

多元线性回归分析在引水洞变形预报中的应用

袁会如¹, 方源敏¹, 李帅磊² (1. 昆明理工大学, 云南昆明 650093; 2. 中国葛洲坝集团股份有限公司, 湖北宜昌 443000)

摘要 在引水洞的开挖施工过程中, 会使地表产生一定的变形, 同时岩土压力也会对引水洞造成不同程度的变形, 使施工安全存在一定隐患。该文以深圳抽水蓄能电站引水隧洞为例, 用多元线性回归分析对该建筑物的监测数据进行分析预报, 其预报结果与后期实测数据对比, 分析残差精度较为理想, 证明该方法可行。

关键词 引水洞; 变形监测; 多元线性回归; 预报

中图分类号 S29 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)22-320-02

Application of Multiple Linear Regression Analysis in the Prediction of Water Diversion Tunnel Deformation

YUAN Hui-ru¹, FANG Yuan-min¹, LI Shuai-lei² (1. Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093; 2. Gezhouba Group Company of China, Yichang, Hubei 443000)

Abstract In the production a certain deformation tunnel, will produce a certain deformation. Rock and soil pressure will cause different degree of deformation to water diversion tunnel, produces certain hidden danger of construction safety. This paper takes Shenzhen Pumped Storage Power Station as an example, using multiple linear regression analysis to the building monitoring data analysis and prediction, prediction results with the actual data for comparative analysis, residual meet the accuracy requirements.

Key words Water diversion tunnel; Deformation monitoring; Multiple linear regression analysis; Forecast

近年来, 我国开始兴建许多大型的水电工程, 其位置大部分处在大山深处, 这就需要开挖引水隧洞。在引水洞的开挖施工中, 会使地表产生一定的形变, 同时岩土压力也会对引水洞造成不同程度的形变, 对施工安全存在一定隐患。这就需要实时地对变形体进行变形监测, 对实测数据进行分析处理和变形预报, 保证引水洞的安全施工^[1]。

引水洞洞口开挖施工受地质条件影响较大, 加上山体自身重量, 其变形的程度随时间推移而逐步加重。根据某一期工程的监测数据, 只能表示该洞口当时的变形情况, 却不能对洞口的变形趋势作出全面的分析。因此, 在取得一些符合精度要求的监测数据后, 不仅要进行数据分析, 还应对这些监测点的垂直位移和水平位移的变化趋势进行分析建模, 模拟引水洞的变形情况, 对其变化趋势和走向进行预测预报分析。根据预报结果分析洞口施工期间可能受到的山体自身因素带来的影响, 若预报分析值显示洞口的变形值的变化超出规定的安全范围, 那么就可以立即采取相应的措施以保证引水洞洞口的安全。科学技术的快速发展和计算机应用水平的不断提高, 为多种理论知识被应用到变形分析预报中成为可能, 也使变形分析预报技术有了广阔的发展前景和发展空间。

1 变形监测理论与技术方法

引起引水洞变形的原因是复杂多样的。研究变形分析与预报模型的建模方法, 需要把测量学、地质学等多门学科知识相互融合, 利用数学函数模型进行数据模拟, 来表示出洞口的变形规律与变形趋势, 用这种方法达到反馈、指导和防治引水洞安全事故的目的。变形监测数据处理与预报不仅需要进行分析, 还需要进行变形的物理解释, 所以这是一项涉及多学科的综合性研究。目前, 国内外学者已经对

变形监测数据处理预报方法提出了一系列新的理论和技术方法。许多相对成熟的变形监测数据处理和预报模型已应用于实际的监测项目中, 其中最具有代表性的模型是回归分析模型^[3]。

回归分析法分为两类, 一元回归分析和多元回归分析^[4]。多元回归分析在实际工程的变形监测预报中应用较广, 因为在多数的变形监测工程中, 影响变形的因素一般是多方面的, 所以变形体的变形值往往是有多个变量的函数^[5]。这些函数又分为线性函数和非线性函数, 但是在实际工作中, 大部分线性回归函数最终都可以由非线性回归函数通过变量转换的方法转化, 所以在建立变形监测预报模型时, 一般采用多元线性回归分析。

2 多元线性回归分析在变形监测预报建模中的具体应用

2.1 工程概述 以深圳抽水蓄能电站为例, 总用地面积 10 927.68 m², 总建筑面积为 62 583.5 m², 地下室面积 3 089 m²。该洞口周长 60 m, 面积 225 m², 监测洞壁面积约为 1 350 m²。

2.2 布点情况 参照设计要求, 工程监测埋设水平位移监测基准点和垂直位移监测基准点各 6 个, 水平位移工作基点 4 个, 2 个联系点(各点均埋设于离洞口 5 倍开挖深度之外的稳定、可靠地点)。

2.3 坐标系选择 水平位移监测采用独立坐标系, 由基准点、工作基点和联系点构成平面控制网。垂直位移监测采用独立高程坐标系, 由基准点构成高程控制网。

2.4 监测方法及精度 见表 1。

表 1 监测方法及精度

序号	监测项目	监测方法	使用仪器	监测精度
1	水平位移	极坐标法	徕卡 TS02 型全站仪	≤1 mm
2	竖直位移	水准测量 (一级)	苏一光 DSZ2 型水准仪	≤0.3 mm

2.5 垂直位移预报的实现 对洞顶进行了垂直位移监测,

作者简介 袁会如(1989 -), 女, 河南新野人, 硕士研究生, 研究方向: 大地测量。

收稿日期 2015-06-05

分别得到 36 期监测数据,第 1 期数据为监测点累计垂直位移量初始值。选取监测点 F24(洞顶中心)的垂直位移监测数据来分析预报,取前 31 期数据进行模型的计算,用后 5 期数据来检验预报值的准确性。表 2 列出了监测点 F24 的观测期数、观测时间及其所对应的沉降量和累计沉降量。

表 2 监测点 24 累计沉降量 2013 年

观测期数	观测时间	沉降量	累计沉降量
1	03-20	0	0
2	03-25	-1.5	-1.5
3	03-30	-1.1	-2.6
4	04-04	-1.0	-3.6
5	04-09	0.1	-3.5
6	04-14	-1.2	-4.7
7	04-19	-0.4	-5.1
8	04-24	-1.1	-6.2
9	04-29	-0.8	-7.0
10	05-04	-0.6	-7.6
11	05-09	-0.5	-8.1
12	05-14	-0.4	-8.5
13	05-19	-0.3	-8.8
14	05-24	-0.3	-9.1
15	05-29	-0.9	-10.0
16	06-03	-0.7	-10.7
17	06-08	-0.4	-11.1
18	06-13	-0.6	-11.7
19	06-18	-0.5	-12.2
20	06-23	-0.4	-12.6
21	06-28	-0.2	-12.8
22	07-03	-0.6	-13.4
23	07-08	-0.4	-13.8
24	07-13	-0.4	-14.2
25	07-18	-0.3	-14.5
26	07-23	-0.2	-14.7
27	07-28	-0.2	-14.9
28	08-02	-0.3	-15.2
29	08-07	-0.2	-15.4
30	08-12	-0.2	-15.6
31	08-17	0.1	-15.5
32	08-22	-2.1	-17.6
33	08-27	-0.3	-17.9
34	09-01	-0.3	-18.2
35	09-06	-0.4	-18.6
36	09-11	-0.3	-18.9

2.6 回归分析法建模

(1) 模型表示。为了分析引起变形的多个因素与变量之间的关系,进行对变量的监测预报,需要建立多元线性回归模型,模型用数学函数可表示为

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_2 X_{i2} + \alpha_3 X_{i3} + \dots + \alpha_m X_{im} \quad (1)$$

其中: y_i 为实测变量量; α_0 为建模常数项; α_m 为模型系数; X 为外因影响因子;下标 i 为观测值组数; m 为影响因子个数。

根据土力学理论,开挖后软岩沉降变形与时间的经验估计双曲线法可表示为

$$s_t = t \times s / (a + t) \quad (2)$$

其中: s_t 为在时间 t 的实测累计位移量; s 为的最终沉降量; a 为经验参数。

另 $\alpha_0 = 1/s$; $\alpha_1 = \alpha/s$; $h = s_t$, 则可以转化为:

$$\frac{1}{h} = \alpha_0 + \alpha_1 \frac{1}{t} \quad (3)$$

设 $y = \frac{1}{h}$; $x = \frac{1}{t}$; 其中 h 为累计位移量, t 为对应的累计

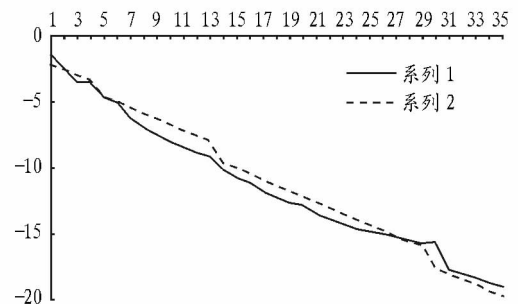
时间, α_0 , 是待估参数, α_1 可以变化为一元线性回归模型。

(2) 影响因子的选择。引水洞施工期,引起变形的因素有很多,比如软岩结构、防护结构形式、监测点距离引水洞的距离、开挖深度等,只考虑了影响较大的开挖深度的影响,其他因素的影响用变形变量与时间的关系来表示,因此,可建立线性回归模型为

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 \quad (4)$$

式中: x_1 为与时间有关的变量; x_2 为开挖深度的变量。

(3) 预测的实现。可以通过 MATLAB 软件统计工具箱中的回归分析命令进行模型的参数估计和回归效果检验,也可以使用 EXCEL 计算得到监测点 24 的回归方程。



注:①横轴表示点号,纵轴表示沉降量;②系列 1 表示的是实际检测数据图像;系列 2 表示的是预测的线性函数图像。

图 1 监测点 F24 的预报曲线

从图 1 可以看出,监测点 F24 的预报曲线成明显的线性特征,且在引水洞开挖深度增加的情况下,曲线呈现的沉降变形明显加快,这正是多元线性回归预报模型中加入了与开挖深度有关的变量,才达到了较好的符合变形趋势的目的。

表 3 监测点 F24 的前 31 期的实测值和预测值

点号	实测值	预测值	残差	点号	实测值	预测值	残差
2	-1.5	-2.0	0.5	17	-11.1	-10.5	-0.6
3	-2.6	-2.6	0	18	-11.7	-11.9	0.2
4	-3.6	-3.2	-0.4	19	-12.2	-12.3	0.1
5	-3.5	-3.4	-0.1	20	-12.6	-12.2	-0.4
6	-4.7	-4.7	0	21	-12.8	-13.1	0.3
7	-5.1	-5.1	0	22	-13.4	-13.4	0.0
8	-6.2	-5.5	-0.7	23	-13.8	-13.5	-0.3
9	-7.0	-6.4	-0.6	24	-14.2	-14.4	0.2
10	-7.6	-6.9	-0.7	25	-14.5	-13.8	-0.7
11	-8.1	-7.8	-0.3	26	-14.7	-14.2	-0.5
12	-8.5	-8.7	0.2	27	-14.9	-14.6	-0.3
13	-8.8	-8.3	-0.5	28	-15.2	-15.1	-0.1
14	-9.1	-9.0	-0.1	29	-15.4	-15.5	0.1
15	-10.0	-9.6	-0.4	30	-15.6	-15.9	0.3
16	-10.7	-10.9	0.2	31	-15.5	-15.4	-0.1

注:第 1 期数据为监测点累计垂直位移量初始值,实测值和预测值都为 0。

(下转第 325 页)

提升的垂直高度 $H = 20 \text{ m}$;

由于在单因素分析中,水平段长度的增加对于整机功率

的影响较大,所以基于水平段长度的变化得出在固定工位调整整机布置对于功率变化数值如表 5 所示。

表 5 固定工位调整整机布置对功率变化的数值

序号	水平段长度 $L_1 // \text{m}$	提升段水平长度 $L_2 // \text{m}$	提升角度 $\alpha // ^\circ$	绕入头轮张力 $T_1 // \text{N}$	绕出头轮张力 $T_2 // \text{N}$	输送链内张力 $T // \text{N}$	动力所需功率 $P // \text{kW}$
建模 1	2	18	48	44 710	3 467	41 243	14.14
建模 2	5	15	53	46 542	3 557	42 985	14.74
建模 3	10	10	63	50 845	3 707	47 138	16.16
建模 4	15	5	75	55 950	3 858	52 092	17.86
建模 5	18	2	84	60 201	3 948	56 253	19.29

由表 5 可知,当水平段长度 L_1 逐步增大时分别对应了提升角度 α 和提升段水平长度 L_2 的数值变化,从而影响到整机功率的变化。根据表中水平段长度变化的数值与整机功率变化数值的关系,得出曲线如图 6 所示。

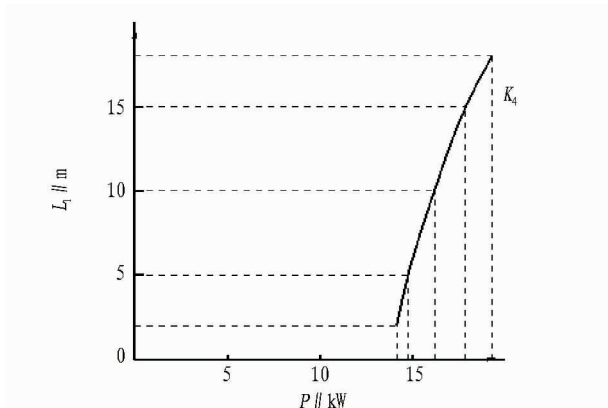


图 6 水平段长度 L_1 与整机功率变化曲线

将图 6 中曲线看作近似线性去分析,得到曲线的变化率为 $K_4 = 3.07$ 。对比“3.1.3”中所得结论,得知在固定工位调整整机布置形式,水平段长度的变化对功率的影响仅略小于单独因素下水平段长度增长的情况。

4 结论

由以上分析可以得出以下几个结论:

- (1) 在保证满足进料位置的前提下,布置输送机时尽量减少水平段的长度,对整机功率有较大益处;
- (2) 提升高度的增加在布置上无论采用改变提升角度还是改变提升段水平长度的方式对于功率的影响较为相似;
- (3) 在固定工位调整整机布置形式和直接增加水平段长度对于整机功率的影响相差不大。

参考文献

- [1] 王鹰. 连续输送机机械设计手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001: 352 - 442.

(上接第 321 页)

表 4 监测点 F24 的后 5 期数据

点号	实测值	预测值	预报残差
32	-17.6	-17.9	0.3
33	-17.9	-18.3	0.4
34	-18.2	-18.7	0.5
35	-18.6	-19.1	0.5
36	-18.9	-19.4	0.5

由表 3 可以看出,监测点 F24 的预测值和实测值相差不大,多数残差小于 $\pm 0.5 \text{ mm}$,个别最大值为 0.7 mm ,表 4 这 5 期累计沉降量预报值比较理想,与实测值相差相接近;但是个别误差产生的原因还有待分析,有可能是在观过程中存在误差造成的。通过对比分析可以看出,预报值沉降量随着期数增加依次递增大,在一定程度上反映了引水洞该点位继续沉降的变形趋势,总的来说回归模型的预报效果较好。

3 结语

在工程中使用多元线性回归预报模型进行分析预测,充分考虑了时间和引水洞开挖深度对变形的影响,其中开挖深度对变形影响比较明显,利用该模型的影响因子,使对变形趋势的预报比较准确,模型拟合精度较好,适合进行引水洞施工过程变形监测的分析预报。

参考文献

- [1] 张正禄,黄全义,文鸿雁,等. 工程的变形监测分析与预报[M]. 北京: 测绘出版社, 2007.
- [2] 崔国宏,徐礼华. 土木工程建筑物变形分析与预报技术研究[J]. 地理空间信息, 2004(3): 10 - 12.
- [3] 杨岩霖,张思恒. 基于回归分析的测量数据处理方法[J]. 科技信息, 2012(35): 114 - 115.
- [4] 罗德仁,陈秋枫. Microsoft Excel 变形分析最优回归模型的选择[J]. 湖南有色金属, 2003(1): 44 - 47.
- [5] 刘波,张斌,喻佳,等. 基于多元线性回归模型的大坝变形预报研究[J]. 人民长江, 2010(20): 53 - 55.