

The Properties of Strata and Their Methods of Testing

Changyi Wang^{1*}, Wei Su²

¹Penglai Bureau of Land and Resources, Penglai Shandong

²University of Jinan Quancheng College, Penglai Shandong

Email: *wyc59528@126.com

Received: Jun. 5th, 2018; accepted: Jun. 19th, 2018; published: Jun. 27th, 2018

Abstract

The measurement and value of stratigraphic properties are the core problems in the study of geotechnical mechanics. However, at home and abroad, the quantitative research on the properties of strata is not very good. Physical quantities that measure stratigraphic properties are not equal to any mechanical parameter, and mechanical parameters do not represent physical quantities that measure the nature of the stratum. This paper, based on the new theory, discussed how to measure the problems of formation properties parameters and their values and computational problems from a new angle, and gave a new test method for research of stratigraphic properties, for determining the new theoretical formula for the formation properties research, so as to open up a new path for quantitative research of stratigraphic property and formation carrying capacity.

Keywords

Stratigraphic Properties, Quantitative Research, Test Method, Carrying Capacity, Theoretical Formula

论地层性质及其测试方法

王昌益^{1*}, 苏 炜²

¹中国山东省蓬莱市国土资源局, 山东 蓬莱

²济南大学泉城学院, 山东 蓬莱

Email: *wyc59528@126.com

收稿日期: 2018年6月5日; 录用日期: 2018年6月19日; 发布日期: 2018年6月27日

摘 要

地层性质的度量与取值问题是岩土力学的核心问题。然而, 在国内外的岩土力学研究中对地层性质

*通讯作者。

的定量研究都非常不到位。度量地层性质的物理量不等于任何力学参数, 力学参数代表不了度量地层性质的物理量。本文基于新理论, 从新的角度深入讨论了度量地层性质的物理量及其取值、计算问题, 给出了新的地层性质测试方法, 为地层性质研究确定了新的理论公式, 为地层性质定量研究和地层承载能力研究开拓了新的道路。

关键词

地层性质, 定量研究, 测试方法, 承载能力, 理论公式

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 序言

本文涉及工程地质勘探研究方法问题, 其属于岩土工程基础理论及其应用技术研究领域。

当前在国内外的工程地质勘探和岩土力学研究方法存在一定不足, 这些不足主要是存在于基本认识和基本理论方面。就工程地质和岩土力学基本方法而言, 目前的方法是完善的、正确的。在基本认识和基本理论方面的不足主要来源于科学历史的局限性。这些不足主要包括对地层性质概念和地层性质参数取值、承载力的计算公式在理论上存在认识不足, 缺乏足够的理论认识。

自应用力学如材料力学[1]产生以后, 关于材料变形性质概念, 人们一直不是很确切其基本含义, 但是, 人们熟悉的、涉及材料性质的概念却很多[2], 如岩土力学[3]涉及的地层性质概念有弹性、塑性、脆性、韧性、松散性、密实性、孔隙度、裂隙度、含水性、完整性、破碎性、粘性、切面光洁性、抗弯性等等。岩土力学涉及的这些地层性质概念, 都与地层变形性质概念密切相关, 但又都不能代表地层变形的性质概念。迄今为止, 人们一直没有给材料变形性质或地层变形性质概念确定一种科学、完整的定义。由于在基本概念上存在模糊认识, 所以, 在变形性质概念度量与取值方面的研究工作, 在国内外直到目前也没有做, 世界上一直不存在定量研究材料或地层性质的定量理论[4], 一直没有用于计算地层性质的定量理论与公式。

长期以来, 人们对地层的变形性质一直不进行定量研究[4] [5] [6], 在工程地质勘探中, 虽然人们能够实施各种有效手段对地层进行探测, 但因理论滞后, 人们无法定量研究地层的变形性质, 各种探测工作的目标主要是确定地层的承载能力。然而, 由于缺乏计算承载力的理论公式, 最终的探测结果往往不能获得地层承载力的准确值。在缓慢的静压测试条件下, 人们能够通过实验确定地层的承载能力, 但在超载静力和动力探测条件下, 人们是不能准确确定地层承载能力的。因为, 超载静力或动力探测条件下, 承载能力数值不能被准确测定, 也没有完善的理论公式可用于准确计算, 所以, 承载能力准确计算问题一直是没解决的世界科学难题。

直到 2010 年, 笔者在加拿大地球科学杂志发表了“一种地基极限承载力的计算方法”一文以后, 世界上才出现定量研究地层性质的基本理论。

不过, 人们应用的各种工程地质勘探手段是没有问题, 是符合客观与科学要求的。当前用于地层承载力探测的方法与手段主要有如下几种[7]:

1) 静力触探法

目前, 利用静力触探研究确定地基承载力的方法, 在国内外, 都是根据对比实验结果提出经验公式、

进行计算、最后获得承载力的大致数值。

2) 载荷试验

利用载荷试验确定承载力的方法主要在应力 - 应变关系理论、强度理论上采用相对稳定法、快速法、等应变法获得 $p-s$ 曲线、 $p-t$ 曲线、对曲线进行分析、将比例极限、极限荷载作为承载能力值。

3) 标贯实验

标贯实验方法是通过测量规定重量的重锤自特定高度自由锤击探杆、用探头贯入深度达某一值时的锤击数来评价该处地基土的性质及承载力。承载力的计算公式是经验公式, 人们也常采用查表方法寻求前人确定的同等击数对应的承载力数值。

4) 动探方法

动探类似于标贯方法, 当地层不适宜做标贯试验时, 使用动探方法确定地基的承载力和地层性质。

5) 室内力学实验

室内力学实验主要依据应力 - 应变关系理论和强度理论来研究岩、土层的性质和承载力以及其他物理力学指标。在室内测试计算地层承载力, 也没有完美的理论公式, 所采用的方法也是曲线分析、数据对比和经验公式分析计算。

由于理论力学[1]-[20]和应用力学[1]-[20]在理论上没有确定正确的变形-作用关系理论, 没有给出计算材料或地层变形性质和承载能力的正确公式, 所以, 尽管在实践中选用了有效的探测手段, 但因为基本理论问题没有很好解决最终还是不能获得准确数据。

总之, 当前工程地质勘探研究存在基本理论[2]滞后问题。这个问题不解决, 由于缺乏科学性的探测工作繁琐性问题就难以解决, 就不可避免出现浪费人力、物力和财力问题, 更重要的是, 勘探研究工作给出来的结论可靠性差, 存在不准确问题。因此, 加强基础理论研究, 提高基础理论水平, 对于优化工程地质探测分析程序、提高工作效率和提交成果的可靠性是至关重要的, 具有重大意义。

2. 地层变形性质定量研究的基本理论

当前的基础理论与应用基础不定量研究地层变形性质问题, 在实际工程勘探研究中, 对地层的变形性质只是进行一般性的定性描述。由于度量地层变形性质的物理量与地层的承载能力关系密切, 并且是容易通过观测或测试获得的物理量, 所以, 对地层变形性质的物理量进行定量研究具有重要的理论与应用价值。

根据最新研究, 地层的变形性质主要指地层在作用下变形或不变形的特性。变形性质与作用和变形关系最为密切: 变形性质都是相对于作用和变形而言的, 不相对于作用谈变形性质, 就不属于变形性质概念。变形性质的度量值有两种: 可变形性质和不可变形性质。不可变形性质和可变形性质的度量取值都有两种最基本的方法:

1) 外作用力与受作用面实际接受的作用力之间统一关系度量方法

当地层受到外作用力 F 的作用时, 受作用地层的性质决定, 不同受作用地层的受作用面的物质并不能在瞬间都将作用力的全部接受、并在瞬间传递给前方受作用面上的物质, 在很多情况下只是接受其中的一部分、只将部分力传递给前方受作用物质, 另一部分则变为侵入受作用地层、使受作用面产生变形位移的驱动力。作用面实际接受的这部分作用力叫实作用力, 记为 F_T ; 不对作用面产生实际性作用、通过作用面运行的那一部分作用力叫虚作用力, 记为 F_F 。实作用力占有作用力的百分数被叫做地层的实度, 也就是度量地层不可变形性质的物理量, 记为 T , 即

$$T = \frac{F_T}{F} \times 100\%;$$

而虚作用力占有作用力的百分数叫做地层的虚度, 也就是度量地层可变形性质的物理量, 记为 E , 即

$$E = \frac{F_F}{F} \times 100\% .$$

虚度与实度之间的关系为

$$T + E = 1 = 100\% .$$

2) 受作用面的变形位移与虚度、实度之间的统一关系度量法

当外作用力即探测作用力 F 对不同地层进行探测作用时, 由于不同地层的变形性质不同, 而使它们在同样的探测力下产生了不同楔入变形量, 一般用 x 表示。如果用该探测力对没有物质存在的空间进行探测, 在相同探测时间内, 探头的位移是 l , 那么, 变形量 x 占有 l 的百分数即 x 与 l 之比乘 100% 所得数值就等于度量被探测地层可变形性质的物理量, 也就是地层的虚度, 即

$$E = \frac{x}{l} \times 100\%$$

而

$$T = 100 - E = \left(1 - \frac{x}{l}\right) 100\%$$

就是度量地层不可变形性质的物理量, 即实度。

以上两种基本方法是不同的, 一个是根据作用与地层性质之间的统一关系来度量和计算地层性质特征值的, 另一个则是根据变形与地层性质之间的统一来计量地层性质特征的, 两种方法绝缘不同, 但是, 所得结果是相同的。在当前的基础理论中是找不到这个规律的。

由于作用力属于瞬间作用量, 而变形量则是在一定变形时间内产生的, 所以, 为了确保地层性质度量与计算的数据具有统一和可对比性, 在地层性质研究中必须引入作用量概念。作用量是指在一段时间内作用物体对受作用物体产生作用的量, 力是指单位时间或瞬间产生的作用量, 因此, 作用量等于力与作用时间之积, 即

$$A = Ft .$$

式中, A 表示作用量; t 表示作用时间。根据这个关系, 当考虑从作用角度计量地层性质时, 要用作用量、虚作用量、实作用量之间的统一关系式来计算。由于作用量、虚作用量、实作用量都包含了作用-变形时间, 与用变形量来计算虚度和实度所得数据存在统一关系, 可以进行相互对比。其计算公式为

$$T = \frac{A_T}{A} \times 100\% \text{ 和 } E = \frac{A_F}{A} \times 100\% .$$

式中, A_F 表示虚作用量; A_T 表示实作用量。其中, $A_F = F_F t$, $A_T = F_T t$ 。

3. 地层承载能力的计算

地层的承载能力是指在不产生变形前提下, 地层单位受作用面所能承载的最大载荷作用力。通过工程地质勘探与测试, 可以直接获得地层变形性质度量值, 并可以直接计算承载能力:

如果探测力为 F , 探头与地层之间的接触作用面积为 S , 地层的实度为 T , 那么, 地层的承载能力为

$$\sigma_{\max} = \frac{TF}{100S} .$$

式中, σ_{\max} 表示地层的最大承载应力。

根据此公式, 当探测应力小于或等于承载能力时, $T=1$, 探测结果不能确定极限承载能力; 只有探测应力大于承载能力时, 才会获得地层的承载能力。

4. 地层性质测量研究中的各种实践应用计算方法

在工程勘察现场, 人们一般需要根据地层的具体特点来确定地层性质的探测方法, 相应, 计算地层变形性质特征值即地层虚度和实度的计算公式也要根据实际情况进行调整。

4.1. 静探条件下的地层虚度和实度计算方法

静压探测力由初始力和加载力产生, 初始力由质量 m 的重力产生, 加载力由质量 M 的重力产生。静压探测条件下, 驱使探头在土层中运动的作用有重力和加载力, 这两个力使探头产生重力加速度 g 和加载作用加速度 a_0 两个加速度, 而探头在土层中的实际运动加速度是 a_t , 根据这三个量可以直接求出地层的虚度和实度, 即

地层的虚度是

$$E = \frac{a_t}{a_0 + g},$$

地层的实度是

$$T = 1 - E = 1 - \frac{a_t}{a_0 + g}.$$

静压条件下的驱动加速度 a_0 的确定方法:

根据 $F = ma = m(a_0 + g) = (M + m)g$, 得

$$a_0 = \frac{(M + m)g}{m} - g = \frac{Mg}{m}.$$

4.2. 在确定探测力、阻力、合力条件下计算虚度和实度的方法

根据探测力、地层阻力、探杆受的合力与虚力、实力之间的统一关系, 可推导计算实度和虚度的计算公式:

$$T = -\frac{R}{F} \text{ 和 } E = \frac{P}{F} = 1 + \frac{R}{F}.$$

式中, F 为探测力、 R 为地层产生的阻力、 P 为探杆受的合力、 T 为实度、 E 为虚度。

4.3. 锤击探杆、探头楔入地层条件下的虚实度计算方法

在锤击探杆、探头楔入地层探测方式下, 重锤自由下落的高度是 h , 探杆被打入地层的深度是 x , 冲击作用时间(也是地层的变形时间)是 t , 根据这些量与地层虚实度之间的统一关系规律可以推导出计算地层虚度和实度的方法、步骤与公式。

虚度的计算公式为

$$E = \frac{x}{l} = \frac{x}{\int_0^t (\sqrt{2hg} + \int_0^t g dt) dt};$$

实度的计算公式为

$$T = 1 - E = 1 - \frac{x}{\int_0^t (\sqrt{2hg} + \int_0^t g dt) dt} .$$

式中, l 叫应有位移量, 也就是在同等探测条件下和探测时间内探头在空间自由下落的距离, 它也可被看作是参数, 通过对已知虚度地层进行探测、通过计算获得, l 值在锤击探测作用条件下的一般求解计算公式为

$$l = \int_0^t (\sqrt{2hg} + \int_0^t g dt) dt .$$

4.4. 根据标贯击数计算地层的虚度和实度

根据被探测地层的实际标贯击数或其它锤击击数、标准密实地层的击数与地层虚实度之间的统一关系规律推导出计算地层实度的公式为

$$T = \frac{N}{N_0}$$

式中, T 为被探测地层的实度、 N 表示锤击下探头楔入被探测地层特定深度所需要的实际击数、 N_0 表示标准密实地层(实度 $T=1$ 的地层)的等深变形击数。

被探测地层的虚度为

$$E = 1 - T = 1 - \frac{N}{N_0} .$$

4.5. 钻机钻进、测试条件下计算地层性质的方法

用相同动力的回旋钻机或冲击钻机探测地层性质和承载力时, 被探测地层被打 1 米深度所用的时间 t 与标准的密实地层被打 1 米深度所用的时间 t_0 之比等于被探测地层的实度。即, 被探测地层的实度是

$$T = \frac{t}{t_0} ;$$

被探测地层的虚度为

$$E = 1 - T = 1 - \frac{t}{t_0} .$$

有了地层变形性质度量值, 即有了地层的虚度和实度参数, 就可以直接根据探测力的大小直接计算地层的承载能力, 非常方便。

总之, 无论采用什么样的探测手段, 都可以根据新理论推导出计算地层变形性质标度值的计算公式。在实际问题研究中, 可以根据实际情况, 灵活选择适合的探测手段来探测和分析计算地层的性质度量值及其承载能力。

5. 应用方法举例

例 1: 一个重量为 100 公斤的重物, 从 10 米高空处自由落到地面, 对地面表土层构成了冲击作用, 使地面形成一个冲坑。冲坑深度为 0.22 米, 冲击作用面积为 0.02 米², 冲击作用时间为 0.005 秒。请分析地表地层的实度和承载能力。

解: 根据题意, 地表地层受的探测力是 $F = m \left(\frac{v_0}{t} + g \right)$, 作用物质量是 $m = 100$ 公斤, 重物下落时间

是 $t_0 = \sqrt{\frac{2 \times 10}{9.8}} = \sqrt{\frac{200}{98}}$ 秒, 重物对地表地层产生作用的时间是 $t = 0.05$ 秒, 重物对地表地层构成冲击作用时的初速度是 $v_0 = gt_0 = \sqrt{196} = 14$ 米/秒, 冲坑深 $x = 0.22$ 米, 冲击作用面积 $s = 0.02$ 平方米, 冲击力是

$$F = m \left(\frac{v_0}{t} + g \right) = 100 \times \left(\frac{14}{0.05} + 9.8 \right) = 28980 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \approx 2957 \text{ 公斤}.$$

在冲击作用时间内, 重物应该产生的自由下落距离是

$$\Delta h = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 = \sqrt{196} \times 0.05 + \frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.05^2 \text{ 米} = 0.71225 \text{ 米}$$

地表地层的虚度是

$$E = \frac{x}{\Delta h} = \frac{0.22}{0.71225} \approx 0.30888030888$$

地表地层的实度是

$$T = 1 - E = 1 - 0.30888030888 = 0.69111969112$$

地表地层的极限承载力为

$$F_{\max} = \frac{TF}{s} = \frac{0.69111969112 \times 2957}{0.02} = 102182 \text{ (公斤/米}^2\text{)}$$

也就是说, 该地表地层的最大承载力是 102.182 吨/米²。

例 2: 利用小型钻机控制的静压探测装置探测地层的性质和承载力: 探头为高强度实心合金钢柱, 直径为 6cm, 即, 探头与地层间的接触面积为

$$s = 0.03^2 \pi = 0.002826 \text{ 米}^2,$$

压力由增压锤提供。在探测过程中, 用 400 公斤重的重锤做静压力, 探头缓慢下沉, 下沉速度是 0.8 米/秒。根据这个测试结果, 我们可以直接确定被探测地层的性质和承载力。请分析计算该地层的实度和承载力。

解: 探测结果给出以下已知数据: 探测力 400 公斤, 每秒下沉量 0.8 米, 自由落体每秒下落距离 4.9 米, 探测作用面积 0.002826 米² 四个数据, 根据这四个已知数据可以直接求出被探测地层性质的度量值:

$$\text{虚度值 } E = \frac{0.8}{4.9} \approx 0.16326530612$$

$$\text{实度值 } T = 1 - E = 0.83673469388$$

被探测地层的极限承载力

$$F_{\max} = \frac{TF}{s} = \frac{0.83673469388 \times 400}{0.002826} \approx 118433 \text{ 公斤/米}^2 = 118.433 \text{ 吨/米}^2.$$

例 3: 利用地层的实际标贯击数与标准密实岩层的标贯击数和探测力 3 个量来求被探测地层的实度和极限承载力。如在某探测工程中, 一土层的标贯击数是 9 击/30 cm, 标贯产生的冲击力是

$F = m \left(\frac{v_0}{t} + g \right) = 15227.3$ 公斤米/秒², 标准密实地层的 30 cm 击数是 $N_0 = 1055$, 请计算地层的极限承载力。

解: 被探测地层的实度是

$$T = \frac{N}{N_0} = \frac{9}{1055} = 0.00853080569$$

被探测地层的极限承载力是

$$F_{\max} = \frac{T \times F}{s} = \frac{0.00853080569 \times 15227.3}{0.000564} \approx 230321.1639 \left[\left(\text{公斤米/秒}^2 \right) / \text{米}^2 \right] \approx 23.50216 \text{吨/米}^2 .$$

例 4: 采用静压探测装置探测某粉质粘土地层的性质和承载力, 静压力分别为 100 公斤、110 公斤、120 公斤, 压入地层的深度分别为 0 cm、50 cm、10.67 m, 压入时间均为 5 秒, 探头与地层的接触面积是 $S = 0.0028274 \text{米}^2$ 。请分析计算该地层的实度和承载力。

解: 根据公式 $F_{Ti} = \frac{T_i F_i}{S}$ 和 $T_i = 1 - \frac{\Delta h_i}{\frac{1}{2} g t^2}$ 和已知量计算, 得

$$T_1 = 1 - \frac{0}{\frac{1}{2} g t^2} = 1, \quad F_{T1} = \frac{T_1 F_1}{S} = \frac{1 \times 0.1}{0.0028274} > 35 \text{吨/米}^2 ;$$

$$T_2 = 1 - \frac{0.5}{\frac{1}{2} \times 9.8 \times 5^2} \approx 0.995918, \quad F_{T2} = \frac{T_2 F_2}{S} = \frac{0.995918 \times 0.11}{0.0028274} \approx 38 \text{吨/米}^2 ;$$

$$T_3 = 1 - \frac{10.67}{\frac{1}{2} \times 9.8 \times 5^2} \approx 0.912925, \quad F_{T3} = \frac{T_3 F_3}{S} = \frac{0.912925 \times 0.12}{0.0028274} \approx 38 \text{吨/米}^2 .$$

通过以上介绍和实例, 我们可以看出: 极限承载力计算新公式比较简单, 但需要获取实度这两个新参数以及其它几个需要的量。实度值的取得有多种方法, 这些方法也比较简单。但是, 必须注意: 不同方法取得的数据存在统一性问题, 需要确定统一和对比标准。

6. 小结

综上所述, 本文基于地层变形性质定量研究新理论和地层性质与地层承载能力、探测力之间的统一关系研究新理论, 解决了现有地基探测实验环节过多、计算方法、计算过程繁琐冗长、人为因素扰动使探测结果出现片面性和局限性等方面的问题; 新理论给出了用于计算地层性质和承载能力的理论公式, 建立了完善了地基地层变形性质定量研究的新理论, 给出了具有准确计算地层性质参数和承载能力的理论公式; 利用极限承载力与探测力之间关系新理论和新方法, 适用于解决任何地基岩土层性质评价和承载力计算问题, 不仅在理论上具有较大创新与突破, 而且应用方法简便, 分析计算方法具有多样性和宽泛性; 其方法具有理论化、系统化、公式化特点, 可以结合自动化、程序化进行操作, 充分发挥新理论新方法的理论化、公式化等优势。无疑, 这对基础理论科学、基础理论应用科学、岩土工程科学的发展与完善都有着重要意义。

根据新理论揭示的探测力与承载力之间的统一关系规律, 可以制造出能够灵活采用载荷试验手段、静力促探手段、动探手段、标贯手段、回旋钻进手段、冲击钻探手段的多功能综合性探测工具, 以便根据地层对探测手段的适应情况随时改变探测手段。对于软土层, 采用载荷试验、静力触探方法直接探测地层性质和地层的承载能力; 对于较硬岩层, 采用压入或打入法探测地层手段; 对于密实、较密实岩层, 采用固定动力回旋钻进探方法探测手段; 新理论也给出了与千空锤冲击钻钻井手段相对应的地层性质和承载能力计算方法与公式。

地层性质的度量与取值问题是岩土力学的核心问题。然而, 在国内外的岩土力学研究中对地层性质的定量研究都非常不到位。度量地层性质的物理量不等于任何力学参数, 力学参数代表不了度量地层性质的物理量。本文基于新理论, 从新的角度深入讨论了度量地层性质的物理量及其取值、计算问题, 给出了新的地层性质测试方法, 为地层性质研究确定了新的理论公式, 为地层性质定量研究和地层承载

能力研究开拓了新的道路。

参考文献

- [1] 孙国钧, 赵社戎. 材料力学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2006.
- [2] 刘斌. 力学[M]. 北京: 中科大出版社, 2014.
- [3] 刘汉东. 岩土力学[M]. 北京: 中央广播电视大学出版社, 2014.
- [4] 干洪. 力学学科的发展现状与 21 世纪展望[J]. 安徽建筑大学学报, 2001, 9(2): 1-6.
- [5] 李廉钺. 结构力学[M]. 第 5 版, 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [6] 郑哲敏, 张涵信. 21 世纪初的力学发展趋势[J]. 学会, 1995, 25(4): 433-441.
- [7] 陈南祥. 工程地质及水文地质[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016.
- [8] 张力. 工程力学[M]. 第 2 版, 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [9] Zhao, M.H., Yang, M.H., Li, L.X., *et al.* (2006) Study on the Calculation of Bearing Capacity of Composite Foundation on Discrete Material Pile. *Journal of Shenyang Jianzhu University*, **34**, 91-93.
- [10] 杨小礼, 郭乃正, 李亮. 非线性破坏准则与岩土材料地基承载力研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(8): 1177-1183.
- [11] 魏永幸, 薛新华, 龚晓南. 柔性路堤荷载作用下的地基承载力研究[J]. 铁道工程学报, 2010, 27(2): 22-26.
- [12] 师林, 朱大勇, 沈银斌. 基于非线性统一强度理论的节理岩体地基承载力研究[J]. 岩土力学, 2012(s2): 371-376.
- [13] Drosos, V., Georgarakos, T., Loli, M., *et al.* (2012) Soil-Foundation-Structure Interaction with Mobilization of Bearing Capacity: Experimental Study on Sand. *Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*, **138**, 1-18. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000705](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000705)
- [14] 彭柏兴, 刘颖炯, 王星华. 红层软岩地基承载力研究[J]. 工程勘察, 2008(s1): 65-69.
- [15] 马庆宏, 朱大勇, 沈银斌, 等. 浅基础地基承载力研究进展[C]//全国岩土力学数值分析与解析方法研讨会, 2013.
- [16] 王成勇, 刘培德, 胡荣生. 岩石切削断裂的应力性质研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1990, 9(3): 209-215.
- [17] 朱本清. 岩土体物理力学性质指标相关性分析[J]. 福建建筑, 1998(4): 37-39.
- [18] Hood, M. (1985) Waterjet-Assisted Rock Cutting Systems—The Present State of the Art. *Geotechnical and Geological Engineering*, **3**, 91-111. <https://doi.org/10.1007/BF00881623>
- [19] 胡海洋. 内蒙古塔木素地区粘土岩力学特性研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 东华理工大学, 2014.
- [20] 胡亚运. 水-岩作用下三峡库区层理砂岩卸荷力学特性研究[D]: [硕士学位论文]. 宜昌: 三峡大学, 2016.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5639, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: apf@hanspub.org