严寒地区村镇住宅屋顶双层复合保温模式初探

李桂文[1],徐其态[1],方修睦[2]

(1. 哈尔滨工业大学 建筑学院,哈尔滨 150006,liguiwen@hit.edu.cn;
2. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院,哈尔滨 150090)

摘 要:针对严寒地区村镇住宅屋顶能耗现状和保温技术特点,并基于对目前严寒地区村镇住宅屋顶保温和节能目标的要求,提出了符合当代村镇住宅特征的屋顶上层与下层分设保温层的复合保温构造模式;阐述了该模式的设计理念及模式内涵,建立了该模式下的吊顶封闭空间热平衡数学模型,给出了不同保温层选材的厚度参考值.该模式的提出为我国严寒地区村镇住宅屋顶保温和节能设计提供了新的设计对策.

关键词:严寒地区;村镇住宅;屋顶双层复合保温;保温材料厚度

中图分类号:TU111.4+1 **文献标志码**:A **文章编号**:0367-6234(2010)10-1614-04

Double-layer composite roof insulation model of rural housing in severe cold region

LI Gui-wen[1], XU Qi-tai[1], FANG Xiu-mu[2]

(1. School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China, liguiwen@hit.edu.cn;
2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: According to the energy consumption status and roof insulation technical characteristics of rural housing in severe cold region, a double-layer composite roof insulation model for roof insulation and energy-saving is proposed, which adapts to the contemporary rural housing roof features. The design of the model is described; a mathematical model of heat balance of the enclosed space under the ceiling of the pattern is set up, and the thickness of different reference insulation materials is given. The model proposed is a new design for rural housing roof insulation and energy-saving in severe cold region.

Key words: severe cold region; rural housing; double-layer composite roof insulation; insulation material thickness

1 研究背景

1.1 村镇住宅能耗现状

长期以来,我国严寒地区村镇住宅能源消费水平居高不下,其中绝大部分是冬季采暖能耗.造成这种现象的主要原因是村镇住宅缺乏科学合理的保温设计理念和严格的保温设计控制,围护结构的传热系数太大,使得通过维护结构的传热耗热量远远大于城市住宅.以哈尔滨地区调查为例,冬季每家农户在仅使用一个居室的条件下采暖耗煤高达两吨以上,还不包括薪柴和秸秆.大量实态调查表明村镇住宅室内平均温度均在10 ℃左右,未达到基本的热舒适度要求.

1.2 传统屋顶保温技术特点

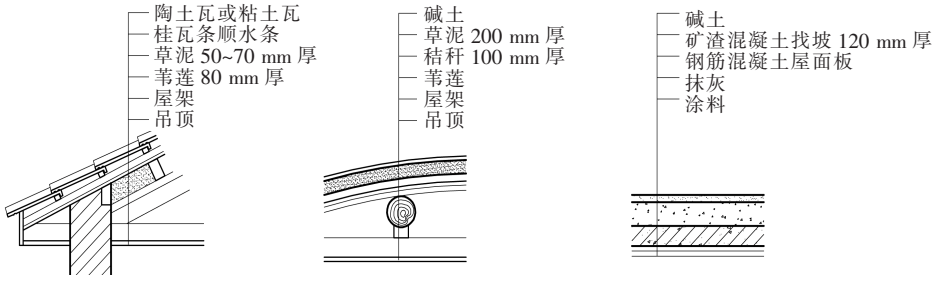
北方地区传统民居的屋顶按形态分有平顶(含单坡排水和双坡排水)、囤顶、坡屋顶等几种典型形态;按屋面材料分有瓦屋面、草屋面和碱土屋面等几种形式,构造多样,各种形式的屋顶都具有构造逻辑清晰、就地取材、因材致用的特点;常用屋顶保温材料有芦苇、秸秆、土、草泥等,都是当地乡土材料,制作工艺简单、可操作性强且保温效果好,但这些保温材料也存在耐候性差的缺点,需经常翻修;村镇住宅建设长期由村民自己动手建造,既无正规的建筑技术指导,也无针对村镇住宅

收稿日期:2010-03-28.
基金项目:国家"十一五"科技支撑计划子课题"严寒地区村镇住宅节能标准研究"(2008BAJ08B12).
作者简介:李桂文(1943—),女,教授,博士生导师.

的节能标准可依,传热系数往往达不到要求.

1.3　传统屋顶保温性能分析

通过对东北三省村镇住宅的实态调研和相关图集的分析,本文提取 3 种典型的屋顶形式作为分析对象,如图 1 所示.



(a)坡屋顶　　(b)囤顶　　(c)平屋顶

图 1　3 种典型屋顶构造示意图

3 种典型屋顶形式传热系数计算分析如下:

1) 坡屋顶

坡屋顶构造由内到外依次为:吊顶、屋架、苇莲(厚度 80 mm, λ =0.047 W/(m·K))、草泥(厚度 50~70 mm, λ =0.76 W/(m·K))、顺水条、挂瓦条、陶土瓦或粘土瓦,其中苇莲和草泥为保温层. 其传热系数为 0.60 W/(m^2·K)[1].

2) 囤顶

囤顶构造由内到外依次为:吊顶、屋架、苇莲、秸秆(厚度 100 mm, λ =0.047 W/(m·K))、草泥(厚度 200 mm, λ =0.76 W/(m·K))、碱土(防水层),其中秸秆和草泥为保温层. 其传热系数为 0.46 W/(m^2·K).

3) 平屋顶

平屋顶构造由内到外依次为:涂料、抹灰、钢筋混凝土屋面板(厚度 100 mm, λ = 1.74 W/(m·K))、矿渣混凝土找坡(平均厚度 120 mm, λ =0.76 W/(m·K))、碱土(防水层),其中矿渣混凝土为保温层. 其传热系数为 2.64 W/(m^2·K).

对比以上 3 种屋顶的传热系数,可见传统坡屋顶和囤顶保温性能达到较高水平,其传热系数远低于钢筋混凝土平屋顶.

1.4　屋顶传热系数限值规定

村镇住宅基本以低层为主,导致其自身体型系数自然偏大,均在 0.3 以上. 到目前为止国家仍未出台任何专门针对村镇住宅节能设计的正式标准. 本文分析及计算中所用屋顶传热系数限值系参考《严寒和寒冷地区农村住房节能设计导则(试行)》(以下简称《导则》)相关规定,该《导则》对严寒地区村镇住宅的顶传热系数限值规定为:严寒 A 区 0.3 W/(m^2·K),严寒 B 区 0.35 W/(m^2·K),严寒 C 区 0.4 W/(m^2·K). 经计算,坡屋顶和囤顶两种传统构造的传热系数分别为 0.60 W/(m^2·K)和 0.46 W/(m^2·K),与《导则》规定的限值仍有一定差距,但相对于钢筋混凝土平屋顶 2.64 W/(m^2·K)的传热系数,传统屋顶构造技术在保温节能方面的独特优势显而易见,值得我们发掘提高.

2　屋顶双层复合保温模式的提出

通过对东北地区新农村建设现状的实地调研和对各地新农村住宅图集的查阅,不难发现坡屋顶是各地住宅建设采用的主流形式. 首先,坡屋顶作为我国传统建筑的主要形式,有着重要的审美价值;其次,坡屋顶构造有利于屋面防水,不易渗漏;第三,农村坡屋顶住宅一般均做吊顶棚,可结合吊顶做屋顶保温. 基于以上几点优势和对屋顶调研实例的传热系数计算比较,笔者提出坡屋面与吊棚双层复合保温的模式,即在吊顶内部形成封闭空间,通过坡屋面和吊棚分设保温层,构成一体化的屋顶双层复合保温. 该模式适用于所有有檩体系坡屋面,屋面基层为檩条(或檩条上的望板),屋面面层为各种屋面瓦(板).

2.1　设计理念

我国新农村建设正处于起步阶段,在村镇住宅的设计理念中应树立发挥传统技术优长特点的思想,充分利用传统屋顶各构造层的保温作用;另一方面,利用现代建筑呼吸表皮基本理论在屋面或山墙部位设置保温通风窗,冬季保温通风窗关闭,吊棚内部成为封闭空间[2],通过吊棚和屋面的保温层协同作用生成一体化的屋顶双层复合保温构造体系,该通风窗夏季开启成为通风口,利用空气对流排出吊顶内部热量,形成通风隔热顶棚. 在这个保温模式中,坡屋面保温层延续传统做法,吊棚保温层由坡屋面保温层的传热系数与《导

则》规定的屋顶传热系数限值之间的关系决定.

2.2 模式内涵

坡屋面与吊棚双层复合保温模式的是指在冬季吊棚内空间实现封闭的状态下,将上下两层保温层与空气层组成一个复合保温层,共同承担屋顶的保温作用. 这里的上层是指坡屋面保温层,常置于瓦材下面,或檩条之间. 例如小青瓦屋面,可在基层铺一层草泥作为保温层,同时草泥还是构造逻辑上的必需层次,起到将瓦粘结在基层上的作用;在平瓦屋面中可将保温材料填塞在檩条之间. 下层是指在吊棚之上铺设的保温层. 该模式充分利用逻辑层面所必需的构造层次的保温性能. 通过坡屋面与吊棚双层复合保温模式的应用,既能继承传统保温构造的优点,同时又能保证屋顶传热系数达到《导则》的要求. 该模式是将具有明显保温效果的构造层次合理纳入保温计算,使村镇住宅保温设计更为科学.

2.3 保温材料选择

2.3.1 坡屋面保温材料的选用

坡屋面保温层通常位于屋面瓦材之下,檩条之间,受檩条用材高度和屋面荷载制约. 传统的小青瓦屋面一般用草泥作为保温层,小青瓦直接粘结在草泥上,由于草泥比较密实,不易变形,可直接承受瓦材荷载,其厚度一般在 50 mm 左右;目前常用的块瓦屋面可将草泥或者石灰锯末填于檩条之间作为保温层,与小青瓦屋面不同的是,块瓦通过挂瓦条干挂于屋顶基层,草泥和石灰锯末本身不承重,其厚度与檩条高度相等,通常在 50 ~ 70 mm. 以上两种保温做法基层均可辅以厚80 mm 左右的秸秆或苇莲加强保温性能[3].

2.3.2 吊棚保温材料的选用

由于吊棚保温构造相对简单,保温材料的形式基本不受限制. 天然的纤维材料,如干草、芦苇、农作物秸秆等材料,取材方便、产量丰富、保温性能良好,都可置于吊棚之上作为保温层,但使用时要通过生石灰进行钙化防腐处理;松散材料如稻壳、麦糠、锯末、草木灰、膨胀珍珠岩、炉渣等,也是很好的吊棚保温材料;吊棚基层可铺设各种草板. 以上几类保温材料在使用过程中应避免受潮、腐蚀,影响保温效果[4]. 经济条件较好的地区可铺设节能高效的聚苯板、挤塑板等现代材料,通过乡土材料和现代材料的结合使用,确保屋面热阻达到保温和节能要求.

2.4 双层复合保温模式的计算模型

2.4.1 计算原理

坡屋顶与吊顶双层复合保温是在坡屋面和吊顶棚分别设置保温层,旨在吊顶内部形成保温性能良好的封闭非供暖空气间层,成为介于室内和室外热环境之间的一个热缓冲空间. 由于坡屋顶举架较高,封闭空气间层的传热不是纯导热过程,其热阻与厚度之间不存在简单的正比关系,空气间层温度 t_x 不易确定. 但为给吊顶保温层的厚度计算提供合理的热环境依据,通过吊顶封闭空间热平衡公式的建立,便可求出空气间层温度 t_x 的计算值. 因坡屋面保温构造相对固定,其传热系数 K_2 可根据平壁传热系数计算公式求出.

2.4.2 计算模型

现假设吊顶传热系数 K_1 与坡屋面传热系数 K_2 综合作用的总传热系数当量值为 K,K 即为满足屋顶保温需求的传热系数限值. t_x 可通过以下热平衡关系确定(图 2).

$$Q_1 = Q_2. \tag{1}$$

即

$$K_1F_1(t_i - t_x) = K_2F_2(t_x - t_e).$$

式中: Q_1 为吊顶传热耗热量(W); Q_2 为坡屋面传热耗热量(W); F_1 为吊顶传热面积(m^2); F_2 为坡屋面传热面积(m^2), $F_1 = F_2\cos\theta$, θ 为屋面坡度; t_i 为采暖室内计算温度(K); t_e 为采暖室外计算温度(K).

由此可得

$$t_x = \frac{K_1F_1t_i + K_2F_2t_e}{K_2F_2 + K_1F_1}. \tag{2}$$

由于

$$Q = Q_1 = K_1F_1(t_i - t_x) = \alpha K_1F_1(t_i - t_e),$$

可得

$$\alpha = \frac{t_i - t_x}{t_i - t_e} = \frac{K_2F_2}{K_2F_2 + K_1F_1} = \frac{K_2}{K_2 + K_1\cos\theta}. \tag{3}$$

又 $Q = KF_1(t_i - t_e) = \alpha K_1F_1(t_i - t_e)$,

可得

$$K = \alpha K_1. \tag{4}$$

K 即为达到规定的屋顶传热系数限值坡屋面与吊顶所需的当量传热系数. 式中 α 为温差修正系数[5].

由式(3)、(4)便可计算出为达到规定的屋顶传热系数限值,吊棚保温所需的传热系数为

$$K_1 = \frac{KK_2}{K_2 - K\cos\theta}. \tag{5}$$

2.5 保温层厚度参考

在坡屋顶与吊顶复合保温的模式中,由于提倡屋面保温层延续传统做法,坡屋面传统保温构造一旦给定,其传热系数 K_2 则成为已知的定值.

通过式(5) 可算得吊棚保温层所需的传热系数 K_1,再根据 $K_1 = 1/(1/\alpha_i + \delta/\lambda + 1/\alpha_e)$ 便能求得吊顶保温层的厚度值 $\delta = (1/K_1 - 0.15)\lambda$.

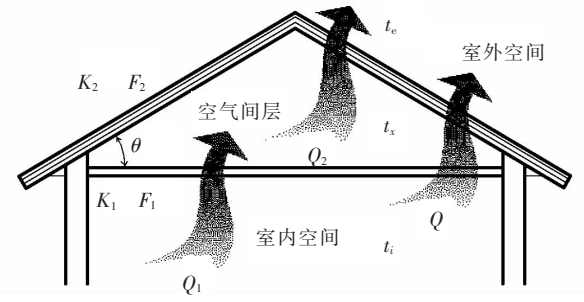
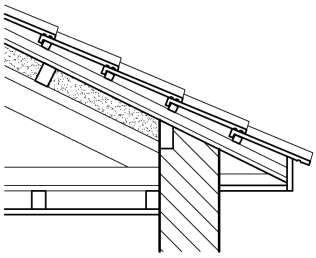


图 2　屋顶双层复合保温计算原理

为加强坡屋面与吊顶复合保温模式的可操作性和实用性,拟选择一种新农村住宅建设中常见的木架平瓦坡屋顶进行该模式下的保温设计,并通过计算给出屋面和吊顶保温层的厚度值,以供参考. 屋顶构造由内到外依次为:吊顶、吊棚保温层、木屋架、苇莲(厚度 80 mm, λ = 0.047 W/(m·K))、草泥(厚度 50 ~ 70 mm, λ = 0.76 W/(m·K))、顺水条、挂瓦条、陶土瓦或粘土瓦. 坡屋面传热系数 K_2 = 0.6 W/(m^2·K),屋面坡度 θ 取 30°. 本计算中不同严寒子气候区所用屋顶传热系数限值 K 参考《导则》相关规定. 经计算得出吊棚保温层参考厚度值见表 1.

表 1　吊顶保温材料厚度选用表　　mm



吊顶保温材料	保温材料厚度参考值		
	严寒 A 区	严寒 B 区	严寒 C 区
聚苯板	75	55	40
锯末	195	140	100
稻壳	125	90	65
干草	100	70	50
膨胀珍珠岩	185	135	95

将以上各保温材料厚度参考值与单设吊顶保温层时各材料所需厚度做一比较,该保温模式的优势显而易见. 以聚苯板为例,严寒 A 区单设吊棚保温层厚度需要 150 mm,运用坡屋顶与吊顶复合保温模式其厚度仅需 75 mm,大大节省了保温材料费用;再如锯末,严寒 A 区单设吊顶保温层厚度需要 500 mm,运用坡屋顶与吊顶复合保温模式其厚度仅需 195 mm,不仅节省了材料,还能有效减少吊顶荷载. 因此,该保温模式对传统乡土保温的构造做法具有重要参考价值,不仅继承和发扬了优秀的传统构造技术,使传统做法中保温层厚度能通过以上计算模型的建立得以合理确定,并能实现传统做法与现代材料的有效结合,为村镇住宅保温技术走向合理化提供重要参考.

3　结　语

结合我国国情,现阶段广大村镇住宅屋顶保温技术仍采用多层次技术手段是十分必要的. 屋顶双层复合保温模式的提出正是利用屋顶上下两个层次的保温,通过传统乡土保温技术的优化组合及适当引入新材料、新技术,形成具有村镇地域特色的屋顶保温模式. 该模式通过吊顶封闭空间热平衡公式的建立,科学合理的确定了各保温层的厚度,充分利用了各构造层次的构成逻辑和保温性能. 该模式适用于有檩体系坡屋顶,也适用于囤顶、木架平屋顶等形式. 该模式丰富了屋顶保温形式,提高了构造节能的效益,为我国严寒地区村镇住宅屋顶保温和节能设计提供了新的设计对策.

参考文献:

[1]　刘加平. 建筑物理[M]. 北京:建筑工业出版社,2000:26.

[2]　葛翠玉,王洪光,赵莉. 寒冷地区乡村住宅建筑节能探索[J]. 住宅科技,2004,8:46 - 48.

[3]　李必瑜. 建筑构造[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000:143.

[4]　严寒和寒冷地区农村住房节能设计导则(试行)[S]. 北京:住房和城乡建设部. 2009:18.

[5]　范惠民. 供热工程[M]. 北京:冶金工业出版社,1994:7.

(编辑　赵丽莹)