

# Analysis on the Earth Pressure Change of Retaining Wall by Dewatering

Tienan Wang, Qian Lv

BGI Engineering Consultant Ltd., Beijing  
Email: wtienan@163.com

Received: Dec. 30<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jan. 12<sup>th</sup>, 2018; published: Jan. 19<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Pit excavation, dewatering and supporting have been the main problem of the excavation engineering. Effective stress increase and soil generate infiltrating-concretion along with dewatering. The article analyzes the dewatering mainly through specific engineering experiment, obtaining the dynamic changes of the values of  $c$ ,  $\phi$ , under the condition of different degrees of consolidation. According to the dynamic changes of  $c$ ,  $\phi$ , calculation and comparison of the Rankine's earth pressure and the coulomb's earth pressure, the earth pressure's properties of soil in the process of dewatering, and the limitations of earth pressure are obtained.

## Keywords

Foundation Pits Dewatering, Earth Pressure, Shear Strength

---

# 基坑降水过程挡土墙上土压力变化分析

王铁男, 吕 倩

北京市勘察设计研究院有限公司, 北京  
Email: wtienan@163.com

收稿日期: 2017年12月30日; 录用日期: 2018年1月12日; 发布日期: 2018年1月19日

---

## 摘 要

深基坑开挖、降水与支护已成为目前深基坑的主要问题, 在基坑降水过程中, 会增加土体的有效应力并使土体渗流固结。本文主要通过具体的工程试验, 对基坑降水过程分析, 在不同固结度情况下得出土体的 $c$ 、 $\phi$ 值的动态变化, 并根据这动态变化的 $c$ 、 $\phi$ 值对朗肯土压力及库仑土压力进行计算比较, 得出土体在施工降水过程中墙后土体的土压力变化特性, 及土压力的局限性说明。

## 关键词

基坑降水, 土压力, 抗剪强度

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

随着北京大规模建筑及地下工程的高速发展, 深基坑问题成为北京岩土工程的主要问题, 主要涉及深基坑支护、降水以及开挖等一系列问题。本文主要考虑受周围环境的影响和限制不具备放坡开挖条件, 在基坑开挖中只能采取支护结构来实现挡土及止水的目的[1] [2]。水土共同作用及降水后土体对挡土结构物的共同作用已成为岩土工程施工的主要重视和讨论的问题。

根据挡土墙的位移情况和填土所处的状态, 土压力主要包括静止土压力、主动土压力及被动土压力。对于含有多层地下水地区在降水前后土压力对支护结构的影响, 直接关系到基坑工程的稳定, 以致是否导致安全事故的重要因素[3] (图 1, 图 2)。

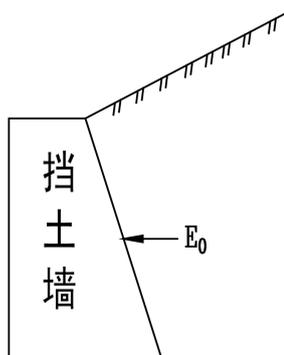


Figure 1. Static earth pressure diagram

图 1. 静止土压力示意图

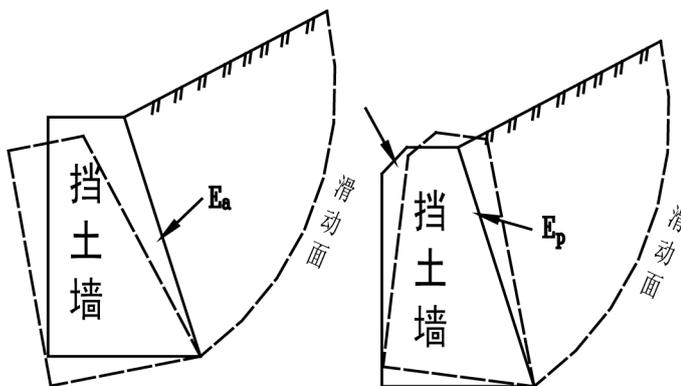


Figure 2. Active earth pressure and passive earth pressure schematic diagram

图 2. 主动土压力及被动土压力示意图

## 2. 朗肯土压力理论与库仑土压力理论

土压力计算, 实质上是土的抗剪强度理论的一种应用。主要应用弹性理论方法和经验方法。计算主动土压力和被动土压力主要应用库仑和朗肯压力理论, 或称为极限平衡理论, 以及依据这些理论发展的一些近似方法和图解方法。

$$E_0 = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_0 \quad (2-1)$$

其中  $K_0$  可通过有效内摩擦角确定。

### 2.1. 朗肯土压力理论及计算

朗肯土压力理论的基本假设条件是: 挡土墙墙背竖直、光滑, 墙后填土面水平。

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2cH \sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \quad (2-2)$$

$$\text{其中 } K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2cH \sqrt{K_p} \quad (2-3)$$

$$\text{其中 } K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

上述公式(2-2)及(2-3)分别为主动土压力及被动土压力理论公式。

### 2.2. 库仑土压力理论及计算公式

库仑土压力理论的基本假设条件是: 墙后填土是理想的散体, 也就是填土只有内摩擦角  $\phi$  而没有粘聚力  $c$ ; 挡土墙产生主动或被动土压力时, 墙后填土形成滑动土楔; 其滑裂面为通过墙踵 B (见图 3, 图 4) 的平面 BC; 滑动土楔为刚体, 即本身无变形。

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (2-4)$$

其中

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (2-5)$$

其中

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

上述公式(2-4)及(2-5)分别为主动土压力及被动土压力理论公式[4]。

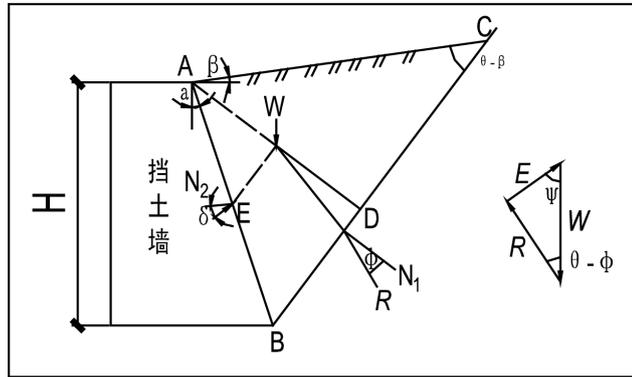


Figure 3. Coulomb active earth pressure  
图 3. 库仑主动土压力计算图

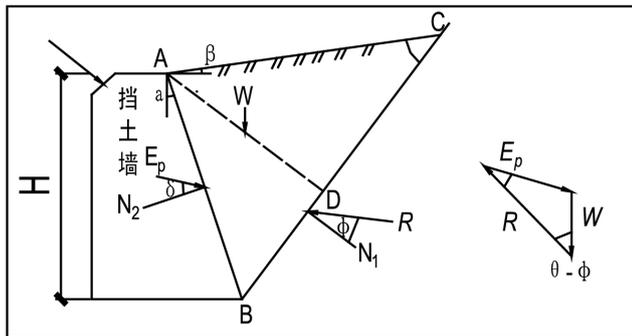


Figure 4. Calculation diagram of coulomb passive earth pressure  
图 4. 库仑被动土压力计算图

### 2.3. 影响参数分析

据公式(2-1)~(2-5)可知, 影响土压力大小参数主要为挡土墙高度  $H$ 、墙后填土重度  $\gamma$ 、墙后填土的粘聚力  $c$  及内摩擦角  $\phi$  等; 在实际工程中, 挡土墙后的填土经常会全部或者部分处于地下水水位以下, 具体表现在: 地下水以下填土重量将因受到水的浮力而减小, 计算土压力时用浮重度  $\gamma'$ ; 由于地下水的存在将使土的含水率增加, 抗剪强度降低, 而使土压力增大; 地下水对墙背产生静水压力[2]。其次土体本身的排水时间及渗透系数也是对有效应力由重要影响的因素。

### 3. 施工降水中土体参数变化

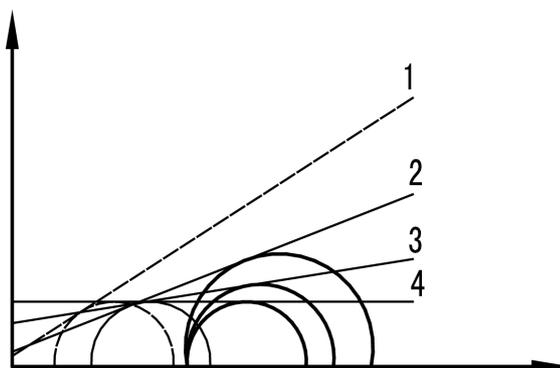
深基坑降水的过程可将基坑侧壁土体视为由不固结排水过程逐渐变为固结不排水过程。当降水强度时间为  $t$  时, 土体固结度  $U_t$  ( $0 < U_t < 100\%$ ), 其抗剪强度线见图 5 [5]。

基坑在降水的过程中, 引起基坑土体  $c$ 、 $\phi$  值的变化。等同于土体在一个  $\gamma_w \cdot \Delta H$  压力下渗透固结过程, 其  $c$ 、 $\phi$  值也相当于从不固结不排水剪(UU,  $U_t = 0$ ), 逐步转变到固结不排水剪(CU,  $U_t = 100$ )的过程。

任意固结度  $U_t$  时, 土体的不排水剪强度  $c$ 、 $\phi$  值的推导如下:

大主应力公式:

$$\sigma_{1n} = \frac{2[\sigma_c(1+A) + \Delta\sigma_3 \cdot (U_t + A)] \tan \phi'_{cu} + (\sigma_c + \Delta\sigma_3) \tan \left(45 - \frac{\phi'_{cu}}{2}\right) + 2c'}{2A \tan \phi'_{cu} + \tan \left(45 - \frac{\phi'_{cu}}{2}\right)} \quad (3-1)$$



1-有效应力强度线; 2-固结不排水强度线; 3-任意固结度  $U_i$  不排水剪切强度线; 4-不排水剪切强度线

**Figure 5.** The undrained shear strength of saturated clay soil at any consolidation period

**图 5.** 饱和粘性土任意固结度时不排水

式中:  $A$ —孔隙水压力系数, 由固结不排水(CU)剪切试验结果求出,  $A = u_a/q_a$ ;

$\phi'_{cu}$ —由固结不排水(CU)剪切试验确定的有效内摩擦角;

$c'$ —由固结不排水(CU)剪切试验确定的有效粘聚力。

同时将大小主应力代入极限平衡表达式  $\tau = \sigma \tan \phi + c$ , 得到固结度为  $U_i$  时的土体抗剪强度指标  $c_t$ 、 $\phi_t$  为:

$$c_t = \frac{[\sigma_{1a} \cdot \Delta\sigma_3 - (\sigma_{1n} - \sigma_{1a}) \cdot \sigma_c] \cdot \sqrt{(\sigma_{1n} - \sigma_{1a}) / \Delta\sigma_3}}{2(\sigma_{1n} - \sigma_{1a})} \quad (3-2)$$

$$\phi_t = 2 \arctan \sqrt{\frac{\sigma_{1n} - \sigma_{1a}}{\Delta\sigma_3}} - 90^\circ \quad (3-3)$$

根据某工程在地下 5 m 深度范围内采取的 2 块取样进行固结不排水剪(CU)试验, 计算出土体在不同固结度  $U_i$  时的, 结果如表 1。

由以上结果可见, 基坑降水后, 基坑土体的有效应力增加, 引起土体排水渗透固结, 从而使基坑土体的  $c$ 、 $\phi$  值发生变化[5]。

#### 4. 土压力变化理论计算比较

根据以上分析, 分别取  $U_i = 15$ 、30、45 时  $c$ 、 $\phi$  变化值, 代入(2-1)~(2-3)公式中得出各种情况下朗肯土压力理论下土压力变化值如表 2。

将上述成果代入(2-4)~(2-5)公式中得出各种情况下库仑土压力理论下土压力变化值如表 3。

以上计算设计条件均相同, 挡土墙高度  $H = 6$  m, 土的重度  $\gamma = 19$  kN/m<sup>3</sup>, 地下水位按 3 m 考虑, 地下水类型为潜水。当按照库仑土压力理论计算时  $\delta = 10^\circ$ ,  $\alpha = -20^\circ$ ,  $\beta = 10^\circ$ , 以上结果仅作为本次假设条件进行计算分析, 在进行挡土墙压力计算时, 必须合理注意针对实际情况进行选择。

#### 5. 结论

通过对以上理论公式及选有针对性的工程问题进行分析, 可得出以下结论:

1) 从表 2 及表 3 可以看出, 在施工降水的过程中主动土压力是减小的变化过程, 而被动土压力则是增大的过程。这与李广信老师《基坑支护结构上水土压力的分算与合算》[6]相吻合。

**Table 1.** The values of  $c$ ,  $\phi$  in soil at any  $U_i$   
**表 1.** 不同固结度  $U_i$  时土体的  $c$ ,  $\phi$  计算值

$U_i$	15	30	45	60	80	95
$c$	89	69	52	38	23	11
$\phi$	6.4	12.3	17.1	21.2	25.5	29.1

**Table 2.** Rankine's earth pressure change value  
**表 2.** 朗肯土压力变化值

土压力(kPa)		$U_i$	15	30	45
		$E_0$	70.8	57.5	46.0
$E_a$	无粘性土		51.9	37.5	27.6
	粘性土		-33.3	4.22	28.5
$E_p$	无粘性土		185.0	256.0	347.2
	粘性土		356.3	366.9	384.7

**Table 3.** Coulomb's earth pressure change value  
**表 3.** 库仑土压力变化值

土压力(kPa)		$U_i$	15	30	45
		$E_a$	无粘性土	47.6	18.9
$E_p$	无粘性土		385.1	1562.8	4209.5

2) 由表 1 知, 在基坑降水后, 其  $c$ 、 $\phi$  值并不是同时提高, 只是土体抗剪强度总体呈提高趋势。

3) 深基坑降水后, 基坑土体的有效应力增加, 土体的  $c$  值在开始时减少较快, 而后趋于较缓地减少; 而土体的  $\phi$  值是开始增加较快, 而后趋于平缓的增加。故在施工设计阶段要合理的选择降水时间参数。

4) 库仑土压力把土体中的滑动面假定为平面, 而实际上滑动面却是曲面, 这种平面滑动面的假定使计算出来的土压力(特别是被动土压力)存在很大误差。因此在实际计算中不用库仑公式计算被动土压力。

### 参考文献 (References)

- [1] 罗勇, 龚晓南, 吴瑞潜. 考虑渗流效应下基坑水土压力计算的新方法[J]. 浙江大学学报, 2007, 41(1): 157-160.
- [2] 汤连生, 黄国怡, 杜赢中. 考虑地下水渗流的基坑水压力计算新图式[J]. 岩土力学, 2004, 25(4): 565-570.
- [3] 胡中雄. 土压力与环境土工学[M]. 北京: 同济大学出版社, 1997.
- [4] 杨平. 土力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] 刘之葵, 曹平, 梁金成. 深基坑降水过程中土体  $c$ 、 $\phi$  值的动态变化[J]. 工业建筑, 2006, 36(zl): 654-657.
- [6] 李广信. 基坑支护结构上水土压力的分算与合算[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(3): 348-352.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)