



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109447366 A

(43)申请公布日 2019.03.08

(21)申请号 201811329494.2

(22)申请日 2018.11.09

(71)申请人 昆明理工大学

地址 650093 云南省昆明市五华区学府路
253号

(72)发明人 杨志全 丁一 杨溢 朱颖彦
韩用顺 卢杰 王渊 杨文才
丁攀

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

G06Q 10/06(2012.01)

权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法

(57)摘要

本发明公开了一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法,属于岩石工程技术领域。本发明通过测量需加固的松散碎石土层的密度 ρ 、含水量 ω 与比重 G_s ,并计算出松散碎石土层的孔隙度 ϕ ;根据松散碎石土层的密度 ρ 、含水量 ω 、比重 G_s 和孔隙度 ϕ 选用注浆花管,测量所选用注浆花管侧边注浆孔间的孔距,计算出平均孔距 l ;根据所设计注浆压力 p 、注浆流体水灰比 w 、注浆时间 t 和注浆结石体抗压强度公式 $F_{cu}=17.462p^{0.143}w^{-0.685}l^{-0.141}t^{0.036}n^{0.442}$ 计算出花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度 F_{cu} 。本发明方法技术可靠,简单可行,可作为采用花管注浆技术加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度设计与预测的理论依据,能为注浆工程实践提供理论支撑。

1. 一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法,其特征在于,具体步骤如下:

(1) 测量需加固的松散碎石土层的密度 ρ 、含水量 ω 与比重 G_s ,并计算出松散碎石土层的孔隙度 ϕ ;

(2) 根据步骤(1)松散碎石土层的密度 ρ 、含水量 ω 、比重 G_s 和孔隙度 ϕ 选用注浆花管,测量所选用注浆花管侧边注浆孔间的孔距,计算出平均孔距 l ;

(3) 设计注浆压力 p 、注浆流体水灰比 w 与注浆时间 t ,根据结石体抗压强度公式

$$F_{cu} = 17.462p^{0.143}w^{-0.685}l^{-0.141}t^{0.036}\eta^{0.442}$$

计算出花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度 F_{cu} ;抗压强度 F_{cu} 、注浆压力 p 、注浆时间 t 与注浆花管侧边注浆孔间平均孔距 l 的单位分别为MPa、MPa、s与cm,注浆流体水灰比 w 与松散碎石土层的孔隙度 ϕ 为无量纲数。

2. 根据权利要求1所述花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法,其特征在于:步骤(1)松散碎石土层的孔隙度 ϕ 的计算公式为

$$\phi = 1 - \frac{\rho}{G_s \rho_w^{4^\circ C} (1 + \omega)}$$

其中, $\rho_w^{4^\circ C}$ 为4°C时纯蒸馏水的密度,单位为g/cm³;松散碎石土层的密度 ρ 的单位为g/cm³;含水量 ω 为质量含水量,%;比重 G_s 为无量纲数。

3. 根据权利要求1所述花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法,其特征在于:注浆流体水灰比 w 的计算公式为

$$w = \frac{m_{\text{水}}}{m_{\text{注浆材料}}}$$

其中, $m_{\text{水}}$ 为配置注浆流体所需水的质量,单位为Kg, $m_{\text{注浆材料}}$ 为配置注浆流体所需注浆材料的质量,Kg。

一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法，属于岩石工程技术领域。

背景技术

[0002] 在中国，碎石土地层分布非常广泛；且大量的基础设施建设项目在碎石土地层筹备建设、建设之中及已建成投入运营。进入新世纪以来，随着社会经济的快速发展，我国对水利水电工程、铁路（高铁）、公路（高速公路）及城市轨道交通（地铁）等基础设施建设需求日益增大。如，截止到2015年底，我国的城市轨道交通运营里程3300公里；预计到2020年；全国城市轨道交通运营里程将达到6000公里，几乎增长一倍。然而，在这些工程建设迅猛发展的同时，所遭遇的工程地质条件日趋复杂，面临的问题愈来愈具有挑战性，诱发各类工程地质灾害也日益增多，如，滑坡、崩塌、泥石流、岩爆、地表塌陷、地表沉降、涌水与突泥等。这些地质灾害，不仅会造成重大的人员伤亡和巨大的财产损失，破坏水资源平衡和生态环境；而且显著影响着工程施工和运营期安全，严重威胁着经济发展和社会稳定。

[0003] 经过多年的工程实践表明：注浆技术，尤其是花管注浆技术，已成为解决当前碎石土地层中面临的各类工程领域岩土问题首选的有效技术手段；已在建筑、公路、铁路、地铁、矿山、隧道、水电与军事等工程领域得到了非常广泛地应用，并取得了良好的工程效果。

[0004] 在注浆实践工程上，花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度是检验注浆加固松散碎石土层效果最重要的指标参数。然而，目前国内外还未见相关的利用花管注浆技术加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的定量预测方法方面的报道与成果。因此，如何有效、快速且准确地确定花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度指标是注浆实践工程中急需解决的技术难题。

发明内容

[0005] 针对现有技术中花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测问题，本发明提供一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法，本发明能有效、快速且准确地确定花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度指标。

[0006] 一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法，具体步骤如下：

[0007] (1) 测量需加固的松散碎石土层的密度 ρ 、含水量 ω 与比重 G_s ，并计算出松散碎石土层的孔隙度 ϕ ；

[0008] (2) 根据步骤(1)松散碎石土层的密度 ρ 、含水量 ω 、比重 G_s 和孔隙度 ϕ 选用注浆花管，测量所选用注浆花管侧边注浆孔间的孔距，计算出平均孔距 l ；

[0009] (3) 设计注浆压力 p 、注浆流体水灰比 w 与注浆时间 t ，根据结石体抗压强度公式

[0010] $F_{cu} = 17.462p^{0.143}w^{-0.685}l^{-0.141}t^{0.036}n^{0.442}$

[0011] 计算出花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度 F_{cu} ；抗压强度 F_{cu} 、注浆压力 p 、注浆时间 t 与注浆花管侧边注浆孔间平均孔距 l 的单位分别为MPa、MPa、s与cm，注浆流体水灰比 w 与松散碎石土层的孔隙度 ϕ 为无量纲数。

[0012] 所述步骤(1)松散碎石土层的孔隙度 ϕ 的计算公式为

$$[0013] \quad \phi = 1 - \frac{\rho}{G_s \rho_w^{4^\circ C} (1 + \omega)}$$

[0014] 其中， $\rho_w^{4^\circ C}$ 为4℃时纯蒸馏水的密度，单位为 g/cm^3 ；松散碎石土层的密度 ρ 的单位为 g/cm^3 ；含水量 ω 为质量含水量，%；比重 G_s 为无量纲数。

[0015] 所述注浆流体水灰比 w 的计算公式为

$$[0016] \quad w = \frac{m_{\text{水}}}{m_{\text{注浆材料}}}$$

[0017] 其中， $m_{\text{水}}$ 为配置注浆流体所需水的质量，单位为Kg， $m_{\text{注浆材料}}$ 为配置注浆流体所需注浆材料的质量，Kg。

[0018] 松散碎石土层密度 ρ 的测量方法可以为灌水法、灌砂法或环刀法；

[0019] 松散碎石土层含水量 ω 的测量方法可以为烘干法；

[0020] 松散碎石土层比重 G_s 的测量方法可以为比重瓶法与虹吸筒法结合，对于粒径小于5mm的部分用比重瓶法测定比重，而对粒径不小于5mm的部分用虹吸筒法测定比重。

[0021] 本发明的有益效果：

[0022] (1) 本发明不仅能有效、快速且准确地确定花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度指标；而且可精确地获得在注浆过程中形成的结石体抗压强度与注浆压力、注浆流体水灰比、注浆时间、注浆花管侧边注浆孔间平均孔距与松散碎石土层孔隙度间的变化规律；

[0023] (2) 本发明技术可靠，简单易行，可作为采用花管注浆技术加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度设计与预测的理论依据，可指导注浆实践工程应用，提高花管注浆加固松散碎石土层的技术水平。

附图说明

[0024] 图1为实施例注浆试验装置结构示意图，其中，1-供压设备、2-储浆容器、3-试验箱、4-氮气减压器(装有压力表)与注浆控制开关、5-注浆流体、6-电子称、7-注浆导管、8-注浆花管、9-松散碎石土层；

[0025] 图2为实施例注浆花管示意图。

具体实施方式

[0026] 下面结合具体实施方式对本发明作进一步详细说明，但本发明的保护范围并不限于所述内容。

[0027] 本发明实施例中注浆试验装置结构示意图如图1所示，从图1可知，注浆试验装置包括供压设备1、储浆容器2、试验箱3、氮气减压器(装有压力表)与注浆控制开关4、注浆流体5、电子称6、注浆导管7、注浆花管8、松散碎石土层9，注浆花管8垂直固定设置在试验箱3的顶壁中心并向下延伸至试验箱3内，注浆花管8通过钢环焊接式接头与注浆实验装置的注

浆导管7连通;松散碎石土层9堆砌放置在试验箱3内部,储浆容器2放置在电子称6顶端,注浆导管7的另一端与储浆容器2低端的浆料出口连通,注浆流体5设置在储浆容器2内,储浆容器2的顶端封闭且顶端设置有与供压设备1气体出口连通的供压气体管道,供压气体管道上设置有氮气减压器(装有压力表)与注浆控制开关4。

[0028] 实验过程中,注浆结石体实际抗压强度的测量方法为:组装注浆实验装置并检查试验箱的密封性,试验箱中铺设松散碎石土层,在松散碎石土层中心埋设注浆花管,采用钢环焊接式接头连接注浆花管与注浆实验装置的注浆流体管路;开始注浆即打开注浆控制开关,并缓慢开启氮气减压器,不断调节注浆压力直到压力表达达到设计的注浆压力值,观察并记录浆液流动情况;当储浆容器中注浆流体注入时间达到预设时间时,停止注浆;待浆液凝固后拆模,依据土工试验规程的要求将注浆结石体制作成直径×高=50mm×50mm的圆柱形试件,再采用TAW-2000D微机控制电液伺服岩石三轴试验机测量得到注浆结石体实际抗压强度 $F_{\text{实cu}}$ 。

[0029] 实施例1:一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法,具体步骤如下:

[0030] (1) 测量需加固的松散碎石土层的密度 ρ 、含水量 ω 与比重 G_s ,并计算出松散碎石土层的孔隙度 ϕ ;

[0031] (2) 根据步骤(1)松散碎石土层的密度 ρ 、含水量 ω 、比重 G_s 和孔隙度 ϕ 选用注浆花管,测量所选用注浆花管侧边注浆孔间的孔距,计算出平均孔距 l ;

[0032] (3) 设计注浆压力 p 、注浆流体水灰比 w 与注浆时间 t ,根据结石体抗压强度公式

$$[0033] \quad F_{\text{cu}} = 17.462p^{0.143}w^{-0.685}l^{-0.141}t^{0.036}n^{0.442}$$

[0034] 计算出花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度 F_{cu} ;抗压强度 F_{cu} 、注浆压力 p 、注浆时间 t 与注浆花管侧边注浆孔间平均孔距 l 的单位分别为MPa、MPa、s与cm,注浆流体水灰比 w 与松散碎石土层的孔隙度 ϕ 为无量纲数。

[0035] 所述步骤(1)松散碎石土层的孔隙度 ϕ 的计算公式为

$$[0036] \quad \phi = 1 - \frac{\rho}{G_s \rho_w^{4^\circ\text{C}} (1 + \omega)}$$

[0037] 其中, $\rho_w^{4^\circ\text{C}}$ 为4℃时纯蒸馏水的密度,单位为 g/cm^3 ;松散碎石土层的密度 ρ 的单位为 g/cm^3 ;含水量 ω 为质量含水量,%;比重 G_s 为无量纲数。

[0038] 所述注浆流体水灰比 w 的计算公式为

$$[0039] \quad w = \frac{m_{\text{水}}}{m_{\text{注浆材料}}}$$

[0040] 其中, $m_{\text{水}}$ 为配置注浆流体所需水的质量,单位为Kg, $m_{\text{注浆材料}}$ 为配置注浆流体所需注浆材料的质量,Kg。

[0041] 松散碎石土层密度 ρ 的测量方法可以为灌水法、灌砂法或环刀法;

[0042] 松散碎石土层含水量 ω 的测量方法可以为烘干法;

[0043] 松散碎石土层比重 G_s 的测量方法可以为比重瓶法与虹吸筒法结合,对于粒径小于5mm的部分用比重瓶法测定比重,而对粒径不小于5mm的部分用虹吸筒法测定比重。

[0044] 实施例2:一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法,具体步骤如下:

[0045] (1) 测量需加固的松散碎石土层的密度 ρ 为 $1.73\text{g}/\text{cm}^3$ 、含水量 ω 为 2.05% 与比重 G_s 为 2.61 ,并计算出松散碎石土层的孔隙度 ϕ 为 0.35 ;其中松散碎石土层的孔隙度 ϕ 的计算公式为

$$[0046] \quad \phi = 1 - \frac{\rho}{G_s \rho_w^{4^\circ\text{C}} (1 + \omega)}$$

[0047] 其中, $\rho_w^{4^\circ\text{C}}$ 为 4°C 时纯蒸馏水的密度,单位为 g/cm^3 ;松散碎石土层的密度 ρ 的单位为 g/cm^3 ;含水量 ω 为质量含水量, $\%$;比重 G_s 为无量纲数;

[0048] (2) 根据步骤(1)松散碎石土层的密度 ρ 为 $1.73\text{g}/\text{cm}^3$ 、含水量 ω 为 2.05% 、比重 G_s 为 2.61 和孔隙度 ϕ 为 0.35 选用注浆花管(见图2),测量所选用注浆花管侧边注浆孔间的孔距,计算出平均孔距 l 为 5cm ;

[0049] (3) 设计注浆压力 p 为 0.25MPa 、注浆流体水灰比 w 为 1.50 与注浆时间 t 为 20s ,根据结石体抗压强度公式

$$[0050] \quad F_{\text{cu}} = 17.462p^{0.143}w^{-0.685}l^{-0.141}t^{0.036}n^{0.442}$$

[0051] 计算出花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度 F_{cu} 为 6.06MPa ,抗压强度 F_{cu} 、注浆压力 p 、注浆时间 t 与注浆花管侧边注浆孔间平均孔距 l 的单位分别为 MPa 、 MPa 、 s 与 cm ,注浆流体水灰比 w 与松散碎石土层的孔隙度 ϕ 为无量纲数;其中注浆流体水灰比 w 的计算公式为

$$[0052] \quad w = \frac{m_{\text{水}}}{m_{\text{注浆材料}}}$$

[0053] 其中, $m_{\text{水}}$ 为配置注浆流体所需水的质量,单位为 Kg , $m_{\text{注浆材料}}$ 为配置注浆流体所需注浆材料的质量, Kg ;

[0054] 本实施例中,实际测量的注浆结石体抗压强度 $F_{\text{实cu}}$ 为 5.60MPa ,计算得到的预测注浆结石体抗压强度 F_{cu} 与 $F_{\text{实cu}}$ 的误差为 $|F_{\text{实cu}} - F_{\text{cu}}| / F_{\text{实cu}} \times 100\%$,即为 8.21% 。

[0055] 实施例3:一种花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度的预测方法,具体步骤如下:

[0056] (1) 测量需加固的松散碎石土层的密度 ρ 为 $1.56\text{g}/\text{cm}^3$ 、含水量 ω 为 5.16% 与比重 G_s 为 2.69 ,并计算出松散碎石土层的孔隙度 ϕ 为 0.45 ;其中松散碎石土层的孔隙度 ϕ 的计算公式为

$$[0057] \quad \phi = 1 - \frac{\rho}{G_s \rho_w^{4^\circ\text{C}} (1 + \omega)}$$

[0058] 其中, $\rho_w^{4^\circ\text{C}}$ 为 4°C 时纯蒸馏水的密度,单位为 g/cm^3 ;松散碎石土层的密度 ρ 的单位为 g/cm^3 ;含水量 ω 为质量含水量, $\%$;比重 G_s 为无量纲数;

[0059] (2) 根据步骤(1)松散碎石土层的密度 ρ 为 $1.56\text{g}/\text{cm}^3$ 、含水量 ω 为 5.16% 、比重 G_s 为 2.69 和孔隙度 ϕ 为 0.45 选用注浆花管(见图2),测量所选用注浆花管侧边注浆孔间的孔距,计算出平均孔距 l 为 20cm ;

[0060] (3) 设计注浆压力 p 为 0.15MPa 、注浆流体水灰比 w 为 1.00 与注浆时间 t 为 30s ,根据结石体抗压强度公式

$$[0061] \quad F_{\text{cu}} = 17.462p^{0.143}w^{-0.685}l^{-0.141}t^{0.036}n^{0.442}$$

[0062] 计算出花管注浆加固松散碎石土层形成的结石体抗压强度 F_{cu} 为6.93MPa,抗压强度 F_{cu} 、注浆压力 p 、注浆时间 t 与注浆花管侧边注浆孔间平均孔距 l 的单位分别为MPa、MPa、s与cm,注浆流体水灰比 w 与松散碎石土层的孔隙度 ϕ 为无量纲数;其中注浆流体水灰比 w 的计算公式为

$$[0063] \quad w = \frac{m_{\text{水}}}{m_{\text{注浆材料}}}$$

[0064] 其中, $m_{\text{水}}$ 为配置注浆流体所需水的质量,单位为Kg, $m_{\text{注浆材料}}$ 为配置注浆流体所需注浆材料的质量,Kg;

[0065] 本实施例中,实际测量的注浆结石体抗压强度 $F_{\text{实}cu}$ 为6.44MPa,计算得到的预测注浆结石体抗压强度 F_{cu} 与 $F_{\text{实}cu}$ 的误差为 $|F_{\text{实}cu}-F_{cu}|/F_{\text{实}cu} \times 100\%$,即为7.61%。

[0066] 上面结合附图对本发明的具体实施例作了详细说明,但是本发明并不限于上述实施例,在本领域普通技术人员所具备的知识范围内,还可以在不脱离本发明宗旨的前提下作出各种变化。

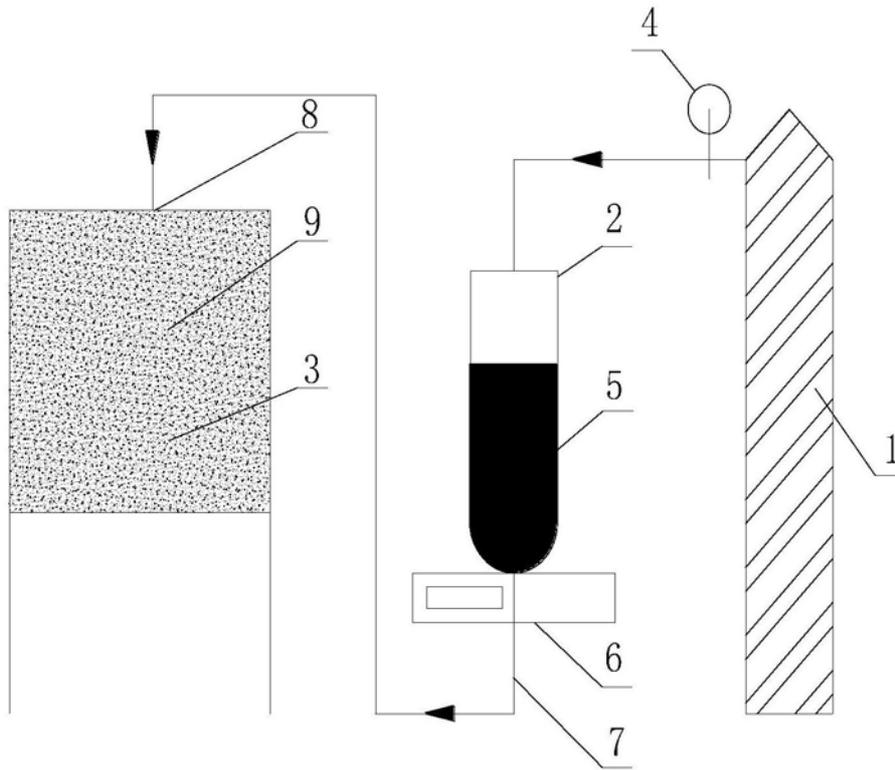


图1

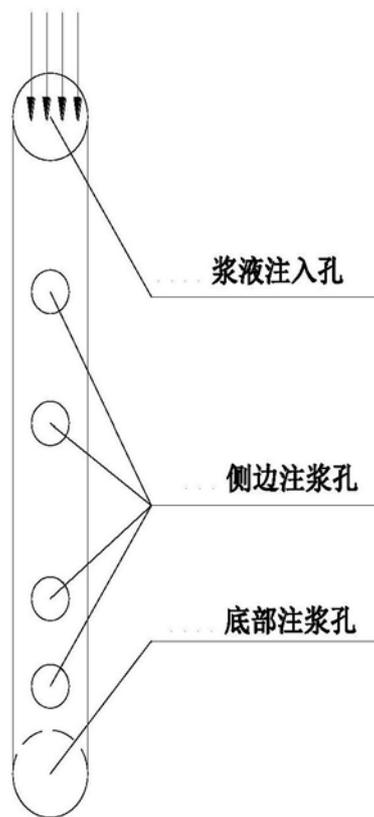


图2