

轧钢生产线混合无功补偿装置的研究及应用

白永超, 陈乐柱

(安徽工业大学 工程研究院, 安徽 马鞍山 243000)

摘要:为解决钢铁冶金企业大型轧钢机造成系统电压波动、功率因数降低和线路损耗增加等电能质量问题,在轧机供电系统的基础上,介绍了动态无功补偿技术在马钢中型材生产线高压配电网中的应用,并通过工程实例证明静止无功发生器SVG和无源滤波装置FC的混合补偿能够有效地消除冶金轧机等冲击性负荷对电网的不利影响,达到预期的滤波补偿效果和节能降耗的目的,同时,为电网提供了稳定可靠的电力资源,使电网的各项指标均达到国家标准要求,避免了供电公司的高额罚款,给钢厂带来了良好的经济安全效益。

关键词:轧钢生产线;无功补偿;SVG;FC

中图分类号: TG333

文献标志码: A

文章编号: 1671-5322(2021)01-0036-06

钢铁冶金企业的大型轧钢机在启动和运行时,会造成系统电压波动、功率因数降低和线路损耗增加等电能质量问题;同时在轧钢过程中,为满足轧钢工艺需求,需要变频调速装置不断调整电机速度,以精确控制钢坯在压力环境下停留时间的长短,从而导致大量谐波注入电网,对电网造成污染。因此,针对轧钢生产线的负载特性,对电网进行综合治理,减少因电能质量问题带来的经济

损失是非常必要的。

1 现场工况分析及容量选择

马钢中型材生产线供电系统采用两段10 kV电源分段供电,其中I段母线共13台变压器,总容量为32 500 kVA,供电系统如图1所示。I段母线负荷主要为开坯机、精轧机、分段飞剪等设备。

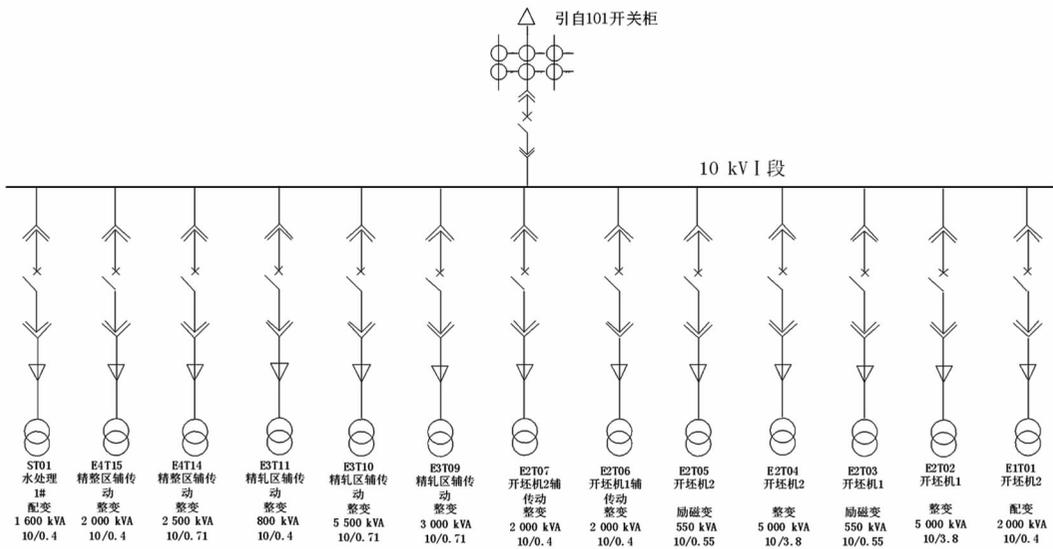


图1 10 kV I段母线供电系统图

Fig 1 System diagram of 10 kV section I bus power supply

收稿日期:2020-07-01

作者简介:白永超(1996—),男,河南漯河人,硕士生,主要研究方向为无功补偿及谐波治理。

中型材生产线开坯区 2 台开坯机主传动采用 TMEIC 公司生产的 TMdrive-70e2 变频器,在整流侧和逆变侧均采用三电平 PWM 控制,其逆变侧输出电压接近正弦电压,且具有谐波含量低、功率因数高的优点^[1]。精轧区、精整区采用西门子 S120 变频器中的智能型整流模块 SLM,该模块是由二极管和 IGBT 组成的 6 脉动桥式整流/回馈单元,其输出侧主要产生 5、7、11 等次特征谐波^[2]。根据 S120 变频器谐波含量的官方数据^[3],对各变压器的谐波电流进行叠加估算,得出 I 段母线的各次谐波电流值,如表 1 所示。

表 1 I 段母线各次谐波电流值及国标允许值
Table 1 Harmonic current value and national standard allowable value of each sub-harmonic current of section I bus 单位:A

谐波次数	I 段母线	国标允许值 ^[4]
5	56	52
7	40	39
11	50	24

由表 1 可以看出, I 段母线 5、7、11 次谐波均超标,会造成电网电压畸变,从而严重影响供电系统及生产线设备的安全运行。通过无功补偿容量的计算,该系统 I 段母线需补偿无功功率约 8 MVar。较大缺额的无功功率在生产过程中将向系统注入大量感性无功,造成功率因数较低,无法达到供电公司要求而遭到处罚。

为了对现场进行综合的电能质量治理,最终确定在 10 kV I 段母线加装一套 SVG (Static Var Generator) + FC (Filter Compensator) 的混合型动态无功补偿装置,如图 2 所示。为保证 SVG 在动

态调节时将系统功率因数维持在 0.95 左右,SVG 额定容量设计为 4 MVar;FC 部分的 5、7、11 次滤波器,根据滤波要求将总安装容量设计为 5 100 kVar。

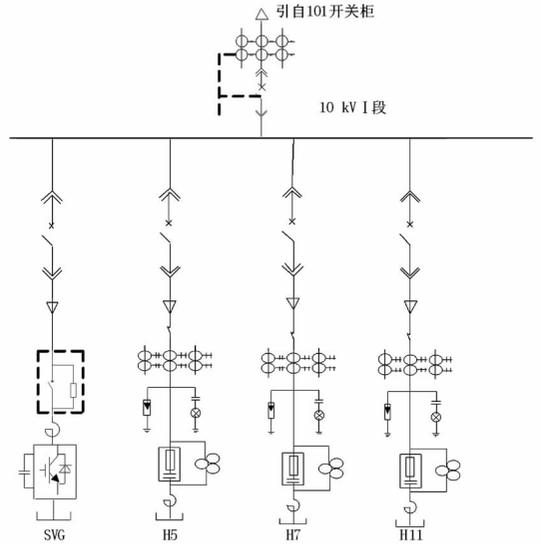


图 2 SVG + FC 动态无功补偿系统
Fig 2 SVG + FC dynamic reactive power compensation system

2 级联式 SVG 工作特性

SVG 系统原理如图 3 所示。SVG 主电路以换向半导体变流器为核心,通过连接电抗器并联在电网上,采用直接或间接控制的方法来改变交流侧电流,实现无功能量的补偿^[5]。SVG 动态响应迅速,能实时跟踪补偿基波无功及谐波,运行效率达到 98% 以上。

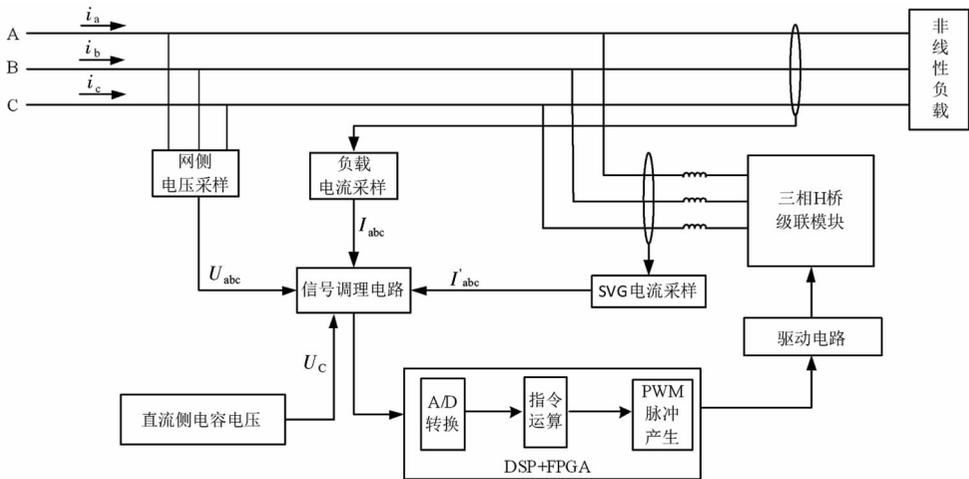


图 3 SVG 系统原理图
Fig 3 Schematic diagram of SVG system

与其他类型大容量 SVG 相比,级联式 SVG 采用 H 桥级联多电平电路结构,具有结构灵活、谐波特性好、成本较低等优点;另外,SVG 采用了 PWM 调制策略,谐波含量极低,对电网不会产生二次污染^[6]。级联式 SVG 电路结构如图 4 所示,

采用 $n+1$ 式的冗余设计,在一组模块故障时可以继续工作;同时装置在运行时被控制为电流源,不存在与系统阻抗发生谐振的可能性,从长期应用效果来看,保证了装置的安全性和可靠性。

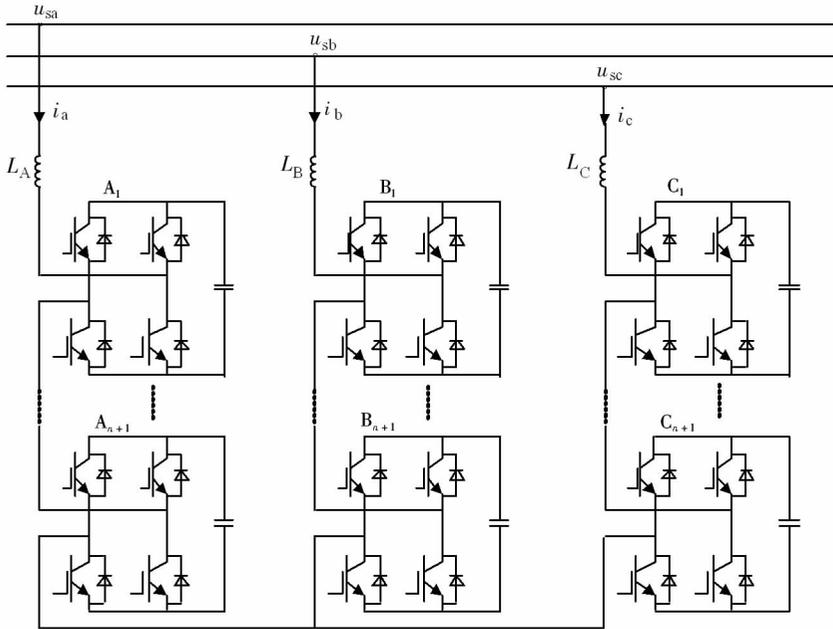


图 4 级联式 SVG 电路结构图

Fig 4 Structure diagram of cascaded SVG circuit

SVG 控制器在控制算法上以瞬时无功功率检测理论为基础,能快速检测出负载三相电流中的谐波和无功分量,计算出所需补偿的无功电流值,然后采用 PWM 控制技术对补偿信号进行处理。经过调制产生的驱动信号控制每个 IGBT 的通断,进而控制逆变桥交流侧输出补偿电流;补偿电流与补偿对象中的谐波和无功等电流抵消,从而达到滤除系统谐波的目的^[7]。

由此可知,SVG 具有很强的技术优势,而无源滤波器 FC 具有结构简单、技术成熟、运行可靠性高、成本低的优势,最终,从经济性方面考虑,采用了 SVG + FC 的混合补偿方案。补偿方案中,FC 根据串联谐振原理对特征次谐波进行滤除,实现大容量无功补偿;SVG 则对 FC 造成的过补偿和欠补偿问题进行动态补偿,从而让 SVG + FC 的混合补偿方案在满足无功补偿与滤波要求的同时,将 SVG 的技术优势与 FC 的经济性结合起来,减少了 SVG 的安装容量,降低了设备成本。

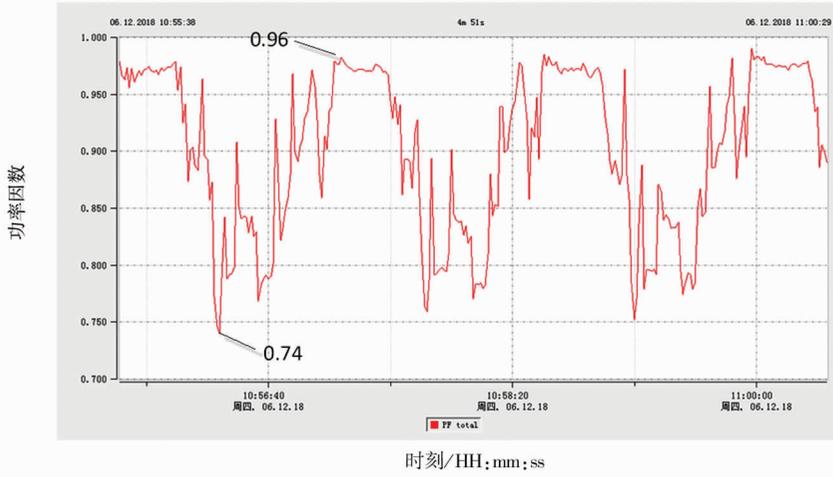
3 滤波补偿效益分析

为实时监测系统的电能质量情况,现场采用

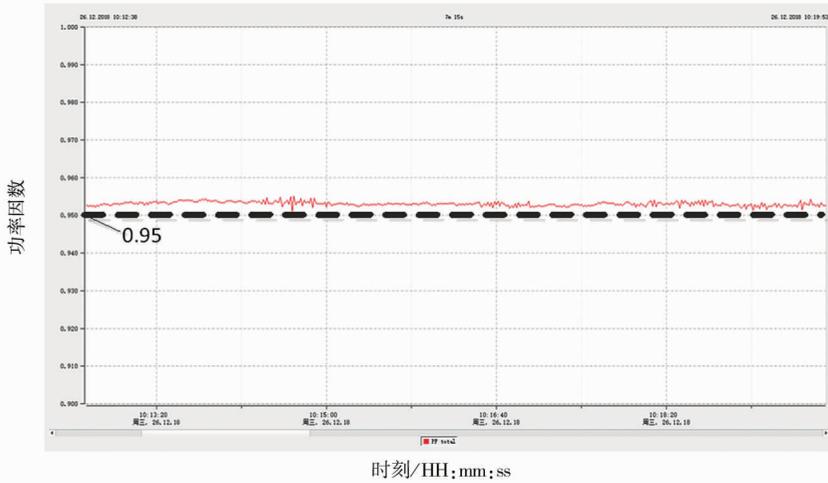
PQ-Box200 电能质量分析仪对测量点进行连续的电能质量测试,最后对轧钢生产线投入补偿装置前后的功率因数、谐波含有率及各次谐波电流值进行对比分析。

图 5 为 SVG + FC 补偿装置投入前后的系统功率因数曲线对比。由图 5 可以看出,在投入无功补偿装置前,轧钢生产线总功率因数在 0.74 ~ 0.96 之间波动,且波动幅度较大;无功补偿装置投运后,轧钢生产线总功率因数稳定在 0.95 以上,有效地降低了电能损耗,实现了动态无功补偿的目的。

图 6 为滤波器投入前后轧钢生产线实测的谐波含量。由图 6 可以看出,在轧钢生产线未投滤波器组时,5 次谐波电流含量最高达 27%,7 次谐波含量最高达 20%,11 次谐波含量最高达 25%,均已严重超出国标要求^[4];当依次投入 5、7、11 次滤波器后,5、7、11 次谐波含量明显降低,有效地滤除了大量的谐波电流,滤波后的各次谐波电流值(表 2)均在国标允许范围内。



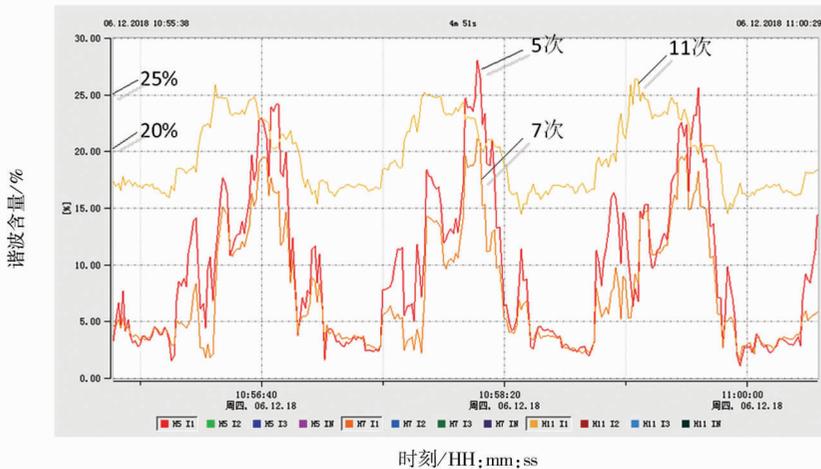
a 投入前



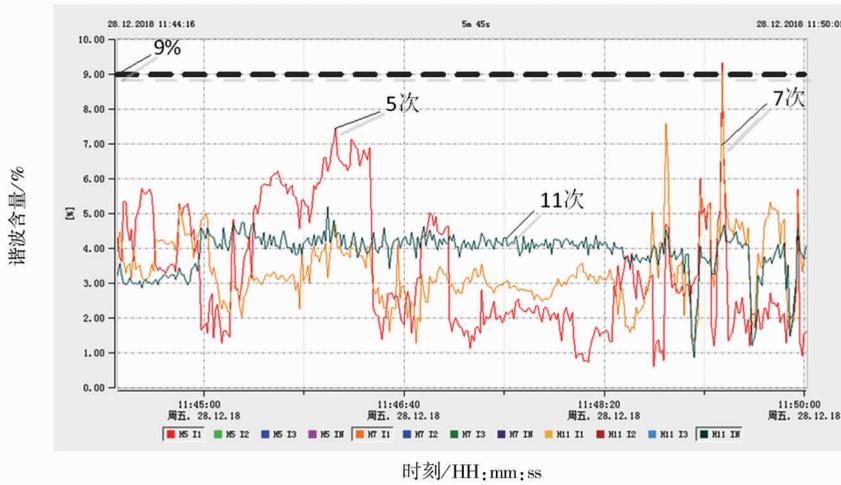
b 投入后

图 5 SVG + FC 补偿装置投入前后系统功率因数曲线对比

Fig 5 Comparison of system power factor curves before and after the SVG + FC compensation device is put into operation



a 投入前



b 投入后

图 6 滤波器投入前后轧钢生产线实测的谐波含量

Fig 6 Measured harmonic content of steel rolling production line before and after the filter is put into use

表 2 投入滤波器后各次谐波电流值及国标允许值

Table 2 The current value of each harmonic after the filter is put into the filter and the allowable value of the national standard 单位:A

谐波次数	实测谐波电流值	谐波电流国标允许值
5	4.70	52
7	3.38	39
11	5.68	24

由上可知,采用 SVG + FC 的混合型无功补偿装置一方面让轧钢供电系统总功率因数由原来的 0.85 左右提升到了 0.95 以上,且无较大波动,有效地降低了系统的电能损耗,节省了大量电费;另一方面对各次谐波进行滤除,很好地解决了轧钢

供电系统的谐波治理问题,保证电能质量合格,避免谐波过大对供电装置及生产设备造成损害。

4 结语

SVG + FC 混合型无功补偿装置动态响应迅速、安全可靠,能有效解决综合的电能质量问题,保障轧钢生产线的高效安全生产。该装置在轧钢生产线投运以来,一直保持安全可靠运行,达到了预期的滤波补偿效果和节能降耗的目的;同时,为电网提供了可靠稳定的电力资源,使电网的各项指标均达到国家标准要求,避免了供电公司的高额罚款,给钢厂带来了良好的经济安全效益。

参考文献:

[1] 鲁明,王钢,谢崇军. TMdrive-70 变频器在中板轧机上的应用[J]. 控制工程,2009,16(S3):57-60.
 [2] 刘飘羽. 西门子 SINAMICS S120 变频器的整流单元及其属性[J]. 变频器世界,2019(11):96-100.
 [3] S120_Drive Functions_Function Manual. 6SL3097-4AB00-0BP2,01-2012_FH1_012012_en[EB/OL]. [2020-05-12]. <http://www.ad.siemens.com.cn/download/DocList.aspx?TypeId=0&CatFirst=85>.
 [4] 国家技术监督局. 电能质量公用电网谐波:GB/T 14549—1993[S]. 北京:中国标准出版社,1994.
 [5] 杨璠. SVG 型动态无功补偿装置在电气化铁路的应用研究[C]//全国电压电流等级和频率标准化技术委员会. 第六届电能质量国际研讨会论文集. 北京:中国标准出版社,2012,452-459.
 [6] YU Y N, YANG R F, YAN J C, et al. Research on cascaded H-bridge SVG[J]. Journal of Networks, 2014, 9(7):1941-1947.
 [7] 冯文轶. FC + SVG 动态补偿滤波装置在煤矿供电中的应用[J]. 煤矿机械, 2014, 35(6):173-175.

Research and Application of Hybrid Reactive Power Compensation Device in Steel Rolling Production Line

BAI Yongchao, CHEN Lezhu

(Engineering Research Institute, AnHui University of Technology, Maanshan Anhui 243000, China)

Abstract: In order to solve the power quality problems such as system voltage fluctuation, power factor reduction and line loss increase caused by large rolling mills of iron and steel metallurgical enterprises, on the basis of the rolling mill power supply system, dynamic reactive power compensation technology is introduced in the high voltage power distribution of Ma Steel's medium profile production line. The application in the grid, and through engineering examples, it is proved that the hybrid compensation of static var generator SVG and passive filter device FC can effectively eliminate the negative impact of impact loads such as metallurgical rolling mills on the grid, and achieve the expected filtering compensation effect and energy saving. At the same time, it provides stable and reliable power resources for the power grid, so that all indicators of the power grid meet the requirements of national standards, avoiding high fines from power supply companies, and bringing good economic and safety benefits to the steel plant.

Keywords: steel rolling production line; reactive power compensation; SVG; FC

(责任编辑:李华云)

(上接第30页)

参考文献:

- [1] 王国涛. 浅析电力系统谐波危害及治理措施[J]. 计量与测试技术, 2019, 46(9): 73-74.
- [2] 李娜, 佟春生, 乔中良. 电动汽车充电桩对电网谐波影响分析及改进措施[J]. 自动化应用, 2017(5): 94-97.
- [3] 王兆安, 杨君, 刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫局, 中国国家标准化管理委员会. 电能质量公用: GB/T14549—1993[M]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [5] 吴跃平. 电能质量治理[J]. 电气工程应用, 2018(2): 26-32.

Design of Harmonic Control Scheme for Electric Vehicle Charging Station

LI Weiwei¹, XIA Xianlin¹, NI Guolin²

(1. Nanjing Ningzhen Electric Power Technology Co. Ltd., Nanjing Jiangsu 210012, China;
2. Zhongbei College, Nanjing Normal University, Danyang Jiangsu 212300, China)

Abstract: In the process of charging electric vehicle battery pack by electric vehicle charging station, the charging unit produces a lot of power harmonics, which leads to poor power quality, which has a very adverse impact on the adjacent power users, and even leads to power safety accidents. This paper uses the filter compensation device to analyze and design the harmonic control and reactive power compensation of the charging station, and draws the following conclusions: after the filter device is put into operation, the harmonic voltage content rate and total harmonic voltage distortion rate of the public connection point are within the national standard limits; the harmonic current injected into the public connection point by the load meets the requirements of the national standard; the power factor meets the requirements of the power grid. The results show that the over-current and over-voltage coefficients of the filter capacitor are kept within 0.88, with large safety margin and long-term stable operation.

Keywords: charging unit; power harmonic; governance

(责任编辑:李华云)