

文章编号:1671-6833(2013)03-0018-04

郑州轨道交通供电系统负荷预测及影响研究

包毅¹, 胡静², 郭含³, 陈根永¹

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省电力公司 技术技能培训中心, 河南 郑州 450051; 3. 禹州供电公司, 河南 禹州 461670)

摘要: 针对城市轨道交通供电牵引负荷对城网的影响, 结合郑州轨道交通 1, 2 号线的规划设计数据, 对近期、中期和远期轨道交通线网规模, 采用经验公式法对牵引电量进行了具体的量化计算; 运用回归分析法进行负荷预测, 对郑州轨道交通牵引负荷对城市配电网的影响进行评价。结果表明: 轨道交通电力峰值负荷和城网峰值负荷基本不会重叠, 负荷峰值最大贡献率约 2%, 因此, 郑州轨道交通系统负荷对电网的影响相对较小。

关键词: 地铁牵引供电系统; 电量估算; 回归分析法; 负荷预测

中图分类号: TM714 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2013.03.005

0 引言

郑州轨道交通(地铁)的建设对加快郑州经济发展具有重要意义。轨道交通电力网络电量及负荷对城市公共电网的影响如何以及对城市电网有何具体要求都需要进行认真研究。

轨道交通列车用电负荷不同于一般电网, 线路上运行列车的位置和数量是不断变化的, 且随着不同时刻以及道路情况的变化, 取用负荷的大小具有较大差异。目前牵引供电量计算^[1-2]的方法有 4 种: 经验公式法^[3]、运行图法^[4]、平均运量法^[5]和仪表测量。

笔者以郑州轨道交通为研究对象, 采用经验公式法估算地铁 1, 2 号线近期、中期及远期的年用电量, 采用回归分析法进行牵引负荷预测, 对比郑州市配电网日负荷曲线, 分析郑州轨道交通负荷的增长趋势及特点, 研究郑州轨道交通负荷对城区电网的影响。

1 地铁牵引供电负荷估算模型

地铁规模的大小是以线路长度为标志的, 因此地铁的用电量和线路的长短直接相关^[6]。在估算时, 以每千米为单位比较合适。另外地铁的电量和负荷还与一天内的列数、客流量、发车密度等有

关, 这些都使负荷电量测算增加了难度。笔者采用经典的经验公式法计算牵引年用电量。

1.1 经验公式法

根据地铁设计规范, 在进行地铁牵引年用电量估算时, 需要具备以下计算条件^[7]。①车流密度: N , 对/h; ②列车编组: $3 \sim 8$ 节/列; ③一列车总重: G , t; ④列车年平均单位能耗: ΔA , kWh/(t · km), ΔA 反映城轨能耗的大小, 取值可参考既有线路运行经验以及测试积累的数据, 关于 VVVF 车辆, 一般取值为 $0.04 \sim 0.065$ kWh/(t · km); ⑤从始发站 1 天发车总数(往返): L , 列。

同时, 需具备以下 3 个通用设计条件: ①B 型车, 车辆编组为 6 节/列, 车内设有空调; ②外部电源采用集中供电方式, 设有专用的主变电所; ③地下线路, 列车运力高峰车流密度为 30 对/h。

根据以上条件, 一条线路每千米的年用电量可按经验表达式(1)估算:

$$W = \Delta AGLT. \quad (1)$$

式中: T 为时间, 为一年天数(365 d)。

例如采用 B 型车, 车辆编组为 6 节/列, 有空调、最大车流密度为 30 对/h, 一列车定员总重 $G = 285$ t, 一天发车总数 $L = 380$ 列, 则每千米牵引年用电量为 237 万 kWh/km。如果采用 A 型车, 数值则增大 15% ~ 20%。

收稿日期: 2012-11-06; 修订日期: 2012-12-08

基金项目: 河南省教育厅自然科学基金项目(2009A470008)

作者简介: 包毅(1963-), 男, 河南郑州人, 郑州大学实验师, 主要从事电力系统规划与继电保护研究, E-mail: baoyi@zzu.edu.cn.

1.2 牵引负荷预测

牵引负荷预测对轨道交通实时调度非常重要,牵引负荷跟行车列车数、乘客量、天气情况等因素相关,乘客量越多,行车列车数越多,牵引供电负荷也就越大,乘客量的变化趋势和牵引负荷的变化趋势非常相似,二者在峰点和谷点时刻基本重合,因此两者具有较强的相关性.笔者针对因变量(牵引负荷)与自变量(客运量)分别采用线性回归方法及非线性回归方法中的指数曲线回归方法,通过比较误差,最终选出最佳模型.

线性回归模型表达式:

$$Y_t = a_1 + b_1 X_t + \varepsilon_t.$$
(2)

指数曲线回归模型表达式:

$$Y_t = a_2 e^{b_2 X_t} \varepsilon_t.$$
(3)

式中: X_t 为 t 时刻的客流量; Y_t 为 t 时刻的牵引负荷; ε_t 为 t 时刻由其他各种因素引起的负荷随机波动,服从正态分布; a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 为回归参数.

参数 a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 可采用最小二乘拟合方法估算得到.现以表 1 中我国某城市地铁 2 号线 10 个时刻的数据作为样本,采用以上两种方法分别进行负荷预测.

表 1 某城市地铁 2 号线某时刻负荷情况

Tab.1 The moment load of one city Subway line 2

时刻点	客运量 /万人次	牵引负荷 /万 kVA	时刻点	客运量 /万人次	牵引负荷 /万 kVA
1	1.567 1	3.274 3	6	4.238 3	6.645 6
2	3.489 0	5.860 3	7	2.861 5	4.883 0
3	4.657 7	8.537 4	8	3.619 0	6.637 6
4	1.623 5	1.872 0	9	5.113 2	8.646 8
5	3.108 1	5.148 0	10	3.591 9	6.447 8

拟合计算采用 Matlab 软件的相关分析模块进行处理,可分别求出回归系数 $a_1 = -0.271\ 5$, $b_1 = 1.781\ 7$, $a_2 = 1.447\ 2$, $b_2 = 0.424\ 1$.

表 2 列出了线性回归方法和指数曲线回归方法预测的结果及误差.

表 2 不同预测方法的预测结果和相对误差

Tab.2 The results and relative errors under different prediction methods

时刻点	线性回归预测		指数曲线回归预测	
	预测结果	相对	预测结果	相对
	/万 kVA	误差/%	/万 kVA	误差/%
6	7.279 8	0.095 4	8.732 9	0.314 0
7	4.826 8	-0.011 5	4.870 5	-0.002 5
8	6.176 5	-0.069 4	6.715 7	0.011 7
9	8.838 7	0.022 1	12.656 1	0.463 6
10	6.128 2	-0.049 5	6.638 9	0.029 6

由表 2 的结果对比可知,线性回归预测的最大相对误差为 0.095%,小于指数曲线回归预测的 0.464%.因此,采用线性回归分析方法更为合适,其数学模型表达式为

$$Y_t = -0.271\ 5 + 1.781\ 7 X_t.$$
(4)

2 郑州地铁供电负荷用电量计算

2.1 郑州地铁牵引负荷年用电量估算

以郑州地铁 1 号线为例,其牵引供电制式推荐全线采用 DC1500V 架空接触网供电、走行轨回流方式,外部电源采用集中供电方式.根据客运量估算,1 号线远期高峰小时单向最大客流为 3.80 万人,为大运量的轨道交通工程,根据建设部《城市快速轨道交通工程项目建设标准》的有关规定,郑州轨道交通宜选用 B 型车,且近、中、远期采用每列 6 辆的固定编组,每列列车的载客量为 1 440 人,约 60 kg/人,考虑到列车的自重,每列列车的载重大概为 285 t.

郑州地铁 1 号线由郑州高新区至郑东新区,线路全长 34.84 km,全线设站 28 座.其中一期工程由凯旋路站至穆庄,全长 26.34 km,车站 22 座.二期由新郑州大学站至凯旋路站,线路长度 8.5 km,车站 6 座.2 号线车型及供电模式同 1 号线,全长 26.83 km,沿途设站 21 座.一期工程长 18.52 km,设站 15 座,其中高架站 1 座,地下站 14 座;二期线长 8.31 km.1,2 号线运量及运行情况如表 3 所示.

表 3 郑州地铁 1 号线和 2 号线近、中、远期情况

Tab.3 The near-team, mid-term and long-term situation of Zhengzhou Subway line 1 & 2

线号	项目	近期	中期	远期
1 号	日客流量/万人次	30.2	80	107.3
	通车长度/km	26.34	34.84	34.84
	平均运营速度/(km·h ⁻¹)	30	30	30
2 号	日客流量/万人次	31.64	60.10	80.31
	通车长度/km	18.52	26.83	26.83
	平均运营速度/(km·h ⁻¹)	30	30	30

因此,将列车年平均单位能耗, $\Delta A = 0.06\text{ kWh}/(\text{t} \cdot \text{km})$;一列车定员总重, $G = 285\text{ t}$;一天发车总数 L ,分别代入式(1),可估算出郑州 1 号线近、中、远期年用电量,同理,可估算出 2 号线的用电情况,如表 4 所示.

表 4 郑州地铁 1 号线和 2 号线用电量
Tab.4 The power consumption of Zhengzhou Subway line 1 & 2

线号	项目	近期	中期	远期
1 号	高峰小时运行车/(列·辆 ⁻¹)	16/96	41/246	56/236
	一天内发车总数 L/列	500	670	770
	年用电量/(万 kWh·km ⁻¹)	320	420	480
	1 号线年用电量/(万 kWh)	8 370	14 470	16 600
2 号	高峰小时运行车/(列·辆 ⁻¹)	13/78	33/198	41/246
	一天内发车总数 L/列	670	730	765
	年用电量/(万 kWh·km ⁻¹)	420	455	477
	2 号线年用电量/(万 kWh)	7 800	12 200	12 800

郑州地铁 1,2 号线各规划年的用电量很大,据估算郑州市 2015 年的全社会用电量约 400 亿 kWh,可知 1 号线近期的用电量占整个郑州市用电量约 0.21%,2 号线近期的用电量占整个郑州市用电量约 0.19%。

2.2 郑州地铁牵引负荷日负荷曲线

通过调研分析,拟定郑州地铁日工作时间为 6:00~23:00,以 30 min 为间隔,按照出行时间和出行人次的比例,取 1,2 号线路各规划年预测出的 35 个时刻点日客运量数据如表 5 所示。

由表 5 乘客量分布,根据模型表达式(4),预测出 1,2 号线的牵引负荷如图 1,2 所示。

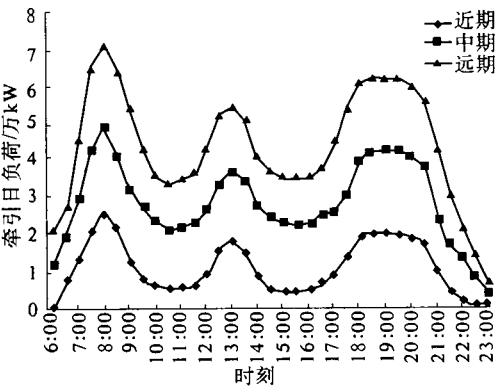


图 1 郑州地铁 1 号线日负荷曲线

Fig.1 The daily load curve of Zhengzhou subway line 1

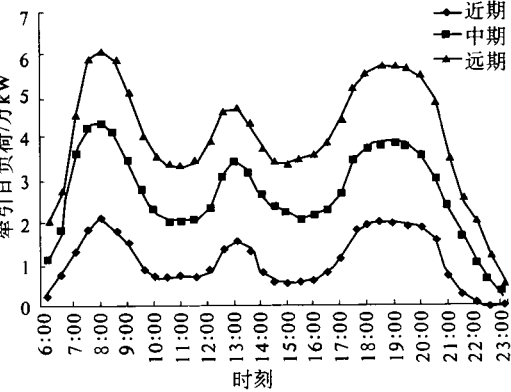


图 2 郑州地铁 2 号线日负荷曲线

Fig.2 The daily load curve of Zhengzhou subway line 2

表 5 郑州地铁 1,2 号线预测客运量
Tab.5 The prediction passengers of Zhengzhou subway line 1, 2

时刻	郑州地铁 1 号线			郑州地铁 2 号线		
	客流量/万人次			客流量/万人次		
	近期	中期	远期	近期	中期	远期
6:00	0.16	0.70	1.33	0.33	0.83	1.33
6:30	0.54	1.22	1.66	0.57	1.18	1.72
7:00	0.89	1.83	2.69	0.87	2.21	2.69
7:30	1.29	2.55	3.64	1.23	2.55	3.43
8:00	1.52	2.91	3.88	1.37	2.62	3.55
8:30	1.32	2.45	3.57	1.21	2.51	3.43
9:00	0.87	1.93	3.17	0.97	2.13	3.02
9:30	0.57	1.67	2.54	0.67	1.71	2.46
10:00	0.48	1.46	2.15	0.57	1.46	2.18
10:30	0.42	1.34	2.04	0.54	1.31	2.09
11:00	0.46	1.37	2.10	0.55	1.32	2.05
11:30	0.49	1.43	2.18	0.56	1.34	2.12
12:00	0.68	1.66	2.56	0.66	1.47	2.38
12:30	1.02	2.03	3.08	0.95	1.89	2.77
13:00	1.14	2.18	3.18	1.06	2.07	2.82
13:30	0.95	2.05	3.01	0.92	1.93	2.62
14:00	0.62	1.66	2.44	0.61	1.67	2.28
14:30	0.42	1.51	2.22	0.51	1.52	2.09
15:00	0.38	1.42	2.11	0.46	1.45	2.06
15:30	0.37	1.40	2.10	0.48	1.35	2.12
16:00	0.43	1.39	2.09	0.52	1.39	2.19
16:30	0.52	1.49	2.28	0.61	1.49	2.34
17:00	0.66	1.59	2.64	0.78	1.67	2.64
17:30	0.89	1.85	3.14	1.15	2.11	3.08
18:00	1.18	2.34	3.57	1.25	2.27	3.25
18:30	1.25	2.48	3.63	1.26	2.33	3.35
19:00	1.26	2.52	3.62	1.27	2.34	3.34
19:30	1.24	2.50	3.63	1.25	2.28	3.33
20:00	1.18	2.42	3.51	1.23	2.19	3.22
20:30	1.09	2.28	3.27	1.06	1.87	2.88
21:00	0.63	1.46	2.52	0.55	1.52	2.15
21:30	0.38	1.12	1.82	0.34	1.13	1.63
22:00	0.23	0.91	1.33	0.23	0.75	1.32
22:30	0.19	0.64	0.9	0.17	0.54	0.76
23:00	0.11	0.22	0.41	0.19	0.31	0.49

从图 1,2 可得出高峰牵引负荷如表 6 所示。

表 6 郑州地铁 1,2 号线高峰时用电负荷
Tab.6 The peak load of Zhengzhou subway line 1 and 2

项目	初期	中期	远期
1 号线高峰牵引负荷/万 kW	2.739	3.884	7.114 5
2 号线高峰牵引负荷/万 kW	2.112	4.293	6.012

为了更直观地对比城网负荷高峰期的影响程度,以郑州市 2011 年及 2015 年配电网日最大负荷为参照对象,其日负荷曲线如图 3 所示。

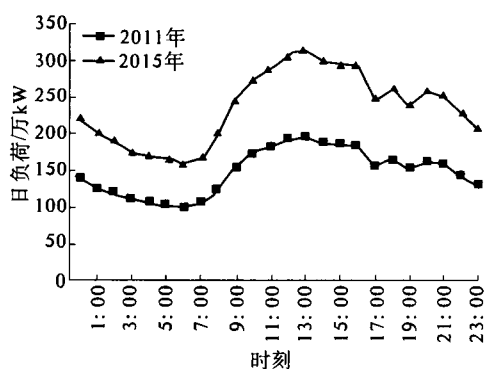


图3 郑州城市配电网典型日负荷曲线

Fig.3 The daily load curve of Zhengzhou city distribution network in summer and winter

从图1和2可知牵引负荷的特点有:

(1)从轨道交通负荷曲线来看,各年的负荷特性差异不大,其峰值分别为早高峰的8:00左右,晚高峰为19:00左右.高峰期出现的主要原因是上下班期间客流量的相对集中,早高峰突出;

(2)从近、中、远期曲线来看,中期和远期曲线比较接近,原因是1,2号线近期线路较短,加上轨道交通没有形成规模,换乘不便,近期客流量相对较少,因此负荷较小;

(3)从近、中、远期幅值来看,负荷处于逐年递增趋势,原因是随着人口的增长、线路的延长、站点的增加以及换乘的便捷,地铁将逐步成为人们出行的交通工具,从而地铁负荷也会随着增长;

(4)郑州夏季城网负荷峰值出现在13:00左右,晚高峰负荷已不突出,而轨道交通峰值负荷分别出现在8:00附近和19:00前后,早高峰短而突出,晚高峰低于早高峰,但持续时间长。

3 对公用电网影响分析

3.1 用电量分析

由以上分析可知,郑州近期轨道交通电量1号线占比可能达到0.4%,远期随着运力达到设计能力,以及列车密度增加,其占比有所增长.总体来看,1,2号线用电量在郑州城区电力系统中占的比重较小,远期也不超过总电量的0.6%。

根据国内建成线路的运营经验,中期(2020年)按100 km计算,运力达到设计运量的70%,则郑州地铁年用电量将达2.1亿kWh;2030年按200 km计算,运力达到80%设计能力,整体年用电量将达到4.8亿kWh,最大可能达到6亿kWh,占城区配电网电量比重达1.5%。

3.2 电力负荷分析

从轨道交通1,2号线的电力负荷曲线来看,

轨道交通的最大负荷一般出现在早高峰8:00左右和晚高峰19:00附近.由郑州城区典型负荷曲线来看(图3),最大负荷容易出现在13:00左右,晚负荷高峰已不明显。

显然郑州城网夏季负荷峰值出现在13:00左右,当与轨道交通峰值负荷叠加时,会影响城网最大负荷峰值.根据郑州市对应中远期负荷预测结论,中期(2020年)轨道交通对负荷峰值贡献约达2.0%,个别时段可能出现与公用电网的峰值短时相遇,出现时间短,出现概率较小,总体影响不大。

4 结论

采用经验公式法对郑州地铁1,2号线的牵引电量进行了估算,采用回归分析法进行负荷预测,分析了1,2号线的负荷需求对城区电网的影响。

(1)随着轨道交通运能的增长,牵引年用电量也处于逐步增长状态.在地铁运营的初期,运载率较低,对电网影响很小;

(2)在中、远期,运载率有所提高,用电量比重也有所增大,最大达到1.5%左右;

(3)轨道峰值负荷在早高峰8:00左右,而城网峰值负荷在13:00左右,轨道交通电力负荷会导致城网负荷峰值增加,从而对城市电网造成一定的冲击,并限制公用电网的供电能力,但贡献率比较小,最高负荷贡献率约2.0%。因此,整体来看轨道交通电力负荷对电网的影响不大。

参考文献:

- [1] 李鲲鹏.城市轨道交通供电系统的设计方法[J].都市快轨交通,2008,21(5):70-73.
- [2] 沈文杰.地铁配电变压器负荷的计算[J].电气技术,2010,15(2):76-78.
- [3] 石国红,彭其渊,郭寒英.城市轨道交通牵引计算算法[J].交通运输工程学报,2004,4(3):30-33.
- [4] 李立明,罗晓峰,沈祥林.地铁电动车组交流牵引计算与仿真分析[J].机车电传动,2003,41(3):33-35.
- [5] 张燕燕.城市轨道交通系统牵引及车站能耗[D].北京:北京交通大学土木建筑工程学院,2008:1-3.
- [6] 李会超.城市轨道交通列车运行与供电联合仿真研究[D].重庆:西南交通大学电气工程学院,2005:12-14.
- [7] 黄德胜.地铁供电估算[J].都市快轨交通,2007,20(6):83-86.

(下转第25页)

Simulation Design of Precise Target Control System in Body Gamma Knife Radiotherapy

ZHANG Jian-hua¹, YU Hui¹, HEI Ling-qiao², WANG Ming-xia¹, WEI Ying-jun³

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Equipment department, Zhengzhou People's Hospital, Zhengzhou 450003, China; 3. Department of Electronic Science and Engineering, Huanghuai University, Zhumadian, 463000, China)

Abstract: This paper introduces a novel control design of gamma knife positioning bed. Respiratory movements would inevitably cause tumor displacement. In this design, tumor displacement model produced by human respiration was established through BFGS algorithm. Firstly, piezo sensor was used to collect respiratory signal. Secondly, in order to make the positioning bed move by reverse respiration, after receiving the respiratory signal, single chip microcomputer (SCM) system would control stepping motor. The simulation experiment results showed that this design can reduce the influence of respiratory movements on the precision of radiotherapy, which produces a novel method and theoretical basis for the control of gamma knife positioning bed.

Key words: BFGS; optimization modeling; sensor; stepping motor; SCM

(上接第 21 页)

Study on Zhengzhou Metro Traction Power System Load Forecast and Impact

BAO Yi¹, HU Jing², GUO Han³, CHEN Gen-yong¹

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan Electric Power Company Technical Skills Training Center, Zhengzhou 450051, China; 3. Yuzhou Power Supply Company, Yuzhou 461670, China)

Abstract: In view of the impact of metro traction power load on the urban network, according to the pre-design data and the short, mid and long-term metro transit scale of Zhengzhou metro transit line 1 and 2, this paper used the average volume method to obtain the transit supply power by specifically quantum calculation, and the load forecast can be got with linear regression method. Finally, the evaluation of the impacts of Zhengzhou metro traction power supply system to urban distribution network can be achieved. The analysis showed that the contribution rate of rail transport electricity to the distribution network is about 2%, and the rail transit peak load with urban network peak load does not overlap, so the impact of Zhengzhou rail transit system electricity grid is very small. Its conclusions can provide a reference for the network planning in Zhengzhou.

Key words: metro traction power system; power estimation; linear regression; load forecasting