



故障录波装置的 原理和应用

南京工业大学电气设计院 电力工业部西南电力设计院 四川省电力工业局试验研究所

1

电力工业出版社

内 容 提 要

本书比较详细地介绍了国内研制并定型生产的PGL型故障录波装置的原理和应用。主要内容包括：故障录波装置的作用和分类；PGL-1型故障录波装置的构成和工作原理；SC25型光线式录波器的构成和原理；装置的应用；装置的调整检验；装置的常见故障及处理；录波资料的冲洗操作方法等。另外，在附录中还介绍了有关工作方程式的推导及分析；集成电路信号延迟装置的基本原理；部颁电力系统故障录波器运行管理办法和PGL型故障录波器屏统一技术条件等。

本书主要供电力运行、设计、施工和制造部门有关专业的技术人员和工人使用，也可供其他使用故障录波装置的人员及大专院校、中等专业学校有关专业的师生参考。

故障录波装置的原理和应用

电力工业部 东北 电力 设计院
电力工业部 西南 电力 设计院
四川省电力工业局 试验研究所

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 9.25印张 205千字
1981年7月第一版 1981年7月北京第一次印刷
印数 0001—4730册 定价 0.85元
书号 15036·4216



前 言

故障录波装置亦称故障录波器，是一种自动记录装置，在国内外电力系统中，得到广泛地应用。故障录波装置在我国电力系统中，自五十年代中期开始装设至今二十多年的时间里，已提供了大量宝贵事故录波资料，对保证电力系统的安全运行，起了重要作用。

我国电力系统原来所用的故障录波装置，除早期有少量的进口设备和部分国产笔录式装置外，绝大多数是利用实验室用光线式录波器改制成的。这些装置在机械结构、原理电路及技术特性方面均存在一些问题，同时也没有性能较好的成套定型产品。随着电力系统超高压电网的迅速发展，需要装设愈来愈多的故障录波装置，因而迫切需要研制性能较好的定型产品。为此，电力工业部在一机部的协助下，组织了新的成套故障录波器的研究及试制工作，并取得了成果，从1979年开始投入大批生产，供应全国需要。

新型成套故障录波装置从研制到样机调试以及到最后成套定型产品的生产，是在电力工业部的直接领导下进行的，东北、华北、华东电业管理局，四川、贵州、吉林、黑龙江、河南、云南省电力工业局，华东、四川、贵州、河南省电力试验研究所，广州、上海、贵阳、郑州、昆明供电局，乐山、齐齐哈尔、成都电业局，许昌、阿城、上海继电器厂、长征电器八厂及西南、东北电力设计院，佳木斯、龚嘴发电厂等有关单位积极参加并作了大量工作。

为了满足实际工作的需要，本书首先介绍了故障录波装置在我国电力系统运行以来所起的重要作用，然后分别详细地介绍了PGL型故障录波装置、SC25型光线式录波器的特点、构成和工作原理。接着介绍了装置有关应用方面的问题，包括装置的配置和录取量的选择；录波图的分析应用；装置的调整检验；常见故障及处理方法及录波资料的冲洗操作方法等。是一本比较实用和叙述比较详细的书。

为了便于运行维护和安装调试人员阅读，正文侧重原理叙述，有关公式推导及工作分析以及“基本光学概念”写在附录中。此外，将部颁的有关文件及装置设备表亦附在附录中，以便工作参考。

本书第一、二、四、六章及除“基本光学概念”外的附录部分由东北电力设计院张修万同志编著；第三、七章及附录中的“基本光学概念”部分由西南电力设计院李嘉陵同志编著；第五章由四川省电力工业局试验研究所罗成基同志编著。全书由张修万同志统稿。吉林省电力局黄炳杰同志审阅了全书，在此表示感谢。本书编著过程中，得到电力工业部生产司副总工程师吴竞昌同志的支持及很多单位和同志的帮助，在此一并致谢。

由于编著同志水平不高，经验不足，错误之处在所难免，欢迎批评指正。

目 录

前 言

第一章 故障录波装置的作用和分类	1
第一节 故障录波装置的作用	1
第二节 故障录波装置的分类	7
第二章 PGL-1型故障录波装置的构成和工作原理	11
第一节 装置的特点和构成	11
第二节 交流测量回路	19
第三节 直流逻辑回路	42
第四节 直流信号回路	62
第五节 录波振子回路	65
第六节 装置动作说明	71
第七节 装置结构	78
第三章 SC25型光线式录波器	82
第一节 录波器概述	82
第二节 录波器的光学系统	93
第三节 录波器的传动系统	108
第四节 录波器的振动子系统	118
第四章 故障录波装置的应用	134
第一节 装置的配置和录取量的选择	134
第二节 屏上端子的联接用法	143
第三节 录波图的分析应用	145
第五章 故障录波装置的调整检验	168
第一节 概述	168
第二节 新安装和定期检验项目	168

第三节	装置的检验	170
第六章	故障录波装置的常见故障及处理	185
第一节	故障录波装置电气部分的故障	185
第二节	故障录波装置机械部分的故障	188
第七章	录波资料的冲洗操作方法	192
第一节	暗室及洗印设备	192
第二节	感光材料的性质	202
第三节	冲洗药品的性质及使用	206
第四节	冲洗操作方法	217
附录	录	238
附录一	输出三相电压负序电压滤过器的工作方程式及电 路分析	238
附录二	反映增量动作时复合起动继电器的工作方程式	254
附录三	信号延迟装置	260
附录四	电力系统故障录波器运行管理办法	276
附录五	PGL 型故障录波器屏统一技术条件	280
附录六	PGL-1型故障录波装置 设备表	283
附录七	基本光学概念	286

第一章 故障录波装置的作用和分类

第一节 故障录波装置的作用

故障录波装置是常年投入运行监视着电力系统运行状况的一种自动记录装置。系统正常运行时，录波装置不录波。当系统发生事故时，通过起动装置迅速起动录波器录波，直接记录下反映到故障录波装置安装处的系统故障电气量（如电流、电压、功率等）。所记录的量，为电流互感器和电压互感器的二次值，与系统中的一次值具有一定的比例关系，需要时可换算为一次值，是系统事故时的可靠数据。利用故障录波装置记录的电气量，可为保证电力系统的安全运行，起到极为重要的作用。

一、正确分析事故的原因并研究防止对策

一个电力系统往往联接着广大地区的很多发电厂和变电所，当系统发生事故时，除继电保护和自动装置动作切除故障外，尚需尽快查明事故原因，以便确定防止事故的对策。但是如无故障录波装置，就不能得到可靠的直接数据，因此在分析事故时，不得不进行假设或推测，这样常常前后矛盾，难以解释。特别是当保护装置发生拒动或误动而扩大了事故时，情况就更加复杂。同时，再加之发生事故时，现场值班人员忙于处理事故，未能正确地记录继电保护和自动装置的动作情况，就会给分析事故增加困难甚至造成混乱。而当有了故障录波装置时，通过录取的故障过程波形图，可以准确地反映故障类型、相别，故障电流、电压的数值以及断路

器的跳合闸时间和重合是否成功等情况，这样就可以正确分析和确定事故的原因，研究有效的防止措施，从而减少以至避免再发生类似事故。

二、正确评价继电保护和自动装置的工作

在电力系统发生事故时，继电保护装置虽动作跳闸，切除了故障，但有时可能出现几套保护装置同时动作的情况，其中有的保护装置是正确动作，而有的则可能是误动作。例如当线路发生两相短路故障时，相差高频保护和距离保护动作是正确的，而零序电流方向保护，如也动作则是错误的。如无故障录波装置而单凭保护屏上的信号继电器来表示故障情况，当保护屏上的信号继电器发生异常，例如信号继电器卡住或拒动时，甚至有的地方还发生过保护装置定期检验后忘投信号电源的情况，以至线路发生瞬时性故障时，保护装置虽正确动作跳闸并重合成功了，但保护屏上的信号继电器却毫无表示，好像保护装置从未动作。因此，仅凭保护装置的信号表示，有时并不能正确评价继电保护和自动装置的工作。而有了故障录波装置，则利用录波资料就可以正确评价或验算继电保护装置工作的正确性。特别是当发生转换性故障时，更需录波资料来正确评价继电保护和重合闸装置的工作。

三、帮助寻找故障点

根据资料统计，在超高压输电线路路上，接地故障约占95%左右。每次事故发生后一般均需及时巡线找到故障地点并进行处理，以保证线路安全送电。对于长线路，特别是经过山区的长线路，例如一些大型水电站的出线，一般均经过较长的山区，而山区往往交通不便，巡线非常困难，劳动强度很大。如无故障录波装置提供有关故障点资料，即使交通方

便的平原地区，遇到恶劣天气狂风大雨、酷暑严寒时发生故障，全线巡线亦很艰苦。有了故障录波装置，不仅可以利用录波图迅速判明故障类型和相别，而且还可以利用录波资料提供的零序短路电流值，较准确地计算出故障地点，这样就缩小了巡线范围，有利于迅速找到故障点消除故障，同时可大大减轻工人巡线的劳动强度。

四、发现继电保护和自动装置缺陷，便于改进和完善装置

在超高压线路上装设的继电保护和自动装置接线回路的设计上，虽然经过认真细致地研究，但仍可能有不合理或考虑不周的地方，这些问题在作各种模拟试验时甚至在运行中都不易发现，但在系统发生事故时，就会造成装置的误动或拒动。如无故障录波装置，这类问题有时很难发现，很难及时改进，结果就可能重复发生类似的误动或拒动事故。有了故障录波装置，利用录波资料，经过分析，就可发现装置的缺陷，及时进行消除并改进装置的接线，例如从录波资料中曾发现过某220千伏线路单相接地故障误跳三相的原因，是由于闭锁三相跳闸回路的零序电流继电器接点返回太快造成的。又曾发现过在另一220千伏线路上发生瞬时性单相接地故障，保护装置动作切除故障相后重合成功，故障本已消除，但重合闸却后加速又误跳了三相，查其原因是由于重合闸后加速回路设计不合理造成的。

五、发现一次设备缺陷，及时消除隐患

在超高压电力系统中，有的一次设备例如高压断路器存在缺陷，平常很难发现，而这些缺陷将在不同程度上危及电力系统的安全运行。在我国某电力系统中，曾从故障录波装置的录波图中发现：APF型断路器断不开电容电流，导致触

头间多次点弧，结果使快速重合闸重合不成功；BB-220型断路器断电时间缩短，去游离时间不足而造成重合闸重合不成功；有的断路器切闸时产生过电压电弧重燃，经检查发现触头烧损和消弧室并联电阻烧坏；还曾发现有的断路器合闸时多次跳跃。因此，通过对录波图的分析，即可发现这些隐患并及时予以消除，使电力系统能安全地运行。

六、提供转换性故障和非全相运行再故障资料

在电力系统运行中，同一线路上有时在很短时间内可能会发生由一种类型故障转换为另一种类型故障的现象。例如在使用综合重合闸时，当发生单相接地故障，故障相两侧跳开后，在非全相运行过程中可能又发生故障。由于这些情况是发生在很短时间内，值班人员难以发现，主控室内的仪表也很难反映出来，如无故障录波装置就很难弄清这些情况，也很难判断继电保护和自动装置能否适应此种情况。我国故障录波装置投入运行以来，积累和提供了许多这方面的资料，从这些资料中，可了解线路故障时的故障类型转换和非全相运行过程中又发生事故的情况、特点和时间等等，为改善原有继电保护和自动装置及设计研制新装置提供重要的依据。

七、了解系统运行情况，迅速正确地处理事故

联接很多发电厂和变电所的电力系统，当发生事故后，继电保护装置动作，有时跳开一回或几回线路，有时可能还联动切除某个电厂的发电机组，严重的甚至可能造成地区系统瓦解。如无故障录波装置，则将无法及时正确地处理事故，从而延长了停电时间。而有了故障录波装置，从录波图的电气量变化曲线中，就可清楚地了解系统的运行情况并迅速判明事故原因，及时正确地处理事故，迅速地恢复供电，缩短停电时间。例如某一向系统送电的水电站的大型机组，

发电机负序过流保护动作将机组切除，此时厂内有无故障？发电机为什么跳闸？能否立即恢复送电？这些问题均需迅速弄清方能正确处理。因为如厂内确有故障，发电机再重新送电，即有可能扩大事故；如无故障而发电机不送电，则不仅电厂少发电，而且将使系统因功率不足而出现一系列问题。但由于厂里装有故障录波装置，且正确地起动录了波，迅速地提供出了录波资料，判明了事故原因，从而及时恢复了送电。

八、实测系统参数

电力系统中有的元件如变压器、架空输电线，可用试验方法测得其参数。但有的元件如 $Y/Y/Y$ （全星形）变压器的零序阻抗，因是非线性值，故其参数很难用一般试验方法测得，若有故障录波装置，我们即可利用故障录波装置在故障时拍摄的电气量（零序电压和零序电流）来实测全星形变压器的零序阻抗值，并且从录波图上也可直接看到由于零序阻抗非线性而造成的零序电压波形的畸变。因此在系统故障时录波资料提供的全电流、全电压、功率和相序电流、相序电压等数值，不仅可核对系统参数和短路电流计算值的正确性，而且可实测某些难以用普通试验方法得到的元件参数，以便及时修正有关参数，为整定计算和判断故障点提供可靠数据。

九、分析研究系统振荡问题

电力系统由于动态稳定破坏、静态稳定破坏、非同期合闸未能拖入同步及发电机失磁等原因均可能引起系统振荡。当系统发生振荡时，发电厂或变电所内的仪表虽有摆动反映，但不能留下具体数据，更不能显示一些参数的变化规律。而故障录波装置的录波图，则可提供系统振荡从发生、

失步、同步振荡、异步振荡和再同步的全过程以及振荡周期、电流、电压等参数的特征和变化规律。因此，利用录波资料，可帮助分析和研究系统振荡问题，以确定处理方法，缩短振荡时间，实现快速再同步，尽快平息振荡。同时，从系统振荡过程的分析研究中，可提供出供设计和改进继电保护装置的依据，例如距离保护的振荡闭锁装置可采用负序增量起动方式等。

十、研究电力系统内部过电压

电力系统由于故障和操作常常引起内部过电压。内部过电压一般可分为谐振过电压、操作过电压和弧光接地过电压。谐振过电压是由系统电感和电容组成的谐振回路，当满足一定的条件，就可能激发起持续时间较长的铁磁谐振过电压。操作过电压主要是由于操作高压断路器时改变了系统参数，产生电磁振荡暂态过程而引起的。弧光接地过电压则是由间隙性接地电弧引起的。很多内部过电压的发生具有随机性质，难以预测和准确计算。内过电压一旦发生常常造成严重后果。而过电压的出现，有的持续时间较长，有的持续时间则很短，特别是伴随电力系统故障出现的内过电压，具有突发事故性质，既不能事故前作好试验准备，也难以事故后模拟，因此很难得到发生内部过电压时的真实数据。而利用故障录波装置或按特殊要求加快了记录速度的故障录波装置，即可拍录下发生内部过电压时的波形曲线。为分析研究系统内部过电压问题，确定限制内过电压的措施提供依据，以保证电力系统的安全运行。

由此可见，故障录波装置对保证电力系统安全运行的作用十分重要，十分显著。所以故障录波装置在电力系统中得到迅速而广泛地应用。

第二节 故障录波装置的分类

在国内外的电力系统中，曾经使用和正在使用很多不同类型的故障录波装置。由于技术性能和生产成本的差异，不同电压等级的线路，可装设不同的故障录波装置。故障录波装置的种类按不同的方法分，可分作很多类。

一、按记录原理分

故障电气量的记录，可以用多种不同的原理来实现。按记录原理的不同，大体上可分为：

（一）光线式故障录波装置

电力系统发生事故时，通过起动装置快速起动光线式录波器，将故障电气量经过录波器振动子转换为光学信号，摄录于储存在胶卷盒中的胶卷或感光纸上，经过二次曝光或一般显、定影处理，显示出波形曲线来。

（二）印刷式故障录波装置

正常运行时，装置有一由直流电动机带动转动的印刷滚筒，滚筒表面由另一橡皮滚筒涂上油墨，与振动子连接的记录笔在筒面上画出波形，系统发生事故后，将记录纸推上与印刷滚筒接触，故障电气量的波形曲线即被记录下来。

（三）磁录式故障录波装置

磁录式故障录波装置因记录元件的不同而有磁带式和磁鼓式之分。电力系统发生事故时，通过记录磁头，将故障电信号转换为磁信号，记录在磁带或磁鼓上，然后再经读出磁头将磁信号还原成电信号，经电子示波器或光线式录波器显示出波形曲线来。

（四）数字式故障录波装置

利用“模-数”转换器将模拟量转换成数字量，送入移

位寄存器中，移位寄存器的输出量再经“数-模”转换器将数字量还原为模拟量，经显示装置显示出波形曲线来。亦可不经“数-模”转换器，而将移位寄存器的数字输出，直接送往电子计算机，由控制机去进行故障数据的处理。

在不同原理构成的故障录波装置中，光线式故障录波装置运行比较可靠，易于维护，电路较成熟，记录精度较高，复制方便，价格适中，国内现在定型生产大量使用的PGL型成套故障录波器屏，即是这种原理的基本产品。PGL型屏还可与信号延迟装置配合构成带记忆性能的故障录波装置。印刷式故障录波装置简单，有记忆作用，但记录精度较差，不能反映高次谐波，再加结构较陈旧，复制不便，国内现已不生产。磁录式故障录波装置有记忆作用，信息量较大，但写入、读出和显示较复杂，当需保证高精度时，对制造工艺和使用环境条件的要求均较高，国内尚无定型产品。数字式故障录波装置技术先进，记忆时间可较长，特别是多数可与电子计算机配合使用，但原理接线复杂，成本昂贵，备品配件困难，故一般均用于有更高要求的特高压线路和有特殊需要的地方。

二、按装置性能分

故障录波装置按基本性能可分为：

（一）不带记忆作用的故障录波装置

装置正常运行时不起动录波，输入信号直接送到记录部分，无延时环节，当系统发生事故时，快速起动机录波，仅故障瞬间起动机录波的一小段时间波形将丢掉，起动机速度越快，丢得越少。现在快速起动机不带记忆作用的故障录波装置起动机速度很快，可用在普通220千伏和相当于这一电压等级的超高压输电线路继电保护装置动作时间不是很快和

需要考虑经济因素的地方。

（二）带记忆作用的故障录波装置

装置正常运行时一般也不启动记录或显示，但输入信号已被延时处理后送到显示记录部分。因电力系统无故障，此时输入信号仅为正常负荷电气量，并不需要记录下来，故只是一面存入，一面取出。仅当系统发生事故时，方通过适当的启动装置控制，将故障电气量记录保存下来。装置虽在系统发生事故时方启动录波，似有一很短启动时间的滞后，但记录的是延迟后的信号，故仍可记录包括故障瞬间在内的完整的故障全过程波形，能记录下时间上已过去的故障电气量波形，相当于有“记忆”作用，因此将这类故障录波装置称作带记忆作用的故障录波装置。

三、按电路形式分

根据故障录波装置电路构成形式的不同，可分为：

（一）电磁式有接点故障录波装置

装置的测量、启动和逻辑控制电路，用电磁继电器组成，此类装置工作可靠，抗干扰能力较强。

（二）分立元件无接点故障录波装置

装置的测量、启动和逻辑控制电路，用晶体管电路组成，基本不用或完全不用有接点的继电器。体积小，功耗小，工作可靠性决定于元件质量和抗干扰能力。

（三）集成电路故障录波装置

装置的启动、控制和信号延迟以及数据储存部分均用集成电路构成，国外此类装置多为可记录各种突发事故或暂态信号的通用装置，亦有作电力系统故障录波的专用装置。

四、按操作电源分

根据故障录波装置所用操作电源的不同，可分为：

（一）直流操作故障录波装置

使用直流电源操作的故障录波装置，按操作电压的高低，又可分为直流强电控制和直流弱电控制两种。使用单独直流电源供电的故障录波装置，与故障地点和类型无关，故可靠性较高。

（二）交流操作故障录波装置

使用交流电源操作的故障录波装置，起动测量和逻辑控制回路可作得很简单，但起动速度慢，技术指标较差，特别是操作电源往往受故障地点和类型影响，工作可靠性较差，现已很少使用。

五、按构成部件分

根据故障录波装置的构成部件不同，可分为：

（一）可动型故障录波装置

构成故障录波装置的起动控制或信号记录或正常运行有转动部件的装置属此类。印刷式故障录波装置的滚筒和磁录式故障录波装置的磁带或磁鼓在正常运行中一直是处于转动状态的，故亦属此类。

（二）静止型故障录波装置

构成故障录波装置的起动控制和信号记录部分的部件均无可动或转动部件。这类装置多利用数字技术集成电路作成，具有良好的技术性能。

第二章 PGL-1型故障录波装置 的构成和工作原理

第一节 装置的特点和构成

PGL-1型成套故障录波装置是在分析总结我国现场运行经验的基础上，经过改进研制而成。装置的主要技术指标较国内运行的同类装置有显著的改进和提高。

一、装置的特点

(一) 起动速度快

起动速度是故障录波装置的一项重要技术指标。国内原有改制的各种光线式故障录波装置，起动速度均较慢，从发生故障开始，到拍录下故障电气量，即整组起动时间：直流操作时约为1~1.5周波（50赫），即20~30毫秒，个别最快者略低于一个周波；交流操作时约为2~4周波，即40~80毫秒。而PGL-1型故障录波装置的起动速度大大加快，其整组起动时间的实测值仅约5~8毫秒（两倍负序电压整定值时），小于0.5周波。国外快速起动的故障录波装置，其整组起动时间在4~10毫秒范围内。

(二) 采用输出三相电压的负序电压滤过器

PGL型故障录波装置中的主要起动元件，采用了输出三相电压的负序电压滤过器，同一般输出单相电压的负序电压滤过器相比，具有一些重要优点：它基本上消除了电路固有延时，动作速度快并且稳定；离散值小；输出功率大，灵