

浅析某火力发电企业水平衡测试及节水评价

吴张勇, 陈晓, 叶南, 史常乐, 胡立

长江水利委员会水文局长江下游水文水资源勘测局, 江苏 南京

收稿日期: 2024年7月11日; 录用日期: 2024年11月1日; 发布日期: 2024年12月31日

摘要

火力发电企业需要消耗大量的水以保证发电过程的稳定性和可持续性, 与此同时, 大量污水外排不利于水环境保护和可持续发展。水平衡测试是系统地测试、统计、分析水用户的用水单元和用水系统的用水量, 得出水平衡关系的过程。通过水平衡测试, 能够帮助企业合理开发利用水资源, 实施科学有效的节水管理手段, 提高企业用水重复利用效率, 进而减少废污水排放量, 持续推进节约用水管理工作。本文就某火力发电企业水平衡测试工作的开展情况进行分析, 并提出合理化建议。

关键词

水平衡测试, 节水管理, 重复利用

Analysis of Water Balance Testing and Water-Saving Evaluation for a Thermal Power Generation Enterprise

Zhangyong Wu, Xiao Chen, Nan Ye, Changle Shi, Li Hu

Lower Changjiang River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Nanjing Jiangsu

Received: Jul. 11th, 2024; accepted: Nov. 1st, 2024; published: Dec. 31st, 2024

Abstract

Thermal power generation enterprises need to consume a large amount of water to ensure the stability and sustainability of power generation process. At the same time, the discharge of a large amount of waste water is not conducive to water environment protection and sustainable development. Water balance testing is the process of systematically testing, statistics, and analyzing the water consumption of water users

作者简介: 吴张勇, 出生于 1992 年 4 月, 硕士, 工程师, 主要从事河道整治、水资源分析与论证, Email: 760994570@qq.com

and water systems, and obtaining the water balance relationship. Through water balance testing, it can help enterprises develop and utilize water resources appropriately, and implement scientific and effective water-saving management methods, and improve the efficiency of water reuse in enterprises, thereby reduce the discharge of waste water and continuously promote water conservation management. This article analyzes the progress of water balance testing in a thermal power generation enterprise and proposes rational suggestions.

Keywords

Water Balance Test, Water Saving Management, Reuse

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水是地球上最宝贵的资源之一,也是现代社会生活中极其重要的战略性资源[1],我国水资源总量较为丰富,但由于人口众多,人均水资源量严重不足。此外,我国水资源还面临着时空分配不均、利用率低、水污染严重、地下水超采等问题。水资源短缺问题已经成为制约我国经济社会可持续发展的关键因素。火电生产用水量占工业用水总量的38%~40%,是典型的高耗水、高排放行业[2]。保障工业生产所需的水资源供应,有利于促进经济的持续发展和社会稳定,也是维系地球生态平衡的重要组成部分[3]。2024年,国家发展改革委等部门发布关于加快发展节水产业的指导意见中提到,推动火力发电等高耗水服务业开展合同节水管理改造,强化水平衡测试服务,推广使用再生水。开展水平衡测试可以对用水单位进行科学有效管理,同时也是工业企业节水的一项重要基础工作[4]。本文以江苏省某火力发电企业水平衡测试为实例,对火力发电企业用水指标进行分析研究,并提出适应性节水建议及改造措施,为该地区火力发电企业水平衡测试管理提供理论依据。

2. 概况

2.1. 企业概况

火力发电企业位于江苏省连云港市,始建于1940年,解放后经历了七期工程扩建,现有装机容量为2×330 MW和2×1000 MW机组。其中六期工程建设两台330 MW供热发电机组于2005年投产使用。2×1000 MW机组分别于2012年11月、2016年1月投入商业运行。

2.2. 火电行业发展现状

根据国家能源局发布全国电力工业统计数据,截至2023年底,火电装机容量13.9亿千瓦,同比增长4.1%。其中煤电装机容量11.6亿千瓦,同比增长3.4%,占总发电装机容量比重的39.9%,首次降至40%以下,同比降低4.0个百分点。这一数据反映了我国电力结构的变化趋势,其中火电仍然占据重要地位,尤其是煤电,在发电装机容量中占有相当大的比例。经济社会持续快速发展,电力需求不断增长,火电装机规模和发电量一直处于稳步上升趋势。

2.3. 行业用水特性及节水工作

火电行业用水量大,需要取用大量地表水和地下水[5],这就需要企业建立健全节水管理制度,落实全面节约战略和节水优先方针[6]。

为促进工业企业节约用水,摸清企业用水状况,挖掘企业节水潜力,加强企业用水科学管理,达到节能减

排、污染减排的目的，火力发电企业委派第三方进行水平衡测试，测试对象为 330 MW 机组汽机系统和 1000 MW 机组汽机系统生产用水及火力发电企业的生活用水，依据《企业水平衡测试通则》(GB/T 12452-2008)和《火力发电厂能量平衡导则 第五部分：水平衡测试》(DL/T 606.5-2009)，将火力发电企业划分为 7 个用水单元，对其用水状况进行评价分析[7] [8]。

3. 水平衡测试

3.1. 水平衡测试目的

水平衡测试是为了：1) 掌握企业用水发展现状；2) 对企业用水发展现状进行合理性分析[9] [10]；3) 找出企业用水薄弱环节，提高吨水效益；4) 完善节约用水管理制度，提高企业合理化用水管理水平；5) 了解企业自身单位产品、产值的取水量，并与同行业进行对比体现自身的先进性；6) 建立完整、翔实的企业用水档案；7) 为节水型企业创建、水效领跑等申报工作奠定基础；8) 为管理部门制定用水定额和下达用水计划提供数据支撑[11] [12]。

3.2. 水平衡测试内容与方法

3.2.1. 测试内容

根据《企业水平衡测试通则》(GB/T 12452-2008)和《火力发电厂能量平衡导则 第五部分：水平衡测试》(DL/T 606.5-2009)中的相关规定，确定本次测试的主要内容有：1) 供用水系统各部分水量的测定、计算；2) 开始循环水系统各部分的测定、计算；3) 锅炉补给水处理系统各部分水量的测定、计算；4) 机组、锅炉系统冷却水水量的测定、计算；5) 脱硫系统水量的测定、计算；6) 生产辅助系统用水水量的测定、计算等。

3.2.2. 测试方法

针对企业用水特点，水平衡测试采用分步平衡法，以各个水源系统为单位逐级平衡。在测试过程中，针对各工序的生产特点、用水点的用水特性和用水状况分别采用水表法、仪器法、水泵法、流速法、计算法等多种测试方法进行测试。对于重点用水设备和用水点，尽可能地选择最佳的测试方法，并采用增加测定次数等测试手段来减少和避免计量误差，以确保所测的数据的准确性和真实性。

3.2.3. 测点布设

火力发电企业的供水水源为地表水和自来水，拥有较为完善的供、用、排水系统和管网。火力发电企业产生的污水经处理后回用，冷却塔清下水排放化验达到《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)后通过专用管道排放；生活污水来源于办公楼冲厕、食堂排水和浴室排水，通过专用管道排入市政排污管网。经调研，火力发电企业水平衡测试单元划分为 7 个用水单元进行水平衡测试，见表 1。企业主要用水工艺为各个生产车间的工艺水、冷却水、蒸汽、消防水、除盐水以及办公后勤的生活水。

预处理及循环水系统是发电厂部分地表水经反应沉淀工艺后使其水质符合全厂冷却塔补水、机组消防、化学和生活用水的需要，测点布设在相应的出水母管位置，测试时间不少于 8 d。

除盐水系统主要流程为沉淀过滤的清水，通过超滤、反渗透、离子交换等工艺，进入除盐水箱，再输送到

表 1. 水平衡测试单元的划分

序号	体系名称	序号	体系名称
1	预处理及循环水系统	5	脱硫工艺
2	除盐水制取工艺	6	煤水系统、消防水、灰库及其它公用工程
3	330 MW 汽机系统	7	生活用水
4	1000 MW 汽机系统		

各除盐水用户，测点布设在各道工序进水管道上，除盐水用户测点布设在取水母管位置。

330 MW 机组为发电厂的#15、#16 机组，1000 MW 机组为发电厂的#1、#2 机组。用水系统细分为各台机组的蒸汽凝水转换系统、循环水冷却水系统以及锅炉炉底渣出渣工艺。蒸汽凝水转换系统为电厂核心单元，整个系统为机组的发电工艺，锅炉将循环的凝结水烧成蒸汽，蒸汽一部分用来吹灰消耗，其余部分全部用来发电。在此过程中，绝大部分发电后的蒸汽进入凝汽器生成凝结水，通过凝泵输出，进行循环使用。蒸汽及凝结水实际为同一水源，在发电过程中进行了气态与液态的相变转化。过程中存在消耗，需要用除盐水进行补充，对补充水量进行长期监测。锅炉在反复产汽的过程需要定期或不定期排放一些水量，为连排和定排，对排放的水量进行长期监测。循环水冷却水系统主要是针对发电的各类设备的降温使用。分为开式循环水和闭式循环水。开式循环水由冷却塔进行降温，对于冷却塔消耗水量使用原水进行补充，补充水量需长期监测。循环水量适当缩短测试周期，以瞬时流量为主。闭式循环水由闭式冷却器进行降温，消耗的水量由除盐水进行补充，补充水量进行长期监测。锅炉炉底渣出渣工艺为机组锅炉捞渣机与溢流循环水池间形成循环系统，捞渣机机侧消耗水量由主要以工业水进行补充，对补充水量进行长期监测。

脱硫工艺主要采用烟气湿法脱硫，工艺水进入水箱后，作为脱硫工艺专用水源，用于制粉、吸收和脱水三个工艺中所有设备的冷却用水和工艺用水，对于进入工艺水量的水量进行长期监测，制粉、吸收和脱水工艺采取企业原料报表数据。

煤水系统、消防水、灰库及其它公用工程的用水户，测点布设在取水母管上，进行长期监测。

生活用水主要来自自来水和预处理的生活水，自来水供给物业办公楼、食堂、行政大楼使用，对各用水单元取水母管进行长期监测。

4. 水平衡测试结果分析

4.1. 用水水平分析

通过水平衡测试绘制企业水平衡分析图与全厂水平衡方块示意图，详见图 1 和图 2。计算企业主要用水指标与现有的考核标准进行对比分析。

该企业两台机组 330 MW 单位发电取水量为 $2.24 \text{ m}^3/\text{MW}\cdot\text{h}$ ，两台机组 1000 MW 单位发电取水量为 $1.91 \text{ m}^3/\text{MW}\cdot\text{h}$ ，达到《江苏省林牧渔业、工业、服务业和生活用水定额(2019 年修订)》(苏节水[2020]5 号) III 级指标要求。同行业一般能达到 I 级指标，该企业此项用水指标处于下游水平；330 MW 冷却塔浓缩倍率为与同行业相比偏低，1000 MW 冷却塔浓缩倍率达到同行业先进值。

企业位于江苏省连云港市，各项节水指标参照连云港市《市水利局关于开展全市水利行业节水机关建设工作的通知》(连水节水[2019]9 号)中相关指标。企业二级计量安装率及计量率，企业非常规水源利用率、循环水冷却排污回用率不满足相关要求，其他相关指标能满足节水型企业考核标准。详见表 2。

4.2. 节水潜力分析

企业单位发电取水量满足《江苏省林牧渔业、工业、服务业和生活用水定额(2019 年修订)》(苏节水[2020]5 号) III 级指标要求，与同行业相比为较低水平，具有一定的节水潜力。可通过水平衡测试中发现的问题，针对关键环节进行改造以达到节水目的。

4.2.1. 节水潜力评估

通过节水技改，企业单位发电取水量可达到《江苏省林牧渔业、工业、服务业和生活用水定额(2019 年修订)》(苏节水[2020]5 号) I 级指标要求，可节省水量 $756.32 \text{ m}^3/\text{h}$ ，计算如表 3 所示。

4.2.2. 节水改造分析

针对水平衡测试中发现的问题，企业可以进行节水改造，以达到节水目的。

表 2. 水平衡测试主要数据及用水指标

序号	名称	计算公式	结果	引用标准或备注	
1	新鲜水量	$Q_x = Q_{x1} + \dots + Q_{xn}$ (地表水)	3649.86 (m ³ /h)		
2	总消耗水量	$Q_{xi} = Q_{xi1} + \dots + Q_{xin}$	3238.89 (m ³ /h)		
3	总排放量	$Q_p = Q_x - Q_{xi}$	323.40 (m ³ /h)		
4	废水排放量	$Q_d = Q_t - Q_{ri}$	323.40 (m ³ /h)		
5	总排放率	$K = (Q_p/Q_x) \times 100\%$	8.86%		
6	废水回用率	$k_f = (Q_{fsp} - Q_d - Q_{xd})/Q_{fs} \times 100\%$	52.4%		
7	总重复利用率	$\Phi = (Q_f/Q_z) \times 100\%$	98.71%		
8	单位发电取水量 m ³ /(MW × h)	330 MW	$V_{ui} = Q_x/W$	2.24 (m ³ /MW·h)	≤III级指标 2.7 m ³ /MW·h 苏水节[2020] 5 号
9		1000 MW	$V_{ui} = Q_x/W$	1.91 (m ³ /MW·h)	≤III级指标 2.0 m ³ /t 苏水节[2020] 5 号
10	浓缩倍率	#15		4.03	同行业先进值 5 左右
11		#16	$K = \frac{P_z + P_f + P_p}{P_f + P_p}$	2.81	
12		#1		5.28	
13		#2		5.18	
14		#15		66.76	
15	#16	79.10			
16	凝汽器冷却倍率	#1	凝汽器循环冷却水/ 凝汽器进汽量	50.30	50-80
17		#2		68.12	
18		间接		99.82%	
19	循环水循环率	直接		98.68%	间接, ≥97%连水节 [2021] 19 号
20		除盐水制取率		51%	
21	人均生活用水量		138.91 L/(人·d)	≤150 L/(人·d)苏水节 [2020] 5 号	
22	节水器具普及率		100%	100%连水节[2021] 19 号	
23	循环水冷却水排污水回用率		0%	≥92%连水节[2021] 19 号	
24	非常规水源利用率		0%	≥2%连水节[2021] 19 号	
25	节水型器具		100%	100%连水节[2021] 19 号	
26	综合漏失率		0.47%		

表 3. 节水潜力分析

指标及取水量		改造前	改造后	节省水量
指标	330 MW	2.24	1.6	
	1000 MW	1.91	1.52	
发电取水量(m ³ /h)	330 MW	950.09	678.64	271.45
	1000 MW	2374.6	1889.73	484.87
辅助生产取水量		325.17	325.17	
合计		3649.86	2893.54	756.32

1) 企业总排放率为 8.86%，火力发电行业“零排放”技术已相对成熟，企业可以针对自身排放量进行水质监测，尽量回用该部分水量，以达到少排或不排的节水目的。

2) 企业始建于 1940 年，供水管网相对老旧，主要供水管网以地埋为主，跑冒滴漏现象不容易被发现。通过数据分析，企业生活管网处于泄漏状态，综合漏失率为 0.47%。企业应当及时进行管道改造，淘汰破旧管道。且供水管网应当以明管高架布设为主，便于后期维护。

3) 企业 330 MW 机组绝大部分设备采用开式循环水冷却方式，将会导致开式循环水水量增大，进一步导致冷却塔补水量增大，不利于节水。企业应当改造管道，使生产设备以闭式循环为主，减少补水量。

4) 企业脱硫废水目前是进入输煤系统进行冲洗使用，但对于输煤系统来说脱硫废水供大于求。主要原因为企业未对脱硫废水进行回用，将输煤系统作为脱硫废水的排放区域，这也导致输煤系统来不及处理该部分水量，使得煤场区域长时间处于积水状态。企业应增加脱硫废水处理设施，将脱硫废水回用至其他区域，最终浓水可进行蒸发结晶处理。

5) 测试期间，企业脱硫工艺水补水主要为工业水，存在“高质低用”现象。企业优化管网布置，使用低盐水或回用水用于脱硫工艺水补水，减少工业水取水量。

5. 改造措施建议

(一) 地表水取用方面

测试期间火力发电企业取用的地表水作为生产过程的主要水源，受季节性和间歇性外部因素的影响，该取水的水质变化较大，对火力发电企业反应沉淀处理过程中的掺水效率和所排泥浆水的二次回用产生一定的负面影响，同时增加了反应沉淀过程中沉淀过滤装置设备的切换反洗频次，进而增加了部分反冲洗用水量。建议企业在取水管端进池前段管路上增装一组取样口装置，并定期对进水水源的水质进行监测，在发现水质有变化时，应及时采取相应的应急措施。

(二) 雨水利用方面

测试期间，降雨量较大，火力发电企业输煤区域存在大量雨水汇集。据了解，该企业无雨水收集装置，造成水资源浪费。建议该企业对雨水管道进行技术改造，将雨水收集至消防尾水收集池，经处理后回用至全厂。在有条件或能力情况内，应提倡开发利用雨水技术，减少淡水资源的用量[13]。

(三) 清下水排放方面

目前火力发电企业由于自身因素，每小时排放 300 余吨清下水至河道中，为此对减少清下水排放及回用方面提出以下建议。

1) 脱硫系统对水质要求不高，企业脱硫工艺所使用的工业水，可以用清下水代替工业水接入脱硫工艺水箱。

2) 清下水的排放是因为循环水中离子浓度逐渐增大而排放以维持水质，建议火力发电企业在循环水管处增设旁路过滤装置，降低循环中的离子浓度，以达到减少清下水排放的目的。

3) 清下水可接入沉淀池再处理进行二次回用。

(四) 除盐水制取方面

火力发电企业目前的除盐水制取率为 51%，采取本套设备的同行业可达到 70%以上，建议火力发电企业更换反渗透树脂来提高除盐水制取率。

(五) 管理方面

1) 加强对净水站精细化用水管理，合理开启相应取水泵；对工业水泵进行小泵或变频改造，避免造成长江水和电力浪费，真正做到节能和按需供水。

2) 企业建设时间相对较久，企业应定期对老旧管道进行摸排，及时发现可能存在的“跑、冒、滴、漏”现象，进行维修整改。

3) 企业近年来完成了多项技改工程，用水管线愈发复杂，支管繁多。企业应制定巡检计划，安排人员定期对支管阀门进行检查，防止水源串用的情况发生。

4) 企业要根据水计量器具的安装标准、规程，审视水计量器具安装的规范性和科学性，按照《中华人民共和国计量法》《用水单位水计量器具配备和管理通则》对用水器具进行定期校验，日常加强管理、巡查、维护等工作，使水计量器具的作用得以发挥。

5) 企业要重视节水宣传工作，除必要的节水宣传标语外，可借助“世界水日”、“中国水周”契机，采取多样性活动，提高全厂职工节水意识。

6. 结语

火力发电行业是高耗水行业之一，而水平衡测试是各取水单位节水管理中的基础工作，也是评价自身用水水平的主要方式，为落实计划用水制度、合理调配水资源提供科学依据[14]。能够帮助企业长期监测用水效率，掌握动态用水量[15]，为提高企业用水效率提供技术支撑。通过水平衡测试，有利于加强用水管理，提高合理用水水平，提升企业节水能力，为区域内科学管理水资源、合理调配水资源提供重要参考依据[16]。火电企业应加大再生水回用力度，提高再生水回用率，减少发电过程中新鲜水的用量，从而减轻污废水资源对环境的污染，可在很大程度上解决水资源短缺的问题，引导整个社会全面节水，持续推进节水型社会建设。

参考文献

- [1] 张涛. 中国将实行最严格节水措施[J]. 生态经济, 2023, 39(11): 9-12.
- [2] 翟家齐, 王秀青, 张舰, 等. 节水措施对碳排放影响及节水低碳目标实施路径浅议[J]. 中国水利, 2023(19): 47-51.
- [3] 翟正义. 水资源可持续利用和管理研究[J]. 水上安全, 2024(6): 100-102.
- [4] 沈荣. 水平衡测试管理模式的探讨和分析[J]. 净水技术, 2014, 33(4): 90-93.
- [5] 韦诚, 汪晶. 江苏省火电行业水平衡测试技术应用研究[J]. 江苏水利, 2012(2): 35-38.
- [6] 吕望, 方鸣远, 景明, 等. 黄河流域落实“节水优先”方针的实践与思考[J]. 水利发展研究, 2024.
- [7] 李聘. 水平衡测试在工业用水管理中的应用[J]. 计量与测试技术, 2020, 47(3): 53-55.
- [8] 黄东海. 基于企业水平衡测试的工业节水分析[J]. 绿色环保建材, 2021(2): 27-28.
- [9] 李倩. 我国水平衡测试现状分析[J]. 节水灌溉, 2014(5): 70-73.
- [10] 顾爱辉, 曾凡永. 火电企业水平衡测试工艺指标评价探讨[J]. 江苏水利, 2016(2): 58-61.
- [11] 刘磊, 李煜, 隋书豪. 淄博市水平衡测试工作实践与探索[J]. 山东水利, 2019(11): 22-23.
- [12] 骆允洋, 孙峰, 曾现艳, 等. 水平衡测试与企业节水的探讨[J]. 治淮, 2021(6): 46-47.
- [13] 吴晓东. 某钢铁厂水平衡测试及节水措施研究[J]. 人民长江, 2014(45): 227-231.
- [14] 俞芳琴, 李潞. 工业企业水平衡测试技术研究[J]. 节水灌溉, 2010(11): 62-64.
- [15] 肖仲凯, 于慧, 倪亮亮, 等. 钢铁企业水平衡测试与节水分析[J]. 人民长江, 2018(49): 90-93.
- [16] 李聘. 水平衡测试在工业用水管理中的应用[J]. 计量与测试技术, 2020(47): 53-55.