
论火力发电厂 ETS 系统的安全性

作者：王建

关键词：ETS 安全性 保护控制

概述：汽轮机危急遮断系统（Emergency Trip System）作为一种汽轮机的重要保护措施，在汽轮机的安全运行中扮演着十分重要的角色，在火电厂中得到广泛应用。尤其最近几年来兴建投产的大容量、高参数机组，对汽轮机保护要求更严格，保护项目增多。就火电厂 ETS 系统而言，目前我国就并没有一个专门的规范。只在《火电厂设计技术规程》(DL5000-2000) 中给出了一些指导性意见，具体对实现方式没有规定。目前在电厂运行 ETS 系统的保护功能虽然多有相同之处，但产品质量参差不齐，安全性能值得关注。

目前正在运行的 ETS 系统，从系统控制硬件实现方式看，主要有三大形式：1、无软件系统的控制回路。这种保护实现方式的主要特点是没有软件控制系统，完全用继电器、接触器等硬件构件系统。这种方式的 ETS 系统已经很少了。2、独立于 DCS 系统的控制盘。这种方式主要是用 PLC 通过组态，并结合一定的硬件回路实现的。目前占多数。3、归附于 DCS 系统的控制站。这种方式和第一种方式的实现原理类似，只是其控制主体换成了 DCS 而已。这种方式可能是以后的发展方向。不论 ETS 系统采取何种方式来实现保护机组的功能，也不论保护功能的多少，其本身的安全性是基础，这十分重要。

根据《火电厂设计技术规程》(DL5000-2000)，应该包括在下列情况时，应实现紧急停机保护：1) 汽轮机超速；2) 凝汽器真空过低(三取二)；3) 润滑油压力过低(三取二)；4) 轴承振动大；5) 轴向位移大；6) 发电机冷却系统故障；7) 手动停机；8) 汽轮机数字电液控制系统失电；9) 汽轮机、发电机等制造厂提供的其他保护项目。除此规定保护项目外，还有属于机、炉、电大连锁停机项目，如：锅炉主燃料跳闸(MFT)动作（在单元制机组中必须设置，而在母管制机组下不能设置）；发电机保护动作。还有一些汽轮机、发电机制造厂家提供的跳闸保护项目，如：汽轮机相对膨胀大；轴承回油温度高；EH 油压低；EH 油位低等。此外，还可以加入高压加热器水位保护-旁路系统。这个保护设计为了在事故时旁路高加，关闭相应的抽汽逆止门，防止汽缸进水，从而达到保护保护汽轮机的目的。

从上述规定可以看出，少有涉及 ETS 系统本身安全性的具体规定。一般来说，要求出现上述动作信号时：1、ETS 系统应能可靠动作，系统不应出现误动和拒动的情况；2、系统应有首出记忆功能；3、对三取二的信号，应具有在线监视功能；4、ETS 应具有与 DCS、TSI、音响报警系统等的通信接口；5、ETS 允许在线试验。6、ETS 系统保护动作条件成立时，能够立即动作，不受其它条件限制。除此之外，良好的电磁兼容性也很重要。总的来说，**ETS 系统本身的安全性主要涉及下面两个方面：**

1. 系统的电磁兼容性
2. 合理的系统配置和保护实现方式

下面笔者将就占有数地位的、使用 PLC 控制的独立 ETS 盘，对上述两个方面进行论述。所用范例为吉林恒顺电力技术开发有限公司为包头东方希望铝业一期 2X155MW 机组提供的 ETS 系统。其具体情况如下：

主控器为西门子 S7-412-2 DP 系列。I/O 模块配置为：16 点模拟量输入 1 块，32 点数字量输入 3 块，32 点数字量输出 3 块。两套完全独立、相同的控制单元同时工作，无主从热备关系。任何一台控制单元都可以独立接受 TSI 系统继电器输出、现场信号，经控制器处理后，独立驱动输出控制回路。实现的保护有：1、超速 2、振动 3、轴向位移大 4、DEH 电源故障 5、凝汽器真空低 6、润滑油压低 7、支承轴承回油温度高 8、推力轴承回油温度高 9、发电机组主故障 10、手动打闸 11、高加水位水位保护。带有

首出记忆、在线实验、与 DCS 系统通讯功能。从 TSI 系统来的继电器输出和到 DCS 系统的输出都是通过硬接线方式实现。轴承回油温度通过 DP 总线传入 DCS 控制站。ETS 打闸时，动作磁力断路油门电磁阀，释放一次安全油压，导通隔膜阀，从而泻掉二次安全油和调速安全油（抗燃油），卸荷阀动作，调门、主汽门关闭，实现停机；同时向电调系统发出打闸信号，电调系统收到信号后，发出打闸指令，AST 打闸电磁阀动作，泻掉二次安全油后，同样实现停机。这种重复打闸方式提高了系统的安全性。三取二测点无在线监测功能，DCS 系统无首出显示和 ETS 保护投退状态，操作员控制台无复位装置。

一、 系统的电磁兼容性 (EMC)

ETS 系统的电磁兼容性 (EMC) 是否良好，对其功能能否正常实现有重要影响。在电厂运行中我们可能会遇到一些意想不到的问题，例如：系统输出功能无端失效；测量信号摆动或偏移；控制器不能正常工作等...这其中就有一些问题是由于电磁兼容性不好引起的。笔者曾经处理过这样一个问题：循环水系统 PLC（西门子 S7-300 系列）拒绝执行控制指令。经仔细检查，导致问题的原因是系统接地不好，导致数字量输入信号被严重干扰，PLC 系统误认为代表故障的有效信号出现，根据设定逻辑，系统不能执行控制指令。还有一些使用无线电设备对设备运行产生影响的例子，这里就不列举了。

为了使 ETS 系统有一个较好的电磁兼容性，使用符合 EMC 相关标准的产品是基本要求，也是系统满足电磁兼容性要求的重要保证。在 2001 年 12 月 7 日，我国颁布了强制性产品认证制度，统一了技术法规，认证标准和合格评定程序，提出了第一批实施强制性产品认证的产品目录。其中涉及火电厂 ETS 系统的标准主要有：GB14048.5-93《控制电路电器和开关元件第一部分 控制电路电器》；GB14048.9-1998《多功能电器(设备) 第二部分 控制和保护开关电器(设备)》。试验部分包括：①电源端子电压；②辐射干扰场强；③谐波电流..；GB9254-1998 信息技术设备电磁兼容检测项目《信息技术设备无线电骚扰限值和测量方法》。一般火电厂的 ETS 系统大致包括下列几大部份：1、电源部分 2、处理器及输入输出模块（含通讯）3、输入/输出电路控制和驱动回路。其中 1、3 部分适用 GB14048.5-93 和 GB14048.9-1998。第 2 部分适用 GB/T17626.2-1998、GB/T17626.4-1998 和 GB9254-1998。示例系统中的多数部件都是通过了相关标准认证的。例如 S7-400 系列就符合 EMC 下述相关标准：

脉冲波形干扰：

脉冲波形干扰	测试电压	对应等级	对应国家标准
静电放电按照： IEC 61000-4-2	对空气放电 ±8KV 触点放电 ±6KV	3	GB/T17626.2-1998
脉冲按照： IEC 61000-4-4	2KV (电源电缆) 2KV (信号电缆>10m)	3	GB/T17626.4-1998
电源按照： IEC 61000-4-5 不对称耦合 对称耦合	2KV (电源电缆) 2KV (信号/数据电缆) 1V (电源电缆) 1V (信号/数据电缆)	3	GB/T17626.5-1998

电磁辐射干扰 依据 EN 55011：(对应国家标准:GB9254-1998)

Limit Valve Class A Group 1 之电磁干扰辐射场

20—230Hz	30 dB (μ V/m) Q
230MHz—1000MHz	37 dB (μ V/m) Q
测量距离为 30 米	

Limit Value Class A Group 1 之通过电源线对 AC 电源的干扰辐射

0. 15—0. 5MHz	79 dB (μ V/m) Q 66 dB (μ V/m) M
0. 5—5MHz	73 dB (μ V/m) Q 60 dB (μ V/m) M
5MHz—30MHz	73 dB (μ V/m) Q 60 dB (μ V/m) M

ETS 系统想达到较好的电磁兼容水平，除了使用满足相关标准的产品和部件外，合理、牢固的接地系统也是一个很重要的环节。独立 ETS 盘的良好接地系统将为系统提供很好的电磁辐射屏蔽，从而提高其电磁兼容性。一般来说，盘柜本体、开门都应该连成一体并接地；系统交/直流电源、输入/输出信号、通讯端口等都应按规定接地或屏蔽接地，对悬浮接地的部分要结合起相关联的部分，做好通盘的考虑和安排；对不接地工作方式的部分要给予特别关注，否则可能导致系统工作异常；对电源、通讯等部分要有雷击保护装置（防浪涌）。直流继电器、接触器、电磁阀要配置合适的 RC 回路或续流二极管。

安装电磁辐射屏蔽装置也可以提高盘柜的抗电磁干扰能力，提高系统安全性。

二、 系统保护和配置的合理性

系统保护和配置的基本原则就是前面提到的六项：1、ETS 系统应能可靠动作，系统不应出现误动和拒动的情况；2、系统应有首出记忆功能；3、对三取二的信号，应具有在线监视功能；4、ETS 应具有与 DCS、TSI、音响报警系统等的通信接口；5、ETS 允许在线试验。6、ETS 系统保护动作条件成立时，能够立即动作，不受其它条件限制。这六项只是总的原则，下面我将结合我厂的 ETS 系统对电源供给、系统软件组态、驱动回路构建、通讯几个方面来具体谈谈。

1. 电源供给

我厂 ETS 系统的电源供给有 AC 220V 和 DC220V 两种。每种电源都有采用两路供给方式--厂用电和 UPS 电源，两路电源进入盘柜之后，各自接入电源快切装置，由电源快切装置引出一路供给相应回路。接线如图（一）所示：



图（一）

我厂所用电源切换装置具体参数如下：

- 直流 220V 快切装置：

额定电压	DC 220V
------	---------

额定电流	20A
切换时间	1.5ms
信号输出	干接点(常开) 5A/AC 250V 5A/DC28V

● 交流 220V 双路电源切换装置：

电气特性：

额定工作电压	220V~240V (Ue)
额定工作频率	50 或 60 Hz
切换容量	8.5 KVA 运行于 Ue 下
监视接点类型	干接点
监视接点容量	AC 220 V 5A DC 220 V 5A

环境特性：

防护等级	IP 46
操作温度	-40~+70°C 运行 Ue 于下
工作海拔高度	无容降 3000m
抗冲击	1/2 正弦波 11ms 15g
抗振动	300Hz 4g

我厂所用交流 220V 双路电源切换装置的电气特性没有提及切换时间，按《火电厂设计技术规程》(DL5000-2000)的相关规定，切换时间应小于 5ms。

使用电源切换装置的好处是显而易见的。它可以大大提高系统电源的可靠性，从而保证了 ETS 系统工作的连续性，同时也提高了系统的安全性。当供电电源发生故障而失效时，另一路电源在切换装置的作用下，能迅速地把系统供电任务承担起来，从而保证 ETS 保护系统的不间断正常工作。但从另一个角度来看，增加一个装置就意味着增加了一个可能发生故障的环节，所以要达到提高系统供电可靠性的目的，就要求切换装置本身具有很高的可靠性。否则，一旦切换装置失效，就可能导致整个 ETS 系统无法正常工作。因此，求切换装置本身的可靠性是电源系统的一个十分关键的环节，在设计选型时要给予足够的重视。

2. 系统软件组态

ETS 系统的首出记忆功能、关键信号三取二（具有在线监视）功能、ETS 与 DCS、TSI、音响报警系统等的通信接口、ETS 允许在线试验等功能，都要通过组态来实现。因此这个环节影响到所设计的功能能否正确的实现，是十分关键的环节。要想做好组态工作，保证 ETS 系统能正常、正确的工作，在进行系统软件组态工作之前，要做好一些必要的预备工作。

- 根据设计要求，选定合适的硬件系统；
- 根据设计的保护功能，结合现场具体情况，确定测点清单、控制运算方案、通讯实现方式等；
- 完成硬件系统构成，包括安装机架、电源、主控器（单元）、I/O 模块、通讯模块等；

在完成这些预备工作之后，可以根据设计要求和控制运算方案，作出 SAMA 图或流程图。在 SAMA 图或流程图审核没有问题之后，就可以进行上机组态了。组态过程中还需要严格对照 SAMA 图或流程图。对于中途出现的控制方案变更或增减，一定要修改对应的 SAMA 图或流程图，并做好文字说明或备注，以便查阅。这里说的只是组态的一般方法，严格按照这个过

程做，会在很大的程度上避免错误，保证组态程序的正确性。曾经有一位厂家工程技术人员来我厂做组态工作，其技术和经验是很好的。在做组态前，他并没有做 SAMA 图或流程图一类的工作，事前准备工作也只是完成了部分的硬件连接，一边接线，一边组态，一边调试设备。有一天在调试一台电动门时，主设备突然运转起来，在场人员吓了一跳。只是所幸无人在周围工作，未造成人员伤亡和设备损坏。事后查出是由于组态程序存在逻辑上的错误导致的。热工保护系统误动，在《火电厂设计技术规程》(DL5000-2000)中热工保护 12.6.1 的第一项中明确要求有避免措施。组态逻辑不合理有时会导致非常严重的后果。笔者见过多次这一类的情况，导致停机停炉的都有。浅一想就会认为这是疏忽大意造成的，但深层次的原因应该是准备工作不充分，工作不严谨才导致这种“意外”的出现。如果那位厂家工程技术人员事前做好了准备工作，下装的组态程序被仔细的检查过，可能这次“意外”就能够避免。因此，在组态时最好能在做好准备工作的前提下进行，仔细检查，力求使组态程序完全符合现场实际生产工艺要求，做到每一个环节都合理。

在组态的过程中，一项重要的工作就是对通讯进行组态。关于这一项的内容，将在第 4 点中单独论述。

3. 驱动回路构建

火电厂 ETS 系统实现汽轮机保护的手段，总是通过关闭主汽门、抽汽逆止门来实现的，而关闭主汽门、抽汽逆止门又是通过触发其相关液压或气压控制回路的电磁阀来完成的。下面以我厂 ETS 系统为例，说说驱动回路的构建和注意事项。下图（二）是我厂 ETS 系统 DO 输出至就地抽汽逆止门控制电磁阀的驱动回路简化原理图。

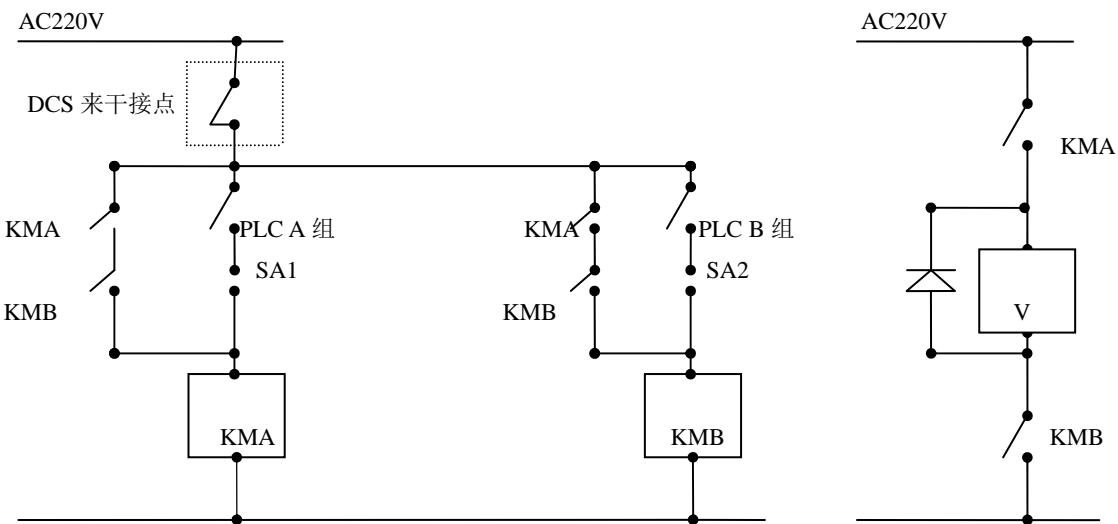
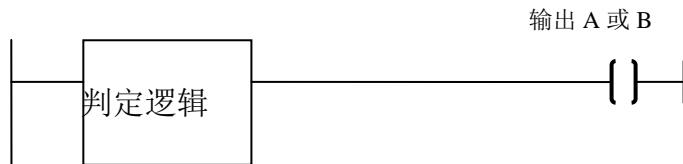


图 (二)

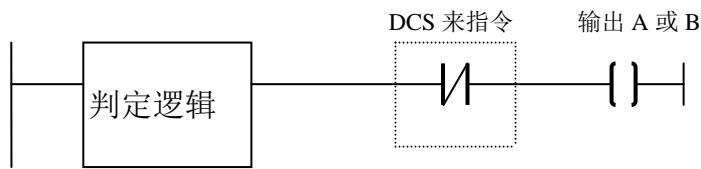
图中 PLC A 组和 PLC B 组即是 ETS 系统 PLC 的输出 A 和 B，在无 DCS 指令的情况下，接触器 KMA 和 KMB 被触发，从而就地控制电磁阀 V 线圈带电，导通气压或液压回路，驱动抽汽逆止门动作，从而达到保护停机的目的。从图中可以看出，电磁阀 V 必须要接触器 A 和接触器 B 同时闭合才能触发。这样的布置能，使 ETS 系统很方便地实现在线试验功能。通过软件组态，让系统在试验开关投入时，PLC 能够先后分别输出 A 和 B，以便接触器 KMA 和 KMB 被先后触发，而不是同时触发。我厂的设置是在触发输出 A 后 2 秒钟后触发输出 B。同时，从原理图也可以看出，在系统掉电或重上电时，接触器不会动作，这也满足《火电厂设计技术规程》(DL5000-2000)的相关规定。图 (2) 中所示 DCS 来干接点的作用是让操作员通过 DCS 系统实现开启抽汽逆止门。这样的设置主要是为了减掉就地手操盘，减轻运转员的劳动负担，使操作集中、简便。虽然简便了，但是这种设置却带来了潜在的危险。从前面的叙述中可以看出，我厂的就地保护是带电动作来实现保护功能。也就是说，在汽轮机运

行时，接触器 KMA 和 KMB 是不带电的。假设从 DCS 继电器输出盘柜来的接线有松脱或虚接现象时，系统不会有任何反应。一旦出现紧急情况要求打闸停机，可能会出现停不了机或抽汽逆止门不能关闭的情况，从而危及汽轮机的安全。当然这种情况只是在不正常时才会出现，但它是很可能出现的。所以愚以为这种安排影响了 ETS 安全性，不好。如果通过通讯传输 DCS 操作命令、合理组态来实现目的可能是更好的选择。组态时只需在原有的控制回路中加入 DCS 命令就行了。以梯形图组态为例：

假设修改前的梯形图（简略）

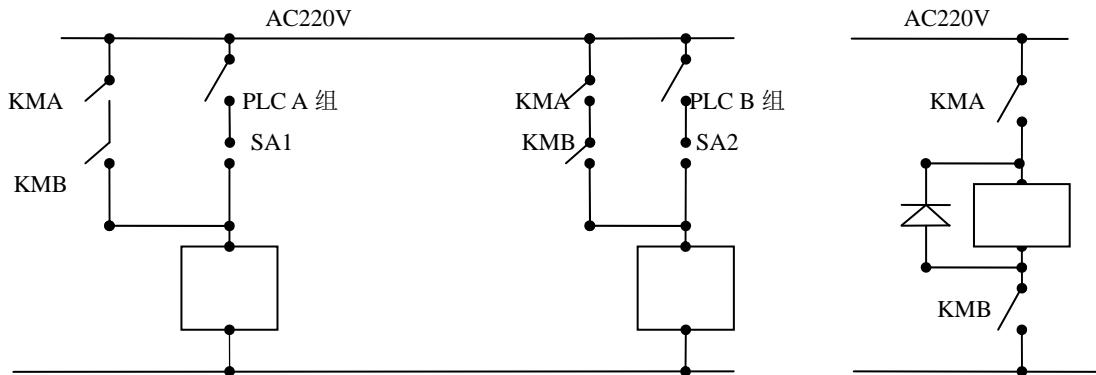


修改后的梯形图（简略）



图（三）

组态修改后，输出驱动回路如下面图（四）所示



图（四）

修改后的控制线路更简洁，节约了 DCS 控制柜来的指令电缆。即便通讯中断，也不会引起保护拒动和误动，可靠性和安全性得到加强。新的问题是如何实现安全正确的通讯，把通讯双方需要的数据传出去。这个问题将在下面进行说明。

4. 通讯

ETS 的通讯联系着 TSI 和 DCS 系统，所以其可靠性十分重要。在此以一个实例来加以佐证。我厂所用 ETS 系统、循环水控制系统、程控点火都是用的西门子 PLC S-400 或 S-300 系列，用 DP 通讯协议和 DCS 系统通讯。在我厂机组投产后，经常发生现场控制站报离线故障，相关设备在期间不能操作。汇总统计发现，这些控制站都和西门子 PLC 有通讯联系。后来 DCS 厂家和利时公司派来专业技术人员进行现场监测，才找出了事实的真相。和利时公司的现场控制站所用通讯控制方式与西门子 PLC 所用 DP 通讯的控制方式都是令牌式，但又是有区别的。和利时公司现场控制站在与站内模块通讯时，占主导地位，始终占有令牌，

模块不要求占有令牌控制权。而西门子 PLC 作为从站 (DP slave) 时的 DP 通讯对令牌的控制方式有两种选择，即要求令牌控制权和不要求令牌控制权。由于西门子 PLC 在与和利时控制站通讯时接手了令牌的控制权，延迟了主站对站内模块的检测和通讯时间，导致主站认为站内模块离线，引发一些故障。这件事反映出的实质问题是两个系统在通讯协议问题上存在不兼容情况。首先，从系统安全的角度出发，和利时控制站不应该交出令牌控制权。后来和利时公司已通过修改程序改掉了这个缺陷。其次，西门子 PLC 不能要令牌控制权。一旦 PLC 拥有令牌控制权后，主站将失去对站内模块的监测以及和其通讯的能力，导致 DCS 系统对此站检测和控制的设备在一定的时间段内失去联系--这是非常危险的！另外，也说明厂家在做通讯程序开发时考虑不周。

ETS 系统与 DCS 和 TSI 的通讯能够实现并且安全可靠，要做好以下四个方面的工作。

1. 设备选型。一个系统采取何种方式与其他设备或系统进行通讯，在设计选型时就需要考虑周详。如果此时的工作没有做好，就可能导致设备通讯不正常或干脆不能通讯，以至一些设计功能不能实现。因此这一步是最关键的一步，它在很大程度上决定了 ETS 系统通讯的可靠性和安全性。

2. 通讯设备的物理连接。具体就是正确的安装系统通讯模块；选择可靠的通讯介质；中继设置合理；信号隔离、屏蔽以及防雷击设置安全可靠、接线牢固；通讯信号的物理特征应该一致。如：使用光纤通讯时，就需要进行光电转换。即便同样是电信号，基带/宽带/电压等级等也必须一致。都是 RS485 通讯接口，其通讯电压可能会不同，所以通讯双方要选择同样的电压等级行。我厂循环水系统与 DCS 系统的通讯就曾经因为通讯电压选择不当，而导致通讯频繁中断，且相应的 DCS 控制站工作不正常。

3. 通讯部分的组态。主要工作是根据约定的通讯协议，做好通讯数据的定义、打包、发送接收和解读，并对坏包进行处理。这一部分是“软”环节，和硬件要相适应。以我厂西门子 PLC 的 DP 通讯为例进行说明：

- 首先，为了确保你的编程机能和 PLC 进行通讯，先打开 SIMATIC Manager 程序，在“选项”子菜单下的“设置 PG/PC 接口”项中设置两者的通讯方式。我们选择“MPI”，通讯速率为 187.5Kbps
- 其次，在“添加”子菜单下的“子网”项下选择“Profibus”。也可以双击“MPI”图标，打开“Netpro”程序，点击右侧“子网”下的“Profibus”也可以添加成功。
- 编辑“Profibus”属性。假定通讯速率为 187.5Kbps，DP 通讯；编辑“DP”属性。假定地址为 30，子网选定“Profibus (1)”。定义通讯输入输出缓冲区变量。在“对象属性”下的“配置”中定义，根据数据的性质，确定地址和长度，输入或输出，程序镜象等。
- 在程序中做好需要通讯数据与输入输出缓冲区变量的对应转换。

4. 调试。等在通讯另一侧对应的程序做好后，就可以进行通讯调试了。在调试过程中，如果数据不能传送，就需要检查上述 2~3 项是否正确实施，以及通讯另一侧的对应部分是否正确。

在通讯数据能够正确的传输到目的地后，通讯就成功了。做第 3 项工作未必就必须按所列顺序做。很多技术人员往往定义一两个变量，进行试探性通讯。成功后再进行所有数据的定义、组态工作。先简单后复杂，这也是个好办法。简单时容易发现问题的所在，能节省时间，提高效率。

除了上述两个大的方面外，提高 ETS 系统操作的简易性也可以间接提高整个控制系统的安全性。随着机组容量的增加、自动化程度的加深，对机组的保护要求也越来越严格，各保

护系统之间的联系也加强了。在有情况时，要求系统和运行人员的反应要更快、更准确。因此，在安全的基础上，简单和方便的系统运行操作方式应该是对此有益的。这样可以减少运行人员的劳动强度和反应时间，及早的发现并处理问题。就 ETS 系统而言，它联系着 TSI 和 DCS 系统，而其控制盘设置在电子设备间，一般都与监控室有一定的距离。所以在出现情况时，多数厂子的运行人员往往会很忙，需要来回奔波，查看 ETS 保护的投退状态或首出情况、复位 ETS 系统等等。而这些事情却都是可以安排在操作员监控的 DCS 台盘上实现的。如果 ETS 投退状况、首出信息等信号通过通讯方式传递到 DCS 系统，并在 CRT 上显示出来，那么就会大大方便运行人员即时掌握 ETS 系统的工作情况。复位功能同样可以引至操作员监控的 DCS 台盘上，只不过多连接一对线，就可以减少很多的工作量。只要它与就地复位装置是并列关系，就不会给安全方面带来更多的隐患。这些功能实现起来并不难，而实际情况是多数电厂的 ETS 不具备这些功能。