

装配式蒸压加气混凝土板静置及安装受力分析

王仲杰¹, 王朝强^{2*}, 程林泉², 齐从俊³, 陈瑞华³

(1. 重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074; 2. 重庆交通大学 材料科学与
工程学院, 重庆 400074; 3. 重庆瑞轩新型建材有限公司, 重庆 408000)

摘要:为提升板材在建筑结构中的稳定性与安全性,助力装配式建筑的高质量发展至关重要。文章设计强度等级为 A5.0、干密度等级为 B06 的装配式板,其材料由水泥、生石灰、机制砂、脱硫石膏、铝粉按 15:20:55:9:1 的质量比组成,各项性能指标均符合国家蒸压加气混凝土板标准。随后对该装配式蒸压加气混凝土板在正面平放、侧面立放两种静置叠放方式,以及正面布置、侧面布置两种安装布置条件下的弯矩、挠度、稳定性、支座反力和变形等参数进行受力分析与计算。计算结果表明:在静置状态下,板底部变形值为 0.326 mm,侧面立放时板底部弯拉应力为 0.223 MPa、板材底部变形值为 0.005 9 mm,均小于对应规范限值,无论正面平放还是侧面立放,混凝土板底部结构承载稳固性和变形均符合规范要求。安装时,正面布置面板最大内力值为 0.000 26 N/mm²、板底部变形值为 0.000 004 4 mm,侧面布置面板最大内力值为 0.000 06 N/mm²、板底部变形值为 0.000 000 162 mm,各参数均小于《建筑施工模板安全技术规范》允许最大值,符合规范要求。研究表明:无论是采用正面布置还是侧面布置,经系统计算都不会对板本身造成影响。

关键词:装配式蒸压加气混凝土板; 静置状态; 安装布置; 受力分析

中图分类号: TU528.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)04-0056-07

doi: 10.13402/j.gcjs.2025.04.049

Static and installation force analysis of assembled autoclaved aerated concrete panels

WANG Zhongjie¹, WANG Chaoqiang^{2*}, CHENG Linxiao², QI Congjun³, CHEN Ruihua³

(1. School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Materials Science and Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

3. Chongqing Ruixuan New Building Materials Co., Ltd., Chongqing 408000, China)

Abstract: In order to improve the stability and safety of panels in building structures, it is crucial to contribute to the high-quality development of assembled buildings. The design strength grade of the article is A5.0, and the dry density grade is B06. The assembled panel with strength grade A5.0 and dry density grade B06 is composed of cement, quicklime, sand, desulfurization gypsum, and aluminum powder in the mass ratio of 15:20:55:9:1, and all the performance indexes are in accordance with the national standard for autoclaved aerated concrete panels. Afterwards, the assembled autoclaved aerated concrete panels are subjected to force analysis and calculation of bending moment, deflection, stability, support reaction force and deformation under the two static stacking modes of frontal and lateral placement, as well as under the two installation conditions of frontal and lateral placement. Calculation results show that: in the static state, the deformation value of the bottom of the slab is 0.326 mm, the bending and tensile stress of the bottom of the slab is 0.223 MPa and the deformation

收稿日期: 2024-08-16

作者简介: 王仲杰(2001—), 硕士研究生, 从事固废资源化利用方面的研究。

通信作者: 王朝强(1990—), 博士、副教授, 从事固废资源化利用方面的研究。

value of the bottom of the slab is 0.005 9 mm when the slab is placed on its side, all of them are smaller than the corresponding specification limits, and the structural load-bearing stability and deformation of the bottom of the slab comply with the specification requirements regardless of the frontal flat placement or the lateral vertical placement. When the panels were installed, the maximum internal force of the front layout was 0.000 26 N/mm² and the deformation of the bottom of the panels was 0.000 004 4 mm, while the maximum internal force of the side layout panels was 0.000 06 N/mm² and the deformation of the bottom of the panels was 0.000 000 162 mm, and all the parameters were smaller than the maximum values permitted by the *Technical Specification on Safety of Formwork for Construction*, which were in line with the specification requirements. The study shows that the systematic calculations do not affect the panels themselves, whether they are arranged frontally or laterally.

Key words: prefabricated autoclaved aerated plate; resting state; installation arrangement; force analysis

随着建筑行业的不断发展,装配式建筑凭借高效、节能、环保等诸多优势,开始受到广泛关注。装配式建筑运用标准化设计、工厂化生产、装配化施工等先进技术,先在工厂预制建筑构配件,随后运输至现场进行组装。相较于传统现浇建筑,它具有施工速度快、质量可靠、节能环保等优点,故而在当下工程建设中得以广泛应用。蒸压加气混凝土 (autoclaved aerated concrete, AAC) 是一种借助铝粉发气,然后在特定温度和压力条件下经蒸汽养护制成的轻质混凝土材料。其制品主要分为砌块和混凝土板,其中,混凝土板因整体性好、施工便捷,在实际工程中应用更为广泛^[1]。

在国家相关部门的大力推动下,装配式建筑在各地得到了广泛应用^[2]。装配式加气混凝土板在工程中也有较为广泛的应用。众多学者从不同方面对其展开研究。在结构性能方面,谢勇等^[3]探究了影响蒸压加气混凝土板结构性能的主要因素,并提出改善策略;在力学计算与安装方面,魏斌乾^[4]通过实际工程,总结出蒸压加气混凝土板用于外墙时的受力计算方法及安装要求;在裂缝问题方面,陈凯^[5]调研分析了蒸压加气混凝土板产生裂缝的原因,并通过从生产源头控制产品质量,减少了这一缺陷;在保温性能方面,王晓鹏^[6]对一种新型装配式加气混凝土复合保温外墙板的导热性能展开研究;在材料性能改良方面,李磊^[7]在实验室生产过程中,通过在原料中掺入二氧化硅、生石灰等增效剂,改良加气混凝土外墙板的使用性能;在施工工艺方面,林祥武^[8]将 BIM 技术应用于蒸压加气混凝土面板墙施工工艺,林中恒^[9]设计出一种曲边蒸压加气混凝土墙板,

增强了墙体整体性与抗震性能;在连接节点方面,李聪等^[10]利用有限元分析软件 ABAQUS,对比分析全栓接、全焊接两种连接方式的节点承载力,肖凤春^[11]采用对比试验方法,找出蒸压轻质砂加气混凝土墙板在安装过程中产生裂缝的因素;在新型墙体方面,郑锦涛等^[12]提出一种将装配式构造柱与沙漠砂蒸压加气混凝土砌块相结合的新型抗震墙体;在施工技术方面,宋有志等^[13]阐述了蒸压加气混凝土板的施工方法与技术要点,王原硕等^[14]分析了蒸压加气混凝土板施工过程中常见质量问题的成因,并制定解决措施;在力学性能方面,李欣忆^[15]研究了蒸压加气混凝土墙板的受压、受剪及抗震性能,官志刚^[16]通过拟静力试验对装配式蒸压加气混凝土板构墙体的抗震性能展开研究,张国伟等^[17]研究了蒸压加气混凝土板的位移延伸性能。

综上所述,现有研究主要围绕装配式蒸压加气混凝土板的材料使用、施工技术、力学性能、防水性能、抗震性能及延伸性能等方面展开分析,并针对提升相关性能提出了相应解决措施。然而,鉴于装配式蒸压加气混凝土板生产工艺与使用方式的特殊性,在工程实际应用中,还需充分考虑板材在运输与安装过程中的受力特性,以此判定板在运输过程中不同放置方式及安装过程中不同布置方式对其自身的影响。因此,本文以 B06、A5.0 级蒸压加气混凝土板为研究对象,对其进行受力分析与计算,检验板在正面平放和侧面立放两种叠放静置状态下,以及在正面布置和侧面布置两种安装布置条件下的弯矩、挠度、稳定性、支座反力及变形等参数,旨在为蒸压加气混凝土板的实际使用提供更丰富的支撑信息。

1 研究对象

1.1 装配式蒸压加气混凝土板介绍

本文的研究对象为装配式蒸压加气混凝土板, 基于标准规范《蒸压加气混凝土板》(GB/T 15762—2020), 设计装配式板材强度等级为 A5.0, 干密度等级为 B06, 产品配质量比为水泥: 生石灰: 机制砂: 脱硫石膏: 铝粉 = 15: 20: 55: 9: 1。基于标准蒸压养护所制备板材测定基础性能指标如表 1 所示, 可见主要性能指标抗压强度、抗冻性、干燥收缩与导热系数值均满足国家蒸压加气混凝土板标准中要求。进一步的批量制作长度为 3 000 mm, 宽度为 600 mm, 高度为 200 mm 的蒸压加气混凝土板, 板材干容重为 550 kg/m^3 , 分别采用正面平放和侧面立放两种叠放方式, 板的尺寸如图 1 所示。通过对板的受力分析和计算, 检验板在两种叠放方式的静置状态下的弯矩、挠度、稳定性、支座反力以及变形等参数是否符合规范要求。本受力计算依据为《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ 162—2008)。



图 1 板的尺寸 mm

1.2 板的功能性机制

经过不同规范标准的检测, 本文所研究的自主研发的大掺量固废基功能型装配式蒸压加气混凝土板在保温隔热、耐高温、隔绝噪音及轻质等多个方面展现出了良好的功能性。这些功能性的表现机制如图 2 所示。在本研究中, 功能型装配式蒸压加气混凝土板的主要原材料以无机材料为主, 因此其具备了优良的耐火特性, 并且在遇火时不会释放有害气体。该装配式蒸压加气混凝土板的主要成分包括脱硫灰、和磷石膏, 其中磷石膏的主要成分是含有两个结晶水的双水合硫酸钙

($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 约占其总质量的 21%。这些结晶水在常温环境下稳定存在于加气混凝土板内部, 而当板遭遇高温条件时, 结晶水可以迅速蒸发并扩散至板的表面的空气中, 形成一层包裹的“水蒸气”, 这在降低墙体材料表面温度的同时, 也能有效地隔离氧气, 从而阻断墙体材料及建筑物的进一步燃烧。

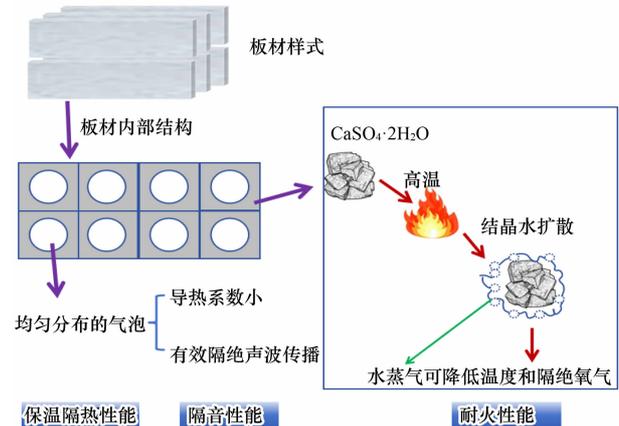


图 2 装配式蒸压加气混凝土板功能性表现机制

此外, 大掺量固废基功能型装配式加气板材的隔音性能受材料性质以及其施工工艺的影响。板材内部含有大量均匀排列的气泡, 因此能够有效地阻断声波传播, 从而实现良好的隔音效果。同时, 由于其相对较低的密度和轻质特性, 板材在一定程度上也能隔绝震动传播, 进一步增强隔音效果。同时, 材料内部有大量的气孔和微孔均匀分布, 加之气泡的低导热系数, 使得板材具备良好的保温隔热性能。总之, 大掺量固废基功能型装配式加气板材的功能性主要源于其原材料的特性与加工工艺, 并与气泡的均匀分布密切相关。

1.3 蒸压加气混凝土板配合比设计理论

在板的制造过程中, 功能型装配式加气混凝土板的配合比设计占据核心地位, 但由于原材料和生产工艺的不同, 其配合比也会有所区别。功能型装配式加气混凝土板主要由以下原料构成: 脱硫灰、磷石膏。本文通过分析各组分性质及其质

表 1 装配式蒸压加气混凝土板性能指标

指标	抗压强度/MPa		抗冻性/%		干燥收缩值/ ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$)	导热系数/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$)
	平均值	单组最小值	质量损失	强度损失		
性能指标	≥ 5.0	≥ 4.0	≤ 5.0	≤ 20	≤ 0.5	≤ 0.16
实测值	5.5	5.0	2.0	11	0.37	0.12

量分数变化对产品性能影响规律,提出了合理匹配不同种类固体废弃物的制备方法。在进行预处理和活化改性之后,根据基础化学原料以及每一种固废的化学成分特性,对所需的基础材料用量进行了调配。通过实验分析了各组分之间相互关系以及不同比例组合下加气混凝土板性能变化情况。依据GB/T 15762—2020这一标准规范,设计了一个功能型装配式蒸压加气混凝土板,其强度等级定为A5.0,干密度级别为B06,主要的计算公式如下:

干物料用量:

$$m = r - B \quad (1)$$

式中: m 为单位体积制品干物料用量, kg/m^3 ; r 为设计体积密度, kg/m^3 ; B 为制品中结合水量, kg/m^3 。

配方计算:

$$m_x = mP_x \quad (2)$$

式中: m_x 为单位制品中某原料用量, kg/m^3 ; P_x 为该种原料的基本配合比, %。

铝粉发泡剂质量:

$$m_{\text{铝}} = V_{\text{孔}} / (V_2 \times K) \quad (3)$$

式中: $m_{\text{铝}}$ 为单位体积铝粉用量, kg/m^3 ; $V_{\text{孔}}$ 为铝粉发气气孔体积, L; V_2 为1 g铝粉理论产气量, L/g; K 为铝粉活性铝质量分数, %。

实验室配比根据产品干物料质量,结合水量以及各材料用量比例求出产品配质量比为水泥:生石灰:机制砂:脱硫石膏:铝粉 = 15:20:55:9:1。

2 受力计算

2.1 正面平放

2.1.1 计算荷载

板正面平放的叠放方式如图3所示。通过测试,该板的容重为 $550 \text{ kg}/\text{m}^3$,则单块板的自重为 198 kg,可换算为 $19.8 \text{ kN}/\text{m}^3$ 。板的高度为 0.2 m,宽度为 0.6 m,则作用在板面的均布荷载为 $0.2 \times 0.6 \times 19.8 = 2.376 \text{ kN}/\text{m}$ 。



图3 正面平放

2.1.2 支座反力计算

显然所有板的重量最终由最底处的两个支座承担,即每个支座各承担一半的重量,则其支座反力为整个板重力的一半。板的重量为 $= 0.36 \times 1980 \times 10 \times 6 = 42.768 \text{ kN}$ 。则单个支座反力为 21.384 kN。

2.1.3 板底部强度计算

(1) 板的弹性模量:根据一般装配式板材的弹性模量,取 $E = 0.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ 。

(2) 板截面惯性矩: $I = bh^3/12 = 0.6 \times 0.2^3/12 = 0.0004 \text{ m}^4$ 。

(3) 板截面抵抗矩: $W = bh^2/6 = 0.6 \times 0.2^2/6 = 0.004 \text{ m}^3$ 。

(4) 板跨中最大弯矩: $M = ql^2/8 = 2.376 \times 3^2/8 = 2.673 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

2.1.4 板底部挠度验算

$$\begin{aligned} f &= (0.677ql^4)/100EI \\ &= \frac{0.677 \times 2.376 \times 3^4}{100 \times 0.1 \times 10^5 \times 4 \times 10^{-4}} \\ &= 0.326 \text{ mm} < L/400 = 7.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

则板底部变形符合规范要求。(在JGJ 162—2008中,对结构表面外露的模板,其最大变形值不得超过容许值,即模板构件计算跨度的1/400)。

2.2 侧面立放

2.2.1 计算荷载

侧面立放的叠放方式如图4所示。通过测试,该板的容重为 $550 \text{ kg}/\text{m}^3$,则单块板的自重为 198 kg,可换算为 $19.8 \text{ kN}/\text{m}^3$ 。板的高度为 0.6 m,宽度为 0.2 m,则作用在板面的均布荷载为 $0.6 \times 0.2 \times 19.8 = 2.376 \text{ kN}/\text{m}$ 。

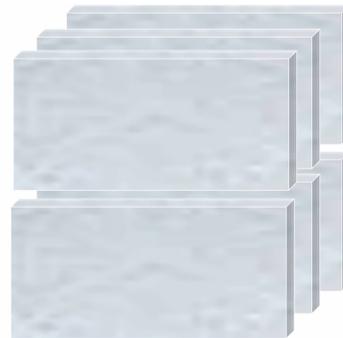


图4 侧面立放

2.2.2 支座反力计算

显然所有板的重量最终由最底处的两个支座

承担,即每个支座各承担一半的重量,则其支座反力为整个板重力的一半。板的重量为 $=0.36 \times 1980 \times 10 \times 3 = 21.384 \text{ kN}$ 。则单个支座反力为 10.692 kN 。

2.2.3 板底部强度计算

1) 板的弹性模量:根据一般装配式板的弹性模量,取 $E = 0.1 \times 10^5 \text{ MPa}$;

2) 板截面惯性矩: $I = bh^3/12 = 0.2 \times 0.6^3/12 = 0.0036^4$;

3) 板截面抵抗矩: $W = bh^2/6 = 0.2 \times 0.6^2/6 = 0.012 \text{ m}^3$;

4) 板跨中最大弯矩: $M = ql^2/8 = 2.376 \times 3^2/8 = 2.673 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

式中: b 为宽度, m ; h 为高度, m ; l 为长度, m ; q 为均布荷载大小, kN/m 。

2.2.4 混凝土板底部结构承载稳固性验算

板底部弯拉应力计算: $\sigma = \frac{M}{W} = \frac{2.673}{0.012} =$

$0.223 \text{ MPa} < [\sigma] = 0.44 \text{ MPa}$;

则混凝土板底部结构承载稳固性符合规范要求。(在《装配式建筑高性能蒸压加气混凝土板应用技术规程》(DB42/T 1776)规范中的蒸压加气混凝土板抗压强度和劈拉强度标准值中,强度等级为 A5.0 的蒸压加气混凝土板抗弯拉强度允许最大值为 0.44 MPa)

2.2.5 板底部挠度验算

$$f = (0.677ql^4)/100EI$$

$$= \frac{0.677 \times 2.376 \times 3^4}{100 \times 0.1 \times 10^5 \times 3.6 \times 10^{-3}} = 0.0059 \text{ mm} <$$

$L/400 = 7.5 \text{ mm}$;

则板底部变形符合规范要求(在 JGJ 162—2008 中,对结构表面外露的模板,其最大变形值不得超过容许值,即模板构件计算跨度的 $1/400$)。

3 安装受力分析

本项目为自主研发的装配式蒸压加气混凝土板,其按照装配方式可分为正面布置和侧面布置(如图 5、7)两种安装布置方式。

3.1 正面布置

3.1.1 计算简图

按单向受力计算,正面布置的受力点为两点

吊杆固定受力,近似按两跨连续梁计算,计算简图如图 6 所示。



图 5 正面布置

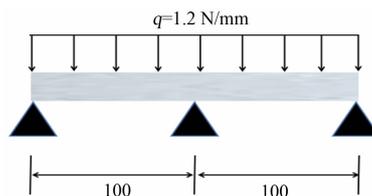


图 6 正面布置受力简图

mm

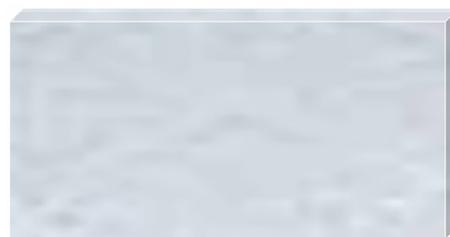


图 7 侧面布置

$$q = 0.006 \times 200 = 1.2 \text{ N/mm}$$

3.1.2 强度计算

按照静荷载最大,查《建筑结构设计》弯矩系数表得弯矩系数为 $K_m = 0.085$

$$W = bh^2/6 = 600 \times 200^2/6 = 4\,000\,000 \text{ mm}^3$$

故面板的最大内力值为

$$\sigma = \frac{M}{r_x \times W_x} = \frac{1\,020}{1 \times 4\,000\,000} = 0.00026 \text{ N/mm}^2 <$$

$[\sigma] = 215 \text{ N/mm}^2$; 满足要求(在 JGJ 162—2008 的现浇混凝土模板计算中,面板可按简支跨计算,应验算跨中和悬臂端的最不利抗弯强度,查强度设计值表可得抗拉、抗压、抗弯允许最大值为 215 N/mm^2)。(r_x 为截面塑性发展系数,取值为 1.00)。

3.1.3 挠度验算

查《建筑结构设计》常用结构计算表得,挠度系数 $K_f = 0.912$

$$f_{\max} = K_f q l^4 / 100 EI \quad (4)$$

式中:根据一般装配式板材的弹性模量,取 $E = 0.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

$$I = bh^3/12 = 600 \times 200^3/12 = 4 \times 10^8 \text{ mm}^4;$$

则 $f_{\max} = K_f q l^4 / 100 EI = 0.912 \times 1.2 \times 200^4 / (100 \times 0.1 \times 10^5 \times 4 \times 10^8) = 0.000\ 004\ 4 \text{ mm}$, 满足要求。(在 JGJ 162—2008 中,对结构表面外露的模板,其最大变形值不得超过容许值,即模板构件计算跨度的 1/400)。

3.2 侧面布置

3.2.1 计算简图:

按单向受力计算,按三跨连续计算,取 100 mm 宽板带为计算单元,故 $q = 0.06 \text{ N/mm}$, 计算简图如图 8 所示。

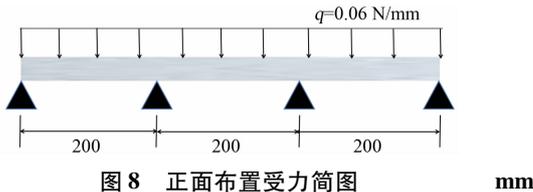


图 8 正面布置受力简图

3.2.2 强度计算

按照静荷载最大,查的弯矩系数为 $K_m = 0.100$

$$M_{\max} = K_m q l^2 = 0.100 \times 0.06 \times 200^2 = 240 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$W = bh^2/6 = 600 \times 200^2/6 = 4\ 000\ 000 \text{ mm}^3$$

故面板的最大内力值为

$$\sigma = \frac{M}{r_x \times W_x} = \frac{240}{1 \times 400\ 000} = 0.000\ 06 \text{ N/mm}^2 <$$

$[\sigma] = 215 \text{ N/mm}^2$; 满足要求。(在 JGJ 162—2008 的现浇混凝土模板计算中,面板可按简支跨计算,应验算跨中和悬臂端的最不利抗弯强度,查强度设计值表可得抗拉、抗压、抗弯允许最大值为 215 N/mm^2) (r_x 为截面塑性发展系数,取值为 1.00)。

3.2.3 挠度验算

查建筑施工手册常用结构计算表得,挠度系数 $K_f = 0.677$ 。

$$f_{\max} = K_f q l^4 / 100 EI \quad (5)$$

式中:根据一般装配式板材的弹性模量,取 $E = 0.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

$$I = bh^3/12 = 600 \times 200^3/12 = 4 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

则 $f_{\max} = K_f q l^4 / 100 EI = 0.677 \times 0.6 \times 200^4 / (100 \times 0.1 \times 10^5 \times 4 \times 10^8) = 0.000\ 000\ 162 \text{ mm}$, 满足要求。(在 JGJ 162—2008 中,对结构表面外露的模板,其最大变形值不得超过容许值,即模板构件计算跨度的 1/400)。

4 结论

(1) 本文所研究的装配式蒸压加气混凝土板产品的材料组成以及配质量比为水泥:生石灰:机制砂:脱硫石膏:铝粉 = 15:20:55:9:1。其主要性能指标抗压强度、抗冻性、干燥收缩与导热系数值均满足国家蒸压加气混凝土板标准中 B06, A5.0 要求。

(2) 静置条件下对板的荷载、支座反力、板底部强度、板底部结构承载稳固性、板底部挠度进行计算,得出结果为板底部变形值为 0.326 mm (小于 JGJ 162—2008 中最大变形容许值 7.5 mm); 侧面立放时板底部弯拉应力为 0.223 MPa (小于 DB42/T 1776 规范中强度等级为 A5.0 的蒸压加气混凝土板抗弯拉强度允许最大值为 0.44 MPa)、板底部变形值为 0.005 9 mm (小于 JGJ 162—2008 中最大变形容许值 7.5 mm), 所以板在正面立放和侧面立放两种放置方式时板底部的稳定性和变形均符合规范要求,并且在板在进行运输时,采用侧面立放的方式,板底部的弯拉应力更小,挠度变形更小,更符合力学要求。

(3) 板按照装配方式可分为正面布置和侧面布置两种安装布置方式,对两种安装布置方式进行强度计算和挠度验算,得出结果正面布置时面板的最大内力值为 $0.000\ 26 \text{ N/mm}^2$ (小于 JGJ 162—2008 中抗拉、抗压、抗弯允许最大值 215 N/mm^2), 板底部变形值为 $0.000\ 004\ 4 \text{ mm}$ (小于 JGJ 162—2008 中最大变形容许值 7.5 mm); 侧面布置时面板的最大内力值为 $0.000\ 06 \text{ N/mm}^2$ (小于 JGJ 162—2008 中抗拉、抗压、抗弯允许最大值 215 N/mm^2), 板底部变形值为 $0.000\ 000\ 162 \text{ mm}$ (小于 JGJ 162—2008 中最大变形容许值 7.5 mm), 故在对装配式蒸压加气混凝土板安装时,无论是采用正面布置还是侧面布置,都不会对板本身造成影响。

参考文献:

- [1] 唐凌霄,姚华彦,徐马云龙,等. 蒸压加气混凝土板研究与应用综述[J]. 材料导报,2022,36(增刊1):237-240.
- [2] 刘志伟. 绿色装配式建筑设计研发与实践[J]. 住宅产业,2018(11):33-37.
- [3] 谢勇,施潇韵,孙杰. 蒸压加气混凝土板结构性能现状分析和对策探讨[J]. 砖瓦,2018(6):81-84.
- [4] 魏斌乾. 高层装配式建筑外围护结构蒸压加气混凝土板承载力计算和施工质量控制[J]. 建筑技术,2023,54(8):922-926.
- [5] 陈凯. 蒸压加气混凝土板裂缝成因及施工控制技术[J]. 建筑安全,2023,38(5):51-54.
- [6] 王晓鹏. 装配式加气混凝土复合保温外墙板热工性能研究[D]. 济南:山东建筑大学,2022.
- [7] 李磊. 装配式建筑用加气混凝土外墙板生产技术及性能研究[D]. 北京:北京建筑大学,2019.
- [8] 林祥武. 蒸压加气混凝土装配式内隔墙设计与施工技术[J]. 福建建设科技,2022(4):75-77.
- [9] 杜中恒. 装配式曲边蒸压加气混凝土墙板组合墙受

力性能研究[D]. 重庆:重庆大学,2022.

- [10] 李聪,张喜臣,郑恒,等. 装配式蒸压加气混凝土轻钢复合墙体全螺栓连接节点与焊接节点承载力对比分析[J]. 中国建筑金属结构,2022(2):8-10.
- [11] 肖凤春. 蒸压轻质砂加气混凝土板安装技术及质量控制[J]. 中国新技术新产品,2023(23):105-107.
- [12] 郑锦涛,朱文星,王玉山,等. 装配式构造柱约束沙漠砂蒸压加气混凝土砌块墙体的抗震性能试验研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2023,41(6):678-683.
- [13] 宋有志,闫博杰,宋慧聪,等. 蒸压加气混凝土条板施工质量控制[J]. 建筑技术,2024,55(14):1735-1738.
- [14] 王原硕,王罡,于利佳. 蒸压加气混凝土条板现场质量通病梳理与防治[J]. 建筑技术,2023,54(17):2093-2095.
- [15] 李欣忆. 装配式蒸压加气混凝土墙板结构受力性能研究[D]. 北京:北京建筑大学,2021.
- [16] 官志刚. 装配式蒸压加气混凝土板构墙体抗震性能研究[D]. 中国地震局工程力学研究所,2021.
- [17] 张国伟,张品,陈博珊,等. 蒸压加气混凝土板位移延性研究[J]. 工业建筑,2017,47(12):106-110;126.

(上接第 49 页)

4 结 论

(1)在实施过程中,发现破碎带宽度的增加和充填介质摩擦角的降低均会导致掘进时刀盘卡机的风险增加。破碎带越宽,过量排渣的时间越长;充填介质摩擦角越小,开挖扰动下围岩自稳性越差。此外,掘进参数相同条件下,开挖扰动范围扩大会使作用在刀盘上的土压力、扭矩和推力增大。通过减小刀盘转速可以有效减少排渣量和超挖率,进而提高开挖面围岩的稳定性。

(2)富水地层采用 AB 料化灌注浆材料能快速膨胀,纯浆液按照 1:1 比例计量充分搅拌均匀, 25 s 里开始发泡,改发泡体积是浆液的 17 倍,纯浆液加 3% 催化剂有助于扩大发泡体积,其体积是原体积的 21 倍。

(3)化灌材料与钢板的黏结力小、渗透性强,约为纯水泥浆的 1/4,接近护盾注浆时,要避免采

用纯水泥浆液,以防止水泥浆与护盾黏结,对脱困产生不利影响。

(4)管棚距离护盾位置过近,对于后续的换拱、取芯空间有较大影响,并且使得常规的盾尾导洞扩挖脱困方案无法实行。

参考文献:

- [1] 王川. 复合式 TBM 卡壳原因及处理方案[J]. 科学技术创新,2012(31):295-295.
- [2] 杨晓迎,翟建华,谷世发,等. TBM 在深埋超长隧洞断层破碎带卡机后脱困施工技术[J]. 水利水电技术,2010,41(9):68-71.
- [3] 董泗龙. 敞开式 TBM 断层破碎带脱困技术[J]. 隧道建设,2016,36(3):326-330.
- [4] 徐虎城. 断层破碎带敞开式 TBM 卡机处理与脱困技术探析[J]. 隧道建设,2018,38(增刊1):156-160.