维普资讯 http://www.cqvip.com

再议水压率

李广信
（清华大学水利水电工程系）

1. 翻开贵刊2007年11期，看到方玉树先生的反驳文章，题目赫然是“水压率理论被推翻了吗”[1]，对照拙文的题目“有效应力原理能够被推翻吗”[2]，可见方先生以水压力理论取有效应力原理而代之的决心，尽管他目前还谦虚地借用有效应力原理的外衣。

2. 所谓孔隙水压力，在《岩土工程基本术语标准》(BG/T50279－98)[3]中规定：“土中某点孔隙水承受的压力”。既然是水受到的压力，用测管水头来表示就是天经地义的，即 $u = p_w = \gamma_w h$，不仅土力学如此，水力学、流体力学和普通物理学都是如此，没有打折扣(ξ)的余地。所以“水压率原理”还是应大大方方地写成：

$$\sigma = \sigma' + \xi\gamma_w h = \sigma' + \xi u \qquad (1)$$

这就与各种其他企图推翻有效应力原理的公式相似了。在科学的探索过程中，在学术讨论和交流时，不能在大家公认的名词术语方面偷换概念，否则就没有讨论的共同语言了。偷换概念的结果常常是名为创新，实为抄袭；名为发展，实为篡改。

3. 将饱和含水量小于流限的粘土试样放在压缩仪中，施加竖向压力 p，在 $t=0$ 的瞬时，会测得孔隙水压力 $u=p$。亦即如方先生认为不可能的“侧压力系数为1”。可见结合水是能够传递水压力的；随着时间延续，孔压消散，土体固结，密度增加，侧压力系数变为 K_0，可见结合水是可以流动的。这个过程似乎没有“水压率”置啄的余地。

4. 本科《土力学》教材只是介绍了一些基础的知识，未必句句是真理。何况我国目前多如过江之鲫的土力学教材，基本是互相“参考”和“借用”，所以方先生列出了5本教材以表明我的“结合水可以传递水压力”之谬，不会使分量增加了5倍。如果方先生认为这些土力学教材都是真理，那么“水压率”之果早在20年前(5本教材中最早出版者的时间)就应结在“结合水不能传递水压力”之树上。既然方先生已经用水压率理论对于《土力学》教材各章进行了大刀阔斧的全面改造，根本就是否定了它们的权威性，而我只是认为“结合水能够传递水压力”，就似乎违背了公理而大逆不道。

5. 正如我所说[4]，土中的静水压力与水压力其实难以严格区分。方先生的水压率理论似乎就建立在“结合水不能传递水压力”的基础上，并没有局限于“静水压力”。所以可以看到“水压率”的理论基础是：先在本科土力学教材中找到“结合水不能传递静水压力”这一说法，然后推广为“结合水不能传递水压力”，再后就开始了用水压率理论全面改造土力学这一巨大工程。

6. 大约40年前，我负责在松花江的一个小支流－漂河上建造一个小闸门。场地位于淤泥土的滩地，但是地基土有一定的强度和承载力，可供人行车走。让工人开挖了一个2m深的基坑，开挖施工非常容易。但是第二天再看，沿着坑壁流淌着稀泥，坑底有半米深的泥浆，无法继续施工。我感到原状软黏土具有更多的结合水，重塑以后一部分变成了自由水。这种灵敏性土双电层的中离子和极化水分子的电磁力形成较厚的结合水层，但它们处于不稳定状态，受到扰动就丧失平衡而变为自由水。

预压固结可以使含水量低于液限的地基土会进一步加密，这表明了水压率理论的谬误。对此方先生的解释是：这是由于在液限含水量时，原状土比重塑土具有更多的自由水。这就有两点需要进一步解释：

(1) 在天津港、黄骅港以及沿海很多填海造地工程中，都是采用充填土，亦即重塑土，也同样可以压密固结到液限含水量以下；

(2) 如上所述的灵敏性粘土，经重塑以后变成泥浆，似乎是自由水更多了。

6. 一提到泥浆，方先生就很不屑，说那是水而不是土。他似乎忘记了，泥浆是一种土，即欠固结

维普资讯 http://www.cqvip.com

土，是前期（有效）固结压力为0，小于当前自重应力 $\Delta\sigma h$ 的欠固结土，是无法把它从土力学中开除出去的。关于泥浆的浮力可以大于静水压力，正是土力学中有效应力原理的有力证据。

（1）根据有效应力原理，$\sigma=\sigma'+u$，泥浆是前期固结压力为0的欠固结土，所以 $\sigma=u$，有效应力 $\sigma'=0$。而孔隙水压力由两部分组成：$u=\gamma_w h+\Delta u=\gamma_w h+\gamma h=\gamma_{sat}h$，其中前者为静水压力，后者为超静水压力，它是由于土颗粒处于悬浮状态，而由土的自重（浮重度）而产生的。这样，这种泥浆状的欠固结土对体积为 V 物体的浮力为：$U=\gamma_{sat}V$。这就可以解释在泥质泥石流中何以会出现“一川碎石大如斗，随流满地石乱走”的现象。

（2）按照“水压率理论”，$\sigma=\sigma'+u$，孔隙水压力 $u=\xi\gamma_w h$，如果水压率 $\xi=0.5$，那么浮力只有静水压力之半。这显然与事实不符。其实，有时少量的自由水即可形成泥浆，例如膨胀土的流限含水量可达300%～400%，这时土的重度只有 $12kN/m^3$ 左右。所以其实泥浆的水压率 ξ 并不一定很大。

7. 水压率的概念模糊及缺少可操作性从方先生的这篇文章可以充分体会到，他对所有质疑的回答原则是：凡是与水压率理论数值不符时，就用自由水含量不同解释（如原状土）；如果有推翻水压率理论的可能时，干脆就把你开除出土力学（如泥浆）。而关于自由水含量到底有多少只有天知道（似乎方先生也知道）。这样它就无需试验验证，也可以不受试验成果的约束。

8. 以饱和粘土的不固结不排水三轴试验为例。将一个饱和粘土试样放在三轴压力室中，同时将排水阀门关闭。施加围压 $\sigma_3=100kPa$，就会测到孔隙水压力增量 $\Delta u=100kPa$，则有效应力增量 $\Delta\sigma'_3=0$。再施加 $\sigma_3=200kPa$，则测得 $\Delta u=200kPa$，仍然是 $\Delta\sigma'_3=0$。由于两个试验破坏时的莫尔圆半径是相同的，所以饱和粘土的不排水试验内摩擦角 $\varphi_u=0°$。

根据有效应力原理，$\Delta u=B\Delta\sigma_3$。由于饱和土的 $B=1.0$，所以在各种围压下的试验有效应力 $\Delta\sigma_3$ 是不变的，则 $\varphi_u=0°$。

根据水压率理论，$\Delta\sigma_3$ 可以通过 $\gamma_w h$ 来施加，则 $\Delta u=\xi\Delta\sigma_3$，$B=\xi$。在施加不同围压 σ_3 时，有效应力是随着围压增加而增加的，这样 $\varphi_u>0°$。并且可以推断，当粘土的含水量小于液限时，或自由水含量为0时，由于 $\xi=0$，不排水强度指标与排水强度指标是一样的，这显然有悖于常识和试验结果。

9. 对于我所说的按照达西定律，在两层土间不可能出现水压力的突变，方先生很不理解。只好再稍详细解释如下：根据连续性原理，在两层土处，$v_1=v_2$，则 $i_1/i_2=k_2/k_1$。可见在界面处如果 $k_i>0$，i 就不可能无限大。所以界面处不应有孔隙水压力的突变。方先生解释说，他的达西定律中水力坡降 i，不是孔隙水压力的斜率，是水头 h 的斜率。但是这样必须改造达西定律，并重新定义渗透系数，亦即这时 $v=k'\xi$，如果 $i=\partial h/\partial l$，则定义渗透系数 $k'=\xi k$。$\xi=0$，则土的渗透系数为零。看来用水压率理论改造土力学的工作还需继续努力。

10. 为研究粘土中静水压力的传递，我们曾指导研究生进行了一系统试验[5]。其中试验之一如下：试样采用小浪底土石坝的斜心墙防渗土料，塑限含水量 $w_p=23\%$，液限含水量 $w_l=44\%$。孔隙流体分别采用了去离子水和乙醇（酒精）。首先在20kPa的压力下真空饱和制样，然后在三轴试验仪中采用各种围压固结。表1表示了试样在不同固结压力下的饱和含水量。

表1 固结压力－饱和含水量关系表

围压（kPa）	100	200	400	600	800
含水量（%）	34.1	29.0	24.8	21.9	20.1

可见经 $\sigma_3>100kPa$ 的围压固结后，饱和含水量均小于液限含水量，当 $\Delta\sigma_3>600kPa$ 以后，饱和含水量小于塑限含水量。应当说两种情况下试样基本没有自由水了。在不同的围压固结以后，在试样顶部施加50cm的静水头，在试样底部量测土中的孔隙水压力 u。应当指出，很难界定这种水压力是“静水压力”还是“超静水压力”，它是外加的高于土体表面的水压力，也可以认为是一种外加荷载，不是与土体表面齐平的“静水压力”。试验结果见图1。可以得出如下的结论：

（1）在 $\sigma_3<600kPa$ 的固结以后，试样含水量小于液限，大于塑限，粘土颗粒表面存在弱结合水，这时静水压力可以不打折扣的较快传递到试样底部；

（2）在 $\sigma_3>600kPa$ 的固结以后，试样含水量小于塑限，粘土颗粒表面弱结合水很少，这时静水压力

维普资讯 http://www.cqvip.com

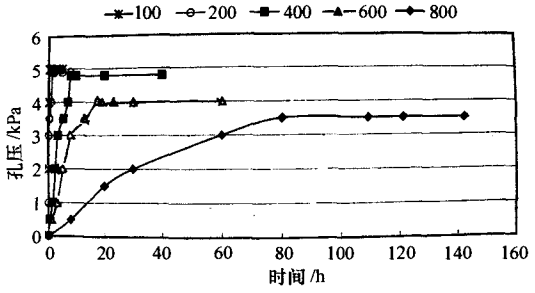


图1 静水压力的传递时间关系

不能全部传到试样底部，只能达到施加的静水压力的70%～80%，并且需要很长时间才能稳定。

用乙醇代替去离子水，进行同样的试验，发现乙醇在土中的渗透系数大得多。在试样顶部施加50kPa的静酒精压力，试验结果见表2。

表2 不同固结压力后酒精饱和试样孔隙压力传递时间表

围压(kPa)	100	200	400	600	800
时间(秒)	2	8	18	30	45

试验结果表明，50kPa孔隙静酒精压力完全无障碍地传递到试样底部，没有任何损失和折减；并且所用时间也少的多。这是由于乙醇的介电常数小，在粘土颗粒表面形成的扩散层薄很多。尽管含水量在塑限以下时，静水压力会损失20%到30%。因为没有自由水，但也没有"水压率"的藏身之处，主要是由于强结合水与颗粒表面间强烈的相互作用，使其表现出较强的粘滞性，阻碍了静水压力的传递。

11. 关于粘土中的土水相互作用是十分复杂的，还不能说我们已经完全理解和掌握了结合水的机理。图2是一种非饱和粘土的土水特征曲线[6]。

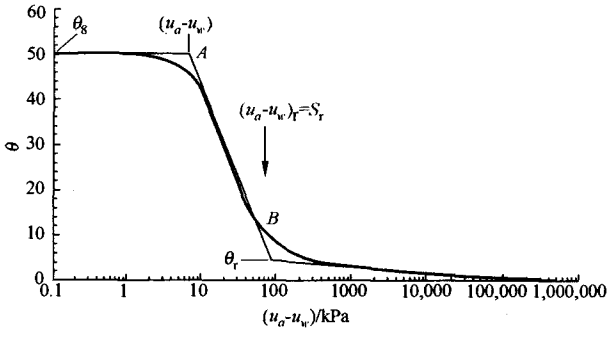


图2 非饱和粘土的土水特征曲线

测试土水特征曲线的试验方法之一是所谓的轴平移法，亦即用带有高进气值陶瓷板的压力罐，将饱和土样放进压力罐，逐级施加气压，土中水被挤出，稳定时量测相应含水量，对应的基质吸力就等于施加的压力。当粘土表面只存有3层水分子时，结合水厚度只有10Å。它们与土表面的结合如此之强，如图2所示的10^5～10^6kPa的压力也难将其完全挤走。这正如无论什么样的大力士也不可能将毛巾拧得与太阳晒得那么干一样。由于这时所涉及的作用是离子键、共价键、化学键和极化水分子的电磁力的范畴，非机械力能够等效的。粘土中的强结合水－弱结合水－自由水是有区别的，也是不能截然分开的。只不过结合水表现出更大的粘滞性，对压力传递具有更大的阻力，将其排出需要更大的压力。并不如方先生所理解的那样形成与水截然不同的胶粒，也不是能够传递水压力就和自由水完全一样。以粘土渗流的初始水力坡降为例，一种普遍的解释如图3所示。

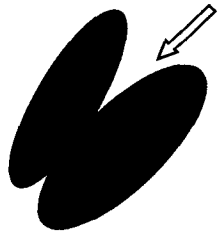


图3 粘性土中渗流的示意图

由于结合水的粘滞性，只有压力差达到一定数值时，才可以"冲开"结合水，形成渗流通道。其条件是；

$$\tau \geqslant \tau_f \qquad (2)$$

其中τ_f是结合水的屈服剪应力

结合水可以传递水压力，在一定压力作用下可以流动，可以被排出，结合水膜可以从厚的地方向薄的地方移动，由于颗粒间的接触压力很大，所以结合水也可以从结触点处向外挤走，因而粘土也同样有颗粒间(也可能是接近于固态的强结合水膜间)传递的有效压力。

12. 尽管多年来我和学生在这类课题中进行了许多试验，可对于粘土的微观结构与宏观性状间的关系，仍然充满了疑惑和不解；一些实际工程监测和试验现象仍然难以解释，在各种场合和有关文章中[7]，总是强调需要进一步探索。但在我的文章中[4]，其论据基本都是我本人或者我的学生的试验结果。我建议方先生自己或者指导学生去认真进行我在文章里说的几种很简单的试验。如果水压率理论被证实，那可能是土力学百年来最大的前进和发展。

13. 在文献[4]中，关于孔隙体积与面积的比例问题，我的计算是错误的，对于孔隙和固体都是流通的介质，方先生的假设是可以成立的。

14. 文献[4]是较早投到《岩土工程界》的，成

维普资讯 http://www.cqvip.com

文的时间更早[8]，当时只是针对一些在讨论和交流中了解的普遍观点，列出的例子都没有涉及作者。后来方先生的文章在《岩土工程界》第5期发表，我的文章在第7期发表，认为应当作为参考文献列入，就建议编辑部将其列入参考文献，这样在开头的语言就似乎完全是对事也对人了，可能伤害了方先生，对此表示深深的歉意。

参 考 文 献

[1] 方玉树. 水压率理论被推翻了吗. 岩土工程界,2007,10(11):21-26.

[2] 李广信. 有效应力原理能够推翻吗. 岩土工程界,2007,10(7):22-25.

[3] 岩土工程基本术语标准(GB/T 50279-98)北京:中国计划出版社,1998.

[4] 李广信. 对"基于水压率讨论土中孔隙水压力及其有关问题"一文的讨论. 岩土工程界,2007,10(9):22-24.

[5] 宋 磊. 粘土基坑支挡结构水土压力研究. 申请清华大学工学硕士学位论文,2003.

[6] 李广信主编. 高等土力学. 北京:清华大学出版社,2004年第一版.

[7] 李广信. 基坑支护结构上水土压力的分算与合算. 岩土工程学报,2000,22(3):348-352.

[8] 李广信. 岩土工程20讲-岩坛漫话. 北京:人民交通出版社,2007,5.

导管专家 许导 许昌臻发

同筑坚实基础 共创百年工程

我公司是专业生产基础工程灌桩导管的专业化公司，是中国工程机械工业协会桩工机械分会会员单位，所生产的专利产品一卡扣式快装导料管，继法兰盘式和丝扣连接式之后的第三代新产品，安全可靠、快捷高效是本产品的主要特征；可灌注直径：Φ600mm~Φ3000mm的桩孔；我公司是国内生产型号全、生产管径大的厂家，是卡扣式快装导料管行业标准的编制单位。

全国用户满意企业
全国用户满意产品
全国用户满意服务

专利号：ZL200420118303.5

卡扣式快装导料管技术参数

型号 / 参数	Φ219	Φ250	Φ273	Φ300	Φ325	Φ377
导管工作压力(MPa)	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4	1.0
密封圈承受压力(MPa)	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.67
导管外径(mm)×壁厚	Φ219×4.2(成型)	Φ250×4.5(卷管)	Φ273×6(成型)	Φ305×5(成型)	Φ325×6(成型)	Φ377×8(成型)
导管灌注深度极限(m)	40	60	90	90	120	130
漏斗容积(m³)	0.6~1.0	1~1.3	1.3~1.5	1.5~3.0	1.8~3.5	2.0~4.0
导管灌注直径(mm)	600~800	800~1500	1500~1800	1500~2000	1800~2200	2000~2600
一次不间断可灌注砼量(m³)	190	190	220	220	260	290

地 址：河南省许昌市文峰路中段100号 邮 编：461000

电 话：0374-2[illegible] 13607[illegible]