

# 装配式夹芯保温板拉结件性能指标 评价体系研究

张绍武<sup>1</sup>,吕安安<sup>1</sup>,赵志刚<sup>2</sup>,车向东<sup>2</sup>

(1. 沈阳建筑大学土木工程学院,辽宁 沈阳 110168;2. 北京市燕通建筑构件有限公司,北京 102202)

**摘 要** 目的 研究装配式夹芯保温板墙体拉结件的技术性能,构建评价体系,提供拉结件选用标准,实现装配式夹芯保温墙板质量和安全性能的提升. 方法 定义材料性能、结构性能、提升性能为一级指标,强度、弹性模量等九项性能为二级指标,通过隶属度分类法获得相似度评分,用层次分析法构建成对比较判别矩阵并确定指标权重,通过调研国内外相关规范指南和技术手册为指标评分提供依据,最后提出装配式夹芯保温墙板拉结件性能指标评价体系. 结果 选取某装配式夹芯保温墙板项目进行分析,对两种不同材质拉结件进行性能指标评价评分,分别得出评价结果,判别哪一种拉结件更适用于实际工程. 同时对高性拉结件进行判别,验证了评价模型应用的可行性. 结论 针对拉结件深化设计建立指标评价模型,对于提升装配式夹芯保温墙板各方面性能具有重要意义.

**关键词** 装配式夹芯保温墙;拉结件性能;指标评价体系;模糊评价

中图分类号 TU391

文献标志码 A

## Assembling Evaluation Index of Tensile Strength of Assembled Sandwich Insulation Board Department of Research

ZHANG Shaowu<sup>1</sup>, Lü Anan<sup>1</sup>, ZHAO Zhigang<sup>2</sup>, CHE Xiangdong<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. Yantong Precast Concrete Co. Ltd., Beijing, China, 102202)

**Abstract:** Study the technical performance of connectors of prefabricated sandwich insulation board, construct an evaluation system, and provide the selection standard of connectors, to improve the quality and safety of the assembled sandwich board. Material properties, structural properties and lifting properties are defined as primary index, and nine properties, such as strength and elastic modulus, are defined as secondary index. Similarity scores were obtained by membership

收稿日期:2019-04-12

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0703703)

作者简介:张绍武(1963—),男,副教授,主要从事结构工程方面研究.

classification, the analytic hierarchy process was used to construct the comparison discriminant matrix and determine the index weight. According to the investigation of relevant domestic and foreign standard guidelines and technical manuals to provide the basis for index scoring. Finally, an evaluation system of performance index of prefabricated sandwich board is proposed. An assembly type sandwich insulation board project was selected for analysis, and the performance index of two different materials were evaluated and scored, and the evaluation results were obtained respectively. Distinguish which kind of connector is more suitable for practical engineering. At the same time, the high energy connectors are identified. And the feasibility of the evaluation model is verified. It is of great significance to establish an index evaluation model for the deepening design of connectors to improve the performance of the assembled sandwich board.

**Key words:** assembled sandwich insulation wall; performance of pull – out parts; index evaluation system; fuzzy evaluation

随着我国建筑节能标准的不断提高,寒冷和严寒地区的外墙中使用装配式混凝土夹芯保温复合外墙板的比例越来越高,作为连接夹芯保温板内外页混凝土板的连接产品,拉结件是决定预制保温墙板结构安全性、保温性、耐久性、防火防水性的重要构件. 在欧美等发达国家和地区,产品质量概念已经不仅仅是局限于产品本身,而是包括对产品设计、生产、使用全过程进行评价的综合过程,其目标不仅在于得出一定的评价结果,更通过质量评价来促进产品质量的持续改进,从而提高行业的质量水平<sup>[1]</sup>.

笔者以拉结件深化设计阶段为出发点,统计设计、生产、使用过程所确定的权重,结合合理的方法构建拉结件性能指标评价体系,对拉结件的产品质量控制进行升级,从根本上明确装配式夹芯保温墙板需要进行改进提升的部分<sup>[2]</sup>,促进装配式夹芯保温墙板工业化应用的快速发展.

# 1 确定拉结件指标

## 1.1 拉结件的设计原理

保温拉结件平行穿过保温板,拉接件两端分别锚固于内叶墙和外叶墙混凝土之中,对两者起着拉结的作用. 内叶墙承受所有的竖向荷载,外叶墙仅作为保温材料的保护层和装饰层使用,不参与内叶墙板的受力,内叶

墙和外叶墙之间行为相互独立,这要求保温拉接件对外叶墙的平面内变形约束较小,能够释放外叶墙在温差作用下产生的温度应力<sup>[3]</sup>,保证外叶墙在温度变化下可以自由伸缩,保证外叶墙、保温板、内叶墙和结构同寿命.

装配式非组合夹芯保温墙体的连接件按材料类型分为金属拉结件和纤维增强塑料拉结件两种<sup>[4]</sup>. 金属拉结件具有较好的耐腐蚀性能、抗剪性能、锚固性能、抗震性能和耐久性能,但同时具有造价高、施工不便、导热率较大等缺点. 纤维增强塑料拉结件具有强度高、导热率低、耐腐蚀性较好等优点,但同时具有锚固性能差、无法应用于厚保温层、抗剪性能差、脆性破坏等缺点.

## 1.2 评价指标的选取

通过与装配式夹芯保温墙板生产企业技术人员交流,调研装配式夹芯保温墙板项目施工现场,依据国内外夹芯保温墙板相关标准中对于拉结件的产品质量、安全性能、使用功能的要求<sup>[5]</sup>,选取“拉结件性能指标评价A”作为目标层,“材料性能指标  $B_1$ 、结构性能指标  $B_2$ 、提升性能指标  $B_3$ ”作为准则层,“强度  $C_1$ 、弹性模量  $C_2$ 、伸长率  $C_3$ 、承载性能  $C_4$ 、锚固性能  $C_5$ 、变形性能  $C_6$ 、耐久性能  $C_7$ 、耐温性能  $C_8$ 、绝热性能  $C_9$ .”共9项技术特性作为因素层,采用模糊聚类分析方法对因素层进行聚类分析.

(1)隶属度打分

请专家组 30 名成员对因素层是否属于准则层三个技术指标  $B_i$  进行评定,评分依据  $C_i$  是否隶属于  $B_i$  取 0 或 1,“0”代表  $C_i$  不属于  $B_i$ ,“1”代表  $C_i$  属于  $B_i$ . 通过隶属度的方式最终确定平均值结果见表 1.

表 1 拉结件技术特性隶属度打分

Table 1 Membership rating of the connector's technical characters

指标	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
$B_1$	1	0.8	0.7	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2
$B_2$	0.5	0.3	0.4	1	0.8	0.9	0.4	0.4	0.5
$B_3$	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0.6	1	0.9

(2)建立模糊相似矩阵

为了对性能指标进行聚类,建立模糊相似矩阵  $R = (r_{p,q})_{s \times s} (p, q = 1, 2, \cdots, 9)$ , 其中  $r_{p,q}$  为  $B_i$  与  $C_i$  的相似系数,表示两者的相似程度. 求相似系数的方法很多,笔者采用绝对值减数法: $r_{p,q} = 1 - c \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |x_{i,j}^p - x_{i,j}^q|$ , 其中  $0 \leq c \leq 1$ , 取  $c = 0.5$ , 使  $r_{p,q}$  在  $[0, 1]$  中分散开来. 模糊相似矩阵  $R$  为

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0.8 & 0.8 & 0.25 & 0.5 & 0.3 & 0.25 & 0.05 & 0.2 \\ 0.8 & 1 & 0.9 & 0.25 & 0.5 & 0.3 & 0.35 & 0.15 & 0.2 \\ 0.8 & 0.9 & 1 & 0.35 & 0.6 & 0.4 & 0.45 & 0.25 & 0.3 \\ 0.25 & 0.25 & 0.35 & 1 & 0.75 & 0.85 & 0.5 & 0.3 & 0.35 \\ 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.75 & 1 & 0.8 & 0.45 & 0.25 & 0.4 \\ 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.85 & 0.8 & 1 & 0.45 & 0.25 & 0.3 \\ 0.25 & 0.35 & 0.45 & 0.5 & 0.45 & 0.45 & 1 & 0.8 & 0.75 \\ 0.05 & 0.15 & 0.25 & 0.3 & 0.25 & 0.25 & 0.8 & 1 & 0.85 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.35 & 0.4 & 0.3 & 0.75 & 0.85 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

(3)因素层指标聚类

$R$  满足自反性 ( $r_{ii} = 1$ ) 和对称性 ( $r_{ij} = r_{ji}$ ), 但不满足传递性 ( $R \times R \notin R$ ), 由于  $0 \leq r_{p,q} \leq 1 (p, q = 1, 2, \cdots, 9)$ , 令  $\lambda$  为  $r_{p,q}$  中的某一值 (从高到低取值), 本例中取 0.75, 记  $R_\lambda = (\lambda_{p,q})_{s \times s}$ , 称为  $R$  的截矩阵, 其中:

$$\lambda_{p,q} = \begin{cases} 1, & r_{p,q} \geq \lambda; \\ 0, & r_{p,q} < \lambda. \end{cases}$$

则:

$$R_\lambda = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

运用传递算法, 可知拉结件性能指标评价  $A$  可分三组, 聚类方式如下.

材料性能指标  $B_1 = \{C_1, C_2, C_3\} = \{\text{强度, 弹性模量, 伸长率}\}$ .

结构性指标  $B_2 = \{C_4, C_5, C_6\} = \{\text{承载性能, 锚固性能, 变形性能}\}$ .

提升性指标  $B_3 = \{C_7, C_8, C_9\} = \{\text{耐久性能, 耐温性能, 绝热性能}\}$ .

2 夹芯墙板拉结件指标性能权重的确定

2.1 建立递阶层次结构模型

用层次分析法 (AHP) 确定夹芯墙板拉结件指标性能权重, 首先构建递阶层次结构模型 (见图 1) [6].

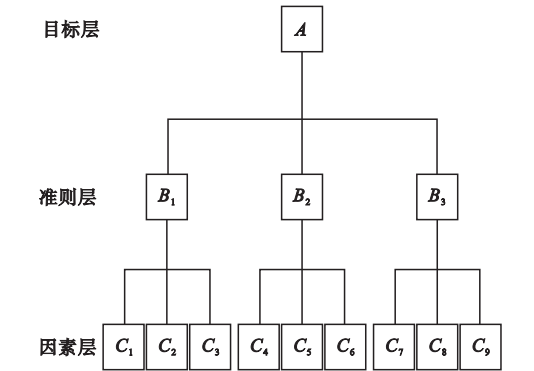


图 1 递阶层次结构模型

Fig. 1 Hierarchical structure model

2.2 建立成对比较判断矩阵

采用《保温板拉结件重要度评判 AHP 问卷》对某集团的装配式夹芯保温板拉结件设计、生产、安装、使用全寿命进行相关数据

的收集. 所调研对象全部具有装配式夹芯保温板生产或施工的经验. 共发放问卷 50 份, 回收 50 份, 其中有效问卷 45 份, 有效回收率为 90%, 符合调研要求<sup>[7-8]</sup>.

要比较  $n$  个因子  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  对某因素  $Z$  的影响大小, 可每次选取两个因子  $x_i$  和  $x_j$ , 以  $a_{ij}$  表示  $x_i$  和  $x_j$  对  $Z$  的影响大小之比, 全部比较结果用矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  表示, 称  $A$  为  $Z-X$  之间的成对比较判断矩阵. 若  $x_i$  与  $x_j$  对  $Z$  的影响之比为  $a_{ij}$ , 则  $x_j$  与  $x_i$  对  $Z$  的影响之比应为  $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ .

一级指标层  $B$  对目标层  $A$  的判断矩阵为  $R_A$ , 二级指标层  $C$  对一级指标层  $B$  的判断矩阵为  $R_{B1}, R_{B2}, R_{B3}$ . 分别计算比较矩阵:

$$R_A = \begin{bmatrix} 1 & 1.016\ 8 & 1.152\ 1 \\ 0.983\ 5 & 1 & 1.133\ 0 \\ 0.868\ 0 & 0.882\ 6 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_{B1} = \begin{bmatrix} 1 & 1.012\ 6 & 1.754\ 4 \\ 0.987\ 5 & 1 & 2.031\ 3 \\ 0.570\ 0 & 0.492\ 3 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$R_{B2} = \begin{bmatrix} 1 & 1.029 & 1.304\ 7 \\ 0.971\ 8 & 1 & 1.267\ 9 \\ 0.766\ 4 & 0.788\ 7 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$R_{B3} = \begin{bmatrix} 1 & 1.063\ 2 & 2.015\ 2 \\ 0.940\ 5 & 1 & 1.895\ 4 \\ 0.496\ 2 & 0.527\ 6 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

求解上述矩阵的特征向量和最大特征值后, 进行归一化得:

$$\mu_{AA} = (0.350\ 7, 0.344\ 9, 0.304\ 4)^T,$$
$$\lambda_{\max} = 3.000\ 0.$$

$$\mu_{B1} = (0.387\ 3, 0.403\ 3, 0.209\ 4)^T,$$
$$\lambda_{\max} = 3.002\ 8.$$

$$\mu_{B2} = (0.370\ 1, 0.346\ 2, 0.283\ 7)^T,$$
$$\lambda_{\max} = 2.962\ 4.$$

$$\mu_{B3} = (0.472\ 4, 0.345\ 4, 0.182\ 2)^T,$$
$$\lambda_{\max} = 3.286\ 2.$$

由此可得出拉结件各项性能权重推荐值, 结果见表 2.

表 2 拉结件指标权重  
Table 2 Connector index weight

一级指标	一级指标权重	二级性指标	二级指标权重
材料性能指标	0.350 7	强度	0.387 3
		弹性模量	0.403 3
		伸长率	0.209 4
		承载性能	0.370 1
结构性能指标	0.344 9	锚固性能	0.346 2
		变形性能	0.283 7
		耐久性能	0.472 4
提升性能指标	0.304 4	耐温性能	0.345 4
		绝热性能	0.182 2

3 评分方法

3.1 拉结件材料性能评分

(1) 强度评分标准

纤维增强塑料材料拉结件强度评分标准见表 3. 不锈钢材料拉结件强度评分标准见表 4<sup>[9]</sup>. 满足全部评分项指标要求得 10 分, 任何一项不满足不得分.

表 3 纤维增强塑料材料强度评价指标评分  
Table 3 Fiber reinforced plastics intensity evaluation index score

index	score	MPa
拉伸强度标准值	层间抗剪强度标准值	
≥700	≥30	

注: 各项强度为具有 95% 保证率的标准值.

表 4 不锈钢材料强度评价指标评分  
Table 4 Stainless steel intensity evaluation index score

屈服强度	拉伸强度	抗剪强度
标准值	标准值	标准值
≥380	≥500	≥300

注: 各项强度为具有 95% 保证率的标准值.

(2) 弹性模量评分标准

纤维增强塑料材料拉结件和不锈钢材料拉结件弹性模量评价标准见表 5, 满足指标要求得 10 分, 不满足不得分.

表5 弹性模量评价指标评分

Table 5 Modulus of elasticity intensity evaluation index score		GPa
index	score	
纤维增强塑料材料	不锈钢材料	
弹性模量	弹性模量	
≥40	≥190	

注:弹性模量为测试平均值。

(3)伸长率评分标准

纤维增强塑料材料拉结件和不锈钢材料拉结件<sup>[10]</sup>伸长率评价标准见表6,满足基本标准要求得5分,满足高标准要求得10分,不满足基本标准不得分。

表6 伸长率评价指标评分

Table 6 Elongation intensity evaluation index score		
评分标准	伸长率/%	
	纤维增强塑料材料	不锈钢材料
基本要求(5分)	≥1.8	≥25
高标准要求(10分)	≥2.8	≥35

注:中间值按舍去小数所得整数进行评价得分;当不锈钢材料屈服强度标准值≥600MPa时,伸长率的基本标准要求为≥10%,高标准要求为≥14%。

3.2 拉结件结构性能评分

(1)承载性能评分标准

表8 纤维增强塑料拉结件锚固性能评价指标评分

Table 8 Evaluation index score of anchorage performance of fiber reinforced plastic connector						
评分标准	锚固深度/mm	保护层厚度/mm	外叶板厚度/mm	边缘距离/mm	拉结件间距/mm	混凝土强度
基本要求(5分)	$c_1 \geq 30$	≥25	≥60	与板边距离和与	$s_x \geq 200$	≥C30
高标准要求(10分)	$c_2 \geq 30$	≥25	≥60	门窗洞口距离均在100~200mm	$s_y \geq 200$	≥C35

注: $c_1$ 、 $c_2$ 分别为拉结件在外叶板、内叶板中锚固深度; $s_x$ 、 $s_y$ 分别为相邻拉结件沿墙长、墙高方向上距离。

表9 不锈钢拉结件锚固性能评价指标评分

Table 9 Evaluation index score of anchorage performance of stainless steel connector						
评分标准	锚固深度/mm	保护层厚度/mm	外叶板厚度/mm	边缘距离/mm	拉结件间距/mm	混凝土强度
基本要求(5分)	片状拉结件: $c_1$ 、 $c_2 \geq 55$ ;	≥15	≥60	与板边距离和与	非钢筋桁架拉结件: $s_x \leq 1\ 200$ ,	≥C30
高标准要求(10分)	针状拉结件: $c_1 \geq 55$ 、 $c_2 \geq 50$ ; 钢筋桁架拉结件: $c_1$ 、 $c_2 \geq 25$ ;	≥15	≥60	与门窗洞口距离均在100~200mm	$s_y \leq 1\ 200$ . 钢筋桁架拉结件: $s_x \leq 600$	≥C35

注:钢筋桁架拉结件的 $c_1$ 、 $c_2$ 为桁架弦杆截面中轴线至板与保温层交界面距离;本表没有涵盖的不锈钢拉结件应依据相关产品技术手册设定各评分项标准。

承载性能采用安全系数 $K$ 进行评价,安全系数 $K$ 定义为

$$S = \frac{R_k}{K}.$$

(7)

式中: $S$ 为基本组合的效应设计; $R_k$ 为拉结件抗拔、抗剪承载力标准值.安全系数 $K$ 取各种工况计算所得最小值,按表7所示标准进行评分。

表7 安全系数评价指标评分

Table 7 Safety factor intensity evaluation index score		
安全系数 $K$	纤维增强塑料材料拉结件评分	不锈钢材料拉结件评分
≥3.0	—	5
≥4.0	5	7.5
≥5.0	7.5	10
≥6.0	10	—

注:中间值按舍去小数所得整数进行评价得分;纤维增强塑料拉结件的 $K < 4.0$ 时不得分;不锈钢拉结件的 $K < 3.0$ 时不得分。

(2)锚固性能评价标准

锚固性能按照表8、表9所示标准进行评价<sup>[11]</sup>,满足基本标准要求得5分,满足高标准要求得10分,不满足基本标准不得分。



(3)变形性能评价标准

拉结件在外叶板自重作用下产生的弹性垂直位移进行评价<sup>[12]</sup>,当位移 $\leq 2.54\text{ mm}$ 时得10分,不满足不得分.

3.3 拉结件性能提升指标评价

(1)耐久性能评价标准

纤维增强塑料材料拉结件按《预制保温墙体用纤维增强塑料拉结件》(JG/T561—2019)进行耐久性能试验,采用残余强度与初始强度的比值进行评价,按表10所示标准进行评分,不锈钢拉结件耐久性能根据材料品类按表11所示标准进行评分<sup>[13]</sup>.

表10 纤维增强塑料拉结件耐久性评价指标评分  
Table 10 Evaluation index of durability of fiber reinforced plastic connector

$X/\%$	评分
$X < 50$	0
$50 \leq X < 70$	5
$70 \leq X < 85$	7.5
$X \geq 85$	10

注:(残余强度/初始强度) $X = \min\{X_1, X_2\}$ ,其中 $X_1$  = 残余拉伸强度/初始拉伸强度; $X_2$  = 残余层间剪切强度/初始层间剪切强度.

表11 不锈钢拉结件耐久性能评价指标评分  
Table 11 Evaluation index of durability of stainless steel connector

不锈钢类型	评分
奥氏体型 S304 系列	5
奥氏体型 S316 系列	7.5
奥氏体 - 铁素体型	10

(2)耐温性能评价标准

两种材料耐温性能评价标准见表12<sup>[14-15]</sup>.

表12 耐温性能评价指标评分  
Table 12 Temperature resistance performance evaluation index score

正常使用最高温度 $t/^\circ\text{C}$	纤维增强塑料材料	不锈钢材料
$\geq 50$	5	—
$\geq 60$	10	—
$\geq 100$	—	5
$\geq 110$	—	10

注:正常使用最高温度指材料性能不发生变化的最高温度;纤维增强塑料拉结件 $t < 50^\circ\text{C}$ 时不得分;不锈钢拉结件 $t < 100^\circ\text{C}$ 时不得分.

(3)绝热性能评价标准

绝热性能采用导热系数<sup>[16-17]</sup>,当采用纤维增强塑料拉结件时直接得10分,不锈钢材料的导热系数 $\leq 17.5\text{ (W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1})$ 时得10分,不满足不得分.

3.4 评分条件

参评连接件需同时满足以下条件方可认定为高性能拉结件:①每项得分均无零分;②总得分 $\geq 75$ 分.

笔者根据拉结件深化设计质量评价的具体情况,将评语等级分为5个,用 $V_j$ 表示,分别是优秀( $8 \leq V_1 \leq 10$ ),良好( $6 \leq V_2 < 8$ ),中等( $4 \leq V_3 < 6$ ),一般( $2 \leq V_4 < 4$ ),差( $0 \leq V_5 < 2$ ).

4 案例分析

4.1 工程概况

评价对象为某装配公司的夹芯建筑外墙,长度 $\times$ 高度 $\times$ 厚度为 $4.18\text{ m} \times 2.93\text{ m} \times 0.34\text{ m}$ ,其中内叶承重墙厚度为 $0.2\text{ m}$ ,外挂板厚度为 $0.06\text{ m}$ ,中间保温层厚度为 $0.08\text{ m}$ .现场有两种拉结件可供选择,笔者根据建立的评价体系判断哪一种拉结件性能更好.夹芯保温墙体如图2所示,两种拉结件性能指标见表13.

4.2 保温墙拉结件综合性评价

通过表13评分计算,可判断纤维增强塑料材料拉结件评分为7.7531,评价为良好,且为高性能拉结件;金属材料拉结件评分为7.1144,评价为良好,但由于评分低于7.5,且绝热性能评分为零分,不满足高性能拉结件要求,因此评价该金属拉结件拉结件非高性能拉结件.由于该金属材料拉结件的绝热性能较差,无法达到近零能耗建筑设计标准中关于的高性能夹芯保温墙体的要求,与评分结果相一致<sup>[18]</sup>.考虑到本工程保温层厚度为 $80\text{ mm}$ ,低于纤维增强塑料材料拉结件的保温层使用上限 $150\text{ mm}$ ,建议选用纤维增强塑料材料拉结件.



图2 夹芯保温墙实例

Fig. 2 Sandwich insulation wall example

表13 两种拉结件性能指标

Table 13 Connector performance indicators of two type

材料	准则层	指标层	指标层打分	指标层权重	指标层得分	准则层权重	准则层得分
纤维增强塑料拉结件	强度性能	强度	10	0.387 3	3.873	0.350 7	3.139 8
		弹性模量	10	0.403 3	4.033		
		伸长率	5	0.209 4	1.047		
	结构性能	承载性能	7.5	0.370 1	2.775 75	0.344 9	2.288 2
		锚固性能	5	0.346 2	1.731		
		变形性能	7.5	0.283 7	2.127 75		
	提升性能	耐久性能	5	0.472 4	2.362	0.304 4	2.325 0
		耐温性能	10	0.345 4	3.454		
		绝热性能	10	0.182 2	1.822		
		强度	10	0.387 3	3.873		
金属材料拉结件	强度性能	弹性模量	10	0.403 3	4.033	0.350 7	3.507 0
		伸长率	10	0.209 4	2.094		
		承载性能	10	0.370 1	3.701		
	结构性能	锚固性能	5	0.346 2	1.731	0.344 9	2.362 7
		变形性能	5	0.283 7	1.418 5		
		耐久性能	5	0.472 4	2.362		
	提升性能	耐温性能	5	0.345 4	1.727	0.304 4	1.244 7
		绝热性能	0	0.182 2	0		

5 结 论

(1)笔者建立夹芯板拉结件的性能指标评价体系,可作为工程中拉结件的选用和高性能保温墙板判别的依据之一.但受目前规范和国内外审图差别限制,具体的设计选用应按工程实际需求为准.

(2)针对拉结件的深化设计建立指标评价模型,对拉结件的性能指标进行评审,可以将拉结件的质量控制提前至设计阶段,减少后期生产运输、安装施工各环节因设计不到位造成的成本增加、进度缓慢及质量问题,对于提升装配式夹芯保温墙板质量、耐久性、安全性、防火防水性具有积极的意义.

## 参考文献

- [1] DEBORAH F, SUAN M, DAVID R P. Benchmarking in construction industry [J]. Journal of management in engineering, 1995, 11 (1): 50 - 57.
- [2] 赵东拂, 孟颖. 装配式钢结构住宅外围护结构体系的发展与应用 [J]. 建筑结构, 2016, 46 (增刊2): 422 - 425.  
(ZHAO Dongfu, MENG Ying. Development and application of assembled steel structure residence external envelop structure system [J]. Building structure, 2016, 46 (S2): 422 - 425.)
- [3] 李相. 装配整体式住宅热桥部位的温度效应有限元分析 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2017.  
(LI Xiang. Assembled monolithic residential thermal bridge temperature effect of the finite element analysis [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2017.)
- [4] TOMLINSON D A. Experimental investigation of precast concrete insulated sandwich panels with glass fiber-reinforced polymer shear connectors [J]. ACI structural journal, 2014, 111 (3): 595 - 606.
- [5] 宋涛. 装配式混凝土结构预制构件质量控制研究 [D]. 西安: 建筑科技大学, 2017.  
(SONG Tao. Study on quality control of precast concrete structure prefabricated [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2017.)
- [6] 张海霞, 李幅昌, 张德冰. 钢结构建筑工业化建造施工与安装技术评价体系研究 [J]. 钢结构, 2016, 31 (2): 109 - 113.  
(ZHANG Haixia, LI Guochang, ZHANG Debing. Research on the evaluation system for industrialized construction technology of steel structure buildings [J]. Steel structure, 2016, 31 (2): 109 - 113.)
- [7] ASHRAE. 1993 ASHRAE Handbook: Fundamentals [M]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1993.
- [8] WOLTMAN G D T, FAM A. Investigation of various GFRP shear connectors for insulated precast concrete sandwich wall panels [J]. Journal of composites for construction, 2013, 17 (5): 711 - 721.
- [9] 上海市建设管理委员会. 预制混凝土夹心保温外墙板应用技术标准: DG/TJ08 - 2158 - 2017 J1309—2018 [S]. 上海: 同济大学出版社, 2018.  
(Technical specification for precast concrete sandwich wall panel: DG/TJ08 - 2158 - 2017 J1309—2018 [S]. Shanghai: Tongji University press, 2018)
- [10] 中华人民共和国建设部. 纤维增强复合材料建设工程应用技术规范: GB50608—2010 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.  
(Ministry of Construction of the People's Republic of China. Compilation and introduction of technical code for infrastructure application of FRP composites: GB50608—2010 [S]. Beijing: China Planning Press, 2010.)
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 不锈钢棒: GB/T 1220—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.  
(General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Stainless steel bars: GB/T 1220—2007 [S]. Beijing: China Standards Press, 2007.)
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 不锈钢热轧钢板和钢带: GB/T 4237—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.  
(General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Hot rolled stainless steel plate, sheet and STRIP: GB/T 4237—2015 [S]. Beijing: China Standards Press, 2015.)
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 预制保温墙体用纤维增强塑料连接件: JG/T561—2019 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.  
(Ministry of Housing and Urban Rural Derelopment of the PRC. Fiber reinforced plastic connectors for prefabricated insulation wall: JG/T561—2019 [S]. Beijing: China Standards Press, 2019.)
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 不锈钢结构技术规范: CECS410:2015 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.  
(Ministry of Housing and Urban Rural Development of the PRC. Technical specification for stainless steel structures: CECS410:2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015.)
- [15] NAITO C J, HOEMANN M B, BEWICK B. Performance and characterization of shear ties for use in insulated precast concrete sandwich wall panels [J]. Journal of structural engineering, 2012, 138 (1): 52 - 61.
- [16] RAMM W. Report concerning stress tests under dynamic load with regard to an anchoring of three-layered facade panels according to the DE-HA-TM System (in German) [R]. Kaiserslautern: University of Kaiserslautern, 2012.
- [17] FRANKL B A, LUCIER G W, HASSAN T K. Behavior of precast, prestressed concrete sandwich wall panels reinforced with CFRP shear grid [J]. PCI journal, 2011, 56 (1): 42 - 54.
- [18] WU G X, WANG Z, WU Z D, et al. Durability of basalt fibers and composites in corrosive environments [J]. Journal of composite materials, 2015, 49 (7): 873 - 887.  
(责任编辑: 杨永生 英文审校: 刘永军)