



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108303333 B

(45) 授权公告日 2021.09.17

(21) 申请号 201810008426.X

(22) 申请日 2018.01.04

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108303333 A

(43) 申请公布日 2018.07.20

(73) 专利权人 长安大学
地址 710064 陕西省西安市南二环中段33号

专利权人 河南宏盛工程监理有限公司
周口市公路勘察设计院
延安公路管理局

(72) 发明人 陈忠达 张震 孙连忠 张建强
董丁明 何威 孙飞 刘思涵
孙生东 李小东 林君阳 彭波

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司
61200

代理人 徐文权

(51) Int.Cl.

G01N 3/38 (2006.01)

G01N 1/28 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102564855 A, 2012.07.11

CN 101551314 A, 2009.10.07

CN 102108656 A, 2011.06.29

CN 203606243 U, 2014.05.21

CN 107036912 A, 2017.08.11

DE 10231802 A1, 2004.02.12

苏健. 基于振动法的基层材料路用性能研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑》.2014,正文第11-30页.

柳音. 级配碎石柔性基层性能试验研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技II辑》.2008,摘要,正文第39-42页.

审查员 汤敏

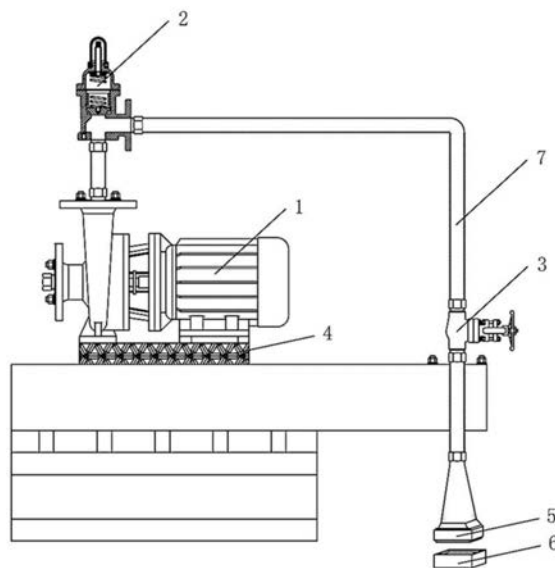
权利要求书3页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种橡胶压头冲击试验仪及级配碎石变形试验方法

(57) 摘要

一种橡胶压头冲击试验仪及级配碎石变形试验方法,橡胶压头冲击试验仪包括固定在减振台上的发动机,发动机经传动杆带动橡胶压头对级配碎石试件施加冲击力;发动机上连接有用于调节传动杆实现波形控制的伺服阀,传动杆上设有用于调节传动杆自身长度的升降阀。级配碎石变形试验方法包括:a.称取级配碎石混合料装入试模;b.碾压制得级配碎石试件;c.通过橡胶压头冲击试验仪反复冲击;d.根据冲击结果,采用Wolf和Visser永久变形预估模型表示级配碎石变形曲线所满足的定量关系,再通过最小二乘法对模型进行优化,使试验误差降低到最小,完成数据的分析。本发明能够对级配碎石的变形性能做出快速准确的评价。



1. 一种使用橡胶压头冲击试验仪的级配碎石变形试验方法,其特征在于,包括以下步骤:

- a. 称取级配碎石混合料,拌匀后装入试模;
- b. 碾压装有级配碎石混合料的试模,制得级配碎石试件(6);
- c. 将级配碎石试件(6)在室温下静置3h~5h以后,通过橡胶压头冲击试验仪反复冲击;

所述的橡胶压头冲击试验仪包括固定在减振台(4)上的发动机(1),所述的发动机(1)经传动杆(7)带动橡胶压头(5)对级配碎石试件(6)施加冲击力;所述的发动机(1)上连接有用于调节传动杆(7)实现波形控制的伺服阀(2),波形包括正弦波、Haversine波,伺服阀(2)再通过传动杆(7)连接橡胶压头(5),所述的传动杆(7)上设置有用于调节传动杆(7)自身长度的升降阀(3);橡胶压头(5)以一定频率和波形反复冲击试件,继而模拟车辆实际行驶过程中橡胶轮胎对级配碎石基层的冲击过程;橡胶压头(5)对级配碎石试件(6)所施加冲击力的大小控制在0.7MPa;

d. 根据冲击结果,采用Wolff和Visser永久变形预估模型表示级配碎石变形曲线所满足的定量关系,再通过最小二乘法对模型进行优化,使试验误差降低到最小,完成数据的分析;

步骤d具体包括以下步骤:

d.1) 采用Wolff和Visser永久变形预估模型表示级配碎石变形曲线所满足的定量关系为:

$$y = (ci+a) \cdot (1-e^{-0.5i})$$

y为级配碎石所产生的变形量;i为变形记录次数;a、c为表示级配碎石变形特性的参数;

d.2) 通过试验测得一系列数据对:(i=1,y=y1)、(i=2,y=y2)、(i=3,y=y3)、……、(i=n,y=yn);

d.3) 计算变形量y存在误差 σ :

$$\sigma_1 = y_1 - (c \cdot 1 + a) \cdot (1 - e^{-0.5 \times 1})$$

$$\sigma_2 = y_2 - (c \cdot 2 + a) \cdot (1 - e^{-0.5 \times 2})$$

$$\sigma_3 = y_3 - (c \cdot 3 + a) \cdot (1 - e^{-0.5 \times 3})$$

……

$$\sigma_n = y_n - (c \cdot n + a) \cdot (1 - e^{-0.5 \times n});$$

d.4) 根据最小二乘原理,利用偏微分方程组求 $\sum_{i=1}^n \sigma_i^2$ 的最小值以及相应的最佳参数

a_{best} 、 c_{best} ,使 $\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (c \cdot i + a) \cdot (1 - e^{-0.5i})]^2$ 达到最小值:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (c \cdot i + a) \cdot (1 - e^{-0.5i})] \cdot (1 - e^{-0.5i}) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial c} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (c \cdot i + a) \cdot (1 - e^{-0.5i})] \cdot i \cdot (1 - e^{-0.5i}) = 0 \end{cases};$$

整理得：

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i})^2 ic + \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i})^2 a = \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i}) y_i \\ \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i})^2 i^2 c + \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i})^2 ia = \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i}) iy_i \end{cases} ;$$

解之得：

$$\begin{cases} a_{\text{best}} = \frac{(A - 2B + C)(L - N) - (D - 2E + F)(K - M)}{(A - 2B + C)^2 - (D - 2E + F)(H - 2I + J)} \\ c_{\text{best}} = \frac{(A - 2B + C)(K - M) - (D - 2E + F)(L - N)}{(A - 2B + C)^2 - (D - 2E + F)(H - 2I + J)} \end{cases} ;$$

式中：

$$\left\{ \begin{array}{l}
 A = \sum_{i=1}^n i = \frac{1}{2}n(n+1) \\
 B = \sum_{i=1}^n i e^{-0.5i} = \frac{e^{-0.5(n+1)}(e^{-0.5}n - n - 1) + e^{-0.5}}{(e^{-0.5} - 1)^2} \\
 C = \sum_{i=1}^n i e^{-2 \times 0.5i} = \frac{e^{-n-1}(e^{-1}n - n - 1) + e^{-1}}{(e^{-1} - 1)^2} \\
 D = \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1) \\
 E = \sum_{i=1}^n i^2 e^{-0.5i} = \frac{e^{-0.5(n+1)}[(e^{-0.5}n - n - 1)^2 + e^{-0.5}] - e^{-1} - e^{-0.5}}{(e^{-0.5} - 1)^3} \\
 F = \sum_{i=1}^n i^2 e^{-2 \times 0.5i} = \frac{e^{-n-1}[(e^{-1}n - n - 1)^2 + e^{-1}] - e^{-2} - e^{-1}}{(e^{-1} - 1)^3} \\
 H = \sum_{i=1}^n 1 = n \\
 I = \sum_{i=1}^n e^{-0.5i} = \frac{e^{-0.5n-0.5} - e^{-0.5}}{e^{-0.5} - 1} \\
 J = \sum_{i=1}^n e^{-2 \times 0.5i} = \frac{e^{-n-1} - e^{-1}}{e^{-1} - 1} \\
 K = \sum_{i=1}^n y_i \\
 L = \sum_{i=1}^n i y_i \\
 M = \sum_{i=1}^n e^{-0.5i} y_i \\
 N = \sum_{i=1}^n i e^{-0.5i} y_i
 \end{array} \right. ;$$

将最佳参数 a_{best} 、 c_{best} 代入Wolff和Visser永久变形预估模型,即得到基于最小二乘法的最优永久变形预估模型 $y = (c_{\text{best}} \cdot i + a_{\text{best}}) \cdot (1 - e^{-0.5i})$,使试验误差的影响降低到最小。

2. 根据权利要求1所述级配碎石变形试验方法,其特征在于,步骤a所述的试模长度为300mm、宽度为300mm、高度为100mm,级配碎石混合料的称取量为:

级配碎石试件体积 \times 级配碎石最佳干密度 \times 1.03。

3. 根据权利要求1所述级配碎石变形试验方法,其特征在于:步骤b采用轮碾成型机碾压装有级配碎石混合料的试模并制得级配碎石试件(6)。

一种橡胶压头冲击试验仪及级配碎石变形试验方法

技术领域

[0001] 本发明属于公路工程领域,具体涉及一种橡胶压头冲击试验仪及级配碎石变形试验方法。

背景技术

[0002] 级配碎石材料因为其具有取材容易、造价低廉、反射裂缝少等优点,曾广泛应用于我国早期的道路建设,但受限于当时的认识水平和技术能力,以及评价指标不合适等缺陷,级配碎石基层未能满足交通发展的需求。道路工作者在原有认识的基础上对级配碎石材料的组成及配比进行了改善,采用骨架结构和振动成型方式大幅度提升了级配碎石材料的路用性能。

[0003] 目前国内外主要采用加州承载比CBR试验对级配碎石材料的性能进行评价,以CBR值作为级配碎石材料的评价指标。而CBR值主要针对材料的强度指标,难以对其变形性能做出准确的评价。工程实践表明,级配碎石基层的破坏主要是由于过量的变形造成的。

[0004] 仅仅采用CBR值作为级配碎石材料的评价指标过于片面,因此为了保证级配碎石基层的使用寿命,仍需提出一种级配碎石变形试验及参数确定方法。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于针对上述现有技术中的问题,提供一种橡胶压头冲击试验仪及级配碎石变形试验方法,该方法能够对级配碎石的变形性能做出快速准确的评价。

[0006] 为了实现上述目的,本发明橡胶压头冲击试验仪包括固定在减振台上的发动机,所述的发动机经传动杆带动橡胶压头对级配碎石试件施加冲击力;所述的发动机上连接有用于调节传动杆实现波形控制的伺服阀,所述的传动杆上设置有用于调节传动杆自身长度的升降阀。

[0007] 所述的橡胶压头对级配碎石试件所施加冲击力的大小控制在0.7MPa。

[0008] 本发明的级配碎石变形试验方法,包括以下步骤:

[0009] a. 称取级配碎石混合料,拌匀后装入试模;

[0010] b. 碾压装有级配碎石混合料的试模,制得级配碎石试件;

[0011] c. 将级配碎石试件在室温下静置3h~5h以后,通过橡胶压头冲击试验仪反复冲击;

[0012] d. 根据冲击结果,采用Wolff和Visser永久变形预估模型表示级配碎石变形曲线所满足的定量关系,再通过最小二乘法对模型进行优化,使试验误差降低到最小,完成数据的分析。

[0013] 步骤a所述的试模长度为300mm、宽度为300mm、高度为100mm,级配碎石混合料的称取量为:级配碎石试件体积×级配碎石最佳干密度×1.03。

[0014] 步骤b采用轮碾成型机碾压装有级配碎石混合料的试模并制得级配碎石试件。

[0015] 步骤d具体包括以下步骤:

[0016] d.1) 采用Wolff和Visser永久变形预估模型表示级配碎石变形曲线所满足的定量关系为:

$$[0017] \quad y = (ci+a) \cdot (1-e^{-0.5i})$$

[0018] y 为级配碎石所产生的变形量; i 为变形记录次数; a 、 c 为表示级配碎石变形特性的参数;

[0019] d.2) 通过试验测得一系列数据对: $(i=1, y=y_1)$ 、 $(i=2, y=y_2)$ 、 $(i=3, y=y_3)$ 、……、 $(i=n, y=y_n)$;

[0020] d.3) 计算变形量 y 存在误差 σ :

$$[0021] \quad \sigma_1 = y_1 - (c \cdot 1 + a) \cdot (1 - e^{-0.5 \times 1})$$

$$[0022] \quad \sigma_2 = y_2 - (c \cdot 2 + a) \cdot (1 - e^{-0.5 \times 2})$$

$$[0023] \quad \sigma_3 = y_3 - (c \cdot 3 + a) \cdot (1 - e^{-0.5 \times 3})$$

[0024] ……

$$[0025] \quad \sigma_n = y_n - (c \cdot n + a) \cdot (1 - e^{-0.5 \times n});$$

[0026] d.4) 根据最小二乘原理,利用偏微分方程组求 $\sum_{i=1}^n \sigma_i^2$ 的最小值以及相应的最佳参

数 a_{best} 、 c_{best} ,使 $\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (c \cdot i + a) \cdot (1 - e^{-0.5i})]^2$ 达到最小值:

$$[0027] \quad \begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (c \cdot i + a) \cdot (1 - e^{-0.5i})] \cdot (1 - e^{-0.5i}) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial c} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (c \cdot i + a) \cdot (1 - e^{-0.5i})] \cdot i \cdot (1 - e^{-0.5i}) = 0 \end{cases};$$

[0028] 整理得:

$$[0029] \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i})^2 ic + \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i})^2 a = \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i}) y_i \\ \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i})^2 i^2 c + \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i})^2 ia = \sum_{i=1}^n (1 - e^{-0.5i}) iy_i \end{cases};$$

[0030] 解之得:

$$[0031] \quad \begin{cases} a_{\text{best}} = \frac{(A-2B+C)(L-N) - (D-2E+F)(K-M)}{(A-2B+C)^2 - (D-2E+F)(H-2I+J)} \\ c_{\text{best}} = \frac{(A-2B+C)(K-M) - (D-2E+F)(L-N)}{(A-2B+C)^2 - (D-2E+F)(H-2I+J)} \end{cases};$$

[0032] 式中:

$$\begin{aligned}
 A &= \sum_{i=1}^n i = \frac{1}{2}n(n+1) \\
 B &= \sum_{i=1}^n i e^{-0.5i} = \frac{e^{-0.5(n+1)}(e^{-0.5}n - n - 1) + e^{-0.5}}{(e^{-0.5} - 1)^2} \\
 C &= \sum_{i=1}^n i e^{-2 \times 0.5i} = \frac{e^{-n-1}(e^{-1}n - n - 1) + e^{-1}}{(e^{-1} - 1)^2} \\
 D &= \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1) \\
 E &= \sum_{i=1}^n i^2 e^{-0.5i} = \frac{e^{-0.5(n+1)}[(e^{-0.5}n - n - 1)^2 + e^{-0.5}] - e^{-1} - e^{-0.5}}{(e^{-0.5} - 1)^3} \\
 F &= \sum_{i=1}^n i^2 e^{-2 \times 0.5i} = \frac{e^{-n-1}[(e^{-1}n - n - 1)^2 + e^{-1}] - e^{-2} - e^{-1}}{(e^{-1} - 1)^3} \\
 [0033] \quad H &= \sum_{i=1}^n 1 = n \\
 I &= \sum_{i=1}^n e^{-0.5i} = \frac{e^{-0.5n-0.5} - e^{-0.5}}{e^{-0.5} - 1} \\
 J &= \sum_{i=1}^n e^{-2 \times 0.5i} = \frac{e^{-n-1} - e^{-1}}{e^{-1} - 1} \\
 K &= \sum_{i=1}^n y_i \quad ; \\
 L &= \sum_{i=1}^n i y_i \\
 M &= \sum_{i=1}^n e^{-0.5i} y_i \\
 N &= \sum_{i=1}^n i e^{-0.5i} y_i
 \end{aligned}$$

[0034] 将最佳参数 a_{best} 、 c_{best} 代入Wolff和Visser永久变形预估模型,即得到基于最小二乘法的最优永久变形预估模型 $y = (c_{\text{best}} \cdot i + a_{\text{best}}) \cdot (1 - e^{-0.5i})$,使试验误差的影响降低到最小。

[0035] 与现有技术相比,本发明橡胶压头冲击试验仪通过发动机产生冲击动力,发动机固定在减振台上,减少其自身的振动以消除试验误差。本发明的发动机连接能够进行波形控制的伺服阀,伺服阀再通过传动杆连接橡胶压头,传动杆上设置有用于调节传动杆自身长度的升降阀,橡胶压头以一定频率和波形反复冲击试件,继而模拟车辆实际行驶过程中橡胶轮胎对级配碎石基层的冲击过程,本发明橡胶压头冲击试验仪的结构简单,能够较好的满足试验需要。

[0036] 与现有技术相比,本发明级配碎石变形试验方法通过碾压装有级配碎石混合料的试模来制得级配碎石试件,能够模拟实际施工过程中混合料摊铺机对级配碎石基层的摊铺碾压过程,采用橡胶压头冲击试验仪以一定频率和波形反复冲击试件,模拟车辆实际行驶过程中橡胶轮胎对级配碎石基层的冲击过程,通过最小二乘法对模型进行优化,使得试验误差降低到最小,本发明级配碎石变形试验方法的精度高,能够对级配碎石的变形性能做出快速准确的评价。

附图说明

[0037] 图1本发明橡胶压头冲击试验仪的结构示意图；

[0038] 图中：1-发动机；2-伺服阀；3-升降阀；4-减振台；5-橡胶压头；6-级配碎石试件；7-传动杆。

具体实施方式

[0039] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明。

[0040] 参见图1，橡胶压头冲击试验仪由发动机1、伺服阀2、升降阀3、减振台4、橡胶压头5和传动杆7等部件组成。发动机1带动传动杆7工作，并对级配碎石试件6施加冲击力。发动机1安装于减振台4上，以减少其自身的振动并消除试验误差。伺服阀2与发动机1相连，从而实现波形的控制。升降阀3安装于传动杆7中间，从而控制传动杆7长度。橡胶压头5安装于传动杆7的末端，用于模拟橡胶轮胎对级配碎石基层的冲击效应。

[0041] 选用长×宽×高尺寸为300mm×300mm×100mm的试模，按试件的体积乘以最佳干密度再乘以系数1.03称取级配碎石混合料，拌匀后装入试模。采用轮碾成型机碾压装有混合料的试模，制得级配碎石试件6，级配碎石试件6在室温下静置3~5h后，进行橡胶压头冲击试验。

[0042] 在橡胶压头冲击试验中，首先需要通过升降阀3将传动杆7升起，放入级配碎石试件6后重新降下传动杆7，使橡胶压头5刚好与级配碎石试件6充分接触。再开启伺服阀2，对输出波形进行设置，可以设置为正弦波、Haversine波等波形。最后开启发动机1，带动传动杆7工作，并对试件6施加冲击力。发动机1自身产生的振动由减振台4消除，从而控制试验误差。试验共进行60min，并于第10min、20min、第30min、第40min、第50min和第60min记录数据，共测得6组数据对： $(i=1, y=y_1)$ 、 $(i=2, y=y_2)$ 、 $(i=3, y=y_3)$ 、……、 $(i=6, y=y_6)$ 。

[0043] 计算A、B、C、D、E、F、H、I、J、K、L、M、N值：

$$\begin{cases}
 A = \sum_{i=1}^6 i = 21 \\
 B = \sum_{i=1}^6 i e^{-0.5i} = \frac{6e^{-3} - 7e^{-2.5} + e^{0.5}}{(e^{0.5} - 1)^2} \\
 C = \sum_{i=1}^6 i e^{-2 \times 0.5i} = \frac{6e^{-6} - 7e^{-5} + e^1}{(e - 1)^2} \\
 D = \sum_{i=1}^6 i^2 = 91 \\
 E = \sum_{i=1}^6 i^2 e^{-0.5i} = \frac{36e^{-3} - 83e^{-2.5} + 49e^{-2} - e^{0.5} - e}{(e^{0.5} - 1)^3} \\
 F = \sum_{i=1}^6 i^2 e^{-2 \times 0.5i} = \frac{36e^{-6} - 83e^{-5} + 49e^{-4} - e - e^2}{(e - 1)^3} \\
 [0044] \quad \left\{ \begin{aligned}
 H &= \sum_{i=1}^6 1 = 6 \\
 I &= \sum_{i=1}^6 e^{-0.5i} = \frac{1 - e^{-3}}{e^{0.5} - 1} \\
 J &= \sum_{i=1}^6 e^{-2 \times 0.5i} = \frac{1 - e^{-6}}{e - 1} \\
 K &= \sum_{i=1}^6 y_i \\
 L &= \sum_{i=1}^6 i y_i \\
 M &= \sum_{i=1}^6 e^{-0.5i} y_i \\
 N &= \sum_{i=1}^6 i e^{-0.5i} y_i
 \end{aligned} \right.
 \end{cases}$$

[0045] 根据上述A、B、C、D、E、F、H、I、J、K、L、M、N的值计算最佳参数 a_{best} 、 c_{best} ：

$$[0046] \quad \begin{cases}
 a_{\text{best}} = \frac{(A - 2B + C)(L - N) - (D - 2E + F)(K - M)}{(A - 2B + C)^2 - (D - 2E + F)(H - 2I + J)} \\
 c_{\text{best}} = \frac{(A - 2B + C)(K - M) - (D - 2E + F)(L - N)}{(A - 2B + C)^2 - (D - 2E + F)(H - 2I + J)}
 \end{cases}$$

[0047] 得到基于最小二乘法的最优永久变形预估模型 $y = (c_{\text{best}} i + a_{\text{best}}) \cdot (1 - e^{-0.5i})$ ，使试验误差的影响降低到最小。

[0048] 此时相应的最小二乘误差为： $\sum_{i=1}^6 \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^6 [y_i - (c_{\text{best}} \cdot i + a_{\text{best}}) \cdot (1 - e^{-0.5i})]^2$ 。

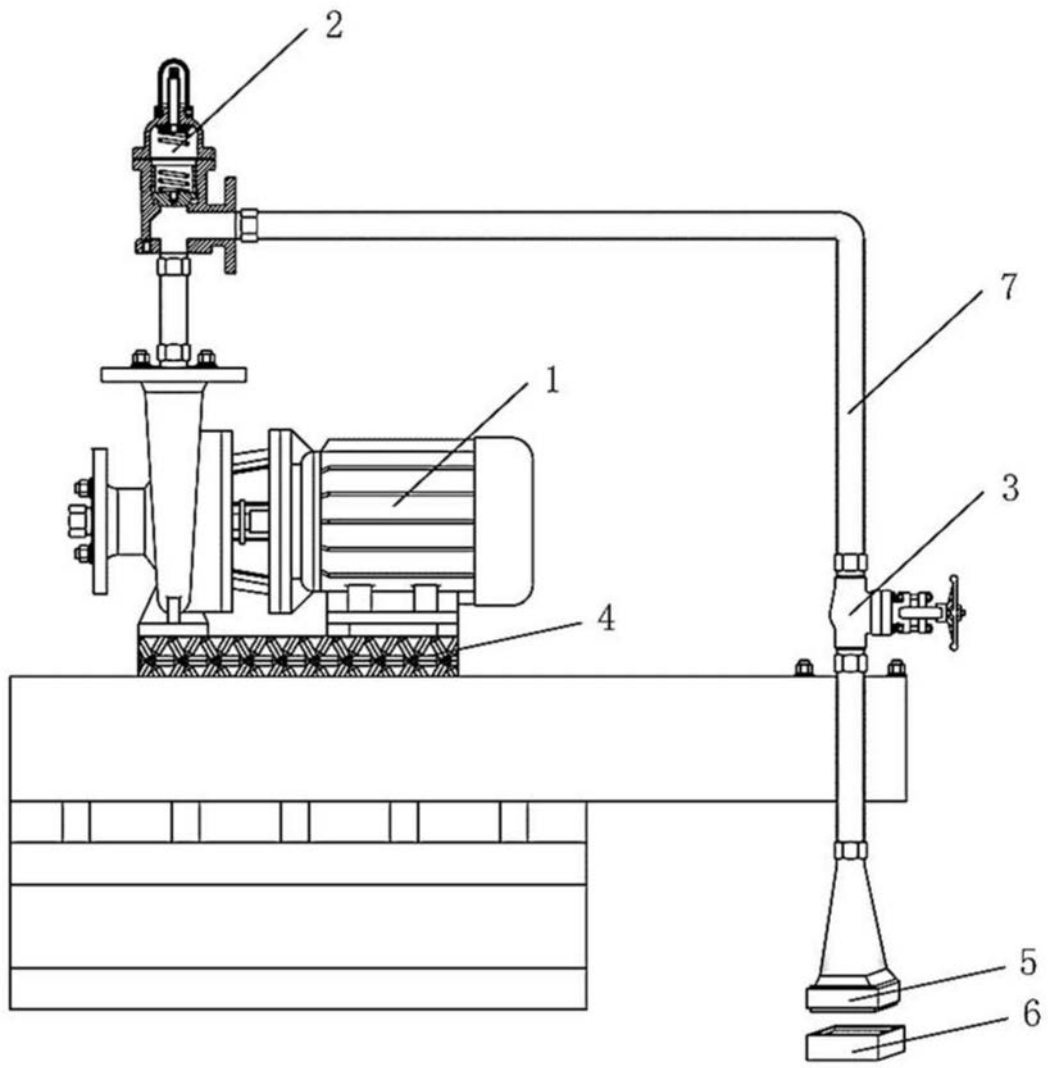


图1