

ICS 17. 220. 20

团 体 标 准

T/SMA 0026-2022

直流牵引供电系统杂散电流引起的 变压器中性点电流监测及统计方法

Monitoring and statistical method of transformer neutral point current
caused by the stray current in DC traction power system



2022-09-01 发布

2022-09-15 实施

上海市计量协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 概述	3
5 监测技术要求	3
6 测量及统计方法	4
附录 A（资料性附录）轨道交通杂散电流引起的变压器直流偏磁的原理及其治理方法	7
附录 B（资料性附录）杂散直流偏磁电流动态特性	9
附录 C（资料性附录）直流偏磁电流特征值计算方法	12
附录 D（资料性附录）直流偏磁电流影响评估分析方法	14
附录 E（资料性附录）直流偏磁数据的表示方法	16

前 言

本标准按照《上海市计量协会标准管理办法》的要求，依据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由上海市计量协会电力专业委员会提出。

本标准由上海市计量协会归口并解释。

本标准起草单位：国网上海市电力公司电力科学研究院、北京国网富达科技发展有限责任公司、上海电力大学、西南交通大学、华东电力试验研究院有限公司、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：陈璐、郭志广、吴天逸、贾跟卯、苏磊、黄华、徐湘忆、倪鹤立、王振刚、何红太、王瑞田、李晓华、魏本刚、赵文彬、李峰、卢武、高原、林圣、周福林、阮羚、唐泽洋。

本标准2022年9月首次发布。

直流牵引供电系统杂散电流引起的变压器中性点电流监测及统计方法

1 范围

本文件规定了直流牵引供电系统杂散电流引起的变压器中性点电流监测工作条件、监测技术要求、测量及统计方法。

本标准适用于110kV及以上电压等级的中性点接地变压器，因直流牵引供电系统杂散电流引起的直流偏磁监测及统计，其它电压等级的直接接地系统参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1094.23-2019 电力变压器 第23部分：直流偏磁抑制装置

GB/T 2900.89 电工术语 电工电子测量和仪器仪表 第2部分：电测量的通用术语

GB/T 28026.2-2018 轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流 第2部分：直流牵引供电系统杂散电流的防护措施

3 术语和定义

GB/T 1904.23-2019、GB/T 2900.89和GB/T 28026.2-2018界定的，以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

直流牵引供电系统 DC traction power system

将电力网输入的高压交流电降压并经过整流成为750V或1500V直流电，给机车车辆提供电能的配电网系统。

注：该系统可包括：

- 接触网系统；
- 电力牵引供电系统的回流系统；
- 与电气化走行轨道相邻且相连的非电气化走行轨道；
- 由接触网直接或经由变压器供电的电气装置；
- 发电站和变电所内单独直接给接触网供电的发电和配电的电气装置；
- 开关站的电气装置。

注：改写GB/T 28026.1-2018，定义3.4.1。

3.2

直流牵引供电系统杂散电流 Stray current in DC traction power system

特指采用直流牵引供电系统的轨道交通产生，不按规定路径流通的电流。

3.3

变压器直流偏磁 Transformers DC magnetic bias

直流电流流过变压器绕组时，造成铁心工作的磁化曲线发生偏移的现象。

注：改写 GB/T 1094.23-2019, 定义 3.1。

3.4

轨道交通杂散电流影响 Influence of the railway systems stray current

采用直流牵引供电系统的轨道交通产生的杂散电流部分侵入城市电网的变电站接地网并经变压器中性点进入绕组时，可能造成变压器直流偏磁及因此导致设备受损的影响。

3.5

杂散直流偏磁电流 The railway stray current which causing DC bias effect

特指通过变电站变压器中性点进入绕组造成变压器直流偏磁的轨道交通杂散电流。

3.6

杂散直流偏磁电流方向性 Directionality of the DC bias stray current

特指杂散直流偏磁电流在变压器中性点的方向。一般通过大地流入变压器中性点的直流偏磁电流为负极性；由接地变压器中性点散布入地的杂散直流偏磁电流为正极性。

3.7

杂散直流偏磁电流波动性 Fluctuation of the DC bias stray current

杂散直流偏磁电流的大小随轨道交通轨道上众多列车运行的启停、加速及减速等行走节律，在时间维度上大小和极性都呈现快速变化的动态波动特性。

3.8

杂散直流偏磁电流间歇性 Intermittency of the DC bias stray current

杂散直流偏磁电流受轨道列车的行驶特性影响，在一定时期具有高幅值大电流浪涌冲击特征，并具有随轨道列车进站停运而电流降为零的间歇特性，其中高幅值指超过电流绝对值平均值的电流。

3.9

杂散直流偏磁电流周期性 Periodicity of the DC bias stray current

杂散直流偏磁电流随着轨道交通高峰期、非高峰期及停运期等不同时段，以及列车的启停、加速、匀速及减速等节律，呈现一定的反复循环的周期变化规律。

注：

——轨道交通运行高峰期，是指列车运行期间出现列车数量增加和承载乘客量增加等现象的时间段，一般有早高峰及晚高峰两个时段。

——轨道交通运行非高峰期，是指列车运行期间内除高峰期以外的时间段。

——轨道交通停运期，是指列车停止运行的时间段。

3.10

统计周期 Statistical period

对杂散直流偏磁电流进行数据统计时所选取的时间维度大小，一般以分钟级、小时级进行统计。

注：

——分钟级电流统计周期主要用于统计杂散电流波动性与间歇性；

——小时级电流统计周期主要用于统计轨道交通运行高峰期、运行非高峰期以及停运期的杂散电流周期性。

3.11

偏磁电流统计特征值 Statistical characteristics of the DC Bias

采用统计方法计算所得用来表征杂散直流偏磁电流在一定条件下特性的可度量值，如最大值、最小值、平均值等。

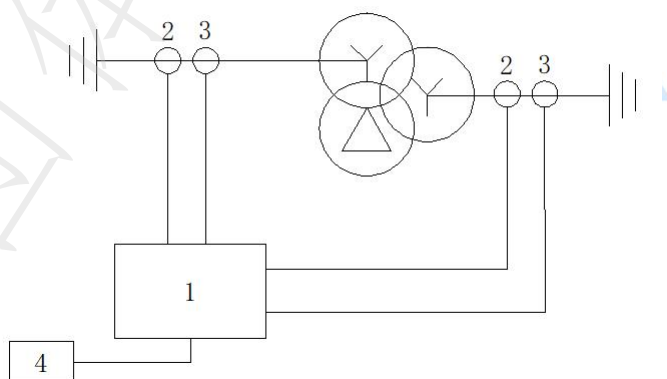
3.12

正负占比统计分布 Distribution of positive and negative proportions

指在一个统计周期内，正极性值数据量和负极性值数据量分别占总数据量的比重，可用于表征杂散电流流入电网的源站或流出电网的端站或二者兼有。

4 概述

变压器直流偏磁电流监测系统是测量杂散电流引起的变压器中性点直流偏磁电流的专用仪器。通常由直流偏磁电流监测录波装置、交直流电流传感器、交流电流传感器（可选）及统计分析后台机组成，如图1所示。



说明：

1——直流偏磁电流监测录波装置；

2——交直流电流传感器；

3——交流电流传感器（可选）；

4——统计分析后台机。

图1 变压器直流偏磁电流监测系统结构图

5 监测技术要求

5.1 工作条件

在以下环境条件中，应能正常工作：

- a) 环境温度：-10℃~40℃。
- b) 相对湿度：45%~85%。
- c) 外部电源要求：
 - 1) 额定电压：交流单相 220V±22V。
 - 2) 频率：50Hz±0.5Hz。
 - 3) 电源总谐波畸变率：≤5%。
- d) 海拔：不高于 1000m。

如工作环境超出上述规定，应经供需双方商定，进行特殊设计。

5.2 监测录波装置配置要求

- a) 直流测量范围：-100A~100A。
- b) 应具备至少 2 个通道的直流电流采集能力。
- c) 采集数据应满足 2~13 次特征谐波分量的分析要求，每通道采样频率应在 6400Hz 以上。
- d) 应具备谐波分析所必需的录波功能和数据导出功能。
- e) 应具备 RS485 或 RJ45 等方式的通信能力，可将数据传送到后台，并响应后台指令。
- f) 系统宜采用一体化可移动设计，便于现场应用。
- g) 系统可根据需要，采用在线监测方式，用于长期测量。

5.3 传感器性能要求

- a) 交直流电流传感器：一般采用双向霍尔电流元件，根据变电站预期的最大直流电流进行适配，可选择 100:1、50:1、20:1、10:1，测量误差小于 1%。
- b) 交流电流传感器（可选）：根据变电站预期的最大直流电流进行适配，可选择 100:1、50:1、20:1、10:1，测量误差小于 1%。
- c) 传感器应采用开口式设计，能够满足不停电安装的要求。

5.4 后台机技术要求

- a) 应具备 RS485 接口或 RJ45 接口或相关转接接口，与直流偏磁电流监测录波装置进行通讯。
- b) 应具备数据采集及数据记录功能，数据采集周期不大于 1s(周期内取直流偏磁电流平均值)，支持 24 小时的数据连续采集和 15 天的数据存储。
- c) 应具备数据预处理及统计分析功能。
- d) 后台机时钟应与当地标准时间同步，同步误差不大于 0.1ms。
- e) 应至少具备 6 通道数据并行处理的能力。

6 测量及统计方法

6.1 测点选择

6.1.1 站点选择

- a) 距离原则：距离轨道交通线4km以内中性点有效接地的变电站。重点考虑轨道交通网络密集区域、距离轨道交通线500m以内且临近两条及以上轨道交通交汇点的变电站；重点考虑位于城市中心、商业中心且周围具有复杂地下建筑条件的变电站。
- b) 异常原则：运行过程中出现振动、噪声超标等异常情况的变电站。
- c) 同等条件下，优先考虑电压等级更高的变电站。
- d) 关联选站：对于直流偏磁电流正负占比分布存在正值直流偏磁电流占主导或负值直流偏磁电流占主导的变电站，根据城市供电系统电气拓扑结构，应重点考虑其关联站点。
- e) 针对轨道交通杂散电流引起的直流偏磁进行过专项治理措施，或因重大改造导致接地方式变化的变电站应进行后续跟踪监测。轨道交通杂散电流引起的变压器中性点直流偏磁治理方法，参见附录A。

6.1.2 站内测点选择

- a) 主变高压侧和中压侧都存在中性点接地，可同时监测高、中压侧的中性点直流偏磁电流，重点关注高压侧情况。
- b) 对于变电站有两台及以上主变高压侧中性点都接地的情况下，各主变中性点均应监测。
- c) 对于城市变电站采用电缆进出线的情况，宜对电缆护套的直流电流进行监测，考虑电缆外护层分流的杂散电流部分，综合评估轨道交通杂散电流对主变的影响。

6.1.3 区域电网整体评估选点

对区域电网的直流偏磁情况进行整体评估，除满足6.1.1的要求外，测量选点还应满足以下要求：

- a) 宜覆盖不同电压等级变电站：包括500kV变电站、220kV变电站、110kV变电站等。
- b) 宜覆盖不同的变电站类型：重点关注城市中心站、商业中心站、地下站等。
- c) 宜覆盖不同的轨道交通类型：包括地下、地上轨道交通线路附近的变电站。

6.2 同步测量

6.2.1 同一变电站内的同步测量

- a) 宜选择工作日轨道交通运行高峰期，在相同时刻选取相同的单元时间进行测量。
- b) 不同变压器的同步测量：对于变电站内有两组以上高压侧中性点有效接地的变压器，通过两组以上传感器或监测系统，采用同步测量的方式，记录单元时间内动态曲线数据以及一段时间内的特征值数据，以分析相同或不同电网连接关系下的直流偏磁电流相关性。

6.2.2 不同变电站的同步测量

- a) 宜选择工作日轨道交通运行高峰期，在相同时刻选取相同的单元时间进行测量。
- b) 关联站点的同步测量：本站变压器与有电网连接关系的对端变电站的相应变压器进行同步测量，以研究直流偏磁电流在电网中的传输和散布规律。

6.3 传感器布置

- a) 变压器中性点通过的直流电流以经中性点到大地方向为正，传感器安装正方向指向接地网。
- b) 根据现场接地点条件选择合适量程及口径的传感器，不停电方式安装于变压器中性点接地扁铁或引下线，也可安装于电缆外护层接地扁铁或引下线。
- c) 针对变压器中性点两点接地的电流测量，需要测量出入地电流的分配关系，以计算中性点的整体电流。可采用两组传感器数据之和，或通过两组传感器同步测量计算电流分配比例后，再由一组传感器采集，按比例计算出中性点整体电流的大小。

6.4 动态连续记录

- a) 动态采样周期1s, 记录每秒内的直流偏磁电流算术平均值, 反映统计周期内的直流偏磁电流波动性、直流偏磁电流间歇性以及直流偏磁电流周期性。杂散直流偏磁电流的动态特性, 参见附录B。
- b) 一个统计单元时间周期为5分钟, 单元时间内记录300个点的数据并形成动态曲线。

6.5 特征值统计

6.5.1 单元时间内的特征值

以5分钟为一个统计周期进行单元时间内的动态连续记录, 统计分析直流偏磁电流相关特征值, 包括平均值、最大正值电流、最大负值电流、电流绝对值平均值、正负占比分布等。统计方法参见附录C。

6.5.2 连续的特征值记录

按照(6.4 b)中规定的统计周期, 计算相关特征值并存储, 并以此周期的起点作为特征值记录的时间标志, 记录连续多个统计周期的特征值。

6.5.3 单次测量特征参数获取

单次测量可采用工作日轨道交通运行高峰期测量的特征参数来表征变电站中性点直流偏磁电流的属性。

6.5.4 在线监测特征参数获取

在线监测可采用日直流偏磁电流特征值表征当日的直流偏磁特征参数, 日直流偏磁电流的特征值取日直流偏磁电流最大值、日直流偏磁电流最小值、日直流偏磁电流平均值、日直流偏磁电流绝对值最大值、日直流偏磁电流绝对值平均值:

- a) 当统计日直流偏磁电流特征值时, 监测装置的工作模式为连续采集, 从0:00开始, 至次日0:00止, 每5分钟的数据计算得出单元时间特征值。
- b) 日直流偏磁电流最大值取当日直流偏磁电流最大值。
- c) 日直流偏磁电流最小值取当日直流偏磁电流最小值。
- d) 日直流偏磁电流平均值取当日所有单元时间内的直流偏磁电流平均值的算术平均值。
- e) 日直流偏磁电流绝对值最大值取当日直流偏磁电流绝对值最大值。
- f) 日直流偏磁电流绝对值平均值取当日所有单元时间内的直流偏磁电流绝对值平均值的算术平均值。

6.6 直流偏磁影响评估分析方法

参见附录D。

6.7 直流偏磁电流数据表示方法

参见附录E。

附录 A

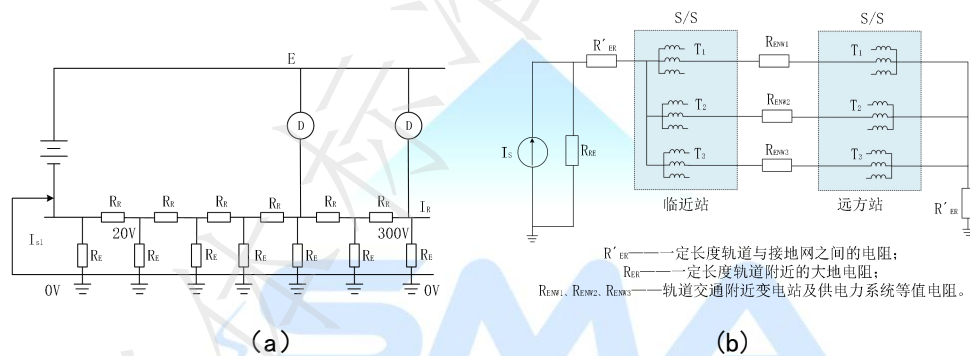
(资料性附录)

轨道交通杂散电流引起的变压器直流偏磁的原理及其治理方法

A.1 轨道交通杂散电流对城网电站系统的吸引、传播及散布原理

轨道交通直流牵引系统产生的杂散电流，如下图A.1a所示，列车行驶时电动机做功产生电流，并在走行轨（回流导体）电阻上形成电压降及对地电位，此电位通过道床绝缘电阻向沿途大地泄漏杂散直流电流（以下简称杂散电流）。对于杂散电流影响及防护方面，相关国家标准的防护措施主要针对城市金属管网，钢筋水泥结构及接地系统等，并设定了单线平均杂散电流不大于 2.5mA/m （引用GB标准）的规定，限制杂散电流对金属物体的电化腐蚀。而对轨道交通沿线附近 $200\sim 3000$ 米距离范围内众多的城市 500kV 、 220kV 交流电网（以下简称城网）及其变电站（以下简称电站），特别是对接地变压器造成的直流偏磁影响及防护方面并未提及。

轨道交通泄露杂散电流后，一是通过自然的大地电阻散布，二是通过非自然的地表电阻（地表金属管网钢筋水泥基础等）散布，三是通过城网电站接地网及接地变压器，以及输电网络构成的对地电阻散布，如图A.1b所示，杂散电流最终通过远方电站处的理想大地返回到牵引直流电源处。



图A.1 轨道交通泄露杂散电流对城网电站系统吸引、传播及散布原理示意图

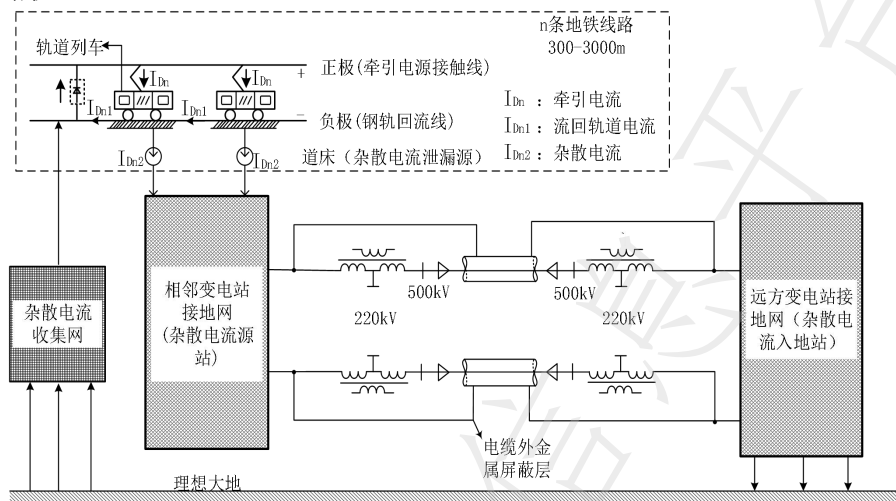
A.2 轨道交通杂散电流引起的变压器直流偏磁的治理参考案例

以某 500kV 电缆互联的双端电站系统为案例，对电站临近或附近城轨杂散电流被吸引、传播及散布的电气系统及电路原理如图A.2所示。

图中远方站 500kV 母线为大电网电源系统，相邻及远方站 220kV 母线为当地主要供电系统。计算显示如图A.2所示电缆互联的双端电站系统中的电站接地网、接地变压器线圈及电缆线路，双端接地的电缆外金属屏蔽层的电阻（包括 500kV 电源、 220kV 供电系统等值接地电阻）构成的拓扑结构电路，其总的归算电阻值极低，不大于 0.1Ω 。

根据杂散电流及传播、散布电路形成的电压降及电位分布计算表明，城市中心站接地网的电位约为 4.44V ，而近郊远端站其电位约为 3.28V ，对比GB/T 28026.2-2018《直流牵引供电系统杂散电流的防护》的规定，轨道的电位在 $20\sim 300\text{V}$ 之间（距直流牵引电源越远，电位越大），因此，具有极低电阻值的城网及其非常良好的电站接地网，共同形成了一个位于城市中心或城区的局部电位塌陷区或凹陷区，具备了强烈吸入（引）临近或附近城轨线路高电位区散布的杂散电流的电场和电路条件。城轨杂散电流侵入电网系统具有相当的普遍性，极低电位的塌陷小区与周边的轨道沿线走行轨电位 $20\sim 300\text{V}$ 的巨大差

异，以及连片的具有极低电阻率和良好导电性的地下建筑，是城市轨道交通杂散电流被城网系统强烈吸引的电场及电路机理。



图A.2 某500kV电站系统对临近轨道交通杂散电流吸收、传播及散布原理图

根据典型城网系统吸引杂散电流的监测数据统计及对其电阻拓扑结构电路建模的研究分析，发现在以电缆线路为主的城市电网，由接地变压器线圈、电缆线路等电能传输电路构成的电阻电路通道（包括500kV电源、中压侧220kV供电系统等值接地电阻分支）及由双端接地的电缆线路金属外屏蔽护层构成的电阻电路，二者独立且并行分担轨交杂散电流的传播及散布任务。

两个通道电路的等值电阻非常小（接近或小于 0.05Ω ），因此在受到杂散电流直流偏磁影响的接地变压器中性点通道加装 $1\sim 3\Omega$ 小电阻即可有效阻塞并转移全部的杂散电流到电缆外护层通道，降低并消除杂散电流对变压器线圈的直流偏磁影响，且对于对地绝缘的屏蔽外护层铝导体的影响可忽略不计。

电缆互联的城网电站系统通常配置超大容量的变压器，在系统发生单相接地故障时中性点 $3I_0$ 零序电流过大，由此导致中性点阻塞转移电阻耐受短时电流水平过大，可采用线圈结构环氧树脂整体浇铸式有感电阻装置，配置 $1\sim 3\Omega$ 线圈电阻阻塞杂散电流，以及 $2\sim 6\Omega$ 线圈电抗限制中性点 $3I_0$ 零序短路电流不超过8kA水平。

附录 B

(资料性附录)

杂散直流偏磁电流动态特性

B.1 典型的轨道交通列车运行动态特性

城市轨道交通列车经过变电站附近时，有匀速运动、进站反向逆变制动、出站加速运动等以2~3分钟为循环重复周期，及秒级短时快速变化为特征的牵引功率变化，由此列车电动机工作产生的负极走行轨电流也呈现分钟级的快速变化，此动态过程进一步产生的走行轨杂散电流，也具有冲击浪涌、间歇波动的动态特征。典型的城市轨道交通单台列车运行时产生的杂散电流动态特性示意如图 B.1所示，其运行周期时间约为两分钟至三分钟，包括起步加速、匀速运行、制动减速以及停车上人四个过程。

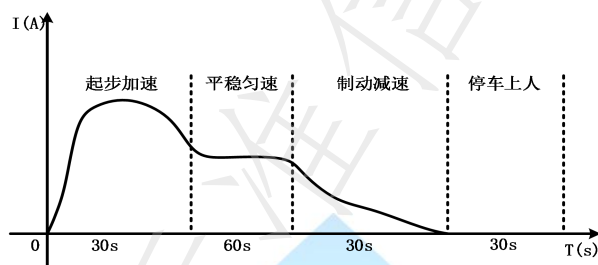
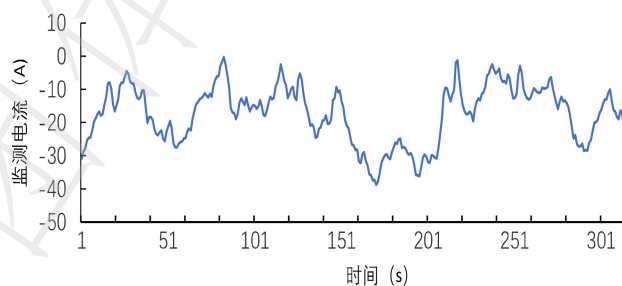
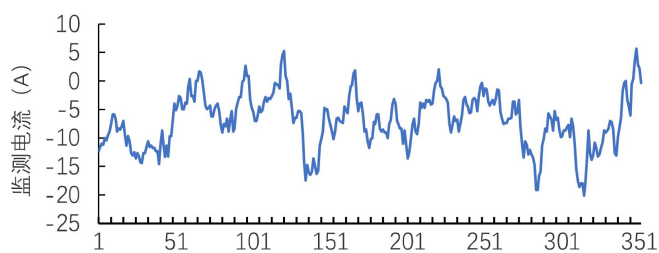


图 B.1 典型的轨道交通列车运行动态特性示意图

B.2 直流偏磁电流的波动性、间歇性以及周期性



(a) 500千伏JA站1#主变



(b) 220千伏TS站1#主变

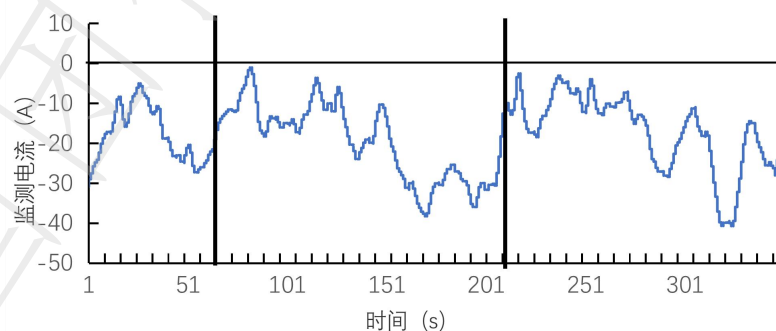
图 B.2 不同变电站中性点杂散电流变化曲线

由轨道交通产生的杂散电流在散布过程中通过城市电网变电站的接地网流入变压器绕组,造成变压器的直流偏磁影响。通过实际监测变压器中性点杂散电流,对比轨道交通列车运行动态特性,对于受到轨道交通杂散电流影响的变电站,在一段连续的时间维度上,其中性点杂散电流应具有与轨道交通车辆运行相对应的波动性、间歇性以及周期性。

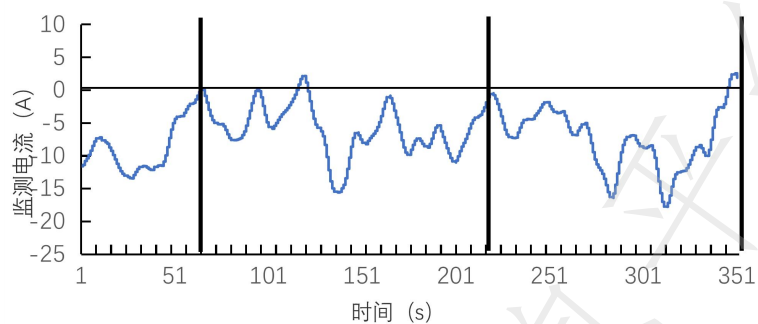
如图 B.2所示,500千伏JA站1#主变和220千伏TS站1#主变中性点杂散电流波形均具有一定的波动特性,但其波动的幅值、频率、大小都不尽相同。JA站与TS站内变压器所受杂散电流的影响并不具有类似于轨道列车运行动态特性那样清晰统一可定量描述的特性,这是因为一座变电站内变压器中性点直流偏磁电流并非单纯的只受单台轨道交通列车运行影响,而是受到其地理位置上相邻的一条或几条不同长度轨道上的数辆列车的叠加效应影响,除此之外还会受到附近变电站的变压器中性点以及高压、超高压电缆金属屏蔽层共同吸收并散布的杂散电流的叠加影响,因此不同的变电站变压器中性点电流呈现出不同规律的波动性。

对比于轨道列车运行的间歇性,杂散电流主要表现为间歇的电流冲击特性。因轨道列车运行时起步加速阶段会造成大量杂散电流的瞬间泄露,而在平稳匀速和减速制动时会有持续的杂散电流泄露,在停车上人阶段不会产生杂散电流,因此变压器中性点杂散电流受轨道列车运行特性影响,会相应的呈现电流的浪涌冲击与间歇特性。

对所监测电流数据预处理,剔除异常数据并进行平滑性分析,相应的拟合曲线图 B.3所示。观察JA站1#主变杂散电流曲线,可以看出在5分钟时间段里存在两个类似变化趋势的区间,区间时长在150秒左右,相应的TS站1#主变也存在同样现象。结合城市轨道交通列车运行的动态周期特性,可以定性描述变压器中性点杂散电流具有一定的周期性,该周期性与其周围地铁线路的运行规律相关。因不同变电站周边轨道分布不同,其电流波动特性也不尽相同,但均具有各自的波动周期。同时可以看出在每个周期内存在2~3次电流的强烈冲击性,该现象与地铁线路上单台列车的运行启停以及多台列车的叠加效应有关。



(a) JA站1#主变



(b) TS站1#主变

图 B.3 不同变电站中性点杂散电流高斯平滑拟合曲线

结合城市轨道交通的运行动态特性,基于大规模的实际监测对不同变电站变压器中性点杂散电流进行波形分析,可以总结出受城市轨道交通影响,变电站内各主变中性点杂散电流具有波动性、间歇性以及周期性等特性。

附录 C

(资料性附录)

直流偏磁电流特征值计算方法

C.1 电流最大值、最小值及平均值

所测得的数据为霍尔传感器采集的偏磁电流的时间序列 $\{I_1, I_2, I_3 \dots I_n\}$ ，统计所得数据的最大值为：

$$I_{max} = \max\{I_1, I_2, I_3 \dots I_n\} \dots \dots \dots (1)$$

所得数据的最小值为：

$$I_{min} = \min\{I_1, I_2, I_3 \dots I_n\} \dots \dots \dots (2)$$

所得数据的平均值为：

$$I_{mean} = \frac{I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n}{n} \dots \dots \dots (3)$$

C.2 电流绝对值最大值及绝对值平均值

将所测得的偏磁电流的时间序列 $\{I_1, I_2, I_3 \dots I_n\}$ 取绝对值得到 $\{|I_1|, |I_2|, |I_3| \dots |I_n|\}$ ，统计绝对值的最大值为：

$$|I|_{max} = \max\{|I_1|, |I_2|, |I_3| \dots |I_n|\} \dots \dots \dots (4)$$

绝对值的平均值为：

$$|I|_{mean} = \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + \dots + |I_n|}{n} \dots \dots \dots (5)$$

C.3 电流正值分布概率

对所得偏磁电流的时间序列 $\{I_1, I_2, I_3 \dots I_n\}$ 统计其正负电流分布概率，设所得偏磁电流个数为 N ，正值电流个数为 N_+ ，则得到正值电流所占比例为：

$$P_+ = \frac{N_+}{N} \dots \dots \dots (6)$$

通过统计分析对所得偏磁电流的时间序列的特征值，可以直观的得出偏磁电流的分布规律，便于观察偏磁电流对于变压器的影响。



附录 D

(资料性附录)

直流偏磁电流影响评估分析方法

D.1 短时波动性分析

通过对特定变压器特定单元时间的直流偏磁动态曲线以及相关特征值分析,可判定该时间内直流偏磁电流的有无、大小以及波动特性。

D.2 特征值曲线分析

一段时间内的特征值曲线,可用来分析该变电站中性点直流偏磁电流在轨道交通运行工作日、双休日在高峰期、非高峰期、停运期各时段间的变化,快速掌握直流偏磁电流的规律。通过中性点直流偏磁电流日特征参数,可快速掌握当天的直流偏磁水平。

D.3 关联性分析

D.3.1 背景信息记录

分析变电站变压器中性点的电流,应记录如下背景信息:

- a) 变电站的类型、变电站的位置信息、周围环境情况、周围轨道交通情况。
- b) 变压器电压等级、绕组方式、容量信息、接地方式等。
- c) 测量期间负荷情况、电压水平、谐波、背景谐波等信息。

D.3.2 同一变电站的关联分析

考虑同一站内的直流偏磁电流的同步性及特征,应分析:

- a) 直流偏磁电流波动性特性,研究相同与不同连接关系的变电站间的差异。
- b) 直流偏磁电流周期性特性。
- c) 轨道交通杂散电流源形式。
- d) 不同中性点之间的差别,分析存在的可能原因,包括电压器类别、中性点接地方式、母线接线方式、拓扑方式等。
- e) 直流偏磁电流与谐波电流的关系。
- f) 直流偏磁电流与变压器噪声、变压器振动等的关系。

D.3.3 不同变电站的关联分析

考虑不同变电站内的直流偏磁电流的同步性及特征,应分析:

- a) 不同变电站之间直流偏磁电流的差别,分析存在的可能原因,包括变电站电压等级、地上变电站地下结构、变压器类别、中性点接地方式、母线接线方式、拓扑方式等。
- b) 直流偏磁电流与周围环境的关系,包括周围轨道交通种类、密集度及距离情况、周围建筑物及岩土层情况等。

D.3.4 电流动态曲线与特征谐波、噪声及振动同步测量

为研究其它物理量与直流偏磁电流的之间的关系,特征谐波、变压器振动和噪声测量与直流偏磁电流测量时应满足以下要求:

- a) 选择工作日轨道交通运行高峰期,选择在相同的单元时刻内。

b) 直流偏磁电流测量装置应在直流偏磁动态测量电流值达到一定阈值时启动特征谐波的录波。

变压器振动与噪声的测量系统，应与直流偏磁电流系统的时钟进行同步，同步误差不超过0.1ms。测量的单元时间设置应与直流偏磁电流的单元时间设置一致，应计算秒级的统计数据记录，形成与直流偏磁电流动态变化一致的曲线。



附录 E

(资料性附录)

直流偏磁数据的表示方法

E.1 单元时间内电流表示法

- a) 单元时间内的电流，用6个特征值反映此单元时间内的特征值。
- b) 用图表反映该时间内变化的曲线，图表采用二维图形展示，横坐标为时间，间隔1秒，共300组数据，纵坐标为每秒的平均电流值。

E.2 直流偏磁电流特征值趋势表达

- a) 表格展示：直流偏磁特征数据可以表格方式展示。其中时刻是一个周期（5分钟）的起始时间，电流单位为A，每行为一个周期内的电流数据。
- b) 图形展示：以二维图形的方式展示特征值的变化趋势，二维图的横坐标为时间，纵坐标是对应的某个特征量，如直流偏磁电流最大值。

E.3 数据对比展示

- a) 相同单元时间内的不同变压器中性点直流偏磁电流对比：以二维图形的方式展示该时间内两组或以上直流偏磁电流数据的变化趋势，横坐标为时间，间隔1秒，共300组数据，纵坐标为每秒的平均电流值。不同的曲线要有明确的区分。
- b) 不同单元时间内的同一变压器中性点直流偏磁电流对比：采用两组或以上二维曲线来表示，每一组曲线代表不同单元时间的直流偏磁电流数据。可分析同一中性点直流偏磁电流在不同时刻的波动性差异。
- c) 相同时间段内的不同变压器中性点直流偏磁电流特征值趋势分析：以二维图形的方式展示两组或以上直流偏磁数据的特征值的变化趋势，横坐标为时间，纵坐标是对应的某个特征量，如直流偏磁电流最大值。不同的曲线代表不同的变压器中性点的特征数据。

不同时间段内的同一变压器中性点直流偏磁电流特征值趋势分析：采用两组或以上二维曲线来表示，每一组曲线代表不同时间段内的直流偏磁电流特征数据（如最大值）的变化趋势。可分析同一变电站中性点直流偏磁电流在工作日高峰期、非高峰期之间、工作日与非工作日之间、直流偏磁治理前后的差异。