

应用PC——1500机计算重力值实用程序

马洪涛

(山东地质矿产局物探队)

根据一九八三年地质矿产部颁发的《区域重力调查技术规定》(以下简称《规定》)的要求,全国各省对以往的重力资料均要统一在“规定”的基础上。众所周知,重力资料的整理及计算任务之繁重,工作量之大,人员之多,给实际整理计算工作带来很多不便。为高效率高质量地完成任,推广Pc—1500计算机在物化探工作中的应用,我们编制了利用Pc—1500计算机改算重力资料的一套程序,以供参考。

一、Pc—1500计算机重力计算实用程序的优点

1. 简化了计算手续,提高了工作效率

本程序从野外重力仪测得的读格数着手,对各测点的座标进行换算、固改、零改、纬度改正、布格、自由空间等各项校正,计算并打印出布格异常值和自由空间异常值,同时打印出测点的绝对重力值、经度和纬度。一次可处理50个点,省去了两人对算和在地形图上量取纬度的工作,与以往使用计算器相比较,本程序可提高功效十倍。对改算以往的重力资料及开展大比例尺的面积重力工作尤为优越。

2. 提高了计算精度

程序中设置的座标换算是由高斯克吕格座标换算公式而来的,其精度可达百分之二秒,影响计算结果的最大误差为0.1微伽。程序中兼有固体潮改正值的计算,其理论公式由杜德逊导出,计算精度为1微伽。以往测点的固改值是把控制在200公里范围内固定点的固改理论值按每小时取数进行线性内插后作为该点的固改值。用本程序计算时,是以该点、该时的固改理论值作为该点的固改值,虽然两者相差不大(一般±5微伽,见插图1),但此方法计算的数值更为准确合理,其它计算公式均与技术“规定”中的公式相同。计算结果精确到0.1微伽。总的计算精度可达±2微伽,与以往的计算精度相比较提高了一个数量级。

二、计算理论公式

1. 座标换算公式

$$B = B_t - \frac{\rho_t g B_t y^2}{2M_t N_t^2} \left\{ 1 - \frac{y^2}{12N_t^2} (5 + 3T_t^2 + \eta_t^2 - 9\eta_t^2 T_t^2) + \frac{y^4}{360N_t^4} (61 + 90T_t^2 + 45T_t^4) \right\}$$

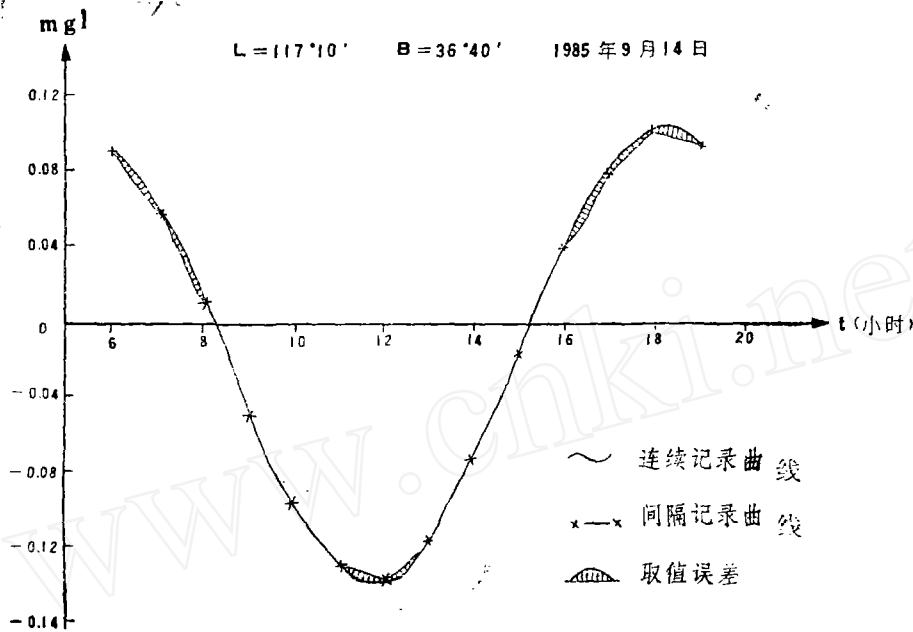


图1固体潮连续、间隔记录曲线对比图

$$l = \frac{\rho y}{N_f \cos B_f} \left[1 - \frac{y^2}{6N_f^2} (1 + 2T_f^2 + \eta_f^2) + \frac{y^4}{120N_f^4} (5 + 28T_f^2 + 24T_f^4 + 6\eta_f^2 + 8\eta_f^2 T_f^2) \right]$$

$$L = L_0 + l$$

式中: L 为计算点的经度, B 为计算点的纬度, L_0 为中央子午线的经度, e 为经差, X 、 Y 为计算点的直角坐标值, B_f 为横坐标 (y) 在中央子午线上的垂足点的纬度, 在我国范围内精度取 0.01 秒, $B_f = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^5 + a_6 x^6$, 当 x 以千公里为单位时, B_f 以度为单位; M_f 为底点经线的曲率半径, $M_f = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 B_f)^{3/2}$, N_f 为底点卯酉圈的曲率半径, $N_f = a / (1 - e^2 \sin^2 B_f)^{1/2}$; $\rho = 180 / \pi = 57.29577951$; $\eta_f = e' \cos B_f$; $T_f = \tan B_f$; a 为地球长半径, $a = 6378245$ 米, e 为第一偏心率, $e = 0.081818324$; e' 为第二偏心率, $e' = 0.082088522$;

2. 固改值计算公式

$$\delta g' = -165.17 F(\phi) \left(\frac{c}{r} \right)^3 \left(\cos^2 Z - \frac{1}{3} \right) - 1.37 (F^2 \phi) \left(\frac{c}{r} \right)^4 \cos Z (5 \cos^2 Z - 3) - 76.08 F(\phi) \left(\frac{c_s}{r_s} \right)^3 \left(\cos^2 Z - \frac{1}{3} \right)$$

$$\delta g = \delta g' \cdot \delta'$$

式中: $F(\phi) = a/R = 0.998327 + 0.001676 \cos 2\phi$

C 为月、地平均距离, r 为月、地瞬时距离, C_s 为日、地平均距离, r_s 为日地瞬时距离, Z 为月亮的天顶距, Z_s 为太阳天顶距, ϕ 为台站地理纬度, a 为地心到地面距离, R 为赤道半

径, δg 为固改理论值, 单位微伽, δ' 为重力潮汐改正因子, 取1.15,

$$S = 270^\circ.43659 + 481267^\circ.8905T + 0^\circ.00198T^2 + 0^\circ.000002T^3$$

$$h = 279^\circ.69668 + 36000^\circ.76892T + 0^\circ.00030T^2$$

$$P = 334^\circ.32956 + 4069^\circ.03403T - 0^\circ.01032T^2 - 0^\circ.00001T^3$$

$$N = 259^\circ.18328 - 1934^\circ.14201T + 0^\circ.00208T^2 + 0^\circ.000002T^3$$

$$P_s = 281^\circ.22083 + 1^\circ.71902T + 0^\circ.00045T^2 + 0^\circ.000003T^3$$

$$\varepsilon = 23^\circ.45229 - 0^\circ.01301T - 0^\circ.000002T^2 + 0^\circ.0000005T^3$$

$$\frac{C}{r} = 1 + 0.0545\cos(s-p) + 0.0030\cos 2(s-p) + 0.01\cos(s-2h+p) \\ + 0.0082\cos 2(s-h) + 0.0006\cos(2s-3h+P_s) + 0.0009\cos(3s-2h-p)$$

$$\lambda = S - 0.0032s \cdot n(h - P_s) - 0.001\sin(2h - 2p) \\ + 0.001\sin(S - 3h + P + P_s) + 0.0222\sin(s - 2h + P) \\ + 0.0007\sin(s - h - p + p_s) - 0.0006\sin(s - h) + 0.1098\sin(s - p) \\ - 0.0005\sin(s + h - p - p_s) + 0.0008\sin(2s - 3h + p_s) \\ + 0.0115\sin(2s - 2h) + 0.0037\sin(2s - 2p) \\ - 0.0020\sin(2s - 2N) + 0.0009\sin(3s - 2h - p)$$

$$\beta = -0.0048\sin(P - N) - 0.0008\sin(2h - p - N) \\ + 0.003\sin(s - 2h + N) + 0.0895\sin(S - N) \\ + 0.001\sin(2s - 2h + p - N) + 0.0049\sin(2s - p - N) \\ + 0.0006\sin(3s - 2h - N)$$

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \sin \lambda \cos \beta + \cos \varepsilon \sin \beta$$

$$\cos \delta \cos H = \cos \beta \cos \lambda \cos \theta + \sin \theta (\cos \varepsilon \cos \beta \sin \lambda - \sin \varepsilon \sin \beta)$$

$$\cos Z = \sin \phi' \sin \delta + \cos \phi' \cos \delta \cos H$$

$$\theta = (t - 8) \times 15^\circ + h + L - 180^\circ$$

$$\phi' = \phi - 0^\circ.192396 \sin 2\phi$$

$$\frac{c_s}{r_s} = 1 + 0.0168 \cos(h - p_s) + 0.0003 \cos(2h - 2p_s)$$

$$\lambda_s = h + 0.0335 \sin(h - p_s) + 0.0004 \sin(2h - 2p_s)$$

$$\beta_s = 0 \quad \cos Z_s \approx \sin \phi' \sin \varepsilon \sin \lambda_s + \cos \phi' (\cos \lambda_s \cos \theta + \sin \theta \cos \varepsilon \sin \lambda_s)$$

式中: λ_s 为月亮的黄经; β 为月亮的黄纬; δ 为月亮的赤纬; H 为月亮的时角; θ 为地方恒星时; ϕ' 为台站的地心纬度; L 为台站的经度, 东经为正; T 为从1900年1月1日世界时12时算至某一瞬间的儒略世纪数。

3. 零点改正计算公式

$$\delta g_j = -K(t_j - t_{Gj})$$

式中:

$$K = \frac{(\Delta g'_{G_{i+1}} - \Delta g'_{G_i}) - (\Delta g_{G_{i+1}} - \Delta g_{G_i})}{t_{G_{i+1}} - t_{G_i}}$$

δg_j 为测点的零点改正值; t_j 为测点的观测时间; $\Delta g'_{G_{i+1}} - \Delta g'_{G_i}$ 为普通点观测时测得的两

个基点上的重力差; $\Delta g_{Gi+1} - \Delta g_{Gi}$ 为两基点固有的重力差; $t_{Gi+1} - t_{Gi}$ 为两基点观测的时间差; K 为零点改正系数。

4. 纬度改正、自由空间改正、布格改正计算公式

$$r_0 = 978030 (1 + 0.005302 \sin^2 \phi - 0.000007 \sin^2 2\phi)$$

$$\delta_H = [0.3086 (1 + 0.0007 \cos 2\phi) - 0.72 \times 10^{-7} H] H$$

$$\delta_B = \{ [0.3086 (1 + 0.0007 \cos 2\phi) - 0.72 \times 10^{-7} H] - 0.0419 \sigma + 0.02095 \sigma H/a \} H$$

其中: r_0 为测点在大地水准面上铅垂投影点的正常重力值, 单位毫伽; ϕ 为测点的纬度; H 为测点海拔高程; σ 为中间层密度, 取 2.67 克/厘米³; a 为圆心地改半径, 单位米; δ_H 为自由空间改正值, 单位毫伽; δ_B 为布格改正值, 单位毫伽。

5. 布格异常值、自由空间异常值计算公式

$$GB = g + \delta_g/1000 + \delta_{gi} - r_0 + \delta_B$$

$$GF = g + \delta_g/1000 + \delta_{gi} - r_0 + \delta_H$$

其中: GB 为布格异常值, 单位毫伽; GF 为自由空间异常值, 单位毫伽; g 为测点的重力值, 单位毫伽。

注: 1. 由于 PC—1500 计算机的内存较小, 座标换算只有直角座标转换为经纬度, 如需反算需修改程序。

2. 布格改正值计算公式中的圆心地改半径 a 用了 20 公里, 可根据实际情况更改。

3. 本程序一次可计算 50 个点是指计算机配置了 8K 的模块, 如果配置 16K 或 32K 模块, 一次计算点数可增加到 250 个。

三、操作步骤

1. 接通电源, 开机。

2. 把计算程序输入或从磁带调入计算机内。

3. 用 RUN 启动程序开工, 荧光屏上依次显示年 (“YEAR = ”)、月 (“MON = ”)、日 (“DAY = ”)、点数 (“N = ”)、格值 (“R = ”)、早基点绝对重力值 (“G₁ = ”)、晚基点绝对重力值 (“G₂ = ”), 并按屏幕提示逐个输入各数据。输入的点数包括早、晚基点。

4. 输入早基点、各测点和晚基点的实测数据, 次序分别为该点的直角座标 Y、X 值, 海拔高程 H, 测点时间 T 和重力值的读格数。

5. 打印以上的全部数据, 暂停、显示 “BREAK160”; 对已输入的数据进行校对修改, 然后按 CONT 进行计算 (或按

D E F

A

 进行计算); 每计算完一个点蜂鸣器响两下, 计算结束时响三下。

6. 用 1 号字打印出各点的实测重力值 G_g 、经度 L 、纬度 B 、自由空间异常值 GF 和布格异常值 GB 。

7. 停机。

四、计算实例

计算1981年11月3日的四个剖面点，格值为0.09711毫伽/格，早基点的绝对重力值为979844.157毫伽，晚基点的绝对重力值为979858.595毫伽，各点的实测数据见表1

表1 各测点实测数值表

顺序编号	Y坐标 (m)	X坐标 (m)	高程 (m)	时间 (时、分)	读格数	备注
0	205 85000	40 57900	0	13.01	764.08	早基
1	85000	57900	87	13.38	816.81	
2	76150	59850	98	14.11	795.83	
3	61950	61400	156	15.09	696.74	
4	46970	66000	56	15.59	944.29	
5	46970	66000	0	16.06	912.60	晚基

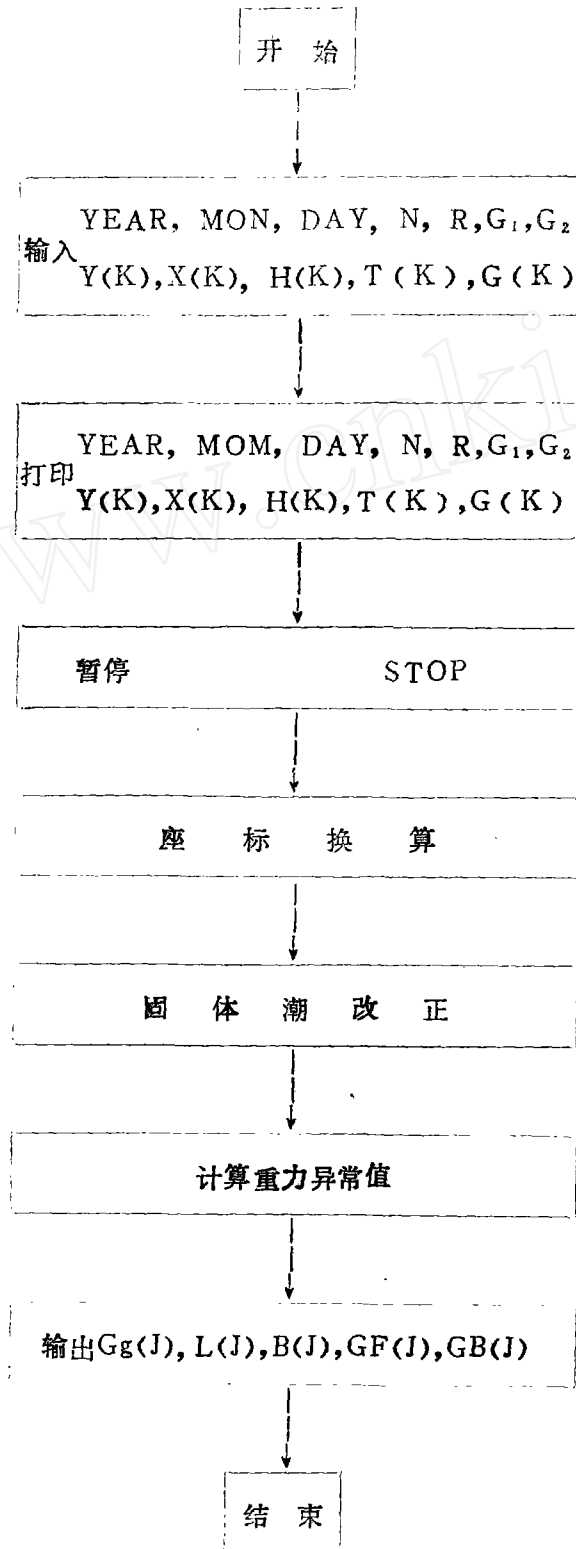
按屏幕提示的分别输入以上各数据并进行计算，结果见表2

表2 各测点实测数值计算结果表

顺序编号	实测重力值	经度 (L)	纬度 (B)	自由空间异常值	布格异常值	备注
1	979 849.281	117° 57'02"	36° 38'51"	4.92	-4.79	
2	847.247	51'06"	39'57"	4.69	-6.24	
3	837.629	41'35"	40'51"	11.68	-5.70	
4	861.672	31'33"	43'24"	1.19	-5.06	

注：重力值单位均为毫伽

1.计算重力异常值程序框图



2. 计算程序

```

10:REM GRAVITY CALCULATE
20:INPUT "YEAR=";N1,"MON=";N2,"DAY=";N3,"N=";NN,"R=";R,"G1=";GB,"G2=";GA
23:NN=NN-1
25:DIM T(NN),GT(NN),GS(NN),GU(NN),AT(NN,4),U(NN),Q(NN),NT(NN),LT(NN)
30:FOR K=0TO NN
35:C$="Y("+STR$(K)+")="
40:D$="X("+STR$(K)+")="
50:E$="H("+STR$(K)+")="
55:A$="T("+STR$(K)+")="
60:B$="G("+STR$(K)+")="
65:WAIT 0:PRINT C$;:INPUT AT(K,0):CLS
70:WAIT 0:PRINT D$;:INPUT AT(K,1):CLS
75:WAIT 0:PRINT E$;:INPUT AT(K,2):CLS
80:WAIT 0:PRINT A$;:INPUT AT(K,3):CLS
85:WAIT 0:PRINT B$;:INPUT AT(K,4):CLS
90:NEXT K
100:CSIZE 1:LPRINT USING "#####";N1;N2;N3
105:LPRINT USING " ";NN+1;" ";R;" ";GB;" ";GA
110:FOR K=0TO NN
115:LPRINT TAB (3);K
120:LPRINT "Y=";AT(K,0);TAB (18);"X=";AT(K,1)
130:LPRINT "H=";AT(K,2);TAB (18);"T=";AT(K,3)
140:LPRINT "G=";AT(K,4)
150:NEXT K
160:STOP
170:"A"FOR I=0TO NN
175:Y=AT(I,0):X=AT(I,1):GOSUB 45
180:T(1)=DEG AT(I,3):N4=T(1):GOSUB 1010
190:GS(I)=AT(I,4)*R-GT(I)
195:BEEP 2,10,80
200:NEXT I
205:SB=GB-979000:S
A=GA-979000
210:GOSUB 710
220:FOR J=1TO NN-1
230:USING :LPRINT TAB (3);J:USING "#####.###"
235:LPRINT "Gg=";G(U(J)):USING "##.###"
240:LPRINT "L=";DMS LT(J)+0.0005;TAB (18);"B=";DMS NT(J)+0.00005
250:USING "###.#"
260:IF U(J)<0THEN GOTO 280
270:LPRINT "GF=";U(J)+0.005;:GOTO 290
280:LPRINT "GF=";U(J)-0.005;
290:IF Q(J)<0THEN GOTO 310
300:LPRINT TAB (18);"GB=";Q(J)+0.005:GOTO 320
310:LPRINT TAB (18);"GB=";Q(J)-0.005
320:NEXT J
330:BEEP 3,20,300
340:LF 5
350:END
450:U=INT (Y*1E-6)
455:Y=(Y*1E-6-U-0.5)*1E6
460:X=X*1E-6
470:LB=U*6-3
480:F1=9.04353692458
490:F2=-0.00001007623
500:F3=-0.00074438204
510:F4=-0.00000463064
520:F5=0.00000505846
530:F6=-0.00000016754
540:BB=F1*X+F2*X^2+F3*X^3+F4*X^4+F5*X^5+F6*X^6
550:EE=0.081813334
560:ED=0.082098522
570:M=6378245*(1-EE^2)/(1-EE^2*SIN (BB)^2)^1.5
580:NB=6378245/(1-EE^2*SIN (BB)^2)^0.5
590:U1=TAN (BB)
600:U3=ED*COS (BB)

```

```

610:U2=180/PI
620:B2=(U2*U1*Y^2)
/(2*M*NB)
630:B3=Y^2*(5+3*U1
^2+U3^2-9*U1^2
*U3^2)/(12*NB^
2)
640:B4=Y^4*(61+90*
U1^2+45*U1^4)/
(360*NB^4)
650:N6=BB-B2*(1-B3
+B4):NT(1)=N6
660:L2=(U2*Y)/(NB*
COS(BB))
670:L3=Y^2*(1+2*U1
^2+U3^2)/(6*NB
^2)
680:L4=Y^4*(5+28*U
1^2+24*U1^4+6*
U3^2+8*U1^2*U3
^2)/(120*NB^4)
690:N5=LB+L2*(1-L3
+L4):LT(1)=N5
700:RETURN
710:FOR J=1TO NN-1
720:GH=-(GS(NN)-GS
(0)-SA+SB)/(T(
NN)-T(0))*T(J
)-T(0))
730:GU(J)=GS(J)+GH
-GS(0)+SB
740:GU(J)=979000+G
U(J)
750:C4=978030*(1+0
.005302*SIN(N
T(J))^2-7E-6*
SIN(2*NT(J))^
2)
760:C5=(0.3080+0.0
0021602*COS(2
*NT(J))-7.2E-8
*AT(J,2))*AT(J
,2)
770:C6=(0.0419-0.0
2095*AT(J,2)/2
0000)*2.67*AT(
J,2)
780:U(J)=6U(J)-C4+
C5
790:Q(J)=U(J)-C6
795:NEXT J
800:RETURN
1010:N4=(N4-8)/24
1020:YB=N2-1:Z1=N
3:W=INT(N1/
4)
1030:IF N1=4*WAND
YB<2THEN LET
Z1=N3-J
1040:IF YB=0THEN
GOTO 1070
1050:IF YB=1THEN
LET YB=31:
GOTO 1070
1060:YB=INT(YB*3
65/12)-INT(
10/(4+YB))
1070:A1=(N1*365+W
-.5+YB+Z1+N4
)/36525
1080:A2=A1*A1:A3=
A2*A1
1090:S=270.43659+
481267.8906*
A1-.00198*A2
+.000002*A3
1100:H=279.69668+
36000.76892*
A1+.00030*A2
1110:P=334.32956+
4069.03403*A
1-.01032*A2-
.00001*A3
1120:N=259.18328-
1934.14201*A
1+.00208*A2+
.000002*A3
1130:PS=281.22083
+1.71902*A1+
.00045*A2+.0
00003*A3
1140:E=23.45229-.
01301*A1-.00
0002*A2+.000
0005*A3
1150:CM=1+.0001*(
.100*COS(S-2
*H+P)+545*
COS(S-P)+30
*CMOS(2*S-2*
P)+9*CMOS(3*
S-2*H-P))
1160:CM=CM+.0001*
(6*CMOS(2*S-
3*H+PS)+82*
COS(2*S-2*H
))
1170:CS=1+.0168*
COS(H-PS)+.
0007*CMOS(2*
H-2*PS)
1180:L=S*PI/180-.0
001*(32*SIN
(H-PS)-10*
SIN(2*H-2*P
)+10*SIN(S-
3*H+P+PS))
1190:L=L+.0001*(7
*SIN(S-H-P+
PS)-6*SIN(S
-H)-5*SIN(S
+H-P-PS))
1200:L=L+.0001*(8
*SIN(2*S-3*
H+PS)+115*
SIN(2*S-2*H
)+37*SIN(2*
S-2*P)-20*
SIN(2*S-2*N
))
1210:L=L+.0009*
SIN(3*S-2*H
-P)+.1098*
SIN(S-P)+.0
222*SIN(S-2
*H+P)
1220:LS=H+180/PI*(
.0335*SIN(H
-PS)+.0004*
SIN(2*H-2*P
S))
1230:L=L*180/PI

```

```

1240: B = .0001 * (-48
      * SIN (P-N) - 8
      * SIN (2 * H - P -
      N) + 30 * SIN (S
      - 2 * H + N) + 895 *
      SIN (S - N))
1250: B = B + .0001 * (1
      0 * SIN (2 * S - 2
      * H + P - N) + 49 *
      SIN (2 * S - P - N
      ) + 6 * SIN (3 * S
      - 2 * H - N))
1260: B = B * 180 / PI
1270: D1 = COS B * SIN
      L * SIN E + SIN
      B * COS E
1280: D2 = SIN LS *
      SIN E
1285: N4 = N4 * 24 + 8
1290: A5 = (18.64606
      + 2400.05126 *
      A1 + .0000258 *
      A2) * 15
1300: O = (N4 - 20) * 15
      + N5 + A5
1310: A6 = N5 - .19239
      6 * SIN (2 * N6)
1320: C1 = SIN A6 * D1
      + COS A6 * COS
      O * COS R * COS
      L + COS A6 * SIN
      O * (COS P * SIN
      L * COS E - SIN
      B * SIN E)
1330: C2 = SIN A6 * D2
      + COS A6 * COS
      O * COS LS + COS
      A6 * SIN O * SIN
      LS * COS E
1340: S = -165.17 * CM
      ^ 3 * (C1 * C1 - 1 /
      3) - 1.3607 * CM
      ^ 4 * (5 * C1 ^ 3 - 3
      * C1)
1350: GT(1) = (5 - 76.
      085 * CS ^ 3 * (C2
      * C2 - 1 / 3)) * 1.
      15 / 1000
1370: RETURN

```

参 考 文 献

- [1] P. 梅尔基奥尔, 1978, 行星地球的固体潮。杜品仁, 吴庆鹏, 陈益惠和刘克人译, 科学出版社。
- [2] 地质矿产部书刊编辑室, 1983, 中华人民共和国地质矿产部《区域重力调查技术规范》。地质出版社。
- [3] 测量计算用表编写组, 1975, 高斯·克吕格投影计算表。测绘出版社。

www.cnki.net

A PRACTICAL PROGRAM FOR CALCULATING THE GRAVITATIONAL
ANOMALIES BY USING THE PC—1500 CALCULATOR

Ma Hongtao

(*The Geophysical Exploration Brigade, Shandong
Bureau of Geology and Mineral Resources*)

Abstract

A program for calculating the gravitational anomalies with the BASIC language is given in this paper, which is based on the theoretical formula for the recalculation of the items of the gravity measurements and can be performed on the PC—1500 calculator. The rationality and the precisions in using the program are also illustrated and the operation steps are exemplified as well.