典型天气形势与溪洛渡电站发电供求关系的影响

李艳[1]　蔡芗宁[2*]　徐卫立[3]　范晓青[1]　吴星烨[3]　柳晓庆[1]

(1 中国气象局公共气象服务中心，北京 100081；2 国家气象中心，北京 100081；
3 中国长江电力股份有限公司智慧长江与水电科学湖北省重点实验室，宜昌 443133)

摘要　本文利用 2015—2017 年溪洛渡电站逐日入库及出库流量、逐日电站出力资料、广东逐日用电负荷数据及 NCEP 逐日再分析资料，针对溪洛渡右岸电站汛期弃水严重、枯期水量不足，电站发电与广东用电需求存在矛盾的几种生产情景，划分为供不应求型、供过于求型和非典型供过于求型 3 种类型，选取典型个例分析不同类型对应的环流形势和天气成因，并提出今后溪洛渡电站调度的建议。结果表明：每年 5、6 月，广东常受副热带高压控制，用电需求较大，而宜宾以上流域大多受一致的偏西或西南暖湿气流控制，冷空气活动较弱，不利于产生大范围降水，使得溪洛渡电站发电能力与广东用电需求多呈供不应求型；7—9 月，宜宾以上流域多受高原槽及切变线影响，有利于出现明显降水，电站具备满发能力，而华南一般有低涡切变或台风活动，有利于广东出现降水，由于不受副高控制且出现降水，广东用电需求降低，导致出现供过于求型；如广东在副热带高压控制之下，用电需求旺盛，但溪洛渡右岸具备满发能力而出现弃水的情景，往往是因为西南地区降水总体较强，其他水电站加大出力，而电网送出受限等多方面因素影响，导致电网对溪洛渡右岸的电能需求减少，即出现非典型供过于求型。在实际发电生产中可根据天气环流形势提前研判，更加有针对性地开展水库调度、优化电站运行，增加汛期水电电能的有效消纳以及水能资源充分利用。

关键词　电站出力；水力发电；电力负荷；天气环流形势；溪洛渡电站

中图分类号：P49　**DOI**：10.19517/j.1671-6345.20210287　**文献标识码**：A

引言

全球近 1/5 的电力来自水力发电，有 24 个国家 90%以上的电力需求由水力发电提供。截止到 2016 年底我国水电的装机已达到 33207 万 kW，年发电总量 11748 亿 kW·h，已经超过全球水电的 1/4。然而，水电的开发和利用也面临诸多问题，汛期弃水严重，枯期水量不足，电站发电与受电区域用电之间的供需矛盾较为突出，2016 年我国水电弃水已接近损失了一个三峡[1]。

随着大中型江河流域梯级电站开发增多，水库和水库群优化调度、联合运行已成为实现综合利用水力资源，合理匹配水电能源的主要方法之一[2]。吴玮等[3-4]针对 DSM(电力需求侧管理)分时电价下梯级水电站短期优化运营开展研究，邹斌等[5]针对跨省跨区清洁能源消纳补偿开展了市场机制研究，还有学者针对梯级水电站多目标优化调度及其优化调度运行方式开展研究[6-11]。杨东和黄登海[12]针对妥洛水电站汛期出现弃水限负荷的情况，根据地区电网的特点，分析弃水限负荷的成因，提出解决电站弃水限负荷的措施，以提高该电站的发电量及利用小时数，从而提高电站的效益。谭啸和尹林果[13]针对大渡河上游电站电量消纳提出了参考建议。

徐卫立等[14]指出长江上游流域降水预报是水库调度工作的重要一环，准确的气象预报可以提高流量预报精度、延长洪水预见期，在三峡水库防洪、发电、生态调度试验以及水库调度关键期水位控制中都起到了重要的作用。近年来，很多学者针对气

中国长江电力股份有限公司科研课题“受电区域气象条件对用电负荷的影响研究”(241802002)和中国气象局创新发展专项(CXFZ2021Z033)共同资助

作者简介：李艳，女，1981 年生，硕士，高级工程师，主要从事气象服务及应用气象研究，Email：694117738@qq.com

收稿日期：2021 年 6 月 22 日；定稿日期：2022 年 1 月 19 日

* 通信作者，Email：cxn@cma.gov.cn

象因子与电力负荷的关系开展了大量研究，张自银等指出相对于温度单个因子，反映温度和湿度综合作用的闷热指数与最大电力负荷的关系更为密切[15]。成丹等人研究得出持续 3 天以上的炎热天气过程对华中地区电力负荷增长最为显著[16]。不少学者[17-21]先后采用神经网络、支持向量回归等方法建立了北京、上海、武汉、天津、西安气象因子与电力负荷的关系模型。李艳等[22]研究了南京市夏季极端负荷存在 3 种离差曲线类型，并分析了不同的类型对应的天气环流形势特点，建立了极端电力负荷的预测模型。洪国平等[23]将电网日最大负荷分解为基础负荷与气象敏感负荷 2 个主要分量，分析了气象敏感负荷条件指数变化与负荷变化的关系。程定芳等[24]指出在转折天气条件下，精细化气象因子对短期负荷预测的准确率提升尤为重要。罗森波等[25]研究了广东电力负荷特征与气象因子的关系并建立了电力负荷预测模型。

溪洛渡电站位于四川和云南交界的金沙江上，是我国西电东送的主要电源之一，2014 年 7 月全面投产，左右岸电站各安装 9 台 77 万kW 的巨型水轮发电机组，总装机容量为 1386 万kW，为金沙江上最大的一座水电站，同时也是中国第二、世界第三大水电站，建成投产以来源源不断地为社会输送清洁能源，溪洛渡左岸和右岸电站的电能分别送往浙江和广东。其中，溪洛渡左岸的供电能力与浙江省用电需求基本吻合，但每年 5—9 月溪洛渡右岸电站的发电能力与广东用电的供需矛盾比较突出。自 5 月中旬起，气温逐步升高，广东的用电负荷激增，而溪洛渡右岸 5 月至 6 月上中旬入库流量较小，加上 6 月中旬前无明显涨水过程，溪洛渡逐步消落至死水位，可用水量有限，电站发电能力难以满足广东激增的用电需求。7—9 月，广东常受台风或其他降水系统影响，气温下降，用电需求减少；此时，金沙江流域进入主雨季，溪洛渡右岸入库流量丰沛，电站具备满发能力，但受广东用电需求影响未满发弃水的情况时有发生。如 2017 年 8 月，台风接连登陆广东，用电减少，对溪洛渡右岸发电需求降低；23 日台风“天鸽”在广东珠海市登陆、27 日台风“帕卡”在广东台山市登陆，为应对台风影响，保障电网运行安全，23 日、27 日、28 日溪洛渡右岸电站在入库流量达超满发的情况下按高峰 320 万 kW（满发出力减半）运行。在此期间，溪洛渡水库按防总要求控制库水位在 580 m 附近基本出入库平衡运行，溪洛渡右岸电站 3 天累计弃水损失电量 1.8 亿kW·h。

本文针对溪洛渡电站发电能力与广东用电需求存在矛盾的几种生产情景，划分了不同的供需矛盾类型，通过对不同类型情景的个例进行分析，总结其对应的环流形势及天气成因，以便为实际发电生产中根据天气环流形势提前进行研判，开展水库调度和优化电站运行提供决策参考，从而增加汛期水电电能的有效消纳，充分利用水能资源。

1　资料和方法

1.1　区域概况

溪洛渡电站控制宜宾以上流域（图 1），包括金沙江上游、石鼓—攀枝花、雅砻江、攀枝花—华弹、华弹—向家坝、横江流域的来水，溪洛渡左岸和右岸电站的电能分别送往浙江和广东，其中溪洛渡左岸电站满发时段与浙江的用电需求匹配度较高，不存在明显的供需矛盾；而溪洛渡右岸发电与广东用电的供需矛盾非常突出，因此本文重点研究溪洛渡右岸发电能力与广东用电需求之间的矛盾情景。

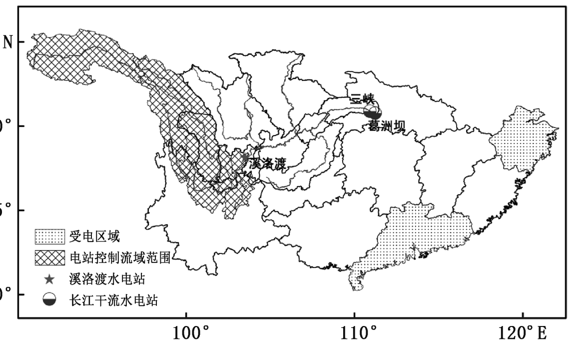

图 1　溪洛渡电站控制流域及受电区域示意

1.2　资料来源

本研究所采用的资料包括：国家气象信息中心提供的长江上游 281 个国家气象观测站 2015—2017 年逐日降水资料；长江电力公司提供的 2015—2017 年溪洛渡电站逐日入库及出库流量、逐日电站出力资料；广东省 2015—2017 年逐日电力负荷数据；美国气象环境预报中心（NCEP）2015—2017 年逐日再分析资料，水平格点分辨率为 $2.5^{\circ}\times2.5^{\circ}$。

1.3　流域面雨量计算方法

溪洛渡电站的发电能力，与电站控制流域范围内的面雨量密切相关，本研究选取泰森多边形法计

算流域面雨量[26-28]。泰森多边形法是先求得各测站的面积权重系数，即将流域内各相邻测站用直线相连，做各连线的垂直平分线，把流域划分为若干个多边形，每个多边形内都有一个测站，再根据各站的权重系数，分配给各站降水获取最终的流域面雨量。流域平均面雨量的计算公式如下：

$$P = f_1P_1 + f_2P_2 + \cdots + f_nP_n \tag{1}$$

式中，P 为流域平均面雨量，f_1，f_2，…，f_n 分别为各雨量站用多边形面积计算的权重数；设每个雨量站都以其所在的多边形为控制面积 ΔA，ΔA 与全流域的面积 A 之比 $f=\Delta A/A$，即为该雨量站的权重数，P_1，P_2，…，P_n 分别为各测站的降雨量。

1.4 气象负荷的分离

电力负荷可直观反映受电区域的用电量需求，为了准确分析气象条件对用电负荷的影响，需要将气象负荷分离出来，然后根据生产活动和气象条件变化，分离分段进行分析研究。

一般来说，用电负荷由 3 个分量组成[29-31]：

$$L = L_t + L_{\mathrm{m}} + x \tag{2}$$

其中，L 为总用电负荷；L_t 为经济负荷，也称为趋势负荷，表示国民经济发展对用电负荷的贡献，L_{m} 为气象负荷，表示气象要素对用电负荷的贡献；x 为随机负荷，表示随机因素对用电负荷的影响。

对于原始用电负荷数据序列 L，进行以 7 d 为周期的滑动平均，去掉以星期为周期的波动分量，得到滑动平均负荷序列 C_t：

$$C_t = \frac{\sum_{k=1}^{7} L_{t+k-1}}{7} \tag{3}$$

式中，k 表示滑动周期，t 表示时间。

国民经济增长速度一般比较均匀，因此经济负荷随时间的变化可以用简单的线性关系来表示，对滑动平均负荷序列 C_t 进行线性拟合，采用最小二乘法确定系数 a 和 b，得到经济负荷 L_t 的线性回归方程，从而求得经济负荷序列 L_t：

$$L_t = a + bt \tag{4}$$

由于随机负荷与其他项相比，量级小且随机性强，影响较小，在此忽略不计，因此原始负荷 L 与经济负荷 L_t 的差值为气象负荷 L_{m}：

$$L_{\mathrm{m}} = L - L_t \tag{5}$$

由于电力部门最为关注的还是用电负荷受天气影响部分的波动比例，本文开展气象条件与用电负荷相关性研究时，采用的负荷数据均为气象负荷 L_{m} 与经济负荷 L_t 的比值，即气象负荷率 l_{m}。

$$l_{\mathrm{m}} = \frac{L_{\mathrm{m}}}{L_t} \tag{6}$$

1.5 电站供需矛盾典型个例

对 2015—2017 年溪洛渡右岸电站资料和广东用电数据进行统计，将溪洛渡右岸发电能力与广东用电需求的不同供需情景划分为供不应求型、供过于求型和非典型供过于求型 3 种类型，重点分析不同类型供需情景对应的环流形势和天气成因(表 1)。其中，供不应求型为宜宾以上流域降水少，广东用电需求大；供过于求型为宜宾以上流域降水多、而广东用电需求小；非典型供过于求型为宜宾以上流域降水多，广东用电需求大，但溪洛渡右岸仍未实现满发。

2 结果分析

2.1 流域面雨量和电站入库流量特征分析

如图 2 所示，2015—2017 年宜宾以上流域(溪洛渡电站控制流域范围)逐旬的平均面雨量 11 月中旬至次年 4 月中旬，降水量少且变化平缓；4 月下旬至 5 月中旬，随着南海季风的爆发，降水量明显增加，但总体来看电站 12 月中旬至 5 月中旬的平均入库流量较小，普遍在 2000 $\mathrm{m^3/s}$ 以下，电站发电能力有限；5 月下旬至 6 月上旬，随着印度季风的爆发，降水量激增，“六下七上”的旬平均面雨量达全年峰值，每年 6 月下旬流量开始激增。近几年华西秋雨较为充沛，9 月上旬的平均面雨量达全年次高峰，7 月上旬至 9 月下旬溪洛渡的平均入库流量普遍可达超满发流量。

2.2 电站发电能力与用电需求特征分析

如图 3 所示，由于广东夏季(4—10 月)持续时间长，每年 4 月中旬起，随着最高气温逐步突破 30 ℃，用电负荷呈上升趋势，尤其是 5 月中旬起用电负荷激增，6—9 月广东的气象负荷率普遍达 15%以上，负荷水平总体稳定在高位运行；然而溪洛渡右岸电站 5—6 月上旬由于入库流量十分有限，电站的旬平均出力普遍在 300 万kW 以下，电站的发电能力与广东用电需求呈现明显的“滞后性”。7—9 月，溪洛渡右岸的入库流量普遍可达超满发流量，即电站具备满发能力，但由于 7—9 月为台风高发季，广东受台风影响较为频繁，一旦有台风或其他降水天气系统影响，用电负荷会出现一定波动，因此对溪洛渡电站的发电需求降低，导致溪洛渡右岸的出力存在较

表 1　2015—2017 年溪洛渡右岸发电能力与广东用电需求三种典型供需矛盾类型统计

供需类型	典型个例	电站平均出力/万 kW	溪洛渡平均入库流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	广东平均气象负荷率/%	广东过程平均最高气温/℃
供不应求型	2015-05-26—30	176.3	2062.0	17.2	33.8
	2015-06-02—08	178.4	2762.0	16.7	33.5
	2015-06-08—13	216.3	2350.0	19.3	33.9
	2015-06-15—19	204.1	3458.0	22.7	35.4
	2016-05-23—27	334.3	3452.0	10.7	32.3
	2016-05-31—06-03	238.8	4317.5	17.8	36.2
	2016-06-14—18	417.0	4874.0	14.8	33.3
	2017-06-02—08	292.1	3120.0	23.9	34.4
	2017-06-12—16	279.1	2960.0	20.7	32.4
	2017-06-21—23	458.4	4750.0	15.9	32.2
供过于求型	2015-08-27—09-02	522.9	10022.9	6.5	30.3
	2016-08-02—03	449.6	8780.0	—3.0	30.6
	2017-08-23—28	443.6	7921.7	11.2	30.7
	2017-08-31—09-04	491.4	7530.0	16.1	34.6
非典型供过于求型	2015-09-09—11	578.4	10453.3	13.7	32.6
	2016-07-27—08-01	340.4	10043.3	20.1	36.5
	2016-09-25—28	324.0	8615.0	19.2	34.8
	2017-07-10—18	488.9	10480.0	17.1	32.7
	2017-08-05—22	530.3	8374.4	28.1	35.6
	2017-09-06—15	511.7	9869.0	20.3	33.3
	2017-09-24—30	421.0	7674.3	25.4	34.3

注:溪洛渡满发流量为 7450 m^3/s,溪洛渡右岸满发出力为 630 万kW。

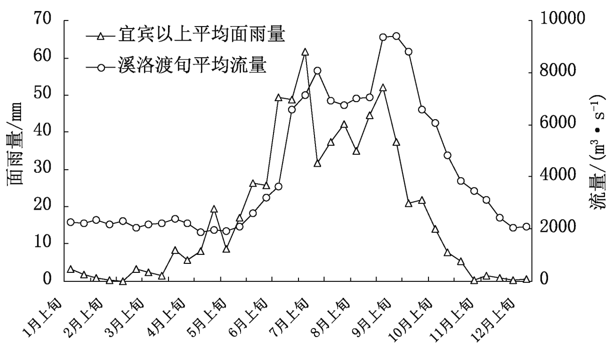

图 2　2015—2017 年宜宾以上流域逐旬平均面雨量与溪洛渡逐旬平均入库流量分布

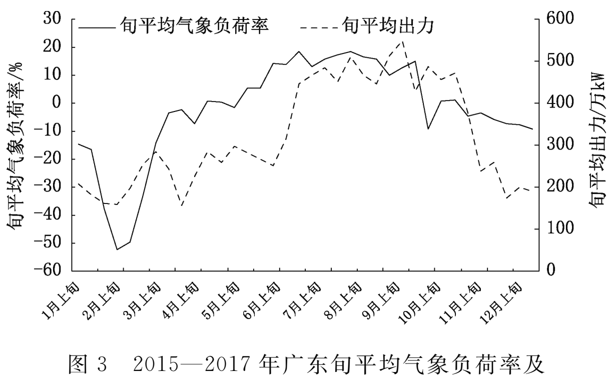

图 3　2015—2017 年广东旬平均气象负荷率及溪洛渡右岸旬平均出力

明显的起伏波动,从 2015—2017 年溪洛渡右岸逐旬的平均出力来看,只有 8 月上旬(511.1 万kW)、9 月上旬(514.7 万kW)和 9 月中旬(550.4 万kW)的平均出力达 500 万kW 以上(满发出力为 630 万kW),7—9 月的其余时段电站的平均出力均在 500 kW 以下,具备满发能力未满发弃水的情况时有发生。

2.3　典型环流形势分析

2.3.1　供不应求型

由于每年 5、6 月份宜宾以上流域属于干湿转换的过渡时段,流域降水少,溪洛渡发电能力受到较大限制,而此期广东用电需求大,导致电站常出现供不应求的情况。

对表 1 中 10 个供不应求型个例的环流形势进行分析发现,这种情景下,广东基本受西太平洋副热带高压(以下简称副高)控制,气温偏高,用电需求较大;500～700 hPa 宜宾以上流域受一致的偏西或西南暖湿气流控制,冷空气活动较弱;850～925 hPa 上偏南风速较小;925～500 hPa 各层的水汽条件均较差,垂直上升运动较弱;因此宜宾以上流域总体降水较少,导致溪洛渡电站的发电能力无法满足广东地区旺盛的用电需求。

这 10 个个例的环流形势相似度较高，可对其进行合成分析得到供不应求型 500 hPa 合成平均高度场（图 4），在日常水库调度业务中可重点参考副高 588 dagpm 和 584 dagpm 特征线的位置，从而寻找广东气温偏高、宜宾以上流域降水偏少的环流信号。

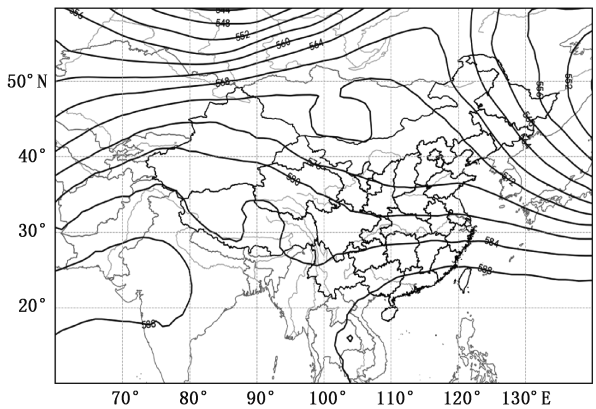

图 4　供不应求型 500 hPa 合成平均高度场（单位：dagpm）

以供不应求型的典型个例 2016 年 5 月 21—31 日为例，从图 5 可见，2016 年 5 月 23 日起，广东用电负荷快速攀升，其中 5 月 25—27 日平均气象负荷率在 12%～14%之间，空调负荷需求大；而溪洛渡右岸由于受上游降水少的影响，发电能力受限，在广东用电需求增大时无法同步调增电站出力，日平均出力只能维持在 300 万kW 左右运行。

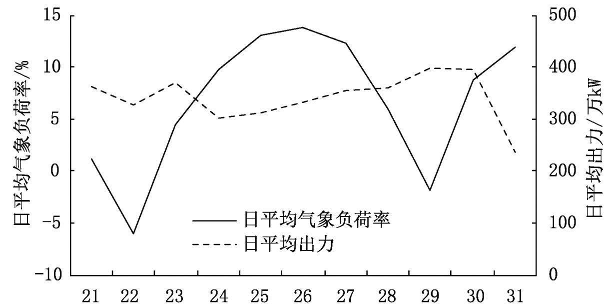

图 5　2016 年 5 月下旬广东日平均气象负荷率与溪洛渡右岸日平均出力

2.3.2　供过于求型

每年 7—9 月，宜宾以上流域进入主雨季，电站来水丰沛，具备满发能力。此期间广东常受到台风或降水影响，气温下降，用电需求降低，造成供过于求的矛盾。

对表 1 中 4 个供过于求型典型个例的环流形势进行分析发现，这种情景下广东一般不在副高的势力范围内，但副高的南北位置差异较大（图 6）；影响

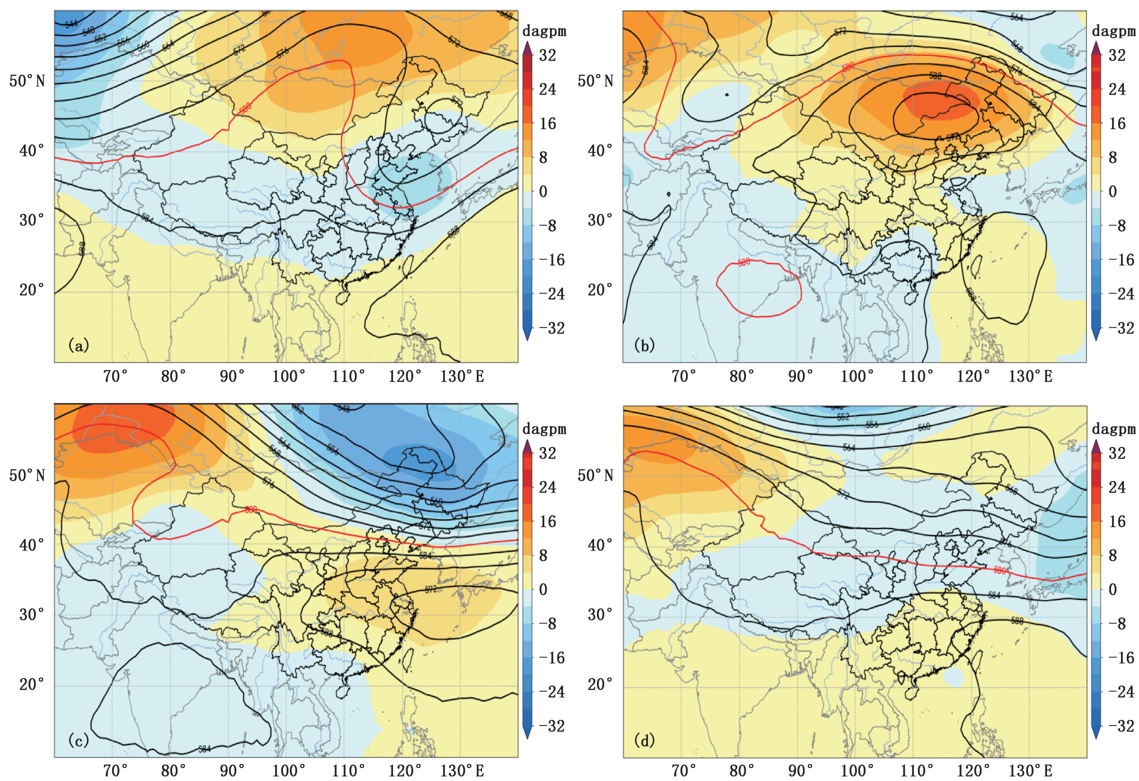

图 6　供过于求型 500 hPa 平均高度（等值线）及距平场（阴影）：(a)2015 年 8 月 27 日至 9 月 2 日，(b)2016 年 8 月 2—3 日，(c)2017 年 8 月 23—28 日，(d)2017 年 8 月 31 日至 9 月 4 日

我国的冷空气活动频繁,但影响路径不尽相同,鉴于以上两个因素,不宜对此情景下的环流型进行合成分析。但从图 6 还是可以发现这种情景下一些环流形势的共同之处:青藏高原波动频繁,有利于宜宾以上流域的青海南部、四川、云南等地出现降水,溪洛渡电站来水丰沛,具备满发能力;华南一般有低涡切变或台风活动,有利于广东出现降水,由于不受副高控制且出现降水,广东的日最高气温一般会有所下降,用电需求也随之降低。

供过于求型的典型个例,从图 7 可见,2015 年 8 月 28 日起广东的日平均气象负荷率迅速走低,尤其是 8 月 31 日至 9 月 2 日的平均气象负荷率均在 5% 以下,空调负荷需求较低;在此期间,溪洛渡电站控制流域降水丰沛,入库流量均超过电站满发的流量,然而 8 月 27—30 日溪洛渡右岸的平均出力分别为 449.2、426.4、458.4 和 528.4 万kW,8 月 31 日至 9 月 2 日溪洛渡右岸平均出力接近 600 万kW,电站未实现满发运行(参照当时水库水位,电站满发出力应为 630 万kW)。

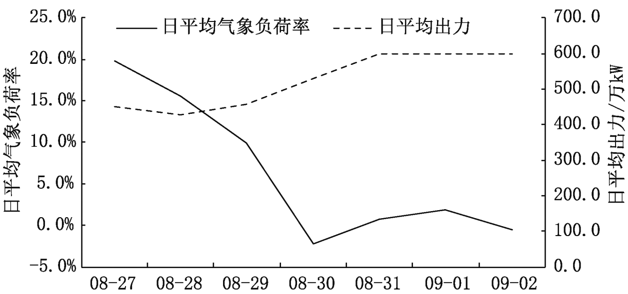

图 7　2015 年 8 月 27 日至 9 月 2 日广东日平均气象负荷率与溪洛渡右岸日平均出力

2.3.3　非典型供过于求型

非典型供过于求型,主要是由于西南区域降水强,溪洛渡电站具备满发能力,而此时受周边其他小水电站加大出力及电网送出受限等多方面因素的影响,使得广东电网对溪洛渡的电能需求减少。

对表 1 中 7 个非典型供过于求型个例的环流形势进行分析发现,这种情景下,北方弱冷空气与低层偏南暖湿气流形成的切变线一般位于青海南部、四川、湖北一带,有利于宜宾以上流域及西南地区出现降水,溪洛渡电站来水丰沛,具备满发能力;而广东受副高控制,气温较常年同期偏高,用电需求旺盛,但由于受上文中提到的多方面因素影响,广东电网对溪洛渡右岸的电能需求减少,造成电站弃水。

由于这 7 个个例的环流形势相似度较高,可对其进行合成分析得到非典型供过于求型 500 hPa 合成平均高度场(图 8),在日常水库调度业务中可重点参考副高 588 dagpm 特征线西伸的位置,副高西伸脊点一般在 100°～110°E 之间对宜宾以上流域出现降水最为有利。

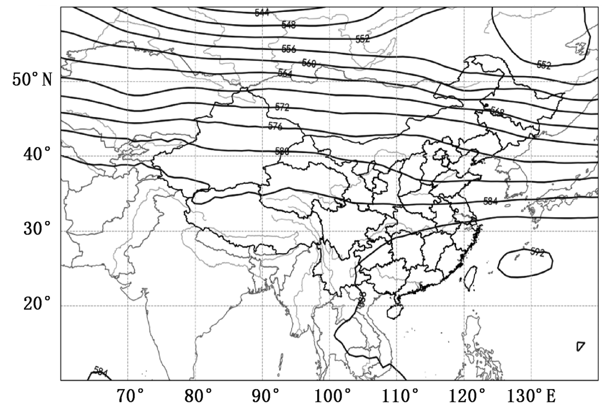

图 8　非典型供过于求型 500 hPa 合成平均高度场(单位:dagpm)

非典型供过于求的典型个例,从图 9 可见,2017 年 9 月 24—30 日广东日平均气象负荷率均在高位运行,尤其是 9 月 26—29 日连续 4 天日平均气象负荷率达 28%以上,对于空调负荷的需求很高;在此期间溪洛渡右岸具备满发能力,然而受上文提到的因素影响,并未根据广东负荷的需求实现满发,从 26 日起溪洛渡右岸的出力接连下降,据电站水损数据统计显示,2017 年 9 月 24—30 日溪洛渡右岸因弃水损失电量达 0.9246 亿kW·h。

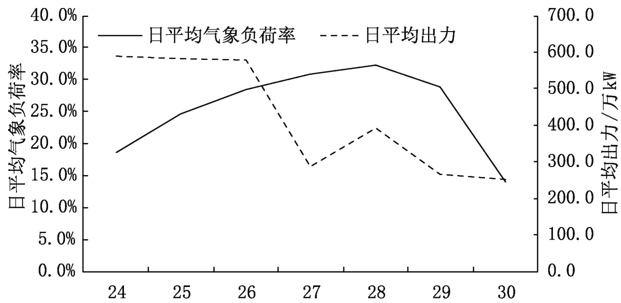

图 9　2017 年 9 月 24—30 日广东日平均气象负荷率与溪洛渡右岸日平均出力

3　结论与建议

本文以溪洛渡电站为例,利用 3 年的数据资料分析得到 3 种典型天气环流形势对水电站发电供求

关系的影响特征。

(1)每年5、6月,溪洛渡电站发电能力与广东用电需求多呈供不应求的情形,主要是由于5、6月广东常受副高控制,气温升高导致用电需求增大;而宜宾以上流域大多受一致的偏西或西南暖湿气流控制,冷空气活动较弱,不利于大范围降水的产生。

(2)7—9月,溪洛渡电站来水大和广东用电需求小即供过于求的生产情景,往往对应华南有低涡切变或台风活动,有利于广东出现降水,日最高气温往往会有所下降,用电需求随之降低;青藏高原波动频繁,有利于宜宾以上流域的青海南部、四川、云南等地出现降水,溪洛渡电站来水丰沛,电站具备满发能力而弃水。

(3)7—9月广东用电需求相对旺盛,同时溪洛渡右岸具备满发能力而存在弃水的情景,往往对应广东在副高的控制之下,天气炎热;北方弱冷空气与低层偏南暖湿气流形成的切变线往往位于青海南部、四川、湖北一带,有利于宜宾以上流域出现降水,同时西南区域降水总体较强,导致其他水电站加大出力,电网对溪洛渡的电能需求减少。

对溪洛渡电站的调度提出如下建议:

(1)5、6月溪洛渡右岸发电能力与广东的用电需求不匹配,为解决此矛盾,建议可适当偏高控制溪洛渡水位,预留部分水量供5、6月使用。

(2)针对7—9月供过于求的生产情景,建议重点关注广东的天气环流形势,如预测广东用电需求低,需提前采取相关措施,尽量减少期间调减溪洛渡右岸出力幅度;同时密切跟踪天气变化,判断广东用电需求再度上升的时间点,调增溪洛渡右岸出力,保证满发、减少弃水损失。

(3)针对7—9月非典型供过于求的生产情景,建议今后应密切跟踪广东气温变化,如研判气温将继续升高,用电需求进一步增大,应提前增加溪洛渡右岸的出力。

参考文献

[1] 张博庭.我国水电发展迎来重大政策利好[J].水电与新能源,2018,32(1):1-4.

[2] 孙志祥,吴建斌,万均强.四川省水力发电经济调度控制思考[J].水电站机电技术,2012,35(1):54-64.

[3] 吴玮,周建中,曹广晶,等.DSM分时电价下梯级水电站短期优化运营的研究[J].水力发电,2005,31(7):17-19.

[4] 吴玮,周建中,杨俊杰,等.分时电价下三峡梯级电站在日前电力市场中的优化运营[J].电网技术,2005,29(13):10-19.

[5] 邹斌,赵妍,李晓刚,等.跨省跨区清洁能源消纳补偿的市场机制研究[J].电网技术,2016,40(2):595-601.

[6] 裴哲义,王益民,舒印彪,等.三峡电力系统大型水电站群与三峡电站联合运行优化补偿调度运行方式研究[J].电网技术,2008,28(10):66-70.

[7] 丁胜祥,张莉,张明波.长江流域洪水分期规律对水库优化蓄水运用方式的科学支撑作用[J].水文,2012,32(5):62-68.

[8] 王铮.梯级水电站群联合优化调度及其决策方法[D].北京:华北电力大学,2014.

[9] 周曼,徐涛.三峡水利枢纽多目标优化调度及其综合效益分析[J].水利发电学报,2014,33(3):55-60.

[10] 李凤丽.梯级水电站生态发电多目标优化调度模型及应用研究[D].兰州:兰州理工大学,2016.

[11] 陆涛,马文光,王黎.节能调度对水力发电企业的影响及应对措施[J].华东电力,2020,38(1):36-38.

[12] 杨东,黄登海.关于提高妥洛电站消纳能力的探讨[J].水电厂自动化,2017,38(2):56-66.

[13] 谭啸,尹林果.关于大渡河上游电站电量消纳的思考[J].四川水力发电,2017,36(6):112-115.

[14] 徐卫立,阮燕云,张俊.长江上游流域降水预报在三峡水库调度中的应用[J].气象科技进展,2018,8(4):109-112.

[15] 张自银,马京津,雷杨娜.北京市夏季电力负荷逐日变率与气象因子关系[J].应用气象学报,2011,22(6):760-765.

[16] 成丹,刘静,郭淳薇,等.基于积温效应的华中电网电力负荷预测[J].气象科技,2018,46(4):814-821.

[17] 李琛,郭文利,吴进,等.基于BP神经网络的北京夏季日最大电力负荷预测方法[J].气候与环境研究,2019,24(1):135-142.

[18] 李艳,徐卫立,裴顺强,等. 基于逐步回归和SVR方法的上海夏季日最大电力负荷的模拟研究[J].气象与环境科学,2021,44(4):1-7.

[19] 任永建,熊守权,洪国平,等.气象因子对夏季最大电力负荷的敏感性分析[J].气象,2020,9(46):1245-1253.

[20] 兰辉,左晓辰,郭玲,等.天津电力人体舒适度预报模型[J].气象科技,2018,46(3):625-630.

[21] 卢珊,浩宇,王百朋,等.引入积温效应预测夏季西安市电力气象负荷[J].气象科技,2017,45(6):1090-1094

[22] 李艳,俞剑蔚,蔡芗宁,等. 南京市电力负荷特征及夏季极端负荷与气象条件关系[J].气象科技,2021,49(4):637-646.

[23] 洪国平,崔新强,任永建,等. 夏季武汉市电网气象敏感负荷预测模型[J].气象科技,2015,43(3):557-560.

[24] 程定芳,任永建,陈正洪.精细化气象因子对短期电力负荷预测的影响研究[J].华中师范大学学报(自然科学版),2020,54(5):792-797.

[25] 罗森波,纪忠萍,马煜华,等.2002-2004年广东电力负荷的变化特征及预测[J].热带气象学报,2007,23(2):153-161.

[26] 方慈安,潘志祥,叶成志,等.几种流域面雨量计算方法的比较[J].气象,2003,29(7):23-26.

[27] 徐晶,姚学祥.流域面雨量估算技术综述[J].气象,2007,33(7):15-21.

[28] 李文广,彭辉,韩凯,等.考虑水库影响的长江上游流域降水时

空变化分析[J].中国农村水利水电,2019(10):75-80.
[29] 陈正洪,洪斌.华中电网四省日用电量与气温关系的评估[J].地理学报,2000,55(S1):34-38.
[30] 胡江林,陈正洪,洪斌,等.基于气象因子的华中电网负荷预测方法研究[J].应用气象学报,2002,13(5):600-608.
[31] 刘红亚,曹亮.上海市电力负荷与气象因子关系及精细化预报[J].应用气象学报,2013,24(4):455-463.

Impact of Typical Weather Circulation Situation on Relationship Between Power Supply and Demand of Xiluodu Hydropower Station

LI Yan[1]　CAI Xiangning[2]　XU Weili[3]　FAN Xiaoqing[1]　WU Xingye[3]　LIU Xiaoqing[1]

(1 CMA Public Meteorological Service Centre, Beijing 100081; 2 National Meteorological Center of China, Beijing 100081; 3 Hubei Key Laboratory of Intelligent Yangtze and Hydroelectric Science, China Yangtze Power Co. Ltd, Hubei, Yichang 443133)

Abstract: Based on the daily inbound and outbound flow and output data of Xiluodu Hydropower Station, the daily electricity load data of Guangdong, and the daily re-analysis data of NCEP from 2015 to 2017, this paper divides the production scenarios of Xiluodu Right Bank Hydropower Station into three types: short supply, oversupply and atypical oversupply. They are characterized by insufficient water in the dry season, severe water abandonment in flood season, and contradiction between power generation and power demand of Guangdong Province. Typical cases are selected to analyze the circulation situation and weather causes corresponding to different types, and suggestions for future dispatching of Xiluodu Hydropower Station are put forward. The results show that in May and June of each year, Guangdong is often controlled by subtropical high pressure, and the demand for electricity increases significantly. The drainage area above Yinbin is mainly located on the northwest side of the anticyclonic circulation and is controlled by a uniform westward or southwestern warm and humid air. There is no cold air activity, which is not conducive to large-scale precipitation. As a result, the power generation capacity of Xiluodu Hydropower Station is insufficient and the demand for electricity in Guangdong exceeds supply. The drainage area above Yinbin is mostly affected by plateau troughs and shear lines or cold air from the east from July to September, conducive to significant precipitation. During this period, the power station has full capacity. However, when Guangdong is affected by the typhoon system or is located on the north side of the subtropical high pressure, the power demand in Guangdong decreases, resulting in an over-supply type. If Guangdong is under the control of subtropical high voltage, the electricity demand is high. However, water abandonment on the right bank of Xiluodu happens frequently due to the increased output of other hydropower stations in the southwestern region and limited power transmission, which has led to a decreased demand for power from the power grid on the right bank of Xiluodu. This situation corresponds to atypical oversupply. In actual power generation productions, it is possible to study and judge in advance according to weather circulation situation and better carry out reservoir dispatching, optimize power station operation, and increase the effective consumption of hydroelectric power and full utilization of hydropower resources during flood periods.

Keywords: power station output; hydropower; power load; weather circulation situation; Xiluodu Hydropower Station