

# 团 体 标 准

T/CSEE XXXX—YYYY  
代替 T/XXXX

## 城市轨道交通牵引系统及其供电网直流偏 磁电流同步监测技术导则

Technical Guidelines for synchronous Monitoring the DC Biasing Current  
in the Traction System and Power Supply Network of Urban Rail Transit

(送审稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中国电机工程学会 发布

# 目 次

前 言.....	3
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语及定义.....	4
4 监测点布设原则.....	5
4.1 总体原则.....	5
4.2 特征牵引站的选择原则.....	5
4.3 特征变电站的选择原则.....	5
5 监测方法.....	5
5.1 总体方法.....	5
5.2 取样及测量方法.....	6
5.3 电网侧.....	6
5.4 同步方法.....	7
5.5 监测数据传输.....	7
6 技术要求.....	7
6.1 一般要求.....	8
6.2 监测装置技术要求.....	8
6.3 同步监测系统技术要求.....	8
7 监测结果分析.....	9
7.1 馈电电流及直流偏磁电流的提取.....	9
7.2 关联分析.....	9
附 录 A（资料性） 特征牵引站取样点的确定.....	10
附 录 B（资料性） 城市轨道交通牵引供电系统直流入地电流监测数据格式.....	11
附 录 C（资料性） 城市轨道交通牵引供电系统直流入地电流同步监测平台构建方法.....	12
附 录 D（资料性） 直流入地电流关联分析方法.....	13

## 前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准化管理办法》、《中国电机工程学会标准化管理办法实施细则》的要求，依据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能是涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电机学会城市供电与可靠性专业委员会提出并归口。

本文件主要起草单位：国网湖北省电力有限公司电力科学研究院，国网上海市电力公司电力科学研究院，武汉新电电气股份有限公司，武汉地铁集团有限公司，国网湖北省电力有限公司武汉供电公司，广西电网有限责任公司电力科学研究院，中国电力科学研究院有限公司，国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司，清华大学，西南交通大学，武汉大学，天津大学，国网北京市电力公司电力科学研究院，国网河南省电力有限公司电力科学研究院，国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院，许继电气股份有限公司，国网武汉供电设计院有限公司，南方电网科学研究院有限责任公司，中铁第四勘察设计院集团有限公司，广东电网有限责任公司广州供电局电力试验研究院，深圳供电局有限公司，广东电网有限责任公司佛山供电局，深圳地铁建设集团有限公司，河南九域恩拜电力技术有限公司

本文件主要起草人：杨志淳，唐泽洋

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：[cseebz@csee.org.cn](mailto:cseebz@csee.org.cn)）。

# 城市轨道交通牵引系统及其供电网直流偏磁电流同步监测技术导则

## 1 范围

本标准规定了城市轨道交通牵引系统及其供电网直流偏磁电流同步监测的方法、布点原则、监测装置及系统的技术要求、监测数据处理等内容。

本标准适用于因城市轨道交通牵引系统引起的变电站直流偏磁电流的同步监测。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.5 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击

GB/T 2423.6 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Eb和导则：碰撞

GB/T 2423.7 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ec和导则：倾跌与翻倒（主要用于设备型样品）

GB/T 2423.8 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ed：自由跌落

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 17626（所有部分）电磁兼容 试验和测量技术

GB/T 28026.1-2018 轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流 第1部分：电击防护措施

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

DL/T 1786-2017 直流偏磁电流分布同步监测技术导则

CJJ/T 49-2020 地铁杂散电流腐蚀防护技术标准

## 3 术语及定义

下列术语和定义适用于本文件

### 3.1

**电力牵引供电系统** electric traction system

给机车车辆提供电能的配电网系统

### 3.2

**牵引变电所** traction substation

把外部电源的电压和频率变换成牵引供电系统的电压和频率的供电装置。

### 3.3

**杂散电流** stray current

不按规定路径流通的电流。

### 3.4

**直流偏磁电流** DC bias current

流经以线路、变压器绕组、变压器中性点接地点为回路的直流电流。

### 3.5

**特征变电站** characteristics substation

符合城市轨道交通牵引供电系统直流入地电流监测布点原则的电网变电站。

### 3.6

**特征牵引站** characteristics traction substation

符合城市轨道交通牵引供电系统直流入地电流监测布点原则的轨道交通牵引变电所。

### 3.7

**同步监测系统** synchronous monitoring system

利用广域网与所有监测装置构建成统一的监测系统,从而实现电网内各特征变电站变压器中性点直流偏磁电流同步监测、数据处理和对比分析。

## 4 监测点布设原则

### 4.1 总体原则

选取特征牵引站和变电站进行布点监测。

### 4.2 特征牵引站的选择原则

特征牵引站应至少满足以下原则之一:

- a) 事件发生原则: 曾出现过钢轨电压过高导致钢轨过电压保护装置动作的牵引站。
- b) 横向原则: 以特征变电站为中心, 选择特征牵引站; 对于双边供电模式, 距离特征变电站最近的 2 个轨道交通牵引站; 对于单边供电模式, 距离特征变电站最近的 1 个轨道交通牵引站。
- c) 纵向原则: 轨道交通线路首末端的牵引站。

### 4.3 特征变电站的选择原则

特征牵引站应至少满足以下原则之一:

- a) 事件发生原则: 持续受到直流偏磁影响, 且直流偏磁变化特征(发生时间)与轨道交通运行时段高度关联的变电站。
- b) 距离原则: 轨道交通线路 3km 范围的变电站。
- c) 纵向原则: 特征变电站站应沿轨道交通线路纵向分布。

## 5 监测方法

### 5.1 总体方法

在轨道交通侧和电网侧选定的特征站点安装在线监测装置，同步测量轨道交通牵引站的馈电电流、电网变电站直流偏磁电流。

## 5.2 取样及测量方法

### 5.2.1 轨道交通侧

根据轨道交通供电方式，确定取样点数量，具体参见附录 A。如图 1 所示，在特征牵引站馈电柜的馈电电缆处安装霍尔传感器进行电流取样。

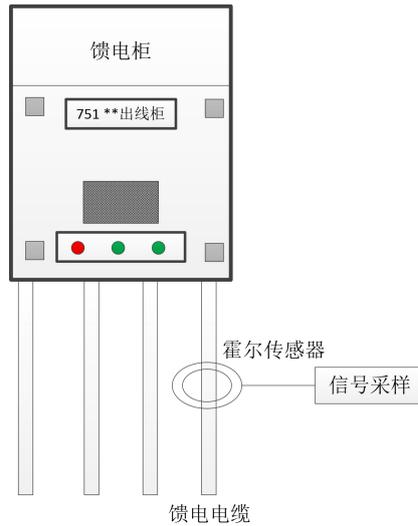


图 1 轨道交通侧牵引站馈电电流取样

## 5.3 电网侧

### 5.3.1 确定取样方法

根据变压器中性点接地扁铁的长短、间隙等，确定取样方法。

### 5.3.2 取样及测量方法

### (1) 电阻法

如图 2 所示，在变压器中性点的接地引下线上安装夹具，U+和 U-作为电压取样夹具，两个电压取样夹具之间的引下线电阻作为取样电阻。

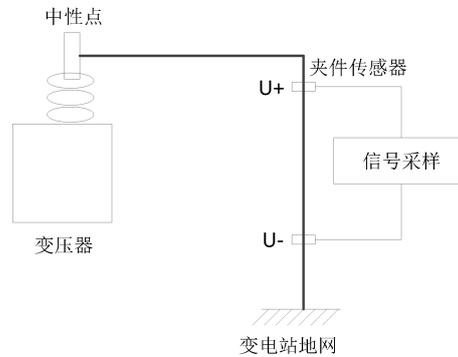


图 2 电网侧直流偏磁电流的电阻法取样

### (2) 霍尔法

如图 3 所示，在变压器中性点的接地引下线上安装霍尔传感器进行电流取样。

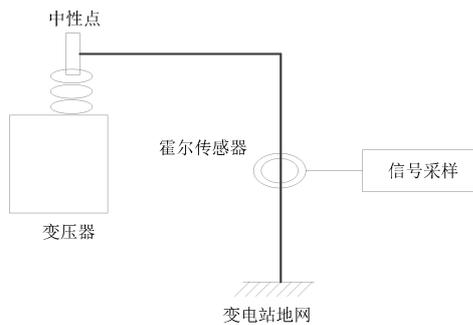


图 3 电网侧直流偏磁电流的霍尔法取样

## 5.4 同步方法

NTP (Network Time Protocol) 时钟同步。由 4G 无线路由器搭载 NTP 模块获取实时准确的互联网时间，通过该网络时间为单片机高稳定晶振授时，由高稳定晶振控制同步采集时刻，24 小时对时一次。

## 5.5 监测数据传输

### 5.5.1 数据传输

监测系统通过 GPRS 网络进行数据传输，监测终端应与服务器进行自动通信。

### 5.5.2 数据要求

轨道交通侧上传的监测数据应包括馈电电流值、采集时刻及传感器参数、温度、特征牵引站对应的地址码信息、馈电电缆编号信息。数据格式应统一（见附录 B）

电网侧上传的监测数据应包括特征变电站直流偏磁电流值、采集时刻、传感器参数、温度、变压器对应的地址码信息。数据格式应统一（见附录 B）

## 6 技术要求

## 6.1 一般要求

### 6.1.1.1 6.1.1 监测要求

监测系统应能对轨道交通特征牵引站的馈电电流及电网特征变电站变压器中性点直流偏磁电流进行同步、连续监测，实时记录电流的大小。

### 6.1.1.2 6.1.2 通信要求

监测装置通信接口应满足现场工业控制总线要求，通信协议应符合 DL/T 860.3 中抽象服务通信接口的规定。

## 6.2 监测装置技术要求

### 6.2.1.1 6.2.1 性能要求

监测装置的绝缘性能、电磁兼容性能、机械性能、连续通电性能、外壳防护性能应满足 GB/T 17626、GB/T 2423.1、GB/T 2423.2、GB/T 2423.5~ GB/T 2423.8 和 GB/T 4208 的相关要求。

对于室内及遮蔽场所使用的装置，应满足 IP31 的要求；对于户外使用的装置，应满足 IP55 的要求。

### 6.2.1.2 6.2.2 功能要求

监测装置应具备轨道交通侧馈电电流和电网侧直流偏磁电流采集、时钟同步、数据传输、在线标定等功能，并应兼容多种通信接口，能够按照统一的通信规约接入监测系统。

### 6.2.1.3 6.2.3 技术指标

- a) 测量范围：电网侧直流偏磁电流 $-200\text{A}\sim+200\text{A}$ ，轨道交通侧馈电电流 $-4000\text{A}\sim+4000\text{A}$ 。
- b) 测量准确度：当电流绝对值大于 10A 时，准确度为 $\pm 3\%$ ；当电流绝对值小于 10A 时，准确度为 $\pm 0.3\text{A}$ 。
- c) 测量间隔：1s（可配置）。
- d) 采集频率：5kHz（可配置）。
- e) 装置同步精度： $\leq 1\text{s}$ 。
- f) 工作电源：直流 5~36V；交流 220（ $1\pm 10\%$ ）V、频率 50（ $1\pm 5\%$ ）Hz。
- g) 使用环境温度： $-20^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。
- h) 使用环境相对湿度： $\leq 95\%$ 。

## 6.3 同步监测系统技术要求

### 6.3.1 总体要求

应以城市电网中的特征变电站及轨道交通特征牵引站为对象，构建统一的监测平台。监测平台构建方法参见附录 C。

### 6.3.2 功能要求

- a) 应具备数据收发、处理、综合分析、预警等功能。
- b) 能够实时显示装置运行状态和监测数据，可设置采集时间间隔、数据上传频率等。
- c) 能够对装置进行远程校验和在线升级。
- d) 能够以语音、短信、灯光等形式对直流偏磁电流越限进行预警。
- e) 能够保存不少于 1 年的监测数据，供查询和分析。

f) 能够通过图形界面实时显示基于 GIS 地图的轨道交通线路及其沿线电网监测站点信息，并实时展示各监测站点直流偏磁受影响程度。

g) 能够对轨道交通特征牵引站、电网特征变电站的监测数据进行对比分析与展示。

## 7 监测结果分析

### 7.1 馈电电流及直流偏磁电流的提取

馈电电流及直流偏磁电流均为直流电流。为得到有效的直流电流测量结果，应对采集的直流电流信号中工频或高次谐波信号进行抑制处理。通常采用硬件滤波或软件算法实现。采用时间常数为 20ms 整数倍积分电路提取直流电流。

### 7.2 关联分析

#### 7.2.1 电流方向

规定轨道交通侧馈电电缆的直流电流方向：从馈电电缆流入轨道交通列车为正，从轨道交通列车流入馈电电缆为负。

规定变压器中性点直流电流的方向：从变压器流入大地为正，从大地流入变压器为负。

#### 7.2.2 特征变电站与特征牵引站关联分析

计算特征牵引站馈电电流、特征变电站直流偏磁电流大小，考虑电流的方向，采用关联规则挖掘分析算法，分析特征变电站直流偏磁电流大小与特征牵引站馈电电流大小之间的关联性，通过支持度、置信度来表示关联的强弱。关联分析方法见附录 D。

#### 7.2.3 特征变电站之间关联分析

计算各特征变电站直流偏磁电流大小，考虑电流的方向，采用关联规则挖掘分析算法，分析各特征变电站直流偏磁电流大小之间的关联性，通过支持度、置信度来表示关联的强弱。关联分析方法见附录 D。

附录 A

(资料性)

特征牵引站取样点的确定

如图 A.1 所示双边供电模式下的特征牵引站取样点，以牵引变电站 A 为例，需同步监测该站的 4 个馈电电流  $I_{LU}$ 、 $I_{LD}$ 、 $I_{RU}$ 、 $I_{RD}$ ，其中  $I_{LU}$  为上行线电分段左侧馈电电流， $I_{LD}$  为下行线电分段左侧馈电电流， $I_{RU}$  为上行线电分段右侧馈电电流， $I_{RD}$  为下行线电分段右侧馈电电流。

如图 A.2 所示为单边供电模式下的特征牵引站取样点，以牵引变电站 B 为例，需同步监测该站的 2 个馈电电流  $I_U$ 、 $I_D$ ，其中  $I_U$  为上行线馈电电流， $I_D$  为下行线馈电电流。

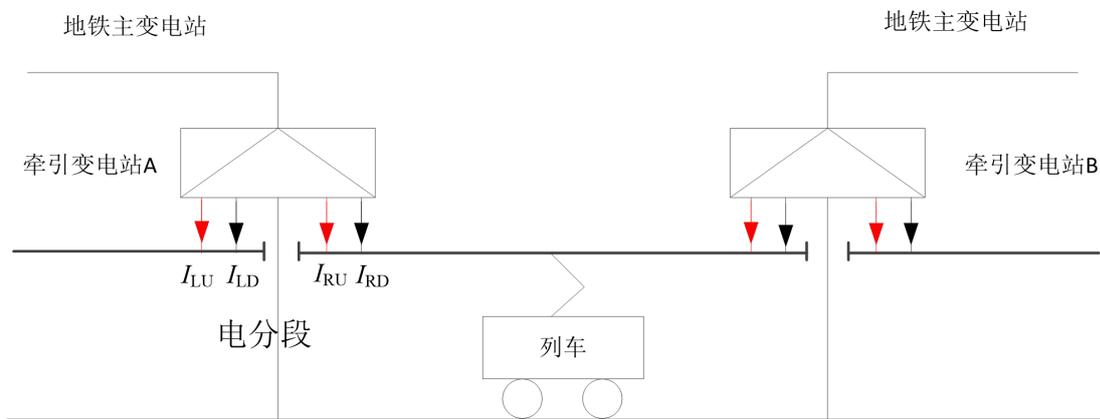


图 A.3 双边供电模式下的轨道交通牵引站取样点

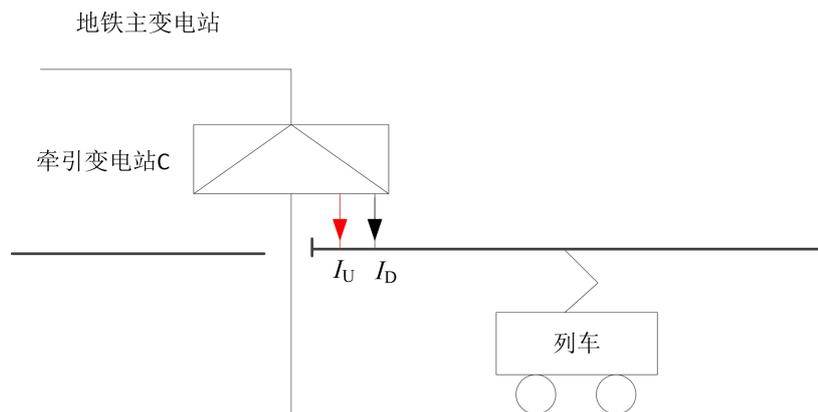


图 A.4 单边供电模式下的轨道交通牵引站取样点

## 附录 B

(资料性)

## 城市轨道交通牵引供电系统直流入地电流监测数据格式

对象含义	对象名称	数据类型	备注
设备及测量通道管理			
监测站点设备地址	PRIMARYADDR	int	
监测站点名称	STATIONNAME	Varchar(255)	
监测站点类型	STATIONTYPE	int	0: 电网变电站 1: 轨道交通牵引站
监测站点位置经度	DVICLONGITUDE	Double	
监测站点位置纬度	DVICLATITUDE	Double	
通道所属站点设备地址	PRIMARYADDR	int	
通道号	DEVICEID	Int	
通道名称	DEVICENAME	Varchar(255)	
通道所配置的传感器 ID	SENSORSETID	Int	0 表示未配置传感器
传感器配置			
传感器 ID	SensorAddr	int	
传感器名称	SensorName	Varchar(255)	
传感器校正系数	Factor	Float	
零漂校准值	ZeroDrift	float	
串口通讯配置			
串口号	SERIALPORT	int	
波特率	BAUDRATE	int	
数据位	DATABIT	int	
停止位	STOPBIT	int	
检测位	CHECKBIT	int	
采集数据			
电网变电站直流偏磁电流数据	DCCHANNELRESULT	float	单位: A
轨道交通牵引站馈电电流数据	FCCHANNELRESULT	float	单位: A
采集时刻	REPORTTIME	Varchar(255)	单位: s
采集间隔	SmpProd	int	单位: s
报警数据			
设置的报警阈值	ALARMTHRESHOLD	float	单位: A
报警时间	REPORTTIME	Varchar(255)	单位: s
标志位	Flagbit	int	

附录 C

(资料性)

城市轨道交通牵引供电系统直流入地电流同步监测平台构建方法

为构建城市轨道交通牵引供电系统直流入地电流同步监测平台，轨道交通侧牵引站馈电电流和电网侧直流偏磁电流应可扩充且灵活设置。监测系统应通过无线传输网络（如 GPRS、4G、5G）进行数据传输，监测终端应与服务器端进行自动通信。利用广域网组建监测平台如图 C.1 所示。

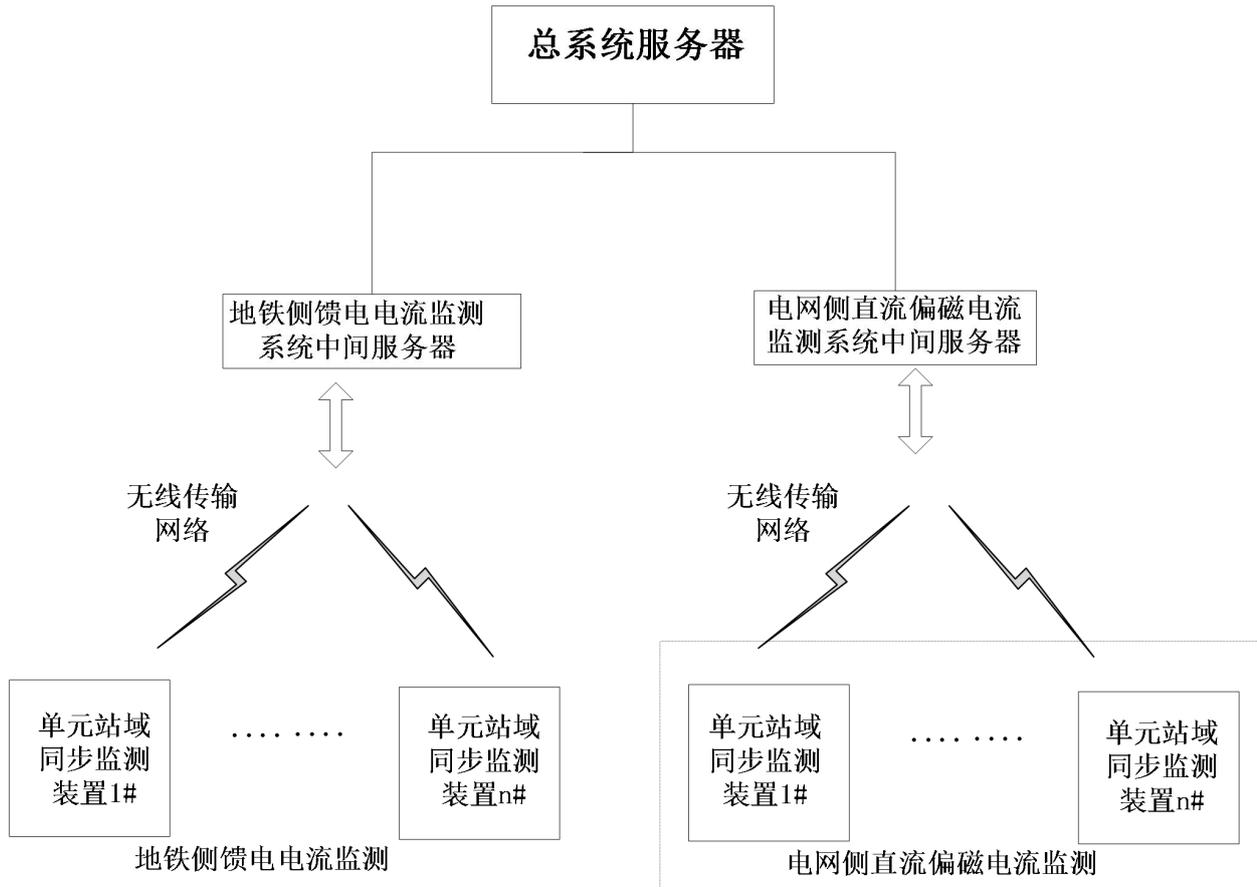


图 C.1 利用广域网组建的同步监测平台

## 附录 D

(资料性)

## 直流入地电流关联分析方法

## E.1 数据处理方法

对监测的特征牵引站馈电电流和变压器直流偏磁电流进行处理，具体方法如下：

假设共有  $N$  个牵引站，测量周期为  $T$ ，每 1 秒钟记录一个测量点，第  $i$  个牵引站  $DT_i$  在时刻  $t$  的馈电电流为  $IF_{i,t}$ ，馈电电流的阈值为  $IF_{i,lv}$ 。对于任意时刻  $t$ ，

若  $IF_{i,t} < IF_{i,lv}$ ，则牵引站  $DT_i$  在时刻  $t$  的馈电电流特征量  $CF_{i,t}$  的值为 0，其中  $1 \leq i \leq N$ ， $1 \leq t \leq T$ ；

若  $IF_{i,t} \geq IF_{i,lv}$ ，则牵引站  $DT_i$  在时刻  $t$  的馈电电流特征量  $CF_{i,t}$  的值为 1，其中  $1 \leq i \leq N$ ， $1 \leq t \leq T$ ；

假设共有  $M$  个变电站，测量周期为  $T$ ，每 1 秒钟记录一个测量点，第  $j$  个变电站  $BD_j$  在时刻  $t$  的直流偏磁电流为  $IS_{j,t}$ ，直流偏磁电流的阈值为  $IS_{j,lv}$ 。对于任意时刻  $t$ ，

若  $IS_{j,t} < IS_{j,lv}$ ，则变电站  $BD_j$  在时刻  $t$  的直流偏磁电流特征量  $CS_{j,t}$  的值为 0，其中  $1 \leq j \leq M$ ， $1 \leq t \leq T$ ；

若  $IS_{j,t} \geq IS_{j,lv}$ ，则变电站  $BD_j$  在时刻  $t$  的直流偏磁电流特征量  $CS_{j,t}$  的值为 1，其中  $1 \leq j \leq M$ ， $1 \leq t \leq T$ 。

## E.2 关联分析方法

根据计算的馈电电流和直流偏磁电流的特征量，形成测量周期  $T$  内的项集  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_T\}$ ，每秒对应一个项目，项集  $P$  中共  $T$  个项目，以时刻  $t$  为例， $p_t = \{CF_{1,t}, CF_{2,t}, \dots, CF_{N,t}, CS_{1,t}, CS_{2,t}, \dots, CS_{M,t}\}$ 。

然后基于 Aprior 关联规则挖掘算法，从项集中寻找支持度和置信度均大于 80% 的频繁项集，如下所示：

规则	置信度	支持度
$CF_{1,t}, CF_{2,t} \rightarrow CS_{1,t}$	85%	90%
$CF_{1,t}, CF_{3,t} \rightarrow CS_{2,t}$	90%	82%
$CF_{2,t}, CF_{4,t} \rightarrow CS_{5,t}$	86%	92%
$CF_{6,t}, CF_{7,t} \rightarrow CS_{9,t}$	95%	90%

挖掘出的规则表明，当牵引站  $DT_1$  和  $DT_2$  的电流大于阈值  $IF_{i,lv}$  时，在变电站  $BD_1$  会有 85% 的可能性出现大于阈值  $IS_{j,lv}$  的直流偏磁电流。