

# 基于垂直位移观测二等网技术的中小跨径桥梁静挠度测量中误差分析\*

祝新念, 李斌

(湖南理工学院 土木建筑工程学院, 湖南 岳阳 414000)

**摘要:** 针对桥梁静挠度观测中实际观测结果的精度无定量描述、可靠程度难以确定的状况, 根据精密水准仪测量桥梁挠度的基本原理及《工程测量规范》中二等垂直位移测量网的精度要求, 提出了采用精密水准仪测量中小跨径桥梁静挠度过程中读数中误差、高程中误差及挠度中误差的分析方法; 结合工程实例, 对精密水准仪挠度观测结果进行评价, 证明其观测结果满足要求, 处于可控状态。

**关键词:** 桥梁; 静挠度; 水准测量; 中误差; 精度

中图分类号: U446.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)01-0163-03

桥梁静挠度是评价其承载力、工作性能及安全性的一项重要指标。挠度测量方法很多, 包括倾角仪法、连通管光电挠度测量系统、悬垂法、全站仪法等, 这些方法中有的需专门搭设支架, 有的受地形条件限制较多, 有的需专门仪器和技术人员, 有的精度不高, 在中小跨径桥梁尤其是旧桥检测中的适用性有限, 而且难以定量描述观测结果的精度。使用精密水准仪观测挠度, 具有在桥面作业、不需搭设支架、节省费用等优点, 在中小跨径桥梁观测中得以广泛应用。文献[8]对该方法的观测误差进行了理论分析, 但对实际观测结果的精度无定量描述, 测量结果的可靠度难以确定。该文结合 GB 50026-2007《工程测量规范》中二等垂直位移测量网的精度要求, 对精密水准仪观测中的读数中误差、高程中误差、挠度观测中误差进行理论分析, 验证精密水准仪的测量精度。

## 1 精密水准仪观测挠度理论分析

### 1.1 精密水准仪挠度测量

对于跨径及长度不大的中小桥梁, 可采用精密水准仪进行挠度测量。方法为: 在桥台外不受桥梁变形影响的区域选取高程基准点, 在桥面两侧对称布设静挠度观测点, 一般设置在桥梁支座、四分之一跨径及跨中。加载前测量各测点的原高程, 在每种工况下, 加载稳定后再测试各测点的高程, 原高程减去加载后高程, 即为该级荷载作用下的变形即挠度;

卸载后, 测试各点的高程, 原高程减去卸载后高程, 即为残余变形。

### 1.2 精密水准仪误差理论分析

精密水准仪测量的主要误差有仪器误差、观测误差及外界条件影响而产生的误差。仪器误差包括  $i$  角误差、尺长误差、零点差等; 观测误差主要有气泡居中误差、瞄准误差和水准尺倾斜误差; 外界条件影响产生的误差主要有温差影响误差、大气折光影响误差、风力影响误差、仪器和水准尺下沉误差。通过采用检校仪器、选用合格高质量的水准尺、选择合适的观测时机、严格按照规范操作及采用中间法观测, 可消除或减弱上述误差。下面主要对水准尺的瞄准误差进行分析。

瞄准误差与人眼的分辨率  $P$ 、望远镜的放大倍率  $V$  及测站到测点的距离即视距  $S$  有关。人眼的分辨率取  $30''$ ,  $\rho=206\ 265''$  为弧度与秒的转换常数, 则瞄准误差为:

$$m_1 = \frac{30}{V\rho} S \quad (1)$$

在测站读一个数的中误差  $m$  为:

$$m = m_1 = \frac{30}{V\rho} S \quad (2)$$

对于测点  $i$ , 设加载前后视基准点读数为  $a_1$ , 前视测点读数为  $b_1$ , 基准点的高程为  $H_{bm}$ , 则测点  $i$  的高程  $H_i$  为:

$$H_i = H_{bm} + a_1 - b_1 \quad (3)$$

\* 基金项目: 湖南省教育厅一般项目(14C0513)

加载稳定后,后视基准点读数为 $a_2$ ,前视测点读数为 $b_2$ ,则测点 $i$ 的高程 $H'_i$ 为:

$$H'_i = H_{bm} + a_2 - b_2 \quad (4)$$

由误差传播定律得测点高程中误差为:

$$m_H = \sqrt{2}m \quad (5)$$

$i$ 点的挠度 $f$ 为:

$$f = H_i - H'_i = a_1 - b_1 - a_2 + b_2 \quad (6)$$

由误差传播定律得挠度中误差为:

$$m_f = \sqrt{4}m = 2m \quad (7)$$

以常用的DSZ2精密自动安平水准仪为例,采用高质量的钢钢尺,望远镜的放大倍率为32倍,距离取30m,对中小跨径桥梁可不考虑转站。按以上公式计算,得: $m = m_1 = \pm 0.14$  mm,  $m_H = \pm 0.18$  mm,  $m_f = \pm 0.28$  mm,满足GB 50026-2007《工程测量规范》中垂直位移监测网二等网的技术要求(见表1)。

表1 垂直位移监测网二等网的技术要求 mm

| 项目            | 技术要求          |
|---------------|---------------|
| 变形观测点的高程中误差   | 0.50          |
| 每站高差中误差       | 0.15          |
| 往返较差、符合或环形闭合差 | $0.3\sqrt{n}$ |
| 检测已测高差较差      | $0.4\sqrt{n}$ |

注: $n$ 为测站数。

在实际检测中,若受地形条件限制,基准点至测点的距离超过规定,则需要转测一站,则测点高程中误差为 $\pm 0.28$  mm,挠度中误差为 $\pm 0.40$  mm,仍然满足规范要求;若转站2次以上,则误差超过规范中二等网的要求。

## 2 算例分析

### 2.1 算例1

岳阳市南大堤某小桥上部结构采用整体式现浇

钢筋砼空心板,单跨10m,净跨径8.9m,采用精密水准仪进行荷载试验挠度观测,测点在桥面两侧布置,每个测点与基准点均为一站。在梁底部搭设支架,安装百分表同步测量实际变形。以百分表所测挠度为真值,观测结果及误差分析见表2。

表2 岳阳市南大堤某小桥静挠度实测结果 mm

| 测点 | 理论挠度  | 水准仪实测挠度 | 百分表测量挠度 | 差值     |
|----|-------|---------|---------|--------|
| 1  | 0.000 | +0.33   | +0.050  | +0.280 |
| 2  | 0.924 | +0.32   | +0.885  | -0.565 |
| 3  | 1.367 | +0.30   | +1.310  | -0.710 |
| 4  | 0.988 | +0.31   | +0.900  | -0.590 |
| 5  | 0.000 | +0.35   | -0.100  | +0.450 |
| 6  | 0.000 | -0.33   | +0.080  | -0.410 |
| 7  | 0.984 | +0.95   | +0.420  | +0.530 |
| 8  | 1.379 | +0.72   | +1.270  | -0.550 |
| 9  | 0.946 | +0.93   | +0.430  | +0.500 |
| 10 | 0.000 | -0.31   | +0.100  | -0.410 |

注:挠度中误差 $m_f = \pm 0.51$  mm。

由表2可知:水准仪测量结果满足规范的各项指标要求,但其挠度中误差为 $\pm 0.51$  mm,超过规范要求,由此推导出测点高差中误差为 $\pm 0.36$  mm,也超过上述理论精度。因此,在观测过程中有必要进行误差分析。

### 2.2 算例2

月田桥位于岳阳月田镇余毛线(CD33430621),连接余家村与月田镇,全长86.06m,宽7.5m,上部结构采用 $4 \times 20$  m装配式预应力砼空心板。为检测其质量的可靠性和安全性,判断桥梁结构的实际承载能力,选取第二跨和第四跨进行荷载试验。根据相关规范关于静力荷载试验的要求拟定静载试验工况(见表3)。

表3 月田桥静载试验工况

| 试验跨 | 位置      | 跨径/m | 工况编号 | 工况名称        |
|-----|---------|------|------|-------------|
| 第二跨 | 2#~3#墩  | 20   | 工况I  | 跨中截面最大正弯矩中载 |
|     |         |      | 工况II | 跨中截面最大正弯矩偏载 |
| 第四跨 | 0#台~1#墩 | 20   | 工况I  | 跨中截面最大正弯矩中载 |
|     |         |      | 工况II | 跨中截面最大正弯矩偏载 |

挠度测点沿主梁四分区布置,分别布置在跨中( $1/2L$ )、四分点( $1/4L$ 、 $3/4L$ )和支点。在桥梁范围

外,选择合适的点作为基准点,采用精密水准仪进行测量。第二跨所用测点为一站,第四跨所用测点为

两站。为了检验测量结果,在桥面对应位置的梁底面分别安装百分表,测量梁底的实际变形。采用上

述中误差分析方法对测量结果进行误差分析。试验结果及中误差分析结果见表4和表5。

表4 月田桥第二跨静载挠度实测结果分析

mm

| 测点    | 工况 I 下实测结果 |         |         |       | 工况 II 下实测结果 |         |         |       |
|-------|------------|---------|---------|-------|-------------|---------|---------|-------|
|       | 理论挠度       | 水准仪实测挠度 | 百分表测量挠度 | 差值    | 理论挠度        | 水准仪实测挠度 | 百分表测量挠度 | 差值    |
| 0     | 0.00       | 0.17    | 0.05    | +0.12 | 0.00        | 0.20    | 0.10    | +0.10 |
| 1/4L  | 7.21       | 5.78    | 5.57    | +0.21 | 6.37        | 4.98    | 5.08    | -0.10 |
| 1/2L  | 10.43      | 8.01    | 8.24    | -0.23 | 9.22        | 7.53    | 7.28    | +0.25 |
| 3/4L  | 7.35       | 5.91    | 5.68    | +0.23 | 6.30        | 4.75    | 5.02    | -0.27 |
| L     | 0.00       | 0.15    | 0.05    | +0.10 | 0.00        | 0.18    | 0.05    | +0.13 |
| 0'    | 0.00       | 0.13    | 0.03    | +0.10 | 0.00        | 0.20    | 0.03    | +0.17 |
| 1/4L' | 7.20       | 5.89    | 5.66    | +0.23 | 8.04        | 6.01    | 6.23    | -0.22 |
| 1/2L' | 10.41      | 8.75    | 8.43    | +0.32 | 11.64       | 9.34    | 9.18    | +0.16 |
| 3/4L' | 7.34       | 5.41    | 5.67    | -0.26 | 8.50        | 6.78    | 6.52    | +0.26 |
| L'    | 0.00       | 0.15    | 0.03    | +0.12 | 0.00        | 0.29    | 0.12    | +0.17 |

注:工况 I 下,挠度中误差  $m_f = \pm 0.21$  mm;工况 II 下,挠度中误差  $m_f = \pm 0.19$  mm。

表5 月田桥第四跨静载挠度实测结果分析

mm

| 测点    | 工况 I 下实测结果 |         |         |       | 工况 II 下实测结果 |         |         |       |
|-------|------------|---------|---------|-------|-------------|---------|---------|-------|
|       | 理论挠度       | 水准仪实测挠度 | 百分表测量挠度 | 差值    | 理论挠度        | 水准仪实测挠度 | 百分表测量挠度 | 差值    |
| 0     | 0.00       | 0.17    | 0.08    | +0.09 | 0.00        | -0.08   | 0.09    | -0.17 |
| 1/4L  | 7.21       | 5.91    | 5.58    | +0.33 | 6.37        | 5.28    | 5.03    | +0.25 |
| 1/2L  | 10.43      | 8.31    | 8.42    | -0.11 | 9.22        | 7.11    | 7.25    | -0.14 |
| 3/4L  | 7.35       | 5.98    | 5.63    | +0.35 | 6.30        | 4.61    | 4.98    | -0.37 |
| L     | 0.00       | 0.15    | 0.04    | +0.11 | 0.00        | 0.14    | 0.07    | +0.07 |
| 0'    | 0.00       | 0.12    | 0.06    | +0.06 | 0.00        | 0.11    | -0.03   | +0.14 |
| 1/4L' | 7.20       | 4.33    | 4.58    | -0.25 | 8.04        | 6.04    | 6.35    | -0.31 |
| 1/2L' | 10.41      | 9.19    | 8.82    | +0.37 | 11.64       | 9.45    | 9.12    | +0.33 |
| 3/4L' | 7.34       | 4.78    | 5.17    | -0.39 | 8.50        | 6.85    | 6.54    | +0.31 |
| L'    | 0.00       | 0.17    | 0.02    | +0.15 | 0.00        | 0.20    | 0.09    | +0.11 |

注:工况 I 下,挠度中误差  $m_f = \pm 0.25$  mm;工况 II 下,挠度中误差  $m_f = \pm 0.24$  mm。

如果将百分表所测挠度作为真值分析,则可估算出以上4种情况下挠度观测值的精度:工况 I、II 下,第二跨挠度中误差分别为  $\pm 0.21$ 、 $\pm 0.19$  mm, 以此推算,高程中误差分别为  $\pm 0.15$ 、 $\pm 0.13$  mm, 读数中误差分别为  $\pm 0.11$ 、 $\pm 0.09$  mm;第四跨挠度中误差分别为  $\pm 0.25$ 、 $\pm 0.24$  mm, 高程中误差分别为  $\pm 0.18$ 、 $\pm 0.17$  mm, 读数中误差分别为  $\pm 0.09$ 、 $\pm 0.09$  mm。第四跨由于距离较远,为保证视距小于 30 m,需转测一站,所以其挠度中误差大于第二跨,但仍满足要求,与前文理论推导结论基本一致。

### 3 结语

该文基于精密水准仪测量桥梁挠度的基本原理及垂直位移观测二等网技术的精度要求,提出了一种采用精密水准仪测量桥梁静挠度时读数中误差、高程中误差及挠度中误差的分析方法,并用于月田桥观测结果的中误差分析。结果表明该桥静挠度测量误差处于可控状态,测量结果满足规范要求,说明精密水准仪用于中小跨径桥梁静挠度观测具有较高

(下转第 200 页)

素权重及专家自身权重,结合模糊综合评价,科学、有效地对高速公路改扩建工程人工功效估算系数进行了计算,为研究类似功效问题提供参考。

参考文献:

[1] 卢洋. 建设工程施工效率损失索赔问题研究[D].大连:东北财经大学,2013.

[2] 张春影,辛文,高平. 施工生产效率损失索赔依据和计算方法问题研究[J].项目管理技术,2015(9).

[3] 洪微.工程量清单计价模式下的工程项目施工索赔管理研究[D].南昌:华东交通大学,2012.

[4] 杨晓.我国建筑施工企业劳动生产率管理模型及应用研究[D].北京:北京交通大学,2016.

[5] 杨玉胜,王卓.基于FAHP法的公路改扩建工程预算定额编制[J].公路与汽运,2015(1).

[6] 李永福,陈起俊,刘京明.基于西藏地区施工机械降效数据处理模型与结果分析[A].《建筑科技与管理》组委会.2012年9月建筑科技与管理学术交流会议论文集[C].2012.

[7] 王芳.层次一熵定权的灰色关联理论在工程评标中的应用[J].河南科技大学学报:自然科学版,2011,32(4).

[8] 雷剑.高速公路改扩建工程精细化管理关键问题研究[D].西安:长安大学,2011.

[9] 容信茹,刘小平,方聪.改扩建工程施工成本管理浅析[J].湖南交通科技,2012,38(4).

[10] 李纲.基于熵的建设项目风险评价专家评定模型[J].黑龙江交通科技,2010(1).

[11] 崔钢,黄珏.高速公路改扩建工程定额测定现场的优选方法[J].项目管理技术,2013(6).

收稿日期:2016-09-24

\*\*\*\*\*

(上接第165页)

精度,但必须对测量结果进行误差分析,以进一步定量描述测量结果的精度。

参考文献:

[1] JTG/T J21-2015,公路桥梁荷载试验规程[S].

[2] 吴鹏,张永水,白嵩.倾角仪在桥梁挠度测量中的应用[J].西部交通科技,2009(5).

[3] 黄振平,杨学山.桥梁挠度的新仪器:QY倾角仪[A].结构强度、振动、测试、理论与应用学术会议论文集[C].1992.

[4] 杨学山.工程振动测量仪器和实验技术[M].北京:中国计量出版社,2001.

[5] 杨建春,陈伟民.连通管式光电挠度测量系统及其大桥

监测应用[J].光电子.激光,2006,17(3).

[6] 金瑞云.现代桥梁挠度测量方法简析[J].技术与市场,2009(7).

[7] 许娅娅,秦建平.全站仪观测桥梁挠度的探讨[J].西安公路交通大学学报,1999,19(3).

[8] 钱寅泉.中小跨径桥梁挠度测试方法比较[J].中外公路,2012,32(4).

[9] GB 50026-2007,工程测量规范[S].

[10] 刘山洪,耿建莉.桥梁挠度精密水准测量方法探讨[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2007,26(4).

[11] 边育生.桥梁挠度测量新方法的探讨[J].铁道工程学报,2008(7).

收稿日期:2016-08-31

\*\*\*\*\*

(上接第190页)

5 结语

该文结合六盘山隧道A3标段工程对水压爆破进行试验研究,结果表明:水压爆破通过水袋爆破成雾吸附粉尘,可大大降低施工现场粉尘浓度,改善隧道施工环境;将难以被压缩的水作为介质,炸药能量通过水作用在岩石上,可加强冲击波作用效果,进而提高能量利用率,减少炸药量,创造较大的经济效益;还可提高循环进尺,缩短施工时间,保障工期。总之,水压爆破是一种节能、环保的工程爆破技术。

参考文献:

[1] 高博.隧道水压爆破表面活性剂降尘技术研究[D].北

京:中国地质大学,2015.

[2] 徐伟.水压爆破在铺子山隧道施工中的应用[J].公路与汽运,2014(3).

[3] 方政英.水压爆破施工应用与研究[J].中国水运,2016(5).

[4] 乔树伟.隧道掘进水压爆破施工技术[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2016,15(1).

[5] 丁小平,黄嫚,史宝童,等.六盘山隧道地下水水质监测与分析评价[J].环境科学与技术,2015,38(增刊2).

[6] 王威.地铁隧道节能环保水压爆破施工技术[J].隧道建设,2015,35(增刊2).

[7] 李庆斌.隧道掘进水压爆破技术及应用分析[J].铁道建筑技术,2013(4).

收稿日期:2016-08-15