

“结构-隔热”一体化墙体粮食侧压力下力学性能影响因素分析

丁永刚^{1,2}, 宋战炯¹, 陈科委^{1,2}, 许启铿^{1,2}, 刘浩宇¹

(1.河南工业大学 土木工程学院, 郑州 450001; 2.河南省粮油仓储建筑与安全重点实验室, 郑州 450001)

摘要:“结构-隔热”一体化墙体是一种新型粮食平房仓构件.为研究墙体参数对其在粮食荷载作用下的力学性能影响,通过有限元模拟分析,探究了连接件的直径、间距、墙体厚度及保温板厚度对墙体挠度、应力的影响.结果表明:在常用范围内,连接件直径及墙体厚度对“结构-隔热”一体化墙体的挠度和应力影响较为显著,连接件的间距及保温板的厚度影响较小.墙体挠度随连接件直径的增大而减小,但易出现应力集中、突变现象.墙体挠度随墙厚度的增大而减小,且内外叶墙单独受力,内叶墙在一定范围内越厚使连接件扭曲越小,对结构越有利.研究成果为“结构-隔热”一体化墙体在实际工程中的设计及优化提供参考.

关键词:“结构-隔热”一体化墙体;粮食荷载;力学性能;影响因素

中图分类号: TU375

文献标志码: A

文章编号: 1000-2367(2024)01-0100-08

平房仓是我国目前使用最广泛的粮食仓型^[1],大多由传统砖砌墙建造而成,具有储粮量大、成本小等优势,但存在承载能力不足、保温隔热性能不佳等缺点.目前,民用建筑中一些复合墙体已投入使用^[2],如砖砌体夹心墙,双层节能墙体等.砖砌体夹心墙作承重墙或填充墙,具有一定的保温作用,但平面外承载能力不足;双层节能墙体是在传统墙体外装置隔热板材,虽具有一定的保温隔热作用,但承载能力仍不佳^[3],故在粮仓中使用较少.

“结构-隔热”一体化墙体作为粮食平房仓的一种新型墙体构件^[4],是由内外叶墙及保温板三层材料通过连接件连接而成的复合墙体,如图1所示.内外叶墙均为钢筋混凝土结构,其中内叶墙配置两层双向钢筋,直接接触粮食荷载,是主要的受力构件,外叶墙配置单层双向钢筋,承担部分受力,起围护作用.保温板是挤塑聚苯乙烯材料(extruded polystyrene, XPS),主要功能为保温隔热,增强气密性,同时保温板不与外界接触,提升了其耐久性能、抗腐蚀性能,也保证了墙体良好的防火性能.连接件是强化玻璃纤维塑料(glass fiber reinforced plastic, GFRP)材料^[5],穿过保温板的预留孔洞,将内外叶墙和保温板连接,内外叶墙通过连接件达成共同受力、协同变形的目的^[6].这种结构既能承担粮食侧压力作用,又有良好的保温隔热性、气密性,有效地改善了粮食储存的环境.

复合墙体大多由多种材料组合而成,具有复杂的力学性能,很多学者采用不同方法开展研究. LI等^[7]通过弯曲和拉伸性能试验对PVC复合墙体开展研究,发现墙体具有较好的承载力、抗剪能力.吴香国等^[8]分析

收稿日期: 2022-06-21; **修回日期:** 2022-10-19.

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFD0401601).

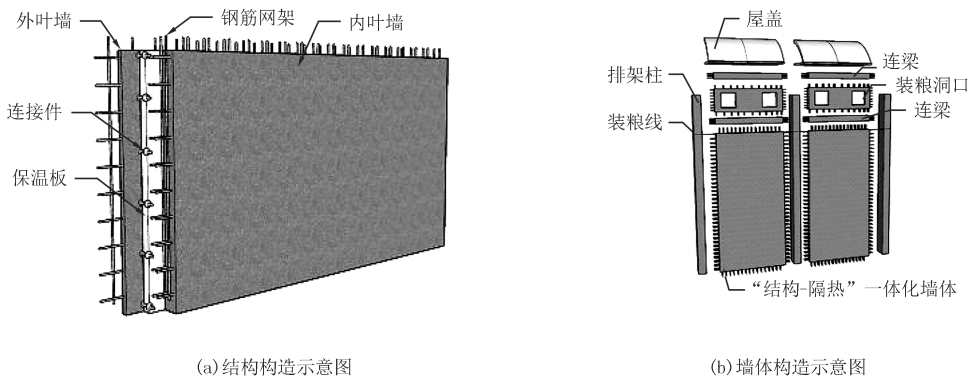
作者简介: 丁永刚(1978-),男,河南郑州人,河南工业大学教授,博士,博士生导师,研究方向为仓储结构与新型结构体系, E-mail: cedyg@haut.edu.cn.

通信作者: 陈科委, E-mail: chenkewei@haut.edu.cn.

引用本文: 丁永刚, 宋战炯, 陈科委, 等. “结构-隔热”一体化墙体粮食侧压力下力学性能影响因素分析[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2024, 52(1): 100-107. (Ding Yonggang, Song Zhanjiong, Chen Kewei, et al. Analysis of influencing factors on mechanical properties of "Structure-Insulation" integrated wall under grain side pressure[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2024, 52(1): 100-107. DOI: 10.16366/j.cnki.1000-2367.2022.06.21.0002.)

了高性能复合夹芯墙板应用研究进展,提出了一种基于超高性能混凝土的高耐久复合墙板设计概念.YUE 等^[9]通过改变框架梁、柱的截面尺寸,研究了多榀框架在荷载作用下的力学性能,发现框架截面刚度对力学性能影响较为显著.肖力光等^[10]对秸秆夹芯复合墙板的抗风承载力进行了数值模拟,分析了不同厚度墙板对其抗风承载力的影响,发现增加墙板厚度及改变钢丝布置方式均能提高其抗风承载能力.WANG 等^[11]通过试验和有限元模型研究组合剪力墙的力学特性、抗震性能,发现螺栓间距、混凝土盖板间距对墙体的力学性能影响较为显著.

鉴于此,本文开展粮食侧压力作用下不同参数对“结构-隔热”一体化墙体挠度、应力等力学性能的影响因素分析,采用 ABAQUS 有限元软件,研究连接件的直径、间距、内外叶墙厚度和保温板厚度对“结构-隔热”一体化墙体在粮食侧压力作用下的力学性能影响,确定显著参数,对实际结构在工程应用中的设计及优化提供参考.



(a) 结构构造示意图

(b) 墙体构造示意图

图1 “结构-隔热”一体化墙体

Fig. 1 “Structure-Insulation” integrated wall

1 “结构-隔热”一体化墙体有限元模型

1.1 粮食荷载

“结构-隔热”一体化墙体承受的荷载有粮食荷载产生的水平侧压力、风荷载、墙体结构自重、粮食与墙体产生的竖向摩擦力和屋面传来的荷载作用.结构自重、竖向摩擦力及屋面传来的荷载均为竖直方向,对结构受弯影响极小;粮食侧压力和风荷载为水平方向,但风荷载影响较小,故研究结构受弯承载时,根据《粮食平房仓设计规范》^[12]仅考虑粮食侧压力作用.如附录图 S1 所示,规范中规定散装粮食对墙体的水平侧压强 $P_h = k\gamma s$,其中, k 为平堆时粮食侧压强系数,小麦取 0.356 2; γ 为粮食重力密度,取 8 kN/m^3 ; s 为粮食顶面至计算截面的距离.

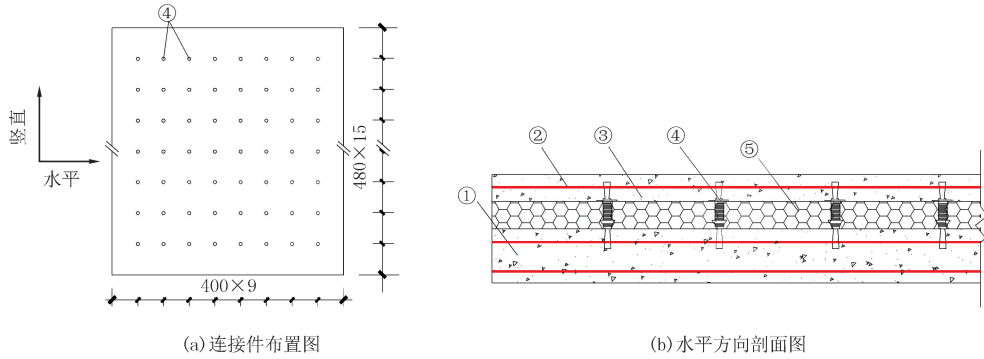
1.2 建立模型

以某粮库传统平房仓为原型设计,采用“结构-隔热”一体化墙体,装粮线高度 $s = 7.2 \text{ m}$,墙体截面为 $3\ 600 \text{ mm} \times 7\ 200 \text{ mm}$,连接件布置如图 2(a)所示.墙体水平方向剖面图如图 2(b)所示,竖直方向仅连接间距不同,其余均相同.

构件有限元模型均采用实体单元,采用绑定约束,边界条件设为约束 4 边 x 、 y 、 z 方向位移.内外叶墙混凝土选用 C3D20R 单元,连接件选用 C3D10R 单元,钢筋选用 T3D2 单元^[13],有限元模型见附录图 S2.连接件的直径和间距、墙体厚度及保温板厚度均为变量,仅加载粮食侧压力作用,研究参数变量对墙体力学性能的影响.本构关系采用混凝土 DP 模型^[14-15],取 C30 混凝土单轴抗拉、抗压强度标准值为抗拉、抗压强度^[16],根据《混凝土结构设计规范》^[17]取单轴应力应变关系.

1.3 设计分析工况

定义连接件直径、间距、内外叶墙厚度及保温板厚度为设计变量,如表 1 所示.通过有限元模拟,计算不同工况下结构的挠度、Mises 应力压强,并分析各工况下参数的变化对其的影响规律,确定显著参数.



①内叶墙混凝土;②钢筋;③外叶墙混凝土;④连接件;⑤保温板。

图2 墙体构造图

Fig.2 Wall conformation

表 1 试件设计工况表

Tab. 1 Specimen design condition

mm

工况 1	代号	DW1	DW2	DW3	DW4	DW5			
	连接件直径	6	10	20	30	40			
工况 2	代号	BW1	BW2	BW3	BW4	BW5	BW6		
	连接件水平间距	200	300	400	600	720	900		
工况 3	代号	HW1	HW2	HW3	HW4	HW5	HW6	HW7	HW8
	内叶墙厚度	150	125	100	50	75	100	125	150
	外叶墙厚度	50	75	100	—	—	—	—	—
工况 4	代号	XW1	XW2	XW3	XW4				
	保温板厚度	50	70	90	110				

2 “结构-隔热”一体化墙体力学性能影响因素计算及分析

2.1 连接件直径的影响

连接件的刚度与墙体的组合性质有关^[4],而复合墙体的组合特性恰是影响其力学性能的关键因素^[18].如表 1 所示,工况 1 设计 5 组试件代号分别为 DW1~5.其中这 5 组试件仅连接件直径有所区别,其余参数相同.内外叶墙厚度分别为 150 mm、50 mm,连接件水平、竖直方向间距分别为 400 mm、480 mm,保温板的厚度为 70 mm.

根据有限元模拟结果,输出墙体变形云图,由于试件变形云图相似,仅以 DW2 为例给出云图,见附录图 S3.挠度最大值出现在底部 1/3 处,与粮食三角荷载相符合.试件水平方向各位置的最大挠度曲线如附录图 S4 所示,5 组试件挠度发展趋势相似,连接件直径越大则挠度越小,证明连接件直径的增大对墙体挠度有利.其中 DW1 与 DW2 变形程度基本相同,仅在跨中部位 DW2 的挠度值略小,表明连接件直径在 6~10 mm 范围内对墙体整体挠度的影响很小.DW1 与 DW2 挠度曲线光滑,内外叶墙挠度曲线基本完全重合,表明在连接件直径相对较小时,内外叶墙单独受力,分别体现出普通受弯结构构件的特征,视为非组合墙体.而当连接件直径继续增大后,内外叶墙挠度曲线部分不重合,且曲线不光滑,连接件处挠度曲线发生小范围突变,墙体已不能体现出普通受弯构件的特征.这种现象为墙体的组合性特征.虽然现象相对较轻,但会随着连接件直径的增大而愈发明显.

试件的内外叶墙的应力云图如附录图 S5 所示,当连接件直径较小时,内叶墙应力云图展示出与挠度曲线相似的特征,云图整体表象较为光滑,无明显突变产生.随着连接件直径增大,应力云图中出现斑点状现象,均在连接件处,且逐渐明显,表明墙体局部发生了应力集中、突变现象.DW1 外叶墙应力云图中出现了微

弱的突变,随着连接件直径的增大,这种现象愈发明显.当连接件的直径较大时,斑点状已基本布满整个云图,外叶墙相比于内叶墙更明显,此时墙体已丧失了普通受弯构件的应力特征,展现出共同受力的现象,结构具有一定的组合性.

从图 3(a)中可知,当连接件的直径较小时,内叶墙应力曲线光滑,无突变现象,与应力云图、挠度曲线展示出相似的特征.从整个曲线段综合来看,5 组试件的应力整体分布特征类似,两端支座处应力最大.连接件直径最小的 DW1 试件内叶墙的应力最大,且 DW2 与 DW1 差别不大.随着连接件直径的增大,内叶墙应力逐渐减小,但局部产生突变现象.从图 3(b)中可知,连接件直径相对较小的 DW1 与 DW2 试件外叶墙应力曲线变化幅度较小,且两端支座处应力最大.当连接件直径增大后,外叶墙应力分布曲线发生明显变化,不同位置处的应力值变化幅度较大,应力最大值由两端支座处转换为水平方向 1/3 处.由于外叶墙承担部分受力,相对较薄,内叶墙受弯时连接件发生扭曲,并且连接件直径越大刚度越大,较薄的外叶墙不能很好地约束连接件扭曲,从而产生了应力突变现象.

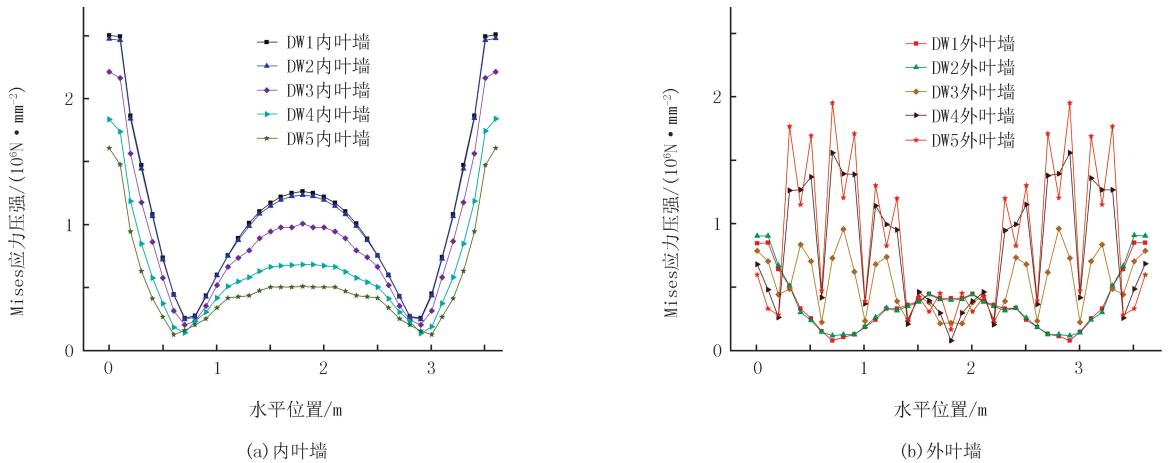


图3 DW1~5水平方向应力曲线

Fig.3 DW1-5 horizontal stress curve

连接件刚度与墙体挠度曲线见附录图 S6,墙体挠度随连接件刚度的增大而减小,且幅度逐渐减小.但外叶墙为约束连接件扭曲导致应力增大,出现应力集中、突变现象,从而易引起外叶墙混凝土开裂.故在考虑墙体挠度控制的同时,要尽量避免出现混凝土开裂,合理选用连接件的直径、刚度.

由此可见,连接件的直径对“结构-隔热”一体化墙体影响较为显著.墙体挠度随连接件直径的增大而减小,但出现混凝土应力集中、突变现象,综合考虑选取连接件直径为 10 mm 的 DW2 试件较合适.

2.2 连接件间距的影响

同样地,工况 2 设计 6 组试件代号分别为 BW1~6.6 组试件连接件水平间距不同,其余参数均相同.内外叶墙厚度分别为 150 mm、50 mm,连接件的直径为 10 mm,竖直方向的间距为 480 mm,保温板的厚度为 70 mm.

BW1~6 最大挠度值对比见附录图 S7,随着连接件间距的增大,墙体的挠度逐渐增大,但增大的幅度较小.在连接件间距相对较小时,内外叶墙的挠度差很小,随着连接件间距的增大,两者的挠度差逐渐增大,但幅度仍很小.BW5 和 BW6 水平方向挠度曲线见附录图 S8,其中 BW5 内外叶墙挠度曲线基本重合,差别不大,BW6 仅小范围区域有细微不同.可见,连接件的间距对“结构-隔热”一体化墙体挠度的影响较小.

根据有限元模拟结果,试件内叶墙的应力云图无显著差别,且与 DW2 内叶墙的应力云图类似,仅对外叶墙进行应力分析.BW1~6 外叶墙应力云图如附录图 S9 所示,可以看出无显著差别,间距的改变对应力的影响相对较小.试件的应力云图显示应力分布特征整体相似,但随着连接件间距的增大,逐渐出现了局部突变、应力集中现象,但仍不明显.

试件水平方向应力曲线如附录图 S10 所示,其中图 S10(a)为连接件间距相对较小的 BW1~3,图 S10(b)为连接件间距相对较大的 BW4~6.6 组试件应力曲线变化趋势基本相同,水平方向连接件处发生

小范围突变,根据各试件内外叶墙曲线对比来看,内叶墙应力受影响较小,外叶墙应力受影响较大.随着连接件间距的增大,突变现象越明显,其值也越大.

由此可见,连接件的间距对“结构-隔热”一体化墙体力学性能的影响相对较小.连接件间距越大,墙体受粮食荷载所产生挠度越大,且会产生小范围应力集中、突变现象,尤其是外叶墙,但从整体来说,影响相对较小,故综合考虑选取连接件水平间距为 400 mm 的 DW3 试件较合适.

2.3 内外叶墙厚度的影响

同样,工况 3 设计 8 组试件代号分别为 HW1~8.试件仅墙厚不同,其余参数均相同.连接件直径为 10 mm,连接件水平、竖直方向间距分别为 400 mm、480 mm,保温板的厚度为 70 mm.其中 HW1~3 是“结构-隔热”一体化墙体,HW4~8 是单层墙体.

经有限元模拟,将 HW1~3 内叶墙挠度值与其厚度相同的 HW6~8 对比,HW1~3 外叶墙挠度值与其厚度相同的 HW4~6 对比,如图 4 所示.可见,墙厚对其挠度的影响较大,墙体越厚,挠度值越小.从挠度值来看,内叶墙越厚,对结构越有利,挠度值越小,也证明直接接触粮食荷载的内叶墙承受主要荷载.HW1~3 内外叶墙挠度曲线与相同厚度的单层墙体挠度曲线相差不大,最大差仅为 1.33%,且曲线无明显突变,表明墙体不具备组合性,内外叶墙分别单独受力.

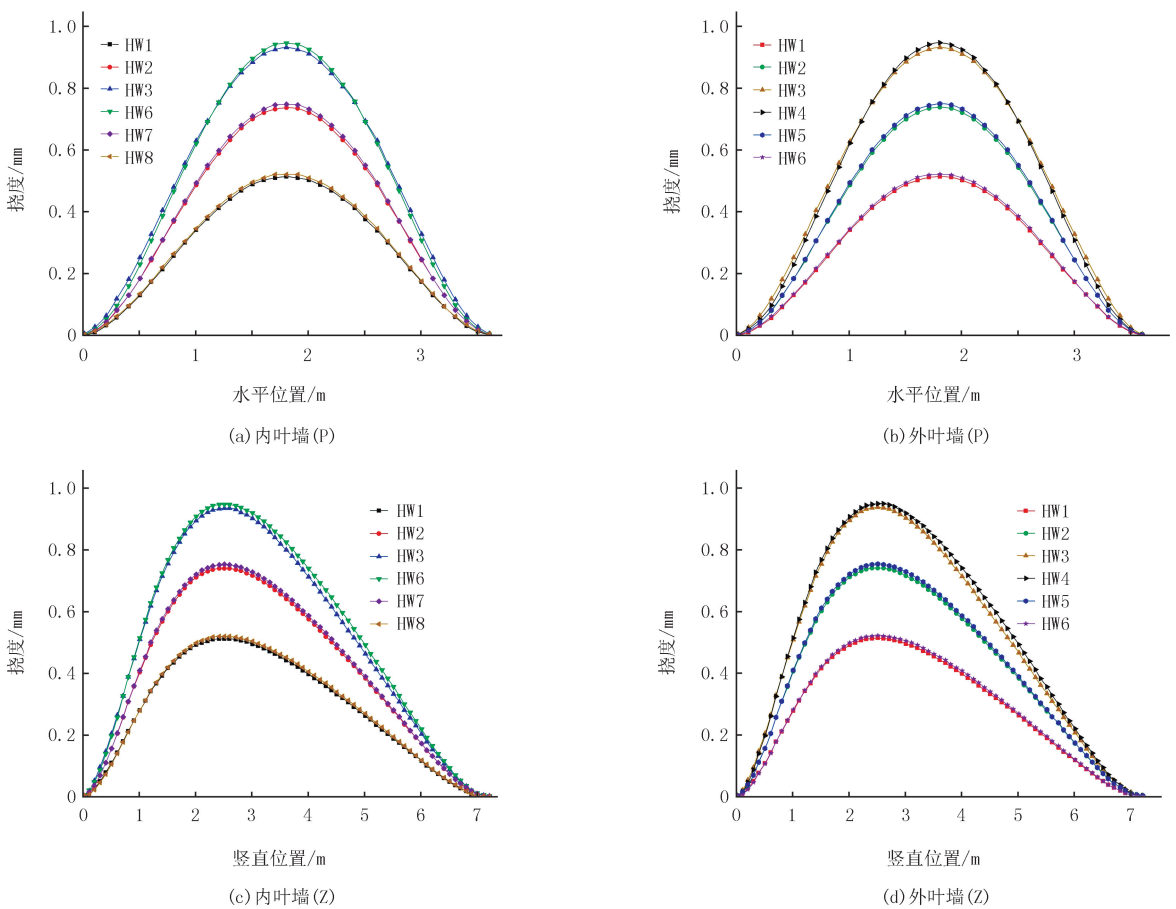


图4 HW1~8挠度曲线(P:水平方向;Z:竖直方向)

Fig.4 HW1-8 deflection curve (P:Horizontal direction;Z:Vertical direction)

墙体最大位移处的水平、竖直方向上的应力曲线如图 5 所示,其中水平方向经过连接件,竖直方向不经过.曲线在连接件位置处出现小范围应力突变,并且对外叶墙影响相对较大,但整体影响较小,且应力稍小于与外叶墙相同厚度的单层墙体的应力.当内外叶墙厚相同时,两端支座处内叶墙应力稍大于外叶墙,但跨中部位外叶墙应力稍大,这是由于连接件扭曲对外叶墙影响更大.

如图 6 所示,在 3 个试件中,HW3 连接件扭曲最严重,应力集中现象对墙体产生危害,结合挠度曲线进一步证明“结构-隔热”一体化墙体内外叶墙更厚对结构更有利的结论.故综合考虑选取内外叶墙厚度分别为

150 mm、50 mm 的 HW1 试件较合适。

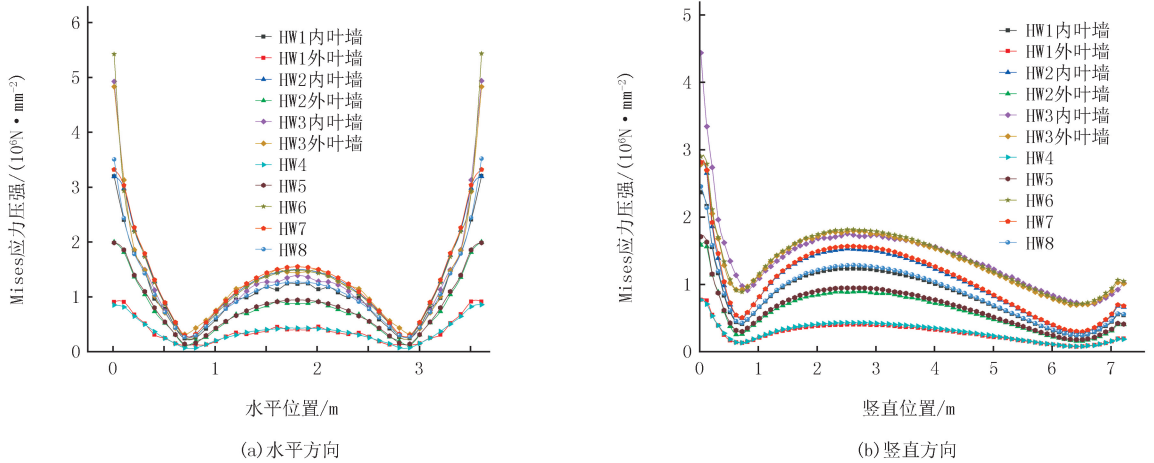


图5 HW1~8混凝土应力曲线
Fig.5 HW1-8 concrete stress curve

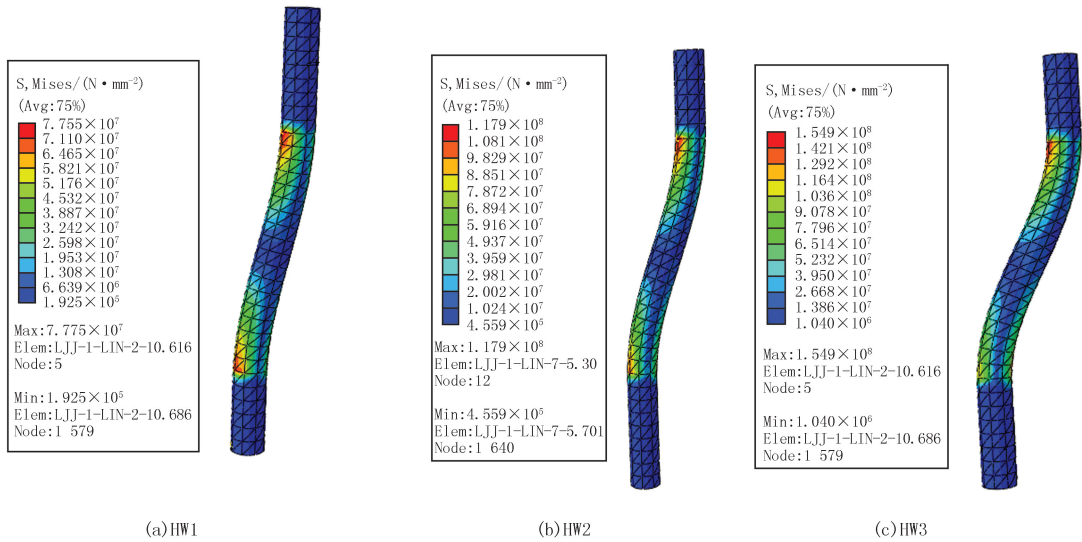


图6 HW1~3连接件应力云图
Fig.6 HW1~3 connectors stress contour

2.4 保温板厚度的影响

同样,工况 4 设计 4 组试件代号分别为 XW1~4.4 组试件仅保温板厚度不同,其余参数均相同.内外叶墙厚度分别为 150 mm、50 mm,连接件直径为 10 mm,连接件水平、竖直方向间距为 400 mm、480 mm.保温板为聚苯乙烯材料,不参与受力,只起保温隔热作用,故本模拟中保温板厚度的改变代表内外叶墙之间间距的改变。

4 组试件内外叶墙挠度最大值对比如图 S11 所示,可见,内外叶墙挠度随保温板厚度的增大而逐渐增加,但幅度很小,内外叶墙之间的挠度差逐渐加大,但差值仍很小.这是由于保温板的厚度越大,连接件的长度越长,使其刚度降低,但并没有改变墙体的受力形式,墙体不具备组合特征,为普通受弯墙体构件的受力状态.四组试件的水平方向应力曲线见图 S12.从整体来看,内外叶墙曲线基本重合,保温板厚度越大,墙体应力越大,但在保温板厚度较小时,其值的增加对应力的改变较小,当保温板厚度较大时,其值的增加对应力的改变略微增大,但整体影响仍较小.所有应力曲线均较为光滑,仅在连接件处出现小范围突变现象,外叶墙应力突变现象相对较为明显。

由此可见,保温板的厚度对“结构-隔热”一体化墙体力学性能的影响较小.保温板厚度越大,墙体整体挠

度越大,应力越大,出现小范围应力突变现象,但整体影响较小.本文仅考虑力学性能认为选取保温板厚度为70 mm的XW2试件较合适.工程设计中,在满足当地对粮食储藏保温隔热性能要求的条件下,尽量设计较薄的保温板厚度,既能有较好的力学性能,又达到节约成本的目的.

3 结 论

为研究连接件的直径、间距、内外叶墙厚度及保温板厚度对“结构-隔热”一体化墙体力学性能的影响,本文通过有限元软件对其模拟分析,得到以下结论:

1)连接件的直径对“结构-隔热”一体化墙体影响较为显著,连接件的直径越大,墙体挠度越小,但出现混凝土应力集中、突变现象.连接件的间距对“结构-隔热”一体化墙体力学性能的影响相对较小.连接件间距越大,墙体挠度越大,对外叶墙产生小范围应力集中、突变现象,总体影响较小.连接件成本较高,单纯地通过增大连接件的直径、刚度来改善墙体的受弯性能不够经济,连接件间距的增大意味着总体数量减小、成本更小,故在设计连接件直径和间距时,需综合考虑力学性能和经济的平衡性,合理设计连接件的直径、间距.根据本文设计试件,建议选取连接件直径与水平间距分别为10 mm、400 mm.

2)墙厚对其挠度的影响较为显著,墙体越厚,挠度值越小,连接件处外叶墙出现应力集中、突变现象.内外叶墙分别单独受力,内叶墙在一定范围内越厚对结构越有利,连接件扭曲越小.根据本文设计试件,建议选取内外叶墙厚度分别为150 mm、50 mm.

3)在常用的使用范围内,保温板的厚度对墙体力学性能的影响较小.保温板越厚,墙体挠度越大,应力越大,并且出现应力突变现象.在满足保温隔热性能的前提下,应尽量设计较薄的保温板厚度.根据本文设计试件,建议选取保温板厚度为70 mm.

附录见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2022.06.21.0002).

参 考 文 献

- [1] 陈宏斌,魏克娴,王永巍.我国粮食储备库新仓型的现状及发展[J].农业机械,2013(17):67-70.
CHEN H B, WEI K X, WANG Y W. Present situation and development of new grain storage types in China[J]. Farm Machinery, 2013(17):67-70.
- [2] 李三亚.新型墙体材料的研究现状及发展趋势[J].山西建筑,2017,43(26):120-121.
LI S Y. Research status and development trend of new wall material[J]. Shanxi Architecture, 2017, 43(26):120-121.
- [3] 张来林,李昭,丁永刚,等.我国新建粮仓气密性差的原因分析及解决措施[J].粮油食品科技,2018,26(4):59-62.
ZHANG L L, LI Z, DING Y G, et al. Analysis of causes for poor air tightness of new granary in China and solutions[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2018, 26(4):59-62.
- [4] 丁永刚,刘浩宇,郭呈周,等.“结构-隔热”一体化墙体的力学性能分析[J].混凝土,2019(4):58-62.
DING Y G, LIU H Y, GUO C Z, et al. Mechanics property analysis of “structure-in-sulation” integration wall[J]. Concrete, 2019(4):58-62.
- [5] JIANG H Z, GUO Z X, LIU J B. Composite behavior of sandwich panels with W-shaped SGFRP connectors[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2018, 22(5):1889-1899.
- [6] HUANG Q, HAMED E. Nonlinear finite element analysis of composite precast concrete sandwich panels made with diagonal FRP bar connectors[J]. Composite Structures, 2019, 212:304-316.
- [7] LI J Y, FU W J, LI F Q, et al. Study on the mechanical properties of composite wall covered with PVC eco-wood board[J]. Ferroelectrics, 2020, 566(1):54-80.
- [8] 吴香国,陶晓坤,于士彦,等.高性能复合夹芯外挂墙板应用研究进展[J].建筑结构,2020,50(S1):611-616.
WU X G, TAO X K, YU S Y, et al. Research progress of high-performance composite sandwich panel[J]. Building Structure, 2020, 50(S1):611-616.
- [9] YUE Y F, ZHAO D. Experimental research on mechanical properties of fundamental frame units in multi-ribbed composite wallboard[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 166/167/168/169:3174-3179.
- [10] 肖力光,李纪良.秸秆夹芯复合外挂墙板的制备及抗风承载力研究[J].混凝土与水泥制品,2021(6):65-69.
XIAO L G, LI J L. Preparation and wind resistance bearing capacity of straw sandwich external wall panels[J]. China Concrete and Cement Products, 2021(6):65-69.

- [11] WANG D Y,ZHANG Y S,ZHU Y,et al.Mechanical performance of sustainable modular prefabricated composite shear panels under cyclic loading[J].Journal of Constructional Steel Research,2021,179:106423.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部.粮食平房仓设计规范:GB 50320—2014[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [13] 李砚波,杜媛媛,门东浩.混凝土夹芯板受弯性能分析[J].建筑结构,2015,45(16):91-95.
LI Y B,DU Y Y,MEN D H.Analysis on bending performance of concrete sandwich panels[J].Building Structure,2015,45(16):91-95.
- [14] 张劲,王庆扬,胡守营,等.ABAQUS 混凝土损伤塑性模型参数验证[J].建筑结构,2008,38(8):127-130.
ZHANG J,WANG Q Y,HU S Y,et al.Parameters verification of concrete damaged plastic model of ABAQUS[J].Building Structure,2008,38(8):127-130.
- [15] 方秦,还毅,张亚栋,等.ABAQUS 混凝土损伤塑性模型的静力性能分析[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2007,8(3):254-260.
- [16] 王振清.粮仓建筑基本理论与设计[M].郑州:河南科学技术出版社,2015.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构设计规范:GB 50010—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [18] BAI F T,DAVIDSON J S.Analysis of partially composite foam insulated concrete sandwich structures[J].Engineering Structures,2015,91:197-209.

Analysis of influencing factors on mechanical properties of "Structure-Insulation" integrated wall under grain side pressure

Ding Yonggang^{1,2}, Song Zhanjiong¹, Chen Kewei^{1,2}, Xu Qikeng^{1,2}, Liu Haoyu¹

(1. College of Civil Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

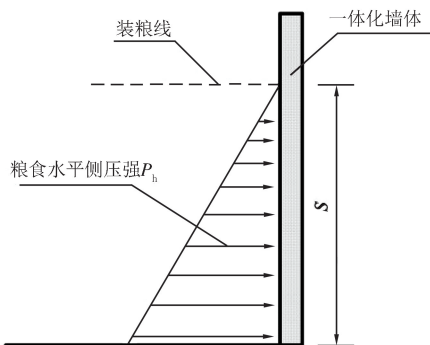
2. Henan Key Laboratory of Grain Storage Facility and Safety, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: "Structure-Insulation" integrated wall is a new type of grain bungalow component. In order to study the influence of wall parameters on its mechanical properties under the action of grain load, this paper explored the influence of the diameter and spacing of the connector, the thickness of the wall, and the thickness of the insulation board on the deflection and stress of the wall, through finite element simulation. The results show that in the commonly used range, the diameter of the connector and the thickness of the wall have a great influence on the deflection and stress of the "structure-thermal insulation" integrated wall, while the spacing of the connector and the thickness of the thermal insulation board have little effect. The deflection of the wall decreases with the increase of the diameter of the connector, however, is prone to stress concentration and sudden change. The deflection of the wall decreases with the increase of the wall thickness. The inner and outer walls are separately stressed, and the thicker the inner leaf wall within a certain range, the smaller the distortion of the connector, which is more beneficial to the structure. The results provide a reference for the design and optimization of the "Structure-Insulation" integrated wall in practical engineering.

Keywords: "Structure-Insulation" integrated wall; grain load; mechanical property; influencing factor

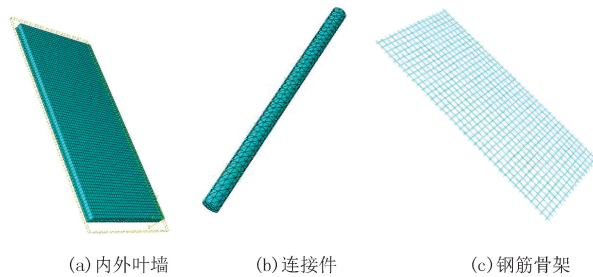
[责任编辑 杨浦 刘洋]

附录



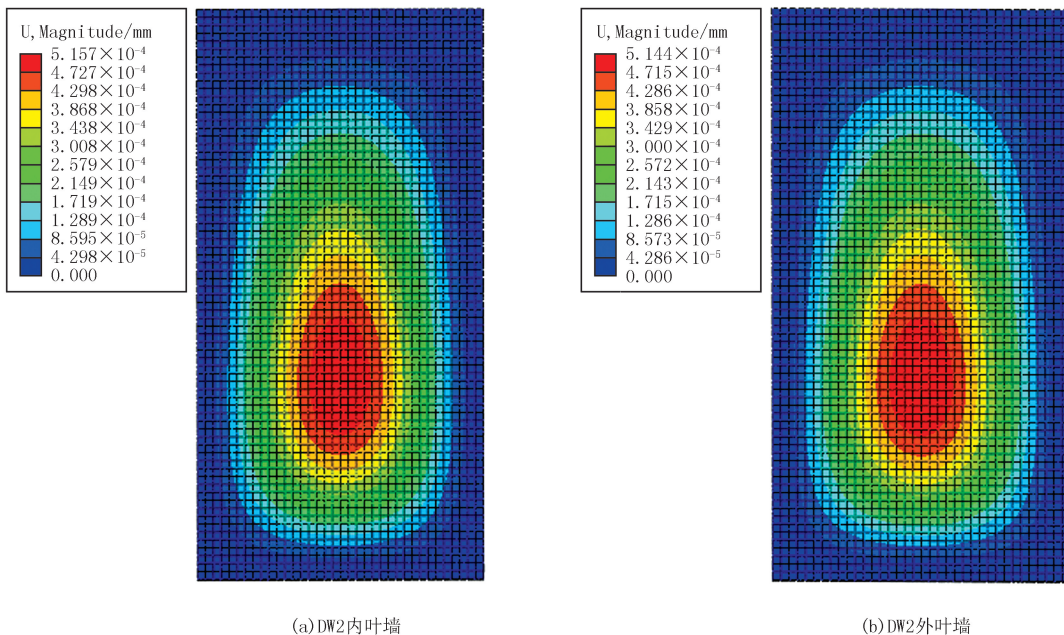
图S1 墙体荷载示意图

Fig.S1 Wall load diagram



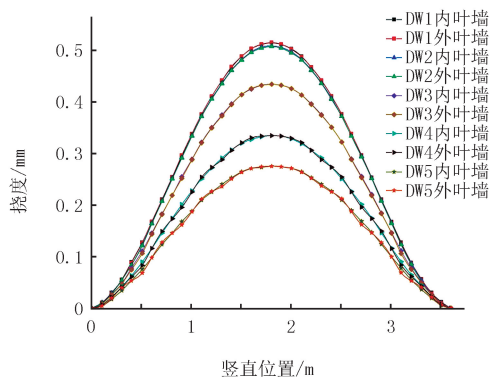
图S2 有限元模型

Fig.S2 Finite element model



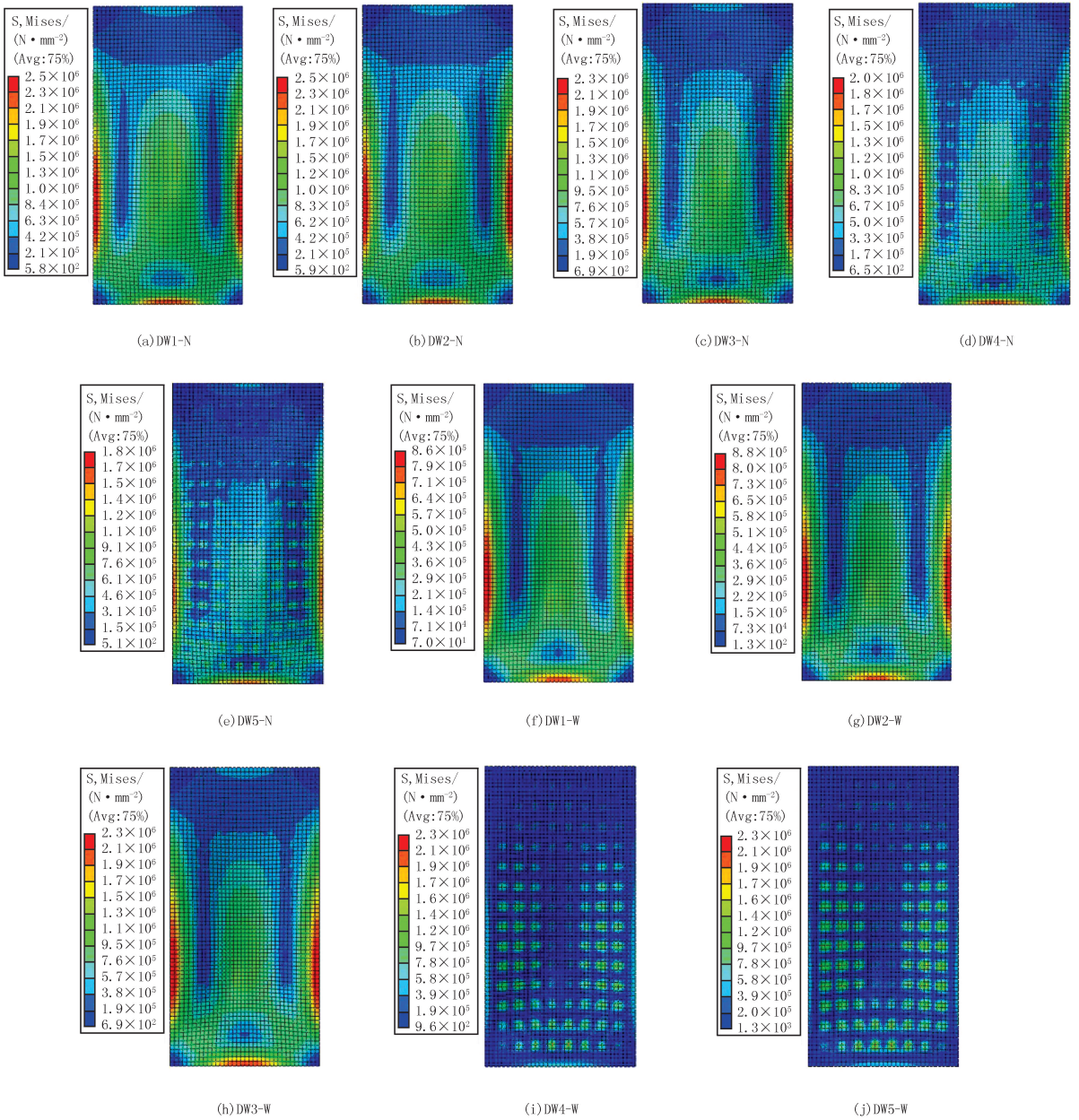
图S3 DW2变形云图

Fig.S3 DW2 deformation cloud map



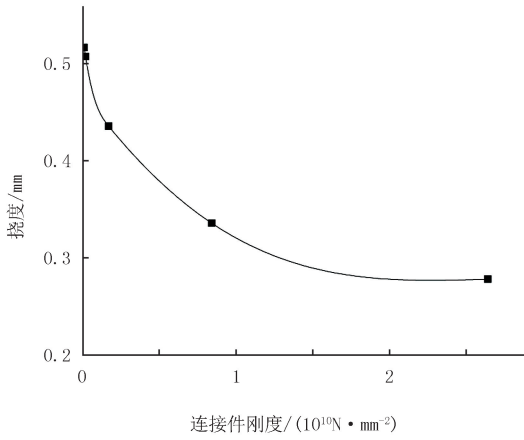
图S4 DW1~5竖直方向挠度曲线

Fig.S4 DW1-5 vertical deflection curve

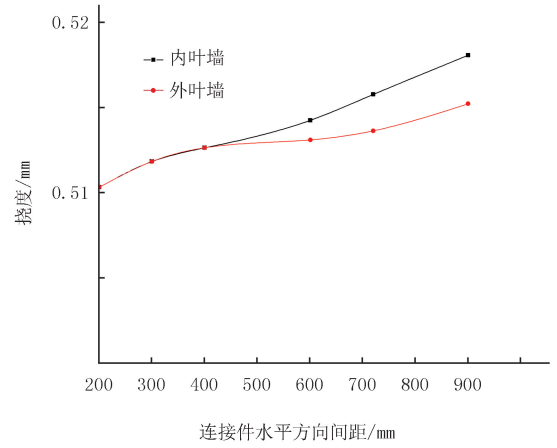


图S5 DW1~5应力云图(N:内叶墙;W:外叶墙)

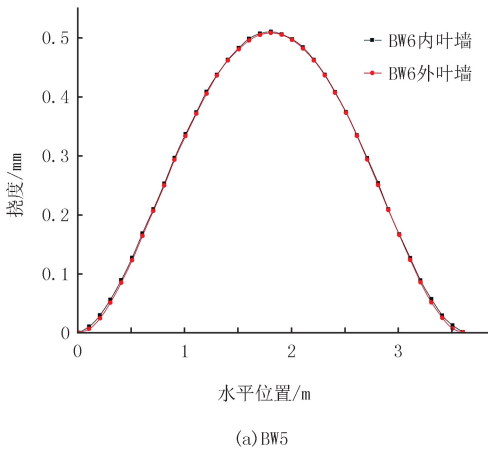
Fig. S5 DW1~5 stress contour (N:Inner wall;W:Outer wall)



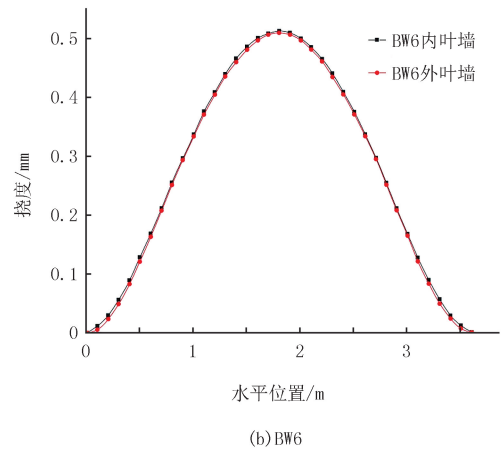
图S6 DW1~5水平方向应力曲线
Fig. S6 DW1-5 horizontal stress curve



图S7 BW1~6挠度最大值对比
Fig. S7 BW1-6 deflection maximum comparison

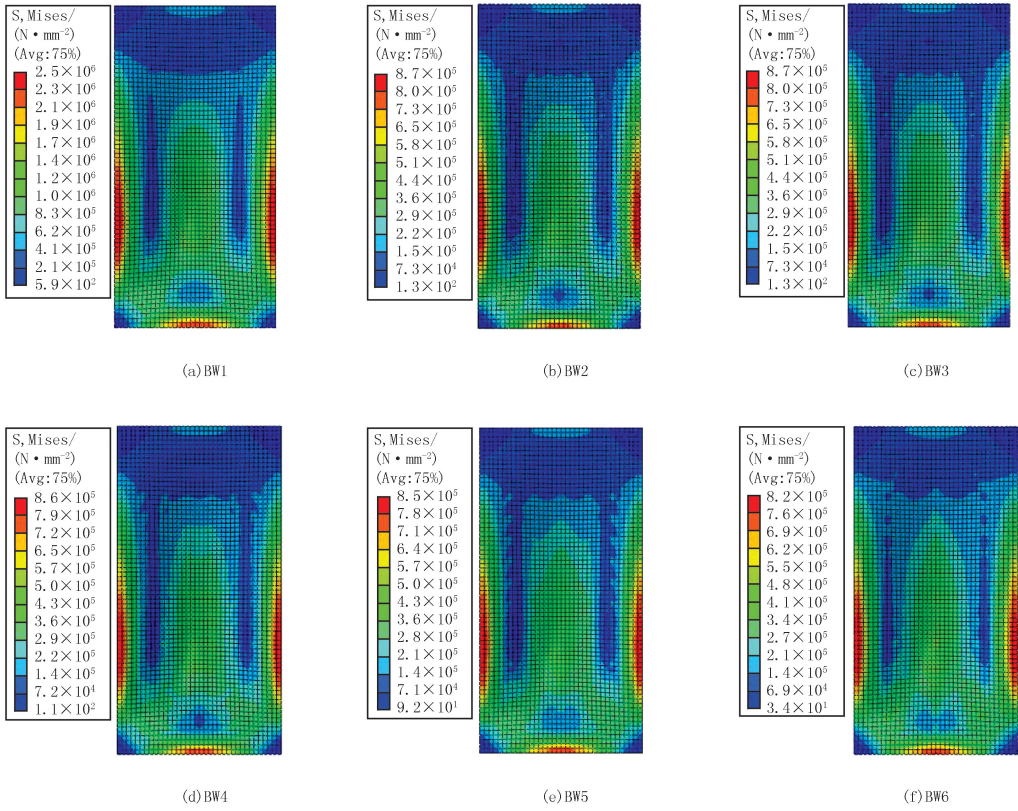


(a) BW5

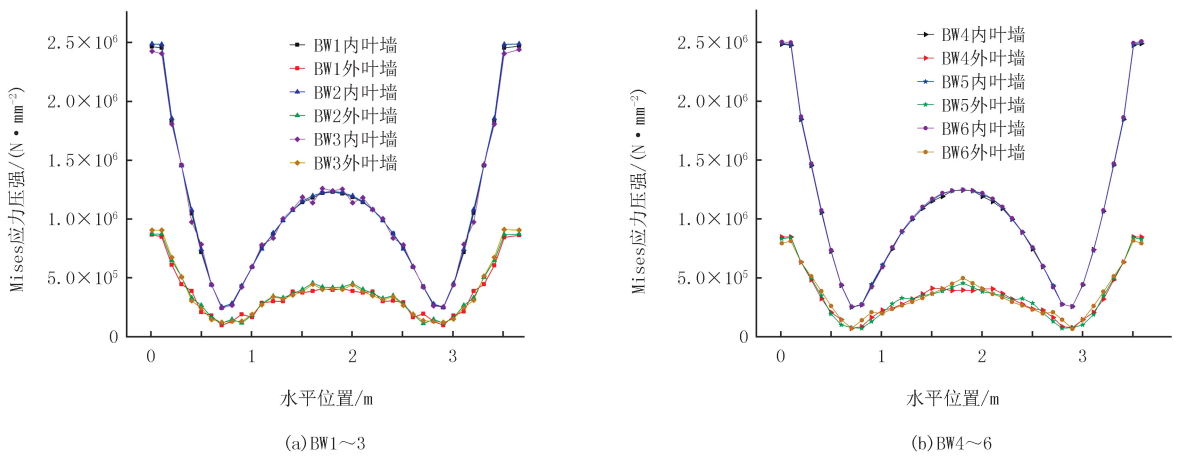


(b) BW6

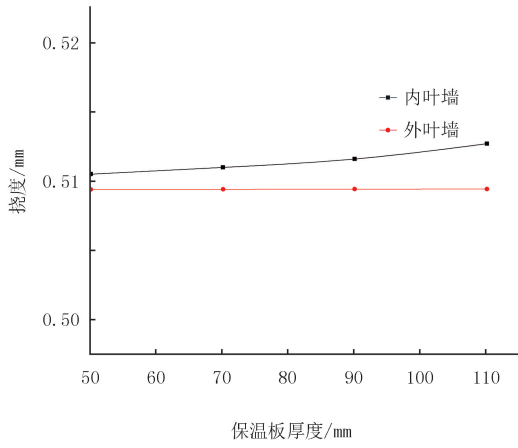
图S8 BW5、BW6水平方向挠度曲线
Fig. S8 BW5 and BW6 horizontal deflection curve



图S9 BW1~6外叶墙应力云图
 Fig.S9 BW1-6 outer leaf wall stress contour

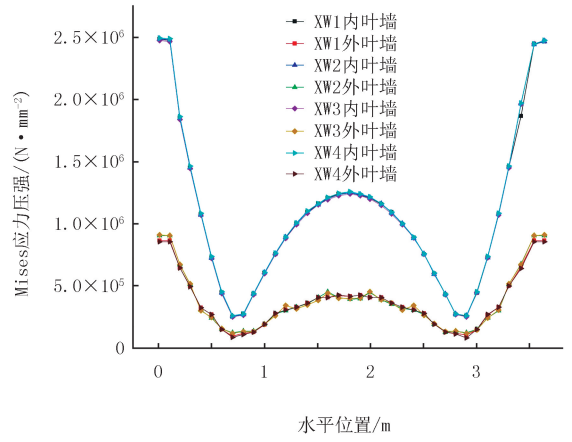


图S10 BW1~6水平方向应力曲线
 Fig.S10 BW1-6 horizontal stress curve



图S11 XW1~4最大挠度对比

Fig.S11 XW1-4 maximum deflection comparison



图S12 XW1~4水平方向应力曲线

Fig.S12 XW1-4 horizontal stress curve