

道路工程施工期风险状态监测系统研究

韩尚宇¹, 田其煌², 洪宝宁³

(1. 南昌航空大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330063; 2. 福州市勘测院, 福建 福州 350003; 3. 河海大学 岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

摘要: 为提高道路工程施工期现场监测系统的合理性与科学性,以佛山一环工程实际为背景,从监测体系设置、数据申报和成果分析3个方面对传统的现场监测体系进行改进研究,建立了一套新的道路工程施工期风险状态监测信息系统.结果表明,借助费用-损失分析理论确定监测项目的方法,有助于提高监测体系设置的科学性;基于Internet数据网上申报系统,解决了观测资料上报滞后、信息沟通困难等问题;借助小波网络建立的组合预测模型可在很大程度上提高监测成果趋势预测的准确性.

关键词: 风险状态监测; 监测项目评选; 数据申报系统; 数据分析; 趋势预测

中图分类号: TU 433

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2013)02-0078-05

工程建设过程中,受设计理论不完善、土性参数不准确以及其他一些难以掌控因素的影响,工程设计状态与实际情况常存在一定偏差,如设计安全系数满足要求但在实际工程中仍出现稳定性问题,实际沉降量与设计值差异过大等等^[1-2].对此,如何避免异常状况对控制指标的影响,更好地指导现场施工并及时预报险情,降低工程事故的发生概率,已为越来越多的学者所关注.实践证明,现场监测一直是建设单位了解工程事件状态的有效手段.但是,尽管目前工程中采用的监测体系可在一定程度上反映工程的实际情况,但由于该体系存在监测项目选择主要凭借专家经验、监测数据靠人工传送、数据趋势预测模型准确度低等问题,致使现场监测的经济效益低难以有效发挥作用.

工程实践表明,风险监测并不是单纯的现场测量,而是包括影响因素分析、监测体系设置、监测数据申报和成果分析的复杂系统.本文结合佛山一环工程实际情况,借助风险分析理论和Internet网络开发技术,对工程建设期风险监测相关问题进行研究,建立了一套较为完善的风险状态监测信息系统,系统示意图见图1.

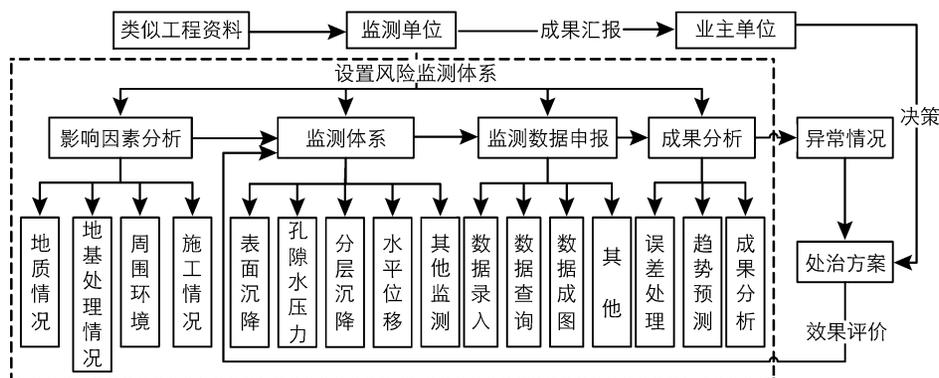


图1 风险监测系统

Fig. 1 Risk monitoring system

收稿日期: 2012-09-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51268048)

作者简介: 韩尚宇(1979-),男,山东潍坊人,讲师,博士,主要从事道路工程病害防治、风险分析方面研究.

E-mail: hanshangyu1979@126.com

1 工程概况

佛山一环工程地处广东省珠江三角洲地区,全长约 99.2 km,沿线软弱地层发育,软土层主要是冲淤积形成的淤泥和淤泥质土层,以厚层和夹层形式存在.从物理力学指标上看,软土层具有广东珠江三角洲地区软土的典型特征,即含水量高、渗透系数低、压缩性大、强度低.含水量高、渗透系数低预示着软土层排水缓慢、固结时间和沉降稳定周期长;压缩性高说明软土层易发生较大的变形,反映在路堤填筑过程中瞬时沉降量占的比重大;强度低说明软土层承载能力差,不利于路堤稳定.

地基处理的基本方案是桥头过渡路段、含结构物路段、低路堤路段及特殊路段采用复合地基处理;一般路段采用等载或超载预压+排水固结法处理.由于不同地基处理方式在加固机理、有效加固深度、施工组织等方面存在较大差异,在这样的设计条件下进行高等级公路建设,极易出现路堤失稳、沉降不均匀、工后沉降过大等工程质量问题.因此,为确保工程建设目标的顺利实现,及时对可能发生的稳定性、差异沉降等问题做出预警,必须充分发挥监测系统的作用.

2 监测体系设置

目前用于道路施工期质量监测的项目很多^[3],不同监测项目的监测费用及监测成果准确度存在较大差异.为充分发挥风险监测的作用,所设置的监测体系应满足如下两方面的要求:一是监测费用与未能检测出异常状况可能带来的损失之和最小;二是能够反映施工阶段路堤状况和变化趋势,及时预报险情.

2.1 监测项目评选方法

根据贝叶斯理论^[4]和道路工程特点,综合考虑与风险事件影响因素样本 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 有关的监测项目费用、发生异常后损失、防治费用等因素影响,得到损失函数如下:

$$\lambda(d_i, c_j) = p(c_j | d_i) \times m(c_j) + p(\bar{c}_j | d_i) \times m(\bar{c}_j) + m(d_i) \quad (i = 1, 2, \dots, k, \quad j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中: $\lambda(d_i, c_j)$ 表示在状态 c_j 下,采取 d_i 监测组合时的损失函数; $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 为风险源状态空间; $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ 为决策空间, $p(c_j | d_i)$ 和 $p(\bar{c}_j | d_i)$ 分别表示当监测项目组合为 d_i 时能够判断出状态 c_j 和不能判断出状态 c_j 的概率; $m(c_j)$ 和 $m(\bar{c}_j)$ 为相应的决策损失; $m(d_i)$ 为监测项目组合在 d_i 时的监测费用.

引入损失的概念后^[5],对于风险事件影响因素样本 X ,若采取决策 d_i ,则相应条件期望损失为

$$R(d_i | X) = \sum_{j=1}^m [\lambda(d_i, c_j) \times p(c_j | X)] \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (2)$$

式中: $p(c_j | X)$ 为根据风险最小贝叶斯判别准则得到的事件发生异常的概率.最优监测项目组合应使其条件期望损失最小,即对风险源样本 X 的最优监测项目组合 d_{opt} 应满足下式:

$$R(d_{opt} | X) = \min R(d_i | X) \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (3)$$

2.2 评选方法应用

2.2.1 费用分析 根据工程实际情况,软基路段现场监测系统的主要监测内容包括表面沉降监测、孔隙水压力、分层沉降监测评价土体的沉降变形规律、固结规律,通过深层观测路堤水平向位移发展趋势,判断地基的稳定性.采用问卷调查、资料统计分析的方法,确定各监测项目能准确判断出质量风险状态的概率及相应费用见表 1.表中综合监测费用包括监测设备材料费、埋设及后期监测费用.

考虑到道路工程的工程事故特点,本文取 200 m 长的典型路段作为风险事件处治费用的分析基础,施工沉降量异常采取的防治措施是采用横向不均匀预压,补救措施是路面结构预抛高 0.3 m;工后沉降量过大的防治措施是将超载预压高增加 1 m,补救措施是路面结构预抛高 0.3 m;路堤稳定性的补救措施是路堤坡脚压重 1 m,并在路堤填土内加铺土工格栅,补救措施是失稳后重新填筑并分层加铺土工格栅.损失计算情况见表 2 和 3.

表1 各监测项目设置费用分析

Tab.1 Cost analysis of monitoring systems

监测项目	准确判断事件状态的概率/%			综合监测费用/元
	施工沉降量异常	工后沉降量	路堤稳定性	
表面沉降	75	70	30	15 400
孔隙水压力	40	85	-	34 200
分层沉降	55	80	-	26 100
水平位移	20	10	90	25 500

表2 路段工程事故损失估算

Tab.2 Loss estimation of engineering accidents

风险事件	事件发生概率/%		发生异常的损失/元	
	在允许范围内	超出允许范围	采取补救措施	未采取补救措施
施工期沉降异常	40	60	28 000	72 000
工后沉降量过大	50	50	63 000	92 000
路堤失稳	30	70	180 000	550 000

表3 单一监测项目损失计算

Tab.3 Loss calculation of a single monitoring project

监测项目	施工期沉降异常	工后沉降	路堤稳定性
表面沉降	54 400	87 100	454 400
孔隙水压力	88 600	101 550	550 000
分层沉降	73 900	94 900	550 000
水平位移	88 700	114 600	242 500

2.2.2 监测项目风险损失计算 根据上述计算成果,采用式(2)和(3)计算各监测项目的风险损失见表4.

表4 监测项目风险损失计算

Tab.4 Risk loss calculation of monitoring system

监测项目	施工期沉降异常	工后沉降	路堤稳定性	监测项目	施工期沉降异常	工后沉降	路堤稳定性
表面沉降	32 640	49 000	318 080	分层沉降	44 340	47 000	385 000
孔隙水压力	53 160	52 275	385 000	水平位移	53 220	66 300	169 750

显然,当考虑施工沉降量异常、工后沉降量、路堤稳定性3方面风险事件时,本典型路段采用表面沉降、分层沉降、水平位移组合的风险损失为 $32\ 640+47\ 000+169\ 750=249\ 390$ 元,小于单一监测项目以及其他监测项目组合的风险损失,可作为该路段的最优监测项目组合.

根据上述分析过程,对佛山一环现场监测体系进行综合评价,确定佛山一环的具体监测项目见表5.

表5 监测体系设置情况

Tab.5 Monitoring system establishment

监测项目	布置原则	数量/个
表面沉降	间隔100~200 m,最好控制在150 m内全线布置	443
孔隙水压力	路堤中央布置,存在深厚软基、高填方、土层变化较大的路段	12
水平位移	路堤外缘布置,存在深厚软基、高填方、挖填不平衡的路段	15
分层沉降	路堤中央布置,深厚软基路段、高填方、土层分布变化较多的路段	9

上述监测体系覆盖了所有地质、施工和处理方式等情况,满足了路堤填筑施工期间对稳定性控制和沉降分析的要求.从监测费用来看,上述监测项目的期望监测损失为1 805万元,大于现场监测费用785万元,故监测费用是可以接受的.从应用情况来看,由于该监测体系设置合理,质量控制措施得当,避免了填筑过程中多处稳定性问题的发生.

3 监测数据申报系统设计

在软基监控过程中,能否实现监测数据的及时报送和统计分析,对监测体系的实用性影响很大.本文基于 Internet 网络管理系统^[6-8],实现了监测数据的网络传输和监测资料共享;同时,借助后台数据库来管理和处理现场监测数据,提高了监测数据分析的自动化程度.系统总体结构如图2所示.

网上申报系统采用功能模块化的思想,将子任务分解为若干子模块.主要功能模块^[9]包括:①数据录入,即将参与观测单位情况、断面基本情况、现场监测情况通过 Internet 录入系统中;②数据查询,参建单位通过网络查询各路段的监测情况;③数据修改,由监控单位根据施工、监理单位的申请,并结合自身监测情况对部分数据进行修正;④数据成图,利用系统应用程序和监测数据,绘制各路段监测测量相关曲线;⑤发布公告,管理部门通过网络将文件、通知以附件的形式传递到系统中,供参建单位查询.

Internet 监测数据网上申报系统已成功应用于监测数据申报、分析中,在很大程度上解决了观测资料上报滞后、监控不力等问题,有利于参建单位及时掌握监控信息.

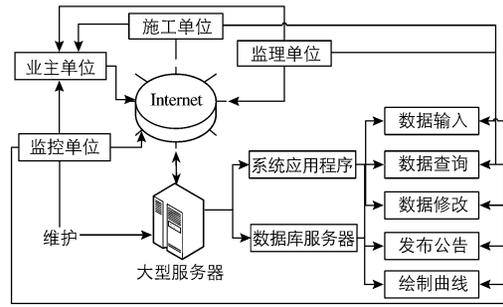


图2 数据申报系统
Fig.2 Data reporting system

4 监测数据分析

4.1 分析模型的建立

为更好地发挥风险监测的作用,及早发现警情并采取相应的补救措施,均需要准确的预测模型.本文基于神经网络模型的学习功能和小波网络的去噪功能,通过确定各参加组合的模型预测结果与实际值之间的高度非线性映射关系,建立一非线性组合预测模型.利用小波基 $h(a, b, t)$ 建立的非线性组合预测函数 $\hat{\varphi}(Y)$ 形式如下:

$$\hat{\varphi}_i(Y) = \sum_{i=1}^T w_i h\left(\left(\sum_{i=1}^m u_{ii} \hat{y}_i(t) - b_i\right) / a_i\right) \quad (4)$$

式中: $\hat{y}_i(t)$ 为第 i 种预测方法在 t 时刻的预测值; $Y = [\hat{y}_1(t), \hat{y}_2(t), \dots, \hat{y}_m(t)]$, $\hat{\varphi}_i(Y)$ 为时间序列 $y(t)$ 的非线性组合预测值序列; w_i 为权重系数; b_i 和 a_i 分别为小波基的平移因子和伸缩因子; u_{ii} 为网络连接权重; T 为小波基的个数.为使 $\hat{\varphi}_i(Y)$ 与 $y(t)$ 拟合最优,应使下式取得最小值.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (\hat{\varphi}_i(Y) - y(t))^2 \quad (5)$$

式中: N 为数据采样点总数.

4.2 模型准确性验证

为验证上述预测模型的准确性,根据现场监测数据,采用不同模型对断面 K3+600 的变形情况进行预测,结果见图3.分析发现5种S型曲线预测的结果虽然都具有相同的趋势,但与实测数据均有较大的误差(平均绝对误差均大于25 mm);而本文基于小波网络的非线性组合预测曲线与实测曲线基本吻合(平均绝对误差小于5 mm),说明本模型的预测准确度较高.

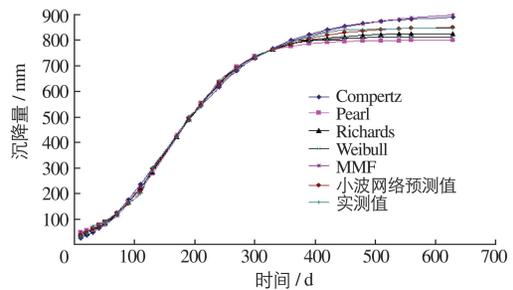


图3 趋势预测曲线对比

Fig.3 Comparison of tendency prediction curves

5 结 语

本文以佛山一环工程实际情况为背景,从道路施工工期风险监测的项目选择、趋势预测、数据申报等方面对传统监测体系进行改进,得到如下结论:(1)基于工程地质情况、地基处理情况、环境情况、施工情况,从监测项目费用与由于异常状况未被监测出来所带来的损失两方面考虑,确定最优监测项目组合的方法,在很大

程度上提高监测项目选择的科学性。(2)基于 Internet 网络的监测数据申报系统,解决了观测资料上报滞后,信息沟通困难等问题,对于推动高速公路软基监控的信息化、智能化具有重要意义。(3)实例验算表明,基于小波神经网络的组合预测模型,可在一定程度上提高预测的准确度,且收敛速度快,泛化能力强,具有一定的推广价值。

参 考 文 献:

- [1] 邓卫东. 路堤稳定安全系数取值探讨[J]. 中国公路学报, 2004, 17(4): 11-16. (DENG Wei-dong. Study of the safety factors of embankment in highway[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(4): 11-16. (in Chinese))
- [2] 严春风, 刘东燕, 张建辉, 等. 岩土工程可靠度关于强度参数分布函数概型的敏感度分析[J]. 岩土力学与工程学报, 1999, 18(1): 36-39. (YAN Chun-feng, LIU Dong-yan, ZHANG Jian-hui, et al. The susceptibility analysis of reliability for the probability distribution types of parameters in strength criterion[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1999, 18(1): 36-39. (in Chinese))
- [3] 李涛, 张仪萍, 张土乔. 软土路基沉降的优越组合预测[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(18): 3282-3285. (LI Tao, ZHANG Yi-ping, ZHANG Tu-qiao. Superior combination forecasting settlement of soft clay embankments[J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(18): 3282-3285. (in Chinese))
- [4] FRIEDMAN N, GEIGER D, GOLDSZMIDT M. Bayesian network classifiers[J]. Machine Learning, 1997, 29(2/3): 131-163.
- [5] 邢莉, 喻建平. 基于最小风险贝叶斯涉密邮件统计分类算法[J]. 深圳大学学报: 理工版, 2008, 25(3): 282-286. (XING LI, YU Jian-ping. A study on algorithm of secret-involved mails statistic classification based on least risk Bayesian[J]. Journal of Shenzhen University (Science and Engineering), 2008, 25(3): 282-286. (in Chinese))
- [6] 柳和气, 魏金霞. 高速公路软基监控[J]. 水运工程, 2004(6): 82-84. (LIU He-qi, WEI Jin-xia. Expressway soft foundation monitoring[J]. Port and Waterway Engineering, 2004(6): 82-84. (in Chinese))
- [7] 杨博. 基于 Internet 的建设项目管理信息系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2003. (YANG Bo. Information management system study of construction project based on Internet[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2003. (in Chinese))
- [8] 陈发标, 何清华. 基于 Internet 的大型工程项目信息沟通[J]. 建设监理, 2001(3): 54-55. (CHEN Fa-biao, HE Qing-hua. Information communication of major projects based on Internet[J]. Construction Management, 2001(3): 54-55. (in Chinese))
- [9] 田其煌. 基于小波技术的软土路基沉降数据分析方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2006. (TIAN Qi-huang. Study on analysis method of soft soil roadbed settlement data based on wavelet technique[D]. Nanjing: Hohai University, 2006. (in Chinese))

Risk monitoring system during highway construction period

HAN Shang-yu¹, TIAN Qi-huang², HONG Bao-ning³

(1. College of Engineering and Architecture, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China;
2. Fuzhou Investigation and Surveying Institute, Fuzhou 350003, China; 3. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to improve the rationality and scientific nature of the field monitoring system during the period of highways construction, based on the monitoring situation of Foshan first ring road, the paper improves the traditional monitoring system in the aspects of risk monitoring item selection, data reporting and results analysis. Engineering applications indicate that the monitoring item determination method with the theory of cost and loss is helpful to improving the scientific nature of the monitoring system. The data reporting system based on Internet has solved the problem of the lag in data report and the difficulty in message exchange and so on. The combined forecast model with wavelet network can enhance the accuracy of tendency prediction.

Key words: risk state monitoring; monitoring item determination; data reporting system; data analysis; tendency prediction