

昆明市 2013 年市级统建保障性住房渔村片区项目

内表面最高温度计算书

提供者:

云南恒锐建设技术咨询有限公司

地址:

昆明市盘龙区穿金路 638 号金博园 7 栋

电话: 18860759585

日期: 2014-12-15

注: 盖章有效

声明：

- 1、本计算书无咨询单位盖章无效；
- 2、本计算书涂改、复印均无效；
- 3、本计算书仅对本项目有效。

项目名称： 昆明市 2013 年市级统建保障性住房渔村片区项目

委托单位： 昆明市公共租赁住房开发建设管理有限公司

咨询单位： 云南恒锐建设技术咨询有限公司

编 制 人：

审 核 人：

批 准 人：

编制日期：

目 录

一、计算概述.....	2
1、项目概况.....	2
2、分析目的.....	3
3、计算依据.....	3
二、构造说明.....	3
1、屋面构造.....	3
2、外墙构造.....	4
三、计算分析.....	4
1、东外墙内表面最高温度计算.....	5
2、西外墙内表面最高温度计算.....	9
3、屋顶内表面最高温度计算.....	13
四、结论.....	19

一、计算概述

1、项目概况

项目位于昆明市官渡区矣六街道办事处渔村地块，地块东临螺蛳湾国际商贸城仓储基地，西临 20 米规划道路，南临南绕城连接线，北临 2012 保障房举俊福花城项目。项目坐标为东经 $102^{\circ} 45' 22.16''$ ，北纬 $24^{\circ} 5' 51.70''$ 。项目规划净用地面积 83468.64 m^2 ，总建筑面积 300500.15 m^2 ，其中地上建筑面积 211456.39 m^2 、地下建筑面积 89043.76 m^2 ，绿地面积 28007.1 m^2 。项目共建设限价商品房 1610 户，预计居住人数 4025 人。项目建成后绿地率达到 34.70%，建筑密度为 28%，容积率为 2.53，机动车停车位 1687 个，非机动车停车位 3983 个。项目共建设 13 栋 20 层的住宅楼、1 栋 16 层的住宅楼，4 栋 2F 独立商业用房、1 栋 3F 独立商业用房、2 栋 4F 独立商业用房，配套建设文体设施用房、社区卫生服务设施、社区用房、物管用房、地下停车场（地下设置一层）、地下室出地面独立楼梯间、垃圾收集站、公厕等。



图 1 项目总平面图

2、分析目的

判断昆明市 2013 年市级统建保障性住房渔村片区项目围护结构内表面最高温度是否满足《云南省绿色建筑评价标准》（DBJ53/T-49-2013）第室内环境质量指标中一般项 4.5.8 “在自然通风条件下，房间的屋顶和东、西外墙内表面的最高温度满足现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176 的要求。”的相关规定。

3、计算依据

《绿色建筑评价标准》（DBJ53/T-49-2013）；

《民用建筑热工设计规范》GB50176-93；

委托方提供的建筑设计图纸等图纸资料

委托方提供的其他相关资料

二、构造说明

1、屋面构造

屋面构造类型（由外至内）：

第 1 层：地面砖 20mm

第 2 层：1：2.5 水泥砂浆结合层 10mm

第 3 层：1：3 水泥砂浆保护层 20mm

第 4 层：高聚物改性沥青防水卷材 3mm

第 5 层：1：3 水泥砂浆结合层 20mm

第 6 层：高聚物改性沥青防水卷材 3mm

第 7 层：1：3 水泥砂浆找平 20mm

第 8 层：EPS 板 20mm

第 9 层：1：3 水泥砂浆找平 20mm

第 10 层：钢筋混凝土 100mm

第 11 层：顶棚抹灰 20mm

太阳辐射吸收系数 $\rho=0.75$

表 1 屋面类型传热阻值

各层材料名称	厚度	导热系数	修正系数	蓄热系数	热阻值	热惰性指标
地面砖	20	1.000	1.00	0.009	0.020	0.000
1：2.5 水泥砂浆结合层	10	0.930	1.00	11.370	0.011	0.122
1：3 水泥砂浆保护层	20	0.930	1.00	11.370	0.022	0.245

高聚物改性沥青防水卷材	3	0.270	1.00	6.796	0.011	0.076
1: 3 水泥砂浆结合层	20	0.930	1.00	11.370	0.022	0.245
高聚物改性沥青防水卷材	3	0.270	1.00	6.796	0.011	0.076
界面剂	0	1.000	1.00	0.009	0.000	0.000
1: 3 水泥砂浆找平	20	0.930	1.00	11.370	0.022	0.245
EPS 板	20	0.041	1.00	0.287	0.488	0.140
1: 3 水泥砂浆找平	20	0.930	1.00	11.370	0.022	0.245
钢筋混凝土	100	1.740	1.00	17.200	0.057	0.989
顶棚抹灰	20	1.000	1.00	0.009	0.020	0.000
合 计	256	-		-	0.706	2.383
屋顶主体部位传热阻	$R_0 = R_i + \sum R + R_e = 0.11 + 0.706 + 0.04 = 0.856$					
屋顶主体部位传热系数	$K = 1/R_0 = 1.168$					

2、外墙构造

外墙主体部分构造类型（由外至内）：

第 1 层：外墙涂料 2mm

第 2 层：1: 3 水泥砂浆打底 12mm

第 3 层：1: 2.5 水泥砂浆找平 6mm

第 4 层：蒸压加气砼 190mm

第 5 层：混合砂浆 15mm

太阳辐射吸收系数 $\rho = 0.50$

表 2 外墙主体部分类型传热阻值

各层材料名称	厚度	导热系数	修正系数	蓄热系数	热阻值	热惰性指标
外墙涂料	2	0.930	1.00	11.370	0.002	0.024
1: 3 水泥砂浆打底	12	0.930	1.00	11.370	0.013	0.147
1: 2.5 水泥砂浆找平	6	0.930	1.00	11.370	0.006	0.073
蒸压加气砼	190	0.200	1.00	3.027	0.950	2.876
混合砂浆	15	0.930	1.00	11.370	0.016	0.183
合 计	225	-	-	-	0.987	3.303
外墙主体部位传热阻	$R_0 = R_i + \sum R + R_e = 0.11 + 0.987 + 0.04 = 1.137$					
外墙主体部位传热系数	$K = 1/R_0 = 0.880$					

三、计算分析

高层屋顶和东、西向外墙的内表面温度计算

《绿色建筑评价标准》（DBJ53/T-49-2013）第室内环境质量指标中一

般项 4.5.8 “在自然通风条件下，房间的屋顶和东、西外墙内表面的最高温度满足现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176 的要求”。

《民用建筑热工设计规范》GB50176-93 第 3.3.4 条规定：屋顶和东、西向外墙的内表面温度，应满足隔热设计标准的要求。

《民用建筑热工设计规范》GB50176-93 第 5.1.1 条规定：在房间自然通风情况下，建筑物的屋顶和东、西外墙的内表面最高温度，应满足下式要求：

$$\theta_{i\max} \leq t_{e\max} \quad (5.1.1)$$

式中 $\theta_{i\max}$ ——围护结构内表面最高温度（℃），应按《民用建筑热工设计规范》附录二中（八）的规定计算；

$t_{e\max}$ ——夏季室外计算温度最高值（℃），应按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.2 采用。

1、东外墙内表面最高温度计算

在自然通风条件下，非通风围护结构内表面最高温度按附录式（附 2.21 计算）：

$$\theta_{i\max} = \bar{\theta}_i + \left(\frac{A_{tsa}}{v_o} + \frac{A_{ti}}{v_i} \right) \beta$$

（1）内表面平均温度

其中内表面平均温度按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.22 计算）：

$$\bar{\theta}_i = \bar{t}_i + \frac{\bar{t}_{sa} - \bar{t}_i}{R_o \alpha_i}$$

\bar{t}_i ——室内计算温度平均值（℃）； $\bar{t}_i = \bar{t}_e + 1.5$ ；

1) 室内计算温度平均值：

$$\bar{t}_i = \bar{t}_e + 1.5 = 23.3 + 1.5 = 24.8^\circ\text{C}$$

其中， \bar{t}_e ——室外计算温度平均值（℃），按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.2 采用昆明市取值 23.3℃；

2) 室外综合温度平均值 \bar{t}_{sa} 按照附录式（附 2.14 计算）

$$\bar{t}_{sa} = \bar{t}_e + \frac{\rho \bar{I}}{\alpha_e} = 23.3 + \frac{0.75 \times 156.3}{19} = 29.46^\circ\text{C}$$

其中， \bar{I} ——水平或垂直面上太阳辐射照度平均值，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.3 采用邻近城市贵阳市 W（E）昼夜平均 156.3 W/m²；

α_e ——外表面换热系数，取 19.0 W/(m² K)；

ρ ——太阳辐射吸收系数，取 0.75；

3) 东向外墙的传热阻：

$$R_0 = 1.137(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

内表面换热系数： $\alpha_i = 8.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

可计算出内表面平均温度：

$$\bar{\theta}_i = \bar{t}_i + \frac{\bar{t}_{sa} - \bar{t}_i}{R_0 \alpha_i} = 24.8 + \frac{29.46 - 24.8}{1.137 \times 8.7} = 25.27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(2) 相位差修正系数 β

1) A_{te} 与 A_{ts} 比值

其中， A_{te} ——室外空气温度波幅 ($^\circ\text{C}$)，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.2 采用昆明市取值 6.0°C ；

A_{ts} ——太阳辐射当量温度波幅 ($^\circ\text{C}$)：

$$A_{ts} = \frac{\rho(I_{\max} - \bar{I})}{\alpha_e} = \frac{0.75 \times (608 - 156.3)}{19} = 17.83^\circ\text{C}$$

其中， ρ ——太阳辐射吸收系数，按 2.2 取 0.75；

I_{\max} ——水平或垂直面上太阳辐射照度最大值，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.3 采用贵阳市 W(E) 15 时值 $608 \text{ W}/\text{m}^2$ ；

\bar{I} ——水平或垂直面上太阳辐射照度平均值，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.3 采用贵阳市 W(E) 昼夜平均值 $156.3 \text{ W}/\text{m}^2$ ；

α_e ——外表面换热系数，取 $19.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；

根据以上结果，取 A_{ts} 与 A_{te} 中较大值为分子，按照 A_{ts}/A_{te} 的比值计算结果为 2.97。

2) φ_{te} 与 φ_l 差值

φ_{te} ——室外空气温度最大值出现时间，通常取 15 时；

φ_l ——太阳辐射照度最大值出现时间，通常取 8 时(东向)；

根据以上条件， $\varphi_{te} - \varphi_l = 7 \text{ (h)}$ 。

3) 查《民用建筑热工设计规范》附表 2.7，相位差修正系数 β ：0.72（东向）；

相位差修正系数 β 值										附表 2.7
$\frac{A_{1n}}{A_n}$ 与 $\frac{A_{1i}}{A_i}$ 的比值或 A_{1n} 与 A_{1i} 的比值	$\Delta\varphi = (\varphi_{1n} + \xi_n) - (\varphi_{1i} + \xi_i)$ 或 $\Delta\varphi = \varphi_{1n} - \varphi_{1i}$ (h)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.0	0.99	0.97	0.92	0.87	0.79	0.71	0.60	0.50	0.38	0.26
1.5	0.99	0.97	0.93	0.87	0.80	0.72	0.63	0.53	0.42	0.32
2.0	0.99	0.97	0.93	0.88	0.81	0.74	0.66	0.58	0.49	0.41
2.5	0.99	0.97	0.94	0.89	0.83	0.76	0.69	0.62	0.55	0.49
3.0	0.99	0.97	0.94	0.90	0.85	0.79	0.72	0.65	0.60	0.55
3.5	0.99	0.97	0.94	0.91	0.86	0.81	0.76	0.69	0.64	0.59
4.0	0.99	0.97	0.95	0.91	0.87	0.82	0.77	0.72	0.67	0.63
4.5	0.99	0.97	0.95	0.92	0.88	0.83	0.79	0.74	0.70	0.66
5.0	0.99	0.98	0.95	0.92	0.89	0.85	0.81	0.76	0.72	0.69

注：表中 φ_{ts} 为室外综合温度最大值的出现时间 (h)，通常可取：水平及南向，13；东向，9；西向，16。

(3) 室外综合温度波幅值

室外综合温度波幅值 A_{tsa} ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.15 计算）：

$$A_{tsa} = (A_{te} + A_{ts})\beta = (6.0 + 17.83) \times 0.72 = 17.15^{\circ}\text{C}$$

(4) 室内计算温度波幅值 A_{ti}

$$A_{ti} = A_{te} - 1.5 = 6 - 1.5 = 4.5^{\circ}\text{C}$$

(5) 围护结构衰减倍数

围护结构衰减倍数 ν_o ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.17 计算）：

$$\nu_o = 0.9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{S_1 + \alpha_i}{S_1 + Y_1} \cdot \frac{S_2 + Y_1}{S_2 + Y_2} \cdots \frac{Y_{k-1}}{Y_k} \cdots \frac{S_n + Y_{n-1}}{S_n + Y_n} \cdot \frac{Y_n + \alpha_e}{\alpha_e}$$

1) 其中外墙热惰性指标 D 值，按表 2 取 3.31；

2) 外墙构造各层材料的表面蓄热系数按《民用建筑热工设计规范》附录二中（七）1. 的规定计算，由内到外逐层进行计算：

①第一层：混合砂浆 $D_1=0.183 < 1$ ， $S_1=11.37$ ， $R_1=0.016$ ，则：

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_i}{1 + R_1 \alpha_i} = \frac{0.016 \times 11.37^2 + 8.7}{1 + 0.016 \times 8.7} = 9.45$$

②第二层：蒸压加气砼 $D_2=2.876 \geq 1$ ， $S_2=3.027$ ，则：

$$Y_2 = S_2 = 3.027$$

③第三层：1：2.5 水泥砂浆找平 $D_3=0.073 < 1$ ， $S_3=11.37$ ， $R_3=0.006$ ，则：

$$Y_3 = \frac{R_3 S_3^2 + Y_2}{1 + R_3 Y_2} = \frac{0.006 \times 11.37^2 + 3.027}{1 + 0.006 \times 3.027} = 3.73$$

④第四层：1：3 水泥砂浆打底 $D_4=0.147 < 1$ ， $S_4=11.37$ ， $R_4=0.013$ ，则：

$$Y_4 = \frac{R_4 S_4^2 + Y_3}{1 + R_4 Y_3} = \frac{0.013 \times 11.37^2 + 3.73}{1 + 0.013 \times 3.73} = 5.16$$

④第五层：外墙涂料 $D_5=0.024 < 1$ ， $S_5=11.37$ ， $R_5=0.002$ ，则：

$$Y_5 = \frac{R_5 S_5^2 + Y_4}{1 + R_5 Y_4} = \frac{0.002 \times 11.37^2 + 5.16}{1 + 0.002 \times 5.16} = 5.36$$

可以求出围护结构衰减倍数：

$$\nu_0 = 0.9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{S_1 + \alpha_i}{S_1 + Y_1} \cdot \frac{S_2 + Y_1}{S_2 + Y_2} \cdot \frac{S_3 + Y_2}{S_3 + Y_3} \cdot \frac{S_4 + Y_3}{S_4 + Y_4} \cdot \frac{S_5 + Y_4}{S_5 + Y_5} \cdot \frac{Y_5 + \alpha_e}{\alpha_e} = 0.9e^{\frac{3.31}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{11.37 + 8.7}{11.37 + 9.45} \cdot \frac{3.027 + 9.45}{3.027 + 3.027} \cdot \frac{11.37 + 3.027}{11.37 + 3.73} \cdot \frac{11.37 + 3.73}{11.37 + 5.16} \cdot \frac{11.37 + 5.16}{11.37 + 5.36} \cdot \frac{5.36 + 19}{19} = 20.03$$

(6) 多层围护结构的总延迟时间

总延迟时间 ξ_o ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.18）计算：

$$\xi_o = \frac{1}{15} (40.5D - \operatorname{arctg} \frac{\alpha_i}{\alpha_i + Y_i \sqrt{2}} + \operatorname{arctg} \frac{R_K \bullet Y_{Ki}}{R_K \bullet Y_{Ki} + \sqrt{2}} + \operatorname{arctg} \frac{Y_e}{Y_e + \alpha_e \sqrt{2}})$$

其中， ξ_o ——围护结构延迟时间（h）；

Y_e ——围护结构外表面（亦即最后一层外表面）蓄热系数[W/（m².K）]，取最后一层材料的外表面蓄热系数，即 $Y_e = Y_5 = 5.36$

R_K ——空气间层热阻（m².K/W），本项目围护结构无空气间层，该项不考虑；

Y_{Ki} ——空气间层内表面蓄热系数[W/（m².K）]；同上，不考虑。

Y_i ——内表面蓄热系数[W/（m².K）]；

因为 $D_2 \geq 1$ ，所以 $Y_2 = S_2 = 3.027$ ， $Y_i = Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = 4.86$ 则：

$$\xi_o = \frac{1}{15} (40.5 \times 3.31 - \operatorname{arctg} \frac{8.7}{8.7 + 4.86 \sqrt{2}} + \operatorname{arctg} \frac{5.36}{5.36 + 19 \sqrt{2}}) = 7.62$$

(7) 室内谐波传至内表面的延迟时间

室内谐波传至内表面的延迟时间 ξ_i ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.20 计算）：

$$\xi_i = \frac{1}{15} \operatorname{arctg} \frac{Y_i}{Y_i + \alpha_i \sqrt{2}} = \frac{1}{15} \operatorname{arctg} \frac{4.86}{4.86 + 8.7 \sqrt{2}} = 1.05$$

(8) 室内空气到内表面的衰减倍数

室内空气到内表面的衰减倍数 ν_i ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.19 计算）：

$$\nu_i = 0.95 \frac{\alpha_i + Y_i}{\alpha_i} = 0.95 \frac{8.7 + 4.86}{8.7} = 1.48$$

(9) $\Delta\varphi$ 的计算和 β 的再确定

根据 ξ_o 和 ξ_i ，参照《民用建筑热工设计规范》附录二附表 2.7 计算：

$$\Delta\varphi = (\varphi_{tsa} + \xi_o) - (\varphi_{ti} + \xi_i)$$

其中， φ_{tsa} ——室外综合温度最大值出现时间，查附表 2.7，东向 $\varphi_{tsa} = 9$ ；

φ_{ti} ——室内空气温度最大值出现时间，通常取 16。

计算得 $\Delta\varphi = (9 + 7.62) - (16 + 1.05) = 0.43$ ；

这里再计算 $\frac{A_{tsa}}{\nu_o}$ 和 $\frac{A_{ti}}{\nu_i}$ 的比值：

由上述计算， $A_{tsa} / \nu_o = 17.15 / 20.03 = 0.85$ ， $A_{ti} / \nu_i = 4.5 / 1.48 = 3.04$ ，

取其中较大值作为分子，计算得出两者比值为 3.57，查《民用建筑热工设计规范》

附录二附表 2.7（见表 3），重新得 $\beta = 0.99$

（10）内表面最高温度计算

由此可以求出东向外墙内表面最高温度：

$$\theta_{i\max} = \bar{\theta}_i + \left(\frac{A_{tsa}}{\nu_o} + \frac{A_{ti}}{\nu_i} \right) \beta = 25.27 + (0.85 + 3.04) \times 0.99 = 29.12^\circ\text{C}$$

根据《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.2 可得昆明市夏季室外计算温度最高值 $t_{e.\max} = 29.3^\circ\text{C}$ 。

$$\theta_{i\max} < t_{e.\max}$$

（11）小结

在房间自然通风情况下，本项目东向外墙内表面最高温度为 29.12°C 小于夏季室外计算温度最高值 29.3°C ，能够满足《民用建筑热工设计规范》GB50176-93 的要求。

2、西外墙内表面最高温度计算

在自然通风条件下，非通风围护结构内表面最高温度按附录式（附 2.21 计算）：

$$\theta_{i\max} = \bar{\theta}_i + \left(\frac{A_{tsa}}{\nu_o} + \frac{A_{ti}}{\nu_i} \right) \beta$$

（1）内表面平均温度

其中内表面平均温度按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.22 计算）：

$$\bar{\theta}_i = \bar{t}_i + \frac{\bar{t}_{sa} - \bar{t}_i}{R_o \alpha_i}$$

\bar{t}_i ——室内计算温度平均值（℃）； $\bar{t}_i = \bar{t}_e + 1.5$ ；

1) 室内计算温度平均值：

$$\bar{t}_i = \bar{t}_e + 1.5 = 23.3 + 1.5 = 24.8^\circ\text{C}$$

其中， \bar{t}_e ——室外计算温度平均值（℃），按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.2 采用昆明市取值 23.3℃；

2) 室外综合温度平均值 \bar{t}_{sa} 按照附录式（附 2.14 计算）

$$\bar{t}_{sa} = \bar{t}_e + \frac{\rho \bar{I}}{\alpha_e} = 23.3 + \frac{0.75 \times 156.3}{19} = 29.46^\circ\text{C}$$

其中， \bar{I} ——水平或垂直面上太阳辐射照度平均值，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.3 采用邻近城市贵阳市 W（E）昼夜平均 156.3 W/m²；

α_e ——外表面换热系数，取 19.0 W/(m²·K)；

ρ ——太阳辐射吸收系数，按 2.2 取 0.75；

3) 西向外墙的传热阻：

$$R_0 = 1.137(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

内表面换热系数： $\alpha_i = 8.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

可计算出内表面平均温度：

$$\bar{\theta}_i = \bar{t}_i + \frac{\bar{t}_{sa} - \bar{t}_i}{R_0 \alpha_i} = 24.8 + \frac{29.46 - 24.8}{1.137 \times 8.7} = 25.27^\circ\text{C}$$

(2) 相位差修正系数 β

1) A_{te} 与 A_{ts} 比值

其中， A_{te} ——室外空气温度波幅（℃），按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.2 采用昆明市取值 6.0℃；

A_{ts} ——太阳辐射当量温度波幅（℃）：

$$A_{ts} = \frac{\rho(I_{\max} - \bar{I})}{\alpha_e} = \frac{0.75 \times (608 - 156.3)}{19} = 17.83^\circ\text{C}$$

其中， ρ ——太阳辐射吸收系数，按 2.2 取 0.75；

I_{\max} ——水平或垂直面上太阳辐射照度最大值，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.3 采用贵阳市 W（E）15 时值 608 W/m²；

\bar{I} ——水平或垂直面上太阳辐射照度平均值，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.3 采用贵阳市 W（E）昼夜平均值 156.3 W/m²；

α_e ——外表面换热系数，取 19.0 W/(m²·K)；

根据以上结果，取 A_{ts} 与 A_{te} 中较大值为分子，按照 A_{ts}/A_{te} 的比值计算结果为 2.97。

2) φ_{te} 与 φ_l 差值

φ_{te} ——室外空气温度最大值出现时间, 通常取 15 时;

φ_l ——太阳辐射照度最大值出现时间, 通常取 16 时(西向);

根据以上条件, $\varphi_{te} - \varphi_l = 1$ (h)。

3) 查《民用建筑热工设计规范》附表 2.7, 相位差修正系数 β : 0.99 (西向);

(3) 室外综合温度波幅值

室外综合温度波幅值 A_{tsa} , 按《民用建筑热工设计规范》附录式 (附 2.15 计算):

$$A_{tsa} = (A_{te} + A_{ts})\beta = (6.0 + 17.83) \times 0.99 = 23.59^\circ\text{C}$$

(4) 室内计算温度波幅值 A_{ti}

$$A_{ti} = A_{te} - 1.5 = 6 - 1.5 = 4.5^\circ\text{C}$$

(5) 围护结构衰减倍数

围护结构衰减倍数 ν_o , 按《民用建筑热工设计规范》附录式 (附 2.17 计算):

$$\nu_o = 0.9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{S_1 + \alpha_i}{S_1 + Y_1} \cdot \frac{S_2 + Y_1}{S_2 + Y_2} \cdots \frac{Y_{k-1}}{Y_k} \cdots \frac{S_n + Y_{n-1}}{S_n + Y_n} \cdot \frac{Y_n + \alpha_e}{\alpha_e}$$

1) 其中外墙热惰性指标 D 值, 按表 2 取 3.31;

2) 外墙构造各层材料的表面蓄热系数按《民用建筑热工设计规范》附录二中 (七)

1. 的规定计算, 由内到外逐层进行计算:

①第一层: 混合砂浆 $D_1=0.183 < 1$, $S_1=11.37$, $R_1=0.016$, 则:

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_i}{1 + R_1 \alpha_i} = \frac{0.016 \times 11.37^2 + 8.7}{1 + 0.016 \times 8.7} = 9.45$$

②第二层: 蒸压加气砼 $D_2=2.876 \geq 1$, $S_2=3.027$, 则:

$$Y_2 = S_2 = 3.027$$

③第三层: 1: 2.5 水泥砂浆找平 $D_3=0.073 < 1$, $S_3=11.37$, $R_3=0.006$, 则:

$$Y_3 = \frac{R_3 S_3^2 + Y_2}{1 + R_3 Y_2} = \frac{0.006 \times 11.37^2 + 3.027}{1 + 0.006 \times 3.027} = 3.73$$

④第四层: 1: 3 水泥砂浆打底 $D_4=0.147 < 1$, $S_4=11.37$, $R_4=0.013$, 则:

$$Y_4 = \frac{R_4 S_4^2 + Y_3}{1 + R_4 Y_3} = \frac{0.013 \times 11.37^2 + 3.73}{1 + 0.013 \times 3.73} = 5.16$$

④第五层: 外墙涂料 $D_5=0.024 < 1$, $S_5=11.37$, $R_5=0.002$, 则:

$$Y_5 = \frac{R_5 S_5^2 + Y_4}{1 + R_5 Y_4} = \frac{0.002 \times 11.37^2 + 5.16}{1 + 0.002 \times 5.16} = 5.36$$

可以求出围护结构衰减倍数:

$$\begin{aligned} v_0 &= 0.9 e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{S_1 + \alpha_i}{S_1 + Y_1} \cdot \frac{S_2 + Y_1}{S_2 + Y_2} \cdot \frac{S_3 + Y_2}{S_3 + Y_3} \cdot \frac{S_4 + Y_3}{S_4 + Y_4} \cdot \frac{S_5 + Y_4}{S_5 + Y_5} \cdot \frac{Y_5 + \alpha_e}{\alpha_e} = 0.9 e^{\frac{3.31}{\sqrt{2}}} \\ &\cdot \frac{11.37 + 8.7}{11.37 + 9.45} \cdot \frac{3.027 + 9.45}{3.027 + 3.027} \cdot \frac{11.37 + 3.027}{11.37 + 3.73} \cdot \frac{11.37 + 3.73}{11.37 + 5.16} \cdot \frac{11.37 + 5.16}{11.37 + 5.36} \cdot \frac{5.36 + 19}{19} = 20.03 \end{aligned}$$

(6) 多层围护结构的总延迟时间

总延迟时间 ξ_o , 按《民用建筑热工设计规范》附录式(附 2.18) 计算:

$$\xi_o = \frac{1}{15} (40.5D - \arctg \frac{\alpha_i}{\alpha_i + Y_i \sqrt{2}} + \arctg \frac{R_K \bullet Y_{Ki}}{R_K \bullet Y_{Ki} + \sqrt{2}} + \arctg \frac{Y_e}{Y_e + \alpha_e \sqrt{2}})$$

其中, ξ_o ——围护结构延迟时间(h);

Y_e ——围护结构外表面(亦即最后一层外表面)蓄热系数[W/(m².K)],取最后一层材料的外表面蓄热系数,即 $Y_e = Y_5 = 5.36$

R_K ——空气间层热阻(m².K/W),本项目围护结构无空气间层,该项不考虑;

Y_{Ki} ——空气间层内表面蓄热系数[W/(m².K)];同上,不考虑。

Y_i ——内表面蓄热系数[W/(m².K)];

因为 $D_2 \geq 1$, 所以 $Y_2 = S_2 = 3.027$, $Y_i = Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = 4.86$ 则:

$$\xi_o = \frac{1}{15} (40.5 \times 3.31 - \arctg \frac{8.7}{8.7 + 4.86 \sqrt{2}} + \arctg \frac{5.36}{5.36 + 19 \sqrt{2}}) = 7.62$$

(7) 室内谐波传至内表面的延迟时间

室内谐波传至内表面的延迟时间 ξ_i , 按《民用建筑热工设计规范》附录式(附 2.20 计算):

$$\xi_i = \frac{1}{15} \arctg \frac{Y_i}{Y_i + \alpha_i \sqrt{2}} = \frac{1}{15} \arctg \frac{4.86}{4.86 + 8.7 \sqrt{2}} = 1.05$$

(8) 室内空气到内表面的衰减倍数

室内空气到内表面的衰减倍数 v_i , 按《民用建筑热工设计规范》附录式(附 2.19 计算):

$$\nu_i = 0.95 \frac{\alpha_i + Y_i}{\alpha_i} = 0.95 \frac{8.7 + 4.86}{8.7} = 1.48$$

(9) $\Delta\varphi$ 的计算和 β 的再确定

根据 ξ_o 和 ξ_i ，参照《民用建筑热工设计规范》附录二附表 2.7 计算：

$$\Delta\varphi = (\varphi_{tsa} + \xi_o) - (\varphi_{ti} + \xi_i)$$

其中， φ_{tsa} ——室外综合温度最大值出现时间，查附表 2.7，西向 $\varphi_{tsa} = 16$ ；

φ_{ti} ——室内空气温度最大值出现时间，通常取 16。

计算得 $\Delta\varphi = (16 + 7.62) - (16 + 1.05) = 6.57$ ；

这里再计算 $\frac{A_{tsa}}{\nu_o}$ 和 $\frac{A_{ti}}{\nu_i}$ 的比值：

由上述计算， $A_{tsa} / \nu_o = 23.59 / 20.03 = 1.17$ ， $A_{ti} / \nu_i = 4.5 / 1.48 = 3.04$ ，

取其中较大值作为分子，计算得出两者比值为 2.59，查《民用建筑热工设计规范》附录二附表 2.7（见表 3），重新得 $\beta = 0.73$

(10) 内表面最高温度计算

由此可以求出东向外墙内表面最高温度：

$$\theta_{i\max} = \bar{\theta}_i + \left(\frac{A_{tsa}}{\nu_o} + \frac{A_{ti}}{\nu_i} \right) \beta = 25.27 + (1.17 + 3.04) \times 0.73 = 28.34^\circ\text{C}$$

$$\theta_{i\max} < t_{e\max}$$

(11) 小结

在房间自然通风情况下，屋顶内表面最高温度 28.34°C 小于夏季室外计算温度最高值 29.3°C ，能够满足《民用建筑热工设计规范》GB50176-93 的要求。

3、屋顶内表面最高温度计算

在自然通风条件下，非通风围护结构内表面最高温度按附录式（附 2.21 计算）：

$$\theta_{i\max} = \bar{\theta}_i + \left(\frac{A_{tsa}}{\nu_o} + \frac{A_{ti}}{\nu_i} \right) \beta$$

(1) 内表面平均温度

其中内表面平均温度按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.22 计算）：

$$\bar{\theta}_i = \bar{t}_i + \frac{\bar{t}_{sa} - \bar{t}_i}{R_0 \alpha_i}$$

\bar{t}_i ——室内计算温度平均值（℃）； $\bar{t}_i = \bar{t}_e + 1.5$ ；

1) 室内计算温度平均值：

$$\bar{t}_i = \bar{t}_e + 1.5 = 23.3 + 1.5 = 24.8^\circ\text{C}$$

其中， \bar{t}_e ——室外计算温度平均值（℃），按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.2 采用昆明市取值 23.3℃；

2) 室外综合温度平均值 \bar{t}_{sa} 按照附录式（附 2.14 计算）

$$\bar{t}_{sa} = \bar{t}_e + \frac{\rho \bar{I}}{\alpha_e} = 23.3 + \frac{0.75 \times 326.3}{19} = 36.18^\circ\text{C}$$

其中， \bar{I} ——水平或垂直面上太阳辐射照度平均值，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.3 采用邻近城市贵阳市 H 昼夜平均 326.3 W/m²；

α_e ——外表面换热系数，取 19.0 W/(m²·K)；

ρ ——太阳辐射吸收系数，按 2.2 取 0.75；

3) 屋顶传热阻：

$$R_0 = 0.856(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

内表面换热系数： $\alpha_i = 8.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

可计算出内表面平均温度：

$$\bar{\theta}_i = \bar{t}_i + \frac{\bar{t}_{sa} - \bar{t}_i}{R_0 \alpha_i} = 24.8 + \frac{36.18 - 24.8}{0.856 \times 8.7} = 26.32^\circ\text{C}$$

(2) 相位差修正系数 β

1) A_{te} 与 A_{ts} 比值

其中， A_{te} ——室外空气温度波幅（℃），按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.2 采用昆明市取值 6.0℃；

A_{ts} ——太阳辐射当量温度波幅（℃）：

$$A_{ts} = \frac{\rho(I_{\max} - \bar{I})}{\alpha_e} = \frac{0.75 \times (1021 - 326.3)}{19} = 27.42^\circ\text{C}$$

其中， ρ ——太阳辐射吸收系数，按 2.2 取 0.75；

I_{\max} ——水平或垂直面上太阳辐射照度最大值，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.3 采用贵阳市 W（E）12 时值 1021 W/m²；

\bar{I} ——水平或垂直面上太阳辐射照度平均值，按《民用建筑热工设计规范》附录三附表 3.3 采用贵阳市 W（E）昼夜平均值 326.3 W/m²；

α_e ——外表面换热系数，取 $19.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；

根据以上结果，取 A_{ts} 与 A_{te} 中较大值为分子，按照 A_{ts}/A_{te} 的比值计算结果为 4.57。

2) φ_{te} 与 φ_I 差值

φ_{te} ——室外空气温度最大值出现时间，通常取 15 时；

φ_I ——太阳辐射照度最大值出现时间，通常取 12 时(水平)；

根据以上条件， $\varphi_{te} - \varphi_I = 3 \text{ (h)}$ 。

3) 查《民用建筑热工设计规范》附表 2.7，相位差修正系数 β ：0.95（西向）；

(3) 室外综合温度波幅值

室外综合温度波幅值 A_{tsa} ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.15 计算）：

$$A_{tsa} = (A_{te} + A_{ts})\beta = (6.0 + 27.42) \times 0.95 = 31.74^\circ\text{C}$$

(4) 室内计算温度波幅值 A_{ti}

$$A_{ti} = A_{te} - 1.5 = 6 - 1.5 = 4.5^\circ\text{C}$$

(5) 围护结构衰减倍数

围护结构衰减倍数 ν_o ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.17 计算）：

$$\nu_o = 0.9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{S_1 + \alpha_i}{S_1 + Y_1} \cdot \frac{S_2 + Y_1}{S_2 + Y_2} \cdots \frac{Y_{k-1}}{Y_k} \cdots \frac{S_n + Y_{n-1}}{S_n + Y_n} \cdot \frac{Y_n + \alpha_e}{\alpha_e}$$

1) 其中屋面热惰性指标 D 值，按表 1 取 2.383；

2) 屋顶构造各层材料的表面蓄热系数按《民用建筑热工设计规范》附录二中（七）

1.的规定计算，由内到外逐层进行计算：

①第一层：顶棚抹灰 $D_1=0<1$ ， $S_1=0.009$ ， $R_1=0.02$ ，则：

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_i}{1 + R_1 \alpha_i} = \frac{0.02 \times 0.009^2 + 8.7}{1 + 0.02 \times 8.7} = 7.41$$

②第二层：钢筋混凝土 $D_2=0.989<1$ ， $S_2=17.2$ ， $R_2=0.057$ ，则：

$$Y_2 = \frac{R_2 S_2^2 + Y_1}{1 + R_2 Y_1} = \frac{0.057 \times 17.2^2 + 7.41}{1 + 0.057 \times 7.41} = 17.06$$

③第三层：1:3 水泥砂浆找平 $D_3=0.245<1$ ， $S_3=11.37$ ， $R_3=0.022$ ，则：

$$Y_3 = \frac{R_3 S_3^2 + Y_2}{1 + R_3 Y_2} = \frac{0.022 \times 11.37^2 + 17.06}{1 + 0.022 \times 17.06} = 14.47$$

④第四层：EPS 板 $D_4=0.14<1$ ， $S_4=0.287$ ， $R_4=0.488$ ，则：

$$Y_4 = \frac{R_4 S_4^2 + Y_3}{1 + R_4 Y_3} = \frac{0.488 \times 0.287^2 + 14.47}{1 + 0.488 \times 14.47} = 1.80$$

⑤第五层：1:3 水泥砂浆找平 $D_5=0.245 < 1$, $S_5=11.37$, $R_5=0.022$, 则：

$$Y_5 = \frac{R_5 S_5^2 + Y_4}{1 + R_5 Y_4} = \frac{0.022 \times 11.37^2 + 1.80}{1 + 0.022 \times 1.80} = 4.47$$

⑥第六层：高聚物改性沥青防水卷材 $D_6=0.076 < 1$, $S_6=6.796$, $R_6=0.011$, 则：

$$Y_6 = \frac{R_6 S_6^2 + Y_5}{1 + R_6 Y_5} = \frac{0.011 \times 6.796^2 + 4.47}{1 + 0.011 \times 4.47} = 4.74$$

⑦第七层：1:3 水泥砂浆结合层 $D_7=0.245 < 1$, $S_7=11.37$, $R_7=0.022$, 则：

$$Y_7 = \frac{R_7 S_7^2 + Y_6}{1 + R_7 Y_6} = \frac{0.022 \times 11.37^2 + 4.74}{1 + 0.022 \times 4.74} = 6.87$$

⑧第八层：高聚物改性沥青防水卷材 $D_8=0.076 < 1$, $S_8=6.796$, $R_8=0.011$, 则：

$$Y_8 = \frac{R_8 S_8^2 + Y_7}{1 + R_8 Y_7} = \frac{0.011 \times 6.796^2 + 6.87}{1 + 0.011 \times 6.87} = 6.86$$

⑨第九层：1:3 水泥砂浆保护层 $D_9=0.245 < 1$, $S_9=11.37$, $R_9=0.022$, 则：

$$Y_9 = \frac{R_9 S_9^2 + Y_8}{1 + R_9 Y_8} = \frac{0.022 \times 11.37^2 + 6.86}{1 + 0.022 \times 6.86} = 8.43$$

⑩第十层：1:2.5 水泥砂浆结合层 $D_{10}=0.122 < 1$, $S_{10}=11.37$, $R_{10}=0.011$, 则：

$$Y_{10} = \frac{R_{10} S_{10}^2 + Y_9}{1 + R_{10} Y_9} = \frac{0.011 \times 11.37^2 + 8.43}{1 + 0.011 \times 8.43} = 9.02$$

⑪第十一层：地面砖 $D_{11}=0 < 1$, $S_{11}=0.009$, $R_{11}=0.02$, 则：

$$Y_{11} = \frac{R_{11} S_{11}^2 + Y_{10}}{1 + R_{11} Y_{10}} = \frac{0.02 \times 0.009^2 + 9.02}{1 + 0.02 \times 9.02} = 7.64$$

可以求出围护结构衰减倍数：

$$\begin{aligned} \nu_0 &= 0.9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{S_1 + \alpha_i}{S_1 + Y_1} \cdot \frac{S_2 + Y_1}{S_2 + Y_2} \cdot \frac{S_3 + Y_2}{S_3 + Y_3} \cdot \frac{S_4 + Y_3}{S_4 + Y_4} \cdot \frac{S_5 + Y_4}{S_5 + Y_5} \cdot \frac{S_6 + Y_5}{S_6 + Y_6} \cdot \\ &\frac{S_7 + Y_6}{S_7 + Y_7} \cdot \frac{S_8 + Y_7}{S_8 + Y_8} \cdot \frac{S_9 + Y_8}{S_9 + Y_9} \cdot \frac{S_{10} + Y_9}{S_{10} + Y_{10}} \cdot \frac{S_{11} + Y_{10}}{S_{11} + Y_{11}} \cdot \frac{Y_{11} + \alpha_e}{\alpha_e} = \\ &0.9e^{\frac{2.383}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{0.009 + 8.7}{0.009 + 7.41} \cdot \frac{17.2 + 7.41}{17.2 + 17.06} \cdot \frac{11.37 + 17.06}{11.37 + 14.47} \cdot \frac{0.287 + 14.47}{0.287 + 1.8} \cdot \frac{11.37 + 1.8}{11.37 + 4.47} \cdot \frac{6.796 + 4.47}{6.796 + 4.74} \cdot \\ &\frac{11.37 + 4.74}{11.37 + 6.87} \cdot \frac{6.796 + 6.87}{6.796 + 6.86} \cdot \frac{11.37 + 6.86}{11.37 + 8.43} \cdot \frac{11.37 + 8.43}{11.37 + 9.02} \cdot \frac{0.009 + 9.02}{0.009 + 7.64} \cdot \frac{7.64 + 19}{19} = 29.34 \end{aligned}$$

(6) 多层围护结构的总延迟时间

总延迟时间 ξ_o ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.18）计算：

$$\xi_o = \frac{1}{15} (40.5D - \arctg \frac{\alpha_i}{\alpha_i + Y_i \sqrt{2}} + \arctg \frac{R_K \bullet Y_{Ki}}{R_K \bullet Y_{Ki} + \sqrt{2}} + \arctg \frac{Y_e}{Y_e + \alpha_e \sqrt{2}})$$

其中， ξ_o ——围护结构延迟时间（h）；

Y_e ——围护结构外表面（亦即最后一层外表面）蓄热系数[W/（m².K）]，取最后一层材料的外表面蓄热系数，即 $Y_e = Y_{11} = 7.64$

R_K ——空气间层热阻（m².K/W），本项目围护结构无空气间层，该项不考虑；

Y_{Ki} ——空气间层内表面蓄热系数[W/（m².K）]；同上，不考虑。

Y_i ——内表面蓄热系数[W/（m².K）]；

因为围护结构每一层 D 都小于 1，则应从最后一层开始，由外向内逐层计算直至第一层，即为内表面蓄热系数，所以有：

$$Y_{11} = \frac{R_{11} S_{11}^2 + \alpha_e}{1 + R_{11} \alpha_e} = \frac{0.02 \times 0.009^2 + 19}{1 + 0.02 \times 19} = 13.77$$

$$Y_{10} = \frac{R_{10} S_{10}^2 + Y_{11}}{1 + R_{10} Y_{11}} = \frac{0.011 \times 11.37^2 + 13.77}{1 + 0.011 \times 13.77} = 13.19;$$

$$Y_9 = \frac{R_9 S_9^2 + Y_{10}}{1 + R_9 Y_{10}} = \frac{0.022 \times 11.37^2 + 13.19}{1 + 0.022 \times 13.19} = 12.43;$$

$$Y_8 = \frac{R_8 S_8^2 + Y_9}{1 + R_8 Y_9} = \frac{0.011 \times 6.796^2 + 12.43}{1 + 0.011 \times 12.43} = 11.38;$$

$$Y_7 = \frac{R_7 S_7^2 + Y_8}{1 + R_7 Y_8} = \frac{0.022 \times 11.37^2 + 11.38}{1 + 0.022 \times 11.38} = 11.38;$$

$$Y_6 = \frac{R_6 S_6^2 + Y_7}{1 + R_6 Y_7} = \frac{0.011 \times 6.796^2 + 11.38}{1 + 0.011 \times 11.38} = 10.56;$$

$$Y_5 = \frac{R_5 S_5^2 + Y_6}{1 + R_5 Y_6} = \frac{0.022 \times 11.37^2 + 10.56}{1 + 0.022 \times 10.56} = 10.88;$$

$$Y_4 = \frac{R_4 S_4^2 + Y_5}{1 + R_4 Y_5} = \frac{0.488 \times 0.287^2 + 10.88}{1 + 0.488 \times 10.88} = 1.73;$$

$$Y_3 = \frac{R_3 S_3^2 + Y_4}{1 + R_3 Y_4} = \frac{0.022 \times 11.37^2 + 1.73}{1 + 0.022 \times 1.73} = 4.41;$$

$$Y_2 = \frac{R_2 S_2^2 + Y_3}{1 + R_2 Y_3} = \frac{0.057 \times 17.2^2 + 4.41}{1 + 0.057 \times 4.41} = 17.0;$$

$$Y_i = Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = \frac{0.02 \times 0.009^2 + 17}{1 + 0.02 \times 17} = 12.69;$$

$$\xi_o = \frac{1}{15} (40.5 \times 2.383 - \operatorname{arctg} \frac{8.7}{8.7 + 12.69\sqrt{2}} + \operatorname{arctg} \frac{7.64}{7.64 + 19\sqrt{2}}) = 6.06$$

(7) 室内谐波传至内表面的延迟时间

室内谐波传至内表面的延迟时间 ξ_i ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.20 计算）：

$$\xi_i = \frac{1}{15} \operatorname{arctg} \frac{Y_i}{Y_i + \alpha_i \sqrt{2}} = \frac{1}{15} \operatorname{arctg} \frac{12.69}{12.69 + 8.7\sqrt{2}} = 1.794$$

(8) 室内空气到内表面的衰减倍数

室内空气到内表面的衰减倍数 ν_i ，按《民用建筑热工设计规范》附录式（附 2.19 计算）：

$$\nu_i = 0.95 \frac{\alpha_i + Y_i}{\alpha_i} = 0.95 \frac{8.7 + 12.69}{8.7} = 2.34$$

(9) $\Delta\varphi$ 的计算和 β 的再确定

根据 ξ_o 和 ξ_i ，参照《民用建筑热工设计规范》附录二附表 2.7 计算：

$$\Delta\varphi = (\varphi_{tsa} + \xi_o) - (\varphi_{ti} + \xi_i)$$

其中， φ_{tsa} ——室外综合温度最大值出现时间，查附表 2.7，水平向 $\varphi_{tsa} = 13$ ；

φ_{ti} ——室内空气温度最大值出现时间，通常取 16。

计算得 $\Delta\varphi = (13 + 6.06) - (16 + 1.794) = 1.266$ ；

这里再计算 $\frac{A_{tsa}}{v_o}$ 和 $\frac{A_{ti}}{v_i}$ 的比值:

由上述计算, $A_{tsa}/v_o = 31.74/29.34 = 1.08$, $A_{ti}/v_i = 4.5/2.34 = 1.923$, 取其中较大值作为分子, 计算得出两者比值为 1.64, 查《民用建筑热工设计规范》附录二附表 2.7 (见表 3), 重新得 $\beta=0.98$

(10) 内表面最高温度计算

由此可以求出东向外墙内表面最高温度:

$$\theta_{i\max} = \bar{\theta}_i + \left(\frac{A_{tsa}}{v_o} + \frac{A_{ti}}{v_i} \right) \beta = 26.32 + (1.08 + 1.923) \times 0.98 = 29.26^\circ\text{C}$$

$$\theta_{i\max} < t_{e\max}$$

(11) 小结

在房间自然通风情况下, 屋顶内表面最高温度 29.26°C 小于夏季室外计算温度最高值 29.3°C , 能够满足《民用建筑热工设计规范》GB50176-93 的要求。

四、结论

通过计算屋顶内表面最高温度 29.26°C , 东外墙内表面温度最高温度 29.12°C , 西外墙内表面温度最高温度 28.34°C , 均小于昆明市夏季室外计算温度最高值 29.3°C , 故该项目满足《民用建筑热工设计规范》(GB50176—93) 的规定, 能够达到隔热设计标准的要求。