

DOI: 10.11779/CJGE201702026

## 对“论土骨架与渗透力”讨论的答复

李广信

(清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

## Reply to discussion on “On soil skeleton and seepage force”

LI Guang-xin

(State Key Laboratory of Hydroscience and Engineering, Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

中图分类号: TU43 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2017)02-0387-02

作者简介: 李广信(1941-), 男, 黑龙江宾县人, 教授, 博士生导师, 长期从事土力学教学和土的本构关系、土工合成材料工程、高土石坝以及地基基础工程的科研工作。E-mail: ligx@tsinghua.edu.cn。

拜读毛昶熙老先生对拙作的批评意见, 甚为感动。毛先生年事已高, 头脑仍然清晰敏锐, 并不吝指教, 指出文章中的谬误与不足。对笔者而言, “就有道而正焉”, 不亦乐乎。回答与请教如下, 敬请指正。

### 1 关于土力学中的虚拟

尽管土力学跻身于力学, 但由于其对象的特殊性及工程实践的复杂性, 实用主义的倾向是很突出的。Terzaghi 本人就是一位工程师, 从工程实践出发, 提炼出一些实用性很强的理论与方法, 常伴随很多的假设与近似。他在力学的框架下考虑和解决工程问题往往是尽量趋于实用化, 而并不十分在意于理论的严密性, 即使其《理论土力学》<sup>[1]</sup>, 其中亦鲜见深奥的理论及其推导。Terzaghi 是亲历亲为解决许多工程问题的工程师, 由于土的性质的复杂性, 影响因素的多样性以及作为天然材料不可控的变异性, 实用主义也就成为土力学的有效工作方法和特色风格。但往往也因此忽视严谨的理论与规则, 比如其中的名词术语、正负号规定、计算公式与计算方法有一些欠严密的地方, 存在实用主义的随意性。土力学中所特有的浮重度、有效应力、土骨架、渗透力、达西流速等概念与术语就体现出这种情况。习惯于经典力学的一些人就认为其为“虚拟”的概念, 或者“虚拟的量”。

土力学充满感性, 它源于现实, 贴近生活, 关联社会, 相通于历史, 是有血有肉的力学, 它必定会与经典力学有别。那种动辄“虚拟”的说法对于土力学学科的发展和土力学教学是不利的, 会使学生建立不起对于土及其各相间相互作用的真正的、感性的认识。

以渗透力为例, 一个力有作用力与反作用力, 就不应是虚拟的。渗透力是渗透水流施加到颗粒形成的土骨架上的力, 是现实存在的, 作用关系是明确的。在汹涌的人流中, 如果你

与其他几个人形成“骨架”, 企图不动以稳住阵脚, 阻挡人群, 在人群渗透力的冲撞、挤压与拖曳下, 十有八九会被推倒与踩踏; 在齐腰的激流中, 你与几个人拉在一起形成骨架, 力图挽狂澜于既倒, 可能被水流冲倒而丧命, 这时还认为渗透力是虚拟的吗?

将土力学移进书斋, 搬入象牙塔, 养在深闺, 它就会了无生气。阳春白雪, 和者盖寡, “忽闻海外有仙山, 山在虚无缥渺间”, 那才成了“虚拟”。而视经典为现实, 称现实为“虚拟”, 正是这种书斋化的倾向。土力学学习以及认识和解决土工问题需要更广阔的视野, 不应囿于数学力学的传统概念, 要善于更合理的抽象与假设, 忽略其次要因素, 抓住主要矛盾。应立足于现实, 善于总结; 尊重理论, 勤于思考。这是一个优秀的岩土工作者应有的素质。

### 2 关于渗透水流的“升力”

毛先生对于“论土骨架与渗透力”<sup>[2]</sup> (以下简称“原文”)一文中图 13, 认为“土骨架受到的渗透水流施加的推动力与拖曳力称为渗透力”不完整。这句话有些不准确, 似应改为: “在各向同性土体中, 渗透水流在渗流方向上对土骨架施加的推动力与拖曳力。”毛先生也指出渗透水流作用于土骨架上另一个主要的力“浮力”。笔者认为浮力在静水中也存在, 等于物体所排出水的体积对应的重量。水平渗透水流也可产生竖向的力, 但为了区别于浮力, 笔者称为“升力”, 文中指出“(颗粒)在水平水流中, 就会产生升力, 但如果土体中的这种颗粒是随机形成与随机排列的, 那么其土体升力的总竖直分量就都抵消了”。不知这样理解是否正确?

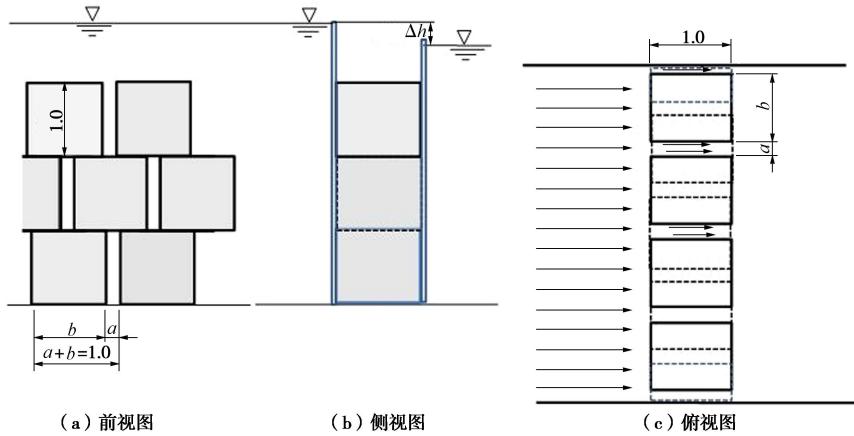


图 1 颗粒上的推动力与拖曳力

Fig. 1 Thrust and drag forces on soil particles

### 3 关于图 12

原文中图 12 的本意是指出渗透力不仅仅是“拖曳”作用，但其示意表示确实有缺陷，并且水压力计算也有误。作为一种模型不够清晰明了，感谢毛先生指出。改成本文图 1 的形式可能清楚一些。亦即表示为一些矩形“颗粒”的堆积体。在颗粒宽度  $b=1-n$  上，颗粒受到两侧水压力差的作用，沿流向压力差为  $J_1=b\Delta h\gamma_w$ ；而在间隙宽度  $a=n$  上，沿流向压力差为  $J_2=a\Delta h\gamma_w$ ，这个力转化为拖曳力也作用于颗粒上。所以每个颗粒受到的总渗透力等于单位体积土骨架上的渗透力， $J=J_1+J_2=(a+b)\Delta h\gamma_w=ij\gamma_w=j$ 。

其实考虑颗粒间的长方体水体的水平向力的平衡，则两侧颗粒对水的摩阻力就等于 $-J_2=a\Delta h\gamma_w$ ，其反作用力就是渗透力的拖曳部分。

### 4 关于脱离了骨架的颗粒

针对原文图 12，原文指出“这种“拖曳力”却是渗透力定义中的不可缺少的部分。设想在本文图 1 中，方形颗粒紧密相接，没有渗流也就没有拖曳力与渗透力，两侧作用的就是静水压力。如果颗粒悬浮在水流中与水流以相同速度流动（如水中的泥沙），那么两侧也有水压力差，但无拖曳力，也无渗透力”。毛先生对此提出异议。

由于此文的题目是“论土骨架与渗透力”，内容是基于土力学，并且指出“如果在外部因素作用下土骨架溃散为单个颗粒，例如流土、管涌、液化、流沙、流滑，就成了泥沙、泥石流或沙尘暴，那就是流体力学中的多相流和泥沙动力学研究的领域，与土力学无关了”。因而这里定义为是作用于土骨架中颗粒的渗透力，而非作用于矿物颗粒上的渗透力。如果以流体为载体，颗粒在其中悬浮而随波逐流，尽管流体与颗粒间也许有相互作用，那就不是土力学研究的问题了。例如静水中微粒的布朗运动，黄河中泥浆似的河水的流动，长江上游的推移质，泥石流中的砂与石，都超越土力学的学科范畴。学科交叉会结

出硕果，但各学科还是有所界定。

正如毛先生所言，图 13 这样的模型对于理解渗透力有所裨益，但不完备，有待于优化。

另：原文中的式 (5)， $\gamma_w \Delta h_i \frac{V_{si}}{\Delta l_i (1-n)} = \gamma_w \frac{V_{si}}{1-n} i = J_i$ ，

其中右侧是  $J$  (大写)，不是  $j$ ，因而不是体积力，左侧也非面积力，两侧都是力 (kN)。 $j = \sum_{i=1}^m J_i = \sum_{i=1}^m \gamma_w \frac{V_{si}}{1-n} i = \left[ \frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^m V_{si} \right] \cdot \gamma_w i$ ，积分后  $\sum_{i=1}^m \frac{V_{si}}{1-n} = 1.0 (\text{m}^3)$  (设在单位体积土体中，含有  $m$  个土颗粒)， $j$  才变成了体积力。

### 5 几处勘误

非常抱歉的是，原文有几处错误。笔者治学不严谨，感到十分愧疚。

(1) 1522 页右栏 6 行， $nV$  为  $(1-n)V$  之误。

(2) 1523 页，右栏， $\sigma = dP/dA$ ，不是  $\sigma = dp/dA$ 。

(3) 1525 页，右栏，2 行“並河”应为“涙[bàn]河”。

(4) 1525 页，右栏，倒 3 行，“内施工扰动”，去掉“内”字。

(5) 图 12 中由于表示的是有自由水面情况，则右栏，3, 4, 5 行的  $J_1, J_2$  水压力计算有误。

(6) 1528 页，右栏，正文最后一行，“水力梯度”，应为“水力坡降”。

### 参考文献：

- [1] KARL Terzaghi. 理论土力学[M]. 北京: 地质出版社, 1960. (KARL Terzaghi. Theoretical soil mechanics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1960. (in Chinese))
- [2] 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))