

建设工程设计控制值探析

莫晓锋^{1*}, 刘大海^{1,2#}, 洪声亮¹, 陈永红¹

¹深圳地质建设工程公司, 广东 深圳

²深圳地质科技创新中心, 广东 深圳

收稿日期: 2025年11月15日; 录用日期: 2025年12月6日; 发布日期: 2025年12月18日

摘要

建设工程设计控制值是建筑设计的核心参数, 建筑设计方法的变化直接反映了工程安全理论与可靠性设计理念的发展。本文梳理了建设工程设计方法的演变, 从依赖工程实践经验的容许应力法, 到基于样本数据处理的半概率极限状态设计法, 最终发展到以可靠性理论为基础的近似概率极限设计法。在此基础上, 探析了容许值、基本值、代表值、标准值、特征值、设计值等术语的内涵, 明晰了各控制值的适用场景, 重点辨析了标准值、特征值在岩土工程中的特殊性。

关键词

设计控制值, 容许应力法, 半概率极限状态设计法, 近似概率极限设计法, 标准值, 特征值, 岩土工程

Analysis of Design Control Values for Construction Projects

Xiaofeng Mo^{1*}, Dahai Liu^{1,2#}, Shengliang Hong¹, Yonghong Chen¹

¹Shenzhen Geological Construction Engineering Company, Shenzhen Guangdong

²Shenzhen Geological Technology Innovation Center, Shenzhen Guangdong

Received: November 15, 2025; accepted: December 6, 2025; published: December 18, 2025

Abstract

The design control values of construction projects are the core parameters of architectural design, and changes in architectural design methods directly reflect the development of engineering safety theory and reliability design concepts. This article reviews the evolution of construction engineering design methods, from the allowable stress method based on engineering practice experience, to the

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 莫晓锋, 刘大海, 洪声亮, 陈永红. 建设工程设计控制值探析[J]. 土木工程, 2025, 14(12): 2989-3001.

DOI: 10.12677/hjce.2025.1412321

semi probabilistic limit state design method based on sample data processing, and ultimately to the approximate probabilistic limit state design method based on reliability theory. On this basis, the connotations of terms such as allowable value, basic value, representative value, standard value, characteristic value, and design value were analyzed, and the applicable scenarios of each control value were clarified. The special characteristics of standard value and characteristic value in geotechnical engineering were emphasized.

Keywords

Design Control Value, Allowable Stress Method, Semi Probability Limit State Design Method, Approximate Probability Limit Design Method, Standard Value, Characteristic Value, Geotechnical Engineering

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建设工程设计,是在材料性能、几何参数、外部作用等诸多不确定性条件下,寻求结构在全寿命周期内安全、经济、适用的最优设计。设计控制值,将不确定的事物映射为确定性设计模型的关键参数,其演进发展是工程设计的进步。

设计控制值,本文系指:容许值、基本值、代表值、标准值、特征值、设计值。它们是工程设计中的核心参数,在不同的设计方法演进中具有特定含义。

1984年以前(50~80年代),以我国发布的荷载、结构、建筑地基规范为标志[1]-[5],建筑设计依赖于工程经验的容许应力法。该方法,试图通过一个蕴含了巨大安全储备的“容许值”(如容许应力、容许承载力)来一次性覆盖所有未知风险。方法论的核心是单一安全系数 K 。

1984年,颁布了《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68-84),2001年颁布了《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068-2001)。这2个标准均规定建筑结构设计规范应采用以概率理论为基础的概率极限状态设计法。

1984年,以GBJ 68-84《建筑结构设计统一标准》为标志,数理统计理论的引入催生了半概率极限状态设计法(水准I) [6]-[8]。它承认工程参数具有变异性,并试图用“基本值”、“代表值”乃至“标准值”这类基于样本数据的统计量(如95%保证率的分位值)来表征总体特性。

1994年以后,以GB 50199-1994《水力水电工程结构可靠度设计统一标准》为标志,确立了以概率论和可靠性数学为基础的近似概率极限状态设计法(水准II) [9]-[14]。引入可靠性,标志着工程设计从“规避不确定性”转向“量化并管理不确定性”。引入荷载分项系数等处理荷载的不确定性,引入材料分项系数处理抗力的不确定性,最终得到“设计值”进行极限状态校验。

设计控制值的确定方法伴随认知水平的提高、数据资料的积累以及理论工具的完善,经历了一个从“经验”到“统计”再到“概率”的演进过程,形成了“容许应力法”、“半概率极限状态设计法”和“近似概率极限状态设计法”设计方法[15] [16]。

引入概率设计法后,可靠度设计主要应用于结构设计。由于岩土复杂性,可靠性设计在岩土中尚未推广,但有不少学者在进行研究探索。高大钊(1989)出版了专著《土力学可靠性原理》[17],祁小辉(2015)研究了不均匀岩土体的岩土工程可靠性分析[18],许红梅(2016)研究了岩土参数的不确定性及取值[19],

张文生等(2017)探讨了边坡岩土参数置信水平取值[20], 骆飞(2017)研究了小样本岩土参数的统计特征及边坡稳定可靠性分析[21], 于海洋等(2018)研究了地基承载力的可靠性分析[22]。

由于历史沿革和行业差异, “容许值”、“标准值”、“特征值”等术语并存, 这些术语容易引起概念的混淆与应用的困惑。因此, 溯源这些设计控制值的术语本源, 辨析其不同设计方法下的内涵变化, 特别是厘清岩土工程因材料强变异性和不确定性而带来的特殊处理, 对勘察设计具有重要意义。

2. 设计方法演进

建筑工程中, 设计方法经历过 2 个大的发展阶段: 容许应力法及极限概率设计法。其中概率设计方法又可分为: 半概率极限状态设计法(水准I)、近似概率极限设计法(水准II)及全概率极限设计法(水准III)。水准III目前还不成熟, 仍在探索中。

设计方法各阶段有不同的核心控制值, 其方法演进及其设计控制值详见图 1。

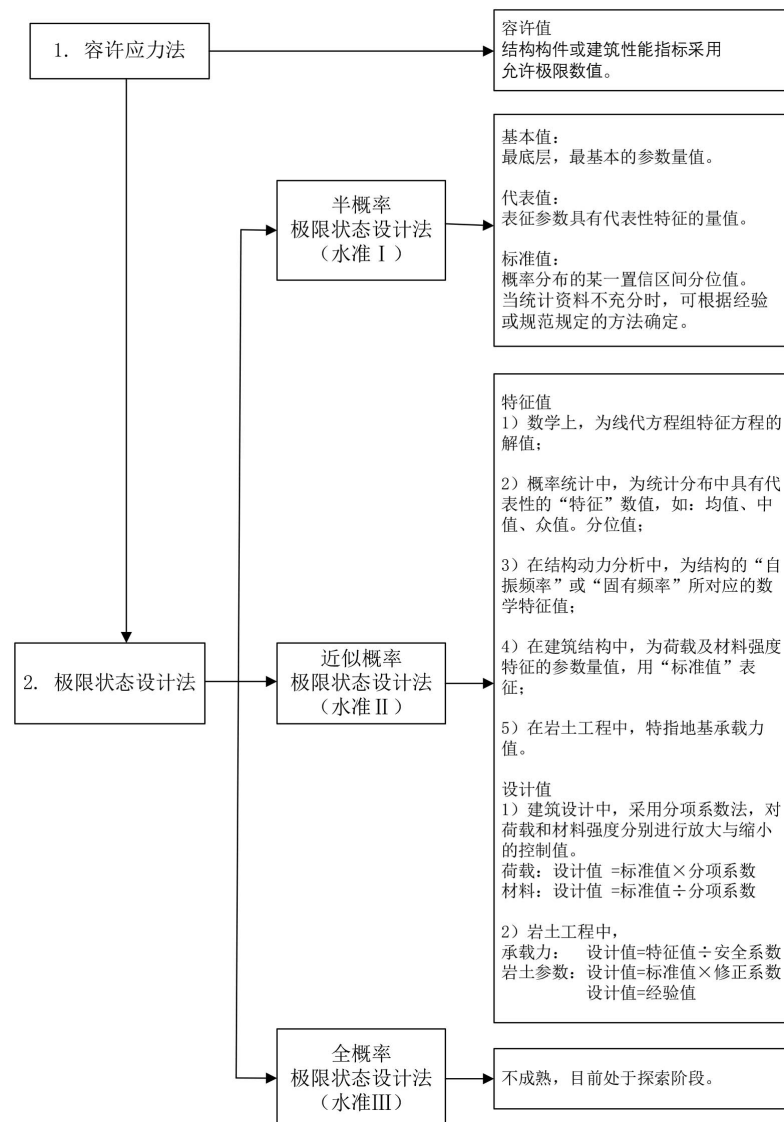


Figure 1. Evolution diagram of architectural design methods and design control values
图 1. 建筑设计方法及设计控制值演进图

3. 设计控制值

3.1. 容许应力法设计控制值

1984 年以前, 采用容许应力法[1]-[5]。我国上世纪 50~70 年代编制的规范《天然地基设计暂行规范(规结 7-54, 试行)》[3]、《工业与民用建筑地基基础设计规范(TJ 7-74, 试行)》[4]及《工业与民用工程地质勘察规范(TJ 21-77, 试行)》[5]就是以容许应力法编制的。

容许应力法是一个整体性概念, 是定值法设计。定值数值(如木材的容许应力为极限强度的 1/4~1/5)并非计算得出, 而是长期工程实践的经验结果。

容许值(Allowable Value): 建构筑物在安全、适用、耐久性方面符合相关标准与规范, 结构构件或建筑性能指标所允许采用的极限数值, 如: 承载力容许值、变形允许值、裂缝宽度允许值、建筑物理性能允许值。

容许应力法是工程设计的早期方法。其核心思想是: 基于大量成功的工程实践经验, 对材料强度或地基承载力取一个远低于其平均强度的、具有较大安全系数储备的强度数值, 即容许值。

内涵: 容许值是一个经验性的、偏保守的限定值。它并非源于严格的理论计算或数理统计, 而是工程经验的总结与固化。例如, 早期的砖石结构、木结构中的容许应力, 以及地基的容许承载力。

容许应力法的设计准则为: 工作应力 \leq 容许应力。

$$\begin{cases} \sigma \leq [\sigma] \\ [\sigma] = \frac{\sigma_u}{K} \end{cases} \quad (1)$$

安全系数 K 是一个综合值, 它同时涵盖了材料强度的离散性、荷载预估的偏差、计算模型的误差、施工质量的波动以及建筑物重要性等所有未知因素。

3.2. 极限状态设计法控制值

3.2.1. 半概率极限状态设计法(水准I)控制值

1984 年, 以 GBJ 68-84《建筑结构设计统一标准》为标志, 引入数理统计理论, 催生了半概率极限状态设计法[6]-[8]。国家标准 GBJ7-89《建筑地基基础设计规范》为用该法编制的。半概率极限状态设计法是认识论上的关键转折, 它开始将参数视为随机变量, 并用“基本值”、“代表值”和“标准值”(通常为 95%保证率)来量化其统计特征。然而, 该方法虽然用概率统计工具“认识”了世界, 但在“改造”世界(设计)时, 却退回到了确定性老路——设计准则仍是“计算应力 \leq 标准强度”: $p \leq f_a$ 。然而, 此时的“标准强度” f_a 与“容许应力” $[\sigma]$ 相比, 具有一定的统计意义, 但半概率极限状态设计法还未能将荷载 Q 与抗力 R 的不确定性予以分离处理。

随着数理统计学的引入, 设计控制值的确定进入了半概率极限状态设计法阶段。该方法强调通过对试验数据进行统计分析, 用更具代表性的数值来刻画材料或岩土的性能。

半概率极限状态设计法的核心控制值为“基本值”、“代表值”和“标准值”。

1) 基本值

基本值(Basic Value): 是最底层、最基本的参数量值, 是参数试验的基本数据, 或是工程积累的基本量值。它是其它参数或变量计算引用的起点原始数据。

基本值通常是通过标准试验方法测得的材料性能值, 是各类参数(如: 荷载、结构、岩土)的基础参考值, 是后续计算安全、进行设计的“起点数据”, 不考虑极端情况或额外风险。例如:

荷载基本值: 就是日常承受的基本荷载, 不考虑偶尔出现的极端荷载(如台风、地震等荷载)。

结构基本值：在标准试验条件下，建筑结构用的材料(钢材、混凝土等)能承受的最大极限强度，就是材料强度基本值。

岩土基本值：各种岩土参数试验原始值。可通过地质勘察(比如钻孔、载荷试验、土工试验等)方法获得和确定其基本量值，如岩土的各种物理力学指标、压缩性指标、抗剪性指标、抗压性指标、地基土(或岩石)在正常环境中能承受的原始承载能力指标等等。地基承载力基本值，是反映岩土在天然、正常环境下承载能力的基准值，不考虑地震、洪水等特殊情况。

2) 代表值

代表值(Representative Value)：参数具有代表性特征的量值，如平均值，标准值、特征值等[12]。

“代表值”是在结构设计、岩土参数取值、荷载评估、材料性能判定等过程中经常遇到的一个术语，但它的定义、内涵和使用方式，在结构工程与岩土工程中存在明显差异，甚至容易引起混淆。

在结构工程中，“代表值”主要针对荷载，是一个有明确定义的统计概念，是统计代表值，包括标准值、组合值、频遇值、准永久值等。“代表值”是一个总称，它包含了多个具体的荷载取值类别，其中“标准值”是最重要的代表值，是承载力与正常使用极限状态设计的基础。

在岩土工程中，“代表值”一词并没有明确定义，更多的是一个工程习惯用语。“代表值”通常指从现场试验、室内试验或实测数据中选取的典型或代表性参数值，如：室内土工试验数据(如抗剪强度、压缩性、密度等)、原位测试数据(如标准贯入试验 SPT、静力触探 CPT、旁压试验等)、现场取样或钻孔数据、区域地质调查数据等。

3) 标准值

标准值(Standard Value)：“标准值”在不同的行业及应用场景有些不同含义。

在工程建设行业中，“标准值”通常是指工程设计指标的具体取值，作为设计计算用的基本数值。

当统计资料充分时，严格的“标准值”，为概率统计“特征值”之一的概率分布置信区间“分位值”，并根据安全性准则，确定采用统计分布的上分位值或下分位值。

当统计资料不充分时，外延的“标准值”可根据经验或规范规定的方法确定。

i) 建筑结构工程中，荷载及材料强度统计资料比较充分，荷载标准值取上分位值，材料强度标准值取下分位值。

ii) 岩土工程中，岩土指标，如地基承载力、桩基工程的桩侧摩阻力、桩端阻力、岩土的弹性模量(压缩模量)、抗剪强度指标等等，大多缺乏充分的统计资料，且随不同场地的条件而异。因此，岩土工程“标准值”取值，有其特殊性，或在小样本统计资料的基础上，由工程经验调整确定；或根据相关规范及手册推荐值选用。

3.2.2. 近似概率极限设计法(水准 II)控制值

1994 年以后，GB 50199-1994《工程结构可靠度设计统一标准》确立了以概率论和可靠性数学为基础的概率极限状态设计法[9]-[14]。其认识论基点是：荷载效应 S > 结构抗力 R 发生的概率(即失效概率 P_f)，在工程安全上是否可以被接受？

概率极限状态设计法以可靠性理论为核心，明确承认并量化各种不确定性，用荷载分项系数 γ_Q 及材料分项系数 γ_m 来调整荷载效应 S 及材料强度 f 的不确定性，用 γ_0 来调整建筑结构整体的重要性，将原来定值法的综合安全系数 K 换用可靠度指标 β 来度量。

近似概率极限状态设计法核心控制值为“特征值”和“设计值”。

1) 特征值

特征值(Characteristic Value)：在不同的场景和不同的应用领域有不同的含义。

i) 在数学上，“特征值”是线代方程组特征方程的解值。

ii) 在概率统计分析中,“特征值”是描述数据分布规律的统计数值,是一组变量(比如承载力、荷载、风速、地震作用)在统计分布中具有代表性的“特征”数值,如:均值、中值、众值、分位值。

iii) 在结构动力分析中,“特征值”为结构的“自振频率”或“固有频率”所对应的数学特征值。结构在动力荷载作用下产生振动,通过对结构动力方程进行求解,得到一系列特征值和对应的特征向量,它反映结构在自由振动时的固有属性。

iv) 在建筑结构中,“特征值”是荷载及材料强度特征的数量值,通常用概率统计“标准值”表征。

v) 在岩土工程中,地基承载力“特征值”在规范 GBJ 7-89 中用“标准值”表征;在现行规范中,为表明其特定的地基基础及岩土应用场景,以及与国际接轨,改用“特征值”术语表述。

相同术语在不同专业、不同场景下有不同内涵。岩土工程中的“特征值”术语的内涵,与数学、结构动力分析中的“特征值”术语内涵完全不同。

2) 设计值

“设计值(Design Value)”：是指在结构或岩土工程设计时,用于承载力、变形、稳定性等计算中所采用的各项参数的设计“取值”,用于承载力验算、变形控制以及安全性评估时所采用的各种参数取值,是经过安全调控、风险控制、工程判断后,实际用于设计计算的取值。

I. 建筑结构工程设计值

在建筑结构工程中,采用以概率理论为基础的极限状态设计方法(即可靠度设计),对荷载和材料性能分别引入分项系数,通过提高荷载、降低材料强度,来达到控制结构整体风险的目的。

建筑结构中的“设计值”,是基于概率统计与可靠度理论,采用分项系数法,对荷载和材料强度分别进行放大与缩小,从而控制结构在不同极限状态下的安全。

荷载“设计值”与材料强度“设计值”表达式不同。

i) 荷载“设计值”

对荷载进行放大: 设计值 = 荷载标准值 \times 荷载分项系数

$$Q = \gamma_Q \cdot Q_k \quad (2)$$

ii) 材料强度“设计值”

对强度进行缩小: 设计值 = 强度标准值 \div 材料强度分项系数:

$$f = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (3)$$

分项系数 γ_Q 及 γ_m 的取值并非随意规定,而是通过校准法(对按旧规范设计的大量成功工程进行反演,拟合出其隐含的可靠指标)或优化法确定的。它考虑了:

- 荷载及材料性能自身的不确定性;
- 几何参数的不确定性;
- 计算模型的不准确性;
- 用分项系数将原来单一的安全系数 K 分解为荷载分项系数 γ_Q 及材料性能分项系数 γ_m , 能更合理地分配不同变量不确定性对结构可靠度的贡献,实现了安全性与经济性的更好平衡。

II. 岩土工程设计值

在岩土工程中,设计方法与结构工程有显著不同,主要体现在:岩土体的变异性更大,参数更难精确统计;更依赖现场试验、地区经验、工程判断;传统上更多采用“安全系数法”而不是“分项系数法”。

岩土工程中的设计值,继承了传统确定方法,通常是在试验值、特征值或经验值的基础上,通过整体安全系数或经验折减,得到一个偏于安全的取值,用于控制地基承载力、边坡稳定、变形等。

岩土工程设计值计算式:

i) 承载力设计值

$$\text{设计值} = \text{特征值} \div \text{安全系数}, f_a = \frac{f_{ak}}{K} \quad (4)$$

ii) 岩土参数设计值

岩土工程设计值的确定方法有:

设计值 = 标准值 \times 修正系数

设计值 = 经验值

$$\begin{cases} X = c \cdot X_k \\ X = \text{经验值} \end{cases} \quad (5)$$

4. 岩土指标标准值计算方法

4.1. 随机变量标准值计算方法

对于随机变量,其置信区间的分位值(标准值)的计算,分2种情况。若已知总体参数 (μ, σ) ,就可以估测随机变量 X 及样本均值 \bar{X} 的置信区间分位值(标准值);若总体参数 (μ, σ) 未知,我们希望通过小样本试验,得到样本均参数 (\bar{X}, S) 来估测总体均值 μ 的置信区间分位值(标准值)。

概率统计的“标准值”可用数理统计方法计算[23]。

情形1 已知总体参数 (μ, σ)

对于材质或质地较均匀,大批量量产产品,如钢材、混凝土等,它们有充分的统计数据,根据长期积累的统计资料,有其确定的总体参数 (μ, σ) 。

设随机变量 X 服从正态分布 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, $\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{\sqrt{n}}\right)$, 则随机变量 z 服从标准正态分布:

$$z = \frac{X - E(X)}{\sqrt{D(X)}} = \frac{X - \mu}{\sigma} \sim N(0,1) \quad (6)$$

$$z = \frac{\bar{X} - E(\bar{X})}{\sqrt{D(\bar{X})}} = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0,1) \quad (7)$$

因此,可通过已知的总体参数 (μ, σ) 来估测随机变量 X 及样本均值 \bar{X} 的置信分位值(标准值)。

由于随机变量 z 落在单侧置信区间的概率为:

$$\begin{cases} p\{z \geq -z_\alpha\} = 1 - \alpha \\ p\{z \leq +z_\alpha\} = 1 - \alpha \end{cases} \quad (8)$$

从而可从式(6)及式(7)导出随机变量 X 及样本均值 \bar{X} 的单侧置信区间分位值(标准值):

$$X_k = \mu \pm z_\alpha \cdot \sigma \quad (9)$$

$$\bar{X}_k = \mu \pm z_\alpha \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

通常,更关注的是随机变量 X 的置信区间分位值(标准值) X_k 。

情形2 已知样本参数 (\bar{X}, S)

总体参数 (μ, σ) 未知时,不能用式(9)、(10)计算标准值。

对于小样本, 我们总是期望通过小样本参数来获取、估测总体参数特征。如材质或质地不均匀的岩土体, 期望通过用小样本试验得到的样本参数 (\bar{X}, S) 来估测总体均值 μ 的置信区间。

设随机变量 X 服从正态分布 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, 从总体中采集子样样本 X , 则样本均值 \bar{X} 也为随机变量, 其服从分布 $\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$ 。因此, 可通过子样均值 \bar{X} 来估测总体均值 μ 的置信区间。

随机变量 z 服从正态分布:

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim z_\alpha \quad (11)$$

但随机变量 Y 并不服从正态分布, 而是服从 t 分布:

$$Y = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \sim t_\alpha(n-1) \quad (12)$$

因此, 随机变量 Y 落在单侧置信区间的概率为:

$$\begin{cases} p\{Y \geq -t_\alpha(n-1)\} = 1 - \alpha \\ p\{Y \leq +t_\alpha(n-1)\} = 1 - \alpha \end{cases} \quad (13)$$

从而可从式(12)导出总体均值 μ 的单侧置信区间分位值(标准值):

$$\mu_k = \bar{X} \pm t_\alpha(n-1) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = \bar{X} \pm \frac{t_\alpha(n-1)}{\sqrt{n}} \cdot S = \bar{X} \pm tc \cdot S \quad (14)$$

典型参数标准值计算式:

1) 已知总体参数 (μ, σ) :

荷载(取上分位值): $P_k = \mu_p + z_\alpha \cdot \sigma_p = \mu_p + 1.645 \cdot \sigma_p$ 总体: $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, $\alpha = 5\%$, X 估计;

材料强度(取下分位值): $f_k = \mu_f - z_\alpha \cdot \sigma_f = \mu_f - 1.645 \cdot \sigma_f$ 总体: $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, $\alpha = 5\%$, X 估计;

2) 已知样本参数 (\bar{X}, S) :

承载力(取下分位值): $f_{ak} = \bar{f} - t_\alpha(n-1) \cdot \frac{S_f}{\sqrt{n}}$ 样本: $\frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \sim t_\alpha(n-1)$, $\alpha = 5\%$, μ 估计。

4.2. 规范 GBJ 7-89 标准值计算式错误探析

在《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89), 标准贯入试验锤击数修正, 采用规范(p. 75) [8]:

$$N = \mu - 1.645 \cdot \sigma \quad (15)$$

岩石单轴抗压强度标准值, 采用规范(p. 83) [8]:

$$f_{rk} = \mu_{fr} - 1.645 \cdot \sigma_{fr} \quad (16)$$

用式(15)、(16)计算岩土指标的“标准值”是错误的, 在后续规范《岩土工程勘察规范》(GB 50021-1994)及《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002)中已得到纠正。

岩土工程中, 岩土体不均匀, 岩土试验一般为小样本试验, 如: 标准贯入试验指标、岩土抗剪强度指标(内摩擦力、内摩擦角)、土的压缩性指标、土的塑性指标、载荷试验承载力指标等, 总体参数 (μ, σ) 是未知的。在总体参数未知的情况下, 应通过小样本试验参数 (\bar{X}, S) 来推测总体特征, 即应该采用情形2计算式(14)来确定“标准值”(总体均值 μ 的置信区间分位值), 不能采用情形1的计算式(9)、(15)、(16)计算岩土指标“标准值”。

4.3. *t* 分布系数 *tc* 高精度拟合式

t 分布值, Excel 有现成函数可供计算, 不必采用规范拟合式。
规范 GBJ 7-89 编制时, 通过拟合, 得到 *t* 分布系数 *tc* 拟合式:

$$tc = \frac{t_{\alpha}(n-1)}{\sqrt{n}} = \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2}$$

(17)

规范拟合式(17), 在样本数 $n \leq 10$ 时误差较大。

利用 1stOpt 最优化软件, 对样本数 $n = 3 \sim 100$ 的 *t* 分布系数 *tc* 的理论值进行了数据拟合, 我们得到了精度更高的拟合式(18), 其拟合误差: 样本数 $n = 3$, 最大绝对误差 $\Delta tc = 0.0619$; $n = 100$, 最小绝对误差 $\Delta tc = 0.0015$ 。

本文 1stOpt 拟合式的 *tc* 拟合精度在样本数 $n \leq 10$ 时明显好于规范。拟合曲线图及拟合值表, 详见图 2 及表 1。

$$tc = \frac{t_{\alpha}(n-1)}{\sqrt{n}} = \frac{1.644}{\sqrt{n}} + \frac{9.483}{n^2}$$

(18)

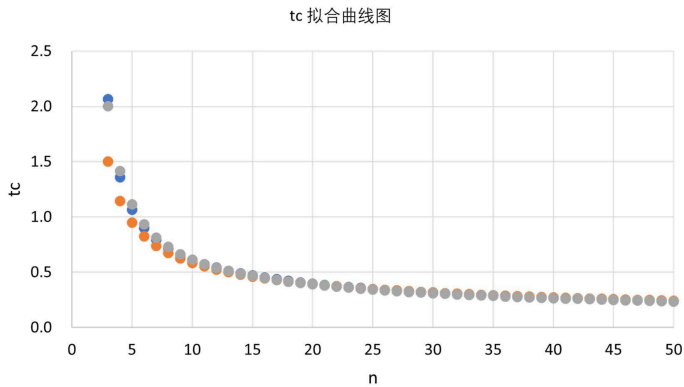


Figure 2. Curve of theoretical and fitted values of *tc* coefficient in *t*-distribution
图 2. *t* 分布 *tc* 系数理论值与拟合值拟合曲线图

Table 1. Table of *t*-distribution coefficient *tc* fitting values
表 1. *t* 分布系数 *tc* 拟合值表

样本数	正态分布	<i>t</i> 分布	理论值	规范拟合值	1stOpt 拟合值	拟合误差	拟合误差
<i>n</i>	<i>z</i> _α	<i>t</i> _α	<i>tc</i>	<i>tc</i> _f	<i>tc</i> ₁	<i>tc</i> - <i>tc</i> _f	<i>tc</i> - <i>tc</i> ₁
3	1.644854	2.919986	2.064742	1.503583	2.002831	0.561159	0.061911
4	1.644854	2.353363	1.358715	1.144375	1.414688	0.214340	-0.055972
5	1.644854	2.131847	1.065923	0.949172	1.114539	0.116751	-0.048616
6	1.644854	2.015048	0.901157	0.825600	0.934577	0.075557	-0.033420
7	1.644854	1.943180	0.793300	0.739521	0.814904	0.053779	-0.021604
8	1.644854	1.894579	0.716083	0.675549	0.729414	0.040535	-0.013330
9	1.644854	1.859548	0.657450	0.625753	0.665074	0.031696	-0.007625
10	1.644854	1.833113	0.611038	0.585632	0.614708	0.025406	-0.003671
11	1.644854	1.812461	0.573151	0.552436	0.574057	0.020714	-0.000906
12	1.644854	1.795885	0.541480	0.524389	0.540436	0.017091	0.001044
13	1.644854	1.782288	0.514502	0.500285	0.512076	0.014217	0.002426
14	1.644854	1.770933	0.491169	0.479281	0.487760	0.011888	0.003408

续表

15	1.644854	1.761310	0.470730	0.460762	0.466626	0.009968	0.004104
16	1.644854	1.753050	0.452636	0.444273	0.448043	0.008362	0.004593
17	1.644854	1.745884	0.436471	0.429468	0.431542	0.007003	0.004929
18	1.644854	1.739607	0.421917	0.416075	0.416763	0.005842	0.005154
19	1.644854	1.734064	0.408723	0.403883	0.403428	0.004840	0.005295
20	1.644854	1.729133	0.396690	0.392721	0.391317	0.003969	0.005373
21	1.644854	1.724718	0.385659	0.382451	0.380254	0.003208	0.005405
22	1.644854	1.720743	0.375497	0.372959	0.370095	0.002538	0.005402
23	1.644854	1.717144	0.366096	0.364152	0.360724	0.001945	0.005372
24	1.644854	1.713872	0.357367	0.355949	0.352044	0.001418	0.005323
25	1.644854	1.710882	0.349232	0.348285	0.343973	0.000948	0.005260
26	1.644854	1.708141	0.341628	0.341102	0.336443	0.000526	0.005185
27	1.644854	1.705618	0.334499	0.334352	0.329396	0.000147	0.005103
28	1.644854	1.703288	0.327798	0.327993	0.322782	-0.000195	0.005016
29	1.644854	1.701131	0.321484	0.321987	0.316559	-0.000504	0.004925
30	1.644854	1.699127	0.315520	0.316304	0.310689	-0.000784	0.004831
31	1.644854	1.697261	0.309876	0.310915	0.305139	-0.001039	0.004737
32	1.644854	1.695519	0.304524	0.305796	0.299882	-0.001272	0.004643
33	1.644854	1.693889	0.299440	0.300924	0.294892	-0.001484	0.004548
34	1.644854	1.692360	0.294602	0.296280	0.290147	-0.001678	0.004455
35	1.644854	1.690924	0.289991	0.291847	0.285628	-0.001856	0.004363
36	1.644854	1.689572	0.285590	0.287610	0.281317	-0.002020	0.004273
37	1.644854	1.688298	0.281383	0.283553	0.277199	-0.002170	0.004184
38	1.644854	1.687094	0.277356	0.279665	0.273259	-0.002308	0.004097
39	1.644854	1.685954	0.273498	0.275934	0.269485	-0.002436	0.004013
40	1.644854	1.684875	0.269796	0.272350	0.265866	-0.002554	0.003930
41	1.644854	1.683851	0.266240	0.268903	0.262391	-0.002663	0.003849
42	1.644854	1.682878	0.262821	0.265585	0.259051	-0.002763	0.003771
43	1.644854	1.681952	0.259531	0.262388	0.255836	-0.002857	0.003695
44	1.644854	1.681071	0.256361	0.259304	0.252741	-0.002943	0.003620
45	1.644854	1.680230	0.253304	0.256327	0.249756	-0.003023	0.003548
46	1.644854	1.679427	0.250354	0.253452	0.246876	-0.003098	0.003478
47	1.644854	1.678660	0.247505	0.250672	0.244095	-0.003167	0.003410
48	1.644854	1.677927	0.244751	0.247982	0.241407	-0.003231	0.003344
49	1.644854	1.677224	0.242086	0.245377	0.238807	-0.003290	0.003280
50	1.644854	1.676551	0.239507	0.242853	0.236290	-0.003346	0.003217
51	1.644854	1.675905	0.237009	0.240406	0.233852	-0.003398	0.003157
52	1.644854	1.675285	0.234587	0.238032	0.231489	-0.003445	0.003098
53	1.644854	1.674689	0.232238	0.235728	0.229197	-0.003490	0.003041
54	1.644854	1.674116	0.229958	0.233489	0.226972	-0.003532	0.002985
55	1.644854	1.673565	0.227743	0.231314	0.224812	-0.003570	0.002932
56	1.644854	1.673034	0.225592	0.229198	0.222713	-0.003606	0.002879
57	1.644854	1.672522	0.223500	0.227140	0.220672	-0.003640	0.002828
58	1.644854	1.672029	0.221466	0.225137	0.218687	-0.003671	0.002779
59	1.644854	1.671553	0.219486	0.223186	0.216755	-0.003700	0.002731
60	1.644854	1.671093	0.217558	0.221285	0.214874	-0.003727	0.002684
61	1.644854	1.670649	0.215680	0.219432	0.213041	-0.003752	0.002639
62	1.644854	1.670219	0.213850	0.217625	0.211255	-0.003775	0.002595
63	1.644854	1.669804	0.212065	0.215862	0.209514	-0.003797	0.002552

续表

64	1.644854	1.669402	0.210325	0.214142	0.207815	-0.003817	0.002510
65	1.644854	1.669013	0.208627	0.212462	0.206158	-0.003836	0.002469
66	1.644854	1.668636	0.206969	0.210822	0.204539	-0.003853	0.002429
67	1.644854	1.668271	0.205350	0.209219	0.202959	-0.003869	0.002391
68	1.644854	1.667916	0.203768	0.207652	0.201415	-0.003884	0.002353
69	1.644854	1.667572	0.202223	0.206120	0.199906	-0.003897	0.002317
70	1.644854	1.667239	0.200712	0.204622	0.198431	-0.003910	0.002281
71	1.644854	1.666914	0.199234	0.203156	0.196988	-0.003921	0.002246
72	1.644854	1.666600	0.197789	0.201721	0.195577	-0.003932	0.002212
73	1.644854	1.666294	0.196375	0.200316	0.194195	-0.003941	0.002179
74	1.644854	1.665996	0.194990	0.198940	0.192843	-0.003950	0.002147
75	1.644854	1.665707	0.193634	0.197593	0.191519	-0.003958	0.002116
76	1.644854	1.665425	0.192307	0.196272	0.190222	-0.003965	0.002085
77	1.644854	1.665151	0.191006	0.194978	0.188951	-0.003972	0.002055
78	1.644854	1.664885	0.189731	0.193709	0.187705	-0.003978	0.002026
79	1.644854	1.664625	0.188482	0.192465	0.186484	-0.003983	0.001998
80	1.644854	1.664371	0.187256	0.191244	0.185287	-0.003988	0.001970
81	1.644854	1.664125	0.186055	0.190046	0.184112	-0.003992	0.001943
82	1.644854	1.663884	0.184876	0.188871	0.182960	-0.003995	0.001916
83	1.644854	1.663649	0.183719	0.187717	0.181829	-0.003998	0.001890
84	1.644854	1.663420	0.182584	0.186585	0.180719	-0.004001	0.001865
85	1.644854	1.663197	0.181470	0.185472	0.179629	-0.004003	0.001840
86	1.644854	1.662978	0.180375	0.184380	0.178559	-0.004004	0.001816
87	1.644854	1.662765	0.179301	0.183306	0.177508	-0.004005	0.001792
88	1.644854	1.662557	0.178245	0.182251	0.176476	-0.004006	0.001769
89	1.644854	1.662354	0.177208	0.181214	0.175461	-0.004007	0.001747
90	1.644854	1.662155	0.176188	0.180195	0.174464	-0.004007	0.001725
91	1.644854	1.661961	0.175186	0.179193	0.173483	-0.004007	0.001703
92	1.644854	1.661771	0.174201	0.178207	0.172519	-0.004006	0.001682
93	1.644854	1.661585	0.173232	0.177237	0.171571	-0.004005	0.001661
94	1.644854	1.661404	0.172280	0.176284	0.170639	-0.004004	0.001641
95	1.644854	1.661226	0.171342	0.175345	0.169722	-0.004003	0.001621
96	1.644854	1.661052	0.170420	0.174421	0.168819	-0.004001	0.001601
97	1.644854	1.660881	0.169513	0.173512	0.167931	-0.003999	0.001582
98	1.644854	1.660715	0.168620	0.172617	0.167056	-0.003997	0.001564
99	1.644854	1.660551	0.167741	0.171736	0.166196	-0.003995	0.001545
100	1.644854	1.660391	0.166876	0.170868	0.165348	-0.003992	0.001527

5. 岩土工程设计控制值确定的特殊性

岩土工程, 概率可靠性研究, 其随机模型有: 随机变量模型机随机场模型。

目前, 主要考虑随机变量模型。由于岩土体的不均质性, 空间的复杂多变性, 近年来, 对岩土参数的空间变异性, 有些学者引入随机场模型来研究岩土工程的可靠性[14] [21]。随机场模型在岩土工程中的应用, 目前尚处于探索阶段。

随机变量模型中, 岩土工程的设计控制值确定有其特殊性, 主要原因在于:

- 1) 强变异性和不确定性。岩土体是自然产物, 具有明显的不均匀性, 其参数在空间上变化显著。
- 2) 取样与试验的代表性。室内试验的土样已受扰动, 现场测试结果也仅反映测点情况。

3) 计算模型的简化。本构模型对复杂岩土体行为的模拟存在近似性。

在《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)中,考虑到岩土工程中岩土体的复杂多变性、地层岩性显著的不均匀性、样本小、离散型大等各种因素,如果完全靠数理统计的置信分位置(标准值)来确定地基承载力,并不能很好地表征地基的承载能力,从而需要结合地区经验及工程人员的实际经验予以调整。

鉴于此,对岩土工程“标准值”进行了内涵外延,在无充分统计资料的情况下,它可以取:载荷试验值;地区经验值或岩土工程师的实际经验值;用土工试验指标(或岩石抗压强度指标)查表规范值;在小样本统计计算标准值的基础上根据工程经验进行调整的校正值。

这个内涵的外延,与结构工程中严格意义的概率统计“标准值”(置信区间分位值)有所不同,使岩土人员感到困惑。

后续规范修编中,为与国际接轨,《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002)专门将地基承载力“标准值”改用“特征值”术语。

地基承载力“特征值”与数学、建筑结构中的“特征值”内涵完全不同。

相同术语名词,在不同专业、不同应用场景中,其内涵不完全一样,甚至完全不同。这是岩土人员容易混淆概念、感到困惑的主要原因。

6. 结论

建设工程设计控制值的演进,从“容许应力法”到“半概率极限设计法”,再到“近似概率极限法”,是一条从定性经验走向定量科学、从笼统的安全储备走向精确可靠度控制的发展路径。

术语的界定是设计方法的发展演进。容许值是经验法的产物,承载了总安全系数的思想;基本值、代表值、标准值是统计法的核心,开启了参数确定的数理统计时代;特征值则是概率法的基石,其在岩土工程中被赋予了基于统计但更重于工程判断的“谨慎估计”的深刻内涵。

设计方法变化不仅提升了工程设计的科学性与经济性,更体现了工程界对不确定性从被动规避到主动量化管理的深化认识。

深刻理解不同控制值的术语本源和设计方法背景,才能深刻理解和应用设计规范。特别是在岩土工程中,应准确把握“标准值”、“特征值”的确定需遵循“理论统计为基础,工程经验为判断”的原则,避免机械使用公式,确保勘察设计参数的合理与安全。

规范 GBJ 7-89 关于岩土指标“标准值”的计算公式是错误的,后续规范得到了纠正。 t 分布系数 t_c 规范拟合式在小样本 $n < 10$ 时精度较低,本文利用 1stOpt 最优化软件,得到了精度更高的拟合式。

相同名词术语,在不同专业、不同应用场景中,其内涵不完全一样,甚至完全不同。结构与岩土专业紧密相关,术语相同而内涵不统一是造成岩土人员容易混淆概念、感到困惑的主要原因。

地基承载力,不论是早期规范的“标准值”,还是现行规范专为地基承载力指定的“特征值”术语,其内涵还是容许应力法的“容许值”。为避免混淆,不妨恢复使用地基承载力“容许值”,这样更为岩土人员所理解和接受。

参考文献

- [1] 国家基本建设委员会. 荷载暂行规范(规结 1-56, 试行) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1956.
- [2] 国家基本建设委员会. 工业与民用建筑结构荷载规范(TJ9-74, 试行) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1974.
- [3] 国家基本建设委员会. 天然地基设计暂行规范(规结 7-54, 试行) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1954.
- [4] 国家基本建设委员会. 工业与民用建筑地基基础设计规范(TJ7-74, 试行) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1974.
- [5] 国家基本建设委员会. 工业与民用工程地质勘察规范(TJ21-77, 试行) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1977.

-
- [6] 国家计划委员会. GBJ68-1984 建筑结构设计统一标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984.
- [7] 国家计划委员会. GBJ7-89 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
- [8] 国家计划委员会. GB50021-1994 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [9] 国家计划委员会. GB50199-1994 水力水电工程结构可靠度设计统一标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [10] 国家建设部. GB50068-2001 建筑结构可靠度设计统一标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [11] 住房和城乡建设部. GB50153-2008 工程结构可靠性设计统一标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [12] 国家建设部. GB50007-2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [13] 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, 2012.
- [14] 国家建设部. GB50021-2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [15] 李章政, 熊峰. 建筑结构设计原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 9-10.
- [16] 李凯玲, 翟越. 建筑结构设计原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2016: 10-11.
- [17] 高大钊. 土力学可靠性原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
- [18] 祁小辉. 考虑土体不均匀性的岩土工程可靠度分析[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2015.
- [19] 许红梅. 岩土参数的不确定性及取值分析[J]. 中国水运, 2016, 16(4): 312-312.
- [20] 张文生, 罗强, 蒋良淮, 等. 边坡稳定分析中岩土参数置信水平取值探讨[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(4): 697-704.
- [21] 骆飞. 小样本岩土参数统计特征估计及边坡稳定可靠性分析[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [22] 于海洋, 朱晓凯, 吴迪. 建筑地基基础标准中地基承载力可靠性分析[J]. 重庆建筑, 2018, 17(11): 45-47.
- [23] 刘大海. 岩土试验指标置信区间的统计推断[J]. 广东地质, 1994, 9(4): 51-58.