

文章编号: 1005-0523(2003)02-0054-03

翅膀沟铁路隧道施工变形监测网方案分析

许 恺, 周顺华

(同济大学 铁道建筑工程系, 上海 200331)

摘要:结合工程实例对铁路隧道施工过程的变形监测方案进行分析, 由于基准点的位移导致变形观测数据出现系统误差, 应选取稳定点作为基准点, 保证观测数据的正确, 并应用 GPS 技术提高监测质量和效率。

关键词:铁路隧道; 变形监测; 点位稳定; 基准点

中图分类号: TU

文献标识码: A

1 前言

铁路隧道施工中的变形是区段性环境岩土工程问题。岩土是极其复杂的自然介质, 它有许多不确定的力学特性, 通过变形观测, 可检验认识与论断在岩土工程实施过程中的正确程度, 同时在出现不利的特殊情况时, 进行必要而恰当的补救。从而达到验证勘察, 修改设计参数, 保证工程质量的目的。

2 铁路隧道施工变形监测网的基本要求

在铁路隧道这样的大型工程的安全稳定性研究中, 通过对受扰对象的安全性态的变形监测, 获取变形体的动态位移信息(变形的空间特性和变形速度和加速度等时间特性), 以得到一个变形的定性和定量分析的结论, 客观正确地反映被监测对象的真实状态。然后做出预警诊断。变形监测应具有实时性、事前性、可靠性。铁路隧道施工变形监测网由基准点 J , 工作基点 G , 变形观测点 B 组成。变形特征则由变形观测点 B 的位移矢量 $\Delta\mu$ 来表征:

$$\Delta\mu = \begin{bmatrix} \Delta X_{bi} \\ \Delta Y_{bi} \\ \Delta Z_{bi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{bi} \\ Y_{bi} \\ Z_{bi} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_{b0} \\ Y_{b0} \\ Z_{b0} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 X_{b0}, Y_{b0}, Z_{b0} 为变形观测点 B 的首次观测值, X_{bi}, Y_{bi}, Z_{bi} 为变形观测点 B 的第 i 次观测值。利用各期观测得到的综合平差静态结果, 求得任意两期测量间的位移及协方差; 利用多期观测数据作位移线性速度平差, 得到各点的位移年速度及协方差。

2.1 变形观测的可靠性

变形观测网中的点位变形分析是建立在比较多期复测成果基础上的, 因此需要建立一个统一的基准。变形观测强调的是尽可能减少起算数据对结果的影响, 并要求起算数据对重复观测资料的影响尽可能一致。这就要求基准点 J 应保持稳定不动, 设置在远离变形观测点的稳定区域。假定这些点的 X_j, Y_j, Z_j 在不同时是固定不变的(固定基准), 作为测定变形点绝对位移的参考点, 在此基础上评价工作基点 $G(X_g, Y_g, Z_g)$ 的稳定性, 观测变形观测点 $B(X_b, Y_b, Z_b)$ 的位移量 $\Delta\mu$, 由 $\Delta\mu$ 反映变形过程、变形规律、变形幅度。

2.2 变形观测的灵敏度

灵敏度是反映变形监测网发现某一位移量的能力, 灵敏度是在一定误差概率 α 和检验功效 γ 下

收稿日期: 2002-12-20

作者简介: 许 恺(1955-), 男, 安徽绩溪人, 同济大学副教授。

能发现某一方向变形向量的下限值.它依赖于变形观测的精度,FIG 建议观测精度要小于变形值的 $1/10 \sim 1/20$.隧道施工变形监测精度应达到以下要求:

沉降观测:观测点测站高差中误差 $\leq 0.50 \sim 1.50$ mm;

位移观测:观测点测坐标中误差 $\leq 3.0 \sim 10.0$ mm.

2.3 变形观测的观测周期

变形观测周期应以能够反映反测变化的过程且不遗漏其变化时刻为原则,根据单位时间内变形量的大小及外界因素影响确定,当观测中发现变形异常时,应及时增加观测次数,控制网复测周期应根据点位的稳定情况确定,一般应半年复测一次.

3 工程实例

包西铁路翅膀沟隧道起讫里程 DK444 + 744 ~ DK446 + 465,该段地形起伏,自然坡度 $40^\circ \sim 70^\circ$,洞身位于第三系红粘土与第四系中更新统老黄土接触带.其中 DK445 + 690 ~ DK446 + 438 段(748 m)相向开挖后因围岩土体主拉应力超过土体的抗拉强度,导致衬砌开裂,并在线路靠山侧地表沿老黄山的北西向构造裂隙发生羽状张拉,出现地面开裂,随着隧道开挖掘进,洞内衬砌裂缝和地表裂缝不断延伸和加宽.变形监测方案如下:

3.1 测点布置

设置 4 个基准点 J 作为首级控制网,13 个工作基点 G 构成 9 条视准线,沿视准断面线布设 42 个变形观测点 M ,沿山顶两条主裂缝的两侧布设十组监测桩.

3.2 观测周期

基准点 J 和工作基点 G 半年观测一次;

变形观测点 M 每 20 天观测一次;

地表裂缝观测点 F 前期每 2 天观测一次,后期第 5 天观测一次.

3.3 测量仪器

TC1610 全站仪、 S_3 水准仪、钢尺.

3.4 测量精度

四个基准点组成大地四边形首级控制网,测角中误差 $2.5''$,测距中误差 $1/10$ 万 $\sim 1/5$ 万,高程测量闭合精度 $20\sqrt{L}$ (mm).

4 讨论

翅膀沟隧道变形监测网测量精度:TC1610 全站仪的标称精度为测角中误差 $1.5''$,测距精度 2 mm + 2 ppm.实测结果达到了变形测量三级网的精度要求.

点位的稳定性:由于受到地形限制,基准点 J_4 布设时距离两条主裂缝分别为 14 m 和 59 m.工作基点 G_{10} 距西侧主裂缝 14 m,距东侧主裂缝 32 m.工作基点 G_{11} 距西侧主裂缝 10.5 m,距东侧主裂缝 5.2 m.部分基准点和工作基点受到地面变形的影响,产生点位移动.图一是距离基准点 J_4 14 m 的主裂缝的发展曲线:

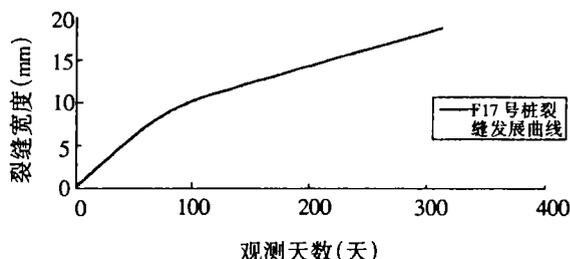


图1 F17号桩主裂缝发展曲线

图2是位于基准点 J_4 与 J_2 连线附近,距离基准点 J_4 100 m 处的点位变形曲线:

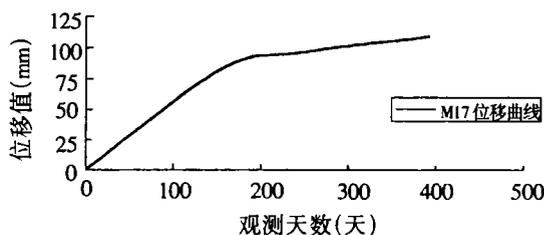


图2 M17号点位移曲线

经典自由网平差计算中基准点是已知或假定的起算数据,其平差模型为高斯-马尔可夫模型:

$$E(l) = A \bar{X} \quad (2)$$

$$D(l) = \bar{\mu}^2 Q_u = \bar{\mu}^2 P^{-1} \quad (3)$$

$$\text{由(1)式可写出: } V = AX - l \quad (4)$$

$$\text{得法方程} \quad NX = A^T P l \quad (5)$$

N 是满秩对称方阵, N 的凯莱逆 N^{-1} 存在,(4)式有唯一解:

$$X = N^{-1} A^T P l \quad (6)$$

当基准点产生位移后,秩亏的自由网平差中 N 为奇异阵,其凯莱逆 N^{-1} 不存在,只可求得法方程

的最小范数解:

$$X = N(NN)^{-1} A^T P l \quad (7)$$

同理拟稳平差也是按照最小二乘原则及最小范数条件平差自由网:

$$\left. \begin{aligned} V^T P V &= \min \\ X_2^T X_2 &= \min \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

经典自由网平差采用的是固定基准, 秩亏自由网平差采用的是重心基准, 拟稳平差采用的是拟稳点的基准. 不同的平差方法(选取不同的参考系)会得到不同的位移场, 求出各点的位移量存在不小的差异, 然而实际上的位移场理论上是唯一的. 所以基准点的位移对工作基点和变形观测点的影响是显而易见的. 基准点的位移造成了变形观测结果的失真, 使得位移向量 $\Delta\mu$ 带有系统性的位置偏差、尺度偏差、和方位偏差. 在严重的情况下, 因为基准点的不稳定可能危及工程的安全.

基准点和工作基点的观测周期: 在地面裂缝以宽度 0.114 mm/d, 高差 0.259 mm/d 的速度发展, 变形监测点以平距 0.549 mm/d, 高程 0.431 mm/d 的速度位移时, 部分基准点和工作基点距离地面变形活跃区域非常近, 方案拟定的半年的观测周期太长, 应考虑提高观测频率.

5 结 语

1) 监测网平差时, 采用固定基准依然是较好的

方法, 有利于变形点的定量分析, 设置基准点时基准点的稳定性非常重要. 采用重心基准时, 如果重心不稳, 平差结果会导致错误的分析结论, 从而使得无法较为客观的反映变动点的位移.

2) 使用常规测量仪器的进行变形监测要考虑通视并受地形限制, GPS 具有很高的重复精度, 测站间无须保持同视, 观测不受气候条件限制, 自动化程度高, 同时观测三维坐标差. 对小于 15 km 的 GPS 基线, 采用 Stop and go 短程静态定位方法, 初始化以后, 每点测 2 分钟, 相对定位十万 ~ 百万分之一, 绝对精度 10 ~ 20 mm. 应优先考虑用 GPS 技术做变形观测.

3) 用 GPS 做变形观测, 主要是求出变形监测网的监测点相对于基准点的相对位移, 无需坐标转换, 减小了坐标系转换带来的误差和计算工作量, 提高了工作效率.

参考文献:

- [1] 吴子安. 工程建筑物变形观测数据处理[M]. 北京: 测绘出版社, 1989.
- [2] 陶本藻. 自由网平方差与变形分析[M]. 北京: 测绘出版社, 1984.
- [3] 建设部综合勘察研究设计院. 建筑变形测量规程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [4] 李基余, 等. 全球定位系统原理及其应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1993.

Analysis on Deformation Monitoring Net of Railway Tunnel

XU Kai, ZHOU Shun-hua

(Department of Railway Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on actual example, the deformation monitoring plan of railway tunnel under construction was analysed. Because the deformation of datum marks causes system error in data of deformation survey, the stable place should be selected as datum marks to keep correctness of survey data, And the GPS should be used to improve survey quality and efficiency.

Key words: railway tunnel; deformation monitoring; mark stability; datum mark