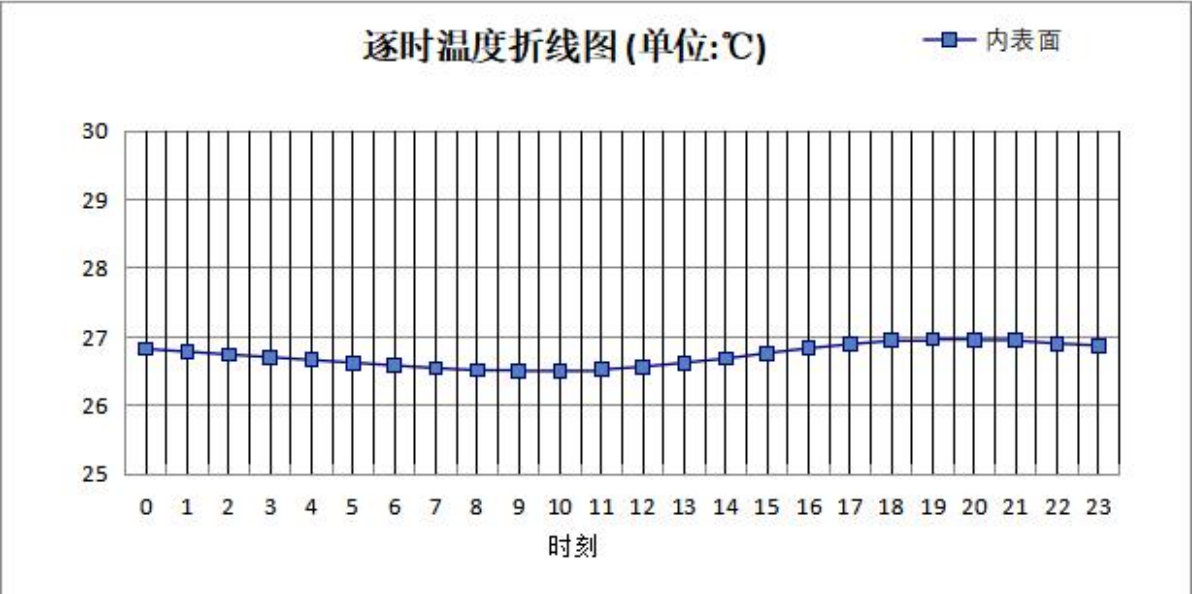
4 工程构造

4.1 屋顶构造

4.1.1 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/(m ² .K) | α | (m ² 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 | | | | | | |

4.1.1.1 空调房间：逐时温度



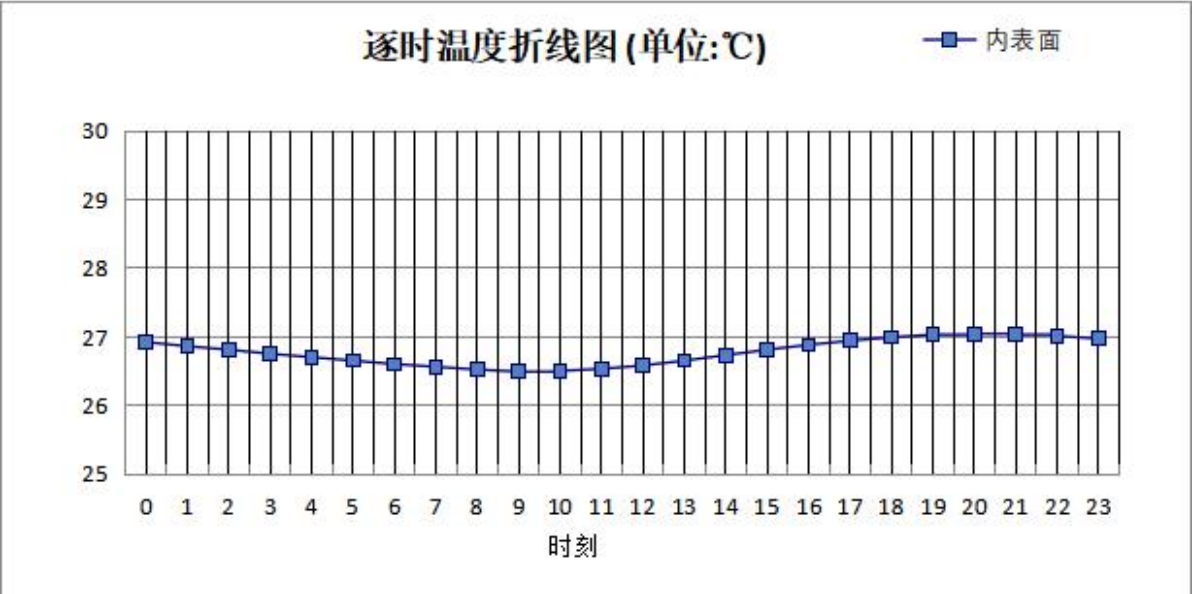
| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0:00 | 1:00 | 2:00 | 3:00 | 4:00 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 |
| 26.82 | 26.78 | 26.74 | 26.70 | 26.66 | 26.62 | 26.58 | 26.54 | 26.51 | 26.50 | 26.50 | 26.52 |
| 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 |
| 26.56 | 26.62 | 26.68 | 26.76 | 26.83 | 26.89 | 26.94 | 26.96 | 26.95 | 26.94 | 26.90 | 26.87 |

4.2 外墙（填充墙）构造

4.2.1 外墙（填充墙）构造一

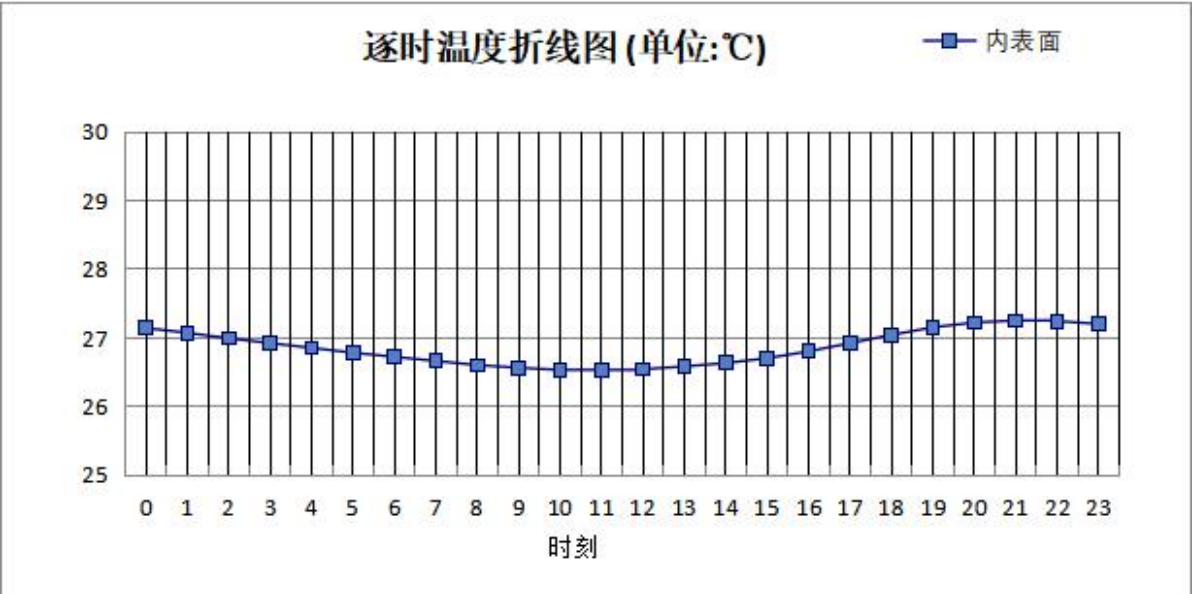
| 材料名称 由外到内 | 厚度 | 差分 步长 | 导热 系数 | 蓄热 系数 | 修正 系数 | 热阻 | 热惰性 指标 |
|--------------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | (mm) | (mm) | W/(m.K) | W/(m².K) | α | (m² K)/W | D=R*S |
| 柔性耐水腻子，涂料 | 3 | 3.0 | 200.000 | 200.000 | 1.00 | 0.000 | 0.000 |
| 蒸压加气混凝土砌块(ρ=600) | 200 | 7.4 | 0.160 | 2.710 | 1.20 | 1.042 | 3.388 |
| 无机保温干粉砂浆 | 20 | 5.0 | 0.060 | 1.200 | 1.10 | 0.303 | 0.400 |
| 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 | — | — | — | — | 1.366 | 4.030 |
| 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) | 0.66 | | | | | | |
| 重质/轻质 | 重质围护结构 | | | | | | |

4.2.1.1 空调房间：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 |
| 26.92 | 26.86 | 26.81 | 26.75 | 26.70 | 26.65 | 26.60 | 26.56 | 26.52 | 26.49 | 26.50 | 26.53 |
| 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 |
| 26.58 | 26.65 | 26.73 | 26.81 | 26.88 | 26.94 | 26.99 | 27.03 | 27.04 | 27.03 | 27.01 | 26.97 |

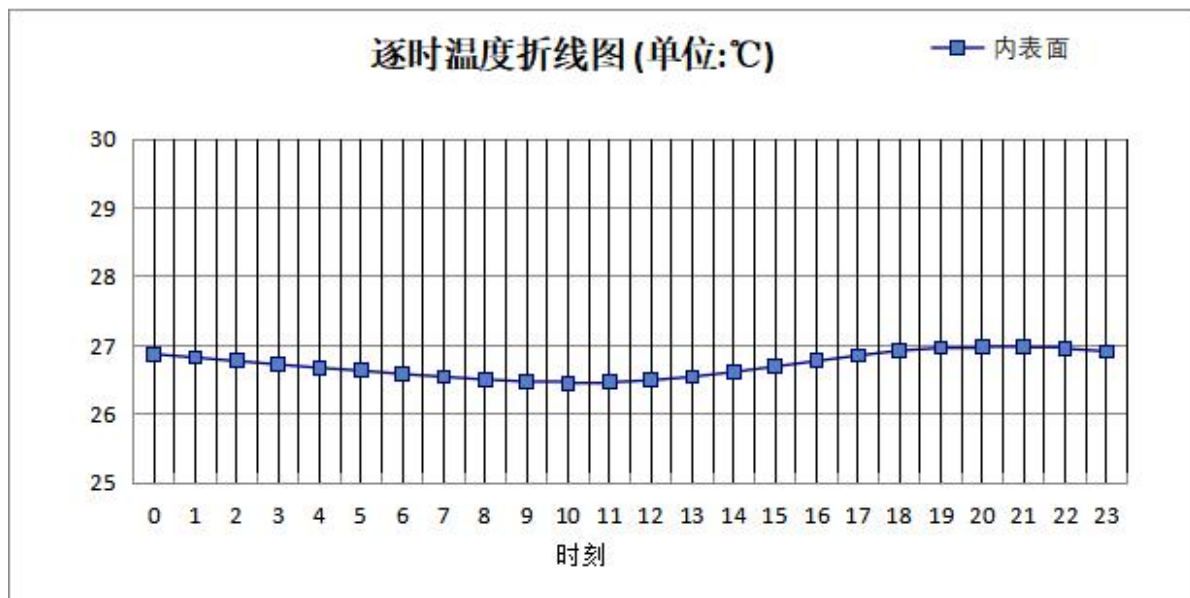
4.2.1.2 空调房间：西向逐时温度



| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0:00 | 1:00 | 2:00 | 3:00 | 4:00 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 |
| 27.14 | 27.07 | 26.99 | 26.92 | 26.85 | 26.78 | 26.72 | 26.66 | 26.60 | 26.56 | 26.53 | 26.53 |

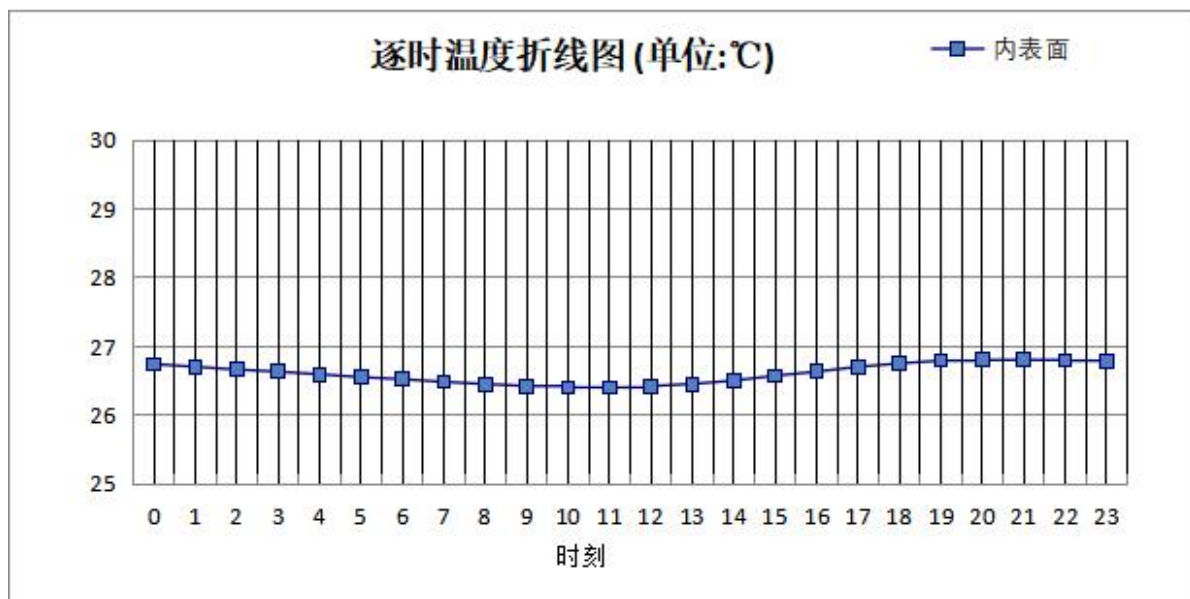
| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 |
| 26.54 | 26.58 | 26.63 | 26.70 | 26.80 | 26.92 | 27.04 | 27.15 | 27.22 | 27.25 | 27.24 | 27.20 |

4.2.1.3 空调房间：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 |
| 26.87 | 26.82 | 26.77 | 26.72 | 26.67 | 26.63 | 26.58 | 26.54 | 26.50 | 26.47 | 26.45 | 26.46 |
| 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 |
| 26.49 | 26.54 | 26.61 | 26.69 | 26.77 | 26.85 | 26.92 | 26.96 | 26.98 | 26.97 | 26.95 | 26.91 |

4.2.1.4 空调房间：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 |
| 26.74 | 26.70 | 26.66 | 26.63 | 26.59 | 26.55 | 26.52 | 26.48 | 26.45 | 26.42 | 26.40 | 26.40 |
| 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 |
| 26.42 | 26.45 | 26.50 | 26.57 | 26.63 | 26.70 | 26.75 | 26.79 | 26.80 | 26.80 | 26.79 | 26.77 |

5 验算结论

5.1 空调房间

| 类型 | 构造 | 时刻 | 最高温度(°C) | 限值(°C) | 结论 |
|---------|--------------|-------|----------|--------|----|
| 屋顶 | 上:屋顶构造一 | 19:25 | 26.96 | 28.50 | 满足 |
| 外墙（填充墙） | 东:外墙（填充墙）构造一 | 20:05 | 27.04 | 28.00 | 满足 |
| | 西:外墙（填充墙）构造一 | 21:10 | 27.25 | 28.00 | 满足 |
| | 南:外墙（填充墙）构造一 | 20:15 | 26.98 | 28.00 | 满足 |
| | 北:外墙（填充墙）构造一 | 20:30 | 26.81 | 28.00 | 满足 |