

《重磁资料处理》 结课报告



班级：060141

组员：陈梦莹、李泯、王兆争、张超
李琦源、李欣舟、高博钰

时间：2017.6.23

目录

一. 前言-----	3
二. 正演模型-----	3
三. 实际例子-----	54
四. 结论与体会-----	63
五. 附录：正演模型代码-----	66

一. 前言

我们小组的研究的主要方向是“异常体边界的识别与方法在实际例子中的应用”。我们小组经过讨论，认为从公式推导到最后应用到实际全部由我们自己尝试去做才会真正学习和深刻理解。因此本报告中的基础模型的引力位公式均有我们自己推导，并在此基础上，我们有自己的创新！我们通过“多模型的组合”来模拟：断层、阶梯、凹陷、陡坎等一些真实存在的构造现象，并编程绘图来分析它们的边界，验证后发现与我们的假设条件与预期结果非常符合，说明我们的公式推导、程序编写、模型设置都比较合理，这些都会在“正演模拟”部分详细阐述。

我们的研究顺序是这样的：在第二部分“正演模型”中，我们对常见的 24 个模型的“引力位”进行公式推导和总结，并通过程序（见附件）绘图实现。在这份报告中，我将详细对每个模型所绘图像的“边界（特殊点）信息”进行分析和识别，并检验与我们的假设条件和预期是否匹配。之后，我们会分析一些简单模型的“磁位”信息，并同样进行边界的识别。最后，进行“延拓（向上延拓）”方面的分析，来研究一下它是如何：压制浅部噪声，突出深部异常的（不是本报告重点，部分程序中有体现）。

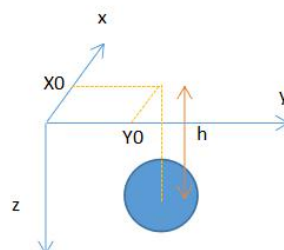
下来，在第三部分“实际例子”中，我们将结合梁老师所给的：东经 82~88 度，北纬 44~47 度（主要为：新疆克拉玛依地区）卫星资料数据，通过 surfer 软件绘图来区分异常体的边界。

最后，针对本课程，对我们小组所学习到的内容进行总结。

二. 正演模型

1. 引力位与边界识别：“模型前加※号的都是重点模型”

模型一：球体（质点）：以“y 轴”上点的观测数据为主（y 在变化）



相关参数: $R=1$; $h=5$; %球半径为 1 米, 深为 5 米

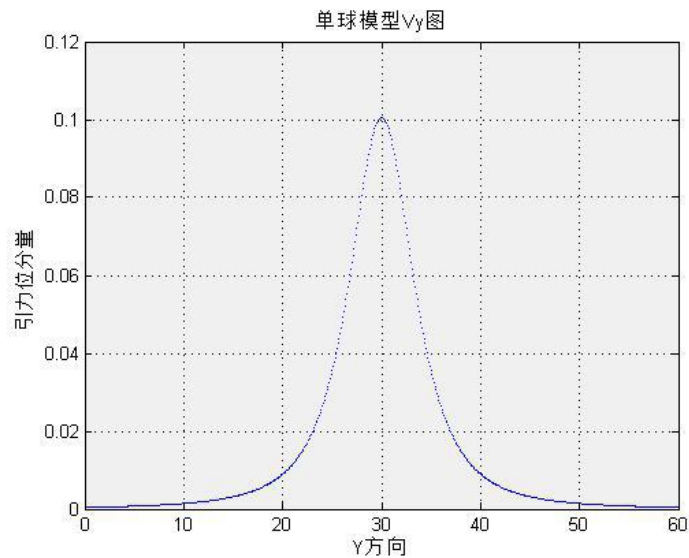
$p=0.1$; %剩余密度

$m=4/3\pi R^3 p$; %剩余质量

$f=6$; %引力常数, 仅仅是正演, 就随便给一个数值

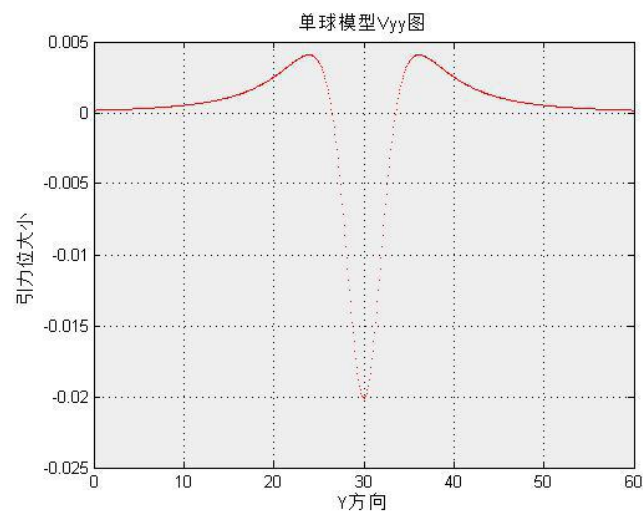
$x_0=0$; $y_0=30$; %球心投影点的坐标

图像 1: 引力位 V_y 图 (Δg)



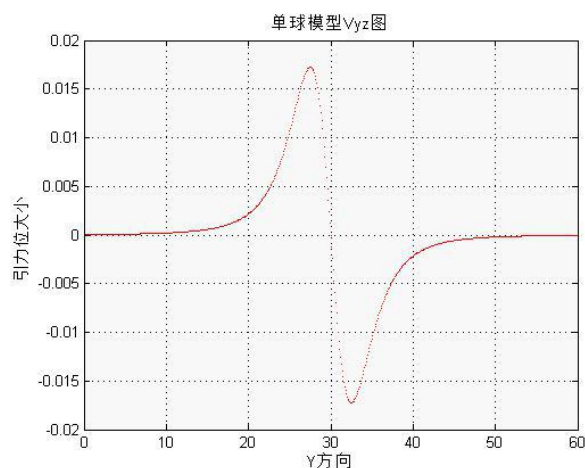
说明: 很明显, 在 $y=30$ 处是引力位最大的, 因为球心投影到水平面上的坐标就是 $(x_0, y_0)=(0, 30)$; 引力位大小向两边对称减小。此外, 根据球体的对称性可得, V_x , V_z 与此图一样。不再做它图。

图像 2: 引力位 V_{yy} 图



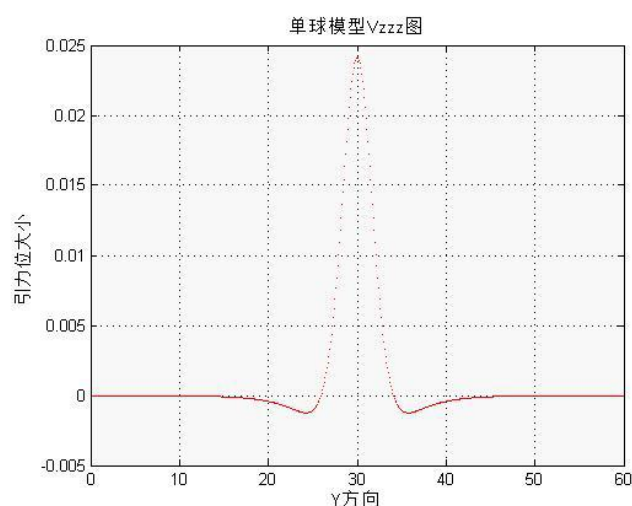
说明：由于此图已为 2 阶导数，反映的是“变化的变化率”，因此其图像与 V_y 的大小点位置互换，但关键位置点是没有变化的。同理，由球体的对称性可得， V_{xx} , V_{zz} 应与该图一致。

图像 3：引力位 V_{yz} 图：



说明：双轴变化，因此会有关于 $y=30$ （投影点）的变化，由图中可以看出“关键点”还是很明显的。同理，由球体的对称性可得， V_{xz} , V_{xy} 的图像与此类似。

图像 4：引力位 V_{zzz} 图

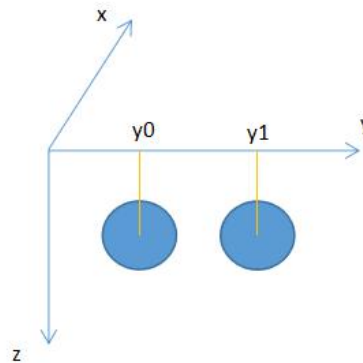


说明：三阶导数图反映的是“变化的变化率的变化率”，其大小值位置又发生了改变，但是“关键点”（25, 30, 35）的位置还是不点的。说明不论几阶导数，

不论它的“下标”是什么，它都会反映出“关键点”的位置信息。它们之间的区别只是引力位大小的变化。

最基本的单球模型到这里结束，下面将逐步加大模型的难度~

模型二：双球模型，同大小同深度，不同的水平位置（y 在变化）



相关参数：R=1；h=5；%两球半径为 1 米，深为 5 米

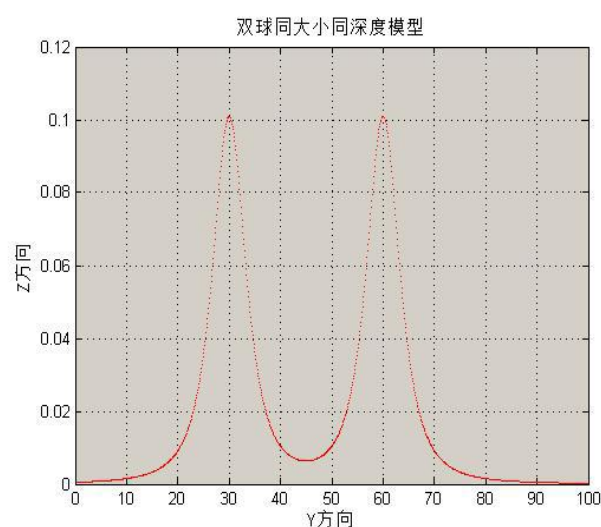
p=0.1；%剩余密度

m=4/3*pi*R^3*p；%剩余质量

f=6；%引力常数

x0=0；x=0；z=0；y0=30；y1=60；%注意这里的 y0 与 y1 是两球水平位置

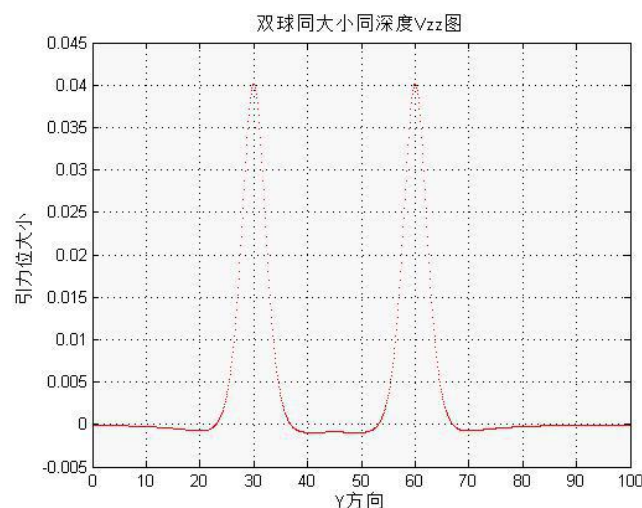
图像 1：引力位 V_z 图 (Δg)：



说明：两个球的中心投影为 $y_0=30$, $y_1=60$ ；图中很明显对应两个球心投影点的位置引力位是最高的，而在 $y<30$ 与 $y>60$ 的范围内引力场随着远离而逐渐变小。

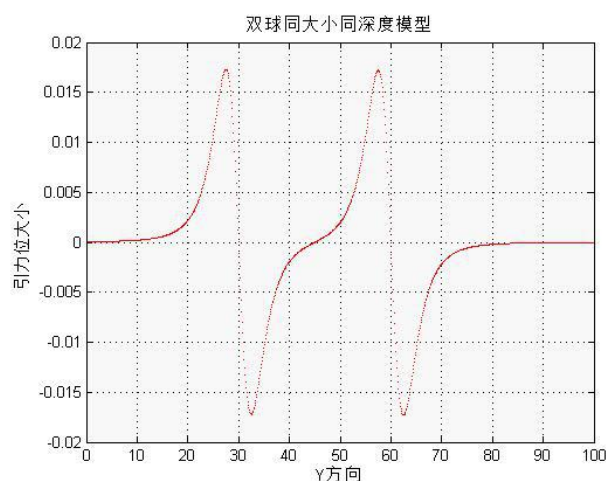
在两个中心点的中间也同样相对较低，但要比两边大。同理，由球体对称性可得： V_z , V_x 的图像与 V_y 图像一致。

图像 2: 引力位 V_{zz} 图:



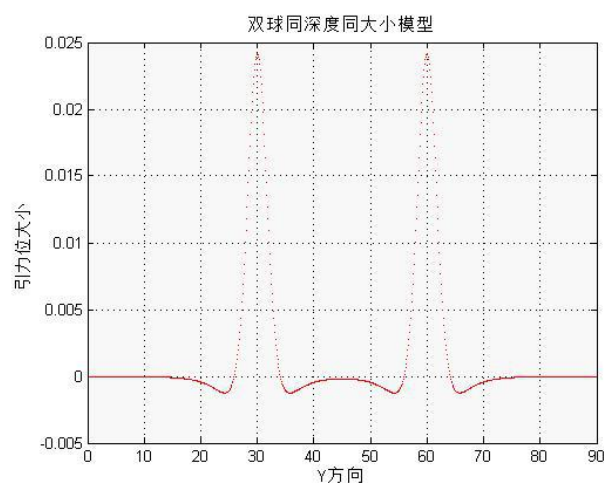
说明：还是关键点很明显，这里要注意：两中心点的中间位置有一点点的突起：因为 V_{zz} 反映的是“变化的变化率”，因此在中间（ $y=45$ ）处要比 $y<30$ 和 $y>60$ 要大一点。整体上图像信息反映明显。同理： V_{xx} , V_{yy} 与此图类似。

图像 3: 引力位 V_{yz} 图:



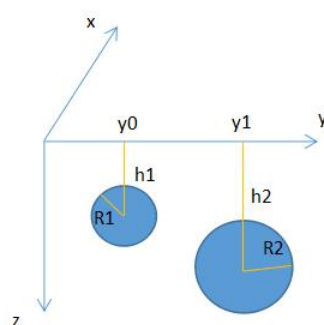
说明：此图似乎有些复杂（对比单球 V_{yz} 来说），但信息很好找：在 $y=30$ 与 $y=60$ 有“跳水”的数值变化，说明这里是球心的投影点。 $y=45$ 处该图像的“驻点”，由球体对称性可得，就此点的瞬时变化率为 0，离开该点后瞬间增大！同理，由球对称可得， V_{yx} , V_{xy} , V_{zx} , V_{xz} , V_{zy} 与此图类似。

图像 4：引力位 V_{zzz} 图：



说明：与 V_{zz} 模型差距不大，只是中间 ($y=45$) 的“凸起”更大、更明显一些。至此，双球同深度同大小不同水平位置模型到此结束。

模型三：双球模型，不同大小、不同深度，不同的水平位置 (y 在变化)



相关参数： $R1=1$; $R2=2.5$; $h1=5$; $h2=8$; %球半径为 1 米，深度有变化

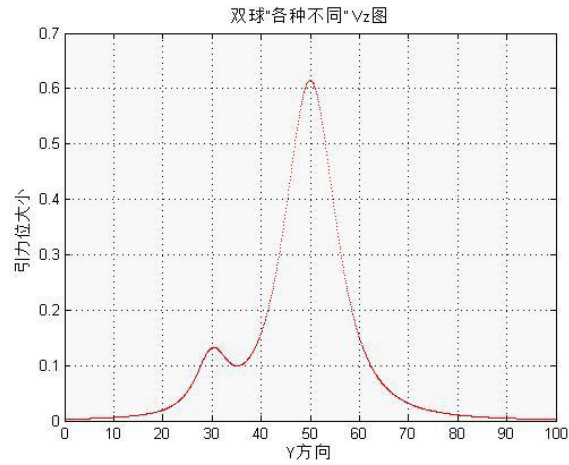
$p=0.1$; %剩余密度

$m1=4/3*\pi*R1^3*p$; %球 1 的剩余质量

$m2=4/3*\pi*R2^3*p$; %球 2 的剩余质量

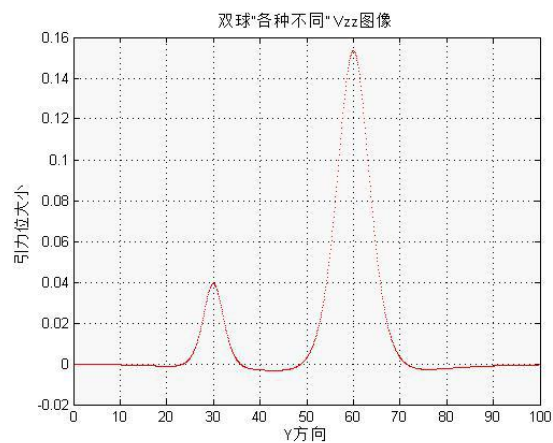
$f=6$; %引力常数

图像 1：引力位 V_z (Δg) 图：



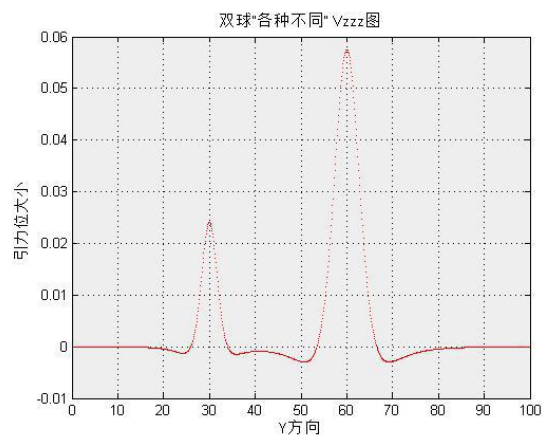
说明：对比着“模型二”中的 V_z ，这里的 V_z 很明显不是对称的，并且“峰宽”也是不一样的，但球心投影点的位置是一致的。可以说明：球的大小（半径）会影响“峰宽”，而球体的深度会影响“数值大小”。同理： V_x, V_y 都是类似的。

图像 2：引力位 V_{zz} 图：



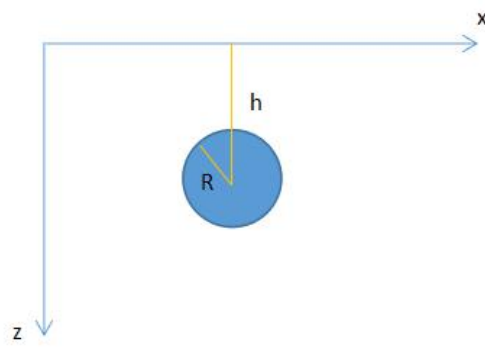
说明：对比“模型二”的 V_{zz} 图，仅仅是峰宽和数值大小上的区别。不累述。

图像 3：引力位 V_{zzz} 图：

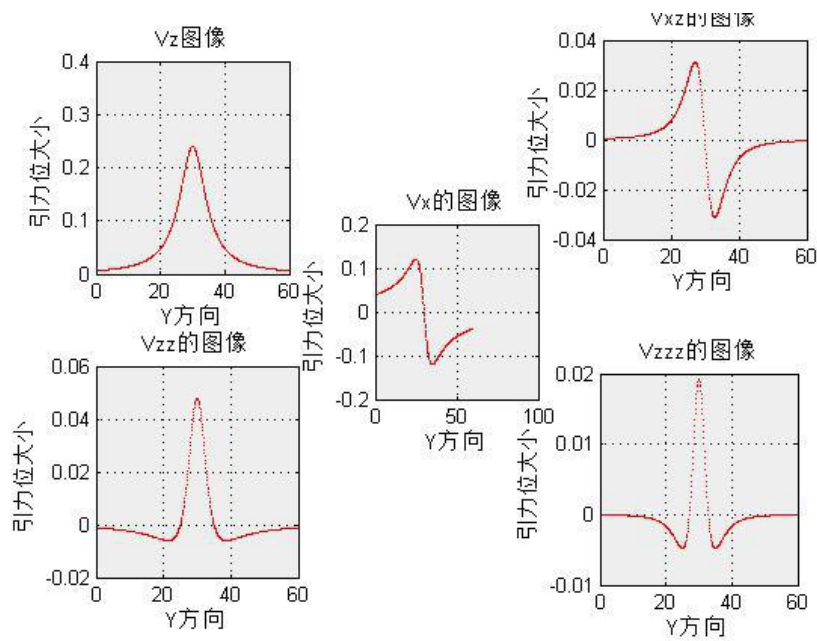


说明：对比“模型二”的 V_{zzz} 图，仍然仅是“峰宽”和“数值大小”的不同。此外，可以预料到 V_{yz} 的图像与模型二中的 V_{yz} 是类似的，只是峰值和抖动间距是变化的。

模型四：水平圆柱体，与球体类似，5 个图像做在一起。

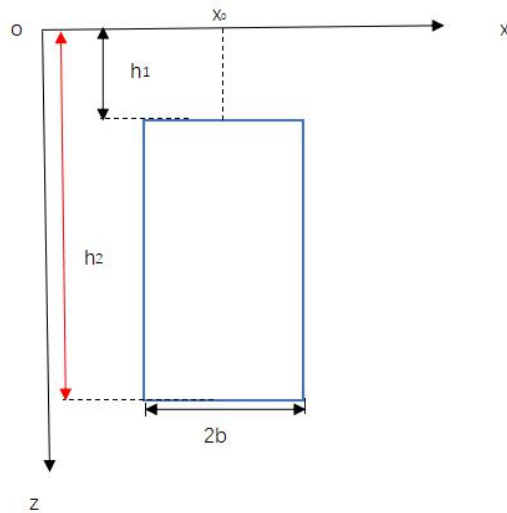


图像 1-5：一起展示： V_z 、 V_x 、 V_{xz} 、 V_{zz} 、 V_{zzz} 的图像

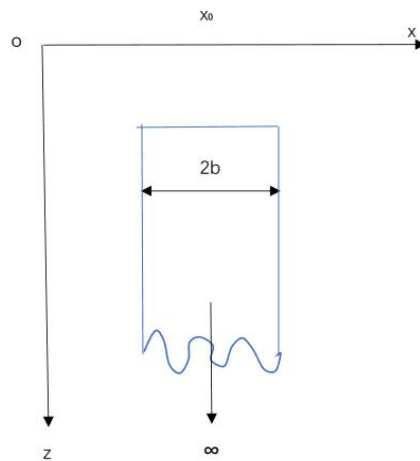


说明：与单个球体差距不大。只能说“数值大小”上有一些区别。它区分特殊点与边界的信息与单个球体是一致的，图中反映的信息也十分明显。在这里不过累述，程序在附件中。

模型五：上、下底均为水平的垂直板状体（矩形柱体）



模型六：上顶为水平的无限延深垂直板状体

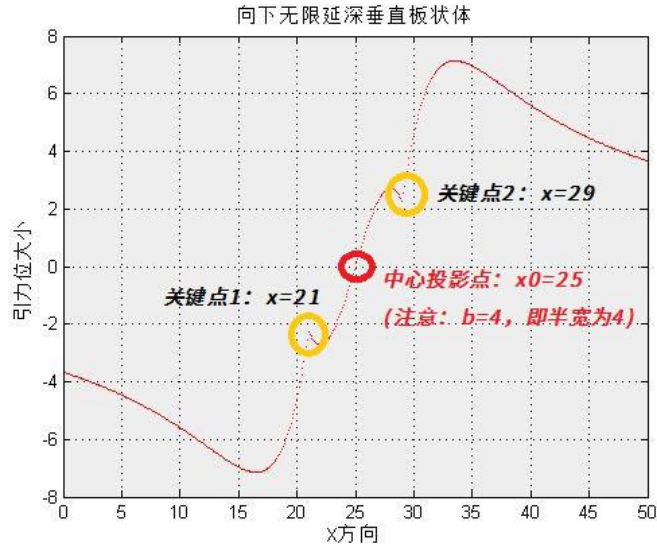


相关参数：f=6；p=0.1；%%p 为剩余密度

h=5；b=4；%%图中相关参数

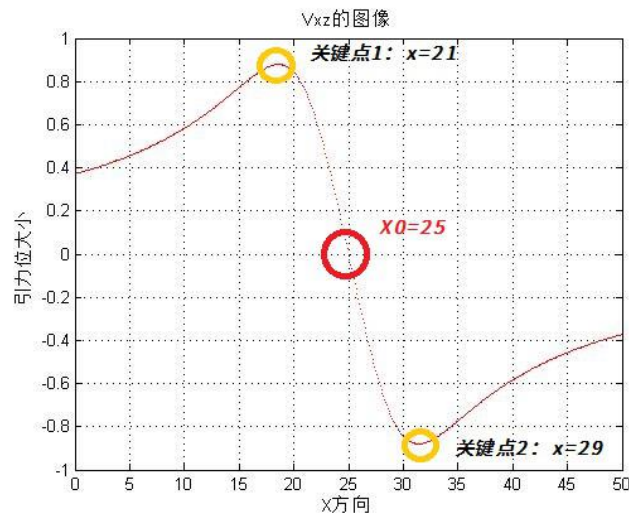
x0=25；z=0；%%参数设置完毕

图像 1：引力位 V_x 的图：



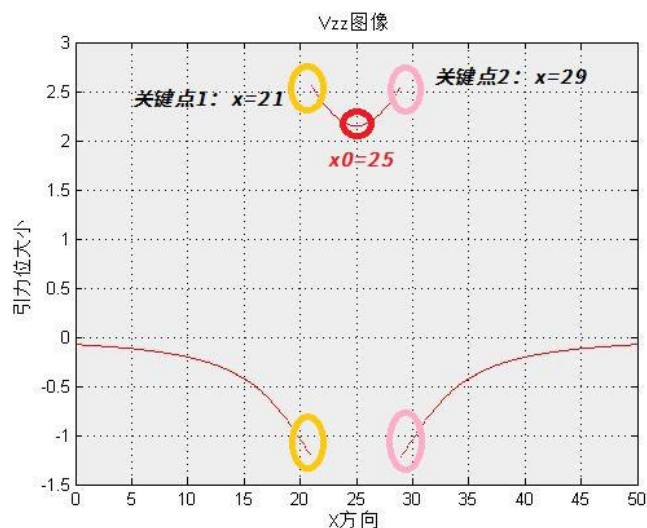
说明：这个图像很能说明“边界”问题！我设置的参数 $b=4$ ，即半宽为 4。所以，整个板状体的 x 向跨度为 $x=[21, 29]$ ，由图中信息可得：刚好在两个边界位置 $x=21$ 与 $x=29$ 的位置有数值上的突变！这与实际意义也是一致的：因为两个“边界点”也是数值变化的跳跃点，自然有突然的变化；而且，由于板状体的“左右两边”是平的！所以变化（跳跃）不是很剧烈。

图像 2：引力位 V_{xz} 的图：



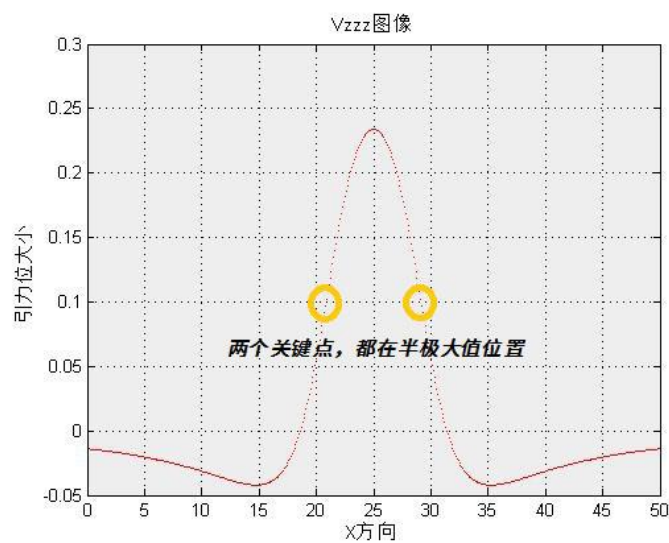
说明：二阶导数是“变化的变化率”，所以曲线的形状会发生变化，但不变的是“关键点”的位置，我已在图中标出。与图一中的点位相同。

图像 3：引力位 V_{zz} 的图：



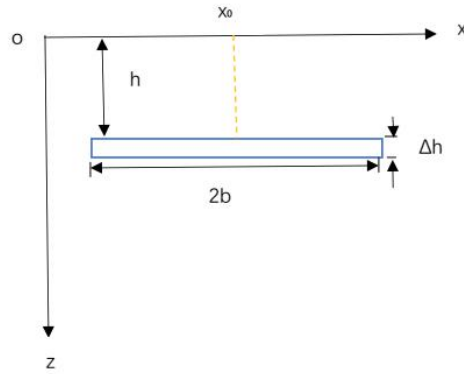
说明：此计算公式中存在 $\text{acot}(0)$ 的情况，所以在边界点（ $x=21$ 与 $x=29$ ）处存在“极限值的不同”，也就会发生“跳跃”（与我预期相同），这种极限值的不同也刚好说明那就是“边界点”。

图像 4：引力位 V_{zz} 的图：



说明：两个关键的“边界点”就在“半极大值”的位置，而原始的 $x_0=25$ 就是极大值。已在图中标出。到这里，无限延深垂直板状体到此结束。

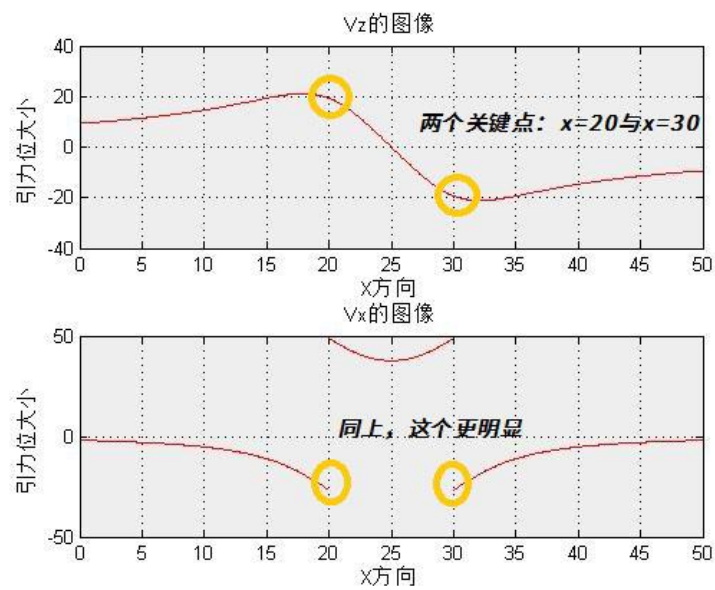
模型七：有限宽度的水平薄板（水平物质带）



相关参数: $f=6$; $\mu=2$; %% μ 为剩余面质量

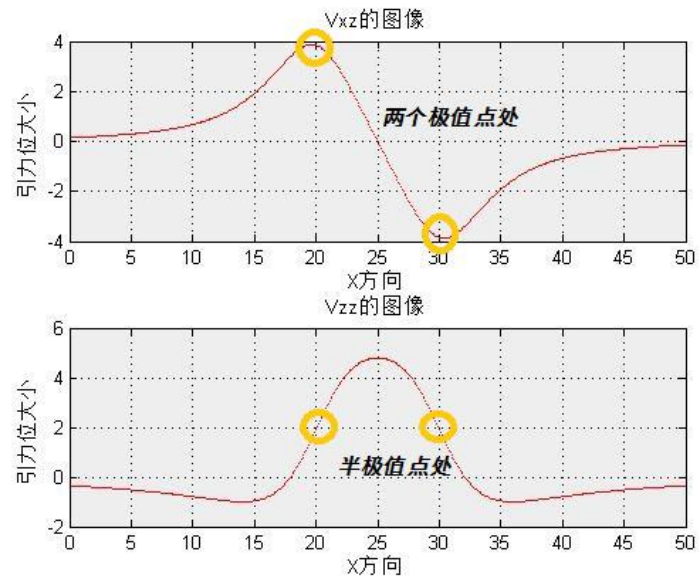
$b=5$; $h=5$; $x_0=25$; $dh=2$; $z=0$; %%各种图中相关参数

图像 1: 引力位 V_z 与 V_x 的图像:



说明: 由我设置的参数可得: 这个水平物质带的水平延伸范围为 $x=[20, 30]$, 中心投影的位置为 $x=25$, 所以两个关键的边界点的位置就是 $x=20$ 与 $x=30$ 。在上图中 V_x 与 V_z 中各具特色! 但都很好区分边界的位置。

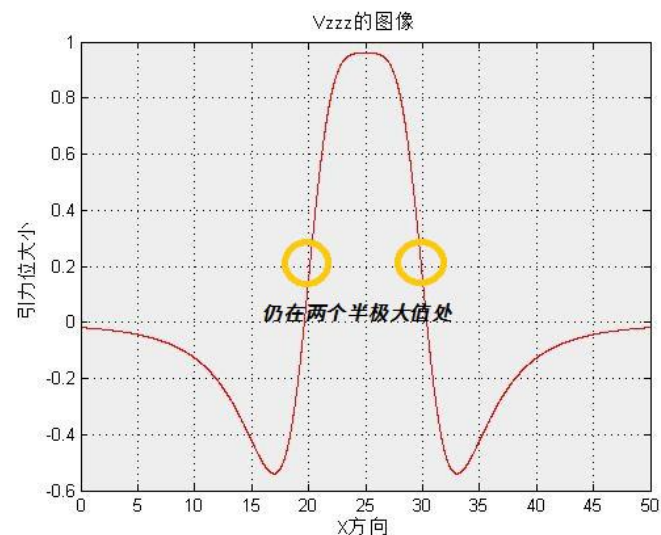
图像 2: 引力位 V_{zz} 与 V_{xz} 的图像:



说明：关键点的位置已经在图中标出。这里并综合以上的几个模型中存在的 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像，我在这里总结一条规律：

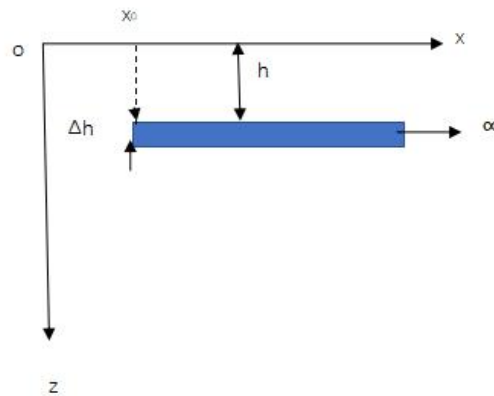
规律 1：如果物体存在两个边界（有限体），那么物体边界在二阶导数 V_{xz} 的图像中的位置是：两个极值点处（此图像只会有一个极大值一个极小值）。物体边界在 V_{zz} 的图像中的位置是：极大值（唯一一个）两旁的两个半极大值处。

图像 3：引力位 V_{zzz} 的图像：



说明：与 V_{zz} 类似的，只不过两个极小值（并非边界点）更明显一点。两个边界点仍在半极大值处。到此，有限水平物质带结束。

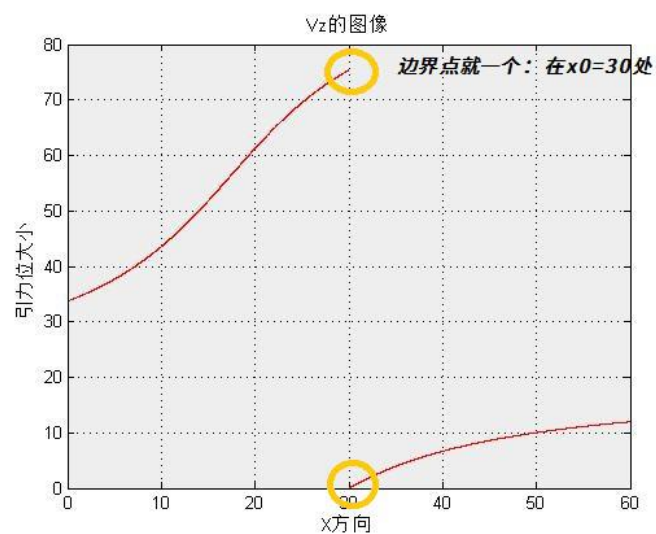
模型八：半无限水平物质带（是模型七的一边无限延伸）



相关参数：f=6;miu=2;%%引力常数与剩余密度

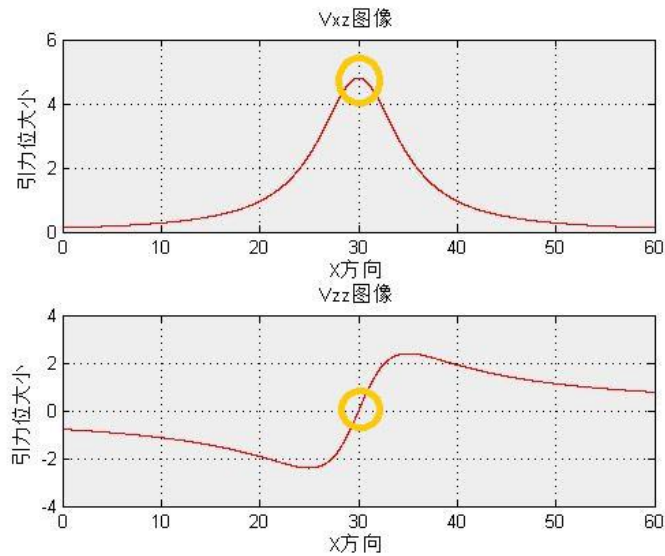
x0=30;h=5;dh=2;%%图中相关参数

图像 1：引力位 V_z 的图像：



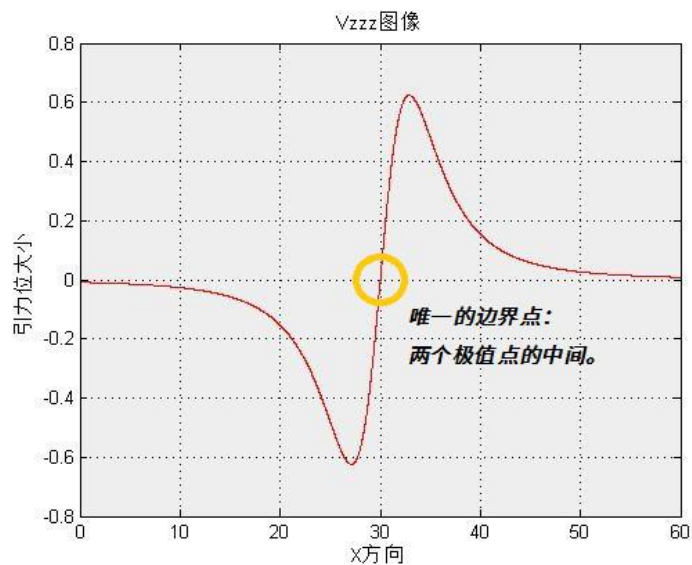
说明：很明显本模型就一个边界点 $x_0=30$ ，图中很明显展示了这个边界点的位置。为什么会有跳跃：因为计算中出现了 $\text{acot}(0)$ ，在 $x_0=30$ 的左右两边出现了极限值的跳跃，推导出来的公式就是这样，无法改变，但这样区分边界反而更加明显。

图像 2：引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像：



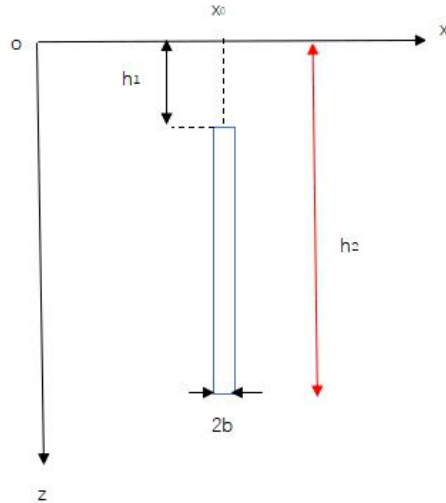
说明：边界位置很明显，但这里要说明一下：这个图像并不满足“规律 1”，因为这个图像只有“一个边界点”，不满足前提条件。因此它的规律要结合以后的模型单独分析。

图像 3：引力位 V_{zzz} 图像：



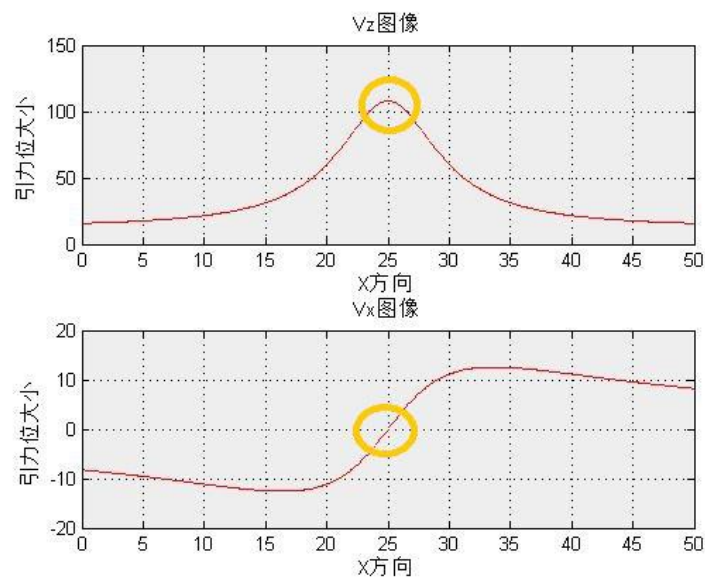
说明：这里因为只有一个边界点，所以肯定不在两个极值点的位置（因为如果一个是，那另一个一定也是），所以边界点一定在两个极值点的中间位置。果然。至此，半无限水平物质带模型结束。

模型九：有限延深的垂直薄板（垂直物质带）



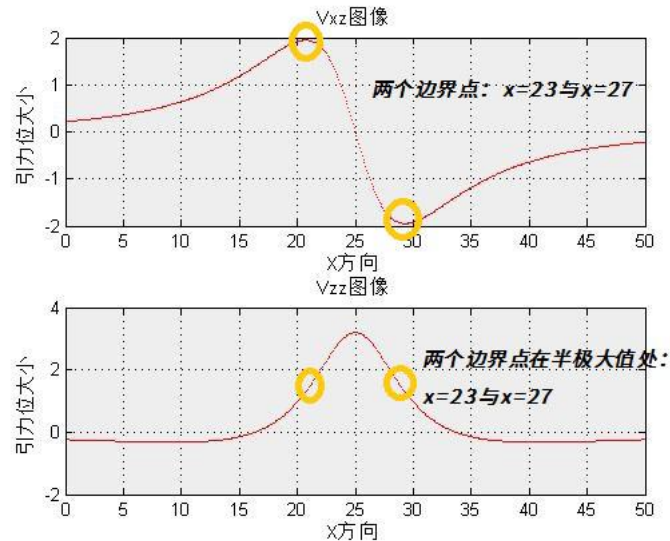
相关参数: $f=6$; $\mu=2$; %%引力常数和剩余密度
 $x_0=25$; $h_1=5$; $h_2=15$; $b=2$; $z=0$; %相关参数

图像 1: 引力位 V_x 与 V_z 图像:



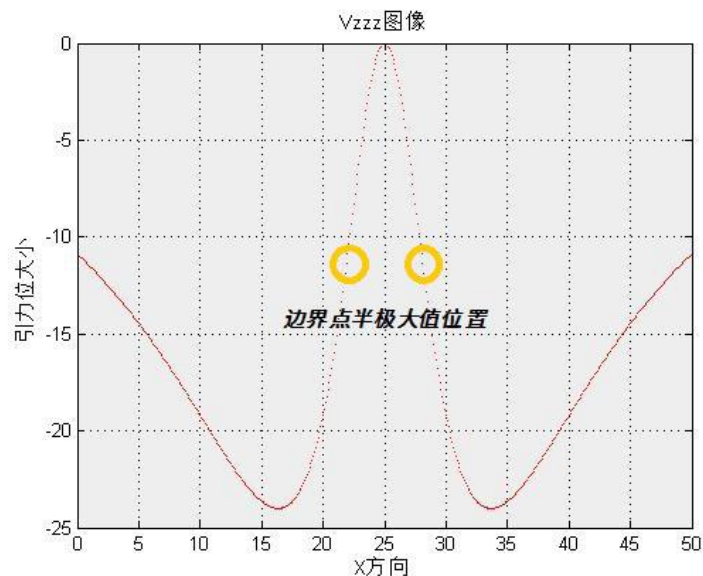
说明: 它也相当于只有一个边界点 $x_0=25$: 因为它十分“窄”。所以图中显示的就是只有一个特殊点。非常好辨认。

图像 2: 引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 图像:



说明：虽然这个物质带“较窄较细”，但是还是有两个边界的（因为 $b=2$ ，所以宽度就是 4） $x=23$ 与 $x=27$ 。这里，可以完美使用“规律 1”来进行分析：有限物质体，具有 2 个边界，则可在 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像中按“规律 1”中的方法寻找物质体的边界。

图像 3：引力位 V_{zzz} 图像

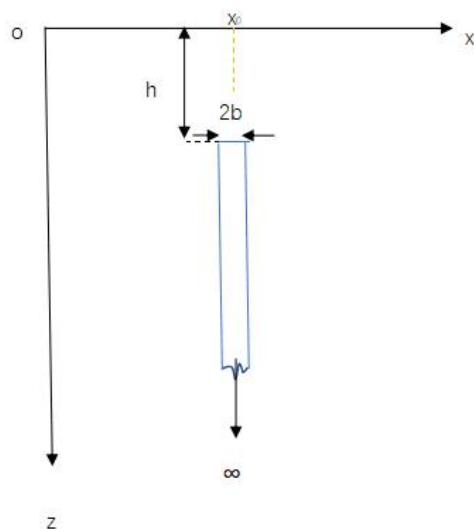


这里可以结合以前模型再总结一个规律。

规律 2：如果物体存在两个边界（有限体），那么物体边界在三阶导数 V_{zzz} 的图像中的位置是：极大值（唯一一个）两旁的两个半极大值处。

至此，有限垂直物质带模型结束。

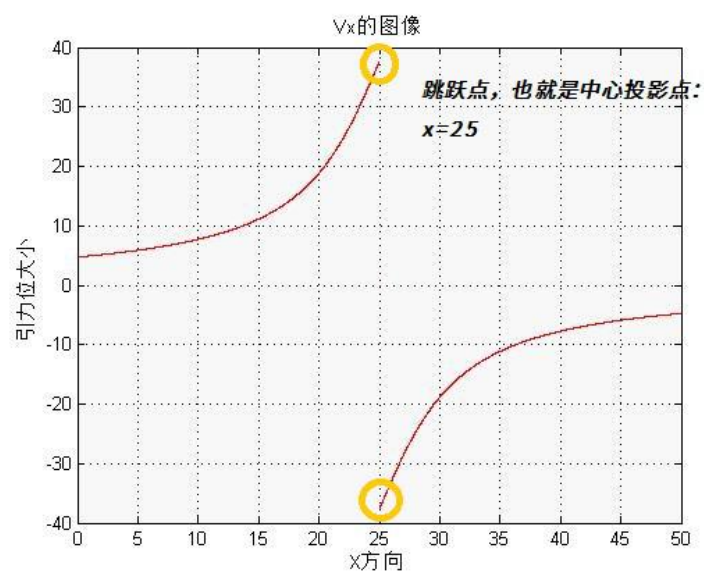
模型十：无限延深的垂直薄板（垂直半物质面）



相关参数: $f=6$; $\mu=2$; %引力常数与剩余密度

$x_0=25$; $h=5$; $z=0$; $b=2$; %图中相关参数

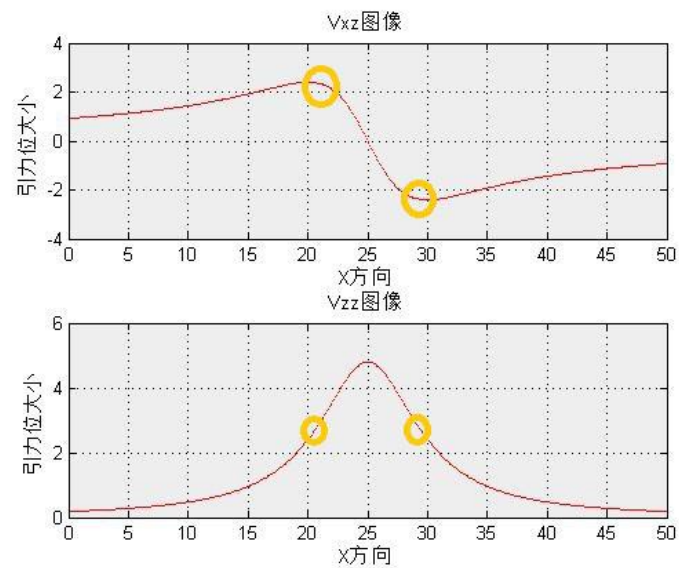
图像 1: 引力位 V_x 的图像



说明：一阶导数无法反应这种“很窄很细”物体的边界，只能反映出它的中心投影点的位置，如图中的跳跃点： $x_0=25$ 。这里又可以总结一个规律。

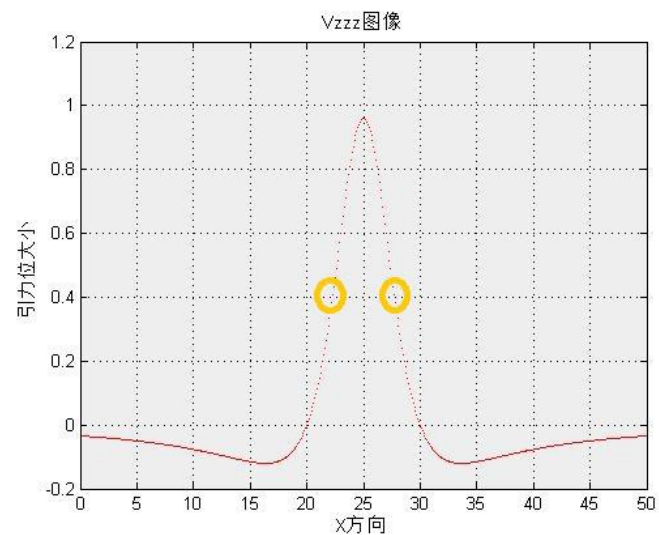
规律 3：结合“模型八”与“模型十”中一阶导数的图像，可以得出以下规律：但物体很窄或很细，且在某一个方向无限延深（伸）的二度体，它的一阶导图像一定会出现差距很大的“跳跃点”，这个跳跃点位置一定是物体的特殊位置。

图像 2: 引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像



说明：虽然无限长，但是是无限“延深”，它还是有两个边界位置（ $x=23$ 与 $x=27$ ），所以它的 V_{xz} 与 V_{zz} 图像仍然符合“规律 1”。

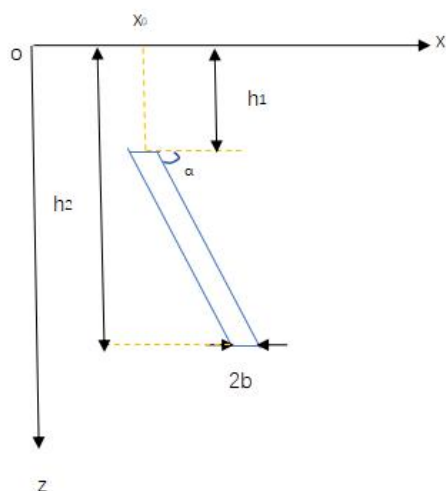
图像 3: 引力位 V_{zzz} 图像:



说明：同理，即使无限“延深”，还是有两个边界的。 V_{zzz} 图像仍然满足“规律 2”。至此，无限延深的垂直薄板（垂直半物质带）结束。

注意：下面的模型一个比一个复杂！！！！

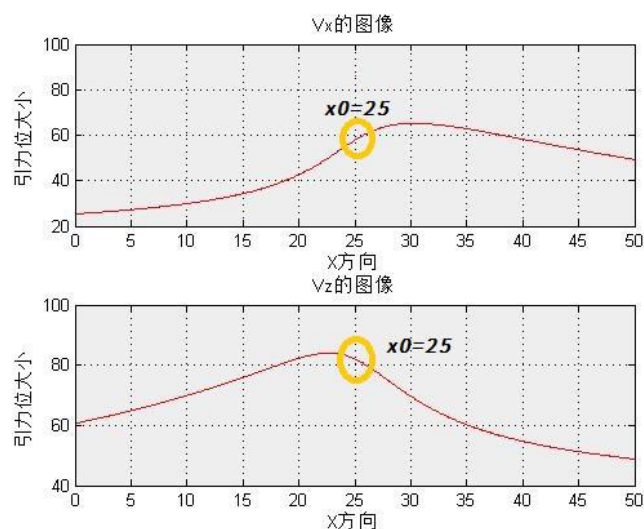
模型十一：有限延深的倾斜薄板（倾斜物质带，有角度）



相关参数：f=6;miu=2;z=0;%%引力常数与剩余密度

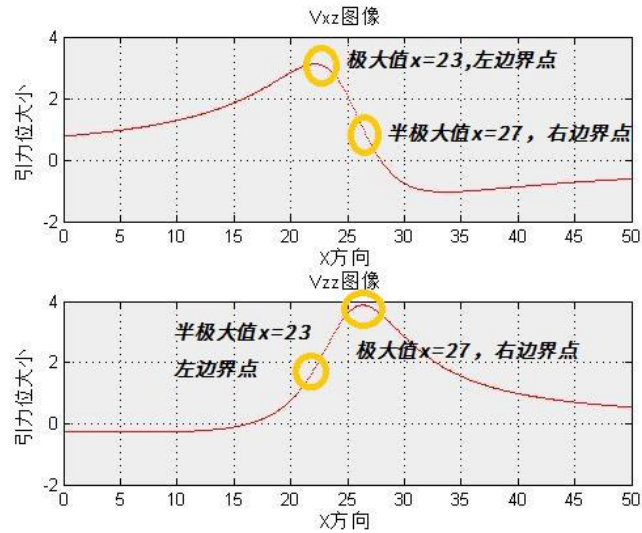
x0=25;h1=5;h2=25;b=2;arf=pi/3; %%相关参数

图像 1：引力位 V_x 与 V_z 图像



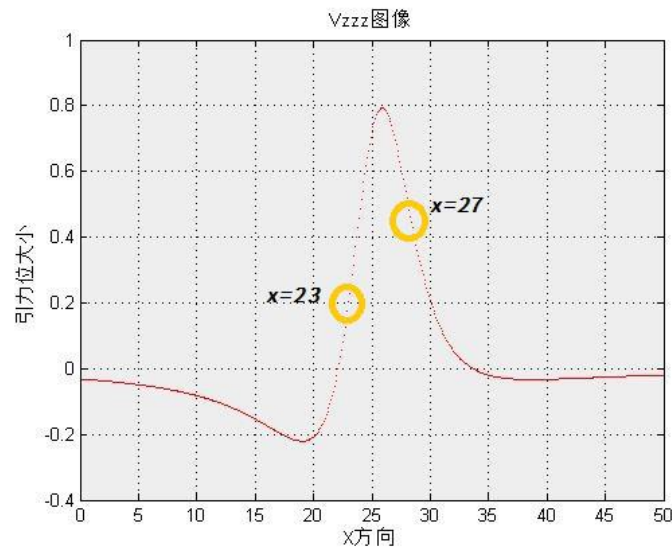
说明：因为物质带有倾斜，所以一阶导数图像反映的信息很不明晰。x0=25，但这一点在图中并不具备特点。Vz 图形中最高点在 x=23 处，因为 b=2, 所以物质板最左边位置为 x=23，它可能是 Vz 图中的极大值处。Vx 图像极大值不确定有什么具体含义。

图像 2：引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 图像



说明： V_{xz} 与 V_{zz} 反映的信息似乎“刚好相反”！两个边界要么在极大值处，要么在半极大值处。但是图中反映的规律并不是很明显。

图像 3：引力位 V_{zzz} 图像

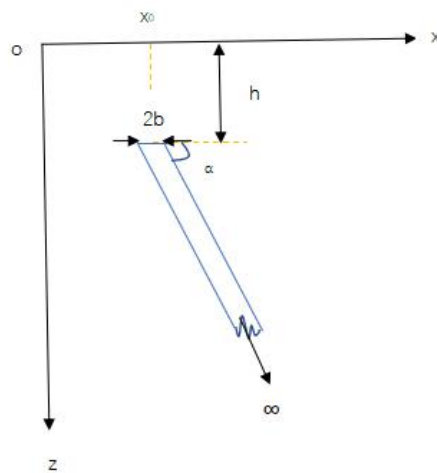


说明：这里可以与“模型十的图像 3”进行对比，就是因为这个物质带是倾斜的，所以它的图像不是对称的！就很不好找关键点（边界点）！但是 V_{zzz} 的图像总体反映信息还较好，如图，我在“不对称”的两个半极大值（不一样大）处找到了我预想的两个边界（ $x=23$ 与 $x=27$ ）。所以，这个倾斜模型的边界寻找需要用到三阶导数 V_{zzz} 的图像。

补充：为什么我找寻找上底的两个边界，而不找下底的两个边界：经过我的计算，下底边界的范围是 $x=[34.55, 36.55]$ ，但因为它太靠下了，对底面的影响很微弱，比如在在图 1~3 中的 $x=[34.55, 36.55]$ 范围，都好不明显！没有明显的图像特点来说明它就是边界，因此我没有再关注下底的边界范围。

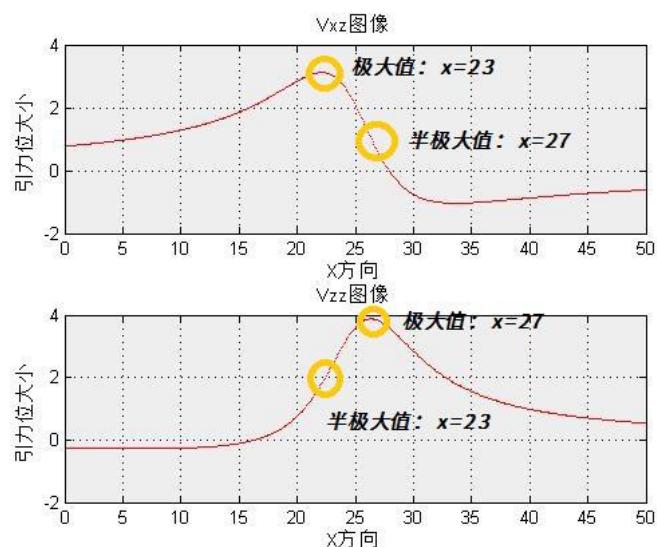
至此，有限延深的倾斜薄板（倾斜物质带）模型结束。

模型十二：无限延深的倾斜薄板（倾斜半物质面）



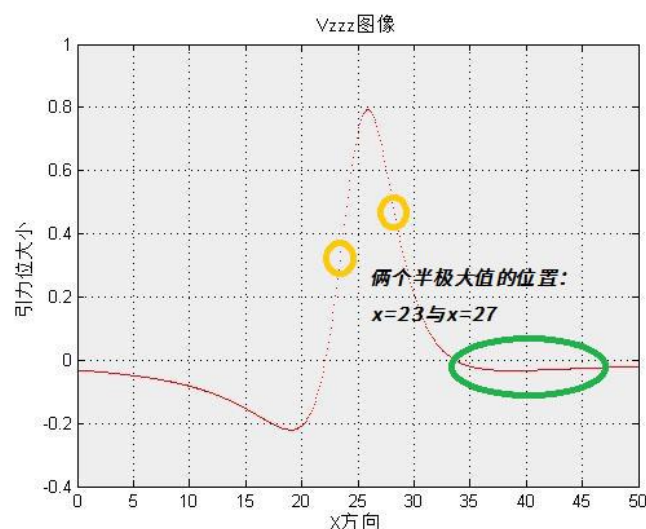
相关参数：f=6;miu=2;z=0;%%引力常数与剩余密度
x0=25;b=2;h=5;arf=pi/3; %%图中相关参数

图像 1：引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像



说明：此图反映信息与“模型十一”的 V_{xz} 和 V_{zz} 是一致的。很好理解，因为本身就不考虑下底面，所以不论下底面是否无限延深，都不会影响地表主要“边界处”所反映的信息特点！同时，也可推理 V_{zzz} 的图像也相差不大~

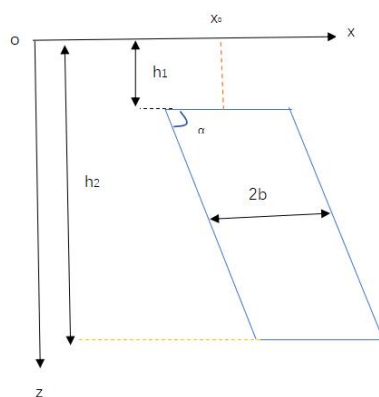
图 2：引力位 V_{zzz} 的图像



说明：果然，与“模型十一”的 V_{zzz} 图相差不大，所反映的关键点位置也一致，唯一有一点点区别的地方在：此图中绿色处，要比相应的有限延深的物质带要“平缓”，很好理解：因为这里是无限延深的，因此它的变化就会更持续而不间断，因此到了三阶导数时，它更加的平缓。

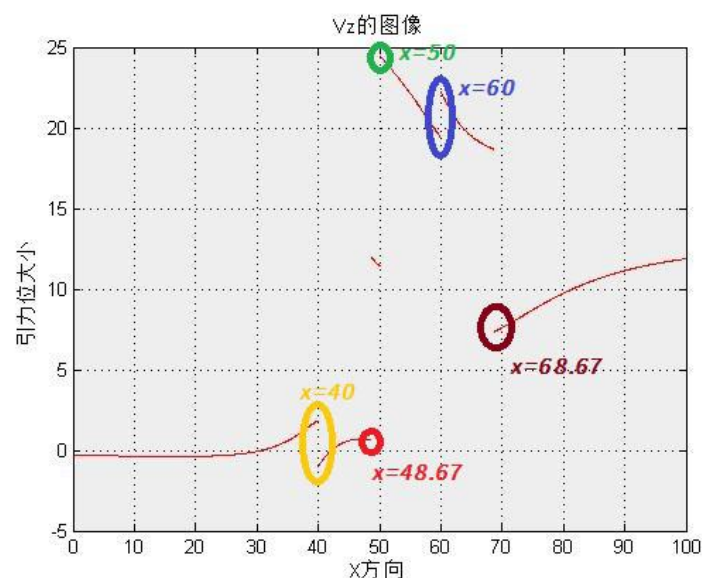
至此，有限/无限倾斜薄板（倾斜半物质面）结束。

※ 模型十三：上、下底均为水平的倾斜板状体（上、下底均为水平的平行四边形柱体）



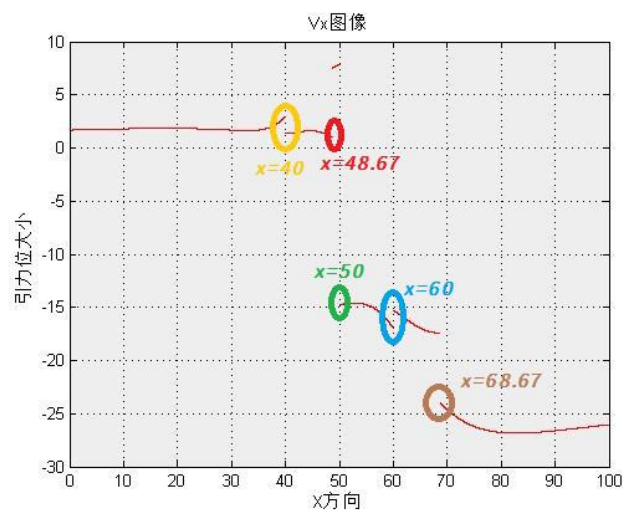
相关参数: $f=0.6$; $p=0.2$; $z=0$; %%引力常数与剩余质量 p
 $\arf=\pi/3$; $b=10$; $h_1=5$; $h_2=20$; $x_0=50$; %%图中参数

图像 1: 引力位 V_z 的图像



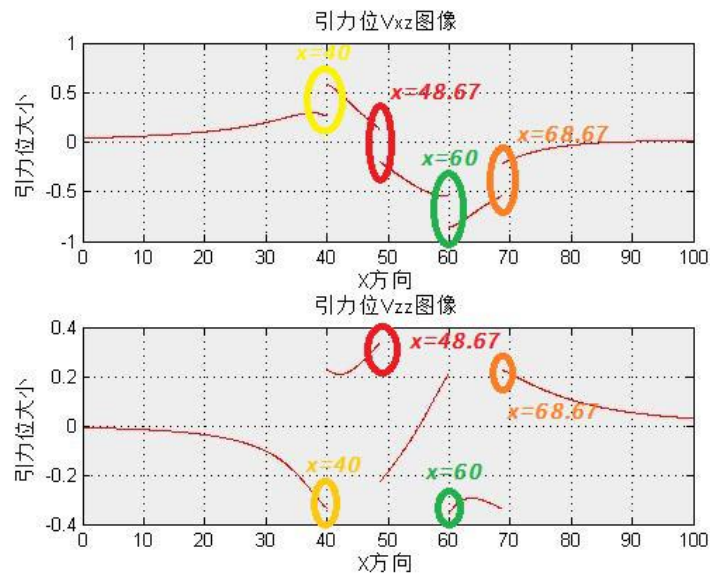
说明: 5 个“跳跃点”, 位置分别为: $x_1=40$, $x_2=48.67$, $x_3=50$, $x_4=60$, $x_5=68.67$ 。这些点刚好是平行四边形柱体的 5 个关键点位: x_1 与 x_4 是上底的边界 (因为 $b=10$, 很好验证); x_2 与 x_5 是下底的边界 (已通过计算验证); x_3 就是上底中心的投影点 ($x_0=x_3=50$)。图像虽然很多断点, 但是断点处刚好反映了很好的图像信息, 所以反而断点图更便于观察研究。

图像 2: 引力位 V_x 的图像



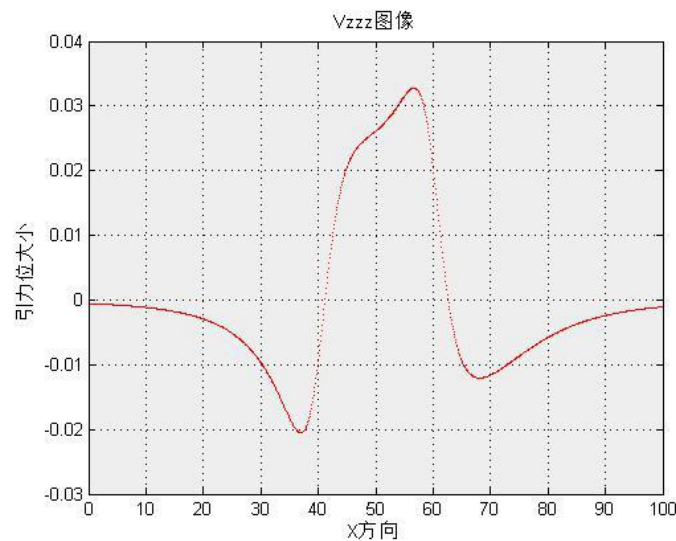
说明：与 V_z 图像虽然样子不一样，但是反映的信息是一致的：5 个跳跃点！已在图中标出，各点的位置都与 V_z 一样。说明， V_z 与 V_x 图像都可以在此图中用来区分边界！

图 3：引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 图像



说明：进入到“二阶导数”分析时，发现只有 4 个“跳跃点”，缺失了 $x_0=50$ 的中心投影点，剩下四个点分别反映了上、下两底的边界位置！所以，用 V_{xz} 于 V_{zz} 图像可以来“专门”分析这个模型的边界！

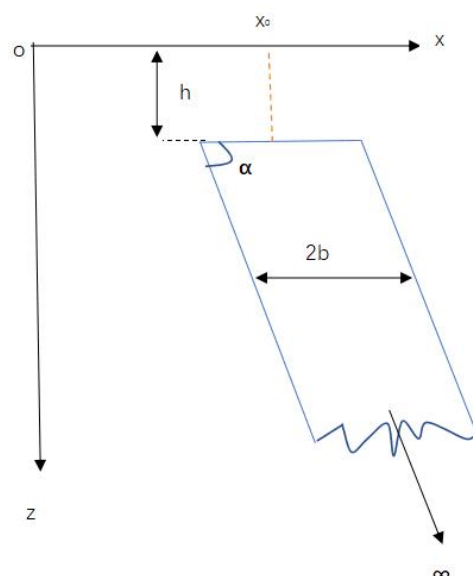
图像 3：引力位 V_{zzz} 的图像



说明：此图反映的信息不明朗，不如一阶和二阶导数那么明显，因此不对其进行过多的分析。

至此，上、下底均为水平的倾斜板状体（上、下底均为水平的平行四边形柱体）模型结束。

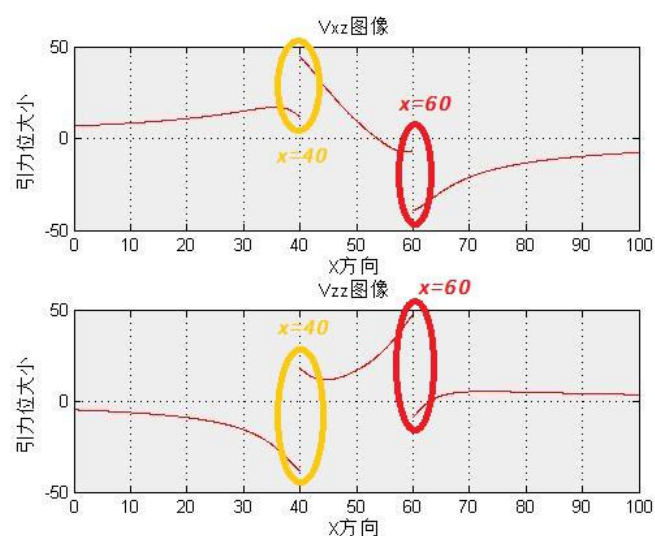
模型十四：上顶为水平的无限延深倾斜板状体



相关参数：f=6;p=2;z=0;%引力常数与剩余密度

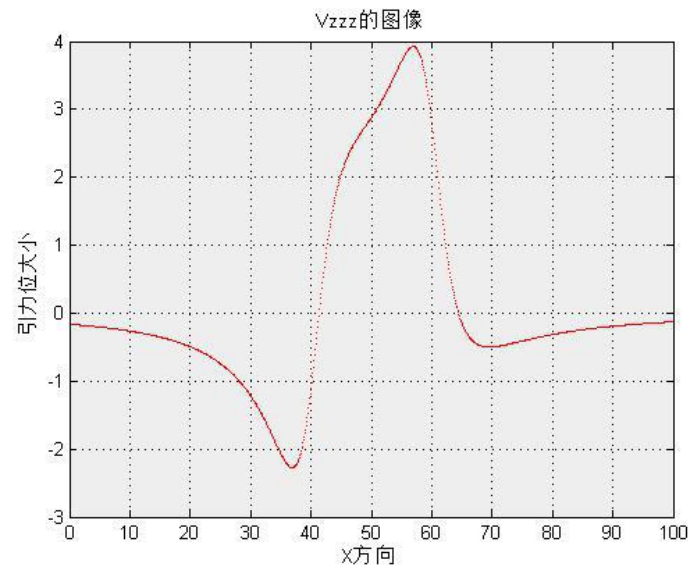
h=5;x0=50;b=10;arf=pi/3;%%图中相关参数

图像 1：引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像



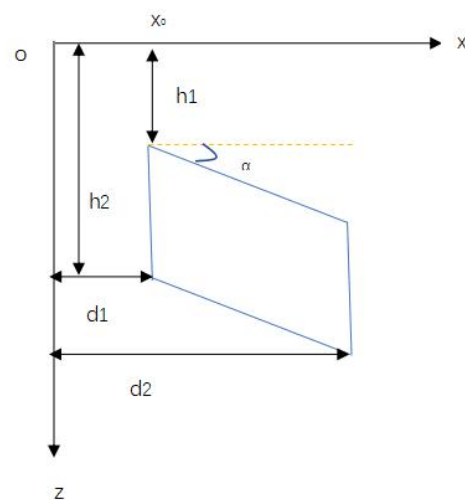
说明：对比上一个模型的 V_{xz} 与 V_{zz} 图像，这里只有 2 个“跳跃点”：很好理解，因为下底面不存在了（无限延深了，相当于无穷远），因此 V_{xz} 与 V_{zz} 只反映出上顶的边界。

图像 2：引力位 V_{zz} 的图像



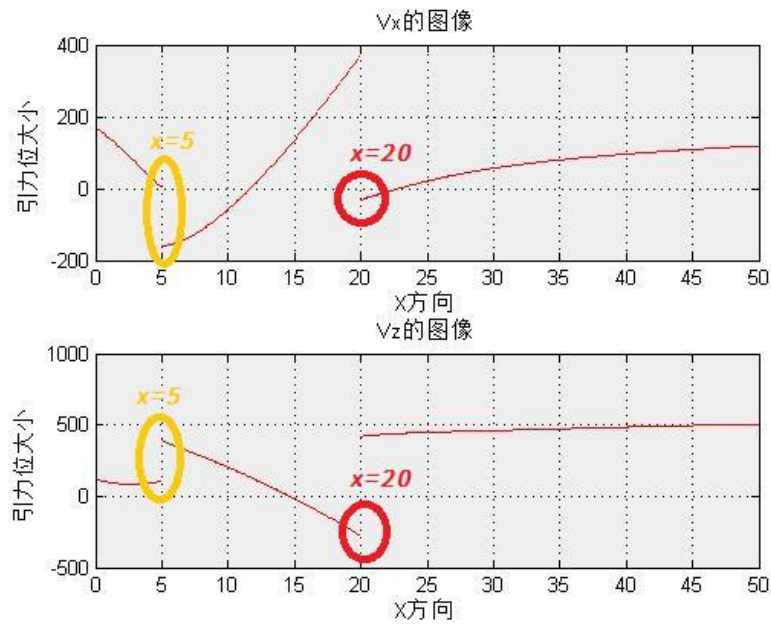
说明：同样，三阶导数图像信息也很不明朗，因此不对其进行过多分析。
至此，上顶为水平的无限延深倾斜板状体模型结束。

模型十五：具两个有限垂直边的倾斜板状体（具两个垂直边的平行四边形柱体）



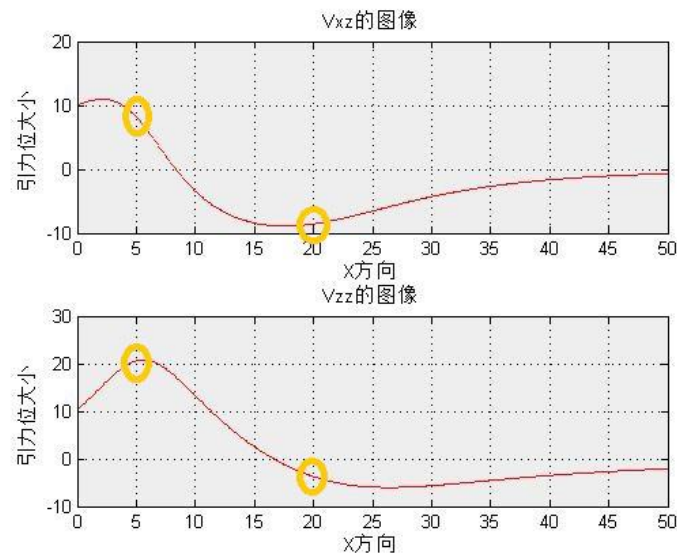
相关参数：f=6;miu=2;z=0;%%引力常数与剩余密度
h1=5;h2=10;d1=5;d2=20;arf=pi/6; %图中相关参数

图像 1：引力位 V_x 与 V_z 图像



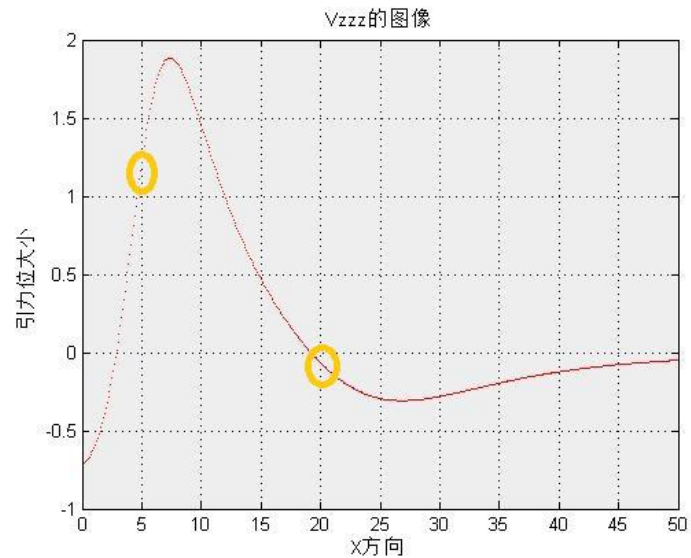
说明：一阶导数反映的“边界”信息十分明显： $x=5$ 与 $x=20$ 是这个模型的左右两个边界，这与我设置是一致的。因此，此模型可以用 V_x 于 V_z 来区分边界。

图形 2：引力位 V_{zz} 与 V_{xz} 的图像



说明：二阶导数图像反映的信息不明朗，两个边界点的位置在图中未有特殊性，因此不对其进行过多的分析。也不能用二阶导数来分析这个模型的边界。

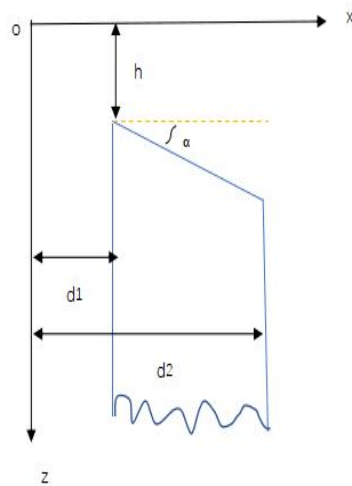
图像 3：引力位 V_{zzz} 的图像



说明：此图像我们想得到的信息也不明朗， $x=5$ 与 $x=20$ 处并不是图中的特殊点！因此同样不对其进行过多分析。所以，对该模型，若想区分边界的位置，只能用“一阶导数”图像来区分边界。

至此，具两个有限垂直边的倾斜板状体（具两个垂直边的平行四边形柱体）。

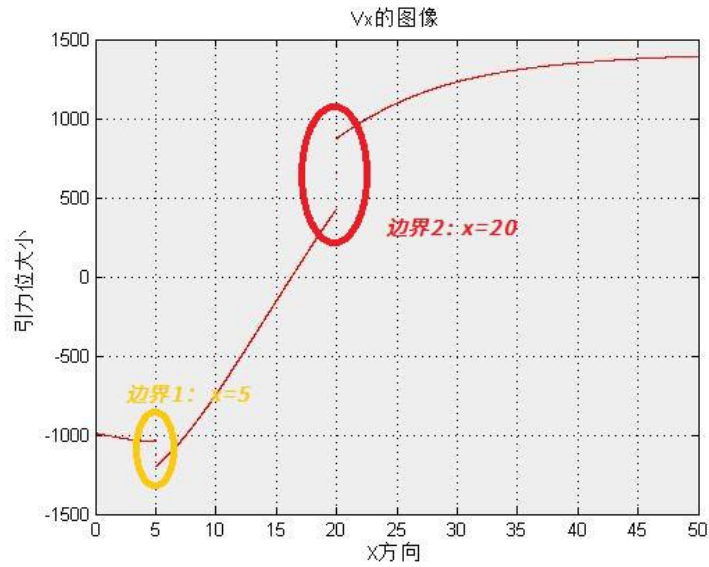
模型十六：上顶为倾斜的无限延深垂直板状体



相关参数：f=6;miu=2;z=0;%%引力常数与剩余密度

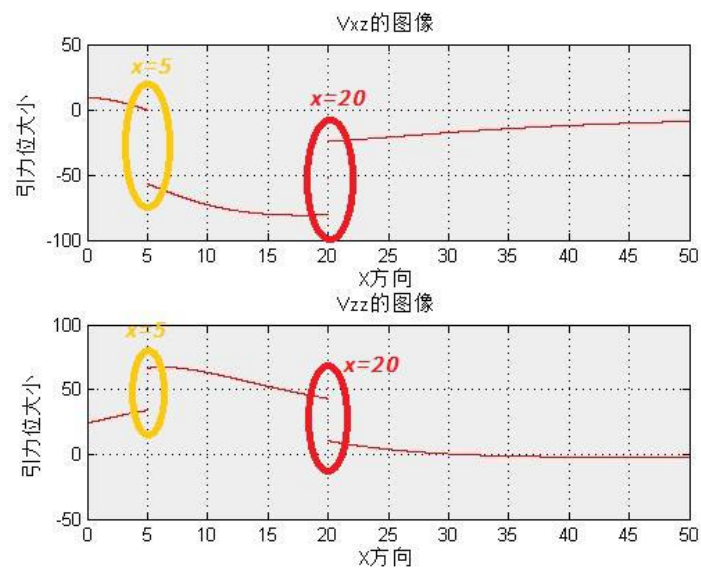
d1=5;d2=20;h=5;arf=pi/6;%%图中相关参数

图像 1：引力位 V_x 的图像



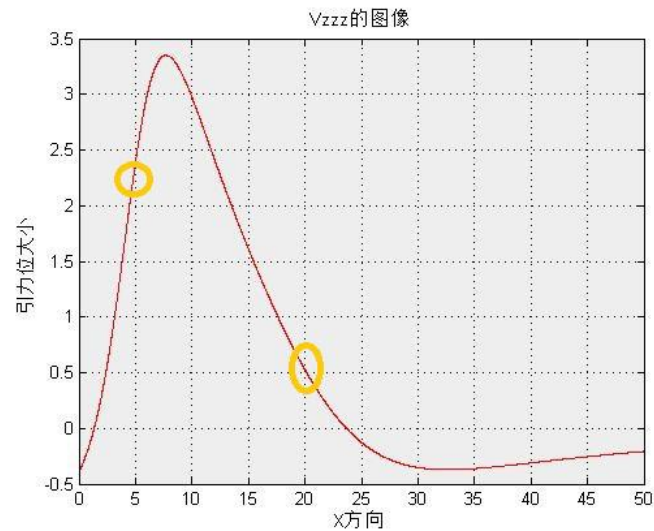
说明：一阶导数所反映的边界信息十分明显：本模型只有两个边界： $x=5$ 与 $x=20$ ，在图中都有很明显的跳跃与之对应。

图像 2：引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像：



说明：二阶导数也可以很好的展示边界关系！已在图中标出，不做过多解释。

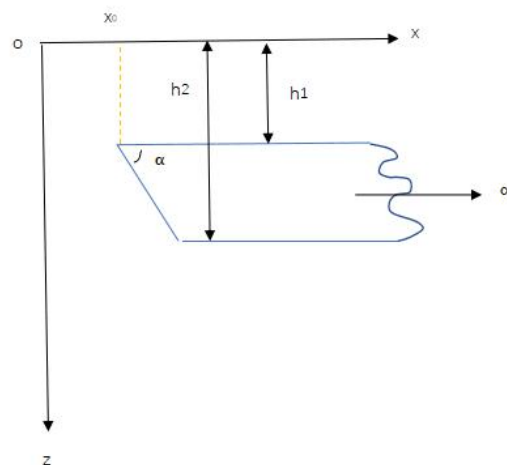
图像 3：引力位 V_{zzz} 的图像



说明：与上一个模型一样，三阶导数图像还是很难给出边界的位置。因此也不再累述。对于这个模型，一阶导数与二阶导数都是很好的，三阶不行。

至此，上顶为倾斜的无限延深垂直板状体的模型结束。

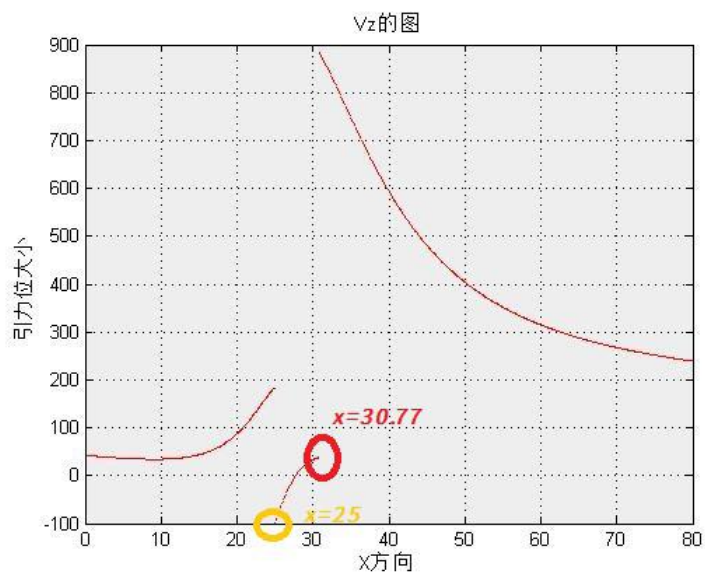
模型十七：具倾斜接触面的半无限水平密度层与断层（右侧无限）



相关参数：f=6;miu=2;z=0;%%引力常数与剩余密度

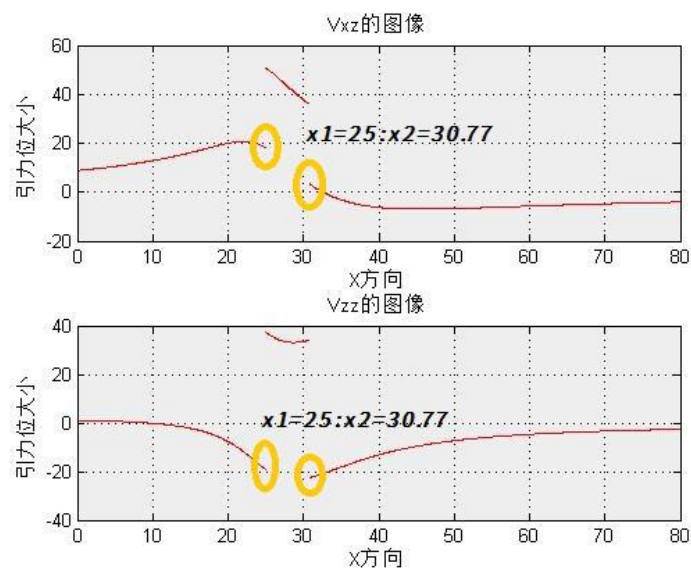
x0=25;h1=5;h2=15;arf=pi/3;%%图中相关参数

图像 1：引力位 V_z 的图像



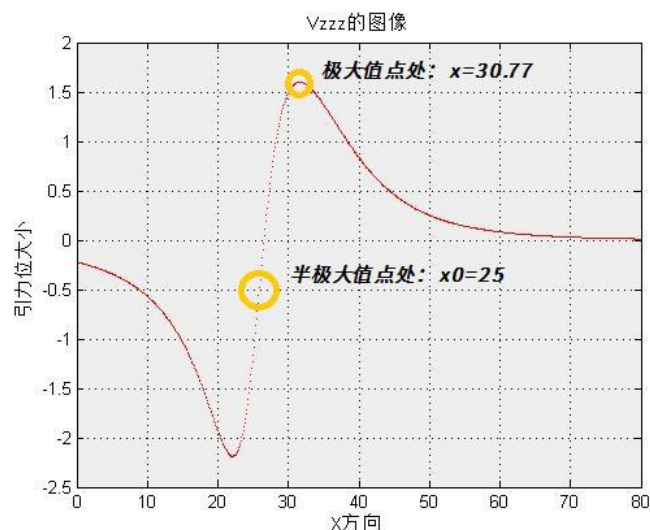
说明：因为模型左侧边界是斜的（右侧无限），所以这个模型的上、下底都是有“左边界”的。如图中已标出： $x_1=25$ 为上顶的左边界； $x_2=30.77$ 为下底的左边界。用一阶导数很好区分边界位置！

图像 2：引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像



说明：效果也十分明显，边界位置处就会有数值的跳跃。已在图中表明特殊点的位置，即两个边界点的位置。

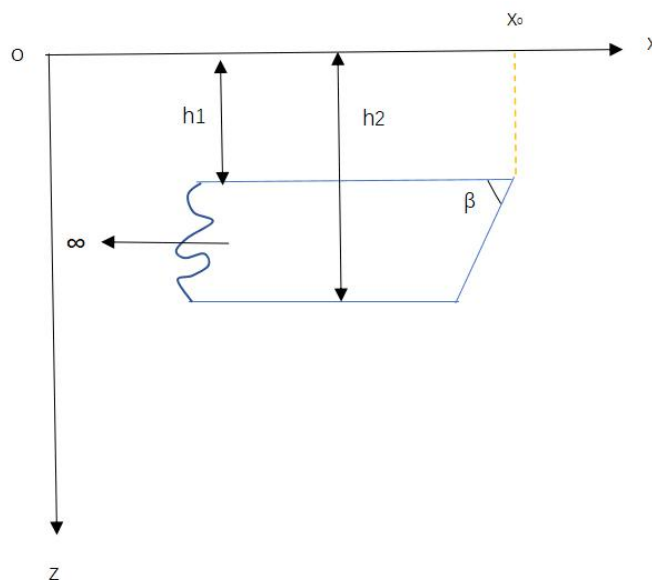
图像 3：引力位 V_{zzz} 的图像



说明：这个图像比较特殊，前面的模型都没见过，但是这个 V_{zzz} 图像反映的信息是比较全的：在极大值点处找到了下底的左边界 $x=30.77$ ；在半极大值点处找到了上顶的左边界 $x_0=25$ 。综上所述：这个模型用一阶、二阶、三阶导数都是可以来寻找边界的。

至此，右侧无限延伸密度层模型结束。

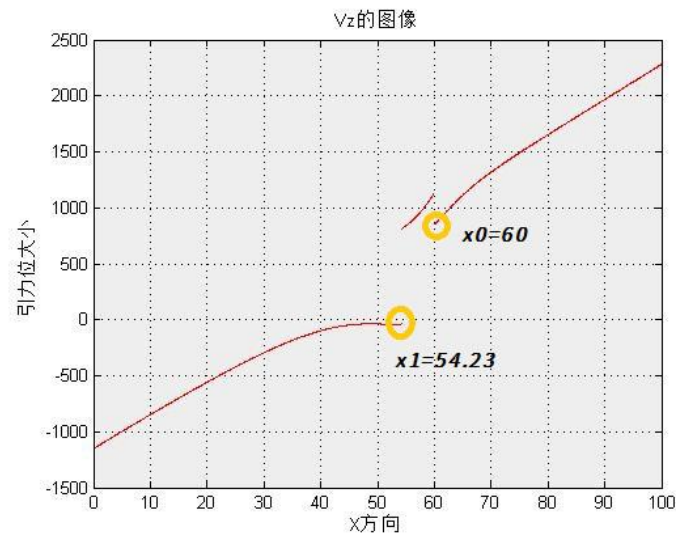
模型十七：具倾斜接触面的半无限水平密度层与断层（左侧无限）



相关参数： $f=6$; $\mu=2$; $z=0$; %% 引力常数与剩余密度

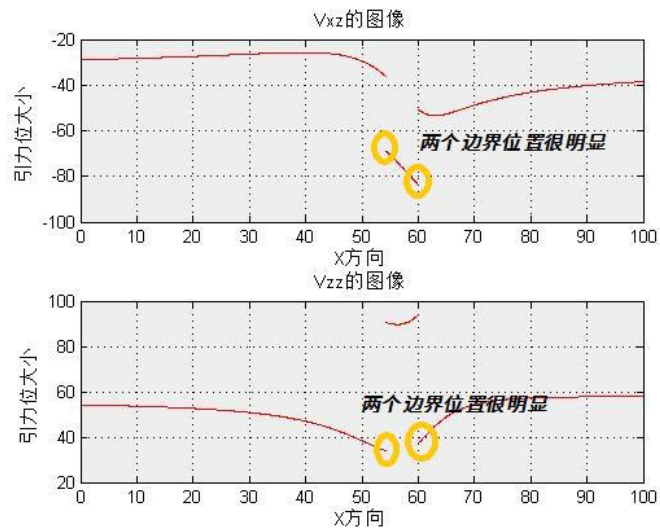
$x_0=60$; $h_1=5$; $h_2=15$; $\beta=\pi/3$; %% 图中相关参数

图 1：引力位 V_z 的图像



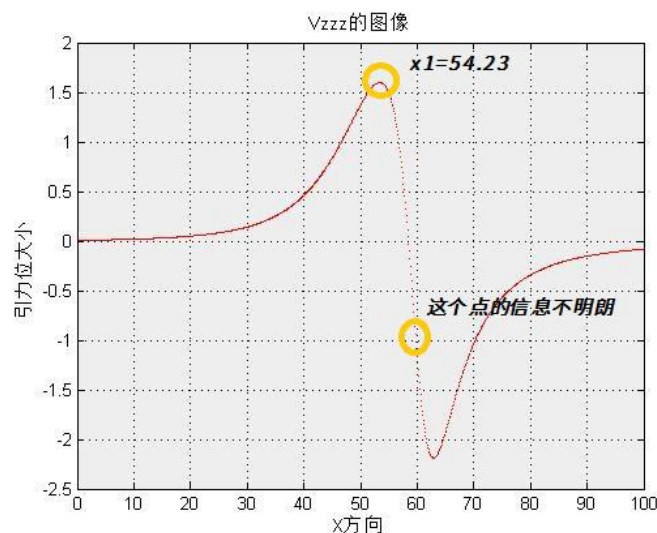
说明：一阶导数图像“边界”信息十分明显： x_1 为下底右边界， x_0 为上顶左边界。在两个边界点的一阶导数值都发生了数值上的突变。

图 2：引力位 V_{xz} 有 V_{zz} 的图像



说明：相当的明显，不赘述了。

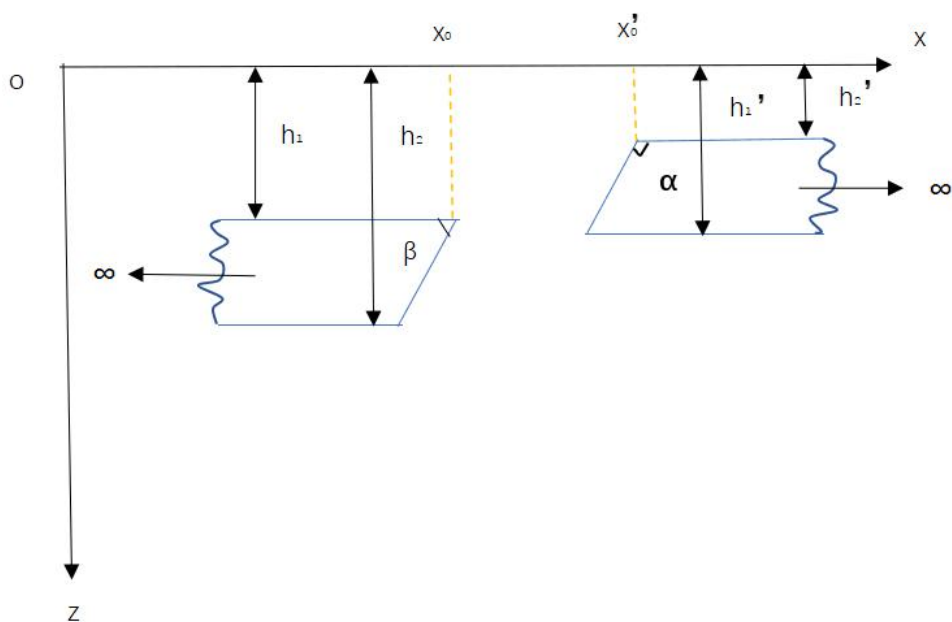
图 3：引力位 V_{zzz} 的图像



说明：对比上一个模型的 V_{zzz} ，这个模型的 x_1 还是很明显的，但是上顶的右边界位置有些偏离半极大值的位置！！ 这里有点问题！暂时还没有解决，有可能是公式计算过程中的问题。

至此，具倾斜接触面的半无限水平密度层与断层（左侧无限）。

※※※模型十八：断层模拟



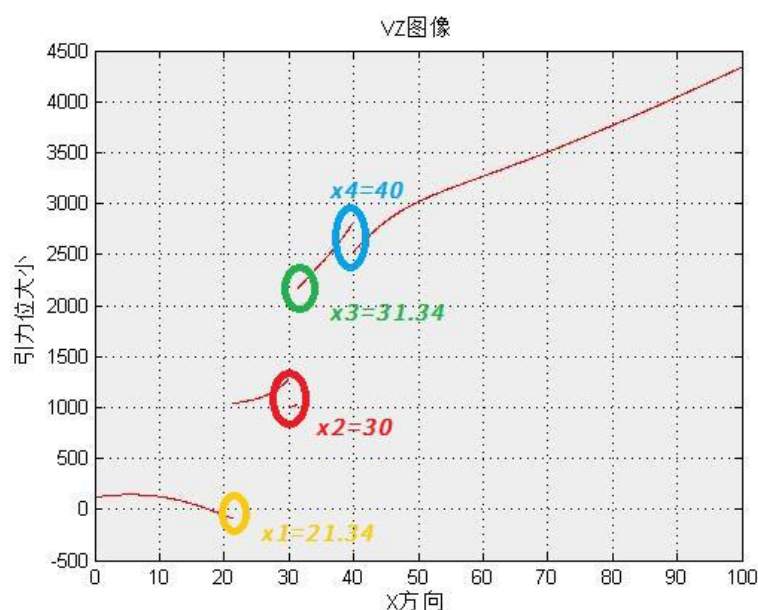
说明：两个模型（一个左无限，一个右无限）。如上图，两者在同一个高度时，相当于构成了“一层”，仅在“中间有开缝”，这个缝就是断层。所以，这是一个非常理想的，通过模型组合来模拟断层的一个模型。

相关参数: $f=6$; $\mu=2$; $z=0$; %%引力常数与剩余密度

$x_0=30$; $x_{00}=40$; $h_1=5$; $h_2=20$; $\ar f=2\pi/3$; $bt=\pi/3$; %%图中相关参数

水平断距为 10，断层垂直深度为 15!!

图像 1: 引力位 VZ 图像

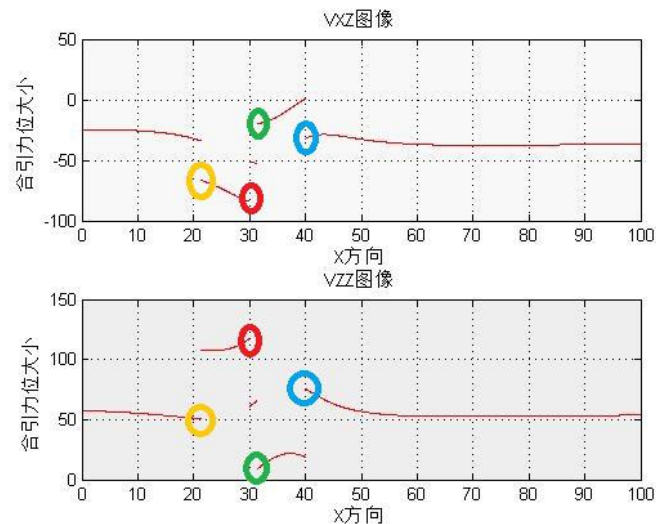


说明：断层是有“模型 16 与 17”组合而成的，由原来的分析可得：每个模型都有 2 个边界点，那么断层就有 4 个边界点!! 经过计算，4 个边界点的位置是 $x_1=21.34$; $x_2=30$; $x_3=31.34$; $x_4=40$; 在一阶导数的图像中，很明显可看到在这些边界点处有数值的跳跃。

此外，由于是正演，已知断层的边界为 $x=[30, 40]$ ，即水平间距为 10。让我们来看看 $x=30$ 与 $x=40$ 处的跳跃是有什么规律：断层（空隙）与旁边物质的分界处数值“差距不大”!，即相比物质带自己的两个同向边界的数值差要小!

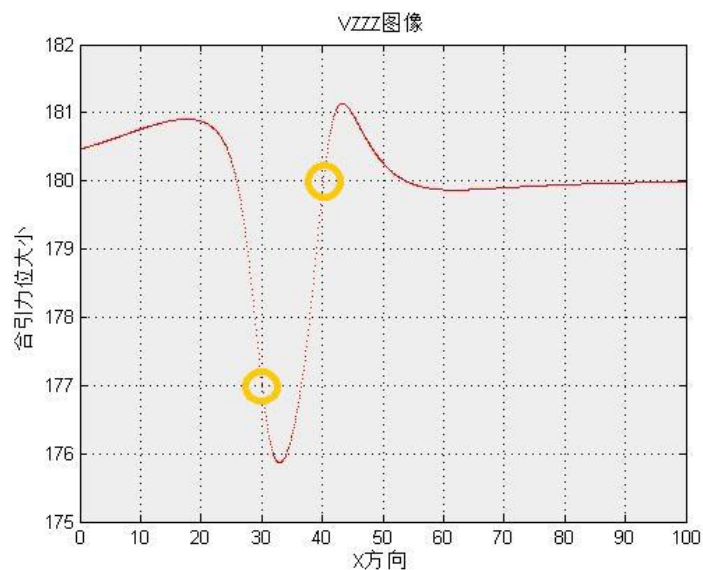
但是，这并不能算作一个规律，因为剩余密度、深度、宽度等都会影响数值的变化，即会影响边界点的跳跃差! 但总的来说，两个“小跳跃”之间就是断层的位置!

图像 2: 引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像



说明：反映的边界信息都很明显，不做过多累述。这里存在一个问题：“跳跃点”不好区分是“断层的边界”还是“同一个模型同侧的边界”，这个问题至少在二阶导数的图像中解决不了。

图像 3：引力位 VZZZ 的图像



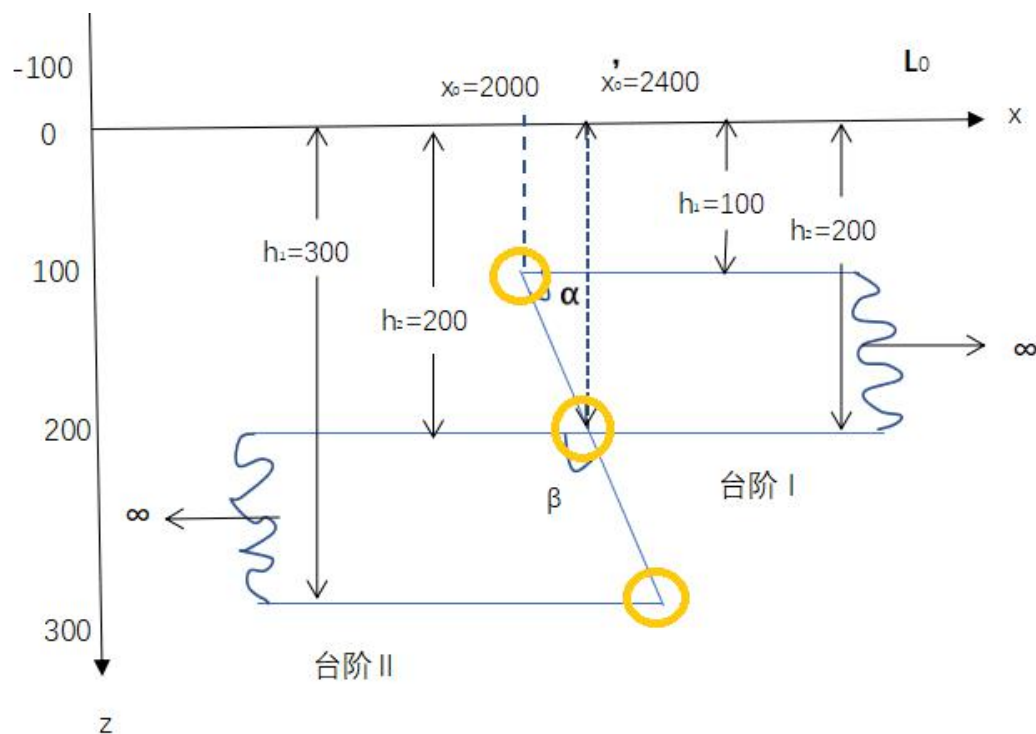
说明：已经的断层边界在 $x=30$ 与 $x=40$ 之间，但是这两个点在三阶导数 VZZZ 图中并不是特征点！即断层用三阶导数来寻找边界是不好的。

综上所述，对于断层的寻找，我们可以借助一阶、二阶导数的图像来寻找其边界，是非常明显且容易的！这模型的组合是“斜断层”，因此对哪两个跳跃点

之间是断层的位置不好完全通过导数的方法来确定！通过导数的方法我们可以确定这里有断层，但精确其位置范围还有点困难。

至此，“斜断层”的模型结束。其实，可以通过多种模型的组合来模拟“斜断层”，只不过以上是最方便、最贴近实际的一种（因为，两侧是无限延伸的，可以认为就是物质带，被断层所分割）。

※※※模型十九：阶梯模拟



说明：这里图中原始数据太大，我们选择将其调小。这个模型：一高一低且都向两边延伸，可以用来模拟阶梯！即模拟两层阶梯的错动。同样，由于是向两边无限延伸的，是很好的“层”的模拟，根据各阶导数图像的特点来分析这个“错动”的范围是否与我预期的一致。

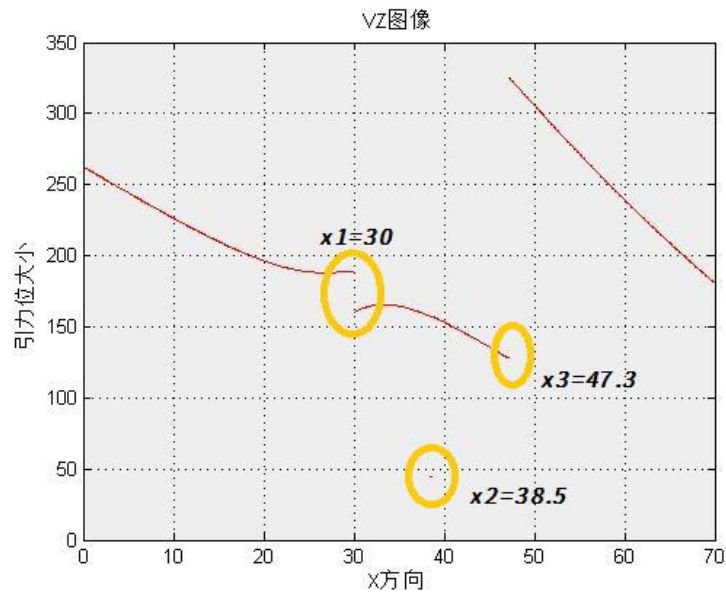
“黄色圈”就是这个阶梯的关键点和边界，预计会在导数换算图中有所展示。

相关参数： `f=6;miu=0.2;z=0;%%引力常数与剩余质量`

`x0=38.5;x00=30;h1=20;h2=35;h11=5;h22=20;arf=2*pi/3;`

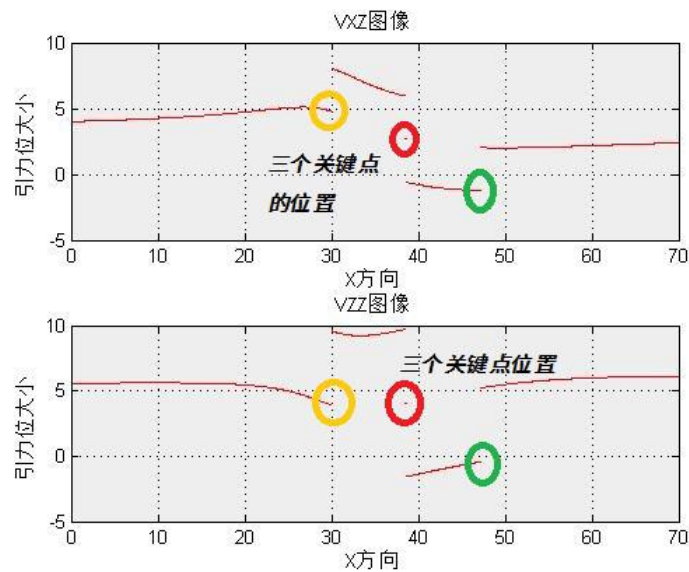
`bt=2*pi/3;%%相关参数`

图像 1：引力位 VZ 的图像



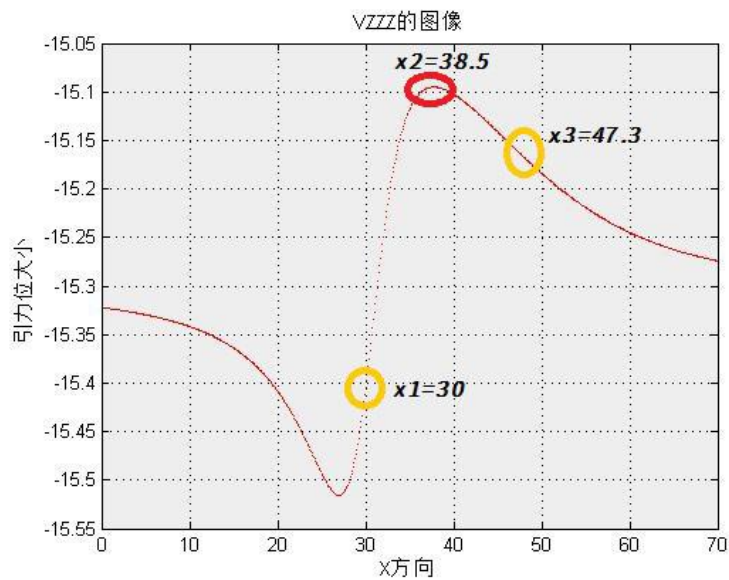
说明：合引力位 VZ 的图像刚好有 3 个特殊点，如图： $x_1=30$ ； $x_2=38.5$ ； $x_3=47.3$ 。其中 x_1 与 x_3 就是“错动”边界的范围（已经过计算验证）。要注意这里的 x_2 的位置只有一个“小点”（图中不太明显）， $x_2=38.5$ 就是我参数设置中的 x_0 的位置，即台阶 1 与台阶 2 的“重合处”，这确实是一个较特别的点，但相对与边界位置（ x_1, x_3 ）不太明显。

图像 2：引力位 VXZ 与 VZZ 的图像



说明：同样，在“错动”的边界有很明显的数值跳跃！在重合点 $x=38.5$ 处仍是一个“小点”，总体上一阶导数和二阶导数都能够很好的确定“错动”的分布范围（ $x=[30, 47.3]$ ）。

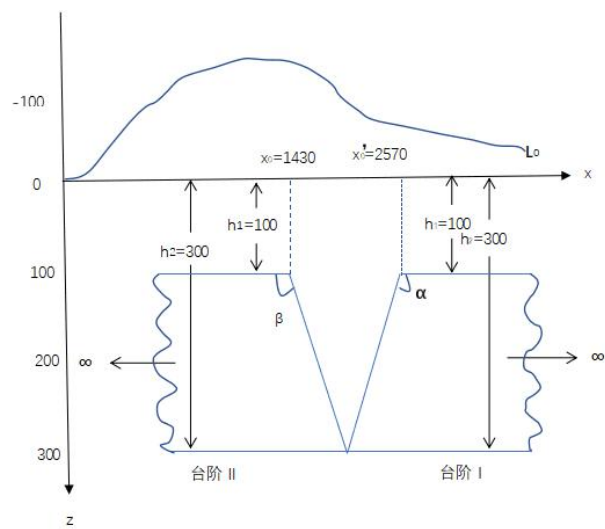
图像 3：引力位 V_{ZZ} 的图像



说明：三阶导数所反映“错动”的边界信息很不明显，在图中并不是关键点的位置，但是模型重合点处（ $x_2=38.5$ ）在图中明显：极大值点处。

至此，阶梯错动模型结束。

***模型二十：三角凹口模型



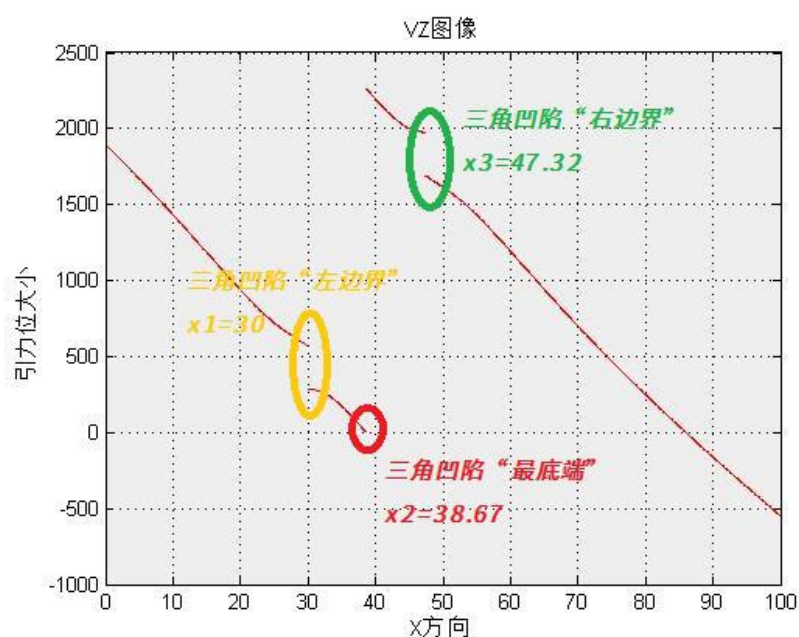
说明：仍然用两个模型相对放置来模拟断层！并且同样两侧无限延伸，可以很好的模拟一个物质层。

相关参数：f=6;miu=2;z=0;

x0=30;x00=30+30*tand(30);h1=5;h2=20;arf=2*pi/3;

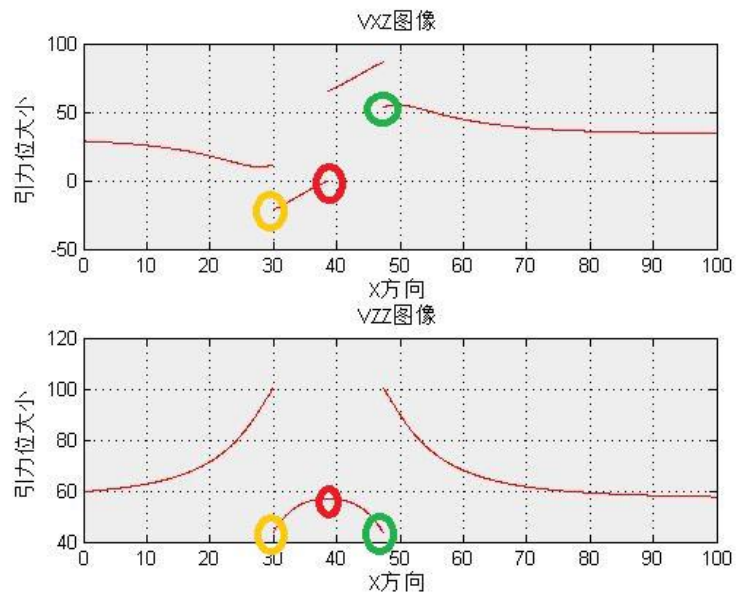
bt=2*pi/3;%%相关参数

图像 1：引力位 VZ 的图像



说明：一阶导数 VZ 的图像很明显的告诉了我们这个“三角凹陷”的 3 个关键点的位置：左边界、最底端、右边界。因此，可以用一阶导数来进行“三角凹陷”的边界识别。

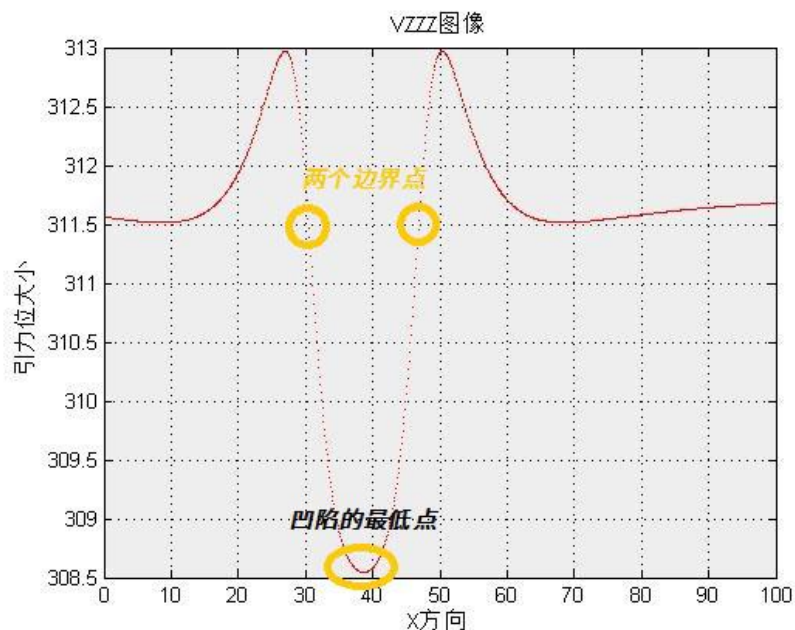
图像 2：引力位 VXZ 与 VZZ 的图像



说明：①. 对于引力位 V_{xz} 图像：这个图像反映的信息很明显，分别在 3 个跳跃点的位置，其中“黄色与绿色”是凹陷的边缘，红色是凹陷的底端！②. 对于引力位 V_{zz} 的图像：这个图像的两个边界点在两个跳跃点处，但是凹陷的最底端没有出现间断，反而变成了一个极大值点！

总之，一阶和二阶导数反映的信息都十分明显，都可以用来判断“凹陷”的边界范围。

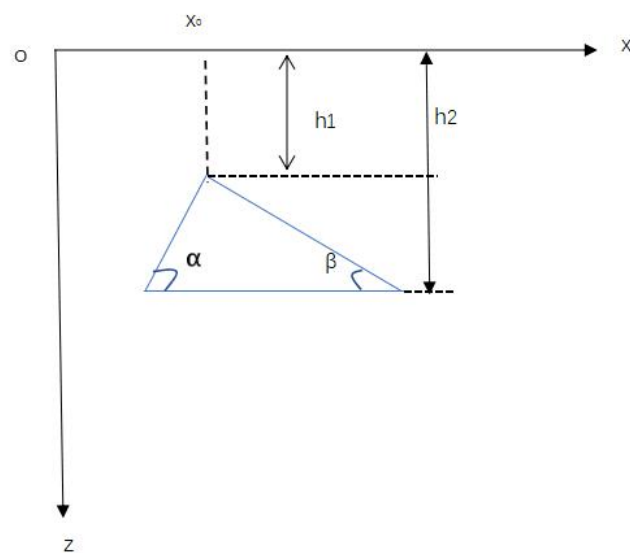
图像 3：引力位 V_{zzz} 的图像



说明：三阶导数对展示“边界”的信息不明确，但是却对显示凹陷的最低点非常明显，如图：凹陷的最低点就是图中的极小值点。

至此，三角凹陷模型结束。

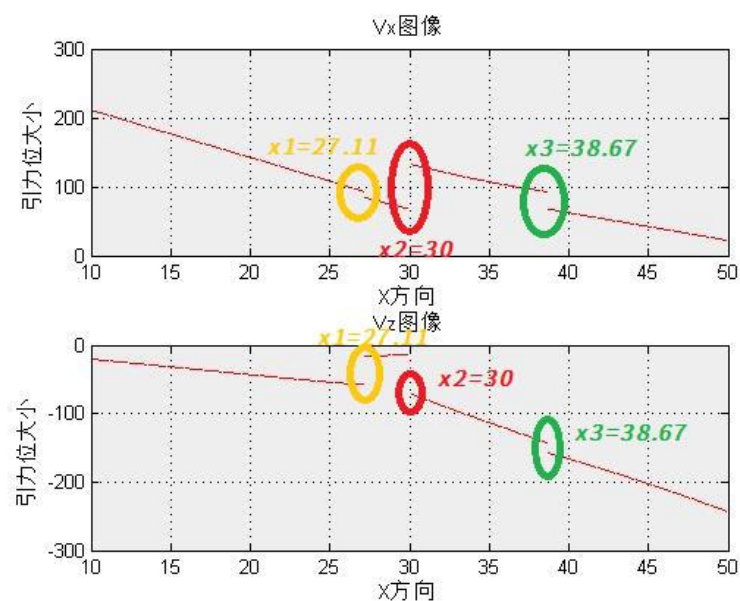
模型二十一：具下水平边的三角形柱体



相关参数：f=6；p=0.1；%%引力常数，剩余密度

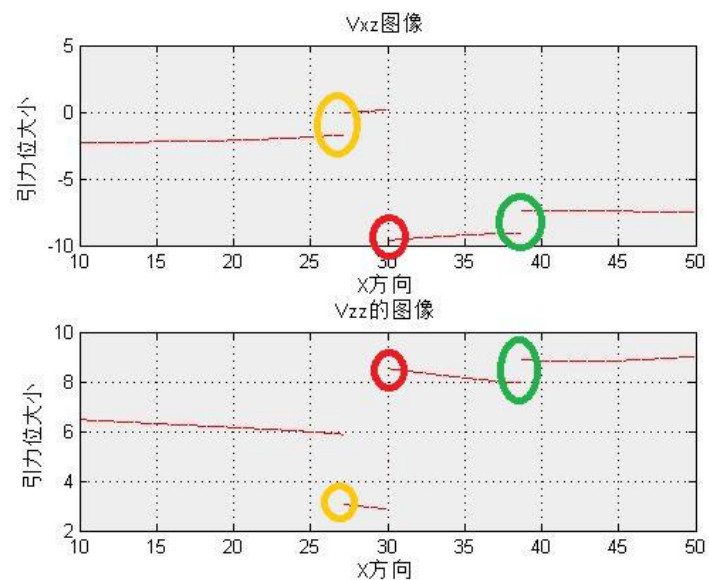
h1=10；h2=15；Ja=pi/3；Jb=pi/6；x0=30；%%图中 5 个参数

图像 1：引力位 V_x 与 V_z 的图像



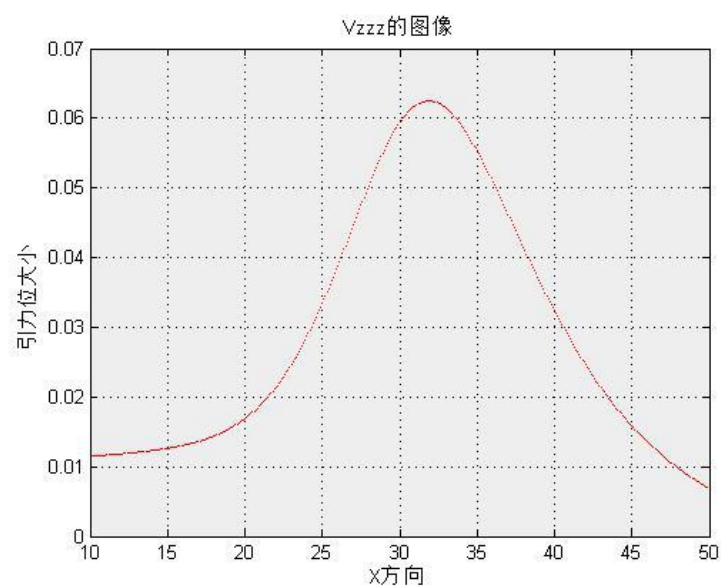
说明： V_x 与 V_z 的一阶导数的图像对于“三角形柱体边界”的区分非常明显：如图中， $x_1=27.11$ 与 $x_3=38.67$ 是三角形柱体的水平最远跨度的边界！而 $x_2=x_0=30$ 是三角形柱体的顶点的平面投影的位置。都是关键点！

图像 2：引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像



说明：二阶导数 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像对于边界的反映还是十分明显的！已在图中标出，不做过多累述。

图像 3：引力位 V_{zzz} 图像

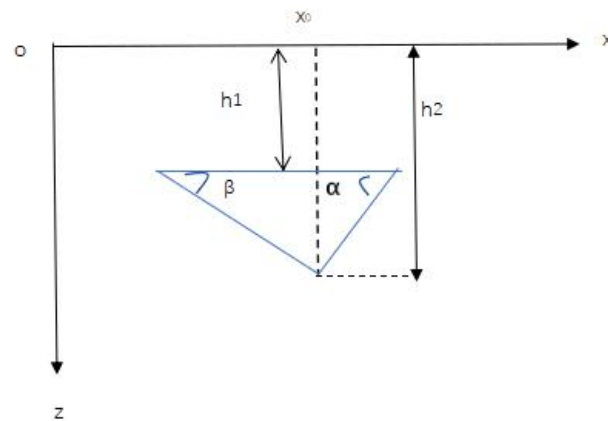


说明：3 个关键点的位置全不明显，因此不对该图做过多解释。

这里要补充一下，为什么一阶和二阶导数的图像缺少弯曲？图像都显得很直？因为：看模型可以得知，这是三角形柱体，即它的每个边儿都是真的，因此变化都是线性的！即为连续的变化！所以图像会显得很直。

至此，具有下水平边的三角形柱体模型结束。

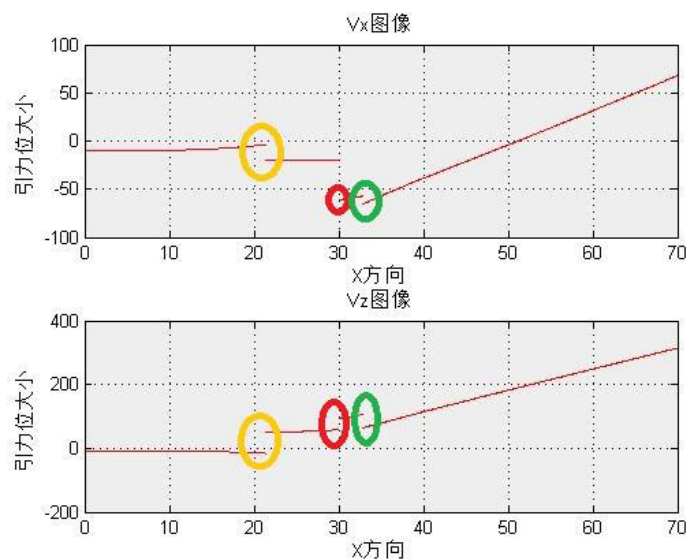
模型二十二：具上水平边的三角形柱体模型



相关参数：f=6；p=0.1；%%引力常数， π ，剩余密度

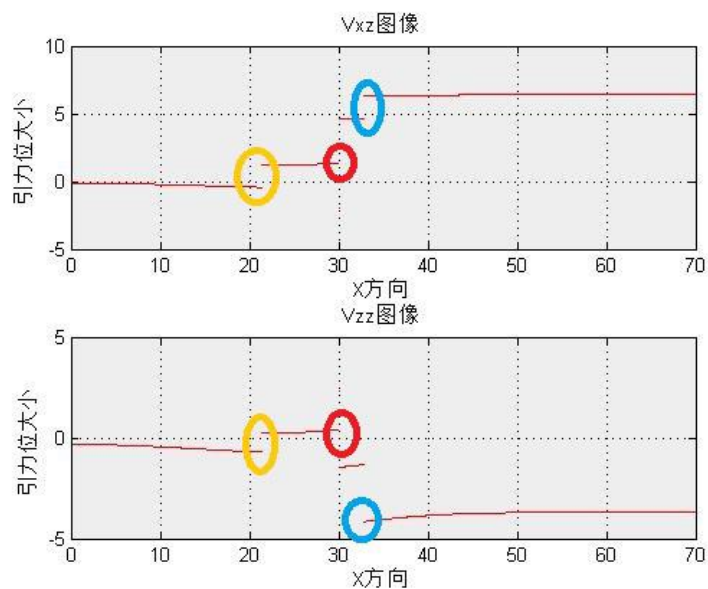
h1=10；h2=15；Ja=pi/3；Jb=pi/6；x0=30；%%物体的 5 大参数设置

图像 1：引力位 V_x 与 V_z 的图像



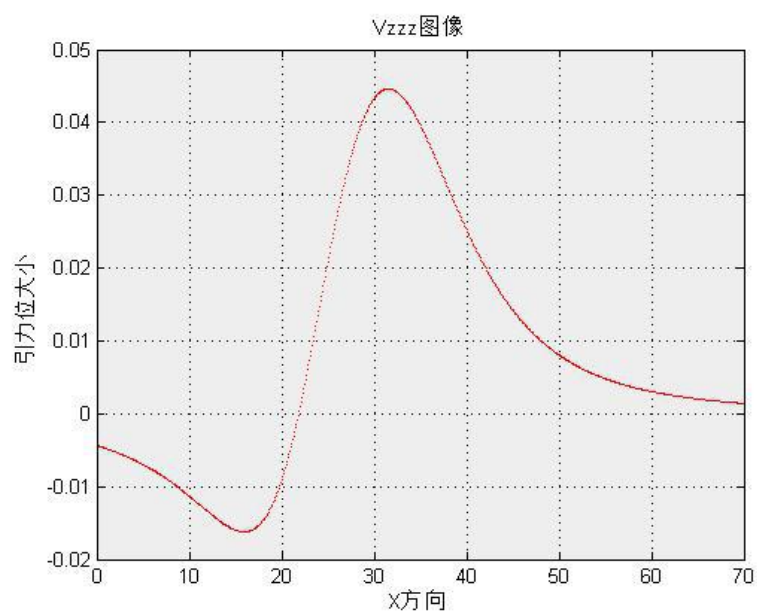
说明：一阶导数 V_x 与 V_z 的图像对于边界的反映是非常明显的，已在上图中标出。其曲线的类型与“模型 21”是非常像的，不多叙述。

图像 2：引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像



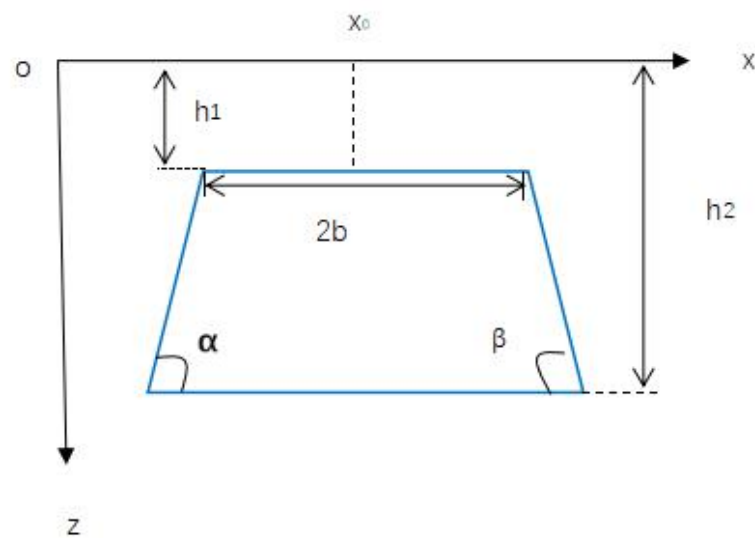
说明：二阶导数同样很好反映了边界的信息，不过多累述，已标出。

图像 3：引力位 V_{zzz} 图像



说明：与上一个模型一样，三阶导数的图像反映不出明显的边界信息。至此，具上水平边的三角形柱体模型结束。

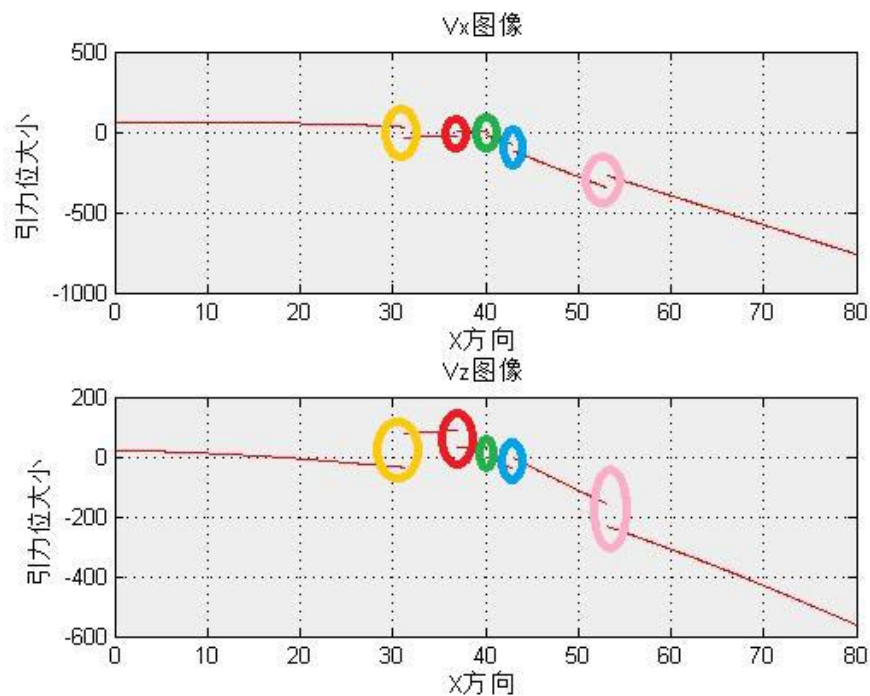
※※模型二十三：下底>上底的梯形柱体



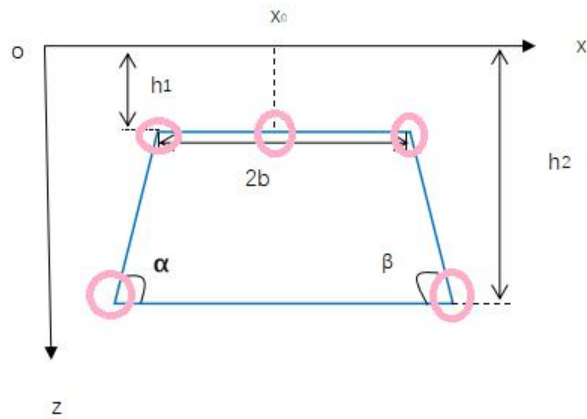
相关参数: $f=6$; $\mu=0.2$; $z=0$;

$h_1=10$; $h_2=20$; $x_0=40$; $b=3$; $\alpha=\pi/3$; $\beta=\pi/4$; %%图中相关参数

图像 1: 引力位 V_x 与 V_z 的图像

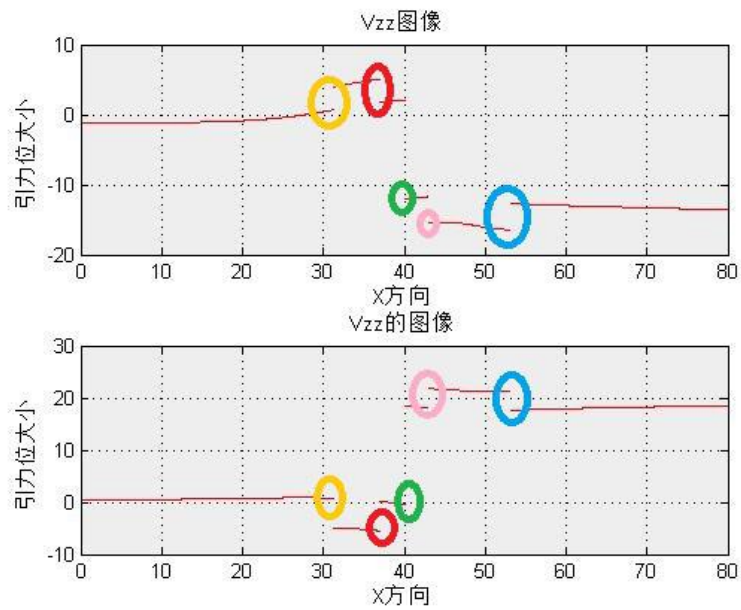


说明：这个模型有些负责，具有 5 个特殊点：如下图 5 个粉色的圈圈



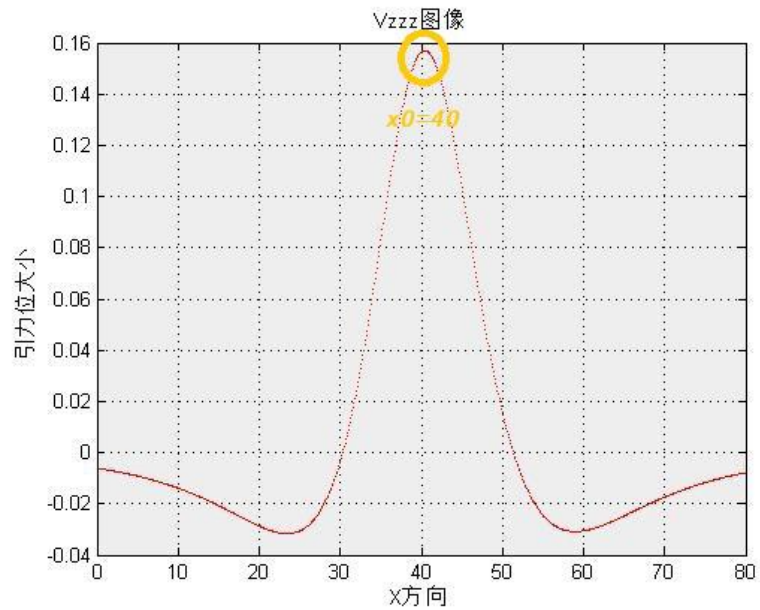
这 5 个粉色的圈圈与一阶导数图像中的 5 个“从左到右”的圆圈相对应，分别的坐标是 $x_1=31.23$; $x_2=37$; $x_3=40$; $x_4=43$; $x_5=53$ 。这与我假设的条件与我预期的结果是一直的。

图像 2: 引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像:



说明：二阶导数图像同样很好的表面出关键点和边界点的位置！在图中标出不做过多累述。

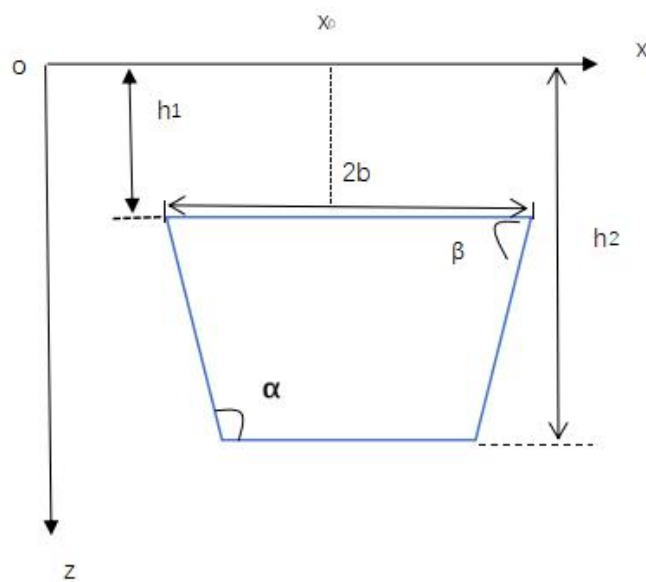
图像 3: 引力位 V_{zzz} 图像



说明：三阶导数的图像处了中心投影点有明显特征外，其余都不明显；不做过多累述。

至此，下底>上底的梯形柱体模型结束。

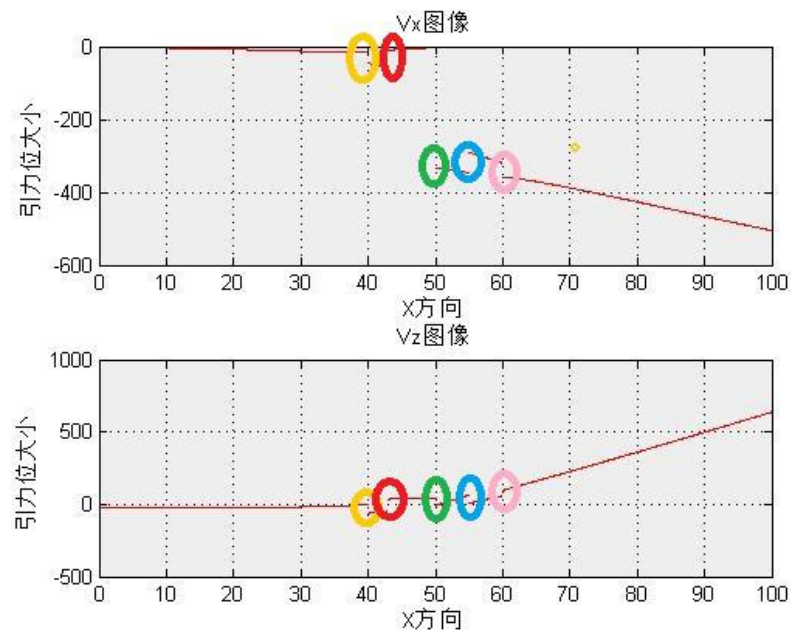
模型二十四：上底>下底的梯形柱体



相关参数：f=6;miu=0.2;z=0;

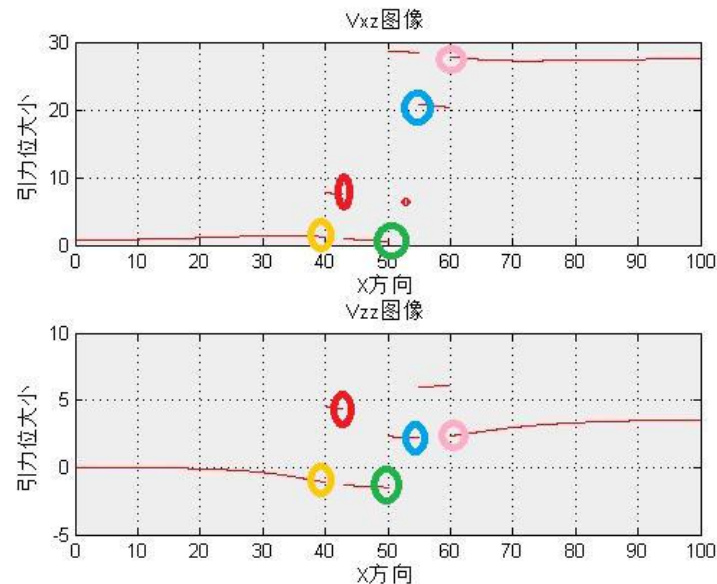
h1=10;h2=15;x0=50;b=10;arf=pi/4;bt=pi/3; %%图中相关参数

图像 1: 引力位 V_x 与 V_z 的图像



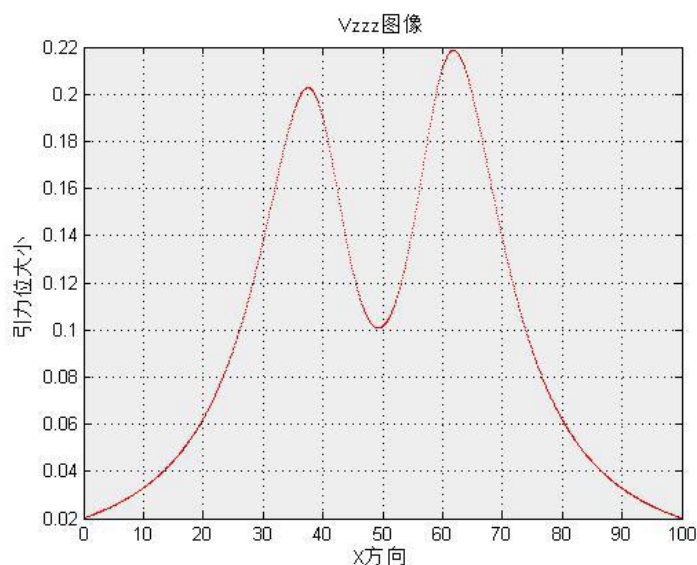
说明：同样，还是有 5 个特殊点（与上一个模型很类似，只是分布的位置不一样而已）此模型的 5 个特殊点的位置为（从左向右）： $x_1=40$ ； $x_2=42.89$ ； $x_3=50$ ； $x_4=55$ ； $x_5=60$ 已在图中标出，这些点与我的假设和预期都一致！

图像 2: 引力位 V_{xz} 与 V_{zz} 的图像



说明：二阶导数图像同样反映特殊点与边界信息十分明显，不做过多累述。

图像 3: 引力位 V_{zzz} 图像



说明：三阶导数的特殊点和边界信息不明朗，不做过多说明。

至此，上底>下底的梯形柱体模型结束。

综合以上 24 个模型，我们将发现的“引力位图像规律”总结如下：

规律 1：如果物体存在两个边界（有限体），那么物体边界在二阶导数 V_{xz} 的图像中的位置是：两个极值点处（此图像只会有一个极大值一个极小值）。物体边界在 V_{zz} 的图像中的位置是：极大值（唯一一个）两旁的两个半极大值处。

规律 2：如果物体存在两个边界（有限体），那么物体边界在三阶导数 V_{zzz} 的图像中的位置是：极大值（唯一一个）两旁的两个半极大值处。

规律 3：结合“模型八”与“模型十”中一阶导数的图像，可以得出以下规律：若物体很窄或很细，且在某一个方向无限延深（伸）的二度体，它的一阶导图像一定会出现差距很大的“跳跃点”，这个跳跃点位置一定是物体的特殊位置。

规律 4：如果引力位一、二阶导数的图像存在“跳跃（间断）点”，那这个位置一定是一个特殊点！并且很有可能是边界点。这条规律在后面出来复杂模型的时候十分好用。

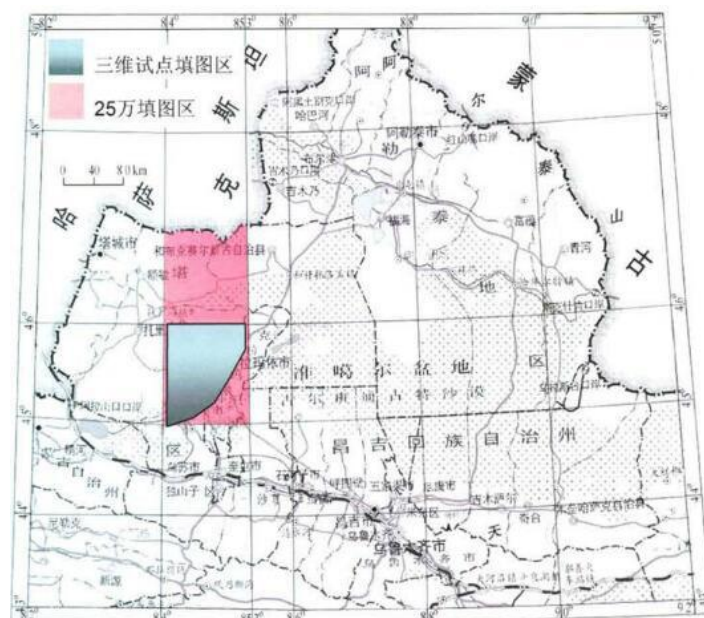
规律 5: 不是所有阶导数的图像都可以明确看出地下异常体的边界位置！有时是低阶导数可以很明显的区分边界，有时是高阶（ V_{zzz} ）可以区分边界的位置。此时要从多种方面来考察这片区域。

三. 实际例子

为将我们通过模型总结出来的规律应用于实际例子中，我们选择了“经度 82-88 度，纬度 44-47 度”范围作为我们的研究对象区域，并根据老师提供的卫星数据（引力位、磁位）进行地下异常体的边界识别工作。

我们的工作方式是：用 **surfer** 软件对卫星数据进行绘制，并用明显色标区分图中的数值大小范围！之后，我们对每个图像进行分析，根据我们前面 24 个模型总结出的经验，对地下异常体的边界进行识别和判断！并试着估计地下异常体的大致形状！！之后根据所以的图像信息来对该区域的地下异常体进行综合的分析。下面，开始我们的实际应用：

1. 研究区域范围：



2. 区域地质背景：

西准噶尔克拉玛依后山地区位于哈萨克斯坦、塔里木和西伯利亚三个大陆板块的交汇处，为中亚造山带的一个重要组成部分。复杂的大地构造位置导致该

地区在晚古生代经历了极其复杂的洋陆转换过程，以至于残留了一系列近东西向和北东向的蛇绿构造漏杂岩系及古大陆边缘的增生体系。造山后的陆内变形也复杂多样，形成了测区多期不同方向构造变形的交织和叠加。

西准噶尔既是区域构造研究的焦点地区之一，又是我国一个重要的多金属成矿区之一，长期以来是国内外地质学家关注的地区。自上世纪五十年代以来，在此地区开展了大量的区域地质调查与矿产普查工作；上世纪末至今，又陆续在该区开展了大地构造、矿产、蛇绿岩等方面的专题研究，发表了大量论文与专著，为研巧该区提供了充分、详实的野外及室内资料。对本区地质构造学、古生物学、地层学、岩石学、地球化学、地球物理等方面的研究，为认识研巧区的地质情况提供了大量的信息。然而，克拉玛依后山地区被第四纪地层覆盖严重，地形起伏小，造成露头状况较差，所形成的地质资料较为零乱，认识多带有推断性，例如：主断裂构造延伸及其空间配置，有关断裂构造的 3 维延伸及其空间配置关系到对区域构造基本框架的认识：主要蛇绿岩带的深部延展及其与两侧石炭系地层之间的三维构造关系；准噶尔盆地与西准噶尔造山带之间构造关系等。

3. 磁位：磁异常矢量分布矩阵

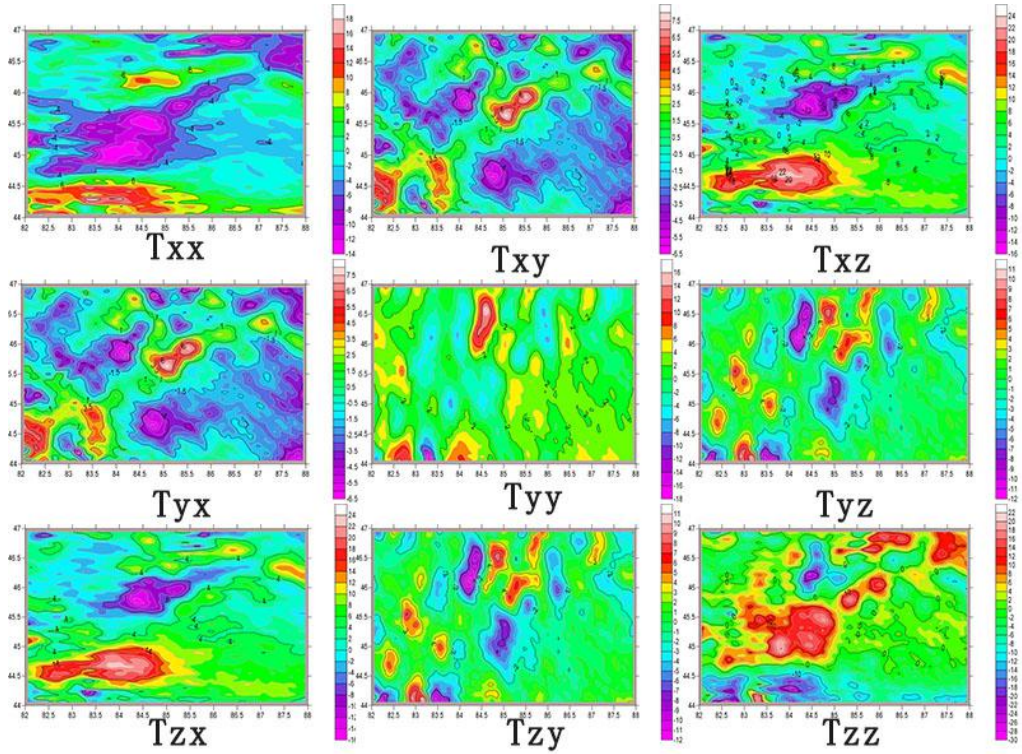


图 1:磁异常矢量分布矩阵

(1) T_{yy} 与 T_{yz} 图像:

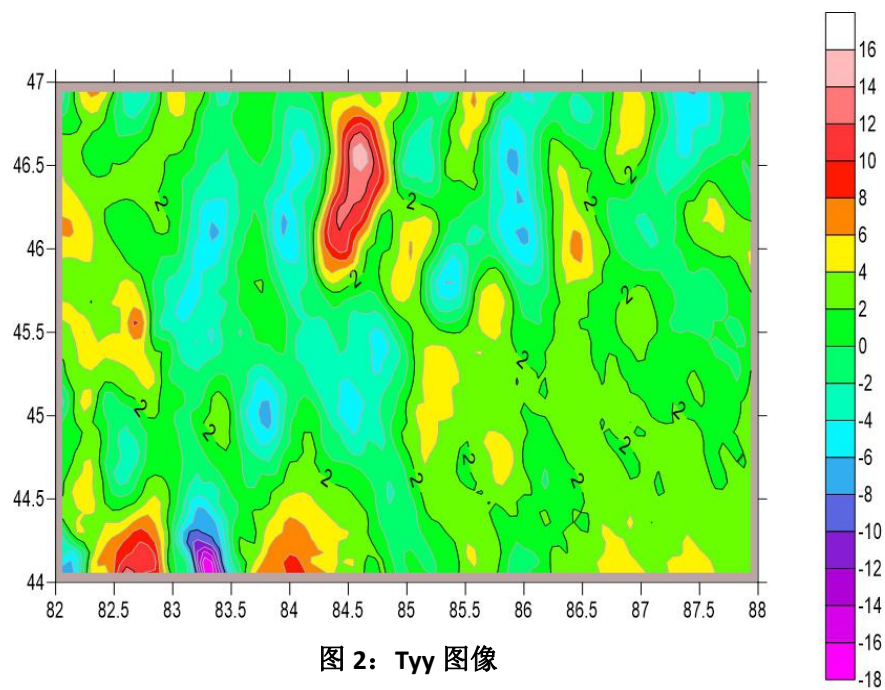


图 2: T_{yy} 图像

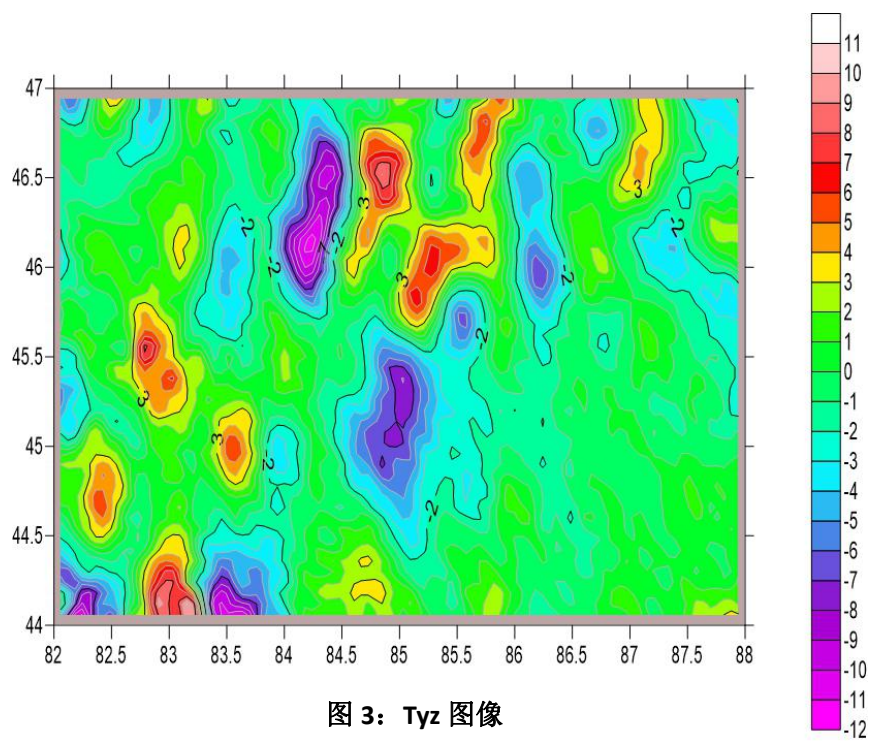


图 3: T_{yz} 图像

(2) T_{xx} 与 T_{zz} 图像:

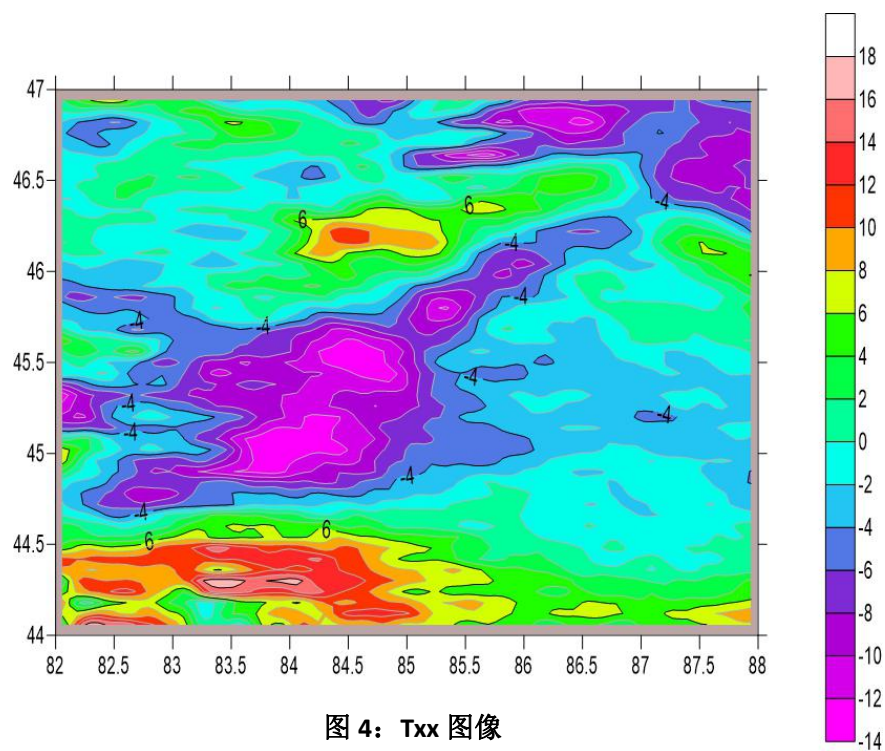


图 4: T_{xx} 图像

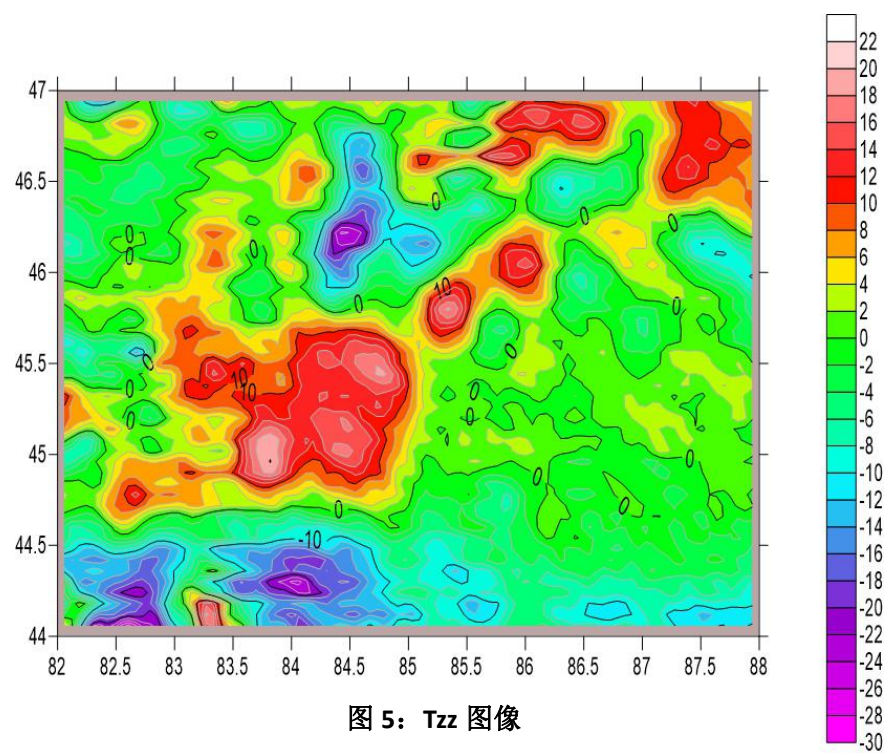


图 5: T_{zz} 图像

(3) T_{yx} 与 T_{zx} 图像:

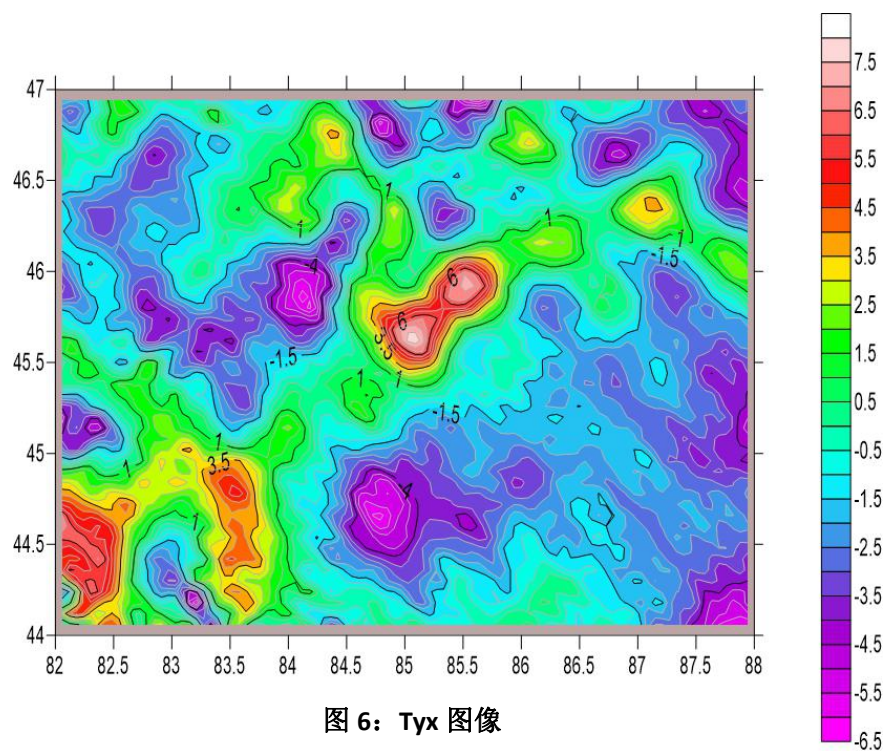


图 6: Tyx 图像

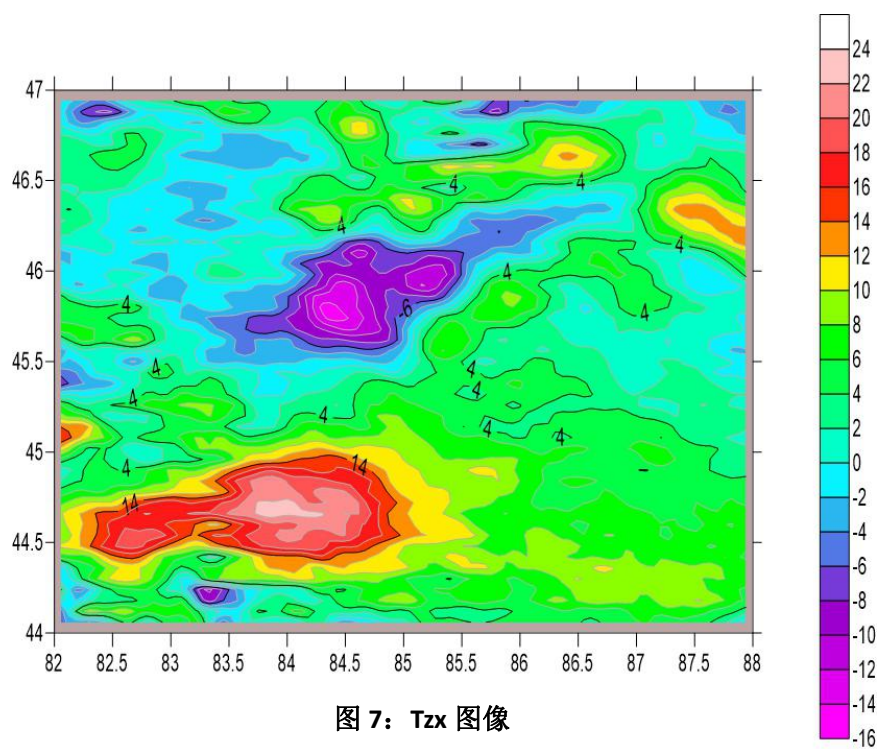


图 7: Tzx 图像

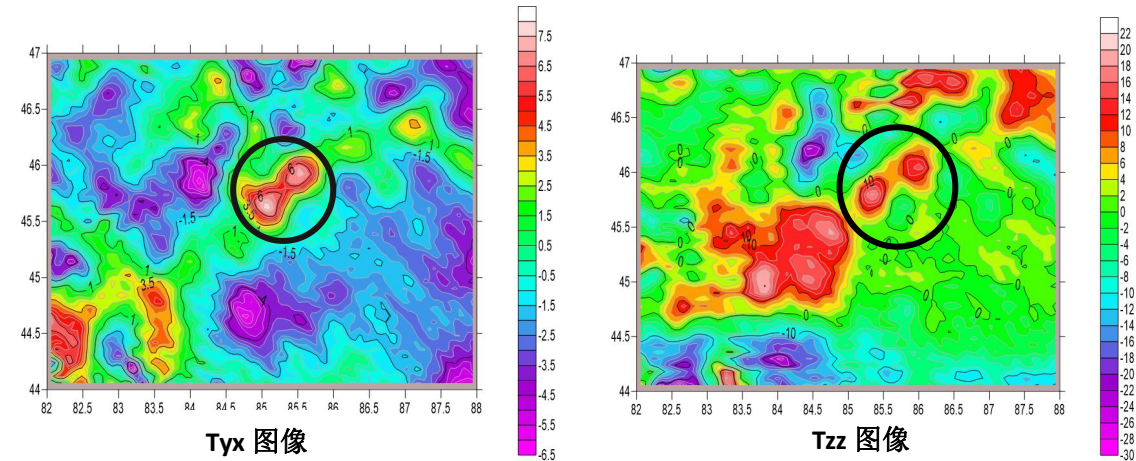
(注明：原图见附件)

分析如下：

上图 1 中表示[Txx Txy Txz Tyx Tyy Tyz Tzx Tzy Tzz] 9 个梯度张量异常值在研究区域(经度 82-88 度, 纬度 44-47 度)的大小分布情况。其中, 由于 $T_{xy}=T_{yx}$, $T_{xz}=T_{zx}$, $T_{yz}=T_{zy}$, 这三组的梯度张量分布情况是相同的, 故只存在 6 个独立梯度张量。

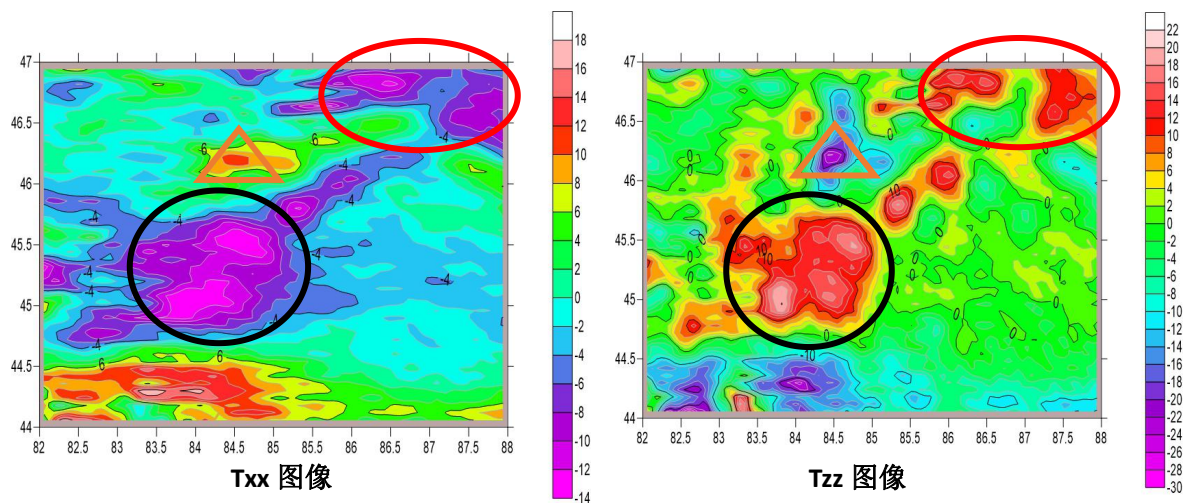
根据 Txx Txy Txz Tyy Tyz Tzz 这 6 个独立梯度张量异常的分布情况, 可以初步进行该区域不同磁异常体的边界划分。其中 Tyy 与 Tyz 整体上变化情况比较连续、均匀, 不能提供关于边界划分的相关信息。但是, 在 Txx 、 Tzz 、 Txz 中可以清晰的看到在经度 44-45, 纬度 82-85 的区域内, 存在高磁异常梯度张量区与低磁异常梯度张量区, 并且二者之间突变转换。根据我们之前推理出的关于地质体接触边界的高阶导数正演模拟模型可知, 不同地质体**接触边界**往往出现在梯度张量**断点处**, 故推断在经度 44-45, 纬度 82-85 的区域内存在南北走向的地质体接触边界。同时, Txy 的异常分布图象也符合我们的猜想, Txy 的表现形式为关于地质边界的对称“X”分布形态, 也是符合正演模拟结果的。

具体如下：根据引力位模型的规律：并不是所有的分量图都会很好的反映边界的信息。需要综合矩阵中的 9 个分量共同分析。因此我寻找 Txx, Tzz, Tyx 来分析：



图中的两个圈, 具有“对称分布”的特点, 并且在两个分量图中的同一个位置出现, 并且数值较大。所以, 可以判定, 在这个范围里(纬度: 45.5—46; 经度: 85—86.5)的地下存在高磁性体物质, 且关于地质边界的对称“X”分布形态。它的地下形态不好确定: 因为有多种形状物体的磁位都可形成对称分布式的地表磁异常图。

下面继续分析： $T_{xx}+T_{zz}$ ：



图中，在两个“黑圈”标出的位置处：在两幅图中，这两个的位置是近乎一致的（可以忽略不太相同的边界）；在这两个分量图中（ T_{xx} 与 T_{zz} ），在同样的范围内（纬度：44.6—45.6；经度：83—85）都是区域的磁异常处，只是一个“高磁位”，一个是“低磁位”。这个磁位的不同与分量的类型有关，不同的 T_{ij} 可能会带来不同的磁位值。

但是，异常磁位数值的位置是不会变的！这两个图中已经共同验证了这一点！这块儿地下的磁异常体的范围就几乎可认为是颜色区分明显的边界！（因为地下的情况是负责的，对于边界只能大致给一个分布范围）。

继续，图中“红圈”内也有对应的变化范围（纬度：46.4—47；经度：85.5—88），我们可以认为这个范围内的地下也是存在磁异常的！它的范围具有很好的对应性，并且与周围具有很明显的区别。

再来，图中“橙色三角”的对应区域（纬度：46—46.3；经度：84.2—85）也具有同样规律，可认为其下也存在磁异常体。

注明：其他 3 个独立分量的图像中也存在明显的磁异常区域，但是，要注意一点：这些图像中的磁异常区域（大块）在其他图中没有找到相对应的异常；即，在同一个位置，一个分量图像显示的有异常，而其他图像都没有明显的异常标示。根据我们通过引力位各阶导数图像总结的规律，跳跃点并不一定是边界点，尤其对于高阶导数的图像来说，只有多个分量的导数数值在同一个位置都具有“跳跃”，

才可说明那个地方是“边界区域”。

4. 引力位：布格重力异常

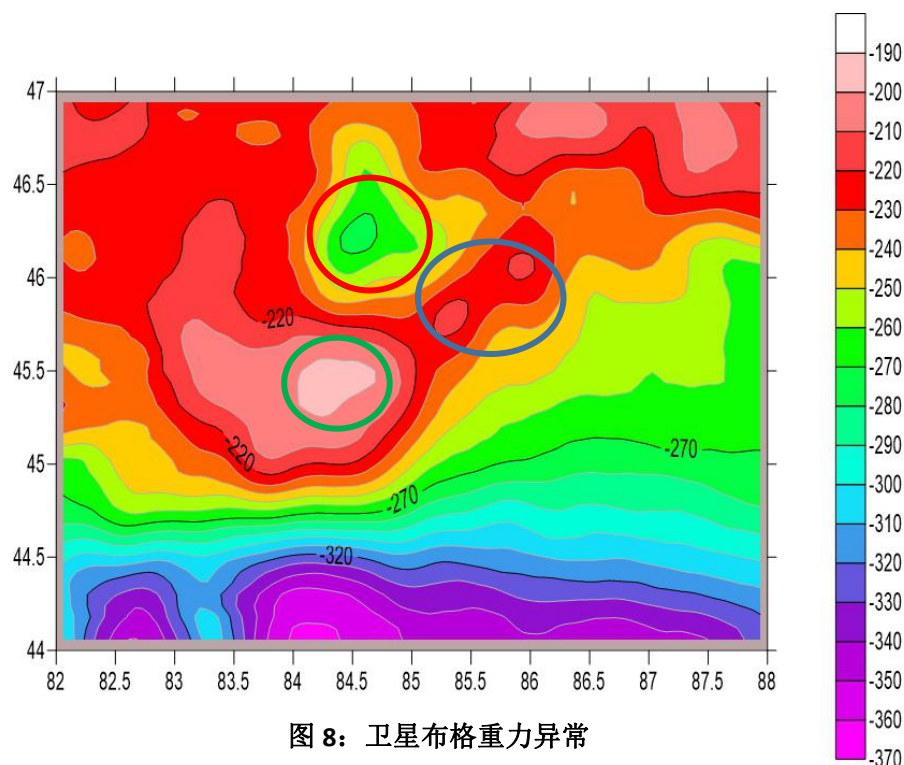


图 8：卫星布格重力异常

分析如下：

布格重力异常（Bouguer gravity anomaly）：重力仪的观测结果(g 测)，经过纬度改正(g 纬)、高度改正(g 高)，中间层改正(g 中)和地形改正(g 形)以后，再减去正常重力值 (γ) 后所得到的重力差($\Delta g = g_{\text{测}} - g_{\text{高}} - g_{\text{中}} - g_{\text{纬}} - g_{\text{形}} - \gamma$)称为布格重力异常。布格重力异常可以直接反映地下物质的密度差异。由图中可以看出，确实北纬 44.5°左右存在着明显的布格重力异常突变，与之前根据磁异常梯度张量分析得到的南北走向地质体边界相呼应。在纬度 46-46.5，经度 84.5-85.5 范围内的密度异常体在卫星布格重力异常图像中反映的更清晰，而在磁异常梯度张量中反映的不够明显，但也存在相关细节，比如 T_{xx} 图像中在纬度 46-46.5，经度 84.5-85.5 区域内的小范围高值。

此外，注意图中蓝色圆圈的位置，这个范围内（纬度：45.5—46；经度：85—86.5）地下有两小块儿的“高密度体”。我们联系一下 T_{yx} 与 T_{zz} 的联合分析中，在同样的范围内，地下有存在“磁异常体”。所以，在这个小范围内，地下

的重力异常与磁异常得到了统一，高密度体与高磁异常的结合，我们组推测其下面具有“铁磁性的矿脉”。

综合“重力异常图像信息”与“各分量磁位信息”，我们可以共同得出 3 块特别区域：范围 1（纬度：45.5—46；经度：85—86.5）、范围 2（纬度：44.6—45.6；经度：83—85）、范围 3（纬度：46.4—47；经度：85.5—88）。在这 3 块区域内，重力异常（引力位）与磁异常（磁位）具有很好的对应关系，联合说明在这些区域范围内的地下存在着特殊的、与围岩不同的物质体，值得对这 3 块区域进行实地的地质勘查，做出进一步的解释。

5. 卫星磁总场异常：基于 EMAG2（存在问题）

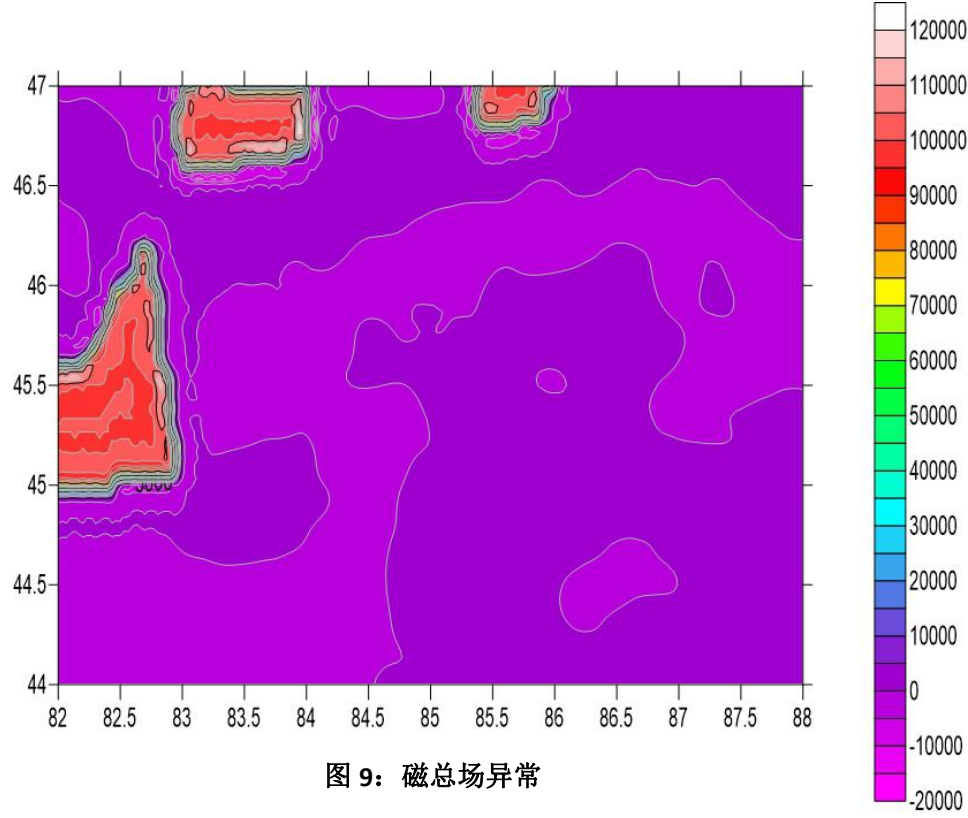


图 9：磁总场异常

磁总场异常图反映出的信息是：图中红色 3 块是高（正）磁异常区域，剩下区域全部是负异常区域。可以说明的是：我们刚才对 T_{xx} ， T_{zz} ， T_{xy} 的分析，分析出地下异常区域内大部分都应该是负的磁异常。

对于图中红色区域内的正的磁异常，他们的位置在 9 个梯度张量异常图中都没有对应的显示，这与我们总结的规律不符，因此这个磁总场异常所应该能反映出来的信息我们还不是很懂，需要进一步学习。

至此，通过“磁位与引力位”在实际例子中寻找地下异常体的边界应用结束。因为由正演模型中的边界识别到实际例子中的边界识别跨度较大，实际例子地下也不是那么完美的模型体，因此通过模型总结处的规律不一定全适用，仍需进一步学习。

四. 结论与体会

1. 规律总结：

我们组通过对常见形体模型的各阶引力位推导，并作出相应的函数图像来正演出它们的边界，并与我们的假设条件对比验证我们的推导结果。在这 24 个模型中，我们总结了以下几个可以用于实践中寻找地下异常体边界的规律：

规律 1：如果物体存在两个边界（有限体），那么物体边界在二阶导数 V_{xz} 的图像中的位置是：两个极值点处（此图像只会有一个极大值一个极小值）。物体边界在 V_{zz} 的图像中的位置是：极大值（唯一一个）两旁的两个半极大值处。

规律 2：如果物体存在两个边界（有限体），那么物体边界在三阶导数 V_{zzz} 的图像中的位置是：极大值（唯一一个）两旁的两个半极大值处。

规律 3：结合“模型八”与“模型十”中一阶导数的图像，可以得出以下规律：若物体很窄或很细，且在某一个方向无限延深（伸）的二度体，它的一阶导图像一定会出现差距很大的“跳跃点”，这个跳跃点位置一定是物体的特殊位置。

规律 4：如果引力位一、二阶导数的图像存在“跳跃（间断）点”，那这个位置一定是一个特殊点（可能是构造上的特殊点）！有可能是“边界点”。这条规律在后面出来复杂模型的时候十分好用。

规律 5：不是所有阶导数的图像都可以明确看出地下异常体的边界位置！有时是低阶导数可以很明显的区分边界，有时是高阶（ V_{zzz} ）可以区分边界的位置。此时要从多种方面来考察这片区域。

规律 6: 对断层、凹陷、陡坎等一些常见的地质构造，并不需要把它当做整体去分析，那么太过复杂！可以用多个小模型去组合构成（拼成）它。比如对断层的模拟：可以用左、右无限延伸的水片板状体来拼接它；也可以有 2 个三角形柱体来拼合；还可以用 2 个梯形去模拟。如果想要垂直或水平断层，可以用最简单的正方形柱体去拼合！同理，凹陷、陡坎、阶梯都可以用同样的思路和方法去实现对它分析的简化。这也就看出来“常见小模型”各阶引力位公式推导的重要性，因为：引力位可以直接相加。

规律 7: 在野外实际的异常体边界识别中（如本报告中的例子），通常使用的是“各阶导数特殊点（数值跳跃点）相互对比”的方法，即单一图像的异常数值区域不能说明它的周围就是异常体的边界（因为是各阶导数的图）；需要各阶导数图像的异常区域相互对比，如果在某区域都显示的是“异常数值区域”，那么可以断定这片区域地下一定是有异常体的；并且，如果点位够密，得到的数据跟全面的话，那么用 **surfer** 作图得出的“异常色块”的边界就可以认为是“地下异常体”的边界。

规律 8: 地下异常体边界（范围）的确定，单凭得到的数据作图去分析是很难精确的。因此，观测点位（或台网）都是网格化布置的，并且间距较大，所以边界的确定在高精度的要求下就显得有些模糊。但是，我们认为，只要有很**详细的实测数据+采样数据+这片区域的地质背景**，是可以很高精度的确定地下异常体的边界（范围），甚至可以估计它的形状等相关参数（或认为是多模型的组合叠加去模拟它）

2. 本次实习的体会：

本次实习，我们小组最大的收获是对基础模型有了很深入的了解！我们自己推导 24 个模型各阶引力位的公式，并用程序作图分析它们的边界是否与我们的假设一致。公式推导虽然基础，但只有理解了它的深刻内涵后，我们才能对各阶引力位图像中的特殊点进行准确识别，并去模型中的关键点位置进行很好的对应。之后我们总结了很多有实际使用价值的规律。

把通过完美假设的模型总结出的规律，应用于实践中就没有那么理想！只有少数的规律好可以继续使用。我们确实还有很多的问题没有解决，很多的内涵没

有理解。通过这次实习，我们组了解到各自所欠缺的知识，也进一步明确了大四所要进一步学习的内容和研究的方向。

感谢本次实习进一步加深了我们的友谊，我们在团结协作中完成了本次报告。最后一句话送给组员们共勉：

日后倘有马高镫短水尽山穷，无人解难之时言语一声，都不管，我们管你。

五. 附录

所有代码、函数图像、surfer 原图、数据等都在打包附件中，请老师检查。

