

30-K2018-S01

支墩稳定性计算程序使用说明

(1.0 版)



中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司

工程设计综合资质甲级 A131000025 工程勘察综合类甲级 B131000025

2019 年 6 月 上海

支墩稳定性计算程序使用说明

(1.0 版)

批 准:  2019.6.17
审 核:  吴集 2019.6.14
校 核:  2019.6.10
编 制: 朱建龙 单云迪 2019.6.1

目录

一、编制依据.....1

1.1 软件开发任务书.....1

1.2 依据规程1

1.3 运行环境1

1.4 适用条件1

1.5 初始配置参数.....2

1.6 软件概述2

1.7 软件安装和使用方法.....2

二、滑动支墩计算说明.....7

2.1 计算模型7

2.2 计算参数7

2.3 计算过程8

2.4 计算示例9

三、固定支墩计算说明.....11

3.1 计算模型11

3.2 计算参数11

3.3 计算过程12

3.4 计算示例17

四、转角支墩计算说明.....19

4.1 计算模型19

4.2 计算参数19

4.3 计算过程20

4.4 计算示例22

一、编制依据

1.1 软件开发任务书

项目名称“支墩稳定性计算程序”，项目编号：30-K2018-S01。

1.2 依据规程

《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010（2015 版）
《建筑地基基础设计规范》GB 50001-2011
《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012
《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068-2018
《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013
《火力发电厂水工设计规范》DL/T 5339-2018
《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069-2002

1.3 运行环境

- 1) 硬件配置：目前主流计算机配置
- 2) 软件配置：WIN7、WIN8、WIN10 64 位操作系统
- 3) 软件大小：24.7MB，占用空间 26.0MB

1.4 适用条件

本软件适用于天然地基条件下灰管、补给水管及循环水管等水管支墩的稳定性计算。

1.5 初始配置参数

素混凝土容重 γ_c : 24kN/m³

钢筋混凝土容重 γ_c : 25kN/m³

灰管支墩抗滑稳定性安全系数 K_s : 1.05

灰管支墩抗倾覆稳定性安全系数 K_o : 1.10

水管支墩抗滑稳定性安全系数 K_s : 1.30

水管支墩抗倾覆稳定性安全系数 K_o : 1.50

被动土压力折减系数 β_p : 0.3

以上参数为软件初始默认参数, 经过修改保存后再次打开软件将采用用户修改后的值。

1.6 软件概述

目前, 水管支墩、灰管支墩等的承载力计算、抗滑稳定性和抗倾覆稳定性计算均为人工手算, 速度较慢、效率较低, 且计算书格式编制不统一。为提高设计效率, 进一步实施标准化, 编制本支墩稳定性计算程序。

软件计算项目包括三种类型的支墩: 滑动支墩、固定支墩和转角支墩。针对每种支墩, 均可进行地基承载力验算、抗滑稳定性验算和抗倾覆稳定性验算, 最后生成格式统一的计算书。

1.7 软件安装和使用方法

解压后双击文件夹中的“支墩稳定性计算程序.exe”程序即可运行软件。桌面快捷方式建立的方法为: 选中“支墩稳定性计算程序.exe”并右键, 选择发送到->桌面快捷方式。

tcl	2018/11/23 16:38	文件夹	
_bz2.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	62 KB
_ctypes.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	105 KB
_hashlib.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	1,120 KB
_lzma.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	133 KB
_socket.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	51 KB
_ssl.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	1,685 KB
_tkinter.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	40 KB
_win32sysloader.pyd	2018/11/27 14:31	PYD 文件	8 KB
a.gif	2018/12/26 9:33	GIF 文件	4 KB
a.ico	2019/1/10 11:25	ICO 文件	134 KB
b.gif	2018/12/26 9:32	GIF 文件	5 KB
c.gif	2018/12/26 9:32	GIF 文件	5 KB
pyexpat.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	166 KB
PyStability.log	2018/12/26 9:51	文本文档	1 KB
python34.dll	2018/12/26 9:50	应用程序扩展	3,950 KB
pywintypes34.dll	2018/11/27 14:31	应用程序扩展	127 KB
select.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	11 KB
tcl86t.dll	2013/11/24 19:13	应用程序扩展	1,555 KB
tk86t.dll	2013/11/24 19:14	应用程序扩展	1,898 KB
unicodedata.pyd	2014/3/16 19:25	PYD 文件	745 KB
win32api.pyd	2018/11/27 14:31	PYD 文件	122 KB
支墩稳定性计算程序.exe	2018/12/26 9:50	应用程序	3,893 KB
支墩稳定性计算程序使用说明.pdf	2019/1/9 9:50	Adobe Acrobat ...	263 KB

软件采用图形用户界面，进入程序后在第一个选项卡“基础参数”中选择支墩类型，根据不同的计算模式输入不同的参数。可以根据界面左侧的参数名称以及右侧的图形示意输入数据。在第二个选项卡“材料与土层参数”中输入混凝土、水管材料与土层相关的参数。首先通过下拉列表选择混凝土材料和管道材料，然后根据需要输入土层的数量，按“回车”或界面上的“确认”确认土层数量。为了能够方便地进行地基承载力修正计算，避免输入过多参数，土层类型需要人为判断后选择相应类型。考虑某些工况无需进行地基承载力修正，在“土层类型”中提供一个“不进行地基承载力修正”的选项。最后点击右下方的“支墩稳定性计算”按钮进行计算，计算结束后自动弹出计算结果。

支墩稳定性计算

文件 帮助

基础参数 材料及土层参数

☒ 滑动支墩

☐ 固定支墩

☐ 转角支墩 (暂无抗倾覆验算)

地面标高 h_s (m)	0.0
基础顶标高 h_f (m)	0.05
地下水位埋深 d_w (m)	1.0
基础长 l (m)	4.3
基础宽 b (m)	1.5
基础高 h (m)	0.65
孔洞长 h_l (m)	4.3
孔洞宽 h_b (m)	0.2
孔洞高 h_h (m)	0.3
基础与土摩擦系数 μ	0.3
支墩竖向荷载 (不含自重) F_v (kN)	30
支墩水平荷载 F_h (kN)	10
管道中心到支墩顶面距离 h_c (m)	0.18

打开 保存 另存为 关闭

支墩稳定性计算

支墩稳定性计算

文件 帮助

基础参数 材料及土层参数

☒ 滑动支墩

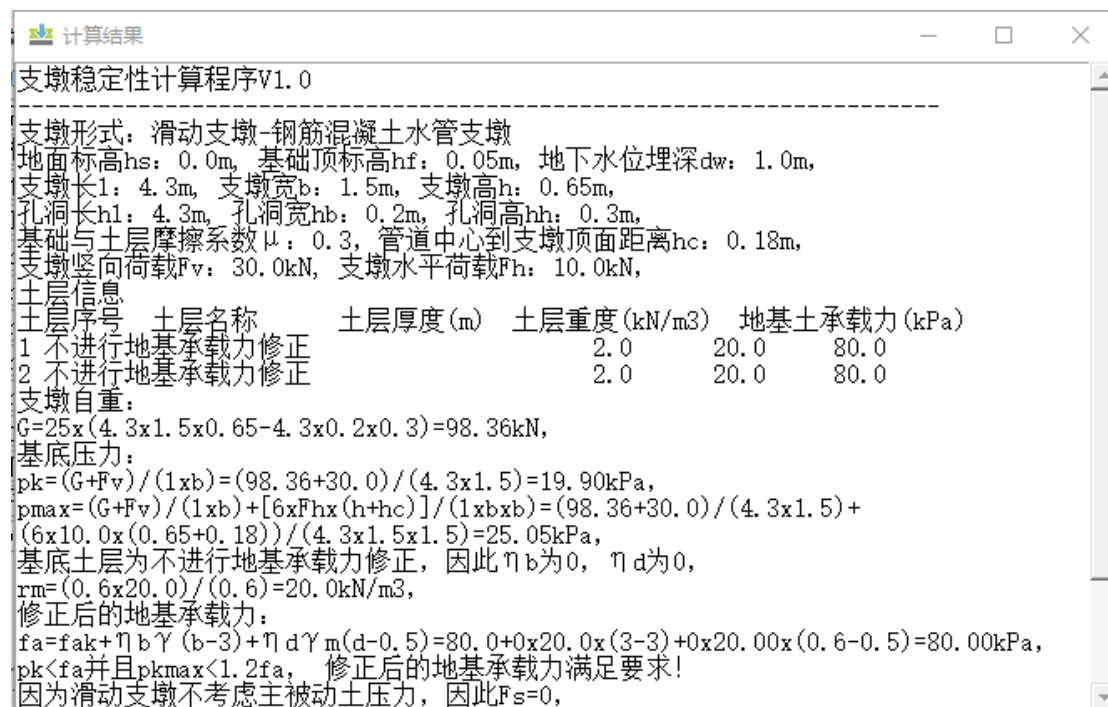
☐ 固定支墩

☐ 转角支墩 (暂无抗倾覆验算)

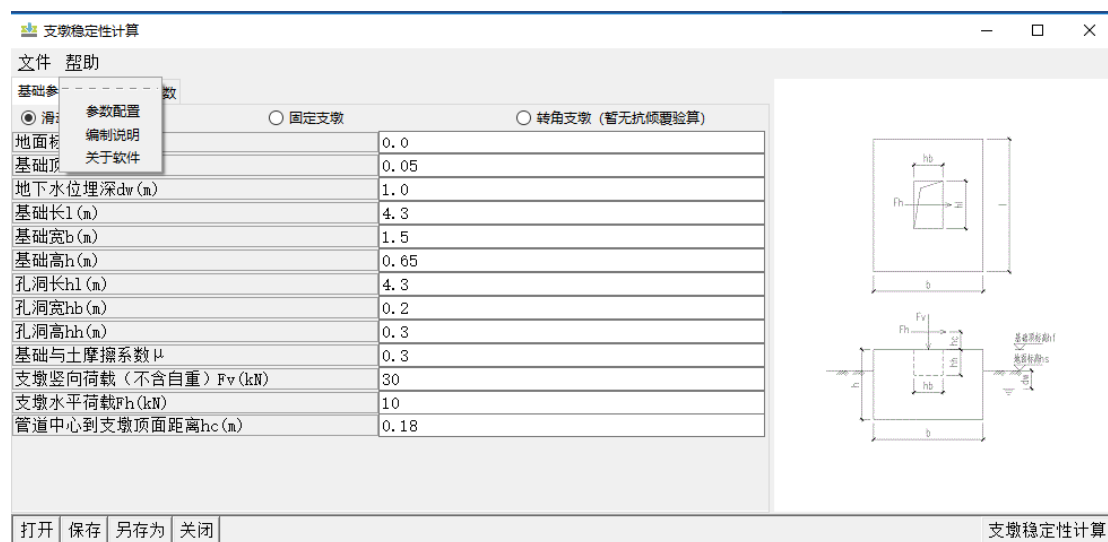
地面标高 h_s (m)	0.0
基础顶标高 h_f (m)	0.05
地下水位埋深 d_w (m)	1.0
基础长 l (m)	4.3
基础宽 b (m)	1.5
基础高 h (m)	0.65
孔洞长 h_l (m)	4.3
孔洞宽 h_b (m)	0.2
孔洞高 h_h (m)	0.3
基础与土摩擦系数 μ	0.3
支墩竖向荷载 (不含自重) F_v (kN)	30
支墩水平荷载 F_h (kN)	10
管道中心到支墩顶面距离 h_c (m)	0.18

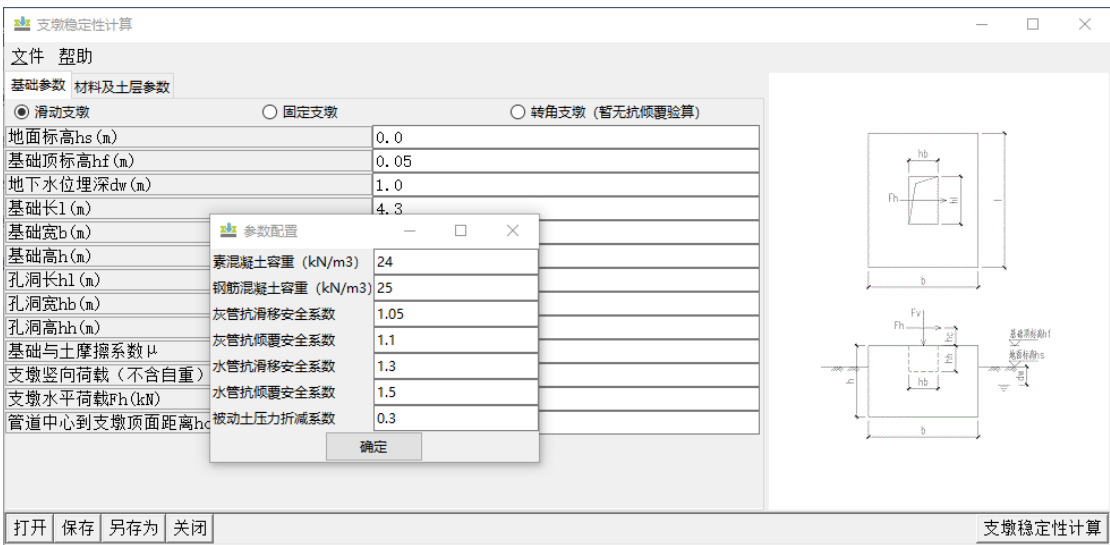
打开 保存 另存为 关闭

支墩稳定性计算

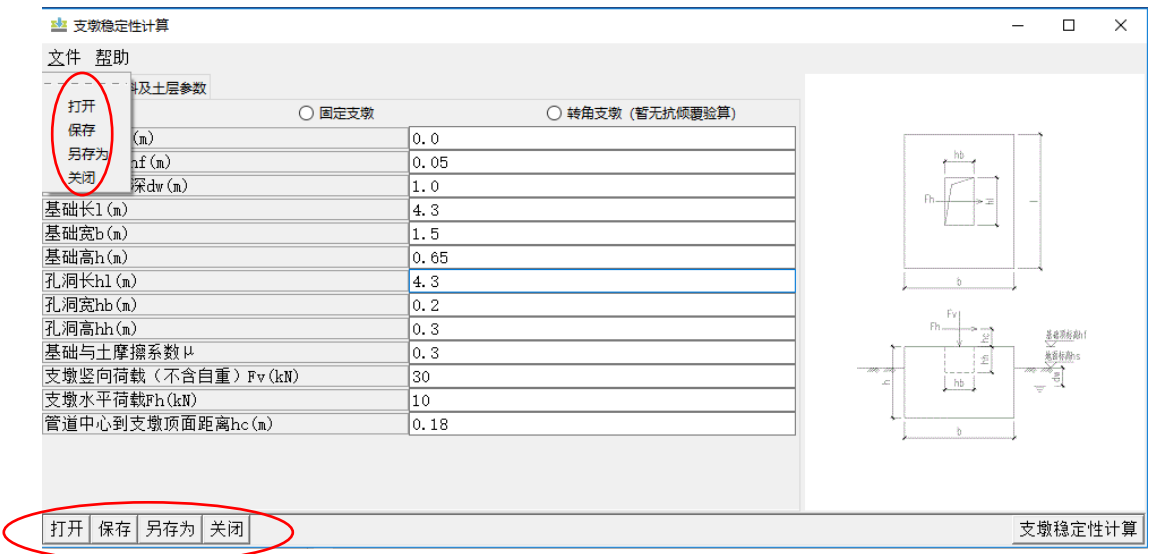


对于 1.5 节中的基本参数, 可通过菜单栏->帮助->参数配置进行修改。



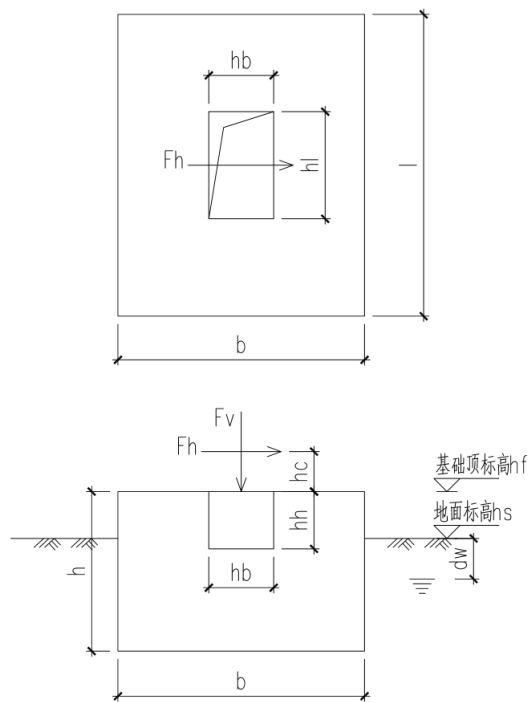


软件支持常规的打开、保存和另存为操作,可以保存数据以供重复打开使用。



二、滑动支墩计算说明

2.1 计算模型



2.2 计算参数

h_s —地面标高 (m);

h_f —基础顶标高 (m);

d_w —地下水位埋深 (m);

l —支墩长 (m);

b —支墩宽 (m);

h —支墩高 (m);

h_l —孔洞长 (m);

h_b —孔洞宽 (m);

h_h —孔洞高 (m);

μ —基础与土层摩擦系数;

h_c —管道中心到支墩顶面距离 (m);

F_v —支墩竖向荷载 (kN);

F_h —支墩水平荷载 (kN);

γ —土层重度 (kN/m³);

f_{ak} —地基土承载力特征值 (kPa);

f_a —修正后的地基承载力特征值 (kPa);

2.3 计算过程

滑动支墩计算时不考虑主被动土压力,地基承载力修正考虑设计地下水位的影
响,所以支墩自重也考虑地下水浮力。

(1) 支墩自重 G 的计算:

混凝土容重为 γ_c , 见 1.5 节

工况一: 当地下水位高于基底时, 即 $h_s - d_w > h_f - h$,:

①当地下水位高于基础顶面, 即 $h \leq h + h_s - h_f - d_w$:

$$G = (\gamma_c - 10) \times 1 \times b \times h - \gamma_c \times h_l \times h_b \times h_h$$

②当地下水位低于基础顶面, 即 $h > h + h_s - h_f - d_w$:

$$G = \gamma_c \times 1 \times b \times (d_w + h_f - h_s) - \gamma_c \times h_l \times h_b \times h_h + (\gamma_c - 10) \times 1 \times b \times (h_s - d_w - h_f + h)$$

工况二: 当地下水位低于基底, 即 $h_s - d_w \leq h_f - h$:

$$G = \gamma_c \times (l \times b \times h - h_l \times h_b \times h_h)$$

(2) 基底压力 p_k , $p_{k\max}$ 的计算:

$$p_k = \frac{G_1 + F_v}{l \times b}, \quad p_{k\max} = \frac{G_1 + F_v}{l \times b} + \frac{6 \times F_h \times (h + h_c)}{l \times b^2}$$

(3) 侧向抵抗土压力 F_s 的计算:

因为滑动支墩不考虑主被动土压力, 所以 $F_s=0$,

(4) 抗滑移稳定性安全系数 K_s 的计算:

$$K_s = \frac{G \times \mu}{F_h - F_s}$$

(5) 抗倾覆稳定性安全系数 K_o 的计算:

$$K_o = \frac{G \times b / 2}{F_h \times (h_c + h)}$$

(6) 地基承载力修正计算:

根据《建筑地基基础设计规范》GB50007-2010 第 5.2.4 条进行计算。

2.4 计算示例

支墩稳定性计算程序 V1.0

支墩形式: 滑动支墩-素混凝土灰管支墩

地面标高 h_s : 0.0m, 基础顶标高 h_f : 0.05m, 地下水位埋深 d_w : 1.0m,

支墩长 l : 4.3m, 支墩宽 b : 1.5m, 支墩高 h : 0.65m,

孔洞长 h_l : 4.3m, 孔洞宽 h_b : 0.2m, 孔洞高 h_h : 0.3m,

基础与土层摩擦系数 μ : 0.3, 管道中心到支墩顶面距离 h_c : 0.18m,

支墩竖向荷载 F_v : 30.0kN, 支墩水平荷载 F_h : 10.0kN,

土层信息

土层序号	土层名称	土层厚度(m)	土层重度(kN/m ³)	地基土承载力(kPa)
1	人工填土、e 或 IL 大于等于 0.85 的黏性土	2.0	20.0	80.0

2 红黏土 $a_w \leq 0.8$	2.0	20.0	80.0
3 人工填土、e 或 IL 大于等于 0.85 的黏性土	2.0	20.0	80.0

支墩自重:

$$G=24 \times (4.3 \times 1.5 \times 0.65 - 4.3 \times 0.2 \times 0.3) = 94.43 \text{ kN},$$

基底压力:

$$p_k = (G + F_v) / (l \times b) = (94.43 + 30.0) / (4.3 \times 1.5) = 19.29 \text{ kPa},$$

$$p_{\max} = (G + F_v) / (l \times b) + [6 \times F_h \times (h + h_c)] / (l \times b \times b) = (94.43 + 30.0) / (4.3 \times 1.5) + \\ (6 \times 10.0 \times (0.65 + 0.18)) / (4.3 \times 1.5 \times 1.5) = 24.44 \text{ kPa},$$

基底土层为人工填土、e 或 IL 大于等于 0.85 的黏性土, 因此 η_b 为 0, η_d 为 1,

$$r_m = (0.6 \times 20.0) / (0.6) = 20.0 \text{ kN/m}^3,$$

修正后的地基承载力:

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b - 3) + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) = 80.0 + 0 \times 20.0 \times (3 - 3) + 1 \times 20.00 \times (0.6 - 0.5) = 82.00 \text{ kPa},$$

修正后的地基承载力满足要求!

因为不考虑主被动土压力, 因此 $F_s = 0$,

抗滑移稳定性验算:

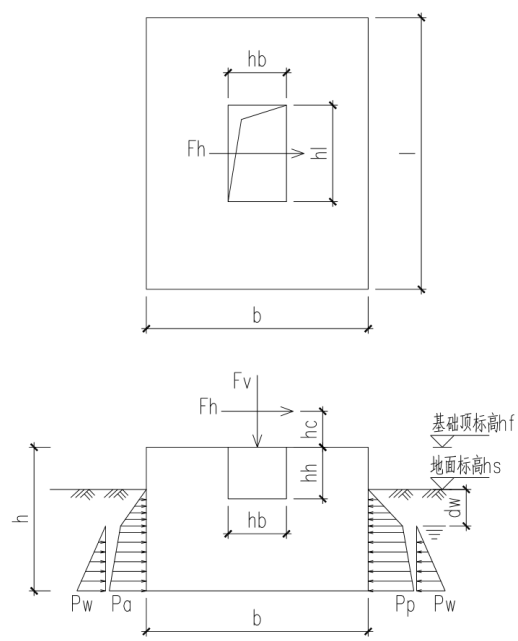
$$K_s = G \mu / (F_h - F_s) = 94.43 \times 0.3 / (10.0 - 0.00) = 2.83 > 1.05, \text{ 满足要求!}$$

抗倾覆稳定性验算:

$$K_o = (G b / 2) / (F_h (h_c + h)) = (94.43 \times 1.5 / 2) / (10.0 \times (0.18 + 0.65)) = 8.53 > 1.1, \text{ 满足要求!}$$

三、固定支墩计算说明

3.1 计算模型



3.2 计算参数

h_s -地面标高 (m);

h_f -基础顶标高 (m);

d_w -地下水位埋深 (m);

l -支墩长 (m);

b -支墩宽 (m);;

h -支墩高 (m);

h_l -孔洞长 (m);

h_b —孔洞宽 (m);

h_h —孔洞高 (m);

γ_s —回填土重度;

φ —回填土内摩擦角

μ —基础与土层摩擦系数;

h_c —管道中心到支墩顶面距离 (m);

F_v —支墩竖向荷载 (kN);

F_h —支墩水平荷载 (kN);

F_s —侧向抵抗土压力 (kN);

γ —土层重度 (kN/m³);

f_{ak} —地基土承载力特征值 (kPa);

f_a —修正后的地基承载力特征值 (kPa);

k_a —主动土压力系数;

k_p —被动土压力系数;

3.3 计算过程

(1) 主被动土压力系数 k_a , k_p 的计算:

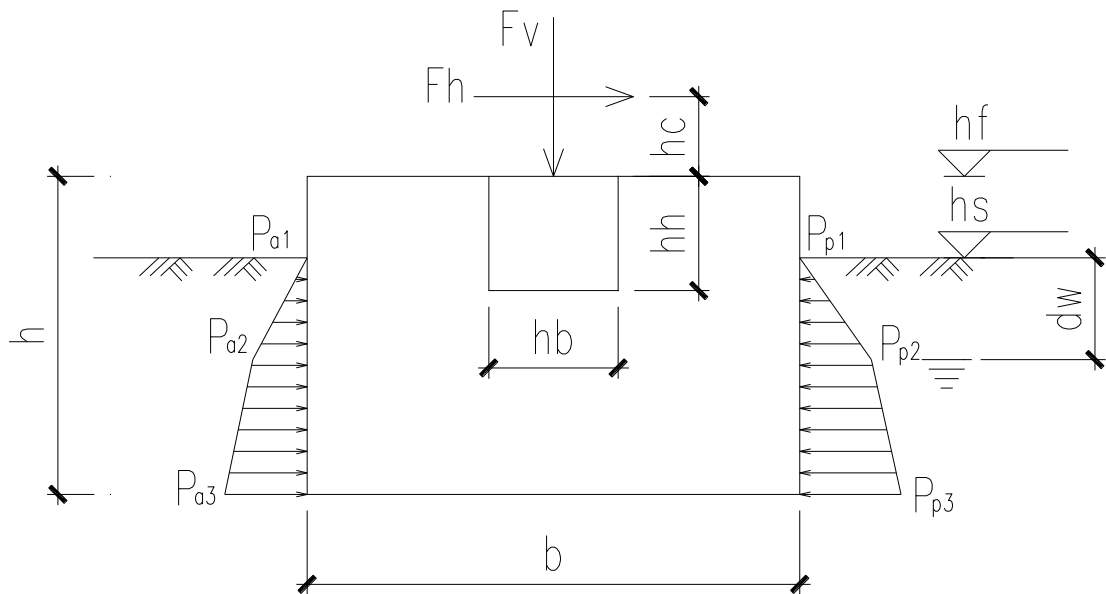
$$k_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}), \quad k_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \times \beta_p, \quad \beta_p \text{ 的取值详见 1.4 节}$$

(2) 侧向抵抗土压力 F_s 的计算:

采用水土分算, 水压力相互抵消, 地下水位以下土重度取 10kN/m³,

工况一: 当支墩顶面标高高于地面标高时:

① 当地下水位高于基底时, 即 $h_f \geq h_s$, $d_w < h - h_f + h_s$;



$$\sigma_1 = P_{p1} - P_{a1} = 0$$

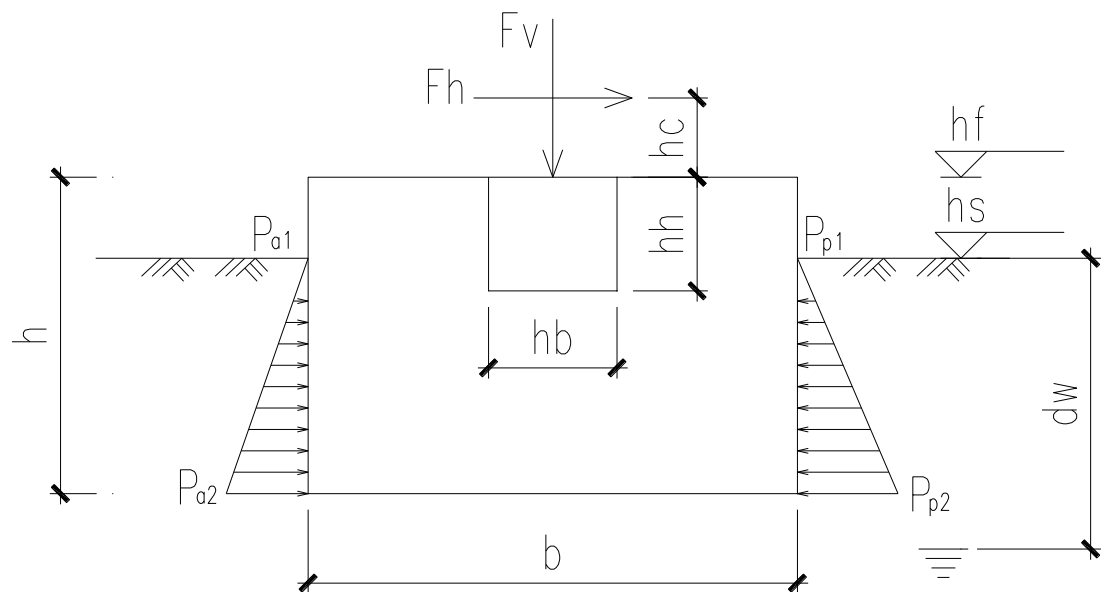
$$\sigma_2 = P_{p2} - P_{a2} = \gamma_s \times d_w \times (k_p - k_a)$$

$$\sigma_3 = P_{p3} - P_{a3} = \gamma_s \times d_w \times (k_p - k_a) + 10 \times (h - d_w - h_f + h_s) \times (k_p - k_a)$$

合力为

$$F_s = \frac{1}{2} \times (\sigma_1 + \sigma_2) \times l \times d_w + \frac{1}{2} \times (\sigma_2 + \sigma_3) \times l \times (h - d_w - h_f + h_s)$$

②当地下水位低于基底时, 即 $h_f \geq h_s$, $d_w \geq h - h_f + h_s$:



$$\sigma_1 = P_{p1} - P_{a1} = 0$$

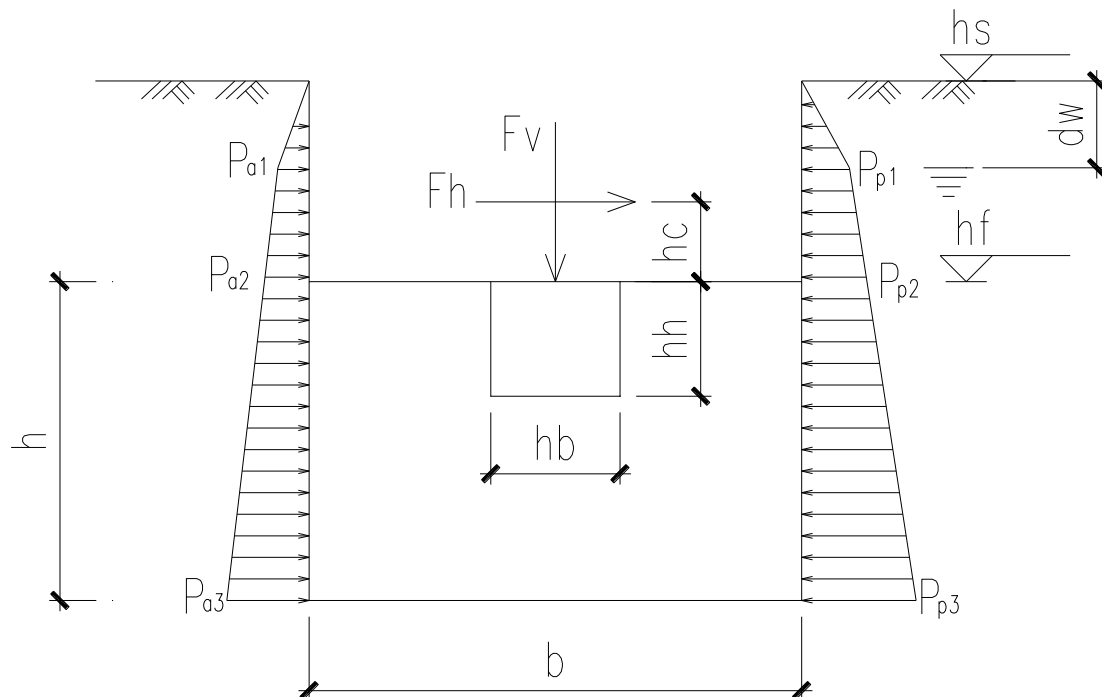
$$\sigma_2 = P_{p2} - P_{a2} = 0\gamma_s \times (h - h_f + h_s) \times (k_p - k_a)$$

合力为

$$F_s = \frac{1}{2} \times (\sigma_1 + \sigma_2) \times l \times (h - h_f + h_s)$$

工况二：当支墩顶面标高低于地面标高时：

① 当地下水位高于基础顶，即 $h_f < h_s$ ， $d_w \leq h_s - h_f$ ：



$$\sigma_1 = P_{p1} - P_{a1} = \gamma_s \times d_w \times (k_p - k_a)$$

$$\sigma_2 = P_{p2} - P_{a2} = \gamma_s \times d_w \times (k_p - k_a) + 10 \times (h_s - d_w - h_f) \times (k_p - k_a)$$

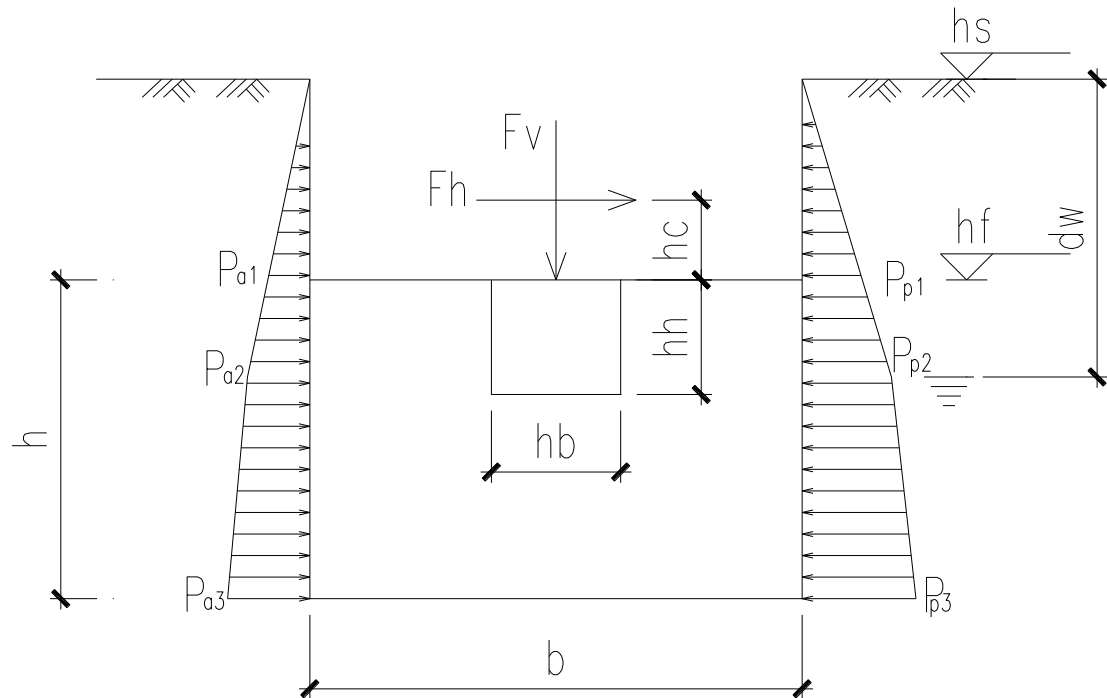
$$\sigma_3 = P_{p3} - P_{a3} = \gamma_s \times d_w \times (k_p - k_a) + 10 \times (h_s - d_w - h_f + h) \times (k_p - k_a)$$

合力为

$$F_s = \frac{1}{2} \times (\sigma_2 + \sigma_3) \times l \times h$$

② 当地下水位低于基础顶面但高于基底时，即 $h_f < h_s$ ，

$$h + h_s - h_f > d_w > h_s - h_f；$$



$$\sigma_1 = P_{p1} - P_{a1} = \gamma_s \times (h_s - h_f) \times (k_p - k_a)$$

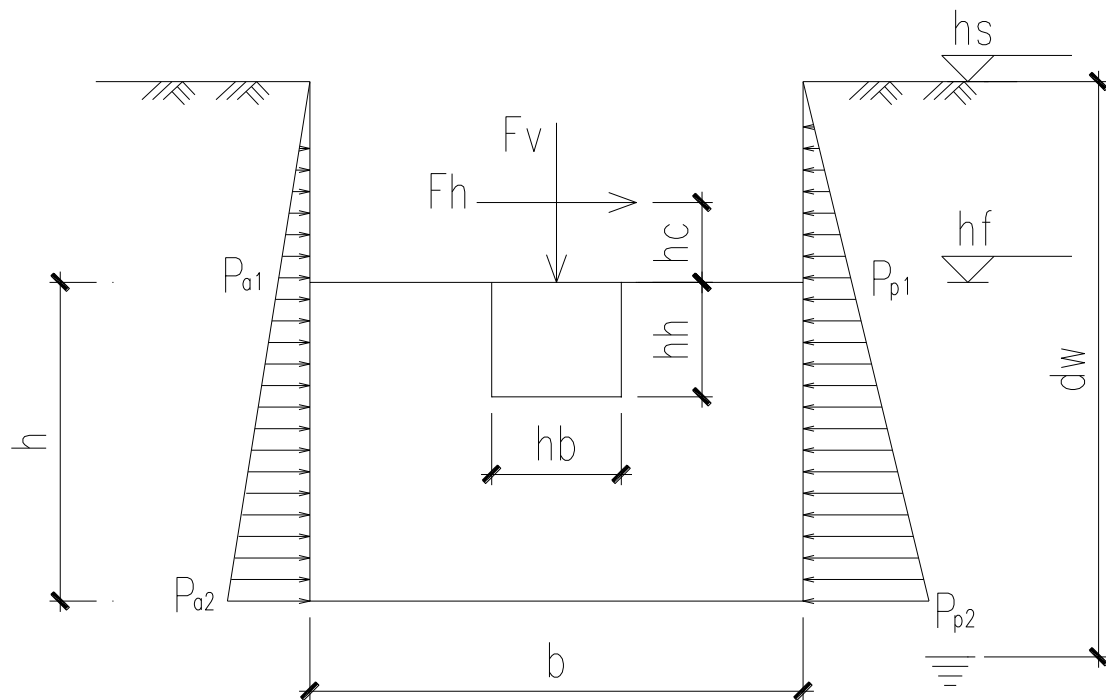
$$\sigma_2 = P_{p2} - P_{a2} = \gamma_s \times d_w \times (k_p - k_a)$$

$$\sigma_3 = P_{p3} - P_{a3} = \gamma_s \times d_w \times (k_p - k_a) + 10 \times (h_s - h_f + h - d_w) \times (k_p - k_a)$$

合力为

$$F_s = \frac{1}{2} \times (\sigma_1 + \sigma_2) \times l \times (d_w - h_s + h_f) + \frac{1}{2} \times (\sigma_2 + \sigma_3) \times l \times (h - d_w + h_s - h_f)$$

③ 当地下水位低于基底时, 即 $h_f < h_s$, $d_w \geq h + h_s - h_f$;



$$\sigma_1 = P_{p1} - P_{a1} = \gamma_s \times (h_s - h_f) \times (k_p - k_a)$$

$$\sigma_2 = P_{p2} - P_{a2} = \gamma_s \times (h + h_s - h_f) \times (k_p - k_a)$$

合力为

$$F_s = \frac{1}{2} \times (\sigma_1 + \sigma_2) \times l \times h$$

(3) 支墩自重 G 的计算:

混凝土容重为 γ_c , 见 1.5 节。因地基承载力修正考虑了地下水位的影响, 因此支墩自重 G 计算时也考虑地下水浮力的影响,

工况一: 当地下水位高于基底时, 即 $h_s - d_w > h_f - h$:

①当地下水位高于基础顶面时, 即 $h \leq h + h_s - h_f - d_w$:

$$G = (\gamma_c - 10) \times 1 \times b \times h - \gamma_c \times h_l \times h_b \times h_h$$

②当下水位低于基础顶面时, 即 $h > h + h_s - h_f - d_w$:

$$G = \gamma_c \times 1 \times b \times (d_w + h_f - h_s) - \gamma_c \times h_l \times h_b \times h_h + (\gamma_c - 10) \times 1 \times b \times (h_s - d_w - h_f + h)$$

工况二: 当地下水位低于基底时, 即 $h_s - d_w \leq h_f - h$:

$$G = \gamma_c \times (1 \times b \times h - h_l \times h_b \times h_h)$$

(4) 基底压力 p_k , $p_{k\max}$ 的计算:

$$p_k = \frac{G + F_v}{l \times b}, \quad p_{k\max} = \frac{G + F_v}{l \times b} + \frac{6 \times F_h \times (h + h_c)}{l \times b^2}$$

(5) 抗滑移稳定性安全系数 K_s 的计算:

$$K_s = \frac{G \times \mu}{F_h - F_s}$$

(6) 抗倾覆稳定性安全系数 K_o 的计算:

计算时不考虑被动土压力的有利影响 $K_o = \frac{G \times b / 2}{F_h \times (h_c + h)}$

(7) 地基承载力修正:

根据《建筑地基基础设计规范》GB500007-2010 第 5.2.4 条进行计算。

3.4 计算示例

支墩稳定性计算程序 V1.0

支墩形式: 固定支墩-素混凝土灰管支墩

地面标高 h_s : 2.22m, 基础顶标高 h_f : 2.043m, 地下水位埋深 dw : 1.0m,

支墩长 l : 9.5m, 支墩宽 b : 9.5m, 支墩高 h : 3.5m,

孔洞长 h_l : 0.0m, 孔洞宽 h_b : 0.0m, 孔洞高 h_h : 0.0m,

回填土重度 r_s : 18.0 (kN/m³), 回填土内摩擦角 ϕ : 20.0, 基础与土层摩擦系数 μ : 0.35,

支墩竖向荷载 F_v : 0.0kN, 支墩水平荷载 F_h : 1810.0kN, 管道中心到支墩顶面距离 h_c : 0.235m,

土层信息

土层序号	土层名称	土层厚度 (m)	土层重度 (kN/m ³)	地基土承载力 (kPa)
1	人工填土、e 或 IL 大于等于 0.85 的黏性土	2.0	20.0	80.0
2	人工填土、e 或 IL 大于等于 0.85 的黏性土	2.0	20.0	80.0

3 人工填土、e 或 IL 大于等于 0.85 的黏性土 2.0 20.0 80.0

支墩自重:

$$G=24 \times [9.5 \times 9.5 \times (3.5+1.0-3.677)-0.0 \times 0.0 \times 0.0] + (24-10) \times 9.5 \times 9.5 \times (3.677-1.0) = 5165.01 \text{ kN},$$

基底压力:

$$p_k = (G + F_v) / (l \times b) = (5165.01 + 0.0) / (9.5 \times 9.5) = 57.23 \text{ kPa},$$

$$p_{\max} = (G + F_v) / (l \times b) + [6 \times F_h \times (h + h_c)] / (l \times b \times b) = (5165.01 + 0.0) / (9.5 \times 9.5) + (6 \times 1810.0 \times (3.5 + 0.235)) / (9.5 \times 9.5 \times 9.5) = 104.54 \text{ kPa},$$

基底土层为人工填土、e 或 IL 大于等于 0.85 的黏性土, 因此 η_b 为 0, η_d 为 1,

$$r_m = (1.0 \times 20.0 + 1.0 \times 10.0 + 1.68 \times 10.0) / (1.0 + 1.0 + 1.68) = 12.72 \text{ kN/m}^3,$$

修正后的地基承载力:

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b-3) + \eta_d \gamma_m (d-0.5) = 80.0 + 0 \times 10.0 \times (6-3) + 1 \times 12.72 \times (3.677-0.5) = 120.41 \text{ kPa},$$

修正后的地基承载力满足要求!

$$k_a = \tan^2(45 - 20.0/2) = 0.49,$$

$$k_p = 0.3 \times \tan^2(45 + 20.0/2) = 0.61,$$

$$k_p - k_a = 0.61 - 0.49 = 0.12,$$

$$h_f < h_s \text{ 并且 } h_s - h_f < d_w < h + h_s - h_f,$$

$$\sigma_1 = 18.0 \times (2.22 - 2.043) \times 0.12 = 0.39 \text{ kPa},$$

$$\sigma_2 = 18.0 \times 1.0 \times 0.12 = 2.19 \text{ kPa},$$

$$\sigma_3 = 18.0 \times 1.0 \times 0.12 + 10 \times (2.22 - 2.043 + 3.5 - 1.0) \times 0.12 = 5.44 \text{ kPa},$$

$$F_s = 0.5 \times (0.39 + 2.19) \times 9.5 \times (1.0 - 2.22 + 2.043) + 0.5 \times (2.19 + 5.44) \times 9.5 \times (3.5 - 1.0 + 2.22 - 2.043) = 107.12 \text{ kN},$$

抗滑移稳定性验算:

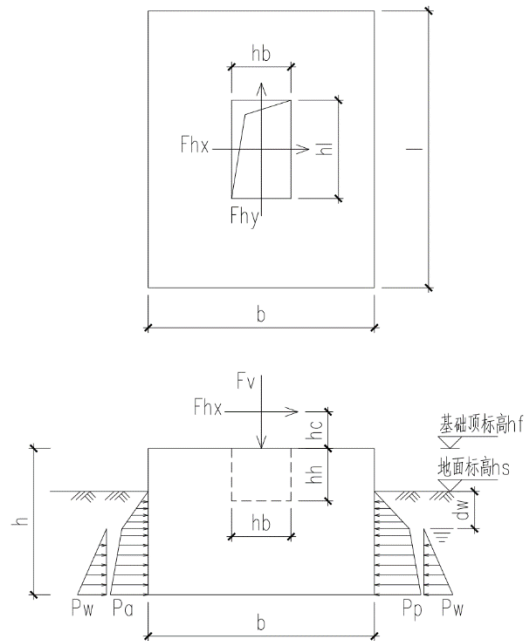
$$K_s = G \mu / (F_h - F_s) = 5165.01 \times 0.35 / (1810.0 - 107.12) = 1.06 > 1.05, \text{ 满足要求!}$$

抗倾覆稳定性验算:

$$K_o = (G b / 2) / (F_h (h_c + h)) = (5165.01 \times 9.5 / 2) / (1810.0 \times (0.235 + 3.5)) = 3.63 > 1.1, \text{ 满足要求!}$$

四、转角支墩计算说明

4.1 计算模型



4.2 计算参数

h_s —地面标高 (m);

h_f —基础顶标高 (m);

d_w —地下水位埋深 (m);

l —支墩长 (m);

b —支墩宽 (m);;

h —支墩高 (m);

h_l —孔洞长 (m);

h_b —孔洞宽 (m);

h_h —孔洞高 (m) ;

γ_s —回填土重度;

φ —回填土内摩擦角

μ —基础与土层摩擦系数;

h_c —管道中心到支墩顶面距离 (m) ;

F_v —支墩竖向荷载 (kN);

F_{hx} —支墩 x 向水平荷载 (kN);

F_{hy} —支墩 y 向水平荷载 (kN);

F_{sx} —x 向侧向抵抗土压力 (kN);

F_{sy} —y 向侧向抵抗土压力 (kN);

γ —土层重度 (kN/m³);

f_{ak} —地基土承载力特征值 (kPa);

f_a —修正后的地基承载力特征值 (kPa);

k_a —主动土压力系数;

k_p —被动土压力系数;

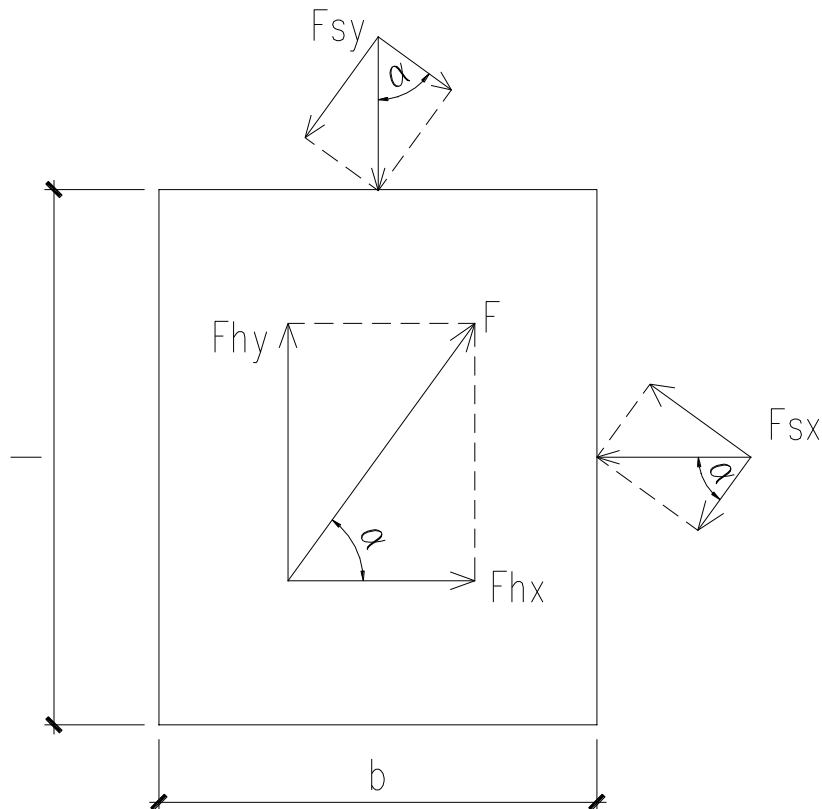
4.3 计算过程

转角支墩承受来自 x, y 两个方向的水平力 F_{hx} 和 F_{hy} , 且合力方向不垂直于任何支墩的一条边。其计算过程中: 主被动土压力系数 k_a 和 k_p 、侧向抵抗土压力 F_{sx} 和 F_{sy} 、支墩自重 G、基底压力 p_k 、地基承载力修正值 f_a 的计算均与固定支墩相同, 详见 3.3 节。

(1) 基底压力 p_{kmax} 的计算:

$$p_{k\max} = \frac{G + F_v}{l \times b} + \frac{6 \times F_{hx} \times (h + h_c)}{l \times b^2} + \frac{6 \times F_{hy} \times (h + h_c)}{b \times l^2}$$

(2) 抗滑移稳定性安全系数 K_s 的计算:



转角支墩承受的合力: $F_h = \sqrt{F_{hx}^2 + F_{hy}^2}$

与基础宽度 b 方向的夹角为 $\alpha = \arctan(F_{hy} / F_{hx})$

侧向抵抗土压力合力 $F_s = F_{sy} \sin \alpha + F_{sx} \cos \alpha$

抗滑移稳定性安全系数 $K_s = \frac{G \times \mu}{F_h - F_s}$

(6) 抗倾覆稳定性安全系数 K_o 的计算:

转角支墩由于承受来自两个方向的水平力, 抗倾覆计算较为复杂, 因此软件不考虑转角支墩的抗倾覆计算。

4.4 计算示例

支墩稳定性计算程序 V1.0

支墩形式: 转角支墩-钢筋混凝土水管支墩

地面标高 h_s : 2.22m, 基础顶标高 h_f : 2.043m, 地下水位埋深 d_w : 1.0m,

支墩长 l : 9.5m, 支墩宽 b : 9.5m, 支墩高 h : 3.5m,

孔洞长 h_l : 0.0m, 孔洞宽 h_b : 0.0m, 孔洞高 h_h : 0.0m,

回填土重度 r_s : 18.0 (kN/m³), 回填土内摩擦角 ϕ : 20.0, 基础与土层摩擦系数 μ : 0.35,

支墩竖向荷载 F_v : 50.0kN, 支墩 x 向水平荷载 F_{hx} : 810.0kN, 支墩 y 向水平荷载 F_{hy} : 1000.0kN, 管道中心到支墩顶面距离 h_c : 0.235m,

土层信息

土层序号	土层名称	土层厚度 (m)	土层重度 (kN/m ³)	地基土承载力 (kPa)
------	------	----------	---------------------------	--------------

1	不进行地基承载力修正	2.0	20.0	80.0
---	------------	-----	------	------

2	不进行地基承载力修正	2.0	20.0	80.0
---	------------	-----	------	------

支墩自重:

$$G=25 \times [9.5 \times 9.5 \times (3.5+1.0-3.677)-0.0 \times 0.0 \times 0.0] + (25-10) \times 9.5 \times 9.5 \times (3.677-1.0) = 5480.88 \text{ kN},$$

基底压力:

$$p_k = (G + F_v) / (l \times b) = (5480.88 + 50.0) / (9.5 \times 9.5) = 61.28 \text{ kPa},$$
$$p_{\max} = (G + F_v) / (l \times b) + [6 \times F_{hx} \times (h + h_c)] / (l \times b \times b) + [6 \times F_{hy} \times (h + h_c)] / (b \times l \times l) \\ = (5480.88 + 50.0) / (9.5 \times 9.5) + (6 \times 810.0 \times (3.5 + 0.235)) / (9.5 \times 9.5 \times 9.5) + (6 \times 1000.0 \times (3.5 + 0.235)) / (9.5 \times 9.5 \times 9.5) = 108.59 \text{ kPa},$$

基底土层为不进行地基承载力修正, 因此 η_b 为 0, η_d 为 0,

$$r_m = (1.0 \times 20.0 + 1.0 \times 10.0 + 1.68 \times 10.0) / (1.0 + 1.0 + 1.68) = 12.72 \text{ kN/m}^3,$$

修正后的地基承载力:

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b-3) + \eta_d \gamma_m (d-0.5) = 80.0 + 0 \times 10.0 \times (6-3) + 0 \times 12.72 \times (3.677-0.5) = 80.00 \text{ kPa},$$
$$p_{k\max} > 1.2 f_a,$$

修正后的地基承载力不满足要求!

$$k_a = \tan^2(45 - 20.0/2) = 0.49,$$

$$k_p = 0.3 \times \tan^2(45 + 20.0/2) = 0.61,$$

$$k_p - k_a = 0.61 - 0.49 = 0.12,$$

x 向侧向抵抗土压力:

$$h_f < h_s \text{ 并且 } h_s - h_f < d_w < h + h_s - h_f,$$

$$\sigma_1 = 18.0 \times (2.22 - 2.043) \times 0.12 = 0.39 \text{ kPa},$$

$$\sigma_2 = 18.0 \times 1.0 \times 0.12 = 2.19 \text{ kPa},$$

$$\sigma_3 = 18.0 \times 1.0 \times 0.12 + 10 \times (2.22 - 2.043 + 3.5 - 1.0) \times 0.12 = 5.44 \text{ kPa},$$

$$F_s = 0.5 \times (0.39 + 2.19) \times 9.5 \times (1.0 - 2.22 + 2.043) + 0.5 \times (2.19 + 5.44) \times 9.5 \times (3.5 - 1.0 + 2.22 - 2.043) = 107.12 \text{ kN},$$

y 向侧向抵抗土压力:

$$h_f < h_s \text{ 并且 } h_s - h_f < d_w < h + h_s - h_f,$$

$$\sigma_1 = 18.0 \times (2.22 - 2.043) \times 0.12 = 0.39 \text{ kPa},$$

$$\sigma_2 = 18.0 \times 1.0 \times 0.12 = 2.19 \text{ kPa},$$

$$\sigma_3 = 18.0 \times 1.0 \times 0.12 + 10 \times (2.22 - 2.043 + 3.5 - 1.0) \times 0.12 = 5.44 \text{ kPa},$$

$$F_s = 0.5 \times (0.39 + 2.19) \times 9.5 \times (1.0 - 2.22 + 2.043) + 0.5 \times (2.19 + 5.44) \times 9.5 \times (3.5 - 1.0 + 2.22 - 2.043) = 107.12 \text{ kN},$$

$$x, y \text{ 方向水平力的合力 } F_h = (810.00 \times 810.00 + 1000.00 \times 1000.00)^{0.5} = 1286.90 \text{ kN}$$

$$\sin \alpha = F_{hy} / F_h = 1000.0 / 1286.90 = 0.78$$

$$\cos \alpha = F_{hx} / F_h = 810.0 / 1286.90 = 0.63$$

$$\text{侧向抵抗土压力的合力为 } F_s = F_{sys} \sin \alpha + F_{sxc} \cos \alpha \\ = 107.12 \times 0.78 + 107.12 \times 0.63 = 150.66 \text{ kN}$$

抗滑移稳定性验算:

$$K_s = G \mu / (F_h - F_s) = 5480.88 \times 0.35 / (1286.9 - 150.66) = 1.69 > 1.3, \text{ 满足要求!}$$