

城市独立坐标系平面控制网 之 扩 建 及 改 造*

谢征海 张泽烈

(重庆市勘测院, 四川 400020)

[摘 要] 本文以重庆市独立坐标系平面控制网之扩建及改造为例, 阐明城市独立坐标系平面控制网之扩建及改造的方法

[关键词] 独立坐标系 平面控制网

[分类号] P221

一、概述

原重庆市独立坐标系平面控制网利用 54 椭球, 选择城市平均高程 300 米面为高斯投影归算面, 以歌乐山为坐标原点, 歌乐山至南星门之方位角为已知方位角。其主要用于控制主城区, 控制面积为 400Km^2 ; 该网建于 1957 年。后来相继建立了北碚、西彭、江北南岸、巴县附合网以及多个三、四等插点网, 该部分网多次附合于主城区控制网, 各网控制总面积为 4600Km^2 。

现由于城市规划、建设等多方面的迅猛发展, 原独立系控制网已不能满足要求。其表现为: 1、精度不高; 2、控制面积小。因此, 重庆市范围内迫切需要建立统一的高精度控制网; 我院采用 GPS 技术首先对原独立坐标系控制网进行扩建, 最后用扩建后的 GPS 网作为骨干控制网分别对市独立系二、三、四等三角网及导线网进行改造。

将重庆市独立坐标系控制网扩建到全市范围内以及对旧网的改造要解决以下几方面的问题:

1、投影变形

由于重庆市(不含涪陵、万州、黔江地区)范围大, 约 2.4万 Km^2 , 东西长约 230Km^2 , 远离中央子午线 120Km 处之投影变形为 $17.70/\text{Km}$, 因此需采取适当措施减小投影变形。

2、归算至平均高程面上产生的变形

重庆高差起伏大, 海拔高在 160 米—1300 米之间, 由归算引起的最大变形为 $-20.38\text{cm}/\text{Km}$, 因此应采取适当措施减小因高程引起的归算变形。

3、改造后的平面控制网成果与原成果应基本保持一致, 以便原成果的可用性。

本文先就上述提出的问题结合重庆地区特点作理论分析, 从而得出重庆市独立坐标系控制网的扩建方法和原平面控制网的改造办法及改造后的控制网成果分析, 最后得出几点结论和建议。

二、扩建重庆市独立坐标系控制网几个问题的分析及处理

1、重庆市独立坐标系的高斯投影变形及分带

从椭球面上的大地线 s 投影到高斯平面上的边长 d 存在变形 ΔS :

$$\Delta S = d - s = \frac{y_m^2}{2R_m^2} \cdot s \quad (1)$$

(1)式中 R_m 为椭球平均曲率半径, Y_m 为大地线中心至中央子午线的距离。由(1)式可知, Δs 与 y_m^2 成正比, 离中央子午线越远, 变形

表一: 投影变形的变化分布

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $Y_m(\text{Km})$ | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 120 |
| $\Delta s(\text{cm/Km})$ | 0.03 | 0.12 | 0.28 | 0.49 | 0.77 | 1.11 | 1.51 | 1.97 | 2.49 | 3.72 | 17.70 |

由表一可以看出当 $Y_m = 45\text{Km}$ 时每公里变形为 2.49cm, 刚满足规范对此规定(即最大 2.5cm), 当 $Y_m = 120\text{Km}$ 时, 每公里变形为 17.70cm, 远超过规定。鉴于重庆市东西跨度 230Km, 重庆市独立系控制网决定分为三带, 即中带、西带、东带分别投影, 各带中央子午线分别为 $106^\circ 25' 09''.35$ 、 $105^\circ 40' 09''.35$ 、 $107^\circ 10' 09''.35$, 带宽 84Km, $|Y_m| = 42\text{Km}$, 这样各带中最大变形为 2.17cm/Km”

表二: 大地高的变化引起归算变形分布

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| $H_m(\text{m})$ | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 450 | 500 | 1300 |
| $\Delta D(\text{cm/Km})$ | 0 | -0.78 | -1.57 | -2.35 | -3.14 | -3.92 | -4.70 | -5.49 | -7.06 | -7.84 | -20.38 |
| $\Delta D_H(\text{cm/Km})$ | 4.70 | 3.92 | 3.14 | 2.35 | 1.57 | 0.78 | 0 | -0.78 | -2.35 | -3.14 | -15.68 |

由表二知, 当 H_m 为 150 米时, ΔD 为 -2.35cm/Km, 已接近 2.5cm/Km, 因此选择适当的归算面是必要的; 由于重庆市主城区和其它大部分地区的平均高程为 300 米, 因此重庆市独立坐标系选择 300 米高程面为归算面, 这样高程在 150 米至 450 米之间其归算变形均小于 2.5cm, 300 米处归算变形为 0(这里及表二中

表三: 重庆地区 Δ 的变化统计(节选)

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| $Y_m (\text{Km})$ | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | |
| $H (\text{米})$ | 0 | 25 | 4.73 | 4.83 | 4.98 | 5.20 | 5.47 | 5.81 | 6.21 | 6.67 | 7.19 |
| | 50 | 75 | 3.95 | 4.04 | 4.20 | 4.41 | 4.69 | 5.03 | 5.43 | 5.89 | 6.41 |
| | 100 | 125 | 3.17 | 3.26 | 3.41 | 3.63 | 3.90 | 4.24 | 4.64 | 5.10 | 5.62 |
| | 150 | 175 | 2.38 | 2.47 | 2.63 | 2.84 | 3.12 | 3.46 | 3.86 | 4.32 | 4.84 |
| | 200 | 225 | 1.60 | 1.69 | 1.84 | 2.06 | 2.34 | 2.67 | 3.07 | 3.53 | 4.06 |
| | 250 | 275 | 0.81 | 0.91 | 1.06 | 1.28 | 1.55 | 1.89 | 2.29 | 2.75 | 3.27 |
| | 300 | 325 | 0.03 | 0.12 | 0.28 | 0.49 | 0.77 | 1.11 | 1.51 | 1.97 | 2.49 |
| 350 | 375 | -0.75 | -0.66 | -0.51 | -0.29 | -0.02 | 0.32 | 0.72 | 1.18 | 1.71 | |

越大。表一列出离中央子午线一定距离处每公里变形大小(为方便仍用 Δs 表示, 以下讨论其它变形时表示方法类同)。

2、地面实测平距 D 归算至椭球面上的变形 ΔD

$$\Delta D = \left(\frac{N}{N + H_m} - 1 \right) \cdot D \quad (2)$$

(2)式中 N 为法线长(一般取地球半径), H_m 为平距 D 的大地高。表二列出不同的大地高处 D 归算至椭球面的变形 ΔD 及归算至海拔 300 米高程面的变形 ΔD_H 。

未考虑高程异常值)。

3、按 1 和 2 选择投影面和分带后 ΔD_H 、 ΔS 的综合影响 Δ

$$\Delta = \Delta D_H + \Delta S \quad (3)$$

表三列出了边长归算至城市平均高程面和高斯投影后每公里变形大小 Δ 。

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 400 | 425 | -1.54 | -1.44 | -1.29 | -1.08 | -0.80 | -0.46 | -0.06 | 0.40 | 0.92 |
| 450 | 475 | -2.32 | -2.23 | -2.08 | -1.86 | -1.58 | -1.25 | -0.85 | -0.39 | 0.14 |
| 500 | 525 | -3.10 | -3.01 | -2.86 | -2.64 | -2.37 | -2.03 | -1.63 | -1.17 | -0.65 |
| 550 | 575 | -3.89 | -3.80 | -3.64 | -3.43 | -3.15 | -2.81 | -2.41 | -1.95 | -1.43 |
| 600 | 625 | -4.67 | -4.58 | -4.43 | -4.21 | -3.93 | -3.60 | -3.20 | -2.74 | -2.21 |
| 650 | 675 | -5.46 | -5.36 | -5.21 | -5.00 | -4.72 | -4.38 | -3.98 | -3.52 | -3.00 |

重庆市辖区内主城区和其它大部分地区高程变化在 150 米至 450 米之间,其变形 Δ 均小于 2.5cm/Km,详见表三框线以内。表三框线外为重庆地区的东北角和东南角,其高程太大,变形 Δ 超过 2.5cm/Km,最大可达 13.19cm/Km,由于这些都是高山山脉或低谷,开发建设缓慢,暂不会使用,因此其变形没有考虑,今后若有特殊工程,可进行修正。

4、扩建和改造控制网位置基准及方位基准的选择

由于原市独立系控制网采用以歌乐山为原点,歌乐山至南星门之方位角为已知方位角;因此对重庆市独立坐标系控制网的扩建和改造仍采用以歌乐山为原点,即位置基准,以歌乐山到南星门之方位角为已知方位角,即方位基准,这样保证了新旧网基准的统一。

根据上述 4 个问题的分析和处理,重庆市独立坐标系平面控制网选择三个任意投影带,中带中央子午线与原独立系中央子午一致,以海拔 300 米高程面为投影面,位置基准和方位基准与原独立系采用相应基准相同,这样既达到了市独立系控制网扩建和改造之目的,又保证了规划、建设所需求的精度及原有资料的充分利用。

三、重庆市独立坐标系控制网扩建和旧网改造的方法。

1、重庆市独立坐标系的扩建

在上述分析处理的基础上,利用 GPS 技术,在全市范围(面积为 2.38 万 Km^2)内建立统一的高精度独立系控制网,即重庆市 GPS 网;该成果精度极高,可靠性强,最弱边边长相对精度为 1/29 万,最弱点点位中误差为 3.46cm。该成果经统一平差后分别转化为中带、

西带、东带成果,即将控制网扩建至全市范围。

2、原独立系二等网的改造

原二等网是我院于五十~六十年代之间建立。其布设程序是首先在主城区建立 18 个点三角网,即主网,然后在主网基础上建立北碚附合网、西彭附合网、江北南岸附合网、巴县附合网;其附合次数分别为一、二、三次,控制面积为 4600 Km^2 。经分析研究,原二等网误差累积较大,网的边缘大部分精度不能满足要求。

此次二等网改造以 GPS 主网点为坚强控制,原观测的 4 条基线为已知边,充分利用原有观测资料(有国测、我院观测资料),用武测研制的 GPSADJ. $V_{2.0}$ 软件反复模拟计算,剔除其粗差,最后平差确定。

在对二等网观测资料进行检核计算时,发现巴县附合网存在明显的系统差,因此二等网平差先将 72 点三角点(或称 72 点网)进行整体平差,然后将巴县 18 点三角点附合于 72 点网进行平差;平差结果精度见表八;二网改造范围见附图 1 实线标出范围。

3、原三、四等三角网的改造

原三、四等三角网布局散乱,多为插点形式,误差累积较大;建立于 50~60 年代及 84 年。

对三、四等网的改造按能合并的网就合并,组成三、四等联合平差网;不能合并的网则尽力组成图形强度较强的平差网;三、四等三角点分为近郊五区、北碚区、江北南岸、西彭、巴县五个区域,共组成 33 个平差网,各网以改造后的二等或三等三角网点和 GPS 网点为控制依据,用武测研制的 GPSADJ. $V_{2.0}$ 软件进行平差。改造三、四等三角点共 385 点,其主要精度指标见表四。改造三角点分布区域见附图 1。

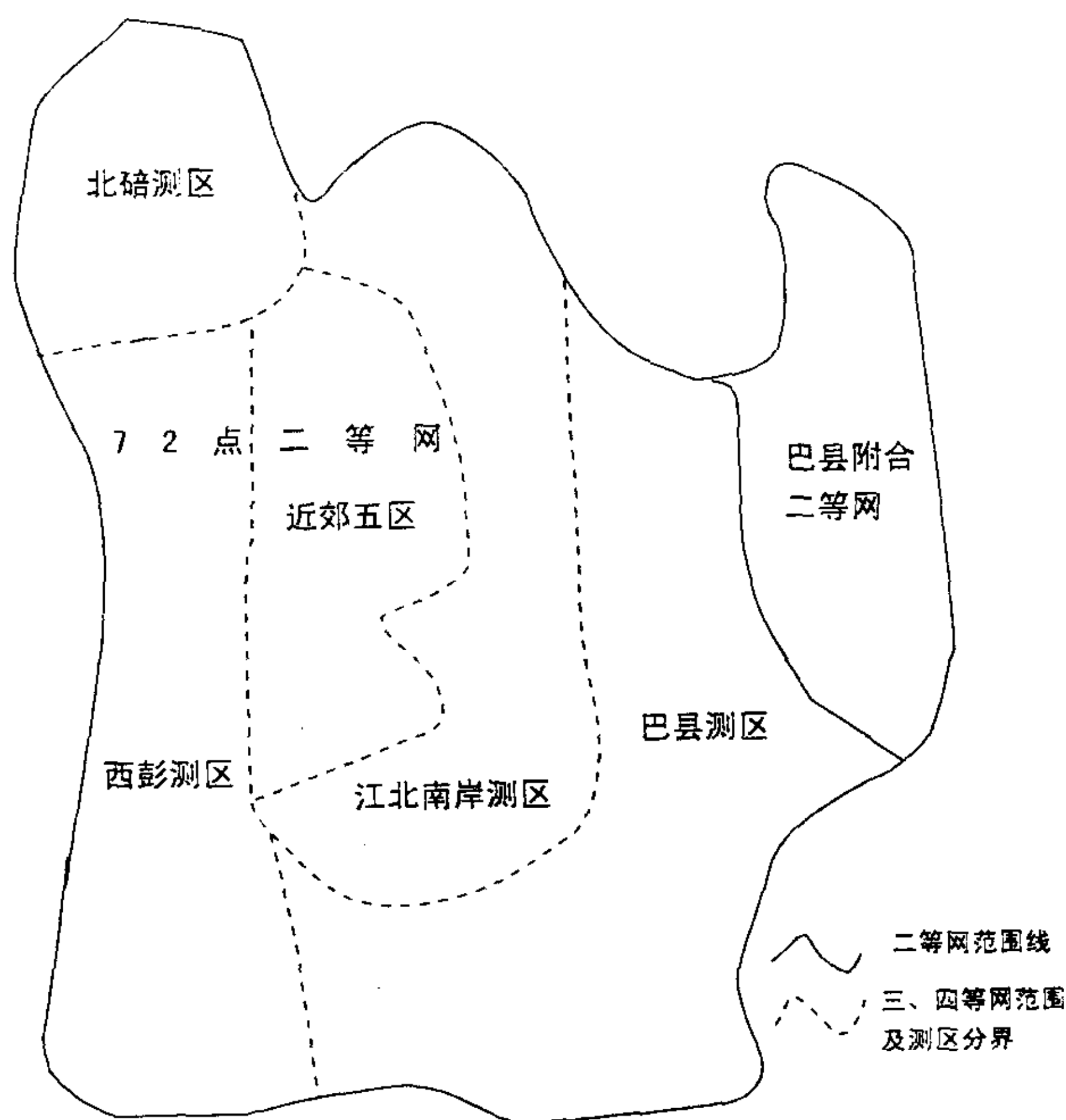


图1: 重庆市独立坐标改造范围示意

表四: 三、四等三角网平差后精度统计

| 名称 | $M_x(\text{cm})$ | $M_y(\text{cm})$ | $M_p(\text{cm})$ | A(Sec) | S(1/XX) |
|----|------------------|------------------|------------------|--------|---------|
| 平均 | 2.63 | 2.66 | 3.78 | 1.14 | 229718 |
| 最大 | 8.29 | 7.62 | 10.47 | 2.84 | 30887 |

4、四等导线网及四等 GPS 网的改造

四等导线网和四等 GPS 网均建立于近几年,其改造是以改造后的市二、三等三角点和市

GPS 网点为控制依据,利用原有观测资料重新平差;共改造 96 点。精度统计见表五、六。

表五: 四等导线网改造后精度统计

| 测区 (年、月) | 施测时间 | 已知点 | 未知点 | 相邻点位中误差(cm) | | 点位中误差(cm) | | 单位权中误差" |
|-------------|---------|-----|-----|-------------|------|-----------|------|---------|
| | | | | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | |
| 黄桷 | 1991 | 3 | 8 | 2.02 | 1.54 | 2.74 | 1.54 | ±1.6 |
| 市区 江北 南岸 | 1986 | 6 | 22 | 2.93 | 1.21 | 3.04 | 1.21 | ±1.19 |
| 北碚歇马 | 1991.12 | 3 | 12 | 2.18 | 1.49 | 3.16 | 1.53 | ±2.08 |
| 杨大区 | 1990.4 | 4 | 17 | 3.27 | 1.89 | 3.62 | 2.03 | ±4.21 |
| 人和 | 1991.8 | 3 | 5 | 3.99 | 2.79 | 4.56 | 3.37 | ±3.93 |
| 特钢 | 1992.6 | 2 | 3 | 1.17 | 1.00 | 1.33 | 1.15 | ±1.50 |
| 同兴特钢 | 1992.4 | 2 | 9 | 2.75 | 2.11 | 4.13 | 2.28 | ±3.48 |

表六： 四等 GPS 网改造后的精度统计

| 网 名 | | 坐标精度 (cm) | | | 方位精度 (sec) | 基线边长相对精度 |
|------------|----|-----------|-------|-------|------------|----------|
| | | M_x | M_y | M_p | M_T | 1/T |
| 鱼 咀 | 最大 | 1.85 | 1.38 | 2.25 | 1.25 | 274808 |
| | 平均 | 1.18 | 0.97 | 1.53 | 0.84 | 352932 |
| 望江机 器 厂 | 最大 | 1.52 | 1.32 | 1.97 | 3.22 | 137134 |
| | 平均 | 1.04 | 1.08 | 1.52 | 0.92 | 402319 |

四、二、三、四等平面控制网改造后的精度分析及坐标比较

1、精度评估方法

方法一：用边长相对精度评估。表七给出了各等级边长相对精度的限差。

表七： 各等级边长相对精度限差

| 等 级 | 二 等 | 三 等 | 四 等 |
|------|--------|-------|---------|
| 相对精度 | 1/12 万 | 1/8 万 | 1/4.5 万 |

方法二：用相邻点位误差评估。边长较短且边长相对精度低于表八规定，则用相邻点位误差评估；其计算方法有两种，即：

第一：按城测规范指定的各等级边长相对精度、平均边长、方向角中误差计算相应的相邻点点位中误差；二等、三等、四等分别为 8.68cm、7.62cm、5.06cm。

第二：按逐级控制的方法，从四等平面控制点相邻点位误差的限差 5.0cm 推求三等、二等的相邻点位误差之限差。

任何两点相对坐标 $\Delta X_{1,n+1}$ 、 $\Delta Y_{1,n+1}$ 有下列关系：

$$\Delta X_{1,n+1} = \sum_{i=1}^n \Delta x_{i,i+1}$$

$$\Delta Y_{1,n+1} = \sum_{i=1}^n \Delta y_{i,i+1}$$

根据误差传播定律：

$$m_{\Delta x_{1,n+1}}^2 = \sum_{i=1}^n m_{\Delta x_{i,i+1}}^2$$

$$m_{\Delta y_{1,n+1}}^2 = \sum_{i=1}^n m_{\Delta y_{i,i+1}}^2$$

而任何两点相对点位误差为：

$$m_{\Delta p_{i,i+1}}^2 = m_{\Delta x_{i,i+1}}^2 + m_{\Delta y_{i,i+1}}^2$$

$$m_{\Delta p_{i,n+1}}^2 = \sum_{i=1}^n m_{\Delta p_{i,i+1}}^2 \quad (4)$$

(4) 式取各相邻点点位误差相等，且为 5.0cm。

$$\text{则：} m_{\Delta p_{i,n+1}} = \pm 5 \sqrt{n} \quad (5)$$

取四等平均边长 2Km 作为基数，根据规范要求二、三等三角网的平均边长 9Km、5Km，按 (5) 式分别计算出二、三等三角网的最大相邻点点位误差分别为 10.6cm、7.9cm。

上述两种方法推求的相邻点位误差之限差，第二方法计算值较大，但证明了第一方法的可行性。在下述的精度评估中，二、三、四等三角网相邻点位误差之限差分别取 8.68cm、7.62cm、5.00cm。

二等三角网按方法一统计的边长相对精度有 17 条边超限，其边长大部分小于 7Km；按方法二统计的相邻点位精度有 2 条边不符合要求，即白云山—李家湾岭岗和李家湾岗—太平寨，其余均满足要求。

三等三角网按方法一统计的边长相对精度低于 1/8 万，有 24 条边，按方法二统计的相邻点位精度有 9 条边低于相应要求。

四等三角网按方法一统计有 17 条边之边长相对精度低于 1/4.5 万，按方法二仅 3 条边之相邻点位精度低于 5.0cm。

四等导线网和四等 GPS 网的各项精度指标均满足要求。

可见，重庆市二、三、四等平面控制网经改造后绝大部分能起到相应等级的控制作用，仅有个别几条边不能满足相应等级精度要求。此次改造在未动用任何仪器从事外业工作的情况下，达到上述精度是较为理想的。

2、改造前后精度比较

为了比较改造前后二、三、四等平面控制网的精度变化情况,表八、表九分别列出了二、三、四等三角网改造前后的主要精度指标(表九列

出主城区84年所作三、四等三角网的精度指标,因其余旧网无改造前精度指标),表十列出了改造前四等GPS网的精度指标。

表八：二等三角网改造前后精度比较

| 等级 | 名称 | 最弱点点位精度 (cm) | 平均点位精度 (cm) | 最弱边相对精度 (1/万) | 平均边长相对精度 (1/万) |
|----|-----|--------------|-------------|---------------|----------------|
| 二等 | 改造前 | 24.02 | 15.10 | 8.57 | 17.30 |
| | 改造后 | 9.46 | 5.94 | 8.99 | 21.44 |

表九：三、四等三角网改造前后精度比较

| 等级 | 名称 | 最弱点点位精度 (cm) | 平均点位精度 (cm) | 最弱边相对精度 (1/万) | 平均边长相对精度 (1/万) |
|------|-----|--------------|-------------|---------------|----------------|
| 三、四等 | 改造前 | 5.66 | 4.58 | 10.45 | 17.92 |
| | | 3.23 | 2.33 | 6.82 | 19.52 |
| | 改造后 | 4.16 | 3.20 | 11.09 | 18.43 |
| | | 3.89 | | 6.12 | |

表十：四等GPS网改造前精度统计

| 网名 | 精度名 项目 | 坐标精度 (cm) | | | 方位精度 (sec) | 基线边长相对精度 |
|-------|-----------|-----------|-------|-------|------------|----------|
| | | M_x | M_y | M_p | M_r | 1/T |
| 鱼咀 | 最大 | 1.43 | 1.21 | 1.78 | 1.22 | 193581 |
| | 平均 | 0.94 | 0.92 | 1.33 | 0.64 | 363240 |
| 望江机器厂 | 最大 | 1.71 | 1.94 | 2.59 | 3.67 | 122032 |
| | 平均 | 1.11 | 1.26 | 1.70 | 1.09 | 354070 |

由表八、九知,改造后三角网精度均有提高。二等网精度提高幅度较大,虽然其最弱边相对精度有所下降,但是原网中无4Km左右的短边;平均边长相对精度提高不大是因原网点数少,平均边长较长。三、四等网精度提高幅度虽小,但改造后其点位精度较均匀,更有利于低等级控制网的布设。

由于四等导线网改造前后精度变化甚微,

故这里不再提及。

从表六和表十知,改造后四等GPS网精度提高幅度较大:这说明用于GPS网改造的起始数据的兼容性更好。

3、改造前后坐标比较

各等级控制网改造后,点位坐标存在大小不同的差值。表十一列出了二、三、四等坐标较差的统计值。

表十一：改造前后控制点坐标较差统计值

| 等级 | 二等 | | | 三等 | | | 四等 | | |
|------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|
| | $\Delta X(m)$ | $\Delta Y(m)$ | 最大点位差(m) | $\Delta X(m)$ | $\Delta Y(m)$ | 最大点位差(m) | $\Delta X(m)$ | $\Delta Y(m)$ | 最大点位差(m) |
| 算术平均 | -0.015 | -0.001 | 1.403 | -0.063 | -0.055 | 1.112 | 0.076 | -0.037 | 0.772 |
| 绝对平均 | 0.221 | 0.226 | | 0.217 | 0.247 | | 0.146 | 0.131 | |

程管网、宗地、建筑物等要素的识别码首先确定定位分区代码,然后再分别确定相应要素所对应实体的代码结构,从而构成识别码。如道路与

路段识别码必须能反映道路的空间位置和标识,具体编码方案为:

| | | | |
|-----------------|----------|------------|----------|
| 定位分区 代码 × | 方向码 × | 路名码 ××× | 路段码 × |
|-----------------|----------|------------|----------|

而其它各种地理要素未发布国标前可结合具体情况编制识别码,待国标颁布再转换。

六、结束语

本文是在厦门市城市规划信息系统、广东清远市城市规划信息系统、江苏徐州市规划信息系统、广西柳州市城市规划信息系统及北京燕山石化规划管理信息系统、云岗地区规划信息系统数据库设计与建库的基础上,所提出的一套信息规范化建设方案。

参考文献

- [1]GB7929—87 1:500、1:1000、1:2000 地形图图式。
- [2]GBJ137—90 城市用地分类与规划建设用地标准。
- [3]GBJ13923—92 国土基础信息数据分类与代码。
- [4]《深圳市城市规划与国土管理信息系统基础信息分类编码方案》,中国测绘科学研究院编。
- [5]《中国城市地理信息系统信息分类体系及其编码规范化研究》,中国城市规划设计研究院编。

(上接 25 页)

由表十一知,改造前后坐标较差的算术平均比绝对值平均小得多,这说明改造前后控制网之系统误差比偶然误差小得多。

4、误差分析

重庆市二、三、四等三角网改造后个别精度超限和改造前后坐标值较大之原因为:

(1)原网执行“五九规范”,其外业观测精度低于现行《城测规范》要求,观测检校条件不充足,致使测角中误差有 1/2 超过现行规范要求。

(2)原网使用了不同时期、不同作业单位的观测资料,导致个别小范围内存在系统误差。

(3)原三、四等三角网结构散乱,多为插网形式,相互约束不够,其存在的粗差等不易发现。

(4)原网经多次附合扩展布设而成,边缘地区没有可靠的控制约束,误差累积较大。

(5)改造后二、三、四等三角网精度超限部分是由于图形强度较弱。

五、结论和建议

(1)重庆市独立坐标系统控制网的扩建和改造理论依据充分,采用分带和选择城市平均

高程面为投影面使得绝大部分地区变形小于 2.5cm/Km,仅部分高山和低凹地方变形偏大。

(2)利用 GPS 技术在全市先建立高精度控制网,然后对旧网进行改造,既不会改变旧网等级,又保证了旧网改造精度的提高;这种方法切实、有效。

(3)对三、四等三角网改造采用联合平差方法优于三、四等分别独立平差;将三、四等网联合平差易于发现粗差,模型上更为可靠优越。

(4)改造后各等级控制网绝大部分精度符合《城市规范》要求,仅个别边不符合要求;建议采用适当的外业措施提高其精度,使之达到相应要求。

(5)重庆市独立坐标系成果改算前后存在差值,且部分点成果差值大。建议应用原地形图时,根据其精度要求加以适当的改正。

(6)在个别高程值较大或较小的地方运用市独立系统成果进行精密测量时,应考虑高程引起的变形,加适当的改正。

参考文献

- [1]城市测量规范,中国建筑工业出版社,1985年。
- [2]椭球大地测量学,熊介编著,解放军出版社。