



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108645676 B

(45)授权公告日 2020.07.14

(21)申请号 201810545641.3

CN 101788442 A,2010.07.28

(22)申请日 2018.05.25

CN 103364457 A,2013.10.23

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 107515291 A,2017.12.26

申请公布号 CN 108645676 A

WO 2014205581 A1,2014.12.31

WO 2005076908 A2,2005.08.25

(43)申请公布日 2018.10.12

JP 4924557 B2,2012.04.25

(73)专利权人 吉林建筑大学

王俐.不同初始含水率红砂岩冻融损伤的试验研究及其机理分析.《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 工程科技II辑》.2007,(第02期),C038-189.

地址 130000 吉林省长春市新城大街5088号

专利权人 吉林大学

李栋国.超声波技术在冻融土中的应用研究.《建材发展导向》.2017,第15卷第44-45页.

(72)发明人 张互助 刘寒冰 高春妹 王静

张熙颖 董伟智 刘忠根 朱春风

王静.季冻区路基土冻融循环后力学特性研究及微观机理分析.《中国博士学位论文全文数据库》.2012,全文.

(74)专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

代理人 王戈

何静科.冻融循环对路基土物理力学性质影响分析.《工程与试验》.2013,第53卷(第03期),第49-53页. (续)

(51)Int.Cl.

G01N 1/28(2006.01)

(续)

(56)对比文件

CN 106918629 A,2017.07.04

CN 103389314 A,2013.11.13

审查员 张哲

权利要求书2页 说明书11页 附图9页

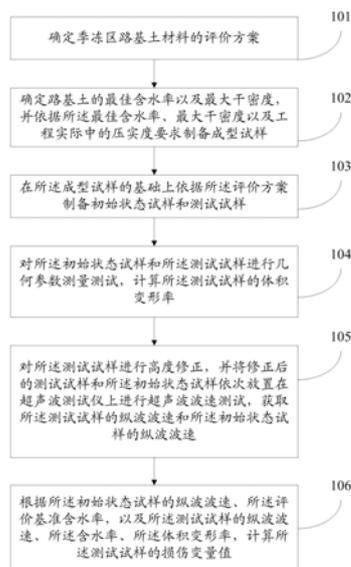
(54)发明名称

基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法

反映其损伤机制。

(57)摘要

本发明公开了一种基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,该方法包括:在符合路基土要求的成型试样基础上依据评价方案制备初始状态试样和测试试样;初始状态试样为未经历冻融循环作用以及湿度处于评价基准含水率的土样;测试试样为经历冻融循环作用以及湿度处于测试要求含水率的土样;对初始状态试样和测试试样均进行几何参数测量、超声波波速测试,获取测试试样体积变形率以及测试试样和初始状态试样的纵波波速,并依据初始状态试样的纵波波速和含水率,测试试样的纵波波速、含水率、体积变形率,计算测试试样的损伤变量。因此,本发明提供的方法无需进行破坏性试验,能够准确、全面、无损的评定土体损伤程度并



CN 108645676 B

[接上页]

(51) Int.Cl.

G01N 1/42(2006.01)

G01N 25/00(2006.01)

G01N 29/07(2006.01)

(56)对比文件

ZHANG Huzhu. Investigation of the effect.《Functional Materials》.2017,第24卷(第2期),第290 - 297页.

张明.基于三轴压缩试验的岩石统计损伤本构模型.《岩土工程学报》.2013,第35卷(第11期),第1695-1671页.

杜海.应变率和含水率对冻土破坏应变能密度影响特性试验.《工程地质学报》.2015,第38-42页.

Martin Christ. Ultrasonic technique as tool for determining physical and mechanical properties of.《Cold Regions Science and Technology》.2009,第58卷第136-142页.

ZHU ZhiWu. A constitutive model of frozen soil with damage and numerical.《Physics, Mechanics & Astronomy》.2010,第53卷(第04期),第699-711页.

唐江涛.冻融循环作用下岩石的损伤研究.《科学技术与工程》.2016,第16卷(第27期),第101-105页.

刘泉声.岩体冻融疲劳损伤模型与评价指标研究.《岩石力学与工程学报》.2015,第34卷(第06期),第1116-1127页.

1. 一种基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,其特征在于,所述季冻区路基土材料损伤检测与评价方法包括:

确定季冻区路基土材料的评价方案;所述评价方案包括湿度和冻融循环次数;所述湿度包括处于评价基准含水率状态的湿度以及测试时所要求的含水率状态下的湿度;

确定路基土的最佳含水率以及最大干密度,并依据所述最佳含水率、最大干密度以及工程实际中的压实度要求制备成型试样;

在所述成型试样的基础上依据所述评价方案制备初始状态试样和测试试样;所述初始状态试样为未经历冻融循环作用以及湿度处于评价基准含水率状态的土样;所述测试试样为经历冻融循环作用以及湿度处于测试时所要求的含水率状态的土样;所述测试试样的湿度是变化的;

对所述初始状态试样和所述测试试样进行几何参数测量测试,计算所述测试试样的体积变形率;

对所述测试试样进行高度修正,并将修正后的测试试样和所述初始状态试样依次放置在超声波测试仪上进行超声波波速测试,获取所述测试试样的纵波波速和所述初始状态试样的纵波波速;

根据所述初始状态试样的纵波波速、所述评价基准含水率,以及所述测试试样的纵波波速、所述含水率、所述体积变形率,计算所述测试试样的损伤变量值,具体包括:

根据以下公式计算所述测试试样的损伤变量值;所述公式为:

$$D = 1 - \frac{(1 + w')V_P'^2}{(1 + \eta_V)(1 + w_0)V_{0P}^2};$$

D为测试试样的损伤变量值;w'为测试试样的含水率;

V'_P 为测试试样的纵波波速; η_V 为测试试样的体积变形率; w_0 为初始状态试样的评价基准含水率; V_{0P} 为初始状态试样的纵波波速。

2. 根据权利要求1所述的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,其特征在于,所述季冻区路基土材料损伤检测与评价方法还包括:

更改所述评价方案的冻融循环次数;

计算冻融循环次数更改后的测试试样的损伤变量值。

3. 根据权利要求2所述的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,其特征在于,所述季冻区路基土材料损伤检测与评价方法还包括:

更改所述评价方案中测试时所要求的含水率状态下的湿度;

计算湿度更改后的测试试样的损伤变量值。

4. 根据权利要求3所述的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,其特征在于,所述季冻区路基土材料损伤检测与评价方法还包括:

依据所述测试试样的损伤变量值、所述冻融循环次数更改后的测试试样的损伤变量值、以及所述湿度更改后的测试试样的损伤变量值,用于评定季冻区路基土材料的损伤状况。

5. 根据权利要求1所述的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,其特征在于,所述确定路基土的最佳含水率以及最大干密度,具体包括:

选取拟进行损伤检测与评价的典型土样；

对所述典型土样进行路基土工程指标试验，确定符合所述路基土工程指标的土样；所述路基土工程指标包括液限、塑限、塑性指数、颗粒组成、含水率以及加州承载比；

采用重型击实试验，确定所述符合路基土工程指标的土样的最佳含水率和最大干密度。

6. 根据权利要求5所述的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法，其特征在于，所述依据所述最佳含水率、最大干密度以及工程实际中的压实度要求制备成型试样，具体包括：

获取路基土工程实际中要求的压实度；

根据所述压实度、所述最佳含水率和所述最大干密度，计算制备成型试样时所需土样的质量以及加水量；

根据所述成型试样所需土样的质量以及加水量，称取所述土样和加水量，并放置于不吸水的拌和容器内，拌和均匀，密封浸润24h；

密封浸润24h后，逐个称取混合土样的用料量并分三层装进配有上、下压头的试模内，并使用制件脱模一体机成型与脱模，用塑料薄膜密封成型试样备用。

7. 根据权利要求1所述的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法，其特征在于，所述在所述成型试样的基础上依据所述评价方案制备初始状态试样和测试试样，具体包括：

在所述成型试样的基础上，对所述成型试样进行增湿或者风干试验以使试样达到所述评价方案中的湿度状态所对应的含水率，得到初始状态试样以及湿度变化的试样；

对所述湿度变化的试样进行冻融循环试验，达到所述评价方案中冻融循环次数后停止，得到测试试样。

8. 根据权利要求7所述的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法，其特征在于，所述在所述成型试样的基础上，对所述成型试样进行增湿或者风干试验以使试样达到所述评价方案中的湿度状态所对应的含水率，具体包括：

在所述成型试样的基础上，对所述成型试样进行增湿或者风干试验，并采用称重法对增湿或者风干过程中试样进行不定期称重，达到所述评价方案中要求湿度状态对应的含水率时停止增湿或者风干试验，并用塑料薄膜包覆严密后密封，放入恒湿箱养护24h以上。

9. 根据权利要求7所述的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法，其特征在于，所述对所述测试试样进行高度修正，具体包括：

对所述初始状态试样和所述测试试样进行几何参数测量测试，计算所述测试试样的线性变形率；

根据所述测试试样的线性变形率，对所述测试试样进行高度修正。

基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及道路建设材料检测技术领域,特别涉及一种基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法。

背景技术

[0002] 季冻区是指地表层土冬季冻结、夏季全部融化的地区。中国季冻区的分布面积为 $5.137 \times 10^6 \text{km}^2$,遍布华北、东北、西北、西南以及华东等地区的10余个省份,约占中国国土陆地面积的53.5%。对于季冻区路基工程而言,路基土要经受因昼夜温差和季节气候变化而引起的冻融循环作用以及因外部水文和水文地质条件改变而引起的路基湿度变化等因素的影响。在冻融循环作用、湿度变化等外界环境的影响下,路基工程使用性能和耐久性降低的本质为路基压实土在外界环境扰动下的损伤累积效应,那么,准确并快速评定其在各种影响因素作用下的损伤状况,成为季冻区路基填料选择、路用性能评价以及保证使用质量的关键工作。因此,土体的损伤检测与评价成为季冻区路基土的重要研究内容。从目前的研究情况来看,通常的做法是对经历冻融循环作用和湿度变化影响的土样进行室内破坏性试验,利用不同因素影响下的力学性质参数定义和计算损伤变量以进行土体的损伤评价。这种方法虽然操作简单,能直观地反映土体在各种影响因素作用下的损伤劣化程度,但是评价结果会因所采用试验方法和条件的不同而产生较大差异,同时需要准备大量的试验试样以通过二次损伤获取相关的力学参数;另外,由于缺乏相应的理论基础,无法反映计算参数与土体损伤内在机制的有机联系。

[0003] 超声波检测技术作为一种新型的无损检测技术,在金属材料缺陷检测、岩体完整性评价以及混凝土强度评定等领域得到了广泛的应用。由于具有价格低廉、快速简便和全程无损等优势,近年来,超声波无损检测技术越来越多地受到有关道路和岩土工作者的关注。截至目前,超声波检测技术在土体研究方面的应用多集中于探讨其物理力学性质参数以及微观结构特征与超声波声学参数之间的关系,也有部分学者利用纵波波速定义了膨胀土在干湿循环作用下的疲劳损伤变量,但缺乏明确的物理意义和理论基础。而且,路基土是一个由土颗粒固体、水和气体组成的复杂三相体系,在冻融循环和湿度变化等外界因素的综合作用下,除了波速会发生改变之外,土体含水率以及几何变形参数等必然也会随之变化。因此,如果仅用波速来定义其损伤变量,将无法准确、全面地评定土体损伤程度并反映其损伤机制。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,能够准确、全面、无损的评定土体损伤程度并反映其损伤机制。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0006] 一种基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,所述季冻区路基土材料损伤检测与评价方法包括:

[0007] 确定季冻区路基土材料的评价方案;所述评价方案包括湿度和冻融循环次数;所述湿度包括处于评价基准含水率状态的湿度以及测试时所要求的含水率状态下的湿度;

[0008] 确定路基土的最佳含水率以及最大干密度,并依据所述最佳含水率、最大干密度以及工程实际中的压实度要求制备成型试样;

[0009] 在所述成型试样的基础上依据所述评价方案制备初始状态试样和测试试样;所述初始状态试样为未经历冻融循环作用以及湿度处于评价基准含水率状态的土样;所述测试试样为经历冻融循环作用以及湿度处于测试时所要求的含水率状态的土样;所述测试试样的湿度是变化的;

[0010] 对所述初始状态试样和所述测试试样进行几何参数测量测试,计算所述测试试样的体积变形率;

[0011] 对所述测试试样进行高度修正,并将修正后的测试试样和所述初始状态试样依次放置在超声波测试仪上进行超声波波速测试,获取所述测试试样的纵波波速和所述初始状态试样的纵波波速;

[0012] 根据所述初始状态试样的纵波波速、所述评价基准含水率,以及所述测试试样的纵波波速、所述含水率、所述体积变形率,计算所述测试试样的损伤变量值。

[0013] 可选的,所述季冻区路基土材料损伤检测与评价方法还包括:

[0014] 更改所述评价方案的冻融循环次数;

[0015] 计算冻融循环次数更改后的测试试样的损伤变量值。

[0016] 可选的,所述季冻区路基土材料损伤检测与评价方法还包括:

[0017] 更改所述评价方案中测试时所要求的含水率状态下的湿度;

[0018] 计算湿度更改后的测试试样的损伤变量值。

[0019] 可选的,所述季冻区路基土材料损伤检测与评价方法还包括:

[0020] 依据所述测试试样的损伤变量值、所述冻融循环次数更改后的测试试样的损伤变量值、以及所述湿度更改后的测试试样的损伤变量值,用于评定季冻区路基土材料的损伤状况。

[0021] 可选的,所述根据所述初始状态试样的纵波波速、所述评价基准含水率,以及所述测试试样的纵波波速、所述含水率、所述体积变形率,计算所述测试试样的损伤变量值,具体包括:

[0022] 根据以下公式计算所述测试试样的损伤变量值;所述公式为:

$$D = 1 - \frac{(1 + w')V_P'^2}{(1 + \eta_V)(1 + w_0)V_{0P}^2}; D \text{ 为测试试样的损伤变量值; } w' \text{ 为测试试样的含水率;}$$

V_P' 为测试试样的纵波波速; η_V 为测试试样的体积变形率; w_0 为初始状态试样的评价基准含水率; V_{0P} 为初始状态试样的纵波波速。

[0023] 可选的,所述确定路基土的最佳含水率以及最大干密度,具体包括:

[0024] 选取拟进行损伤检测与评价的典型土样;

[0025] 对所述典型土样进行路基土工程指标试验,确定符合所述路基土工程指标的土样;所述路基土工程指标包括液限、塑限、塑性指数、颗粒组成、含水率以及加州承载比;

[0026] 采用重型击实试验,确定所述符合路基土工程指标的土样的最佳含水率和最大干

密度。

[0027] 可选的,所述依据所述最佳含水率、最大干密度以及工程实际中的压实度要求制备成型试样,具体包括:

[0028] 获取路基土工程实际中要求的压实度;

[0029] 根据所述压实度、所述最佳含水率和所述最大干密度,计算制备成型试样时所需土样的质量以及加水量;

[0030] 根据所述成型试样所需土样的质量以及加水量,称取所述土样和加水量,并放置于不吸水的拌和容器内,拌和均匀,密封浸润24h;

[0031] 密封浸润24h后,逐个称取混合土样的用料量并分三层装进配有上、下压头的试模内,并使用制件脱模一体机成型与脱模,用塑料薄膜密封成型试样备用。

[0032] 可选的,所述在所述成型试样的基础上依据所述评价方案制备初始状态试样和测试试样,具体包括:

[0033] 在所述成型试样的基础上,对所述成型试样进行增湿或者风干试验以使试样达到所述评价方案中的湿度状态所对应的含水率,得到初始状态试样以及湿度变化的试样;

[0034] 对所述湿度变化的试样进行冻融循环试验,达到所述评价方案中冻融循环次数后停止,得到测试试样。

[0035] 可选的,所述在所述成型试样的基础上,对所述成型试样进行增湿或者风干试验以使试样达到所述评价方案中的湿度状态所对应的含水率,具体包括:

[0036] 在所述成型试样的基础上,对所述成型试样进行增湿或者风干试验,并采用称重法对增湿或者风干过程中试样进行不定期称重,达到所述评价方案中要求湿度状态对应的含水率时停止增湿或者风干试验,并用塑料薄膜包覆严密后密封,放入恒湿箱养护24h以上。

[0037] 可选的,所述对所述测试试样进行高度修正,具体包括:

[0038] 对所述初始状态试样和所述测试试样进行几何参数测量测试,计算所述测试试样的线性变形率;

[0039] 根据所述测试试样的线性变形率,对所述测试试样进行高度修正。

[0040] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

[0041] 本发明提供了一种基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,该方法包括:确定季冻区路基土材料的评价方案;该评价方案包括湿度和冻融循环次数;湿度包括处于评价基准含水率状态的湿度以及测试时所要求的含水率状态下的湿度;确定路基土的最佳含水率以及最大干密度,并依据最佳含水率、最大干密度以及工程实际中的压实度要求制备成型试样;在成型试样的基础上依据评价方案制备初始状态试样和测试试样;初始状态试样为未经历冻融循环作用以及湿度处于评价基准含水率状态的土样;测试试样为经历冻融循环作用以及湿度处于测试时所要求的含水率状态的土样;对初始状态试样和测试试样进行几何参数测量测试,计算测试试样的体积变形率;对测试试样进行高度修正,并将修正后的测试试样和初始状态试样依次放置在超声波测试仪上进行超声波波速测试,获取所述测试试样的纵波波速和所述初始状态试样的纵波波速;根据初始状态试样的纵波波速、评价基准含水率,以及测试试样的纵波波速、含水率、体积变形率,计算测试试样的损伤变量值。因此,本发明提供的方法无需进行破坏性试验,能够准确、全面、无损的评定土体

损伤程度并反映其损伤机制。

附图说明

[0042] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0043] 图1为本发明实施例基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法的流程示意图;

[0044] 图2为本发明试样成型图;

[0045] 图3为本发明风干中的试样图;

[0046] 图4为本发明增湿中的试样图;

[0047] 图5为本发明密封后的试样图;

[0048] 图6为本发明超声波测试仪图;

[0049] 图7为本发明路基土预备试样俯视图;

[0050] 图8为本发明纵波波速测试过程示意图;

[0051] 图9为本发明波速测试试样图;

[0052] 图10为本发明基于弹性模量定义的压实黏土损伤变量-冻融次数关系曲线图;

[0053] 图11为本发明基于弹性模量定义的压实黏土损伤变量-湿度关系曲线图;

[0054] 图12为本发明基于极限强度定义的压实黏土损伤变量-冻融次数关系曲线;

[0055] 图13为本发明基于极限强度定义的压实黏土损伤变量-湿度关系曲线;

[0056] 图14为本发明基于超声波技术的无损检测方法得到的压实黏土损伤变量-冻融次数关系曲线;

[0057] 图15为本发明基于超声波技术的无损检测方法得到的压实黏土损伤变量-湿度关系曲线;

[0058] 图16为本发明压实黏土超声波法与弹性模量法偏差图;

[0059] 图17为本发明压实黏土超声波法与极限强度法偏差图。

具体实施方式

[0060] 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。

[0061] 本发明的目的是提供一种基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,能够准确、全面、无损的评定土体损伤程度并反映其损伤机制。

[0062] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0063] 季冻区路基土超声波检测的基本原理以声波在土体传播过程中的声学参数变化特征与物理力学参数的相关性为基础,由超声波检测仪产生电脉冲激励声波发射换能器产

生一定频率的弹性波,经耦合进入土样并在其内部传播,经过声波与土体的相互作用之后,由声波接收换能器接收并传入超声波检测系统,经处理后即可输出声波在土体中传输时的波速、声幅和波形等声学参数,通过对这些声学参数的分析了解路基土在各种影响因素下的物理力学性质变化特征。

[0064] 因此,本发明以弹性波动理论为基础,综合考虑冻融循环以及湿度变化对路基土的影响,给出了包含纵波波速、含水率和几何变形参数的损伤变量计算表达式,提出了基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法,并采用该方法对本发明所采用的路基土进行损伤检测与评价,探讨其在冻融循环与湿度变化下的损伤演化规律,以期为季冻区路基工程的损伤预测及评价提供依据与参考。

[0065] 图1为本发明实施例基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法的流程示意图。

[0066] 根据季冻区路基压实土主要经受冻融循环作用和湿度变化影响的特点,基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法按照图1所示的流程进行,具体季冻区路基土材料损伤检测与评价方法的步骤如下:

[0067] 步骤101:确定季冻区路基土材料的评价方案;所述评价方案包括评价土体的影响因素以及影响程度,由评价者确定;本发明实施例的所述评价方案包括湿度和冻融循环次数;所述湿度包括处于评价基准含水率状态的湿度以及测试时所要求的含水率状态下的湿度。其中,该评价基准含水率的取值由评价者确定,考虑到损伤变量一般介于0-1的要求,而路基土的力学性质随湿度(含水率)的增加而减小,选取含水率评价区间的最小值作为评价基准值。

[0068] 步骤102:确定路基土的最佳含水率以及最大干密度,并依据所述最佳含水率、最大干密度以及工程实际中的压实度要求制备成型试样。

[0069] 步骤103:在所述成型试样的基础上依据所述评价方案制备初始状态试样和测试试样;所述初始状态试样为未经历冻融循环作用以及湿度处于评价基准含水率状态的土样;所述测试试样为经历冻融循环作用以及湿度处于测试时所要求的含水率状态的土样;所述测试试样的湿度是变化的。

[0070] 步骤104:对所述初始状态试样和所述测试试样进行几何参数测量测试,计算所述测试试样的体积变形率。

[0071] 步骤105:对所述测试试样进行高度修正,并将修正后的测试试样和所述初始状态试样依次放置在超声波测试仪上进行超声波波速测试,获取所述测试试样的纵波波速和所述初始状态试样的纵波波速;其中采用以下方法进行高度修正:对所述初始状态试样和所述测试试样进行几何参数测量测试,计算所述测试试样的线性变形率;根据所述测试试样的线性变形率,对所述测试试样进行高度修正。

[0072] 步骤106:根据所述初始状态试样的纵波波速、所述评价基准含水率,以及所述测试试样的纵波波速、所述含水率、所述体积变形率,计算所述测试试样的损伤变量值。根据以下公式计算所述测试试样的损伤变量值;所述公式为:

$$D = 1 - \frac{(1+w')V_P'^2}{(1+\eta_V)(1+w_0)V_{0P}^2}; D \text{ 为测试试样的损伤变量值; } w' \text{ 为测试试样的含水率;}$$

V_P' 为测试试样的纵波波速; η_V 为测试试样的体积变形率; w_0 为初始状态试样的评价基准含水率; V_{0P} 为初始状态试样的纵波波速。

[0073] 所述季冻区路基土材料损伤检测与评价方法还包括:

[0074] 步骤107:更改所述评价方案的冻融循环次数,并重复步骤103-106,计算冻融循环次数更改后的测试试样的损伤变量值。

[0075] 步骤108:更改所述评价方案的中测试时所要求的含水率状态下的湿度,并重复步骤103-106,计算湿度更改后的测试试样的损伤变量值。

[0076] 步骤109:依据所述测试试样的损伤变量值、所述冻融循环次数更改后的测试试样的损伤变量值、以及所述湿度更改后的测试试样的损伤变量值,评定季冻区路基土在冻融循环作用和湿度变化影响下的损伤状况,得出季冻区路基土的损伤评价结果。一般是探讨路基土材料随湿度(含水率)、冻融循环作用次数的变化规律,这里的体积变形率参数、纵波波速参数和含水率参数是评价方案里每次试验后测试参数的平均值。

[0077] 损伤变量就是反映材料损伤程度的一个指标,损伤变量越大,损伤越严重。当损伤变量为0时,表明材料没有产生损伤;当损伤变量为1时,表明材料完全破坏。也就是说,损伤变量即是材料的损伤评价指标,可直接体现材料的损伤评价结果。

[0078] 本发明中所采用的试样均为直径3.91cm、高8cm的圆柱形试件。综合考虑规范中的路基压实度以及路基施工时的实际控制含水率要求,试样在最佳含水率下按96%压实度采用静力压实法一次成型。

[0079] 其中,步骤102具体包括:

[0080] 试验试样的制备过程为:

[0081] 选取拟进行损伤检测与评价的典型土样。

[0082] 对所述典型土样进行路基土工程指标试验,确定符合所述路基土工程指标的土样;所述路基土工程指标包括液限、塑限、塑性指数、颗粒组成、含水率以及加州承载比等。

[0083] 采用重型击实试验,确定所述符合路基土工程指标的土样的最佳含水率和最大干密度。

[0084] 获取路基土工程实际中要求的压实度。

[0085] 根据所述压实度、所述最佳含水率和所述最大干密度,计算制备成型试样时所需土样的质量以及加水量;风干土为符合路基土工程指标的土样。风干土是经过自然风干的路基土在橡皮板上用木碾碾散并过2mm筛得到的。

[0086] 根据所述成型试样所需土样的质量以及加水量,称取所述土样和加水量,并放置于不吸水的拌和容器内,拌和均匀,密封浸润24h。

[0087] 密封浸润24h后,逐个称取混合土样的用料量并分三层装进配有上、下压头的试模内,并制件脱模一体机成型与脱模,用塑料薄膜密封成型试样备用,成型试样如图2所示。

[0088] 成型试样脱模后用数显游标卡尺和电子天平测量其几何尺寸和质量并计算密度,同一组成型试样的密度与制备标准之差值控制在2%以内。为了模拟无外界水源补给的封闭试验系统,湿度为最佳含水率状态下成型试样直接用塑料薄膜密封备用。

[0089] 步骤103具体包括:如图3和图4所示,在所述成型试样的基础上,对所述成型试样进行增湿或者风干试验以使试样达到所述评价方案中的湿度状态所对应的含水率,得到初始状态试样以及湿度变化的试样。具体是通过室内风干或恒湿箱增湿至预定湿度。

[0090] 试验试样湿度控制采用称重法,即利用电子天平对风干或增湿过程中的试样进行不定期的称重观察,达到预定试验湿度时即停止风干或增湿,并迅速用塑料薄膜包覆严密后密封,其密封后的试样如图5所示,然后放入恒湿箱养护24h以上,以保证试样内部水分的均匀分布。

[0091] 对所述湿度变化的试样进行冻融循环试验,达到所述评价方案中冻融循环次数后停止,得到测试试样。

[0092] 试样的冻融循环试验在高低温交替试验箱内完成,为完全封闭条件下的三向冻融试验,试样冻结与融化过程中的外部环境温度分别采用 -20°C 和 20°C ,冻结与融化时间均设定为24h。

[0093] 图6为本发明超声波测试仪图,将修正后的测试试样和所述初始状态试样依次放置在超声波测试仪上进行超声波波速测试,放置在超声波测试仪内的试样如图6所示。

[0094] 步骤106具体包括:

[0095] 超声波波速是在实践中应用最为普遍的一个声学指标。根据弹性波动理论,物质的纵波波速 V_P 以及横波波速 V_S 与其物理力学参数之间存在如下关系

$$[0096] \quad V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (1);$$

$$[0097] \quad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2);$$

[0098] 式中: ρ 为物质的密度, λ 与 μ 是描述物质弹性性质的系数,二者统称为拉梅系数,可通过试验进行确定。

[0099] 通过推演可以得出,拉梅系数与物质的弹性模量 E 和泊松比 ν 存在如下关系:

$$[0100] \quad \lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (3);$$

$$[0101] \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4);$$

[0102] 将公式(3)和公式(4)代入公式(1)和公式(2)并整理,可得:

$$[0103] \quad V_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (5);$$

$$[0104] \quad V_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (6);$$

[0105] 由上述两式可以看出,从材料力学角度分析,超声波在物质中传输,实质上就是一种高频机械波在物质中的传输。超声波通过的物质内部的每一个微小区域都会产生压缩、剪切或拉伸等应力应变过程,声波波速实质上表征了物质的应力应变状态,直接反映了物质的物理(密度)与力学性质(弹性模量)。这就是本发明利用超声波检测技术进行季冻区路基土检测与评价的理论基础。

[0106] 由于超声波横波波速的测试难度较大,对试验测试人员的操作与经验要求较高,而且测试结果的稳定性也较差。为此,下面将采用纵波波速作为讨论建立季冻区路基土损

伤变量的声学指标。则由公式 (5) 可得：

$$[0107] \quad E = \frac{\rho V_P^2 (1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \quad (7);$$

[0108] 根据损伤变量的定义,有:

$$[0109] \quad D = 1 - \frac{E'}{E_0} \quad (8);$$

[0110] 式中: E_0 和 E' 分别为路基土受各影响因素作用前和作用后的弹性模量。

[0111] 不考虑各影响因素作用下路基土泊松比的变化,则由公式 (7) 和公式 (8) 可得:

$$[0112] \quad D = 1 - \frac{\rho' V_P'^2}{\rho_0 V_{0P}^2} \quad (9);$$

[0113] 式中: ρ_0 、 V_{0P} 为影响因素作用前路基土的湿密度和纵波波速; ρ' 、 V_P' 为影响因素作用后土样的湿密度和纵波波速。

[0114] 而路基土的湿密度与干密度 ρ_d 之间存在如下关系:

$$[0115] \quad \rho = \rho_d (1+w) \quad (10);$$

[0116] 式中: w 为土样的含水率。

[0117] 则由公式 (9) 和公式 (10) 可得:

$$[0118] \quad D = 1 - \frac{\rho_d' (1+w') V_P'^2}{\rho_d (1+w_0) V_{0P}^2} \quad (11);$$

[0119] 式中: ρ_d 、 w_0 为影响因素作用前路基土的干密度和含水率; ρ_d' 、 w' 为影响因素作用后土样的干密度和含水率。

[0120] 而由于干密度的定义,有:

$$[0121] \quad \rho_d = \frac{m_d}{v} \quad (12);$$

[0122] 式中: m_d 、 v 为土样的干质量和体积。

[0123] 将公式 (12) 代入公式 (11), 并考虑到季冻区路基土在冻融循环、湿度等因素的影响下其质量一般不会发生改变,则可整理得出:

$$[0124] \quad D = 1 - \frac{v_0 (1+w') V_P'^2}{v' (1+w_0) V_{0P}^2} \quad (13);$$

[0125] 式中: v_0 、 v' 分别代表影响因素作用前和影响因素作用后土样的体积。

[0126] 为了计算和数据处理的方便,在此引入体积变形率 η_v ,用以表征土样在外界因素影响下的体积变形特征,并将其定义为:

$$[0127] \quad \eta_v = \frac{v' - v_0}{v_0} \times 100\% \quad (14);$$

[0128] 则联合公式 (13) 和公式 (14) 可以得出:

$$[0129] \quad D = 1 - \frac{(1+w') V_P'^2}{(1+\eta_v)(1+w_0) V_{0P}^2} \quad (15);$$

[0130] 公式 (15) 即是基于弹性波动理论和超声波无损检测技术的季冻区路基土在各种

影响因素作用下的统一损伤变量表达式,由公式(15)可以看出,计算公式中包含了土体的纵波波速、含水率和体积变形率3个参量,能够全面、准确的反映路基土在冻融循环和湿度等因素影响下的损伤演化特征,适用于季冻区路基土以及其他土体的损伤评价。

[0131] 为了说明本发明提供的方法能够适用于季冻区路基土以及其他土体的损伤评价,下面通过以下实施例验证。

[0132] 试验土样取自京哈高速公路四平至长春段改扩建工程建设项目CP05合同段取土场的低液限黏土。鉴于季冻区路基压实土经受的外界环境因素影响主要为冻融循环作用和湿度变化,基于超声波技术的路基土损伤检测与评价开展以冻融循环次数与含水率为变量的全面测试,其中冻融循环试验次数为0、2、4、6、8、10、12、14和16次,共9种,含水率为9.3%、12.3%、15.3%、18.3%和21.3%,共5种。为了减小土体损伤检测与评价中的误差,几何变形和声波波速测试分开进行,每个试验组合的试样数量均为6个,共计需要60个试样。

[0133] 1. 试验设备

[0134] 土样的冻融循环试验和几何变形测试分别采用高低温交变试验箱和电子数显游标卡尺。土样的超声波波速测试采用瑞士进口的TICO超声波测试仪,如图6所示。该TICO超声波测试仪由主机、换能器和导线等组成,主要用于混凝土、岩石等的无损检测,可用于评定材料的强度、弹性模量、缺陷以及均一性等性能,TICO超声波测试仪主要技术指标见表1。

[0135] 表1 TICO超声波测试仪主要技术指标

项目	分辨率/ μs	测试范围/ μs	电压脉冲/kv	脉冲速度/ s^{-1}	输入阻抗/ $\text{M}\Omega$
指标	0.1	0.1~6553.5	1	3	1

[0137] 2. 试样制备

[0138] (1) 不同湿度状态下试样制备

[0139] 为了模拟无外界水源补给的封闭试验系统,湿度为最佳含水率状态下成型试样直接用塑料薄膜密封备用;其他湿度状态下的试样则需将符合要求的试样放入试样盘内,通过室内风干或恒湿箱增湿至预定湿度后用塑料薄膜密封备用。试验试样湿度控制采用称重法,即利用电子天平对风干或增湿过程中的试样进行不定期的称重观察,达到预定试验湿度时即停止风干或增湿,并迅速用塑料薄膜包覆严密后密封,然后放入恒湿箱养护24h以上,以保证试样内部水分的均匀分布。

[0140] (2) 冻融循环试验

[0141] 试验试样的冻融循环过程在高低温交变试验箱内完成,为完全封闭条件下的三向冻融试验,试验试样可自由变形。鉴于季冻区公路路基工作区在冻融循环期内的温度变化范围为 $-17.2\sim 22.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,试验试样冻结与融化过程中的外部环境温度分别采用 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$;相同条件下黏性土试样的冻结和融化过程一般均会在12h之内完成,为了保证试验试样的完全冻结与融化,试验过程中的冻结与融化时间均设定为24h。

[0142] 3. 试验方法

[0143] (1) 几何参数测量测试

[0144] 取达到预定含水率的路基土预备试样,拆除塑料薄膜,沿竖向选取两个相互垂直并且通过圆心的断面作为试验试样高度的测量位置并做好标记,试样是圆柱体形状,从上往下看如图7所示;沿径向在试样的上、中、下部分别选择两个相互垂直并且通过圆心的断

面作为试验试样上、中、下部直径的测点并做好标记,从而保证每次测量位置均为同一点位,并以测量结果的平均值分别作为相应试验条件下试验试样的高度以及上、中、下部位的直径,以减小外界影响因素作用下路基土试样变形测量的试验误差。每次测量完毕后,迅速用塑料薄膜重新包覆严密后进行封闭条件下的冻融循环试验,达到预定的冻融循环次数后重复上述试验测试步骤,直至试验方案要求的冻融循环次数为止。在量测出试验试样在影响因素作用前后的高度以及上、中、下部位的直径后,季冻区压实黏土在外界影响因素作用下的线性变形率可利用公式(16)计算,而体积变形率则需在利用公式(17)计算出相应条件下试验试样的平均直径的基础上,利用公式(18)进行计算。

$$[0145] \quad \eta_L = \frac{h' - h_0}{h_0} \times 100\% \quad (16);$$

[0146] 式中: η_L 为土样在外界影响因素作用下的线性变形率, h_0 为未经历外界影响因素作用的试样初始高度, h' 为经历外界影响因素作用后试样的高度。

$$[0147] \quad d = \frac{d_1 + 2d_2 + d_3}{4} \quad (17);$$

[0148] 式中: d 为不同试验条件下试样的平均直径, d_1 、 d_2 、 d_3 分别为相应试验条件下试样上、中、下部位的直径。

$$[0149] \quad \eta_V = \frac{\frac{\pi d'^2}{4} \times h' - \frac{\pi d_0^2}{4} \times h_0}{\frac{\pi d_0^2}{4} \times h_0} \times 100\% = \frac{d'^2 h' - d_0^2 h_0}{d_0^2 h_0} \times 100\% \quad (18);$$

[0150] 式中: d_0 为未经历外界影响因素作用的试样初始平均直径, d' 为经历外界影响因素作用后的试样平均直径。

[0151] (2) 超声波波速测试

[0152] 土样的纵波波速借助TICO超声波测试仪采用透射法进行测试,即将超声波检测仪的声波发射换能器和接收换能器竖直安置在试样的两端,见图8,以利用换能器的恒定重量消除因换能器与土样之间接触压力大小不同对波速测试结果的影响,并可达到保证换能器与土样端面紧密接触的目的;测试发现,包覆试样的塑料薄膜对波速测试结果几乎没有影响,同时,为了方便在试样端面与换能器端面涂抹凡士林(耦合剂)以保证其良好耦合,并防止试验过程中土样水分的散失以及减少对土样的扰动,用于波速测试的试样在整个试验测试过程中均用塑料薄膜严密包覆,但要求塑料薄膜与土样端面必须贴合紧密并且不能有褶皱,如图9所示,否则将会影响试验测试结果甚至导致无法测出波速数据。具体的测试过程和方法如下:首先,安装并调试超声波测试仪,取待测土样并在端面均匀涂抹适量凡士林后,将土样连同换能器竖直对中安置在测试架上,安装过程中适度用力分别旋转并按压土样和上部换能器,以保证换能器与土样的紧密贴合和良好耦合;然后,根据事先测得的待测土样初始高度和相应影响因素组合下的线性变形率,计算得出土样高度并输入超声波测试仪;最后,启动超声波测试仪进行纵波波速测试,并分别取每组6个土样的波速平均值作为各个影响因素组合下路基土的纵波波速。

[0153] 为了验证本发明所提出的基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法的可行性与可靠性,利用公式(8)所定义的损伤变量形式,分别以100kPa、200kPa和

300kPa围压条件下弹性模量和极限强度的平均值计算得到了基于弹性模量和极限强度定义的压实黏土损伤变量变化规律,如图10~图13所示,而利用本发明基于超声波技术的无损检测方法所得到的压实黏土损伤变量变化规律如图14和图15所示。通过对比分析图10~图15可以发现,利用本发明所提出的基于超声波技术的无损检测方法所得到的损伤变量与以弹性模量和极限强度定义的损伤变量随着冻融循环次数和湿度的变化趋势基本一致,但是以弹性模量和极限强度定义的损伤变量的变化规律波动起伏较大,而利用本发明无损检测方法所得到的损伤评价结果则较为稳定,这说明了本发明所提出的基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法的可行性与优越性。

[0154] 为了进一步确定本发明所提出的基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法(为表达方便,简称为“超声波法”)的评价效果,图16和图17给出了基于超声波法的评价结果与利用弹性模量和极限强度定义的损伤变量(为表达方便,分别简称为“弹性模量法”和“极限强度法”)的偏差计算结果。从图中可以看出,采用超声波法与采用弹性模量法以及极限强度法评价结果的偏差均较小,各试验条件下的大部分数据都集中分布于偏差为0的水平线附近,除部分数据外,绝大部分偏差均位于-0.1与0.1之间,而且偏差较大的那部分数据多因弹性模量法和极限强度法的数据波动较大引起,这充分说明了本发明所提出的基于超声波技术的季冻区路基土材料损伤检测与评价方法的可靠性与可信性。

[0155] 目前对于包括路基土在内的材料损伤评价,多是通过破坏性试验,利用影响因素作用前后的力学性质参数(强度、模量等)计算损伤变量(如公式(8)),这种方法虽然操作简单,能直观地反映土体在各种影响因素作用下的损伤劣化程度,但是评价结果会因所采用试验方法和条件的不同而产生较大差异,同时需要准备大量的试验试样以通过破坏试验获取相关的力学参数。本发明的创新点在于实现了可以通过无损检测手段对路基土材料进行损伤检测与评价,且本发明基于弹性波动理论推导得出季冻区路基土材料在冻融与湿度影响下的损伤变量是一个关于纵波波速、含水率和几何变形参数3个变量的函数关系式,从而可以通过测试影响因素作用前后的超声波波速、含水率以及几何变形参数来计算土体的损伤变量,达到了无需通过破坏性试验即可进行季冻区路基土材料损伤检测与评价的目的。

[0156] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0157] 本发明中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

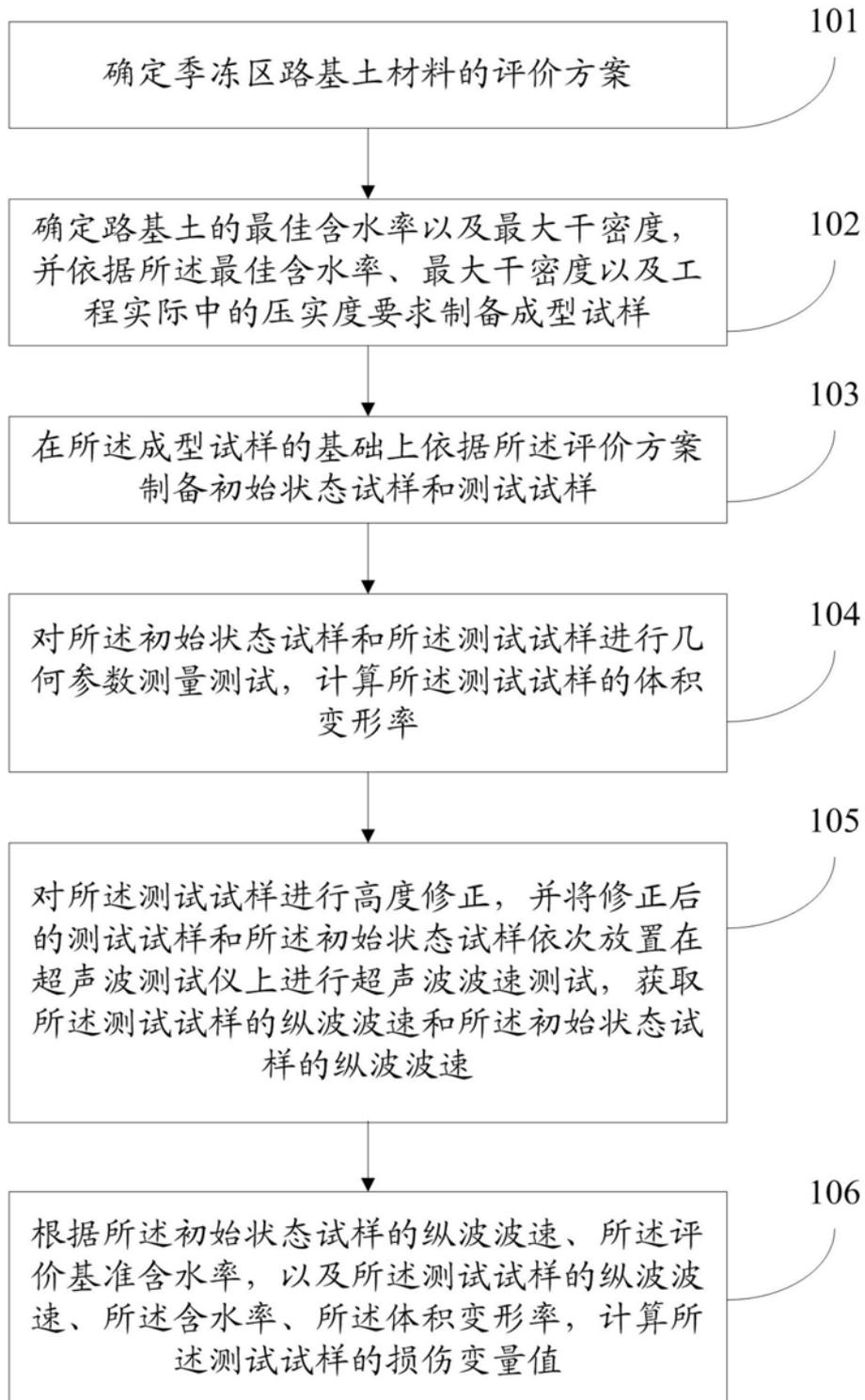


图1



图2



图3



图4



图5



图6

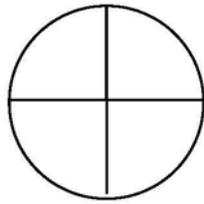


图7

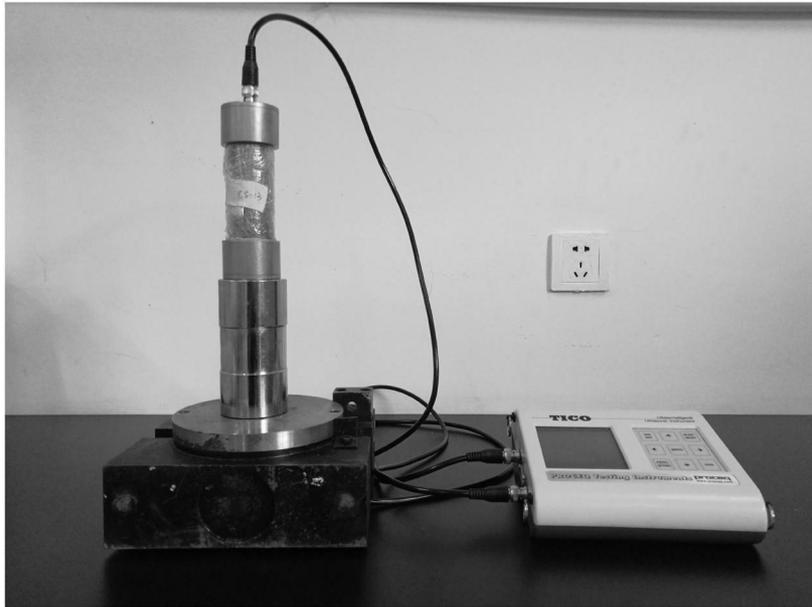


图8



图9

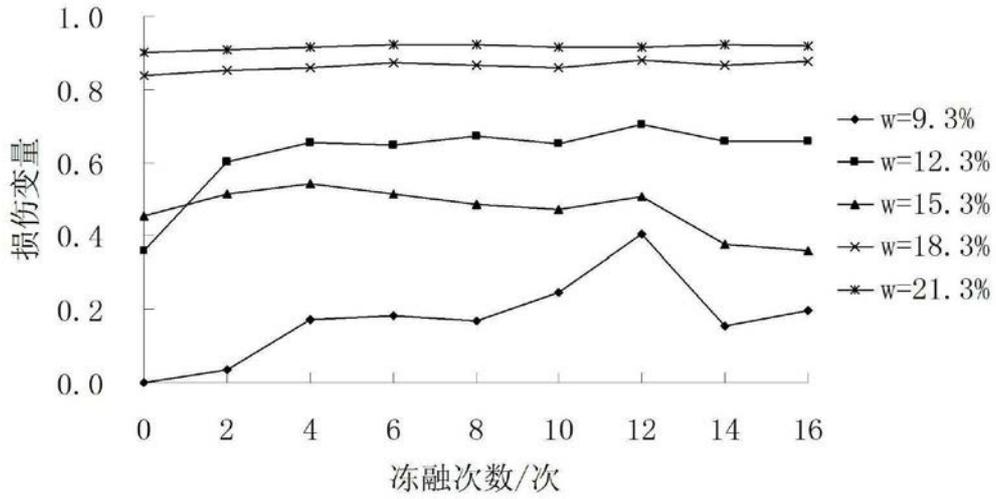


图10

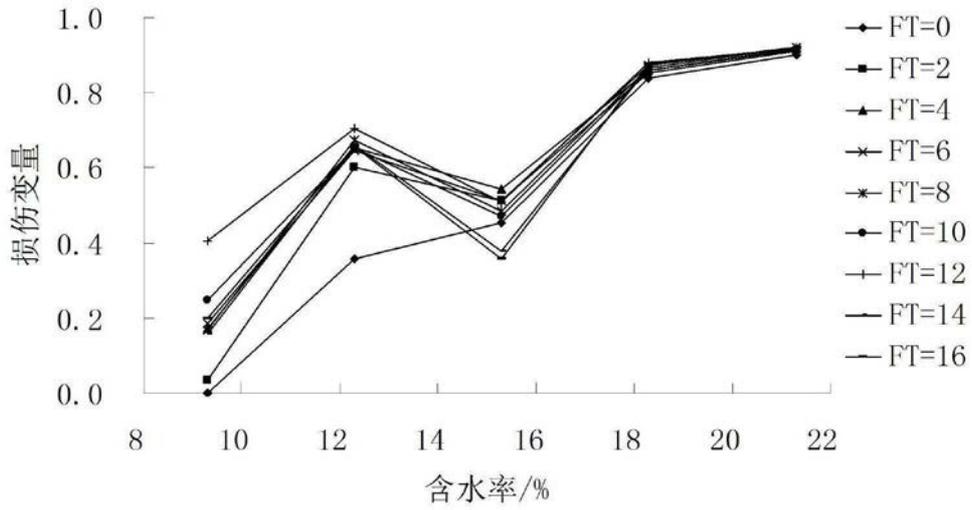


图11

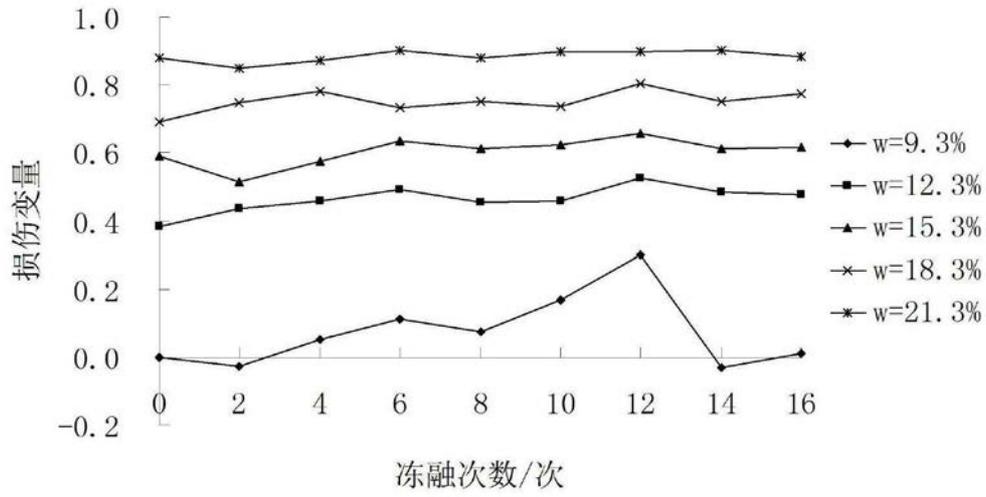


图12

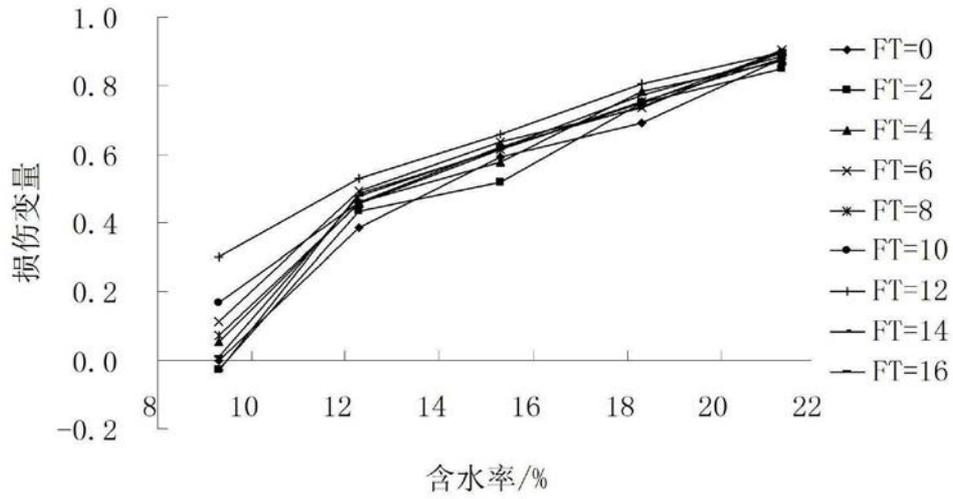


图13

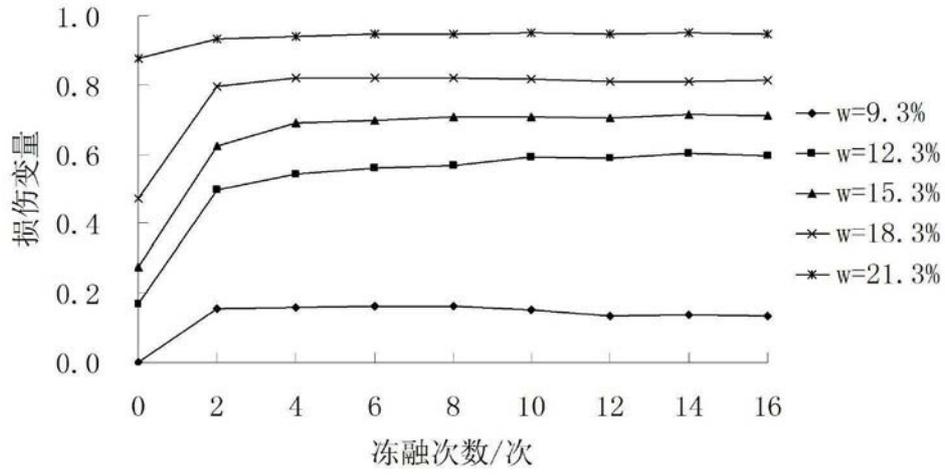


图14

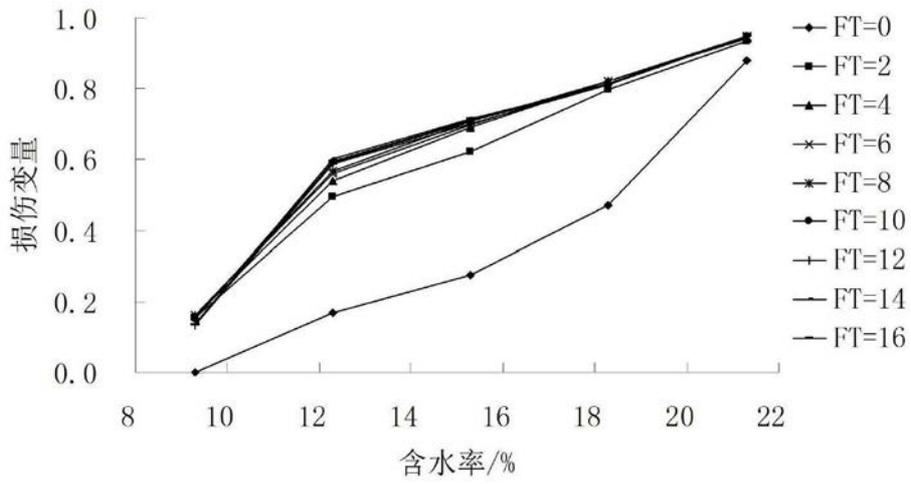


图15

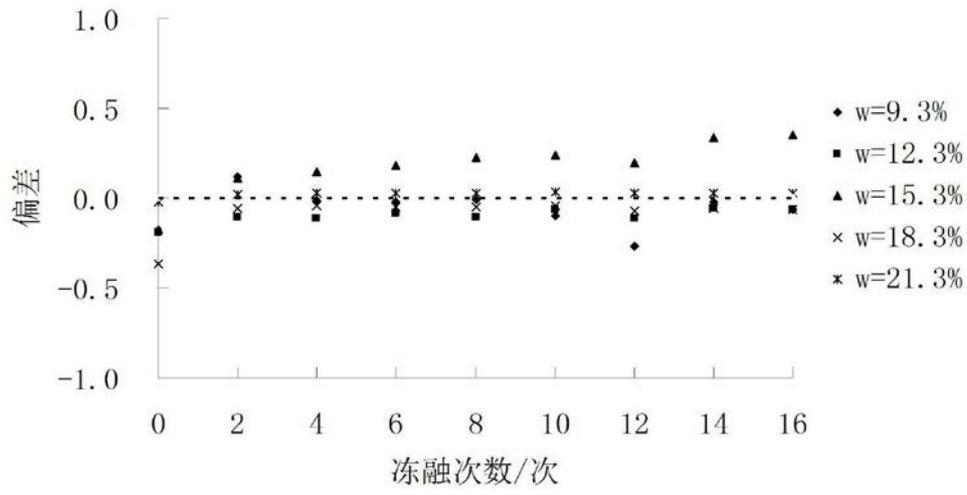


图16

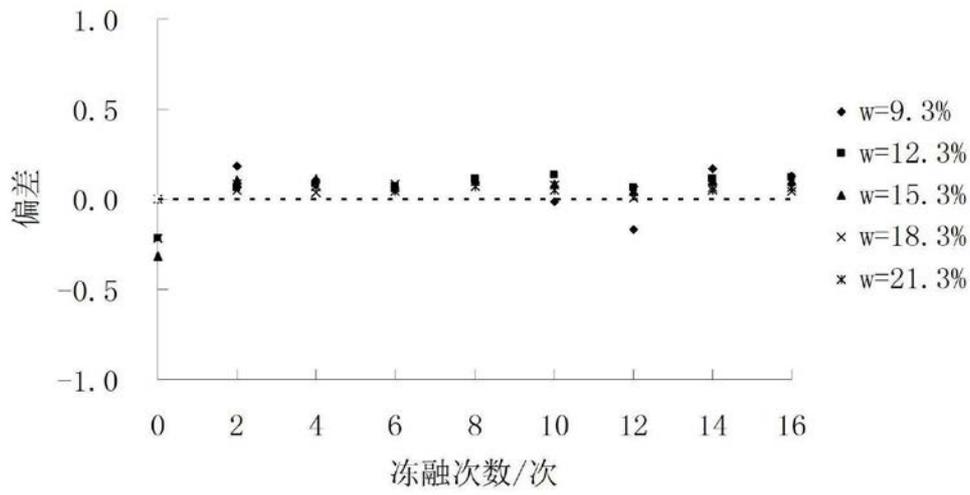


图17