



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105571768 B

(45)授权公告日 2018.08.03

(21)申请号 201610008963.5

(22)申请日 2016.01.04

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105571768 A

(43)申请公布日 2016.05.11

(73)专利权人 安徽理工大学

地址 232001 安徽省淮南市舜耕中路168号

(72)发明人 娄培杰 梁书玲 李成杰 徐颖

(51)Int.Cl.

G01L 11/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 104951652 A, 2015.09.30,

JP 特開2002-275875 A, 2002.09.25,

CN 101215969 A, 2008.07.09,

CN 104533434 A, 2015.04.22,

宋玉香 等.地铁隧道竖向土压力荷载的计算研究.《岩土力学》.2007,第28卷(第10期),第2240-2244页.

李永刚 等.矩形沟埋涵洞顶部垂直土压力试验和理论研究.《岩土力学》.2008,第29卷(第4期),第1081-1086页.

郅彬 等.盾构施工隧道开挖面上覆土压力的研究.《施工技术》.2008,第37卷第246-248页.

审查员 刘利

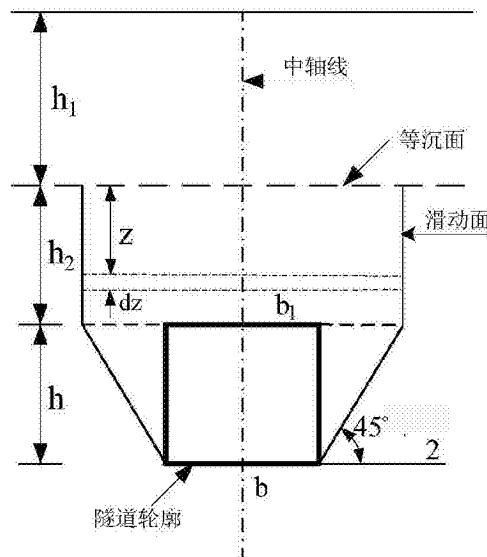
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于位移监测结果的浅埋隧道土压力计算方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于位移监测结果的浅埋隧道土压力计算方法,该方法实施步骤包括两步,首先通过隧道顶部位移判断土拱结构形状,然后按照土拱结构形状来选择不同的松动土压力计算公式计算松动土压力。本发明给出的浅埋隧道土压力计算方法可以更好的预测隧道土压力,对于工程施工和设计具有重要意义。



1. 一种基于位移监测结果的浅埋隧道土压力计算方法,其特征在于:计算步骤包括:

(1) 根据地层沉降监测结果判断土拱结构形状:

a. 隧道施工监测获得隧道中部位移 δ 和两部位沉降较大值 δ_1 ;

b. 计算隧道边部位移下凹拱理论值 δ'_1 ,计算公式如下:

$$\delta'_1 = \sqrt{\left(\frac{\delta + b_1^2}{2} - \frac{b_1^2}{8\delta}\right)^2 - \frac{b_1^2}{4}} - \left(\frac{\delta + b_1^2}{2} - \frac{b_1^2}{8\delta}\right)$$

其中, b_1 等于 $b+2h/\tan(45^\circ + \varphi_1)$, φ_1 表示隧道开挖高度内的土体加权平均内摩擦角,b为矩形隧道宽度,h为矩形隧道高度;

c. 判断:当 $\delta_1 > \delta'_1$ 时,为矩形拱;当 $\delta_1 \leq \delta'_1$ 时,为下凹拱;

(2) 根据土拱结构形状计算松动土压力;

a. 当土拱结构为矩形拱时,采用下式求解松动土压力:

$$\sigma_v = \frac{\frac{b_1}{2} \gamma_1 - K \tan \varphi \sigma_0}{K \tan \varphi} \left(1 - e^{-\frac{2K \tan \varphi}{b_1} h_2}\right) + (q + \gamma_2 h_1) e^{-\frac{2K \tan \varphi}{b_1} h_2}$$

式中, γ_1 表示等沉面到隧道顶部土体加权平均重度, γ_2 表示地面到等沉面土体加权平均重度, σ_0 为粘结应力,大小等于 $c/\tan \varphi$,c表示等沉面距隧道顶部高度土体加权平均粘聚力, φ 表示等沉面距隧道顶部高度土体加权平均内摩擦角;q表示地面超载, h_1 表示地面距等沉面高度, h_2 表示等沉面距隧道顶部高度, $K = \frac{3(1 - \sin^2 \varphi)}{2 + (1 + \sin \varphi)^2}$;

b. 当土拱结构判断为下凹拱结构时,采用下式求解松动土压力:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_v = \frac{\frac{b_1}{2} \gamma_1 - A \sigma_0}{A} \left(1 - e^{-\frac{2A}{b_1} h_2}\right) + (q + \gamma_2 h_1) e^{-\frac{2A}{b_1} h_2} \\ A = \frac{3(1 - K_a) \sin 2\theta}{2[3 + \cos^2 \theta (K_a - 1)]} \\ \theta = \arcsin \frac{\frac{b_1}{2}}{\sqrt{\left(\frac{b_1}{2}\right)^2 + \delta^2}} - \arctan \frac{2\delta}{b_1} \end{array} \right.$$

式中, K_a 表示朗肯土压力系数,A表示参数, θ 表示大主应力与水平面夹角。

2. 根据权利要求1所述的一种基于位移监测结果的浅埋隧道土压力计算方法,其特征在于:等沉面的确定方法是:当隧道顶部覆土厚度 $> 1.5b_1$ 时, $h_1 = 1.5b_1$;当隧道顶部覆土厚度 $\leq 1.5b_1$ 时, $h_1 = 0$,且 γ_2 取值为0。

一种基于位移监测结果的浅埋隧道土压力计算方法

技术领域

[0001] 本发明专利涉及公路或铁路隧道土压力计算方法,具体地涉及一种基于浅埋隧道位移监测的土压力计算方法。

背景技术

[0002] 隧道变形监测是隧道施工中常见的一道施工工序,通过监测数据来复核设计松动土压力具有较大的实际工程价值。土拱效应是自然界中非常普遍的一种现象,在挡土墙、管道工程、浅埋隧道工程、桩基工程中对于土压力均有较大的影响。土力学奠基人Terzaghi对土拱效应的定义是土体应力从屈服区域转移到非屈服区域,即土体产生不均匀沉降必然伴随着土拱效应的发生。在公路或铁路浅埋隧道施工中,由于在隧道顶部进行支护以及同步注浆等因素,隧道顶部位移收到约束,隧道上部土体不均匀沉降。因而,在浅埋隧道松动土压力计算中有必要考虑土拱效应的影响。

[0003] 对于浅埋隧道松动土压力计算方法,已有文献进行报道:

[0004] 文献[1]、科技期刊:岩土工程学报,名称:盾构隧道施工松动土压力计算方法研究,上述文献认为土拱结构为下凹曲线,给出了一种考虑土拱效应的浅埋隧道松动土压力计算方法。

[0005] 文献[2]、科技期刊:岩土工程学报,名称:对“盾构隧道施工松动土压力计算方法研究”的讨论,该文献将文献[1]的方法推广到了黏性土领域。

[0006] 根据Terzaghi的活动门试验可知,土拱结构的发展如附图1所示:随着土体位移的逐渐增大,土拱结构大致经历了4种形状;1)当活动门开始移动时,土体中会形成类似与拱桥一样的上凹拱结构;2)当活动门向下移动时,上凹拱结构会演化为三角拱结构;3)随着活动门的继续下移,土体逐渐形成下凹曲线(即下凹拱结构);4)随着活动门的继续下移,土体会形成矩形拱结构。对于浅埋隧道而言,由于土体位移较大,土拱结构往往以下凹拱或者矩形拱为主。因此,文献[1]和文献[2]均未考虑土拱结构对于土体松动土压力的影响,并且上述文献均是针对单层均质土为研究对象,实际工程中往往以成层土为主,因而上述两个方法还不能直接用于工程实际。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种可以考虑土拱结构影响的浅埋隧道松动土压力计算方法。

[0008] 本发明的技术方案是:

[0009] 一种基于位移监测结果的浅埋隧道土压力计算方法,其特征在于:计算步骤包括:

[0010] (1)根据地层沉降监测结果判断土拱结构形状:

[0011] a.隧道施工监测获得隧道中部位移 δ 和两边部沉降较大值 δ_1 ;

[0012] b.计算隧道边部位移下凹拱理论值 δ'_1 ,计算公式如下:

$$[0013] \quad \delta_1 = \sqrt{\left(\frac{\delta}{2} + \frac{b_1^2}{8\delta}\right)^2 - \frac{b^2}{4}} - \left(\frac{\delta}{2} + \frac{b_1^2}{8\delta} - \delta\right)$$

[0014] 其中, b_1 等于 $b + 2h/\tan(45^\circ + \varphi_1)$, φ_1 表示隧道开挖高度内的土体加权平均内摩擦角, b 为矩形隧道宽度, h 为矩形隧道高度;

[0015] c. 判断: 当 $\delta_1 > \delta'_1$ 时, 为矩形拱; 当 $\delta_1 \leq \delta'_1$ 时, 为下凹拱;

[0016] (2) 根据土拱结构形状计算松动土压力;

[0017] a. 当土拱结构为矩形拱时, 采用下式求解松动土压力:

$$[0018] \quad \sigma_v = \frac{\frac{b_1}{2} \gamma_1 - K \tan \varphi \sigma_0}{K \tan \varphi} (1 - e^{-\frac{2K \tan \varphi h_2}{b_1}}) + (q + \gamma_2 h_1) e^{-\frac{2K \tan \varphi h_2}{b_1}}$$

[0019] 式中, γ_1 表示等沉面到隧道顶部土体加权平均重度, γ_2 表示地面到等沉面土体加权平均重度, σ_0 为粘结应力, 大小等于 $c/\tan \varphi$, c 表示等沉面距隧道顶部高度土体加权平均粘聚力, φ 表示等沉面距隧道顶部高度土体加权平均内摩擦角; q 表示地面超载, h_1 表示地面距等沉面高度, h_2 表示等沉面距隧道顶部高度, $K = \frac{3(1 - \sin^2 \varphi)}{2 + (1 + \sin \varphi)^2}$;

[0020] b. 当土拱结构判断为下凹拱结构时, 采用下式求解松动土压力:

$$[0021] \quad \begin{cases} \sigma_v = \frac{\frac{b_1}{2} \gamma_1 - A \sigma_0}{A} (1 - e^{-\frac{2A h_2}{b_1}}) + (q + \gamma_2 h_1) e^{-\frac{2A h_2}{b_1}} \\ A = \frac{3(1 - K_a) \sin 2\theta}{2[3 + \cos^2 \theta(K_a - 1)]} \\ \theta = \arcsin \frac{\frac{b_1}{2}}{\sqrt{(\frac{b_1}{2})^2 + \delta^2}} - \arctan \frac{2\delta}{b_1} \end{cases}$$

[0022] 式中, K_a 表示朗肯土压力系数, A 表示参数, θ 表示大主应力与水平面夹角。

[0023] 进一步的, 等沉面的确定方法是: 当隧道顶部覆土 $> 1.5b_1$ 时, $h_1 = 1.5b_1$; 当隧道顶部覆土 $\leq 1.5b_1$ 时, $h_1 = 0$, 且 γ_2 取值为 0。

附图说明:

[0024] 图1: 活动门试验土拱结构与地层沉降关系;

[0025] 图2: 圆弧形下凹拱结构图;

[0026] 图3: 土拱结构判断图;

[0027] 图4: 盾构隧道松动土压力理论分析图;

[0028] 图5: 隧道松动土压力分析图;

[0029] 图6: 滑动面处应力摩尔圆;

具体实施方式

[0030] 为使本发明实施的目的、技术方案和优点更加清楚, 下面将结合本发明实施例中

的附图,对本发明实施例中的技术方案进行更加详细的描述。

[0031] 本发明所提供的一种基于位移监测结果的浅埋隧道土压力计算方法,其步骤如下:

[0032] 基于地层沉降判断土拱结构形状;

[0033] 监测隧道中部位移 δ ,隧道边部位移较大值 δ_1 ;矩形隧道宽度为 b ,隧道高度为 h ; c 表示等沉面距隧道顶部高度加权平均粘聚力, φ 表示等沉面距隧道顶部高度加权平均内摩擦角;

[0034] 假定土拱结构正好为圆弧下凹拱结构,松动土体宽度为 b_1 ,其大小等于 $b+2h/\tan(45^\circ+2/\varphi_1)$, φ_1 表示隧道高度内的土体加权平均内摩擦角,根据附图2所示的几何形状可得:

$$[0035] \begin{cases} R \sin \theta + \delta = R \\ R = \frac{b_1}{2 \cos \theta} \end{cases} \quad (1)$$

[0036] 上式中,R为假定圆弧拱半径,θ为主应力与水平面夹角;

[0037] 由式(1)可求得假定圆弧拱半径R;

$$[0038] R = \frac{\delta}{2} + \frac{b_1^2}{8\delta} \quad (2)$$

[0039] 而隧道边部位移下凹拱理论值 δ'_1 为:

$$[0040] \delta'_1 = \sqrt{R^2 - (b/2)^2} - (R - \delta) \quad (3)$$

$$[0041] \delta'_1 = \sqrt{\left(\frac{\delta}{2} + \frac{b_1^2}{8\delta}\right)^2 - \frac{b^2}{4}} - \left(\frac{\delta}{2} + \frac{b_1^2}{8\delta} - \delta\right) \quad (4)$$

[0042] 判断:当 $\delta_1 > \delta'_1$ 时,为矩形拱;当 $\delta_1 \leq \delta'_1$ 时,为下凹拱;

[0043] 如附图4所示,为隧道松动土压力理论分析图。滑动面自隧道两脚部沿着与水平方向呈 $45^\circ+\varphi_1/2$ 的角度向上延伸,到达隧道顶部后,沿着竖直方向向上延伸,直到到达等沉面。在等沉面上方,土体的沉降相同,即土颗粒的相对位置不变,因而不会发生土拱现象,土体竖向应力为 $\sigma_v = \gamma z$ 。在等沉面下方到松动土压力计算面区间内,土体会产生不均匀沉降,因而土拱效应会发生。

[0044] 如附图5所示:取距离等沉面z的任一薄层单元来进行分析,微分单元体宽度为 b_1 ,高度为 dz ,上表面压力为 $\sigma_v b_1$,下表面压力为 $(\sigma_v + d\sigma_v) b_1$,自重为 $dw = \gamma_1 b_1 dz$, γ_1 表示等沉面到隧道顶部土体加权平均重度,滑动面正压力为 $\sigma_w dz$,滑动面剪力为 τdz 。根据竖向力平衡,可得下式:

$$[0045] \sigma_v b_1 + dw = (\sigma_v + d\sigma_v) b_1 + 2\tau dz \quad (5)$$

[0046] 对于下凹拱结构而言,如附图6所示,剪切应力τ大小即为ux长度,其大小为:

$$[0047] \begin{cases} \tau = A(\sigma_v + \sigma_0) \\ A = \frac{3(1-K_a)\sin 2\theta}{2[3 + \cos^2 \theta(K_a - 1)]} \end{cases} \quad (6)$$

[0048] 式中, σ_0 为粘结应力,大小等于 $c/\tan\varphi$, c 表示等沉面距隧道顶部高度土体加权平均粘聚力, φ 表示等沉面距隧道顶部高度土体加权平均内摩擦角;

[0049] 对于下凹拱结构,根据几何形状,大主应力与水平面夹角 θ 采用下式:

$$[0050] \quad \theta = \arcsin \frac{\frac{b_1}{2}}{\sqrt{\left(\frac{b_1}{2}\right)^2 + \delta^2}} - \arctan \frac{2\delta}{b_1} \quad (7)$$

[0051] 对于矩形拱结构而言,土拱效应发挥到最大化,剪切应力 τ 大小为:

$$[0052] \quad \begin{cases} \tau = K\sigma_v \tan \varphi = K(\sigma_v + \sigma_0) \tan \varphi \\ K = \frac{3(1 - \sin^2 \varphi)}{2 + (1 + \sin \varphi)^2} \end{cases} \quad (8)$$

[0053] 将式(6)和式(8)代入式(5),以及边界条件: $z=0, \sigma_v = \gamma_2 h_1 + q$,其中, z 表示等沉面下任意高度, γ_2 表示地面到等沉面土体加权平均重度, q 表示地面超载,可求得等沉面下 z 高度下的松动土压力:

$$[0054] \quad \text{下凹拱结构: } \sigma_v = \frac{\frac{b_1}{2} \gamma_1 - A\sigma_0}{A} (1 - e^{-\frac{2A}{b_1} z}) + (q + \gamma_2 h_1) e^{-\frac{2A}{b_1} z} \quad (9)$$

$$[0055] \quad \text{矩形拱结构: } \sigma_v = \frac{\frac{b_1}{2} \gamma_1 - K \tan \varphi \sigma_0}{K \tan \varphi} (1 - e^{-\frac{2K \tan \varphi}{b_1} z}) + (q + \gamma_2 h_1) e^{-\frac{2K \tan \varphi}{b_1} z} \quad (10)$$

[0056] 将 $z=h_2$ 代入式(9)(10),可得隧道顶部的松动土压力:

$$[0057] \quad \text{下凹拱结构: } \sigma_v = \frac{\frac{b_1}{2} \gamma_1 - A\sigma_0}{A} (1 - e^{-\frac{2A}{b_1} h_2}) + (q + \gamma_2 h_1) e^{-\frac{2A}{b_1} h_2} \quad (9)$$

$$[0058] \quad \text{矩形拱结构: } \sigma_v = \frac{\frac{b_1}{2} \gamma_1 - K \tan \varphi \sigma_0}{K \tan \varphi} (1 - e^{-\frac{2K \tan \varphi}{b_1} h_2}) + (q + \gamma_2 h_1) e^{-\frac{2K \tan \varphi}{b_1} h_2} \quad (10)$$

[0059] 进一步的,等沉面的判断方法是:土拱效应的范围为土拱跨度的1.5倍,即判断方法为:

[0060] 当隧道顶部覆土 $>1.5b_1$ 时, $h_1 = 1.5b_1$;

[0061] 当隧道顶部覆土 $\leq 1.5b_1$ 时, $h_1 = 0$,且 γ_2 取值为0。

[0062] 以某隧道工程为例,宽度和高度均为6m,上覆土厚度为12m,选取K1+100断面进行分析,该断面土层分布为:第1层,素填土,厚度为0.7m;第2层,由冲积、洪积作用形成的粉质黏土,可塑状,厚度为9.3m;第3层,残积层粉土,硬塑或中密,厚度为18.8m;第4层,粗砂岩全风化带,厚度为19.9m;第5层,粗砂岩强风化带,厚度为6.5m层;土工测试结果处理后求得: $\varphi_1=30^\circ$, $\varphi=23^\circ$, $c=2.7\text{Kpa}$,由此可求得土拱跨度 $b_1=12.928\text{m}$,隧道顶部覆土 $12\text{m} < 1.5b_1$,可知等沉面高度为0,土工测试结果处理后求得: $\gamma_1=15.6\text{KN/m}^3$ 。

[0063] 在施工过程中,量测隧道顶部位移,并且在隧道衬砌上部埋深土压力盒以便读取土压力,表1对比了实测结果与几种方法计算结果对比,随着施工时间的前行,隧道顶部位移也是不断增大,土拱结构由下凹拱发展为矩形拱(最后一组按照本发明方法确定为矩形拱),并且稳定在矩形拱结构上。从计算结果对比可知,本发明法较其他文献的方法可以更好地预测和计算隧道松动土压力。

[0064] 表1几种方法结果对比

[0065]

隧道边部位 移较大值	隧道中部位 移	土压力盒实 测结果	本发明计算 的结果	文献[1]计 算结果	太沙基法计 算结果	隧道上覆土 重量
3cm	5cm	192 kPa,	185.6 kPa	180.7 kPa	126.06 kPa	187.2 kPa
5cm	7cm	187.6kPa	184.9 kPa	180.1kPa		
12cm	15cm	135.8kPa	144.1 kPa	177.8 kPa		

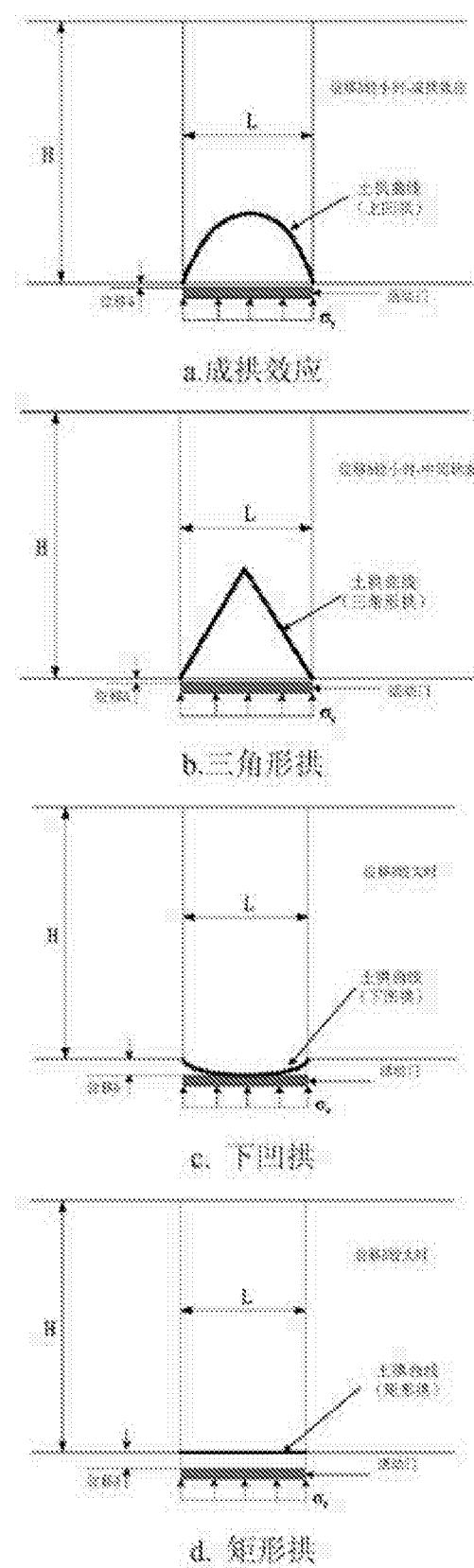


图1

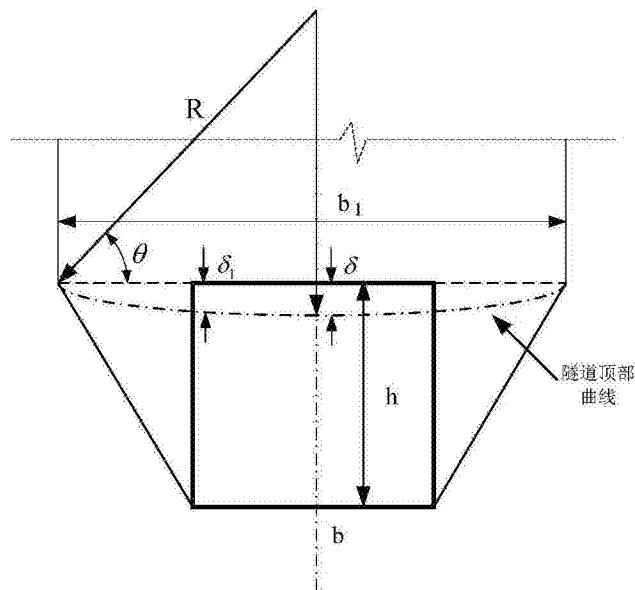


图2

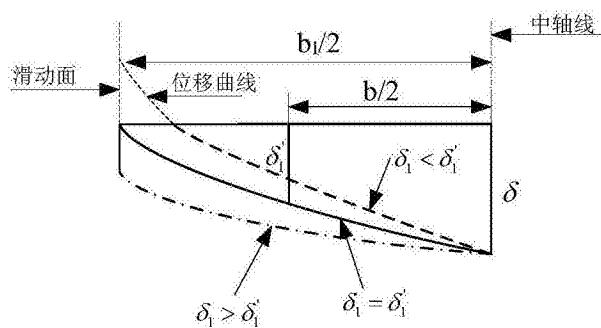


图3

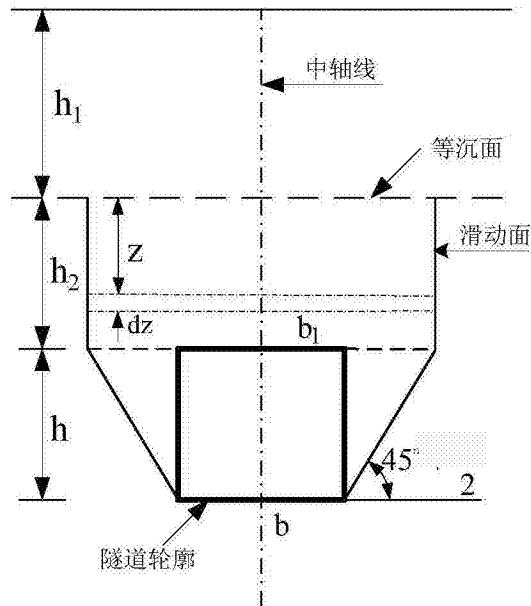


图4

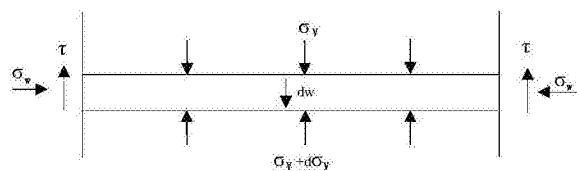


图5

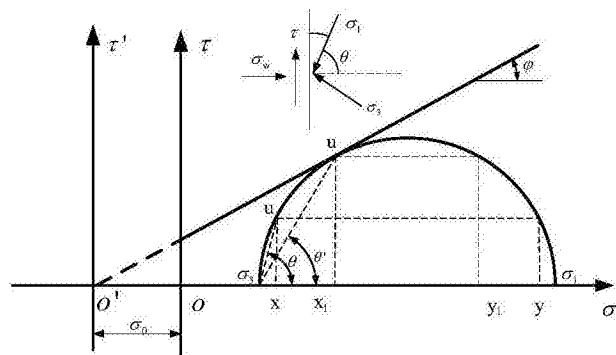


图6