

# Analysis of the Electric Power Consumption of Beijing's Urban Rail Transit

Mei Lu<sup>1</sup>, Tao He<sup>1</sup>, Zhuqing Chen<sup>1</sup>, Xiaohui Pei<sup>1</sup>

Beijing Jiaotong University, Beijing, China

mary\_lu\_2005@yahoo.com

**Abstract:** This paper analyses the electric power consumption of Beijing's urban rail transit. The analysis provides detailed information about the actual electric power consumption of each subway line. The listing includes the electric power used for driving the trains and all secondary consumption of electric power operating the train stations. Additionally, the factors influencing the electric power consumption are stated. The paper provides a scientific proof and the theoretical background for the design of energy saving urban rail transit and for guidelines on energy saving.

**Keywords:** urban rail transit; energy saving; electric power consumption; subway

## 北京城市轨道交通用电分析

卢梅<sup>1</sup>, 何涛<sup>1</sup>, 陈祝清<sup>1</sup>, 裴晓辉<sup>1</sup>

北京交通大学, 北京, 中国, 100044

mary\_lu\_2005@yahoo.com

**摘要:** 本文对北京市城市轨道交通用电情况做了分析。通过分析可以得出北京市城市轨道交通各条线路的动力和牵引用电环节的能耗现状, 以及用电的影响因素。研究工作可为节能型城市轨道交通的设计和降耗规范的确立提供科学的依据和理论指导。

**关键词:** 轨道交通; 节能; 耗电; 地铁

### 1 引言

北京地铁是服务于中国北京市及其周边地区的城市轨道交通系统, 在北京的公共交通网中, 发挥着越来越重要的作用。

截至2009年8月, 北京地铁已开通的线路共八条, 包括1号线, 2号线, 5号线, 8号线(奥运支线), 10号线一期, 13号线, 机场线, 八通线。运营线路总里程220多公里, 共有123座运营车站。其中, 1号线全长31.04公里, 共有23座运营车站; 2号线全长23.61公里, 共有18座运营车站; 13号线全长40.85公里, 共有16座运营车站; 八通线全长18.9公里, 共有13座运营车站; 5号线全长27.6公里, 共有23座运营车站。8号线(奥运支线)全长4.508公里, 共有4座运营站, 10号线全长23.845公里, 共有22座运营站, 机场线全长28.1公里, 共有4座运营站。

资助信息: 本研究由北京市科技计划课题资助, 课题编号: Z09040900560909。

### 2 北京地铁用电总体情况

地铁的总用电量主要包括地铁运行的牵引用电和车站的动力用电两部分, 另外还有一些电路上的电能损耗等其它用电, 地铁各个线路日均用电情况如表1和表2所示:

**Table 1. Daily average electricity consumption (kWh) of subway lines in April 2008**

**表1. 2008年4月份地铁线路日均用电情况表(kWh)**

线路名称	日均总用电量	日均牵引用电		动力日均用电	
	用电量	用电量	占日均总用电量的%	用电量	占日均总用电量的%
1号线	342887	210843	61.49%	105031	30.63%
2号线	188185	150130	79.78%	60985	32.41%
13号线	127339	90297	70.91%	33433	26.26%
八通线	64504	36909	57.22%	23743	36.81%
5号线	261560	139747	53.43%	114660	43.84%
合计	984475	627927	63.78%	337852	34.32%

**Table 2. Daily average electricity consumption (kWh) of subway lines in July 2008**

**表 2. 2008 年 7 月份地铁线路日均用电情况表 (kWh)**

线路名称	日均总用电量	日均牵引用电		动力日均用电	
		用电量	占日均总用电量的%	用电量	占日均总用电量的%
1 号线	482249	229062	47.50%	219764	45.57%
2 号线	293854	169476	57.67%	134623	45.81%
13 号线	177563	120367	67.79%	50603	28.50%
八通线	115114	72866	63.30%	40096	34.83%
5 号线	424200	194343	45.81%	232657	54.85%
合计 1	1492980	786115	52.65%	677743	45.40%
10 号线	398997	123575	30.97%	290335	72.77%
奥运支线	78228	24885	31.81%	48174	61.58%
机场线	30183				
总计	2000388	934575		1016252	

从中我们可以看到, 1 号线、2 号线(由于 1 号线和 2 号线有相互供电的情况, 因此将两条线的电量合计后进行比较)、13 号线、八通线的 4 月份的日均牵引用电分别占到各自日均总用电量的比例较大, 至少比动力用电部分所占的比例要高出 20% 以上, 而 5 号线牵引用电仅比动力用电所占比例多 10%, 这是因为 5 号线为新建的线路, 站台站厅较大而且新添了许多服务设备及服务质量较高等原因, 据此估计 10 号线、奥运支线等的比例应与 5 号线相似。在 7 月份的用电中, 1 号线、2 号线和 5 号线动力电所占的比例都有明显的提高, 5 号线更是动力电所占比例超过了牵引用电。而 13 号线和八通线却没有多大的变化, 究其原因, 是因为 13 号线和八通线没有或者几乎没有地下线路部分, 因此也就几乎没有地下站, 其在 7 月份的空调用电量并不像其他线路那样增长巨大, 而随着客运量的增加, 其牵引用电量也相应的有所增长。因此, 整个线路的动力用电量所占的比例不会有非常明显的变化。

### 3 北京地铁动力用电分析

#### 3.1 空调在运行中所占的比例分析

比较历年来的车站用电数据, 显示 4 月份是一年中动力用电最少的月份, 因为 4 月份一般不开空调制

冷、也不用电取暖。而每年 8 月份都是地铁车站用电最多的高峰月。

如果忽略七八月份为旅游旺季带来的地铁客流量较大而造成车站动力用电量的增加等, 可以近似认为 8 月份比 4 月份日均动力用电量的增量部分为车站的空调用电, 则可以得到 2008 年 7 月 21 日~8 月 3 日期间空调日均用电所占日均动力用电量的比例, 如表 3 所示: 1 号线车站日均空调用电量占日均动力用电量的 52.12%, 2 号线车站日均空调用电量占日均动力用电量的 54.70%, 13 号线车站日均空调用电量占日均动力用电量的 33.93%, 八通线车站日均空调用电量占日均动力用电量的 40.78%, 5 号线车站日均空调用电量占日均动力用电量的 50.72%。这也从一个侧面说明地下站的空调用电量要比地面站和高架站的要大得多。

**Table 3. Daily average electricity consumption of air conditioning in subway stations of subway lines (kWh)**

**表 3. 地铁车站空调日均用电与日均动力用电量的比例关系 (kWh)**

线路名称	日均动力用电量	日均空调用电量	空调用电量占动力用电的%
1 号线	219764.43	114733.3	52.21%
2 号线	134623	73638.27	54.70%
13 号线	50602.5	17169.5	33.93%
八通线	40095.71	16352.38	40.78%
5 号线	232657.14	117997.14	50.72%
合计	677742.78	339890.59	50.15%

#### 3.2 地铁 5 号线中不同类型车站的比较分析

从各类型站点的 7 月份比 4 月份的增长系数来看, 如表 4 所示:

**Table 4. Comparison of daily average electricity consumption of different sort of train stations (kWh)**

**表 4. 不同类型站点日均动力电比较表 (kWh)**

分类方式		4 月	7 月	7 月比 4 月增长系数%
		日均动力用电量	日均动力用电量	
1	所有站点平均日用电量	4889.12	9564.60	195.63%
2	换乘车站	5860.83	10401.79	177.48%
	非换乘车站	4684.54	9388.35	200.41%
3	侧式车站	2731.85	4542.06	166.26%
	岛式车站	6275.93	12793.37	203.85%
4	地面站	2127.62	2796.94	131.46%
	地下站	6097.27	12525.45	205.43%

注：1) 1、2、3、4 分别表示不同的分类方法，1 表示不分类，2 表示按照车站是否换乘分类，3 表示按照车站的站台类型分类，4 表示按照车站的地理结构分类。

2) 表中的日均动力用电量指此类型的取平均之后一个站点的日均动力用电量。

3) 统计的车站中不包含停车场和车辆段。

换乘车站的增长系数要比非换乘车站小，造成这种现象的原因可能是统计的用电量仅仅只是换乘车站中有本线路提供的电力消耗的电量，而不包括其它换乘线路所提供的电力部分。而岛式车站的增长系数要比侧式车站要大许多，这个原因一方面是岛式车站的设计使得车站的用电量要大于侧式车站，另一方面是由于侧式车站大多是高架站，其空调通风系统简单、负荷小，因此其在 7 月份这样的空调月用电量增长要相对于地下站要小的多。这个特点也很明显的体现于按照地下站和地面站的分类中两者的增长系数的对比之中，地下站的增加系数达到了 200% 以上，而地面站却只有 130% 左右。

根据表 4 的数据，将不同类型的车站日均动力用电量除以所有站点日均动力用电量的平均值，可以得到各种类型的车站相对平均动力用电量关系图，分别如图 1~3 所示。5 号线换乘车站比非换乘车站动力用电多 10% 左右，地下站与高架站的用电差距特别明显，地下站的日均动力用电是高架站的 3~4 倍。5 号线的高架站全都是侧式车站，地下站除了惠新西街北口和宋家庄站是侧式车站，其余都是岛式车站，而这两站用电量是所有地下站里用电最少的，说明侧式车站要比岛式日均动力用电量要少，比较省电。

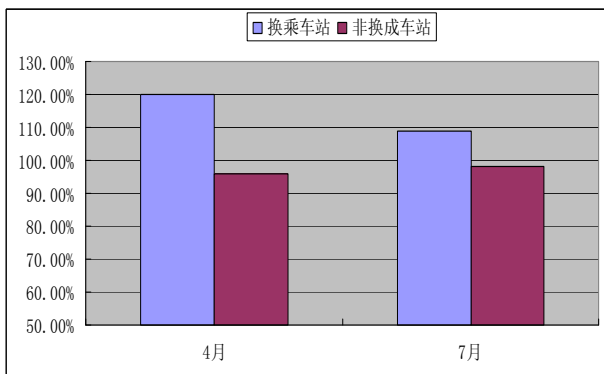


Figure 1. Comparison between transit and normal subway stations in percent about their daily average electricity consumption  
图 1. 换乘车站与非换乘车站相对平均动力用电关系图

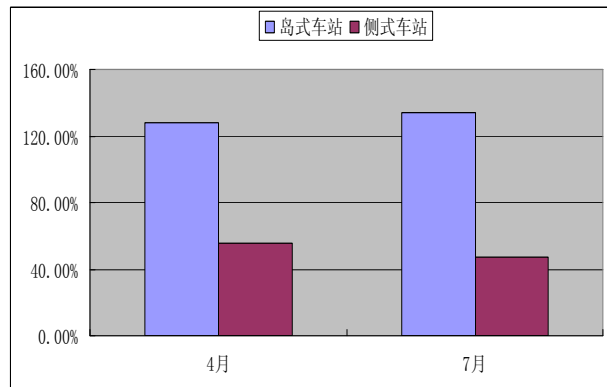


Figure 2. Comparison between subway stations with side platform and island platform about their daily average electricity consumption.

图 2. 岛式车站与侧式车站相对平均动力用电关系图

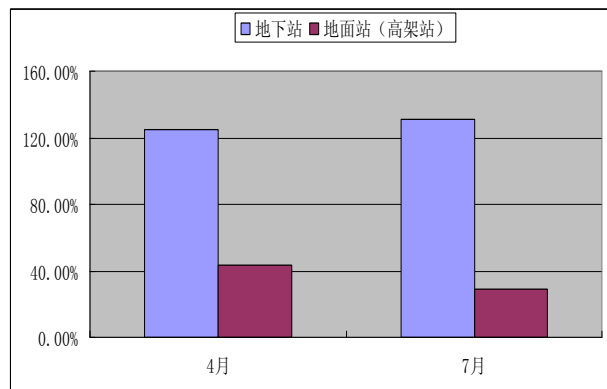


Figure 3. Comparison between underground and above the ground subway stations about their daily average electricity consumption.

图 3. 地下站与地面站(高架站)相对平均动力用电关系图

## 4 北京地铁牵引用电分析

### 4.1 列车每节每公里的牵引用电量分析

列车每节车每公里用电量=每日牵引用电量÷每日运营列车走行公里(运营列车列数×运营里程)÷列车编组数，列车每节车每公里用电量可以纵向比较各个线路的牵引用电情况，如表 5 所示：

Table 5. Comparison of electricity consumption for powering trains per wagon and per kilometer of subway lines (kWh/km, wagon)

表 5. 列车每节车走行 1 公里用电指标 (kWh/km、节)

线路名称	用电指标				
	平日	周末	周五	节日	日平均
1 号线	2.0073	2.0083	2.0523	2.1241	2.0213
2 号线	2.4177	2.4771	2.5341	2.5454	2.4575

13 号线	1.3516	1.3552	1.3783	1.4375	1.3619
八通线	1.5054	1.6664	1.5198	1.6171	1.5577
5 号线	2.2194	2.1731	2.2396	2.2637	2.2127

从上表中，我们可以看出，北京地铁各个线路每节车每公里用电量相差明显，与客流量存在关系，如客流量较大的1号线、2号线、5号线，车公里用电量较大。同时，车公里用电与线路形式、车站站距、列车性能也有较大相关关系。13号线和八通线列车用电指标低，除了这两条线均采用VVVF变频变压控制车有直接关系外，还与这两条线均为地面高架线、与13号线的平均站距2.72km，八通线平均站距1.575km有关。1号线、2号线的用电指标，除与2号线全部采用电阻控制车、1号线部分采用电阻控制车外，还与2号线曲线多，平均站距（1.279km）有关，5号线全部采用VVVF变频变压控制车，但因有10.8km高架线路、且高架线的平均站距与八通线一致，其高架线列车用电指标也应与八通线VVVF车相近，约1.6kwh/km.节，由此推算5号线地下线列车用电指标为2.61kwh/km.节。虽然5号线地下段平均站距1.1km，比2号线稍短，但其列车用电比2号线电阻车还高，其原因可能与5号线设置屏蔽门和闭式通风有关。

#### 4.2 牵引用电在有空调和没有空调情况下的用电量比较

地铁车厢内的空调用电在牵引用电中占有一定的比例<sup>[1]</sup>。各个线路在有无空调情况下日均牵引用电的情况如图4所示：

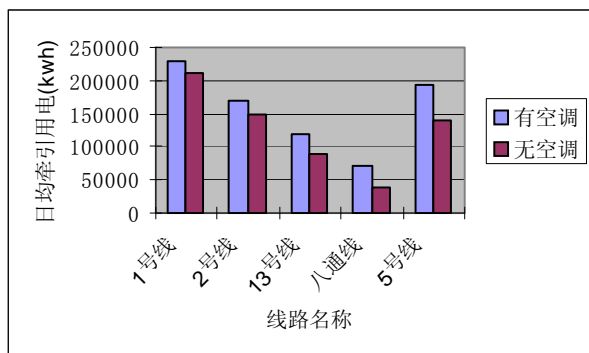


Figure 4. Comparing different subway lines with and without air conditioning about their daily average electricity consumption for powering trains (kWh)

图4. 各个线路在有无空调情况下牵引用电量 (kWh)

从上图我们可以看出，各个线路在有空调和无空调的情况下，牵引用电量变化各不相同，1号线、2号线变化较小，而13号线、八通线、5号线变化较大，尤其是八通线，在有空调的情况下，牵引用电量增加了将近1倍，因此，降低空调用电量对于降低整个线路能耗是十分必要的。

#### 4.3 地下站和地上站的牵引用电比较

以5号线为例，北京地铁5号线是北京市城市轨道交通线网规划中一条重要的南北干线，线路南起丰台区的宋家庄站，沿线分别经过北京市的丰台区、崇文区、东城区、朝阳区和昌平区。5号线共设23座车站，其中宋家庄——惠新西街北口，为地下站，共16站，大屯路东站——天通苑北为高架站，共7站。在5号线空调季地下站和高架站牵引用电情况如表6所示：

Table 6. Comparing the daily average electricity consumption for powering trains of line 5 about underground and above the ground subway stations (kWh)

表6. 5号线地下站和地上站牵引用电比较表 (kWh)

	日总牵引用电	地下站牵引用电	高架站牵引用电
平均每站牵引用电	8449.7	8056.2	9348.9

从上表我们可以看出，5号线高架站平均每站牵引用电比地下站高出11.6%，主要是因为高架站的平均站间距为1.5428km，而地下站的平均站间距为1.054km，高架站站间距比地下站多出的46.38%，如果按车公里数计算的话，高架站车公里数要比地下站小，主要因为高架站站间距较大，相比地下站频繁制动停车消耗的电能要少。

#### 4.4 牵引用电量在平日、周末和节假日的比较

地铁的牵引用电在平日、周末、节假日由于客流量的不同，存在很大差异，因此有必要对这些数据进行比较分析，各个线路在不同时间段内牵引用电量如图5所示：

从图5我们可以看出，1号线、2号线和13号线在周末（周六、周日）内，与平日相比，牵引用电变化量较大，而八通线和五号线牵引用电变化量较小，在周五和节日内，各个线路牵引用电变化趋势基本一

致。

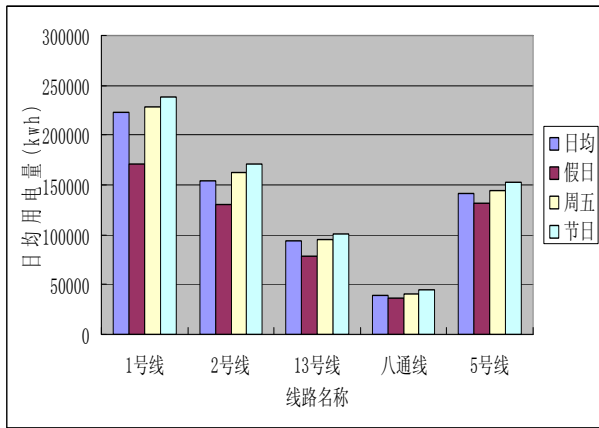


Figure 5. Comparing different subway lines about their daily average electricity consumption for powering trains on different days of the week (kWh)

图 5. 各个线路在不同时间段内牵引用电量 (kWh)

#### 4.5 牵引用电在高峰小时的用电量分析

各个线路高峰小时的牵引用电情况如图 6 所示:

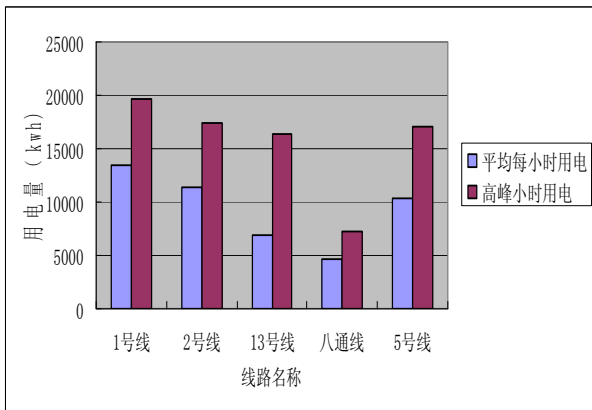


Figure 6. Comparing different subway lines about their hourly average electricity consumption for powering trains at the rush hours (kWh)

图 6. 各个线路高峰小时的牵引用电量 (kWh)

从图 6 中我们可以看出, 与日均每小时牵引用电量相比, 高峰小时用电量增长较大, 1 号线、2 号线、5 号线和八通线都增长了 0.5 倍左右, 13 号线增长最大, 为 236.28%。

#### 致 谢

感谢北京市轨道交通建设管理有限公司为我们提供的大力支持与帮助; 感谢项目组内所有成员的辛勤工作。

#### References (参考文献)

- [1] Beijing rail transit construction management co., Ltd. 《Report on assessing the security of continuously providing the Beijing subway with electric power》2008  
北京市轨道交通建设管理有限公司《北京地铁供电电源可靠性风险评估报告》2008