



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113137948 A

(43) 申请公布日 2021.07.20

(21) 申请号 202110380948.4

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2021.04.09

G01C 5/00 (2006.01)

(71) 申请人 山东省路桥集团有限公司

地址 250021 山东省济南市槐荫区经五路
330号

申请人 山东建筑大学

(72) 发明人 张建彪 赵全满 马加存 胡文军

栗虎 刘建树 崔亚军 周浩

刘性锋 梁广山 曹怀伟 李世堂

徐化宾 陈立民 代飞舟 王永成

段淑云

(74) 专利代理机构 济南泉城专利商标事务所

37218

代理人 纪艳艳

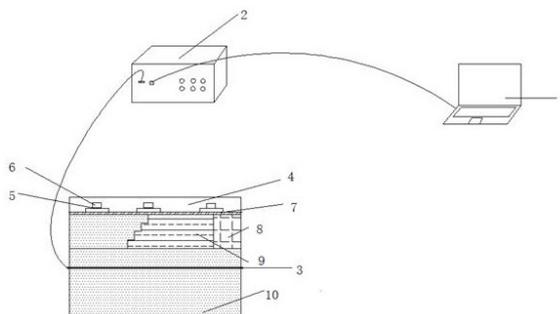
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱
试验系统及评价方法

(57) 摘要

本发明提供了一种监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统及评价方法。监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统,包括终端设备、光纤光栅解调仪、光纤和模型箱,模型箱内按照实体工程进行比例缩小后进行铺筑试验路桥过渡段结构,试验路桥过渡段结构上设置加载单元,光纤贯穿模型箱,光纤连接光纤光栅解调仪输入端,光纤光栅解调仪输出端连接终端设备。本发明提供的评价方法是通过设计模型箱试验,获得路桥过渡段不同位置处的沉降数据,结合路桥过渡段足尺模型及缩尺模型沉降数值计算所建立相关关系,提出以缩尺室内试验路基沉降数据评价实体工程路基沉降的评价方法,以此研究实体工程沉降分布及变化规律。



1. 一种监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统,其特征在于:包括终端设备(1)、光纤光栅解调仪(2)、光纤(3)和模型箱(4),模型箱(4)内按照实体工程进行比例缩小后进行铺筑试验路桥过渡段结构,试验路桥过渡段结构上设置加载单元,光纤(3)贯穿模型箱(4),光纤(3)连接光纤光栅解调仪(2)输入端,光纤光栅解调仪(2)输出端连接终端设备(1)。

2. 根据权利要求1所述监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统,其特征在于:路桥过渡段结构整体横断面为梯形结构,包括路基土层、模拟桥台、水稳铣刨料段和沥青混合料层,台背回填料采用水稳铣刨料,模拟桥台和路基土层之间设置水稳铣刨料段,水稳铣刨料段与模拟桥台交界处为平面结构,水稳铣刨料段与路基土层之间交界处为阶梯结构。

3. 根据权利要求2所述监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统,其特征在于:加载单元包括钢板(5)和砝码(6),在模拟桥台与台背回填料交界处、台背回填料与路基土层交界处以及路基土层处均设置钢板(5),钢板(5)上设置砝码(6)。

4. 根据权利要求1或2或3所述监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统,其特征在于:模型以角钢为骨架,四周为无色透明的有机玻璃板,在角钢与有机玻璃板之间设置橡胶垫层。

5. 一种权利要求3所述监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统,其特征在于:其制备方法包括以下步骤:

步骤1:准备好模型箱,在模型箱(4)底部填筑一定量的路基土;

步骤2:将光纤在其弹性范围内预拉一定的应变以保证其收敛性,将光纤穿过模型箱(4)的两端小孔,在其上掩埋路基土并进行压实,进而填筑水稳铣刨料,其上填筑沥青混合料;

步骤3:材料铺筑完成后,在模拟桥台与台背回填料交界处、台背回填料与路基土层交界处以及路基土层处分别放置三块钢板,在钢板上逐级添加砝码(6)以施加荷载;

步骤4:将光纤(3)连接光纤光栅解调仪(2)输入端,光纤光栅解调仪(2)输出端连接终端设备(1)。

6. 一种路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱监测系统的评价方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:利用Abaqus有限元软件按照实体工程尺寸建立数值模型,进行有限元分析,计算路基中心线位置即钻孔位置的沉降量;

步骤2:利用式(1)进行拟合,并利用Origin软件对数值计算结果及式(1)拟合结果进行残差分析,进而评价拟合结果的准确性;

$$y=A*\exp(-x/B)+C \quad (1)$$

式中:X为沉降观测点路基到桥台的距离;

Y为路基沉降量;

A、B、C为拟合参数;

步骤3:利用Abaqus有限元软件将实体工程缩小20倍进行数值模拟计算,计算路基中心线位置即钻孔位置7沉降量;

步骤4:利用式(1)进行拟合,并利用Origin软件对数值计算结果及式(1)拟合结果进行

残差分析,进而评价拟合结果的准确性;

步骤5:对比数值计算足尺沉降曲线与缩尺20倍沉降曲线得到两者之间的变化规律,建立相关关系,提出以缩尺试验沉降监测结果评价实体工程沉降特性的方法;

步骤6:结合模型箱试验系统,制备缩尺20倍的模型试验箱,使用砝码堆载法进行加载,利用光纤光栅监测获得路基相应位置的沉降数据,分析其沉降发展规律,结合步骤4提出的“缩尺模型和足尺模型沉降数据相关关系”评价实体工程路桥过渡段沉降进而得出实体工程路基沉降发展规律。

监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统及评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统及评价方法，属于高速公路路桥过渡段差异沉降控制技术领域。

背景技术

[0002] 随着我国经济的快速发展，交通量呈“爆炸式”增长，大量高速公路需要进行改扩建，然而由于我国耕地资源紧张，目前我国道路加宽以原路基的拓宽为主。在路基拓宽过程中，往往需要对硬路肩进行挖除，产生了大量的水泥稳定类基层铣刨料（简称“水稳铣刨料”），在以往的工程实际中，往往将其废弃，不仅浪费资源，而且污染环境。与此同时，路桥过渡段不均匀沉降问题目前仍是道路建设中的重大工程难题，其产生将严重影响行车舒适及安全。将水泥稳定铣刨料作为台背回填材料，可以有效解决路桥过渡段的多重问题。首先，水泥稳定铣刨料几乎不产生可压缩变形，可有效减少其与桥台的差异沉降；其次，水泥稳定铣刨料作为半刚性材料，其刚度介于桥台刚性材料和路基柔性材料之间，实现了材料由刚性-半刚性-柔性的合理过渡，路基结构更合理，行车更舒适；最后，实现了废旧水稳铣刨料的再利用，不仅节约资源，而且减少材料废弃时的环境污染。

[0003] 目前，路桥过渡段沉降监测以现场监测为主，常用方法为沉降板法、分层沉降法等，但是，现场监测“成活率”低，精度差，不仅耗费了大量的人力、物力、财力，而且相关设备的布设对施工造成极大的干扰，影响施工质量，亟需开发一种新型沉降监测方法以替代现有常规现场监测方法。本专利拟开发一种不均匀沉降的室内模型箱试验系统及其评价方法。

[0004] 在室内模型箱试验系统研发及沉降监测时，考虑其尺寸效应、精度要求等，传统的监测方法如沉降板法、分层沉降法等不再适用。光纤光栅传感器是一种精度高、易安装、方便、快捷的新型位移传感器，目前已广泛应用于航天、民用工程结构、土木水利、医学等多个领域，因而将光纤光栅传感器用于路基沉降监测是可行的。此外，室内模型箱是一种缩尺试验，外部荷载及自重作用下其沉降量及发展规律与现场实体工程沉降存在一定的差异，亟需提出一种评价方法以建立缩尺模型试验路基沉降与路桥过渡段实体工程路基沉降的定量关系，进而以室内模型试验沉降监测数据评价实体工程路基沉降发展规律。

发明内容

[0005] 本发明目的是提供了一种监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统及评价方法。

[0006] 本发明为实现上述目的，通过以下技术方案实现：

一种监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统，包括终端设备、光纤光栅解调仪、光纤和模型箱，模型箱内按照实体工程进行比例缩小后进行铺筑试验路桥过渡段结构，试验路桥过渡段结构上设置加载单元，光纤贯穿模型箱，光纤连接光纤光栅解调仪

输入端,光纤光栅解调仪输出端连接终端设备。

[0007] 所述监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统优选方案,路桥过渡段结构整体横断面为梯形结构,包括路基土层、模拟桥台、水稳铣刨料段和沥青混合料层,模拟桥台和路基土层之间设置水稳铣刨料段,水稳铣刨料段与模拟桥台交界处为平面结构,水稳铣刨料段与路基土层之间交界处为阶梯结构。

[0008] 所述监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统优选方案,加载单元包括钢板和砝码,在模拟桥台与台背回填料交界处、台背回填料与路基土层交界处以及路基土层处均设置钢板,钢板上设置砝码。

[0009] 所述监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统优选方案,模型以角钢为骨架,四周为无色透明的有机玻璃板,在角钢与有机玻璃板之间设置橡胶垫层。

[0010] 一种所述监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统,其制备方法包括以下步骤:

步骤1:准备好模型箱,在模型箱底部填筑一定量的路基土;

步骤2:将光纤在其弹性范围内预拉一定的应变以保证其收敛性,将光纤穿过模型箱的两端小孔,在其上掩埋路基土并进行压实,进而填筑水稳铣刨料,其上填筑沥青混合料;

步骤3:材料铺筑完成后,在模拟桥台与台背回填料交界处、台背回填料与路基土层交界处以及路基土层处分别放置三块钢板,在钢板上添加砝码;

步骤4:将光纤连接光纤光栅解调仪输入端,光纤光栅解调仪输出端连接终端设备。

[0011] 一种路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱监测系统的评价方法,包括以下步骤:

步骤1:利用Abaqus有限元软件按照实体工程尺寸建立数值模型,进行有限元分析,计算路基中心线位置即钻孔位置的沉降量;

步骤2:利用式(1)进行拟合,并利用Origin软件对数值计算结果及式(1)拟合结果进行残差分析,进而评价拟合结果的准确性;

$$y=A*\exp(-x/B)+C \quad (1)$$

式中:X为沉降观测点路基到桥台的距离;

Y为路基沉降量;

A、B、C为拟合参数;

步骤3:利用Abaqus有限元软件将实体工程缩小20倍进行数值模拟计算,计算路基中心线位置即钻孔位置沉降量;

步骤4:利用式(1)进行拟合,并利用Origin软件对数值计算结果及式(1)拟合结果进行残差分析,进而评价拟合结果的准确性;

步骤5:对比数值计算足尺沉降曲线与缩尺20倍沉降曲线得到两者之间的变化规律,建立相关关系,提出以缩尺试验沉降监测结果评价实体工程沉降特性的方法。

[0012] 步骤6:结合模型箱试验系统,制备缩尺20倍的模型试验箱,使用堆载法进行加载,利用光纤光栅监测获得路基相应位置的沉降数据,分析其沉降发展规律,结合步骤4提出的“缩尺模型和足尺模型沉降数据相关关系”评价实体工程路桥过渡段沉降进而得出实体工程路基沉降发展规律。

[0013] 本发明的优点在于：

1、本发明提出的以水稳铣刨料为路桥过渡段台背回填材料，该材料是一种半刚性材料，其刚度介于桥台刚性材料和路基柔性材料之间，实现了材料由刚性-半刚性-柔性的合理过渡，路基结构更合理。

[0014] 2、本发明提供的模型箱试验为路桥过渡段不均匀沉降监测问题提供了室内监测分析的可能性，大大减少了现场监测消耗大量人力、物力、财力的问题，显著提高了监测精度，为路桥过渡段不均匀沉降研究提供了一种新的可能。

[0015] 3、本发明提供的无缝钢管光纤与土体耦合性良好，有效减少沉降监测误差，提高监测精度。

[0016] 4、本发明提供的沉降监测装置使用光纤光栅传感器监测路基沉降，原理简单，操作方便，大大提高了监测精度。

[0017] 5、本发明提供的评价方法是通过设计模型箱试验，获得路桥过渡段不同位置处的沉降数据，结合路桥过渡段足尺模型及缩尺模型沉降数值计算所建立相关关系，提出以缩尺室内试验路基沉降数据评价实体工程路基沉降的评价方法，以此研究实体工程沉降分布及变化规律，为实体工程中路桥过渡段不均匀沉降研究带来了极大的便利。

附图说明

[0018] 附图用来提供对本发明的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与本发明的实施例一起用于解释本发明，并不构成对本发明的限制。

[0019] 图1为本发明的监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统结构示意图。

[0020] 图2为本发明实施例的模型箱示意图。

[0021] 图3为本发明中足尺模型路基沉降数值计算结果及拟合曲线图

图4为本发明中足尺寸模型路基沉降数值计算结果与曲线拟合结果残差分析图

图5为本发明中缩尺20倍模型路基沉降数值计算结果及拟合曲线图

图6为本发明中缩尺20倍模型路基沉降数值计算结果与曲线拟合结果残差分析图

图7为本发明中Abaqus有限元软件数值计算模型

其中1.终端设备,2.光纤光栅解调仪,3.无缝钢管光纤,4.有机玻璃模型箱,5.钢板,6.砝码,7.模型箱钻孔。

具体实施方式

[0022] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，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他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0023] 参考图1，一种监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统，包括终端设备1、光纤光栅解调仪2、光纤3和模型箱4，模型箱4内按照实体工程进行比例缩小后进行铺筑试验路桥过渡段结构，试验路桥过渡段结构上设置加载单元，光纤3贯穿模型箱4，光纤3连接光纤光栅解调仪2输入端，光纤光栅解调仪2输出端连接终端设备1。

[0024] 本实施例中，路桥过渡段结构整体纵断面为梯形结构，包括路基土层、模拟桥台、

水稳铣刨料段和沥青混合料层,台背回填料采用水稳铣刨料,模拟桥台和路基土层之间设置水稳铣刨料段,水稳铣刨料段与模拟桥台交界处为平面结构,水稳铣刨料段与路基土层之间交界处为阶梯结构。

[0025] 本实施例中,加载单元包括钢板5和砝码6,在模拟桥台与台背回填料交界处、台背回填料与路基土层交界处以及路基土层处均设置钢板5,钢板5上设置砝码6。

[0026] 本实施例中,模型以角钢为骨架,四周为无色透明的有机玻璃板,在角钢与有机玻璃板之间设置橡胶垫层。

[0027] 一种所述监测路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱试验系统,其制备方法包括以下步骤:

步骤1:准备好模型箱,在模型箱4底部填筑一定量的路基土,本实施例中路基土为沙土,填筑厚度约为25cm;

步骤2:将光纤在其弹性范围内预拉一定的应变以保证其收敛性,将光纤穿过模型箱4的两端小孔,在其上掩埋路基土并进行压实,进而填筑水稳铣刨料,其上填筑沥青混合料,水稳铣刨料为京台高速改扩建项目硬路肩水泥稳定类基层铣刨后的旧料掺加3%水泥后再生利用的材料,其7d抗压强度试验结果为3.98MPa,如表1所示,7d劈裂强度试验强度为0.34MPa,如表2所示,其填筑高度约为35cm,其上填筑沥青结合料约为3cm;

表1如下:

无侧限抗压强度试验记录表					
混合料名称	水稳铣刨料	试件尺寸 (cm)	Φ150mm×150mm	最大干密度 (g/cm ³)	2.285
养生龄期 (d)	7	加载速率 (mm/min)	1mm/min	结合料试剂 (%)	3%水泥
试件号	1	2	3	4	5
试件制备方法	压力机压实				
制备日期	2020.10.16				
试验的最大压力 P(N)	70123.0	73660.0	55750.0	72910.0	64540.0
无侧限抗压强度 Rc(MPa)	3.97	4.17	3.16	4.13	3.65
平均值 (MPa)	3.98				

表2如下:

混合料名称	水稳铣刨料	试件尺寸 (cm)	$\Phi 150\text{mm} \times 150\text{mm}$	最大干密度 (g/cm ³)	2.285
养生龄期 (d)	7	加载速率 (mm/min)	1mm/min	结合料试剂 (%)	3%水泥
试件号	1	2	3	4	5
试件制备方法	压力机压实				
制备日期	2020.11.12				
试验的最大压力 P(N)	9923.1	11324.5	13467.5	16090.2	9810.8
劈裂强度 Ri(MPa)	0.28	0.32	0.38	0.45	0.27
平均值 (MPa)	0.33				

表3如下

材料类型	弹性模量 E(MPa)	泊松比 μ	渗透系数 k (m/d)	摩擦角 ϕ (°)	密度 ρ (kg/m ³)
沥青混合料	1500	0.35	1.0	—	1250
水泥稳定类铣刨料	3500	0.30	1.0	20	2280
砂土	50	0.25	0.4	16	2100

步骤3:材料铺筑完成后,在模拟桥台与台背回填料交界处、台背回填料与路基土层交界处以及路基土层处分别放置三块钢板,钢板的尺寸为10cm×10cm×1cm,在钢板上添加砝码6进行路基加载,进而分析路基沉降量,模型试验示意图见图1,模型箱示意图见图2,材料填筑完之后,使用堆载法进行加载,将三个钢板及砝码分别置于如图1所示的三个位置进行加载;

步骤4:将光纤3连接光纤光栅解调仪2输入端,光纤光栅解调仪2输出端连接终端设备1;

步骤5:观察一段时间后等待模型箱内产生沉降变化引起光纤的形变,光纤将产生形变的波长传递到光纤光栅解调仪2,光纤光栅解调仪2对波长进行分析,并将分析结果传递到终端设备1进行沉降结果的分析。

[0028] 6. 一种路桥过渡段不均匀沉降的室内模型箱监测系统的评价方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1: 利用Abaqus有限元软件按照实体工程尺寸 (20m×14m×14m) 建立数值模型,进行有限元分析,计算路基中心线位置即钻孔位置的沉降量,模型图及材料参数表分别见图7和表3,进行有限元分析,计算路基中心线位置(即图2钻孔位置)的沉降量,结果如图3所示;

步骤2:利用式(1)进行拟合,并利用Origin软件对数值计算结果及式(1)拟合结果进行残差分析,结果如图4所示,进而评价拟合结果的准确性;

$$y=A*\exp(-x/B)+C \quad (1)$$

式中: X 为沉降观测点路基到桥台的距离;

Y 为路基沉降量;

A 、 B 、 C 为拟合参数;

步骤3: 利用Abaqus有限元软件将实体工程缩小20倍(1.00m×0.70m×0.70m)进行数值模拟计算, 计算路基中心线位置即钻孔位置7沉降量, 结果如图5所示。

[0029] 步骤4: 利用式(1)进行拟合, 并利用Origin软件对数值计算结果及式(1)拟合结果进行残差分析, 结果如图6所示, 进而评价拟合结果的准确性;

步骤5: 对比数值计算足尺沉降曲线与缩尺20倍沉降曲线得到两者之间的变化规律, 建立相关关系, 提出以缩尺试验沉降监测结果评价实体工程(足尺模型)沉降特性的方法;

步骤6: 结合模型箱试验系统, 制备缩尺20倍的模型试验箱, 使用砝码堆载法进行加载, 利用光纤光栅监测获得路基相应位置的沉降数据, 分析其沉降发展规律, 结合步骤4提出的“缩尺模型和足尺模型沉降数据相关关系”评价实体工程路桥过渡段沉降进而得出实体工程路基沉降发展规律。

[0030] 最后应说明的是: 以上所述仅为本发明的优选实施例而已, 并不用于限制本发明, 尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明, 对于本领域的技术人员来说, 其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改, 或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

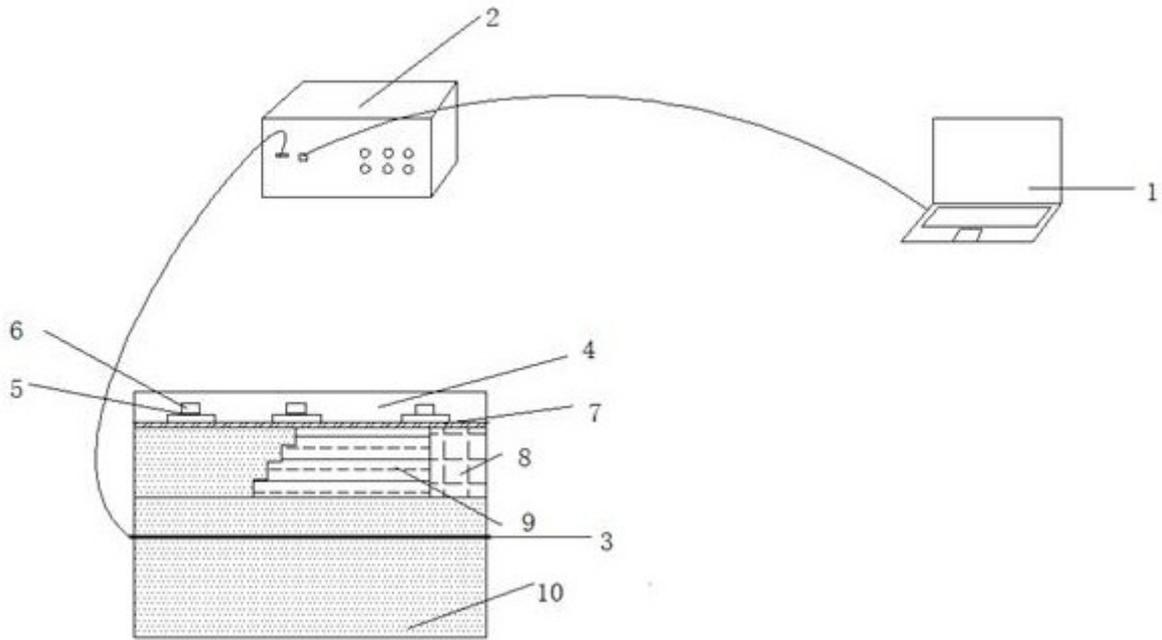


图1

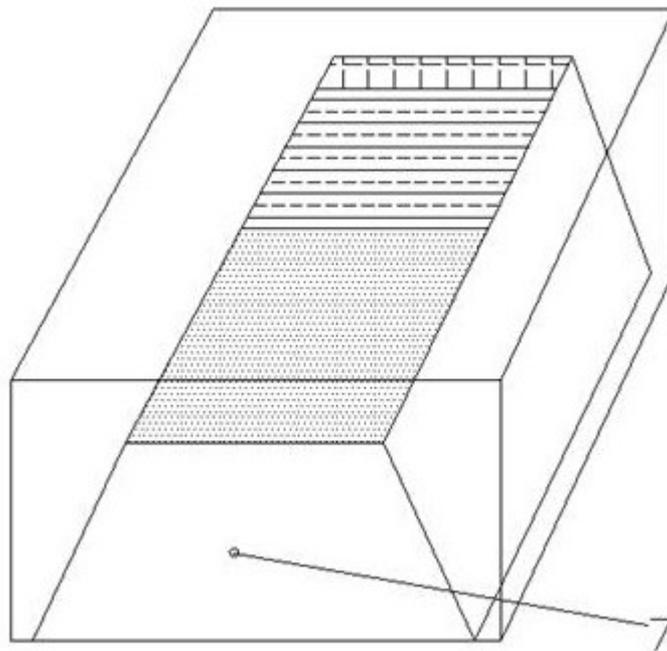


图2

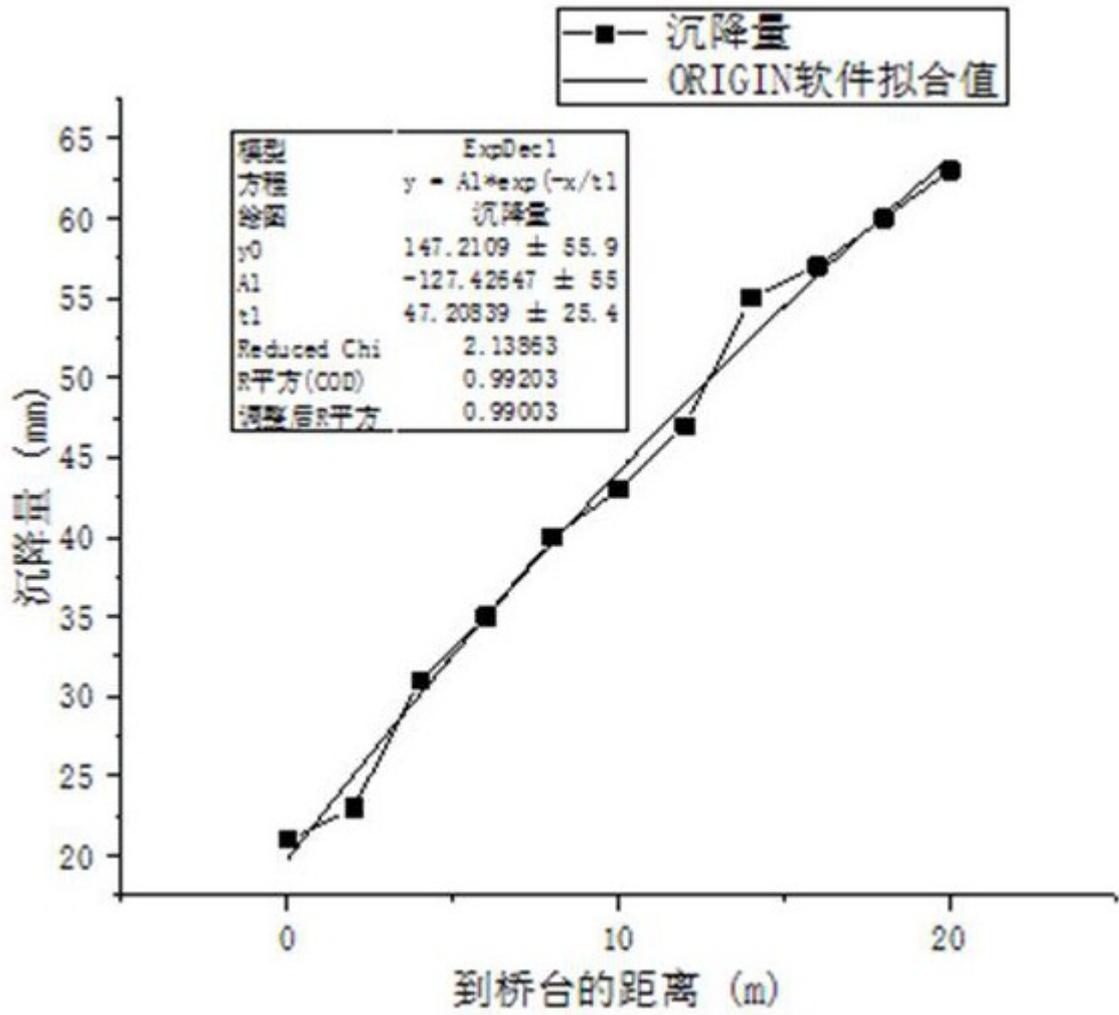


图3

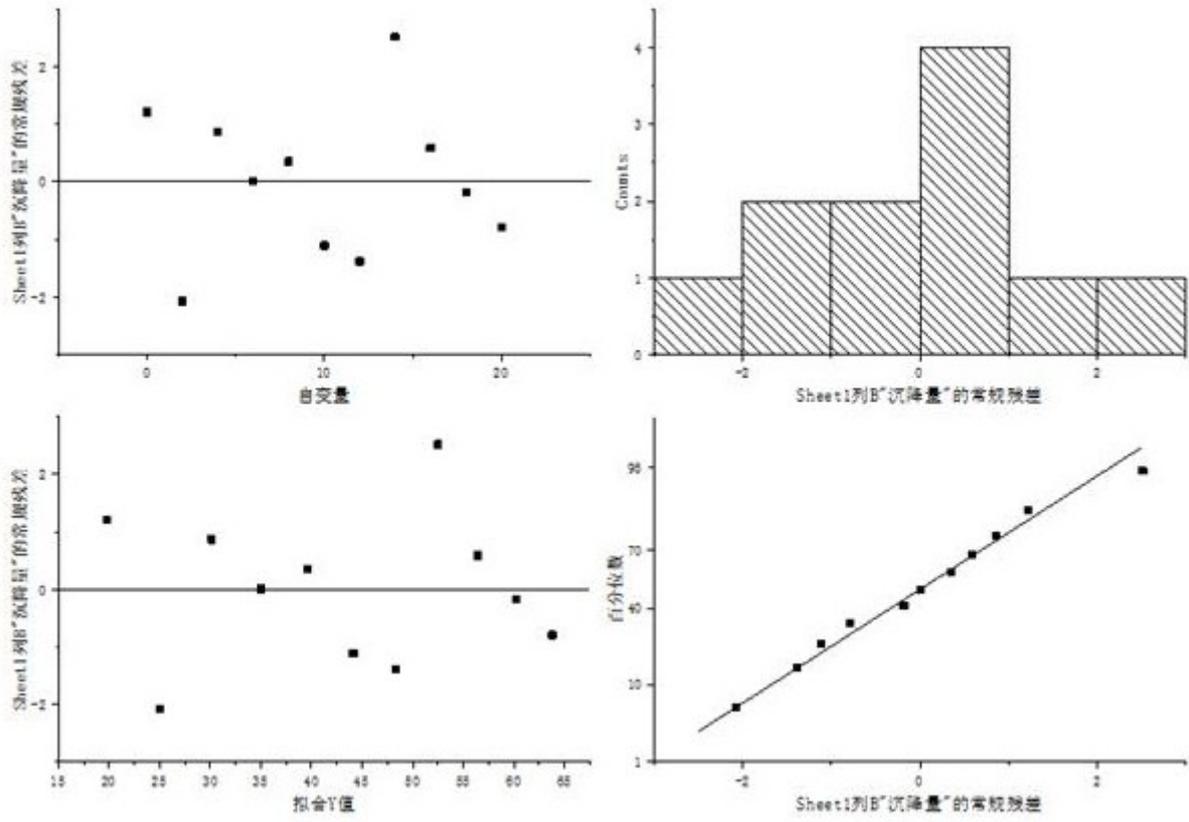


图4

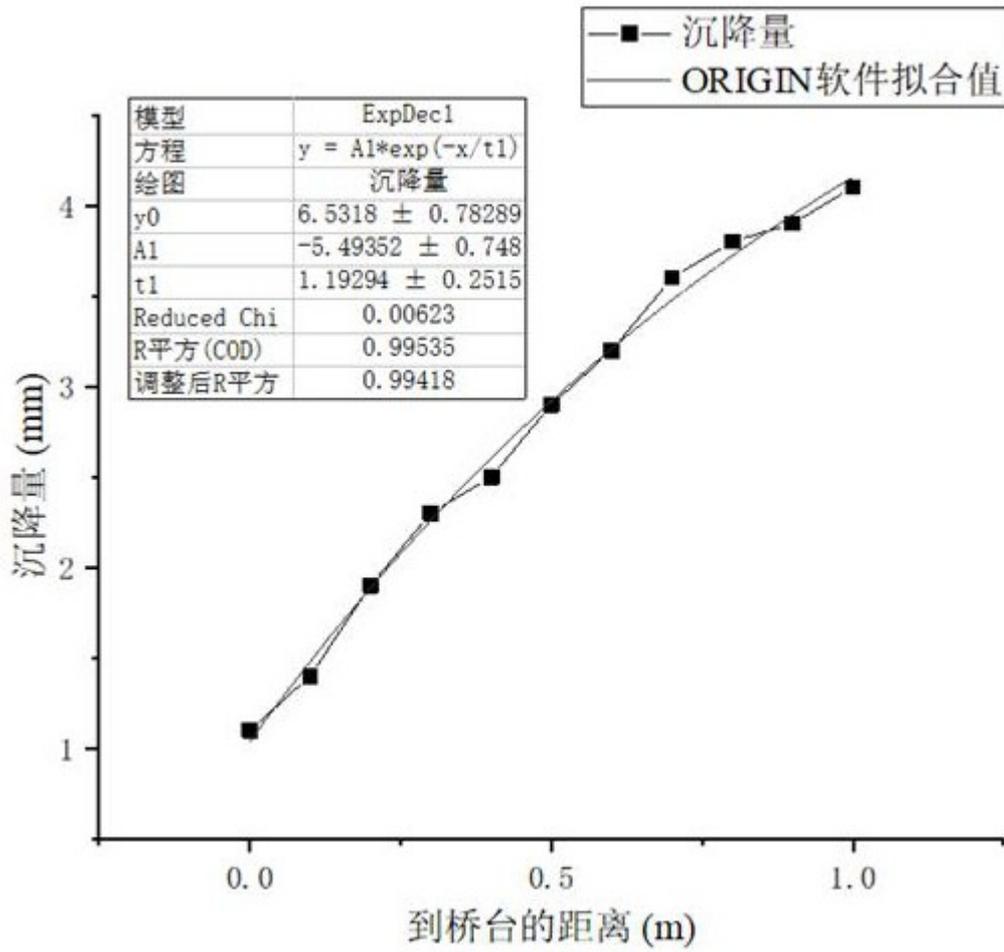


图5

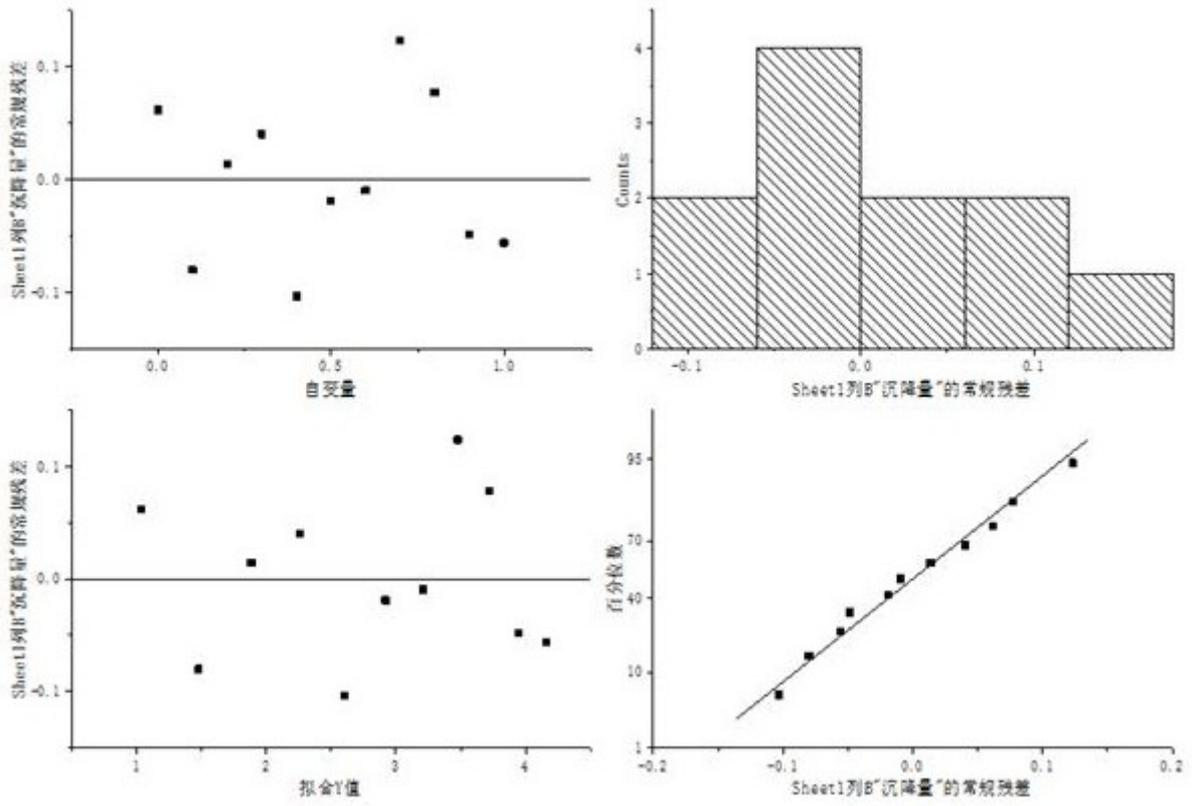


图6

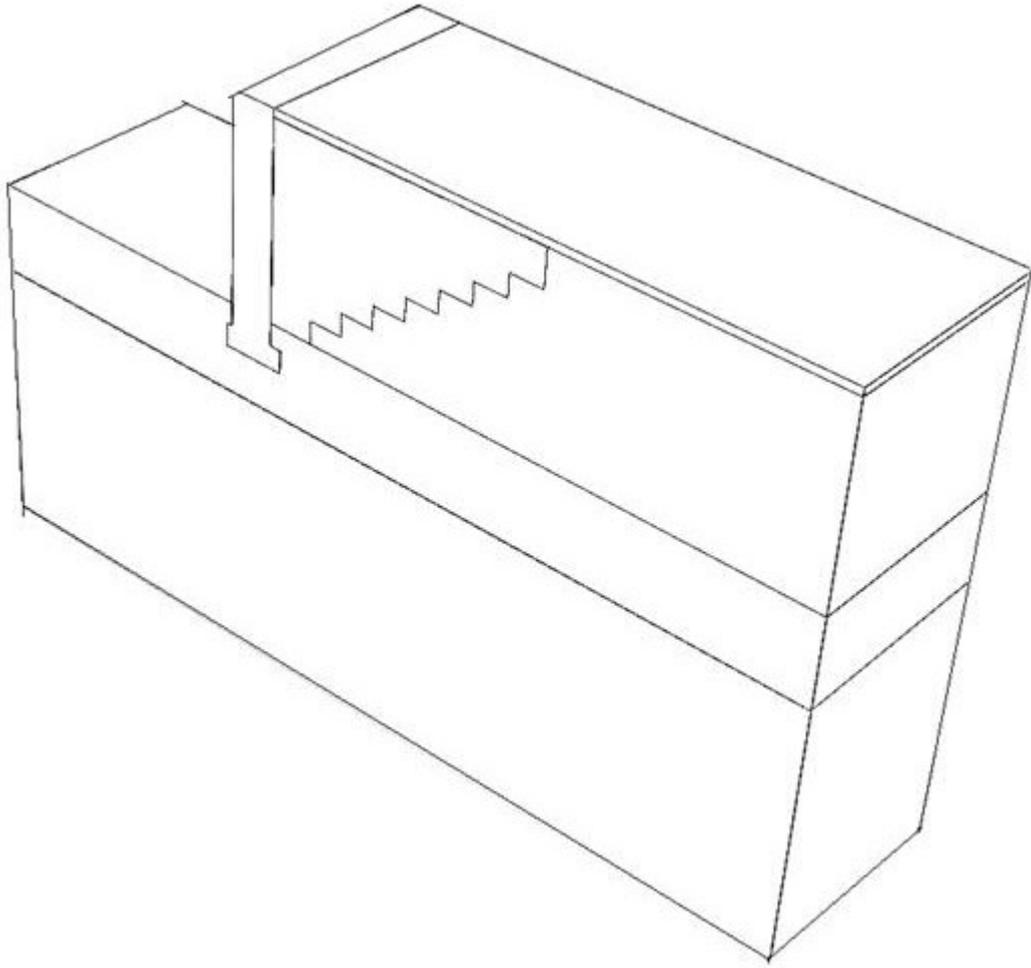


图7