

金银台航电扩机的必要性分析

张海龙

(四川省港航开发集团有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要: 自嘉陵江干流控制性工程亭子口水利枢纽工程建成后, 在其调峰发电和汛期拦蓄错峰运行时, 导致下游金银台航电运行中产生大量弃水。经分析, 对金银台航电进行扩机可有效提高金银台航电枢纽运行的灵活性, 充分利用流域水能资源, 同时也说明, 扩机是十分正确的选择, 并且可给其他流域上下游电站发电流量不匹配而进行扩机提供借鉴。

关键词: 金银台航电; 弃水; 扩机; 有利因素

中图分类号: [TM622]; TV139.2+33; [TB857+.4] **文献标识码:** B

文章编号: 1001-2184(2023)03-0117-04

Necessity Analysis of the Generator Unit Expansion of Jinyintai Navigation and Hydropower Project

ZHANG Hailong

(Sichuan Port and Channel Development Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610000)

Abstract: Since the completion of Tingzikou Hydraulic Project, which is a control project in the main stream of Jialing River, in its peak regulating and power generation during flood season, a large amount of abandoned water has been produced in the operation of Jinyintai Navigation and Hydropower Project in the lower reaches of Jialing River. The analysis shows that, after the expansion, the operation flexibility of Jinyintai Navigation and Hydropower Project can be improved effectively and the hydraulic resources of the basin can be fully utilized. Therefore, it is necessary to implement the unit expansion. At the same time, it can also provide reference for other expansion projects in similar cases.

Key words: Jinyintai Navigation and Hydropower Project; abandonment of water resources; generator unit expansion; favorable factor

1 金银台航电概况

嘉陵江金银台航电枢纽是国家批准的《广元至重庆嘉陵江渠化开发规划报告》十六级开发方案中的第四级。项目以航运和水力发电为主, 兼有防洪、灌溉、环保、旅游开发等综合效益。

金银台航电枢纽电站装机容量 120 MW (3 × 40 MW), 额定水头 13 m, 设计年发电量 6.2 亿 kW·h, 其中丰水期电量 3.19 亿 kW·h; 平水期电量 1.09 亿 kW·h; 枯水期电量 1.92 亿 kW·h。水库正常蓄水位以下库容为 1.665 亿 m³, 调节库容 970 万 m³, 为日调节水库, 最大发电引用流量 1 045.2 m³/s。2006 年 7 月 3 台发电机组全部并网发电。

2 金银台航电扩机背景

收稿日期: 2023-01-06

2.1 上游已建水电站

金银台航电上游已建碧口、宝珠寺、亭子口 3 座水电站, 其中碧口和宝珠寺电站位于嘉陵江支流白龙江上; 亭子口电站是嘉陵江干流开发中唯一的控制性工程, 电站装机容量 1 100 MW, 多年平均发电量 31.75~29.51 亿 kW·h (无灌溉~全灌溉), 正常蓄水位以下库容 34.68 亿 m³, 调节库容 17.32 亿 m³, 2014 年 5 月机组全部并网发电。

2.2 金银台与亭子口电站的区间梯级电站

金银台与亭子口电站区间已建苍溪、沙溪 2 座航电枢纽, 其中苍溪航电装机容量 66 MW, 水库正常蓄水位以下库容 0.197 亿 m³, 调节库容 197 万 m³, 为日调节水库。沙溪航电装机容量 87 MW, 水库正常蓄水位以下库容 0.576 亿 m³,

调节库容 0.360 亿 m^3 , 为日调节水库。

2.3 金银台航电扩机的现实

2014年5月亭子口电站建成投产后,对下游电站的补偿调节效果明显。但亭子口电站设计满发流量为 1 728.4 m^3/s ,与金银台航电满发引用流量 1 045.2 m^3/s 严重失衡,倒挂流量达 683.2 m^3/s ,导致运行中大量弃水^[1-3]。亭子口电站投产运行 8 年多来,金银台航电多年平均水能利用率由 69.24% 下降到 63.56%。另外,尽管亭子口电站在汛期起到了拦蓄错峰调节作用,却增加了下游航电枢纽的行洪弃水时间,导致多年平均弃水量较建成前增加了约 1.43 亿 m^3 ,未能充分发挥水电这一清洁能源的减“碳”优势。

3 金银台航电扩机的有利因素

3.1 能在平枯水期充分利用亭子口电站调峰运行的倒挂流量减少弃水

金银台航电调节库容为 970 万 m^3 ,当亭子口电站因日内调峰下泄满发流量 1 728.4 m^3/s 时,除金银台机组满发流量 1 045.2 m^3/s 外,金银台航电水库仅可调蓄部分富裕水量约 3.94 h。若系统日内调峰时间 8 h,则其余 4.06 h 的倒挂部分水量将被迫弃水。若金银台扩建一台 25 MW 机组,每天可减少该部分损失电量约 10.15 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$,按平水期 2 个月和枯水期 5 个月计算,则每年可减少该部分损失电量约 2 158 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$,其中平水期电量 617 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 、枯水期电量 1 541 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

3.2 可以平枯水期充分利用支流——东河的流量发电

金银台航电库区有嘉陵江一级支流东河汇入,其河口多年平均流量为 94.9 m^3/s ,平水期和枯水期流量分别为 13.4 m^3/s 和 13.0 m^3/s 。在系统日内调峰期间,若金银台扩建一台 25 MW 机组,可分别减少该部分平水期和枯水期电量损失 73 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 和 176 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

3.3 在枯水期机组检修期间可减少弃水增发电量

金银台航电水轮机为贯流式机组,在一般情况下,贯流式机组 6 年左右需进行大修,时间约为 90~120 d^[4]。在一台机组大修期间,电站两台机组最大发电流量仅为 696.8 m^3/s ,此时与上游亭子口的满负荷发电流量倒挂达 1 031.6 m^3/s ,金

银台调节库容 970 万 m^3 ,可调蓄 2.61 h 的水量,如系统日内调峰时间 8 h,则尚有 5.39 h 的上游亭子口水库调峰流量将被迫弃水。

据初步计算,金银台若扩建一台 25 MW 机组,每天可减少该部分损失电量约 13.47 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$,按每 6 年一台机组平均大修 105 d、电站运行 30 年计,共大修 5 次,则金银台电站在运行期间因此减少枯水期电量损失共约 7 072 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$,平均折合到每年约为 235.7 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。目前,金银台装机台数为 3 台,此项电量共为 707 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

3.4 在丰水期可充分利用自然弃水增加汛期电量来提高水量利用率

根据金银台航电投产运行 15 年(2007~2021 年)的资料分析(表 1),丰水期(6~10 月)弃水 69.35 亿 m^3 ,其中自然弃水 16.9 亿 m^3 ,行洪弃水 52.45 亿 m^3 。自然弃水主要是调节库容不足、装机容量不够、电网限制单机出力、调度和其他原因等造成的弃水。

根据电站运行 15 年的自然弃水资料,按金银台航电扩机 25 MW 作为最大发电出力限制,计算可利用的最大汛期发电量约为 5 514 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。金银台航电扩机可以消纳部分汛期自然弃水而获得电量,但由于电网限制,汛期扩机增发电量不能全部计入扩机效益。根据对电站发电运营资料的分析,结合实际运行调度经验,认为金银台扩建机组投运后,实际运行时可增加的汛期弃水电量大约为可利用最大汛期电量的 60%。据此计算,金银台航电扩机 25 MW 平均每年可获得丰水期弃水电量约为 3 308 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

3.5 能避免降低水位运行提高水头高度增发电量

嘉陵江流域苍溪以下梯级电站,在规划设计时,各级电站引用流量基本匹配,当上游亭子口电站投运后,在调峰运行时,下游梯级电站与其发电流量相差较大,对离亭子口电站较近、水力联系较为紧密的下游苍溪、沙溪以及金银台电站在水调方面的影响较大。上述三个梯级电站库区水位在亭子口调峰运行时上涨较快,极易造成弃水。

因与亭子口电站调峰下泄流量倒挂,长期以来为减少调峰弃水的电量损失,金银台电站不得不采取增加日内水位消落深度,降低至设计死水位 351.6 m 以下运行,以增加耗水率的方式来换取

表 1 金银台航电枢纽 2006~2021 年各水期弃水量汇总表

/万 m³

年份	枯期 (12~次年 4 月)	平水期 (5 月、11 月)	丰水期(6~10 月)		合计
			自然弃水	行洪弃水	
2006	87 559	8 891	52 522	97 541	246 513
2007	20 186	10 011	181 546	352 412	564 155
2008	5 176	33 596	141 269	159 303	339 344
2009	1 761	9 274	362 735	521 985	895 755
2010	1 127	3 948	317 909	645 452	968 436
2011	0	96 770	258 958	388 436	744 164
2012	0	26 808	225 904	553 077	805 789
2013	685	7 628	274 532	742 255	1 025 100
2014	3 866	31 175	26 035	64 360	125 436
2015	31 317	0	29 764	93 178	154 259
2016	416	53 963	111 348	61 251	226 978
2017	1 674	59 199	157 815	177 105	395 793
2018	10 633	27 162	137 526	108 1702	1 257 023
2019	10 802	40 213	196 275	500 994	748 284
2020	45 680	26 652	86 912	1 450 630	1 609 874
2021	35 920	43 070	27 103	1 074 908	1 181 001
平均	11 283	31 298	169 042	524 470	736 093

注:①自然弃水:含电网原因限制单机出力、调度原因、限制发电进度、其他原因等造成的弃水;②考虑 2006 年为初期运行,电站运行与电网系统对接不畅、机组不稳定等因素,故 2006 年数据未列入统计计算。

少弃水或不弃水,这对水轮机运行效率较优区域有一定程度的影响,并增加出力受阻情况的发生。

金银台航电扩机后,可提高运行调度灵活性,使目前因对亭子口电站反调节而降低水位运行的情况得到较大改善,按平均水位较目前无扩机工况提高 0.3 m 计,则可减少设计年发电量(6.02 亿 kW·h)损失的 2.3%(0.3 m/13 m,13 m 为电站额定水头),电量约为 1431 万 kW·h,其中丰水期电量 736 万 kW·h、平水期电量 251 万 kW·h、枯水期电量 444 万 kW·h。

3.6 金银台电站扩机 25 MW 的综合发电效益

结合以上分析,金银台航电扩建一台 25 MW 机组,可减少各项损失电量及增加丰水期电量共计 7 914 万 kW·h,扩机装机利用小时为 3 166 h。其中,汛期电量为 4 044 万 kW·h,平水期电量 941 万 kW·h,枯水期电量 2 929 万 kW·h,发电效益较为显著,扩机容量 25 MW 动能指标见表 2。

3.7 能改善航电运行状况 提高调度灵活性

实施金银台航电扩机,除可利用各时段弃水增发电量外,还能大幅提高航电运行的灵活性,避

表 2 扩机容量 25 MW 动能指标表

项 目	单 位	指 标	备 注
扩机容量	MW	25	
扩建机组年发电量	万 kW·h	7 914	
其中:丰水期电量 (6~10 月)	万 kW·h	4 044	
平水期电量 (5 月、11 月)	万 kW·h	941	
枯水期电量 (12 月~次年 4 月)	万 kW·h	2 929	
扩建机组装机年 利用小时	h	3 166	
扩建后电站装机容量	MW	145	
扩建后电站年发电量	亿 kW·h	6.20+ 0.7914	电站原设计 发电量 6.20 亿 kW·h
扩建后电站 年利用小时	h	4 822	

免为减少弃水提前放空库容、增加消落深度而降低电站平均运行水位损失电量、减少因机组枯水期检修无法利用亭子口电站调峰和支流入库流量被迫弃水而损失电量,且由于水位提高将使电站机组运行效率得到提高,机组出力受阻情况也将

大幅减少^[5]。

3.8 能更好地满足古城阆中城市景观环境要求

金银台航电位于著名历史文化名城四川省阆中市市区下游 2 km 处的嘉陵江干流,为满足流经阆中市嘉陵江河段的景观环境要求,阆中市有关部门对该河段的嘉陵江水位长期进行监测,并对金银台航电进行督促,在实际运行时既要尽量腾库利用上游亭子口电站调峰流量的弃水,又要兼顾上游阆中市嘉陵江的景观环境要求,这使得金银台航电的发电运行调度更加困难。若金银台扩建一台 25 MW 机组,与亭子口电站联合运行,可多利用发电流量 218 m³/s,这在很大程度上减少对金银台航电调节库容的频繁使用,以降低和减少运行调度的困难和压力。

3.9 扩机工程建设相对简单 具有一定盈利空间

拟扩建机组布置在金银台航电枢纽已征用土地范围内,无淹没和移民问题,环境影响小,工程建设相对简单,很大程度降低了扩机实施的复杂性,为节省工程前期准备时间、降低施工难度创造了条件。

4 金银台航电扩机初步方案

因金银台航电全年弃水时段一般发生在上游亭子口电站调峰、小洪水期或大洪水上涨和回落期,特点为弃水时间较集中且短暂,而机组发电引用流量有限。通过多年可用水量分析计算、项目投资经济指标分析以及建设方案可行性论证等,初步对装机容量 15 MW、20 MW、25 MW 和 30 MW 进行比选,经综合分析,金银台航电枢纽扩机在不造成当前已运行机组停产、减产的基础上,扩建 1 台装机容量为 25 MW 的灯泡贯流式水轮发电机组较为合适。

扩机方案拟利用左岸挡水坝下游开阔地带,在挡水坝段下游 90 m 处新建河床式发电生产厂房,从右至左依次布置 1 孔泄洪闸、发电厂房、岸坡接头坝等建筑物。

5 结语

2022 年 3 月国家能源局印发通知要求各省(市、自治区)开展全国主要流域可再生能源一体化规划研究工作^[6],嘉陵江作为四川省主要河流纳入研究范围,其中就流域水电项目上下游发电流量合理匹配,分析流域水电扩机潜力等内容,纳入研究分析清单。

2022 年 12 月四川省人民政府印发全省电源电网发展规划提出,支持存量水电机组技改扩容,巩固以水电为主体的可再生能源体系^[7]。

上述国家和四川省相关工作安排和发展规划,对金银台航电扩机研究具有重要的积极的指导作用,考虑金银台航电运行弃水和调度受限等情况,开展扩机研究是十分必要的。该项扩建工程在经济上合理,资金上可行,无淹没和移民问题,环境影响小,投资小,见效快,建议尽早进行设计和建设。若能取得成功经验,可为我省类似流域上下游电站发电流量不匹配,开展扩机研究提供借鉴。

参考文献:

- [1] 荆柱,朱利明,巴欢欢,等.亭子口水利枢纽汛期运行水位动态控制策略研究[J].人民长江,2022,53(8):15-22.
- [2] 王智君.亭子口水利枢纽汛期运行水位动态控制初探[J].四川水利,2021(06):32-34.
- [3] 刘泽文.亭子口水利枢纽遭遇洪水实时预报预泄调度研究[J].人民长江,2014,45(19):16-20.
- [4] GB/T35709-2017,灯泡贯流式水轮发电机组检修规程[S].
- [5] 徐涛,陈忠贤,祝俊.向家坝水电站扩机综合效益初步分析[J].人民长江,2016,47(10):92-94.
- [6] 国家能源局综合司.关于开展全国主要流域可再生能源一体化规划研究工作有关事项的通知[Z].2022-03-02.
- [7] 四川省人民政府.关于印发《四川省电源电网发展规划(2022—2025年)》的通知[Z].2022-12-01.

作者简介:

张海龙(1988-),男,河北张家口人,工程师,硕士,主要从事水利水电工程规划及管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

金沙江溪洛渡水电站累计发电量超 5 500 亿千瓦时

目前,金沙江溪洛渡水电站正常运行 10 年。截至 5 月底,溪洛渡累计发电量达 5 567.3 亿千瓦时。该水电站位于四川省雷波县和云南省永善县接壤的金沙江峡谷河段,是目前国内第三、世界第四大水电站,由拦河大坝、泄洪消能、引水发电等建筑物组成。拦河大坝为混凝土双曲拱坝,坝顶高程 610 米,最大坝高 285.5 米,总装机容量 1 386 万千瓦。电站以发电为主,是国家“西电东送”战略的骨干电源点之一。工程于 2005 年底正式开工,2013 年 7 月首批机组投产发电,2014 年 6 月全部机组投产发电。溪洛渡工程首创“大坝智能化建设管理系统平台”,开创了我国智能高拱坝建设的先河。

(摘自《北极星电力网》)