

# 外点罚函数法在建筑电能耗拆分中的应用

张 泽, 刘 军

(西安理工大学 自动化学院, 西安 710048)

**摘要:** 现有的公共建筑配电系统中往往是通过直接计量的方式统计某户或某层的总电耗, 不能达到对具体住户或楼层各分项电耗的计量工作, 而通过电耗拆算法能够间接计量出各分项电耗值, 从而能实时、准确地采集各类电耗数据信息, 为相关管理部门在制定建筑节能发展规划和宏观调控政策时提供科学依据。

**关键词:** 公共建筑; 能耗拆分; 分项能耗

**中图分类号:** TP274.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-4764(2012)S1-0146-03

## The Exterior Point Penalty Function Method In Building Electric Energy Consumption Split Algorithm

ZHANG Ze, LIU Jun

(School of Automation, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Current electrical distribution system for public buildings generally can collect the total energy consumption for a certain unit or a floor only. However, the amount of energy consumption in different kinds can be calculated by splitting, which may realize dynamic, accurate and prompt collections of industrial regulatory information; the sharing of data resources and should be able to provide scientific foundation while the competent department of construction administration are making development plans of construction energy conservation and policies of macroscopic readjustment and control.

**Key words:** public building; split energy consumption; subentry of energy consumption

建筑能耗与工业能耗、交通能耗并列成为中国三大“能耗大户”, 建筑节能已成为我国开展节能工作的重点。国家有关部委根据中国现有建筑能耗情况提出了《关于加强国家机关办公建筑和大型公共建筑节能管理工作的实施意见》, 其中特别指出中国建筑用电能耗计量方式主要以直接计量为主, 然而建筑配电系统的情况较复杂, 有些情况下难以依靠有限的电表通过直接计量的方式获取相关电分项能耗的数据。随着节能精细化管理工作的深入展开, 间接计量方式的重要性慢慢凸显出来, 通过电能耗拆算法, 能够获取建筑内相应房屋或楼层的分项电能耗数据, 从而使节能工作有的放矢, 实现实时、准确采集各类电耗数据信息, 为相关管理部门在制定建筑节能发展规划和宏观调控政策时提供科学依据<sup>[1]</sup>。

### 1 计量方法选择

现定义末端集为一个设备或属于同一个支路的一组同类设备的统称。在能耗拆分时把末端集作为基本对象<sup>[2]</sup>。

如果配电支路只有一个末端集, 可通过直接计量方法获取末端集能耗。如图 1 所示, 可通过表 B 以及表 C 直接测得末端集 1、2 的电耗值。利用减法原则从表 A 统计得到的电

耗值减去表 B、表 C 统计得到支路末端集电耗从而得到末端集 3 的电耗值。然而实际配电系统的情况较为复杂, 通常按照支路所带负载特点可分为 3 类: 1) 动力支路 (例如空调风机+电梯等)。2) 照明支路 (例如室内照明+插座设备等)。3) 混合支路 (例如室内照明+插座设备+空调分机等)。上述配电支路大都为混合类型负载, 无法直接进行计量, 因此必须采用间接计量方法。图 2 为配电支路含有多个末端集的配电示意图, 间接计量法首先通过表 E 计量出含有 A、B、C 3 种类型负载的支路电耗, 再通过电能耗拆算法计算出各分项每个末端集的电能耗。

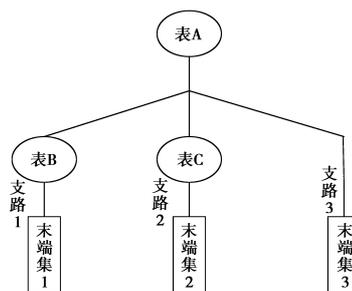


图 1 配电支路只含有一个末端集

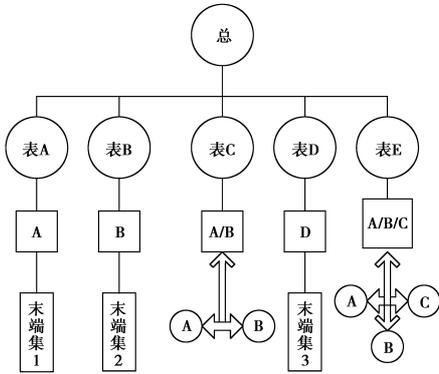


图 2 配电支路含有多个末端集

## 2 外点罚函数能耗拆分算法

### 2.1 电分项电耗拆分方法

1)以直接计量结果为基础得到室内照明、插座等末端设备的能耗特点,并由此给出能耗特征值用于描述此类设备。

2)获取运行阶段实际测量支路的电耗值,通过计算得到拆分对象的逐时能耗,采用最优化拆分算法进行求解。

最优化拆分算法求解思路<sup>[3]</sup>:

1)估算得到各末端集的电耗值  $\tilde{y}_i$ ,以标准差  $s_i$  表示估算值与实际的末端集电能耗值  $y_i$  的误差。

2)通过实测支路电能耗值以及引入修正系数  $\mu$  对估算的各末端集电耗值进行约束,即实测末端集电耗值与估算电能耗值存在关系  $y_i = \mu \tilde{y}_i$ ,支路电能耗等于各末端集电能耗值总和  $Y = \sum \mu \tilde{y}_i$ 。

3)得到电能耗拆分结果。

具体算法为:已知末端集估算能耗为  $\tilde{y}_i$ ,能耗修正系数为  $\mu$ ,末端集估算标准差为  $s_i$ ,参数估算准确度为  $\eta = \left(\frac{s_i}{\tilde{y}_i}\right)^2$ ,

算法越准确估算准确度则越高,  $(\mu - 1)^2$  为  $\tilde{y}_i$  修正前后变化幅度,末端集算法准确度高则修正前后末端集变化越小。

求解:支路电耗  $Y$ ,欲拆分成  $N$  个分项。

$$\begin{cases} \min f(\mu) = \sum_{i=1}^n (\mu_i - 1)^2 \eta \\ \text{s. t. } Y = \sum_{i=1}^n \mu_i \tilde{y}_i \quad \mu \geq 0 \end{cases}$$

### 2.2 外点罚函数法算法原理

外点罚函数是通过一系列罚因子  $\{C_i\}$ ,从可行域外部向约束边界逐步靠拢,求罚函数的极小点来逼近约束问题的最优解。

外点罚函数法算法步骤为(对于线性约束优化问题

$\begin{cases} \min f(x) \\ Ax = n \end{cases}$  算法过程如下):

- 1)给定初始点  $x^{(0)}$ ,罚参数列  $\{c_i\}$  及精度  $\epsilon > 0$ ,置  $k=1$ 。
- 2)构造罚函数  $F(x) = f(x) + c \|Ax - b\|^2$ 。
- 3)用某种无约束非线性规划,以  $x^{k-1}$  为初始点求解  $\min F(x)$ 。
- 4)设最优解为  $x^k$ ,若  $x^k$  满足某种终止条件,则停止迭代输出  $x^k$ ,否则令  $k=k+1$ ,再次进行罚函数构造。

## 3 仿真研究

假设支路电耗包含照明、插座以及其他电耗,选取牛顿法求解无约束规划问题,罚参数的初始常数取 0.05,比例系数取 2,精度为  $1.0 \times 10^{-4}$ 。基于外点罚函数法的电能耗分项拆分仿真结果如下:图 3 为照明能耗拆分结果,图 4 为插座能耗拆分结果,图 5 为总能耗拆分结果,图 6 为其他能耗拆分结果。

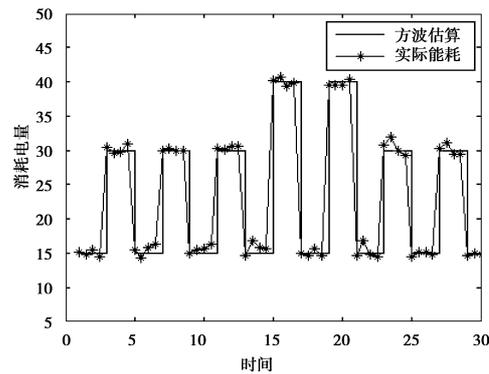


图 3 照明能耗拆分结果

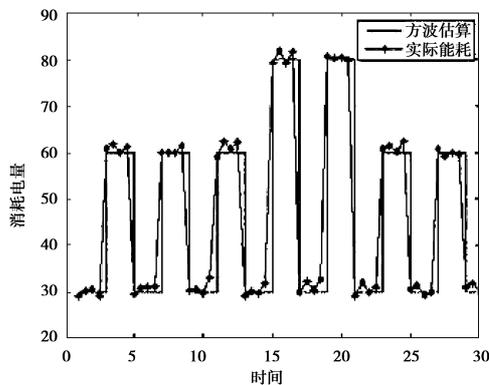


图 4 插座能耗拆分结果

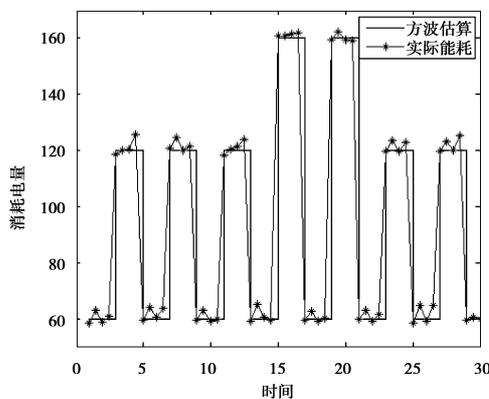


图 5 总能耗拆分结果

这种算法优点在于:

- 1)利用已有知识和存在的数据获得到各末端集能耗的预测值,从而使得拆分具有很强的物理意义。
- 2)方法中尽量保证各末端集能耗之和等于支路能耗。
- 3)最终结果表达式简单,便于快速计算。

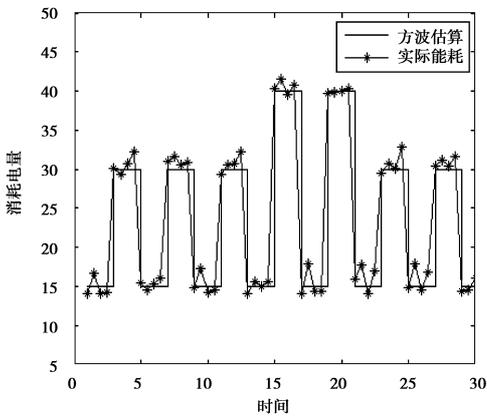


图 6 其他能耗拆分结果

4)本算法较其他算法对拆分数据的约束性更高,得到的拆分数据更为准确。

以此算法为基础,设计了一套辅助设计软件,以描述建筑配电系统及末端集信息。图 7 为该辅助设计软件的界面。

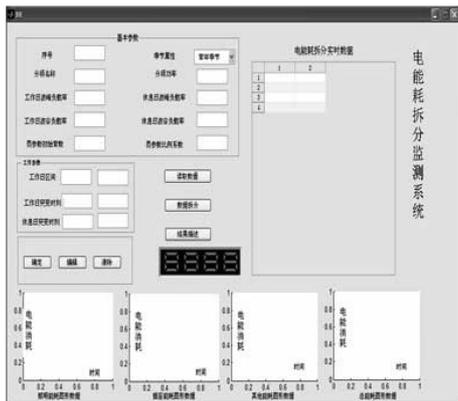


图 7 辅助设计软件界面

1)首先根据需要拆分配电支路中末端集的能耗特点进行基本参数设置,并据此确定外点罚函数法中罚参数、初始常数及罚参数比例系数。

2)根据配电支路的电能耗实际工作情况进行工作参数设置。

3)通过读取数据按钮获得支路的电能耗数据,数据拆分按钮进行分项能耗的数据拆分结果,图形数据界面则可清晰地观测出实时分项电能耗的数据图形。

这样管理人员通过将便于得到的支路总电耗数据和末端集电能耗信息输入该界面,就可以获得支路的分项电能耗数据,并可以通过图形直接观测,为节能精细化管理工作提供有效保障。

### 3 结束语

笔者根据实际建筑配电系统的特点,提出了采用直接计量和间接计量相结合,直接计量优先的观点。同时重点介绍了采用外点罚函数法进行能耗拆分计量方法,采用该算法能够减小拆分结果的不确定度,为间接计量的实现和应用提供了参考。

### 参考文献:

[1] 刘涛,杨柳,刘大龙. 西安市大型办公写字楼类建筑能耗调查与

分析[C]//城市化进程中的建筑与城市物理环境——第十届全国建筑物理学术会议论文集. 北京:中国建筑学会建筑物理分会,2008;365-368.

[2] 王鑫,魏庆芑,沈启,等. 大型公共建筑用电分项计量系统研究与进展(2):统一的能耗分类模型与方法[J]. 暖通空调,2010,40(8):14-17.

WANG Xin, WEI Qingpeng, SHEN Qi, et al. Research and development on electricity sub-metering system for large public buildings(Part 2): Uniform model and methodology of energy consumption classification[J]. HV&AC, 2010, 40(8):14-17.

[3] 牛琪飞,张永坚,张春华. 建筑中能耗拆分方法[J]. 控制工程, 2010;17(增刊):80-82.

NIU Qifei, ZHANG Yongjian, ZHANG Chunhua. Energy split method in building[J]. Control Engineering of China, 2010, 17(Sup):80-82.

[4] 王虹,王良平,邹瑜,等. 大型公共建筑用电分项计量关键技术措施[J]. 建筑科学,2010,26(8):5-12.

WANG Hong, WANG Liangping, ZOU Yu, et al. Key technical measures for electric power classified measurement in large public buildings[J]. Building Science, 2010, 26(8):5-12.

[5] 李一力,顾道金. 既有大型公共建筑供电系统分项计量的实施方法及结果分析[J]. 2007 中国(国际)建筑电气节能技术论坛,2007.

LI Yili, GU Daojin. Public buildings power supply system and the implementation method and partial measurement result analysis[J]. Building electrical energy saving technology BBS, 2007.

[6] 王虹.《国家机关办公建筑及大型公共建筑楼宇分项计量设计安装技术导则》要点解读[J]. 建筑科技,2008(9):22-23.

WANG Hong. Standard design and installation of Power sub-metering[J]. Construction Science and Technology, 2009.

[7] 季柳金,许锦峰,徐楠. 能耗监测系统及分项计量技术的应用与研究[J]. 建筑节能, 2009,37(222):65-67.

Ji Liujin, XU Jinfeng, XU Nan. Application and research on energy consumption monitoring system and sub-metering technology[J]. Building Energy Conservation, 2009, 37(222):65-67.

[8] Bruhns H, Steadman P, Herring H. Harry Bruhns, Philip Steadman, Horace Herring. A database for modeling energy use in the non-domestic building stock of England and Wales[J]. Applied Energy, 2000, 66(4):277-297.

[9] Lindberg R, Binamu A, Teikari M R, et al. Five-year Data of measured weather, energy consumption, and time-dependent temperature variations within different exterior wall structures [J]. Energy and Buildings 2004, 36(6):495-501.

[10] Mueller H, Allard F, Schlenger J. Helmut Mueller, Francis Allard, Joerg Schlenger. Data base for european high quality low energy buildings[C]// Proceedings of Rehva Workshops at Clima 2005, October 10-12, 2005, Lausanne, Switzerland. [s. l.]:[s. n.], 2005:91-96.

[11] Hamada Y, Nakamura M, Ochifuji K, et al. Development of a database of low energy homes around the world and analyses of their trends[J]. Renewable Energy. 2006, 28(2):321-328.

[12] 龚纯,王正林.精通 MATLAB 最优化计算[M].北京:电子工业出版社,2009.

[13] 罗华飞. MATLAB GUI 设计学习手记[M]. 2 版.北京:北京航空航天大学出版社,2011.

[14] 林卫东.从建立健全节能监管体系探讨实施分项计量[J]. 建筑电气,2008,27(7):3-5.

LIN WEIDONG. Discussion on implementation of classified metering from the viewpoint of establishment and improvement of energy conservation supervision system[J]. Building Electricity, 2008, 27(7):3-5.