

刍议相关规范中关于单桩承载力计算的几点疑惑

付文光

(中国京冶工程技术有限公司, 北京 100088)

摘 要: 国内相关规范中单桩抗压承载力设计计算方法分为特征值法及极限值法两类, 单桩承载力均通过桩侧阻力与桩端阻力直接相加的方法得到, 在概念及理论上均存在着不完善之处, 主要原因是桩侧阻力与桩端阻力的力学特性及对变形的要求不同、不能同步发挥所致。相对来说, 极限值设计法更直接、更可靠、更准确, 概念更明确, 且易于与国际接轨, 建议规范优先采用。不同规范根据抗拔试验结果求取单桩抗拔承载力的计算方法存在矛盾, 建议求取时桩的自重按天然重度计算、不考虑水的浮力。建议相关规范对以下两种现象进行深入研究: 桩长超过有效长度后, 单位长度侧摩阻力将会降低; 部分工程中得到的抗拔桩的抗拔系数远小于相关规范推荐值, 尤其是桩长较长时。

关 键 词: 单桩承载力; 特征值; 极限值; 浮重度; 有效长度; 抗拔系数

中图分类号: TU 473.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-7598(2015)10-2983-06

Discussions on some controversies about pile bearing capacity calculation in the codes

FU Wen-guang

(China Jingye Engineering Corporation Limited Company, Beijing 100088, China)

Abstract: The designing and calculating methods for compressive bearing capacity of a single pile can be divided into two types, i.e. characteristic value method and ultimate value method, in the Chinese codes related to pile foundations. The bearing capacity of a single pile is obtained by directly summarizing the skin friction and the tip resistance. These methods have some conceptual and theoretical disadvantages, since the skin friction and tip resistance cannot be simultaneously mobilized due to different mechanical responses and deformation requirements at the pile skin and the pile tip. The ultimate value method is more direct, reliable, accurate and clear in concept, and is more ready to be used in parallel to international standards. Hence it is suggested here that this method is preferred in the standards. A contradiction may occur in determining the uplift bearing capacity of a single pile according to the results of pull-out tests using the different standards. Because of this, the natural unit weight of pile should be used in calculation, instead of the buoyant unit weight of pile. Further research should be conducted to explore the following two phenomena in revising the relevant codes: one is that the unit skin friction decreases when exceeding the effective length of the pile, and the other is that tension coefficients for pull-out pile in some engineering is far less than the recommended values in the relevant codes, especially when pile length is longer.

Keywords: bearing capacity of pile; characteristic value; ultimate value; buoyant unit weight; effective length; tension coefficient

1 引 言

相关规范^[1-2]提供了等截面桩的单桩承载力计算公式, 其中适用于端承+摩擦桩的抗压承载力通用计算公式如式(1)~(3)所示, 抗拔承载力通用计算公式如式(4)、(5)所示。

$$Q = Q_s + Q_p \quad (1)$$

$$Q_s = u_p \sum q_{si} l_i \quad (2)$$

$$Q_p = q_p A_p \quad (3)$$

$$N_k \leq T_{uk} / 2 + G_p \quad (4)$$

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{si} u_p l_i \quad (5)$$

式中: Q 、 Q_s 、 Q_p 分别为单桩承载力、总极限抗压侧阻力、总极限端阻力; q_{si} 为桩侧第 i 层土的侧阻力; q_p 为桩端阻力; A_p 为桩端横截面积; u_p 为桩周长; l_i 为桩在第 i 层土中的长度; N_k 为单桩抗拔

力; G_p 为单桩自重, 水位以下取浮重度; T_{uk} 为总极限抗拔侧阻力; λ_t 为抗拔系数。

式(1)~(5)司空见惯, 业界几乎人人熟知, 看来似乎没什么值得讨论的。不过, 不同规范中对式(1)~(5)的表现形式并不相同且有矛盾之处, 本文主要就这些不同之处进行一些简单的探讨。

2 特征值还是极限值

《建筑地基基础设计规范》^[1]采用了 Q 、 Q_s 、 Q_p 的特征值概念及代表值形式, 对式(1)~(3)所示的单桩抗压承载力计算公式可概化为: 特征值=特征值+特征值。《建筑桩基技术规范》^[2]则采用了极限标准值的概念及代表值形式, 式(1)~(3)可概化为: 极限值=极限值+极限值。笔者曾回顾过特征值、标准值、极限标准值等概念的演变史及浅析过这些概念之间的差别^[3], 也表达过不同规范采用不同代表值形式的疑惑与思考^[4], 本文将对这些疑惑做进一步的探讨。

2.1 端承+摩擦桩的单桩受力机制

单桩按受力形式可分为端承桩、摩擦桩、端承摩擦桩及摩擦端承桩 4 种, 后两种, 即端承+摩擦桩的单桩桩顶、桩端阻力及桩侧阻力 Q - s 曲线如图 1 所示, 荷载传递机制大致为: ①竖向荷载施加于桩顶, 桩顶产生沉降趋势, 桩侧上部土产生向上的摩阻力以抵抗, 桩侧下部土及桩端土尚未发挥作用, 桩大体工作在 OC 段及 CF 的前半段; ②随着荷载增加, 桩侧上部土摩阻力达到峰值后跌落为残余值, 上部桩身压缩及桩顶沉降, 桩-土间产生相对位移, 桩侧阻力向下传递, 桩侧下部土摩阻力开始发挥, 桩侧阻力 Q - s 曲线表现为从 C 点向 D 点发展; 桩身应力传递到桩端, 桩端土受到压缩逐渐产生端阻力, 桩端阻力 Q - s 曲线表现为从 O 点向 A 点发展, 桩工作在 CF 段; ③荷载继续增加, 桩顶继续沉降, 桩-土间相对位移继续增加, 桩侧总摩阻力达到峰值后跌落为残余值, 侧阻力 Q - s 曲线表现为从 D 点向 E 点发展; 桩端阻力继续增加, 端阻力 Q - s 曲线表现为从 A 点向 B 点发展; 桩总承载力继续增加, 工作在 FG 段, 直至达到 G 点后破坏。图 1 中 B 、 E 点与 G 点对应。

可见, 单桩抗压受力机制有几个特点^[5-6]: ①桩侧摩阻力是自上而下逐渐发挥的, 不同深度的摩阻力是异步发挥的; ②桩-土间产生一定的相对位移后, 桩侧摩阻力从峰值跌落为残余值; ③桩端阻力与侧阻力是异步发挥的, 只有当桩身应力传递到桩端后桩端土才产生端阻力; ④桩端阻力随着桩端

沉降增大而增大。

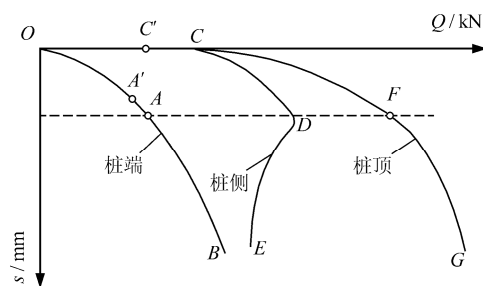


图 1 桩顶、桩端阻力及桩侧阻力 Q - s 曲线

Fig.1 Q - s curves for pile cap, pile tip and pile side resistances

2.2 极限值=极限值+极限值

国外标准中几乎都采用极限值=极限值+极限值的表达形式^[6-8], 国内规范中只有《建筑桩基技术规范》^[2]等少数规范采用。这是一种极限状态设计法, 这里姑且称为极限值设计法。

对于缓变型 Q - s 曲线, 《建筑桩基技术规范》^[2]规定, 某一沉降值(基桩通常为 40 mm)对应的荷载为单桩极限承载力, 与之对应的桩侧阻力及桩端阻力为极限值。总侧阻力是不同深度侧阻力之和, 极限状态时不同深度的桩侧阻力是异步发挥的、不可能同时达到峰值状态, 既可能工作在 CD 段、也可能工作在 DE 段; 端阻力与侧阻力是异步发挥的, 也不可能同步达到峰值状态。极限值设计法为承载力极限状态设计法, 要求端阻力及侧阻力之和达到单桩极限承载力(图 1 中 G 点)即可, 不求桩侧阻力(图 1 中 E 点)及桩端阻力(图 1 中 B 点)工作在哪个阶段以及有没有分别达到自己的峰值状态; 得到单桩极限承载力后, 除以安全系数 2, 得到承载力特征值。这种设计方法总体来说是较为合理的, 但是, 就完美无暇了吗?

桩端阻力, 即桩端土为桩提供的承载力。土是大变形材料, 很难界定出真正的承载力极限值, 桩端土也是土, 为什么会有极限值呢? 《建筑桩基技术规范》^[2]定义了单桩竖向极限承载力: 单桩在竖向荷载作用下到达破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大荷载, 它取决于土对桩的支承阻力和桩身承载力。又定义了极限端阻力、极限侧阻力: 相应于桩顶作用极限荷载时, 桩端、桩身侧表面所发生的岩土阻力。从定义可看出, 桩基规范把单桩承载力达到极限值水准时的桩端土的承载力视为极限值, 并非物理意义上的极限值。也许是为了回避桩端土的承载力一词, 避免与现有的

土力学概念及理论产生矛盾, 规范采用了桩端阻力一词, 不再采用桩端土的承载力等名词。这几个概念在现行各规范中几乎都得到了采纳。

不考虑静力触探法、经验参数法等间接方法, 直接确定桩端阻力的方法大致有 2 种: ①在桩身及桩端埋设传感器, 测试单桩在极限状态下的桩端阻力及桩侧阻力。因耗时费钱, 如果不是出于科研目的, 极少有人愿意这么做。②采用载荷板试验。常规载荷板试验结果显然偏差会很大, 应该采用深层载荷板试验。先假定出极限状态, 达到极限状态时的承载力就是承载力极限值, 该极限值可认为是物理意义上的极限值或近似极限值。但实际上, 因试验技术复杂、数据分析难度较大及费用较高等原因, 深层载荷板试验也很少做。工程中很难测量到数值, 也就很难单独定义侧阻力与端阻力的极限状态。

不管采用什么方法, 只要想做, 还是能测到的, 但测试得到的极限值, 与上述定义中的极限值, 即阻力, 是一回事吗? 看起来不太肯定。假定单桩上半段的侧阻力、下半段的侧阻力、桩端阻力的极限值都能测出来, 但加在一起构成的是桩的极限承载力, 即 $1+1+1=3$ 吗? 恐怕不是, 如前所述, 三者是异步发挥的, 不能同时达到极限值, $1+1+1<3$ 。

所以, 能够较为准确知道的只是单桩总的承载力极限值, 侧阻力与端阻力各是多少、是否达到极限, 实际上并不十分清楚。反过来, 就算知道了侧阻力、端阻力极限值, 按式 (1) 加在一起能不能组成承载力极限值, 也并不能完全肯定。

2.3 特征值=特征值+特征值

特征值=特征值+特征值的设计方法, 估且称之为特征值设计法, 该方法的要点如下:

(1) 如何定义单桩承载力特征值状态? 相关规范规定^[1], 单桩承载力特征值对应的是结构的正常使用极限状态, 但单桩承载力本质上是抗力, 应该从抗力的角度而不是作用的角度来定性其物理意义。从抗力的角度, 承载力通常以变形为标志, 承载力与沉降值是一一对应的, 相关标准中最终均以静载试验时单桩沉降变形来确定承载力。按相关规范中特征值的概念, 单桩工作在正常使用极限状态时, 相应的沉降值应该是惟一的, 即为载荷试验中用于确定承载力特征值的沉降值指标, 就像把 40 mm 沉降量对应的荷载定义为极限值一样。但沉降值指标为何值时对应的荷载可为承载力特征值? 5 mm、10 mm、还是 15 mm? 不同构筑物正常

使用极限状态 (即单桩的承载力特征值状态) 允许的沉降值是不同的, 即承载力特征值要求相同时, 对沉降量的要求是不同的, 不可能统一成一个沉降值。这又给载荷试验用沉降值指标确定承载力特征值带来了麻烦。如果不能用一个统一的沉降值指标去确定承载力特征值, 对于不同结构形式的建构筑物, 就需要根据其沉降要求制订不同的承载力特征值确定指标。如对于框架结构, 取沉降值 15 mm 对应的荷载为承载力特征值; 而对于砖混结构, 则取沉降值 10 mm 作为指标, 但这显然是无法做到的。但如果不用沉降值指标去确定承载力特征值, 还能用什么指标呢?

(2) 不管规定用于确定承载力特征值的沉降值指标是多少, 必须还先要得到承载力极限值, 需要建立特征值与极限值的关系, 因为规范规定特征值不能超过极限值的一半。既然如此, 用极限值就能够解决的问题, 为何还要舍近求远转换成特征值呢?

(3) 如何定义桩侧阻力及端阻力特征值状态? 即, 沉降值指标为何值时对应的荷载为侧阻力及端阻力特征值? 《建筑桩基技术规范》^[2]明确规定, 特征值为极限标准值除以安全系数, 目前规范及工程中通常按极限承载力一半取特征值, 尚没有见到其他取值办法。如果按 1/2 取值, 因为端阻力与侧阻力不能同步发挥, 端阻力的一半 (如图 1 中 A' 所示) 与侧阻力的一半 (如图 1 中 C' 所示) 对应的沉降值不同, 两者不能同步达到, 式 (1) 理论上很难成立; 而且, 还是需要事先分别确定侧阻力及端阻力的极限状态。如果采用极限状态设计法类似的做法, 把单桩承载力特征值对应的端阻力及侧阻力规定为特征值 (如图 1 中所示虚线与各曲线的交点), 理论上三者能够同步达到, 但需要先确定单桩承载力特征值, 这又陷入了第 (1) 点所述矛盾之中。

也就是说, 特征值=特征值+特征值未必能够成立。如前所述, 特征值是极限值除以安全系数 2 而得来的, 故该公式的默认推导过程如下:

$$\therefore \text{极限值} = \text{极限值} + \text{极限值} \quad (6)$$

$$\therefore \frac{\text{极限值}}{2} = \frac{\text{极限值}}{2} + \frac{\text{极限值}}{2} \quad (7)$$

$$\text{又} \therefore \text{极限值} = \frac{\text{极限值}}{2} \quad (8)$$

$$\therefore \text{特征值} = \text{特征值} + \text{特征值} \quad (9)$$

看起来没什么大问题, 但实际上, 如前所述, 由于桩端阻力与侧阻力并非同步发挥, 式 (7) 可能

不会成立。式(7)的通用表达形式应该为

$$\frac{\text{极限值}}{2} = \frac{\text{极限值}}{a} + \frac{\text{极限值}}{b} \quad (10)$$

式中: a 、 b 分别为桩端阻力及桩侧阻力的分项安全系数, 由于桩端阻力与侧阻力不能同步发挥, 故不太可能同时等于 2。

通过试桩得到单桩承载力极限值为 140 kN, 其中桩侧阻力极限值 40 kN、桩端极限值 100 kN。单桩承载力为特征值 70 kN 时, 侧阻力特征值及桩端特征值是理想中的 20 kN 及 50 kN 吗? 几无可能。如前所述, 桩侧阻力通常先于端阻力发挥, 如果桩较长, 端阻力还不及充分发挥, 侧阻力就超过了 20 kN、即特征值状态。这可能才是摩擦端承类桩的真实受力状态, 即单桩承载力达到特征值状态时, 实际侧阻力通常早已大于特征值, 分项安全系数 a 、 b 几乎没机会同时为 2。式(10)有多组解, 式(7)只是式(10)的一个特例, 而该特例实现的可能性又极低。

总之, 不管是通过单桩承载力特征值确定侧阻力及端阻力特征值, 还是通过侧阻力及端阻力特征值计算单桩承载力特征值, 都有很难解决的矛盾, 相对极限值设计法而言, 理论上更难自圆其说, 技术上也更难实现。特征值设计法实质上就是容许应力设计法, 在桩基设计中, 这种方法似乎已经过时, 可能不再适合国内经济发展对技术工作的要求。

2.4 二选一

工程中使用的是单桩承载力, 业界经验最多、最准确的也是单桩承载力, 工程中需要把承载力不断地拆分为侧阻力与端阻力、再不断地在新的工程中合成新的单桩承载力。因无法拆分得准确、公平, 拆分出的侧阻力、端阻力与真实值会有偏差(偏差有多大很难确切知道), 再合成新的单桩承载力时(设计值), 当然与实际承载力有一定偏差。

问题产生的根本原因, 应该是桩端土的承载力与桩侧土的摩阻力的力学性质不同造成的。桩侧土的摩阻力本质上是抗剪强度, 与变形基本无关, 一旦变形就会降低为残余强度; 桩端土的承载力, 可视为抗压强度(本质上也是抗剪强度, 只是剪切破坏面与抗剪强度的不同), 与变形密切相关, 数值大小通常主要取决于变形量。两种对变形要求不同的强度对桩产生的抗力直接相加, 必然存在矛盾, 所以不管是特征值+特征值=特征值, 还是极限值+极限值=极限值, 机制上都难言准确及完善。这也许就是计算公式称为半经验公式的一个原因。

如果在特征值设计法与极限值设计法之间做出选择, 笔者倾向于后者。

(1) 桩特征值状态很难确定, 桩侧阻力特征值也好, 桩端阻力特征值也罢, 甚至桩的承载力特征值都很难描述其物理意义, 其概念很不明确。

(2) 特征值的经验值来源是间接的, 验证方法也是间接的, 相对于极限值而言, 可靠性更差一些。

(3) 特征值是通过极限值取得的, 既然用极限值计算承载力更直接、更方便, 无需再舍近求远换算成特征值。

(4) 承载力检测以极限值为直接目标, 设计计算最好也应以极限值为直接目标。极限值不像特征值那样需细分桩达到极限承载力状态时桩侧阻力及桩端阻力的状态, 很难分清楚, 也没必要去分清楚。

(5) 国外标准几乎都采用极限值设计法, 如《欧洲规范 7: 岩土工程设计——第 1 部分: 通则》^[8]。采用极限值设计法便于与国际接轨。

(6) 有的规范认为, 特征值设计法也是一种极限状态设计法, 即正常使用极限状态法。不过, 正常使用极限状态法通常用于计算变形, 承载能力极限状态法通常用于计算桩的极限承载力, 两种方法得到的桩的承载力是相互矛盾、不能统一的, 承载力问题使用正常极限状态法解决可能更不适合。

岩土工程本身就是“粗活”, 工程技术规范的主要目的又是为了工程应用, 所以规范只能化繁为简、“粗”着来, 概念及分类、设计及施工方法等都很难做到精细、准确; 即便与国际接轨了, 如前所述, 也不能够从根本上解决技术上固有的矛盾。不过, 在技术还是应该尽量往前迈进, 哪怕只是一小步。

3 桩的有效长度

如前所述, 桩所受的荷载向下传递时, 桩侧不同深度的摩阻力是异步发挥的, 这表明了摩擦桩存在着有效长度, 如同锚杆存在着有效长度一样。深圳地区近些年来随着对前海片区及后海片区的开发建设, 桩长超过 60、70 m 的超长桩应用越来越多。很多静载试验结果表明, 桩的长度达到一定程度后, 承载力与桩长不再成比例增长, 其增长速率下降, 即侧摩擦力的效率降低。这就意味着, 当桩长较长时, 如果不嵌岩, 按式(1)~(3)计算得到的桩长有时不一定够用, 可能需要更长甚至入岩。深圳后海某桩基工程为非嵌岩桩, 以强风化花岗岩为持力层, 旋挖成孔, 成桩后选 3 条桩进行静载试验,

桩长 50~60 m, 试验结果表明, 单桩承载力都达不到设计要求, 最低的仅为设计值的 40%; 直径 1.0 m, 桩长 54 m, 设计承载力极限值 17 400 kN (其中计算书中桩侧阻力极限值 13 800 kN), 试验结果仅为 6 960 kN。虽然最终归因于施工质量欠佳 (抽芯检测桩底有 1 m 多厚的沉渣), 但笔者认为, 桩长超过有效长度后单位长度侧摩阻力降低亦是重要原因 (6 960 kN 仅约为桩侧阻力计算值 13 800 kN 的 50%)。目前业界对桩的有效长度研究还处于定性而不能定量分析阶段, 盼望着能有更多研究成果在规范中体现出来。

4 抗拔系数

近些年, 国内随着超高层建筑物越来越多, 深大基坑越来越多, 抗拔桩得到了广泛的应用。但受试验能力、现场条件限制及工期制约等因素影响, 现场抗拔桩试验并不多, 业界经验并不多。相对抗压桩及抗压试验, 业界对抗拔桩的经验要少得多, 可能都算不上很成熟, 故式 (5) 以抗压桩得到的丰富经验为基础进行抗拔设计计算, 也不失为一种实用办法。《建筑桩基技术规范》^[2]建议砂土抗拔系数 λ 取 0.5~0.7, 黏性土、粉土取 0.7~0.8。

近几年, 深圳市前海片区十几个工程项目进行了抗拔桩静载荷试验, 结果很出人意料, 抗拔试验结果完全满足设计要求的项目很少。此事引起了业界的警觉与重视, 不少项目纷纷进行抗拔试验, 试验结果普遍偏低, 某工程最低仅约为基桩自重 (非浮重度) 的 1.2 倍。不少专家认为, 桩越长抗拔系数通常就越小, 在后海片区, 设计计算时 λ 取 0.2~0.3 比较有把握。后海片区抗拔桩主要为灌注桩, 桩径为 0.8~1.5 m, 桩长为 15~35 m, 无扩径, 地层主要为残积土、全风化及强风化花岗岩, 施工工艺主要为旋挖、钻冲孔、人工挖孔等。

显然与《建筑桩基技术规范》^[2]的建议值相差太多。原因可能是规范编制时收集的样本较少、较老, 桩径较小, 桩长可能也不长, 涉及的岩土类型也少, 桩的自重抗浮力中所占的比重可能较大等。另外, 抗拔桩存在着有效长度、而实际桩长超过了有效长度较多可能也是后海片区灌注桩抗拔系数偏低较多的主要原因。不管怎样, 规范都值得对抗拔系数给予充分的重视和研究, 盼望着能有更多研究成果在规范中体现出来。

5 桩的自重

《建筑桩基技术规范》^[2]规定, 式 (4) 中 N_k 为

按荷载效应标准组合计算的基桩拔力, T_{uk} 为基桩抗拔极限承载力标准值, G_p 为桩的自重。并规定建筑物为甲、乙级时 T_{uk} 应通过现场单桩上拔静载荷试验确定, 具体按《建筑基桩检测技术规范》^[9]执行, 为丙级时可不试验而是按式 (5) 计算。

《建筑基桩检测技术规范》^[9]规定, 单桩竖向极限抗拔承载力可按下列方法综合判定: ①根据上拔量随荷载变化的特征确定: 对陡变型 $U-\delta$ 曲线, 取陡升起始点对应的荷载值; ②根据上拔量随时间变化的特征确定, 取 $\delta-\lg t$ 曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级荷载值; ③当在某级荷载下抗拔钢筋断裂时, 取其前一级荷载值。可见, 《建筑基桩检测技术规范》从抗拔试验求取基桩极限抗拔承载力时没有单独考虑桩的自重, 试验结果包括了桩的自重, 为 T_{uk} 与 G_p 之和; 而从式 (4) 推测《建筑桩基技术规范》的本意, 从试验结果求取抗拔力时应该扣除桩的自重 G_p 。这个矛盾看起来由《建筑基桩检测技术规范》解决更合理一些, 即试验结果中扣除 G_p 。如果没有地下水, 这么做一点问题也没有; 如果有地下水, 好像事情就没那么简单了。《建筑桩基技术规范》^[2]规定, 地下水位以下的桩取浮重度, 当桩底存在自由状态的地下水且有水压力时, 桩才会受到浮力作用, 如果桩的上拔量不大, 桩端没有与桩端土脱离, 桩端下不一定会侵入自由状态的地下水, 桩并不一定会受到浮力作用, 地下水位以下的桩取浮重度可能不准确。遗憾的是, 几乎无法知道桩到底有没有受到浮力作用。鉴于此, 笔者建议, 从抗拔试验结果求取单桩抗拔力时, 不考虑地下水的浮力作用, 即地下水位以下桩的自重取天然重量而不是浮重度, 这样, G_p 的计算值将会偏大, 因为试验结果为 T_{uk} 与 G_p 之和, 所以 T_{uk} 将会偏小, 再用于设计时工程将偏于安全。

6 结 论

(1) 单桩抗压承载力通过桩侧阻力与桩端阻力直接相加方法计算得到时, 不管是特征值设计法还是极限值设计法, 在概念及理论上均存在着不完善之处, 主要原因是桩侧阻力与桩端阻力的力学特性及对变形的要求不同、不能同步发挥所致。相对来说, 极限值设计法更直接、更可靠、更准确, 概念更明确, 且易于与国际接轨, 建议规范优先采用。

(2) 桩长超过有效长度后, 单位长度侧摩阻力将会降低。

(3) 部分工程中得到的抗拔桩的抗拔系数远小

于相关规范推荐值,尤其是桩长较长时。

(4)根据抗拔试验结果求取单桩抗拔承载力时,不宜按浮重计算桩的自重。

参 考 文 献

- [1] 住房和城乡建设部. GB50007-2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [2] 中国建筑科学研究院. JGJ 94-2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [3] 付文光. 辨析关于单桩竖向抗压承载力的几个名词术语[J]. 广州建筑, 2013, 41(4): 9—18.
FU Wen-guang. Discriminates some nouns and terms about vertical compressive bearing capacity of single piles[J]. *Guangzhou Architecture*, 2013, 41(4): 9—18.
- [4] 付文光, 吴旭君, 卓志飞. 有关单桩竖向抗压承载力的几个概念辨析[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(2): 1167—1171.
- [5] 张雁, 刘金池. 桩基手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 16—17.
- [6] 刘金砺, 高文生, 邱明兵. 建筑桩基技术规范应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 388.
- [7] 高大钊. 岩土工程勘察与设计——岩土工程疑难问题答疑笔记整理之二[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010: 429—430.
- [8] CEN. BS EN 1997-1: 2004 Eurocode 7: Geotechnical design- Part1: General rules[S]. London: BSI, 2004.
- [9] 中国建筑科学研究院. JGJ106-2014 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.

GB/T 50279-2014 岩土工程基本术语标准

著译者: 中华人民共和国水利部, 32 开本, 188 页, 平装, 定价: 38 元, 出版单位: 中国计划出版社, 版次: 第 1 版, 出版时间: 2015 年 8 月, 标准书号: 1580242.663, 征订号: 82663。

内容简介: 本规范由中华人民共和国住房和城乡建设部第 593 号公告发布, 自 2015 年 8 月 1 日起实施。原国家标准《岩土工程基本术语标准》GB/T50279-98 同时废止。 本标准适用于岩土工程的勘察、设计、施工、监测、检测以及试验研究等有关领域。本书文字浅显、叙述详细, 可供岩土工程专业人员和大专院校学生参考。

目录: 第 1 章 总则; 第 2 章 一般术语; 第 3 章 工程勘察; 第 4 章 岩土基本特性与室内试验; 第 5 章 基本理论与计算分析; 第 6 章 岩土体加固与处理; 第 7 章 基础工程; 第 8 章 土石方工程; 第 9 章 地下工程与基坑工程; 第 10 章 边坡工程; 第 11 章 环境岩土工程; 第 12 章 近海与海岸岩土工程; 附录 A 中文索引; 附录 B 英文索引; 本标准用词说明; 引用标准名录; 附: 条文说明。

读者对象: 相关设计单位、管理部门、设计人员、工程施工单位及人员等。

(摘自 中国建筑书店)

土的本构关系

著者: 罗汀 姚仰平 侯伟, 16 开本, 230 页, 平装, 定价: 45 元, 出版单位: 人民交通出版社, 版次: 第 1 版第 2 次, 出版时间: 2015 年 7 月 13 号, 标准书号: ISBN 978-7-114-08257-3。

内容简介: 本书循序渐进、由浅入深地介绍了土的应力应变基本概念、土的强度准则、土的线性弹性本构关系、土的弹塑性本构关系; 对于土的剪胀性、超固结特性、渐近状态特性等基本问题进行了详细的阐述; 重点介绍了剑桥模型、土的统一硬化模型、考虑土的渐近状态特性的本构模型、超固结土的本构模型和模型预测的基本方法。

目录: 第 1 章 绪论; 第 2 章 应力与应变分析; 第 3 章 土的强度准则; 第 4 章 土的弹性应力应变关系; 第 5 章 剑桥模型; 第 6 章 土的硬化参量构成; 第 7 章 考虑渐近状态特性的本构模型; 第 8 章 超固结土的本构模型; 参考文献。

读者对象: 本书可供土木、水利、交通、铁道和工程地质等专业的研究生或本科学子作为必修或选修课教材使用, 亦可作为上述相关专业的教学、科研、工程技术人员的参考书使用。

(摘自 人民交通出版社)