

火力发电厂现场总线控制系统应用设计

介绍了现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, FCS) 在火力发电厂设备级信息化、设备诊断与维护及全生命周期成本节约等方面的优势。在此基础上, 结合FCS的设计过程, 给出了从现场总线标准及应用范围确定、智能现场设备选型, 到现场总线网络规划及网段设计、电缆敷设设计各阶段的设计要点, 提出并探讨了设计院与FCS厂家配合、抗干扰设计等问题, 为火力发电厂现场总线控制系统的应用设计提供参考。

梁 涛/山东电力工程咨询有限公司

0 引言

现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, FCS) 是用现场总线将各控制器及智能现场设备互联构成的控制系统。按照国际电工委员会IEC标准^[1], 现场总线被定义为连接智能现场设备和自动化控制系统的数字式、双向传输及多分支结构的通信网络。FCS打破了传统控制系统按控制回路一对一连接的结构形式, 将部分控制任务下放至现场, 采用数字智能现场设备, 实现信息处理的现场化, 这也是FCS的本质所在。随着现场总线技术的不断发展, 特别是现场总线技术在华能金陵电厂 $2 \times 1\,000$ MW机组、华能九台电厂 2×600 MW机组以及广东肇庆电厂 2×350 MW机组等火力发电机组的大规模成功应用^[2-4], FCS已逐渐被实践证明能够满足火电厂的安全稳定运行要求, 而且在设备级信息化与运行维护方面较传统分散控制系统 (Distributed Control System, DCS) 体现出了明显优势。大大促进了现场总线技术在国内火电行业的应用, 同时也对火力发电厂仪控系统的工程设计提出了更高的要求^[5]。

本文在阐述FCS特点及优势的基础上, 总结了其相关的设计要点, 对现存问题提出了合理化建议, 为火力发电厂FCS的应用设计提供必要的参考。

1 FCS的特点及优势

FCS是在传统DCS的基础上产生和发展起来的。FCS作为一种开放的、具有可互操作性的DCS, 相比于传统DCS具有以下优势^[6]。

1) FCS实现了信息处理现场化, 减少了控制系统I/O卡件使用量。一方面简化了系统机构和组态过程; 另一方面, 节省了I/O装置的布置空间, 还可以大量减少控制电缆及桥架投资, 节省电缆设计、安装和维护费用。

2) 采用全数字化通信技术, 抗干扰能力增强, 使准确度可以从 $\pm 0.5\%$ 提高到 $\pm 0.1\%$, 控制系统的可靠性亦随之增强。

3) FCS采用双向数字通信和现场总线信号制, 接收来自数字智能现场装置的多变量信息, 可以对现场设备 (变送器、执行器等) 进行远程诊断、维护和组态, 从根本上改变了传统的设备维护管理方式, 为系统管理信息化和诊断专家化提供了基础。这一优势是传统DCS无法比拟的。

4) 作为开放式系统, 系统兼容性好, 扩容难度小, 可以实现边用、边扩及边投运。

FCS在火力发电厂的全面应用将带来全厂管控信息化、数字化, 以及机组从设计、安装、调试到运行维护全生命周期的成本节约等诸多益处。这些优势很



梁 涛/工程师

关键词/Keywords

现场总线 ·
FCS ·
网段 ·
工程设计 ·

大程度上激发了各发电集团及设计单位采用FCS的积极性,现场总线技术在新建火电机组中的应用比例正在逐年攀升。

2 FCS的设计要点

现场总线的应用意味着控制器与现场设备之间采用数字化通信连接,而不是常规的4~20 mA模拟量信号或On-Off开关量信号。因此,相对于传统DCS,FCS的设计存在诸多不同。纵观火电机组现场总线控制系统的设计过程,主要包括以下几个步骤:首先确定采用的现场总线标准和应用范围;其次结合工艺流程进行现场总线就地设备的选型;再次配置控制器,进行网段设计,确定网络拓扑结构;最后进行电缆选型与电缆敷设设计。由于火力发电厂生产区域内的测量仪表与被控对象数量众多、分布极广,不同于传统DCS的设计重点在于控制器的配置与I/O点的分配,如何合理地划分网段、如何进行冗余总线配置及如何设置现场总线的波特率和总线长度,是现场总线控制系统设计需要解决的主要问题。

2.1 确定现场总线标准和应用范围

现场总线标准,即现场总线协议是FCS的核心。目前,国际现场总线尚未形成统一的标准,国际电工委员会IEC 61158现场总线国际标准中采用的就有20余种,例如FF H1、Control Net、Profibus、P-Net和WorldFip等^[1]。每种总线标准都有其产生的背景和应用领域,对于火力发电厂过程控制领域而言,应用较多的包括两种:基金会现场总线FF和过程现场总线Profibus。FF总线具有低速H1和高速H2两种速率标准,而Profibus总线由Profibus-DP、Profibus-PA和Profibus-FMS组成。FF总线比较适合于连续量控制,而Profibus总线比较适合于开关量控制,同时也适合于连续量控制,但对连续量控制的优势不及FF总线。一般来说,这两种总线标准均能满足发电厂对控制系统安全性和实时性的要求。火力发电厂FCS典型应用主要为Profibus-DP+FF H1或Profibus-DP+Profibus-PA,电动执行器、阀岛与分析仪表等多

采用Profibus-DP总线,变送器、气动调节阀等则一般采用FF H1或者Profibus-PA总线。

虽然现场总线技术的应用能带来诸多好处,但根据现场总线技术的发展现状,其优势的发挥并不适用于所有的控制场合。在现场测点密集的区域,例如锅炉壁温、发电机本体金属温度的测量以及一些压力开关、温度开关等开关量仪表不宜直接采用现场总线连接,而宜通过支持现场总线接口的采集模块汇入现场总线网络,热电偶、热电阻及开关等现场仪表则应采用硬接线接入此类支持现场总线接口的采集模块。反之,则会导致系统极为繁琐,可靠性降低。另外,在涉及到机组主系统保护的场合,通信方式因响应时间受到整条网段信息量的影响,可信度不及硬接线方式高。因此,火电机组的炉膛安全监控系统(FSSS)、汽轮机紧急跳闸系统(ETS)和事故顺序记录(SOE)等保护控制以及主要辅机的保护控制目前不宜采用现场总线。其他系统的控制则均可根据工程实际和业主要求确定是否纳入现场总线。

2.2 智能现场设备选型

数字智能现场设备主要包括智能化的传感器、变送器、执行器以及通信接口设备等,这些设备为FCS提供了硬件支撑,是FCS实现的基础。选择数字智能现场设备,除了需要关注准确度、响应时间和使用寿命等技术指标外,还应特别注意其总线接口类型及标准版本。数字智能现场设备的总线接口应与主控系统相适应,关键区域或重要回路的现场设备应采用冗余的总线接口,以便建立冗余网络,提高系统可靠性。由于现场总线技术只是一种国际标准,不同厂家的系统功能与实现手段各不相同,因此在智能现场设备选型时应注意选用成熟产品,并推荐在采购过程中对相应厂商的设备进行必要的样品通信测试。

2.3 现场总线网络拓扑及网段设计

现场总线的网络拓扑和波特率设置决定了FCS的可用性和实时性,同时,网段上挂接设备配置的是否合理还直接影响到FCS控制的安全性,因

此,网络规划和网段设计是FCS的设计重点。其设计要点主要包括以下几个方面。

1) 现场总线网络的拓扑结构主要有总线型、树形、星形、菊花链型和混合型等,推荐使用混合型网络结构,而在某一个网段上根据设备数量及分布特点采用总线型、树形或菊花链型。

2) 现场总线控制器宜按照工艺系统功能区划分进行配置。例如锅炉汽水系统、风烟系统、制粉系统、给水系统和凝结水系统等。同一功能区内的现场总线设备,特别是控制逻辑相关的设备,应尽可能地挂接在同一对FCS控制器下的同一个总线网段上。当无法实现时,也应尽可能地挂接在同一对FCS控制器下,这样可以有效减少系统运行时控制调节动作带来的跨网络或跨控制器通信。

3) 进行网段设计,首先应对仪表或执行器进行准确定位,明确设备间的关系(备用、控制与调节)。冗余设置的现场仪表应接入不同的网段,对于工艺上并列运行或冗余配置的设备,其驱动装置也应连接在不同的网段上。同一条总线上,参与控制调节的设备应尽量挂接在前段,仅用于监视的设备挂接在后段。另外,还应考虑设备对系统的重要性或危险性,比较重要的Profibus-DP总线设备应采用双冗余网络;若设备故障会导致重大损失的应该单独配置网段,以免网段上其他设备故障引起的控制失效;通过合理配置网段,确保在任何一条总线故障时,不会导致机组停运。

4) 网段长度不应超过现场总线的最大传输距离,并留有足够的裕量。现场总线网络的波特率越高,传输距离越短。例如,Profibus-DP总线波特率可选择9.6 Kbit/s~12 Mbit/s,当选用9.6 Kbit/s时,对应的最大传输距离为1 200 m;当选用12 Mbit/s时,对应的最大传输距离为100 m;火电厂中应用Profibus-DP的总线波特率一般选用500 Kbit/s或1.5 Mbit/s,对应的最大传输距离为400 m或200 m。Profibus-PA总线和FF H1总线的波特率均固定为31.25 Kbit/s,传输距离最大为1 900 m。总线传输距离还与电缆类型有关,以上数据为A型电缆对应的长度。对于Profibus-PA或FF总线,若采用总线

供电,总线的传输距离还取决于供电设备及连接站的电流消耗等因素。当网段长度超过规定长度时,应采用光电转换模块进行光纤连接,或者使用中继器进行网段的划分。另外,现场总线支线长度除了电缆总长度限制之外,还与总线上挂接的设备数量有关。总线上挂接的设备越多,允许的支线长度越短,一般推荐从Profibus-PA分线盒到就地设备长度最好控制在30 m以内。

5) 根据工艺对象要求和总线设备处理速度设计网段上的设备数量与现场通信箱的布置位置及数量,每个网段上挂接的设备数量不宜超过标准允许最大数量的40%~50%。一般来说,无论Profibus总线还是FF总线,在不使用中继器的情况下,一个网段上的设备最多为32个。对于火电厂FCS,从系统可靠性和实时性考虑,每个Profibus主站下挂接的Profibus-DP设备不宜超过16个;一个Profibus-PA段可以分为两个分支,一个分支所接设备数量不宜超过6个设备,两个分支总共不超过12个设备;FF网段挂接设备数量与Profibus-PA类似。现场总线就地通信机柜在现场布置时应远离电磁干扰源(如大功率电气设备、变频器等),避免电磁干扰。

2.4 电缆敷设设计

现场总线电缆的敷设与常规信号电缆的敷设基本类似,但需特别注意抗干扰问题。现场总线通信电缆不应选用普通的通信电缆或控制电缆,而应选用A型标准通信电缆。应避免总线电缆与60 V以上的动力电缆或控制电缆共用一根电缆保护管,在同一电缆桥架中平行敷设时,应采用金属隔板进行分割。冗余的通信电缆宜在分开的电缆桥架上敷设。总线电缆的屏蔽层应严格按照DL/T 1212—2013《火力发电厂现场总线设备安装技术导则》进行接地^[7]。对于Profibus-PA和FF H1现场总线,支线的屏蔽层和干线的屏蔽层连接在一起,最后集中于机柜内的接地线或接地铜排,实现单点接地;Profibus-DP总线网络则应采用等电位接地。

在网络拓扑结构及电缆敷设设计完成后,应

预估总线的响应时间，确保总线的响应速度满足系统控制要求。

3 FCS设计问题探讨

FCS的设计和应用正处于发展阶段,在此过程中必不可少地会遇到一些问题。

首先，传统DCS的I/O分配与控制器配置一般是在设计院确定技术要求的前提下，由DCS厂家负责完成；而FCS的设计如果沿用这种模式则会面临不少问题。FCS控制器的配置和各网段设备划分不仅需要对FCS产品极为了解，更重要的是熟悉工艺流程及各现场设备的安装位置，而FCS厂家做到后者较为困难。因此，FCS控制器的配置和网段划分设计需要设计院与FCS厂家进行密切配合，由设计院主导提出控制器配置推荐方案及网段逻辑划分，FCS厂家据此确定FCS网络的物理拓扑，再由设计院根据各现场设备的安装位置确定设备间总线缆的长度，对网段进行调整，通过相互交流确认，最终确定设计方案。

其次，FCS网段设计需要对现场仪表或执行器进行准确定位，从而确定网段长度是否满足设计要求。然而，国内电力行业的设计深度无法完全满足这一要求，部分仪表和小管路上的阀门执行器的位置是在安装时现场确定，而且除主通道外，电缆槽盒及保护管的敷设路径也不设计出图，这些均可能导致实际的网段长度与设计值不一致。为避免现场调整给FCS性能带来的影响，在设计阶段应尽量考虑全面，这也是网段设计时，无论网段长度还是设备接口都应适当保留备用裕量的原因。

再次,抗干扰问题也是困扰FCS应用的一大问题。总线通信电缆在电厂中敷设,势必会经过一些电磁环境恶劣的区域,如何减小电磁干扰的影响

响是值得研究的问题。选用A型屏蔽通信电缆和尽量远离干扰源都是必要的措施。另外,总线电缆与终端设备连接时应采用专用电缆接头以确保连接的可靠性。

4 结束语

随着FCS在火力发电厂中不断应用和发展,其优势逐渐凸显,同时给设计工作带来了一些挑战。本文主要结合FCS的设计过程,给出了各设计阶段的设计要点,并对设计院与FCS厂家配合、抗干扰设计等问题进行了探讨。有理由相信,伴随着FCS的发展及国内电力设计精细化程度的进一步提高,FCS在火力发电厂中的应用会更广泛,作用会更突出。

参考文献

- [1] IEC 61158—2. Industrial communication networks—fieldbus specifications—part 2: Physical layer specification and service definition [S]. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2010.
- [2] 宋美艳, 田爽, 赵江明, 等. 现场总线控制系统在超临界火电机组辅助车间的应用 [J]. 热力发电, 2013, 42 (3): 98-99.
- [3] 单文俊. 现场总线技术在华能金陵电厂的应用 [C]. 中国动力工程学会2010年电站自动化信息化学术和技术交流年会论文集, 2010: 136-142.
- [4] 邓慧, 张明, 吴永存, 等. 大型火电厂现场总线网络设计 [J]. 中国电力, 2009, 42 (3): 59-62.
- [5] 马玉敏. 现场总线技术在火电厂的应用 [J]. 华电技术, 2010, 32 (5): 38-40.
- [6] 刘泽祥. 现场总线技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [7] DL/T 1212—2013 火力发电厂现场总线设备安装技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

(收稿日期: 2015-06-10) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告