

# 深度限流技术在冶金企业供电系统中的应用

段正华, 侯 丰

(云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖 655000)

**[摘 要]** 冶金企业用电负荷普遍较大, 供配电系统一般采用高电压、大容量主变压器, 由此带来的问题是主变压器低侧短路电流很大, 常规限制短路电流的措施存在各自短板, 在企业供配电系统增容改造中也存在工程实施问题。零损耗深度限流装置有较宽的适用性, 在限制供电系统短路电流的同时, 降低电损耗, 减少安装空间, 实现配网安全、高效运行, 在类似项目中具有推广应用价值。

**[关键词]** 深度限流; 节电; 安全

**[中图分类号]** TF813

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 1003-8884(2021)02-0059-04

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.02.014

## 0 引言

云南驰宏曲靖冶炼厂的 220 kV 变电站, 自建成已经安全运行十余年。近年来该厂随着精深加工项目的逐步建设, 用电负荷也在不断增加, 原有的 2 台 31.5 MVA 主变压器已经不能满足供电需求, 需要增容到 2 台 50 MVA 主变压器。主变容量增加引起 10 kV 系统短路电流增大, 为保证 10 kV 系统安全运行, 需要采取措施限制 10 kV 系统短路电流。本文对比多种限制短路电流方案, 论述深度限流技术和装备在实际工程的应用。

## 1 改造前供配电系统情况

图 1 为改造前该厂的电气主接线示意图。总降压内设两台 220 kV 主变, 220 kV 系统为双母线接线, 两台主变压器容量为 31.5 MVA, 10 kV 系统为单母线分段接线。10 kV 系统主要出线包括: 锌系统 10 kV 配电站、铅系统 10 kV 配电站、硫酸 10 kV 配电站、锗 10 kV 配电站、锌合金 10 kV 配电站、10MW 余热发电站。

**[收稿日期]** 2020-12-15

**[作者简介]** 段正华(1968-), 男, 云南罗平人, 电气高级工程师, 大学本科, 主要从事供配电系统运行管理工作, 现任云南驰宏公司电气及自动化首席工程师, 相关技术总负责人, 装备动力部副部长。

## 2 增容主变带来的问题

该 220 kV 变电站由于生产需要, 两台主变容量需由 31.5 MVA 更换为 50 MVA。原系统两台变压器并列运行时, 10 kV 系统短路电流约为 27.5 kA, 增容后 10 kV 系统短路电流增加到 43.64 kA。原有 10 kV 开关柜短路遮断电流为 31.5 kA, 无法满足系统运行要求。因此需要考虑在主变 10 kV 侧加装限制短路电流的设备, 与此同时, 除满足继电保护具备选择性、灵敏性外, 应考虑受限的安装空间及节能需求。

## 3 限流方案选择

### 3.1 采用传统的限流电抗器

限流电抗器不考虑其过负荷能力, 因此取其额定电流为变压器低压侧最大可能工作电流, 额定电压取系统工作电压。额定电抗率可按公式(1)选择<sup>[1]</sup>。

$$X_k \% = \left( \frac{I_j}{I''} - X_{*j} \right) \frac{I_{ek}}{U_{ck}} \frac{U_j}{I_j} \times 100\% \quad (1)$$

式中  $I_j$ —基准电流, A;

$I''$ —被电抗器限制后要求的短路次暂态电流, kA;

$X_{*j}$ —以  $U_j, I_j$  为基准, 从网络计算至所选用的电抗器前的电抗标么值, A;

$I_{ek}$ —电抗器的额定电流, A;

$U_j$ —基准电压, kV。

将系统相关参数带入公式(1), 计算得额定电

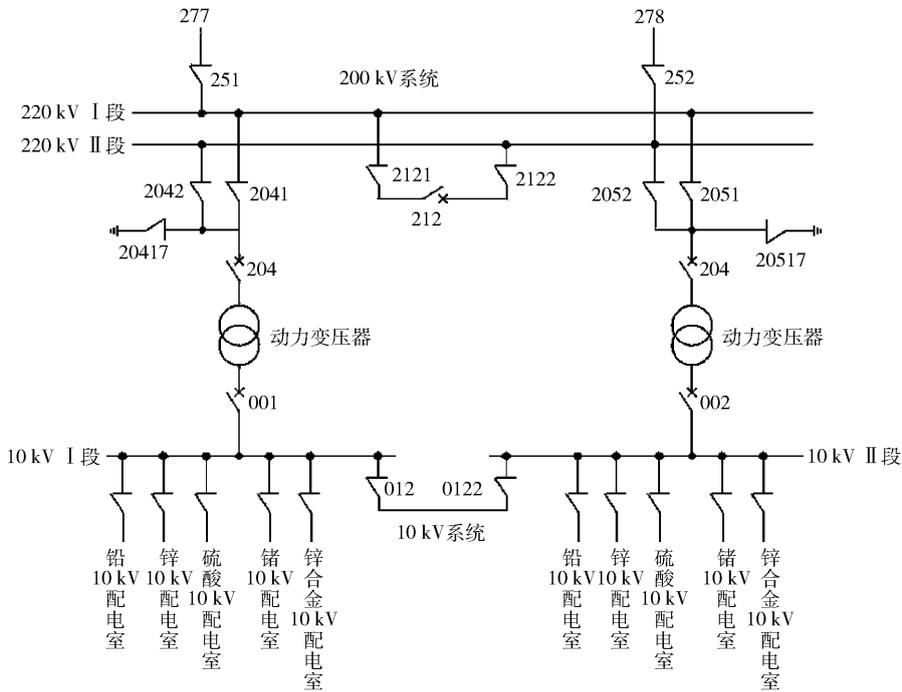


图1 改造前电气主接线示意图

流  $I_{ek} = 3150 \text{ A}$ 、额定电抗率  $X_k\% = 19\%$ 。

正常工作时电抗器的电压损失不应大于母线额定电压的5%。按公式(2)校验电压损失。

$$\Delta U\% = X_k\% \frac{I_g}{I_{ek}} \sin \varphi \quad (2)$$

式中  $I_g$ —正常通过的工作电流, A。

$\sin \varphi$  取 0.6, 将计算数据带入, 校验通过。

除此种电抗器制造工艺难度大、能耗较高的限制, 受工程周期、安装地点局限性、成本等诸多因素的影响, 该类型限流电抗器与此次改扩建项目融合度较低。

### 3.2 限流电抗器 + FSR 方案

#### 3.2.1 节能原理

图2示意了此方案应用旁路办法节能原理, 电抗器损耗节能收益巨大, 正常运行时爆炸桥投入使用, 工程取阻抗可忽略不计, 消除正常工作模式下电抗器的有功损耗, 进而实现节能。

#### 3.2.2 爆炸桥基本原理

爆炸桥本质上是一种组合电器, 其内置炸药金属载流桥及限流熔断器。图3中  $d$  点发生短路故障时, 桥体快速爆炸。将短路电流在熔断器及电抗器中进行转换, 短路电流将快速熔断器演变成高阻状态, 限流熔断器迅速炸裂, 短路电流流经电抗器, 达

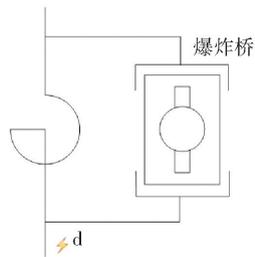


图2 爆炸桥并联电抗器原理图

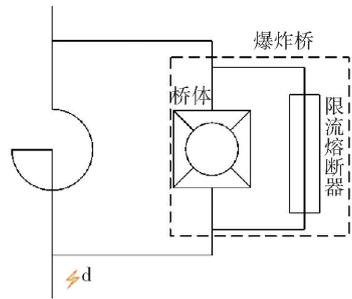


图3 爆炸桥原理图

到限流作用。

选用此种方案能够有效节能, 提高电源有功输出, 但是维护工作量较大: 每当短路电流发生后, 需立即更换爆炸桥, 更换配件尚应考虑远景与近景两种情况, 近景可以及时购买爆炸桥, 配件费用较大; 远景看来变电站需要运行相对较长时间, 备品备件

的存储及长久供货厂家的生产能力令人担忧,暂无统一的布置接口与标准尺寸及规程。因此从运行角度看,这种方案对于公司适合度较低。另外该方案设备体积庞大,安装空间也无法满足建设需求。

### 3.3 采用高阻抗变压器

采用该方案达到限制短路电流的目的,需要主变的阻抗电压不低于 21%,按照系列标准选型的话,需要选择阻抗电压为 23% 的产品。与方案 1 相比,能够解决安装空间受限问题和空心电抗器漏磁场问题,但高阻抗主变同样存在损耗偏高问题,而且造价约为标准阻抗变压器的 2.5 倍,经济性并不明显。

### 3.4 串联深度限流装置

在变压器低压侧串入额定电压 10 kV、额定电流 3 150 A、额定电抗率 19% 的深度限流装置。该类型设备安装占地面积小,完全满足改造功能要求。

表 1 方案技术性能对比表

方案项目	限流电抗器	限流电抗器 + FSR	高阻抗变压器	深度限流装置
成本	较低	较高	高	低
电能损耗	高	很低	较高	很低
安装空间	大	较大	N/A	小
维护工作量	低	高	很低	低

## 4 深度限流装置技术特点及关键技术

零损耗深度限流装置,主要由换流器及限流电抗器组成。换流器包含快速断路器、罗克 CT、分相控制器及返回 CT。换流器主要元件为涡流驱动快速断路器,正常运行时,将限流电抗器短路,短路故障发生时,分相控制器迅速(短路电流第一次过零)下达指令,退出快速断路器,投运限流电抗器,分闸快速断路器指令可在 5 ms 内下达,进而实现深度限流。与爆炸桥相比,无需更换熔断器<sup>[2-3]</sup>,大大减轻运维工作。

目前,10 kV 弹簧机构驱动的真空气断路器广泛应用在变配电领域,其固有分闸时间约 25 ms 左右<sup>[4]</sup>,校验电气设备短路耐受能力时间一般取断路器固有分闸时间及继电保护动作时间之和<sup>[5]</sup>,带时限保护更加考验电气设备短路耐受能力。“零前分闸”相控技术为限流装置的关键技术之一,考虑动

作时限,可在短路电流过零时投入限流电抗器。完成“零前分闸”需要对故障电流做出快速判断,预测故障电流过零点,根据“涡流驱动”快速真空断路器的基本特性,控制器拟合采集数据,在 3 ms 内甄别短路电流,给出动作判断,触发相应指令及元件,准确分闸,投入电抗器。将深度限流特点总结如表 2 所示。

表 2 装置特点总结表

动作速度	开断能力	使用寿命	系统可靠性
20 ms 以内	80 kA	“涡流驱动”, 损耗小,寿命长	监控及保护全, 屏蔽技术优

## 5 改造后供配电系统情况

为了解决主变扩容后短路电流超标问题,综合考虑投资、能耗、压降、电磁干扰、发热、噪声等一系列问题,最终采用在主变低压侧串联安装零损耗深度限流装置的方案。

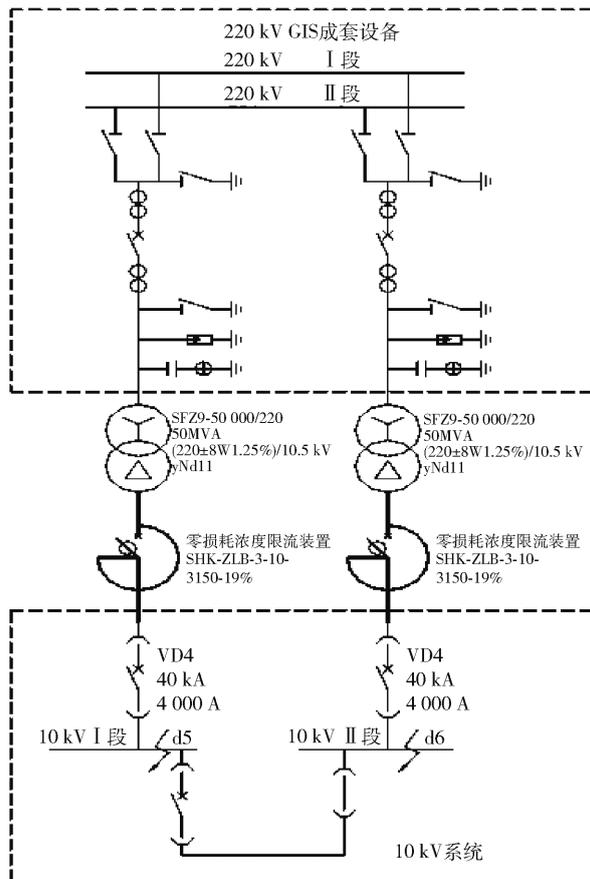


图 4 改造后电气主接线图

## 6 系统运行情况

自主变扩容改造安装限流装置投入运行以来,共发生四次限流装置动作,动作具体数据如下:

(1)2019年6月16日,系统10 kV侧短路,短路电流12 560 A,限流装置在20 ms内可靠断开,投入限流电抗器,系统运行稳定。

(2)2019年9月26日,系统10 kV侧短路,短路电流12 948 A,限流装置在15 ms内可靠断开,投入限流电抗器,短路电流被限制在2 800 A以下,系统运行稳定。

(3)2020年7月1日,系统10 kV锌焙烧厂1#循环水泵电机故障,短路电流18 741 A,限流装置在20 ms内可靠断开,投入限流电抗器,系统运行稳定。

(4)2020年8月3日,系统10 kV侧电缆短路,短路电流16 115 A,限流装置在20 ms内投入限流电抗器,系统运行稳定。

## 7 结论

文中分析了目前国内常规限制短路电流的一些措施,着重介绍了一种10 kV零损耗深度限流装置关键技术及特性,通过一年来实际运行情况,将预期短路电流限制在原有设备允许范围以内,运行效果良好,对于类似工程具有借鉴及指导意义。

### [参考文献]

- [1] 中国电力工程顾问集团有限公司. 电力工程设计手册—火力发电厂电气一次设计[M]. 北京:中国电力出版社, 2018.
- [2] 程艳兵,汪志鹏,祁福. 零损耗深度限流装置的优化与运用[J]. 铜业工程,2012(4):41-44.
- [3] 范德和,李新海,肖星,等. 10 kV零损耗深度限流装置技术研究[J]. 广东电力,2019(8):17-22.
- [4] 吕军玲,赵伟涛. 高压SF6断路器配弹簧操动机构的开断特性研究[J]. 高压电器,2016,52(10):158-164.
- [5] DL/T5352—2018,高压配电装置设计规范[S].

## Application of Deep Current Limited Technology in Power Supply System of Metallurgical Enterprises

DUAN Zheng-hua, HOU feng

**Abstract:** The power load of metallurgical enterprises is generally large, and the power distribution system generally adopts high-voltage and large-capacity main transformer. And the short-circuit current at the low voltage busbar will be very high. The conventional measures to limit the short-circuit current have their own defect, and there are also engineering implementation problems in the renovation project. The zero loss depth current limited device has wide applicability. It can limit the short-circuit current, save energy, reduce the installation space, and realize the safe, high-energy and efficient operation of the distribution network. It has the value of popularization and application in similar projects.

**Key words:** deep current limited; power saving; safety

