

RSM-WAP

高应变拟合分析软件 使用说明书

OPERATING
INSTRUCTIONS

动测系列



武汉中岩科技股份有限公司

Wuhan Sinorock Technology Co.,ltd

总部地址:湖北省武汉市武昌区小洪山1号中国科学院武汉分院行政楼

邮 箱: whrsm@whrsm.com



企业总机:

027-87198699



网址: www.whrsm.com

关注官方微信,获取更多产品资讯

2021年第1版



目 录

CONTENTS »»

第一章 引言.....	1
第二章 高应变拟合的基本理论.....	2
2.1 曲线拟合法概述.....	2
2.2 拟合法的计算模型.....	5
2.3 桩土参数对波形的影响.....	9
第三章 保证拟合结果的其他知识.....	13
3.1 测试部分.....	13
3.2 信号处理部分.....	16
3.3 拟合分析部分.....	19
第四章 拟合软件详细介绍.....	25
4.1 程序特点.....	25
4.2 安装与卸载.....	26
4.3 软件狗及分析步骤简介.....	27
4.4 运行与主界面说明.....	27
4.5 菜单功能介绍.....	28
4.5.1 文件菜单.....	29
4.5.2 功能切换菜单.....	31



第一章 引言

本使用手册包含了windows版的RSM-WAP程序安装及运行的重要信息。手册中不但提供由实测曲线计算承载力的基本分析工具，而且包含若干典型实例指导分析。不过，RSM-WAP分析人员应该具备扎实的基础知识，这些包括：

- 1、打桩过程
- 2、使用RSM高应变仪器进行测试及数据处理
- 3、波动力学
- 4、case方法
- 5、其他数学物理知识。

RSM-WAP拟合软件是配合RSM系列高应变检测仪使用的专门性拟合软件，因此要得到比较好的拟合数据，用户务必要熟悉高应变检测仪器的相关操作手册。

该拟合软件是一种专业性的分析软件，用户在使用过程遇到什么问题或者对分析结果不满意，应该积极与武汉中岩科技股份有限公司联系。此外，武汉中岩科技股份有限公司每年会举办两期的基桩无损检测培训班，欢迎广大用户积极参与该培训班，一来可以相互讨论关于检测的新方法及注意事项，二来通过培训和继续教育可提高用户的分析技巧，提高精度，防止犯一些可以避免的错误。

4.5.3 查看菜单.....	33
4.5.4 视图伸展菜单.....	34
4.5.5 帮助菜单.....	35
4.6 详细参数含义.....	35
4.6.1 原始波形界面.....	35
4.6.2 桩土参数界面.....	43
4.6.3 拟合分析界面.....	46
4.6.4 输出界面.....	53
4.6.5 报告打印.....	55
4.7 相关功能介绍.....	59
4.8 拟合举例.....	60
4.9 相关参数对拟合的影响.....	65
附录：.....	68

第二章 高应变拟合的基本理论

2.1 曲线拟合法概述

Case法由于对桩-土力学模型做了许多简化假定，从而得出了简捷的计算公式，便于检测现场作实时分析和判别，而波动方程曲线拟合法采用较为复杂的桩-土力学模型，计算结果更客观、更符合工程桩的实际状况。在介绍拟合法之前，我们先对Case法做一个简单的回顾：

Case法的桩-土计算模型做了如下假定：

- (1) 桩为一维阻抗均匀的弹性杆（无裂缝、无接头松弛、无强度变化）。
- (2) 只考虑桩端土阻尼，忽略桩侧土的动阻力。

因为刚塑性体，土的阻力在承载力计算周期内不发生变化。

(3) 在以上假设基础上，Case法得出简便的计算公式，可在现场由检测仪器完成实时分析。通过Case法分析可以获得桩的承载力、桩身完整性系数、打桩应力以及桩锤能量传递比信息。

Case法的不足也同样源于上述的基本假定：

- (1) 不能考虑桩身阻抗有较大变化的情况，对非均匀桩由于应力波传递过程中产生的畸变，忽略它的影响，会使结果的可靠性下降。
- (2) 对于侧摩阻力较大的桩，桩侧土阻尼较大，忽略它的影响，会使结果的可靠性降低。
- (3) 对于长摩擦桩，在 $2L/c$ 时刻之前，桩身上部土单元可能已开始出现卸荷，不考虑卸载会低估桩的承载力。
- (4) Case法得出的是桩的总静阻力，无法将桩侧摩阻力与桩端承载力分开，无法描述桩侧摩阻力的分布。

(5) Case法的关键参数 J_0 （桩端土Case阻尼系数）是一个地区性经验系数，这个取值的人为因素较多，且地质报告不准时会对计算结果有较大影响，需要通过动、静对比试验来确定。

实测曲线拟合法是通过波动问题数值计算，反演确定桩和土的力学模型及其参数值。其过程为：假定各桩单元的桩和土力学模型及其模型参数，利用实测的速度（或力、上行波、下行波）曲线作为输入边界条件，数值求解波动方程，反算桩顶的力（或速度、下行波、上行波）曲线。若计算的曲线与实测曲线不吻合，说明假设的模型或其参数不合理，有针对性地调整模型及参数再进行计算，直至计算曲线与实测曲线（以及贯入度的计算值与实测值）的吻合程度良好且不易进一步改善为止。由此可以得到单桩极限承载力、侧阻分布、端阻大小和模拟静荷载试验的 $Q\sim s$ 曲线等参数。

虽然从原理上讲，这种方法是客观唯一的，但由于桩、土以及它们之间的相互作用等力学行为的复杂性，实际运用时还不能对各种桩型、成桩工艺、地质条件，都能达到十分准确地求解桩的动力学和承载力问题的效果。所以，《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106针对实测曲线拟合法判定桩承载力应用中的关键技术问题，作了具体阐述和规定：

- (1) 所采用的力学模型应明确合理，桩和土的力学模型应能分别反映桩和土的实际力学性状，模型参数的取值范围应能限定。
 - (2) 拟合分析选用的参数应在岩土工程的合理范围内。
 - (3) 曲线拟合时间段长度在 $t_1 + 2L/c$ 时刻后延续时间不应小于20ms；对于柴油锤打桩信号，在 $t_1 + 2L/c$ 时刻后延续时间不应小于30ms。
 - (4) 各单元所选用的土的最大弹性位移值不应超过相应桩单元的最大计算位移值。
 - (5) 拟合完成时，土阻力响应区段的计算曲线与实测曲线应吻合，其他区段的曲线应基本吻合。
 - (6) 贯入度的计算值应与实测值接近。
- 之所以做以上规定，主要是基于以下原因的考虑。

(1) 关于桩与土模型：

① 目前已有成熟使用经验的土的静阻力模型为理想弹-塑性或考虑土体硬化或软化的双线性模型；模型中有两个重要参数——土的极限静阻力 R_u 和土的最大弹性位移 s_0 ，可以通过静载试验（包括桩身内力测试）来验证。在加载阶段，土体变形小于或等于 s_0 时，土体在弹性范围内工作；变形超过 s_0 后，进入塑性变形阶段（理想弹-塑性时，静阻力达到 R_u 后不再随位移增加而变化）。对于卸载阶段，同样要规定卸载路径的斜率和弹性位移限。

② 土的动阻力模型一般习惯采用与桩身运动速度成正比的线性粘滞阻尼，带有一定的经验性，且不易直接验证。

③ 桩的力学模型一般为一维杆模型，单元划分应采用等时单元（实际为特征线法求解的单元划分模式），即应力波通过每个桩单元的时间相等，由于没有高阶项的影响，计算精度高。

④ 桩单元除考虑A、E、C等参数外，也可考虑桩身阻尼和裂隙。另外，也可考虑桩底的缝隙、开口桩或异形桩的土塞、残余应力影响和其他阻尼形式。

⑤ 所用模型的物理力学概念应明确，参数取值应能限定；避免采用可使承载力计算结果产生较大变异的桩-土模型及其参数。

(2) 拟合时应根据波形特征，结合施工和地基条件合理确定桩土参数取值。因为拟合所用的桩土参数的数量和类型繁多，参数各自和相互间耦合的影响非常复杂，而拟合结果并非唯一解，需通过综合比较判断进行参数选取或调整。正确选取或调整的要点是参数取值应在岩土工程的合理范围内。

(3) 拟合时间的要求主要考虑两点原因：一是自由落锤产生的力脉冲持续时间通常不超过20ms（除非采用很重的落锤），但柴油锤信号在主峰过后的尾部仍能产生较长的低幅值延续；二是与位移相关的总静阻力一般会不同程度地滞后于 $2L/c$ 发挥，当端承型桩的端阻力发挥所需位移很大时，土阻力发挥将产生严重滞后，因此规定 $2L/c$ 后延时足够的时间，使曲线拟合能包含土阻力响应区段的全部土阻力信息。

(4) 为防止土阻力未充分发挥时的承载力外推，设定的 s_q 值不应超过对应单元的最大计算位移值。若桩、土间相对位移不足以使桩周岩土阻力充分发挥，则给出的承载力结果只能验证岩土阻力发挥的最低程度。

(5) 土阻力响应区是指波形上呈现的静土阻力信息较为突出的时间段。所以本条特别强调此区段的拟合质量，避免只重波形头尾，忽视中间土阻力响应区段拟合质量的错误做法，并通过合理的加权方式计算总的拟合质量系数，突出土阻力响应区段拟合质量的影响。

(6) 贯入度的计算值与实测值是否接近，是判断拟合选用参数、特别是 s_q 值是否合理的辅助指标。

2.2 拟合法的计算模型

1、桩身模型

实测曲线拟合法是把桩作为弹性连续杆模型，考虑了非均匀性、缺陷性和桩身阻尼衰减。把桩划分为 N_p 个分段，分段长度应保持应力波在通过每个分段时所需的时间相等，各个分段本身阻抗是恒定的，但各分段之间阻抗可以不同。

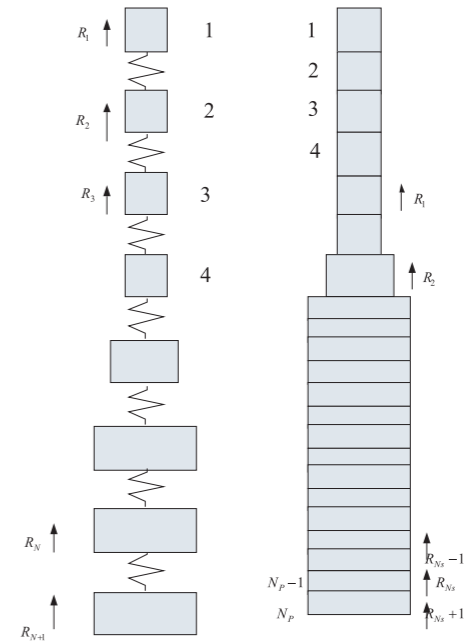


图2-1 桩的离散质-弹模型与连续杆件模型示意图

2、土的模型

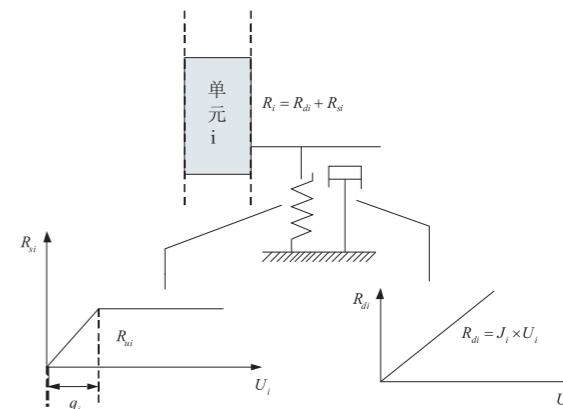


图2-2 史密斯阻力模型

土的计算模型在Smith土模型基础上作了改进，静阻力与桩的位移有关，简化为理想的弹塑性体。当土位移小于最大弹性位移时，应力应变呈线性关系，一旦位移达到最大弹性位移，应力不再随应变增加而增加，土进入塑性状态。而土的动阻力与桩的运动速度有关，采用最简单的线性粘滞阻尼模型。在改进的模型中，考虑了非线性关系，加进了辐射阻尼的影响，能量在土中的辐射耗散，增加了土的最大负阻力 R_n ，土的重新加荷水平 R_L ；卸载参数可以不同于加载参数，还考虑了土塞和土隙模型，如图2-3，图2-4所示。

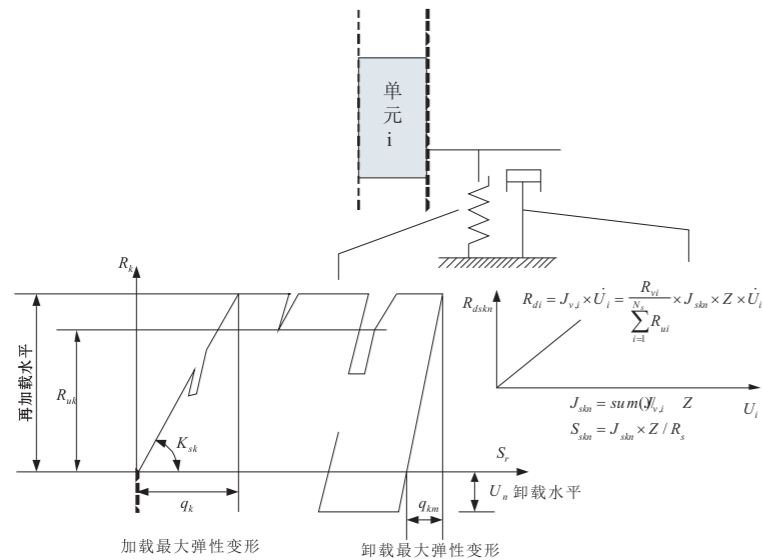


图2-3 桩侧土的动-静阻力模型

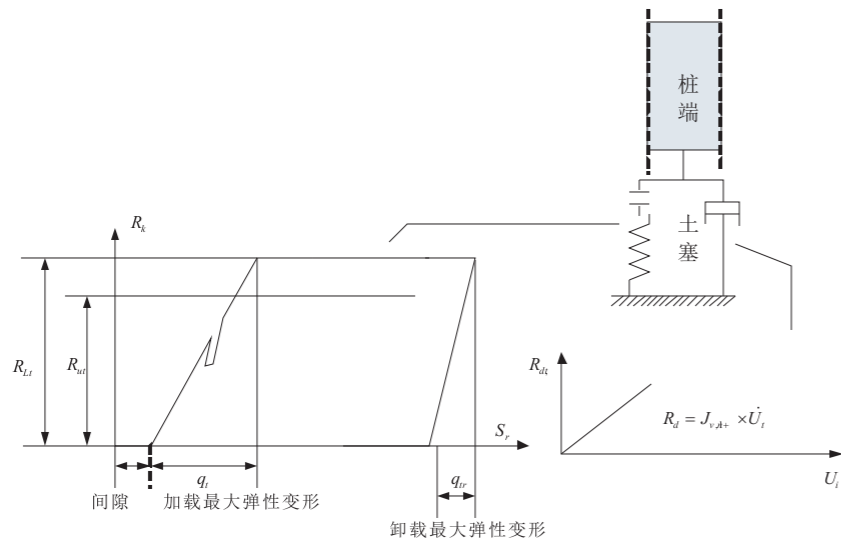


图2-4 桩端土的动-静阻力模型

3、计算步骤

实测曲线拟合法的试验过程与凯司法相同，其计算步骤如下：

- 1、选择一条实测曲线作为计算的出发点，通常选择速度曲线；
- 2、设定全部单元桩土参量；
- 3、求解波动方程计算另一条曲线，通常为力曲线；
- 4、把实测的力曲线与计算的力曲线进行比较；
- 5、有针对性的调整桩土体系的相关参数，反复迭代计算，使两者的拟合程度达到相关要求，此时就认为对桩土参数的假定与实际情况接近；
- 6、输出分析结果。

拟合方向有四种，从力到速度，从速度到力；从下行波到上行波，从上行波到下行波。

通常采用从速度到力的拟合。拟合计算流程如图2-5所示：

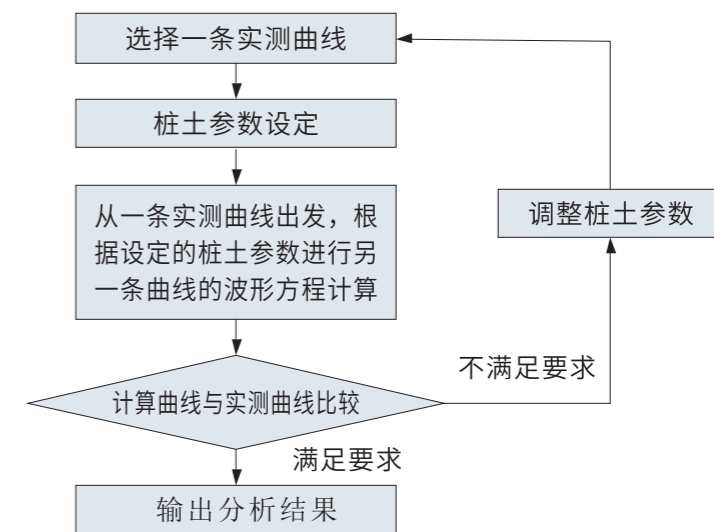


图2-5 拟合流程图

根据桩土有关参数对实测波形的影响区域，见图2-6，从一条曲线根据桩土参数对另一条曲线进行波动方程计算具体过程如下：

- (1) 第一时间区段是从冲击开始时起，长为 $2L/c$ 时间。由于这段为加载区域，主要用于修正加载阻力及弹限。
- (2) 第二时间区段是以第一时间区段的终点为起点，区段长为 $T_r + 3ms$ ， T_r 是从冲击波开始到速度峰值的时间。在该时段主要是桩端土作用，这个区段主要是调整桩底模型有关参数。
- (3) 第三时间区段的起点同第二时间区段，区段长度为 $T + 5ms$ ，这个时间段主要用

于修正阻尼系数值。

(4) 第四个时间区段以第二时间区段的终点为起始点，区段长度为20 ms，这个区段主要是土的卸载参数影响，它主要用于修正卸载 Q_u 、 R_u 等。

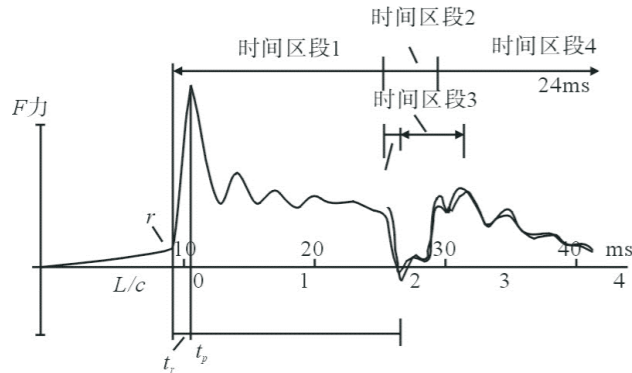


图2-6 评估计算曲线匹配程序的四个时间区段

一般来说，良好的拟合结果应该满足下面三个条件：

(1) 桩身各段相应土层的侧阻力及侧阻沿桩身的分布符合工程的实际情况；

(2) 计算波形和实测波形的吻合达到满意的程度，即拟合质量系数小于规定的值，由于各计算软件对拟合质量系数的定义和计算方法不一样，所以拟合质量系数难于有一个统一的规定；

(3) 桩贯入度的计算值和实测值基本吻合。

4、动荷载下模拟的Q-s曲线与静荷载下的Q-s曲线

通过拟合分析得到桩土静力模型有关参数后，便可利用静力平衡条件得到桩顶模拟的Q-s曲线。它常常被用来与静荷载下的Q-s曲线比较。

两者的差异有可能由以下几方面因素引起：

(1) 同一试桩上，静荷载试验和动荷载试验有先有后，无论哪种试验之后都会使桩土体系有所改变，因桩土体系的变化，两者试验间的差别总是存在的。

(2) 静荷载Q-s曲线，是人为规定稳定标准而得，不同的标准会有不同的沉降，因而两者比较不必追求沉降是否一致。

(3) 根据荷载试验，桩土静力模型比较复杂，往往有硬化型，软化型等，极限特征有时也不明显。而在高应变试验，一般是将其简化成弹塑性模型且动刚度高于静刚度，这样有可能导致弹限较小。

(4) 在推算动荷载下Q-s曲线，要用到弹性模量，而动荷载下弹模受加载速率影响可能会偏大。

(5) 由于每个单元的侧摩分布被集中在单元底部，因而，会导致离散误差。

2.3 桩土参数对波形的影响

1、波阻抗

波阻抗的增大或减小都会使 F 和 ZV 曲线形状发生变化。当波阻抗减小，则首先会反射拉应力波，其质点速度方向与入射波方向相同，而作用力则与冲击力相反，这样， $Z \cdot V$ 曲线会有一个同相反射，力波形上有一对应反相波。当波阻抗增大时，则会先反射一压力波，

曲线会有一个反相反射波，力波形上则有一对应的同相波。由于高应变冲击脉冲持续时间较长，反射波会与入射波相互叠加，当冲击起跳较缓时，难以用波起点时间来判断反射波的走时，根据峰值时间来判断反射波走时会有一定误差。

波阻抗的变化特别是桩截面积的变化会影响到桩的承载能力。桩截面增大，对提高桩侧摩阻力是有帮助的，桩截面减小，桩抗压、抗弯性能受到影响，也会使侧摩阻力减小。当桩截面积减小很多时，首先影响的是桩的抗压、抗弯，在桩的总阻力充分发挥之前，桩体就可能发生破坏，此时的桩承载力就是桩体破坏时所能承受的荷载。由于荷载是从桩顶逐步向桩底传递，在同等的截面积变化情况下，浅部的波阻抗变化对桩抗压、抗弯性能影响要大于深部的波阻抗变化。

在拟合分析中，我们总是假设桩身材料是弹性的，没有考虑材料的非弹性以及破坏情况，也就是无论波阻抗减小到什么程度，我们仍然认为它是处于弹性状态，这显然是不合理的。即使桩身材料处于弹性状态，当桩身波阻抗减小程度较大时，应力波会有相当大一部分能量从该处反射回来，使得波阻抗变化处以下侧摩阻力难以充分发挥。因此，当波阻抗变化较大时，用拟合方法也要慎重。

2、侧摩阻力

由于侧摩阻力会产生一个上行的压力波，上行的压力波使 $F(t)$ 与 $ZV(t)$ 曲线的分离。在桩底反射到达之前，累积阻力 $\Sigma R = F(t) - ZV(t)$ 。在 $t_1 \sim t_1 + \frac{2L}{C}$ 阶段桩侧处于加载阶段，因此

侧摩阻力对 $t_1 \sim t_1 + \frac{2L}{C}$ 波形影响较大。由于卸载是从极限侧阻开始，因此，侧阻对整个拟合波形都有影响。由于桩土参数较多， $t_1 \sim t_1 + \frac{2L}{C}$ 波形数据不足以确定侧阻力，对桩底反射波之后波形拟合不仅是对桩底参数及桩侧卸载参数重要，对侧阻力仍然是重要的。

当侧阻力分布比实际小，则 $|F_m - ZV_m| > |F_m - ZV_c|$ ，反之，则会有 $|F_m - ZV_m| < |F_m - ZV_c|$ 。由于累积摩阻力影响 V_c 的走向，因此，前面单元静阻力 R 的变化也会影响到后面的 V_c 走向。拟合结果最为关心的是静阻力，为了避免计算过程的多解性，多增加些已知条件对拟合计算是有益的。拟合过程应尽量考虑到场地一些已知信息，如地勘报告中的大致分层，一些静压试验，以便在拟合过程中参数进行约束限制。

3、负向极限阻力(有时称卸载阻力)

在压力波作用下，桩土相对位移不断增加，并进入塑性滑移状态，随着压力波减小，在桩底或桩侧反射的拉力波作用下，桩土相对位移达到最大值后，开始减小，桩土相互作用进入卸载状态。当桩土作用力卸载至零时，若位移仍继续减小，则桩土进入负向加载状态，桩体相对土体作反向运动，桩土相互作用力与加载阶段相反，位移减小到某一程度后，作用力不再与弹性位移成正比，桩土进入负向滑移状态。卸载阻力对波形影响区在 $t_p + \frac{2L}{C} + 3ms$ 之后，见上图2-6。负向极限阻力一般不超过极限阻力值，负向极限阻力/极限侧阻力之比在 0~1 之间。由于负向卸载部分反射的拉力波，负向阻力越大，则计算的力曲线后部数值就越小，计算时速度曲线后部数值就越大(不是指绝对值)。

4、加载弹限

Smith曾建议不分土质类别，桩侧和桩尖的弹限取2.54mm，实验表明 Q_c 值的取值较大，可以在1~10mm之间。动荷载下的加载弹限与静荷载下是有区别的，在静荷载试验中常取桩径的0.5~1%作为桩侧摩阻发挥的位移，取桩径的2.5~5%作为桩底端阻力发挥的位移。在动荷载下，桩侧、桩底的弹限要小于静荷载下的值。

在一定的极限侧静阻力下，弹限的增大将导致该阻力的增大速率变缓，最大阻力的出现时刻推迟，因而使该阻力的作用区段延长，弹限在拟合中的作用主要表现为计算曲线沿时间轴的推移。当弹限减小，桩顶端附近的侧阻力很快发挥，易导致桩出现反弹、振荡情况。要使桩土产生相对滑动，桩单元的最大位移必须大于加载弹限。

桩端的最大位移包括桩身弹性变形、桩土相对弹性位移及塑性位移。由于桩的弹性变形及桩土相对弹性位移可能较大，因此，最大位移的大小并不能反映桩是否打动，桩土间的塑

性位移大小才是反映桩是否打动的参数。从理论上讲，给桩打动只要有一点塑性位移即可，但考虑到桩材料非弹性及测量误差(在用加速度积分时，还存在后面信噪比不高)等影响，一般的塑性位移应大于2.5mm，桩越长，这个值应越大。当冲击脉冲较短时，通过冲击力大小来提高最大冲击位移及塑性位移并不可取，因为冲击力大易导致桩身材料发生塑性变形，位移的相当一部分是塑性位移。

5、卸载弹限

土体在加载后，土体刚度有所增加，所以，卸载弹限一般要小于加载弹限。卸载弹限的影响区域应在 $t_p + \frac{2L}{C} + 3ms$ 以后一段区域，卸载弹限不仅会影响卸载，还影响到负向加载过程。卸载弹限越小，桩土作用力卸载越快，它使后面的计算力波曲线下降较快，进入负向加载时，负向加载阻力增加就越快，由于在负向阻力作用下反射的是拉力波，它使计算力波减小速度加快。

6、阻尼系数

阻尼系数实际上是随位移变化而变化，它在加载、卸载、负向加载过程是不同，无论是Smith模型还是改进Smith模型，Smith阻尼系数是常数， $R_d = R_u \cdot J \cdot V$ 。区别在于改进的Smith模型中，在桩土产生塑性滑移后，动阻尼不起作用，而Smith模型，无论在加载、卸载及负向加载过程动阻尼都起作用。根据计算分析，动阻力在动荷载试验中占主要的，阻尼系数的增加会使动阻力增加。由于 $|F_m - ZV_m|$ 与阻力 R 有关，因而动阻尼的变化也会影响到 F_c 或 ZV_c 的走向。在Smith模型中，阻尼系数会影响整个计算区段，动阻尼较小，在加载阶段，反射的压应力波较小， $|F_m - Z \cdot V_c| < |F_m - Z \cdot V_m|$ ，反之， $|F_m - ZV_c| > |F_m - ZV_m|$ 。而在负向加载阶段，反射的是拉力波，拉力波使 F_m 减小 $Z \cdot V_m$ 增大，当动阻尼较小时，反射拉力波较小，这样 $|F_m - Z \cdot V_c| > |F_m - Z \cdot V_m|$ ，反之， $|F_m - Z \cdot V_c| < |F_m - Z \cdot V_m|$ 。由于累积的阻力会影响后面计算波形的走向，因此，前面单元 J_c 的变化对后面计算波形的走向影响较大。动阻力大小与速度成正比，与质点运动方向总是相反，它压制桩身质点振动，当计算波形振动较大时，通过增加阻尼系数，可以压制波形振荡。Smith阻尼系数一般不宜超过1.5s/m。

7、桩底参数

桩底参数对 $t_p + \frac{2L}{C}$ 至 $t_p + \frac{2L}{C} + 5ms$ 时段桩底反射波有影响，由于桩底反射波到达桩顶后反射后会重新在桩体中传播，因此，桩底参数 $t_p + \frac{2L}{C}$ 对以后的波形都有影响，但桩底参数对 $t_p + \frac{2L}{C}$ 附近的桩底反射波影响是明显的。

桩底端阻力越小，向上反射的拉力波也越大。在弹限等参数不变的情况下，由于桩底土弹性刚度变小，则桩底阻力增加较慢，这样，反射波峰就会后移，同样，弹限越大，在端阻力不变的情况下，弹性刚度变小，反射波也会后移。由于阻尼力与质点速度成正比，并总是与质点运动速度方向相反，因而阻尼系数的增加，会有效地降低桩底质点速度。当桩底反射的拉力波减小时，经桩端再次反射后沿桩身传播， $t_p + \frac{2L}{C} + 5ms$ 以后的力波幅值会相应的增加。

根据圆盘在弹性半无限动态响应计算结果，桩底的土刚度 $k = \frac{4GR}{1-\nu}$ ，阻尼系数 $c = 0.85k \frac{R}{C_s}$ (R 为圆盘半径， C_s 为剪切波速， G 为剪切模量)。在桩底会有一部分土依附桩底运动，常称为土塞。土塞产生一个和桩端运动加速度成正比的惯性力，因此，它的存在会使桩底反射的拉力波减小。由于惯性的作用，它使速度变化速率降低，端阻力发挥时间推迟。根据计算 $(0 \sim 0.16)kR^2 / c_s^2 = (0 \sim 0.2) \cdot R \cdot M / (1-\nu)$ ， M 表示单位长度的自重，取 $\nu = 0.5$ ，则 $m_0 = m_0 = (0 \sim 0.2) d \cdot M$ ， d 为桩径，即土塞的重量一般不会超过一倍桩径长度自重的0.2倍。大部分情况下可取零。

辐射阻尼系统一般包括附加质量、弹簧、阻尼，常只取附加质量和附加阻尼两部分。它表示膨胀波向桩底土体四周传播的能量耗散，而Smith模型中的弹簧及阻尼壶则模拟桩土相对运动产生的剪切作用，附加质量及附加阻尼越大表示波向四周传播能量越多，相应的剪切作用可能被削弱，导致计算的滑移力减小，反之，则可能导致滑移力增大。因此，辐射阻尼系统的应用时一定要慎重。附加质量取值 $m_1 = (0 \sim 0.14) \cdot R \cdot M / (1-\nu)$ ，当 ν 取0.5时， $m_1 = (0 \sim 0.14) d \cdot M$ ，因此，附加质量一般不应超过一倍桩径长度自重的0.14倍，至于附加阻尼 $\frac{c_1}{c_0} = (0 \sim 0.7)$ ，即附加阻尼一般不宜超过Smith模型中阻尼壶阻尼。

第三章 保证拟合结果的其他知识

3.1 测试部分

1、资料收集

高应变测试过程中，应该收集如下信息：

- (1) 桩号、工程名、复打和初打日期
- (2) 锤击信息，如锤重、落高
- (3) 所需的承载力(极限值还是设计值)
- (4) 打入桩的垂直或倾斜情况
- (5) 工程地质情况，如土层性质、分层及其力学性质
- (6) 目测桩身材质情况
- (7) 施工或测试中的一些不寻常情况
- (8) 锤击数或每击贯入度

2、测试现场准备

预应力混凝土管桩测试时，在条件允许的情况下，尽量选择桩顶带法兰盘的桩进行测试。若桩头受损，可进行切割处理，将受损段切割掉，但要保证切割面水平平整。对于桩顶没有法兰盘的试桩，应用细砂找平桩顶后才可测试。

混凝土灌注桩必须进行桩头处理，桩头处理尽可能采用接桩方式，即在原桩顶接长1.5~2.0倍桩径的桩段，这样可以大大改善所采集到的数据的质量。

处理方法可参照《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106附录B“混凝土桩桩头处理”。

高应变测试及分析是基于一维弹性波理论，要求被测桩有一定的长径比，同时要求桩身混凝土材料有一定的抗压强度。对于广泛使用的挖孔灌注桩，桩一般较短，桩径变化较

大，特别是对大直径、大扩大头的挖孔桩，用一维近似分析测试信号会有较大的误差。

3、传感器安装

(1) 传感器必须对称安装在桩顶以下桩身两侧，对测试信号平均时方可消除锤击偏心的影响。安装的传感器与桩顶的距离一般不小于 $2D$ (D 为试桩的直径或边长)，对大直径桩不得小于 $1D$ ，以避免桩顶附近复杂应力关系影响。

(2) 安装传感器的桩身表面应平整，且其周围不得有缺损和断面突变。传感器必须牢固安装，安装好的传感器不能在锤击过程中产生相对滑动。

(3) 力传感器中心与加速度器中心应位于同一水平线上，两者间的距离不应大于 80mm 。安装好的传感器中心轴应与桩中心轴保持平行。

(4) 传感器安装过程中应监测传感器初始变形值。安装好的传感器初始变形值不应超过规定值。

(5) 连续测试过程中，如从测试波形中发现传感器松动，如力曲线中出现振荡信号或力曲线不归零，要及时拧紧。如发现传感器损坏，要及时更换。

应该注意，传感器安装应该：远离非均匀处(如接桩、焊接处或面积变化处；最好在其下大于 $1D$)；避免安装至“裂缝”处(缝隙会产生错误的应变读数)；处于地面或水面以上；接头处于水面以上；复合桩(如充填混凝土管桩)是否需要切割窗口等。

4、参数设定

桩身参数(传感器位置)：面积，“直径”(传感器位置和周长)，测点下桩长，材料参数，质量密度，弹性模量，平均波速， $E_M = \rho c^2$ ，入土桩长(用于拟合分析)，均匀桩身或非均匀桩身---桩身阻抗变化。

(1) 传感器参数设定值按计量检定结果设定。

(2) 测点处的桩截面尺寸按实际测量确定。

由 $F(t) = \rho A \cdot C^2 \cdot \varepsilon(t)$ 、 $Z \cdot V(t) = \rho \cdot A \cdot C \cdot V(t)$ 可知，对管桩， $F(t)$ 、 $Z \cdot V(t)$ 的计算要使用有效的实心面积，而桩底端承载力计算(对封口桩)，要使用整个截面积(包括空心面积)，侧阻力计算要使用管外侧面积。为了解决上述面积改变问题，而又保证波阻抗及弹模等材料参数不变，用整个截面积作为计算 $F(t)$ 、 $ZV(t)$ 参数，通过改变密度来保持波阻抗、弹模不变， $\rho \cdot A_{\text{实心}} = \rho_{\text{等}} \cdot A_{\text{总}}$ ， $\rho_{\text{等}} = \frac{A_{\text{实心}}}{A_{\text{总}}} \cdot \rho$ ， ρ 为混凝土实际密度。

(3) 质量密度、弹性模量按桩的设定。

(4) 平均波速的确定。

一般来说，钢管桩的材料是比较均匀的；但混凝土桩则不然，可能一节混凝土桩桩的上下各个截面处的波速都不一定相等。同样材料，不同长度的桩的平均波速也可能不同。

(5) 测点以下桩长和截面积按设计或施工记录提供的数据设定。测点以下桩长指桩头传感器安装点至桩底的桩长，一般不包括桩尖部分。入土桩长指嵌入土中的桩长，是地面或基坑底面至桩底的桩长。

(6) 采样时间间隔宜为 $50 \sim 200 \mu\text{s}$ 。采样时间间隔一般为根据桩长和波速自动计算，有些仪器也可以人为设定。

波形记录时间长度应根据拟合分析长度而定，拟合长度与桩长、波速有关。由于桩长、波速的变化，这个值也应是变化的，因此人为限定记录时间长度是不合理的。有效波形记录时间(即从波形起跳点开始)的时间长度应在 $6L/c \sim 10L/c$ 之间。由信号最高频率 f 与采样间隔 Δt 关系 $f < \frac{1}{2\Delta t}$ 可知采样点间隔较大，会导致波形高频成份丢失，造成波形精度较差，特别是对波形突跃或桩身浅部有反射波时，采样时间过大导致波形有较大失真。

5、“重锤低击”试验方法

重锤低击有以下几点好处：

(1) 重锤低击可避免“轻锤高击”产生的应力集中，而应力集中容易使桩身材料产生塑性变形甚至破坏；

(2) 重锤低击荷载脉冲作用时间长，且荷载变化缓慢，可以使桩产生较大的沉降位移；

(3) 重锤低击，桩体产生的速度较小，速度变化率也较小，因此动阻力的影响较小，可减少动阻尼参数误差对拟合分析影响，提高拟合分析精度；

(4) 重锤低击作用可类似静荷载中快速加载及静动法试验。

锤重一般不小于预期静承载力的 1.5% 。

“轻锤高击”(窄脉冲)对分析影响：

(1) 轻锤高击产生的应力集中容易使桩身材料塑性变形甚至破坏；

(2) 由于冲击脉冲窄小，应力波在向下传播时，桩部分处于加载状态，另一部分处于卸载状态，桩的沉降位移一般是很小的，桩甚至没有打动；

(3) 由于加载速率较高，动阻力及惯性力较大，使用阻尼系数误差对结果影响很大。同时应力波衰减也较快，到达桩深部甚至变得比较微弱，质点的位移(动位移)很小，而确定模型极限阻力，要求动位移在 2.5mm 以上。

总之，窄小脉冲是不利于拟合分析的。

6、落锤高度

控制落锤高度一般基于以下条件：

- (1) 冲击力不宜过高，否则桩体材料会塑性变形甚至破坏；
- (2) 桩体有一定的沉降位移，确保桩被打动；
- (3) 要求落锤稳定。

以上条件对重锤(>1.5%极限承载力)很容易满足，但对轻锤则往往是矛盾的，因为降低落高控制冲击力，无法使桩体有沉降，要使桩体产生沉降，非增加落高，提高冲击力不可。

7、理想波形的特点

理想的高应变波形，具有如下特点：

- (1) 力曲线和速度曲线的时程一致，上升峰值前二者重合，峰值后二者协调，力曲线应在速度曲线之上（除非桩身有缺陷），两曲线间距离随桩侧土阻力增加而增大，其差值等于相应深度的总阻力值，能真实反映桩周土阻力的实际情况。
- (2) 力曲线和速度曲线的时程波形终线归零。位移曲线对时间轴收敛。
- (3) 锤击没有严重偏心，对称的两组传感器分别测试的力或速度信号不应相差太大，二组力信号不出现受拉。
- (4) 波形平滑，无明显高频干扰杂波，对摩擦桩桩底反射明确；
- (5) 有足够的采样长度。保证曲线拟合时间段长度不少于 $5L/c$ ，并在 $2L/c$ 时刻后延续时间不小于20ms。
- (6) 贯入度适中，一般单击贯入度不宜小于2mm，也不宜大于6mm。

3.2 信号处理部分

1、冲击力与极限承载力关系

在动荷载作用下，桩体要运动必须克服静阻力、动阻力、惯性力，因此，要使桩体有一定动位移，冲击力必须大于极限承载力。静阻力与桩周土层、桩底土层有关，与外部荷载变化形式无关，动阻力、惯性力大小与质点速度、速度变化率、土层性质等有关。一般来说，质点速度越小，速度变化率越小，动阻力、惯性力就越小，冲击力与极限承载力差距就越小。对“重锤低击”实验方式，由于脉冲持续时间长，荷载大小变化缓慢，在桩体产生一定

沉降后，激发的承载力与冲击力差别可以在较小范围内。“轻锤高击”方式，脉冲持续时间短，荷载变化幅度大，动阻力、惯性力也较大，要使桩体打动，冲击力要远远大于桩的极限承载力。对于颗粒比较密实的土层，由于阻尼系数较大，动阻力也较大，冲击力与极限承载力差距也相应较大。在冲击力脉冲一定的情况下，桩截面越大，质点速度越小，动阻力在总阻力比例也越小，对大直径桩极限承载力与冲击力差距可能较小。

2、波速分析

按规范要求，从传感器安装部位至桩底之间桩体的平均纵波速根据下行波上升沿及上行波的下降沿时差及传感器安装部位至桩底的长度计算。通俗地讲，就是由入射波的起点和桩底反射波起点来确定反射波的走时。有低应变检测经验的人都会体验到受桩侧反射波的影响，桩底反射波的起点识别是困难的。

为了能有效地识别上升沿及下降沿，冲击脉冲起跳要陡，桩底反射波要比较清晰。在上升沿及下降沿无法识别的情况下，可利用峰值来分析。

3、波速误差对拟合分析的影响

对波形的拟合是从波形起跳点开始的，正因如此，要求利用下行波上升沿及上行波下降沿来确定波速。但在实际检测中，往往冲击脉冲起跳较缓，导致上升沿特别是下降沿无法识别。采用ZV曲线入射波峰和反射波峰确定的速度，与上、下行波法确定速度会有差别，也就是按照峰峰计算的波速与冲击起跳点对应的反射波并不是桩底反射波的起始点。它不仅会影响桩底有关参数计算，还会影响波形的匹配程度。

4、低应变得到的桩身纵波速能否用于高应变拟合分析

由于桩材为非线性粘弹体，高频波速会大于低频波速，低应变激振频率高，而高应变激振频率低，因而低应变测试得到的波速高于高应变测试得到的波速。高应变拟合对波速要求较高，高应变拟合一般不宜用低应变得到的纵波速，而应根据高应变的上、下行波法来分析波速。当无法从高应变测试曲线得到波速时，在用低应变测试波速替代时应将波速适当减小。

5、最大位移与沉降位移关系

桩端的位移随时间变化可用直接测量的方法得到，也可通过间接计算的方法得到。在工程中大多用间接计算的方法来得到位移： $S(t) = \int_0^t \int_0^t a(t) dt dt$ 。间接计算得到的位移由于是加速度两次积分，误差较大，一般需要校正。校正可用冲击之后的沉降位移观察来修正。若将桩作为弹性体考虑，沉降位移就是桩在受冲击之后逐渐静止后的刚体位移，它是衡量桩体是否打动的参数。测点处的位移一般随时间变化，随着记录时间增加，逐渐趋于恒定值——沉

降位移。测点最大位移则代表沉降位移与桩体最大变形之和，最大位移与沉降位移、冲击力大小及持续时间有关。冲击力大小及其持续时间对最大位移、沉降位移影响是不同的。冲击力大，持续时间长，有以下几点不利于测试分析：（1）桩身截面应力大，易使桩体破坏；

（2）桩身处于加载、卸载状态即应力波在向下传播时，桩一部分开始加载而另一部分卸载；（3）虽然其最大位移可能很大，但由于卸载，甚至反向加载的作用，其沉降位移可能很小甚至为零；（4）由于加载速率较大，应力波衰减很快，测点最大位移并不能反映应力波在向下传播时，桩后半部分仍能处于加载—滑移—卸载—反向加载—反向卸载状态，这种状态对拟合确定侧阻力很重要，若桩体部分处于弹性加载、弹性卸载状态分析侧阻力会有较大误差。持续时间长，即使冲击力较小，它对测试是有利的：（1）得到较大的最大位移和沉降位移；（2）在桩底开始反射之前，桩身各部分均处于加载滑移状态；（3）动阻力较小，可减小与动阻力有关桩土相互作用参数误差的影响。因此，位移曲线中沉降位移是衡量打击效果的关键参数。

6、信号预处理

桩面裸露钢筋、碎石、传感器安装离桩面太近、传感器贴壁不紧都会导致信号有高频干扰，高频干扰信号应通过低通滤波消除。

力传感器安装不当或安装部位混凝土强度不高，导致力信号无法归零，在拟合之前应作归零处理。

加速度信号基线飘移会导致计算的速度及位移出现误差，根据位移曲线可对加速度进行修正。桩在打击后经过一段时间后会停止，若桩打动则有一定的沉降位移，没有打动，则沉降位移为零。在对加速度（速度）信号修正之前，先观察位移后期的变化，在以下几种情况下应作修正：（1）位移为负值；（2）位移呈直线上升状态。在无其它位移测量作为参考的情况下，至少应将后期位移修正至零或2.5mm左右。当有其它沉降观察数据，将最后时间点位移修正至观察数据。

7、信号组合

为了消除偏心锤击造成的一边受拉、一边受压的情况，一般将两侧的信号进行平均后作为分析信号。这种平均仅在一边受拉、一边受压情况下有效，理论上要求锤击点与两侧传感器在一条连线上。现场实验，落锤方向有时难以控制，偏心落锤可能导致两边测点信号同时受拉、受压，采用平均迭加是无法消除这种影响。此外，由于两侧的桩况、安装环境不同，有时可能导致某侧传感器安装较差，有时可能两侧的 F 、 ZV 曲线只有一个较好，用平均只能起到更坏的效果，因此，对信号进行优化组合在实际检测是很必要。特别是在对心锤击情

况，偏心影响可以不考虑，轴对称两侧测点信号应该还是比较接近的，若仅因安装、连线等原因导致部分通道记录信号不理想，可选择某种组合的信号进行分析。当某通道没有记录到信号，作信号平均已不具有修正偏心作用，实际上是将该参数幅值减半，是不恰当的。

8、测试信号校正

$F(t)$ 曲线是通过安装在桩侧的应变计（应变环）测量的应变计算出来的， $F(t) = E \cdot \varepsilon(t) \cdot A = \rho A c^2 \varepsilon(t)$ ， $Z \cdot V(t)$ 曲线是由安装在桩侧的加速度计测量的加速度积分计算出来的，即 $Z \cdot V(t) = \rho \cdot A \cdot c \int_0^t a(t) dt$ 。测量处波速值与平均波速是不同的，用平均波速代替测点波速引起的误差。因此， ρ 、 A 、 c 三参数会影响 $F(t)$ 、 $ZV(t)$ 曲线幅值，且对两者影响程度不一样，这些参数设置不当，会影响 $F(t)$ 、 $ZV(t)$ 幅值。此外，应变计是两点安装，两点之间混凝土与其它处混凝土差异程度及安装匹配耦合程度也会影响应变的测量。在作拟合分析之前，对 $F(t)$ 、 $ZV(t)$ 幅值差别作校正是必要的。当冲击脉冲起跳较陡的情况下， $F(t)$ 、 $ZV(t)$ 曲线由零点到达峰值点走时很短，在这段时间内，应力波传播距离很小，由此激发的土阻力也不大， $F(t)$ 、 $ZV(t)$ 上升段基本吻合，峰值相差也不大。根据这一原则，可对 $F(t)$ 、 $ZV(t)$ 曲线进行校正。校正的参考曲线一般以 $ZV(t)$ 为主，因为加速度计是单点安装，测量精度相对较高。将待校的曲线上升段及峰值调整与参考曲线比较接近。

3.3 拟合分析部分

1、拟合质量数

拟合质量数是衡量拟合效果好坏的一个参数，主要是指计算波形与实测波形匹配程度，它并不能作为衡量拟合结果合理程度参数。

拟合质量数小不等于结果好，之所以这么讲，是基于以下几条理由：

- （1）实测波形受传感器安装、传感器性能影响或多或少有些失真；
- （2）分析是基于一维波动理论，而对一些较特殊的桩，如挖孔桩，其反射的波形用一维近似有很大误差；
- （3）桩土相互作用模型虽然在作不断改进，但仍难以模拟实际情况。实际桩基中，桩土相互作用不仅与土层特性有关而且还与桩型、施工工艺等有关；
- （4）计算采用离散化方法，即将桩体分成很多单元，每个单元上桩侧作用力认为集中于单元底部，这与实际连续体是有差别的；
- （5）桩材料是非线性粘弹性介质，不同频率成份波传播速度不同，导致波在传播过程

发生弥散，即波形状发生畸变。

基于以上理由，拟合质量系数小，并不能代表拟合结果是合理。当然，也并不是说拟合质量系数可以很大，波形匹配程度可以很差。根据测试精度、桩长、桩型、施工工艺、桩周土层情况，最佳拟合质量系数是不同的，它有一个合理范围。这个范围与实际具体情况有关，我们是无法定量来描述它。拟合结果好坏应以拟合趋势而定，即要求计算值与实测值在桩底反射波之后相当一段时间内变化趋势要一致。

2、桩土模型参数

最初采用Smith模型描述桩土相互作用模型，但这种模型过于简单，特别是对桩底，它不能很好地描述能量向土层辐射情况。在大量的有限元模拟计算及实验基础上，目前使用的桩土作用模型已作了改进，模型还增加了辐射阻尼、附加质量。近年来，为了追求模型能与土力学研究成果相一致，增加了硬化、软化角等参数，从土力学角度上讲是无可厚非的，但在计算上存在诸多问题：

(1) 有些模型参数难以通过现勘或室内实验确定，即使可通过室内实验确定，现场情况可能与之有较大的差别。这些参数大致范围不清楚，在何种条件下，哪些土层发生硬化、软化不清楚；

(2) 模型参数过多导致求解欠定。假设模型有10~20参数，50单元就有500~1000个，而采样点一般只有1024个，若只分析 $6L/c$ 长度，往往只要几百个已知点，导致求解方程数小于未知参数数目；

(3) 从土力学角度上讲，不同参数代表不同的物理定义，但在计算中，某些参数可能是相关的，即参数调整对计算曲线的影响是相似的，调参数A可达到的匹配程度，调参数B也能达到同样的效果。那么是调整A还是调整B？

(4) 参数过多情况下，仅有 F 、 ZV 波形作为约束条件是不够的，必然会导致部分参数人为设定。而人为设定又缺乏室内、现场实验数据支持，设置的参数具有人为随意性，产生适得其反的效果。因此，桩土相互作用模型要基本反映桩土作用过程，在此基础上，保留对模型有主要影响的参数，略去一些影响不大的次要因素，免得一颗老鼠屎坏了一锅粥。

3、反分析多解性

用静载荷实验确定桩基承载力是最直接的方法。高应变试验方法是用重锤锤击桩体，通过对桩侧 F 、 V 测量来推算承载力。这种通过一定实验方法，由物体的某些表面现象或响应反推物体内在本质规律就属于反分析。在岩土工程中，反分析存在多解性、不确定性问题。有以下几方面因素可能会影响多解性：

(1) 已知的力学参数只有 $F(t)$ 、 $ZV(t)$ 曲线，已知条件太少，而模型参数又太多。这种情况与表达式 $a+b=10$ 无法唯一确定 a 、 b ， a 、 b 有多种组合是一个道理；

(2) 模型参数相关性。调参数A和调参数B都有类似的计算曲线，从而导致解的不确定；

(3) 计算曲线对某些参数的不敏感性，即参数有较大的变化，曲线仅有微小变化。自动拟合是通过目标函数后一步和前一步差值来判断是否终止计算的，终止计算前优化循环步数的微小变化，结果会有较大差异。当人工干预时，更难以通过曲线的变化来把握、控制。

减少反分析不确定性常有以下方法：

(a) 分段拟合；

(b) 软件建立数据库，设立专家系统来排除不合理结果；

(c) 增加测试参数量，即除了 F 、 V 测试之外，还增加其它参数测试；

(d) 重锤低击，使桩有较长受载时间、较低的加载速率，减少与动阻力有关参数的影响。

RSM-WAP中除了专家系统自动识别外，还可通过对桩入土土层参数分析、静荷载实验及低应变完整性检测结果等设定约束条件。后者往往比前者更适用。因为专家系统只能从各种具体情况提取共性作为分析、判断依据。例如，计算承载力不应超过冲击力；侧摩阻力大于1000kPa可能就不合理； J_s 值不宜超过1.5等。人为设置约束条件则可充分地利用场地一些有用信息。

4、波形拟合长度

拟合长度增加，相当于增加求解方程组数，它对减少解的不确定性是有帮助的。一般来说，拟合长度不少于 $6L/c$ ，或 $2L/c + 20ms$ 。在后期的信噪比较高的情况下，拟合长度还可适当增加。通过对较长时间波形变化趋势拟合可克服拟合长度较短时导致拟合匹配程度高，结果不合理现象，同时，也可消除波形局部失真、模型及离散化等带来的误差。

5、力曲线拟合与速度曲线拟合差异

桩侧某处第 i 时刻的 F_i 、 V_i 满足方程 $\phi(F_i, V_i) = 0$ ，在不计及模型等各种误差情况下，由 F_i 可以计算出 V_i ，由 V_i 也可计算出 F_i 。但实际分析是一个逆过程，两种比较方法无论形式上还是本质上有所差别。

(1) 波阻抗及桩土模型参数对力波及速度波形影响是不一样的。如波阻抗变小，反射拉力波使测点处作用力变小，质点速度增加。

(2) 力波形、速度波形对参数的敏感程度不同。具体讲, 某一参数变化, 力波形或速度波形变化程度不同, 速度波形一般是较敏感的。为了说明问题, 假设 F_i, V_i 满足 $\alpha F_i + \beta V_i = \gamma_i$ (实际表达式无法用此显性线性表达式表达), α, β 是系数, γ_i 与桩土等参数有关。若 γ_i 有 $\Delta \gamma_i$ 变化, 由 V_i 计算 F_i 就有相应 $\Delta F_i = \Delta \gamma_i / \alpha$; 由 F_i 计算 V_i 有 $\Delta V_i = \Delta \gamma_i / \beta$, α, β 参数越大, $\Delta V_i, \Delta F_i$ 对桩土参数变化越不敏感。

一般来说, 速度波形匹配程度高, 根据相应桩土参数计算的力波形匹配程度也高, 反之亦然。速度波形匹配程度不高的计算结果, 由此计算力的波形匹配会更差。但由于实测力波形误差往往大于速度波形, 追求力波形匹配效果, 反之不利于分析结果。

在人工干预时, 分析人员一般习惯于速度波形分析, 因为波阻抗及有关桩土参数变化对速度波形的影响更容易理解, 且易于与低应变分析对应。

6、嵌岩桩、挖孔桩特殊桩分析

在拟合分析时, 模型参数计算要求桩有一定的沉降位移, 要使嵌岩桩有一定的位移, 除非桩底基岩发生破坏。因此, 是基岩的抗压强度及桩底部面积决定桩的承载力, 嵌岩桩实际承载力一般会远大于设计承载力。嵌岩桩的检测应以低应变完整性检测为主, 只要桩体材料抗压强度较高, 桩身结构较完整, 桩底沉渣较干净, 承载力一般会达到设计要求。若要进行高应变实验, 根据设计要求的承载力来选择锤重 (>1.5%极限承载力)。当冲击力很大且沉降位移很小, 可以认为达到设计要求。当沉降位移很大, 说明基岩塑性位移较大, 此时可采用拟合分析。

对于大口径的挖孔桩, 基本上属于端承桩, 同时桩长度也较小, 这些与一维近似要求相差较远, 桩底扩大径反射波幅值要比一维理论值小。而在高应变拟合过程采用是一维波动理论, 受实测波形 (特别是扩大头反射波) 失真影响, 在拟合扩大头截面积就会出现误差, 进而影响单位面积端承力及单桩极限承载力计算。

7、缺损桩承载力分析

拟合分析是基于—维弹性波动理论, 即将桩作为一个弹性体考虑, 不考虑桩材料塑性变形及破坏强度。因此, 在对波形进行拟合分析之前, 除了要评估桩能否用—维近似外, 还要考虑桩材变形及强度问题, 特别是对有缺损的桩。

换句话讲, 桩的破坏有两种形式, 一种是桩土间发生较大塑性位移, 土发生破坏, 它对应的是通常所指的极限承载力; 另一种形式是桩体发生破坏, 属于桩材料破坏强度问题。

对缺损桩分析, 要将这两种破坏形式区别开来。当低应变检测桩有较严重的缺损, 再用高应变拟合判断承载力评估桩身可用性, 这一做法是不妥的。

8、人工设置约束条件

RSM-WAP软件可根据现场具体土层土性、静压资料等已知信息, 对模型参数范围进行约定。土层可大致分10层, 对于土性相近的相邻土层可作一层来考虑, 各层厚度也不需精确设定。土层阻力上、下限可参考建筑桩基技术规范JGJ 94-2008中侧阻力经验值、工程地质手册、或由当地不同土性的侧阻、端阻统计值来设定。因侧阻力与土的状态、埋深、地下水位、施工工艺等有关, 实际值与经验值、统计值可能有些差别, 甚至很大。设定侧阻时, 在推荐值的基础上按一定比例上下浮动作为上限、下限, 比如±20%。当对土层土性没有把握时, 可将上、下限差距拉大, 如按±50%左右甚至更高比例来设立上、下限, 值得注意的是下限设定必须比可能的侧阻小。

对弹限, 一般认为桩打动刚体位移在2.5mm左右, 故弹限范围可设定在1~5mm, 或1~10mm之间。

对阻尼, 一般认为Smith阻尼系数不易超过1.5s/m, 故上限设定为1.5s/m, 下限则在0.1以上。

预估侧阻可按设计值或根据场地土性参数估算一个大数值。

附加质量由于物理意义不如上面明显, 且没有具体参数值, 按软件缺省值。

人工设定约束条件的意义在于: 可以充分利用一些已知有用信息, 使参数在拟合过程中既能保证波形匹配, 又要使参数在设定的范围, 从而避免求解欠定或波形或多或少失真引起的拟合参数不合理。

9、自动拟合

由于桩体划分了很多单元, 每个单元又有很多参数, 不同单元、不同参数对波形的影响程度位置也不同, 因此, 人工调整单元参数是相当耗时及困难的, 在拟合分析过程中自动拟合是必不可少的。自动拟合: 就是通过优化方法, 调整对桩单元各参数, 使计算波形与实测波形达到匹配。拟合遵循以下原则: 拟合长度在 $6L/c$ 以上; 在波形趋势拟合较一致情况, 提高匹配程度; 在波形匹配程度无法提高的情况下, 以计算波形与实测波形趋势一致为主; 参数在设定约束范围。

10、拟合选项

自动拟合可以对除波阻抗之外其它参数进行拟合。但在实际情况, 可能会遇到某项参数经过人工调整已比较合理, 在拟合过程中不作调整, 在此情况下, 便可进行选项拟合。如最大弹限一般是2.5mm, 拟合时若不作为一项待定参数进行拟合, 可将弹限设定为2.5mm, 再进行选项拟合。有时侧阻分布及大小与场地较吻合的情况下, 也可将侧阻参数排除在优化

参数之外。

11、人工干预

人工干预就是根据各参数对计算波形的影响来确定参数调整方向及大小。一般情况下，不需全部用人工干预来调整参数。拟合波形可以将自动拟合与人工干预结合起来，即：自动拟合之后，再用人工干预调整参数不合理地方，或人工干预调整某参数，然后通过拟合选项对另外一些参数进行拟合。由于桩侧阻大小及分布是设计单位最为关心的，分析人员通过桩入土土层土性分析，对受检桩侧阻大小及分布有一定的概念，因此，侧阻调整是人工干预首选选项。侧阻参数调整到较合理程度后，若波形匹配程度变差，可通过拟合选项对其它参数拟合来达到匹配。至于侧阻分布，一般是土层颗粒越密实越大。

12、波阻抗拟合

波阻抗的变化会同时影响实测力和速度曲线。波阻抗变小，反射拉力波，测点质点速度在反射波影响下增加，而力则减小，反之，波阻抗增大，反射压力波，质点速度减小，力增大。通俗地讲，桩波阻抗变小，反射波质点速度与入射波同相，而力变化则是反相，反之，桩波阻抗变大，反射波质点速度与入射波反相，力则同相。由波阻抗变小引起的 F 、 ZV 曲线变化，在拟合时只能通过波阻抗的调整来使计算曲线与实测曲线匹配。在拟合过程中波阻抗与侧阻参数是相关的，相关性可从以下两方面来理解：（1）波阻抗以某种曲线形式缓慢增加，对计算的曲线的影响会与侧阻力的影响相似；（2）侧阻力=单位侧阻 \times 侧面积，在单位侧阻不变的情况下，截面积的以某种曲线形式缓慢增加（波阻抗： ρcA ），会导致侧阻力变化。因此，在优化目标函数中，波阻抗与侧阻力是两个相关程度很高的参数。侧阻变化会影响波阻抗变化分析，而波阻抗变化反过来又会影响侧阻分析。正因如此，在高应变拟合分析中，确定波阻抗的变化程度及范围是困难的。在高应变拟合分析时，用以下几种方法来计算波阻抗变化程度及范围：（1）对低应变检测信号进行拟合分析；（2）先拟合波形，分析其它模型参数，对波形不能拟合部分通过对波阻抗的优化分析使计算值与实测值达到匹配，然后，在此波阻抗变化情况下，再对模型其它参数进行拟合；（3）根据场地土层分布预设摩阻分布，预设最大弹限（建议值2.5mm）、Smith阻尼系数（0.1~1.5），在此基础上，对波形拟合分析波阻抗变化，然后，将波阻抗变化作为已知条件，再反过来拟合分析其它参数。

第四章 拟合软件详细介绍

4.1 程序特点

RSM-WAP高应变拟合分析软件是为RSM系列各种高应变检测仪器中配备的高应变承载力分析专用软件。此程序在编程上强调了操作更灵活，界面更友好。在功能上给了用户更大的灵活性，主要表现在如下几个方面。

a.丰富的参数设置：灵活机动的参数设置，可以对现场设置的参数进行灵活的修改，由于现场设置参数的错误、灵敏度系数设置的错误、检测单位与检测人员的未输入等都可以后期修改，同时也可以对桩土参数灵活修改：桩的单元长度、桩侧土的分层等都可以人为修改。

b.信号分析及处理方法丰富：可以对高应变实测信号进行高通、低通、归零、平移、旋转等处理，通过这些处理可以修正或消除信号中干扰或失真部分；通过上、下行波曲线或 F 、 ZV 曲线由桩长可以定波速或者由波速预估桩长；从位移曲线可以得到撞击过程中最大位移及沉降位移，波形的放大、拉伸、压缩可以使波形处于最佳分析状态。

c.拟合分析：有人工干预和自动拟合功能，人工干预的参数有：桩身阻抗、桩侧阻力、卸载阻力、加载弹限、卸载弹限、桩侧阻尼及桩底有关参数。参数可以逐个单元调整也可分段调整。自动拟合有多个拟合选项组合，可以对整个桩侧参数进行优化分析，也可以对桩侧某段参数进行优化分析。自动拟合时可以利用软件里的专家系统对参数进行筛选、优化，也可以将场地一些已知信息（如地勘报告、静压数据）设置进去，让软件根据这些信息对参数进行优化。人工干预与自动拟合可以相互结合起来。

d.打印版面设置：可以灵活选择打印内容，并可选择输出的打印结果是否配以文字的分析信息，打印的表格可以自由的选择和修改，满足广大客户的需要。同时也可以灵活设置打印的版面：如指定打印纸四周预留的空白，指定每页输出结果的数量，打印份数，指定每页是否加上工程名称为抬头，是否在末页加上检测单位与人员，是否加入页码等。

4.2 安装与卸载

在WINDOW平台上，在光盘的高应变拟合分析软件中，找到RSM-WAP高应变拟合分析程序.EXE安装程序。在RSM-WAP高应变拟合分析程序.EXE程序名称上双击鼠标左键，即可运行安装程序。此时出现（如图4-1所示）安装窗体。

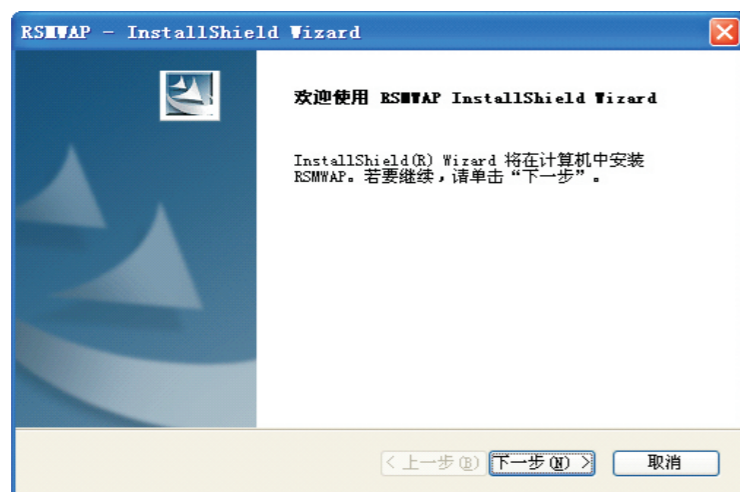


图4-1 安装界面

a.鼠标单击“下一步(N)”命令按钮，进入安装路径选择界面。

b.安装路径选择完毕后，点击下一步开始安装，直至出现安装已完成的提示。

如果需要对拟合软件进行卸载，可以点击开始》中岩科技》RSMWAP-高应变拟合分析软件》卸载，如下图所示：



图4-2 卸载界面

软件狗不需要安装任何驱动，直接将狗插在电脑的U口上时即可使用。

4.3 软件狗及分析步骤简介

拟合软件的使用步骤如下：

- (1) 运行软件之前将软件狗插到计算机U口上。
- (2) 点击运行RSM-WAP高应变拟合分析软件，若软件不能进行，请检查软件狗是否安装好，若软件仍无法运行，请与公司联系。
- (3) 程序正常运行后就可以对数据进行处理和拟合分析了。

分析的步骤如下：

- (1) 读出数据文件，对输入的参数如桩长、桩径、桩周长、加速度计灵敏度、应变计灵敏度等进行确认，可以对包括检测单位等多种信息进行补充。
- (2) 若实测力波形不归零，或最终位移为负，需对波形进行归零、旋转等处理。
- (3) 对桩土模型进行输入和设置。
- (4) 通过自动或人工或两者结合的方式调整有关参数对波形进行拟合。
- (5) 对拟合的结果进行保存或者输出打印。

4.4 运行与主界面说明

程序运行后，即可进入程序的主界面（如图4-3），至此即可开始使用本程序进行高应变的拟合分析了。

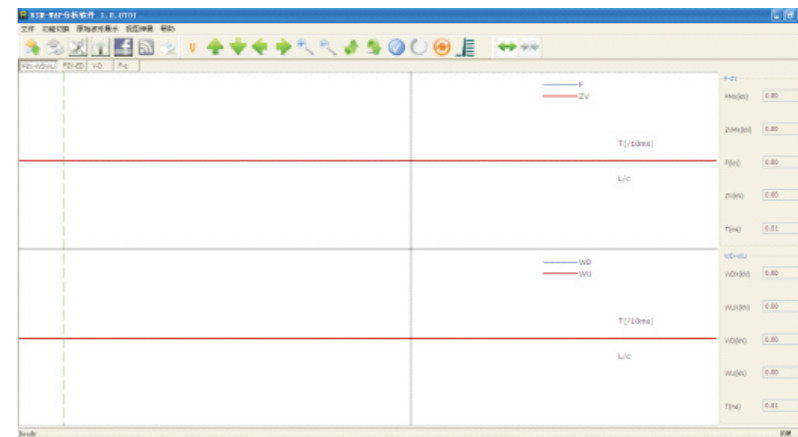


图4-3 程序主界面

打开一个波形后，进行桩周长的计算核实，选择桩类型、输入桩外径和桩内径，点击计算得到桩周长，如下图所示。



确定后，进入主界面。其主界面如下：

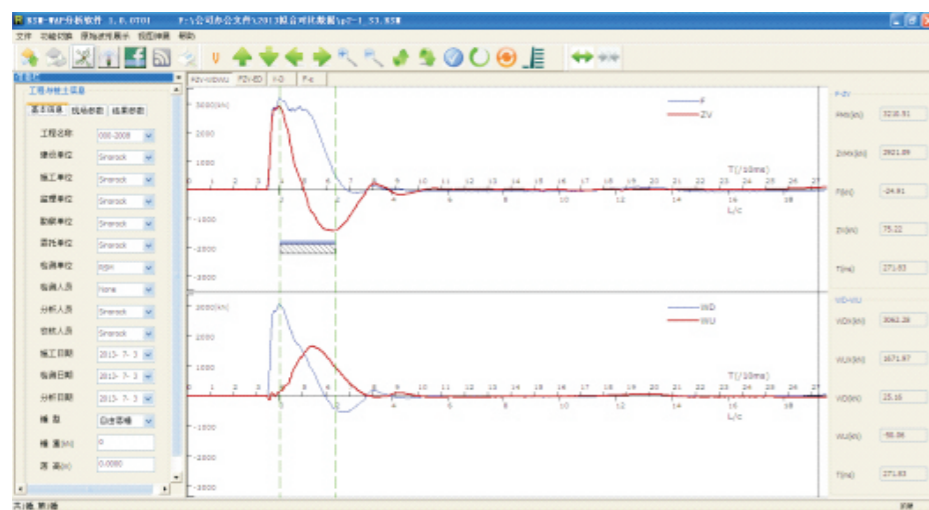


图4-4 打开波形后的程序主界面

4.5.1 文件菜单



图4-5 文件菜单

菜单项	含义	说明
打开波形文件	打开扩展名为*.rsm等数据格式的原始波形文件	
打开拟合结果文件	打开扩展名为*.fit的拟合结果文件	
保存结果文件	将拟合的结果进行保存	
图形输出	对当前界面的波形进行输出	
报告输出	对拟合的结果进行输出打印	只有拟合后才可点击
退出	退出该程序	

点击打开波形文件菜单，弹出如下界面：

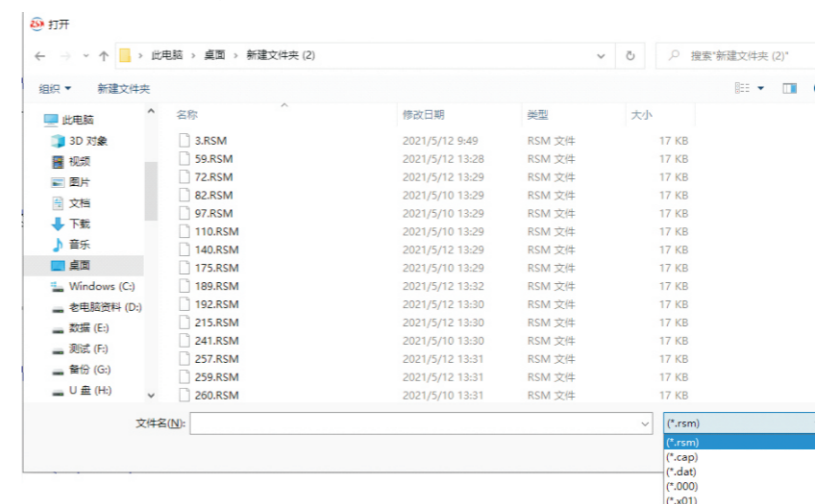


图4-6 打开波形文件

4.5 菜单功能介绍

按照菜单的组织方式，详细说明软件各个功能的使用。

即打开的波形文件可以选择不同的数据格式，包括RSM格式及其他格式。

点击[图形输出]，弹出如下界面：

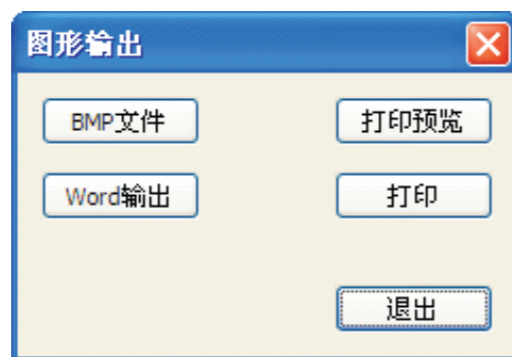


图4-7 图形输出界面

打开波形的主要目的是进行拟合分析，因此选择进行拟合分析的波形时，要考虑以下几个方面的因素：

(1) 力和速度波形起跳时间应一致，时间上不应有滞后现象。若波形有滞后现象可能是传感器安装位置混凝土比较疏松或者力传感器安装公差较大；或与桩面耦合不紧所致。若时间上有微小的滞后现象可以通过水平滚动条来修正。

(2) 波形起跳应较陡，这有利于用峰值或上、下行波的下降沿及上升沿来判断波速，波速的偏差无论是对CASE法分析，还是拟合分析都会带来较大的误差。波形起跳很缓，可能是锤垫不合适，用沙子作垫层可以提高应力均匀分布程度，特别是沙层较厚时不利于波形起跳，同时它也不利于延长锤击持续时间。除了垫层不合适会导致波形起跳过缓外，传感器与桩体的耦合程度，安装处混凝土是否密实，也会导致起跳缓慢，这是因为混凝土密实程度差，相应该处的弹模较小，要作较大的变形才会达到最大受力。

(3) 波形上升沿应基本是重合的，且 F 与 $Z \cdot V$ 的峰值基本上接近， F 曲线一般在 $Z \cdot V$ 曲线之上，这是因为桩端地表土层阻力不是很大，因而上行应力波也较小，此外，波形起跳陡峭，达到最大峰值时间很短，应力波传播距离不大，这样，累积的土阻力也不大。上升沿不重合， F 与 $Z \cdot V$ 的峰值相差较大，或 $Z \cdot V$ 曲线在 F 曲线之上，有可能：(a) 在传感器安装截面以下不远处有变波阻抗，若遇到缩颈， $Z \cdot V$ 曲线将偏高，若遇到扩径，力曲线将偏高；(b) 加速度计安装处与力传感器安装处弹模区别较大，或耦合不好；(c) 传感器安装的位置距锤击面太近，导致安装面的应力波非平面波；(d) 由于 F 、 $Z \cdot V$ 幅值与波速 C 有关， $F \propto C^2$ ， $Z \cdot V \propto C$ ，因此，波速 C 的误差也会导致 F 、 $Z \cdot V$ 幅值误差；(e) 正如前面指出的那样，当某道信号严重失真时，用平均方法也会导致 F 、 $Z \cdot V$ 幅值误差。

4.5.2 功能切换菜单



图4-8 功能切换菜单

菜单项	含义	说明
原始波形	显示原始数据界面，可以对数据进行处理和修正	勾选表示显示的界面
桩土参数	显示桩土参数界面，可以对桩土模型进行设置	
拟合分析	显示拟合分析界面，可以进行拟合设置和分析	
输出界面	显示输出界面，对拟合的结果进行展示	
主面板	显示左侧的信息栏	勾选表示显示

原始波形界面显示如下：

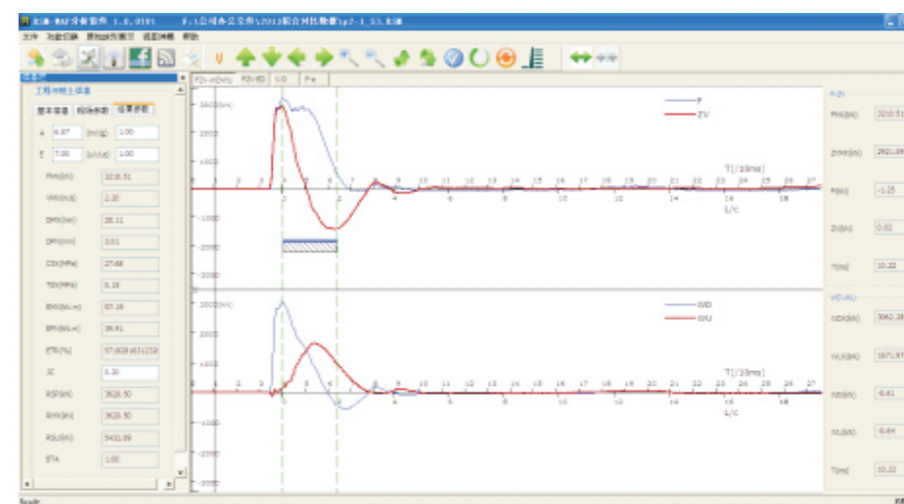


图4-9 原始波形界面

桩土参数界面如下：

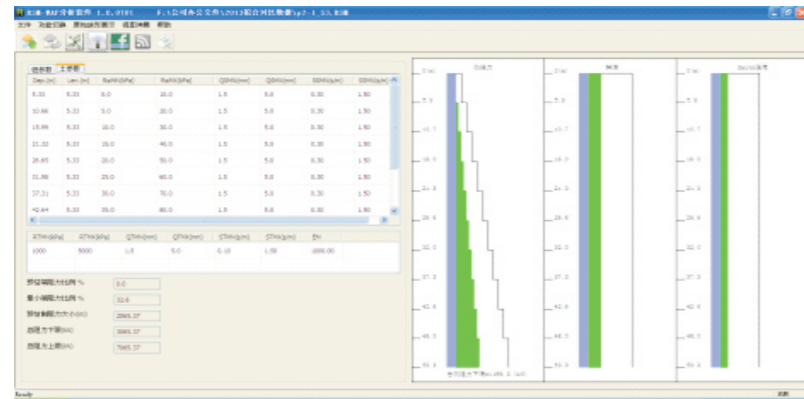


图4-10 桩土参数界面

拟合分析界面如下：

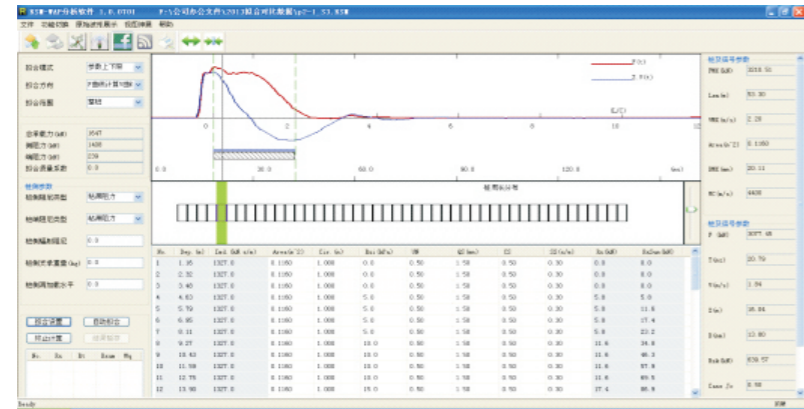


图4-11 拟合分析界面

输出界面如下：

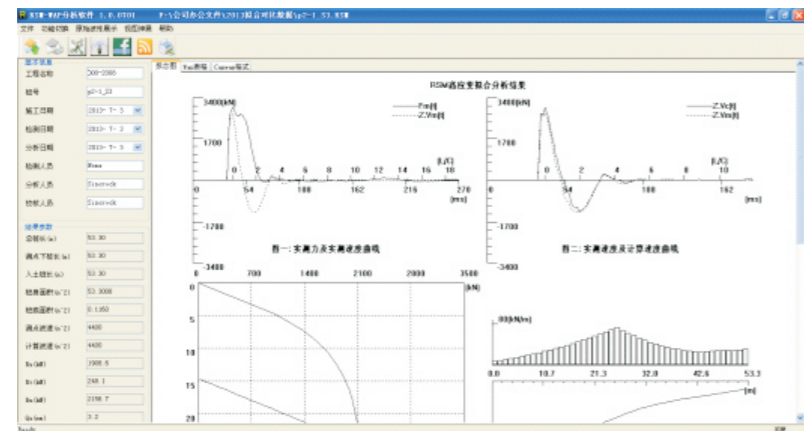


图4-12 输出界面

4.5.3 查看菜单

原始波形展示

上移
下移
左移
右移
上旋
下旋
反向
滤波
归零
还原
旋归零
放大
缩小

图4-13 查看菜单

菜单项	含义	说明
上移	点击向上移动所选中的波形	左侧所列功能，当标签栏在 $F-\varepsilon$ 上时，则所有的操作只能针对 F 或者 ε ，当标签栏在 $V-D$ 上时，则是对 V 的处理。当标签栏在 $FZV-WDWU$ 和 $FZV-ED$ 上时，所做的操作可以在 F 与 V 之间切换，分别对不同的曲线进行处理。
下移	点击向下移动所选中的波形	
左移	点击向左移动所选中的波形	
右移	点击向右移动所选中的波形	
上旋	点击时标线以右的所选中的波形向上旋转	
下旋	点击时标线以右的所选中的波形向下旋转	
反向	点击使所选中的波形反向	
滤波	点击弹出滤波设置界面	
归零	点击使所选中的波形尾部归零	
还原	点击将所选中的波形还原到最初状态	
旋归零	光标点击位置的波形归零	
放大	对波形的数值进行放大	
缩小	对波形的数值进行缩小	

当波形出现以下一些情况时，要对波进行处理：

(1) 力信号不归零，可能是由仪器的零飘或桥路最初输出不为零造成的；也可能是由安装、锤击造成的。具体的讲，在后一种情况下，力传感器最终处于受压或受拉状态。受压常见于安装位置的混凝土质量低劣，锤击后产生不可恢复的压缩变形；受拉常见于安装位置的混凝土在锤击作用下出现微细裂纹。力传感器安装压力不足，在传力过程中产生相对位置的错动；或者力传感器严重超载，本身产生局部的塑性变形。当然若不归零程度较严重，需找出原因，重新试验。

(2) 永久位移为负值，桩在锤击后应有一定沉降位移，沉降位移可能很小，但决不会为负值，也不会上翘。位移曲线是根据速度曲线一次积分而来，是加速度曲线二次积分来。由于加速度信号存在飘移及干扰，由加速度积分成速度都要作积分修正，如平移，旋转等，或按最小二乘法来修正飘移，这种校正是由计算机来完成的，但在由速度曲线计算位移曲线则不应修正。因此，从位移曲线可以了解速度曲线的修正效果，若位移曲线最终位移为负，应通过平移，旋转等人工方法对速度曲线进行再一次校正。

(3) 信号有高频干扰。在实验过程中，若传感器与桩体侧面耦合不紧，容易迭加高频振荡，此外，桩面不平整，钢筋凸出都会在撞击过程产生应力集中，这样会在信号上产生杂

4.5.4 视图伸展菜单

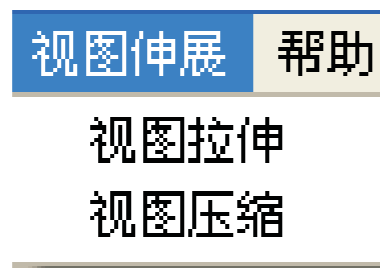


图4-14 视图伸展

菜单项	含义	说明
视图拉伸	缩小时间坐标轴的显示范围	
视图压缩	扩大时间坐标轴的显示范围	

4.5.5 帮助菜单

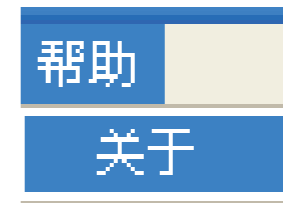


图4-15 帮助菜单

帮助菜单中只有一个关于，点击[关于]后有软件的相关信息。



图4-16 关于拟合分析软件

4.6 详细参数含义

4.6.1 原始波形界面

原始波形界面包括几个区域：菜单栏，工具栏，信息显示区、波形显示区、参数显示区等几个部分。

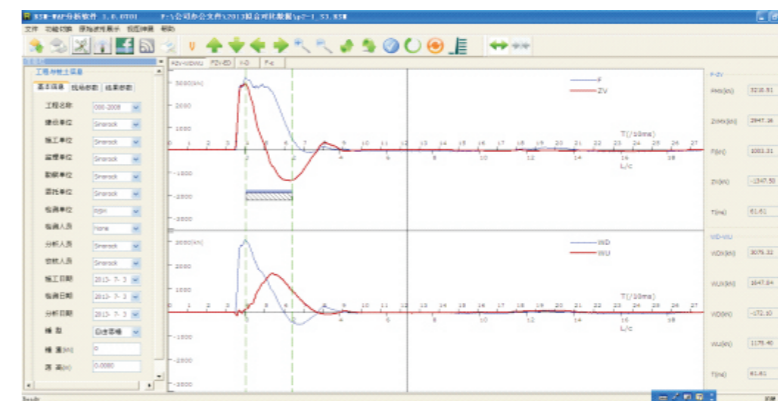


图4-17 原始波形界面

菜单栏的详细功能见4.5的说明。

工具栏的具体功能与菜单中的相关内容是一一对应的。下面主要重点的介绍信息显示区、波形切换区和参数显示区。

1、信息显示区

信息显示区包括三部分的信息：基本信息、现场参数和结果参数。如下图所示：

基本信息	现场参数	结果参数
工程名称	港珠澳大桥	
建设单位	Sinorock	
施工单位	Sinorock	
监理单位	Sinorock	
勘察单位	Sinorock	
委托单位	Sinorock	
检测单位	武汉中岩科	
检测人员	None	
分析人员	杨	
校核人员	Sinorock	
施工日期	2008- 1-18	
检测日期	2008- 1-18	
分析日期	2013- 7- 4	
锤 型	自由落锤	
锤 重(kN)	25	
落 高(m)	1.0000	

图4-18 基本信息界面

在该界面上，可以对现场没有设置的参数进行修改，这些参数包括：工程名称、建设单位、施工单位、监理单位、勘察单位、委托单位、检测单位、检测人员、分析人员、校核人员、施工日期、检测日期、分析日期等，还可以对现场检测的锤型、锤重、落高等信息进行再次确认。

需要说明的是，在打开文件后，有时可能会弹出如下提示：



图4-19 桩锤效率提示框

其主要的作用是提示锤重、落高输入是否合理，其原因如下：

在打桩过程中，桩锤传递给桩的能量可以通过实际的桩顶附近桩的受力和运动速度，通过下式求得：

$$E_n = \int_0^{t_e} F \cdot V \cdot dt$$

式中 E_n —— 桩获得的冲击能量 (kJ) ；

t_e —— 采样结束的时刻 (s) 。

桩锤的最大动能 (E_k) 可以通过测定锤芯最大运动速度确定，

$$E_k = \frac{1}{2} M_r \cdot V_{r,max}^2$$

式中， M_r —— 重锤质量 (kg) ；

$V_{r,max}$ —— 重锤最大运动速度 (m/s) 。

当为自由落锤时，锤芯最大运动速度 $V_0 = \sqrt{2gH}$ (式中g为重力加速度，H为锤的落高) 。

因此，如果是自由落锤时，传到桩上的能量肯定要小于桩锤的动能，因此：

锤击系统效率： $e_d = \frac{E_n}{E_k}$ 应该小于等于1.0。

基本信息	现场参数	结果参数
桩 型	砼灌注桩	
桩 号	p2-1_s3	
桩等级	C15	
总桩长(m)	53.30	
测点下桩长(m)	52.00	
入土桩长(m)	51.00	
桩周长(m)	1.5000	
测点截面积(m ²)	0.1160	
桩底截面积(m ²)	1.0000	
密度(kg/m ³)	2600	
测点波速(m/s)	4400	
平均波速(m/s)	4400	
弹性模量(GPa)	50.34	
阻 抗(kN.s/m)	1327.0400	
预估端承力比例(%)	50.00	
每击贯入度(mm)	5.00	

图4-20 现场参数界面

在该界面上，可对现场检测的桩的基本信息进行确认，因为这些信息直接影响到拟合的结果，主要包括如下一些参数：桩型（通过下拉菜单可以选择：砼灌注桩、砼预制方桩、砼预制管桩、钢管桩、其他桩型）、桩号、砼等级（通过下拉菜单可以选择混凝土等级）、总桩长、测点下桩长、入土桩长、桩周长、测点截面积、桩底截面积、密度、测点波速、平均波速、弹性模量、阻抗等，对桩的其他信息也可以进行设置，如预估端阻力比例和每击贯入度。

需要说明的是，总桩长是一个记录参数，而测点下桩长是用来通过桩头桩底时间差确定波速时使用的桩长，而入土桩长则会影响承载力的大小，原则上来说没有进入土层的桩端是没有侧摩阻力的。桩的周长直接影响到侧摩阻力的大小。测点波速是指传感器安装点的波速，指该处混凝土的弹性波速，而平均波速是通过2倍的测点下桩长除以桩头桩底时间差得到的波速，是应力波从桩头传到桩底再反射回来的一个平均波速，在桩没有缺陷的情况下，测点波速可以等于平均波速，但是如果桩身存在离析等缺陷或者桩底不明显时，测点波速与平均波速是有差别的。弹性模量和阻抗是通过公式计算出来的，不能直接输入，当改变了密度，测点波速，桩身截面积后，这些参数会实时发生变化。

基本信息	现场参数	结果参数
A	6.87 (mV/g)	1.00
E	7.00 (uV/ue)	1.00
FMX(kN)		3210.51
VMX(m/s)		2.20
DMX(mm)		20.11
DFN(mm)		3.01
CSX(MPa)		27.68
TSX(MPa)		5.15
EMX(kN.m)		57.19
EFN(kN.m)		39.91
ETR(%)		5.72
JC		0.20
RSP(kN)		3667.30
RMX(kN)		3667.30
RSU(kN)		5442.92
BTA		1.00

图4-21 结果参数界面

当将信息显示区的标签栏切换到结果参数界面时，我们可以看到通过公式计算的相关结果，其具体含义如下：

标识	含义	说明
A	后面第一个输入框指加速度计的灵敏度系数，第二个输入框是指放大倍数	软件只显示两道平均信号
E	后面第一个输入框指应变环的灵敏度系数，第二个输入框是指放大倍数	软件只显示两道平均信号
FMX	最大打击力	相应参数的计算公式参考相关书籍
VMX	最大质点振动速度	
DMX	最大动位移	
DFN	最终位移	
CSX	最大压应力	
TSX	最大拉应力	
EMX	最大锤击能量	
EFN	最终发挥能量	
ETR	能量发挥效率	
Jc	Case阻尼系数	
RSP	阻尼系数法计算得到的承载力（对应的Jc值）	
RMX	最大阻力法计算得到的承载力（对应的Jc值）	
RSU	卸载法计算得到的承载力（对应的Jc值）	
BTA	完整性系数	

2、波形切换区和参数显示区

在原始波形界面下，中间部分是波形显示区，右边是相关的参数及光标指示的数值，波形切换区有以下四个不同的界面：FZV-WDWU、FZV-ED、V-D、F-ε，下面进行详细介绍。

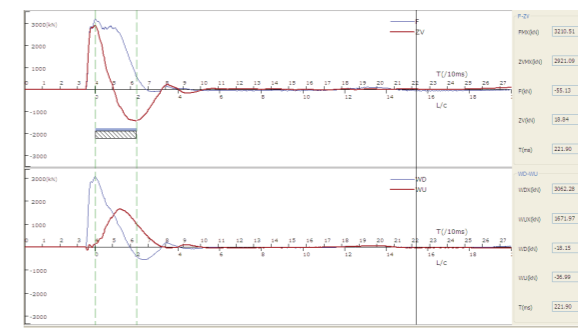


图4-22 FZV-WDWU界面

在FZV-WDWU界面上，上面部分显示的是 $F-ZV$ 曲线，下面部分显示的上下行波曲线，WD表示下行波，WU表示上行波。右侧是关于两种曲线的相关结果，其具体含义如下：

标识	含义
$FMX(kN)$	力(F)曲线最大值
$ZVM(kN)$	Zv 曲线最大值
$WUX(kN)$	上行波曲线最大值
$WDX(kN)$	下行波曲线最大值
$F(kN)$	光标所在位置力(F)曲线数值
$ZV(kN)$	光标所在位置 ZV 曲线数值
$WD(kN)$	光标所在位置下行波数值
$WU(kN)$	光标所在位置上行波数值
$t(ms)$	光标所在位置对应时间

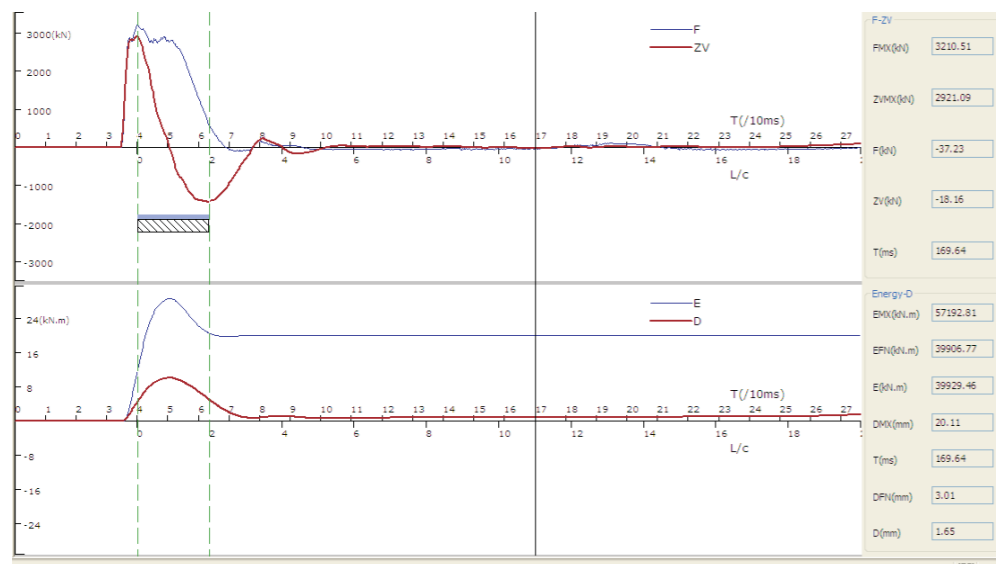


图4-23 FZV-ED界面

在FZV-ED界面上，上面部分显示的是 $F-ZV$ 曲线，下面部分显示的位移和能量曲线，E表示能量，D表示位移，右侧是关于两种曲线的相关结果，其具体含义如下：

标记或符号	含义	说明
$FMX(kN)$	力曲线最大值	
$ZVMX(kN)$	ZV 曲线最大值	
$F(kN)$	时标线当前位置的力值	
$ZV(kN)$	时标线当前位置的 ZV 值	
$T(ms)$	时标线当前位置的时间	
$EMX(kN.m)$	能量曲线最大值	
$DMX(mm)$	位移曲线最大值	
$EFN(kN.m)$	最终能量值	
$DFN(mm)$	最终位移值	
$E(kN.m)$	时标线当前位置的能量值	
$D(mm)$	时标线当前位置的位移	

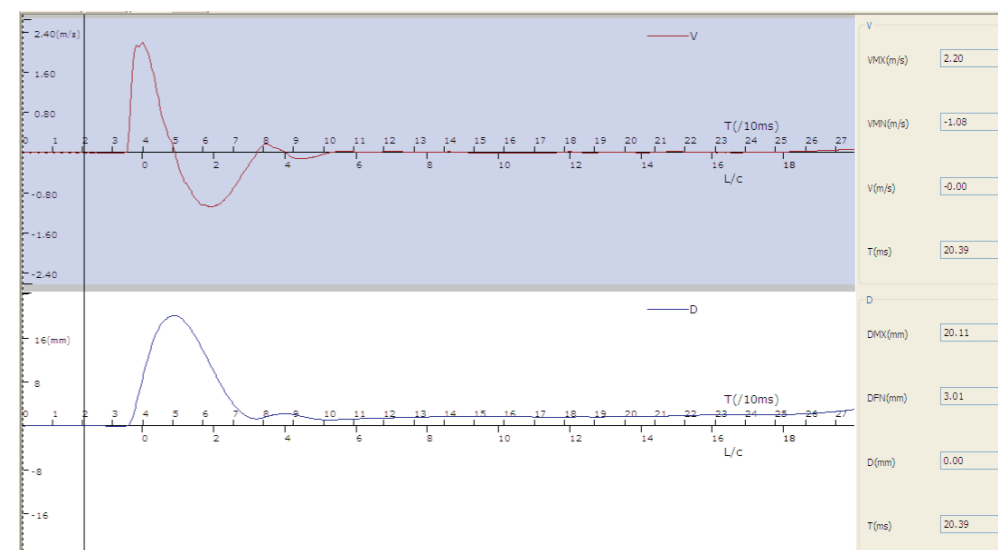


图4-24 V-D界面

在 $V-D$ 界面上，上面部分显示的是速度曲线，下面部分显示的位移曲线，右侧是关于两种曲线的相关结果，其具体含义如下：

标记或符号	含义	说明
$VMX(m/s)$	速度的最大值	
$VMN(m/s)$	速度的最小值	
$V(m/s)$	时标线当前位置的速度值	
$T(ms)$	时标线当前位置的时间	
$DMX(mm)$	位移曲线最大值	
$DFN(mm)$	最终位移值	
$D(mm)$	时标线当前位置的位移	

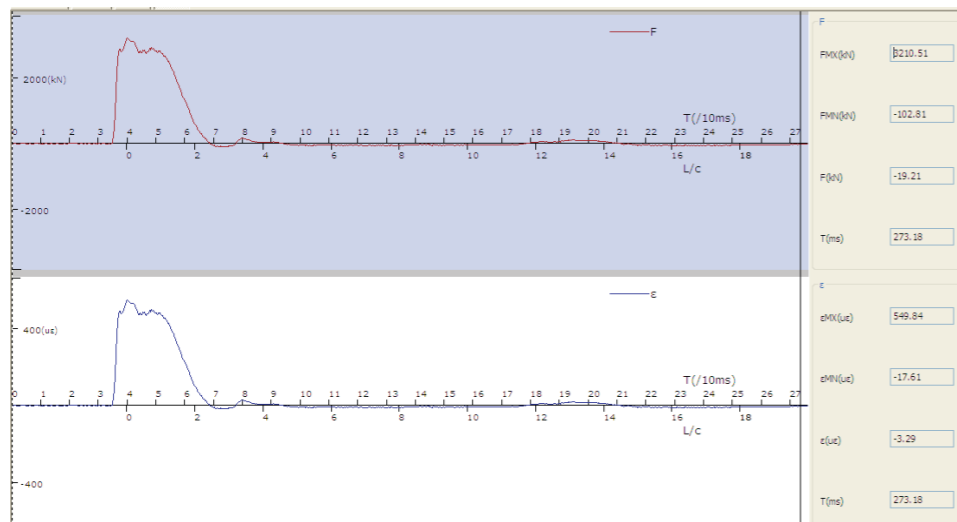


图4-25 F-ε界面

在F-ε界面上，上面部分显示的是力曲线，下面部分显示的应变曲线，右侧是关于两种曲线的相关结果，其具体含义如下：

标记或符号	含义	说明
$FMX(kN)$	力曲线的最大值	
$FMN(kN)$	力曲线的最小值	
$F(kN)$	时标线当前位置的力值	
$T(ms)$	时标线当前位置的时间	
$\epsilon_{MX}(\mu\epsilon)$	应变曲线的最大值	
$\epsilon_{MN}(\mu\epsilon)$	应变曲线的最小值	
$\epsilon(\mu\epsilon)$	时标线当前位置的应变值	

4.6.2 桩土参数界面

在菜单的功能切换下点击“桩土参数”或者直接在工具栏上点击即可进入桩土参数的设置界面，如下图所示。

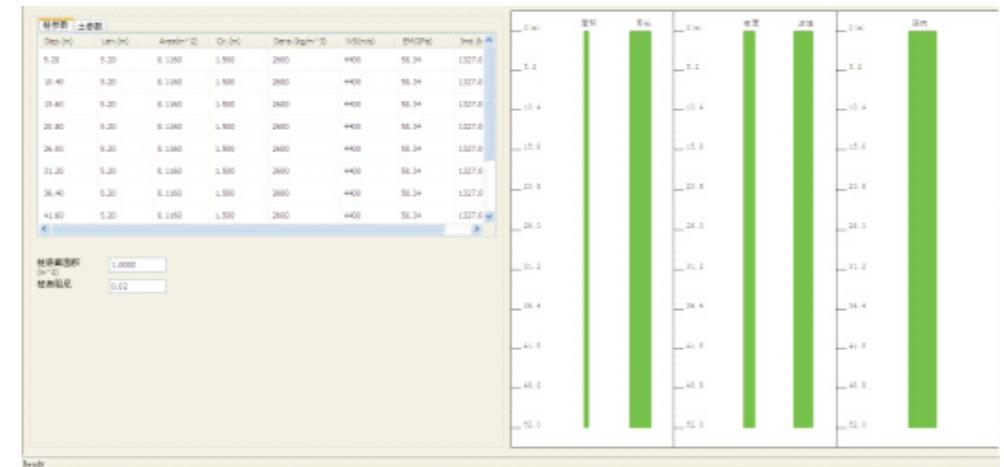


图4-26 桩土参数界面

该界面的主要功能是建立模型，对桩的模型、土的模型进行设置。进入该界面后，软件会自动对桩和土进行设置，用户可以根据桩与土的实际情况进行修改。界面的左侧是相关数据修改与显示区，右边为相关的示意图。

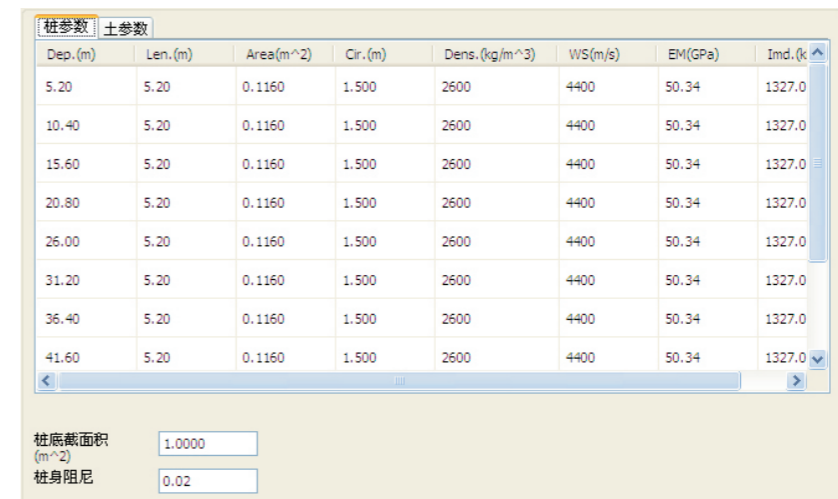


图4-27 桩参数设置

桩参数的设置主要包括以下几个部分：可以对单元进行分割，即每个单元的长度可以设置，针对每个单元的面积、周长、密度、波速进行不同的设置，相关参数设置之后，软件会自动计算出每个单元的弹性模量和阻抗。

同时也可以对桩底截面积进行设置，对于有些有扩大头的桩，桩底的面积会与桩身面积不一致。桩身阻尼，针对混凝土桩一般取0.02，对于木桩一般取0.01，对于钢桩一般取0.03。

相关参数的对应关系如下：

Dep.	Len.	Area	Cir.	Den.	WS	EM	Imd.
距传感器安装位置的深度	单元长度	桩的截面积	桩的周长	桩身密度	桩身波速	弹性模量	阻抗

需要说明的是，对相关参数不清楚时，可以将光标放在该参数上，此时会有相应的提示信息，如：

Area(m ²)	Cir.(m)	Dens.(kg/m ³)	WS(m/s)	EM(GPa)
0.1160	1.500	2600	4400	50.34
0.1160	1.500	2600	4400	50.34
0.1160	1.500	2600	4400	50.34
0.1160	1.500	2600	4400	50.34

图4-28 相关信息的提示

对桩的参数进行设置后，可以对桩周土的相关参数进行设置，点击上面的标签栏，可以切换到土参数界面。

Dep.(m)	Len.(m)	RsiMN(kPa)	RsiMX(kPa)	QSMN(mm)	QSMX(mm)	SSMN(g/m)	SSMX(g/m)
6.10	5.10	0.0	10.0	1.5	5.0	0.30	1.50
11.20	5.10	5.0	20.0	1.5	5.0	0.30	1.50
16.30	5.10	10.0	30.0	1.5	5.0	0.30	1.50
21.40	5.10	15.0	40.0	1.5	5.0	0.30	1.50
26.50	5.10	20.0	50.0	1.5	5.0	0.30	1.50
31.60	5.10	25.0	60.0	1.5	5.0	0.30	1.50
36.70	5.10	30.0	70.0	1.5	5.0	0.30	1.50
41.80	5.10	35.0	80.0	1.5	5.0	0.30	1.50

RTMN(kPa)	RTMX(kPa)	QTMN(mm)	QTMX(mm)	STMN(g/m)	STMX(g/m)	EM
1000	5000	1.5	5.0	0.10	1.50	1000.00

预估端阻力比例 %	50.0
最小端阻力比例 %	25.2
预估侧阻力大小(kN)	2964.38
总阻力下限(kN)	3964.38
总阻力上限(kN)	7964.38

图4-29 土参数界面

桩承载力的计算结果主要与桩周土的土性有关，因此为了减少拟合的时间和计算的准确性，有必要对桩周土进行设置。

土参数设置的主要内容包括：可以根据分层厚度给出每层土的侧阻力范围、弹限范围、阻尼系数范围，附加质量上限、端阻力范围、桩底弹限范围、桩底阻尼范围、预估侧阻力等。

关于参数的对应关系如下：

Dep.	Len.	RsiMN	RsiMX	QSMN	QSMX	SSMN	SSMX
距传感器安装位置的深度	单元长度	侧阻力下限	侧阻力上限	桩侧弹限下限	桩侧弹限上限	Smith阻尼下限	Smith阻尼上限
RTMN	RTMX	QTMN	QTMX	STMN	STMX	EM	
桩底阻力下限	桩底阻力上限	桩底弹限下限	桩底弹限上限	Smith阻尼下限	Smith阻尼上限	附加质量	

关于参数设置的依据，说明如下：

侧阻力上、下限：可以根据地勘报告中分层土性来定，下限设定应比推荐的侧阻力小，而上限应比推荐的侧阻力大。拟合时的侧阻力总是以设定的侧阻力下限为下限，即拟合的侧阻力总是大于或等于设定的下限，因此，下限设定时一定要比实际的值要小，而上限仅起一定的约束作用，视波形拟合情况，侧阻力可以超过设定的上限。侧阻力下限设定时，会在右边给出分层厚度及其下限值示意图。当分层的总厚度大于桩长时，计算只取与桩长对应的分层及厚度，分层厚度为零时，分层设置参数无效。

弹限：一般推荐取2.5mm，实验表明弹限的下限可以在1~2mm之间，弹限的上限可以达到10mm以上。

阻尼系数：桩侧的Smith阻尼系数应大于零，一般建议最大值不应超过1.5s/m。


附加质量：附加质量一般不应超过长度为一倍桩径的桩底自重，它可以达到数千kg。

桩底端承力的上、下限：与侧阻力上、下限设置类似，可以根据持力层的土性来设置。

桩底的弹限：同桩侧。

预估桩侧阻力：是根据各分层的土性预估而来的，它应大于分层阻力下限计算的桩侧阻力。

4.6.3 拟合分析界面

在菜单的功能切换下点击**拟合分析**或者直接在工具栏上点击即可进入拟合分析界面，如下图所示。

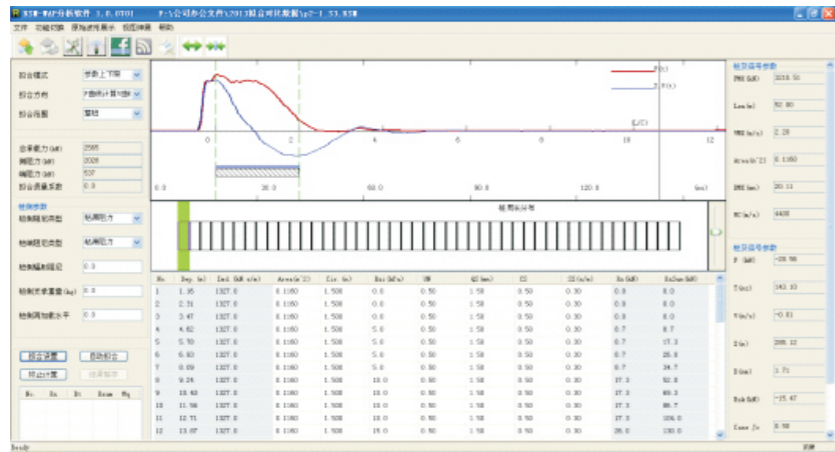


图4-30 拟合分析界面

进入该界面后，就可以对该波形进行拟合分析了，在前面桩土参数界面已经初步对桩和土模型参数进行了设置，但是在做拟合分析之前，还需要对相关的内容进行设置，下面进行详细的介绍。

1、拟合模式、方向和范围



图4-31 拟合选择

在做拟合时，需要对拟合的模式、方向和范围进行设置。

拟合模式主要有三种：参数上下限、人工拟合参数和自动识别。

参数上下限主要是根据桩土模型参数设置中给出的分层厚度及每层土的侧阻力范围、弹限范围、阻尼系数范围，附加质量上限、端阻力范围、桩底弹限范围、桩底阻尼范围、预估侧阻力等来进行拟合。

自动识别：就是利用在基桩中普遍存在的一些共性，对拟合过程进行约束，对拟合参

数进行筛选。受土质及施工复杂性影响，有些桩不具有系统所提供的共性或者很少，在此情况下，不宜采用自动识别选项。

人工拟合参数：它事实上是一个细调过程，也就是在人为设置参数拟合后，为了改善计算波形与实测波形的匹配程度，在原设置参数±20%范围内对参数进行自动化分析。在选择侧阻参数约束时，要求计算和实测波形比较接近。

拟合方向主要有：由F曲线计算V曲线或者由V曲线计算F曲线。

拟合的主要思路是对桩土参数进行设置后，将一条实测曲线作为边界条件代入该模型，由于桩土体系中速度与力存在一定的数学关系，因此就可以通过一条曲线计算出另外一条曲线，再将这条计算出来的曲线与实测的该类曲线进行比较，然后再调整桩土模型，最终的目的是通过计算的曲线与实测的曲线比较接近，这样我们可以推断出桩土模型比较接近实际的情况，从而计算出的承载力才认为是比较满足实际情况的。

拟合范围可以选择：整桩或者窗口。

在拟合分析时，可以对整个桩侧桩土参数进行分析，也可以对桩某段进行优化分析，其它部位的参数不变，拟合区域的缺省值是整桩侧。当进行局部分析时，首先要在桩身上构造一个分析窗口。

2、拟合设置

点击了**拟合设置**后，弹出如下界面：



图4-32 拟合设置界面

在拟合设置中，主要包括三部分的内容：拟合项的选择、加权系数的设定、趋势项的分布。

拟合项的选择：有波阻抗拟合、桩侧阻力拟合、桩侧加载弹限、桩侧卸载阻力、桩侧卸载弹限、桩侧阻尼、桩底参数、各项综合项共8个拟合选项，拟合时可以选择一项，也可选两个或两个以上项进行组合，选择综合项可以确定除波阻抗之外的其它参数。设置拟合选项的目的是：某些参数人为设定后，或者用某些组合方式拟合确定后，对另外一些参数进行优化分析。此外，在选择综合项拟合后，也可对某一项或多项参数进行细致分析。由于在拟合过程中，波阻抗与桩侧阻力相关程度较高，波阻抗一般单独拟合。含有桩侧阻力与加载弹限二项的组合或有卸载阻力与卸载弹限两项的组合，在拟合过程中也不选用。因此软件设计过程中将常见的几种组合都列出出来了。

加权系数的设定：由于离散化误差、模型误差、信号测试误差及多解性等的影响，波形匹配程度好坏并不是衡量计算结果可信度的唯一条件，计算的参数是否有物理意义，是否与桩设计相违背，或者是否与已知的信息(包括静压、地勘报告等)相冲突是拟合计算中非常关心的。加权系数的目的就是体现参数在拟合过程中重要程度，加权系数都为零，则拟合过程完全是考虑对波形的拟合而不考虑参数物理意义。某项参数加权系数越大，则更强调拟合过程该参数的物理意义。当波形匹配程度高但某项参数不合理，可适当提高该项参数的加权系数，但相应地会降低波形匹配程度。当波形匹配程度差，可适当降低参数的加权系数来提高波形匹配程度。加权系数的范围视波形匹配程度(波形匹配程度不要求很高，但计算波形与实测波形的趋势要一致)及参数物理意义等具体情况确定。

趋势项的分布：针对有些拟合参数，当进行自动拟合之后，其总体的分布趋势是与地层一致的，但是只是总体的数值偏小，如果要一个个的调整的话，可能比较费时间，因此软件设计过程中，针对趋势项的分布，有保持原趋势及归一分布两种选择。保持原趋势则调整过程中只是数值的大小变化，原来的分布规律不变，如果是归一分布，则调整后，所有的单元都变成了一个数值。

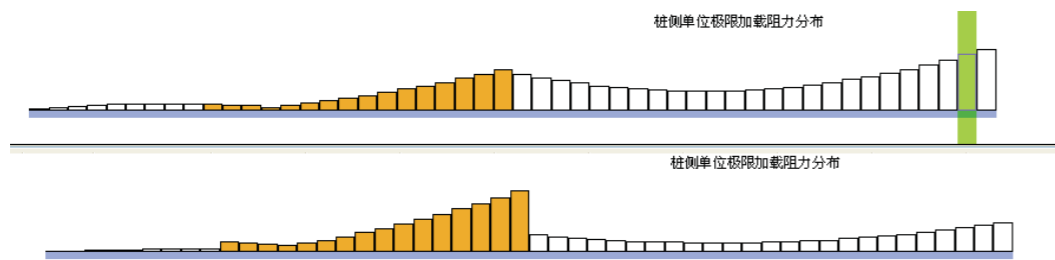


图4-33 保持原趋势的调整前后对比图

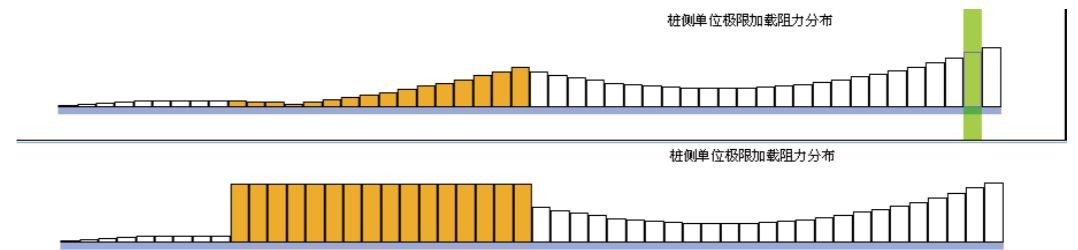


图4-34 归一分布的调整前后对比图

3、自动拟合（人工干预）、终止计算与结果暂存

自动拟合(人工干预)：人为设置参数后，对此按钮操作可以得到计算曲线与实测曲线比较。通过拟合设置可以将人工干预按钮切换成自动拟合，点击一下可进行自动拟合，拟合时文本框总阻力、侧阻力、端阻力、拟合质量数值在变化。通过鼠标点击Area、Cir、Rsi、UN、QS、CS、SS可显示自动拟合过程各参数。自动拟合方法不需要高深的波动理论知识，操作也简单，比较适合对波动理论掌握较少、开展动测时间不长的初学者。但拟合结果有时并不尽人意，需要对拟合结果作进一步调整，有经验者完全可以用试凑参数方法来使波形匹配，或者桩身的部分区域人为设置参数，部分区域用自动拟合方法。

终止计算：主要用于自动拟合过程。当波形匹配程度及桩土参数比较满意，可强行终止计算，或者通过终止计算将自动拟合状态按钮切换至人工拟合状态。

结果暂存：将一组波形不同的分析结果暂时存储起来，按计算结果的先后，用1~5序号来表示存储结果，相应的序号给出侧阻力、端承力、总阻力、拟合质量数。暂存的结果并没有以数据文件形式保存，一旦退出拟合分析状态，结果便不存在。点击序号，序号框底变蓝，可以显示该次拟合详细结果。

4、实测曲线与拟合曲线对比及参数分布示意图

在拟合界面上，中上部分主要显示实测曲线与拟合曲线的对比图，中间部分显示的是各参数的分布示意图。

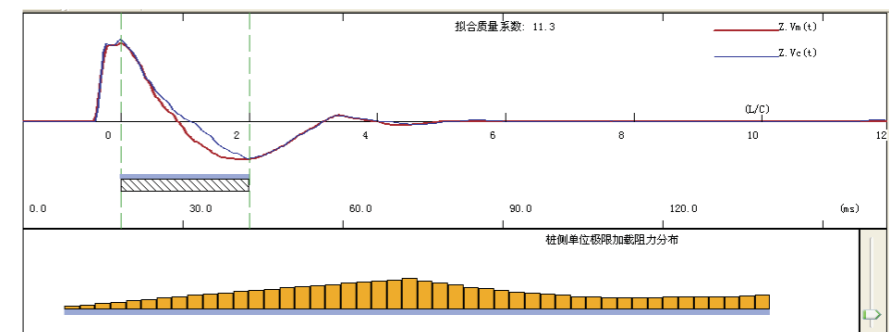


图4-35 实测曲线与拟合曲线的对比图及参数分布示意图

上图显示的是实测曲线与拟合曲线的对比， ZV_m 表示的是实测 ZV 曲线， ZV_c 表示的是计算出来的 ZV 曲线。

需要说明的是，在曲线图上点击鼠标右键，可以选择对曲线进行拉伸或者压缩。

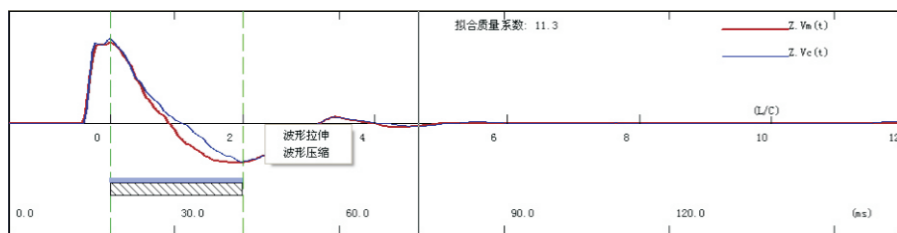


图4-36 实测曲线与拟合曲线的对比图

下图表示的是相关参数的分布示意图，可以通过点击下面的数据表来切换在该区域表示的不同参数分布，主要有：面积、周长、桩侧单位加载阻力分布、桩侧卸载水平分布、桩侧土加载弹限分布、桩侧卸载与加载弹限比分布、smith阻尼分布。

需要说明的是：对这些参数的修改，可以通过鼠标左键拉动，选择需要调整的一个或者多个单元，然后通过右边的滑块向上或者向下拖动来增大或者减小单元的数值，可以通过鼠标右键来取消单元的选择。同时也可以直接手工输入来修改桩侧及桩底参数表中的数值。

5、桩侧及桩底参数表

在实测曲线与拟合曲线的下部，显示的是桩侧各单元的相关参数的数据表以及桩底参数的数值。

No.	Dep. (m)	Imd. (kN s/m)	Area (m ²)	Cir. (m)	Rsi (kPa)	UN	QS (mm)	CS	SS (s/m)	Rs (kN)	RsSum (kN)
1	0.30	1274.0	0.1300	1.000	10.8	0.70	2.51	0.70	0.20	3.2	3.2
2	0.59	1274.0	0.1300	1.000	8.3	0.70	2.52	0.70	0.20	2.4	5.7
3	0.89	1274.0	0.1300	1.000	13.6	0.70	2.53	0.70	0.20	4.0	9.7
4	1.18	1274.0	0.1300	1.000	17.8	0.70	2.54	0.70	0.20	5.3	15.0
5	1.48	1274.0	0.1300	1.000	21.0	0.70	2.56	0.70	0.20	6.2	21.2
6	1.78	1274.0	0.1300	1.000	23.0	0.70	2.57	0.70	0.20	6.8	28.0
7	2.07	1274.0	0.1300	1.000	23.8	0.70	2.58	0.70	0.20	7.1	35.0
8	2.37	1274.0	0.1300	1.000	23.6	0.70	2.59	0.70	0.20	7.0	42.0
9	2.66	1274.0	0.1300	1.000	22.2	0.70	2.61	0.70	0.20	6.6	48.6
10	2.96	1274.0	0.1300	1.000	19.8	0.70	2.62	0.70	0.20	5.9	54.4
11	3.26	1274.0	0.1300	1.000	22.7	0.70	2.64	0.70	0.20	6.7	61.2
12	3.55	1274.0	0.1300	1.000	30.0	0.70	2.65	0.70	0.20	8.9	70.1

AT (m ²)	RT (kPa)	QT (mm)	CT	BT	JT	ST (s/m)	LT	MT (kg)	TG (mm)	PL (kg)
0.1300	1001.0	2.50	1.00	0.00	1.10	17.59	1.10	200.0	0.50	100.0

图4-37 桩侧及桩底参数表

围墙画面桩侧及桩底参数表中相关参数的对应关系如下：

标示	含义	备注
No.	序号	
Dep.	距离传感器安装位置的深度	
Imd.	桩身阻抗	
Area	桩的截面积	
Cir.	桩的周长	
Rsi	桩侧单位极限加载阻力	
UN	桩侧土的卸载水平	
QS	桩侧土加载弹限	
CS	桩侧卸载与加载弹限比	
SS	桩侧smith阻尼系数	
RS	桩侧加载阻力	
RsSum	桩侧累积加载阻力	
AT	桩端截面积	
RT	桩端阻力	
QT	桩端土加载弹限	
CT	桩端土卸载与加载弹限比	
BT	桩端土辐射阻尼	
JT	桩端土case阻尼系数	
ST	桩端土smith阻尼系数	
LT	桩端土的再加载水平	
MT	桩端土支承重量	
TG	桩端土隙	
PL	土塞质量	

表格中每个参数的具体含义及对拟合结果的影响，请参照相关资料。

移动参数表中滚动条可以了解不同单元的参数，同时波形图中光标也作相应的移动，光标对应的波形与当前的单元是对应的。对某单元某项参数进行修改时，可在对应位置用鼠标点击一下，然后输入修改值，输入完后，将鼠标在其它位置点击一下便完成修改，该参数沿桩身的分布图也作相应的变化。

6、桩及信号参数

桩及信号参数在拟合界面的右边，如下图所示：


桩及信号参数	
FMX (kN)	3203.02
Len (m)	53.30
VMX (m/s)	2.20
Area (m ²)	0.1160
DMX (mm)	20.02
WC (m/s)	4400
桩及信号参数	
F (kN)	-40.43
T (ms)	74.25
V (m/s)	-0.11
X (m)	133.65
D (mm)	1.07
Rsk (kN)	101.22
Case Jc	0.81
Rt/A (kPa)	4082.8

图4-38 桩及信号参数

其相关参数的含义如下：

标示	含义	标示	含义
FMX	最大打击力	F	光标位置对应的力
Len.	测点下桩长	T	光标位置对应的时间
VMX	最大速度	V	光标位置对应的速度
Area	截面积	X	光标位置距桩顶的距离
DMX	最大动位移	D	光标位置的位移
WC	平均波速	Rsk	光标位置的侧阻力
		Case Jc	Case阻尼系数
		Rt/A	桩端力与面积的比

4.6.4 输出界面

在菜单的功能切换下点击[输出界面]或者直接在工具栏上点击即可进入输出界面，如下图所示。

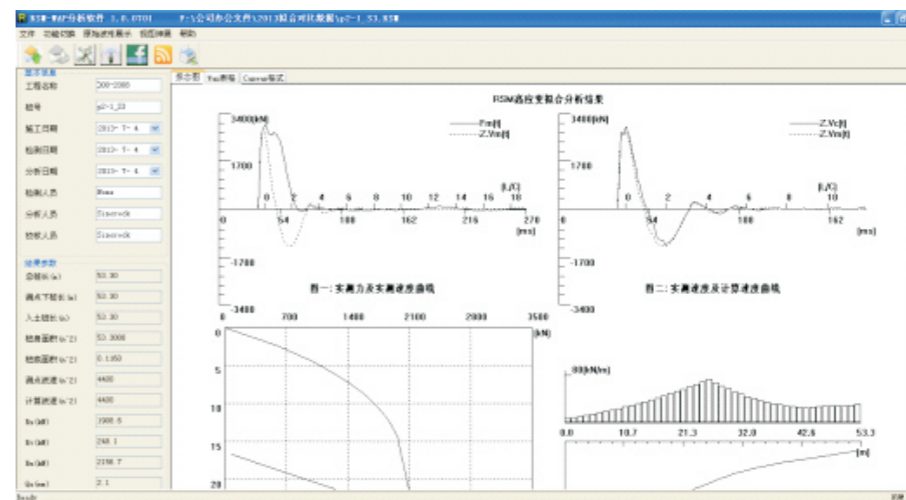


图4-39 输出界面

在该界面上，可以对需要输出的基本信息进行再次确认，也可以对结果参数进行查看。输出的内容主要有：拟合图、Wap表格和capwap格式三个标签可以查看。

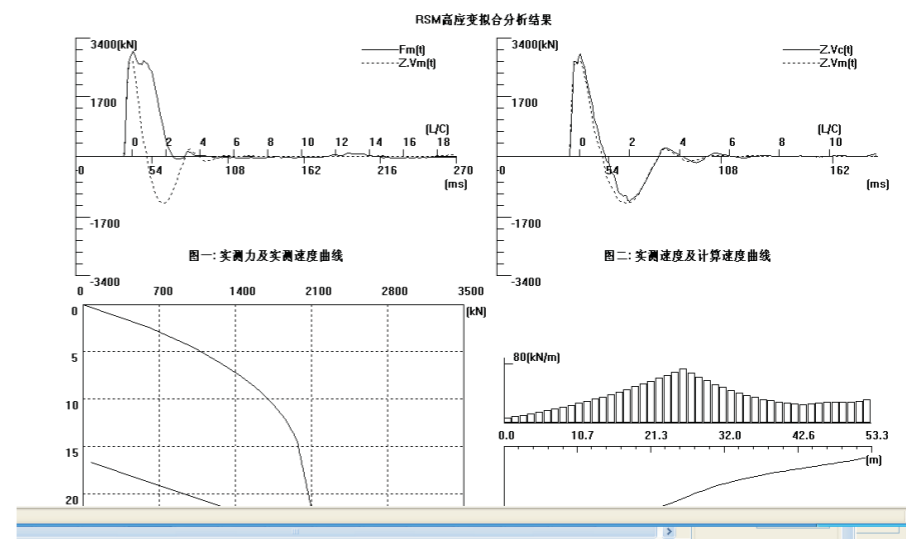


图4-40 拟合结果图


单元	埋深 [m]	等效截面积 [m ²]	单位摩阻力 [kPa]	摩阻力 [kN]	累积摩阻力 [kN]	单元	埋深 [m]	等效截面积 [m ²]	单位摩阻力 [kPa]	摩阻力 [kN]	累积摩阻力 [kN]
1	1.16	0.1160	6.7958	7.87	7.87	24	27.81	0.1160	67.3249	78.01	1014.20
2	2.32	0.1160	8.5026	9.85	17.73	25	28.97	0.1160	61.9835	71.82	1086.02
3	3.48	0.1160	10.3335	11.97	29.70	26	30.13	0.1160	56.9975	66.04	1152.06
4	4.63	0.1160	12.2885	14.24	43.94	27	31.28	0.1160	52.3668	60.68	1212.74
5	5.79	0.1160	14.3677	16.85	60.59	28	32.44	0.1160	48.0914	55.72	1268.46
6	6.95	0.1160	16.5710	19.20	79.79	29	33.60	0.1160	44.1713	51.18	1319.64
7	8.11	0.1160	18.8985	21.90	101.68	30	34.76	0.1160	40.6065	47.05	1366.69
8	9.27	0.1160	21.3501	24.74	126.42	31	35.92	0.1160	37.3970	43.33	1410.03
9	10.43	0.1160	23.9258	27.72	154.15	32	37.08	0.1160	34.5428	40.02	1450.05
10	11.59	0.1160	26.6257	30.85	185.00	33	38.24	0.1160	32.0440	37.13	1487.18
11	12.75	0.1160	29.4498	34.12	219.12	34	39.40	0.1160	29.9004	34.65	1521.83
12	13.90	0.1160	32.3979	37.54	256.66	35	40.55	0.1160	28.1121	32.57	1554.40
13	15.06	0.1160	35.4703	41.10	297.76	36	41.71	0.1160	26.6792	30.91	1585.31
14	16.22	0.1160	38.6668	44.80	342.56	37	42.87	0.1160	25.6016	29.66	1614.98
15	17.38	0.1160	41.9874	48.65	391.21	38	44.03	0.1160	24.9280	28.88	1643.86
16	18.54	0.1160	45.4321	52.64	443.85	39	45.19	0.1160	23.6426	30.52	1674.38
17	19.70	0.1160	49.0010	56.78	500.63	40	46.35	0.1160	22.4019	31.75	1706.13
18	20.86	0.1160	52.6941	61.06	561.69	41	47.51	0.1160	21.1058	32.57	1738.70
19	22.02	0.1160	56.5113	65.48	627.17	42	48.67	0.1160	20.4545	32.97	1771.67
20	23.17	0.1160	60.4526	70.05	697.21	43	49.82	0.1160	20.4478	32.96	1804.63

图4-41 拟合数据表

CAPWAP FINAL RESULTS											
Total CAPWAP Capacity:			2156.7	; along Shaft			1908.6	; at Toe			248.1 kN
Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile at Ru kN	Sum of Ru kN	Unit w. Resist. w. Respect to Depth kN/m	Resist. Area kPa	Smith Damping Factor s/m	Quake mm		
1	1.16	1.16	7.9	2156.7	7.9	6.8	6.8	0.202	1.533		
2	2.32	2.32	9.9	2148.9	17.7	8.5	8.5	0.300	1.563		
3	3.48	3.48	12.0	2139.0	29.7	10.3	10.3	0.395	1.589		
4	4.63	4.63	14.2	2127.0	43.9	12.3	12.3	0.485	1.612		
5	5.79	5.79	16.6	2112.8	60.6	14.4	14.4	0.571	1.630		
6	6.95	6.95	19.2	2096.2	79.8	16.6	16.6	0.654	1.645		
7	8.11	8.11	21.9	2077.0	101.7	18.9	18.9	0.733	1.657		
8	9.27	9.27	24.7	2055.1	126.4	21.4	21.4	0.808	1.664		
9	10.43	10.43	27.7	2030.3	154.1	23.9	23.9	0.879	1.668		
10	11.59	11.59	30.9	2002.6	185.0	26.6	26.6	0.946	1.668		
11	12.75	12.75	34.1	1971.7	219.1	29.4	29.4	1.010	1.664		
12	13.90	13.90	37.5	1937.6	256.7	32.4	32.4	1.069	1.657		
13	15.06	15.06	41.1	1900.1	297.8	35.5	35.5	1.125	1.646		
14	16.22	16.22	44.8	1859.0	342.6	38.7	38.7	1.176	1.631		
15	17.38	17.38	48.7	1814.2	391.2	42.0	42.0	1.224	1.612		
16	18.54	18.54	52.6	1765.5	443.9	45.4	45.4	1.268	1.590		
17	19.70	19.70	56.8	1712.9	500.6	49.0	49.0	1.308	1.564		
18	20.86	20.86	61.1	1656.1	561.7	52.7	52.7	1.345	1.534		
19	22.02	22.02	65.5	1595.1	627.2	56.5	56.5	1.377	1.501		
20	23.17	23.17	70.0	1529.6	697.2	60.5	60.5	1.405	1.537		
21	24.33	24.33	74.8	1459.5	772.0	64.5	64.5	1.430	1.578		
22	25.49	25.49	79.6	1384.8	851.6	68.7	68.7	1.451	1.622		
23	26.65	26.65	84.6	1305.2	936.2	73.0	73.0	1.468	1.671		
24	27.81	27.81	89.8	1220.6	1014.2	67.3	67.3	1.481	1.723		
25	28.97	28.97	95.2	1142.5	1070.7	62.0	62.0	1.490	1.779		
26	30.13	30.13	100.7	1060.4	1152.1	57.0	57.0	1.495	1.838		
27	31.28	31.28	106.3	1004.7	1212.7	52.4	52.4	1.497	1.902		
28	32.44	32.44	112.0	944.0	1268.5	48.1	48.1	1.494	1.969		
29	33.60	33.60	117.8	888.3	1319.6	44.2	44.2	1.488	2.040		
30	34.76	34.76	123.7	837.1	1366.7	40.6	40.6	1.478	2.114		

图4-42 Capwap数据表

4.6.5 报告打印

在菜单的文件下点击报告输出或者直接在工具栏上点击即可进入输出界面，如下

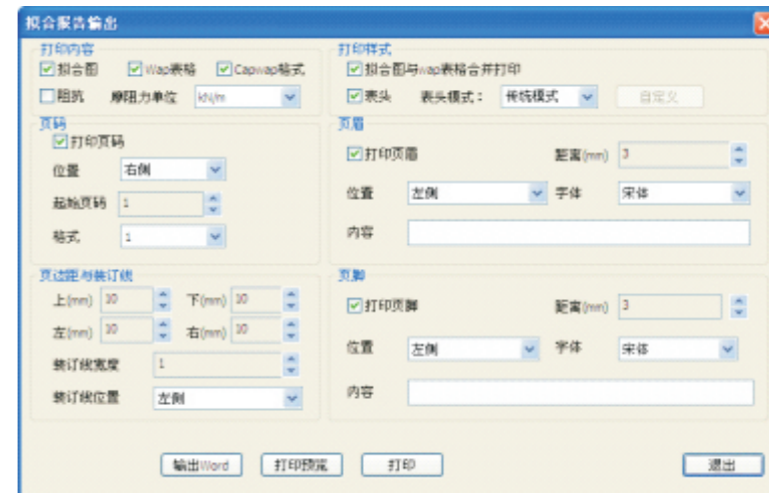


图4-43 报告输出设置界面

在报告输出中，包括以下一些需要人为设置的输出内容与输出样式。

1、打印内容

常规的打印内容有三部分，拟合图，wap表格，capwap格式。其中针对拟合图还包括是否在拟合图中增加阻抗分布图，以及侧摩阻力分布图中的单位为kN/m或kPa。

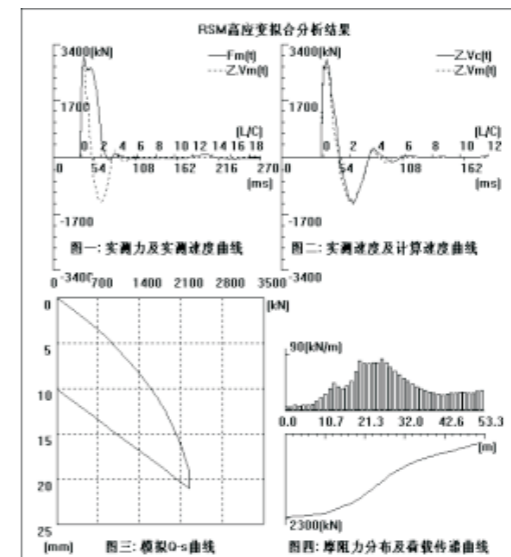


图4-44 不包括阻抗图以及摩阻力分布图单位为kN/m的图形

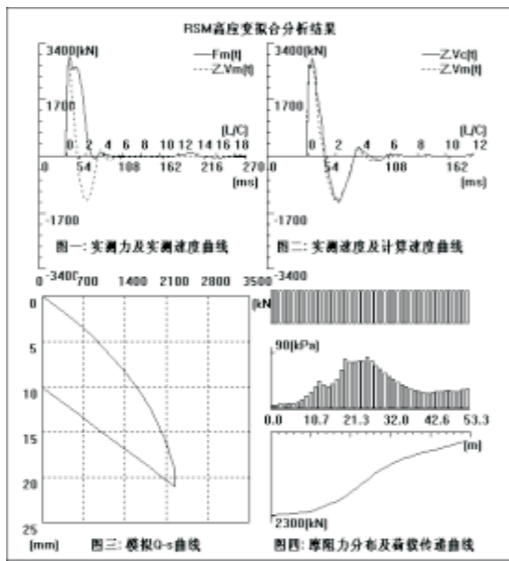


图4-45 包括阻抗图以及摩阻力分布图单位为kPa的图形

2、打印样式

在打印样式中，我们可以选择将拟合图与wap表格打印在一张纸上，也可以将拟合图与wap表格分开打印。里面比较重要的是表头可以自由选择。

打印的图形中是否需要打印表头也可以灵活选择，传统模式的表头格式为：

工程名称: 000-2008		检测单位: RSM		检测日期: 2013-7-8	
桩号: p2-1_S3	总桩长: 53m	截面积: 0.12m ²	波速: 4400m/s		
FMX: 3209.40kN	VMX: 2.20m/s	EMX: 57.19kN*m	Case Jc: 0.74		
承载力: 2265kN	侧阻力: 2053kN	端阻力: 211kN	质量系数: 8.0		
Qs: 3.72mm	Qt: 5.94mm	Ss: 1.2s/m	St: 4.6s/m		

图4-46 传统模式的表头格式

而在表头自定义的情况下，表头就非常灵活了，当选择表头模式的下拉表格中选择自定义后，再点击后面的自定义按钮，则弹出如下界面。

图4-47 自定义格式下的表头

在这个界面上，我们可以根据需要进行选择打印的表头包括几行，每行包括哪些内容，因此可以通过每一项后面的勾选项来确定。当需要对某一项的输出内容进行修改时，如需要将工程名称改为输出别的内容，则可以在工程名称处双击鼠标，则弹出如下选择框。

工程名称	桩号	检测单位	检测日期
分析日期	检测人员	分析人员	总桩长
测点下桩长	入土桩长	截面积	波速
FMX	VMX	EMX	DMX
CSX	TSX	BTA	承载力
侧阻力	端阻力	Qs	Qt
Ss	St	质量系数	Case Jc
CS	CT	自定义	退出

图4-48 内容选择框

此时我们可以从选择框中选择需要更改的内容。

如果这个选择框中还没有用户需要输出的选择项，则可以再次点击自定义，如：

图4-49 选择框中点击自定义后的输入框

图4-50修改了表格内容的表头

此时可以在后面的文字输入框中输入文字，则修改后的表头就将输入的文字内容打印输出了。

同时，如果该表头是用户常用的表头形式，则可以点击保存此表头模式，点击保存此表头模式后，弹出如下输入框。



图4-51 表头模式命名框

输入表头名称，如输入1，则表头设置框变成如下样式。



图4-52 增加保存表头名称为1的表头后的表头设置

3、其他输出样式设置

其他输出样式包括是否需要打印页眉、页脚、页码、页边距等。

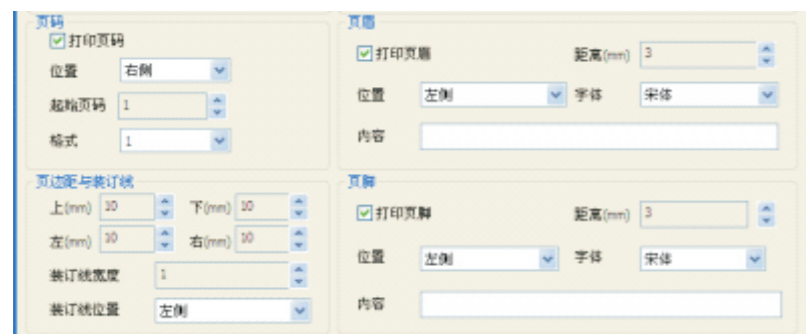


图4-53 输出样式设置

将所有内容都设置好之后，则可点击下面的按钮来完成相应的操作，如需要将选择的内容输出到word文档中，则点击输出word；如需要对最终输出效果进行查看则需要点击打印预览；如果已经确认无误后，可以直接选择打印将结果输出；如果不需要做任何的其他操作，也可以点击退出按钮退出来此界面。

4.7 相关功能介绍

这部分中，主要介绍一些鼠标右键的功能菜单。

1、原始波形界面

在FZV-WUWD的波形上点击右键，会弹出如下菜单。如：

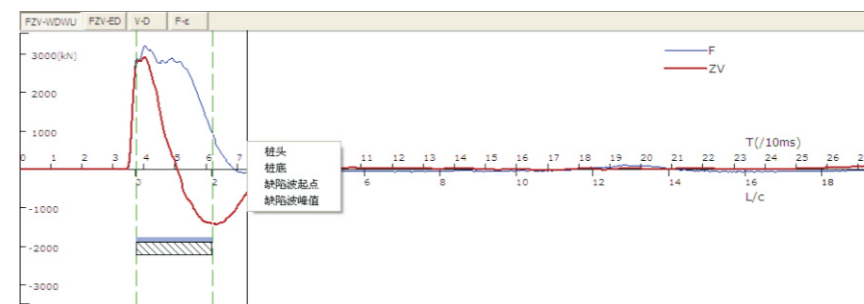


图4-54 在F-ZV曲线上鼠标右键的菜单

其中的桩头、桩底、缺陷波起点、缺陷波峰值的含义是：可以将光标位置定义为桩头、桩底、缺陷波起点、缺陷波峰值。

说明，将光标位置重新定义了桩头桩底之后，则现场参数中的平均波速会发生变化。而将光标位置定义为缺陷波起点和缺陷波峰值后，则结果参数中的BTA值会发生变化。

在V-D的波形上点击鼠标右键，则会弹出如下菜单。

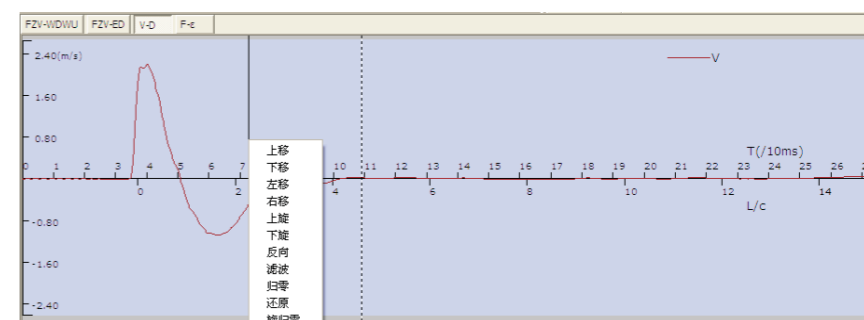


图 4-55 在 V 曲线上鼠标右键的菜单

弹出的菜单含义将前面的章节。

点击不同的菜单，则可以对 V 执行不同的操作，需要说明的一点是，即使在位移曲线上点击右键，针对的操作还是速度曲线。

2、拟合表格

在拟合表格上方的相关参数分布图上选择一段单元，则下面的表格会同步将选择单元对应的表格反色显示，此时可以在反色显示的表格上点击鼠标右键，如：

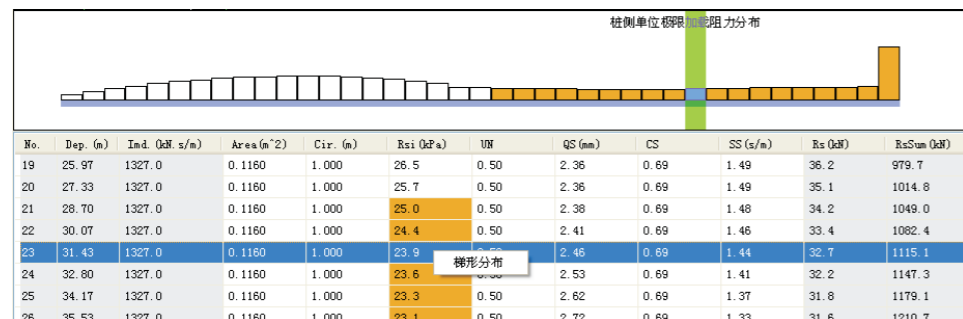


图4-56 在选择的单元表格上点击鼠标右键弹出的菜单

其中梯形分布的含义是：从选择的第一个单元到最后一个单元，根据第一个单元与最后一个单元数值的大小，进行均匀的分部，这样做的好处就是避免一个个单元调整，可以快速实现数值的递增分布或者递减分布。

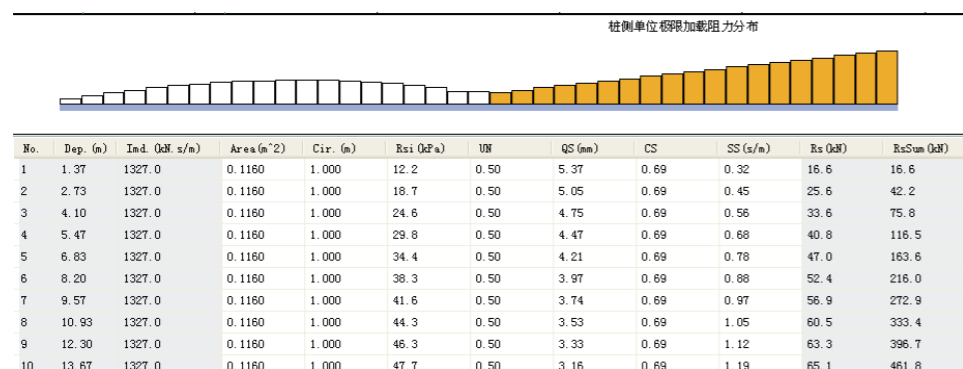
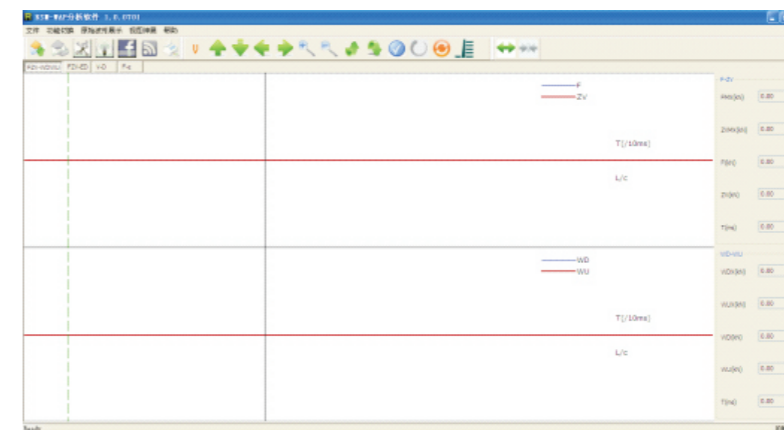


图4-57 进行梯形分布后的数据表

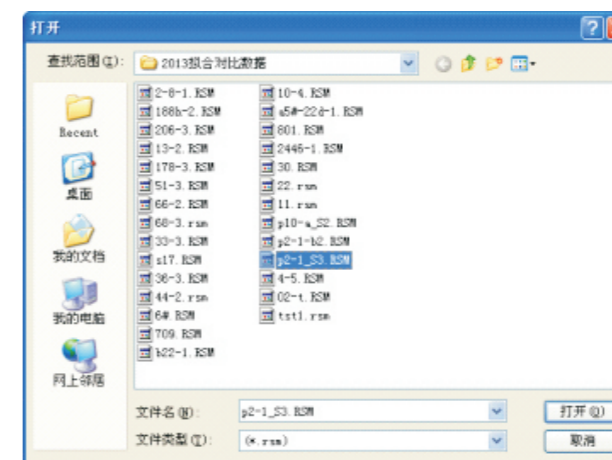
4.8 拟合举例

对波形进行拟合分析，一般遵行如下的流程。

1、插上加密狗，运行拟合软件。



2、打开需要拟合的数据

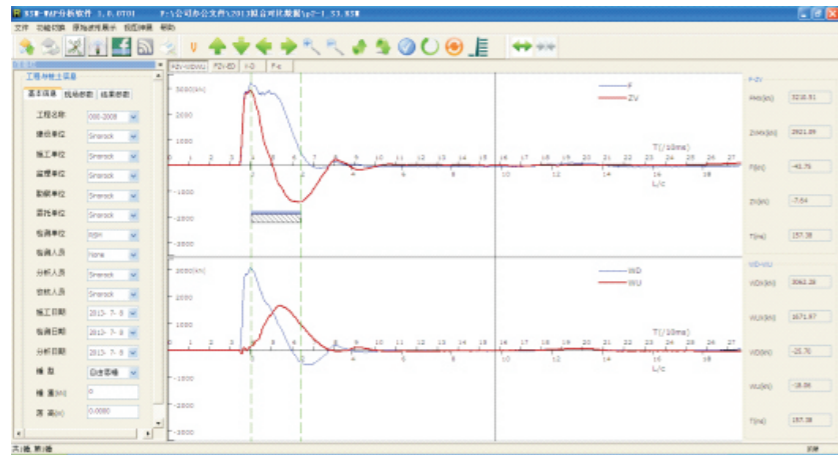


3、进行桩周长的计算核实，选择桩类型、输入桩外径和桩内径，点击计算得到桩周长，如下图所示。



确定后，进入主界面。

4、对数据进行确认和校正



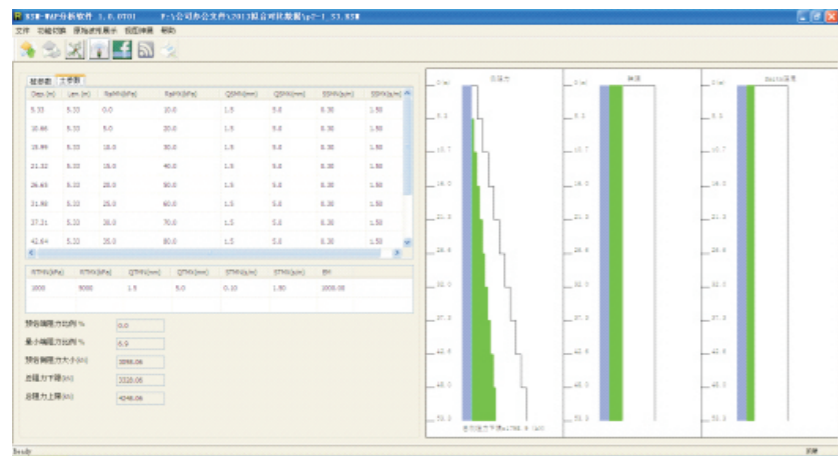
我们可以通过查看 $F-ZV$ 波形、上下行波波型是否满足理想波形的特点，可以查看一下速度与位移曲线，对于有些位移曲线上翘或者下飘的情况，需要对速度曲线做一定的修正，对 F 曲线或者应变曲线，有些毛刺的，可以做一定的滤波处理。

这里面用到比较多的处理手段是：上下旋转，滤波。

同时，还需要对现场的其他信息进行补充。

5、对桩土模型进行设置

点击桩土模型后，可以对桩的单元长度，土层分布进行设置。



桩单元中，单元数可以不做修改，但是涉及到有些组合型的桩，不同位置的波速、面积都可能不一样的，需要在此界面上，对相关信息进行设置。

土参数的设置原则是根据地勘资料来完成，不同的土层，其厚度，侧摩阻的大小是不一样的。

6、进入拟合界面

将桩土参数设置好之后，即可进入拟合界面。

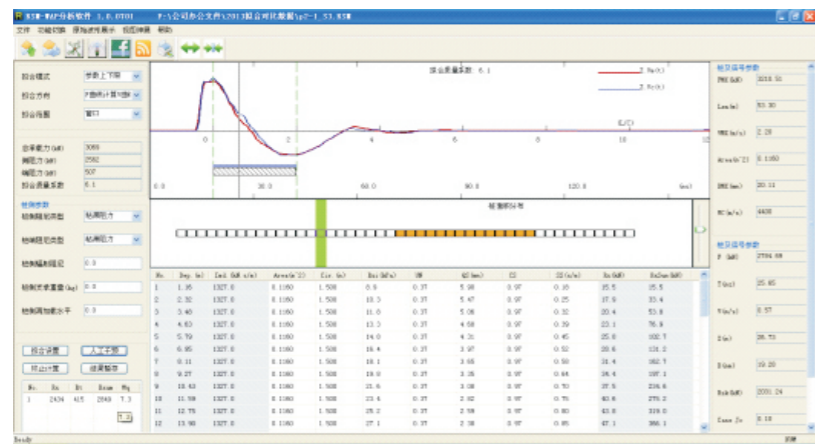


对拟合模式，拟合方向，拟合范围进行设置后，再点击一下左下侧的拟合设置按钮看现场的其他设置。

先可以选择拟合范围为整桩，点击自动拟合。



针对拟合不好的区域，可以在参数分布示意图上选择一段，然后选择拟合范围为窗口，点击拟合设置，再进行自动拟合一次，可以对局部进行再拟合。

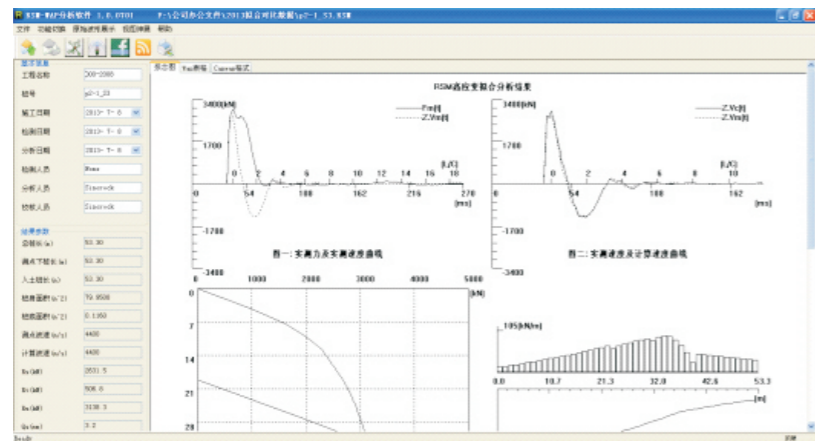


可以将结果暂时保存起来，只需要点击一下结果暂存即可。

如果拟合效果不理想，也可以对其他参数进行局部或者整体的调整，直到拟合效果达到认可为止。

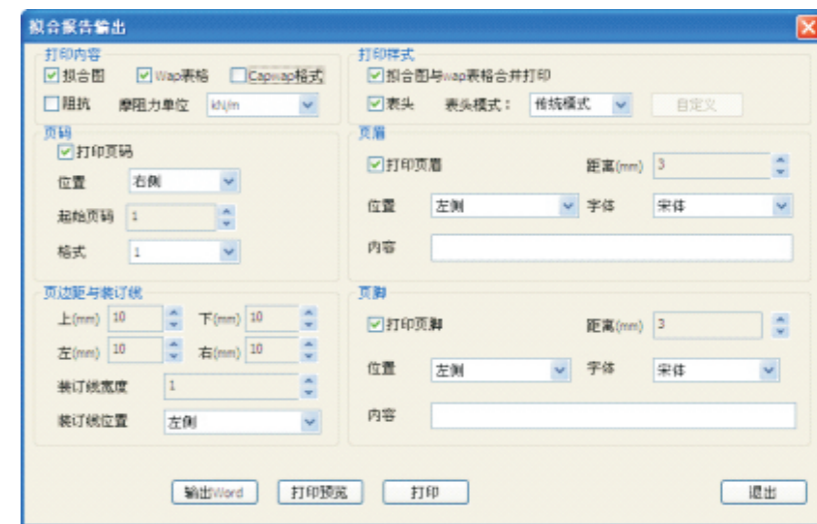
7、进入输出界面

进入输出界面后，可以对拟合图，wap表格进行查看，看看是否与土层分布一致，模拟的Q-s曲线等是否合理。



8、输出打印

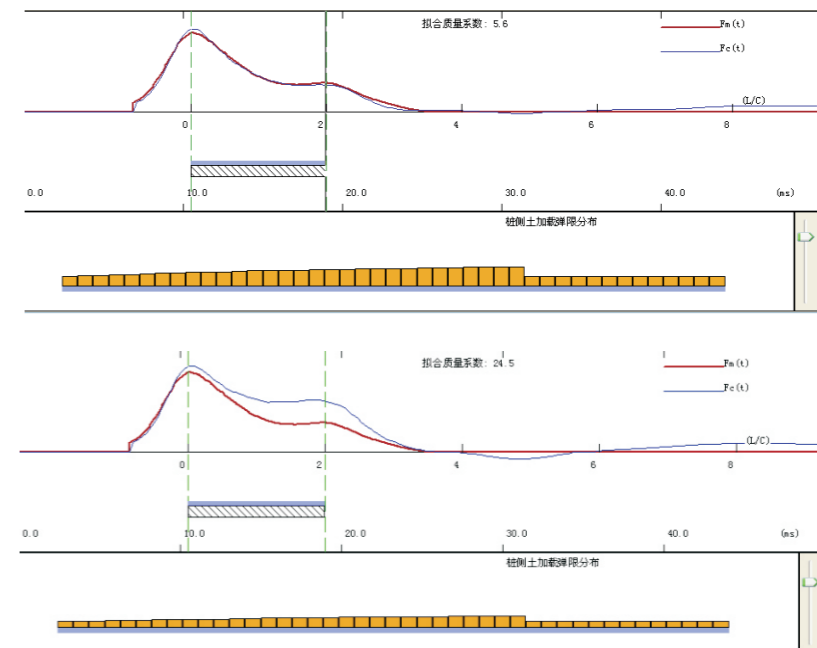
对相关信息确认后，可以点击输出到报告菜单，即：



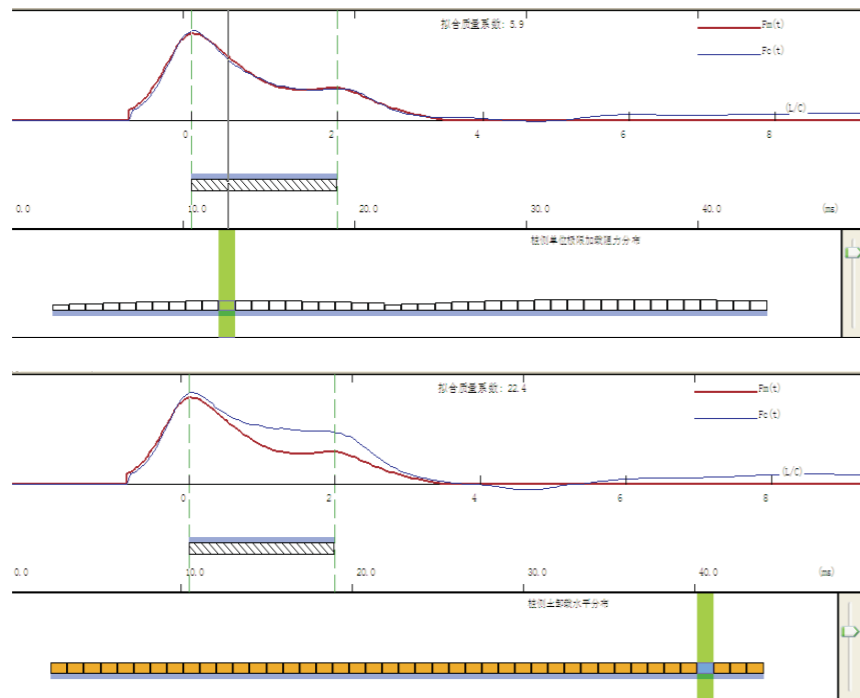
至此，一个信号的拟合结果输出了。

4.9 相关参数对拟合的影响

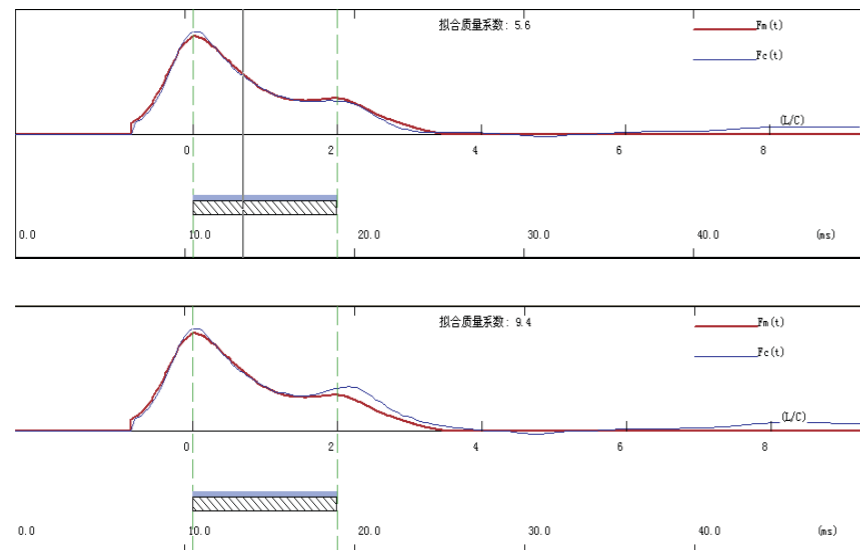
1、Qs降低时，会引起桩侧土的快速加载与卸载，上部单元对应的计算力曲线会偏高，后部则会相对降低。



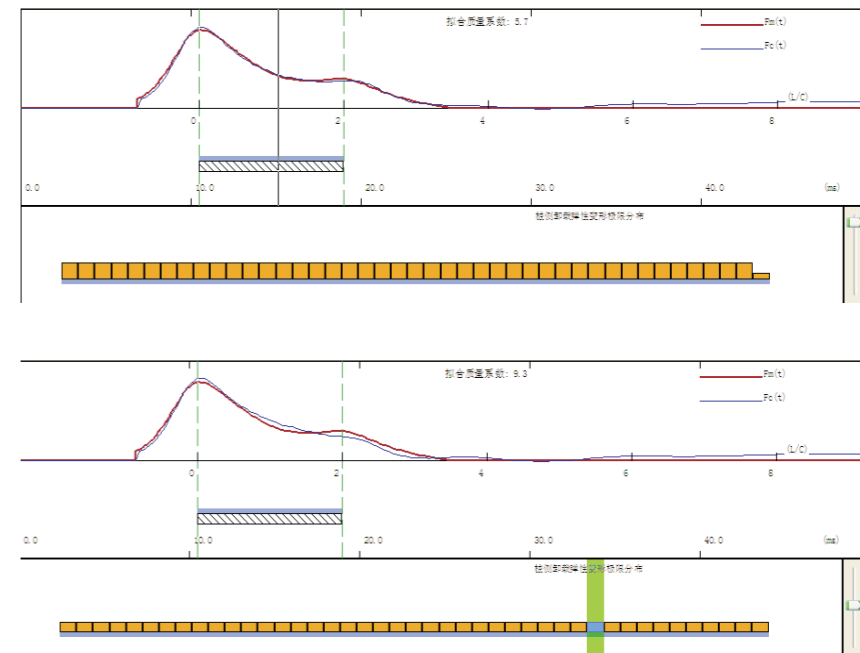
2、Un 减小卸载水平，负摩阻力减小，导致拟合曲线尾部上升（力或者上行波）



3、Qt 降低时，会引起桩底土的快速加载与卸载，在2L/c处偏高，后部偏低。



4、CS 降低时，会引起桩侧土单元卸载速度加快，会使力曲线后方越来越下降，与卸载水平和桩底卸载系数相比，区间靠前一些，而且下降形态上也有区别。



附录

JGJ 94-2008中, 不同土层的侧阻力、端阻力经验值。

桩的极限侧阻力标准值 q_{sik} (kPa)

土的名称	土的状态		混凝土预制桩	泥浆护壁钻(冲)孔桩	干作业钻孔桩
填土			22~30	20~28	20~28
淤泥			14~20	12~18	12~18
淤泥质土			22~30	20~28	20~28
黏性土	流塑	$l_L > 1$	24~40	21~38	21~38
	软塑	$0.75 < l_L \leq 1$	40~55	38~53	38~53
	可塑	$0.50 < l_L \leq 0.75$	55~70	53~68	53~66
	硬可塑	$0.25 < l_L \leq 0.50$	70~86	68~84	66~82
	硬塑	$0 < l_L \leq 0.25$	86~98	84~96	82~94
红黏土	$0.7 < a_w \leq 1$ $0.5 < a_w \leq 0.7$		13~32 32~74	12~30 30~70	12~30 30~70
粉土	稍密	$e > 0.9$	26~46	24~42	24~42
	中密	$0.75 \leq e \leq 0.9$	46~66	42~62	42~62
	密实	$e < 0.75$	66~88	62~82	62~82
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	24~48	22~46	22~46
	中密	$15 < N \leq 30$	48~66	46~64	46~64
	密实	$N > 30$	66~88	64~86	64~86
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	54~74	53~72	53~72
	密实	$N > 30$	74~95	72~94	72~94
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	74~95	74~95	76~98
	密实	$N > 30$	95~116	95~116	98~120
砾砂	稍密	$5 < N_{63.5} \leq 15$	70~110	50~90	60~100
	中密(密实)	$N_{63.5} > 15$	116~138	116~130	112~130
圆砾、角砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	160~200	135~150	135~150
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	200~300	140~170	150~170
全风化软质岩		$30 < N \leq 50$	100~120	80~100	80~100
全风化硬质岩		$30 < N \leq 50$	140~160	120~140	120~150
强风化软质岩		$N_{63.5} > 10$	160~240	140~200	140~220
强风化硬质岩		$N_{63.5} > 10$	220~300	160~240	160~260

注: 1. 对于尚未完成自重固结的填土和以生活垃圾为主的杂填土, 不计算其侧阻力;

2. a_w 为含水比, $a_w = w/w_l$, w 为土的天然含水量, w_l 为土的液限;

3. N 为标准贯入击数; $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数;

4. 全风化、强风化软质岩和全风化、强风化硬质岩系指其母岩分别为 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ 、 $f_{rk} > 30\text{MPa}$ 的岩石。

表 5.3.5-2 桩的极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

土名称	土的状态	桩型	混凝土预制桩长 l (m)				泥浆护壁钻(冲)孔桩桩长 l (m)				干作业钻孔桩桩长 l (m)		
			$l \leq 5$	$5 < l \leq 15$	$15 < l \leq 30$	$l > 30$	$5 \leq l \leq 10$	$10 \leq l \leq 15$	$15 \leq l \leq 30$	$30 \leq l$	$5 \leq l \leq 10$	$10 \leq l \leq 15$	$15 \leq l$
黏性土	软塑	$0.75 < l_L \leq 1$	210~850	650~1400	1200~1800	1300~1900	150~250	250~300	300~450	300~450	200~400	400~700	700~950
	可塑	$0.50 < l_L \leq 0.75$	850~1700	1400~2200	1900~2800	2300~3600	350~450	450~600	600~750	750~800	500~700	800~1100	1000~1600
	硬可塑	$0.25 < l_L \leq 0.50$	1500~2300	2300~3300	2700~3600	3600~4400	800~900	900~1000	1000~1200	1200~1400	850~1100	1500~1700	1700~1900
粉土	稍密	$0.4 < l_L \leq 0.75$	2500~3800	3800~5500	5500~6000	6800~6800	1100~1200	1200~1400	1400~1600	1600~1800	1600~1800	2200~2400	2600~2800
	中密	$0.25 < l_L \leq 0.4$	950~1700	1400~2100	1900~2700	2500~3400	300~500	500~650	650~750	750~850	800~1200	1200~1400	1400~1600
	密实	$l_L \leq 0.25$	1500~2600	2100~3000	2700~3600	3600~4400	650~900	750~950	900~1100	1100~1200	1200~1700	1400~1900	1800~2100
细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	1000~1600	1500~2300	1900~2700	2100~3000	350~500	450~600	600~700	650~750	500~950	1300~1600	1500~1700
	中密、密实	$N > 15$	1400~2200	2100~3000	3000~4500	3800~5500	600~750	750~900	900~1100	1100~1200	900~1000	1700~1900	1700~1900
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	2500~4000	3600~5000	4400~6000	5300~7000	650~850	900~1200	1200~1500	1500~1800	1200~1600	2000~2400	2400~2700
	密实	$N > 30$	4000~6000	5500~7000	6500~8000	7500~9000	850~1050	1100~1500	1500~1900	1900~2100	1800~2400	2800~3800	3800~4400
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	5700~7500	7500~8500	8500~10000	9500~11000	1500~1800	2100~2400	2400~2600	2600~2800	2900~3600	4000~4600	4600~5200
砾砂	中密	$15 < N \leq 30$	6000~8000	8000~10000	10000~12000	12000~14000	1400~2000	2000~2300	2300~2600	2600~2800	3000~5000		
角砾、圆砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	7000~10000	10000~12000	12000~14000	14000~16000	1800~2200	2200~2600	2600~3000	3000~3500	4000~5000		
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	8000~12000	12000~14000	14000~16000	16000~18000	2000~3000	3000~4000	4000~4500	4500~5000	6000~6000		
全风化软质岩		$30 < N \leq 50$	400~600				100~160				100~200		
全风化硬质岩		$30 < N \leq 50$	500~800				120~200				140~240		
强风化软质岩		$N_{63.5} > 10$	600~900				140~220				160~260		
强风化硬质岩		$N_{63.5} > 10$	700~1100				180~280				200~300		

注: 1 砂土和碎石类土中桩的极限端阻力取值, 宜综合考虑土的密实度, 桩端进入持力层的深度比 l/d , 土愈密实, l/d 愈大, 取值愈高;
2 预制桩的岩石极限端阻力指标端支承于中、微风化基岩表面或进入强风化岩、软质岩一定深度条件下桩端端阻力;
3 全风化、强风化软质岩和全风化、强风化硬质岩系指其母岩分别为 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ 、 $f_{rk} > 30\text{MPa}$ 的岩石。



SINOROCK

微信公众号售后服务



微信扫码申请返修

淘宝配件商城首页



淘宝网扫码购买相关配件

设备返修邮寄地址

生产售后基地：武汉市洪山区民族大道163号中岩CBI科技产业园3楼
武汉中岩科技股份有限公司 维修部 027-87199304