

浅基础地基承载力计算 APP

刘大海

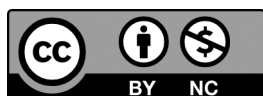
1. 深圳市地质局, 深圳;
2. 深圳地质建设工程公司, 深圳

摘要 | 地基承载力是土力学的基础课题。本文以安卓系统 MFP 语言为工具, 编制了利用手机移动工具计算地基承载力 app, 使用简单, 计算快捷。地基极限承载力, 基于 Terzaghi 浅基础极限承载力模型的 CL 解析解及非线性拟合方程。地基承载力特征值, 基于《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89) 临界荷载承载力系数 N_c 的非线性拟合方程。

关键词 | 地基承载力; 极限承载力; 承载力特征值; 解析解; 非线性拟合; 安卓系统; APP

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 开发背景

地基承载力是土力学的基础课题, 理论复杂、公式繁多。

岩土工程师期望能随时随地估算地基承载力、比较不同公式计算的地基承载力。

目前, 地基承载力的计算基本上还是依赖于 PC 机, 或手工查表计算 (落后于 PC 时代)。利用安卓系统 MFP 计算语言, 制作专业的地基承载力计算 app,

作者简介: 刘大海 (1957-), 江西大余人, 教授级高级工程师, 研究方向: 水文地质工程地质。E-mail: szldh2005@163.com。

文章引用: 刘大海. 浅基础地基承载力计算 APP [J]. 土木工程进展, 2021, 3 (4): 67-87.
<https://doi.org/10.35534/ace.0304016>

可随时随地用手机估算地基承载力。

v2.0 版（在 v1.0 版基础上作了较大修改）：

（1）删除了有理论意义但实际应用价值不大的 Prandtl 模型（ $f=0$ ， $\gamma=0$ ， $D=0$ ）基本解。

（2）《建筑地基基础设计规范》（GBJ 7-89）对临界荷载 $p_{1/4}$ 重力承载系数 N_γ 在 $\varphi>20^\circ$ 时进行了调整。2.0 版对 N_γ 规范值进行了全局最优拟合。

（3）程国勇—邱睿（2011）发表了 Terzaghi 模型基底完全光滑及完全粗糙时地基承载力系数完整解析解（CQ 解析解）。2.0 版增加了 Terzaghi 模型地基承载力系数 CQ 解析解。

V3.0 版：

（1）重新对 89 规范 N_γ 系数进行了更优简的高精度非线性拟合。

（2）修正了 Terzaghi 模型 CQ 解析解的错漏，采用了程国勇——刘大海重新导出的 Terzaghi 模型通用 CL 解析解^[1]。

2 浅基础地基承载力概述

浅基础地基承载力，《建筑地基基础设计规范》基于 Mohr-Coulomb 强度理论（1776，1910），采用了塑性荷载公式，即地基临塑极限状态时的 $p_{1/4}$ 临界荷载作为地基承载力（承载力容许值、承载力特征值）^[2]。

根据载荷试验结果，《工业与民用建筑地基基础设计规范》（TJ 7-74）规范认为，当内摩擦角 $\varphi>22^\circ$ 时，临界荷载 $p_{1/4}$ 的体重力承载系数理论值 N_γ 偏小，为此在 $\varphi [22-40]^\circ$ 范围内对其进行了增调^[3, 4]；后《建筑地基基础设计规范》（GBJ 7-89）在 74 规范的基础上又对 N_γ 进行了微调^[5]。

地基极限承载力，首先由 Rankine（1857）导出^[6]。假定基础底面光滑，基础两侧土体按超载代替，地基土为无体重力介质，并根据主动土压力与被动土压力平衡得到地基土的极限承载力。

Prandtl 于 1920 年建立了地基极限承载力的 Prandtl 模型。该模型有 3 个假定：

（1）滑动区分为：Ⅰ区为三角形刚性核（压密区），为朗肯主动土区；Ⅱ区为

对数螺旋滑动区；Ⅲ区为朗肯被动土区；（2）基础无埋深（ $D=0$ ）；（3）地基土为无重力介质（ $\gamma=0$ ），基础底面光滑（ $f=0$ ）。Reissner（1924）将基础旁侧土体按超载处理，补充得到了有埋深（ $D \neq 0$ ）、滑裂面只延伸到基础底面时的补充解^[6]。

Prandtl 模型提出至今刚好一百周年。期间，出现了很多方法，经过实践筛选，公认在 Prandtl 模型基础上发展的 20 世纪 40 年代的 Terzaghi 公式（1943，1948）、50 年代的 Meyerhoff 公式（1951）、60 年代的 Hansen 公式（1969）、以及 70 年代的 Vesic 公式（1970）具有较好的代表性^[7]。

Terzaghi（1943，1948）在 Prandtl 模型基础上，建立了全面考虑基础埋深（ $D \neq 0$ ）、基底粗糙（ $f \neq 0$ ）、地基土有体重力（ $\gamma \neq 0$ ）的 Terzaghi 模型^[8-11]，地基承载力进行简约化线性迭加；Meyerhoff（1951）由浅基础推进到深基础（西欧常用公式）^[10]；上世纪 70 年代，Hansen（1969）由中心荷载推进到偏心荷载、倾斜荷载、考虑不同基础形状、基础倾斜、地表倾斜的修正；Vesic（1970）对各种修正作了发展，重要的是考虑了地基土的压缩性及地基土的冲穿破坏及局部破坏影响、土的成层性影响^[7, 12]。这些修正比较繁复。

Terzaghi 极限承载力公式的主要问题： N_γ 需要试算确定，未给出解析解及数值解，仅给出了 N_γ 曲线图^[13]。教科书及专著也未查到 N_γ 的具体试算方法。后继学者给出了 N_γ 的经验式，有些文献给出了 N_γ 数值表（各异），但未注明出处，表值来源及正确性不明。

程国勇，邱睿等（2011）根据极限平衡原理，发表了 Terzaghi 模型基底完全粗糙的地基承载力系数解析解^[14]；邱睿，程国勇等（2011）进一步导出了地基完全粗糙及完全光滑的地基承载力系数的 CQ 完整解析解^[15]。编制 app 时发现 CQ 解析解 N_c 、 N_γ 数值异常，有错漏。由此，程国勇——刘大海对 Terzaghi 模型重新进行了推演，得到了正确的通用 CL 解析解^[1]。

本 app 作为承载力估算，选择在我国应用广泛、具有代表性、计算相对简单的条形基础塑性荷载承载力公式，以及 Prandtl—Reissner 模型、Terzaghi 模型的极限荷载承载力公式。Meyerhoff、Hansen、Vesic 公式，以及各类修正，计算繁杂，本 app 未予考虑。

3 浅基础地基承载力

3.1 塑性荷载承载力公式

塑性荷载承载力公式详见教科书^[7]。基底面以上土体旁侧压力按超载压力处理。

$$N_q = \begin{cases} 1 & \varphi=0 \\ \frac{\cot \varphi + \varphi + \frac{\pi}{2}}{\cot \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} & \varphi > 0 \end{cases} \quad (1) \quad \text{超载力承载系数}$$

$$N_c = \begin{cases} \pi & \varphi=0 \\ \frac{\pi \cdot \cot \varphi}{\cot \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} & \varphi > 0 \end{cases} \quad (2) \quad \text{粘聚力承载系数}$$

$$N_\gamma = \begin{cases} 0 & \varphi=0 \\ \frac{\pi}{\cot \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} & \varphi > 0 \end{cases} \quad (3) \quad \text{体重力承载系数}$$

$$q = \gamma_0 \cdot D \quad (4)$$

$$p = p(z_{\max}) = q \cdot N_q + c \cdot N_c + z_{\max} \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (5)$$

$$p_{cr} = p(z_{\max}=0) \quad (6) \quad \text{pcr 临塑荷载承载力 (kPa)}$$

$$p_{1/4} = p(z_{\max}=B/4) \quad (7) \quad \text{p1/4 临界荷载承载力 (kPa)}$$

$$p_{1/3} = p(z_{\max}=B/3) \quad (8) \quad \text{p1/3 临界荷载承载力 (kPa)}$$

B 条形基础宽度 (m)

D 基础埋深 (m)

γ_0 超载土体重度 (kN/m³)

γ 土体重度 (kN/m³)

c 土体粘聚力 (kPa)

φ 土体摩擦角 (deg)

注意: 本 app 塑性荷载承载力公式写为: $p = p(z_{\max}) = q \cdot N_q + c \cdot N_c + z_{\max} \cdot \gamma \cdot N_\gamma$ (9)

教材或规范 $p_{1/4}$ 承载力公式写为: $p_{1/4} = p(B) = q \cdot N_q + c \cdot N_c + B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$ (10)

因此: 本 app 的 N_γ 值为教材或规范 $p_{1/4}$ 荷载公式 N_γ 的 4 倍。

建筑地基 74 规范, 对体重力系数 N_γ 在 $\varphi [22-40]$ deg 范围内进行了增调, 到 $\varphi=40$ deg 时, N_γ 调整值为理论公式计算值的近 3 倍^[4]; 后《建筑地基

基础设计规范》(GBJ 7-89)又在 74 规范的基础上对 N_γ 进行了微调^[5], 到 $\varphi=40\text{deg}$ 时, N_γ 调整值为理论公式计算值的近 2.5 倍。 N_γ 调整值详见表 1。

表 1 塑性荷载系数 N_γ 地基规范值及其拟合结果

Table 1 Foundation code value of plastic load coefficient N_γ and its fitting results

内摩擦角 phi	理论值 Nr	74 规范值		89 规范值		89 规范 1stOpt 拟合值	绝对误差 △ Nr	相对误差 ε Nr/%
		Nr74	4*Nr74	Nr89	4*Nr89	Nr89f		
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
2	0.1159	0.03	0.12	0.03	0.12	0.0850	0.0350	29.19
4	0.2454	0.06	0.24	0.06	0.24	0.2114	0.0286	11.90
6	0.3903	0.10	0.40	0.10	0.40	0.3623	0.0377	9.41
8	0.5527	0.14	0.56	0.14	0.56	0.5341	0.0259	4.62
10	0.7349	0.18	0.72	0.18	0.72	0.7261	0.0061	0.85
12	0.9397	0.23	0.92	0.23	0.92	0.9391	0.0191	2.08
14	1.1703	0.29	1.16	0.29	1.16	1.1749	0.0149	1.29
16	1.4307	0.36	1.44	0.36	1.44	1.4367	0.0033	0.23
18	1.7252	0.43	1.72	0.43	1.72	1.7313	0.0113	0.66
20	2.0591	0.51	2.04	0.51	2.04	2.0781	0.0381	1.87
22	2.4386	0.61	2.44	0.61	2.44	2.5267	0.0867	3.55
24	2.8713	0.80	3.20	0.80	3.20	3.1754	0.0246	0.77
26	3.3661	1.10	4.40	1.10	4.40	4.1697	0.2303	5.24
28	3.9338	1.40	5.60	1.40	5.60	5.6623	0.0623	1.11
30	4.5872	1.90	7.60	1.90	7.60	7.7474	0.1474	1.94
32	5.3424	2.50	10.00	2.60	10.40	10.4050	0.0050	0.05
34	6.2188	3.20	12.80	3.40	13.60	13.4922	0.1078	0.79
36	7.2403	4.20	16.80	4.20	16.80	16.7881	0.0119	0.07
38	8.4367	5.50	22.00	5.00	20.00	20.0687	0.0687	0.34
40	9.8455	7.20	28.80	5.80	23.20	23.1764	0.0236	0.10

V3 版本 app, 采用全局优化软件 1stOpt, 对 89 规范值 N_γ 重新进行了更优简的高精度全局最优化拟合 (φ : Deg):

$$N_{\gamma 89f} = \tan(a_1 \cdot \varphi)^{a_2} \cdot [\tan(a_3 \cdot \varphi)^{a_4 + a_5} \cdot \exp(a_6 \cdot \varphi)] \quad (11)$$

其中: $a_1=0.887547191$

$$a_2=34.824336276$$

$$a_3=0.834218548$$

$$a_4=-33.516493720$$

$$a_5=1.300995565E+25$$

$$a_6=-1.085930108$$

相关系数: $R=0.999945300$

理论值 N_γ 与规范值 $N_{\gamma 89}$ 对比见表 1 及图 1; $N_{\gamma 89}$ 与 $N_{\gamma 89f}$ 的拟合曲线详见图 2。

从表 1 可见, 拟合误差: $\varphi \leq 6\text{deg}$ 时, 绝对误差 <0.04 ; $\varphi > 6\text{deg}$ 时, 相对误差 $<5\%$ 。

为确保计算精度, 本 app 在 $\varphi \leq 20\text{deg}$ 时, 采用理论公式 (3) 计算; 在 $\varphi > 20\text{deg}$ 时采用拟合公式 (11) 计算。

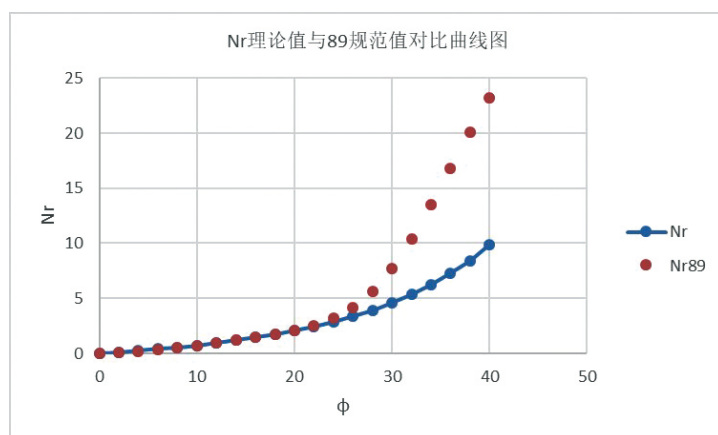


图 1 N_γ 理论值与 89 规范值对比图

Figure 1 Comparison diagram between N_γ theoretical value and 89 specification value

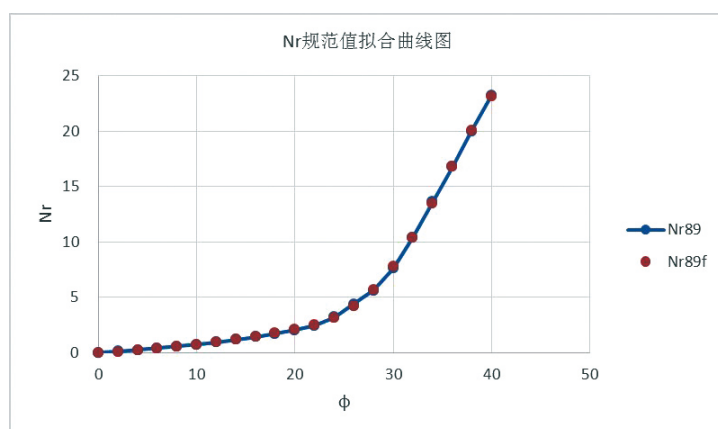


图 2 $N_\gamma 89$ 规范值与 89 规范拟合值拟合曲线图

Figure 2 Fitting curve of $N_\gamma 89$ specification value and 89 specification fitting value

3.2 极限荷载承载力公式

3.2.1 Prandtl 极限承载力基本解 (1920) ($f=0, \gamma=0, D=0$)

Prandtl 模型极限荷载承载力公式详见文献^[8, 9]。

$$N_q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \exp \left(\pi \cdot \tan \varphi \right) \quad (12)$$

$$N_c = \begin{cases} \pi + 2 & \varphi = 0 \\ \cot \varphi \cdot (N_q - 1) & \varphi > 0 \end{cases} \quad (13)$$

$$p_u = c \cdot N_c \quad (14)$$

3.2.2 Reissner 极限承载力补充解 (1924) ($f=0, \gamma=0, D \neq 0$)

$$\begin{aligned} p_u &= q \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot \exp \left(\pi \cdot \tan \varphi \right) \\ &\quad + c \cdot \cot \varphi \cdot \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot \exp \left(\pi \cdot \tan \varphi \right) - 1 \right) \end{aligned} \quad (15)$$

$$= q \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \exp \left(\pi \cdot \tan \varphi \right)$$

$$+ c \cdot \cot \varphi \cdot \left[\tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \exp \left(\pi \cdot \tan \varphi \right) - 1 \right]$$

$$N_q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \exp \left[\pi \cdot \tan \varphi \right] \quad (16)$$

$$N_c = \begin{cases} \pi + 2 & \varphi = 0 \\ \cot \varphi \cdot (N_q - 1) & \varphi > 0 \end{cases} \quad (17)$$

$$p_u = q \cdot N_q + c \cdot N_c \quad (18)$$

3.2.3 Terzaghi 极限承载力解 (1943, 1948) ($\gamma \neq 0, D \neq 0$)

Terzaghi 模型极限荷载承载力的计算通式为单独考虑 q 、 c 、 γ 承载力的简单线性迭加^[8-11]：

$$p_u = q \cdot N_q + c \cdot N_c + \frac{1}{2} B \gamma \cdot N_\gamma \quad (19)$$

其承载力系数 N_q 、 N_c 、 N_γ 由不同条件确定。

$$N_q = \frac{K_{pq}}{\cos^2 \varphi} \quad (20)$$

$$N_c = \tan \varphi + \frac{K_{pc}}{\cos^2 \varphi} \quad (21)$$

$$N_{\gamma} = \frac{\tan \varphi}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \varphi} - 1 \right) \quad (22)$$

Terzaghi 给出了基底完全光滑及完全粗糙时 N_q 及 N_c 的统一解^[13]：

$$N_q(\psi, \varphi) = \frac{\cos(\psi - \varphi)}{\cos \psi} \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \exp\left[\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - 2\psi\right) \cdot \tan \varphi\right] \quad (23) \text{ 原文献 [12] (8b)}$$

$$N_c(\psi, \varphi) = \tan \psi + \frac{\cos(\psi - \varphi)}{\cos \psi \cdot \sin \varphi} \cdot \{ (1 + \sin \varphi) \cdot \exp\left[\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - 2\psi\right) \cdot \tan \varphi\right] - 1 \} \quad (24) \text{ 原文献 [12] (8a)}$$

其中，基底完全光滑时取： $\psi = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$ ；基底完全粗糙时取： $\psi = \varphi$ 。

对于 N_{γ} ，Terzaghi 未给出解析式及数表，仅给出了曲线图。数值解需试算，如何具体试算未明。

(1) 基底完全光滑 ($f=0$)

基底完全光滑， N_q 、 N_c 解借用了地基土无体重力的 Reissner 解 (1924)：

$$N_q = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \exp(\pi \cdot \tan \varphi) \quad (25)$$

$$N_c = \begin{cases} \pi + 2 & \varphi = 0 \\ \cot \varphi \cdot (N_q - 1) & \varphi > 0 \end{cases} \quad (26)$$

对 N_{γ} ，Terzaghi 及 Peck (1967)、沈珠江 (2000) 建议采用以下经验公式：

$$N_{\gamma} = 1.8 \tan \varphi \cdot (N_q - 1) \quad (27-1) \text{ 经验公式, Terzaghi 及 Peck (1967) } [10, 11]$$

$$N_{\gamma} = \sin \varphi \cdot (N_q - 1) \quad (27-2) \text{ 建议公式, 沈珠江 (2000) } [15]$$

基底光滑时，本 app 采用了沈珠江的建议式 (27-2)。

(2) 基底完全粗糙 ($f \neq 0$)

$$N_q = \frac{1}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)} \cdot \exp\left[\left(\frac{3}{2} \pi - \varphi\right) \tan \varphi\right] \quad (28)$$

$$N_c = \begin{cases} \frac{3}{2} \pi + 1 & \varphi = 0 \\ \cot \varphi \cdot (N_q - 1) & \varphi > 0 \end{cases} \quad (29)$$

对 N_{γ} ，Terzaghi 及 Peck (1967) 建议 N_{γ} 采用 (27-1) 经验公式计算。本 app 采用了式 (27-1)。

3.2.4 Terzaghi 模型极限承载力系数 CQ 完整解析解 (2011) ($\gamma \neq 0, D \neq 0$)

程国勇, 邱睿等 (2011) 根据极限平衡原理, 发表了 Terzaghi 模型基底完全光滑及完全粗糙时承载力系数的 CQ 完整解析解^[14, 15]:

$$N_q(\psi, \varphi) = \frac{\cos(\psi - \varphi)}{\cos \psi \cdot \cos \varphi} \cdot 2 \cos^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \exp\left[\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - 2\psi\right) \cdot \tan \varphi\right] \quad (30)$$

$$N_c(\psi, \varphi) = \begin{cases} \frac{3\pi}{2} - 2\psi + \tan \psi + 2 & \varphi = 0 \\ \tan \psi + \frac{\cos(\psi - \varphi)}{\cos \psi \cdot \sin \varphi} \cdot \{ (1 + 2 \sin \varphi) \cdot \exp\left[\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - 2\psi\right) \cdot \tan \varphi\right] - 1 \} & \varphi > 0 \end{cases} \quad (31)$$

$$N_\gamma(\psi, \varphi) = \frac{-\tan \psi}{2} + \frac{\cos(\psi - \varphi)}{\cos^2 \psi} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \exp\left[3\left(\frac{3\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \psi\right) \cdot \tan \varphi\right] + \frac{-\cos(\psi - \varphi)}{2 \cos^2 \psi \cdot \cos \varphi} \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{-\sin \varphi - 3 \cos \psi \cdot \tan \varphi}{9 \tan^2 \varphi + 1} \\ & + \exp\left[3\left(\frac{3\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \psi\right) \tan \varphi\right] \cdot \left[\frac{3 \tan \varphi \cdot \cos\left(\pi - \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)\right) + \sin\left(\pi - \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)\right)}{9 \tan^2 \varphi + 1} \right] \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

其等价简化式为:

$$N_\gamma(\psi, \varphi) = \frac{-\tan \psi}{2} + \frac{\cos(\psi - \varphi)}{2 \cos^2 \psi \cdot \cos \varphi} \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{\sin \varphi + 3 \cos \psi \cdot \tan \varphi}{9 \tan^2 \varphi + 1} \\ & + \exp\left[3\left(\frac{3\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \psi\right) \tan \varphi\right] \cdot \left[\frac{3 \tan \varphi \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{9 \tan^2 \varphi + 1} + 2 \cdot \cos \varphi \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (32-1)$$

编制 app 时, 发现 N_c 、 N_γ 数值异常。经原作者程国勇教授及刘大海用极限平衡理论对 Terzaghi 模型进行了重新推演, 修正了原论文^[14]中解析解 N_c 、 N_γ 系数的错漏 (2020-09-15), 其修正的 CL 解析解为^[1]:

$$N_q(\psi, \varphi) = \frac{\cos(\psi - \varphi)}{\cos \psi \cdot \cos \varphi} \cdot (1 + \sin \varphi) \cdot \exp \left[2 \left(\frac{3\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \psi \right) \cdot \tan \varphi \right] \quad (30a)$$

$$N_c(\psi, \varphi) = \begin{cases} \frac{3\pi}{2} - 2\psi + \tan \psi + 1 & \varphi = 0 \\ [N_q(\psi, \varphi) - 1] \cdot \cot \varphi & \varphi > 0 \end{cases} \quad (31a)$$

$$N_\gamma(\psi, \varphi) = \frac{-\tan \psi}{2} + \frac{\cos(\psi - \varphi)}{2 \cos^2 \psi \cdot \cos \varphi} \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{\sin \psi + 3 \cos \psi \cdot \tan \varphi}{9 \tan^2 \varphi + 1} \\ & + \exp \left[3 \left(\frac{3\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \psi \right) \cdot \tan \varphi \right] \\ & \cdot \left[\frac{3 \tan \varphi \cdot \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}) - \sin(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2})}{9 \tan^2 \varphi + 1} + \cos \varphi \cdot \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}) \right] \end{aligned} \right\} \quad (32a)$$

4 Terzaghi 模型承载力系数 N_γ 的非线性拟合

4.1 双参量拟合

前人以 N_q 及 φ 双参量提出了一些 N_γ 的经验公式, 其主要形式为:

$$N_\gamma = (a_1 + a_2 N_q) \cdot \tan(a_3 \cdot \varphi) \quad (33)$$

V3 版 app, 利用 1stOpt 最优化软件, 用双参量 N_q 及 φ 对 N_γ 进行了全局最优化非线性拟合, 得到以下高精度的优简拟合式 (φ : Deg):

$$N_\gamma = (a_1 + a_2 N_q) \cdot (\tan(a_3 \cdot \varphi))^{a_4} \quad (34)$$

其拟合参数详见表 2, 拟合误差详见表 3。

表 2 Terzaghi 模型极限荷载系数 N_γ 双参量拟合系数表

Table 2 Parameter fitting coefficient of ultimate load coefficient N_γ of Terzaghi model

名称	参数	光滑基底	粗糙基底
拟合系数	a1	0.644487141	0.887646756
	a2	1.740480616	1.391648089
	a3	1.419239051	1.397204031
	a4	0.887433497	0.947524251
相关系数	R	0.999999276	0.99999995

表 3 Terzaghi 模型极限荷载系数 N_γ 双参量拟合结果汇总表

Table 3 Summary of two parameter fitting results of ultimate load coefficient N_γ of Terzaghi model

摩擦角 ϕ/deg	光滑基底				粗糙基底			
	CL 解析解 式 (32a)	1stOPtNr 拟合值	绝对误差 ΔN_r	相对误差 $\varepsilon N_r/\%$	CL 解析解 式 (32a)	1stOPtNr 拟合值	绝对误差 ΔN_r	相对误差 $\varepsilon N_r/\%$
0	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	
1	0.0747	0.0957	0.0210	28.14	0.0552	0.0719	0.0167	30.27
2	0.1601	0.1896	0.0295	18.44	0.1198	0.1479	0.0281	23.43
4	0.3686	0.4045	0.0359	9.73	0.2827	0.3269	0.0442	15.65
5	0.4952	0.5309	0.0357	7.21	0.3843	0.4340	0.0497	12.94
6	0.6394	0.6733	0.0339	5.30	0.5019	0.5556	0.0537	10.71
8	0.9907	1.0167	0.0260	2.63	0.7948	0.8524	0.0576	7.24
10	1.4466	1.4602	0.0136	0.94	1.1848	1.2409	0.0561	4.73
12	2.0393	2.0367	0.0026	0.13	1.7029	1.7529	0.0500	2.93
14	2.8116	2.7902	0.0214	0.76	2.3914	2.4311	0.0397	1.66
15	3.2826	3.2512	0.0314	0.96	2.8168	2.8499	0.0331	1.18
16	3.8219	3.7802	0.0417	1.09	3.3078	3.3337	0.0259	0.78
18	5.1497	5.0875	0.0622	1.21	4.5313	4.5409	0.0096	0.21
20	6.9048	6.8235	0.0813	1.18	6.1717	6.1639	0.0078	0.13
21	7.9882	7.8985	0.0897	1.12	7.1942	7.1778	0.0164	0.23
22	9.2401	9.1432	0.0969	1.05	8.3832	8.3585	0.0247	0.30
24	12.3713	12.2647	0.1066	0.86	11.3844	11.3454	0.0390	0.34
25	14.3270	14.2185	0.1085	0.76	13.2745	13.2300	0.0445	0.34
26	16.6066	16.4987	0.1079	0.65	15.4895	15.4412	0.0483	0.31
28	22.3917	22.2936	0.0981	0.44	21.1557	21.1056	0.0501	0.24
30	30.3819	30.3063	0.0756	0.25	29.0579	29.0160	0.0419	0.14
32	41.5546	41.5143	0.0403	0.10	40.2089	40.1861	0.0228	0.06
34	57.3947	57.3992	0.0045	0.01	56.1542	56.1597	0.0055	0.01
35	67.7396	67.7670	0.0274	0.04	66.6295	66.6508	0.0213	0.03
36	80.2014	80.2498	0.0484	0.06	79.2979	79.3342	0.0363	0.05

续表

摩擦角 ϕ/deg	光滑基底				粗糙基底			
	CL 解析解 式 (32a)	1stOPtNr 拟合值	绝对误差 ΔN_r	相对误差 $\varepsilon N_r/\%$	CL 解析解 式 (32a)	1stOPtNr 拟合值	绝对误差 ΔN_r	相对误差 $\varepsilon N_r/\%$
38	113.6096	113.6827	0.0731	0.06	113.4579	113.5130	0.0551	0.05
40	163.5008	163.5538	0.0530	0.03	164.8388	164.8794	0.0406	0.02
41	197.4582	197.4787	0.0205	0.01	199.9836	199.9990	0.0154	0.01
42	239.6384	239.6150	0.0234	0.01	243.7822	243.7632	0.0190	0.01
43	292.3600	292.2968	0.0632	0.02	298.7021	298.6512	0.0509	0.02
44	358.6956	358.6336	0.0620	0.02	368.0188	367.9686	0.0502	0.01
45	442.7507	442.8105	0.0598	0.01	456.1172	456.1664	0.0492	0.01

由表 3 可见, N_γ 的绝对误差, $\varphi \leq 8\text{Deg}$, 光滑基底误差 <0.04 , 粗糙基底误差 <0.06 ; N_γ 的相对误差, $\varphi > 8\text{Deg}$, 光滑基底误差 $<2\%$, 粗糙基底误差 $<5\%$ 。 N_γ 的拟合误差足以满足工程计算需要。

4.2 单参量拟合

事实上, 由于 N_q 是 φ 的函数。本次用单参量 φ 对 N_γ 进行了拟合, 同样得到高精度的优简拟合式 (φ : Deg):

$$N_r = \tan(a_1 \varphi)^{a_2} \cdot (a_3 \exp(a_4 \varphi) + a_5 \exp(a_6 \varphi)) \tag{35}$$

其拟合参数详见表 4, 拟合误差详见表 5。拟合的相关系数也相当高。

表 4 Terzaghi 模型极限承载力系数 N_γ 单参量拟合表

Table 4 Single parameter fitting table of ultimate load bearing capacity coefficient

N_γ of Terzaghi model			
名称	参数	光滑基底	粗糙基底
拟合系数	a1	1.530873428	1.525690678
	a2	0.693681915	0.903992984
	a3	0.007882502	1.508630540
	a4	0.213737099	0.089218394
	a5	1.268611143	0.021482007
	a6	0.099223908	0.190094768
相关系数	R	0.999999326	0.999999998

表 5 Terzaghi 模型极限承载力系数 N_γ 单参量拟合结果汇总表

Table 5 Summary of single parameter fitting results of ultimate bearing capacity coefficient N_γ of Terzaghi model

摩擦角 ϕ/deg	光滑基底				粗糙基底			
	CL 解析解 式 (32a)	1stOPtNr 拟合值	绝对误差 ΔN_r	相对误差 $\varepsilon N_r/\%$	CL 解析解 式 (32a)	1stOPtNr 拟合值	绝对误差 ΔN_r	相对误差 $\varepsilon N_r/\%$
0	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	
1	0.0747	0.1143	0.0396	53.05	0.0552	0.0632	0.0080	14.56
2	0.1601	0.2045	0.0444	27.74	0.1198	0.1296	0.0098	8.18
4	0.3686	0.4050	0.0364	9.87	0.2827	0.2917	0.0090	3.20
5	0.4952	0.5235	0.0283	5.72	0.3843	0.3919	0.0076	1.97
6	0.6394	0.6581	0.0187	2.93	0.5019	0.5077	0.0058	1.15
8	0.9907	0.9876	0.0031	0.32	0.7948	0.7964	0.0016	0.20
10	1.4466	1.4202	0.0264	1.83	1.1848	1.1821	0.0027	0.23
12	2.0393	1.9901	0.0492	2.41	1.7029	1.6967	0.0062	0.37
14	2.8116	2.7423	0.0693	2.46	2.3914	2.3830	0.0084	0.35
15	3.2826	3.2048	0.0778	2.37	2.8168	2.8080	0.0088	0.31
16	3.8219	3.7369	0.0850	2.22	3.3078	3.2991	0.0087	0.26
18	5.1497	5.0551	0.0946	1.84	4.5313	4.5241	0.0072	0.16
20	6.9048	6.8079	0.0969	1.40	6.1717	6.1678	0.0039	0.06
21	7.9882	7.8931	0.0951	1.19	7.1942	7.1925	0.0017	0.02
22	9.2401	9.1489	0.0912	0.99	8.3832	8.3839	0.0007	0.01
24	12.3713	12.2937	0.0776	0.63	11.3844	11.3898	0.0054	0.05
25	14.3270	14.2587	0.0683	0.48	13.2745	13.2819	0.0074	0.06
26	16.6066	16.5489	0.0577	0.35	15.4895	15.4985	0.0090	0.06
28	22.3917	22.3573	0.0344	0.15	21.1557	21.1654	0.0097	0.05
30	30.3819	30.3698	0.0121	0.04	29.0579	29.0647	0.0068	0.02
32	41.5546	41.5592	0.0046	0.01	40.2089	40.2094	0.0005	0.00
34	57.3947	57.4065	0.0118	0.02	56.1542	56.1475	0.0067	0.01
35	67.7396	67.7508	0.0112	0.02	66.6295	66.6203	0.0092	0.01
36	80.2014	80.2100	0.0086	0.01	79.2979	79.2879	0.0100	0.01
38	113.6096	113.6093	0.0003	0.00	113.4579	113.4534	0.0045	0.00
40	163.5008	163.4956	0.0052	0.00	164.8388	164.8463	0.0075	0.00
41	197.4582	197.4544	0.0038	0.00	199.9836	199.9943	0.0107	0.01
42	239.6384	239.6377	0.0007	0.00	243.7822	243.7898	0.0076	0.00
43	292.3600	292.3620	0.0020	0.00	298.7021	298.6982	0.0039	0.00
44	358.6956	358.6970	0.0014	0.00	368.0188	368.0029	0.0159	0.00
45	442.7507	442.7501	0.0006	0.00	456.1172	456.1249	0.0077	0.00

由表 5 可见, N_γ 的绝对误差, $\varphi \leq 5\text{deg}$, 光滑基底误差 <0.05 , 粗糙基底误差 <0.01 ; N_γ 的相对误差, $\varphi > 5\text{deg}$, 光滑基底误差 $<3\%$, 粗糙基底

误差 <2%。 N_γ 的拟合误差也足以满足工程计算需要。

为保证 N_γ 的计算精度，本 app 采用 CL 解析解计算。

5 Terzaghi 承载力系数对照探析

承载力系数 N_q ，解析解 (30)、(30a) 与 T 氏解析解 (23) 在数学上是等价的。

N_c 系数，解析解 (31a) 与 T 氏解析解 (24) 是一致的。

N_γ 值，T 氏未给出显式解，也未给出数值表，只给出了曲线图。天津大学教材给出过基底完全粗糙时的数值表^[16]，但引用来源及数表数据正确性不明。

基底完全粗糙的承载力系数 N_γ ，天津大学教材给出的数表值与 CL 解析解值相差较大，详见表 6 及图 3。

表 6 Terzaghi 模型极限荷载粗糙基底承载力系数比较表

Table 6 Comparison of ultimate load bearing capacity coefficient of rough foundation of Terzaghi model

φ 摩擦角 deg	N_q			N_c			N_γ	
	数表值	T 氏解析 解式 (14)	CL 解析解 式 (21a)	数表值	T 氏解析 解式 (15)	CL 解析解 式 (22a)	数表值	CL 解析解 式 (23a)
0	1	1.0000	1.0000	5.7	5.7124	5.7124	0	0.0000
2	1.22	1.2200	1.2200	6.5	6.3004	6.3004	0.23	0.1198
4	1.48	1.4873	1.4873	7	6.9684	6.9684	0.39	0.2827
6	1.81	1.8125	1.8125	7.7	7.7301	7.7301	0.63	0.5019
8	2.2	2.2090	2.2090	8.5	8.6022	8.6022	0.86	0.7948
10	2.68	2.6936	2.6936	9.5	9.6049	9.6049	1.2	1.1848
12	3.32	3.2878	3.2878	10.9	10.7632	10.7632	1.66	1.7029
14	4	4.0188	4.0188	12	12.1076	12.1076	2.2	2.3914
16	4.91	4.9217	4.9217	13.6	13.6764	13.6764	3	3.3078
18	6.04	6.0419	6.0419	15.5	15.5172	15.5172	3.9	4.5313
20	7.42	7.4387	7.4387	17.6	17.6903	17.6903	5	6.1717
22	9.17	9.1905	9.1905	20.2	20.2721	20.2721	6.5	8.3832
24	11.4	11.4011	11.4011	23.4	23.3613	23.3613	8.6	11.3844
26	14.2	14.2104	14.2104	27	27.0853	27.0853	11.5	15.4895
28	17.8	17.8082	17.8082	31.6	31.6117	31.6117	15	21.1557
30	22.4	22.4557	22.4557	37	37.1624	37.1624	20	29.0579
32	28.7	28.5166	28.5166	44.4	44.0357	44.0357	28	40.2089
34	36.6	36.5044	36.5044	52.8	52.6374	52.6374	36	56.1542
36	47.2	47.1560	47.1560	63.6	63.5283	63.5283	50	79.2979

续表

φ 摩擦角 deg	N_q			N_c			N_γ	
	数表值	T 氏解析 解式 (14)	CL 解析解 式 (21a)	数表值	T 氏解析 解式 (15)	CL 解析解 式 (22a)	数表值	CL 解析解 式 (23a)
38	61.2	61.5460	61.5460	77	77.4954	77.4954	90	113.4579
40	80.5	81.2708	81.2708	94.8	95.6630	95.6630	130	164.8388
45	173	173.2851	173.2851	172	172.2851	172.2851	326	456.1172

注：数表值引自：天津大学. 土力学与地基 [M]. 北京：人民交通出版社，1980：224.

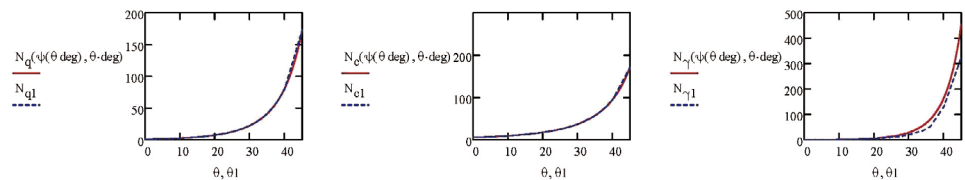


图 3 Terzaghi 模型粗糙基底承载力系数数表值与 CL 解析解对比曲线图

Figure 3 Comparison curve between numerical table value and CL analytical solution for bearing capacity coefficient of rough foundation of Terzaghi model

6 计算实例

例 1: 选自文献 [6]。钱家欢,《土工原理与计算》(第 2 版), p357, 例题 8-1。

地基土的粘聚力 $c=20.0\text{kPa}$, 内摩擦角 $\varphi=22\text{deg}$, 重度 $\gamma=19.5\text{kN/m}^3$, 条形基础宽 $B=4.0\text{m}$, 埋置深度 $D=3.0\text{m}$ 。求基础底面光滑及粗糙的 Terzaghi 地基极限承载力。

例 2: 选自文献 [18], 马虹,《土力学及地基基础自学考试与题解》, p81, 题 4。

地基土的粘聚力 $c=15.0\text{kPa}$, 内摩擦角 $\varphi=20\text{deg}$, 重度 $\gamma=19.5\text{kN/m}^3$, 条形基础宽 $B=2.4\text{m}$, 埋置深度 $D=1.6\text{m}$ 。求该地基的临塑荷载 p_{cr} 及临界荷载 $p_{(1/4)}$ 。

例 3: 选自文献 [18], 马虹,《土力学及地基基础自学考试与题解》, p81, 题 5。

地基土的粘聚力 $c=15.0\text{kPa}$, 内摩擦角 $\varphi=20\text{deg}$, 重度 $\gamma=19.5\text{kN/m}^3$, 条形基础宽 $B=4.0\text{m}$, 埋置深度 $D=2.0\text{m}$ 。求该地基的 Terzaghi 地基极限承载力。

例 4：选自文献 [19]。李广信，《土力学》（第 2 版），p296，例题 8-1。
地基土的粘聚力 $c=10.0\text{kPa}$ ，内摩擦角 $\varphi=20^\circ$ ，重度 $\gamma=17.6\text{kN/m}^3$ ，条形基础宽 $B=2.0\text{m}$ ，埋置深度 $D=1.5\text{m}$ 。求该地基的 Prandtl—Reissner 的地基极限承载力。
题例及计算结果详见表 7。

表 7 浅基础地基承载力计算表

Table 7 Calculation table of bearing capacity of shallow foundation

题例	文献	地基基础		计算参数	文献解		本文解						
		指标	数值	指标	塑性模型	Terzaghi 模型	塑性模型	Prandtl 模型	Terzaghi 模型				
					塑性解	极限解	塑性解	P-R 极限解	T 氏极限解		CL 解析解		
					基底光滑	基底粗糙	基底光滑	基底光滑	基底粗糙	基底光滑	基底粗糙		
1	[5] p357 题 8-1	c (kPa)	20	Nq		7.82	10	3.4386	7.8211	7.8211	9.1905	7.8211	9.1905
		phi (deg)	22	Nc		16.88	20	6.0358	16.8829	16.8829	20.2721	16.8829	20.2721
		γ 0 (kN/m ³)	19.5	Nr		4.96	7	2.4761		2.5552	5.9565	9.2401	8.3832
		γ (kN/m ³)	19.5	per (kPa)				321.88					
		B (m)	4	p1/4 (kPa)				370.16					
		D (m)	3	p1/3 (kPa)				386.25					
				pu (kPa)		988.51	1258		795.19	894.85	1175.39	1155.56	1270.03
2	[16] p81 题 4	c (kPa)	15	Nq				3.0591	6.3994	6.3994	7.4387	6.3994	7.4387
		phi (deg)	20	Nc				5.6572	14.8347	14.8347	17.6903	14.8347	17.6903
		γ 0 (kN/m ³)	19.5	Nr				2.0591		1.8467	4.2183	6.9048	6.1717
		γ (kN/m ³)	19.5	per (kPa)	180.18			180.30					
		B (m)	2.4	p1/4 (kPa)				204.39					
		D (m)	1.6	p1/3 (kPa)	204.3			212.42					
				pu (kPa)				422.18	465.39	596.15	583.75	641.86	
3	[16] p81 题 5	c (kPa)	15	Nq			7.44	3.0591	6.3994	6.3994	7.4387	6.3994	7.4387
		phi (deg)	20	Nc			17.7	5.6572	14.8347	14.8347	17.6903	14.8347	17.6903
		γ 0 (kN/m ³)	18.5	Nr			4	2.0591		1.8467	4.2183	6.9048	6.1717
		γ (kN/m ³)	18.5	per (kPa)				198.04					
		B (m)	4	p1/4 (kPa)				236.14					
		D (m)	2	p1/3 (kPa)				248.83					
				pu (kPa)		688.78		459.3	527.63	696.66	714.78	768.94	
4	[17] p296 题 8-1	c (kPa)	10	Nq		6.4		3.0591	6.3994	6.3994	7.4387	6.3994	7.4387
		phi (deg)	20	Nc		14.8		5.6572	14.8347	14.8347	17.6903	14.8347	17.6903
		γ 0 (kN/m ³)	17.6	Nr				2.0591		1.8467	4.2183	6.9048	6.1717
		γ (kN/m ³)	17.6	per (kPa)				137.33					
		B (m)	2	p1/4 (kPa)				155.45					
		D (m)	1.5	p1/3 (kPa)				161.49					
				pu (kPa)		317.00		317.29	349.79	447.53	438.82	481.91	

注：例 4 文献解为 Prandtl—Reissner 极限解（光滑基底）。

7 安装包 APK 与安装

由 MFP 计算语言创建的安装包 ps.apk 可直接下载并将应用安装到安卓手

机上。

安装方法：不同的手机，其打开安装步骤可能略有不同。一般而言，可直接点击安装包文件 ps.apk 进行安装。安装时，最好选择不自动删除安装文件，以便必要时能找到安装文件进行再安装。

注意，不同手机，安装包文件的存储目录可能不同。可能的目录：

内部存储器 \Download\Weixin\;

内部存储器 \Tencent\MicroMsg\Download。

8 APP 使用指南

8.1 程序启动

手机安装好 app 后，屏幕点击 app 就可启动应用程序 ps。

8.2 数据输入

启动 ps 后，根据屏幕提示，键盘响应输入相关数据：

input data:

c (kPa) = // 土体内聚力 (kPa)

$phid$ (deg) = // 土体摩擦力 (deg)

γ_{ama0} (kN/m³) = // 基础底面以上土体重度 (kN/m³)

γ_{ama} (kN/m³) = // 基础底面以下土体重度 (kN/m³)

B (m) = // 条形基础宽度 (m)

D (m) = // 条形基础埋深 (m)

8.3 计算结果显示

8.3.1 显示塑性荷载承载力

1. Critical Load Capacity

N_q = // 超载力承载系数

N_c = // 粘聚力承载系数

$N_\gamma =$ // 体重力承载系数

$p_{cr} =$ // $z_{\max}=0$ 临塑荷载承载力 (kPa)

$p_4 =$ // $z_{\max}=B/4$ 临界荷载承载力 (kPa)

$p_3 =$ // $z_{\max}=B/3$ 临界荷载承载力 (kPa)

8.3.2 按回车键，显示 Prandtl 模型 Prandtl—Reissner 极限承载力

2. Ultimate Bearing Capacity

2.1 Prandtl—Reissner Ultimate Bearing Capacity

$N_q =$ // 超载力承载系数 (PR 解析解)

$N_c =$ // 粘聚力承载系数 (PR 解析解)

$p_{u_PR} =$ // p_u -PR 解析解极限承载力 (kPa)

8.3.3 按回车键，显示 Terzaghi 模型 Terzaghi 解极限承载力 (光滑基底)

2.2 Terzaghi Ultimate Bearing Capacity

2.2.1 Terzaghi Solution

1) Terzaghi Solution—Smooth Foundation Bottom

$N_q =$ // 超载力承载系数 (T 氏解析解)

$N_c =$ // 粘聚力承载系数 (T 氏解析解)

$N_\gamma =$ // 体重力承载系数 (沈珠江建议经验式)

$p_{u_T0_S} =$ // p_u _基底光滑_沈珠江建议经验式 极限承载力 (kPa)

8.3.4 按回车键，显示 Terzaghi 模型 Terzaghi 解极限承载力 (粗糙基底)

2) Terzaghi Solution—Rough Foundation Bottom

$N_q =$ // 超载力承载系数 (T 氏解析解)

$N_c =$ // 粘聚力承载系数 (T 氏解析解)

$N_\gamma =$ // 体重力承载系数 (T 氏经验式)

$p_{u_T1} =$ // p_u _基底粗糙_T 氏经验式 极限承载力 (kPa)

8.3.5 按回车键，显示 Terzaghi 模型探正解极限承载力（光滑基底）

2.2.2 The correct analytic solution of Terzaghi

1) Corr——Smooth Foundation Bottom

$N_q =$ // 超载力承载系数（T 氏解析解）

$N_c =$ // 粘聚力承载系数（T 氏解析解）

$N_{\gamma-CL} =$ // 体重力承载系数 _CL 解析解

$p_{u-T0-CL} =$ // p_u 基底光滑 _CL 解析解 极限承载力（kPa）

8.3.6 按回车键，显示 Terzaghi 模型探正解极限承载力（粗糙基底）

2) Corr——Rough Foundation Bottom

$N_q =$ // 超载力承载系数（T 氏解析解）

$N_c =$ // 粘聚力承载系数（T 氏解析解）

$N_{\gamma-CL} =$ // 体重力承载系数 _CL 解析解

$p_{u-T1-CL} =$ // p_u 基底粗糙 _CL 解析解 极限承载力（kPa）

End

9 鸣谢

Terzaghi 模型承载力系数通用解析解的重新推演，由原作者程国勇教授与本人共同完成。对程教授高尚的道德情操、求是的工作作风和严谨的科学态度深表敬佩！对程教授的热情帮助和精心指导深表谢忱！

在浅基础承载力 app 编制及 Terzaghi 模型承载力系数数值验证过程中，得到了中国建筑科学院邱明兵高级工程师的热情指导与帮助，在此表示衷心感谢！

在承载力系数 N_{γ} 的非线性拟合中，得到了 7D 高科有限公司张伟先生的大力帮助，在此表示衷心感谢！

在创建 app 安装包过程中，得到 MFP 语言开发者崔友昕先生的帮助与指导，在此一并致谢！

参考文献

- [1] 刘大海. Terzaghi 模型极限承载力系数探正 [J]. 土木工程进展, 2021, 3 (1).
- [2] 建筑地基基础设计规范 (GB 50007-2011) [S]. 北京: 建筑工业出版社, 2012: 21.
- [3] 黄熙龄, 秦宝玖. 地基基础的设计与计算 [M]. 北京: 中国建筑工程出版社, 1981: 53-54.
- [4] 工业与民用建筑地基基础设计规范 (TJ 7-74) [S]. 北京: 建筑工业出版社, 1974: 12.
- [5] 建筑地基基础设计规范 (GBJ 7-89) [S]. 北京: 建筑工业出版社, 1989: 20.
- [6] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算 (第2版) [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996: 347-357.
- [7] 谢定义, 姚仰平, 党发宁. 高等土力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 324-340.
- [8] 高大钊, 袁聚云. 土力学与土质学 (第3版) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001: 192-199.
- [9] 钱德玲. 土力学 [M]. 北京: 中国建筑出版社, 2009: 194-207.
- [10] 卢廷浩, 刘祖德, 等. 高等土力学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 262-272.
- [11] 薛守义. 高等土力学 [M]. 北京: 建筑工业出版社, 2007: 135-142.
- [12] 谢定义, 刘奉银. 土力学教程 [M]. 北京: 中国建筑工程出版社, 2010: 134-145.
- [13] K. 太沙基. 理论土力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1960: 131-136.
- [14] 程国勇, 邱睿, 段淳. 基底完全粗糙时太沙基地基承载力系数的解析解 [J]. 中国民航大学学报. 2011, 29 (1).
- [15] 邱睿, 程国勇, 等. 泰沙基地基承载力系数的完整解析解 [J]. 西部探

- 矿工程. 2011, 23 (8) .
- [16] 沈珠江. 理论土力学 [M] . 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 220.
- [17] 天津大学. 土力学与地基 [M] . 北京: 人民交通出版社, 1980: 224.
- [18] 马虹. 土力学及地基基础自学考试指导与题解 [M] . 北京: 中国建材工业出版社, 2002: 81.
- [19] 李广信, 张炳印, 于玉贞. 土力学 (第2版) [M] . 北京: 清华大学出版社, 2013: 294-307.

The APP for Calculation of Bearing Capacity of Shallow Foundation

Liu Dahai

1. Shenzhen Geological Bureau, Shenzhen;

2. Shenzhen Geological Construction Engineering Company, Shenzhen

Abstract: Foundation bearing capacity is a basic subject of soil mechanics. In this paper, the MFP language of Android system is used as a tool to compile an app for calculating foundation bearing capacity using mobile phone mobile tools, which is simple to use and fast to calculate. Ultimate bearing capacity of foundation, CL analytical solution and nonlinear fitting equation based on Terzaghi shallow foundation ultimate bearing capacity model. The characteristic value of foundation bearing capacity is based on the nonlinear fitting equation of critical load bearing capacity coefficient in code for design of building foundation (GBJ 7-89).

Key word: Foundation bearing capacity; Ultimate bearing capacity; Characteristic value of bearing capacity; Analytical solution; Nonlinear fitting; APP