

供电无功补偿技术在钢铁厂的应用

姚勇

阳春新钢铁有限责任公司

DOI:10.12238/etd.v6i3.14374

[摘要] 如今,伴随着钢铁企业对电能质量要求的提高,供电无功补偿技术在钢铁厂中得到了广泛应用。文章分析了钢铁厂无功功率产生的主要原因及其危害,介绍了几种适用于钢铁厂的无功补偿装置,如并联电容器组、同步调相机、静止无功补偿器和静止同步补偿器,并从高压集中补偿、车间分组补偿及设备个别补偿三个层面,提出了供电无功补偿在钢铁厂的具体应用方案,文章指出,科学合理地应用无功补偿技术,可有效提高钢铁厂供电系统的功率因数和运行效率,确保生产设备的稳定运行。

[关键词] 钢铁厂; 供电; 无功补偿; 功率因数; 电能质量

中图分类号: U223 **文献标识码:** A

Application of reactive power compensation technology in steel plants

Yong Yao

Yangchun New Steel Co., Ltd.

[Abstract] Nowadays, with the increasing demand for power quality in steel enterprises, reactive power compensation technology for power supply has been widely applied in steel plants. The article analyzes the main causes and hazards of reactive power generation in steel plants, introduces several reactive power compensation devices suitable for steel plants, such as parallel capacitor banks, synchronous phase-shifting cameras, static reactive power compensators, and static synchronous compensators. Specific application plans for power supply reactive power compensation in steel plants are proposed from three levels: high-voltage centralized compensation, workshop group compensation, and equipment individual compensation. The article points out that the scientific and reasonable application of reactive power compensation technology can effectively improve the power factor and operating efficiency of the power supply system in steel plants, and ensure the stable operation of production equipment.

[Key words] steel plant; Power supply; Reactive power compensation; Power factor; quality

引言

钢铁工业乃是国民经济的重要基础产业,不过钢铁生产过程中消耗了大量的电能,钢铁企业广泛使用的感应电动机、电弧炉等感性负载,会产生大量的无功功率需求,降低供电系统的功率因数,增加线路和变压器的无功损耗,影响供电效率和电能质量。随着钢铁企业对生产效率、产品质量和能源节约的要求不断提高,科学合理地应用供电无功补偿技术,提高功率因数,改善电能质量,已成为钢铁企业供电系统优化的重要手段。本文将深入分析钢铁厂无功功率产生的原因及其危害,系统介绍适用于钢铁厂的各种无功补偿装置及其特点,并从高压集中补偿、车间分组补偿及设备个别补偿三个层面,提出供电无功补偿在钢铁厂的具体应用方案,以期钢铁企业供电系统的优化设计和技术改造提供参考。

1 钢铁厂无功功率产生的原因及其危害

钢铁厂生产过程中,无功功率的产生主要源于大量使用的感应电动机、电弧炉以及整流装置等设备。其中,作为主要感性负载的异步电动机广泛应用于轧钢机、连铸机、风机、水泵、卷扬机等设备的驱动,其建立磁场需要消耗大量无功功率,功率因数通常仅在0.7~0.9之间,轻载时甚至更低。而作为炼钢核心设备的电弧炉,其工作原理是通过电极与熔融金属间产生电弧来加热熔炼,电弧本身具有强烈的非线性、随机性和波动性,不仅消耗大量有功功率,其电弧电流的剧烈变化还会产生巨大的无功冲击,导致功率因数急剧下降,有时甚至低至0.6以下,并引起严重的电压波动和闪变。并且钢铁厂中用于提供直流电源的整流装置,如用于直流电机调速、电解等,通常采用晶闸管等电力电子器件,这些非线性负荷会产生谐波电流,谐波电流在电网阻抗上产生谐波电压,不仅污染电网,也增加了系统的无功需求。钢铁厂大量无功功率的消耗,一方面增加了供电系统的无功损耗,

降低了供电效率; 另一方面可能引起电压波动、闪变等电能质量问题, 影响生产设备的稳定运行。

2 适用于钢铁厂的无功补偿装置

2.1 并联电容器组

在各种无功补偿方式中, 并联电容器组是最常用、最经济实惠的选择, 电容器发出的无功功率可以就地或集中补偿感性负载所需的无功, 从而有效提高系统功率因数^[1]。并联电容器组结构简单、运行维护方便、投资成本较低, 是钢铁厂无功补偿的基本配置。然而, 电容器本身没有调压能力, 在系统负荷波动时难以实现平滑的无功调节。且在谐波含量较高的场合, 如大量使用整流设备或电弧炉时, 并联电容器还可能引起谐波放大, 需要配合串联电抗器使用, 以抑制谐波电流。尽管如此, 凭借其投资省、见效快的优势, 并联电容器组在钢铁厂中仍得到广泛应用, 是提高功率因数的经济有效手段。

2.2 同步调相机

同步调相机, 是一种专门用于发出或吸收无功功率的同步电机, 通过调节其励磁电流, 可实现无功输出的平滑连续调节, 具有良好的调压能力, 且不会引起谐波放大问题。与之相比, 并联电容器组的无功输出只能分档切换, 调节粒度较粗, 难以适应频繁波动的负荷需求。然而, 同步调相机体积庞大、造价昂贵、运行维护复杂, 在中小型钢铁厂中难以推广, 多用于对电压质量要求极高的大型枢纽变电站。对于大多数钢铁厂而言, 投资同步调相机的技术经济性仍有待权衡。

2.3 静止无功补偿器 (SVC)

静止无功补偿器 (SVC) 是一种基于电力电子技术的动态无功补偿装置, 由晶闸管控制电抗器 (TCR) 和晶闸管投切电容器 (TSC) 组成, 通过改变TCR的导通角和TSC的投入状态, 实现感性和容性无功功率的快速、平滑调节^[2]。相较于传统的机械式开关投切的并联电容器组, SVC具有响应速度快、调节精度高、投切无冲击等优势, 尤其适用于电弧炉等冲击性负荷的无功补偿。电弧炉的无功功率急剧波动常引起严重的电压闪变问题, 影响电能质量和其他设备的正常运行。炼钢车间引进SVC后, 可根据电弧炉运行状态实时补偿无功功率, 显著抑制电压闪变, 提高电弧炉的出力率和炼钢效率。

2.4 静止同步补偿器 (SVG)

静止同步补偿器 (SVG) 可以说是目前最先进的动态无功补偿装置, 采用电压源型逆变器 (VSI) 技术, 通过控制逆变器输出电压的幅值和相位, SVG可在电网需要时灵活地发出或吸收无功功率, 调节范围宽、响应速度快, 甚至能在短时间内提供一定的有功功率支持, 功能非常全面^[3]。与其前辈SVC相比, SVG在各方面性能都更胜一筹。它的响应时间可达毫秒级别, 补偿容量范围更宽, 输出电流畸变率更低, 且不会产生谐波污染问题, 运行效率也更高。尤其在系统负荷率较低时, SVG表现出更优异的补偿性能, 能有效抑制轻载时的过电压问题。凭借这些优点, SVG日益成为应对复杂多变的供电环境、提高供电可靠性与电能质量的理想选择。

3 供电无功补偿技术在钢铁厂的应用方案

3.1 高压集中补偿

钢铁企业供电系统的无功优化, 首先应考虑在厂区高压系统实施集中补偿, 对于钢铁企业而言, 其供电网络规模大、层级多、线路长, 在总降压变电站或厂区高压母线上集中配置大容量的并联电容器组或SVC/SVG装置, 对全厂负荷进行统一补偿, 可有效提高整个厂区的功率因数水平, 满足电网管理部门的要求^[4]。目前, 电网企业普遍要求大工业用户的功率因数不得低于0.9的门槛, 否则将根据功率因数的高低实施无功电费加收。通过在厂区高压侧实施集中无功补偿, 可将全厂综合功率因数提升至0.95以上, 不仅规避了无功罚款, 更为重要的是, 补偿后的无功电流大幅度减少, 高压供电线路和主变压器的无功损耗随之降低, 供电成本得以节约。鉴于集中补偿所需无功容量较大, 并联电容器组凭借其成本优势得到广泛应用, 通过分组投切的方式实现阶梯调节。但仅依靠并联电容器组的粗调节难以适应负荷快速波动的场景, 因此宜配置一定容量的SVC或SVG, 动态连续地跟踪补偿无功需求变化, 确保功率因数长期稳定在较高水平。尽管高压集中补偿在调节速度和精度上不及分散补偿, 但其在削减供电无功损耗、改善高压侧电能质量方面的效果最为直接显著, 理应作为钢铁厂无功补偿方案的首选。

3.2 车间或区域分组补偿

钢铁厂内部各车间的用电负荷特性差异较大, 对无功补偿的需求也不尽相同, 对于一些主要耗能车间, 如炼钢车间、轧钢车间等, 若仅依靠厂区集中补偿, 往往难以兼顾各车间的个性化需求, 而在其高压或低压母线上就近配置分组补偿装置, 则可获得更佳的补偿效果。以炼钢车间为典型, 其核心设备电弧炉以大功率、低功率因数、无功波动剧烈著称, 电弧引起的无功冲击常导致电压闪变, 严重时甚至波及临近车间。为抑制电压闪变、提高电能质量, 应在电弧炉变压器的高压侧或低压侧配置快速响应的SVC装置, 实时动态地补偿电弧炉运行过程中的无功功率变化。而对于轧钢车间等以大型电动机为主的负荷群, 其无功消耗虽然相对平稳, 但由于设备数量多、容量大, 汇集后的总无功需求十分可观。对此可根据轧机的运行工况, 配置分组投切的并联电容器组或SVC, 实现半自动无功补偿。相比高压集中补偿, 车间或区域分组补偿方案针对性更强, 可更精细地改善各层级母线的电能质量指标, 灵活满足不同车间负荷的个性化需求。但需注意的是, 分散配置于各车间的补偿装置数量多、地点广, 不可避免地提高了投资和日常维护成本, 应用中需统筹兼顾技术与经济因素, 选择最优配置方案。

3.3 设备个别补偿

在钢铁厂众多用电设备中, 某些大型感应电动机负荷, 如高炉鼓风机、焦炉除尘风机、循环水泵等, 具有单机容量大、日运行时间长且设备位置相对固定的特点。针对这类设备, 可考虑就地配置并联电容器组进行个别无功补偿。为获得最佳补偿效果, 钢铁厂还应将电容器组安装在电动机负荷的近端, 甚至直接接入电动机端子接线盒内, 使之与电动机组成紧凑的“无功平衡单

元”。这样,原本需从配电变压器末端供应的大量感性无功电流,绝大部分都被就地电容器组补偿,电动机与配电变压器之间的线路无功电流大幅度减少,线路的无功损耗随之降低,电动机端电压质量也得到改善。由于此类电动机多采用定速运行或简单的双速调节,其无功功率消耗相对稳定,采用定容量的并联电容器组即可满足需求,且该方案成本最低。个别补偿使电动机感性无功消耗在设备端口实现平衡,大大减轻了上级配电线路的无功负担,是提高供电效率、节约能源的有效手段。然而,对于一些出力频繁变化或启动时无功冲击较大的电动机,如轧钢机主传动电机,仍建议采用半自动补偿或SVC等动态补偿方式,以更好地适应负荷变化需求,既避免轻载时过补导致电容器过电压,又防止重载时欠补使功率因数恶化。

4 结语

综上所述,供电无功补偿技术在钢铁厂的应用日益广泛,在实际应用中,应根据钢铁企业的规模、工艺特点、负荷分布及电能质量要求等因素,综合采取高压集中补偿、车间分组补偿及设备个别补偿等措施,构建分层分区、动静结合的无功补偿方案,

才能获得最佳的技术经济效益。相信随着钢铁企业对节能环保、智能制造等的要求不断提高,供电无功补偿技术也将得到更加广泛深入的应用,为钢铁工业的高质量发展提供坚实的能源保障。

[参考文献]

[1]刘敏涛.无功补偿技术在电气自动化中的应用分析[J].科技资讯,2025,23(09):79-81.
[2]刘金彪,马鑫,许琛,等.无功补偿技术在配电网中的应用研究[J].仪器仪表用户,2024,31(11):123-125+128.
[3]杨丽娜.基于SVG的供电系统无功补偿技术研究[J].自动化应用,2024,65(07):242-243+246.
[4]谢澜.工厂供配电系统中的无功补偿技术探究[J].价值工程,2022,41(04):116-118.

作者简介:

姚勇(1980—),男,汉族,湖南浏阳人,本科,中级职称,研究方向:供电技术。