

掺锂渣气凝胶粘结砂浆性能研究

张萌

长沙理工大学

DOI:10.12238/bd.v8i5.4271

[摘要] 由普通硅酸盐水泥、锂渣、气凝胶以及其它外加剂为原料制备气凝胶粘结砂浆。锂渣的掺入会补足气凝胶材料脆性大的缺点,两者具有一定的相关性,可混合使用。采用实验分析的方法,研究锂渣掺量分别为5%、10%、15%的拉伸粘结强度,并保持气凝胶以及其它成分掺量不变。研究发现,随着锂渣掺量的增加,其拉伸粘结强度先上升后下降。此外,气凝胶是一种很好的保温材料,为探究该粘结砂浆具体的保温性能,我们根据热传导分析原理,通过ABAQUS有限元软件对粘结砂浆的热传导进行分析,通过热传导速度的快慢可以得出该粘结砂浆的保温性能。

[关键词] 气凝胶; 粘结砂浆; ABAQUS; 保温性能; 粘结性能

中图分类号: TU111.4+1 **文献标识码:** A

The study focuses on the performance evaluation of aerogel bonded mortar incorporating lithium slag

Meng Zhang

Changsha University of Science and Technology

[Abstract] The aerogel bonded mortar was prepared by incorporating ordinary Portland cement, lithium slag, aerogel, and other admixtures. The addition of lithium slag compensates for the brittleness of the aerogel material, and these two components can be mixed together due to their certain correlation. Experimental analysis was conducted to investigate the tensile bond strength at different levels (5%, 10%, and 15%) of lithium slag while keeping the content of aerogel and other components unchanged. It was observed that the tensile bond strength initially increases, then decreases with an increase in lithium slag content. Furthermore, aerogel exhibits excellent insulation properties. To explore the specific insulation performance of the bonded mortar, heat conduction analysis using finite element software ABAQUS was performed based on principles of heat conduction analysis, enabling us to determine its insulation performance through heat conduction rate.

[Key words] aerogel; bonding mortar; ABAQUS; insulation property; bonding property

引言

随着城市化步伐的加快,随着建筑行业的发展,日常消耗对城市环境造成了相当严重的危害,因此需要大力推广使用绿色产品、绿色材料、绿色建筑。^[1]近年来,随着内外保温系统的大量应用,脱落、空鼓成了外保温系统的最大问题之一,因此,粘结砂浆的粘结性能、抗裂性能也是我们需要研究的重点。水泥作为砂浆的重要组成部分,需求量很大,也是产生二氧化碳的原因之一,学者们对如何替代水泥材料进行了大量的研究,^[1]秦培成等人研究用废砖粉替代水泥、用橡胶粉替代砂,^[2]田浩正人用石粉替代水泥。因此,在我国“碳达峰、碳中和”的背景下,传统建筑材料朝着绿色建筑、低碳建筑的方向发展。

随着工业生产的发展,工业废物数量庞大,种类繁多、成分复杂、处理相当困难,给环境造成了相当大的危害,因此,如何变

废为宝成为工程行业可持续发展的出路之一,工业上对钢铁渣、粉煤灰、煤渣进行了大量的研究。近几年来,伴随着锂矿开采与提炼规模的扩大,锂渣的产量急剧增加,锂渣的大量生产会产生有毒物质、给环境造成了严重的污染。^{[3][4]}锂渣的化学成分与粉煤灰、水泥熟料相似。^[5]赵梓煜等人研究了锂渣掺量对水泥稳定再生碎石的强度和干缩性能的影响。查文华^[6]研究了热活化锂渣复合水泥胶凝材料配比优化方案。胡明华^[7]等人研究了锂渣混凝土的力学性能,实验表明,掺锂渣试件都具有良好的刚度和延性。高军伟^[8]等人对锂渣的性能进行了研究,表明掺入锂渣在一定程度上使水泥比表面积有所提高,掺锂渣的水泥后期强度高于其它混合材,随着锂渣掺量在一定情况下的不断增加,其抗压强度呈逐渐上升趋势。

气凝胶材料具有高比表面积、高孔隙率、低密度、优异的

吸附性能和热稳定性等特点,因此在催化、吸附、分离、传感等领域有着广泛的应用,是一种新型绿色环保材料,可在材料领域广泛使用。但是二氧化硅的掺入可能会导致其砂浆的力学强度降低,脆性很大,容易破坏。而锂渣的掺入能够改善其力学性能,补足了气凝胶粘结砂浆的不足之处。此外,砂浆的粘结强度、耐久性随抗压强度的增大而提高,它们之间有较好的相关性,^[8]高军伟等人的研究表明,掺入锂渣会使砂浆的抗压强度增强,因此,掺入锂渣也具有使砂浆粘结强度增强的效果,为研究其粘结性能的影响程度,我们进行了如下实验。

1 试验研究

1.1 试验材料。采用普通硅酸盐水泥,掺5%、10%、15%锂渣替代水泥,气凝胶颗粒,细砂、纤维素、聚乙烯醇、聚丙烯酰胺所占百分比见表1。

表1 掺锂渣气凝胶粘结砂浆各成分配比

名称	水泥	细砂	水	SiO ₂ 气凝胶	锂渣	纤维素	聚丙烯醇	聚丙烯酰胺
含量%	26.60%	44.60%	15.80%	5%	5%	1%	1%	1%
含量%	21.60%	44.60%	15.80%	5%	10%	1%	1%	1%
含量%	16.60%	44.60%	15.80%	5%	15%	1%	1%	1%

锂渣的成分与水泥以及粉煤灰相似,具体成分见表2。其中锂渣具有很好的火山灰活性,且具有比粉煤灰更高的火山灰活性和反应性。

表2 锂渣、水泥粉和粉煤灰化学成分质量百分比%

名称	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃
锂渣	8.85	53.65	20.88	1.93	6.74	0.92	1.43	3.13
水泥	0.21	22.01	5.41	3.57	65.95	0.84	/	0.31
粉煤灰	4.74	15.35	11.5	9.81	31.31	7.21	0.48	0.66

1.2 试验方法。拉伸粘结强度试验参考^[9]《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T70-2009中的方法。试样大小为70mm*70mm*20mm。

分为掺锂5%、10%、15% 3组不同的实验,每组实验制备10个试件,每组实验的数据取10个试件拉伸粘结强度的算术平均值。养护28d,测量其抗压强度,养护14d,测量其拉伸粘结强度。

表3 锂渣掺量对拉伸粘结强度的影响

含量/%	水泥	砂	二氧化硅气凝胶	28d抗压强度/Mpa	14d拉伸粘结强度/Mpa
掺锂5%	26.60%	44.60%	5%	24.7	0.17
掺锂10%	21.60%	44.60%	5%	38.2	0.32
掺锂15%	16.60%	44.60%	5%	26.3	0.21

1.3 试验结果分析。由表3可知,锂渣的掺入量从5%增加到

15%时,其抗压强度先上升后下降。锂渣具有比粉煤灰更高的火山灰活性,其活性成分与水化产物氢氧化钙反应生成的部分不仅填充了砂浆的内部孔隙,还提高了砂浆的密实度以及保水性能,^[10]然而当浆体中的碱含量过高,试件碳化的风险增加,碳化过程中生成的晶体在水化产物的孔隙中产生内应力,使浆体结构产生裂纹,砂浆的抗压强度降低^[11]。

锂渣的掺入会中和气凝胶颗粒的脆性,随着锂渣掺量的增加,其拉伸粘结强度呈先上升后下降的趋势,这是因为碱含量过高时,水化反应过快,后期出现细微裂纹,导致其拉伸粘结强度下降。

2 利用Abaqus有限元软件对掺锂渣气凝胶粘结砂浆进行热传导分析

气凝胶材料是一种很好的保温材料,为探究其保温效果,建立了模型,分析热传递过程。热分析用于计算一个系统的温度分布及其它物理参数。保温指的是降低物体热量流失的过程,而热传递的快慢恰好反映热量流失的多少,且传递的速度受导热系数的影响,导热系数能够反映一种材料的保温性能。因此,通过观察传热速率来评估该砂浆的保温性能。

2.1 有限元模型的建立。在建立模型前,必须先确定量纲系统,ABAQUS没有固定的量纲系统,一个项目所有的输入数据只能用同一个量纲系统,在ABAQUS中直接生成部件。表4为所用到的体积单元及对应的尺寸单位。

表4 所用到的体积单元及对应的尺寸单位

量词	长度	载荷	质量	时间	应力	能量	密度
SI	m	N	kg	s	Pa (N/m ²)	J	Kg/m ³

建立一层20m*10m*3.9m的模型。材料添加混凝土和气凝胶粘结砂浆。Abaqus中直接输入材料的热膨胀系数、导热系数、密度、模量、泊松比、膨胀系数和比热容。材料的具体性质见表5。具体模型见图1

表5 材料的属性设置

材料	导热率 W/(m·°C)	密度 kg/m ³	弹性模量 Pa	泊松比	膨胀系数/°C	比热容 J/(Kg·°C)
混凝土	31.2	2400	3×10 ¹⁰	0.2	1×10 ⁻⁵	960
气凝胶粘结砂浆	0.93	2000	1.5×10 ¹⁰	0.15	4×10 ⁻⁶	1045.8

注：以上数据均为标准规范所规定的标准值

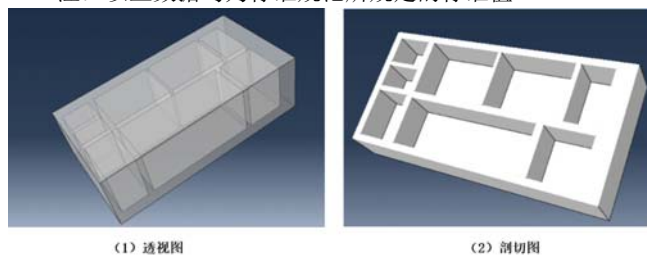


图1 分析模型

划分网格前,首先要指定各个部件的单元网格类型。该模型在Abaqus中直接进行网格划分,过少或者过多的网格都会导致结果不够精细。网格划分的近似全局尺寸为1。图2所示为该分析模型的六面体网格划分。

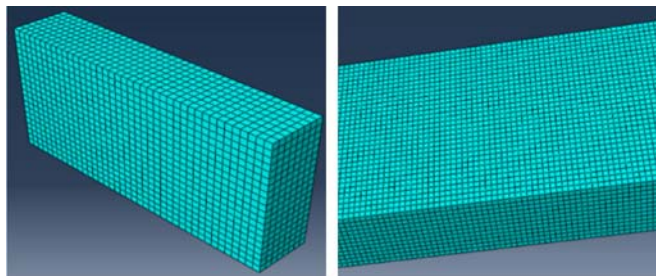


图2 六面体网格划分

表6 作业分析结果

名称	模型	类型	状态
Job-1	Model-1	完全分析	已中断
Job-2	Model-1	完全分析	已中断
Job-3	Model-1	完全分析	已完成

Job-1分析失败的原因是材料属性的填写不够完整。Abaqus中材料属性的填写非常严格,缺少必要条件,将因输入不完整而中断作业。Job-2分析失败的原因是网格划分过多,系统达不到所要计算的精度,就会终止运算。正常时间间隔为10s\20s,若时间间隔过短,对于热传递慢的材料,温度变化不明显,系统会判定错误,不继续作业。

2.2热传导。

2.2.1热传导方程。在ABAQUS中,温度场仿真分析分为稳态和瞬态两种情况。热传递过程有热传导、热对流、热辐射三种方式。保温材料的导热系数与热量传递的这三个大方向有关。该分析主要通过热传导的方式,求解三维模型的瞬态温度场分布情况,得出温度变化情况,从而分析出热传导的快慢。

材料不同方向上的性质相同,即各向同性,材料不同方向上的导热性能相同,因此,选取一个面,沿着一个方向研究其热传导过程,热传导方程是描述热传递过程中能量流动规律的基本公式,可用式1表示:

$$\rho c \frac{\theta}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + Q \quad (1)$$

式中: ρ ——密度, kg/m^3 ;

C ——比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ ——导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{k})$;

Q ——内热源密度, W/m^3

初始条件: $\theta|_{t=0} = \theta_0(x, y, z)$

2.2.2温度场分析。本文只需要测出温度场的变化情况,得

出热传导的快慢,即可反映出其导热系数的大小,从而反映出其保温性能。温度场分布云图如图4所示。

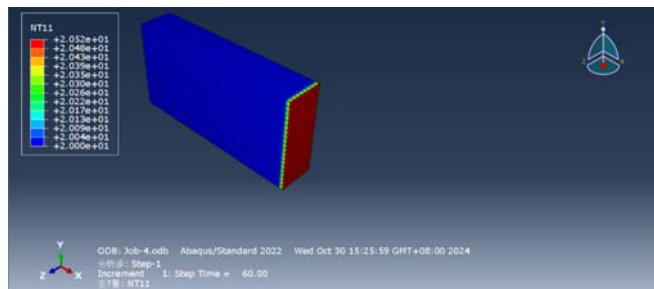


图3 温度场分布云图

从图4可以看出热传递过程非常缓慢,热量只集中在加热部位,且温度变化不大,说明热传导速度慢,导热系数低,从而说明该材料的保温性能好。

3 结论

(1) 锂渣的最优掺量在10%-15%之间,当掺量过高时水化反应加快,后期会出现细微裂纹,导致拉伸粘结强度下降。(2) ABAQUS有限元分析了该砂浆的热传递过程,从云图中可以观察到热量集中在加热部位,热传导速度慢,说明该砂浆的保温性能好。(3) 气凝胶粘结砂浆的研究符合绿色环保的要求,本文为后续绿色环保材料的研究提供一定的参考依据。

【参考文献】

[1]秦培成,孙涛.橡胶粉、废砖粉对粘结砂浆性能影响及微观机理研究[J].中国建筑装饰装修,2023,(01):145-149.

[2]田浩正,乔宏霞,冯琼.石粉替代率对聚合物机制砂粘结砂浆性能及微观结构的影响[J].材料导报,2024,38(6):138-144.

[3]陈芳,陈志友,苏小琼,等.典型锂渣性质及在建筑材料利用的研究现状[J].矿产综合利用,2023,(05):20-26.

[4]米茂龙,严润华.锂辉石提锂工艺综述[J].广州化工,2021,49(14):22-24.

[5]赵梓煜,甘先永.锂渣掺量对水泥稳定再生碎石的强度和干缩性能的影响[J/OL].中外公路,1-8[2024-07-13].

[6]查文华,邵炜星,周雪云,等.热活化锂渣复合水泥基凝胶材料配比优化[J].非金属矿,2024,47(03):38-43.

[7]胡明华,梁炯丰,秦玉娇,等.圆钢管锂渣再生混凝土长柱力学性能研究[J].混凝土,2023,(06):66-68+80.

[8]高军伟,王海玲,桑晓峰,等.锂渣在水泥生产中的推广应用[J].中国水泥,2023,(S1):74-76.

[9]JGJ/T 70-2009,建筑砂浆基本性能试验方法标准[S].

[10]胡晨宇,朱伟明,柴宠春.装配式ALC砌块轻质隔墙专用粘结砂浆性能研究与应用[J].新型建筑材料,2024,51(4):32-35+40.

[11]李葭鑫,王一霖,何中原.基于ABAQUS的气胎摩擦离合器的热分析[J].农业装备与车辆工程,2020,58(10):130-133.

作者简介:

张萌(1998—),女,汉族,河南省南阳市人,硕士研究生,研究方向:保温材料。