

---

# 预制混凝土夹心保温墙板用金属拉结件应用技术规程

Technical specification for metallic connectors in precast concrete sandwich facade  
panels

## 编制说明

(征求意见稿)

标准编制组

2023 年 7 月

---

## 一、工作简况

### （一）任务来源

根据中国建筑材料联合会《关于下达 2022 年第三批协会标准制定计划的通知》（中建材联标发〔2022〕10 号）和中国混凝土与水泥制品协会《关于下达 2022 年中国混凝土与水泥制品协会标准制修订计划（第一批）的通知》（中制协字〔2022〕8 号）的要求，《预制混凝土夹心保温墙板用金属拉结件应用技术规程》为协会标准制定项目（计划号 2022-23-xbjh）。

本标准由中国建筑材料联合会和中国混凝土与水泥制品协会共同负责管理，由北京市燕通建筑构件有限公司负责起草并牵头组织相关单位共同完成。

### （二）编制目的

目前，我国装配式建筑尤其住宅建筑中采用的外墙形式主要为预制混凝土夹心保温外墙板，其由内、外叶混凝土层及中间保温层构成，内、外叶墙通过夹心保温连接件实现可靠连接。其中夹心保温连接件是保证夹心保温外墙板质量的关键元件，按照材料种类的不同，主要包括金属连接件（以不锈钢为主）和纤维增强塑料（FRP）连接件两类；按几何形状不同，可分为桁架式、板式、别针式、夹型（别针交叉式）等。

目前，针对 FRP 连接件，国内已有或正在编制相关的产品及应用技术标准。对于金属连接件，由于不同产品及体系差异较大，国内尚无统一的产品及应用技术标准，仅在部分技术标准中对个别的设计、构造及施工问题有所规定。

在没有统一、明确的应用技术标准的情况下，各类连接件的开发及设计均由厂家自主进行，导致存在如下问题：

1、设计标准不明确、不统一。产品厂家采用的设计方法不公开、不透明。对国外品牌产品，设计时采用国外标准，存在与国内标准的衔接问题。各类产品的设计安全水准不统一。

2、连接件性能要求及设计方法不完善。部分产品的设计思路难以实现，连接件受力状态与预期不符，可能存在安全隐患。有必要对设计方法进行梳理、分析和完善，对相关材料性能及构造措施提出要求。

3、连接件安装质量难以控制。产品安装过程中的技术要求不明确，导致安

装质量难以满足要求，影响连接件性能的发挥。

此外，由于缺乏标准，各类产品开发缺乏依据，且市场上存在抄袭、侵权现象，难以保证产品质量。

因此，为解决上述实际应用问题，推动金属夹心保温连接件的开发和应用，规范产品市场，有必要制定该类连接件的应用技术规程，对连接件的排布设计、性能要求、安装及质量检验等内容作出规定，为其工程应用提供依据。

### （三）主要工作过程、主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

2022年3月3日，中国混凝土与水泥制品协会（CCPA）发布《关于下达 2022年中国混凝土与水泥制品协会标准制修订计划（第一批）的通知》，本标准立项。

为完成标准制订，2022年7月21日在北京市召开编制组成立暨第一次工作会议。

编制组由11家单位构成，包括1所高校、1个科研院、1个检测单位，4个拉结件生产企业、2个构件厂，1个EPC施工企业和1个主管协会。涵盖了国内主要的预制夹心保温墙板金属拉结件生产、科研及应用单位，具有代表性。

由中国混凝土与水泥制品协会预制混凝土构件分会、北京市住宅产业化集团股份有限公司、北京市燕通建筑构件有限公司和中国建筑科学研究院有限公司担任主编单位，其余单位为参编单位。

由北京市燕通建筑构件有限公司副总经理赵志刚担任主编工作。

编制组成员单位和标准编制工作分工见表1。

表1 编制组成员单位及分工

序号	单位名称	分工
1	中国混凝土与水泥制品协会预制混凝土构件分会	负责组织全面工作
2	北京市燕通建筑构件有限公司	标准编制工作总体协调；总则、术语和符号、基本规定、安装、质量检验
3	北京市住宅产业化集团股份有限公司	
4	中国建筑科学研究院有限公司	总则、术语和符号、基本规定
5	力维拓（中国）建筑科技有限公司	材料、设计、安装
6	沈阳建筑大学	
7	佩克建筑材料（中国）有限公司	
8	HAZ（北京）建筑科技有限公司	
9	沈阳宝力德科技有限公司	
10	北京榆构有限公司	安装、质量检验
11	中电投工程研究检测评定中心有限公司	质量检验

表 2 列出了本标准编制过程中的一些主要事件。本标准的制订经历了筹备启动、初稿意见征询与参编单位征集。所有参编单位都付出了巨大心血和努力。与此同时，还得到业内诸多专家、领导的热心支持和无私帮助。没有大家的共同努力，本标准不可能顺利完成。在此一并致谢。

表 2 标准制订大事记

日期	地点	参与单位	事 件	结 果
2019 ~ 2022	北京	北京燕通、北京住宅产业化、中国建筑科学研究院等	调研和前期工作	1. 调研 2. 依托十三五国家重点研发计划等课题对拉结件的力学和墙板热工性能进行了研究。 3. 编制北京物资协会团体标准《预制夹心保温外墙板用金属拉结件应用技术规程》
2022. 7. 21	北京	主参编单位代表	编制组成立暨第一次工作会议	1. 编制编制原则、范围和主要内容确定 2. 标准编制分工 3. 编制编制计划
2022. 7~ 2023. 5	北京	主参编单位	补充调研、征询意见及标准初稿编制	标准初稿第一、二版
202 2. 9. 24	北京	编制组主要成员	结合北京地标《装配式混凝土夹心保温外墙板应用技术规程》第四次工作会议修改初稿	1. 建议增加型式检验内容 2. 叠合类夹心保温墙板拉结件采用锚固效果有保证的形式 形成标准初稿第三版
2023. 2. 17	北京	编制组主要成员	结合北京地标《装配式混凝土夹心保温外墙板应用技术规程》审查会形成征求意见稿	1. 完善引用标准 2. 采纳传热系数修正建议 3. 统一结构参数取值 形成标准征求意见稿

二、标准编制原则和主要内容

（一）标准编制原则

- 1. 符合国家的技术经济政策和行政法律法规，结合国内具体情况，做到合理利用资源、经济合理；
- 2. 以结构安全、比较广泛的适用性、可操作性为主要目标，充分考虑技术成熟性和实用性，坚持科学性、先进性，同时体现一定的灵活性。以国内、外工

---

程建设经验和科技成果为依据，结合国情，积极采用国际标准和国外先进标准；

3. 与相关标准内容间进行协调，避免重复或矛盾；

4. 编写内容符合工程建设标准编写规定的要求。

## （二）标准的主要内容

该标准重点内容包括以下几项：

1. 基于目前实心 and 叠合类夹心保温墙板大量使用且技术基本成熟的金属拉结件产品及相关研究资料，对拉结件的材料性能、产品构造及承载力确定方法等进行了规定，可为拉结件产品的设计及质量把控提供标准依据。

2. 在已有产品技术资料及相关研究基础上，全面梳理、总结，形成了金属拉结件的应用设计方法，包括排布设计、承载力验算，墙板热工性能计算等，可为工程应用中拉结件的设计提供指导。

3. 总结了拉结件安装及质量检验要求，可为工厂拉结件的安装及质量检验提供标准依据。

本标准共分 7 部分：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 材料；5 设计；6 安装；7 质量检验。

### 1. 总则：

对规程的编制目的、内容、适用范围及与其他标准的关系进行了规定。

编制目的：规范预制混凝土夹心保温外墙板用金属拉结件的应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量。

内容和适用范围：金属拉结件在非组合预制混凝土夹心保温外墙板和预制夹心保温叠合混凝土外墙板中的设计、安装及质量检验。

与其他标准的关系：除符合本文件要求外，还应符合国家现行相关标准的规定。

### 2. 术语和符号：

#### 2.1 术语

“预制混凝土夹心保温墙板”、“预制混凝土夹心保温剪力墙板”和“预制混凝土夹心保温外挂墙板”分别引用 JC/T 2504—2019 中 3.1、3.6、3.7。

“预制夹心保温实心剪力墙板”、“预制夹心保温叠合剪力墙板”对实心 and 叠合剪力墙的内涵作出定义。

---

“预制夹心保温钢筋笼叠合剪力墙板”参照《装配整体式钢筋焊接网叠合混凝土结构技术规程》T/CECS 579—2019 进行定义。

“预制夹心保温纵肋空心剪力墙板”参照《纵肋叠合混凝土剪力墙结构技术规程》T/CECS 793—2020 相应定义。

“拉结件”、“板式拉结件”“夹式拉结件”、“桁架式拉结件”、“针式拉结件”、“支承拉结件”、“限位拉结件”、“拉结件系统”和“拉结件系统支点”参照《预制混凝土夹心保温外墙板用金属拉结件应用技术规程》T/BCMA 002—2021 相应定义。

“符号”参照《预制混凝土夹心保温外墙板用金属拉结件应用技术规程》T/BCMA 002—2021 相应。

### 3. 基本规定

3.0.1 对采用金属拉结件系统的夹心保温墙板应符合的技术要求作出规定；

3.0.2 对夹心保温墙板的外叶墙板的构造作出规定；

3.0.3 对夹心保温外挂墙板的内叶墙板作出规定；

3.0.4 对拉结件影响的夹心外墙板热工性能作出规定，包括传热系数计算和结露验算要求。

3.0.5 对夹心保温墙板外表面饰面材料和涂刷等做出规定。

3.0.6 对夹心保温墙板拉结件进行进厂检验原则作出规定。

3.0.7 拉结件的安装和检验基本原则作出规定。

### 4. 材料

4.0.1~4.0.7 金属拉结件材质和性能要求作出规定。

4.0.8 对内、外叶墙板的混凝土性能作出规定。

4.0.9 对保温层用保温材料的和拉结件有关性能作出规定。

### 5. 设计

#### 5.1 一般规定

5.1.1 对拉结件系统及拉结件的设计流程作出规定。

5.1.2 对拉结件系统及拉结件的设计应符合的原则性要求作出规定。

5.1.3 对拉结件系统的选型原则作出规定。

5.1.4 对拉结件系统的设计方法和表达式作出规定。

---

5.1.5 对拉结件的作用效应计算作出规定。

5.1.6 对拉结件变形验算作用组合作出规定。

5.1.7 对拉结件的承载力设计值计算作出规定。

5.1.8 对拉结件承载力确定作出规定。

5.1.9 对外叶墙板在其自重标准值作用下的竖向位移作出规定。

5.1.10 对外叶墙板在第一温差标准值作用下的水平、竖向面内变形作出规定。

5.1.11 对外叶墙板裂缝控制验算作出规定。

5.1.12 对拉结件的材料、构造、尺寸、锚固深度、保护层厚度作出规定。

## 5.2 排布设计

5.2.1 对拉结件排布的基本原则作出规定。

5.2.2 对针式拉结件和桁架式拉结件不宜考虑其承受压力作用作出规定。

5.2.3 对拉结件系统需依靠保温层承受压力时保温层的压缩性能作出规定。

5.2.4 对夹心保温叠合剪力墙板拉结件的排布设计及承载力验算考虑空腔的影响作出规定。

5.2.5、5.2.6 对板式和夹式、桁架式拉结件系统的排布作出具体规定。

5.2.7 对外叶墙板超出内叶墙板、最外侧拉结件至外叶墙板边缘的距离超出本规程规定等特殊情况的拉结件排布作出规定。

## 5.3 承载力验算

5.3.1 对夹心保温剪力墙板的承载能力极限状态验算和正常使用极限状态验算作出规定。

5.3.2 对夹心保温外挂墙板构件及拉结件的承载能力极限状态验算和正常使用极限状态验算作出规定。

5.3.3 对拉结件承载力验算作出规定。

5.3.4 对承载能力极限状态验算作用组合的效应设计值计算作出规定。

5.3.5 对夹心保温外墙板生产及施工阶段拉结件承载力验算作出规定。

5.3.6 对夹心保温外墙板使用阶段拉结件承载力验算作出规定。

5.3.7~5.3.10 对单个板式、夹式、桁架式和针式拉结件的承载力作出规定。

5.3.11 对拉结件系统需依靠中间保温层承受压力时保温层的压应力计算作出规定。

5.3.12 对不锈钢板式和夹式拉结系统温度作用组合作出规定。

---

## 6. 安装

### 6.1 一般规定

6.1.1 对夹心保温实心墙板、夹心保温纵肋空心墙板和夹心保温外挂墙板采用平模生产时宜采用反打方式成型作出规定。

6.1.2 对平模生产时拉结件安装流程作出规定。

6.1.3 对夹心保温墙板生产前和生产过程中拉结件设计及供应单位应该做的技术服务工作作出规定。

6.1.4 对拉结件安装前的核对作出规定。

6.1.5 对拉结件和保温材料的安装或铺设作出规定。

6.1.6 对外叶墙板及内叶墙板混凝土浇筑前检查、浇筑过程中的要求等作出规定。

6.1.7 对夹心保温钢筋笼叠合剪力墙板构件的成型和拉结件的绑扎作出规定。

6.1.8 对板式拉结件和夹式拉结件保温板应预先切割作出规定。

### 6.2 拉结件安装

6.2.1~6.2.4 对板式、夹式、桁架式和针式拉结件的安装作出规定。

## 7. 质量检验

### 7.1 进厂质量检验

7.1.1 对拉结件进厂时应检验证明文件作出规定。

7.1.2~7.1.5 对拉结件进厂后外观质量和尺寸偏差、材料化学成分、材料力学性能和受拉承载力批量检验作出规定。

7.1.3 对拉结件进厂后批量检验作出规定。

### 7.2 安装质量检验

7.2.1 对每个夹心保温墙板的外叶墙板和内叶墙板混凝土浇筑前进行拉结件安装质量检验作出规定。

7.2.2 对拉结件的类型、规格、数量、安装方向、锚固及固定方式、锚筋的类型、规格、数量、位置，拉结件与保温板间缝隙的处理方式，拉结件安装的尺寸允许偏差及检验方法等作出规定。

## 附录 A 金属拉结件产品规定

### A.1 产品要求

A.1.1 对拉结件的材料要求作出规定。



---

A.1.2~A.1.5 对板式、夹式、桁架式和针式拉结件的构造作出规定。

A.1.6 、 A.1.7 对拉结件的外观质量、尺寸允许偏差检验作出规定。

A.1.8 对拉结件的承载力标准值确定作出规定。

## A.2 产品出厂检验

对拉结件产品的出厂检验项目、组批原则和判定规则等作出规定。

## A.3 产品型式检验

对拉结件型式检验的相关内容作出规定。

## A.4 产品标志、合格证及说明书

对拉结件产品标志、合格证及说明书作出规定。

## A.5 产品包装、运输及贮存

对拉结件产品包装、运输及贮存作出规定。

附录 B、附录 C 和附录 D 对金属拉结件受拉、受剪和受压承载力试验方法作出规定。

# 三、主要试验（或验证）情况分析

近年来,北京市燕通建筑构件有限公司和中国建研院中建研科技股份有限公司依托十三五国家重点研发计划课题和国内装配式建筑重点企业的委托研究课题,针对拉结件技术进行了多项研究,主要包括:拉结件的受拉、受剪、受压、拉剪复合受力性能试验研究,拉结件设计方法研究,受拉结件影响的夹心保温外墙板温度作用受力性能研究,拉结件兼做拉杆的带空腔墙板的混凝土浇筑试验研究等。

在此基础上,补充进行了以下力学试验研究内容:

(1) 针对拉结件承载力试验方法(受拉、受剪试验)进行对比试验研究,目的是对目前国内采用的不同试验方法进行验证和对比,通过试验结果判断哪种方法更合理,进而为标准中规定试验方法提供依据。

(2) 针对板式拉结件的拉剪复合受力性能、压剪复合受力性能进行试验研究,目的是验证板式拉结件的拉剪、压剪复合承载力的验算方法,为标准中规定设计计算方法提供依据。

## (一) 十三五国家重点研发计划课题试验研究

进行了超低能耗墙板用金属拉结件力学性能的试验研究,保温层厚度分别为

200mm 和 250mm，拉结件包括夹式、桁架式、针式。

1. 受拉试验

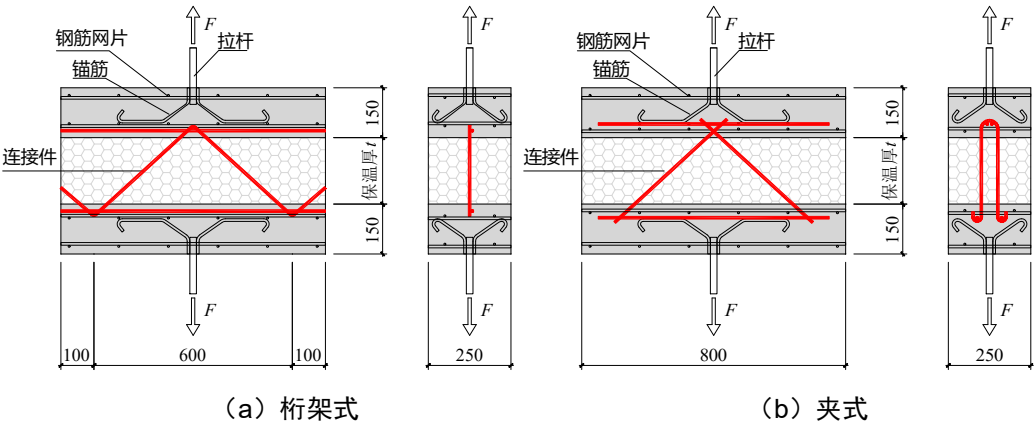
研究连接件的受拉破坏模式、受拉承载力及变形，判断连接件的受拉性能是否满足要求。

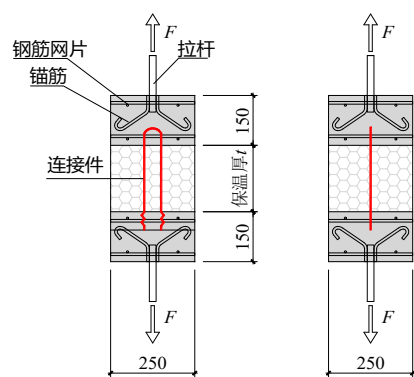
试件参数见表 3，试件连接件采用 5 种形式，保温板厚度采用 3 种规格，锚固深度参考产品技术资料的最小值取值。试件混凝土强度等级为 C30。每种参数共制作 2 个相同试件，共计 10 个试件。

表 3 受拉试件参数

试件编号	连接件类别	保温厚 (mm)	连接件型号	锚固深度 (mm)	试件个数
T-PD-200a、b	桁架式	200	PDM-250	25	2
T-PD-250a、b		250	PDM-300	25	2
T-SPA2-200a、b	夹式	200	SP-SPA-2-09-320	外叶 55	2
T-SPA2-250a、b		250	SP-SPA-2-09-360	55	2
T-SPAN-200a、b	针式	200	SP-SPA-N-05-320	开口端 55	2
T-SPAN-250a、b		250	SP-SPA-N-06-360	55	2

试件两侧的混凝土板厚度 150mm，板内除设有钢筋网片外，为防止混凝土过早劈裂，在钢拉杆上焊接 4 根锚固筋。每个试件内设置 1 个连接件或 1 个节间桁架连接件。各类试件设计图如图 1 所示。





(c) 针式

图 1 受拉试件设计图

试验原计划在拉力机上进行,经过两个试件的试验发现拉力机上安装试件较困难(不便于对中、搬运较困难),且不利于观察试验现象,因此专门搭设加载架进行试验。试验装置如图 2 所示。试验加载速度控制在 0.1kN/s,加载直至试件破坏。



(a) 拉力机装置



(b) 试验加载架

图 2 受拉试验装置

在试件靠近四角各设置 1 个位移传感器,以量测上下混凝土板的相对位移。位移测点布置如图 3 所示。

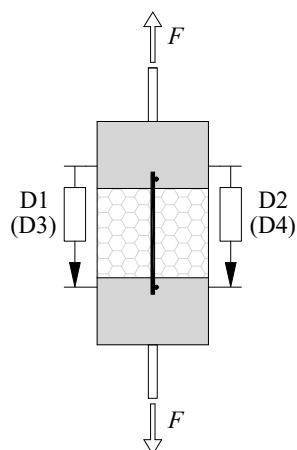


图 3 连接件受拉试验位移测点布置

在连接件上粘贴应变片，以量测连接件受拉过程中杆件的应变大小。应变测点布置如图 4 所示，布置图为试验时拍摄照片的正视图或左视图，带括号的编号代表相同位置处有两根杆件，括号内为背面杆件测点。图中从左至右依次为佩克桁架连接件试件、哈芬夹形连接件试件、哈芬针式连接件试件。

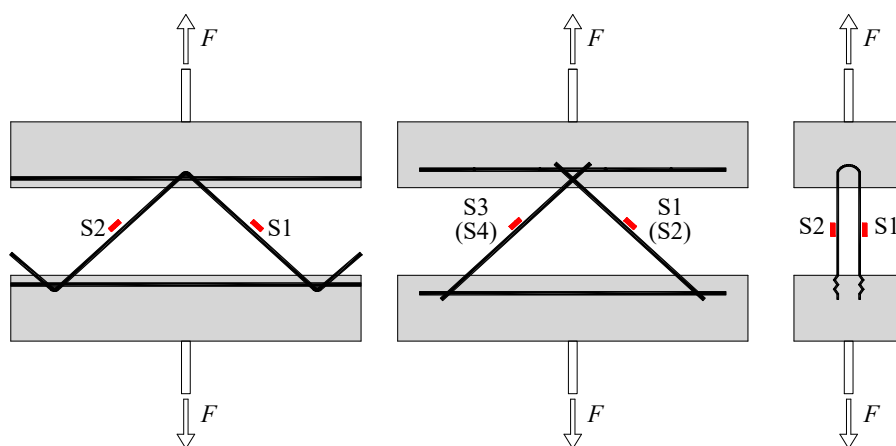


图 4 受拉试验应变测点布置

## 2. 受剪试验

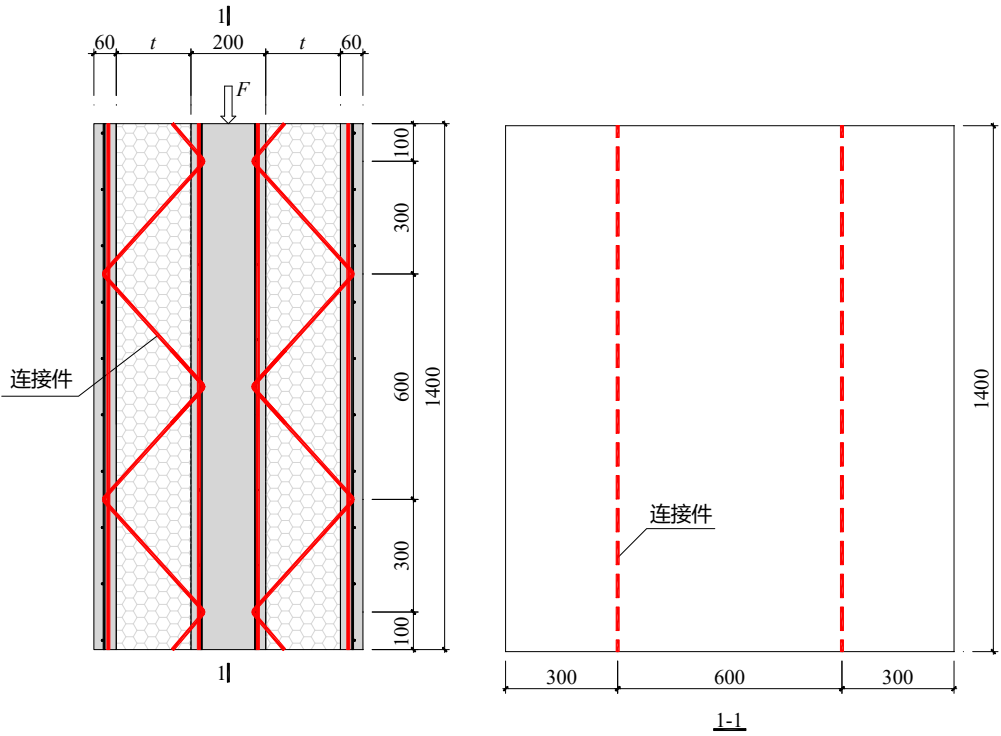
针对桁架式、夹式拉结件进行受剪性能试验，研究连接件的受剪破坏模式、受剪承载力及变形，判断连接件的受剪性能是否满足要求。

试件参数见表 4，试件连接件采用 2 种形式，保温板厚度采用 2 种规格，锚固深度参考产品技术资料的最小值取值。试件混凝土强度等级为 C30。每种参数共制作 2 个相同试件，共计 8 个试件。

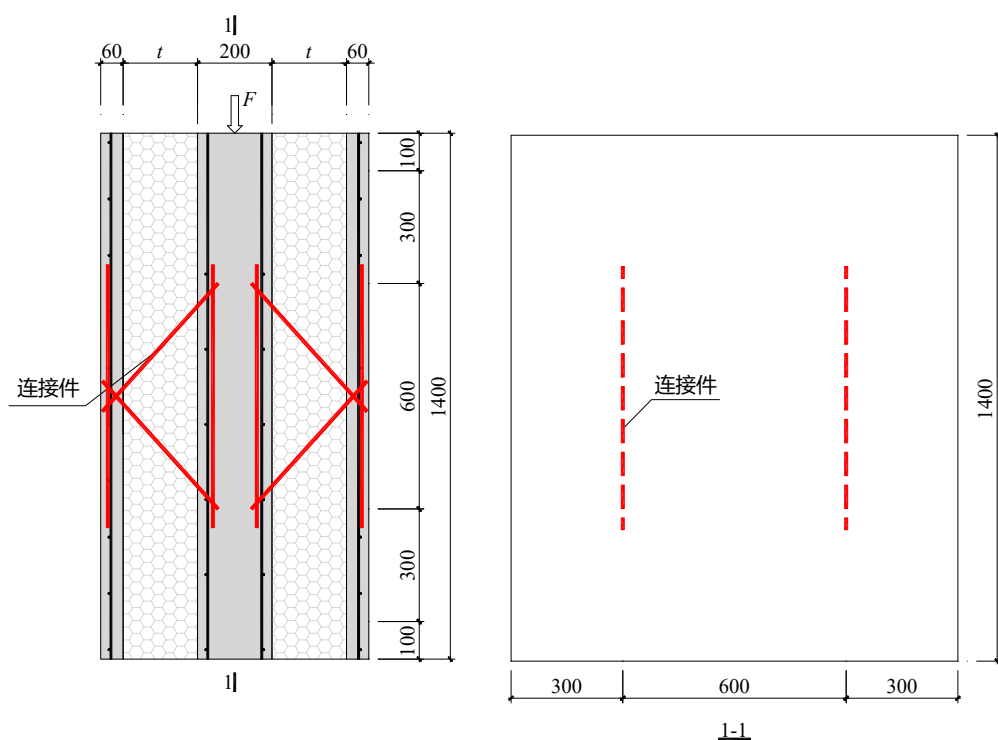
表 4 连接件受剪试件参数

试件编号	连接件类别	保温板厚度 (mm)	连接件型号	锚固深度 (mm)	试件个数
S-PD-200a、b	桁架式	200	PDM-250	25	2
S-PD-250a、b		250	PDM-300	25	2
S-SPA2-200a、b	夹式	200	SP-SPA-2-09-320	外叶 55	2
S-SPA2-250a、b		250	SP-SPA-2-09-360	55	2

内叶板内沿纵横向双层配置 $\Phi 8@200$  钢筋，两侧外叶板沿纵横向配置 $\Phi 6@150$  钢筋。试件设计图如图 5 所示。



(a) 桁架式



(b) 夹式

图 5 受剪试件设计图

受剪试验装置如图 6 所示。为使试件竖向受力均匀，避免发生面内旋转，沿试件高度前后设置两道横杆，横杆为圆形截面，与试件表面之间垫设聚四氟乙烯板，保证二者之间可滑动。

试验前为考虑试件中部内叶墙的影响，在其底部采用千斤顶支撑，待试验开始，数据采集系统开始工作后，去除底部千斤顶，然后采用试件顶部竖向千斤顶沿竖向均匀施加荷载。加载速度约为 0.1kN/s，加载至竖向位移为 2.54mm 时，记录荷载及试验现象，之后持续加载直至试件破坏。

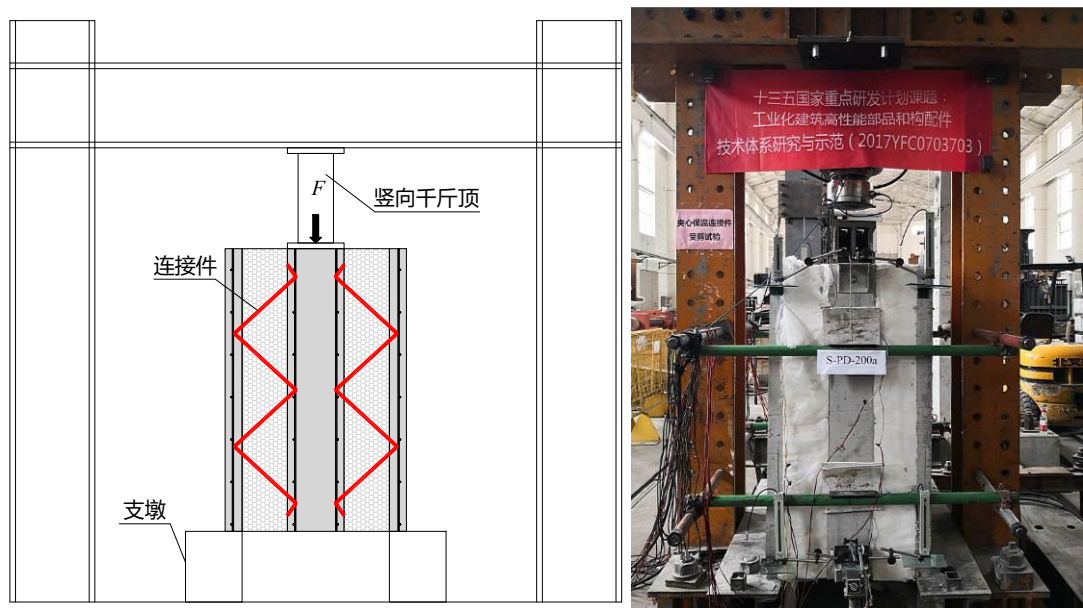
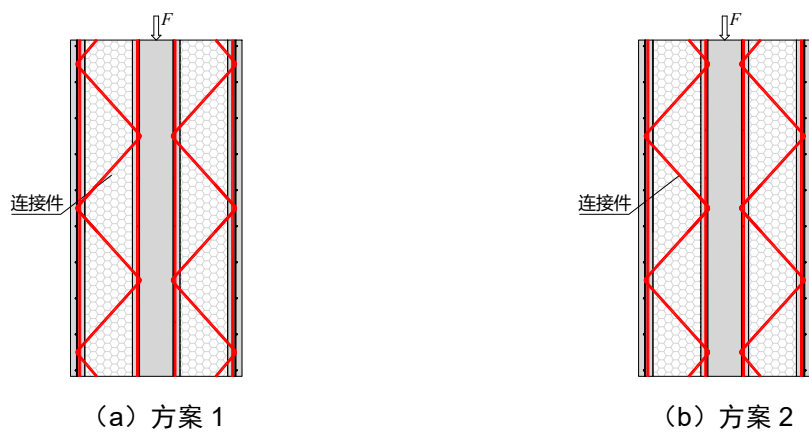


图6 受剪试验装置

针对试件中桁架连接件的布置方案分析如下：

试件中至少取桁架的连续两个节间段，且使得桁架斜杆受力均匀，保持与足尺墙板中的连接件受力状态相符。采用软件计算的两种布置方案下的桁架杆件轴力及试件变形趋势如图7所示，图中在内叶墙顶施加 1kN 的竖向力，图中变形为放大 1 万倍后的效果，可见采用方案 2 更合理。





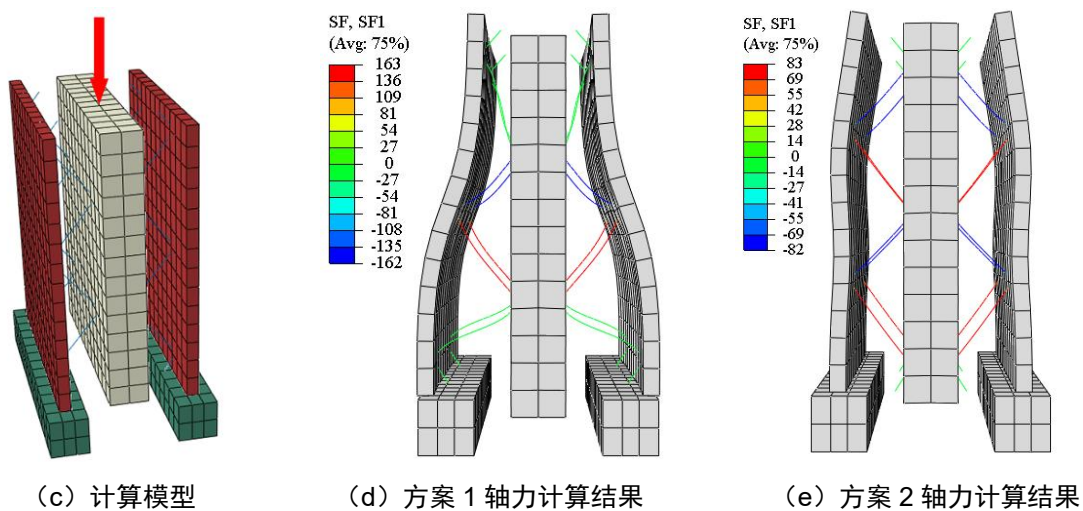


图 7 布置方案分析

位移测点布置如图 8 所示。在试件内叶墙底部两端设置 2 个相对于地面的竖向位移传感器，在试件底部四角和顶部四角设置共 8 个外叶墙相对于内叶墙的竖向位移传感器，括号内编号为背面的测点编号。通过上述位移传感器可量测不同位置处内叶墙与外叶墙的相对竖向位移，也即连接件的竖向位移。

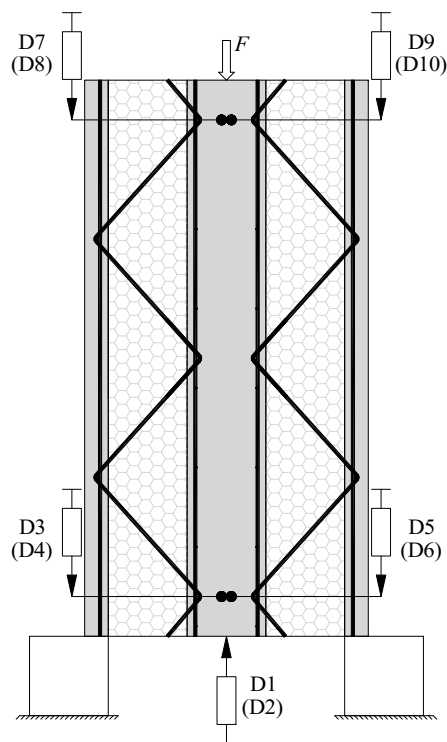


图 8 受剪试验位移测点布置

在连接件上部粘贴应变片，以量测连接件受剪过程中杆件的应变大小。应变测点布置如图 9 所示，布置图与试验时拍摄照片的正视图方向相同。图中括号内编号为靠近背面连接件的测点编号，对哈芬夹形连接件，同一连接件同位置两根



斜杆的编号为用  $S_n/S_n'$  表示,其中  $S_n'$  为靠近内侧的杆件测点编号, $n$  具体为 1~8。

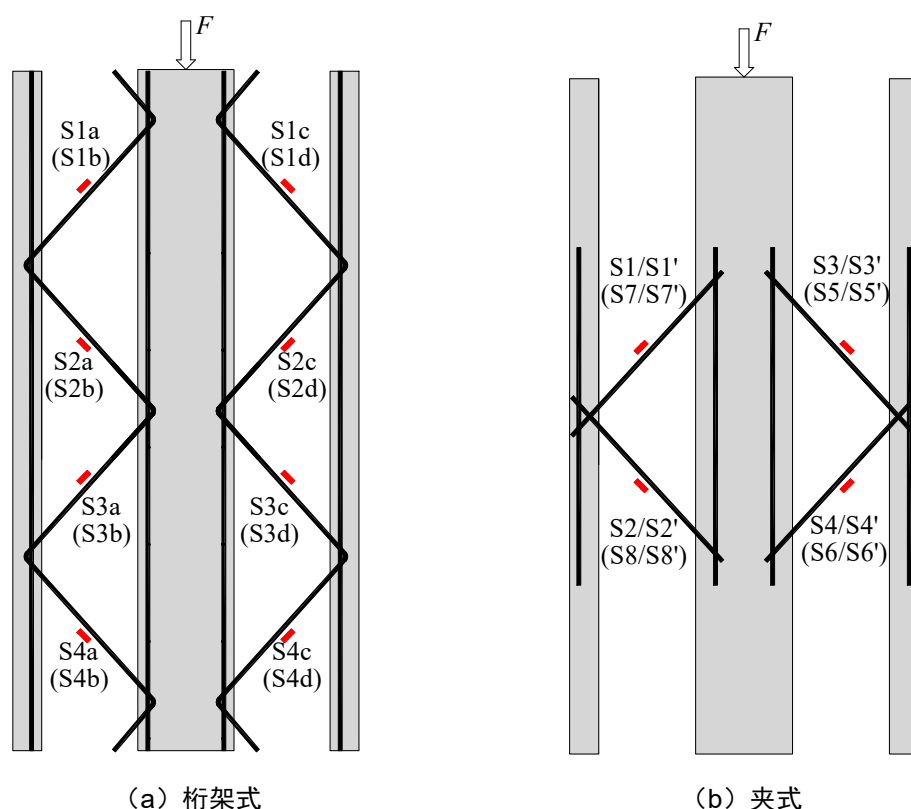


图 9 受剪试验应变测点布置

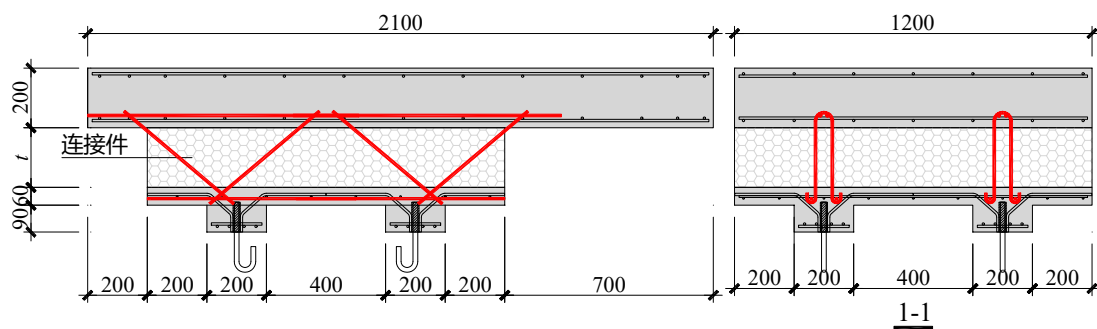
### 3. 拉剪试验

针对桁架式和夹式拉结件进行拉剪性能试验,研究连接件在恒定拉力作用下的受剪破坏模式,结合纯拉和纯剪试验,更全面地研究连接件的受拉、受剪及拉剪复合受力性能。

试件参数见表 5,试件连接件采用 2 种形式,保温板厚度采用 2 种规格,锚固深度参考产品技术资料的最小值取值,对保温板厚 200 的试件,固定拉力取 2 个级别。试件混凝土强度等级为 C30。每种参数共制作 2 个相同试件,共计 12 个试件。

对桁架式拉结件,固定拉力的取值基于外墙板所受风吸力计算,按间距 600mm,基本风压按  $0.55\text{kN/m}^2$ ,阵风系数按 1.5,局部体型系数按 -2.0,风压高度变化系数按 2.0,则风吸均布荷载标准值为  $3.3\text{kN/m}^2$ ,荷载分项系数按 1.5,单个桁架节点所受拉力设计值为  $1.5 \times 0.6 \times 0.6 \times 3.3 = 1.782\text{kN}$ ,而桁架节点受拉承载力设计值约为 8kN,即拉力设计值约为承载力设计值的 0.2 倍。将此拉力值作为试





(b) 夹式

图 10 连接件拉剪试验示意图

试验装置如图 11 所示。采用吊挂重物的方式对连接件施加拉力，然后沿水平施加剪力。试验时先施加拉力，等拉力稳定后，沿水平缓慢施加水平力，加载速度约为  $0.1\text{kN/s}$ ，持续加载直至试件破坏。

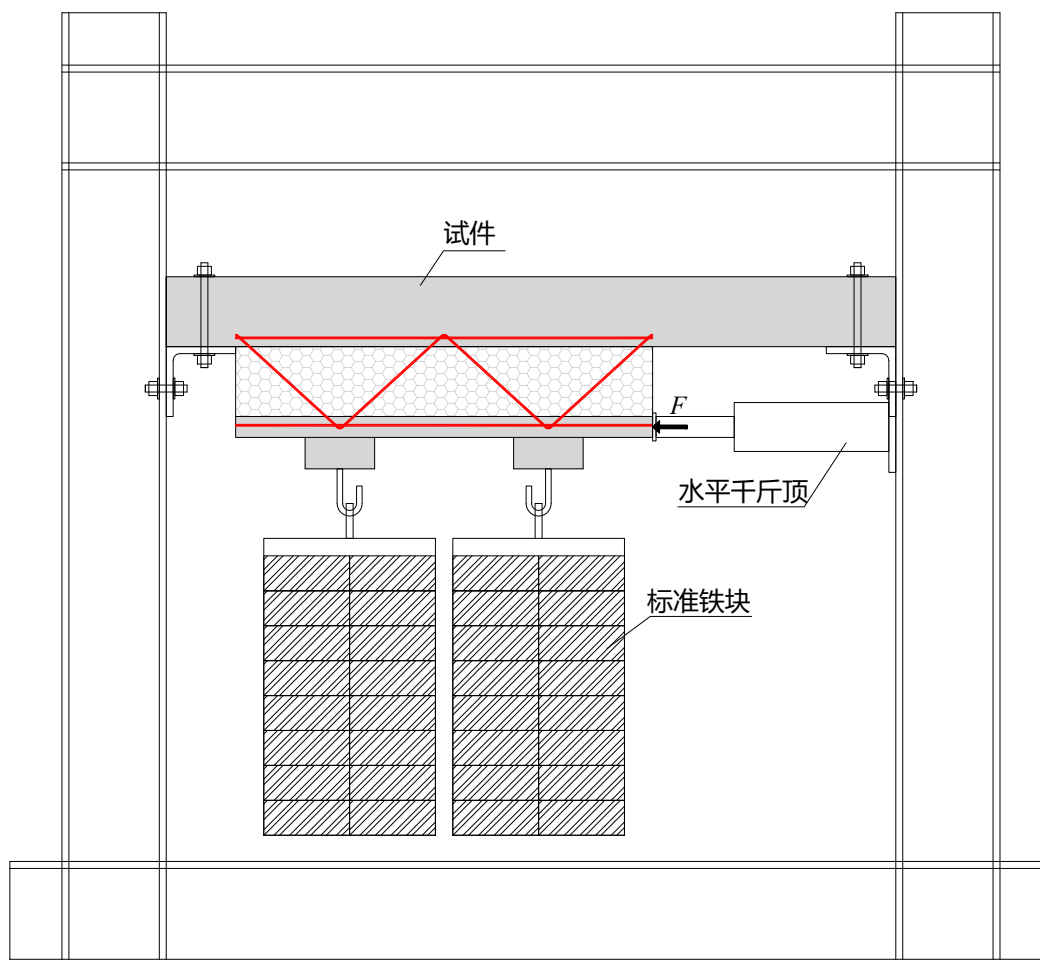
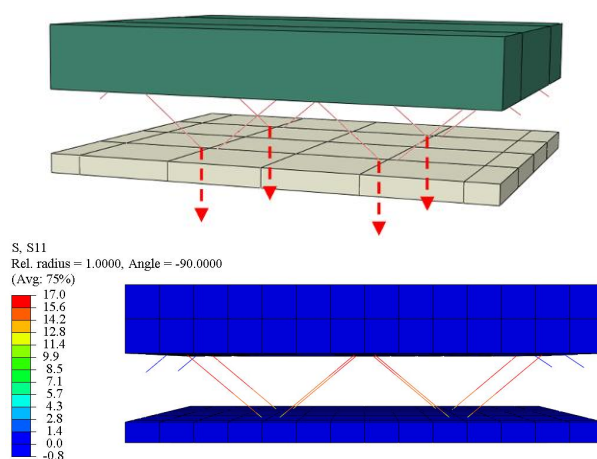




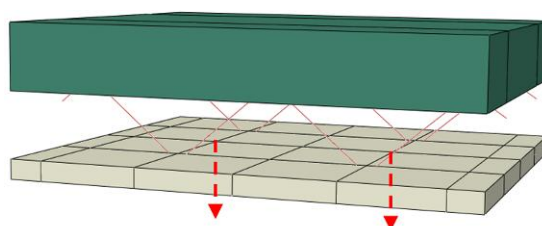
图 11 连接件拉剪试验装置

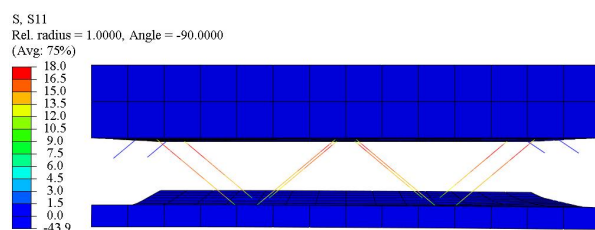
试件中桁架连接件的布置方案与抗剪试验中相同。针对施加拉力，即吊挂重物的点位分析如下，以使试验中连接件杆件均匀受拉：

采用软件计算 3 种吊挂方案，如图 12 所示。图中在各吊挂点施加竖向力，总和为 4kN，图中变形为放大 10 倍后的效果，可见采用节点吊挂方案更合理。

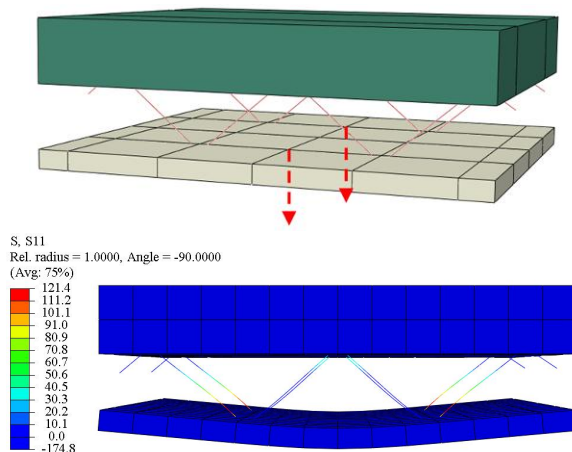


(a) 节点吊挂方案





(b) 节点间吊挂方案 1



(c) 节点间吊挂方案 2

图 12 连接件拉剪试验拉力施加方案分析

在试件四角各设置 1 个位移传感器以量测外叶墙与内叶墙的相对水平位移，也即连接件的位移。位移测点布置如 13 所示。布置图与试验时拍摄照片的正视图方向相同。图中括号内编号为靠近背面连接件的测点编号，对哈芬夹形连接件，同一连接件同位置两根斜杆的编号为用  $S_n/S_n'$  表示，其中  $S_n'$  为靠近内侧的杆件测点编号， $n$  具体为 1~8。

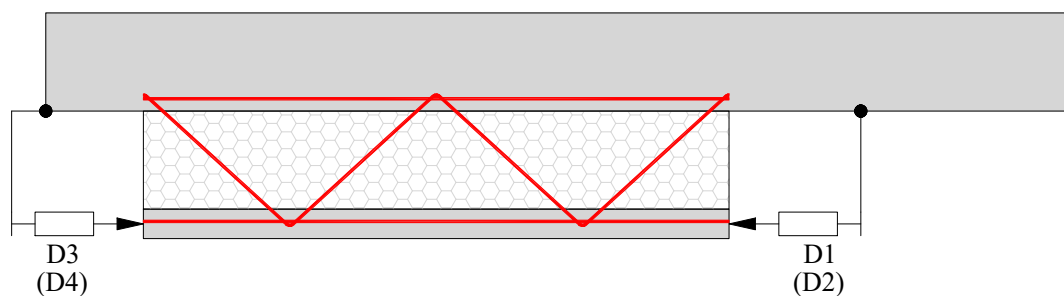


图 13 连接件拉剪试验位移测点布置

在连接件上粘贴应变片，以量测连接件受力过程中杆件的应变大小。应变测点布置如图 14 所示。

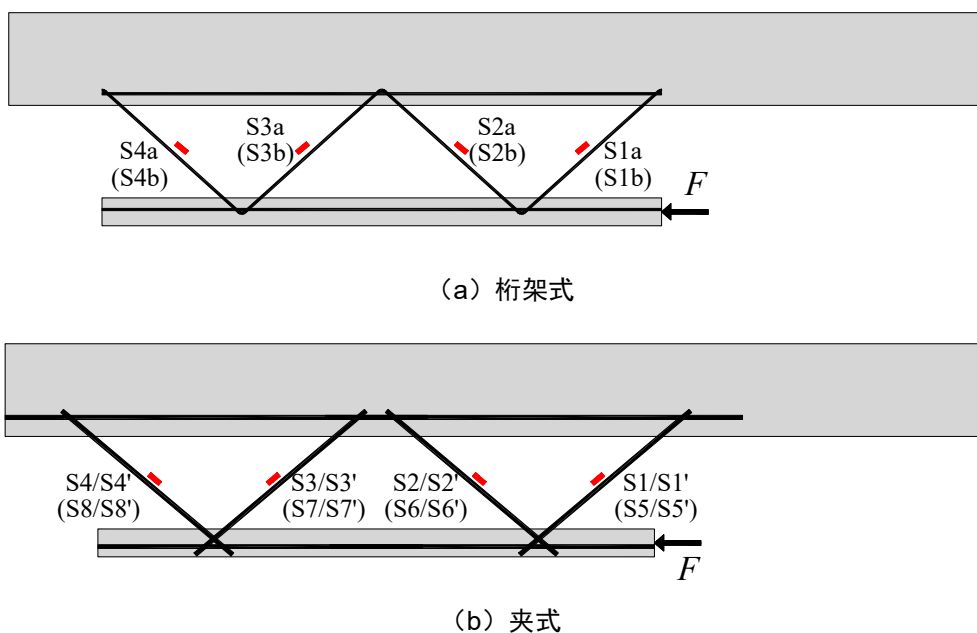


图 14 拉剪试验应变测点布置

#### 4. 结论

##### 1) 桁架式拉结件

(1) 对受拉试验，破坏模式及承载力大小离散性较大；试件承载力由腹杆相交节点处混凝土破坏或焊点脱开状态控制，单根腹杆与弦杆的节点处可能由于弦杆锚固深度和节点外弦杆自由长度过短发生锚固破坏；设计允许承载力的安全系数相当于 1.9~3.4，满足国外标准的可靠性要求，但难以满足国内设计时的拟定要求；达到设计承载力时变形小于接缝变形能力，不影响接缝性能。

(2) 对受剪试验，离散性很小；试件承载力及破坏模式主要受连接件腹杆受拉控制，拉杆最终发生断裂或锚固破坏；设计允许承载力的安全系数相当于 4.4~5.0，满足国外标准的可靠性要求，也满足国内设计时的拟定要求；按设计承载力控制时可不对变形进行验算，且有较大富余，变形量小于接缝密封胶变形能力，不影响接缝性能。

(3) 对拉剪试验，破坏模式离散性较小，但承载力大小存在一定差异；当杆件初始拉应力较小时，试件承载力及破坏模式主要受拉杆强度控制，破坏特征与受剪试验一致，当杆件初始拉应力较大时，试件承载力及破坏模式受节点处锚固破坏及焊点脱开控制，破坏特征与受拉试验一致；设计允许承载力的安全系数相当于 5.4~12.5，满足国外标准的可靠性要求，也显著大于国内设计时的拟定值；按设计承载力控制时可不对变形进行验算，且有较大富余，变形量小于接缝密封胶变

---

形能力，不影响接缝性能。

(4) 对受剪-受拉承载力相关曲线，总体上看，试验曲线能明显包住设计曲线，且随着拉力减小，承载力富余程度越来越大。

## 2) 夹式拉结件

(1) 对受拉试验，试验离散性较小；试件承载力由杆件相交节点处混凝土破坏控制；设计允许承载力的安全系数相当于 2.9~3.6，满足国外标准的可靠性要求，基本满足国内设计时的拟定要求；达到设计承载力时变形小于接缝变形能力，不影响接缝性能。

(2) 对受剪试验，破坏模式离散性较小，但承载力大小存在一定差异；试件承载力及破坏模式主要受连接件受压失稳控制，保温板对承载力的贡献显著；设计允许承载力的安全系数为 1.2~1.8，难以满足国外标准的可靠性要求，同时不满足国内设计时的拟定要求；按设计承载力控制时可不对变形进行验算，变形量小于接缝密封胶变形能力，不影响接缝性能。

(3) 对拉剪试验，破坏模式离散性较小，但承载力大小存在一定差异；试件承载力及破坏模式主要受压杆失稳承载力控制，破坏特征与受剪试验一致，保温板及各连接件协同受力程度对承载力影响显著；节点拉力较小的试件的设计允许承载力安全系数相当于 1.5~2.4，不能保证满足国外标准的可靠性要求，同时也小于国内设计时的拟定要求，节点拉力较大的试件的安全系数相当于 2.9~5.1，满足国外可靠性要求，同时基本满足国内设计时的拟定要求；按设计承载力控制时可不对变形进行验算，变形量小于接缝密封胶变形能力，不影响接缝性能。

(4) 对受剪-受拉承载力相关曲线，试验曲线能明显包住设计曲线，带保温时承载力显著高于不带保温时；随着拉力减小，承载力富余程度越来越小，这是由于受拉破坏时的承载力安全系数总体较高，而由压杆控制的受剪破坏时的承载力安全系数总体较低。

## 3) 针式拉结件

(1) 各试件破坏模式离散性较大，但承载力总体接近，安全系数相当于 5.4~7.4，满足国外可靠性要求，同时满足国内设计时的拟定要求，安全储备较高。

(2) 达到设计承载力时变形量小于胶缝变形能力。

(3) 总体而言，施工控制相对容易，由于杆件为光圆的不锈钢且直径较小，同时



开口端设计为波浪形，因此可较大程度上保证连接件的锚固效果。

**(二) 拉结件兼做拉杆的带空腔墙板的混凝土浇筑试验研究**

试件固定并确保垂直后，从试件顶部浇筑混凝土，控制浇筑速度约为  $4\text{m}^3/\text{h}$ ，试件一分两次浇筑完成，首次浇筑约至墙体半高位置，两次浇筑间隔 15 分钟；试件二一次性浇筑完成，每次浇筑完成后用振捣棒振捣，浇筑混凝土强度等级 C40，各试件空腔浇筑顺序如图 15 所示：

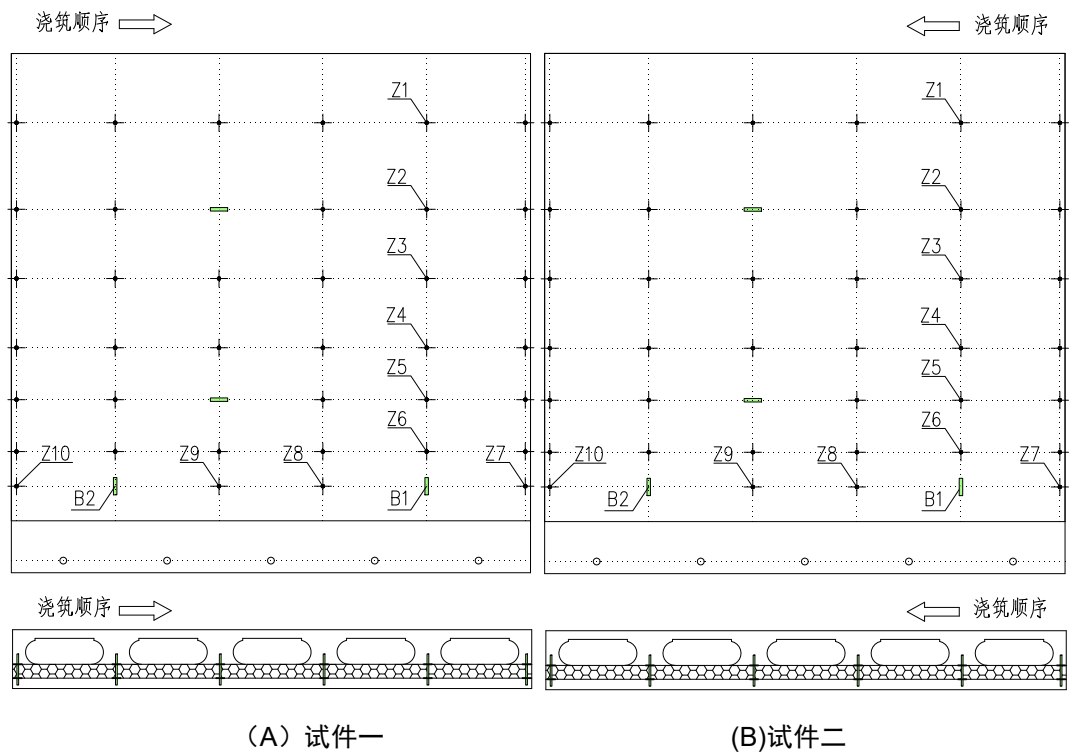


图 15 空腔混凝土浇筑顺序示意图

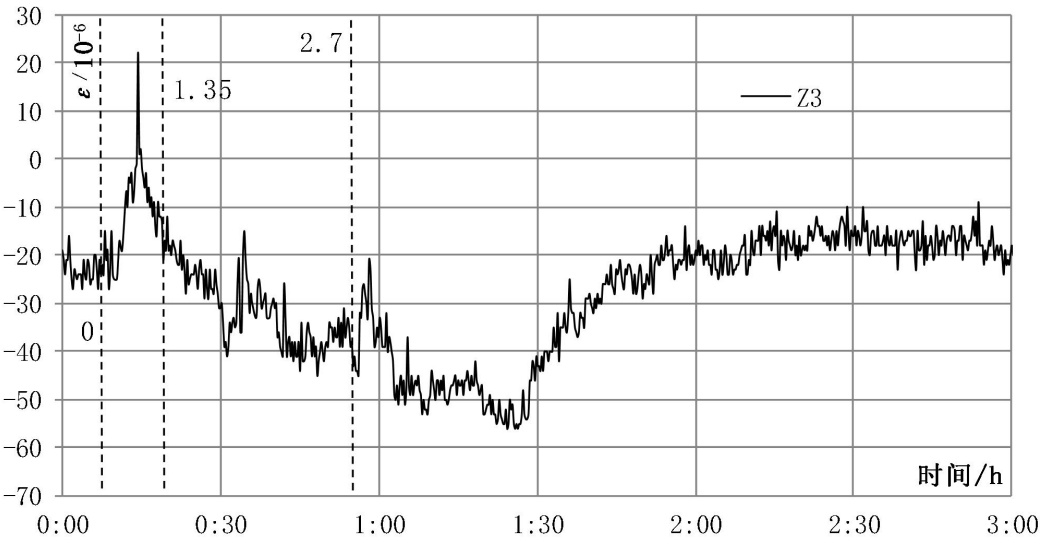
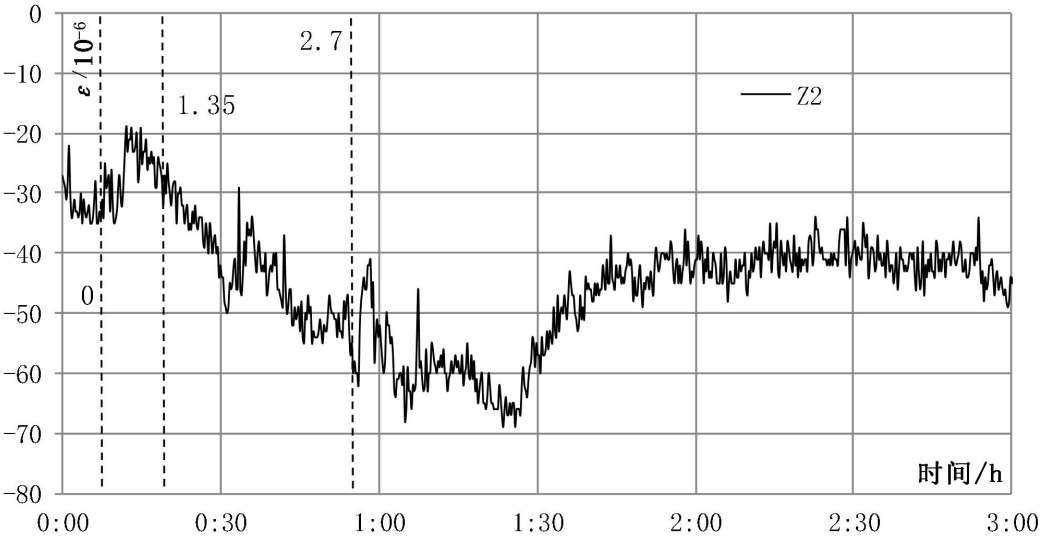
试件浇筑过程如图 16 所示：

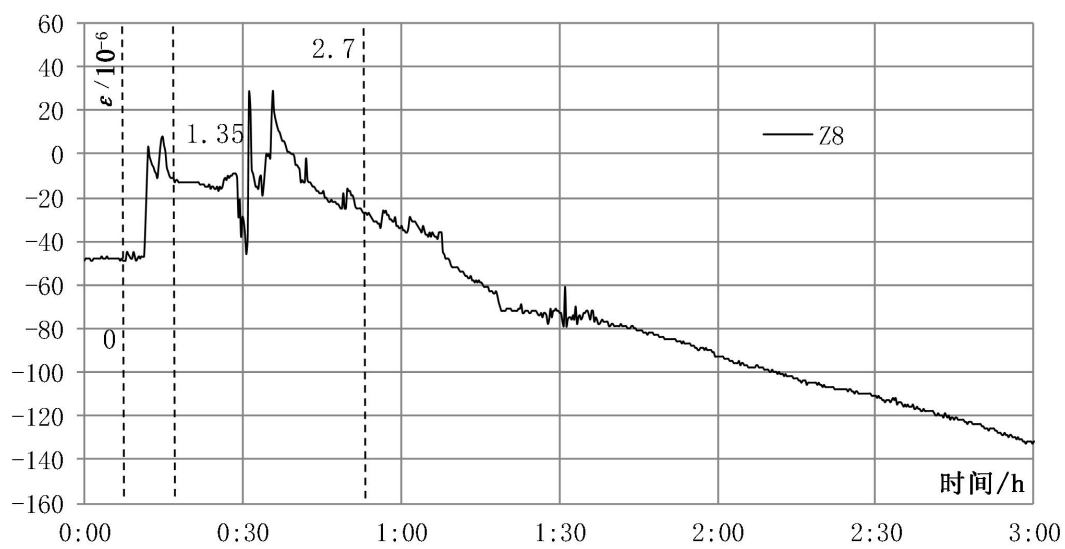
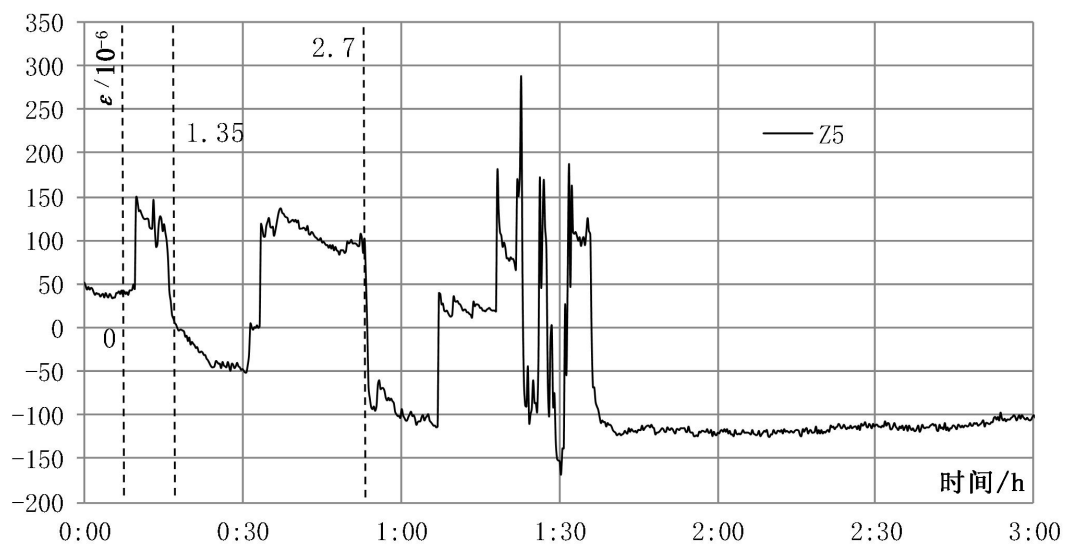
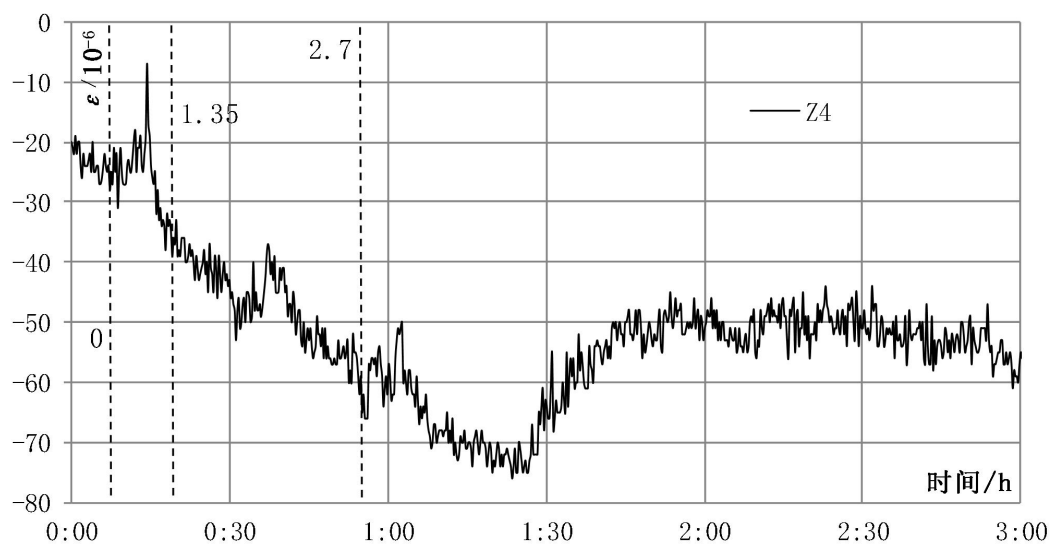


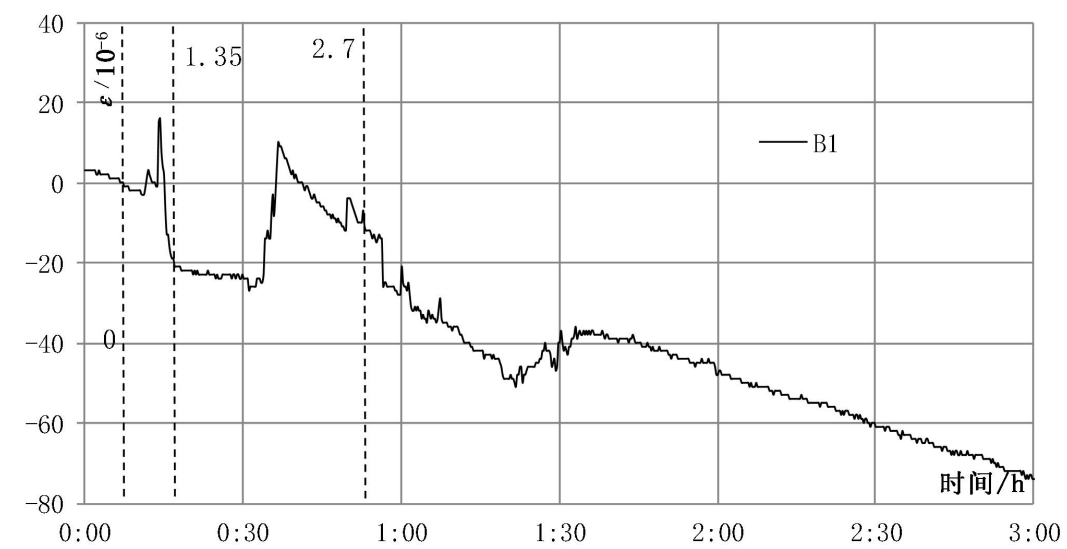
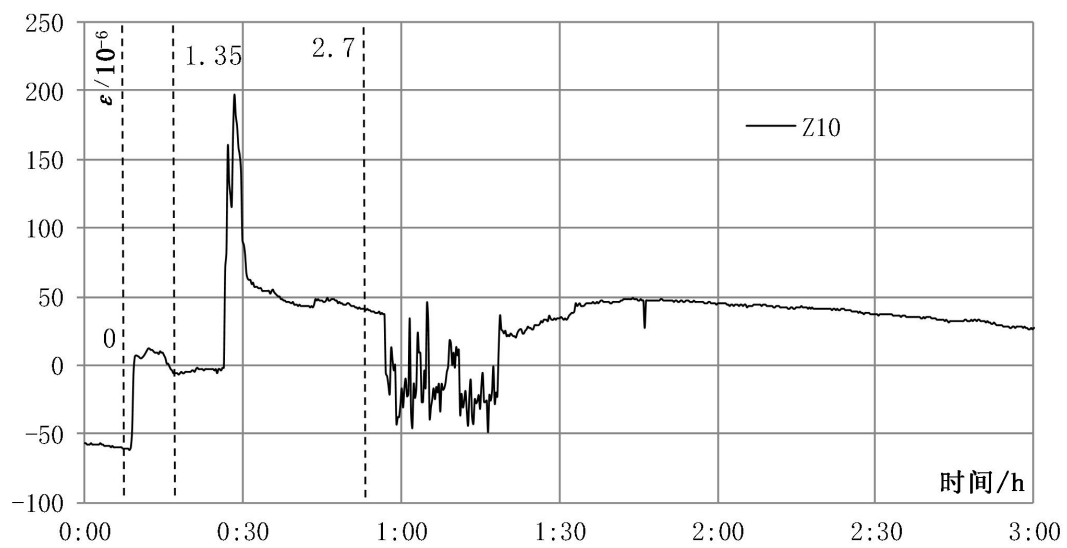
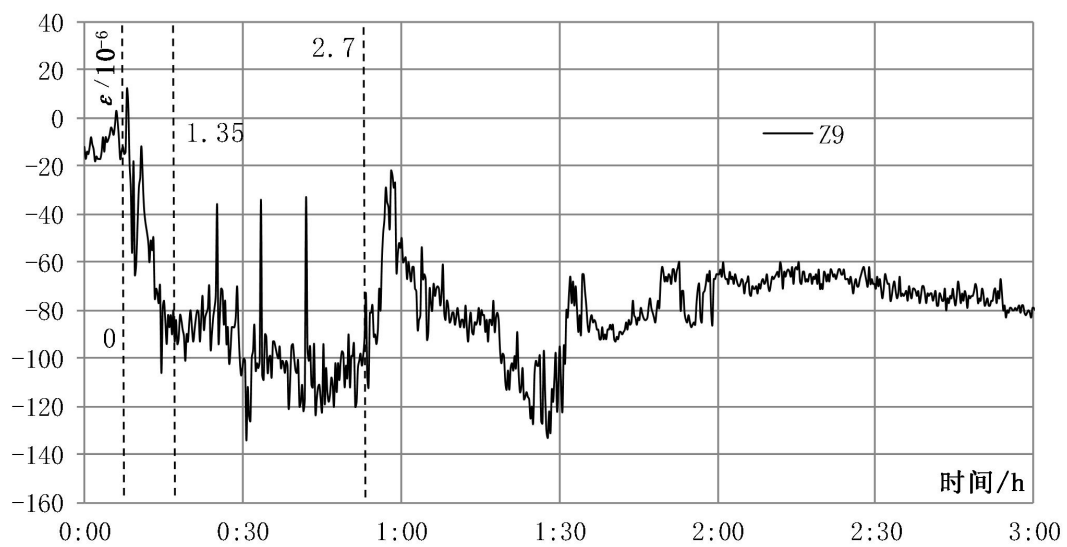
图 16 混凝土浇筑



浇筑过程中用高速静态应变仪和控制软件自动采集和记录试验数据，浇筑过程中拉结件应变变化如图 17、图 18 所示，图中虚线及数字“0、1.35、2.7”：代表空腔混凝土浇筑高度分别为 0m、1.5m、3m。







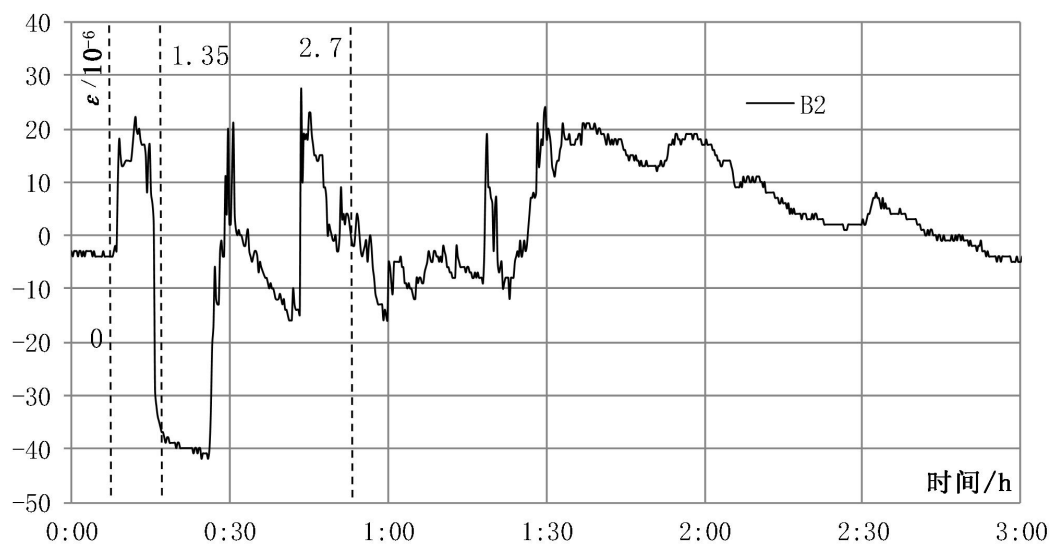
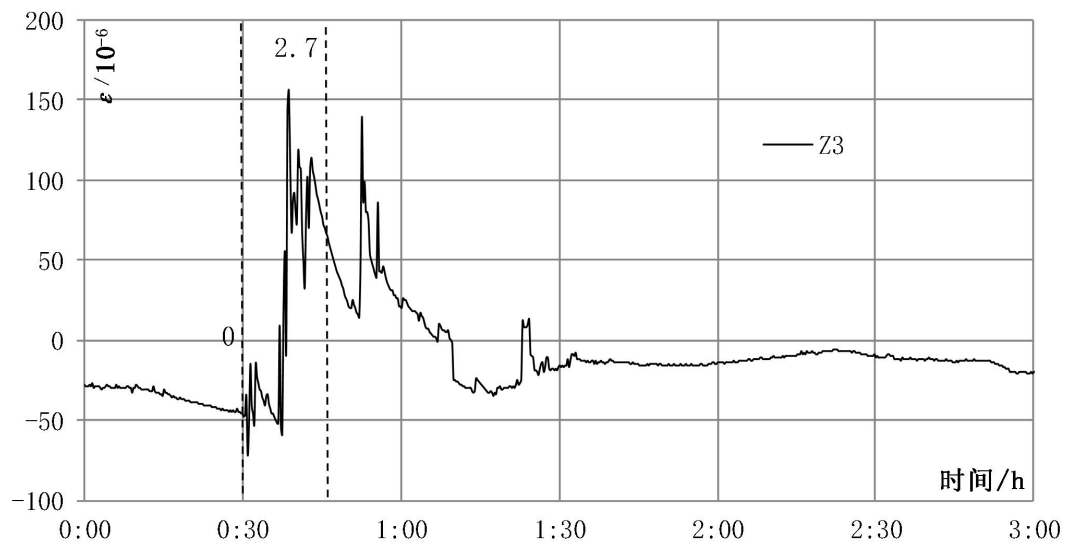
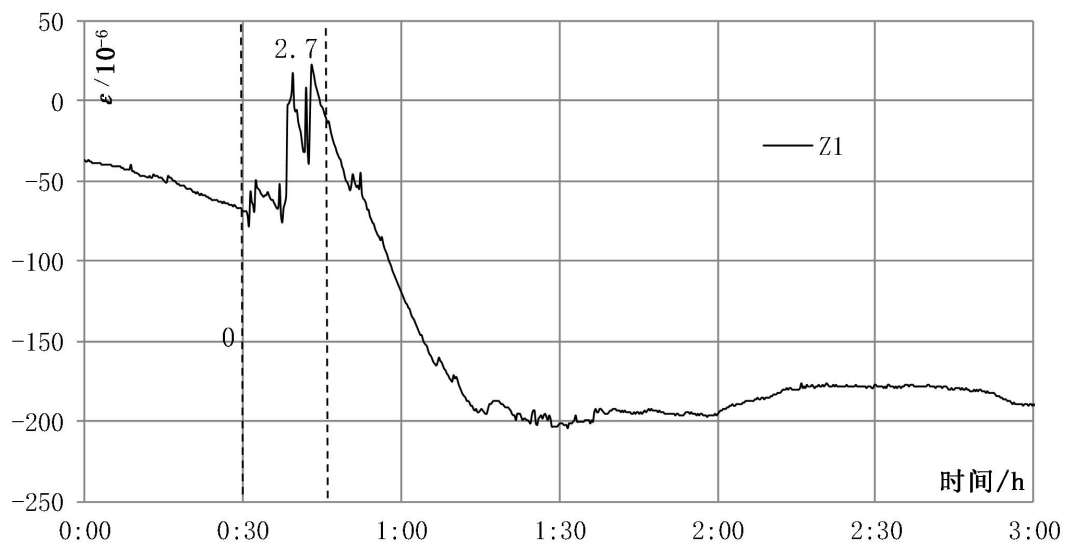
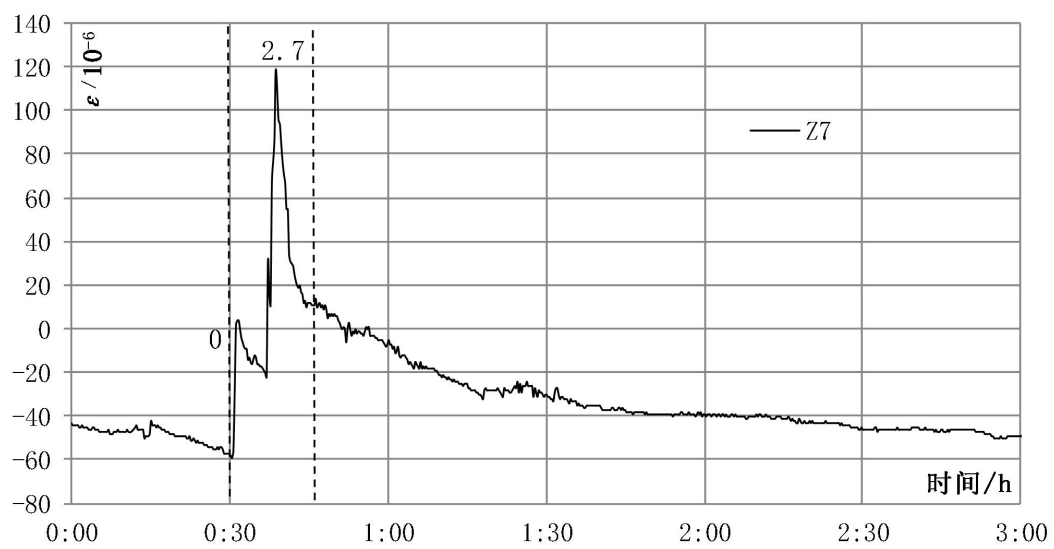
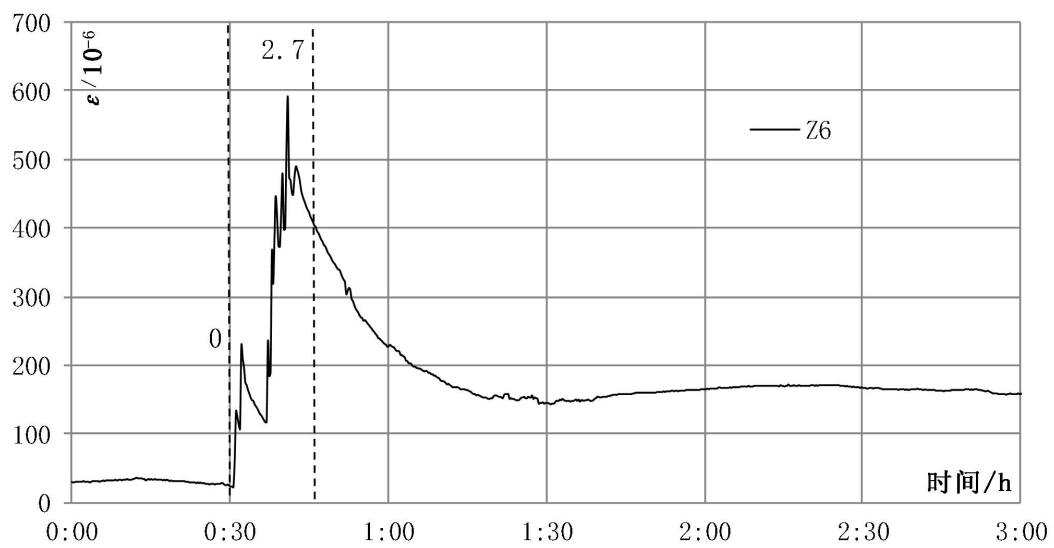
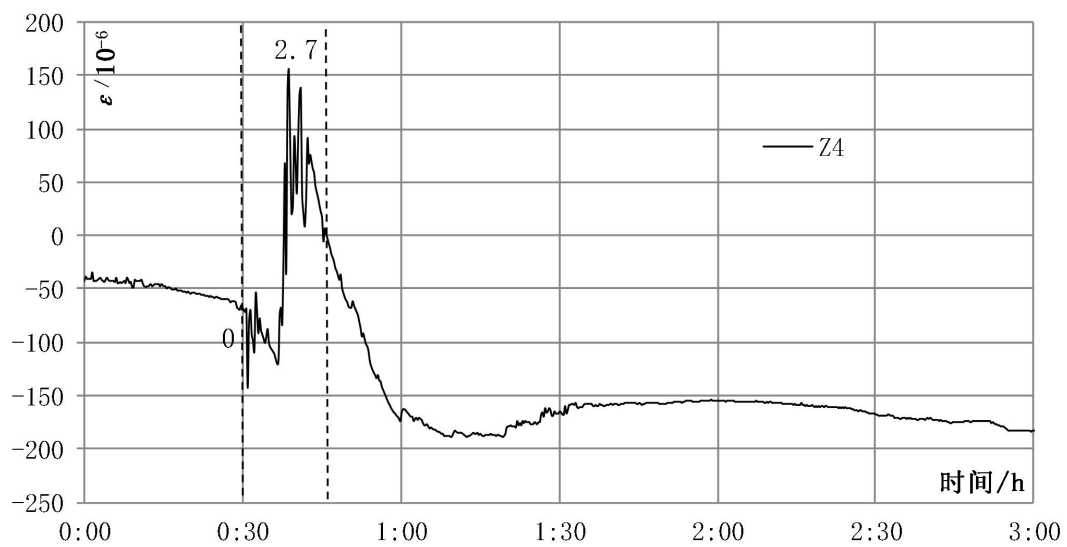
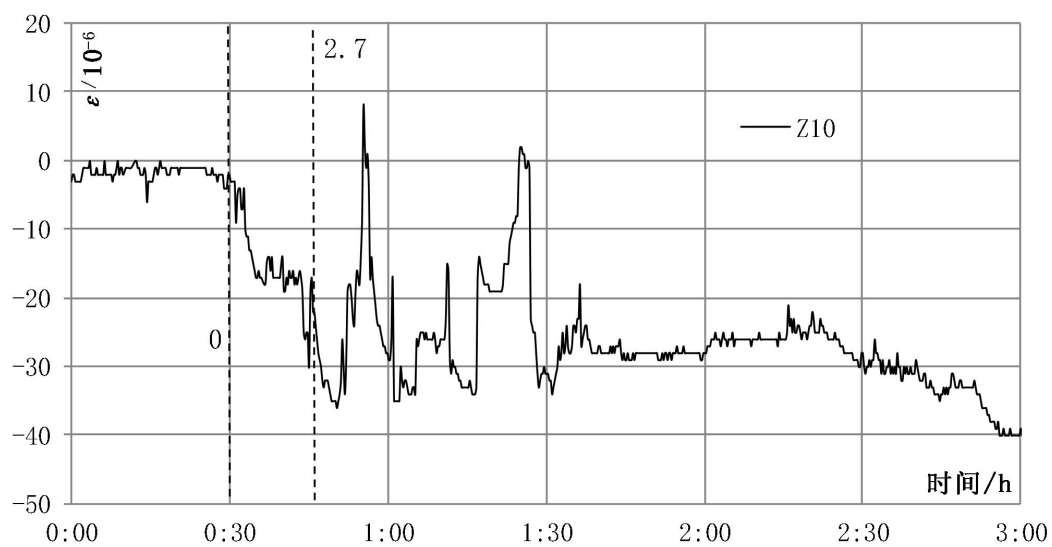
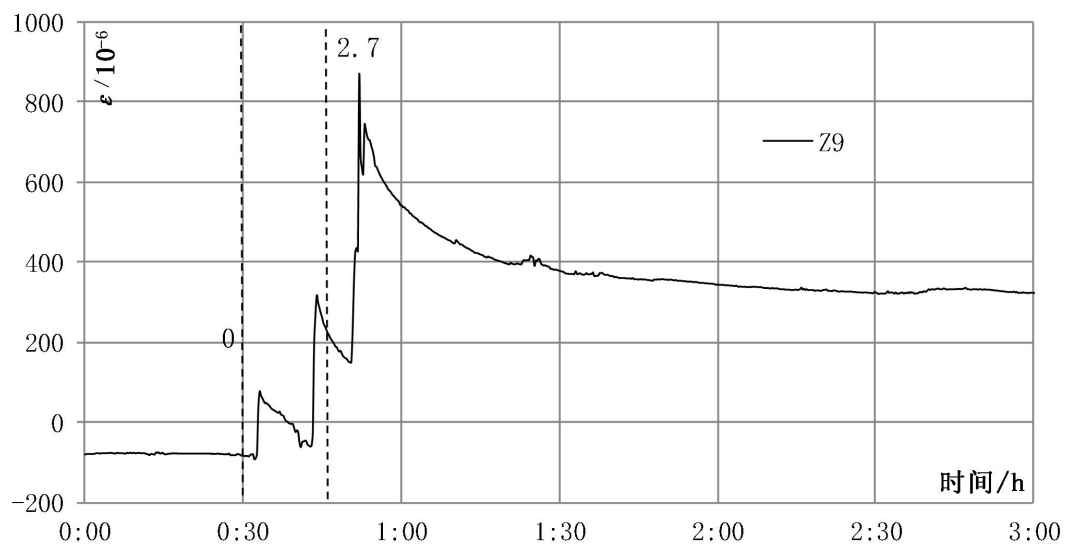
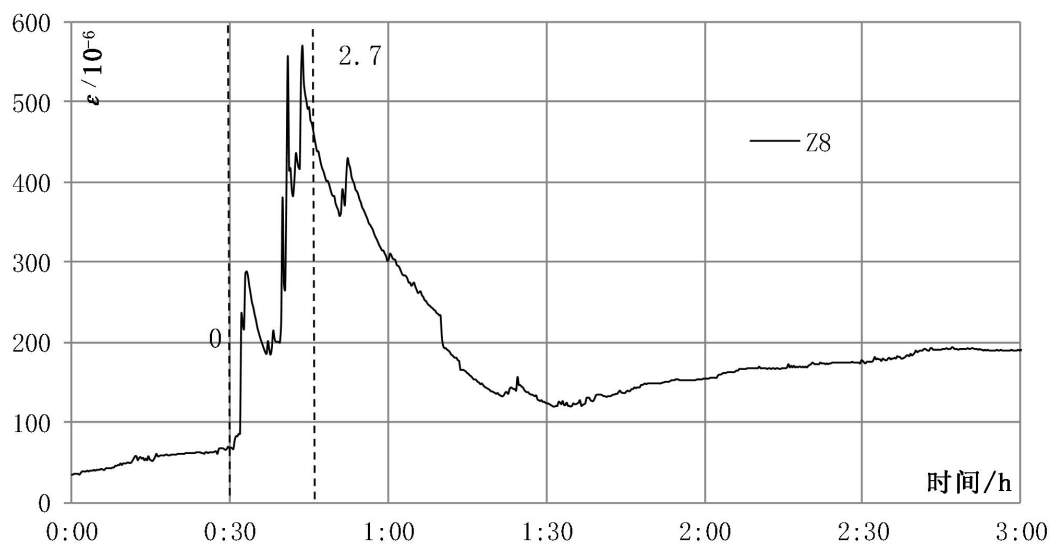


图 17 试件一拉结件应变变化曲线







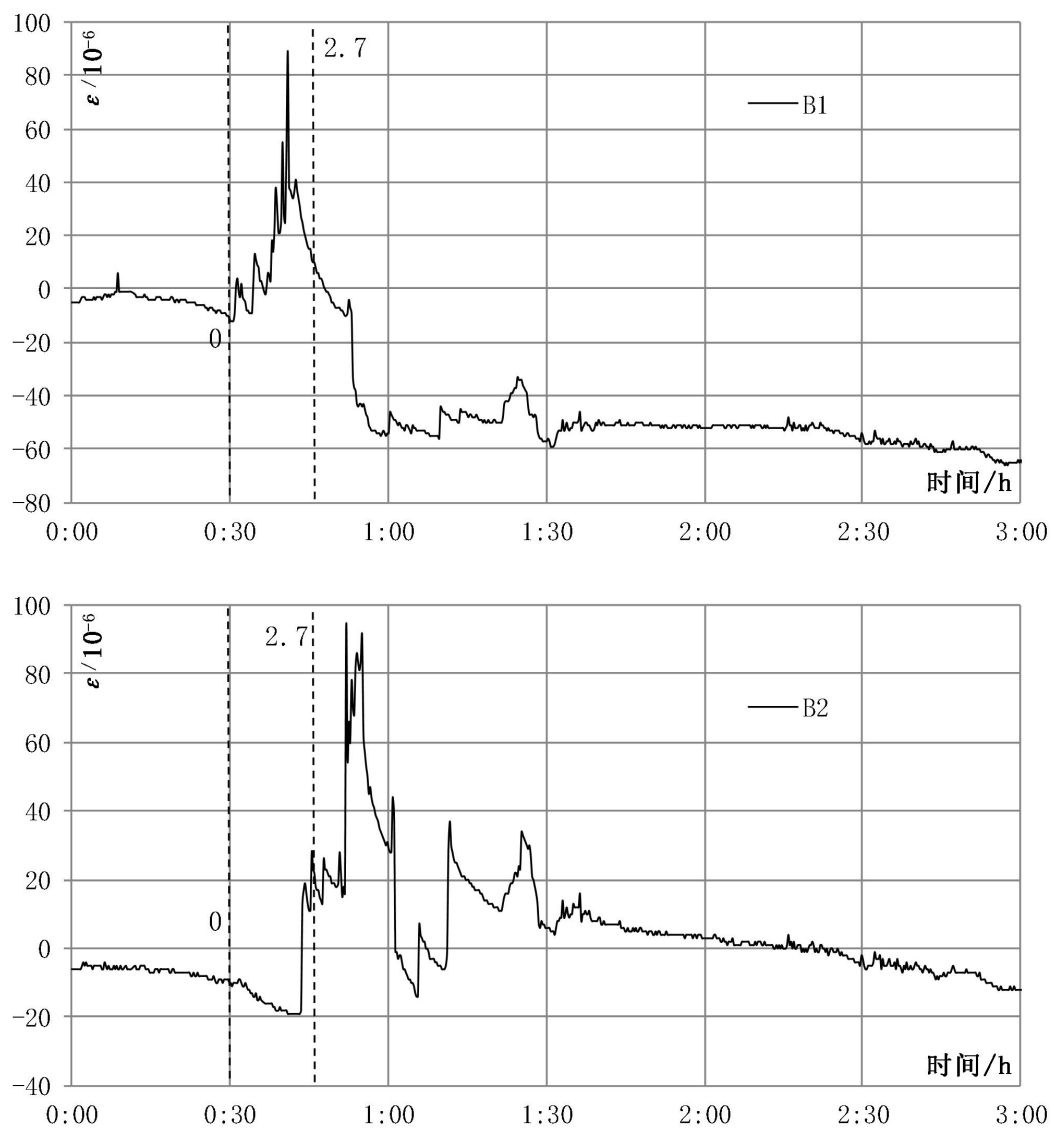
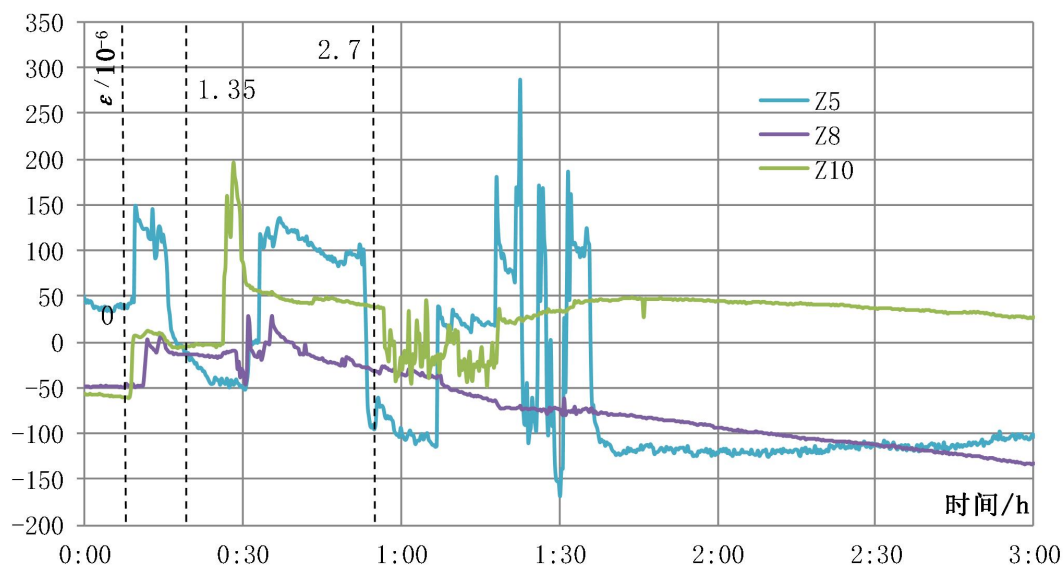
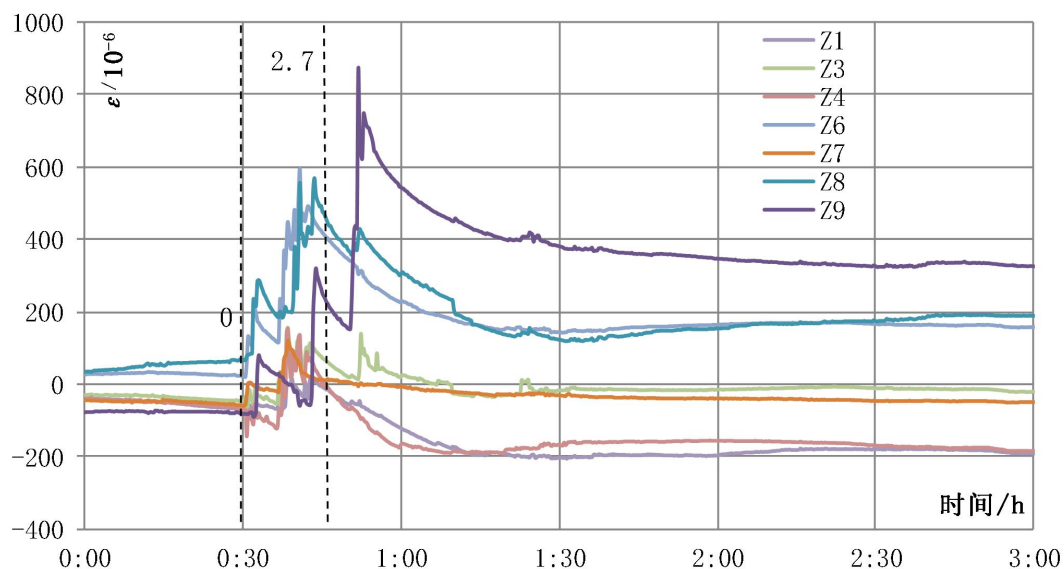


图 18 试件二拉结件应变变化曲线

试件一二同一列沿不同高度拉结件应变对比如图 19 所示。



试件一



试件二

图 19 同列不同高度拉结件应变对比

从试件浇筑过程应变变化曲线可以看出：

- 1) 浇筑混凝土时有侧压力作用于保温板及外叶墙进而导致拉结件受拉；
- 2) 混凝土振捣会导致拉结件拉应力增大；
- 3) 浇筑的混凝土产生的侧压力沿高度升高而逐渐减小；
- 4) 试件一由浇筑的混凝土产生的侧压力小于试件二。
- 5) 浇筑结束后试件初凝后，拉结件最大拉应力会下降并逐渐稳定。

试件各拉结件最大拉应变列于下表 6：

表 6 试件拉结件最大拉应变/10-6



试件 \ 测点	试件一	试件二
Z1	—	98
Z2	—	—
Z3	—	102
Z4	—	272
Z5	247	—
Z6	—	569
Z7	—	175
Z8	76	485
Z9	—	947
Z10	258	44
B1	36	98
B2	68	148

拉结件最大拉应力计算：

$$F_{\max} = E_s \varepsilon = 2.0 \times 10^5 \times 947 \times 10^{-6} = 189.4 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$$

浇筑过程中拉结件最大拉应力小于拉结件容许拉应力，拉结件布置方案安全合理。

根据《混凝土结构工程施工规范》GB50666-2011，采用内部振捣器时，新浇筑的混凝土作用于模板的最大侧压力标准值可按下列公式计算，并应取其中较小值：

$$F = 0.43 \gamma_c t_0 \beta V^{\frac{1}{4}} \quad \text{公式 1}$$

$$F = \gamma_c H \quad \text{公式 2}$$

式中：F——新浇筑混凝土对模板的最大侧压力（kN/m<sup>2</sup>）；

$\gamma_c$ ——混凝土的重力密度（kN/m<sup>3</sup>）；

$t_0$ ——新浇混凝土的初凝时间（h），可按实测确定；当缺乏试验资料时可采用  $t_0 = 200 / (T + 15)$  计算，T 为混凝土的温度（℃）；

$\beta$  ——混凝土坍落度影响修正系数：当坍落度在 50mm~90mm 时， $\beta$  取 0.85；坍落度在 100mm~130mm 时， $\beta$  取 0.9；坍落度在 140mm~180mm 时， $\beta$  取 1.0；

V——混凝土浇筑高度（厚度）与浇筑时间的比值，即浇筑速度（m/h）；

H——混凝土侧压力计算位置处至新浇筑混凝土顶面的总高度（m）；

以公式 2 为例展示计算过程：

最底一排拉结件混凝土浇筑高度 2.5m，拉结件间距 200mm，空腔按 450mm×150mm 计算，拉结件受荷面积约为 450mm×200mm，

新浇筑混凝土对外叶板侧压力： $F = \gamma_c H = 25 \text{ kN/m}^3 \times 2.5 \text{ m} = 62.5 \text{ kN/m}^2$

拉结件受拉应力： $\sigma = \frac{FS}{A} = 62.5 \times 0.45 \times 0.2 \times 10^3 / (2 \times 3.14 \times 22) = 224 \text{ MPa}$

拉结件受拉应变： $\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = 224 / (2 \times 10^5) = 1120 \times 10^{-6}$

采用公式 1、公式 2 计算得最大拉应变列于表 7。

表 7 计算最大拉应变

公式	F (kN/m <sup>2</sup> )	σ /MPa	ε /10 <sup>-6</sup>
1	100.3	360	1800
2	62.5	224	1120

从表 6、表 7 对比可以看出，计算最大拉应变略大于实测值，分析原因可能为：

- 1) 规范公式为保证安全，计算偏于保守；
- 2) 试件保温板与内叶墙粘接力抵消部分拉应力；
- 3) 空腔承压面取 450mm 宽，略大于实际情况。

混凝土浇筑过程中，观察内外叶墙，未发现混凝土开裂。

### （三）受拉结件影响的夹心保温外墙板温度作用受力性能研究

#### 1. 试件

试验墙板截面构造及拉结件设计参考实际工程。以内叶 200mm 厚，外叶 60mm 厚的夹心保温外墙板为试验对象，混凝土强度等级为 C30。保温层厚度取 30mm 和 80mm。拉结件采用板式和针式组合，且墙板四周设置封边。

拉结件间距取工程应用中的较大值 500mm 和较小值 300mm。拉结件间距越小对于温度作用下墙板的受力和变形越不利，若较小间距可使墙板满足非组合受力要求，则认为大于较小值的其他间距均可满足要求。

试件外叶墙宽度取 3m，高度取 2.7m。试件主要参数见表 8。

表 8 温度试验试件参数

编号	拉结件类型	保温层厚度 $t$ (mm)	拉结件间距 $s$ (mm)
T2-30-500a	哈芬拉结件, 设封边	30	500
T2-80-500a	哈芬拉结件, 设封边	80	500

温度作用试验试件示意图如图 20 所示。

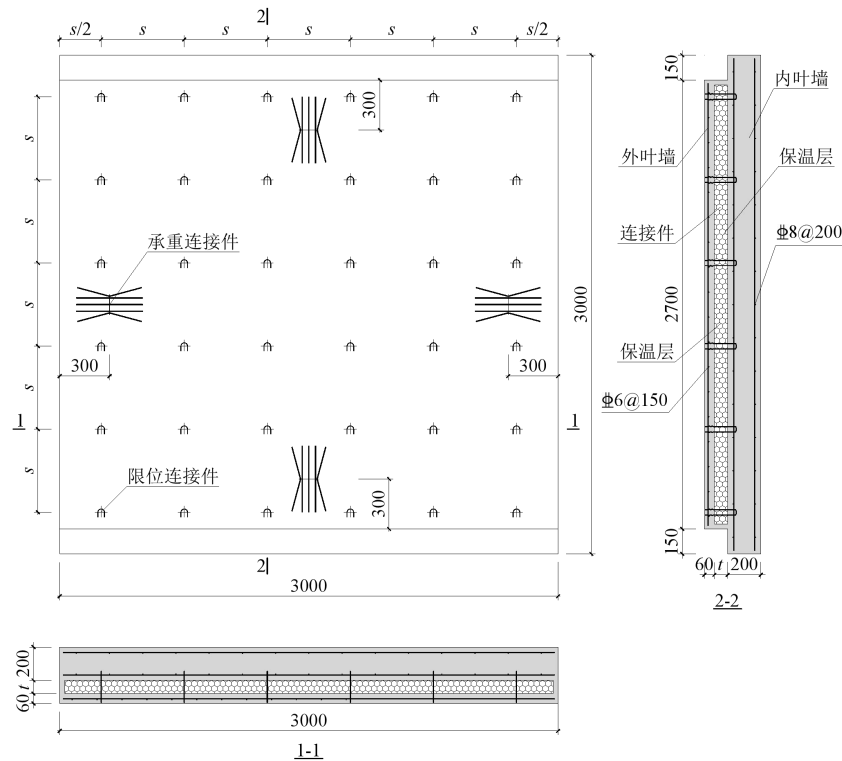


图 20 夹心保温外墙板温度作用试验试件示意图

2. 试验装置

试验装置如图 21 所示。内叶墙底部设置地梁，用于固定内叶墙。在外叶墙一侧设置保温室，保温室由彩钢夹心板组成，其由硬质聚氨酯泡沫塑料板和两侧彩钢板构成。保温室内设置制冷和制热设备用于施加温度作用。

对制冷，采用制冷空调，空气温度可达到-25℃。

对制热，采用空调中设置陶瓷加热片的方式，经测试空气温度可达到 60℃ 以上，但混凝土墙板在热空气中温度上升很慢，因此在此基础上设置红外线加热灯，通过辐射加热。共设置 9 个加热灯，沿高度均匀设置，以使加热更均匀。经测试，空气温度最高可接近 100℃，墙板升温速度可达到 3~4℃/小时。

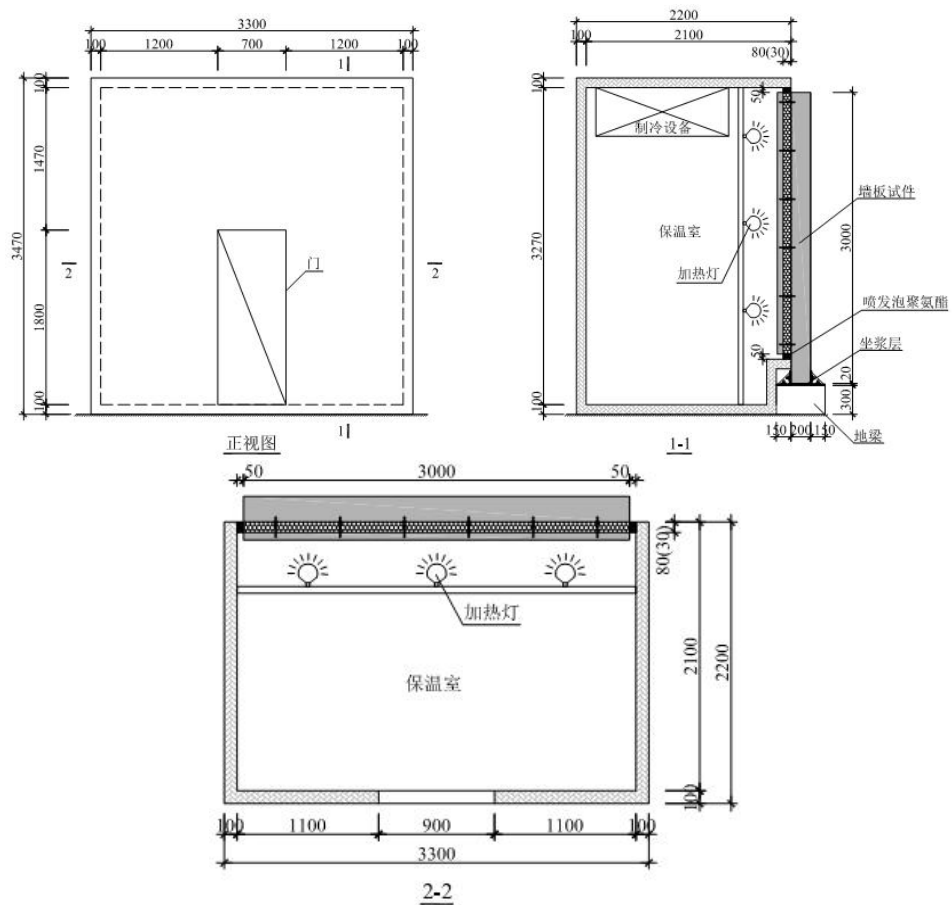


图 21 夹心保温外墙板温度作用试验装置

3. 温度施加方案

参考行业标准《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458，美国标准 ASTM C1472 和欧洲标准 EN1991-1-5 对外墙表面的温度规定见表 22、表 23，表中  $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$  在欧洲标准中分别为最热和最冷月平均温度，在美国标准中分别为当地最高基本气温和最低基本低温。

参考上述两国标准，本文进行温度试验时，按最不利情况考虑，对墙板外表面的最高温度和最低气温按如下取值：

对夏季，外叶墙表面温度最大取基本气温  $T_{\max}+42^{\circ}\text{C}$ ，以北京、上海为例，则外叶墙表面温度最大取  $78^{\circ}\text{C}$ ，内叶墙表面温度按室内温度取  $25^{\circ}\text{C}$ ，则外叶墙与内叶墙温差为  $53^{\circ}\text{C}$ 。

对冬季，外叶墙表面温度最小取基本气温  $T_{\min}$ （以北京为例，为  $-13^{\circ}\text{C}$ ），内叶墙表面温度按室内温度取  $25^{\circ}\text{C}$ ，则外叶墙与内叶墙温差为  $-38^{\circ}\text{C}$ 。

试验在室内进行，内叶墙温度变化较小，通过制热及制冷设备，升温时控制外叶墙外侧温度最高达到  $78^{\circ}\text{C}$  以上，并控制温差尽可能达到  $53^{\circ}\text{C}$ ；降温时控制外叶墙外侧温度最低达到  $-13^{\circ}\text{C}$  以上，并控制温差尽可能达到  $-38^{\circ}\text{C}$ 。

表 22 欧洲标准中外墙板表面温度

季节	太阳辐射吸收系数	外墙板外表面温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	
		东北向墙面	西南向墙面
夏季	0.5（光亮表面）	$T_{\max}+0$	$T_{\max}+18$
	0.7（浅色表面）	$T_{\max}+2$	$T_{\max}+30$
	0.9（暗淡表面）	$T_{\max}+4$	$T_{\max}+42$
冬季	/	$T_{\min}$	

表 23 美国标准中外墙板表面温度

季节	材料		太阳辐射吸收系数 $A_x$	外墙板外表面最高温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
夏季	未涂漆混凝土		0.65	一般情况下混凝土墙板为 $T_{\max}+A_x \cdot 42$
	白色大理石		0.58	
	油漆	深红色、棕色或绿色	0.65~0.85	
		黑色	0.85~0.98	
		白色	0.23~0.49	

	白色石膏		0.30~0.50	
	钢铁		0.65~0.85	
	其他材料	黑色	0.95	
		深灰	0.80	
		淡灰	0.65	
		白色	0.45	
冬季	/		/	$T_{\min}$

4. 量测方案

1) 温度

对保温室内空气温度，在制冷制热设备上设置温度传感器，并在保温室外的温度控制器上实时显示。

对保温室外空气温度，通过电子温度计量测并实时显示。

对外叶墙和内叶墙混凝土的温度，通过预埋在其内部的电阻温度传感器量测，将手持式温度记录仪与传感器预埋线连接，可读取并显示实时温度。试验过程中由人工按等间距时间间隔进行量测、记录，如图 24 所示。

内、外叶墙墙的温度测点布置，如图 25 所示。



图 25 温度量测设备

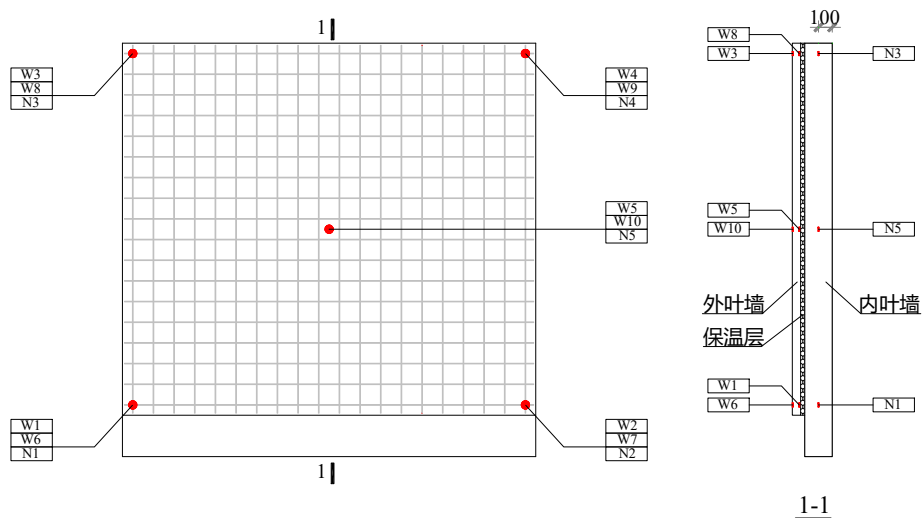


图 25 温度测点布置

## 2) 裂缝

升温至目标值后，进入保温室内观察墙板开裂情况，绘制裂缝轨迹，采用裂缝宽度比对卡量测裂缝宽度，同时记录裂缝位置和长度等。

由于升温后室内温度很高，试验人员难以直接进入，需将空气温度适当降低后（此时墙板温度降低较慢），则可进入观察。

## 3) 应变

试件外叶墙外表面均匀设置混凝土应变片，以量测试验过程中的混凝土应变，对应的温度补偿应变片设置于室外，并记录补偿片位置的温度。应变量测采集由实验室的高速静态应变仪自动采集和记录。各试件的应变测点布置如图 26 所示，对试件 T1-30-500，未布置图中 5~8 号测点，将 9 号测点改编为 5 号。

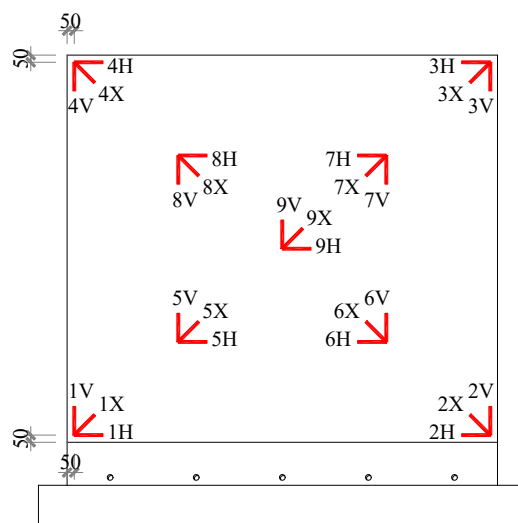


图 26 应变测点布置

#### 4) 面外变形

通过激光测距仪量测。试件安装完成后，施加温度前，以保温室中试件正对面的墙面为基准面，可量测得到外叶墙测点距离基准面的初始距离。当温度达到目标值之后，进入保温室，重新进行量测，得到温度作用下的测点距离。通过将两次数据相减可得到外叶墙表面各测点的面外位移。各试件量测面外变形的测点布置如图 27 所示。

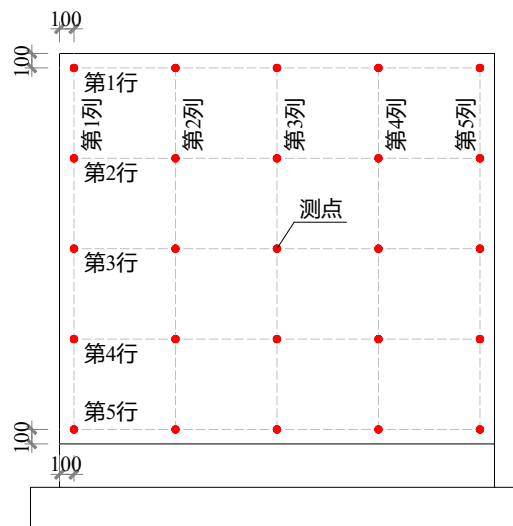


图 27 面外变形测点布置

#### 5. 试验研究结论

- 1) 裂缝：升温时，拉结件间距为 500mm 时，由于最外侧拉结件受力较大且不均匀导致裂缝集中于边缘部位；拉结件间距为 300mm 时，由于外叶墙外侧在高温下快速失水收缩，导致墙板内部产生较多龟裂缝及以其为基础延伸形成的连续裂缝。降温时间距为 500mm 的试件由于约束较小未产生可见裂缝，而间距 300mm 的试件由于约束较强，在墙板边缘产生裂缝。无论升温 and 降温，设封边的试件边缘约束很强，封边构造加剧了外叶墙的开裂。
- 2) 应变：当保温层厚度为 30mm 时，无论升温还是降温，应变与时间及温差总体呈线性关系，且与按自由变形计算的理论应变变化曲线形式大体一致；当保温层厚度为 80mm 时，由于外叶墙受到的约束较弱，发生的面外翘曲变形较明显，使得升温时应变与时间及温差呈非线性关系，且应变增大的速率远大于理论值，冷却时应变也无法完全恢复，存在较大的残余应变，但降温时应变与时间及温差总体仍呈线性关系。
- 3) 变形：试件在温度变化下靠近边缘部位面外变形较小，内部变形较大，在升



温时主要发生外凸变形，降温时主要发生内凹变形；保温层厚度越大、拉结件间距越大时，面外变形问题更突出。

4) 有限元计算的混凝土主拉应力较大区域、出现塑性应变的区域与试验时的开裂区域及规律大致相符，保温层厚度越小、拉结件间距越小，开裂问题越突出，有限元计算的开裂程度总体小于试验。

5) 设计计算时应重视夹心保温墙板在温度作用下的受力性能，对保温层较小（如小于 50mm）及拉结件间距较小（如小于 300mm）的情况，应增加对外叶墙的温度应力验算。

**（四）补充试验研究**

1. 拉结件受拉试验

针对针式与板式拉结件的受拉性能试验，采用单拉与双拉两种试验方法。

1) 单拉试验方案

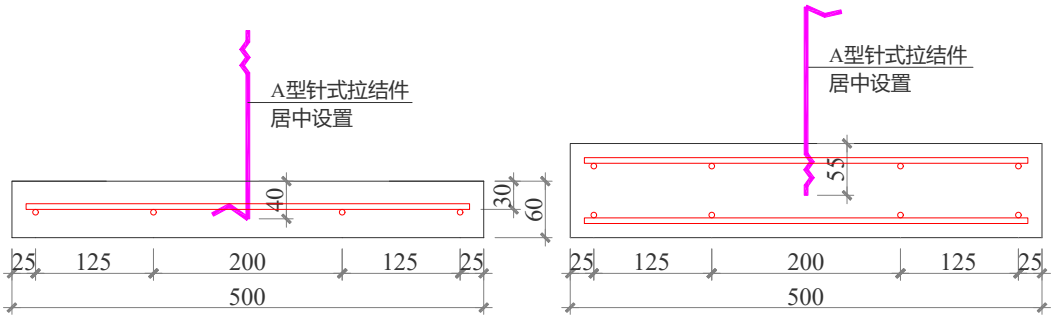
(1) 试件设计

试件参数见表 24。试件拉结件采用 A 型针式、N 型针式和板式 3 种形式，锚固深度参考产品技术资料的最小值取值。混凝土板采用外叶板、内叶板和加宽加厚外叶板 3 种形式，均为正方形截面。混凝土强度等级为 C30，板内配置构造钢筋。试件尺寸及构造如图 28 所示。每种型号试件制作 2 个，加载时采用不同反力约束方式，共计 12 个试件。

表 24 拉结件单拉试件参数

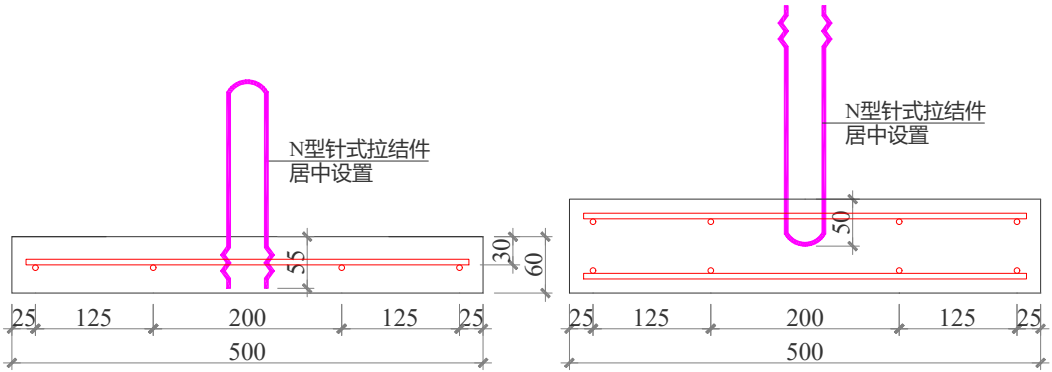
试件编号	拉结件类别	拉结件锚固端	混凝土板形式（厚度）	反力约束方式
ZAT-E-1	A 型针式	封闭端	外叶板（60mm）	四角
ZAT-E-2				环形
ZAT-I-1	A 型针式	开口端	内叶板（100mm）	四角
ZAT-I-2				环形
ZNT-E-1	N 型针式	开口端	外叶板（60mm）	四角
ZNT-E-2				环形
ZNT-I-1	N 型针式	封闭端	内叶板（100mm）	四角
ZNT-I-2				环形

BT-E-1	板式	—	外叶板（60mm）	对边
BT-E-2				四角
BT-E-3	板式	—	外叶板（四周加宽加厚）	四角
BT-E-4				环形



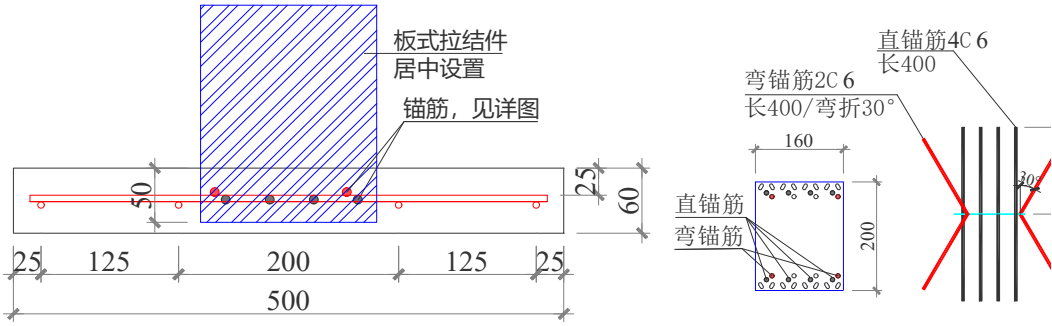
(a) A 型针式-外叶板

(b) A 型针式-内叶板

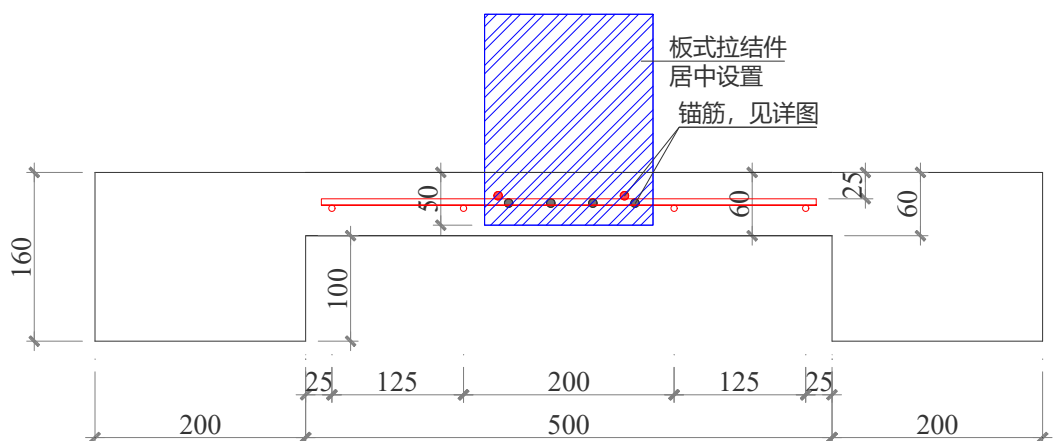


(c) N 型针式-外叶板

(d) N 型针式-内叶板



(e) 板式-外叶板

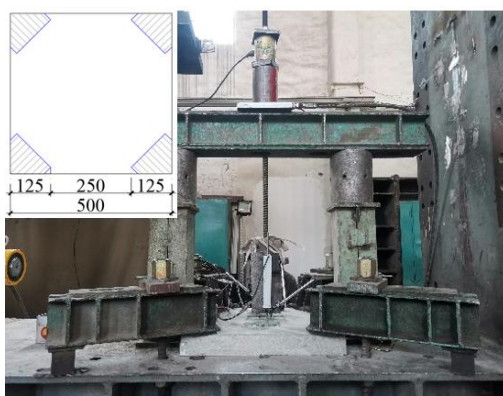


(f) 板式-外叶板（加宽加厚）

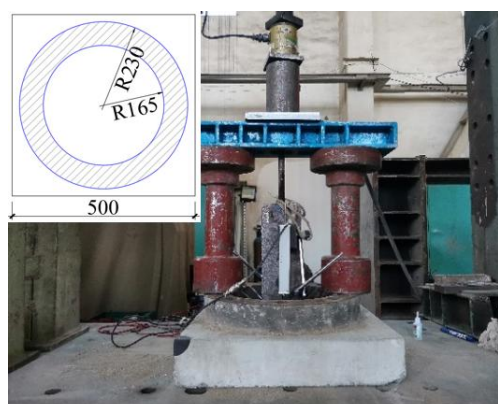
图 28 拉结件单拉试件设计图

## (2) 试验装置

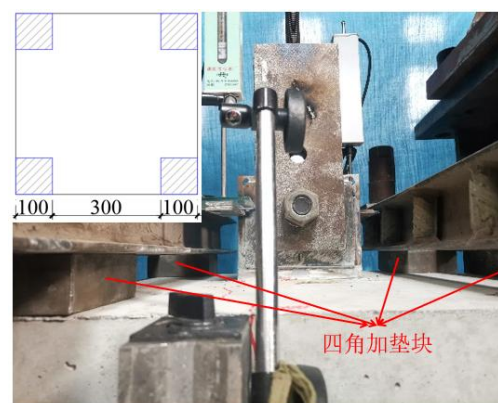
由于反力约束方式以及试件尺寸差异，不同试件试验加载装置略有不同，不同试验装置照片如图 29 所示，照片左上附图中阴影部分表示反力约束作用范围。试验时对试件沿轴向连续、匀速施加拉力，加载速度控制在 0.1kN/s，加载直至试件破坏。



(a) 针式拉结件（四角约束）



(b) 针式拉结件（环形约束）



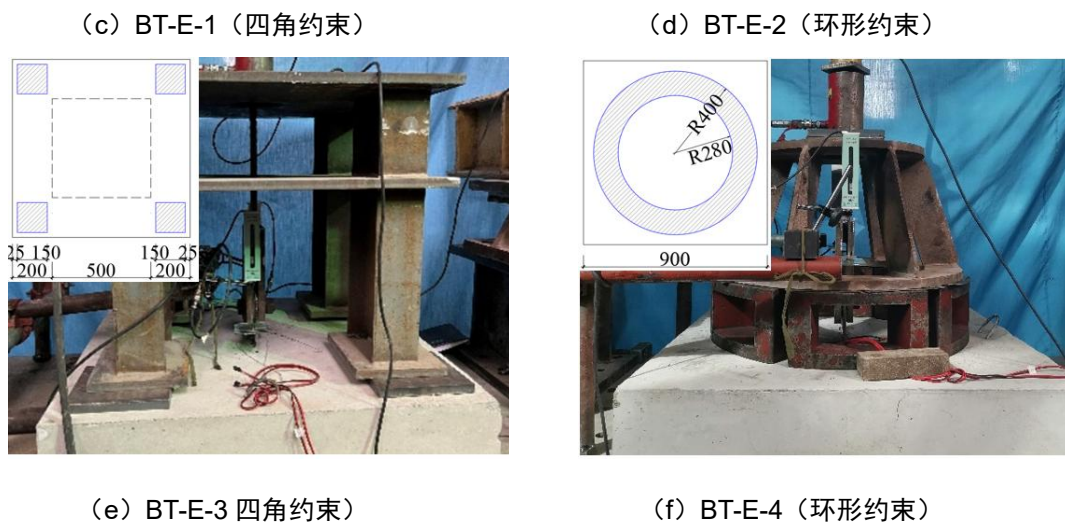
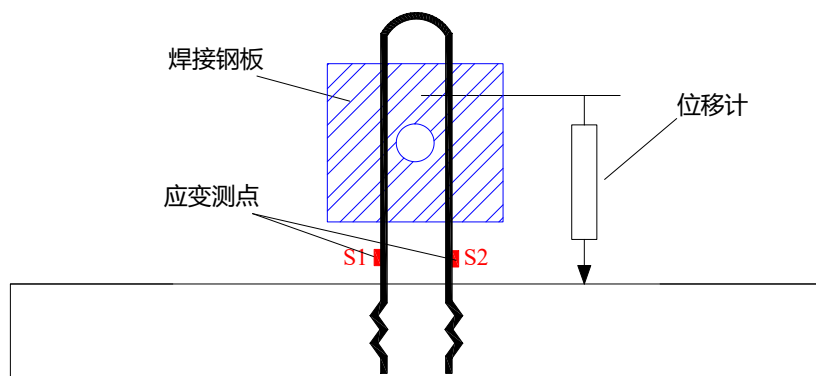


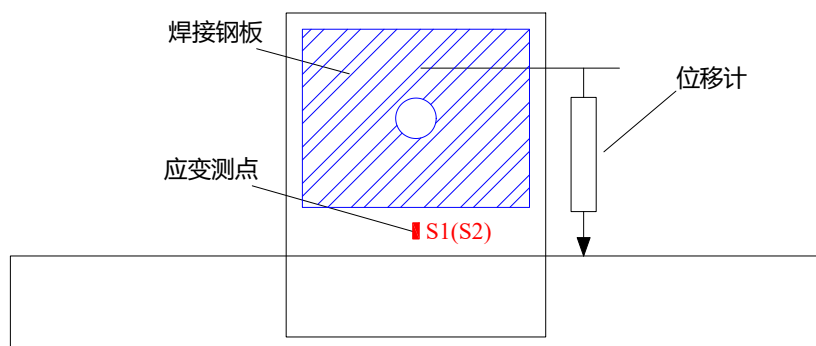
图 29 拉结件单拉试验装置

### (3) 量测方案

拉结件单拉试件位移计与应变测点如图 30 所示，其中，在拉结件外露端焊接的带孔钢板为便于加载夹持所用，兼做位移计定位点。需要注意的是，试验测得的位移为拉结件伸长量和拉结件与混凝土板相对滑移之和。



(a) 针式拉结件



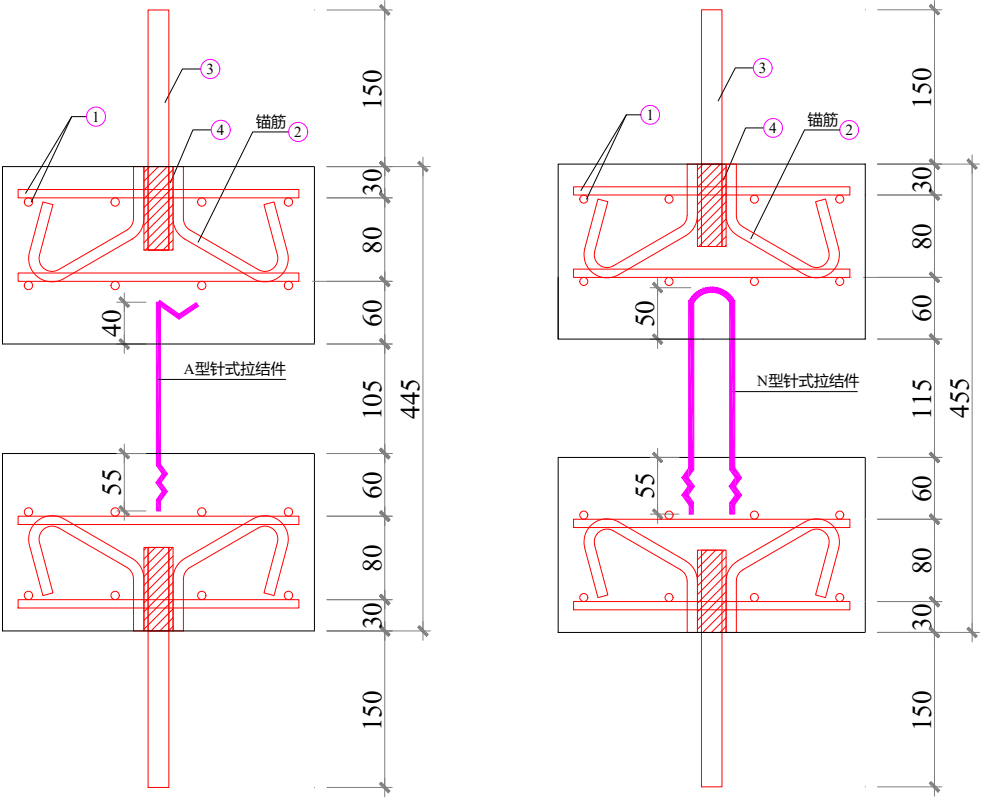
(b) 板式拉结件

图 30 拉结件单拉试验位移与应变测点布置

2) 双拉试验方案

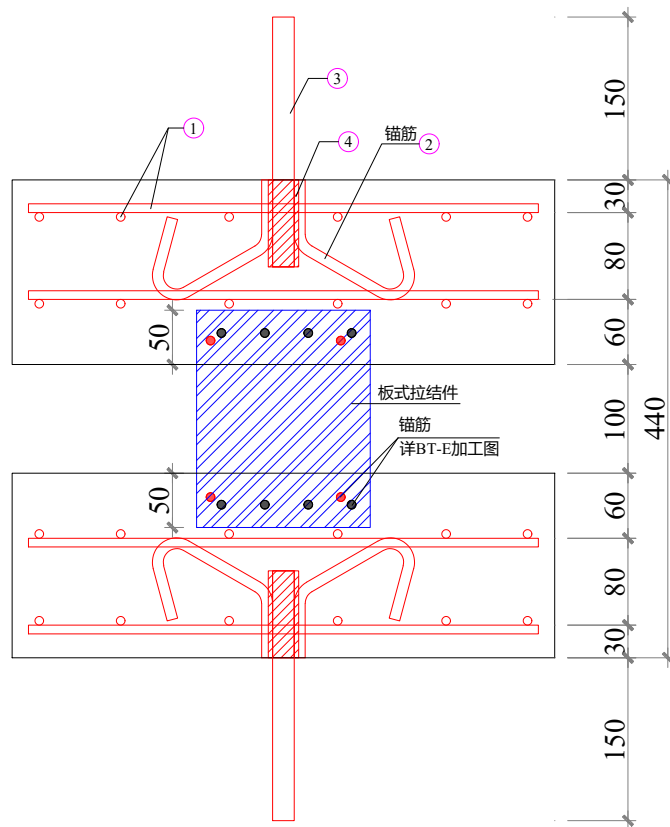
(1) 试件设计

试件拉结件采用 A 型针式、N 型针式和板式 3 种形式，锚固深度参考产品技术资料的最小值取值，其余参数完全相同。试件尺寸及构造如图 31 所示，每种型号试件制作 2 个，共计 6 个试件。试件混凝土强度等级为 C30。



(a) A 型针式拉结件

(b) N 型针式拉结件



(c) 板式拉结件

图 31 拉结件双拉试件设计图

## (2) 试验装置

拉结件双拉试验装置如图 32 所示。试验加载速度控制在  $0.1\text{kN/s}$ ，加载直至试件破坏。



图 32 拉结件双拉试验装置

(3) 量测方案

在试件四面正中各设置 1 个位移传感器，量测上下混凝土板的相对位移，位移测点布置如图 33 所示。布置图为试验时拍摄照片的正视图，括号内编号表示试件背面位移测点。

在拉结件上粘贴应变片，以量测拉结件受拉过程中的应变大小，应变测点布置如图 34 所示。

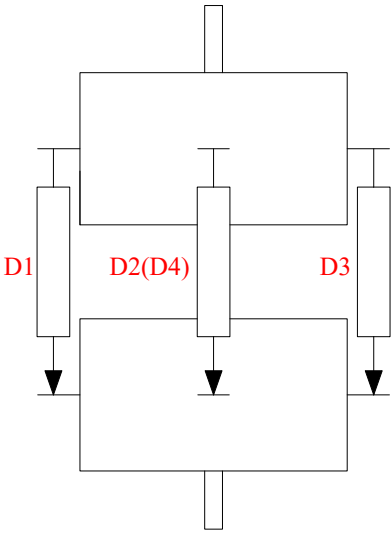


图 33 拉结件双拉试验位移测点布置

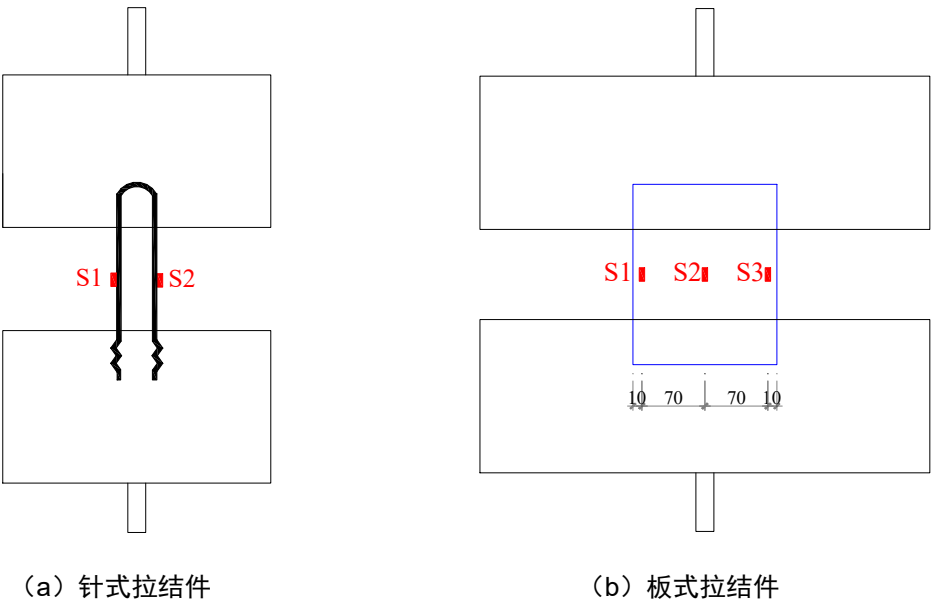


图 34 拉结件双拉试验应变测点布置

2. 拉结件受剪试验

针对板式、夹式和桁架式拉结件的受剪性能试验，采用单剪与双剪两种试验方法。

1) 单剪试验方案

(1) 试件设计

拉结件单剪试件由两层混凝土板、中间保温板和拉结件组成，每个试件配置 2 个拉结件。试件参数如表 25 所示。试件拉结件采用板式、夹式和桁架式 3 种形式，锚固深度参考产品技术资料的最小值取值。混凝土内、外叶板厚度分别为 120mm、60mm，混凝土强度等级为 C30，板内配置构造钢筋。试件尺寸及构造如图 35 所示。每种型号试件制作 2 个，共计 8 个试件。

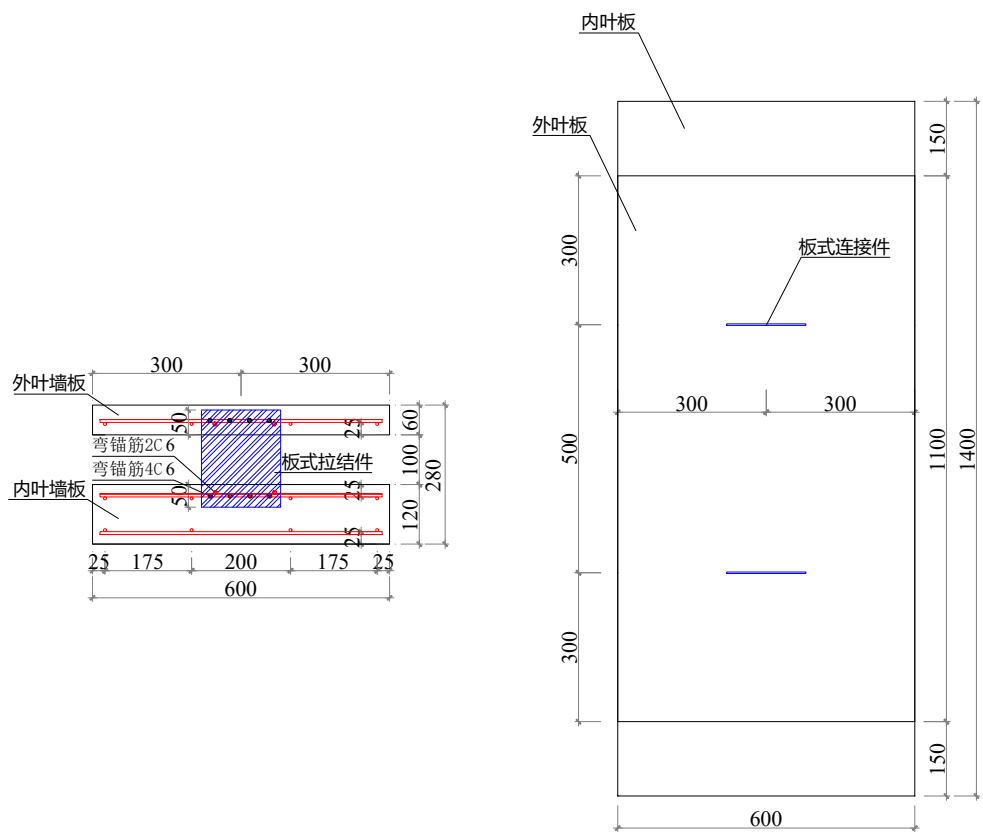
表 25 拉结件单剪试件参数

试件编号	拉结件类别	保温板规格
BS-A-1、2	板式	100 mm 厚
JS-A-1、2	夹式	115 mm 厚
HS-A-1、2	桁架式	100 mm 厚（XPS）
HS-A-3、4	桁架式	100 mm 厚（EPS）

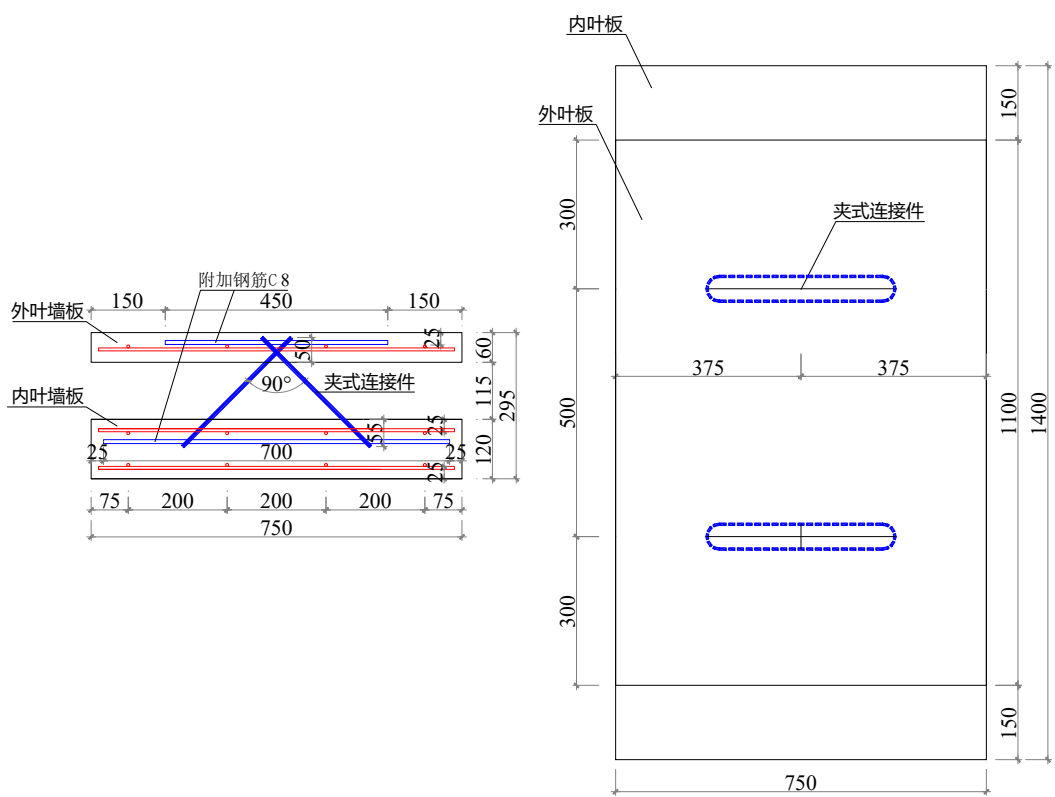
对于板式、夹式拉结件试件，由于保温板实际受力较小，且设计时不考虑保温板受力，因此加载前去除保温板。

对于桁架式拉结件，由于抗剪设计时不考虑压杆仅考虑拉杆，压力由保温板承担，在保温板密度及强度满足要求的前提下，此假定成立。因此，试验时不去除保温板，但为考虑实际工程中保温板老化等问题，在制作试件时，采用塑料薄膜将保温板与混凝土进行隔离，以去除保温板与混凝土的粘结作用。同时采用两种不同的保温板，以考察保温板密度及抗压强度的影响。

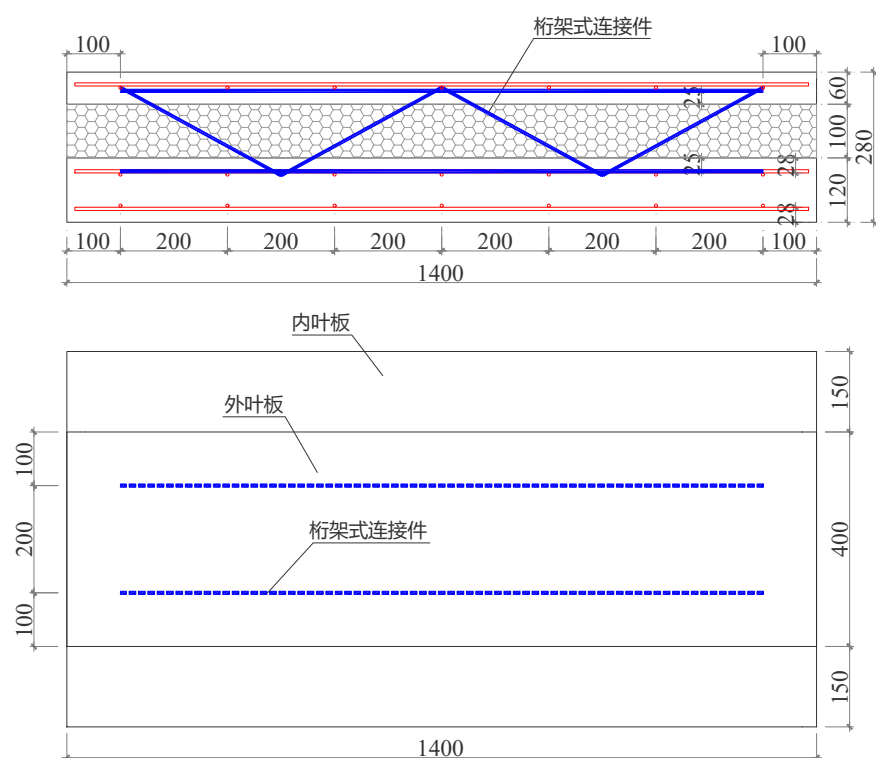




(a) 板式拉结件



(b) 夹式拉结件



(c) 桁架式拉结件

图 35 拉结件单剪试件设计图

## (2) 试验装置

单剪试验装置如图 36 所示。为使试件沿剪切方向受力均匀，避免发生面内旋转，在试件两侧对称布置 4 根限位钢管，二者之间可滑动，对剪力测量无影响。对试件沿水平连续、匀速施加荷载，加载速度应控制为 0.1kN/s，直至拉结件破坏或混凝土板破坏。

为验证限位钢管的作用，实际加载时做出以下调整：

- ① 试件 JS-A-1 不设置限位钢管，通过与试件 JS-A-2 对比，验证限位钢管的有效性。
- ② 试件 BS-A-2 采用正对拉结件的两个千斤顶施加水平推力，通过与试件 BS-A-1 对比，验证限位钢管作用的充分性。

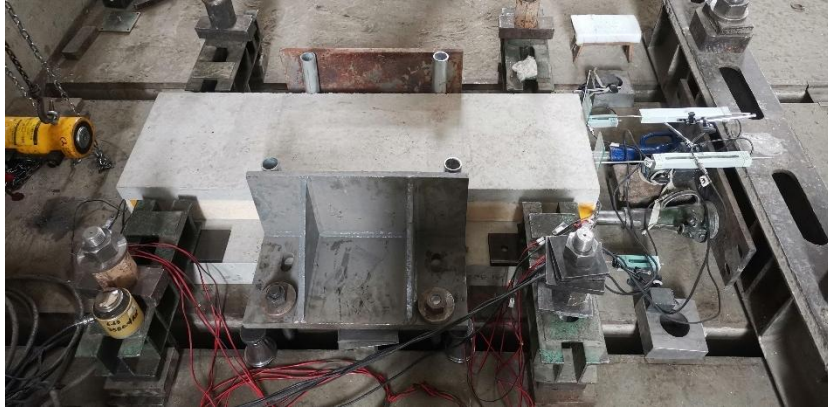


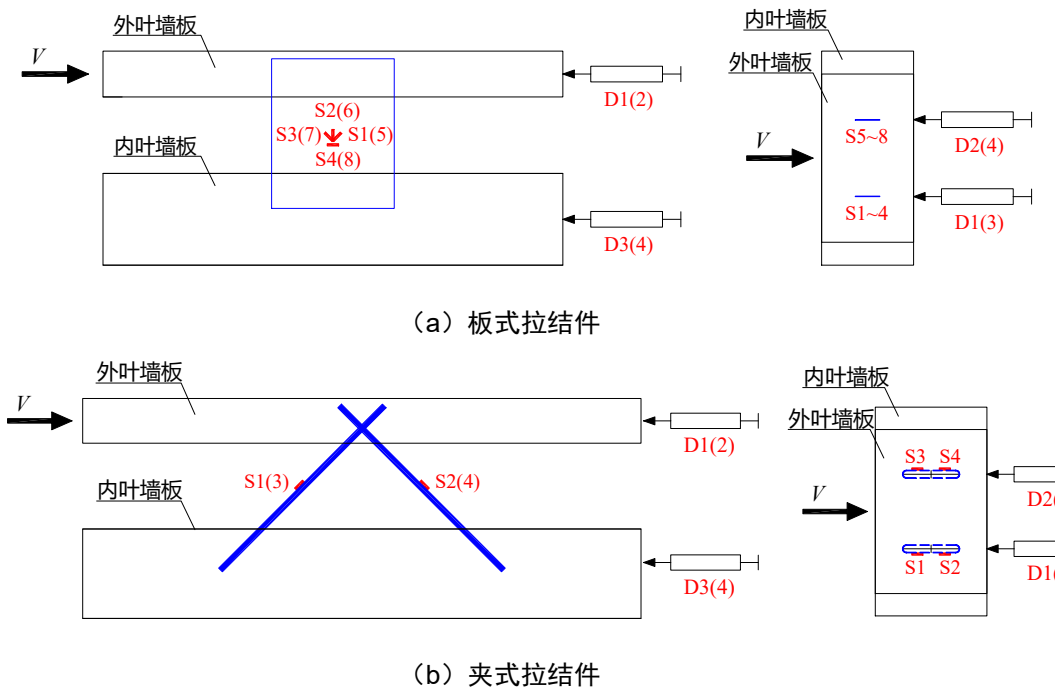
图 36 拉结件单剪试验装置

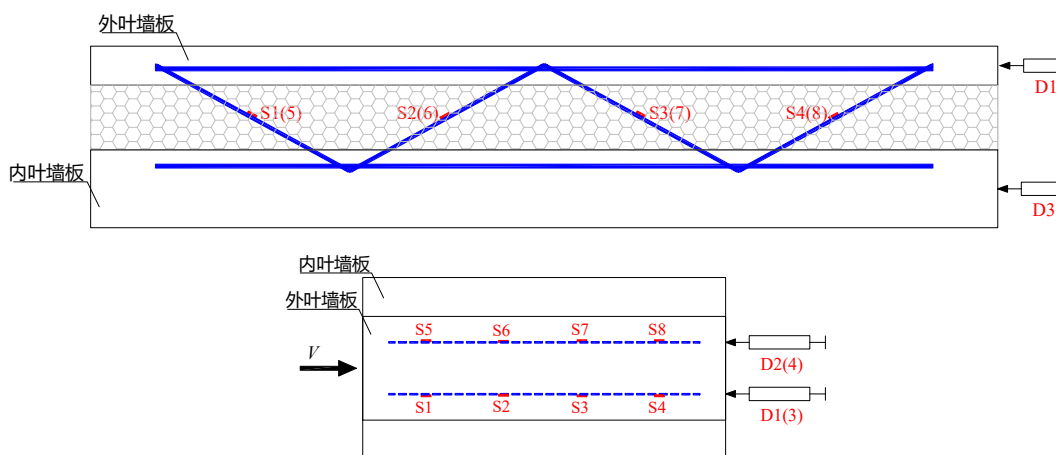
### (3) 量测方案

分别在内叶板与外叶板拉结件对应位置布置位移计，取内叶板平均位移与外叶板平均位移的差值作为剪切相对位移，可以消除底板滑动和试件平面内旋转的影响。

桁架式拉结件试件应变片在试件制作时即已布置。板式与夹式拉结件应变片在试件成型并去除保温板后进行布置。

不同拉结件单剪试件应变与位移测点布置如图 37 所示，其中，“S”表示应变片，“D”表示位移计，括号内的编号表示位于试件背面相同位置处的测点。





(c) 桁架式拉结件

图 37 拉结件单剪试验应变与位移测点布置

## 2) 双剪试验方案

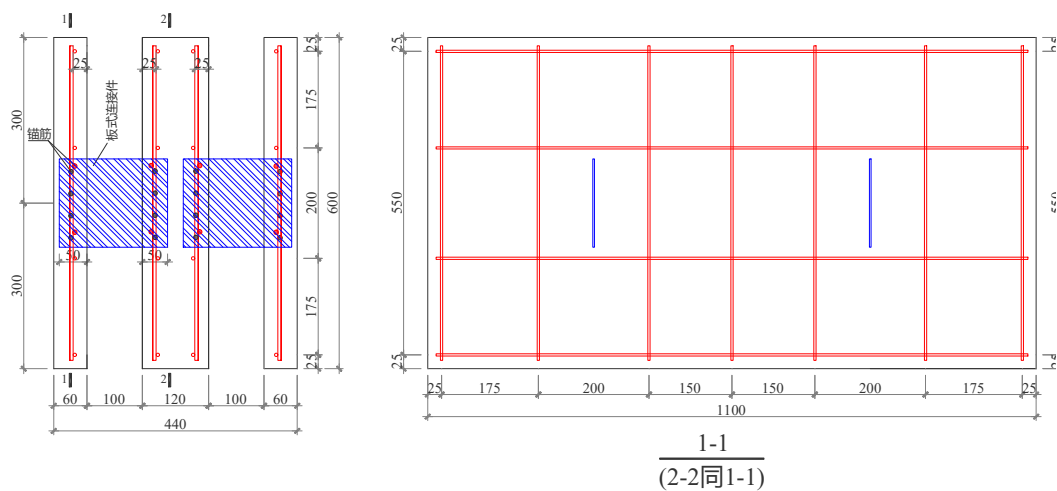
### (1) 试件设计

拉结件双剪试件由 3 层混凝土板、2 层保温板和拉结件组成，每个试件配置 4 个拉结件。试件参数如表 26 所示。试件拉结件采用板式、夹式和桁架式 3 种形式，锚固深度参考产品技术资料的最小值取值。混凝土内、外叶板厚度分别为 120mm、60mm，混凝土强度等级为 C30，板内配置构造钢筋。试件尺寸及构造如图 38 所示。每种型号试件制作 2 个，共计 6 个试件。

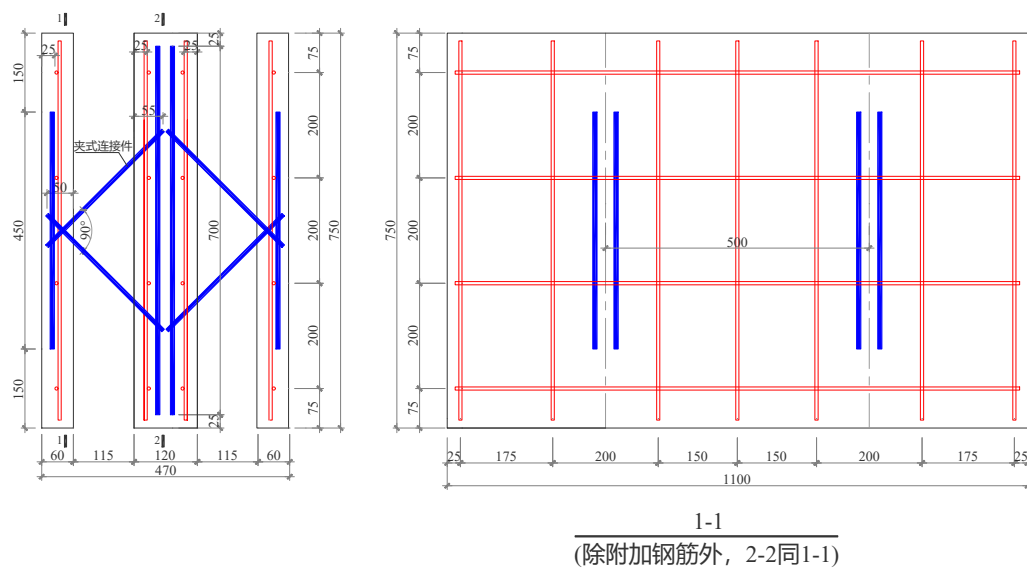
板式、夹式拉结件试件加载前应去除保温板，桁架式拉结件试件加载时保留保温板。

表 26 拉结件双剪试件参数

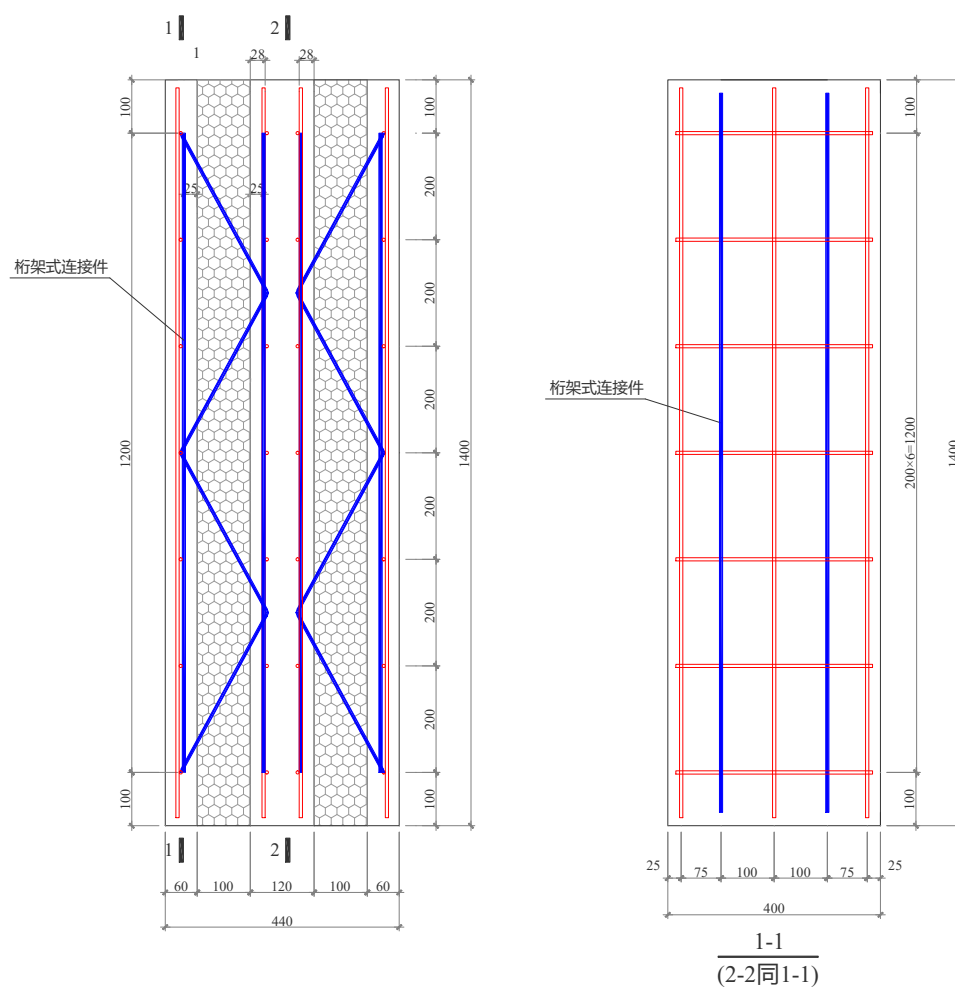
试件编号	拉结件类别	保温板规格
BS-A-1、2	板式	100 mm 厚
JS-A-1、2	夹式	115 mm 厚
HS-A-1、2	桁架式	100 mm 厚 (XPS)



(a) 板式拉结件



(b) 夹式拉结件



(c) 桁架式拉结件

图 38 拉结件双剪试件设计图

## (2) 试验装置

双剪试验装置如图 39 所示。为使试件沿剪切方向受力均匀，避免发生面内旋转与侧向倾倒，在试件四周布置限位钢管，并在钢管与试件间放置聚四氟乙烯板，使二者之间可滑动，对剪力测量无影响。对试件沿竖直方向连续、匀速施加荷载，加载速度应控制为 0.1kN/s，直至拉结件破坏或混凝土板破坏。

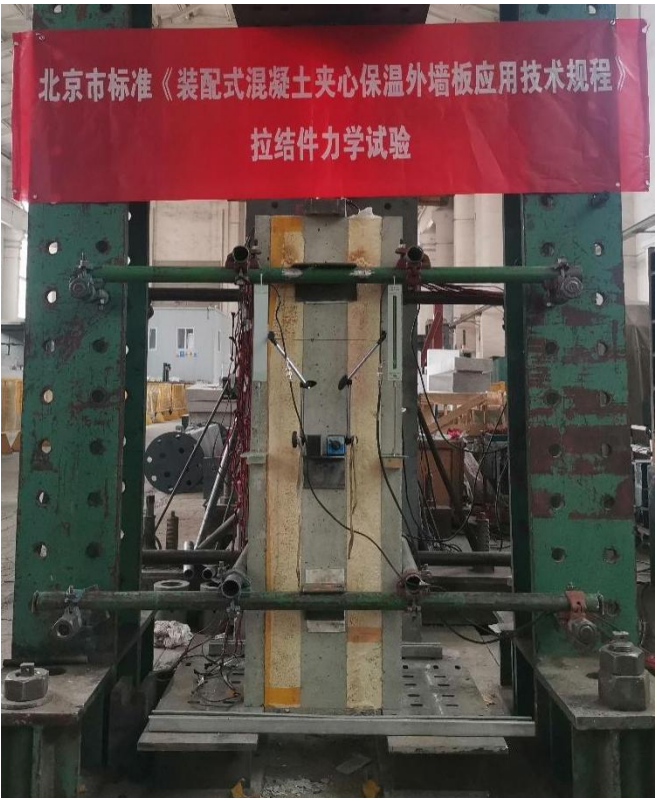


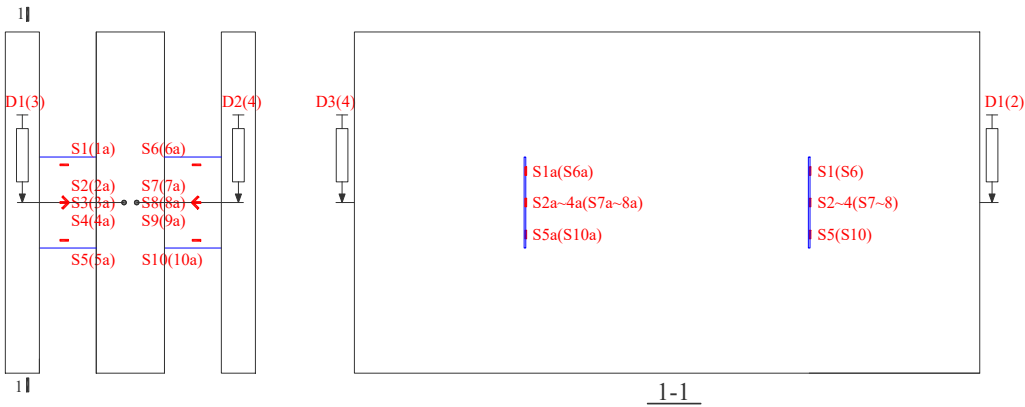
图 39 拉结件双剪试验装置

### (3) 量测方案

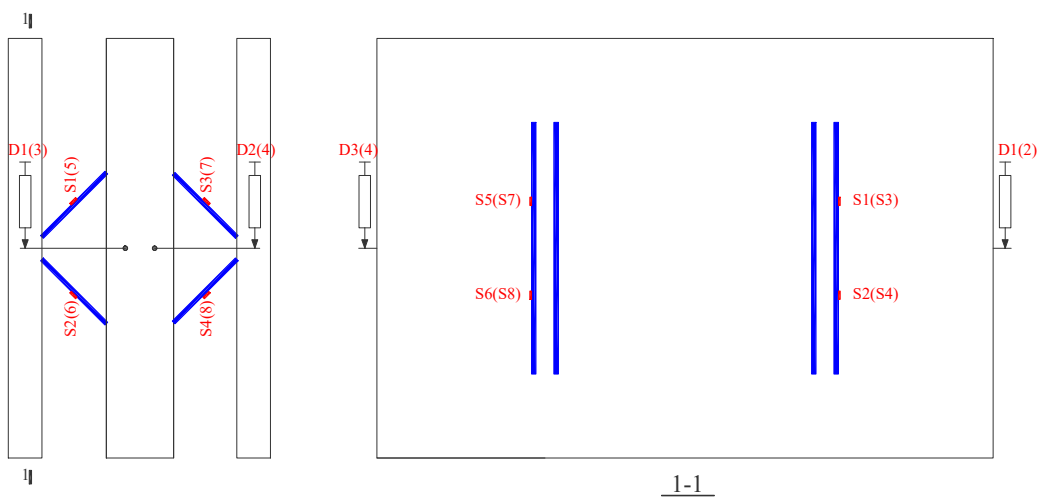
分别在试件前后的中心高度处，在两侧外叶板与中间内叶板之间布置位移计，取其示数平均值作为外叶板与内叶板的相对位移。

桁架式拉结件试件应变片在试件制作时即已布置。板式与夹式拉结件应变片在试件成型并去除保温板后进行布置。

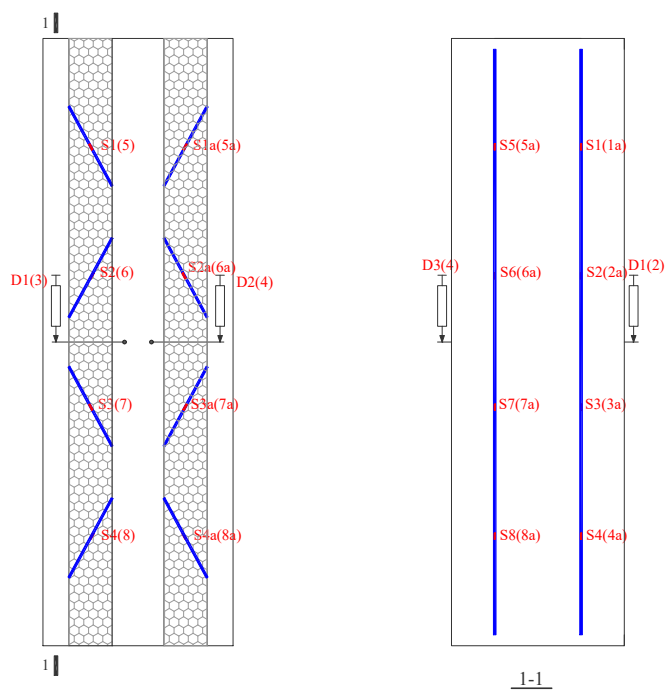
不同拉结件双剪试件应变与位移测点布置如图 40 示，其中，“S”表示应变片，“D”表示位移计，括号内的编号表示位于试件背面相同位置处的测点。



(a) 板式拉结件



(b) 夹式拉结件



(c) 桁架式拉结件

图 40 拉结件双剪试验应变与位移测点布置



3. 板式拉结件复合受力性能试验

1) 拉剪试验

(1) 试件设计

拉剪试件形式在单剪试件的基础上，增设了拉剪试验工装，试件尺寸及构造如图 41 所示。根据既有试验资料，单个板式拉结件受拉承载力预估值为 45kN。据此，设置预加拉力值梯度如表 27 所示，共 6 个拉剪试件。

表 27 拉结件拉剪试件参数

试件编号	预加拉力值（kN）	单个拉结件预加拉力值/受拉承载力预估值
BTS-1	10	11%
BTS-2	20	22%
BTS-3	30	33%
BTS-4	40	44%
BTS-5	45	50%
BTS-6	50	56%

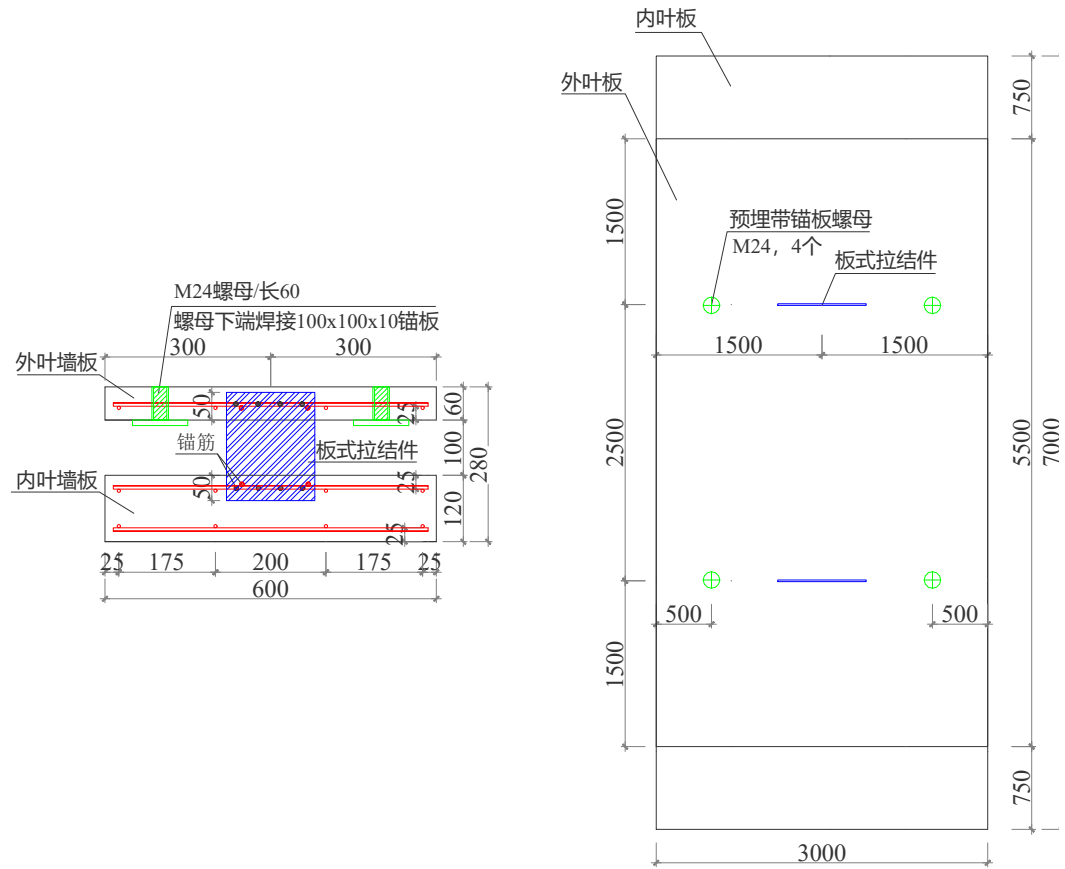


图 41 板式拉结件拉剪试件设计图

## (2) 试验装置

试验装置如图 42 所示。采用竖向千斤顶与拉剪试验工装对拉结件施加拉力，千斤顶与拉剪工装间设球铰以确保试件上板在水平方向有一定的自由变形能力。在试件两侧对称布置限位钢管，以确保试件沿剪切方向受力均匀。试验时先施加拉力，待拉力稳定后，沿水平方向缓慢施加水平力，加载速度约为  $0.1\text{kN/s}$ ，持续加载直至试件破坏。

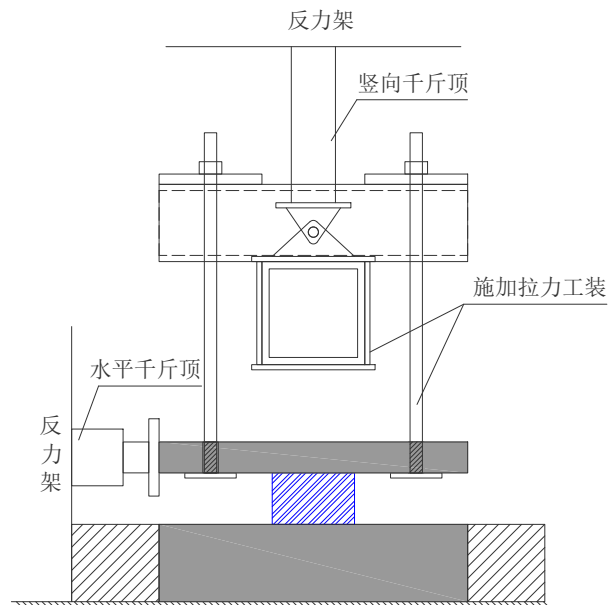


图 42 板式拉结件拉剪试验装置

(3) 量测方案

分别在内叶板与外叶板拉结件对应位置布置位移计，取内叶板平均位移与外叶板平均位移的差值作为剪切相对位移，以消除底板滑动和试件平面内旋转的影响。拉剪试件应变与位移测点布置如图 43 所示，其中，“S”表示应变片，“D”表示位移计，括号内的编号表示位于试件背面相同位置处的测点。

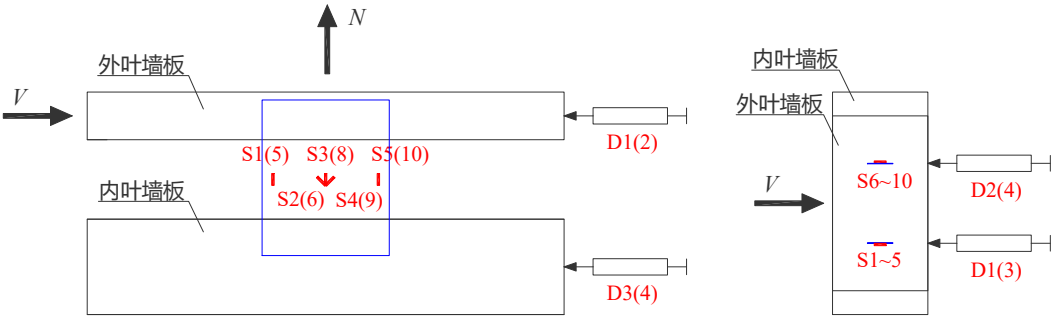


图 43 拉结件拉剪试验应变与位移测点布置

2) 压剪试验

(1) 试件设计

压剪试件形式与单剪试件基本一致，原设计为配置 2 排 2 列共 4 个拉结件。为简化拉结件受力形式，试件成型后将上板在垂直于剪切方向进行切割，使每个原试件形成 2 个独立的剪切试件，各含 2 个拉结件，试验时分别从相反方向施加水平力即可。共 8 个压剪试件，试件设计如图 44 所示，

由于缺少板式拉结件受压试验数据，试验时先对试件 BCS-1、2 进行受压试验，取得到的承载力的平均值的一半作为单个板式拉结件受压承载力预估值，再根据该值设定其余压剪试件的预加压力值。试件参数如表 28 所示。

表 28 拉结件压剪试件参数

试件编号	预加压力值（kN）	单个拉结件预加拉力值 /受压承载力预估值	备注
BCS-1、2	—	—	仅压力
BCS-3	13	37%	先施加恒定压力，而 后施加水平剪力
BCS-4	16	45%	
BCS-5	19	54%	
BCS-6	21	60%	
BCS-7	23	65%	
BCS-8	25	73%	

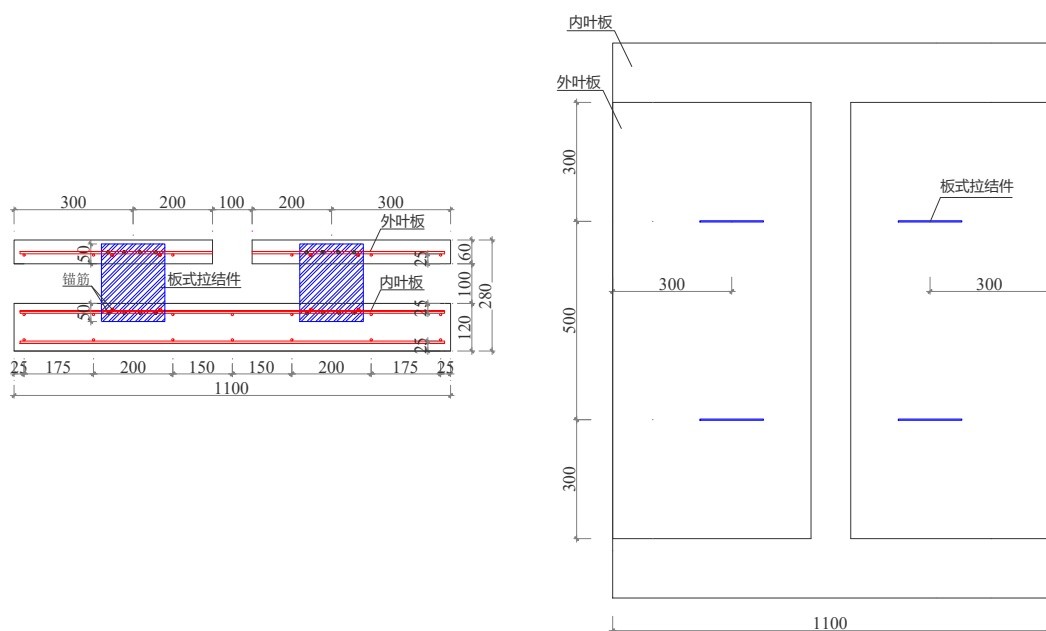
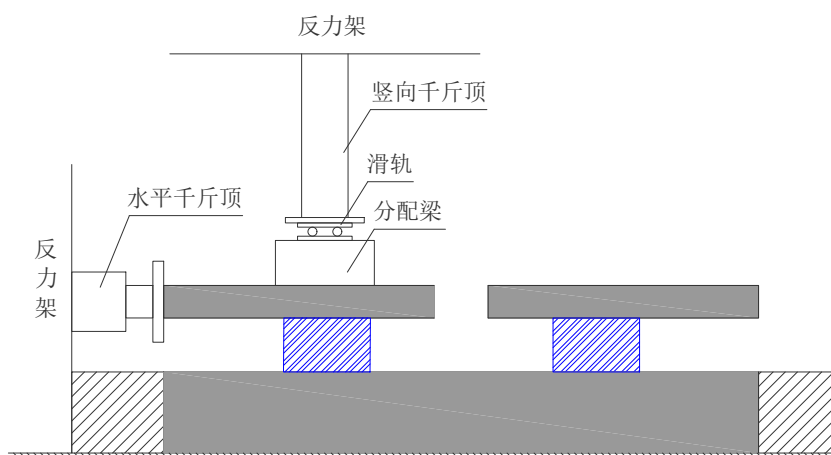


图 44 板式拉结件压剪试件设计图

## (2) 试验装置

试验装置如图 45 所示。采用竖向千斤顶对拉结件施加压力，千斤顶与分配梁间设滑轨以确保试件上板在水平方向有一定的自由变形能力。试验时先施加压力，待压力稳定后，沿水平方向缓慢施加水平力，加载速度约为  $0.1\text{kN/s}$ ，持续加载直至试件破坏。



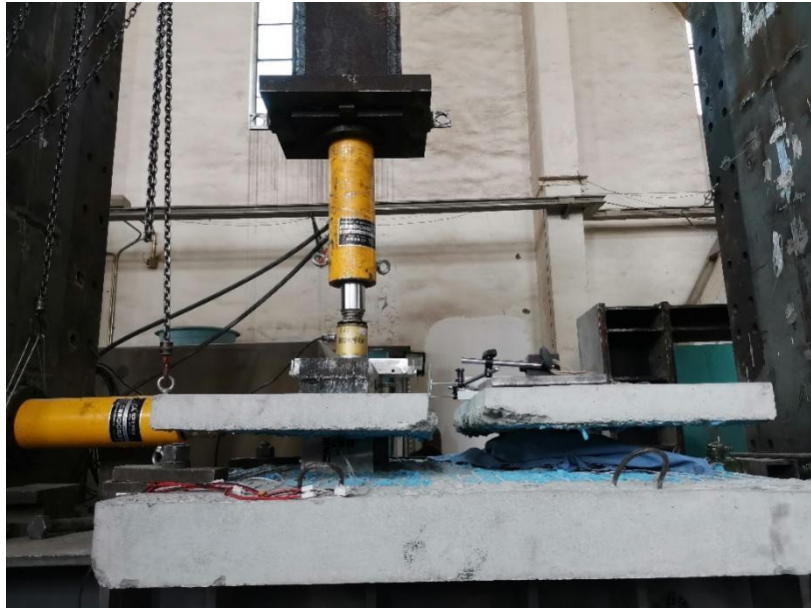


图 45 板式拉结件压剪试验装置

### (3) 量测方案

试件上板在切割后，非受力侧可视为与下板连在一起的刚体，故只需在上板的受力侧与非受力侧对应位置设置位移计，即可量测上下板相对位移。压剪试件应变与位移测点布置如图 46 所示，其中，“S”表示应变片，“D”表示位移计，括号内的编号表示位于试件背面相同位置处的测点。

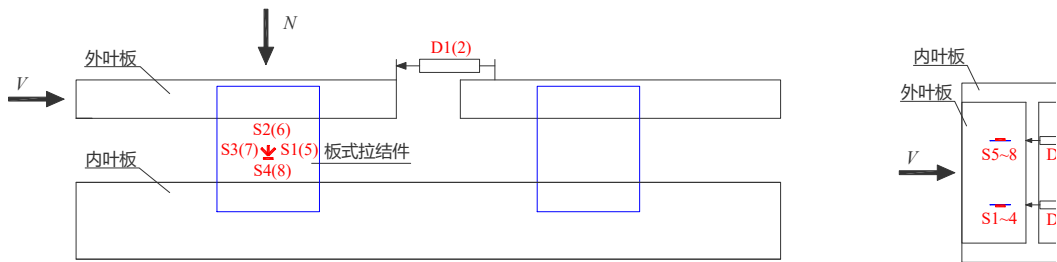


图 46 拉结件压剪试验应变与位移测点布置

## 4. 研究结论与建议

针对夹心保温外墙板采用的针式、板式、夹式和桁架式拉结件，完成了 18 个试件的受拉试验，包括 12 个单拉试件和 6 个双拉试件；完成了 14 个试件的受剪试验，包括 8 个单剪试件和 6 个双剪试件；完成了 6 个板式拉结件试件的拉剪复合受力性能试验；完成了 8 个板式拉结件试件的压剪复合受力性能试验。通过试验得到并分析了拉结件的破坏过程及破坏形态，结合实测的试件荷载-位移曲线、拉结件应变等结果重点对拉结件承载力、不同试验方法的影响等进行了分析、

---

讨论，可总结得到以下结论：

### 1) 受拉试验

(1) 对于 A 型、N 型针式拉结件，由于拉结件两端构造不同，内叶端受拉试件、外叶端受拉试件表现出不同的破坏模式和承载力，因此采用单拉试验时，需对两端分别进行试验。

(2) 对于针式拉结件单拉试验，约束条件对外叶板端试件试验结果无明显影响，但对内叶板端试件约束条件较弱时将导致试件发生混凝土破坏，承载力偏低。对于板式拉结件单拉试验，约束条件越强试件承载力越高，混凝土板采用不加宽加厚形式比较合适。

(3) 对于 A 型针式拉结件，双拉试验与单拉试验均在外叶板侧发生混凝土破坏，但双拉试验的承载力相比单拉试验降低了约 18%，这是因为单拉试件混凝土板上承受的反力对锚固区域混凝土有强化作用。

(4) 对于 N 型针式拉结件，单拉试验在约束不足时于外叶板侧发生混凝土破坏，但双拉试件中混凝土板厚较高，可以提高外叶侧锚固能力，使得双拉试验承载力大于单拉试验。

(5) 对于板式拉结件，双拉试验与单拉试验的破坏模式一致，但双拉试验的承载力比单拉试验提高了约 10%，这是因为双拉试验中混凝土板与拉结件交接处不存在弯矩和平面内的拉应力，使得混凝土椎体破坏荷载更大。

### 2) 受剪试验

对于板式、夹式、桁架式拉结件，单剪和双剪两种试验方法对试件的破坏模式无明显影响。但是应注意：双剪试验对于混凝土板的平面外约束相对较弱，这使得先失稳破坏一侧发生更大的位移，从而导致两侧拉结件受力不均。这种现象对于夹式拉结件试件尤为明显。

单剪和双剪两种试验方法得到的荷载-位移曲线形式相差不大，承载力大小总体接近，说明两种试验方法的对主要结果影响不大。但总体上而言，单剪试验方法更易操控，且试件制作更方便，建议优先采用。

### 3) 板式拉结件拉剪试验

---

(1) 板式拉结件试件在拉剪复合作用下存在两种破坏模式：当拉力较高时发生混凝土破坏；当拉力较低时发生拉结件失稳破坏，且受剪承载力随拉力水平提高而得到接近水平的增大。

(2) 北京市团体标准 T/BCMA 002—2021 采用的拉剪复核承载力验算公式是可行的，且偏于安全。

#### 4) 板式拉结件压剪复合受力性能试验

板式拉结件试件在压剪复合作用下发生失稳破坏，其极限状态下压力与剪力具有较好的负线性相关特性。北京市团体标准 T/BCMA 002—2021 采用的拉剪复核承载力验算公式较好反映了这一特点，且偏于安全。

#### 3) 建议

根据本课题的研究结论，针对拉结件承载力试验方法与板式拉结件的复合受力性能，提出如下建议：

(1) 对于针式、板式拉结件的受拉试验方法，双拉试验与单拉试验相比，破坏模式一致，承载力要么偏低较多要么略高一些，考虑拉结件承载力验算时采用的承载力分项系数较大，承载力相差约 10% 不足以影响安全；对于针式拉结件，双拉试验可以考虑拉结件两端的不同构造；双拉试验不受约束条件影响，可以保证试验边界条件明确，结果稳定、可靠；因此建议采用双拉试验方法。

(2) 对于板式、夹式、桁架式拉结件的受剪试验方法，考虑双剪试验中拉结件数量较多且容易受力不均，而单剪试验方法更易操控，且试件制作更方便，因此建议优先采用单剪试验方法。

(3) 采用两折线模型可以比较准确地拟合板式拉结件的拉力-剪力相关曲线，但由于试验数量有限，模型具体方程有待进一步研究。在此之前，仍建议偏于安全地采用北京市团标 T/BCMA 002—2021 中的拉剪复合承载力验算方法。

(4) 北京市团标 T/BCMA 002—2021 中的板式拉结件压剪复合承载力验算方法较好的反映了拉结件受力规律，且偏于安全，仍建议采用。

#### **(五) 夹心保温混凝土外墙板传热系数修正系数试验研究**

为客观评价装配式夹心保温混凝土外墙板的热工性能，开展不同种类拉结件下装配式夹心保温混凝土外墙板传热系数的试验研究，从而确定装配式夹心保温混凝土外墙板传热系数修正系数。



1. 试样设计

1) 墙板保温层设计

墙板中保温材料选用四类，即模塑石墨聚苯板、挤塑聚苯版、聚氨酯硬泡沫塑料和真空绝热板。外墙主断面传热系数限值为  $0.23 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、 $0.35 [W/(m^2 \cdot K)]$  和  $0.15 [W/(m^2 \cdot K)]$ ，确定不同保温材料的厚度，如表 29 所示。

表29 保温层厚度

序号	保温材料	导热系数	保温材料修正系数	墙板修正系数	保温层厚度 (mm)	
					$K < 0.23$	$0.15 > K \leq 0.20$
1	石墨聚苯板	0.033	1.10	1.1	180	250
2	挤塑聚苯板（带表皮）	0.030	1.10	1.1	160	220
3	硬泡聚氨酯	0.024	1.15	1.1	130	180
4	真空绝热板	0.008	1.15	1.25	50	70



图47 传热系数试验样件

2) 拉结件设计

拉结件采用锈钢板式拉结件、不锈钢夹式拉结件、不锈钢桁架式拉结件、不锈钢针式拉结件。

拉结件对装配式夹心保温混凝土外墙板热工的影响系数主要有三方面：1）拉结件的热工性能与数量；2）拉结件穿越保温芯材影响；3）保温层厚度。拉结件对墙板热工的影响系数与保温芯材种类、厚度、保温板间空隙有关。拉结件组合形式主要有板式拉结件+针式拉结件、夹式拉结件+针式拉结件、桁架式拉结件，并且有无拉结件的对比试件，试件中保温材料缝隙采用聚氨酯发泡剂填充密实。

3) 混凝土层设计

墙板规格为（长×宽） $1800mm \times 1800mm$ ，厚度方向  $60mm$ （外叶墙板）+保温层厚度+ $100mm$ （内叶墙板）。为客观评价装配式夹心保温混凝土外墙板内



部构造对墙板热工性能的影响，减小试验环境带来的随机误差以及检测设备带来的系统误差，对墙板试件进行缩尺，缩尺尺寸为长×宽×厚为 940mm×940mm×（外叶墙板 60mm+保温层厚度+内叶墙板 100mm）。试件内外叶配筋图如图 48 所示。

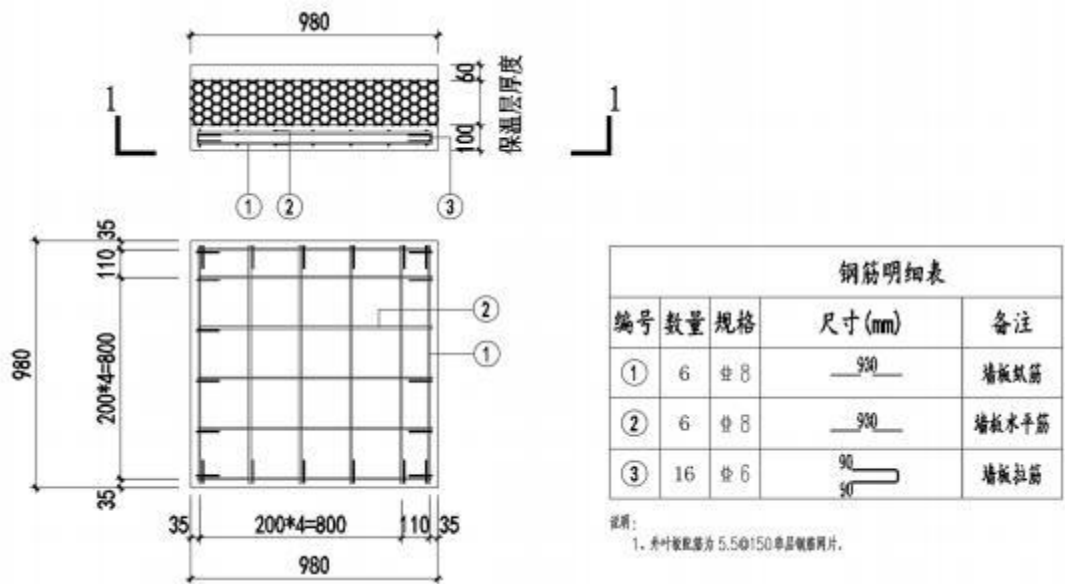


图48 内外叶墙板配筋图

2. 测试依据及方法

测试依据为国家标准《绝热 稳态传热性质的测定标定和防护热箱法》GB/T 13475-2008，测试方法使用此国家标准中的标定热箱法进行试验。

3. 测试步骤

1) 试件的状态调节

对热流受到湿气影响的试件，应记录状态调节情况。当有意义的时候，应记录试件在测试前后的质量，或者应在试验前后钻取芯样。

2) 试件的选择与安装

试件应选用或制成有代表性的。对非均质试件应作如下考虑。对于防护热箱法，决定检测不平衡（空气到空气或空气到表面）的最精确的方法。当靠近计量区域周围的表面温度很均匀时，检测试件表面不平衡和评价流过箱体的热流中:是 最精确的方案。当靠近计量区周围出现不均匀性时，唯一可能的解决方案是空气到空气的平衡，那么不平衡热流则是一个未知的误差源。防护热箱法中，如有可能,应将热桥对称地布置在计量区域和防护区域之间的分界线上，这

---

样，热桥面积的一半在计量箱内，另一半在防护箱内。如果试件是有模数的，计量箱的尺寸应是模数的适当的倍数。计量箱的周边应同模数线外周重合或在模数线之间的中间位置。如果不能满足这些要求，只好将计量箱放在不同位置做多次试验，并且要非常谨慎地考虑这些结果，如果适用，可辅以温度、热流的测量和计算。

标定热箱法中，应考虑试件边缘的热桥对侧面迂回传热的影响。就像上面提到的，可能有必要将计量箱放在不同位置做多次试验，在这种情况下，标定热箱法意味着代表建筑物不同部分的不同试件。

试件安装时周边应密封，不让空气或湿分从边缘进入试件，也不从热的一侧传到冷的一侧，反之亦然。

试件边缘应该绝热，使侧向热流减少到符合准确度的要求。

应考虑是否需要密封试件的每个表面，以避免空气渗透进试件以及是否需要控制热侧的空气露点。

在防护热箱法中，应该考虑试件中是否有要求用隔板将其分隔的连续空腔以及是否应在计量箱周边将高导热系数的饰面切断。

如果试件表面不平整，在与计量箱周边密封接触的区域，可能需要用砂浆、嵌缝材料或其他适当的材料填平，确保计量箱与防护箱之间的气密性。

如果试件尺寸小于计量箱所要求的试件尺寸，将试件安装在遮蔽板内，例如将试件嵌入一个墙内。

在遮蔽板和试件之间的边界区域中热流不是单向的;选择与试件相同热阻及厚度的遮蔽板，能够将此个问题减到最小。在一些实例中，这是不可能的，比如在窗的测试中。在这种情况下，当遮蔽板的热阻不同于安装窗户的墙体时，在窗框中的热流线与它们最终使用时不同，将难以预料其准确度。为了比较与解释试验结果，这些试件安装问题需要试件安装的规则，这超出了本标准的范围。

### 3) 测试条件

测试条件的选择应考虑最终的使用条件和对准确度的影响。试验平均温度和温差都影响测试结果。通常建筑应用中平均温度一般在 10℃-20℃，最小温差为 20℃。根据试验目的调节热、冷侧的空气速度。调节温度控制器使  $\Phi_2$  或  $\Phi_3$  之一或二者尽可能小或等于 0。试验时为热测 23℃，冷测-10℃。

---

#### 4) 测量周期

对于稳态法试验，达到稳态所要求的时间取决于试件的热阻和热容量、表面系数、试件中存在的传质或湿气的重分布、设备的自动控制器的类型和性能等因素。由于这些因素的变化，所以不可能给出一个单一的稳态评判标准。

稳态要求的是在达到接近稳定后，来自两个至少为 3h 的测量周期的  $\Phi_p$  和  $T$  的测量值及  $R$  或  $K$  的计算值，其偏差小于 1%，并且结果不是单方向变化。对于高热阻或高质量或者两者具备的试件，这个最低要求可能不充分，应延长试验时间。

#### 5) 计算

##### (1) 匀质试件

对于均质试件不均匀度小于 20% 的试件，可根据表面温度计算热阻  $R$ ，根据环境温度计算传热系数  $K$  和表面换热系数  $h$ 。通常，由测量的  $R$  值得到总热阻值时，采用建筑规范的(表面热阻的)常用值。

##### (2) 非匀质试件

当试件超出均匀性的极限值或者试件有特殊的几何形状时，仅能根据环境温度  $T_{ni}$  和  $T_{ne}$  计算传热系数  $U$ 。

#### 4. 测试设备

测试设备为墙体保温性能检测设备，设备的主要组成有以下几部分，热箱箱体、冷箱箱体、试件框架、建筑热工温度热流巡回检测仪、制冷机组、加热及计量组件等。

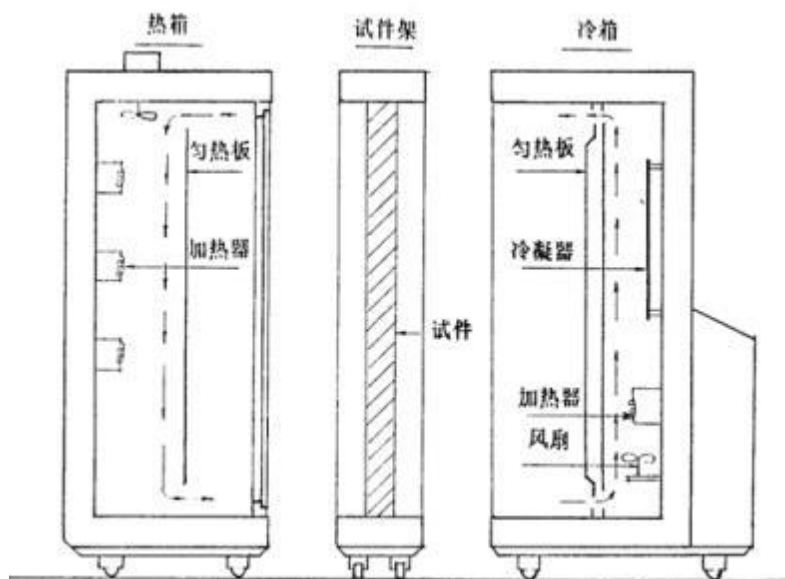


图49 设备示意图

设备型号： JW- 1、HB404P-Z、JW- II；

出厂编号： 200102、200403、LZ130423003216；

测量精度：热阻  $0.1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 、温度  $0.1^\circ\text{C}$ 、功率  $0.1\text{w}$  、  $0.01\text{mv}$ 。



图 50 测试设备照片

## 5. 测试试件

选取了模塑石墨聚苯板和真空绝热板的两种材料进行测试，以掌握导热系数性能区间两端的材料为基准，中间材料依据影响变化规律和计算结果进行综合分

析。测试试件共计 14 组，其中保温材料为石墨聚苯板的 10 组，保温材料为真空绝热板的 6 组，按拉结件形式分为无拉结件、板式拉结件+针式拉结件、夹式拉结件+针式拉结件、桁架式拉结件，试件详细情况见表 26。

表26 试件详细情况

保温材料	试件编号	拉结件	保温层厚度（mm）
石墨聚苯板	A1-18F	无拉结件	180
	A2-18	无拉结件	
	A3-18-B	板式+针式	
	A4-18-J	夹式+针式	
	A5-18-H	桁架式	
	A6-12	无拉结件	120
	A8-25	无拉结件	250
	A9-25-J	夹式+针式	
	A10-25-H	桁架式	
真空绝热板	B1-5F	无拉结件	50
	B2-5	无拉结件	
	B4-5-B	板式+针式	
	B5-5-J	夹式拉+针式	
	B6-5-H	桁架式	

6. 结果分析

1) 采用“板式拉结件+针式拉结件”与无连接件的带板缝，PU 发泡剂填充的基准试件相比，传热系数分别增加了 21%、19%。“夹式拉结件+针式拉结件”与基准试件相比传热系数分别增加了 16% 、13%。“桁架式拉结件”与基准试件相比传热系数分别增加了 30%、31% 。模拟结果与试验结果略有出入，“板式拉结件+针式拉结件”试件模型，模拟结果与计算结果相比增加 21%，“夹式拉结件+针式拉结件”试件模型，模拟结果与计算结果相比增加 28%，“桁架式拉结件”试件模型，模拟结果与计算结果相比增加 9%。主要原因：1 、在试件加工制作中，桁架式拉结件为便于安装，需要将保温材料进行通缝裁切，虽在板缝处采用 PU 发泡剂填充，但无法确保其完全密实，这就会造成在振捣过程中混凝土水泥进入缝隙，形成热桥。而进行模拟时，只是拉结件与保温材料交接处进行裁切，拉结件与保温层接触紧密，保温层破坏面积较小。2、试验过程中

试件四周难于做到近似绝热的边界条件，热量有可能会向墙板四周传递，而模拟分析中，模型四周进行的绝对绝热定义，即为理想状态。3、热电偶等测试设备难于做到精确的位置对应。

2) 真空绝热板芯材夹心墙板试件模型中“板式拉结件+针式拉结件”试件模型，模拟结果与计算结果相比增加 63%，“夹式拉结件+针式拉结件”试件模型，模拟结果与计算结果相比增加 36%，“桁架式拉结件”试件模型，模拟结果与计算结果相比增加 24%。原因分析：在测试前，就已发现部分试样的测断面处真空绝热板发生了漏气起鼓的情况，如图 51，随着真空度的丧失，真空绝热板的保温性能发生了显著下降，导致测试结果规律性的受到一定的影响。针对此部分实验现状，建议可开展装配式混凝土夹心保温外墙板（真空绝热板）三维传热模拟计算，在模拟计算的结果上，综合考虑其它构件模拟计算与测试结果的比对关系，针对计算结果进行修正。同时，考虑到验证性实验的真空绝热板失效比率，建议工程中应慎重选择保温材料或选择保障概率更高的材料及系统构造型式。

测试结果可以反映出实际构造型式、不同种类的连接件构造布置和实际施工条件等对墙板传热系数的影响规律。整体来看，金属拉结件对墙板的热工性能影响相对较大，并且随着金属拉结件通过保温芯材的总截面积的增大，热工影响而增大。考虑构件材料材质、拉结件不同布置方案、缩尺因素等对拉结件传热的影响，综合提出了不同保温材料构造在不同连接件型式下的传热系数修正系数建议值。



图 51 真空绝热板试件样品漏气起鼓照片

#### 四、标准中所涉及的专利

本标准未涉及专利与相关的知识产权。

---

## 五、产业化、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况

（一）经济效益、社会效益、产业规模、推广应用、工程应用情况、预期达到的经济、社会效益；

外围护是一个建筑的重要且数量占比最大的组成部分，预制混凝土夹心保温墙板（以下简称“夹心保温墙板”）起源于二战后的欧洲，已在欧美日等国家应用多半个世纪，具有围护/结构、保温、装饰一体化，防火防水，耐久（与建筑同寿命）等优异综合性能，是一种技术成熟、高品质的外围护构件产品。

夹心保温墙板由内、外混凝土层及中间保温层构成，内、外混凝土层（简称内、外叶墙板）通过拉结件实现可靠连接，因此，拉结件是保证夹心保温墙板结构安全和耐久的关键部件。拉结件按照材料种类的不同，主要包括金属连接件（以不锈钢为主）和纤维增强塑料（FRP）连接件两类。目前，针对FRP连接件，国内已有或正在编制相关的产品及应用技术标准。对于金属连接件，目前国内以国外产品为主，国外产品技术体系及采用标准差异较大，而国内尚无统一的产品及应用技术标准，亟需标准统一的相关标准。

截至2020年，我国装配式建筑面积累计约18亿平方米。2020年，全国新开工装配式建筑面积达6.3亿平方米，装配式混凝土建筑面积3.9亿平方米，较2019年增长50%，预计2025年装配式新建建筑面积将达到约11亿平方米，仍有望保持17.6%的较快增速。2022年3月22日，住房和城乡建设部印发的《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》提出，到2025年，建设超低能耗、近零能耗建筑0.5亿平方米以上，装配式建筑占当年城镇新建建筑的比例达到30%。

以2020年全国新开工装配式建筑面积6.3亿平方米进行估算，外围护墙板总需求量可达0.8亿平方米，夹心保温墙板应用30%，预制构件行业夹心保温墙板增加产值240亿、利税20亿，带动拉结件制造行业实现产值7.2亿。本标准的编制将规范金属拉结件的生产和应用，保证夹心保温墙板的质量，为绿色、低能耗建筑的发展提供支撑，助力建筑行业双碳目标的实现。

（二）本标准指标的技术先进性以及本标准的发布对行业及社会发展的促进作用，与“宜业尚品造福人类”的相关性

---

本标准编制过程中，收集并消化吸收了国内外拉结件和夹心保温墙板最新研究及应用成果，将规范拉结件产品的生产，促进拉结件的应用，保证夹心保温墙板的质量，为新型建筑工业化的发展贡献力量。

夹心保温墙板是装配式建筑实现高品质、绿色低碳的关键构件，其中的拉结件技术是最核心和关键的技术，是保证夹心保温墙板实现其优异性能的基础条件，关系到装配式建筑的结构安全、耐久、绿色低碳等方面，将为建筑行业转型升级和绿色高质量发展提供强有力的支撑。

标准对建筑产业的促进作用符合绿色、双碳等高质量发展要求，符合行业发展需求，关系广大人民群众切身安全和利益；标准所倡导的高品质、高耐久、绿色、低碳与国家发展同步，与市场需求相匹配；使得相关行业能够为人类提供更新、更好、更适用、更健康、更安全的产品，为人类文明进步做出开创性的贡献，从而为全会提出的远景目标的实现，为安全发展、高质量发展，做出行业应有的贡献。标准对行业的促进作用，充分体现了“宜业尚品造福人类”理念和要求。

## **六、采用国际标准和国外先进标准情况**

本标准编制过程中主要参考了国外主流金属拉结件产品的技术资料、企业标准，以及国内相关标准。与现行标准相协调，无冲突内容。

## **七、本标准与现行的相关法律、法规、规章及相关标准（包括强制性标准）是否具有一致性**

经广泛调研和多方面征求意见，本标准符合现行的相关法律、法规、规章及相关标准的要求。

国外对夹心保温连接件的研究和应用开展较早，工程应用经验丰富。各类产品体系各自具有比较完善的技术认证资料和产品手册（不锈钢板式、夹式拉结件以欧洲哈芬公司为代表，桁架式拉结件以欧洲佩克公司为代表），作为设计和施工的依据。

目前，针对FRP连接件，国内已有或正在编制相关的产品及应用技术标准。对于金属连接件，由于不同产品及体系差异较大，国内尚无统一的产品及应用技术标准，仅在部分技术标准中对个别的设计、构造及施工问题有所规定，具体为



---

：《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458—2018中4.3.3和4.3.4对金属拉接件的材料性能提出要求，6.5.7对拉接件的防火、防腐、节能和锚固等原则性要求做出规定；《装配式建筑预制混凝土夹心保温墙板》JC/T 2504—2019中5.8.3对金属拉接件的不锈钢材料力学性能做出具体规定，6.6对拉接件的承载力和外叶板垂直变形做出原则性规定；《装配式混凝土建筑用预制部品通用技术条件》GB/T 40399—2021中5.5只对拉接件的位置、数量和防腐等做出原则性规定。

## **八、重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

## **九、标准性质的建议说明**

本标准建议作为推荐性工程建设类协会标准编制及发布。

## **十、贯彻标准的要求和措施建议**

尽快做好标准发布实施工作，标准颁布实施后，相关部门应做好标准宣贯培训工作，制定相应的实施方法，使本标准得以认真执行，在拉结件制造和夹应用中真正起到规范拉结件行业、保证夹心保温墙板质量、提高装配式建筑品质和绿色低碳水平的作用。

## **十一、废止现行相关标准的建议**

无。

## **十二、其他予以说明的事项**

无。

标准编制组

2023 年 9 月