

# 基于负荷特性的馈线过负荷保护方式研究

## Research on Feeder Overload Protection Method Based on Load Characteristics

张丕富

Pifu Zhang

中国铁路成都局集团有限公司达州供电段 中国·四川 达州 635000

China Railway Chengdu Bureau Group Co., Ltd. Dazhou Power Supply Section China, Dazhou, Sichuan, 635000, China

**摘要:** 馈线过负荷管理, 仅根据负荷电流、短路电流、线路条件进行整定, 借助谐波闭锁、谐波抑制提高动作可靠性。随着机车主电路的发展, 线路运行车型日趋繁杂, 传统的特征参数已不具备典型性, 难以实现馈线负荷电流的精准识别、保护的可靠控制。论文通过对不同类型机车的负荷特性进行研究, 提出针对负荷特性进行电流研判的方法, 准确识别机车负荷、故障电流, 在运输组织与设备运行安全中寻求最佳平衡点。

**Abstract:** Feeder overload management is only adjusted according to load current, short-circuit current, and line conditions, and operation reliability is improved with the help of harmonic blocking and harmonic suppression. With the development of the main circuit of the locomotive, the line running models are becoming more and more complicated, and the traditional characteristic parameters are no longer typical. It is difficult to realize the accurate identification of the feeder load current and the reliable control of the protection. This paper studies the load characteristics of different types of locomotives, proposes a method for current research and judgment based on load characteristics, accurately identifies locomotive loads and fault currents, and seeks the best balance between transportation organization and equipment operation safety.

**关键词:** 馈线过负荷; 负荷特性; 故障电流

**Keywords:** feeder overload; load characteristics; fault current

**DOI:** 10.12346/etr.v3i9.4223

## 1 引言

随着高速铁路的快速发展, 机车主电路发生巨大变化, 线路运行车型日趋繁杂, 普铁和高铁混跑, 直流和交流机车混跑, 客车和货车混跑, 传统的特征参数已不具备典型性, 难以实现馈线负荷电流的精准识别、保护的可靠控制。论文通过对不同类型机车的负荷特性进行研究, 提出针对负荷特性进行电流研判的方法, 准确识别机车负荷、故障电流, 在运输组织与设备运行安全中寻求最佳平衡点。

## 2 馈线过负荷跳闸的特征

过负荷, 从牵引供电的角度来讲, 通常是指变压器的运行状态。设计、运营的标准以及规章都对变压器的过负荷能力、

时限、保护配置均有明确的内容: 如主变允许过负荷时间曲线、主变允许过负荷时间及过负荷能力、主变过负荷告警等<sup>[1]</sup>。

在日常运营管理中, 定义的过负荷跳闸大多数是指动作对象为馈线电流超过馈线本身承载能力、跳闸原因为非设备故障的保护动作。

在达州供电段已发生的多起馈线跳闸中, 过负荷性质跳闸的比重占据了 24%, 具有以下宏观特征:

- ①电压降不高, 电压值通常大于 19kV;
- ②电流刚达到过流或电流速断整定值;
- ③电抗值远远小于电阻值;
- ④角度小于机车取流角度;
- ⑤跳闸时刻多发于机车或动车启动。

【作者简介】张丕富(1972-), 男, 中国四川成都人, 本科, 高级工程师, 从事铁路电气化运营与管理研究。

### 3 当前馈线过负荷的管理

馈线的过负荷管理主要是通过比较当前馈线负荷、馈线电流通过能力、末端短路电流，根据三者的关系配置保护，利用谐波含量识别负荷电流与故障电流，采取谐波闭锁、谐波抑制的手段控制保护出口<sup>[2]</sup>。当前的变电所综合自动化产品，谐波闭锁的特征参数均为二次谐波，谐波抑制特征参数则略有差异：有选取2、3、5次谐波作为控制量（南自、南瑞继保、许继），有选取2、3、5、7次谐波作为控制量（国电南瑞）。原理如图1~图3所示。图3中， $Z' = Z/(1+K)$ ， $K=(I_2+I_3+I_5+I_7)/I_1$  或  $K=(I_2+I_3+I_5)/I_1$ 。

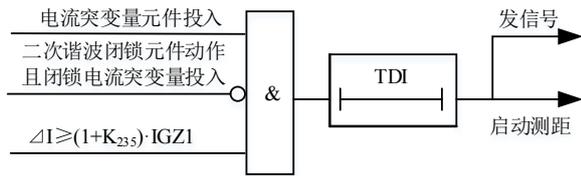


图1 自适应电流增量保护

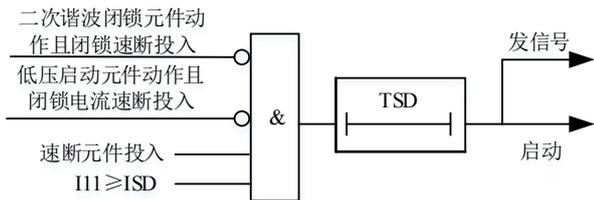


图2 自适应电流速断保护

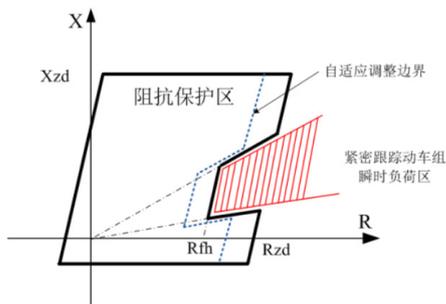


图3 自适应阻抗保护谐波抑制

上述控制方式，在相当长的时段内收效良好，也获得了普遍的推广。但是在铁路机车进入迅猛的研发期，多种车型大规模应用阶段，尤其是铁路运输线路出现普速、动车径路、客货混跑、客专、高铁多种形式后，传统的谐波闭锁、谐波抑制手段在复杂的车型组合下显得捉襟见肘，逐渐不能满足馈线过负荷管理的需要，日益增多的馈线过负荷跳闸就是最好的例证<sup>[3]</sup>。究其原因，就是负荷特性已经发生根本性的变化，而保护控制方式、手段与思维还停留交一直机车工作模式。

### 4 机车负荷特性

机车的负荷特性与自身的电路结构、工作原理息息相关。从较早前的交一直方式发展至目前的交一直一交方式，负荷

特性已发生了巨大的变化。

#### 4.1 交一直型

交一直型机车仅有整流回路，无逆变回路，SS型机车为典型代表。中国达州供电段管内运行的SS3B机车整流方式为单相不等分三段桥式全控，SS7C机车整流电路采用两段相控桥串联，其整流结构如图4所示。根据桥式全控整流回路的工作原理，对输出的电流进行傅里叶分解

$$I = 1.27I_d \left( \sin\omega t + \frac{1}{3}\sin3\omega t + \frac{1}{5}\sin5\omega t \cdots \frac{1}{n}\sin n\omega t \right) \quad (1)$$

$$n = 1, 3, 5 \cdots 2k + 1$$

由公式(1)可以看出，网侧电流仅含有奇次谐波，并且低次谐波含量大，高次谐波含量小。

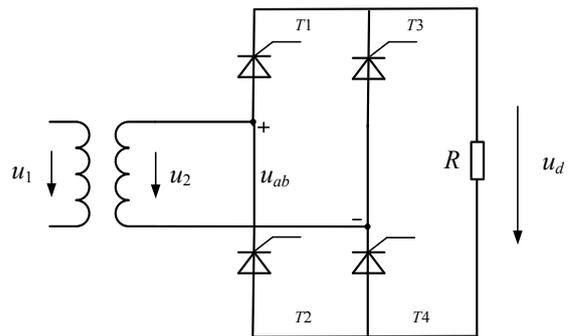


图4 单相桥式全控整流电路

#### 4.2 交一直一交型

交一直一交型机车具有完备的整流—逆变回路，涉及的主流车型有HXD机车、CRH动车组、复兴号、CR200J。基本的工作原理为27.5kV侧交流电经变压器降压、脉冲整流器整流、中间环节滤波，最后逆变输出为交流供电机驱动牵引。因能够在电压、电流平面的四个象限工作，其整流回路又叫四象限整流回路<sup>[4]</sup>。根据变流器输出的交流相电压的取值还可以分为两电平四象限整流（CRH1、3、5型动车组）和三电平四象限整流方式（CRH2、380AL型动车组）。典型的四象限整流回路如图5所示。

运用基尔霍夫定律分析两电平脉冲整流器谐波的产生机理，得到谐波的解析模型如式(2)所示。

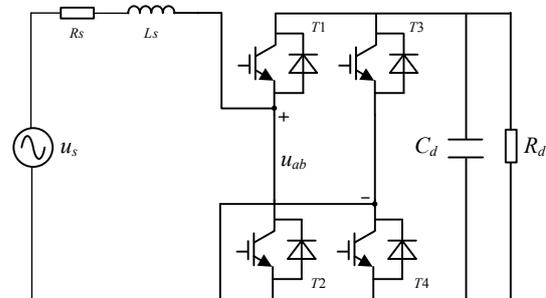


图5 四象限整流主电路图

$$i_s = \pm \frac{\sqrt{(MU_d)^2 - 2U_N^2}}{\omega_m L_s} \cos(\omega_m t + \beta) - \sum_{m=2,4,\dots}^{\infty} \sum_{n=\pm 1,3,\dots}^{\infty} \frac{4U_d}{m\pi L_s(n\omega_m + m\omega_c)} J_n\left(\frac{mM\pi}{2}\right) \cos\frac{m}{2}\pi \sin\frac{n}{2}\pi \sin(n\omega_m t + m\omega_c + n\beta + m\alpha) \quad (2)$$

由式(2)可知,谐波次数与载波比有关,谐波次数P可表示为:

$$P = n\omega_m + m\omega_c = [2k * (\omega_c / \omega_m + 1) + 1] \omega_m \quad k = 1, 2, \dots \quad (3)$$

由式(3)可知,网侧电流中仅存在奇次谐波,不存在偶次谐波,并且存在幅值较大的高次谐波电流。

以两电平四象限整流回路为对象,利用软件搭建仿真模型,并对电流进行谐波分析。主电路如图5所示。施加不同幅值和不同相角的激励,获得的谐波图形如分别如下图6~图9所示。

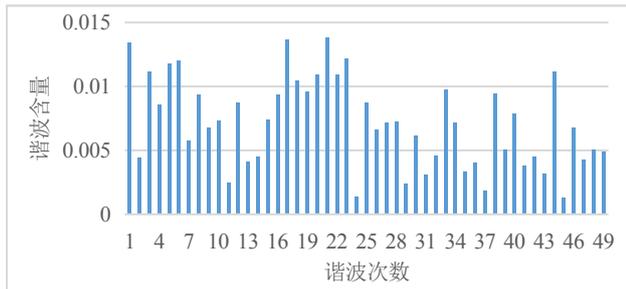


图6 电压 250V, 0kW·h

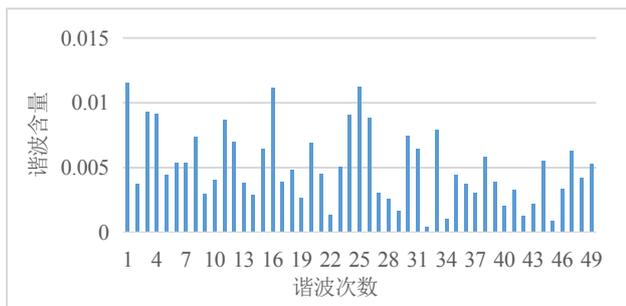


图7 电压 240V, 3kW·h

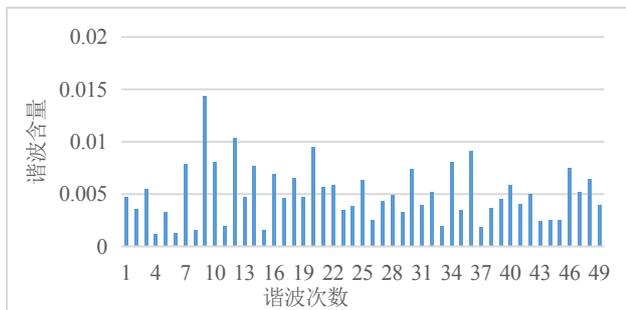


图8 电压 220V, 5kW·h

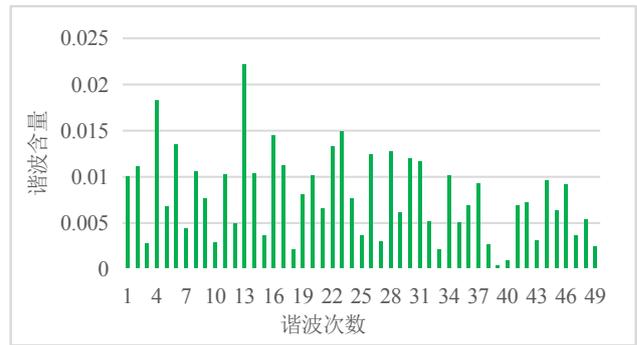


图9 电压 200V, -5kW·h

由图6~图9发现以下特点:

①谐波含量随谐波次数出现变化。通过对每一张谐波频谱进行分析,发现:虽然2、3、5、7次谐波为主要的特征谐波,但是随着激励电压变化,其他谐波,如9、11、13次谐波的含量出现明显的变化。综合自动化设备沿用2、3、5、7次谐波作为谐波抑制的特征参数,与当前的谐波分布特点不匹配,控制方式的针对性有所削弱。②谐波含量与激励的电压的幅值、相位变化产生变化。通过改变激励电压的幅值与相位,模拟机车在供电臂的不同位置取流、同一供电臂多个机车取流条件下的谐波含量,得出谐波含量与机车运行的位置、同一供电臂上运行的其他机车相关<sup>[5]</sup>。

### 5 结语

综合自动化设备沿用的二次谐波闭锁、2、3、5、7谐波抑制方式,与当前的负荷特性已经不匹配,无法满足馈线过负荷管理的要求。已经不适用于交直交车产生的高次谐波(15~51次谐波),通过以2、3、5、7谐波识别负荷电流与故障电流,实现馈线保护动作,动作的可靠性降低。建议根据负荷特性,提高谐波抑制的频率范围,将9、11等高次谐波纳入特征参数,真正实现负荷与故障电流的区分,在运输组织与设备可靠中取得平衡,经济与安全取得较为优化的解算。

### 参考文献

- [1] 刘凤,李群湛,刘巧.SS-6型电力机车仿真模型建立及谐波电流分析[J].西北电力技术,2005(6):21-22.
- [2] 郭蕾,李群湛,解绍峰,等.交一直一交高速动车组机车的谐波模型及仿真分析[J].系统仿真学报,2012(5):943-946.
- [3] 崔恒斌,冯晓岩,林轩,等.车网耦合下高速铁路牵引网谐波谐振特性研究[J].电工技术学报,2013(9):54-64.
- [4] Redmon J, Divvala S, Girshick R, et al. You only look once: Unified, real-time object detection[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV,2016:779-788.
- [5] He Z, Hu H, Zhang Y, et al. Harmonic resonance assessment to traction power-supply system considering train mode in China high-speed railway[J]. IEEE Transactions on Power Delivery. 2014,29(4):1735-1743.