

废水零排系统在某电厂的电气系统设计及回路优化

李淑君

(广东惠州天然气发电有限公司 广东 惠州 516000)

摘要: 在国家节能减排和环境保护政策要求下, 某电厂计划在原工业废水、含油废水、生活污水等系统上进行废水零排改造工程, 改造后该系统可分离出其中的盐类和污染物, 再以固体形式排出, 实现全厂无废水外排的环保指标。因工艺要求电气系统需增设上游电气开关、配电段、电机等设备, 设计及施工中应根据电厂现有系统及设备选取最合理的方案, 并兼顾经济性、系统可靠性及实用性。本文重点对系统电源选定、6kV 整定计算、负荷分配优化、及 380V 配电段进线开关、联络开关回路优化进行阐述。

关键词: 废水零排; 6kV 整定计算; 回路优化

0 引言

某电厂现产生的废水主要包括化学酸碱再生废水、反渗透浓水、工业废水、生活污水等, 拟进行技术改造达到废水零排的目标, 计划总体改造后水量平衡图见图 1。根据初设, 对电气专业来说, 系统的改动较大, 涉及的系统主要 5 个, 其中锅炉补给水处理系统、工业废水处理系统、生活污水处理系统、含油废水处理这 4 个系统为改造系统。新增设备容量较小, 可通过对原有 MCC 柜进行扩容改造完成新增负荷的配电。改造难度最大的为系统末端废水处理

理系统, 该系统采用浓缩减量-蒸发结晶工艺作为末端废水改造方案。根据工艺要求, 需加装数十台电机、水处理管道、配电段等, 因此需另设场地满足系统的要求。涉及电气系统接线, 包括 6kV 系统、0.4kV 系统、照明、检修及接地系统等。整个系统负荷大, 电气设备数量多。本文主要对该系统在设计及施工中遇到常见电气问题进行阐述及进行设计优化。

1 末端废水处理系统上游电源的选择

该系统电压等级为 380V 厂用电, 在电源的选择上

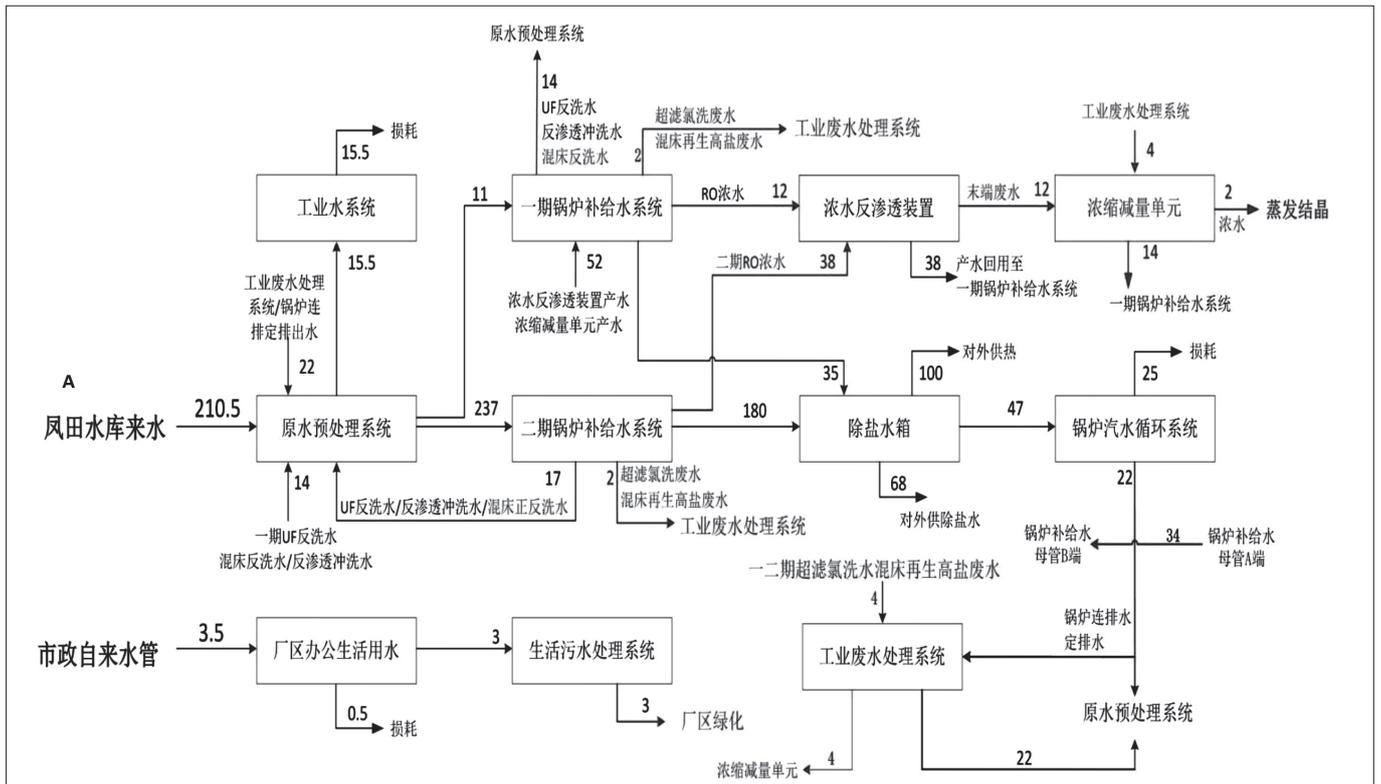


图 1 总体改造后水量平衡图 (夏季满负荷)

有两种方案：

第一种方案,由就近的380V系统MCC段取电(一、二期化水车间MCC段)。优点:距离近,约200m,电压降损耗小。缺点:此系统负荷容量大,现有两段MCC段系统已无足够容量的备用开关,如需使用380V开关,需对系统分段设计方能满足要求,接线复杂,且会造成原系统无备用余量。

第二种方案,由机组6kV系统取电。优点:6kV备用间隔开关有足够容量,下游仅需分两段即可。缺点:电缆敷设距离远,4#机6kV到就地400m;5#机6kV到就地为450m,敷设安装人力成本高;需增加6kV/380V变压器,设备增多。

两种电源选择方式结合系统可靠性、接线方式、设备安装及人力等综合因素,选择从6kV系统接线为更优解。为提高系统的安全性及稳定性,计划设置2台变压器,分别从不同机组6kV系统引电,并在380V末端废水两段PC段间设置联络开关,当某台机组6kV系统检修时或380V进线开关有故障时,不影响末端废水系统运行。

就地考察电缆沟走向确定由4#、5#机组6kV备用间隔取电,下游共设置2台低压干式变压器。新建末

端废水处理系统内共设2段低压PC段,为新建末端废水处理系统所有低压用电负荷供电,2段低压PC段之间设置联络开关,正常运行时2段PC段独立运行,当一路电源失电,联络开关闭合为所有低压用电负荷继续供电,设计图如图2所示。

2 末端废水处理系统6kV综保定值计算

选用4#、5#备用间隔6kV开关为上游电源,根据系统要求,首先对间隔综保更换为东大金智WDZ-5242B作为变压器保护装置,并根据原系统接线方式及变压器容量进行整定计算。本次整定计算范围主要为主厂房6kV母线段2个低压废水变压器馈线开关及400V末端废水PC段馈线开关,对于主厂房6kV母线段2个低压废水变压器馈线开关的整定时限及保护定值需与原主厂房整体定值保持一致,避免上下级定值匹配不合理,保证满足实际需要。

依据DL/T 1502-2016《厂用电继电保护整定计算导则》,计算变压器保护定值见表。

2.1 过流一段保护

(1) 动作电流按照躲过变压器低压侧母线最大三相短路电流整定：

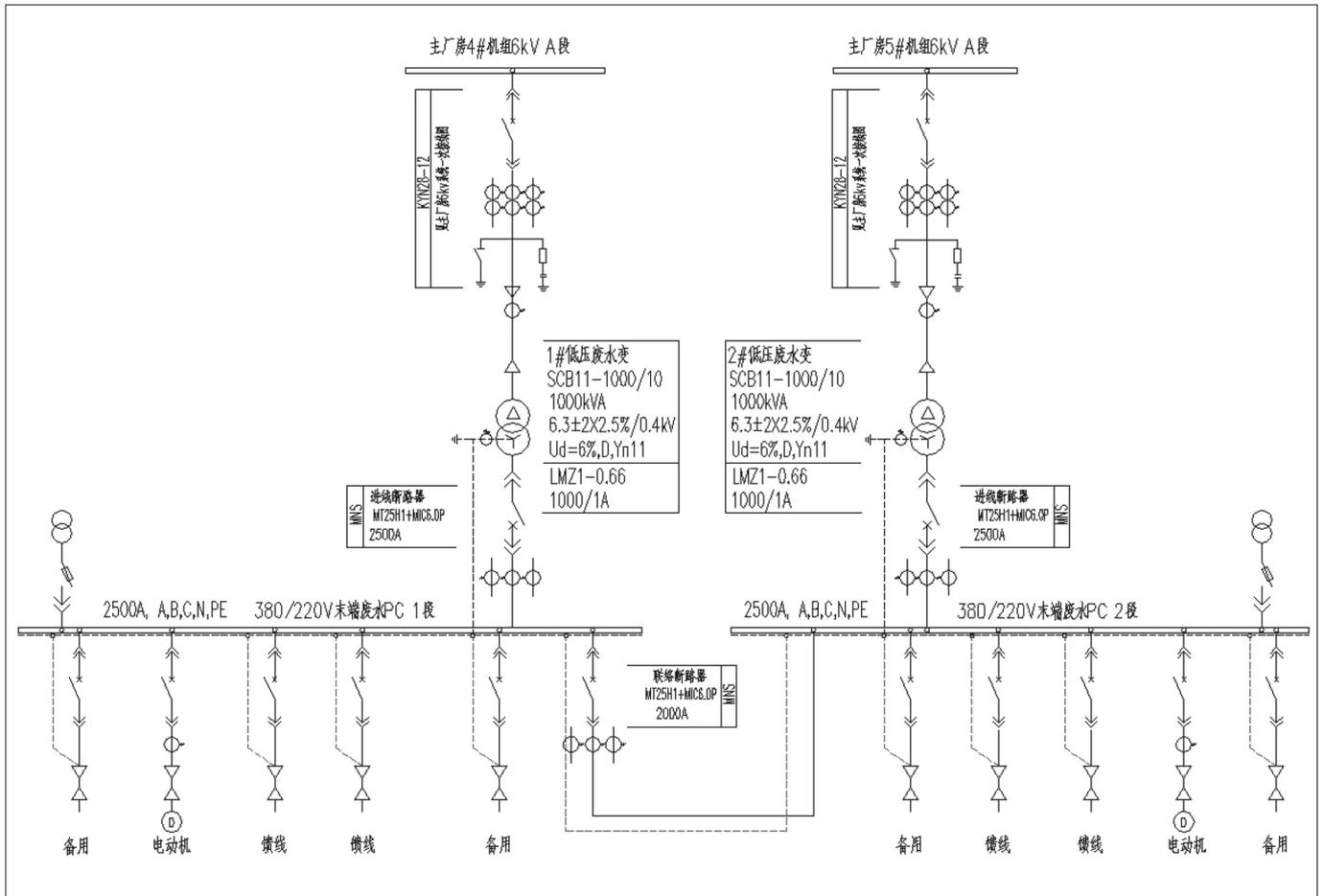


图2 6kV系统取电设计图

表 变压器及二次设备参数

序号	名称	参数	序号	名称	参数
1	保护装置	WDZ-5242	8	高压侧相测量 CT 变比	200
2	容量 (KVA)	1000	9	低压侧相保护 CT 变比	/
3	短路阻抗 (X%)	6	10	高压侧零序 CT 变比	50
4	计算电抗 (Sj)=100MVA	6	11	低压侧零序 CT 变比	1000
5	高压侧额定电流 (A)	91.6	12	高压侧二次额定电流	0.46
6	低压侧额定电流 (A)	1443.4	13	熔断器	Na
7	高压侧相保护 CT 变比 (1A)	200	14	群启电流倍数	2.54

$$I_{op} = \frac{K_{rel} \times I_{kmax}}{n_{ah}} = \frac{1.1 \times 9165}{4.8 \times (200/1)} = 10.5A$$

式中: K_{rel} - 可靠系数, 取 1.1;

$I_{kmax}^{(3)}$ - 变压器低压侧母线最大三相短路电流;
 n_{ah} - 变压器高压侧 CT 变比。

(2) 按照躲过变压器励磁涌流, 变压器励磁涌流取 10 倍变压器额定电流:

$$I_{op,2} = \frac{10 \times I_{eh}}{n_{ah}} = \frac{10 \times 91.6}{200/1} = 4.6A$$

取以上二者最大者 10.5A。

(3) 灵敏度校验:

按最小运行方式下变压器高压侧两相短路电流校验:

$$K_{rel} = \frac{I_{kmin}^{(2)}}{I_{op,2} n_{ah}} = \frac{15.0 \times 1000}{10.5 \times (200/1)} = 7.143 > 1.5$$

灵敏度满足要求。

(4) 动作时间: 取 0s。

(5) 出口方式: 动作于跳闸。

2.2 过流二段保护

(1) 整定原则 1: 按照躲过变压器低压侧所带电动机自启动电流进行整定。

$$I_{op,2} = K_{rel} \times K_{sqd} \times I_e = 1.2 \times 2.5 \times 0.46 = 1.4A$$

式中: K_{rel} - 可靠系数;

I_e - 变压器额定电流;

K_{sqd} - 电动机自启动电流倍数, 取 2.5。

(2) 整定原则 2: 按与低压侧进线开关短延时动作电流配合整定。

$$I_{op,2} = K_{ee} \times K_{bt} \times I_{op,1} = 1.1 \times 2 / \sqrt{3} \times \frac{6650 \times 0.4}{200/1} = 2.68A$$

式中: K_{co} - 配合系数;

K_{bt} - 压器不同灵敏系数, Dy11 接线, 取 $2/\sqrt{3}$;

I_{op} - 低压侧进线开关短延时动作电流折算到高压侧的值。

以上计算方案的最大值 2.68, 保持原定值不变:
 $I_{op,2} = 1.6A$ 。

(3) 灵敏度校验: 按低压母线上发生三相短路时产生的最小短路电流来校验。

$$K_{rel} = \frac{I_{kmin}^{(3)}}{I_{op,2} n_{ah}} = \frac{9165}{6 \times 2.68 \times (200/1)} = 2.85 > 1.5$$

灵敏度满足要求。

式中: $I_{kmin}^{(3)}$ - 变压器低压侧母线最小三相短路电流。

(4) 动作时间: 取 0.7s;

(5) 出口方式: 动作跳闸。

2.3 高压侧过负荷保护

(1) 动过电流, 按躲过变压器额定电流整定:

$$I_{op,2} = K_{rel} \times I_{eh,2} = 1.1 \times 0.46 = 0.5A$$

式中: K_{rel} - 可靠系数, 取 1.1;

$I_{eh,2}$ - 变压器高压侧二次额定电流。

(2) 动作时间: 一般取 9s。

(3) 出口方式: 动作于信号。

2.4 高压侧零序保护

(1) 动作电流, 按躲过变压器低压侧短路时流过高压侧的不平衡电流整定, 一次定值整定为 15A。

$$I_{op,0} = \frac{15}{n_{ah0}} = \frac{15}{50/1} = 0.3A$$

式中: n_{ah0} - 高压侧零序 CT 变比。

(2) 动作延时整定: 取 0.1s。

(3) 出口方式: 动作于跳闸。

2.5 低压侧零序过流一段保护 (定时限保护)

(1) 动作电流, 按与低压侧最大动作电流保护配合整定, 按经验取 2 倍低压侧额定电流。

$$I_{op} = \frac{K_{rel} \times I_{opl}}{n_{al0}} = \frac{2 \times 1443.4}{1000/1} = 2.9A$$

式中: n_{al0} - 低压侧零序 CT 变比。

(2) 动作时间: 取 0.7s。

(3) 出口方式: 动作于跳闸。

2.6 低压侧零序过流二段保护 (反时限保护)

(1) 动作电流, 按躲过正常运行时变压器低压侧中性线上流过的最大不平衡电流整定, 干式变压器一般可取变压器低压线圈额定电流的 50%;

$$I_{op,2} = \frac{50\% \times I_d}{n_{a/10}} = \frac{50\% \times 1443.4}{1000/1} = 0.7A$$

(2) 动作曲线：选用 IEC 超常反时限。

(3) 动作时间常数：按变压器低压侧单相接地动作时间为 0.6s 计算。

$$k = \frac{t \times \left[\left(\frac{100}{u\%} \right)^2 - 1 \right]}{80} = \frac{0.7 \times \left[\left(\frac{100}{6} \right)^2 - 1 \right]}{80} = 9.7s$$

(4) 出口方式：动作于跳闸。

3 380V 末端废水处理系统负荷分配优化

设计初期，两段 PC 段设计的思路是负荷尽可能平均分配，对于一些对系统较为重要的电机，设计原则为“一用一备”，分别分布在 2 段配电段中，这样有利于系统运行的安全性和稳定性。但随着项目进行，因其他专业需要对末端废水系统中 MVR 系统（即结晶蒸发系统）进行电耗计量，原设计中负荷是分散平均在 2 段中，无法实现对 MVR 系统的总体计量，因此需要重新对配电段负荷进行分配。此时该系统房屋土建等基础工程已完成，对于原系统设计提出了 2 种方案。

方案 1：保留原有 2 段配电段除 MVR 系统的负荷，从 2 段配电段中各取一路开关作为 MVR 系统进线开关，另设置一个独立的 MVR 系统 MCC 段。优点：计量方便；缺点：此方案需增加 2 个 MCC 馈线柜和 1 个 MCC 进线柜，目前的电气设备间无法再布置下新增的开关柜，且会增加设备造价。

方案 2：目前末端废水系统设置有 2 台变压器及 2 个 PC 段，可以将末端废水系统设备单独接在其中一个 PC 段上，MVR 系统设备单独接在另一个 PC 段上，这样可以实现对 MVR 系统进行单独计量，2 个 PC 段间设有联络开关，当其中一台变压器或进线开关故障时，另一路电源可提供备用电源实现供电的可靠性。优点：能实现对 MVR 的耗电计量要求，且不需要额外增加设备及费用；缺点：对于一些重要负荷，一用一备的电机均在同一段上，若此段母线失电，对系统有影响。但此系统中负荷均为Ⅲ类负荷，可承受短时失电，增加的联络开关仍能保证系统的安全性。两段负荷总功率加起来为 384.92kW，一台变压器的容量为 1000kVA，可看出即使某台变压器带两段同时运行，仍有冗余，可安全运行。

基于场地、设备数量及费用问题综合考虑，最终选择了方案 2。配电段分为末端废水 PC1 段和 MVR 系统 PC2 段，为计量方便，分别在两段的进线开关及联络

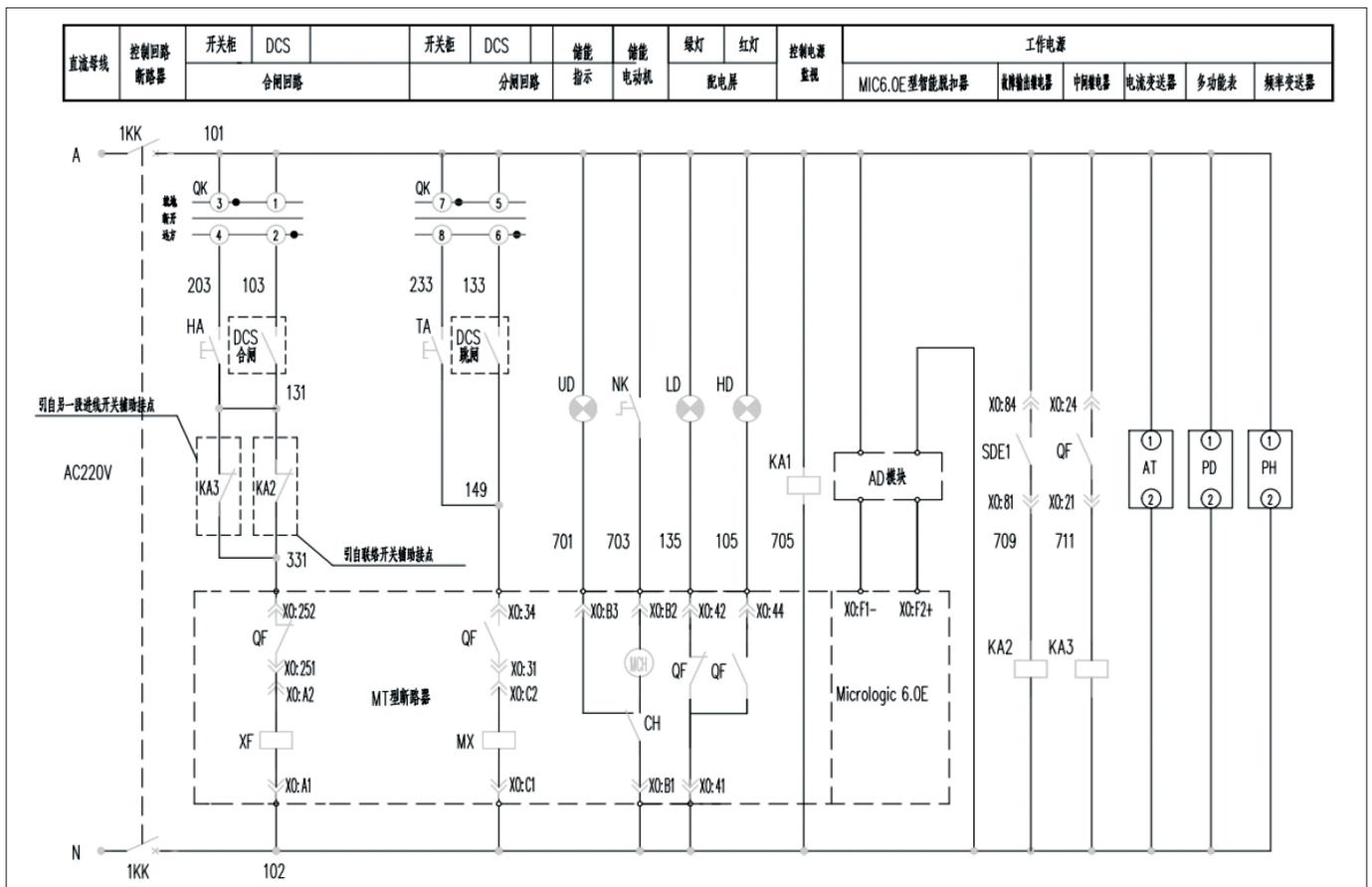


图 3 进线柜初设图

开关上均装设了可计量双向功率的电表表；并在 MVR 配电段中，负荷最大的压缩机（250kW）开关上也增加了电表表，便于统计。

4 380V 末端废水处理系统二次回路优化

380V 系统中，进线开关及联络开关为系统重要的电源开关，将直接关系系统的安全运行，因此在回路设计上，应确保回路可靠。380V 开关回路看似简单，在施工过程中，为满足系统要求做了几次优化工作，原设计图如图 3 所示。

第一次优化：增加高压联跳回路及电能表回路。因计量的要求，因此在回路两路进线回路及联络开关柜均增加了电能表。基于考虑系统的安全性，增加 6kV 开关联跳 380V 进线开关功能，即在开关的跳闸回路中增加了 6kV 开关跳位及综保开出的节点，只要上游 6kV 开关在分闸位置，无论是正常分闸还是由于故障跳开，下游 380V 进线开关也应分闸。此功能的增加也考虑到与厂内其他厂用变压器的高联低功能保持一致，便于设备维护。

第二次优化：在运行操作中发现在倒闸操作中，因

电气闭锁，倒闸中需要通过短接节点才能实现合环操作，因此联络柜增加解锁压板回路（图 4）。在系统进行受电过程中工况为：两段配电段进线开关在合位，联络开关分位。在压差满足要求的情况下，计划由 PC1 段变压器同时带 PC2 段运行（两段均为空载试运行），此时需要将联络开关合上，3 个开关短时合环运行，联络开关合上后马上断开 PC2 段的进行开关。但在实际操作中发现无法实现此功能，由图 3 可以看出，联络开关受两段进线开关合位闭锁，只能通过就地短接 131 和 331 接点实现此功能。当系统正常运行时，回路电流极大，若每次通过就地短接方式合联络开关，危险性极大，因此决定对此回路进行优化（图 4）。

根据 DL/T 5153-2014《火力发电厂厂用电设计技术规程》第 9.3.2 条：“低压厂用电源宜采用以下切换方式：正常切换宜采用手动并联切换。在确认切换的电源合上后，再断开被切换的电源，并应减少两个电源并列的时间。”允许两段电源短时合环。改进方式如下：

在合、分闸回路上分别新增一块压板，在正常运行状态时，合闸回路 2LP 压板断开，分闸回路 1LP 压板合上。即当两段进行开关在合位时，不允许合环运行，

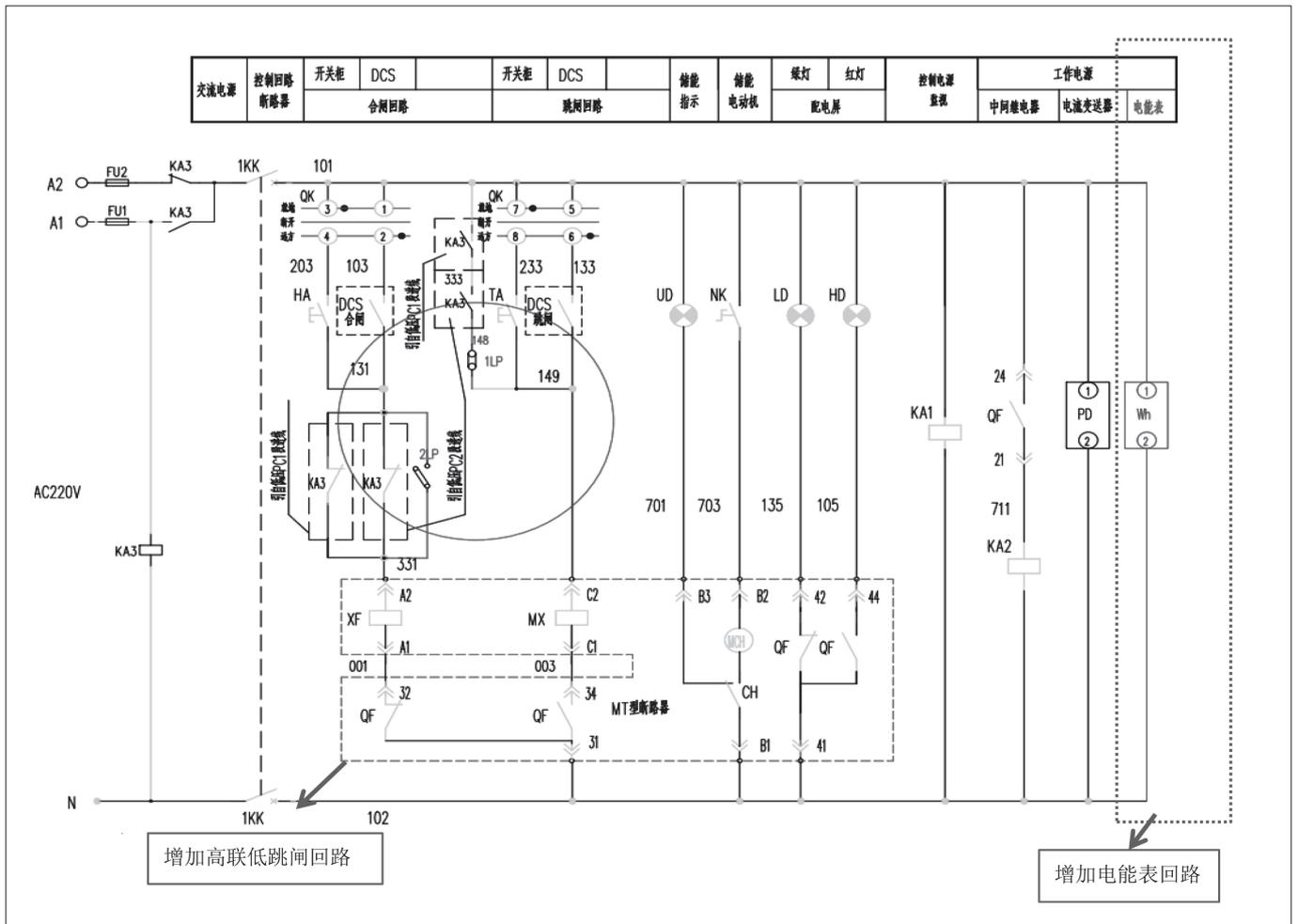


图 4 联络柜图（联络柜增加解锁压板、高联低跳闸回路、电能回路）

防止人为误操作误合开关。当某台机组 6kV 系统检修时,需要一台变压器带两段配电段时,需短时合环运行,合闸回路 2LP 压板合上,分闸回路 1LP 压板断开,此时可在 DCS 上完成合分操作,无需现场短接保障操作人员操作安全(进线柜回路优化与联络柜同理,此处不再赘述)。

5 结语

该项目从初设到施工过程中碰到了许多大大小小的问题,需时刻关注项目工艺及运行的特点,充分考虑系统运行时的工况,在系统投运前及时发现并进行整改。本文重点对系统电源选定、6kV 整定计算、负荷分配优化及进线开关、联络开关回路优化进行阐述,推进了项目的进展,提高了系统安全性,此类经验也可适用于其他项目及厂用电系统。

参考文献:

- [1] 侯兴儒. 自动控制系统在工业废水零排放中的应用研究[J]. 环境保护与循环经济, 2021, 41(02): 30-33.
- [2] 赛世杰, 李买军, 党平, 等. 高分离纳滤系统在煤化工高盐废水零排放中的应用[J]. 环境工程, 2021, 39(07): 173-178.
- [3] 石中喜. 燃煤电厂末端废水零排放处理系统改造分析[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2021(12): 185-187.
- [4] 管闯, 吕扬. 燃煤电厂废水零排放系统开发与工程运用[J]. 绿色环保建材, 2020(04): 31+34.

作者简介: 李淑君(1991.02-),女,汉族,广东台山人,本科,电气工程师,研究方向:发电厂电气检修。

征 稿 启 事

《中国机械》(Machine China)杂志,1982年创刊于北京,由中国工业经济联合会主管,中国工业报社主办,是经国家新闻出版总署批准登记的机械工业类学术期刊(旬刊),系万方数据全文收录期刊。国内统一刊号:CN11-5417/TH;国际标准刊号:ISSN 1003-0085;邮发代号:28-165。

《中国机械》杂志定位于成为机械工业领域产学研用协同创新平台,顺应大机械学科发展趋势,主要刊发机械工程领域及其交叉学科具有创新性的应用研究,进而推动机械工程技术进步的优秀科研成果,兼顾基础研究领域对科技创新有前瞻性和重大影响的基础理论研究,引领机械工程学科发展。杂志主要服务机械工业主管部门、行业组织、科研院所、制造企业,以及各相关企业事业单位等,以管理者、中高层技术人员、经理人为主。

◆ 栏目设置 ◆

本刊特稿: 发表有较高价值的应用研究论文,理论上有一定深度或前瞻性的研究论文,以及技术创新、政策解读和市场调研等方面的热点焦点综述文章。

机械制造与智能化: 发表机械制造技术、工艺、智能及自动化等科技论文。

工业设计: 发表机械设计、产品设计、造型设计、环境设计、建筑设计、传播设计和设计管理等科技论文。

工业互联网: 工业系统与高级计算、分析、感应技术以及互联网连接融合、软件和大数据分析,数字设计等科技论文。

先进材料技术: 发表高性能结构材料、功能材料、关键原材料与先进制造业结合相关科技论文。

先进动力与能源技术: 先进及新型动力系统相关技术研究论文。

现代交通技术: 立足综合交通运输技术,主要刊发道路工程机械、桥隧工程机械、交通工程机械、港航工程机械、轨道交通装备等领域的科研文章。

可持续环境工程: 发表环保机械、环保工程相关科技论文。

机械工业: 发表农业机械、工程机械、内燃机、仪器仪表、石油化学通用机械、机床工具、汽车、重型矿山机械、文化办公设备、电工电器、食品包装机械、其他民用机械,以及增材制造等行业领域的科技应用论文。

市场与管理: 发表机械工业相关的市场分析、管理提升等学术论文。

质量与标准: 发表机械工业相关企业事业单位的质量管理、体系建设及相关产品标准、故障诊断等科技论文。

安全与生产: 发表机械设备制造、施工及使用过程中安全与生产等科技论文。

职业教育: 发表机械行业相关院校职业教育、学生就业、创业等相关文章。

首台套: 发布首台套重大工业技术装备有关技术突破、功能创新、用户反馈等相关文章。

◆ 征稿要求 ◆

1、本着尊重原创、严禁抄袭的原则。

2、文章格式采用 GB7713-87,科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式。

3、稿件的结构组成,按次序排列为:题名、作者署名、作者工作单位名称、第一作者工作单位所在省、市及邮编;摘要、关键词;引言、正文、结语;基金项目(可选)、参考文献(必选)及作者简介(可选)。

(1) 题名:符合学术期刊论文标题要求,简单明了概括文章主题,一般不超过 15 个字。

(2) 作者署名及工作单位:所有文章须 2 版起发,2 版论文的作者数量不应超过 3 位;4 位作者的论文起发版面数为 3 版;5 位作者的论文起发版面数为 4 版,依此类推。多位作者分属不同工作单位的,须明确标记。

(3) 摘要:摘要应具有独立性和自含性,即不阅读全文的全文,就能获得必要的信息。摘要一般应说明研究工作的目的、实验方法、结果和结论等,重点是结果和结论。以 200 ~ 300 字为宜,用第三人称写,尽量不重复题名中已有信息。不出现插图、表格、公式及参考文献序号等。

(4) 关键词:每篇论文选取 3 ~ 6 个单词或术语作为关键词。

(5) 正文:撰写论文时,不同级别标题可采用阿拉伯数字 1, 1.1,1.1.1,1.1.1.1.....2, 2.1,2.2,2.2.1..... 标示。结语部分不能重复正文内容,如果层次分明,可以编号(1)、(2)等分条来撰写。

(6) 参考文献:参考文献须按照 GB-T7714 - 2005 标准编写。所引用的文献及对应的刊物需具有较高的学术质量。作者一律姓前名后(外文作者名应缩写),多位作者间用“, ”间隔。凡参考过本刊论文的,请切记标注在参考文献中。

(7) 作者简介:须按照统一格式编写:姓名(出生年.月-),性别,民族,籍贯,最高学历,职称,研究方向:具体专业(不超过 10 个字为宜)。

注:

1、作者所投论文是否满足要求,以《中国机械》编辑部审核意见为准,编辑部拥有稿件的惟一最终审核权。

2、文章一旦被录用,除特殊原因不允许无故撤稿。同时,不允许再行增减作者或变更原作者顺序,否则一律视为作者主动撤稿,该稿将不再录用。

3、作者在收到稿件录用通知后,如主动撤稿并易名再投,一经发现,将被纳入本刊敏感作者名单,相关稿件均不再录用。

4、对于未通过本刊初审,二次投稿依然不能通过审核的稿件,一律做退稿处理,不再录用。

5、针对每一篇论文,编辑部将免费赠送一本发表该论文的期刊,如需更多请联系编辑部预定。

◆ 权利和责任约定 ◆

1、作者在投稿时视同同意向《中国机械》编辑部授予论文著作权有许可使用和独家代理授权书,包括授权以电子出版物形式出版发布。

2、编辑部收到稿件后,将按照工作流程对稿件进行处理。

3、稿件需经本刊编辑和审稿专家审核,一经录用则依照编辑部出版流程依序刊登出版。如果作者想撤稿或改投其他刊物,需向本刊提出申请,已定稿、进入了出版流程的稿件,作者需承担相应的责任和费用。

4、本刊只接收作者原创、未公开发表过的论文,对存在抄袭剽窃、一稿多投等学术不端现象的论文,编辑部将严肃处理。