

文章编号:1671-8879(2005)03-0041-04

公路桥梁测边网的布设与平差方法

雒 应¹, 叶亚丽²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 研究生部, 陕西 西安 710064)

摘 要:为了减小传统方法布设公路桥梁设计、施工控制网的外业工作量和内业计算的繁杂性,运用红外测距仪或全站仪布设公路桥梁测边网,采用条件平差的计算方法,建立条件方程式和法方程式,计算各边角的平差值。应用实例表明,公路桥梁测边网的布设与计算精度满足有关技术规范要求,便于公路工程技术人員现场应用和计算。

关键词:道路工程;测边网;条件平差;法方程式;全站仪

中图分类号:U412.24 **文献标识码:**A

Setting and adjustment method of survey-trilateration control network of highway bridge

LUO Ying¹, YE Ya-li²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Graduate, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: When setting the control network of the design and construction in the highway bridge by the traditional method, the outside work is heavy, and the calculation is complicated. In order to overcome those problems, this paper developed a new method. With this method, firstly establish the survey-trilateration control network in the control survey of the highway bridge with infrared range finder or total station; then set up the condition adjustment and normal equation by using the calculate method of condition adjustment; lastly get adjustment value of every side corner. This new method was applied to an engineering practice, it was found that the survey-trilateration control network in the control survey of the highway bridge and calculate precise can meet the needs of the adjustment theories, and it is convenient for the technical engineer's calculating on the spot. 1 tabs, 3 figs, 7 refs.

Key words: road engineering; survey-trilateration; condition adjustment; normal equation; total station

0 引 言

公路桥梁和立交控制网,不仅是桥位勘测设计的依据,也是桥梁施工和竣工验收的依据。过去由于受测量仪器的限制,桥梁控制网常采用测角网。

一般在河流两岸布设 2 条基线,通过直接丈量的方法获得基线长度,然后用方向观测法观测三角形的所有内角,最后进行平差计算。这种方法因外业工作量相当大,而内业计算时多采用近似平差法,所以精度低。近年来公路交通事业迅速发展,公路桥梁

收稿日期:2004-02-26

作者简介:雒 应(1961-),男,陕西礼泉人,长安大学副教授,博士研究生。

和立交的数量越来越多,对精度要求越来越高,因此,原有的测设方法和计算方法很难满足大桥及特大桥的技术要求。随着红外测距仪和全站仪的普及,测边网将会得到广泛应用^[1]。公路桥梁控制网采用测边网时,外业工作只需用红外测距仪或全站仪观测所有边长,而不需测角,内业计算采用严密平差法,从而达到方便、精确、实用的目的。本文结合广东省某公路特大桥上布设测边网的情况,介绍公路桥梁独立测边网的布设与平差计算方法^[2,3]。

1 计算图形

公路桥梁控制网多采用独立的测边大地四边形,如图 1 所示,其控制点的选择应满足桥位三角测量的技术要求,外业测量只需安置 4 次红外测距仪或全站仪,往、返测定 6 条边长,6 条边分别用 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 表示,边和角的编号如图 1 所示。

2 条件方程式的建立

由图 1 知,条件总数 r 为

$$r = n - 2p + 3 = 6 - 2 \times 4 + 3 = 1$$

式中: p 为三角点的数目; n 为观测边的总数。

所以,可以列 1 个条件方程式^[4]。角度 L_1, L_2, \dots, L_9 是由边长观测值计算而得出的,则独立测边四边形的图形条件为

$$x_2 + x_5 - x_9 = 0 \quad (1)$$

将 $x_i = L_i + v_i$ 代入式(1)得

$$v_2 + v_5 - v_9 + \omega_\beta = 0 \quad (2)$$

$$\omega_\beta = L_2 + L_5 - L_9 \quad (3)$$

式中: v_i 为 L_i 的改正数; ω_β 称为角度闭合差。

按角度闭合差进行条件平差,必须把角度改正数换成边长观测值的改正数 v_{S_i} 。如计算图式(图 2)所示,在三边形 ABC 中,由余弦定理得

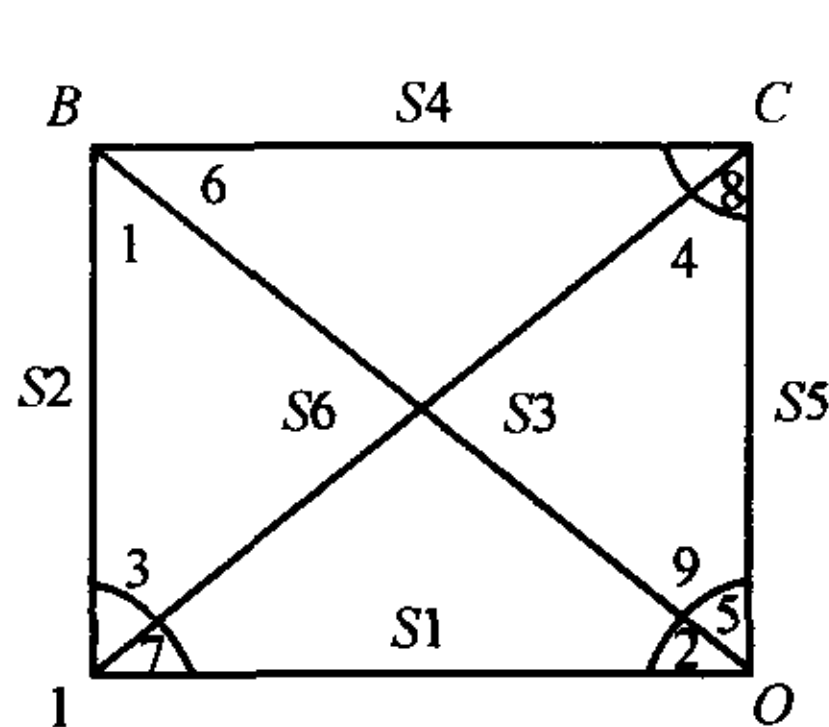


图 1 测边四边形图

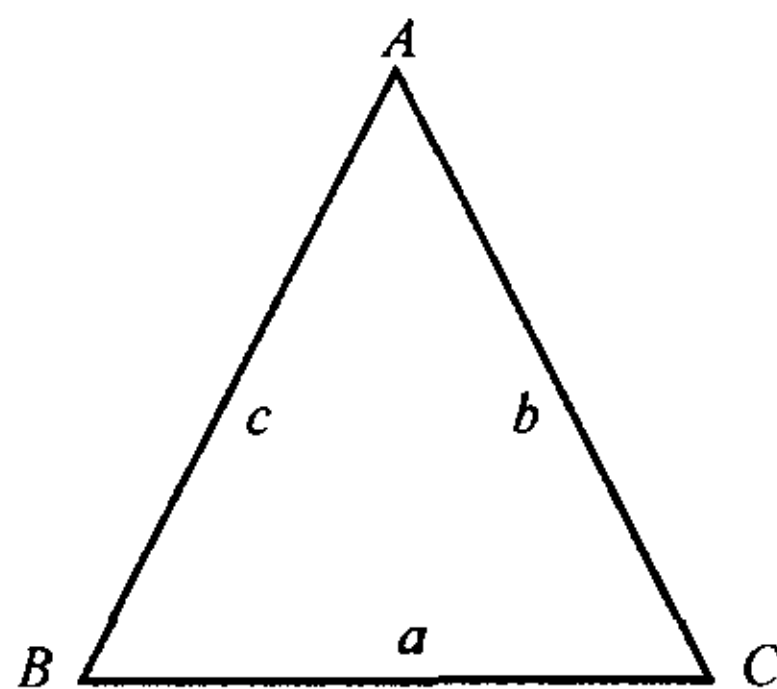


图 2 计算图式

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \quad (4)$$

对式(4)两边取微分,则有

$$2ada = 2bdb + 2cdc - 2ccosAdb -$$

$$2bcosAdb + 2bc \sin A da$$

上式整理后并以改正数代替相应的微分得

$$v_A = \frac{\rho}{bc \sin A} [av_a - (b - c \cos A)v_b - (c - b \cos A)v_c] \quad (5)$$

由图 2 及正弦定理得

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{a^2}{bc \sin A} &= \frac{bc \sin A}{bc \sin B \sin C} = \frac{\sin(180 - B - C)}{\sin B \sin C} = \cot B + \cot C \\ \frac{c - b \cos A}{bc \sin A} &= \frac{a \cos B}{bc \sin A} = \frac{b \cos B}{bc \sin B} = \frac{1}{c} \cot B \\ \frac{b - c \cos A}{bc \sin A} &= \frac{a \cos C}{bc \sin A} = \frac{c \cos C}{bc \sin C} = \frac{1}{b} \cot C \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

将式(7)代入式(5),得

$$v_A = \frac{\rho}{a} v_a (\cot B + \cot C) - \frac{\rho}{b} v_b \cot C - \frac{\rho}{c} v_c \cot B \quad (8)$$

在图 1 中按式(8)的规律写出

$$\left. \begin{aligned} v_2 &= \frac{\rho}{S_2} v_{S_2} (\cot L_1 + \cot L_3) - \frac{\rho}{S_1} v_{S_1} \cot L_3 - \frac{\rho}{S_3} v_{S_3} \cot L_1 \\ v_5 &= \frac{\rho}{S_4} v_{S_4} (\cot L_4 + \cot L_6) - \frac{\rho}{S_3} v_{S_3} \cot L_6 - \frac{\rho}{S_5} v_{S_5} \cot L_4 \\ v_9 &= \frac{\rho}{S_6} v_{S_6} (\cot L_7 + \cot L_8) - \frac{\rho}{S_5} v_{S_5} \cot L_8 - \frac{\rho}{S_1} v_{S_1} \cot L_7 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

将式(9)代入式(2)整理后得测边四边形的闭合差条件方程为

$$\begin{aligned} & -\frac{\rho}{S_1} v_{S_1} (\cot L_3 - \cot L_7) + \\ & \frac{\rho}{S_2} v_{S_2} (\cot L_1 + \cot L_3) - \\ & \frac{\rho}{S_3} v_{S_3} (\cot L_1 + \cot L_6) + \\ & \frac{\rho}{S_4} v_{S_4} (\cot L_4 + \cot L_6) - \\ & \frac{\rho}{S_5} v_{S_5} (\cot L_4 - \cot L_8) - \\ & \frac{\rho}{S_6} v_{S_6} (\cot L_7 + \cot L_8) + \omega_\beta = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

式中: ω_β 按式(2)计算,以 s 为单位; S_i 、 v_{S_i} 均以 m 为单位,其中 $\rho = 206\,265$ 。

3 列法方程式

3.1 三边形内角计算

如图 2 中,内角 A、B、C 由观测边长 a、b、c 按平面三角学中半角公式计算,即

$$\tan \frac{A}{2} = \frac{R}{s-a}, \tan \frac{B}{2} = \frac{R}{s-b}, \tan \frac{C}{2} = \frac{R}{s-c} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} s &= \frac{1}{2}(a+b+c) \\ R &= \sqrt{(s-a)(s-b)(s-c)/s} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

图 1 中 L_1, L_2, \dots, L_9 按式(11) 计算。

3.2 列法方程式

令条件方程式(10) 中边长改正数 v_{S_i} 前的系数分别为 $a_i (i = 1, 2, \dots, 6)$, 由这些系数组成法方程式为

$$[aa]R_a + \omega_\beta = 0 \quad (13)$$

4 计算各边长改正数及边角平差值

解法方程式(13)得

$$R_a = -\omega_\beta/[aa]$$

则各边长改正数按下式计算

$$v_{S_i} = a_i R_a \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (14)$$

各边长的平差值为观测值加其边长改正数,即

$$D_i = S_i + v_{S_i} \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (15)$$

用平差后的边长 D_i 按式(11) 计算各角平差值 x_i , 并以 $x_2 + x_5 - x_9 = 0$ 进行验算。

5 工程实例

某公路桥梁布设的测边四边形控制网如图 3 所

示,各边的观测值分别为

- AD = 917.428 m
- AB = 1 168.033 m
- BD = 1 378.880 m
- BC = 912.632 m
- CD = 960.085 m
- AC = 1 419.813 m。

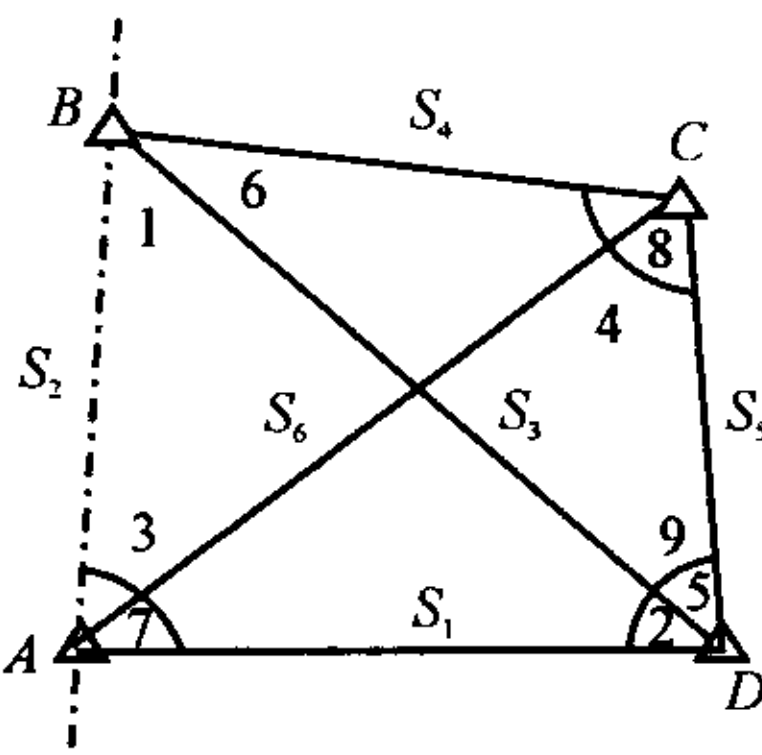


图 3 某桥梁控制网

按条件平差法计算。

(1)角度闭合差的计算。用边长观测值代入式(11)计算各三角形的内角,见表 1 第 4 栏,则角度闭合差为

$$\omega_\beta = L_2 + L_5 - L_9 + 25.13''$$

(2)列条件方程式。条件方程式的系数计算结果见表 1 第 5 栏,则条件方程式为

$$217.34v_{S_1} + 227.14v_{S_2} - 326.18v_{S_3} + 215.60v_{S_4} + 276.32v_{S_5} - 335.95v_{S_6} + 25.13'' = 0$$

(3)列法方程式。由条件方程式的系数计算得

$$[aa] = 440\,921.15$$

则法方程式为

$$440\,921.15R_a + 25.13'' = 0$$

解法方程式得

$$R_a = -5.699 \times 10^{-5}$$

(4) 计算边和角的平差值。各边的改正数按 $v_{S_i} = a_i R_a (i = 1, 2, \dots, 6)$ 计算。其结果见表 1 中第 6 栏,各边的平差值和三角形内角的平差值见表 1 中第 7、8 栏。

验算: $x_2 + x_5 - x_9 = 0$, 故计算正确。

桥轴线的相对误差^[5~7]

表 1 测边大地四边形平差计算

角号	边号	边长观测值/m	由边长观测值计算的角值 L	条件方程式系数 a	改正数 v_i /m	边长平差值/m	平差后角值 x
1	2	3	4	5	6	7(3+6)	8
1	S ₁	917.428	41°11'31.59"	217.34	-0.012	917.416	41°11'27.90"
2	S ₂	1 168.033	56°58'49.89"	227.14	-0.013	1 168.020	56°58'44.10"
3	S ₃	1 378.880	81°49'38.52"	-326.18	0.019	1 378.899	81°49'48.00"
	S	1 732.171	180°00'00.00"				180°00'00.00"
	R	306.177 54					
4	S ₃	1 378.880	94°48'01.41"				94°48'14.30"
5	S ₄	912.632	41°15'54.12"	215.60	-0.012	912.620	41°15'48.30"
6	S ₅	960.085	43°56'04.47"	276.32	-0.016	960.069	43°55'57.40"
	S	1 625.799	180°00'00.00"				180°00'00.00"
	R	268.523 68					
7	S ₅	960.085	42°00'26.70"				42°00'19.40"
8	S ₁	917.428	39°45'14.42"				39°45'08.20"
9	S ₆	1 419.813	98°14'18.88"	-335.95	0.019	1 419.832	98°14'32.40"
	S	1 648.663	180°00'00.00"				180°00'00.00"
	R	264.371 45					

$$K = \frac{0.013}{1\ 168.020} = \frac{1}{89\ 000} < \frac{1}{70\ 000}$$

6 结 语

公路桥梁控制网布设成上述独立的测边四边形,0.5 d 可以完成外业观测,而内业计算可采用计算器计算或采用计算机编程,所以一般公路工程技术人员使用起来比较方便,同时平差后的各三角形内角值与 J_2 级光学经纬仪的观测值十分吻合。在布设公路桥梁平面控制网时,应尽可能采用独立测边四边形控制网,并用上述条件平差法进行严密平差。

参考文献:

References:

- [1] 张碧琴. 城市互通式立交平面控制测量[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003, 23(2): 41-42.
ZHANG Bi-qing. Horizontal control surveying of interchange[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2003, 23(2): 41-42.
- [2] 聂 让. 全站仪与高等级公路测量[M]. 北京: 人民交

通出版社, 1997.

NIE Rang. Total station and the measurement of the superhighway[M]. Beijing: People's Communication Press, 1997.

- [3] 许娅娅, 雒 应. 测量学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
XU Ya-ya, LUO Ying. Surveying[M]. Beijing: People's Communication Press, 2003.
- [4] 李青岳, 陈永奇. 工程测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1995.
LI Qing-yue, CHEN Yong-qi. Project surveying[M]. Beijing: Mapping Press, 1995.
- [5] 於宗俦, 鲁成林. 测量平差基础[M]. 北京: 测绘出版社, 1999.
YU Zong-chou, LU Cheng-lin. Measure and adjustment foundation[M]. Beijing: Mapping Press, 1999.
- [6] JTJ041-2000. 公路桥涵施工技术规范[S]. 2000.
JTJ041-2000. Technical specifications for construction of highway bridges and culverts[S]. 2000.
- [7] JTJ062-91. 公路桥涵勘测设计规范[S]. 1991.
JTJ062-91. Specifications for survey and design of highway bridge site[S]. 1991.

(上接 18 页)

(2) 路面改造过程中, 处治原混凝土路面很重要, 尤其在传荷能力较差的接缝处, 板下脱空能否有效地处理是关键。

(3) 所有的土工织物或网格防治水平位移比剪切位移更有效。

(4) 不论是加筋还是应变消散类措施, 当应用于传荷能力很差的路面时, 任何薄层沥青类罩面对防治反射裂缝都显得无能为力。为了有效地改造旧水泥混凝土路面, 改善路面使用品质, 应从提高面层、夹层性能, 处治好旧板块、基层等多方面综合考虑改造方案。

参考文献:

References:

- [1] JTJ 032-98. 公路改性沥青路面施工技术规范[S]. 1999.
JTJ 032-98. Construction technology specifications of modified asphalt highway surface[S]. 1999.
- [2] JTJ 037-96. 公路养护技术规范[S]. 1996.
JTJ 037-96. Technique regulation of highway maintenance management[S]. 1996.

- [3] 武健民, 伍石生. 用三维有限元方法评价带接缝的旧水泥混凝土路面罩面[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 22(1): 10-13.
WU Jian-min, WU Shi-sheng. Evaluation of overlay on cement concrete slab with joints by 3D FEM[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2002, 22(1): 10-13.
- [4] 武贤慧, 张登良, 李德超. 沥青路面反射裂缝足尺试验[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003, 23(6): 4-6.
WU Xian-hui, ZHANG Deng-liang, LI De-chao. Full-scale test of asphalt pavement reflection cracking[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2003, 23(6): 4-6.
- [5] 王金昌, 朱白荣. 软土地基上含反射裂缝沥青道路的动力响应分析[J]. 中国公路学报, 2004, 17(1): 1-6.
WANG Jin-chang, ZHU Xiang-rong. Dynamic analysis of asphalt pavement with reflective cracking on the soft day ground[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(1): 1-6.
- [6] 张 超. 废弃混凝土路面板在道路改中的再利用[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(4): 5-9.
ZHANG Chao. Reuse of scrap concrete slab in highway reconstruction[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(4): 5-9.