



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109885866 A

(43)申请公布日 2019.06.14

(21)申请号 201910015444.5

(22)申请日 2019.01.08

(71)申请人 西南交通大学

地址 610000 四川省成都市二环路北一段111号

(72)发明人 王明年 童建军 刘大刚 于丽 王志龙 张霄 赵思光 姚萌 杨涅 张艺腾

(74)专利代理机构 北京华仲龙腾专利代理事务所(普通合伙) 11548

代理人 李静

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

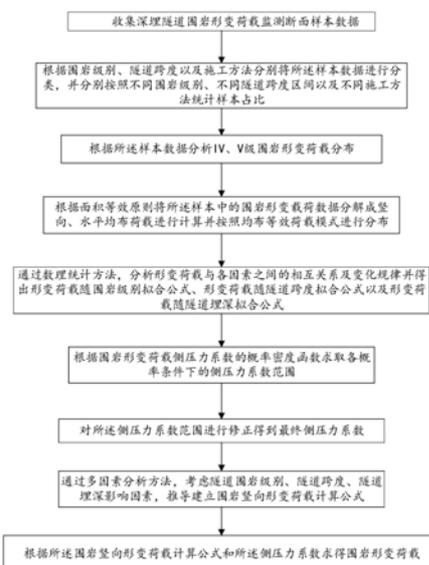
权利要求书3页 说明书9页 附图10页

(54)发明名称

深埋隧道围岩形变荷载计算方法

(57)摘要

本发明提供了一种深埋隧道围岩形变荷载计算方法,属于隧道领域。该深埋隧道围岩形变荷载计算方法通过采用围岩荷载现场监测数据,考虑围岩级别、隧道埋深、隧道跨度因素,通过数理统计方法,推导建立一种基于围岩变形条件下的围岩形变荷载计算方法。研究成果可为未来隧道及地下工程支护设计提供参考,同时可有效的减小工程造价。



1. 一种深埋隧道围岩形变荷载计算方法,其特征在于,包括  
 收集深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据;  
 根据围岩级别、隧道跨度以及施工方法分别将所述样本数据进行分类,并分别按照不同围岩级别、不同隧道跨度区间以及不同施工方法统计样本占比;  
 根据所述样本数据分析IV、V级围岩形变荷载分布;  
 根据面积等效原则将所述样本中的围岩形变荷载数据分解成竖向、水平均布荷载进行计算并按照均布等效荷载模式进行分布,

其中,竖向形变荷载为:

$$q = \frac{(x_2 - x_1)\alpha_1 + x_1\alpha_2}{2B} \quad \text{式 1}$$

式1中:

$$\alpha_1 = \sigma_2 \sin \vartheta + \sigma_4 \sin \vartheta \quad \text{式 2}$$

$$\alpha_2 = 2\sigma_3 + \sigma_2 \sin \vartheta + \sigma_4 \sin \vartheta \quad \text{式 3}$$

水平向形变荷载为:

$$e = \frac{y_1\beta_1 + y_2\beta_2 + y_2\beta_3}{4h} \quad \text{式 4}$$

式中:

$$\beta_1 = \sigma_2 \cos \vartheta + \sigma_4 \cos \vartheta \quad \text{式 5}$$

$$\beta_2 = \sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_2 \cos \vartheta + \sigma_4 \cos \vartheta \quad \text{式 6}$$

$$\beta_3 = \sigma_1 + \sigma_5 \quad \text{式 7}$$

侧压力系数为

$$\lambda = e/q \quad \text{式 8}$$

以上各式中, $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ 、 $\sigma_4$ 、 $\sigma_5$ 为实测径向围岩荷载值, $\theta$ 为径向荷载方向与竖向的夹角, $h$ 为隧道高度, $B$ 为隧道跨度, $\lambda$ 为侧压力系数;

通过数理统计方法,分析形变荷载与各因素之间的相互关系及变化规律并得出形变荷载随围岩级别拟合公式、形变荷载随隧道跨度拟合公式以及形变荷载随隧道埋深拟合公式;

根据围岩形变荷载侧压力系数的概率密度函数求取各概率条件下的侧压力系数范围;

对所述侧压力系数范围进行修正得到最终侧压力系数;

通过多因素分析方法,考虑隧道围岩级别、隧道跨度、隧道埋深影响因素,推导建立围岩竖向形变荷载计算公式;

根据所述围岩竖向形变荷载计算公式和所述侧压力系数求得围岩形变荷载。

2. 根据权利要求1所述的深埋隧道围岩形变荷载计算方法,其特征在于,所述深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据至少收集于50座隧道且所述深埋隧道围岩形变荷载监测断面至少为200个。

3. 根据权利要求1所述的深埋隧道围岩形变荷载计算方法,其特征在于,所述施工方法包括全断面法、台阶法、微台阶法以及CRD法。

4. 根据权利要求1所述的深埋隧道围岩形变荷载计算方法,其特征在于,所述围岩级别

分为I、II、III、IV、V以及VI。

5. 一种深埋隧道围岩形变荷载计算方法,其特征在于,包括  
收集深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据;

根据围岩级别、隧道跨度以及施工方法分别将所述样本数据进行分类,并分别按照不同围岩级别、不同隧道跨度区间以及不同施工方法统计样本占比;

根据所述样本数据分析IV、V级围岩形变荷载分布;

根据面积等效原则将所述样本中的围岩形变荷载数据分解成竖向、水平均布荷载进行计算并按照均布等效荷载模式进行分布,

其中,竖向形变荷载为:

$$q = \frac{(x_2 - x_1)\alpha_1 + x_1\alpha_2}{2B} \quad \text{式 1}$$

式1中:

$$\alpha_1 = \sigma_2 \sin \vartheta + \sigma_4 \sin \vartheta \quad \text{式 2}$$

$$\alpha_2 = 2\sigma_3 + \sigma_2 \sin \vartheta + \sigma_4 \sin \vartheta \quad \text{式 3}$$

水平向形变荷载为:

$$e = \frac{y_1\beta_1 + y_2\beta_2 + y_3\beta_3}{4h} \quad \text{式 4}$$

式中:

$$\beta_1 = \sigma_2 \cos \vartheta + \sigma_4 \cos \vartheta \quad \text{式 5}$$

$$\beta_2 = \sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_2 \cos \vartheta + \sigma_4 \cos \vartheta \quad \text{式 6}$$

$$\beta_3 = \sigma_1 + \sigma_5 \quad \text{式 7}$$

侧压力系数为

$$\lambda = e/q \quad \text{式 8}$$

以上各式中, $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ 、 $\sigma_4$ 、 $\sigma_5$ 为实测径向围岩荷载值, $\theta$ 为径向荷载方向与竖向的夹角, $h$ 为隧道高度, $B$ 为隧道跨度, $\lambda$ 为侧压力系数;

通过数理统计方法,分析形变荷载与各因素之间的相互关系及变化规律并得出形变荷载随围岩级别拟合公式、形变荷载随隧道跨度拟合公式以及形变荷载随隧道埋深拟合公式;

根据围岩形变荷载侧压力系数的概率密度函数求取各概率条件下的侧压力系数范围;

对所述侧压力系数范围进行修正得到最终侧压力系数;

通过多因素分析方法,考虑隧道围岩级别、隧道跨度、隧道埋深影响因素,推导建立围岩竖向形变荷载计算公式,

其中,围岩竖向形变荷载计算公式:

$$q = \alpha \cdot B \cdot e^{0.5s - \frac{15}{H}} \quad \text{式 9}$$

式9中: $s$ -围岩级别; $\alpha$ -修正系数, $\alpha=1.38$ 。;

根据所述围岩竖向形变荷载计算公式和所述侧压力系数求得围岩形变荷载。

6. 根据权利要求5所述的深埋隧道围岩形变荷载计算方法,其特征在于,所述深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据至少收集于50座隧道且所述深埋隧道围岩形变荷载监测

断面至少为200个。

7. 根据权利要求5所述的深埋隧道围岩形变荷载计算方法,其特征在于,所述施工方法包括全断面法、台阶法、微台阶法以及CRD法。

8. 根据权利要求5所述的深埋隧道围岩形变荷载计算方法,其特征在于,所述围岩级别分为I、II、III、IV、V以及VI。

## 深埋隧道围岩形变荷载计算方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及隧道领域,具体而言,涉及一种深埋隧道围岩形变荷载计算方法。

### 背景技术

[0002] 围岩荷载是指引起地下开挖空间周围岩体和支护变形或破坏的作用力。它包括由地应力引起的围岩应力以及围岩变形受阻而作用在支护结构上的作用力。围岩荷载按作用力的发生形态,一般可分为松动荷载和形变荷载。影响围岩荷载的因素很多,一般可分为两大类:一类是地质因素,它包括初始应力状态、岩石力学性质、岩体结构面等;另一类是工程因素,它包括施工工法、支护设置时间、支护刚度、坑道形状等。

[0003] 我国目前铁路隧道支护设计主要采用的是《铁路隧道设计规范》(TB10003-2016)中围岩荷载计算方法,该方法综合了全土柱理论、谢家焦公式和基于样本统计及围岩分级经验公式的优点,物理概念明确,便于工程技术人员应用。然而该经验公式存在计算围岩荷载随埋深变化不连续的情况,并且该经验公式是基于塌方统计资料条件下建立的。

[0004] 由于近年来我国长大隧道数量日渐增多,塌方事故却逐渐减少,这与我国隧道施工水平的提高有极大的关系。且我国目前较多的隧道已从人工小机械时代逐渐过渡到标准机械化施工时代,施工水平得到极大大提高。同时隧道修建不但采用了超前支护措施,极大的提升了围岩自承能力,而且初期支护封闭及时、质量可靠,拱脚落底快,能很好的抑制围岩变形。因此,采用《铁路隧道设计规范》中塌方荷载计算方法进行隧道修建会造成安全储备较大,资源浪费,故需提出一种基于围岩变形条件下的形变荷载计算方法来指导工程实践。

### 发明内容

[0005] 本发明实施例提供了一种深埋隧道围岩形变荷载计算方法,旨在提供一种形变荷载计算方法来指导工程实践,以减少资源浪费。

[0006] 第一方面,本发明实施例提供一种深埋隧道围岩形变荷载计算方法,包括如下步骤:

[0007] 收集深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据;

[0008] 根据围岩级别、隧道跨度以及施工方法分别将所述样本数据进行分类,并分别按照不同围岩级别、不同隧道跨度区间以及不同施工方法统计样本占比;

[0009] 根据所述样本数据分析IV、V级围岩形变荷载分布;

[0010] 根据面积等效原则将所述样本中的围岩形变荷载数据分解成竖向、水平均布荷载进行计算并按照均布等效荷载模式进行分布,

[0011] 其中,竖向形变荷载为:

$$q = \frac{(x_2 - x_1)\alpha_1 + x_1\alpha_2}{2B} \quad \text{式 1}$$

[0013] 式1中:

[0014]  $\alpha_1 = \sigma_2 \sin \vartheta + \sigma_4 \sin \vartheta$  式 2

[0015]  $\alpha_2 = 2\sigma_3 + \sigma_2 \sin \vartheta + \sigma_4 \sin \vartheta$  式 3

[0016] 水平向形变荷载为:

[0017] 
$$e = \frac{y_1 \beta_1 + y_2 \beta_2 + y_2 \beta_3}{4h}$$
 式 4

[0018] 式中:

[0019]  $\beta_1 = \sigma_2 \cos \vartheta + \sigma_4 \cos \vartheta$  式 5

[0020]  $\beta_2 = \sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_2 \cos \vartheta + \sigma_4 \cos \vartheta$  式 6

[0021]  $\beta_3 = \sigma_1 + \sigma_5$  式 7

[0022] 侧压力系数为

[0023]  $\lambda = e/q$  式 8

[0024] 以上各式中,  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5$  为实测径向围岩荷载值,  $\theta$  为径向荷载方向与竖向的夹角,  $h$  为隧道高度,  $B$  为隧道跨度,  $\lambda$  为侧压力系数;

[0025] 通过数理统计方法, 分析形变荷载与各因素之间的相互关系及变化规律并得出形变荷载随围岩级别拟合公式、形变荷载随隧道跨度拟合公式以及形变荷载随隧道埋深拟合公式;

[0026] 根据围岩形变荷载侧压力系数的概率密度函数求取各概率条件下的侧压力系数范围;

[0027] 对所述侧压力系数范围进行修正得到最终侧压力系数;

[0028] 通过多因素分析方法, 考虑隧道围岩级别、隧道跨度、隧道埋深影响因素, 推导建立围岩竖向形变荷载计算公式;

[0029] 根据所述围岩竖向形变荷载计算公式和所述侧压力系数求得围岩形变荷载。

[0030] 在本发明实施例中, 通过采用围岩荷载现场监测数据, 考虑围岩级别、隧道埋深、隧道跨度因素, 通过数理统计方法, 推导建立一种基于围岩变形条件下的围岩形变荷载计算方法。研究成果可为未来隧道及地下工程支护设计提供参考, 同时可有效的减小工程造价。

[0031] 在一种具体的实施方案中, 所述深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据至少收集于 50 座隧道且所述深埋隧道围岩形变荷载监测断面至少为 200 个。

[0032] 在一种具体的实施方案中, 所述施工方法包括全断面法、台阶法、微台阶法以及 CRD 法。

[0033] 在一种具体的实施方案中, 所述围岩级别分为 I、II、III、IV、V 以及 VI。

[0034] 第二方面, 本发明实施例提供了一种深埋隧道围岩形变荷载计算方法, 包括如下步骤:

[0035] 收集深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据;

[0036] 根据围岩级别、隧道跨度以及施工方法分别将所述样本数据进行分类, 并分别按照不同围岩级别、不同隧道跨度区间以及不同施工方法统计样本占比;

[0037] 根据所述样本数据分析 IV、V 级围岩形变荷载分布;

[0038] 根据面积等效原则将所述样本中的围岩形变荷载数据分解成竖向、水平分布荷载

进行计算并按照均布等效荷载模式进行分布,

[0039] 其中,竖向形变荷载为:

$$[0040] \quad q = \frac{(x_2 - x_1)\alpha_1 + x_1\alpha_2}{2B} \quad \text{式 1}$$

[0041] 式1中:

$$[0042] \quad \alpha_1 = \sigma_2 \sin \vartheta + \sigma_4 \sin \vartheta \quad \text{式 2}$$

$$[0043] \quad \alpha_2 = 2\sigma_3 + \sigma_2 \sin \vartheta + \sigma_4 \sin \vartheta \quad \text{式 3}$$

[0044] 水平向形变荷载为:

$$[0045] \quad e = \frac{y_1\beta_1 + y_2\beta_2 + y_2\beta_3}{4h} \quad \text{式 4}$$

[0046] 式中:

$$[0047] \quad \beta_1 = \sigma_2 \cos \vartheta + \sigma_4 \cos \vartheta \quad \text{式 5}$$

$$[0048] \quad \beta_2 = \sigma_1 + \sigma_5 + \sigma_2 \cos \vartheta + \sigma_4 \cos \vartheta \quad \text{式 6}$$

$$[0049] \quad \beta_3 = \sigma_1 + \sigma_5 \quad \text{式 7}$$

[0050] 侧压力系数为

$$[0051] \quad \lambda = e/q \quad \text{式 8}$$

[0052] 以上各式中, $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ 、 $\sigma_4$ 、 $\sigma_5$ 为实测径向围岩荷载值, $\theta$ 为径向荷载方向与竖向的夹角, $h$ 为隧道高度, $B$ 为隧道跨度, $\lambda$ 为侧压力系数;

[0053] 通过数理统计方法,分析形变荷载与各因素之间的相互关系及变化规律并得出形变荷载随围岩级别拟合公式、形变荷载随隧道跨度拟合公式以及形变荷载随隧道埋深拟合公式;

[0054] 根据围岩形变荷载侧压力系数的概率密度函数求取各概率条件下的侧压力系数范围;

[0055] 对所述侧压力系数范围进行修正得到最终侧压力系数;

[0056] 通过多因素分析方法,考虑隧道围岩级别、隧道跨度、隧道埋深影响因素,推导建立围岩竖向形变荷载计算公式,

[0057] 其中,围岩竖向形变荷载计算公式:

$$[0058] \quad q = \alpha \cdot B \cdot e^{0.5s - \frac{15}{H}} \quad \text{式 9}$$

[0059] 式9中: $s$ -围岩级别; $\alpha$ -修正系数, $\alpha=1.38$ 。;

[0060] 根据所述围岩竖向形变荷载计算公式和所述侧压力系数求得围岩形变荷载。

[0061] 在一种具体的实施方案中,所述深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据至少收集于50座隧道且所述深埋隧道围岩形变荷载监测断面至少为200个。

[0062] 在一种具体的实施方案中,所述施工方法包括全断面法、台阶法、微台阶法以及CRD法。

[0063] 在一种具体的实施方案中,所述围岩级别分为I、II、III、IV、V以及VI。

## 附图说明

[0064] 为了更清楚地说明本发明实施方式的技术方案,下面将对实施方式中所需要使用

的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本发明的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,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相关的附图。

- [0065] 图1是本发明实施例提供的深埋隧道围岩形变荷载计算方法流程图;
- [0066] 图2是本发明实施例提供的各围岩级别样本占比;
- [0067] 图3是本发明实施例提供的各隧道跨度样本占比;
- [0068] 图4是本发明实施例提供的各施工工法样本占比;
- [0069] 图5是本发明实施例提供的IV级围岩形变荷载分布图;
- [0070] 图6是本发明实施例提供的V级围岩形变荷载分布图;
- [0071] 图7是本发明实施例提供的形变荷载测点布置及荷载模式分布图;
- [0072] 图8是本发明实施例提供的竖向形变荷载变化曲线图;
- [0073] 图9是本发明实施例提供的竖向形变荷载变化曲线(线性函数)图;
- [0074] 图10是本发明实施例提供的竖向形变荷载变化曲线(幂函数)图;
- [0075] 图11是本发明实施例提供的竖向形变荷载变化曲线图(IV);
- [0076] 图12是本发明实施例提供的竖向形变荷载变化曲线图(V);
- [0077] 图13是本发明实施例提供的竖向形变荷载变化曲线图(IV);
- [0078] 图14是本发明实施例提供的竖向形变荷载变化曲线图(V);
- [0079] 图15是本发明实施例提供的竖向形变荷载变化曲线图(IV);
- [0080] 图16是本发明实施例提供的竖向形变荷载变化曲线图(V);
- [0081] 图17是本发明实施例提供的IV级围岩侧压力系数分布图;
- [0082] 图18是本发明实施例提供的V级围岩侧压力系数分布图。

### 具体实施方式

[0083] 为使本发明实施方式的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施方式中的附图,对本发明实施方式中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施方式是本发明一部分实施方式,而不是全部的实施方式。基于本发明中的实施方式,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施方式,都属于本发明保护的范围。

[0084] 因此,以下对在附图中提供的本发明的实施方式的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的选定实施方式。基于本发明中的实施方式,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施方式,都属于本发明保护的范围。

[0085] 应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。

### [0086] 实施例

[0087] 目前关于围岩荷载的确定有多种方法,如理论计算方法、经验公式法、数值模拟法、实时监测法、模型试验法等,各种方法均有其适用条件。其中常用的理论计算方法主要是由普氏理论、太沙基理论、弹塑性理论、极限平衡理论、岩柱理论等理论推导建立的围岩荷载计算公式,其中有代表性的为比尔鲍曼公式、太沙基公式、卡柯公式、普氏公式、芬纳公

式、卡斯特纳公式等。常用的经验公式有基于Q系统的计算公式和基于RMR系统的计算公式等。数值模拟法对于受力状态无法采用解析方法求出、边界条件较为复杂、没有长期经验积累的工程来说具有一定的适用性。但由于地质条件和工程的复杂性,各种围岩荷载理论计算公式、经验计算公式及数值模拟等应用于实际时会出现一定的误差,故依靠实测来求得的围岩荷载值对于工程的建设具有重要的参考价值。

[0088] 我国目前铁路隧道支护设计主要采用的是《铁路隧道设计规范》中围岩荷载计算方法,该方法综合了全土柱理论、谢家焦公式和基于样本统计及围岩分级经验公式的优点,物理概念明确,便于工程技术人员应用。然而该经验公式存在计算围岩荷载随埋深变化不连续的情况,并且该经验公式是基于塌方统计资料条件下建立的。由于近年来我国长大隧道数量日渐增多,塌方事故却逐渐减少,这与我国隧道施工水平的提高有极大的关系。且我国目前较多的隧道已从人工小机械时代逐渐过渡到标准机械化施工时代,施工水平得到极大提高。同时隧道修建不但采用了超前支护措施,极大的提升了围岩自承能力,而且初期支护封闭及时、质量可靠,拱脚落底快,能很好的抑制围岩变形。因此,采用《铁路隧道设计规范》中塌方荷载计算方法进行隧道修建会造成造成安全储备较大,资源浪费,故需提出一种基于围岩变形条件下的形变荷载计算方法来指导工程实践。

[0089] 为此,本发明人经过长期的研究提出一种深埋隧道围岩形变荷载计算方法,采用大量围岩荷载现场监测数据,考虑围岩级别、隧道埋深、隧道跨度因素,通过数理统计方法,推导建立一种基于围岩变形条件下的围岩形变荷载计算方法。研究成果可为未来隧道及地下工程支护设计提供参考,同时可有效的减小工程造价。

[0090] 请参阅图1,该深埋隧道围岩形变荷载计算方法,包括如下步骤:

[0091] 收集深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据。形变荷载主要体现在喷射混凝土、喷锚支护的接触压力上。因此,采用在喷射混凝土、喷锚支护结构上进行的围岩接触压力现场监测成果作为分析形变荷载的依据。各监测点形变荷载监测值分别通过土压力传感器进行监测,最终选取稳定值作为形变荷载,用于后续的研究。

[0092] 在具体的一种实施例中,深埋隧道围岩形变荷载监测断面样本数据至少收集于50座隧道且所述深埋隧道围岩形变荷载监测断面至少为200个。由于本发明是基于围岩荷载现场监测数据出发来确定围岩形变荷载计算方法,因此,样本数据越多最终的成果越准确或者说更贴近实际。具体地,在本发明实施例中,通过现场实测和文献调研方法,共获取国内2000~2018年间修建的54座隧道、205个形变荷载监测断面样本数据,主要分布在我国华北、华中、华东、华南以及西南地区。近10年的隧道能够代表当前隧道施工技术的水平,而且隧道分布于我国华北、华中、华东、华南以及西南地区,因此,最终得出的深埋隧道围岩形变荷载计算方法能够普遍在国内适用。

[0093] 根据围岩级别、隧道跨度以及施工方法分别将所述样本数据进行分类,并分别按照不同围岩级别、不同隧道跨度区间以及不同施工方法统计样本占比。

[0094] 具体地,围岩级别分为I、II、III、IV、V以及VI。隧道跨度区间可以根据《铁路隧道设计规范》(TB10003-2016)第1.0.6条中的相关规定按照小跨度、中跨度、大跨度、特大跨度进行划分。施工方法可以分为全断面法、台阶法、微台阶法以及CRD法。

[0095] 请参阅图2-4,分别示出了各围岩级别样本占比、各隧道跨度样本占比以及各施工工法样本占比。

[0096] 根据样本数据分析IV、V级围岩形变荷载分布。请参阅图5、6,在本实施例中,样本数据中绝大部分为IV、V级围岩,IV围岩占比45%,V级围岩占比44%;样本数据中隧道跨度绝大部分为8~16m,其中9~15.2m占比95%;IV级围岩形变荷载实测值130kPa以下占比91.5%;V级围岩形变荷载实测值275kPa以下占比84.31%。

[0097] 根据面积等效原则将所述样本中的围岩形变荷载数据分解成竖向、水平均布荷载进行计算并按照均布等效荷载模式进行分布。其中 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ 、 $\sigma_4$ 、 $\sigma_5$ 为实测径向围岩荷载值, $\theta$ 为径向荷载方向与竖向的夹角,h为隧道高度,B为隧道跨度, $\lambda$ 为侧压力系数,请参阅图7。

[0098] 其中,竖向形变荷载为:

$$[0099] \quad q = \frac{(x_2 - x_1)\alpha_1 + x_1\alpha_2}{2B} \quad \text{式 1}$$

[0100] 式1中:

$$[0101] \quad \alpha_1 = \sigma_2 \sin \theta + \sigma_4 \sin \theta \quad \text{式 2}$$

$$[0102] \quad \alpha_2 = 2\sigma_3 + \sigma_2 \sin \theta + \sigma_4 \sin \theta \quad \text{式 3}$$

[0103] 水平向形变荷载为:

$$[0104] \quad e = \frac{y_1\beta_1 + y_2\beta_2 + y_3\beta_3}{4h} \quad \text{式 4}$$

[0105] 式中:

$$[0106] \quad \beta_1 = \sigma_2 \cos \theta + \sigma_4 \cos \theta \quad \text{式 5}$$

$$[0107] \quad \beta_2 = \sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_2 \cos \theta + \sigma_4 \cos \theta \quad \text{式 6}$$

$$[0108] \quad \beta_3 = \sigma_1 + \sigma_5 \quad \text{式 7}$$

[0109] 侧压力系数为:

$$[0110] \quad \lambda = e/q \quad \text{式 8}$$

[0111] 通过数理统计方法,分析形变荷载与各因素之间的相互关系及变化规律并得出形变荷载随围岩级别拟合公式、形变荷载随隧道跨度拟合公式以及形变荷载随隧道埋深拟合公式。

[0112] 在一种具体的实施方案中,为了消除隧道跨度对围岩形变荷载值的影响,将样本中各级围岩形变荷载平均值作为分析对象,分析两者之间的关系,请参阅图8和表1。

[0113] 表1 形变荷载随围岩级别拟合公式

[0114]

形变荷载	拟合公式	相关系数
竖向形变荷载	$q = 18e^{0.45s}$	0.93

[0115] 根据图8和表1分析可知,形变荷载值随隧道围岩级别呈指数增长趋势,且相关系数为0.93。

[0116] 为了消除隧道围岩级别对围岩形变荷载的影响,将样本中各跨度下形变荷载平均值作为分析对象,分析两者之间的关系,请参阅图9、图10以及表2。

[0117] 表2 形变荷载随隧道跨度拟合公式

[0118]

形变荷载拟合公式	拟合公式	相关系数
线性函数	$q = 12.0B - 45.25$	0.94

幂函数	$q=3.0 \cdot B^{1.40}$	0.91
-----	------------------------	------

[0119] 根据图9、10以及表2分析可知,形变荷载值随隧道跨度呈两种函数增长趋势,即线性函数,相关系数为0.94;幂函数,相关系数为0.91。

[0120] 由于样本中IV、V级围岩形变荷载数据占比较大,将样本中IV、V级围岩形变荷载值q与埋深H关系进行分析,请参阅图11、图12。

[0121] 根据图11和12分析可知,直接将形变荷载值q与埋深H建立关系时,两者之间无明显变化规律。故须将竖向形变荷载值与埋深进行形式转化,进而分析两者之间的关系,选取两种形式进行分析,下面予以详细说明。

[0122] 为了消除隧道跨度、围岩级别对围岩形变荷载值的影响,现将样本中竖向形变荷载值(q)与隧道跨度(B)比值(q/B)为纵坐标,埋深H为横坐标进行分析,请参阅图13、14以及表3。

[0123] 表3 形变荷载随隧道埋深拟合公式

[0124]

形变荷载	拟合公式	相关系数
(IV) 竖向形变荷载	$q/B=2.81 \cdot H^{0.20}$	0.89
(V) 竖向形变荷载	$q/B=4.35 \cdot H^{0.22}$	0.86

[0125] 根据图13、14以及表3分析可知,q/B、H两者之间呈幂函数关系,且IV、V级围岩形变荷载随埋深变化趋势相同。

[0126] 为了消除隧道跨度、围岩级别对围岩形变荷载值的影响,可以将样本中竖向形变荷载值(q)与隧道跨度(B)比值(q/B)为纵坐标,埋深的负倒数(-1/H)为横坐标进行分析,请参阅图15、16以及表4。

[0127] 表4 形变荷载随隧道埋深拟合公式

[0128]

形变荷载	拟合公式	相关系数
(IV) 竖向形变荷载	$q/B=10.38 \cdot e^{-\frac{35.2}{H}}$	0.80
(V) 竖向形变荷载	$q/B=16.63 \cdot e^{-\frac{32.03}{H}}$	0.83

[0129] 根据图15、16以及表4分析可知,q/B、-1/H两者之间呈指数函数关系,且IV、V级围岩形变荷载随埋深变化趋势相同。

[0130] 根据围岩形变荷载侧压力系数的概率密度函数求取各概率条件下的侧压力系数范围。为了得到围岩水平向形变荷载,可以通过侧压力系数来进行分析。根据分析可知,围岩形变荷载侧压力系数近似服从正态分布,概率密度函数如表5所示。

[0131] 表5 各岩级别正太分布函数表

[0132]

围岩级别	数学期望值	标准差	概率密度函数
IV	0.47	0.10	$f(x)=\frac{1}{\sqrt{0.2\pi}} \exp(-\frac{(\lambda-0.47)}{0.02})$
V	0.71	0.12	$f(x)=\frac{1}{\sqrt{0.24\pi}} \exp(-\frac{(\lambda-0.71)}{0.0288})$

[0133] 根据概率密度函数,最终求得各概率条件下的侧压力系数分布值,如表6所示。

[0134] 表6 侧压力系数分布区间

[0135]

数据区间	侧压力系数(λ) (IV级围岩)	概率	侧压力系数(λ) (V级围岩)	概率
(μ-σ, μ+σ)	(0.37, 0.57)	68.26%	(0.59, 0.83)	68.26%
(μ-1.96σ, μ+1.96σ)	(0.27, 0.67)	95.44%	(0.47, 0.95)	95.44%
(μ-1.96σ, μ+1.96σ)	(0.21, 0.73)	99.73%	(0.40, 1.02)	99.73%

[0136] 现场实测形变荷载值往往存在一定的不均匀性,结构受力处于不利状态,故偏于结构安全性考虑,根据置信度对上述侧压力系数范围进行修正得到最终侧压力系数,请参阅图17、18以及表7。

[0137] 表7 侧压力系数表

[0138]

围岩级别	III	IV	V
侧压力系数	<0.25	0.25~0.5	0.5~1.0
置信区间	---	89%	90%
《隧规》侧压力系数	<0.15	0.15~0.30	0.30~0.50

[0139] 根据表7可知,与《铁路隧道设计规范》中侧压力系数相比,各围岩条件下侧压力系数均有一定的增大。

[0140] 通过多因素分析方法,考虑隧道围岩级别、隧道跨度、隧道埋深影响因素,推导建立围岩竖向形变荷载计算公式,可参见表8。

[0141] 表8 竖向形变荷载计算公式

[0142]

序号	公式	考虑因素	修正系数 α	相关系数
1	$q = \alpha \cdot B^{1.25} \cdot H^{0.1} \cdot e^{0.5s}$	围岩级别 s、隧道跨度 B、埋深 H	α=0.35	0.897
2	$q = \alpha \cdot B^{1.25} \cdot e^{(0.5s-15/H)}$	围岩级别 s、隧道跨度 B、埋深 H	α=0.71	0.920
3	$q = \alpha \cdot B^{1.25} \cdot e^{0.45s}$	围岩级别 s、隧道跨度 B	α=0.81	0.920
4	$q = \alpha \cdot B \cdot H^{0.1} \cdot e^{0.5s}$	围岩级别 s、隧道跨度 B、埋深 H	α=0.69	0.907
5	$q = \alpha \cdot B \cdot e^{(0.5s-15/H)}$	围岩级别 s、隧道跨度 B、埋深 H	α=1.38	0.935
6	$q = \alpha \cdot B \cdot e^{0.45s}$	围岩级别 s、隧道跨度 B	α=1.55	0.915

[0143] 根据所述围岩竖向形变荷载计算公式和所述侧压力系数求得围岩形变荷载。

[0144] 具体地,可以选取表8中相关系数最高的形变荷载计算公式作为最终计算公式,如下:

[0145] 竖向形变荷载计算公式:

[0146]  $q = \alpha \cdot B \cdot e^{0.5s - \frac{15}{H}}$  式 9

[0147] 式9中:s-围岩级别;α-修正系数,α=1.38。

[0148] 由前述内容可知,水平向形变荷载计算公式:

[0149]  $e = \lambda q$  式8

[0150] 其中,侧压力系数λ,按照表9所示取值,式9中其他符号意义与前述公式一致。

[0151] 表9 侧压力系数表

[0152]

围岩级别	I~III	IV	V	VI
侧压力系数	<0.25	0.25~0.5	0.5~0.9	0.9~1

[0153] 根据竖向形变荷载和水平向形变荷载从而可以得到围岩形变荷载。

[0154] 以上所述仅为本发明的优选实施方式而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。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。

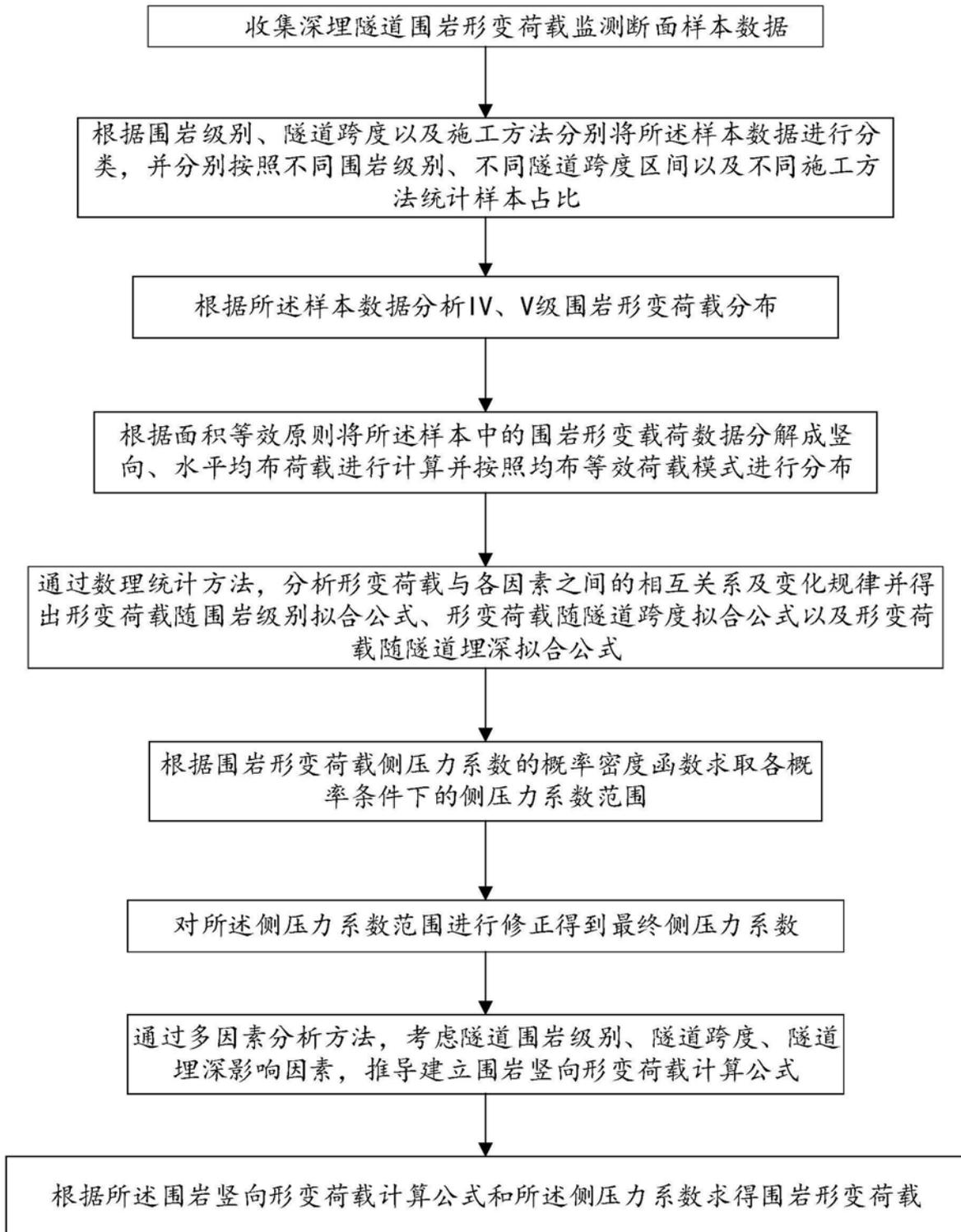


图1

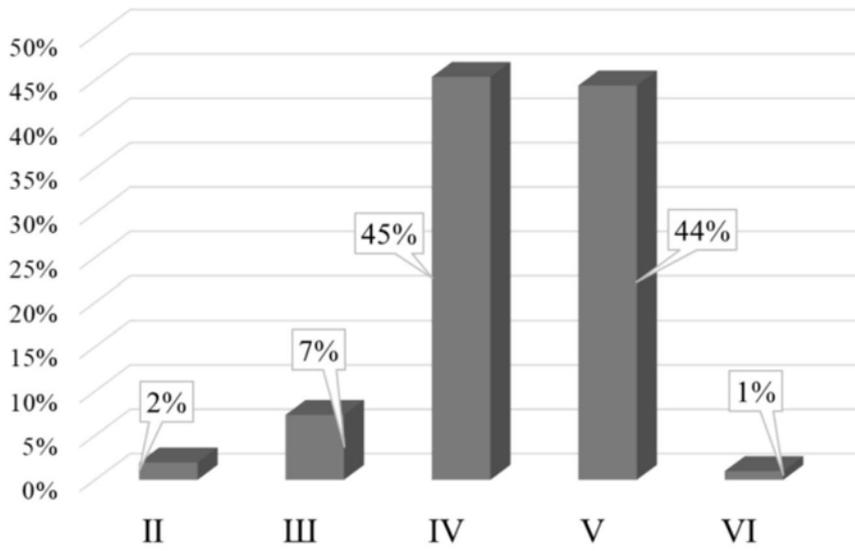


图2

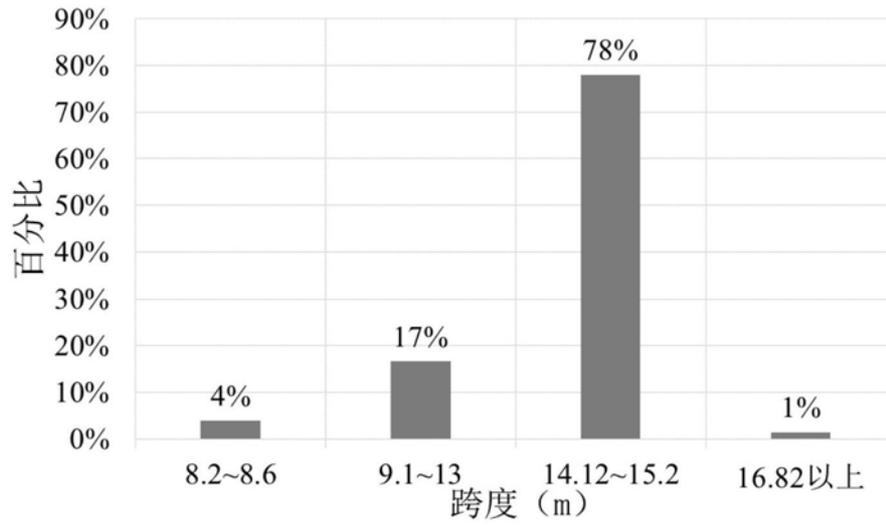


图3

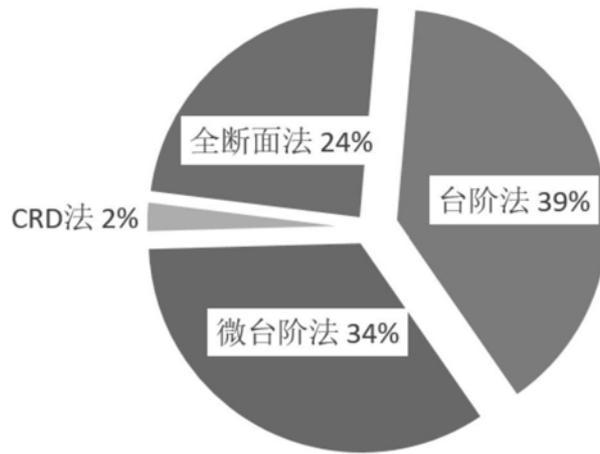


图4

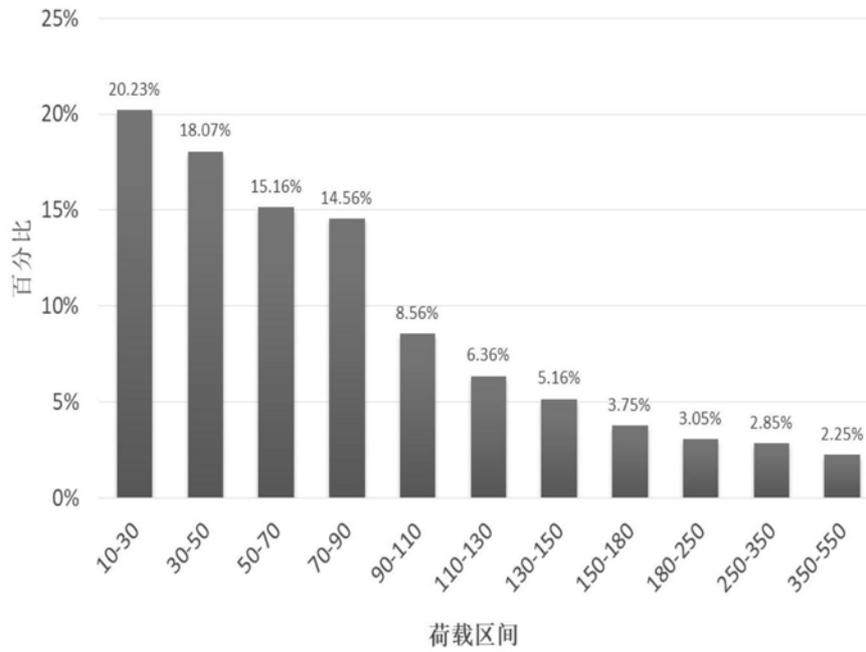


图5

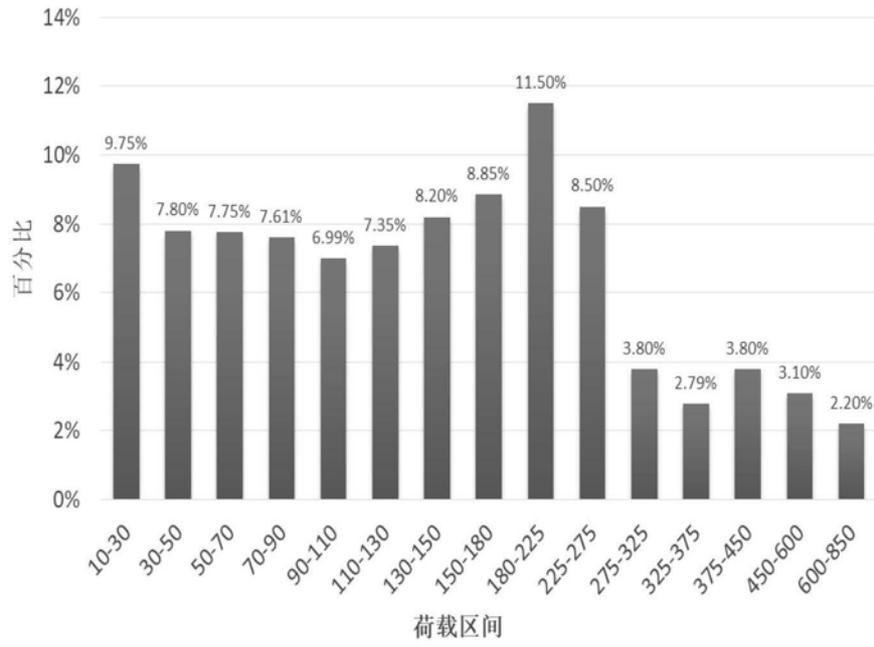


图6

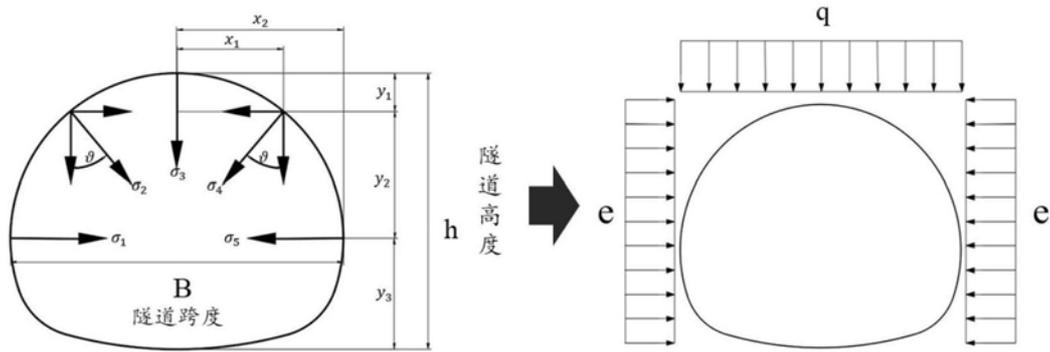


图7

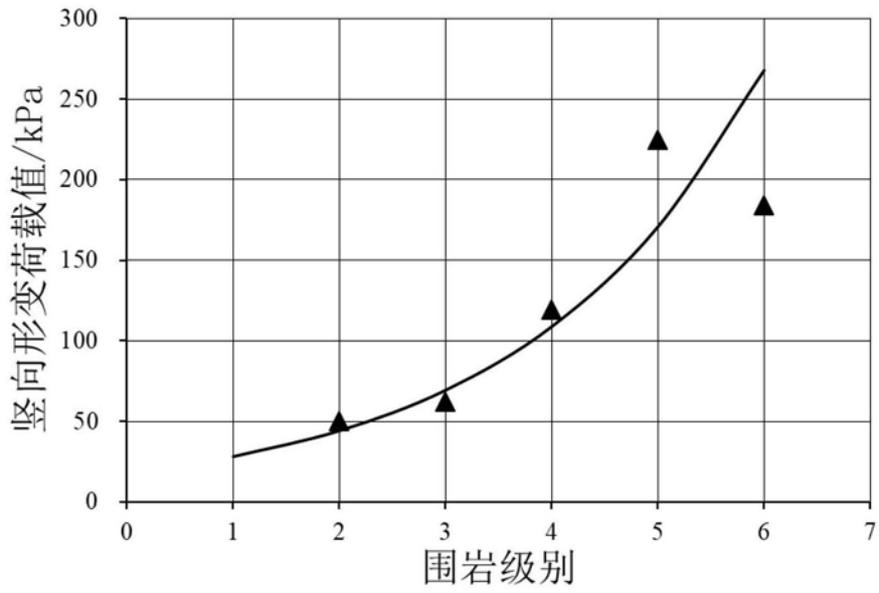


图8

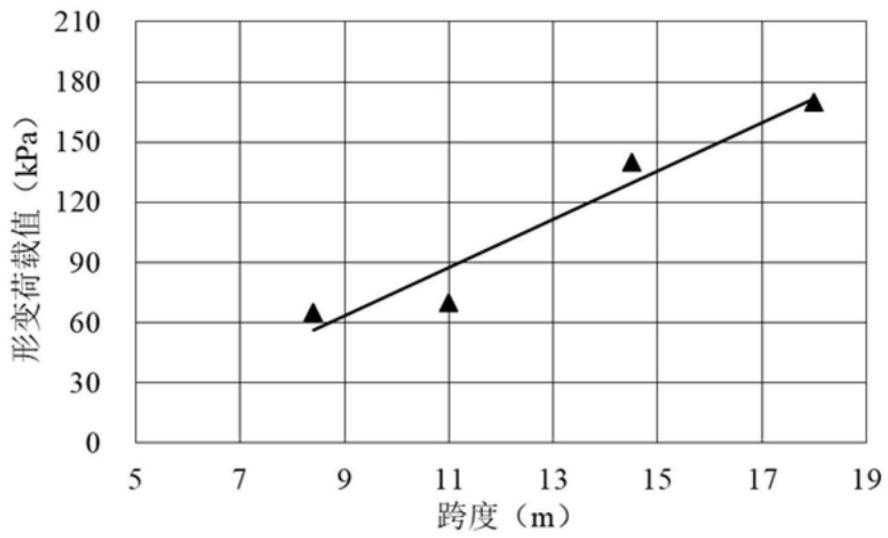


图9

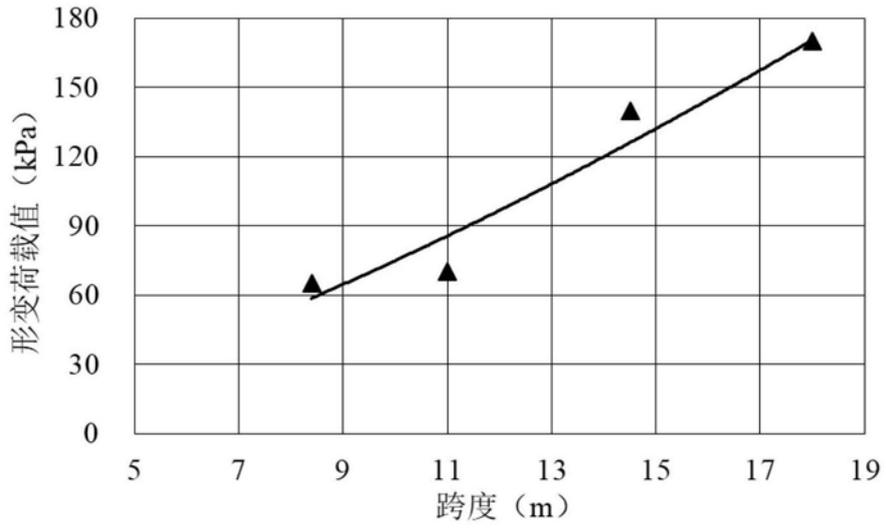


图10

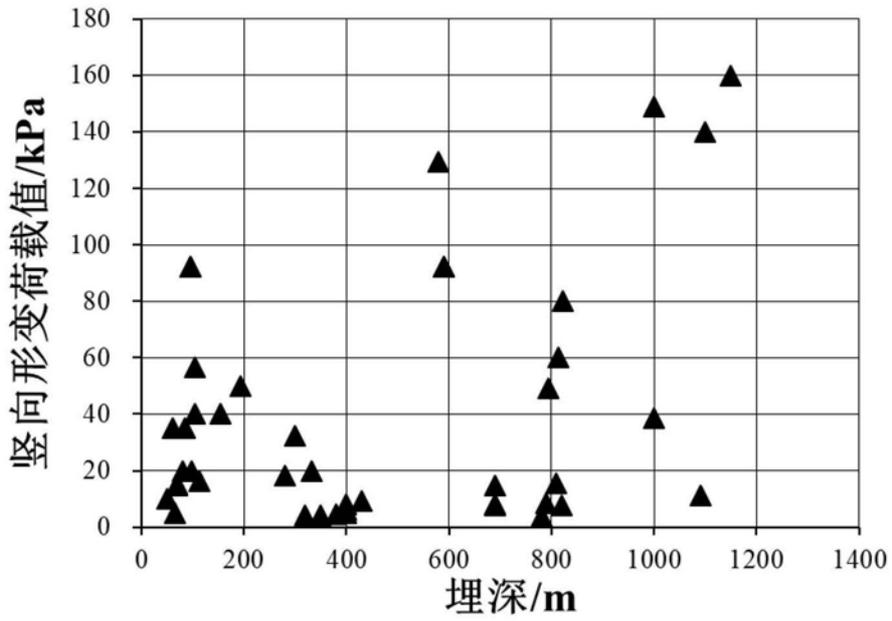


图11

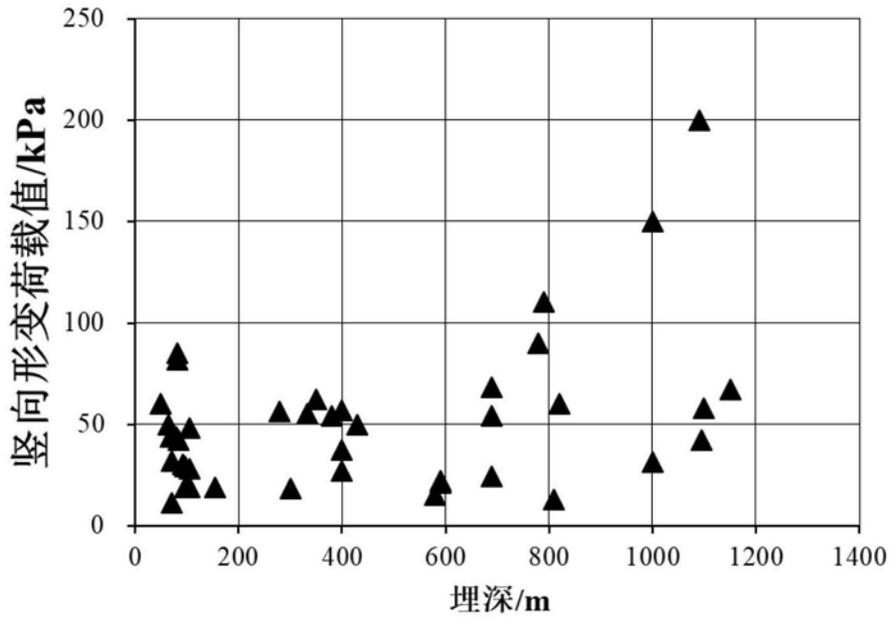


图12

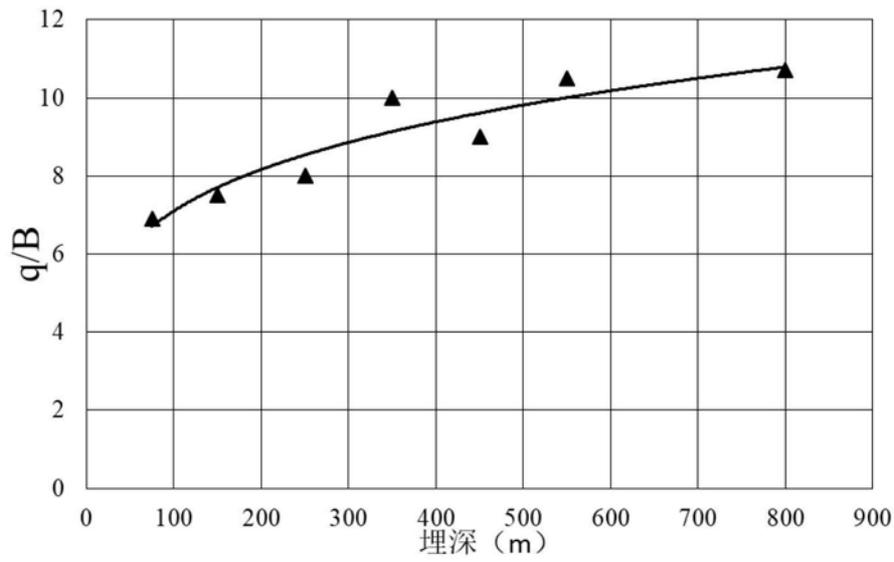


图13

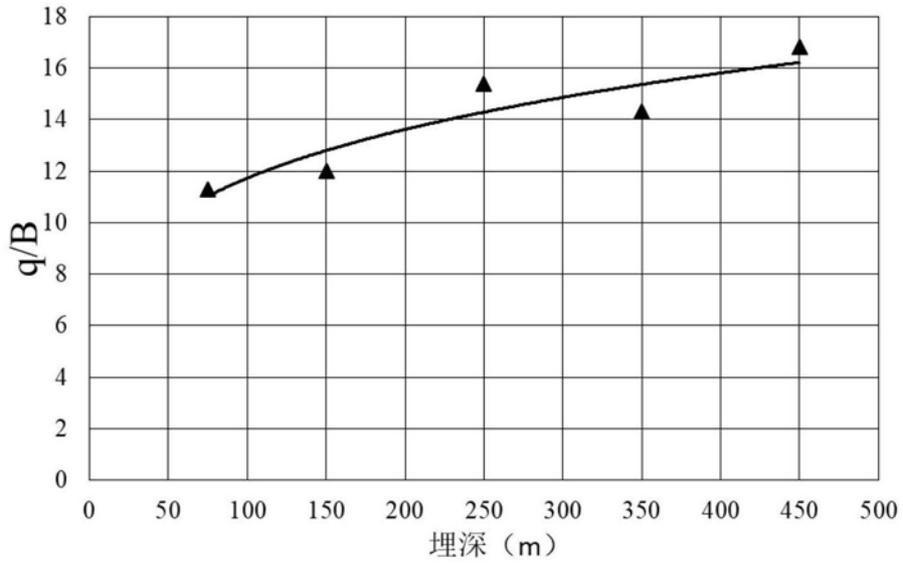


图14

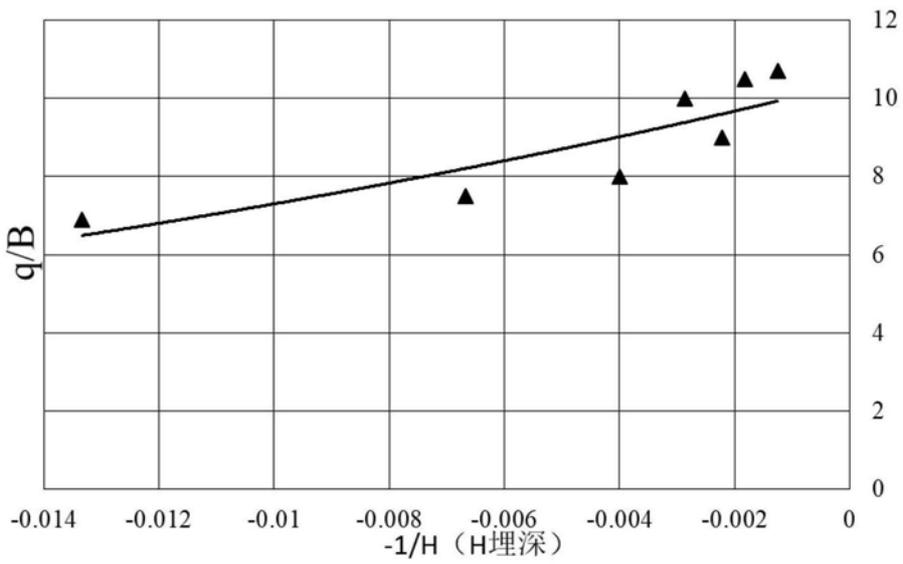


图15

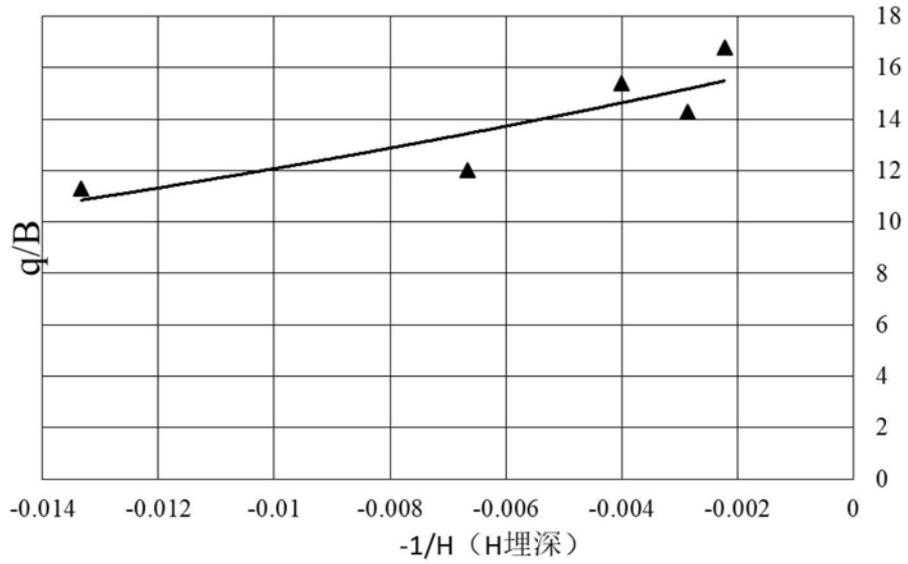


图16

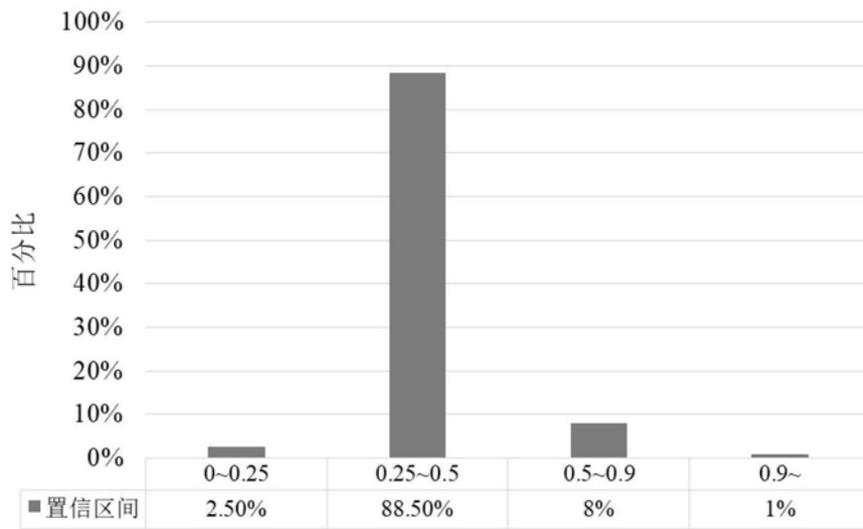


图17

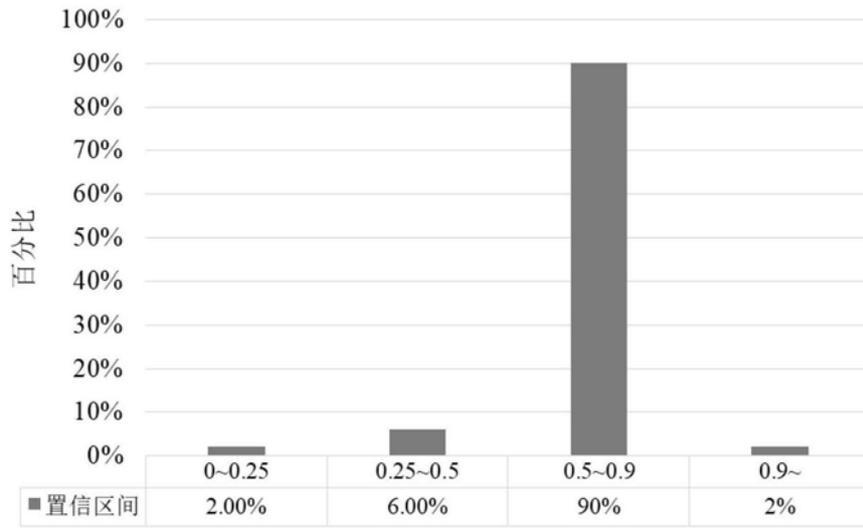


图18