

四川电网主力调频调峰电站负荷特性分析

寇力夯¹, 陈在妮², 陈仕军³, 朱阳²

(1.国家能源投资集团有限公司,北京 10038;2.国家能源大渡河流域生产指挥中心,四川成都 610041;

3.四川大学水利水电学院,四川成都 610044)

摘要:作为四川电网主力调频调峰电站,瀑布沟电站的负荷特性对于电网调度运行具有重要影响。开展瀑布沟电站负荷特性分析不仅有利于指导电站制定发电计划,更有利于保障四川电网安全稳定运行。笔者结合瀑布沟电站实际运行的负荷数据,利用谱分析、相关性分析、趋势分析等方法剖析瀑布沟负荷的周期性、相关性规律及其整体变化趋势、局部变化趋势、跳跃成分等。研究结果对瀑布沟电站的安全经济运行,尤其是对提高负荷预测精度具有一定的指导意义。

关键词:负荷数据;周期性;相关性;成分识别

中图分类号:U665.12;TN761.2;TM714

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2020)01-0124-05

Load Characteristics Analysis of Main Frequency and Peak Regulation Power Stations in Sichuan Power Grid

KOU Lihang¹, CHEN Zaini², CHEN Shijun³, ZHU Yang²

(1. CHN Energy Co., Ltd, Beijing, 10038;

2. Dadu River Production Command Center, CHN Energy Co., Ltd, Chengdu, Sichuan, 610041;

3. College of Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu, Sichuan, 610044)

Abstract: As the main frequency and peak regulation power station of Sichuan Power Grid, the load characteristics of Pubugou Hydropower Station have an important effect on power grid dispatching operation. The load characteristic analysis of Pubugou Hydropower Station is not only helpful to guide the power station to make power generation plan, but also to ensure the safe and stable operation of Sichuan Power Grid. Combined with the actual operation load data of Pubugou Hydropower Station, the author analyzes the periodicity, correlation rule, overall change trend, local change trend, jump component of Pubugou load by means of spectrum analysis, correlation analysis and trend analysis. The research results have certain guiding significance for the safe and economic operation of Pubugou Hydropower Station, especially for the improvement of load forecasting accuracy.

Key words: load data; periodicity; correlation; component identification

1 概述

瀑布沟电站是一座以发电为主,兼有防洪、拦沙等综合效益的特大型水利水电枢纽工程。同时,也是四川电网第一大调频调峰电站,对电网安全稳定运行具有举足轻重的作用。廖峰等^[1]结合历史负荷和气象数据等相关资料分析了区域负荷特性和影响负荷变化的主要因素。霍成军^[2]采用灰色关联度分析方法对影响负荷特性变化的因素进行了定量分析。李培强等^[3]基于模糊聚类方法解决了负荷建模中变电站特性分类处理的复杂性与主观性。国内外学者运用统计学方法对区域用电负荷特性分析进行了大量的探索^[4-8],但对电

站负荷特性,特别是调峰调频电站负荷特性研究较少。为了深入分析瀑布沟电站负荷变化特性,笔者采用谱分析方法进行负荷数据的周期性分析;通过日电量、96点负荷的自相关系数计算,分析其负荷数据相关性;采用曲线成分识别方法,识别出负荷数据的整体趋势、局部趋势和跳跃成分。由此,全面、系统地分析了瀑布沟的负荷特性,挖掘瀑布沟电站负荷变化规律,其研究结果对发电计划编制有一定的指导意义。

2 负荷数据的周期性

2.1 谱分析原理

谱分析技术从频率域上分析负荷曲线的内部结构,可以用来判断负荷曲线是否具有周期成

收稿日期:2019-11-17

分^[9]。其中显著的谐波即为周期成分,对应频率的倒数为显著周期。使用谱分析技术可分析频率域上负荷曲线的内部结构和有关性质。在此,使用方差线谱进行分析。

设负荷序列 $X_t (t=1, 2, \dots, n)$, 由 Fourier 级数易得:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - u)^2 = \sum_{j=1}^L \frac{A_j^2}{2} \quad (1)$$

式中 A_j 为第 j 个谐波的傅氏系数(振幅)。由式(1)可知,所有谐波振幅平方的一半之和等于该负荷序列 X_t 的方差 σ^2 , 通过谐波振幅随频率的变化过程可以揭示频率的强弱。方差线谱可以清楚地表明一个给定的负荷序列,包含了哪些频率的谐波分量及各分量的方差所占的比重,进而通过假设检验识别出显著周期成分,构造无量纲统计量。

$$F_j = \frac{0.5A_j^2/2}{(\sigma^2 - 0.5A_j^2)(n-2-1)} \sim F(2, m-3)$$

$$(j=1, 2, \dots, L) \quad (2)$$

作为检验第 j 个谐波是否显著的度量指标, F_j 服从自由度为 $(2, n-3)$ 的 F 分布,根据各项的显著水平 α , 由 F 分布得 F_α , 当 $F_j > F_\alpha$ 时,第 j 个谐波显著,反之则不显著。

2.2 分析结果

对瀑布沟电站 2017 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日的日电量数据进行方差线谱分析,样本容量为 1 095 个,方差线谱的主要周期特征数据见表 1。

表 1 瀑布沟电站日电量数据谱分析主要结果统计表

序号	统计量 F 值	频率 f	周期 T/d
1	622.714	3	365
2	14.335	6	182.5
3	10.2	5	219

由表 1 可知,频率为 3(相应的周期为 365 d)的统计量 F 值最大,为 622.714,其次为频率 6 和 5(周期为约 6 个月和 7 个月)对应的统计量 F 值 14.335 和 10.2。综上所述,瀑布沟电站日电量数据的显著周期为 1 年,其他周期性不明显。

对于 96 点负荷,将瀑布沟电站从 2017 年 1 月 1 日到 2019 年 12 月 31 日的 96 点负荷数据按照时间顺序组成一列向量并进行方差线谱分析,样本容量为 105 120 个 $(1\,095 \times 96)$,96 点负荷方

差线谱的周期特征数据见表 2。

表 2 瀑布沟电站 96 点实际负荷数据谱分析

主要结果统计表

序号	统计量 F 值	频率 f	周期 /d
1	31 050.510 1	3	365
2	1 694.434 8	1 095	1
3	953.396 6	6	182.5
4	681.162 2	5	219

由表 2 可知,对于 96 点负荷而言,频率为 3(对应周期为 365 d)的统计量 F 值是最大的,为 31 050.510 1,其次为频率 1 095 和 6(周期分别为 1 d 和 6 个月)对应的统计量 F 值 1 694.434 8 和 953.396 6,年周期的方差线谱统计量 F 值远远大于其他频率的统计量 F 值。综上所述,瀑布沟电站 96 点实际负荷的显著周期为 1 年,其他周期性不明显。

3 负荷数据的相关性

3.1 相关系数

根据公式

$$\rho_k = \frac{Cov(k)}{\sigma^2} \quad (3)$$

式中 $k=0, 1, 2, \dots, m$ 为滞时或数据编号差值。

当 $\rho_k (k=1, 2, \dots, m)$ 的绝对值越大,说明相应两个序列的内部线性相依程度越强,反之越弱。相关系数的值为 $[-1, 1]$,取 1 表示两个向量之间完全正相关,取 -1 表示两个向量之间完全负相关。从理论上讲, $\rho_k (k=1, 2, \dots, m)=0$ 时,序列是独立的。

3.2 分析结果

对 2017 年到 2019 年的 3 个年度日电量数据进行相关系数的计算,分析各年度之间的相关关系,相关系数计算结果见表 3。

表 3 瀑布沟电站各年度日电量相关系数统计表

年份	(2017,2018)	(2018,2019)	(2017,2019)
相关系数	0.543	0.634	0.535

由表 3 可知,3 个年份的日电量数据之间的相关系数均小于 0.7,可见,年日电量序列间的相关性不高。

为进一步分析相关性规律,笔者将 2017~2019 年的 96 点负荷按年分为三个向量,每个年度为一个列向量,求三个向量之间的相关关系,计算结果见表 4。

表 4 瀑布沟电站各年度 96 点实际负荷相关系数统计表

年份	(2017,2018)	(2018,2019)	(2017,2019)
相关系数	0.468	0.457	0.523

由表 4 可知,相比各年份日电量数据之间的相关性,96 点实际负荷的相关性则更差,3 个年份之间的相关性均不足 0.6。

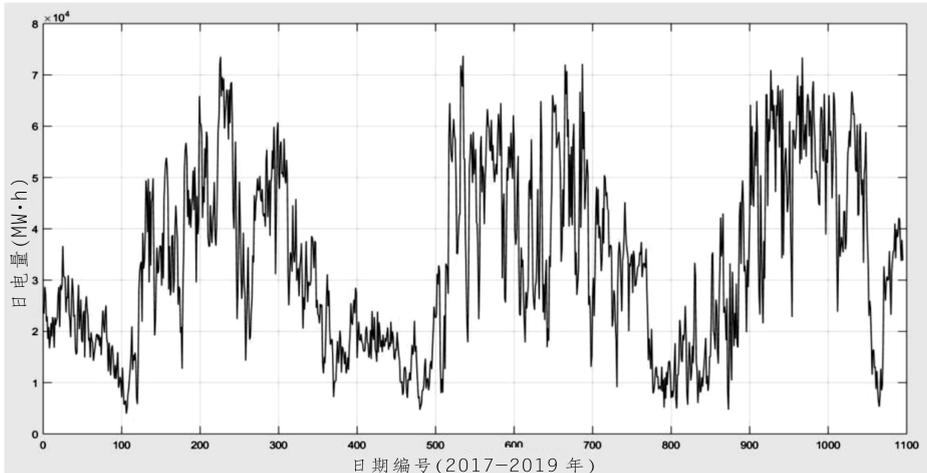


图 1 瀑布沟电站日电量数据曲线图

2017 年到 2019 年的主要数据特征统计见表 5。由表可见,在最大日电量方面,三个年度变化幅度不大,相邻年之间的变幅不超过 0.5%。在平均值方面,2018 年相比 2017 年,平均日电量增加 4.2%,2019 年相比 2018 年增大 2.1%,整体呈现一定的增长趋势,但是趋势不大。

表 5 瀑布沟电站日电量数据主要特征统计表

(单位:万 kWh)

8W 日电量	2017 年	2018 年	2019 年
最小值	470.81	472.10	474.0
最大值	7 374.1	7 340.22	7 340.03
平均值	3 292.82	3 432.12	3 504.26

进一步对日完成电量数据(2017~2019 年)进行 Kendall 秩次相关检验,取显著水平 $\alpha=5\%$,查表得 $U_{\alpha}/2 = 1.96$ 。 $|U| > U_{\alpha}/2$,故统计区间的日负电量曲线具有一定的趋势成分,与上面的分析一致。

4.2 局部趋势

为更好地分析日电量的趋势性规律,使用 7 点滑动平均法对原始日完成电量进行处理(图 2)。7 点滑动平均负荷曲线每一个点的电量数据代表该点所在日期及前后各 3 d 的平均日完成电量,可以看到前面分析的趋势性规律更加明显。

4 采用曲线成分识别方法

4.1 整体趋势

根据 2017 年到 2019 年的日电量数据曲线(图 1),可以初步看到日电量曲线具有比较明显的趋势性和周期性,存在明显的整体上升区间和整体下降区间,且上升区间和下降区间交替出现。

每年在枯水期末期(4 月中旬)出现日电量(7 日平均)的年度最小值。但是,在平水期迅速增大,并在丰水期初期达到较高的电量水平(2017 年在平水期的 5 月中旬即达到了较高水平的日电量),随后在第二个平水期(11 月)到来时开始出现急剧下降趋势。

由图 2 可见,三年 7 点滑动曲线的最小值均发生在 4 月中下旬,即枯水期末期,而日电量的最大值均出现在 7 到 8 月的丰水期,具体统计情况见表 6。

表 6 瀑布沟电站日电量最小值和最大值日期分布表

年份	最小日电量所在日期	最大日电量所在日期
2017 年	4 月 15 日	8 月 12 日
2018 年	4 月 26 日	7 月 15 日
2019 年	4 月 17 日	8 月 22 日

4.3 跳跃成分识别

跳跃是指一个数据序列从一种状态过渡到另一种状态表现出来的急剧变化形式。跳跃通常表现在均值、方差、自相关系数等统计特性上,一般多表现为均值的跳跃。跳跃成分的识别和检验分两步:第一步先识别突变点,第二步对突变点进行跳跃成分显著性识别。

利用 Mann-kendall 法用于突变点的识别, Mann-kendall 法识别突变点理论意义最明显。以一致性为前提,要求序列随机独立且同分布。突变点识别出之后,使用游程检验法对突变点的跳跃成分显著性进行检验。根据 Mann-kendall

法计算 2017 年到 2018 年的日电量数据曲线的统计量 UF 和 UD,并作图找到 UF 和 UD 两条曲线的交叉点。在图中,6 个交叉点分别在 93~94、146~147、469~470、626~627、949~950、1002~1003(图 3)。

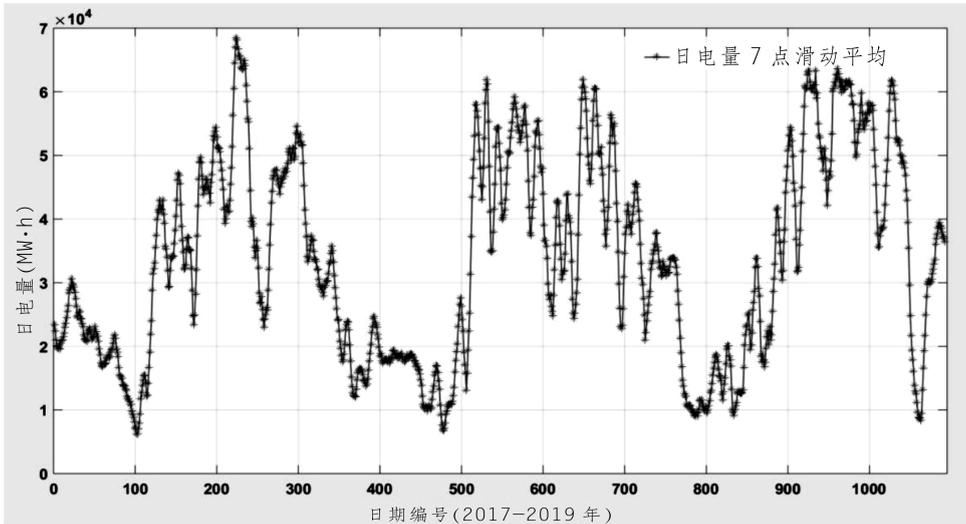


图 2 瀑布沟电站日电量 7 点滑动平均曲线图

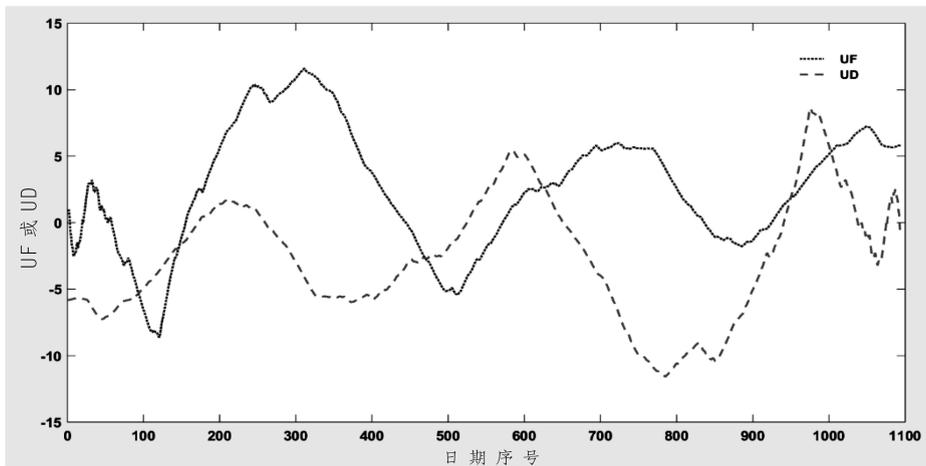


图 3 瀑布沟电站日完成电量曲线跳跃成分识别图

对于以上 6 个交叉点,分别计算交叉点前后各 20 个数据的游程数,计算结果见表 7。

表 7 瀑布沟电站跳跃点位置识别表

交叉点序号	交叉点位置	游程计算数据区间	游程数
1	93~94	74~113	10
2	146~147	127~166	18
3	469~470	450~489	25
4	626~627	607~646	21
5	949~950	930~969	25
6	1 002~1 003	983~1 022	17

在显著水平为 0.025 的条件下,前后数据量均为 20 时游程数的临界值为 14,当样本的游程数超过 14 时,接受原假设,则表明突变点前后的数据来自同一总体,即该交叉点不是突变点。反之,当样本的游程数小于等于 14 时,拒绝原假设,则该交叉点为突变点。因此,除第一个交叉点外,其他 5 个点的游程数均超过了 14,即除第一个交叉点外,其他 5 个点均不是突变点。

图 4 是第一个交叉点前后各 60 d 的日电量

曲线,可见日电量在第 93 d(2017 年 4 月 3 日)前后的 60 d 表现出不同的电量水平,突变点之后的负荷相比之前有明显增加,前 60 d 的平均日电量

为 1 937.1 万 kWh,后 60 d 平均日电量为 2 403.8 万 kWh,提高了 24%。

5 结 语

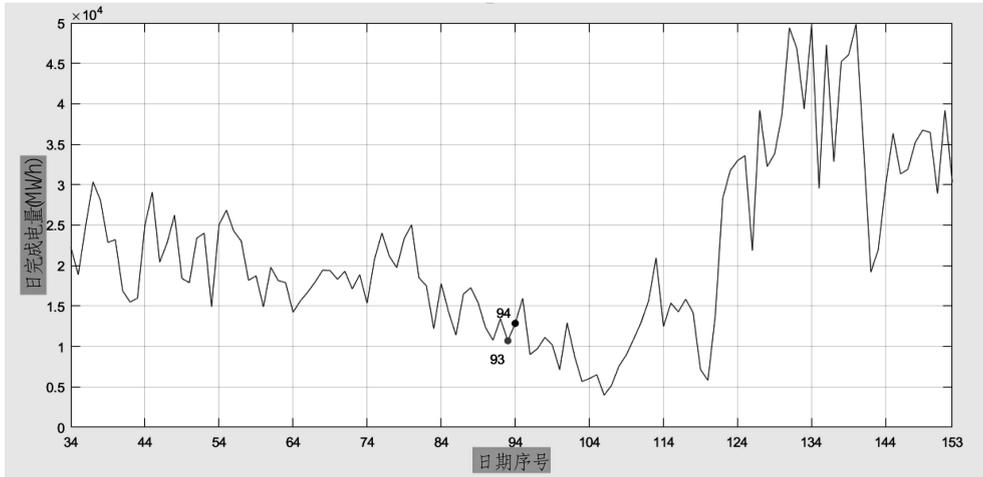


图 4 瀑布沟电站第一个交叉点前后负荷数据情况图

通过谱分析、相关分析和曲线成分识别,针对瀑布沟历史负荷特性进行分析后得出:瀑布沟电站年周期较为显著。日电量和 96 点负荷数据之间的相关性不明显,日电量曲线具有比较明显的趋势性和周期性,存在明显的整体上升区间和整体下降区间,且上升区间和下降区间交替出现。整体趋势性规律明显,每年在枯水期末期(4 月中旬)出现日电量(7 日平均)的年度最小值。但是,在平水期迅速增大,并在丰水期初期达到较高的电量水平,随后在第二个平水期(11 月)到来时开始出现急剧下降趋势。日电量在 4 月上旬发生突变,突变点之后的负荷相比之前有明显增加。分析结果对瀑布沟电站的安全经济运行和发电计划编制有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 廖峰,徐聪颖,姚建刚,等.常德地区负荷特性及其影响因素分析[J].电网技术,2012:117-125.
- [2] 霍成军.电力系统负荷特性分析研究[D].天津:天津大学,2007.
- [3] 李培强,李欣然,陈辉华,等.基于模糊聚类的电力负荷特性的分类与综合[J].中国电机工程学报,2005,25(24):

73-78.

- [4] 王勇.动态负荷下地源热泵性能研究[D].重庆:重庆大学,2006.
- [5] 陶莉,肖晶,周魏,等.负荷特性分析方法的研究[J].电力需求侧管理,2003,5(4):30-32.
- [6] 陈健,刘明波,樊亚亮,等.广州电网负荷特性分析[J].电力系统及其自动化学报,2009,21(6):78-83.
- [7] 杜明建.大数据技术在负荷预测与负荷特性分析中的应用[D].东南大学,2015.
- [8] 于浩祺.电力负荷特性分析及短期负荷预测系统的研发[D].湖南大学,2016.
- [9] 韩添祯,赵书健.需求响应下的电力负荷特性分析[J].吉林电力,2019,47(06):32-35.

作者简介:

- 寇力夯(1980-),男,河北定州人,工学博士,工程师,从事水电产业运营管理工作;
 陈在妮(1984-),女,重庆人,工学硕士,工程师,从事梯级电站经济运行工作;
 陈仕军(1989-),男,福建南平人,博士,助理研究员,从事水文水资源、水电站运行管理及电力市场研究工作;
 朱阳(1990-),男,湖北黄冈人,硕士,从事梯级电站经济运行工作。

(责任编辑:吴永红 卓政昌)

四川 2020 年省内电力市场交易总体方案:规模 1 000 亿千瓦时

《四川省 2020 年省内电力市场交易总体方案》于近日发布,2020 年省内电力市场化交易电量规模预计 1 000 亿千瓦时左右。电力用户准入范围:新增用户范围为四川省已核定输配电价的供电区域内符合国家产业政策、环保政策及节能减排政策的经营性正式用电用户,全面放开专变工业用户,以及 2019 年度购网电量超过 100 万千瓦时的一般工商业及其它专变用户。