

文章编号: 2095-2163(2020)04-0095-03

中图分类号: TP399

文献标志码: A

地铁通号系统设备故障因素分析及预测

郁劲松¹, 张香明²

(1 上海申通地铁集团有限公司 运营管理中心, 上海 200050; 2 上海工程技术大学, 上海 201600)

摘要: 本文以某市 2012 年地铁通号系统设备事故数据为基础, 分析事故影响因素及影响程度, 并预测该系统设备故障发生概率。通过故障数据进行泊松分布模型的建立, 分析季节、时间、日期和客流量对通号系统设备故障影响的重要程度, 并以 ATC 系统故障为例, 对故障频次做出分析和预测, 为地铁安全运行提供参考。

关键词: 地铁设备故障; 故障分析; 泊松分布

Analysis and prediction of failure factors of subway signal system equipment

YU Jinsong¹, ZHANG Xiangming²

(1 Operation management Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd, Shanghai 200050, China;

2 Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201600, China)

[Abstract] Based on the equipment accident data of the subway signal system in 2012, this paper analyzes the influencing factors and degree of the accident, and predicts the probability of the equipment failure of the system. Through the establishment of Poisson distribution model based on fault data, this paper analyzes the importance of season, time, date and passenger flow on the failure of communication signal system equipment, and takes ATC system failure as an example to analyze and predict the failure frequency, so as to provide a reference for the safe operation of Metro.

[Key words] subway equipment failure; failure analysis; Poisson distribution

0 引言

随着城市人口的增加, 地铁因其运量大、速度快的特点, 成为分散城市客流的重要工具。由于地铁发车间隔持续减少, 使得地铁长时间处于高负荷的运营状态, 地铁设备所承受的工作压力也越来越大, 故障频次不断增加。因此, 设备的健康状况将直接影响轨道交通系统的安全运行及运营服务的质量^[1], 基于这种情况, 需要做好预测工作, 在故障发生前采取相应的对策。本文通过收集近年来地铁通号系统设备事故的种类、原因、时间等数据, 进行数据的分析, 并选择泊松分布模型来预测地铁事故的发生概率, 避免事故的发生。

1 历史故障数据统计

地铁系统设备由多个部分组成, 对于列车日常运营而言, 通号系统起到了至关重要的作用。地铁通号系统的组成设备主要包括: 计算机联锁系统设备、列车自动驾驶设备、列车自动防护设备和列车自动监督设备^[2]。故障源主要集中在 ATS、通讯设备、轨旁设备、信号以及车载 ATC 等。

模型所用数据, 来源于某市地铁 2012 年全网故障统计数据。首先, 筛选整理出本年地铁通号系统故障而影响列车运营的数据; 其次, 在阅读故障日志

的基础上, 将设备故障的外因情况变量予以赋值, 如表 1 所示。

表 1 设备故障外因赋值表

Tab. 1 External cause assignment of equipment failure

描述	变量赋值
季节 m	春秋 = 1, 冬季 = 2, 夏季 = 3
具体时间 t	平峰 = 1, 晚高峰 = 2, 早高峰 = 3
具体日期 l	双休日 = 1, 工作日 = 2
客流量 q	$q \leq 30$ 万 = 1, $30 < q \leq 60$ = 2, 以此类推
开通年限 ot	连续型变量

根据地铁历史故障数据对各设备故障次数进行统计, 见表 2, 3 及图 1 所示。

表 2 通号系统设备故障数据统计

Tab. 2 Failure data statistics of communication signal system equipment

通号系统设备	故障次数
ATS	72
车载 ATC	63
轨旁设备	63
通讯	72
信号故障	72
总计	342

作者简介: 郁劲松(1988-), 男, 学士, 工程师, 主要研究方向: 城市轨道交通运营管理。

收稿日期: 2019-11-29

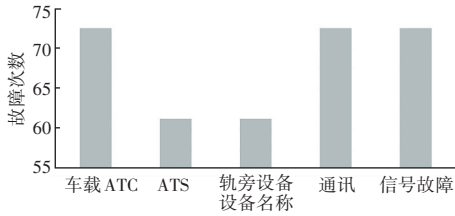


图1 通号系统各设备故障次数统计

Fig. 1 Statistics of failure times of all equipment in the signal system

表3 各变量故障数据表

Tab. 3 Failure data of each variable

季节	故障数据	时间尺度 归一(次/月)	时间	故障数据	时间尺度归一 (次/小时)	日期	故障数据	时间尺度 归一(次/天)
春秋	103	17	早高峰	123	61	工作日	245	49
冬季	75	25	平峰	130	11	周末	97	48
夏季	164	55	晚高峰	89	45			

2 故障频次模型建立

以 ATC 系统故障为例,选择季节、时间、日期、客流量为自变量,运用数据分析 Stata 软件,分别计算该系统设备故障与自变量影响关系。综合以上分析,拟构建 poisson 基本计量模型。

$$2\ln(\lambda) = \beta_0 + \beta_1 m + \beta_2 t + \beta_3 l + \beta_4 q + \beta_5 ot + \varepsilon_2. \quad (1)$$

使用 STATE 数据分析软件进行模型确定以及分析工作。

表4 ATC 故障影响因素拟合结果

Tab. 4 Fitting results of ATC fault influencing factors

变量	Coef.	SE	z	$P > z $
t	1.32	0.03	40.24	0
m	0.65	0.02	26.18	0
q	0.23	0.01	15.68	0
ot	-0.03	0.01	-4.25	0
_cons	3.07	0.09	33.54	0

其中:

(1) $P > |z|$ 值大于 0.05 时,对应到 [95% Conf.Interval] 列中,系数包括 0,所以该变量的系数 coef 不在公式中体现,表示该变量对故障影响不够显著,见表 4。

(2) 对于 $P > |z|$ 值小于 0.05 时,说明该因素在置信度 95% 下对 f 有显著影响。系数为正 coef 值,说明该因素越大,发生故障的概率就越大。

随着客流量的增加,车载 ATC 系统的工作量越来越大,出现事故的概率也会相对提高。温度的不断攀升也造成车辆本身的工作负荷加大,进而导致 ATC 系统故障。早高峰和晚高峰期间系统的工作

表 3 统计了季节、时间、日期 3 种变量情况下的故障数,可以看出:

(1) 从季节角度分析:故障发生率最高为夏季,约为春秋季节的 2.5 倍、冬季的 2 倍。

(2) 从时间角度分析:故障的总次数发生最多的时间在早高峰,其次为晚高峰,平峰时段故障发生率最低。

(3) 从日期角度分析:工作日期间平均每天比休息日多发生 1 次。

负荷增加导致故障事故频发,这里又体现出了随着气温的升高而导致事故的频发。从计算结果中可以看出,当温度逐渐降低,通号系统的故障率不断上升,可以认为系统设备都有一个适宜的工作温度,在适宜温度的范围内,设备性能良好,当温度超出这个范围,设备的性能会下降。这也解释了为何下列所有的信号系统故障率都与环境温度呈正相关关系。

3 故障频次预测及检验

总结 2012 年的 ATC 设备故障情况后,需要对模型准确性和适用程度做出合理的分析。收集 2011 年该市地铁事故情况的数据,计算得故障频次预测值与实际值误差,见表 5。

表5 故障频次预测结果

Tab. 5 Prediction results of failure frequency

t	m	ot	q	l	误差值/%
早高峰	春秋	9	1.2	0.3	-15.00
早高峰	冬	9	1.3	0	0.00
早高峰	夏	9	1.2	0.2	-50.00
平时运行	春秋	9	6.5	19.6	25.26
平时运行	夏	9	1.2	1.1	29.41
平时运行	春秋	9	1.0	1.0	-17.86
晚高峰	春秋	9	1.2	0	0.00
晚高峰	冬	9	1.3	0	0.00
晚高峰	夏	9	1.2	0.2	-50.00
平时运行	冬	9	6.5	5.0	-15.32

计算得到预测值的平均误差为 16.77%,该误差处于可接受范围,证明对于 ATC 系统的预测基本准确。(下转第 100 页)