



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117556552 B

(45) 授权公告日 2024.04.12

(21) 申请号 202410045447.4

CN 104648690 A, 2015.05.27

(22) 申请日 2024.01.12

CN 111232242 A, 2020.06.05

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 111507017 A, 2020.08.07

申请公布号 CN 117556552 A

CN 116050547 A, 2023.05.02

(43) 申请公布日 2024.02.13

KR 20100108991 A, 2010.10.08

(73) 专利权人 中国飞机强度研究所

US 2018301040 A1, 2018.10.18

地址 710065 陕西省西安市雁塔区电子二路86号

US 2023382555 A1, 2023.11.30

朱晨辰. 考虑温度效应的起落架落震缓冲性能研究.《应力学学报》.2023,全文.

(72) 发明人 朱晨辰 刘小川 黄兆铭 刘冲冲 张宇 马晓利

Wcroft C. Influence of variable side-stay geometry on the shimmy dynamics of an aircraft dual-wheel main landing gear.《SIAM Journal on Applied Dynamical Systems》.2013,摘要.

(74) 专利代理机构 北京栈桥知识产权代理事务所(普通合伙) 11670

专利代理师 潘卫锋

田俊杰; 牟钊; 程素华; 冯熙. 大下沉速度下的起落架落震仿真与试验. 液压与气动. 2020, (10), 全文.

(51) Int. Cl.

G06F 30/15 (2020.01)

G06F 30/27 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

侯乔乔. BP神经网络在舰载机落震载荷标定试验中的应用.《第六届中国航空科学技术大会》.2023,全文.

(56) 对比文件

CN 109738147 A, 2019.05.10

审查员 白硕

权利要求书2页 说明书6页 附图7页

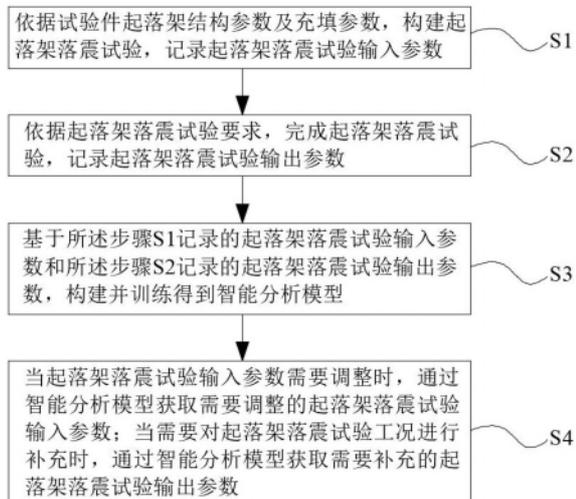
(54) 发明名称

一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,属于飞机试验技术领域。起落架落震试验优化方法包括:基于起落架落震试验输入参数和起落架落震试验输出参数,构建并训练得到第一智能分析模型和第二智能分析模型;当起落架落震试验参数需要调整/需要对起落架落震试验工况进行补充时,通过第一智能分析模型/第二智能分析模型获取需要调整的起落架落震试验输入参数/补充的起落架落震试验输出参数。本发明解决了目前起落架缓冲性能试验调参基本通过经验值进行关键参数调整,误差较大效率较低的问题,具有省时省力的优点。

点。



CN 117556552 B

1. 一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、依据试验件起落架结构参数及充填参数,构建起落架落震试验,记录起落架落震试验输入参数;

S2、依据起落架落震试验要求,完成起落架落震试验,记录起落架落震试验输出参数;

S3、基于所述步骤S1记录的起落架落震试验输入参数和所述步骤S2记录的起落架落震试验输出参数,构建并训练得到智能分析模型;所述智能分析模型包括第一智能分析模型和第二智能分析模型,所述第一智能分析模型的输入数据为起落架落震试验输出参数,第一智能分析模型的输出数据为起落架落震试验输入参数;所述第二智能分析模型的输入数据为起落架落震试验输入参数,第二智能分析模型的输出数据为起落架落震试验输出参数;

S4、当起落架落震试验输入参数需要调整时,通过智能分析模型获取需要调整的起落架落震试验输入参数;当需要对起落架落震试验工况进行补充时,通过智能分析模型获取需要补充的起落架落震试验输出参数;

所述通过智能分析模型获取需要调整的起落架落震试验输入参数的方法为:当起落架落震试验参数需要调整时,向第一智能分析模型输入期望得到的起落架缓冲性能结果,即起落架落震试验输出参数,第一智能模型输出对应的参数预测调整值,即需要调整的起落架落震试验输入参数;

所述通过智能分析模型获取需要补充的起落架落震试验输出参数的方法为:当需要对起落架落震试验工况进行补充时,向第二智能分析模型输入起落架落震试验输入参数,第二智能分析模型输出起落架落震试验输出参数,即需要补充的起落架落震试验输出参数。

2. 如权利要求1所述的一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,其特征在于,所述起落架落震试验输入参数包括:起落架当量质量、起落架结构尺寸、缓冲器结构尺寸、轮胎结构尺寸、缓冲器初始充气压力、缓冲器气体体积、缓冲器油液体积、起落架姿态角、轮胎充气压力、缓冲器静压曲线和轮胎静压曲线。

3. 如权利要求2所述的一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,其特征在于,所述起落架落震试验输出参数包括:地面垂直载荷的时间历程、航向载荷的时间历程、侧向载荷的时间历程、缓冲支柱行程的时间历程、吊篮位移的时间历程、轮胎压缩量的时间历程和缓冲效率。

4. 如权利要求1所述的一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,其特征在于,所述第一智能分析模型和所述第二智能分析模型均通过神经网络训练得到。

5. 如权利要求4所述的一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,其特征在于,所述神经网络为循环神经网络或长短期记忆网络。

6. 如权利要求4所述的一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,其特征在于,所述第一智能分析模型的训练过程为:

基于所述神经网络构建第一智能分析模型,构建起落架落震试验输出参数与起落架落震试验输入参数的网络映射关系;

将所记录的起落架落震试验输入参数和起落架落震试验输出参数作为训练集对第一智能分析模型进行训练,即:将起落架落震试验输出参数作为第一智能模型的输入数据,将第一智能模型的输出数据与第一智能模型的输入数据对应的起落架落震试验输入参数进

行对比,得到误差数据;

基于误差数据,通过反向传播算法对第一智能分析模型的网络参数进行调整,直至第一智能分析模型的输出数据的误差小于1%,即完成的第一智能分析模型的训练。

7.如权利要求4所述的一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,其特征在于,所述第二智能分析模型的训练过程为:

基于所述神经网络构建第二智能分析模型,构建起落架落震试验输入参数与起落架落震试验输出参数的网络映射关系;

将所记录的起落架落震试验输入参数和起落架落震试验输出参数作为训练集对第二智能分析模型进行训练,即:将起落架落震试验输入参数作为第二智能模型的输入数据,将第二智能模型的输出数据与第二智能模型的输入数据对应的起落架落震试验输出参数进行对比,得到误差数据;

基于误差数据,通过反向传播算法对第二智能分析模型的网络参数进行调整,直至第二智能分析模型的输出数据的误差小于1%,即完成的第二智能分析模型的训练。

一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及飞机试验技术领域,具体是涉及一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法。

背景技术

[0002] 随着对于起落架缓冲器外在结构形式和内部整体构造的改进空间越来越小,而可用于起落架缓冲器优化的计算方法和设计工具越来越多,使得如何通过调整缓冲器内部参数用以优化起落架整体缓冲性能,成为热门的研究方向。同时,随着“数字强度”这一概念被提出,将人工智能方法引入到起落架缓冲性能试验优化问题上,可以修正基于动力学原理的物理模型,减少试验周期,同时计算速度更快,预测精度更高,为获得高精度的辨识结果提供了方法和思路。

[0003] 国内目前常规落震试验周期较长,遇到试验数据有问题返厂调参周期较难把控,且调参基本通过经验值进行关键参数调整,误差较大且效率较低,常规试验数据对参数调整没有起到合理参考作用。

发明内容

[0004] 本发明解决的技术问题是:目前起落架缓冲性能试验调参基本通过经验值进行关键参数调整,误差较大且效率较低。

[0005] 为解决上述问题,本发明的技术方案如下:

[0006] 一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,包括以下步骤:

[0007] S1、依据试验件起落架结构参数及充填参数,构建起落架落震试验,记录起落架落震试验输入参数;

[0008] S2、依据起落架落震试验要求,完成起落架落震试验,记录起落架落震试验输出参数;

[0009] S3、基于步骤S1记录的起落架落震试验输入参数和步骤S2记录的起落架落震试验输出参数,构建并训练得到智能分析模型;

[0010] S4、当起落架落震试验输入参数需要调整时,通过智能分析模型获取需要调整的起落架落震试验输入参数;当需要对起落架落震试验工况进行补充时,通过智能分析模型获取需要补充的起落架落震试验输出参数。

[0011] 进一步地,起落架落震试验输入参数包括:起落架当量质量、起落架结构尺寸、缓冲器结构尺寸、轮胎结构尺寸、缓冲器初始充气压力、缓冲器气体体积、缓冲器油液体积、起落架姿态角、轮胎充气压力、缓冲器静压曲线和轮胎静压曲线。

[0012] 说明:上述起落架落震试验输入参数能够满足对起落架落震试验参数的描述需求,因此在需要调整上述参数时,可以通过向第一智能分析模型输入期望试验数据后,第一智能分析模型输出得到调整后的上述参数;其中,将缓冲器静压曲线和轮胎静压曲线作为第一智能分析模型的输出数据,或者将缓冲器静压曲线和轮胎静压曲线作为第二智能分析

模型的输入数据时,将缓冲器静压曲线和轮胎静压曲线分成若干离散的点,并将点和点的对应数据整理成数组。

[0013] 进一步地,起落架落震试验输出参数包括:地面垂直载荷的时间历程、航向载荷的时间历程、侧向载荷的时间历程、缓冲支柱行程的时间历程、吊篮位移的时间历程、轮胎压缩量的时间历程和缓冲效率。

[0014] 说明:上述起落架落震试验输出参数能够满足对起落架落震试验结果的描述需求,因此在试验数据出现缺失时,可以通过向第二智能分析模型输入起落架落震试验输入参数,第二智能分析模型输出起落架落震试验输出参数,从而补足缺失的试验数据。

[0015] 进一步地,智能分析模型包括第一智能分析模型和第二智能分析模型。

[0016] 更进一步地,第一智能分析模型的输入数据为起落架落震试验输出参数,第一智能分析模型的输出数据为起落架落震试验输入参数;第二智能分析模型的输入数据为起落架落震试验输入参数,第二智能分析模型的输出数据为起落架落震试验输出参数。

[0017] 说明:由此可知,第一智能分析模型能够根据期望试验数据得到需要调整的试验参数;第二智能分析模型能够根据试验参数得到对应的试验结果。

[0018] 优选地,第一智能分析模型和第二智能分析模型均通过神经网络训练得到。

[0019] 说明:神经网络能够建立模型输入数据和输出数据之间的映射关系,从而根据输入数据预测得到输出数据。

[0020] 优选地,神经网络为循环神经网络(RNN)或长短期记忆网络(LSTM)。

[0021] 说明:循环神经网络的主要优点在于它可以对序列数据进行建模,比如时间序列、自然语言等;在处理这些数据时,传统的神经网络无法考虑到数据的时间序列关系,而循环神经网络可以通过循环结构来捕捉序列数据中的时间信息,从而更好地进行建模;长短期记忆网络解决了梯度消失和梯度爆炸问题,可以处理长序列数据;引入门控机制,能够自主选择哪些信息需要保留和哪些信息需要遗忘;可以处理多层结构,提高了模型的表达能力。

[0022] 优选地,第一智能分析模型的训练过程为:

[0023] 基于神经网络构建第一智能分析模型,构建起落架落震试验输出参数与起落架落震试验输入参数的网络映射关系;

[0024] 将所记录的起落架落震试验输入参数和起落架落震试验输出参数作为训练集对第一智能分析模型进行训练,即:将起落架落震试验输出参数作为第一智能模型的输入数据,将第一智能模型的输出数据与第一智能模型的输入数据对应的起落架落震试验输入参数进行对比,得到误差数据;

[0025] 基于误差数据,通过反向传播算法对第一智能分析模型的网络参数进行调整,直至第一智能分析模型的输出数据的误差小于1%,即完成的第一智能分析模型的训练。

[0026] 优选地,第二智能分析模型的训练过程为:

[0027] 基于神经网络构建第二智能分析模型,构建起落架落震试验输入参数与起落架落震试验输出参数的网络映射关系;

[0028] 将所记录的起落架落震试验输入参数和起落架落震试验输出参数作为训练集对第二智能分析模型进行训练,即:将起落架落震试验输入参数作为第二智能模型的输入数据,将第二智能模型的输出数据与第二智能模型的输入数据对应的起落架落震试验输出参数进行对比,得到误差数据;

[0029] 基于误差数据,通过反向传播算法对第二智能分析模型的网络参数进行调整,直至第二智能分析模型的输出数据的误差小于1%,即完成的第二智能分析模型的训练。

[0030] 进一步优选地,通过智能分析模型获取需要调整的起落架落震试验输入参数的方法为:当起落架落震试验参数需要调整时,向第一智能分析模型输入期望得到的起落架缓冲性能结果,即起落架落震试验输出参数,第一智能模型输出对应的参数预测调整值,即需要调整的起落架落震试验输入参数;

[0031] 通过智能分析模型获取需要补充的起落架落震试验输出参数的方法为:当需要对起落架落震试验工况进行补充时,向第二智能分析模型输入起落架落震试验输入参数,第二智能分析模型输出起落架落震试验输出参数,即需要补充的起落架落震试验输出参数。

[0032] 说明:当已经完成起落架落震试验之后,又需要重新获取某未进行的初始条件下的落震结果,能够通过第二智能分析模型在不重新进行试验的情况下获得较为准确的计算结果;当起落架落震试验的试验结果没有满足任务书规定的性能预期,需要进行起落架结构参数调整时,可以先通过第一智能分析模型预测起落架落震试验输入参数,大幅提高起落架调参的效率。

[0033] 本发明的有益效果是:

[0034] 本发明通过描述起落架缓冲性能的智能分析模型进行起落架缓冲性能试验的关键参数调整,不仅可以更准确的预测起落架落震动响应,还可以提高起落架缓冲性能评估与调参优化的效率,为起落架动力学仿真提供了新思路。

附图说明

[0035] 图1是本发明的方法流程图;

[0036] 图2是本发明实施例1的飞机起落架落震试验中,不同下沉速度对应的地面垂直载荷行程曲线图;

[0037] 图3是本发明实施例1的飞机起落架落震试验中,不同下沉速度对应的缓冲支柱行程曲线图;

[0038] 图4是本发明实施例1的飞机起落架落震试验中,不同下沉速度对应的吊篮位移曲线图;

[0039] 图5是本发明实施例1的飞机起落架落震试验中,下沉速度为2m/s时的地面垂直载荷行程曲线图;

[0040] 图6是本发明实施例1的飞机起落架落震试验中,下沉速度为2m/s时的缓冲支柱行程曲线图;

[0041] 图7是本发明实施例1的飞机起落架落震试验中,下沉速度为2m/s时的吊篮位移曲线图。

具体实施方式

[0042] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作进一步地详细描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0043] 在本发明实施例中使用的术语是仅仅出于描述特定实施例的目的,而非旨在限制本发明。在本发明实施例和所附权利要求书中所使用的单数形式的“一种”、“所述”和“该”也旨在包括多数形式,除非上下文清楚地表示其他含义,“多种”一般包含至少两种。

[0044] 应当理解,尽管在本发明实施例中可能采用术语第一、第二、第三等来描述……,但这些……不应限于这些术语。这些术语仅用来将……区分开。例如,在不脱离本发明实施例范围的情况下,第一……也可以被称为第二……,类似地,第二……也可以被称为第一……。

[0045] 国内目前常规落震试验周期较长,遇到试验数据有问题返厂调参周期较难把控,且调参基本通过经验值进行关键参数调整,误差较大效率较低,常规试验数据对参数调整没有起到合理参考作用。

[0046] 实施例1:为了解决上述问题,本实施例记载了一种基于数据驱动的飞机起落架落震试验优化方法,如图1所示,包括以下步骤:

[0047] S1、依据试验件起落架结构参数及充填参数,构建起落架落震试验,记录起落架落震试验输入参数;

[0048] 可以理解的,本实施例中,试验件起落架结构参数包括起落架当量质量、起落架/缓冲器/轮胎结构尺寸和起落架姿态角,充填参数包括缓冲器初始充气压力、缓冲器气体体积、缓冲器油液体积、轮胎充气压力和缓冲器静压曲线和轮胎静压曲线;

[0049] 可以理解的,本实施例中,起落架落震试验输入参数包括:起落架当量质量、起落架结构尺寸、缓冲器结构尺寸、轮胎结构尺寸、缓冲器初始充气压力、缓冲器气体体积、缓冲器油液体积、起落架姿态角、轮胎充气压力、缓冲器静压曲线和轮胎静压曲线;

[0050] 可以理解的,本实施例中的起落架落震试验分为三组,三组起落架落震试验中,起落架当量质量为924kg,轮胎充气压力为0.65MPa,缓冲器初始充气压力分别为1.72MPa、1.8MPa和1.88MPa,投放下沉速度分别为1.2m/s、1.5m/s和1.8m/s;其余参数均为起落架落震试验常用数值,在此不做赘述;

[0051] S2、依据起落架落震试验要求,完成起落架落震试验,记录起落架落震试验输出参数;

[0052] 可以理解的,本实施例中,起落架落震试验输出参数包括:地面垂直载荷的时间历程、航向载荷的时间历程、侧向载荷的时间历程、缓冲支柱行程的时间历程、吊篮位移的时间历程、轮胎压缩量的时间历程和缓冲效率;

[0053] 可以理解的,本实施例中三组起落架落震试验的起落架落震试验输出参数通过曲线图进行表示;其中,不同下沉速度下的地面垂直载荷曲线如图2所示,不同下沉速度下的缓冲支柱行程如图3所示,不同下沉速度下的吊篮位移曲线如图4所示,图2、图3和图4中,1.2下沉速度对应1.2m/s,1.5下沉速度对应1.5m/s,1.8下沉速度对应1.8m/s;由于航向载荷和侧向载荷具有短时间内振动且不具有规律性的特点,其时间历程对应曲线图不在此给出;由于轮胎压缩量不属于起落架落震试验关键参数,其时间历程对应曲线图也不在此给出;

[0054] S3、基于步骤S1记录的起落架落震试验输入参数和步骤S2记录的起落架落震试验输出参数,构建并训练得到智能分析模型;智能分析模型包括第一智能分析模型和第二智能分析模型;

[0055] 可以理解的,本实施例中,第一智能分析模型的输入数据为起落架落震试验输出参数,第一智能分析模型的输出数据为起落架落震试验输入参数;第二智能分析模型的输入数据为起落架落震试验输入参数,第二智能分析模型的输出数据为起落架落震试验输出参数;

[0056] 可以理解的,第一智能分析模型和第二智能分析模型均通过神经网络训练得到;

[0057] 本实施例中,神经网络为循环神经网络(RNN);

[0058] 其中,循环神经网络(RNN)的优点在于它可以对序列数据进行建模,比如时间序列、自然语言等;在处理这些数据时,传统的神经网络无法考虑到数据的时间序列关系,而循环神经网络可以通过循环结构来捕捉序列数据中的时间信息,从而更好地进行建模。

[0059] 可以理解的,本实施例中,神经网络的层级结构为:参数输入层、一个或多个隐藏层、结果输出层;其中,中间的隐藏层在训练过程中构建输入数据与输出数据之间的关系,隐藏层的激发函数为ReLU函数或Maxout函数;

[0060] 可以理解的,本实施例中,第一智能分析模型的训练过程为:

[0061] 基于神经网络构建第一智能分析模型,构建起落架落震试验输出参数与起落架落震试验输入参数的网络映射关系;

[0062] 将所记录的起落架落震试验输入参数和起落架落震试验输出参数作为训练集对第一智能分析模型进行训练,即:将起落架落震试验输出参数作为第一智能模型的输入数据,将第一智能模型的输出数据与第一智能模型的输入数据对应的起落架落震试验输入参数进行对比,得到误差数据;

[0063] 基于误差数据,通过反向传播算法对第一智能分析模型的网络参数进行调整,直至第一智能分析模型的输出数据的误差小于1%,即完成的第一智能分析模型的训练;

[0064] 可以理解的,第二智能分析模型的训练过程为:

[0065] 基于神经网络构建第二智能分析模型,构建起落架落震试验输入参数与起落架落震试验输出参数的网络映射关系;

[0066] 将所记录的起落架落震试验输入参数和起落架落震试验输出参数作为训练集对第二智能分析模型进行训练,即:将起落架落震试验输入参数作为第二智能模型的输入数据,将第二智能模型的输出数据与第二智能模型的输入数据对应的起落架落震试验输出参数进行对比,得到误差数据;

[0067] 基于误差数据,通过反向传播算法对第二智能分析模型的网络参数进行调整,直至第二智能分析模型的输出数据的误差小于1%,即完成的第二智能分析模型的训练;

[0068] S4、当起落架落震试验输入参数需要调整时,通过智能分析模型获取需要调整的起落架落震试验输入参数;当需要对起落架落震试验工况进行补充时,通过智能分析模型获取需要补充的起落架落震试验输出参数;

[0069] 可以理解的,本实施例中,需要对下沉速度为2m/s的起落架落震试验工况进行补充,将下沉速度为2m/s作为起落架落震试验输入参数输入第二智能分析模型,第二智能分析模型输出得到下沉速度为2m/s的地面垂直载荷行程曲线、缓冲支柱行程曲线和吊篮位移曲线,

[0070] 同时,实际进行起落架落震试验输入参数相同且下沉速度为2m/s的起落架落震试验,将实际试验得到的地面垂直载荷行程曲线、缓冲支柱行程曲线和吊篮位移曲线与第二

智能分析模型输出的地面垂直载荷行程曲线、缓冲支柱行程曲线和吊篮位移曲线进行对比,其对比结果如图5、图6和图7所示,可知,第二智能分析模型输出结果与实际情况吻合度高,具有可靠性;

[0071] 由此可知,第一智能分析模型能够根据期望试验数据得到需要调整的试验参数;第二智能分析模型能够根据试验参数得到对应的试验结果;

[0072] 可以理解的,本实施例中,通过智能分析模型获取需要调整的起落架落震试验输入参数的方法为:当起落架落震试验参数需要调整时,向第一智能分析模型输入期望得到的起落架缓冲性能结果,即起落架落震试验输出参数,第一智能模型输出对应的参数预测调整值,即需要调整的起落架落震试验输入参数;

[0073] 通过智能分析模型获取需要补充的起落架落震试验输出参数的方法为:当需要对起落架落震试验工况进行补充时,向第二智能分析模型输入起落架落震试验输入参数,第二智能分析模型输出起落架落震试验输出参数,即需要补充的起落架落震试验输出参数。

[0074] 因此,当已经完成起落架落震试验之后,又需要重新获取某未进行的初始条件下的落震结果,本实施例能够通过第二智能分析模型在不重新进行试验的情况下获得较为准确的计算结果;当起落架落震试验的试验结果没有满足任务书规定的性能预期,需要进行起落架结构参数调整时,可以先通过第一智能分析模型预测起落架落震试验输入参数,大幅提高起落架调参的效率。

[0075] 实施例2:本实施例与实施例1的区别之处在于,神经网络为长短期记忆网络(LSTM);

[0076] 长短期记忆网络(LSTM)的优点在于解决了梯度消失和梯度爆炸问题,可以处理长序列数据;引入门控机制,能够自主选择哪些信息需要保留和哪些信息需要遗忘;可以处理多层结构,提高了模型的表达能力。

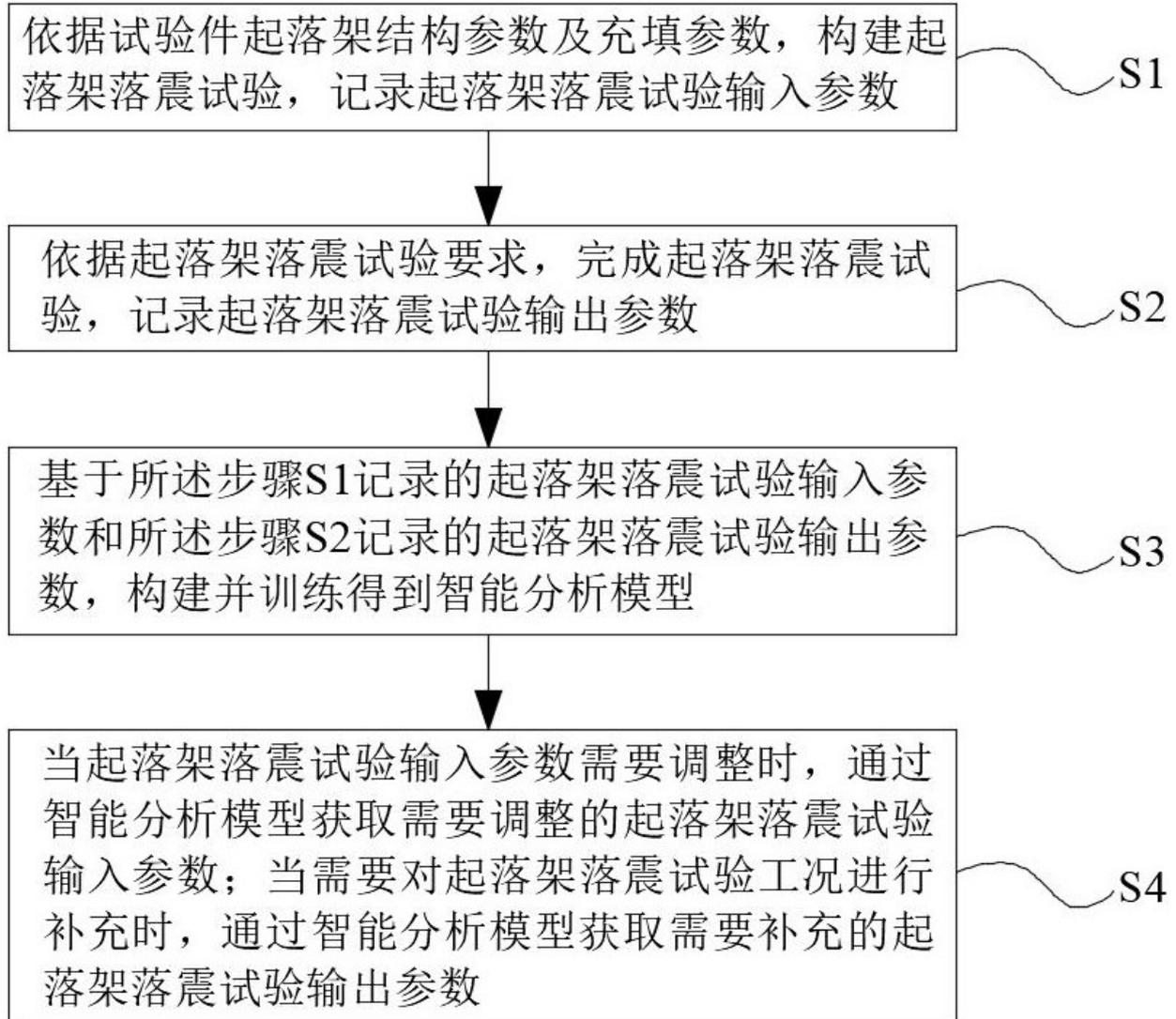


图 1

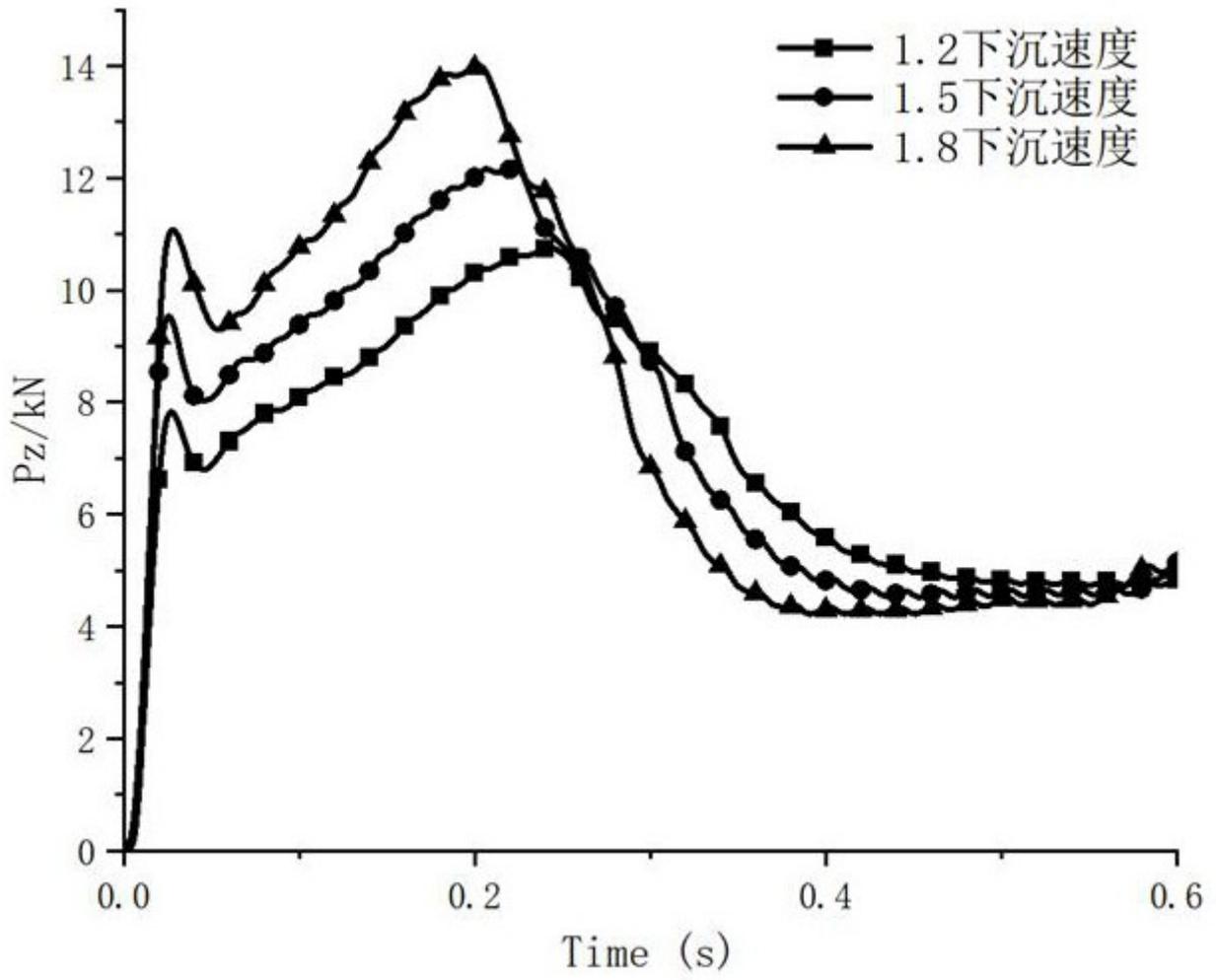


图 2

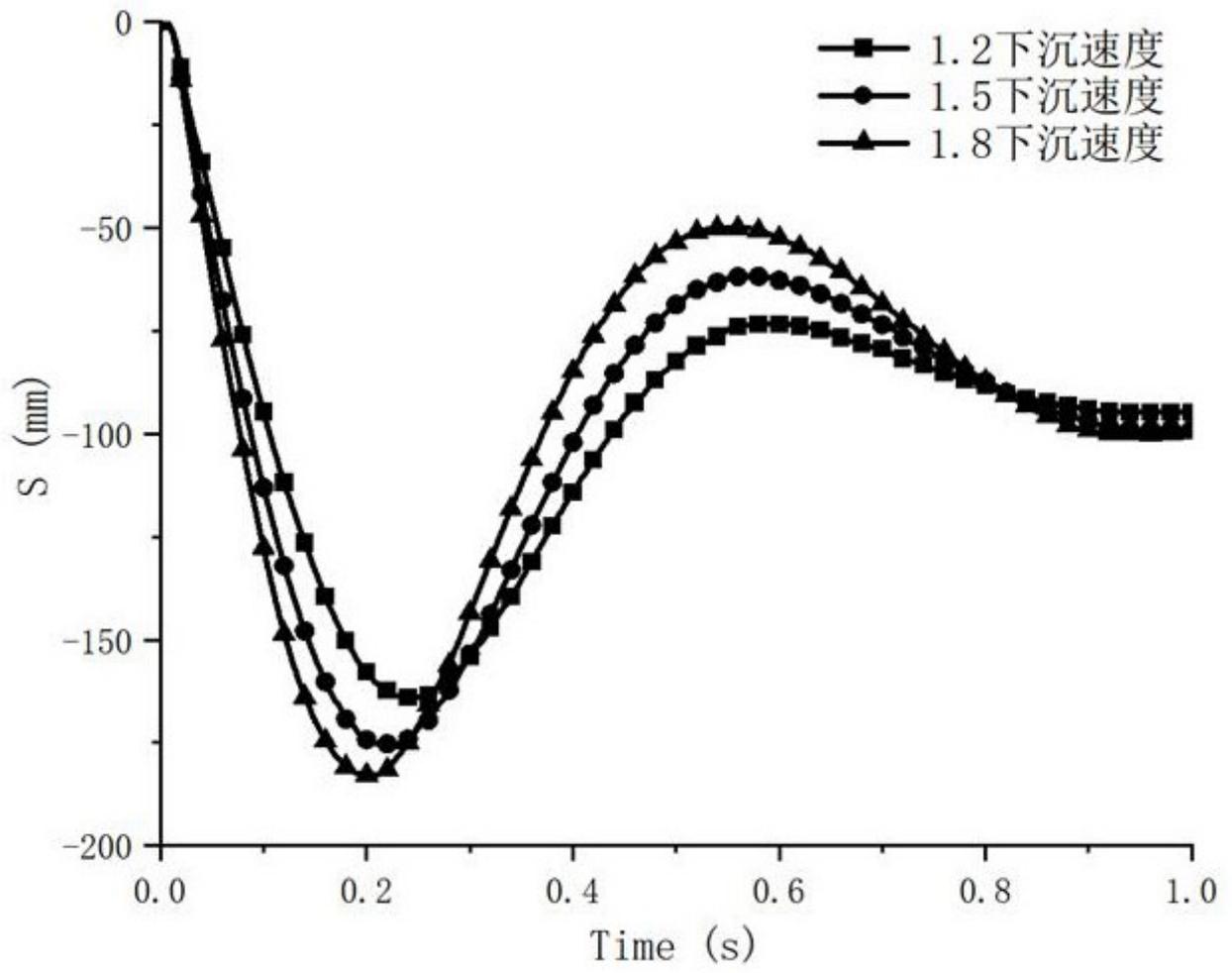


图 3

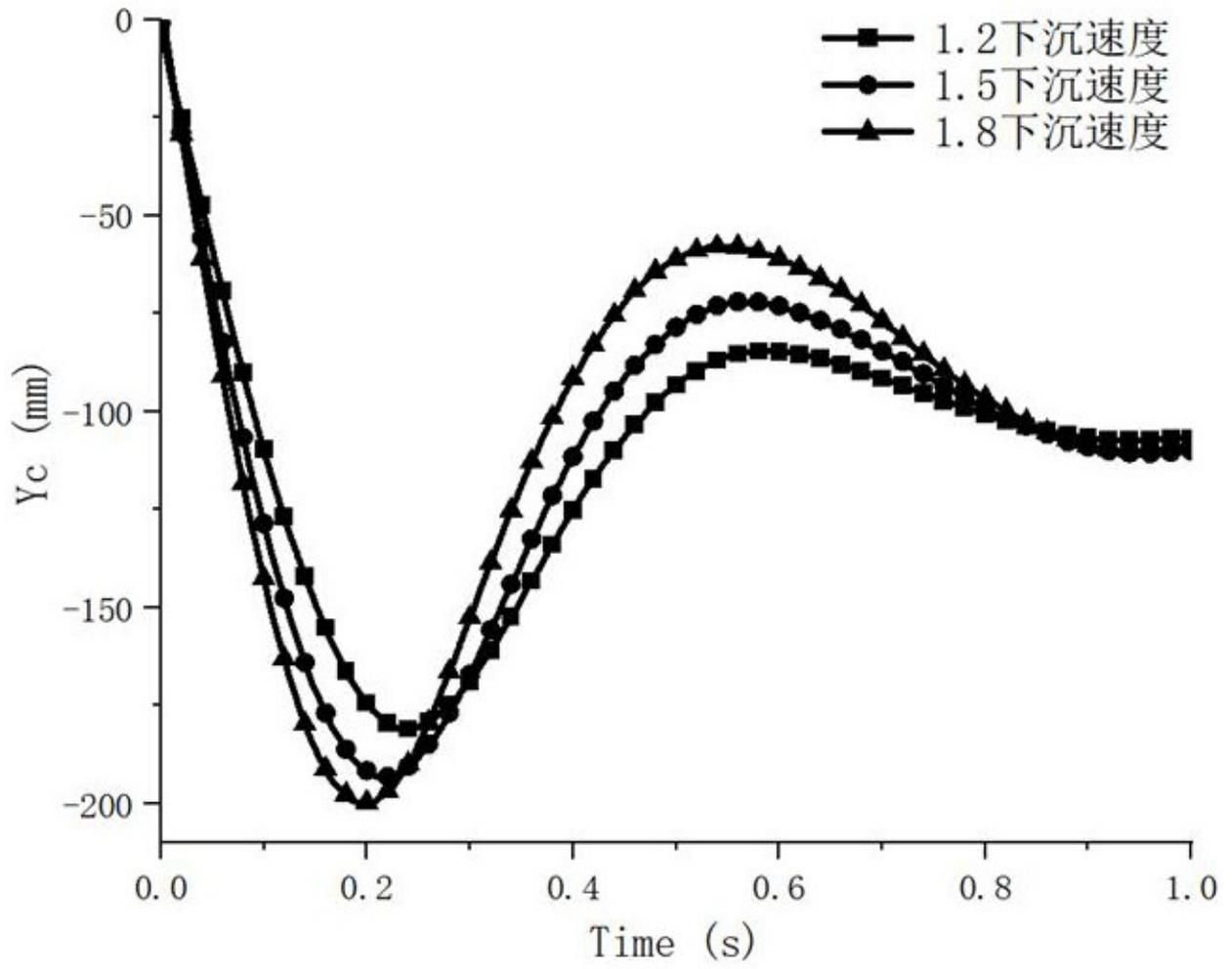


图 4

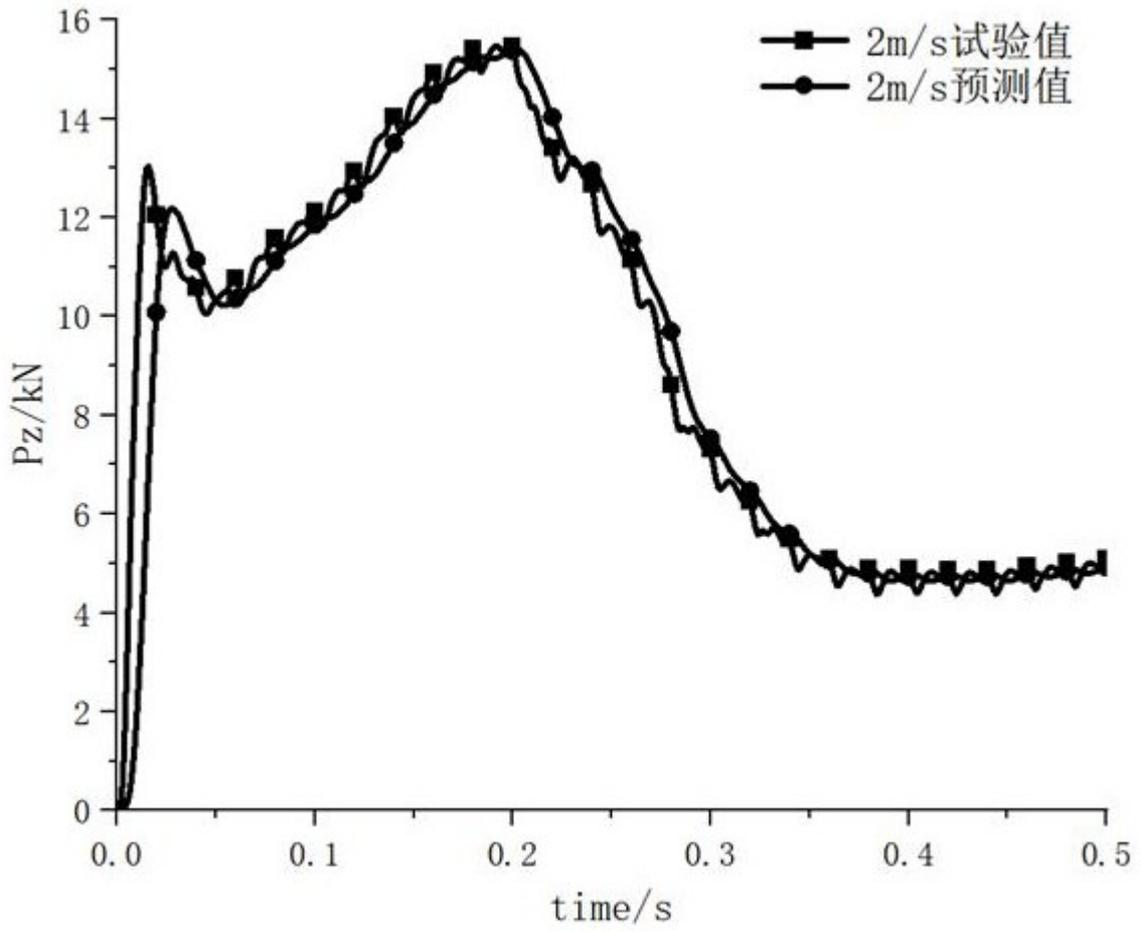


图 5

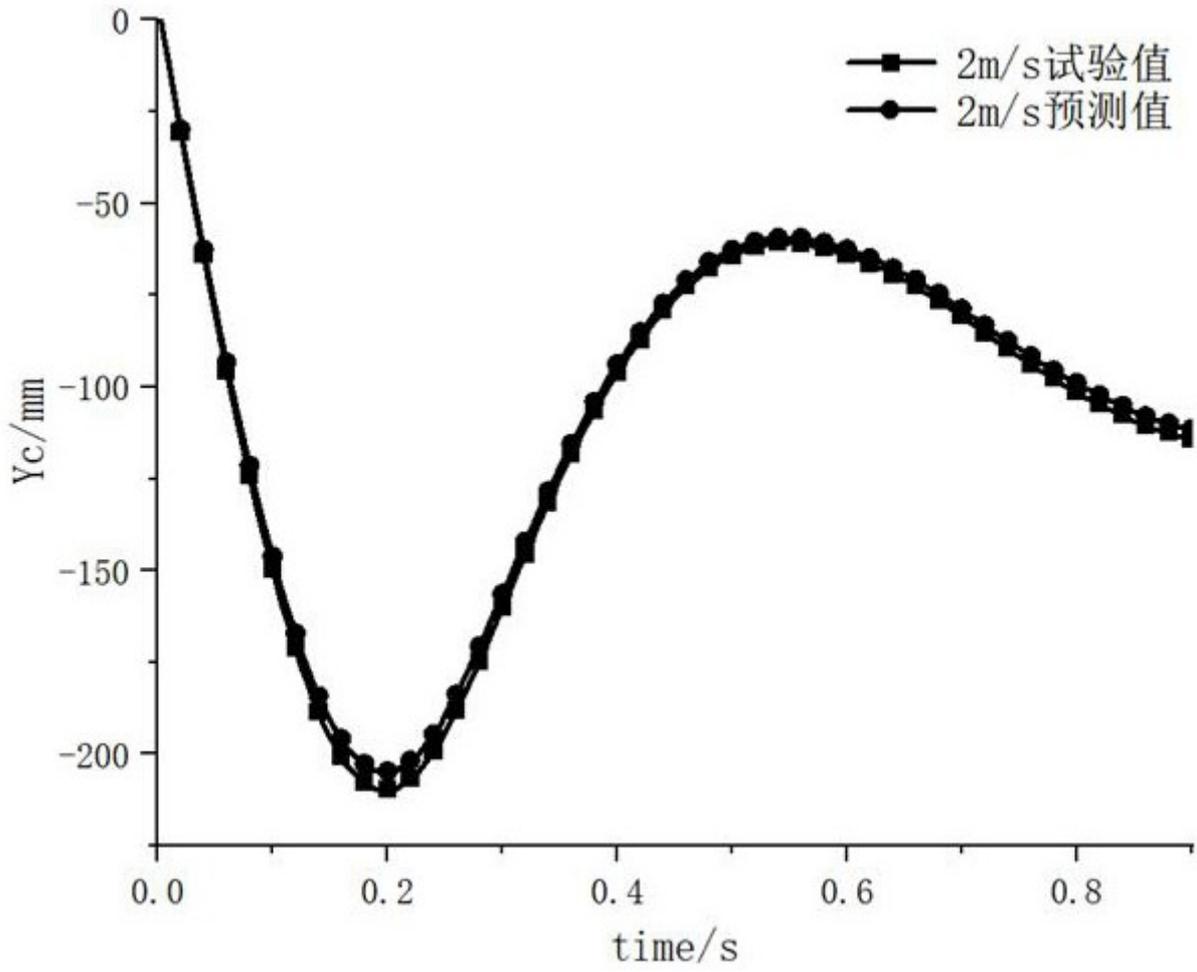


图 6

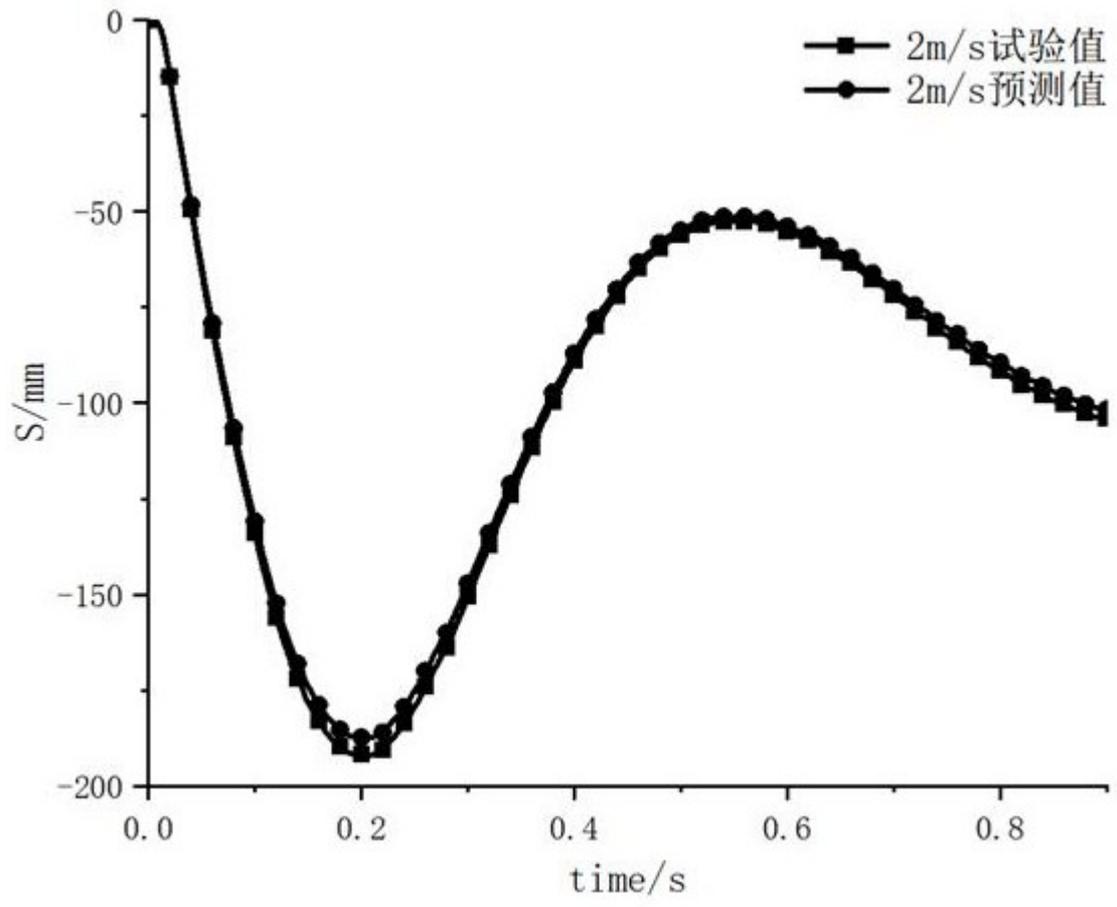


图 7