



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112017186 A

(43) 申请公布日 2020.12.01

(21) 申请号 202011200767.0

B33Y 50/00 (2015.01)

(22) 申请日 2020.11.02

(71) 申请人 南京知谱光电科技有限公司
地址 211505 江苏省南京市六合区龙池街
道雄州南路399号阜康园区527幢

(72) 发明人 陆骏 赵壮 韩静 张毅

(74) 专利代理机构 南京苏创专利代理事务所
(普通合伙) 32273

代理人 张学彪

(51) Int. Cl.

G06T 7/00 (2017.01)

G06N 3/04 (2006.01)

G06K 9/62 (2006.01)

B23K 9/16 (2006.01)

B23K 9/04 (2006.01)

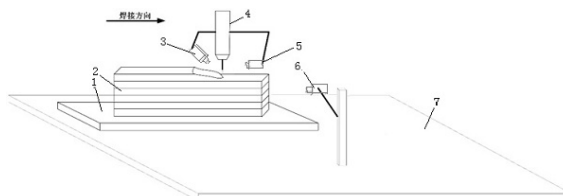
权利要求书1页 说明书6页 附图8页

(54) 发明名称

基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法

(57) 摘要

本发明涉及基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法,属于图像处理技术领域,为实现焊接质量的调控,其方法包括以下步骤,1.搭建监测设备,2.图像处理,3.网络学习难度简化,4.整合局部信息,5.提升网络性能,6.预测计算。本发明基于熔池图像和深度残差网络精确的预测增材余高,增材时熔覆层余高的变化一定程度上反映熔深的变化,通过监测余高实现增材制造过程的质量管控,准确预测焊缝未来余高发展趋势,便于实时调控焊接质量。



1. 基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法, 其特征在于: 包括以下步骤:

步骤一: 搭建监测设备: 搭建焊接装置和视觉传感装置, 焊接装置和视觉传感装置均安装在焊接机器人上, 所述焊接装置包括焊接电源、送丝器和冷却系统; 所述视觉传感装置设置有彩色CDD相机;

步骤二: 图像处理: 通过网络学习熔池图像的深层特征, 建立熔池图像与每一层余高的关系;

步骤三: 网络学习难度简化: 网络学习采用残差网络结构, 残差网络结构将输入信息直接绕道传到输出, 使网络不直接拟合原来的映射, 从而拟合残差映射;

步骤四: 整合局部信息: 获取利用残差网络结构输出的特征图并进行池化, 进行第一个全连接来整合前面池化层中具有类别区分性的局部信息;

步骤五: 提升网络性能: 全连接层的每个神经元的激励函数采用ReLU函数, 最后一层的全连接输出值传递出来即是余高;

步骤六: 预测计算: 利用均方误差, 预测具体数值, 其计算公式为:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\tilde{y}_i - \hat{y}_i \right)^2 \quad (1)$$

式中 \tilde{y}_i 是预测值, \hat{y}_i 是真实值, n 是样本数。

2. 根据权利要求1所述的基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法, 其特征在于: 所述残差网络结构采用残差块作为基本组成单元, 残差网络结构通过残差块的基本结构提取图像特征。

3. 根据权利要求1所述的基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法, 其特征在于: 所述熔池图像的特征提取部分的基础网络结构为Resnet-34。

4. 根据权利要求1所述的基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法, 其特征在于: 所述熔池图像大小选取为640*350并缩放至200*100。

基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法,属于图像处理技术领域。

背景技术

[0002] 一般的焊接过程是以焊接熔深和良好的熔透性为重点,但由于熔敷层重熔区的影响,很难监测增材过程时的熔深。而增材时熔覆层余高的变化一定程度上反映了熔深的变化,因此通过监测余高从而实现增材制造过程的质量管控。事实上,零件的堆积是由一系列单层单道堆积而成的,因此这些单层单道的成形尺寸和质量直接决定了堆积零件的成形质量。而焊接过程是一个局部的迅速加热和冷却过程,在这个过程中,包括熔池的形态、温度场的分布、物质光谱的强弱,也在不断地发生变化。因此,监测这些物理量的变化来反映当前焊接的状况,就显得尤为重要。

[0003] 随着计算机技术的发展和大数据的兴起,深度学习已经被广泛应用于各个工业领域,其中也包括焊接领域。一种基于深度残差的网络,利用熔池视觉信息对电弧增材制造过程中各熔覆层的余高增量进行监测。将熔池视觉信息图作为输入值,对其做卷积神经网络运算估算出熔覆层的余高,同时通过归一化均方误差,即Mean Squared Error,缩写为MSE,损失函数计算归一化的相对误差,以便可以对所有样本均等训练。

发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明提供基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法,其具体技术方案如下:

基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法,包括以下步骤:

步骤一:搭建监测设备:搭建焊接装置和视觉传感装置,焊接装置和视觉传感装置均安装在焊接机器人上,所述焊接装置包括焊接电源、送丝器和冷却系统;所述视觉传感装置设置有彩色CDD相机;

步骤二:图像处理:通过网络学习熔池图像的深层特征,建立熔池图像与每一层余高的关系;

步骤三:网络学习难度简化:网络学习采用残差网络结构,残差网络结构将输入信息直接绕道传到输出,使网络不直接拟合原来的映射,从而拟合残差映射;

步骤四:整合局部信息:获取利用残差网络结构输出的特征图并进行池化,进行第一个全连接来整合前面池化层中具有类别区分性的局部信息;

步骤五:提升网络性能:全连接层的每个神经元的激励函数采用ReLU函数,最后一层的全连接输出值传递出来即是余高;

步骤六:预测计算:利用均方误差,预测具体数值,其计算公式为:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\tilde{y}_i - \hat{y}_i \right)^2 \quad (1)$$

式中 \tilde{y}_i 是预测值, \hat{y}_i 是真实值, n 是样本数。

[0005] 进一步的,所述残差网络结构采用残差块作为基本组成单元,残差网络结构通过残差块的基本结构提取图像特征。

[0006] 进一步的,所述熔池图像的特征提取部分的基础网络结构为Resnet-34。

[0007] 进一步的,所述熔池图像大小选取为640*350并缩放至200*100。

[0008] 本发明的有益效果:

本发明基于熔池图像和深度残差网络精确的预测增材余高,增材时熔覆层余高的变化一定程度上反映熔深的变化,通过监测余高实现增材制造过程的质量管控,准确预测焊缝未来余高发展趋势,便于实时调控焊接质量。

附图说明

[0009] 图1是本发明的熔池图像监测设备图,

图2是本发明的熔池图像监测流程图,

图3是本发明的熔池图像特征映射图,

图4是本发明的焊接电信号示意图,

图5是本发明的熔池图像堆积成形形貌示意图,

图6是本发明的第二层熔覆层多物理量表征示意图,

图7是本发明的各层熔覆层物理量表征示意图,

图8是本发明的熔覆层第二层余高回归结果及误差示意图,

图9是本发明的熔覆层第五层余高回归结果及误差示意图,

图10是本发明的熔覆层第八层余高回归结果及误差示意图,

图11是本发明的熔覆层第十层余高回归结果及误差示意图,

图12是本发明的冷区时间1min各层余高回归结果示意图,

图13是本发明的冷区时间2min各层余高回归结果示意图,

图14是本发明的冷区时间3min各层余高回归结果示意图,

图15是本发明的冷区时间4min各层余高回归结果示意图,

图中:1—母板,2—薄壁零件,3—彩色相机,4—焊枪,5—激光器,6—黑白相机,7—工作台。

具体实施方式

[0010] 现在结合附图对本发明作进一步详细的说明。这些附图均为简化的示意图,仅以示意方式说明本发明的基本结构,因此其仅显示与本发明有关的构成。

[0011] 基于熔池图像和深度残差网络的增材余高预测方法,包括以下步骤:

步骤一:搭建监测设备:搭建焊接装置和视觉传感装置,焊接装置和视觉传感装置均安装在焊接机器人上,所述焊接装置包括焊接电源、送丝器和冷却系统;所述视觉传感装置设

置有彩色CDD相机；

步骤二：图像处理：通过网络学习熔池图像的深层特征，建立熔池图像与每一层余高的关系；

步骤三：网络学习难度简化：网络学习采用残差网络结构，残差网络结构将输入信息直接绕道传到输出，使网络不直接拟合原来的映射，从而拟合残差映射；

步骤四：整合局部信息：获取利用残差网络结构输出的特征图并进行池化，进行第一个全连接来整合前面池化层中具有类别区分性的局部信息；

步骤五：提升网络性能：全连接层的每个神经元的激励函数采用ReLU函数，最后一层的全连接输出值传递出来即是余高；

步骤六：预测计算：利用均方误差，预测具体数值，其计算公式为：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\tilde{y}_i - \hat{y}_i \right)^2 \quad (1)$$

式中 \tilde{y}_i 是预测值， \hat{y}_i 是真实值， n 是样本数。

[0012] 如图1和图2所示，本发明的监控电弧增材制造过程中熔覆层余高量的设备包括两部分：焊接装置和视觉传感器装置。焊接装置包括焊接电源、送丝器和冷却系统。视觉传感器装置包括一个固定在机器人上的彩色相机3。在焊接工作台7上提前放置一块母板1，母板1表面放置有层叠的薄壁零件2，为了将采集到的熔池图像与焊缝实际位置相对应，使用激光器5进行辅助定位。使用中心波长为450nm的激光器5照射在焊丝上沿部分，同时摆放一台黑白相机6，用以捕捉激光点。在数据采集过程中，由FPGA系统发出两路同步信号，控制彩色相机3和黑白相机6在同一时刻采集图像。与此同时，由于重熔区的影响，为了精准测量每一层的余高增量，在每一层焊接结束以后，用Wiiboox三维扫描仪扫描当前层的高度，得到焊缝位置与高度的变化关系，相邻两层相同焊缝位置的高度差即为当前焊缝位置的余高增量。从而将熔池图像、焊缝位置以及相对应的余高增量统一起来。在图像处理过程中，通过网络学习熔池图像的深层特征，建立熔池图像与每一层余高之间的关系。由于传统神经网络或者全连接网络在信息传递的时会存在信息丢失损耗问题，同时随着网络深度的增加还会出现梯度消失或者梯度爆炸问题。本发明采用残差网络结构，采用残差块作为基本组成单元，其中输入是 x ，对于一个堆积层结构而言，其学习到的特征设为 \tilde{x} ，而残差结构希望学习到的特征为 $F(x) = \tilde{x} - x$ ，则 $\tilde{x} = F(x) + x$ ，表明了原始的学习特征是 \tilde{x} ，以上可以看出直接学习原始特征要比学习残差更复杂。残差结构通过将输入信息直接绕道传到输出，使得网络不直接拟合原来的映射，而是拟合残差映射，简化了学习难度。当残差 $F(x) = 0$ 时，堆积层也能到达恒等映射的作用，这样在很大程度上解决了卷积神经网络随着深度增加而带来的网络退化问题。一般情况下， $F(x) > 0$ ，所以，网络总会在基于输入特征上学到新的特征，从而拥有更好的网络性能。本发明通过残差模块的基本结构来提取图像特征，提出一种基于深度残差网络来监测熔覆层余高的方法。经过剪切对齐后的熔池大小为 640×350 ，综合考虑网络的训练速度与精度，将原始图像缩放到 200×100 。下表显示了网络部分的具体信息，

网络层	输出大小	结构
输入 (200×100×1 图片)		
卷积	98×48×64	5×5, 64, 步幅=2
残差块(1)	98×48×64	残差块×3
残差块(2)	49×24×128	残差块×4
残差块(3)	25×12×256	残差块×6
残差块(4)	13×6×512	残差块×3
池化	4×1×512	4×3, 平均池化
全连接 1(特征)	2000	
全连接 2(特征)	1	

其中基础块包括两个卷积层,卷积核大小为 3×3 ,Resnet-34作为熔池图像的特征提取部分的基础网络,对于输出的特征图进行池化后,进行第一个全连接来整合前面的池化层中具有类别区分性的局部信息。为了提升网络性能,全连接层的每个神经元的激励函数采用了ReLU函数,最后一层的全连接的输出值被传递出来即余高。图3演示了由于卷积和平均池化导致的特征映射收缩的过程。

[0013] 实施例一

本实施例基于冷金属过渡方法,即CMT的不锈钢单道多层的增材制造为背景,监控电弧增材制造过程熔覆层余高量的变化情况。其中工艺为单丝CMT,焊接电流为130A,焊接速度为5mm/s,保护气为氩氧混合气(98.5%Ar₂+1.5%O₂),气流量为25L/min,焊接长度为80mm,焊接层数为10层,焊枪4抬高高度1mm,焊丝牌号为ER316L,母材为304不锈钢,相机采集频率1000Hz,曝光时间100us。CMT作为一种特殊的MIG/MAG焊,其在溶滴短路过渡时,焊机得到短路信号,切断焊接电源,并将焊丝回抽,帮助溶滴脱落,实现溶滴的冷过渡。这种热-冷-热交替的热源加热方式,极大的降低了热输入,可以实现超薄件的增材制造成型。如图4所示,为CMT焊接电流随时间的变化情况。一般认为一个热-冷交替的周期为70Hz,即14ms左右,因为本实施例的相机采集频率为1000Hz,故一个周期能采集到的熔池图片为14幅,为一个周期采集到的熔池图随时间变化的情况。从图4中可以看出,从9ms开始,焊机处于短路过渡状态,采集到的熔池图像是完全不受电弧光影响的。因此,为降低干扰影响,统一采用第9ms的熔池图像。

[0014] (1) 单道多层的熔池质量分析

本实施例的堆积方式为同向式堆积,每一层成形的高度如图5中(a)所示,其中层间冷却时间为3min。与熔敷层中间段相比,起弧端的高度较高,熄弧端的高度较低。如图5中(b)、(c)所示,采集到的熔池图像也存在明显差异,但这类问题可以通过调节焊接参数解决,因此实施例取熔覆层离起弧端20~70mm处的熔池图像进行分析。由于熔池周围散热条件的变化以及其它因素的影响,熔池形态始终发生着动态变化,根据熔池长度的变化可将某一层熔覆层离起弧端20~70mm处的熔池图像分为四个阶段讨论。如图6中(a)所示,以第二层熔敷层的熔池为例,说明熔池状态的变化。第一个阶段为20mm~40.5mm。此阶段熔池前部虽然已离开起弧区域,但熔池后部还未离开起弧区域,由于起弧区域熔覆量较多,散热条件差,可以观察到此区域还处于红热状态。第二个阶段为40.5mm~47mm。此阶段熔池后部已离开起弧

区域,熔池形态开始收缩,此阶段的熔池的长度和宽度是最小的。第三个阶段为47mm~66mm。此阶段由于热累积的影响,散热条件变差,熔池长期处于高温状态,有利于熔池的流淌,因此熔池长度变长,宽度变宽。第四个阶段为66mm~70mm。此阶段由于处于熔覆层倾斜的阶段,熔池在重力的影响下发生向下的流淌,熔池距离焊枪4位置变长,导致杆伸长度变长,熔池长度发生变化。图6中(c)为离焊枪4固定距离的区域,即图6中(b)中红色方框区域,其焊缝的平均温度随焊接时间的变化。可知这块区域的平均温度的变化经历着平稳-下降-上升-下降的规律,正好对应了之前分析的四个阶段。

[0015] 事实上对于不同熔覆层的熔池形态,它们之间差异性更大。第1层熔覆层直接与母材接触,因此散热条件是最好的,所以其熔池长度和面积与其他层的差别是最大的,如图7中(c)所示。因此后续单道多层的熔池质量分析不特别说明的话,均以第一层之后的熔覆层的熔池为研究对象。如图7中(a)所示,第2层到第10层都在经历了一段平稳阶段后开始倾斜,且随着层数的增加,发生倾斜的位置离起弧端越近,图7中(a)中虚线部分为各熔敷层熔池四个阶段的分界线,其中最后一个分界线为各层开始倾斜时在熔覆层上的位置,图7中(b)为各层开始倾斜时的熔池图像。随着层数的增加,各层倾斜角度增大,同时伴随着散热条件及其它因素的影响,开始发生倾斜时的熔池宽度、长度、面积以及焊丝杆伸长度都完全不同。图7中(c)为各层距离起弧端50mm处的熔池图像,第2层到第6层的熔池形态处于第三阶段,此时熔敷层还未发生倾斜,焊丝杆伸长度几乎没有变化。而第7层到第10层的熔池形态处于第四阶段,此时熔覆层已发生倾斜导致熔池因重力作用发生向下流淌,焊丝杆伸长度变长,且随着层数的增加,焊丝杆伸长度越长。因此,同一层熔敷层的不同位置熔池的宽度、长度、面积和温度场都发生着动态变化,不同熔敷层的同一位置的熔池也因倾斜等原因,形态和焊丝的杆伸长度也有所差异,这些变化和差异性让熔池视觉形态具备表征性,为后续网络对熔覆层余高的回归提供了可行性。

[0016] (2) 单层熔覆层回归结果误差分析

如图8至图11所示,为随机选取的四层熔覆层余高的回归结果,其中第二层余高的平均误差为0.0305mm,第五层余高的平均误差为0.0382mm,第八层余高的平均误差为0.0289mm,第十层余高的平均误差为0.0310mm,回归结果误差较低。由结果可知回归的效果较好。对于熔覆层中间段的熔池来说,由于其周围散热条件的变化以及其它因素的影响,熔池形态以及熔池温度场分布也在跟着发生变化,这两个因素又是直接影响成形特征的主要因素。而对于高温物体,物体的温度直接影响了其在CCD中的彩色分布,因此视觉图像兼顾了熔池的形态特征和温度特征。所以网络能够依据视觉熔池形态差异回归单层熔覆层的余高。

[0017] (3) 不同熔敷层余高回归结果误差分析

如图14所示,为层间冷却时间3min时的各层余高回归结果,这十层余高回归结果的平均误差为0.0294mm,回归结果误差较低。由结果可知回归的效果较好。对于不同熔覆层的熔池来说,随着层数的增加,各层倾斜角度增大,因此熔覆层开始发生倾斜时的位置不一样,熔池视觉形态也存在着明显的差异。而对于不同熔敷层的同一位置,熔池视觉形态和焊丝杆伸长度也因倾斜等因素而发生着改变,这些差异性使网络能够回归不同熔覆层的余高。

[0018] (4) 深度残差网络对焊接工艺参数的泛化能力

单道多层的同向式堆积过程是一个多变量强耦合的过程,电流、焊速、层间冷却时间等多种因素耦合在一起共同影响熔敷层的余高,而层间冷却时间对熔敷层余高起着重要作

用。因此为了评价深度残差网络的泛化能力,在保持其他焊接参数不变的条件下,改变层间冷却时间为1min、2min、3min和4min,采集各熔覆层的熔池图像。随后将采集到的每一层熔池图像按照接近4:1的比例组成训练集和测试集。如图12至图15所示,为不同层间冷却时间的熔覆层的余高回归结果。模型表现效果好,整体余高回归平均误差为0.0466mm,其中层间冷却时间为1min时的熔覆层余高回归误差0.0358mm,层间冷却时间为2min时的熔覆层余高回归误差为0.0816mm,层间冷却时间为3min时的熔覆层余高回归误差0.0294mm,层间冷却时间为4min时的熔覆层余高回归误差为0.0301mm。由图13可知,冷却时间为2min时的第八、九和十层熔覆层回归效果较差,平均误差为0.2405mm。回归效果差的原因为第八层熔覆层发生咬边现象,第九、十层熔覆层左侧发生熔池的流淌。由此可知网络回归能力不受层间冷却时间影响。

[0019] 本发明基于熔池图像和深度残差网络精确的预测增材余高,增材时熔覆层余高的变化一定程度上反映熔深的变化,通过监测余高实现增材制造过程的质量管控,准确预测焊缝未来余高发展趋势,便于实时调控焊接质量。

[0020] 以上述依据本发明的理想实施例为启示,通过上述的说明内容,相关工作人员完全可以在不偏离本项发明技术思想的范围内,进行多样的变更以及修改。本项发明的技术性范围并不局限于说明书上的内容,必须要根据权利要求范围来确定其技术性范围。

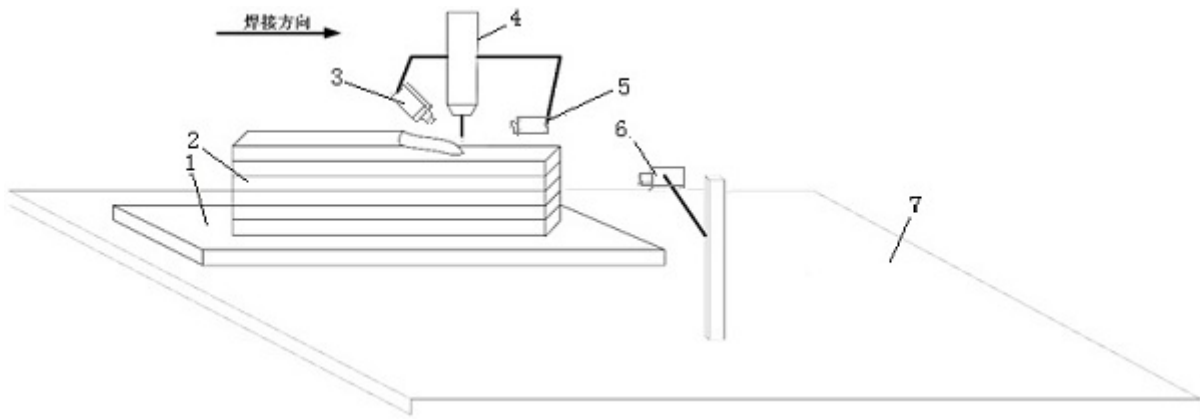


图1



图2

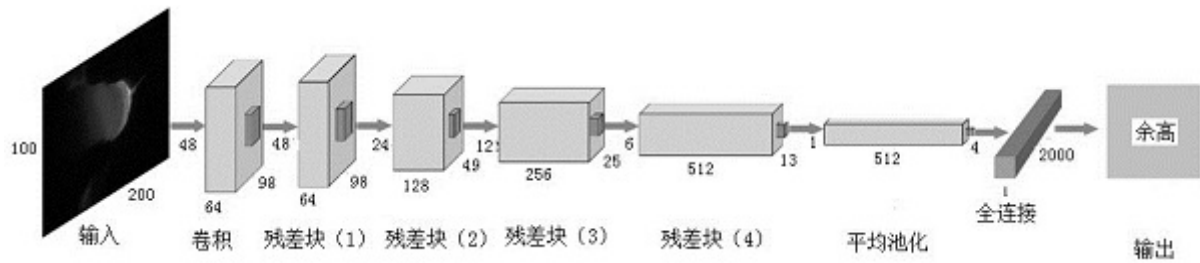


图3

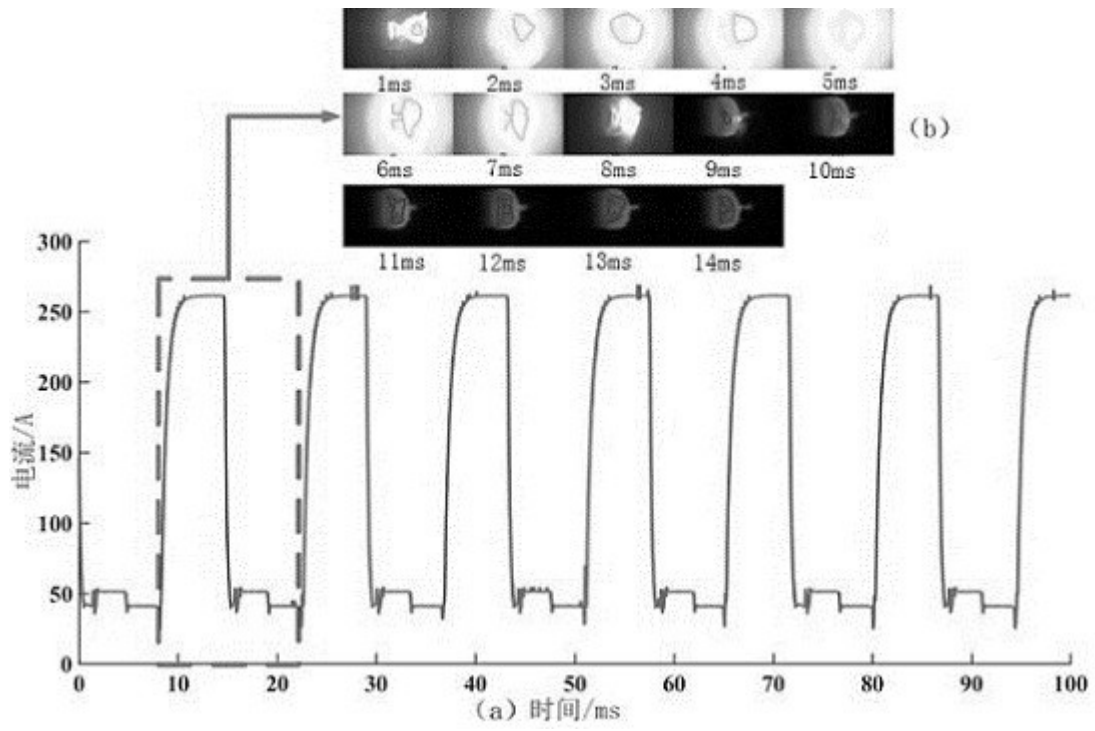


图4

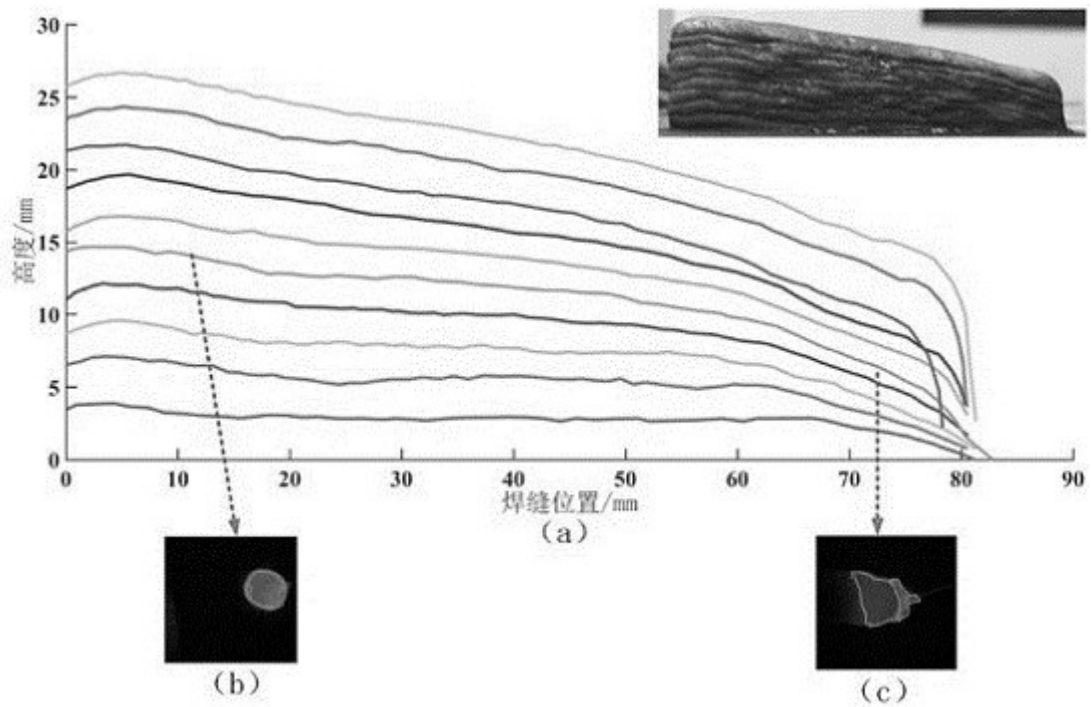


图5

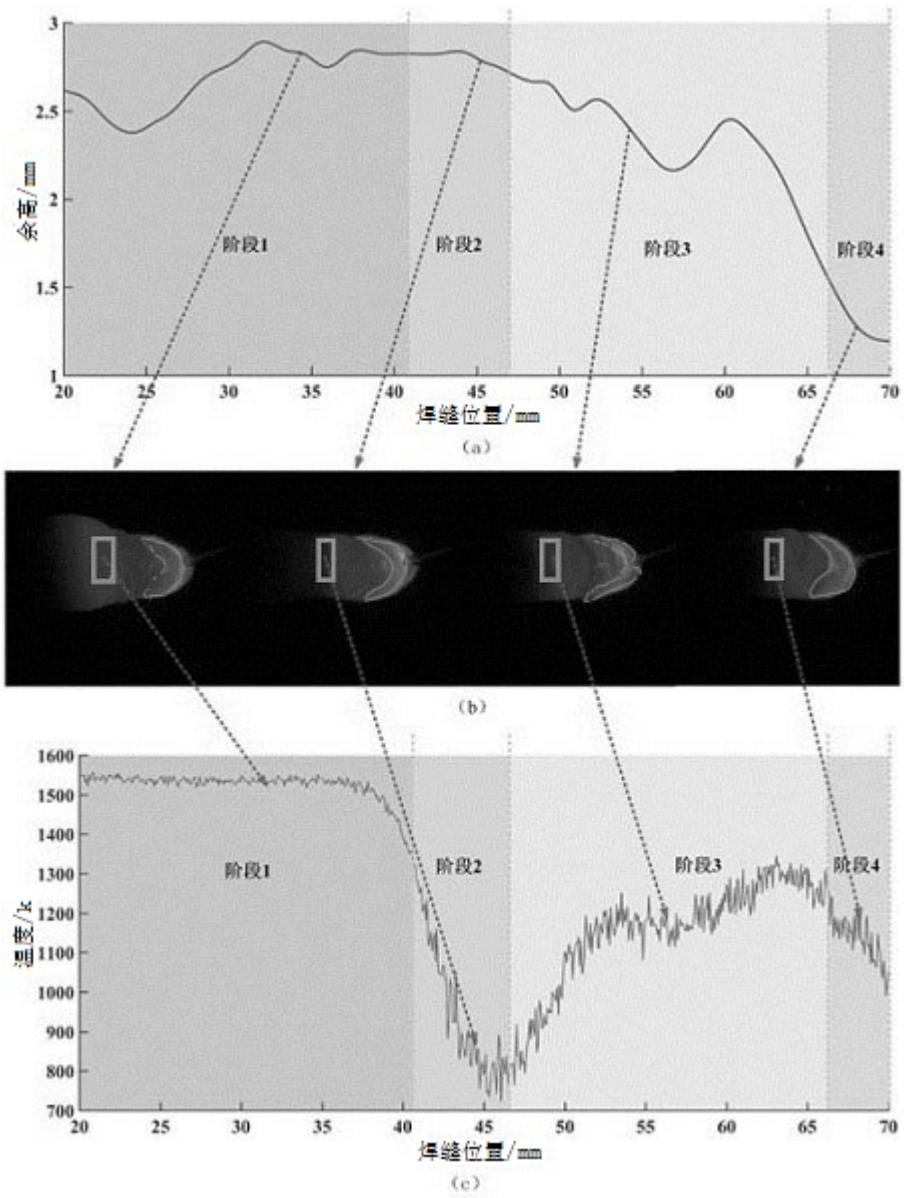


图6

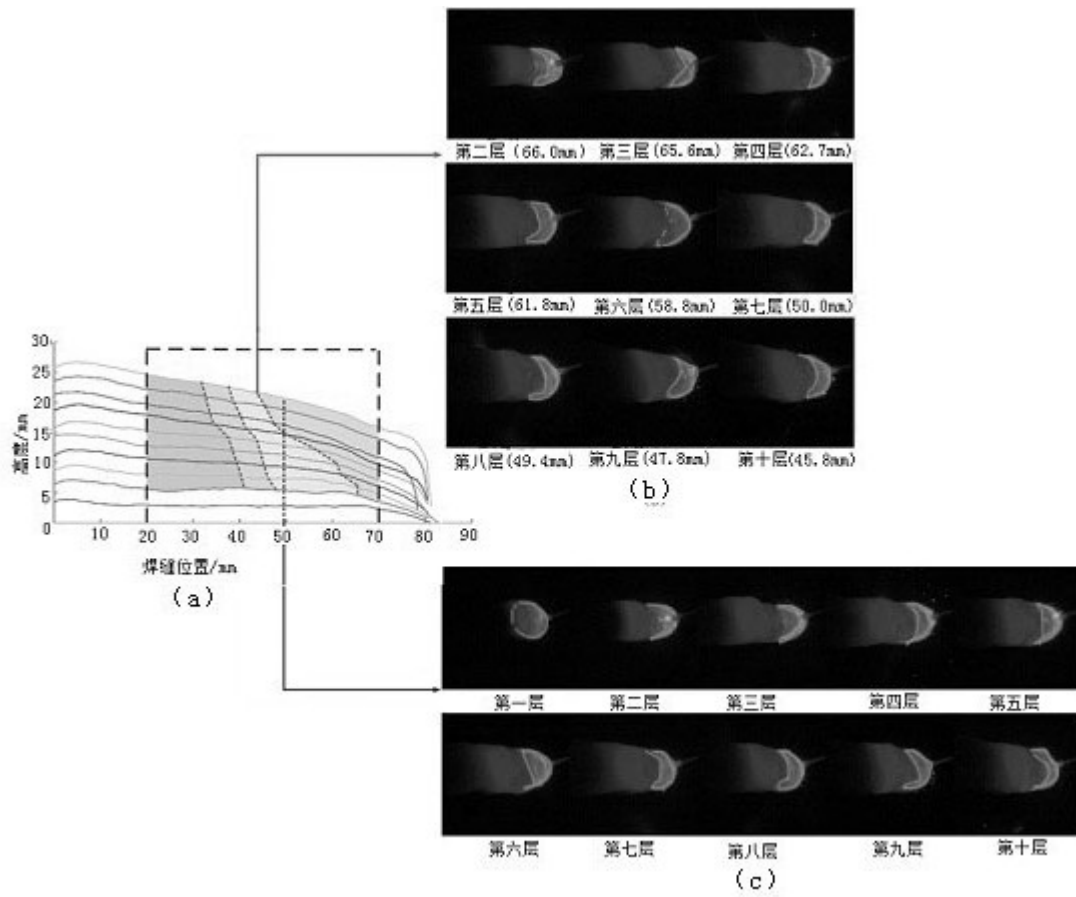


图7

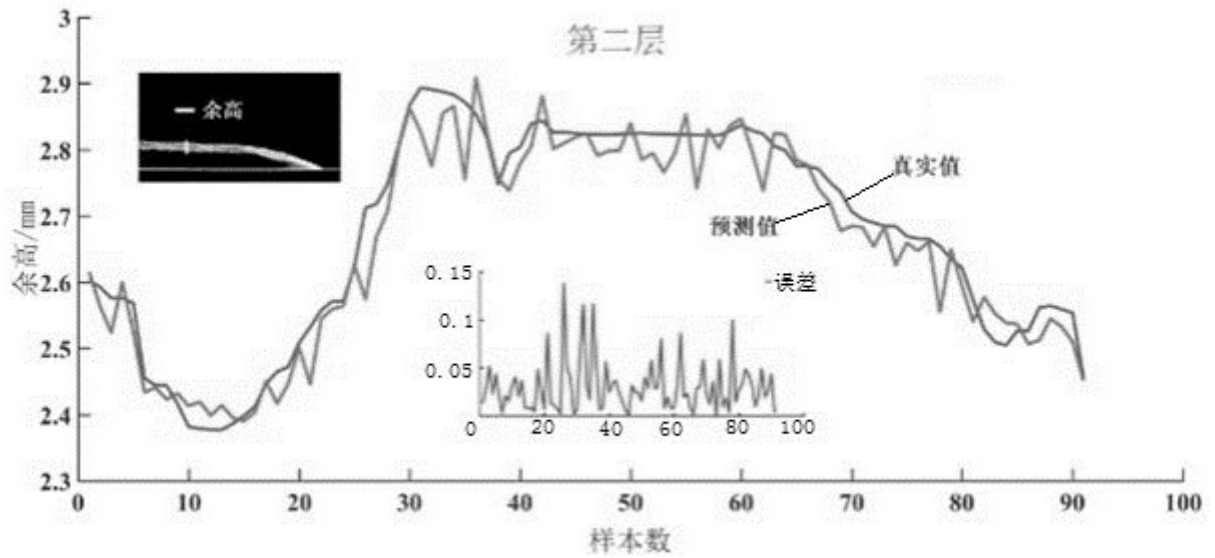


图8

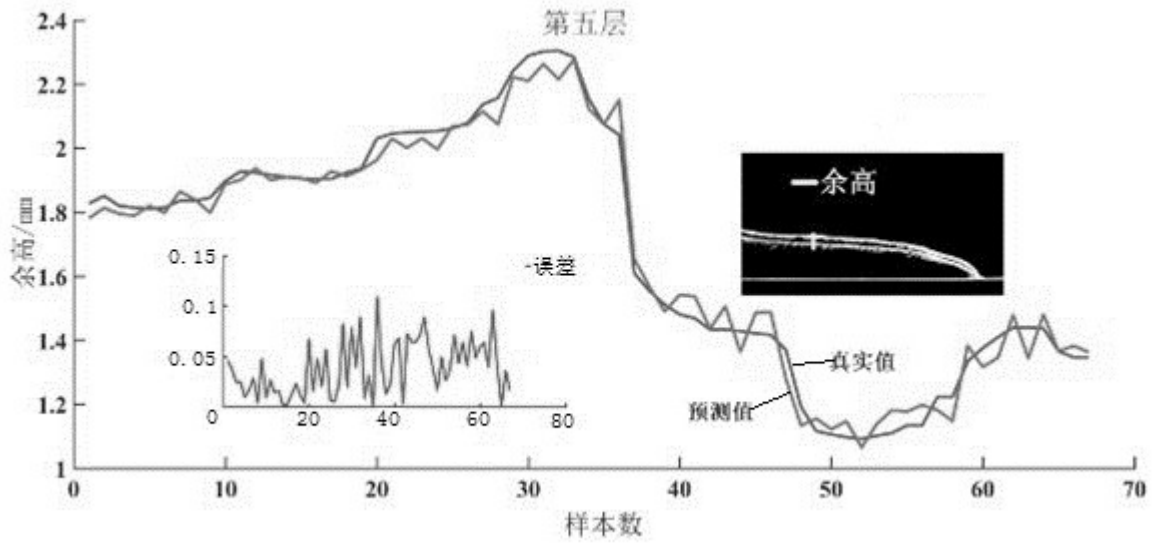


图9

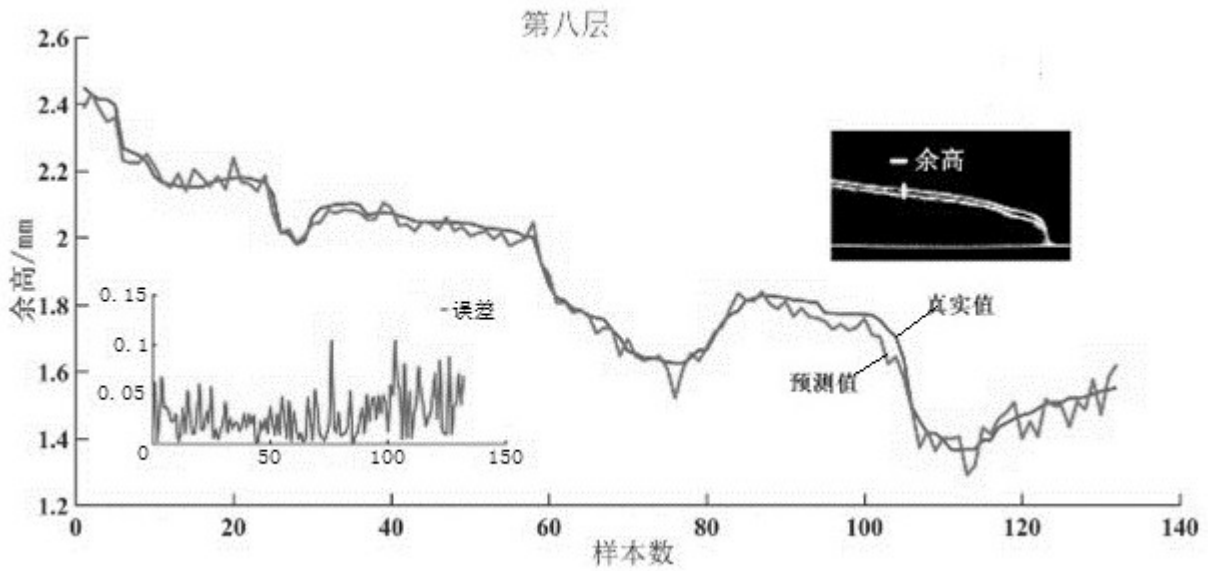


图10

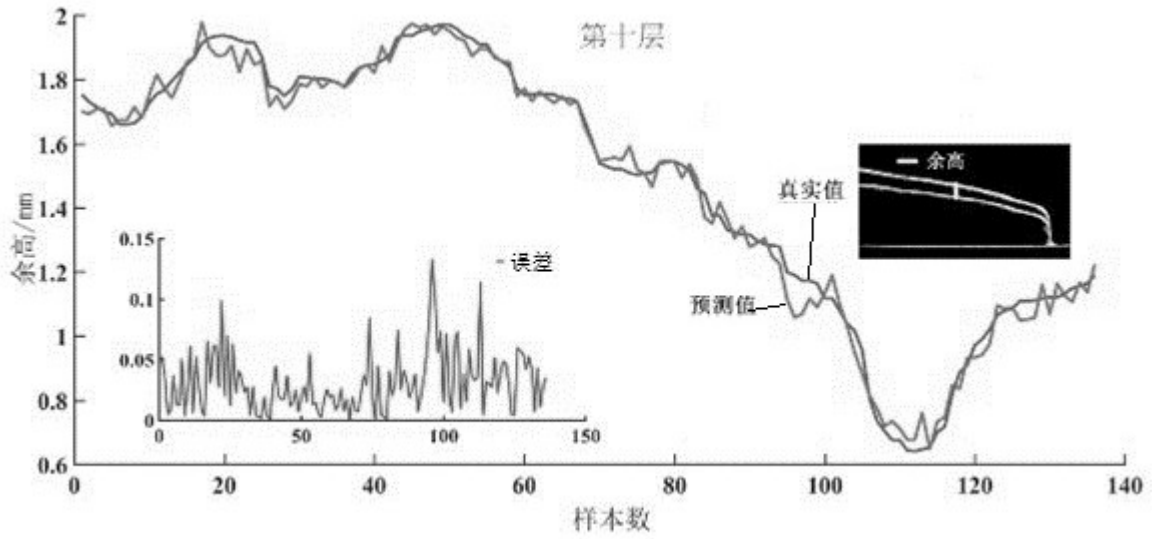


图11

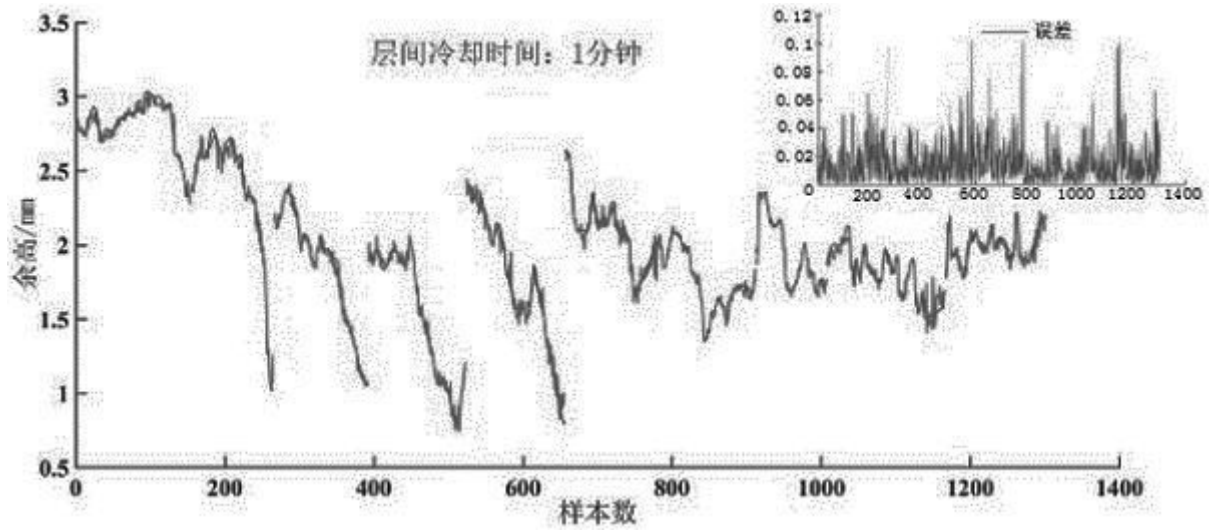


图12

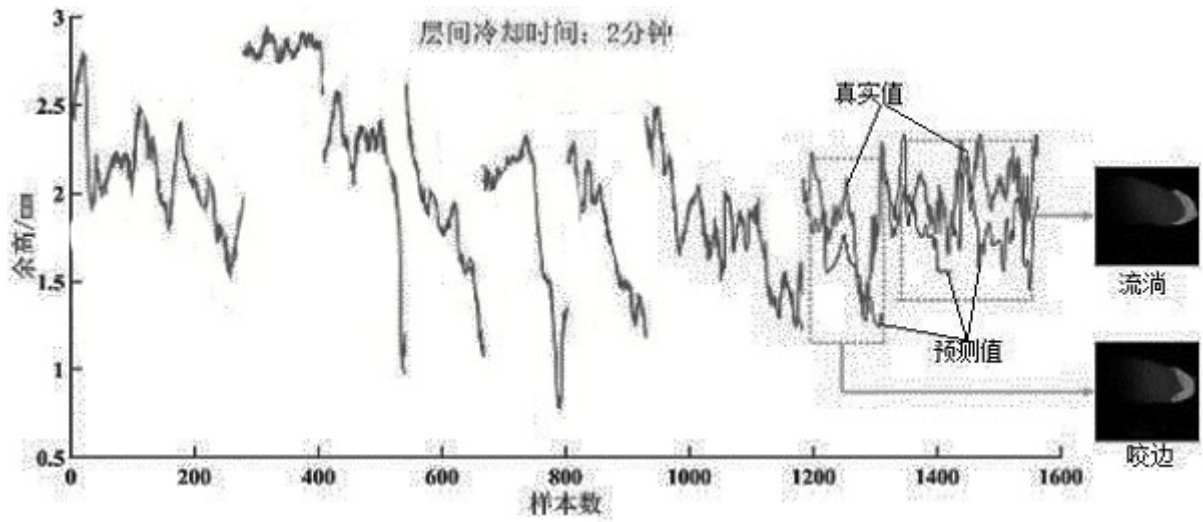


图13

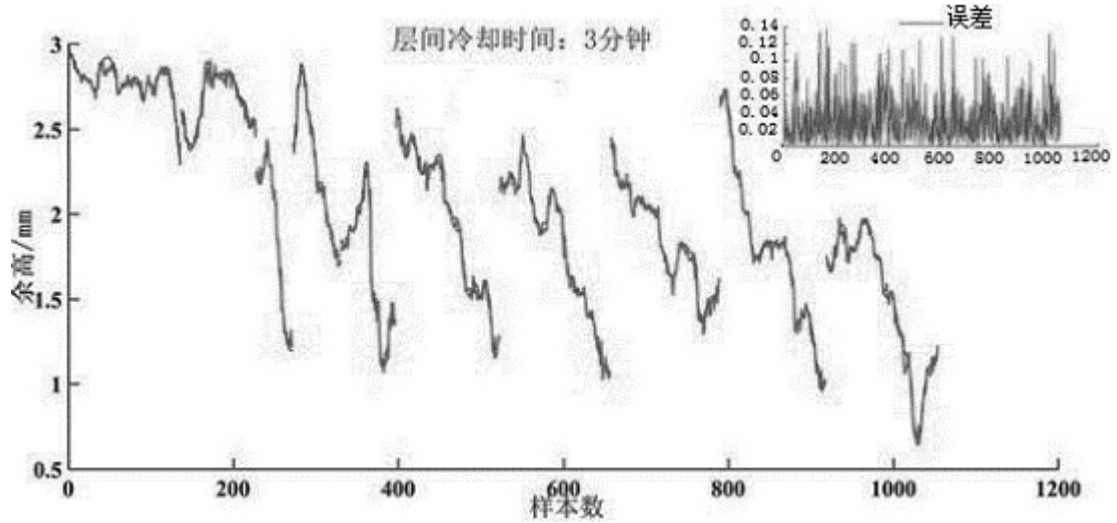


图14

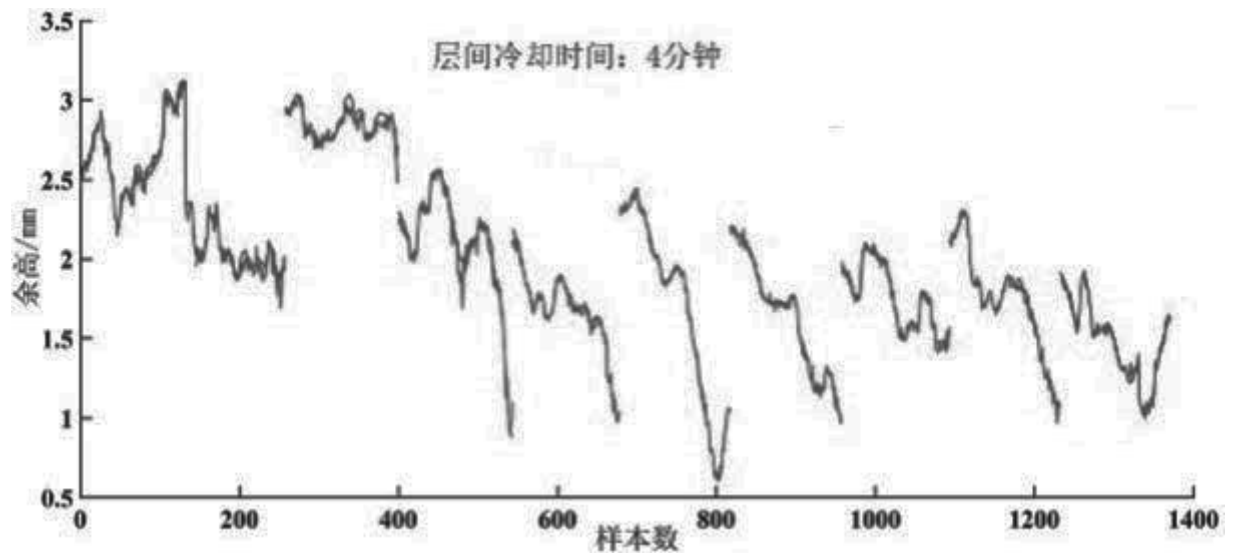


图15