

文章编号: 1671-6612 (2023) 05-635-06

建筑相变保温砂浆储能调温特性研究

陈维英¹ 李 洲²

(1. 陕西铁路工程职业技术学院 渭南 714000;

2. 中铁工程设计咨询集团有限公司太原设计院 太原 030000)

【摘 要】 相变材料可有效提高建筑围护的储热能力, 为最大限度提高相变砂浆的储能调温能力, 选用硬脂酸、月桂酸进行配比设计, 采用玻化微珠作为多孔载体, 研究了相变复合体系的最佳制备条件。结果表明, 随着吸附温度的升高, 玻化微珠对硬脂酸-月桂酸复合相变材料的容留率先升高后降低, 最佳吸附温度为 55℃。随着吸附时间的增加, 玻化微珠对硬脂酸-月桂酸复合相变材料的容留率快速升高后趋于平缓, 最佳吸附时间为 60min。相比玻化微珠, 硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系加热延时约 760s, 蓄热时长 300s, 冷却延时约 640s, 放热时长 680s。选用质量损失率最低的环氧树脂-水泥对复合相变材料进行封装。复合相变材料掺量越多, 相变保温砂浆的保温性能越好, 可有效控制室内温度的波动变化。

【关键词】 保温; 相变材料; 砂浆; 储能; 调温特性
中图分类号 TU111 文献标识码 A

Study on Mechanical Properties of Main Concrete Structure of Main Building of Large Thermal Power Plant

Chen Weiying¹ Li Zhou²

(1. Shaanxi Railway Institute, Weinan, 714000;

2. Taiyuan Design Institute, China Railway Engineering Design Consulting Group Co., Taiyuan, 030000)

【Abstract】 Phase change materials can effectively improve the heat storage capacity of building enclosures. In order to maximize the energy storage and temperature adjustment capabilities of phase change mortar, stearic acid and lauric acid were selected for proportioning design, and vitrified microbeads were used as porous carriers. The optimal preparation conditions of the phase change composite system were obtained. The results showed that with the increase of adsorption temperature, the tolerance of vitrified microbeads to stearic acid-lauric acid composite phase change materials first increased and then decreased, and the optimal adsorption temperature was 55℃. With the increase of adsorption time, the retention rate of vitrified microbeads to stearic acid-lauric acid composite phase change materials increased rapidly and then became flat, and the optimal adsorption time was 60 min. Compared with the vitrified microbeads, the stearic acid-lauric acid/vitrified microbeads composite system has a heating delay of about 760s, a heat storage time of 300s, a cooling delay of about 640s, and a heat release time of 680s. The epoxy resin-cement with the lowest mass loss rate is selected to encapsulate the composite phase change material. The more the composite phase change material is added, the better the thermal insulation performance of the phase change thermal insulation mortar, which can effectively control the fluctuation of indoor temperature.

【Keywords】 thermal insulation; phase change materials; mortar; energy storage; temperature regulation characteristics

基金项目: 陕西铁路工程职业技术学院科研基金项目 (KY2023-11)

作者 (通讯作者) 简介: 陈维英 (1982-), 男, 硕士, 副教授, E-mail: chenweiying2023@sina.com

收稿日期: 2023-05-31

0 引言

随着我国工业的不断发展,能源需求日益增长而化石资源逐渐枯竭,能源供应与消耗的矛盾逐渐突显^[1-3],其中,建筑系统空调能耗占总能耗的 20% 左右,降低空调能耗是实现可持续发展的重要途径之一^[4-6]。传统的建筑隔热保温通常采用聚氨酯板,但聚氨酯板仅作为隔热材料,无法实现能源储存、温度调节等功能。相变材料作为建筑新型储能材料,与混凝土、水泥等建材混合使用后,可有效提高建筑围护结构的储热能力,在室外温度变化时通过蓄热和放热阻止室内与室外热量交换,维持室内温度稳定,降低建筑系统的冷热负荷,减少制冷制热设备的使用时间,实现节能降耗^[7-12]。目前,国内外学者对复合相变材料储热性能进行了大量的研究。蒋骞等人^[13]研究了不同相变材料配比下复合相变储能材料的储热性能和物理性质,发现 IT-WR@SCY/PCMs 性能最优越。王建众等人^[14]通过“熔融共混、压制定形”的方法制备了 16 种不同十八醇、膨胀石墨配比的复合相变材料,发现膨胀石墨质量分数为 28% 时,复合相变材料具有良好的充放热性能和导热性能。针对复合相变材料的研究主要集中在相变材料配比优化方面,但其储能调温特性还与材料种类、载体吸附条件、封装方式、相变材料复合体系掺量等有关,改变某一环节参数直接影响相变砂浆的节能效果。因此,目前研究考虑的储热性能影响因素过于单一,未得到复合相变材料各个制备环节的最佳工艺参数^[13-18]。为最大限度提高相变砂浆的储能调温能力,本文选用硬脂酸、月桂酸进行配比设计,采用玻化微珠作为多孔载体,研究了相变复合体系材料配比、吸附温度、吸附时间、储能特性、封装方式、调温特性等工艺参数的最佳条件。

1 相变砂浆储能调温特性试验系统

1.1 相变材料配比设计

相变材料主要用于外墙混凝土储能调温,相变材料选用硬脂酸、月桂酸二元脂肪酸进行复配,如图 1 所示。对所选材料进行差式量热扫描得到硬脂酸相变温度为 57.6℃,相变潜热为 249.8J/g,月桂酸相变温度为 43.2℃,相变潜热为 240.5J/g。



(a) 硬脂酸



(b) 月桂酸

图 1 相变材料实物图

Fig.1 Physical map of phase change materials

复合相变材料的相变行为与共晶系相似,可将其作为共晶系进行处理,依据热力学第二定律和相平衡理论可得到硬脂酸、月桂酸二元脂肪酸相图^[19],如图 2 所示。由图 2 可知,硬脂酸、月桂酸质量比为 3:7 时,复合体系相变温度为 31.8℃,采用 DSC 测试复合体系相变潜热为 265.7J/g。

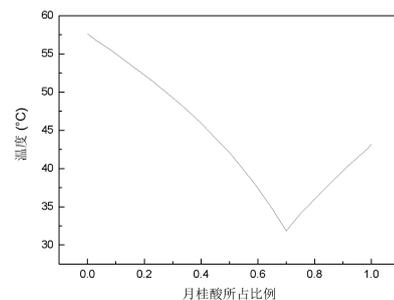


图 2 硬脂酸、月桂酸平衡相图

Fig.2 Equilibrium phase diagram of stearic acid and lauric acid

1.2 储能调温特性试验

采用玻化微珠作为多孔载体,用于吸附硬脂酸和月桂酸,由河北信义鼎建材公司生产,如图 3 所示,利用标准筛网筛选出粒径为 0.5mm 至 2.0mm 的玻化微珠颗粒。玻化微珠内部存在孔隙,依靠毛细管力吸附熔融状态的相变材料,孔隙率为 51.4%。



图 3 玻化微珠实物图

Fig.3 Physical picture of vitrified microbeads

采用熔融方式制备硬脂酸、月桂酸二元复合相变材料, 按照质量比 3:7 向烧杯内加入硬脂酸和月桂酸, 设定温度为 80℃ 利用水浴对相变材料加热至完全融化, 对混合物搅拌 5min 使其混合均匀, 冷却后得到硬脂酸、月桂酸二元复合相变材料。按照质量比 2:1 向烧杯内加入二元复合相变材料和玻化微珠, 按照吸附温度、吸附时间利用水浴对混合物搅拌加热, 完成后自然冷却, 得到硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系, 对复合体系称重采用式 (1) 计算容留率。

$$r = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, r 为容留率, %; m_1 为玻化微珠的初始质量, g; m_2 为吸附硬脂酸-月桂酸后玻化微珠的质量, g。

采用步冷曲线分析法^[20]分析硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系的储能特性。封装材料选取水泥、环氧树脂-水泥、苯丙乳液-水泥, 将一定质量封装后的复合体系放置在烘干箱内恒温 70℃ 加热 30min, 取出冷却 30min, 如此反复循环称量复合体系的质量变化, 按照式 (2) 计算质量损失率。

$$f = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中, f 为质量损失率, %; m_1 为硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合封装体系的初始质量, g; m_2 为冷热循环后硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合封装体系的质量, g。

硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系和河砂混合形成细骨料, 硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系掺量为所占细骨料的质量比, 普通硅酸盐水泥、细骨料、减水剂和自来水按照 40:120:1:24 的配合比混合制备砂浆。将砂浆浇筑倒入 300mm×300mm×30mm 的模具中, 在养护箱内养护 24h 后脱模, 继

续养护 28d。在室内利用 400W 红外灯对试件一侧光照 3h, 温度热流检测仪对试件另一侧测试温度变化, 从而测试相变保温砂浆的调温特性。

2 相变砂浆制备方式及储能调温特性

2.1 载体吸附温度优选

以玻化微珠作为载体吸附硬脂酸-月桂酸二元复合相变材料时, 控制玻化微珠吸附温度变化范围为 35℃ 至 70℃, 变化梯度为 5℃, 水浴加热 40min 冷却后得到玻化微珠容留率, 如图 4 所示。

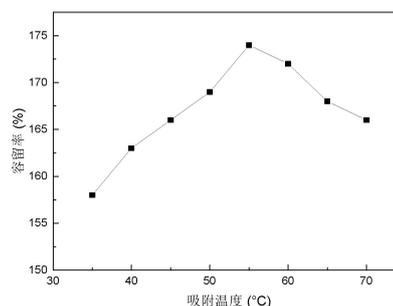


图 4 不同吸附温度下玻化微珠容留率

Fig.4 Retention rate of vitrified microbeads at different adsorption temperatures

由图 4 可知, 随着吸附温度的升高, 玻化微珠对硬脂酸-月桂酸复合相变材料的容留率先升高后降低, 整体保持在 154% 以上。当吸附温度较低时, 硬脂酸-月桂酸复合相变材料的流动性较差, 无法完全充满玻化微珠的孔隙, 同时, 由于玻化微珠内部孔隙较小, 导致部分复合相变材料在孔隙内发生堵塞, 阻碍了后部流体在通道内的扩展运动。当吸附温度升高后, 硬脂酸-月桂酸复合相变材料的粘度降低, 分子运动更加强烈, 流动性能提高, 分子可进入更狭小的空间, 堵塞通道的现象显著降低, 流动阻力下降, 复合相变材料更容易充满玻化微珠内部孔隙。当吸附温度过高时, 玻化微珠孔隙内气体受热膨胀, 增大了气体空间, 另外, 硬脂酸-月桂酸复合相变材料粘度过低, 进入孔隙后留存能力较差, 导致容留率降低。当吸附温度由 35℃ 升高至 55℃ 时, 玻化微珠容留率由 158% 升高至 174%。当吸附温度由 55℃ 继续升高至 70℃ 时, 玻化微珠容留率由 174% 降低至 166%。因此, 当吸附温度为 55℃ 时, 容留率达到最高值 174%, 即最佳吸附温度为 55℃。

2.2 载体吸附时间优选

以玻化微珠作为载体吸附硬脂酸-月桂酸二元

复合相变材料时,水浴加热温度为 55°C ,控制玻化微珠吸附时间变化范围为 10min 至 90min ,变化梯度为 10min ,冷却后得到玻化微珠容留率,如图5所示。

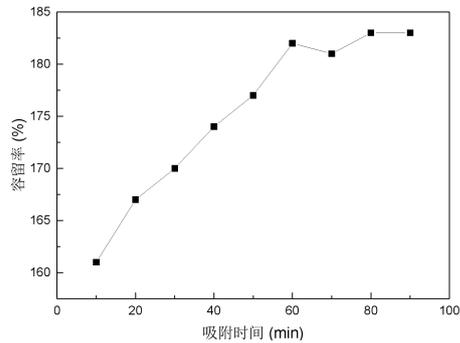


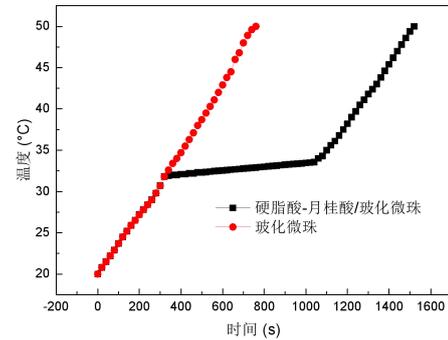
图5 不同吸附时间下玻化微珠容留率

Fig.5 Retention rate of vitrified microbeads under different adsorption times

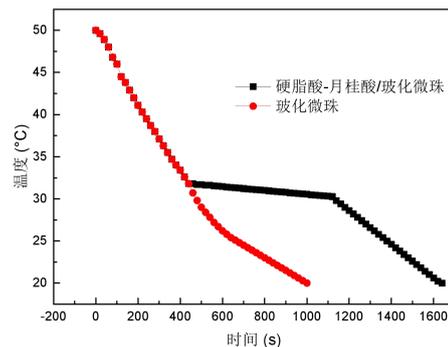
由图5可知,在最佳吸附温度下,随着吸附时间的增加,玻化微珠对硬脂酸-月桂酸复合相变材料的容留率快速升高后趋于平缓,整体保持在 161% 以上。当吸附时间过短时,部分硬脂酸-月桂酸未完全融化,仅有部分熔化的复合相变材料进入玻化微珠孔隙内部,玻化微珠容留率较低。另一方面,复合相变材料在玻化微珠内部流动存在阻力,在阻力的作用下吸附时间过短导致复合相变材料未完全进入玻化微珠内部空间,也会使玻化微珠容留率降低。当吸附时间增大时,复合相变材料可充分吸热熔化,流体总量增加促使更多的复合相变材料进入玻化微珠内部,同时有充足的时间向深层孔隙扩展流动,玻化微珠容留率升高。当吸附时间增大时,复合相变材料完全充满玻化微珠的内部空间,孔隙达到饱和状态,玻化微珠容留率基本不再变化。当吸附时间由 10min 升高至 60min 时,玻化微珠容留率由 161% 升高至 182% 。当吸附时间继续增加时,玻化微珠容留率基本不再变化。因此,优选最佳吸附时间为 60min 。

2.3 相变材料储能特性

将硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系放入水浴加热和冷却,得到不同时间下硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系和玻化微珠的温度变化,如图6所示。



(a) 蓄热温度变化



(b) 放热温度变化

图6 相变材料蓄/放热温度变化

Fig.6 Temperature change of heat storage/discharge in phase change materials

由图6可知,在蓄热过程中,当加热时间达到 320s 时,温度升高至 31.8°C ,继续加热后玻化微珠温度仍然快速上升,但硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系温度保持在 31.8°C 附近变化很小,此时复合体系已经开始发生相变,由固态转变为液态,而外界加热的能量转化为复合体系的相变潜热储存。当加热时间达到 760s 时,玻化微珠温度升高至 50°C 。加热时间为 1060s 时,复合体系温度开始快速升高。加热时间增加至 1520s 后,复合体系温度升高至 50°C ,相比玻化微珠,加热延时约 760s ,蓄热时长 300s 。在放热过程中,当冷却时间达到 440s 时,继续冷却玻化微珠温度继续下降,硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系温度保持在 31.8°C 附近变化很小,此时复合体系由液态转变回固态,潜热向外界释放。当冷却时间达到 1000s 时,玻化微珠温度降低至 20°C 。冷却时间为 1120s 时,复合体系温度开始快速降低。冷却时间增加至 1640s 后,复合体系温度降低至 20°C ,相比玻化微珠,冷却延时约 640s ,放热时长 680s 。

2.4 封装方式优选

采用水泥、环氧树脂-水泥、苯丙乳液-水泥三种不同的封装方式, 经过冷热循环后得到复合相变材料质量损失率变化趋势, 如图 7 所示。

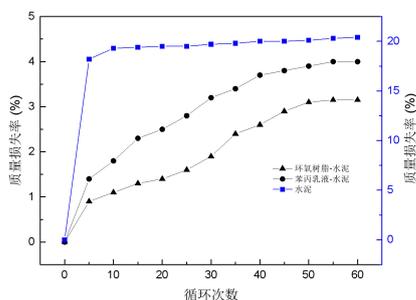


图 7 不同封装方式下相变材料质量损失率

Fig.7 Mass loss rate of phase change materials under different packaging methods

由图 7 可知, 采用水泥进行封装时, 冷热循环后复合相变材料质量损失率基本保持在 20%左右, 主要原因是水泥对复合相变材料包裹时, 粉状水泥之间连接性较弱, 易出现空缺部位和微小空隙, 导致质量损失较大。随着循环次数的增加, 环氧树脂-水泥、苯丙乳液-水泥封装方式下复合相变材料质量损失率逐渐升高并趋于平缓, 环氧树脂-水泥封装复合相变材料质量损失率为 3.1%, 苯丙乳液-水泥封装复合相变材料质量损失率为 4%, 主要原因是环氧树脂与苯丙乳液加强了水泥与水泥之间、水泥与复合相变材料之间的粘结, 形成致密的包裹层, 降低了复合相变材料的损失。因此, 为了得到使用性能更佳、冷热循环后完整性更强、使用寿命更长的相变砂浆, 选用质量损失率最低的环氧树脂-水泥对复合相变材料进行封装。

2.5 相变材料掺量对砂浆调温的影响

硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系作为细骨料掺入水泥砂浆, 改变掺入量得到试块侧面温度变化趋势, 如图 8 所示。

由图 8 可知, 随着光照时间的增加, 试块内侧温度持续上升, 当光照停止时, 试块内侧温度缓慢降低。复合相变材料掺量为 0%时, 试块内侧温度最高达到 57℃, 当掺量为 10%、20%、30%、40%时, 光照升温过程中, 复合相变材料由固态转变为液态, 部分热量被复合相变材料吸收转变为相变潜热储存, 阻隔外界对试块内侧的加热作用, 试块内侧最高温度降低至 55℃、52℃、50℃、48℃, 即

复合相变材料掺量越多, 相变保温砂浆的保温性能越好, 可有效控制室内温度的波动变化。当光照停止后, 液态相变材料由液态转变为固态, 相变潜热向外界释放热量, 复合相变材料掺量越多, 释放的热量越多, 促使试块内侧最终稳定的温度越高, 保温性能越好。但复合相变材料掺量增加会影响整体结构的力学性能, 因此, 复合相变材料最高界限应进一步研究其力学性能从而确定。

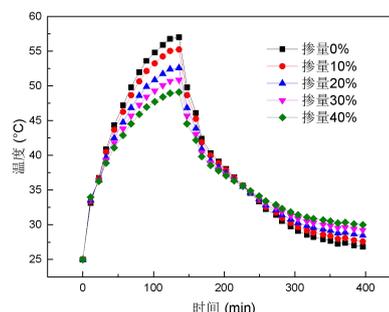


图 8 相变材料掺量对砂浆温度的影响

Fig.8 Effect of phase change material content on mortar temperature

3 结论

本文选用硬脂酸、月桂酸进行配比设计, 采用玻化微珠作为多孔载体, 研究了相变复合体系的最佳制备条件, 得到以下结论:

(1) 随着吸附温度的升高, 玻化微珠对硬脂酸-月桂酸复合相变材料的容留率先升高后降低, 最佳吸附温度为 55℃。

(2) 随着吸附时间的增加, 玻化微珠对硬脂酸-月桂酸复合相变材料的容留率快速升高后趋于平缓, 最佳吸附时间为 60min。

(3) 相比玻化微珠, 硬脂酸-月桂酸/玻化微珠复合体系加热延时约 760s, 蓄热时长 300s, 冷却延时约 640s, 放热时长 680s。

(4) 为了得到使用性能更佳、使用寿命更长的相变砂浆, 选用质量损失率最低的环氧树脂-水泥对复合相变材料进行封装。

(5) 复合相变材料掺量越多, 相变保温砂浆的保温性能越好, 可有效控制室内温度的波动变化。

参考文献:

[1] 张懿, 朱光辉, 郑求根, 等. 中国煤层气资源分布特征及

- 勘探研究建议[J].非常规油气,2022,9(4):1-8,45.
- [2] 向雪妮,黄亮,周文,等.基于分子模拟的气体水合物结构特征及储气特性研究[J].油气藏评价与开发,2022,12(5):825-832.
- [3] 王香增,张建锋,郝世彦.延安地区陆相页岩气勘探开发关键技术[J].非常规油气,2023,10(1):1-10.
- [4] 王兮.建筑围护结构用复合相变蓄热材料制备及性能分析[J].塑料助剂,2022(3):19-21.
- [5] 史琛,王平,杨柳.建筑用石蜡类相变储能材料的改性研究进展[J].中国材料进展,2022,41(8):607-616.
- [6] 罗增,曹权,沈欣宇,等.钻井过程循环温度敏感性因素分析与应用[J].非常规油气,2021,(5):93-99.
- [7] 高慧,孟多.石蜡/改性粉煤灰定形相变材料的制备及热性能研究[J].新型建筑材料,2023,50(4):1-6.
- [8] 孟则羽.三元复合相变储能砂浆的制备与实验研究[D].西安:西安建筑科技大学,2022,20-65.
- [9] 赵衍彬.强敏感性稠油油藏高温热变定量表征[J].非常规油气,2022,9(5):79-84,102.
- [10] 方云.潜热储能相变砂浆的制备及性能研究[D].杭州:浙江工业大学,2015,15-55.
- [11] 陈璞,蒋达华,徐玉珍,等.相变材料选用及储能墙体节能研究进展[J].化工新型材料,2023,51(2):207-212.
- [12] 曾媛,杨雪,陈杨华.月桂酸-十四酸/纳米二氧化硅/活性炭复合相变储能材料的制备与性能研究[J].化工新型材料,2022,50(S1):262-266.
- [13] 蒋骞,潘大伟,艾天,等.铁尾矿与采剥废石基多孔陶瓷复合相变储能材料的制备与表征[J].化工矿物与加工,2023,52(5):24-31.
- [14] 王建众,李国栋,赵永明,等.高填充十八醇/膨胀石墨相变储能材料的制备及性能研究[J].现代化工,2023,43(4):137-142.
- [15] 吴晖,户澳文,徐芳强,等.相变储热材料应用于建筑围护结构的研究现状和发展趋势[J].化工新型材料,2023,51(3):25-30.
- [16] 王瑞,杨晨曦,茹瀚昱,等.页岩和煤在容量法等温吸附实验中的误差对比[J].非常规油气,2021,(3):43-48,57.
- [17] 李琳,王宇,钱雯艳,等.相变建筑围护结构的应用及传热模拟综述[J].化工新型材料,2022,50(10):52-56.
- [18] 卢倩.建筑用相变储能混凝土材料的制备和力学性能[J].储能科学与技术,2023,12(3):998-999.
- [19] 张寅平,苏跃红,葛新石. (准) 共晶系相变材料熔点及融解热的理论预测[J].中国科学技术大学学报,1995(4):474-478.
- [20] Zhang Y, Jiang Y. A simple method, the T-history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials[J]. Measurement Science & Technology, 1999(3):10.

(上接第 634 页)

- [32] YE J, QIAN H, MA J, et al. Using air curtains to reduce short-range infection risk in consulting ward: A numerical investigation[J]. Building Simulation, 2021, 14(2):325-335.
- [33] QIAN H, LI Y, NIELSEN P V, et al. Dispersion of exhalation pollutants in a two-bed hospital ward with a downward ventilation system[J]. Building and Environment, 2008,43(3):344-354.
- [34] QIN C, ZHANG S Z, LI Z T, et al. Transmission mitigation of COVID-19: Exhaled contaminants removal and energy saving in densely occupied space by impinging jet ventilation[J]. Building and Environment, 2023,232:110066.
- [35] FANGER P O, MELIKOV A K, HANZAWA H, et al. Air turbulence and sensation of draught[J]. Energy and Buildings, 1988,12(1):21-39.
- [36] ISO. ISO 7730-2005: Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria[S]. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2005.
- [37] GUHA A. Transport and Deposition of Particles in Turbulent and Laminar Flow[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2008,40(1):311-341.