



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110241865 B

(45) 授权公告日 2021.05.07

(21) 申请号 201910391869.6

(22) 申请日 2019.05.13

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110241865 A

(43) 申请公布日 2019.09.17

(73) 专利权人 上海大学
地址 200444 上海市宝山区上大路99号

(72) 发明人 姚文娟 徐旭 陈雷远

(74) 专利代理机构 北京东方盛凡知识产权代理
事务所(普通合伙) 11562
代理人 王颖

(51) Int.Cl.
E02D 33/00 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 106638723 A, 2017.05.10
- CN 204690807 U, 2015.10.07
- CN 204940320 U, 2016.01.06
- CN 205188994 U, 2016.04.27
- CN 206245332 U, 2017.06.13
- CN 106638723 A, 2017.05.10
- CN 108121831 A, 2018.06.05
- CN 106570323 A, 2017.04.19

审查员 侯佳艳

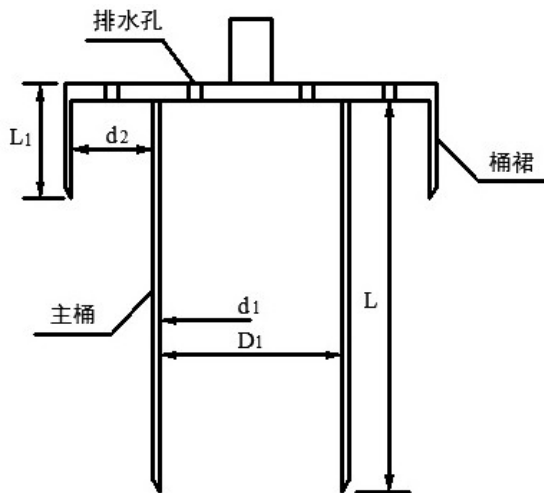
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种裙式吸力桶形基础的水平承载力计算方法

(57) 摘要

本发明涉及一种可以用于实际工程的计算裙式桶形吸力基础水平承载力的方法。公式计算步骤：(1) 确定桶基结构各尺寸参数。(2) 测得地基土的饱和重度 γ' 。(3) 由材料与土的直剪试验确定桶体与土体之间的摩擦系数 f 。(4) 根据“m”法确定水平向地基系数 k_h 。(5) 计算朗肯主动土压力系数 K_a 。(6) 计算作用在桶基上的竖向作用力之和 V 。(7) 利用本发明公式计算桶基水平极限承载状态时的转角 ω ，将计算得到的 ω 值代入得到桶基极限水平荷载计算值 P 。(8) 桶基极限水平荷载设计值 $P_u = \alpha P$ ($\alpha < 0.75$)，其中 α 为安全系数。本发明对裙式吸力桶形基础水平承载模式分析清晰，简化合理，得到的水平承载力计算公式形式简单易用，且准确性较好。



1. 一种裙式吸力桶形基础的水平承载力计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 确定裙式吸力桶形基础结构各尺寸参数,包括主桶半径 d_1 、桶裙半径 d_2 、主桶高度 L 、桶裙高度 L_1 ;

2) 测得地基土的饱和重度 γ' ;

3) 由直剪试验确定桶体与土体之间的摩擦系数 f ;

4) 根据“m”法确定水平向地基系数 k_h ,即 $k_h=mz$,其中 m 为常数系数, z 为土体深度;

5) 计算朗肯主动土压力系数 K_a : $K_a=\tan^2(45^\circ-\varphi/2)$;

6) 计算作用在桶基上的竖向作用力之和 V ,包括作用在桶体和桶裙的力;

7) 利用以下公式计算桶基水平极限承载状态时的转角 ω :

$$\omega = \frac{1500V + f\pi L^2 d_1 (375K_a \gamma' + 122L)}{1000k_v d_1^3 + fm\pi [250d_1(L^3 - 3L^2) + 250(d_1 + d_2)(L_1^3 - 3L_1^2) + 18L^3 d_1]}$$

式中: k_v 为竖向地基系数, $k_v=m_0z$,其中 m_0 为常数系数;

8) 将计算得到的 ω 值代入下式,得到桶基极限水平荷载计算值 P :

$$P = \frac{fm\omega\pi}{6} [d_1(L^3 - 3L^2) + (d_1 + d_2)(L_1^3 - 3L_1^2)] + \frac{2}{3}fk_v\omega(d_1 + d_2)^3 - \pi L^2 d_1 \left(\frac{1}{4}K_a \gamma' - \frac{9}{125}mL\omega + \frac{61}{750}L \right)$$

9) 桶基极限水平荷载设计值 $P_u=\alpha P$,其中 α 为安全系数,取值应小于0.75。

2. 根据权利要求1所述的裙式吸力桶形基础的水平承载力计算方法,其特征在于,所述步骤4)中的 m 值确定方法,具体步骤为:根据《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093—2017参考值确定,或通过水平静载试验确定,水平静载试验过程为:对桩进行水平静载试验,地面处对桩体施加水平荷载,绘制荷载—位移关系曲线,在曲线上找出对应地面处桩的水平位移为6mm的荷载值,然后反复假定 m 的取值,直到地面水平位移计算结果为6mm时,此时假定的 m 即为该种土的 m 值。

3. 根据权利要求1所述的裙式吸力桶形基础的水平承载力计算方法,其特征在于,所述步骤7)中的 m_0 值确定方法,具体步骤为:根据《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093—2017参考值确定或根据试验实测值确定。

一种裙式吸力桶形基础的水平承载力计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种裙式吸力桶形基础的水平承载力计算方法,应用于海上工程,属于海洋工程锚固基础技术领域。

背景技术

[0002] 吸力式桶形基础是一种应用于海上工程的新型基础,是一种下端开口、上端闭合的圆柱形薄壁结构,施工安装时通过抽水使桶内形成负压实现下沉,安装完成之后桶内的负压可起到抗拔承载作用,并可以利用土反力和摩擦力提供水平承载力。这种新型基础以其施工简单、效率高和成本较低等优势在近年被大量采用。

[0003] 裙式吸力桶形基础是吸力式桶形基础的一种改进形式,即在吸力基础上附加设置“裙”结构。改进后的裙式吸力基础水平承载能力得到显著提高,同时侧移得到有效限制,特别适合作为主控荷载为水平荷载的海上风电塔架等结构的基础。这种基础发展前景良好,但是相关研究尚停留在室内模型试验阶段,理论分析和结构计算尚不成熟,并且没有相关的实际工程技术资料可以参考。

发明内容

[0004] 针对现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种裙式吸力桶形基础的水平承载力计算方法。在试验数据和有限元计算的基础上,分析桶体与土的相互作用,基于经典朗肯土压力理论和温克尔地基理论,应用极限平衡法推导得到基础的水平承载力计算公式并进行修正,该方法对桶基的实际工程应用和设计有重要的参考意义。

[0005] 为了达到以上的目的,本发明所采用的技术方案是:

[0006] 一种裙式吸力桶形基础的水平承载力计算方法,包括以下步骤:

[0007] 1) 确定裙式吸力桶形基础结构各尺寸参数,包括主桶半径 d_1 、桶裙半径 d_2 、主桶高度 L 、桶裙高度 L_1 ;

[0008] 2) 测得地基土的饱和重度 γ' ;

[0009] 3) 由直剪试验确定桶体与土体之间的摩擦系数 f ;

[0010] 4) 根据“m”法确定水平向地基系数 k_h ,即 $k_h = mz$,其中 m 为常数系数, z 为土体深度;

[0011] 5) 计算朗肯主动土压力系数 K_a : $K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$;

[0012] 6) 计算作用在桶基上的竖向作用力之和 V ,包括作用在桶体和桶裙的力;

[0013] 7) 利用以下公式计算桶基水平极限承载状态时的转角 ω :

$$[0014] \quad \omega = \frac{1500V + f\pi L^2 d_1 (375K_a \gamma' + 122L)}{1000k_v d_1^3 + fm\pi [250d_1 (L^3 - 3L^2) + 250(d_1 + d_2)(L_1^3 - 3L_1^2) + 18L^3 d_1]}$$

[0015] 式中: k_v 为竖向地基系数, $k_v = m_0 z$,其中 m_0 为常数系数, z 为土体深度;

[0016] 8) 将计算得到的 ω 值代入下式,得到桶基极限水平荷载计算值 P :

$$P = \frac{fm\omega\pi}{6} [d_1(L^3 - 3L^2) + (d_1 + d_2)(L_1^3 - 3L_1^2)] + \frac{2}{3}fk_v\omega(d_1 + d_2)^3$$

$$- \pi L^2 d_1 \left(\frac{1}{4}K_a\gamma' - \frac{9}{125}mL\omega + \frac{61}{750}L \right)$$

[0018] 9) 桶基极限水平荷载设计值 $P_u = \alpha P$, 其中 α 为安全系数, 取值应小于0.75。

[0019] 所述步骤4) 中的 m 值确定方法, 具体步骤为: 根据《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB10093—2017) 参考值确定, 或通过水平静载试验确定; 水平静载试验过程为: 在地面处对桩体施加水平荷载, 量测位移绘制荷载—位移关系曲线, 在曲线上找出对应地面处桩的水平位移为6mm的荷载值, 然后反复假定 m 的取值, 直到地面水平位移计算结果为6mm, 此时假定的 m 值即为该地基土的 m 值。

[0020] 所述步骤7) 中的 k_v 值确定方法, 具体步骤为: 根据《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB10093—2017) 参考值确定 m_0 值。

[0021] 与现有技术相比, 本发明具有如下的优点:

[0022] 本发明对裙式吸力桶形基础水平承载模式分析清晰, 简化合理, 得到的水平承载力计算公式形式简单易用, 且准确性较好。本发明得到的裙式吸力桶形基础水平承载计算公式, 可为其实际工程应用和设计计算提供有价值的参考。

附图说明

[0023] 图1为本发明针对的裙式吸力桶形基础剖面示意图。

[0024] 图2为本发明中裙式吸力桶形基础水平承载模型示意图。

[0025] 图3为本发明中土体的径向水平抗力沿桶周分布示意图。

具体实施方式

[0026] 下面结合附图对本发明的具体实施例作进一步说明。

[0027] 某工程基础主桶直径及桶高分别为240cm及480cm, 桶壁厚4cm, 基础顶板厚度为20cm, 裙宽和裙高度分别为100cm和120cm。地基土为密实海砂, 重度为 18kN/m^3 , 内摩擦角 φ 为 30.8° 。

[0028] 如图1所示, 一种裙式吸力桶形基础的水平承载力计算方法, 实施步骤如下:

[0029] 1) 确定裙式吸力桶形基础结构各尺寸参数, 主桶半径 $d_1 = 2.4\text{m}$ 、桶裙半径 $d_2 = 1\text{m}$ 、主桶高度 $L = 4.8\text{m}$ 、桶裙高度 $L_1 = 1.2\text{m}$;

[0030] 2) 测得地基土的饱和重度 γ' 为 18kN/m^3 ;

[0031] 3) 由直剪试验确定桶体与土体之间的摩擦系数 f , 取为0.3;

[0032] 4) 根据“ m ”法确定水平向地基系数 k_h , 即 $k_h = mz$, 其中 z 为土体深度, m 根据《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB10093—2017) 参考值取为 $1.5 \times 10^4\text{kPa/m}^2$;

[0033] 5) 计算朗肯主动土压力系数 K_a : $K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 0.32$;

[0034] 6) 计算作用在桶基上的竖向作用力之和 V , 包括作用在桶体和桶裙的力;

[0035] $V = \pi \times [2.88^2 \times 0.2 + (1.24^2 - 1.2^2) \times 4.8 + (2.24^2 - 2.2^2) \times 1.2] \times 7850 = 7.34 \times 7850 = 57657\text{kg}$

[0036] 7) 利用以下公式计算桶基水平极限承载状态时的转角 ω :

[0037] 竖向地基系数 $k_v = m_0 z$, m_0 根据《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB10093—2017)参考值取为 $1.5 \times 10^4 \text{ kPa/m}^2$

$$[0038] \quad \omega = \frac{1500V + f\pi L^2 d_1 (375K_a \gamma' + 122L)}{1000k_v d_1^3 + fm\pi [250d_1(L^3 - 3L^2) + 250(d_1 + d_2)(L_1^3 - 3L_1^2) + 18L^3 d_1]} = 0.048$$

[0039] 8) 将计算得到的 ω 值代入下式,得到桶基极限水平荷载计算值 P :

$$[0040] \quad P = \frac{fm\omega\pi}{6} [d_1(L^3 - 3L^2) + (d_1 + d_2)(L_1^3 - 3L_1^2)] + \frac{2}{3} fk_v \omega (d_1 + d_2)^3 - \pi L^2 d_1 \left(\frac{1}{4} K_a \gamma' - \frac{9}{125} mL\omega + \frac{61}{750} L \right) = 1021 \text{ kN}$$

[0041] 9) 安全系数 α 取0.75,桶基极限水平荷载设计值 $P_u = \alpha P = 1021 \times 0.75 = 765.75 \text{ kN}$ 。

[0042] 步骤7)、8)中公式推导说明如下:

[0043] 1) 分析试验数据及有限元计算结果得到裙式吸力桶形基础简化的水平极限承载模型,如图2所示。

[0044] 2) 根据简化的水平极限承载模型得到各作用力的平衡方程:

$$[0045] \quad \begin{cases} V + \iint \tau_2 = \iint \sigma_z + \iint \sigma'_z + \iint \tau_1 + \iint \tau'_1 & (1) \\ P + \iint \sigma_{za1} + \iint \sigma_{za2} = \iint \sigma_{zp} + \iint \sigma'_{zp} + \iint \tau_b + \iint \tau'_b & (2) \\ M = Ph & (3) \end{cases}$$

[0046] 式中: σ_{zp} 为主桶受力方向前侧的土压力, σ_{za1} 、 σ_{za2} 为主桶受力方向后侧的土压力, σ'_{zp} 为桶裙受力方向前侧的土压力;

[0047] τ_1 、 τ_2 分别为主桶受力方向前侧和后侧处土的摩擦力, τ' 为桶裙受力方向前侧处土的摩擦力;

[0048] σ_z 、 σ'_z 分别为主桶和桶裙顶盖处基底土反力;

[0049] τ_b 、 τ'_b 分别为主桶和桶裙顶盖处土的摩擦力;

[0050] V 为作用在桶盖中心处的竖向作用力总和;

[0051] P 为作用在桶盖中心处的水平作用力总和;

[0052] M 为作用在桶盖中心处的力矩总和;

[0053] h 为作用点距转动中心高度。

[0054] 各分量求解:

[0055] 定义以原点 O 为起点以桶体外壁任意计算点为终点的矢量,其在 XOY 平面上的投影与 X 轴正向夹角为 θ ,则 XOZ 平面内(即 $\theta=0$ 时),桶体前侧径向土体水平抗力沿桶高呈抛物线型分布(见图3),其形式为:

$$[0056] \quad \sigma_{x0} = k_h (z - z_0) \omega \quad (4)$$

[0057] 式中: k_h 为水平向地基系数,可根据“ m ”法确定,即 $k_h = mz$ 。

[0058] 在 XOY 平面内,土体的径向水平抗力沿桶周呈三角函数分布(图3),其形式为:

$$[0059] \quad \sigma_r = \sigma_{x0} \cos \theta \quad (5)$$

[0060] 土体径向水平抗力沿 x 轴方向的分量为

[0061] $\sigma_{zp} = \sigma_r \cos \theta = \sigma_{x0} \cos^2 \theta$ (6)

[0062] 将式(4)代入式(6),可得任意深度处土体的x向水平抗力为

[0063] $\sigma_{zp} = \omega m z (z-L) \cos^2 \theta$ (7)

[0064] 而桶体后侧土体抗力为:

[0065]
$$\sigma_{x0} = \begin{cases} K_a \gamma' z, & z \leq z_0 \\ K_a \gamma' z + k_h (z - z_0) \omega, & z > z_0 \end{cases} \quad (8)$$

[0066] 任意深度处土体的x向水平抗力为

[0067]
$$\left. \begin{aligned} \sigma_{za1} &= K_a \gamma' z \cos^2 \theta, z \leq z_0 \\ \sigma_{za2} &= [K_a \gamma' z + k_h (z - z_0) \omega] \cos^2 \theta, z > z_0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

[0068] 式中: K_a 为郎肯主动土压力系数; γ' 为土体饱和重度。

[0069] 根据Winkler假定,作用在桶盖上的基底反力

[0070] $\sigma_z = k_v x \omega$ ($0 < x \leq d_1$) (10)

[0071] $\sigma'_z = k_v x \omega$ ($d_1 < x \leq d_1 + d_2$) (11)

[0072] 认为作用于外侧桶壁上的竖向土体摩擦力与该处径向水平土体压力成正比,即在深度z处,竖向剪应力为 $\tau_z = f \sigma_r$,各项剪应力为

[0073] $\tau_1 = f \omega m z (z-L) \cos \theta$ (12)

[0074] $\tau'_1 = f \omega m z (z-L) \cos \theta, z \leq L_2$ (13)

[0075]
$$\tau_2 = \begin{cases} K_a \gamma' f z \cos \theta, & z \leq z_0 \\ f [K_a \gamma' z + k_h (z - z_0) \omega] \cos \theta, & z > z_0 \end{cases} \quad (14)$$

[0076] $\tau_b = f \sigma_z = f k_v x \omega, (0 < x \leq d_1)$ (15)

[0077] $\tau'_b = f \sigma'_z = f k_v x \omega, (d_1 < x \leq d_1 + d_2)$ (16)

[0078] 由于只考虑水平承载力,竖向力V作为已知量。 z_0 根据计算分析取近似值3/4L。各分量代入方程式组(1)(2)(3)中,得到

[0079]
$$\omega = \frac{1500V + f \pi L^2 d_1 (375 K_a \gamma' + 122L)}{1000 k_v d_1^3 + f m \pi [250 d_1 (L^3 - 3L^2) + 250 (d_1 + d_2) (L_1^3 - 3L_1^2) + 18L^3 d_1]} \quad (17)$$

[0080]
$$P = \frac{f m \omega \pi}{6} [d_1 (L^3 - 3L^2) + (d_1 + d_2) (L_1^3 - 3L_1^2)] + \frac{2}{3} f k_v \omega (d_1 + d_2)^3 - \pi L^2 d_1 \left(\frac{1}{4} K_a \gamma' - \frac{9}{125} m L \omega + \frac{61}{750} L \right) \quad (18)$$

[0081] 将式(17)求得的 ω 代入式(18),可得到竖向作用力V已知时,裙式桶形结构极限水平荷载值P。

[0082] 工程算例结果对比发现,该公式作设计应用时偏于危险,计算得到的荷载值P误差约在20%左右,故应乘以一个较小的安全系数 α ,即设计值 $P_u = \alpha P$ ($\alpha < 0.75$)。

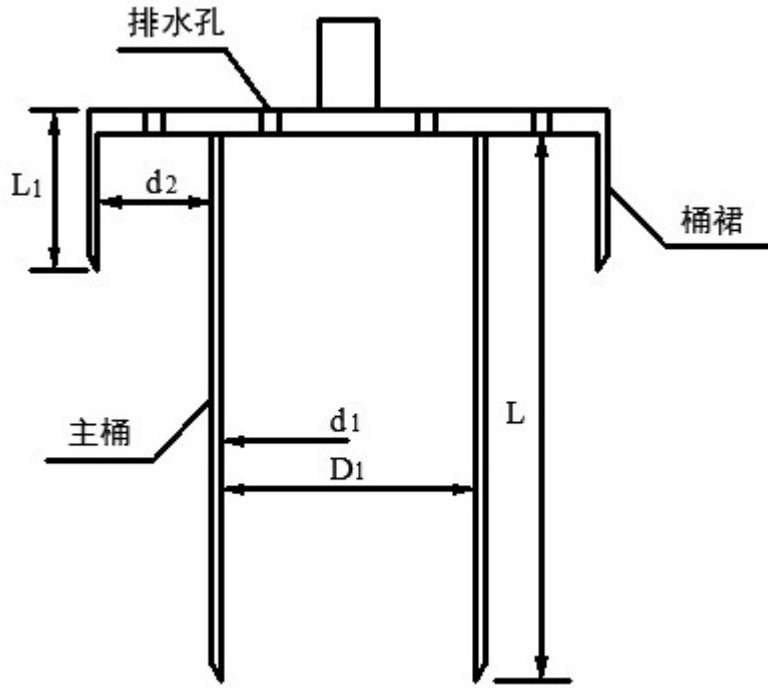


图 1

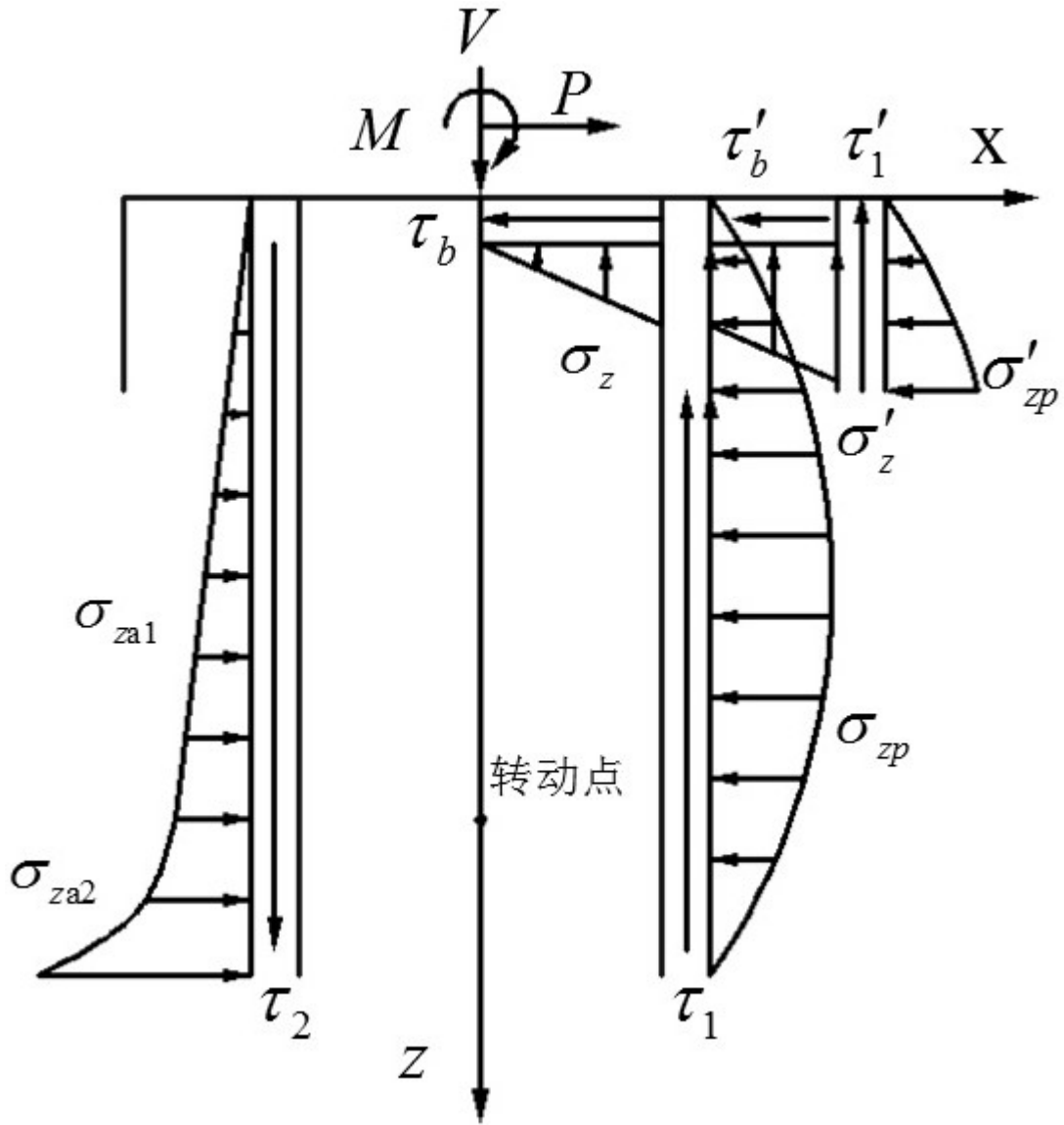


图 2

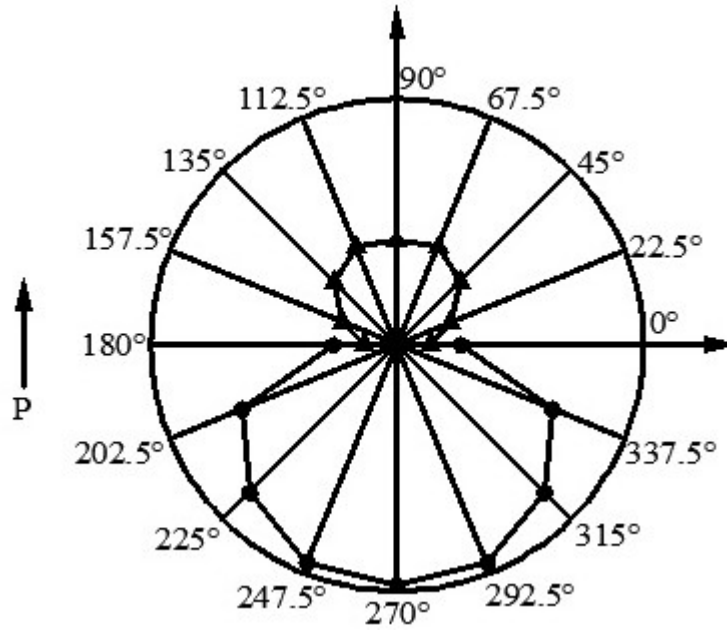


图 3