

拟稳平差在核电变形测量中的应用

陈本富, 施昆, 谢小胜

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 拟稳平差作为测量数据处理方法之一, 在核电工程建设变形监测特别是变形网本身当中具有一定的推广价值. 它改变了在传统数据处理中采用经典平差方法的单一手段, 为变形监测数据处理提供了更为科学的方法, 计算结果进一步表明, 该方法的合理运用, 会更加符合核电工程建设实际, 为工程建设提供更为切合实际的服务.

关键词: 拟稳平差; 变形监测; 经典平差

中图分类号: TD172 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2005)01 - 0010 - 03

Application of Quasi - Stable Adjustment to Detecting the Control - Network's Deformation of the Nuclear Power Plant's Constructions

CHEN Ben-fu, SHI Kun, XIE Xiao-sheng

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Quasi - stable adjustment, as a method of surveying data processing, is of some value for being widely adopted, especially in monitoring the deformations of the Nuclear Power Plant's constructions to some degree. It applies a supplementary method to the observation data process usually used by traditional adjustment. It is proved that the method is more scientific and effective not only from theory but also from practice.

Key words: quasi - stable adjustment; deformation monitoring; traditional adjustment

0 引言

随着经济的发展, 对能源的需求量越来越大. 核能, 作为重要的能量源之一, 已经受到越来越多的关注, 核电建设势头在我们国家, 正方兴未艾. 每一核电工程, 涉及到建设用地相对较广, 建设周期相对较长, 各建筑物及其内部结构间联系较紧. 参照法国核电站建设程序, 为满足核电建设不同时期工程进度需求, 一般分阶段建立首级、次级、微网的三级测量控制系统, 从项目整体到局部, 从单项工程的外部到内部, 通过层层控制, 能保证在核电总体建设过程中的定位精度. 具体说明如下:

首级网主要用于整个核电厂区的定位, 点位精度一般要求 ± 5 cm.

次级网一般分布在核电主要厂房(NI & CI)周围, 用于对其进行施工定位及施工过程中的变形监测, 点位精度一般要求 ± 2 mm.

微网用于满足厂房内部各设施间的定位精度, 并用于监测其变形情况. 一般布设在各相应厂房底层底板上, 点位精度一般要求 ± 2 mm.

其中, 次级网的作用在核电建设中作用最大, 它不仅是控制主要厂房施工的基础, 是建立微网的依据, 更是主要厂房变形监测的基础.

1 原理

从控制手段来说, 三级控制网理论上可以很好地跟踪工程建设, 使各建筑结构定位满足工程要求. 但

收稿日期: 2004 - 03 - 15.

第一作者简介: 陈本富(1970.2~), 男, 在读硕士研究生, 高级工程师. 主要研究方向: GPS 技术与数据处理. E-mail: chenben - Js @126.com.

其先决条件是,所有这些测量控制点的位置,必须是相对稳定的,至少其变形,根据相关条件,是可以通过测量手段获得的。

如果所有用于控制的点,在理论上都不受周围施工环境的干扰,能始终固定在原来的位置,它们便能很好的起到控制作用.但在实际工作中,由于核电建设工程量大,施工周期长,特别是像爆破作业,要想控制点完全不受周围环境影响,是不现实的.而一旦控制点位置发生变化,以此变化中的点位去控制一个相对位置不变的建筑群体,很显然失去了控制本身的意义和作用.于是不断发现并观测出控制点的实际变化情况,以此动态的控制系统继续跟踪、服务工程实际,在核电主厂房建设中尤为重要。

传统的次级网监测方式,是人为假定一些点为固定点,对观测数据采用经典平差处理方式,求出网中各点坐标最或然值,并作为新的坐标系继续使用。

要完全保持施工现场的点位不受施工过程的干扰理论上是不可能的,但通过采用适当的方式,可以让各控制点受施工影响程度不一样(后面会提到,为更好地利用拟稳平差,部分点使用桩基建造于稍远离施工区域的基岩上),这样,依据拟稳平差原理,选择这部分相对稳定的点为拟稳点,根据边、角观测值,求出各点最或然值。

以国内某核电站次级网(见图 1,其中虚线内为主要厂房位置,控制点采用强制观测墩,下同)为例,来说明该方法的通用性:001,002,003 建造在相对远离主要厂房的基岩上,可以确定它们受施工影响相对较小,即可选作拟稳点,而其余点,被视为非拟稳点.各点位置设计原则及具体做法参见文献[1].拟稳平差作为秩亏平差的一种特例,其数学模型^[2-5]:

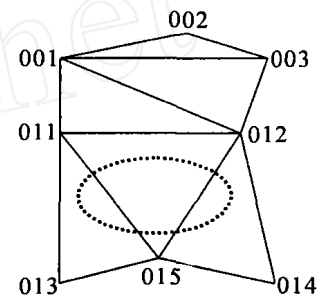


图 1 次级网点位关系示意图
Fig.1 Relative sketch map of second - control network points

设: X_S, X_S^0, X_S ——拟稳点的坐标平差值、初值、改正数

X_T, X_T^0, X_T ——非拟稳点的坐标平差值、初值、改正数

要求同时满足

$$V^T P V = \min \tag{1}$$

$$X_S^T X_S = \min \tag{2}$$

其中(1)式拟合于观测值,使观测值的改正数的加权平方和最小,从而确定网的形状;(2)式拟合于拟稳点的坐标初值,从而确定了网的位置。

上述方程的解法,如采用伪观测法,具体过程有

误差方程式: $A X = (A_S \ A_T) (X_S \ X_T)^T = V + L$ 权阵: P (3)

在满足 $X_S^T X_S = \min$ 条件下配置伪观测方程

$$G^T X = (G_S^T \ G_T^T) \times (X_S \ X_T) = (G_S^T \ 0) \times (X_S \ X_T)^T = 0 \tag{4}$$

因为采用的是边角网, G_S^T 阵的具体形式如下

$$G_S^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ - Y_1^0 & - X_1^0 & \dots & - Y_S^0 & - X_S^0 \end{bmatrix}_{3 \times s}$$

由(3)及(4)有

$$(A^T \ G)^T X = (V^T \ 0)^T + (L^T \ 0)^T$$

得法方程

$$\begin{pmatrix} N & G \\ G^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W \\ 0 \end{pmatrix}$$

其中

$$N = A^T P A, \ W = A^T P L$$

令
$$Q = (A^T P A + G G^T)^{-1}, \ \begin{pmatrix} N & G \\ G^T & 0 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} B & U \\ U^T & 0 \end{pmatrix}$$

进而 $X = BA^T PL$ $Q_{xx} = Q - QGG^T Q$
从而求解出各点坐标值并评定精度.

2 应用举例

以笔者从事的国外某核电站次级网为例,说明该方法在实践中的具体应用.该网建立了以 SC002, SC011, SC012, SC013 包围核电站主要厂房的共计 9 个强制对中控制点(见图 2).建网初期,为了使部分点位受施工干扰较小,在稍远离施工区域的位置设置了 SC001, SC003, SC016 三点作为拟稳点.

土方开挖之后,进行了首期变形监测,分别按传统及拟稳平差对同一组观测数据进行处理,结果如见表 1,表 2(单位:mm).

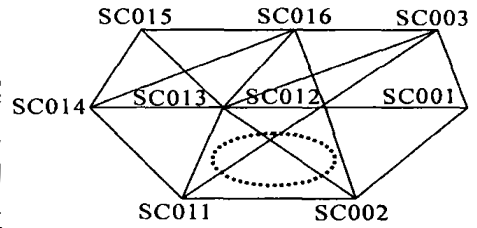


图 2 次级网点关系示意图
Fig. 2 Relative sketch map of second-control network points

表 1 以 SC001 及 SC003 作为固定点,
各点中误差及改正数计算结果

Tab.1 Deviations and corrections of other points regarding SC001 & SC003 as known-points

| | SC002 | SC011 | SC012 | SC013 | SC014 | SC015 | SC016 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D_x | 1.0 | 0.6 | 0.9 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.8 |
| D_y | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.4 |
| D_p | 1.5 | 1.3 | 1.5 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.6 |
| V_x | -1.8 | 2.5 | -3.9 | 3.0 | 3.2 | 3.5 | -1.2 |
| V_y | -2.1 | -2.4 | -3.7 | 3.2 | 1.8 | -1.0 | -2.8 |
| V_p | 2.8 | 3.5 | 5.4 | 4.4 | 3.7 | 3.6 | 3.0 |

表 2 以 SC001 ~ SC003 作为拟稳点,
各点中误差及改正数计算结果

Tab.2 Deviations and corrections of other points regarding SC001 ~ SC003 as quasi-stable points

| | SC001 | SC002 | SC003 | SC011 | SC012 | SC013 | SC014 | SC015 | SC016 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D_x | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.6 |
| D_y | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.6 |
| D_p | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.7 | 0.8 |
| V_x | -0.1 | -0.7 | -0.3 | -1.8 | -2.9 | 2.7 | 1.3 | 0.5 | 0.7 |
| V_y | -0.4 | -0.9 | -0.5 | -1.7 | -2.4 | 2.3 | 1.0 | -2.2 | -1.4 |
| V_p | 0.4 | 1.1 | 0.6 | 2.1 | 3.8 | 3.5 | 1.6 | 2.3 | 1.6 |

从表中数据可以反映,当分别采用传统的经典平差与拟稳平差时:(1)在精度方面:前者不仅各个点位误差都要大(如同一点 SC016,前者是后者的 2 倍),而且大都纵横向误差分布极不均匀(如 SC013, D_x 为 0.6 mm,而 D_y 为 1.2 mm,相差近 2 倍),而后者则有明显改善,各点最大相差为 0.1 mm;(2)从点位位置变化合理性所反映的情况方面:后者较之前者,也更明显(如相对 SC001,前者最大值为 5.4 mm,后者为 3.8 mm).

由于在变形监测数据处理中,经典平差会不可避免地带来模型本身的误差,即它人为假定部分点位是固定不变的,而将其他点位的观测数据强行符合在这一模型当中,最小二乘准则所固有的平滑效应会将整个网点的变化“均匀化”;引入拟稳平差,将经典平差中认定的固定点视为拟稳点,既保证了网中各点均是变动的,又不否认确有某些点位受外界干扰较之其它点要小得多,模型本身的误差得到了极大的改善^[6~8],上述计算与分析结果正好印证了这一点.

3 总结

变形监测作为核电工程建设过程中的一个重要组成部分,变形监测网的作用,一方面通过它可以反映出工程周围环境受施工影响变化的程度,另一方面,便是监测工程实体在施工过程中的变形情况,并作为继续指导施工的依据.从设计的角度,变形监测除服务具体工程本身外,更重要的是为后继类似设计提供重要的参考信息.

(下转第 32 页)

4) 与专业软件相比,ANSYS5 的优点是交互式三维图形处理功能非常强大.采用它来完成不规整的三维拱坝和地基的力学计算,建模快、计算快,计算成果直观多样化.但虽然其后处理强大,若用 GUI 操作计算有限元等效应力时,仍十分繁琐.为完成整个坝体各结点的等效应力计算,今后仍需利用软件的 UPFs 特性,编程专门计算模块,使有限元计算和等效应力计算一次性完成,促进 ANSYS 运用于拱坝设计.

参考文献:

- [1] 苏志敏,李新才,肖伟荣,等.块泽河电站拱坝结构安全分析报告[R].昆明理工大学,2004,2~24.
- [2] 上海勘测设计研究院.混凝土拱坝设计规范(SL282-2003)[S].北京:中国水利水电出版社,2003.71~76.
- [3] 中国水利水电科学研究院.水工建筑物抗震设计规范(SL203-97)[S].北京:中国水利水电出版社,1997.31~35.
- [4] 朱伯芳,高季章,陈祖煜,等.拱坝设计与研究[M].北京:中国水利水电出版社,2002.251~268.
- [5] ANSYS Inc, ANSYS Inc. Theory Reference, ANSYS 7.1[Z]. IP Inc., 2002,89~170.
- [6] 苏志敏,张翔,周禹.土工问题的气固液耦合弹塑性有限技术[J].昆明理工大学学报(理工版)2003,28(5):60~63.

(上接第12页)

为了更科学、更合理地取得变形监测的成果,除了采用推荐的拟稳平差处理方法之外,还要求在具体的工程实际中为利用这一方法创造条件,如前面提到的两核电站,其一是将部分点直接建造在相对稳定的基岩上,另一个建造在稍远离受施工影响的区域.拟稳平差的引入和在实践中的合理运用,对经典平差是一种很好的补充.当在数据处理软件开发过程中,能自动实现拟稳点选取的优化,便可以极大程度地带来计算上的灵活性与科学性.随着核电工程在能源领域里的广阔发展前景,相关数据的不断累积,拟稳平差在核电测量中的应用技术会更加成熟.

参考文献:

- [1] 李青岳.工程测量学[M].北京:测绘出版社,1992.79~409.
- [2] 武汉测绘科技大学.测量平差基础(第三版)[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000.183~202.
- [3] 於宗俦,于正林.测量平差原理[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1990.270~274.
- [4] 工厂建设测量手册编写组.工厂建设测量手册[M].北京:测绘出版社,1990.214~224.
- [5] 周江文,欧吉坤.测量误差理论新探[M].北京:地震出版社,1999.1~5.
- [6] 郭建锋,归庆明.基于敏感度分析的病态性诊断[J].测绘科学,2004,29(1):22~23.
- [7] 王旭华,韩涛.边角网粗差定位的改进带权数据探测法[J].测绘通报,2004,322(1):14~16.
- [8] Lirakis C B, Bongiovanni K P. Automated Multibeam Data Cleaning and Target Detection[J]. Proc. IEEE Oceans, 2000.719~723.