

UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

P

JGJ 9XX—2017

---

**金属面夹芯板应用技术规程**  
**(征求意见稿)**

**Technical specifications for application of the metal-faced  
sandwich panel**

2017—xx—xx发布

2017—xx—xx实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

# 金属面夹芯板应用技术规程

(征求意见稿)

**Technical specifications for application of the metal-faced  
sandwich panel**

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2017年×月×日

中国建筑工业出版社

2017 北京

## 前言

本规程是根据住房和城乡建设部关于《2015 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》[建标(2014)189 号]的要求，由中国建筑金属结构协会建筑钢结构分会会同有关单位共同编制完成的。

本规程共 11 章 3 个附录。主要技术内容有：总则、术语、符号、基本规定、材料、屋面及墙面建筑设计、结构设计、加工、运输及堆放、施工安装、竣工验收、维护与维修、试验方法和要求等。

本规程由中国建筑金属结构协会建筑钢结构分会负责规程的日常管理和具体技术内容的解释。请各单位在执行规程的过程中，结合工程实际经验将意见和建议寄至中国建筑金属结构协会建筑钢结构分会(地址：北京市海淀区三里河路建设部院 2 号楼 101 室，邮编：100088)

主编单位：中国建筑金属结构协会建筑钢结构分会

哈尔滨工业大学深圳研究生院

参编单位：西安建筑科技大学

北京东方诚国际钢结构工程有限公司

上海钢之杰钢结构建筑有限公司

多维集团有限公司

浙江东南网架股份有限公司

山东万事达建筑钢品股份有限公司

森特士兴集团股份有限公司

沈阳三新实业有限公司

河南天丰钢结构建设有限公司

山东雅百特科技有限公司

上海亚泽金属屋面系统股份有限公司

主要起草人：

主要审查人：

# 目录

1	总则.....	9
2	术语、符号.....	10
2.1	术语.....	10
2.2	符号.....	11
3	基本规定.....	13
3.1	荷载.....	13
3.2	面板厚度与芯材.....	14
3.3	金属面夹芯板设计.....	14
3.4	防潮.....	15
3.5	隔音.....	16
4	材料.....	18
4.1	金属面板.....	18
4.2	芯材.....	18
4.3	零配件.....	18
4.4	紧固件.....	18
4.5	密封材料.....	18
4.6	粘结剂.....	20
5	屋面及墙面建筑设计.....	21
5.1	一般规定.....	21
5.2	板型与构造.....	21
5.3	屋（墙）面系统设计要点及细部设计.....	25
5.4	冷库用夹芯板设计要点及细部构造.....	36
6	结构设计.....	41
6.1	夹芯板承载能力设计.....	41
6.2	连接设计.....	41
7	加工、运输及堆放.....	47
7.1	一般规定.....	47

7.2 加工、制作.....	47
7.3 运输.....	48
7.4 堆放.....	48
8 施工安装.....	49
8.1 一般规定.....	49
8.2 施工准备.....	49
8.3 屋面系统安装.....	49
8.4 墙面系统安装.....	50
8.5 金属面夹芯冷库板系统安装.....	51
8.6 零配件安装.....	53
8.7 施工安全与成品保护.....	53
9 竣工验收.....	56
9.1 一般规定.....	56
9.2 金属面夹芯板成品进场验收.....	58
9.3 零配件、紧固件及其他材料验收.....	59
9.4 安装验收.....	60
9.5 节点安装验收.....	62
10 维护与维修.....	63
10.1 一般规定.....	63
10.2 维护.....	63
10.3 维修.....	65
11 试验方法和要求.....	66
11.1 一般要求.....	66
11.2 材料性能试验方法.....	67
附录 A 压型金属板常用钢、铝合金、不锈钢板的化学成分与力学性能 .....	75
附录 B 金属面夹芯板内力、应力和挠度的计算 .....	78
本规程用词说明.....	92
引用标准名录.....	93

附：条文说明.....95

# Contents

1	General Provisions .....	9
2	Terms and Symbols .....	10
	2.1 Terms.....	10
	2.2 Symbols.....	11
3	Basic Requirements.....	13
	3.1 Loads.....	13
	3.2 Thickness of Metal Face and Core.....	14
	3.3 Design of Metal Faced Sandwich Panel.....	14
	3.4 Moisture Resistance .....	15
	3.5 Sound Insulation .....	16
4	Materials .....	18
	4.1 Metal Face.....	18
	4.2 Core.....	18
	4.3 Accessory .....	18
	4.4 Fastener .....	18
	4.5 Sealing Material.....	18
	4.6 Bonding Material .....	20
5	Architectural Design Of Roof And Wall .....	21
	5.1 General Requirement .....	21
	5.2 Panel Types and Details .....	21
	5.3 System Design Outline And Detail Of Roof And Wall .....	25
	5.4 Design Outline and Detail Of Sandwich Panel in Cold Store.....	36
6	Structural Design.....	41
	6.1 Bearing Capacity Design of Sandwich Panel.....	41
	6.2 Connection Design.....	44
7	Processing, Transportation and Piling Up .....	47
	7.1 General Requirement .....	47

7.2 Processing and Manufacture .....	47
7.3 Transportation.....	48
7.4 Piling Up .....	48
8 Construction Installation .....	49
8.1 General Requirement .....	49
8.2 Construction Preparation.....	49
8.3 Installation of Roof System.....	49
8.4 Installation of Wall System .....	50
8.5 Installation of Metal Faced Sandwich Panel in Cold Store.....	51
8.6 Installation of Accessory.....	53
8.7 Construction Safety and Product Protection .....	53
9 Completion and Acceptance .....	56
9.1 General Requirement .....	56
9.2 Acceptance of Metal Faced Sandwich Panel Products in Site .....	58
9.3 Acceptance of Accessory, Fastener and Other Materials .....	59
9.4 Acceptance of Installation .....	60
9.5 Acceptance of Connection Installation .....	62
10 Maintenance and Repair .....	63
10.1 General Requirement .....	63
10.2 Maintenance .....	63
10.3 Repair.....	65
11 Testing Methods and Requirement .....	66
11.1 General Requirements .....	66
11.2 Material Performance Test Method.....	67
Appendix A Chemical Component And Mechanical Behavior of Steel, Aluminium Alloy And Stainless Steel of Metal Faced Sandwich Panel.....	75
Appendix B Internal Forces, Stress and Deflections Calculation Of Metal Faced Sandwich Panel .....	78



Explanation of Wording in This Specification .....	92
List of Quoted Standards.....	93
<b>Addition:</b> Explanation of Provisions .....	95

## 1 总则

1.0.1 为在金属面夹芯板的设计和施工中贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、扩建和改建的工业与民用房屋屋面板(非上人屋面)、墙面板、吊顶板、内隔墙、声屏障、冷库板等的设计及施工。

1.0.3 金属面夹芯板的设计与施工除应符合本规程要求外，尚应符合国家现行有关标准的规定。对有防火、防腐蚀、隔热、隔音、防潮要求的，应遵守国家现行相关规范规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 金属面板 **Profiled metal sheet**

指金属板经辊压冷弯，沿板宽方向形成连续波形或其他截面形状的成型金属板。

#### 2.1.2 金属面夹芯板（以下简称夹芯板） **metal-faced sandwich panel**

由上下二层较薄金属板材为面板，中间填充绝热轻质芯材，采用一定的成型工艺将二者组合成整体的复合板材。

#### 2.1.3 芯材 **core**

上下面板之间的绝热材料。

#### 2.1.4 平面或浅压型金属面夹芯板 **thin metal faced or lightly profiled faced sandwich panel**

面板是平面或有轻微凹凸，面板凹凸剖面最大高度不超过 3mm，面板自身的弯曲刚度在静力分析时可以忽略不计。

#### 2.1.5 深压型或压型钢板金属面夹芯板 **profiled faced sandwich panel**

一层或上下两层面板经过冷压成凹凸型，面板凹凸剖面高度超过 3mm，面板自身的弯曲刚度静力分析时不能忽略。

#### 2.1.6 零配件 **accessory**

屋面、墙面系统中除金属面夹芯板以外的构件，使得屋面、墙面更有效的发挥作用或起装饰作用。

#### 2.1.7 紧固件 **fastener**

连结金属面夹芯板及支撑框架的构件。

#### 2.1.8 粘结材料 **bonding material**

粘结上下面板和中间绝热芯材并使之成为一个整体的材料。

## 2.2 符号

### 2.2.1 作用和作用效应

- $F$  ——荷载;
- $G$  ——自重;
- $M$  ——弯曲刚度;
- $N$  ——轴向压力;
- $Q$  ——可变荷载;
- $R$  ——抵抗力;
- $V$  ——剪力;

### 2.2.2 材料指标

- $f$  ——强度;
- $\varepsilon$  ——应变;
- $\gamma$  ——剪应变;

### 2.2.3 几何参数

- $A$  ——横截面面积;
- $D$  ——夹芯板宽度;
- $L$  ——跨度、距离;
- $T$  ——温度;
- $s$  ——长度;
- $t$  ——面板厚度;
- $w$  ——挠度;
- $a$  ——屈曲变形的半波波长;
- $b$  ——试件宽度、板宽度、截面水平部分宽度;
- $d$  ——螺纹直径、面板压型深度、芯材厚度;
- $e$  ——面板形心之间距离;

### 2.2.4 计算系数及其它

- $B$  ——弯曲刚度;
- $E$  ——弹性模量;

$I$  ——转动惯量;  
 $K$  ——屈曲系数;  
 $G$  ——剪切模量;  
 $\beta$  ——参数;

### 3 基本规定

#### 3.1 荷载

3.1.1 夹芯板承受的荷载应按下列规定确定：

- 1 屋面板的荷载应包括板自重、雪荷载、积灰荷载、风荷载；
- 2 外墙面板的荷载应包括板自重、风荷载；
- 3 承受施工或检修荷载的板，应根据实际工况确定荷载。

3.1.2 计算夹芯板的荷载组合，应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定。

3.1.3 夹芯板面板承受的温度作用应按下列规定确定：

1 外部面板的温度值  $T_e$  应按下列规定确定：

- 1) 冬季应取当地温度记录的最低值；当有积雪覆盖屋面板时，外部温度应取  $0^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 夏季，承载力极限状态计算时，应取  $80^{\circ}\text{C}$ ；正常使用极限状态计算时，第一级颜色应取  $55^{\circ}\text{C}$ ，第二级颜色应取  $65^{\circ}\text{C}$ ，第三级颜色应取  $80^{\circ}\text{C}$ 。

颜色等级划分应按表 3.1.3 的规定确定。

表 3.1.2 颜色等级划分

第一级颜色（颜色极浅）	第二级颜色（浅色）	第三级颜色（深色）
浅灰色、乳白色	沙黄色、淡蓝色、灰绿、 浅绿色、橄榄绿、橄榄灰	鲜蓝色、棕褐色、煤灰色

3) 当夹芯板前面设置有通风幕墙时，外层面板的温度值应根据幕墙的透明程度及外层面板和幕墙之间的空气流动通过计算确定，但  $T_e$  值不得低于  $40^{\circ}\text{C}$ 。

2 内部面板的温度值  $T_i$  应按下列规定确定：

- 1) 冬季应取  $20^{\circ}\text{C}$ ，夏季应取  $25^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 在室内环境温度由设备控制的情况下，可取设备工作温度。

3.1.4 连接节点设计应考虑下列荷载或作用：

- 1 面板自重；
- 2 面板风荷载；
- 3 面板上额外构件的重量；
- 4 面板温度变化作用。

### 3.2 面板厚度与芯材

3.2.1 夹芯板的构造应符合下列规定：

1 金属面板基板的公称厚度宜在 0.5mm ~ 1.2mm 范围内，有镀层金属面板的设计厚度可按下列式计算：

$$t_d = t_{\text{nom}} - t_{\text{zinc}} - 0.5t_{\text{tol}} \quad (3.2.1)$$

式中： $t_{\text{nom}}$ ——金属面板的公称厚度（mm）；

$t_{\text{zinc}}$ ——镀层总厚度（mm），无镀层金属面板取 0；

$t_{\text{tol}}$ ——国家规定的标准公差（mm）。

2 夹芯板总厚度宜在 30mm ~ 300mm 范围内；

3 平面或浅压型面板凹凸剖面最大高度应小于或等于 5mm，深压型或压型面板凹凸剖面高度应大于 5mm（图 3.2.1）。

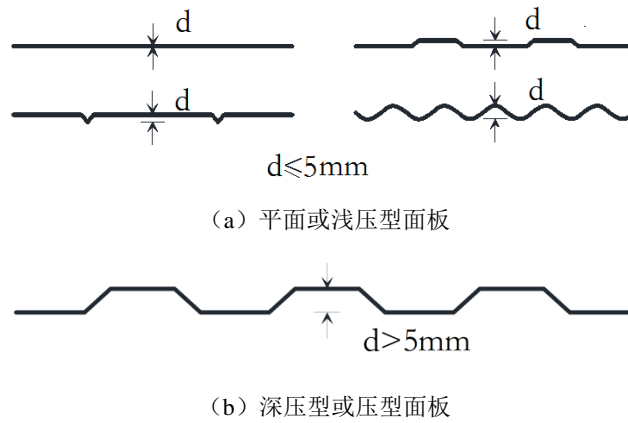


图 3.2.1 面板剖面图

3.2.2 芯材的剪切模量可根据表 3.2.2 确定。

表 3.2.2 芯材的剪切模量  $G_c$

芯材	剪切模量 (MPa)	芯材	剪切模量 (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	$1.700 \times \rho/100$	玻璃棉	$2.682 \times \rho/100$

### 3.3 夹芯板设计

3.3.1 夹芯板的设计，应合理选择材料、板型、连接方式和构造措施，且应符合运输、安装

和使用功能和安全的要 求。夹芯板设计应包括：板的承载能力极限状态设计和正常使用极限状态设计以及板的连接设计。

3.3.2 夹芯板承载能力极限状态设计应符合下列规定：

1 承载力设计内容应包括：金属面板强度、金属面板局部稳定、芯材的剪切强度、面板剪切强度、支座处芯材承压强度；

2 夹芯板承载力应按 下式验算：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (3.3.2)$$

式中： $\gamma_0$ ——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，按本规程附录 B.2 节计算；

$R_d$ ——构件承载力设计值，按本规程第 6.1 节计算。

3.3.3 夹芯板挠度应按 下式验算：

$$w \leq w_d \quad (3.3.3)$$

式中： $w$ ——夹芯板挠度计算值，按本规程附录 B.1 节计算；

$w_d$ ——夹芯板挠度限值，当用于屋面板和吊顶板时，荷载标准组合引起的挠度不应超过跨度的 1/150；当用于墙面板时，荷载标准组合引起的挠度不应超过跨度 1/100。

### 3.4 防潮设计

3.4.1 夹芯板表面冷凝计算与设计，应符合下列规定：

1 夹芯板表面温度可按 下式计算

$$T_{i0} = T_i - \frac{T_i - T_e}{R_i + R_e + R} R \quad (3.4.1)$$

式中： $T_{i0}$ ——夹芯板板面内侧温度；

$T_i$ 、 $T_e$ ——室内、外温度；

$R_i$ ——内表面换热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )，应按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB50176 确定；

$R_e$ ——外表面换热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )，应按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB50176



确定：

$R$ ——夹芯板结构热阻( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )。

2 当采用避免夹芯板表面出现冷凝水的措施时,夹芯板导热系数和相对湿度之间的关系可按图 3.4.1 确定。

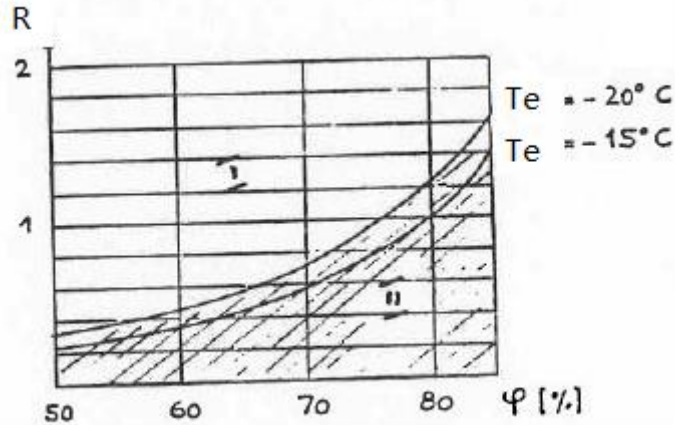


图 3.4.1 避免板表面冷凝水时导热系数和相对湿度之间的关系

### 3.4.2 芯材内冷凝（间隙间的冷凝）

下面两种情况可以导致板内产生露水：

- 1 水的蒸发扩散；
- 2 由于不同蒸汽压产生的对流。

为了防止结构内部产生冷凝现象，节点需要被设置成气密性节点。

在某些环境下允许发生冷凝：

- 1 芯材由完全封闭的单元结构硬质泡沫塑料组成；
- 2 在干燥阶段冷凝可以消散。

但高潮湿环境下，如冷库，在温度比较高的一侧面板处需设置隔汽层。

## 3.5 隔音设计

3.5.1 夹芯板隔声量可按下式计算

$$TL = 10 \lg\left(\frac{1}{\tau}\right) \quad (3.5.1)$$

其中： $TL$ ——隔声量， $\text{dB}$ ；

$\tau$ ——透射系数,  $\tau = \frac{E_t}{E_i}$ ;

$E_t$ ——透射声能;

$E_i$ ——入射声能。

## 4 材料

### 4.1 金属面板

**4.1.1** 夹芯板的金属面板可采用彩色涂层钢板、铝合金板、不锈钢板。

**4.1.2** 彩色涂层钢板的性能应符合现行国家标准《彩色涂层钢板及钢带》GB/T 12754、《建筑用压型钢板》GB/T 12755 的规定。

**4.1.3** 铝合金板的性能应符合国家现行标准《变形铝及铝合金化学成分》GB/T3190、《一般工业用铝及铝合金板、带材》GB/T3880、《铝及铝合金彩色涂层板、带材》YS / T 431 的规定。

**4.1.4** 不锈钢板的性能应符合现行国家标准《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 的规定。

### 4.2 芯材

**4.2.1** 模塑聚苯乙烯泡沫塑料（简称 EPS）的性能应符合现行国家标准《绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料》GB/T 10801.1 中的规定，其密度不应小于  $18\text{kg/m}^3$ ，导热系数不应大于  $0.038\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。挤塑聚苯乙烯泡沫塑料（简称 XPS）的性能应符合现行国家标准《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料》GB/T 10801.2 中的规定。

**4.2.2** 硬质聚氨酯泡沫塑料（简称 PU）的性能应符合现行国家标准《建筑绝热用硬质聚氨酯泡沫塑料》GB/T 21558 的规定，其物理力学性能应符合类型 II 的规定，密度不应小于  $38\text{kg}/\text{m}^3$ 。

**4.2.3** 岩棉、矿渣棉的性能除热荷重收缩温度外，均应符合现行国家标准《绝热用岩棉、矿渣棉及其制品》GB/T 11835 的规定，纤维朝向应垂直于面板，密度不应小于  $100\text{kg}/\text{m}^3$ 。

**4.2.4** 玻璃棉的性能除热荷重收缩温度外，均应符合现行国家标准《绝热用玻璃棉及其制品》GB/T 13350 的规定，密度不应小于  $64\text{kg}/\text{m}^3$ 。

**4.2.5** 芯材的力学性能（剪切模量、弹性模量、拉压强度）应按本规程第 11 章试验方法和要求确定。

### 4.3 零配件

**4.3.1** 零配件宜采用钢材、铝合金材料和不锈钢材料。

**4.3.2** 钢零配件应符合下列规定：

1 零配件用钢材的种类、牌号和等级应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。

2 零配件应通过防腐处理。当采用热浸镀锌防腐处理时，镀膜厚度应符合现行国家标准

《金属覆盖层钢铁制品热镀锌层技术要求》GB/T 13912 的规定；当采用氟碳喷涂或聚氨酯喷涂时，涂膜厚度应满足设计要求和相关规范的规定。

**4.3.3** 不锈钢连接件宜采用奥氏体不锈钢，其性能应符合现行国家标准《不锈钢棒》GB/T1220、《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 的规定。

**4.3.4** 铝合金零配件应符合下列规定：

1 零配件宜采用铝合金型材，型材质量应符合现行国家标准《变形铝及铝合金化学成分》GB/T 3190、《铝合金建筑型材》GB/T 5237 的规定。

2 铝合金型材可采用阳极氧化、电泳涂漆、粉末喷涂、氟碳喷涂进行表面处理，表面质量应符合现行国家标准《铝合金建筑型材》GB/T 5237 的规定，表面处理层厚度应满足设计要求和相关规范的规定。

**4.3.5** 零配件用冷弯薄壁型钢应符合现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定。

**4.3.6** 当围护系统有特殊保温隔热要求时，金属类零配件应配置绝热垫片。

**4.3.7** 金属类零配件宜与其接触板材的材质相同，当材质不同时，应采取绝缘隔离措施。

**4.3.8** 收边板、包边板宜采用与金属面板相同材质的材料。

#### 4.4 紧固件

**4.4.1** 紧固件的型号、规格、性能指标及质量要求应符合设计要求和国家现行标准的规定。

**4.4.2** 紧固件材质宜与连接构件材质相同，当材质不同时，应采取绝缘隔离措施。

**4.4.3** 碳钢材质的紧固件表面应有镀层。

**4.4.4** 当紧固件头部外露且使用环境腐蚀性等级在 C4 级及以上时，应采用不锈钢材质或具有耐腐蚀性材质的紧固件。

#### 4.5 密封材料

**4.5.1** 密封材料可采用密封胶条和密封胶。

**4.5.2** 密封胶条中的橡胶制品宜采用硅橡胶、三元乙丙橡胶、氯丁橡胶和丁基橡胶。

**4.5.3** 密封胶条应符合国家现行标准《工业用橡胶板》GB/T 5574、《建筑门窗用密封胶条》JG/T 187 和《建筑橡胶密封垫——预成型实心硫化的结构密封垫用材料规范》HG/T3099 的规定。

**4.5.4** 密封胶应采用中性硅酮密封胶，其物理力学性能应符合国家现行标准《建筑密封胶分级和要求》GB/T 22083 和《幕墙玻璃接缝用密封胶》JC/T 882 的规定。

**4.5.5** 密封胶应与其接触的面板材料相容，当与其接触的面板材料不相容时应采取措施避免直接接触。

**4.5.6** 所有密封材料均应在有效期内使用。

**4.5.7** 收边板、泛水板及金属板间使用的密封胶材质应与该建筑使用功能匹配，汽车涂装车间不宜使用硅胶。

#### 4.6 粘结材料

**4.6.1** 粘结剂的强度、耐久性、热敏感性等性能应高于芯材料。

## 5 屋面及墙面建筑设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 夹芯板屋面、墙面系统应根据当地气象条件、建筑等级、建筑造型、使用功能要求进行设计。

**5.1.2** 夹芯板屋面、墙面系统设计应包括下列内容：

1. 屋面、墙面系统的板型及零配件种类、规格及其主要性能确定；
2. 屋面、墙面系统的构造设计。
3. 屋面、墙面系统抗风、雨、雪的安全设计。
4. 屋面、墙面系统的保温隔热、防水设计；
5. 屋面、墙面系统防雷及踩踏构造设计。

**5.1.3** 夹芯板屋面系统设计时应计算温度变化对屋面板的影响。

**5.1.4** 夹芯板屋面系统板型选择应进行排水验算。

**5.1.5** 夹芯板屋面、墙面系统的设计应防止雨（雪）水进入芯材内部。

**5.1.6** 夹芯板屋面、墙面系统所用板材的燃烧性能和耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016 的规定。

### 5.2 板型与构造

**5.2.1** 夹芯板屋面、墙面系统所用板型的种类：

- 1、根据芯材品种不同分为以下几种：
  - a、岩棉金属面夹芯板；
  - b、玻璃丝棉金属面夹芯板；
  - c、聚氨酯金属面夹芯板；
  - d、酚醛金属面夹芯板；
  - e、聚苯乙烯金属面夹芯板；
  - f、或由以上几种芯材组合成的复合芯材金属面夹芯板。
  - g、泡沫玻璃金属面夹芯板；
- 2、根据使用部位及用途不同分为以下几种：

- a、墙面用金属面夹芯板；
- b、屋面用金属面夹芯板；
- c、室内隔断用金属面夹芯板；
- d、冷库用金属面夹芯板等。

3、根据板与板之间的连接方式不同分为以下几种

- a、搭接式；
- b、插接式；
- c、扣合式；

5.2.2 屋面、墙面系统的夹芯板可采用下列板型：

1 屋面系统可采用搭接式和扣合式金属面夹芯板（图 5.2.2-1）

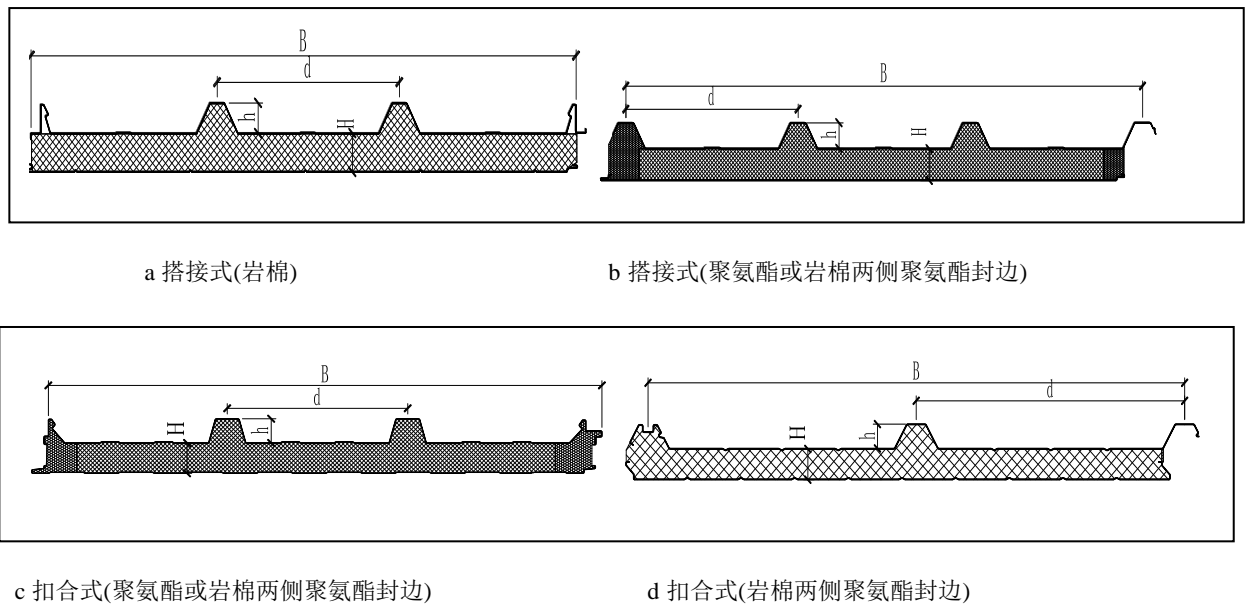
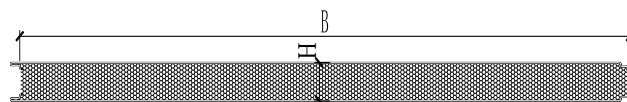


图 5.2.2-1 屋面搭接式金属面夹芯板

2 墙面系统可采用下列板型：

1) 室内隔断及冷库可采用墙面插接式夹芯板（图 5.2.2-2）。



(聚氨酯、岩棉、玻璃丝棉或聚氨酯封边)

图 5.2.2-2 插接式墙面板示例

2) 外墙保温或装饰可采用墙面插接式夹芯板（图 5.2.2-3）。

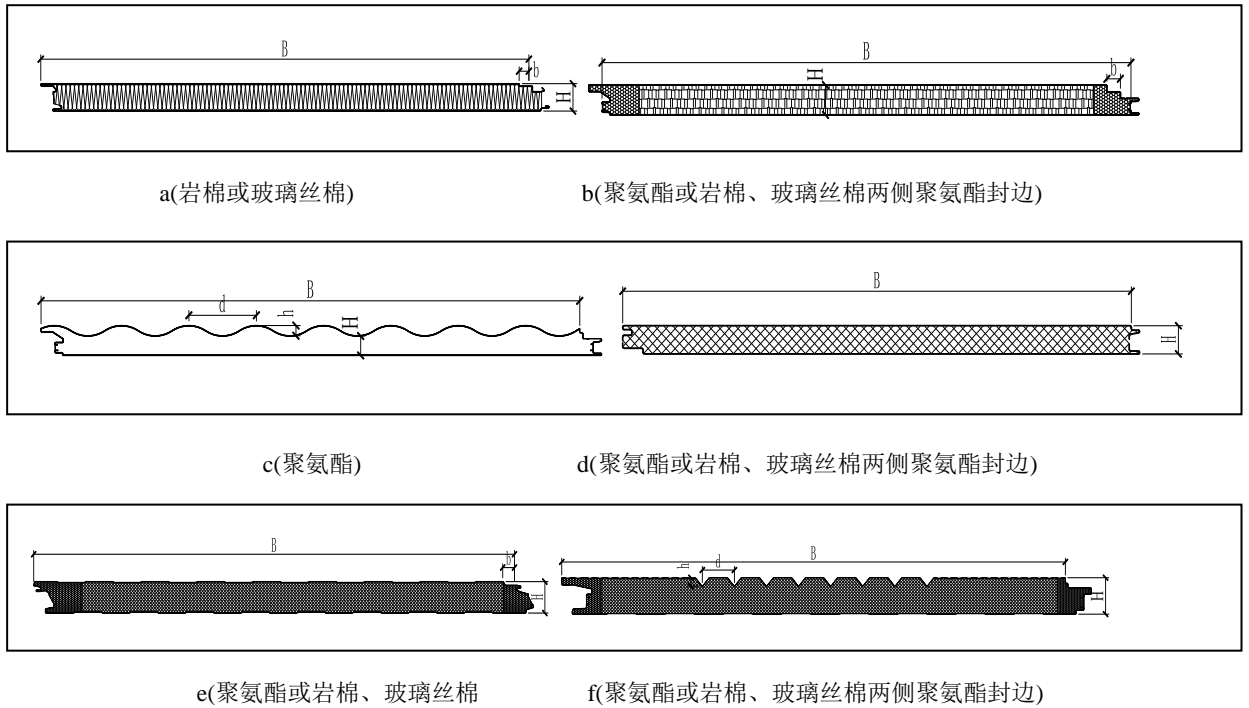


图 5.2.2-3 插接式墙面板示例

**5.2.3 夹芯板屋面、墙面系统构造，应符合下列规定：**

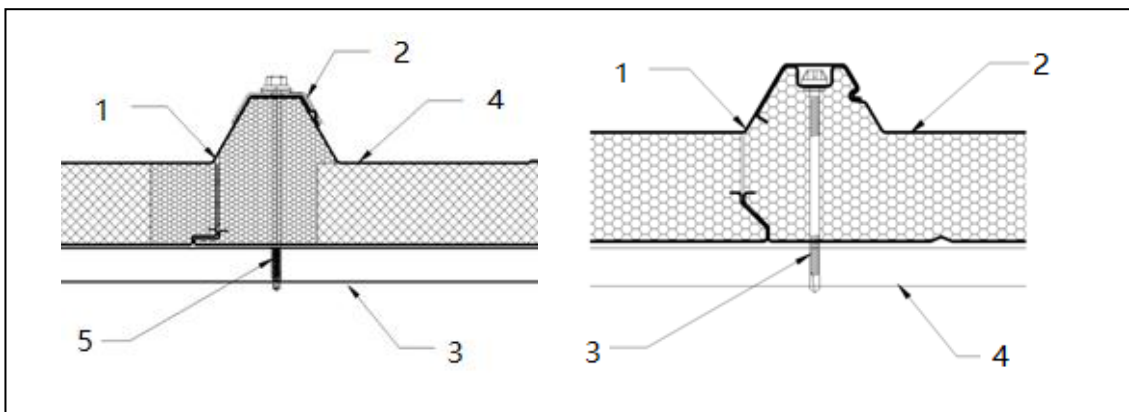
1 屋面夹芯板可采用搭接式连接（图 5.2.3-1）或扣合式连接（图 5.2.3-2）。

a、搭接处自攻螺钉加马鞍垫

b、搭接处自攻螺钉不外露

1、上金属面夹芯板 2、马鞍垫 3、支撑结构

1、上金属面夹芯板 2、下金属面夹芯板

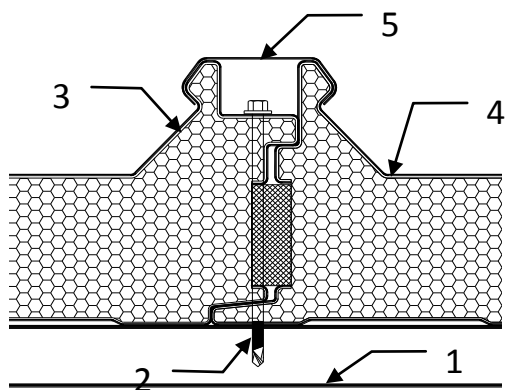


4、下金属面夹芯板 5、自攻螺钉

3、自攻螺钉 4、支撑结构

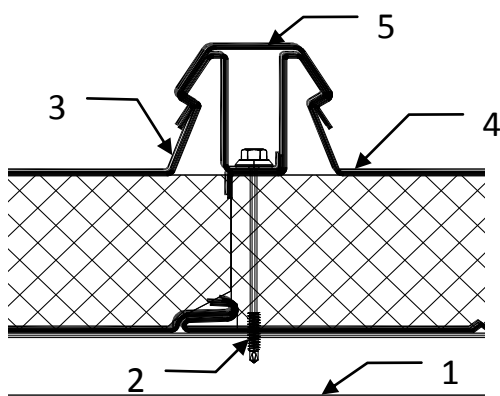
图 5.2.3-1 搭接式连接示例





a、扣合式连接示意图（一）

- 1、支撑结构；2、自攻螺丝；3、上金属屋面板；  
4、下金属屋面板；5、金属扣槽；

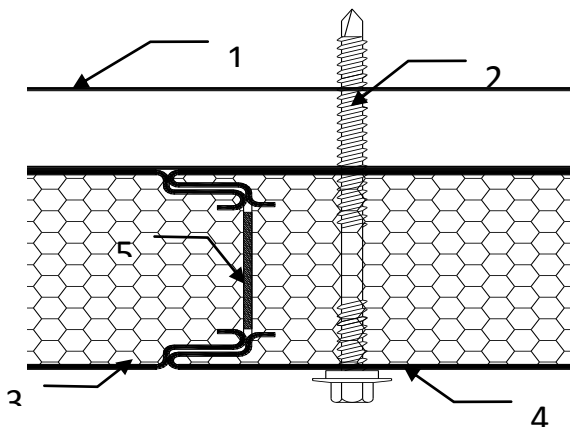


b、扣合式连接示意图（二）

- 1、支撑结构；2、自攻螺丝；3、上金属屋面板；  
4、下金属屋面板；5、金属扣槽；

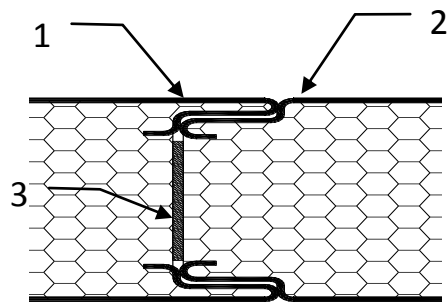
图 5.2.3-2 扣合式连接示例

2 墙面夹芯板可采用插接式连接（图 5.2.3-3）。



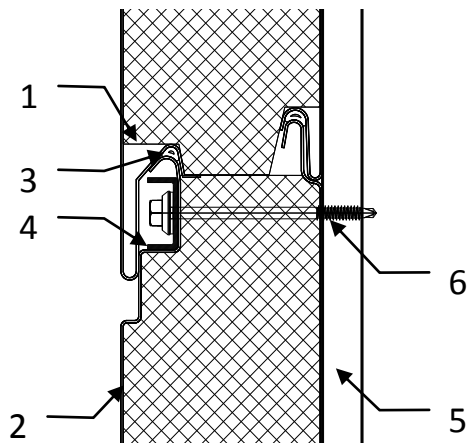
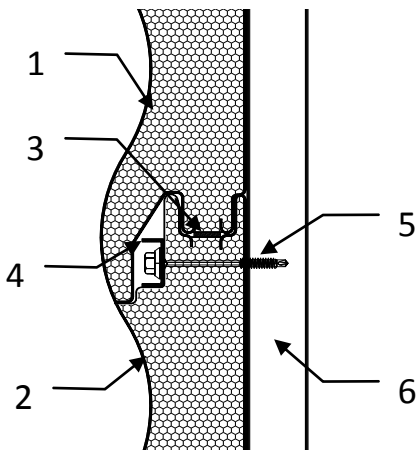
a、垂直安装插接方式（一）（外露钉）

- 1、支撑结构；2、自攻螺丝；3、左金属面夹芯板；  
4、右金属面夹芯板；5、密封胶或密封胶条；

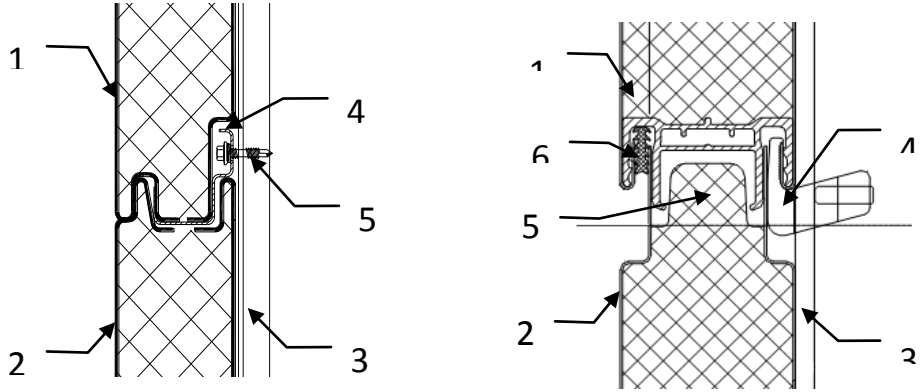


b、垂直安装插接方式（二）（无钉）

- 1、左金属面夹芯板；2、右金属面夹芯板；  
3、密封胶或密封胶条；



- c、水平安装插接方式（一）（隐藏钉）  
 1、上金属面夹芯板；2、下金属面夹芯板；  
 3、密封胶或密封胶条；4、连接加强件；  
 5、自攻螺丝；6、支撑结构
- d、水平安装插接方式（二）（隐藏钉）  
 1、上金属面夹芯板；2、下金属面夹芯板；3、密封条；  
 4、连接加强件；5、支撑结构；6、自攻螺丝



- e、垂直安装插接方式（三）（隐藏钉）  
 1、上金属面夹芯板；2、下金属面夹芯板；  
 3、支撑结构；4、专用扣件；5、自攻螺丝；  
 6、专用零配件
- f、垂直安装插接方式（四）（隐藏钉）  
 1、上金属面夹芯板；2、下金属面夹芯板；3、支撑结构；  
 4、专用扣件；5、自攻螺丝；6、金属面夹芯板隔热零配件；  
 7、密封胶条

图 5.2.3-3 插接式连接示例

### 5.3 夹芯板屋面、墙面系统细部设计

5.3.1 屋面、墙面系统的夹芯板按照连接方式可分为搭接型、扣合型、插接型。屋面板宜采用搭接、扣合连接方式；墙面板宜采用插接连接方式。

5.3.2 夹芯板屋面、墙面系统设计应符合下列规定：

- 1 夹芯板不宜过长；
- 2 屋、墙面板系统应满足水密性和气密性要求；
- 3 屋、墙面板系统有隔热要求时，紧固件连接应采用防热桥构造；
- 4 屋、墙面板系统伸缩缝的位置宜与结构伸缩缝一致，并应满足水密性要求；
- 5 屋、墙面板可采用固定式连接，扣合型夹芯板除应按照设计要求进行固定连接外，扣合件不应再与夹芯板连接钉连接。

6 当屋面、墙面系统的部分区域不满足抗风要求时，宜对建筑物的屋脊、檐口、屋面墙面的边区、角区采取加密固定点或增加其他固定措施；

7 屋面、墙面系统不宜开洞，当必须开洞时应采取措施保证屋面、墙面系统安全和不渗漏；

8 屋面系统宜设置防止坠落的安全设施。

**5.3.3 夹芯板屋面坡度应符合下列规定：**

1 屋面坡度应根据结构形式、所选板型以及连接方式、排水方式以及建筑所在地区降雨量计算确定；

2 屋面坡度不应小于 5%；

3 腐蚀性粉尘环境中，屋面坡度不宜小于 10%；当腐蚀性等级为强、中环境时，屋面坡度不宜小于 8%；

4 屋面坡度应根据夹芯板外层压型金属板波高与排水能力的关系确定，当屋面坡度较缓时，宜选用高波板。

**5.3.4 夹芯板屋面系统板型选择应符合下列规定：**

1 板型应根据当地积雪厚度、暴雨强度、风荷载及屋面形状等选择；

2 夹芯板外层面板波高不宜小于 35mm，基板厚度不宜小于 0.6mm；内层面板宜采用平板，基板厚度不宜小于 0.5mm；

3 形状复杂的屋面不宜采用夹芯板。

5.3.5 当夹芯板屋面采用有组织排水时，不应将高跨屋面的雨水直接排放到低跨屋面。

5.3.6 用于屋面的夹芯板，单板长度不宜超过 18m。

5.3.7 夹芯板屋面采光通风天窗及出屋面构件宜设置在屋面最高部位，且宜高出屋面板 200mm。

5.3.8 当屋面夹芯板长度方向连接采用搭接连接时，搭接端应设置在支撑构件上，支撑构件应有足够的连接面，夹芯板应与支撑构件连接可靠。当采用螺钉或铆钉固定搭接时，搭接部位应设置防水密封胶带。

**5.3.9 夹芯板长度方向的搭接长度应符合下列规定：**

1 当屋面坡度小于或等于  $1 / 10$  时，夹芯板搭接连接宜采用紧固件加丁基胶带的方式，搭接长度不宜小于 100mm；

2 当屋面坡度大于  $1 / 10$  时，可不采用紧固件加丁基胶带的连接方式，夹芯板搭接长度不宜小于 200mm；

3 墙面夹芯板不宜采用搭接连接。

**5.3.10** 包角板应采用与夹芯板外板相同材质制作，且宜采用折弯成型的产品。

**5.3.11** 紧固件选择应符合下列规定：

1 夹芯板屋面系统应根据被固定构件的材质和厚度选择紧固件；

2 紧固件的材质应避免与其他连接构件产生电化学腐蚀作用；

3 夹芯板屋面搭接板中扣合型及搭接型板，应在每波设置连接压板，并应在波峰处与结构构件连接；每波或隔波应设置紧固件与结构构件连接；

4 夹芯板屋面用紧固件应采用带有 EPDM 防水密封胶垫的自攻螺钉，紧固件宜采用外露用紧固件。

**5.3.12** 夹芯板屋面、墙面系统应进行细部设计。细部设计应包括下列内容：

1 屋面系统节点，包括屋脊、采光带、檐口、山墙、女儿墙、高低跨、天沟、檐沟节点；

2 墙面系统节点，包括阴角、阳角、勒脚、门窗节点；

3 出屋面节点，包括天窗、排烟窗、屋面检修走道、出屋面设备管道洞口、防雷设施、防坠落设施、挡雪设施、其他附加设施节点；

4 出墙面节点，包括检修爬梯、出墙面设备管道洞口、雨棚、落水管节点；

5 屋面、墙面的变形缝；

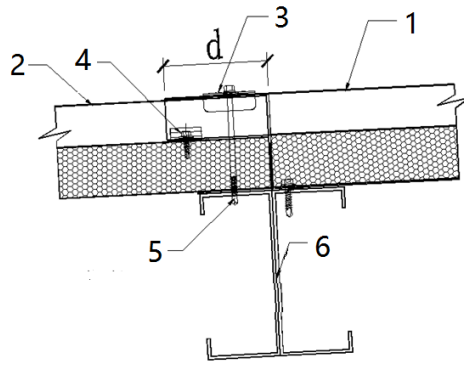
6 屋面排水系统，包括天沟、檐沟、雨落管、溢流管。

**5.3.13** 屋面夹芯板搭接应符合下列要求：

1 搭接处应有安全及防水措施；

2 搭接长度  $d$  应不小于 200mm；

3 搭接处屋面系统次结构宜设置双支撑构件（见图 5.3.12）。

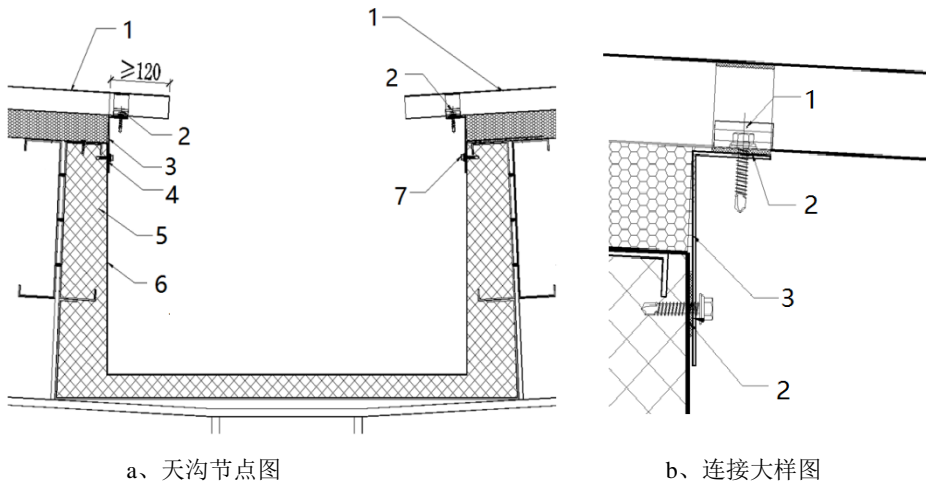


1、上夹芯板 2、下夹芯板 3、马鞍垫 4、不锈钢压条及胶泥 5、自攻螺钉 6、屋面檩条（双檩）

图 5.3.12 金属面夹芯屋面板搭接构造

5.3.14 屋面夹芯板的悬挑及悬挑长度应符合下列要求：

- 1 屋面板应悬挑伸入天沟内；
- 2 悬挑长度不应小于 120mm（图 5.3.13）。



a、天沟节点图

b、连接大样图

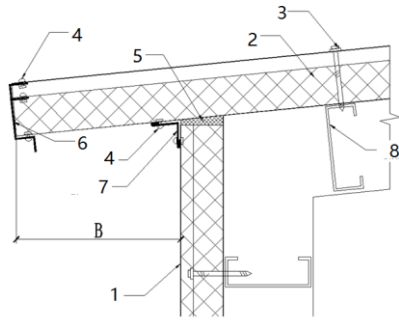
- 1、金属面夹芯板 2、不锈钢压条 3、金属檐口板  
4、丁基胶泥 5、天沟内保温 6、钢板天沟 7、连接钉

- 1、不锈钢压条 2、丁基胶泥  
3、金属檐口板

图 5.3.13 天沟构造

5.3.15 夹芯板屋面系统檐口构造应符合下列要求：

- 1 檐口应有封檐构件或封堵措施（图 5.3.14）；



- 1、金属面夹芯板 2、属面夹芯板 3、自攻螺钉  
4、拉铆钉 5、聚氨酯泡沫条填充 6、正封檐板  
7、檐口阴角 8、檩条

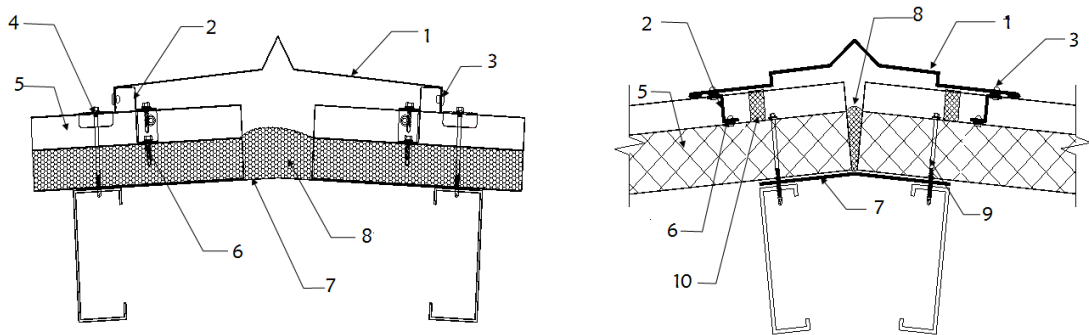
图 5.3.14 檐口构造

2 封檐构件应嵌入夹芯板外板与芯材之间，其间应夹设丁基止水胶带，并应与夹芯板外板用防水紧固件连接；

3 屋面夹芯板应伸出墙面板外，悬挑长度应不小于 250mm。

5.3.16 屋脊节点构造应符合下列要求：

- 1 屋脊节点应有封堵构件和防水措施（图 5.3.15）；
- 2 屋脊泛水版与屋面板宜通过屋脊挡水板连接，不宜与屋面夹芯板直接连接；
- 3 屋脊挡水板外形尺寸宜与屋面板板型相匹配；
- 4 挡水板底部及两侧宜通长设置丁基胶泥，并应与屋面板连接钉连接；
- 5 挡水板与挡水板间宜铺设胶泥后搭接连接。



a、屋脊连接方式（一）

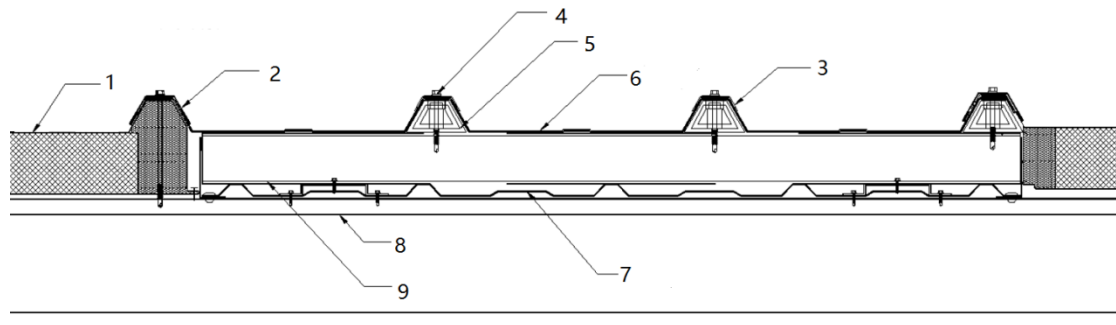
b、屋脊连接方式（二）

- 1、屋脊外包角板；2、屋脊挡水板；3、拉铆钉；4、马鞍垫加防水结构钉；5、金属面夹芯板屋面；6、连接钉及丁基胶带；7、屋脊内包角板；8、聚氨酯发泡填充；9、自攻螺丝；10、泡沫堵头。

图 5.3.15 屋脊节点构造

5.3.17 夹芯板屋面系统采光带构造应符合下列要求：

- 1 采光带两侧应与夹芯板外层板连接，并应有防水措施；
- 2 采光带支撑构件尺寸应根据夹芯板芯材厚度及采光带宽度确定；
- 3 采光带波峰与采光带支撑构件之间应设置匹配的支撑堵头（图 5.3.16）；
- 4 采光带与屋面夹芯板外层板之间的连接宜遵守屋面夹芯板的搭接原则，当采光带位于搭接处的下层时，应在采光带下侧设置厚度不小于 1.5mm 的钢衬板。

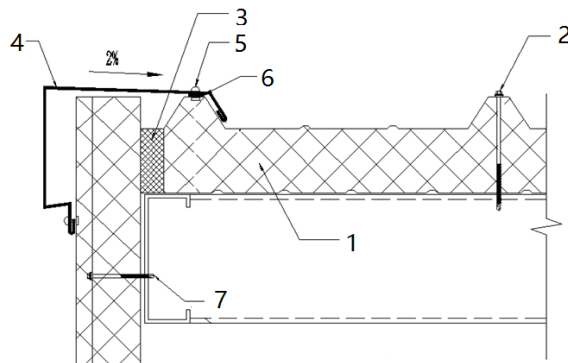


- 1、屋面板 2、金属扣槽 3、马鞍垫 4、连接钉 5、波峰支架  
6、上层采光带 7、下层采光带 8、屋面支撑结构 9、采光带支撑件

图 5.3.16 采光带节点构造

5.3.18 夹芯板屋面系统的山墙包角板设计应符合下列规定：

- 1 山墙包角板宜采用与屋面板、墙面板相同材质的材料；
- 2 山墙包角板与屋面板、墙面板应连接，并应有防水措施(图 5.3.17)；
- 3 当屋面夹芯板单坡长超过 18m 时，应采取措施保证屋面板的伸缩变形。

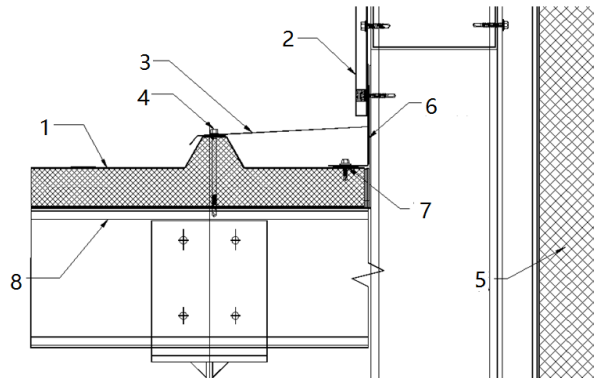


- 1、属面板 2、防水自攻螺钉 3、聚氨酯泡沫条填充 4、  
山墙封檐板 5、拉铆钉 6、丁基胶泥 7、自攻螺钉

图 5.3.17 屋面与山墙墙体间节点构造

**5.3.19** 夹芯板屋面系统女儿墙的构造应符合下列要求：

- 1 女儿墙与屋面夹芯板相交处应设置屋面板断开、伸缩、防水等构造；
- 2 连接构造应设置内外包角板，包角板应有向上折弯部分，内外包角板立边高度  $h$  自屋面板波谷起不宜小于 200mm；
- 3 内外包角板宜与屋面夹芯板间设置防水连接（图 5.3.18）。

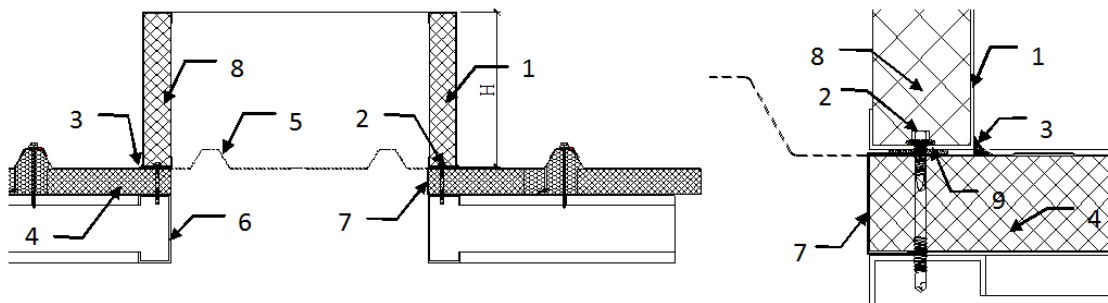


1、属面板 2、女儿墙内板 3、外包角板 4、丁基胶泥及连接钉 5、墙板 6、内包角板 7、丁基胶泥 8、檩条

图 5.3.18 女儿墙与屋面板节点构造

**5.3.20** 屋面夹芯板系统出屋面洞口的构造应符合下列要求：

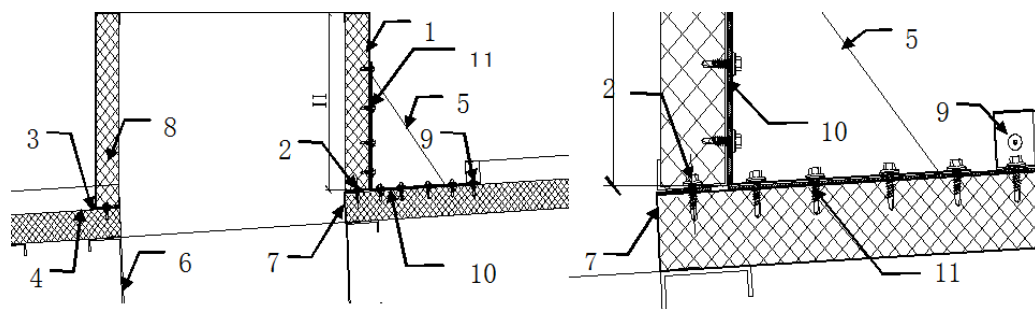
- 1 洞口宜设置整体基座、内置连接、双层防水等构造措施；
- 2 金属基座与屋面夹芯板之间应设置一层丁基胶泥防水，金属基座与屋面夹芯板相交处四周宜外涂耐候密封胶防水；
- 3 金属基座高度  $H$  不宜低于 200mm；
- 4 洞口迎水面宽度处于 3 个屋面板波峰之内时，可不设置雨水分流器，否则，宜设置雨水分流器；
- 5 洞口前面屋面板波峰切除处应有防水措施，应设置专用防水件（图 5.3.19）。





a、洞口横剖面图

1、洞口金属基座；2、结构钉；3、耐候密封胶；4、金属面夹芯板屋面；5、金属面夹芯板切除部分；6、洞口支撑结构；7、洞口封边支撑；8、洞口保温装饰；9、丁基胶带



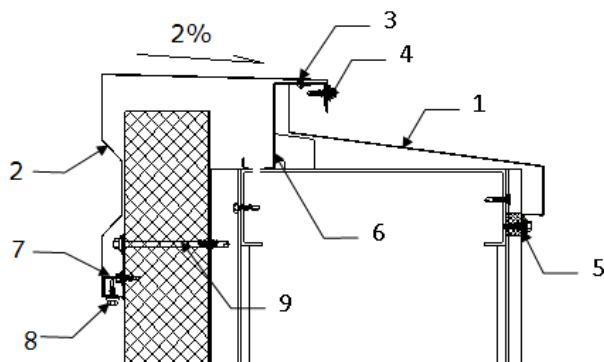
b、洞口纵剖面图

1、洞口金属基座；2、结构钉；3、耐候密封胶；4、金属面夹芯板屋面；5、雨水分流器；6、洞口支撑结构；7、洞口封边支撑；8、洞口保温装饰；9、波峰防水外堵；10、丁基胶带；11、防水紧固件

图 5.3.19 洞口节点构造

**5.3.21** 夹芯板女儿墙顶应设置包角板，包角板构造应符合下列规定：

- 1 包角板过宽时宜分成内外包角板；
- 2 内外包角板之间应有防水措施；
- 3 包角板过长时宜设置伸缩措施（图 5.3.20）。



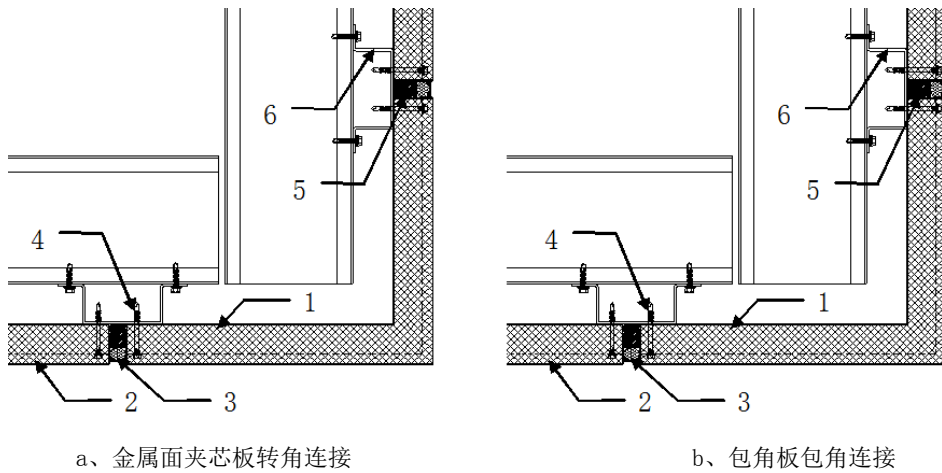
1、内包角板；2、外包角板；3、拉铆钉；4、紧固件；5、防水紧固件及泡沫堵头；6、包角板支撑架；7、内置零配件；8、紧固件；9、自攻螺丝；

图 5.3.20 女儿墙顶节点构造

**5.3.22** 夹芯板墙面系统阳角节点构造应符合下列规定：

- 1 墙面板应有保证安全、防水性能的措施；
- 2 节点构造应不影响建筑的美观；
- 3 连接形式可采用转角连接或包角板包角连接（图 5.3.21），包角板宜采用与夹芯板同

材质的彩色钢板，也可采用铝合金板或不锈钢板。

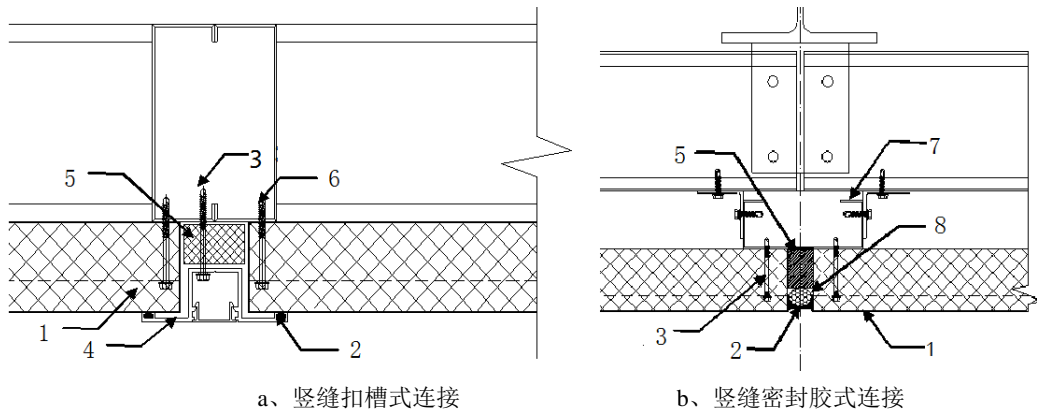


- a、金属面夹芯板转角连接  
1、转角夹芯板板；2、夹芯板墙面；3、耐候密封胶；  
4、自攻螺丝；5、保温条；6、竖向支撑结构；
- b、包角板包角连接  
1、金属阳角；2、阳角压条；3、夹芯板墙面  
4、阳角保温；5、自攻螺丝；6、竖向支撑结构；

图 5.3.21 金属面夹芯板阳角节点构造

**5.3.23** 夹芯板墙面系统竖、横向拼接节点构造设计，应符合下列规定：

- 1 竖缝可采用扣槽式连接和密封胶式连接（图 5.3.22a、b），扣槽可采用铝合金型材、不锈钢或金属板，也可采用与夹芯板墙面同材质的彩板；
- 2 扣槽与板缝之间应设置的防水件或耐候密封胶；
- 3 密封胶式连接可用于四面企口的墙面板，采用 EPDM 胶条时，胶条与板缝之间的缝隙应涂耐候密封胶。



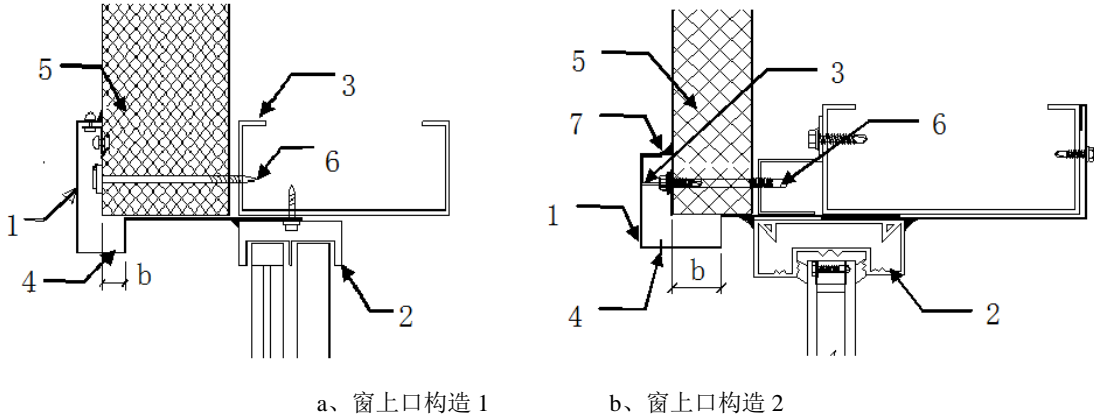
- a、竖缝扣槽式连接  
1、金属面夹芯板墙面；2、密封胶条；3、自攻螺丝；4、双 U 型铝槽；5、保温条；6、固定墙面板  
自攻螺丝；7、竖向支撑结构；8、泡沫棒。

图 5.3.22 金属面夹芯板竖缝节点构造

**5.3.24** 夹芯板墙面系统中门窗口连接构造应符合下列要求：

- 1 上包角板构造不应影响美观；

- 2 上包角板与墙面板竖缝交会的滴水宽度  $b$  不宜小于 50mm;
- 3 窗体宜与夹芯板内侧平齐 (图 5.3.23)。

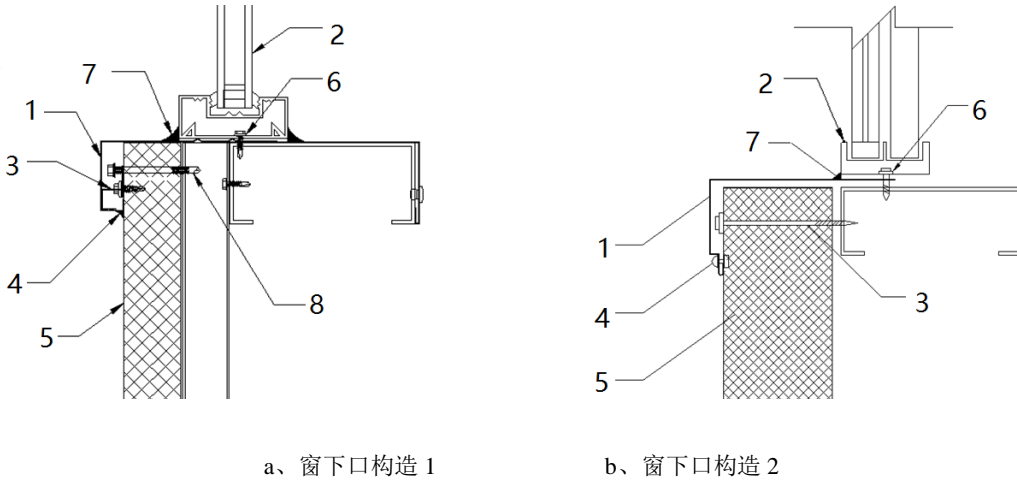


a、窗上口构造 1      b、窗上口构造 2  
 1、上包角板； 2、窗体； 3、泛水支撑架； 4、滴水孔    5、金属面夹芯板墙面；  
 6、自攻螺丝； 7、耐候密封胶

图 5.3.20 窗上口节点构造

**5.3.25** 夹芯板墙面系统中门窗下口构造应符合下列要求:

- 1 下口包角板宽度不应影响墙面美观 (图 5.3.24);
- 2 固定窗体的连接钉宜位于窗体两侧或上部, 当必须在窗体下部固定时, 钉孔应进行防水处理;
- 3 窗体宜与夹芯板内侧平齐。

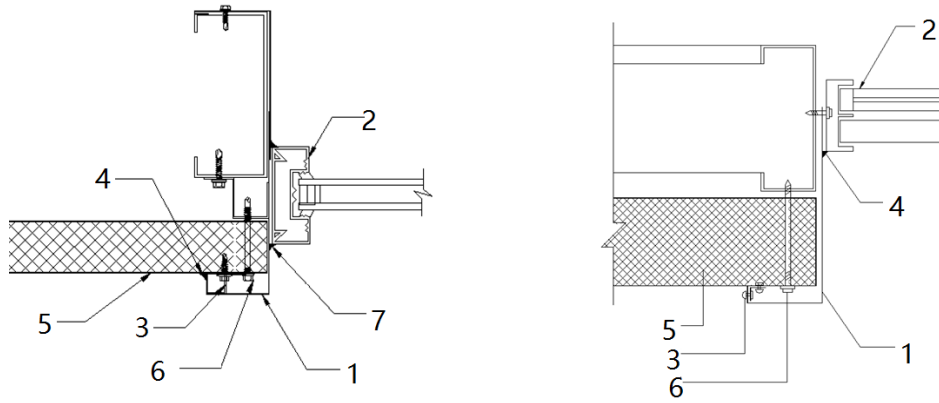


a、窗下口构造 1      b、窗下口构造 2  
 1、下包角板 2、窗 3、泛水支撑架 4、耐候密封胶    1、下包角板； 2、窗 3、自攻螺丝 4、拉铆钉  
 5、金属面夹芯板墙面； 6、8、自攻螺丝； 7、耐候密封胶 5、金属面夹芯板墙面 6、自攻螺丝 7、耐候密封胶

图 5.3.24 窗下口节点构造

5.3.26 夹芯板墙面系统中门窗侧口的构造，应符合下列规定：

- 1 侧口包角板应不影响墙面美观；
- 2 窗体宜与夹芯板内侧平齐（图 5.3.25）。



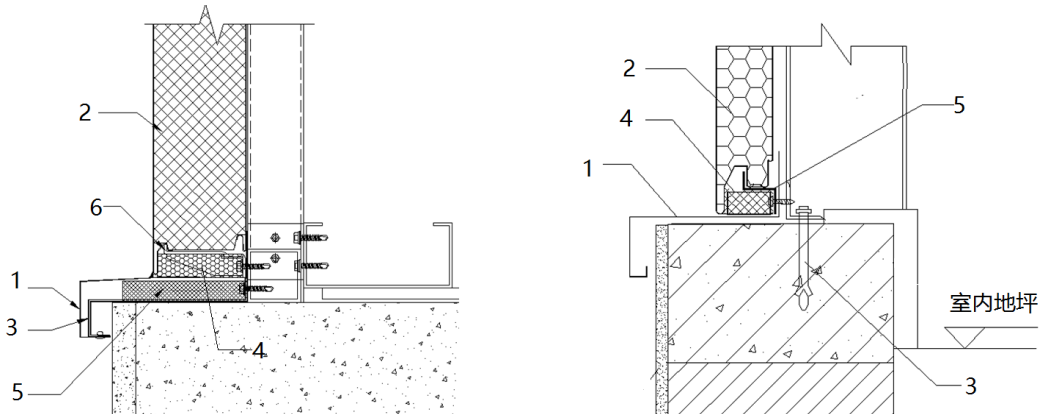
a、窗侧口构造 1

b、窗侧口构造 2

- |             |         |         |         |             |        |        |         |
|-------------|---------|---------|---------|-------------|--------|--------|---------|
| 1、侧包角板      | 2、窗     | 3、泛水支撑架 | 4、耐候密封胶 | 1、侧包角板      | 2、窗    | 3、泛水角钢 | 4、耐候密封胶 |
| 5、金属面夹芯板墙面； | 6、自攻螺丝； | 7、耐候密封胶 |         | 5、金属面夹芯板墙面； | 6、自攻螺丝 |        |         |

图 5.3.25 窗侧口节点构造

5.3.27 夹芯板墙面系统中墙脚的构造，尤其此处包角板宽度与平直度直接影响墙面美观；其形状与墙面板的连接直接影响到此处的防水及保温效果见图 5.3.26）。



a、墙脚构造 1

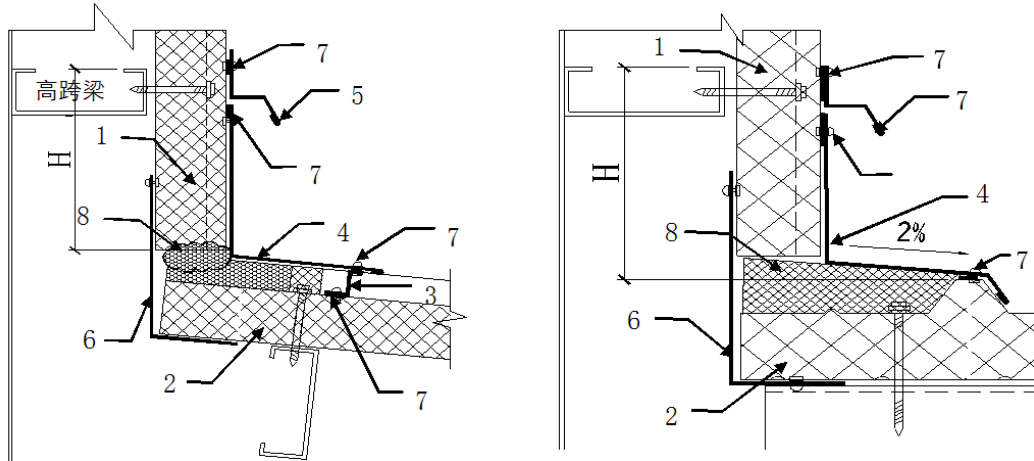
b、墙脚构造 2

- |         |            |          |         |            |        |
|---------|------------|----------|---------|------------|--------|
| 1、墙脚包角板 | 2、金属面夹芯板墙面 | 3、泛水支撑架  | 1、墙脚包角板 | 2、金属面夹芯板墙面 | 3、膨胀螺丝 |
| 4、墙板下保温 | 5、包角板下保温   | 6、墙板支撑架； | 4、墙板下保温 | 5、墙板支撑架    |        |

图 5.3.26 墙脚节点构造

5.3.28 夹芯板墙面系统中，墙面高低跨构造，应符合下列规定：

- 1 低跨屋面上端应设置高跨墙梁,墙梁到距低跨屋面板端部上表面高度  $H$  不宜小于 250;
- 2 外包角板的立面高度不应低于 150mm;
- 3 外包角板上端与墙面芯板板的连接宜内置通长丁基胶泥加紧固件连接,紧固件间距宜小于 150mm,上端可另做上包角板防水以做备用。
- 4 当高低跨处外包角板与墙面竖缝相交时,应将竖缝扣槽内雨水引致包角板外侧(图 5.3.27)。



a、高低跨屋脊节点构造

b、高低跨山墙节点构造

- 1、金属面夹芯板墙面; 2、低跨金属面夹芯板屋面; 3、屋面挡水板; 4、外泛水板; 5、上泛水板; 6、内泛水板; 7、紧固件及丁基胶泥; 8、轻质聚氨酯泡沫填充;

图 5.3.27 高低跨节点构造

**5.3.29** 夹芯板屋面系统应设置专用上人通道、检修通道及防坠落设施。

**5.3.30** 严寒和寒冷地区夹芯板屋面系统的檐口部位应采取防冰雪融坠措施。

## 5.4 冷库用夹芯板设计要点及细部构造

**5.4.1** 冷库用夹芯板的设计使用年限应不低于 20 年。

**5.4.2** 保温夹芯板内、外面板所选用的基材、涂层除应符合本规程要求外,尚应符合国家现行标准《组合冷库用隔热夹芯板》JB/T6527、《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T23932 的规定。

**5.4.3** 夹芯板用芯材应符合下列要求:

- 1 粘结剂应比芯材强度高、耐久性好、热敏感性低;

2 芯材应导热系数小、整体性好、泡沫孔封闭率高；

3 芯材应不变质、不散发对食品有污染的物质；

4 芯材用聚异氰脲酸酯(PIR)及聚氨酯(PUR)材料应符合国家现行标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932、《组合冷库用隔热夹芯板》JB/T6527、《建筑绝热用硬质聚氨酯泡沫塑料》GB/T 21558 的规定，密度应大于  $35\text{kg/m}^3$ ，导热系数应小于  $0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；

5 当夹芯板芯材采用岩棉(RW)时，应采用憎水岩棉，其性能应符合国家现行标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932、《绝热用岩棉、矿渣棉及其制品》GB/T 11835 的规定，岩棉密度应不小于  $120\text{kg/m}^3$ ，导热系数应小于  $0.044\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

**5.4.4** 夹芯板的保温与节能计算、防冷桥构造措施应符合冷库类建筑的节能要求，并应符合国家现行标准《冷库设计规范》GB50072、《采暖通风与空气调节设计规范》GB50019 的规定；

**5.4.5** 密封材料宜选用中性防霉变硅酮胶，并应具备耐低温、耐候性及弹性，密封胶条的热膨胀系数应大于钢材的热膨胀系数。

**5.4.6** 夹芯板芯材的燃烧等级宜不低于 B1 级，并严禁采用 B3 级材料；夹芯板的防火性能尚应满足《建筑设计防火规范》GB50016 中相关规定，且应满足国家现行标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB8624 的规定。

**5.4.7** 避免夹芯板系统因现场开洞、偶然撞击变形所引起的保温性能的降低。

**5.4.8** 墙面、屋面板的龙骨体系应形成稳定的结构体系。龙骨构件应采用镀锌构件（如采用 C 型、Z 型龙骨），构件双面镀锌量应不小于  $275\text{g/m}^2$ 。

**5.4.9** 冷库板的设计应符合下列规定：

1 荷载与作用应包括恒荷载、可变荷载、内外板温差、风荷载及偶然荷载，当冷库模块上有较重的设备荷载时，尚应考虑地震作用效应；

2 当存在冷桥时，可采用下列图示节点构造(图 5.4.9-1~图 5.4.9-9)。

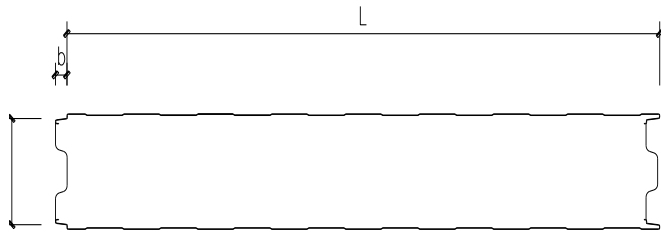


图 5.4.9-1 典型冷库板板型

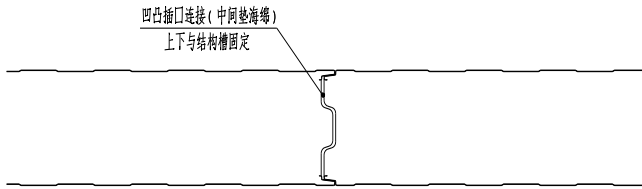


图 5.4.9-2 冷库板插接节点

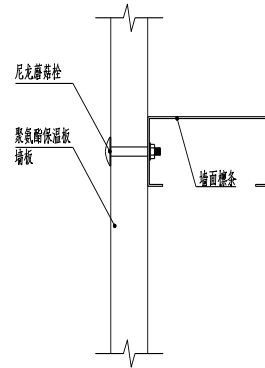
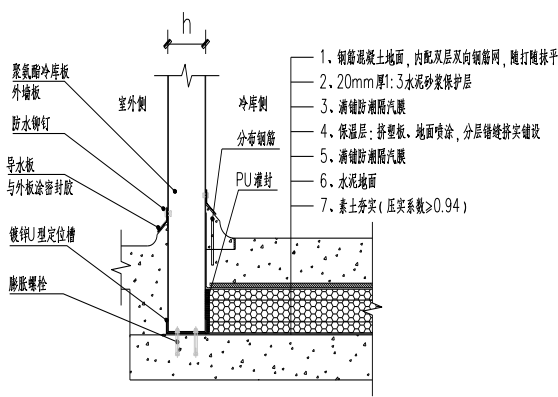


图 5.4.9-3 墙板与檩条连接节点



说明: 保温板金属面内板从底部往上切除高度与地坪保温厚度一致;

图 5.4.9-4a 地坪节点图1

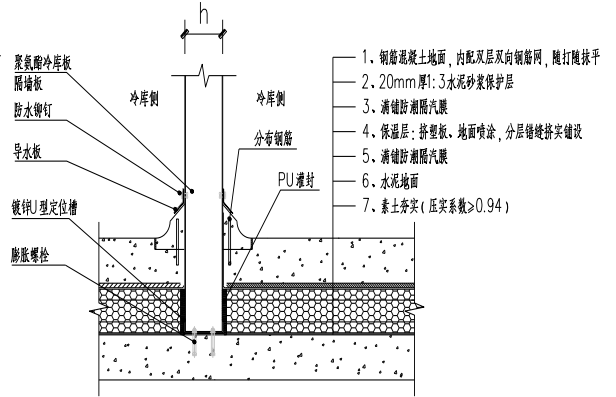


图 5.4.9-4b 地坪节点图2

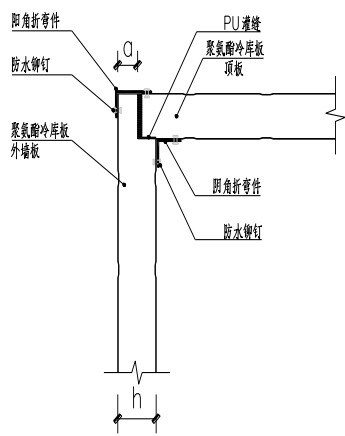


图 5.4.9-5a 墙板与墙板节点1

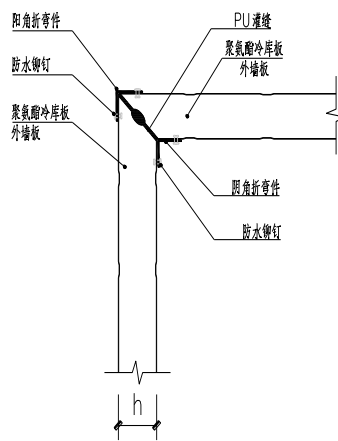


图 5.4.9-5b 墙板与墙板节点2

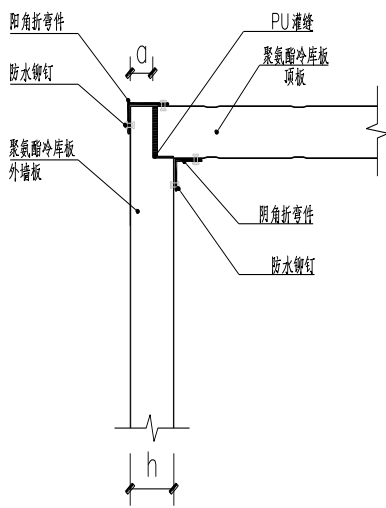


图 5.4.9-6a 顶板与墙板连接节点1

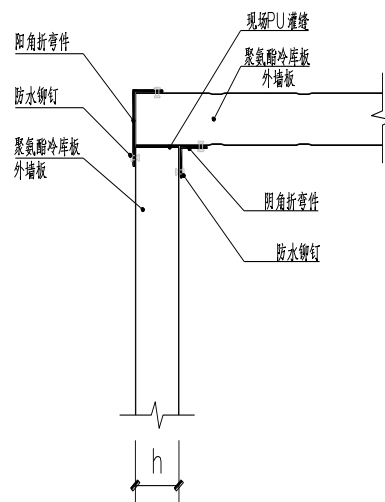


图 5.4.9-6b 顶板与墙板节点2



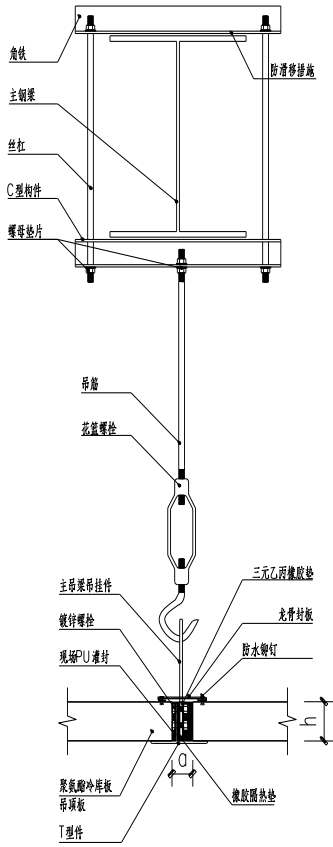


图 5.4.9-7a 顶板链接节点1

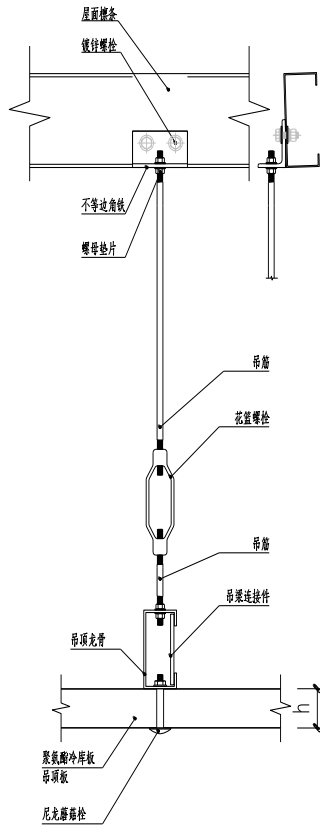


图 5.4.9-7b 顶板链接节点2

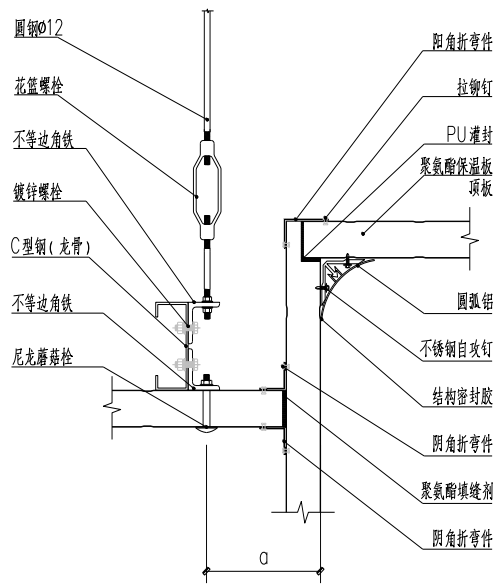


图 5.4.9-8a 错层节点1

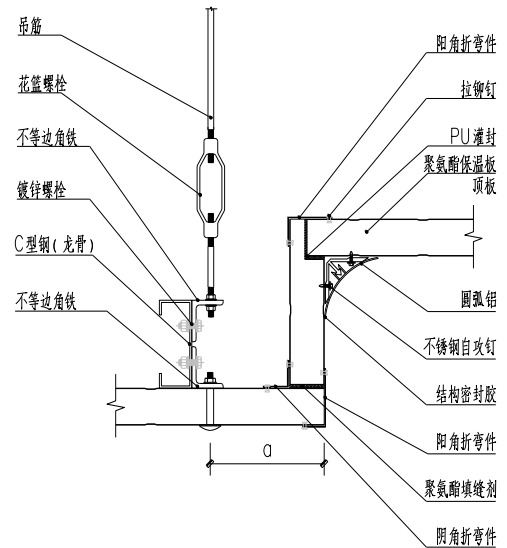
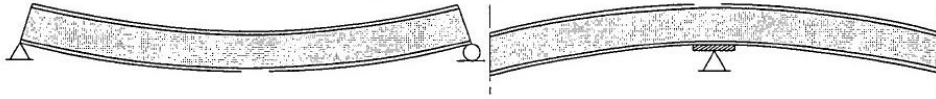


图 5.4.9-8b 错层节点2

## 6 结构设计

### 6.1 夹芯板承载力设计

6.1.1 金属面板强度应满足下式要求（图 6.1.1）：



(a) 跨中 (b) 中间支座处

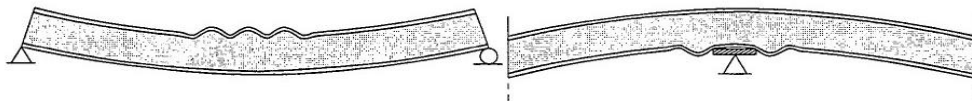
图 6.1.1 金属面板拉伸或压缩破坏

$$\sigma_F \leq f \quad (6.1.1)$$

式中： $\sigma_F$ ——金属面板拉或压应力(MPa)，应按本规程附录 B.2 节计算；

$f$ ——金属面板抗拉或抗压强度设计值(MPa)，应按本规程第 11.2.1 条中的试验确定。

6.1.2 金属面板局部稳定性应符合下列规定（图 6.1.2-1）：



(a) 跨中 (b) 中间支座处

图 6.1.2-1 局部稳定

1 平面及浅压型夹芯板金属面板的局部稳定承载力应按下列公式计算：

$$\sigma_F \leq k\sqrt[3]{E_C G_C E_F} \quad (6.1.2-1)$$

式中： $k$ ——屈曲系数，在 0.7~0.67 范围内，对于聚氨酯芯材可取 0.67，其它情况取 0.7；

$G_C$ ——芯材平均剪切模量(MPa)，应按本规程第 11.2.4 条中的试验确定；

$E_C$ ——芯材拉伸和压缩模量的平均值(MPa)，应按本规程第 11.2.2 条中的试验确定；

$E_F$ ——金属面板的弹性模量(MPa)，应按本规程第 11.2.1 条中的试验确定。

当夹芯板有洞口时，均布荷载作用下的局部稳定承载力应按下列公式计算：

$$\sigma_F \leq k\sqrt[3]{E_C G_C E_F} \frac{L^2}{(4a^2 + 8ac + \frac{4c^2}{n})} \quad (6.1.2-2)$$

$$n = 1 - \frac{d}{D} \quad (6.1.2-3)$$

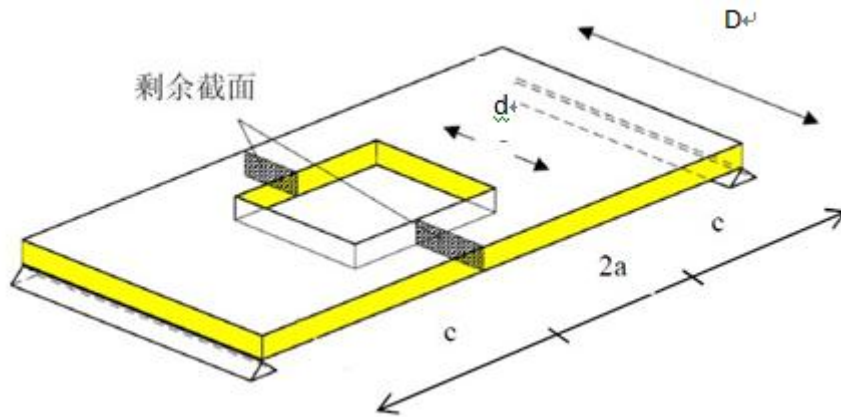


图 6.1.2-2 平表面及浅压型夹芯板开洞示意图

式中：  $a$ 、 $d$ 、 $c$ 、 $D$ ——截面参数，按本规程图 6.1.2-2 取值。

2 深压型或压型钢板夹芯板金属面板的局部稳定承载力应按下列公式计算：

当  $1.27\sqrt{\frac{E_F}{f}} \leq \frac{D}{t} \leq 500$  时：

$$\sigma_F \leq \sqrt{f\sigma_{cr}} - 0.22\sigma_{cr} \quad (6.1.2-4)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_F}{3(1-\nu_F^2)} \left(\frac{t}{D}\right)^2 \quad (6.1.2-5)$$

式中：  $\nu_F$ ——金属面板材料的泊松比；

$t$ ——金属面板厚度(mm)；

$D$ ——金属面板宽度(mm)。

3 支座处金属面板的局部稳定性应按下列公式计算：

$$\sigma_F \leq f_{cr} \quad (6.1.2-6)$$

式中：  $f_{cr}$ ——支座处金属面板局部稳定应力设计值，应按本规程第 11.2.5 条中的试验确定。

6.1.3 芯材的剪切强度应按下列公式计算(图 6.1.3)：

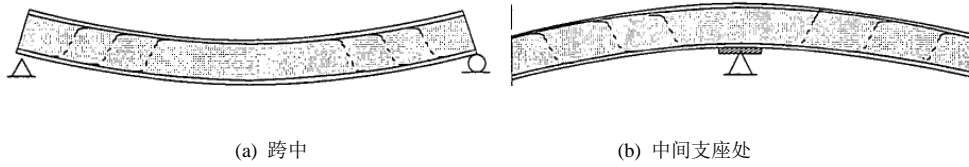


图 6.1.3 芯材剪切破坏

$$\tau_c \leq f_{cv} / \gamma_c \quad (6.1.3)$$

式中： $\tau_c$ ——芯材的剪应力(MPa)，应按本规程附录 B.2 节计算；

$f_{cv}$ ——芯材的剪切强度值，应按本规程第 11.2.4 条中的试验确定；

$\gamma_c$ ——芯材剪切强度材料分项系数，取 2.0。

**6.1.4** 深压型或压型钢板夹芯板金属面板剪切强度应按下列公式计算（图 6.1.4）：

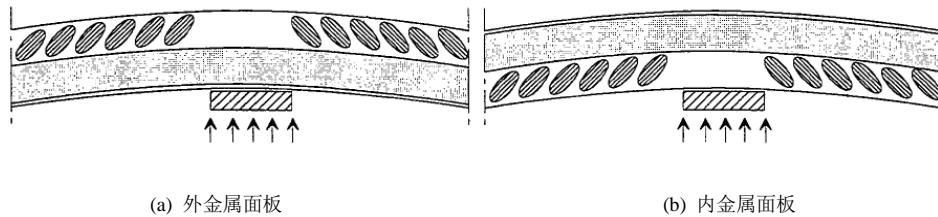


图 6.1.4 深压型或压型钢板夹芯板金属面板剪切破坏

$$\tau_F \leq f_v \quad (6.1.4-1)$$

$$f_v = \frac{f}{\sqrt{3}} \quad (6.1.4-2)$$

式中： $\tau_F$ ——深压型或压型钢板夹芯板金属面板腹板的剪应力(MPa)，应按本规程附录 B.2 节计算；

$f_v$ ——深压型或压型钢板夹芯板金属面板腹板剪切强度设计值(MPa)。

**6.1.5** 夹芯板支座处芯材承压强度应按下式计算（图 6.1.5）：

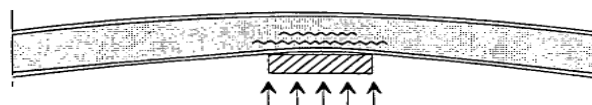


图 6.1.5 支座处芯材破坏

$$\sigma_{c_c} \leq f_{c_c} / \gamma_c \quad (6.1.5)$$

式中： $\sigma_{c_c}$ ——支座处芯材受压应力(MPa)，应按本规程附录 B.2.4 条确定；

$f_{c_c}$ ——芯材承压强度标准值(MPa)，应按本规程第 11.2.3 条的有关试验确定。

## 6.2 连接设计

**6.2.1** 夹芯板连接处的抗拉承载力，在没有试验数据的情况下，且当夹芯板金属面板厚度  $t$  满足  $0.5\text{mm} \leq t \leq 1.5\text{mm}$ 、支撑构件厚度  $t_1$  满足  $t_1 \geq 0.9\text{mm}$  时，可按下列方法确定：

1 金属面板抗拉承载力应按下列公式计算（图 6.2.1-1）：

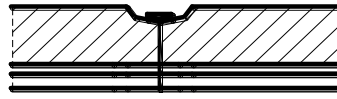


图 6.2.1-1 金属面板拉坏

当金属面板为钢材时：

$$F \leq ktd_w f \quad (6.2.1-1)$$

当金属面板为铝材时：

$$F \leq 0.48td_w f \sqrt{\frac{d_w}{22}} \quad (6.2.1-2)$$

式中： $d_w$ ——紧固件垫圈或者钉头的直径 mm；

$f$ ——金属面板的抗拉强度设计值 (MPa)，当  $f \geq 250\text{MPa}$  时，取  $f=250\text{MPa}$ ；

$k$ ——参数，静载取 1.1，往复荷载取 0.55；

$t$ ——金属面板的厚度 (mm)；

2 支撑构件抗拔承载力应按下列公式计算（图 6.2.1-2）：

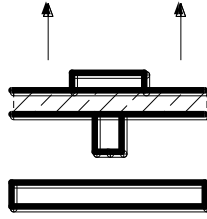


图 6.2.1-2 支撑构件拉穿

当金属面板为钢材时:

$$F \leq 0.65t_1d_n f_c \quad (6.2.1-3)$$

当金属面板为铝材时:

$$F \leq f_c \sqrt{t_1 d_n} \quad (6.2.1-4)$$

式中:  $d_n$  ——紧固件公称直径 (mm);

$f_c$  ——支撑构件抗拉强度设计值(MPa);

$t_1$  ——支撑构件的厚度 (mm), 当  $t_1 \geq 6\text{mm}$  时, 取  $t_1 = 6\text{mm}$ 。

**6.2.2 夹芯板连接的抗剪承载力**, 在没有试验数据的情况下, 当紧固件的布置满足式(6.2.2-1)~式(6.2.2-4)的条件时, 可按下列方法确定:

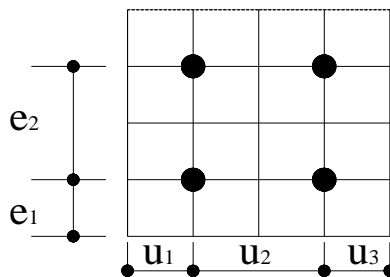


图 6.2.2-1 孔壁破坏或连接件倾斜

$$e_1 \geq 3d_n \quad (6.2.2-1)$$

$$e_2 \geq 3d_n \quad (6.2.2-2)$$

$$u_1 \geq 1.5d_n \quad (6.2.2-3)$$

$$u_2 \geq 3d_n \quad (6.2.2-4)$$

其中，钢材  $3.0\text{mm} \leq d_n \leq 8.0\text{mm}$ ；铝材  $d_n \geq 5.5\text{mm}$ 。

1 孔壁破坏或紧固件倾斜失效的承载力可按式计算（图 6.2.2-2）：

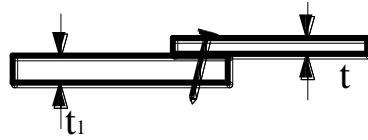


图 6.2.2-2 孔壁破坏或连接件倾斜

$$V \leq \alpha d_n t f \quad (6.2.2-5)$$

式中： $\alpha$  ——参数，当  $t = t_1$  时，钢材  $\alpha = 3.2 \sqrt{\frac{t}{d_n}}$  且  $\alpha \leq 2.1$ ，铝材  $\alpha = 1.6 \sqrt{\frac{t}{d_n}}$  且  $\alpha \leq 1.6$ ；

当  $2.5t \leq t_1$  时，钢材  $\alpha = 2.1$ ，铝材  $\alpha = 1.6$ ；当  $1 \leq \frac{t_1}{t} \leq 2.5$  时，采用线性插值。

2 金属面板净截面抗拉承载力可按式计算（图 6.2.2-2）：

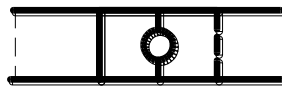


图 6.2.2-2 孔壁破坏或连接件倾斜

$$V \leq A_n f \quad (6.2.2-6)$$

式中： $A_n$  ——金属面板的净截面积（ $\text{mm}^2$ ）。

## 7 加工、运输及堆放

### 7.1 一般规定

7.1.1 夹芯板宜采用连续生产线在工厂进行加工制作，夹芯板上、下金属板表面应覆保护膜。

7.1.2 夹芯板的原材料应符合相应原材料产品标准要求，并应有生产厂的质量合格证明书。

7.1.3 成品材料出厂手续应齐全。

7.1.4 夹芯板产品应符合现行国家标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932 的规定。

### 7.2 加工、制作

7.2.1 夹芯板加工制作前应进行加工设备调试和预热，加工设备应处于完好状态。加工设备应按期进行检修和维护，并应有检修、维护及检测记录。

7.2.2 制作夹芯板的原材料在装卸过程中应采用专用设备及吊带，芯板分条、输送时应有除尘设施。

7.2.3 夹芯板的端部切割断面应整齐平直、无毛刺；

7.2.4 不同长度夹芯板码垛时应在端部隔离；每捆板材应采用打包膜进行保护。

7.2.5 屋面夹芯板长度不宜超过 18m，墙面板长度不宜超过 12m。

7.2.6 夹芯板在加工过程中应随时检查加工质量，并应做好加工质量记录。每张夹芯板均应标识名称、种类、规格尺寸。

7.2.7 需要二次加工的夹芯板，应在相应的专业设备上完成。

7.2.8 夹芯板外观质量应符合表 7.2.8 的规定。

表 7.2.8 夹芯板外观质量要求

项目	要求
板面	平整；无明显凹凸、翘曲、变形；表面清洁、色泽均匀；无胶痕、油污；无明显划痕、磕碰、伤痕等。
切口	平直、切面整齐、无毛刺、面材与芯材之间粘结牢固、芯材密实。
芯板	切面应整齐，无大块剥落，块与块之间接缝无明显间隙。

7.2.9 夹芯板尺寸允许偏差应符合表 7.2.9 的规定。

表 7.2.9 尺寸允许值

项目	尺寸/mm	允许偏差
----	-------	------



厚度		≤100	±2mm
		>100	±2%
宽度		900~1200	±2mm
长度		≤3000	±5mm
		>3000	±10mm
对角线差	长度	≤3000	≤4mm
	长度	>3000	≤6mm

7.2.9 当采用新型夹芯板或设计有特殊要求时，生产企业应制定相应的技术质量标准，但不得低于本规程的规定。

### 7.3 运输

7.3.1 夹芯板可采用汽车、火车或船舶等运输方式，并应根据不同的运输方式进行包装保护。

7.3.2 夹芯板每捆的高度不宜超过 1.2m，且应在每捆下设置垫枕，垫枕间距不宜大于 3m。夹芯板与车身或刚性台架应捆扎，并应覆盖遮阳及防水。

7.3.3 装卸夹芯板时，不得直接使用钢丝绳捆扎、起吊，宜采用尼龙吊带或其它柔性材料。

### 7.4 堆放

7.4.1 夹芯板的原材料与成品宜在干燥、通风的仓库内堆放，堆放应远离热源，严禁与化学药品或有污染的物品接触。

7.4.2 夹芯板宜在地面平整、干燥、通风良好的仓库或地面坚实、平整、不易积水的堆放场堆放，且应有消防措施。

7.4.3 当夹芯板在工地短期露天堆放时，应堆放在不妨碍交通、不被高空坠物撞击的地带，并应采取防雨措施，堆放应保持约 5%的倾斜度。

7.4.4 夹芯板应按材质、板型规格分别堆放，堆放顺序应与施工安装顺序相配合。重叠堆放时，每叠不应超过二捆，且不得放置重物或踩踏。

## 8 施工安装

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 夹芯板施工安装前，应先完成下列工作：

1 应按照施工图编写施工技术方案的施工组织设计，施工方案应针对工程特点编制，应明确工程的重点和难点及解决措施，并应根据相关规定编制专项施工方案。

2 应完成围护结构详图设计；

3 应对主体结构进行测量，并按工序检查验收；

4 应在支撑结构上标出基准线和安装控制点。

**8.1.2** 夹芯板系统严禁在雨天或雪天安装，五级及其以上风速时不得安装。

**8.1.3** 夹芯板系统进场后检验应符合以下规定：

1 应检验产品的质量证明书、中文标志和检验报告；

2 夹芯板所采用的原材料、零配件的品种、规格、性能应符合现行国家产品标准的规定和设计标准。

3 夹芯板的规格尺寸、允许偏差、表面质量、涂层质量及检验方法应符合设计要求和现行国家标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T23932 的规定。

**8.1.4** 夹芯板系统施工安装应符合详图设计和本规程的规定。

### 8.2 施工准备

**8.2.1** 施工安装前，应进行图纸会审、人员组织、材料与机具准备以及施工现场准备工作。

**8.2.2** 施工安装前，应根据施工技术方案的专项方案对施工人员进行技术培训和交底，同时应进行安全培训。

**8.2.3** 安装前应复核并记录夹芯板支撑结构施工安装精度。当发现有影响夹芯板系统安装质量问题时，应进行整改。

### 8.3 屋面系统安装

**8.3.1** 夹芯板屋面系统应按照设计的排板图铺设夹芯板，并按节点设计规定的连接方式固定。夹芯板屋面系统的铺设和固定应符合下列规定：

1 夹芯板施工测量应与主体结构测量相配合；

2 面板安装应从屋面基准线开始铺设，并应分区安装；

3 夹芯板侧向搭接应与主导风向一致，板的纵向搭接应顺排水方向，搭接部位必须设置防水密封材料；

4 铺设屋面夹芯板时，宜在夹芯板上设置临时人行走道板及物料通道。

**8.3.2** 夹芯板屋面系统安装的允许偏差应符合表 8.3.2 的规定。

表 8.3.2 夹芯板屋面系统安装偏差

序号	项目	允许偏差 (mm)	检查方法
1	夹芯板与檐口的垂直度，每 5m	3	测量、拉线、经纬仪测量
2	防水扣槽的垂直度，每 5m	5	同上
3	屋脊的垂直度，每 5m	5	同上
4	封檐板的垂直度，每 5m	5	同上
5	檐口板的垂直度，每 5m	5	同上
6	工字铝横向松动，子母口插接，通长	2	同上
7	防水扣槽卡子间距，每 1m	0	同上

**8.3.3** 输送到屋面就位的夹芯板和零配件宜当天完成连接固定，并宜采取措施保证夹芯板铺设过程中的临时固定。未安装完的夹芯板，必须用绳具与屋面结构绑扎固定。

**8.3.4** 夹芯板现场切割时，应切割整齐、干净。

**8.3.5** 夹芯板零配件的连接节点应按设计要求施工，安装前应先放线、然后安装和固定。固定前密封材料应敷设完好。

**8.3.6** 安装夹芯板时，应根据设计要求进行防雷节点安装，并按现行国家标准《建筑物防雷工程施工与质量验收规范》GB 50601 进行验收。

## 8.4 墙面系统安装

**8.4.1** 零配件与基础、主体结构的连接应满足设计要求。

**8.4.2** 夹芯板墙面系统应按照设计的排板图铺设，并应按照节点设计规定的连接方式固定。夹芯板墙面系统的铺设和固定应符合下列规定：

1 夹芯板墙面系统施工测量应与主体结构测量相配合；

2 墙面安装应从基准线开始铺设，并应分区安装；

3 夹芯板墙面系统竖向铺设时，侧向搭接应与主导风向一致，板的纵向接缝应采用泛水板防水，接缝部位必须设置防水密封材料。

**8.4.3** 夹芯板墙面系统安装的允许偏差应符合表 8.4.3 的规定。

表 8.4.3 夹芯板墙面系统安装允许偏差和检验方法

序号	项目		允许偏差 (mm)	检验方法
1	基准线位移		≤5	用吊线、直尺、水准仪或经纬仪检查
2	基础和墙体顶面标高		±5	
3	垂直度	墙体全高≤体全时	≤0	
		3m<墙体全高≤墙体全时	≤0	
		墙体全高>10m 时	≤0	
4	墙面横向平整度	墙面长度≤面长度时	≤0	
		墙面长度>10m 时	≤0	
5	门窗洞口	水平度每 m 长度	±5	
		垂直度每 m 长度	±5	
6	外墙上下窗口偏移		≤20	
7	铆钉间距	300 基本间距	±20	
		同排铆钉在水平或垂直线上	±5	

**8.4.4** 夹芯板现场切割应切割整齐、干净。

**8.4.5** 夹芯板墙面系统零配件的连接节点应按设计要求施工，安装前应先放线、然后安装和固定。固定前密封材料应敷设完好。

## 8.5 金属面夹芯冷库板系统安装

**8.5.1** 安装时应先将冷库墙面夹芯板在加工场地进行裁切，并应撕去冷库板企口槽两边 5cm 左右的板面保护膜。

**8.5.2** 冷库夹芯板系统安装应符合下列规定：

- 1 冷库板安装应从库体角部开始；
- 2 墙面板安装应以墙脚板为基点向两侧安装；

3 角部应采用 500×0.5mm 彩面夹板折件密封；

4 安装每一块墙板时，公、母槽结合面上应打两道发泡料，打料应均匀连续。

**8.5.3 冷库板安装定位应符合下列规定：**

1 第一块冷库板固定就位后，应在竖向拉一根连续的准线；

2 后续冷库板安装应以该准线为基准进行校正；

3 每一墙面区域安装期间均应进行定段检测。

**8.5.4 每一侧墙面板安装完成后，均应对冷库板企口部位进行打胶处理，打胶应均匀、流畅、表面凹弧形。冷库板安装完成后应撕膜，撕膜应干净，不得有残留点。**

**8.5.5 冷库库顶板安装应符合下列规定：**

1 顶板宜与墙板交替安装。

2 顶板安装时，与墙板搭接处的端头钢板应断开 50mm。

3 顶板每块之间结合面上应均匀打两道发泡料，打料应均匀连续。

4 顶板与库顶板端头的对接缝应密封。

5 顶板安装完成后，应对面板企口部位打胶，打胶应均匀、流畅、表面呈凹弧形；当打胶密封不能满足要求时可采用彩钢板收边密封；

6 面板应撕去面膜，撕膜应干净，不得有残留点。

**8.5.6 库顶板或库墙板开孔洞时，应符合下列规定：**

1 应根据设计要求进行内外放线定位，复核无误后方可开洞；

2 进线孔、进液孔、回气孔、上水孔、排水孔应使用开孔器开孔；

3 孔洞打好后应及时进行施工与处理，孔口宜用发泡料或密封胶封闭；

4 门口、通风口、传货口等宜采用包边装饰且用拉铆钉固定，铆钉间距宜为 300mm。

**8.5.7 节点应有减弱“冷桥”的技术措施，内、外收边拉铆钉间距宜为 300mm。**

**8.5.8 冷库试机过程中，应进行下列项目检查：**

1 冷库板外表面状况，外表面应反光均匀、无结露、跑冷现象；

2 接缝处、开孔洞处的密封状况；

3 库门、传货口处的密封状况。

## 8.6 零配件安装

### 8.6.1 夹具安装应符合下列规定：

- 1 安装前应根据设计进行测量放线定位；
- 2 夹具应安装在固定面板的位置；
- 3 安装时应保证构件与夹芯板板肋完全接触。

8.6.2 检修口、穿出屋(墙)面构件安装前应根据设计测量放线定位，屋面、墙面衔接位置的防水构造应符合设计要求。

### 8.6.3 天沟安装应符合下列规定：

- 1 安装前应根据设计进行测量定位。
- 2 天沟板件之间连接方式、伸缩缝设置应该符合设计要求。
- 3 雨水斗安装前应根据给排水专业设计定位。
- 4 施工中把天沟作为水平通道使用时，应在天沟板上方铺设木跳板。

### 8.6.4 天窗、通风器安装应符合下列规定：

- 1 安装前应根据设计进行天窗测量定位。
- 2 天窗、通风器施工时应在作业面铺设临时水平通道及安全防护措施。
- 3 在天窗、通风器骨架焊接时必须设置防火措施。
- 4 密封胶施工前应保持构件表面洁净，施工时，环境温度和湿度应在允许范围内。

8.6.5 采光带面材应按设计要求制作，进场的采光带表面不得有裂纹及穿透性针孔等缺陷。采光带接缝处与零配件间应密封。

8.6.6 避雷针、避雷带工程的安装施工应符合国家标准《建筑物防雷工程施工与质量验收规范》GB 50601 规定及工程设计要求，避雷针、避雷带应与主体结构连接，不得用金属面夹芯板作为接地导线。

## 8.7 施工安全与成品保护

### 8.7.1 施工安全应符合下列规定：

- 1 施工前应编制施工安全专项方案和安全应急预案。
- 2 作业人员应进行安全生产教育和生产培训。

3 新工人应进行三级安全教育,复工人员和换岗人员未经安全岗位教育,不得上岗作业。

4 新技术、新工艺、新设备、新材料、新岗位无安全措施、未进行安全培训教育、交底,不得盲目操作。

5 作业人员必须穿戴符合国家标准劳动保护用品,并应经过培训、且正确使用。

6 对易发生职业病的作业,作业人员应采取有效的保护措施。

**8.7.2** 搭设登高脚手架应符合现行国家标准《建筑施工扣件式钢脚手架安全技术规范》JGJ130和《建筑施工碗扣式钢脚手架安全技术规范》JGJ166 的规定;采用其他登高措施时,应进行安全计算。

**8.7.3** 洞口安全防护应符合下列规定:

- 1 边长或直径 $\geq 200$  但 $\leq 400\text{mm}$  的洞口可用刚性盖板固定防护;
- 2 边长或直径 $> 400$  但 $\leq 1500\text{mm}$  的洞口应架设脚手钢管、铺满脚手板等做固定防护;
- 3 边长或直径 $> 1500\text{mm}$  的洞口应设密目安全网防护并加护栏杆;
- 4 搭拆临时脚手架、操作平台、安全挑网等必须固定在结构上。

**8.7.4** 施工现场吊装应符合下列规定:

- 1 吊装区域应设置安全警戒线,非作业人员不得禁止入内。
- 2 吊装物在吊离地面 200~300mm 时,应进行检查,确认无误后方可正式起吊。
- 3 当风速达到 10m/s 时,宜停止吊装作业;当风速达到 15m/s 时,禁止吊装作业。
- 4 高空作业使用的小型手持工具和小型零部件应采取防止坠落措施。
- 5 施工用电应符合国家现行标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46 的规定。
- 6 当吊至楼层或屋面上的板材当天未安装完时,应进行临时固定。
- 7 板表面有水、霜、露时,应采取防滑保护措施。冬季积雪时应清除积雪,并采取必要的防滑措施。

**8.7.5** 夹芯板工程施工前,应有相应的消防安全管理制度。施工现场应配备灭火器材。气体切割和高空焊接时,应清理周围的易燃物品。

**8.7.6** 夹芯板成品应按下列要求进行保护:

- 1 在现场钻孔、切割等作业过程中遗留的金属屑、铆钉、铆钉芯、铁钉、螺丝和废板、泡沫等必须随时清除。
- 2 安装人员作业时,应穿软底胶鞋,不得穿金属底鞋或钉有铁钉的鞋。

- 3 施工时不得拖拉夹芯板，禁止在夹芯板上拖行工具、配件、构件等。
- 4 进行电、气焊作业时，应采取措施防止电、气焊火花烧伤或烫伤夹芯板。
- 5 立体交叉作业时，严禁碰撞已施工好的夹芯板。严禁将脚手架顶压在成品墙体或屋面上。
- 6 严禁在屋面上抛掷物料或堆料。



## 9 竣工验收

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 夹芯板安装工程质量验收除应符合本章规定外，还应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的规定。

**9.1.2** 夹芯板安装质量验收时，应根据设计要求提供下列文件：

1 设计文件、设计变更文件及其他设计文件，设计单位对夹芯板工程详图设计的审查意见或确认文件；

2 原材料产品质量证明、性能检测报告、进场复试报告、进场验收记录，构配件出厂合格证；

3 进口材料、构配件应提供报关单、商检证明、中文标志和中文说明书；

4 夹芯板性能型式检测报告。

**9.1.3** 夹芯板安装质量验收时，应提供下列记录：

1 构件加工制作记录、现场安装施工记录、隐蔽工程验收记录和检验批验收记录；

2 屋面雨后、淋水试验记录，变形缝、排烟窗、天窗等节点部位的雨后或淋水试验记录；

**9.1.4** 进行夹芯板分项工程隐蔽工程项目验收时，宜对包角板的安装节点、检修口及排烟窗的安装节点、防雷节点的安装和变形缝等进行检查。

**9.1.5** 夹芯板工程施工质量控制应符合下列规定：

1 采用的原材料及成品应进行进场验收，凡涉及安全、功能的原材料及成品应按本规程及现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 进行复验，并应经监理工程师(或建设单位技术负责人)见证取样、送样；

2 各工序应按施工技术标准进行质量控制，每道工序完成后应进行检查；

3 相关各专业工种之间应进行交接检验，并经监理工程师(或建设单位技术负责人)检查验收。

**9.1.6** 当夹芯板工程施工质量不符合本规程要求时，应按下列规定进行处理：

1 返工或更换构(配)件的检验批，应重新进行验收；

2 经检测鉴定能够达到设计要求的检验批，应予以验收。

**9.1.7** 通过返修或加固仍不能满足安全使用要求的夹芯板工程，不得验收。

9.1.8 分项工程检验批验收记录可按表 9.1.8 填写。

表 9.1.8 分项工程检验批质量验收记录

工程名称			分项工程名称		验收部位	
施工单位			专业工长		项目经理	
分包单位			分包项目经理		施工班组长	
施工执行标准名称及编号						
检查项目		质量验收规范的规定	施工单位检查评定记录	监理（建设）单位验收记录		
主控项目	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
一般项目	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
施工单位检查评定结果		项目专业质量检查员 _____ 年 月 日				
监理（建设）单位验收结论		监理工程师（建设单位项目专业技术负责人） _____ 年 月 日				

9.1.9 夹芯板分项工程的检验批应符合下列规定：

1 相同设计、材料、工艺和施工条件的建筑金属围护系统工程，建筑面积不超过 2 万 m<sup>2</sup>时，应以面积 1000m<sup>2</sup>为一个检验批；建筑面积为 2 万~5 万 m<sup>2</sup>时，应以面积 2000m<sup>2</sup>为一个检验批；建筑面积超过 5 万 m<sup>2</sup>时，应以面积 3000m<sup>2</sup>为一个检验批。

2 同一项目工程中不连续的夹芯板工程应单独划分检验批。

3 对于异型或有特殊要求的夹芯板工程，检验批的划分应根据夹芯板的结构、工艺特点及夹芯板工程规模确定。

**9.1.10** 材料进场验收的检验批宜与分项工程检验批一致，也可根据工程规模及进料实际情况划分检验批，但不得低于本规程的规定。

## 9.2 夹芯板成品进场验收

### I 主控项目

**9.2.1** 夹芯板及制造夹芯板所采用原材料的品种、规格、性能等应符合国家现行产品标准和设计要求。进场验收应符合下列规定：

- 1 检查数量:全数检查
- 2 检验方法:检查产品的质量合格证明文件、中文标志及检验报告等。

**9.2.2** 包角板及制造包角板所采用的原材料的品种、规格、性能等应符合现行国家产品标准和设计要求。进场验收应符合下列规定：

- 1 检查数量:全数检查
- 2 检验方法:检查产品的质量合格证明文件、中文标志及检验报告等。

**9.2.3** 夹芯板表面质量检验应符合下列规定：

- 1 面板表面涂层、镀层不应有可见的裂纹、起皮、剥落和擦痕等缺陷；
- 2 检查数量和检验方法：可根据《压型金属板工程应用技术规范》GB50896 表 7.3.2-1 和表 7.3.3-1 及《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T23932 表 6 确定。

### II 一般项目

**9.2.4** 夹芯板、包角板的规格尺寸及允许偏差、表面质量等应符合设计要求和 GB/T23932《建筑用金属面绝热夹芯板》的相关规定。进场验收应符合下列规定：

- 1 检查数量:每种规格抽查 5% ，且不应少于 10 件。
- 2 检验方法:观察和用 10 倍放大镜检查及尺量。

**9.2.5** 夹芯板成品检验应符合下列规定：

- 1 面板表面应干净，不应有明显凹凸和褶皱。
- 2 检查数量：按计件数抽查 5%，且不应少于 10 件。
- 3 检验方法：观察检查。

## 9.3 零配件、紧固件及其他材料验收

### I 主控项目

#### 9.3.1 夹芯板所有零配件检验应符合下列规定：

1 零配件的材质、规格、性能及外观质量应符合设计要求及现行国家产品标准的相关规定。

2 检查数量：按照进场批次逐批检查。

3 检验方法：检查质量证明书、性能检验报告或合格证。

#### 9.3.2 夹芯板用紧固件检验应符合下列规定：

1 紧固件的材质、性能应符合设计要求及现行国家产品标准的相关规定。

2 检查数量：按照进场批次逐批检查。

3 检验方法：检查质量证明书、中文标志及检验报告等。

#### 9.3.3 密封材料检验应符合下列规定：

1 密封材料的材质、性能应符合设计要求及国家现行标准的相关要求，有效期应符合厂商提供的使用期证明。

2 检查数量：按照进场批次逐批检查。

3 检验方法：检查质量证明书、性能检验报告。

### II 一般项目

#### 9.3.5 建筑金属围护系统用紧固件检验应符合下列规定：

1 紧固件表面应无损伤、锈蚀。

2 检查数量：按照每批进场数量抽取 3% 检查。

3 检验方法：观察检查。

#### 9.3.6 密封材料检验应符合下列规定：

1 外观质量符合产品标准要求，包装应完好。

2 检查数量：按照每批进场数量抽取 10% 检查。

3 检验方法：观察检查。

## 9.4 安装验收

### I 主控项目

#### 9.4.1 夹芯板、零配件安装检验应符合下列规定：

1 安装固定应可靠、牢固，防腐涂料涂刷和密封材料敷设应完好，连接件数量、间距应符合设计要求和本规程的规定。

2 检查数量：全数检查。

3 检验方法：观察和尺量检查。

#### 9.4.2 夹芯板搭接安装检验应符合下列规定：

1 搭接应严密、完整、牢固，无开裂、脱落现象。

2 检查数量：每 50m 应抽查一处，每处 1m~2m，且不得少于 3 处。

3 检验方法：观察和尺量检查。

#### 9.4.3 连接夹芯板、包角板采用的自攻螺钉、拉铆钉、射钉安装检验应符合下列规定：

1 规格尺寸及间距、边距等应符合设计要求和本规范的规定。

2 检查数量：按连接节点数抽查 10%，且不应少于 3 处。

3 检验方法：观察和尺量检查。

#### 9.4.4 夹芯板搭接检验应符合下列规定：

1 搭接长度应符合设计要求，且应符合本规程的规定。

2 检查数量：按搭接部位总长度抽查 10%，且不应少于 10m。

3 检验方法：观察和尺量检查。

#### 9.4.5 夹芯板屋面防水检验应符合下列规定：

1 防水可靠，不得出现渗漏。

2 检查数量：全数检查。

3 检验方法：观察检查和雨后检验。

### II 一般项目

#### 9.4.6 夹芯板安装表面质量检验应符合下列规定：

1 面板安装应平整、顺直，板面不应有施工残留物、污物和破损。檐口和墙面下端应呈直线，不应有未经处理的错钻孔洞。板面质量和检验方法应符合表 9.4.6 的规定。

2 检查数量：按面积抽查 10%，且不应少于 10 m<sup>2</sup>。

3 检验方法：观察检查。

表 9.4.6 每 m<sup>2</sup> 面板表面质量要求和检验方法

项次	项目	质量要求	检验方法
1	明显划伤和长度>100mm 的轻微划伤	不允许	观察
2	长度≤100mm 的轻微划伤，条	≤10	用钢尺检查
3	擦伤总面积，mm <sup>2</sup>	≤500	用钢尺检查

**9.4.7** 夹芯板安装偏差检验应符合下列规定：

1 安装允许偏差应符合表 9.4.7 的规定。

2 检查数量：每 20m 长度应抽查 1 处，不应少于 2 处。

3 检验方法：用拉线、吊线和钢尺检查。

表 9.4.7 金属面夹芯板安装的允许偏差（mm）

项目		允许偏差
屋面	檐口、屋脊与山墙收边的直线度	12.0
	檐口与屋脊的平行度	
	金属面夹芯板板肋或波峰直线度	L/800 且不应大于 25.0
	金属面夹芯板板肋对屋脊的垂直度	
	檐口相邻两块金属面夹芯板端部错位	
金属面夹芯板卷边板件最大波浪高	4.0	
墙面	墙板波纹线的垂直度	H/800 且不应大于 25.0
	墙板包角板的垂直度	H/800 且不应大于 25.0
	相邻两块金属面夹芯板的下端错位	6.0

注：1 L 为屋面半坡或单坡长度；2 H 为墙面高度。

**9.4.8** 连接夹芯板、包角板采用的自攻螺钉、拉铆钉、射钉等检验应符合下列规定：

1 应与被连接板紧固密贴，且应外观排列整齐。

2 检查数量：按连接节点数抽查 10%，且不应少于 3 处。

3 检验方法：观察或用小锤敲击检查。

## 9.5 节点安装验收

### I 主控项目

**9.5.1** 变形缝、屋脊、檐口、山墙、穿透构件、天窗周边、门窗洞口、转角等部位连接检验应符合下列规定：

- 1 连接应符合设计要求和本规程的规定。
- 2 检查数量：全数检查。
- 3 检验方法：观察和尺量检查。

**9.5.2** 夹芯板板搭接部位、各连接节点检验应符合下列规定：

- 1 节点部位应密封完整、连续。
- 2 检查数量：全数检查。
- 3 检验方法：观察检查和雨后检验。

### II 一般项目

**9.5.3** 包角板安装检验应符合下列规定：

- 1 包角板的直线度允许偏差应符合本规程表 9.4.7 的规定。
- 2 检查数量：每 20m 长度应抽查 1 处，且不应少于 2 处。
- 3 检验方法：用拉线、吊线和钢尺检查。

**9.5.4** 变形缝、屋脊、檐口、山墙、穿透构件、天窗周边、门窗洞口、转角等连接检验应符合下列规定：

- 1 连接部位表面应清洁干净，不应有施工残留物和污物。
- 2 检查数量：全数检查。
- 3 检验方法：观察检查。

## 10 维护与维修

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 夹芯板工程竣工验收时，承包商应提交使用说明书。使用说明书宜包括以下内容：

- 1 夹芯板工程的设计依据及主要性能参数；
- 2 夹芯板工程使用注意事项；
- 3 环境条件变化对夹芯板工程的影响；
- 4 日常与定期的检查、保养要求；
- 5 特殊情况检查维修要求；
- 6 夹芯板工程的主要结构特点及易损零部件更换方法；
- 7 备品、备件清单及主要易损件的名称、规格。

**10.1.2** 夹芯板工程承包商在交付使用前宜对使用方进行使用说明书相关内容的培训。

**10.1.3** 夹芯板工程交付使用后，使用方宜根据使用说明书的相关要求对该夹芯板工程定期进行维护、维修。

**10.1.4** 夹芯板工程的维护检查及维修应在气候状况良好时进行，高空作业应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80 的有关规定。紧急情况下的维修应在具有安全保障措施的情况下进行。

**10.1.5** 屋面夹芯板和有防渗要求的墙面夹芯板防水质保年限应不少于 5 年。

### 10.2 维护

**10.2.1** 夹芯板工程交付使用后宜定期进行检查、维护，并应做好记录。检查内容及方法宜按表 10.2.1 确定。

表 10.2.1 夹芯板工程检查要求

项目	部位	检查内容	检查方法	检查频次
夹芯板	屋面 (对屋顶烟道、通风口、 行走通道附近的屋面板	金属板脱落、变形、渗漏	观察检查	中雨及以上、大雪、8 级以上风后
		表面锈蚀、涂层脱落；板面鼓	观察检查	每 12 个月一次



	应加强检查)	包、凹陷、裂纹或破损		
		是否有金属件、积灰、杂物、异物的堆积	观察检查	每6个月一次
	墙面	金属板脱落、变形、渗漏	观察检查	中雨及以上、大雪、8级以上风后
		表面锈蚀、涂层脱落；板面鼓包、凹陷、裂纹或破损	观察检查	每12个月一次
	金属板搭接缝或板肋	搭接缝开裂、密封胶密封状况、板肋形状均匀度、立边咬边开裂、扣合肋脱扣	观察检查	每6个月一次
螺钉连接与固定	屋面、墙面整体，重点边部（檐口、山墙、屋脊、天沟等部位），转角及突出部位，悬挑部位	螺钉固定是否牢固； 螺钉头部锈蚀情况； 螺钉垫圈是否完好； 钉孔是否可见	观察检查	每6个月一次
包角板	屋面、墙面边部及其他节点部位	包角板固定状况；焊缝、密封胶或密封胶条是否完好； 包角板变形、破损；屋脊或檐口的堵头是否松动、缺失； 是否形成反坡	观察检查	每6个月一次
天沟	外挂天沟或内天沟	天沟是否积水、锈蚀；搭接位置是否变形下陷，焊缝是否完好；是否有灰尘、杂物、异物的堆积；排水口是否通畅	观察检查	每6个月一次 并在雷、暴雨季节增加检查频次

注：1 屋面节点部位包括：屋脊、檐口、山墙等端部，螺钉固定点，泛水连接部位，与天窗、排烟窗、通风管等交接及开洞等部位；

2 墙面节点部位包括：门窗、雨篷、阴阳转角处、管道及开洞等收边部位；

3 本条结合实际工程经验制订，对高湿度和高腐蚀使用环境条件下金属面夹芯板工程应按相关规范、标准增加检查内容和检查频次。

**10.2.2** 检查发现的问题应及时处置，并应对处置情况进行记录。

**10.2.3** 夹芯板表面的清洗次数应根据积灰污染程度确定，宜每年清洗一次，对雨水不能冲淋的部位宜每 6 个月一次。

**10.2.4** 当清洗压型金属板表面时，应根据使用说明书的要求选用清洗剂和清洗方式进行清洁，清洁后应用水清洗。

### **10.3 维修**

**10.3.1** 夹芯板工程在使用及检查、维护中当发现有严重锈蚀、涂（镀）层脱落、变形、连接破坏等影响正常使用的情况时，以及遭遇地震、火灾等灾害后，应进行检测、鉴定评估及维修。

**10.3.2** 维修用涂料、密封胶、紧固件、板材等应与原来使用的材料相同，当不相同，应经设计单位同意。

## 11 试验方法和要求

### 11.1 一般要求

11.1.1 构件性能试验应符合下列规定：

- 1 试验取样至少应取 3 个试件；
- 2 材料性能试验至少应 5 个试件；
- 3 对一系列不同厚度的芯材，应分别取最薄、最厚及中间厚度的板进行试验；
- 4 试样部位应在板宽边缘 10% 和板中间位置范围。

11.1.2 试验特征值  $\bar{x}_p$  应按下列式计算确定：

$$\bar{x}_p = \bar{x} - k_\sigma \sigma_x \quad (11.1.2)$$

式中： $\bar{x}$  ——试验平均值；

$k_\sigma$  ——分位系数，按表 11.1.2 取值；

$\sigma_x$  ——标准差。

表 11.1.2 分位系数

试件个数	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	60	$\infty$
$k_\sigma$	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

11.1.3 所有试验宜在实验室室内环境进行，且应符合下列规定：

- 1 初次试验的试件，取样时间应至少为 24h；
- 2 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。
- 3 试验温度应为  $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，相对湿度应为  $50\% \pm 10\%$ ；
- 4 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确定。

## 11.2 材料性能试验方法

**11.2.1** 金属面板材料的力学性能应根据现行国家标准《金属材料拉伸试验第1部分：室温试验方法》GB/T 228.1的规定进行拉伸试验确定。

**11.2.2** 芯材拉伸试验应包括金属面板与芯材粘结力试验（金属面板粘结后）、芯材的抗拉强度（金属面板粘结前）。可采用下列试验方法：

- 1 可先采用粘结剂将方形截面试样粘结于足够刚度的加载板上；
- 2 对浅压型表面，应保证加载板与金属面板的充分粘结（图 11.2.2-1）；

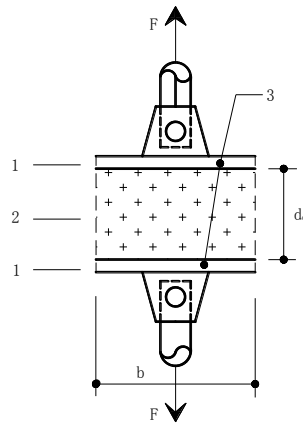


图 11.2.2-1 芯材拉伸试验装置

1—金属面板；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  $b \geq 50\text{mm}$ )

- 3 在拉伸试验机上逐步加载，应变率  $\dot{\epsilon}$  应满足  $1\% / \text{min} \leq \dot{\epsilon} \leq 3\% / \text{min}$ 。
- 4 抗拉强度  $f_{Ct}$  按下式计算：

$$f_{Ct} = \frac{F_u}{b^2} \quad (11.2.2-1)$$

- 4 拉伸模量  $E_{Ct}$  按下式计算：

$$E_{Ct} = \frac{F_u d_c}{w_u b^2} \quad (11.2.2-2)$$

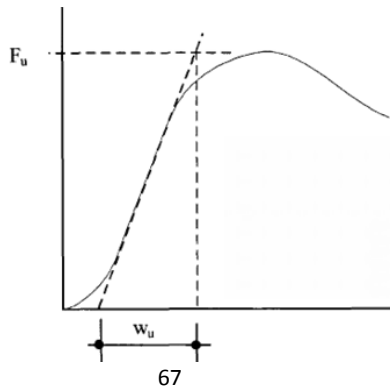


图 11.2.2-2 拉伸荷载-位移曲线

式中的参数根据荷载-位移曲线确定。

5 试验报告中应说明破坏发生在粘结处破坏还是芯材。

**11.2.3 芯材压缩试验应符合下列规定：**

1 方形截面芯材应取自夹芯板受弯时纵向受压方向的材料；

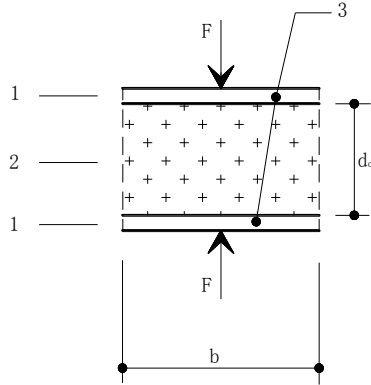


图 11.2.3 芯材压缩试验装置

1—金属面板；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  $b \geq 50\text{mm}$ )

2 可将试件放置于加载试验机的两块平行刚性加载板中间进行增量加载，应变率  $\varepsilon$  应满足  $1\% / \text{min} \leq \varepsilon \leq 3\% / \text{min}$ ；

3 芯材的抗压强度  $f_{cc}$  应按下式计算：

$$f_{cc} = \frac{F_u}{b^2} \quad (11.2.3-1)$$

4 芯材的压缩模量  $E_{cc}$  应按下式计算：

$$E_{cc} = \frac{F_u d_c}{w_u b^2} \quad (11.2.3-2)$$

**11.2.4 芯材剪切试验应符合下列规定：**

1 薄夹芯板芯材剪切强度及剪切模量可采用四点弯曲加载试验获得(图 11.2.4)，并应按下列公式计算：

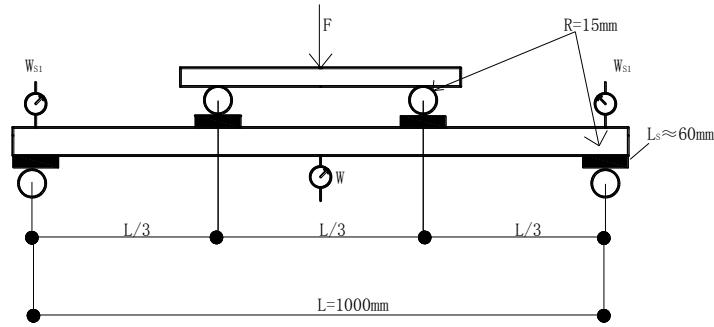


图 11.2.4-1 剪切试验布置

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

1) 抗弯刚度可按下式计算：

$$B_s = \frac{E_{F1} A_{F1} E_{F2} A_{F2}}{E_{F1} A_{F1} + E_{F2} A_{F2}} e^2 \quad (11.2.4-1)$$

2) 弯曲变形可按下式计算：

$$\Delta w_b = \frac{\Delta F L^3}{56.34 B_s} \quad (11.2.4-2)$$

3) 剪切变形可按下式计算：

$$\Delta w_v = \Delta w - \Delta w_b \quad (11.2.4-3)$$

4) 剪切模量可按下式计算：

$$G_c = \frac{L}{6be} \frac{\Delta F}{\Delta w_v} \quad (11.2.4-4)$$

式中： $E_{F1}$ ——上钢板弹性模量；

$E_{F2}$ ——下钢板弹性模量；

$A_{F1}$ ——上钢板横截面面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$A_{F2}$ ——下钢板横截面面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$e$ ——上下钢板中心线距离（ $\text{mm}$ ）；

$\Delta w$ ——荷载-跨中挠度曲线中荷载增量  $\Delta F$  对应的线性斜率部分的挠度；

$b$ ——试件宽度（ $\text{mm}$ ）。

5) 芯材的极限剪切强度  $f_{Cv}$  可按下式计算：

$$f_{Cv} = \frac{F_u}{2be} \quad (11.2.4-5)$$

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可采用图 11.2.4-2 所示试验方法，剪切模量可按式计算

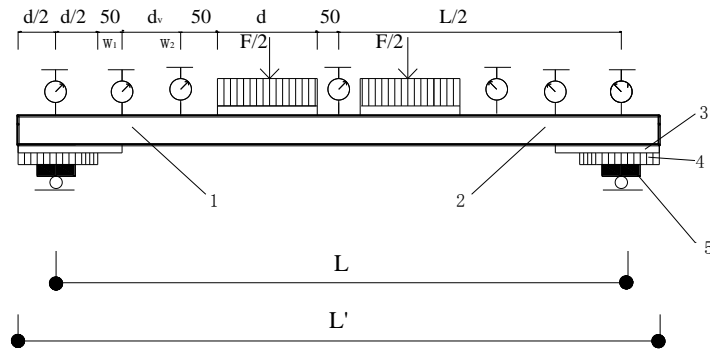


图 11.2.4-2 剪切试验布置

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

$$G_C = \frac{\tau_C}{\gamma_C} = \frac{d_v}{2eb} \frac{\Delta F}{\Delta(w_2 - w_1)} \quad (11.2.4-6)$$

$$\tau_C = \frac{\Delta F}{2eb} \quad (11.2.4-7)$$

$$\gamma_C \approx \frac{\Delta(w_2 - w_1)}{d_v} \quad (11.2.4-8)$$

式中： $\tau_C$ ——芯材剪应力；

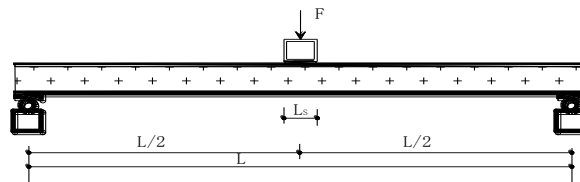
$\gamma_C$ ——芯材剪应变；

$d_v$ ——两个位移传感器之间的距离，约为 100mm；

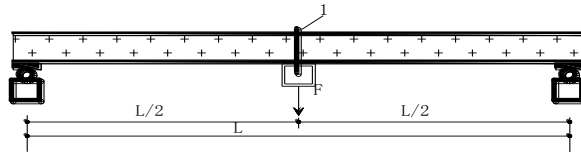
$\Delta F$ ——荷载增量；

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

11.2.5 确定中间支座处屈曲应力的试验应符合下列规定：



(a) 向下加压荷载



(b) 向下加拉荷载

图 11.2.5 中间支座处屈曲应力加载图

1—螺丝钉

- 1 试验可采用向下加压荷载或向上加拉荷载两种方式(图 11.2.5);
- 2 试件板长应大于 5m, 并应保证芯材和紧固件不会提前破坏。
- 3 平表面或浅压型表面的夹芯板屈曲应力  $f_{cr}$  可按下式计算:

$$f_{cr} = \frac{F_u L}{4eBt_1} \quad (11.2.5)$$

11.2.6 确定支座承载力的试验应符合下列规定 (图 11.2.6):

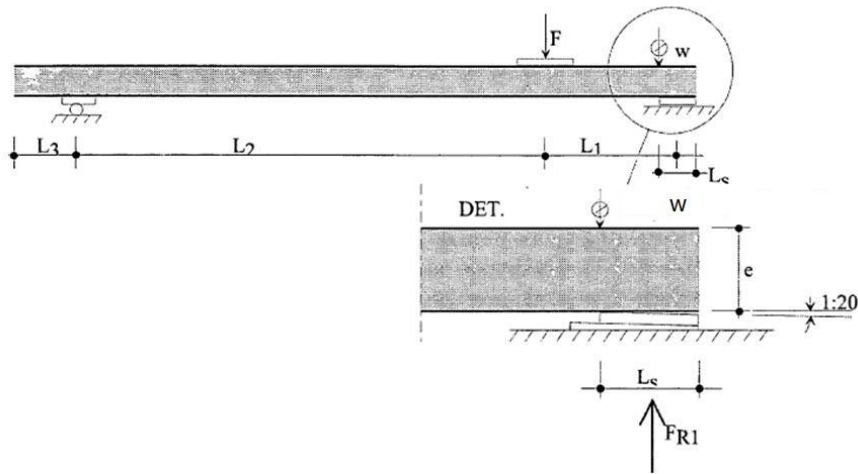


图 11.2.6 确定端支座反向承载力的试验布置

- 1 当端支座发生压缩破坏时, 支座承载力应按下式计算:

$$F_{R1} = \frac{L_2}{L_1 + L_2} F \quad (11.2.6-1)$$

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。

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

$$F_{R2} = f_{Cc} B(L_s + ke) \quad (11.2.6-2)$$

$$k = 2 \frac{F_{R1} - f_{Cc} B L_s}{f_{Cc} e B} \quad (11.2.6-3)$$



式中： $f_{C_c}$ ——芯材的抗压强度，应根据本规程第 11.2.3 条确定。

### 11.2.7 金属面板与芯材之间粘结性能试验应符合下列规定：

1 试件宜取两块宽 20mm、长 100mm 的条状金属面板，并可按图 11.2.7 将金属面板粘结在一起；

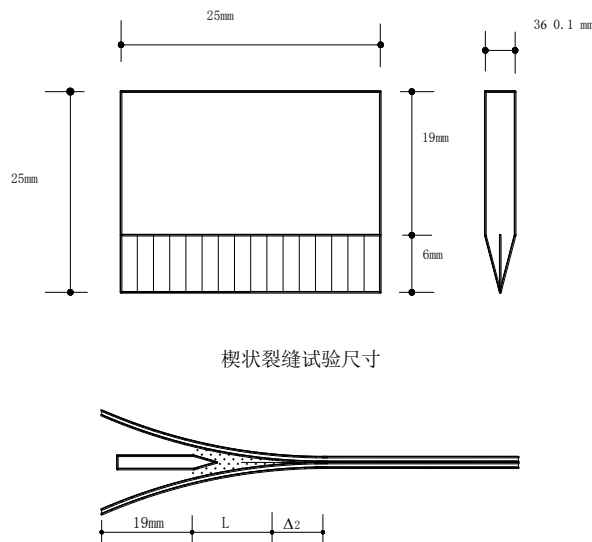


图 11.2.7 粘结试验的试样尺寸和试验布置

L—初始裂缝； $\Delta z$ —裂缝增长

2 试验前可将楔状物插入两金属面板之间，并应测量引起的初始裂缝长度；

3 试验时应将楔状物施加 3N 的水平力，且应将样本放至 70℃ 的水中 24h；

4 满足以下条件，则可评定为合格：

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金属面板材料的粘结处。

### 11.2.8 连接试验应符合下列规定：

1 每组至少进行 5 个试验；

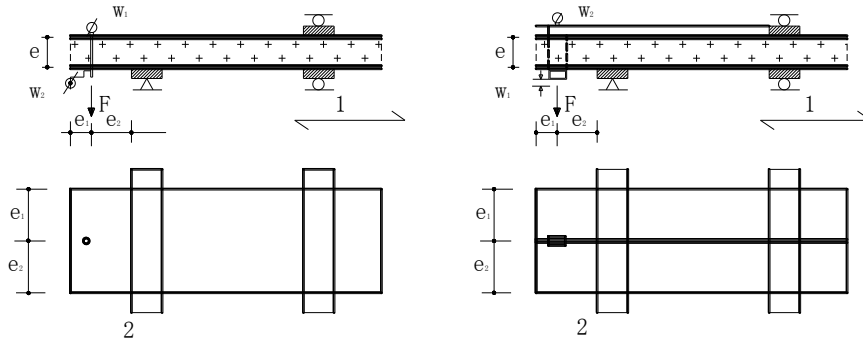
2 连接拉伸试验应符合下列规定：

1) 应使紧固件与板端之间的距离最小；

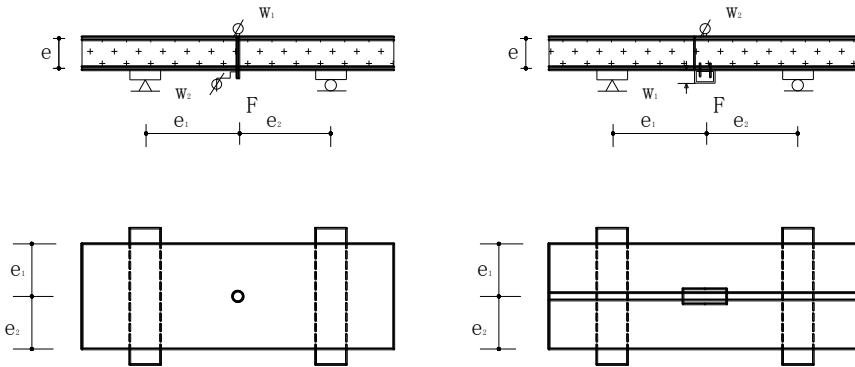
2) 单调增加荷载或位移，应使试件在 5min~10min 内发生破坏；

3) 试验后应测量连接的拉伸位移  $w = w_1 - w_2$ ，且应记录破坏荷载和破坏模式（拔穿，

拔出，连接件自身破坏等）(图 11.2.8-1)。



(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 11.2.8-1 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； $e_4 \geq \max \{e, 100\text{mm}\}$

### 3 连接件剪切试验应符合下列规定：

- 1) 单调增加荷载或位移，应使试件在 5min~10min 内破坏；
- 2) 试验后应记录破坏荷载和破坏模式（拔穿，拔出，连接件自身破坏等）；
- 3) 破坏荷载应下列荷载中的最小值（图 11.2.8-2）确定：
  - (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。

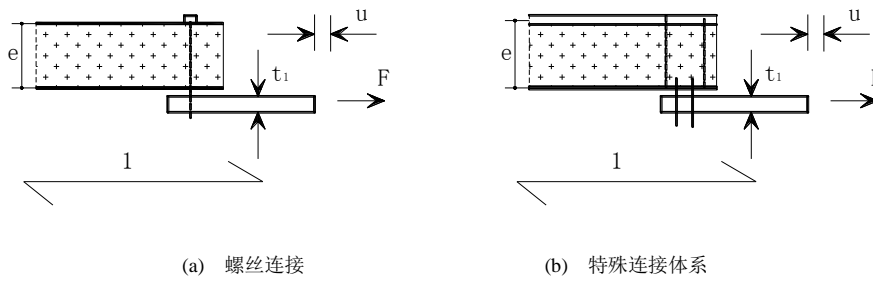


图 11.2.8-2 连接的剪切试验

$t_1$ —支撑体系的厚度； $l$ —跨度方向

**11.2.9** 试验结果的记录与分析应符合下列规定：

- 1 每个试验都应提交正式的文件报告，且应给出所有相关数据；
- 2 除试验结果外，还应给出精确的试件尺寸、材料性能以及试验中观察到的任何现象；
- 3 对试验结果的分析应基于测得的试样尺寸和性能，而不应是设计值。

## 附录 A 压型金属板常用钢、铝合金、不锈钢板的化学成分与力学性能

A.0.1 热镀锌、镀铝锌钢板基板的化学成分(熔炼分析)应符合表 A.0.1的规定。

表 A.0.1 热镀锌、镀铝锌钢板基板的化学成分

结构钢强度级别(MPa)	化学成分(熔炼分析)(质量分数)(%)				
	C	Si	Mn	P	S
250	≤0.20	≤0.60	≤1.70	≤0.10	≤0.045
280					
300					
320					
350					
550					

A.0.2 热镀锌、镀铝锌钢板基板的力学性能应符合表 A.0.2的规定。

表 A.0.2 热镀锌、镀铝锌钢板基板的力学性能

结构钢强度级别(MPa)	屈服强度 <sup>②</sup> $R_{eH}$ 或 $R_{p0.2}$ (MPa)	抗拉强度 $R_m$ (MPa)	断后伸长率 ( $L_0=80\text{mm}$ , $b=20\text{mm}$ )(%)	
			公称厚度(mm)	
			≤0.7	>0.7
250	≥250	≥330	≥17	≥19
280	≥280	≥360	≥16	≥18
300 <sup>③</sup>	≥300	≥380	≥16	≥18
320	≥320	≥390	≥15	≥17
350	≥350	≥420	≥14	≥16
550	≥550	≥560	—	—

注:①拉伸试验样的方向为纵向(沿轧制方向);

②屈服现象不明显时采用  $R_{p0.2}$ , 否则采用  $R_{eH}$ ;

③结构钢强度级别 300MPa 仅限于热镀锌钢板。

A.0.3常用铝合金化学成分应符合表A.0.3的规定。

表 A.0.3常用铝合金板化学成分表

牌号	化学成分(质量分数)(%)										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	指定的 其他元素	Ti	其他	
										单个	合计
3003	0.6	0.7	0.05~ 0.20	1.0~1.5	—	—	0.10	—	—	0.05	0.15
3004	0.3	0.7	0.25	1.0~1.5	0.8~1.3	—	0.25	—	—	0.05	0.15
3005	0.6	0.7	0.3	1.0~1.5	0.2~0.6	0.10	0.25	—	0.10	0.05	0.15
3104	0.6	0.8	0.05~ 0.25	0.8~1.4	0.8~1.3	—	0.25	0.05Ga, 0.05V	0.10	0.05	0.15
3105	0.6	0.7	0.30	0.3~0.8	0.2~0.8	0.20	0.40	—	0.10	0.05	0.15
5005	0.30	0.7	0.20	0.20	0.5~1.1	0.10	0.25	—	—	0.05	0.15
6061	0.4~ 0.8	0.7	0.15~ 0.4	0.15	0.8~1.2	0.04~ 0.35	0.25	—	0.15	0.05	0.15

A.0.4常用铝板力学性能应符合表 A.0.4规定。

表 A.0.4 常用铝合金板力学性能表(1)

牌号	状态	抗拉强度 $R_m$ (MPa)	规定非比例 延伸强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	断后伸长率 $A_{50mm}$ (%)	弯曲半径 <sup>②</sup>
3003	H14	145~185	125	2	1.0t
	H24	145~185	115	4	1.0t
	H16	170~210	150	2	1.5t
	H26	170~210	140	3	1.5t
3004	H14	220~265	180	2	1.0t
	H24	220~265	170	4	1.0t
	H16	240~285	200	1	1.5t
	H26	240~285	190	3	1.5t
3005	H16	195~240	175	2	1.5t
	H26	195~240	160	3	1.5t
	H14	220~265	180	2	1.0t
	H24	220~265	170	4	1.0t

3104	H16	240~285	200	1	1.5t
	H26	240~285	190	3	1.5t
	H14	150~200	130	2	2.5t
	H24	150~200	120	4	2.5t
3105	H16	175~225	160	2	—
	H26	175~225	150	3	—
	H14	148~185	120	2	1.0t
	H24	148~185	110	4	1.0t
5005	H16	165~205	145	2	1.5t
	H26	165~205	135	3	1.5t
	O	≤145	≤85	≥14	1.0t
	O	≤145	≤85	≥14	1.0t
6061	O	≤145	≤85	≥14	1.0t

注：①本表铝合金板厚为 0.5mm~1.5mm；

②3105 板、带材弯曲 180°，其他板、带材弯曲 90°。t 为板或带材的厚度。

A.0.5 常用不锈钢板化学成分应符合表 A.0.5 规定。

表 A.0.4 用不锈钢板化学成表

不锈钢牌号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	其他元素
06Cr19Ni10	0.08	0.75	2.00	0.045	0.03	8.00~ 10.50	18.00~ 20.00	—	—	0.10	—
06Cr17Ni12Mo2	0.08	0.75	2.00	0.045	0.03	10.00~ 14.00	16.00~ 18.00	2.00~ 3.00	—	0.10	—

A.0.6 常用不锈钢板力学性能应符合表 A.0.6 的规定。

表 A.0.6 常用不锈钢板力学性能表

不锈钢牌号	ANSI 牌号	规定非比例延伸 强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	抗拉强度 $R_m$ (MPa)	断后伸长率 A(%)	硬度值		
					HBW	HRB	HV
06Cr19Ni10	304	≥205	≥515	≥40	≤201	≤92	≤210
06Cr17Ni12Mo2	316	≥205	≥515	≥40	≤217	≤95	≤220

## 附录 B 金属面夹芯板内力、应力和挠度的计算

### B.1 夹芯板内力与挠度计算

B.1.1 夹芯板设计内力应按下列规定计算（图 B.1.1-1、图 B.1.1-2）：

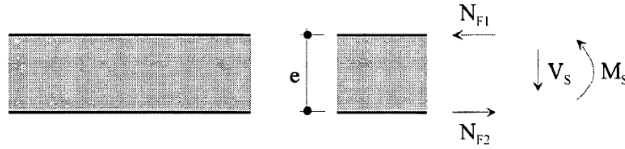


图 B.1.1-1 平面或浅压型夹芯板内力图

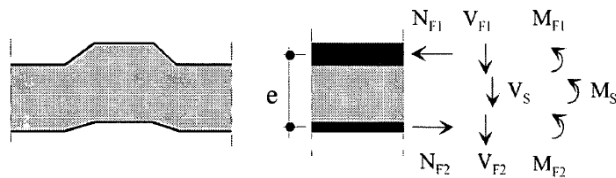


图 B.1.1-2 深压型或压型钢板夹芯板内力图

1 弯矩  $M$  应按下列公式计算：

$$M = M_F + M_S \quad (\text{B.1.1-1})$$

$$M_S = -N_{F1}e = N_{F2}e \quad (\text{B.1.1-2})$$

式中： $M_F$ ——金属面板单独承担的弯矩（ $\text{N}\cdot\text{mm}$ ），对平面或浅压型夹芯板取 0，对深压型或压型钢板夹芯板按本规程附录 B.1.3 节的规定取值；

$M_S$ ——夹芯板上下金属面板面内薄膜力形成的弯矩（ $\text{N}\cdot\text{mm}$ ），按本规程附录 B.1.2、B.1.3 节的规定取值；

$N_{F1}$ 、 $N_{F2}$ ——上下金属面板薄膜力（ $\text{N}$ ），大小相等、方向相反；

$e$ ——上下金属面板中和轴之间距离（ $\text{mm}$ ）。

2 剪力  $V$  应按下列公式计算：

$$V = V_F + V_S \quad (\text{B.1.1-3})$$

式中： $V_F$ ——金属面板剪力（N），对平面或浅压型夹芯板取 0，对深压型或压型钢板夹芯板按本规程附录 B.1.3 节的规定取值；

$V_S$ ——夹芯部分的剪力（N），按本规程附录 B.1.2、B.1.3 节的规定取值。

**B.1.2 平面或浅压型夹芯板内力与挠度应按下列规定计算：**

1 单跨平面或浅压型夹芯板内力和挠度(图 B.1.2-1)

1) 均布荷载作用下

①夹芯板内力应按下列公式计算：

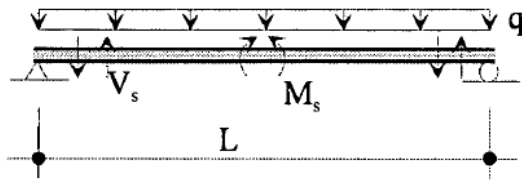


图 B.1.2-1 均布荷载作用下的单跨平面或浅压型夹芯板

$$M_s = \frac{qL^2}{8} \quad (\text{B.1.2-1})$$

$$V_s = \frac{qL}{2} \quad (\text{B.1.2-2})$$

②夹芯板挠度应按下列公式计算：

$$w = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{B_s} \left(1 + \frac{16}{5}k\right) \quad (\text{B.1.2-3})$$

$$k = \frac{3B_s}{L^2 G_c A_s} \quad (\text{B.1.2-4})$$

$$B_s = \frac{E_{F1} A_{F1} E_{F2} A_{F2}}{(E_{F1} A_{F1} + E_{F2} A_{F2})} e^2 \quad (\text{B.1.2-5})$$

$$A_s = eD \quad (\text{B.1.2-6})$$

式中： $k$ ——剪切刚度影响参数；

$B_s$  ——板抗弯刚度（ $\text{N}\cdot\text{mm}^2$ ）；

$G_c$  ——芯材的剪切模量（MPa）；

$E_F$ ——金属面板弹性模量（MPa）；



$A_F$ ——金属面板面积 ( $\text{mm}^2$ );

$A_S$  ——单位宽度芯材面积 ( $\text{mm}^2$ )

$D$ ——板的单位宽度, 取  $D = 1000\text{mm}$ 。

2) 金属面板温度变化作用应按下列规定计算 (图 B.1.2-2):

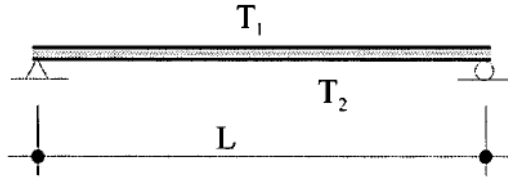


图 B.1.2-2 温度荷载作用下的单跨平面或浅压型夹芯板

当夹芯板两侧温差为  $\Delta T = T_2 - T_1$  时, 跨中挠度  $w$  应按下列公式计算:

$$w = \frac{\theta L^2}{8} \quad (\text{B.1.2-7})$$

$$\theta = \frac{\alpha_{F2} T_2 - \alpha_{F1} T_1}{e} \quad (\text{B.1.2-8})$$

式中:  $\theta$ ——夹芯板的转角;

$\alpha_F$ ——金属面板的热膨胀系数。

2 多跨平面或浅压型夹芯板内力和挠度(图 B.1.2-3)

1) 均布荷载作用下

①夹芯板内力应按下列公式计算:

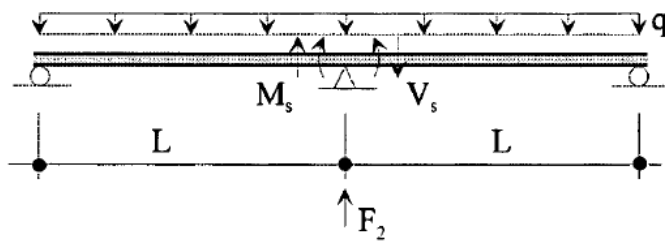


图 B.1.2-3 均布荷载作用下的两跨连续平面或浅压型夹芯板

$$M_s = -\frac{qL^2}{8} \frac{1}{1+k} \quad (\text{B.1.2-9})$$

$$F_2 = qL \left[ 1 + \frac{1}{4(1+k)} \right] \quad (\text{B.1.2-10})$$

$$V_s = \pm \frac{qL}{2} \left[ 1 + \frac{1}{4(1+k)} \right] \quad (\text{B.1.2-11})$$

式中： $F_2$ ——支座反力 (N)；其他符号?????。

②连续两跨夹芯板跨中挠度最大值应按下列公式计算：

$$w = \frac{1}{48} \frac{qL^4}{B_s} \frac{0.26 + 2.625k + 2k^2}{1+k} \quad (\text{B.1.2-12})$$

2) 温度荷载作用下多跨连续夹芯板(图 B.1.2-4)

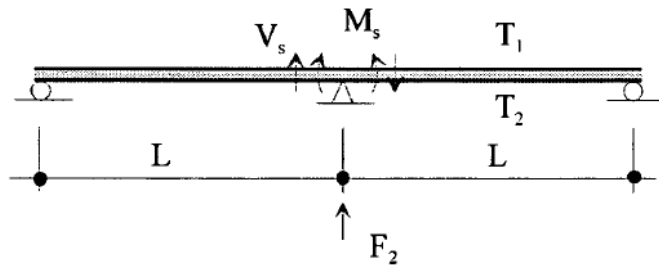


图 B.1.2-4 温度荷载作用下的两跨连续平面或浅压型夹芯板

夹芯板内力应按下列公式计算：

①

$$M_s = -\frac{3B_s\theta}{2} \frac{1}{1+k} \quad (\text{B.1.2-13})$$

$$F_2 = \frac{3B_s\theta}{L} \frac{1}{1+k} \quad (\text{B.1.2-14})$$

$$V_s = \pm \frac{3B_s\theta}{2L} \frac{1}{1+k} \quad (\text{B.1.2-15})$$

② 夹芯板跨中挠度应按下列公式计算：

$$w = \frac{\theta L^2}{32} \frac{1+4k}{1+k} \quad (\text{B.1.2-16})$$

**B.1.3** 深压型或压型钢板夹芯板内力与挠度应按下列规定计算：

**1** 单跨夹芯板内力和挠度

1) 均布荷载作用下 (图 B.1.3-1)：

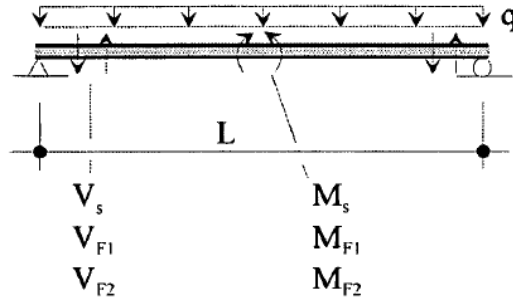


图 B.1.3-1 均布荷载作用下的单跨深压型或压型钢板夹芯板

①夹芯板内力应按下列公式计算：

$$M_{F1} = \beta_1 \beta_q \frac{qL^2}{8} \quad (\text{B.1.3-1})$$

$$M_{F2} = \beta_2 \beta_q \frac{qL^2}{8} \quad (\text{B.1.3-2})$$

$$M_s = (1 - \beta_q) \frac{qL^2}{8} \quad (\text{B.1.3-3})$$

$$V_s = \frac{qL}{2} \quad (\text{B.1.3-4})$$

$$\beta_1 = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + B_{F2}} \quad (\text{B.1.3-5})$$

$$\beta_2 = \frac{B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2}} \quad (\text{B.1.3-6})$$

$$\beta_q = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2} + \frac{B_s}{1 + k_q}} \quad (\text{B.1.3-7})$$

$$B_{F1} = E_{F1} I_{F1} \quad (\text{B.1.3-8})$$

$$B_{F2} = E_{F2} I_{F2} \quad (\text{B.1.3-9})$$

式中：  $B_{F1}$ 、  $B_{F2}$  ——上、下金属面板的弯曲刚度( $\text{N}\cdot\text{mm}^2$ )；

$\beta_1$ 、  $\beta_2$ 、  $\beta_q$  ——参数；

$I_F$  ——金属面板惯性矩( $\text{mm}^4$ )。

②夹芯板最大挠度应按下列公式计算：

$$w_{0.5} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{B_s} (1 + k_q) (1 - \beta_q) \quad (\text{B.1.3-10})$$

$$B_s = \frac{E_{F1} A_{F1} E_{F2} A_{F2}}{(E_{F1} A_{F1} + E_{F2} A_{F2})} e^2 \quad (\text{B.1.3-11})$$

$$k_q = \frac{9.6 B_s}{L^2 G_c A_s} \quad (\text{B.1.3-12})$$

$$A_s = eD \quad (\text{B.1.3-13})$$

2) 温度变化作用下夹芯板的内力和挠度 (图 B.1.3-2)：

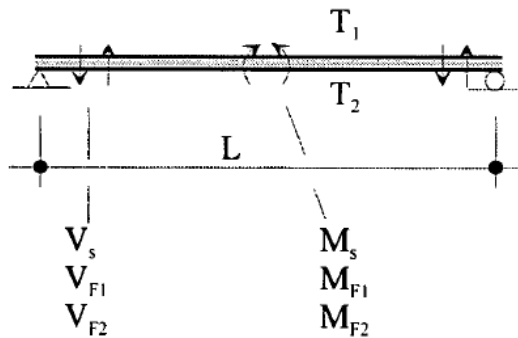


图 B.1.3-2 温度荷载作用下的单跨深压型或压型钢板夹芯板

①夹芯板内力应按下列公式计算：

$$M_{F1} = \beta_1 (1 - \beta_T) (B_{F1} + B_{F2}) \theta \quad (\text{B.1.3-14})$$

$$M_{F2} = \beta_2 (1 - \beta_T) (B_{F1} + B_{F2}) \theta \quad (\text{B.1.3-15})$$

$$M_S = -(1 - \beta_T) (B_{F1} + B_{F2}) \theta \quad (\text{B.1.3-16})$$

②夹芯板最大挠度应按下列公式计算：

$$w_{0.5} = \frac{\theta L^2}{8} (1 - \beta_T) \quad (\text{B.1.3-17})$$

$$\beta_1 = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + B_{F2}} \quad (\text{B.1.3-18})$$

$$\beta_2 = \frac{B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2}} \quad (\text{B.1.3-19})$$

$$\beta_T = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2} + \frac{B_S}{1 + k_T}} \quad (\text{B.1.3-20})$$

$$k_T = \frac{8B_S}{L^2 G_C A_S} \quad (\text{B.1.3-21})$$

式中： $\beta_q$  ——参数；

## 2 多跨夹芯板内力和挠度

1) 均布荷载作用下，上金属面板是深压型或压型钢板、下金属面板深压型、平面或浅压型两跨连续夹芯板（图 B.1.3-3）：

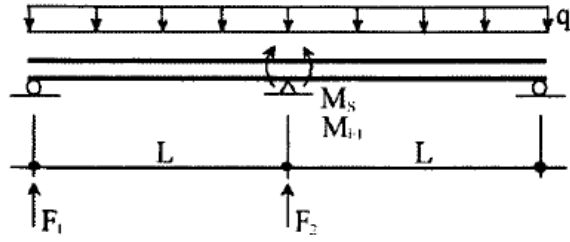


图 B.1.3-3 均布荷载作用下的两跨连续深压型或压型钢板夹芯板

①夹芯板内力应按下列公式计算:

$$F_2 = \varepsilon_{Q,1} qL \quad (\text{B.1.3-22})$$

$$F_1 = \varepsilon_{Q,2} qL \quad (\text{B.1.3-23})$$

$$M_s = -\varepsilon_{Q,3} qL^2 \quad (\text{B.1.3-24})$$

$$M_{F1} = -\varepsilon_{Q,4} qL^2 \quad (\text{B.1.3-25})$$

$$M_{F2} = -\varepsilon_{Q,5} qL^2 \quad (\text{B.1.3-26})$$

②夹芯板最大挠度应按下列公式计算:

$$\omega = \varepsilon_{Q,6} \frac{qL^4}{B} \quad (\text{B.1.3-27})$$

式中:  $\varepsilon_{Q,1}, \varepsilon_{Q,2}, \varepsilon_{Q,3}, \varepsilon_{Q,4}, \varepsilon_{Q,5}, \varepsilon_{Q,6}$ ——参数。

其中,

$$\varepsilon_{Q,1} = \frac{5(1+\alpha) + 12\beta \left( 1 + \frac{2f_{2,1}(\lambda)}{\lambda^2} \right)}{4(1+\alpha) + 12\beta \left( 1 - \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\lambda} \right)}$$

$$\varepsilon_{Q,2} = 1 - \frac{\varepsilon_{Q,1}}{2}$$

$$\varepsilon_{Q,3} = \frac{1}{1+\alpha} \left[ -\frac{1}{2} - \frac{f_{2,1}(\lambda)}{\lambda^2} + \frac{\varepsilon_{Q,1}}{2} \left( 1 - \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\lambda} \right) \right]$$

$$\varepsilon_{Q,4} = \frac{\alpha_1}{1+\alpha} \left[ -\frac{1}{2} + \frac{f_{2,1}(\lambda)}{\alpha\lambda^2} + \frac{\varepsilon_{Q,1}}{2} \left( 1 + \frac{f_2(\lambda)}{\alpha\lambda} \right) \right]$$

$$\varepsilon_{Q,5} = \frac{\alpha_2}{1+\alpha} \left[ -\frac{1}{2} + \frac{f_{2,1}(\lambda)}{\alpha\lambda^2} + \frac{\varepsilon_{Q,1}}{2} \left( 1 + \frac{f_2(\lambda)}{\alpha\lambda} \right) \right]$$

$$\varepsilon_{Q,6} = \left[ \frac{57}{384} + \frac{1}{\alpha\lambda^2} \left( \frac{3}{8} + \frac{f_{2,3}(\lambda)}{\lambda^2} \right) + \varepsilon_{Q,1} \left( \frac{f_{2,4}(\lambda)}{\alpha\lambda^3} - \frac{11}{96} \right) \right]$$

$$\alpha_1 = \frac{B_{F1}}{B_s}, \quad \alpha_2 = \frac{B_{F2}}{B_s}, \quad \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_s}$$

$$\beta = \frac{B_s}{G_c A_s L^2}, \quad \lambda = L \sqrt{\frac{B G_c A_s}{B_s B_F}}$$

$$f_{2,1}(\lambda) = \frac{1 - ch\lambda}{ch\lambda}, \quad f_{2,2}(\lambda) = th\lambda$$

$$f_{2,3}(\lambda) = \frac{sh(\lambda/2) + sh(3\lambda/2)}{sh(2\lambda)} - 1$$

$$f_{2,4}(\lambda) = \frac{sh(\lambda/2)}{2ch\lambda} - \frac{\lambda}{4}$$

2) 温度变化作用下, 上金属面板是深压型或压型钢板、下金属面板深压、平面或浅压型两跨连续夹芯板 (图 B.1.3-8):

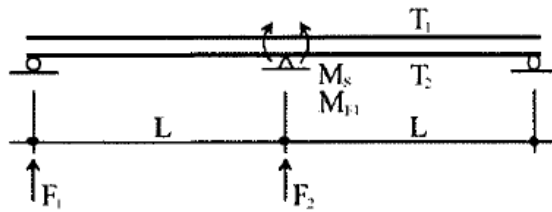


图 B.1.3-8 温度荷载作用下的两跨连续深压型或压型钢板夹芯板

①夹芯板内力应按下列公式计算:

$$F_2 = \varepsilon_{T,1} \frac{B_s \theta}{L} \quad (\text{B.1.3-28})$$

$$F_1 = \varepsilon_{T,2} \frac{B_s \theta}{L} \quad (\text{B.1.3-29})$$

$$M_s = -\varepsilon_{T,3} B_s \theta \quad (\text{B.1.3-30})$$

$$M_{F1} = \varepsilon_{T,4} B_s \theta \quad (\text{B.1.3-31})$$

$$M_{F2} = \varepsilon_{T,5} B_s \theta \quad (\text{B.1.3-32})$$

②夹芯板最大挠度应按下列公式计算：

$$\omega = \varepsilon_{T,6} \frac{\theta L^2}{8} \quad (\text{B.1.3-33})$$

式中： $\varepsilon_{T,1}, \varepsilon_{T,2}, \varepsilon_{T,3}, \varepsilon_{T,4}, \varepsilon_{T,5}, \varepsilon_{T,6}$ ——参数。

其中，

$$\varepsilon_{T,1} = \frac{3(1+\alpha) \left( 1 + \frac{2f_{2,1}(\lambda)}{\lambda^2} \right)}{(1+\alpha) + 3\beta \left( 1 - \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\lambda} \right)}$$

$$\varepsilon_{T,2} = -\frac{\varepsilon_{T,1}}{2}$$

$$\varepsilon_{T,3} = \frac{1}{1+\alpha} \left[ -\alpha f_{2,1}(\lambda) + \frac{\varepsilon_{T,1}}{2} \left( 1 - \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\lambda} \right) \right]$$

$$\varepsilon_{T,4} = \frac{\alpha_1}{1+\alpha} \left[ -f_{2,1}(\lambda) - \frac{\varepsilon_{T,1}}{2} \left( 1 + \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\alpha\lambda} \right) \right]$$

$$\varepsilon_{T,5} = \frac{\alpha_2}{1+\alpha} \left[ -f_{2,1}(\lambda) - \frac{\varepsilon_{T,1}}{2} \left( 1 + \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\alpha\lambda} \right) \right]$$



$$\varepsilon_{T,6} = \frac{1}{1+\alpha} \left[ 3 + \frac{8f_{2,3}(\lambda)}{\lambda^2} + \varepsilon_{T,1} \left( \frac{8f_{2,4}(\lambda)}{\alpha\lambda^3} - \frac{11}{12} \right) \right]$$

式中符号与均布荷载下符号一致。

#### B.1.4 开洞平面或浅压型夹芯板挠度应按下列规定计算：

1 均布荷载  $q$  作用下，当夹芯板跨中洞口对称时，夹芯板跨中最大挠度应按下列公式计算：

$$w_{o,\max} = \frac{\beta q L^4}{384 B_S} (5K_B + 16k) \quad (\text{B.1.4-1})$$

$$\text{当 } 0.1 \leq d/D \leq 0.5, \quad K_B = 0.093 \left( \frac{d}{D} \right)^2 + 0.444 \frac{d}{D} + 0.965 \quad (\text{B.1.4-2})$$

$$\text{当 } 0.5 < d/D \leq 0.8, \quad K_B = 12 \left( \frac{d}{D} \right)^2 - 13.3 \frac{d}{D} + 4.93 \quad (\text{B.1.4-3})$$

$$k = \frac{3B_S}{L^2 G_C A_S} \quad (\text{B.1.4-4})$$

式中：  $\beta$  ——折减系数，在 0.84~1.01 之间取值，可取均值 0.907；

$D$  ——夹芯板宽度(mm)；

$d$  ——洞口宽度(mm)；

$K_B$  ——挠度系数；

$k$  ——剪力影响因子。

2 开洞面积小于 7% 的时候，可忽略开洞对板的影响，按照完整板计算。

## B.2 夹芯板应力计算

B.2.1 平面或浅压型夹芯板中应力应按下列公式计算（图 B.2.1）：

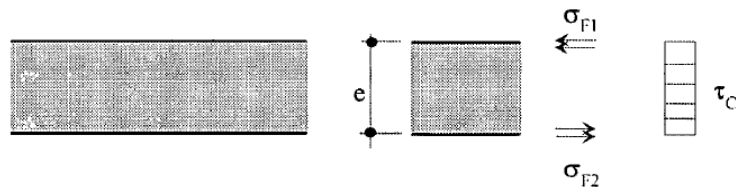


图 B.2.1 平面或浅压型夹芯板应力

$$\sigma_{F1} = \frac{N_{F1}}{A_{F1}} = -\frac{M_S}{eA_{F1}} \quad (\text{B.2.1-1})$$

$$\sigma_{F2} = \frac{N_{F2}}{A_{F2}} = \frac{M_S}{eA_{F2}} \quad (\text{B.2.1-2})$$

$$\tau_C = \frac{V_S}{eD} \quad (\text{B.2.1-3})$$

式中： $\sigma_{F1}$ 、 $\sigma_{F2}$ ——上下金属面板的应力(MPa)；

$A_{F1}$ 、 $A_{F2}$ ——上下金属面板的横截面面积(mm<sup>2</sup>)；

$I_{F1}$ 、 $I_{F2}$ ——上下金属面板横截面的惯性矩(mm<sup>4</sup>)；

$\tau_C$ ——芯材中剪应力(MPa)；

$D$ ——板宽(mm)。

B.2.2 深压型或压型钢板夹芯板中应力应按下列公式计算（图 B.2.2）：

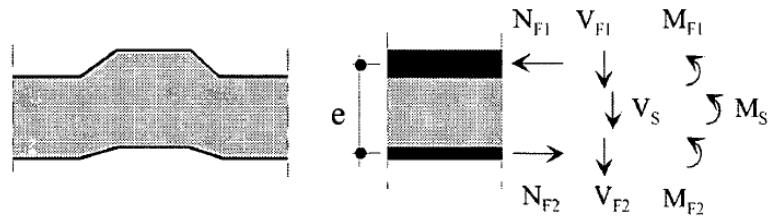


图 B.2.2 深压型或压型钢板夹芯板应力

$$\sigma_{F11} = \sigma_{F1} + \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{11} \quad (\text{B.2.2-1})$$

$$\sigma_{F12} = \sigma_{F1} - \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{12} \quad (\text{B.2.2-2})$$

$$\sigma_{F21} = \sigma_{F2} - \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{21} \quad (\text{B.2.2-3})$$

$$\sigma_{F22} = \sigma_{F2} + \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{22} \quad (\text{B.2.2-4})$$

$$\tau_C = \frac{V_S}{eD} \quad (\text{B.2.2-5})$$

$$\tau_{F1} = \frac{V_{F1}}{n_1 S_{W1} t_1} \quad (\text{B.2.2-6})$$

$$\tau_{F2} = \frac{V_{F2}}{n_2 S_{W2} t_2} \quad (\text{B.2.2-7})$$

$$S_{W1} = h_1 / \sin(\varphi_1) \quad (\text{B.2.2-8})$$

$$S_{W2} = h_2 / \sin(\varphi_2) \quad (\text{B.2.2-9})$$

式中： $\sigma_{F11}$ 、 $\sigma_{F12}$ ——上金属面板的拉压应力(MPa)；

$\tau_{F1}$ 、 $\tau_{F2}$ ——上下金属面板中剪应力(MPa)；

$V_{F1}$ 、 $V_{F2}$ ——上下金属面板承担的剪力(N)；

$I_{F1}$ 、 $I_{F2}$ ——上下金属面板横截面的惯性矩(mm<sup>4</sup>)；

$n_1$ 、 $n_2$ ——上下金属面板宽度 B 范围内腹板数目；

$S_{W1}$ 、 $S_{W2}$ ——上下金属面板腹板长度(mm)；

$h_1$ 、 $h_2$ ——上下金属面板腹板高度(mm)；

$\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ ——上下金属面板腹板与翼缘的夹角。

**B.2.3** 当  $2a/b$  在 (0.5~2) 范围内、且洞口宽边距夹芯板纵向的最小距离大于或等于 100 mm 与 0.1D 的较小者时，有开洞平面或浅压型夹芯板金属面板中的应力应按下列公式计算（图 B.2.3）：

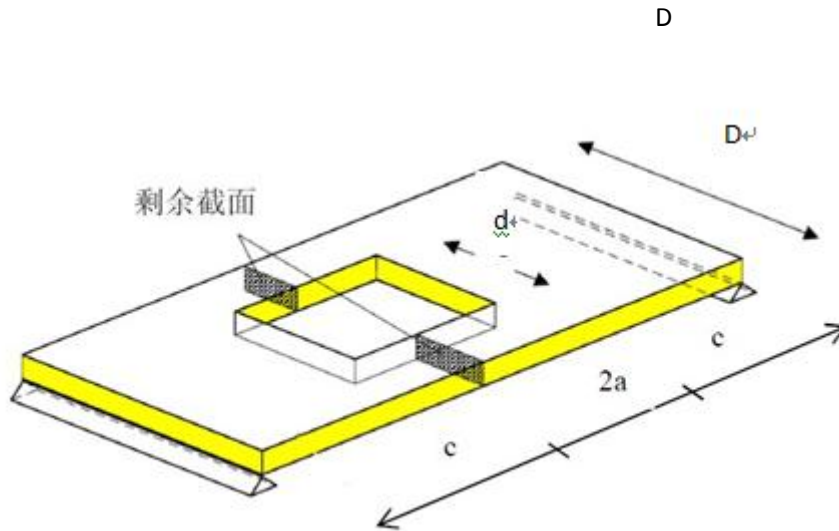


图 B.2.3 平表面及浅压型夹芯板开洞示意图

$$\sigma_F = \pm \frac{M_0}{e(D-d)t} \quad (\text{B.2.3-1})$$

$$M_0 = q\left(\frac{1}{2}na^2 + nac + \frac{1}{2}c^2\right) \quad (\text{B.2.3-2})$$

$$n = 1 - \frac{d}{D} \quad (\text{B.2.3-3})$$

式中： $M_0$ ——开洞区域弯矩(N·mm)；  
 $q$ ——均布荷载(N/mm<sup>2</sup>)；  
 $n$ ——截面折减系数；  
 $a$ 、 $d$ 、 $c$ ——开洞截面参数，见图 B.2.3。

**B.2.4** 支座处芯材压应力计算应符合下列规定：

1 端部支座处芯材（图 B.2.4）的受压应力应按下列式计算：

$$\sigma_{\text{Ccd}} = \frac{F}{D(L_s + ke/2)} \quad (\text{B.2.4-1})$$

2 中间支座处芯材（图 B.2.4）的受压应力应按下列式计算：

$$\sigma_{\text{Ccd}} = \frac{F}{D(L_s + ke)} \quad (\text{B.2.4-2})$$

式中： $k$ ——分布系数，应按本规程第 11.2.6 条中的试验确定。在缺少试验结果的情况下，对硬质塑性泡沫材料，取  $k=0.7$ ；对矿物棉， $k=0$ 。

$L_s$ ——支承宽度(mm)；

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

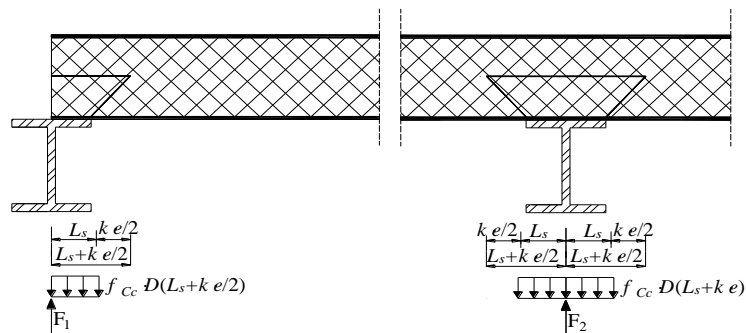


图 B.2.4 支座处抗力图

## 本规程用词说明

**1** 为便于在执行本规程条文时能区别对待，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”或“不得”。

**3)** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词用“宜”或“可”，反面词用“不宜”。

**4)** 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。**2** 条文中指明应按其他有关标准执行时，写法为“应符合……或规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

1. 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
2. 《建筑设计防火规范》 GB50016
3. 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB 50018
4. 《采暖通风与空气调节设计规范》 GB50019
5. 《冷库设计规范》 GB50072
6. 《民用建筑热工设计规范》 GB50176
7. 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB50205
8. 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB50300
9. 《建筑物防雷工程施工与质量验收规范》 GB 50601
10. 《压型金属板工程应用技术规范》 GB50896
11. 《建筑材料及制品燃烧性能分级》 GB8624
12. 《金属材料拉伸试验第 1 部分：室温试验方法》 GB/T 228.1
13. 《碳素结构钢》 GB/T 700
14. 《不锈钢棒》 GB/T 1220
15. 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
16. 《变形铝及铝合金化学成分》 GB/T3190
17. 《不锈钢冷轧钢板和钢带》 GB/T 3280
18. 《一般工业用铝及铝合金板、带材》 GB/T 3880
19. 《高耐候结构钢》 GB/T 4172
20. 《不锈钢热轧钢板和钢带》 GB/T 4237
21. 《铝合金建筑型材》 GB/T 5237
22. 《工业用橡胶板》 GB/T 5574
23. 《绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料》 GB/T 10801.1
24. 《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料》 GB/T 10801.2
25. 《绝热用岩棉、矿渣棉及其制品》 GB/T 11835
26. 《彩色涂层钢板及钢带》 GB/T 12754
27. 《建筑用压型钢板》 GB/T 12755

28. 《绝热用玻璃棉及其制品》GB/T 13350
29. 《金属覆盖层钢铁制品热镀锌层技术要求》GB/T 13912
30. 《建筑绝热用硬质聚氨酯泡沫塑料》GB/T 21558
31. 《建筑密封胶分级和要求》GB/T 22083
32. 《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932
33. 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46
34. 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80
35. 《建筑施工扣件式钢脚手架安全技术规范》JGJ 130
36. 《建筑施工碗扣式钢脚手架安全技术规范》JGJ 166
37. 《建筑门窗用密封胶条》JG/T 187
38. 《幕墙玻璃接缝用密封胶》JC/T 882
39. 《铝及铝合金彩色涂层板、带材》YS / T 431
40. 《建筑橡胶密封垫——预成型实心硫化的结构密封垫用材料规范》HG/T3099
41. 《组合冷库用隔热夹芯板》JB/T6527

中华人民共和国行业标准

# 金属面夹芯板应用技术规程

JGJ888-2017

(征求意见稿)

条文说明





# 目次

1.总则 .....	98
3、基本规定.....	99
3.1 荷载.....	99
3.2 面板厚度与芯材.....	99
3.3 金属面夹芯板设计.....	99
3.4 防潮.....	99
3.5 隔音.....	100
4 材料 .....	103
4.2 芯材.....	103
6 结构设计.....	104
6.1 夹芯板承载能力设计.....	104
6.2 连接设计.....	106
8 施工安装.....	110
8.3 屋面系统安装.....	110
8.7 施工安全与成品保护.....	110
11 试验方法和要求.....	111
11.1 一般要求.....	111
11.2 材料性能试验方法.....	111
附录 B 金属面夹芯板内力、应力和挠度的计算 .....	115

# 1 总则

**1.0.1~1.04** 金属面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。面板一般采用很薄的高强金属材料，芯材采用具有一定强度的轻质材料做成。因此，金属面夹芯板作为一种组合材料，具有轻质、高刚度和高强度、可设计性以及简单高性能化的特点。

金属面夹芯板在我国使用的历史大约有 30 年，但由于其优良的综合力学性能和易于运输、便于安装、隔热隔音、绝热性能好、适合工厂化大批量预制生产的特点，在我国多个领域被广泛应用，如建筑、船舶、汽车行业等。建筑领域对金属面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（主要是维护结构）。以前的工业厂房屋面一般采用预制加工的石膏板或混凝土板。但其自重大，不易安装，维修困难。随着轻钢建筑结构的快速推广，金属面夹芯板以其显著的优势代替了以上材料，更由于隔热效果、轻质快速安装、布置灵活而成为单层工业厂房建筑的首选。在公共建筑方面，金属面夹芯板可以应用于大空间屋面和外墙，可以做成单跨、双跨等。因为公共建筑多采用网架或桁架结构形式，因此对屋面的轻质、保温、隔热、防火吸声等提出了更高的要求。在组合房屋方面由于质轻组合灵活，施工方便而被青睐。随着我国基础建设的突飞猛进，噪音污染也随之引起关注，而金属面夹芯板拥有良好的吸声性能，已被大量用于治理减少城市噪音的屏障中。若芯层中添加阻尼材料，还可利用阻尼的变形来消耗消耗能量，提高抗震等级。这一切都说明金属夹芯板现在在建筑行业的重要性。

本规程中采用的设计方法是依据国内相关设计规定，基于大量理论和试验研究结果，同时参照借鉴欧洲相关规范的设计理论编写而成。此规程可大大方便设计工作，为了适应发展形势的需要，特组织制定本规程。

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。

### 3 基本规定

#### 3.1 荷载

**3.1.1** 对屋面和吊顶夹芯板，应该考虑在建造和维修过程中的行人荷载，在没有指定的荷载的情况下，推荐集中荷载的标准值取  $F_K=1.2\text{kN}$ 。金属面夹芯板一般不适合承担持续行人荷载，重复的行人荷载对金属面夹芯板抵抗能力的影响应该具体问题具体分析。

**3.1.2** 夏天外部面板的最大温度值与其颜色和反射率  $R_G$  有关， $R_G$  值可以从涂层生产商或试验中获得。也可以通过内插值的方法得到精确值：

$$R_G \geq 75, \quad T_e = 55^\circ\text{C};$$

$$40 < R_G < 75, \quad T_e = 65 - \frac{R_G - 40}{35} 10^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$15 \leq R_G < 40, \quad T_e = 80 - \frac{R_G - 15}{25} 15^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$R_G < 15, \quad T_e = 80^\circ\text{C}。$$

如果取  $T_e=55^\circ\text{C}$ ，设计应考虑其涂层蒙尘和老化的影响。

**3.1.3** 在可能受冲击及震动影响的建筑物中，应该在设计时给予特殊考虑，在公共场合容易有比如爆炸等场合的地方使用金属面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。

#### 3.2 面板厚度与芯材

**3.2.1** 金属面板的厚度对于金属面夹芯板的抗弯刚度及抵抗力的影响是很大，应该保证。

#### 3.3 金属面夹芯板设计

**3.3.1** 资料来源《建筑用绝热夹芯板结构》，2011，科学出版社。

#### 3.4 防潮

**3.4.1** 金属面板表面冷凝的出现依赖于板表面温度和相应的饱和蒸汽压。在夹芯板中，冷桥一般发生在内外面层的紧固件、内外层的衬垫、节点，面层之间低绝热区。需要根据具体的情况采取必要的方法去避免或者减少这种危害。

为了避免板面的冷凝，尤其是在相邻的两个节点间（热桥），在定义热传导系数时必须考虑节点的影响。然而，在正常湿度下，结构内冷桥附近的冷凝是可以接受的。

条文图 3.4.1 区域 I 显示冷凝只有在  $R$  比较大的情况下才能发生。

### 3.5 隔音

**3.5.1** 隔声量的计算内容来源于《Lightweight Sandwich Construction》。

#### (1) 隔声要求

隔声主要考虑以下因素：

- 1) 隔声量，即声音在从内部向外部的传播过程中发生减弱；
- 2) 吸音，即在结构中传播由于固体物质的吸收致使噪音等级减小。

夹芯板中传播的声音发生衰减的情况与板的材料和声音的组成有关，也就是声音的入射角和声谱频率。隔音效果也受下面因数影响，例如，墙和楼面不密实的接缝，和天花板、墙体、楼面板、门和窗的不合理连接。在大多数情况下，这些缺陷会形成声桥，它们有利于声音的传播。裂缝、空隙和缺口有同样的作用。在这些情况下，声音来源很关键，由雨点或者冰雹产生的撞击声音，在温度影响下板的伸长产生的噪音。

隔声量在很大程度上取决于绝缘层质量或抗弯刚度或动力刚度的增加。

泡沫复合板由具有不可压缩的绝缘芯的单层单元和刚性面层组成，因为这些墙质量比较轻，隔声量很小。可以通过增加板面或者芯材料来进行改进，但是，这样将有悖轻质构件的理念。另一个选择是柔软的可压缩的芯层把墙分成两个面层以达到声学目的，并且，这两个面层要具有不同的刚度。

两种常见金属面 PU 夹芯板的隔音性能如图 1：

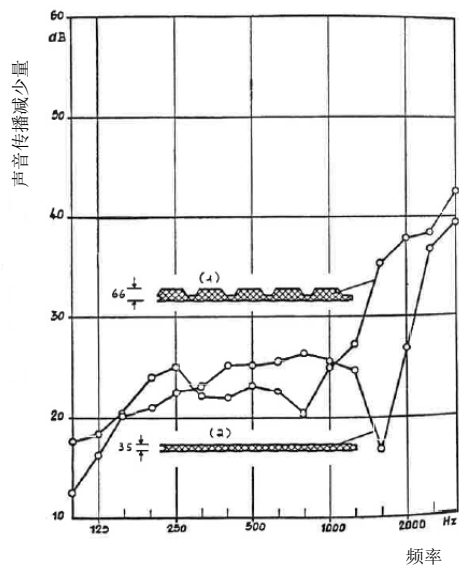
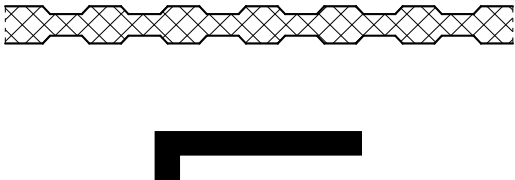
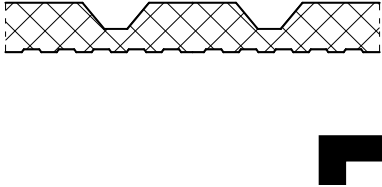


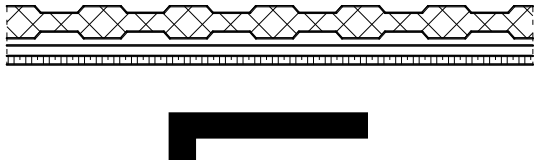


图 1 常见金属面 PU 夹芯板的隔音性能

下表给出了声在传播过程中隔声量的几个实例：

表 1 声在传播过程中隔声量的实例

	板的类型	材料	声音在传播过程中的减少量 (dB)
1		复合板 35mm PU 芯 面层 0.55mm	26
2		复合板 66mm PU 芯 面层 0.55mm / 0.63mm	26
3		复合板 80mm PU 芯	32

		面层 0.88mm	
4		复合板 20mm 羊毛毡材料 10mm 纤维胶合板	42

复合板提供了非常有限的吸声能力。声波被板面的金属面层反射。在金属面层安置吸声面层能够有效的提高吸声效果。

(2) 夹芯板的共振频率计算公式如下所示：

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4E_C}{t_c(2\rho_F t_F + \frac{\rho_C t_C}{3})}} \quad (3)$$

式中：  $E_C$  ——芯材的抗压弹性模量 (Pa)；

$\rho_F$  ——上下面板的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$t_F$  ——上下面板的厚度 (m)；

$\rho_C$  ——芯材的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$t_C$  ——芯材厚度(mm)。

当共振频率与声波频率相同时，隔声量曲线就会有大的降低。

夹芯板的厚度增加，吸声性能越好，隔音量提高，共振频率向高频方向移动，这对于材料的隔声性能是有利的。

## 4 材料

### 4.2 芯材

**4.2.5** 模塑聚苯乙烯泡沫塑料、挤塑聚苯乙烯泡沫塑料、岩棉、矿渣棉、玻璃棉的芯材的力学性能（剪切模量、弹性模量、拉压强度）由材料供应商提供，硬质聚氨酯泡沫塑料为车间发泡，芯材的力学性能（剪切模量、弹性模量、拉压强度）由产品供应商提供。



## 6 结构设计

### 6.1 夹芯板承载力计算

#### 6.1.2 金属面板局部稳定性计算

##### 1 平表面及浅压型夹芯板金属面板的屈曲应力

针对于屈曲强度，金属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。因为金属面板、芯材及粘结的初始缺陷对平表面金属面板、浅压型金属面板或微异型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屈曲应力  $\sigma_w$ 。

系数  $k$  是常数，其值取决于金属面板、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。

$E_{CT}$  和  $G_{CT}$  与温度相关时，取平均值。

浅压型金属面板的计算屈曲应力应不小于相同厚度的平表面。对于浅压型或微浅压型金属面板，如果加强肋的深度，即低槽与坡顶的距离，不大于金属面板厚的 5 倍，且金属面板平板部分  $b/t < 100$ ，则公式是有效的。

在很多情况，上述  $\sigma_w$  的方程是保守的，根据试验得到的结果往往要大一些。

只有粘结强度满足要求时，公式才有效。

对于无机芯材夹芯板，无机芯材可能存在横向接缝的缺陷，要通过全尺寸试验来确定其屈曲应力。

##### 2 深压型或压型钢板夹芯板金属面板的局部屈曲

深压金属面板的抗压强度取决于金属面板材料的屈服应力、金属面板最大应力部分的宽厚比、芯材的抗压刚度和剪切刚度。另外，还取决于金属面板和芯材粘结时引起的初始缺陷。根据欧洲规范《European Recommendations for Sandwich Panels》Part I: Design，为了得到准确值，采用有效宽度法（图 2）计算。

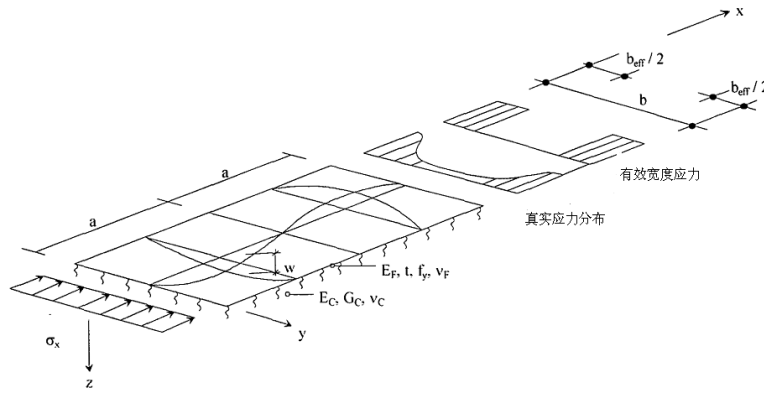


图2 金属面板有效宽度应力的分布定义

**6.1.3** 芯材剪切破坏的极限状态可采用最大剪力截面的平均计算剪应力确定方程。采用粘结剂的夹芯板，应确保粘结剂不会在芯材本身破坏前失效。

夹芯板中采用带横向接缝的离散芯材材料时，用试验对最不利接缝位置的完整夹芯板评估其剪切强度。当只芯层有部分与金属面板粘结时，比如，只和翼缘而不是整个异型金属面板粘结，应对完整板试验来评估其剪切强度，并考虑到夹芯板的长期性能和强度。不推荐使用这种部分粘结方式，因为会在粘结中出现剪应力集中，并存在剪切破坏的危险。

长期荷载作用下，芯材的剪切强度降低。如果设计一块夹芯板长期承受永久荷载，则应考虑其剪切强度的折减。

在内部支座处，当从平表面金属面板（芯材承受所有剪力）向深压型金属面板（芯材承受所有或部分剪力）过渡时，基本方程可能变得不再适用。因此：

- 1 对所有平表面或浅压型或微压型金属面板的夹芯板，芯材承受所有剪力。
- 2 对深压型金属面板的夹芯板，应证明所有剪力由芯材或金属面板单独承受。

**6.1.4** 深压型或压型钢板夹芯板金属面板剪切强度计算

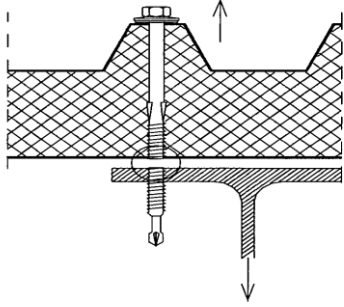
采用基于梯形金属板的表达式来考虑芯材的影响。

除非已经验证一个考虑芯材支撑作用的设计方法是可行的，否则，应忽略芯材抵抗腹板屈曲的影响。

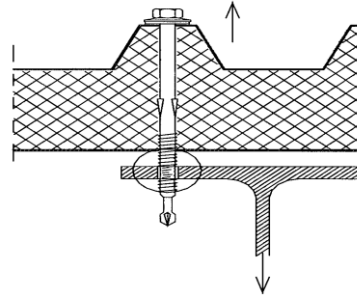
## 6.2 连接设计

6.2.1 连接件的主要拉力通常是由风吸力或金属面板间温差引起的，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。

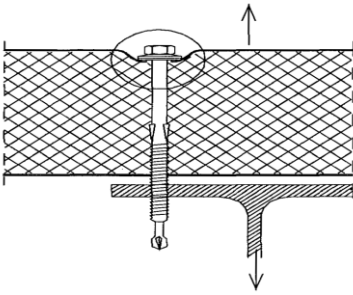
连接的拉伸的破坏模式需要考虑下图所示的八种破坏模式：



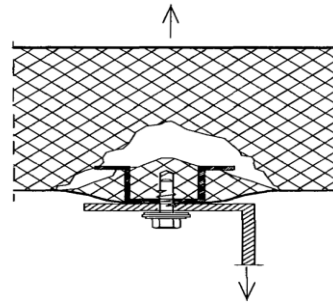
(a) 连接件的拉伸破坏



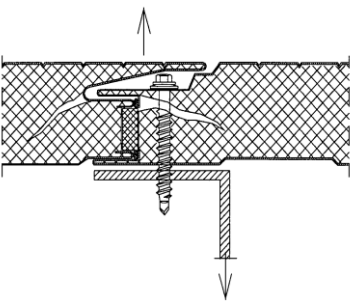
(b) 连接件在结构内部打断，而被拔出



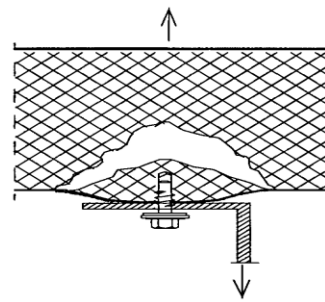
(c) 从夹芯板外板面拔出



(d) 内板面剥离



(e) 芯材破坏



(f) 内板面剥离

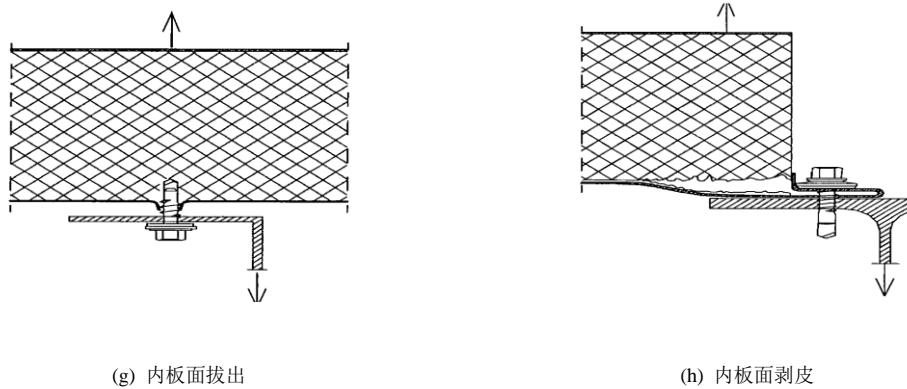


图3 连接的拉伸破坏模式

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 3(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 3 (b) 所示的破坏模式。

3 对于图 3(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 3 (d)所示模式内金属面板的剥离。

5 应注意图 3(f)和图 3(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 3(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 金属面板材料的温度变化

引起次要剪力的原因有：

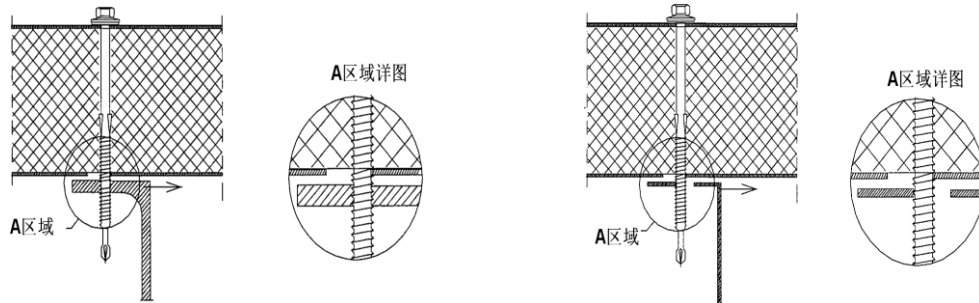
1 偏心固定的板端部绕其中性轴的转动

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。

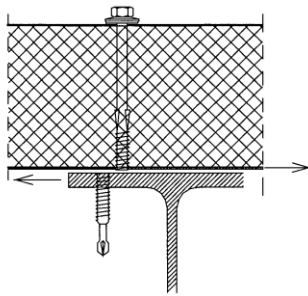
由金属面板温度变化引起的连接剪力的计算中可考虑连接的滑移，金属面板应变，支撑框架的变形等。当有足够的变形承载力时，则可忽略这些剪力。

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：

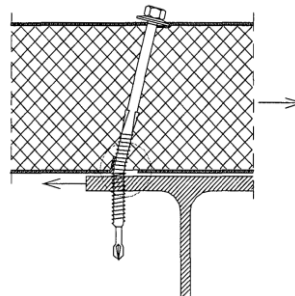


(a) 内平金属面板屈服破坏

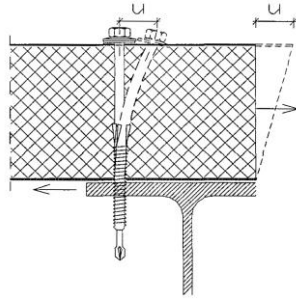
(b) 内表金属面板和支撑结构屈服破坏



(c) 连接件的剪切破坏



(d) 连接件倾斜，并使夹芯板内板弯折



(f) 金属面板产生变形  $u$  引起的连接件弯曲

图 4 连接的剪切破坏模式

连接的剪切破坏模式应注意：

图 4(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 4(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 4(e) 所示的破坏模式可能是由于金属面板间温差引起的相对位移  $u$ ，会引起外层金属面板的屈服或弯折，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。

## 8 施工安装

### 8.3 屋面系统安装

#### 8.3.1 夹芯板屋面系统安装

1 为保证金属夹芯板施工质量，金属夹芯板应严格按图施工，当现场实际状况与设计不符需要更改设计时，应事先取得相关单位同意设计变更后方可实施。

2 金属夹芯板顺主导风向安装，将影响金属夹芯板侧向搭接缝的防雨水渗漏效果，因此应逆主导风向铺设。

3 金属夹芯板在设计时应设置安装基准线，施工时应从基准线开始铺设。金属夹芯板的测量应予主体结构的测量相配合，并且金属夹芯板的分区非常重要，可以保证按图施工且避免误差累积。因此金属夹芯板铺设前，应先根据设计及现场施工条件进行分区，安装时分区铺设。

8.3.6 根据《建筑物防雷设计规范》（GB 50057）规定，防雷接闪器和引下线间必须连成电气通路，且有可靠的接地连接。因此应根据设计要求完成防雷节点安装，并按相关规范进行验收。

### 8.7 施工安全与成品保护

8.7.1 作业人员包括焊接、切割、行车、起重、叉车、电工等特殊工种和岗位。

8.7.3 防护栏一般采用钢丝绳、脚手管等材料制成。

## 11 试验方法和要求

### 11.1 一般要求

**11.1.1** 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。

**11.1.2** 表 11.1.2 中分位系数的依据是国际标准 ISO 12491-1997。

### 11.2 材料性能试验方法

#### 11.2.2 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** 对具有压型面板的试样应从如图 5 所示的主要厚度处截取。

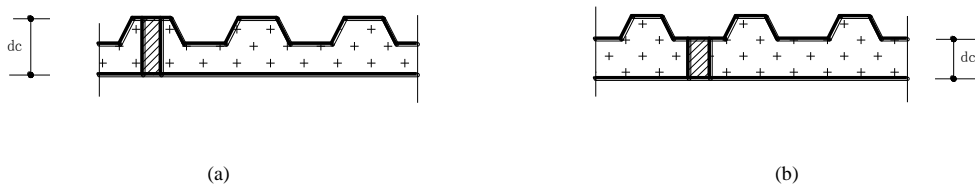


图 5 厚度处截取示意图

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 100mm 试  $b \leq d_c$ 。

**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。

### 11.2.3 芯材压缩试验

对于压型夹芯板，截取的试样同前面芯材拉伸试验。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 100mm。  $b \leq 0d_c$ ，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。

### 11.2.4 芯材剪切试验

(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。

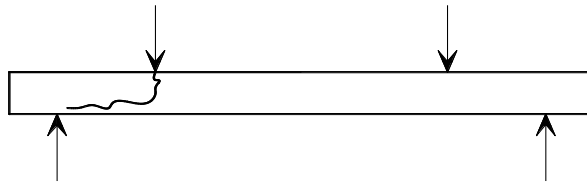


图 6 剪切破坏示意图

发生剪切破坏而不是屈曲破坏的条件是

$$L < \frac{3t_1\sigma_w}{f_{Cv}} \quad (4)$$

式中： $t_1$  ——上表面钢板的金属厚度，不包含表面覆盖层；

$f_{Cv}$  ——芯材的剪切强度；

$\sigma_w$  ——上钢板的屈曲应力。

(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：

$$L \geq \frac{108G_c d_c}{E_c \left( \frac{4L_s}{d_c} + 1 \right)} \quad (5)$$

式中： $G_c$ ——芯材的剪变模量；

$E_c$  ——芯材的弹性模量；

$d_c$  ——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。

### 11.2.5 中间支座处的屈曲应力

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屈服应力值。

#### **11.2.8 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

#### **11.2.9 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）

## 附录 B 金属面夹芯板内力、应力和挠度的计算

### B.1 夹芯板内力与挠度计算

#### B.1.2 平面或浅压型夹芯板内力与挠度的计算

##### 1 均布荷载 q 作用下的单跨板

如果夹芯板金属面板很薄且是平表面或是浅压型表面，则金属面板的弯曲刚度 ( $B_{F1} = E_{F1}I_{F1}$ ,  $B_{F2} = E_{F2}I_{F2}$ ) 很小，忽略对板材应力和变形的影响。计算过程中仅考虑  $M_S, N_{F1}, N_{F2}, V_S$ 。

建筑金属面夹芯板的挠度-荷载公式

$$w = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{B_S} + \frac{KqL^2}{8G_C A_S} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{B_S} \left(1 + \frac{16}{5} k\right) \quad (6)$$

推导如下所示：通常将夹芯板简化成梁，在通过梁的位移公式来计算，

$$B_S(\gamma'' - w''') - A_C G_{eff} \gamma' = 0, \quad A_C G_{eff} \gamma' = -q \quad (7)$$

通过求解以上两个方程组，解得：

$$w'' = -\frac{M_S}{B_S} + \frac{V_S'}{A_C G_{eff}} - \theta, \quad \gamma = \frac{V_S}{A_C G_{eff}} \quad (8)$$

利用边界条件并积分求得在均布荷载作用下的跨中位移公式，其中

$$B = B_S = E_{F1}I_{11} + E_{F2}I_{22} = \frac{E_{F1}A_{F1}E_{F2}A_{F2}e^2}{(E_{F1}A_{F1} + E_{F2}A_{F2})} \quad (9)$$

抗弯刚度的推导过程如下：对于挠度-弯曲公式的推导，抗弯刚度是必须知道的，为此推导抗弯刚度。首先应该确定中性轴的位置，金属面板对中性轴静矩为：

$$S_1 = \int_{A_{F1}} y dA, S_2 = \int_{A_{F2}} y dA \quad (10)$$

由于垂直于截面应力之和为 0，即：

$$\int \sigma_{F1} dA_1 + \int \sigma_{F2} dA_2 = 0 \quad (11)$$

由于金属面板很薄，假定应力  $\sigma_{F1}$ 、 $\sigma_{F2}$  均为常数，可以推出：

$$E_1 S_1 + E_2 S_2 = 0 \quad (12)$$

可以得到中性轴距离上钢板中性轴的位置：

$$y = E_{F2} e A_{F2} / (E_{F1} A_{F1} + E_{F2} A_{F2}) \quad (13)$$

计算上下金属面板的惯性矩：

$$I_{11} = \int_{AF1} y^2 d_A = E_2^2 e^2 A_{F2}^2 A_{F1} / (E_2 A_{F2} + E_1 A_{F1})^2 \quad (14)$$

$$I_{22} = \int_{AF2} y^2 d_A = E_1^2 e^2 A_{F1}^2 A_{F2} / (E_2 A_{F2} + E_1 A_{F1})^2 \quad (15)$$

夹芯板的抗弯刚度  $B$  为：

$$B = B_S = E_{F1} I_{11} + E_{F2} I_{22} = \frac{E_{F1} A_{F1} E_{F2} A_{F2} e^2}{(E_{F1} A_{F1} + E_{F2} A_{F2})} \quad (16)$$

规程中单跨温差公式的推导过程如下：单跨简支时，温度只能引起挠度不会造成应力改变，简支夹芯板将在温度的作用下变成弧形。其挠度时上下金属面板温度分别为  $T_1, T_2$ ，热膨胀系数为  $\alpha_{F1}$ ， $\alpha_{F2}$ 。夹芯板挠度转角为：

$$\theta = -w'' = \frac{\alpha_{F2} T_2 - \alpha_{F1} T_1}{e} \quad (17)$$

对公式(17)二次积分，引入边界条件，可以得到跨中位置处的挠度为：

$$w = \frac{\theta L^2}{8} \quad (18)$$

## 2 均布荷载作用下的多跨连续板

双跨板公式及内力的推导过程如下：对于连续二等跨夹芯板的挠度问题，由于在挠度控

制的范围内是线弹性，可以通过叠加的方法计算均布荷载下的挠度问题。计算示意图如下图 7 所示。通过叠加使跨中位置为 0，就可以算出集中荷载。

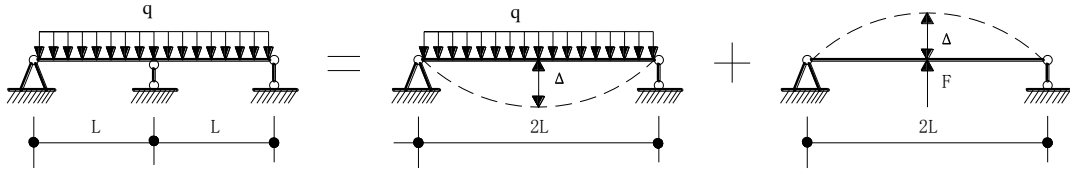


图 7 双跨夹芯板挠度叠加计算简图

由公式(6)可得到，对于跨度为  $2L$  的夹芯板均布荷载作用下跨中挠度为：

$$w_q = \frac{5qL^4}{24B_s}(1+0.8k) \quad (19)$$

在集中荷载  $F$  的作用下，结合结构力学单位荷载法，对于跨度为  $2L$  跨中挠度为：

$$w_F = \frac{FL^3}{6B_s}(1+k) \quad (20)$$

由公式(19)与(20)中的  $w_q = w_F$  相等，可以得到跨中支座反力：

$$F_2 = qL \left( 1 + \frac{1}{4(1+k)} \right) \quad (21)$$

通过结构力学知识可以得到，中间支座处弯矩为：

$$M_s = -\frac{qL^2}{8} \frac{1}{1+k} \quad (22)$$

边跨跨中处弯矩：

$$M_1 = \frac{qL^2}{8} \left( 1 - \frac{1}{2(1+k)} \right) \quad (23)$$

端支座剪力  $V_s$  为：

$$V_s = \frac{qL}{2} \left( 1 - \frac{1}{4(1+k)} \right) \quad (24)$$

通过结构力学单位荷载法可以得出均布荷载作用下，跨度为  $2L$  的夹芯板  $L/2$  处的挠度为：

$$w_1 = \frac{qL^4}{8B_s} \left( \frac{19}{16} + k \right) \quad (25)$$

相同的方法可以得出在跨中集中跨度作用下，跨度为  $2L$  的夹芯板  $L/2$  处的挠度)为：

$$w_2 = \frac{qL^4}{24B_s(1+k)} \left( 2k^2 + \frac{21}{4}k + \frac{55}{16} \right) \quad (26)$$

最大挠度点的位置依赖于剪切影响因子（参数  $k$ ），对于两跨长度相等的夹芯板，挠度最大值精确值应该在在  $0.375L$  和  $0.5L$  之间。由公式(19)、(20)可以得到连续两等跨夹芯板跨中处近似最大挠度上限值：

$$w = w_1 - w_2 = \frac{1}{48} \frac{qL^4}{B_s} \frac{2k^2 + 2.625k + 0.26}{(1+k)} \quad (27)$$

温度荷载作用下的多跨连续板

如图所示，将跨度为  $2L$  的两跨夹芯板在均布荷载作用下的挠度计算等效为单跨跨长为  $2L$  在均布荷载下产生的挠度与将中间支座等效为集中力所产生的挠度之和，且认为在中间支座处所产生的挠度之和为零，根据等效原则此时单跨跨长变为  $2L$ ，即：

$$k' = \frac{3B_s}{A_c G_{eff} (2L)^2} = \frac{1}{4} k \quad (28)$$

均布荷载在任意位置处产生的挠度公式为：

$$\omega = \frac{\theta(2L)^2}{2} \phi(1-\phi) = 2\theta L^2 \phi(1-\phi) \quad (29)$$

集中荷载左侧位移挠度公式为：

$$\omega_L = \frac{4FL^3}{3B_s}(1-\varphi)\phi\left(\frac{1}{2}k + 2\varphi - \varphi^2 - \phi^2\right) \quad (30)$$

均布荷载作用下单跨跨长为  $2L$  时的跨中位置的挠度为：

$$\omega_1\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{\theta L^2}{2} \quad (31)$$

集中荷载作用下单跨跨长为  $2L$  时的跨中位置的挠度为：

$$\omega_L\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{F_1 L^3}{6B_s}(1+k) \quad (32)$$

中间支座处的挠度为0，即令公式（31）与（32）相等，可得：

$$\frac{\theta L^2}{2} = \frac{F_1 L^3}{6B_s}(1+k) \quad (33)$$

即：

$$F_1 = \frac{3B_s\theta}{4(1+k)} \quad (34)$$

两端支座处的支反力  $F_A$ 、 $F_B$  为：

$$F_A = F_B = -\frac{3B_s\theta}{2L(1+k)} \quad (35)$$

边跨跨中弯矩为：

$$M_1 = \frac{F_A L}{2} = -\frac{3B_s\theta}{4(1+k)} \quad (36)$$



对于均布荷载作用下的连续两等跨金属面夹芯板，计算边跨跨中处的最大挠度，即  $\phi = \frac{1}{4}$  处

$$\omega\left(\frac{1}{4}\right) = \frac{3\theta L^2}{8} \quad (37)$$

集中荷载作用在  $\frac{1}{2}$  处，在其左侧边跨中间产生的最大挠度为，即  $\varphi = \frac{1}{2}$ 、 $\phi = \frac{1}{4}$  处

$$\omega_L\left(\frac{1}{4}\right) = \frac{FL^3}{6B_s} \left(\frac{1}{2}k + \frac{11}{16}\right) \quad (38)$$

则连续两等跨夹芯板在左侧边跨跨中处产生的挠度为：

$$\omega = \omega\left(\frac{1}{4}\right) - \omega_L\left(\frac{1}{4}\right) = \frac{\theta L^2}{32} \frac{(1+4k)}{(1+k)} \quad (39)$$

**B.1.3** 深压型夹芯板受力时可分为两部分：一部分是深压型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金属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。由于金属面板刚度较大，单跨情况也要做超静定结构分析。

### 1 均布荷载作用下的单跨板

单跨板受均布荷载  $q$  作用下的挠度及温差效应的挠度精度解过于复杂，实用性不高，近似解简单精确度非常高。近似解主要用于针对典型荷载与常见板跨的简单手算，针对于金属面板应力的计算用下面的近似解计算可完全满足精度要求，但对于剪力的计算是不精确的。

单跨深压型或压型钢板夹芯板的计算公式及内力的推导过程如下：

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，由于屋金属面板需要分别求出翼缘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。

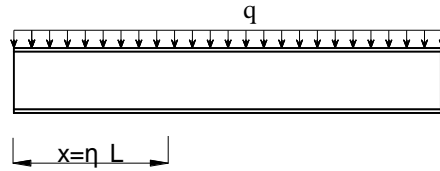


图 8 夹芯板在均布荷载作用下示意图

式中：  $\eta = x/L$ ，由结构力学可以得到：

$$M = \frac{qL^2}{2}(\eta - \eta^2) \quad (40)$$

$$V = \frac{qL}{2}(1 - 2\eta) \quad (41)$$

由力与挠度变形之间的关系可知：

$$M_{F1} = -B_{F1}w'', M_{F2} = -B_{F2}w'' \quad (42)$$

$$V_{F1} = -B_{F1}w''', V_{F2} = -B_{F2}w''' \quad (43)$$

因为假定变形相互协调，并且是金属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：

$$M_D = M_{F1} + M_{F2}, \quad M = M_D + M_S \quad (44)$$

$$V_D = V_{F1} + V_{F2}, \quad V = V_D + V_S \quad (45)$$

$$B_D = B_{F1} + B_{F2}, \quad B = B_D + B_S \quad (46)$$

再推导微分方程前，先要知道深压型夹芯板力与变形之间的关系，截面变形如下图 9 所示。

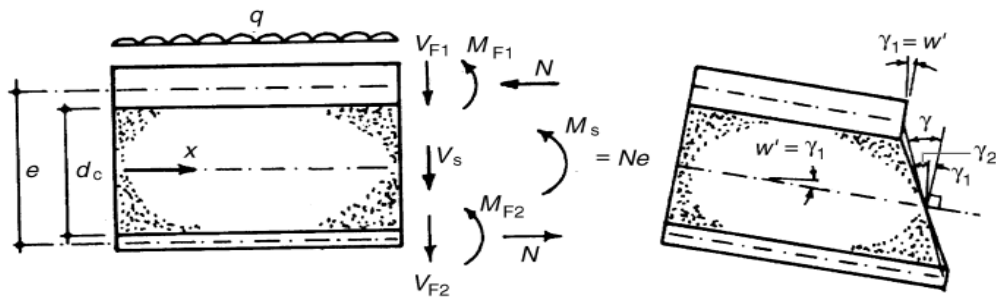


图9 截面变形示意图

由力与变形之间的关系可知:

$$M_s = B_s \gamma_2' = B_s (\gamma' - w'') \quad (47)$$

$$V_s = A_s G_C \gamma \quad (48)$$

由以上公式整理可以得到以下两个微分方程:

$$A_s G_C - B_D w''' = V \quad (49)$$

$$B_s \gamma' - B w'' = M \quad (50)$$

消去  $\gamma$ , 将  $V' = -q$  代入得到一个关于  $w$  的四阶微分方程:

$$w'''' - \left(\frac{\lambda}{L}\right)^2 w'' = \left(\frac{\lambda}{L}\right)^2 \frac{M}{B} + \frac{1+\alpha}{\alpha} \frac{q}{B} \quad (51)$$

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

$$\alpha_1 = \frac{B_{F1}}{B_s}, \alpha_2 = \frac{B_{F2}}{B_s}, \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_s}, \beta = \frac{B_s}{A_s G_C L^2} \quad (52)$$

$$\lambda^2 = \frac{1+\alpha}{\alpha\beta} = L^2 \left( \frac{B}{B_{F1} + B_{F2}} \frac{G_C A_s}{B_s} \right) \quad (53)$$

类似的方法, 可以消去  $w$ , 得

$$\gamma'' - \left(\frac{\lambda}{L}\right)^2 \gamma = -\frac{\beta\lambda^2 V}{B} \quad (54)$$

解(51)、(54)得:

$$w = D_1 \cosh \frac{\lambda x}{L} + D_2 \sinh \frac{\lambda x}{L} + D_3 + D_4 x + w_p \quad (55)$$

$$\gamma = F_1 \cosh \frac{kx}{L} + F_2 \sinh \frac{kx}{L} + \gamma_p \quad (56)$$

式中,  $w_p, \gamma_p$  是与荷载相关的特解, 可以很容易的找到两个解:

$$F_1 = (1+\alpha) \frac{\lambda}{L} m_2, F_2 = (1+\alpha) \frac{\lambda}{L} m_1 \quad (57)$$

同时可以得到简支夹芯板的边界条件为:

$$w(0) = 0, w(L) = 0, w''(0) = 0, w''(L) = 0 \quad (58)$$

对于夹芯板在均布荷载作用下, 由以上各式可以得到:

$$M = \frac{qL^2}{2} (\eta - \eta^2), \quad V = \frac{qL}{2} (1 - 2\eta), \quad \eta = x/L \quad (59)$$

$$w_p = \frac{qL^4}{24B} \left( \eta^4 - 2\eta^3 - \frac{12}{\alpha\lambda^2} \eta^2 \right) \quad (60)$$

$$\gamma_p = \frac{qL^3 \beta}{2B} (1 - 2\eta) \quad (61)$$

将边界条件代入得整理可以得到的最终解为:

$$w = \frac{qL^4}{B} \left( \frac{1}{24} \eta (1 - 2\eta^2 + \eta^3) + \frac{\eta(1-\eta)}{2\alpha\lambda^2} - \frac{\cosh \frac{\lambda}{2} - \cosh \frac{\lambda(1-2\eta)}{2}}{\alpha\lambda^4 \cosh \frac{\lambda}{2}} \right) \quad (62)$$

$$\gamma = \frac{qL^3}{B} \left[ \frac{(1-2\eta)}{2} - \frac{\sinh \frac{\lambda(1-2\eta)}{2}}{\lambda \cosh \frac{\lambda}{2}} \right] \quad (63)$$

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:

$$M_{F1} = \frac{qL^2}{8} \frac{\alpha_1}{1+\alpha} \left[ 1 + \frac{8}{\alpha\lambda^2} f_1(\lambda) \right], M_{F2} = \frac{qL^2}{8} \frac{\alpha_2}{1+\alpha} \left[ 1 + \frac{8}{\alpha\lambda^2} f_1(\lambda) \right] \quad (64)$$

$$M_s = \frac{qL^2}{8} \frac{1}{1+\alpha} \left[ 1 - \frac{8}{\lambda^2} g_1(\lambda) \right] \quad (65)$$

$$V_{F1} = \pm \frac{qL}{2} \frac{\alpha_1}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{2}{\alpha\lambda} f_2(\lambda) \right), V_{F2} = \pm \frac{qL}{2} \frac{\alpha_2}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{2}{\alpha\lambda} f_2(\lambda) \right) \quad (66)$$

$$V_s = \pm \frac{qL}{2} \frac{1}{1+\alpha} \left( 1 - \frac{2}{\lambda} f_2(\lambda) \right) \quad (67)$$

将  $\eta=0.5$  代入式(62), 就可以得到跨中最大挠度:

$$w_{0.5} = \frac{qL^4}{B} \left[ \frac{5}{384} + \frac{1}{8\alpha\lambda^2} \left( 1 - \frac{8}{\lambda^2} f_1(\lambda) \right) \right] \quad (68)$$

显然公式(68)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。屋面夹芯板受力时可分为两部分: 一部分是屋面夹芯板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金属面板的轴力对中性轴  $o-o$  的乘积承担弯矩(芯材忽略)以及夹层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  $q_s$ , 金属面板自身承担的均布荷载为  $q_D$ , 即:

$$q = q_s + q_D \quad (68)$$

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:

$$w_s = \frac{5}{384} \frac{q_s L^4}{B_s} + \frac{K q_s L^2}{8 G_C A_s} = \frac{5}{384} \frac{q_s L^4}{B_s} (1 + k_q) \quad (69)$$

对于翼缘处金属面板自身: 由于翼缘为冷压薄壁钢材, 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(69)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:

$$w_D = \frac{5}{384} \frac{q_D L^4}{B_D} \quad (70)$$

由翼缘与夹芯部分变形协调可以得出公式  $w_s = w_D$ ，可得：

$$q_s = q \frac{B_s}{B_s + (1+k_q)B_D} = q(1-\delta) \quad (71)$$

$$q_D = q \frac{(1+k_q)B_D}{B_s + (1+k_q)B_D} = q\delta \quad (72)$$

式中

$$\delta = \frac{(1+k_q)B_D}{B_s + (1+k_q)B_D} = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2} + \frac{B_s}{1+k_q}} \quad (73)$$

可以得到跨中近似弯矩及剪力：

$$M_s = (1-\delta) \frac{qL^2}{8} \quad (74)$$

$$M_{F1} = \delta_1 \delta \frac{qL^2}{8} \quad (75)$$

$$M_{F2} = \delta_2 \delta \frac{qL^2}{8} \quad (76)$$

式中  $\delta_1, \delta_2$  为上、下金属面板与翼缘刚度比，即：

$$\delta_1 = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + B_{F2}}, \delta_2 = \frac{B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2}} \quad (77)$$

$$k_q = 3.2k = \frac{9.6B_s}{L^2 G_C A_s} \quad (78)$$

从而得到跨中最大挠度近似为：

$$w = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{B_s} (1+k_q)(1-\delta) \quad (79)$$

在温度荷载的作用下，屋面夹芯板一定会发生变形，虽然整个结构为简支，支座处没有

反力,但是由于翼缘具有不可忽略的刚度,将会在夹层部分和翼缘部分产生了相互作用的力。可以通过上述所使用的微分方程平衡法推出温度作用下屋金属面板的各个主要部位的受力和挠度,但推导过程过于繁琐而且工程应用性不大,可以采用简化方法推导其应力及挠度,与平衡方法相对比是比较简单的。在此,按照以上方式分别求出夹层部分及翼缘部分的跨中挠度,令其协调相等,近似求解跨中挠度的最大值。假定在温度作用下,夹层和翼缘的弯矩均匀分布,分别为  $M_S, M_D$ 。由于夹芯板简支,无支座力产生所以夹芯板夹芯部分和翼缘弯矩必定大小相等,即:

$$M_S = eN = -M_{F1} - M_{F2} = -M_D \quad (80)$$

夹芯部分在局部弯矩作用下,单位跨度范围内将产生单位转角  $\theta_1$ ;同时夹芯部分单元也将产生剪力  $V_1$ 。

式中

$$\theta_1 = \frac{M_S}{B_S}, V_1 = \frac{M_S}{L_S}, V_1 = M_S \quad (81)$$

由材料力学可以推出对于夹层部分的挠度为:

$$w_S = \frac{\theta L^2}{8} + \frac{M_S L^2}{8B_S} + \frac{M_S}{A_C G_C} \quad (82)$$

对于金属面板翼缘:

$$w_D = \frac{M_D L^2}{8B_D} \quad (83)$$

由  $w_S = w_D$  联立,以及  $M_D = -M_S$  可以的到:

$$M_S = -(1 - \delta_T)(B_{F1} + B_{F2})\theta \quad (84)$$

$$M_{F1} = \delta_1(1 - \delta_T)(B_{F1} + B_{F2})\theta \quad (85)$$

$$M_{F2} = \delta_2(1 - \delta_T)(B_{F1} + B_{F2})\theta \quad (86)$$

$$\delta_T = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2} + \frac{B_S}{1 + k_T}}, k_T = \frac{8B_S}{L^2 G_C A_S} \quad (87)$$

最后得到跨中挠度的最大值为：

$$w = \frac{\theta L^2}{8} (1 - \delta_T) \quad (88)$$

## 2 多跨深压型连续板计算

### 1) 均布荷载下的多跨连续板计算

本节所采用的基本方程是基于 Davies 对夹芯板结构的研究基础上得到的。推导方程中的符号意义如图 10 所示。

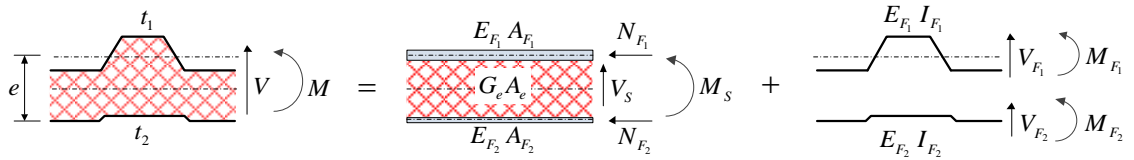


图 10 深压型夹芯板分为夹芯部分和翼缘部分

可得基本平衡微分方程：

$$-\frac{B_F}{B_r} \omega^{(6)} + \frac{B}{B_s} \omega^{(4)} = \frac{1}{B_s} p - \frac{1}{B_r} p^{(2)} \quad (89)$$

$$-\frac{B_F}{B_r} \gamma^{(4)} + \frac{B}{B_s} \gamma^{(2)} = -\frac{1}{B_r} p^{(1)} \quad (90)$$

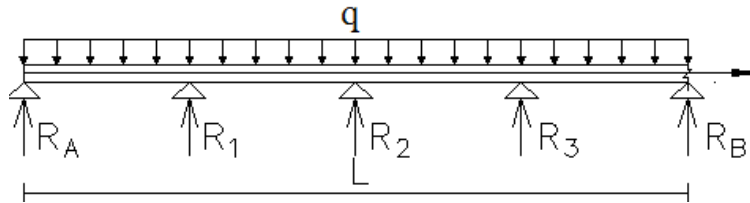


图 11 多跨厚金属面板在均布荷载下的受力图



多跨屋金属面板的所受横向荷载  $p(x)$  如图 11 所示, 对于  $n$  跨屋金属面板来说, 假设中间弹性支座的柔度系数为  $\varepsilon_i$ , 中间跨除了承受横向均布荷载外, 还要承受中间支座处的支反力, 我们可以将多跨夹芯板的横向荷载用数学分布表达出来, 即:

$$p(x) = q - \sum_{i=1}^n R_i \delta(x - a_i) \quad (91)$$

将公式 (91) 带入到公式 (89)、(90), 我们可以得到公式 (92)、(93)

$$-\frac{B_F}{B_r} \omega^{(6)} + \frac{B}{B_s} \omega^{(4)} = \frac{1}{B_s} \left( q - \sum_{i=1}^n R_i \delta(x - a_i) \right) + \frac{1}{B_r} \sum_{i=1}^n R_i \delta^{(2)}(x - a_i) \quad (92)$$

$$-\frac{B_F}{B_r} \gamma^{(4)} + \frac{B}{B_s} \gamma^{(2)} = \frac{1}{B_r} \sum_{i=1}^n R_i \delta^{(1)}(x - a_i) \quad (93)$$

公式 (92)、(93) 进行拉氏变换可得

$$\begin{aligned} \omega(x) = & \omega_0 + \omega_0^1 x + \frac{\omega_0^2}{2} x^2 + \frac{\omega_0^3}{6} x^3 + \frac{\omega_0^4}{2k_b^4} (2\text{ch}k_b x - k_b^2 x^2 - 2) + \frac{\omega_0^5}{6k_b^5} (6\text{sh}k_b x - k_b^3 x^3 - 6k_b x) \\ & - \frac{qB_r}{24k_b^6 B_s B_F} (24\text{ch}k_b x - k_b^4 x^4 - 12k_b^2 x^2 - 24) - \frac{1}{k_b^3 B_F} \sum_{i=1}^n R_i \begin{bmatrix} \text{sh}k_b (x - a_i) \\ -k_b (x - a_i) \end{bmatrix} H(x - a_i) \\ & + \frac{B_r}{6k_b^5 B_s B_F} \sum_{i=1}^n R_i \begin{bmatrix} 6\text{sh}k_b (x - a_i) - k_b^3 (x - a_i)^3 \\ -6k_b (x - a_i) \end{bmatrix} H(x - a_i) \end{aligned} \quad (94)$$

$$\begin{aligned} \gamma(x) = & \gamma_0 + \gamma_0^{(1)} x + \frac{(\text{ch}k_b x - 1)}{k_b^2} \gamma_0^{(2)} + \frac{(\text{sh}k_b x - k_b x)}{k_b^3} \gamma_0^{(3)} \\ & - \frac{1}{B_F k_b^2} \sum_{i=1}^n R_i [\text{ch}k_b (x - a_i) - 1] H(x - a_i) \end{aligned} \quad (95)$$

式中:  $\omega_0, \omega_0^{(1)} \dots \omega_0^{(5)}$  ——代表积分常数, 即广泛函数  $\omega(x)$  在  $x=0$  的连续导数;

$\gamma_0, \gamma_0^{(1)}, \gamma_0^{(3)}$  ——代表积分常数, 即广泛函数  $\gamma(x)$  在  $x=0$  的连续导数;

弯矩  $M(x)$  与剪力  $V(x)$  存在如下关系:

弯矩  $M(x)$  与剪力  $V(x)$  存在如下关系:

$$M(x) = B_s (\gamma^{(1)} - \omega^{(2)}) - B_F \omega^{(2)} \quad (96)$$

$$V(x) = B_r \gamma - B_F \omega^{(3)} \quad (97)$$

引入边界条件和平衡条件可得:

当  $x=0$  时:

$$\omega(0) = 0, \quad M(0) = 0, \quad \frac{dM(x)}{dx} - V(x) = 0, \quad dV(x)/dx + q = 0 \quad (98)$$

当  $x=L$  时:

$$\omega(L) = 0, \quad M(L) = 0, \quad \frac{dM(x)}{dx} - V(x) = 0, \quad dV(x)/dx + q = 0 \quad (99)$$

将边界条件代入公式 (98)、(99) 我们可以联立解方程组求解出积分常量, 并带入到公式 (94) (95) 求解出  $\omega(x)$ 、 $\gamma(x)$  的精确表达式:

$$\begin{aligned} \omega(x) = & \frac{q}{24B} \left\{ (L^3 - 2Lx^2 + x^3)x + \frac{12B_s}{B_F} \left[ \frac{x(L-x)}{k_b^2} + \frac{2}{k_b^4} \left( \frac{1 - \text{ch}k_b L}{\text{sh}k_b L} \text{sh}k_b x + \text{ch}k_b x - 1 \right) \right] \right\} \\ & + \frac{B_s}{BB_F k_b^3} \sum_{i=1}^n R_i \left\{ \frac{\text{sh}k_b(L-a_i)}{\text{sh}k_b L} \text{sh}k_b x - \frac{(L-a_i)k_b x}{L} - \left[ \frac{\text{sh}k_b(x-a_i)}{-k_b(x-a_i)} \right] H(x-a_i) \right\} \\ & + \frac{1}{6B} \sum_{i=1}^n R_i \left[ \frac{L-a_i}{L} (x^2 - 2La_i + a_i^2)x - (x-a_i)^3 H(x-a_i) \right] \end{aligned} \quad (100)$$

$$\gamma(x) = \frac{q}{B_F k_b^3} \left( \frac{k_b L}{2} + \frac{1 - \text{ch}k_b L}{\text{sh}k_b L} \text{ch}k_b x \right) + \frac{1}{B_F k_b^2} \sum_{i=1}^n R_i \left\{ \frac{\text{sh}k_b(L-a_i)}{\text{sh}k_b L} \text{ch}k_b x - \frac{L-a_i}{L} - \left[ \text{ch}k_b(x-a_i) - 1 \right] H(x-a_i) \right\} \quad (101)$$

将公式 (100)、(101) 求导, 代入公式 (96)、(97) 我们可以得到多跨屋金属面板任意位置处的弯矩和剪力公式, 即:

$$M(x) = \frac{q}{2}(L-x)x - \sum_{i=1}^n R_i \left[ \frac{L-a_i}{L}x - (x-a_i)H(x-a_i) \right] \quad (102)$$

$$V(x) = \frac{q}{2}(L-2x) - \sum_{i=1}^n R_i \left[ \frac{L-a_i}{L} - H(x-a_i) \right] \quad (103)$$

根据中间支座支反力和支座处柔度的关系可得：

$$\omega(a_j) = \varepsilon_j R_j \quad (104)$$

其中  $i, j = 1, 2, \dots, n$ .

当为两跨时，根据上述关系我们可以得到，均布荷载下两跨时的支反力

$$R_1 = \frac{q(5B_F k_b^4 L^4 + 48B_s k_b^2 L + 384\eta B_s)}{8(B_F k_b^4 L^3 + 12B_s k_b^2 L - 24\mu B_s k_b)} \quad (105)$$

$$\eta = \frac{1 - \cosh(k_b L/2)}{\cosh(k_b L/2)} \quad (106)$$

$$\mu = \tanh(k_b L/2) \quad (107)$$

进而可得到均布荷载下的两跨边跨挠度

$$\begin{aligned} \omega\left(\frac{L}{4}\right) &= \frac{57qL^4}{6144B} + \frac{3qL^2 B_s}{32BB_F k_b^2} + \frac{qB_s}{BB_F k_b^4} \frac{\text{sh}(k_b L/4) + \text{sh}(3k_b L/4) - \text{sh}k_b L}{\text{sh}k_b L} \\ &+ \frac{R_1 B_s}{BB_F k_b^3} \left( \frac{\text{sh}(k_b L/4)}{2\text{ch}(k_b L/2)} - \frac{k_b L}{8} \right) - \frac{11R_1 L^3}{768B} \end{aligned} \quad (108)$$

将得到的公式进行如下化简可得：

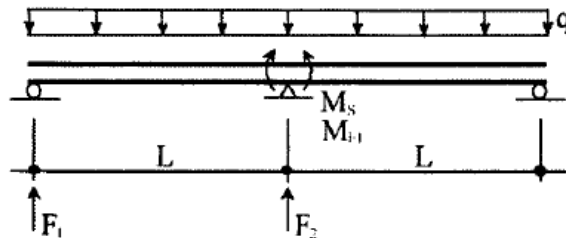


图 12 均布荷载作用下的两跨连续深压型或压型钢板夹芯板

$$F_2 = \varepsilon_{Q,1}qL \quad (109)$$

$$F_1 = \varepsilon_{Q,2}qL \quad (110)$$

$$M_s = -\varepsilon_{Q,3}qL^2 \quad (111)$$

$$M_{F1} = -\varepsilon_{Q,4}qL^2 \quad (112)$$

$$M_{F2} = -\varepsilon_{Q,5}qL^2 \quad (113)$$

$$\omega = \varepsilon_{Q,6} \frac{qL^4}{B} \quad (114)$$

式中： $\varepsilon_{Q,1}, \varepsilon_{Q,2}, \varepsilon_{Q,3}, \varepsilon_{Q,4}, \varepsilon_{Q,5}, \varepsilon_{Q,6}$  —— 参数。

其中，

$$\varepsilon_{Q,1} = \frac{5(1+\alpha) + 12\beta \left(1 + \frac{2f_{2,1}(\lambda)}{\lambda^2}\right)}{4(1+\alpha) + 12\beta \left(1 - \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\lambda}\right)}$$

$$\varepsilon_{Q,2} = 1 - \frac{\varepsilon_{Q,1}}{2}$$

$$\varepsilon_{Q,3} = \frac{1}{1+\alpha} \left[ -\frac{1}{2} - \frac{f_{2,1}(\lambda)}{\lambda^2} + \frac{\varepsilon_{Q,1}}{2} \left(1 - \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\lambda}\right) \right]$$

$$\varepsilon_{Q,4} = \frac{\alpha_1}{1+\alpha} \left[ -\frac{1}{2} + \frac{f_{2,1}(\lambda)}{\alpha\lambda^2} + \frac{\varepsilon_{Q,1}}{2} \left(1 + \frac{f_2(\lambda)}{\alpha\lambda}\right) \right]$$

$$\varepsilon_{Q,5} = \frac{\alpha_2}{1+\alpha} \left[ -\frac{1}{2} + \frac{f_{2,1}(\lambda)}{\alpha\lambda^2} + \frac{\varepsilon_{Q,1}}{2} \left(1 + \frac{f_2(\lambda)}{\alpha\lambda}\right) \right]$$

$$\varepsilon_{Q,6} = \left[ \frac{57}{384} + \frac{1}{\alpha\lambda^2} \left( \frac{3}{8} + \frac{f_{2,3}(\lambda)}{\lambda^2} \right) + \varepsilon_{Q,1} \left( \frac{f_{2,4}(\lambda)}{\alpha\lambda^3} - \frac{11}{96} \right) \right]$$

$$\alpha_1 = \frac{B_{F1}}{B_s}, \quad \alpha_2 = \frac{B_{F2}}{B_s}, \quad \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_s}$$

$$\beta = \frac{B_s}{SL^2}, \quad \lambda = L \sqrt{\frac{BS}{B_s B_F}} = k_b L, \quad S = A_s G_c$$

$$f_{2,1}(\lambda) = \frac{1 - ch\lambda}{ch\lambda}, \quad f_{2,2}(\lambda) = th\lambda$$

$$f_{2,3}(\lambda) = \frac{sh(\lambda/2) + sh(3\lambda/2)}{sh(2\lambda)} - 1$$

$$f_{2,4}(\lambda) = \frac{sh(\lambda/2)}{2ch\lambda} - \frac{\lambda}{4}$$

## 2) 温度荷载下的多跨连续板计算

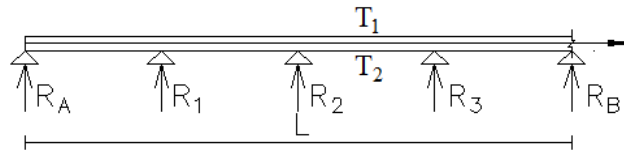


图 13 多跨厚金属面板在温度荷载下的受力图

温度荷载下的微分平衡方程式:

$$-\frac{B_F}{B_r} \omega^{(6)} + \frac{B}{B_s} \omega^{(4)} = \frac{1}{B_s} p - \frac{1}{B_r} p^{(2)} - \theta^{(2)} \quad (115)$$

$$-\frac{B_F}{B_r} \gamma^{(4)} + \frac{B}{B_s} \gamma^{(2)} = -\frac{1}{B_r} p^{(1)} - \frac{B_F}{B_r} \theta^{(3)} \quad (116)$$

弯矩  $M(x)$  与剪力  $V(x)$  存在如下关系:

$$M(x) = B_s (\gamma^{(1)} - \omega^{(2)} - \theta) - B_F \omega^{(2)} \quad (117)$$

$$V(x) = B_r \gamma - B_F \omega^{(3)} \quad (118)$$

温度荷载作用下的横向荷载表达式

$$p(x) = -\sum_{i=1}^n R_i \delta(x-a_i) \quad (119)$$

将公式 (119) 到公式 (117)、(118)，我们可以得到公式 (120) (121)

$$-\frac{B_F}{B_r} \omega^{(6)} + \frac{B}{B_s} \omega^{(4)} = -\frac{1}{B_s} \sum_{i=1}^n R_i \delta(x-a_i) + \frac{1}{B_r} \sum_{i=1}^n R_i \delta^{(2)}(x-a_i) \quad (120)$$

$$-\frac{B_F}{B_r} \gamma^{(4)} + \frac{B}{B_s} \gamma^{(2)} = \frac{1}{B_r} \sum_{i=1}^n R_i \delta^{(1)}(x-a_i) \quad (121)$$

公式 (120) (121) 进行拉氏变换可得：

$$\begin{aligned} \omega(x) = & \omega_0 + \omega_0^1 x + \frac{\omega_0^2}{2} x^2 + \frac{\omega_0^3}{6} x^3 + \frac{\omega_0^4}{2k_b^4} (2\text{chk}_b x - k_b^2 x^2 - 2) + \frac{\omega_0^5}{6k_b^5} (6\text{shk}_b x - k_b^3 x^3 - 6k_b x) \\ & + \frac{B_r}{6k_b^5 B_s B_F} \sum_{i=1}^n R_i \left[ 6\text{shk}_b(x-a_i) - k_b^3(x-a_i)^3 - 6k_b(x-a_i) \right] H(x-a_i) \\ & - \frac{1}{k_b^3 B_F} \sum_{i=1}^n R_i \left[ \text{shk}_b(x-a_i) - k_b(x-a_i) \right] H(x-a_i) \end{aligned} \quad (122)$$

$$\gamma(x) = \gamma_0 + \gamma_0^1 x + \frac{(\text{chk}_b x - 1)}{k_b^2} \gamma_0^{(2)} + \frac{(\text{shk}_b x - k_b x)}{k_b^3} \gamma_0^{(3)} - \frac{1}{B_F k_b^2} \sum_{i=1}^n R_i \left[ \text{chk}_b(x-a_i) - 1 \right] H(x-a_i) \quad (123)$$

式中： $\omega_0, \omega_0^{(1)}, \dots, \omega_0^{(5)}$  ——代表积分常数，即广泛函数  $\omega(x)$  在  $x=0$  的连续导数；

$\gamma_0, \gamma_0^{(1)}, \gamma_0^{(3)}$  ——代表积分常数，即广泛函数  $\gamma(x)$  在  $x=0$  的连续导数；

引入夹心梁的边界条件：

在  $x=0$  处，则有：

$$\omega(0) = 0, \quad M(0) = 0, \quad \frac{dM(x)}{dx} - V(x) = 0, \quad dV(x)/dx + q = 0 \quad (124)$$

在  $x=L$  处，则有：

$$\omega(L) = 0, \quad M(L) = 0, \quad \frac{dM(x)}{dx} - V(x) = 0, \quad dV(x)/dx + q = 0 \quad (125)$$

联立可求解得：

$$\omega(x) = \frac{B_s \theta}{2B} \left[ (L-x)x + \frac{2}{k_b^4} \left( \frac{1 - \operatorname{ch}k_b L}{\operatorname{sh}k_b L} \operatorname{sh}k_b x + \operatorname{ch}k_b x - 1 \right) \right] + \frac{1}{6B} \sum_{i=1}^n R_i \left[ \begin{array}{l} \frac{L-a_i}{L} (x^2 - 2La_i + a_i^2) x \\ -(x-a_i)^3 H(x-a_i) \end{array} \right] \\ + \frac{B_s}{BB_F k_b^3} \sum_{i=1}^n R_i \left\{ \frac{\operatorname{sh}k_b (L-a_i)}{\operatorname{sh}k_b L} \operatorname{sh}k_b x - \frac{(L-a_i)k_b x}{L} - [\operatorname{sh}k_b (x-a_i) - k_b (x-a_i)] H(x-a_i) \right\} \quad (126)$$

$$\gamma(x) = \frac{1}{B_F k_b^2} \sum_{i=1}^n R_i \left\{ \frac{\operatorname{sh}k_b (L-a_i)}{\operatorname{sh}k_b L} \operatorname{ch}k_b x - \frac{L-a_i}{L} \right\} + \frac{\theta}{k_b} \left( \frac{1 - \operatorname{ch}k_b L}{\operatorname{sh}k_b L} \operatorname{ch}k_b x + \operatorname{sh}k_b x \right) \quad (127)$$

将公式 (126)、(123) 求导，代入公式 (117)、(118) 我们可以得到多跨屋金属面板任意位置处的弯矩和剪力公式，即：

$$M(x) = -\sum_{i=1}^n R_i \left[ \frac{L-a_i}{L} x - (x-a_i) H(x-a_i) \right] \quad (128)$$

$$V(x) = -\sum_{i=1}^n R_i \left[ \frac{L-a_i}{L} - H(x-a_i) \right] \quad (129)$$

根据中间支座支反力和支座处柔度的关系可得：

$$\omega(a_j) = \varepsilon_j R_j \quad (130)$$

其中  $i, j = 1, 2, \dots, n$ .

当为两跨时，根据上述关系我们可以得到，均布荷载下两跨时的支反力

$$R_1 = \frac{6k_b B_s B_F \theta (k_b^2 L^2 + 8\eta)}{B_F k_b^3 L^3 + 12B_s k_b L - 24\mu B_s} \quad (131)$$

$$\eta = \frac{1 - \cosh(k_b L/2)}{\cosh(k_b L/2)} \quad (132)$$

$$\mu = \tanh(k_b L/2)$$

进而可得到均布荷载下的两跨边跨挠度

$$\omega\left(\frac{L}{4}\right) = \frac{3B_s\theta L^2}{32B} + \frac{B_s\theta}{Bk_b^2} \frac{\text{sh}\frac{k_b L}{4} + \text{sh}\frac{3k_b L}{4} - \text{sh}k_b L}{\text{sh}k_b L} + \frac{R_1 B_s}{BB_F k_b^3} \left( \frac{\text{sh}\frac{k_b L}{4}}{2\text{ch}\frac{k_b L}{2}} - \frac{k_b L}{8} \right) - \frac{11R_1 L^3}{768B} \quad (133)$$

将得到的公式进行如下化简可得：

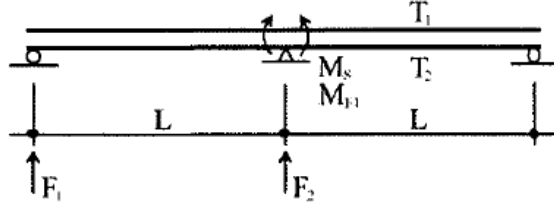


图 14 温度荷载作用下的两跨连续深压型或压型钢板夹芯板

$$F_2 = \varepsilon_{T,1} \frac{B_s \theta}{L} \quad (134)$$

$$F_1 = \varepsilon_{T,2} \frac{B_s \theta}{L} \quad (135)$$

$$M_s = -\varepsilon_{T,3} B_s \theta \quad (136)$$

$$M_{F1} = \varepsilon_{T,4} B_s \theta \quad (137)$$

$$M_{F2} = \varepsilon_{T,5} B_s \theta \quad (138)$$

$$\omega = \varepsilon_{T,6} \frac{\theta L^2}{8} \quad (139)$$

式中： $\varepsilon_{T,1}, \varepsilon_{T,2}, \varepsilon_{T,3}, \varepsilon_{T,4}, \varepsilon_{T,5}, \varepsilon_{T,6}$  —— 参数。

其中，

$$\varepsilon_{T,1} = \frac{3(1+\alpha) \left( 1 + \frac{2f_{2,1}(\lambda)}{\lambda^2} \right)}{(1+\alpha) + 3\beta \left( 1 - \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\lambda} \right)}$$



$$\varepsilon_{T,2} = -\frac{\varepsilon_{T,1}}{2}$$

$$\varepsilon_{T,3} = \frac{1}{1+\alpha} \left[ -\alpha f_{2,1}(\lambda) + \frac{\varepsilon_{T,1}}{2} \left( 1 - \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\lambda} \right) \right]$$

$$\varepsilon_{T,4} = \frac{\alpha_1}{1+\alpha} \left[ -f_{2,1}(\lambda) - \frac{\varepsilon_{T,1}}{2} \left( 1 + \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\alpha\lambda} \right) \right]$$

$$\varepsilon_{T,5} = \frac{\alpha_2}{1+\alpha} \left[ -f_{2,1}(\lambda) - \frac{\varepsilon_{T,1}}{2} \left( 1 + \frac{f_{2,2}(\lambda)}{\alpha\lambda} \right) \right]$$

$$\varepsilon_{T,6} = \frac{1}{1+\alpha} \left[ 3 + \frac{8f_{2,3}(\lambda)}{\lambda^2} + \varepsilon_{T,1} \left( \frac{8f_{2,4}(\lambda)}{\alpha\lambda^3} - \frac{11}{12} \right) \right]$$

式中符号与均布荷载下符号一致。

**B.1.4** 开洞平面或浅压型夹芯板挠度计算来源哈尔滨工业大学研究报告《开洞金属面夹芯板抗弯性能研究》。

挠度公式是在弹性的范围内得到的。通过建立平衡微分方程，对开洞区域和无开洞区域进行积分，得到夹芯板每点的挠度公式。然后与完整无开洞板的挠度公式进行对比以及大量的开洞尺寸回归，最终得到了一个折减系数  $\beta$  以及开洞的挠度公式。

对于其他形式的开洞和荷载作用方式，应进行相应的理论公式推导或者试验研究。

在跨中开洞，方形洞口和一定洞口的约束条件下，开洞金属面夹芯板的挠度主要是包括弯曲变形和剪切变形。挠度公式的推导主要是依据完整板的公式推导过程，建立相应的微分方程进行分段积分得到。把夹芯板分为开洞区域和无开洞区域，开洞区域的截面相应的进行折减，包括荷载和截面刚度进行折减，折减系数为：

$$n = 1 - \frac{d}{D} \quad (140)$$

式中： $d$ ——洞口宽度；

$D$ ——板宽；

$L$ ——板跨度。

开洞夹芯板均布荷载作用示意图如图 15 所示：

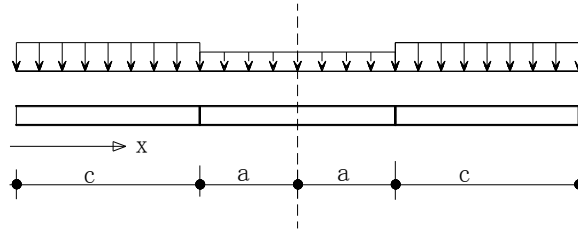


图 15 开洞夹芯板均布荷载作用示意图

取一半夹芯板，则弯矩和剪力为：

$$M_1 = (qc + q_1a)x - \frac{1}{2}qx^2 \quad (0 \leq x \leq c) \quad (141)$$

$$\begin{aligned} M_2 &= (qc + q_1a)x - qc\left(x - \frac{1}{2}c\right) - \frac{q_1}{2}(x-c)^2 \\ &= q_1ax + \frac{1}{2}qc^2 - \frac{q_1}{2}(x-c)^2 \quad (c \leq x \leq a+c) \end{aligned} \quad (142)$$

$$V_1 = M_1' = qc + q_1a - qx \quad (143)$$

$$V_2 = M_2' = qc + q_1a - qx \quad (144)$$

式中： $q_1$ ——开洞区域荷载， $q_1 = q\left(1 - \frac{d}{D}\right)$ 。

则开洞夹芯板的弯曲变形  $y_B$  为：

$$y_1'' = -\frac{M_1}{B_s} \quad (0 \leq x \leq c) \quad (145)$$

$$y_2'' = -\frac{M_2}{B_s'} \quad (c \leq x \leq a+c) \quad (146)$$

$$y_B = y_1 + y_2 \quad (147)$$

式中：  $B'_s$  ——开洞区域弯矩，  $B'_s = B_s(1 - \frac{d}{D}) = nB_s$ 。

同样开洞夹芯板剪切变形  $y_s$  为：

$$y_3'' = \frac{V_1'}{A_c G_{\text{eff}}} \quad (0 \leq x \leq c) \quad (148)$$

$$y_4'' = \frac{V_2'}{A_c G_{\text{eff}}} \quad (c \leq x \leq a+c) \quad (149)$$

$$y_s = y_3 + y_4 \quad (150)$$

通过以上的分段积分，最终得到了开洞夹芯板的挠度  $\omega'$  为弯曲变形和剪切变形之和：

$$\omega' = y_B + y_s = \begin{cases} y_1 + y_s & 0 \leq x \leq c \\ y_2 + y_s & c \leq x \leq a+c \end{cases} \quad (151)$$

特别的，当  $x=a+c$  时，即跨中挠度达到最大值，为：

$$\begin{aligned} \omega'_{\text{max}} &= -\frac{q}{B'_s} \left\{ \frac{1}{6} na(a+c)^3 + \frac{1}{4} c^2(a+c)^2 - \frac{1}{24} na^4 + \left[ -na\left(\frac{1}{3}a^2 + ac + \frac{1}{2}c^2\right) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{1}{2}c^2(a+c) \right] (a+c) + \frac{B'_s}{B_s} \left( -\frac{1}{3} nac^2 - \frac{1}{24} c^4 \right) + \frac{1}{3} nac^3 + \frac{1}{4} c^4 \right\} + \frac{q(a+c)^2}{2A_c G_{\text{eff}}} \quad (152) \\ &= mq \end{aligned}$$

式中，

$$\begin{aligned} m &= -\frac{1}{B'_s} \left\{ \frac{1}{6} na(a+c)^3 + \frac{1}{4} c^2(a+c)^2 - \frac{1}{24} na^4 + \left[ -na\left(\frac{1}{3}a^2 + ac + \frac{1}{2}c^2\right) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{1}{2}c^2(a+c) \right] (a+c) + \frac{B'_s}{B_s} \left( -\frac{1}{3} nac^2 - \frac{1}{24} c^4 \right) + \frac{1}{3} nac^3 + \frac{1}{4} c^4 \right\} + \frac{(a+c)^2}{2A_c G_{\text{eff}}} \quad (153) \end{aligned}$$

在实际的运用中，需要对  $m$  进行简化，同时需要对公式进行修正。通过多组的开洞尺寸的数值分析和试验验证进行修正，结果如下：

$$\omega_{o,\max} = \beta\omega'_{\max} = \beta mq \quad (154)$$

式中， $\beta$  的值为 0.905。

通过开洞和无开洞板的挠度对比，得到挠度系数：

$$\text{当 } 0.1 \leq d/D \leq 0.5, \quad K_B = 0.093\left(\frac{d}{D}\right)^2 + 0.444\frac{d}{D} + 0.965 \quad (155)$$

$$\text{当 } 0.5 < d/D \leq 0.8, \quad K_B = 12\left(\frac{d}{D}\right)^2 - 13.3\frac{d}{D} + 4.93 \quad (156)$$

式中： $K_B$ ——挠度系数；

$\omega'_B$ ——开洞弯曲挠度；

$\omega_B$ ——无开洞弯曲挠度。

最后  $m$  的简化结果如下：

$$m = K_B\omega_B / q + \frac{L^2}{8A_c G_{\text{eff}}} = \frac{L^4}{384B_s} (5K_B + 16k) \quad (157)$$

最终开洞金属面跨中的最大挠度计算公式为：

$$\omega_{o,\max} = \beta\omega'_{\max} = \beta mq = \frac{\beta q L^4}{384B_s} (5K_B + 16k) \quad (158)$$

挠度主要是发生弯曲变形和芯材剪切变形，洞口区域的变形会突增。

开洞夹芯板应考虑：

(1)公式是在弹性的范围内推导得到，在正常使用极限状态下， $\omega_{o,\max}$  一般取  $L/200$ 。

(2)宽度方向的开洞极大的削弱了截面的抗弯刚度，因而开洞洞口宽度方向对承载力的影响比长度方向影响大，挠度系数  $K_B$  是在不考虑洞口长度的情况下回归得到，对结果影响不大。

(3)对于其他形式的开洞和荷载作用方式, 应进行相应的理论公式推导或者试验研究。

## B.2 夹芯板应力计算

**B.2.1~B.2.2** 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挠度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(第 11 章中详细介绍了相关试验方法)。

对于薄表面夹芯板, 忽略金属面板的弯曲刚度。

对于厚表面夹芯板, 自身弯矩  $M_{F1}$ 、 $M_{F2}$  引起的应力  $N_{F1}$ 、 $N_{F2}$  线性分布于金属面板的厚度上, 剪力  $V_s$  造成剪切应力  $\tau_c$ , 均匀分布于芯材的厚度内, 剪力  $V_{F1}$ 、 $V_{F2}$  在上下金属面板引起剪应力  $\tau_{F1}$ 、 $\tau_{F2}$  假定为常数。

假定在挠度控制的设计范围内, 芯材和金属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金属面板很小, 为此忽略水平方向上的芯材的法向应力

深压型夹芯板简化为翼缘、夹芯部分是理论分析的基础。

简支平面或浅压型及深压型或压型钢板在外部荷载及内部荷载作用下的简化方法参考欧洲规范《European Recommendations for Sandwich Panels》Part I: Design, 但对于一些更复杂的荷载条件, 需要采用有限元法、数值解法。

平面或浅压型及深压型或压型钢板夹芯板的经历特性可以运用一般的有限元程序加以模拟。许多现代的有限元程序包含三维壳单元, 其中包括薄膜效应, 弯曲及剪切作用做成的位移。

**B.2.4** 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  $k_f \leq 1$ 。

为了方便工程设计人员，按照本规程中的计算公式编制了以下计算例题和计算表格，只要输入相关初始参数，金属面夹芯板应力和变形很快计算出来，非常方便和实用。其相关资料可以联系《金属面夹芯板应用技术规程》国家标准管理组，联系方式见本规程前言。

### 单跨深压型金属面夹芯板内力与变形计算例题

#### 1 条件

某公司仓库，采用单跨门式刚架，双坡屋面。仓库柱距 7.5m，檩距 1.8m，檩条采用卷边 C 形冷弯薄壁型钢，钢材采用 Q235。屋面采用芯材为 40mm 厚的聚氨酯( $G_C=2.1556$ )的双层夹芯钢板，上板采用厚 0.6mm 的深压型板(其中  $d_{11}=16\text{mm}$ ,  $d_{12}=9\text{mm}$ )，下板采用厚 0.5mm 的浅压型板(压型高 4mm)，金属面板板材钢材采用 Q235。该建筑位于南方沿海地区，计算温差为  $30^\circ\text{C}$ 。

#### 2 参数计算

1)、钢板的面积及惯性矩

上板:  $A_{F1}=698\text{mm}^2$ ,  $I_{F1}=53800 \text{ mm}^4$ ,  $B_{F1}=1.1083\text{mm}^3 \text{ N-mm}^2$

下板:  $A_{F2}=560\text{mm}^2$ ,  $I_{F2}=1600 \text{ mm}^4$ ,  $B_{F2}=3.3 \text{ m}^8 \text{ N-mm}^2$

芯材:  $A_s=(40+9+2)$ 区, 计算温差为面。仓库柱距学性<sup>2</sup>

$e=40+9+2=51\text{mm}$

2)、抗弯刚度计算

$$B_s = \frac{A_{F1} \times A_{F2}}{(A_{F1} + A_{F2})} E e^2 = \frac{698 \times 560}{(698 + 560)} \times 206000 \times 51^2 = 1.6648 \times 10^{11} \text{ N-mm}^2$$

$$k_q = \frac{9.6 B_s}{L^2 G_C A_s} = \frac{9.6 \times 1.6648 \times 10^{11}}{1800^2 \times 2.1556 \times 51000} = 4.487$$

$$\beta_q = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2} + \frac{B_s}{1 + K_q}} = \frac{1.1083 \times 10^{10} + 3.3 \times 10^8}{1.1083 \times 10^{10} + 3.3 \times 10^8 + \frac{1.6648 \times 10^{11}}{1 + 4.487}} = 0.2733$$

#### 3 挠度计算

设面荷载为  $1 \text{ kN/m}^2$ ，线荷载  $q = 1 \times B = 0.001 \text{ N/mm}^2 \times 1000 \text{ mm} = 1 \text{ N/mm}^2/\text{m}$

$$\omega = \frac{5ql^4}{384B_s}(1 + \kappa_q)(1 - \beta_q) = \frac{5 \times 1 \times 1800^4}{384 \times 1.6648 \times 10^{11}}(1 + 4.487)(1 - 0.2733)$$

$$= 3.27 \text{ mm} \leq 1800 / 200 = 9 \text{ mm}$$

#### 4 内力计算

最大允许荷载： $9/3.27 = 2.75 \text{ kN/m}^2$

最大弯矩： $M_{\max} = 2.75 \times 1.8^2 / 8 = 1.114 \text{ kN-m/m}$

$$\beta_1 = B_{F1} / (B_{F1} + B_{F2}) = 1.1083 \times 10^{10} / (1.1083 \times 10^{10} + 3.3 \times 10^8) = 0.9711$$

上金属面板弯矩： $M_{F1} = \beta_1 \times \beta_q \times M_{\max} = 0.9711 \times 0.2733 \times 1.114 = 0.2955 \text{ kN-m/m}$

下金属面板弯矩： $M_{F2} = (1 - \beta_1) \times \beta_q \times M_{\max} = (1 - 0.9711) \times 0.2733 \times 1.114 = 0.0088 \text{ kN-m/m}$

轴力弯矩： $M_S = (1 - \beta_q) \times M_{\max} = (1 - 0.2733) \times 1.114 = 0.8095 \text{ kN-m/m}$

轴力： $N_{F1} = N_{F2} = M_S / e = 0.8095 / 0.051 = 15.865 \text{ kN}$

#### 5 抗弯承载能力验算

$$\text{上金属面板: } \sigma_{F11} = \frac{N}{A_{F1}} + \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{11} = -\frac{15865}{698} - \frac{295500}{53800} \times 16 = -23 - 88 = -111 < 210 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{F12} = \frac{N}{A_{F1}} - \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{12} = \frac{15865}{698} - \frac{295500}{53800} \times 9 = -23 + 49 = 26 < 210 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{下金属面板: } \sigma_{F21} = \frac{N}{A_{F2}} + \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{21} = \frac{15865}{560} - \frac{8800}{1600} \times 2 = 28 - 11 = 17 < 210 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{F22} = \frac{N}{A_{F2}} + \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{22} = \frac{15865}{560} + \frac{8800}{1600} \times 2 = 28 + 11 = 39 < 210 \text{ N/mm}^2$$

#### 6 温度荷载作用下的挠度验算

$$\theta = \frac{\alpha \Delta T}{e} = \frac{0.0012 \times 30}{51} = 7.2 \times 10^{-6}$$

$$k_T = \frac{8B_s}{L^2 G_C A_s} = \frac{8 \times 1.152 \times 10^{11}}{1800^2 \times 2.1556 \times 51000} = 3.74$$

$$\beta_T = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_{F1} + B_{F2} + \frac{B_s}{1 + k_T}} = \frac{1.1083 \times 10^{10} + 3.3 \times 10^8}{1.1083 \times 10^{10} + 3.3 \times 10^8 + \frac{1.6648 \times 10^{11}}{1 + 3.74}} = 0.2453$$

$$w_{Tmax} = \frac{\theta L^2}{8} (1 - \beta_T) = \frac{7.2 \times 10^{-6} \times 1800^2}{8} (1 - 0.2453) = 2.2 \text{ mm} \leq 1800 / 200 = 9 \text{ mm}$$

金属面夹芯板应力与变形计算 excel 表

1 平面或浅压型金属面夹芯板应力与变形计算 excel 表:

F28											
单跨平面或浅压型金属面夹芯板											
<b>数据输入</b>											
5	跨长l (mm)	4000	上面板弹性模量E1 (Mpa)	205000							
6	板宽b (mm)	1000	下面板弹性模量E2 (Mpa)	205000							
7	板厚s (mm)	0.5	上面板面积A1 (mm²)	800							
8	芯材厚度e (mm)	100	下面板面积A2 (mm²)	800							
9	芯材类型	聚氨酯	均布荷载q (KN/m²)	2							
10	芯材密度 (kg/m³)	37									
<b>数据输出</b>											
13	芯材类型对应值-1	0.001195									
14	芯材类型对应值-2	#N/A									
15	芯材剪切模量Ge-1	1.635405									
16	芯材剪切模量Ge-2	#N/A									
17	板的抗弯刚度Bs	8.24E+11									
18	剪切刚度影响系数k-1	0.94472									
19	剪切刚度影响系数k-2	#N/A									
<b>输出变形</b>											
22	跨中挠度值-1 (mm)	32.54939									
23	跨中挠度值-2 (mm)	#N/A									
<b>变形验算</b>											
26	允许变形-1 (mm)	40	满足								
27	允许变形-2 (mm)	40	#N/A								
<b>输出内力及应力验算</b>											
30	跨中弯矩 (KN*m)	4									
31	跨中剪力 (KN)	4									
32	上面板应力 (Mpa)	-50	满足								
33	下面板应力 (Mpa)	50	满足								
34	芯材剪切应力 (Mpa)	0.04	满足								
35	上面板材料屈服强度 (Mpa)	205									
36	下面板材料屈服强度 (Mpa)	205									
37	芯材材料屈服强度 (Mpa)	0.15									
<b>两跨平面或浅压型金属面夹芯板</b>											
<b>边跨跨中变形输出</b>											
42	边跨跨中挠度-1	30.11977									
43	边跨跨中挠度-2	#N/A									
<b>变形验算</b>											
46	允许变形-1 (mm)	40	满足								
47	允许变形-2 (mm)	40	#N/A								
<b>输出内力及应力验算</b>											
50	跨中弯矩 (KN*m)-1	2.056951									
51	跨中弯矩 (KN*m)-2	#N/A									
52	跨中剪力 (KN) -1	4.514213									
53	跨中剪力 (KN) -2	#N/A									
54	上面板应力 (Mpa) -1	-25.7106	满足								
55	上面板应力 (Mpa) -2	#N/A	#N/A								
56	下面板应力 (Mpa) -1	25.71064	满足								
57	下面板应力 (Mpa) -2	#N/A	#N/A								
58	芯材剪切应力 (Mpa) -1	0.045142	满足								
59	芯材剪切应力 (Mpa) -2	#N/A	#N/A								
60	上面板材料屈服强度 (Mpa)	205									
61	下面板材料屈服强度 (Mpa)	205									
62	芯材材料屈服强度 (Mpa)	0.15									
64	说明: 红色代表聚氨酯、聚氨酯、酚醛、多异氰酸酯; 蓝色代表										
65	结构岩棉、普通岩棉、玻璃棉										

2 深压型金属面夹芯板应力与变形计算 excel 表:



H24		f <sub>c</sub>											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
<b>不同芯材剪切模量选用表</b>				<b>压型面板截面惯性矩与截面积取值表</b>									
芯材密度 (kg/m <sup>3</sup> )		38	面板厚度 (mm)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1			
聚氨酯Gc		9.43035103	截面惯性矩I/mm <sup>4</sup>	124000	149000	170000	199200	224415	250000	275100			
聚氨酯Gc		1.125	截面积/mm <sup>2</sup>	570	682	800	910	1024	1138	1251			
聚氨酯Gc		1.100190475											
多异氰酸酯Gc		1.725											
普通岩棉Gc		0.646											
结构岩棉Gc		0.76											
玻璃棉Gc		1.01918											
<b>数据输入</b>													
跨度L (mm)	5000	上面板中和轴距离 (mm)	8	上面板单位宽度镀锌个数n1	3	上面板展开宽度 (mm)	1140						
板宽 (mm)	1000	下面板中和轴距离 (mm)	9	下面板单位宽度镀锌个数n2	3	下面板展开宽度 (mm)	1000						
上面板厚度 (mm)	0.6	上面板梯形高度 (mm)	49	上面板镀锌精度 (Mpa)	206000	芯材厚度 (mm)	108						
下面板厚度 (mm)	0.6	下面板梯形高度 (mm)	9	下面板镀锌精度 (Mpa)	206000	芯材剪切模量 (Mpa)	2.295						
上面板惯性矩 (mm <sup>4</sup> )	149000	上面板真镀锌板角度 (度)	60	上面板横截面积 (mm <sup>2</sup> )	684	均布荷载 (kN/m <sup>2</sup> )	1.5						
下面板惯性矩 (mm <sup>4</sup> )	18	下面板真镀锌板角度 (度)	90	下面板横截面积 (mm <sup>2</sup> )	600	芯材横截面积As	108000						
<b>数据输出</b>													
上面板弯曲刚度B1	30694000000												
下面板弯曲刚度B2	3708000												
芯材弯曲刚度Bc	7.679935e+11												
跨切刚度影响系数ka	1.18961574												
系数b1	0.998879299												
系数b2	0.000120791												
系数ba	0.080485254												
<b>输出变形值</b>													
跨中挠度值	32.0051911												
<b>变形验算</b>													
允许变形值	50	满足											
<b>内力计算</b>													
上面板承担弯矩M1 (kNm)	0.377229037												
下面板承担弯矩M2 (kNm)	4.587138e-05												
芯材承担弯矩Mc (kNm)	4.310225372												
芯材承担剪力Vs (kN)	3.75												
<b>应力计算</b>													
上面板拉应力 (Mpa)	-38.09330462												
上面板压应力 (Mpa)	-139.3628501												
下面板拉应力 (Mpa)	-66.91582264												
下面板压应力 (Mpa)	-68.91582264												
芯材剪应力 (Mpa)	0.024722222												
<b>应力验算</b>													
上面板允许拉应力 (Mpa)	205	满足											
上面板允许压应力 (Mpa)	205	满足											
下面板允许拉应力 (Mpa)	205	满足											
下面板允许压应力 (Mpa)	205	满足											
芯材允许剪应力 (Mpa)	0.15	满足											

3 温度荷载下平面或浅压型金属面夹芯板应力与变形计算 excel 表:

C54		f <sub>c</sub>					
A	B	C	D	E	F	G	
<b>不同芯材剪切模量选用表</b>							
芯材密度 (kg/m <sup>3</sup> )	37						
聚苯乙烯Gc	8.944041156						
聚氨酯Gc	1.635405125						
酚醛Gc	1.043047619						
多异氰酸酯Gc	1.635405125						
普通岩棉Gc	0.629						
结构岩棉Gc	0.74						
玻璃棉Gc	0.99234						
<b>输入数据</b>							
跨长L (mm)	6000	下面板弹性模量E2 (Mpa)	206000	上面板热膨胀系数af1(1/°C)	0.000012		
面板宽度b (mm)	1000	上面板横截面积AF1 (mm <sup>2</sup> )	500	下面板热膨胀系数af2(1/°C)	0.000012		
上面板厚度t1 (mm)	0.5	下面板横截面积AF2 (mm <sup>2</sup> )	500	芯材面积A <sub>c</sub> (mm <sup>2</sup> )	150000		
下面板厚度t2 (mm)	0.5	芯材剪切模量Gc (Mpa)	1.725				
芯材厚度c (mm)	150	上面板温度T1 (°C)	60				
上面板弹性模量E1 (Mpa)	206000	下面板温度T2 (°C)	20				
<b>输出数据</b>							
板的抗弯刚度E <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	1.159E+12						
剪切刚度影响系数k	0.3731884						
夹芯板转角θ	-3.2E-06						
<b>单跨时输出跨中变形</b>							
跨中挠度w (mm)	-14.4						
<b>单跨时变形验算</b>							
允许变形 (mm)	60						
<b>双跨时跨中输出变形</b>							
边跨跨中挠度w (mm)	-6.535092						
<b>双跨时变形验算</b>							
允许变形 (mm)	60 满足						
<b>双跨时输出最大内力</b>							
弯矩M <sub>s</sub> (KN·m)	-4.050427						
剪力V <sub>s</sub> (KN)	-0.675071						
<b>双跨时跨中输出应力</b>							
上面板压应力of1 (Mpa)	-54.0057						
下面板拉应力of2 (Mpa)	-54.0057						
芯材剪切应力tc (Mpa)	-0.0045						
<b>双跨时应力验算</b>							
上面板允许压应力 (Mpa)	205 满足						
下面板允许拉应力 (Mpa)	205 满足						
芯材允许剪切应力 (Mpa)	0.15 满足						
注: 上面板温度T1>下面板温度T2							

4 温度荷载下深压型金属面夹芯板应力与变形计算 excel 表:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>不同芯材剪切模量达用表</b>								
2									
3	芯材密度 (Kg/m <sup>3</sup> )	37							
4	聚苯乙烯Gc	8.944041156							
5	聚氨酯Gc	1.635405125							
6	树脂Gc	1.043047619							
7	多异氰尿酸酯Gc	1.635405125							
8	普通岩棉Gc	0.629							
9	结构岩棉Gc	0.74							
10	玻璃棉Gc	0.99234							
11	<b>数据输入</b>								
12									
13	跨度L (mm)	5000	上面板中和轴距高 (mm)	8	上面板模量面积 (mm <sup>2</sup> )	684	芯材模量面积A <sub>s</sub>	108000	
14	板宽b (mm)	1000	下面板中和轴距高 (mm)	0	下面板模量面积 (mm <sup>2</sup> )	600	上面板热膨胀系数αf1(1/°C)	0.000012	
15	上面板厚度 (mm)	0.6	上面板梯形高度 (mm)	40	上部面板展开宽度 (mm)	1140	下面板热膨胀系数αf2(1/°C)	0.000012	
16	下面板厚度 (mm)	0.6	下面板梯形高度 (mm)	0	下部面板展开宽度 (mm)	1000	芯材等效剪切模量G <sub>eff</sub>	2.4786	
17	上面板弹性模 (mm <sup>4</sup> )	149000	上面板弹性模量 (Mpa)	206000	芯材有效厚度 (mm)	108	芯材厚度d <sub>c</sub>	100	
18	下面板弹性模 (mm <sup>4</sup> )	18	下面板弹性模量 (Mpa)	206000	芯材剪切模量 (Mpa)	2.295	上面板温度T1 (°C)	180	
19							下面板温度T2 (°C)	20	
20	<b>数据输出</b>								
21									
22	上面板弯曲刚度BF1 (N*mm <sup>2</sup> )	30694000000							
23	下面板弯曲刚度BF2 (N*mm <sup>2</sup> )	3708000							
24	面板弯曲刚度BF (N*mm <sup>2</sup> )	30697708000							
25	芯材弯曲刚度B <sub>s</sub> (N*mm <sup>2</sup> )	7.67993E+11							
26	夹芯板转角θ	-1.77778E-05							
27	剪切刚度影响系数k <sub>t</sub>	0.918072201							
28	系数β1	0.999879209							
29	系数β2	0.000120791							
30	系数β <sub>c</sub>	0.071208536							
31	<b>输出变形值</b>								
32									
33	跨中挠度值 (mm)	-51.59952577							
34	<b>变形验算</b>								
35									
36	允许变形值 (mm)	30	不满足						
37	<b>内力计算</b>								
38									
39	上面板承担弯矩MF1 (KN*mm)	-0.50681467							
40	下面板承担弯矩MF2 (KN*mm)	-6.12259E-05							
41	芯材承担弯矩Ms (KN*mm)	0.506875896							
42	<b>应力计算</b>								
43									
44	上面板拉应力 (Mpa)	-34.0730688							
45	上面板压应力 (Mpa)	101.9845608							
46	下面板拉应力 (Mpa)	7.82215889							
47	下面板压应力 (Mpa)	7.82215889							
48	<b>应力验算</b>								
49									
50	上面板允许拉应力 (Mpa)	205	满足						
51	上面板允许压应力 (Mpa)	205	满足						
52	下面板允许拉应力 (Mpa)	205	满足						
53	下面板允许压应力 (Mpa)	205	满足						
54	<b>注：上面板温度T1&gt;下面板温度T2</b>								
55									