

DOI: 10.11779/CJGE201702025

关于“论土骨架与渗透力”的讨论

毛昶熙，段祥宝

(南京水利科学研究院水工水力学研究所，江苏 南京 210029)

Discussion on“On soil skeleton and seepage force”

MAO Chang-xi, DUAN Xiang-bao

(Hydraulic Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

中图分类号：TU43

文献标识码：A

文章编号：1000-4548(2017)02-0385-02

作者简介：毛昶熙，男，河南内黄人，教授级高级工程师，长期从事水工渗流研究。E-mail: xbduan@nhri.cn。

本刊 2016 年第 8 期焦点论坛“论土骨架与渗透力”^[1]一文（以下简称原文）与 2003 年第 6 期焦点论坛“莫把虚构当真实”^[2]都讨论了“渗透力”，不同的是这次焦点论坛很重视“渗透力”而不是反对。论文开始第一句“土力学中土骨架与渗透力是很重要的概念”，而且下了定义“土骨架受到水流的推力与拖曳力称为渗透力”。比以前焦点论坛定义渗透力只是作用在土骨架颗粒上的切向力提高了认识。不过仍然只是土力学的观点，而渗流水力学已发展为独立的学科，不妨互相融合谋求共同发展，提出讨论意见如下：

(1) 原文认为“渗流施加于土颗粒上的拖曳力加上推力就是渗透力”不完整，有片面性，忽略了渗流作用在骨架颗粒上另一个重要力“浮力”。这个问题无论概念分析，还是数理证明，在相关渗流书和文献中都有详细介绍（参见《渗流计算分析与控制》^[3]与《堤坝安全水动力计算》^[4]）。

(2) 原文对土力学中渗透力定义的改进给出一排方形颗粒受力概念性示意图 1（即原文图 12），并解释为“沿流向颗粒宽 b 上的水压力差 $j_1=b\Delta h \gamma_w$ ，而在间隙宽度 a 上，沿流向压力差为 $j_2=a\Delta h \gamma_w$ ，这个力转化摩擦力作用于颗粒上，两者相加 j_1+j_2 就是渗透力。”这段解释也存在问题。因为颗粒都是淹没水下的，如果把方形颗粒改为方块体淹没水中，就好与原文图 11 互相对比了，但图 1 (b) 表示方形颗粒侧面间隙水流有自由水面，这就难以计算侧面水压力了（建议画成淹没方块体，用测压管水位表示 Δh ），而且水压差式子只是一条线 b 或 a ，不是一个面，式子量纲（因次，尺度）也不一致。特别是 j_2 的式子，水压力作用在间隙宽度 a 上 (a 可以很大或无限？) 以及把这个力转化为颗粒侧面上的摩擦力，似乎缺乏理论根据。因为水压力对于接触面来说，只能是法向的，不能转化为切向力。回忆 2003 年本刊焦点论坛文章，对于水压力也有类同误解，把间隙水压力看作标量，比矢量的渗透力简便等。

(3) 原文对渗透力又解释“渗透力是作用于土骨架颗粒

上的，而不是作用于游离的颗粒上。因为两侧无拖曳力，也无渗透力。”同样是对渗透力的概念性问题，渗透力是作用到所有土体的颗粒上的游离颗粒也就是管涌问题所研究的内容，可参见《堤坝安全与水动力计算》^[4]第 4 章管涌第 4~7 节，那里介绍了渗流冲刷颗粒各力平衡的临界渗流坡降，也介绍了两篇外文文献计算临界坡降不用渗透力而用等价的颗粒周边水压计算得不出相同唯一的结果。

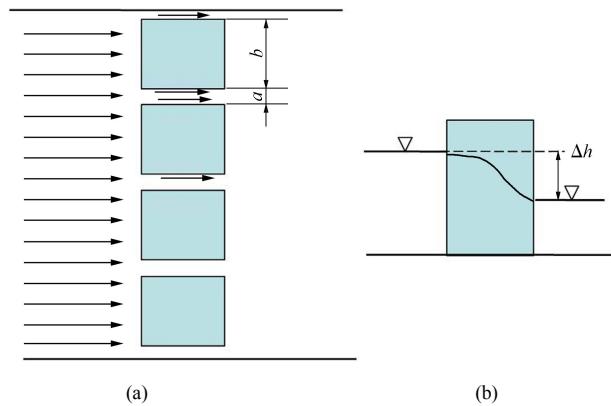


图 1 土颗粒上的推动力与拖曳力

Fig. 1 Thrust and drag force on soil particles

从图 1 的英文名，知道拖曳力就是 dragforce。不过 drag 这个词在水力学中是专业术语，定义为物体（颗粒）在水中运动（拖曳）受到的阻力，与物体形状、表面粗糙度有关 (Streeter: Fluid mechanics)，并不限于表面摩擦力。

(4) 原文图 13 示意水平渗流对颗粒表面上各点的作用力有法向压力和切向拖曳力（见图 2）。但解释说“法向力的竖向分量积分就是浮力”没有谈到切向力的竖向分量？同时又说“颗粒对水平轴对称，所以力的竖直分量就都抵消了。”这样说互相矛盾。因为渗流作用在颗粒上的力（包括法向和切向）

的竖向分量积分就应等于浮力, 它就是颗粒表面的上下水压力差, 不能互相抵消。

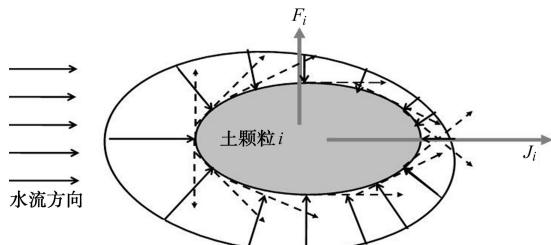


图 2 有水平渗流情况下的颗粒受力示意图

Fig. 2 Schematic diagram of particles under horizontal seepage

(5) 关于渗透力公式, 土力学开拓者 Terzaghi 最早给出 ($f = \gamma_w i$) 将近一个世纪, 后来在渗流方面从孔隙水流受力方面或整个土体、土柱受力方面, 都有推导论证。而且都是从饱和土体为对象出发。而原文只是从一个骨架颗粒(图 3, 即原文图 14)出发推论到土体, 给出概念上的渗透力公式, 有其创新之意。不过有很多假定值得讨论。例如颗粒都必须是图 3 的标准排列形式, 上下面都是孔隙水厚度, 只有左右两端点互相接触, 孔隙水流也必须是水平方向, 颗粒占据位置的孔隙率 n 也必须相等。这样的土体结构形式可能在自然界找不到, 就是有, 所列出的推导公式基本方程式(5)认为是颗粒两侧压力差等于颗粒对水的渗透力的反作用力, 即

$$\gamma_w \Delta h_i \frac{V_{si}}{\Delta l_i (1-n)} = \gamma_w \frac{V_s}{1-n} i = j_i \quad (1)$$

该式计算单位体积的土体中 m 个颗粒渗透力的叠加就是单位渗透力 $j = \sum_i j_i = \gamma_w i$ 。

原文所列颗粒受力平衡方程式(5)也存在问题。主要是还没有论证出来, 就在右边出现渗透力, 而左边为表面水压力, 表面力与体积力列等式, 量纲(因次尺度)不一致, 造成错误; 而且式子左边水压差作用的截面积是虚构的, 不能代表应有的颗粒受力的投影面积。因此, 就是平衡式中的各力均正确, 所得出的结果也是没有实用价值。因为天然渗流是多方向的, 颗粒大小排列也是纹乱的。

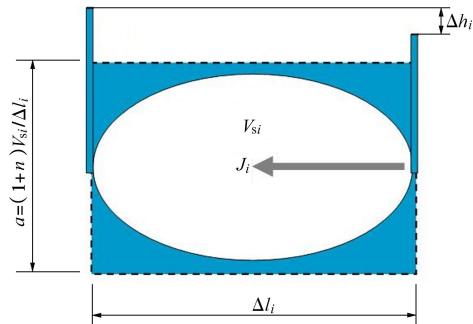


图 3 渗透力的推导

Fig. 3 Derivation of seepage force

最后希望在这次“焦点论坛”对渗透力认识提高的基础上, 能对高等土力学教材及学报中否定渗透力及引用渗透力算法的相关规范进行甄别, 以免误导读者和应用者!

参考文献:

- [1] 李广信. 论土骨架与渗透力[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(8): 1522 - 1528. (LI Guang-xin. On soil skeleton and seepage force[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, 38(8): 1522 - 1528. (in Chinese))
- [2] 沈珠江. 莫把虚构当真实——岩土工程界概念混乱现象剖析[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(6): 767 - 768. (SHEN Zhu-jiang. No confusing fiction with reality-Analys of misunderstanding of some concepts in Geotechnical Engineering[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25(6): 767 - 768. (in Chinese))
- [3] 毛昶熙. 渗流计算分析与控制[M]. 2 版. 北京: 水利水电出版社, 2003. (MAO Chang-xi. Seepage computation analysis and control[M]. 2nd ed. Beijing: Water Resources and Hydropower Press, 2003. (in Chinese))
- [4] 毛昶熙, 段祥宝, 毛宁. 堤坝安全与水动力计算[M]. 南京: 河海大学出版, 2012. (MAO Chang-xi, DUAN Xiang-bao, MAO Ning. Safety of earth dams and levee with hydro-dynamic force computation[M]. Nanjing: Hohai University Press, 2012. (in Chinese))

勘 误

本刊 2016 年第 5 期第 811 页“考虑桩间水平土拱效应的边坡桩间墙组合结构受力计算方法”一文中, “基金项目 (51278530, 41541022)”有误, 应为“基金项目 (51278430, 41541022)”。特此更正。