

# 南京城墙鼓胀监测及其数据处理方法

周 洁, 胡伍生, 朱明晨

(东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

**摘 要** 古建筑的监测和维护日益受到重视,对古城墙的保护所包含的文化价值以及科研价值也相当丰富。本文论述了用全站仪进行城墙鼓胀监测的一种新方案,并且根据实际观测数据讨论了通过将全站仪观测的北京-54 坐标系转换为鼓胀测量所需要的局部坐标系来简化数据处理工作的新方法,从而简化了观测工作、提高数据处理的效率,并且以图形来显示城墙鼓胀变形的一个趋势。

**关键词** 鼓胀观测 坐标转换 全站仪

中图分类号: TU196

文献标识码: A

文章编号: 1672-4097(2011)05-0011-03

## 1 引 言

南京城墙不仅在历史上是世界上规模最大的用砖石砌筑的都城城墙,也是迄今我国以实物保存最长的唯一的古代都城城墙,现在明城墙的完好总长度有 23.743 km。我国是一个历史悠久、土地辽阔的文明古国,保存的古代建筑遗存,如宫殿、坛庙、寺观、佛塔、桥梁、园林、府第、民居等非常丰富,这些古建筑是中华民族和全人类的骄傲。特别是珍贵的古建筑文物中包含了丰富的文化传统和城市规划的内容<sup>[1-3]</sup>,是不能轻易废弃的。由于受到各种环境、地质条件的影响,随着时间的推移,城墙本体出现了受损情况:部分坍塌,立面出现鼓胀、开裂、起翘、下沉;顶部防、排水设施损毁等。

鼓胀测量是城墙的监测和维护中的一项主要任务。所谓鼓胀是由于长时间的雨淋等原因,城墙某一部分墙体的向外突出、鼓起一块或几块的现象。墙体的鼓胀导致有些墙体悬在半空中,城墙随时都有坍塌的危险,对于城墙的鼓胀监测至今还没有一个完善的操作方案,所以说研究和分析城墙的鼓胀监测方法以及数据处理的方式对于古城墙的维护有着重大意义。

传统的变形观测方法,是将水平位移和垂直位移分开处理。水平位移一般采用交会法、视准线法或小角法观测,垂直位移采用水准测量或三角高程测量法<sup>[4]</sup>等。由于城墙周围的环境和地形条件,采用传统的观测方法费时费力,有时甚至无法实施。

## 2 鼓胀监测方法

对城墙墙体上“鼓起”严重的区域进行整体规划,每一个大的鼓起区域记为一个片区,在每一个监测片区上均匀的布设监测点(如图 1),布点时要

注意能够覆盖整个鼓起区域从而全面的反映出该片区的鼓胀情况。在每一个片区附近地面上选择至少 2 个控制点(记为  $J-1, J-2$ )并且用 GPS 测定其坐标,同时保证在其中两个点架设仪器时,可以监测到墙体上的所有的监测点。最后在地面上选取 2 个点(记为  $a, b$ ),使这两个点的连线和城墙平行(为了方便坐标转换,进行数据处理,详见 3 数据处理)。布点准备工作完成后,首次观测利用全站仪<sup>[5]</sup>对每一个片区的监测点进行精密的三维坐标测定。然后利用  $a, b$  的三维坐标数据将全站仪观测的北京-54 坐标系转换为鼓胀测量所需要的局部坐标系。从第二次观测开始,将每次的观测数据都与上一次以及首次观测比较从而可以得出城墙的本次鼓胀量和累计鼓胀量。

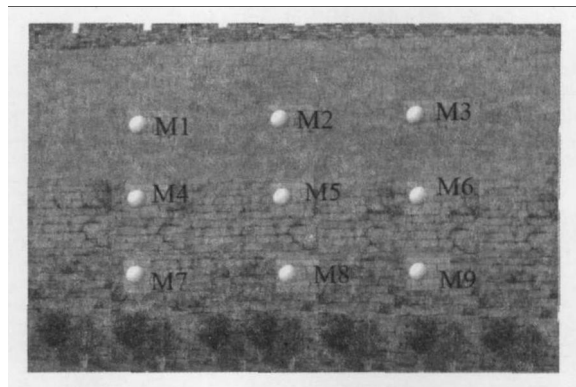


图 1 某鼓胀片区实拍图

## 3 数据处理

由图 1 可以看出,城墙上每一个片区就有很多个观测点(图上圆圈为观测点),加之城墙上片区较多,随着观测周期的延长,观测次数的增加,城墙鼓胀测量的数据量<sup>[6]</sup>是庞大的。如果我们每次都要人为对观测的每个片区的每个点进行  $X, Y$  坐标的差

值进行计算,然后根据  $\Delta Z = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$  ( $\Delta Z$  为城墙鼓胀值)计算监测城墙的鼓胀值,这个工作量相当大,而且城墙鼓胀的方向也无法确定(而我们要确定垂直于城墙方向的位移变化量)。因此,有必要介绍一种有效的数据处理方法来简化数据处理的工作,确定城墙鼓胀的方向。

用全站仪对图 1 所示的片区进行第一次观测,结果如表 1,其中 J-1, J-2 是该片区的控制点;M1, M2, ..., M9 为该片区城墙上的部分鼓胀监测点。

表 1 鼓胀观测点全站仪观测数据

点号	Y 坐标(m)	X 坐标(m)
J-1	495980.764	3543811.417
J-2	495978.540	3543788.386
M1	495970.376	3543808.033
M2	495971.869	3543811.172
M3	495973.427	3543814.256
M4	495970.301	3543807.507
M5	495972.093	3543811.317
M6	495974.040	3543815.244
M7	495972.142	3543811.173
M8	495973.704	3543814.389
M9	495975.527	3543818.338
a	495976.158	3543799.896
b	495985.364	3543820.063

根据坐标反算公式计算该片区的 a, b 方向的坐标方位角,然后根据这个坐标方位角(弧度)对这个片区的所有数据(包括控制点、鼓胀点和 a, b)进行坐标转换,得到如表 2 所示的数据。

表 2 某片区坐标转换后数据

点号	Y 坐标(m)	X 坐标(m)
J-1	495980.964	3543811.197
J-2	495959.089	3543803.657
M1	495973.571	3543819.243
M2	495977.047	3543819.188
M3	495980.500	3543819.051
M4	495973.062	3543819.092
M5	495977.272	3543819.044
M6	495981.653	3543818.904
M7	495977.161	3543818.939
M8	495980.736	3543818.854
M9	495985.085	3543818.835
a	495968.570	3543810.603
b	495990.739	3543810.603

由表 2 可以看出,经坐标转换后, a, b 两个点的

X 坐标是相等的,所以我们可以将该片区的所有鼓胀监测点的 Y 坐标去掉,只保留 X 坐标和高程,三维数据处理简化为二维数据。反之如果某片区经坐标转换后 a, b 两点的 Y 坐标相同,就将 X 坐标去掉,保留 Y 坐标和高程。

在第二次以及往后的所有观测中,我们将每一个片区的转换后的基准点坐标代替转换前的坐标,用于片区的监测。在数据处理时我们只需对保留下来的 X(或 Y)坐标进行差值计算,累计差值计算。

表 3 鼓胀数据处理(“+”为鼓,“-”为凹)

点号	第一次测量 X 坐标(m)	第二次测量 X 坐标(m)	本次鼓胀(mm)
M1	3543819.243	3543819.241	-2
M2	3543819.188	3543819.189	+1
M3	3543819.051	3543819.050	-1
M4	3543819.092	3543819.094	+2
M5	3543819.044	3543819.043	-1
M6	3543818.904	3543818.902	-2
M7	3543818.939	3543818.940	+1
M8	3543818.854	3543818.853	-1
M9	3543818.835	3543818.833	-2

如表 3 所示,将第 2 次观测点的 X 坐标减去第一次观测坐标转换后的 X 坐标,“+”为鼓,“-”为凹,以后每次观测按照这个思路将本次观测与上次观测相应的点的 X(Y)坐标相减得到本次鼓胀值,将本次观测与第一次观测的相应点的 X(Y)坐标相减得到累计观测值。

#### 4 图形显示

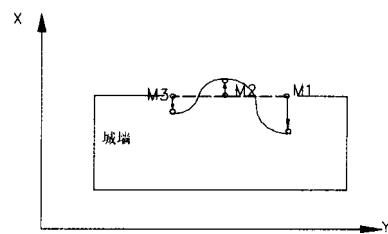


图 2 M1, M2, M3 号观测点的鼓胀示意图

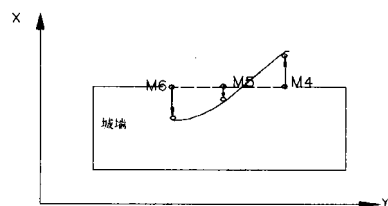


图 3 M4, M5, M6 号观测点的鼓胀示意图

(下转第 17 页)

## Analyze Chaos of Deformation Monitoring Data

YUAN Chang-mao<sup>1</sup>, WEN Hong-yan<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Boluo County Land Resources Bureau, Huizhou Guangdong 516100, China;

<sup>2</sup> College of Civil Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

**Abstract** This paper describes the Lyapunov index method and the correlation dimension method of deformation data; discusses the calculation of deformation monitoring data Lyapunov exponent and correlation dimension; Finally, shows a practical example with dam observation data.

**Key words** deformation monitoring; chaos; lyapunov exponent; correlation dimension; phase space reconstruction

(上接第 12 页)

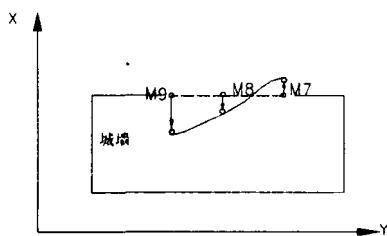


图 4 M7, M8, M9 号观测点的鼓胀示意图

由表 3 我们可以看出,该测区的城墙鼓胀点我们只需要看鼓胀点的  $X$  变化值,随着观测次数的增加,若  $X$  值较前面一次观测值增大说明城墙在这两次观测期间发生了鼓胀。由图 2 可知,在  $X$  方向上,箭头向上(向外)表明城墙在这个点发生了鼓胀,箭头向下(向里)表明城墙在这个点发生了凹陷,由图 2 可知城墙上 M1, M3 号点发生了凹陷, M2 号点发生了鼓胀,同理,由图 3 可知, M4 号点发生了鼓胀, M5, M6 号点发生了凹陷,且 M6 号点处城墙凹陷较 M5 号点严重;由图 4 可知 M7 号点发生了凹陷, M8, M9 号点发生了鼓胀,且 M9 号点较 M8 号点鼓胀严重。综上,由图 3、图 4、图 5(曲线为城墙发生变形的趋势)我们可以看出图形显示更加生动形象,更直观。

## 5 结 论

(1) 鼓胀测量是城墙的监测和维护中的一项主要任务,所以研究城墙鼓胀监测的理论和方法很有意义。

(2) 简化城墙监测的数据处理工作,以图形显示方式来反映城墙鼓胀变形形象生动,也是城墙监测的一个发展趋势。

## 参考文献

- 1 胡伍生. 变形观测及其数据处理[C]. 东南大学教材, 2003.
- 2 陆立, 郭忠志, 张凌云. 建筑物变形观测数据处理中的若干问题[J]. 北京建筑工程学院学报, 2004, 20(3): 51 - 53.
- 3 顾明. 对建筑物变形观测方法的分析[J]. 城市建设, 2009, 47: 149 - 150.
- 4 张正禄, 等. 工程测量学[M]. 武汉大学出版社, 2005. 10: 89 - 91.
- 5 朱小华, 胡伍生. 润扬大桥悬索桥全站仪法挠度变形观测[J]. 公路交通科技, 2006, 23(7): 104 - 107.
- 6 岳建平, 田林亚. 变形监测技术与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007. 06.

## The Method for Dilatation Monitoring of The Nanjing City Wall and Its Data Processing

ZHOU Jie, Hu WU-sheng, ZHU Ming-chen

(School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

**Abstract** Monitoring and maintaining ancient city wall is valued. The cultural values and scientific value of the protection of the ancient city walls is quite rich. This paper discusses a new plan to monitor ancient buildings. It uses Electronic Total Station. According to the actual observation data, this paper discusses a new method simplify the data processing work. In this method, Beijing - 54 coordinate system is converted to the measuring bouffant partial coordinates system. Thus, it simplifies the observation work, improves the efficiency of data processing and shows the trend of the walls deformation through the drawing.

**Key words** dilatation observation; coordinate transformation; electronic total station