

韦根原 编著

大型火电机组 顺序控制与热工保护



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

大型火电机组 顺序控制与热工保护

韦根原 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书讲述了开关量控制系统的组成及继电器控制逻辑、PLC 编程实现的方法和
应用原则；顺序功能图（SFC）的结构、运用规则和应用范围；大型火电机组顺
序控制结构和采用 SFC 方法描述功能组的一些实例。对热工保护系统进行了分类
讲解，探讨了应对减少保护系统误动作的对策，介绍了报警系统的功能和形式。

本书理论知识与实例相结合，应用性较强。可作为高等院校火电厂顺序控制和
热工保护课程的教材，也可作为火电厂热工及运行专业顺序控制和保护方面的培训
教材，亦可供科研人员、高等学校教师、工程技术人员等参考之用。

图书在版编目（CIP）数据

大型火电机组顺序控制与热工保护/韦根原编著. —北
京：中国电力出版社，2008. 3

ISBN 978-7-5083-6692-0

I. 大… II. 韦… III. 火力发电-发电机-机组-热力
工程-自动控制系统 IV. TM621. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 006988 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>）

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 3 月第一版 2008 年 3 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.75 印张 243 千字
印数 0001—3000 册 定价 19.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

在过程自动控制中，反馈控制和顺序控制是两类同等重要的控制系统。长期以来，人们研究、学习较多的是反馈控制。而工业生产中应用更为广泛、接触更多的却是顺序控制。究其原因无外乎以下两种情况：①反馈控制有扎实的理论基础和系统的研究方法。自 1784 年 Watt 发明离心式调速器以来，对反馈控制的理论研究就从来没有间断过。从单回路控制到复杂回路控制，从古典控制理论到现代控制理论，从线性控制到非线性控制，从对传统的 PID 控制的不断完善到对智能控制研究的方兴未艾，反馈控制理论研究无论从高度还是广度无不达到了一个崭新的境界。反观顺序控制，从 1804 年 Jacquard 发明穿孔式纺织机开始，到 1847 年 Bool 提出了作为顺序控制基础理论的布尔代数后，顺序控制理论研究似乎进入停滞阶段。顺序控制无论是作为一门学问，还是作为一种设计方法，都还没有系统化，因此称顺序控制为“现场实践的学问”（《顺序控制—新理论及设计法》）。②反馈控制系统的应用有明确的分工界限。反馈控制系统的设计和应用以 SAMA 图为界限，熟悉控制过程的技术人员把过程控制策略用 SAMA 图表达后即完成了设计任务，提供控制设备的厂方技术人员根据 SAMA 图即可完成控制方案的组态实现，SAMA 图提供了一个反馈控制系统设计和方案实现的交流平台，极大地方便了控制系统的研究和应用。而顺序控制系统长期以来却缺少这样的平台，这为顺序控制系统的讨论和交流带来了不便。

本书是在多年的《火电厂顺序控制和热工保护》本科课程讲义和多次为新建大型机组热工人员进行本课程培训的资料基础上编写的适于本课程本科教学和热工培训的教材，力图体现以下几点：①理论和实际相结合。本书引用的顺序控制实例均为新建 600MW 机组的实例，本书在说明控制要求和控制过程前对实现顺序控制的控制设备、设计方法和涉及的编程语言，做了归纳和铺垫，为顺序控制系统的分析设计打下基础。在热工保护系统方面则强调

了提高保护系统可靠性的理论依据。②研究和采用新的设计方法。寻求使顺序控制系统设计系统化的方法。顺序控制系统的表达和设计依赖于所采用控制设备的语言，这限制了顺序控制设计方案的交流和讨论。本书以顺序功能图(SFC)作为顺序控制策略交流的平台，所叙的顺序控制方案均按顺序功能图的规则进行控制流程的叙述，不但兼顾了程序设计人员和设备运行人员的需求，也为顺序功能图的推广应用提供了有价值的范例。对顺序功能图描述的顺序控制系统实现的技术方法，本书进行了讨论。③体现新的顺序控制策略。大型火电机组对自动控制水平的要求也越来越高，已出现了作用相当于智能运行班组的机组级自启停控制系统(APS)。本书采用顺序功能图表述了这个系统的结构并对其运行方式进行分析，也为这个系统的不断改进建立了交流讨论的平台。

华北电力大学刘吉臻教授审阅了全书，在此向刘教授致以诚挚的谢意。

本书在编写过程中得到了相关单位的热情支持，在此深表感谢。本书还引用了国内外专家、学者的论文和著作中的有关内容和实例，在书中参考文献中都已列出，在此向他们致以诚挚的谢意。

由于时间及水平所限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。
(联系方式: weigenyuan@china.com.cn)

编者

2008年1月

目 录

前言

第一章 绪论 1

① 第一节 热工开关量控制技术的内容 1

第二节 开关量控制系统的组成 3

第二章 开关量变送器及执行部件 5

① 第一节 开关量变送器 5

第二节 电动执行机构 8

第三节 气动执行机构和液动执行机构 10

第三章 开关量控制装置及应用 13

① 第一节 继电器逻辑控制原理及实例 14

第二节 可编程序控制器的定义和应用综述 24

第三节 可编程序控制器的工作过程和 I/O 接线 25

第四节 可编程序控制器的软件及编程语言 30

第五节 可编程序控制器的梯形图编程和实例 34

第六节 顺序功能图的结构及应用实例 47

第七节 仿顺序功能图的编程方法 56

第四章 火电机组顺序控制系统 65

① 第一节 火电机组顺序控制系统的控制方式 65

第二节 顺序控制系统设备级控制 67

第三节 顺序控制系统功能组控制 69

第四节 顺序控制系统机组级控制 104

第五章 火电机组热工保护系统 111

① 第一节 综述 111

第二节 锅炉热工保护系统 114

| | | |
|-----|-------------------|-----|
| 第三节 | 汽轮机热工保护系统 | 125 |
| 第四节 | 单元机组的热工保护 | 131 |
| 第五节 | 单元机组的旁路控制系统 | 137 |
| 第六节 | 保护系统故障原因和对策 | 143 |

第六章 自动报警系统 149

| | | |
|-----|---------------------|-----|
| 第一节 | 热工报警信号和自动报警系统 | 149 |
| 第二节 | 屏幕报警显示方式 | 152 |

附录 1 常用控制电气图形及文字符号新旧对照表 156

附录 2 开关量控制信号的摄取方法 162

参考文献 166

| | | |
|-----|-------|-----|
| 1 | ..... | 166 |
| 2 | ..... | 166 |
| 3 | ..... | 166 |
| 4 | ..... | 166 |
| 5 | ..... | 166 |
| 6 | ..... | 166 |
| 7 | ..... | 166 |
| 8 | ..... | 166 |
| 9 | ..... | 166 |
| 10 | ..... | 166 |
| 11 | ..... | 166 |
| 12 | ..... | 166 |
| 13 | ..... | 166 |
| 14 | ..... | 166 |
| 15 | ..... | 166 |
| 16 | ..... | 166 |
| 17 | ..... | 166 |
| 18 | ..... | 166 |
| 19 | ..... | 166 |
| 20 | ..... | 166 |
| 21 | ..... | 166 |
| 22 | ..... | 166 |
| 23 | ..... | 166 |
| 24 | ..... | 166 |
| 25 | ..... | 166 |
| 26 | ..... | 166 |
| 27 | ..... | 166 |
| 28 | ..... | 166 |
| 29 | ..... | 166 |
| 30 | ..... | 166 |
| 31 | ..... | 166 |
| 32 | ..... | 166 |
| 33 | ..... | 166 |
| 34 | ..... | 166 |
| 35 | ..... | 166 |
| 36 | ..... | 166 |
| 37 | ..... | 166 |
| 38 | ..... | 166 |
| 39 | ..... | 166 |
| 40 | ..... | 166 |
| 41 | ..... | 166 |
| 42 | ..... | 166 |
| 43 | ..... | 166 |
| 44 | ..... | 166 |
| 45 | ..... | 166 |
| 46 | ..... | 166 |
| 47 | ..... | 166 |
| 48 | ..... | 166 |
| 49 | ..... | 166 |
| 50 | ..... | 166 |
| 51 | ..... | 166 |
| 52 | ..... | 166 |
| 53 | ..... | 166 |
| 54 | ..... | 166 |
| 55 | ..... | 166 |
| 56 | ..... | 166 |
| 57 | ..... | 166 |
| 58 | ..... | 166 |
| 59 | ..... | 166 |
| 60 | ..... | 166 |
| 61 | ..... | 166 |
| 62 | ..... | 166 |
| 63 | ..... | 166 |
| 64 | ..... | 166 |
| 65 | ..... | 166 |
| 66 | ..... | 166 |
| 67 | ..... | 166 |
| 68 | ..... | 166 |
| 69 | ..... | 166 |
| 70 | ..... | 166 |
| 71 | ..... | 166 |
| 72 | ..... | 166 |
| 73 | ..... | 166 |
| 74 | ..... | 166 |
| 75 | ..... | 166 |
| 76 | ..... | 166 |
| 77 | ..... | 166 |
| 78 | ..... | 166 |
| 79 | ..... | 166 |
| 80 | ..... | 166 |
| 81 | ..... | 166 |
| 82 | ..... | 166 |
| 83 | ..... | 166 |
| 84 | ..... | 166 |
| 85 | ..... | 166 |
| 86 | ..... | 166 |
| 87 | ..... | 166 |
| 88 | ..... | 166 |
| 89 | ..... | 166 |
| 90 | ..... | 166 |
| 91 | ..... | 166 |
| 92 | ..... | 166 |
| 93 | ..... | 166 |
| 94 | ..... | 166 |
| 95 | ..... | 166 |
| 96 | ..... | 166 |
| 97 | ..... | 166 |
| 98 | ..... | 166 |
| 99 | ..... | 166 |
| 100 | ..... | 166 |

第一章

绪 论

第一节 热工开关量控制技术的内容

生产过程自动化中存在两种控制类型，即模拟量控制和开关量控制。模拟量控制也称反馈控制，而开关量控制通常指的是顺序控制。它们的控制目的是一致的，就是为了达到某种目标，在对象上施以必要的操作。这个目标在反馈控制中就是使被调量与设定值一致，而在顺序控制中就是使控制动作按预先设定好的顺序进行，如图 1-1 所示。

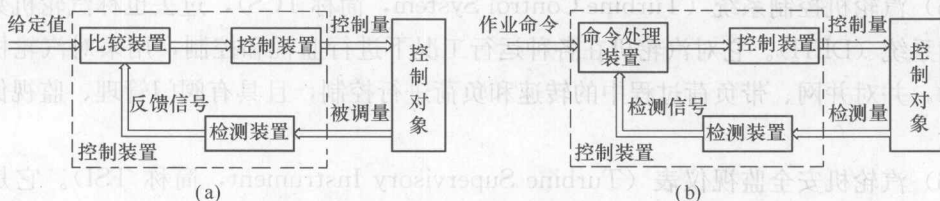


图 1-1 反馈控制和顺序控制的基本构成

(a) 反馈控制系统；(b) 顺序控制系统

顺序控制没有设定值的概念，而用作业命令代替设定值。作业命令、检测信号及命令处理的输出主要是开关量，命令处理的主要部分由数字电路构成。

开关量是指两个对立的、稳定的物理状态，是两状态变量，可采用一种符号表示。对立是指两个物理状态有着非此即彼、互为依存并能相互转化的关系。稳定是指从控制角度达到的稳定情况而不着重这两种物理状态相互转化的具体过程。开关量控制是指在过程控制中，状态信息的检测、转换、运算和输出控制信号都以开关量信号进行。这种以检测和处理解开关量信息为特征所形成的控制理论和方法称为开关量控制技术。热工开关量控制技术则是指在热力生产过程中所涉及的开关量控制技术。

生产自动化过程中，全部的控制技术可以用四个方面的内容概括，即控制 (Control)、报警 (Alarm)、监测 (Monitor)、保护 (Protection)，简称 CAMP。火电机组热工自动化控制技术涵盖以上内容，贯穿热力生产的全过程。具体的系统有：

(1) 计算机监视系统 (Computer Monitoring System, 简称 CMS)，也称数据采集系统 (DAS)。它对成百上千个运行过程参数进行高速实时采样并存储，具有数据采集、屏幕显示、监视、报警、记录、计算、操作指导、数据管理等功能。

(2) 模拟量控制系统 (Modulation Control System, 简称 MCS), 过去称协调控制系统 (CCS)。它是在单元机组中协调锅炉和汽轮机在自动控制状态下的出力, 以适应机组调频调峰的需要。它可以接受自动负荷分配指令信号、手动给定负荷指令信号和机组功率、频差信号, 发出锅炉燃烧量和汽轮机调门开度指令, 使机组功率快速平稳地适应外界负荷要求并保证机组安全运行。在这个过程中还需由各子系统保持主蒸汽压力、主蒸汽温度、再热蒸汽温度、炉膛负压、烟气含氧量、汽包水位和除氧器压力、水位等运行参数在允许范围内。

(3) 顺序控制系统 (Sequence Control System, 简称 SCS 或 SEQ)。它按一定的次序、条件和时间要求对主、辅机的附属设备以及局部工艺流程中的设备自动进行一系列启停操作。

(4) 锅炉炉膛安全监视系统 (Furnace Safeguard Supervisory System, 简称 FSSS), 也称燃烧器管理系统 (BMS)。它是在锅炉点火启动、正常运行和停炉的各阶段, 密切监视锅炉燃烧状态等大量信息, 不断按照安全规定的顺序对它们进行逻辑判断并提供一套安全连锁及顺序控制措施, 防止炉膛爆炸事故的发生。它也对燃烧设备、冷却风、密封风以及炉水循环泵等设备提供顺序控制和连锁保护。

(5) 汽轮机控制系统 (Turbine Control System, 简称 TCS), 过去也称汽轮机数字电液调节系统 (DEH)。它对汽轮机在各种运行工况下进行监视和控制, 用来对汽轮机组进行启动, 并对并网、带负荷过程中的转速和负荷进行控制, 且具有阀门管理、监视保护等功能。

(6) 汽轮机安全监视仪表 (Turbine Supervisory Instrument, 简称 TSI)。它是一种可靠的连续监视汽轮发电机组转子和汽缸的机械量工作参数的多路监控系统, 用于连续显示汽轮机组的启停和运行状态, 并为记录仪表和其他系统提供信号。

(7) 汽轮机紧急跳闸保护系统 (Emergency Trip System, 简称 ETS)。它是在汽轮机保护项目中的参数有任一个越限时, 关闭汽轮机的所有进汽阀门, 使汽轮机紧急跳闸。

(8) 汽轮机旁路系统 (By-Pass System, 简称 BPS)。它具有调节汽轮机蒸汽流量的作用, 在机组启动、停止和发生事故时对机组进行自动调节和保护, 并适应机组的多种启动方式和异常工况下的要求。

(9) 报警系统 (Annunciator System, 简称 ANN)。它是在所监视的参数异常时通过音响和灯光显示等手段将信息反馈给运行人员, 提醒运行人员采取措施消除故障。

上述系统中, 属热工开关量控制技术范畴的系统有: SCS、FSSS、ETS、BPS、ANN。它们集中体现了开关量控制技术的两大主要功能: 顺序控制和热工保护。

顺序控制用于生产过程中主、辅机的自动启停操作以及局部工艺系统的运行操作。它将关系密切的若干控制对象集中起来, 根据一定的生产规律, 按照预先拟定的顺序、时间或条件, 有计划有步骤地使生产工艺中各有关设备自动地进行一系列操作。顺序控制是开关量控制领域中最主要的控制方式。

热工保护是当机组在启停和运行过程中, 若出现异常情况和危险工况, 发生可能危及设备和人身安全的故障时, 能根据故障的情况和性质, 自动地采取措施, 对个别或一系列

设备进行操作处理，以消除异常和防止事故扩大。

联锁是一种属于保护范畴的处理事故的控制技术，是利用被控对象之间存在的简单逻辑关系，使这些对象相互牵连，形成联锁反应，从而实现自动保护的一种控制方式。联锁控制有闭锁控制和联动控制两种方式。甲动作是乙动作的必要条件，则这种关系为闭锁关系。甲动作是乙动作的充分条件，则这种关系为联动关系。例如：引风机因故障全部跳闸时，引起送风机、排粉机、给煤机、磨煤机等相继依次跳闸，这为联动关系或者说引风机未运行时，则送风机、排粉机、给煤机、磨煤机等相继不允许启动，这种控制关系则称闭锁控制。汽轮机润滑油压低时，自动启动交流油泵；油压继续降低时，启动直流油泵，停止交流油泵的运行等，这种控制关系称联动控制。

可见热工保护是一种自动控制手段，它的目的是以保证某一参数在限制的范围内或某一设备符合安全运行的条件为前提，监视运行过程，一旦参数越限或设备安全运行的条件被破坏，则产生预定的动作，以避免造成设备损坏和人身伤亡事故，是处理事故的最后手段。

热工保护作为一种控制技术手段，既可以结合在控制系统中应用，也可以针对特定重要对象单独设置保护装置。

综上所述，热工开关量控制技术包含顺序控制、热工保护和报警技术三个内容，是处理热力生产过程中大量开关量信息的一门控制技术，是机组自动化控制的重要组成部分。

第二节 开关量控制系统的组成

开关量控制系统作为一个完整有序的系统，主要以实现顺序控制功能为主。它的控制装置主要由三部分组成：检测装置、逻辑控制装置和执行器。此外，还包括控制指令装置、监视装置等，如图 1-2 所示。

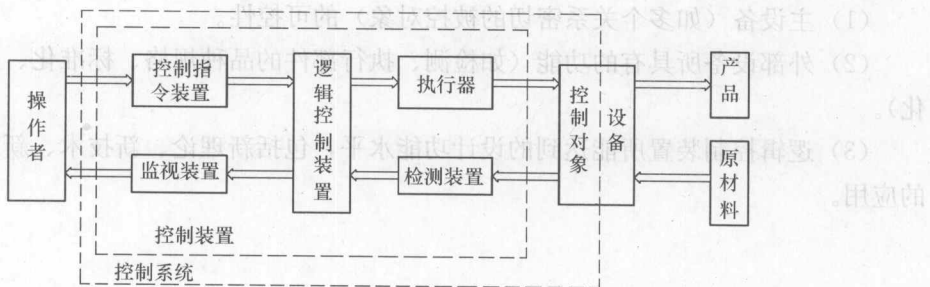


图 1-2 顺序控制装置与系统的构成

开关量的检测装置常称为开关量变送器或逻辑开关，包括限位开关、压力开关、温度开关、光电开关、电位器、测速发电机、译码器、编码器等。它的作用是将被测物理量转换成开关形式的电信号。开关形式的输出信号是仅有两种对立状态的逻辑变量，输出有干触点、半导体触点和电位信号三种形式。开关量变送器具有结构简单、可靠性高的特点。采用开关量变送器是获取开关量信息的主要手段。

开关量控制系统的执行器也称执行机构，执行逻辑控制装置或人工发出的指令，完成特定的控制任务，是开关量控制系统的最后环节。常见的执行机构有电动机、阀门（挡板）、电磁阀三种类型。对执行机构的控制除了有电动机的启停、阀门的开闭命令外，还要有自动保护、状态指示等辅助功能，这需要特定的逻辑控制电路实现。

逻辑控制装置是开关量自动控制系统的核心，对大量信息进行逻辑运算和判断并发出控制命令，保证生产过程的自动进行。它所使用的逻辑器件种类多：有继电器逻辑器件、晶体管逻辑器件、集成电路逻辑器件和可编程逻辑器件；编制的程序可变性差别大：有固定程序方式、矩阵式可变程序方式和可编程序方式。它所使用的逻辑控制原理有时间程序式、基本逻辑式和步进式。时间程序式是按照预先设定的时间顺序控制，每一程序有严格的固定时间，采用专门的时间发出信号部件，顺序发出时间信号。基本逻辑式是采用基本的“与”、“或”、“非”门，触发电路，延时电路等构成特定控制功能的逻辑表达式，当输入信号符合预定的逻辑运算关系时，相应的表达式为真。步进式是顺序控制过程中典型的工作状态，将整个顺控过程分为若干个阶段，相应地整个控制电路分为若干个程序步电路，程序步的转换（进展）根据操作条件、回报信号或设定的时间依次进行，因此使控制过程依赖于步的进展，具有了明确的顺序关系。从开关量控制装置与被控对象的控制关系上可分为开环控制方式和闭环控制方式。在控制过程中，逻辑控制装置发出操作指令后不需被控对象的回报信号，控制过程仍能进行下去，称为开环控制方式。逻辑控制装置发出操作指令后，要求把被控对象执行完成后的回报信号反馈给逻辑控制装置并依据这些信号控制程序的进行，称为闭环控制方式。

控制指令装置和监视装置属人机接口设备。控制指令装置包括按钮、定位开关、转换开关等。监视装置包括指示灯、蜂鸣器、指示计、CRT 显示器等。

开关量控制装置和被控对象一起构成了开关量控制系统。一个工艺过程能否实现自动控制取决于三个方面：

- (1) 主设备（如多个关系密切的被控对象）的可控性。
- (2) 外部设备所具有的功能（如检测、执行部件的品种规格、标准化、系列化、通用化）。
- (3) 逻辑控制装置所能达到的设计功能水平，包括新理论、新技术、新工艺、新材料的应用。

第三章

开关量变送器及执行部件

开关量变送器和执行机构有自己的特性和控制要求。开关量变送器往往具有结构简单、工作可靠、动作精确和价格低廉的特点，是获取开关量信息的主要手段。

开关量变送器输出的开关信号分两大类。一类是无源通断信号，传感器里没有电源，或虽有电源但因隔离或其他原因和输出电路无关，两个输出端子只有通、断两种状态，但是这两种状态必须在外电路有电源的情况下才能相应地体现出导电和不导电两种状态。因此，无源开关信号的接受端必须有电源，电压的高低和电流的大小应在变送器所规定的范围内。干触点信号属于这种类型。另一类是有源信号，凡是靠半导体器件输出开关信号的均属于这一种。输出有源开关信号的传感器不要求信号接受端有电源，但要求接受端的电阻连同传输线的电阻在允许的范围内，否则传感器不能正常工作。半导体开关和电位信号属于这种类型。为便于控制设备的配套，对有源开关信号规定了国际标准，即采用直流电流（电压）时，以小于 4mA（1V）为一种状态，大于 20mA（5V）为另一种状态，这和 TTL 逻辑电路的高低电平的标准值一致。以上直流电压和电流的标准都不包括零值在内，这是为了避免和断电的情况混淆，使信息的传送更为确切。

开关量的电动执行机构分为电磁式和电动式两类。电磁式以电磁阀及用电磁铁驱动的一些装置为主。电动式由电动机提供动力用来驱动阀门或其他装置的执行机构。控制类型主要有电动机启、停控制，阀门（挡板）的开闭控制。控制电路一般通过控制接触器或自动空气断路器的线圈通断，由接触器或自动空气断路器的触点直接控制电动执行机构。

第一节 开关量变送器

一、开关量变送器的类型

开关量变送器（或称逻辑开关）的类型主要包括以下几类：

(1) 行程开关（也称限位开关）。装在预定位置上，靠物体接触时的压力引起电路的通断，其原理与按钮相似。另有一种称“微动开关”也是这类器件，比较灵敏但结构强度稍差。非接触式的行程开关也称接近开关，有光电式、高频电感式和超声式等。

(2) 温度开关。测温范围受材料限制一般在 250℃ 以下。主要有固体膨胀式和气体膨胀式温度开关。对于 250℃ 以上的温度范围多半采用热电偶或热电阻温度计，经测量变送器变为模拟量信号，再通过电量转换开关转换为开关量信息。

(3) 压力开关。大多数压力开关是利用膜盒、波纹管、弹簧管等弹性元件在压力作用下产生变形，带动电触点发出通断信号。

(4) 液位开关。同液面相接触的测量方法有电极式和浮子式两种。电极式是靠导电液体与固定在某一高度的电极接触，发出开关信号。对于非导电液体，可用浮子带动微动开关，或用磁性浮子与舌簧管配合产生开关信号；或者用装在容器壁上适当的压力开关，借助压力与液位高度成正比的关系产生开关信号。此外，用电容、光导纤维、超声、 γ 射线、雷达等技术也能构成液位开关。

(5) 料位开关。由于固体粉末或颗粒的流动性比液位差得多，浮力法和压力开关的办法受到限制。常用的有电容、超声、 γ 射线、雷达等技术在料位上。还有一些专门测料位的传感器，如机械运动阻力法、振动阻尼法等。

(6) 流量开关。对流量信息由差压信号表示的可通过整定压力开关的动作值得到流量的开关量信息。差压信号由节流装置产生。这种由节流装置和压差开关组成的流量开关主要用于要求较准确的场合。在一些流量信息不需要准确值反映的场合，可用更简单、更直接的方法获得，如输煤皮带上的断煤信息、区别水或油的流量有无的场合，可采用挡板式或浮子式结构，带动行程开关或接近开关送出开关量信息。

(7) 气敏开关。利用对某种气体敏感的特殊元件和电子线路配合，能构成气敏开关，是现代高层建筑防火及预防煤气中毒的重要手段。

(8) 磁敏开关。舌簧管附近有磁场时，其内部簧片将改变通断状态，因此舌簧管本身就是一个磁敏开关。这种原理可构成接近开关。

(9) 光敏开关。由光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、硅光电池等和适当的线路配合，就构成了光敏开关。不一定是普通可见光，可以是激光或红外光。

(10) 声敏开关。同光敏开关类似。楼道灯采用声控接通，延时熄灭是其应用实例。

(11) 定时开关。计时装置，靠钟表发条带动或微型电动机驱动或靠电容充放电原理工作。最精确的是用石英晶体振荡器和脉冲计数器构成的定时装置。

二、开关量变送器的技术指标

(1) 可靠性。可靠性是衡量开关量变送器质量的最重要指标。开关量控制系统中开关量变送器的工作间歇时间长且差别很大，有的几小时动作一次，有的几个月甚至长时间不具备动作条件，一旦动作就要求绝对可靠，尤其对于保护系统更是如此。可靠性有多种衡量指标，在开关量控制中，可靠性的指标可用元件在规定使用寿命内的误动作率和拒动作率表征。为提高测量的可靠性可采用多个检测元件组成信号单元的方法以进一步降低测量信号的误动作率或拒动作率^①，从而提高测量的可靠性。

(2) 重复性。相同条件下，输入变量按同一方向变化时，其切换值的一致程度称为重复性。重复性指标可用重复性误差衡量。重复性误差是在相同条件下，输入变量按照同一方向变化时，连续多次测得的切换值中两极限值之间的代数差或测量值的均方根误差。为保证动作的稳定性应选择重复性误差小的产品。

① 参见附录 2 开关量控制信号的摄取方法。

(3) 切换值和切换差。使输出变量改变的任一输入变量值, 统称为切换值。若输出状态的改变是由单一的切换值决定, 由于工业环境中的被测参数一般是在一定范围内不断波动的, 则当被测量接近切换值时, 会多次反复大于和小于切换值, 造成开关量输出状态多次转变, 可能造成报警频繁动作、光字牌不断闪动、音响连续出现、执行机构频繁动作等情况。这对运行人员的监控工作极为不利, 也不利于设备的可靠运行。

为避免这种情况发生, 一般将状态改变时的两种状况(从低到高和从高到低)的切换值设为不同的值, 分别称为动作值和返回值, 它们之间的差值称为切换差或死区, 如图 2-1 所示。在大部分控制系统中, 都要求切换过程有一合适的切换差。开关量变送器要求切换差足够大, 且切换值和切换差都可以进行调整。

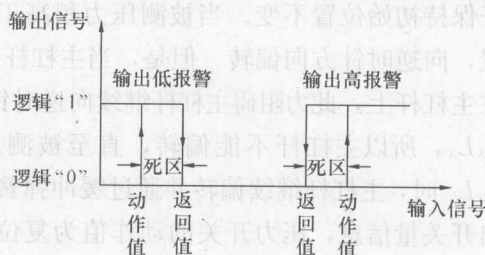


图 2-1 切换值与死区

三、开关量变送器的工作过程示例

以开关量压力变送器为例。

开关量变送器用来测量介质的压力, 当介质的压力达到(高于或低于)切换值时, 输出开关量信息, 一般称为压力开关。压力的测量元件一般有膜片(包括膜盒)、弹簧管、活塞桶、波纹管。这些敏感元件把感受到的压力信号转成位移、力或力矩信号。前者多用于高、中压, 后者多用于中、低压和负压。

图 2-2 (a) 为基于杠杆原理的膜片型压力开关的典型结构和输出曲线。

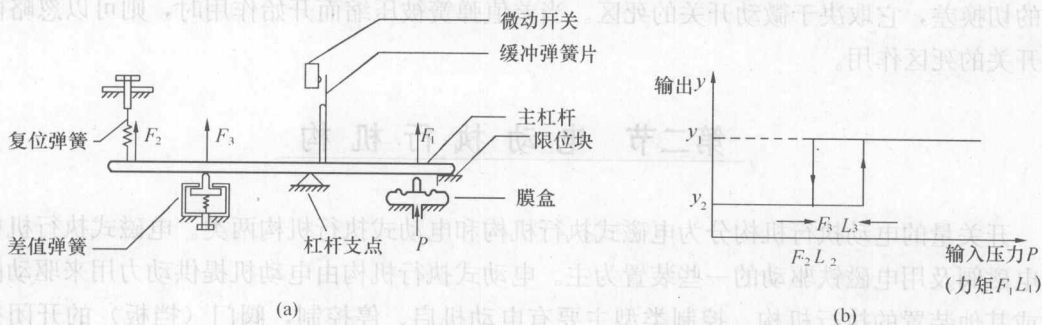


图 2-2 膜片型压力开关的典型结构和输出曲线

膜片型压力开关由杠杆、测量元件、限位块、缓冲弹簧片、微动开关、差值弹簧和复位弹簧构成。校验时调整差值弹簧的推力改变切换差, 调整复位弹簧的拉力改变切换值。

复位弹簧产生拉力 F_2 使主杠杆向顺时针方向偏转, 这个力受到杠杆右端限位块的限制使得顺时针方向最多只能在水平位置上。被测介质送入测量元件, 它的压力通过弹性元件转换为推力 F_1 , 这个力加在杠杆右侧, 它产生的力矩 F_1L_1 只有大于复位弹簧产生的力矩 F_2L_2 时(设作用在主杠杆上的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 的力臂分别为 L_1 、 L_2 、 L_3), 才能使主杠杆向逆时针方向偏转。差值弹簧产生的推力 F_3 加在主杠杆的左侧, 使主杠杆向顺

时针方向偏转。但是，差值弹簧的推力受到本身的限位，只能在主杠杆已向逆时针方向偏转后才能加到主杠杆上。当主杠杆处于初始状态的水平位置时，差动弹簧的上端也被限位并与主杠杆脱离。

在被测压力低于压力开关的复位值，即 $F_1L_1 \leq F_2L_2$ 时，由于限位块的作用使得主杠杆保持初始位置不变。当被测压力稍高于压力开关的复位值后，主杠杆开始离开初始位置，向逆时针方向偏转。但是，当主杠杆偏离初始位置后，差值弹簧的推力 F_3 就开始加在主杠杆上，此力阻碍主杠杆继续向逆时针旋转，此时虽然 $F_1L_1 > F_2L_2$ ，但 $F_1L_1 \leq F_2L_2 + F_3L_3$ ，所以主杠杆不能偏转，直至被测压力继续克服这个阻力而保证 $F_1L_1 > F_2L_2 + F_3L_3$ 时，主杠杆继续偏转并通过缓冲弹簧片带动微动开关动作，此时压力开关动作并输出开关量信息，压力开关的动作值为复位值 F_2L_2 加缓冲弹簧产生的缓冲值 F_3L_3 ，如图 2-2 (b) 所示。在微动开关动作后，若压力开始降低，则当压力降低到 $F_1L_1 = F_2L_2 + F_3L_3$ 时，主杠杆开始脱离差值弹簧的推力，但并未回到初始状态直至压力继续降到 $F_1L_1 = F_2L_2$ 时，主杠杆才恢复到平衡状态，压力再稍降时使微动开关复位。压力开关的返回值即为复位弹簧产生的复位值 F_1L_1 。显然，动作值和返回值的差值 F_3L_3 为压力开关的切换差，整定差值弹簧的推力 F_3 就可以改变差值的大小，整定复位弹簧的拉力 F_2 可以改变返回值的大小，实际动作值为返回值加上差值。因此，在整定压力开关的动作值时，应该利用复位弹簧的整定螺钉整定好开关的复位值后，再利用差值弹簧的整定螺钉去整定开关的动作值。

需要说明的是：微动开关本身也有一个微小的死区，在差值弹簧被完全放松不起作用时，压力开关的动作值为复位弹簧产生的复位值加微动开关的死区，这时压力开关具有最小的切换差，它取决于微动开关的死区。当差值弹簧被压缩而开始作用时，则可以忽略微动开关的死区作用。

第二节 电动执行机构

开关量的电动执行机构分为电磁式执行机构和电动式执行机构两类。电磁式执行机构以电磁阀及用电磁铁驱动的一些装置为主。电动式执行机构由电动机提供动力用来驱动阀门或其他装置的执行机构。控制类型主要有电动机启、停控制，阀门（挡板）的开闭控制。控制电路一般通过控制接触器或自动空气断路器的线圈通断，由接触器或自动空气断路器的触点直接控制电动执行机构。以某 300MW 发电机组顺序控制系统的驱动类型为例，有以下六种形式：

- (1) 6kV/400V 电动机自锁启停。
- (2) 6kV/400V 电动机单向启停。
- (3) 400V 电动机可逆启停。
- (4) 气动单向操作阀门（挡板）。
- (5) 电磁阀操作阀门（挡板）。
- (6) 直流电动机启停。

下面以介绍电动阀门组成为例,说明对电动执行机构的控制要求。

一、电动阀门的组成

电动阀门是由阀门电动装置和阀门本体配套组合而成的,有角行程和直行程两种。电站阀门电动装置适用于闸阀、截止阀、蝶阀和球阀等阀门的开启和关闭,其中直行程用于闸阀和截止阀,角行程用于蝶阀和球阀。两者电气原理完全相同,只是减速器不一样。图 2-3 为电动阀门的组成框图。

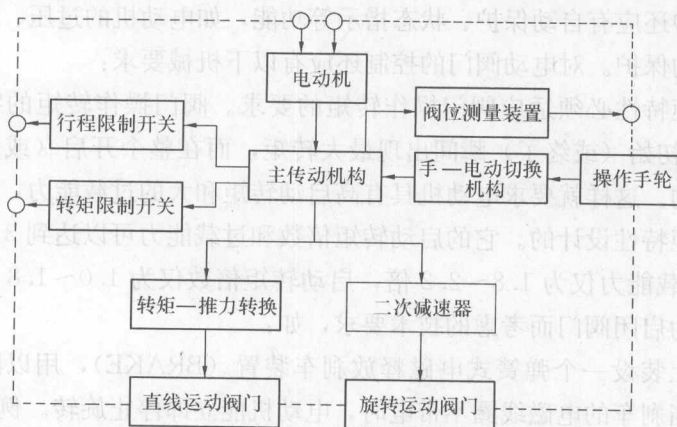


图 2-3 电动阀门的组成框图

(1) 电动机。采用专门设计的按 10~15min 短时工作的三相异步电动机,电动装置配用电机的功率一般为 40W~10kW。

(2) 主传动机构。电动机通过主传动机构减速后带动阀门的启闭件,最常见的结构形式为正齿轮传动和蜗杆蜗轮传动的结合方式。

(3) 转矩-推力转换。对于启闭件作直线运动的阀门(闸阀和截止阀),主传动机构输出的转矩通过阀杆螺母转换为推力,带动启闭件动作,通常阀杆螺母都作为阀门的一个部件。

(4) 二次减速器。对启闭件作转动角度仅为 90° 旋转运动的阀门(蝶阀和球阀)采用。主传动机构的输出轴后,还要通过加装的二次减速器(常采用内行星齿轮和偏心摆轮结合的结构)才能带动阀门启闭件动作。

(5) 行程限制开关。用来整定阀门的启闭位置。当阀门开度达到行程控制机构的整定值时,它将推动行程开关,发出信号给控制电路去切断电动机的电源。行程开关还可以发出信号供给其他自动装置使用。

(6) 转矩限制开关。用来限制电动机装置的输出转矩,当转矩达到转矩限制机构的整定值时,此机构推动转矩开关,发出信号给控制电路去切断电动机的电源。

(7) 阀位测量机构。阀位测量机构以模拟量的形式提供阀门的位置信号,在电动装置本体上有机械式指示信号,也可利用电位器、差动变压器远传电气信号。

(8) 手-电动切换机构。常用的结构是人工把切换机构(机械离合器)切到手动侧,就可以使用手轮操作电动阀门。电动时,只要电动机一旋转,切换机构就自动切回电动

侧,这种方式称半自动切换机构。

(9) 操作手轮。它的作用是在电动操作故障时,用来进行手动操作,这时必须先将手—电动切换机构由电动切到手动侧。

二、对电动执行机构控制的技术要求

电动执行机构的动力来源于电动机,要满足自动控制、远方操作和就地控制等不同方式的使用需要。电动机的控制电路实际上是对电动机的动力电源的切投和正反转向控制。此外,控制电路中还应有自动保护、状态指示等功能,如电动机的过压、过流、欠压、欠流和相间不平衡的保护。对电动阀门的控制还应有以下机械要求:

电动机的转矩特性必须适应阀门操作转矩的要求。阀门操作转矩的特点是:在开启(或关闭)阀门的初始(或终了)瞬间出现最大转矩,而在整个开启(或关闭)阀门的过程中转矩是不大的。这就要求电动机具有高启动转矩和大的过载能力,阀门专用电动机就是按这样的转矩特性设计的。它的启动转矩倍数和过载能力可以达到3倍以上,而普通JO型电动机的过载能力仅为1.8~2.2倍,启动转矩倍数仅为1.0~1.8倍。阀门专用电动机还有其他专为启闭阀门而考虑的技术要求,如:

(1) 电动机上装设一个弹簧式电磁释放刹车装置(BRAKE),用以防止电动机失电后的惰走现象。当刹车的电磁线圈不带电时,电动机能立即停止旋转。例如,某些系统中由于联锁方面的要求,需要阀门停止在某一确切位置时,就必须装设刹车装置。

(2) 电动装置有限位开关。这些开关不仅对阀门处于电动操作时起作用,而且在手动操作时也起作用。限位开关用于联锁、报警和产生阀位信号,并把这些信号输送到计算机以便进行自动控制。

(3) 电动装置设力矩开关。当阀门正常运行时,力矩开关触点是闭合的;一旦遇到故障而超过安全力矩值时,力矩开关常闭触点立即断开,迫使电动机停止运转,以防止操作力矩过大而造成电动装置及阀门有关部件的损坏。电动阀门的打开和关闭方向分别装有力矩开关,它们分别装设在打开回路和关闭回路中。

(4) 电动装置具有位置发送器,供外接远方位置指示表用,输出信号为0~10V的电压信号和4~20mA的电流信号。

(5) 每个电动装置都配有手轮和就地阀位指示表。手动—电动切换装置既能使阀门电动操作,又能实现手动操作。

第三节 气动执行机构和液动执行机构

驱动阀门、挡板的执行机构可以使用不同的能源,如电、压缩空气、压力油或压力水等。

用电驱动执行机构可以适用于分散和远距离控制,是火电厂使用最广泛的一种。但对于要求高速和高推力的某些场合和工作环境恶劣的场合就较难适应了。

用压缩空气驱动执行机构,能实现高速和高推力的要求,并能适应恶劣的工作环境,但它需要高质量的压缩空气,因而受到距离的限制。