

# SVC 国产化技术在治理电能质量污染中的应用

穆建国 魏传江 李传东

莱芜钢铁集团公司动力部, 山东莱芜, 271104

**摘要** 针对电弧炉对电网和电能质量的污染, 提出了治理方案, 对 SVC 装置国产化的设计、应用进行了阐述, 对治理前后电能质量进行了比较、总结。

**关键词** 电能质量 电弧炉 SVC 改进技术

## 一、前言

在电力系统中, 供电的质量指标、电网运行的安全性和经济性是最根本的问题。近年来, 随着冶金工业的飞速发展, 大量具有冲击性负荷的电弧炉、轧钢机等不断投入电网, 电弧炉在正常生产时会对电网造成高次谐波、电压闪变、电压波动、三相电压及电流不平衡、功率因数低等不利影响, 而且电能质量超过国家标准的规定指标。

针对超高功率电弧炉对电网电能质量污染问题, 莱钢对特殊钢厂 50T 电弧炉供电系统进行治理, 采用了新型的国产化 SVC 装置, 取得了良好效果。

## 二、莱钢 50T 电弧炉供电系统简介

莱钢特殊钢厂 50T 电弧炉系统有一台超高功率交流电弧炉和一台精炼炉组成。它们接在同一 31.5kV 母线上, 由一台 63MVA 冶炼变压器供电, 配备一套 SVC 装置 (Static Var Compensation) 解决电弧炉和精炼炉对供电系统电能质量的干扰问题, 供电系统简图如图 1 所示:

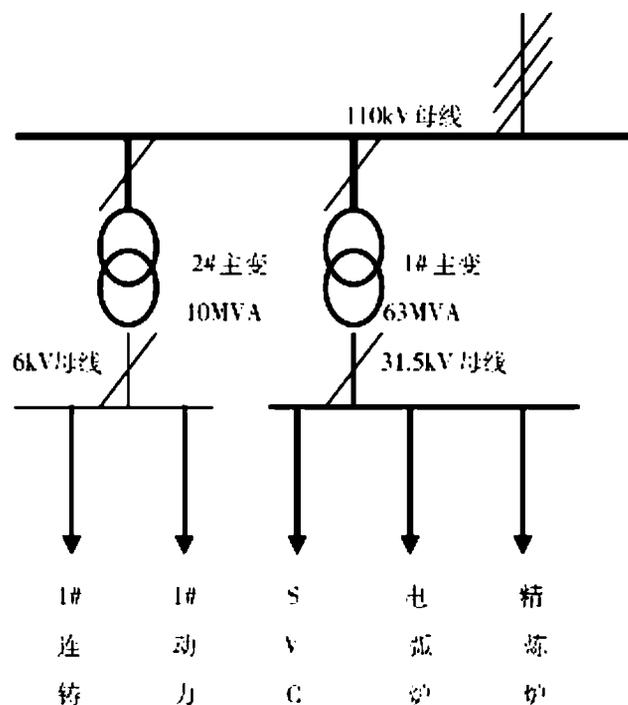


图 1 莱钢 50T 电弧炉供电系统简图

### (1)系统短路容量

110kV 母线:

$S_{kmax}=2250MVA$   $S_{kmin}=850MVA$

### (2)主变压器参数

额定电压:110kV/31.5kV

短路阻抗:11.03%

### (3)50T 电弧炉变压器的技术参数

额定容量:43.5MVA

一次电压:35kV

二次电压:615V

### (4)精炼炉变压器的技术参数

额定容量:15MVA

一次电压:31.5kV

二次电压:265V

### (5)SVC 概述

莱钢从德国柏林钢厂购买了 SIMENS20 世纪 80 年代生产的无功容量 50Mvar TCR 型静止式无功动态补偿装置(SVC)用于补偿 50T 超高功率电弧炉,以提高功率因数和钢产量,抑制高次谐波、电压波动、闪变和负序对供电网的公害。当时引进的 SVC 装置仅配有 3 次滤波器 10Mvar,5 次滤波器 25Mvar。该装置是依据德国柏林钢厂的技术条件及德国电能质量国际标准设计的,因德国国家标准的电能质量电压允许波动值和闪变允许值与我国的电能质量国家标准的各项指标控制点区别较大,莱芜电网容量(1284MVA)与柏林电网容量(3100MVA)差别较大,故各次谐波、电压谐波和闪变的允许值差别也较大。要保证 50T 超高功率电炉在莱芜电网条件下正常生产,保证 110kV 母线电压波动、闪变、负序等指标控制在国标的允许范围内,同时保证电炉变压器实际容量按最大功率 35MW 发出,就必须对该套 SVC 进行必要的技术改造。

## 三、SVC 的基本工作原理

TCR 型无功补偿装置的工作原理如图 2 所示,通过控制晶闸管的触发角可将电抗器的电流从零调节到相应的额定值。由电抗器和晶闸管组成的装置(b),在控制信号的作用下等效为一个可变电感;可变电感和固定电容器(a)组合既可形成容量适当的电容性负荷,也可形成容量适当的电感性负荷,并且具有静补偿装置的一切优点。

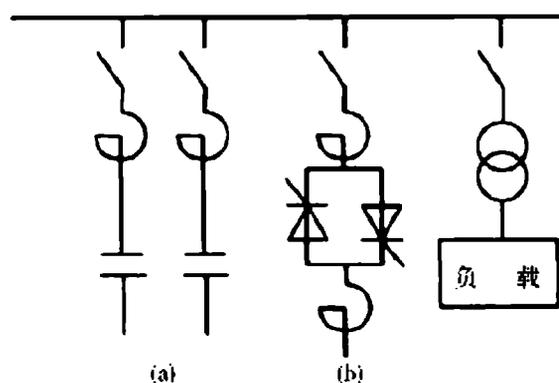


图 2 TCR 型无功补偿装置的工作原理

为实现以上功能,TCR 控制系统的六组触发脉冲经光电转换方式,去触发三相晶闸管阀,改变流过 TCR 回路中主电抗器的电流量,从而改变了 TCR 回路的感性无功功率。通过 TCR 回路的感性无功功率的跟随作用,使电网上的无功功率趋于零,或趋于一较小值。可用下列计算式表示:

$$\sum Q_S = Q_{FC} + Q_{TCR} + Q_{EAF} \approx 0$$

式中, $Q_{FC}$  为固定电容器兼滤波器的容性无功功率值(固定值); $Q_{TCR}$  为 TCR 回路的感性无功功率值(可变量); $Q_{EAF}$  为电弧炉的感性无功功率值(可变量); $Q_S$  为系统总无功功率值。

TCR 控制系统和晶闸管阀的动态响应速度快,其控制器响应时间小于 10ms 即实现了实时无功补偿的功能。

## 四、SVC 方案的确定

根据国内外工程实践经验,针对 50T 超高功率电弧炉负荷的固有特性:产生谐波、无功冲击负荷导致电压的波动和闪变、功率因数较低,引起电能电网质量恶化,结合中国公司采用 TCR+FC 型的 SVC 装置是对 50T 电弧炉负荷进行综合治理最经济、最有效的方法。

### (一)SVC 一次主接线的配置

TCR 和各滤波器支路全部直接接在电弧炉和精炼炉的 31.5kV 母线侧,TCR 不采用降压变压器型式,而是采用直挂式,这样做的好处有:

- (1)有效地解决了采用降压方式降压变压器的有功损耗,节约了能源;
- (2)由于减少了降压变,从而减少了设备运行的故障率;
- (3)可以采用较为成熟的水冷方式;
- (4)可以在一定程度上提高动态相应时间。

根据电弧炉谐波电流注入 31.5kV 侧的超标情况,采用加装 2、3、4、5、6 次 5 组滤波器支路。所有滤波器支路同 TCR 均挂在 31.5kV 母线。

五组滤波器支路采取如下接线方式:

1. 2 次、3 次滤波器采用“C”型滤波器,目的是为了拓宽频带,增加阻尼和减少电阻基波功率损耗。根据对电弧炉谐波特性的经验,电弧炉产生的谐波电流除整数次谐波较大外,同时含有 0.1~30Hz 的低频分量(称为次谐波)和非基波频率整数倍的谐波分量(称为间谐波),仅配置一般的单调谐滤波器不能起到很好的滤波作用,反而会造成某些谐波放大,故设置为“C”型阻尼滤波器支路。

2. 4 次、5 次滤波器采用单调谐滤波器,6 次滤波器采用二阶高通滤波器,以达到最佳的滤波效果。

根据以上配置,SVC 一次原理主接线如图 3 所示:

### (二)SVC 容量的选择

#### 1. TCR 的容量

根据前面的计算主要以满足 110kV 侧的电压波动和闪变为主。根据国内外对电弧炉电压波动和闪变的治理经验,考虑一定裕度后可计算出所需 TCR 容量为 50MVA,治理后电弧炉引起 31.5kV 母线电压波动约为 1.03%~1.5%,满足标准要求。

#### 2. 滤波器容量的计算

取滤波器的基波补偿容量与 TCR 容量基本平衡,并略大于 TCR 容量即可。各滤波器支路基波容量的分配要综合考虑谐波

滤波效果、安装容量大小和安全性指标,采取最优化配置。滤波器总安装容量 85.16Mvar,总基波无功容量 51.76Mvar(略大于 TCR 容量),考虑到 63000kVA 主变压器及站内动力变压器有空载无功

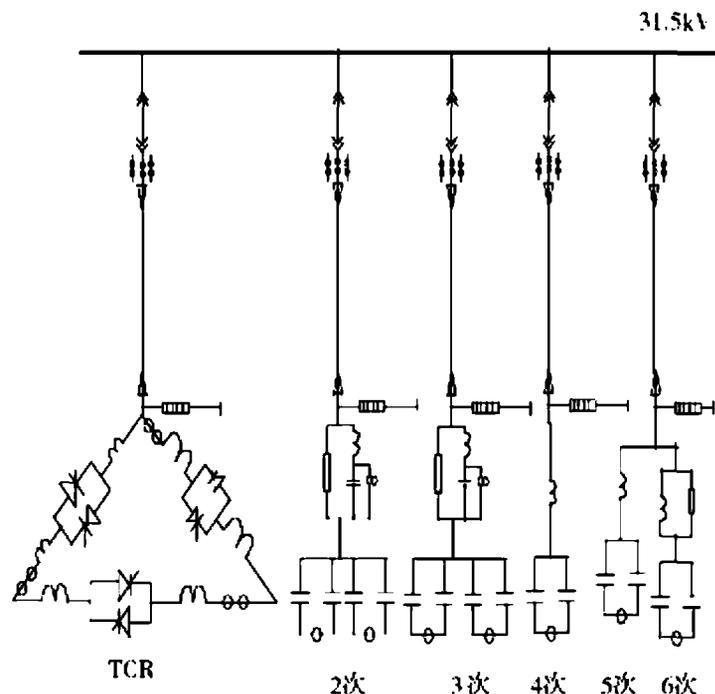


图3 SVC一次主接线原理图

损耗,这样既能保证 SVC 投入运行后将考核点平均功率因数提高到 0.93 以上,并且不会产生向 110kV 电网无功倒送,又能保证 SVC 发出 50Mvar 的容性无功,满足要求。

### (三) TCR 控制系统的组成

TCR 控制系统主要包括:控制调节柜、晶闸管监控保护柜、滤波器监控保护柜、水冷系统监控保护柜四个主要组成部分。该控制器的核心部分为实时控制系统,它的主要功能为根据数据采集。

集子系统采集的系统电压、电流信号,进行快速计算,根据控制策略在 TCR 控制系统中每半周波(10ms)计算获得各相相间电抗器晶闸管触发角,并传给触发系统,同时对每个晶闸管的状况进行实时检测;水冷系统、滤波器运行状况也被数据采集系统收集检测,并根据 MIMI 人机界面的要求进行显示或打印。为完成上述功能,SVC 监控系统由多个处理单元组成,通过分层式的结构组成方式实现对多个监控量的采集与监控。系统内部通过 CAN 现场总线实现数据共享通道,提高了系统可靠性和灵活性。调节单元采用高速 DSP 为处理核心,辅以高速数据采集通道,达到最优控制效果。系统组成系统框图见图 4。

### (四) 工作站及操作台

整个监控系统有工作站(监控柜内工控机和就地控制工作站)和远方操作台两套监控系统。就地控制工作站和站控操作台是本监控系统的控制和操作的界面,同时它还进行各种系统信息和监控信息的记录、显示工作。在就地工作站和远方操作台之间的操作实行抢先操作机制,即如果就地工作站首先抢得操作,在远方操作台就不能发出任何操作命令,只有在就地工作站完成操作后方可继续抢先操作,同样如果远方操作台首先抢得操作,则就地工作站在远方操作台工作过程中,不能发出任何操作命令。

就地工作站和远方操作台软件完成以下任务。

(1) 采集系统实时数据,包括以下内容:

- ① 31.5kV SVC 母线电压;
- ② TCR 线电流及角内电流;
- ③ 各次滤波器支路电流;

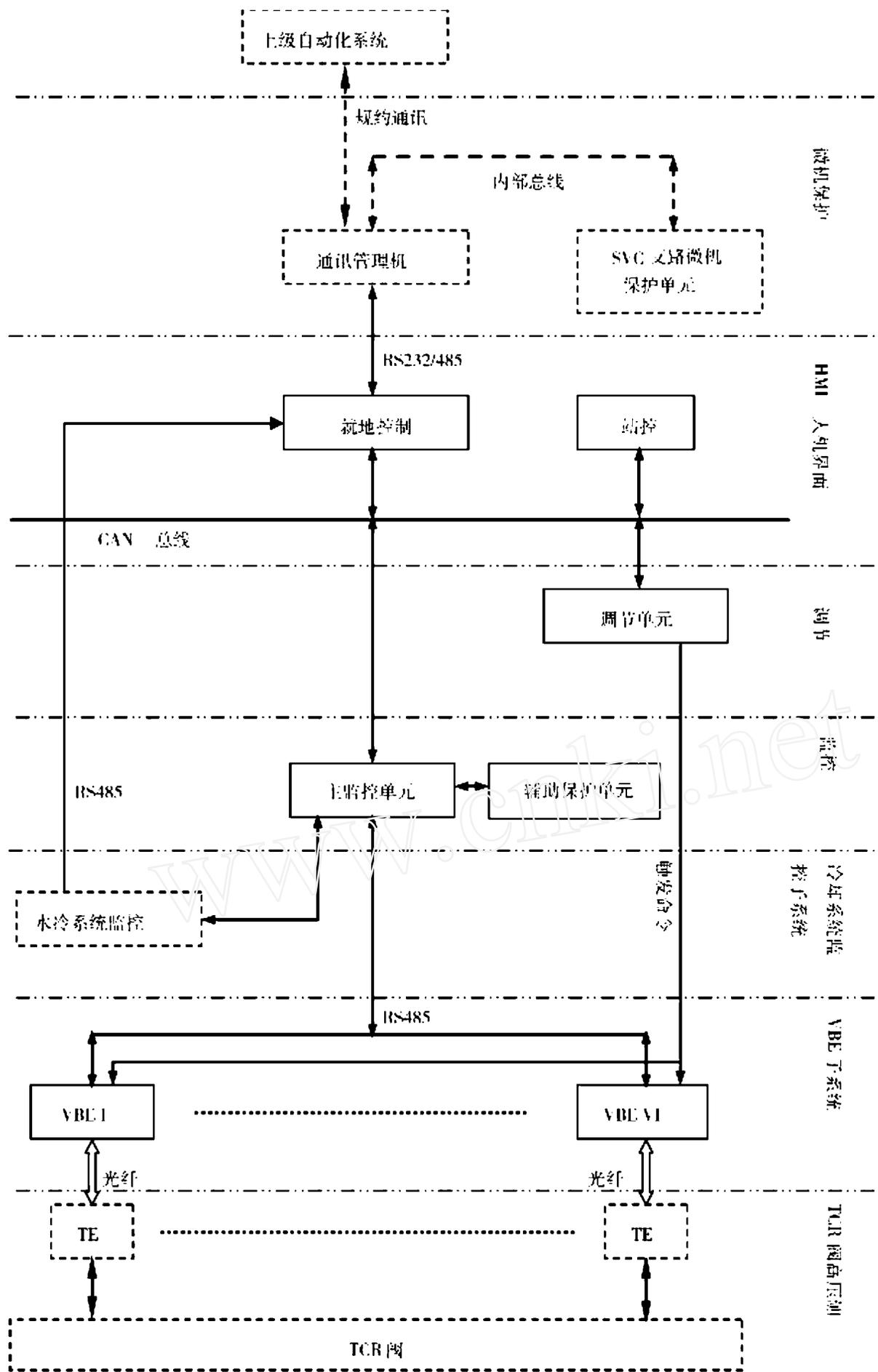


图 4 SVC 监控系统框图  
(图中虚线部分位于监控装置外部)

- (2) TCR 故障及状态事件数据的记录,包括事件类型及其发生时间;
- (3) 实时显示 TCR 水冷系统状态;
- (4) 实时显示 TCR 阀状态;
- (5) 通过醒目的方式提示操作员新发生事件类型及发生时间;
- (6) 事件报表处理;
- (7) 生成系统电流电压数据曲线;
- (8) 与保护监控系统通过 CAN 总线进行数据交换,接受保护监控单元上传来的事件数据,下传各种命令;
- (9) 与通讯管理机通过 RS485 接口连接,转发上级命令。

## 五、加装 SVC 后对电能质量的改善比较

经过对配电系统的谐波、无功冲击、操作过电压等仿真计算和仿真,确定了对 50T 电弧炉和精炼炉采用 SVC 无功补偿方案,通过对供电系统的详细设计和仿真,得出结论如下:

(1) 不采取加装 SVC 时,50T 电弧炉对供电系统电能质量产生严重干扰,具体指标如下:

① 注入 110kV 系统的 3 次、4 次、5 次、6 次谐波电流严重超标;引起 31.5kV 母线的 3 次、4 次、5 次、6 次谐波电压超标;31.5kV 母线电压总谐波畸变率高达 5.91%,超过国标 3% 的限值要求,母线电压波形明显畸变,电流波形严重畸变;110kV 母线电压总谐波畸变率 2.07%,超过国标 2% 的限值要求。

② 110kV 母线电压波动为 4.8%,超过国标 1.5% 的要求;短时间闪变值为 1.33%,超过国标 0.8% 的限值要求。

③ 110kV 母线三相电压不平衡度为 1.08%,没有超过国标 1.3% 的限值要求。

④ 系统功率因数很低,低于 0.87,每月将支付大笔的附加电费。

(2) 采取加装 SVC 后,将 50T 电弧炉对供电系统电能质量干扰抑制到一个较低的水平,具体指标如下:

① SVC 投入时,滤波器对谐波吸收效果明显,注入 110kV 系统和 31.5kV 母线的各次谐波电流后,31.5kV 母线电压总谐波畸变率降为 1.91%,110kV 母线电压总谐波畸变率降为 0.69%,都满足国家标准要求,达到了治理的目的。

② SVC 投入时,110kV 母线电压波动为 1.85%,短时间闪变值为 0.79,满足国标要求。

③ SVC 投入时,110kV 母线三相电压不平衡度为 0.8%,满足国标要求。

④ SVC 投入时,平均功率因数提高到 0.93~0.95,满足要求,且每月按相应的比例给予电费奖励。

## 六、结束语

综上所述,TCR+FC 型的 SVC 静止式无功补偿装置的投入,对改善 110kV 系统电网的电能质量,提高功率因数,稳定电网运行水平起到重要作用,使电能质量符合国标规定的要求,且每年获得经济效益 240 余万元。

### 参考文献

- 1 吴竞昌等. 电力系统谐波. 水利电力出版社,1988
- 2 苏文成,金子康等. 无功补偿与电力电子技术. 机械工业出版社,1989
- 3 赵赫等. 静止无功补偿器. 电力部电科院输配电集节电技术国家工程研究中心,1996

### 作者简介

穆建国,莱芜钢铁集团公司动力部。电话:0634-6925276;E-mail:mujianguo@lcc.cn。