

# Application of Contact Measurement Method in Metro Construction

Guiwang Fu

China Railway Seventeenth Bureau Laying Branch, Xinzhou, Shanxi, 034300, China

## Abstract

The paper mainly introduces the common methods, principles and technical points of one-well orientation, two-well orientation and elevation transfer in connection measurement, and elaborates the precautions in combination with practical engineering applications, aiming to improve the measurement accuracy in the process of subway construction.

## Keywords

contact survey; one-well orientation; two-well orientation; elevation transfer

# 联系测量方法在地铁施工中的应用

傅贵旺

中铁十七局铺架分公司, 中国·山西忻州 034300

## 摘要

论文主要介绍了联系测量常见的一井定向、两井定向和高程传递的方法、原理和技术要点,并结合工程实际应用阐述了注意事项,旨在提高地铁建设过程中的测量精度。

## 关键词

联系测量; 一井定向; 两井定向; 高程传递

## 1 引言

目前大、中城市正在极力发展地铁交通,地铁的发展主要依赖于地下工程隧道开挖等的相关技术的进步,测量施工作为地铁施工的重要组成部分,有着极为重要的作用。地下施工需要将地面的控制系统投影到地下,建立起统一的控制系统,而联系测量很好地解决了这个难题。

## 2 联系测量简介及要求

### 2.1 联系测量简介

联系测量是将地面的平面坐标系统和高程系统通过施工竖井传递到地下,使地上、地下坐标系统相一致的测量工作。其包括平面和高程传递,平面传递包括陀螺全站仪和铅垂仪组合定向、一井定向(联系三角法)、两井定向、导线直接

传递测量、投点定向法等,也是常用于城市轨道交通工程中的定向测量方法。高程传递主要包括悬挂钢尺法、光电测距三角形法及水准测量法。

### 2.2 联系测量要求

联系测量是地下隧道施工和铺轨测量的重要环节,为了满足施工要求,确保测量精度,《城市轨道交通工程测量规范》制定出联系测量技术要求,我们必须在工作中严格遵守。

每次联系测量应独立进行三次,取三次平均值作为定向成果。地下近井定向边方位角中误差不应超过  $\pm 8''$ ,地下近井工程高程中误差不应超过  $\pm 5\text{mm}$ 。

定向测量的地形近井定向边应大于  $120\text{m}$ ,且不应少于 2 条,传递高程的地下近井高程点不应少于 2 个。使用近井定向边和地下近井高程点前,应对地下近井定向边之间和高程点之间的几何关系进行检核,其不符值应分别小于  $12''$  和  $2\text{mm}$ 。

## 3 平面传递测量

平面传递的测量方法很多,论文主要介绍一井定向和两

【作者简介】傅贵旺(1984-),男,中国山西忻州人,本科学历,工程师/副总工,任职于中铁十七局集团有限公司铺架分公司,从事技术和测量方面的研究。

井定向方法。

### 3.1 一井定向测量方法简介

一井定向测量也称联系三角形定向测量。一井定向是在一个竖井中悬挂两根钢丝,在地面近井点与钢丝组成三角形,并测定近井点与钢丝的距离和角度,从而算得两钢丝的坐标以及它们之间的方位角。在井下,同样井下近井点也与钢丝构成三角形,并测定井下近井点与钢丝的距离和角度。由于钢丝处于自由悬挂状态,可以认为钢丝的坐标和方位角与地面一致,通过计算便可获得地下导线起算点的坐标和方位角,这样就把地上与地下导线联系起来。一井定向示意图见图 1。在生产实践中,测量工作者总结出了双联系三角形定向测量方法,该方法是在竖井中悬挂三根钢丝,组成两个联系三角形<sup>[1]</sup>。这样能提高精度,且具有复核作用,操作也容易,在实际生产中得到广泛应用。

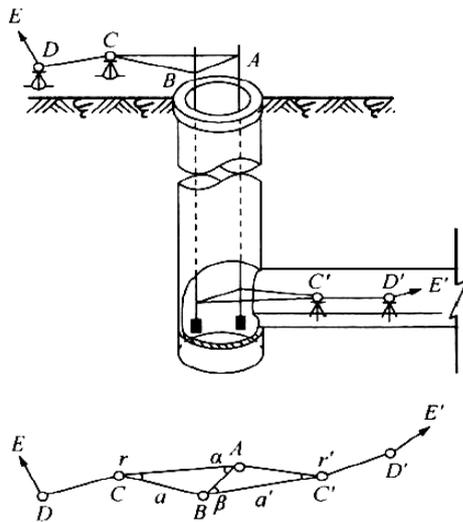


图 1 一井定向示意图

联系三角形定向测量的关键技术要求如下:

(1) 联系三角形中两根钢丝的间距 C 应尽量长,角  $\alpha$ 、 $\gamma$  及  $\beta$ 、 $\gamma$  均宜小于  $1^\circ$ , 呈直伸三角形;  $\frac{a}{c}$  及  $\frac{a'}{c}$  宜小于 1.5,  $\alpha'$ 、 $\alpha$  为近井点至悬挂钢丝最短的距离。

(2) 几何关系和数学模型。由于已精确测定地面及地下联系三角形  $\omega$ 、 $\gamma$  及  $\omega'$ 、 $\gamma'$ , 则地下控制边 C'D' 的坐标方位角为:

$$\alpha_{CD} = \alpha_{CD} + \omega + \alpha + \gamma + \beta + \gamma' + \omega' \pm n \cdot 180^\circ$$

式中,  $\alpha_{CD}$  为地面近井导线边方位角;  $\omega$ 、 $\omega'$  分别为地上  $\alpha$  和  $\beta$  地下连接角。

可通过联系三角形求得, 根据三角函数有:

$$\sin a = \frac{a \sin \gamma}{c}; \quad \sin \beta = \frac{b' \sin \gamma'}{c}$$

可根据导线坐标推算原理直接求得 A、B 两点的坐标, 进而求得 C、D 两点的坐标。

由于每个联系三角形均观测三条边和一个内角, 因此有一个多余观测值, 可按边角网平差方法进行条件平差, 这样可得各观测值的最佳估算值。地上地下平差模型均为:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

### 3.2 一井定向的实例应用

石家庄地铁 3 号线东段东王站由于受现场条件限制, 只有一个出入口可供联系测量使用。因此, 我们在该站选用一井定向联系测量方法, 测量示意图如下所示。

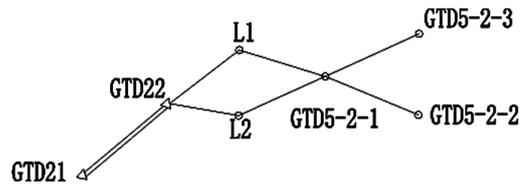


图 2 东王站一井定向测量路线图

GTD21、GTD22 为起算, L1、L2 为钢丝, GTD5-2-1、GTD5-2-2、GTD5-2-3 为地下导线点。地面上从两个已知点起算, 在近井点设站观测钢丝, 同时在地下布置三个点, 在 GTD5-2-1 设站观测钢丝, 地下三个点可构成两个基线边。本次解算采用科傻平差软件具体实测值及解算结果如图 3、图 4 所示。

L1, L, 1.5
GTD21, 307441.9141, 507949.7509
GTD22, 307471.3273, 507958.1402
GTD22, ,
GTD21, L, 0
GTD21, S, 30.5849
L1, L, 73.53129
L1, S, 2.5842
L2, L, 74.22369
L2, S, 6.152
GTD5-2-1, ,
GTD5-2-2, L, 0
GTD5-2-2, S, 22.5412
L1, L, 179.43536
L1, S, 4.9788
L2, L, 179.58162
L2, S, 8.5475
GTD5-2-3, L, 353.48149
GTD5-2-3, S, 22.6979

图 3 平差所需实测值

平差坐标及其精度									
Name	X(m)	Y(m)	MX(cm)	MY(cm)	MP(cm)	E(cm)	F(cm)	T(dms)	
GTD21	307441.9141	507949.7509							
GTD22	307471.3273	507958.1402							
GTD5-2-1	307471.3119	507960.5352	0.01	0.10	0.10	0.10	0.01	89.2531	
L1	307471.3186	507955.5562	0.00	0.09	0.09	0.09	0.00	89.4822	
L2	307471.3591	507951.9681	0.00	0.09	0.09	0.09	0.00	90.1746	
GTD5-2-2	307471.1759	507983.0760	0.05	0.14	0.15	0.14	0.05	88.3122	
GTD5-2-3	307473.6254	507983.1149	0.05	0.14	0.15	0.14	0.05	85.4027	
Ma均值: 0.02			My均值: 0.11			Mp均值: 0.11			

最弱点及其精度									
Name	X(m)	Y(m)	MX(cm)	MY(cm)	MP(cm)	E(cm)	F(cm)	T(dms)	
GTD5-2-2	307471.1759	507983.0760	0.05	0.14	0.15	0.14	0.05	88.3122	

最弱边及其精度									
FROM	TO	A(dms)	MA(sec)	S(m)	MS(cm)	S/MS	E(cm)	F(cm)	T(dms)
GTD22	L1	269.462249	1.41	2.5840	0.09	3000	0.09	0.00	89.4822

单位权中误差和改正数带权平方和									
先验单位权中误差: 1.00									
后验单位权中误差: 0.98									
多余观测值总数: 2									
平均多余观测值: 0.14									
print - 1.01, print - 1.01									

图 4 平差结果及精度指标

### 3.3 两井定向测量方法简介

两井定向也是定向测量的一种常用方法，它适用于竖井井口小，两端均有井口（或可钻孔）的区域。两井定向是在两施工竖井（或钻孔）中分别悬挂一根钢丝。一方面，与一井定向相比，由于两钢丝间的距离大大增加，因此减少了投点误差引起的方向误差，有利于提高地下导线的精度，这是两井定向的主要优点。另一方面，外业测量比较简单，占用竖井的时间较短。两井定向时，利用地面上布置的近井点或地面控制点采用导线测量或其他测量方法测定两根钢丝的平面坐标值。在地下隧道中，将已布置的地下导线与竖井中的钢丝联测，即可将地面坐标系中的坐标与方向传递到下去，经计算求得地下导线各点的坐标与导线边的方位角。

这时候地下导线与竖井钢丝的联测就构成了一个附和图形，但是在这个图形中，两根钢丝处分别缺少一个连接角，这样的导线是无起始方向角的，故称为无定向导线。其中，两井定向示意图如下所示。

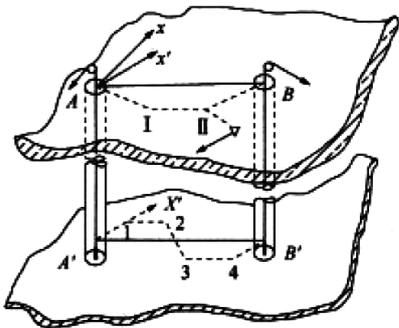


图 5 两井定向示意图

两井定向需注意近井点与钢丝的布置形状，尽量成一条线即呈现直伸型。地下两个待定点与钢丝也要尽量呈直伸型，且两点间距尽量要大，但是不能超出两条钢丝。

### 3.4 两井定向的解算

根据地面连接测量的成果，计算两垂球连线的方位角及长度。按一般计算方法，算出两垂球线的坐标  $x_A, y_A, x_B, y_B$ ，根据算出的坐标，计算 AB 的方位角及长度 c:

$$a_{AB} = \arctan\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)$$

$$C = \frac{y_B - y_A}{\sin a_{AB}} = \frac{x_B - x_A}{\cos a_{AB}} \sqrt{\Delta x_{AB}^2 + \Delta y_{AB}^2}$$

按 GB/T 50308-2017《城市轨道交通工程测量规范》规定，两井定向必须独立进行两次，两次求得的起始边方位角互差不得超过 1'，取两次独立定向计算结果的平均值作为两井定向井下连接导线的最终值。

### 3.5 两井定向的实例应用

石家庄 3 号线东段三教堂站完全具备客观条件，两个盾构井跨越东二环，空间距离完全满足实际条件，因此我们在这区间的联系测量中选用两井定向联系测量的方法，示意图如图 6 所示。

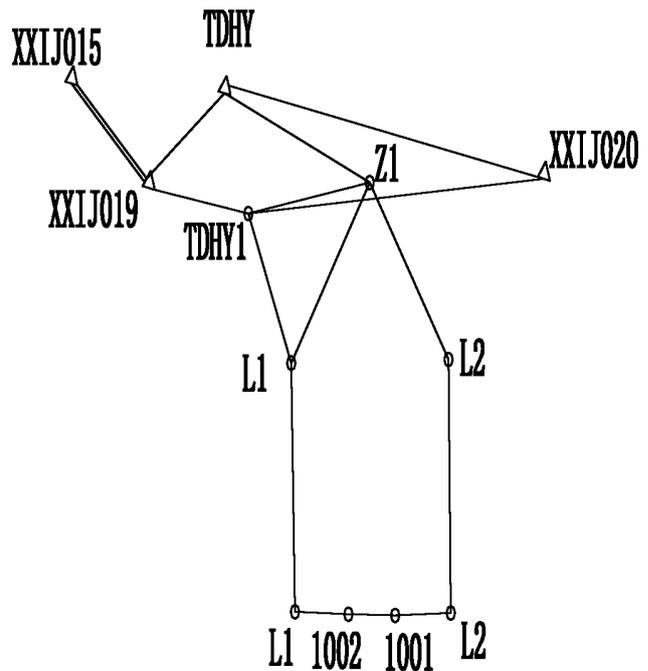


图 6 三教堂两井定向测量络线图

其中 XXIJ015、XXIJ019、TDHY、XXIJ020 为已知控制点，L1、L2 为两钢丝，1001、1002 为地下点。

应用平差软件解算过程如下:

1, 1, 1.5  
 TDHY, 29825.348, 50079.503  
 XXIJO20, 29623.8103, 50527.6893  
 XXIJO19, 29891.9115, 49781.0997  
 XXIJO15, 30202.553, 49240.264

TDHY  
 XXIJO19, L, 0  
 XXIJO19, S, 305.7393  
 XXIJO20, L, 191.3816  
 XXIJO20, S, 491.4144  
 Z1, L, 200.41247  
 Z1, S, 198.3177

TDHY1  
 XXIJO19, L, 0  
 XXIJO19, S, 306.4063  
 XXIJO20, L, 191.06537  
 XXIJO20, S, 490.4089  
 Z1, L, 199.56188  
 Z1, S, 197.073

XXIJ019  
 XXIJO15, L, 0  
 XXIJO15, S, 623.711  
 TDHY, L, 162.42078  
 TDHY, S, 305.7391  
 TDHY1, L, 163.02109  
 TDHY1, S, 306.4062

Z1  
 TDHY, L, 0  
 TDHY, S, 198.318  
 TDHY1, L, 359.3457  
 TDHY1, S, 197.0724  
 L2, L, 163.06188  
 L2, S, 43.883  
 L1, L, 333.41068

近似坐标

Name	X (m)	Y (m)
TDHY	29825.348	50079.503
XXIJ020	29623.810	50527.689
XXIJ019	29891.911	49781.100
XXIJ015	30202.553	49240.264
TDHY1	29823.463	50079.763
Z1	29716.568	50245.325
1002	29716.452	50223.259
1001	29696.047	50319.977
L2	29704.200	50287.429
L1	29721.870	50201.831

方向平差结果

FROM	TO	TYPE	VALUE (dms)	M (sec)	V (sec)	RESULT (dms)	Ri
TDHY	XXIJ019	L	0.000000	1.00	0.87	0.000087	0.56
TDHY	XXIJ020	L	191.381600	1.00	-0.63	191.381537	0.56
TDHY	Z1	L	200.412470	1.00	-0.24	200.412446	0.26
XXIJ019	XXIJ015	L	0.000000	1.00	-1.41	-0.000141	0.64
XXIJ019	TDHY	L	162.420780	1.00	1.39	162.420919	0.64
XXIJ019	TDHY1	L	163.021090	1.00	0.02	163.021092	0.56
TDHY1	XXIJ019	L	0.000000	1.00	-0.08	-0.000008	0.30
TDHY1	XXIJ020	L	191.065370	1.00	-0.15	191.065355	0.52
TDHY1	Z1	L	199.561880	1.00	0.23	199.561903	0.26
Z1	TDHY	L	0.000000	1.00	-0.13	-0.000013	0.36
Z1	TDHY1	L	359.345700	1.00	0.13	359.345713	0.36
Z1	L2	L	163.061880	1.00	0.01	163.061881	0.00
Z1	L1	L	333.410680	1.00	-0.01	333.410679	0.00
1002	1001	L	0.000000	1.00	0.00	0.000000	0.00
1002	L1	L	182.163620	1.00	-0.00	182.163620	0.00
1001	1002	L	0.000000	1.00	-0.00	-0.000000	0.00
1001	L2	L	2.085930	1.00	0.00	2.085930	0.00

方向最小多余观测分量: 0.00 ( 1002---> 1001)  
 方向最大多余观测分量: 0.64 ( XXIJO19---> XXIJO15)  
 方向平均多余观测分量: 0.30  
 方向多余观测数总和: 5.03

距离平差结果

FROM	TO	TYPE	VALUE (m)	M (cm)	V (cm)	RESULT (m)	Ri
TDHY	XXIJ019	S	305.7392	0.08	-0.20	305.7372	1.00
TDHY	XXIJ020	S	491.4144	0.12	0.03	491.4147	1.00
TDHY	Z1	S	198.3178	0.07	0.03	198.3182	0.35
XXIJ019	XXIJ015	S	623.7110	0.14	-1.12	623.6998	1.00
XXIJ019	TDHY1	S	306.4062	0.08	-0.08	306.4054	0.48
TDHY1	XXIJ020	S	490.4089	0.12	-0.11	490.4078	0.79
TDHY1	Z1	S	197.0727	0.07	-0.03	197.0724	0.35
Z1	L2	S	43.8830	0.10	-0.06	43.8824	0.22
Z1	L1	S	43.8157	0.10	-0.06	43.8151	0.22
1002	1001	S	98.8442	0.07	0.03	98.8445	0.11
1002	L1	S	22.1017	0.10	0.06	22.1023	0.22
1001	L2	S	33.5532	0.10	-0.06	33.5526	0.22

边长最小多余观测分量: 0.11 ( 1002---> 1001)  
 边长最大多余观测分量: 1.00 ( TDHY---> XXIJO19)  
 边长平均多余观测分量: 0.50  
 边长多余观测数总和: 5.97

平差坐标及其精度

Name	X (m)	Y (m)	MX (cm)	MY (cm)	MP (cm)	E (cm)	F (cm)	T (dms)
TDHY	29825.3480	50079.5030						
XXIJ020	29623.8103	50527.6893						
XXIJ019	29891.9115	49781.0997						
XXIJ015	30202.5530	49240.2640						
TDHY1	29823.4613	50079.7615	0.07	0.06	0.09	0.07	0.06	16.3555
Z1	29716.5689	50245.3258	0.08	0.07	0.11	0.09	0.06	30.3019
1002	29716.4525	50223.2606	0.08	0.12	0.15	0.12	0.08	92.1713
1001	29696.0482	50319.9762	0.13	0.13	0.18	0.13	0.12	44.1023
L2	29704.2011	50287.4292	0.11	0.11	0.15	0.12	0.10	56.1044
L1	29721.8706	50201.8327	0.08	0.11	0.13	0.11	0.08	86.4911

Mx均值: 0.09 My均值: 0.10 Mp均值: 0.14

两点间边长、方位角及其精度

FROM	TO	A (dms)	MA (sec)	S (m)	MS (cm)	S/MS	E (cm)	F (cm)	T (dms)
TDHY	Z1	123.155304	0.96	198.3182	0.06	333000	0.09	0.06	30.3019
XXIJ019	TDHY1	102.543118	0.49	306.4054	0.06	547000	0.07	0.06	16.3555
TDHY1	XXIJ019	282.543118	0.49	306.4054	0.06	547000	0.07	0.06	16.3555
TDHY1	XXIJ020	114.012480	0.30	490.4078	0.06	871000	0.07	0.06	16.3555
TDHY1	Z1	122.505029	0.93	197.0724	0.06	331000	0.09	0.06	32.1136
Z1	TDHY	303.155304	0.96	198.3182	0.06	333000	0.09	0.06	30.3019
Z1	TDHY1	302.505029	0.93	197.0724	0.06	331000	0.09	0.06	32.1136
Z1	L2	106.221197	1.50	43.8824	0.09	50000	0.09	0.03	106.2623
Z1	L1	276.565995	1.50	43.8151	0.09	50000	0.09	0.03	96.5251
1002	1001	101.544722	1.50	98.8445	0.07	147000	0.07	0.07	4.4950
1002	L1	284.112342	1.80	22.1023	0.09	25000	0.09	0.02	103.4249
1001	1002	281.544722	1.50	98.8445	0.07	147000	0.07	0.07	4.4950
1001	L2	284.034653	2.41	33.5526	0.09	38000	0.09	0.04	104.5509

最弱边及其精度

FROM	TO	A (dms)	MA (sec)	S (m)	MS (cm)	S/MS	E (cm)	F (cm)	T (dms)
1002	L1	284.112342	1.80	22.1023	0.09	25000	0.09	0.02	103.4249

单位权中误差和改正数等权平方和

先验单位权中误差: 1.00  
 后验单位权中误差: 2.75  
 多余观测值总数: 11  
 平均多余观测值数: 0.38  
 P1V1 = 83.27 P1V2 = 83.27

两井-竖井控制网总体信息

已知点数: 4 未知点数: 6  
 方向角数: 0 圆锥边数: 0  
 方向观测值数: 17 边长观测值数: 12

图 7 平差所需观测值及平差结果和精度指标

## 4 高程传递测量

### 4.1 竖井高程传递

高程传递测量就是将地面坐标系统中的高程传递到地下、基坑中的高程点的测量工作。高程传递测量包括地面近井水准测量、高程传递测量以及地下近井水准测量。近井点应符合在一、二等水准点上,按照二等水准测量的技术要求。

高程传递的方法有: 钢尺悬挂法、电磁波测距三角高程法、水准测量法。我们这里介绍钢尺悬挂法<sup>[2]</sup>。

钢尺悬挂法测量时，应在竖井内悬挂长钢尺与水准仪配合测量，如图8所示。

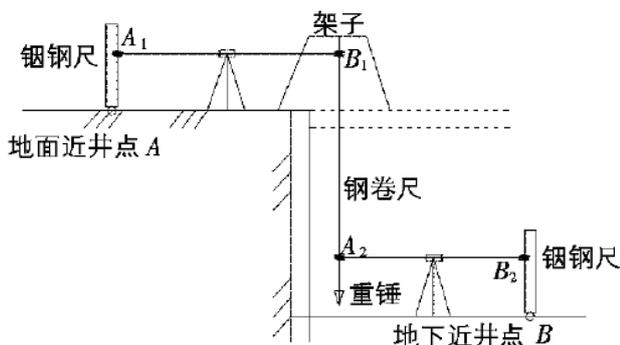


图8 钢尺悬挂法示意图

首先将经检定的长钢尺悬挂在竖井内，钢尺零点朝下，下端挂一重锤，并置于油桶中，使之稳定。在井上、井下各安置一台水准仪，精平后同时读取钢尺上的读数  $b_1$ 、 $a_2$ ，然后再读取地上、地下水准尺的读数  $a_1$ 、 $b_2$ 。测量时用温度计计量地上与地下的温度。由此可求取井下水准点  $B$  的高程  $H_B$  为：

$$H_B = H_A + a_1 - (b_1 - a_2) - b_2 + \Delta l_d + \Delta l_t$$

$$\Delta l_d = \frac{\Delta l}{l_0} \times (b_1 - a_2)$$

$$\Delta l_t = 1.25 \times 10^{-5} \times (b_1 - a_2) \times (t - t_0)$$

式中， $H_A$ 为地面近井水准点或洞口为水准点的已知高程； $\Delta l_d$ 为尺长改正数； $\Delta l$ 为钢尺经检定后的一整尺的尺长改正数； $l_0$ 为钢尺名义长度； $\Delta l_t$ 为温度改正数； $t$ 为井上、井下温度平均值； $t_0$ 为检定时温度（一般为20℃）。

#### 4.2 钢尺悬挂法的注意事项如下：

- (1) 测定近井水准点高程应使近井水准点附和水准控

制点上，并按规范满足水准测量的有关技术要求。

- (2) 观测钢尺读数时应使地上和地下两台水准仪同时读数，钢尺悬挂的重锤应尽量等同于检定时重量，高差应进行温度、尺长改正，当井深超过50m应进行钢尺自重张力改正。

- (3) 传递高程时，每次应独立观测三测回，测回间应变动仪器高，三测回测得地上、地下水准点间的高差较差应小于3mm。

#### 4.3 高程传递的实际应用

石家庄地铁东段大部分车站都具备钢尺悬挂法，而且施测条件相对容易满足。论文选取塔冢站作为例子，首先车站深度适中，50m钢尺完全满足长度要求，而且铺轨基地设在本站，悬挂钢尺方便快捷。现场实测值及内业数据解算过程如表1所示。

从表中看出，测回间高差较差小于3mm，精度满足要求，同时该井深小于50m，高差经过温度和尺长改正后，不用进行钢尺自重张力改正。

#### 5 工程实例

石家庄地铁3号线东段起于石家庄站后止于三教堂接二期，全程一共七站七区间。从上面东王站实例得出如下结论：联系三角形中两根钢丝的间距  $C$  应尽量长，角  $\alpha$ 、 $\gamma$  及  $\beta$ 、 $\gamma$  角度布设越小越好，为了达到较高精度，均宜小于1°；联系三角形中  $\frac{a}{c}$  及  $\frac{a'}{c}$  值越小越好，宜小于1.5；联系三角形宜选择直伸形三角形，以减少量边误差对传递角的影响，同时在传递角度时；尽可能地增大两悬挂垂线的间距；此法比较适

表1 高程传递实测值及解算过程

钢尺号	整尺长度 $l_0/m$		50.000	尺长改正数 $\Delta l/mm$	0	温度 $t/^\circ C$	20	
	读数							
观测数	$a_1$	$b_2$	$b_1$	$a_2$	$b_1 - b_2/m$	改正数 $\Delta/mm$		高差 $h/m$
						尺长改正	温度改正	
1	1.4635	1.2335	36.7438	1.8467	34.8971	0	0	34.6671
2	1.5747	1.4781	36.8547	2.0913	34.7634	0	0	34.6668
3	1.6995	1.4115	36.9798	2.0252	34.9546	0	0	34.6666
平均值	1.5792	1.3743	36.8594	1.9877	34.8717	0	0	34.6668

合开口大深度较深的情况。

根据三教堂站实例了解到两井定向法是两个竖井中分部悬挂一根钢丝,与一井定向相比,减少了投点误差引起的方向差,有利于提高精度,外业施测也方便;悬挂的钢丝宜选用直径0.3mm,底部悬挂10kg的重锤浸没在阻尼液中;边长尽量采用电磁波测距仪测量,每次独立测三次,各测回较差小于1mm;角度应独立观测六测回,测角中误差应在 $\pm 1''$ ;此法比较适用于井口小且有两个较长距离的竖井。

## 6 结语

通过竖井进行联系测量,将地面控制点的方向、坐标和高程精确地传递到地下竖井底部,使地面和地下的控制纳入

同一基准中,为地下控制测量提供依据。

综上所述,两井定向的精度优于一井定向,如果在条件允许的情况下,导线直接传导是目前常用方法中精度最好控制的一种平面坐标传导途径,假如项目自身条件允许可以采购陀螺仪全站仪加以复核验证,这样对地下控制系统的精度很大程度上有较大的提升。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准.GB/T50308-2017城市轨道交通工程测量规范[S].2017.
- [2] 秦长利.城市轨道交通工程测量[M].北京:中国建筑工业出版社,2008