

一、工程前期类

1 大型桥梁测控及放样

引言：控制测量是指在测区内，按照测量任务所要求的精度，测定一系列控制点的平面位置和高程，建立起测量控制网，作为各种测量的基础。控制网具有控制全局、限制测量误差累积的作用。

工程测量需布设专用控制网，作为施工放样和变形观测的依据。常用的施工控制网有卫星定位测量网、导线测量网、三角形网等。

施工测量的目的是保障建筑物空间位置及几何尺寸的准确性，将误差控制在规定范围之内，以满足建筑物明确和隐含的功能需要。其主要任务是将设计图纸上建筑物的位置用测量方法精确地设置到地面上，作为各项工程建设施工的依据。

算例 1：

某长江公铁两用特大桥，全长 6 317.8 m。其中公铁合建段长度 2 015.9 m，铁路分建段长度 4 301.9 m。主桥铁路按铁路双线、公路按一级公路四车道设计。

从北到南，桥跨布置为：31 × 32 m 简支 T 梁（北岸引桥）+（98 + 182 + 518 + 182 + 98）m 双塔钢桁斜拉桥（主桥，全长 1 078 m）+ 4 × 94.5 m 连续钢桁梁（正桥 6[#] ~ 10[#]墩）+ 78 × 32 m 简支 T 梁（南岸滩地引桥）+（45 + 70 + 70 + 45）m 预应力混凝土连续箱梁（跨第二道子堤）+（50 + 80 + 50）m 预应力混凝土连续箱梁（跨南岸干堤）+ 27 × 32 m 简支 T 梁（南岸引桥）。

1 卫星定位控制测量

图 1 是该长江大桥平面控制网形图。

主桥跨江部分由双大地四边形组成，南北引桥部分为四边形，复测时主桥和引桥合并组网，整体平差。该控制网遵循与设计单位建网时相同的构网原则，平面控制网复测组网以三角形为基本构网图形，按边联式和网联式组成带状网。

1.1 外业观测

作业前按要求进行仪器检校。对中设备采用精密对点器，对中精度小于 2 mm，在作业前及作业过程中对基座水准器、光学对点器进行检校，确保其状态正常。

观测严格执行调度计划，按规定时间进行同步观测作业。

使用 4 台接收机（跨江时 6 台）进行作业，采用同步静态观测模式。

控制网按铁路二等测量精度进行。

2 桥梁暨市政工程施工常用计算实例

同步观测时段数为 2，每时段观测 90 min。

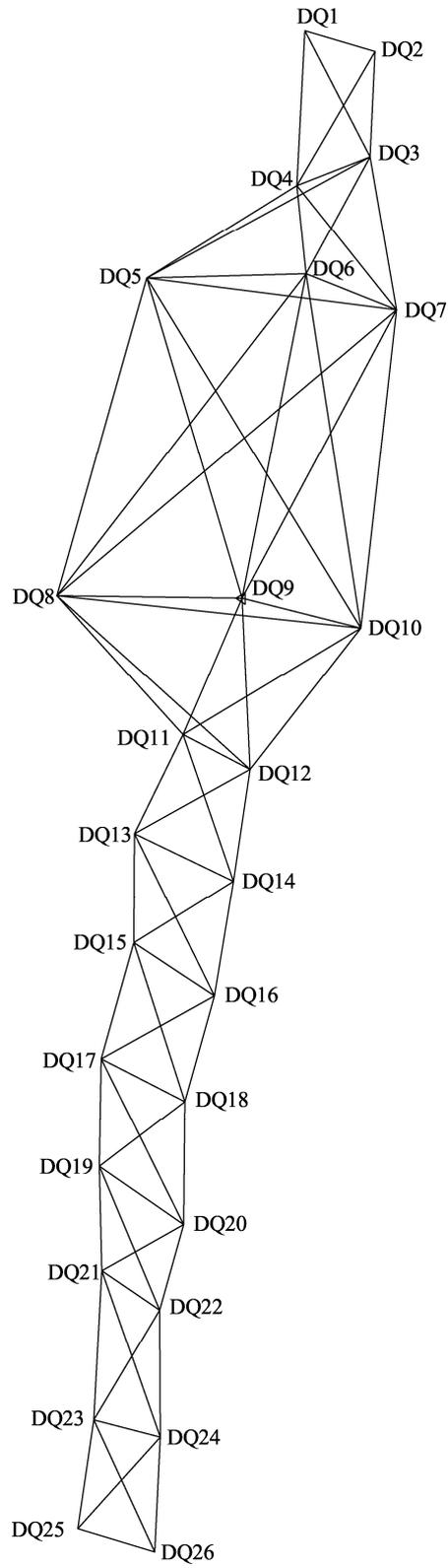


图 1 某长江大桥卫星定位控制网图

4 桥梁暨市政工程施工常用计算实例

作业过程中，天线安置严格整平、对中。

卫星高度角设定为 15° ，数据采样间隔设定为 15 s ，确保同步观测有效卫星数不少于 4 颗。每时段观测前后分别量取天线高，误差小于 3 mm 时取两次丈量的平均值作为最终结果。一个时段观测结束后，需重新对中整平仪器，再进行第二时段的观测。

1.2 基线解算分析

基线解算采用广播星历，用 Trimble 商业软件 TBC2.50 进行，采用双差固定解求解基线向量。网平差采用 CosaGPS 软件。复测基线共 166 条，基线采用率 100%。基线质量检验限差见表 1.2-1。

表 1.2-1 基线质量检验限差表

检验项目	限 差 要 求			
	X 坐标分量闭合差	Y 坐标分量闭合差	Z 坐标分量闭合差	环线全长闭合差
同步环	$w_x \leq \frac{\sqrt{n}}{5}\sigma$	$w_y \leq \frac{\sqrt{n}}{5}\sigma$	$w_z \leq \frac{\sqrt{n}}{5}\sigma$	$w \leq \frac{\sqrt{3n}}{5}\sigma$
独立环	$w_x \leq 3\sqrt{n}\sigma$	$w_y \leq 3\sqrt{n}\sigma$	$w_z \leq 3\sqrt{n}\sigma$	$w \leq 3\sqrt{3n}\sigma$
重复基线较差	$d_s \quad 2\sqrt{2}\sigma$			

注： σ ——基线测量中误差（mm）， $\sigma = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$ 为相应级别规定的基线的精度，计算时采用外业测量时使用的卫星接收机的标称精度，计算边长按实际平均边长计算。
 n ——闭合环边数。

基线向量异步环闭合差：根据表 1.2-1 的计算公式，得出异步环闭合差统计表（表 1.2-2）。

表 1.2-2 控制网环闭合差统计表

闭合环个数	异步环闭合差 W (mm)				
	$W \leq 1/3$ 限差	$2/3$ 限差	$W > 1/3$ 限差	限差 $W > 2/3$ 限差	$W >$ 限差
44	37		5	2	0

用 CosaGPS 软件导出的异步环闭合差结果（部分）见表 1.2-3。

表 1.2-3 用 CosaGPS 软件导出的异步环闭合差结果（部分）

异步环闭合差计算结果^①

环号	线路各点名	X 闭合差限差 (mm)	X 闭合差 (mm)	Y 闭合差限差 (mm)	Y 闭合差 (mm)	Z 闭合差限差 (mm)	Z 闭合差 (mm)	S 闭合差限差 (mm)	S 闭合差 (mm)	线路总长度 (m)	ppm	备注 ^②
1,	DQ23	DQ22	DQ24	26.08,	-1.50,	26.08,	5.60,	26.08,				
2.50,	45.18,	6.31,	1336.2680,	4.72,	合格 ^③							
2,	DQ12	DQ9	DQ11	26.14,	0.40,	26.14,	-0.40,	26.14,				
-0.60,	45.27,	0.82,	1637.5097,	0.50,	合格 ^③							
3,	DQ21	DQ19	DQ20	26.07,	-3.10,	26.07,	17.10,	26.07,				
13.10,	45.15,	21.76,	1243.6453,	17.50,	合格 ^③							
4,	DQ19	DQ20	DQ22	26.10,	23.20,	26.10,	-17.00,	26.10,				
-15.30,	45.20,	30.95,	1430.5604,	9.59,	合格 ^③							
5,	DQ3	DQ6	DQ7	26.13,	0.20,	26.13,	-0.80,	26.13,				
-0.10,	45.26,	0.83,	1600.4990,	0.52,	合格 ^③							
6,	DQ7	DQ6	DQ4	26.10,	-1.50,	26.10,	10.10,	26.10,				
5.30,	45.20,	11.50,	1432.8328,	8.03,	合格 ^③							
7,	DQ4	DQ6	DQ5	26.16,	0.40,	26.16,	-9.50,	26.16,				
-4.30,	45.31,	10.44,	1760.6351,	5.93,	合格 ^③							
8,	DQ3	DQ6	DQ4	26.07,	-0.00,	26.07,	3.40,	26.07,				
0.10,	45.15,	3.40,	1245.5367,	2.73,	合格 ^③							

1.3 重复基线较差

根据表 1.2-1 的计算公式，得出重复基线较差统计表（表 1.3-1）。

表 1.3-1 重复基线较差统计表

重复观测 基线数	重复观测基线较差 d_s (mm)			
	$d_s \leq 1/3$ 限差	$2/3$ 限差 $d_s > 1/3$ 限差	限差 $d_s > 2/3$ 限差	$d_s >$ 限差
97	91	6	0	0

用 CosaGPS 软件导出的重复基线较差结果（部分）见表 1.3-2。

表 1.3-2 用 CosaGPS 软件导出的重复基线较差结果（部分）

重复基线长度差值比较，每部分第一行为参考基线及长度差限差(mm)，后续为重复基线及其与参考基线的差值(mm)

序号	起点	终点	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	S(m)	S限差/差值(mm)
2	DQ6	DQ4	108.7207	-161.9089	308.7390	365.1773	14.1777
1	DQ6	DQ4	108.7194	-161.9039	308.7423	365.1775	0.1861 合格
3	DQ4	DQ1	92.1329	-308.6872	549.8867	637.3003	14.2544
4	DQ4	DQ1	92.1320	-308.6870	549.8872	637.3005	0.2044 合格
7	DQ6	DQ7	-378.2712	-74.0330	-129.5216	406.6274	14.1867
5	DQ6	DQ7	-378.2710	-74.0386	-129.5239	406.6290	1.5662 合格
6	DQ6	DQ7	-378.2698	-74.0361	-129.5247	406.6276	0.2495 合格
8	DQ6	DQ7	-378.2711	-74.0351	-129.5241	406.6285	1.0856 合格
10	DQ7	DQ10	-113.8763	660.9197	-1134.5596	1317.9560	14.6230
9	DQ7	DQ10	-113.8774	660.9299	-1134.5537	1317.9562	0.1311 合格

1.4 网平差

使用软件：网平差采用武汉大学研发的 CosaGPS V5.0 平差软件进行。

无约束平差：固定 1 个点的 WGS-84 三维坐标，进行基线向量网的空间三维自由网平差，从而得到平差后各点的 WGS-84 三维空间直角坐标，并检查基线向量网本身的内符合精度，判定基线改正数及其他精度信息是否符合规范要求。

由表 1.4-1 的精度统计数据可知：控制网的基线向量网自身的内符合精度高，基线向量没有明显系统误差和粗差，基线向量网的质量是可靠的。

表 1.4-1 三维无约束平差各基线分量改正数的精度统计

三维基线 向量数	基线分量改正数 $v_{\Delta x}, v_{\Delta y}, v_{\Delta z}$ (cm)			
	$v \leq \sigma$	$2\sigma \leq v < 3\sigma$	$3\sigma \leq v < 4\sigma$	$v > 4\sigma$
166	158	8	0	0

由 CosaGPS 软件导出的基线分量改正数（部分）见表 1.4-2。

6 桥梁暨市政工程施工常用计算实例

表 1.4-2 由 CosaGPS 软件导出的基线分量改正数 (部分)

三维基线向量残差 ⁺						
No.	From	To	V_DX (cm)	V_DY (cm)	V_DZ (cm)	限差 (cm) ⁺
1	DQ6	DQ4	0.07	-0.20	-0.20	1.50 合格 ⁺
2	DQ6	DQ4	-0.06	0.30	0.13	1.50 合格 ⁺
3	DQ4	DQ1	-0.03	-0.01	-0.11	1.51 合格 ⁺
4	DQ4	DQ1	0.06	-0.03	-0.16	1.51 合格 ⁺
5	DQ6	DQ7	0.03	0.28	0.05	1.50 合格 ⁺
6	DQ6	DQ7	-0.09	0.03	0.13	1.50 合格 ⁺
7	DQ6	DQ7	0.05	-0.28	-0.18	1.50 合格 ⁺
8	DQ6	DQ7	0.04	-0.07	0.07	1.50 合格 ⁺
9	DQ7	DQ10	0.07	-0.38	-0.29	1.55 合格 ⁺
10	DQ7	DQ10	-0.04	0.64	0.30	1.55 合格 ⁺
11	DQ6	DQ3	0.02	-0.04	-0.09	1.51 合格 ⁺
12	DQ6	DQ3	-0.04	0.01	0.19	1.51 合格 ⁺
13	DQ3	DQ2	0.01	-0.05	0.07	1.51 合格 ⁺
14	DQ3	DQ2	-0.11	0.32	0.38	1.51 合格 ⁺
15	DQ6	DQ5	0.07	-0.32	-0.30	1.51 合格 ⁺

约束平差：约束平差前，应该对约束点进行稳定性分析。通过对无约束平差的结果进行分析，DQ8—DQ26 边长相对误差为 1/305 000，小于规范要求的约束点间的边长相对中误差 1/250 000（表 1.4-3）。从现场勘查情况来看，DQ8、DQ26 点位稳定可靠，保存良好。因此，可以将 DQ8、DQ26 作为约束点。

表 1.4-3 约束平差起算点的选择

边 长	本次无约束平差后 投影面边长 (m)	上次无约束平差后 投影面边长 (m)	相对精度
DQ1—DQ26	6 291.049	6 291.076	1/233 000
DQ8—DQ26	3 954.825	3 954.838	1/305 000

精度统计见表 1.4-4。

表 1.4-4 控制网约束平差的精度统计

基线向量边长相对中误差						
起点	终点	距离 (m)	方位角中误差 (")	边长中误差 (cm)	最弱边边长相 对中误差	备注
DQ1	DQ2	305.747 9	0.44	0.06	1/547 000	最弱边
点位中误差						
点 名	X (m)	Y (m)	点位中误差 (cm)		备注	
DQ1	3 329 432.808 7	483 329.892 5	0.19		最弱点	

由表 1.4-4 可知, 约束平差后, 基线最弱边相对中误差为 1/547 000, 满足二等要求的 1/180 000。基线边方位角中误差为 0.44", 小于二等要求的 1.3"。最弱点 DQ1 点位中误差 1.9 mm, 小于按以下公式计算的最弱点位中误差。

$$m_x(m_y) \leq 0.4M \quad \text{或} \quad \frac{m_s}{S} \leq \frac{0.4\sqrt{2}M}{S} \quad (1.4)$$

式中 M —— 施工中放样精度要求最高的几何位置中心的容许误差 (mm);

S —— 最弱边的边长 (mm)

对于本工程, 主桥精度最高的容许误差为 5 mm, 因此

$$m_x = m_y = 0.4 \times 5 = 2.0 \text{ mm}, \quad m_p = \sqrt{2}m_x = 2.8 \text{ mm}$$

由 CosaGPS 软件导出的约束平差点坐标 (部分) 见表 1.4-5。

表 1.4-5 由 CosaGPS 软件导出的约束平差点坐标 (部分)

平差坐标(X, Y)						
No.	Name	X (m)	Y (m)	Mx (cm)	My (cm)	Mp (cm)
1	DQ8	3327106.4470	482298.4710			
2	DQ26	3323172.6970	482706.4120			
3	DQ6	3328433.3761	483335.4002	0.09	0.09	0.13
4	DQ4	3328796.3630	483296.8867	0.10	0.10	0.15
5	DQ1	3329432.8087	483329.8925	0.13	0.13	0.19
6	DQ7	3328283.0245	483713.2126	0.10	0.09	0.13
7	DQ10	3326973.3680	483565.4900	0.06	0.07	0.09
8	DQ3	3328915.5818	483603.1661	0.11	0.11	0.16
9	DQ2	3329347.6196	483623.5327	0.13	0.13	0.19

2 桥梁高程控制测量

图 2 是该长江大桥高程控制网网形图。

南北两岸引桥采用陆地水准测量, 形成闭合环, 等级为二等水准。仪器采用 Trimble DiNi03 数字水准仪 (标称精度: 0.3 mm/km), 水准尺为配套条形码尺, 尺垫为 5 kg 尺垫。

跨江部分采用测距三角高程法进行, 双线过江形成闭合环。跨江长度约 1.06 km, 测量等级为二等。仪器采用两台 Leica TM30 全站仪 (标称精度: $0.5''/1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \times d$) 同时对向观测。

测量完成后全桥高程控制网进行整体平差。

8 桥梁暨市政工程施工常用计算实例

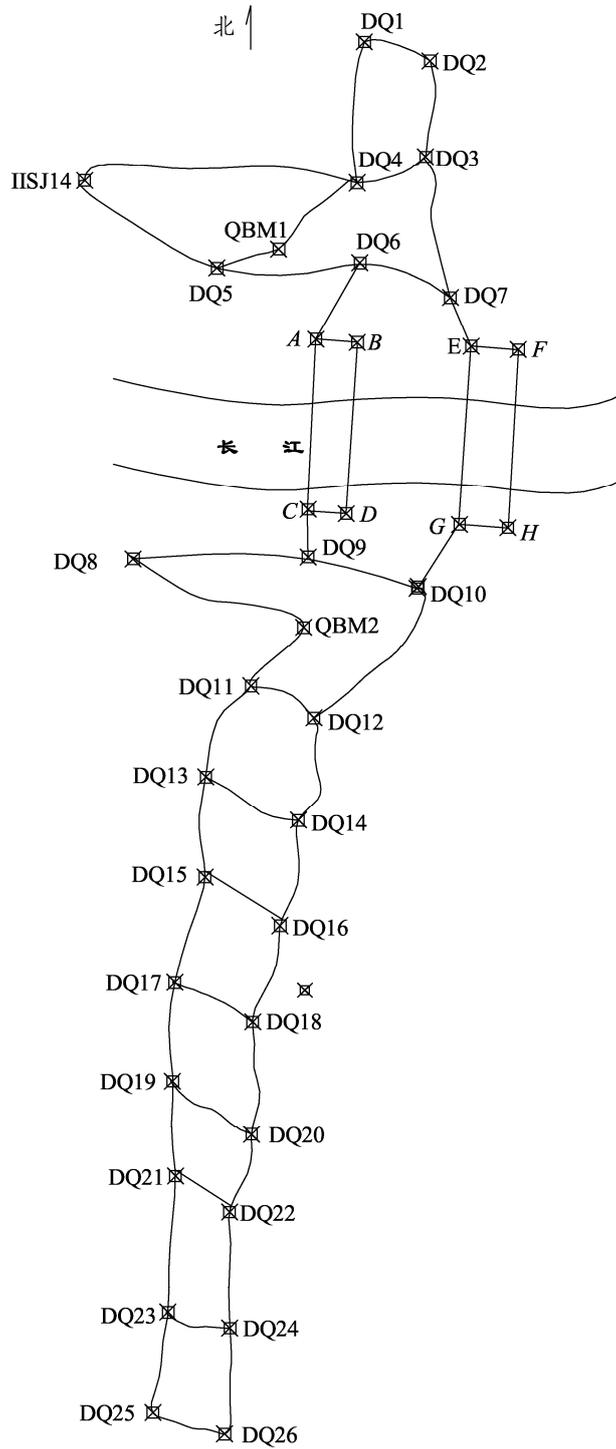


图 2 某长江大桥高程控制网图

2.1 水准数据质量检查

二等水准测量往返测精度统计表（部分）见表 2.1。