

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.210913

用电量数据的可视化研究综述

郑楷洪¹, 杨劲锋², 王鑫³, 李胜¹, 曾璐琨¹, 龚起航¹

(1. 中国南方电网数字电网研究院有限公司, 广东 广州 510663; 2. 中国南方电网有限责任公司市场部, 广东 广州 510663; 3. 浙江大学计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 可视化技术是挖掘用电量数据中所蕴含丰富信息的关键技术手段, 其相关研究热点集中在四个方面。用电量可视化分析形式主要有堆叠面积图等标准图表和一些自定义图表。用电量监控的可视化系统常用于建筑群和工业过程的能耗分析, 其可以在用电行为纠正等方面发挥作用。用电异常的可视化包括异常计量用电数据和异常用电行为两个方面, 以从源头提高计量数据质量, 减少防窃电工作量。用电量数据挖掘的可视化研究集中在用电量预测中更实时的交互手段和用电用户分类中聚类分析算法的过程展现。以往各项的研究仍存在数据量较小、数据维度不高、未考虑外部因素等不足。未来应提升数据量级、扩大时空范围、融合多源数据、建立更细颗粒度用电数据模型。

关键词: 用电量; 数据可视化; 可视分析; 可视化应用

Overview of visualization research on electricity consumption data

ZHENG Kaihong¹, YANG Jingfeng², WANG Xin³, LI Sheng¹, ZENG Lukun¹, GONG Qihang¹

(1. China Southern Power Grid Digital Grid Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China; 2. China Southern Power Grid Co., Ltd. Marketing Department, Guangzhou 510663, China; 3. College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Visualization is one key technology to mine the rich information contained in electricity consumption data. Its related research hot spots are mainly display in the following four areas. The visual analysis forms mainly include standard charts such as stack area and some custom charts. The visualization monitoring system is often used to analyze the energy consumption of buildings and industrial processes, and it can play a role in the correction of electricity consumption behavior. Abnormal electricity consumption visualization includes abnormal metering data and abnormal consumption behaviors, so as to improve the quality of metering data from the source and reduce the workload in preventing electricity theft. The electricity consumption data mining visualization focuses on more real-time interactive matters in electricity consumption prediction and the presentation of a clustering analysis process in user classification. There are some shortcomings in previous studies, such as small data size, low data dimension and no consideration of external factors. In the future, the data magnitude and spatio-temporal range should be improved, multiple source data should be fused and an electricity data model with finer granularity should be established.

This work is supported by the National Key Research and Development Program of China (No. 2020YFB0906004).

Key words: electricity consumption; data visualization; visual analysis; visualization application

0 引言

随着数据可视化技术的发展, 越来越重视电力

领域的可视化^[1]研究和应用。在继电保护^[2]、智能变电站^[3-6]、智能电厂^[7-8]、电力负荷^[9]、电力监控^[10-12]、电力故障^[13-14]、电网^[15-16]、输电线路^[17]以及电力大数据^[18]等领域均有结合可视化技术进行的研究。本文从数据可视化角度, 对近些年来用电量数据的可视化及应用的典型工作进行综述, 主要分析了以下四个领域: 用电量分析的可视化形式、用电量监测

基金项目: 国家重点研发计划项目资助(2020YFB0906004); 南方电网数字电网研究院有限公司科技项目资助(670000KK52200087)

的可视化系统、用电异常的可视化及用电量数据挖掘的可视化。表 1 按照四个领域对相关文献进行了分类统计。

表 1 用电量数据可视化文献的分类统计
Table 1 Literature classification statistics of electricity consumption data visualization

| 领域 | 文献 |
|-------------|--------------|
| 用电量分析的可视化形式 | 文献[19-29] |
| 用电量监测的可视化系统 | 文献[30-41] |
| 用电异常的可视化 | 文献[42-46] |
| 用电量数据挖掘的可视化 | 文献[45,47-55] |

(1) 用电量分析的可视化形式

用电量数据作为一种时序数据，从不同的图表形式入手对其进行分析，可以获得不同的更深度信息(如用电用户的行为模式、电器的能耗等)。对于一些独特的问题可以自定义更为精细的可视化图表。

(2) 用电量监测的可视化系统

各类使用场景(如校园、企业、家庭等)中的用电量监测可视化系统的作用主要有能耗分析和用电纠正这两种，从多维度(如用电量数据、单位建筑面积用电、各电器用电等)对用电情况进行实时监测分析。

(3) 用电异常的可视化

用电异常包括两个维度，由计量等引起的异常用电量数据和包括窃电行为在内的异常用电行为。对于异常数据，往往由聚类和回归等技术结合可视化图表实现异常检测。对于异常用电行为，通常以可视化技术入手加以识别。

(4) 用电量数据挖掘的可视化

对用电量数据进行数据挖掘可以获得更深度信息，挖掘过程中结合可视化方法可以使得分析理解更简单。根据实际需求，用电量数据挖掘的可视化研究主要包括用电量预测和用电量分类。目前用电量数据挖掘的主要技术为有监督的聚类、无监督的分类和回归、降维、神经网络等。电力企业可以基于这些技术预测用户未来用电量，实现用户按用电量分类，从而提升电力服务水平。

本文将按照上述四个方向展开详细的分析，表 2 对其中的可视化组件进行了统计。

1 用电量分析的可视化形式

近年来由于经济发展、电气化水平提高，有许多围绕着用电量数据进行可视化分析的研究。通过对这些数据可视化处理可以分析出一些更深度信息，如数据可视化时，色彩也能起到感知趋势、发

现异常的作用^[56]。

表 2 用电量数据可视化组件的统计表
Table 2 A statistical table for the electricity consumption data visualization component

| 组件 | 用电量分析的可视化形式 | 用电量监测的可视化系统 | 用电异常的可视化 | 用电量数据挖掘的可视化 | 行汇总 |
|-------|-------------|-------------|----------|-------------|-----|
| 堆叠面积图 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 热图 | 3 | 1 | 0 | 1 | 5 |
| 箱形图 | 1 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| 小提琴图 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 雷达图 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 折线图 | 1 | 3 | 2 | 6 | 12 |
| 桑基图 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 饼图 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 曲线图 | 0 | 2 | 3 | 3 | 8 |
| 直方图 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 柱形图 | 1 | 5 | 2 | 0 | 8 |
| 散点图 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 仪表盘 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 自定义图 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 地图 | 0 | 2 | 1 | 1 | 4 |
| 列汇总 | 15 | 21 | 9 | 15 | — |

本节总结了针对用电量数据可视化进行分析的多种图表形式，有堆叠面积图^[19]、热图^[20]、箱形图^[21]、小提琴图^[22-23]、一些自定义的图表等。

1.1 基于标准图表的用电量分析

使用堆叠面积图进行可视化可以引起人们对总用电量数据趋势的关注。文献[19]在堆叠面积图的基础上，结合了一种新颖的分解可视化思想，如图 1^[19]所示，通过降低时间的重要性，仅仅突出显示某种电器设备在其标准使用周期内的用电量(如水壶煮一次热水或洗碗机洗一次碗)。文献[24]采用堆叠面积图对任意选中的几天用电量情况进行展示和比较，其中不同颜色代表不同日期。

热图较为适合对矩阵数据进行可视化，是一种在二维平面上用颜色显示信息的可视化方式，其中颜色一般表示数据量的大小。文献[20]利用热图对学校里某幢教学楼从 09:00 至 18:00 的用电量数据进行显示。横轴为教室编号，竖轴为时间。通过将一天内的用电量数据以热图形式显示，可以得出各个教室的用电信息，甚至得出教室空置信息。若将一学年内的用电量数据以此显示，还可以获得更多的学校集体行动信息(如学期开始、结束)。文献[22-23]也通过每日用电量热图确认了实验室中用电模式。

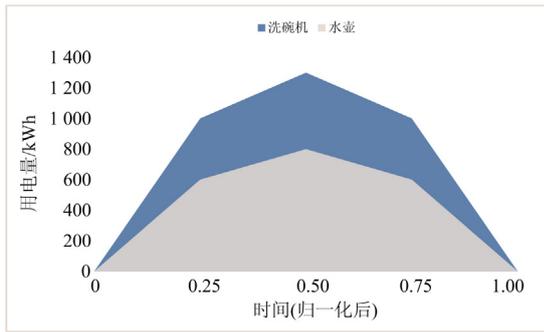


图 1 突出使用周期的用电量的堆叠面积图

Fig. 1 Stacked area diagram of electricity consumption highlighting the life cycle

箱形图有较好的可解释性, 被广泛用于显示数据分布^[57], 可以展示用电量的确切值(最值、上下四分位值、中位数)。文献[21]用箱形图分别显示几个房子的总用电量, 通过该形式进行用电量的比较和分析。小提琴图结合了箱形图的特征, 又在信息展示上优于箱形图。文献[22-23]利用小提琴图分析每日用电量的密度和分布峰值。

雷达图可以清晰直观地综合显示多个指标数据, 文献[25]用雷达图将每分钟/每小时的用电量情况与前一天进行对比分析。文献[26]以水平柱形图展示并分析公司各房间的用电量情况。文献[27]利用折线图统计某建筑几个月内的用电量, 根据折线图分析用电量波动的原因。文献[25,28]用桑基图展示建筑内包括用电量在内的其他能源数据的流动情况。

1.2 基于自定义图表的用电量分析

对于一些更深度的用电量可视化分析, 还有一些特定的自定义可视化形式。文献[24]采用了一种自定义的环形图进行用电量可视化, 将 3、4 个环状图进行叠加, 并基于用电数据的时序性特征, 从内环至外环, 依次选择年月日, 查看某企业用电数据的情况, 如图 2^[24]所示。而由内向外依次选择年月日

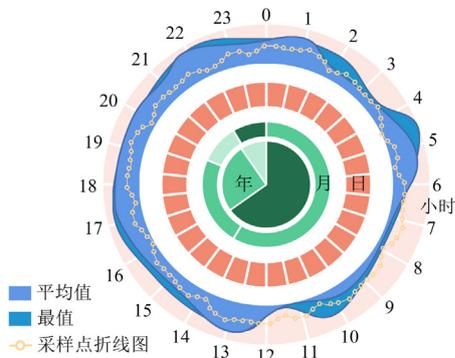


图 2 嵌套环形图

Fig. 2 Nested ring graphs

时, 当月的用电数据的平均值与最值则映射为圆环之间的环形面积区大小。文献[29]设计了一种图元符号(该图元包括内圆与外环, 内圆以扇形呈现峰、平、尖、谷用电情况, 外环展示一个月内用电天数)。用这些图元进行排列、组合成序列饼图, 可以很直观地向电力部门展示不同用户每个月的用电量情况, 同时也可以分析房屋的空置率等重要信息。

2 用电量监测的可视化系统

当前, 可视化数据监测系统在各个领域应用广泛, 基于用电量的可视化监测系统也在电力领域发挥着重要作用, 进行诸如能耗分析、用电纠正等任务。

2.1 能耗分析

应用于建筑群整体的用电量可视化监测系统可以对整体能耗进行分析, 从而优化供电方案。文献[30]设计了一个校园电能监测网站, 实时监测校园内的能耗情况, 管理校内能源系统。该网站用曲线展示校内某建筑一个月内的用电量, 用柱形图比较不同建筑一个月内的用电量, 用直方图展示某建筑一年内用电情况, 用饼图显示所有建筑的年度用电量占比。文献[31]借助可视化工具 Matplotlib 对学生宿舍用电消耗情况进行可视化监测和管理, 该研究借助折线图对学校宿舍电能消耗进行整体预览, 例如预览每栋宿舍楼每月的用电情况以及同一幢楼中不同房间的周用电量。

近年来, 人们对建筑的可持续设计提出了很高的要求, 因此需要对建筑能耗进行监测分析^[58], 对于建筑的能耗监测需要结合建筑内部用电器种类、建筑面积等因素。文献[32]通过用电量数据结合目标建筑的室内供冷采暖方式、建筑面积等信息, 利用不同可视化技术对建筑内用电情况进行监测和分析。该方案以仪表盘显示其用电效率, 结合建筑面积给出每年各项用电的单位面积用电量。该方案同时还用饼图展示一年各种类型用电耗能(诸如照明用电、供冷用电、采暖用电、热水用电)占比, 用堆叠柱形图展示不同月份用电量及对应不同类型用电占比。文献[33]设计了一个建筑能耗监测可视化平台。在该平台主界面点击建筑物, 可以显示本日该建筑用电量、单位面积用电量及每日电费。同时使用柱形图对当前建筑本日的照明、空调、动力等各项用电情况进行实时显示。

电力与当前生产活动密切相关, 用电量监测结合生产活动可以实现对生产过程中的能耗分析管理。文献[34]采用 ECharts^[59]框架对某一洗煤车间的

用电情况进行可视化分析和信息挖掘。使用面积图对 30 天内车间不同设备的用电情况进行展示,使用饼图对 A、B、C 三个班次的用电情况进行展示,这样可以直观地展示和对比车间内的能耗信息,为进一步分析用电设备是否正常工作和设备维护提供数据参考。

交互是数据可视化的关键^[60],以下对可交互的可视化监测平台进行介绍。文献[35]设计了一种运用事件驱动机制,根据相应需求设计可视化图形展示方案的用电监测系统。“实时监测”页面以矢量场景可视化显示某园区,可拖拽放大后显示具体建筑的用电量情况,并用仪表盘显示当前建筑用电负荷,若有用电异常则显示异常标志并罗列异常信息。“电能监测”页面以折线图和柱形图为主,折线图显示日负荷用电,柱形图显示月用电量以及去年同期的用电量,同时以表格形式展示用电量的总体概况。文献[36]设计了一种结合建筑信息模型(Building Information Model, BIM)的能耗反馈可视化方法,显示公寓的二维图和三维图,并给公寓的不同房间配以不同颜色,其中不同房间颜色与其用电量情况相关,用电耗能越多,越偏向红,反之越绿,用户可以通过点击其中房间获取其用电量。

2.2 用电纠正

通过用电量数据监测可以实时反馈用电信息,起到纠正用电行为的作用,从而实现节能环保的目的。

用电量数据与时间密切相关,而曲线图的优势在于可以显示随时间变化的数据变化趋势和规律,因此对于家庭用电量数据的监测往往是采取这一形式。文献[37]设计了一种新型可视化监测移动应用,该应用使用曲线图简化显示被选中房间几个小时内的用电量数据,在曲线图上标注较为适宜的用电量水平线作为参考,同时提出对当前用电情况的建议(如使用情况良好、使用情况过度等),用户可以根据建议调整用电行为。

Tableau 是一种结合数据运算操作和图表显示的可视化软件,可以帮助用户快速查看、分析数据且操作界面简洁^[38]。文献[39-40]设计了基于 Tableau 的可视化交互用电量监测平台,结合地图、柱形图显示当前地区用电情况。在改变用电量界限时,该平台汇总了超过电量界限的总户数。同时,可视化地图中也会自动将连有大电量用户表箱的图形变为灯泡状,警示较大用电量用户,促进该用户纠正其不当用电行为。文献[41]设计了一种用电量监测可视化系统,该系统以地图加热力图形式对不同建筑的用电量进行展示,选中某建筑后会同时整合当前

建筑过去对当前用电量的预测值、当前用电量和预测的未来用电量。以折线图形式展示这些数据,并给出对当前用电情况的报告(如用电量过高、预计未来用电将会保持平稳等),借此可以调整未来的用电计划。

3 用电异常的可视化

电网中存在着许多用电异常:一方面存在大量的异常用电数据,其往往是由计量技术某方面问题引起的,电力部门需要发现并清理异常用电数据;另一方面存在许多异常用电行为,这些行为通常是由用户反常、错误用电造成的。对于异常用电行为,电力部门需要从一些异常用电数据中进行识别,并在识别后进行适当的预警应对。

电能异常的可视化分析是从用电数据入手,清除异常的用电数据或者从这些数据中找出异常用电行为,并借助可视化方式进行分析。

3.1 异常用电量数据的可视化

异常用电量数据往往来自电力系统的各类电力计量装置。如果不对已有的异常用电量数据进行检测和清洗,会导致电力部门针对电力数据进行的一系列后续研究与部署都出现差错,进而影响企业运营效率和服务水平。

对于如何检测用电数据中的异常情况,文献[42]提出了一个结合多项式回归和高斯分布的混合模型,并以该模型为基础设计了一个学校用电数据的异常检测和可视化系统。该可视化系统用曲线图展示异常数据,如图 3(a)^[42]所示,其中蓝线表示当前数据,绿线表示前一年的用电数据(用于训练模型),以红点标明异常数据。箱形图是用于检测数据集的一种快速图形方法,文献[43]采用了箱形图来进行异常用电量数据检测。箱形图检测异常主要是使用其五个参数,即在上四分位数和下四分位数之间绘制一个矩形,用实线表示中值,上边缘等于上四分位值加 1.5IQR,下边缘等于下四分位减 1.5IQR,上下边缘外的数据即为异常数据,如图 3(b)^[43]所示。这一方法只能用于检测距离正常数据主体较远的异常数据。

3.2 异常用电行为的可视化检测

异常用电行为包含窃电行为在内的多种用户的反常用电行为,异常的用电行为不仅会给电网企业造成极大的经济损失,也会给电网的发展留下巨大的安全隐患^[61]。

文献[44]设计了一种基于 Tableau 的异常用电监测系统,结合折线图、柱形图对用户用电量进行可视化分析,从而识别异常用电行为。折线图展

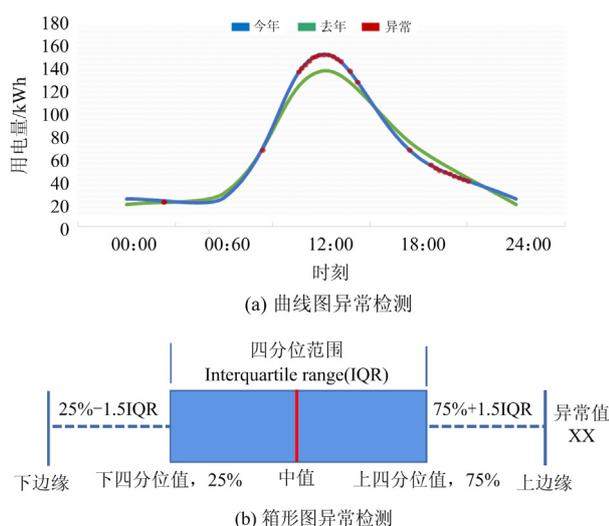


图3 异常用电数据检测

Fig. 3 Abnormal electricity consumption data detection

现用户用电量同比增减度,柱形图展现用户较大用电量情况和用电量环比增减度。通过这一可视化系统,可以有效地识别异常用电行为,大大减少了防窃电的工作量,有助于工作人员快速发现和解决问题。文献[45]设计了一种基于电力大数据的异常用电行为检测方法,该方法包括从电力数据中提取特征,基于局部异常因子检测异常用电行为,结合地理信息利用 ECharts 进行异常用电行为可视化。在可视化环节用曲线图显示当前异常用电户的日用电量波动,用地图显示当前异常用电用户的地址。文献[46]设计了一种用来对异常用电行为进行检测和预警的系统,该系统会提醒当前用电量状态是否正常,并显示总用电量、正常用电量和异常用电量。红色的柱形图代表了异常用电的周期,并提供关于每次异常发生的时间和持续时间的清晰信息,点击各条柱形可以获取异常用电明细(用折线图形式展示)。

4 用电量数据挖掘的可视化

用电量数据挖掘的可视化即借助可视化技术帮助分析或展现数据以发现更多更深的规律和知识。本节将从用电量数据预测和分类两个方面开展介绍。

4.1 用电量数据预测的可视化应用

数据分析可以应用于用电消耗数据预测,从而实现发电的高效调度和运行^[62]。文献[47]采用不同模型对菲律宾的用电量进行了预测,先通过预测准确度的比较得出最佳模型,然后使用最佳模型进行用电预测。用户只需输入年份就可以获得相应年份的预测用电量数据,并以地图形式进行可视化展示。地图上各不同区域根据预测用电量大小用不同颜色

(预测用电量越大,颜色越深),当聚焦在某个区域时,会显示当前区域的预测用电量数据。文献[48]利用折线图显示了两个家庭3年内的每小时用电量,同时绘制了两个家庭3年内详细的二维用电热图,每隔6h记录一次小时用电量,且每小时的用电量由一个有颜色的正方形表示(用电量越大,绘制时色调越暖)。在以上初步可视化分析后,并用散点图结合不同因素(如温度、湿度、分时电价,当前是每年的第几周、每周的周几、每天的第几小时等)绘制某户3年内的每小时用电情况,进一步挖掘这户用电行为与这些因素之间的关系。借助以上分析,最后使用折线图展示某用户一个月的实际用电量和基于支持向量回归模型的预测值。文献[45]设计了一种基于 Hadoop 的电力大数据可视化系统,其中以曲线图显示某年度单用户单月的用电量预测走势图,包含用户编号、月份及其对应的用电量,且可以通过切换用户来显示不同用户的用电量预测走势图。文献[49]采用 Pygal 可视化工具,在选择筛选条件(包括算法模型、用电量区间、用户、年/季度/月、时间区间)后,以折线图形式展示预测的用电量走势。

4.2 用电量数据分类的可视化应用

根据表现出相似用电行为的群体对不同类型的客户进行聚类,是更好地理解配电系统提供的信息的关键因素^[63]。传统的用电数据分类方法存在着诸如计算复杂度高、聚类效果差等问题,所以对于这些问题,文献[50]提出了一种新的电力数据可视化聚类分析框架。该框架可以提高电能数据聚类的有效性,降低聚类复杂度,采用 t-SNE 降维技术,在降维处理时尽可能地减少信息损失,可视化也使参数选择过程更加直观。在降维过程中,使用散点图绘制不同降维算法的结果。最终以散点图形式展示聚类结果,用折线图展现不同类别用户的年平均用电量。文献[51]提出基于 Spark 平台和 BIRCH 聚类算法对用户用能行为进行聚类分析的方法。在数据处理后将用电用户分为5类(包括空置房、老人家庭、学生族、上班族、老年人和上班族混合家庭),最终通过曲线图展现各类用户的每天的用电规律图。文献[52]利用一些动态聚类分析框架对用户按照用电情况进行分类,结合三维折线图展示分类后各类用户在某时刻的用电量。该框架的三维折线图中用颜色作为指示,用电量越多,颜色越偏向暖色,可以借此来对聚类算法及分类后的结果进行可视化评估。文献[53]通过并行化 K-means 算法,根据用电量等信息将用户划分为6类(中电量高负载、低电量高电价、高电量低成长、低电量高成长、高成长

高信用、中电量低信用),用折线图对各类别用户的总用电量、付款率等进行可视化展示。而文献[54]则将用户划分为3类(高压用户、居民用户、低压非居民用户),并用箱形图表示不同群体用户的用电分布。电力部门可以以这样的用户划分为基础,推动不同用户群的精细化用电定价,提升企业服务能力。文献[55]提出了基于改进 AP 聚类的用电行为分析方法,将当地用户分为4类,以曲线图显示各类用户用电行为的特性。

5 结论

大数据时代结合可视化技术对用电量数据进行分析处理是顺应当前技术发展趋势的研究方向。用电量数据可视化领域的研究增加了用电量数据的可理解性,挖掘了基于用电量的深度信息。

本文总结分析了用电量可视化研究,目前该领域已经取得了一定的成果,但也存在不足之处:

(1) 所处理的用电量数据量不够大,维度不够高,对用电量进行可视化分析和监测时,使用的数据集为较小范围内的几天到几年的用电量,或大范围内的短期且维度少的用电量数据。当电力企业对用电量数据进行可视化研究时,往往面对的是更大量的、更高维度的用电数据。未来在更大数量级、更复杂的数据下,需要设计更精细、简明的可视化技术方案。

(2) 用电量在生产生活中容易受到外部因素影响而发生变动,诸如天气、季节、经济发展水平等,因此未来进行用电量分析、监测、预测等应用时需要考虑更多外部因素的影响。

(3) 考虑如何在用电量数据可视化中增加实时性和互动性。用电情况是一直变化的,当前的研究领域对用电量数据的可视化通常是建立在过去的数据集上,对于不断变化的用电量数据,需要更快速的数据分析和可视化构建能力。

未来除了对上述不足进一步完善之外,针对用电量数据可视化还需要重点研究以下方向:

(1) 将已经在较小空间范围或较短时间内应用成功的可视化方案推广到更大空间范围或更长时间维度。比如将大学内部分建筑扩展到整个大学校园,甚至整个城区、城市;将参与建模的历史用电量数据从过去1年扩展到过去10年。

(2) 过往用电量可视化工作在监测分析、预测等任务中多使用单一的历史用电数据,未来需要更多融合实时数据、流批数据、多媒体数据等更加多元化数据,以期取得新结果。

(3) 在用电量数据可视化研究中应加强多学科

交叉工作,比如可以综合建筑工程、电气工程、三维图形学、网络通信等多学科知识和技术,为用电节能的研究提供更好的模型和方法。

(4) 在用电量数据的数据挖掘过程中,进一步应用新型电力计量系统的细颗粒度采集能力,建立基于更精细化的用电设备数据模型。比如从每户电表的用电数据细化为每个用电设备的用电数据。

(5) 提升用电量数据可视化系统的交互能力。比如用户可以选择所有可视化组件的时间分辨率和空间分辨率;用户想要看到的所有信息均可以展现,并且可以自主决定信息重要性排序,以突出重点。

参考文献

- [1] 黄壮咏. 数据可视化技术在电力行业的应用[J]. 机电工程技术, 2017, 46(6): 134-136.
HUANG Zhuangyong. Application of data visualization in electric power industry[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2017, 46(6): 134-136.
- [2] 陈德辉, 杨志宏, 高翔. 基于 IEC61850 的继电保护功能时序可视化研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(22): 182-186.
CHEN Dehui, YANG Zhihong, GAO Xiang. Research and implementation on function sequence visualization of relay protection based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(22): 182-186.
- [3] 王毅, 王智微, 何新. 智能电站数据中台建设与应用[J]. 中国电力, 2021, 54(3): 61-67, 176.
WANG Yi, WANG Zhiwei, HE Xin. Data middle platform construction and application of intelligent power stations[J]. Electric Power, 2021, 54(3): 61-67, 176.
- [4] 赵武智, 邬小坤, 王宇恩, 等. 面向变电站安全隔离的一体化通信分析平台构建[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(18): 123-129.
ZHAO Wuzhi, WU Xiaokun, WANG Yu'en, et al. Construction of integrated communication analysis platform for substation safety isolation[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(18): 123-129.
- [5] 张海庭, 张思远, 刘登鑫, 等. 变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统设计与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(12): 181-187.
ZHANG Haiting, ZHANG Siyuan, LIU Dengxin, et al. Design and application of a visualization check system for anti-misoperation blocking logic in a substation[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(12): 181-187.
- [6] 何志鹏, 郑永康, 李迅波, 等. 智能变电站二次设备仿真培训系统可视化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 111-116.
HE Zhipeng, ZHENG Yongkang, LI Xunbo, et al. Visualization research on secondary equipment simulation training system for smart substation[J]. Power System

- Protection and Control, 2016, 44(6): 111-116.
- [7] 李强, 高勇, 朱建国, 等. 电厂智能化管控技术研究与应用[J]. 热力发电, 2019, 48(10): 15-21.
LI Qiang, GAO Yong, ZHU Jianguo, et al. Research and application of intelligent management and control technology in power plants[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(10): 15-21.
- [8] 王涛, 单正涛, 杜金刚, 等. 智能电厂生产管理开发平台研发[J]. 热力发电, 2019, 48(9): 115-119.
WANG Tao, SHAN Zhengtao, DU Jingang, et al. Research and development of production management development platform for intelligent power plant[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(9): 115-119.
- [9] 曹华珍, 吴亚雄, 李浩, 等. 基于海量数据的多维度负荷特性分析系统开发[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(6): 155-166.
CAO Huazhen, WU Yaxiong, LI Hao, et al. Development of a multi-dimensional load characteristic analysis system based on massive data[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(6): 155-166.
- [10] 练椿杰, 韦化, 覃圣超, 等. 基于 SOA 与虚拟私有云的断路器状态可视化监测系统[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(17): 155-161.
LIAN Chunjie, WEI Hua, QIN Shengchao, et al. A circuit breaker status visual monitoring system based on SOA and virtual private cloud[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(17): 155-161.
- [11] 张磊, 史奎山, 陈国恩, 等. 基于 CIM 的调度自动化运行监测可视化平台[J]. 电气技术, 2016, 17(4): 130-132, 135.
ZHANG Lei, SHI Kuishan, CHEN Guoen, et al. The research based on CIM operation dispatching automation monitoring visualization platform[J]. Electrical Engineering, 2016, 17(4): 130-132, 135.
- [12] 贾亚楠, 张延辉, 霍智超, 等. 一种三维可视化技术在电力监控系统中的运用[J]. 电气技术, 2020, 21(4): 105-107.
JIA Ya'nán, ZHANG Yanhui, HUO Zhichao, et al. An application of 3D visualization technology in power monitoring system[J]. Electrical Engineering, 2020, 21(4): 105-107.
- [13] LI Z, WAN J, WANG P, et al. A novel fault section locating method based on distance matching degree in distribution network[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2021, 6(2): 253-263.
- [14] 阎博, 张昊, 郭子明, 等. 基于多源数据融合的电网故障综合分析 with 智能告警技术研究与应用[J]. 中国电力, 2018, 51(2): 39-46.
YAN Bo, ZHANG Hao, GUO Ziming, et al. Research and application of power grid fault integrated analysis and smart alarm based on multi-data source fusion[J]. Electric Power, 2018, 51(2): 39-46.
- [15] 章锐, 陈树勇, 刘道伟, 等. 基于 ECharts 的电网 Web 可视化研究及应用[J]. 电测与仪表, 2017, 54(19): 59-66.
ZHANG Rui, CHEN Shuyong, LIU Daowei, et al. Research and application of grid Web visualization based on ECharts[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(19): 59-66.
- [16] 张亚迪, 王红杰, 周泓, 等. 基于三维 GIS 平台的电网数据资产可视化系统设计及其应用研究[J]. 电测与仪表, 2018, 55(7): 41-46.
ZHANG Yadi, WANG Hongjie, ZHOU Hong, et al. The design and application research of visualization system on data assets in power grid system based on 3D GIS platform[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(7): 41-46.
- [17] 钱金菊, 张睿卓, 王柯, 等. 输电线路巡检可视化管理系统及其应用[J]. 广东电力, 2018, 31(3): 109-114.
QIAN Jinju, ZHANG Ruizhuo, WANG Ke, et al. Visualized management system for power transmission line inspection and its application[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(3): 109-114.
- [18] 李刚, 刘燕, 宋雨, 等. 基于信息融合的电力大数据可视化预处理方法[J]. 广东电力, 2016, 29(12): 10-14.
LI Gang, LIU Yan, SONG Yu, et al. Visualization pretreatment method for electric power big data based on information fusion[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(12): 10-14.
- [19] HERRMANN M R, BRUMBY D P, ORESZCZYN T, et al. Does data visualization affect users' understanding of electricity consumption?[J]. Building Research & Information, 2018, 46(3): 238-250.
- [20] KUSABA A, KUBOYAMA T, HASHIMOTO T. Time series electricity consumption analysis using non-negative matrix factorization[C] // 2019 IEEE 10th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), October 23-25, 2019, Morioka, Japan: 1-6.
- [21] ALI U, BUCCELLA C, CECATI C. Households electricity consumption analysis with data mining techniques[C] // IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, October 23-26, 2016, Florence, Italy: 3966-3971.
- [22] SATO I, SHINOHARA A. Visualization and analysis of electrical energy consumption in laboratories[C] // 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI), July 10-14, 2016, Kumamoto, Japan: 509-512.
- [23] SATO I, CHUBACHI K, YOSHINAKA R, et al. Analysis of laboratories electrical energy consumption by visualization for saving electrical energy[J]. International Journal of Institutional Research and Management, 2017, 1(1): 53-66.
- [24] 方思桐, 汪隶璠, 高敏, 等. 交互式电力数据可视化与分析[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2019, 42(3): 96-106.
FANG Sitong, WANG Lijun, GAO Min, et al. Interactive power data visualization and analytics[J]. Journal of

- Nanjing Normal University (Natural Science Edition), 2019, 42(3): 96-106.
- [25] AZAZA M, ESKILSSON A, WALLIN F. An open-source visualization platform for energy flows mapping and enhanced decision making[J]. Energy Procedia, 2019, 158: 3208-3214.
- [26] CHEN Y, LIANG X, HONG T, et al. Simulation and visualization of energy-related occupant behavior in office buildings[J]. Building Simulation: An International Journal, 2017, 10(6): 785-798.
- [27] LEE D, CHA G, PARK S. A study on data visualization of embedded sensors for building energy monitoring using BIM[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2016, 17(6): 807-814.
- [28] ABDELALIM A, O'BRIEN W, SHI Z. Data visualization and analysis of energy flow on a multi-zone building scale[J]. Automation in Construction, 2017, 84: 258-273.
- [29] 侯雪, 肖丁, 陈璞迪, 等. 用电行为数据可视分析系统[J]. 计算机应用, 2018, 38(增刊 1): 77-82.
HOU Xue, XIAO Ding, CHEN Pudi, et al. Visual analysis system for electricity behavior data[J]. Journal of Computer Applications, 2018, 38(S1): 77-82.
- [30] 罗艺娜, 朱凌云. 基于 PHP+MYSQL 的校园电能监测网站设计[J]. 计算机系统应用, 2016, 25(11): 97-101.
LUO Yina, ZHU Lingyun. Design of campus energy monitoring platform based on PHP and MYSQL[J]. Computer Systems & Applications, 2016, 25(11): 97-101.
- [31] 胡汝鹏, 许新华, 虞焯青, 等. 基于 Matplotlib 的学生宿舍电网负荷可视化分析[J]. 电脑与信息技术, 2020, 28(5): 59-61.
HU Rupeng, XU Xinhua, YU Yeqing, et al. Visual analysis of power grid load of student dormitory based on Matplotlib[J]. Computer and Information Technology, 2020, 28(5): 59-61.
- [32] OH T K, LEE D, PARK M, et al. Three-dimensional visualization solution to building-energy diagnosis for energy feedback[J]. Energies, 2018, 11(7).
- [33] 唐颂光. 建筑能耗监测系统可视化平台的设计与实现[D]. 武汉: 武汉邮电科学研究院, 2017.
TANG Songguang. Design and implementation of building energy consumption monitoring system visualization platform[D]. Wuhan: FiberHome Technologies Group, 2017.
- [34] 沈颖, 李昌. 基于边缘计算网关的企业用电行为可视化分析[J]. 电器与能效管理技术, 2020(7): 81-86.
SHEN Ying, LI Chang. Visualized analysis of enterprise power consumption behavior based on edge computing gateway[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2020 (7): 81-86.
- [35] 田甜. 可视化电能监测管理系统的设计与实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
TIAN Tian. Design and implementation of visual electric energy monitoring and management system[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [36] FRANCISCO A, TRUONG H, KHOSROWPOUR A, et al. Occupant perceptions of building information model-based energy visualizations in eco-feedback systems[J]. Applied Energy, 2018, 221: 220-228.
- [37] ALSALEMI A, BENSAAFI F, AMIRA A, et al. Smart energy usage and visualization based on micro-moments[C] // Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference, September 5-6, 2019, London, United Kingdom: 557-566.
- [38] 龚昱文. 基于 K-means 算法的高维用电数据聚类分析与可视化研究[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2020.
GONG Yuwen. Research on clustering analysis and visualization based on K-means algorithm in high-dimensional power data[D]. Chongqing: Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2020.
- [39] 向翰丞. 基于电力大数据的居民电量预测和可视化平台设计[D]. 汉中: 陕西理工大学, 2019.
XIANG Hancheng. Design of residential electricity forecasting and visualization platform based on power big data[D]. Hanzhong: Shaanxi University of Technology, 2019.
- [40] 李昂, 向翰丞, 向涛, 等. 基于 TABLEAU 的居民电量可视化监测[J]. 电网与清洁能源, 2018, 34(8): 7-10, 36.
LI Ang, XIANG Hancheng, XIANG Tao, et al. Visual monitoring of electric quantity of residents based on TABLEAU[J]. Power System and Clean Energy, 2018, 34(8): 7-10, 36.
- [41] RUIZ L G B, PEGALAJAR M C, MOLINA-SOLANA M, et al. A case study on understanding energy consumption through prediction and visualization (VIMOEN)[J]. Journal of Building Engineering, 2020, 30.
- [42] CUI W, WANG H. A new anomaly detection system for school electricity consumption data[J]. Information, 2017, 8(4): 150-168.
- [43] LIU X, IFTIKHAR N, NIELSEN P S, et al. Online anomaly energy consumption detection using lambda architecture[C] // International Conference on Big Data Analytics and Knowledge Discovery, September 5-8, 2016, Porto, Portugal: 193-209.
- [44] 李昂, 李佩, 叶欣, 等. 大电量客户窃电风险识别研究[J]. 通信电源技术, 2019, 36(7): 88-91, 94.
LI Ang, LI Pei, YE Xin, et al. Research on risk recognition of electricity stealing for large volume customers[J]. Telecom Power Technology, 2019, 36(7): 88-91, 94.
- [45] 高盼. 基于 Hadoop 的电力大数据可视化研究与实现[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2018.
GAO Pan. Research and implementation of power big data visualization based on Hadoop[D]. Chongqing: Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2018.
- [46] CHOU J S, TELAGA A S, CHONG W K, et al. Early-warning application for real-time detection of energy consumption anomalies in buildings[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 149: 711-722.

- [47] ATIENZA N A C, JAO J R A T, ANGELES J A D S, et al. Prediction and visualization of electricity consumption in the Philippines using artificial neural networks, particle swarm optimization, and autoregressive integrated moving average[C] // 2018 3rd International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS), April 27-30, 2018, Nagoya, Japan: 135-138.
- [48] ZHANG X M, GROLINGER K, CAPRETZ M A M, et al. Forecasting residential energy consumption: Single household perspective[C] // 2018 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), December 17-20, 2018, Orlando, FL, USA: 110-117.
- [49] 李文彬, 张春梅. 多算法融合的电网用电量预测系统研究和实现[J]. 现代计算机(专业版), 2017(22): 75-78.
LI Wenbin, ZHANG Chunmei. Research and implementation of power consumption forecasting system based on multi algorithm fusion[J]. Modern Computer, 2017(22): 75-78.
- [50] GONG F, BU F, ZHANG Y, et al. Visual clustering analysis of electricity data based on t-SNE[C] // 2020 IEEE 5th International Conference on Cloud Computing and Big Data Analytics (ICCCBDA), April 10-13, 2020, Chengdu, China: 234-240.
- [51] 马天男, 王超, 彭丽霖, 等. 多源异构大数据下综合能源系统用户用能行为预测分析研究[J]. 智慧电力, 2018, 46(10): 86-95.
MA Tiannan, WANG Chao, PENG Lilin, et al. Research on consumer energy use behavior forecasting and analysis of integrated energy system under multi-source heterogeneous data[J]. Smart Power, 2018, 46(10): 86-95.
- [52] BENÍTEZ I, DÍEZ J L, QUIJANO A, et al. Dynamic clustering of residential electricity consumption time series data based on Hausdorff distance[J]. Electric Power Systems Research, 2016, 140: 517-526.
- [53] 杨璐. 基于电力大数据的用户行为分析及可视化技术应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
YANG Lu. Application of users behavior analysis and visualization technology based on big data of electric power[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [54] 侯雪. 智能电网中基于 WebGIS 的可视化分析系统研究与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.
HOU Xue. Research and implementation of WebGIS-based visual analysis system in smart grid[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2018.
- [55] 孙煜华, 李倩, 张梦清. 基于 Spark 框架的电力大数据服务技术[J]. 信息技术, 2021(5): 102-108.
SUN Yuhua, LI Qing, ZHANG Mengqing. Power system and big data service technology based on spark framework[J]. Information Technology, 2021(5): 102-108.
- [56] 曾琼, 汪云海, 屠长河, 等. 面向数据可视化的色彩计算[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2020, 32(10): 1549-1559.
ZENG Qiong, WANG Yunhai, TU Changhe, et al. Color computing in data visualization[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2020, 32(10): 1549-1559.
- [57] WALKER M L, DOVOEDO Y H, CHAKRABORTI S, et al. An improved boxplot for univariate data[J]. The American Statistician, 2018, 72(4): 348-353.
- [58] ELBELTAGI E, WEFKI H, ABDRABOU S, et al. Visualized strategy for predicting buildings energy consumption during early design stage using parametric analysis[J]. Journal of Building Engineering, 2017, 13: 127-136.
- [59] LI D, MEI H, SHEN Y, et al. ECharts: a declarative framework for rapid construction of web-based visualization[J]. Visual Informatics, 2018, 2(2): 136-146.
- [60] DIMARA E, PERIN C. What is interaction for data visualization?[J]. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2019, 26(1): 119-129.
- [61] 郑思达, 梁琪琳, 彭鑫霞, 等. 基于模糊聚类的异常用电行为识别研究[J]. 电测与仪表, 2020, 57(19): 40-44.
ZHENG Sida, LIANG Qilin, PENG Xinxia, et al. Research on abnormal power consumption behavior identification based on fuzzy clustering[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(19): 40-44.
- [62] CHRISTANTONIS K, TJORTJIS C. Data mining for smart cities: predicting electricity consumption by classification[C] // 2019 10th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), July 15-17, 2019, Patras, Greece: 1-7.
- [63] ARÉCHIGA A, BAROCIO E, AYON J J, et al. Comparison of dimensionality reduction techniques for clustering and visualization of load profiles[C] // 2016 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA), September 20-24, 2016, Morelia, Mexico: 1-6.

收稿日期: 2021-07-16; 修回日期: 2021-09-02

作者简介:

郑楷洪(1991—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电能计量自动化系统、电网技术以及机器学习、大数据分析、联邦学习等人工智能技术; E-mail: zhengkh@csg.cn

杨劲锋(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电能计量自动化系统、电网技术、人工智能技术等; E-mail: yangjingfeng@csg.cn

王鑫(1984—), 男, 通信作者, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为机器学习、大数据分析、联邦学习等人工智能技术等。E-mail: wangxin2009@zju.edu.cn

(编辑 姜新丽)