



CECS ***-2015

中国工程建设协会标准

非金属面保温夹芯板设计规程

Specification for design of non-metal face insulating sandwich

panels

(征求意见稿)

中国工程建设协会标准

非金属面保温夹芯板设计规程

Specification for design of non-metal face insulating sandwich
panels

CECS ***-2015

(征求意见稿)

主编单位：哈尔滨工业大学深圳研究生院

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2015年 XX月 XX日

2015年北京

前言

根据中国工程建设标准化协会建标协字[2013]057号文《关于印发〈2013年第一批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》的要求，制定本规程。

哈尔滨工业大学深圳研究生院长期从事建筑用非金属面保温夹芯板结构的研究和推广应用工作，并与烟台万华聚氨酯股份有限公司、聚氨酯协会等单位合作，完成了大量试验和研究工作，获得了大量的试验数据，验证了理论分析的正确，在此基础上，制订本规程。

本规程的主要技术内容如下：总则、术语和符号、材料、基本规定、夹芯板计算、连接共六章。

根据原国家计委计标[1986]1649号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求，推荐给工程建设设计、使用单位和工程技术人员采用。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用应用分会(北京车公庄大街19号，中国建筑标准设计研究院，邮编：100044)归口管理，由哈尔滨工业大学深圳研究生院(广东深圳南山区西丽大学城哈工大研究生院E407，邮编518055)负责解释。在使用过程中如发现需修改或补充之处，请将意见和资料径寄解释单位。

本规范主编单位：哈尔滨工业大学深圳研究生院

本规范参编单位：中国聚氨酯工业协会

烟台万华聚氨酯股份有限公司

河南天丰集团

深圳市和美建筑节能科技发展有限公司

本规范主要起草人员：查晓雄

(以下按姓氏笔划为序)

本规范主要审查人员：

目次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	材料	5
3.1	非金属面板	5
3.2	芯材	5
3.3	粘结剂	6
3.4	紧固件	7
3.5	加劲件	7
4	基本规定	8
5	夹芯板计算	9
5.1	夹芯板内力与变形计算	9
5.2	夹芯板应力计算	12
5.3	夹芯板承载力计算	13
6	连接	17
6.1	紧固件	17
6.2	连接计算	17
附录 A	试验方法和要求	20
A.1	一般要求	20
A.2	材料性能试验方法	21
	本规程用词说明	34
	引用标准名录	35
	条文说明	36

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Materials	5
3.1	Metal face	5
3.2	Core	5
3.3	Adhesive	6
3.4	Fastener	7
3.5	Accessory	7
4	Basic design requirement	8
5	Sandwich panels calculation	9
5.1	Internal forces and deformations calculation	9
5.2	Sterss calculation	12
5.3	Bearing capacity calculation	13
6	Connection	17
6.1	Fastener	17
6.2	Connection calculation	17
	Appendix A Testing methods and requirement	20
A.1	General requirement	20
A.2	Material performance test method	21
	Explanation of wording in this specification	34
	Normative standards	35
	Explanation of provisions	36

1 总则

1.0.1 为了使非金属面保温夹芯板的结构设计中贯彻执行国家的技术经济政策,做到安全、适用、经济、保证质量,特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于工业与民用房屋屋面板(非上人屋面)、墙面板、天花板、内隔墙、声屏障等非金属面保温夹芯板的设计。

1.0.3 非金属面保温夹芯板设计除应符合本规程要求外,尚应符合国家现行有关标准的相关规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 保温夹芯板 Insulating sandwich panels

由上、下二层板材为面板，中间填充保温轻质芯材，采用一定的成型工艺将二者组合成整体的复合板材。根据面板的材料可以分为金属面保温夹芯板和非金属面保温夹芯板，本规程针对非金属面保温夹芯板，根据其受力性能可以分为结构保温夹芯板和围护保温夹芯板。

2.1.2 非金属面保温夹芯板 Non-metal face insulating sandwich panels

上、下二层面板是非金属的保温夹芯板，可分为非金属面结构保温夹芯板和非金属面围护保温夹芯板。

2.1.3 非金属面结构保温夹芯板 Structural Insulated sandwich Panels, 简称 SIPs

在建筑中兼有围护与承重作用的非金属面保温夹芯板，能独立承受自重荷载、风等横向荷载和上部围护板传来的自重等轴向荷载。

2.1.4 非金属面围护保温夹芯板 Enclosure Insulated Sandwich Panels

在建筑中仅具有围护作用的保温夹芯板，只能承受自重荷载，需要同其它辅助受力构件如檩条、龙骨等共同承担围护荷载。

2.1.5 面板 Facing

夹芯板上下表面的板状材料。

2.1.6 保温芯材 Insulating Core

上下面板之间的保温材料。

2.1.7 粘结材料 Bonding material

粘结上下面板和中间保温芯材并使之成为一个整体的材料。

2.1.8 紧固件 Fastener

连接夹芯板和支撑框架的构件，是夹芯板连接的重要部分。

2.2 符号

2.2.1 符号

本规程会用到下列符号：

A_c ——等效芯材剪切面积, $A_c=be$;

A_f ——面板的横截面面积;

A_s ——单位宽度芯材面积, $A_s=e$;

B ——夹芯板的整体的抗弯刚度;

B_D ——上、下面板的弯曲刚度的和, $B_D=E_1I_1+E_2I_2$;

B_s ——夹芯部分的抗弯刚度;

B_f ——面板的弯曲刚度;

E ——面板弹性模量;

C_e ——偏心荷载系数；
 F ——单位宽度夹芯板支撑效应力；
 G_C ——芯材的剪切模量；
 G_{Ce} ——等效芯材剪切模量；
 G_{Ct} ——考虑徐变时芯材剪变模量；
 I ——夹芯板的惯性矩；
 I_F ——面板横截面的惯性矩；
 L ——夹芯板跨度；
 L_s ——夹芯板与支撑间的支撑宽度；
 M_F ——面板单独承担的弯矩；
 M_S ——夹芯板上下面板轴力形成的弯矩；
 N_F ——面板轴力；
 N ——轴向荷载；
 N_{cr} ——整体轴向屈曲荷载；
 N_E ——夹芯板的欧拉临界荷载；
 N_{EF} ——夹芯板面板欧拉临界荷载；
 P_C ——核心剪切临界荷载；
 P_e ——轴向偏心荷载设计值；
 V_F ——面板剪力；
 V_S ——夹芯部分的剪力；
 T ——温度(°C)；
 R ——湿度；
 R_d ——构件承载力设计值；
 S_d ——作用组合的效应设计值；
 b ——夹芯板宽度；
 d ——荷载偏心，从截面中心到荷载作用线之间的距离；
 e ——上下面板中和轴之间距离；
 h ——夹芯板整体厚度；
 k ——支撑应力扩散系数；
 n ——老化速率系数；
 q ——单位宽度均布荷载；
 t ——相同面板厚度夹芯板的面板厚度；
 β ——参数；
 φ_t ——徐变系数；

-
- Δ ——横向荷载引起的总变形；
- Δ_b ——弯曲引起的变形；
- Δ_s ——剪切引起的变形；
- Δ_0 ——边缘荷载与横向荷载共同作用时的强度或变形；
- σ_c ——芯材的正应力；
- σ_f ——面板的正应力；
- τ_F ——上下面板中剪应力；
- σ_{F11} ——上面板的拉应力；
- σ_{F12} ——上面板的压应力；
- γ ——材料分项系数；
- γ_0 ——结构重要性系数。

3 材料

3.1 非金属面板

3.1.1 纤维水泥平板应符合现行国家行业标准《纤维水泥平板-第 1 部分：无石棉纤维水泥平板》JC/T 412.1 中的有关规定。

3.1.2 无石棉纤维增强硅酸钙板应符合现行国家行业标准《建筑结构保温复合板》JC/T432 中的有关规定。

3.1.3 玻璃纤维增强水泥板应符合现行国家行业标准《玻璃纤维增强水泥外墙板》JC/T 1057 中的有关规定。

3.1.4 维纶纤维增强水泥平板应符合现行国家行业标准《维纶纤维增强水泥平板》JC/T 671 中的有关规定。

3.1.5 非金属面板各种力学性能指标应按本规程附录 A 中的试验方法确定。

3.2 芯材

3.2.1 硬质泡沫芯材应符合下列要求：

1 模塑/挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(EPS/XPS)应符合现行国家标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932 中的有关规定，且 EPS 密度不应小于 20kg/m^3 ，XPS 密度不应小于 25kg/m^3 。

2 硬质聚氨酯泡沫塑料(PU)符合现行国家标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932 中的有关规定。

3.2.2 无机芯材应符合下列要求：

1 岩棉应符合现行国家标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932 中的有关规定，纤维朝向应采用垂直面板形式。分为普通岩棉和结构岩棉两种，相同密度下结构岩棉比普通岩棉有更好的物理和力学性能。

2 矿渣棉和玻璃棉应符合现行国家标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932 中的有关规定。

3.2.3 芯材板各种力学性能指标应按本规程附录 A 中的试验方法确定。

3.2.4 芯材的剪变模量应按本规程附录第 A.2.4 条的试验确定，在没有试验的情况下可根据下表 3.2.4 取值。

表 3.2.4 芯材的剪变模量 G_c 取值表

芯材	剪变模量 (MPa)	芯材	剪变模量 (MPa)
聚苯乙烯	$2.070 \times (\rho/17.8)^2$	酚醛	$2.100 \times (\rho/52.5)^2$
聚氨酯	$1.725 \times (\rho/38)^2$	多异氰脲酸酯	$1.725 \times (\rho/38)^2$
普通岩棉	$1.700 \times \rho/100$	结构岩棉	$2.000 \times \rho/100$
玻璃棉	$2.682 \times \rho/100$		

注： ρ 为芯材密度 (kg/m^3)。

3.2.5 考虑徐变影响时，芯材剪变模量 G_{Ct} 应按下式计算：

$$G_{Ct} = \frac{G_c}{1 + \varphi_t} \quad (3.2.5)$$

式中： G_{Ct} ——考虑徐变时芯材剪变模量；

G_c ——芯材初始剪变模量；

φ_t ——徐变系数，应按本规程附录第 A.2.7 条通过试验测得。在没有准确试验数据的情况下，可按以下方式采用：

对于聚苯乙烯、聚氨酯：2000 小时情况下， $\varphi_t=2.4$ ；100000 小时情况下， $\varphi_t=7.0$ 。

对于岩棉、玻璃棉：2000 小时的情况下， $\varphi_t=1.0$ ；100000 小时的情况下， $\varphi_t=2.0$ 。

3.2.6 芯材抗拉强度 f_{Ct} 和老化后抗拉强度 f_{CD} 按本规程附录第 A.2.2、A.1.4 条的有关抗拉和老化试验确定。如果没有试验数据，老化后抗拉强度值 f_{CD} 也可按下列公式计算：

$$f_{CD} = f_{Ct} \times t^{-n} \quad (3.2.6-1)$$

$$n = e^{\frac{M}{T+273.15} + N \cdot R + C} \quad (3.2.6-2)$$

式中： t ——时间(h)；

f_{Ct} ——芯材初始抗拉强度(MPa)；

n ——老化速率系数；

T ——温度($^{\circ}\text{C}$)；

R ——湿度(%)；

M 、 N 、 C ——老化常数，按表 3.2.6 的规定取值。

表 3.2.6 芯材老化常数

芯材	M	N	C
岩棉	-5500	0.057	9.00
玻璃棉	-5700	0.054	9.76
环戊烷聚氨酯	-2500	0.026	3.00

3.3 粘结剂

3.3.1 粘结剂应有比芯材具有更高的强度和耐久性、更低的热敏感性等性能，其粘结性能应按本规程附录第 A.2.14 条的有关规定确定。

3.3.2 粘结剂应符合相关标准的规定。其中甲醛含量应达到现行国家标准《室内装饰材料人造板及其制品中甲醛释放量》GB18580 标准中 E1 级的有关规定，释放量应小于 1.5mg/L。

3.4 紧固件

3.4.1 紧固件宜采用自攻螺钉和螺栓，应符合现行国家标准《开槽盘头自攻螺钉》GB/T 5282、《十字槽盘头自钻自攻螺钉》GB/T 15856.1、《十字槽沉头自钻自攻螺钉》GB/T 15856.2、《十字槽半沉头自钻自攻螺钉》GB/T 15856.3、《六角法兰面自钻自攻螺钉》GB/T 15856.4、《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780、《紧固件机械性能第 11 部分：紧固件机械性能自钻自攻螺钉》GB/T 3098.11 等中的有关规定。

3.5 加劲件

3.5.1 为提高非金属面板保温夹芯板受力性能，夹芯板内可以设置增强抵抗外载的加劲件，宜采用槽钢或工字钢。

3.5.2 内置加劲件采用彩色涂层钢板时，应符合现行国家标准《彩色涂层钢板及钢带》GB/T 12754 中的有关规定。

3.5.3 内置加劲件采用压型钢板时，应符合现行国家标准《建筑用压型钢板》GB/T 12755 中的有关规定。内置加劲件采用不锈钢时，应符合现行国家标准《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237 中的有关规定。

4 基本规定

4.0.1 非金属夹芯板承受的重力荷载、风荷载等荷载及荷载组合应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定，地震作用应根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 确定。

4.0.2 长期荷载下，应根据本规程第 3.2.9 条考虑时间对夹芯板芯材剪变模量的影响，根据本规程第 3.2.6 条考虑老化对夹芯板芯材抗拉强度的影响。

4.0.3 在可能受冲击荷载及震动影响的建筑物中，夹芯板应符合本规程附录第 A.2.17 条中的有关要求。

4.0.4 夹芯板设计，应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计，计算基于弹性范围内。

4.0.5 夹芯板的承载力应按下列公式验算：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d = \frac{R_c}{\gamma} \quad (4.0.8)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，对安全等级为一级的结构构件，不应小于 1.1；对安全等级为二级的结构构件，不应小于 1.0；

S_d ——作用组合的效应设计值；

R_d ——构件承载力设计值；

R_c ——构件承载力标准值；

γ ——材料分项系数，取 2.0。

4.0.6 非金属面保温板夹芯板结构或构件的变形限值应满足以下规定，夹芯板变形按本规程第 5.1 节计算：

1 屋面板和天花板：短期荷载引起的挠度，不应超过跨度的 1/200；长期荷载引起的挠度(包括徐变影响)，不应超过跨度的 1/100；

2 墙面板：挠度不应超过跨度的 1/100。

4.0.7 应尽量避免非金属面保温夹芯板结构承受垂直于面板的平拉或平压局部集中载荷。

4.0.8 对有防火和防腐蚀要求的结构，应按有关的专门规定，作防火和防腐蚀处理。

5 夹芯板计算

5.1 夹芯板内力与变形计算

5.1.1 夹芯板结构的内力由以下几部分组成(图 5.1.1):

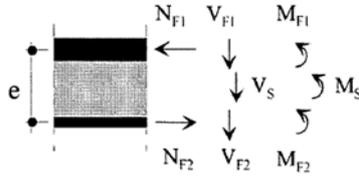


图 5.1.1 非金属夹芯板内力图

1 弯矩 M 组成按以下公式计算:

$$M = M_F + M_S \quad (5.1.1-1)$$

$$M_S = -N_{F1}e = N_{F2}e \quad (5.1.1-2)$$

式中: M_F ——面板单独承担的弯矩, 按本规程第 5.2 节的规定取值;

M_S ——夹芯板上下面板轴力形成的弯矩, 按本规程第 5.2 节的规定取值;

N_{F1} 、 N_{F2} ——上下面板轴力, 大小相等方向相反;

e ——上下面板中和轴之间距离。

2 剪力 V 组成按以下公式计算:

$$V = V_F + V_S \quad (5.1.1-3)$$

式中: V_F ——面板剪力;

V_S ——夹芯部分的剪力, 按本规程第 5.2 节的规定取值。

5.1.2 非金属夹芯板在横向均布荷载作用下的内力应按下列公式计算:

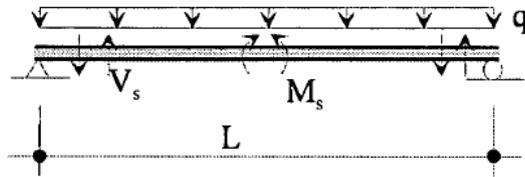


图 5.1.2 均布荷载作用下的夹芯板

$$M_{F1} = \beta_1 \beta_q \frac{qL^2}{8} \quad (5.1.2-1)$$

$$M_{F2} = \beta_2 \beta_q \frac{qL^2}{8} \quad (5.1.2-2)$$

$$M_s = (1 - \beta_q) \frac{qL^2}{8} \quad (5.1.2-3)$$

$$V_s = \frac{qL}{2} \quad (5.1.2-4)$$

$$\beta_1 = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + B_{F2}} \quad (5.1.2-5)$$

$$\beta_2 = \frac{B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2}} \quad (5.1.2-6)$$

$$\beta_q = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2} + \frac{B_s}{1 + k_q}} \quad (5.1.2-7)$$

$$k_q = \frac{9.6B_s}{L^2 G_c A_s} \quad (5.1.2-8)$$

$$B = B_{F1} + B_{F2} + B_s \quad (5.1.2-9)$$

$$B_s = \frac{E_1 A_{F1} E_2 A_{F2}}{(E_1 A_{F1} + E_2 A_{F2})} e^2 \quad (5.1.2-10)$$

$$B_{F1} = E_1 I_{F1} \quad (5.1.2-11)$$

$$B_{F2} = E_2 I_{F2} \quad (5.1.2-12)$$

式中： B ——夹芯板的整体的抗弯刚度；

B_s ——夹芯部分的抗弯刚度；

E_1 、 E_2 ——上下面板的弹性模量；

G_c ——芯材的剪切模量；

L ——夹芯板跨度；

A_s ——单位宽度芯材面积， $A_s = e$ ；

I_{F1} 、 I_{F2} ——上、下面板横截面的惯性矩；

β_1 、 β_2 、 β_q ——参数。

5.1.3 在横向均布荷载作用下，跨中挠度应按下列公式计算：

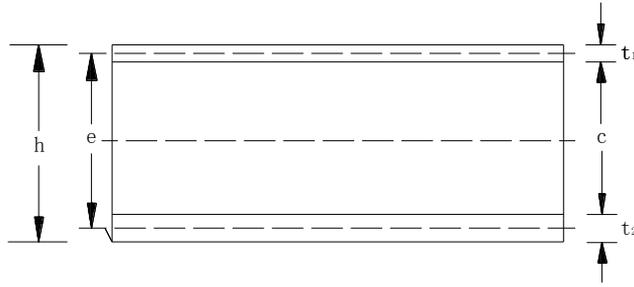


图 5.1.3-1 截面尺寸及符号含义

$$\Delta = \Delta_b + \Delta_s = \frac{5qL^4}{384B} + \frac{qL^2}{4(h+c)G_C} \quad (5.1.3-1)$$

$$B = (E_1bt_1^3 + E_2bt_2^3) / 12 + E_1t_1E_2t_2e^2 / (E_1t_1 + E_2t_2) \quad (5.1.3-2)$$

式中： Δ ——横向荷载引起的总变形；
 Δ_b ——夹芯板弯曲引起的变形；
 Δ_s ——夹芯板剪切引起的变形；
 t_1 ——上面板厚度；
 t_2 ——下面板厚度。

当上下面板材料、厚度相同时，上面公式简化为：



图 5.1.3-2 截面尺寸及符号含义

$$\Delta = \Delta_b + \Delta_s = \frac{5qL^4}{384B} + \frac{qL^2}{8(t+c)G_C} \quad (5.1.3-3)$$

$$B = Ebt^3 / 6 + Ete^2 / 2 \quad (5.1.3-4)$$

式中：E——面板弹性模量。

5.1.4 内配加劲件非金属夹芯板在横向均布荷载作用下，跨中挠度和非金属夹芯板的内力应乘以下列分配系数 c ：

$$c = \frac{\Delta_2}{\Delta_1 + \Delta_2} \quad (5.1.4-1)$$

式中：c——夹芯板刚度分配系数；

Δ_1 ——横向均布荷载作用下，无加劲件非金属夹芯板跨中挠度，按被规程公式（5.1.3-1）

Δ_2 ——横向均布荷载作用下，内配加劲件非金属夹芯板跨中挠度，按现行国家规范《钢结构设计规范》GB50017 计算。

5.1.5 非金属夹芯板在轴向荷载和横向荷载共同作用下变形应乘以下列放大系数：

$$\varphi = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} \quad (5.1.5-1)$$

式中： φ ——轴向荷载与横向荷载共同作用时的变形放大系数；

N ——轴向压缩荷载；

N_{cr} ——整体轴向屈曲荷载，按本规程公式（5.3.1-3）计算。

5.2 夹芯板应力计算

5.2.1 夹芯板在横向荷载下应力应按下列公式计算：

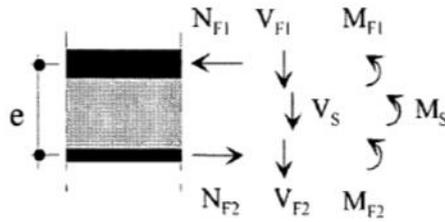


图 5.2.1 非金属面夹芯板内力分布图

$$\sigma_{F11} = \sigma_{F1} + \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{11} \quad (5.2.1-1)$$

$$\sigma_{F12} = \sigma_{F1} - \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{12} \quad (5.2.1-2)$$

$$\sigma_{F21} = \sigma_{F2} - \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{21} \quad (5.2.1-3)$$

$$\sigma_{F22} = \sigma_{F2} + \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{22} \quad (5.2.1-4)$$

$$\tau_C = \frac{V_S}{eB} \quad (5.2.1-5)$$

$$\tau_{F1} = \frac{V_{F1}}{t_1} \quad (5.2.1-6)$$

$$\tau_{F2} = \frac{V_{F2}}{t_2} \quad (5.2.1-7)$$

式中： σ_{F11} 、 σ_{F12} ——上面板的拉压应力；

τ_{F1} 、 τ_{F2} ——上下面板中剪应力；

V_{F1} 、 V_{F2} ——上下面板承担的剪力。

5.2.2 非金属夹芯板在轴向荷载和横向荷载共同作用下应力应乘以放大系数 φ ， φ 按本规程公式(5.1.5-1)取值。

5.2.3 支座处芯材压应力的计算符合以下规定：

1 端部支座处芯材（图 5.2.2）的受压应力应按下式计算：

$$\sigma_{\text{Ccd}} = \frac{F}{B(L_s + ke/2)} \quad (5.2.3-1)$$

2 中间支座处芯材（图 5.2.2）的受压应力应按下式计算：

$$\sigma_{\text{Ccd}} = \frac{F}{B(L_s + ke)} \quad (5.2.3-2)$$

式中： k ——分布系数，应按本规程附录第 A.2.10 条中的试验来确定。在缺少试验结果的情况下，对硬质塑性泡沫材料，取 $k=0.5$ ；对矿物棉， $k=0$ ；

L_s ——支承宽度；

e ——上下面层中心线间的距离。当 $e>100\text{mm}$ 时，取 $e=100\text{mm}$ 。

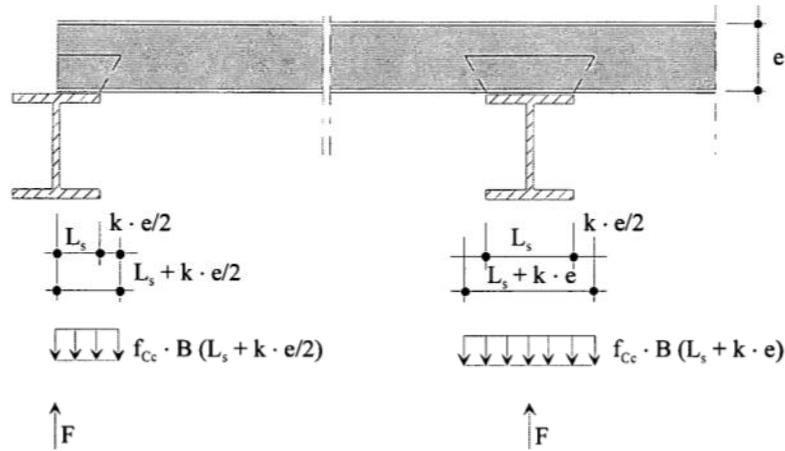


图 5.2.3 支座处抗力图

5.3 夹芯板承载力计算

5.3.1 非金属夹芯板轴心受压作用下承载力计算

1 面板强度应满足以下要求：

$$\sigma_F \leq f_F \quad (5.3.1-1)$$

式中： σ_F ——面板拉或压应力，应按本规程第 5.3 节计算；

f_F ——面板抗拉或抗压强度设计值，应按本规程附录第 A.2.1 条中的试验进行确定。

2 整体屈曲承载力应按本规程附录 A 试验确定，也可按下式计算：

$$N \leq N_{cr} \quad (5.3.1-2)$$

$$N_{cr} = \frac{N_s N_F - N_F^2 + N_s N_C}{N_s - N_F + N_C} \quad (5.3.1-3)$$

$$N_s = \frac{\pi^2 B}{L^2} \quad (5.3.1-4)$$

$$N_F = \frac{\pi^2 B_D}{L^2} \quad (5.3.1-5)$$

$$N_c = A_C G_{Ce} \quad (5.3.1-6)$$

$$B_D = E_{F1} I_{F1} + E_{F2} I_{F2} \quad (5.3.1-7)$$

$$A_C = be \quad (5.3.1-8)$$

$$G_{Ce} = G_C e / c \quad (5.3.1-9)$$

式中： N ——轴向荷载；

N_S ——为夹芯板的欧拉临界荷载；

N_F ——为夹芯板面板欧拉临界荷载；

N_C ——芯材临界荷载；

G_{Ce} ——等效芯材剪切模量；

G_C ——核心剪切模量。

5.3.2 非金属夹芯板偏心受压作用下承载力计算

1 非金属夹芯板压缩强度应该满足以下要求：

$$N_e \leq C_e f_F A_F \quad (5.3.2-1)$$

$$C_e = \frac{1}{1 + \frac{dy_c}{r^2} \sec\left[\frac{12L}{2r} \sqrt{\frac{3N_e}{A_F E_F}}\right] + \frac{3N_e dy_c}{2A_V G_C I}} \quad (5.3.2-2)$$

$$A_V = 6(h+c) \quad (5.3.2-3)$$

式中： N_e ——轴向偏心荷载设计值；

A_F ——面板的横截面面积；

C_e ——偏心荷载系数；

A_V ——对于对称夹芯板的剪切面积；

d ——荷载偏心，从截面中心到荷载作用线之间的距离；

E_F ——夹芯板面板弹性模量；

I ——夹芯板的惯性矩；

L ——夹芯板的跨度；

r ——夹芯板的回转半径；

y_c ——夹芯板的中心到最外端压缩边缘的距离。

5.3.3 非金属面保温板夹芯板在横向均布荷载作用下承载力计算：

1 面板强度应满足以下要求:

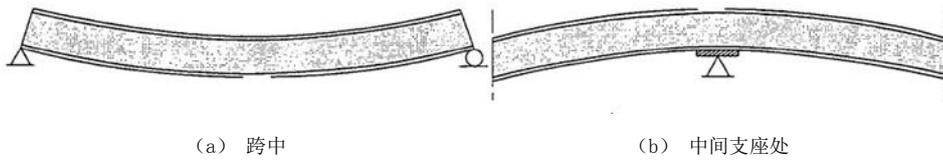


图 5.3.3-1 面板拉伸或压缩破坏

$$\sigma_F \leq f \quad (5.3.3-1)$$

式中: σ_F ——面板拉或压应力, 应按本规程第 5.2 节计算;

f ——面板抗拉或抗压强度设计值, 应按本规程附录第 A.2.1 条中的试验进行确定。

2 支座处芯材剪切强度应按下列式计算:

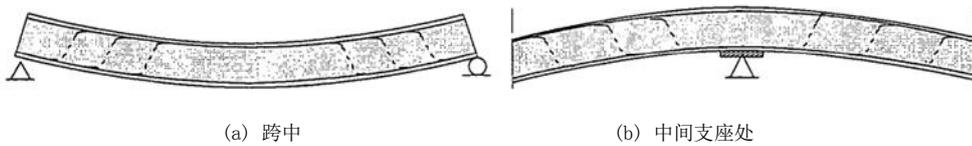


图 5.3.3-2 芯材剪切破坏

$$V \leq f_c C_v A_c \quad (5.3.3-2)$$

$$C_v = \left(\frac{h_o}{h}\right)^m \quad (5.3.3-3)$$

式中: V ——设计剪力;

C_v ——剪切尺寸调整系数;

f_c ——核心材料抗拉或抗压强度设计值。

3 夹芯板支座处芯材承压强度应按下列式计算:

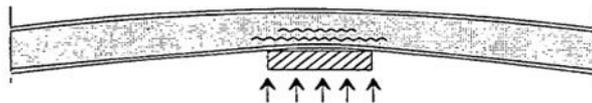


图 5.3.3-3 支座处芯材破坏

$$\sigma_{cc} \leq f_{cc} / \gamma_c \quad (5.3.3-4)$$

式中: σ_{cc} ——支座处芯材受压应力, 应按本规程第 5.2.3 条确定;

f_{cc} ——芯材承压强度标准值, 应按本规程附录第 A.2.3 条的有关试验确定。

5.3.4 非金属夹芯板皱曲破坏承载力计算:

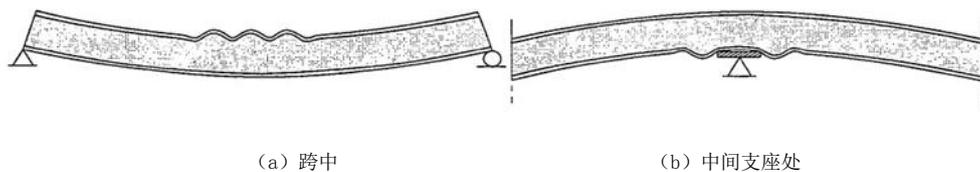


图 5.3.4 局部稳定

对于面板为厚度小于 3mm 的欧松板, 在轴压荷载作用、偏压荷载作用以及横向荷载作用下, 受压面板皱曲破坏承载力应按下式计算:

$$\sigma_F \leq k_1 \sqrt[3]{E_C G_C E_F} \quad (5.3.4-1)$$

式中: E_F ——在荷载施加方向面材弹性模量, 应按本规程附录第 A.2.1 条中的试验进行确定;

E_C ——垂直于面板方向的芯材弹性模量, 应按本规程附录第 A.2.1 条中的试验进行确定;

G_C ——垂直于面板并平行于荷载施加方向的芯材剪切模量, 应按本规程第 3.2.4 条中的规定取值;

k_1 ——常数, 一般取值 0.65, 如果材料制造缺陷可取 0.5。

6 连接

6.1 紧固件

6.1.1 紧固构件分为结构紧固件和非结构紧固件，可以采用以下几种形式：

1 连接木结构的紧固件（图 6.1.1-1）：

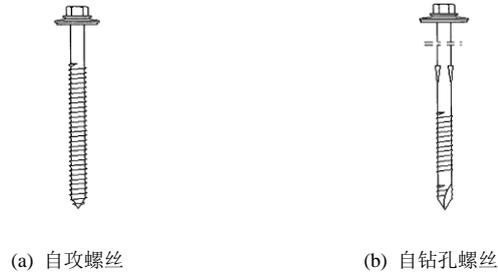


图 6.1.1-1 连接木结构的紧固件

2 连接混凝土结构的紧固件（图 6.1.1-2）

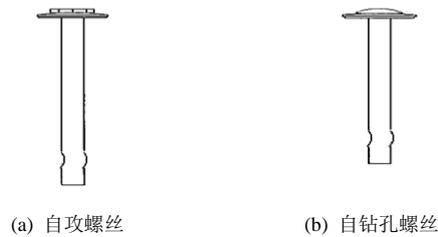


图 6.1.1-2 连接混凝土结构的紧固件连接件

3 螺钉头下有螺纹的特殊紧固件（图 6.1.1-3）：

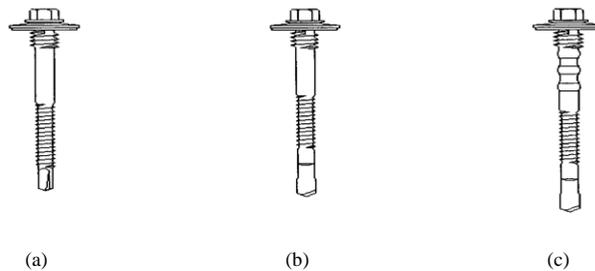


图 6.1.1-3 特殊紧固件

6.1.2 紧固件的数量和配置应满足下列要求：

1 对于结构紧固件，每个夹芯板的支承端至少有两个紧固构件，紧固构件间的最小距离要大于夹芯板厚且不小于 50mm。

2 对于非结构紧固件，紧固构件间的距离不应该大于 600mm。

6.1.3 紧固件宜固定于结构构件上，保证连接可靠。

6.2 连接计算

6.2.1 连接处应考虑以下荷载作用：

1 风吸力和面板温差引起的拉力荷载；

2 板自重；

3 板上额外构件的重量；

4 面板的温差膨胀及可能的膜作用引起的剪力荷载。

对承受重复荷载的连接，应按本规程附录第 A.2.16 条中的试验方法考虑其影响。

6.2.2 夹芯板连接的拉伸强度承载力应按本规程附录第 A.2.16 条描述的方法进行试验获得。

1 面板抗拉强度（图 6.2.2-1）：

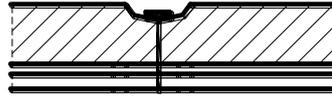


图 6.2.2-1 面板拉坏

2 支撑构件抗拔强度（图 6.2.2-2）：

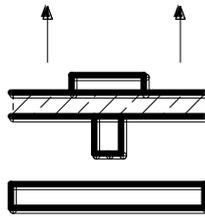
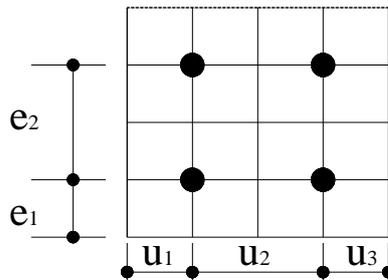


图 6.2.2-2 支撑构件拉穿

6.2.3 夹芯板连接的剪切强度承载力应按本规程附录第 A.2.16 条描述的方法进行试验获得。

在没有试验数据的情况下，当紧固件的布置满足以下条件时：



$$e_1 \geq 3d_n$$

$$e_2 \geq 3d_n$$

$$u_1 \geq 1.5d_n$$

$$u_2 \geq 3d_n$$

钢材： $3.0\text{mm} \leq d_n \leq 8.0\text{mm}$

铝材： $d_n \geq 5.5\text{mm}$

连接的剪切强度承载力也可按以下方法确定：

1 孔壁破坏或紧固件倾斜可按下列公式计算（图 6.2.3-1）：

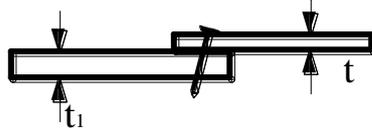


图 6.2.3-1 孔壁破坏或连接件倾斜

2 面板净截面抗拉强度可按下列公式计算 (图 6.2.3-2):

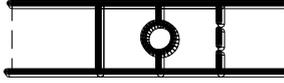


图 6.2.3-2 孔壁破坏或连接件倾斜

$$V \leq A_n f \quad (6.2.3-2)$$

式中: A_n ——面板的净截面积 (mm^2)。

6.2.4 所有支座处的支撑宽度不应小于 40mm, 且应该沿着板端方向连续。

6.2.5 夹芯板间的连接应采用防水密封胶材料。

附录 A 试验方法和要求

A.1 一般要求

A.1.1 构件性能试验取样应取至少 3 个试件，材料性能试验至少 5。对一系列不同厚度的芯材，分别取最薄、最厚及中间厚度的板进行试验。试样部位：板宽边缘 10%和板中间位置范围。

A.1.2 试验特征值 \bar{x}_p 的确定应按下式计算：

$$\bar{x}_p = \bar{x} - k_\sigma \sigma_x \quad (\text{A.1.2})$$

式中： \bar{x} ——试验平均值；

k_σ ——分位系数，按表 A.1.2 取值；

σ_x ——标准差。

表 A.1.2 分位系数

试件个数	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	60	∞
k_σ	3.15	2.68	2.46	2.34	2.25	2.19	2.14	2.10	1.99	1.93	1.87	1.80	1.76

A.1.3 所有的试验宜在实验室室内环境进行。

初次试验的试件，取样时间应至少为 24 小时。质量控制试验的试件应在生产后立即取样。并记录取样时的日期、时间、温度及相关湿度。

温度和相对湿度特别重要时，试验应满足以下条件：

温度： $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$

相对湿度： $50\% \pm 10\%$

所有试样的芯材密度应与试验结果一起记录，芯材密度应从每块整板不同区域取出 3 个棱柱形芯材试样称重。

A.1.4 加速老化试验应按下列要求进行：

1 试样准备

为了确定芯材老化引起的强度随时间的退化作用，对每种试验，应在板完整厚度处截取至少 5 个 $100 \times 100 \text{ mm}$ 试样，并要求面板完整无损。为防止腐蚀，面板切割边应涂抹硅脂保护剂。

加速老化试验前，应首先根据本规程第 A.2.2 条确定试样未老化抗拉强度 R_0 。应将试样储存在 $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的正常实验室条件下至少 24 小时。

试验前及试验后，测量试样三个方向的尺寸，以确定其尺寸的变化。

老化试验的循环应符合下列第 4 条的要求。循环过程中，将试样从一种条件转移到另一种条件应在 5 分钟内，否则的话，应将它们放置在密闭袋中。

2 基准老化循环 C1

按一天 24 小时计，基准老化循环 C1 经历如下过程：

5 天：温度为 $+70^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $90\% \pm 10\%$ ；

1 天：温度为 $-20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ；

1 天：温度为 $+90^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，且相对湿度小于 15%。

3 C2 试验

试样保存在 $+65^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 100% 的环境里 28 天。

4 老化循环

第一组：5 个试件，经历 1 个基准老化循环 C1。取出后，将试验试样放入预定的温度和湿度中。根据本规程第 A.2.2 条确定平均抗拉强度值记为 R_1 。

第二组：同上，5 个试件，经历 5 个基准老化循环 C1，得到平均抗拉强度值记为 R_5 。

第三组(需要根据第一、二组试验所得结果决定是否进行)：同上，5 个试件，经历 10 个基准老化循环，得到平均抗拉强度值记为 R_{10} 。

第四组：5 个试件，经历老化循环 C2。取出后，将试验试样放入预定的温度和湿度下。根据本规程第 A.2.2 条确定平均抗拉强度记为 R_T 。

5 试验结果应满足以下条件：

(1) $R_1 \geq 0.6R_0$

(2) $R_5 \geq 0.4R_0$

(3) $R_1 - R_5 \leq R_0 - R_1$

(4) $R_T \geq 0.4R_0$

如果第三个条件不满足，则进行第三组性能老化试验，并应满足下列条件：

(5) $R_5 - R_{10} \leq R_1 - R_5$ 或 $R_{10} \geq 0.6R_0$ 。

在上述过程中尺寸变化应小于 5%。

A.2 材料性能试验方法

A.2.1 面板材料拉伸压缩试验

面板材料拉伸、压缩试验应符合现行国家标准《夹层结构平拉强度试验方法》GB/T 1452、《夹层结构或芯子平压性能试验方法》GB/T 1453 中的有关规定。

A.2.2 芯材拉伸试验

包括面板与芯材粘结力试验(面板粘结后)、芯材的抗拉强度(面板粘结前)。

如图 A.2.2-1 所示，采用合适的粘结剂，将方形截面试样粘结于足够刚度的加载板上。对浅压型表面，应保证加载板与面板的充分粘结。

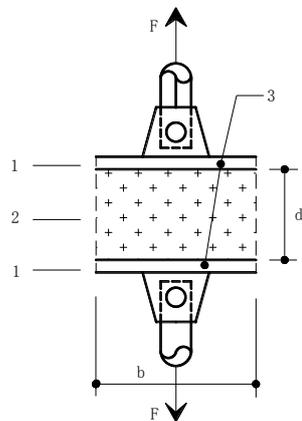


图 A.2.2-1 芯材拉伸试验装置

1—面板；2—芯材；3—加载板； d_c —试件芯材厚度； b —试件宽度
($0.5d_c \leq b \leq 1.5d_c$, 且 $b \geq 50\text{mm}$)

在拉伸试验机上逐步加载，应变率 ε 满足： $1\% / \text{min} \leq \varepsilon \leq 3\% / \text{min}$ 。

抗拉强度 f_{Ct} 为：

$$f_{Ct} = \frac{F_u}{b^2} \quad (\text{A.2.2-1})$$

拉伸模量 E_{Ct} 为：

$$E_{Ct} = \frac{F_u d_c}{w_u b^2} \quad (\text{A.2.2-2})$$

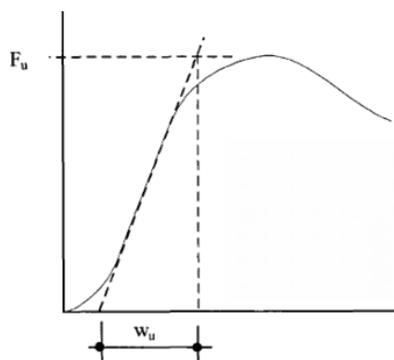


图 A.2.2-2 拉伸荷载-位移曲线

式中参数根据荷载-位移曲线确定。

试验报告中应说明破坏发生在粘结处破坏还是芯材。

A.2.3 芯材压缩试验

如图 A.2.3，方形截面，面板可以不用除去。

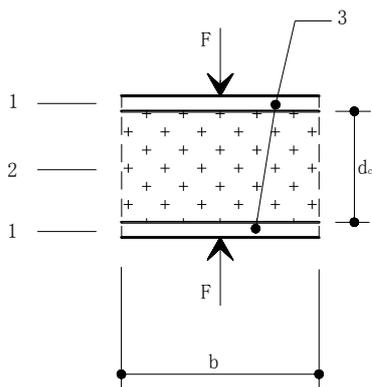


图 A.2.3 芯材压缩试验装置

1—面板；2—芯材；3—加载板； d_c —试件芯材厚度； b —试件宽
($0.5d_c \leq b \leq 1.5d_c$, 且 $b \geq 50\text{mm}$)

将试件放置于加载试验机的两块平行刚性加载板中间，增量加载。应变率 ε 满足： $1\% / \text{min} \leq \varepsilon \leq 3\% / \text{min}$ 。

芯材的抗压强度 f_{Cc} 为：

$$f_{Cc} = \frac{F_u}{b^2} \quad (\text{A.2.3-1})$$

芯材的压缩模量 E_{Cc} 为:

$$E_{Cc} = \frac{F_u d_C}{w_u b^2} \quad (\text{A.2.3-2})$$

A.2.4 芯材剪切试验

1 短期加载

1) 薄夹芯板芯材剪切强度及剪变模量按图 A.2.4 四点弯曲加载试验获得。

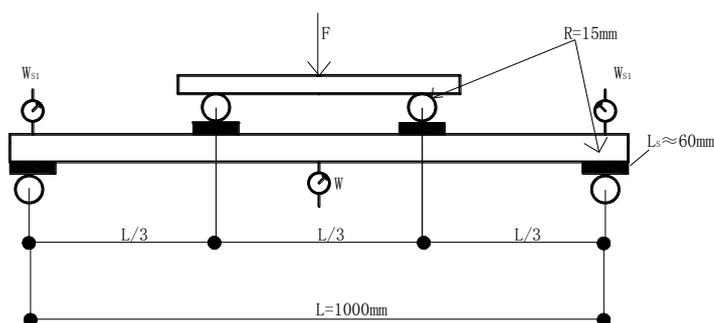


图 A.2.4-1 剪切试验布置

R —半径; w —位移; L_s —金属垫块厚度; b —试件宽度($b \geq 100\text{mm}$),

抗弯刚度为:

$$B_s = \frac{E_{F1} A_{F1} E_{F2} A_{F2}}{E_{F1} A_{F1} + E_{F2} A_{F2}} e^2 \quad (\text{A.2.4-1})$$

弯曲变形为:

$$\Delta w_b = \frac{\Delta F L^3}{56.34 B_s} \quad (\text{A.2.4-2})$$

剪切变形为:

$$\Delta w_v = \Delta w - \Delta w_b \quad (\text{A.2.4-3})$$

剪变模量为:

$$G_c = \frac{L}{6be} \frac{\Delta F}{\Delta w_v} \quad (\text{A.2.4-4})$$

式中: E_{F1} ——上面板弹性模量;

E_{F2} ——下面板弹性模量;

A_{F1} ——上面板横截面面积(mm^2);

A_{F2} ——下面板横截面面积(mm^2);

e ——上下面板中心线距离(mm);

Δw ——荷载-跨中变形曲线中荷载增量 ΔF 对应的线性斜率部分的变形;

b ——试件宽度(mm)。

芯材的极限剪切强度 f_{Cv} 按以下公式计算:

$$f_{Cv} = \frac{F_u}{2be} \quad (\text{A.2.4-5})$$

式中： F_u ——试件剪切破坏时的极限荷载。

2)厚矿棉板的剪切试验采用图 A.2.4-2 所示试验方法。

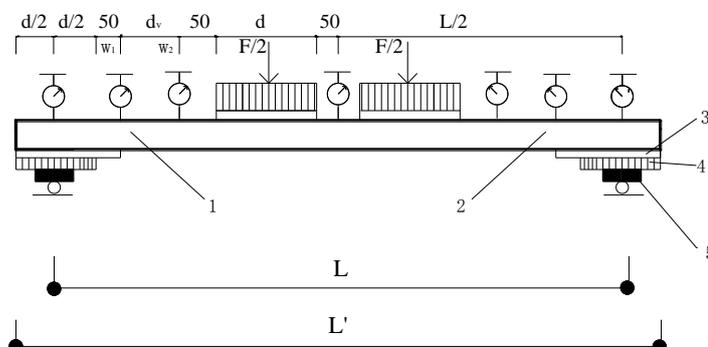


图 A.2.4-2 剪切试验布置

1—剪压区 1；2—剪压区 2；3—软塑料；4—胶合板 22mm；5—钢板厚 10mm，宽 100mm；

L—跨度；L'—试件跨度

四点弯曲试验法通常用于薄度适当的塑性泡沫夹芯板，对厚矿棉板，试样可能在传力点(加载点和支座处)处发生压碎破坏。

加载长度 d 及试件长度应适当，以避免加载点处发生压碎破坏。在剪切区域及其附近处，不应有芯材接头，试验加载至破坏应在 5-10 分钟内。

剪变模量为：

$$G_C = \frac{\tau_C}{\gamma_C} = \frac{d_v}{2eb} \frac{\Delta F}{\Delta(w_2 - w_1)} \quad (\text{A.2.4-6})$$

$$\tau_C = \frac{\Delta F}{2eb} \quad (\text{A.2.4-7})$$

$$\gamma_C \approx \frac{\Delta(w_2 - w_1)}{d_v} \quad (\text{A.2.4-8})$$

式中： τ_C ——芯材剪应力；

γ_C ——芯材剪应变；

d_v ——两个位移传感器之间的距离，约为 100mm；

ΔF ——荷载增量；

$\Delta(w_2 - w_1)$ ——位移 w_1 、 w_2 差值。

2 长期加载

在+20℃左右的温度环境中，将 $n \geq 10$ 个样本在 $0.1 \leq t \leq 10^3$ 小时的时间间隔，采用同短期加载试验一样的方法，得到平均长期剪切强度/初始剪切强度(短期强度)与时间之间的函数关系曲线。基于函数曲线，还可计算出其它时间如 2000 或 10000 小时剪切强度。

A.2.5 整板剪切强度的试验

对有芯材接缝的板，宜整板剪切强度的试验，此时以接缝在芯材内的最不利布置进行加载试验，并在试验报告中说明接缝位置。

如图 A.2.5 所示，在 1/4 处加载，或采用真空槽试验装置(或真空袋)进行真空加载。逐步增加至板破坏，并记录破坏时的荷载。

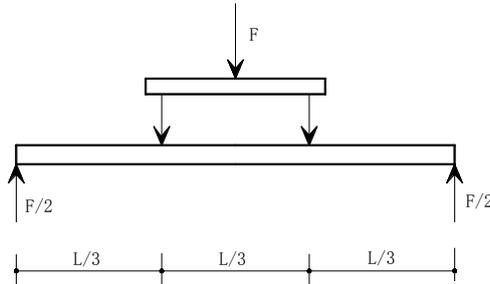


图 A.2.5 夹芯板剪切试验

芯材的极限剪切强度 f_{cv} 按下式计算：

$$f_{cv} = \frac{F_{Cu}}{2Be} \quad (A.2.5)$$

式中： F_{Cu} ——试样剪切破坏时芯材承受的荷载。对平表面及浅压型表面的夹芯板，假设所有的剪力由芯材承受，芯材承受的荷载为试验荷载；对深压型或压型钢板夹芯板，需要计算得到；

B ——夹芯板宽度。

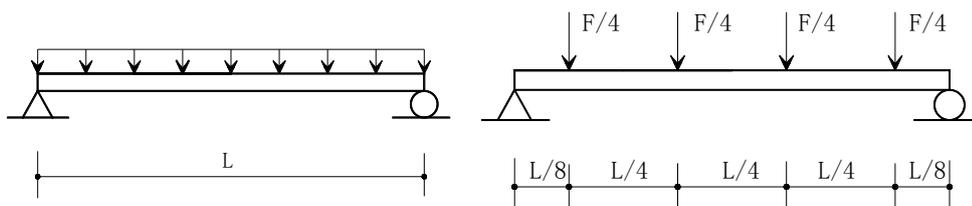
A.2.6 夹芯板抗弯强度与刚度试验

夹芯板抗弯试验板跨 L 根据板的厚度 D 按表 A.2.6 取值，以确保发生弯曲破坏(面板皱曲或屈曲)。如果发生剪切破坏，则应以 1m 为单位增加板跨，直至发生弯曲破坏。

表 A.2.6 板跨选取表

板的厚度	板的跨度
$D \leq 40\text{mm}$	$L=3.0\text{m}$
$40 < D \leq 60\text{mm}$	$L=4.0\text{m}$
$60 < D \leq 100\text{mm}$	$L=5.0\text{m}$
$D > 100\text{mm}$	$L=6.0\text{m}$

如图 A.2.6-1 所示，采用真空加载槽(或真空袋)，或四点，对板施加均布荷载。



(a)真空槽或袋加载(b)四点加载

图 A.2.6-1 弯曲试验示意图

整个试验过程中，保持荷载始终垂直于板面。

支座宽度应在 50mm ~ 100mm 的范围内，支座可采用木块以侧肋发生变形，支座对板绕支座线的转动不应有约束，如图 A.2.6-3 所示。

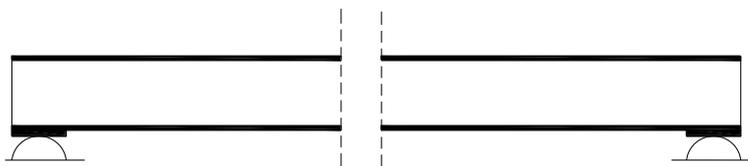


图 A.2.6-2 支座

试验中变形速度每分钟不超过板跨的 1/50，控制加载速率使得试件在试验开始后的 5min~10min 分钟内发生破坏，记录破坏荷载。

1 屈曲应力的确定

非金属夹芯板面板屈曲应力 f_{cr} 按以下公式计算：

$$f_{cr} = \frac{M_u}{eBt_1} \quad (\text{A.2.6-1})$$

式中： M_u ——试验中的极限弯矩，包括板自重及加载装置重量；

t_1 ——受压面板厚度。

如果采用真空槽或真空袋加载，则屈曲应力为：

$$f_{cr} = \frac{(F_G + F_u) L}{8eBt_1} \quad (\text{A.2.6-2})$$

式中： F_G ——板自重；

F_u ——施加的极限荷载。

如果在板跨 1/8、3/8、5/8、7/8 处施加四个相等荷载，则屈曲应力为：

$$f_{cr} = \frac{(F_G + F_u) L}{8eBt_1} \quad (\text{A.2.6-3})$$

式中： F_u ——施加的极限荷载与加载设备重量之和。

2 芯材剪变模量的确定

对平表面或浅压型面板夹芯板，弯曲试验也可确定芯材剪变模量。此时跨中的总变形可分为两部分：

$$w = w_b + w_v \quad (\text{A.2.6-4})$$

式中： w ——板的跨中挠度；

w_b ——面板拉压轴向变形引起的挠度；

w_v ——芯材剪切变形引起的挠度。

如果采用真空槽或真空袋加载，则：

$$\Delta w_b = \frac{5}{384} \frac{\Delta FL^3}{B_s} \quad (\text{A.2.6-5})$$

$$\Delta w_v = \frac{1}{8} \frac{\Delta FL}{G_C A_s} \quad (\text{A.2.6-6})$$

$$B_s = \frac{E_{F1} A_{F1} E_{F2} A_{F2}}{E_{F1} A_{F1} + E_{F2} A_{F2}} e^2 \quad (\text{A.2.6-7})$$

芯材的剪变模量按下列公式计算：

$$G_C = \frac{\Delta FL}{8 A_s (\Delta w - \Delta w_b)} \quad (\text{A.2.6-8})$$

$$A_s = eB \quad (\text{A.2.6-9})$$

式中： Δw ——挠度增量，应从荷载-挠度曲线的线性部分截取；

ΔF ——相应的荷载增量。

如果在板跨1/8、3/8、5/8、7/8处施加4个相等荷载，则：

$$\Delta w_b = \frac{41}{3072} \frac{\Delta FL^3}{B_s} \quad (\text{A.2.6-10})$$

A.2.7 确定徐变系数 φ_t 的试验

对于某一特殊芯材，应通过一单独的试验来确定其徐变系数。

试验应对跨度等于弯曲试验的完整板进行，芯材厚度为应为试验系列的最大厚度。

试验中，应保持恒载至少 1000 小时不间断。在此时间内，有规律的观察挠度的变化情况，并连续记录挠度与时间的关系。徐变试验的压力应为常温下剪切破坏时平均压力值的 30% 左右。

应施加均布恒荷载进行徐变试验。在施加荷载的过程中，应在夹芯板底部进行支撑，以便在试验开始时能平稳迅速的移去支撑物。在完全施加荷载后，开始测量其挠度的变化。

采用本规程第 A.2.6 条中弯曲试验板的方案。试验中，恒载取常温下剪切破坏时平均压力值的 30% 左右，且至少保持恒定 1000 小时。

非金属夹芯板的芯材徐变系数可按下式计算：

$$\varphi_t = \frac{w_t - w_0}{w_0 - w_b} \quad (\text{A.2.7})$$

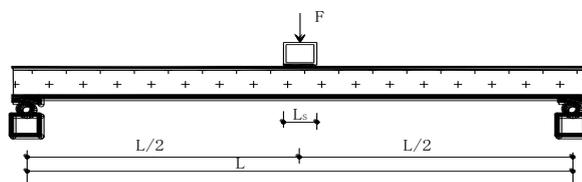
式中： w_t ——时间 t 时测得的挠度；

w_0 ——初始挠度；

w_b ——面板弹性伸长引起的挠度。

其它时间条件下的徐变系数，可以通过以上试验结果用半对数表插值获得。

A.2.8 中间支座处的皱曲应力确定试验



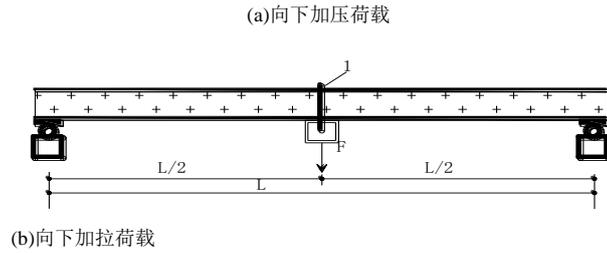


图 A.2.8 中间支座处挠曲应力加载图

1—螺丝钉

中间支撑处的挠曲应力试验可采用向下加压荷载或向上加拉荷载两种方式，如图 A.2.8。板长应大于 5m，并保证芯材和紧固件不会提前破坏。

平表面或浅压型表面的夹芯板挠曲应力 f_{cr} 可按下式计算：

$$f_{cr} = \frac{F_u L}{4eBt_1} \quad (\text{A.2.8})$$

A.2.9 两跨连续板试验

两跨连续板试验如图 A.2.9 所示：

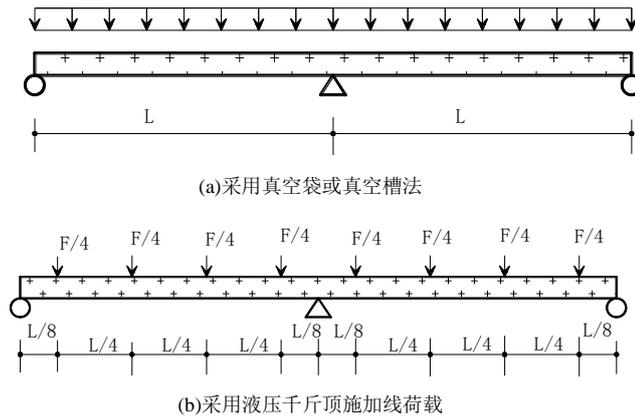


图 A.2.9 两跨夹芯板弯曲试验布置

A.2.10 支座承载力确定试验

支座承载力确定试验如图 A.2.10。

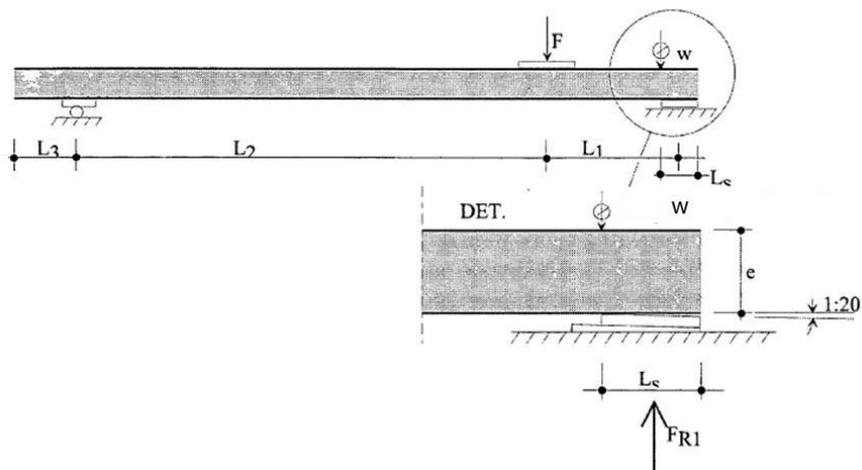


图 A.2.10 确定端支座反向承载力的试验布置

当端支座发生压缩破坏时，支座承载力按下式计算：

$$F_{R1} = \frac{L_2}{L_1 + L_2} F \quad (\text{A.2.10-1})$$

式中： F ——试验中测得的最大荷载和挠度 $w=0.1e$ 时对应荷载的最小值。

当端支座发生加载板 F 和支撑板 L_S 之间剪切破坏，则支座承载力按下式计算：

$$F_{R2} = f_{Cc} B(L_s + ke) \quad (\text{A.2.10-2})$$

$$k = 2 \frac{F_{R1} - f_{Cc} B L_S}{f_{Cc} e B} \quad (\text{A.2.10-3})$$

式中： f_{Cc} ——芯材的抗压强度，应根据本规程第 A.2.3 条确定。

A.2.11 可行走性试验

1 短期荷载下可行走性试验：

对单跨简支板，取实际中最大跨度，在跨中用 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的木块施加 1.2kN 的荷载。为了避免应力集中，可在木块与板金属面中间放置 10mm 厚的橡胶或毛毡。

1) 如果板没有永久的可视损坏，则没有行走方面的限制；

2) 如果存在永久的可视损伤，但板可以承受荷载，则应在安装过程中采取措施以避免损坏(如设置步行板)。在安装完成后，不允许在屋面板行走；

3) 如果板不能承受荷载，则任何时候不允许在屋面板行走。

对于多跨连续板，最大允许板跨可比单跨简支板增加 25%。

2 长期荷载下可行走性试验：

按本规程第 A.2.2 条准备 10 个 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 带有完整钢板的拉伸试件，对 50% 的试件进行拉伸破坏试验。对剩余的 50% 试件先按 $0\text{N}/\text{mm}^2 \sim 0.08\text{N}/\text{mm}^2$ 的压应力下经历 250 次循环，加载频率不应超过 1Hz ，然后进行拉伸破坏试验。

如果经历循环荷载后的试件平均拉伸强度低于没有经历循环加载平均拉伸强度的 80%，则认为板在长期荷载且无额外保护的情况下不适合于行走。

A.2.12 泡沫芯材热稳定性试验

试样截面尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，厚度为夹芯板厚度但去掉面板，精确测量其厚度。

将一组试样放入温度为 80°C 加热室中，另一组试样放入 -20°C 冷冻室中，维持 3 小时。然后，将它们取出，在正常的温度中重新测量其厚度。加热和冷冻后的试样厚度差分别不应大于 3% 和 1%。

A.2.13 泡沫及粘结剂反应试验

将泡沫和粘结剂混合在一次性容器中，记录以下反应时间：

1 乳稠时间；

2 生成时间；

3 凝结速率或表干时间；

4 粘合结束时间。

将试件中取出，确定：

- 1 密度；
- 2 受压强度；
- 3 冷热交攻下的性能(+80℃， -20℃)。

结合试件的尺寸和外观(孔结构)，根据经验判别。

A.2.14 面板与芯材之间粘结性能试验

取两块宽 20mm、长 100mm 的条状面板材料，按图 A.2.16 将面板粘结在一起。

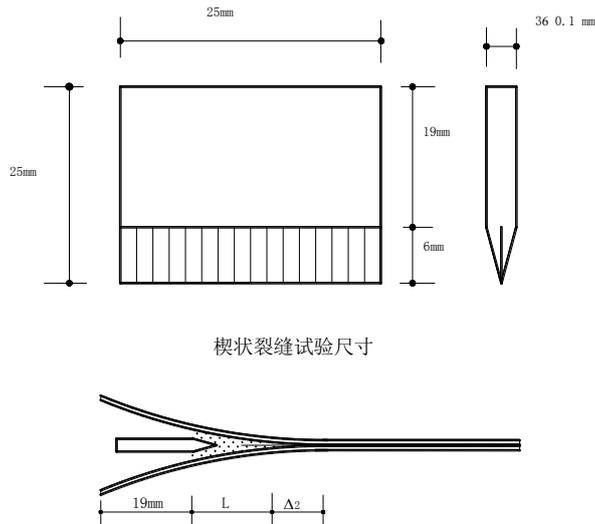


图 A.2.14 粘结试验的试样尺寸和试验布置

L—初始裂缝； Δ_2 —裂缝增长

将楔状物插入两面板之间，并测量引起的初始裂缝长度。然后对楔状物施加大小 3N 的力，将样本放至 70℃ 的水中 24 小时。

满足以下条件合格：

- 1 初始裂缝不超过 20mm；
- 2 热水 24 小时后裂缝增加长度不超过 20mm；
- 3 裂缝出现在粘结剂材料自身而不是与面板材料的粘结处。

A.2.15 抗冲击试验

本试验用于测试可能遭受冲击荷载的内墙和外墙夹芯板，如与公共场合相邻的一楼建筑，在遭受偶然冲击或蓄意冲击时的性能(如物件对板的砸击或人为事故)。

如图 A.2.17，冲击荷载试验试件由至少两块竖向板组装连接于一个合适的刚性支撑框架上。板件宽度不小于 2m，高度应接近最大设计高度，且不小于 2m。

硬质冲击锤采用直径为 67.5mm，重量大约 10kg 的钢球，软质冲击锤采用直径为 400mm 的帆布包，内装直径为 3mm 的玻璃球，总重量大约为 50kg。冲击锤由一个至少 3m 长的线垂直于板面倒挂放置。

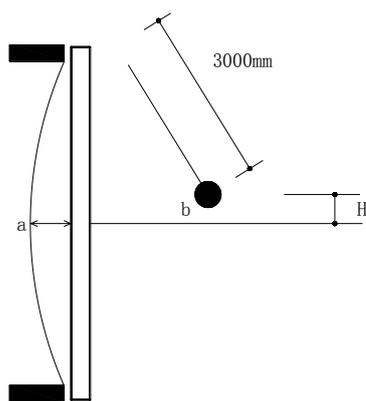


图 A.2 15 冲击荷载试验原理

a—挠度最大值； b—冲击锤

试验中，冲击器的初始高度 H 为 0.30m ，并以 0.30m 递增直至破坏发生。每次冲击后，应及时抓住冲击器，以确保每种高度时的冲击只发生一次。对板件一个或多个关键位置进行试验。检查板件是否有以下破坏：

- 1 可见损伤；
- 2 达到最大允许变形；
- 3 丧失完整性如板件与支撑框架不脱离。

凹痕或其他表面损伤是可以接受的。记录试验冲击破坏能量：

$$E = Mg \sum H \quad (\text{A.2.17})$$

式中： E ——冲击能，单位 $\text{N}\cdot\text{m}$ ；

M ——冲击器的质量，单位 kg ；

g ——重力加速度， $g = 9.807 \text{ m/s}^2$ ；

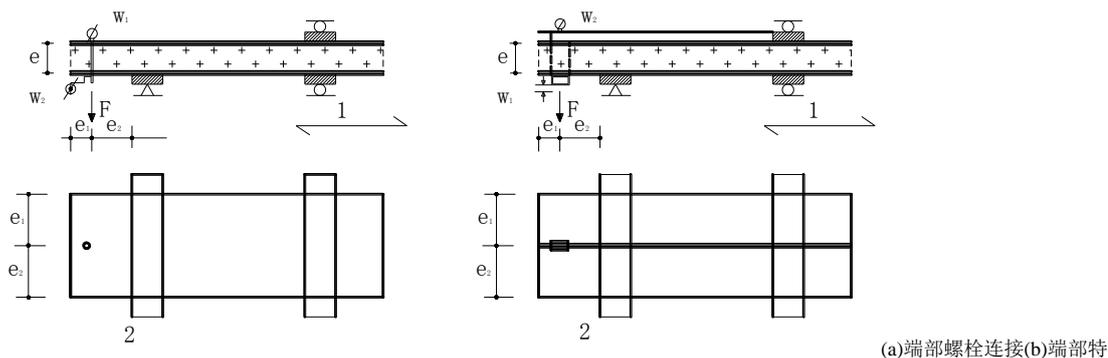
H ——下落高度，单位 m 。

A.2.16 连接试验

每组至少进行 5 个试验。

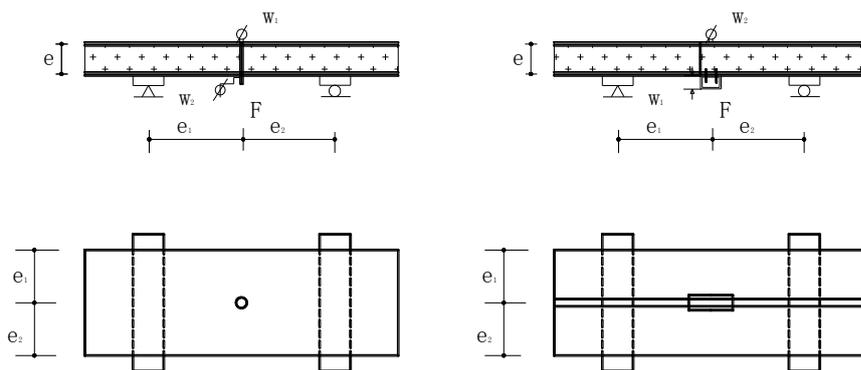
1 连接拉伸试验

如图 A.2.16-1 所示，应使紧固件与板端之间的距离最小，单调增加荷载或位移，使试件在 $5\text{min}\sim 10\text{min}$ 内发生破坏。测量连接的拉伸位移 $w = w_1 - w_2$ ，记录破坏荷载和破坏模式(拔穿，拔出，连接件自身破坏等)。



(a)端部螺栓连接(b)端部特

殊紧固件连接



(c)中间螺栓连接(d)中间特殊紧固件连接

图 A.2.16-1 连接处的拉伸试验

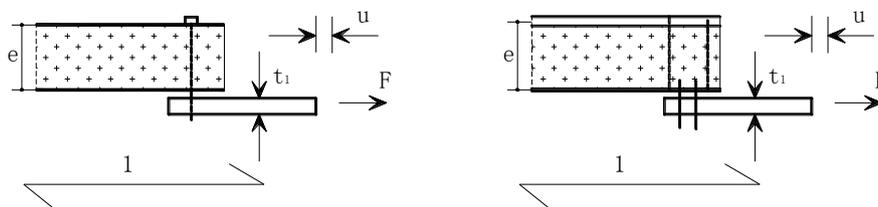
1—跨度方向；2—中点连接；

e_1 —构造规定的最小端距； $e_2 \geq \max \{e, 100\text{mm}\}$ ； $e_3 \geq B/4$ ， B 为夹芯板的宽度； $e_4 \geq \max \{e, 100\text{mm}\}$

2 连接件剪切试验

如图 A.2.16-2 所示，单调增加荷载或位移，使试件在 5min~10min 内破坏。记录破坏荷载和破坏模式(拔穿，拔出，连接件自身破坏等)，破坏荷载为下列荷载中的最小值：

- (1)试验的最大荷载；
- (2)荷载-位移曲线上第一次下降荷载；
- (3)位移为 3 mm 时对应的荷载。



(a)螺丝连接(b)特殊连接体系

图 A.2.16-2 连接的剪切试验

t_1 —支撑体系的厚度；1—跨度方向

3 连接重复弯曲试验

试验机采用位移控制单边加载，循环次数如下：

- (1)以计算最大位移的 4/7 循环 20000 次；
- (2)以计算最大位移的 6/7 循环 2000 次；
- (3)以计算最大位移循环 100 次。

加载频率不应超过 5Hz。位移循环完成后，对连接进行拉伸破坏试验。

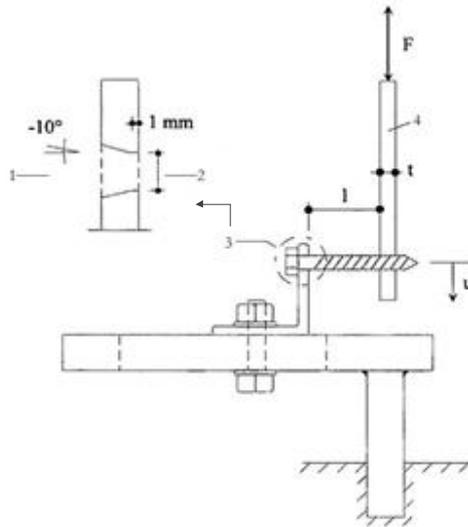


图 A.2.16-3 连接件重复弯曲试验布置

1—节点 A 详图；2—杆柄直径；3—节点 A；4—子结构

A.2.17 其他物理性能试验

以下性能试验参见相关的国家规范：

- 1 耐腐蚀性；
- 2 热传导性能；
- 3 耐湿性；
- 4 板间节点气密性；
- 5 耐火性；
- 6 声学性能。

A.2.18 试验结果的记录与分析

每个试验都应提交正式的文件报告，给出所有相关数据。除试验结果外，还应包括精确的试件尺寸和材料性能，试验中观察到的任何现象。

对试验结果的分析，应基于测得的试样尺寸和性能，而不是设计值。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规范条文时能区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1)表示很严格，非这样做不可的：

正面词用“必须”，反面词用“严禁”。

2)表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词用“应”，反面词用“不应”。

3)表示允许稍有选择，在条件许可时应这样做的：

正面词用“宜”或“可”，反面词用“不宜”。

2 本规范中指明应按其他有关标准执行时，写法为“应符合……要求(或规定)”或“应按……执行”。非必须按所指定标准执行时，写法为“可参照……执行”。

引用标准名录

- 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 《建筑抗震设计规范》 GB50011
- 《钢结构设计规范》 GB50017
- 《建筑结构可靠度设计统一标准》 GB 50068
- 《木结构工程施工质量验收规范》 GB50206
- 《夹层结构平拉强度试验方法》 GB/T 1452
- 《夹层结构或芯子平压性能试验方法》 GB/T 1453
- 《紧固件机械性能第 11 部分：紧固件机械性能自钻自攻螺钉》 GB/T 3098.11
- 《不锈钢热轧钢板和钢带》 GB/T 4237
- 《开槽盘头自攻螺钉》 GB/T 5282
- 《六角头螺栓 C 级》 GB/T 5780
- 《彩色涂层钢板及钢带》 GB/T 12754
- 《建筑用压型钢板》 GB/T 12755
- 《十字槽盘头自钻自攻螺钉》 GB/T 15856.1
- 《十字槽沉头自钻自攻螺钉》 GB/T 15856.2
- 《十字槽半沉头自钻自攻螺钉》 GB/T 15856.3
- 《六角法兰面自钻自攻螺钉》 GB/T 15856.4
- 《建筑用金属面绝热夹芯板》 GB/T 23932
- 《建筑结构设计术语和符号标准》 GB/T 50083
- 《工程结构设计基本术语和通用符号》 GBJ 132
- 《建筑结构保温复合板》 JC/T432
- 《纤维水泥平板-第 1 部分：无石棉纤维水泥平板》 JC/T 412.1
- 《维纶纤维增强水泥平板》 JC/T 671
- 《玻璃纤维增强水泥外墙板》 JC/T 1057

中国工程建设协会标准

非金属面保温夹芯板设计规程

CECS ***-2015

（征求意见稿）

条文说明

目次

1	总则.....	39
2	术语和符号.....	40
3	材料.....	41
3.1	非金属面板.....	41
3.2	芯材.....	41
3.3	粘结剂.....	45
4	基本规定.....	46
5	夹芯板计算.....	47
5.1	夹芯板内力与变形计算.....	47
5.2	夹芯板应力计算.....	51
5.3	夹芯板承载力计算.....	51
6	连接计算.....	58
6.1	紧固件.....	58
6.2	连接计算.....	58
附录 A	试验方法和要求.....	61
A.1	一般要求.....	61
A.2	材料性能试验方法.....	61

1 总则

1.0.1 夹芯板是采用一定的成型工艺将上下两层面板和芯材组合成一个整体的板材。夹芯板作为一种组合材料，具有轻质、高刚度和高强度、隔热隔音、绝热性能好、可设计性、易于运输、便于安装、以及合工厂化大批量预制生产等特点，在建筑领域对夹芯板的使用也越来越广泛，如组合房屋、公共建筑和工业厂房、仓库可移动板房临时房屋、冷库等。建筑常用的非金属面夹芯板的面板主要包括刨花板(OSB 板)、纤维增强水泥板、纤维增强硅酸钙板等非金属材料，芯材采用垂直与面板方向的具有一定强度后轻质材料做成。

1.0.2 本规程的制定是依据国家有关政策，特别是近年来节能减排产业的落实及低碳、绿色建筑的发展，将近年来国内外的研究成果和成熟经验纳入本规程。为做到安全、适用、经济、保证质量，以哈尔滨工业大学深圳研究生院为主编单位的编制组近年来进行了大量的调查和试验研究。本规程中采用的设计方法是依据国内设计相关规定，基于大量理论和试验结果，同时参照欧洲相关规范的设计理论编写而成。本规程的中的很多参数，如材料及连接的强度等，都引用了国家现行有关的标准的规定，因此，除本规程有明确的规定外，设计时必须遵守国家现行有关的标准。通过此规程的出版可以大大方便设计工作，为了适应发展形势的需要，特组织制定本规程。

2 术语和符号

术语和符号是根据现行国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132、《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083 并结合本规程的具体情况给出的。

3 材料

3.1 非金属面板

3.1.1 纤维水泥平板，又称纤维增强水泥板，是以纤维和水泥为主要原材料生产的建筑用水泥平板，以其优越的性能被广泛应用于建筑行业的各个领域。根据添加纤维的不同分为温石棉纤维水泥板和无石棉纤维水泥板，根据成型加压的不同分为纤维水泥无压板和纤维水泥压力板。当用于内墙时，应符合相应防火规范；当用于外墙时，应对其耐久性、横向振动荷载和防火性能进行测试。

3.1.2 无石棉纤维增强硅酸钙板是以无机矿物纤维或纤维素纤维等松散短纤维为增强材料，由硅质、钙质材料为主体胶结材料，经成型和高温高压饱和蒸汽固化反应，形成的硅酸钙胶凝体板材。

3.1.3 玻璃纤维增强水泥板是由抗碱玻璃纤维与低碱度水泥组成的一种水硬性的新型复合材料其主要特点是高强、抗裂、耐火、韧性好、不怕冻、易成形。

3.1.4 维纶纤维增强水泥平板是改性维纶纤维和(或)高弹模维纶纤维为主要增强材料、以水泥或水泥轻集料为基材并允许掺入少量辅助材料制成的不含石棉的纤维水泥平板。

除以上面板外，本规程设计也可适用于面板为定向木片(刨花)板、刨花板、胶合板、水泥刨花板、竹编胶合板、膨胀蛭石板、秸秆板。由于试验数量不足，故没有列入本规程，如果有试验数据的基础上，材料符合现行国家行业标准《建筑结构保温复合板》JG/T432 中的有关规定，也可采用本规程的设计。其中：

定向木片(刨花)板也称欧松板(OSB 板)，是将长度不小于 30mm 的薄木片施胶分层定向铺装加压支撑形成的木片板，面板薄木片的定向与板材的长度方向一致。

竹编胶合板是由木段锯切加工成单板或由木方刨切成薄木，再用胶粘剂胶合而成的板状材料。胶合板作为夹芯板面板的理想材料，有轻质高强，易于生产，尺寸稳定，易于维修等优点。层板胶合木构件应采用经应力分级标定的木板制作。各层木板的木纹应与构件长度方向一致。

秸秆板将农作物秸秆粉碎、拌胶、热压成型而制成的板材。具有较好的保温隔热性和抗燃烧性。

3.2 芯材

3.2.1 硬质泡沫芯材最常用的种类是：聚氨酯(PU)、多异氰脲酸酯(PIR)、酚醛树脂(PF)和聚苯乙烯(PS)。本规程适用于芯材为聚氨酯(PU)和聚苯乙烯(PS)。对于其它两种芯材，由于试验数量不足，故没有列入本规程，如果有试验数据的基础上，材料满足以下条件，也可采用本规程的设计。

1 硬质酚醛泡沫塑料(PF)应符合现行国家标准《绝热用硬质酚醛泡沫制品(PF)》GB/T 20974 中的有关规定，压缩强度不得小于 100kPa。承受动力和往复荷载的屋面和天花板不宜采用。

在生产硬质酚醛泡沫塑料(PF)的过程中，在固化阶段有大量的水需要清除。越来越多的积水会变为特别的酸性，会导致严重的金属面腐蚀问题。这个材料在火中有良好的表现，但还是可燃的，并且是低热传导性。由于酚醛易脆性和酸的腐蚀性，欧洲规范《European Recommendations for

Sandwich Panels》 Part I: Design 建议在承受动力和往复荷载的屋面和天花板慎重使用。

2 多异氰脲酸酯(聚异氰脲酸酯)(PIR)应符合现行国家标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932 中有关硬质聚氨酯泡沫塑料的规定，其中用于与金属面复合的物理力学性能应符合类型 II 的规定，平均密度不得小于 40kg/m^3 ，导热系数应满足 $0.020\text{W/m.K} \sim 0.0225\text{W/m.K}$ ，闭孔率不应少于 92%。

多异氰脲酸酯(PIR)是类似于 PU 的硬质泡沫塑料，并拥有几乎相同的力学和物理性质。但是两种主要泡沫成分不同的混合比例导致了更高的抗热性和更好的防火表现。

3.2.2 岩棉的密度和结合强度性质应该足够高，以稳定承受在生产，安装，使用过程中产生的内芯应力。将岩棉切成条状，纤维朝向有平行和垂直面板两种方式，如下图所示，二者力学性能相差很大。垂直纤维方向摆放，会提高板承载力。

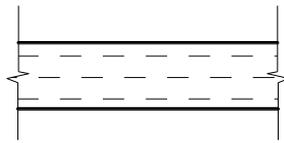


图 1 纤维方向平行于面板

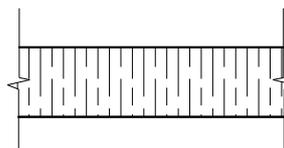


图 2 纤维方向垂直于面板

结构岩棉：高密度三维螺旋纤维无序排列，每个断面都具有相同的强度特性。同岩棉相比，除了力学性能上的差异外，玻璃棉在保温性能、防火性能、及耐久性能等性能方面表现相当，而玻璃棉的防水性能(吸水性)方面比岩棉表现得更优异。

对于以玻璃丝棉或岩棉无机芯材的复合板，根据大量的工程实际经验，在其企口接头处辅以硬质阻燃聚氨酯(PU)发泡进行处理有以下优点：

(1)改善和提高了无机芯材复合板在节点处的连接承载力，以提高复合板的整体承载力；

(2)在企口接头处填充聚氨酯发泡有利于复合板芯材的防潮及隔潮，从而提高复合板的整体耐久性！

因此，此种无机芯材的复合板在企口连接处辅以聚氨酯发泡的处理办法相对于泡沫芯材的复合板，既体现了无机芯材复合板的防火优势，又提高解决无机芯材复合板承载力的问题，同时还对无机芯材的复合板的防潮和隔汽等起明显作用。

无机芯材还需注意满足下列要求，来源于欧洲规范《European recommendations for sandwich panels》 Part I: Design:

(1)剪切强度

通常，相邻芯材单元间的横向接缝是无机材料成形板的最薄弱位置。为了弥补接缝的不利影响，可将无机芯材错缝布置或在横向接缝处粘结。除非足够加强，否则，不允许横向接缝或节缝线延伸穿过板宽的 $1/3$ 。

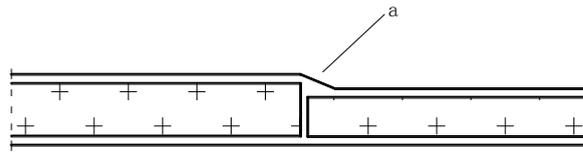


图 3 不同厚度相邻芯材单元接缝

a—接缝处

(2) 皱曲应力

不相等厚度引起的芯材与面板间隙，芯材单元的不利位置，会对皱曲应力造成不利影响。

选择的试件应能反应正常产品中可能出现的最不利情况。应在质量控制中考虑此因素(规程附录试验有介绍)。

除岩棉、矿渣棉和玻璃棉等无机芯材外，本规程设计也可适用于芯材为膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、泡沫混凝土。由于试验数量不足，故没有列入本规程，如果有试验数据的基础上，材料符合现行国家行业标准《建筑结构保温复合板》JG/T432 中的有关规定，也可采用本规程的设计。

3.2.3 芯材应具有足够的强度、刚度和耐久性。对芯材材料要尽可能利用合理分析和试验来确定芯材的相关性能。

3.2.4 资料来源《建筑用绝热夹芯板结构》，2011，科学出版社。

3.2.5 本条规定来自欧洲规范《European Recommendations for Sandwich Panels》Part I: Design，时间对芯材的影响需注意满足下列要求：

1 对于徐变系数，应通过附录中的剪切徐变测试方法。如果 φ_t 小于 0.5，薄面板(平板、浅压型面板)的徐变影响可以忽略。

2 大多数情况情况下，徐变会使应力改变，在计算过程中应该加以考虑。在雪荷载的情况下， φ_t 是基于 2000 小时为一个单位，对于少于或是多于这个单位就要选择其他的值。

3.2.6 夹芯板的耐久性是指在使用过程中，抵抗各种自然因素及其它有害物质长期作用的能力，引入“老化系数来”评估耐久性。试验方法可以查阅附录中的相关内容。老化系数是指老化后拉伸强度与未老化前的比值。关键参数是芯材及粘结强度的损失同湿度和温度下的各种变量有关。

如果夹芯板满足本规程附录第 A.2.4 条中老化性能循环次数的相关规定，则该夹芯板即可以用于内墙板又可以用于外墙板，也可以用于屋面板，使用不再受限制。

未老化的芯材与整个横截面的粘结拉伸强度的标准值应大于等于 0.075 N/mm^2 。附录中给出了确定夹芯板拉伸试验的方法。

根据国外论文《Long-term Durability of Adhesively Bonded Sandwich Panel》中的相关试验资料，矿棉与聚氨酯芯材相对抗拉强度耐久性如下所示：

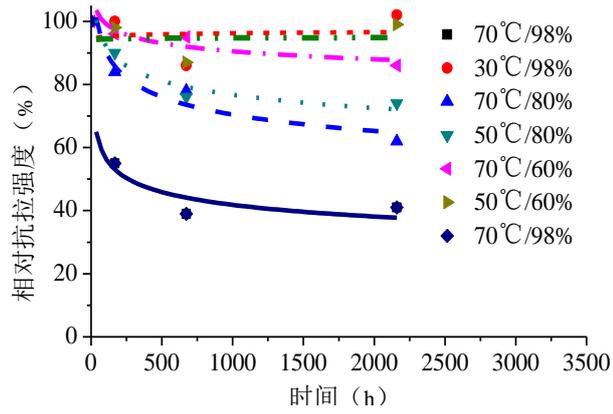


图4 岩棉夹芯板相对抗拉强度

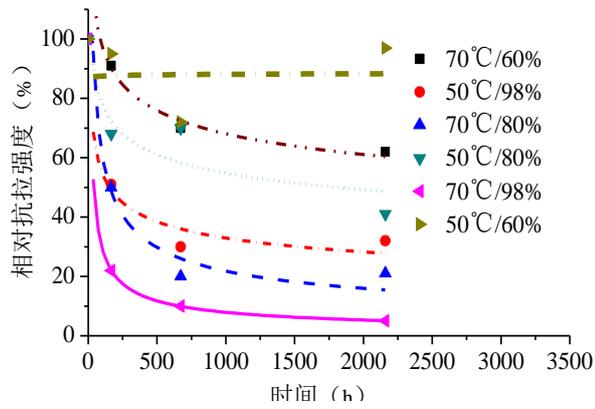


图5 玻璃棉夹芯板相对抗拉强度

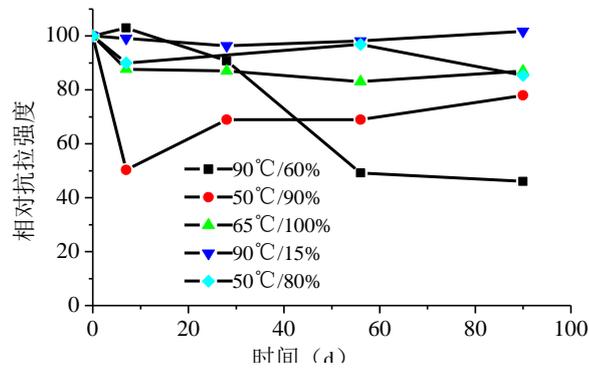


图6 二氧化碳填充聚氨酯夹芯板相对抗拉强度

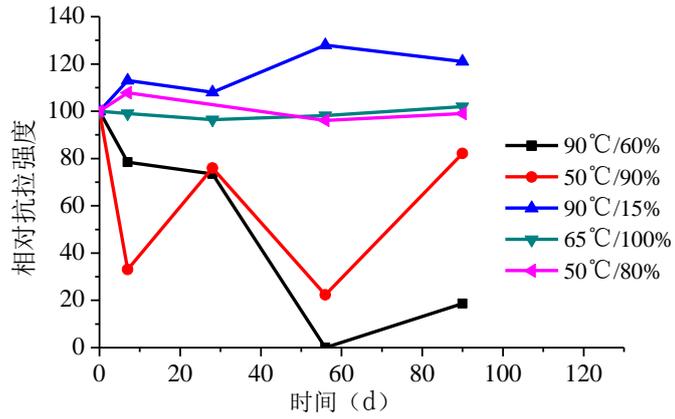


图 7 环戊烷填充聚氨酯夹芯板相对抗拉强度

老化后面板皱曲强度值计算公式来源于欧洲规范《European Recommendations for Sandwich Panels》Part I: Design，并考虑芯材弹性模量随芯材厚度的变化，以推得金属面夹芯板皱曲强度和芯材抗拉强度的关系式，最终推得皱曲强度耐久性的参考值。

3.3 粘结剂

3.3.1~3.3.2 规定来源于欧洲规范《Preliminary European Recommendations for Sandwich Panels》Part II: Good Practice。

4 基本规定

4.0.1 夹芯板所承受的荷载需要注意下面几个方面：

1 永久荷载

由于冷库内外温差在实际使用时往往为恒温差，所以将由于冷库造成的温差荷载变形为永久荷载变形，正常情况使用下温差造成的变形为可变荷载造成的变形。

2 可变荷载

(1)对屋面板和天花板，应该考虑在建造和维修过程中的行人荷载。

(2)在没有现成的荷载要求的情况下，推荐屋面和天花板的均布 $=0.25\text{kN/m}^2$ 。另外，设计天花板时，集中荷载的特征值取 $=1.2\text{kN}$ 。

(3)夹芯板一般不适合承担持续行人荷载。重复的行人荷载对夹芯板抵抗能力的影响应该具体问题具体分析。

(4)这些原则包括偶然荷载的情况。

(5)覆盖雪荷载的屋面板其外部温度与雪的密度和湿度有很大关系，并且可能比 0 度低很多。

4.0.2 长期荷载主要考虑对芯材剪切强度的影响，可以通过考虑芯材的剪切强度的方法考虑长期荷载。

失效模式中面板屈曲、芯材的剪切破坏和紧固件处的夹芯板破坏可能受耐久性的影响。

4.0.3 在可能受冲击荷载及震动影响的建筑物中，应该在设计时对这些作用给予特殊考虑，在公共场合容易有比如爆炸等场合的地方使用夹芯板时要考虑冲击荷载，一般情况下可以不考虑冲击荷载。

4.0.4 夹芯板结构设计使用年限为 50 年，但夹芯板实际使用年限，还同面板、芯材、粘结剂三种材料的使用年限有关。

4.0.6 短期荷载挠度值代表不包括徐变影响在内的组合值，代表初始挠度。长期荷载引起的挠度包括短期荷载挠度值额外加上剪切徐变引起的挠度。

4.0.8 非金属面板保温夹芯板结构在规定的设计使用年限内以下质量应得到维持：

- 1 所有的材料应该具有物理和化学稳定性，材料之间的反应应发生得比较缓慢；
- 2 所有的材料应该自然地抵抗或者经处理或被保护后，防止各种侵蚀；
- 3 所有的材料应互相兼容。

5 夹芯板计算

5.1 夹芯板内力与变形计算

5.1.1 夹芯板受力时可分为两部分：一部分是面板的自身刚度用来承担弯矩和剪力；一部分是夹层部分中的面板的轴力对夹芯板中性轴的乘积承担的弯矩(芯材忽略)以及芯材承担的剪力。两部分虽然独立，但变形协调。

5.1.2 非金属夹芯板横向均布荷载作用下内力计算

非金属厚面板夹芯板横向均布荷载作用下受力时可分为两部分：一部分是非金属面板的自身刚度用来承担弯矩和剪力；一部分是夹层部分中的面板的轴力对夹芯板中性轴的乘积承担的弯矩(芯材忽略)以及芯材承担的剪力。两部分虽然独立，但变形协调。由于面板刚度较大，单跨情况也要做超静定结构分析。

非金属夹芯板的内力计算公式的推导过程如下：

采用了结构单元荷载法。此法虽然简单，但是只能求的总的界面处的弯矩及剪力，由于非金属夹芯板板需要分别求出面板和夹芯部分的弯矩和剪力，所以本文此处采用微分方程平衡法推导，夹芯板在均布荷载作用下图 8 所示。

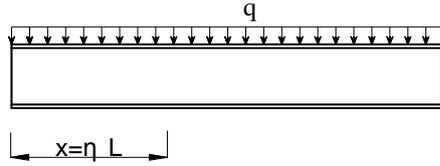


图 8 夹芯板在均布荷载作用下示意图

式中： $\eta = x/L$ ，由结构力学可以得到：

$$M = \frac{qL^2}{2}(\eta - \eta^2) \quad (1)$$

$$V = \frac{qL}{2}(1 - 2\eta) \quad (2)$$

由力与挠度变形之间的关系可知：

$$M_{F1} = -B_{F1}w'', M_{F2} = -B_{F2}w'' \quad (3)$$

$$V_{F1} = -B_{F1}w''', V_{F2} = -B_{F2}w''' \quad (4)$$

因为假定变形相互协调，并且是面板与芯材为线弹性，应力与变形成正比，所以为了推导方便相互叠加，如下：

$$M_D = M_{F1} + M_{F2}, \quad M = M_D + M_S \quad (5)$$

$$V_D = V_{F1} + V_{F2}, \quad V = V_D + V_S \quad (6)$$

$$B_D = B_{F1} + B_{F2}, \quad B = B_D + B_S \quad (7)$$

再推导微分方程前，先要知道非金属夹芯板力与变形之间的关系，截面变形如下图所示。

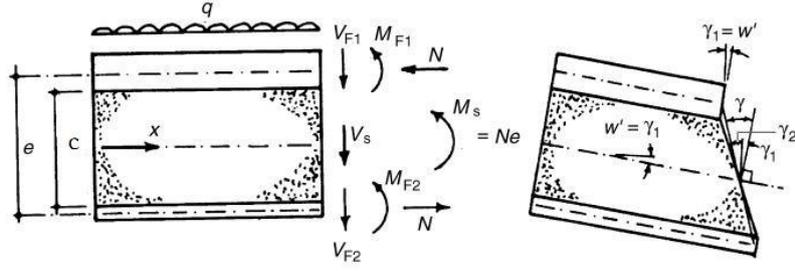


图9 截面变形示意图

由力与变形之间的关系可知：

$$M_s = B_s \gamma_2' = B_s (\gamma' - w'') \quad (8)$$

$$V_s = A_s G_C \gamma \quad (9)$$

由以上公式整理可以得到以下两个微分方程：

$$A_s G_C - B_D w''' = V \quad (10)$$

$$B_s \gamma' - B w'' = M \quad (11)$$

消去 γ ，将 $V' = -q$ 代入得到一个关于 w 的四阶微分方程：

$$w'''' - \left(\frac{\lambda}{L}\right)^2 w'' = \left(\frac{\lambda}{L}\right)^2 \frac{M}{B} + \frac{1+\alpha}{\alpha} \frac{q}{B} \quad (12)$$

式中 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha, \beta, \lambda$ 的取值如下：

$$\alpha_1 = \frac{B_{F1}}{B_s}, \alpha_2 = \frac{B_{F2}}{B_s}, \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_s}, \beta = \frac{B_s}{A_s G_C L^2} \quad (13)$$

$$\lambda^2 = \frac{1+\alpha}{\alpha\beta} = L^2 \left(\frac{B}{B_{F1} + B_{F2}} \frac{G_C A_s}{B_s} \right) \quad (14)$$

类似的方法，可以消去 w ，得

$$\gamma'' - \left(\frac{\lambda}{L}\right)^2 \gamma = -\frac{\beta \lambda^2 V}{B} \quad (15)$$

解(12)、(15)得：

$$w = D_1 \cosh \frac{\lambda x}{L} + D_2 \sinh \frac{\lambda x}{L} + D_3 + D_4 x + w_p \quad (16)$$

$$\gamma = F_1 \cosh \frac{kx}{L} + F_2 \sinh \frac{kx}{L} + \gamma_p \quad (17)$$

式中， w_p, γ_p 是与荷载相关的特解，可以很容易的找到两个解：

$$F_1 = (1+\alpha) \frac{\lambda}{L} m_2, F_2 = (1+\alpha) \frac{\lambda}{L} m_1 \quad (18)$$

同时可以得到简支夹芯板的边界条件为：

$$w(0) = 0, w(L) = 0, w''(0) = 0, w''(L) = 0 \quad (19)$$

对于夹芯板在均布荷载作用下，由以上各式可以得到：

$$M = \frac{qL^2}{2}(\eta - \eta^2), \quad V = \frac{qL}{2}(1 - 2\eta), \quad \eta = x/L \quad (20)$$

$$w_p = \frac{qL^4}{24B} \left(\eta^4 - 2\eta^3 - \frac{12}{\alpha\lambda^2} \eta^2 \right) \quad (21)$$

$$\gamma_p = \frac{qL^3\beta}{2B}(1 - 2\eta) \quad (22)$$

将边界条件代入得整理可以得到的最终解为：

$$w = \frac{qL^4}{B} \left(\frac{1}{24} \eta(1 - 2\eta^2 + \eta^3) + \frac{\eta(1 - \eta)}{2\alpha\lambda^2} - \frac{\cosh \frac{\lambda}{2} - \cosh \frac{\lambda(1 - 2\eta)}{2}}{\alpha\lambda^4 \cosh \frac{\lambda}{2}} \right) \quad (23)$$

$$\gamma = \frac{qL^3}{B} \left[\frac{(1 - 2\eta)}{2} - \frac{\sinh \frac{\lambda(1 - 2\eta)}{2}}{\lambda \cosh \frac{\lambda}{2}} \right] \quad (24)$$

令 $f_1(\lambda) = 1 - \frac{1}{\cosh(\lambda/2)}$, $f_2(\lambda) = \tanh(\lambda/2)$, 通过进一步计算推导可以得到所需要跨中

位置弯矩及端部剪力为：

$$M_{F1} = \frac{qL^2}{8} \frac{\alpha_1}{1 + \alpha} \left[1 + \frac{8}{\alpha\lambda^2} f_1(\lambda) \right], \quad M_{F2} = \frac{qL^2}{8} \frac{\alpha_2}{1 + \alpha} \left[1 + \frac{8}{\alpha\lambda^2} f_1(\lambda) \right] \quad (25)$$

$$M_s = \frac{qL^2}{8} \frac{1}{1 + \alpha} \left[1 - \frac{8}{\lambda^2} g_1(\lambda) \right] \quad (26)$$

$$V_{F1} = \pm \frac{qL}{2} \frac{\alpha_1}{1 + \alpha} \left(1 + \frac{2}{\alpha\lambda} f_2(\lambda) \right), \quad V_{F2} = \pm \frac{qL}{2} \frac{\alpha_2}{1 + \alpha} \left(1 + \frac{2}{\alpha\lambda} f_2(\lambda) \right) \quad (27)$$

$$V_s = \pm \frac{qL}{2} \frac{1}{1 + \alpha} \left(1 - \frac{2}{\lambda} f_2(\lambda) \right) \quad (28)$$

将 $\eta = 0.5$ 代入式(23)，就可以得到跨中最大挠度：

$$w_{0.5} = \frac{qL^4}{B} \left[\frac{5}{384} + \frac{1}{8\alpha\lambda^2} \left(1 - \frac{8}{\lambda^2} f_1(\lambda) \right) \right] \quad (29)$$

显然公式(29)推导过程和公式的参数计算过于复杂，很难在工程中得到实际应用，为此对其进行简化。非金属夹芯板受力时可分为两部分：一部分是非金属夹芯板面板的自身刚度用来承担弯矩和剪力；一部分是夹层部分中的面板的轴力对中性轴 $o-o$ 的乘积承担弯矩(芯材忽略)以及夹芯部分中芯材承担剪力，两部分虽然独立，但变形协调。这一点也是公式简化推动可行的重要依据。令夹层部分承担的均布荷载为 q_s , 面板自身承担的均布荷载为 q_D , 即：

$$q = q_s + q_D \quad (30)$$

对于夹芯部分：可夹层部分在荷载 q_s 作用下的跨中挠度为：

$$w_s = \frac{5}{384} \frac{q_s L^4}{B_s} + \frac{K q_s L^2}{8 G_C A_s} = \frac{5}{384} \frac{q_s L^4}{B_s} (1 + k_q) \quad (31)$$

对于夹芯板面板自身：由于翼缘为非金属面板，剪变模量很大，在均布荷载作用下剪切变形很小可以忽略不计，分析方法与夹芯部分不同，翼缘处采取经典的梁理论就可以。对式(31)做变换，去掉剪切变形部分，通过积分可以得到在均布荷载 q_D 作用下跨中的挠度为：

$$w_D = \frac{5}{384} \frac{q_D L^4}{B_D} \quad (32)$$

由翼缘与夹芯部分变形协调可以得出公式 $w_s = w_D$ ，可得：

$$q_s = q \frac{B_s}{B_s + (1 + k_q) B_D} = q(1 - \delta) \quad (33)$$

$$q_D = q \frac{(1 + k_q) B_D}{B_s + (1 + k_q) B_D} = q\delta \quad (34)$$

式中

$$\delta = \frac{(1 + k_q) B_D}{B_s + (1 + k_q) B_D} = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2} + \frac{B_s}{1 + k_q}} \quad (35)$$

可以得到跨中近似弯矩及剪力：

$$M_s = (1 - \delta) \frac{q L^2}{8} \quad (36)$$

$$M_{F1} = \delta_1 \delta \frac{q L^2}{8} \quad (37)$$

$$M_{F2} = \delta_2 \delta \frac{q L^2}{8} \quad (38)$$

式中 δ_1, δ_2 为上、下面板与翼缘刚度比，即：

$$\delta_1 = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + B_{F2}}, \delta_2 = \frac{B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2}} \quad (39)$$

$$k_q = 3.2k = \frac{9.6 B_s}{L^2 G_C A_s} \quad (40)$$

5.1.3 非金属夹芯板在横向均布荷载作用下变形计算

非金属夹芯板在横向均布荷载作用下变形计算。列出的两种公式，一种是用于由不同材料和不同厚度的各向均匀面板构成的夹芯板，另一种是用于由相同材料和相同厚度的各向均匀面板构成的夹芯板。 $E_{1,2}$ 为面材的弹性模量， $F_{1,2}$ 是面板的应力值，可能是压缩值或者拉伸值。如果用在高温下，则面板的材料属性也应该是在高温下的材料属性。对于大多数面板材料的组合，选择面板厚度满足 $E_1 t_1 = E_2 t_2$ 是具有优势的。

由于面板应力是由弯矩产生的，不仅仅取决于面板的厚度，而且取决于面板之间的距离、芯材的厚度、夹芯板的刚度，因而变形也取决于面板和芯材的厚度。

简支夹芯板在横向均布荷载作用下，由弯矩产生的面板应力在跨中最大。如果板的边缘存在约束，应力重分配会在板的边缘附近产生较大的应力。本设计方法仅适用于板端简支的夹芯板。

5.1.4 横向均布荷载作用下，内配加劲件的非金属夹芯板的跨中挠度计算如下：

$$\Delta = c\Delta_1 \quad (41)$$

$$\Delta = (1-c)\Delta_2 \quad (42)$$

综上所述可得：

$$c = \frac{\Delta_2}{\Delta_1 + \Delta_2} \quad (43)$$

5.2 夹芯板应力计算

5.2.1 设计中应该考虑夹芯板与其他的结构形式不同的特点，其中最重要的就是在分析应力和变形时考虑到芯材的弹性性能，必须注意到剪切变形的影响。比较计算组合截面时的经典抗弯理论，对板截面的伯努利假设仅适用于个体单元截面的计算，并不适用于整体截面。其中剪变模量是夹芯板在室内常温下的平均值，是一个常数，用于应力计算与挠度计算。剪变模量应该通过特定的夹芯板产品试验测得(附录中详细介绍了相关试验方法)。

对于非金属薄表面夹芯板，忽略面板的弯曲刚度。

对于非金属厚表面夹芯板，自身弯矩 M_{F1} 、 M_{F2} 引起的应力 N_{F1} 、 N_{F2} 线性分布于面板的厚度上，剪力 V_s 造成剪切应力 τ_c ，均匀分布于芯材的厚度内，剪力 V_{F1} 、 V_{F2} 在上下面板引起剪应力 τ_{F1} 、 τ_{F2} 假定为常数。

假定在挠度控制的设计范围内，芯材和面板的材料保持线弹性，同时也可假设芯材的拉伸刚度相对于面板很小，为此忽略水平方向上的芯材的法向应力。

5.2.3 分配参数 k 考虑了面层刚度对芯材压应力的影响。

支座处压应力的计算模型中，假设支撑板为刚性，支座压力对称分布于支座线。对于柔性支撑结构，例如，开口冷弯截面，假设支座压力在一个较小区域上分布；端支座为 $k_f L_s + ke / 2$ ，中间支座为 $k_f L_s + ke$ ，其中 $k_f \leq 1$ 。

5.3 夹芯板承载力计算

5.3.1 非金属面保温板夹芯板在轴心受压作用下，会发生以下的几种破坏形式：

1 面板的屈服或断裂破坏

非金属面保温板夹芯板在轴向荷载作用下面板中产生压应力导致面板屈服或者断裂破坏性。



图 10 面板的屈服或断裂

2 夹芯板整体屈曲

非金属面保温板夹芯板由于弯曲或轴向荷载作用产生压应力导致夹芯板整体屈曲破坏，通常发生在面板应力低于材料比例极限的情况下发生。尽管屈曲本身并不一定会构成破坏，但它能导致严重的破坏。随着屈曲导致夹芯板的形状和方向发生变化，内力和应力也在变化。最终，这种变形将导致面板的压缩破坏、芯材的剪切破坏或者面板的皱曲。

对于非金属夹芯板受轴压的情况具体推导分析，必须考虑面板绕其自身的抗弯刚度，当然面板受拉后受压的情况下也会产生变形。当夹芯板整体受力时，面板既有弯曲变形又有剪切变形。此外，面板绕自身的抗弯刚度对于核心的剪切变形也会有影响。因此，面板因产生局部的弯曲使之产生相对滑移，整个结构构件形成一种由弯曲变形与剪切变形结合的曲线变形状态。为了研究讨论非金属夹芯板面板弯曲刚度以及核心材料剪切刚度之间的联系。开始可以假设核心剪切刚度为无穷大的 ($G=\infty$) 且单位长度均布荷载为 q ，挠度 w_1 是由一般弯曲理论产生的，即弯矩 M_1 以及剪力 Q_1 ，剪力 Q_1 由下述得出：

$$-Q_1 = Dw_1''' = E(I - I_f)w_1''' + EI_f w_1''', \quad w_1' = \frac{dw_1}{dx} \quad (44)$$

E 为面板的弹性模量， I 是抗弯刚度总和（绕夹芯板中和轴以及绕面板其自身中轴）， I_f 是上下面板绕其自身的抗弯刚度，忽略芯材对抗弯刚度的贡献。即：

$$I = \frac{bt^3}{6} + \frac{bte^2}{2}, \quad I_f = \frac{bt^3}{6} \quad (45)$$

在(45)中 $E(I - I_f)w_1'''$ 表示的是由整个夹芯板承担荷载所产生的剪力，假设面板均布拉伸或收缩而没有局部皱曲。在此种状态下剪应力 τ 沿核心材料厚度方向相等，面板上的剪应力是沿最外沿线性增长，因此 $E(I - I_f)w_1'''$ 可以用 $-bet\tau$ 代替， e 为两面板中线间的距离， τ 是芯材中的剪应力，因此：

$$-Q_1 = -bet\tau + EI_f w_1''' \quad q_1 = -Q_1', \quad Q_1 = M_1', \quad M_1 = D_1 w_{11}'' \quad (46)$$

由于核心剪应力的存在，芯材会产生一个剪应变 $\gamma\tau / G_C$ ，由此产生一个横向变形 w_2 ，而面板也必须承担这个额外的变形，因此由此而产生一个分布荷载 q_2 ，以及建立 Q_2 ，弯矩 M_2 ：

$$q_2 = -Q_2', \quad Q_2 = M_2', \quad M_2 = -EI_f w_{11}'' \quad (47)$$

$$q = q_1 + q_2, \quad Q = Q_1 + Q_2, \quad M = M_1 + M_2, \quad w = w_1 + w_2 \quad (48)$$

q, Q, M, w 分别为表示总荷载, 总剪力, 总弯矩, 总变形。

因此在荷载 q 作用下夹芯结构产生两种位移 w_1 、 w_2 。 w_1 代表了弯曲变形以及一个由面板和芯材共同承担的剪力 Q_1 , w_2 代表由于剪力而产生的核心剪切变形。面板通过其绕自身的抗弯刚度而参与 w_2 的变形, 以及产生弯矩值 M_2 , 并附带产生一个剪力 Q_2 。 Q_1 与 Q_2 的和是作用于构件上的总剪力。核心剪应变 γ 与变形 w_2 之间的关系可以得出为:

$$\gamma = \frac{e}{c} w_2' \quad (49)$$

故剪应力为:

$$\tau = \frac{e}{c} G_c w_2' \quad (50)$$

将 τ 代入表达式:

$$-Q_1 = -bew_2' + EI_f w_1''' \quad (51)$$

得:

$$-Q_1 = -A_c G_{ce} \tau + EI_f w_1''', \quad A_c = be, \quad G_{ce} = \frac{e}{c} G_c \quad (52)$$

整理等式, 并将(44)代入得到:

$$w_2' = -\frac{D}{A_c G_{ce}} \left(1 - \frac{I_f}{I}\right) w_1''', \quad w_1''' = \frac{Q_1}{A_c G_{ce}} \left(1 - \frac{I_f}{I}\right) \quad (53)$$

因此总剪力为:

$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_1 - EI_f w_2''' \quad (54)$$

将(53)代入上式得到:

$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_1 - EI_f \frac{Q_1''}{A_c G_{ce}} \left(1 - \frac{I_f}{I}\right) \quad (55)$$

令 $a^2 = \frac{A_c G_{ce}}{EI_f \left(1 - \frac{I_f}{I}\right)}$ 得到:

$$Q_1'' - a^2 Q_1 = -a^2 Q \quad (56)$$

对于非金属夹芯梁所讨论的这些理论对于非金属夹芯板受轴压荷载情况是适用的。为了得出受均布轴向荷载作用的两端铰接非金属夹芯支撑的临界荷载，做以下讨论。在两端轴向推力 N 作用下，任意截面产生 $N(w_1' + w_2')$ 的总剪力，将剪力 Q 代入到 (56) 中得到：

$$Q_1'' - a^2 Q_1 = -a^2 N(w_1' + w_2') \quad (57)$$

式中 $a^2 = \frac{A_c G_{ce}}{EI_f(1 - \frac{I_f}{I})}$ ， $w_2' = \frac{Q_1}{a^2 EI_f}$ ，且 $-Q = Dw_1'''$ 因此上式可以改写为：

$$w_1^v - (a^2 - \frac{N}{EI_f})w_1''' - \frac{a^2 N}{EI} w_1' = 0 \quad (58)$$

两端铰接，则边界条件为 $w_1 = w_1'' = 0$ ，当 $x=0$ 及 $x=L$ 时。这四个边界条件的位移可以由正弦函数 $w_1 = a_1 \sin(\frac{\pi x}{L})$ 将此正弦位移代入 $w_1^v - (a^2 - \frac{N}{EI_f})w_1''' - \frac{a^2 N}{EI} w_1' = 0$ ，并通过消去

$$-\frac{\pi}{L} \cos(\frac{\pi x}{L})$$

最终可以得到：

$$\frac{\pi^4}{L^4} [\frac{\pi^4}{L^4} + (a^2 - \frac{N}{EI_f}) \frac{\pi^2}{L^2} - \frac{a^2 N}{EI}] a_1 = 0 \quad (59)$$

对于此种表达式，要么 a_1 夹芯支撑保持未受力直线状态，或者 a_1 前的系数为0，因此到临界应力：

$$N_{cr} = \frac{EI[EI_f(1 - \frac{I_f}{I}) \frac{\pi^4}{L^4} + \frac{\pi^2}{L^2} A_c G_{ce}]}{A_c G_{ce} + \frac{\pi^2}{L^2} EI(1 - \frac{I_f}{I})} \quad (60)$$

最终得到：

$$N_{cr} = \frac{N_S N_F - N_F^2 + N_S N_C}{N_S - N_F + N_C} \quad (61)$$

$$N_S = \frac{EI\pi^2}{L^2}, \quad N_F = \frac{EI_f\pi^2}{L^2}, \quad N_C = A_c G_{ce} \quad (62)$$

N_s 表示夹芯支撑在忽略芯材抗弯刚度时的欧拉荷载, N_F 表示夹芯支撑两面板作为独立构件失稳时的欧拉荷载的和。 N_C 可以认为是剪切失稳荷载, 在数值上等于剪切刚度 $A_C G_{Ce}$ 。

5.3.2 夹芯板在偏心荷载作用下, 如同轴心受压作用类似, 会发生整体屈曲、面板强度破坏。一般而言, 夹芯板发生整体屈曲破坏时, 面板应力处于弹性范围内。

偏心荷载系数应考虑一个不小于夹芯板整体厚度的 1/6 的最小偏心率 ($d \geq h/6$), 偏心荷载系数计算如下:

$$C_e = \frac{1}{1 + \frac{dy_c}{r^2} \sec\left[\frac{12L}{2r} \sqrt{\frac{3N_e}{A_F E_F}}\right] + \frac{3N_e dy_c}{2A_C G_{Ce}}} \quad (63)$$

5.3.3 非金属面保温板夹芯板在横向均布荷载作用下应验算面板正应力强度和芯材的剪切强度。

芯材剪切破坏, 非金属面保温板夹芯板由于横向荷载作用正如正应力破坏大多发生在面板一样, 夹芯板的剪切破坏一般发生在芯材。前面介绍的横向荷载的抗力说明: 导致芯材中较高的剪应力可能导致剪切破坏。此外, 这种破坏可能发生在 45 度角处。

非金属面保温板夹芯板由于横向荷载作用导致芯材剪切破坏, 如图 4 所示。



图 11 芯材的剪切破坏

支座处芯材剪切强度应按 (5.3.3-2) 计算, 其中的系数取值如下:

1 支撑调整系数 C_v 的取值:

(1) 对于端部的一个面板上完全支撑受力, 且在另一个相对的面板受到均布荷载作用的夹芯板, 剪切调整系数 $C_v = 1.0$ 。(如图 12 所示)

(2) 对于端部没有支撑受力, 只有顶部或底部的楔条受到支撑, 且任一面板受到均布荷载, 剪切调整系数 C_v 应该测试基于下面的参数来确定。(如图 12 所示)

- 1) 板的制造商;
- 2) 楔条的类型, 与紧固件的撤出或拔出强度相关 (例如木板的比重);
- 3) 紧固件的类型和穿入度。

(3) 尽管 C_v 小于 1.0, 如果楔条或紧固件结合撤出或拔出强度的大于 C_v 结合的结合的撤出或拔出设计强度, 允许剪切强度可能增加。增加的强度不应超出撤出或拔出设计强度与更强的结合和 C_v 结合之间的差值。

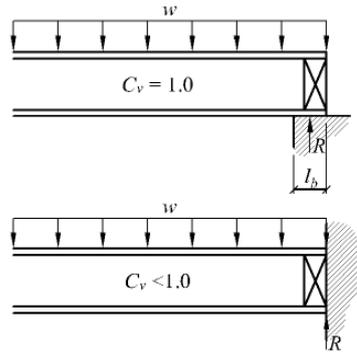


图 12 支撑条件

2 设计剪力，按以下方式取值：

(1) 对于端部的一个面板上完全支撑受力，且在另一个相对的面板受到均布荷载作用的夹芯板 ($C_v = 1.0$)，均布荷载到支撑的距离等于夹芯板的厚度 h ，可以忽略不计。

(2) 对于其它支撑和荷载条件 ($C_v < 1.0$)，没有荷载作用在板上可以忽略， V 应考虑取整个支撑的反力。

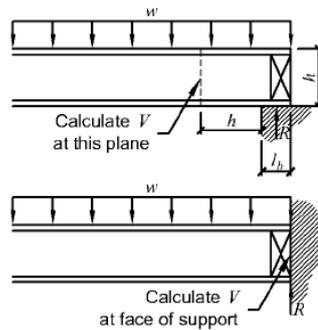


图 13 设计剪力

5.3.4 面板的向内或向外皱曲都会导致于整个夹芯板的破坏。

非金属面保温板夹芯板由于轴向荷载或弯曲作用在面板中产生轴向压应力导致面板的局部皱曲。如果粘结剂和芯材的压缩强度较低，则皱曲向内发生。如果粘结剂和芯材的拉伸强度较高，则皱曲向外发生。向内和向外的皱曲也可能同时发生。



图 14 面板的局部皱曲

针对于皱曲强度，面板的屈服强度对其影响很小，而芯材的强度与模量对其影响较大。因为面板、芯材及粘结的初始缺陷对非金属面板的抗压强度影响很大，因此，推荐根据全尺寸试验来确定他们的皱曲应力 σ_w 。

系数 k 是常数，其值取决于面板、芯材和粘结的缺陷和质量一般通过试验确定。对于连续胶合的质量较好的聚氨酯夹芯板， $k=0.65$ 是比较合适的。 $k=0.5\sim 0.65$ 可能对于其他芯材和制造方法是比较合适的。

而对于非金属夹芯板面板在反平面核心材料（如蜂窝材料）上发生皱曲破坏的皱曲应力公式近似如下：

$$\sigma_{cr} = k_2 E_f \sqrt[3]{\frac{E_c t}{E_f c}} \quad (64)$$

k_2 为取决于材料泊松比的数值常数，建议取值为 0.82，但考虑到这种情况下的不规律性，具体取值应由试验决定。

6 连接计算

6.1 紧固件

6.1.1 紧固构件除了固定板，承担荷载，紧固件也起到外观的作用，因此其尺寸与位置也应满足美观要求。

隐蔽式紧固件必须确保金属面板内表面不发生分层，要加强金属面板内表面要在支撑区域的强度，或在其外表面用特殊的方法夹紧固定。

当紧固构件仅用于板缝处，要注意温度变化产生的板宽方向变形足够小。

6.2 连接计算

6.2.1 连接处应考虑以下荷载作用：

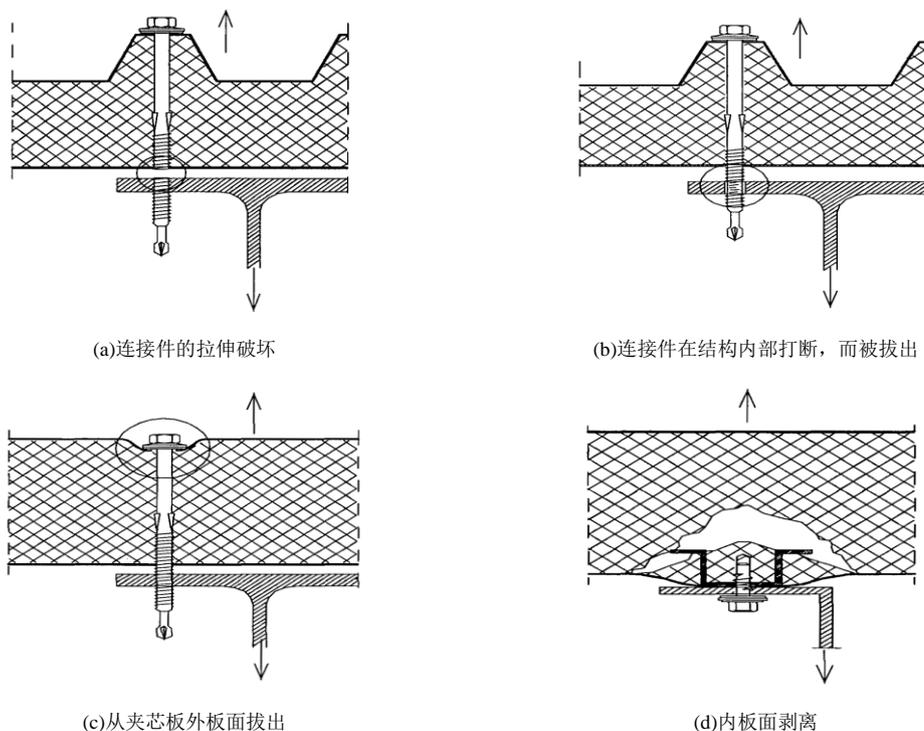
- 1 风吸力和面板温差引起的拉力荷载；
- 2 板自重；
- 3 板上额外构件的重量；
- 4 面板的温差膨胀及可能的膜作用引起的剪力荷载。

对承受重复荷载的连接，应按本规程附录第 A.2.16 条中的试验方法考虑其影响。

所有支座处的支撑宽度不应小于 40mm，且应该沿着板端方向。

连续连接件的主要拉力通常是由风吸力或面板间温差引起的，而次要拉力可能是由上升荷载或下降荷载的撬力作用引起的。

连接的拉伸的破坏模式需要考虑下图所示的八种破坏模式：



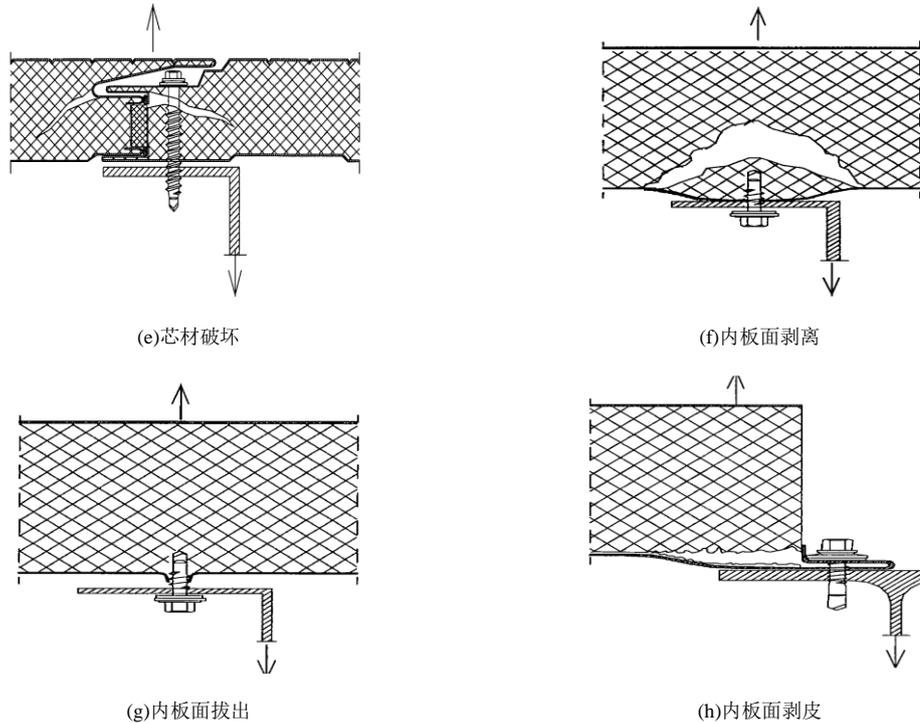


图 15 连接的拉伸破坏模式

连接的拉伸破坏应注意：

1 当板相对于连接件强度较高时，或采用不合适的连接件时，可能会发生图 15(a) 所示的破坏模式。

2 当支撑构件较薄，或连接件锚固不够时，可能会发生图 15(b)所示的破坏模式。

3 对于图 15(c)所示的破坏模式在夹芯板中，“拔出”破坏模式是受芯材刚度影响的，如上所示，从夹芯板外板面拔出，会降低其抵抗天气的性能。

4 当衬垫的拉伸强度高于芯材区域的拉伸强度时，就可能发生图 15(d)所示模式内面板的剥离。

5 应注意图 15(f)和图 15(g)中的连接系统，它们特征强度很低。在一些国家，是不推荐采用的。

6 对于图 15(h)的破坏模式：1. 当只固定内板面，且没有局部加强时，则可能会发生内板面剥离或拔出破坏。2. 当只在侧边固定内板面，且没有局部加强时，则可能发生内板面剥皮。除了特殊情况，一般不推荐采用易剥离或脱皮的连接件。

6.2.2 假设剪力只在夹芯板的内板面出现。引起主要剪力的原因有：

1 恒载(如，外立面等)

2 面板材料的温度变化

引起次要剪力的原因有：

1 偏心固定的板端部绕其中性轴的转动；

2 膜作用。

夹芯板中如果将受力面层设计成承受平面内剪力来代替防风拉条，不在此规程内。

由面板温度变化引起的连接剪力的计算中可考虑连接的滑移，面板应变，支撑框架的变形等。当有足够的变形承载力时，则可忽略这些剪力。

连接的剪切的破坏模式需要考虑下图所示的五种破坏模式：

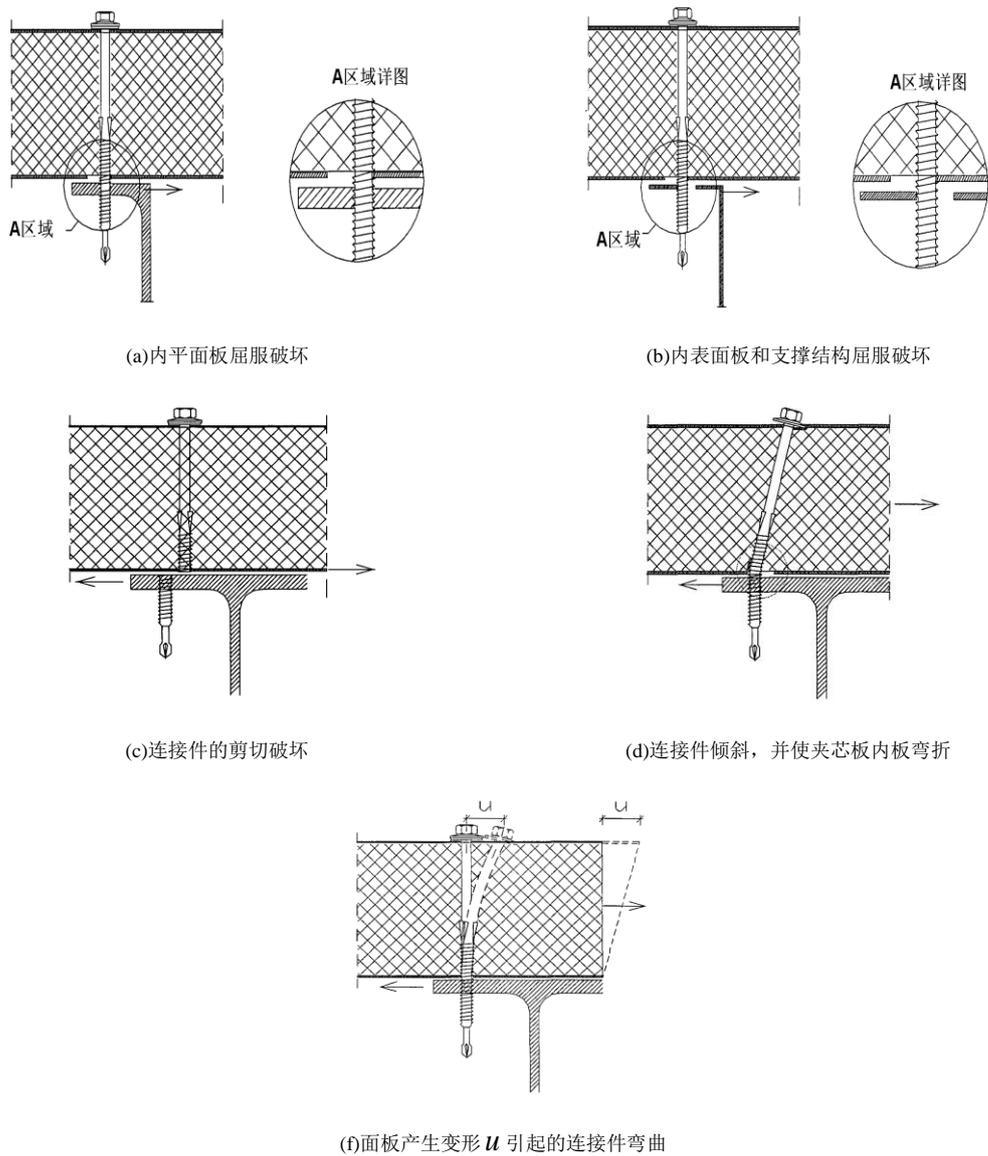


图 16 连接的剪切破坏模式

连接的剪切破坏模式应注意：

图 16(c)所示的破坏模式可能会在板厚相对连接件直径较大时发生，或采用不合适的连接件时。

图 16(d)所示的破坏模式可能是连接件相对较柔时，会发生伴有夹芯板内板弯折或撕裂的连接破坏模式。内板面承担大部分剪切荷载，因此，在设计中可认为承担全部剪切荷载。

图 16(e)所示的破坏模式可能是由于面板间温差引起的相对位移 u ，会引起外层面板的屈服或弯折，从而引起连接件的弯曲。在薄支撑中(如，冷弯薄壁构件)，可能会引起支座的变形。当 u 值足够大时，会引起连接件破坏。

附录 A 试验方法和要求

A.1 一般要求

A.1.1 除非另有说明，无论加载设备还是测量设备，要保证最少 1%的精确度，且所有的变形需不低于 0.1mm 的精确度。

A.1.2 表 A.1.2 中分位系数的依据是国际标准 ISO 12491-1997。

A.1.4 加速老化试验要求

2 基准老化循环 C1

在循环的第一个单元中，应将试样保存在密闭盒子中水面上方的网格中。应控制盒子中空气的温度，而不是水的温度。

3C2 试验

在此循环中，将试样保存在密闭盒子中水面上方的网格中。应控制盒子中空气的温度，而不是水的温度。

A.2 材料性能试验方法

A.2.2 芯材拉伸试验

芯材与面板的粘结非常重要的，因此应取完整的面板试样，并且不能在粘结层发生破坏。

1 通常，较大尺寸的试件结果较好。如果可能的话，试件宽度应至少大于 100mm，也可采用直径大于等于 50mm 的圆柱试样。

2 对岩棉芯材试样，一般需要更大的标本，即 $100\text{mm} \leq b \leq d_c$ 。

3 对于没有表现出明确极限荷载的试件， F_u 可定义为指定相对变形时对应的荷载。对聚氨酯泡沫，10% 的相对变形是合理的。对更刚的孔结构或非孔结构，可采用较低值。

4 通常，高温试验时，先将试件加热到略高于 80°C ，并在其温度降低 80°C 前，立即对其进行试验。

5 一定要注意速率的控制要求，拉伸试验速率过大不适合于测量夹芯板芯层的拉伸强度及模量。

A.2.3 芯材压缩试验

通常，较大尺寸的试件结果较好。如果可能的话，试件宽度应至少大于 100mm，也可采用直径大于等于 50mm 的圆柱试样。对岩棉芯材试样，一般需要更大的标本，即 $100\text{mm} \leq b \leq 2d_c$ ，除了试件尺寸和使用固定加载模具外，该试验应符合国际标准 ISO 844《Cellular plastic. Compression test for rigid materials》或其他芯材有关的标准。

对于没有表现出明确极限荷载的试件， F_u 可定义为指定相对变形时对应的荷载。对聚氨酯泡沫，10%的相对变形是合理的。对更刚的孔结构或非孔结构，可采用较低值。

一定要注意速率的控制要求，试验速率过大不适合于测量夹芯板芯层的抗压强度及模量。

A.2.4 芯材剪切试验

1 短期加载

(1)如果没有发生剪切破坏,可每次使板跨减小 100mm,直到发生剪切破坏。典型的剪切破坏如下。

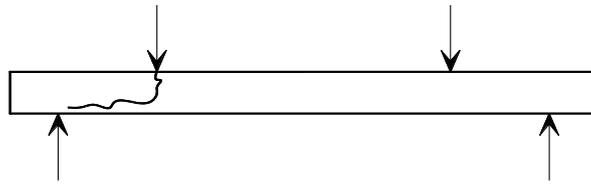


图 16 剪切破坏示意图

发生剪切破坏而不是皱曲破坏的条件是

$$L < \frac{3t_1\sigma_w}{f_{Cv}} \quad (65)$$

式中: t_1 ——夹芯板上面板厚度,不包含表面覆盖层;

f_{Cv} ——芯材的剪切强度;

σ_w ——上面板的皱曲应力。

(2)为了避免支座处芯材的压缩变形相对试件变形过大,试件板跨 L 不应太小。对于硬质塑性泡沫,板跨 L 应符合限制:

$$L \geq \frac{108G_c c}{E_c \left(\frac{4L_s}{c} + 1 \right)} \quad (66)$$

式中: G_c ——芯材的剪变模量;

E_c ——芯材的弹性模量;

c ——试样中芯材的厚度;

L_s ——支座宽度。

如果不满足上述条件,则应考虑支座处芯材的压缩变形,对其进行测量(通过图表中仪表给出的 w_{s1} 和 w_{s2})。计算中所采用的变形 w 为减去 $w_{s1}+w_{s2}$ 后的修正值。

(3)试样宽度 b 应为无加强肋的平表面宽度。

(4)通常支座及加载点处的金属板条宽度 L_s 为 60mm。为了避免芯材的局部压碎,如果需要的话,该值可增加。

(5)控制加载速率,使得试件在试验开始后 5-10 分钟内发生破坏。

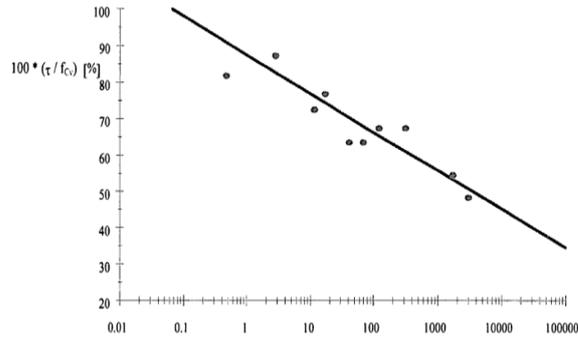
(6)对硬质泡沫材料夹芯板的剪切强度,4 点弯曲试验通常比其他可用方法更能得到可靠的剪切强度及刚度。然而,对于矿物棉芯材夹芯板,宜采用其他剪切试验,如带有节点的全宽度板试验或搭接试验。

(7)用于矿物棉芯材的试样宽度 b 可适当增大些。

(8)不推荐基于搭接接头的拉伸或压缩试验方法,因为,该方法通常得到的结果比推荐的方法要差。

(9)如果在设计和试验中采用不同的方法,应证明它们之间的关系。

3 长期加载下回归算例见下图。



回归直线算例：
 $100 \cdot (\tau / f_{cv}) = -4.58900 \cdot \ln(t) + 87.5289$
 $100 \cdot (\tau / f_{cv}) = -4.58900 \cdot \ln(100000) + 87.5289 = 34\%$

图 17 确定长期剪切强度

注： τ 为试件的剪切应力， f_{cv} 为短期的剪切强度。

A.2.5 整板剪切强度的试验应注意下面几个方法：

- 1 如果为平表面或浅压型夹芯板，本试验方法可作为 A.2.4 节的其他选用方法；
- 2 如果对小跨度板进行了 A.2.6 节的试验，则没有必要再做本试验；
- 3 板跨应足够小以确保试件发生剪切破坏；
- 4 控制加载速率，使得试件在试验开始后 5min~10min 发生破坏；
- 5 采用真空加载时，荷载大小应通过工具测量，而不是空气压力。

A.2.6 夹芯板抗弯强度与刚度试验

1 支座条件

试验前应进行预压。

3 确定皱曲应力

试验中充分考虑以下因素来确定其皱曲应力：

- (1)芯材的非匀质性和各向异性；
- (2)材料的非线性性能；
- (3)面板不够平整；
- (4)受压面板材料的真实屈曲及屈曲后性能。

A.2.7 确定徐变系数 φ_t 的试验

- 1 可对完整板施加均布荷载进行徐变试验。
- 2 将试验试件延长到 2000 小时，可获得更精确有利的徐变系数。
- 3 新形成的芯材可能更易于增加徐变，因此需要更长的试验时间。
- 4 徐变试验所需要的荷载不是非常关键，在破坏荷载 30%-40% 的范围内，将会得到相近的结果。

A.2.8 中间支座处的皱曲应力

模拟了双跨梁的跨中支座情况。

如试验采用的试样较短，芯材压碎可能是主要的破坏方式，这样将会得到一个保守的皱曲应

力值。

A.2.9 两跨连续板的试验

应注意区别中间支座处由面板屈曲、屈服或芯材压碎引起的永久变形。

端部及中间支座处的连接有一定的柔韧性，尤其是承受由风吸力和面板温差引起的上拉荷载时。这样，基于不可移动支座的计算将会过高估计由温差引起的应力。

连接体系的柔韧性，及其对弯矩分布、剪力分布、变形的影响，应通过试验确定。在此类试验中，可采用前面的力学加载方式。板应有连接支撑来承担荷载，这样，连接将受到拉力作用。通过对如图所示的上下面板温差($T_1 > T_2$)的加载布置试验可获得连接件柔韧性。根据测得的支座反力，跨中、支座变形的结果可估算连接系统的柔韧性，及其对板体系应力及变形的影响。可采用一个弹簧系数来反映连接体系承受负支座反力的柔韧性。

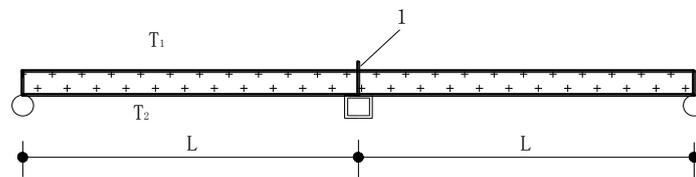


图 18 对两跨夹芯板进行温度加载来测试连接系统柔韧性对板应力分布和反力的影响

1—中间紧固件

A.2.10 支座承载力确定试验

应选择 L_1 、 L_2 、 L_3 的尺寸，以便使试样在支座处发生受压破坏。

A.2.11 可行走性试验

大多数种类的夹芯板在无保护形式下不适合作为重复步行荷载的走道或工作平台。

第一点适用于偶尔情况。第二点适用于规律性行走但不经常的情况。

A.2.12 起泡试验

鼓泡和芯材与钢板粘结不良、空隙、制造缺陷有关。对暴露于阳光下的深色泡沫夹芯板或承受较高相对温度的其他板有影响。

一旦鼓泡时，对泡沫制造及生产方法有争议，应进行试验。

批量生产的夹芯板往往比连续生产线制造的板更容易起泡。

在连续生产后的几个月，可以通过控制拉伸粘结试验来减少鼓泡试验频率。

A.2.13 泡沫及粘结剂反应试验

因为是自由发泡，得到的结果与芯材的特征没有直接关系。但是能为工程师提供大量信息。

A.2.16 连接试验

实际情况同试验布置不同时，为保证试验装置代表真实情况，应特别注意：

- (1)加载类型；
- (2)支撑件厚度；
- (3)连接件头部和垫圈；
- (4)芯材特性；

(5)面板特性;

(6)末端与边缘距离。

A.2.17 其他物理性能试验

2 热传导性能

对于许多硬质泡沫,尤其是聚氨酯,考虑到孔气体与空气交换的较慢,应通过一个老化系数来增加测得的热传导性能。

对于具有良好气密性面板和边缘构造的聚氨酯夹芯板,老化系数可取10%。气密性较差的板,老化系数可取10%~50%,取决于细部构造。

A.2.18 试验结果的记录与分析

记录的信息包括:

1 生产日期和时间;

2 生产方法和板制造过程中的定向(例如,哪面板位于最上层,哪些是连续发泡中的边缘等);

3 试验日期和时间;

4 试验条件(温度和湿度);

5 加载方法和仪表装置细节;

6 边界条件(板的个数及长度,支座宽度及细部构造,与支撑结构相连的连接件个数和细部构造);

7 试验中板的定向;

8 面板性能(厚度,屈服应力,几何尺寸等);

9 芯材性能(密度,强度,模量等);

10 试验测量值(荷载,变形,温度等)。