

# 第五届全国高等学校大学生测绘技能大赛测量程序设计

## 竞赛规则说明

### 一、比赛形式与比赛内容

1. 每个参赛队伍由 2 人组成, 在竞赛时配置 2 台电脑, 电脑由竞赛组委会提供, ;
2. 在规定时间内 (6 小时) 完成。 比赛开始前 15 分钟入场, 比赛开始 30 分钟后不得入场比赛, 比赛开始后 3 小时内不得交卷和离开考场 ;
3. 开发平台为 Visual Studio 2015, 编程语言限制为 VB、VC、C#, 不允许使用二次开发平台 (如 Matlab、AutoCAD、ArcGIS 等) ;
4. 竞赛内容由 10 题组成 (见一号公告), 其中 1 题 (坐标转换) 为样例, 其余 9 题为竞赛侯选题, 竞赛前现场抽取考题。参考书籍 : 武汉大学出版社《测绘程序设计试题集》。为了使每道题难度系数相近, 正式考题会有适当调整 ;
5. 竞赛开始时, 通过局域网分发《试题册》、《测试数据》到各参赛选手的电脑, 试题册由竞赛规则说明、试题 (包含编程所需的所有数学公式)、测试数据参考答案三部分组成 ; 竞赛开始 3 小时后分发《正式数据》。
6. 输入和输出数据格式均为文本文件(.txt), 具体格式在试题册中说明 ; 输出图形采用 AutoCAD 图形交换文件 (.dxf)。

### 二、比赛纪律

1. 考试时凭竞赛标识牌和身份证进入考场, 在指定机位就座参加考试。每个小组可以携带 1-3 支笔进入考场, 除证件和笔之外, 其他任何物品不得带入考场, 特别是手机等通信设备、U 盘等存储设备, 违者取消比赛资格 ;
2. 在竞赛中不允许作弊 (如携带已有成果、使用上网工具、不同小组之间互换数

- 据等), 一旦发现作弊者, 本次成绩为零, 并取消该校下一次的参赛资格;
3. 考试过程中, 在小组内部通过书面方式和 U 盘进行信息交流。不同小组之间不能进行信息交流, 一旦发现取消所有参与交流小组的考试成绩;
  4. 在程序源代码、可执行文件、成果输出文件、开发文档等提交的成果中不得出现参赛编号、学校信息或参赛队员信息, 出现相关信息者扣 20 分。

### 三、成果内容

1. 程序源代码;
2. 可执行文件;
3. 计算成果 (计算报告、DXF 文件等);
4. 开发文档。

将以上文件打包成一个压缩文件, 文件名为参赛编号: 如 C101.zip;

### 四、成果提交方式

**同时采用以下两种方式提交成果文件。**

- 1、拷贝到组委会发放的 U 盘中, 提交 U 盘;
- 2、通过局域网提交, 具体方式详见《试题册》的竞赛规则中说明。

### 五、无效成果认定

有以下任何情况之一, 成果将被认定为无效:

1. 比赛中携带了手机等具有通讯功能的工具, 自带 U 盘等具有存储功能的设备;
2. 不同参赛小组之间进行了信息交流;
3. 缺少《开发文档》。

## 试题： 坐标转换

### 一、评分规则

评测内容	评分细则及标准
程序正确性 (30 分)	1. 地球椭球基本公式 (3 分)
	2. 大地坐标 (BLH) 转换为空间坐标 (XYZ) (3 分)
	3. 空间坐标 (XYZ) 转换为大地坐标 (BLH) (4 分)
	4. 1. 子午线弧长 (公式 7) 计算结果 (2 分)
	4. 3. 辅助量计算 (公式 10) 计算结果 (2 分)
	4. 4. 高斯正算计算 (6 分)
	5. 2 辅助量计算 (公式 13) 计算结果 (4 分)
程序完整与 规范性 (15 分)	5. 3 高斯投影反算 (6 分)
	数据导入正确 (4 分)
	计算报告显示与保存功能齐全 (4 分)
	程序结构完整 (主要是函数与类结构) 设计清晰 (2 分)
程序优化性 (15 分)	注释规范 (3 分)
	类、函数和变量命名规范 (2 分)
	人机交互界面设计 (5 分)
开发文档 (10 分)	图形绘制并保存 (8 分)
	容错性、鲁棒性好 (2 分)
	程序功能简介 (2 分)
	算法设计与流程图 (2 分)
	主要函数和变量说明 (2 分)
完成时间 (30 分)	主要程序运行界面 (2 分)
	使用说明 (2 分)
	$S = \left(1 - \frac{T_i - T_1}{T_n - T_1} \times 40\%\right) \times 30$ <p>(其中 <math>T_1</math>, <math>T_i</math>, <math>T_n</math> 分别表示第一组, 第 <math>i</math> 组和最后一组提交的时间)</p>

### 二、算法实现

空间位置可以表示为大地坐标、空间直角坐标、高斯平面坐标等多种格式, 通过坐标转换进行不同表示格式之间转换。本题考查: 大地坐标 (BLH) 与空间直角坐标 (XYZ) 之间的相互转换; 大地坐标 (B, L) 与平面坐标 (x, y) 之间的转换。

## 1. 地球椭球基本公式

地球椭球是地球的数学代表，由椭圆绕其短半轴旋转而成的几何形体。用  $a$  表示椭球长半径， $b$  为椭球短半轴。椭球扁率  $f$ 、椭球第一偏心率平方  $e^2$ 、椭球第二偏心率平方  $e'^2$  的计算公式为：

$$\begin{cases} f = \frac{a-b}{a} \\ e^2 = \frac{a^2-b^2}{a^2} \\ e'^2 = \frac{e^2}{1-e^2} \end{cases} \quad (1)$$

辅助计算公式：

$$\begin{cases} W = \sqrt{1-e^2 \sin^2 B} \\ \eta^2 = e'^2 \cos^2 B \\ t = \tan B \end{cases} \quad (2)$$

其中  $B$  为纬度。

卯酉圈的曲率半径  $N$ 、子午圈曲率半径  $M$ 、子午圈赤道处的曲率半径  $M_0$ ：

$$\begin{cases} N = \frac{a}{W} \\ M = \frac{a(1-e^2)}{W^3} \\ M_0 = a(1-e^2) \end{cases} \quad (3)$$

说明：根据数据中的长半轴、扁率倒数和纬度测试数据，在报告中输出公式（1）（2）（3）的计算结果，保留小数点后 6 位数值。

## 2. 大地坐标（BLH）转换为空间坐标（XYZ）

如图 1 所示，已知点 P 的大地坐标（ $B, L, H$ ），计算其空间直角（ $X, Y, Z$ ），计算公式为：

$$\begin{cases} X = (N + H) \cos B \cos L \\ Y = (N + H) \cos B \sin L \\ Z = [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{cases} \quad (4)$$

其中 B 是纬度、L 是经度、H 是椭球高，X、Y、Z 是空间直角坐标系的三个分量。

说明：(1) 用“坐标数据.txt”文件中的 BLH 数据进行计算，计算结果输出到计算报告中，计算结果小数点后保留 3 位数值；(2) 计算结果插入到表格中。

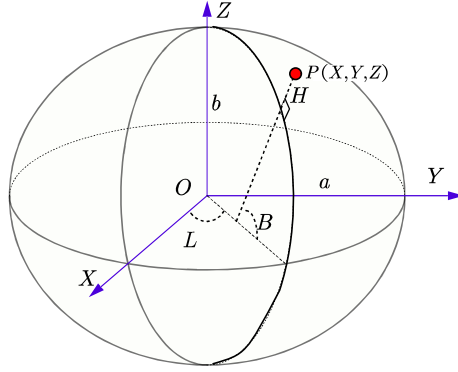


图 1 大地坐标与空间直角坐标

### 3. 空间直角坐标 (XYZ) 转换为大地坐标 (BLH)

已知空间直角作为为 (X, Y, Z)，计算其大地坐标 (B, L, H)，计算公式为：

$$\begin{cases} L = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \\ B = \arctan\left(\frac{Z + Ne^2 \sin B}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right) \\ H = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - N \end{cases} \quad (5)$$

其中：X、Y、Z 是空间直角坐标系的三个分量，B 是纬度、L 是经度、H 是椭球高

计算 B 时，先令  $B_0 = \arctan\left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right)$ ，然后计算 B，若  $|B - B_0| < \epsilon$ ，则迭代终止，否则令  $B_0 =$

B， $\epsilon$  取  $10^{-8}$ 。

说明：(1) 用“大地坐标(BLH)转换为空间坐标(XYZ)”中的计算结果(X, Y, Z)，令  $X=X+2018$ ， $Y=Y+2018$ ， $Z=Z+2018$ ，将增加 2018 后的值作为起算数据进行计算，计算结果输出到计算报告中，B 和 L 输出格式  $dd^\circ \text{ mm}' \text{ ss.ssss}''$ ，其中 dd 表示度 ( $dd^\circ$ )，mm 表示分 ( $\text{mm}'$ )，ss.ssss 表示秒 ( $\text{ss.ssss}''$ )，H 小数点后保留 3 位数值；(2) 计算结果插入到表格中。

#### 4. 高斯投影正算

已知大地坐标 (B,L)，计算其平面坐标 (x, y)。

##### 4.1 子午弧长计算公式

$$\left\{ \begin{array}{l} A_c = 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{175}{256}e^6 + \frac{11\ 025}{16\ 384}e^8 + \frac{43\ 659}{65\ 536}e^{10} \\ B_c = \frac{3}{4}e^2 + \frac{15}{16}e^4 + \frac{525}{512}e^6 + \frac{2\ 205}{2\ 048}e^8 + \frac{72\ 765}{65\ 536}e^{10} \\ C_c = \frac{15}{64}e^4 + \frac{105}{256}e^6 + \frac{2\ 205}{4\ 096}e^8 + \frac{10\ 395}{16\ 384}e^{10} \\ D_c = \frac{35}{512}e^6 + \frac{315}{2\ 048}e^8 + \frac{31\ 185}{131\ 072}e^{10} \\ E_c = \frac{315}{16\ 384}e^8 + \frac{3\ 465}{65\ 536}e^{10} \\ F_c = \frac{693}{131\ 072}e^{10} \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = A_c M_0 \\ \beta = -\frac{1}{2} B_c M_0 \\ \gamma = \frac{1}{4} C_c M_0 \\ \delta = -\frac{1}{6} D_c M_0 \\ \varepsilon = \frac{1}{8} E_c M_0 \\ \zeta = -\frac{1}{10} F_c M_0 \end{array} \right. \quad (7)$$

子午弧长为：

$$\begin{aligned} X = & \alpha B + \beta \sin(2B) + \gamma \sin(4B) + \delta \sin(6B) \\ & \varepsilon \sin(8B) + \zeta \sin(10B) \end{aligned} \quad (8)$$

说明：公式（7）的计算结果输出到计算报告中，结果小数点后保留 6 位数值。

##### 4.2 经差计算公式

$$l = L - L_0 \quad (9)$$

式中， $l$  为经差， $L$  为待求点点位的大地经度， $L_0$  为中央子午线经度。

#### 4.3 计算辅助量

$$\begin{cases} a_0 = X \\ a_1 = N \cos B \\ a_2 = \frac{1}{2} N \cos^2 B t \\ a_3 = \frac{1}{6} N \cos^3 B (1 - t^2 + \eta^2) \\ a_4 = \frac{1}{24} N \cos^4 B (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) t \\ a_5 = \frac{1}{120} N \cos^5 B (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) \\ a_6 = \frac{1}{720} N \cos^6 B (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^2 t^2) t \end{cases} \quad (10)$$

说明：公式（10）的计算结果输出到计算报告中，结果小数点后保留 6 位数值。

#### 4.4 高斯正算公式

$$\begin{cases} x = a_0 l^0 + a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 \\ y = a_1 l^1 + a_3 l^3 + a_5 l^5 \end{cases} \quad (11)$$

说明：（1）用“坐标数据.txt”文件中的 BL 数据进行计算，不用考虑带号，计算结果中 y 坐标加 500km，公式(11)计算结果输出到计算报告中，结果小数点后保留 3 位数值；（2）公式(11)计算结果插入到表格中；

### 5. 高斯投影反算

已知高斯平面坐标  $(x, y)$  计算大地坐标  $(B, L)$ 。

#### 5.1 计算底点纬度

令  $X = x, B_0 = \frac{X}{\alpha}$ ，通过迭代计算底点纬度  $B_f$ ，计算公式为：

$$\begin{cases} B_f = \frac{X - \Delta}{\alpha} \\ \Delta = \beta \sin(2B_0) + \gamma \sin(4B_0) + \delta \sin(6B_0) + \varepsilon \sin(8B_0) + \zeta \sin(10B_0) \end{cases} \quad (12)$$

其中： $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\varepsilon$ 、 $\zeta$  见公式 (11-7)。

在每次计算结束后，判断当  $|B_f - B_0| \leq \varepsilon$ （程序中取  $\varepsilon = 1.0 \times 10^{-8}$ ）时，停止计算；否则，

令  $B_0 = B_f$  继续迭代计算，直到满足条件。

## 5.2 计算辅助量

$$\begin{cases} b_0 = B_f \\ b_1 = \frac{1}{N_f \cos B_f} \\ b_2 = -\frac{t_f}{2M_f N_f} \\ b_3 = -\frac{1 + 2t_f^2 + \eta_f^2}{6N_f^2} b_1 \\ b_4 = -\frac{5 + 3t_f^2 + \eta_f^2 - 9\eta_f^2 t_f^2}{12N_f^2} b_2 \\ b_5 = -\frac{5 + 28t_f^2 + 24t_f^4 + 6\eta_f^2 + 8\eta_f^2 t_f^2}{120N_f^4} b_1 \\ b_6 = \frac{61 + 90t_f^2 + 45t_f^4}{360N_f^4} b_2 \end{cases} \quad (13)$$

其中  $N_f$ 、 $\eta_f^2$ 、 $M_f$ 、 $t_f$  是将  $B_f$  带入公式 (2)、(3) 的计算结果。

说明：公式 (13) 的计算结果输出到计算报告中，结果小数点后保留 6 位数值。

## 5.3 计算 BL

$$\begin{cases} B = b_0 y^0 + b_2 y^2 + b_4 y^4 + b_6 y^6 \\ L = b_1 y^1 + b_3 y^3 + b_5 y^5 + L_0 \end{cases} \quad (14)$$

其中  $L_0$  为中央子午线经度

说明：(1) 用“高斯投影正算”中的计算结果  $(x, y)$ ，令  $x = x + 2018$ ， $y = y + 2018$ ，作为起算数据进行计算，公式 (14) 计算结果输出到计算报告中，在计算时不用考虑带号，B 和 L 输出格式  $dd^\circ \text{ mm}' \text{ ss. ssss}''$ ，其中 dd 表示度 ( $dd^\circ$ )，mm 表示分 ( $\text{mm}'$ )，ss. ssss 表示秒 ( $\text{ss. ssss}''$ )；

(2) 公式 (14) 计算结果插入到表格中。



三、数据文件读取和计算报告输出

1. 数据文件读取

编写程序，读取“坐标数据.txt”文件，数据内容和格式如表 1 所示。

表 1 数据内容和数据格式

数据内容	数据格式
a, 6378137.000	长半轴 a, 数值
1/f, 298.3	扁率倒数 1/f, 数值
L0, 111	中央子午线经度 L0, 数值
B, 32.385066	椭球计算测试点, 纬度 B (dd.mmssssss)
Q71, 36.082771, 109.191366, 33.025	点名, 纬度 B (dd.mmssssss), 经度 L (dd.mmssssss), 椭球高 H(米)
P91, 33.445550, 110.154237, 85.906	
Q42, 38.372964, 108.023609, 53.323	
Q34, 39.305664, 111.361612, 58.386	
B99, 37.264007, 108.385066, 57.617	
A89, 37.371094, 112.321633, 82.713	
P90, 36.035483, 111.145753, 55.860	
P60, 33.334965, 109.295619, 96.801	
Q89, 35.411290, 112.303315, 56.113	
P72, 36.456890, 112.47257, 66.878	
A05, 38.085189, 109.182573, 47.183	
A46, 35.221248, 110.24663, 52.175	
Q03, 36.182447, 112.254924, 26.659	

格式 dd 表示度 (dd°), mm 表示分 (mm'), ssssss 表示秒 (ss.ssss").

2. 计算报告的显示与保存

说明：(1) 将相关统计信息、计算报告在用户界面中显示，在《开发文档》给出 1 张相关截图；(2) 保存为文本文件 (\*.txt)，并计算结果的全部内容插入到《开发文档》中。

四、程序优化

1. 人机交互界面设计与实现

要求：(1) 包括菜单（包括 5 项以上功能）、工具条（包括 5 个以上的功能）、表格（显示前面要求的数据）、图形（显示“图形绘制”要求的内容）、文本（显示计算报告内容）等功能，要求功能正确、可正常运行，布局合理、直观美观、人性化；(2) 在《开发文档》中，给出 1 至 2

张相关的界面截图。

## 2. 图形绘制、并保存

### 2.1 图形绘制

要求：（1）以高斯正算的计算结果（ $x$ ， $y$ ）进行图形绘制，以  $y$  为横坐标， $x$  为纵坐标，绘制散点图；（2）在《开发文档》中，给出 1 张用图形显示界面的截图。

### 2.2 图形文件保存

要求：（1）将“图形绘制”的图形保存为 DXF 格式的文件；（2）在《开发文档》中，给出 1 张用 CAD 打开的保存图形文件的界面。

## 五、开发文档

内容包括：（1）程序功能简介；（2）算法设计与流程图；（3）主要函数和变量说明；（4）主要程序运行界面；（5）使用说明。

计算报告参考答案

1. 椭球相关参数计算：

f:0.003353  
e^2:0.006694  
e'^2:0.006740  
W:0.998787  
η^2:0.004299  
t:0.753465  
N:6385885.072313  
M:6358549.984050  
M0:6335442.275259

2. 大地坐标（BLH）转换为空间坐标（XYZ）

点名	B			L			H	X		Y	Z
Q52	39°	21′	02.6102″	101°	18′	19.8392″	76.2460	-968203.1165		4842958.9850	4022551.8548
A36	36°	57′	00.9010″	101°	29′	14.3549″	72.8740	-1016342.5384		5001147.7984	3813027.9687
P09	41°	53′	05.2310″	100°	10′	20.9531″	69.5010	-839897.6864		4680850.6538	4236133.5672
Q60	42°	43′	29.3847″	102°	24′	24.8587″	62.7380	-1008261.3842		4583201.9732	4305139.7875
P69	40°	38′	24.6672″	100°	43′	39.4053″	66.9940	-902177.3164		4762057.9006	4132230.2837

3. 空间坐标（XYZ）转换为大地坐标（BLH）

点名	X			Y			Z	B		L	H
Q52	-966185.1165	4844976.9850	4024569.8548	39°	21′	20.6395″	101°	16′	40.7039″	2580.5370	
A36	-1014324.5384	5003165.7984	3815045.9687	36°	57′	22.4705″	101°	27′	38.2130″	2545.6398	
P09	-837879.6864	4682868.6538	4238151.5672	41°	53′	18.6384″	100°	08′	39.3789″	2630.6548	
Q60	-1006243.3842	4585219.9732	4307157.7875	42°	43′	43.6063″	102°	22′	39.2095″	2561.7058	
P69	-900159.3164	4764075.9006	4134248.2837	40°	38′	40.3579″	100°	41′	59.0732″	2601.2762	

4. 1. 高斯正算（BL-->xy）

点名	B			L			x	y
Q52	39°	21′	02.6102″	101°	18′	19.8392″	4390493.3812	1216396.4076
A36	36°	57′	00.9010″	101°	29′	14.3549″	4124824.0236	1256723.5568
P09	41°	53′	05.2310″	100°	10′	20.9531″	4663795.0217	1095482.4749
Q60	42°	43′	29.3847″	102°	24′	24.8587″	4775281.6529	1270724.0711
P69	40°	38′	24.6672″	100°	43′	39.4053″	4529435.8143	1153983.0896

4. 2. 公式（7）计算结果：

α :6367452.13278806  
β : -16038.5282283732  
γ :16.8326463342618  
δ : -0.0219844337095729  
ε :3.11417328062609E-05  
ζ : -4.50353635991156E-08

4. 3. 公式（10）计算结果：

Q52	a0:4357443.102502	a1:4938733.302358	a2:1565740.743476	a3:161275.189407	a4:337658.695091	a5:-97868.882017
A36	a0:4090991.798683	a1:5103316.278799	a2:1533856.170162	a3:235873.655036	a4:361993.285672	a5:-84380.659407
P09	a0:4638842.018441	a1:4755554.524274	a2:1587487.076707	a3:86024.037017	a4:307661.805128	a5:-107492.030741
Q60	a0:4732153.339268	a1:4692749.596871	a2:1591963.870253	a3:62055.455357	a4:296910.443928	a5:-109642.279558
P69	a0:4500617.816187	a1:4846712.966641	a2:1578348.034240	a3:122466.853845	a4:322887.449937	a5:-103358.178299

5. 1. 高斯反算（xy-->BL）

点名	x	y	B	L
Q52	4392511.3812	1218414.4076	39° 22′ 01.3522″	101° 19′ 48.1319″
A36	4126842.0236	1258741.5568	36° 57′ 59.8198″	101° 30′ 39.3051″
P09	4665813.0217	1097500.4749	41° 54′ 04.6627″	100° 11′ 53.6637″
Q60	4777299.6529	1272742.0711	42° 44′ 26.6438″	102° 25′ 56.4109″
P69	4531453.8143	1156001.0896	40° 39′ 23.7528″	100° 45′ 10.0040″

5. 2. 公式（13）计算结果：

Q52	b0:0.692312	b1:2.03399907781556E-07	b2:-1.0204747183834E-14	b3:-1.97395496302061E-21
b4:1.47239057012925E-28		b5:-3.62651521651422E-35	b6:-2.45587496641032E-42	
A36	b0:0.650542	b1:1.9678511013513E-07	b2:-9.37091928643294E-15	b3:-1.73590252980152E-21
b4:1.29017211536035E-28		b5:-2.88614851422744E-35	b6:-2.00698361795334E-42	
P09	b0:0.735265	b1:2.11081560460001E-07	b2:-1.11239978393506E-14	b3:-2.27276903515406E-21
b4:1.69343811972938E-28		b5:-4.64488670634835E-35	b6:-3.05734951084035E-42	
Q60	b0:0.752782	b1:2.14500147769262E-07	b2:-1.15193131563657E-14	b3:-2.41370435431223E-21
b4:1.79546090162161E-28		b5:-5.15835397953262E-35	b6:-3.35565440438808E-42	
P69	b0:0.714151	b1:2.071863558628E-07	b2:-1.06636615884215E-14	b3:-2.11819148624586E-21
b4:1.57998742311764E-28		b5:-4.10597004229128E-35	b6:-2.74092516509084E-42	

参考图

参考图形如下。基本要求：大小适中，图形美观。

