



电力信息化管理 实用手册

主编：张磊

安徽文化音像出版社

电力信息化管理实用手册

主编 张 磊

(第四卷)

安徽文化音像出版社

目 录

第十一章 网络安全分析软件	(1655)
第一节 预想故障分析	(1656)
一、预想故障分析的技术发展	(1657)
二、故障定义及其维护	(1658)
三、故障扫描	(1660)
四、故障详细分析	(1671)
五、预想故障分析的软件设计	(1676)
六、预想故障分析小结	(1680)
第二节 安全约束调度	(1681)
一、安全约束调度的技术发展	(1681)
二、安全约束调度基本理论	(1682)
三、安全约束调度中参数计算及基方程处理	(1686)
四、切负荷处理	(1689)
五、软件设计	(1689)
第三节 最优潮流	(1692)
一、最优潮流概述	(1692)
二、最优潮流的基本理论	(1695)
三、牛顿法最优潮流	(1699)
四、最优潮流软件设计	(1703)
第四节 电力系统静态等值	(1704)
一、基本描述	(1705)
二、Ward 等值	(1707)
三、REI 等值法	(1709)
四、软件设计	(1713)
第五节 电压稳定性分析	(1716)
一、电压稳定性的研究现状	(1716)
二、简单系统电压静态稳定分析	(1716)

三、负荷导纳法	(1720)
四、应用软件设计	(1723)
第十二章 调度员培训模拟	(1726)
第一节 调度员培训模拟器概述	(1726)
一、研究背景和意义	(1726)
二、主要功能及要求	(1727)
三、基本组成部分	(1730)
四、系统配置方式	(1731)
第二节 电力系统模型	(1733)
一、潮流技术	(1733)
二、动态模拟	(1736)
三、暂态稳定	(1737)
四、模拟周期	(1738)
第三节 动态模拟中的模型技术	(1742)
一、动态模型的建立	(1742)
二、原动机模型	(1742)
三、继电器模型	(1744)
第四节 培训系统	(1746)
一、培训系统的功能	(1746)
二、培训方案的建立	(1748)
三、用培训模拟器的培训过程	(1749)
第五节 控制中心模型及接口要求	(1752)
一、控制中心模型的主要功能	(1752)
二、电力系统模型的计算机要求	(1753)
三、控制中心模型计算机的要求	(1755)
四、接口要求	(1756)
第十三章 EMS 工程项目管理	(1760)
第一节 项目管理概述	(1760)
第二节 SCADA/EMS 立项	(1761)
第三节 SCADA/EMS 的招标	(1762)
一、填写技术要求	(1762)
二、投标者资格审查	(1764)
三、制订评议标准	(1764)
四、评标	(1764)

五、合同谈判	(1765)
第四节 项目实施	(1765)
一、制订实施计划	(1765)
二、功能审查与确认	(1766)
三、维护人员培训	(1766)
四、实验室验收 FAT (Factory Acceptance Test)	(1767)
五、调度员培训	(1767)
六、现场安装	(1768)
七、试运行	(1769)
八、可用率测试	(1769)
九、保修期	(1769)
第五节 软件设计、开发和维护	(1769)
一、项目总体设计	(1769)
二、项目的详细描述	(1770)
三、软件设计	(1770)
四、软件实现	(1771)
五、形成文件	(1771)
六、实验室验收	(1771)
七、现场验收	(1771)
八、项目管理与协调	(1772)

第五篇 配电管理系统 (DMS)

第一章 配电管理系统 (DMS) 概述	(1777)
第一节 配电管理系统总体构架	(1777)
第二节 配电管理系统的特点	(1779)
一、配电管理系统的站端设备多, 数据库庞大, 管理复杂	(1779)
二、配电管理系统的大量站端设备不在变电站内, 要求设备可靠性更高	(1779)
三、配电管理系统的通信方式多样复杂	(1779)
四、配电管理系统需要和配电网的改造配套进行	(1780)
第三节 配电管理系统的功能	(1780)
一、配电网的 SCADA 功能	(1780)
二、需方管理功能	(1782)
三、馈线自动化	(1783)
四、变电站自动化与变电站综合自动化	(1785)

五、配网高级应用软件 (PAS)	(1785)
六、配电网的图资地理信息系统	(1785)
第四节 配电自动化的发展	(1786)
一、国外配电自动化的发展	(1786)
二、我国配电自动化发展情况	(1787)
第二章 配电管理系统的通信方式	(1788)
第一节 配电通信的特点	(1788)
一、具有足够的通信可靠性	(1788)
二、满足目前并适应将来的数据传输速率	(1789)
三、具有双向通信的能力	(1789)
四、通信不受停电和故障的影响	(1789)
五、易于操作且维护工作量小	(1789)
六、具有较好的经济性	(1790)
第二节 配电线载波通信 (DLC)	(1791)
一、配电线载波通信的原理和特点	(1791)
二、配电线载波通信的不足	(1793)
三、配电线载波的拓展和发展	(1794)
第三节 光纤通信	(1794)
第四节 无线扩频通信	(1795)
第五节 租用电话线	(1796)
第六节 无线电通信	(1797)
一、调幅 (AM) 广播	(1797)
二、调频 (FM) 广播	(1797)
三、无线寻呼网	(1798)
四、甚高频通信	(1798)
五、特高频通信	(1798)
六、微波通信	(1798)
七、卫星通信	(1799)
八、混合通信系统	(1799)
第三章 馈线自动化技术 (FA)	(1800)
第一节 自动重合器	(1800)
第二节 分段器	(1812)
第三节 馈线 FTU	(1815)
一、FTU 组成和结构	(1815)

二、FTU 的性能	(1816)
第四节 区域工作站	(1818)
第五节 就地控制的馈线自动化	(1819)
一、重合器与电压一时间型分段器配合	(1819)
二、重合器与过流脉冲计数型分段器配合	(1822)
三、就地控制的馈线自动化系统的不足	(1823)
第六节 远方控制的馈线自动化	(1824)
第七节 就地与远方并存控制的馈线自动化	(1825)
第四章 变电站无人化与综合自动化	(1826)
第一节 变电站综合自动化概述	(1826)
第二节 变电站综合自动化的效益	(1827)
第五章 负荷控制技术及需方用电管理 (DSM)	(1830)
第一节 电力负荷控制概述	(1830)
一、电力负荷控制的必要性及其经济效益	(1830)
二、电力负荷控制种类	(1830)
三、负荷控制系统的基本层次和功能	(1832)
第二节 无线电负荷控制系统	(1833)
第三节 音频负荷控制系统	(1835)
一、音频控制系统的基本原理	(1835)
二、中央控制机及音频编码方式	(1836)
三、当地站控机	(1837)
四、音频信号发生器	(1837)
五、音频信号注入配电网的方式	(1838)
六、音频信号接收机	(1839)
第四节 工频负荷控制系统	(1840)
第五节 电力线载波负荷控制系统	(1841)
第六节 负荷管理 (LM) 与需方用电管理	(1843)
第六章 配电图资地理信息系统 (AM/FM/GIS)	(1845)
第一节 概述	(1845)
第二节 地理信息系统 (GIS) 基本概念与功能	(1846)
一、GIS 的基本概念	(1846)
二、GIS 的基本功能	(1847)
第三节 AM/FM/GIS 系统的特点	(1848)
第四节 AM/FM/GIS 系统在配电网中的应用	(1849)

一、AM/FM/GIS 系统在离线方面的应用	(1849)
二、AM/FM/GIS 系统在在线方面的应用	(1850)
三、AM/FM/GIS 在投诉电话热线中的应用	(1851)
第七章 远程自动抄表计费系统	(1852)
第一节 电子式电能表	(1852)
一、电子式电能表的发展和分类	(1852)
二、热电变换型电子式电能表	(1853)
三、模拟乘法器型电子式电能表	(1853)
四、数字乘法器型电子式电能表	(1853)
五、各种电能表的比较	(1854)
第二节 远程自动抄表计费系统	(1854)
一、远程自动抄表系统的发展	(1854)
二、远程自动抄表计费系统的构成	(1855)
第三节 远程自动抄表系统的通信方式	(1856)
一、通信传递介质	(1857)
二、通信网络结构	(1857)
三、远程自动抄表系统的典型方案	(1858)
第四节 预付费电能表及预付售电系统	(1860)
一、预付费电能表发展简述	(1860)
二、预付费电能表的分类	(1861)
三、预付费电能表的使用特点	(1863)
四、被付费售电管理系统	(1865)

第六编 电力地理信息系统 (GIS) 及应用

第一章 电力信息化硬件标准	(1871)
第一节 GB/T 288T—2000 电子计算机场地通用规范	(1871)
第二节 GB50174—1993 电子计算机机房设计规范	(1881)
附录一 名词解释	(1894)
附录二 本规范用词说明	(1894)
第三节 GB 50174—1993 电子计算机机房设计规范	(1895)
第四节 GB9361—1988 计算站场地安全要求	(1905)
第二章 电力地理信息系统的构建	(1911)
第一节 DL 510—1993 全国电网名称代码 (试行)	(1911)
第二节 GB/T 14085—1993 信息处理系统计算机系统配置图符号及约定	(1912)

第三节	GB 9385—1988 计算机软件需求说明编制指南	(1930)
第四节	GB 9386—1988 计算机软件测试文件编制规范	(1952)
附录 A	文件编制实施及使用指南	(1965)
第五节	GB/T 15532—1995 计算机软件单元测试	(1966)
附录 A	实现及使用指南	(1978)
附录 B	概念及假定	(1981)
第六节	GB/T 16260—1996 信息技术 软件产品评价质量特性及其使用指南	(1984)
附录 A	质量特性	(1991)
附录 B	工作历史	(1993)
第七节	GB/T 14079—1993 软件维护指南	(1995)
第八节	GB 1526—1989 信息处理—数据流程图、程序流程图、系统流程图、程序网络图和系统资源图的文件编制符号及约定	(2003)
附录 A	数据流程图示例	(2021)
附录 B	程序流程图示例	(2022)
附录 C	系统流程图示例	(2024)
附录 D	程序网络图示例	(2025)
附录 E	系统资源图示例	(2025)
第九节	GB/T 16680—1996 软件文档管理指南	(2026)
附录 A	文档策略检查表	(2037)
附录 B	文档计划检查表	(2038)
附录 C	软件文档编制时间	(2039)
附录 D	软件文档编制时间	(2039)
附录 E	各评审点评审内容	(2041)
附录 F	软件文档签署者	(2042)
第三章	电力监控系统标准	(2044)
第一节	DL/T 578—1995 水电厂计算机监控系统基本技术条件	(2044)
附录 A		(2072)
第二节	DL/T 5065—1996 水力发电厂计算机监控系统设计规定	(2073)
第三节	水力发电厂计算机监控系统设计规定	(2084)
第四章	电网调度自动化规程	(2094)
第一节	DL 516—1993 电网调度自动化系统运行管理规程	(2094)
第二节	DL/T 534—1993 电力调度通信总机技术要求	(2104)
第五章	电力系统通信自动化规程	(2109)
第一节	DL/T 544—1994 电力系统通信管理规程	(2109)

附录 A	电力系统通信年报统计实施细则	(2123)
附录 B	电力系统通信用报统计实施细则	(2127)
第二节	DL/T 545—1994 电力系统微波通信运行管理规程	(2129)
附录 A	微波辐射暂行卫生标准	(2137)
第三节	DL/T 546—1994 电力系统载波通信运行管理规程	(2138)
第四节	DL/T 547—1994 电力系统光纤通信运行管理规程	(2151)
附录 A	光纤通信工程的竣工验收和试运行管理暂行规定	(2164)

附 录

附录 1	《电网与电厂计算机监控系统及调度数据网络安全防护规定》	(2171)
附录 2	计算机病毒防治管理办法	(2173)
附录 3	中华人民共和国和计算信息系统安全保护条例	(2176)
附录 4	中华人民共和国计算机信息网络国际联网管理暂行规定	(2179)
附录 5	互联网信息服务管理办法	(2181)
附录 6	邮电部专用网与公用网联网的暂行规定	(2185)
附录 7	国家保密局计算机信息系统保密管理暂行规定	(2191)
附录 8	公安部计算机信息系统安全专用产品检测和销售许可证管理办法	(2194)
附录 9	国家保密局涉及国家秘密的通信、办公自动化和计算机信息系统 审批暂行办法	(2198)
附录 10	电力工程优秀勘测、优秀设计、优秀标准设计及优秀计算机软件项目 评选管理办法	(2201)
附录 11	电网调度信息披露暂行办法	(2204)
附录 12	国家电力监管委员会关于发电厂并网运行管理的意见	(2206)

第十一章 网络安全分析软件

有了状态估计产生的实时方式和潮流产生的研究（假想）方式，其它网络分析软件便成为“有源之水，有本之木”（图4-11-1）。

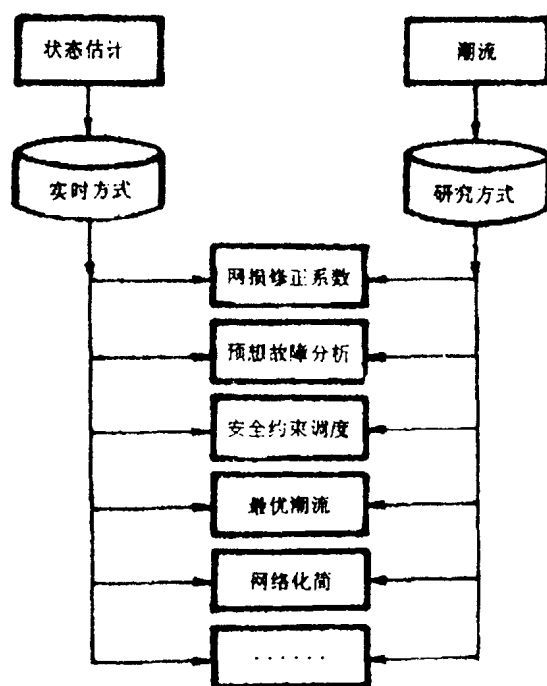


图4-11-1 网络分析软件的数据来源

电力系统安全运行应满足以下三类条件：

- ①系统负荷需求（用 E 表示）；
- ②运行约束（无潮流和电压越限，用 C 表示）；
- ③可靠性约束（预想故障分析，用 R 表示）。

如图4-11-2所示，针对这三类条件电力系统可分为五种状态：

- ①正常状态：也称为正常安全状态，满足全部三类条件，能满足全部负荷又没有越限，而且能承受预想故障的冲击。

②警戒状态：也可称为正常不安全状态，能满足全部负荷又没有越限，但承受不了预想故障的冲击。若针对预想故障采取预防性控制，系统可以回到正常状态；否则系统处在警戒状态，一旦出现预想故障，系统陷于紧急状态。

③紧急状态：能满足全部负荷但已出现支路或电压越限。若事先有所警戒，能准确及时采取安全校正措施，可能回到警戒状态或正常状态；否则可能导致系统瓦解。

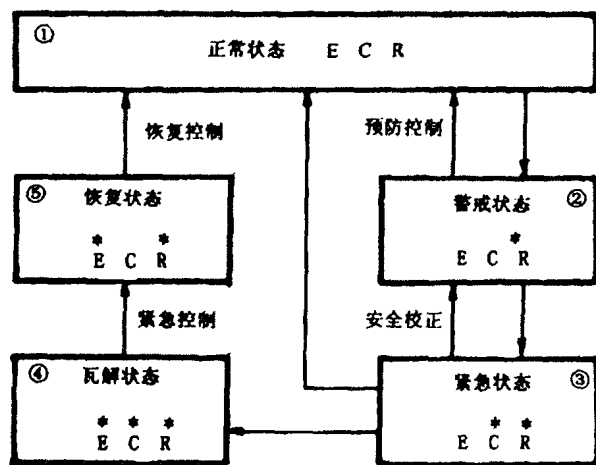


图 4-11-2 电力系统运行状态

E 满足负荷，C 满足约束，R 满足预想故障分析，

* 不满足约束条件

④瓦解状态：全部三类条件都破坏了，已不能满足全部负荷需求了。采取紧急控制制止事故扩大，过渡到恢复状态。

⑤恢复状态：事故不再扩大，网络元件越限已经解除，但许多用户尚未恢复供电，通过恢复控制回到正常状态。

本章将介绍目前已实用的静态安全分析软件。其着眼点是当前 EMS 的最大作用不在于实时处理电力系统事故（那需要有另一次技术飞跃，恐怕是下一世纪的事），而在干预防事故。介绍的内容包括预想故障分析、安全约束调度、最优潮流、网络化简和电压稳定性分析。

第一节 预想故障分析

所谓预想故障分析指的是针对预先设定的电力系统元件（如线路、变压器、发电机、负荷和母线等）的故障及其组合，确定他们对电力系统安全运行产生的影响。

预想故障分析的主要功能:

- ①按调度员的需要方便地设定预想故障;
- ②快速区分各种故障对电力系统安全运行的危害程度;
- ③准确分析严重故障后的系统状态,并能方便而直观展示结果。

一、预想故障分析的技术发展

在不具备网络分析能力的年代,电力系统安全措施主要是如何保证足够的旋转备用,付出的经济代价沉重。计算机计算潮流提供了网络安全分析能力,即针对一个故障而计算的潮流就是一次故障分析。

早期的预想故障分析是采用一般交流潮流和直流潮流,连续计算预想故障集合中各种故障情况的潮流解,以判定它对系统安全运行的影响。然而这种作法随着电力系统规模的扩大和预想故障数的增加而变得越来越不可能,到目前为止预想故障分析的技术发展一直集中在如何减少分析的故障数和加快分析速度这两个关键点上。

1979年G. Ejebe等首先提出故障排序,即故障的自动选择方法。对预想故障集合中的故障,根据某种性能指标按严重程度排队,并按该顺序对可能有严重后果的部分故障进行潮流分析。

80年代到90年代预想故障分析技术的发展主要在以下三方面:

①降低分析的故障数:这些年代的大停电事故是由多重故障引起的,但排列组合式的 $n-1$, $n-2$, ... (一重故障、二重故障……, n 为网络元件数) 设置预想故障的方式是不可取的,因为每增加一重故障其计算量呈几何级数增长。90年代初提出定义故障组的方式比较好地解决了这一问题。

②提高故障扫描速度:将欲分析的故障分为两类,一类是对电网安全不构成威胁的无害故障,一类是威胁安全的有害故障,后者需要进行详细分析。

故障扫描方法多种多样,按是否进行潮流计算分为间接法和直接法两大类。而进行潮流计算的直接法,为了加速计算又可分为两大类,一是利用连续计算故障降低计算量的方法,二是按故障波及范围缩小计算规模的方法。降低计算量的方法有三,一是利用叠加原理,二是采用稀疏向量技术,三是部分因子修正技术;缩小计算规模的方法有中心松弛法和边界法等。

③故障详细评估一般采用全潮流计算,但为了缩短时间也可以采用故障扫描中降低计算量和缩小计算规模的方法。

这三方面技术在实用中是相互配合的。近年来利用模糊概念和专家系统技术进行故障筛选的方法有较大的发展。

二、故障定义及其维护

随着电网规模的扩大,可能出现的故障类型也在增多,根据不同的条件或准则能够对故障进行不同形式的分类。

故障分类的主要目的:

- ①提高预想故障分析的准确程度;
- ②降低预想故障分析的计算量;
- ③改善预想故障分析的灵活性和方便性。

在预想故障分析软件中按不同的需要,对故障和故障组进行不同的分类。在定义预想故障集时,采用物理分类方式;在分析过程中,对故障按危害程度分类。

故障分类的科学性是提高预想故障分析软件设计质量的重要一步。

在早期的预想故障分析中,一般只进行 $n-1$ 扫描式的故障选择和分析,即分别开断系统的每个网络元件,计算其后的电网状态。

随着电网结构的增强,绝大多数单重元件的开断已不构成对系统有危害的故障;况且极少数构成危害的单重元件开断的影响范围和安全对策已被调度人员所熟悉。因此这种机械地 $n-1$ 扫描方式在实用中由于效率过低而不受重视。随着电网规模的扩大和结构的变化,调度人员更重视的是多重故障分析,但若进行 $n-2$ 或 $n-3$ 扫描方式则计算量将按雪崩的方式扩展,在技术上是不现实的。

90 年代初出现了以预想故障集合方式代替 $n-1$ 扫描方式,其特点是能方便灵活地定义多重故障,因此是最实用的方式。

预想故障集合是由有经验的调度人员和运行分析人员给出的,它包括各种可能的故障及其组合,并且可以规定监视元件及条件故障以自动产生复杂故障。运行中使用者可以激活感兴趣的故障组进行分析计算。

预想故障集合方式的优点:

- ①更方便、更有效定义多重故障;
- ②实际上只分析感兴趣的故障组,大大提高了计算效率;
- ③能灵活、方便、快速模拟和再现电网实际故障过程。

预想故障集合的定义和管理技术是提高该应用软件性能的关键。为此,应以物理分类的方式按层次定义预想故障集合(图 4-11-3)。

一个完整的故障由四部分组成:主开断元件、条件监视元件、条件开断元件和规则集。

- ①主开断元件:可以是电网中任何元件,如变压器、线路、发电机、负荷、电容

器、电抗器、开关或母线等。故障可以是单重的，也可以是多重的，而多重故障可以是同一类元件，也可以是几类元件的组合。开关断（合）也包含在故障定义之中，这对模拟变电站事故等是非常方便的。

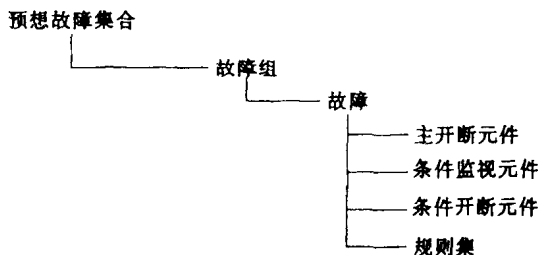


图 4-11-3 预想故障集合的结构

②条件监视元件及条件开断元件：配合使用，可以模拟继发性故障。在实际电力系统中，某些元件故障可能引发其它元件的开断，这就需要引入条件故障的概念。当主开断元件的动作引起开断监视元件越限时，条件开断元件随之动作。这种带有条件监视元件和条件开断元件的故障称为条件故障。

③规则集：描述主开断元件动作后，调度人员按规定或经验所必须执行的操作。在实际电网中，当一些关键元件开断或关键监视元件越限时，系统内已制订了一些相应措施指导调度人员操作，规则集中放置这些措施，以便有效模拟故障后系统的真实状态。

规则集的建立和应用，实际上是将专家系统的思想引入预想故障分析，使其结果更准确、可信和有效，当然这也为安全约束调度、最优潮流和培训模拟等应用软件提供了安全对策。

故障组是具有某种特征的若干故障的集合。这些物理特征可以是：

- ①按故障重数划分，如单重、二重、多重等；
- ②按开断元件类型划分，如线路、变压器等；
- ③按地区划分，如 A 地区故障、B 地区故障等；
- ④按故障电压等级划分，如 500kV、220kV、110kV 等。

已定义的故障可以放到一个故障组或多个故障组中。故障集合是全部定义故障组的总称。

在故障集合中的各故障组在缺省的条件下是全部激活的，但可以对每一故障组单设“停用”标志，在故障扫描时自然会跳过这些故障组，仅分析激活的故障组。

属一个激活的故障组的各个故障，缺省条件下是自然被激活的，但可以对每一故障单独设“停用”标志，在故障分析中自动会跳过这些故障，仅分析激活的故障。

实际应用中故障组、故障表需要认真的维护，随电网的变化和发展要不断补充新的

故障和故障组定义,要不断删除或停用无意义的故障和故障组定义。这样才能使一线调度员最方便而有效地应用预想故障分析软件。

实际上 $n-1$ 扫描方式是这种故障集合方式的一个特例,可以定义一个“ $n-1$ ”故障组。在需要的时候激活它,执行 $n-1$ 故障分析。

总之,采用故障集合方式,既提高了预想故障分析的有效性和节省计算时间,又能灵活而方便地规定分析目标。与以前的 $n-1$ 扫描方式相比,预想故障集合的方式具有无可比拟的优越性和实用价值。

三、故障扫描

故障扫描是对故障集中的故障进行预处理,将其分为两大类,一类是无需潮流计算即可确定为不会产生越限的“无害”故障,一类是需要通过潮流计算才判断其危险程度的“有害”故障。其目的是避免不必要的潮流计算,加快预想故障分析速度。

故障扫描的目标是用较短的时间尽可能多淘汰“无害”故障,但又不能漏掉一个有害故障。

故障扫描的方法可以分为两大类:

①间接法:或称排队法或性能指标法,不直接计算故障后的功率和电压,仅利用产生故障时的某些数据进行排队,快速性好精度低。对非线性变化较强的故障(例如电压和无功类故障)和非连续变化的模型(如机组无功越限和变压器分接头的变化)会产生很大的误差。

②直接法:快速计算故障后的近似潮流,由此将故障按严重程度排队。

预想故障的扫描示于图 4-11-4,先将故障分解为解列性故障和非解列性故障,解列性故障可立即归类于“有害”故障,而非解列性故障要再继续分类。

非解列性故障将进一步将非线性故障和非连续性故障划分出来,对这两类故障进一步用直接法区分“有害”故障和非“有害”故障,对其余的故障可以用更简单的间接法区分“有害”与否。

下面进一步讨论故障扫描中的几个问题:

(一) 系统解列的判断

在实际电力系统中,系统解列是比较严重的故障,需要进行分岛计算。系统解列可以调用网络结线分析(拓扑)模块进行判断,其优点是准确,缺点是担来量较大。

这里介绍基于因子分解表对角元素项的判别方法。这种方法是:按快速分解法分解(或修正)母线电纳矩阵 B' 之后,考察因子表的对角线是否有零项,有零判为解列,无零判为无解列。

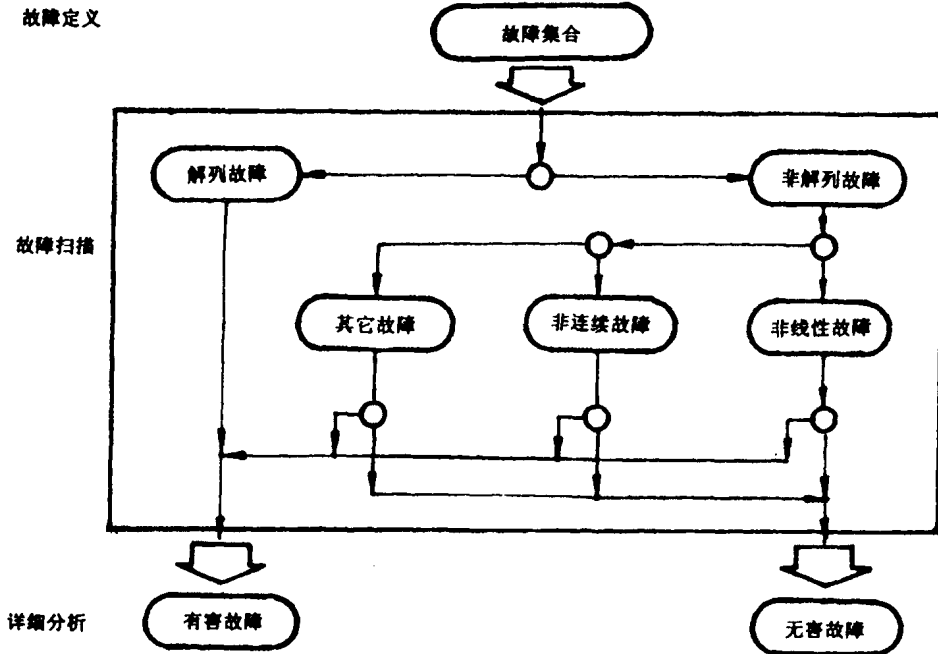


图 4-11-4 故障分析过程

原理在于，对于有 n 个母线的系统来说，满足功率平衡条件的方程只有 $n-1$ 个是线性独立的，即 B' 矩阵的秩为 $n-1$ ；当系统解列为多岛之后，每个岛均要满足功率平衡方程，如果分为 2 个岛： $n = n_1 + n_2$ ，独立功率平衡方程为： $n_1 - 1 + n_2 - 1$ ，而 $n-1 > n_1 - 1 + n_2 - 1$ ，故 B' 矩阵的秩小于 $n-1$ ，因子表的对角线项必然会出现零元素。

（二）非线性故障的判别

故障一般会在某些母线上造成功率不平衡，系统潮流随之发生变化以吸收这些不平衡量，仅在这些变化足够小时，系统模型才满足线性化要求，可以应用性能指标法排序。

其实，系统变化是否满足线性变化条件并没有统一标准或指标，只能利用一些近似准则，通过统计规律来挑选合适的指标。显然，该指标应该与系统运行状态、网络结构及参数都有关系。下面介绍几项可用的指标。

（1）线路型元件开断

设母线 i 和 j 之间的线路 k 开断，判别指标定义为

$$S_k = \max \left\{ \left| \frac{T_y}{Y_i^{eq}} \right|, \left| \frac{T_j}{Y_j^{eq}} \right| \right\} \quad (11-1)$$

式中， T_y 、 T_j 为线路 k 两端开断前的潮流； Y_i^{eq} 、 Y_j^{eq} 为母线 i 、 j 的等值导纳。