

基于关口表数据库的输电费用 在线实时计算系统开发

李会杰,姚建刚,谷林峰,姚 鹏,李连结

(湖南大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要: 基于关口表数据库,提出了一种简捷、易于编程实现的输电费用计算方法。输电服务中,输电网输送的总电量、每条输电线路在此次输电中输送的电量、每条输电线路的损耗以及总损耗均可通过关口表读数、计算后得到。所得数据传输到 SQL Server 数据库,再经过简单的数据处理后,进行成本分析、总费用计算和费用分摊。开发的输电费用在线实时计算系统利用关系数据库编程语言 SQL Server 2000 对数据库特别是关口表数据库进行管理,易维护、扩展,数据传输和计算均在服务器端完成,增强了系统安全性和易维护性;采用面向对象的编程语言 Visual Basic 6.0 开发人机互动界面,系统界面友好、简捷易操作。实际运行表明,输电费用在线实时计算系统可以对复杂电力系统的输电费用进行在线实时计算,计算速度快、操作透明度高,对历史数据和实时数据均能进行查询,结果准确。

关键词: 关口表数据库; 输电费用; 系统开发

中图分类号: TM 744;TP 312;F 224 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2007)04-0107-04

0 引言

随着电力市场竞争程度的加强和输电网的开放,输电费用^[1-3]作为实时电价的一部分,要求做到实时^[3]在线分析、计算,至少每 15 min 进行一次数据采集并计算出结果。传统的输电费用计算系统每分钟采集一次潮流数据进行计算,但潮流是一个瞬时性的概念^[4],只反映某时刻各节点的功率分布情况,而在这一分钟内潮流是随时变化的,因此只用某时刻的潮流值累计一段时间的电量,与实际电量存在差异,而且这样的计算过程繁琐,对于庞大的电网,数据量大,计算频率低于刷新频率,使计算结果出错。

随着电能量采集、计量系统的发展,在变电站中和输电线路两端,各个关口电能表^[2]已逐步地改为多功能电子表,提供多种数据接口和电气数据量。输电网每次输送的总电量、每条输电线路在此次输电中输送的电量、每条输电线路的损耗以及总损耗均可通过关口表读数、计算后得到。这为每次输电服务总输电费用的计算提供了数据。因此,不用再通过潮流累计每次输送的电量 and 每条输电线路上的电量以及损耗进行总费用的计算。

基于关口表数据库,采用广泛使用的关系数据库查询语言 SQL Server 2000^[5]和面向对象的编程语言 Visual Basic 6.0 设计并成功开发了输电费用计算系统,可以对复杂系统的输电费用进行在线实时计算,运行速度快、操作透明度高,对历史数据和实时数据均能进行查看,结果准确。

1 系统设计思想

随着电网基础设施的建设和管理水平的提高, GPS 技术、SCADA 技术^[6]在电力系统特别是在输电网中的应用、推广与不断完善,信息的采集问题已基本解决^[7-9]。

在变电站中和输电线路两端,各个关口电能表已逐步地改为多功能电子表,提供多种数据接口和电气数据量。在此基础上,设计了这个系统,目的是从关口电能表的接口读取需要的数据,利用省电力公司完善的数据通信网络,把数据导入 SQL Server 数据库,基于数据库对这些数据进行处理利用,再用软件实时监控电量数据,分析电能表的运行状态,计算输电费用。

对于关口表的管理,一方面是关口表的 ID 等物理参数,一方面是此关口表的运行数据。关口表的物理参数不多,容易管理。这些参数是从现场直接采集到的,存于数据库中相应的数据表中,系统设计了人机互动的查询窗口,通过 DATAGRID 控件、编程实现在线实时查看及必要的错误数据修改等功能。

系统综合考虑了文献[10-12]提出的电力市场设计准则以及输电费用计算系统应遵守的规则。输电费用计算结果必须能够长久保留,以便于用户查询。一般各省有上千块关口表,以每 15 min 的频率采集数据,系统自动将每次计算的数据以文件的形式保存到硬件中,为下次计算保留足够的内存空间。这样既保留了历史数据,也提高了在线实时计算的速度。图 1 给出了系统的总体结构,其中关口表数据库是该系统的核心。

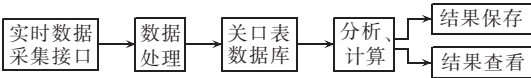


图 1 系统总体结构
Fig.1 Overall system structure

2 系统基本功能描述

系统分为服务器端和客户端。实时数据采集、数据处理、分析计算、结果保存在服务器端自动完成,实现在线实时计算和结果写入数据库的功能。结果查询在客户端完成,用户只要输入用户名和密码即可进入系统进行历史数据和实时数据的查询。

2.1 实时数据采集

关口表远程采集系统可以采集关口表 ID 物理参数和运行参数,下载关口表物理参数后自动编号作为关口表读数数据索引。运行参数自动根据数据索引传到实时数据库中,经数据处理将数据保存到系统数据库中。具体的数据流程见图 2。

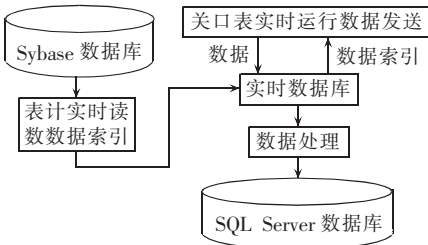


图 2 数据流程图
Fig.2 Data flow

2.2 关口表数据库设计

文献[6]介绍了通过数据库设计、查询结构、并行处理、客户/服务器模式、应用编程等优化方法提高电量采集与分析系统性能。根据具体的优化方法、结合关口表系统实际情况和发展趋势,本系统选择了具有开放体系的关系型数据库系统 SQL Server 2000。这种数据库能反映实际关口表系统的结构,又具有国际标准,便于运行人员理解、掌握和今后的管理、维护、扩充工作。系统具有较强的数据管理能力,能够向用户提供查询、修改、添加功能。

由于关口表数据更新频繁、数据量大、数据表多、各个表之间联系紧密,并且数据输出频繁,因此要对数据库的索引进行良好的设计和管理,便于查询。系统数据库主要分为 2 类:物理参数数据库和实时数据库。物理数据库中的信息相对稳定,采用聚集索引;实时数据库数据更新频繁,采用非聚集索引。

关口表数据库主要包括关口表 ID 物理参数数据表(表 1)和关口表运行数据数据表(表 2)。输电线路两端都装有关口表,为了更好说明关口表数据表,表 3 和表 4 分别列出了系统中线路数据表结构和实时数据表结构。表中字段含义说明如下:有功_无功表字段中,1 表示有功表,0 表示无功表;累加表属性中,1 表示累加表/关口表,0 表示不为累加表/关口

表 1 关口表基本参数

Tab.1 Parameters of point meter

Stationname	MeterID(主键)	IsMeris
厂站名称	关口点表计号	有功表_无功表
Timer	IsCurrent	Property
表计倍率	累加表属性	关口表属性

表 2 关口表读数

Tab.2 Readings of point meter

MeterID(主键)	Starttime	Endtime
关口点表计号	起始时间	终止时间
Startreading	Endreading	PassElec
起始表码值	终止表码值	代开关电量

表 3 线路参数

Tab.3 Parameters of branch

BranchID(主键)	Branchname	Node1
线路编号	线路名称	首端节点号
Node2	Meter1(主键)	Meter2(主键)
末端节点号	首端表计号	末端表计号

表 4 线路损耗表

Tab.4 Branch loss

BranchID(主键)	Loss	MeterID1(主键)
线路编号	损耗电量	首端表计
Reading1	MeterID2(主键)	Reading2
首端电量	末端表计	末端电量

表;关口表属性中,1 表示一次开关,2 表示二次开关,3 表示主网输出,4 表示主网输入。

表 1、2 建立索引的 Transact-SQL 语句依次为
CREATE UNIQUE CLUSTERED INDEX MeterID
ON Tab_Meter
CREATE UNIQUE NONCLUSTERED INDEX Meter-
ID ON Tab_Meter_Reading

表 3、4 不仅相互间传递信息还要和表 1、2 进行数据互动,因此要创建复合索引:

CREATE UNIQUE CLUSTERED INDEX BranchID
ON Tab_Branch
Create index Meter1 on Tab_Branch
Create index Meter2 on Tab_Branch
CREATE UNIQUE NONCLUSTERED INDEX Branch-
ID ON Tab_BranchLoss
Create index MeterID1 on Tab_BranchLoss
Create index MeterID2 on Tab_BranchLoss

表 2 的实时数据不断输入、输出,要根据表 1 中表计的基本属性对采集的数据进行处理、计算,两表就是通过索引 MeterID 实现信息的相互传递。表 3 和表 4 通过索引 BranchID 实现信息的传递,线路损耗要根据首、末端的表计读数计算,如何在这庞大的数据系统中快速查询到满足条件的记录,通过复合索引 Meter 1、Meter 2 及 MeterID1、MeterID 2 和表 1、2 实现数据互动。这样设计的索引可以极大加快

数据检索速度、加速表与表之间的连接、实现数据的参照完整性,提高系统的性能。

2.3 分析计算

2.3.1 计算电量

读取关口表基本信息后,根据表 1 参数判断关口表是否为累加表,累加表是对每次数值依次进行累加,若每日的第 1 个数据是 0:15 的数据,即 0:00 到 0:15 的增量,对于累加量而言,必须有 0:00 的数据才能进行那时段电量的计算。根据这一原理,当表计读数为累加值,则表计电量按式(1)计算;当表计读数不为累加值,则表计电量按式(2)计算。

$$W = (W_S - W_E) T + W_P \quad (1)$$

$$W = W_S T + W_P \quad (2)$$

式中 W 为表计电量; W_S 为起始表码值; W_E 为终止表码值; T 为表计倍率; W_P 为代开关电量。

在电网运行设备定期检修、故障处理或运行方式改变时,经常会遇到用旁路开关或备用开关替代某路开关送电的情况,相应就有了代开关电量,通过对相关线路切换过程中电量变化的定性判断和定量比较实现代开关电量的计量。

在输入新数据时,上次的表码值将自动写入这次的表码底值,上次所作的表计参数的修改也将自动反映到这次的表计参数中。在进行表计电量计算时,除了根据各表计读数计算本次各表计电量外,同时根据各表计属性计算本次的一次电量、二次电量、网损电量、网损率、输入有功、输出有功,得到各节点的注入电量或输出电量,以方便进行全网输电费用的计算。

2.3.2 计算线损

损耗电量的计算公式为

$$W_{\text{loss}} = W_B - W_L \quad (3)$$

式中 W_{loss} 为损耗电量; W_B 为首端电量; W_L 为末端电量。

计算出每条线路的损耗电量后累加得到全网损耗电量。

2.4 结果处理

结果处理包括结果保存、查看、报表打印等。结果保存在服务器端自动完成,每进行一次计算,系统将结果以文件的形式保存到硬件中,为下次计算留足内存,加快计算速度。用户在客户端可以查看历史数据,也可查看实时数据,增加了透明度。

2.5 人机界面

输电费用计算必须遵守的一个规则就是要具有透明度,这样才能增强竞争性。该系统利用面向对象的编程语言 Visual Basic 6.0 设计了界面友好的人机互动平台,由一个主界面和若干个子界面组成。人机界面实现的功能主要有:实时运算程序所需参数修改、计算结果查询、网络参数修改。

为了方便用户,以上功能全部在中文环境下,用鼠标点击或敲击快捷键的方式进行。用户经系统管

理员允许进行注册,输入用户名和密码后就可以对结果进行查询。一旦进入系统的窗口界面,将显示“参数查询”、“费用计算”、“打印报表”等菜单,其中“参数查询”还包括若干个子菜单,分别查看输电费用的历史结果、关口表参数、线路参数和其他网络参数,“费用计算”对实时输电费用进行计算并实时显示在表格中,“打印报表”可以将用户选择的参数以报表的形式打印。用户进入界面后若要查看历史计算结果,先输入要查看的结果时间,系统就会自动找到文件路径,利用 DATAGRID 控件将结果以表格的形式显示,直观、清晰、使用方便。普通用户没有修改的权利,只有管理员才能修改。

3 系统现场实验

采集数据的周期是 15 min,服务器每 15 min 计算一次总输电费用,然后将总费用按一定的份额^[13-15]分给各个厂站,总费用和分摊后的费用均存在数据库中,服务器自动分期(一小时、一天、一周、一月、一季度和一年)累加费用。用户可以在客户端选择计算的时间进行查询,还可以任意输入时间段(应是采集数据周期的整数倍)进行费用累加,系统从服务器端数据库中自动查找该时段内所有周期的总费用和分摊后的费用进行累加,然后返回到客户端,以表格的形式显示。

分摊份额的计算采用潮流跟踪法。如图 3 所示,节点 i 与 4 条支路相连, j, k 支路为注入流, m, l 支路为输出流。流经节点 i 的总功率为 $P_i = 40 + 60 = 100(\text{MW})$,其中 40% 由支路 ji 提供,60% 由支路 ki 提供。由于电力是不可区分的,每一条输出支路的功率只取决于节点电压差和线路阻抗。但可以做一个合理的假设,即每一输出支路的潮流构成与输入支路具有相同的比例。即 im 支路的 70 MW 功率中有 $70 \times 40\% = 28(\text{MW})$ 由注入支路 ji 提供;有 $70 \times 60\% = 42(\text{MW})$ 由注入支路 ki 提供。同理, il 支路 30 MW 功率中有 $30 \times 40\% = 12(\text{MW})$ 由注入支路 ji 提供;有 $30 \times 60\% = 18(\text{MW})$ 由注入支路 ki 提供。节点 i 的电量其实质是输入电量的“混合器”,认为输出支路的电量由各输入支路的电量混合而成,且其比例与输入支路电量占总输入电量的比例相同。

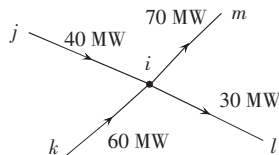


图 3 比例共享原则
Fig.3 Principle of proportion share

利用潮流跟踪进行分摊份额算法流程见图 4。

表 5 列出了系统模拟某省电网一个小时(2005-10-27 2:00~2005-10-27 3:00)的费用结算结果。表 6 列出了系统模拟某省电网一个小时(2005-10-27 2:00~2005-10-27 3:00)的各节点费用分摊结果(说明:牵涉到机密性,各厂站名均以一厂, ..., 一站, ... 表示)。

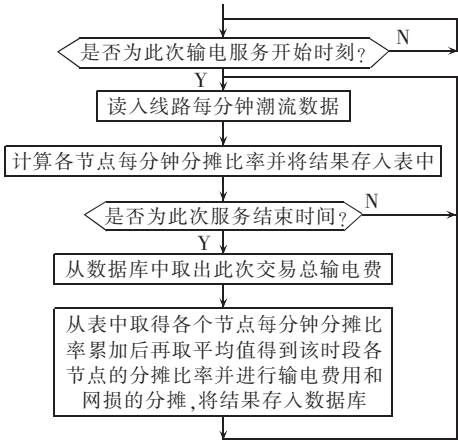


图 4 潮流跟踪算法流程

Fig.4 Flowchart of power flow tracing

表 5 总输电费用结果

Tab.5 Results of total transmission cost

总费用/元	单位费用/[元·(kW·h) ⁻¹]	总输入电量/(MW·h)
1166.55	0.03208776	36.35498
总输出电量/(MW·h)		总网损/(MW·h)
98.2088		2.566503

表 6 各厂站分摊结果

Tab.6 Results of transmission cost allocation

厂站名	节点注入电 量/(MW·h)	节点所摊网 损/(MW·h)	节点所摊 费用/元	节点分摊 比率/%
一厂	2.150363445	0.025288261	11.49425	0.985319972
二厂	1.331148386	0.015653869	7.11514	0.609930038
三厂	2.081341743	0.024476349	11.12521	0.953684986
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
三十站	5.527761459	0.214630201	97.55564	8.362750053
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
六十站	0.479756653	0.015240405	6.92721	0.593819976

4 结论

所提出的基于关口表数据库的输电费用计算方法,能克服传统系统中采集潮流数据造成的数据量大、计算周期长、容易出错等缺点,传统系统利用潮流数据统计输电量和网损是否和实际值相符有待研究,该方法基于关口表数据库,输电量和网损就是实际值。开发的系统实现了在线实时计算查询的功能,实现了可视化,极大提高了输电费用计算透明度,有力促进了电力市场的竞争。

系统利用广泛使用的关系数据库编程语言 SQL Server 2000 对系统数据库特别是关口表数据库进行管理,易维护、扩展,数据传输和计算均在服务器端完成,增强了系统的安全性和易维护性。用面向对象的编程语言 Visual Basic 6.0 开发人机互动的界面,系统界面友好、简捷易操作。该系统已在某省试运行成功,具有良好的实际应用前景。

参考文献:

[1] 姚建刚,章健,银车来. 电力市场运营及其软件开发[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
[2] 傅书邈,王海宁. 对“标准市场设计”的研究与思考[J]. 电网技

术,2004,28(9):28-32.
FU Shu-ti,WANG Hai-ning. A study and some considerations on standard market design[J]. Power System Technology,2004,28(9):28-32.
[3] 夏清,周安石,丁军威,等. 电力市场中热点问题的分析与探讨(上)[J]. 电力自动化设备,2004,24(11):1-5.
XIA Qing,ZHOU An-shi,DING Jun-wei,et al. Summarization and discussion on hot topics of electricity market(part I)[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(11):1-5.
[4] 何仰赞,温增银. 电力系统分析(下册)[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.
[5] 李存斌. 数据库应用技术——SQL Server 2000 简明教程[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
[6] 史立,马然,张兆杨. 计算机和实时计算[J]. 电网技术,2000,24(1):35-37.
SHI Li,MA Ran,ZHANG Zhao-yang. Computer and realtime computing[J]. Power System Technology,2000,24(1):35-37.
[7] 张国珍,李晓明,张莲梅. 电能采集与分析系统的性能优化[J]. 电网技术,2003,27(5):78-81.
ZHANG Guo-zhen,LI Xiao-ming,ZHANG Lian-mei. Optimi-zation of electricity data acquisition and analysis system[J]. Power System Technology,2003,27(5):78-81.
[8] 苗竹梅,张松松. 关口表计远方抄表及主网线损在线监测系统[J]. 中国电力,1997,30(9):68-69.
MIAO Zhu-mei,ZHANG Qin-song. Control of remote meter-reading and online monitoring system of main net loss[J]. Electric Power,1997,30(9):68-69.
[9] 张晶. 面向电力市场的电能量计量系统[J]. 电网技术,2001,25(2):52-56.
ZHANG Jing. Electricity market oriented energy metering system[J]. Power System Technology,2001,25(2):52-56.
[10] 杨思坚. 复杂计量方式下电费计算模型的设计与实现[J]. 电力科学与工程,2005(4):61-63.
YANG Si-jian. Design and realization of electric expenditure calculation models based on complex computations[J]. Electric Power Science and Engineering,2005(4):61-63.
[11] 汪峰,白晓民. 电力市场设计基本问题研究[J]. 中国电力,2001,34(10):70-73.
WANG Feng,BAI Xiao-min. The primary problems of power market designing[J]. Electric Power,2001,34(10):70-73.
[12] 乔玮,顾晓辉. 一个跨操作系统和数据库的实时电能损耗管理程序[J]. 电力自动化设备,2002,22(3):39-40,43.
QIAO Wei,GU Xiao-hui. A real-time power loss management program running among different operating systems and databases[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(3):39-40,43.
[13] 傅书邈,张锐,王海宁. 输电费用的计算与分摊[J]. 电力系统自动化,2004,28(3):5-9.
FU Shu-ti,ZHANG Rui,WANG Hai-ning. Computation and allocation of transmission charge[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(3):5-9.
[14] ZOBAN A,ILIC M D. Unbundling of transmission and ancillary services. Part II:cost-based pricing framework[J]. IEEE Transaction on Power Systems,1997,12(2):549-556.
[15] 任震,吴国玥,黄雯莹. 计算和分配输电成本的一种新方法[J]. 电力自动化设备,2004,24(2):14-15.
REN Zhen,WU Guo-yue,HUANG Wen-ying. A method to calculate and allocate transmission costs[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(2):14-15.
(责任编辑:柏英武)

作者简介:

李杰(1982-),女,河南平顶山人,硕士研究生,主要研究方向为输电费用、电力市场软件开发;
姚建刚(1952-),男,湖南长沙人,教授,博士研究生导师,主要从事电力市场、配电自动化方向和新型输电方式的研究(E-mail:yaojiangang@126.com)。

Online real-time transmission cost calculation system based on point meter database

LI Hui-jie, YAO Jian-gang, GU Lin-feng, YAO Peng, LI Lian-jie

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A calculation method of transmission cost based on point meter database is presented and its programming is easy. The electric quantity and loss of every transmission line, as well as the total electric quantity and loss, can be calculated from the point meter readings for each transmission service, which are sent to SQL Server database and used for cost analysis, total cost calculation and cost allocation after simple processing. The developed online real-time transmission cost calculation system adopts SQL Server 2000 to manage the databases, especially the point meter database, with good maintainability and expansibility. Both the data transmission and computation are implemented in server for enhancing system security and maintainability. The object-oriented programming language Visual Basic 6.0 is used to develop the friendly and simple man-machine interface. Practical applications show that the system realizes online and real-time transmission cost calculation for complex electric power systems with high speed, and both the historical data and real-time data can be inquired accurately.

Key words: point meter database; transmission cost; system development