

# 电子全站仪自动差分功能剖析及适用条件

姜晨光<sup>1</sup> 朱佑国<sup>1</sup> 姜祖彬<sup>2</sup> 刘桂芳<sup>3</sup> 刘 华<sup>2</sup>

(1. 江南大学, 江苏无锡 214063 2. 莱阳市古柳国土资源站, 山东莱阳 265202 3. 莱阳市河洛国土资源站, 山东莱阳 265206)

## Adaptability and Analysis About the Automatic Differential Correction Function of the ETS ( Electronic Total Station )

Jiang Chenguang<sup>1</sup> Zhu Youguo<sup>1</sup> Jiang Zubin<sup>2</sup> Liu Guifang<sup>3</sup> Liu Hua<sup>2</sup>

**摘 要** 揭示了电子全站仪自动差分功能的实质, 以实验结果为依据, 指出了电子全站仪自动差分功能的适用条件。

**关键词** 电子全站仪 自动差分 功能 实质 适用条件

具有自动差分功能的电子全站仪, 观测时可不测定大气压力、大气温度等气象参数, 自动差分功能在一定条件下可使大气折射对测距值的影响得到有效补偿。在实际工作中, 不少人盲目信赖电子全站仪的自动差分功能, 使得原本可以优异的观测成果劣化。导致观测成果劣化的原因在于使用者不了解电子全站仪自动差分功能的原理和最佳使用条件。为了澄清人们对电子全站仪自动差分功能的误解, 使电子全站仪自动差分功能真正发挥其应有的作用, 下面阐述一下电子全站仪自动差分功能的基本原理和最佳适用条件。

### 1 自动差分功能的基本原理

电子全站仪自动差分功能是指在某个较短时间段内进行一系列点的连续测距中( 假设获得了  $n$  个点的距离观测值  $D_1、D_2、D_3、D_K、\dots、D_n$  ), 有一个点的距离最或然值是已知的( 比如  $K$  点测距值  $D_K$  的最或然值为  $L_K$  ) 则根据已知点(  $K$  ) 的测距值(  $D_K$  ) 与最或然值(  $L_K$  ) 即可获得该时间段内观测的其它点测距最或然值  $L_i$ 。  $L_i$  的计算方法是:

(1) 根据已知点(  $K$  ) 的测距值(  $D_K$  ) 与最或然值(  $L_K$  ) 计算该时间段内该电子全站仪测距值的抵偿系数  $R$ 。

$$R = L_K / D_K \quad (1)$$

(2) 根据抵偿系数  $R$  计算该时间段内该电子全站仪获得的各点测距值的最或然值  $L_i$ 。

$$L_i = R D_i \quad (2)$$

从以上论述不难看出, 电子全站仪自动差分功能实际是认为在一个短时间段内大气折射对同站各测距值的影响服从同一个截距为零的一元线性函数, 这个线性函数的斜率就是抵偿系数  $R$ 。这种认识在点位相对集中、距离差别不大、测线倾角差别不大、地形特征大致相似的情况下是基本正确的, 若背离了这 4 个基本条件这种认识就会站不住脚, 相应的处理方法就会产生一定的误差, 甚至是较大的误差。换言之, 电子全站仪自动差分功能是有其局限性和先决条件的。电子全站仪自动差分功能的确切效果必须经过实践的全面检验, 其最佳使用环境也必须进行实践的检验。

### 2 自动差分功能的实验情况

笔者及科研组在长广溪水库大坝自动变形监测中对电子全站仪的自动差分功能进行了全面的严格检验, 得出了有益的结论。整个检验现场见图 1。

图 1 中  $A、B、C、D、E、F、G、Q$  等 8 个点为大坝变形自动监测控制点( 均设置有强制归心装置 )  $F、G、Q$  为基准控制点( 首级控制点, 具有极高的稳定性 )  $A、B、C、D、E$  为工作控制点( 次级控制点 )  $A$  为工作基站, 大坝自动变形监测时, 电子全站仪始终安置在该点上分时段连续监测。1、2、……、7 为大坝变形监测点

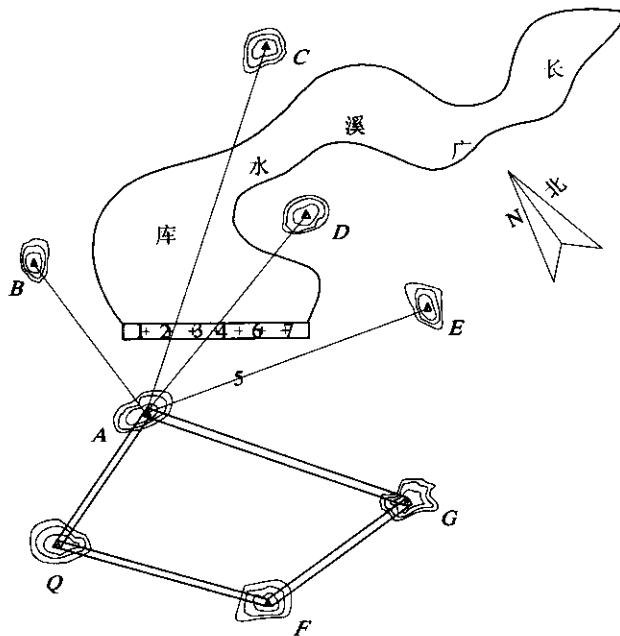


图1 电子全站仪自动差分功能试验现场示意

(也设置有强制归心装置)。A、B、C、D、E、F、G、Q 等 8 个点采用同一台电子全站仪按国家二等平面控制测量精度进行了高精度观测与处理,获得了其独立平面直角坐标,同时利用精密水准仪按国家二等水准测量精度获得了 8 个点的国家高程。

电子全站仪自动差分功能检验过程中,电子全站仪强制归心安置在工作基站 A 上 B、C、D、E、1、2、……、7 上均强制归心安置有反射棱镜,反射棱镜与安置点对应,即某个点上始终安置某一个反射棱镜。所有点上均配备有气象测试仪器(空盒气压计和干湿温度计)。

在一个很短的时间段内,电子全站仪连续自动观测了 B、1、2、C、3、4、D、5、6、7、E 点,获得了测距值( $D_B$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_C$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 、 $D_D$ 、 $D_5$ 、 $D_6$ 、 $D_7$ 、 $D_E$ )和倾角( $A_B$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_C$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_D$ 、 $A_5$ 、 $A_6$ 、 $A_7$ 、 $A_E$ )。在电子全站仪连续自动观测的同时,所有点上均利用气象测试仪器获得各点的大气压力  $P_i$ 、干温  $t_i$ 、湿温  $t_i'$  根据 IAG - 1999 公式获得  $D_B$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_C$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 、 $D_D$ 、 $D_5$ 、 $D_6$ 、 $D_7$ 、 $D_E$  的气象改正数,进而获得其最或然斜距  $L_B$ 、 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_C$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ 、 $L_D$ 、 $L_5$ 、 $L_6$ 、 $L_7$ 、 $L_E$ 。再根据  $D_i$ 、 $L_i$ ,利用式(1)计算出该短时间段内各自的测距值抵偿系数  $R_i$ 。

观测数据及处理结果见表 1。

### 3 不同母本下自动差分功能的实际效果

首先,我们认为表 1 中各工作控制点(B、C、D、E)

表 1 观测数据与处理

点号	$D_i$ /m	$A_i$ ( $^{\circ}$ ' ")	$L_i$ /m	$R_i$
B	411.877 3	2 11 37.1	411.863 7	0.999 966 980
1	182.756 2	-1 22 50.6	182.750 0	0.999 966 075
2	189.657 5	-1 19 25.8	189.651 1	0.999 966 255
C	852.278 6	1 39 22.6	852.251 6	0.999 968 320
3	208.669 1	-1 18 37.6	208.662 1	0.999 966 454
4	236.893 8	-1 18 02.3	236.885 9	0.999 966 651
D	559.754 1	0 57 13.4	559.736 6	0.999 968 736
5	271.471 0	-1 17 38.9	271.461 9	0.999 966 478
6	310.286 5	-1 17 13.6	310.276 1	0.999 966 482
7	351.937 9	-1 16 44.8	351.926 2	0.999 966 755
E	649.916 2	3 08 26.6	649.894 3	0.999 966 303

的  $L_i$  为真值,则各工作控制点的抵偿系数  $R_i$  即反映了该短时间段内各自测线的大气状态情况,因而不需要测定气象要素。

下面分别以不同工作控制点(B、C、D、E)在该短时间段内各自的测距值抵偿系数  $R_i$  为母本,实现电子全站仪在该短时间段内对全部形变点的自动差分功能,即利用母本抵偿系数对该短时间段内所有形变点测距值进行处理,获得该短时间段内所有形变点的准最或然值。处理时利用的公式是式(2)。这种处理过程与该短时间段内测距时的大气状态已完全无关,因为抵偿系数  $R_i$  本身就携带了大气折射的影响因素。自动差分的效果见表 2 ~ 表 7。

表 2 以 B 为母本计算形变点斜距准最或然值

点号	$D_i$ /m	$(\angle^\circ A_i', \prime, \prime\prime)$	$L_i$ /m	$R_i$	$L_i'$ /m	$\Delta L_i$ /mm
B	411.877 3	2 11 37.1	411.863 7	0.999 966 980	411.863 7	0
1	182.756 2	- 1 22 50.6	182.750 0	0.999 966 980	182.750 2	0.2
2	189.657 5	- 1 19 25.8	189.651 1	0.999 966 980	189.651 2	0.1
3	208.669 1	- 1 18 37.6	208.662 1	0.999 966 980	208.662 2	0.1
4	236.893 8	- 1 18 02.3	236.885 9	0.999 966 980	236.886 0	0.1
5	271.471 0	- 1 17 38.9	271.461 9	0.999 966 980	271.462 0	0.1
6	310.286 5	- 1 17 13.6	310.276 1	0.999 966 980	310.276 2	0.1
7	351.937 9	- 1 16 44.8	351.926 2	0.999 966 980	351.926 3	0.1

表 3 以 C 为母本计算形变点斜距准最或然值

点号	$D_i$ /m	$(\angle^\circ A_i', \prime, \prime\prime)$	$L_i$ /m	$R_i$	$L_i'$ /m	$\Delta L_i$ /mm
C	852.278 6	1 39 22.6	852.251 6	0.999 968 320	852.251 6	0
1	182.756 2	- 1 22 50.6	182.750 0	0.999 968 320	182.750 4	0.4
2	189.657 5	- 1 19 25.8	189.651 1	0.999 968 320	189.651 5	0.4
3	208.669 1	- 1 18 37.6	208.662 1	0.999 968 320	208.662 5	0.4
4	236.893 8	- 1 18 02.3	236.885 9	0.999 968 320	236.886 3	0.4
5	271.471 0	- 1 17 38.9	271.461 9	0.999 968 320	271.462 4	0.5
6	310.286 5	- 1 17 13.6	310.276 1	0.999 968 320	310.276 7	0.6
7	351.937 9	- 1 16 44.8	351.926 2	0.999 968 320	351.926 8	0.6

表 4 以 D 为母本计算形变点斜距准最或然值

点号	$D_i$ /m	$(\angle^\circ A_i', \prime, \prime\prime)$	$L_i$ /m	$R_i$	$L_i'$ /m	$\Delta L_i$ /mm
D	559.754 1	0 57 13.4	559.736 6	0.999 968 736	559.736 6	0
1	182.756 2	- 1 22 50.6	182.750 0	0.999 968 736	182.750 5	0.5
2	189.657 5	- 1 19 25.8	189.651 1	0.999 968 736	189.651 6	0.5
3	208.669 1	- 1 18 37.6	208.662 1	0.999 968 736	208.662 6	0.5
4	236.893 8	- 1 18 02.3	236.885 9	0.999 968 736	236.886 4	0.5
5	271.471 0	- 1 17 38.9	271.461 9	0.999 968 736	271.462 5	0.6
6	310.286 5	- 1 17 13.6	310.276 1	0.999 968 736	310.276 8	0.7
7	351.937 9	- 1 16 44.8	351.926 2	0.999 968 736	351.926 9	0.7

表 5 以 E 为母本计算形变点斜距准最或然值

点号	$D_i$ /m	$(\angle^\circ A_i', \prime, \prime\prime)$	$L_i$ /m	$R_i$	$L_i'$ /m	$\Delta L_i$ /mm
E	649.916 2	3 08 26.6	649.894 3	0.999 966 303	649.894 3	0
1	182.756 2	- 1 22 50.6	182.750 0	0.999 966 303	182.750 0	0.0
2	189.657 5	- 1 19 25.8	189.651 1	0.999 966 303	189.651 1	0.0
3	208.669 1	- 1 18 37.6	208.662 1	0.999 966 303	208.662 1	0.0
4	236.893 8	- 1 18 02.3	236.885 9	0.999 966 303	236.885 8	- 0.1
5	271.471 0	- 1 17 38.9	271.461 9	0.999 966 303	271.461 8	- 0.1
6	310.286 5	- 1 17 13.6	310.276 1	0.999 966 303	310.276 0	- 0.1

7	351.937 9	- 1 16 44.8	351.926 2	0.999 966 303	351.926 0	- 0.2
---	-----------	-------------	-----------	---------------	-----------	-------

表 6 以 C、D 为母本计算形变点斜距准最或然值

点号	$D_i$ /m	$(\angle^\circ A_i', \prime, \prime\prime)$	$L_i$ /m	$R_i$	$L_i'$ /m	$\Delta L_i$ /mm
C	852.278 6	1 39 22.6	852.251 6	0.999 968 320	852.251 8	0.2
D	559.754 1	0 57 13.4	559.736 6	0.999 968 736	559.736 5	- 0.1
平均				0.999 968 528		
1	182.756 2	- 1 22 50.6	182.750 0	0.999 968 528	182.750 4	0.4
2	189.657 5	- 1 19 25.8	189.651 1	0.999 968 528	189.651 5	0.4
3	208.669 1	- 1 18 37.6	208.662 1	0.999 968 528	208.662 5	0.4
4	236.893 8	- 1 18 02.3	236.885 9	0.999 968 528	236.886 3	0.4
5	271.471 0	- 1 17 38.9	271.461 9	0.999 968 528	271.462 4	0.5
6	310.286 5	- 1 17 13.6	310.276 1	0.999 968 528	310.276 7	0.6
7	351.937 9	- 1 16 44.8	351.926 2	0.999 968 528	351.926 8	0.6

表 7 以 B、E 为母本计算形变点斜距准最或然值

点号	$D_i$ /m	$(\angle^\circ A_i', \prime, \prime\prime)$	$L_i$ /m	$R_i$	$L_i'$ /m	$\Delta L_i$ /mm
B	411.877 3	2 11 37.1	411.863 7	0.999 966 980	411.863 6	- 0.1
E	649.916 2	3 08 26.6	649.894 3	0.999 966 303	649.894 5	0.2
平均				0.999 966 642		
1	182.756 2	- 1 22 50.6	182.750 0	0.999 966 075	182.750 1	0.1
2	189.657 5	- 1 19 25.8	189.651 1	0.999 966 255	189.651 2	0.1
3	208.669 1	- 1 18 37.6	208.662 1	0.999 966 454	208.662 1	0.0
4	236.893 8	- 1 18 02.3	236.885 9	0.999 966 651	236.885 9	0.0
5	271.471 0	- 1 17 38.9	271.461 9	0.999 966 478	271.461 9	0.0
6	310.286 5	- 1 17 13.6	310.276 1	0.999 966 482	310.276 1	0.0
7	351.937 9	- 1 16 44.8	351.926 2	0.999 966 755	351.926 2	0.0

表 2 ~ 表 7 中  $L_i'$  为差分值 (或叫抵偿值、准最或然值)  $L_i'$  利用式 (2) 计算。 $\Delta L_i$  为差分误差 (或叫抵偿误差), 有

$$\Delta L_i = L_i' - L_i \quad (3)$$

$L_i$  为通过进行气象改正获得的最或然值 (见表 1)。

从表 2 ~ 表 7 不难看出, 最佳母本是 BE 混合母本 (表 7), 其余依次是 E 母本 (表 5)、B 母本 (表 2)、CD 混合母本 (表 6)、C 母本 (表 3)、D 母本 (表 4)。可见母本不同差分效果截然不同, 因此, 在利用电子全站仪的自动差分功能时合理地选择母本至关重要。

#### 4 结束语

电子全站仪的自动差分功能确实有其特定的优越性, 要正确地运用自动差分功能必须合理地选择母本 (即差分参考基线), 选择母本时应综合考虑距离、倾角、区位、地形特征 4 大要素。

验的基础上,提出了斜坡安全带的概念,即“斜坡安全带是斜坡上的岩溶水最低排泄点(或河谷水边)与山顶坡面靠河谷最外侧的洼地、竖井等垂直岩溶形态之间的地带,安全带内岩体岩溶及岩溶水都相对微弱”<sup>[1]</sup>。

安全带内设置工程可避开大溶洞及岩溶水的危害,但岩溶水最低排泄点及斜坡上竖井、洼地易于确定,而两点间的曲线,又受什么因素影响。从前面所述两岸岩溶发育情况,左岸岩层产状与坡向相反时,斜坡上部深 20 m 范围内发育有与坡面坡度相近的岩溶破碎带和小溶洞并探出埋深 31 m、高 5.6 m 的充填大溶洞,埋深 26 m、高 6.7 m 的溶洞,此外,3 号主墩压浆处理中有两孔漏浆严重,表明其下岩体中岩溶发育。右岸岩层产状与坡向一致,在同样的钻探深度和基坑开挖中均未见高度超过 3 m 的溶洞且探到的溶洞小而少,岩体较为完整,近眉峰有与坡面坡度相当的溶蚀破碎带。根据岩层倾向与坡向关系,推测左岸安全带曲线呈微凹曲线,安全带曲线中部埋深约 160 m,右岸受平缓水平运动带影响形成深凹的安全带曲线,推测安全带中部埋深约 210 m (见桥址纵断面图),由此可见,北盘江大桥各墩台基础实际上是置于斜坡安全带内的。

## 5 结论

(上接第 27 页)

本文的实验过程可能还欠完善,但其得出的结论却是非常有意义的,希望本文能唤起大家对电子全站仪功能开发的兴趣,以推动电子全站仪制造技术的发展与进步。当然,限于水平,文中谬误与不妥之处敬请大家提出批评。

### 参 考 文 献

- 1 周泽远,薛令瑜.电磁波测距[M].北京:测绘出版社,1991
- 2 中国矿业学院测量教研室.激光测距仪[M].北京:煤炭工业出版社,1980
- 3 姜晨光.测距仪检定与改正问题的一些新探索[J].城市勘测,1993(4)
- 4 姜晨光.光电测距气象改正中几个大气折射率计算公式的理论分析[J].冶金测绘,1994(2)
- 5 姜晨光.全站仪(以 Wild TC1610 为例)应用指南[J].辽宁测绘,1994(1):49-60
- 6 姜晨光.全站仪内藏软件的工作原理及精度计算[J].山东测绘,1994(1)
- 7 姜晨光.全站仪(以 Wild TC1610 为例)应用指南(续)[J].辽宁测绘,

(1)北盘江大桥两岸岩溶相对不发育,主要的岩溶形态为沿垂直节理发育的溶缝、溶蚀破碎带及节理、层理有利组合下发育的少数溶洞,岩体中的岩溶形态极少连通,未在岩体中形成四通八达的岩溶通道,也无严重影响桥基工程的大型地下溶洞。其中左岸岩层产状、节理产状有利于地下水汇集其岩溶较右岸发育强烈。

(2)各墩台基础、特别是 3 号、4 号主墩位基坑开挖发现的系列溶缝、溶隙及小溶洞不足以影响岸坡稳定性、基地稳定性,为了进一步提高基底岩体的强度,采用灌注水泥砂浆进行加固处理的措施是恰当科学和经济合理的。

(3)岸坡安全带曲线受岩层、构造和地形的综合影响。在工程设置和线路方案比选时应在多种因素分析基础上推算出岸坡安全带曲线位置,将具体工程置于岸坡安全带中,线路方案应尽量选择与岩层倾向和坡向一致的、影响岩溶发育因素较简单的、岩溶发育较弱的岸坡安全带内,这样工程实施中可避免大溶洞和岩溶水的危害。

### 参 考 文 献

- 1 铁道第二勘测设计院.岩溶工程地质.北京:中国铁道出版社,1997
- 1994(2)
- 8 姜晨光.从目前光电技术的研究现状谈测距用激光器的选型[A].第四届全国电子技术应用大会论文集,北京,1995
- 9 姜晨光.脉冲式测距仪检测与数据处理理论新探[J].测绘工程,1995(4)
- 10 姜晨光.光电测距测线大气平均折射系数计算的实用模型[J].测绘通报,1997(3):9-12
- 11 姜晨光.全站仪平距与高差严密处理方法的研究[J].城市勘测,1997(3)
- 12 姜晨光,赵玉楠.关于光电测距仪周期误差问题的新认识[J].测绘工程,1998(1):
- 13 姜晨光,吕中谦,王平等.测量中大气垂直折射问题的研究[J].工程勘察,2000(6)
- 14 姜晨光,王世周,陈玉娟等.电子全站仪机载应用软件原理剖析[J].铁路航测,2002(3)
- 15 姜晨光,王世周,彭建国等.光电测距大气折射系数计算公式的研究进展与综合评价[J].测绘标准化,2002(3)
- 16 姜晨光,王世周,蔡伟等.电子全站仪的最新发展与研制趋向[J].测绘标准化,2003(3)