

GPS 技术运用于公路测量时 应解决好的三个问题

谢知恩 徐平良 兰启贵

(四川省第一测绘工程院, 四川 成都 610100)

[摘要] 本文基于作者多年的 GPS 数据处理经验, 提出了 GPS 应用于长距离公路测量时, 在布网、基线解选用、投影补偿面确立等三个过程中的一些问题和解决方法。

[关键词] 联测; 点连接; 基线解; 独立环; 投影补偿面

[中图分类号] P228.4 [文献标识码] A [文章编号] 1001-8379(2007)01-0028-06

THREE PROBLEMS TO BE SOLVED IN APPLYING GPS TECHNIQUE TO ROAD SURVEYING

XI Zhi-en, XU Ping-liang, LAN Qi-gui

(Sichuan No. 1 Surveying and Mapping Engineering Institute, ChengDu 610100, China)

Abstract: According to about ten years' experience of GPS data processing, the author put forward some distinctive opinions on applying GPS technique to long range road surveying, in network layout, choice and adoption of baseline calculation, and determination of projection balance plane.

Key words: connection surveying; point connection; baseline calculation; independent loop; projection balance plane

1 坐标系统的建立

进行公路测量时坐标系统的建立一般要做以下两项工作:

(1) 联测国家坐标系统(北京 54 系或西安 80 系)已知点。

联测国家坐标系统(北京 54 系或西安 80 系)已知点, 是公路测量规范的规定。制定此项规定的初衷应该是控制或提高公路 GPS 网的精度。但在实际测量时我们会发现, 由于国家坐标系统(北京 54 系或西安 80 系)已知点是运用常规测量手段施测的, 其精度(边长相对精度)与同样边长的 GPS 边相比, 要低一至二个数量级, 54 北京坐标系成果尤为明显。本来精度很好的网, 一旦引入两个或两个以上的已知点, 精度就急剧下降。在它的干扰下, 为了提高 GPS 网的精度所采取的一切措施, 包括边连接、大地四边形等等, 都基本上起不了作用。由于以上原因, 建议在进行公路测量设计时, 如无十分的必要, 不要引入国家坐标系统已知点。当然, 如果已知点是由 GPS 测量手段所获得, 则可放心的引入。

(2) 建立公路补偿坐标系统。

为了使每公里边长变形小于 2.5cm, 要建立公路补偿坐标系统。影响边长变形的因素有两个, 一是投影面的高程, 一是投影面所在的中央子午线。对于地势平缓, 范围小的 GPS 网, 只须设计一套补偿

坐标系统就可以了。但对于公路里程很长的 GPS 网, 如果只设计一套补偿坐标系统, 解决不了每公里边长变形小于 2.5cm 的问题; 如果因地势设计七到八个补偿坐标系统, 每公里边长变形小于 2.5cm 的问题能解决了, 却又出现了分带问题, 坐标不能连续。可分如下三步来解决这个问题。

第一步, 算出 GPS 网在 80 西安坐标系中的坐标、边长、方位角, 由 GPS 平差软件完成。

第二步, 算出各 GPS 点的高程, 由 5 秒导线组完成;

第三步, 根据各 GPS 点的高程, 将 GPS 观测边在 80 西安坐标系中的边长反算至实际高程面上作为已知边长; 以 GPS 网在 80 西安坐标系中的方位角为已知方位角, 对 5 秒导线网进行平差计算。这个过程就是“公路坐标系”的建立过程。

这样可以同时解决边长变形和坐标不连续的问题。但有两个新的问题:

一是给 5 秒导线组增加很多不必要的工作量, 增加了成本。

二是其投影补偿面(包括中央子午线)没有固定, 而是随着 GPS 网的同步环的推进在不断的游动。如果是航测成图, 内业加密时将找不着投影补偿面(包括中央子午线), 而只能先将公路分成若干段, 在每段内虚拟一个投影面对其加密点强行平差, 其

平差精度将大幅度降低（甚至降低一个数量级）。

下面是一个更好地解决方法。如图1所示：

A、B两点为GPS网的第一对点，X、Y两点为GPS网的最后一对点。

第一步，在GPS基线解算完全正确的前提下，先建立一个统一的坐标系，对GPS全网进行平差计算。此坐标系具有明确的投影补偿面（包括中央子午线），后称总坐标系。

第二步，将GPS网分成若干带，一带中包括GPS点对若干对。例如ABCD为第一带，CDEF为第二带，EFGH为第三带，NMXY为最后一带。分带以每公里边长变形小于2.5CM为第一前提，在此前提下，带分得越少越好，并建立各分带的投影补偿面（包括中央子午线）。

第三步，将在总坐标系中经过平差计算的GPS网分带投影至各分带的投影补偿面（包括中央子午线）上，得到其相应的平差向量。

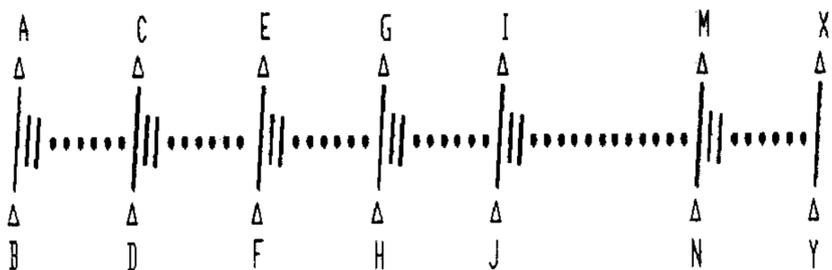


图1

第四步，为了直观起见，假设G点为整个GPS网的中心点。以G点在总坐标系中的坐标为已知值，以GF边在总坐标系中的方位角为已知方位角，将GHEF带在第三步中得到的相应平差向量进行平移和旋转，得到GHEF带的补偿坐标系成果。

第五步，以E点在GHEF带中的补偿坐标系成果为已知值，以ED边在总坐标系中的方位角为已知方位角，将EFGH带在第三步中得到的相应平差向量进行平移和旋转，得到EFGH带的补偿坐标系成果。

第六步，以C点在EFGH带中的补偿坐标系成果为已知值，以CB边在总坐标系中的方位角为已知方位角，将CDAB带在第三步中得到的相应平差向量进行平移和旋转，得到CDAB带的补偿坐标系成果。

以上步骤重复进行，直推至GPS网第一对点A、B点。至此，由中心点G向前至GPS网第一对点A、B点的补偿坐标系就建立了起来。同理，由中心点G

向后至GPS网最后一对点X、Y点的补偿坐标系也可建立起来。

按照上面的方法，分带点的南点（如D、F、H……M等点）会出现双值，但由于其点对边长不长（一般小于1公里），其差值并不大（一般小于1厘米），可取平均值而使其坐标唯一，另一值也可只作互为检核用。

2 参与平差的基线的选取

GPS测量规范规定，应选取合格的独立基线组环参与平差计算（否定了边连接提高精度的说法）。这样，很多多余观测值（例如重复基线）就失去了作用。其实可以用解算合格的全部基线参与平差，这样不仅省去了用独立基线组环的工作，又提高了精度。

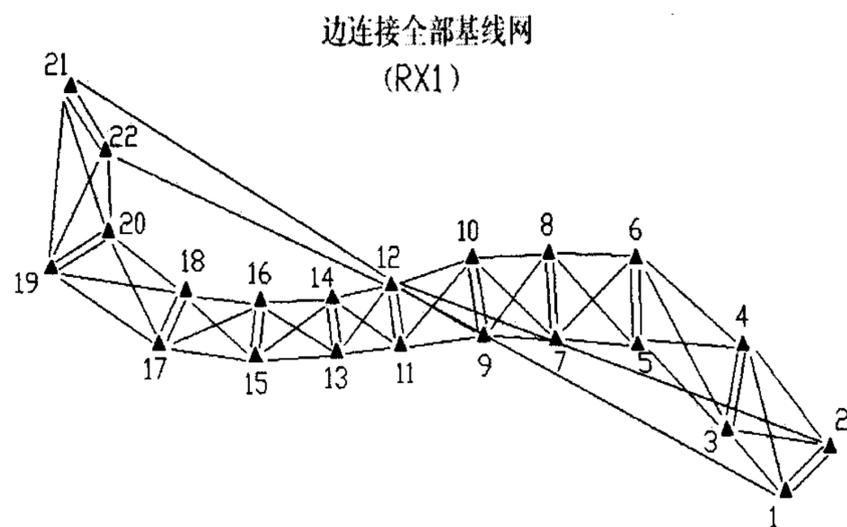


图2

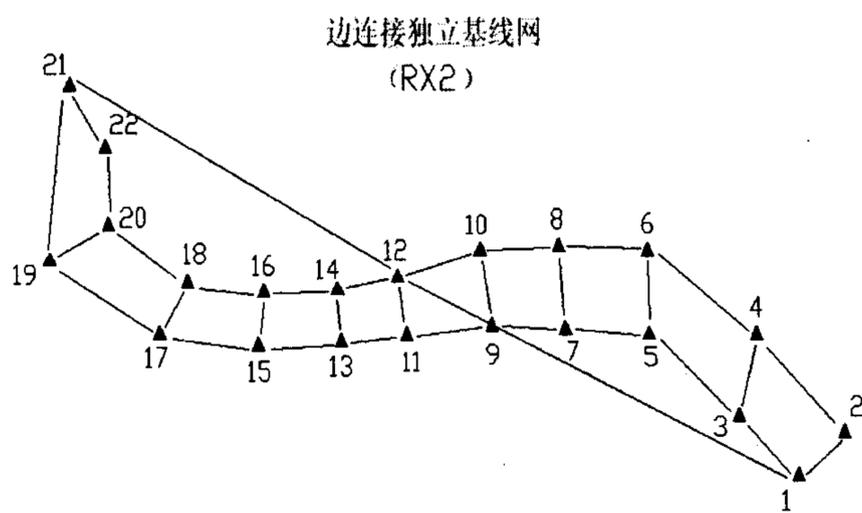


图3

规范之所以规定选取合格的独立基线组环参与平差计算，其理论依据是同步环闭合差为零。如果用经解算合格的全部基线参与平差，就增加了某些观测向量的权，导致平差结果的变化。那么，这种变化究竟有多大呢？下面就以某测量单位施测的国道某线四等GPS网（图2）为算例（总长62KM，11对

GPS 点)来说明这个问题。图 2 为边连接全部基线网 (RX1)。将此网投影至 1954 北京坐标系平面 (取尺度比 $k=1$, 取中央子午线 $L=90^\circ$) 上, 进行单点约束平差 (约束 1 号点), 其点位精度见表 1 中的 M1; 短基线边长相对中误差见表 2 中的 (RX1); 坐标成果见表 3 中的 X1、Y1。

图 3 为重组的独立基线网 (RX2)。将此网投影至 1954 北京坐标系平面 (取尺度比 $k=1$, 取中央子午线 $L=90^\circ$) 上, 进行单点约束平差 (约束 1 号点), 其点位精度见表 1 中的 M2; 短基线边长相对中误差见表 2 中的 (RX2); 坐标成果见表 3 中的 X2、Y2。

从表 1 看出, 两网的点位精度都很好, 最大点位中误差分别为 $\pm 1.0\text{cm}$ 和 $\pm 1.1\text{cm}$, 两者相差最大

的仅为 $\pm 0.3\text{cm}$, 边连接全部基线网 (RX1) 的精度较好 (虽然可忽略不计);

从表 2 看出, 两网的边长相对中误差都很好, 最大边长相对中误差分别为 $1/202846$ 和 $1/160094$, 边连接全部基线网 (RX1) 的精度较好 (虽然可忽略不计);

从表 3 看出, 两网的点位位置相差很小, 两者相差最大的仅为 $\pm 0.6\text{cm}$ 。而此点距起算点的距离, 已在 41 公里以外。所以, 这个差值也是可以忽略不计的。

根据以上讨论, 可认为, 用经解算合格的全部基线 (RX1) 参与平差就可以了, 虽然其精度的提高是可以忽略不计和不必要的, 但却省去了重新组网的工作。

测绘信息网www.othermap.com网友测绘人提供

表 1 点位中误差对比表

点号	至 G001 距离	边连接全部基线网	边连接独立基线网	点连接全部基线网
		M1 ($\pm\text{m}$)	M2 ($\pm\text{m}$)	M5 ($\pm\text{m}$)
g001	0	0	0	0
g002	723.847m	0.003	0.006	0.004
g003	6385.334m	0.005	0.007	0.006
g004	6577.224m	0.005	0.007	0.007
g005	11332.109m	0.007	0.008	0.007
g006	11744.692m	0.006	0.008	0.008
g007	18555.789m	0.006	0.008	0.007
G008	19024.969m	0.006	0.008	0.007
g009	26023.511m	0.006	0.007	0.006
g010	26686.177m	0.006	0.007	0.006
g011	32461.459m	0.005	0.005	0.005
g012	32987.880m	0.006	0.006	0.006
g013	40548.983m	0.008	0.009	0.008
g014	41390.138m	0.008	0.009	0.008
g015	48695.483m	0.009	0.01	0.009
g016	49409.299m	0.009	0.01	0.01
g017	56783.183m	0.009	0.01	0.01
g018	57525.423m	0.009	0.011	0.01
g019	61220.044m	0.009	0.011	0.01
G020	61268.661m	0.009	0.011	0.01
g021	61768.119m	0.01	0.011	0.01
g022	61977.838m	0.01	0.01	0.01

3 边连接与点连接布网

某测量单位在施测公路四等 GPS 网时, 设计明确要求边连接布网 (即 RX1 型布网)。在 GPS 组具有

四台接收机时, 这样设计是正确的。但在只有三台接收机时, 这样设计就太苛刻和笨重了。每测一个环, 就相当于只测了一个点。与点连接布网 (即 RX5

型布网) 相比, 工作量增加近一半。设计理由是提
高 GPS 网的精度。

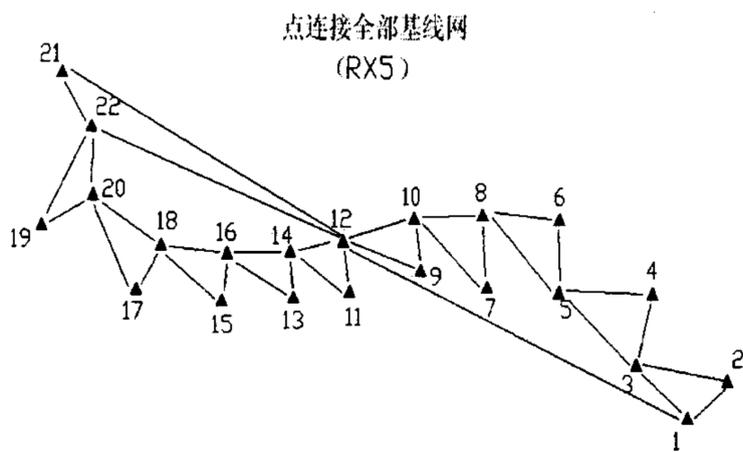


图 4

GPS 测量本身是高精度的测量, 相对于四等 GPS 网和其将要控制的 5 秒导线, 边连接比点连接所提高的精度究竟有多少? 是否必要呢? 为了说明这个问题, 我们将某测量单位施测的国道某线四等 GPS 网重组一个上基线网 (RX3) 和一个下基线网 (RX4), 它们都是由 1 号点出发, 单点单基线连接, 经不同的路线 (没有一个连接点互相重合) 到达 22 号点, 全程直线距离 62 公里。

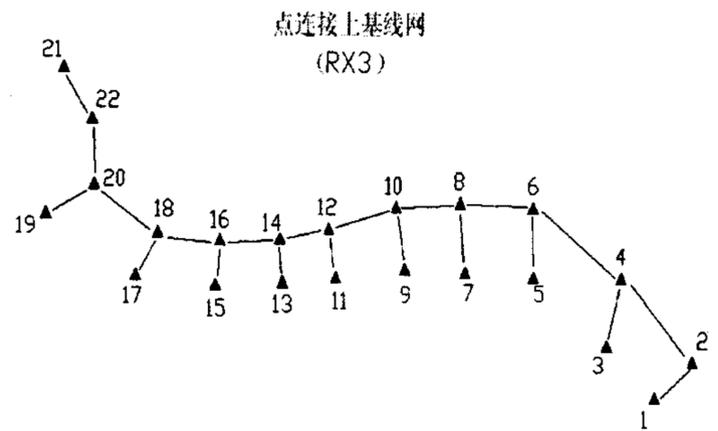


图 5

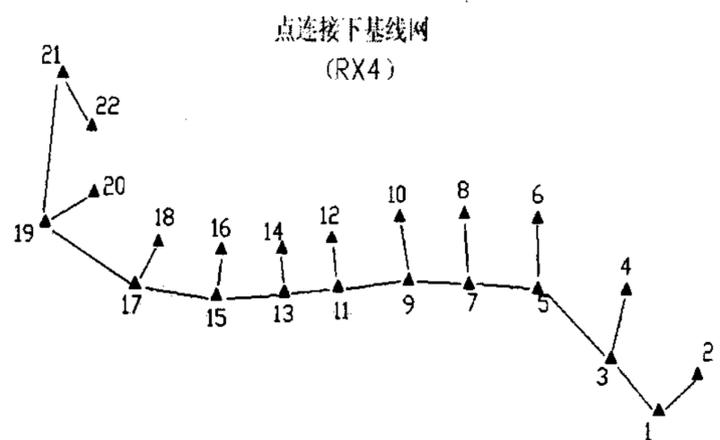


图 6

表 2 短基线(最弱)边长相对中误差比较表

起点	止点	边长	边长相对中误差		
			边连接全部基线网 (RX1)	边连接独立基线网 (RX2)	点连接全部基线网 (RX5)
g001	g002	723.847m	1/297209	1/176720	1/272176
g003	g004	738.663m	1/340693	1/243250	1/277623
g005	g006	469.973m	1/269755	1/222222	1/191172
g007	G008	515.546m	1/425895	1/363800	1/287110
g009	g010	691.164m	1/536750	1/477556	1/332405
g011	g012	607.440m	1/359024	1/251888	1/291545
g013	g014	851.192m	1/458088	1/336372	1/368877
g015	g016	714.091m	1/367624	1/294985	1/262303
g017	g018	806.041m	1/428067	1/324520	1/329608
g019	G020	623.929m	1/308234	1/214525	1/240686
g021	g022	528.519m	1/202846	1/160094	1/138479

将此两网投影至 1954 北京坐标系平面 (取尺度比 $k=1$, 取中央子午线 $L=90^\circ$) 上, 进行单点约束平差 (约束点皆为 1 号点), 其坐标成果比对于表 4。从表 4 知, 最大位置差仅为 3.2 厘米, 而其点位距离起算点 (1 号点) 的直线距离已在 48 公里以外。两网的坐标附合得如此完美, 这是常规的一等三边网

都达不到的 (这再一次应证了 GPS 网比常规网的精度要高一至二个数量级)。为了更好地说明问题, 将点连接全部基线网 (RX5) 投影至 1954 北京坐标系平面 (取尺度比 $k=1$, 取中央子午线 $L=90^\circ$) 上, 进行单点约束平差 (约束点皆为 1 号点), 其坐标成果与边连接全部基线网 (RX1) 坐标成果比对如表 5。

表 3 边连接全部基线网 (RX1) 和边连接独立基线网 (RX2) 坐标比对表

点号	至 G001 距离	边连接全部基线网 (RX1)		边连接独立基线网 (RX2)		位置差
		X1	Y1	X2	Y2	
g001	0	3242200	390600	3242200	390600	0
g002	723.847m	3242865.82	390316.0311	3242865.823	390316.0326	0.003
g003	6385.334m	3247178.585	386601.7274	3247178.585	386601.7274	0
g004	6577.224m	3247749.756	387070.1153	3247749.757	387070.1159	0.001
g005	11332.109m	3250147.303	382521.8156	3250147.301	382521.8157	0.002
g006	11744.692m	3250271.765	382068.6227	3250271.764	382068.6229	0.001
g007	18555.789m	3249536.928	373556.3267	3249536.927	373556.3262	0.001
G008	19024.969m	3249523.226	373040.9629	3249523.225	373040.9623	0.001
g009	26023.511m	3249702.231	365681.339	3249702.228	365681.3389	0.003
g010	26686.177m	3249702.594	364990.1751	3249702.592	364990.1745	0.002
g011	32461.459m	3249354.815	358936.8515	3249354.813	358936.8498	0.003
g012	32987.880m	3249172.509	358357.4142	3249172.505	358357.4139	0.004
g013	40548.983m	3249581.636	350728.5628	3249581.633	350728.5622	0.003
g014	41390.138m	3249605.244	349877.6981	3249605.239	349877.6948	0.006
g015	48695.483m	3246767.768	342119.225	3246767.764	342119.2237	0.004
g016	49409.299m	3246854.604	341410.433	3246854.6	341410.4309	0.005
g017	56783.183m	3250307.85	334398.6422	3250307.846	334398.6406	0.004
g018	57525.423m	3250100.606	333619.699	3250100.602	333619.6976	0.004
g019	61220.044m	3254752.767	330680.7056	3254752.762	330680.7045	0.005
G020	61268.661m	3255371.137	330763.8069	3255371.132	330763.806	0.005
g021	61768.119m	3258187.806	330936.8576	3258187.8	330936.8564	0.006
g022	61977.838m	3258710.984	330861.9065	3258710.979	330861.9061	0.005

表 4 点连接上单基线网 (RX3) 和点连接下单基线网 (RX4) 坐标比对表

点号	至 G001 距离	点连接上单基线网 (RX3)		点连接下单基线网 (RX4)		位置差
		X3	Y3	X4	Y4	
g001	0	3242200.0000	390600.0000	3242200.0000	390600.0000	0
g002	723.847m	3242865.8229	390316.0347	3242865.8226	390316.0347	0
g003	6385.334m	3247178.5862	386601.7295	3247178.5891	386601.7370	0.008
g004	6577.224m	3247749.7579	387070.1171	3247749.7606	387070.1243	0.008
g005	11332.109m	3250147.3057	382521.8247	3250147.3112	382521.8261	0.005
g006	11744.692m	3250271.7693	382068.6313	3250271.7748	382068.6329	0.006
g007	18555.789m	3249536.9335	373556.3349	3249536.9401	373556.3469	0.013
G008	19024.969m	3249523.2318	373040.9706	3249523.2384	373040.9829	0.014
g009	26023.511m	3249702.2336	365681.3528	3249702.2448	365681.3609	0.014
g010	26686.177m	3249702.5982	364990.1884	3249702.6093	364990.1967	0.014
g011	32461.459m	3249354.8182	358936.8646	3249354.8319	358936.8779	0.019
g012	32987.880m	3249172.5103	358357.4285	3249172.5239	358357.4420	0.019
g013	40548.983m	3249581.6394	350728.5749	3249581.6542	350728.5958	0.026
g014	41390.138m	3249605.2461	349877.7072	3249605.2608	349877.7284	0.026
g015	48695.483m	3246767.7724	342119.2351	3246767.7898	342119.2617	0.032
g016	49409.299m	3246854.6068	341410.4416	3246854.6241	341410.4685	0.032
g017	56783.183m	3250307.8568	334398.6522	3250307.8655	334398.6757	0.025
g018	57525.423m	3250100.6145	333619.7090	3250100.6232	333619.7328	0.025
g019	61220.044m	3254752.7696	330680.7200	3254752.7838	330680.7382	0.023
G020	61268.661m	3255371.1420	330763.8186	3255371.1560	330763.8367	0.023
g021	61768.119m	3258187.8166	330936.8653	3258187.8188	330936.8868	0.022
g022	61977.838m	3258710.9978	330861.9147	3258710.9998	330861.9362	0.022

表 5 边连接全部基线网 (RX1) 和点连接全部基线网 (RX5) 坐标对比表

点号	至 G001 距离	边连接全部基线网 (RX1)		点连接全部基线网 (RX5)		位置差
		X1	Y1	X5	Y5	
g001	0	3242200	390600	3242200	390600	0
g002	723.847m	3242865.82	390316.0311	3242865.819	390316.0296	0.002
g003	6385.334m	3247178.585	386601.7274	3247178.584	386601.7272	0.001
g004	6577.224m	3247749.756	387070.1153	3247749.753	387070.1142	0.003
g005	11332.109m	3250147.303	382521.8156	3250147.302	382521.8152	0.001
g006	11744.692m	3250271.765	382068.6227	3250271.762	382068.622	0.003
g007	18555.789m	3249536.928	373556.3267	3249536.924	373556.3254	0.004
G008	19024.969m	3249523.226	373040.9629	3249523.222	373040.9615	0.004
g009	26023.511m	3249702.231	365681.339	3249702.23	365681.3369	0.002
g010	26686.177m	3249702.594	364990.1751	3249702.591	364990.1736	0.003
g011	32461.459m	3249354.815	358936.8515	3249354.813	358936.8495	0.003
g012	32987.880m	3249172.509	358357.4142	3249172.507	358357.4118	0.003
g013	40548.983m	3249581.636	350728.5628	3249581.632	350728.5583	0.006
g014	41390.138m	3249605.244	349877.6981	3249605.241	349877.6952	0.004
g015	48695.483m	3246767.768	342119.225	3246767.765	342119.22	0.006
g016	49409.299m	3246854.604	341410.433	3246854.601	341410.4284	0.005
g017	56783.183m	3250307.85	334398.6422	3250307.846	334398.6373	0.006
g018	57525.423m	3250100.606	333619.699	3250100.602	333619.6946	0.006
g019	61220.044m	3254752.767	330680.7056	3254752.764	330680.6999	0.006
G020	61268.661m	3255371.137	330763.8069	3255371.133	330763.8006	0.007
g021	61768.119m	3258187.806	330936.8576	3258187.804	330936.8552	0.003
g022	61977.838m	3258710.984	330861.9065	3258710.979	330861.905	0.005

从表 1 看出, 两网的点位精度都很好, 最大点位中误差分别为 $\pm 1.0\text{cm}$ 和 $\pm 1.0\text{cm}$, 两者相差最大的仅为 $\pm 0.2\text{cm}$, 边连接全部基线网 (RX1) 的精度较好 (虽然可以忽略不计);

从表 2 看出, 两网的边长相对中误差都很好, 最大边长相对中误差分别为 $1/202846$ 和 $1/138479$, 边连接全部基线网 (RX1) 的精度较好 (虽然可以忽略不计);

从表 5 看出, 两网的点位位置相差很小, 两者相差最大的仅为 $\pm 0.7\text{cm}$ 。而此点距起算点的直线距离, 已在 61 公里以外。所以, 这个差值也是可以忽略不计的。

据此可认为, 相对于四等 GPS 网和其将要控制的 5 秒导线, 将 GPS 网设计成边连接所提高的精度是可以忽略不计的和不必要的, 点连接就足足有余了。

4 结束语

对于一般的工程测量, GPS 网的内附合精度主要取决于其观测精度 (对中情况、观测时间长短) 和基线解算精度。GPS 基线实际上是向量, 同时具有边长、方位 (不同于方位角) 等信息。一条基线的质量好坏, 不会以水平 (或垂直) 夹角的形式去影响另一条相邻的基线, 这一点与常规测量不同。也正是这样的不同, 大大地提高了 GPS 网的精度。GPS 基线解要么不合格, 一旦合格, 所组成的网的精度就会非常的好。所以, 常规测量中强调的网形, 多余观测值等, 就显得没有太大的必要了。

[收稿日期] 2006-10-15

[作者简介] 谢知恩 (1963—), 男, 四川绵阳人, 大地测量学学士, 工程师, 从事 GPS 数据处理工作十年。