

基于控制图的有轨电车能耗分析方法研究

樊 辉,李进明

(中交一公局电气化工程有限公司,北京 100083)

摘 要:针对传统的有轨电车能耗分析方法缺少对异常数据的判断分析,难以有效发现能耗数据特点以及各数据之间潜在关系等问题,提出结合控制图与灰关联分析法的有轨电车能耗分析集成方法。利用控制图对能耗数据波动情况进行分析,并结合灰关联数据分析算法对影响能耗数据因素进行分析,通过利用已开通运营的广州有轨电车能耗数据进行仿真实验,实验结果表明有轨电车能耗分析法能够更好地对各项能耗数据波动情况进行监测,实现对能耗异常数据识别、找出影响能耗的相关因素,为有轨电车系统节能提供辅助决策,可为已运营的有轨电车系统能耗数据分析提供一定参考。

关键词:有轨电车能耗;控制图;灰关联分析;数据挖掘;能耗分析

中图分类号:TP9

文献标识码:A

DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2020.01.018

引用格式:樊辉,李进明.基于控制图的有轨电车能耗分析方法研究[J].信息技术与网络安全,2020,39(1):92-99.

Research on energy consumption analysis method of tram based on control chart

Fan Hui, Li Jinming

(CCCC First Public Bureau Electrification Engineering Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: In view of the lack of judgment and analysis of abnormal data in the traditional tram energy consumption analysis method, and the difficulty of effectively discovering the characteristics of energy consumption data and the potential relationship between data, this paper proposes an integrated method of tram energy consumption analysis combining control chart and grey correlation analysis method. The control chart is used to analyze the fluctuation of energy consumption data, and the grey correlation data analysis algorithm is used to analyze the factors affecting energy consumption data. The simulation experiment is conducted by using the energy consumption data of Guangzhou tram which has been put into operation. The experimental results show that the energy consumption analysis method proposed in this paper can better monitor the fluctuation of energy consumption data and realize the monitoring of energy consumption data, identify abnormal energy consumption data, find out the relevant factors affecting energy consumption, provide auxiliary decision-making for energy saving of tram system, and provide certain reference for energy consumption data analysis of tram system that has been operated.

Key words: energy consumption of tram; control chart; grey correlation analysis; data mining; energy consumption analysis

0 引言

近年来随着我国城镇化率的不断提高,城市问题越来越凸显,其中城市的交通压力问题尤为突出。尽管建造地铁系统能够缓解城市一部分的交通压力,但地铁较长的建设周期和较高的投资成本,使得当前我国地铁建设仅局限于少数大城市,因此需要一种能够解决大、中型城市交通拥堵和“出行难”问题的交通方式。相较于其他的交通方式而言,有轨电车综合了无污染、运行安全、建设周期短、投资成本低以及对城市市容影响小等多种优点而受到人们越来越多的关注。各地对有轨电车的投资建设也呈不断增加的趋势。因此,为推动有

轨电车的进一步发展,对有轨电车系统能耗进行分析具有十分重要的意义^[1-3]。

近些年国内外学者针对轨道交通能耗开展了研究,如文献[4]和[5]通过建立有轨电车运动模型,并对模型进行仿真分析,研究了影响轨道交通整体能耗评价的关键因素;文献[6]建立了一套牵引能耗的评价指标体系;文献[7]采用灰色关联度方法对影响列车牵引能耗各指标的重要性进行了分析;文献[8-11]从能耗管理的角度对轨道交通能耗问题进行了分析与研究;文献[12]采用物理仿真、数据统计等方法对影响列车牵引能耗的因素进行了分析。现有的有轨电车系统能耗分析多采用

通过对数据进行回归分析的方式建立数学模型,以预测有轨电车能耗的特点和趋势。这些方法虽然能得到有轨电车能耗的一定规律并给出一些节能建议,但由于在建立数学模型时仅对各能耗影响因素独立进行分析而缺乏对影响因素相关性的研究和分析,因此无法得到能耗数据之间的潜在关系,难以对数据进行深度分析,同时也缺少对能耗模式分类和能耗异常数据识别的分析与研究。

本文以电网、动力电池和超级电容为动力源的

储能式有轨电车为研究对象,通过介绍该类有轨电车的能耗组成,结合有轨电车的能耗数据特点,选取了多种数据挖掘方法得到了适用于有轨电车能耗数据分析的集成方法,实现了对能耗模式的分类,能耗异常数据识别,能耗影响因数分析。

1 有轨电车系统能耗构成

根据有轨电车系统结构,可以将有轨电车的能耗分成车辆能耗、车站能耗、配用电区间能耗以及其他能耗 4 大部分,其具体组成如图 1 所示。

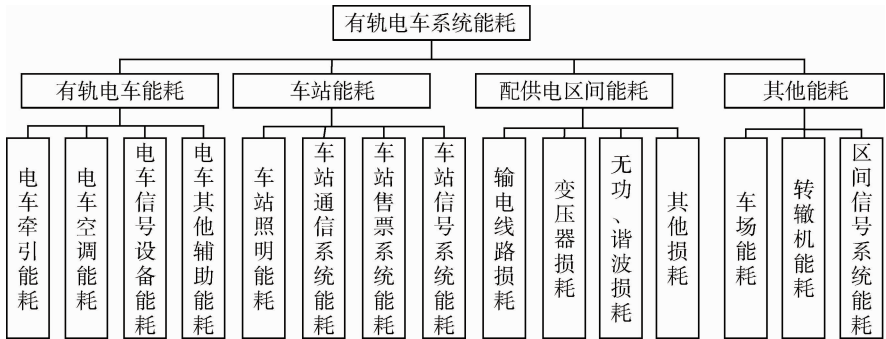


图 1 有轨电车系统能耗构成

在如图 1 所示的有轨电车四类能耗中,配用电区间能耗与其他能耗中的转辙机能耗和区间信号系统能耗随着有轨电车系统的建成保持相对固定,而有轨电车能耗和车站能耗受到客流量、时间、季节和温度等因素影响较大。因此本文重点对有轨电车系统能耗中有轨电车车辆能耗以及车站能耗数据进行分析。

2 有轨电车系统能耗数据分析算法

由上述分析可以得到有轨电车系统能耗往往受到多重因素的综合影响,为了更好地分析能耗数据波动情况以及不同能耗数据之间相互关联情况,需要选择运用多种数据挖掘方法对各项能耗数据进行分析。

本文首先利用控制图理论对采集的能耗数据进行分析,以判断能耗数据的波动是否处于正常水平,对于正常的能耗数据利用灰关联法对能耗数据各项影响因素关联度进行分析,从而为有轨电车节能提供参考和指导,根据能耗数据之间的关联情况,分析异常数据产生的原因,以便采取相应的处理措施。集成有轨电车系统能耗数据分析流程如图 2 所示。

2.1 控制图

控制图法是应用于质量管理中的分析方法。该方法是利用样本数据来分析判断过程是否处于

稳定状态的有效工具,按照用途可分为分析用控制图和控制用控制图,按照数据类型又可将控制分为计量型控制图和技术型控制图。其中,使用于计量型数据的控制图分类具体如表 1 所示。

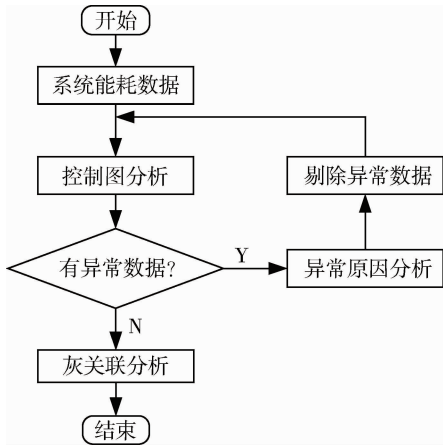


图 2 有轨电车系统能耗数据分析

表 1 计量值控制图分类

数据类型	数据分布规律	适用的控制图	控制图名称
计量值	正态分布	均值-标准偏差控制图	$\bar{x}-s$ 控制图
		均值-极差控制图	$\bar{x}-R$ 控制图
		中位数-极差控制图	$\tilde{x}-R$ 控制图
		单值-移动极差控制图	$\bar{X}-R_s$ 控制图

对于有轨电车系统能耗数据而言,由于每个时间点只能采集一个数据,因此选用 $X - R_s$ 控制图对能耗数据进行分析。 $X - R_s$ 控制图由单值控制图和移动极差控制图构成。其中单值控制图中的数据为能耗数据,而移动极差控制图所使用的移动极差为相邻两能耗数据差值的绝对值。在每个控制图中,均包含有上控制限(Upper Control Limit, UCL)、下控制限(Lower Control Limit, LCL)和中心线(Center Line, CL)。单值控制图中心线和上、下控制限以及移动极差控制图中心线和上、下控制限分别可由式(1)与式(2)求得。

$$\begin{cases} \text{UCL} = \mu + 2.66\bar{R}_s \\ \text{CL} = \mu = \bar{x} \\ \text{LCL} = \mu - 2.66\bar{R}_s \end{cases} \quad (1)$$

式中 $\bar{x}$ 为能耗数据的均值, $\bar{R}_s$ 为移动极差的均值。

需要注意的是,由于能耗数据始终为非负数,因此在求解移动极差控制图时,其下控制限应满足式(2)。

$$\text{LCL} = \begin{cases} \mu_{R_s} - 3\delta_{R_s}, & \mu_{R_s} - 3\delta_{R_s} > 0 \\ 0, & \mu_{R_s} - 3\delta_{R_s} \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

因此,移动极差控制图中心线和上、下控制限以及移动极差控制图中心线和上、下控制限分别为:

$$\begin{cases} \text{UCL} = \mu_{R_s} + 3\delta_{R_s} = 3.267\bar{R}_s \\ \text{CL} = \mu_{R_s} = \bar{R}_s \\ \text{LCL} = \mu_{R_s} - 3\delta_{R_s} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\bar{R}_s$ 为移动极差的均值, δ_{R_s} 为移动极差的标准差。

通过分析能耗数据和能耗数据的移动极差值分别在单值控制图与移动极差控制图中与中心线及上、下限的位置关系与波动特点,并结合相应的判断规则就可以定量判断能耗数据是否出现异常^[13]。当能耗数据未出现异常数据时,可将当前控制图作为控制用控制图使用,以对后续过程能耗数据进行监测。

2.2 灰关联分析法

能耗数据的变动可能受到外界多重因素影响,为了判别各种影响对能耗数据影响程度的大小以及对有轨电车系统节能提供指导意见,需要对它们进

行关联度分析。灰色关联分析方法是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,即它们之间的“灰色关联度”,是一种衡量因素间关联程度的方法^[14]。

使用灰关联分析对数据检验关联度分析的具体步骤如下。

(1)根据可能存在的影响因素收集原始数据,得到原始数据组成的矩阵如下:

$$(X'_1, X'_2, \dots, X'_n) = \begin{bmatrix} x'_1(1) & x'_2(1) & \dots & x'_n(1) \\ x'_1(2) & x'_2(2) & \dots & x'_n(2) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x'_1(m) & x'_2(m) & \dots & x'_n(m) \end{bmatrix}$$

其中 m 为指标的个数, $X'_i = (x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(m)), i = 1, 2, \dots, n$ 。

(2)选择原始数据的第一列作为参考值,使用式(4)对原始数据进行无量纲化。

$$x_i(k) = \frac{x'_i(k)}{x'_1(k)} \quad (4)$$

得到数据矩阵为:

$$(X_1, X_2, \dots, X_n) = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_2(1) & \dots & x_n(1) \\ x_1(2) & x_2(2) & \dots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_1(m) & x_2(m) & \dots & x_n(m) \end{bmatrix}$$

(3)从无量纲的矩阵中选择第一行作为参考数据列,即所选参考数据列记为: $X_1 = (x_1(1), x_2(1), \dots, x_n(1))$ 。

(4)逐个计算每个被评价对象指标序列与参考序列对应元素的绝对差值,即 $|x_i(1) - x_i(k)|, k = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n, n$ 为被评价对象的个数。

(5)得到差值的最大值 $\max_{i=1}^n \max_{k=1}^m |x_i(1) - x_i(k)|$ 与最小值 $\min_{i=1}^n \min_{k=1}^m |x_i(1) - x_i(k)|$ 。

(6)式(5)~(7)分别计算每个被评价对象指标序列与参考序列对应元素的关联系数。

$$\text{Co}_{\max} = \max_i \max_k |x_i(1) - x_i(k)| \quad (5)$$

$$\text{Co}_{\min} = \min_i \min_k |x_i(1) - x_i(k)| \quad (6)$$

$$\xi_i(k) = \frac{\text{Co}_{\min} + \rho \cdot \text{Co}_{\max}}{|x_i(1) - x_i(k)| + \rho \cdot \text{Co}_{\max}} \quad (7)$$

式中 ρ 为分辨系数,在(0,1)内取值,通常 ρ 取 0.5。

(7)根据式(8)对各评价对象指标序列分别计

算其个指标与参考序列对应元素的关联系数的均值,以反映各评价对象与参考序列的关联度。

$$r_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_i(k)$$

(8)

(8)对各关联度大小进行排序,以得到各指标对数据的影响程度。

当能耗数据出现异常时,对于能耗数据而言,异常点可能由于有轨电车系统某个设备发生故障或失灵而造成,也可能是能耗数据采集装置出现问题所导致,还可能因为大型节假日乘客数量激增而产生。但由于有轨电车系统能耗数据之间存在一定的相关性,如乘客的增加将会增加车站、车辆的

能耗,而因车站或车辆设备出现故障而导致能耗数据出现异常,仅会影响单个车站或车辆的能耗数据等,因此也可利用灰关联分析法分析能耗数据之间的相关关系以帮助分析异常数据产生原因,从而指导采取相应措施。

3 仿真分析

为了验证本文提出的有轨电车系统能耗数据分析算法的有效性,使用已经开通运营的广州有轨电车能耗数据进行分析,由于每年 10 月份中既包括国家重大节假日,也有正常双休日、工作日,因此本文选择 2017 年 10 月广州有轨电车能耗数据进行分析,其具体能耗数据如表 2 所示。

表 2 2017 年 10 月广州有轨电车系统能耗数据

日期/日	运营里程/km	客运周转量	最高温度/℃	日平均气温/℃	车辆能耗	车站能耗	线路损耗	其他能耗	总能耗
1	1 094.56	91.210	33	29.5	3 248.39	2 814.02	1 527.76	2 241.96	9 832.12
2	1 117.63	74.522	33	29.5	3 212.75	2 929.55	1 304.40	2 488.20	9 934.89
3	1 142.39	85.276	34	29.5	3 177.35	2 911.88	1 371.41	2 308.34	9 768.98
4	1 095.72	82.627	31	28	3 202.44	3 227.70	1 523.32	2 266.02	10 219.48
5	1 151.83	63.342	33	28.5	3 239.37	3 005.65	1 313.81	2 329.53	9 888.36
6	1 106.86	86.962	33	28.5	3 221.56	2 812.22	1 387.69	2 288.95	9 710.42
7	1 152.41	82.654	33	29.5	3 237.47	3 092.30	1 419.31	2 412.12	10 161.21
8	881.27	24.320	34	29.5	2 333.72	2 963.15	1 662.21	2 366.82	9 325.89
9	880.99	27.811	33	29	2 210.17	2 751.29	1 655.43	2 181.69	8 798.58
10	894.71	25.792	33	29	2 264.76	3 090.63	1 391.21	2 405.51	9 152.12
11	873.70	32.968	32	28	2 373.89	2 745.39	1 441.72	2 300.14	8 861.14
12	896.64	21.813	32	26.5	2 235.83	2 834.61	1 615.38	2 397.98	9 083.81
13	900.34	23.573	31	26.5	2 466.74	2 979.33	1 527.37	2 516.41	9 489.86
14	1 115.87	70.009	28	24.5	3 101.22	2 768.44	1 436.89	2 493.48	9800.04
15	1 107.89	67.604	25	23	3 106.10	3 081.94	1 321.53	2 505.45	10 015.01
16	870.50	31.644	24	21.5	2 288.90	2 866.52	1 302.86	2 271.58	8 729.86
17	893.56	25.969	28	24.5	2 248.58	3 021.38	1 301.17	2 241.68	8 812.81
18	875.26	21.544	28	24.5	2 405.92	2 988.34	1 483.26	2 475.79	9 353.31
19	889.03	23.328	30	25	2 242.73	2 725.86	1 379.66	2 395.55	8 743.80
20	883.50	27.968	28	24	2 284.55	3 064.31	1 348.56	2 399.20	9 096.62
21	1 085.89	49.150	27	22.5	3 111.50	2 785.08	1 696.87	2 352.34	9 945.79
22	1 101.56	54.853	26	21.5	3 121.04	3 206.52	1 383.78	2 213.55	9 924.90
23	878.65	19.609	27	22	2 391.06	3 219.95	1 664.00	2 356.64	9 631.66
24	873.02	27.413	26	22	2 261.52	3 210.59	1 624.13	2 343.78	9 440.03
25	890.32	24.818	28	23	2 321.31	3 031.56	1 440.67	2 321.21	9 114.75
26	900.39	30.401	29	23.5	2 450.82	3 125.08	1 463.23	2 356.64	9 395.77
27	879.51	20.578	28	23.5	2 409.50	2 737.69	1 451.23	2 244.65	8 843.07
28	1 102.02	61.257	29	23.5	3 155.90	2 860.73	1 528.85	2 271.58	9 817.07
29	1 092.03	60.528	28	23	3 123.13	3 196.09	1 368.00	2 194.50	9 881.72
30	874.60	20.954	26	21	2 271.00	3 177.23	1 613.18	2 273.75	9 335.15
31	882.79	21.932	25	20.5	2 337.12	2 795.66	1 470.47	2 506.18	9 109.42

3.1 有轨电车系统能耗数据控制图

由表2的能耗数据,根据式(1)~(3),求得车辆能耗单值控制图中心线和上下控制限为: $UCL_v = 3\,318.53$, $CL_v = 2\,679.24$, $LCL_v = 2\,039.95$ 。车辆能耗移动控制图中心线和上下控制限为: $UCL_m = 785.17$, $CL_m = 240.33$, $LCL_m = 0$ 。绘制有轨电车车辆能耗控制如3所示。

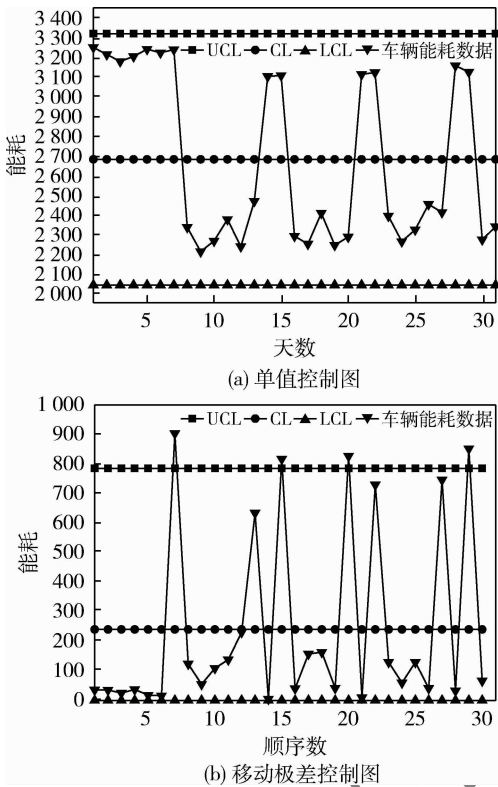


图3 车辆能耗数据控制图

由图3(a)可以看到,十一黄金周期间以及正常双休日与正常工作日能耗数据之间出现较大波动,在假期和工作日内波动相对较小,但10月份所有车辆能耗数据均处于控制范围内。但由图3(b)可以看到,10月7日、10月16日、10月21日以及10月30日移动极差值均超出控制限,其原因在于假期与正常工作日之间产生了较大的波动。

因此将10月车辆能耗数据分为正常工作日和假期两类分别进行分析。得到工作日期间车辆能耗单值控制图中心线和上下控制限为: $UCL_w = 2\,620.67$, $CL_w = 2\,322.12$, $LCL_w = 2\,023.57$ 。工作日期间车辆能耗移动差值控制图中心线和上下控制限为: $UCL_{wm} = 366.68$, $CL_{wm} = 112.24$, $LCL_{wm} = 0$ 。假期车辆能耗单值控制图中心线和上下控制限为:

$UCL_h = 1\,194.25$, $CL_h = 1\,115.14$, $LCL_h = 1\,036.03$, 假期车辆能耗移动差值控制图中心线和上下控制限为: $UCL_{hm} = 97.16$, $CL_{hm} = 29.74$, $LCL_{hm} = 0$ 。

工作日期间与假期车辆能耗数据控制分别如图4、5所示。

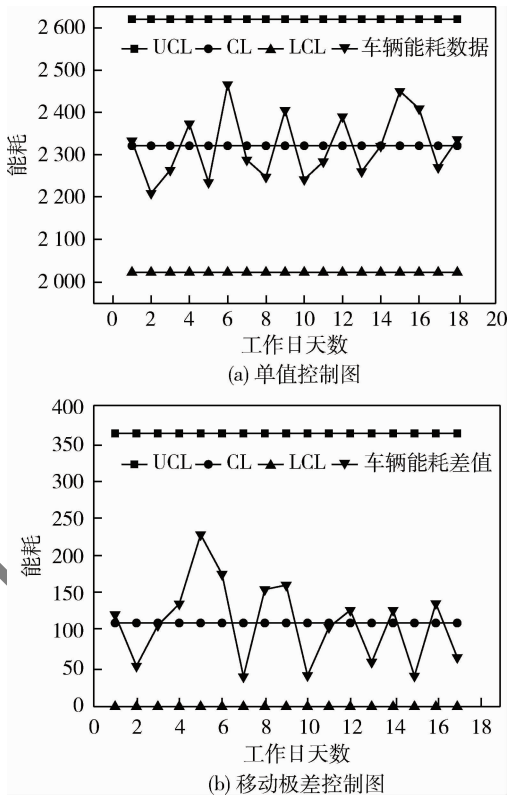


图4 工作日车辆能耗数据控制图

由图4和图5可以看出,通过将能耗数据分为工作日及假期两类得到的各控制图中所有数据均在控制限内。需要说明的是图4与图5横向数据均不再表示天数而仅表示序号。

同理,绘制车站能耗数据控制图、线路损耗控制图及其他能耗数据控制图分别如图6~8所示。

由图6~8可以看出,全月车站能耗、线路损耗以及其他能耗数据均在控制线范围中,未出现异常数据,也即说明这三类能耗数据受节假日影响较小。

3.2 能耗影响因素图

由表2能耗数据及式(4)~(7)求得外界因素与各能耗数据关联度结果如图9所示。

由图9(a)可以看出车辆能耗受旅客周转量影响最大,同时也受运营里程与当日温度影响较大,与其他因素相比日最高温度对车辆能耗影响最小。对于车站能耗而言,当日最高温度、平均温度以及运营

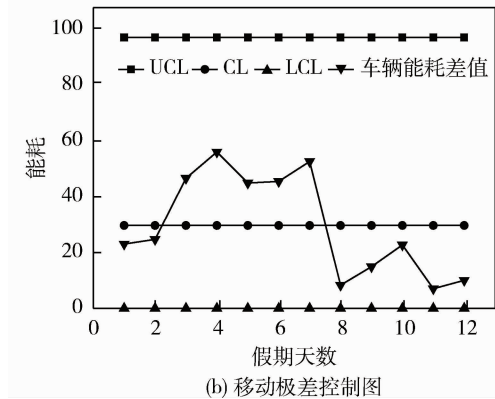
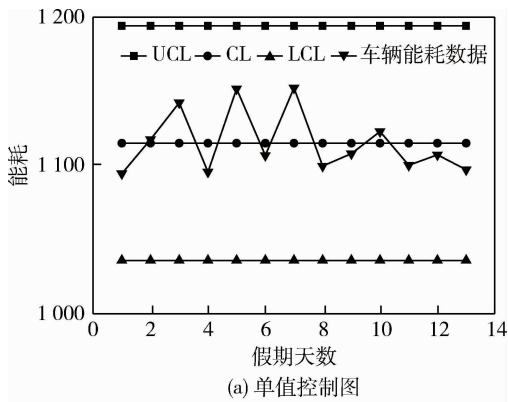


图5 假期车辆能耗数据控制图

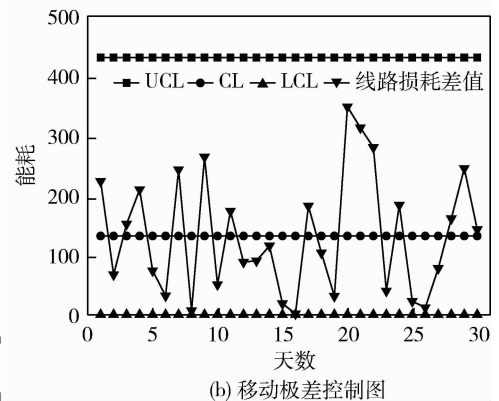
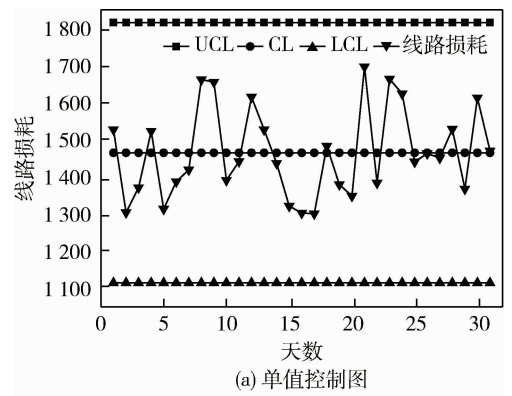


图7 线路损耗数据控制图

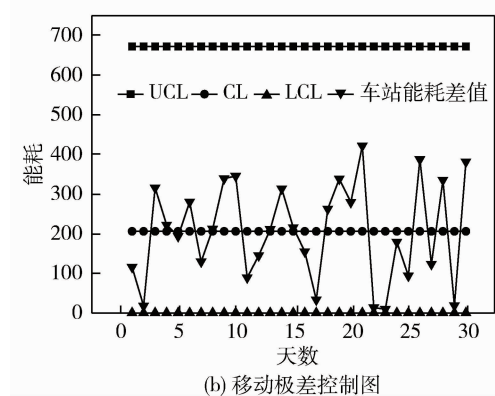
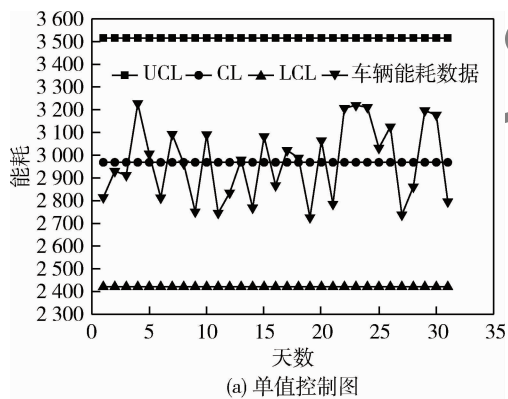


图6 车站能耗数据控制图

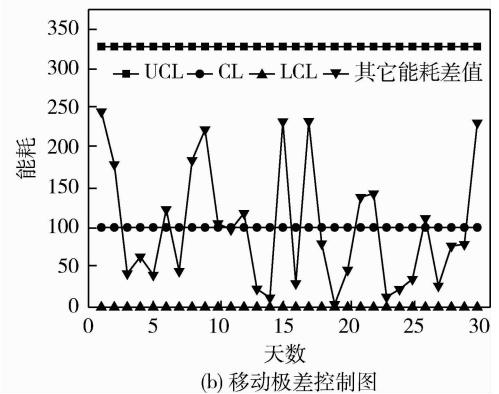
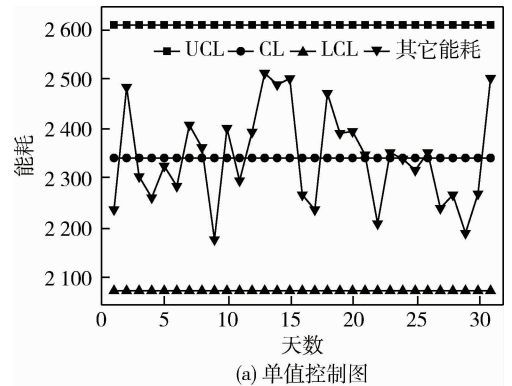


图8 其他能耗数据控制图

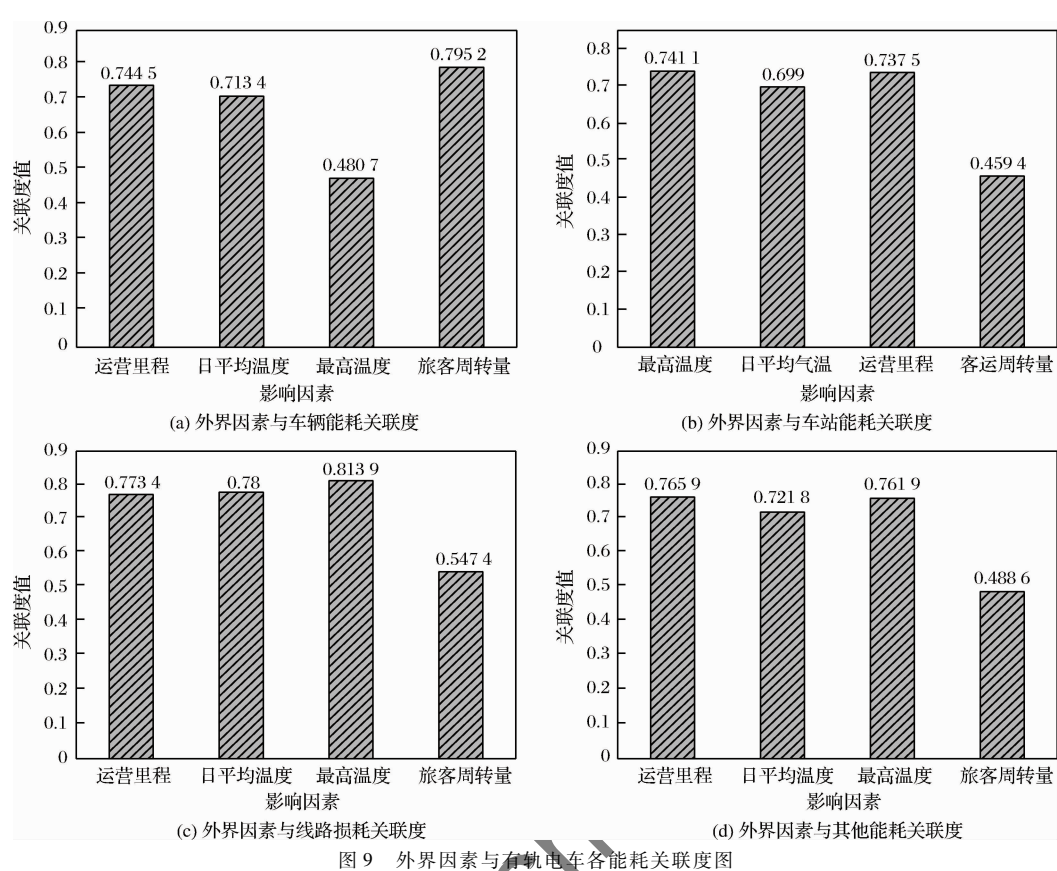


图9 外界因素与有轨电车各能耗关联度图

里程对其影响程度相差不多,虽然车辆运营里程不会直接影响车站能耗,但由于车辆能耗与车站能耗之间存在一定的相互关联,造成车站能耗受运营里程较大的影响,对于配供电区间线路损耗和其他能耗也有类似规律。

3.3 总能耗与各部分能耗关系分析

利用灰关联分析法对总能耗与各部分能耗关联度进行分析,得到总能耗与各部分能耗关联度如表3所示。

表3 总能耗与各能耗关联度

类型	车辆能耗	车站能耗	线路损耗	其他能耗
关联度	0.565 6	0.619 2	0.684 0	0.631 5

4 结论

本文提出了一种基于控制图思想的有轨电车能耗数据分析方法,利用控制图原理对有轨电车能耗数据波动情况进行监测分析,以便快速识别异常的能耗数据。使用灰关联算法得到外界因素对能耗数据波动的影响,从而为对有轨电车系统采取节能措施提供了参考。通过利用实际运营的数据分

析表明,新提出的有轨电车系统能耗分析方法能更加直观、准确识别异常能耗数据,对能耗因素和能耗数据之间的关联度有了更为精确的评价,具有一定的实用和参考价值。

参考文献

[1] 王栋. 储能式城市电车运行仿真系统的开发与应用[D]. 成都:西南交通大学,2016.

[2] 丁志华. 新型交通方式在城市交通中的适用性研究[D]. 南京:南京林业大学,2012.

[3] 唐淼,马韵. 现代有轨电车在城市区域内的适应性[J]. 上海交通大学学报,2011,45(8):71-75.

[4] STREIT L,TALLA J. Verification of stochastic tram model based on real traffic data [C]. European Conference on Power Electronics and Applications. Geneva, Switzerland: IEEE,2015.

[5] 苏浚,宿亚军,唐光华. 广州现代有轨电车能耗与节能分析[J]. 城市轨道交通研究,2016,19(12):57-61.

[6] 石静雅,苏永清,岳继光. 轨道交通能耗影响因素分析及能耗评价体系的建立[J]. 铁道运输与经济,2008,30(9):46-49.

[7] 冯佳,许奇,冯旭杰,等. 基于灰色关联度的轨道交通能耗影响因素分析[J]. 交通运输系统工程与信息,2011,

11(1):142-146.

- [8] Chen Yao, Mao Baohua, Bai Yun, et al. Impact of train characteristics on traction energy consumption of urban rail transit and evaluation on train energy efficiency [J]. China Railway Science, 2016, 37(2): 99-105.
- [9] HUBKA L, SKOLNIK P, HUBKA L. Tram simulation model for energy balance analyses [C]. International Conference on Process Control. Ohrid, Macedonia: IEEE 2017.
- [10] 王栋, 刘炜, 李群湛, 等. 现代有轨电车运行仿真系统的开发与应用 [J]. 电源技术, 2016, 40(10): 2040-2043.
- [11] 王玉明, 刘明君, 赵宇刚. 城市轨道交通系统运行节能措施研究 [J]. 综合运输, 2011(4): 57-59.
- [12] 杨继斌, 张继业, 宋鹏云. 储能式有轨电车能量管理策

略多目标优化 [J]. 电源学报, 2017, 15(5): 137-143.

- [13] 贾新章, 游海龙, 顾铠, 等. 统计过程控制理论与实践——SPC、Cpk、DOE、MSA、PPM 技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [14] 孙智超, 王波. 基于数据挖掘技术的建筑能耗分析集成方法 [J]. 计算机应用与软件, 2017(11): 103-108.

(收稿日期: 2019-12-11)

作者简介:

樊辉(1983-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 电力、电气化。

李进明(1976-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 机电工程。

(上接第 86 页)

的发射端用吸波材料将表层的线包住, 进行测试, 发现在 875 MHz 不论在水平还是垂直方向都可以通过测试而且还有很大的余量, 吸波材料的成本不超过 10 元。和加层的方案相比, 此方案更加可取, 最终选择使用吸波材料来解决 RE 的问题, 从而可以保证产品完全通过 RE 测试。

2 结论

本文介绍了一款应用于北美市场的 ONT 的设计, 重点讲述了产品设计中遇到的问题: (1) RE 测试不通过; (2) BOSA 眼图不符合要求。从理论上分析, 最终解决了 RE 测试不通过以及 BOSA 眼图的问题。

参考文献

- [1] Broadcom. PON ONU SOC EPON, GPON High-end Gateway Processor datasheet [Z]. 2017.

- [2] MindSpeed. VOIP Processor Comcerto Comcerto 300v2 Series Access Voice Processors Data Sheet [Z]. 2011.

- [3] Microsemi. Le96XX Subscriber Line Interface Circuit miSLIC Serise Advance Data Sheet [Z]. 2017.

- [4] Semtech. GN25LXX 2.5Gb/s CMOS Burst Mode Laser Driver & Limiting Post Amplifier with On-chip APD Controller [Z]. 2015.

- [5] Mentech. GPON ONU BOSA (APD, SCAPC Pigtail) [Z]. 2017.

(收稿日期: 2019-11-08)

作者简介:

马玲(1976-), 女, 硕士, 主要研究方向: 固定网络硬件研发。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《信息技术与网络安全》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《信息技术与网络安全》编辑部
中国电子信息产业集团有限公司第六研究所