

基于数据挖掘的电气化铁路接触网可靠性评估

武宁

(中国铁建电气化局集团北方工程有限公司, 山西 太原 030053)

摘要: 电气化铁路接触网可靠性评估结果直接影响电气化铁路正常运营, 而当前传统电气化铁路接触网可靠性评估方法存在误差大、评估效率低等缺陷, 为了提高电气化铁路接触网可靠性评估正确率, 提出了一种基于数据挖掘的电气化铁路接触网可靠性评估模型。首先对当前国内外电气化铁路接触网可靠性评估研究现状进行分析, 指出各种电气化铁路接触网可靠性评估模型的局限性; 然后收集电气化铁路接触网可靠性评估的历史数据, 并采用数据挖掘技术建立电气化铁路接触网可靠性评估模型; 最后采用具体实例对电气化铁路接触网可靠性评估效果进行验证性测试。结果表明, 相对于传统电气化铁路接触网可靠性评估模型, 该方法可以更好地反映电气化铁路接触网可靠性变化趋势, 电气化铁路接触网可靠性评估正确率得到明显提升, 同时电气化铁路接触网可靠性评估建模过程的时间更短, 改善了电气化铁路接触网可靠性评估效率。

关键词: 数据挖掘技术; 电气化铁路; 接触网可靠性; 评估模型

Reliability evaluation of electric railway catenary based on data mining

WU Ning

(North Engineering Co., Ltd. of the Electrification Bureau Group, CRCC, Taiyuan 030053, China)

Abstract: The reliability evaluation results of electrified railway catenary directly affect the normal operation of electrified railway. The traditional reliability evaluation methods of electrified railway catenary have some defects, such as large error and low evaluation efficiency. In order to improve the accuracy of reliability evaluation of electrified railway catenary, a reliability evaluation model of electrified railway catenary based on data mining is proposed. Firstly, the current domestic and foreign research status of catenary reliability evaluation for electrified railway is analyzed, and the limitations of various catenary reliability evaluation models for electrified railway are pointed out. Then, the historical data of catenary reliability evaluation for electrified railway are collected, and the reliability evaluation model of catenary for electrified railway is established by data mining technology. Finally, specific examples are used to electrify the catenary. The validation test of the reliability evaluation effect of railway catenary shows that, compared with the traditional reliability evaluation model of electrified railway catenary, this method can better reflect the changing trend of reliability of electrified railway catenary. The accuracy rate of reliability evaluation of electrified railway catenary has been significantly improved. At the same time, the modeling process of reliability evaluation of electrified railway catenary uses shorter time, the reliability evaluation efficiency of electrified railway catenary.

Key words: data mining technology; electrified railway; catenary reliability; evaluation model

0 引言

随着我国经济的不断发展, 每天出行的人数急剧升高, 同时货物运输量也不断增加, 铁路作

为一种重要的交通运输线路显得越来越重要^[1]。随着现代电子技术、智能技术的发展, 出现了电气化铁路^[2]。相对于其他类型铁路, 电气化铁路具有

行驶速度快、能量消耗少和运营成本低等优点，具有更高的实际应用价值^[3]。在电气化铁路的实际应用工程中，动力的不间断性是最为关键的技术，接触网是保证机车动力不间断性的基础，其可靠性的高低直接决定和影响了铁路运输能力。而接触网包括许多设备工作过程十分复杂，再加上自然灾害、机械部件和电气设备等都会导致接触网发生故障，因此对电气化铁路接触网进行可靠性评估具有广泛的应用前景^[4-5]。

为了提高电气化铁路接触网可靠性评估正确率，提出了一种基于数据挖掘的电气化铁路接触网可靠性评估模型，并进行了仿真实验。实验结果表明，相对于传统电气化铁路接触网可靠性评估模型，本文模型可以更好地反映电气化铁路接触网可靠性变化趋势，电气化铁路接触网可靠性评估正确率得到明显提升，同时电气化铁路接触网可靠性评估建模过程的时间更短，改善了电气化铁路接触网可靠性评估效率。

1 电气化铁路接触网可靠性评估的研究现状

针对电气化铁路接触网可靠性评估问题，许多学者和研究机构进行了广泛的研究，其中西方发达国家的电气化铁路接触网可靠性评估技术比较成熟，而国内的电气化铁路接触网可靠性评估时间比较短，还有许多难题有待解决^[6]。

当前电气化铁路接触网可靠性评估模型可以划分为两种类型：一种是传统的电气化铁路接触网可靠性评估模型；另一种是现代的电气化铁路接触网可靠性评估模型。其中传统模型包括人工方式、专家系统等。人工方式通过一些专业人员对电气化铁路接触网的工作状态进行识别，得到电气化铁路接触网可靠性的评估结果，该方法由于全凭专业人员的经验实现，因此电气化铁路接触网可靠性评估可信度比较低^[7]；专家系统的评估模型首先建立一个电气化铁路接触网可靠性评估规则数据库，对于待评估的电气化铁路接触网，与数据库的规则进行匹配，并根据匹配结果得到电气化铁路接触网可靠性评估结果，评估可信度

要高于人工方式，但是其电气化铁路接触网可靠性评估具有一定的盲目性，不仅使得电气化铁路接触网可靠性评估错误的概率比较高，而且传统模型无法满足现代电气化铁路接触网可靠性评估的实际要求^[8]。现代的电气化铁路接触网可靠性评估模型主要采用模糊理论、神经网络进行建模，通过模拟人的大脑思维过程对电气化铁路接触网可靠性进行分析。电气化铁路接触网可靠性评估结果要优于传统方法^[9]，但神经网络需要大量的电气化铁路接触网可靠性评估训练样本，在实际中电气化铁路接触网可靠性评估是一个小样本问题，因此易出现“维数灾”等难题，得到“过拟合”的电气化铁路接触网可靠性评估结果。因此电气化铁路接触网可靠性评估有待进一步深入研究^[10]。

2 基于数据挖掘的电气化铁路接触网可靠性评估

2.1 电气化铁路接触网可靠性评估指标体系

电气化铁路接触网工作过程中，机车的运行、外界环境和摩擦均会影响电气化铁路接触网的可靠性，同时铁路管理、工作人员的素质也会对可靠性产生影响。基于全面、科学的原理，建立电气化铁路接触网可靠性评估指标体系如图1所示。从图1可知，这是一个典型层次型结构的可靠性评估指标体系，可以全面描述对电气化铁路接触网工作状态的各种影响。

2.2 数据挖掘技术

当前有许多数据挖掘技术，如聚类分析算法、支持向量机等，其中支持向量机的性能更优，实际应用范围更广^[11]，因此本文采用支持向量机建立电气化铁路接触网可靠性评估模型。设电气化铁路接触网可靠性评估数据集为 $\{x_i, y_i\}$ ， $i=1, 2, \dots, l$ 。其中， x_i 为电气化铁路接触网可靠性评估指标； y_i 为电气化铁路接触网可靠性值； l 为样本总数，根据风险最小的原理得到

$$\omega^T \Phi(x) + b = 0 \quad (1)$$

由于电气化铁路接触网工作状态变化比较复

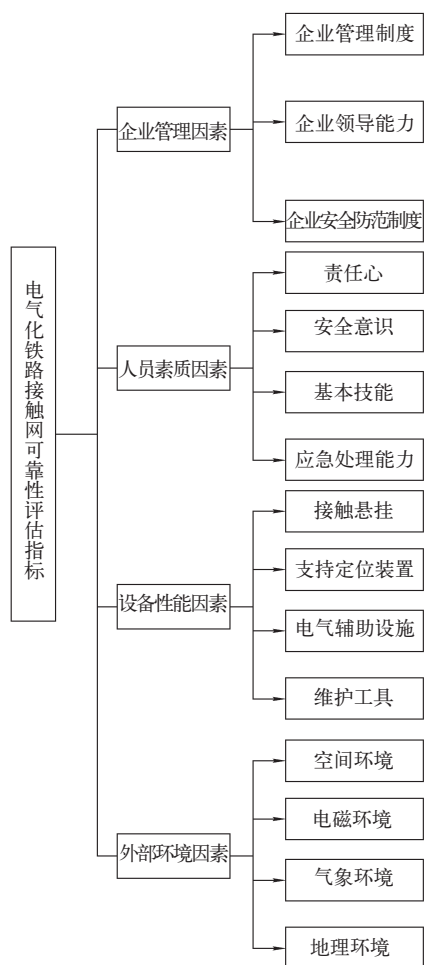


图1 电气化铁路接触网可靠性评估指标体系

Fig.1 Reliability evaluation index system of electrified railway catenary

杂，为了获得更优的电气化铁路接触网可靠性评估训练过程，将式（1）变成二次优化问题

$$\begin{aligned} \min J(w, \xi) &= \frac{1}{2} \|w\|^2 + c \sum_{i=1}^n \xi_i \\ \text{s. t.} \quad & y_i (w\Phi(x_i) + b) \geq 1 - \xi_i \\ & \xi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, l \end{aligned} \quad (2)$$

式中， c 为电气化铁路接触网可靠性评估错误的惩罚； $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_l)^T$ 。

为了加快电气化铁路接触网可靠性评估速度，引入Lagrange乘子 $\alpha_i (1, 2, \dots, s, s \leq l)$ 。将式（2）转化为对偶问题，得到电气化铁路接触网可靠性评估的决策函数为

$$f(x) = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i (\Phi(x)\Phi(x_i) + b) \quad (3)$$

基于泛函理论，采用核函数 $k(x_i, x)$ 来代替点积操作 $(\Phi(x)\Phi(x_i))$ ，这样电气化铁路接触网可靠性评估的决策函数变为

$$f(x) = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i (k(x_i, x) + b) \quad (4)$$

利用核函数可以建立性能不同的电气化铁路接触网可靠性评估模型，当前核函数主要有线性、多项式、高斯以及Sigmodi核函数，它们分别定义如下

$$k(x, x_i) = xx_i \quad (5)$$

$$k(x, x_i) = (xx_i + 1)^d \quad (6)$$

$$k(x, x_i) = \exp\left(\frac{\|x - x_i\|^2}{2\delta^2}\right) \quad (7)$$

$$k(x, x_i) = \tan h[b(xx_i) + c] \quad (8)$$

相对于以上所列举的核函数，高斯核函数实际应用效果更优，因此本文选择其建立电气化铁路接触网可靠性评估模型，则式（4）变为

$$f(x) = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i \exp\left(\frac{\|x - x_i\|^2}{2\delta^2} + b\right) \quad (9)$$

2.3 基于数据挖掘的电气化铁路接触网可靠性评估步骤

基于数据挖掘的电气化铁路接触网可靠性评估步骤如下：

- 1) 建立电气化铁路接触网可靠性评估指标体系。
- 2) 采集大量电气化铁路接触网可靠性评估指标的数据，并确定相关的电气化铁路接触网可靠性值。
- 3) 建立电气化铁路接触网可靠性评估的训练样本集合和测试样本集合。
- 4) 采用数据挖掘技术对电气化铁路接触网可靠性评估的训练样本集合进行分析，建立电气化铁路接触网可靠性评估模型。
- 5) 采用测试样本对电气化铁路接触网可靠性评估模型的有效性进行测试和分析，并输出电气化铁路接触网可靠性评估结果。

3 仿真实验

3.1 实验数据以及对照模型

为了分析基于数据挖掘的电气化铁路接触网

可靠性评估模型的性能,采用某条电气化铁路接触网可靠性的一年历史数据作为实验对象,共采集到120个电气化铁路接触网可靠性样本。为了测试数据挖掘技术模型的电气化铁路接触网可靠性评估的优越性,选择BP神经网络的电气化铁路接触网可靠性评估模型,在相同实验环境下进行对照实验。最后20个样本作为电气化铁路接触网可靠性评估测试样本集合,其他样本作为电气化铁路接触网可靠性评估的训练样本集合。

3.2 电气化铁路接触网可靠性评估正确率对比

统计两种电气化铁路接触网可靠性评估模型的正确率,为了体现实验结果的公平性,每一种模型均进行5次实验,结果如图2所示。从图2可知,本文电气化铁路接触网可靠性评估正确率的均值为96.13%,而神经网络电气化铁路接触网可靠性评估正确率均值为91.48%,相对于对比模型,本文模型的电气化铁路接触网可靠性评估正确率高于神经网络电气化铁路接触网可靠性评估正确率4.65%,减少了电气化铁路接触网可靠性评估错误概率,得到了更优的电气化铁路接触网可靠性评估结果。

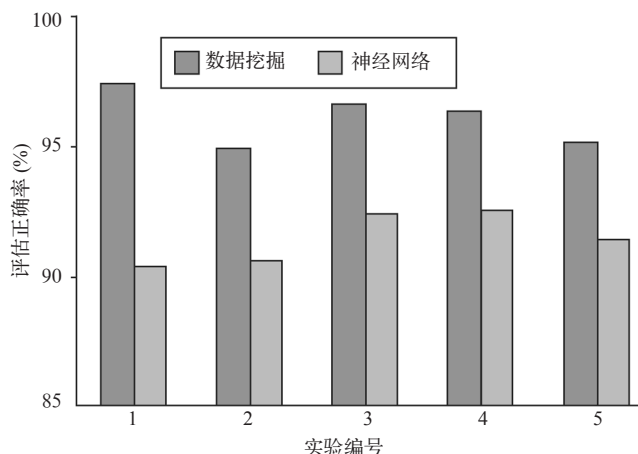


图2 两种模型的电气化铁路接触网可靠性评估正确率对比
Fig.2 Comparison of correct rates of reliability assessment of electrified railway catenary based on two models

3.3 电气化铁路接触网可靠性评估效率

两种电气化铁路接触网可靠性评估模型的训练时间和测试时间如下表所示,从表中可以看出,无论是训练时间还是测试时间,本文模型的

电气化铁路接触网可靠性评估时间更短,有效改善了电气化铁路接触网可靠性评估效率,可以实现电气化铁路接触网可靠性的在线评估,实际应用价值更高。

表 两种模型的电气化铁路接触网可靠性评估时间对比

Tab.1 Comparison of reliability evaluation time of electrified railway catenary based on two models

实验编号	数据挖掘		神经网络	
	训练时间	测试时间	训练时间	测试时间
1	7.70	1.30	11.48	2.53
2	6.53	1.45	12.92	2.77
3	7.57	1.50	11.03	2.45
4	7.79	1.53	12.65	2.02
5	7.89	1.37	11.48	2.53

4 结束语

为了解决当前传统的电气化铁路接触网可靠性评估方法存在误差大、评估效率低等缺陷,提出了一种基于数据挖掘的电气化铁路接触网可靠性评估模型,采用具体实例验证了本文所提出的电气化铁路接触网可靠性评估模型的优越性。

参考文献

- [1] 郭蕾,李群湛,解绍锋,等.在线防冰过程中电气化铁路接触网的温度场[J].西南交通大学学报,2013,48(2):230-235,242.
GUO Lei, LI Qunzhan, XIE Shaofeng, et al. Temperature field of electrified railway catenary during on-line anti-icing process [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2013, 48 (2): 230-235, 242.
- [2] 汤文斌,刘和云,李会杰,等.模拟大气环境下电气化铁路接触网覆冰实验研究[J].华东电力,2009,37(2):250-252.
TANG Wenbin, LIU Heyun, LI Huijie, et al. Experimental study on ice coating on catenary of electrified railway under simulated atmospheric environment [J]. East China Electric Power, 2009, 37 (2): 250-252.
- [3] 王梦阳.高速铁路接触网故障抢修中供电6C系统的运用[J].通信电源技术,2018,35(6):129-

- 130, 133.
- WANG Mengyang. Application of 6C power supply system in emergency repair of catenary failure of high-speed railway [J]. Communication Power Supply Technology, 2018, 35(6): 129-130, 133.
- [4] 杨红梅, 刘志刚. 基于二代曲波变换的电气化铁路接触网连接装置旋转双耳不良状态检测[J]. 铁道学报, 2017, 39(9): 53-58.
- YANG Hongmei, LIU Zhigang. Detection of bad rotating binaural state of catenary connection device of electrified railway based on second generation curved wave transform [J]. Journal of Railway, 2017, 39(9): 53-58.
- [5] 杨红梅, 刘志刚. 基于SURF特征匹配的电气化铁路接触网支撑装置旋转双耳不良状态检测[J]. 铁道学报, 2016, 38(8): 28-34.
- YANG Hongmei, LIU Zhigang. Rotating binaural bad condition detection of catenary support device of electrified railway based on SURF feature matching [J]. Journal of Railway, 2016, 38(8): 28-34.
- [6] 樊士琛. 浅谈包神铁路接触网常见故障及应对措施[J]. 电气应用, 2013, 32(20): 102-104.
- FAN Shichen. Brief discussion on common faults of Baoshen Railway catenary and countermeasures [J]. Electrotechnical Application, 2013, 32 (20): 102-104.
- [7] 吕福星, 伦利. 集总元件对电气化铁路接触网暂态仿真的影响[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(4): 65-68, 88.
- LV Fuxing, LUN Li. The influence of lumped elements on transient simulation of electrified railway catenary [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2013, 30 (4): 65-68, 88.
- [8] 李丽红, 石白云. 电气化铁路接触网绝缘性能的实践研究[J]. 山西大同大学学报 (自然科学版), 2011, 27(3): 66-68.
- LI Lihong, SHI Baiyun. Practical research on insulation performance of catenary for electrified railway [J]. Journal of Shanxi Datong University(Natural Science Edition), 2011, 27 (3): 66-68.
- [9] 卞晓琳, 何平, 施焯辉. 铁路接触网安全性评价方法及工程应用[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(6): 93-98.
- BIAN Xiaolin, HE Ping, SHI Yehui. Evaluation method and engineering application of railway catenary safety [J]. Chinese Journal of Safety Sciences, 2010, 20 (6): 93-98.
- [10] 周能嘉, 程江洲, 李振华. 基于模糊神经网络的电气化铁路接触网安全评估[J]. 南昌大学学报(理科版), 2016, 40(2): 151-155.
- ZHOU Nengjia, CHENG Jiangzhou, LI Zhenhua. Safety assessment of electrified railway catenary based on fuzzy neural network [J]. Journal of Nanchang University(Science Edition), 2016, 40 (2): 151-155.
- [11] 田录林, 柴俊岭, 吴瞻, 等. 基于关联气体和遗传算法优化支持向量机的电力变压器故障检测[J]. 电气应用, 2018, 37(19): 40-45.
- TIAN Lulin, CHAI Junling, WU Zhan, et al. Power transformer fault detection based on correlation gas and genetic algorithm optimization support vector machine [J]. Electrotechnical Application, 2018, 37 (19): 40-45.

作者简介



武宁

武宁 (1981—), 男, 学士, 高级工程师, 主要研究方向: 铁路四电。

(收稿日期: 2018-05-10) **EA**