

钻孔控制点坐标及其投影的快速算法

成都地质学院勘探教研室 文 朴

确定钻孔中各控制点的空间坐标及其在勘探线剖面上的投影位置,是综合整理勘探资料的重要一环。以往认为,每个测斜点的测斜数据是有其影响范围的,此范围乃是该测斜点到其上、下两相邻测斜点距离的一半。这种点称之为控制点,相邻两控制点的连线,称为控制深度增量 Δl_i (图1),即某测斜点 i 的测斜数据影响了 Δl_i 的长度,换句话说,在 Δl_i 范围内,都用 i 点的测斜数据代表。

为了解钻孔中各控制点的空间位置,须计算各控制点的空间坐标 X_i, Y_i, Z_i ; 又为了解各控制点在勘探线剖面上所相当的位置,还需将各控制点以一定的方式投影到勘探线剖面上,以求出沿勘探线方向 τ 的横坐标 U_i 及纵坐标(即偏离勘探线的距离) V_i 。以往由于钻孔经过处的岩(矿)层产状很难确定,通常总是假定勘探线方向 τ 垂直于各岩(矿)层的走向,因而可用正投影方式将各控制点投影到勘探线剖面上。

基于上述思想,在具体工作时,常用几何作图

法。然而几何作图法不仅速度慢,精度低,而且还要作各种辅助线;这些辅助线在最后又须擦掉,使图纸不其整洁。为此,有人根据其几何关系,用计算公式计算出各坐标及其投影,这本是一种改进,但又因计算手段不够先进,计算效率很低;虽然也有人用事先设计制好的算图(投影网)以直接根据测量数据量取长度而作图,但因算图的精度有限,又会导致制图精度不高的缺点。

为克服以上诸法的缺点,使制图速度快,精度高,图纸整洁,本文提出以下计算方法供使用。

控制深度增量 Δl_i 的确定

从图1可知, $0 \sim l_1$ 的长度为 l_1 , 其一半为 $l_1/2$ 。这前一半 $l_1/2$ 就是0号控制点深度增量 Δl_0 , 即 $\Delta l_0 = l_1/2$; 后一半 $l_1/2$ 是1号控制点的深度增量 Δl_1 的前一部分。

$l_1 \sim l_2$ 长度为 $l_2 - l_1$, 其前一半 $(l_2 - l_1)/2$ 与 $0 \sim l_1$ 段的后一半 $l_1/2$ 之和, 就是1号控制点深度增量 Δl_1 , 即 $\Delta l_1 = (l_2 - l_1)/2 + l_1/2 = l_2/2$, 所以, $\Delta l_1 = l_2/2$ 。而 $l_1 \sim l_2$ 的后一半 $(l_2 - l_1)/2$ 又是2号控制点的深度增量 Δl_2 的前一部分。

$l_2 \sim l_3$ 的长度为 $l_3 - l_1$, 其前一半 $(l_3 - l_2)/2$, 它与 $l_1 \sim l_2$ 的后一半 $(l_2 - l_1)/2$ 之和就是2号控制点的深度增量 Δl_2 , 即 $\Delta l_2 = (l_3 - l_2)/2 + (l_2 - l_1)/2 = (l_3 - l_1)/2$, 所以 $\Delta l_2 = (l_3 - l_1)/2$ 。而 $l_2 \sim l_3$ 的后一半 $(l_3 - l_2)/2$ 又是 Δl_3 的前一部分。

用同样的方法,可递推出:

$\Delta l_3 = (l_4 - l_2)/2$; $\Delta l_4 = (l_5 - l_3)/2$; ...; $\Delta l_{n-1} = (l_n - l_{n-2})/2$ 。但是最后一个控制点的深度增量 Δl_n 显然应为:

$$\Delta l_n = (l_n - l_{n-1})/2$$

可以看出,除0号、1号及最后一号控制点的深度增量分别为 $l_1/2$, $l_2/2$ 及 $(l_n - l_{n-1})/2$ 外,中间各控制点的深度增量都是有规律的,它们为:

$$\Delta l_i = (l_{i+1} - l_{i-1})/2, \quad (i = 2, 3, \dots, n-1)$$

下面将用这种控制点的深度增量计算其空间坐标增量 $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$ 及其在勘探线剖面方向的横坐标增量 ΔU_i 与垂直于勘探线方向的纵坐标增量 ΔV_i 。

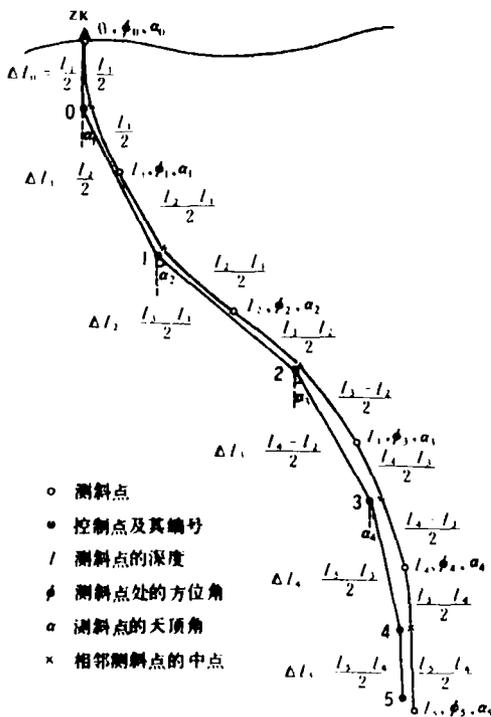


图 1

各控制点的坐标增量 及其投影计算

如图2所示, 不难证明各控制点处的坐标增量 ΔX_i , ΔY_i , ΔZ_i 及其在勘探线方向 τ 的横坐标增量 ΔU_i 与垂直于勘探线方向的纵坐标增量 ΔV_i 。其计算公式如下:

$$\begin{aligned}\Delta Z_i &= \Delta l_i \cos \alpha_i \\ \Delta U_i &= \Delta l_i \sin \alpha_i \cos (\phi_i - \tau) \\ \Delta V_i &= \Delta l_i \sin \alpha_i \sin (\phi_i - \tau) \\ \Delta X_i &= \Delta l_i \sin \alpha_i \cos \phi_i\end{aligned}$$

式中 α_i —第 i 个测斜点处的天顶角
($0^\circ < \alpha_i < 90^\circ$);

ϕ_i —第 i 个测斜点处的方位角
($0^\circ < \phi_i < 360^\circ$)

Δl_i , ΔZ_i , ΔX_i , ΔY_i , ΔU_i , ΔV_i 之意义如前述, 值得注意的是, 若 ΔV_i 为正值, 是指向勘探线方向 τ 的右侧 (顺时针方向) 增加; 若 ΔV_i 为负值, 是指向勘探线方向的左侧 (逆时针方向) 增加。其他各种增量, 也要注意其正、负符号, 以便用以作图。

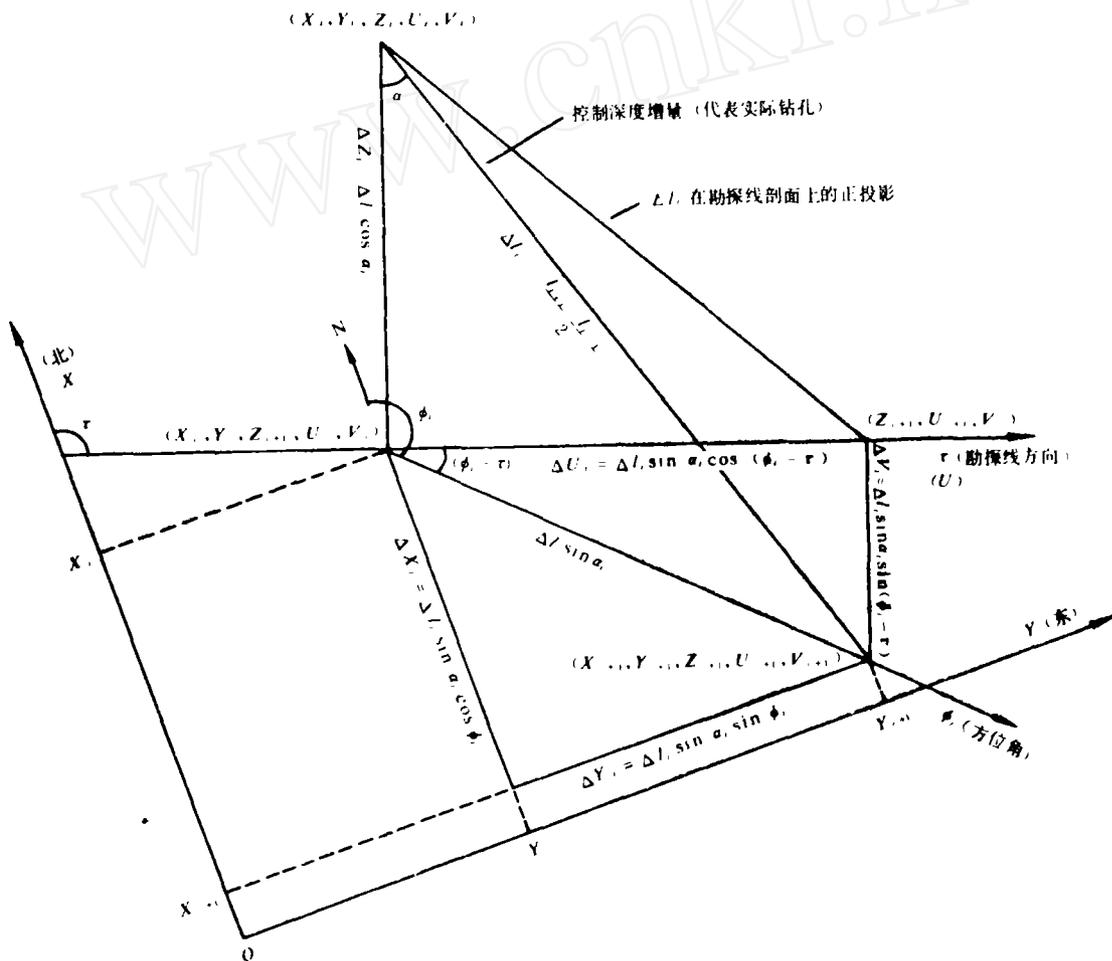


图 2

各种增量的电子计算器计算程序

以上各公式, 若查三角函数表用手工计算, 显然是较麻烦的。考虑到电子计算器已较为普及, 日本夏普公司的产品“EL—5002”型计算器性能

良好, 我国广州生产的“8031”型及大连生产的“DS—5”型电子计算器, 其性能和用法又和日本“EL—5002”型完全相同, 这类计算器市上供应较多, 许多地质单位都有, 为此, 特按这类计算器的性能, 设计一个计算上述公式的程序如下。

LRN **DEG** (将开关置于 **LRN** 及 **DEG** 位置处)

(然后按以下各键)

→DEG STO 1 - RCL 3 = x→M [x] 1 ↓ [x] →DEG F →xy F LOOK ↓ STO 2
 ↓ RM F →xy F LOOK ↓ F LOOK RCL 2 ↓ RCL 1 F →xy F LOOK ↓

COMP (将开关从 **LRN** 搬到 **COMP** 上, 其他不动)

(然后按以下各键, 其中 $r, \phi, \Delta l, a$ 为实际数字)

r →DEG STO 3 ϕ_0 COMP Δl_0 COMP a_0 COMP [显示 ΔZ_0]
 COMP [显示 ΔU_0]
 COMP [显示 ΔV_0]
 COMP [显示 ΔX_0]
 COMP [显示 ΔY_0]
 ϕ_1 COMP Δl_1 COMP a_1 COMP [显示 ΔZ_1]
 COMP [显示 ΔU_1]
 COMP [显示 ΔV_1]
 COMP [显示 ΔX_1]
 COMP [显示 ΔY_1]

按此方式计算下去, 则可求得全部增量值。

这种计算方式, 须要事先根据各测斜点的深度

l_i 算出 Δl_i , 才能进入程序计算。

如果不想先算出 Δl_i , 直接用原记录深度 l_i 进

行计算, 则可用下面的方式输入数据:

LRN **DEG** (在这后面的按键与第一种方式相同)

COMP

r →DEG STO 3 ϕ_0 COMP $l_1 + 2 =$ COMP a_0 COMP [显示 ΔZ_0]
 COMP [显示 ΔU_0]
 COMP [显示 ΔV_0]
 COMP [显示 ΔX_0]
 COMP [显示 ΔY_0]
 ϕ_1 COMP $l_2 + 2 =$ COMP a_1 COMP [显示 ΔZ_1]
 COMP [显示 ΔU_1]
 COMP [显示 ΔV_1]
 COMP [显示 ΔX_1]
 COMP [显示 ΔY_1]
 ϕ_2 COMP $l_3 - l_1 = + 2 =$ COMP a_2 COMP [显示 ΔZ_2]
 COMP [显示 ΔU_2]
 COMP [显示 ΔV_2]
 COMP [显示 ΔX_2]
 COMP [显示 ΔY_2]
 ϕ_3 COMP $l_4 - l_2 = + 2 =$ COMP a_3 COMP [显示 ΔZ_3]
 COMP [显示 ΔU_3]
 COMP [显示 ΔV_3]

COMP [显示 ΔX_3]

COMP [显示 ΔY_3]

.....
.....
.....
.....

ϕ_n COMP $l_n - l_{n-1} = + 2 =$ COMP α_n COMP [显示 ΔZ_n]

COMP [显示 ΔU_n]

COMP [显示 ΔV_n]

COMP [显示 ΔX_n]

COMP [显示 ΔY_n]

我们用第一种计算方式举一实例, 计算如下:
设某勘探线方向 $\tau = 126^\circ 30'$, 此线上有一已

施工的钻孔, 其测斜结果列如下表, 试求各控制点的各种增量, 并将计算结果填入表中相应各栏。

测斜点号	原始数据			增量计算				
	测量深度 (m)	方位角	天顶角	ΔZ (m)	ΔU (m)	ΔV (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
0	0	$126^\circ 18'$	$0^\circ 10'$	24.155	0.070	-0.0002	-0.042	0.057
1	48.31	$137^\circ 13'$	$1^\circ 07'$	50.605	0.969	0.183	-0.724	0.670
2	101.23	$148^\circ 09'$	$2^\circ 30'$	52.895	2.147	0.852	-1.962	1.219
3	154.20	$173^\circ 30'$	$3^\circ 52'$	56.965	2.626	2.816	-3.825	0.436
4	215.42	$161^\circ 15'$	$5^\circ 02'$	52.865	3.826	2.654	-4.409	1.497
5	260.34	$152^\circ 13'$	$6^\circ 14'$	22.327	2.197	1.058	-2.158	1.137

解: **LRN** **DEG**

\rightarrow DEG STO 1 - RCL 3 = x \rightarrow M [x] 1 ; [x] \rightarrow DEG F \rightarrow xy F LOOK ; STO 2 ; RM F \rightarrow xy F LOOK ; F LOOK RCL 2 ; RCL 1 F \rightarrow xy F LOOK ;

COMP

126.3 \rightarrow DEG STO 3 126.18 COMP 48.31 + 2 = COMP .1 COMP [$\Delta Z_0 = 24.155$]
COMP [$\Delta U_0 = 0.070$]
COMP [$\Delta V_0 = -0.0002$]
COMP [$\Delta X_0 = -0.042$]
COMP [$\Delta Y_0 = 0.057$]

137.13 COMP 101.23 + 2 = COMP 1.07 COMP [$\Delta Z_1 = 50.605$]
COMP [$\Delta U_1 = 0.969$]
COMP [$\Delta V_1 = 0.183$]
COMP [$\Delta X_1 = -0.724$]
COMP [$\Delta Y_1 = 0.670$]

148.09 COMP 154.2 - 48.31 = + 2 = COMP 2.3 COMP [$\Delta Z_2 = 52.895$]
COMP [$\Delta U_2 = 2.147$]
COMP [$\Delta V_2 = 0.852$]
COMP [$\Delta X_2 = -1.962$]
COMP [$\Delta Y_2 = 1.219$]

173.3 COMP 215.42 - 101.23 = + 2 = COMP 3.52 COMP [$\Delta Z_3 = 56.965$]

161.15 COMP 260.34 - 154.2 = + 2 = COMP 5.02

152.13 COMP 260.34 - 215.42 = + 2 = COMP 6.14

COMP [$\Delta U_3 = 2.626$]

COMP [$\Delta V_3 = 2.816$]

COMP [$\Delta X_3 = -3.825$]

COMP [$\Delta Y_3 = 0.436$]

COMP [$\Delta Z_4 = 52.865$]

COMP [$\Delta U_4 = 3.826$]

COMP [$\Delta V_4 = 2.654$]

COMP [$\Delta X_4 = -4.409$]

COMP [$\Delta Y_4 = 1.497$]

COMP [$\Delta Z_5 = 22.327$]

COMP [$\Delta U_5 = 2.197$]

COMP [$\Delta V_5 = 1.058$]

COMP [$\Delta X_5 = -2.158$]

COMP [$\Delta Y_5 = -1.137$]

至此，此钻孔计算完毕。

若还有其他钻孔要计算，也可接着按此方式计算（不必再在 **LRM** 下按键）。

计算至此，读者定会深切地体会到，用此种计算器的计算程序计算，其计算是何等的快速、方便和精确！

制作勘探线剖面图时，只需分段地用 ΔU_i 为横坐标，以 ΔZ_i 为纵作标，就可定出钻孔中各控制点在剖面上的位置，然后将它们用光滑曲线连接起来，即是钻孔曲线在勘探线剖面上的投影；制作各控制点的平面分布图，或钻孔的水平投影图时，只需分段地用 ΔU_i 为横坐标（沿着勘探线方向），以 ΔV_i 为纵坐标描点即可；也可分段地用 ΔY_i 为横坐标（沿着 Y 方向），以 ΔX_i 为纵坐标描点。显然这样作图，不会有多余的辅助线需要擦去，图纸必然是清洁的，其精度也是很高的。

以往算法的问题

上述计算方法，是基于测斜数据影响上、下相

邻两测斜点距离之半的思想下推出的计算公式和计算程序。由于目前生产上大都是在这种思想基础上进行工作的，为适应需要，本文只是提出了它的快速算法。但这并不意味着上述思想基础是没有缺点的。从图1可看出，在这种思想基础上作出的图，其钻孔的空间位置和形态已有所歪曲，虽然图1所示控制点还不是最终的控制点位置，但由于是以一段段折线代替了本来是光滑的钻孔曲线，最终结果必然也会被歪曲。可以想见，测斜点越稀，其歪曲越大；钻孔越深，方位角和天顶角变化越大，其歪曲必然更大。为解决此问题，可以有两个方案：其一是增加测斜点的密度，从微分的观点看，可以减少误差。但笔者认为，最好还是舍弃原先的思想基础，即不用上述控制点和折线相连的指导思想，而从钻孔本身就是光滑曲线的前提出发来导出计算方案，再考虑到深处各岩（矿）层的产状而进行计算，这样，定会使钻孔空间位置更接近于实际。有关这方面的具体算法，限于篇幅，在此不作讨论。

