



## 如何用好土力学 ——对青年土木工程师谈土力学的理论与应用

赵成刚 曾巧玲

(北方交通大学土建学院, 北京 100044)

**摘要** 针对青年学生和年轻的土木工程师在工程实践中如何使用好土力学的理论这一问题进行了讨论. 指出了土力学理论与其它土木工程结构理论的根本区别, 以及工程经验和判断力的重要性, 并就工程经验和判断力以及如何培养展开了讨论. 本文还对如何阅读土力学文献和如何选择土力学数学模型进行了论述. 最后还列出了 Casagrand<sup>[2]</sup> 对实际应用土力学理论的要求.

**关键词** 土力学理论, 工程应用

任何土木工程的设计、建造和使用都离不开土力学理论的指导, 而如何较好地、有效地应用土力学的理论是刚毕业的土木工程专业的学生和青年工程师们所关注的问题. 这一问题在经典土力学时期 (1926 年~1963 年) 由 Terzaghi<sup>[1]</sup>、Casagrand<sup>[2]</sup>、Peck<sup>[3]</sup> 等人一再论述过. 但近些年, 国内好像忘却了这一问题; 另外, 在土力学的教学中又很少涉及这方面的问题, 使得刚毕业的学生不懂得如何正确应用土力学的理论. 本来这样的文章由一些具有丰富的工程经验和很好的土力学理论水准的工程师来撰写会更好一些. 但令人遗憾的是到目前为止, 国内很少有这样的文献发表, 而老的文献对刚毕业的学生来说又很难接触到. 作为一名土力学教师有责任再次提醒大家对这一问题的关注, 以便使青年土木工程师对土力学的理论有一个正确的认识和看法.

土木工程专业的学生在学习过钢筋混凝土结构、钢结构和桥梁结构以后, 会产生一种印象, 以为土木工程结构都可以根据预先对建筑材料力学性能 (例如材料的刚度、强度等) 的假设进行计算和设计. 比如房屋或桥梁的设计, 只要把力学理论掌握好, 再加上钢筋混凝土结构或钢结构的知识就可以基本解决其中的结构设计问题. 理论在这里处于主要地位, 而经验只居于次要地位. 这些理论计算结果之所以可信, 是因为所使用的建筑材料的不确定性相对较小 (与土相比), 它们的边界条件和材料的力学性质都是比较简单和确

定的, 力学模型也能够反映它们的工作状态和力学行为. 因而在上述结构设计中, 按预先的假设进行计算和设计, 通常是可行的, 其计算结果与实际情况误差一般不大, 工程上是可接受的. 所以结构工程师可以不管其建筑材料是如何试验的, 他们通常把注意力都集中在上部结构的美学、功能、结构构造和结构计算上, 而把建筑材料的试验、检测和力学参数的获取交给别人去做. 一名刚毕业的土木专业的大学生可以按照规范、标准和标准过程进行上部结构的设计, 这样进行设计虽然不能做到十分完美, 但至少可以保证安全. 与此相对照, 土工工程师虽然很好地掌握了土力学的理论知识, 但他如果缺少工程经验和判断力以及缺少对实际土性的了解, 则很容易出现问题 and 工程事故.

土不像其它建筑材料 (一般建筑材料的力学性质和质量是可控制的), 它不是人工制造的, 而是长期自然风化与沉积的产物, 它一般是不均匀的 (不论在横向或竖向一般都不均匀), 又是三相体, 其物理和力学性质非常复杂, 不确定性非常大. 由于土的这种不确定性, 从钢、钢筋混凝土过渡到土, 设计过程和方程不再像钢结构或钢筋混凝土结构那样灵验和准确了. 究其原因, 1) 自然形成的土一般都是非均匀的; 2) 如前所述, 土的物理力学性质太复杂, 难以准确地用数学模型描述; 3) 土的边界条件难以确定, 室内试验难以准确描述现场的实际情况. 另外, 靠少数样本点难以真实描述整个场地的物理力学性能; 4) 土的参数难以高质量地获取. 基于上述原因, 在土力学中的因果关系或规律性并不像其它力学或其它土木工程结构中那样简明, 土力学的公式也不能像其它力学公式那样去认识和理解. 在土力学中, 任何公式或计算机程序的计算结果的准确性从来不会超过粗略或大致的估计. 土力学的理论可以告诉我们进行计算时需要用到哪些参数, 通过钻孔取样并进行室内试验可以得到这些参数; 但由于取土时的扰动, 土的性能已经发生了变化, 而这种变化对实验结果和计算结果的影响也只

本文于 2002-06-13 收到.

能由经验得知，因此理论与现实的差距只能通过经验来估计。

土力学的理论在初建时，开创者会敏锐地认识到其理论所包含的大胆假设以及它的适用场合与范围，并在开始使用这些理论时，没有人愿意仅在表面或形式上接受它们。但多年过去以后，这些理论被写成教科书并传授给大学生们，这时它们表现出形式和教条的特征。而学生也被这种形式特征所吸引，忽略了隐藏在这些公式和规律背后的背景知识和真正实际内涵。并且理论一旦出现在大学的考试卷上，它就变成了被相信的可怕的神圣信条。很多受过大学土力学教育的学生和青年工程技术人员认为土力学理论和室内试验构成了土力学的全部内容，而不知道经验和判断力的重要性。他们对土力学教科书的内容和公式较熟悉，但对其在实际应用中的适用性、误差范围和不确定性却缺乏必要的了解。在土工设计时，他们迅速地从此类教科书中选出针对所处理问题的公式，并主观的断定所选公式是正确的，根本不考虑它的局限性和适用范围；并且在选用土工参数时，他们甚至不看土样，仅满足于别人提供给他们们的勘测资料和设计参数，而忽视了隐藏在这些资料和参数后面的粗糙性和离散性。这样处理土工问题迟早会出现事故和问题。

做过土工试验的人都会知道，即使同一土样，采用同一实验方法和同一实验仪器，获取同一参数，不同的人所做的试验也会得到不同的结果；尤其是剪切强度的试验结果，其离散性更大。

也有很多人看到了土力学教科书的缺陷，进而否定土力学理论对土工实践的指导作用，并转而夸大和过分依赖经验和判断的作用，有时甚至无知蛮干。这样做也是片面的，它使我们退回到 1926 年经典土力学诞生以前的年代。

关于如何应用土力学的理论，Terzaghi 曾指出<sup>[2]</sup> 土力学的内容只有在工程判断的指导下才能被使用。除非已经具有这种判断能力，否则不会成功地应用土力学的理论。

如何积累工程经验和建立工程判断的能力？这种经验和判断能力很难在课堂上获得，它是工程师经过多年与土工现场打交道并有意识地在处理不同的土工问题中积累起经验和对土的感性认识后，才逐渐建立起来的。在这方面，土工工程师有些像外科医生。一名刚从学校毕业的外科医生，仅学得一些抽象的理论知识；但要想成为一名成功的有水平的外科医生，还必须经过多年的临床实践，积累丰富的经验，才能做好各种手术，成为一名杰出的外科医生。土木工程师的

成长也完全类似于外科医生，他必须多年参与土工实践，并有意识地利用已学得理论去分析实际工程问题，在这种过程中积累经验和判断力。当然这一过程可以加速和缩短，即可在有丰富经验和高水平的工程师的指导下，尽可能多地参加不同困难问题的设计、施工和处理，迅速地积累经验和判断能力，在不太长的时间内成为出色的富有经验和判断力的工程师。

正确地应用土力学的理论还要求：熟悉土性，熟知勘察、取样和试验方法以及它们的离散程度，至少应该知道工程场地的实际分类情况。如果不熟悉上述诸方面的内容和方法，则可能从低劣的钻孔、取样和不令人满意的室内试验中得到扭曲的错误信息从而导致工程失误。土工工程师如果完全相信钻孔勘察和室内试验的结果，而没有认识到这些结果是多么的粗糙和具有很大的不确定性，这说明他缺乏实际经验。优秀的土木工程师必须坚持进行可靠的勘察与试验，他必须知道不良的勘察结果会导致怎样的后果。必要时，可以做两组平行的勘察工作，以避免大的误差和不确定性。

一个有经验和良好判断力的工程师，由于非常熟悉土性，他仅凭目视和手工探查就可以大致判断场地土在土的塑性图中的位置和它的分类。更进一步，对于一个经验丰富的土工工程师来说，土的塑性图就像一张地图，图内每个区域中土所具有的工程意义和工程性质以及它的分类划分都了然于心。

下面谈谈文献阅读。很多关于土工的知识都来自于文献阅读，如何进行文献阅读是青年土工工作者首先应该培养的良好习惯。目前的土工文献正在以指数的形式迅速增长，有经验的读者都会感觉到，读得越多就会越加认识到所读的内容大部分都是无用的或是错误的拓展，甚至有些就是错的。因此读者必须学会批判性阅读，所谓批判性阅读就是阅读文献时，应学会找出它的不足或缺点，也就是挑毛病。当然这种毛病不是无足轻重的小毛病，例如文字或某一局部的无关紧要的毛病，而是一些重要的缺点或不足。例如：它的基本假定是否恰当，对这些假定能否做更进一步的更符合实际情况的假定，他考虑的是否全面，如采用更好的方法能否得到更好的结果，还有什么地方可以做更进一步的改进等。通过批判性地阅读就可以从中找到真正的有用知识。通过长期的批判性阅读的训练，就可以逐渐培养出阅读的经验 and 判断力。另外在当前岩土工程的文献中可以有趣地发现很多文献中，计算分析结果与实测或试验数据吻合得非常好。有经验的岩土专家都知道，岩土工程的不确定性是非常大

的, 计算分析结果与实测或试验数据吻合得非常好, 不但不能说明理论计算结果的正确性, 反而说明它有问题。如果对这种吻合非常好的结果进行考察, 可以无一例外地发现实测或试验数据是被首先得到的, 而计算和分析是其后的结果。假如计算分析的结果与实测或试验的数据差别较大时, 通常可调节输入参数减小这种差别, 直到吻合较好为止。很少有先进行计算和分析得到预测结果, 然后再拿实测或试验结果与之进行比较分析的。

下面讨论在土力学中精确数学模型的应用问题。在一般结构分析中, 因材料的力学性质简单, 不确定性较小, 用精确数学模型分析的结果一般会获得较为精确的结果。但是就土这种材料而言, 因其不确定性非常大, 情况发生了很大的变化。我们知道场地土性和其参数勘察结果的精度与准确性是很差的, 由此导致即使采用了很精确的数学模型, 但因输入参数的精度不能与之相匹配, 其计算结果同样很差。并且采用精确的数学模型会给人造成一种错觉, 即让人觉得其计算结果也一定会更好, 更可靠。这样可能误导人们的注意力, 而忽略了精确的数学公式也照样会有出错的可能性。只有当输入参数的质量和精度很高时, 即与精确的数学模型相匹配时, 才有可能得到较为准确的计算结果。这里还需要注意的是, 精确的计算模型需要正确的反映土工问题的实际情况。

最后, 列出 Casagrande<sup>[2]</sup> 对实际应用土力学的几条要求:

1、具有很好的理论知识, 它包括土力学、工程地质以及工程实用土力学。

2、很出色的工程判断能力, 它是由丰富的工程常识和经验而产生的。

3、熟知土的性能以及勘察、取样和试验的过程、方法和它们的离散性。

4、要求取得可靠的勘察、取样和试验结果。如果工程师并不熟悉建筑场地的情况和土性, 则应该收集和消化该场地已有的相关工程地质资料。

5、记录下在分析中所有的量和所得到的结果, 包括它们可能的范围。

6、坚持对施工过程中所得到的所有新的监测信息和数据进行分析和评价, 以便对新的情况进行适时和恰当的处理。

上述就是可靠的应用土力学理论所必须履行的要求。

### 参考文献

- 1 Terzaghi K, Peck RB. Soil Mechanics in Engineering Practice. New York: Wiley, 1967
- 2 Casagrande A. Discussion of requirements for the practice of applied soil mechanics. First Panamerica Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol.3, 1959. 1029~1037
- 3 Peck RB. The teach and practice of soil mechanics. Publication No.68. Journ, American Society for Engineering Education, 1960, 50: 309~311

## 含无限刚性体结构的静力学特征与工程实践

朱慈勉 曹慧玲

(同济大学建筑工程系, 上海 200092)

**摘要** 结构分析中为了简化计算, 常假定结构的某一部分或者是构件沿某个方向是无限刚性体。目前不少结构力学教材或是相关论文中, 对于含无限刚性体结构的静力学特征常阐述不清楚, 有的甚至存在概念性错误。本文分析了一些典型的问题, 并提出了内力确定性方面的判定原则和在工程实践中的处理方法。

**关键词** 无限刚性体, 静力学特征, 工程实践

实际的工程结构都是有限刚度的, 但为了简化分

析计算, 又常假定结构的某一部分或者是构件沿某个方向上是无限刚性的。例如, 在结构力学分析超静定刚架时, 一般都忽略杆件轴向变形的影响, 相当于假定杆件沿轴向为无限刚性体; 当刚架横梁与柱子的线刚度之比大于 3 时, 可近似将横梁视作无限刚性体, 利用剪力分配法求解; 高层结构计算时, 一般假定楼板在其自身平面内为无限刚性体; 大开洞剪力墙结构则常可按照壁式刚架体系分析求解, 此时梁和墙肢结点区的一定范围被视作刚域等等。

本文于 2001-12-27 收到。