

南方地区大型二次循环燃气-蒸汽联合循环调峰机组满足用水定额设计思路探讨

张赢, 张国罡, 邹健

引用本文:

张赢, 张国罡, 邹健. 南方地区大型二次循环燃气-蒸汽联合循环调峰机组满足用水定额设计思路探讨[J]. 南方能源建设, 2022, 9(增刊1): 43-49.

ZHANG Ying,ZHANG Guogang,ZOU Jian. Discussion on the Design Philosophy to Meet Water Consumption Index of Circulation Cooling Combined-Cycle Peak-Regulation Power Plant in South China[J]. *Southern Energy Construction*, 2022, 9(增刊1): 43-49.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

大型逆流式自然通风高位收水冷却塔的应用研究

Application Research on Large Counter-flow Natural Draft High Level Water Collection Cooling Tower

南方能源建设. 2017, 4(1): 109-112 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.01.021>

热电联产机组的电力调峰运行模式研究

Research of Cogeneration Units Acting on Electric Peak-shaving Operating Mode

南方能源建设. 2015(3): 51-56 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.03.010>

F级改进型联合循环主蒸汽系统压损研究及优化

Pressure Drop Research and Design Optimization of Main Steam System in Advanced F Class Gas-steam Combined Cycle Power Plants

南方能源建设. 2015, 2(1): 46-50 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.009>

进气冷却对燃机联合循环的性能影响分析

Effect of Inlet Air Cooling on Performance of Gas Turbine Combined Cycle

南方能源建设. 2019, 6(3): 64-69 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.011>

燃气-超临界CO₂联合循环发电系统

Gas-supercritical CO₂ Combined Cycle Power Generation System

南方能源建设. 2019, 6(3): 87-91 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.015>

南方地区大型二次循环燃气-蒸汽联合循环调峰机组满足用水定额设计思路探讨

张赢[✉], 张国罡, 邹健

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 随着天然气综合利用的大力推进、清洁能源发电的倡导鼓励, 建设大型燃气-蒸汽联合循环调峰机组是有助于实现这一目标的重要形式之一。[方法] 文章通过实例研究、方案拟定、分析总结的方法对南方地区大型二次循环燃气-蒸汽联合循环调峰机组如何满足最新用水定额的设计思路和方法进行研究和探讨: 对项目水源特点和设计难点进行了分析, 拟定节水设计方案并进行了水平衡计算, 同时对其他节水设计思路进行了讨论。[结果] 为满足日益严格的用水定额要求, 南方地区大型二次循环燃气-蒸汽联合循环调峰机组应基于项目厂址条件, 从水源选择、冷却塔浓缩倍率的选定、冷却塔排水回用等方面进行研究, 制定合适的设计方案, 确保实现节水目标。[结论] 本研究为同类型机组满足用水定额提供了设计思路借鉴。

关键词: 联合循环; 调峰; 二次循环; 冷却塔; 用水定额

中图分类号: TM621; TM611; TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)S1-0043-07
开放科学(资源服务)二维码:



Discussion on the Design Philosophy to Meet Water Consumption Index of Circulation Cooling Combined-Cycle Peak-Regulation Power Plant in South China

ZHANG Ying[✉], ZHANG Guogang, ZOU Jian

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] With the promotion of comprehensive utilization of natural gas and the encouragement of clean energy power generation, the construction of large combined-cycle power plant is one of the important forms to achieve this goal. [Method] In this paper, through case study, scheme formulation, analysis and summary, the design philosophy to meet water consumption index of large combined-cycle peak-regulation power plant in south China was studied and discussed: The water source characteristics and design difficulties of the project were analyzed, the water-saving design scheme was formulated, the water balance was calculated, and other water-saving design ideas were discussed. [Result] In order to meet the increasingly stringent requirements of water consumption index, large circulation cooling combined-cycle peak-regulation power plant in South China should consider the water source characteristics, selection of concentration ratio of cooling tower and reuse of cooling tower discharge water based on the site conditions of the project, and formulate appropriate design schemes to ensure the realization of water-saving goal. [Conclusion] The research can provide design philosophy for the same type plants to meet water consumption index.

Key words: combined-cycle; peak-regulation; circulation cooling; cooling tower; water consumption index

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

收稿日期: 2021-12-27 修回日期: 2022-02-28

基金项目: 中国能建广东院科技项目“大型燃气电厂机械通风冷却塔高位收水、节水除雾及噪声防治一体化技术研究”(EV05911W)

0 引言

随着环境保护、节能减排的倡导,节水指标成为评价发电厂经济社会效益的一项重要内容,而用水定额要求是其中的一项最重要的指标。

燃气-蒸汽联合循环机组作为清洁能源发电的代表,在国内得到了广泛的应用^[1-3]。大型燃气-蒸汽联合循环机组因其发电容量大、效率高、调峰性能好等优点^[4-6],越来越多地被选用,其中技术最先进、单机容量最大的H级为最高等级。

目前,国内大型联合循环电厂(燃机电厂)的建设地点大多位于广东、江苏、浙江、上海、福建、海南、香港等南方地区,纯凝调峰和热电联产均有较多应用;北方地区主要位于北京、天津、山东等地,以供热为主。受日益严格的环保要求,目前国内新建的和在建的大型联合循环机组除少数位于海滨采用海水直流循环以外,大多数均采用二次循环冷却,以节约地表淡水取水,减少对水体的热污染。

我国南方地区以热带和亚热带季风气候为主,夏季高温多雨,冬季温和少雨。年平均气温及湿度较高,受夏季风影响大,雨季长,尤其夏季气候炎热、空气湿度大。

本文以广东某2×600 MW级H级调峰联合循环电厂项目为例,对典型的南方大型二次循环燃机电厂如何符合用水定额要求,实现高标准节水进行设计研究分析,提出设计思路 and 措施。

1 项目特点和用水定额要求

1.1 项目基本情况

1.1.1 项目规模和厂址条件

项目新建2×600 MW级H级燃气-蒸汽联合循环机组,纯凝调峰运行,采用带机力通风冷却塔的二次循环冷却方式,机组性能保证工况出力为2×687.25 MW,机组年利用小时数为3 300 h。

项目厂址位于广东省广州市南沙区、珠江口西岸,属于亚热带季风气候区,且同时受海洋气候调节,具有温暖湿润、日照充足、夏无酷热、冬无严寒等特点。

根据厂址附近气象站的资料显示,多年来全年平均气温为22.4℃、全年平均相对湿度为78%、最热三个月平均气温(机组性能保证环境条件)为28.4℃、累计频率为10%的湿球温度为25.2℃。可见,环境温度和湿度均处于较高水平。

项目循环水补充水水源取自珠江,根据厂址附近水文站的资料显示,多年来全年平均水温为24.6℃、最热三个月平均水温为29.7℃、累积频率为10%的水温为31.3℃。可见,水源温度也处于较高水平。此外,由于厂址位于河道出海口附近,水源有着较为严重的咸潮,每年9月至来年4月水体含盐量会不同程度增加,氯根含量最高可达8 000 mg/L。

1.1.2 项目整体用水需求

项目用水需求主要分为两个方面:

1) 冷却塔补充水:取自珠江河道,用于弥补冷却塔自然蒸发、风吹和排污带来的循环水量损耗,占全厂用水量90%以上,基本直接决定了项目的节水水平。

2) 工业、生活用水:取自市政自来水系统,主要用于厂内锅炉补给水处理、空调补充、锅炉排污冷却等工业用水,以及消防和生活用水,占全厂用水量比例较低。

1.2 用水定额要求

火力发电厂的用水定额往常执行国家标准《取水定额第1部分:火力发电》(GB/T 18916.1—2021)^[7]的相关要求,如表1所示。

表1 单位发电量取水定额指标

Tab. 1 Water intake quota index per unit power generation

机组冷却形式	m ³ /MWh			
	单机容量<300 MW	单机容量300 MW级	单机容量600 MW级	单机容量1 000 MW级
循环冷却	3.20	2.70	2.35	2.00
直流冷却	0.72	0.49	0.42	0.35
空气冷却	0.80	0.57	0.49	0.42

该项目为600 MW等级的二次循环机组,按表1的要求,取水定额为2.35 m³/MWh。

为了进一步保护我国水资源,深入推进节约用水工作,2019年12月水利部印发了《钢铁等十八项工业用水定额》(水节约[2019]373号)^[8](2020年2月1日起实施),其中对于火力发电中的燃气-蒸汽联合循环发电的用水定额规定如表2所示。

根据表2,该项目用水定额采用先进值0.90 m³/MWh,可见相对于原有国家标准2.35 m³/MWh的指标要求,严格了近3倍。

相应的,广东省也更新了地方标准《用水定额》(DB44/T 1461—2021)^[9],其中对于电力生产中的燃气-蒸汽联合循环发电的用水定额规定同表2内容一致。

表2 火力发电机组用水定额

Tab. 2 Water quota of thermal power generating units
m³/MWh

类型	机组冷却形式	机组容量	领跑值	先进值	通用值
燃气-蒸汽 联合循环	循环冷却	<300 MW	0.90	1.00	2.00
		300 MW级 及以上	0.75	0.90	1.50
	直流与空气 冷却	—	0.17	0.20	0.40

注:领跑值为节水标杆,用于引领企业节水进步和用水效率的提升,可供严重缺水地区新建(改建、扩建)企业的水资源论证、取水许可审批和节水评价参考使用;先进值用于新建(改建、扩建)企业的水资源论证、取水许可审批和节水评价;通用值用于现有企业的日常用水管理和节水考核。

综上,该项目的用水定额应符合最新的水利部发布的政策法规要求及广东省最新用水定额要求,即不超过0.90 m³/MWh。

1.3 符合用水定额的设计难点

该项目是典型的南方地区大型二次循环调峰燃机电厂,其节水设计有以下难点:

1) 相对于燃煤电厂,燃机电厂用水点少,复用难度高,主要用水点是循环水系统补水及锅炉补给水;尤其相对于热电联产,纯凝调峰燃机的循环水总量高,循环水系统损失的绝对值大。

2) 环境温度高,使得冷却塔自然蒸发损失水量明显增加,排污损失也相应增加。比如与华北地区比较,本项目所在地年平均气温22.4℃,较华北地区高10℃左右,在同样循环水量及冷却倍率情况下,循环水总补水量高15%左右;如与东北及西北地区比较,则差异更大。

3) 环境温度、湿度高,会降低燃气机组额定出力,使得单位发电量用水需求高。

4) 机组采用夏季气象条件作为考核工况,循环水水温高,为满足机组出力及背压要求,循环水总量需求大。

5) 水源具有较严重的咸潮,影响冷却塔浓缩倍率的优选。

上述难点为厂址客观条件造成的,也代表了一批南方地区大型二次循环燃机电厂固有难点:由于气候条件的因素,机组耗水量大,但取水定额指标没有区分气候区划,因此对实现用水指标符合定额要求提出了挑战。

2 全厂水量平衡方案拟定和单位发电取水量计算

2.1 市政自来水取水量

该项目水源分为两个方面:其一为市政自来水,主要用于厂内锅炉补给水处理、空调补充、锅炉排污冷却等工业用水,以及消防和生活用水;其二为冷却塔补充水,取自珠江河道。其中经过工艺系统优化,项目工业生活用水量如表3所示,市政自来水取水量共计43 m³/h,年取水量17.97万m³。

表3 工业生活用水量(市政自来水)计算表

Tab. 3 Calculation table of industrial and domestic water consumption (municipal tap water)

序号	项目	m ³ 耗用水量/(m ³ ·h ⁻¹)		
		取水量	回收水量	实际用水量
1	锅炉排污降温水	7	7	0
2	锅炉补给水处理系统	38	19	19
3	主厂房杂用水	5	4	1
4	空调补充用水	16.5	0	16.5
5	生活用水	0.5	0	0.5
6	厂区绿化、道路浇洒	2.5	0	2.5
7	未预见水量及管网损失	3.5	0	3.5
合计		73	30	43
年自来水取水量/万m ³				17.97

注:年取水量计算中生活用水按全年8760h计算,其他用水根据《发电厂节水设计规程》(DL/T 5513—2016)^[10],按年预计运行小时数4125h(机组年利用小时数3300h×1.25倍)。

2.2 不同浓缩倍率珠江地表水取水量及单位发电取水量

根据前文,该项目绝大部分用水来自冷却塔补充水,其对用水指标的贡献是决定性的,而调整浓缩倍率是减少冷却塔补水的最有效途径^[11],故本节首先分析浓缩倍率变化对单位取水量的影响。

由于厂址水源受咸潮影响,咸潮期浓缩倍率不宜过大,根据获得的以往全年水质情况,经计算,非咸潮期浓缩倍率取5,咸潮期浓缩倍率取2.5较为适宜。

下面分别按全年浓缩倍率5倍、全年浓缩倍率2.5倍以及非咸潮期浓缩倍率5倍,咸潮期浓缩倍率2.5倍进行全厂水量平衡计算,得出三种计算方式下珠江水取水量及单位发电取水量,如表4和表6所示。

根据表4和表6计算结果,三种不同浓缩倍率的计算方式下,项目单位发电取水量均未达到不超过0.90 m³/MWh的定额要求。其中按照全年浓缩倍

表4 单位发电取水量计算表(全年浓缩倍率5倍)

Tab.4 Calculation table of water intake per unit power generation (annual concentration ratio 5 times)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Q_e	825	842	882	920	942	954	962	960	952	933	904	849
Q_w	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6
Q_b	113	117	127	136	142	145	147	146	144	140	132	119
Q_m	1 032	1 053	1 103	1 150	1 178	1 192	1 202	1 200	1 190	1 166	1 130	1 061
Q_z	51.6	52.6	55.1	57.5	58.9	59.6	60.1	60.0	59.5	58.3	56.5	53.0
Q_q	1 083	1 105	1 158	1 207	1 237	1 252	1 262	1 260	1 249	1 224	1 187	1 114
珠江水年取水量/万 m ³									394.46			
年自来水取水量/万 m ³									17.97			
年总取水量/万 m ³									412.43			
单位发电取水量/[m ³ ·(MWh) ⁻¹]									0.909			

注: 1. N ——浓缩倍率; Q_e ——蒸发水量; Q_w ——风吹损失水量; Q_b ——排污损失; Q_m ——冷却塔补充水量; Q_z ——预处理系统自用水量; Q_q ——取水量; 各水量单位为 m³/h。2. 根据《发电厂节水设计规程》(DL/T 5513—2016), 珠江水取水用于冷却塔补充水, 年取水量按机组年利用小时数 3 300 h 计算。

表5 单位发电取水量计算表(全年浓缩倍率2.5倍)

Tab.5 Calculation table of water intake per unit power generation (annual concentration ratio 2.5 times)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Q_e	825	842	882	920	942	954	962	960	952	933	904	849
Q_w	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6
Q_b	457	468	495	520	535	542	548	547	541	528	509	472
Q_m	1 376	1 404	1 470	1 533	1 570	1 590	1 603	1 601	1 587	1 554	1 507	1 414
Q_z	68.8	70.2	73.5	76.6	78.5	79.5	80.1	80.0	79.3	77.7	75.3	70.7
Q_q	1 444	1 474	1 544	1 609	1 649	1 669	1 683	1 681	1 666	1 632	1 582	1 485
珠江水年取水量/万 m ³									525.95			
年自来水取水量/万 m ³									17.97			
年总取水量/万 m ³									543.92			
单位发电取水量/[m ³ ·(MWh) ⁻¹]									1.199			

注: 表中各变量的单位同表4。

表6 单位发电取水量计算表(非咸潮期浓缩倍率5倍,咸潮期浓缩倍率2.5倍)

Tab.6 Calculation table of water intake per unit power generation (The concentration ratio is 5 times in non-salt tide period and 2.5 times in salt tide period)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5	5	5	2.5	2.5	2.5	2.5
Q_e	825	842	882	920	942	954	962	960	952	933	904	849
Q_w	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6
Q_b	457	468	495	520	142	145	147	146	541	528	509	472
Q_m	1 376	1 404	1 470	1 533	1 178	1 192	1 202	1 200	1 587	1 554	1 507	1 414
Q_z	68.8	70.2	73.5	76.6	58.9	59.6	60.1	60.0	79.3	77.7	75.3	70.7
Q_q	1 444	1 474	1 544	1 609	1 237	1 252	1 262	1 260	1 666	1 632	1 582	1 485
珠江水年取水量/万 m ³									479.51			
年自来水取水量/万 m ³									17.97			
年总取水量/万 m ³									497.48			
单位发电取水量/[m ³ ·(MWh) ⁻¹]									1.097			

注: 表中各变量的单位同表4。

率5倍的计算方式略超(可作为进一步优化的方向), 其余两种计算方式则超出较多, 可见通过提高浓缩倍率的方式对降低单位发电取水量效果显著。

但由于该项目厂址水源受咸潮影响, 若全年均按5倍或更高浓缩倍率考虑, 在咸潮期浓缩倍率过高, 循环水质很差, 导致腐蚀结垢严重, 会影响机组安全稳定运行, 设计上不合理。

2.3 单位发电取水量计算方法优化

该项目受水源存在咸潮影响的特殊性影响, 通过提高浓缩倍率减少单位发电取水量难度较高, 而最新用水定额标准中仅显示采用海水直流或二次循

环冷却方式时, 其取用的海水量不计入取水量, 但未规定对咸潮等特殊情况的处理方式, 为此, 笔者和项目单位整理了该项目的实际情况和取水计算数据, 向用水定额标准编制单位征询并取得了回函。回函表示: 按照定额的制修订原则, 循环冷却用海水不应纳入用(取)水量范畴, 取水为淡水和混合水, 其所用淡水应纳入取水量。建议该项目用(取)水定额仍按 $0.9 \text{ m}^3/\text{MWh}$ 进行评价。因此, 该项目最终单位发电取水量计算采用如下方式: 非咸潮期浓缩倍率采用5倍, 咸潮期采用2.5倍, 其中, 咸潮期扣除相应海水取水量, 相应计算见表7所示。

表7 单位发电取水量计算表(非咸潮期浓缩倍率5倍, 咸潮期浓缩倍率2.5倍<扣除海水>)

Tab. 7 Calculation table of water intake per unit power generation (The concentration ratio is 5 times in non-salt tide period and 2.5 times in salt tide period <Deducting seawater>)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5	5	5	2.5	2.5	2.5	2.5
Q_e	825	842	882	920	942	954	962	960	952	933	904	849
Q_w	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6
Q_b	457	468	495	520	142	145	147	146	541	528	509	472
Q_m	1 376	1 404	1 470	1 533	1 178	1 192	1 202	1 200	1 587	1 554	1 507	1 414
Q_z	68.8	70.2	73.5	76.6	58.9	59.6	60.1	60.0	79.3	77.7	75.3	70.7
Q_q	1 444	1 474	1 544	1 609	1 237	1 252	1 262	1 260	1 666	1 632	1 582	1 485
Q_f	302	308	323	336	1 237	1 252	1 262	1 260	348	341	331	310
珠江水年取水量/万 m^3 (淡水)									210.42			
年自来水取水量/万 m^3									17.97			
年总取水量/万 m^3									228.39			
单位发电取水量/[$\text{m}^3 \cdot (\text{MWh})^{-1}$]									0.504			

注: Q_f ——扣除海水后淡水取水量。根据项目《水资源论证报告书》, 虎门水道多年平均日进潮量与虎门水道日来水量的比例为79.1%, 因此, 咸潮期冷却塔取水量计算总体上按79.1%扣除海水水量。表中各变量的单位均为 m^3/h 。

根据表7计算结果, 咸潮期浓缩倍率2.5倍, 非咸潮期浓缩倍率5倍方案, 在扣除海水取水量后, 单位发电取水量仅为 $0.504 \text{ m}^3/\text{MWh}$, 大大低于用水定额 $0.9 \text{ m}^3/\text{MWh}$ 的要求, 客观、合理地实现了节水目标。

2.4 小结

根据本章研究, 可得出以下结论:

1) 浓缩倍率的提高对降低单位发电取水量效果显著, 在技术可行的情况下, 应尽量提高浓缩倍率以实现节水。

2) 针对类似该项目水源受咸潮影响的工程, 应根据不同时段采取不同浓缩倍率, 通过精细化设计减少取水量。

3) 计算单位发电取水量指标时, 应对水源特征进

行分析, 对于不属于计算范围内的水量应合理予以剔除, 以达到工程设计以及取水指标计算的双重合理性。

3 其他节水设计思路

除了优化浓缩倍率以外, 还有一些其他节水设计思路也在该项目中进行了探讨。

3.1 减少循环水总量

该方法是通过减少循环水总量的基数, 从而减少冷却塔蒸发损失、风吹损失的绝对值。

经过冷端优化和设备优选, 项目额定工况循环水总量为单台机组 $43\ 668 \text{ m}^3/\text{h}$ (冷却倍率79倍、设计背压 7.80 kPa), 有益于电厂的经济运行。若要进一步减少循环水总量, 需提高机组背压, 一方面损

失一定的经济性；另一方面背压升高会使得机组出力减少，而用水定额是一个单位指标，经笔者实际计算，单位发电容量的用水值变化很小，意义不大。

3.2 冷却塔排水回用

该方法是通过将冷却塔排水进行回用，从而减少冷却塔补充水量。

对于纯地表淡水作为冷却塔补充水水源的纯凝调峰燃机电厂，将冷却塔排水进行厂内回用是减少水耗的有效途径之一，最为常见的是回用作为锅炉补给水处理系统的水源，两台H级燃机可减少取水量约 $50\text{ m}^3/\text{h}$ ，有较好的节水效果。

该项目由于受咸潮影响，冷却塔排水水质波动大，特别是咸潮期内已达海水水平，若回用至锅炉补给水处理系统，需要增设海水淡化设施，投资和运行费用过高，不建议采用。

3.3 采用城市中水

该方法是通过采用城市中水，以获得稍微宽松的用水定额要求。

为鼓励电厂企业积极采用经城市污水处理厂处理合格后的城市中水，《钢铁等十八项工业用水定额》规定：“当机组采用再生水时，循环冷却机组定额调整系数为1.2。”也就是说，对于该项目，若能采用城市中水作为冷却塔补充水水源，定额指标能上调至 $0.90 \times 1.2 = 1.08\text{ (m}^3/\text{MWh)}$ ，即每MW发电容量增加用水指标 $0.18\text{ m}^3/\text{h}$ ，年总用水量允许增加 $2 \times 687.25 \times 0.18 \times 0.33 = 81.645\text{ (万 m}^3)$ ，比较显著。

但往往容易被忽视的是，由于城市中水通常水质较差，总含盐量、氯离子、硬度、生化指标较同地区的地表淡水高，且不稳定，因此当采用城市中水作为冷却塔补充水时，设计浓缩倍率通常为3~4倍，较低的浓缩倍率导致冷却塔补充水量增加。以该项目为例，若采用中水作为冷却塔补充水水源，当浓缩倍率为3.0时（其余条件不变），单位发电取水量约为 $1.10\text{ m}^3/\text{MWh}$ ，不满足取水定额要求。若需满足取水定额 $1.08\text{ m}^3/\text{MWh}$ 的要求，浓缩倍率需至少提高到3.2。该项目由于厂址附近没有合适的城市中水水源，故采用不了该方式，但对于具备水质比较好的城市中水、浓缩倍率若能实现3.5倍左右的电厂项目，则将会是有效的实现用水满足定额要求的设计途径之一。

3.4 加强水务管理

该方法是通过加强厂内的水务管理和运行监

督，一方面减少“跑冒滴漏”现象，减少设计中的“未预见管网损失”，另一方面通过梯度和分质用水，提高厂内用水利用率，以达到节水目的。

该方法广泛适用于火力发电厂，但燃机工程相较于燃煤工程，厂内淡水用户和废水利用渠道均较少，优化效果不太突出；但即便是对于减少全厂用水贡献不太多，为了提高电厂管理水平、倡导节约用水文化，亦应在燃机电厂中全面推广。

4 结论

对照最新的《钢铁等十八项工业用水定额》及广东省最新用水定额的要求，基于项目厂址条件和总体技术方案，经过深入分析研究和方案拟定比选，最终实现设计用水指标 $0.504\text{ m}^3/\text{MWh}$ ，不仅合理经济的符合了用水定额先进值 $0.90\text{ m}^3/\text{MWh}$ 的要求，而且低于用水定额领先值 $0.75\text{ m}^3/\text{MWh}$ ，节水效果显著。

通过本文的实例研究，对于南方地区大型二次循环燃气-蒸汽联合循环调峰机组，为符合最新用水定额要求，有以下设计思路可以借鉴：

1) 对于地表淡水作为冷却塔补充水水源的，由于环境温度高，冷却塔自然蒸发损失大，应根据水质情况，尽量将浓缩倍率提高至5倍或更高，减少冷却塔排水量，进而降低取水量。

2) 循环水受咸潮影响的，应根据咸潮季节、历时和水质情况，分别拟定非咸潮期和咸潮期的浓缩倍率；对于咸潮历时长且严重的，必要时可依据政策和规范，征求相关主管部门意见，相应扣除咸潮期内的海水取水量。

3) 循环水总量应通过冷端优化确定，特意提高背压会使得循环水总量与机组发电量同时减少，对于作为单位发电量的用水定额意义不大。

4) 冷却塔排水水质较好的，可考虑回用作为锅炉补给水处理系统原水或其他厂内合适用途。

5) 可考虑选用水质较好的城市中水作为冷却塔补充水、甚至全厂工业用水的水源，考虑中水水质情况，浓缩倍率建议设计为3.5倍左右。

6) 应加强电厂水务管理，深度挖潜电厂节水能力^[12-13]。

参考文献：

- [1] 张赢, 林燕, 梁展鹏, 等. 大型燃气-蒸汽联合循环单轴机组主厂房布置设计 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(增刊2): 82-88.

- DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.013.
ZHANG Y, LIN Y, LIANG Z P, et al. Main power house arrangement design of single-shaft combined-cycle power plant [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(Supp. 2): 82-88. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.013.
- [2] 黄超群, 王波, 张士杰, 等. F/G/H级重型燃气轮机联合循环底循环热力性能简明估算模型 [J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(21): 6320-6327. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.181927.
HUANG C Q, WANG B, ZHANG S J, et al. Concise estimation model of thermodynamic performance for bottom cycle of F/G/H-class heavy duty gas turbine combined cycle [J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39(21): 6320-6327. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.181927.
- [3] 杨承, 刘换新, 王平, 等. 燃气-蒸汽联合循环抽凝式热电联供机组调峰经济性分析 [J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(2): 592-600. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.191282.
YANG C, LIU H X, WANG P, et al. Economic analysis on peak-regulation of GTCC cogeneration unit with extraction heating [J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(2): 592-600. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.191282.
- [4] 曾勇, 曾颖. 燃气热电联产机组选型、调峰能力及电价机制分析 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(1): 66-70. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.012.
ZENG Y, ZENG Y. Research on unit selection, peak regulation capability and electricity pricing mechanism of gas-fired cogeneration [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(1): 66-70. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.012.
- [5] WON D H, KIM M J, LEE J H, et al. Performance characteristics of an integrated power generation system combining gas turbine combined cycle, carbon capture and methanation [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2020, 34(10): 4333-4344. DOI: 10.1007/s12206-020-0923-8.
- [6] GIUGNO A, SORCE A, CUNEO A, et al. Effects of market and climatic conditions over a gas turbine combined cycle integrated with a Heat Pump for inlet cooling [J]. Applied Energy, 2021(290): 116724.
- [7] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 取水定额 第1部分: 火力发电: GB/T 18916.1—2021 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Norm of water intake—Part 1: Thermal power production: GB/T 18916.1—2021 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [8] 水利部. 水利部关于印发钢铁等十八项工业用水定额的通知 [EB/OL]. (2019-12-16) [2021-12-27]. http://www.mwr.gov.cn/zwgk/gknr/202005/t20200527_1441199.html.
- [9] 广东省市场监督管理局. 用水定额 第2部分: 工业: DB44/T 1461.2—2021 [S]. 广州: 华南理工大学出版社, 2021.
Guangdong Administration for Market Regulation. Norm of wa-
- ter intake Part 2: Industry: DB44/T1461.2—2021 [S]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2021.
- [10] 国家能源局. 发电厂节水设计规程: DL/T 5513—2016 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
National Energy Administration. Code for design of water saving for power plant: DL/T 5513—2016 [S]. Beijing: China Planning Press, 2016.
- [11] 赖世伟. 发电厂循环冷却水节水措施及优化处理方案的研究 [J]. 冶金动力, 2021(3): 67-69+73. DOI: 10.13589/j.cnki.yjdl.2021.03.021.
LAI S W. Study on water saving measures and optimal treatment program of circulating cooling water in power plant [J]. Metallurgical Power, 2021(3): 67-69+73. DOI: 10.13589/j.cnki.yjdl.2021.03.021.
- [12] 潘荔, 刘志强, 张博. 中国火电节水现状分析及措施建议 [J]. 中国电力, 2017, 50(11): 158-163. DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.201702015.
PAN L, LIU Z Q, ZHANG B. Comprehensive analysis and related measures on current situation of water saving of thermal power generation in China [J]. Electric Power, 2017, 50(11): 158-163. DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.201702015.
- [13] 肖建群. 某H级燃机电厂再生水深度处理系统方案设计 [J]. 南方能源建设, 2021, 8(2): 31-36. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.02.005.
XIAO J Q. Design of advanced treatment scheme for reclaimed water of a H-Class gas turbine power plant [J]. Southern Energy Construction, 2021, 8(2): 31-36. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.02.005.

作者简介:



张赢

张国罡

1984-, 男, 安徽黄山人, 硕士, 高级工程师, 主要从事发电厂水工设计研究工作 (e-mail) zhangguogang@gedi.com.cn。

邹健

1993-, 男, 江西九江人, 硕士, 助理工程师, 主要从事发电厂水工设计研究工作 (e-mail) zoujian@gedi.com.cn。

(责任编辑 叶筠英)