



長安大學

## 地质工程与测绘学院实验报告

实验课程 重磁勘探原理与方法

实验名称 重力数据预处理实验

专业名称 勘查技术与工程

学生姓名 李浩思

学生学号 2016902110

指导教师 鲁宝亮

实验地点 地球物理系机房

二〇一九年四月十三日

# 目录

<b>1</b>	<b>实验原理</b>	<b>1</b>
1.1	纬度校正 . . . . .	1
1.2	地形改正 . . . . .	1
1.2.1	地形影响因素的理论计算 . . . . .	1
1.2.2	地形影响因素的近似计算 . . . . .	2
1.2.3	地改范围 . . . . .	4
1.3	中间层改正 . . . . .	4
1.4	高度改正 . . . . .	5
<b>2</b>	<b>参数</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>实验结果</b>	<b>7</b>
	附录 A 源代码	9

# 1 实验原理

尽管仪器可以测出各个测点相对总基点间的重力差值，但引起各测点相对总基点间的重力差值的原理有很多，除了地下因素以外，还有各测点相对总基点的纬度变化、高程变化及测点周围地形起伏等因素。

$$\Delta g_A = \Delta g_{A-G} - \Delta g_\varphi - \Delta g_h - \Delta g_m - \Delta g_t \quad (1)$$

式中： $\Delta g_A$  为地质体剩余质量在  $A$  点产生的重力异常； $g_\varphi$  为测点相对于基点  $G$  的纬度影响； $\Delta g_h$  为测点相对于基点  $G$  的高度影响； $\Delta g_m$  为测点与基点  $G$  之间物质层（中间层）对  $A$  点的影响； $\Delta g_t$  为  $A$  点周围地形的影响。

## 1.1 纬度校正

由于正常重力值是纬度  $\varphi$  的函数，当测点与总基点纬度不同时，所产生的纬度影响也不同，消除纬度影响称为纬度改正。

当纬度变化不大时，正常重力值随纬度的变化，可直接用正常重力公式  $g_\varphi = 9780490 (1 + 0.0052884 \sin^2 \varphi - 0.0000059 \sin^2 \phi)$  ( $g.u.$ ) 的全微分来代替。忽略上式中的第三项，对  $\varphi$  求微分后得到

$$\Delta g_\varphi = \frac{\partial \Delta g_\phi}{\partial \varphi} \Delta \phi = 51855.1506 \sin 2\phi \cdot \Delta \phi \quad (2)$$

在  $\Delta \phi$  较小时， $\Delta \phi$  可以用测点到总基点间纬向（南北向）距离  $D$  来表示， $D$ 、 $\Delta \phi$  和地球半径  $R$  的关系为  $\Delta \phi = D/R$ ，若取  $R = 6370.8km$ ，并将它带入公式2，便有

$$\Delta g_\varphi = -8.14 \sin^2 \phi \cdot D \quad (g.u.) \quad (3)$$

公式前面另外加上的负号表示其作为校正公式可直接带入公式1中进行计算。式中  $\varphi$  为测区的平均纬度， $D$  表示测点与总基点的纬向距离。对北半球而言，当测点在总基点以北时，纬度影响为正， $D$  取正值；测点在总基点以南时，纬度影响值为负， $D$  取负值，其单位为  $km$ 。

## 1.2 地形改正

### 1.2.1 地形影响因素的理论计算

地形对测点的重力影响永远是为负值，也就是说它使重力值减小，所以，地形改正值永远为正值。

取直角坐标系，如图??所示，并将测点  $A$  所在的位置定位原点， $z$  轴垂直向下， $x$ 、 $y$  轴在  $A$  点所在的水平面内。 $dm$  为质量元，其所在的  $B$  点坐标为  $(\xi, \eta, \zeta)$ ； $A$  点到  $B$

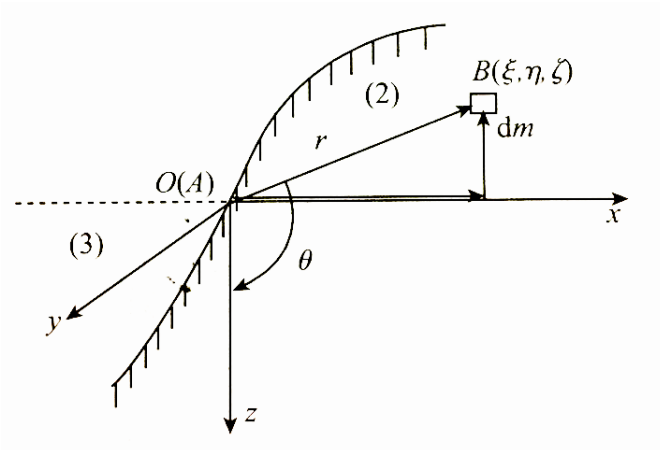


图 1: 地形影响示意图

点矢径用  $\mathbf{r}$  表示,  $r$  与  $z$  轴夹角为  $\theta$ 。  $dm$  在  $A$  点产生的重力影响, 即引力的垂直分量为

$$dg = G \frac{dm}{r^2} \cos \vartheta \quad (4)$$

式中:  $r = (\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2)^{1/2}$ ;  $dm = \rho \cdot d\xi d\eta d\zeta$ ;  $\cos \vartheta = \frac{\zeta}{r}$ , 其中  $\zeta$  为负值。

由图??可知, 若计算区域 (2) 全部质量的影响可用积分计算,

$$\Delta g = G \iiint_V \frac{\zeta \rho}{(\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2)^{3/2}} d\xi d\eta d\zeta \quad (5)$$

### 1.2.2 地形影响因素的近似计算

目前地形改正值的计算有两种分割方法, 一是用扇形柱体分割地形, 二是用方柱体分割地形。前者适用于量板计算, 后者用于计算机编程计算。

地改范围一般为: 0 20m 为近区, 20 400m 为中区, 400m 到最大地改范围为远区。

1. 扇形域地形改正值算法: 首先在地形图上以测点  $A$  为圆心, 以不同半径  $R$  作圆环, 然后通过  $A$  点按等角度作辐射线分割各圆环, 图2(a)中阴影面积即为其中一个扇形柱体的截面积。图3(a)为一个扇形柱体相对  $A$  点的位置关系。柱体的高度有地形图中读取。实际工作中, 扇形柱体的高度  $h$  为地形平均高程与测点高程之差。若计算任一扇形柱体在  $A$  点的改正值, 可在柱坐标系中完成。由于  $d\xi d\eta d\zeta = R d\alpha \cdot dR \cdot d\xi$ ,  $\xi^2 + \eta^2 = R^2$ , 令  $\alpha_{i+1} - \alpha_i = 2\pi/n$ , 则

$$\Delta g_t = \frac{2\pi G \rho}{n} \left( \sqrt{R_i^2 + h^2} - R_i - \sqrt{R_{i+1}^2 + h^2} + R_{i+1} \right) \quad (6)$$

最后把  $A$  点周围所有扇形柱体都计算出来, 相加之后就得到总改正值, 即

$$\Delta g_{\text{地改}} = \sum_{i=1}^n \Delta g_{t_i} \quad (7)$$

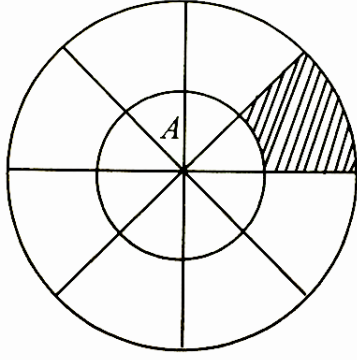


图 2: 扇形域划分图

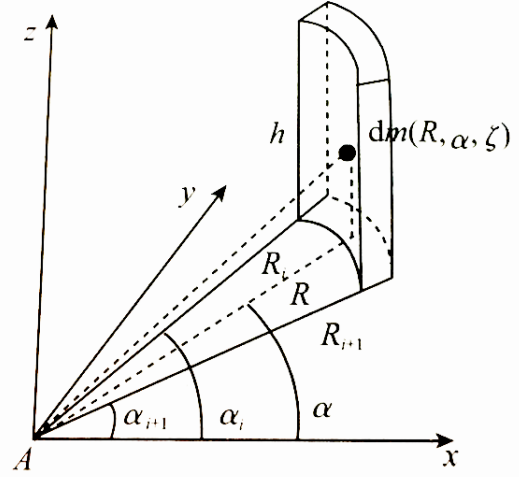


图 3: 扇形柱体地形校正计算图

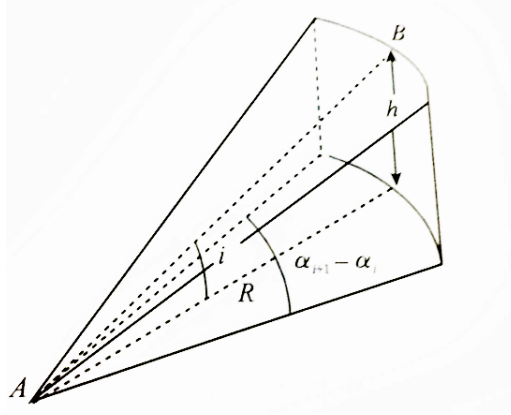


图 4: 锥体地形校正计算图

2. 近区扇形锥体的地形改正值算法: 图??表示一个扇形锥体。A 为测点,  $h$  为扇形锥体的高度,  $R$  为测点 A 到 B 点的水平距离,  $i$  为锥面倾角。由于  $h = R \cdot \tan i$ , 所以, 锥体的地形改正值为

$$\Delta g_t = G\rho \int_0^R \int_{\alpha_i}^{\alpha_{i+1}} \int_0^{R \tan i} \frac{R\zeta}{(R^2 + \zeta^2)^{3/2}} dR d\zeta d\alpha = G(\alpha_{i+1} - \alpha_i) [R(1 - \cos i)] \quad (8)$$

3. 图??是用方形域分割测点周围地形的示意图。其中网格节点为重力测点。若 A 测点的坐标为  $(0,0,h_0)$ , 方形域柱体所代表的面积元与网格面积相等, 其中心点水平坐标为  $(\xi_i, \eta_i)$ , 方形柱平均高程与 A 点高程之差为  $h_{i,j}$ , 则全部地形改正值可表示为

$$\Delta g_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{K_{ij}}{r_{ij}} \left\{ 1 - \left[ 1 + \left( \frac{h_{ij}}{r_{ij}} \right)^2 \right]^{-1/2} \right\} \quad (9)$$

式中,  $K_{ij}$  为各方柱体所应用的系数,  $r_{ij}$  表示柱体到地改点的距离。

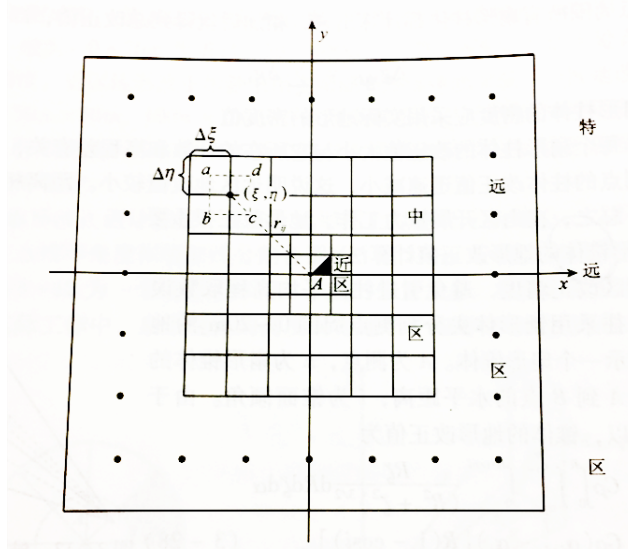


图 5: 方形域地形校正分区计算示意图

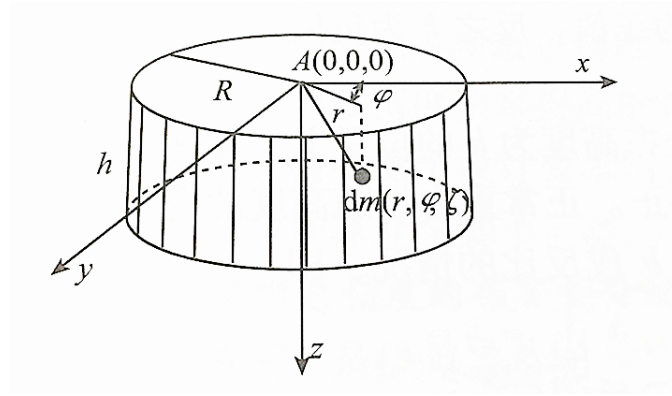


图 6: 计算圆盘在 A 点产生的引力垂直分量图

### 1.2.3 地改范围

设  $\varepsilon$  为重力异常精度，为了满足  $\Delta g_T \leq \varepsilon$ ，则需

$$R_i \geq \frac{\pi G \rho h^2}{\varepsilon} \quad (10)$$

式中， $h$  为  $R_i$  以外地形平均高差； $R_i$  为地改最大半径。

### 1.3 中间层改正

经过地形改正后可认为测点周围平坦了，但测点  $A$  所在的平面和基点相比仍高  $h$ ，亦即测点仍处于一个半径为  $R$  (地改范围)，厚度为  $h$ ，密度为  $\rho$  的圆盘上。这个圆盘 (中间层) 同样要产生影响，消除这个影响，叫做中间层改正。

由公式知中间层对  $A$  点产生的引力影响值  $\Delta g_m$ ：

$$\Delta g = G \int \int_V \frac{dm}{r^2} \cos \theta = G \int \int_V \frac{\zeta \rho}{(\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2)^{3/2}} d\xi d\eta d\zeta \quad (11)$$

将上述方程中个物理量选择特定单位后，该公式可进一步改写为：

$$\Delta g_m = - \left[ 0.419 - \frac{0.2095}{\{R\}_m} \{h\}_m \right] \{\rho\}_{g \cdot cm^{-3}} \{h\}_m (g.u.) \quad (12)$$

上式中等号右端下脚标表示该量选定的单位， $\{\}$  中表示该量的数值。式中  $h$  为测点与总基点之间的高差，当测点高于基点时  $h$  为正值，反之为负值。

## 1.4 高度改正

经过中间层改正后，测点相对基点而言仍处于高度为  $h$  的位置上，对于这个高度影响要予以消除。正常重力场随高度的变化值可近似的方法求得，即  $g = C \frac{1}{R^2}$ ，式中， $C$  为比例常数，将上式对  $R$  求导得到正常重力场随  $R$  的变化率  $\frac{\partial g}{\partial R} = \frac{-2C}{R^3}$ ，消去常数  $C$  得  $\frac{\partial g}{\partial R} = \frac{-2g}{R}$ ，取  $R = 6370 \times 10^3 m$  和  $g = 9.8 \times 10^6 g.u.$  代入后得  $\frac{\partial g}{\partial R} = -3.086 g.u.$ ，也就是说测点每升高 1m 时，正常重力值将减小 3 086  $g.u.$ 。

高度改正值  $\Delta g_{\text{高}}$  应为

$$\Delta g_{\text{高}} = 3.086 \{h\}_m (g.u.) \quad (13)$$

可利用理想大地水准面上的正常重力表达式对  $R$  求导而得到更精确的表达式，为

$$\Delta g_{\text{高}} = 3.086 (1 + 0.007 \cos 2\phi) \{h\}_m - 7.2 \times 10^{-7} \{h\}_m^2 (g.u.) \quad (14)$$

## 2 参数

- 测区平均纬度为  $45^{\circ}N$ 。
- 网格化数据按 *GRD* 格式保存，有 49 条测线，每条测线上有 49 个点，点 (线) 坐标从  $0km$   $240km$ ，点 (线) 距为  $5km$ 。
- 基点位置在工区内，其纵坐标为 120，海拔高度为  $800m$ 。
- 中间层校正密度为  $2.5g/cm^3$ 。



### 3 实验结果

纬度校正结果如下图：

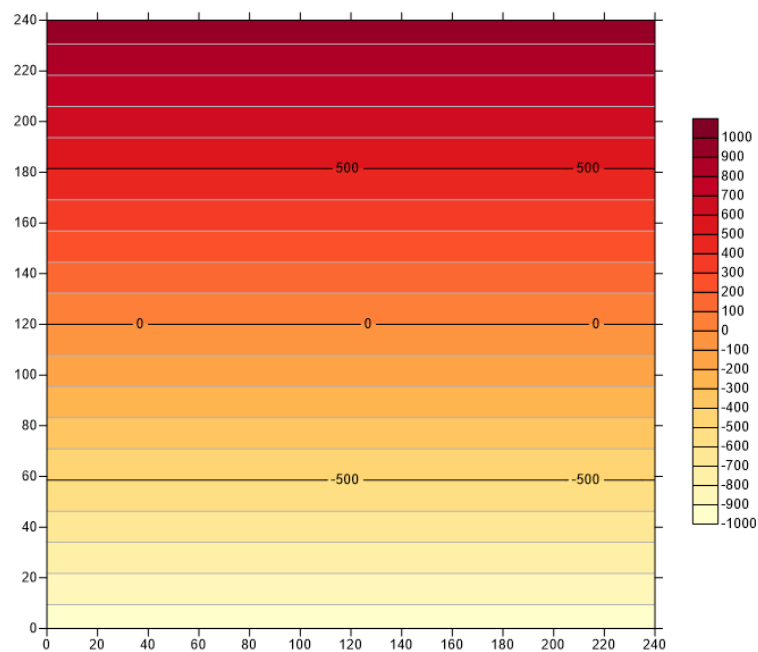


图 7: 维度矫正结果

中间层校正结果如下图：

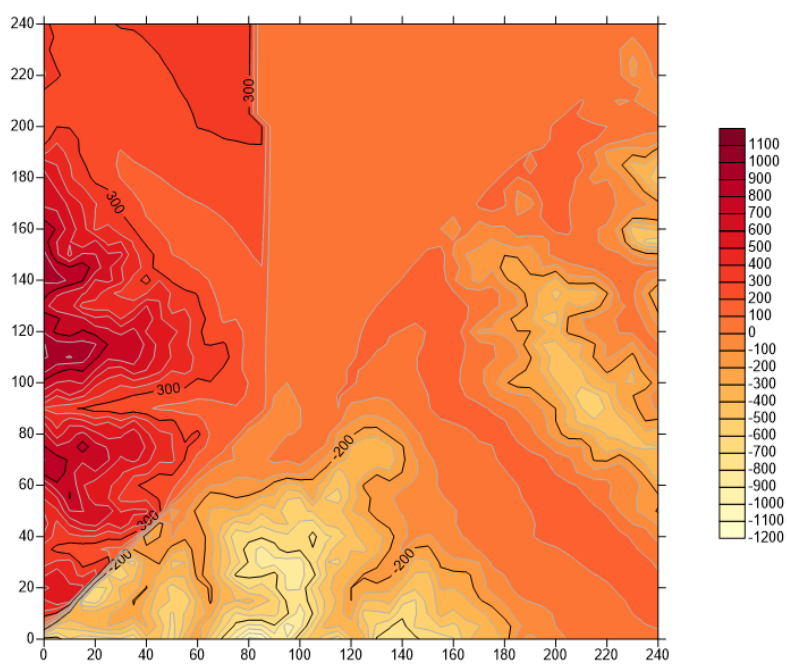


图 8: 中间层矫正结果

高度校正结果如下图：

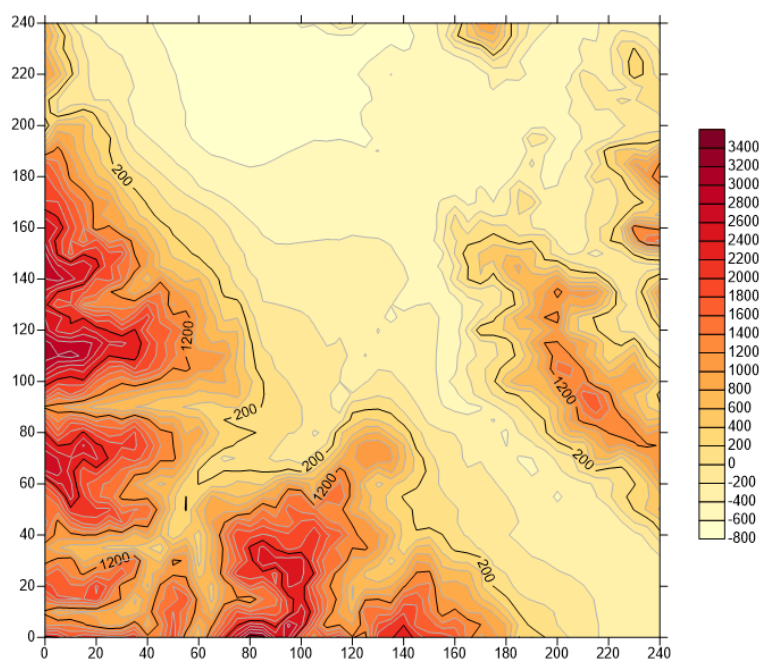


图 9: 高度校正结果

本次实验处理了布格重力误差中的纬度异常、高度异常、中间层异常，并未处理地形校正一项。在处理地形校正时，应当先确定方形区域的划分范围，而且求取各个区域中的  $K_{ij}$  值，从而求得地形校正值。值得注意的是，在纬度校正中，距离  $D$  表示的是纬向距离，也就是  $y$  坐标上的距离。

做好重力数据预处理，下一步就是要对重力异常进行分析，求一次导等工作，分析重力异常的变化趋势。

## A 源代码

```
1 !Preprocessing gravity data
2 !Programmed by Li Haosi
3 !Class: 2016260202
4 !Completion data: 2019.04.11
5 !
6 !num_x: the number of x nodes
7 !num_y: the number of y nodes
8 !y_base: the y of the basic point
9 !height_base: the height of the basic point
10 !ave_latitude: the average latitude of this whole area
11 !density: the average density of the medium layer
12 !x_max: the maximum for x
13 !y_max: the maximum for y
14 !height(num_x, num_y): every node's height
15 !landscapefile: the file recording the landscape
16 !cmdfile: the file storing the parameters
17 !
18 program main
19
20 implicit none
21 integer num_x, num_y, i, j
22 real y_base, height_base, ave_latitude, density
23 real x_max, x_min, y_max, y_min
24 real, allocatable:: height(:, :)
25 character*80 landscape_file, cmdfile, g_phi_file,
26 & g_m_file, g_h_file
27
28 call input_par(cmdfile, y_base, height_base, ave_latitude, &
29 density, g_phi_file, g_m_file, g_h_file, landscape_file)
30 !
31 open(30, file = landscape_file)
32 read(30, *)
33 read(30, *) num_x, num_y
```

```

34 read(30, *) x_min, x_max
35 read(30, *) y_min, y_max
36 read(30, *)
37 allocate(height(num_x, num_y))
38 read(30, *) ((height(i, j), j = 1, num_y), i = 1, num_x)
39 close(30)
40 !
41 call latitude_adjust(ave_latitude, height_base, height, &
42 x_min, x_max, y_max, y_min, &
43 num_x, num_y, y_base, g_phi_file)
44 call mlayer_adjust(density, height, height_base, &
45 num_x, num_y, g_m_file, x_min, x_max, &
46 y_max, y_min)
47 call height_adjust(height, height_base, num_x, num_y, &
48 g_h_file, x_min, x_max, y_max, y_min)
49 deallocate(height)
50 end program main
51
52 !read and get the parameters in cmd.par
53 subroutine input_par(cmdfile, y_base, height_base, &
54 ave_latitude, density, g_phi_file, g_m_file, &
55 g_h_file, landscape_file)
56     real y_base, height_base, ave_latitude, density
57     character*(80) cmdfile, landscape_file, &
58     g_phi_file, g_m_file, g_h_file, temp
59
60     cmdfile = 'cmd.par'
61     open(20, file = cmdfile)
62     read(20, *) landscape_file, temp
63     read(20, *) height_base, temp
64     read(20, *) y_base, temp
65     read(20, *) ave_latitude, temp
66     read(20, *) density, temp
67     read(20, *) g_phi_file, temp
68     read(20, *) g_m_file, temp
69     read(20, *) g_h_file, temp
70     close(20)

```

```

71 end subroutine input_par
72
73 !Calculate the adjusted value for latitude
74 subroutine latitude_adjust(ave_latitude, height_base,&
75 height, x_min, x_max, y_max, y_min, num_x,&
76 num_y, y_base, g_phi_file)
77     integer num_x, num_y, i, j, k
78     character*(20) g_phi_file
79     real:: ave_latitude, x_max, x_min, y_max, y_min,&
80 interval_x, interval_y, y_base
81     real:: height(num_x, num_y), &
82 distance(num_x, num_y), g_phi(num_x, num_y)
83     interval_x = (x_max - x_min)/(num_x-1)
84     interval_y = (y_max - y_min)/(num_y-1)
85     do i = 1, num_y
86         do j = 1, num_x
87             if (i > y_base) then
88                 distance(i, j) = -(y_base/&
89 interval_y + 1 - i)*interval_y
90             else
91                 distance(i, j) = (y_base/&
92 interval_y + 1 - i)*interval_y
93             end if
94             g_phi(i, j) = -8.14*sin&
95 (2*ave_latitude*&
96 3.14159256/180)*distance(i, j)
97         end do
98     end do
99     max_phi = maxval(g_phi)
100    min_phi = minval(g_phi)
101    !Output the data
102    open(41, file = g_phi_file)
103    write(41, "(a)") 'DSAA'
104    write(41, *)num_x, num_y
105    write(41, *)x_min, x_max
106    write(41, *)y_min, y_max
107    write(41, *)min_phi, max_phi

```

```

108         do i = 1, num_x
109             write(41, *) (g_phi(i, j), j = 1, num_y)
110         end do
111         close(41)
112     end subroutine
113
114     !Calculate the adjusted value for medium layer
115     subroutine mlayer_adjust(density, height, height_base,&
116 num_x, num_y, g_m_file, x_min, x_max, y_max, y_min)
117         integer num_x, num_y, i, j
118         real height_base, height(num_x, num_y),&
119 g_m(num_x, num_y), x_min, x_max, y_max, y_min
120         character*(20) g_m_file
121         interval_x = (x_max - x_min)/(num_x-1)
122         interval_y = (y_max - y_min)/(num_y-1)
123         do i = 1, num_x
124             do j = i, num_y
125                 g_m(i, j) = -(0.419 - 0.2095/&
126 167000*(height(i, j)&
127 - height_base))*&
128 density * (height(i, j)&
129 - height_base)
130             end do
131         end do
132         max_m = maxval(g_m)
133         min_m = minval(g_m)
134         !Output the data
135         open(50, file = g_m_file)
136         write(50, "(a)") 'DSAA'
137         write(50, *)num_x, num_y
138         write(50, *)x_min, x_max
139         write(50, *)y_min, y_max
140         write(50, *)min_m, max_m
141         do i = 1, num_x
142             write(50, *) (g_m(i, j), j = 1, num_y)
143         end do
144         close(50)

```

```

145 end subroutine
146
147 !Calculate the adjusted value for height
148 subroutine height_adjust(height, height_base, num_x, &
149 num_y, g_h_file, x_min, x_max, y_max, y_min)
150     integer num_x, num_y, i, j
151     real g_h(num_x, num_y), height(num_x, num_y)
152     real height_base, x_min, x_max, y_max, y_min
153     character *(20) g_h_file
154     interval_x = (x_max - x_min)/(num_x-1)
155     interval_y = (y_max - y_min)/(num_y-1)
156     do i = 1, num_x
157         do j = 1, num_y
158             g_h(i, j) = 3.086 * &
159                 (height(i, j) - height_base)
160         end do
161     end do
162     max_h = maxval(g_h)
163     min_h = minval(g_h)
164     !Output the data
165     open(60, file = g_h_file)
166     write(60, "(a)") 'DSAA'
167     write(60, *)num_x, num_y
168     write(60, *)x_min, x_max
169     write(60, *)y_min, y_max
170     write(60, *)min_h, max_h
171     do i = 1, num_x
172         write(60, *) (g_h(i, j), j = 1, num_y)
173     end do
174     close(60)
175 end subroutine

```