

水准尺倾斜对高铁桥墩沉降观测的影响研究

张 届 阮汝伟 李建平 游振兴

(中国地质大学(武汉) 信息工程学院 湖北 武汉 430074)

Research on the Influence of Slant Level Ruler in the High-speed Railway Settlement Observation

ZHANG Jie , RUAN Ruwei , LI Jianping , YOU Zhenxing

摘要: 结合目前国内高铁建设实际,对桥墩沉降观测作业过程中水准尺倾斜的问题进行系统研究,并提出仪器高不变法和两次仪器高法等方法,可有效减弱水准尺倾斜对沉降观测结果精度的影响,并通过工程实例,验证其有效性和可操作性。

关键词: 高速铁路; 水准尺倾斜; 沉降观测; 倾斜改正

一、引言

当前我国正在大规模修建高速铁路,其设计时速为 250 ~ 380 km/h。为了达到设计要求,采用以桥代路方式,并铺设无砟轨道。由于无砟轨道对线路状态高平顺性、高稳定性的要求,再加上线路状态只能通过钢轨扣件内部很小的高程调节量进行调整。因此,与普通有砟轨道相比,高速铁路对线下沉降变形的要求更为严格,沉降观测对控制铁路工程质量,确保工后沉降满足设计要求至关重要。但是在对高速铁路桥墩进行沉降观测时,由于部分墩身太矮,导致水准尺无法立直,直接影响了沉降观测数据的精确度。特别是在路基和桥梁的过渡段,桥墩普遍较低,这给沉降观测正常作业带来了很大的不便。因此,笔者结合自身工作实际,对该问题进行了探讨,并提出了切实可行的解决方案。

二、水准尺倾斜对沉降观测结果的影响规律

1. 后尺倾斜与前尺倾斜对观测结果的影响

在对桥墩进行沉降观测时,按国家二等水准的相关要求执行,在观测过程中,会出现两种情况:

① 前尺竖直后尺倾斜; ② 前尺倾斜后尺竖直。

1) 针对情况①,设后尺读数为 a ,真实读数为 a' , θ 为水准尺倾斜角,则 $a' = a \cos \theta$, 所以

$$\Delta h = h_{\text{实}} - h_{\text{测}} = (a' - b) - (a - b) = a(\cos \theta - 1) \quad (1)$$

2) 针对情况②,设前尺读数为 b ,真实读数为

b' , θ 为水准尺倾斜角 $b' = b \cos \theta$, 所以

$$\Delta h = h_{\text{实}} - h_{\text{测}} = (a - b') - (a - b) = b(1 - \cos \theta) \quad (2)$$

由上述结果可见,由水准尺倾斜带来的高差误差是关于倾斜角 θ 和倾斜水准尺读数的函数。当倾斜水准尺读数不变时,倾斜角 θ 变大时,前尺竖直、后尺倾斜情况下,测得的高差误差将变大,且比实际值小;前尺倾斜、后尺竖直情况下,测得的高差误差也变大,且比实际值大。当 θ 保持不变时,高差误差将随着倾斜尺读数的变大而变大。而在实际测量中,无法保证每次测量同一个墩身标时倾斜水准尺读数不变,这样即使每次水准尺倾斜角度保持一致,测得的高差数据也将含有粗差。表 1 列出了不同倾斜角、不同仪器高差值对高差的影响。

表 1 不同倾斜角、不同仪器高差值对高差的影响 mm

仪器高差 值/m	倾斜角 $\theta / (^\circ)$					
	4	5	6	7	8	9
0.1	0.24	0.38	0.55	0.75	0.97	1.23
0.2	0.49	0.76	1.10	1.49	1.95	2.46
0.3	0.73	1.14	1.64	2.24	2.92	3.69

从表 1 可以看出,随着倾斜角的增大,不同仪器高差值对测站高差之差影响也随之增大。根据已有的经验,只有在架梁阶段才会有 1 ~ 2 mm 的下沉,架梁后基本趋于稳定,而三等沉降观测中误差的限差为 1.0 mm,也就意味着通过这种方式采集的未加改正的数据将很难准确判断桥墩的真实沉降情况,达不到要求的精度,从而影响工程进度。因

此 对水准尺倾斜改正的研究就显得十分必要。

2. 水准尺倾斜对闭合差和附和差的影响
现选取附和线路 AB ,如图 1 所示。

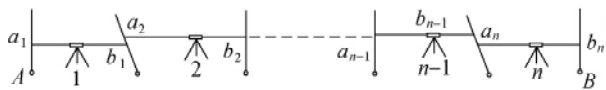


图 1 附和水准路线 AB 线路图

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_1 &= b_1(1 - \cos \theta_1) & \Delta h_2 &= a_2(\cos \theta_1 - 1) \\ & \vdots & & \\ \Delta h_{n-1} &= b_{n-1}(1 - \cos \theta_2) & \Delta h_n &= a_n(\cos \theta_1 - 1) \end{aligned} \right\}$$

则

$$\Delta h_{AB} = \sum_{i=1}^n \Delta h_i = (b_1 - a_2)(1 - \cos \theta_1) + \dots + (b_{n-1} - a_n)(1 - \cos \theta_2) \quad (3)$$

如式(3)所示,当 $b_1 = a_2, \dots, b_{n-1} = a_n$ 时 $\Delta h_{AB} = 0$, 即 AB 之间理论附和差为 0。在实际测量过程中,如果倾斜角较大,又不能保证倾斜尺分别作为前、后尺时的读数相等,很有可能导致水准线路的附和差超限。同样对于闭合环测量,也有可能导致闭合差超限。所以在外业测量中必须采取一定的措施,来消除水准尺倾斜对水准线路附和差和闭合差的影响。

三、水准尺倾斜改正的方法研究

1. 利用两次仪器高法求解倾斜角 θ

如图 2 所示, O 点为观测标所在位置,一般埋设在桥墩底部距地面 0.5 m。立尺时将水准尺紧贴桥墩侧面安放,以保证每次倾斜角 θ 保持不变。测量时,沉降观测标上的水准尺为前尺,按照后—前—前—后的读数顺序,分别读得前后尺的两次读数,然后分别取平均值,得到后尺读数 a 和前尺读数 b,显然这还无法求得倾斜角 θ ; 按水准线路方向前进,两个尺子不动,改变仪器高,此时观测标上的倾斜水准尺变为后尺,另一直尺为前尺,再次读数,得到后尺读数 a' 和前尺读数 b'。根据简单的几何学知识,即可求得倾斜角 $\cos \theta = (b' - a) / (a' - b)$ 。在内业处理时,在原始水准文件里经过简单改化,即可得到正确数据。

2. 利用仪器高不变法消除水准尺倾斜对闭合差和附和差的影响

由以上分析可知,只有保证倾斜的水准尺在相邻两站中分别作为前尺和后尺时读数不变,则可以从理论上消除水准尺倾斜对闭合差和附和差的影响。在实际测量过程中,只要相邻两站保持仪器和倾斜尺不动,就可解决问题。

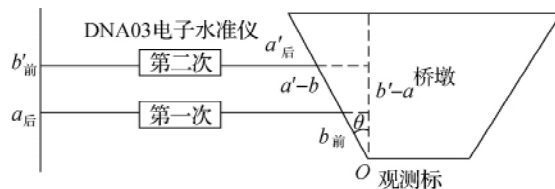


图 2 两次仪器高法求倾斜角

3. 综合两次仪器高法和仪器高不变法消除水准尺倾斜误差

要求出 θ 需要两次不同仪器高,而为避免闭合差和附和差超限又要求仪器高保持不变,这是互相矛盾的,要解决这一问题,则需要将两种方案融合起来,以达到最后完全改正的目的。由于改变仪器高只能在竖直的水准尺作为中间转点的条件下,故可以考虑通过仪器高不变法,过渡到两次仪器高法,再过渡到仪器高不变法,以保证水准线路测量正确可靠的向前延伸。方案如图 3 所示。

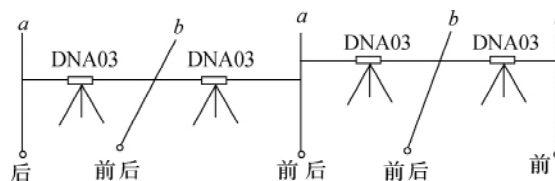


图 3 综合两次仪器高法和仪器高不变法

具体流程为: ① 先将竖直水准尺作为后视、倾斜水准尺作为前视进行测量; ② 保持尺子和仪器都不动,将斜尺作为后视、直尺作为前视进行测量; ③ 保持尺子不动,改变仪器高,直尺做后尺,斜尺做前尺进行测量; ④ 保持仪器高不变,斜尺做后尺不动,直尺向水准线路方向前进。此时,一个桥墩的沉降观测流程结束。通过这一方法,不仅可以求出水准尺的倾斜角 θ ,还消除了尺子倾斜给闭合差和附和差带来的影响,可谓一举两得。

四、工程实例

下面以某铁路一标段石月湾特大桥 14#墩 1 号和 2 号观测标为例来说明水准尺倾斜对沉降观测的影响,已测得两水准尺倾斜角为 8° ,其中部分数据如表 2 所示,沉降趋势如图 4 所示。

表 2 中,14#-1 斜尺读数最大为 1.427 5 m,最小为 1.202 8 m,两期中最大沉降达 1.80 mm,而在经过斜尺改正的沉降量仅为 0.04 mm; 14#-2 斜尺读数最大为 1.482 4 m,最小为 1.274 8 m,两期中最大沉降达 1.99 mm,而在经过斜尺改正的沉降量仅为 0.06 mm。

表2 14#-1, 14#-2 水准斜尺改正前后沉降量对比

累计观测 天数/天	14#-1 斜尺		改正		14#-2 斜尺		改正	
	斜尺读数 /m	累计沉降 量/mm	改正后 读数/m	累计沉降 量/mm	斜尺读数 /m	累计沉降 量/mm	改正后 读数/m	累计沉降 量/mm
0	1.324 6	0.00	1.311 6	0.00	1.441 8	0.00	1.427 6	0.00
7	1.263 9	0.24	1.251 4	-0.36	1.385 7	0.20	1.372 1	-0.35
14	1.284 7	-0.33	1.272 0	-0.72	1.274 8	1.01	1.262 3	-0.64
21	1.384 9	-1.68	1.371 3	-1.08	1.303 8	0.32	1.291 0	-1.04
28	1.419 4	-2.32	1.405 4	-1.39	1.278 0	0.39	1.265 3	-1.23
35	1.219 5	-0.63	1.207 4	-1.67	1.396 5	-1.01	1.382 7	-1.46
42	1.384 8	-2.55	1.371 1	-1.96	1.425 6	-1.47	1.411 6	-1.63
49	1.338 5	-2.30	1.325 3	-2.16	1.364 8	-1.17	1.351 4	-1.93
56	1.284 7	-2.00	1.272 0	-2.39	1.418 2	-1.75	1.404 2	-1.98
63	1.202 8	-1.21	1.191 0	-2.41	1.435 0	-2.08	1.420 8	-2.15
70	1.375 0	-3.01	1.361 4	-2.51	1.383 9	-1.53	1.370 3	-2.10
77	1.427 5	-3.58	1.413 4	-2.56	1.429 1	-2.22	1.415 0	-2.35
84	1.264 8	-2.10	1.252 3	-2.69	1.286 7	-1.01	1.274 0	-2.54
91	1.237 5	-1.81	1.225 3	-2.67	1.482 4	-3.00	1.467 8	-2.60
98	1.356 5	-2.96	1.343 1	-2.65	1.454 5	-2.67	1.440 2	-2.54
105	1.417 6	-3.56	1.403 6	-2.64	1.482 3	-2.89	1.467 7	-2.49

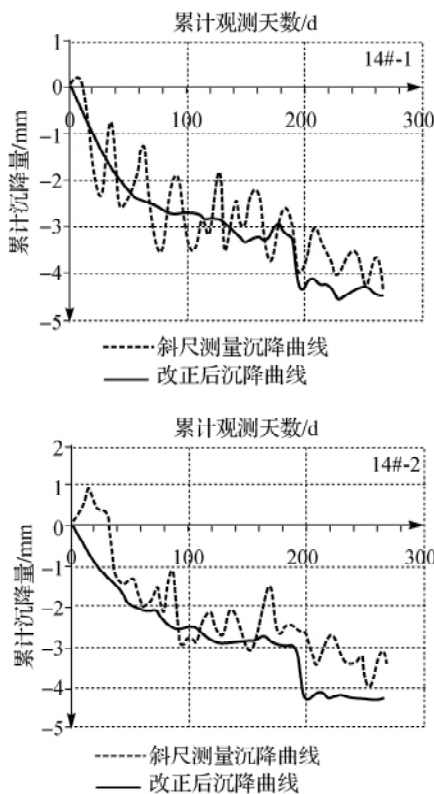


图4 14#-1、14#-2 改正前后沉降曲线对比

如图4所示,未经倾斜改正的沉降曲线,呈现出上下波动的趋势,这显然是与实际沉降不相符的,依据这样的观测结果将无法对桥墩的沉降趋势做出准确判断,从而使得后续施工无法开展,延误工

期。而经过水准尺倾斜改正后的沉降曲线明显变得平滑,更清楚地反映了各个阶段的沉降变化特点。比如观测前期沉降速率较大,架梁后沉降突变1 mm左右,架梁后桥墩基本处于稳定等一系列沉降特征都得到准确反映。改正后的沉降曲线如实准确地反映了沉降观测的成果,为后续线上施工地开展提供了科学准确的依据。

五、结束语

本文从理论和实践两方面出发,对水准尺倾斜对高速铁路桥墩沉降观测的影响作出了系统的分析,并提出了自己的解决方案,即在倾斜角已知的情况下采用仪器高不变法,倾斜角未知的情况下采用综合两次仪器高与仪器高不变法。该方法理论正确,且经过工程实例验证,具有良好的可操作性,可以在高铁建设实际中广泛采用。同时结合工程实际,总结得到如下注意事项:

- 1) 在沉降观测中固定测量人员,每次按固定的线路和方法进行。
- 2) 为了保证沉降监测网中水准闭合环或附合水准路线的闭合差不超限,要求在在斜尺作为前视和后视中不变动仪器,保证测量精度满足规范要求。
- 3) 扶尺时要求水准尺圆水准气泡在左右方向居中,尺子底部紧靠桥墩。

(下转第64页)

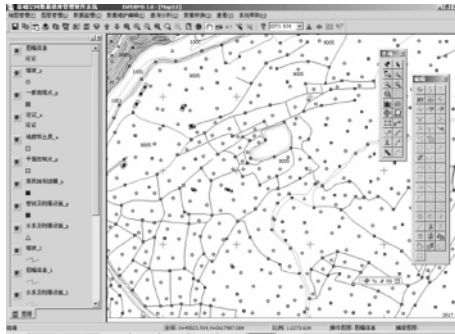


图8 城市空间数据库建库软件截图

五、结束语

城市空间数据库的建设是 UGIS 需要首要解决的问题,同时,空间数据库的建设在整个 GIS 工作流程中所占用的人力、物力和财力也是最大的。因而,城市空间数据库建设的好坏将直接影响到后期 GIS 的应用,甚至会影响到整个 GIS 系统的成败。

本文分析了城市空间数据库建库中的数据获取、数据编码、数据预处理、数据转换、数据监理、数据入库、数据更新与维护以及数据输出与应用等过程。针对目前应用最多的 DLG 数据管理平台 Auto-

CAD 和 GIS 应用平台 ArcGIS 提出了整个数据入库的解决流程,并在 Visual C++、.NET 等开发平台下,借助 ObjectARX、MapObjects 2.2 和 ArcGIS Engine 等二次开发工具和接口开发出了城市空间数据库建库软件,并在实际应用中取得了较好的效果。

参考文献:

- [1] 马明栋,张曼莉,张春皓.城市地理信息系统的基本功能[J].阜新矿业学院报:自然科学版,1997,16(3):328-331.
- [2] 邬伦.地理信息系统原理方法和应用[M].北京:科学出版社,2001.
- [3] 李德仁,龚健雅,李京伟,等.中国空间数据基础设施建设[J].测绘通报,2002(11):4-7.
- [4] 吴立新,史文中.地理信息系统原理与算法[M].北京:科学出版社,2003.
- [5] 陈述彭,鲁学军,周成虎.地理信息系统导论[M].北京:科学出版社,2000.
- [6] 崔洪波,丁明柱.几种基础地理信息数据库建库方式的比较[J].东北测绘,2002,25(2):12-13,15.
- [7] 黄坚,王丹,丁军.城市公共基础空间数据库建设方法初探[J].测绘通报,2003(2):42-43,46.

(上接第49页)

4) 在桥墩倾斜角不大(小于 5°)的情况下,每期测量时尽量使每期水准斜尺读数非常接近,此时可不加倾斜改正,也可满足精度要求。

5) 可在仪器公司定制专用短水准尺,如1m水准尺,这样尺子倾斜度比较小,可忽略其倾斜;也可采用倒尺测量,即把沉降观测标埋设在桥墩上距地面一定高度(如3m)的地方。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国铁道部. TB 10601—2009 高速铁路工

程测量规范[S].北京:中国铁道出版社,2009.

- [2] 沈彦文,花向红,王新洲,等.水准尺倾斜对沉降变形量的影响研究[J].测绘信息与工程,2003,28(2):8-10.
- [3] 徐万祥,柴本红,陈军.水准测量中标尺倾斜误差分析与改正[J].地矿测绘,2010(2):16-18.
- [4] 潘正风,杨正尧.数字化测图原理与方法[M].武汉:武汉大学出版社,2004.