

[EDI技术]

特高压换流站阀水冷系统EDI技术的研究

文/国网湖南省电力有限公司检修公司 张杰峰 刘晓波 刘源 高雨

介绍了换流阀水冷系统的冷却原理，分析了内冷水系统运行过程中存在的问题，针对目前换流站最常用的去离子技术提出了新的改进方法，即EDI电去离子法，此技术在经济上、效率上和工艺流程上都有较大优势，在直流输电行业有很好的应用前景。

换流阀设备是特高压直流输电系统中的关键设备，换流阀设备的运行可靠性直接影响直流输电系统的工作稳定性。在换流阀设备运行中，晶闸管会不断地导通、关断，从而导致整个换流阀温度升高，为使换流阀的工作温度保持在最佳的水平，水冷系统起到了至关重要的作用，它能把换流阀产生的所有热量与外界进行热交换。但由于冷却水具有一定的电导率，冷却水中会产生相应的漏电流。同时，内冷水在循环运行时，铝制散热片会发生腐蚀，不锈钢管道、水冷电阻等电抗器等均会析出微量的金属离子至内冷水中。金属离子在电场的作用下发生电化学反应，形成固态物质吸附在均压电极上。均压电极垢样脱落后，可能使管道发生堵塞，导致发热元件过热，出现漏水甚至烧毁，严重威胁换流站安全运行。因此，在换流阀维护检修中，对均压电极进行除垢，占了换流阀检修很大一部分的工作量，若可以减少结垢，将有效减少直流输电系统年度停电和检修时间。根据各换流站运行经验和相关研究表明，若能降低内冷水的电导率及金属离子含量，提升内冷水的纯度，可有效减缓结垢速度。

去离子技术

1. 离子交换法

目前换流站对于内冷水的去离子工艺均采用

离子交换法，即在内冷主循环回路并联副循环水路。副循环水路上设置去离子罐，填充离子交换树脂，通过离子交换树脂的去离子作用降低主水电导率，满足3 h内将离子交换器出水电导率降低至 $0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下，通过副循环和主水循环回路的内冷水混合交换，使主水电导率降低至 $0.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下，以满足国标GB/T 30425—2013《高压直流输电换流阀冷却设备》标准要求。

2. 电去离子技术

电去离子（Electro Deionization, EDI）又叫填充床电渗析，是在电渗析的基础上研究发展起来的除盐技术，是继离子交换树脂等之后获得广泛应用并取得较好效果的水处理技术。该技术可有效吸附内冷水中的金属离子，制造出电导率为 $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ （ 25°C ）的超纯水。该技术将离子交换树脂填充在电渗析器的淡水室中，从而将离子交换与电渗析有机结合，在直流电场作用下同时实现离子的深度脱除与浓缩，以及树脂连续电再生的新型复合分离过程。该方法既保留了电渗析连续除盐和离子交换树脂深度除盐的优点，又克服了电渗析浓差极化所造成的不良影响，避免了离子交换树脂酸碱再生所造成的环境污染。所以，无论从技术角度还是运行成本来看，EDI都比电渗析或离子交换更高效。它有效改善换流阀内冷水的水质，减缓均压电极结垢过程，降低换流

站检修过程中均压电极除垢的工作量，有效缩短直流停电时间。同时电（EDI）技术与离子交换树脂法相比，经济性、有效性等都有很大优势，节约大量生产成本，得出换流阀冷却系统中内冷水纯化的最优方案。

电去离子技术工作原理

EDI主要由离子交换树脂、离子选择性交换膜和正、负电极组成。淡水室和浓水室由交替排列

的阴、阳离子交换膜隔开，在淡水室内填充有一定比例的阴、阳离子交换树脂。正、负电极布置在淡水室和浓水室的两端，在两个电极形成的电磁场之间，多组阳膜、阴膜组合成若干个单元，每个单元都由淡水室和浓水室组成。图1表示了EDI的工作过程。在图1中，离子交换膜用竖线表示，并标明它们允许通过的离子种类。这些离子交换膜是不允许水穿过的，因此，它们可以隔绝淡水和浓水水流。

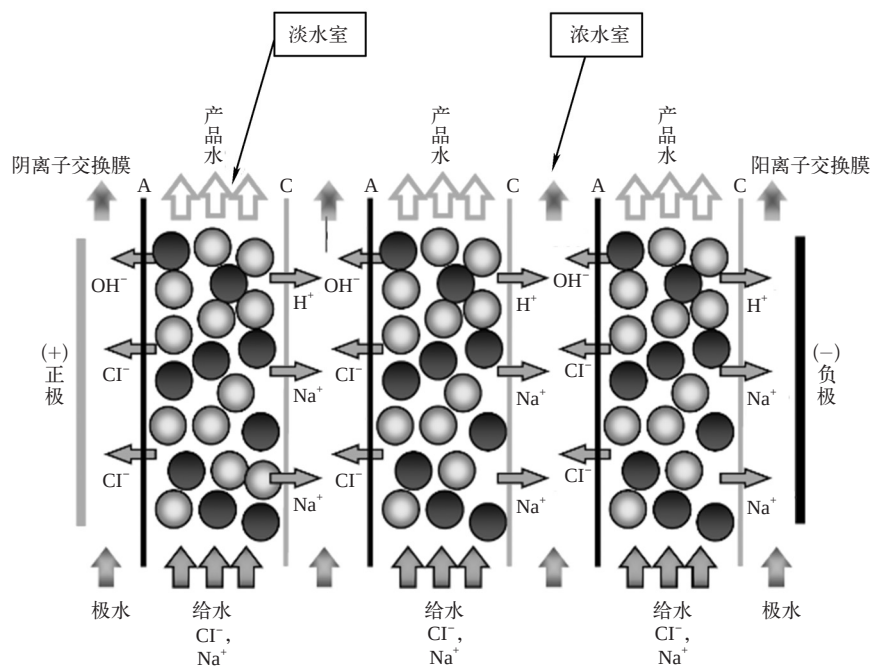


图1 EDI工作原理图

EDI技术包括以下三个流程。

- 1) 电渗析过程。水中电解质在外加电场作用下，通过离子交换树脂，在水中进行选择性迁移，随浓水排出，从而去除水中的离子。
- 2) 离子交换过程。通过离子交换树脂对水中的杂质离子进行交换，结合水中的杂质离子，从而达到有效去除水中离子的效果。
- 3) 电化学再生过程。利用离子交换树脂界面水发生极化产生的 H^+ 和 OH^- 对树脂进行电化学再生，实现树脂的自再生。

电去离子技术（EDI）的特点

在水处理领域的应用研究表明，EDI处理技术具有以下六个特点。

- 1) EDI技术综合了电渗析连续除盐和离子交换深度脱盐的优点，产水水质高且出水稳定。科学试验表明，利用EDI技术进行再一次除盐，可有效

去除水中离子，出水纯度高。

- 2) 设备安装条件低，占地面积小。EDI装置与离子交换床相比，体积小、重量轻，而且不需设置酸、碱储罐，可有效节省空间。EDI装置为整装结构型，施工周期短，现场安装工作量小。
- 3) EDI处理装置可模块化生产，可自动连续再生，不需要大型的、复杂的再生设备。EDI处理装置设计比较简单，投入运行后，操作和维护简便。
- 4) EDI处理装置整个水质净化过程自动控制简便。EDI装置可多个模块并联接入系统，模块运行安全稳定、质量可靠，使系统的操作、管理易于实现程序控制，操作方便。
- 5) 无废酸废碱液排放，有利于环境保护。EDI装置不需酸、碱化学再生，基本无化学废物排放。
- 6) 水回收率高，EDI处理技术的水利用率一般高达90%以上。可见，EDI技术在产水水质质量、运行稳定性、操作维护难易和安全环保等方

面都有很大的优势。

电去离子技术(EDI)在阀水冷处理中的应用

如图2所示,通过改造现有的换流站阀冷系统,在离子交换器回路增加三通接口及切换装置,将EDI与原有离子交换器并联运行。根据运行控制指令,在EDI运行时关闭离子交换器,EDI关闭或EDI发生故障时切换到离子交换器运行。

EDI运行时,有少量的浓水排出,为了使用阀冷系统流量、压力和流位运行稳定,设置一套反渗透装置,将满足要求的自来水补入EDI装置,使用EDI纯水产水流量与内冷水进入EDI装置的流量相同,从而保证阀冷系统流量和压力正常。EDI采用间断式运行方式,根据水质情况选择是否投入,EDI装置投入运行时,由于有一部分浓水排放,除了对内冷水提纯外,同时在地不断地更新内冷水(排出内冷水,补充经EDI处理的高纯水),以达到净化内冷水水质目的。

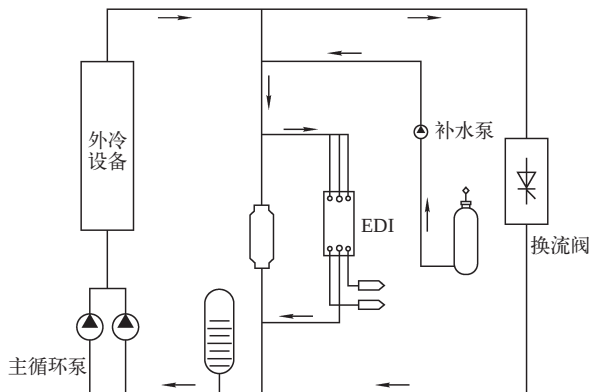


图2 EDI阀水冷处理系统流程图

电去离子技术(EDI)工艺流程

EDI水处理系统分成反渗透装置、EDI装置两大部分。反渗透装置作为EDI装置补充水的处理,EDI装置进出口接入阀冷系统。EDI装置的淡水入口和浓水入口独立分开,通过内部树脂和直流电场的共同作用,将淡水中的游离离子通过阴阳离子交换膜迁移至浓水室排出,EDI产水持续制备的高纯水进入阀冷系统,以达到降低电导率的目的。离子交换器回路进出口配置了电动三通阀,通过控制系统实现离子交换器回路和EDI装置回路的自动切换。EDI装置的淡水入口连接阀冷系统,浓水入口连接反渗透装置。即使EDI装置的淡水入口和浓水入口独立分开,但因淡水室和浓水室两侧不可避免地存在渗透压,因此EDI装置运行时有

少量的水从淡水室渗透到浓水室。为了保证阀冷系统压力、水位平衡,避免液位降低,因此设置一套反渗透装置产水来补充。EDI装置的浓水回收进入中间水箱,当中间水箱的水质电导率超过一定值时,控制系统自动启动水泵排泄中间水箱的水,然后启动反渗透装置自动补水,反渗透装置的浓水则直接排放。反渗透装置如停机超过24 h,则控制系统自动启动高压水泵,经过切换三通阀旁路,使反渗透产水回收进入原水箱,自循环处理一定时间后进入待机状态,有效避免生菌损坏反渗透膜。

图3为EDI装置渗透流量示意图。由于EDI膜堆(E01/E02)的淡水进口和浓水进口均独立分开,淡水回路和浓水回路之间存在渗透流量,导致密闭循环的阀冷内冷水从渗透流量的渠道逐渐损失。根据EDI技术数据,渗透流量一般小于1%,某换流站的辅机装置产水流量为 $10.2 \text{ m}^3/\text{h}$,则渗透流量为 $10.2 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.01 = 0.10 \text{ m}^3/\text{h}$ 。为了补充EDI装置渗透流量导致的内冷水损失,单独配置了一套EDI膜堆(E03)作为补水支路,此设备长期运行,产水回收至中间水箱。

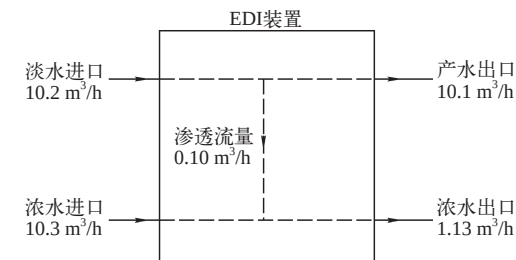


图3 装置渗透流量示意图

结束语

尽管EDI技术在各个方面都显示出很大优势,但是EDI工艺存在一定的不足,其中最主要的是对进水水质有较高的要求。因为当EDI在水电离模式下工作时,电能利用效率较低,通常只有一小部分直流电流用于移动盐离子,其他电流都被用来电离水,使得EDI事实上只宜用于低盐度水的精处理。这是目前常用RO-EDI联用的原因,同时浓水室结垢以及对各室压力的要求也是一个问题。但目前已有不少换流站将EDI技术应用到实际生产中并推广应用,随着超纯水质量标准的不断严格,相信EDI技术在换流站换流阀水冷工艺中的应用将越来越多,直流输电系统也将更加安全稳定地运行。EA

(收稿日期:2020.05.14)