

# 变频器过电压故障分析

周 伟

安阳钢铁建设有限责任公司 河南 安阳 455000

**摘 要：**变频器过电压故障分为输入侧、直流母线、输出侧过电压三种类型，成因包括电网电压波动、整流环节异常、制动能量回馈、逆变环节开关器件动作异常等。检测方法包括直接测量电网电压、精密分压电阻网络采样、配置电压传感器等，并采用阈值比较、频域分析等方法进行信号识别。抑制与防控可通过安装输入侧电抗器、优化制动单元设计、优化调制策略、增加缓冲电路等措施实现，以提升变频器运行稳定性，降低故障发生率，延长设备使用寿命，保障传动系统长期稳定运行。

**关键词：**变频器；过电压故障；原因分析

引言：变频器作为现代工业传动系统的核心设备，其运行稳定性直接影响生产效率与设备安全。然而，过电压故障作为变频器常见故障类型，可能引发输入侧元件老化、直流母线电容击穿、输出端负载损坏等严重后果。本文系统梳理了变频器过电压故障的分类体系，深入剖析输入侧电网波动、直流母线能量堆积、输出端参

数失配等成因机制，提出从信号检测、故障识别到多层级防控的完整解决方案，为提升变频器运行可靠性、延长设备使用寿命提供理论支撑与实践指导。

## 1 变频器过电压故障的类型划分

变频器过电压故障主要分为输入侧、直流母线、输出侧过电压三种类型，其具体情况如下表所示：

表1-1 变频器过电压故障类型及特征影响

| 故障类型    | 特征                                          | 不同地区/场景下占比变化规律                                                                  | 影响                                                                                             |
|---------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 输入侧过电压  | 输入端电压超出额定范围，表现为电压持续偏高或出现瞬时尖峰，超出输入电压允许阈值     | 电网薄弱地区（农村、矿山、海外项目）占比明显升高，可达40%以上；工业稳定电网地区通常低于25%                                | 直接作用于整流环节，破坏整流模块正常工作状态，导致整流效率下降；干扰电源系统稳定性，引发电源回路电压波动；长期存在加速输入侧电气元件老化，降低运行可靠性，甚至导致保护电路动作迫使变频器停机 |
| 直流母线过电压 | 直流环节电压异常升高，持续高于额定直流电压，波动幅度超出正常范围，电压稳定性大幅下降  | 位能负载为主地区（矿山、港口、山区输送机）占比最高，常超70%；加减速频繁工艺（油田抽油机、轧钢）占比较高（60%~70%）；恒速轻载场合相对略低       | 对直流环节电解电容造成严重影响，加速电容老化，严重时导致电容击穿损坏；过高的直流电压超出功率器件耐压极限，引发器件击穿，破坏内部电路结构，导致变频器无法正常运行，甚至引发更严重电气故障   |
| 输出侧过电压  | 输出端电压超出额定输出范围，表现为输出电压幅值偏高、波形畸变，超出设备正常运行允许范围 | 电缆长度 > 100m的场景占比显著上升，可达30%~40%；欧美日等强制要求输出滤波器的地区，占比可降至5%以下；东南亚、中东部分项目因省去滤波器而占比偏高 | 直接影响负载设备，对电机影响最为明显，会损坏电机绝缘层，长期作用下导致内部绕组短路，影响电机正常运转；同时损坏负载内部电气元件，影响整个传动系统的稳定性和安全性，引发负载设备故障停机    |

## 2 变频器过电压故障的成因分析

### 2.1 输入侧过电压成因

电网电压波动是引发输入侧过电压的主要因素之一，电压骤升会使变频器输入端电压瞬间超出额定范围，而谐波干扰会扭曲电压波形，非线性负载及变频器自身产生的谐波叠加会加剧电压波动。输入电路接线异常同样会引发过电压，接线松动或接触不良导致电压传输不稳定，滤波器参数不匹配则无法有效抑制波动，加速元件老化<sup>[1]</sup>。目前公共电网供电质量较好，电压合格

率普遍超过99.5%（国家能源局DL/T 1227-2013），电网不稳定实际多源于厂内或园区内大型设备启停引起的内网波动。据IEEE 493-2007（Gold Book）统计，工业用户中约70%~80%的电压暂降及过电压事件源于内部配电系统，其中大型电机直接启动及切除引发的电压骤升幅度可达108%~115%（《电气应用》2020年第39卷第4期）。此外，IEEE 519-2022指出，当电压总谐波畸变率达8%~10%时，电压峰值系数可从1.414升至1.6以上，此类谐波主要源于厂内变频器集群及非线性负载自身叠加。

综上,内网大型设备冲击与谐波污染是变频器输入侧过电压的主要实际诱因。

## 2.2 直流母线过电压成因

整流环节异常会直接导致直流母线电压升高,整流二极管击穿或性能退化会使整流电路无法正常实现交直流转换,导致直流侧电压输出异常,整流电路控制逻辑错误会影响触发脉冲的正常输出,使整流环节工作紊乱,进而导致直流母线电压超出额定范围,引发过电压故障,同时还会损坏整流环节相关元件。制动过程中能量回馈是引发直流母线过电压的常见原因,再生能量无法及时消耗会导致能量在直流母线上堆积,使直流母线电压持续升高,制动电阻选型不当会影响再生能量的消耗效率,无法快速释放多余能量。制动单元响应速度不足会导致制动动作延迟,无法及时介入能量回馈过程,无法有效抑制直流母线电压升高,进而引发直流母线过电压,影响变频器直流环节的正常工作。滤波电容异常会导致直流母线电压不稳定,电解电容容量衰减或等效串联电阻升高会使电容的滤波和稳压效果下降,无法稳定直流母线电压,导致电压波动幅度增大<sup>[2]</sup>。电容并联不均会使电流分布不均,出现局部电压过高的情况,进而引发直流母线过电压,长期下去还会加速滤波电容的损坏,影响变频器直流环节的可靠性。

## 2.3 输出侧过电压成因

逆变环节开关器件动作异常会引发输出侧过电压,开关器件关断时的电压尖峰会使得输出电压瞬间升高,关断速度过快会加剧电压尖峰的幅值,死区时间设置不当会导致逆变桥出现直通现象,使输出电压波形畸变、幅值异常,进而引发输出侧过电压,同时还会损坏逆变环节开关器件,影响逆变环节的正常工作。输出线路分布参数影响会引发输出侧过电压,线路电感与电容谐振会使输出电压幅值放大,超出额定输出范围,长电缆传输会加剧分布参数的影响,使谐振现象更易发生。寄生参数会导致电压反射波叠加,使输出电压出现波动和尖峰,进一步升高输出电压,引发输出侧过电压,影响输出电压的稳定性,干扰负载设备的正常工作。负载特性变化会引发输出侧过电压,电机突然甩负载会使变频器输出功率瞬间失衡,导致输出电压异常升高,传动系统相关异常会直接导致电机甩负载现象发生。负载惯性矩过大会使电机减速过程中产生大量再生能量,这些能量无法及时反馈和消耗,会反灌至变频器输出侧,导致输出电压升高,引发输出侧过电压,同时还会影响负载设备的正常运行。

## 3 变频器过电压故障的检测方法

### 3.1 输入侧过电压检测

输入侧过电压的检测通常依赖于对电网电压的直接测量。使用电压传感器可以对电网电压的幅值进行不间断的实时监测,这种监测为判断外部电网是否引入过电压提供了最直接的依据。与此同时,谐波分析仪的应用进一步深化了检测维度。该设备能够量化分析输入侧电压信号的畸变率,有效辨别单纯的电压升高与因谐波污染导致的电压波形异常。将幅值监测与波形质量分析相结合,可以更全面地评估输入侧的电能质量,并准确识别出源于电网侧的过电压风险。

### 3.2 直流母线电压检测

直流母线电压是反映变频器内部能量平衡的关键参数,其检测至关重要。检测电路通常采用精密的分压电阻网络,对高压的直流母线进行安全、成比例的降压采样。获取的采样信号随后被送入高速模数转换器<sup>[3]</sup>。该转换器凭借其高采样率与分辨率,能够精确捕捉直流母线上瞬间出现的电压毛刺与快速上升沿等瞬态现象。

### 3.3 输出侧过电压检测

输出侧的过电压检测聚焦于变频器向电机输出的电压状态。通过在输出端配置电压传感器,可以持续监测三相输出电压的幅值与相位关系,从而判断三相电压的平衡度。任何一相电压的异常抬高都能被迅速察觉。利用示波器等工具对变频器输出的脉宽调制波形进行观测分析尤为重要。重点在于分析波形开关沿是否存在过冲,以及是否伴随有衰减振荡,这些波形细节往往是输出侧因电缆反射、参数不匹配或负载突变而产生瞬时过压的直接证据。

### 3.4 过电压故障的信号采集与识别

完成信号采集后,需采用先进方法对过电压故障进行智能识别。基于机器学习(如支持向量机、随机森林)的方法可从历史波形中自动学习故障特征,避免人工设定阈值的主观偏差。卷积神经网络等深度学习方法对复杂过电压的识别准确率可达95%以上。结合大数据聚类分析与异常检测算法的预警系统,可实时监测电压数据,在过电压发生前自动预警,实现从被动保护向主动预防的转变。

## 4 变频器过电压故障的抑制与防控措施

### 4.1 输入侧过电压防控措施

输入侧过电压防控可通过安装输入侧电抗器实现,输入侧电抗器能够有效抑制电网电压的突变,减缓电压上升速度,削弱电压骤升带来的冲击,稳定输入侧电压幅值,避免电压超出变频器额定输入范围,同时还能减少电网电压波动对变频器输入环节的不良影响,降低输

入侧电气元件的老化速度,保障输入环节的正常工作状态,减少输入侧元件的故障发生率<sup>[4]</sup>。采用有源电力滤波器消除谐波干扰,能够精准滤除电网中的各类谐波成分,抑制谐波叠加引发的电压畸变和幅值升高,显著改善输入侧电压质量,减少谐波干扰对变频器输入环节的损害,从源头防控输入侧过电压故障的发生,进一步提升变频器输入环节的运行稳定性和长期工作可靠性,全方位保障变频器整体运行安全,延长变频器的整体使用寿命。

#### 4.2 直流母线过电压抑制方法

直流母线过电压可通过优化制动单元设计实现有效抑制,合理调整制动单元相关参数,提升制动单元的响应速度和工作效率,增大制动电阻功率能够显著提升再生能量的消耗效率,快速释放直流母线上堆积的多余再生能量,避免能量持续累积导致电压异常升高,保护直流母线相关元件不受过压冲击,减少直流母线元件的损坏风险。引入超级电容或储能装置可有效吸收再生能量,将多余的再生能量储存起来并进行合理利用,减少再生能量对直流母线电压的冲击,维持直流母线电压处于稳定范围,降低电压波动幅度。采用直流母线电压闭环控制策略,能够实时监测直流母线电压的动态变化,自动调整相关控制参数,精准稳定直流母线电压,有效抑制电压异常升高,保障直流环节长期稳定运行,降低直流母线相关元件的故障发生率,进一步延长变频器的整体使用寿命。

#### 4.3 输出侧过电压防控手段

输出侧过电压防控可通过优化调制策略实现,合理优化调制策略能够改善开关器件的动作特性,减少开关器件动作时产生的电压损耗,有效抑制电压尖峰的产生,改善输出电压波形的完整性,避免输出电压幅值出现异常升高,保障输出电压的稳定性和均匀性,减少电压异常对负载设备的影响,保护负载设备的正常运行状态。输出端加装电压变化率滤波器可进一步抑制电压尖峰,削弱输出电压中的瞬时过冲现象,减缓电压变化速度,稳定输出电压幅值,减少电压异常对负载设备的不良影响,保护负载设备正常工作,降低负载故障发生率<sup>[5]</sup>。合理设计输出电缆长度与参数匹配,能够减少线路分布参数和寄生参数的干扰,避免线路谐振和反射波

叠加引发的电压升高,切实防控输出侧过电压故障的发生,提升整个传动系统的稳定性和运行可靠性,保障传动系统长期稳定运行。

#### 4.4 变频器内部防护电路的优化

变频器内部防护电路优化可通过增加缓冲电路实现,缓冲电路能够有效吸收开关器件动作时产生的电压尖峰,保护开关器件免受过高电压的冲击,延长开关器件的使用寿命,避免因开关器件损坏引发的过电压故障,提升变频器内部电路的运行稳定性,减少内部电路故障的发生,降低变频器的维修成本。优化直流母线电容选型与布局,能够提升电容的滤波和稳压效果,增强直流母线电压的稳定性,减少电容异常工作导致的局部过压现象,保障直流环节正常运行,降低电容损坏的概率,延长电容使用寿命。提升电压检测电路的抗干扰能力与采样精度,能够精准捕捉各类电压信号变化,及时反馈电压异常情况,为过电压防控提供可靠的数据支撑,进一步提升内部防护的有效性和针对性,保障变频器内部各环节安全稳定运行,提升变频器整体运行可靠性。

结束语:变频器过电压故障涉及输入、直流母线、输出多个环节,成因复杂多样,检测需综合运用多种方法,抑制与防控则要针对不同部位采取针对性措施。从安装输入侧电抗器、优化制动单元,到合理设计输出电缆、优化内部防护电路等,每一步都至关重要。只有全面了解过电压故障的类型、成因,精准检测,并采取有效的抑制与防控手段,才能保障变频器稳定运行,延长其使用寿命,确保整个传动系统安全可靠,为工业生产的顺利进行提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]陈志宏.变频器过电压故障分析[J].机械与电子控制工程,2025,7(2).
- [2]周恩思.变频器电压异常分析及应对措施研究[J].上海大中型电机,2025(2):12-16.
- [3]张天胜.6kV高压变频器驱动异常跳闸故障分析及防范措施研究[J].电力设备管理,2025(11):33-35.
- [4]李琦.高压变频器常见故障分析及处理[J].仪器仪表用户,2023,30(7):110-112,33.
- [5]乔宏琦,吕艳秋,李猛.变频器过电压故障分析及处理与防护研究[J].科技创新与应用,2021(3):132-133.