

交流电气化铁道

牵引供电系统继电保护



中国铁道出版社

交流电气化铁道 牵引供电系统继电保护

〈日本〉渡边宽 著

丁向东 译
何四本

中国铁道出版社

1981年·北京

内 容 简 介

本书介绍了日本交流电气化铁道牵引供电系统的继电保护。书中着重分析了保护方式的检出原理、保护装置误动的原因和防止措施，以及适合现场用的各种简易试验法。可供从事继电保护设计及现场工程技术人员、试验和运行人员阅读，也可作为专业学校的教学参考用书。

交流电气化铁道 牵引供电系统继电保护

〔日〕渡边宽 著

丁向东 译

何四本

责任编辑 张贵珍

封面设计 翟 达

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张：4.125 字数：90 千

1981年6月第1版 1981年6月第1次印刷

印数：0001—2,800册 定价：0.45元

译者的话

本书译自日本“电气铁道”杂志的VOL.31, №2、3、4、5、6、8和VOL.33, №3期, 其主要内容是介绍日本电气化铁路牵引供电系统的继电保护。

日本的铁路电化系统, 在世界铁路电化技术中, 占着引人注目的地位。特别是从1972年山阳新干线投入运营以来, 牵引供电系统的继电保护, 达到了很高的水准。虽然日本的交流牵引供电系统和我国的不尽相同, 但继电保护系统的原理和结构, 以及具体装置, 都有许多相同之处。出版这本小册子的目的, 就是为了将日本的这些技术和资料, 介绍给我国从事铁路电化工作的同志们, 为我国迅速发展的牵引动力改造服务。

同时, 书中的大部分内容, 特别是第六章介绍的继电保护装置的试验法, 以及继电保护和一次系统可以进行整体试验的综合极性试验法, 不仅适用于牵引供电系统, 而且对工业电力系统也是完全适用的。

本书中涉及到一些日本牵引供电系统方面的术语和知识, 为了使读者在阅读时便于理解, 我们根据自己积累的资料, 在本书的附录中作了简略的说明。此外, 日本给予变电所一次设备和自动控制设备等的代号, 和我国的也完全不同。考虑到在国内比较系统地介绍日本继电保护方面的书还是初次, 所以由丁向东同志将这方面的内容择要地编进了附录, 这对阅读日本有关继电保护和自动装置的资料是有帮助的。

由于我们接触日本这方面资料的时间不长，理解不深，难免有错误和不当之处，敬请读者指正。

译 者

一九七九年四月

目 录

第一章 交流牵引供电系统保护方式的演变	1
第一节 <i>BT</i> 供电系统的保护方式	1
第二节 山阳新干线 <i>AT</i> 供电系统的保护方式	4
第二章 继电保护装置的故障检出原理	5
第一节 何谓继电保护	5
第二节 距离继电器(44)	6
第三节 交流 ΔI 型保护继电器(50 <i>F</i>)	8
第四节 阶段反时限过电流继电器(51 <i>F</i>)	10
(注) 高次谐波制动式交流 ΔI 型故障 选择装置	12
第三章 交流牵引供电系统的保护	17
第一节 交流牵引供电系统的特点	17
第二节 故障的种类	17
第三节 保护的範圍	19
第四节 故障点电阻 r_g 的继电器测量值	20
第五节 继电保护对供电系统结构的要求	25
第四章 各种供电系统的保护方式	29
第一节 概述	29
第二节 东海道新干线	30
第三节 山阳新干线	36
第五章 距离继电器的误动及防止措施	45
第一节 继电保护装置动作的习惯用语	46
第二节 半导体型距离继电器的特点	46
第三节 负荷电流畸变造成44的误动作	47

第四节	变压器励磁涌流造成44的误动作	50
第五节	串联电容系统造成44的误动作	52
第六节	背后系统故障造成44的误动作	57
第六章	继电器的应用	61
第一节	继电器的整定方法	61
第二节	距离继电器(44)的整定方法	64
第三节	交流 ΔI 型保护继电器(50F)的整定方法	67
第四节	保护继电器的极性及其试验方法	67
第五节	继电保护装置的试验方法	74
第六节	电流比率差动继电器的试验方法	79
第七节	输入为畸变波的等价试验法	86
后记		89
附录		90
一、	BT、AT和其它供电方式	90
二、	关于SP、SSP和SFSP	98
三、	交流电压补偿装置	102
四、	交流变电所常用自动控制设备代号一览表 (JEM—1093)	106
五、	交流变电所常用符号一览表	111
六、	50赫新干线供电回路的参数及其应用	115

第一章 交流牵引供电系统

保护方式的演变

日本的交流电气化铁道始于1957年秋的仙山线和北陆线，此后又被推广于干线，而在技术上更趋完善的则是1964年10月东海道新干线的运营。

上述的供电方式都是吸流变压器供电方式（亦即 *BT* 方式），给高速和大功率电动车组供电。*BT* 方式有供电距离短和在 *BT* 间隙产生电弧等缺点。数年以后终于研究成功了新的自耦变压器供电方式（亦即 *AT* 方式）。从1969年开始，这种方式成了交流电气化铁道的标准供电方式，它不仅适用于旧线，而且适用于山阳新干线和今后全国的新干线。

随着交流电气化的发展，供电系统的保护方式，在技术上也经过了若干发展阶段。下面就供电系统的保护方式和保护装置的演变，作一概略的介绍。

第一节 *BT* 供电系统的保护方式

在初期交流电气化铁道供电系统的保护方式中，仍然采用三相输电系统广泛应用的距离继电器，因为它们具有动作快、可靠性高等特点。这些距离继电器都是电磁可动型的，它的阻抗特性仅限于圆形或椭圆形。其动作特性和使用区段如图1.1所示。

1964年10月开始运营的东海道新干线，比起上述旧线来，其负荷要大得多，使得故障电流和负荷电流难以区别。针对这种情况，我们将原来的距离继电器进行了改良，使其圆特性上的负荷特性区和电动车组变压器的励磁涌流特性

区，带上了遮帘来使用。此外，还采用了一部分新研制成功的、使用半导体逻辑电路构成的静止形距离继电器，这种继电器具有理想的平行四边形特性，如图1.2所示。

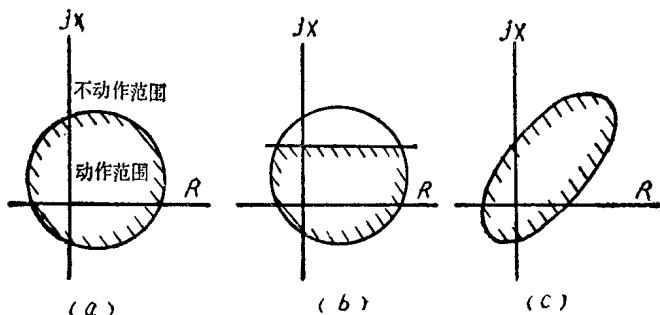


图1.1 交流电化初期距离继电器的动作特性

(a) 偏心阻抗型(常磐线)，(b) 遮帘式偏心阻抗型(东北线)，(c) 椭圆型(北陆线)。

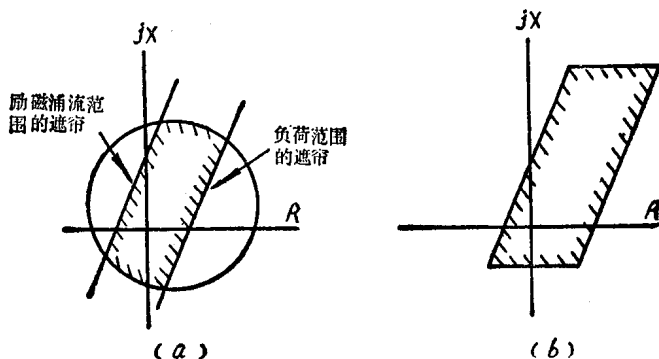


图1.2 东海道新干线运营初期距离继电器的保护特性

(a) 电磁型距离继电器的特性；(b) 半导体型距离继电器的特性。

1966年晶闸管整流器电动车组在旧线上开始出现，当这种机车在磐越西线试运行的时候，半导体距离继电器误动作，其原因是在电动车组的负荷电流中含有高次谐波。于是

在电流回路中加入了大型滤波器，以消除这种影响。显然，半导体型距离继电器有比较容易得到理想的保护特性和具有输入信号小等优点。但是，畸变的输入电压、电流波形和变压器励磁涌流的干扰等，都可能造成保护装置的误动作。

因此，著者研究成功了在工厂的试验阶段就能够试验它们各种性能的等价试验法。1969年对在东海道新干线上使用的五类型式（共15种）半导体继电器，用这种试验法进行了试验。半导体型距离继电器与电磁型距离继电器相比，前者对畸变波的影响非常灵敏，因此，在设计半导体型距离继电器时，除了要考虑它的基本波特性以外，对于畸变波输入产生的影响，也要采取必要的措施。

1968年，在东海道新干线上，每列车的编组由12辆增加到16辆，而且列车密度也增大了，为了加强保护，在上述具有纵长特性距离继电器的基础上，又加入了具有横长特性的距离继电器 $44FR$ 。此外，还增加了通过区别电动车组电流的持续时间来进行故障选择的阶段反时限过电流继电器 $51F$ ，作为后备保护。

在已有的交流电化区段上，由于负荷和列车密度的增加，供电回路将出现电压降过大和机车在站场内通过同相区分绝缘时产生电弧等问题。为此，在需要的地方，就将上、下行供电回路连结起来（亦即所谓上、下行并联供电方式）。但是在这种方式中，换算到继电器故障点的电阻，在最坏的情况下，将达到实际值的两倍。因而，给继电保护又带来了新的难题。为了弥补这一缺陷，又研制了交流 $\angle I$ 型保护继电器 $50F$ ，这种继电器的原理和在直流供电系统中使用的 $\angle I$ 型保护继电器完全相同。1971年在东北线郡山—镜石间进行了包括人工短路试验的现场试运行，对这种继电器的性能作了鉴定，并投入实际运用。这样，除了主保护仍使用原来的距

离继电器外,又增加了 ΔI 型保护继电器 $50F$ 作为后备保护。这种方式成了原有交流电化区段供电系统(也包括 AT 供电方式)继电保护的标准形式。

第二节 山阳新干线 AT 供电系统的保护方式

1972年投入运营的山阳新干线供电系统的继电保护,是以东海道新干线的运行经验为基础研究成功的比较理想的保护系统。每十公里设一个 AT 间隔是其基本的保护距离,整个供电系统均受到三重高速动作距离继电器的保护。在消除高次谐波影响和躲开励磁涌流等特性方面,均比过去有所改善。其内容将在以下几章详述。

第二章 继电保护装置的 故障检出原理

第一节 何谓继电保护

所谓继电保护装置就是经常性地测定供电系统运行中的状态，然后将该测定值与预先整定好的基准值相比较，当系统发生异常状态时，继电保护装置通过判断，发出必要的控制指令。

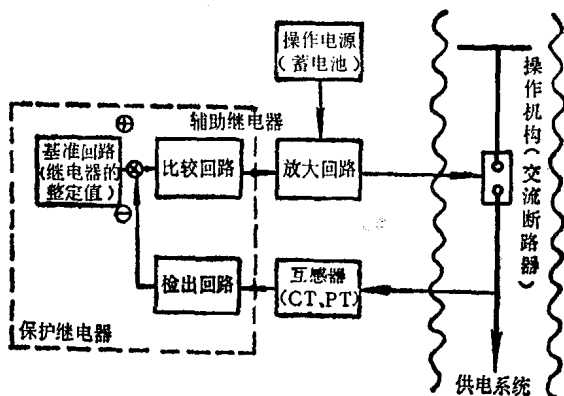


图2.1 继电保护装置的构成方框图

图 2.1 是用方框图表示继电保护装置构成的一个实例。保护装置首先通过仪用互感器 (PT 和 CT) 获得反映供电系统运行状态的电压和电流，作为检出回路的输入。当检出回路的输出值大于或小于基准回路继电器的整定值 (基准部分的输出) 时，比较回路 (调节部分) 就有输出，此时辅助继电器

闭合，经过放大回路放大，使断路器跳闸。断路器跳闸后，异常状态亦随之消失，检出回路也不再输出，则保护继电器即复原。在交流供电系统的故障中，由于鸟害等原因引起绝缘子闪络等瞬时性故障是很多的，为了使停电时间尽可能缩短，采用了0.5秒高速自动重合闸。如果故障是永久性的，重合后又再行断开，此时，重合闸亦自行闭锁。

第二节 距离继电器 (44)

供电系统的短路阻抗 Z 一般和变电所到短路点的距离成正比，每一公里约为0.8欧，而 R 和 X 的比为1:2~4， X 的分量较大。这里 $Q = \text{tg}^{-1} \frac{X}{R}$ ，称为线路阻抗角，一般在60~75°之间（在以下的说明中，假设为75°）。

图2.2表示距离继电器(44)的故障检出原理。要在 $R-X$ 的平面上标出变电所 SS_1 、分区亭 SP 和相邻变电所 SS_2 的位置，分别以分区亭 SP 到变电所 SS_1 和 SS_2 的阻抗 Z_1 和 Z_2 的长为半径画圆，则圆和75°线路阻抗角线的交点即是。线路阻抗角线上的各点，表示的是当故障点的过渡电阻 $r_f = 0$ 时供电系统的短路阻抗。如果 r_f 为10欧，短路阻抗就是由此向右平移10欧的点。假定整个供电回路故障点过渡电阻为 $0 \sim r_f$ ，则其短路阻抗的范围就如图中斜线部分所示。

与短路阻抗特性相对应的是负荷阻抗特性，一般在小于45°($\cos \varphi$ 为0.7)的范围内，其大小决定于负荷电压和负荷电流的比值。实测的结果证明旧线比新干线的功率因数要好些，其最大负荷电流也较小。负荷阻抗特性也表示于图中。

在图2.2中，距离继电器的动作特性（内侧为动作区）整定范围如虚线所示。因而故障和负荷能严格地区分。故障特性之所以增加了一定的余量，是为了当故障点的电阻即使达到 r_f 时，也能保证可靠的检出。距离继电器因为是根据阻

抗的不同来区别故障和负荷的，所以通常又叫做阻抗继电器。

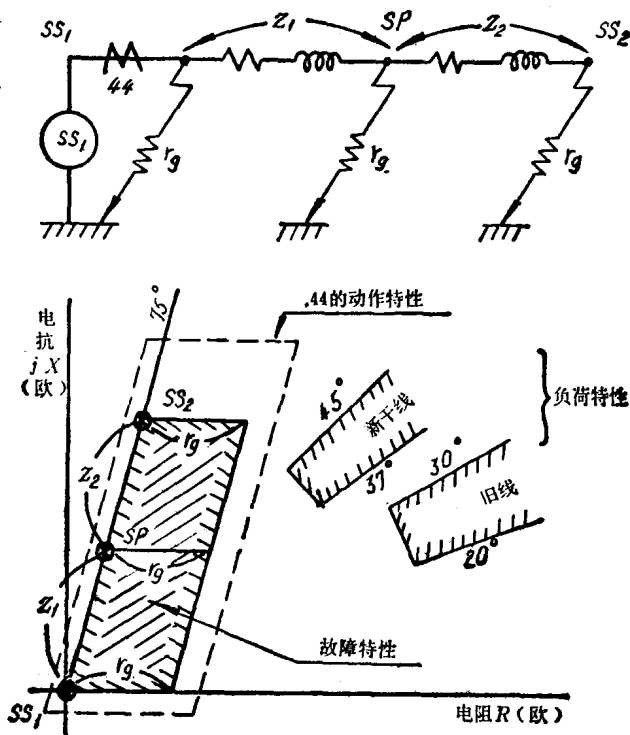


图2.2 距离继电器(44)的检出原理

图 2.3 是距离继电器44的方框图。供电系统的电压和电流，经PT和CT变换成 V 和 i 作为输入并进行向量合成，再通过相位比较回路构成四边形特性。若阻抗范围在整定值的范围以内，继电器就有输出。在需要的地方加入了滤波器，以滤去电压、电流的高次谐波成分，仅取其基本波进行合成和比较。

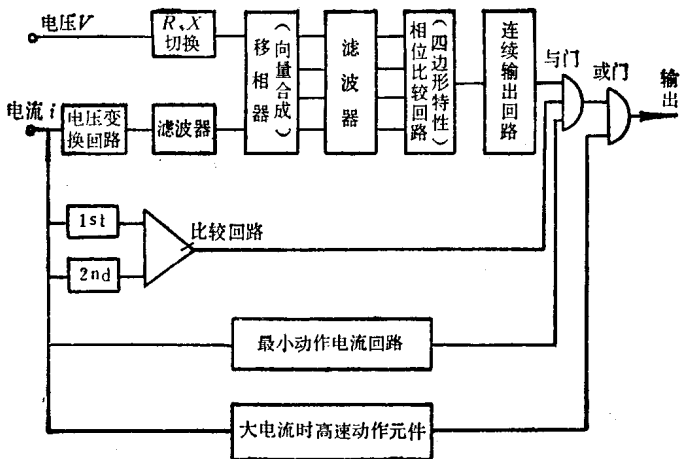


图2.3 距离继电器(44)的方框图

1st 和 2nd 的比较回路是为了防止由于变压器的励磁涌流而产生误动作而设计的，当涌流波形中含有的二次谐波(2nd)成分占基波(1st)成分的15%以上时比较回路就有输出，将继电器闭锁。

最小动作电流回路只有当 i 大于 1.5 安时才能动作，它是为了防止供电电压瞬时异常下降而造成继电器误动作。大电流快速动作元件则是为了保证在变电所近端发生故障而出现大电流的情况下，使继电器无条件的快速(50毫秒)动作，以缩小故障持续时间和减少故障点的损害。

第三节 交流 ΔI 型保护继电器 (50F)

这种继电器的检出原理与直流供电系统中使用的 ΔI 型故障检出装置是完全一样的。它通过比较正常状态下的负荷电流和高电阻故障电流随时间变化的分量 (ΔI) 的不同来检出故障。 ΔI 的整定值为该区间实际走行一列列车的最大电

流值。一般情况下，一个供电区间的最大负荷电流大约能达到一列车最大电流的两倍左右，所以与普通的过电流继电器相比， ΔI 型保护继电器的选择能力为它的两倍。图2.4是东海道新干线上用的 ΔI 型保护继电器的保护范围。

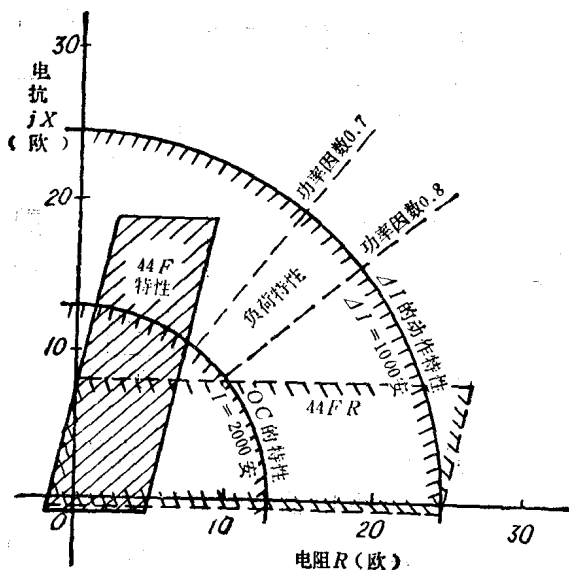


图2.4 ΔI 型保护装置的保护范围（东海道新干线）

图2.5是 ΔI 型保护继电器的方框图。供电电流 i 经 I/V 变换器变换成电压并整流成直流，再加到各自的整定回路。其中的一个回路从 ΔI 检出回路取得的 ΔI 的电压信号若大于基准电压（1）时，则有输出，延时300毫秒后，再自保持50毫秒，在此时限内， I 回路的开关闭合， I 整定回路通过闭合的接点，同基准电压（2）比较，当为正值时，则再自保持300毫秒，在该时限内继电器有输出，亦即发出指令使断路器跳闸。从上述过程可以看出， ΔI 型保护是以 ΔI 超过某一标准电压并持续300毫秒为其动作条件的装置。只有这样，

对于自耦变压器 (AT) 或电动车组变压器引起的励磁涌流 (衰减性电流), 继电器才不会误动作 (注)。

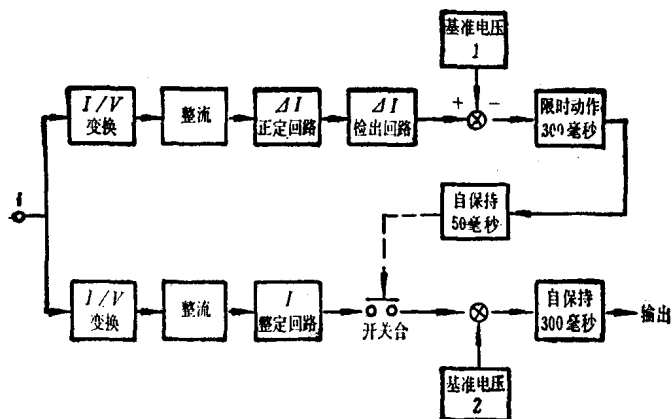


图2.5 交流 ΔI 型继电器 (50F) 的方框图

第四节 阶段反时限过电流继电器 (51F)

这种继电器的检出原理是根据负荷电流同故障电流持续时间的不同来判别故障的。电气化铁道上的负荷是变动的, 某一个负荷电流的持续时间局限在一定的范围。

图 2.6 所示是东海道新干线上的负荷电流情况, 图上归纳了 600 安以上的重负荷时的电流持续时间特性。由该电流特性的上限, 再加上一定的余量, 而设计了这种具有三段电流定时限特性的过电流继电器, 其检出时间虽长些但是能可靠的检出故障。

以上讲的是东海道新干线上用的阶段反时限过电流继电器 (51F) 的检出原理。这种继电器在市场上没有出售, 是专门为电气化铁道研制的, 它将三个由半导体组成的电流——时