



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111947631 A

(43) 申请公布日 2020.11.17

(21) 申请号 202010763954.3

(22) 申请日 2020.08.01

(71) 申请人 上海地矿工程勘察有限公司

地址 200040 上海市静安区灵石路930号

(72) 发明人 杨晨辉 彭成山 唐军武 王伟才

(51) Int.Cl.

G01C 15/00 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

G01B 11/00 (2006.01)

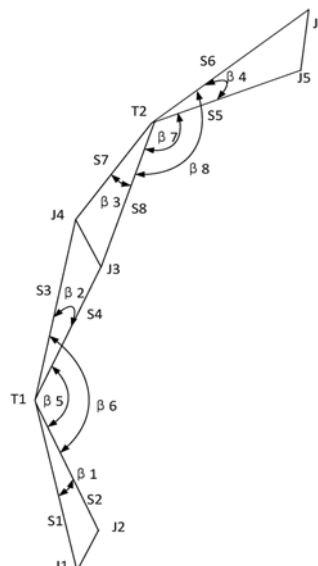
权利要求书4页 说明书13页 附图2页

(54) 发明名称

一种应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法

(57) 摘要

本申请公开了一应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,基于隧道结构,设计控制网,在控制网的两端分别选取控制基准点,在控制网的中间设置测站点、坐标传递点,从控制基准点向坐标传递点推进,在控制基准点、测站点、坐标传递点形成多个三角形坐标传递网,根据测站点的观测量,进行整体平差解算,得到测站点、坐标传递点的解算值,提高坐标计算精度,在每个测站点形成多个边长参数与多个角度参数,能够进行多次测量,提高精度。



1. 一种应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其特征在于:基于隧道结构,设计控制网,选取控制基准点、测站点、坐标传递点,从控制基准点向坐标传递点推进,根据测站点的观测量,进行整体平差解算,得到测站点、坐标传递点的解算值。

2. 根据权利要求1所述应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其特征在于:在控制网的两端分别设置一个控制基准点,在控制网的中间设置二个测站点、二个坐标传递点,每个测站点与两个坐标传递点形成三角形,测量每个测站点对于两个坐标传递点的方向及距离、两个坐标传递点与测站点之间形成的夹角,测量二个坐标传递点之间的距离;通过解得三角形的内角及边长,并入整体控制网中,作为无定向自由导线的计算线路,实现坐标的实时传递及修正。

3. 根据权利要求1所述应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其特征在于:在控制网的两端分别设置二个控制基准点,在控制网的中间设置二个测站点、二个坐标传递点,同一端的二个控制基准点与相邻的一个测站点形成三角形,二个坐标传递与相邻的一个测站点形成三角形。

4. 根据权利要求3所述应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其特征在于:根据测站点T1与二个控制基准点(J1/J2)之间的距离s1/s2、二个控制基准点之间的间距s3、测站点到二个控制基准点间距的高h,计算测站点的近似坐标(X_{T1}^0 、 Y_{T1}^0):

$$\begin{cases} X_{T1}^0 = X_{J1} + L \cos \alpha_{J1J2} + h \sin \alpha_{J1J2} \\ Y_{T1}^0 = X_{J1} + L \sin \alpha_{J1J2} - h \cos \alpha_{J1J2} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{其中,} \begin{cases} L = \frac{s_1^2 + s_3^2 - s_2^2}{2s_3} \\ h = \sqrt{s_1^2 - L^2} \\ \cos \alpha_{J1J2} = \frac{x_{J2} - x_{J1}}{s_3} \\ \sin \alpha_{J1J2} = \frac{y_{J2} - y_{J1}}{s_3} \end{cases} \quad (2);$$

三角形底边与高相交点为M,L表示控制基准点J1与点M之间的距离;

同理计算测站点T2的近似坐标。

5. 根据权利要求4所述应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其特征在于:根据测站点T1/T2近似坐标值及相应边长和方位角,按坐标增量计算坐标传递点J3/J4的近似坐标。

6. 根据权利要求5所述应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其特征在于:计算角度误差方程常数项: $l_{\beta i} = L_{\beta i} - L_{\beta i}^0$,式中, $L_{\beta i}$ 表示观测角值, $L_{\beta i}^0$ 表示近似角值, $l_{\beta i}$ 表示常数项;边长误差方程常数项: $l_{s i} = L_{s i} - S_{J1T1}^0$, $L_{s i}$ 表示观测边长, S_{J1T1}^0 表示近似边长,

$$S_{J1T1}^0 = \sqrt{(X_{T1}^0 - X_{J1}^0)^2 + (Y_{T1}^0 - Y_{J1}^0)^2}。$$

7. 根据权利要求6所述应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其特征在于:以待定点T1、T2、J3、J4的坐标($X_{T1}, Y_{T1}, X_{J3}, Y_{J3}, X_{J4}, Y_{J4}, X_{T2}, Y_{T2}$)为参数,得到误差方程:

$$v_{S1} = \frac{\Delta X_{J1T1}^0}{S_{J1T1}^0} x_{t1} + \frac{\Delta Y_{J1T1}^0}{S_{J1T1}^0} y_{t1} - l_{S1} \quad (3-1)$$

$$v_{S2} = \frac{\Delta X_{J2T1}^0}{S_{J2T1}^0} x_{t1} + \frac{\Delta Y_{J2T1}^0}{S_{J2T1}^0} y_{t1} - l_{S2} \quad (3-2)$$

$$v_{\beta1} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J1}^0}{(S_{T1J1}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J1}^0}{(S_{T1J1}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} \right) y_{t1} - l_{\beta3} \quad (3-3)$$

$$v_{\beta6} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} \right) y_{t1} + \rho'' \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} x_{j3} - \rho'' \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} y_{j3} - l_{\beta4} \quad (3-4)$$

$$v_{S4} = -\frac{\Delta X_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} x_{t1} - \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} y_{t1} + \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} x_{j3} + \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} y_{j3} - l_{S5} \quad (3-5)$$

$$v_{\beta5} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) y_{t1} + \rho'' \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} x_{j4} - \rho'' \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} y_{j4} - l_{\beta6} \quad (3-6)$$

$$v_{S3} = -\frac{\Delta X_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} x_{t1} - \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} y_{t1} + \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} x_{j4} + \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} y_{j4} - l_{S7} \quad (3-7)$$

$$v_{\beta2} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) y_{t1} - \rho'' \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} x_{j3} + \rho'' \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} y_{j3} + \rho'' \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} x_{j4} - \rho'' \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} y_{j4} - l_{\beta8} \quad (3-8)$$

$$v_{S6} = \frac{\Delta X_{J6T2}^0}{S_{J6T2}^0} x_{t2} + \frac{\Delta Y_{J6T2}^0}{S_{J6T2}^0} y_{t2} - l_{S9} \quad (3-9)$$

$$v_{S5} = \frac{\Delta X_{J5T2}^0}{S_{J5T2}^0} x_{t2} + \frac{\Delta Y_{J5T2}^0}{S_{J5T2}^0} y_{t2} - l_{S10} \quad (3-10)$$

$$v_{\beta4} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J6}^0}{(S_{T2J6}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J6}^0}{(S_{T2J6}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) y_{t2} - l_{\beta11} \quad (3-11)$$

$$v_{S8} = -\frac{\Delta X_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} x_{j3} - \frac{\Delta Y_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} y_{j3} + \frac{\Delta X_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} x_{t2} + \frac{\Delta Y_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} y_{t2} - l_{S12}$$

(3-12)

$$v_{\beta7} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) y_{t2} +$$

$$\rho'' \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} x_{j3} - \rho'' \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} y_{j3} - l_{\beta13} \quad (3-13)$$

$$v_{S7} = -\frac{\Delta X_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} x_{t2} - \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} y_{t2} + \frac{\Delta X_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} x_{j4} + \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} y_{j4} - l_{S14} \quad (3-14)$$

$$v_{\beta8} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) y_{t2} +$$

$$\rho'' \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} x_{j4} - \rho'' \frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} y_{j4} - l_{\beta15} \quad (3-15)$$

$$v_{\beta3} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) y_{t2} -$$

$$\rho'' \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} x_{j4} + \rho'' \frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} y_{j4} + \rho'' \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} x_{j3} - \rho'' \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} y_{j3} - l_{\beta16}$$

(3-16)

其中, $\Delta X_{J1T1}^0 = X_{T1}^0 - X_{J1}^0$, $\Delta Y_{J1T1}^0 = Y_{T1}^0 - Y_{J1}^0$, 依次类推;

ρ'' 表示角度与弧度的转换常数,取值为206265。

8. 根据权利要求7所述应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其特征在于:计算间接平差函数模型:

$$\hat{L} = B\hat{X} + d \quad (4)$$

式中, $\hat{X}$ 表示所选的独立参数, B 表示误差方程中的系数矩阵, d 表示观测值方程的常数项矩阵;

间接平差的随机模型:

$$D = \sigma_0^2 Q = \sigma_0^2 P^{-1} \quad (10)$$

式中, D 为方差; σ_0^2 为单位权方差; Q 为协因数阵,通常为权阵的逆; P 为权阵。

9. 根据权利要求8所述应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其特征在于:计算误差方程:

$$V = B\hat{x} - l \quad (11)$$

$$l = L - L^0 = L - (BX^0 + d) \quad (9)。$$

计算法方程:

$$B^T P B \hat{x} - B^T P l = 0 \quad (12)$$

单位权中误差:

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{r}} \quad (14)$$

式中, $\hat{\sigma}_0$ 表示单位权中误差, r 表示多余观测数;

$r = n - t$, 其中 n 表示观测值个数, t 表示必要观测数。

10. 根据权利要求1所述应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法, 其特征在于: 在隧道处于直线段时, 二台全站仪之间的间距小于150米。

一种应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及隧道测量技术领域,尤其是涉及一种应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法。

背景技术

[0002] 目前,工程建设日新月异,隧道数量也成倍增长,在一些隧道施工规范中,要求大于4公里贯通长度的隧道必须进行贯通设计,即根据贯通允许误差、洞内导线边长布置反算出洞外洞内控制网需要什么样的精度。在确定洞内外控制网精度后,首先需测设洞外控制网,为洞内控制网提供基准,当整体控制网精度小于洞外控制网精度时,洞外控制网需要设置独立的控制网,牺牲整体来满足局部。洞外控制网测设一般采用GPS静态测量,在条件允许时,也可以采用导线测量。洞内控制网采取后方交会模式,在选定的待测点上向着三个已知点观测,获得二个观测角,计算与观测点相邻的两点所对应的夹角,从而求解出观测点坐标,此模式在取用一点推算观测点坐标时,可另取二点推算的结果进行校核,但这种计算方法,采用的是四边形方式,计算精度有待提高。

[0003] 因此,如何提高计算精度,是目前亟待解决的问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,采用双全站仪,在控制网的两端分别选取二个控制基准点,在控制网的中间设置测站点、坐标传递点,沿控制网的两端向中间推进,根据测站点的观测量,通过整体平差解算,得到测站点、坐标传递点的解算值,提高坐标计算精度。

[0005] 本发明的上述发明目的通过以下技术方案得以实现:

[0006] 一种应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,基于隧道结构,设计控制网,选取控制基准点、测站点、坐标传递点,从控制基准点向坐标传递点推进,根据测站点的观测量,进行整体平差解算,得到测站点、坐标传递点的解算值。

[0007] 本发明进一步设置为:在控制网的两端分别设置一个控制基准点,在控制网的中间设置二个测站点、二个坐标传递点,每个测站点与两个坐标传递点形成三角形,测量每个测站点对于两个坐标传递点的方向及距离、两个坐标传递点与测站点之间形成的夹角,测量二个坐标传递点之间的距离;通过解得三角形的内角及边长,并入整体控制网中,作为无定向自由导线的计算线路,实现坐标的实时传递及修正。

[0008] 本发明进一步设置为:在控制网的两端分别设置二个控制基准点,在控制网的中间设置二个测站点、二个坐标传递点,同一端的二个控制基准点与相邻的一个测站点形成三角形,二个坐标传递与相邻的一个测站点形成三角形。

[0009] 本发明进一步设置为:根据测站点T1与二个控制基准点(J1/J2)之间的距离 s_1/s_2 、二个控制基准点之间的间距 s_3 、测站点到二个控制基准点间距的高 h ,计算测站点的近

$$\text{似坐标}(X_{T1}^0, Y_{T1}^0): \begin{cases} X_{T1}^0 = X_{J1} + L \cos \alpha_{J1J2} + h \sin \alpha_{J1J2} \\ Y_{T1}^0 = X_{J1} + L \sin \alpha_{J1J2} - h \cos \alpha_{J1J2} \end{cases} \quad (1)$$

$$[0010] \quad \text{其中,} \begin{cases} L = \frac{S_1^2 + S_3^2 - S_2^2}{2S_3} \\ h = \sqrt{S_1^2 - L^2} \\ \cos \alpha_{J1J2} = \frac{x_{J2} - x_{J1}}{S_3} \\ \sin \alpha_{J1J2} = \frac{y_{J2} - y_{J1}}{S_3} \end{cases} \quad (2);$$

[0011] 三角形底边与高相交点为M,L表示控制基准点J1与点M之间的距离;

[0012] 同理计算测站点T2的近似坐标。

[0013] 本发明进一步设置为:根据测站点T1/T2近似坐标值及相应边长和方位角,按坐标增量计算坐标传递点J3/J4的近似坐标。

[0014] 本发明进一步设置为:计算角度误差方程常数项: $l_{\beta i} = L_{\beta i} - L_{\beta i}^0$, 式中, $L_{\beta i}$ 表示观测角值, $L_{\beta i}^0$ 表示近似角值, $l_{\beta i}$ 表示常数项;边长误差方程常数项: $l_{si} = L_{si} - S_{J1T1}^0$, L_{si} 表示观测边长, S_{J1T1}^0 表示近似边长,

$$[0015] \quad S_{J1T1}^0 = \sqrt{(X_{T1}^0 - X_{J1}^0)^2 + (Y_{T1}^0 - Y_{J1}^0)^2}。$$

[0016] 本发明进一步设置为:以待定点T1、T2、J3、J4的坐标 $(X_{T1}, Y_{T1}, X_{J3}, Y_{J3}, X_{J4}, Y_{J4}, X_{T2}, Y_{T2})$ 为参数,得到误差方程:

$$[0017] \quad v_{S1} = \frac{\Delta X_{J1T1}^0}{S_{J1T1}^0} x_{t1} + \frac{\Delta Y_{J1T1}^0}{S_{J1T1}^0} y_{t1} - l_{S1} \quad (3-1)$$

$$[0018] \quad v_{S2} = \frac{\Delta X_{J2T1}^0}{S_{J2T1}^0} x_{t1} + \frac{\Delta Y_{J2T1}^0}{S_{J2T1}^0} y_{t1} - l_{S2} \quad (3-2)$$

$$[0019] \quad v_{\beta 1} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J1}^0}{(S_{T1J1}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J1}^0}{(S_{T1J1}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} \right) y_{t1} - l_{\beta 3}$$

(3-3)

$$[0020] \quad v_{\beta 6} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} \right) y_{t1} +$$

$$\rho'' \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} x_{j3} - \rho'' \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} y_{j3} - l_{\beta 4} \quad (3-4)$$

$$[0021] \quad v_{S4} = -\frac{\Delta X_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} x_{t1} - \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} y_{t1} + \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} x_{j3} + \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} y_{j3} - l_{S5} \quad (3-5)$$

$$v_{\beta 5} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) y_{t1} +$$

[0022]

$$\rho'' \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} x_{j4} - \rho'' \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} y_{j4} - l_{\beta 6} \quad (3-6)$$

$$v_{S3} = -\frac{\Delta X_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} x_{t1} - \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} y_{t1} + \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} x_{j4} + \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} y_{j4} - l_{S7} \quad (3-7)$$

[0023]

$$v_{\beta 2} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) y_{t1} -$$

[0024]

$$\rho'' \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} x_{j3} + \rho'' \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} y_{j3} + \rho'' \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} x_{j4} - \rho'' \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} y_{j4} - l_{\beta 8}$$

(3-8)

$$v_{S6} = \frac{\Delta X_{J6T2}^0}{S_{J6T2}^0} x_{t2} + \frac{\Delta Y_{J6T2}^0}{S_{J6T2}^0} y_{t2} - l_{S9} \quad (3-9)$$

[0025]

$$v_{S5} = \frac{\Delta X_{J5T2}^0}{S_{J5T2}^0} x_{t2} + \frac{\Delta Y_{J5T2}^0}{S_{J5T2}^0} y_{t2} - l_{S10} \quad (3-10)$$

[0026]

$$v_{\beta 4} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J6}^0}{(S_{T2J6}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J6}^0}{(S_{T2J6}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) y_{t2} - l_{\beta 11}$$

[0027]

(3-11)

$$v_{S8} = -\frac{\Delta X_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} x_{j3} - \frac{\Delta Y_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} y_{j3} + \frac{\Delta X_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} x_{t2} + \frac{\Delta Y_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} y_{t2} - l_{S12}$$

[0028]

(3-12)

$$v_{\beta 7} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) y_{t2} +$$

[0029]

$$\rho'' \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} x_{j3} - \rho'' \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} y_{j3} - l_{\beta 13} \quad (3-13)$$

[0030]

$$v_{S7} = -\frac{\Delta X_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} x_{t2} - \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} y_{t2} + \frac{\Delta X_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} x_{j4} + \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} y_{j4} - l_{S14} \quad (3-14)$$

[0031]

$$v_{\beta 8} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) y_{t2} +$$

[0032]

$$\rho'' \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} x_{j4} - \rho'' \frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} y_{j4} - l_{\beta 15} \quad (3-15)$$

$$v_{\beta 3} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) y_{t2} -$$

[0033] $\rho'' \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} x_{j4} + \rho'' \frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} y_{j4} + \rho'' \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} x_{j3} - \rho'' \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} y_{j3} - l_{\beta 16}$

(3-16)

[0034] 其中, $\Delta X_{J1T1}^0 = X_{T1}^0 - X_{J1}^0$, $\Delta Y_{J1T1}^0 = Y_{T1}^0 - Y_{J1}^0$, 依次类推;

[0035] ρ'' 表示角度与弧度的转换常数, 取值为 206265。

[0036] 本发明进一步设置为: 计算间接平差函数模型:

[0037] $\hat{L} = B\hat{X} + d \quad (4)$

[0038] 式中, $\hat{X}$ 表示所选的独立参数, B 表示误差方程中的系数矩阵, d 表示观测值方程的常数项矩阵;

[0039] 间接平差的随机模型:

[0040] $D = \sigma_0^2 Q = \sigma_0^2 P^{-1} \quad (10)$

[0041] 式中, D 为方差; σ_0^2 为单位权方差; Q 为协因数阵, 通常为权阵的逆; P 为权阵。

[0042] 本发明进一步设置为: 计算误差方程:

[0043] $V = B\hat{x} - l \quad (11)$

[0044] $l = L - L^0 = L - (BX^0 + d) \quad (9)$ 。

[0045] 计算法方程:

[0046] $B^T P B \hat{x} - B^T P l = 0 \quad (12)$

[0047] 单位权中误差:

[0048] $\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{r}} \quad (14)$

[0049] 式中, $\hat{\sigma}_0$ 表示单位权中误差, r 表示多余观测数;

[0050] $r = n - t$, 其中 n 表示观测值个数, t 表示必要观测数。

[0051] 本发明进一步设置为: 在隧道处于直线段时, 二台全站仪之间的间距小于 150 米。

[0052] 与现有技术相比, 本发明的有益技术效果为:

[0053] 1. 本申请通过在控制网二端分别设置控制基准点, 在中间设置测站点与观测点, 形成多个三角形, 实现坐标传递;

[0054] 2. 进一步地, 本申请通过设置双全站仪测站点, 对应设置二个坐标传递点, 在每个测站点形成多个边长参数与多个角度参数, 能够进行多次测量, 提高精度;

[0055] 3. 进一步地, 本申请通过从两个方向往中间推进的方法, 克服了计算变形引起的计算误差, 再结合平差模型, 得到最优解, 达到提高精度的目的。

附图说明

- [0056] 图1是本发明的一个具体实施例的三角形坐标传递计算示意图；
 [0057] 图2是本发明的一个具体实施例的三角形计算方法结构示意图；
 [0058] 图3是本发明的一个具体实施例的双全站仪时三角形坐标传递计算示意图。

具体实施方式

[0059] 以下结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0060] 本发明的一种应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,基于隧道结构,设计控制网,在控制网线上,设置控制基准点,在两个测站点之间,设置至少二个测站点和二坐标传递点,以此在每个测站点与二坐标传递点之间形成二个三角形,对应这二个三角形,形成边长观测量参数与角度观测量参数,二个观测点的参数,结合两端的控制基准点参数,组成误差方程,经过整体平差解算,求解测站点的联合解算值。

[0061] 如图1所示,在测站点T1/T2处分别设置一个全站仪,为测站点,在A/B两点处设置360度圆标镜,为坐标传递点,J1/J4点为控制基准点。测站点T1与A/B两点形成一个三角形,测站点T2与A/B两点形成另一个三角形。

[0062] 在测站点T1处,全站仪每次测量T1、A、B的方向及距离,并测得 $\angle AT_1B$,并计算A、B两点间距离;同理,在T2测站上,全站仪每次测量J4、A、B的方向及距离,测得 $\angle AT_2B$,计算A、B两点间距离。求解三角形的内角与边长,并入整体控制网中,作为无定向自由导线的计算线路,从而实现坐标的实时传递及修正。

[0063] 三角形内角与边长的计算,如图2所示,以 S_1 表示测站点T1到坐标传递点A之间的边长,以 S_2 表示测站点T1到坐标传递点B之间的边长,以 S_3 表示AB边的边长,以 h 表示测站点T1到AB边的三角形的高,高与底边的交点为P,L表示A点到P点的边长。则得到下式:

$$[0064] \quad \begin{cases} L = \frac{S_1^2 + S_3^2 - S_2^2}{2S_3} \\ h = \sqrt{S_1^2 - L^2} \\ \cos \alpha_{J1} = \frac{x_{J2} - x_{J1}}{S_3} \\ \sin \alpha_{J1} = \frac{y_{J2} - y_{J1}}{S_3} \end{cases} \quad (1)$$

[0065] 其中, $\alpha_{J1} = \alpha_{J1T1} - \alpha_{J1J2}$; α_{J1T1} 是边J1T1的方位角, α_{J1J2} 是边J1J2的方位角。

[0066] 根据公式(1),计算得到中间数据,按下式计算待定点T1的近似坐标(X_{T1}^0 、 Y_{T1}^0):

$$[0067] \quad \begin{cases} X_{T1}^0 = X_{J1} + L \cos \alpha_{J1} + h \sin \alpha_{J1} \\ Y_{T1}^0 = Y_{J1} + L \sin \alpha_{J1} - h \cos \alpha_{J1} \end{cases} \quad (2)$$

[0068] 本申请的一种应用于隧道内的三角形坐标传递测量方法,其控制网如图3所示,图中,J1、J2、J5、J6为控制基准点,T1、T2分别为测站点,J3、J4为坐标传递点,在坐标传递点安装360度圆棱镜。控制网的设计基于以下几点:一是能够进行多次测量,符合导线,尽可能的少设中间点;二是闭合原则,能够形成闭合差。

[0069] 对于多次测量值,在等精度时观测M次,误差值记为 $l_1, l_2, \dots, l_M$,其算术平均值为

$$\bar{X} = (l_1 + l_2 + \dots + l_M)/M,$$

[0070] 等精度时 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_M^2$, 则有:

$$[0071] \quad D(\bar{X}) = \frac{1}{M^2} \sigma_1^2 + \frac{1}{M^2} \sigma_2^2 + \dots + \frac{1}{M^2} \sigma_M^2 = \frac{1}{M} \sigma^2$$

[0072] 均方差 $\sqrt{D(\bar{X})} = \frac{\sigma}{\sqrt{M}}$, 由此可以看出, 多次测量的精度提高了 $\frac{1}{\sqrt{M}}$ 。

[0073] 在测站点设置全站仪, 设定测站点的全站仪位置固定, 对其他测点进行观测, 采用从两端向中间推进的方法, 即, 从J1、J2向J3、J4推进, 再由J5、J6向J3、J4推进, 并在J3、J4两点上进行坐标传递。

[0074] 图中, T1、T2、J3、J4均为待定点, 每次观测, 在T1站上能够观测的量为S1、S2、S3、S4和 β_1 、 β_2 、 β_5 、 β_6 ; 在T2站上能够观测的量为S5、S6、S7、S8和 β_3 、 β_4 、 β_7 、 β_8 , 两台全站仪在该控制网形中共有16个观测量。结合两端的控制基准点J1、J2、J5、J6进行整体平差解算, 可得测站点T1、T2的联合解算值。

[0075] 设待定点T1、J3、J4、T2的坐标为 $(X_{T1}, Y_{T1}, X_{T3}, Y_{T3}, X_{J4}, Y_{J4}, X_{T2}, Y_{T2})$, 得到误差方程:

$$[0076] \quad v_{S1} = \frac{\Delta X_{J1T1}^0}{S_{J1T1}^0} x_{t1} + \frac{\Delta Y_{J1T1}^0}{S_{J1T1}^0} y_{t1} - l_{S1} \quad (3-1)$$

$$[0077] \quad v_{S2} = \frac{\Delta X_{J2T1}^0}{S_{J2T1}^0} x_{t1} + \frac{\Delta Y_{J2T1}^0}{S_{J2T1}^0} y_{t1} - l_{S2} \quad (3-2)$$

$$[0078] \quad v_{\beta_1} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J1}^0}{(S_{T1J1}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J1}^0}{(S_{T1J1}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} \right) y_{t1} - l_{\beta_3}$$

(3-3)

$$[0079] \quad v_{\beta_6} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} \right) y_{t1} +$$

$$\rho'' \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} x_{j3} - \rho'' \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} y_{j3} - l_{\beta_4} \quad (3-4)$$

$$[0080] \quad v_{S4} = -\frac{\Delta X_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} x_{t1} - \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} y_{t1} + \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} x_{j3} + \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{S_{T1J3}^0} y_{j3} - l_{S5} \quad (3-5)$$

$$[0081] \quad v_{\beta_5} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J2}^0}{(S_{T1J2}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) y_{t1} +$$

$$[0082] \quad \rho'' \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} x_{j4} - \rho'' \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} y_{j4} - l_{\beta_6} \quad (3-6)$$

$$[0083] \quad v_{S3} = -\frac{\Delta X_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} x_{t1} - \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} y_{t1} + \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} x_{j4} + \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{S_{T1J4}^0} y_{j4} - l_{S7} \quad (3-7)$$

$$v_{\beta 2} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) x_{t1} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} \right) y_{t1} -$$

[0084] $\rho'' \frac{\Delta Y_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} x_{j3} + \rho'' \frac{\Delta X_{T1J3}^0}{(S_{T1J3}^0)^2} y_{j3} + \rho'' \frac{\Delta Y_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} x_{j4} - \rho'' \frac{\Delta X_{T1J4}^0}{(S_{T1J4}^0)^2} y_{j4} - l_{\beta 8}$

(3-8)

[0085] $v_{S6} = \frac{\Delta X_{J6T2}^0}{S_{J6T2}^0} x_{t2} + \frac{\Delta Y_{J6T2}^0}{S_{J6T2}^0} y_{t2} - l_{S9}$ (3-9)

[0086] $v_{S5} = \frac{\Delta X_{J5T2}^0}{S_{J5T2}^0} x_{t2} + \frac{\Delta Y_{J5T2}^0}{S_{J5T2}^0} y_{t2} - l_{S10}$ (3-10)

[0087] $v_{\beta 4} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J6}^0}{(S_{T2J6}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J6}^0}{(S_{T2J6}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) y_{t2} - l_{\beta 11}$

(3-11)

[0088] $v_{S8} = -\frac{\Delta X_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} x_{j3} - \frac{\Delta Y_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} y_{j3} + \frac{\Delta X_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} x_{t2} + \frac{\Delta Y_{J3T2}^0}{S_{J3T2}^0} y_{t2} - l_{S12}$ (3-12)

[0089] $v_{\beta 7} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) y_{t2} +$

$\rho'' \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} x_{j3} - \rho'' \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} y_{j3} - l_{\beta 13}$ (3-13)

[0090] $v_{S7} = -\frac{\Delta X_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} x_{t2} - \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} y_{t2} + \frac{\Delta X_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} x_{j4} + \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{S_{T2J4}^0} y_{j4} - l_{S14}$ (3-14)

[0091] $v_{\beta 8} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J5}^0}{(S_{T2J5}^0)^2} \right) y_{t2} +$

$\rho'' \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} x_{j4} - \rho'' \frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} y_{j4} - l_{\beta 15}$ (3-15)

[0092] $v_{\beta 3} = \rho'' \left(\frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) x_{t2} - \rho'' \left(\frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} - \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} \right) y_{t2} -$

$\rho'' \frac{\Delta Y_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} x_{j4} + \rho'' \frac{\Delta X_{T2J4}^0}{(S_{T2J4}^0)^2} y_{j4} + \rho'' \frac{\Delta Y_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} x_{j3} - \rho'' \frac{\Delta X_{T2J3}^0}{(S_{T2J3}^0)^2} y_{j3} - l_{\beta 16}$

(3-16)

[0093] 其中, $\Delta X_{J1T1}^0 = X_{T1}^0 - X_{J1}^0$, $\Delta Y_{J1T1}^0 = Y_{T1}^0 - Y_{J1}^0$, 依次类推。

[0094] ρ'' 表示角度与弧度的转换常数, 取值为 206265。

[0095] $l_{\beta i} = L_{\beta i} - L_{\beta i}^0$, $l_{\beta i}$ 表示角度误差方程常数项, $L_{\beta i}$ 表示观测角值, $L_{\beta i}^0$ 表示近似角值, $l_{\beta i}$ 表示常数项。

[0096] $l_{si} = L_{si} - S_{j1T1}^0$, l_{si} 表示边长误差方程常数项, L_{si} 表示观测边长, S_{j1T1}^0 表示近似边长。

$$[0097] \quad S_{j1T1}^0 = \sqrt{(X_{T1}^0 - X_{j1}^0)^2 + (Y_{T1}^0 - Y_{j1}^0)^2} \quad (3-17);$$

[0098] 建立间接平差函数模型, 计算公式如下:

$$[0099] \quad \hat{L} = B\hat{X} + d \quad (4)$$

[0100] 设有n个观测值方程为:

$$[0101] \quad \begin{cases} L_1 + v_1 = a_1\hat{X}_1 + b_1\hat{X}_2 + \dots + t_1\hat{X}_t + d_1 \\ L_2 + v_2 = a_2\hat{X}_1 + b_2\hat{X}_2 + \dots + t_2\hat{X}_t + d_2 \\ \dots \dots \dots \\ L_n + v_n = a_n\hat{X}_1 + b_n\hat{X}_2 + \dots + t_n\hat{X}_t + d_n \end{cases} \quad (5)$$

[0102] 令

$$[0103] \quad \begin{cases} \hat{X}_j = X_j^0 + \hat{x}_j \quad (j = 1, 2, \dots, t) \\ l_i = L_i - (a_iX_1^0 + b_iX_2^0 + \dots + t_iX_t^0 + d_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (6)$$

[0104] 则得误差方程:

$$[0105] \quad v_i = a_i\hat{x}_1 + b_i\hat{x}_2 + \dots + t_i\hat{x}_t - l_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

[0106] 则公式(4)中:

$$[0107] \quad B = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & \dots & t_1 \\ a_2 & b_2 & \dots & t_2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_n & b_n & \dots & t_n \end{bmatrix}$$

[0108] $d = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n]^T$, $\hat{X}$ 为所选的独立参数。

[0109] 对参数 $\hat{X}$ 取近似值 X^0 , 使

$$[0110] \quad \hat{X} = X^0 + \hat{x} \text{ 其中 } \hat{x} \text{ 为待定参数。} \quad (8)$$

[0111] 将公式(8)式代入公式(4)中, 令:

$$[0112] \quad l = L - (BX^0 + d) = L - L^0, L^0 = X^0 + d \quad (9)$$

[0113] 建立间接平差的随机模型, 计算公式如下:

$$[0114] \quad D = \sigma_0^2 Q = \sigma_0^2 P^{-1} \quad (10)$$

[0115] 公式(10)中, D 为方差; σ_0^2 为单位权方差; Q 为协因数阵, 通常为权阵的逆; P 为权阵。

[0116] 建立误差方程, 计算公式如下:

[0117] $V = B\hat{x} - l \quad (11)$

[0118] 公式(11)式中,B、l的计算方法同公式(8)、(9)。

[0119] 建立法方程,计算公式如下:

[0120] $B^T P B \hat{x} - B^T P l = 0 \quad (12)$

[0121] 推导过程如下:

[0122] 根据公式(11),公式(12)中的 $\hat{x}$ 要满足 $V^T P V = \min$,因为有t个参数为独立量,求函数自由极值,得:

[0123] $\frac{\partial V^T P V}{\partial \hat{x}} = 2 V^T P \frac{\partial V}{\partial \hat{x}} = V^T P B = 0$

[0124] 转置后得 $B^T P V = 0$ 。将 $V = B\hat{x} - l$,代入上式得:

[0125] $B^T P B \hat{x} - B^T P l = 0$,解得:

[0126] $\hat{x} = (B^T P B)^{-1} B^T P l \quad (13)$

[0127] 建立单位权中误差方程,计算公式如下:

[0128] $\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{r}} \quad (14)$

[0129] 式中, $\hat{\sigma}_0$ 表示单位权中误差,V、P上同(13)式。

[0130] 其中,r为多余观测数。 $r = n - t$,其中n表示观测值个数,t表示必要观测数。

[0131] 在本申请的一个具体实施例中,各边角测量数据及已知点坐标,如表1所示。

[0132] 表1:

[0133]

点号	坐标		编号	边长	编号	角度
J1	300.0000	500.0000	S1	131.8709	$\beta 1$	2 24 54
J2	328.2674	503.8465	S2	103.7728	$\beta 2$	2 32 18.5
-	-	-	S3	87.9033	$\beta 5$	166 33 55.4
-	-	-	S4	60.0073	$\beta 6$	164 01 35
J5	598.9402	553.4038	S5	57.7040	$\beta 3$	6 43 54.8
J6	621.7751	562.2502	S6	81.9332	$\beta 4$	2 57 43.9
-	-	-	S7	32.9554	$\beta 7$	161 17 25.4
-	-	-	S8	60.5406	$\beta 8$	168 01 20.2

[0134] 根据公式1、2所示的计算方法,计算待定点T1、T2的近似坐标,再根据T1、T2的近似坐标值及相应边长、方位角,按坐标增量计算J3、J4的近似坐标值,如表2所示。

[0135] 表2:

点号	X	Y	符合差
T1	431.84980	497.53682	-
T2	549.55158	523.56351	-
T1-J3	490.43702	510.51427	X:4.52mm
T2-J3	490.43250	510.52134	Y:-7.07mm
T1-J4	518.43057	512.72762	X:6.48mm
T2-J4	518.42409	512.74049	Y:-12.87mm

[0137] 其中,考虑到近似值的计算公式变形导致坐标有不同,T1-J3表示由T1向J3方向推导所得J3坐标,T2-J3表示由T2向J3方向推导所得J3坐标;依次类推。

[0138] 采用公式(1)、(2)进行坐标近似值的对向推导,符合差绝对值均小于13mm,与采用后方交会模型所采用的余切公式计算的坐标近似值相比较,其公式计算导致的变形较小。在所示图形条件下,余切公式的近似值变形约为35mm,公式(1)、(2)计算的近似值的变形量约为余切公式的1/3,极大的提高了精度。

[0139] 将表2中的数据代入上述(3-1)~(3-17)公式中,计算误差方程如下:

[0140] $v_{S1} = 0.9998x_{t1} - 0.0187y_{t1} + 1.91$

[0141] $v_{S2} = 0.9982x_{t1} - 0.0608y_{t1} + 1.6$

[0142] $v_{\beta1} = -0.0916x_{t1} - 0.4201y_{t1} + 2.2$

[0143] $v_{\beta6} = -0.6225x_{t1} + 5.340y_{t1} + 0.7434x_{j3} - 3.360y_{j3} - 7.1$

[0144] $v_{S4} = -0.9763x_{t1} - 0.2162y_{t1} + 0.9766x_{j3} + 0.2162y_{j3}$

[0145] $v_{\beta5} = -0.2847x_{t1} + 4.2951y_{t1} + 0.4055x_{j4} - 2.3111y_{j4} - 9.5$

[0146] $v_{S3} = -0.9850x_{t1} - 0.1728y_{t1} + 0.9850x_{j4} + 0.1728y_{j4} - 3.2$

[0147] $v_{\beta2} = 0.3379x_{t1} - 1.0448y_{t1} - 0.7434x_{j3} + 3.3560y_{j3} + 0.4055x_{j4} - 2.3112y_{j4}$

[0148] $v_{S6} = -0.8815x_{t2} - 0.4722y_{t2} - 0.97$

[0149] $v_{S5} = -0.8559x_{t2} - 0.5171y_{t2} - 0.68$

[0150] $v_{\beta4} = -0.6598x_{t2} + 0.8403y_{t2} + 7.5$

[0151] $v_{S8} = 0.9765x_{j3} + 0.2154y_{j3} - 0.9765x_{t2} - 0.2154y_{t2}$

[0152] $v_{\beta7} = -2.5821x_{t2} + 6.3866y_{t2} + 0.2154x_{j3} - 0.9765y_{j3} + 36.6$

[0153] $v_{S7} = 0.9445x_{t2} + 0.3284y_{t2} - 0.9445x_{j4} - 0.3284y_{j4}$

[0154] $v_{S7} = 0.9445x_{t2} + 0.3284y_{t2} - 0.9445x_{j4} - 0.3284y_{j4}$

[0155] $v_{\beta3} = -1.3215x_{t2} + 2.5847y_{t2} + 2.0555x_{j4} - 5.9118y_{j4} - 0.7340x_{j3} + 3.3271y_{j3}$

[0156] 根据公式(4)进行计算,计算间接平差函数模型:

[0157] $\hat{L} = B\hat{X} + d \quad (4)$

[0158] 有B矩阵:

$$[0159] \begin{bmatrix} 0.9998 & -0.0187 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.9982 & -0.0608 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0916 & -0.4201 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.6225 & 5.3399 & 0.7434 & -3.3560 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.9763 & -0.2162 & 0.9766 & 0.2163 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.2847 & 4.2951 & 0 & 0 & 0.4055 & -2.3112 & 0 & 0 \\ -0.9850 & -0.1728 & 0 & 0 & 0.9849 & 0.1728 & 0 & 0 \\ 0.3379 & -1.0448 & -0.7434 & 3.3560 & 0.4055 & -2.3112 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.8815 & -0.4722 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.8559 & -0.5171 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.6598 & 0.8403 \\ 0 & 0 & 0.9765 & 0.2154 & 0 & 0 & -0.9765 & -0.2154 \\ 0 & 0 & 0.2154 & -0.9765 & 0 & 0 & -2.5821 & 6.3866 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.9445 & 0.3284 & 0.9445 & 0.3284 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.9445 & -5.9118 & -3.9041 & 8.9713 \\ 0 & 0 & -0.7340 & 3.3271 & 2.0555 & -5.9118 & -1.3215 & 2.5847 \end{bmatrix}$$

[0160] 按全站仪标称精度定权,计算间接平差的随机模型:

$$[0161] \quad D = \sigma_0^2 Q = \sigma_0^2 P^{-1} \quad (10)$$

[0162] 则有权阵P矩阵:

$$[0163] \quad P = \text{diag}[0.672 \ 0.727 \ 1.000 \ 1.000 \ 0.826 \ 1.000 \ 0.761 \ 1.000 \ 0.774 \ 0.832 \\ 1.000 \ 0.825 \ 1.000 \ 0.899 \ 1.000 \ 1.000]$$

[0164] 根据公式(9),常数项l矩阵:

$$[0165] \quad l = [1.91 \ 1.60 \ 2.20 \ -7.1 \ 0 \ -9.5 \ -3.2 \ 0 \ -0.97 \ -0.68 \ 7.5 \ 0 \ 36.6 \ 0 \ 36.6 \\ 0]^T$$

[0166] 根据公式(12),计算法方程,

$$[0167] \quad \text{得 } N_{BB} = B^T P B =$$

$$\begin{bmatrix} 3.5129 & -4.6140 & -1.5019 & 3.0486 & -0.7164 & -0.2525 & 0 & 0 \\ -4.6140 & 48.2956 & 4.5717 & -21.4657 & 1.1886 & -7.5349 & 0 & 0 \\ -1.5019 & 4.5717 & 3.2654 & -7.2938 & -1.8102 & 6.0572 & -0.3731 & -0.6948 \\ 3.0486 & -21.4657 & -7.2938 & 34.6254 & 8.1998 & -27.4254 & -2.0490 & 2.3246 \\ -0.7164 & 1.1886 & -1.8102 & 8.1998 & 10.3187 & -21.0309 & -11.5430 & 23.4748 \\ -0.2525 & -7.5349 & 6.0572 & -27.4254 & -21.0309 & 112.0079 & 25.8749 & -70.0605 \\ 0 & 0 & -0.3731 & -2.0490 & -11.5430 & 25.8749 & 26.8903 & -54.3424 \\ 0 & 0 & -0.6948 & 2.3246 & 23.4748 & -70.0605 & -54.3424 & 129.1891 \end{bmatrix}$$

$$[0168] \quad W = B^T P l = \begin{bmatrix} 11.7646 \\ -79.3157 \\ 2.6068 \\ -11.9131 \\ 68.9822 \\ -194.8344 \\ -241.1953 \\ 569.0469 \end{bmatrix}$$

[0169] 根据公式(12)解得: $X = N_{BB}^{-1} * W = \begin{bmatrix} 0.4261 \\ -1.1713 \\ -0.3085 \\ 0.3055 \\ -5.1540 \\ 0.8872 \\ -1.7655 \\ 5.0726 \end{bmatrix}$

[0170] 根据公式(11)误差方程,计算 $V = B\hat{x} - l = \begin{bmatrix} -1.4621 & -1.1034 \\ -1.7470 & -0.6747 & -0.3980 & 0.2072 & -1.9399 & -1.5181 \\ 0.1311 & -0.4321 & -2.0726 & 0.3958 & -0.0093 & -0.3785 \\ -0.0387 & 0.8482 \end{bmatrix}^T$

[0171] 根据公式(14),计算单位权中误差:

[0172] $\sigma_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{r}} = \sqrt{\frac{16.6134}{16 - 8}} = 1.441mm$

[0173] $Q = N_{BB}^{-1} = \begin{bmatrix} 0.4735 & 0.0089 & 0.3080 & -0.0071 & 0.1912 & 0.0042 & 0.1318 & 0.0248 \\ 0.0089 & 0.0541 & 0.0068 & 0.0639 & -0.0553 & 0.0221 & 0.0149 & 0.0272 \\ 0.3080 & 0.0068 & 0.8836 & 0.1413 & 0.2079 & 0.0212 & 0.2883 & 0.0972 \\ -0.0071 & 0.0639 & 0.1413 & 0.1550 & -0.0980 & 0.0424 & 0.0618 & 0.0648 \\ 0.1912 & -0.0553 & 0.2079 & -0.0980 & 0.4400 & 0.0032 & 0.1932 & 0.0059 \\ 0.0042 & 0.0221 & 0.0212 & 0.0424 & 0.0032 & 0.0317 & 0.0443 & 0.0346 \\ 0.1318 & 0.0149 & 0.2883 & 0.0618 & 0.1932 & 0.0443 & 0.4315 & 0.1709 \\ 0.0248 & 0.0272 & 0.0972 & 0.0648 & 0.0059 & 0.0346 & 0.1709 & 0.0967 \end{bmatrix}$

[0174] 根据 $D = \sigma_0^2 * Q$,计算可得表3各参数精度数据。

[0175] 表3:

点号	σ_x^2	σ_y^2	σ (mm)
T1	0.9833	0.1124	1.05
J3	1.8350	0.3219	1.47
J4	0.9138	0.0657	0.99
T2	0.8961	0.2007	1.04

[0177] 由表3可以看出,整体精度为1.41mm。在直径6.2米的隧道空间内,通过全站仪单向1测回测得的边长,角度与两端控制点的解算达到该精度,满足变形监测控制网二等的要

求。

[0178] 由于隧道内空间狭窄,若处于直线段,尽管有相对较好的通视条件,但是在固定隧道直径的条件下,距离越长,角度越小(或者接近180),且边长观测会受到来自监测点小棱镜的干扰,距离的精度会有所降低。因而,在直线段的多台全站仪的坐标传递测量中,其两台全站仪之间的间距也不宜超过150m。太近,布置坐标传递棱镜的边长较短;太远,导致所要布置的坐标传递总有一条边超过100m以上,又因全站仪处于观测区域中间位置,容易受到小视场角的影响。

[0179] 本具体实施方式的实施例均为本发明的较佳实施例,并非依此限制本发明的保护范围,故:凡依本发明的结构、形状、原理所做的等效变化,均应涵盖于本发明的保护范围之内。

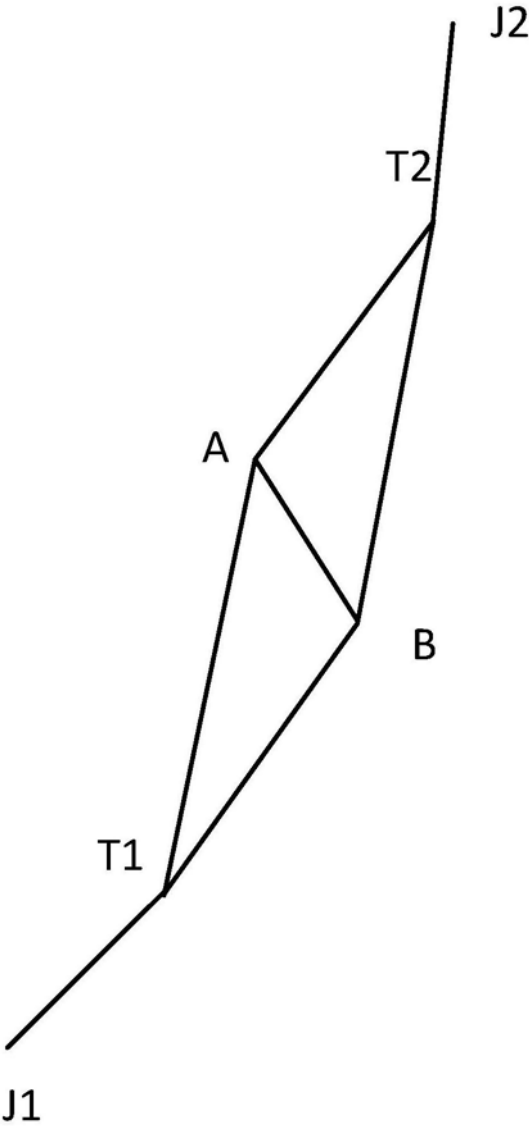


图1

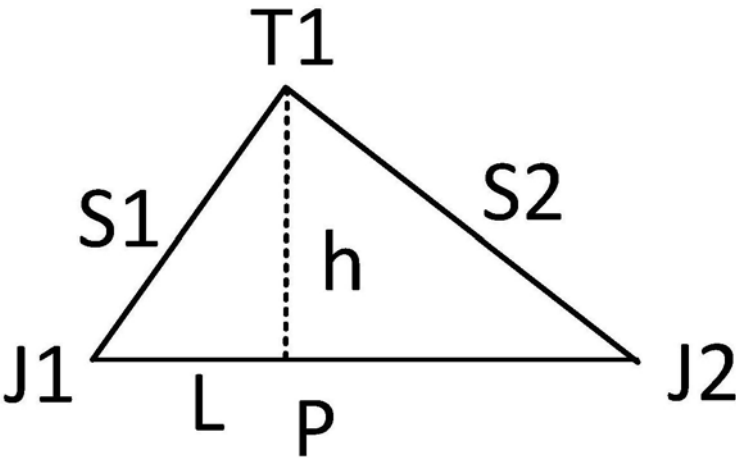


图2

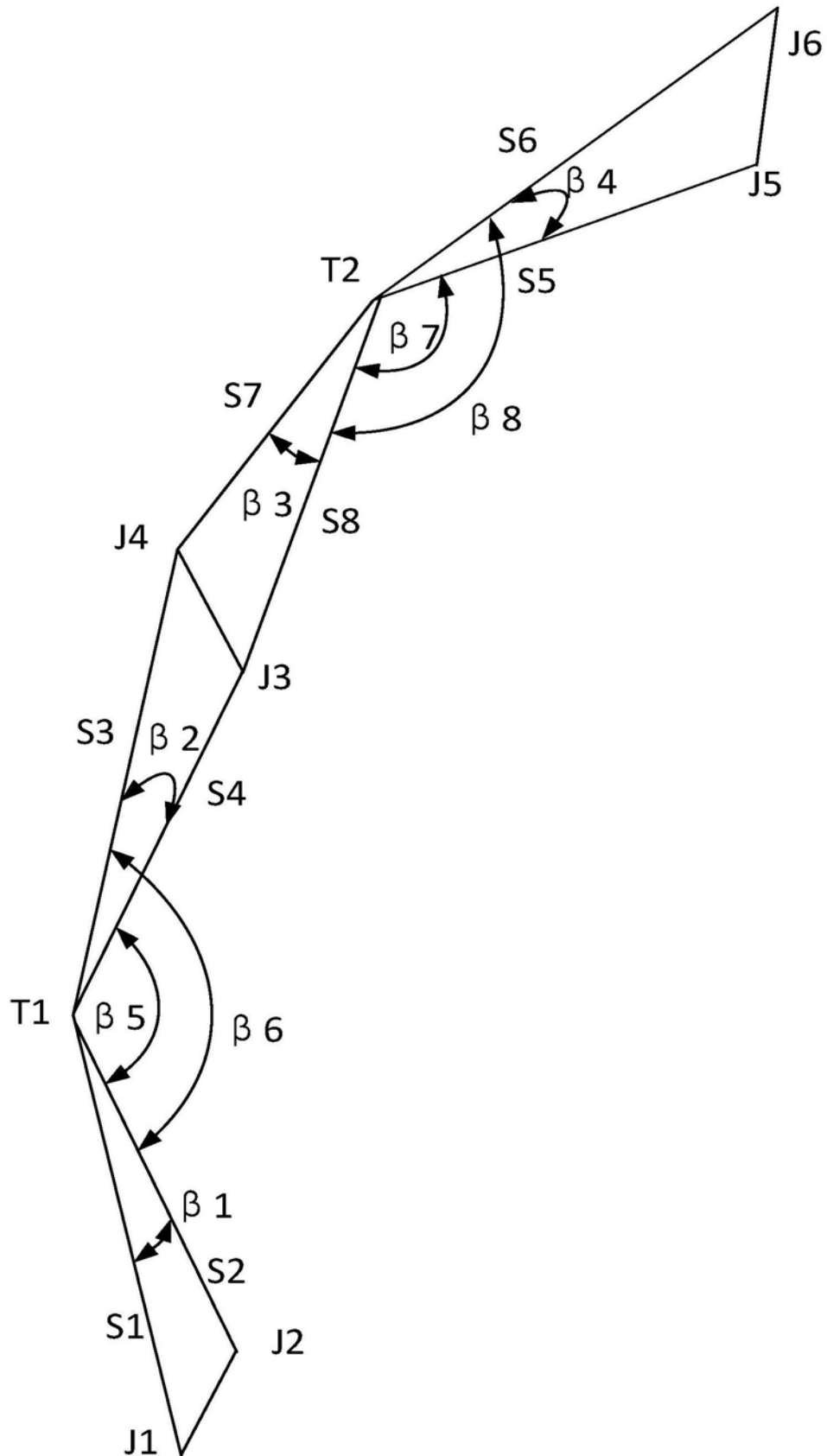


图3