

平巷貫通測量設計的反算法

· 云南冶金局勘探公司 ·

为了加速平巷的掘进, 使所打巷道早日投入生产, 地下巷道經常需要对向貫通。一般設計的方法是先规定了貫通的允許偏差, 然后规定各項测量的方法及精度要求, 根据地面与地下控制图形进行誤差預計, 这会使某几項測量精度规定得过高, 而另一些又规定得过低, 以致返工浪费。为了使各項測量工作的精度要求更合理, 各項操作规定得更适当, 采用反算法来設計。反算的计算过程是:

1. 规定貫通后的水平面及垂直面极限誤差。
2. 將允許誤差适当的分配給各項測量工作。
3. 根据誤差預計公式及分配的允許差反求对各項測量工作的精度要求。
4. 根据图形及路綫長短与精度要求, 规定各項操作的方法及精度要求。

茲將平巷貫通測量設計的计算方法与计算过程闡述如下:

一、貫通誤差的分配

在接受貫通測量任务后, 先作出地面三角网及地下巷内導綫的設計, 並定出預計貫通点 K, 通过 K 点, 沿貫通巷道作 y 軸, 通过 K 点作一直綫, 垂直于 y 为 x 軸, 則平巷貫通的平面誤差可分为两个量。一个量是貫通軸綫方向的誤差 M_y , 一个是垂直于貫通軸綫方向的 M_x , 一般只考虑 X 方向的偏差, 即 M_{x0} , M_x 是极限差, 规定中誤差为

$$(m_{x\oplus}) = -\frac{1}{3} M_x. \quad (1)$$

$m_{x\oplus}$ 的中誤差, 包括地面三角点及平巷導綫的誤差 $(m_{x\Delta})$ 及 $(m_{x\oplus})$ 兩項而引起即:

$$(m_{x\oplus}) = \sqrt{(m_{x\Delta})^2 + (m_{x\oplus})^2} \quad (2)$$

依适当比例分配

$$(m_{x\oplus}) = a (m_{x\Delta}). \quad (3)$$

將 (3) 式代入 (2) 式則

$$(m_{x\oplus})^2 = (m_{x\Delta})^2 + a^2 (m_{x\Delta})^2$$

$$(m_{x\oplus})^2 = (m_{x\Delta})^2 \times (a^2 + 1)$$

$$(m_{x\Delta}) = \frac{(m_{x\oplus})}{\sqrt{a^2 + 1}} \quad (4)$$

(3) (4) 式內 a 为常数, a 的规定是看地面三角网及地下導綫的强度, 比較而定, 若是地面的三角网图形好, 地下導綫亦沒有短边, 則强度相仿 $a=2$, 若地面三角网图形好, 而地下導綫有短边强度差, 則可规定 $a=3, 4$ 或 5 , 由下表可看出 a 的不同值, 得出的不同 $m_{x\Delta}$ 与 $(m_{x\oplus})$ 对 $(m_{x\oplus})$ 的影响为

誤差分配比值 a 表 1

a	$(m_{x\Delta})$		$(m_{x\oplus})$	
	数值	对 $(m_{x\oplus})$ 的影响	数值	对 $(m_{x\oplus})$ 的影响
1	$0.71(m_{x\oplus})$	50%	$0.71(m_{x\oplus})$	50%
2	$0.45(m_{x\oplus})$	20%	$0.90(m_{x\oplus})$	80%
3	$0.32(m_{x\oplus})$	10%	$0.96(m_{x\oplus})$	90%
4	$0.24(m_{x\oplus})$	6%	$0.97(m_{x\oplus})$	94%
5	$0.20(m_{x\oplus})$	4%	$0.98(m_{x\oplus})$	90%

$m_{x\Delta}$ 及 $m_{x\oplus}$ 又可分为边长誤差及測角誤差, 对 K 点 x 軸上偏差的影响 $(m_{\Delta s})$, $(m_{x\Delta s})$, $(m_{x\oplus s})$, $(m_{x\Delta \theta})$, 要求測角与量边誤差影响是相等的, 則可以得到下式:

$$(m_{x\Delta s}) = (m_{x\Delta \theta}) = \frac{(m_{x\Delta})}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

$$(m_{x\oplus s}) = (m_{x\oplus \theta}) = \frac{(m_{x\oplus})}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

二、求測角中誤差 m_θ 及边长相对誤差 f

測角中誤差 m_θ 及边长相对誤差 f 是根据貫通点誤差預計公式导来

$$(m_{x\theta}) = \pm m_\theta \sqrt{\sum R_y^2} \quad m_\theta = \pm \frac{(m_{x\theta})}{\sqrt{\sum R_y^2}} \quad (7)$$

$$(m_{x_s}) = \pm f \sqrt{\sum S_x^2} \quad f = \pm \frac{(m_{x_s})}{\sqrt{\sum S_x^2}} \quad (8)$$

上兩式中:

R_y 是導綫点或三角点至 K 点的距离在 y 軸上的

投影;

S_x 是每一条导线边在 x 轴上的投影;

m_θ 是测角中误差;

f 是边长相对误差。

($m_{x\theta}$) 由于测角误差而引起对贯通点 K 的偏差在 x 轴上的投影。

由公式 (7) (8) 即可导出适合我们的公式:

$$\left. \begin{aligned} m_{\theta\Delta} &= \pm \frac{(m_{x\Delta\theta})}{\sqrt{\sum R_y^2}} = \pm \frac{(m_{x\Delta})}{\sqrt{2\sum R_y^2}} \\ f_{\Delta} &= \frac{(m_{x\Delta\theta})}{\sqrt{\sum S_x^2}} = \frac{(m_{x\Delta})}{\sqrt{2\sum S_x^2}} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} m_{\theta B} &= \pm \frac{(m_{x\theta B})}{\sqrt{\sum R_y^2}} = \pm \frac{(m_{x\theta})}{\sqrt{2\sum R_y^2}} \\ f_B &= \frac{(m_{x\theta B})}{\sqrt{\sum S_x^2}} = \frac{(m_{x\theta})}{\sqrt{2\sum S_x^2}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

由 (9) (10) 两式求出 $m_{\theta\Delta}$ 、 f_{Δ} 与 $m_{\theta B}$ 、 f_B 后可以看出 n 值选的是否适当, 一般应该

$$\left. \begin{aligned} m_{\theta\Delta} &< m_{\theta B} \\ f_{\Delta} &< f_B \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

若 n 值选的不恰当则不能满足 (11) 式要求:

三、地面平面控制的设计

$m_{\theta\Delta}$ 是全网及三角插点要求的测角中误差。

f_{Δ} 是各边的相对误差。

$f_{\Delta\text{弱}}$ 为接近最弱边坑口三角插点的边长相对误差, 由插点边长误差公式推算最弱边之相对误差 $f_{\Delta\text{弱}}$ 然后根据图形推算起始边误差。

(一) 轴点精度计算公式及最弱边精度之计算, 由数点决定某一点的位置时, 计算其中一边之相对误差的近似公式为:

$$\begin{aligned} \left(\frac{m_{\theta}}{S}\right)^2 &= \frac{m_{\theta\Delta}^2}{2p''^2(n-1)} + f_{\Delta\text{弱}}^2 \\ \text{即 } (f_{\Delta})^2 &= \frac{m_{\theta\Delta}^2}{2p''^2(n-1)} + f_{\Delta\text{弱}}^2 \\ \therefore f_{\Delta\text{弱}} &= \sqrt{f_{\Delta}^2 - \frac{m_{\theta\Delta}^2}{2p''^2(n-1)}} \quad (12) \end{aligned}$$

式中:

$f_{\Delta\text{弱}}$ ——最弱边相对中误差;

p'' —— 2.06×10^6 ;

n ——为插点方向数;

$m_{\theta\Delta}$ ——为平差后测角中误差;

f_{Δ} ——为插点之误差预计的一边之边长相对误差即 (9) 式计算出的 f_{Δ} 。

若图形复杂则应另采取计算公式:

(二) 起始边精度计算

$$f_{\Delta\text{弱}} = -\frac{m_{\theta}}{a} = -\frac{m_{\theta\text{弱}}}{434300}$$

$$m_{\theta\text{弱}} = f_{\Delta\text{弱}} 434300$$

$$m_{\theta\text{弱}} = \sqrt{m_{\theta\text{弱}}^2 - m_{\theta\Delta}^2} \quad (13)$$

$$f_{\Delta\text{弱}} = -\frac{m_{\theta\text{弱}}}{434300}$$

(12) 式中:

a 为最弱边;

b 为起始边端线, 或扩大边;

$m_{\theta\text{弱}}$ 为最弱边误差以六位对数为单位的对数值;

$m_{\theta\text{弱}}$ 为起始边误差以六位对数为单位的对数值;

$m_{\theta\Delta}$ 为三角网的平差后测角中误差;

Q 为由起始边 b 根据图形算到最弱边 a 的权测数;

$Q = [q]$

q 由下式决定:

$$\text{三角网内之三角形 } q = \frac{4}{5} R$$

$$\text{在完全四边形中之三角形 } q = \frac{4}{5} R \quad (14)$$

$$\text{在多边形中点中的三角形 } q = \frac{9}{10} R$$

$$R = \delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B$$

(14) 式中 R 可由表查得:

$f_{\Delta\text{弱}}$ 为三角网最弱边精度;

$f_{\Delta\text{弱}}$ 为起始边相当误差。

对基线网及基线精度的要求亦可按 (13) 式推算。

(三) 三角网各条件不符值的规定

1. 三角形闭合差极限差

$$w_{\Delta\text{弱}} = b_{\Delta} m_{\theta\Delta} / 3 \quad (15)$$

2. 极条件闭合差自由项及基线条件自由项极限差。

$$w_{\Delta} = b_{\Delta} m_{\theta\Delta} / (\delta\delta) \quad (16)$$

δ 为求短角的秒差以六位对数为单位。

3. 水平方程条件, 即站方程系符合, 只有角度平差时才有。

$$w_{\Delta} = b_{\Delta} m_{\theta\Delta} / n \quad (17)$$

上式中 n 为站之水平角数。

4. 方位条件:

$$w_f = b_f m_{\Delta\theta} \sqrt{n} \quad (18)$$

上式中 n 为方位角推算角数, 只有当方位角测量精度高于测角中 $m_{\Delta\theta}/\sqrt{2}$ 时才加入(18)式之条件。

5. (15) (16) (17) (18) 式中 b_{Δ} 、 b_{θ} 、 $b_{\Delta\theta}$ 、 b_f 为中误差 $m_{\Delta\theta}$ 与极限误差的倍常数, 可查表 2 得。表 2 之查法是先求得该类条件数 C , 算出 $1/c$ 后, 于表 2 中找 $1/c$ 栏反求得相应之 b 值。

表 2

误差出现于 O 与 bm 间之是或率

b	$\frac{1}{c}$	b	$\frac{1}{c}$	b	$\frac{1}{c}$
0.0		1.0	0.3173	2.0	0.0455
0.1	0.9203	1.1	0.2713	2.1	0.0357
0.2	0.8415	1.2	0.2301	2.2	0.0278
0.3	0.7642	1.3	0.1936	2.3	0.0215
0.4	0.6892	1.4	0.1615	2.4	0.0164
0.5	0.6171	1.5	0.1336	2.5	0.0124
0.6	0.5485	1.6	0.1096	2.6	0.0093
0.7	0.4939	1.7	0.0891	2.7	0.0069
0.8	0.4236	1.8	0.0719	2.8	0.0051
0.9	0.3681	1.9	0.0574	2.9	0.0037
1.0	0.3173	2.0	0.0455	3.0	0.0027

表 2 中: b 为中误差之倍数, c 为条件个数。

应用表 2 时, 若条件少于 3 个, 则极限差之限值 $b=1$ 。

(四) 经纬仪——测回中误差及测回数之确定。

测角中误差的瞄准误差及估读误差由下式计算

$$\left. \begin{aligned} m_{\theta i} &= \sqrt{m_{\theta}^2 + m_0^2} \\ m_{\theta} &= \frac{100''}{v} \\ m_0 &= \pm \frac{0.37}{\sqrt{2}} T \quad (\text{读两次或读两个游标}) \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

(19) 式中:

$m_{\theta i}$ 为经纬仪一测回中误差;

m_{θ} 为瞄准误差;

v 为仪器放大倍数;

m_0 为估读误差;

T 为仪器最小读数。

测角误差另一因素是觇标及测站仪器偏心计算公式依下式 (20) 式算得:

$$m_{\theta o} = \pm p'' \sqrt{e_1^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) - e^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{a}{ab} \right) (\cos \beta)} \quad (20)$$

(20) 式中

$m_{\theta o}$ ——由于测站偏心及导线前后视觇标偏心而引起的测角的误差;

e_1 ——觇标最大偏心值;

e ——测站对点最大偏心值;

a ——导线后视边边长;

b ——导线前视边边长;

β ——导线夹角;

ρ'' ——弧度秒值 20600。

则三角测量导线测量之测量角中误差为

$$m_{\theta} = \sqrt{m_{\theta i}^2 + m_{\theta o}^2} \quad (21)$$

若是 $m_{\theta o}$ 很大, 则应放长 a 或 b , 或 a 、 b 边已定, 则应提高 e_1 、 e 的精度, 最好用光学对点器及三联脚架法进行测角, 以提高 $m_{\theta o}$ 的精度。当三角测量边很长时测站偏心及觇标偏心所产生的误差小于 $m_{\theta o}$ 的 $\frac{1}{4}$ 时, 则测角中误差可不考虑偏心误差。

以上是理论值, 实际数值由于自然条件的影响往往大于这数值。现在, 将一些主要仪器一测回中误差值列于表 3。

表 3

仪器一测回中误差值

仪 器	威特 T ₃	威特 T ₂	30'' 经纬仪
最小读数	0.2	1''	30''
最大倍数	30	28	22
理论值一测回中误差由 (19) 式算出	3.5''~2.6''	4''~3	8''
各规范反算出的一测回中误差	6''	8''	14''
实际三角测量反算的一测回中误差	3''~6	6''~5	12''

T_3 之实测一测回中误差 3''~6 是根据三个地区之 II III 等网反算得

T_2 之实测一测回中误差 6''~5 是根据六个地区之 III VI 等网反算得

由表 3 可以看出一些主要仪器一测回中误差。

表 3 的仪器一测回中误差理论值，根据 (19) 式算出，考虑瞄准中误差及读数误差；规范算出的一测回中误差是根据五种规范对测角中误差及测回数之规定求得。公式是： $m_{\theta} = m_{\theta 1} / \sqrt{n}$ 。实际三角测量是根据六个地区三角测量平差后的测角中误差 m_{θ} 测回数 n ， $m_{\theta} = m_{\theta 1} / \sqrt{n}$ 反算得的一测回中误差，取适当数值而列出。

计算测回数用矢测值较适合。

$$m_{T_3} = 17.6 \quad m_{T_2} = 6'' \quad m_{T_0} = 2'' \quad (22)$$

仪器一测回中误差由表 3，并参考 (19) (20)

(2) 式即可以决定，三角网测角中误差 $m_{\theta \Delta}$ 由 (9) 式求得，则测回数 n 由下式求得：

$$n = \frac{m_{\theta}^2}{m_{\theta \Delta}^2} \quad (23)$$

当三角边长很短时，则应特别注意要仪器对点及觇标偏心，亦考虑 (2) 之误差，必要时应用多联脚架法进行测角。

(五) 量距的规定

量距可按相对误差及量距的精度要求规定相应的测量方法。

经过鉴定的普通钢尺量距时，给予 10 公斤拉力，加温度及坡度改正后，一测回的相对误差可以达到。

$f_1 = 1/2.5$ 力，即 $40\sqrt{K}$ mm， K 为绳长公里数，不超过 $f_1 = 1/25000$ 可以用二支钢卷尺丈量。最好用钢绳尺丈量基线。

若是基线网，则根据基线网图形权倒数求基线精度。

四、地下导线设计

(一) 测回数：

由 (10) 式得地下导线的精度要求 $m_{\theta \Delta}$ ， f_{θ} ，由使用仪器规格参考表 3，及 (19) (20) (21) 求仪器一测回中误差 m_{θ} 。

由下式决定导线之测回数，

$$n_{\theta} = \frac{m_{\theta}^2}{m_{\theta \Delta}^2} \quad (24)$$

此时在 (20) 式中 $c = c_1 = 1$ 公厘， a 、 b 可规定几个采同类型的长度，则测回数亦有几种，当 m_{θ} 大于 m_{θ} 二倍以上时或三倍以上时，则应用三联脚架法，使 c 与 c_1 达到最小，或放长 a 与 b 之边长。

(二) 长度测度

必须用经过鉴定后的钢尺，用鉴定时的拉力加温度，坡度尺长改正，尺长标准应与地面基线一致，边长精度要求根据 (10) f_{θ} 之要求。

五、高程控制的设计

前面是讲的平面控制设计，要保证巷道在竖直面贯通，高程控制也必须进行设计，步骤如下：

(一) 误差值的分配

设贯通点允许极限偏为 $M_{\pm}$ ，则高程允许误差为

$$m_h = \frac{1}{3} M_{\pm}$$

$$m_h = \sqrt{m_{h \Delta}^2 + m_{h \pm}^2} \quad (30)$$

(30) 式中：

$m_{h \Delta}$ ——为地表水准的测量误差；

$m_{h \pm}$ ——为地下平巷内水准测量误差；

$$m_{h \pm} = \alpha m_{h \Delta} \quad (31)$$

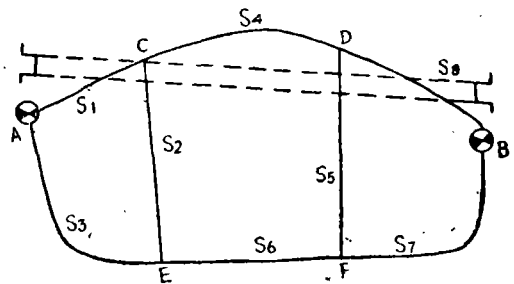
(31) 式中的 α 参考表 1，适当分配。

$$\therefore m_{h \Delta} = \frac{m_h}{\sqrt{\alpha^2 + 1}} \quad (32)$$

(二) 地面水准设计

地面水准允许差为 $m_{h \Delta}$ ，则可根据线路图按等极路线进行设计。

若有如下一条线路



A, B 为平巷口两水准点

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_7, S_8$ ，为线路长度或测站数

$$\text{则权} \quad P_i = \frac{1}{S_i} \quad S_i = \frac{1}{P_i}$$

$$\text{则} \quad P_{1,2} = P_1 + P_2 = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} = \frac{S_1 + S_2}{S_1 \cdot S_2}$$

$$P_3 = \frac{1}{S_3}$$

$$P_{A \cdot E} = P_{1 \cdot 2} + P_3 = \frac{S_1 + S_2}{S_1 \cdot S_2} + \frac{1}{S_3}$$

$$= \frac{S_1 S_3 + S_2 S_3 + S_1 S_2}{S_1 S_2 S_3} \quad (33)$$

$$\text{同理 } P_{E \cdot F} = \frac{S_4 S_5 + S_5 S_6 + S_4 S_6}{S_4 S_5 S_6}$$

$$P_{FB} = \frac{S_7 + S_8}{S_7 S_8}$$

$$P_{A \cdot B} = P_{AE} + P_{EF} + P_{FB} \quad (34)$$

$$S_{A \cdot B} = \frac{1}{P_{A \cdot B}} \quad (35)$$

由 (32) 式及 (35) 式得地面水准每公里中误差

$$m_{h \cdot \text{km}} = \frac{m_{h \cdot \text{站}}}{\sqrt{S_{A \cdot B}}} \quad (36)$$

S 若是按测站计, 则以 n 代 S, 根据 (34) 式对每公里或每站提出的误差要求, 使用仪器规格及测量方法。

水准仪每站的测量精度是根据放大倍数 v, 及水泡置平误差而求得。

$$m_0 = \pm(0.136 \cdot \frac{l}{v} + 0.02 \cdot T) \quad (37)$$

m_0 水准尺读数中误差 (以 mm 为单位);

T'' 水准器分格值;

V 放大倍数; l 为水准仪量水准尺距离。

水准尺读数的最大误差, 采用其中误差的二倍,

即 $m_{0 \max} = 2m_0$,

因每站高差 = 后 - 前, 故每站测量误差 = $2\sqrt{2}m_0$,

由 (37) 式计算表 4。

表 4

水准仪性能表 (l=50m)

仪器名称	放大倍数 V	水准 2 公厘秒值 T''	水准尺读数中误差	每站测量误差
威特 N ₃	40~36	4"	0.289mm	0.809mm
威特 N ₂	25	20"	0.858	2.402
蔡司 II	31	20"	0.804	2.251
水工 丙	22	30	0.284	3.595
云南 N ₁	30	15	0.665	1.862
阿卡尼亚 N ₁	25	30	1.150	3.237

上式中 l 为视距长度

由式 (36) 对每公里中误差的允许值, 可概略估计测站数, 求出每站的测量误差, 对照表 4, 应用什么类型仪器合适, 或有了某种水准仪用什么方法测,

如测单线或往返等即可决定。

(三) 地下水网设计

地下水网亦可按地面水准网同样的方法进行设计, 若站内是单一路线, 则更简单, 即可根据公式 (31) 及 (36) 求出 n、n 巷。

$$m_{n \cdot \text{巷}} = \frac{m_{n \cdot \text{站}}}{\sqrt{n}} \quad (38)$$

n 为巷内测站数。

由 (38) 式及表 4 即可决定用什么仪器, 采取什么方法测量。

六、注意问题

1. 进行施工必须严格按设计进行, 在工作过程中经常检查设计执行情况。

2. 有局部情况变动时应做局部调整, 当有重大变更时, 必须重新设计, 预算误差是否超出限差, 采取措施解决问题。

3. 以上设计考虑了主要精度指标, 对次要问题的精度要求是使其影响的偏差小于总误差的 $\frac{1}{5x} \sim \frac{1}{10}$ 。

4. 误差的出现必须符合误差的分布规律, 应符合表 5 之要求。

表 5

误差分布规律表

中误差倍数 b	误差不大于 bm 之或是率	若干次观测中始能出现一次
0.5	0.62	1.5
1	0.32	3
2	0.046	22
3	0.0027	370

5. 若地面三角网及地下导线网与贯通轴线大部分一致时, 计算出的边长精度要求很低, 则必须适当提高边长精度, 以免贯通轴线 y 轴方向误差太大, 贯通距离预计不正确产生安全事故。

这反算法是初次尝试, 由于牵涉到地表三角网与地下导线平面与高程等等问题, 加以所用公式大部分是近似公式, 还得继续收集资料进一步研究。由于水平有限, 问题存在很多, 希同志们给以指正。