

煤矿供配电系统谐波分析与治理

董兴飞

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213015

摘要：煤矿供配电系统的稳定运行，直接关系到煤矿生产的安全性与连续性。本文聚焦煤矿供配电系统的谐波分析与治理。先简述了煤矿供配电系统的基本情况，接着剖析了谐波产生源于非线性负载、整流逆变设备、电力变压器和开关设备等因素。谐波危害显著，能损害电气设备、影响供电质量、干扰保护及自动装置、干扰通信系统。为解决这些问题，提出了从谐波源治理、安装滤波装置、优化系统设计、加强监测管理等措施，以保障系统可靠运行。

关键词：煤矿供配电；系统谐波；分析治理

引言：煤矿供配电系统是煤矿生产的关键环节，其可靠运行对煤矿安全生产意义重大。但随着煤矿电气设备的广泛应用，谐波问题逐渐突出。谐波的存在不仅会对电气设备造成损害，缩短设备使用寿命，还会严重影响供电质量，干扰保护及自动装置和通信系统。因此，准确分析煤矿供配电系统谐波产生的原因，认清其危害，并制定有效的治理措施，是提升煤矿供配电系统安全性、稳定性和可靠性的必然要求，对煤矿生产有着重要的现实价值。

1 煤矿供配电系统概述

煤矿供配电系统是保障煤矿安全生产和高效运行的关键设施，由多个部分协同构成。首先是电源部分，通常从区域变电所引入双回路电源，以确保供电的可靠性，防止因单回路故障导致全矿停电，影响生产并带来安全隐患。输电线路负责将电源输送至矿区各个用电点，高压输电线路能以较低损耗实现远距离传输，将电能高效送达矿井地面变电所。地面变电所起到电能转换与分配的枢纽作用，在这里，高电压通过变压器降压，以满足不同用电设备的电压等级需求。井下供电系统则更为复杂且关键，需考虑井下特殊的环境，如潮湿、有瓦斯等易燃易爆气体。供电线路要具备良好的绝缘性能与防爆能力，通过井下变电所进一步降压和分配电能，为采煤机、掘进机、通风机等各类生产设备提供动力^[1]。

2 煤矿供配电系统谐波产生的原因

2.1 非线性负载

在煤矿供配电系统中，非线性负载是谐波产生的重要源头。诸如矿井中的变频调速装置、晶闸管控制设备等，其电流与电压并非呈现线性关系。正常正弦波电压施加时，非线性负载会使电流波形发生畸变，不再是标准正弦波。这种畸变电流包含大量高次谐波成分，注入到供电系统中，导致系统电压和电流波形偏离正弦，从而引发谐波

问题，对整个供配电系统的正常运行造成干扰。

2.2 整流和逆变设备

整流和逆变设备在煤矿广泛应用，但其工作过程极易产生谐波。整流设备将交流电转换为直流电，逆变设备则相反。在转换过程中，电流波形会出现间断或突变。以晶闸管整流器为例，它通过控制晶闸管的导通角来调节输出，这会使输入电流不再是平滑正弦波，产生丰富的谐波。这些谐波电流沿着供电线路传播，影响系统中其他设备的正常运行，降低电能质量。

2.3 电力变压器

电力变压器在煤矿供配电系统中起着关键的电压变换作用，同时也是谐波产生的因素之一。变压器的铁芯存在磁滞和饱和特性，当正弦波电压施加在一次绕组时，励磁电流并非正弦波。尤其是在变压器接近满载或过载运行时，铁芯饱和程度加剧，励磁电流严重畸变，产生大量谐波电流。这些谐波电流注入系统，不仅影响变压器自身的性能，还会对与之相连的其他电气设备造成不良影响。

2.4 开关设备

煤矿中的开关设备，如高压断路器、接触器等，在开合过程中会导致电流的急剧变化，进而产生谐波。当开关闭合瞬间，电路中会出现浪涌电流，其幅值大且包含高频成分。而开关断开时，由于电弧的存在和电路的突然截断，会引发电压暂态过程，产生高频振荡。这些暂态过程产生的谐波会注入到供配电系统中，干扰系统的正常运行，影响设备的使用寿命，甚至可能引发保护装置的误动作。

3 煤矿供配电系统谐波的危害

3.1 对电气设备的损害

3.1.1 电机过热与损坏

煤矿中各类电机应用广泛，谐波对其危害显著。谐

波电流会在电机绕组中产生额外的铜损,同时使电机铁芯的磁滞和涡流损耗大幅增加。这些额外损耗以热量形式释放,导致电机温度急剧上升。持续过热会加速电机绝缘材料的老化,降低绝缘性能,缩短电机使用寿命。而且,谐波产生的附加转矩会使电机运行时出现振动和噪声,严重时引发电机转速波动,甚至堵转,最终造成电机损坏,直接影响煤矿的正常生产作业。

3.1.2 电容器故障

在煤矿供配电系统中,电容器常用于无功补偿以提高功率因数。然而,谐波对电容器危害极大。由于电容器对谐波具有放大作用,谐波电流流入电容器时,会使电容器的电流有效值大幅增加。过高的电流会导致电容器发热严重,加速其内部介质老化,引发电容器鼓肚、渗漏油等故障。一旦电容器故障,不仅无法实现无功补偿功能,还可能因故障电流影响系统其他设备,甚至引发相间短路等严重事故,破坏供配电系统的稳定性^[2]。

3.2 对供电质量的影响

3.2.1 电压畸变

在煤矿供配电系统中,谐波电流的存在会致使电压畸变。当谐波电流流经线路阻抗时,依据欧姆定律,会在线路上产生与谐波电流成正比的谐波电压降。这些谐波电压叠加在基波电压之上,使原本正弦波的电压波形发生畸变,不再保持标准形状。电压畸变会导致设备无法在额定电压下正常工作,例如一些对电压稳定性要求高的控制设备,可能会因电压畸变而出现误动作,影响煤矿生产设备的精确控制,降低整个系统的运行可靠性,严重时甚至损坏设备。

3.2.2 功率因数降低

谐波的出现会显著降低煤矿供配电系统的功率因数。功率因数由基波电流与电压的相位差以及谐波电流共同决定。谐波电流的存在,使电流波形偏离正弦波,增大了电流的有效值,而有功功率基本不变。根据功率因数的计算公式,分母电流有效值增大,分子有功功率不变,功率因数便会降低。低功率因数意味着供电系统传输的无效功率增加,降低了电能传输效率,导致线路损耗增大,增加了煤矿的用电成本,同时也影响了供电系统的供电能力,制约煤矿生产规模的扩大。

3.3 对保护及自动装置的影响

煤矿供配电系统中的保护及自动装置,是保障系统安全稳定运行的关键。但谐波会对其造成严重影响。谐波使电流和电压波形发生畸变,导致保护装置采集到的信号异常。例如,过流保护装置可能因谐波电流产生误动作,在系统正常运行时就切断电路,造成不必要的停

电。而一些基于电流、电压相位关系工作的保护和自动装置,谐波引发的相位变化会使其逻辑判断失误,无法在真正发生故障时及时动作,延误故障处理,扩大事故范围,给煤矿安全生产带来极大隐患。

3.4 对通信系统的干扰

煤矿内部存在复杂的通信网络,用于保障生产调度、安全监控等信息的传递。然而,供配电系统中的谐波对通信系统干扰严重。谐波产生的高频电磁场会通过电磁感应和静电耦合的方式,将干扰信号引入通信线路。这会使通信信号失真,导致通话质量下降,出现杂音、中断等现象。对于数据通信,谐波干扰可能造成数据传输错误、丢包,影响监控数据的准确性和实时性,进而使工作人员无法及时准确掌握生产现场情况,阻碍生产指挥和安全管理工作的顺利开展。

4 煤矿供配电系统谐波治理措施

4.1 从谐波源进行治理

4.1.1 采用低谐波设备

在煤矿供配电系统中,采用低谐波设备是削减谐波根源的有效策略。例如,选用先进的低谐波变频调速装置,其运用优化的脉宽调制技术,能精准调控电流输出,让电流波形更趋近于正弦波,极大降低谐波产生量。采购新型低谐波电力变压器也是关键,这类变压器在绕组设计上更为科学,磁导率高且饱和特性优越,有效减少因铁芯饱和而引发的谐波。采煤机、掘进机等大型设备若采用低谐波型号,从设备运转初始就能降低谐波注入电网的可能性。

4.1.2 对设备进行技术改造

针对煤矿已投入使用的高谐波设备,技术改造是降低谐波污染的重要手段。以常见的晶闸管整流设备为例,通过增加整流相数,如将六脉波整流器升级为十二脉波,利用多脉波整流技术,可使整流后的电流谐波含量大幅下降。优化设备控制电路同样关键,引入智能触发控制技术,能依据电网实时状态精准调整晶闸管触发角,显著改善电流波形畸变情况。此外,给设备加装谐波抑制装置,如在电机旁安装谐波滤波器,借助 LC 谐振电路旁路特定频率谐波电流,减少谐波进入系统。

4.2 安装滤波装置

4.2.1 无源滤波器

无源滤波器主要由电力电容器、电抗器以及电阻器按照特定方式组合搭建而成。其核心运作依托 LC 谐振原理,当煤矿供配电系统中存在某一特定频率的谐波时,滤波器内与之对应的谐振支路会展现出极低的阻抗特性。此时,该频率的谐波电流会因低阻抗路径的吸引,

大量流入滤波器内部,进而避免了谐波电流向电网其他部分扩散,有效降低了系统中的谐波含量。在煤矿井下变电所等设备集中且谐波源较为单一、谐波频率相对固定的区域,无源滤波器能够精准滤除特定次谐波,显著改善局部的供电质量。它结构简易,无需额外电源驱动,成本投入相对较低,对于预算有限且谐波问题不太复杂的煤矿供电场景而言,是一种极具性价比的谐波治理方案。

4.2.2 有源滤波器

有源滤波器借助先进的电力电子技术实现对谐波的高效治理。其内部配备高精度的检测电路,可实时、精准地监测系统中的谐波电流情况。检测到的谐波信号传入运算单元后,会迅速生成与之大小相等、方向相反的补偿电流。随后,通过电力电子变换器将这一补偿电流快速注入到电网中,与原有的谐波电流相互抵消,达成消除谐波的目的。在煤矿复杂多变的电气环境里,各类设备频繁启停导致谐波成分和幅值时刻波动,有源滤波器凭借其卓越的动态跟踪能力,能够快速响应并灵活调整补偿策略,精准应对谐波变化。它体积小,不占用过多空间,滤波效果显著,在对电能质量要求严苛的煤矿自动化控制系统、监控设备供电等关键场景中应用广泛,有力保障了煤矿供配电系统的稳定运行,为安全生产筑牢电力根基。

4.3 优化供配电系统设计

4.3.1 合理选择变压器接线方式

在煤矿供配电系统中,合理选择变压器接线方式是治理谐波的重要一环。Y, d11 接线方式优势显著。一次侧星形接线,中性点接地可有效抑制零序电流,减少零序谐波引发的系统故障。二次侧三角形接线,为三次及三的整数倍次谐波电流提供了闭合通路,使其在绕组内形成环流,不注入电网,降低了系统谐波含量。以某煤矿的井下变电所为例,由于存在大量变频设备等非线性负载,谐波问题严重。采用 Y, d11 接线的变压器后,电压波形得到明显改善,谐波对设备的干扰大幅降低,电机运行更加平稳,设备故障率显著下降,有力保障了井下生产的连续性和安全性。

4.3.2 增加线路电抗

增加线路电抗是抑制煤矿供配电系统谐波的有效手段。在电路中串联电抗器,能增大线路阻抗。当谐波电流流经时,根据欧姆定律,会在线路上产生较大的谐波电压降,从而降低谐波电流幅值。例如在煤矿井上的高压供电线路中,靠近谐波源设备处串联合适参数的电抗

器,可有效限制谐波电流向其他区域传播。此外,电抗器还能改善系统的无功功率分布,提高功率因数。但在实际应用中,需精确选择电抗器参数,防止电抗过大影响基波电流传输。

4.4 加强谐波监测与管理

4.4.1 安装谐波监测装置

在煤矿供配电系统中,安装谐波监测装置是实时掌握谐波状况的关键举措。谐波监测装置能够持续采集系统中的电压、电流信号,运用先进的傅里叶变换等算法,精确分析出谐波的含量、频率以及相位等参数。例如,在煤矿地面变电所安装高精度的谐波监测仪,它可以对各条出线的谐波情况进行全方位监测。一旦谐波含量超出预设阈值,装置会立即发出报警信号,提醒运维人员。通过这些监测数据,技术人员能够清晰了解谐波的分布和变化趋势,为后续采取针对性的谐波治理措施提供准确依据,有助于及时发现并解决潜在的谐波问题,保障供配电系统稳定运行。

4.4.2 制定谐波管理措施

制定完善的谐波管理措施是保障煤矿供配电系统谐波长期达标的有力保障。首先,要依据国家相关标准以及煤矿自身的实际用电情况,设定合理的谐波限值。例如,明确规定不同区域、不同类型的谐波电流允许值。其次,建立日常巡检制度,定期检查谐波治理设备的运行状态,确保滤波装置、电抗器等设备正常工作。再者,对新接入系统的设备进行严格的谐波评估,避免高谐波设备接入电网。同时,加强对员工的培训,提升其对谐波危害的认识和处理谐波问题的能力^[3]。

结束语

综上所述,煤矿供配电系统中的谐波问题不容小觑,其产生源于多种因素,对电气设备、供电质量、保护装置及通信系统均造成了严重危害。通过从谐波源治理、安装滤波装置、优化系统设计以及加强监测管理等多方面采取有效措施,能显著改善系统运行状况,降低谐波影响。然而,随着煤矿生产技术的不断发展,新设备的引入可能带来新的谐波挑战。

参考文献

- [1]刘燕燕, 仝跃峰.电网谐波危害分析及在煤矿生产中的应用[J].现代电子技术, 2021(18): 123-124.
- [2]吴震春, 任子晖, 仇润鹤.煤矿电网谐波的测试与分析[J].煤炭科学技术, 2021(06): 156-157.
- [3]张志强.煤矿供电系统无功功率补偿和谐波治理[J].电力学报, 2020(04): 306-310.