



(21) 申请号 202211117456.7

(22) 申请日 2022.09.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115201250 A

(43) 申请公布日 2022.10.18

(73) 专利权人 中铁三局集团第三工程有限公司

地址 030006 山西省太原市小店区坞城东

街南巷14号

专利权人 中铁三局集团有限公司

(72) 发明人 姜飞 魏军 牛建发 金志强

赵永锋 李世海 丁海波 银山

何小康 刘宏太 何松 李宁

(74) 专利代理机构 太原高欣科创专利代理事务

所(普通合伙) 14109

专利代理师 张敏 崔雪花

(51) Int. Cl.

G01N 25/00 (2006.01)

G01N 29/14 (2006.01)

G01N 21/88 (2006.01)

G06F 17/10 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 112784407 A, 2021.05.11

CN 101748677 A, 2010.06.23

CN 210742081 U, 2020.06.12

US 2021069208 A1, 2021.03.11

US 2005076974 A1, 2005.04.14

CN 204462046 U, 2015.07.08

CN 110252345 A, 2019.09.20

CN 109097010 A, 2018.12.28

WO 2016134350 A1, 2016.08.25

Onifade I 等. Energy-based damage and fracture framework for viscoelastic asphalt concrete.《ENGINEERING FRACTURE MECHANICS》.2015,第145卷

Ding HB 等. Effects of crystalline wax and asphaltene on thermoreversible aging of asphalt binder.《INTERNATIONAL JOURNAL OF PAVEMENT ENGINEERING》.2021,

邱延峻 等. 基于热分析与低温光谱的沥青热可逆老化机理.《中国公路学报》.2022,第35卷(第6期), (续)

审查员 和玉鹏

权利要求书1页 说明书5页 附图3页

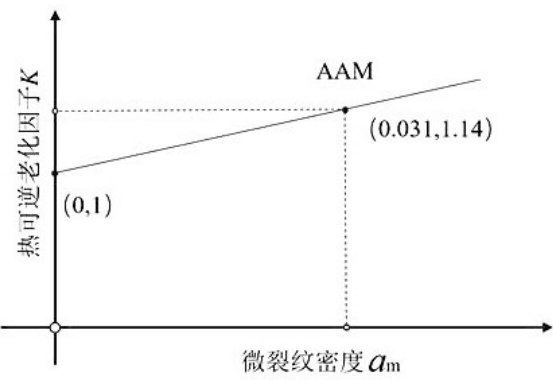
(54) 发明名称

一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,属于道路工程沥青路面材料技术领域;具体步骤包括:将冷再生沥青混合料压实制成具有几何形状的试样,沿横截面在试样两侧对称开设缺口;将试样置于混合料测试系统中,在循环变温条件下养护2-3天,测定能量参数 E 表征微裂纹,得到微裂纹的密度 a_m ;最后通过微裂纹密度得到沥青混合料热可逆老化的量化指标:热可逆老化因子 K ,该参数即代表了沥青混合料中热可逆老化程度大小;本发明解决了实验室中对沥青混合料热可逆老化观测难度大、观

测现象不明显的问题,可以直观反映冷再生沥青混合料的热可逆老化现象。



[接上页]

(56) 对比文件

菅晓霞 等.热可逆自修复聚合物研究进展.
《爆破器材》.2019,第48卷(第2期),

Botella R 等.Cyclic testing setups to
highlight the importance of heating and

other reversible phenomena on asphalt
mixtures.《INTERNATIONAL JOURNAL OF
FATIGUE》.2020,第134卷

唐新德 等.沥青改性技术研究的最新进展
与展望.《材料导报》.2008,(第4期),

1. 一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 将冷再生沥青混合料压实制成具有几何形状的试样,沿横截面在试样两侧对称开设缺口;

2) 将试样置于混合料测试系统中,在循环变温条件下养护2-3天,测定能量参数 E 表征微裂纹,得到微裂纹的密度 a_m ;所述的能量参数 E 通过声发射采集系统计算得到:

$E = \int_0^t V^2(t) dt$;其中: E 为能量, $V(t)$ 为记录的电压, t 为声发射信号持续时间;微裂纹的密度 $a_m = bE^c$;其中, b 、 c 分别为指数函数的参数;

所述的循环变温条件下养护是以 0°C 匀速降温至 -20°C 再从 -20°C 匀速升温至 0°C 为一个周期循环进行养护;从 0°C 匀速降温至 -20°C 以及从 -20°C 匀速升温至 0°C 所用的时间均为4-5h;

3) 计算热可逆老化因子 $K = \frac{0.14}{0.031} a_m + 1$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,其特征在于,所述的几何形状为圆柱状或长方体状。

3. 根据权利要求2所述的一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,其特征在于,两侧对称开设的缺口位于试样的水平中轴线处。

4. 根据权利要求1所述的一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,其特征在于,所述的混合料测试系统为多功能沥青混合料测试系统,所述多功能沥青混合料测试系统连接有数字图像采集系统和声发射采集系统。

5. 根据权利要求4所述的一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,其特征在于,将双边缺口的试样放置于多功能沥青混合料测试系统的环境箱中待测,试样表面安装声发射传感器和LVDT位移传感器用以接收断裂产生的声发射信号以及监测缺口的裂纹扩展情况。

6. 根据权利要求4所述的一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,其特征在于,数字图像采集系统包括CCD相机和与CCD相机相连接的数字图像采集装置。

7. 根据权利要求1所述的一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,其特征在于,从 0°C 匀速降温至 -20°C 以及从 -20°C 匀速升温至 0°C 所用的时间均为4.8h。

一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法

技术领域

[0001] 本发明属于道路工程沥青路面材料技术领域,涉及一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法。

背景技术

[0002] 冷再生沥青混合料因其经济、节能环保等优势,在道路领域得到了充分的应用,但是,低温条件下导致的沥青混合料的热可逆老化是它所面临的一大问题。沥青混合料中热可逆老化是指当混合料长期处于低温条件下的时候,其模量不断增大的一种老化现象,研究表明这种现象是可逆的,当沥青混合料被加热至足够高温时,老化产生的所有效应完全消失,混合料恢复到原有的状态。

[0003] 近些年大量试验和工程实践表明,沥青热可逆老化主要影响胶结料的蠕变性能,沥青胶结料中的热可逆老化现象非常容易观察,即随着恒温时间的延长,很容易观测到胶结料的硬化现象。然而在混合料中,一方面,由于沥青胶结料处于与集料裹覆接触的状态,在沥青薄膜的厚度、集料表面对沥青胶结料轻组分的吸附作用、集料的特性等因素的影响下,很难观察到沥青混合料中热可逆老化现象。另一方面,由于混合料长期低温测试对设备要求较高,一般的试验条件根本达不到要求,较短的测试时间或过快的降温速率都无法观测到可逆老化对混合料特性的显著影响。

[0004] 结果表明,通过强度或劲度试验很难体现出热可逆老化对于混合料的影响。但实际上,根据加拿大现场试验段观测结果来看,相同低温等级的沥青铺筑的混凝土路面,经过热可逆老化之后的沥青路面的低温抗裂性能明显差于未发生热可逆老化的沥青路面。而沥青混合料的热可逆老化程度量化指标更多的停留在经验层面。

发明内容

[0005] 本发明克服了现有技术的不足,提出一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法。以直观反映冷再生沥青混合料的热可逆老化现象,解决实验室中对沥青混合料热可逆老化观测难度大、观测现象不明显的问题。

[0006] 为了达到上述目的,本发明是通过如下技术方案实现的。

[0007] 一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,包括以下步骤:

[0008] 1) 将冷再生沥青混合料压实制成具有几何形状的试样,沿横截面在试样两侧对称开设缺口;

[0009] 2) 将试样置于混合料测试系统中,在循环变温条件下养护2-3天,测定能量参数 E 表征微裂纹,得到微裂纹的密度 a_m ;所述在循环变温条件养护是以0℃匀速降温至-20℃再从-20℃匀速升温至0℃为一个周期循环进行养护;从0℃匀速降温至-20℃以及从-20℃匀速升温至0℃所用的时间均为4-5h;

[0010] 3) 计算热可逆老化因子 $K = \frac{0.14}{0.031} a_m + 1$ 。

[0011] 优选的,所述的几何形状为圆柱状或长方体状。

[0012] 更优的,两侧对称开设的缺口位于试样的水平中轴线处。

[0013] 优选的,所述的混合料测试系统为多功能沥青混合料测试系统,所述多功能沥青混合料测试系统连接有数字图像采集系统和声发射采集系统。

[0014] 更优的,将双边缺口的试样放置于多功能沥青混合料测试系统的环境箱中待测,试样表面安装声发射传感器和LVDT位移传感器用以接收断裂产生的声发射信号以及监测缺口的裂纹扩展情况。

[0015] 优选的,数字图像采集系统包括CCD相机和与CCD相机相连接的数字图像采集装置。

[0016] 优选的,所述的能量参数 E 通过声发射采集系统计算得到: $E = \int_0^t V^2(t)dt$; 其中: E 为能量, $V(t)$ 为记录的电压, t 为声发射信号持续时间。

[0017] 更优的,微裂纹的密度 $a_m = bE^c$; 其中, b 、 c 分别为指数函数的参数。

[0018] 优选的,从0℃匀速降温至-20℃以及从-20℃匀速升温至0℃所用的时间均为4.8h。

[0019] 热可逆老化引起微裂纹的理论推导如下:

[0020] 在自由体积理论中,材料的热可逆老化被认为是由于自由体积的收缩引起的,沥青结合料的刚度与其自由体积之间的关系如下式(1)所示:

$$[0021] \quad \ln S_0(T, \varphi_0) = \ln A' + B'/f_0(T, \varphi_0) \quad (1)$$

[0022] 其中: $S_0(T, \varphi_0)$ 和 $f_0(T, \varphi_0)$ 分别代表初始时间、初始结晶状态 φ_0 、温度 T 下的沥青胶结料的刚度和自由体积; A' 、 B' 为常数。

[0023] 如果沥青在恒定温度 T 下保持了较长的时间 $t_N = t$,则沥青胶结料发生了热可逆老化,增加的刚度与此时的自由体积如下式(2)所示:

$$[0024] \quad \ln S_t(T, \varphi_t) = \ln A' + B'/f_t(T, \varphi_t) \quad (2)$$

[0025] 其中, $S_t(T, \varphi_t)$ 和 $f_t(T, \varphi_t)$ 分别代表时间为 t 、结晶状态 φ_t 、温度 T 下的沥青胶结料的刚度和自由体积。

[0026] 结合等式(1)(2)可以得到热可逆老化导致的沥青胶结料刚度的增加。如下式(3)所示。

$$[0027] \quad \ln \frac{S_t(T, \varphi_t)}{S_0(T, \varphi_0)} = \frac{B'}{f_t(T, \varphi_t)} - \frac{B'}{f_0(T, \varphi_0)} \quad (3)$$

[0028] 在上式中,等式右边项可以通过简化的一阶结晶动力学方程求解,现将其解用字母 F 表示,左边通过应力-应变转化关系 $\sigma = S\varepsilon$ 变换,再将等式两边分别取对数可得:

$$[0029] \quad \sigma_t/\sigma_0 = e^F \quad (4)$$

[0030] 其中, σ_t/σ_0 表示了在整个时间段0 ~ t 、温度 T 下沥青胶结料的的所有应力积累大小。

[0031] 由热可逆老化引起的自由体积 $f_0(T, \varphi_0)$ 向 $f_t(T, \varphi_t)$ 的改变,由(3)式可以看出,材

料的自由体积必定减小,这是热可逆老化应力积累的来源,并且这种应力积累表现为拉应力。在混合料中,由于集料与胶结料温度收缩系数的差异,当应力积累达到混合料的裂纹萌生应力 σ_m 后,即 σ_t/σ_0 大于等于 σ_m ,混合料中的裂纹就此产生。

[0032] 由上可知,常规力学加载类的试验对微裂纹并不敏感,用强度或劲度试验很难观测出混合料中的热可逆老化现象。

[0033] 本发明是先通过理论推导出热可逆老化过程中的应力积累可以在沥青混合料中表现为裂纹萌生应力,即热可逆老化会引起混合料内部微裂纹的产生,以此为理论基础研发了冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,该方法的主要技术要点为试样结构尺寸的优化、试样约束条件和试样的循环热历史的设计。通过测定并计算得到试样内部的微裂纹密度 a_m ,再通过微裂纹密度得到沥青混合料热可逆老化的量化指标:热可逆老化因子 K ,该参数即代表了沥青混合料中热可逆老化程度大小。

[0034] 微裂纹密度 a_m 即可以反应沥青混合料的热可逆老化程度,在相同的试验条件下(包括材料条件、测试条件), a_m 值越大,则反映出该种沥青混合料的热可逆老化现象越严重。但是, a_m 却还不能直接反应混合料性能指标对热可逆老化的考虑,因此,本发明引入热可逆老化因子 K ,它与微裂纹密度 a_m 关系如图5所示。

[0035] 本发明相对于现有技术所产生的有益效果为:

[0036] 1、本发明抛弃了固有的宏观力学性能的角度,根据理论推导,发现了热可逆老化可以引起混合料内部微裂纹的产生,从而将视角转移到易于观察的微观角度,并且通过试验也验证了这一理论的科学性和准确性。通过巧妙的对试件进行双边开口、试件两端约束固定、施加循环的热历史等设计,将原本难以观察到的沥青混合料热可逆老化现象直观清晰地展现了出来,其本质相当于放大了热可逆老化的作用。保证了以相关理论为基础和可观测到内部微裂纹的前提下,在技术、经济、可操作性等方面都具有十分明显的优势,完全具备成为该行业测量沥青混合料热可逆老化程度主流方法的各类条件。

[0037] 2、本发明提出的热可逆老化因子 K 作为量化和评价沥青混合料热可逆老化程度的指标。它的大小不仅直接反映了混合料热可逆老化的程度,即相同试验条件下 K 值越大,则此种沥青混合料的热可逆老化现象越严重,而且能够在部分混合料低温性能指标中反映出对热可逆老化的考虑。

[0038] 3、本发明中热可逆老化因子 K 的本质是一个放大系数,其大小正相关于混合料的热可逆老化程度。它的出现成功解决了沥青混合料的热可逆老化现象不易观察和测量、长期养护的试验条件难以达到等问题,建立了新的沥青混合料中热可逆老化行为的表征方法,有利于量化热可逆老化对沥青混合料的影响,探究基于热可逆老化行为的沥青混合料开裂特性,构建基于热可逆老化效应的沥青路面低温开裂模型。

附图说明

[0039] 图1为实施例所述试样的处理过程示意图;

[0040] 图2为实施例所述多功能沥青混合料测试系统UTM-100的结构示意图;

[0041] 图3为实施例所述多功能沥青混合料测试系统UTM-100与辅助检测装置连接的整体示意图;

[0042] 图4为实施例试样在循环变温条件下的养护历史温度变化示意图;

[0043] 图5为微裂纹密度 a_m 与热可逆老化因子 K 的线性相关性示意图。

[0044] 图中,1为试样,2为缺口,3为声发射传感器和LVDT位移传感器,4为多功能沥青混合料测试系统,5为数字图像采集系统,6为CCD相机,7为白光灯源,8为声发射采集器,9为声发射数据处理系统。

具体实施方式

[0045] 为了使本发明所要解决的技术问题、技术方案及有益效果更加清楚明白,结合实施例和附图,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。下面结合实施例及附图详细说明本发明的技术方案,但保护范围不被此限制。

[0046] 参照图1-5,本实施例提供一种冷再生沥青混合料热可逆老化程度的量化方法,具体步骤为:

[0047] 选取来自中国某四级公路的基质沥青,该沥青具有较明显的热可逆老化趋势,以便于试验观测,级配仅选取我国规范AC-13级配中值,不添加其他外加剂,按照下列步骤进行实施:

[0048] 步骤一:按照本发明中试验体系对试样尺寸,缺口深度的相关要求制备试样:温度荷载在应用于具有缺口的试样中,在试样中部的横截面处确定有较大的应力集中,导致由温度应力破坏而造成的微裂纹出现在试样中部的横截面中,本实施例中的双边缺口试件如图1所示,其制作方式为:采用旋转压实设备成型圆柱体混合料试样,利用切割设备将试样1切割成立方体形状,再在立方体两侧中轴线位置对称切割缺口2。

[0049] 步骤二:将制备好的试样放置于多功能沥青混合料测试系统4的环境箱中,该系统为现有装置,型号为UTM-100,两端固定在仪器上,试样表面安装声发射传感器和LVDT位移传感器3用以接收断裂产生的声发射信号以及监测缺口的裂纹扩展情况,同时将传感器连接声发射采集器8和数字图像采集系统5,所述声发射采集器8连接有声发射数据处理系统9,数字图像采集系统5连接CCD相机6,并且通过白光灯源7辅助,以上硬件设施参见图2和图3,均为现有装置。

[0050] 步骤三:按照图4对试样进行循环热变温加载,并保证外部物理观测装置与试验同时开启,养护时间为3天,期间外部观测装置持续进行观测记录。如图4所示,所述在循环变温条件养护是以0℃匀速降温至-20℃再从-20℃匀速升温至0℃为一个周期循环进行养护;从0℃匀速降温至-20℃以及从-20℃匀速升温至0℃所用的时间均为4.8h。

[0051] 步骤四:从声发射设备中获得能量参数来表征微裂纹,因为它反映了声发射事件的强度,其表达式如下式(5)所示。左侧的数字图像采集系统用于直接观测和验证微裂纹。

[0052]
$$E = \int_0^t V^2(t) dt \quad (5)$$

[0053] 其中: E 为能量, $V(t)$ 为记录的电压, t 为声发射信号持续时间。

[0054] 本实施例中,养护时间结束后,从声发射装置中获取累计能量的数据,按照式(5)积分得到累计能量 E :

[0055]
$$E = \int_0^t V^2(t) dt = 0.02446$$

[0056] 步骤五:在声发射技术当中,微裂纹的密度与声发射累计能量呈指数型关系,按照下式(6)进行关联:

$$[0057] \quad a_m = bE^c \quad (6)$$

[0058] 其中: a_m 为微裂纹的密度,它代表了混合料产生微裂纹的程度; E 为能量;在此案例中,参数 b 、 c 分别取5.5022和1.2864,因此求得该试样的微裂纹密度为:

$$[0059] \quad a_m = 5.5022 \times 0.02446^{1.2864} = 0.0465$$

[0060] 微裂纹密度 a_m 即可以反应沥青混合料的热可逆老化程度,在相同的试验条件下(包括材料条件、测试条件), a_m 值越大,则反映出该种沥青混合料的热可逆老化现象越严重。但是, a_m 却还不能直接反应混合料性能指标对热可逆老化的考虑,因此,本发明引入热可逆老化因子 K ,它与微裂纹密度 a_m 关系如图5所示。已知 a_m 值与沥青混合料热可逆老化程度的线性相关,通过选择SHRP沥青AAM为参考标准,在不加入任何添加剂,级配选取我国规范AC-13级配中值的情况下,该试样在本发明的试验体系中测得其3天后的微裂纹密度为0.031,同组试样在养护3天后,测得其刚度模量变化到原来初始值的1.14倍,将(0.031, 1.14)带入图5中,即求得微裂纹密度与热可逆老化因子的线性相关式,如下列等式(7)所示:

$$[0061] \quad K = \frac{0.14}{0.031} a_m + 1 \quad (7)$$

[0062] 将求得的微裂纹密度 a_m 带入(7)式,求得最终的热可逆老化因子 K 为:

$$[0063] \quad K = \frac{0.14}{0.031} \times 0.0465 + 1 = 1.21$$

[0064] 由 K 值可知,该沥青混合料的热可逆老化程度比AAM沥青混合料更严重,从常规的1小时养护中测得该混合料的刚度模量为11397MPa,则考虑热可逆老化后的刚度模量为:

$$[0065] \quad 11397 \times 1.21 = 13790(\text{MPa})。$$

[0066] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所做的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施方式仅限于此,对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明的前提下,还可以做出若干简单的推演或替换,都应当视为属于本发明由所提交的权利要求书确定专利保护范围。

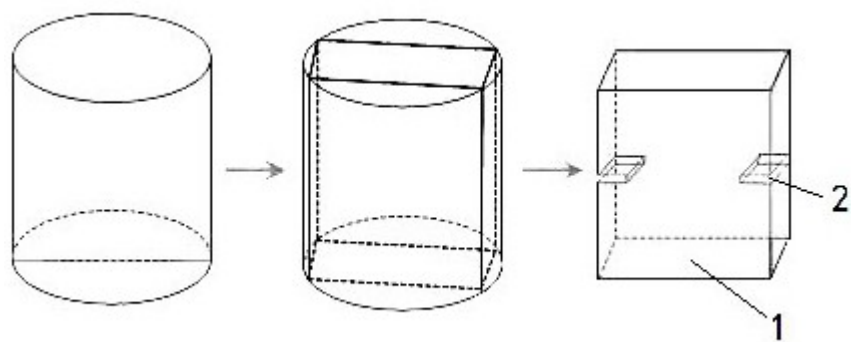


图1

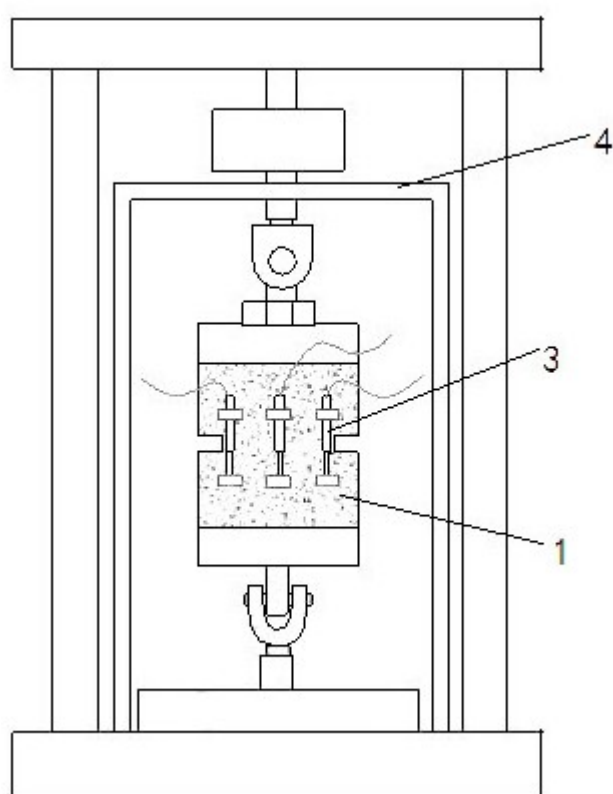


图2

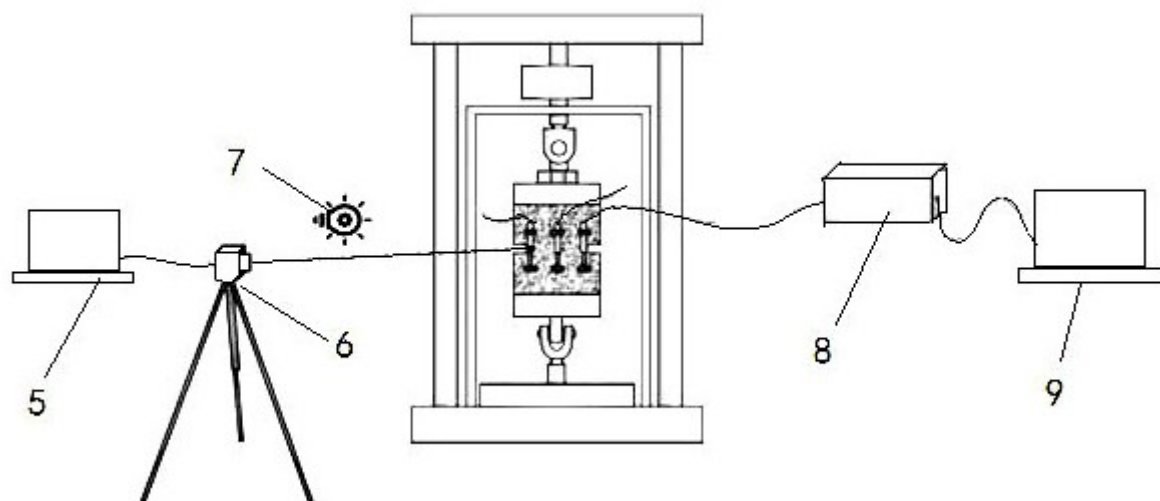


图3

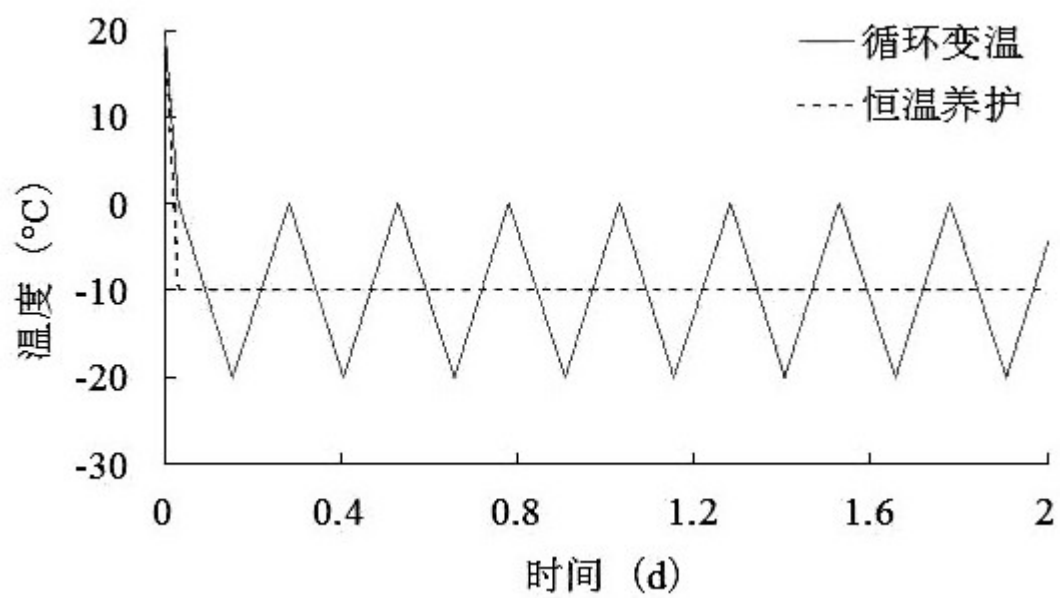


图4

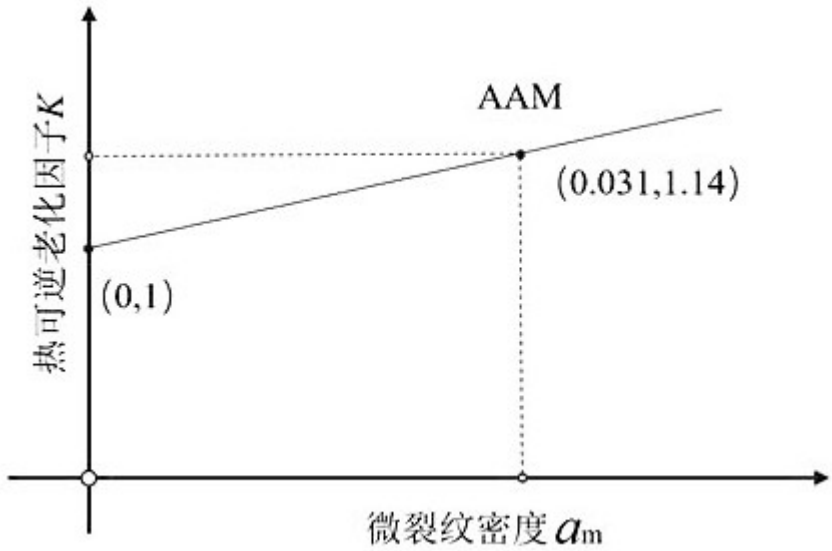


图5