

SCAL 型间冷系统循环废水回收处理

汤自强¹, 刘君¹, 王刚¹, 肖海刚², 黄万启²

(1. 宁夏京能宁东发电有限责任公司, 宁夏 银川 750000;

2. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710000)

摘 要: SCAL 型间冷系统的循环废水中含有大量铁铝腐蚀产物, 根据间冷循环水的水质特点, 通过理论分析拟定了回收方案, 通过工业实验对其进行了验证。结果表明, 实施回收前需要对废水的温度、pH 值、浊度和铁铝含量进行测定, 当循环废水的水质指标不能满足水处理设备进水要求时, 需要按照一定的比例将间冷循环废水和厂区生水在生水箱中混合后再进行回收处理。

关键词: SCAL 型间接空冷系统; 废水回收; 水处理

中图分类号: TM628 **文献标志码:** B **文章编号:** 1672-3643(2019)04-0061-06

有效访问地址: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2019.04.013>

Recovery of recycled wastewater from SCAL type indirect air – cooling system

TANG Ziqiang¹, LIU Jun¹, WANG Gang¹, XIAO Haigang², HUANG Wanqi²

(1. Ningxia Jingneng Ningdong Electric Power Co. Ltd, Yinchuan Ningxia 750000, China;

2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co. Ltd, Xi'an Shaanxi 710000, China)

Abstract: Comparing with raw water, the circulating water in SCAL indirect air – cooling system contained much corrosion products of steel and aluminum. By theoretical analysis the recovery scheme was made up according to the water quality of indirect air – cooling circulating water. Then it is verified by the industry tests. The results indicates the temperature, pH, turbidity and content of Fe and AL of waste water should be measured before recycling. In case some water quality indexes of waste water could not satisfy the water inlet requirements of watertreatment equipment, mixing the raw water and waste water by a ratio could solve this problem.

Keywords: SCAL indirect air – cooling system; recovery of waste water; water treatment

DOI: 10.3969/j.issn.1672-3643.2019.04.013

收稿日期: 2019-03-14

作者简介: 汤自强(1974), 男, 高级工程师, 从事电厂化学水处理工作。

在我国北方缺水地区,SCAL 型间接空冷系统(间冷系统)逐渐成为火电厂汽轮机排汽冷凝系统的主力机型^[1-3],为了减缓系统中材料的腐蚀速率,该系统中循环水需要保持较好的水质,但是该型间冷系统中无水质净化装置,因此当循环水的浊度、pH 值等指标异常时,只能通过换水的方式进行水质净化^[4-6]。该类型的间冷系统内常常存有近万吨除盐水^[7,8],每次需要换水数百吨,利用电厂已有的水处理车间对间冷循环废水进行回收,不仅可以节约大量的水资源而且不需要增加新的水处理设备,是一种一举多得的废水处理方式,具有很高的环保和经济价值,但是目前尚无间冷循环废水回收的相关经验。根据 SCAL 型间冷循环水的特点,通过理论分析和现场工业实验对这一问题进行研究。

1 间冷循环废水回收对水处理系统影响的理论分析

火电厂运行过程中,通过水处理车间对原水进行处理以去除各种杂质是保障电厂水汽品质良好的必要条件^[9]。通常对原水的处理包括双介质过滤、超滤和反渗透处理^[10],最终通过离子交换除盐制成除盐水贮存于水箱中备用^[11]。以宁夏某电厂的水处理车间为例进行分析,其水处理流程如图 1 所示。

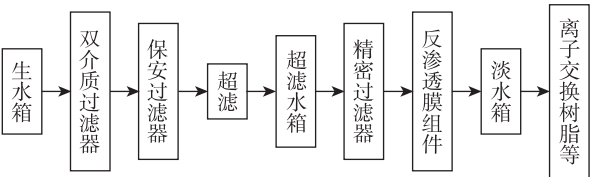


图 1 宁夏某电厂水处理流程

水处理车间的设计用水为厂区生水,生水和间冷循环废水关键的水质指标对比见表 1。由于

间冷循环水换水时水质往往比较恶劣,因此选择了间冷循环水水质较差的情况作为间冷循环废水水质指标与生水进行比较。

从表 1 可以看出,相对厂区生水,间冷循环废水的温度较高、pH 值偏大、浊度偏高。SCAL 型间冷系统内最初注入的是除盐水^[7],而且系统的密闭性较好,因此循环废水中含有的杂质离子比较小,不会加重离子交换树脂的工作负荷。该间冷系统内循环水主要的杂质来源是运行过程中碳钢及铝腐蚀产生的腐蚀产物^[12],这些腐蚀产物不仅提高了循环水的浊度也使得水中铁铝的含量偏高,对水处理中的预处理环节(双介质过滤器、超滤系统和反渗透系统)产生较大的工作负荷。

水处理系统由一系列的水处理设备串联构成,对于每一台水处理设备而言,既要保证进水水质合格以满足该设备的安全稳定运行,也要保证其出水的水质满足下一环节的进水水质要求。因此,重点分析间冷循环废水回收过程对双介质过滤器、超滤系统和反渗透系统所产生的影响。

1.1 双介质过滤器

双介质过滤是水通过砂、无烟煤和活性炭等多孔滤料后截留水中杂质的方法,通过机械筛分作用去除水中的悬浮颗粒^[13,14],能够有效地去除原水中的胶体、悬浮物及有机物等,通常可以将滤液的浊度降到 1 NTU 以下。间冷循环废水中的悬浮物、沉淀态的铁主要会在该装置中去除。进水的浊度较大会增加双介质过滤器的工作强度,当进水的浊度太大时,其出水的浊度指标不能达标,会对后续的设备产生不利影响。双介质过滤器与超滤系统之间有保安过滤器,其过滤精度为 100 μm ,当双介质过滤器的出水浊度不合格时,会造成保安过滤器较大的工作负担,缩短其使用寿命。此外,双介质过滤器对于进水的 pH 值也有一定的限制^[11],当水 pH 值大于 9 时,会使过滤

表 1 厂区生水与间冷循环废水关键水质指标对比

项目	温度/ $^{\circ}\text{C}$	pH	浊度/NTU	电导/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fe/($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	Al/($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)
厂区生水	15~28	6.5~8.3	≤ 2	$\leq 1\ 100$	$< 5.35\times 10^{-6}$	不检测
间冷循环水废水	30~60	8.5~9.2	228(最大值)	10	1.96×10^{-4} (最大值)	5.25×10^{-6}

器中的石英砂溶解,增加水中 SiO_2 含量,因此需要监测双介质过滤器入水的 pH 值。

1.2 超滤系统

超滤是以膜两侧的压力差为驱动力,以机械筛分为基础的溶液分离过程。超滤膜的孔径为 $0.005 \sim 1 \mu\text{m}$,比超滤膜孔径小的物质和溶解在水中的物质能作为透过液透过滤膜,胶体物质、颗粒、细菌和病毒等将被截留下来浓缩于排放液中^[11, 15]。超滤系统有全流过滤和错流过滤两种运行模式,全流过滤时,进水全部透过膜表面成为产水,该运行模式的能耗低,操作压力低,因而运行成本低;而错流过滤时,一部分进水透过膜表面成为产水,另一部分则带杂质排除成为浓水,该模式能处理悬浮物含量更高的流体^[9]。

超滤设备对于进水有如下的要求^[9, 11]:水温为 $5 \sim 40^\circ\text{C}$,浊度小于 5 NTU,余氯为 $2.85 \times 10^{-5} \sim 5.71 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$,pH 值为 $2 \sim 13$ 。因此间冷循环废水在通过超滤系统时,需要重点监测间冷循环废水的水温,并根据进水浊度及时调整超滤系统的运行模式。超滤系统和反渗透系统之间设置有过滤精度为 $5 \mu\text{m}$ 的精密过滤器,超滤系统出水水质不合格会缩短精密过滤器的运行周期。

1.3 反渗透系统

反渗透是一种对浓溶液施加压力使其中的水通过半透膜的物理脱盐方法,能同时去除水中的胶体、有机物、细菌等。为了保证半透膜长期稳定运行,反渗透前必须去除原水中对于反渗透膜产生污染或者导致其劣化的物质。膜生产厂家一般规定了膜元件的使用条件,间冷循环废水回收过程中需要注意的水质指标如下:

(1)浊度和 SDI 值。由于膜元件内部的给水和浓水流道非常薄,容易卡住固体颗粒,造成阻塞,因此,要严格控制进水悬浮固体含量:一方面是控制浊度,防止浊质颗粒划伤高压泵和膜;另一方面是控制进水的 SDI 值。

(2)温度。根据膜材料耐温能力,规定了膜元件的最高使用温度,反渗透膜元件的最高使用温度一般为 $40 \sim 45^\circ\text{C}$ 。

(3)进水的 pH 值范围。为了防止膜高分子水解,需要控制进水的 pH,醋酸纤维素膜(CA 膜)使用的 pH 值范围比较窄,一般为 $5 \sim 6$;聚酰胺膜(PA 膜) $2 \sim 11$ 。

(4)铁含量。由于铁是过渡金属有时会成为氧化反应的催化剂,加快膜的氧化和衰老,胶体态的铁还可以引起膜的堵塞。铁的允许浓度随着 pH 值和溶解氧量的不同而有所不同,通常为 $1.78 \times 10^{-6} \sim 8.93 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ 。

1.4 间冷循环废水回收过程中水质监测指标

根据水处理设备工作原理的分析,在制定回收方案过程中,考虑到水处理设备的运行稳定性,需要对间冷循环废水的水质指标进行监测,间冷循环废水回收对于水处理系统产生影响的水质指标有温度、pH、浊度和铁铝含量。首先监测间冷循环废水的温度、pH,如果其满足条件,则进行工业实验,确定水处理系统能够承受的临界浊度和铁铝含量指标。而且进水的温度、pH、浊度和铁铝含量能够通过将循环废水与厂区生水以一定的比例混合进行调整,因此从理论上讲,利用水处理车间处理间冷循环废水是可行的,当间冷循环废水的某些水质指标过大,则不能以 100% 间冷循环废水的工况运行,需要按照一定的比例将间冷循环废水和厂区生水在生水箱中混合,进行水质调解后再进行回收。

综合各种水处理设备对进水的水质要求,回收过程中需要监测的水质指标如表 2 所示。

表 2 间冷循环废水回收过程中水质的监测项目

双介质过滤器	超滤系统	反渗透系统
进水 pH	进水浊度	进水浊度
进水浊度	出水浊度	进水 SDI 值
出水浊度	进水 Fe、Al	进水 Fe、Al
进水 Fe	出水 Fe、Al	出水 Fe、Al
出水 Fe	流量	压差
	压差	回收率

2 现场工业实验研究

2.1 现场工业实验方案

共进行两种工况条件下的现场工业实验:

工况 1,使用 100% 间冷循环废水作为原水;
工况 2,使用 50% 间冷循环废水和 50% 厂区生水混合作为原水。

实验期间为了检测各水处理设备对水质的耐受极限,在变更水质条件时,检测水处理设备稳定运行一段时间后的水质指标,因此在本工业实验中分别监测两种工况下运行 30 min 和运行 50 min 时各水处理设备的运行指标。在工业实验过程中使用的间冷循环废水已经冷却至室温约 25 ℃,因此实验过程中没有再对水的温度进行监测。该厂采用石英砂 + 无烟煤的双介质过滤器,反渗透膜为聚酰胺膜。

2.2 间冷循环废水回收对双介质过滤器的影响

按照两种工况对间冷循环废水进行处理时,双介质过滤器的水质监测情况如表 3 所示。

表 3 两种回收工况条件下双介质过滤器水质指标						
运行工况	进水 pH	浊度/NTU		Fe/(mol · L ⁻¹)		
		进水	出水	进水	出水	
工况 1	运行 30 min	8.21	30.8	8.61		
	运行 50 min	8.13	30.2	8.01		
工况 2	运行 30 min	8.11	14.5	0.85	1.69 × 10 ⁻⁶	3.25 × 10 ⁻⁸
	运行 50 min	8.12	14.7	0.68	2.73 × 10 ⁻⁶	2.16 × 10 ⁻⁸

两种工况条件下,进水的 pH 值均小于 9,满足双介质过滤器的进水要求。该厂双介质过滤器的出水浊度要求小于 1,在 100% 间冷循环水工况下,进水的浊度 > 30 NTU 时,双介质过滤器出水浊度不能达标。在 50% 间冷循环水工况下,双介质过滤器出水浊度达标。对于 50% 间冷循环水工况条件下,水质进行取样,分析其铁含量结果,从结果可以看出,双介质过滤器对于循环废水中的铁具有显著的去除效果,这与理论分析结果相吻合。

2.3 间冷循环废水回收对超滤过滤器的影响

按照两种工况对间冷循环废水进行处理时,超滤过滤的水质监测情况如表 4 所示。在 100% 间冷循环废水工况下运行时,超滤进水浊度小于双介质出水浊度,说明两者之间的保安过滤器过滤掉部分不溶物,但长时间在这种条件下运行会

缩短保安过滤器滤芯使用寿命。根据该系统设计,控制超滤出水浊度 ≤ 0.5 NTU,在 100% 间冷水工况条件下,超滤出水浊度不能达标,50% 间冷循环水工况下超滤出水浊度达标。超滤装置进一步降低了水中铁含量,超滤对于铝的去除效果不明显。100% 间冷水和 50% 间冷水两种工况运行时,超滤系统的产水流量和运行压差如图 2 所示,流量和运行压差都比较稳定,无明显异常。

表 4 两种回收工况条件下超滤水质指标							
运行工况		浊度/NTU		Fe/(mol·L ⁻¹)		Al/(mol·L ⁻¹)	
		进水	出水	进水	出水	进水	出水
工况 1	运行 30 min	4.41	0.67	2.81×10 ⁻⁷	<1.78×10 ⁻⁹	4.03×10 ⁻⁶	3.25×10 ⁻⁶
	运行 50 min	3.92	0.61	1.98×10 ⁻⁷	<1.78×10 ⁻⁹	4.03×10 ⁻⁶	4.13×10 ⁻⁶
工况 2	运行 30 min	0.53	0.42	8.04×10 ⁻⁹	<1.78×10 ⁻⁹	1.59×10 ⁻⁶	1.38×10 ⁻⁶
	运行 50 min	0.53	0.5	2.39×10 ⁻⁸	7.5×10 ⁻⁹	1.44×10 ⁻⁶	1.35×10 ⁻⁶

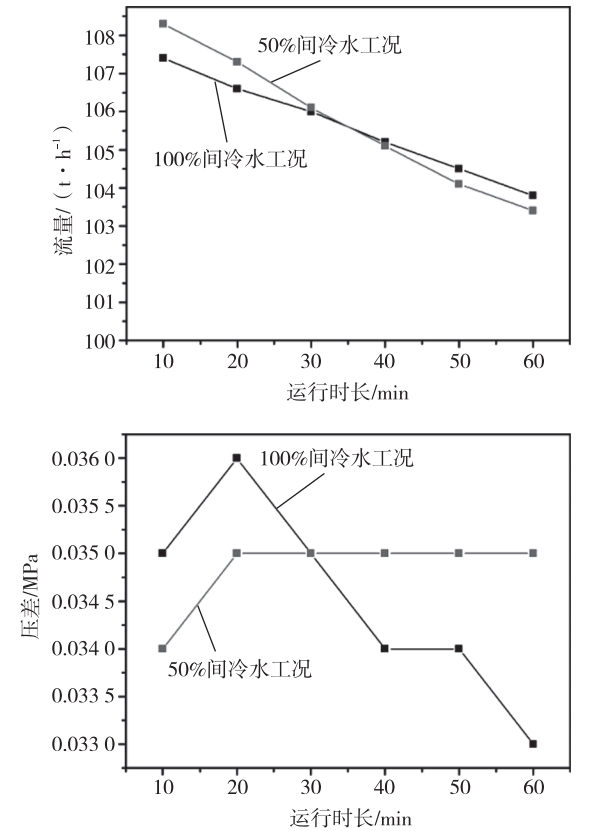


图 2 两种工况下超滤运行过程中流量及压差变化

2.4 间冷循环废水回收对反渗透系统的影响

两种工况下对间冷循环废水进行处理,反渗透系统水质监测如表 5 所示。该厂反渗透系统进

水 SDI 值要求小于 1,100% 间冷水运行 30 min 时,SDI 值为 3.3,高于反渗透系统进水要求,会污染反渗透膜,缩短反渗透膜的使用寿命。以 50% 工况运行时,各项指标符合要求。通过反渗透处理,间冷循环废水中的铝被去除。如图 3 所示,100% 间冷水和 50% 间冷水两种工况运行时,反渗透系统的压差和回收率都无明显异常。

表 5 两种工况运行条件下反渗透运行水质监测

运行工况	进水 pH	SDI	Fe/(mol·L ⁻¹)		Al/(mol·L ⁻¹)		
			进水	出水	进水	出水	
工况1	运行 30 min	7.3	3.3	8.39×10 ⁻⁹	2.75×10 ⁻⁸	4.08×10 ⁻⁶	1.96×10 ⁻⁷
	运行 50 min	7.28	0.279	1.16×10 ⁻⁸	<1.78×10 ⁻⁹	4.15×10 ⁻⁶	1.30×10 ⁻⁷
工况2	运行 30 min	7.6	0.3	1.61×10 ⁻⁸	6.42×10 ⁻⁹	2.66×10 ⁻⁶	9.07×10 ⁻⁸
	运行 50 min	7.67	0.28	1.91×10 ⁻⁸	<1.78×10 ⁻⁹	2.20×10 ⁻⁶	1.48×10 ⁻⁹

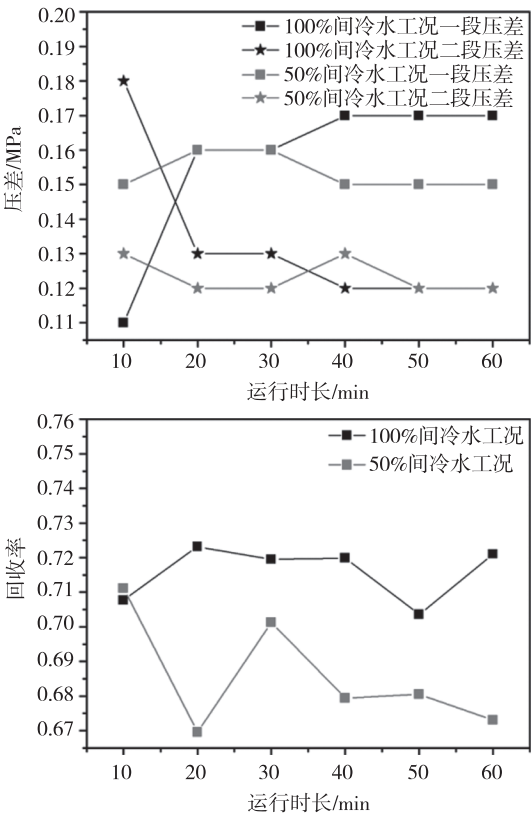


图 3 两种工况下反渗透系统运行过程中压差及回收率变化

3 结 论

现场工业实验表明,间冷循环废水引入水处

理系统对于双介质过滤器、保安过滤器、超滤系统、精密过滤器以及反渗透系统都有影响,在制定具体回收方案时,首先要测量循环废水的温度、pH 值、浊度、铁铝含量,通过工业实验确定水处理车间的能够处理水质的临界参数,工业实验中可以参考表 2 中所列的监测项目对回收过程进行监测。在水处理过程中,双介质过滤器去除了间冷循环废水中大部分的铁悬浮物,超滤进一步去除铁的腐蚀产物,在进入反渗透之前,水中铁的腐蚀产物几乎完全除掉,反渗透系统除掉了间冷循环废水中的铝,经过这三个步骤的处理,可以满足后续离子交换的进水水质要求。当双介质过滤器入水的浊度大于 30 NTU 时,双介质过滤器出水、超滤出水浊度都不能满足控制指标,当双介质过滤器入水浊度为 14.7 NTU 以下时,双介质过滤器出水、超滤出水浊度能够满足控制指标。工业实验结果证明通过混合间冷循环废水和厂区生水的方式调解进水水质,最终实现间冷循环废水回收是完全可行的,是一种环保经济的处理方式。

参考文献

[1] 冯璟,刘志刚. 1000MW 机组间接空冷系统设计[J]. 电力建设,2009,30:46-48.

[2] 蒋华,冯璟. 600MW 超临界机组 SCAL 型间接空冷系统综述[J]. 仪器仪表用户, 2012,19:15-17.

[3] 陈立军,米利俊,徐超,等. 新形势下直接空冷和间接空冷的发展分析[J]. 电站系统工程,2010,26:5-9.

[4] 施永华. 间接空冷用铝管腐蚀原因分析[J]. 理化检验-物理分册,2013,49:119-122.

[5] 赵长江. 间接空冷机组循环水联氨处理工艺的 electrochemistry 研究[J]. 内蒙古电力技术,2017,35:26-31.

[6] 陈亮,周瑜,梁金丽. 350MW 机组间冷循环水 pH 异常原因分析及优化控制[J]. 冶金动力,2017,1:38-40.

[7] 温高. 发电厂空冷技术[M]. 北京:中国电力出版社,2008.

[8] 丁尔谋. 发电厂空冷技术[M]. 北京:水利电力出版社,1992.

[9] 周柏青,陈志和. 热力发电厂水处理[M]. 北京:中国电力出版社,2009:95-233.

[10] 陈胜喜,刘小亮. 多介质过滤器、超滤和反渗透技术

- 在中水回用中的应用探讨[J]. 节能, 2014, 7: 37-40.
- [11] 广东电网公司电力科学研究院. 电厂化学[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014: 52-77.
- [12] 李静平, 王微, 窦家新, 等. 间接空冷换热器铝管束腐蚀原因分析及解决措施[J]. 内蒙古电力技术, 2016, 34: 56-59.
- [13] 蒋正杰, 刘跃东. 多介质过滤器在电厂废水处理系统中的应用[J]. 电力科技与环保, 2017, 33: 48-49.
- [14] 赵瑞峰. 多介质过滤器的分析[J]. 山西冶金, 2005, 97: 61-63.
- [15] 李庆华. 超滤膜技术在环境工程水处理中的应用[J]. 化工管理, 2018, 30: 162.

(上接第 39 页)

3.2 安装及验收阶段

对于现场需要对接的 GIS 组部件或需现场注胶, 设备验收单位应安排专人进行监督, 避免安装单位人员不按现场施工要求组装或为抢工期在不易于安装的环境下施工; 验收的时候, 验收单位应认真核查 GIS 之间的对接面, 随机抽查注胶情况及法兰盘上的螺丝紧固情况, 通过红外检漏技术检查是否存在漏气现象。

3.3 运行阶段

对于不易停电且重要的负荷, 可综合运用定量和红外检漏技术相结合的方式, 精确查找漏点部位, 全面分析危害程度, 动态掌握设备状况, 缩短停电时间, 提升缺陷消除效率。

参考文献

- [1] 陈昱同, 郭建宏, 刘杨, 等. 220 kV 某 GIS 盆式绝缘子漏气原因分析及处理措施[J]. 高压电器, 2015, 12(51): 196-200.
- [2] 周秀, 相中华, 李秀广, 等. 宁夏电网 GIS 常见故障及典型案例分析[J]. 宁夏电力, 2018(3): 35-39.
- [3] 李永祥, 王天正, 李艳鹏, 等. 基于红外成像检漏技术的 GIS 设备气体泄漏异常分析[J]. 高压电器, 2016, 7(52): 185-190.
- [4] 赵欢. GIS 设备 SF₆ 气体泄漏处理的分析及探讨[J]. 电工技术, 2018(1): 95-98.
- [5] 张丽娟, 张天河, 赵航. GIS 设备漏气故障常见原因分析及防范措施[J]. 山东电力技术, 2018(1): 71-73.
- [6] 张浩, 吴凯, 管敏渊. 一起 GIS 设备 SF₆ 气体泄漏故障的分析与处理[J]. 浙江电力, 2016(35): 35-39.
- [7] 张凯, 牛欢欢, 彭鹏, 等. 330 kV 变电站的 110 kV GIS 母线筒漏气故障[J]. 电工技术, 2017(1): 31-32.
- [8] 刘东亮, 贺志伟. GIS 全封闭组合电器常见漏气原因及预防措施[J]. 湖南水利水电, 2011(6): 75-76.
- [9] 周秀, 李秀广, 田禄, 等. 两起 GIS 带电设备异常现象的研讨[J]. 宁夏电力, 2015(6): 46-49.
- [10] 李飞宇. GIS 设备漏气防范措施[J]. 硅谷, 2015(1): 127-128.
- [11] 张霁月, 李超文, 朱兴刚. 一起 GIS 设备气室漏气故障的分析及处理[J]. 安徽电力, 2011(9): 1-3.