

加筋挡土墙设计软件 ReinforcedSoilWall

使用说明书

建研地基基础工程有限责任公司

2026

免责声明

加筋挡土墙设计软件（ReinforcedSoilWall）在开发阶段经过了严格的测试，软件提供了详尽的计算过程表达，但用户应该清楚在程序的准确性或可靠性方面，开发者未做任何直接或者暗示性担保，使用者必须了解程序的假定并在正式应用前独立核查结果，对于软件在使用过程中的疑难问题应该及时和开发者联系。

联系人：陈伟

联系电话：(010)-64694958

目录

第 1 章	软件概况	1
1.1	功能	1
1.2	运行环境	1
第 2 章	用户界面	2
2.1	菜单栏	2
2.1.1	文件菜单	3
2.1.2	帮助菜单	4
2.1.3	生成计算书	4
2.1.4	生成施工图	4
2.2	工具栏	4
2.3	状态栏	4
2.4	图形平台	5
第 3 章	操作步骤	6
3.1	设计流程	6
3.2	数据输入	7
3.2.1	基本参数	7
3.2.2	水土载荷	8
3.2.3	加筋区域	9
3.3	设计明细	10
3.3.1	未加筋挡墙整体稳定验算	10
3.3.2	加筋区域初始设计	11
3.3.3	筋材强度验算	12
3.3.4	筋材抗拔稳定验算	13
3.3.5	抗水平滑动稳定验算	13
3.3.6	抗倾覆稳定验算	14
3.3.7	地基承载力验算	15
3.3.8	加筋后整体稳定验算	16
3.3.9	筋材力调整设计	16
3.4	计算书	18
3.5	施工图	19

3.6 操作优势	19
第 4 章 技术条件	20
4.1 内部稳定分析（应力分析法）	21
4.1.1 基本假定	21
4.1.2 普通情况下的郎肯土压力	22
4.1.3 倾斜坡面的主动土压力折减	22
4.1.4 坡顶填土的处理	23
4.1.5 荷载与水层的处理	24
4.1.6 K_i 的取值	24
4.1.7 筋材强度验算	25
4.1.8 筋材抗拔稳定验算	26
4.2 外部稳定分析（楔体平衡分析法）	27
4.2.1 基本假定	27
4.2.2 第一破裂角和主动土压力	28
4.2.3 复杂边界条件下的主动土压力	29
4.2.4 主动土压力作用点	29
4.2.5 抗水平滑移稳定验算	30
4.2.6 抗倾覆稳定验算	32
4.2.7 地基承载力验算	33
4.3 整体稳定分析	35
4.3.1 基本原理	35
4.3.2 复杂情况下的整稳分析	36
4.3.3 加筋后的结构稳定	37
4.4 土压力	38
参考文献	40
附 录	41

第1章 软件概况

1.1 功能

ReinforcedSoilWall 软件是加筋挡土墙设计软件，主要功能如下：

1、软件是根据最新颁布的《土工合成材料应用技术规范》（GB/T50290-2014）、《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2013）和《公路路基设计手册》、《公路加筋土设计规范》（JTJ015-91）等众多挡墙专业领域设计参考文献，联合研究编制而成，可进行加筋挡土墙和加筋土坡的设计计算，包括未加筋结构整体稳定验算、加筋区域初始设计、加筋强度验算、抗拔稳定验算、抗水平滑动稳定验算、抗倾覆稳定验算、地基承载力验算、抗深层滑动稳定验算等内容。

2、软件对于计算结果，均提供了图文并茂的 rtf 格式的计算书，计算书可以导入到 Microsoft Word 软件中，供用户详细检查和修改计算过程。

3、软件可导出详细的施工图纸，可直接与 AutoCAD 对接。用户可以将软件的图形成果通过 dxf 文件导入到 AutoCAD 中，进一步修改和丰富设计成果。

1.2 运行环境

ReinforcedSoilWall 软件是 Windows 应用程序，可以在 Windows XP、Windows 7、Windows 10 和 Windows11 操作系统下运行。

软件的最佳分辨率：dpi=120，即是标准字体 dpi=96 的 1.25 倍，在 Windows XP 下的设置对话框如图 1 所示。

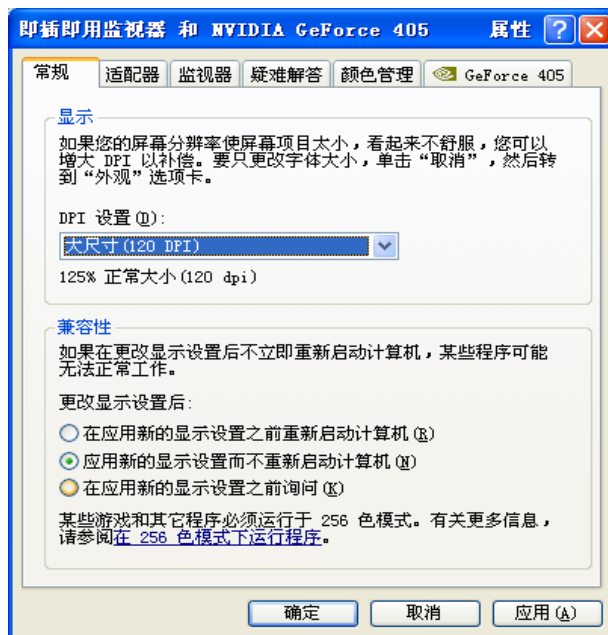


图 1 电脑属性调试页

第2章 用户界面

软件界面友好简练，操作简单。采用表格输入参数，整齐美观，一目了然。主窗口分为两大区域，图形输出区（左侧）和参数输入区（右侧），使输入输出极大的显示在了一个界面里，省掉了很多繁琐的操作。基本界面详见图 2。

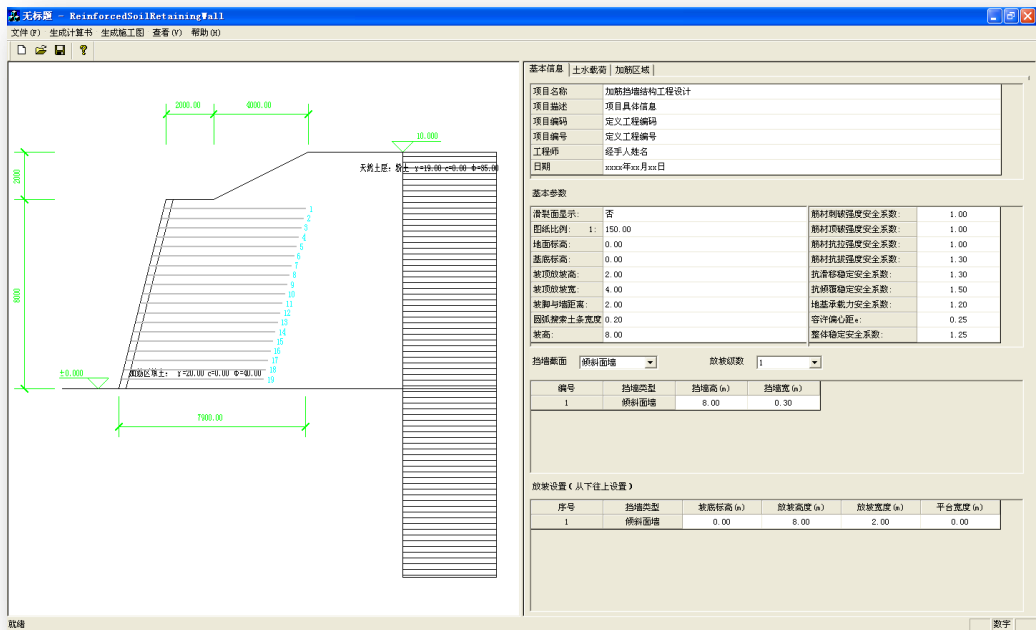


图 2 程序主界面

可以看到，界面还包含了菜单栏、工具栏和状态栏等部分。下面就对这些部分的基本操作进行简要介绍。

2.1 菜单栏

软件菜单栏包含常规的文件操作，如打开和保存等操作。还包含了本软件非常重要的两个功能，一个功能是将计算结果自动生成为计算书供复制到其他地方使用，另一个是自动生成图纸供用户在 AutoCAD 中修改。下面来具体介绍各菜单的具体功能。

依据图 3 可以看到菜单栏除了常见几个菜单之外，还增加了生成计算书菜单和生成施工图菜单。

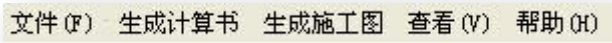


图 3 菜单栏

2.1.1 文件菜单

点击文件菜单即出现图 4 所示的下拉菜单：



图 4 文件下拉菜单

选项说明如下：

新建	重新建立一个新的工程，之前界面的数据全部恢复默认值
打开	新打开一个已经存盘的工程，用该工程的数据覆盖之前界面数据
保存	保存当前工程数据到文件，如果第一次保存该工程，将会弹出另存为对话框以设置保存路径
另存为	将当前工程重新保存到其他路径或者保存为其他名称
退出	退出软件

文件菜单还列出了最近打开文件列表。

软件只能将工程数据保存为扩展名为 `reinfor` 格式的文件，同理只能打开扩展名为 `reinfor` 格式的文件，如图 5 所示。

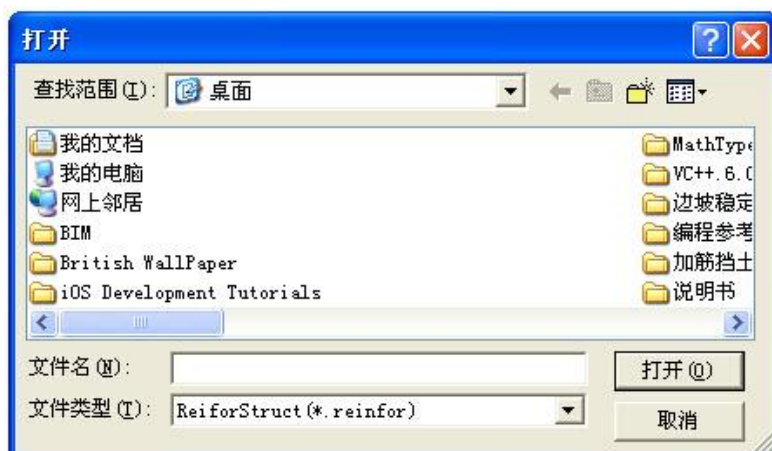


图 5 文件保存

2.1.2 帮助菜单

包括关于软件信息和使用说明。

2.1.3 生成计算书

当设计并且完成所有工程验算之后，点击此菜单栏将会弹出由该模块的计算生成的计算书对话框，并允许用户对计算书进行修改复制等操作。在计算书上点击鼠标右键便可弹出图 6 所示菜单。



图 6 计算书工具条

2.1.4 生成施工图

当完成设计验算之后，单击此菜单按钮会弹出由本软件自动生成的施工图，用户可以通过保存为 dxf 文件，在 AutoCAD 中进行修善。

2.2 工具栏

包含新建、打开、保存和关于按钮。如图 7 所示：



图 7 工具栏

其功能与 Windows 系统标准操作功能一致。

2.3 状态栏

包含 Windows 系统标准状态提示，如大小写切换、数字小键盘锁定等。

2.4 图形平台

在主窗口左边区域是图形显示区，该区域主要用于同步显示输入输出参数图示，让用户对输入输出参数有个视觉上的感受和对设计的整体把握，便于检查问题和设计革新。在该区域点击鼠标右键会弹出操作菜单，如图 8 所示。

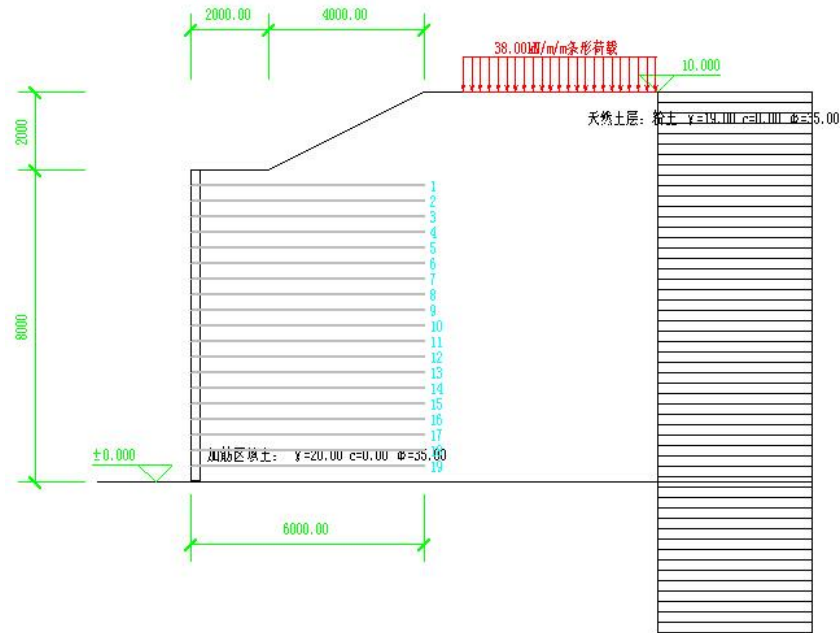


图 8 图形编辑窗口

具体操作说明如下表：

显示全图	将当前图形充满屏幕
显示前屏	显示前一屏幕的图形
窗口放大	将当前图形的窗口选择部分充满屏幕
缩小一半	将当前屏幕图形缩小一半显示
放大一倍	将当前屏幕图形放大一半显示
实时平移	按下鼠标让屏幕图形随鼠标位置同步移动
打印设置	打开打印设置对话框
打印预览	打印前进行效果预览
打印	打印显示图形
转成 DXF	转换为 CAD 文件格式
拷贝到剪贴板	拷贝到系统剪贴板

第3章 操作步骤

双击安装目录【默认为：C:\Program Files\建研地基基础工程有限责任公司\加筋挡土墙设计软件】下的 ReinforcedSoilWall.exe 文件，启动软件。

软件的左侧区域显示了加筋挡土墙的设计计算简图，右侧区域则显示了用户数据输入等相关界面。

3.1 设计流程

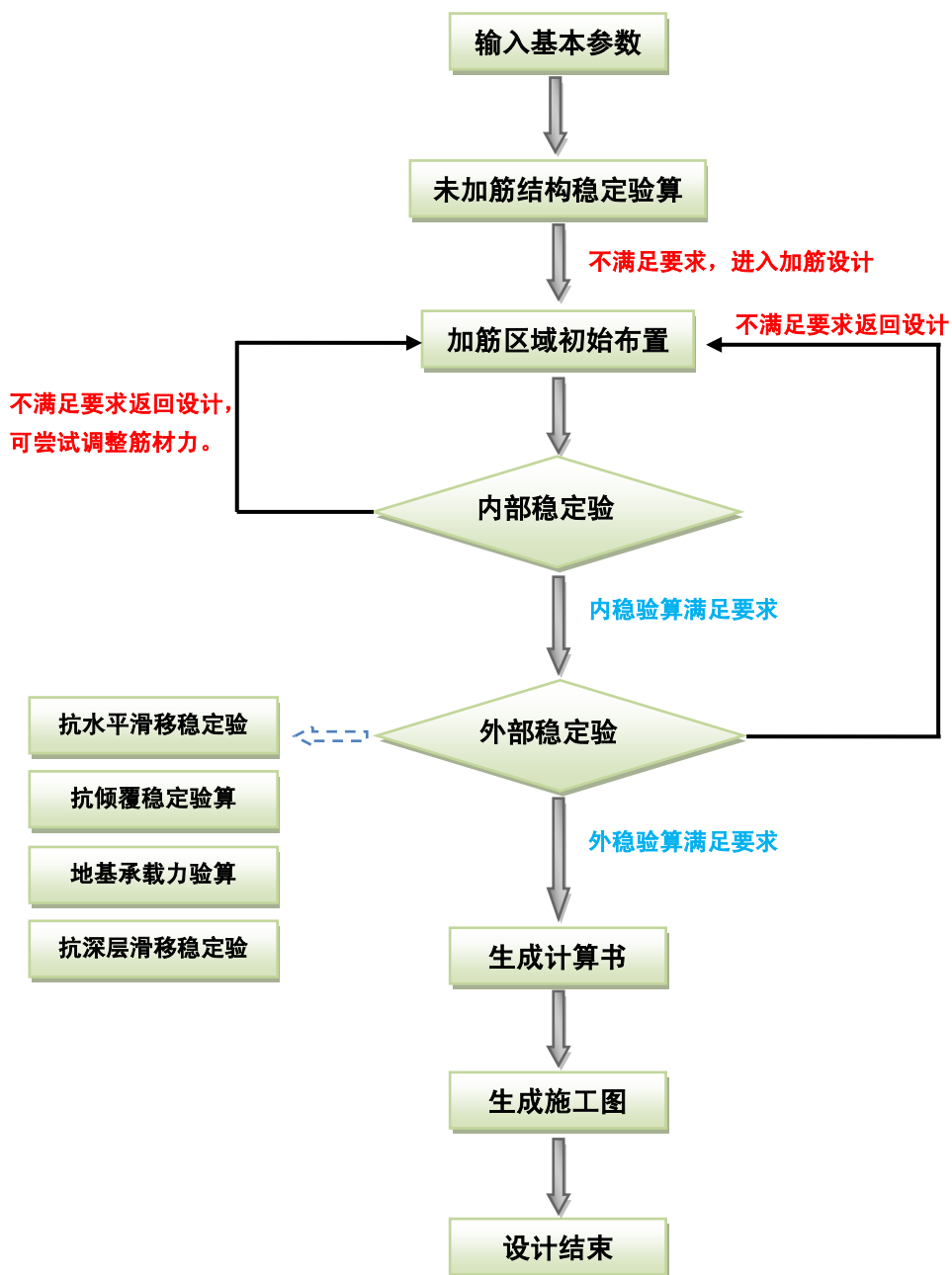


图9 设计流程图

3.2 数据输入

软件的右侧区域提供了三个属性页，可供用户输入加筋土结构的设计数据。三个属性页的用户界面分别如图 10、图 11、图 12 所示。

3.2.1 基本参数

基本信息 | 土工荷载 | 加筋区域 |

项目名称	加筋挡墙结构工程设计		
项目描述	项目具体信息		
项目编码	定义工程编码		
项目编号	定义工程编号		
工程师	经手人姓名		
日期	xxxx年xx月xx日		

基本参数

滑裂面显示:	否	筋材刺破强度安全系数:	1.00
图纸比例: 1:	200.00	筋材顶破强度安全系数:	1.00
地面标高:	0.00	筋材抗拉强度安全系数:	1.00
基底标高:	0.00	筋材抗拔强度安全系数:	1.30
坡顶放坡高:	2.00	抗滑移稳定安全系数:	1.30
坡顶放坡宽:	4.00	抗倾覆稳定安全系数:	1.50
坡脚与墙距离:	2.00	地基承载力安全系数:	1.20
坡顶倾角(不填):	26.57	容许偏心距e:	0.25
坡高:	8.00	整体稳定安全系数:	1.25

挡墙截面

倾斜面墙

 放坡级数

1

编号	挡墙类型	挡墙高(m)	挡墙宽(m)
1	倾斜面墙	8.00	0.30

放坡设置(从下往上设置)

序号	挡墙类型	墙底标高(m)	放坡高度(m)	放坡宽度(m)	平台宽度(m)
1	倾斜面墙	0.00	8.00	2.00	0.00

图 10 属性页 1—基本参数

在此属性页中可输入项目基本信息、加筋挡土墙的地面标高、坑底标高、安全系数等基本参数，另外还可以设置加筋挡土墙的墙面和放坡参数等数据。

3.2.2 水土载荷

基本信息

水土载荷

加筋区域

土层数1

序号	土层名称	层厚 (m)	层底标高 (m)	容重 (kN/m ³)	饱和容重 (kN/m ³)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 (度)
1	粉土	18.00	-8.00	19.0	25.0	0.0	35.0

水层数0

序号	水层顶标高 (m)	水层底标高 (m)	分布区域
----	-----------	-----------	------

超载个数0 如果结构上部有折线台阶，荷载需分段设置，否则影响计算结果！

序号	超载类型	超载分布	作用面标高 (m)	宽度 (m)	距墙边距离 (m)	超载值1 (kN/m ²)	超载值2 (kN/m ²)	作用区域
----	------	------	--------------	-----------	--------------	------------------------------	------------------------------	------

图 11 属性页 2—水土载荷

在此属性页可以设置加筋挡土墙内外侧的自然土参数、水层参数、荷载参数等数据。需要注意的是这里输入的土层数据为原状土参数，注意不要与后面的加筋填土互相混淆。

3.2.3 加筋区域

基本信息

土工荷载

加筋区域

未加筋结构稳定验算

修正后地基承载力设计值

500.00

墙后填土层数

1

填土默认基底标高与地面标高平起, 填土数据从上到下

序号	填料类别	层厚	饱和容重	容重	粘聚力	内摩擦角	与筋材摩擦系数	与基底摩擦系数
1	亚黏土	8.00	25.00	20.00	0.00	40.00	0.40	0.50

加筋区域初始布置

内部稳定验算

序号	宽度(m)	总长(m)	有效长度(m)	水平间距(m)	竖向间距(m)	竖向压应力kPa	主动土压力kPa	最大拉力(kN)	抗拉力(kN)	抗拔力(kN)	筋材强度安全系数	抗拔稳定安全系数
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

外部稳定验算

抗水平滑动稳定验算

抗倾覆稳定验算

地基承载力验算


抗深层滑动稳定验算

图 12 属性页 3—加筋区域

在此属性页面，除了可以输入修正后地基承载力设计值和设定墙后填土属性外，还可以进行未加筋结构整体稳定验算、加筋区域初始布置。此外，结构内外部的稳定验算需要在此属性页面完成，包括了规范规定的筋材强度验算、抗拔稳定验算、抗水平滑动稳定验算、抗倾覆稳定验算、地基承载力稳定验算以及加筋后结构整体稳定验算。

3.3 设计明细

3.3.1 未加筋挡墙整体稳定验算

当完成前两属性页的数据输入后，单击第三属性页中的“”进行未加筋结构的整体稳定性验算。

此按钮意在完成未加筋前工程状况的稳定分析，当校核结果为不稳定时，即安全系数达不到要求，必须进行加筋处理。计算结果以弹窗的形式出现，如图 13 所示。



图 13 未加筋整体稳定结果输出

显示结果包括了滑弧的圆心坐标、半径以及未加筋结构整体抗滑稳定安全系数，通过对比规范安全系数，判读是否需要对原始结构进行加筋处理。单击“确定”即可进入下一步。用户可以通过返回属性页一中的“基本属性”表，选择“滑裂面显示”，来显示未加筋挡墙的最危险圆弧滑裂面。

3.3.2 加筋区域初始设计

单击第三属性页中的“**加筋区域初始布置**”按钮后，软件即进入加筋区域的初始设计。基本设计思路为：根据程序给定的稳定计算模型设计加筋区域的布局。弹出对话框如图 14 所示。

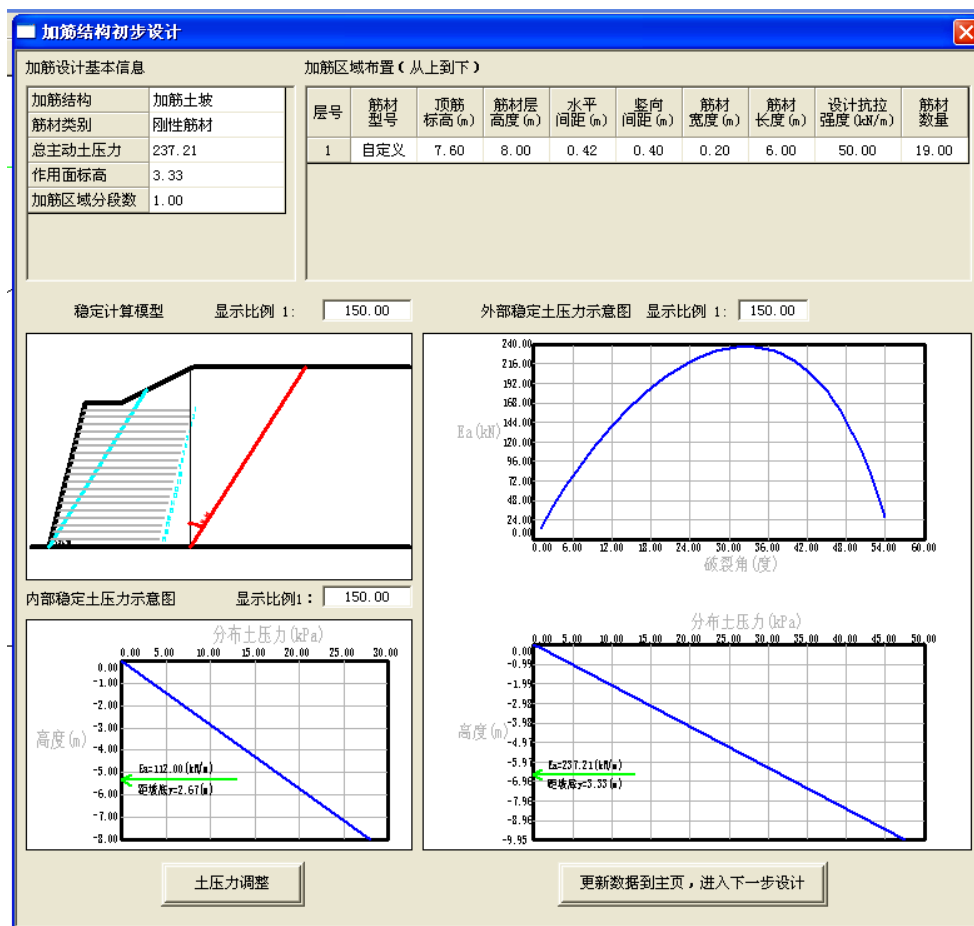


图 14 加筋结构初步设计

在此对话框中，软件完成了以下工作：

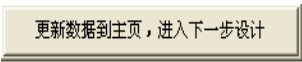
1、首先根据用户在前面设定的挡墙截面形状，自动判定本项目是一个“加筋土挡墙”还是“加筋土坡”，结合用户选择的筋材类别，画出相应的加筋结构内部破裂面示意图（如图 14 左框上图天蓝线所示）。此破裂面将用于内部稳定的计算。

2、根据给定的填土性质和墙体几何形状，按照郎肯土压力理论，计算并给出内部稳定的土压力示意图（如图 14 左框下图所示）。用户可参考此图给定的土压力分布图来选定所需的筋材设计抗拉强度和筋材长度。另外软件为用户提供了“土压力调整”按钮，供用户扩张使用，具体操作将在土压力调整章节详述。

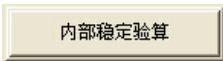
3、根据工作 1 中提供的滑裂面示意图和工作 2 中提供的内稳土压力分布图，结合工程需求，用户可在“加筋设计基本信息”中的“加筋区域分段数”一栏

选择需要的布筋段数，并在“加筋区域布置”中进行细部调整，本软件最多可以分 10 段进行布筋。输入时，要注意从最顶层的筋材层开始输入。“筋材层高度”指的是这一加筋层区的实际高度，注意与“顶筋标高”区别开来。当用户完成输入后，软件会自动找出离坡脚点最远处的筋材末端作为“加筋区域控制度点”。沿此控制点做垂线，即将结构划分为“加筋区域块”（内部稳定）和“主动土区域块”（外部稳定）。在后面算外部稳定时，假定主动土压力就是作用在此垂线上的。

3、根据属性页二中提供的“水土载荷”数据，并结合工作 2 中自动生成的“加筋区域控制点”，将“加筋区域块”视为一个整体的垂直墙背重力式挡墙。依据《公路路基设计手册》提供的设计方法，自动计算出外部稳定验算时，结构滑裂面的第一破裂角、外部稳定验算中的假设破裂面作用线（如图 14 左下框红线所示），并且画出主动土压力分布图，显示在图 14 右下图框中。主动土压力合力大小以及作用点自动生成数值，显示在左上边的“加筋设计基本信息”表中。

4、当用户单击“”按钮时，软件将自动完成每一个筋材面的有效长度、土自重应力、土压力和最大拉力的计算。并将数据反馈显示在属性页三的加筋详表中。

3.3.3 筋材强度验算

点击属性页三中的“”，软件会自动计算抗拉力，并执行筋材强度验算。依据规范 GB/T50290-2014，对每一层筋材逐层验算，寻找最危险的情况，并显示结果在图 15 中。

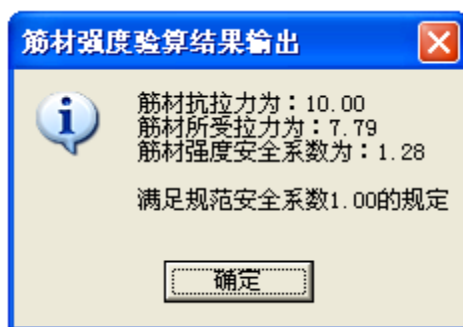


图 15 筋材强度验算结果输出

图中依次罗列了筋材在最不利位置时的抗拉力和所受拉力，并与规范要求安全系数直接比对。若不满足规范的要求，软件会马上提示用户返回设计，用户可以结合工程实际，自行决定是否修改设计。

3.3.4 筋材抗拔稳定验算

点击属性页三中的“**内部稳定验算**”，软件在执行筋材强度验算同时，也会进行筋材抗拔力的计算和抗拔稳定验算。依据规范 GB/T50290-2014，结果“加筋区域初始设计”中反馈的“有效长度”，对每一层筋材逐层进行抗拔稳定验算，寻找最危险的情况，并显示结果在图 16 中。



图 16 抗拔稳定结果输出

图中依次罗列了筋材在最不利位置时的抗拔力和所受拉力，并与规范要求安全系数直接比对。若不满足规范的要求，软件会马上提示用户返回设计，用户可以结合工程实际，自行决定是否修改设计。

3.3.5 抗水平滑动稳定验算

点击属性页三中的“**抗水平滑动稳定验算**”，软件执行抗水平滑动稳定验算。依据重力式挡墙的稳定验算方法验算，将加筋区域（依据初步设计中“加筋区域控制度点”的划分结果为准）作为一个整体进行外部稳定验算，结果显示如图 17 所示。

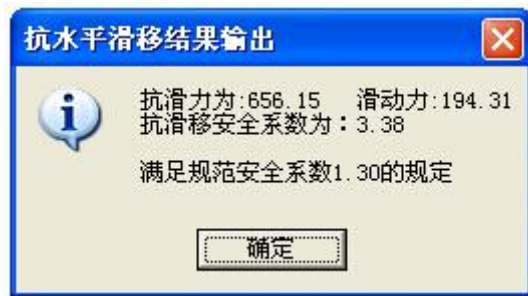


图 17 抗水平滑动结果输出

图中依次列出了加筋区域所受的滑动力以及抗滑力，并与规范要求安全系数直接比对。若不满足规范的要求，软件会马上提示用户返回设计，用户可以结合工程实际，自行决定是否修改设计。

3.3.6 抗倾覆稳定验算

加筋挡土结构一般不需要进行抗倾覆稳定验算，但为了避免一些不必要的特例，软件统一提供抗倾覆稳定验算，用户可以自行决定这一部分的去留。

点击属性页三中的“**抗倾覆稳定验算**”，软件执行抗倾覆稳定验算。

依据重力式挡墙的稳定验算方法验算，将加筋区域（依据初步设计中“加筋区域控制度点”的划分结果为准）作为一个整体进行外部稳定验算，结果显示如图 18 所示。

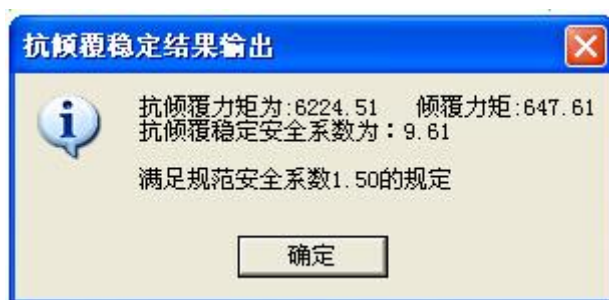


图 18 抗倾覆稳定结果输出

图中依次列出了加筋区域所受的倾覆力矩以及抗倾覆力矩，并与规范要求安全系数直接比对。若不满足规范的要求，软件会马上提示用户返回设计，用户可以结合工程实际，自行决定是否修改设计。

3.3.7 地基承载力验算

点击属性页三中的“地基承载力验算”，软件执行地基承载力验算。依据重力式挡墙的稳定验算方法验算，将加筋区域（依据初步设计中“加筋区域控制度点”的划分结果为准）作为一个整体进行外部稳定验算，结果显示在图 19 中。

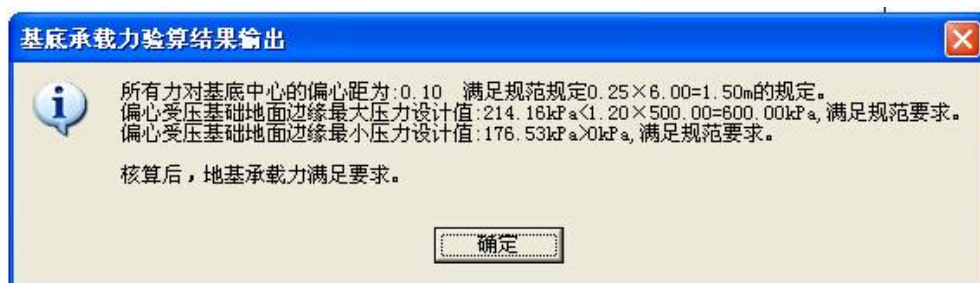


图 19 地基承载力验算结果输出

图中依次列出了加筋结构中所有力对基底中心的偏心距、偏心受压基础地面边缘最大压力设计值和偏心受压地面边缘最小压力设计值，并与规范要求修正后地基承载力设计值和偏心距直接比对。若不满足规范的要求，软件会马上提示用户返回设计，用户可以结合工程实际，自行决定是否修改设计。

注意，软件在验算地基承载力时，选用的基底受“加筋区域控制度点”限定，即此控制度所做垂线内的所有土均为加筋区域的一部分，不管是否有筋材在里面。用户在使用计算结果时需要注意，这种假设只对加筋土坡有影响，对加筋土挡墙无任何影响，请自行决定是否沿用。

3.3.8 加筋后整体稳定验算

点击属性页三中的“**抗深层滑动稳定验算**”，软件执行加筋后结构整体稳定验算。与重力式挡墙的稳定验算方法不同的是，加筋挡土结构的破坏面有可能沿加筋体边缘与土壤接触面滑动，也有可能在墙后的土堤中发生滑动，程序设定必须进行加筋后整体稳定验算。软件采用的是圆弧外筋材有效长度记入法，对比筋材自身强度，并结合土体自重，分析出最危险的圆弧滑裂面，结果显示如图 20 所示。



图 20 抗滑稳定结果输出

显示结果包括了滑弧的圆心坐标、半径、加筋结构整体抗滑稳定安全系数，以及实际有效参与抗滑的筋材抗滑力矩，通过对比规范安全系数，判读是否需要做返回设计。单击“确定”即可进入下一步。用户可以通过返回属性页一中的“基本属性”表，选择“滑裂面显示”，查看加筋后结构的最危险圆弧滑裂面。

3.3.9 筋材力调整设计

某些情况下，如挡墙的高度过高，土压力随深度由小而大的线性分布关系将不能适用于实际工程。这就需要调整受土压力直接影响的筋材力。筋材力的调整理论来自《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）当中对土钉墙的承载力调整。程序设定方法是：当用户点击“**土压力调整**”即进行筋材力调整计算，并将结果显示到图 21 的窗口当中。

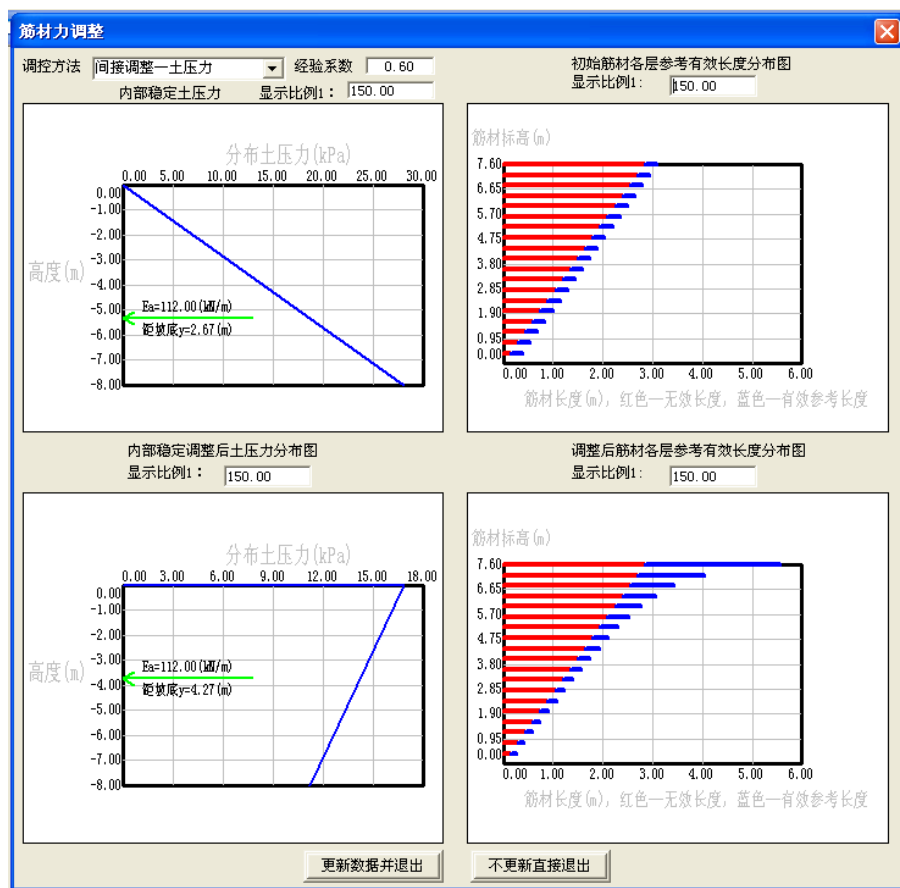


图 21 土压力调整窗口

软件左边栏显示的分别是内部稳定的土压力和调整后内部稳定的土压力。根据调整前后的土压力，分别显示了调整前和调整后的筋材无效长度和有效参考长度，以水平柱状图的形式显示在图 21 中（图中红线为筋材的无效长度，蓝线为筋材的有效参考长度）。

对于土压力的调整度，用户可以通过改变“**经验系数**”来进行土压力调整以达到自己满意的结果。经验系数可选 0.6 到 1。完成调整后，用户可以单击“**更新数据并退出**”来更新数据和退出，程序会自动将最新的土压力反馈会加筋初步设计页面。若不更新，则单击“**不更新直接退出**”来直接退回初步设计界面即可。

注意，筋土压力调整后反映在主界面的就是内稳的调整后土压力，对原土压力不在显示和数据保留。

3.4 计算书

点击主菜单的“生成计算书”，软件生成详细的图文并茂的加筋挡土结构设计计算书，局部计算书如图 22 所示。

计算书

加筋挡土结构设计计算书

一、原始数据输入

1. 项目信息:

项目名称	加筋挡墙结构工程设计
项目描述	项目具体信息
项目编码	定义工程编码
项目编号	定义工程编号
工程师	经手人姓名
日期	xxxx年xx月xx日

2. 基本参数:

是否显示滑裂面	否
图纸比例1:	200.00
地面标高	0.00
基底标高	0.00
坡顶放坡高	2.00
坡顶放坡宽	4.00
坡脚与墙距离	2.00
坡顶倾角	26.57
坡高	8.00
坡宽	2.00
挡墙截面	倾斜面墙
放坡设置	1.00

拷贝到剪贴板

保存计算书

退出

图 22 计算书

计算书内容主要包括：

- 1、原始输入数据
- 2、加筋区域设计
- 3、内部稳定验算
- 4、外部稳定验算
- 5、附录一之参考文献
- 6、附录二之施工图纸（图片版）

用户可以点击按钮“

拷贝到剪贴板

”、“

保存计算书

”和“

退出

”，来分别对计算书进行“拷贝”、“保存”以及“返回设计”的操作。

3.5 施工图

点击主菜单“**生成施工图**”，软件生成结构的施工图，如图 23 所示。

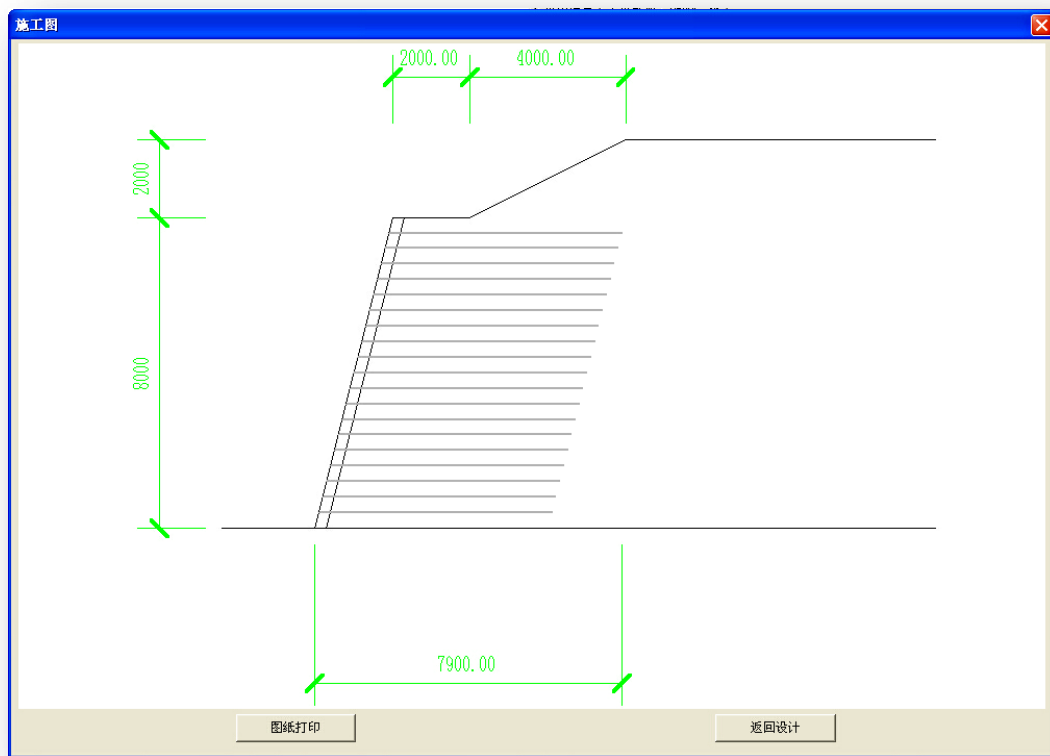


图 23 施工图

用户可以右击图形，点击“转成 DXF”，将图片另存为 dxf 文件，在 AutoCAD 中便可直接进行扩充完善。

3.6 操作优势

简洁的界面和即时的图形反馈，方便了用户的设计。而且，在做内部稳定验算和外部稳定验算时，用户更是可以及早地发现设计中的不足，返回加筋初步设计，而不是笨拙的在最终的计算书中寻纰漏。对于筋材土压力的调整设计，在加筋挡土结构领域属于比较创新的做法，可以弥补土压力线性分布假设极端化的不足，节省不必要的工程支出。

第4章 技术条件

软件主要依据最新颁布的《土工合成材料应用技术规范》（GB/T50290-2014）、《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2013）和《公路路基设计手册》、《公路加筋土设计规范》（JTJ015-91）等众多挡墙专业领域设计参考文献，联合研究编制而成。

设计理论依据和设计流程概念总结如下：

- 1、内部稳定土压力采用应力分析法；
- 2、外部稳定土压力采用楔体平衡分析法；
- 3、内部稳定验算和外部稳定验算采用规范方法验算；
- 4、圆弧滑动采用瑞典条分法；
- 5、筋材力调整法。

依据《公路路基设计手册》，加筋土的内部稳定性受诸多因素的影响，如筋带数量、断面尺寸、强度、间距、长度以及作用在面板上的土压力、填土的性质等，均能影响其结构的内部稳定。目前内部稳定性分析主要是用筋带在拉力作用下的断裂破坏和筋体拉拔破坏来衡量。目前较为普遍的内部稳定分析方法有两种，一种是楔体平衡分析法（以库伦理论为基础，视加筋土为复合体），另一种是应力分析法（即以郎肯土压力理论为基础，视加筋土为复合材料）。由于加筋土结构一般在公路工程中应用，因此软件采用了应力分析法来做内部稳定的土压力分析，依据《公路加筋土设计规范》（JTJ015-91）中的相关规定。并以此为依据，加筋土结构的外部稳定采用楔体平衡分析法。其中利弊还需实践证明，也欢迎用户反馈指正。

4.1 内部稳定分析（应力分析法）

4.1.1 基本假定

- 1) 加筋体的破坏模式类似于绕墙顶旋转的刚性墙所支撑的填土，在极限荷载作用下加筋体被筋带上的最大拉力点的连线分为活动区和稳定区，如图 24 所示。由郎肯土压力理论为基础，衍生出了 $(45^\circ + \varphi/2)$ 为破裂角的概念。根据《土工合成材料应用技术规范》（GB/T50290-2014）规定，对于刚性筋材的加筋挡土墙（抗拉模量高、延伸率低的土工格栅或加筋土工带等筋材），墙内填土中的潜在破裂面如图 24 所示；而对于加筋土坡或采用柔性筋材（织造土工织物等中等拉伸模量材料）的加筋土挡墙，其潜在破裂面如图 24 所示。值得注意的是，根据《复合土钉墙基坑支护技术规范》（GB50739-2011），加筋土坡的破裂角定义为坡度与填土内摩擦角和的一半，即 $(\beta + \varphi)/2$ ，其中 β 是坡度、 φ 是填土内摩擦角。

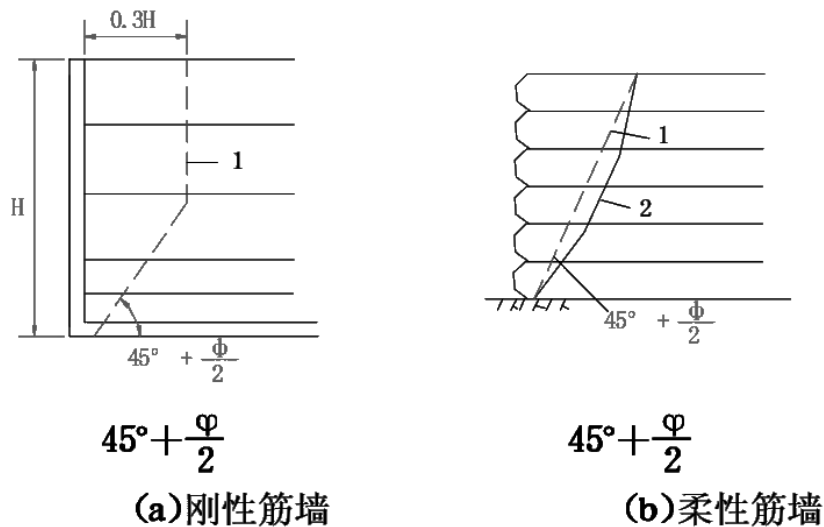


图 24 内稳定分析的潜在破裂面

- 2) 加筋体中的应力状态，在结构顶部为静止状态，随深度逐步向主动应力状态变动，当深度达到 6m 以下便是主动应力状态。
- 3) 只有稳定区内的筋带与土的相互作用产生抗拔阻力。

4.1.2 普通情况下的郎肯土压力

根据郎肯土压力理论，对于任意给定深度的筋材，作用在筋材上的主动土压力的计算公式如下：

$$\sigma_{ai} = \sigma_{vi} \cdot K_i \quad (4.1)$$

$$\sigma_{vi} = \gamma \cdot z_i \quad (4.2)$$

式中：

σ_{ai} ——任意深度处筋材所受土的主动土压力(kPa)；

σ_{vi} ——任意深度处筋材所受土的垂直自重压力(kPa)；

K_i ——任意深度处的主动土压力系数；

γ ——填土天然重度；

z_i ——任意筋材所在深度(m)。

4.1.3 倾斜坡面的主动土压力折减

由于本软件可以进行加筋土坡的设计，而土坡一般都是倾斜的，倾斜墙面上的土压力比同样高度的垂直墙面上的土压力小。用郎肯方法计算时，需要按墙面倾斜情况对土压力进行修正。软件根据《建筑基坑支护技术规程》

（JGJ120-2012）中对倾斜墙面的土压力进行折减的方面，对加筋土坡的土压力按如下公式进行折减：

$$\zeta = \tan \frac{\beta - \varphi_m}{2} \left(\frac{1}{\tan \frac{\beta + \varphi_m}{2}} - \frac{1}{\tan \beta} \right) / \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_m}{2} \right) \quad (4.3)$$

式中：

β ——墙坡面与水平面的夹角(度)；

φ_m ——坡底以上各土层按厚度加权的等效内摩擦角平均值(度)；

4.1.4 坡顶填土的处理

加筋体与加筋体上填土的计算分界面，根据“加筋区域控制度点”来界定边界，控制点以内填土重力属加筋体上填土重力。

在内部稳定分析中，根据《公路加筋土设计规范》（JTJ015-91）中的规定，路堤式挡土墙加筋体上填土重力按换算城等待均布土层厚度计算，如图 25 示。

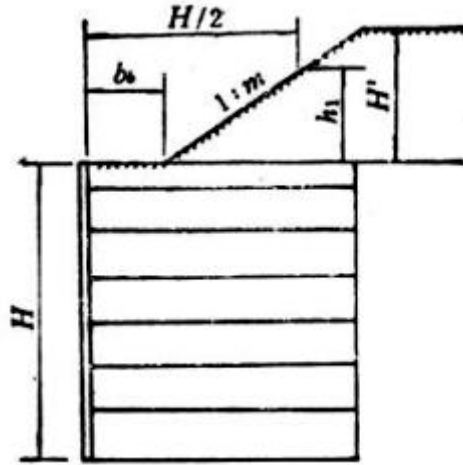


图 25 内稳定分析时坡顶填土的换算

其换算高度 h_1 按下式计算：

$$h_1 = \frac{1}{m} \left(\frac{H}{2} - b_b \right) \quad (4.4)$$

式中：

m ——加筋体上路堤填土的坡率；

H ——加筋体高度；

b_b ——坡角至面板水平距离(m)；

H' ——加筋体上路堤高度(m)。

若计算结果 $h_1 > H'$ 时，则 h_1 仍采用 H' 。

至此，任意深度处筋材所受土的垂直自重压力变为：

$$\sigma_{vi} = \gamma \cdot (z_i + h_1) \quad (4.5)$$

4.1.5 荷载与水层的处理

荷载用户直接输入大小和作用位置即可，软件会自动根据用户的输入，将荷载换算成等效均布土层，考虑到荷载影响会随深度增加而减少，因此程序采用 1: 0.5 向下扩散来传递荷载。将任意荷载对筋材所受土自重应力造成影响记为 σ_{pi} 。

当有地下水的情况时，填土的天然重度将用有效重度取代。软件沿用前面算得的 σ_{vi} 结果，减去水浮容重的影响，得出水对筋材所受土自重应力的影响记为 σ_{wi} 。

至此，任意深度处筋材所受土的垂直自重压力变为：

$$\sigma_{vi} = \gamma \cdot (z_i + h_1) - \sigma_{wi} + \sigma_{pi} \quad (4.6)$$

以上公式所得筋材在任意深度出的土自重应力，已经充分考虑了上部填土、荷载以及地下水的影响，确保了内部稳定验算的分析合理性。

4.1.6 K_i 的取值

根据《土工合成材料应用技术规范》（GB/T50290-2014）中的相关规定，对于不同的筋材类型和加筋土结构类型，以及各个筋材所在的不同深度， K_i 的取值也有相应的不同。具体规定如下：

- 1) 对于加筋土坡和柔性筋材的加筋土挡墙（如图 26 所示）

$$K_i = K_a \quad (4.7)$$

- 2) 对于刚性筋材的加筋土挡墙（如图 26 所示）

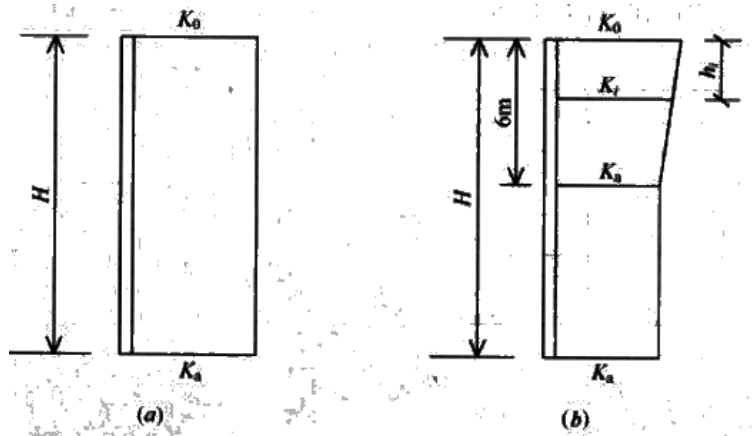
$$K_i = K_0 - \frac{[(K_0 - K_a) \cdot z_i]}{6} \quad 0 < z < 6m \quad (4.8)$$

$$K_i = K_a \quad z > 6m \quad (4.9)$$

式中：

K_0 ——静止土压力系数， $K_0 = 1 - \sin\varphi$

K_a ——郎肯主动土压力系数， $K_a = \tan^2(45 + \varphi/2)$

图 26 K_i 的取值

4.1.7 筋材强度验算

程序设定对每一层筋材都进行了强度验算。第 i 层单位墙长筋材承受的水平拉力 T_i 可按下式计算：

$$T_i = \sigma_{vi} K_i s_{vi} s_{hi} \quad (4.10)$$

式中：

σ_{vi} ——任意深度处筋材所受土的垂直自重压力(kPa)；

K_i ——土压力系数；

s_{hi} ——筋材水平间距(m)；

s_{vi} ——筋材垂直间距(m)。

T_i 需满足下式要求：

$$T_a/T_i \geq 1 \quad (4.11)$$

式中：

T_a ——筋材设计容许抗拉强度。

当 T_a/T_i 的值小于 1 时，应调整筋材间距或改用更高强度的筋材。

4.1.8 筋材抗拔稳定验算

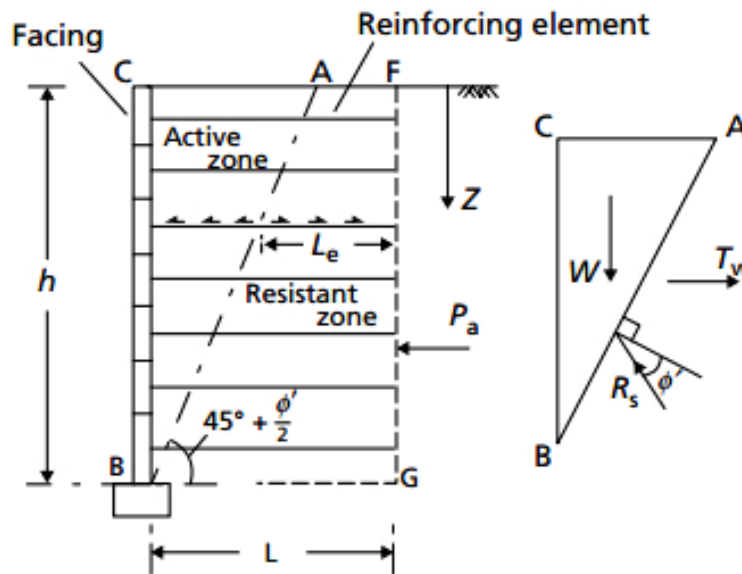


图 27 抗拔稳定验算

筋材抗拔力 T_{pi} 应根据填土破裂面以外筋材有效长度 L_e 与周围土体产生的摩擦力（如图 27 所示），按下式计算：

$$T_{pi} = 2\sigma_{vi} \cdot B \cdot L_{ei} \cdot \mu \quad (4.12)$$

式中：

σ_{vi} ——任意深度处筋材所受土的垂直自重压力(kPa)；

μ ——筋材与土的摩擦系数，应由试验测定；

L_{ei} ——筋材有效长度(m)，按破裂面以外的筋材长度确定；

B ——筋材宽度(m)。

注意：程序中求筋材有效长度方法可以运用与加筋土坡和加筋土挡墙。

筋材抗拔稳定安全系数应符合下式要求，安全系数应为：

$$F_s = T_{pi} / T_i > 1.3 \quad (4.13)$$

当式不能满足要求时，重新进行验算。

为了施工方便，自上而下筋材宜取同等长度，也可分段采用不同长度。对于筋材长度的设定，用户可以自由发挥，无论筋材层数多少、长短不依，程序都会做出相应合理的计算。

4.2 外部稳定分析（楔体平衡分析法）

加筋土结构的外部稳定分析中视加筋体为刚体。程序分析项目包括抗水平滑移稳定验算、抗倾覆稳定验算、地基承载力验算以及整体稳定验算（单独分析）。

根据加筋挡土结构加筋区域后的不同边界条件，采用库伦公式计算作用与筋体的主动土压力。这里的加筋区域是由前面提到的“加筋区域控制度点”划分的。根据此控制度，在计算外部稳定土压力时，加筋区域作为一个整体，视为重力式挡墙，据此程序在计算外稳土压力时会采用根据加筋区域高度而转换出的一套新的截面尺寸。

《公路加筋土设计规范》（JTJ015-91）规定在外部稳定验算时，加筋体上填土重力按填土几何尺寸计算。加筋体背面承受的土压力、垫梁背墙承受的土压力、加筋体上填土的破裂面承受的土压力，均属于加筋体外土的侧压力，可按库伦主动土压力计算。

计算外部稳定时，程序做了一个很重要的假设：无论加筋区域的布筋如何长短不依、挡土结构坡度如何设定，加筋区域都始终作为一个整体的刚性体看待，并且墙背垂直。对于加筋区域整体重，由加筋层的筋材长度和设置高度确定，若为多层，则为总和。但对于上部的填土重力始终采用“加筋区域控制度点”来做界限。

4.2.1 基本假定

- 1) 加筋体填料为非粘性土。
- 2) 加筋体墙面顶部能产生足够的侧向位移，从而使筋体后达到主动极限平衡状态，在加筋区域后产生与垂直面成 θ 角的破裂面；
- 3) 筋体后形成的楔体相当于刚体。作用与面板上的侧土压力为主动土压力，压力强度呈线性分布，且作用面与水平方向夹角与土的内摩擦角大小相同；
- 4) 对于非均质土层，土的属性采用加权平均值；
- 5) 当有地下水层影响时，在外部稳定土压力分析中将其忽略不计。

4.2.2 第一破裂角和主动土压力

在外部稳定分析中，破裂角的选取采用搜索最大主动土压力法，通过大量的假定破裂角，分别求取主动土压力 E_a 的大小。第一破裂角 θ 就是当 E_a 最大时取得。

E_a 的算法采用库伦土压力理论的普遍情况，如图 28 所示。

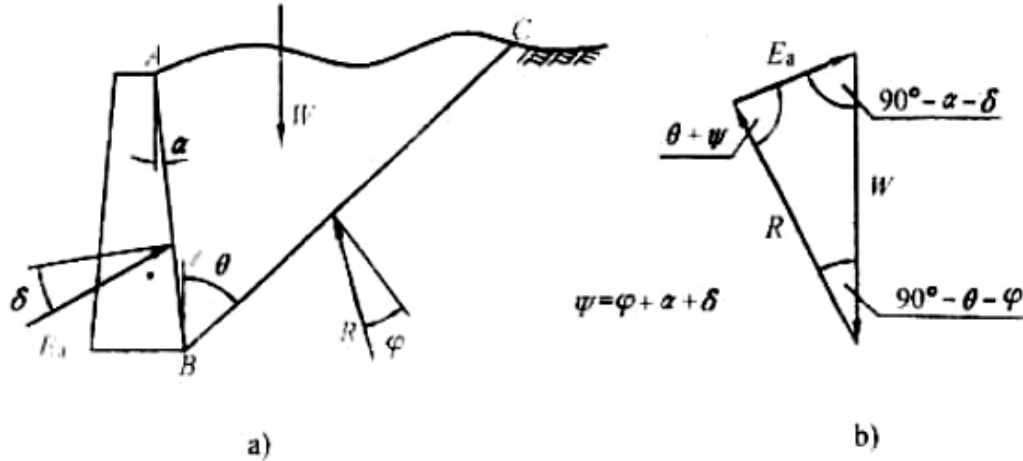


图 28 库伦土压力理论

对于一个挡土结构，在任意大小破裂面下，它必然形成图 27 中下滑棱体 ABC。这个棱体上作用着三个力，及破裂棱体自重 W 、主动土压力的反力 E_a 、破裂面上的反力 R 。

对于加筋土结构， α 等于 0， E_a 的方向与墙背法线成 δ （此处等于 φ ），且偏于阻止棱体下滑的方向， R 的方向与破裂面法线成 φ 角，同样偏于阻止棱体下滑的方向。由于棱体处于极限平衡状态， E_a 可按下式求得：

$$E_a = W \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \varphi + \delta)} \quad (4.14)$$

如果是粘性土，则公式为：

$$E_a = W \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \varphi + \delta)} - \frac{cL \cos(\varphi)}{\sin(\theta + \varphi + \delta)} \quad (4.15)$$

根据上面公式， E_a 是 θ 的函数，程序通过不断改变 θ 大小来寻找最大的 E_a 。为了给用户一个直观的展示，用户可以在“加筋区域初步设计”中见到这个 θ - E_a 表，直观地反映了 E_a 随 θ 的变化趋势。

4.2.3 复杂边界条件下的主动土压力

由于实际工程千奇百变，加筋挡土结构的墙后破裂面不一定是交在平面坡上，也可以交与内边坡、路基面上。亦或是在坡顶有换算填土荷载时，破裂面可能交与荷载内侧、荷载中部或荷载外侧，如图 29 所示。

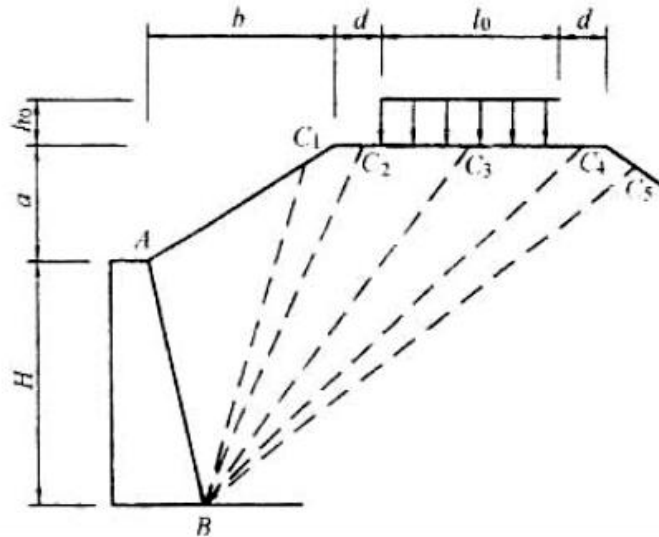


图 29 复杂的边界条件

因此，软件在对复杂边界条件下的主动土压力的求解方法并不是套用现成公式，而是针对 E_a 的基本公式，采用求滑动棱体面积法来解决复杂的边界问题。用户可以随意设定复杂的边界条件来进行设计计算，只要第一破裂角的 θ - E_a 图与主动土压力分布图正常，就可以放心使用计算结果。

4.2.4 主动土压力作用点

当地面不是一个平面而是多个平面或有荷载作用时，墙背上的土压力往往不呈直线分布。为了求得土压力的作用点，常借助土压力分布图，土压力分布图还可用来计算挡土墙任意截面上所受的土压力。

土压力分布图表示墙背在竖直投影面上的应力分布情况，按下属原则绘制：墙顶以上的填土及均布荷载想墙背扩散压应力的方向平行于破裂面；各点压应力与其说承受的竖直应力成正比；

对于复杂的边界条件，采用原图叠加影响图（荷载、坡顶填土，不考虑水影响）的方式绘制土压力分布图，如图 30 所示。

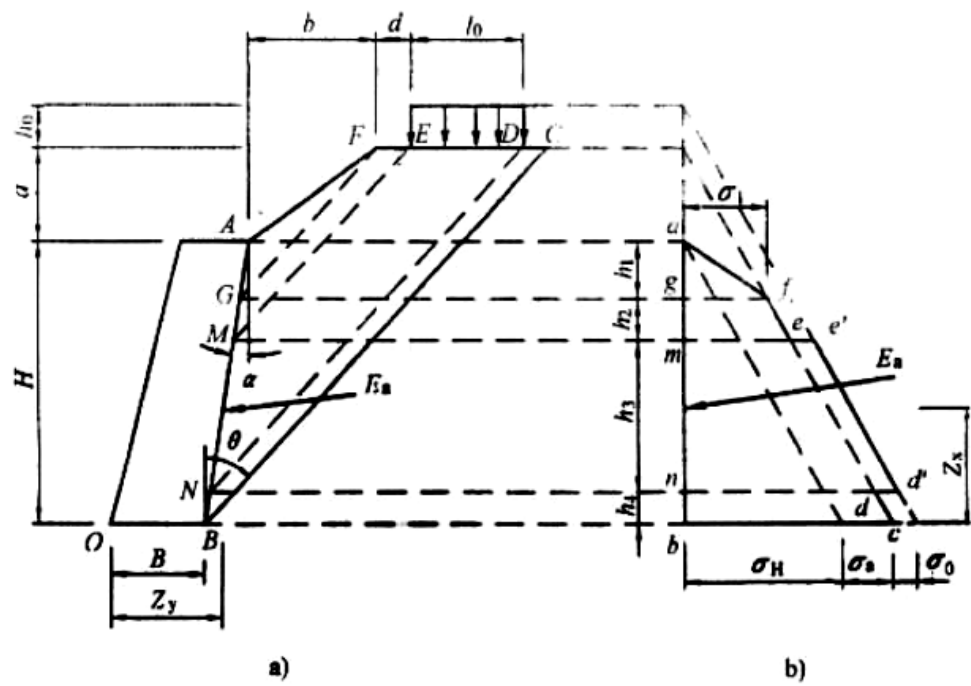


图 30 土压力分布图

土压力作用点根据求得的土压力分布图，采用形心距法求解。

4.2.5 抗水平滑移稳定验算

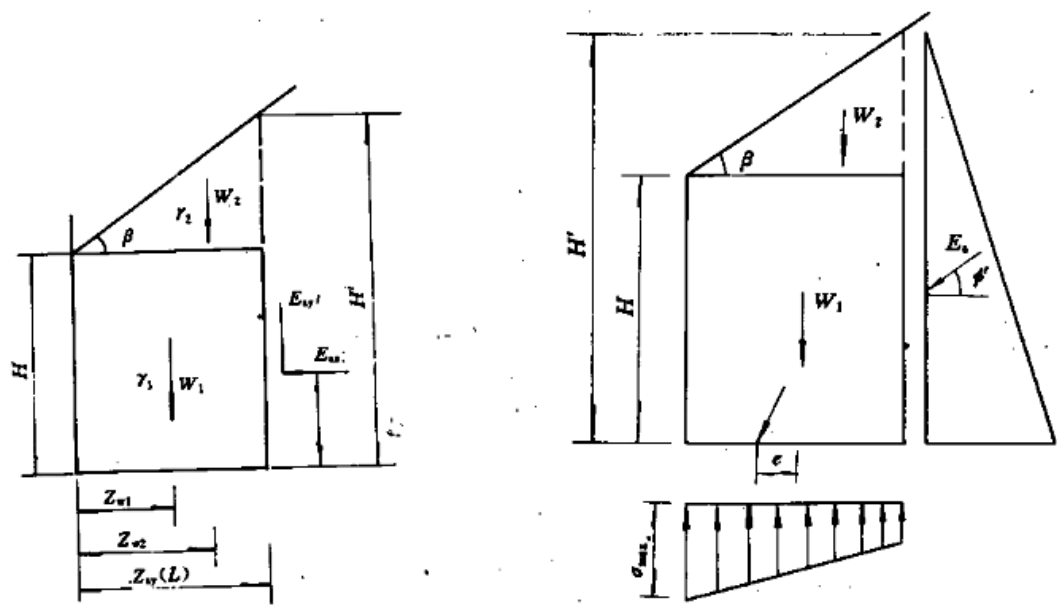


图 31 抗水平滑移稳定验算

验算加筋体在总水平力作用下，加筋体与地基间产生摩阻力抵抗其滑移的能力，用抗水平滑移稳定安全系数 F_s 表示：

$$F_s = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} \geq [F_s] \quad (4.16)$$

$$\sum V = W + E_{ay} \quad (4.17)$$

$$\sum H = E_{ax} \quad (4.18)$$

$$W = A \cdot \gamma \quad (4.19)$$

式中：

F_s ——抗水平滑移稳定安全系数；

$[F_s]$ ——设计抗水平滑移稳定安全系数；

$\sum V$ ——抗滑力之和，这里指竖直力之代数和(kN)；

$\sum H$ ——滑动力之和，这里指水平力之代数和(kN)；

E_{ay} ——主动土压力竖直分力(kN)；

E_{ax} ——主动土压力水平分力(kN)；

W ——加筋区域块土重力(kN)；

A ——加筋区域面积(m²)；

γ ——填土天然重度；

f ——加筋体地面与地基土之间的摩擦系数，取值见下表。

基底摩擦系数表（《公路路基设计手册》）

地基土分类	f	地基土分类	f
软塑黏土	0.25	砂性土、软质岩石	0.40~0.60
硬塑黏土	0.30	砾石土	0.50
亚砂土、亚粘土	0.30~0.40	硬质岩石	0.50~0.60

注：填料的强度弱于地基土时， $f=0.3\sim0.4$ 。

如果计算出的 F_s 值不能满足要求，可以通过改变基底形状或增加土重等方法来提高抗滑能力。当 F_s 距要求太大时，应降低墙高或改变挡土墙的形式，或设法增大竖直力而减小水平力。

4.2.6 抗倾覆稳定验算

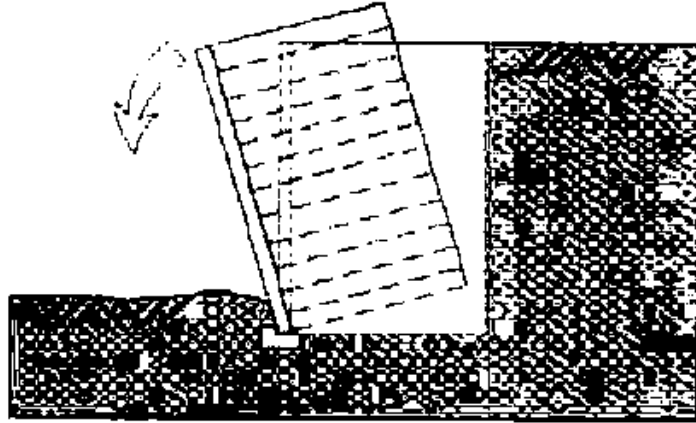


图 32 抗倾覆稳定验算

为保证加筋土挡墙抗倾覆稳定性，须检算它抵抗墙身绕墙趾向外转动倾覆的能力，用抗倾覆稳定系数 F_o 表示，即对于墙趾总的稳定力矩 ΣM_y 与总的倾覆力矩 ΣM_o 之比：

$$F_o = \frac{\Sigma M_y}{\Sigma M_o} \geq [F_o] \quad (4.20)$$

$$\Sigma M_y = \sum_{i=1}^n W_i z_i + E_{ay} z_{ay} \quad (4.21)$$

$$\Sigma M_o = E_{ax} z_{ax} \quad (4.22)$$

$$W_i = A_i \gamma \quad (4.23)$$

式中：

- F_o —— 抗倾覆稳定安全系数；
- $[F_o]$ —— 设计抗倾覆稳定安全系数；
- ΣM_y —— 抗倾覆力矩之和(kN•m)；
- ΣM_o —— 倾覆力矩之和(kN•m)；
- W_i —— 加筋区域任意土块土重力(kN)；
- z_i —— 加筋区域任意土块对墙趾的力臂(m)；
- E_{ay} —— 主动土压力竖直分力(kN)；

- E_{ax} ——主动土压力水平分力(kN);
 z_{ax} ——主动土压力水平分力对墙趾的力臂(m);
 z_{ay} ——主动土压力垂直分力对墙趾的力臂(m);
 A_i ——加筋区域任意土块面积(m^2);
 γ ——填土天然重度;

绕墙趾作逆时针旋转的力矩为倾覆力矩，绕墙趾作顺时针旋转的力矩为抗倾覆力矩（稳定力矩）。当计算出的 F_0 值不能满足要求时，应改变加筋区域的加筋长度，以获取较大的抗倾覆力矩。当 F_0 距要求太大时，应降低墙高或改变挡土墙的形式，或设法增大竖直力而减小水平力。

4.2.7 地基承载力验算

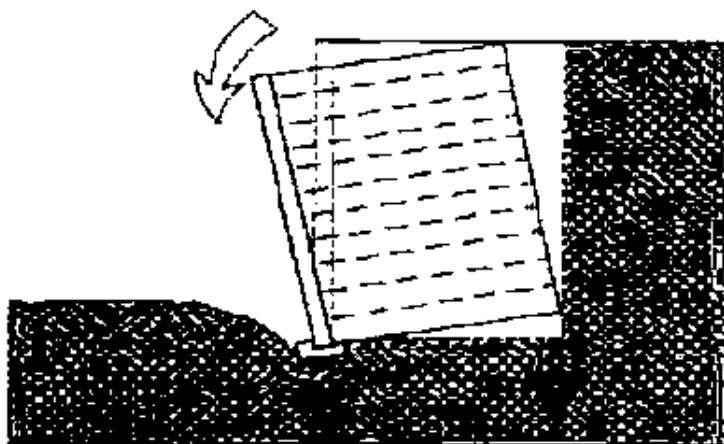


图 33 地基承载力验算

验算加筋体总垂直力作用下，基底压应力是否小于地基容许承载力。由于加筋体承受偏心荷载，因此，基底应力按梯形分布考虑。计算公式如下：

$$p_{\min}^{\max} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq [f] \quad (4.24)$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_y - \Sigma M_o}{\Sigma V} \quad (4.25)$$

式中：

p_{\max} ——1m 长度偏心受压基础底面边缘处最大压力设计值 (kN/m^2)，应使 $p_{\max} \geq [f]$ ；

p_{\min} ——1m 长度偏心受压基础底面边缘处最小压力设计值 (kN/m^2)，应使 $p_{\min} \geq 0$ ；

$[f]$ ——天然地基承载力设计值(kN/m^2)；

ΣM_y ——抗倾覆力矩之和($\text{kN}\cdot\text{m}$)；

ΣM_o ——倾覆力矩之和($\text{kN}\cdot\text{m}$)；

ΣV ——坚直力之代数和(kN)；

B ——加筋区域的基底总宽度(m)；

e ——加筋区域上作用荷载对基底中心点产生的偏心距(m)；

最大地基应力不得大于地基的承载力设计值，最小地基应力不得小于零，当计算结果超过地基土承载力设计值时，应加筋区域进行尺寸调整，如加长筋材布置或对地基进行加固。

4.3 整体稳定分析

整体稳定分析虽然属于外部稳定验算，但是考虑到它技术条件的复杂性，此验算单独介绍。

程序设定整体稳定分析包括未加筋结构整体稳定验算和加筋后结构整体稳定验算。两种验算均采用滑动圆弧瑞典条分法，唯一不同的是，加筋后整体稳定验算增加考虑了筋材力的影响。

4.3.1 基本原理

根据高大钊主编的《土力学与基础工程》，加筋土结构的滑动稳定未加筋情况如图 34 所示。

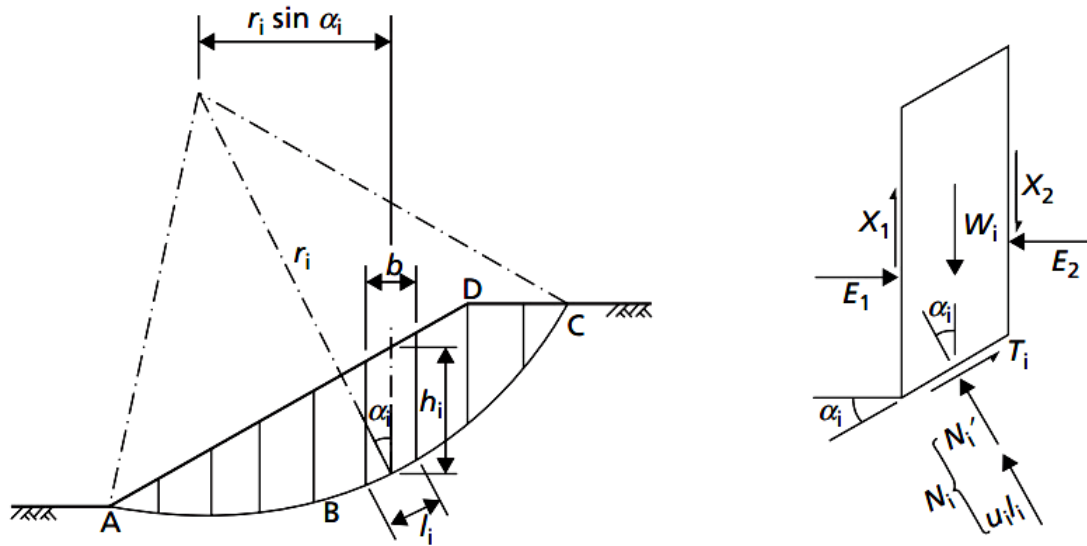


图 34 滑弧稳定条分法计算原理

计算公式如下：

$$M_r = \sum_{i=1}^{i=n} (N_i \tan \varphi_i + c_i l_i) R \quad (4.26)$$

$$M_s = \sum_{i=1}^{i=n} T_i R \quad (4.27)$$

$$N_i = W_i \cos \alpha_i \quad (4.28)$$

$$T_i = W_i \sin \alpha_i \quad (4.29)$$

$$F = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (N_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} T_i} \quad (4.30)$$

式中：

- F ——加筋土结构整体稳定安全系数；
- M_r ——圆弧抗滑动力矩总和(kN•m)；
- M_s ——圆弧滑动力矩总和(kN•m)；
- N_i ——土条 i 的法向反力(kN)；
- T_i ——土条 i 的切向反力(kN)；
- α_i ——土条 i 滑动面的法线与竖直线的加筋(度)；
- l_i ——土条 i 滑动面弧长(m)；
- W_i ——土条 i 土重(kN)；
- c_i ——滑动面上土的粘聚力(kPa)；
- φ_i ——滑动面上土的内摩擦角(度)；
- R ——滑动圆弧半径(m)；

程序通过不断的改变滑动圆弧的圆心坐标以及半径，试算出最危险的圆弧滑面。按《公路加筋土设计规范》（JTJ015-91）规定所求得的安全系数一般要大于 1.25。未加筋稳定验算时，不满足要求，则表示需要加筋处理。加筋后，不满足要求，则要做增加加筋长度等相应处理。

4.3.2 复杂情况下的整稳分析

如果坡中有水或坡顶有荷载作用，其稳定计算也同样是采用上述公式，唯一不同的是对土条重力的计算。

对于顶部荷载作用，程序自动分析其对每一土条的影响，然后将相应影响落实到相应的土条重力上。

对于水作用，程序根据水层的作用位置，分析水浮托力抵消每一土条重量大小，并将其落实到相应土条重力上。

对于非均质土层，考虑土条所遍历的土层数量、位置，程序采用精确定位算法，以顶层土为参照，其他土层对照其属性，进行调整相应土条重力。

因此，本程序圆弧滑动整体稳定验算是可以同时分析多荷载、多水层、多土层等综合整体稳定结构体系。欢迎用户反馈指正。

4.3.3 加筋后的结构稳定

如何考虑埋置于土重的筋带效果，至今尚无确切和统一的方法。参考《公路路基设计手册》，目前有以下几种方法：

1. 设筋带长度不超过可能的滑动面（如图 35 示），可以按普通的圆弧法计算。

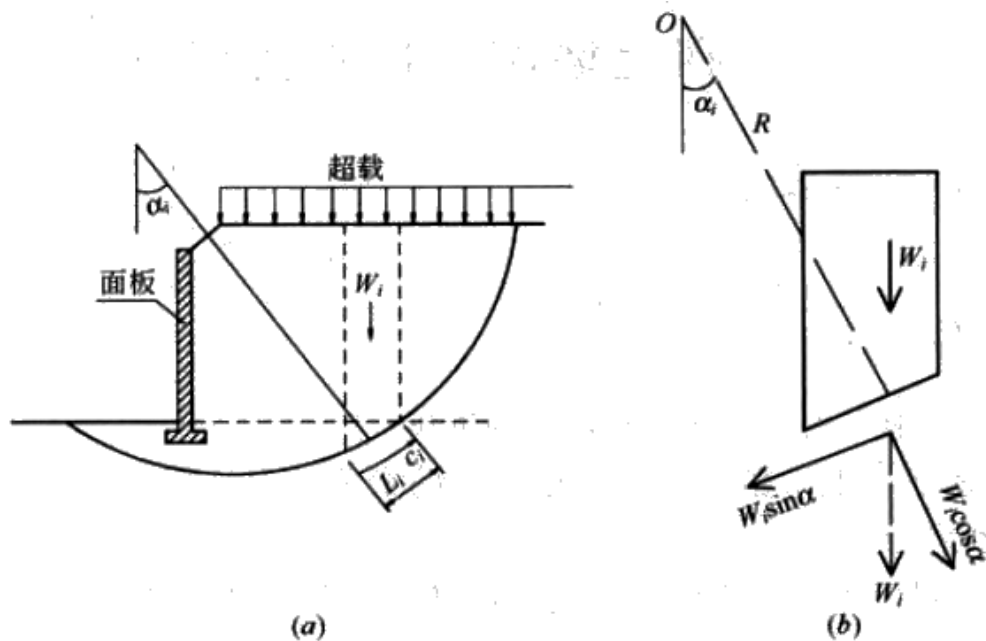


图 35 不考虑加筋力的整体稳定验算

2. 破裂面穿过筋带（如图 36 示），在加筋体部分考虑因有筋带而产生的似内聚力，而将该值记入抗滑力矩中；

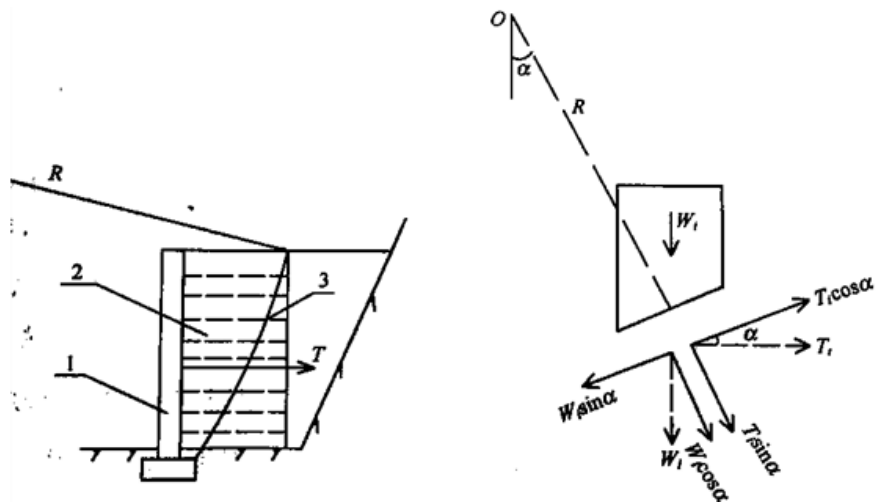


图 36 考虑加筋力的整体稳定验算

3. 破裂面穿过筋带，将伸入滑弧后面的筋带长度产生的摩阻力和筋带的抗拉强度两者中的小值对滑弧圆心取矩，视为未定力矩。

软件采用的是第三种方法，加筋后圆弧滑动安全系数计算公式变化如下：

$$F = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \tan \varphi_i + c_i l_i) + RT}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (4.31)$$

式中：

RT——与圆弧相交的所有筋材的作用力矩总和(kN•m)。

每一层筋材的作用力值取值为筋材滑弧外有效抗拔力和筋带抗拉强度两者中的小值。所以，当采用圆弧法搜索时，程序设定自动搜索范围为从只切到一根筋材至切到加筋区域外围，依次搜集、计算安全系数，即从加筋体内部到整体外部，有了一个统一而完整的稳定分析。

4.4 土压力

由于目前对于加筋挡土墙的筋材力调整技术研究并不成熟，本程序参考了《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-2012)当中对土钉墙承载力的相关调整方法，将其中对土钉承载力的调整系数计算方法直接运用到了筋材力的调整当中。

根据规程细则介绍，土压力沿墙面的分布形式直接采用了郎肯土压力线性分布的理论，但是根据一些实际工程设计情况，人们发现按郎肯土压力线性分布计算土钉承载力时，往往土钉墙的土钉需要长度很长才能满足承载力的要求。其次，土钉墙底部的土钉过长，其承载力不一定能充分发挥，使土钉墙面层强度或土钉达到设计拉力前破坏。因此，一些实际工程设计中土钉墙底部土钉长度一般会采取适当的折减。工程实践表明，适当减短土钉墙底部土钉长度后，并没有出现土钉被拔出破坏的现象。

与土钉类似，筋材也遇到了相同的问题。当挡墙的高度较高时，底层的筋材受到的土压力非常大，往往需要配置高强度的筋材才能满足设计要求。但工程实践当中，配置如此高强度的筋材的性价比到底如何却有待考究。结合了土钉墙的调整方法和土压力面积不变的原则，软件目前给出的直接调整土压力方法如下。

土压力调整法是调整土压力分布图的基础上延伸而来的。以土压力的分布面积不变为调控依据，对内部稳定土压力的分布图进行规则的再分配，一般可以得到分布图形有三角形（倒）、矩形以及梯形（倒）（见图 37）。该法的经验系数取值一般可由 0 取到 1。

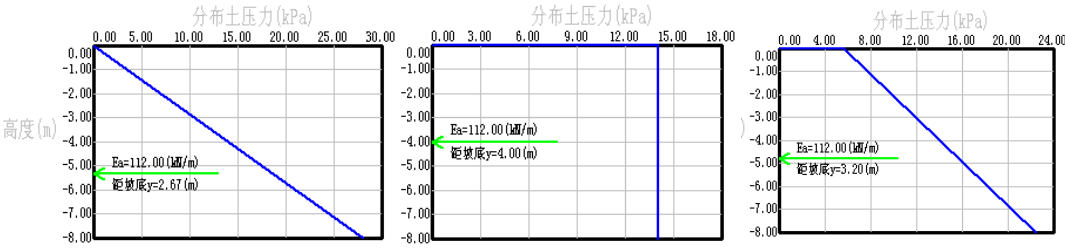


图 37 土压力调整结果示例

通过得到土压力面积不变情况下的调整后土压力，将各层筋材所需的参考有效长度进行再计算，并将结果以柱状图的形式显示出来，如图 38 所示。根据设计参考长度以及调整后的土压力图，用户可以对给定的筋材设计强度和设计长度进行再核算，以达到优化设计的目的。

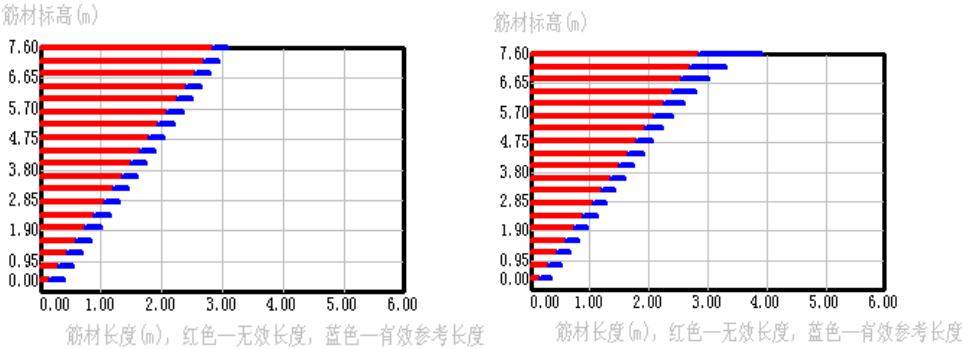


图 38 筋材设计长度参考示意

参考文献

- 1 高大钊主编. 土力学与基础工程. 北京: 中国建筑工程工业出版社, 1999
- 2 铁道部第一勘测设计院主编. 铁路工程设计技术手册(路基). 北京: 中国铁道出版社, 1992
- 3 薛殿基, 冯仲林主编. 挡土墙设计使用手册. 北京: 中国建筑工程工业出版社, 2008
- 4 尉希成, 周美玲主编. 支挡结构设计手册(第二版). 北京: 中国建筑工程工业出版社, 2004
- 5 交通部第二公路勘察设计院主编. 公路路基设计手册. 北京: 人民交通出版社, 1988
- 6 中华人民共和国交通行业标准. 公路加筋土工程设计规范(JTJ051-91). 北京: 人民交通出版社, 1999
- 7 中华人民共和国国家标准. 建筑边坡工程技术规范(GB50330-2013). 北京: 中国建筑工程工业出版社, 2002
- 8 中华人民共和国国家标准. 复合土钉墙基坑支护技术规范(GB50739-2011). 北京: 中国建筑工程工业出版社, 2011
- 9 中华人民共和国国家标准. 土工合成材料应用技术规范(GB/T50290-2014). 北京: 中国建筑工程工业出版社, 2014
- 10 中华人民共和国行业标准. 建筑基坑支护技术规程(JGJ120-2012). 北京: 中国建筑工程工业出版社, 2012

附录

建研地基基础工程有限责任公司简介：建研地基基础工程有限责任公司（简称建研地基公司）是由中国建筑科学研究院地基基础研究所为主体成立的建筑业高新技术企业。公司以建筑工程勘察，地基基础工程设计、施工承包，地基基础新技术、新产品的研发应用、软件开发、技术咨询、技术服务，工程检测与监理、监测，地质灾害治理等为主业，具有“地基与基础工程专业承包”壹级、“工程勘察专业类岩土工程”甲级、“地质灾害治理工程施工”甲级、“地质灾害治理工程设计”甲级、“地质灾害危险性评估”丙级资质。

公司网址：

www.jianyandiji.com

公司研发中心软件开发部地址：

北京市北三环东路 30 号建研院新主楼 10 层 B1010 室

联系电话：010-64694958

邮编：100013

地图：



乘车路线：

公共汽车：300 路、302 路、731 路北三环内环方向安贞桥站下车，自西向东 100 米路南。

地铁：5 号线和平西桥站下车，从西北口出，自东向西 300 米路南。