

第五届全国高等学校大学生测绘技能大赛

测量程序设计

《试题册》

竞赛规则说明

试题

样例数据参考答案

样例数据参考图形

2018 年 7 月

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)。

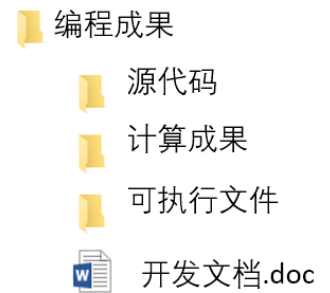
二、比赛纪律

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, 并取消该参赛队伍所在学校 (学院) 下一轮的参赛资格;
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

成果目录及内容如图：

1. 源代码（包含计算源程序）；
2. 计算成果（计算报告（result.txt）、DXF 文件(output.dxf)）；
3. 可执行文件（可执行文件等）；
4. 开发文档(开发文档.doc)。

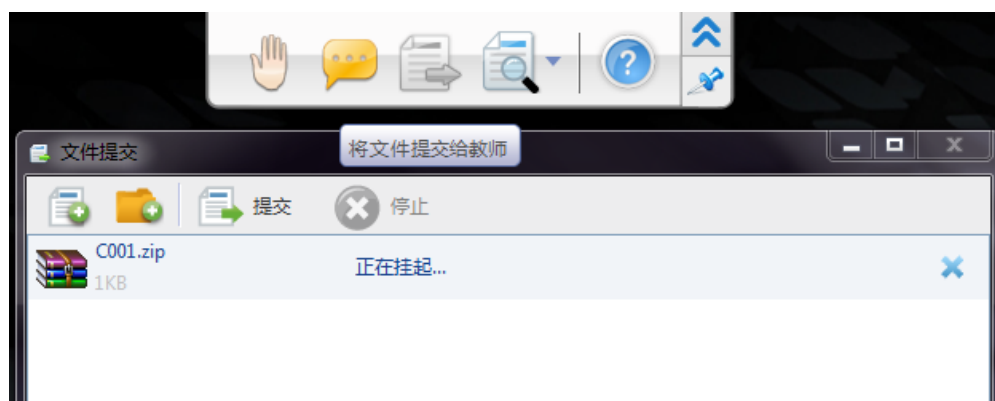


将成果压缩为 ZIP 文件，文件名为参赛编号：如 C101.zip；

四、成果提交方式

同时采用两种方式提交成果，并向监考老师核对是否提交成果。

- 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，在浮动工具栏点击“文件提交”按钮，将成果文件拖到对话框中后按“提交”。界面如下。



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： 拟合水准路线平差计算

一、评分规则

评测内容	评分细则及标准
程序正确性 (30 分)	2.2 测站数据计算 (7 分)
	2.3 测站超限检查 (2 分)
	3.1 水准路线闭合高差计算 (2 分)
	3.2 高差改正数计算 (5 分)
	4.1 采用伴随矩阵法求逆 (3 分)
	4.2 矩阵相乘 (1 分)
	4.3 矩阵转置 (1 分)
	5.1 建立误差方程 (3 分)
	5.2 间接平差 (4 分)
	5.3 计算改正后的坐标 ()
程序完整与 规范性 (15 分)	数据读取正确 (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 (3 分)
	注释规范 (2 分)
	类、函数和变量命名规范 (2 分)
程序优化性 (15 分)	人机交互界面设计 (5 分)
	图形绘制并保存 (8 分)
	容错性、鲁棒性好 (2 分)
开发文档 (10 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)
	主要程序运行界面 (2 分)
	使用说明 (2 分)
完成时间 (30 分)	$S = (1 - \frac{T_i - T_1}{T_n - T_1} \times 40\%) \times 30$ (其中 T_1, T_i, T_n 分别表示表示第一组, 第 i 组和最后一组提交的时间)

二、算法实现

1. 水准测量的基本原理

水准测量是使用水准仪和水准尺，根据水平视线测定两点之间的高差，从而由已知点推求未知点的高程。如图 1 所示，已知 A 点的高程为 H_A ，A 点与 B 点的高差测量值是 h_{AB} ，于是 B 点的高程 H_B 为：

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (1)$$

其中 A 点称为后视点，a 为后视读数，B 为前视点，b 为前视读数。

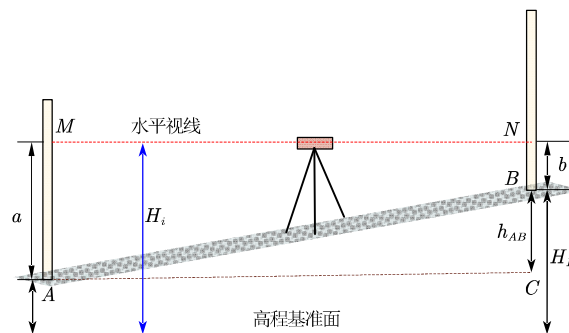


图 1 水准测量原理示意图

当两点之间的距离较远或者高差较大时，仅仅安装一次一起不能测量它们的高差，这时需要加设若干个临时的立尺点，作为传递高程的过渡点，即转点，基本测量方法为：（1）将水准尺立于已知高程的水准点上作为后视，安置水准仪和前视点。圆水准气泡粗平，瞄准后视尺，精平，读数。旋转望远镜瞄准前视尺，精平读数。记录、计算高差。（2）后尺和测站向前移动，前尺不动并转为第二测站的后尺，原后尺变为前尺，同第一站的方法一样继续向前观测。

2. 数据记录与测站检查

2.1 水准测量数据记录

对于利用数字水准仪测量的数据，可以采用表 3 所示记录手簿进行检核，表中（1）至（4）是后视-前视读数，分别为后距、后视中丝、前距、前距中丝读数，（5）至（8）是前视-后视读数，分别为前距、前距中丝、后距、后视中丝读数。

表 1 水准测量的观测记录与数据检查手簿

测站 编号	后视点 名	后距 1	后距 2		后视中 丝 1	后视中 丝 2	后视中 丝差	
	前视点 名	前距 1	前距 2	距离差 d	前视中 丝 1	前视中 丝 2	前视中 丝差	
	后-前	距离差 1	距离差 2	Σd	高差 1	高差 2	中丝差	高差
		(1)	(7)		(2)	(8)	(10)	
		(3)	(5)	(14)	(4)	(6)	(9)	
		(12)	(13)	(15)	(16)	(17)	(11)	(18)
1	P24	106.4965	106.4982		0.8187	0.8175	0.0012	
	转点 1	103.7130	103.7138	2.7840	1.0776	1.0759	0.0017	
	后-前	2.7835	2.7844	2.7840	-0.2589	-0.2584	-0.0005	-0.2587

说明：采用数字水准仪测量时，无需进行上丝和下丝读数，下表的设计省略了相关部分，与传统的三（四）等水准测量观测手簿有所不同。

2.2 测站数据计算

对每一站的测量结果需要进行检验，只有当检验通过之后，才能进行下一站的测量。在表 3 中第 (9) 至 (18) 是计算数据。

表中 (9) 至 (11) 是高差部分，其中 (9) 是前视标尺的黑红面读数 (或两次读数) 之差，(10) 后视标尺的黑红面读数 (或两次读数) 之差，(11) 是黑红面所测的高差，计算方法为：

$$(9) = (4) - (6)$$

$$(10) = (2) - (8)$$

$$(11) = (10) - (9)$$

表中 (9) 至 (11) 是视距部分，其中 (12) 是后视距离之差，(13) 是前视距离之差，(14) 是前后视距差，(15) 为前后视距累计差，计算公式为：

$$(12) = (1) - (3)$$

$$(13) = (7) - (5)$$

$$(14) = [(12) + (13)] / 2$$

$$(15) = \text{本站的 (14)} + \text{前站的 (15)}$$

表 (16) 为黑面所得到的高差，(17) 是红面所得到的高差，(18) 是本站高差，计算公式为：

$$(16) = (2) - (4)$$

$$(17) = (8) - (6)$$

$$(18) = [(16) + (17)] / 2$$

说明：(1) 在计算报告中输出如表 1 所示的水准测量记录与水准检查成果；(2) 在上述内容在表格中显示。

2.3 测站超限检查

如果测站上有关观测限差超限，在本站检查发现后可立即重测。若迁站后才检查发现，则应该从水准点或间歇点起，重新观测。三、四等水准测量作业限差如表 2 所示。

表 2 三、四水准测量作业限差

等级	三等	四等
仪器类型	S3	S3
标准视线长度 (m)	65	80
后前视距差 (m)	3.0	5.0
后前视距差累计 (m)	6.0	10.0
黑红面读数差 (mm)	2.0	3.0
黑红面所测高差之差 (mm)	3.0	5.0
监测间歇点高程之差 (mm)	3.0	5.0

说明：对每站进行限差统计并输出，与表 2 中四等作业限差进行比较，在计算报告中给是否超限的说明。

3. 附和水准路线的近似平差计算公式

3.1 水准路线闭合高差计算

附和水准路线是水准测量中的常用方法，如图 2 所示。图中 A、B 高程分别为 H_A 、 H_B ，测量得到高差依次为 $h_1, \dots, h_n$ ，相应的距离为 $L_1, \dots, L_n$ 。

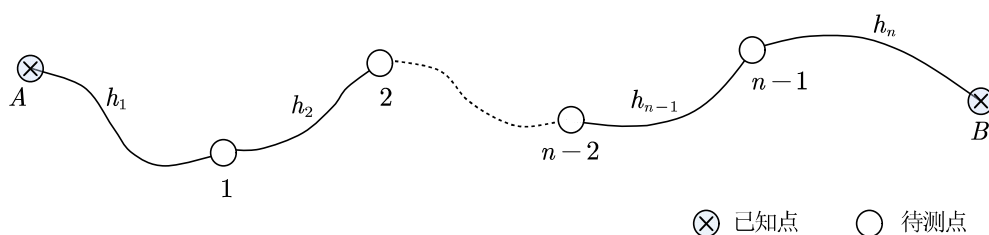


图 2 附和水准路线示意图

计算水准路线的高程闭合差 f_h ，即：

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_i - (H_B - H_A) \quad (2)$$

说明：在计算报告中输出高程闭合差，小数点后保留 3 位数值。

3.2 高差改正数计算

计算各段高差改正数 v_i

$$v_i = -\frac{f_h}{\sum_{i=1}^n L_i} \cdot L_i \quad (3)$$

计算各测段观测高差的平差值 $\bar{h}_i$ 和待定点高程平差值 H_i ，即：

$$\begin{cases} \bar{h}_i = h_i + v_i \\ H_i = H_A + \bar{h}_1 + \cdots + \bar{h}_i \end{cases} \quad (4)$$

说明：（1）在计算报告中输出各测段观测高差改正数 v_i 和距离 L_i ，小数点后保留 3 位数值；（2）在计算报告中输出待定点的高差平差值 H_i ，小数点后保留 3 位数值。

4. 矩阵运算

设 $A = (a_{ij})$ 是 $n \times n$ 的矩阵，其定义如下所示：

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (5)$$

4.1 采用伴随矩阵法求逆

A 的逆矩阵计算公式：

$$A^{-1} = \frac{1}{\det(A)} A^* = \frac{1}{\det(A)} \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

其中 A^* 为 A 的伴随矩阵， $A_{ij} = (-1)^{i+j}M_{ij}$ ，其中 M_{ij} 为余子式，计算公式

$$M_{ij} = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1,j-1} & a_{1,j+1} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i-1,1} & \cdots & a_{i-1,j-1} & a_{i-1,j+1} & \cdots & a_{i-1,n} \\ a_{i+1,1} & \cdots & a_{i+1,j-1} & a_{i+1,j+1} & \cdots & a_{i+1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{n,j-1} & a_{n,j+1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} \quad (7)$$

$$\det(A) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{i=n} a_{1,i} \det(A_{1,i}), 2 \leq n \\ a_{1,1}, n = 1 \end{cases}$$

说明：对数据文件中的 A 矩阵，进行求逆，将计算结果在计算报告中输出，小数点后保留 3 位数值。

4.2 矩阵相乘

设 $A = (a_{ij})$ 是一个 $m \times s$ 矩阵， $B = (b_{ij})$ 是一个 $s \times n$ 矩阵，矩阵 A 与矩阵 B 的乘积是一个 $m \times n$ 的矩阵 $C = (c_{ij})$ ，其中

$$\begin{aligned} c_{ij} &= \sum_{k=1}^s a_{ik} b_{kj} \\ &= a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \cdots + a_{is}b_{sj} \quad (i = 1, 2 \cdots m; j = 1, 2 \cdots n) \end{aligned} \quad (8)$$

说明：对数据文件中的 A 矩阵和 B 矩阵，进行相乘运算，将计算结果在计算报告中输出，小数点后保留 3 位数值。

4.3 矩阵转置

设 $A = (a_{ij})$ 是一个 $m \times n$ 的矩阵，A 的转置为 $n \times m$ 的矩阵 $A^T = (a_{ji})$ 。

说明：对数据文件中的 A 矩阵，进行转置运算，将计算结果在计算报告中输出，小数点后保留 3 位数值。

5. 附合水准路线的间接平差

使用近似平差后的高程值作为近似高程坐标，得到 2.2 中的 (18) 关于以未知点的高程作为参数的方程，然后建立误差方程，法方程，间接平差。

5.1 建立误差方程

针对本题的水准路线，建立误差方程

$$\underbrace{\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_{n-1} \\ v_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{V}} = \underbrace{\begin{pmatrix} \hat{x}_1 \\ -\hat{x}_1 + \hat{x}_2 \\ \vdots \\ -\hat{x}_{n-2} + \hat{x}_{n-1} \\ -\hat{x}_{n-1} \end{pmatrix}}_{\mathbf{BX}} - \underbrace{\begin{pmatrix} h_1 + H_A - X_1^0 \\ h_2 + X_1^0 - X_2^0 \\ \vdots \\ h_{n-1} + X_{n-2}^0 - X_{n-1}^0 \\ X_{n-1}^0 - H_B + h_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{L}} \quad (9)$$

其中 X 矩阵为
$$\begin{pmatrix} \hat{X}_1 \\ \hat{X}_2 \\ \vdots \\ \hat{X}_{n-2} \\ \hat{X}_{n-1} \end{pmatrix}$$

其中 V_i 为高差 h_i 的改正数, $\hat{X}_i$ 为第 i 个点高程平差值, X_i^0 为第 i 个点的高程近似值。

说明：在计算报告中输出 L 矩阵，小数点后保留 6 位数值。

5.2 间接平差

取 10km 的观测高差为单位权观测，即按 $P_i = \frac{C}{S_i} = \frac{10}{S_i}$ 定权，得到观测值的权阵

$$P = \begin{pmatrix} P_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & P_n \end{pmatrix} \quad (10)$$

组成法方程

$$\underbrace{B^T P B}_N \hat{X} = B^T P L \quad (11)$$

得到最小二乘解

$$\hat{X} = (B^T P B)^{-1} B^T P L = N^{-1} B^T P L \quad (12)$$

说明：在计算报告中输出 $\hat{X}$ 、 N^{-1} 这 3 个矩阵，小数点后保留 6 位数值。

5.3 计算改正后的高程

根据 5.2 的计算结果计算改正后的高程

说明：在计算报告中输出改正后的高程，小数点后保留 3 位数值。

三、数据文件读取和计算报告输出

1. 数据文件读取

编程读取“正式数据.txt”文件，数据内容如表 3 所示。

表 3 数据内容

P96, 248. 197
P47, 246. 980
P96, -1, 59. 1975, 0. 6581, 59. 1216, 0. 8432, 59. 1195, 0. 8416, 59. 1958, 0. 6564
-1, -1, 59. 2505, 0. 6596, 59. 1746, 0. 8251, 59. 1726, 0. 8235, 59. 2488, 0. 6580
-1, Q08, 59. 3032, 0. 6611, 59. 2273, 0. 8072, 59. 2253, 0. 8057, 59. 3016, 0. 6595
Q08, -1, 59. 3554, 0. 6625, 59. 2795, 0. 7899, 59. 2776, 0. 7885, 59. 3539, 0. 6610
-1, -1, 59. 4070, 0. 6639, 59. 3311, 0. 7734, 59. 3293, 0. 7720, 59. 4055, 0. 6624
-1, -1, 59. 4579, 0. 6651, 59. 3820, 0. 7577, 59. 3802, 0. 7564, 59. 4565, 0. 6638
-1, B42, 59. 5079, 0. 6664, 59. 4320, 0. 7430, 59. 4303, 0. 7418, 59. 5066, 0. 6651
B42, -1, 59. 5570, 0. 6675, 59. 4811, 0. 7295, 59. 4794, 0. 7284, 59. 5557, 0. 6662
-1, -1, 59. 6050, 0. 6685, 59. 5291, 0. 7174, 59. 5274, 0. 7163, 59. 6037, 0. 6673
-1, -1, 59. 6517, 0. 6694, 59. 5758, 0. 7067, 59. 5743, 0. 7056, 59. 6506, 0. 6682
-1, A44, 59. 6973, 0. 6701, 59. 6214, 0. 6975, 59. 6198, 0. 6965, 59. 6961, 0. 6690
A44, -1, 59. 7414, 0. 6707, 59. 6655, 0. 6900, 59. 6640, 0. 6890, 59. 7403, 0. 6697
-1, -1, 59. 7841, 0. 6712, 59. 7082, 0. 6842, 59. 7068, 0. 6832, 59. 7831, 0. 6702
-1, -1, 59. 8254, 0. 6715, 59. 7495, 0. 6801, 59. 7481, 0. 6792, 59. 8243, 0. 6705
-1, B78, 59. 8652, 0. 6717, 59. 7893, 0. 6779, 59. 7879, 0. 6770, 59. 8641, 0. 6707
B78, -1, 59. 9035, 0. 6718, 59. 8276, 0. 6775, 59. 8261, 0. 6766, 59. 9024, 0. 6707
-1, -1, 59. 9402, 0. 6716, 59. 8643, 0. 6790, 59. 8629, 0. 6780, 59. 9392, 0. 6706
-1, -1, 59. 9755, 0. 6714, 59. 8996, 0. 6823, 59. 8981, 0. 6813, 59. 9744, 0. 6703
-1, P47, 60. 0093, 0. 6709, 59. 9334, 0. 6873, 59. 9319, 0. 6863, 60. 0082, 0. 6699
1, 3
3, 4
1, 3, 2
2, 4, 5

数据格式说明如表 4 所示。

表 4 数据格式说明

点名, 已知高程
点名, 已知高程
起点, 终点, 后视距离, 后视中丝读数, 前视距离, 前视中丝读数, 前视距离, 前视中丝 读数, 后视距离, 后视中丝读数 (当点名为-1 时表示转点)
矩阵 A (用于矩阵求逆和转置的测试)
矩阵 B (用于矩阵乘积测试)

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、工具条、表格、图形（显示）、文本等功能，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）以到第一个基准点的距离为 X 坐标，高程作为 Y 坐标，；（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。

样例数据参考答案

2.2 测站数据计算、2.3 测站超限检查

后视点名	后距1	后距2		后视中丝1	后视中丝2	后视中丝差	d是否超限	
前视点名	前距1	前距2	距离差d	前视中丝1	前视中丝2	前视中丝差	Σ d是否超限	
后-前	距离差1	距离差2	Σ d		高差1	高差2	中丝差	高差
A87	49.9360	49.9360		1.4750	1.4760	-0.0010	否	
-1	48.6830	48.6840	1.2525	1.2700	1.2720	-0.0020	否	
	1.2530	1.2520	1.2525	0.2050	0.2040	0.0010	0.2045	
-1	60.0560	60.0550		0.6340	0.6350	-0.0010	否	
-1	60.0470	60.0480	0.0080	0.8670	0.8640	0.0030	否	
	0.0090	0.0070	1.2605	-0.2330	-0.2290	-0.0040	-0.2310	
-1	77.0480	77.0490		1.3760	1.3770	-0.0010	否	
-1	77.1230	77.1220	-0.0740	1.2300	1.2300	0.0000	否	
	-0.0750	-0.0730	1.1865	0.1460	0.1470	-0.0010	0.1465	
-1	57.6450	57.6450		0.8680	0.8690	-0.0010	否	
P84	59.7970	59.7950	-2.1510	0.8690	0.8680	0.0010	否	
	-2.1520	-2.1500	-0.9645	-0.0010	0.0010	-0.0020	0.0000	
P84	74.7710	74.7690		1.4430	1.4420	0.0010	否	
-1	74.4790	74.4810	0.2900	1.3960	1.3950	0.0010	否	
	0.2920	0.2880	0.2900	0.0470	0.0470	0.0000	0.0470	
-1	80.5560	80.5570		1.3540	1.3540	0.0000	否	
-1	79.0210	79.0210	1.5355	1.0190	1.0210	-0.0020	否	
	1.5350	1.5360	1.8255	0.3350	0.3330	0.0020	0.3340	
-1	58.2090	58.2080		0.7960	0.7930	0.0030	否	
-1	60.9390	60.9390	-2.7305	1.0160	1.0160	0.0000	否	
	-2.7300	-2.7310	-0.9050	-0.2200	-0.2230	0.0030	-0.2215	
-1	66.7440	66.7460		0.6750	0.6760	-0.0010	否	
-1	69.9130	69.9110	-3.1670	0.7820	0.7800	0.0020	否	
	-3.1690	-3.1650	-4.0720	-0.1070	-0.1040	-0.0030	-0.1055	
-1	60.2300	60.2310		1.4400	1.4390	0.0010	否	
-1	61.5970	61.5950	-1.3655	1.3530	1.3530	0.0000	否	
	-1.3670	-1.3640	-5.4375	0.0870	0.0860	0.0010	0.0865	
-1	74.9560	74.9570		1.3110	1.3130	-0.0020	否	
Q93	75.7920	75.7900	-0.8345	1.2080	1.2100	-0.0020	否	
	-0.8360	-0.8330	-6.2720	0.1030	0.1030	0.0000	0.1030	
Q93	70.7980	70.7990		1.3620	1.3620	0.0000	是	
-1	63.8100	63.8100	6.9885	1.3520	1.3500	0.0020	否	
	6.9880	6.9890	6.9885	0.0100	0.0120	-0.0020	0.0110	
-1	66.5000	66.5010		1.3580	1.3580	0.0000	否	
A17	68.9020	68.9030	-2.4020	1.2960	1.2950	0.0010	否	
	-2.4020	-2.4020	4.5865	0.0620	0.0630	-0.0010	0.0625	
A17	65.6660	65.6670		1.4330	1.4340	-0.0010	否	
-1	67.8400	67.8410	-2.1740	0.9760	0.9770	-0.0010	否	
	-2.1740	-2.1740	-2.1740	0.4570	0.4570	0.0000	0.4570	
-1	72.3420	72.3440		1.4380	1.4370	0.0010	否	
Q89	73.6410	73.6390	-1.2970	1.2690	1.2690	0.0000	否	
	-1.2990	-1.2950	-3.4710	0.1690	0.1680	0.0010	0.1685	
Q89	72.7540	72.7560		1.4480	1.4490	-0.0010	否	
-1	69.4430	69.4430	3.3120	1.0960	1.0960	0.0000	否	
	3.3110	3.3130	3.3120	0.3520	0.3530	-0.0010	0.3525	
-1	62.0560	62.0570		1.4140	1.4140	0.0000	否	
-1	60.2870	60.2850	1.7705	1.2740	1.2750	-0.0010	否	
	1.7690	1.7720	5.0825	0.1400	0.1390	0.0010	0.1395	
-1	71.2890	71.2900		1.3910	1.3920	-0.0010	否	
-1	71.4290	71.4300	-0.1400	0.8420	0.8430	-0.0010	否	
	-0.1400	-0.1400	4.9425	0.5490	0.5490	0.0000	0.5490	
-1	71.0530	71.0550		1.5000	1.5010	-0.0010	否	

	P18	69.1140	69.1140	1.9400	1.0490	1.0510	-0.0020	否
		1.9390	1.9410	6.8825	0.4510	0.4500	0.0010	0.4505
	P18	70.1060	70.1060		1.3770	1.3780	-0.0010	否
	-1	65.7090	65.7100	4.3965	0.8470	0.8490	-0.0020	否
		4.3970	4.3960	4.3965	0.5300	0.5290	0.0010	0.5295
	-1	67.1830	67.1840		0.7540	0.7550	-0.0010	否
	-1	63.8020	63.8040	3.3805	0.8500	0.8510	-0.0010	否
		3.3810	3.3800	7.7770	-0.0960	-0.0960	0.0000	-0.0960
	-1	65.4830	65.4840		1.3520	1.3510	0.0010	否
	-1	61.5940	61.5930	3.8900	1.3450	1.3440	0.0010	是
		3.8890	3.8910	11.6670	0.0070	0.0070	0.0000	0.0070
	-1	64.1000	64.1020		1.3790	1.3790	0.0000	否
	B53	60.1330	60.1340	3.9675	1.2620	1.2630	-0.0010	是
		3.9670	3.9680	15.6345	0.1170	0.1160	0.0010	0.1165

3.1 水准路线闭合高差计算

高差闭合差为：15.000mm

3.2.1 高差改正数计算

测段名	距离(m)	高差(m)	高差改正数(mm)	改正后高差(m)
A87-P84	490.335	0.120	-2.500	0.118
P84-Q93	837.206	0.244	-4.268	0.239
Q93-A17	270.012	0.074	-1.376	0.072
A17-Q89	279.490	0.626	-1.425	0.624
Q89-P18	547.428	1.492	-2.791	1.489
P18-B53	518.114	0.557	-2.641	0.554

3.2.2 高程计算

点名	高程(m)
P84	253.701
Q93	253.940
A17	254.012
Q89	254.636
P18	256.125
B53	256.679

4.1 采用伴随矩阵法求逆

0.484	-0.906	-0.565	1.170
-0.395	0.775	0.768	-1.245
-0.171	0.261	0.105	-0.148
-0.151	0.664	0.356	-0.933

4.2 矩阵相乘

133.566	92.721	83.777
118.504	81.827	96.437
139.976	108.389	64.498
109.939	84.102	71.717

4.3 矩阵转置

7.197	4.779	6.557	4.740
2.088	0.434	4.954	1.862
4.866	8.983	6.609	8.129
5.470	3.993	0.567	1.102

5.1 建立误差方程，获得L矩阵

0.002500

0.004268

0.001376

0.001425
0.002791
0.002641

5.2 间接平差

X矩阵为：

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

N的逆矩阵为：

40.862808 26.912106 22.412795 17.755540 8.633535
26.912106 72.862323 60.680808 48.071671 23.374588
22.412795 60.680808 73.022816 57.849079 28.128799
17.755540 48.071671 57.849079 67.969713 33.049902
8.633535 23.374588 28.128799 33.049902 42.688698

5.3 计算改正后的高程

平差改正后的高程如下：

点名	高程(m)
P84	253.701
Q93	253.940
A17	254.012
Q89	254.636
P18	256.125

样例数据参考图形

参考图形如下。基本要求：大小适中，图形美观。

