

第 11 章 “规矩，方圆”

设备工作状态与网络管理

11.1 “规矩方圆”

没有规矩，不成方圆，对于设备和网络运行必须制定一定的规程，方能使系统协同工作。对于一个典型的 TTCANopen 网络来讲，除了功能设备外，还有心跳器、设备管理器 and 主机。

功能设备：完成系统功能的设备集合；

心跳器：是为整个网络提供系统时间同步信息的设备；

设备管理器：管理网络上其它设备工作状态和配置参数的设备，以及处理与设备通讯、内部错误和配置相关的错误；

主机：在主从系统中过程变量的集散和处理中心，在生产者—消费者模型中主机角色被弱化。

有些系统将主机和设备管理器合并在一个设备上。

所谓规程，就是管理和控制上述设备在网络运行时的行为状态的条款。

11.2 设备的五种运行状态

TTCANopen 网络上典型的设备具有五种运行状态，分别为：复位态、配置态、工作态、停止态和静默态。

复位态：这是一个不稳定的过程状态，复位包含多种形式，主要为：出厂复位、设备复位、应用复位和通讯复位。

配置态：在该状态下，设备接受设备管理器的参数配置和设备工作状态切换指令，不参与过程变量的操作运行。设备接收主机心跳，完成设备时间同步，并发送设备心跳，发送设

备出错信息。

运行态：在该状态下，设备原则上不接受设备管理的参数配置，但接受设备工作状态切换指令，设备主要进行过程变量的操作运行。设备接收主机心跳，完成设备时间同步，并发送设备心跳，发送设备出错信息。

停止态：在该状态下，设备不接受设备管理器的参数配置，不参与过程变量的操作运行，但接受工作状态切换指令，设备接收主机心跳，完成设备时间同步，并发送设备心跳，发送设备出错信息。

静默态：在该状态下，设备 CAN 端口被设置为静默态，设备不参与 CAN 的底层总线检测机制，设备不接受设备管理器的参数配置，不参与过程变量的操作运行，但接受工作状态切换指令，设备接收主机心跳，完成设备时间同步，不发送设备心跳和设备出错信息。

表 11-1 为各状态下所支持的操作。

表 11-1 各状态下支持的操作

操作	配置态	运行态	停止态	静默态
接受状态切换	✓	✓	✓	✓
接收主机心跳	✓	✓	✓	✓
发送设备心跳	✓	✓	✓	×
设备出错信息	✓	✓	✓	×
接受参数配置	✓	× (√ ^注)	×	×
操作过程变量	×	✓	×	×

注：在确保系统运行安全的情况下，准许在设备运行态配置和更改某些特定配置参数。

11.3 设备启动和状态切换

设备运行状态标识：我们分别用 0x11、0x22、0x33、0x44、0x55 表述设备的复位态、配置态、运行态、退出态和静默态。

在设备参数配置寄存器 0xF000 段有两个寄存器直接和设备运行状态相关联，0xF008 是当前设备运行状态，0xF009 是设备预状态。

设备运行状态可通过设备应用和网络指令进行设置和更改。

设备上电或复位初始化后，会将 0xF009 中的预状态值写到 0xF008 中，也就是说设备开机或复位后的状态，由 0xF009 中的配置信息决定，它可以是除复位态外的其它任何状态，如

果我们希望设备在开机或复位后进入配置态，就将 0xF009 非易失寄存器配置成 0x22，如果设备属于自举设备就将其配置为 0x33，使其可直接进入运行态。0xF008 设备状态被应用改变后，通常需要主动发送一条设备状态被改变的提醒指令通知设备管理器，指令形式一般使用 0x1E 指令，如：0x01 0xF008 0x32 0x1E 0x02 0x22 0x22，指令表述设备编号为 0x32 的设备 0xF008 设备状态被改变，当前的设备状态为配置态。在配置态，设备接收主机心跳、完成同步、发送设备心跳、当设备出错时发送出错信息（如：0x01 0xF118 0x32 0x1E 0x08 0x00 0x00 0x01 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00）、接受设备管理器的配置，然后由设备管理器发送指令将其切换到运行态。设备管理器可以逐个将网络上的设备切换到运行态，也可以使用广播或组广播指令将所有或部分设备一同切换到运行态，如：0x01 0xF008 0x00 0x0D 0x01 0x33 或 0x01 0xF008 0x6A 0x0D 0x01 0x33。设备在接收到指令后，需进行确认应答。

设备从配置态切出时，一般需要将配置信息写入非易失存储器中。

设备在切换到运行态时，一般都会将本地过程变量的初态信息发送到主机或网络上，此时是网络最为繁忙的时刻。为了降低此瞬间的通讯量，此刻不推荐发送周期上报的初始信息。

当设备出现错误，设备应用可根据错误程度和应用需求自动切换到停止态或静默态，当然也可以是配置态，也可以是下面将提到的安全态。由应用触发的状态切换，需要由设备主动发送状态变化提醒指令。

当然，设备管理器也可以根据任务进程需求、通讯质量和设备错误状态，随时对网络上的各设备进行工作状态调整。

图 11-1 是设备运行状态切换关系图。

复位态有多种形式，这是根据设备出错形式和启动方式相关的，主要包括：出厂复位、设备复位、应用复位和通讯复位。

出厂复位：是将设备恢复到出厂时的设备设置上去；

设备复位：一般是由看门狗等设备硬件产生的设备复位；

应用复位：一般是由应用程序根据设备运行异常等级产生的软件复位；

通讯复位：和通讯异常相关的通讯复位服务。

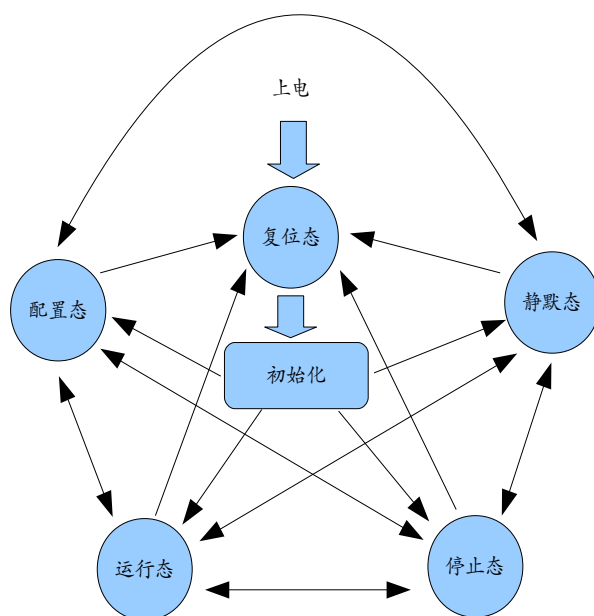


图 11-1 设备运行状态切换关系图

11.4 安全状态

有些设备根据系统需求具备第六种状态，我们称之为安全状态，当设备或通讯出现故障，或设备被强制退出时，为了系统安全，设备的某些过程变量需要被设置成某种安全值。

第六种状态不是一种独立的状态，它附着在其他各种状态（复位态除外）之中，我们将各态标识的低半字节设置为 E 表述安全态起作用，如：0x2E、0x3E、0x4E、0x5E。只有安全态被解除那些特定的过程变量才能被改写。当有指令企图改写受安全状态保护的变量时，设备会给出 0x10 错误提示指令。

11.5 节点设备地址检查

TTCANopen 网络是不准许存在两个相同的设备地址的，在一个新系统运行前，需对设备地址进行检查。除了设计者在组网时进行把控外，我们可以在配置态用广播指令去读取设备

和厂商信息的方法，查找重复的地址，如发送：0x01 0xFB F0 0x00 0x0E 0x01 0x08，此时所有的设备都会将本设备的设备信息和厂商信息发送给设备管理器，我们只需要查询这些应答指令中有没有重复相同的设备从机地址即可。

11.6 设备监控

设备管理器是通过设备心跳信息和设备错误上报信息完成对设备的监控的（注：在纯主从模型中，上述信息是通过轮询矩阵获取的）。

在周期发送的设备心跳信息中包含了设备本地钟的同步状况和设备运行状态，同时还包含了对应设备节点 CAN 端口接收和发送的错误计数。设备管理器通过收集总线上各节点的收发错误计数，对整个系统通讯的质量进行评估。

设备管理器可根据设备错误上报信息和网络通讯品质，综合评估系统工作健康状况，并据此设置各设备的运行状态包括安全状态，以及做出相关的错误处理。

11.7 讨论与提示

11.7.1 心跳器、主机和设备管理器

心跳器：心跳器同网络上其它设备一样，要接受设备管理器的配置管理，心跳器一般被配置为自举设备，上电后就自动进入到运行态，向整个网络提供系统心跳时间。只有需要改变配置的时候，如：心跳周期等，才会被设备管理器切换到配置态。在配置态，心跳器将停止发送系统心跳，直到完成配置重新切换到运行态。

与普通设备不一样，心跳器只发送系统心跳，不发送设备心跳。

我们在设备地址中，特别将 0x01、0x02 和 0x03 分配给心跳器使用。同一个网络上最多只能有 3 个心跳器。其中，只能有一个是工作机，其它为备机（一般推荐备机为静默态）。

独立主机：与网络其它设备一样，有自己的设备地址，在主从模型中，其主机设备地址在指令中并不“显现”出来，只有在生产者-消费者模型中，其设备地址才被“显现”出来。当网络上提供了专门的设备管理器时，独立主机只是一个过程变量的处理中心，相对设备管理器而言，它也只是个比较复杂的设备，所以主机也需要有其设备心跳，接受设备管理器的管理。

我们在设备地址中，特别将 0x06 和 0x07 分配给主机使用。同一个网络上最多只能有 2 个主机存在，其中一个为工作机，另一个为备机。

设备管理器：管理、监控和配置网络上其它设备的设备。设备管理器可以控制网络上其它设备的运行状态，配置其参数，监控网络通讯品质和设备错误状态及错误处理。

设备管理器自身不发送设备心跳，其自身节点的通讯品质由其内部应用获取。

我们在设备地址中，特别将 0x04 和 0x05 分配给设备管理器使用。同一个网络上最多只能有 2 个设备管理器存在。其中一个为工作机，另一个为备机。

在很多的系统中，都会将设备管理器和主机合并在同一台设备上。此时，设备使用主机地址，“设备管理器”对“主机”的管理通过应用内部解决，而不需要通过网络。

（特别提示：我们研发的简易心跳器是通过 USB 端口配置的，而不是设备管理器；通常接插 USB “应用模块”的 PC 机被默认为主机和设备管理器的复合体。）

11.7.2 典型的设备运行状态切换过程

在图 11—1 中，每个运行状态都可以切换到其它任意状态，这体现了系统运行的灵活性，但对于通常正常工作的设备来讲，运行状态的切换则是一个比较规范的过程。

设备上电后，自动进入配置态，设备管理器完成对它的配置后，将其切换到运行态，完成任务后，再将它切换到停止态或静默态，然后断电。

对于调试配置好的高可靠小系统来讲，在系统常规运行阶段甚至可以省略设备管理器，如果是生产者—消费者模型，系统中甚至可以没有所谓的主机，网络上各设备上电后，完成初始化，自举直接进入运行态，而关闭系统的过程就是设备断电。

11.7.3 定制设备与通用设备

对于定制系统中的定制设备，其在系统中的角色和用途是确定的，其配置参数、过程变量初始值、过程变量映射的寄存器空间地址和敏感信息地址都是固化的。设备应用处理程序也是固化的处理过程，因此定制设备在接入定制系统时，是非常便利的，不需要过多的附加配置。

与其相反，一些通用设备，如：通用数字或模拟量 I/O 模块，在我们将其接入系统前，其在系统中角色和用途都不确定。只有当我们将它们接入系统后，方能确定其角色和用途，确定其本地资源映射的寄存器地址，确定其敏感的网络信息。因此此类设备接入系统时需要更多的附加配置。