细粒土与粗粒土动力流化的孔压差异辨析

刘志钦[1,2,3], 陈志远[1,2], 任宇鹏[4], 许国辉[1,2*]

（1. 中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室， 山东 青岛 266100；
2. 中国海洋大学山东省海洋环境地质工程重点实验室，山东 青岛 266100；
3. 自然资源部第一海洋研究所，山东 青岛 266061；
4. 中国海洋大学海洋地球科学学院，山东 青岛 266100）

摘　要：地基土体在动力作用下的液化对工程会产生灾害性影响。孔隙水压力是研究饱和土体转变为流体的重要表征，已有研究发现，细粒土在液化过程中即使孔压比（孔压/围压）未达到 1，也已进入液化状态。本文将土颗粒概化为球体，考虑颗粒吸附水膜的影响，对由砂粒、粉粒、黏粒组成的饱和土体，在可发生流动的情况下，建立产生动力流化的理论模型，并分析了动三轴和振动台实验中孔压的变化。结合土体微结构特征，指出细粒土处于流化状态时，孔隙水压力因受结合水膜影响而导致孔压值减小，同时因颗粒形状（如板片等）的框架支撑作用也可减小孔压值。这一从土体微观组成的物理性质上进行的理论分析，有助于厘清以孔隙水压力判别细粒土与粗粒土发生动力流化标准不同的原因，有助于研究者深入理解土体液化的内在机制。

关键词：动力流化；细粒土；粗粒土；孔隙水压力；液化

中图分类号：P642　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-3682（2024）03-0217-08

doi: 10.12362/j.issn.1002-3682.20240103002

引用格式：刘志钦, 陈志远, 任宇鹏, 等, 2024. 细粒土与粗粒土动力流化的孔压差异辨析［J］. 海岸工程, 43(3): 217-224. LIU Z Q, CHEN Z Y, REN Y P, et al, 2024. Analysis of pore pressure difference between fine- and coarse-grained soils during dynamic fluidization［J］. Coastal Engineering, 43(3): 217-224.

土体作为为工程结构物提供承载力的地基和影响工程安全的场地基本条件，其稳定性在工程地质研究中备受关注。工程地基或场地出现事故时，水在土体中发挥了重要作用，尤其是土体液化，已成为一种影响较广泛的灾害。

在“砂土液化概念的再认识”一文中，许国辉等（2023）提出了动力流化的概念，该概念涵盖了粗粒土和细粒土在动力作用下向流体性态转变，阐述了孔隙水压力升高部分的来源，并认为孔压升高是土体液化的结果而非原因。然而该文中尚有不详之处，使得研究者产生困惑：其一是传统的砂土液化概念认为，孔压升高是疏松颗粒因振动趋于密实而其间的孔隙水无法排出所导致，孔压升高会使有效应力减小至为零，从而引发液化，因此孔压升高被视为液化的原因，这与动力流化的概念相悖；其二是将原来的砂土液化概念扩展为包含黏粒、粉粒等所组成的细粒土时，当发生动力流化时，细粒土与粗粒土在液化时孔压是否应该具有同样的变化特征。本文通过理论分析和模型计算，对上述问题做出分析解释。

收稿日期：2024-01-03
资助项目：国家自然科学基金项目（41976049）
作者简介：刘志钦（1990—），男，工程师，博士研究生，主要从事海洋地质方面研究. E-mail: zqliu@fio.ouc.cn
***通信作者：**许国辉（1972—），男，教授，博士生导师，博士，主要从事海洋环境地质工程方面研究. E-mail: xuguohui@ouc.edu.cn

（陈　靖　编辑）

1 孔压升高不应被视为土体液化的原因

以往的砂土液化研究是基于有效应力原理来对砂土液化进行力学分析，即疏松的土体颗粒变位并趋于密实的过程中，颗粒间的孔隙水难以排出，于是产生超孔压，导致土体有效应力减小甚至降至 0(殷宗泽, 2007)。这种表述存在一个悖论：疏松砂体在振动作用下砂粒趋于密实，其强度理应增加，而非进入流动状态。进一步思考，如果是非常密实的饱水砂体，在强烈振动作用下，是否会出现流动性态？强烈振动作用可以使饱和密实砂体变为流体，因此，砂粒变密实而迫使孔隙水排出所引发的孔压升高，不能视为砂土液化的原因。通常理解的砂土液化是从原始疏松砂状态(图 1a)转变为砂粒移位后悬浮在水中(图 1b)，最终固结密实的过程(图 1c)。然而在振动作用下，饱和砂土体中的砂颗粒也可能出现如图 1d 所示的在水中向上运动的现象(图 1a-图 1b-图 1c 是通常理解的砂土液化过程)。若大量砂粒向上运动，则难以用土体颗粒变位趋于密实来解释孔压的升高。

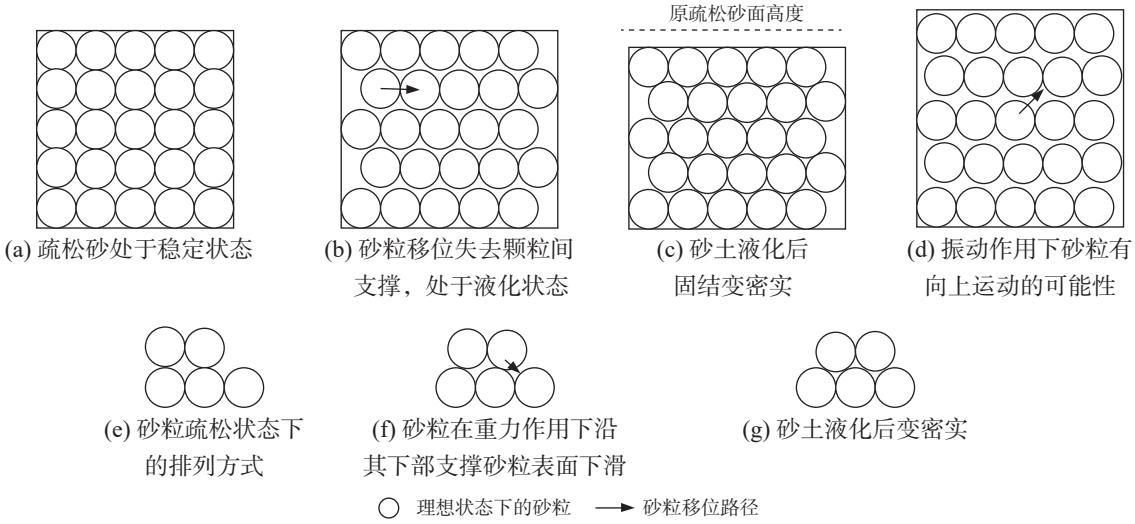


图 1 砂土液化过程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the liquefaction process of sand soil

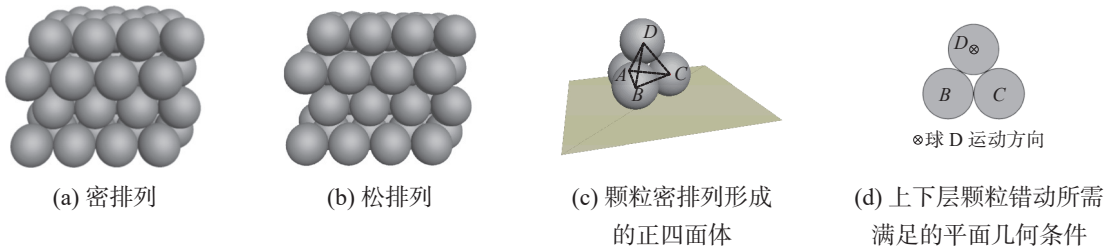
实际上，若分析疏松砂土在重力作用下趋于密实的过程，由于砂粒密度大于水，砂粒最合理的变位路径应该是沿着其下部支撑颗粒的表面下滑，到其所能达到的最低势能位置(图 1e、图 1f、图 1g)。此种移位方式因为保持了颗粒间的密切接触，理应不会导致有效应力降低。图 1e-图 1f-图 1g 的过程与地基处理中堆载预压所引发的土体固结过程类似，并不能引起土体发生液化流动。因此，孔压升高应视为土体液化发生发展的结果，而非其产生原因。1978 年，美国土木工程师协会岩土工程分部土动力学委员会对液化做出如下定义：任何物质向液体状态转变的行为和过程(谢定义, 1988; 殷宗泽, 2007)。这一概念涵盖了砂土液化的现象，但并未反映液化发生的本质。

2 细粒土与粗粒土动力流化的孔压变化

2.1 土体发生动力流化的条件

饱水土体由固体性状转化为流体性状，要具有液体的流动性，其必要条件是土颗粒之间不能出现咬合，颗粒层之间具有间隙距离(Ren et al, 2023)。对土体发生动力流化的颗粒排列变化做理论模型分析，将土体理想化假设为由同一粒径的球体组成，其转变为流体状态的过程为：球体由以正

四面体方式堆积不能发生流动的密排列咬合状态（图 2a），转变为上下球层间脱离开一定距离、可以发生相互错动的松排列状态（图 2b）。上下 2 层球体间脱离开可错动的间隙距离，可以通过分析球体正四面体堆积的几何形态（图 2c 和图 2d）计算得出。



(a) 密排列　(b) 松排列　(c) 颗粒密排列形成的正四面体　(d) 上下层颗粒错动所需满足的平面几何条件

注：图 a 层间颗粒咬合，土体呈固体性质；图 b 层间颗粒间不咬合，土体呈液体性质。

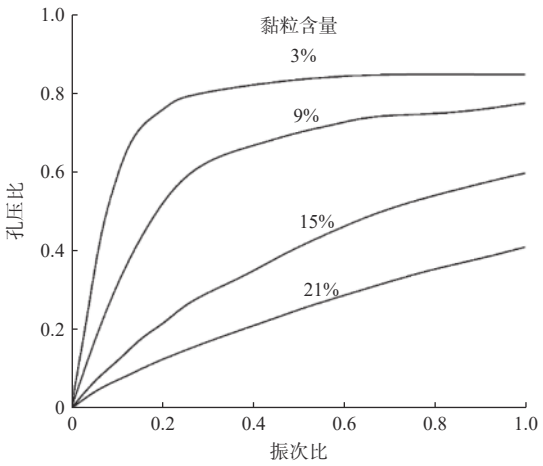
图 2　动力流化与土颗粒排列状态的关系

Fig. 2　Relationship between the dynamic fluidization and the arrangement state of soil particles

图 2c 所示由 4 个球构成正四面体（A、B、C、D 分别为球心，并代表各自球体）。设 R 为球体直径，D 点到面 ABC 的距离为 $\frac{\sqrt{6}}{3}R$。当球 D 想要错动时必须满足上下 2 层球平面相切的几何条件（图 2d），上部球可以通过下部球构成的间隙。球 D、球 B 和球 C 的球心构成等边三角形，则球 D 球心距面 ABC 的高为 $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)R$。球 D 想要错动需抬升的距离为 $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}-\frac{\sqrt{6}}{3}\right)R$。将上下两个球层由密排列状态转化为松排列状态，上部球层相对于下部球层需要提高的距离与球直径之间的比值称为提高系数，该提高系数为 $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}-\frac{\sqrt{6}}{3}\right)$，计算值为 0.049 5。理论上来说，当土体是由同一粒径的球体颗粒组成时，其相邻球层之间必须脱离开 0.049 5 倍颗粒直径的距离，才能发生动力流化。

2.2　动三轴实验土体动力流化的孔压比

利用动三轴实验开展饱和土的液化研究中有两种判断液化的标准，即应变超过 5% 或者孔压比为 1。其中孔压比指测量的孔压与均压固结条件下的围压的比值。当孔压比达到 1 时，即孔压升高后与围压相等。在实验中，砂类粗粒土经常达到孔压比为 1 的情况（陈国兴等, 2003）。由粉粒和黏粒等构成的细粒土，往往孔压比不能达到 1，但是用应变变化量 5% 的标准判断，则认为土体已经进入液化状态（陈国兴等, 2003）。针对由黏粒与粉粒混合的细粒土，根据黏粒含量不同，动三轴实验给出的判断液化的孔压比具有随黏粒含量增加而减小的趋势性变化（图 3）（刘晓瑜等, 2012）。



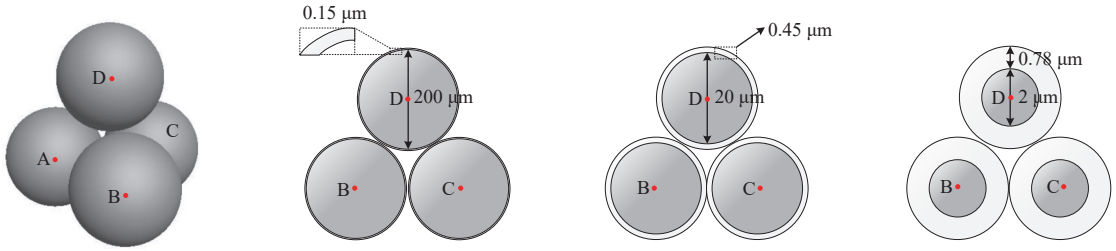
注：图片改绘自刘晓瑜等（2012）。

图 3　细粒土液化孔压比随黏粒含量的变化

Fig. 3　Changes in pore pressure ratio of fine-grained soil liquefaction with clay content

关于砂粒、粉粒、黏粒组成的土体在判断液化时孔压比出现差异的原因，可以从颗粒大小与吸附水膜厚度之间的关系来分析。本文将砂粒作为粗颗粒，粉粒和黏粒作为细颗粒，为了方便计算吸附水膜对颗粒的影响，将砂粒、粉粒、黏粒

假设为球体，其直径分别为 200、20、2 μm。由于颗粒比表面积和对外呈现电性的不同，颗粒外部吸附的水膜厚度不同，颗粒越细则吸附水膜越厚(孔宪立等, 2001)。参考已有的近 75 μm 粒径的玻璃微珠表面吸附水层厚度的实验结果(刘德新等, 2005)，本文将砂粒、粉粒、黏粒外部吸附水膜厚度分别取为 0.15、0.45、0.78 μm。由于吸附水膜具有抗剪强度，因此颗粒组成的土体要达到完全流化状态，需要带有水膜的颗粒球层之间处于非咬合状态(图 4)。



(a) 完全动力流化时颗粒的立体空间排列　(b) 砂粒流化时颗粒排列侧视图　(c) 粉粒流化时颗粒排列侧视图　(d) 黏粒流化时颗粒排列侧视图

图 4　带有吸附水膜的颗粒球完全动力流化时的排列状态

Fig. 4　Arrangement state of particles with adsorbed water film when fully dynamically fluidized

根据许国辉等(2023)饱和砂土液化的过程与机理或动力流化的概念，土体液化的动三轴实验实质是使有咬合结构的土体颗粒在水中疏松分散，此时颗粒处于悬浮状态，即使相互接触也不再承受外力作用。在实验的土体固结过程中，孔压测量通道打开，此时土体颗粒骨架承受由围束样品的橡皮膜传递来的围压。动力作用开始前，关闭孔压测量通道，此时孔压测量值因土颗粒骨架承受围压而近于 0。动力作用开始后，土颗粒开始逐渐疏松分散，由橡皮膜传递来的围压也逐渐由土体中的孔隙水承担，因此孔压呈现不断上升的趋势。

对于砂土来说，由于其吸附水膜厚度很薄，可以忽略不计，当处于液化状态时才能够失去颗粒间的咬合结构而达到液化(图 4a)。此时孔隙水承担了全部的围压，导致孔压比为 1。按照图 2 的从密排列到完全液化的松排列状态，对于 200 μm 的球状砂粒组成的 80 mm 高样品，理论上每个球层应提高 9.9 μm(200 μm×0.049 5)的变化量。若按照 5% 的轴向应变计算，每个球层应提高 10.5 μm 的变化量。由于动三轴实验用的真实砂土并非理想球体，且粒径也不均一，所以球层之间需要有更大的脱开距离。用 5% 的轴向应变判断液化时，计算得到的球层提高距离与理论值相比，仅有 6% 的偏差。实际上，对于可忽略吸附水膜的所有砂土计算得到的均是这个偏差数据。因此，前文提出的土体发生动力流化的理论模型，可用于对砂土以 5% 的应变标准判断液化的理论解释。

对于黏粒构成的土体，吸附水膜是不可忽视的存在，它会影响从密排列到松排列过程中围压的变化。首先，在固结阶段，黏粒土体因为较高的围压作用，吸附水膜会减薄；在动力流化中因疏松分散，吸附水膜会变厚。与 80 mm 高的球状砂粒样品从密排列到松排列的分析相同，在固结状态下 2 μm 黏粒的吸附水膜为 0.40 μm 时，变为松排列状态后，每个球层的增高量在 5% 应变下为 0.15 μm。但若考虑疏松分散中吸附水膜变厚为 0.78 μm 情况下，每个球层的增高量在 5% 应变下则为 0.19 μm。这说明，黏粒组成的土体在动三轴实验的液化过程中，即使达到了 5% 的应变标准，使得每个球层增高了 0.15 μm，但是由于吸附水膜的变厚，必须使每个球层再增高 0.04 μm 才能达到完全液化状态。而在每个球层增高 0.15 到 0.19 μm 的过程中，颗粒之间因为增厚的吸附水膜而处于咬合状态，由于吸附水膜具有抗剪强度，因此可以承受部分围压，导致测量的孔压小于围压。因此，采用应变 5% 的标准判断黏性土液化时，其孔压比将小于 1。对于粉土以及由粉粒和黏粒组成的细粒土，其动三轴实验获得的孔压数据变化也如此形式，黏粒含量越多，则吸附水膜提供的承受围

压能力越强，表现为孔压比的降低。图 3 中展示了细粒土因黏粒含量的不同而导致的判断液化孔压比的差异，可由此提供解释。

2.3　振动台实验土体发生动力流化的理论孔压

土箱振动台实验也是研究土体的动力流化的一种常用方法，它能够获得真实的孔压数据。对于此实验，从土体完全流化后的土体表面计算一定深度的孔压，理论上可以按如下方式进行。按照图 4 所示的土体完全处于流化状态的颗粒排列结构，将带吸附水膜的颗粒球充填到 1.0 m×1.0 m×1.0 m 体积中，计算 1.0 m 高度的饱水颗粒球流化状态下在底部产生的压强，即为底部设置孔压计可以测量到的总的孔压值，包括带水膜的颗粒球质量和颗粒间的自由水质量对底部产生的压强。计算参数和计算结果见表 1（重力加速度值 g=9.8 N/kg）。

表 1　体积为 1 m³ 的颗粒球在动力流化状态下对底部产生的孔压值

Table 1　Pore pressure values generated by particle balls with a volume of 1 m×1 m×1 m under the state of dynamic fluidization

颗粒类型	颗粒直径/μm	水膜厚度/μm	带水膜颗粒直径/μm	颗粒比重	颗粒质量/μg	水膜质量/μg	带水膜颗粒质量/μg	带水膜颗粒对底部的压强/kPa	孔隙间的水对底部的压强/kPa	饱水颗粒球流化对底部的压强/kPa
黏粒	2	0.78	3.56	2.73	0.011 435	0.023 612	0.035 048	8.87	3.82	12.69
粉粒	20	0.45	20.90	2.68	11.225 98	4.768 89	15.994 87	19.99	3.82	23.81
砂粒	200	0.15	200.30	2.65	11 100.32	4 196.58	15 296.90	21.72	3.82	25.54

表 1 给出了粗粒土和细粒土在完全流化后自土体表面起算 1 m 深度处计算的孔压值。细粒土尤其是黏性土因较小的颗粒粒径和相对较厚的吸附水膜，使得孔压值要小很多，而砂类的粗粒土因较大粒径和相对极薄的吸附水膜，会使孔压值增大。若按超孔压为测量的总孔压减去静水压力来计算，表 1 中黏粒、粉粒、砂粒的超孔压分别为 2.69、13.81、15.54 kPa，黏粒与砂粒构成的土体在动力流化状态下的孔压因为吸附水膜的存在而差异很大。对于粒径为 200、20、2 μm 的颗粒，将吸附水膜分别取为 0.15、0.45、0.78 μm 的中间以及外推进行插值，计算自 500～1 μm 粒径的颗粒组成的土体在动力流化状态下的 1 m 深度处的理论孔压值，得到理论状态下土颗粒粒径与动力流化状态孔压之间的关系，结果如图 5 所示。

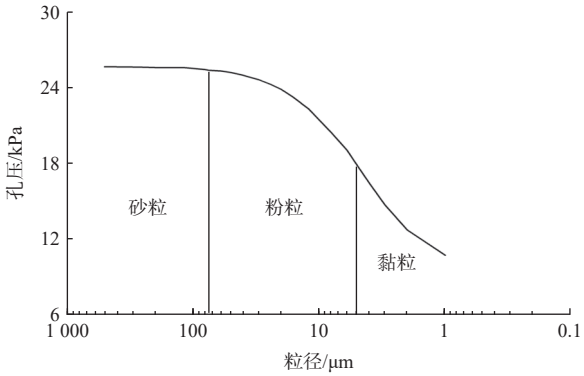


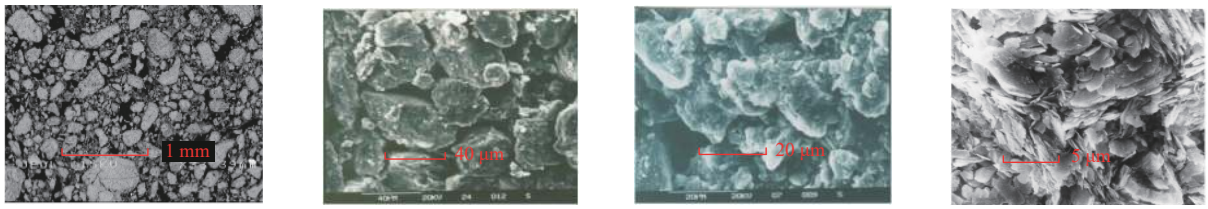
图 5　不同粒径土动力流化时孔压与粒径之间的关系（1 m 深度）

Fig. 5　Relationship between pore pressure and particle diameter when soils with different particle diameters fluidized dynamically (1 m depth)

按照均匀球体排列模式计算不同粒径土体动力流化时的孔压，若不考虑吸附水膜的存在，则各种粒径计算得到的孔压值是相同的。若考虑吸附水膜时，粒径在 500～1 μm 的宽范围，吸附水膜厚度相应在 0.10～0.82 μm 的窄范围，由于颗粒粒径与吸附水膜厚度相对比例变化，加之颗粒比重与水膜比重的差异，导致出现如图 5 所示的计算结果：砂粒组成的土体动力流化时的孔压几乎不受水膜存在的影响，而粉粒和黏粒组成的土体在动力流化状态的孔压受水膜影响显著，水膜的存在明显降低了一定深度层位的孔压值。

2.4 土体微结构对动力流化孔压的影响

砂土、粉土、黏土具有不同的微观结构(图 6)，由于颗粒形态和颗粒间接触方式的不同，会影响土体发生动力流化时的孔压。砂土主要是磨圆度较好的砂粒以点与点接触的方式组合在一起，在发生动力流化时，或者完全分散开，或者有接触但是没有相互作用力，因此砂土的浮重完全转化为超孔压。粉土主要由磨圆相对较差的粉粒组成，含少量黏粒。颗粒间接触形式包括点-点、点-面和线-面等，在发生动力流化时，尽管点-面、线-面接触形式可能依然存在并具有一定支撑力，但因为不稳定，粉土依然可以呈现流动状态，土体浮重不会完全转化为超孔压。粉质黏土主要由黏粒组成，含有粉粒，颗粒间接触主要是点-面、线-面、面-面等形式，发生动力流化时，这些接触形式可继续存在，形成类似海绵或絮架结构，虽然不稳定，但具有支撑力。黏土主要由片状黏粒组成，颗粒间接触主要是线-面、面-面等形式。发生动力流化时，片状黏粒依然可以以这些接触形式，形成片架或絮架结构，虽不稳定，但具有支撑力，超孔压因黏粒之间的相互支撑而减小很多。由于砂土、粉土、黏土微结构的不同，在动力流化时，土体浮重转化为超孔压部分依序减少。这也解释了在图 3 中细粒土的液化孔压比随黏粒含量增加而减小的原因。



(a) 砂 (b) 粉土 (c) 粉质黏土 (d) 黏土

注：图 a 来源于 Prakongkep 等(2010)；图 b 和图 c 来源于许国辉等(2012)；图 d 来源于 Hicher 等(2000)。

图 6 不同粒径土体的微结构

Fig. 6 Microstructures of the soils with different particle diameters

3 结 论

本文解释了前期文献中孔压升高不能理解为土体液化的原因，并基于土体由微观颗粒组成的物理本质，分析了粗粒土与细粒土在发生动力流化过程中孔压的差异。通过构建由均一的球体颗粒组成的理论模型，分析了土体发生动力流化条件下颗粒球层的脱离距离，并进行了孔压数据的理论计算。此外，本文还从土体微观结构角度分析了土体发生动力流化时对孔压的影响机制。得到主要结论如下。

1)在动三轴实验中，当砂土以 5% 应变标准作为液化判别依据时，砂粒排列层之间的脱离距离与理论模型分析土体在动力流化条件下所计算的脱离距离具有一致性。基于土体发生动力流化条件所建立的理论模型，为动三轴实验采用应变 5% 作为液化判断标准提供了理论基础。

2)颗粒粒径与吸附水膜厚度的相对比例变化，以及颗粒与吸附水膜在比重上的差异，共同导致了在动三轴实验中，粗粒土与细粒土在应变 5% 的液化标准下所表现出的不同孔压比。细粒土在较高围压固结状态下吸附水膜厚度减薄，但在动力流化过程中，吸附水膜增厚且依然具备承受部分围压的能力，因此出现孔压比小于 1 的现象；粗粒土由于吸附水膜厚度相对于颗粒粒径可以忽略，其孔压比可达到 1。

3)微结构特性对由不同粒径颗粒组成的土体在动力流化过程中的孔压值有显著影响。粗粒土主要以点-点形式接触，发生动力流化时，土的浮重可完全转化为孔压；细粒土因点-面、线-面、面-

面接触形式，发生动力流化时，土的浮重不能完全转化为孔压。

4)振动台实验中，当土体发生完全动力流化时，相同深度处，粗粒土与细粒土的孔压理论计算值呈现显著差异。粗粒土因吸附水膜相对较薄，其孔压几乎不受影响；而由粉粒和黏粒等组成的细粒土，其孔压则受到水膜的显著影响，相比粗粒土，水膜的存在明显减小了同深度层位的孔压值。

参考文献 (References):

陈国兴, 刘雪珠, 庄海洋, 2003. 南京粉质黏土与粉砂互层土及粉细砂的抗液化性能试验研究[J]. 防灾减灾工程学报, 23(2): 28-34. CHEN G X, LIU X Z, ZHUANG H Y, 2003. Experimental study of liquefaction resistant characteristics of silty clay with fine sand interbed and fine sand in Nanjing[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 23(2): 28-34.

孔宪立, 石振明, 2001. 工程地质学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社: 58-69. KONG X L, SHI Z M, 2001. Engineering geology[M]. Beijing: China Architecture & Building Press: 58-69.

刘德新, 岳湘安, 侯吉瑞, 等, 2005. 固体颗粒表面吸附水层厚度实验研究[J]. 矿物学报, 25(1): 15-19. LIU D X, YUE X A, HOU J R, et al, 2005. Experimental study of adsorded water layer on solid particle surface[J]. Acta Mineralogica Sinica, 25(1): 15-19.

刘晓瑜, 刘会欣, 孙永福, 等, 2012. 不同黏粒含量粉质土动孔压发展模式试验研究[J]. 海岸工程, 31(1): 1-7. LIU X Y, LIU H X, SUN Y F, et al, 2012. Experimental study of pore water pressure development mode of silt with different clay content under dynamic load[J]. Coastal Engineering, 31(1): 1-7.

谢定义, 1988. 土动力学[M]. 西安: 西安交通大学出版社: 77-79. XIE D Y, 1988. Soil dynamics[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press: 77-79.

许国辉, 刘会欣, 刘锦昆, 等, 2012. 黏粒含量对粉质土液化发生的作用机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 32(3): 31-35. XU G H, LIU H X, LIU J K, et al, 2012. Role of clay content in silty soil liquefaction[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 32(3): 31-35.

许国辉, 陈志远, 任宇鹏, 等, 2023. 砂土液化概念的再认识[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 53(12): 138-145. XU G H, CHEN Z Y, REN Y P, et al, 2023. Recognition of the concept of sand liquefaction[J]. Periodical of Ocean University of China, 53(12): 138-145.

殷宗泽, 2007. 土工原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社: 473. YIN Z Z, 2007. Principles of geotechnical engineering [M]. Beijing: China Water & Power Press: 473.

HICHER P Y, WAHYUDI H, TESSIER D, 2000. Microstructural analysis of inherent and induced anisotropy in clay[J]. Mechanics of Cohesive-frictional Materials, 5(5): 341-371.

PRAKONGKEP N, SUDDHIPRAKARN A, KHEORUENROMNE I, et al, 2010. SEM image analysis for characterization of sand grains in Thai paddy soils[J]. Geoderma, 156(1/2): 20-31.

REN Y P, ZHOU H G, WANG H J, et al, 2023. Study on the critical sediment concentration determining the optimal transport capability of submarine sediment flows with different particle size composition[J]. Marine Geology, 464: 107142.

Analysis of Pore Pressure Difference Between Fine- and Coarse-grained Soils During Dynamic Fluidization

LIU Zhiqin[1,2,3], CHEN Zhiyuan[1,2], REN Yupeng[4], XU Guohui[1,2]

（1. *The Key Laboratory of Marine Environment and Ecology*, *Ministry of Education*, *Ocean University of China*, Qingdao 266100, China;

2. *Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Environment and Geological Engineering*, *Ocean University of China*, Qingdao 266100, China;

3. *First Institute of Oceanography*, *MNR*, Qingdao 266061, China;

4. *College of Marine Geosciences*, *Ocean University of China*, Qingdao 266100, China）

Abstract: Liquefaction of foundation soils under the action of dynamicforces can have disastrous effects on the engineering. Pore water pressure is an important parameter for saturated soil transforming into fluid. The exsiting studies have found that during the process of liquefaction, fine-grained soil can enter the liquefaction state even if the pore pressure ratio (pore pressure/ enclosure pressure) does not reach to 1. A theoretical model for generating dynamical fluidization in the cases where a flow can occur is established for saturated soils composed of sand, silt and clay particles. In the model, the soil particles are assumed to be spheroids and the influences of particles adsorbing water film are taken into account. In addition, the changes of pore pressure in dynamic triaxial and shaking table experiments are also analyzed. Based on the characteristics of soil microstructures, it is proposed that when fine-grained soil is in a fluidized state, the pressure of pore water can cause the pore pressure to decrease due to the influence of bound water film. Mesnwhile, the pore pressure can also be reduced due to the framework support of particle shapes (e.g. the plate shape). This theoretical analysis conducted according to the physical properties of the soil microscopic compositions can help to clarify the reasons for the difference in dynamic fluidization criteria between the fine-grained soil and the coarse-grained soil based on pore water pressure and to understand further the intrinsic mechanism of the soil liquefaction.

Keywords: dynamic fluidization; fine-grained soil; coarse-grained soil; pore water pressure; liquefaction

Received: January 3, 2024