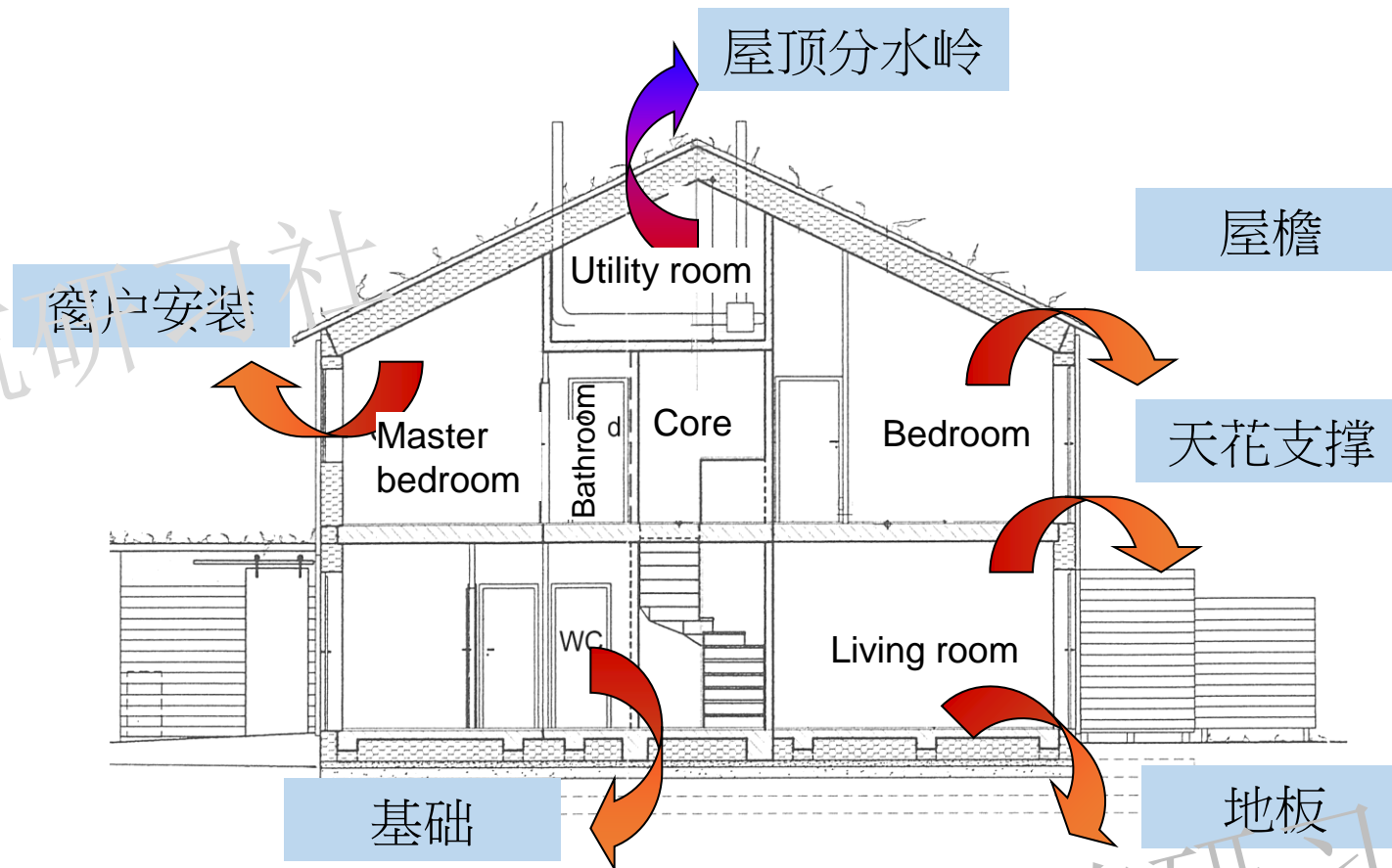


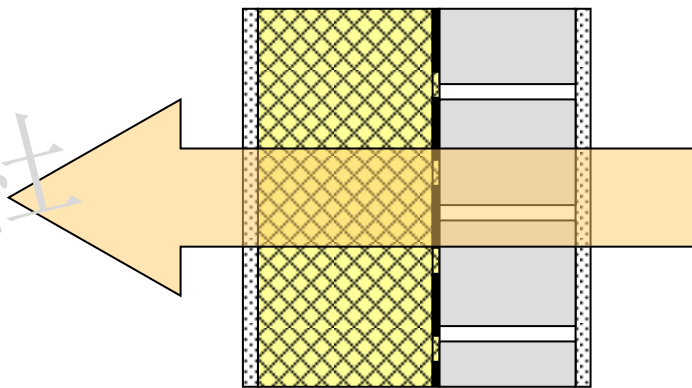
建筑外围护结构：热传递损失



全部热传递损失:

$$Q_T = \text{Sum} (U * A + \Psi * l + X) * \Theta$$

建筑外围护结构：热传递计算



热平衡外围护的面积 * U值 * 温度校正系数 * 热度时

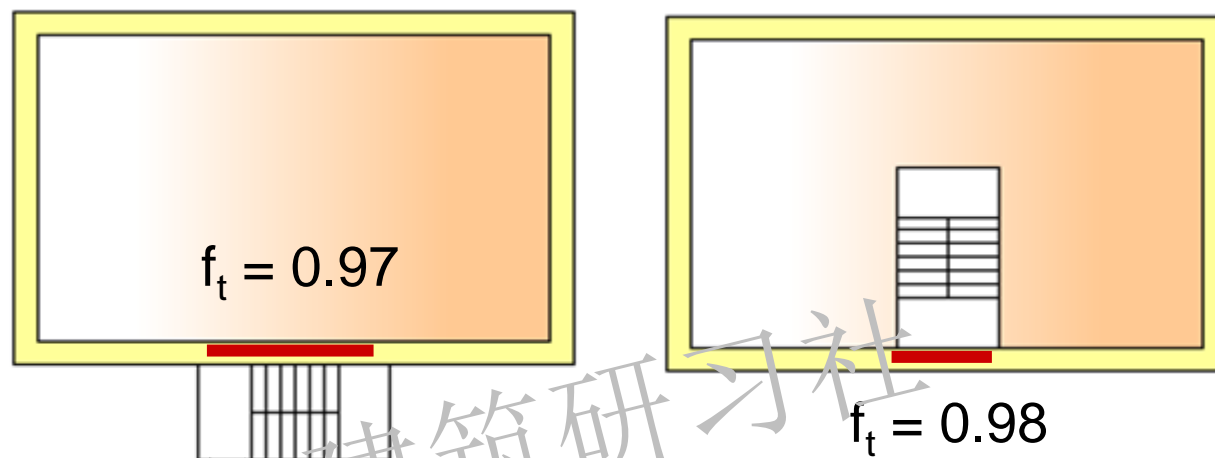
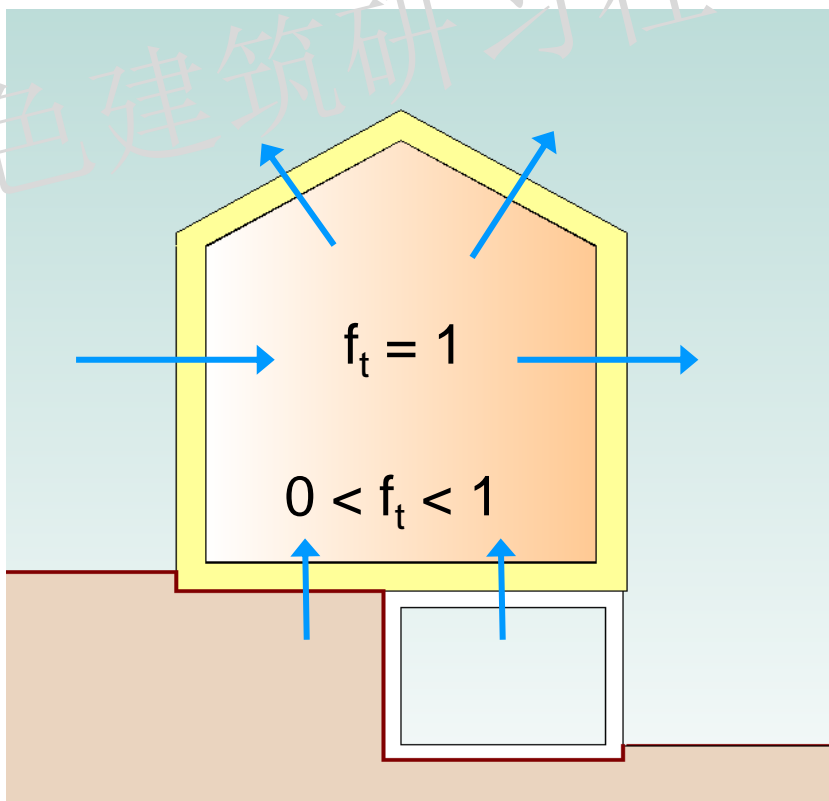
$$Q_T = A * U * f_t * G_t$$

绿色建筑研习社

建筑外围护结构：热传递计算范例

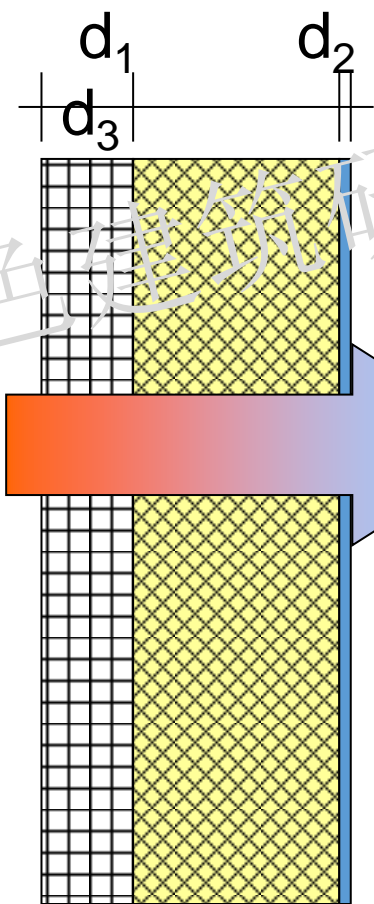
$$Q_T = A * U * f_t * G_t$$

$$184.3 \text{ m}^2 * 0.138 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) * 1.0 * 84.0 \text{ kWh/a} = 2129 \text{ kWh/a}$$



建筑外围护结构 - 匀称的建筑构件其U-值计算

(依照DIN EN ISO 6946)



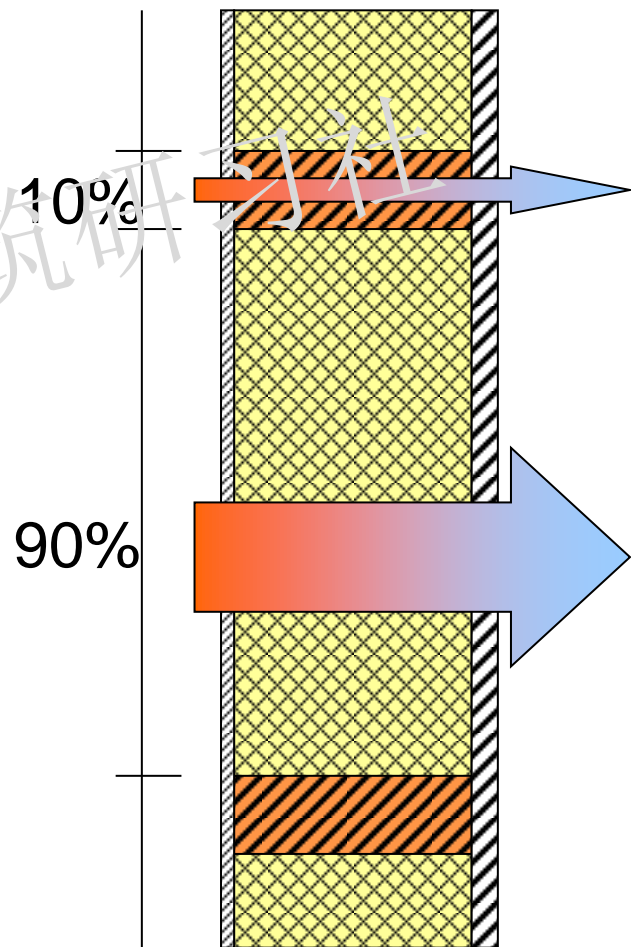
$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + R_{se}}$$



(导热系数 λ 依照 DIN 4108-4, DIN EN 12524 或参照国家技术指标)

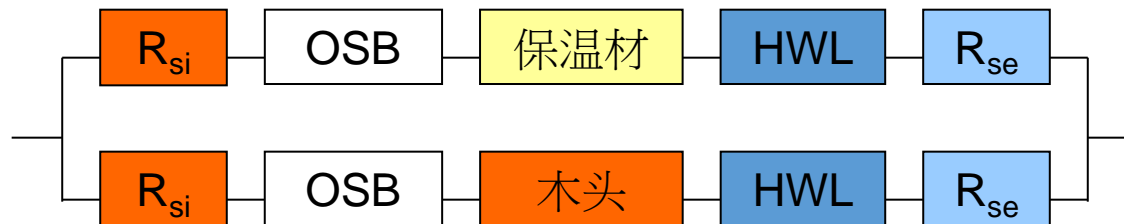
建筑外围护结构 – 非匀称的建筑构件其U值计算

(依照DIN EN ISO 6946)

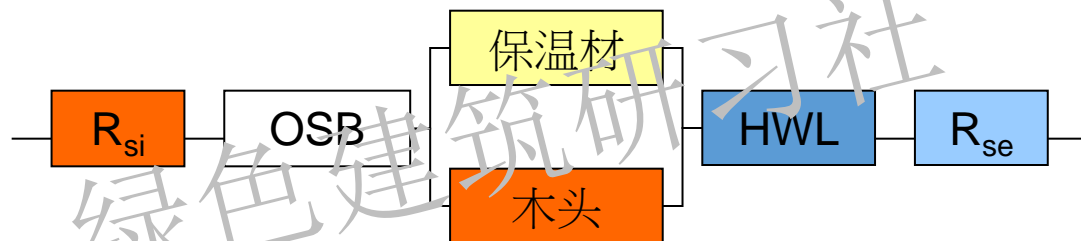


$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{(R'_T + R''_T) / 2}$$

upper estimate R'_T

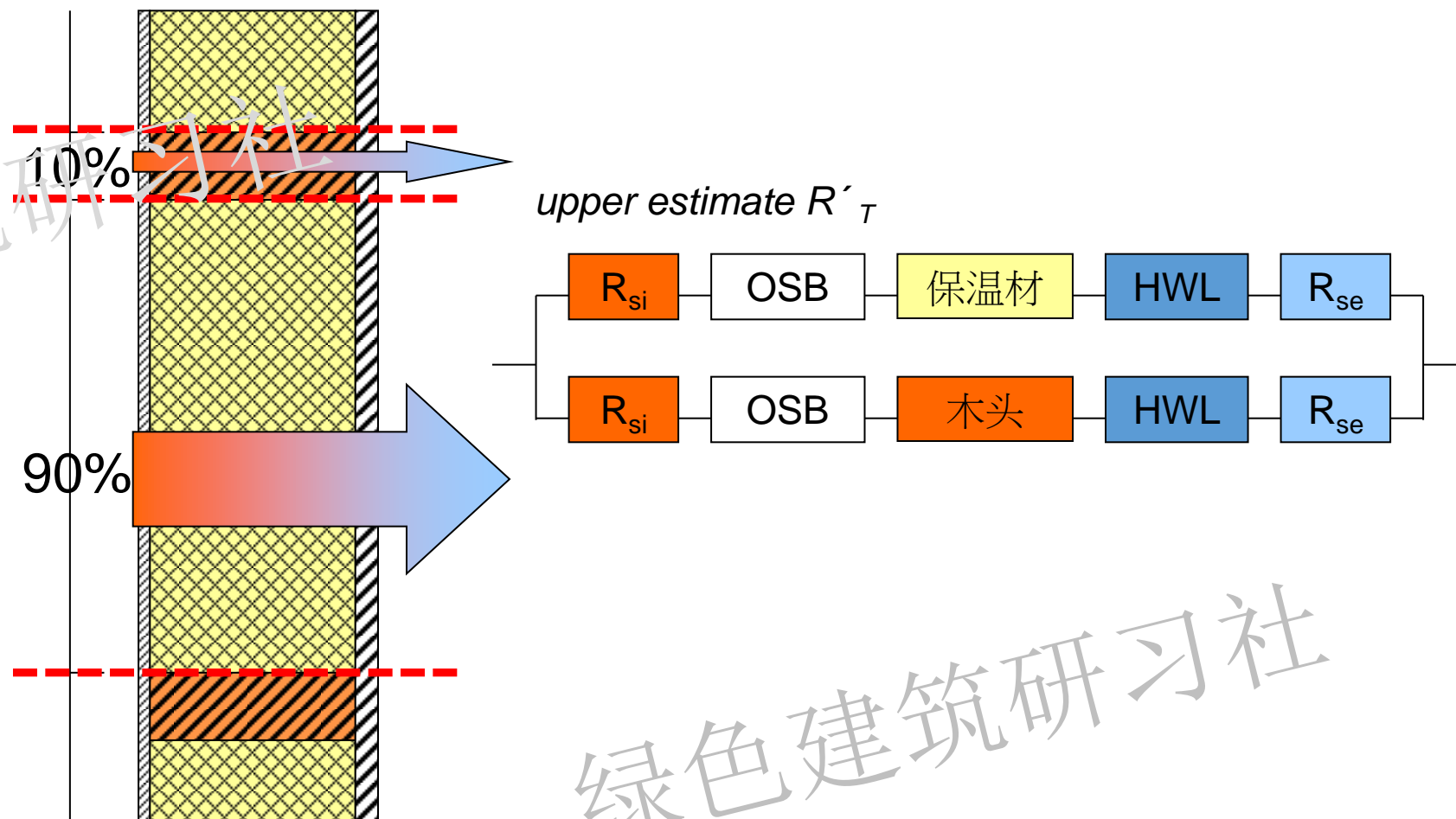


lower estimate R''_T



引言: 建筑围护结构 - 构造

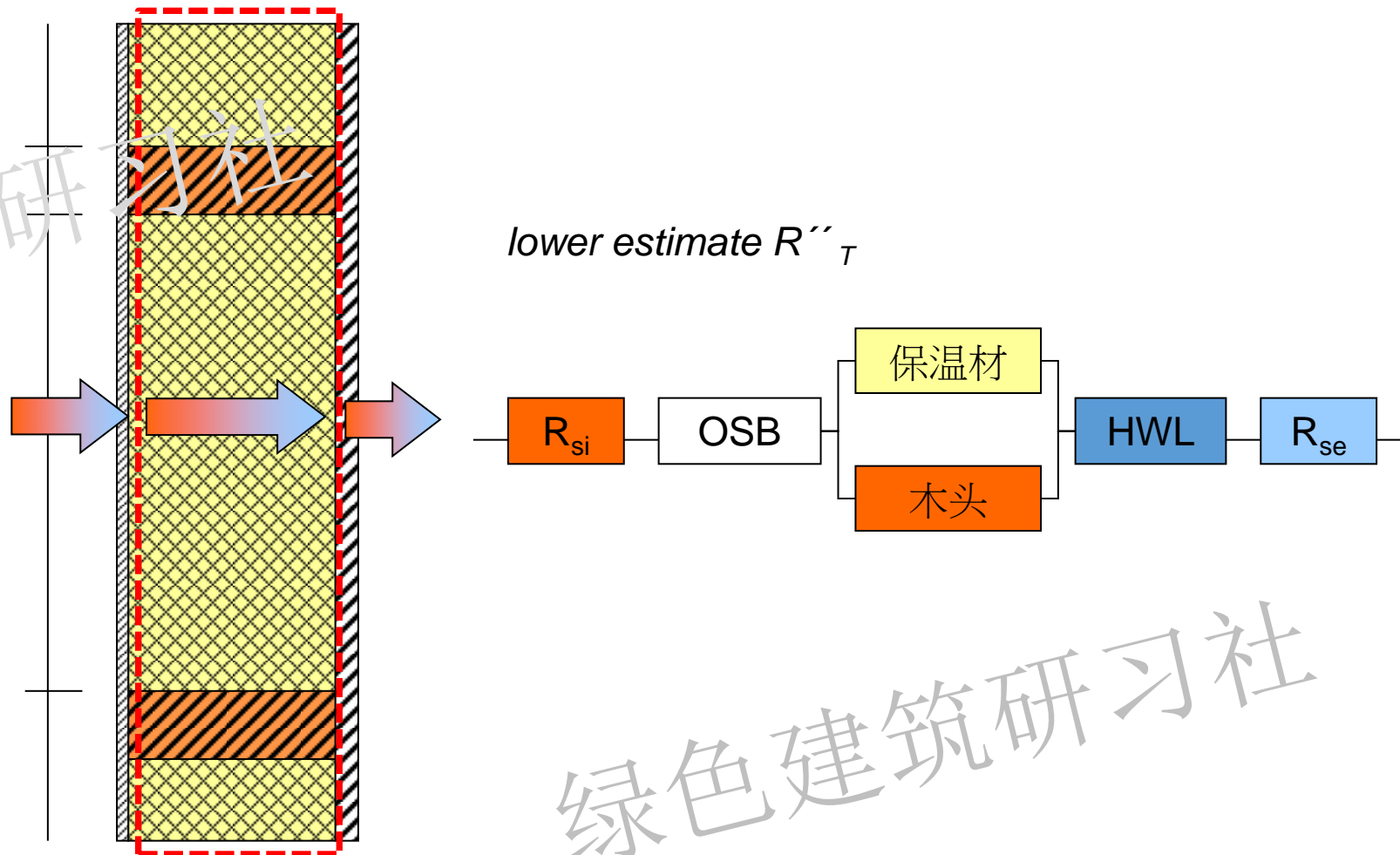
非匀称的建筑构件其U-值计算(DIN EN ISO 6946)



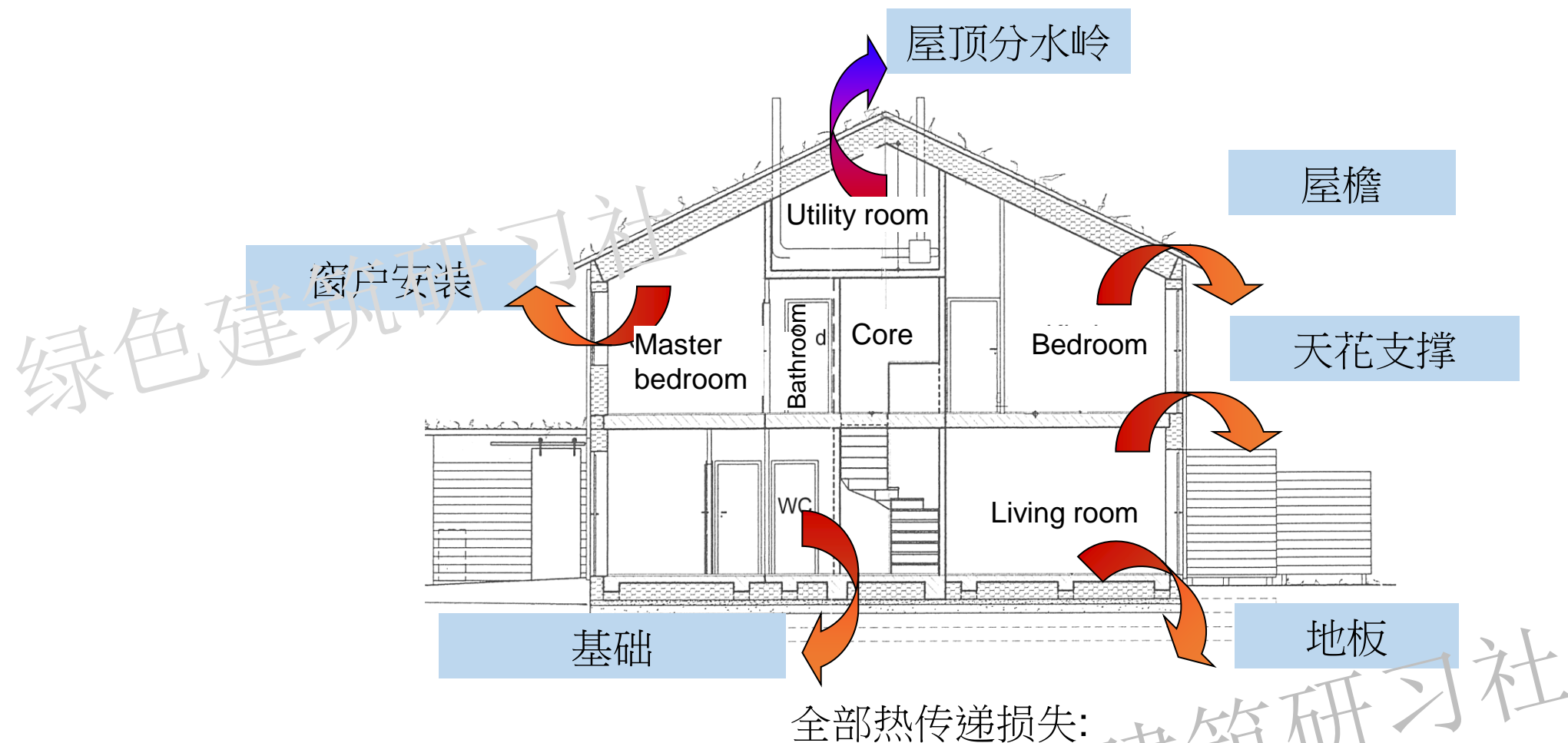
来源: PHI/PHD Vertiefungsseminar: Passivhaus Gebäudehülle – opake Bauteile

引言: 建筑围护结构 - 构造

非匀称的建筑构件其U-值计算(DIN EN ISO 6946)



建筑外围护结构：热桥现象



$$Q_T = \text{Sum} (U * A + \Psi * l + X) * \Theta$$

建筑外围护结构：热桥计算 依照 DIN EN ISO 10211

$$Q_{1D} = A_1 * U_1 * \Delta T_1 + A_2 * U_2 * \Delta T_2$$

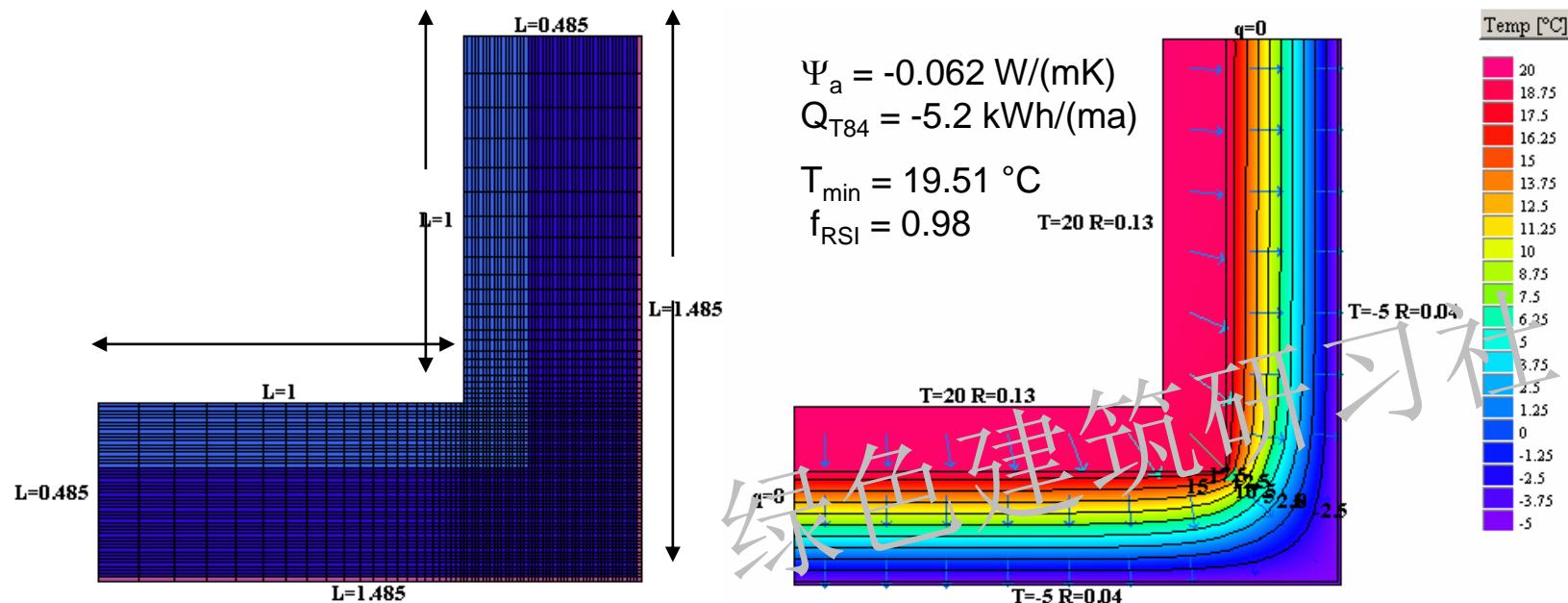
范例: $U_1=U_2 = 1/(0.13+0.175/2.3+0.3/0.04+0.01/1+0.04)=0.129 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$$Q_{2D} = A_1 * U_1 * \Delta T_1 + A_2 * U_2 * \Delta T_2 + \Psi * l * \Delta T_{\max(1.2)}$$

范例: $Q_{2D} = 8.0275 \text{ W/m}$ as per HEAT2-6.0

$$\Psi = (Q_{2D} - A_1 * U_1 * \Delta T - A_2 * U_2 * \Delta T) / l / \Delta T_{\max(1.2)}$$

范例: $\Psi_a = (8.0275 - 0.129 * 1.485 * 2 * 25) \text{ W/K} / 1 \text{ m} / 25 \text{ K} = -0.062 \text{ W}/(\text{mK})$



建筑外围护结构：热桥计算 依照 DIN EN ISO 102110

$$Q_{1D} = A_1 * U_1 * \Delta T_1 + A_2 * U_2 * \Delta T_2$$

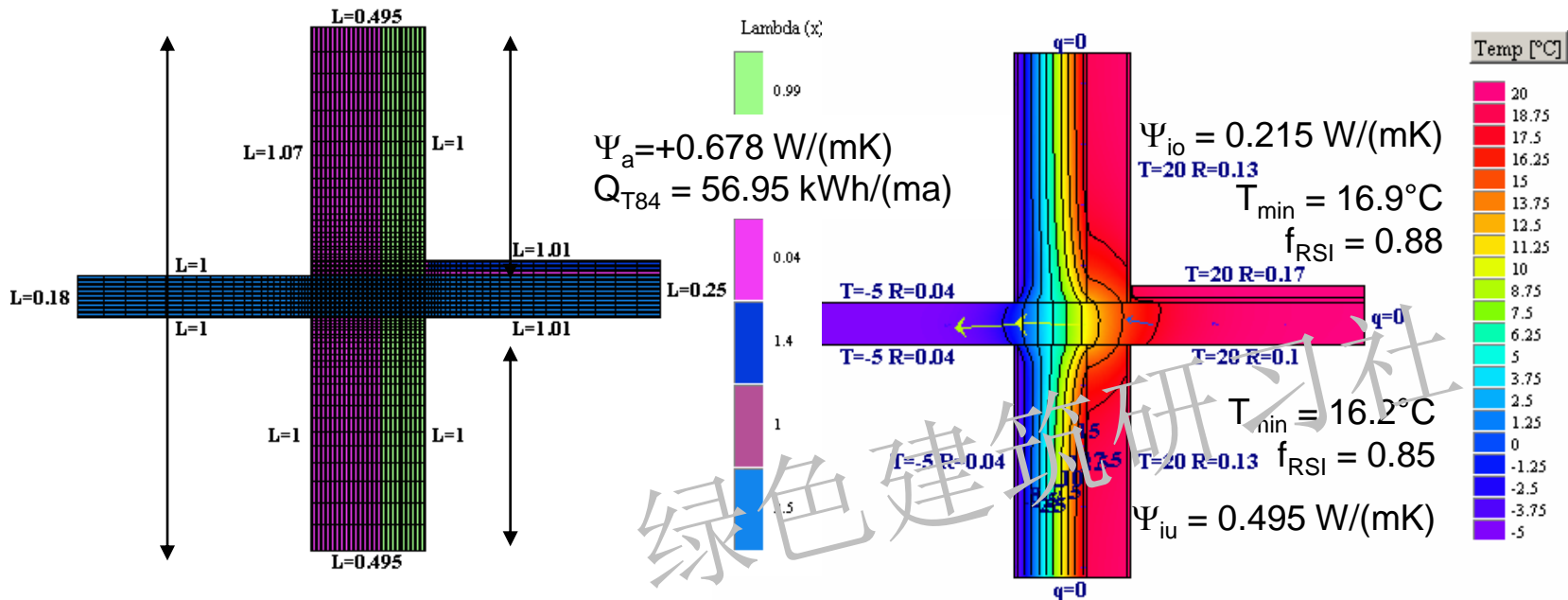
$$U_1=U_2=1/(0.13+0.01/0.35+0.175/0.99+0.3/0.04+0.01/1+0.04) \text{ W/m}^2/\text{K} = 0.127 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$Q_{2D} = A_1 * U_1 * \Delta T_1 + A_2 * U_2 * \Delta T_2 + \Psi * I * \Delta T_{\max(1,2)}$$

范例: $Q_{2D} = 24.083 \text{ W/m}$ as per HEAT2-6.0

$$\Psi = (Q_{2D} - A_1 * U_1 * \Delta T - A_2 * U_2 * \Delta T) / I / \Delta T_{\max(1.2)}$$

范例: $\Psi_a = (24.083 - 0.127 \cdot 2.25 \cdot 25) \text{ W} / 1 \text{ m} / 25 \text{ K} = +0.678 \text{ W}/(\text{mK})$



建筑外围护结构：窗户U_w值计算

U-value of window, U_w [W/m²K]

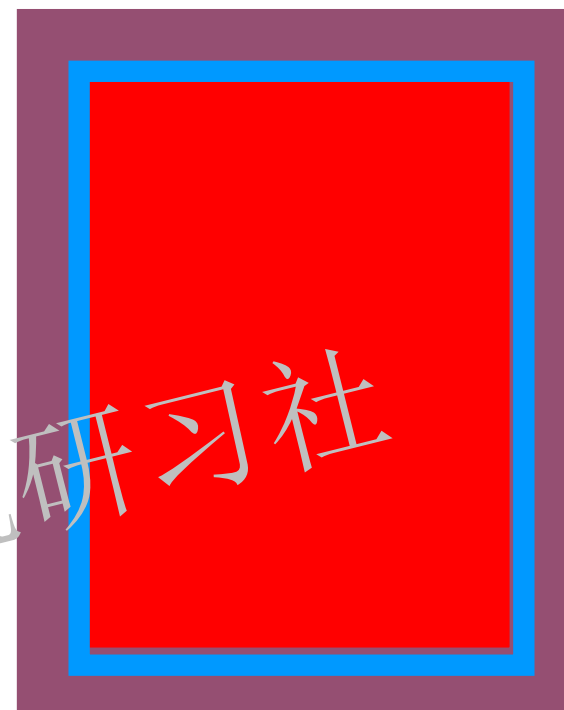
$$(U_g \times A_g) + (U_f \times A_f) + (\Psi_{\text{spacer}} \times I_{\text{spacer}})$$

$$A_g + A_f (= A_w)$$

<0.80 W/m²K

Tip

$$A_f = A_w - A_g$$



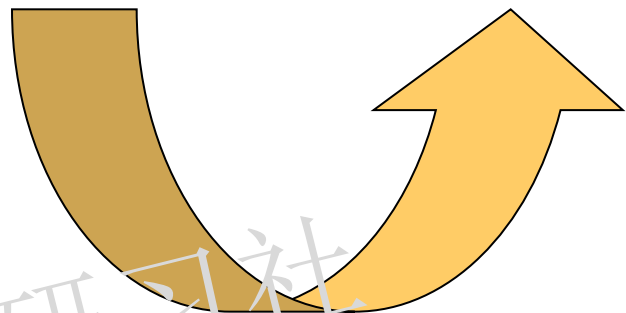
建筑外围护结构：窗户U_w安装值计算

$$U_{w\text{安装}} = \frac{U_g * A_{\text{glass}} + U_f * A_{\text{frame}} + \Psi_{\text{spacer}} * L_{\text{glass}} + \Psi_{\text{installed}} * L_{\text{installed}}}{A_{\text{window}}}$$

Ψ 线性热桥 [W/(mK)]

Ψ 的数值不仅和材质有关系，也和装框的设计和安装有关系

通风换气热损失计算



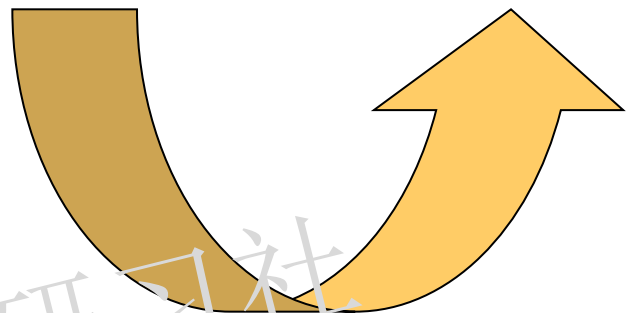
风量 * 等效换气率 * 比热容(空气) * 热时段

$$Q_v = V * n_{\text{equiv.}} * c_p \rho * G_t$$

等效换气率(指那些无法透过热回收所保持的热)

= 可控制通风(与换气量和热回收相关)+泄漏(只能从气密改善)

通风换气热损失计算



风量 * 等效换气率 * 热容量(空气) * 热度时

$$Q_V = V_V * n_{\text{equiv.}} * c_p \rho * G_t$$

$$390 \text{ m}^3 * 0.054 \text{ h}^{-1} * 0.33 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) * 84.0 \text{ kWh/a}$$

$$= 585 \text{ kWh/a}$$

通风换气热损失计算 - 实际上如何求得 $n_{\text{equiv.}}$?

可控制通风

+ 泄漏

绿色建筑研习社

$$n_{\text{equiv.}} = n_{v,\text{unit}} (1 - \eta_{\text{HR}}) \cdot (1 - \eta_{\text{SHX}}) + n_{L,\text{rest}}$$

每小时换气率

设备热交换效率

Subsoil 热交换效率

泄漏率

绿色建筑研习社

通风换气热损失计算 – 那么 $n_{L,rest}$ 该如何求得?

$$n_{L,rest} = e \cdot n_{50} \cdot V_{n50} / V_v$$

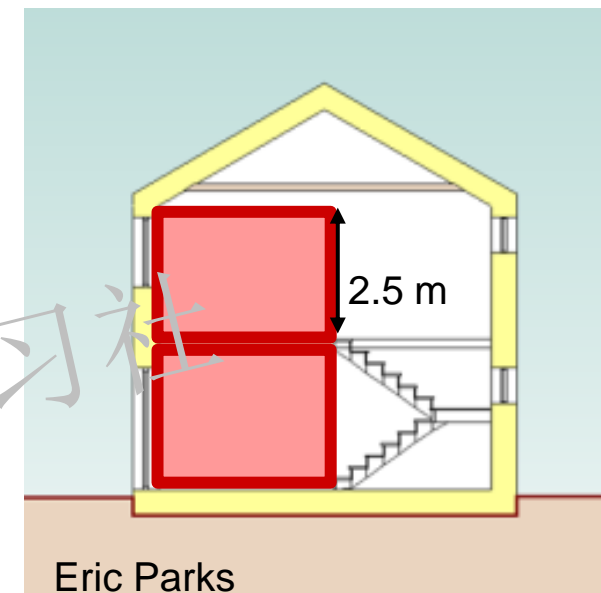
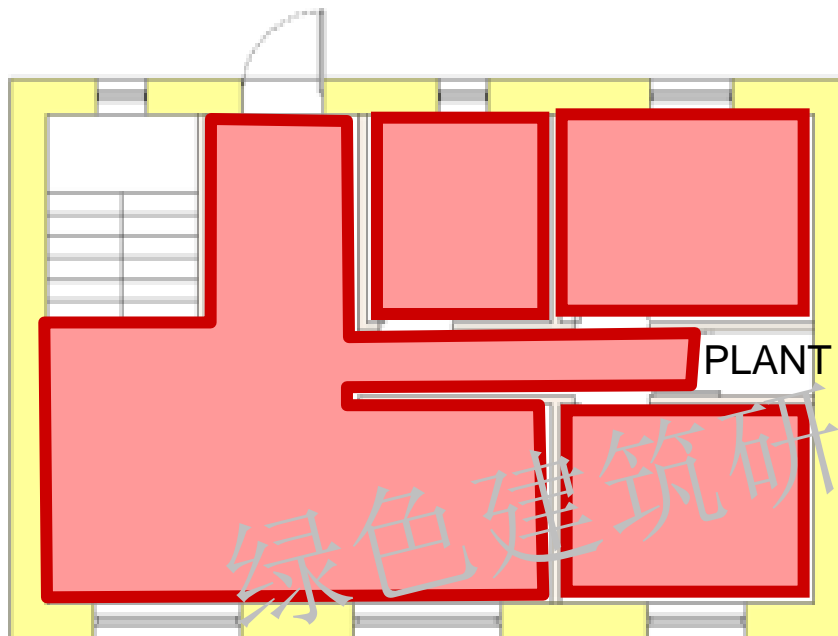
e shelter factor (通常为 0.07)

n_{50} 是@50Pa,空气替换率或泄漏率(1/h) (≤ 0.6 被动房目标)

V_{n50} 是@50Pa, 受测的体积 (建筑室内空气体积)

V_v 是基于TFA [m^2] x room height [m] (max 2.5m)的
空气换气体积

$V_v = \text{TFA} [m^2] \times \text{room height} [m]$
(max 2.5m)



通风换气热损失计算 - n_{50} 如何计算?

在一个室内净空间体积为500立方米的被动式房屋中, 以压力差测量为50帕时, 假使空气流动率为420立方米 /小时。对于被动房屋的规范是否达成要求: $n_{50} < 0.6 \text{ 1/h}$

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V_{n50}}$$

计算:

$$\frac{\text{测得的空气流通率}}{\text{室内净空间体积}} = \frac{420 \text{ m}^3/\text{h}}{500 \text{ m}^3} = \mathbf{0,84 \text{ 1/h} (n_{50})} (> 0,6 \text{ 1/h} \text{ 不符合被动房要求})$$

通风换气热损失计算 - n_{50} 如何计算?

在一个室内净空间体积为**500**立方米的被动式房屋中: 在**50**帕的压力差测试中, 为不超过 **0.6** 空气替换率/小时, 最大允许空气流量的极限不可超过?

$$V_{50} = V_{n50} \times n_{50}$$

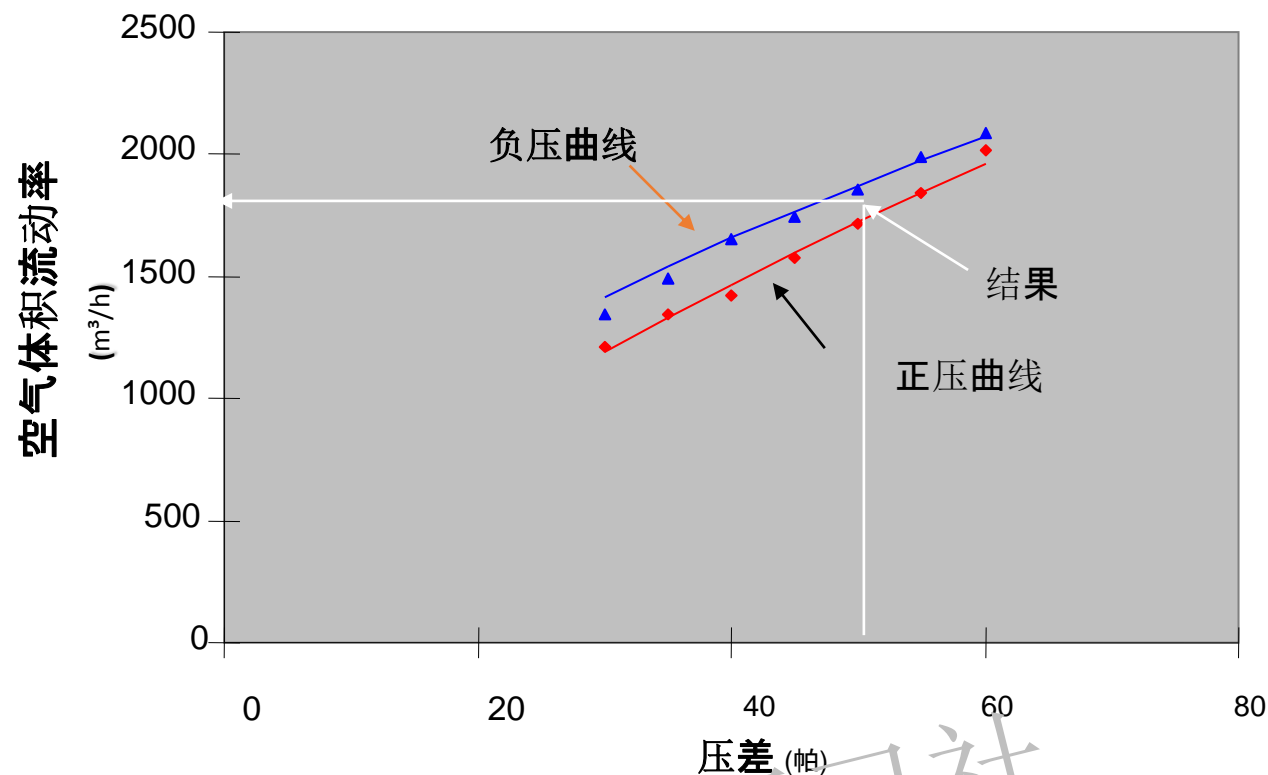
计算: $500 \text{ m}^3 \times 0.6 \text{ 1/h} = \mathbf{300 \text{ m}^3/\text{h}}$

绿色建筑研习社

更多关于渗风&泄漏: 压力修正

压差 vs. 空气体积流动率等式:

$$\dot{V} = k p^n$$



Where:

\dot{V} 压差下的空气体积流动率 [m³/h]

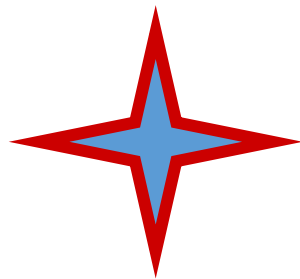
p 压差 [帕]

k 空气泄漏系数

n 流动指数 (指数 n 会介于 0.5 (turbulent flow, small cracks) 和 1.0 (laminar flow, hole) 之间, 一般平均为 0.65。一般简化下会假定 $n = 1$ 对大部分的案例。)

渗风&泄漏的等效面积

$$A_{50} \approx \frac{\dot{V}_{50}}{2}$$



- 可视化的简便方法：

- A_{50} 是相当于通过建筑外壳的孔大小(cm^2)

- 引此如果 $n_{50} = 0.34 \text{ [1/h]}$, $V_{n50} = 210 \text{ [m}^3\text{]}$, $n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V_{n50}}$
- 压差检测在50 帕下的空气体积流动率 $\dot{V}_{50} = 0.34 \times 210 = 71.4 \text{ m}^3/\text{h}$

- 因此 $A_{50} = 71.4 / 2 = 36 \text{ cm}^2$

热得 - 太阳辐射热得

$$Q_s = r * g * A_w * G$$

r: 窗框所占比例、遮阳、灰尘和辐射的入射角等会造成的衰减系数

g: 垂直太阳辐射穿过玻璃窗的总透射率

G: 在供暖时期天体的热辐射 (气候工作表)

Horizontal Shading Reduction Factor	Reveal Shading Reduction Factor	Overhang Shading Reduction Factor	Total Shading Reduction Factor
%	%	%	%
r _H	r _R	r _O	r _s
72%	94%	36%	24%
100%	95%	86%	82%
86%	88%	85%	64%
100%	93%	96%	90%
74%	87%	97%	62%



热得 - 太阳辐射热得



$$Q_s = r * g * A * G$$

(折减系数 * g-值 * 窗户面积 * 总辐射)

$$\begin{aligned} &0.44 * 0.50 * 30,42 \text{ m}^2 * 370 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \\ &= 2489 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

绿色建筑研习社

热得 - 内部热得



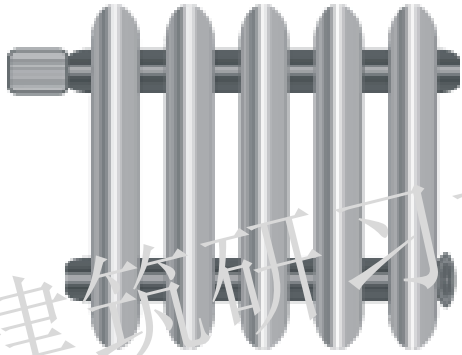
供暖期时间长度 * 具体室内热得 * 实际居住面积

$$Q_i = t_{\text{Heat}} * q_i * A_{\text{TFA}}$$

$$\begin{aligned} &0.024 \text{ kh/d} * 225 \text{ d/a} * 2.1 \text{ W/m}^2 * 156.0 \text{ m}^2 \\ &= 1769 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

绿色建筑研习社

暖通需求:依照整年度的计算过程



剩余差额 = 热传递 + 通风换气 - η * (太阳辐射热+ 室内热得)

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta^*(Q_S + Q_I)$$

$$29.5 + 3.8 - 0.97 * (8.8 + 10.3) = 14.7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

(η : 利用係數)

绿色建筑研习社

整年度热平衡的公式

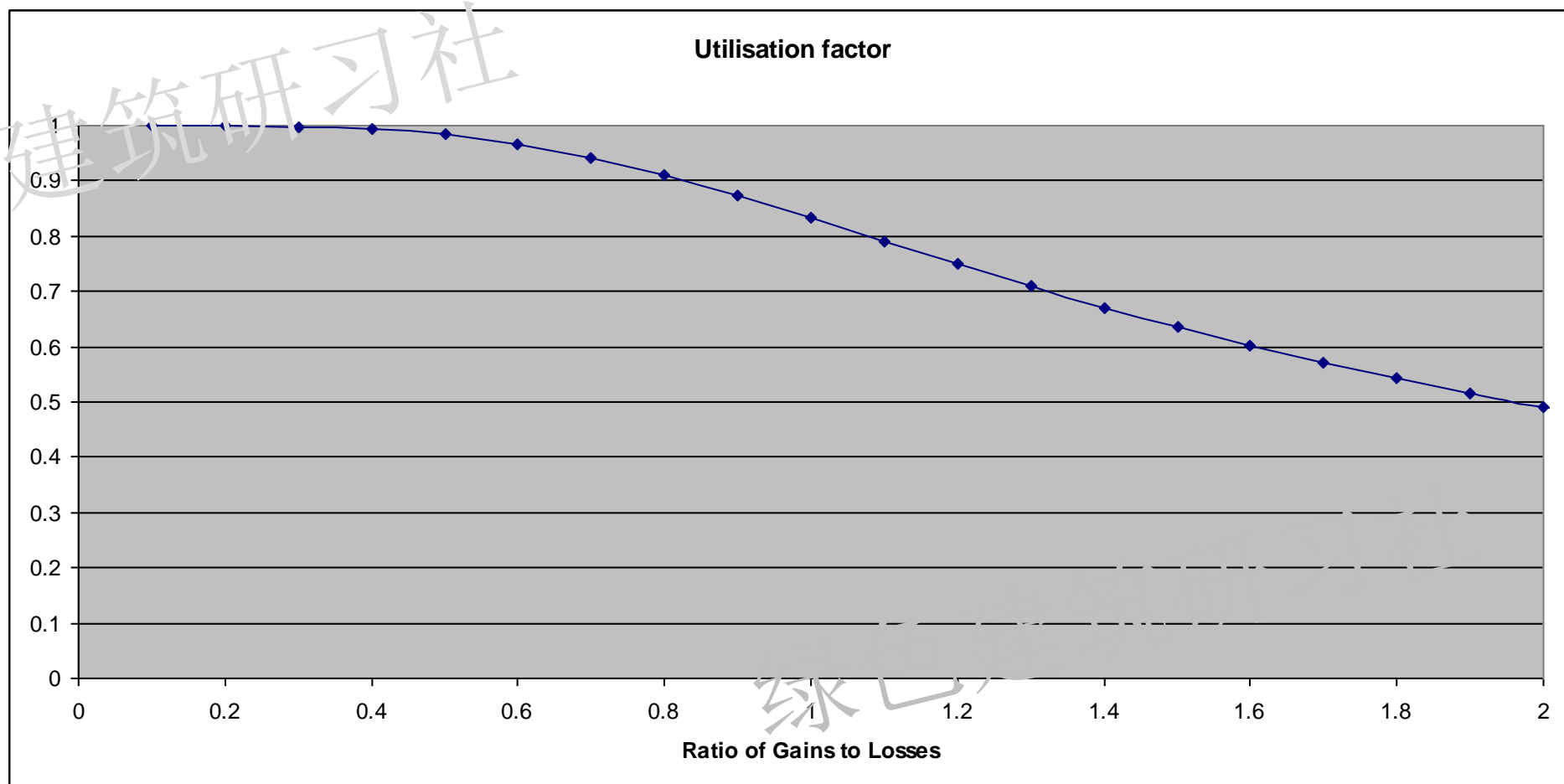
- 免费的热得 $Q_F = \text{太阳热得 } Q_S + \text{室内热得 } Q_i$ [kWh/yr]
- $Q_S = r \times g \times A_W \times G$ 所有窗户的加总
- $Q_i = q_i \times \text{采暖时期天数} \times \text{TFA} \times 24 \text{ hours} / 1000$ [kWh/yr]
- 可用的热得 $Q_G = Q_F \times \eta$ 其中 η 是一个利用系数
- 整年度热的需求 $Q_H = \text{整年度热损失 } Q_L - \text{可用的热得 } Q_G$
- $Q_L = \text{热传递损失(建筑外围护系统损失) } Q_T + \text{通风热损失 } Q_v$

(q_i 是室内热得的平均数(来自人、灯、设备)，以Watts/m² 作单位—对住宅类来说数值是固定的 2.1 W/m²)

利用系数

- 室内和太阳热得
- 利用系数

$$\eta = \frac{1 - (Q_F / Q_L)^5}{1 - (Q_F / Q_L)^6}$$



表面温度计算

室内表面温度可决定舒适的程度和发生霉菌的风险。

$$\Theta_{si} = \Theta_i - U * R_{si} * (\Theta_i - \Theta_e)$$

Θ_{si} 室内表面温度

Θ_i 房间温度

Θ_e 外部温度

U 构造的U-值

R_{si} 内部表面的热阻

范例 ($R_{si} = 0.13 (m^2K)/W$; $\Theta_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_e = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$):

1. 原本建筑物的墙体: $U = 1.6\text{ W}/(m^2K)$

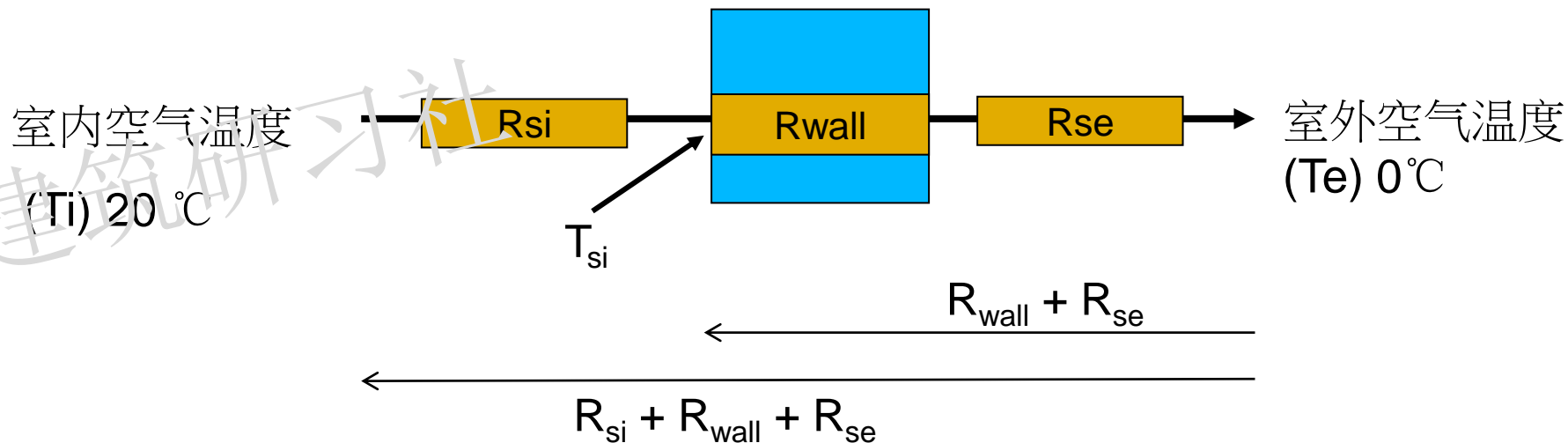
2. 新建筑物的墙体: $U = 0.3\text{ W}/(m^2K)$

3. 复层玻璃: $U_g = 1.2\text{ W}/(m^2K)$

表面温度计算

表面温度可以透过U值的计算和表面的热阻求得:

$$R_t = R_{si} + R_{wall} + R_{se} = 1/U$$



$$F_{rsi} = (R_{wall} + R_{se}) / (R_{si} + R_{wall} + R_{se})$$

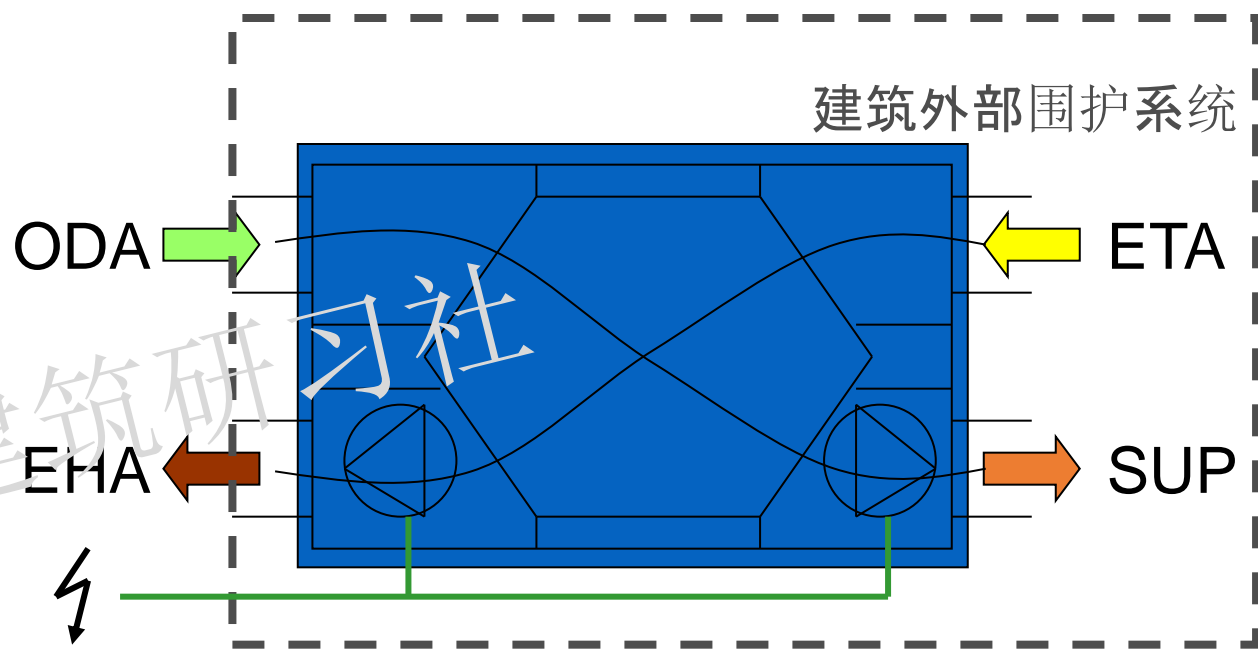
$$F_{rsi} = (R_t - R_{si}) / R_t$$

$$\text{If } U = 1/R_t, \quad F_{rsi} = 1 - R_{si} * U$$

$$T_{si} = T_e + F_{rsi} \times (T_i - T_e) [^\circ \text{C}]$$

室内表面屋度系数以**Frsi** 表示，它的值以英国气候条件必须高于**0.75**，才可避免黑霉菌的产生,但PHI 则建议高于**0.8**

新风机热回收效率计算:



范例:

$$V = 120 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\vartheta_{\text{SUP}} = 18.2^\circ \text{ C}$$

$$\vartheta_{\text{ETA}} = 20.0^\circ \text{ C}$$

$$\vartheta_{\text{ODA}} = 4.0^\circ \text{ C}$$

$$\vartheta_{\text{EHA}} = 8.5^\circ \text{ C}$$

$$P_{\text{el}} = 37 \text{ W}$$

根据 PHI: correct boundary

$$\eta_{\text{HR}} = \frac{\vartheta_{\text{ETA}} - \vartheta_{\text{EHA}} + P_{\text{el}} / (\dot{m} c_p)}{\vartheta_{\text{ETA}} - \vartheta_{\text{ODA}}}$$

$$\eta_{\text{HR}} = \frac{20.0 - 8.5 + 37 / (120 \cdot 0.33)}{(20.0 - 4.0)} = 77.7\%$$

电器效率 η_{el} :

$$37 \text{ W} / 120 \text{ m}^3/\text{h} = 0.31 \text{ Wh/m}^3$$

新风机热回收平衡點公式：

- 试想 1 m³/h 的空气进入具有85%热回收效率(η_{HR})的MVHR 单元，因热回收后所保存的能量计算公式如下

$$P_{HR} = \eta_{HR} \cdot \dot{V} \cdot c \cdot \Delta T$$

- 假使温度差异有20 K, 那么有多少能量可由空气经由热回收后所保存?

$$\begin{aligned} P_{HR} [\text{W}] &= \eta_{HR} [\%] \times V [\text{m}^3/\text{h}] \times c [\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}] \times \Delta T [\text{K}] \\ &= 0.85 \quad \times 1 \quad \times 0.33 \quad \times 20 = \mathbf{5.61 \text{ W}} \end{aligned}$$

新风机热回收平衡点公式:

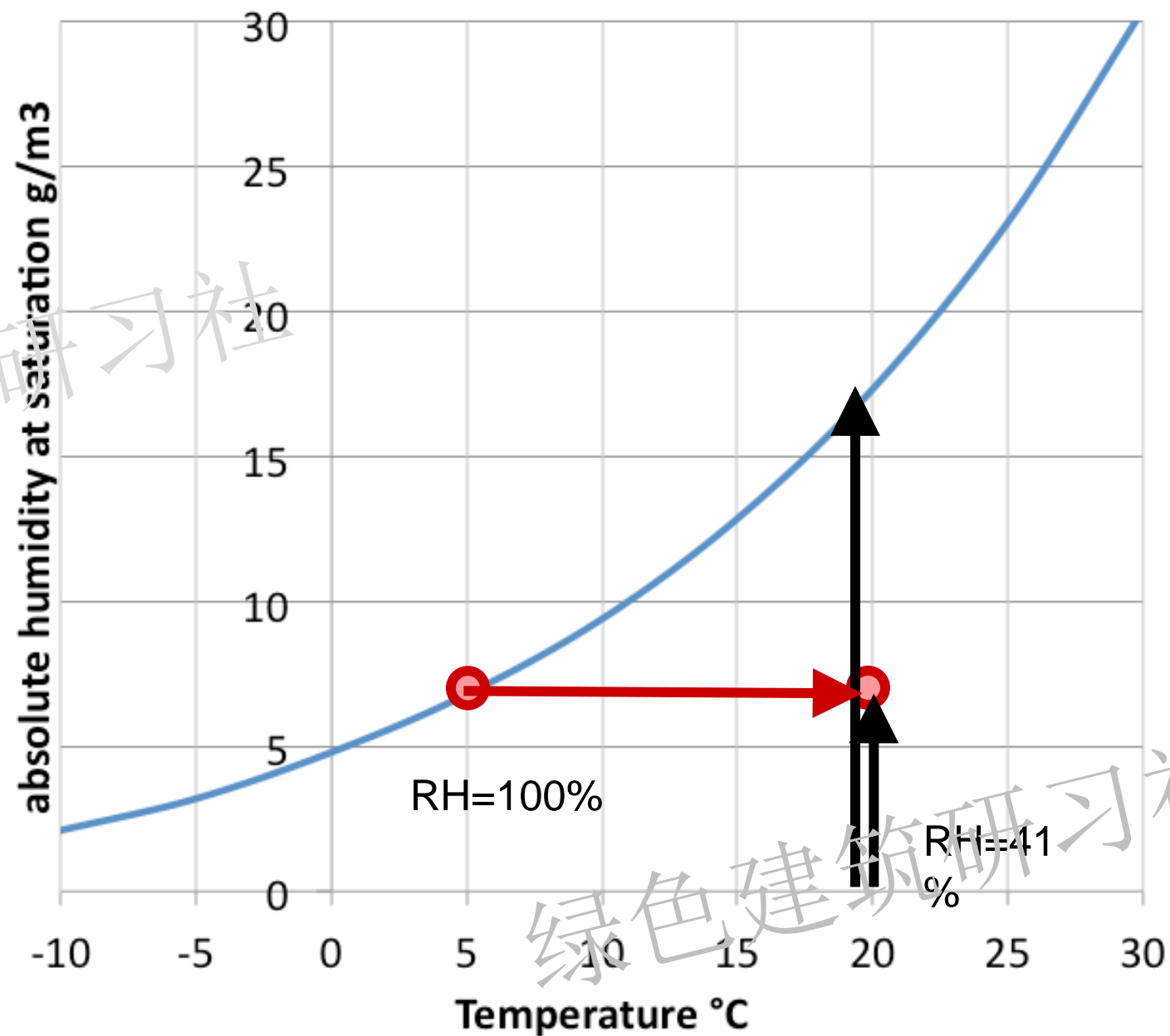
- 试想 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 的空气进入具有85%热回收效率(η_{HR})的MVHR 单元
- 如果具体的风扇功率(η_{el})为 $0.36 \text{ Wh}/\text{m}^3$, 那么MVHR单元的功率

$$P_{\text{el}} = \eta_{\text{el}} \cdot \dot{V}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{el}} [\text{W}] &= \eta_{\text{el}} [\text{Wh}/\text{m}^3] \times V [\text{m}^3/\text{h}] \\ &= 0.36 \quad \times 1 = \mathbf{0.36 \text{ W}} \end{aligned}$$

- 还记得刚刚计算空气经由热回收后所保存的能量为 5.61 W , 从这可以告诉我们有关MVHR单元的什么信息?

随着不同温度空气所能承载的含水量

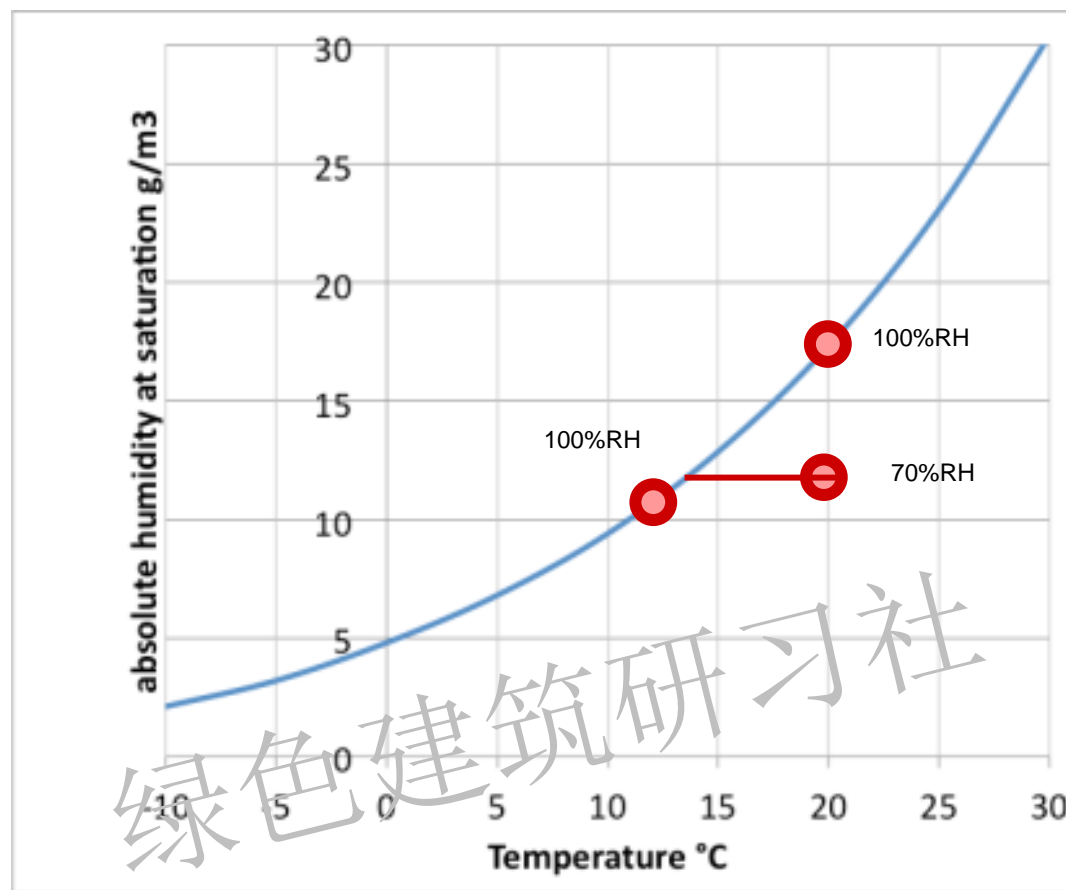


室内表面结露

- 表层结露发生在当室内空气与和较低温度的墙体表面接触，是因为较低温度空气的保持水分能力较低，故产生结露现象。

- 范例:
- 空气在20°C且 70% RH
- 当被冷却至12°C.
- 会发生什么现象?

在大约13° C時他达到100% RH, 所以从这开始产生结露



室内表面结露

- 因为冷却而造成结露的温度点称为露点温度。故重要的是要使所有室内表面保持高于露点温度，才得以避免表面凝结。

- 这可以透过说明只要 f_{rsi} 值高于80%来简化:

$$f_{rsi} = (T_{SURFACE} - T_{OUT}) / (T_{IN} - T_{OUT})$$

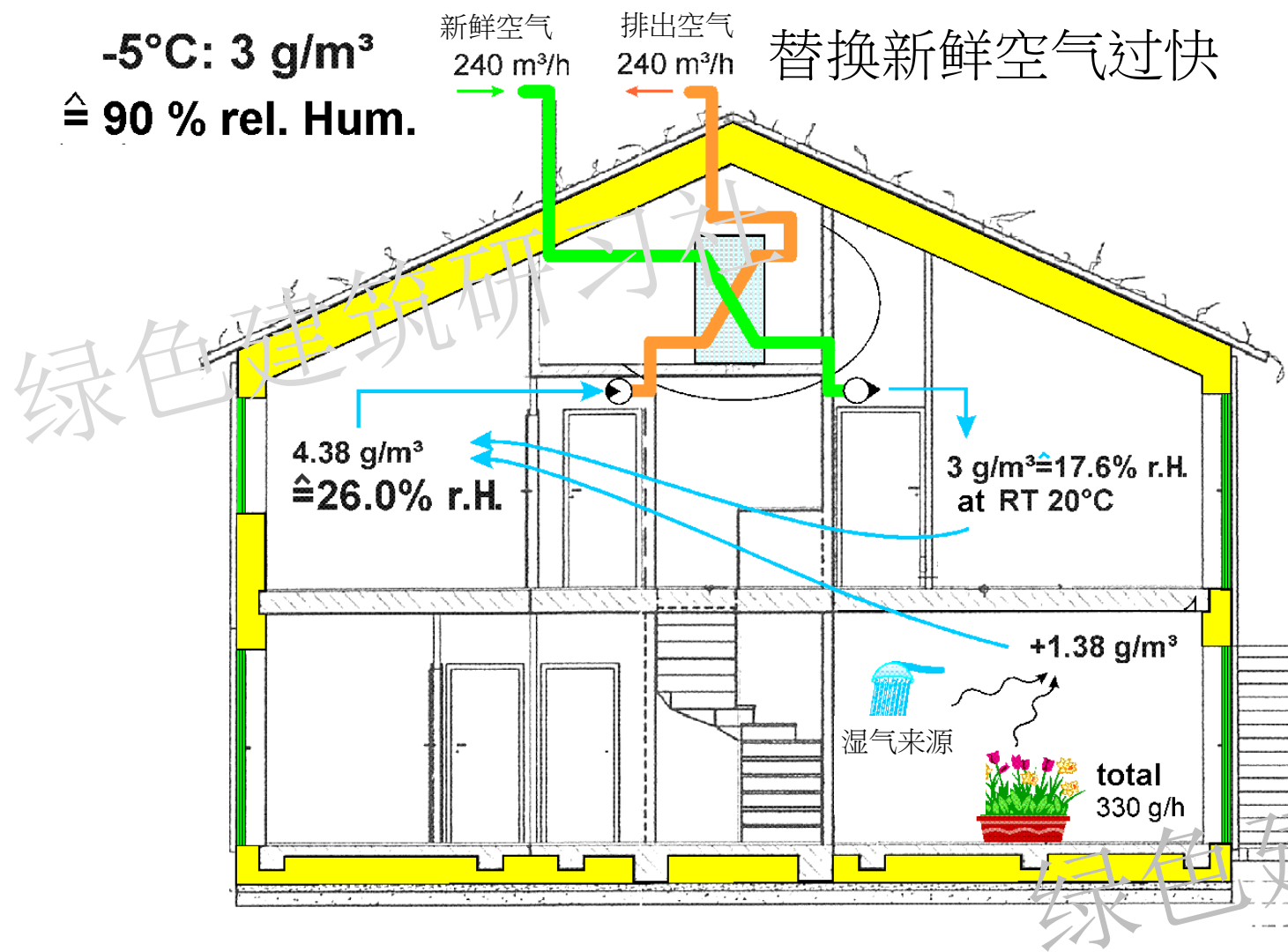
或

$$T_{SURFACE} = T_{OUT} + f_{rsi} \times (T_{IN} - T_{OUT})$$

- 假设室内20°C、室外0°C，室内表面温度至少

$$T_{si} = T_{OUT} + f_{rsi} \times (T_{IN} - T_{OUT}) = 0 + 0.8 \times (20 - 0) = 16^{\circ}\text{C}$$

在冬天空气替换过高 – 室内太过干燥



■ 1. 室外空气的绝对湿度为 -5 °C 和 90 % 的相对湿度为 $90 \% \times 3.2 \text{ g/m}^3 = 3 \text{ g/m}^3$

■ 2. 当以 240 m³/h 供应新鲜空气给建筑内部, 这相当于供给 $3 \times 240 = 720 \text{ g/h}$

■ 3. 如果室内湿度平均源 $720 + 330 = 1050 \text{ g/h}$, 故室内空气湿度为 $1050 / 240 = 4.375 \text{ g/m}^3$

■ 4. 因此相对湿度 $\phi' = (4.38 \text{ g/m}^3) / (17.3 \text{ g/m}^3) = 26 \%$ 。

CO₂ 作为室内空气质量IAQ的指标

- CO₂作为一般的室内空气质量（IAQ）监测，因为CO₂排放直接和居住状况相关，因此CO₂可以直接作为空气质量的指标进行测定。
- 人体产生的二氧化碳约12 – 24 升/时.人。如果我们取了一个平均值18 升/时.人 [0.018 立方米/时.人]，那当换气量来到30 立方米/时，CO₂的浓度会高于周边环境多少？

$$CO_2(ppm \text{ above ambient}) = \frac{m^3/h \text{ CO}_2}{m^3/h \text{ vent air}} \times 10^6$$

- 浓度上升=二氧化碳排放量/新风量
- $= 0.018 (m^3/h.p) / 30 (m^3/h) = 0.0006$
- $CO_2 \text{ 浓度升高 } 0.0006 \times 10^6 = 600 \text{ ppm}$
- 外部环境浓度通常为400ppm(实际依照位置不同而有所不同)，因此600ppm的上升将会导致浓度来到绝对值1000ppm。

经济性

现值因子 F_{PV} : 将未来(n年)一连续的支出(年金)转换为现在的价值，P为利率

$$F_{PV} = \frac{1 - (1 + p)^{-n}}{p}$$

p = 利率，比如 p = 0.06 = 6% interest, n = 时间(比如:年)

净现值(Present value) = 年金 * 现值因子(F_{PV})

Fpv		interest rate	1.0%	1.5%	2.0%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	10%
		p 0.0%										
years n	4	4.0	3.9	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.5	3.4	3.3	3.2
	10	10.0	9.5	9.2	9.0	8.5	8.1	7.7	7.4	7.0	6.7	6.1
	15	15.0	13.9	13.3	12.8	11.9	11.1	10.4	9.7	9.1	8.6	7.6
	20	20.0	18.0	17.2	16.4	14.9	13.6	12.5	11.5	10.5	9.8	8.5
	25	25.0	22.0	20.7	19.5	17.4	15.6	14.1	12.3	11.7	10.7	9.1
	30	30.0	25.8	24.0	22.4	19.6	17.3	15.4	13.8	12.4	11.3	9.4
	40	40.0	32.8	29.9	27.4	23.1	19.8	17.2	15.0	13.3	11.9	9.8
	50	50.0	39.2	35.0	31.4	25.7	21.5	18.3	15.8	13.8	12.2	9.9
	80	80.0	54.9	46.4	39.7	30.2	23.9	19.6	16.5	14.2	12.5	10.0

你现在准备一个3年的偿还贷款，假设你每年能够支付500€，并且于2010年1月1日起以3.5%的借款利率来计算，那你可以负担的起多少的借款？

年	量	贴现因子	现值 K 的支出
1	500€	$(1+0.035)^{-1} = 0.966$	$K_1 = 500€ * 0.966 = 483 €$
2	500€	$(1+0.035)^{-2} = 0.934$	$K_2 = 500€ * 0.934 = 467 €$
3	500€	$(1+0.035)^{-3} = 0.902$	$K_3 = 500€ * 0.902 = 451 €$

K_1, K_2 和 K_3 的现值加总起来为 1,401€.

个别贴现因子的总和等于净现值的因子

时间	量	现值因子	现值的支出
3 years	500€	$=0.966 + 0.934 + 0.902 = 2.802$	$=500€ * 2.802 = 1,401 €$

$$\frac{1 - (1 + p)^{-n}}{p}$$

加总贴现因子 = 现值因子

$p=3.5\%$, $n=3$ 年:

$$\frac{1 - (1 + 0.035)^{-3}}{0.035} = 2.802$$

3 次500€偿还的现值 = 1,401 € (可以负担的借款)

年金因子annuity factor

年金A(annuity)：每年需支出多少年金来支付贷款

或如果已花费某项投资K，每年的年金支付有多高，才可以在未来(n年)将借款还清？

$$\text{年金因子(annuity factor)} = \frac{1}{F_{PV}} = \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}}$$

$$\text{年金A(annuity)} = \text{贷款} * 1 / F_{pv}$$

绿色建筑研习社

你申请了3,000€的四年偿还贷款，且借款利率为3.5%，透过这些钱，你要做些房子小的修缮工作。

请问每年的年金支付有多高？也就是说在你将修缮工作处置完后四年，每年年底需要持续多少的支出？

$$A = K \cdot \frac{1 - (1 + p)^{-n}}{p} = K \cdot \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}}$$

$$A = 3.000\text{€} \cdot \frac{0.035}{1 - (1 + 0.035)^{-4}} = 816.75\text{€}$$

计算通膨后实际上的利率

$$p_{\text{real}} = \frac{1 + p_{\text{nominal}}}{1 + i} - 1$$

P_{nominal} = 名义上的利率

p_{real} = 实际上的利率

i = 通货膨胀

i = inflation factor = inflation rate/100 (i.e. 6% = 0.06)

P_{real} = 实际上的利率

P_{nominal} = 名义上的利率

补充: 对于较低的通货膨胀, 实际上的利率 $P_{\text{real}} \approx$ 名义上的利率 $P_{\text{nominal}} -$ 通货膨胀

名义上的利率是 7.5%，那在通货膨胀率在4%的情况下，实际上的利率是多少？

$$p_{\text{real}} = \frac{1 + p_{\text{nominal}}}{1 + i} - 1$$

$$p_{\text{real}} = \frac{1 + 0,075}{1 + 0,04} - 1 = 0.034 = 3.4\%$$

在低通货膨胀率和利率的情况下，结果是很接近的：

$$p_{\text{real}} = p_{\text{nominal}} - i$$

$$p_{\text{real}} = 0.075 - 0.04 = 0.035 = 3.5\%$$

剩余价值率

剩余价值率(F_{rv}) 指的是投资后经过 n 年后所残余的价值，假设有一个固定的建筑物寿命 x 年和名义上的利率 p :

$$F_{rv} = 1 - F_{pv}(n)/F_{pv}(x)$$

当，

n 是指偿还利率期间的時間(年)。

x 是指建筑物的寿命(年)

p 是指利率

剩余价值率是指 n 年以后所残余的价值