

压缩空气储能电站的全厂水务管理

王红斌

上海电力设计院有限公司, 上海 200025

DOI:10.61369/ERA.2026020001

摘 要 : 压缩空气储能作为一种颇具潜力的新型储能方式, 不同于其他电化学储能, 其类似与火力发电, 对水资源有一定的要求。目前我国缺乏针对压缩空气储能电站给排水系统的相关规程规范及专题研究, 本文对目前已建的300MW 压缩空气储能电站进行分析, 研究其给水、排水系统、水量平衡和水资源的重复利用、节约用水措施, 以求合理利用水资源, 保护环境、保证压缩空气储能电站长期、安全、高效、经济的运行。

关 键 词 : 压缩空气储能电站; 水务管理; 节水措施

Water Management for the Entire Plant of Compressed Air Energy Storage Power Station

Wang Hongbin

Shanghai Electric Power Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200025

Abstract : Compressed air energy storage (CAES), as a promising new form of energy storage, differs from other electrochemical energy storage methods in that it resembles thermal power generation and has certain requirements for water resources. Currently, China lacks relevant regulations, standards, and specialized research on the water supply and drainage systems of CAES power plants. This paper analyzes the existing 300MW CAES power plant, examining its water supply and drainage systems, water balance, and the reuse of water resources, as well as water conservation measures. The aim is to achieve rational utilization of water resources, protect the environment, and ensure the long-term, safe, efficient, and economical operation of CAES power plants.

Keywords : compressed air energy storage plant; water management; water conservation measures

引言

在全球能源格局向低碳化、可持续转型的浪潮下, 新能源技术蓬勃发展, 风力发电、光伏发电等可再生能源在电力供应体系中的占比日益攀升。然而, 这些新能源具有显著的间歇性与波动性特征, 给电力系统的稳定运行带来严峻挑战。压缩空气储能技术作为一种极具潜力的大规模储能手段应运而生, 其原理是在用电低谷时段, 利用多余电能驱动压缩机将空气压缩并储存于特定储气空间, 如地下盐穴、废弃矿井或压力容器中; 待用电高峰时, 释放高压空气推动膨胀机发电, 实现电能的“削峰填谷”式存储与利用, 有效平抑新能源发电出力的波动, 提升电力系统稳定性与可靠性, 助力能源结构优化升级。

水务管理贯穿于压缩空气储能电站的全生命周期, 涵盖从空气压缩过程中的冷却用水, 到膨胀发电阶段的工质冷却以及设备的日常清洗等诸多环节。一方面, 水资源的合理调配、循环利用效率直接关联到电站的运行成本, 高效的水务管理能够减少水资源消耗、降低水处理成本及排污费用, 进而提升电站整体经济效益; 另一方面, 精准的水质管控、合理的水量供应, 对保障设备正常运行、预防腐蚀结垢、延长设备使用寿命起着关键作用, 是确保电站安全稳定、高效持续运行的基石。深入探究压缩空气储能电站水务管理, 对于挖掘电站潜能、推动储能技术商业化普及以及实现能源与水资源的协同可持续发展具有不可忽视的现实意义。

一、压缩空气储能电站水务管理特点

压缩空气储能电站相对火电厂系统简单, 水务管理主要考虑电站的生活用水, 闭式热网系统补水, 膨胀机和压缩机等辅机的循环冷却水, 日常设备运维清洗及厂房地面冲洗等。水务管理与火电厂的差异主要体现在一是给水系统, 机组容量与发电特点决定了其用水量及用水点均较少; 二是污水水排放, 火电厂由于废

水种类多, 水质差异大, 且对回用水水质的要求也完全不同, 因此多采用分类处理, 分类回用的方式。压缩空气储能电站污水水种类比较简单, 回用水量也较少; 三是空气压缩工况会产生部分冷凝水, 可回收利用。

(一) 压缩空气储能电站给水系统

储能电站给水系统按照用水类别与特性, 主要分为生活给水系统, 工业给水系统, 消防给水系统。

生活给水系统用于站内运维人员生活用水,包括卫生间,厨房用水,地面冲洗等用水,此类水水质应满足《生活饮用水卫生标准》GB5749-2022。项目所在地有市政自来水的优选自来水作为生活给水系统水源,否则与全厂取水系统水源一致,采用地表水或地下水,经处理达标后使用。生活用水在储能电站内占比较低,但是确是电站内运维管理人员不可缺少的部分。

工业给水系统主要用于循环冷却水系统补水和作为化学水处理系统原水,一般化学水处理系统均设置有深度过滤+除盐或软化系统,故工业给水水质需满足《工业循环冷却水处理设计规范》GB/T50050-2017。水源可统一采用市政自来水,也可取项目所在地的地表水或地下水。工业用水作为储能电站项目水务管理中最重要的一环,不仅用水量相对较大,且系统繁杂,对用的水质,水量也有很大差异。

消防给水系统主要用于储能电站内的室内外消防栓系统,主变水喷雾系统,主厂房内润滑油和油管道的水喷雾系统等,消防用水只有在火灾事故情况下使用,不计入储能电站内正常用水量。

(二) 压缩空气储能电站排水系统

储能电站排水系统按照排水的来源与特性,主要分为生活污水系统,雨水排水系统,工业废水系统。

生活污水系统用于收集站内卫生器具,地面冲洗等排水,此部分排水可直接排至附近的站外市政污水管网,也可以站内设置生活污水处理站,处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T18920-2020中的绿化,清扫用水,用于站内绿化浇灌,道路冲洗等,做到生活污水的“零排放”。

雨水排水系统主要收集降雨时站内建筑物屋顶,场地的雨水,一般可直接排至站外的市政污水管网或站外河流等处。

工业废水系统又可分为经常性废水与非经常性废水

经常性废水主要来源为化学水处理过程中产生的过滤器排水、反渗透浓水、离子交换器再生废水,循环冷却水运行过程中产生的排污水等。该部分废水作为压缩空气储能电站的主要废水来源,对电厂的水务管理工作有着至关重要的作用。储能电站的工业废水可以根据项目所在地周边的供水排水条件,当地环保政策要求,同时需考虑国家节水政策和项目经济性要求,合理收集回用或者排放。

非经常性废水是指短期的废水,主要包括化学水处理过程中膜组件的清洗排水,该部分废水属于间歇性的排水,且水量较少,可由环保公司收集处理。

二、全厂水务管理和水量平衡

水务管理的目的在于控制本项目的用水指标。在满足各用水户的要求前提下,合理协调站内用水,节约用水,降低水耗和水污染。

下面本文以某300MW压缩空气储能电站为例,进行全厂水务管理及系统设计。压缩空气储能项目主机运行主要分为压缩机储能工况和透平机释能工况,两种工况一天各运行一次,两者循

环冷却水量差异较大,且非连续运行,故计算补水量以天为单位考虑,按年运行350天考虑。

(一) 循环冷却水量

某300MW/1200MWh压缩过程及膨胀过程循环水量见下表:

表1 循环冷却水系统循环水量

项目	储能过程	释能过程
循环冷却水量(m ³ /h)	6000	3600

(二) 补给水量

表2 全厂用水量一览表

序号	用水项目	需水量(m ³ /d)	备注
1	水处理车间用水	36.23	
2	机力通风冷却塔	1385.16	
2.1	冷却塔蒸发损失	1108.08	
2.2	冷却塔风吹损失	48.60	
2.3	冷却塔排污	228.48	
3	生活用水	24	
4	未预见用水	115.6	
5	合计	1560.98	

由上表可知,本项目全天用水量合计约1560.98m³/d,年耗水量合计约546343m³/a。

表3 全厂最大时需水量一览表

序号	项目	水量(m ³ /h)			备注
		需水量	回收量	耗水量	
1	化学补水量	15.10	0	15.10	
2	冷却塔蒸发损失	136.8	0	136.8	储能时间段,此时蒸发量最大
3	冷却塔风吹损失	6	0	6	储能时间段,此时风吹损失量最大
4	冷却塔排污损失	28.2	0	28.2	储能时间段,此时排污损失最大
5	生活用水量	1	0	1	
6	未预见水量	14.97	0	14.97	
7	设计耗水量	202.07			

经水量平衡计算,系统最大时补水量约为202.07m³/h。

三、化学水处理系统

(一) 全厂汽水损失

根据储能、释能系统中热力管网中一天的循环量为2.4万m³,按《工业循环冷却水处理设计规范》GB 50050-2017中相关规定进行计算。相关数据按照如下取值:

闭式系统热水网的补充水量按照循环水量的1%。闭式热水网正常补水水量24t/d。

(二) 系统设计

项目水源采用附近深水井取水,压缩空气储能电站主要考虑储换热系统补水,根据其参数,可参考低压锅炉补水水质要求。根据当地原水水质特点及系统对补给水水质要求,拟采用预处理+预脱盐工艺。本工艺采用采用较先进的膜法工艺,系统自动化程度高,便于全厂设备管理及运维。

系统工艺流程如下:水工来水→原水箱→原水泵→多介质过

滤器→超滤→超滤产水箱→反渗透给水泵→保安过滤器→高压泵→反渗透膜组件→除盐水箱→除盐水泵→闭式系统热水网补水

(三) 系统出力及设备配置

根据闭式热水网中水汽损失及系统自用水量、设备维护检修等因素综合考虑,本工程化学水处理制备系统设计出力为 $2 \times 10^4 \text{ t/h}$,一运一备考虑。设置2座 50 m^3 产水箱,用于储存化学水系统产

水,以及满足热水网中短时大量用水的要求。

四、工业废水处理系统

(一) 废水、排水水质和水量

本工程废水和排水水源及水量见下表。

表4 废水水源及水量水质

序号	名称	单位	水量	水质 (mg/L, 除 pH 以外)				备注
				pH	Fe	SS	TDS	
1	多介质过滤器反洗排水	$\text{m}^3/\text{次}$	6	6~7.5			124.6~243.5	排至工业废水收集池
2	超滤反洗排水	$\text{m}^3/\text{次}$	0.8	6~7.5			124.6~243.5	排至工业废水收集池
3	反渗透浓水	m^3/h	2.5	~9		约等于0	623~1217.5	排至工业废水收集池
4	膜清洗排水 (超滤膜 / 反渗透膜)	$\text{m}^3/\text{次} \cdot \text{套}$	0.5/0.5	2, 12				专业厂家收集处理

(二) 废水处理方式

上表第1、2、3项属于经常性废水,多介质反洗水、超滤反洗水以及反渗透浓水排至厂区内废水收集池,循环水排污水也排至厂区废水收集池。该部分废水PH正常,主要是悬浮物,有机物,盐分等,含量较低,满足国家排放标准要求,可直接排放至站外污水管网或河道。项目实施过程中,还需要根据现场所在地环保要求及水资源现状,确定是否设置工业废水处理站,收集处理、回用部分上述经常性废水工业废水。

上表第4项属于非经常性废水,超滤膜清洗以及反渗透膜清洗一般1~3个月清洗一次,且清洗一次的水量较少,膜清洗可由专业厂家负责,产生的清洗废水由其运走处理。

生的经常性工业废水,包括除盐水处理过程中产生的过滤器清洗废水、反渗透浓水、离子交换树脂再生废水等,另外还包括循环冷却水系统产生的排污水。以上废水排至废水池,经过双介质过滤器、超滤预处理,反渗透浓缩后产生清洁废水,可用作工业水系统补水。

(4) 收集压缩空气过程中产生的冷凝水,用作工业水系统补水。

(5) 在各供水系统的进水管及出水干管(如取水供水母管、化学水管、生活给水管道等)上安装水量计量装置、调节和控制流量的装置,并将厂区内计量数据收集至全厂控制系统,进行数据统计、处理和分析,得出用水、排水量数据,对各工艺系统进行监督管理,建立全厂用水检测系统,为电厂水务管理创造条件。

(6) 生活给水系统采用节水型卫生器具。

(7) 运维管理方面,应针对相关的科学节水管理制度,并对相关人员进行培训。生产运行中一方面要加强各系统水质、水量的计量、监测和控制,对各车间指定用水考核制度及节水、浪费水的奖惩办法,减少跑、冒、滴、漏损失。另一方面,还需要根据技术发展,水源条件及环保要求,进行必要的技术改造,提高电厂的节水水平。

五、节水措施

从节约水资源政策和运行的经济可靠性出发,合理地利用水资源,同时最大限度地减少对环境的影响,控制污水排放,有效地降低耗水指标。

压缩空气储能电站节水措施主要有以下几点:

(1) 冷却水系统采用带二次循环的机械通风冷却塔系统,冷却塔出风口设置收水器,集水池周围设置回水台,可降低风吹损失,最小可降至0.05%;另外循环冷却水处理采用投加缓蚀阻垢剂及杀菌剂处理,提高浓缩倍率至5,可以大大减少循环水排污量,节约新鲜水补水。考虑到压储项目特殊性,储能工况和释能工况间断运行,且循环冷却水量差异较大,采取合理优化冷却水系统设计和设备选型,选择最佳运行台数,调节用水管路阀门开度等措施对系统进行水量调节。

(2) 生活污水采用接触氧化法处理,站内设置生活污水处理站,采用地理一体化生活污水处理设备处理全厂生活污水,处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》GB/T18920-2020中的绿化、清扫用水,处理达标后回用至站内中水系统,用做全厂的绿化浇灌,道路冲洗等。

(3) 站内设置工业废水处理站,主要收集电站运行生产中产

六、结语

在“双碳”背景下,压缩空气储能技术已经较为成熟,且单机规模大、储能时间长、使用寿命长、调节性能强等特点,在提高电网调节能力和增强可再生能源消纳方面具有巨大的应用潜能。可以预见的未来,压缩空气储能会在我国新型长时储能及电力系统中发挥越来越重要的作用。而压缩空气储能电站水务管理,特别是在我国水资源短缺及环保要求越来越高的今天,会成为制约其发展的重要一环。

本文对目前某300MW压缩空气储能电站的各项用水、排水系统进行了分类剖析,根据其主机的运行性质找出了与目前我国

成熟的火力发电项目水务管理特点的不同。分析其主要的用排水的分类及各项水量、水质等指标,并针对性的提出了循环冷却水、化学水处理、工业废水处理等主要系统方案。最后从设计、管理、运行维护等多个方向提出了节水措施。深入探究压缩空气

储能电站水务管理,对于挖掘电站潜能、推动储能技术商业化普及以及实现能源与水资源的协同可持续发展具有不可忽视的现实意义。

参考文献

- [1]DL/T 1337-2014 火力发电厂水务管理导则 [S].
- [2]DL/T 5339-2018 火力发电厂水工设计规范 [S].
- [3]DL/T 5046-2018 发电厂废水治理设计规范 [S].
- [4]DL/T 5513-2016 发电厂节水设计规程 [S].
- [5]尹力,岳春妹,费剑影.燃气电厂废水零排放工程应用与研究[J].工业水处理,2022(6):193-197.
- [6]赵巍巍.电厂循环冷却水系统节水与零排放技术研究[J].中国资源综合利用,2020(7):182-184.