

# 现场总线在火电厂运煤自动化系统 中的应用调研报告

中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司

2021.8 武 汉

## 1 现场总线概述

现场总线是自动化系统中一种把大量现场级设备和操作级设备相连的工业通讯系统。其一般定义为：安装在制造或生产过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、串行、双向、多节点通信的数据总线称为现场总线。由现场总线和现场智能设备组成的控制系统称为现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System)。传统集中控制方式一般是点对点的，即现场设备与控制器之间采用一对一的 I/O 接线方式，传递开关量信号或模拟量信号(电流/电压信号)；而现场总线是安装在生产过程区域中的现场设备/仪表与自动控制装置/系统之间的一种串行、数字式、多点、双向通信的数据总线，主要特征是采用数字式通信方式取代设备级的模拟量/开关量信号，使用一根电缆连接所有现场设备。

现场总线技术自上世纪 80 年代至今，目前各种工业领域基于现场总线的控制系统已得到广泛应用。作为连接生产现场的仪表、控制器等自动化装置的通信网络，现场总线是国际上兴起的新一代全分布式控制系统的核心技术。国际电工委员会为现场总线制定了一系列 IEC 标准, 如 IEC61158 Ed. 4 现场总线国际标准规定了 20 种类型的现场总线, 常见的有 PROFIBUS、DeviceNet、CANopen、Modbus、ControlNet、FoundationFieldbus 等等。凡是符合 IEC61158 标准并通过其认证的技术产品均是可信赖可靠的现场总线产品。

总线技术具有以下特点：现场控制设备具有通信功能，便于构成工厂底层控制网络；通信标准的公开、一致，使系统具备开放性，设备间具有互可操作性；功能块与结构的规范化使相同功能的设备间具有互换性；控制功能可下放到现场，使控制系统结构具备高度的分散性。

目前，现场总线控制技术作为一种成熟技术，已成功应用在电力、石化、冶金、医药、市政工程、楼宇自动化等领域。现场总线作为工厂数字通信网络的基础，沟通了生产过程现场及控制设备之间及其与更高控制管理层次之间的联系。它不仅是一个基层网络，而且还是一种开放式、新型全分布控制系统。这项以智能传感、控制、计算机、数字通讯等技术为主要内容的综合技术，已经受到世界范围的关注，成为自动化技术发展的热点，并将导致自动化系统结构与设备的深刻变革。国际上许多实力、有影响的公司都先后在不同程度上进行了现场总线技术与产品的开发。通过在过程监控系统和信息系统的各个层次，采用智能化、数

字化的硬件设备，并在此基础上采用相应的控制和管理软件，从而使得运行人员和管理人员，对整个工艺过程的监控和管理都是智能化、数字化和透明化的。

近年来，我国电力行业快速发展，特别是随着设计、制造、安装等技术的成熟，600MW、1000MW 级大型火力发电厂开始大量的投入建设。输煤系统是火电厂的重要组成部分，其安全可靠运行是保证电厂实现安全、高效不可缺少的环节。输煤系统的主要特点是工艺线路长、系统跨度大、设备数量多且布置分散，根据该特点控制系统多采用集中控制方式。传统输煤控制系统将控制器和 I/O 采集模块集中布置在控制室或同时在设备相对集中的地方设置远程 I/O 分站，将各设备的监控测点通过控制电缆以硬接线的方式纳入控制系统，该方式是传统的点对点，即现场设备与控制器之间采用一对一的 I/O 接线方式，传递开关量信号或模拟量信号。但随着计算机、通信及总线技术的发展，现场总线技术越来越在地理位置分散、大规模 I/O 的输煤程控系统中表现出明显的优势。

## **2 输煤系统采用现场总线技术的优势分析**

### **2.1 提升系统智能化水平，提升运维效率**

电厂输煤系统采用总线技术能够提升系统智能化水平，提升运维效率，这主要体现在对现场出现问题后故障诊断的快速性，以及故障分析的精确性上。现场总线方案通过通讯方式获取现场层设备数据，相对于传统 IO 方式所采集的现场数据信息量成倍增加，因此，运行人员通过 HMI 可获取输煤系统各个设备更为详细的运行信息，一旦某个生产设备或环节发生故障，总线系统可以通过通讯编码信息对故障进行精确定位，并通过海量通讯数据精确诊断和分析出故障类型，支持智能化运维，方便运维人员采取对应的措施快速解决故障问题，恢复正常生产；而传统 IO 一对一的方案所采集的信息量十分有限，大量故障信号只能合并后送入输煤控制系统，无法支撑系统故障诊断、定位和分析等高级应用功能，运维人员面对故障告警需要到设备就地依次排查才能找出故障所在，智能化水平低下，系统运维效率和成本均远高于现场总线方案。

例如在传统 IO 方式的输煤控制系统中，一条皮带的所有拉绳、跑偏等保护信号都是合并接入控制系统的，当某个元件动作后，控制系统无法精确定位故障所在位置。在长距离的输煤栈桥和皮带上往往有多达几十对甚至更多的皮带保护信号，如不精确定位动作信号，一旦某个皮带传感器出现故障，需要运维检修人

员花费大量时间去现场搜寻和故障定位。而采用现场总线方案后，胶带机沿线任一拉绳、跑偏开关将编码定位，单个传感器的信号均送至输煤控制系统的，因此能够快速精确定位到某个传感器的动作位置，从而节省了检修时间和所需要投入的人力。长时间运行的输煤系统，拉绳跑偏开关还可能存在本身进水进灰而产生信号误报，运行人员只能一个个将开关全部拆开排除故障或者被迫带故障运行，而采用现场总线方案则可有针对性的及时处理问题，以避免输煤皮带系统带故障运行。

## 2.2 提高系统控制精度

在传统输煤 DCS/PLC 控制系统中，因为 IO 信号电缆长度较长，为节省信号电缆，很多现场信号不能单独传送到控制系统中，例如犁煤器的限位开关信号多个信号合并为一个信号上传，虽然节省了电缆，但对设备运行状态的判断是不利的。如采用输煤现场总线控制方案，则系统的所有 IO 信号均可完全上传，所采集的信号规模将远多于常规 DCS/PLC 硬接线方案（信号规模可达常规方案 2 倍以上），尽量避免了信号合并，也不会产生信息遗漏。而控制信息的丰富有利于运行人员作出更准确及时的决策。例如重庆神华万州电厂的输煤控制系统采用现场总线控制方案，IO 控制量由传统方式的 1800 点左右上升到 4000 多点，输煤系统诊断、维护、查询能力大大提升，有利于及时发现输煤系统的问题并精确下达相应的控制指令，及时处理现场问题，提高了系统的整体控制精度。

此外，现场总线所双向传递的信号均为数字信号，其数据分辨率、测量精度和稳定性都优于模拟量仪表和混合式仪表，消除了传统集散控制系统中 A/D 和 D/A 转换误差以及模拟信号在传输中受到干扰而产生的精度损失，从而使控制精度提高，间接提高运行的经济性。传统模拟量信号特别是 RTD 温度信号通过长距离信号电缆采集传输后测量精度将会打一定折扣，造成模拟量信号不能准确反映现场实际情况。而采用分布式现场总线采集的模拟量信号就地转换为数字量传输则不存在上述问题。输煤的雷达料位计等仪表，传统方案采用 4-20mA 电流值传输信号量，仪表要将测量到的数字信号转换成电流模拟信号输出，DCS/PLC 的 AI 模块再将电流模拟信号转成数字信号，中间需要经历数字转模拟和模拟转数字两次转换，精度大幅降低，而现场总线方案可以通过料位计的现场总线接口直接将信号传输给输煤控制系统，精度大幅提高。

## 2.3 节省大量控制电缆

现场总线技术的突出优势还在于大量节省了现场控制电缆量。由于现场总线网络的每一段都可以带数十个智能总线设备，将传统 I/O 硬接线点对点的多电缆连接方式转变为双绞线/光纤的总线连接方式，必然会带来控制电缆数量、敷设工作量和接线调试工作量的大幅度减少，而工艺系统分布越广，节省电缆和桥架的优势就越能得到体现。对输煤系统而言，其区别于电厂其它控制系统而言的一个主要特征就是胶带机距离长，输煤工艺设备十分分散。若采用常规 PLC/DCS 硬接线控制系统，两台 600MW 的火电机组的输煤系统控制电缆用量基本上都在百公里上下，但若采用现场总线系统，则输煤系统控制电缆量可以降到十公里以下，总线方案所需要的信号电缆往往不到常规 I/O 方案的 1/10，如此大量电缆的减少，意味着采购成本、电缆通道成本、电缆敷设成本、电缆接线成本、现场电缆调试成本、后期电缆维护成本的降低。因此对新建工程而言，输煤控制系统采用现场总线方案所带来的经济效益是较为可观的。

### 3 输煤系统现场总线方案和技术特点

#### 3.1 输煤系统现场总线方案

纵观近几年国内输煤总线控制系统发展的现状，总体有以下两种总线方案：不完全的现场总线技术方案和完全的现场总线技术方案。

不完全的现场总线技术方案：该方案在站控层仍然采用 MODICON、AB、SIEMENS 等 PLC 处理器或采用与电厂辅网相同的 DCS 硬件 DPU 处理器，在输煤程控室设置集中的双机热（冷）备 PLC 系统 CPU 或成对冗余的 DPU，执行整个系统的控制逻辑运算，但是取消各转运站的远程 I/O 柜，以受控皮带为单位在转运站分散布置区域网络控制器，并在就地受控设备旁设置分布式 I/O 数据采集模块，各输煤设备电控箱、传感器的数据就近接入分布式 I/O 模块，具备条件的仪表设备以及 380V 开关柜设备则直接采用智能化带总线接口的设备，各分布式 I/O 模块及总线设备通过现场总线串接组网后汇集至对应的区域网络控制器，由区域控制器通过光纤通讯至输煤程控主站，从而达到节省电缆投资的目的。此方案的优点是保留了一部分数据硬接线采集的模式，远程 I/O 站机柜被分布式 I/O 模块箱替代，布置灵活，但又节省了大量的电缆，易于被业主接受；此外各区域控制器配置有 CPU，具有一定的逻辑运算和数据处理能力，可以独立于主站运行程序，一方面可以减轻主站 CPU 的运行负担，另一方面当主站故障时，区域控制器仍能够实现对应皮带区

域的相关连锁控制，系统可靠性相应有所提高。

完全的现场总线技术方案：是指取消输煤程控室的 CPU 或 DPU，将原来由主站完成的逻辑运算和控制功能下放，由现场总线模块自身的 CPU 完成，基本取消所有 IO 硬接线，所有就地设备均采用现场总线的接口方式连接，系统完全通过现场总线通讯进行指令控制和数据采集，输煤程控室内仅设置上位机操作员站、数据服务器和工业以太网交换机，转运站只设置通讯控制器和以太网交换机，每个通讯控制器负责本转运站附近设备的现场总线接入，从输煤程控室到各转运站通讯控制器之间则采用光纤以太网连接，这样将整个输煤控制网络连接起来。由于取消了主站 CPU 和 IO 模块，系统的技术和经济指标有所提升，另外由于取消了几乎所有的 IO 硬接线，控制电缆量也大大降低；但完全的现场总线方案对就地设备的智能化程度和总线接口标准化有很高的要求，对现场通讯控制器要求有较强的边缘计算能力，所有就地仪表、电控箱、开关柜均要采用总线型传感器和总线型控制箱，对总线型设备的通信稳定性和可靠性要求都很高，在总线仪表和电控箱的投资上会显著增加，另外，完全现场总线方案对所采用的总线技术的抗干扰能力和通讯的稳定性要求很高，对后期运行维护人员的通讯运维能力要求也较高。因此，完全现场总线技术方案目前应用案例很少。

本次规范修编针对国内两种不同技术路线的输煤现场总线技术厂家进行了调研，两者均采用了不完全的现场总线技术方案，但是两者所基于的通讯协议和总线组网方式有所不同，分别是以湖南先步为代表的分布式 IO 现场总线技术方案和以西安博恒为代表的电力线式现场总线技术方案。

### 3.2 分布式 IO 现场总线技术方案

基于分布式 IO 现场总线的输煤控制系统方案基本配置原则如下：输煤控制系统可以根据需要采用 PLC 作为主站，也可采用与全厂辅网 DCS 系统相同的 DPU 作为主站。输煤控制系统主站设置成对的 PLC 或 DPU，组柜布置在输煤主站电子设备间，在输煤控制室设置冗余的操作员站实现对输煤系统的控制。

该方案采用就地模块化设计思路，以胶带机为单位，在每条胶带机的就地设置一台区域智能控制器，布置于各转运站内，各区域控制器负责通过现场总线通讯的方式采集本条胶带机沿线所有设备的信号，各区域控制器通过冗余的光纤以太网送至输煤控制系统主站，区域控制器具备一定的数据运算和处理能力，能够

脱离主站 DPU 独立运行该区域内的设备。

分布式 I/O 现场总线技术方案的设备信号采集有若干种方式：对于自带电控箱的输煤和暖通除尘设备，在各受控设备就地电控箱旁设置分布式 I/O 采集模块箱，各 I/O 模块箱通过就地硬接线的方式与就地各设备电控箱进行接口；对于胶带机沿线的传感器，根据需求可以采用总线型传感器，直接以总线方式串接进入区域控制器，也可采用常规传感器，并在传感器附近布置分布式 I/O 模块，各传感器信号以硬接线方式接入 I/O 模块；对于在 380V 输煤 PC 段及各转运站 MCC 段上通过马保供电和控制的设备（如 380V 胶带机及其制动器），可直接由区域智能控制器通过冗余现场总线的方式与马达保护控制进行通讯采集，也可在配电室设置分布式 I/O 模块箱以硬接线方式采集；对于在 6/10kV 段供电的输煤设备（如 6/10kV 胶带机、环式碎煤机、斗轮机等），为了保证大功率电动机控制的可靠性，则通常在中压配电室内设置 I/O 柜，以硬接线的方式与中压开关柜进行接口控制。

可以看出分布式 I/O 现场总线方案灵活的将总线与就地 I/O 相结合，可根据具体需求灵活配置数据采集方案，同时也大大减少了长距离控制电缆量，但需要注意的是各分布式 I/O 模块箱仍然需要外部供给交流 220V 控制电源，不同的分布式 I/O 模块箱之间的电源采用串接的方式，现场施工时其电源电缆与总线通讯电缆现场一般一起敷设。

以上各分布式 I/O 模块箱、智能总线设备、开关柜马达保护控制器/测控装置之间采用冗余现场总线通讯至对应的胶带机区域控制器。通讯协议则根据不同电厂的需要而采用不同的标准的工业现场总线协议，如：Profibus-DP，DeviceNet，CAN，MODBUS 等。考虑到 Profibus-DP 通讯协议在设备支持、通讯速率、通讯距离和抗干扰性上具有一定的优势，一般新建电厂项目采用 Profibus-DP 总线通讯协议；而对于旧电厂改造工程，具体通信协议的选择需要考虑兼容原有输煤程控系统所支持的协议。

图 3.1 为某新建电厂工程基于分布式 I/O 现场总线技术方案的输煤控制系统网络总图，图 3.2 为其中某个转运站的区域网络控制器与分布式 I/O 模块及开关柜总线型马达保护控制器的总线通讯网络图。

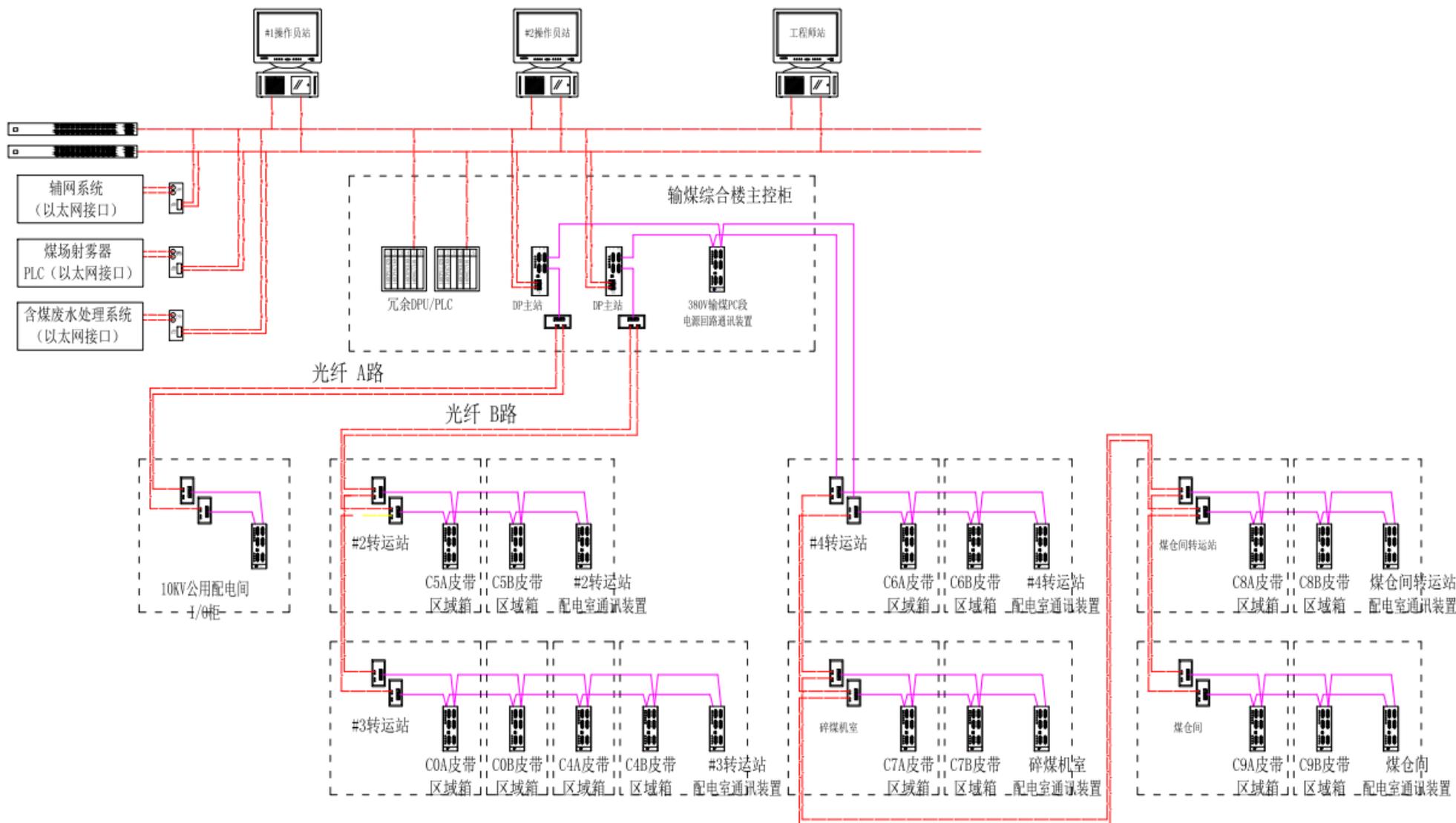


图 3.1 基于分布式 I/O 现场总线技术方案的输煤控制系统网络总图

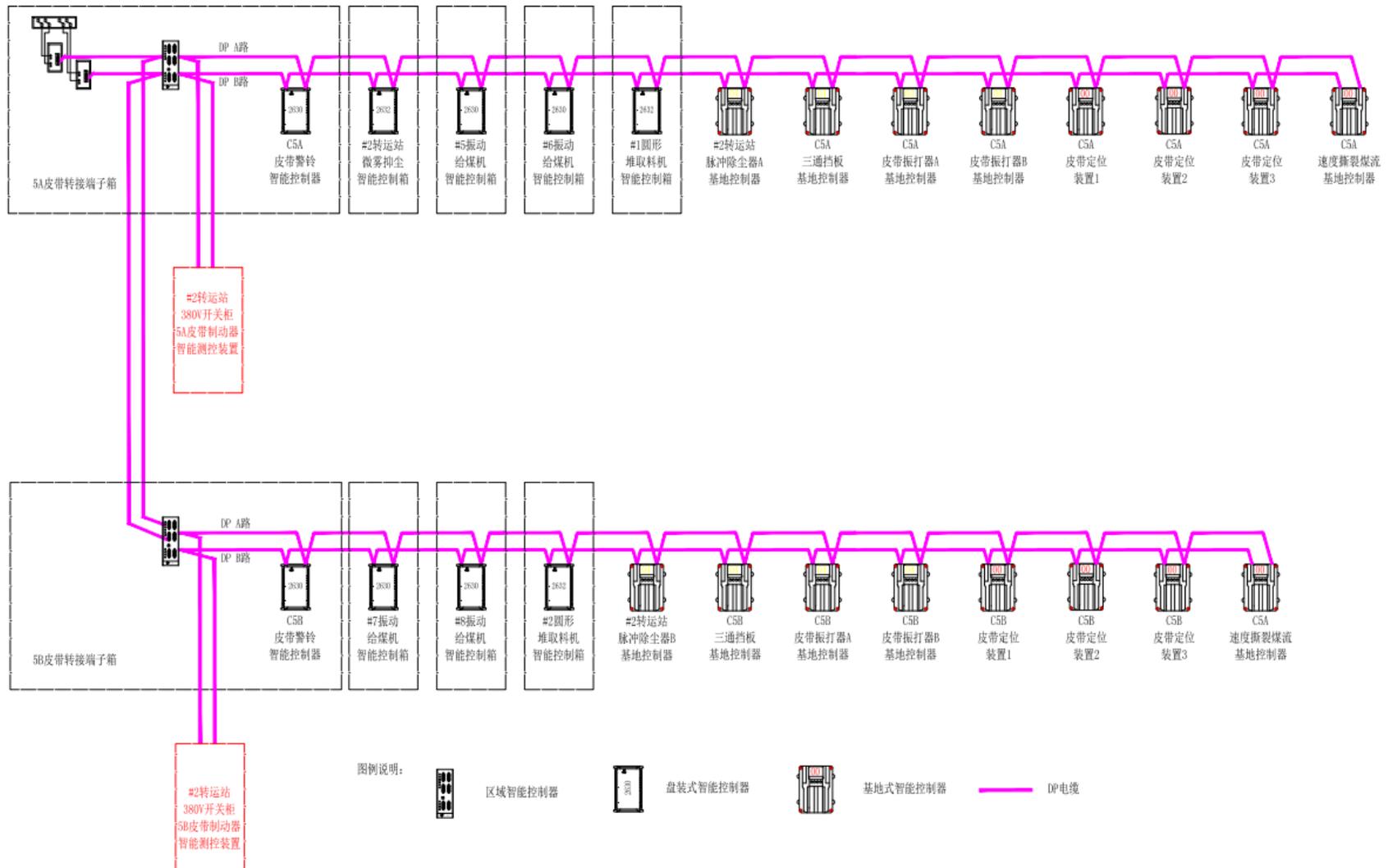


图 3.1 某转运站区域网络控制器与分布式 IO 装置总线网络连接图

### 3.3 电力线式现场总线技术方案

电力线式现场总线是现场总线技术中的一种，它是将国际标准的现场总线与低压电力线载波技术相融合的一种现场总线形式。其最大的特点就是可以利用普通动力、控制电缆作为现场信号传输的载体。

基于电力线式现场总线的输煤控制系统方案基本配置原则如下：输煤控制系统可以根据需要采用 PLC 作为主站，也可采用与全厂辅网 DCS 系统相同的 DPU 作为主站。输煤控制系统主站设置成对的 PLC 或 DPU，组柜布置在输煤主站电子设备间，在输煤控制室设置冗余的操作员站实现对输煤系统的控制。

该方案主要采用电力线式载波通讯协议，以胶带机为单位，在每条胶带机的就地设置一台主控装置，布置于各转运站内，各主控装置负责通过电力线式载波通讯协议采集本条胶带机沿线所有设备的信号，各主控装置通过光纤环网以太网送至输煤控制系统主站，主控装置同时自带 CPU，具备数据运算和处理能力，能够脱离主站 DPU 独立运行该区域内的设备。

电力线式现场总线技术方案的设备信号采集方式大致如下：对于输煤胶带机及其制动器，在该胶带机电机旁设专用的总线型皮带就地智能总线控制箱，该控制箱中包括启停按钮、远方就地转换开关、急停按钮等控制元件以及 I/O 模块，I/O 模块用于与胶带机开关柜及附近设备如软启动器、料位计、倒断带装置等进行硬接线接口；每台中压胶带机电动机旁设置一台每个 6kV 高压电动机就地设一台电机测温总线装置，用于就地硬接线接入电机温度 RTD 热电阻元件，并启停电机加热器；电动犁煤器、刮水器、电动三通、堵煤振打器、滚轴筛、振动煤篦子、脉冲布袋除尘器、皮带自动喷雾装置、煤场喷洒系统等设备直接采用定制的专用一体化电力总线智能电控箱，电控箱集成电气控制回路和信号采集功能，电控箱通过电力线式现场总线接入胶带机区域主控装置；斗轮堆取料机、环式碎煤机振动温度监视仪、盘式除铁器、带式除铁器、电子皮带秤、活化给煤机、入厂煤取样装置、入炉煤取样装置、静电除尘器、皮带液压拉紧装置等带有常规电控箱的设备，如该设备采用 PLC 控制，则直接在控制箱旁设置通讯协议转换单元与 PLC 进行通讯，并转为电力总线通讯协议接入胶带机区域主控装置，如该设备为常规 I/O 型电控箱，则就近设置电力线式 I/O 采集模块箱与电控箱进行硬接线接口，I/O 模块同样通过电力总线通讯协议接入胶带机区域主控装置；对于各输煤胶带机沿线传感保护元件，均硬接线一对一接入专用的总线定位分控装置，再通过电

力线式总线接入胶带机区域主控装置。可以看出电力线式现场总线技术方案采用各种手段将需要采集的信息就地转为电力线式通讯协议后通讯至区域主控装置，各区域主控装置通过环网光纤以太网将所采集信息传送至输煤程控主站 DPU。

与分布式 IO 现场总线方案不同的是，电力线式总线方案中各分散的 IO 装置、分控装置均统一采用电力线式通讯协议，该通讯协议的最大特点是各分控装置之间的电源电缆与通讯电缆采用同一根电缆，即其通讯电缆既用于各装置和模块的 220V 交流电源供电，也同时用于总线通讯，电力线式通讯实质是载波通讯，故电源和通讯采用同一根电缆而互不影响，现场施工时就地不同分控装置之间的串接只需要敷设一根控制电缆即可；另外，分布式 IO 现场总线方案为了保证系统可靠性，一般采用冗余的 Profibus-DP 通讯网络，每个设备需要两路 DP 通讯电缆，而电力线式总线采用一般单环形网络拓扑结构，而非冗余网络结构；综合以上两点，电力线式总线方案相对更为节省控制电缆用量。

图 3.3 为某新建电厂工程基于电力线式现场总线技术方案的输煤控制系统网络总图，图 3.4 为其中某个转运站的主控装置与各分控控制、电控箱、传感器、开关柜的区域总线通讯网络图。

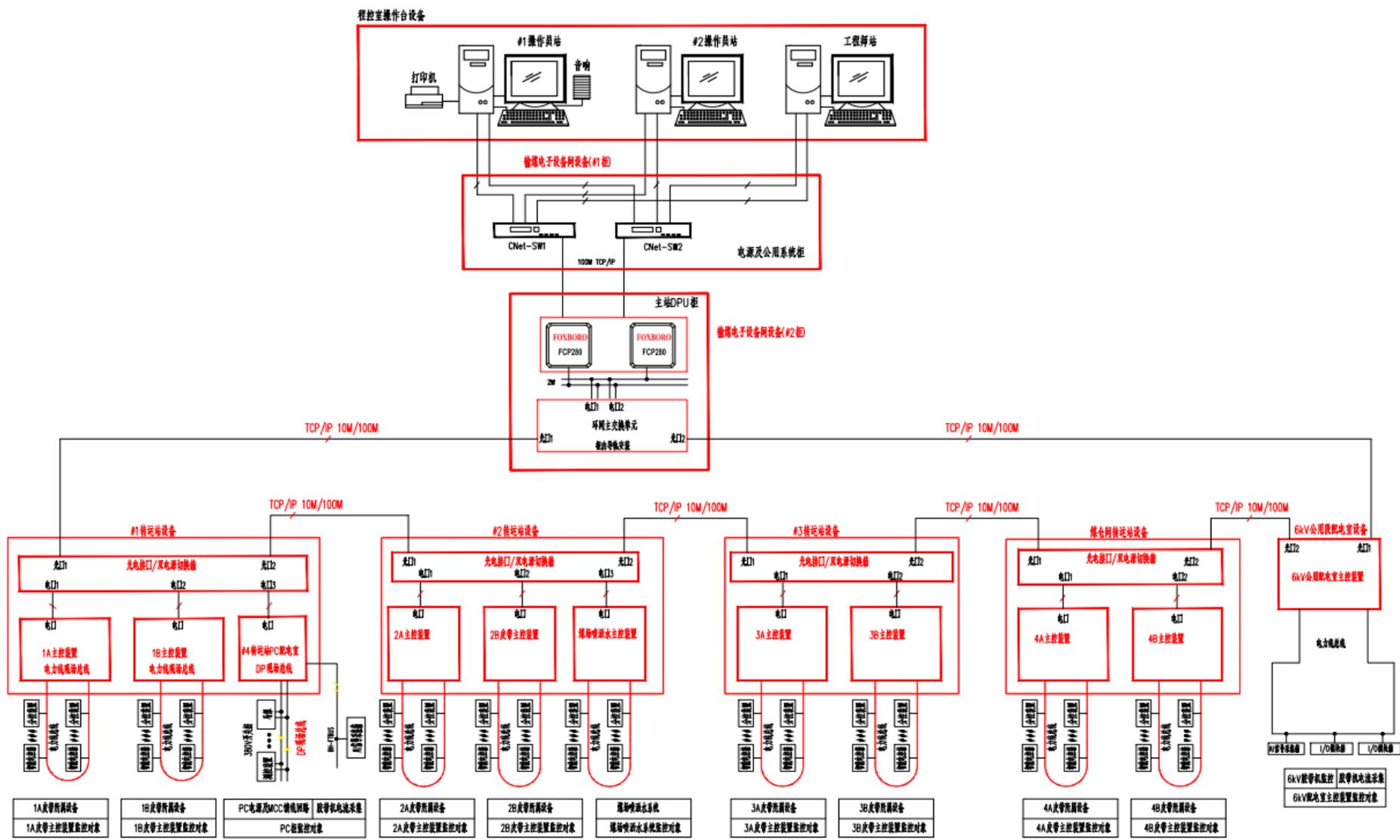


图 3.3 电力线式现场总线输煤控制系统总体网络图

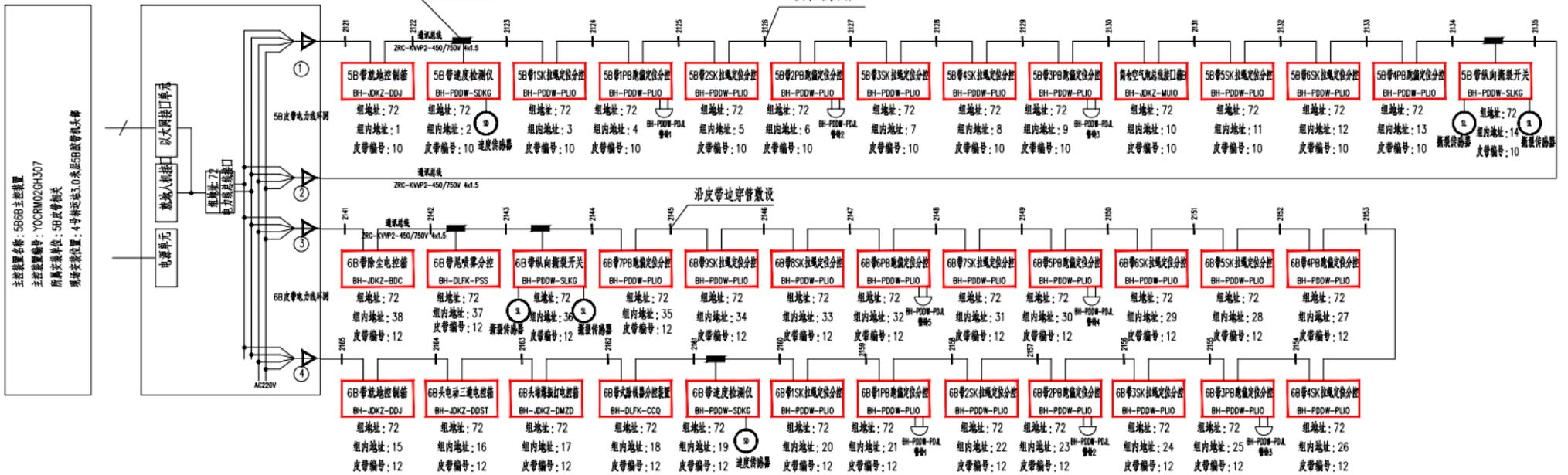


图 3.4 某转运站主控单元与各分控装置电力总线网络连接图

## 4 输煤现场总线技术的应用案例调研情况

### 4.1 分布式 I/O 现场总线技术在部分电厂中的应用

(1) 湖北能源鄂州三期电厂，装机容量为 2x1050MW。该项目由中南电力设计院设计，于 2015 年开工，2019 年投产。该项目输煤系统所有工艺设备及输煤 10kV、380V 电源系统均采用基于分布式 I/O 的现场总线系统接入。

鄂州电厂三期输煤控制系统采用施耐德的 PLC 昆腾系列冗余 CPU+分布式 I/O 现场总线控制器的方案，整个输煤系统分为三层，第一层为站控层，配置 3 台操作监控电脑及冗余 CPU 系统；第二层为区域控制层，在各转运站为每条皮带配置一台区域网络智能控制器，负责对现场该皮带所在区域的设备进行信号采集、处理和汇总，并将该区域的数据通过光纤以太网通讯上传至输煤 PLC 主站；第三层为设备控制层，每个所控设备旁边安装一台就地智能 I/O 控制器，每台控制器均与附件的就地设备信号进行硬接线接口采集，各控制器之间采用 PROFIBUS-DP 协议进行串接，并以 DP 总线与该区域网络智能控制器进行通讯，现场总线及光纤控制网络均为双网结构。

鄂州电厂的输煤 380V PC 进线电源开关，PC 至 MCC 馈线开关、380V 胶带机开关、制动器、振打器、电动犁式卸煤器、电动三通等所采用的测控装置和马达保护控制器带有 Profibus-DP 总线通讯接口，并以双 DP 网接入输煤程控系统进行控制，同时还保留了硬接线接口；对于由 10kV 工作段以及公用集中段供电的圆形堆取料机、环式碎煤机、4AB 胶带机、6AB 胶带机、8AB 胶带机、0AB 胶带机的电源回路，采用 PLC 远程 I/O 柜接入输煤控制系统；对于振动给料机、滚轴筛、暖通除尘器、除铁器、循环链码及电子皮带秤、煤采样、喷洒电磁阀等自带控制箱的设备，经过自带控制箱的外部接口以及通讯接口，采用硬接线+总线模块的方式接入就地总线主控单元，经主控单元以通讯方式接入整个输煤控制系统。对跑偏开关、拉绳开关、撕裂开关、速度开关等皮带保护装置，皮带预启警铃以及煤仓间高料位计、雷达料位计等传感元件采用基于 DP 智能总线的接口传感器，以现场总线方式接入输煤程控系统。

运行效果：电厂输煤程控系统自投运以来安全、稳定运行。

(2) 重庆神华万州电厂，装机容量为 2×1000MW，西南电力设计院，于 2013

年开工，2015 年投产。该项目输煤系统所有工艺设备及输煤 10kV、380V 电源系统均采用基于分布式 I/O 的现场总线系统接入。

该项目采用全厂一体化硬件的 DCS 方案，输煤控制系统 DPU 采用北京 ABB 贝利工程有限公司的 Symphony Plus 系统+分布式 I/O 现场总线控制器方式，输煤控制系统 DPU 数量设置 3 对，现场总线控制网络均为冗余双网结构。本工程现场总线技术的基本控制理念是针对输煤控制系统的每一个被控对象设置一台分布式 I/O 现场总线采集装置，布置于工艺设备厂提供的就地电控箱旁边或由程控系统直接提供具有 DP 接口现场总线功能的配电控制一体化智能电控箱，安装于被控对象旁。所有布置于现场的总线设备（包括分布式 I/O 装置、智能电控箱等）以一定的原则分组，每组内的总线设备之间，以就近接入为原则，以冗余的 PROFIBUS-DP 冗余总线相互连接，而后接入布置于转运站的输煤远程站区域主控装置。布置于转运站的区域主控装置之间以及主控装置与输煤程控室之间，采用光纤通讯形成冗余网络，最后实现整个输煤控制系统的连接。

该项目对于输煤 10kV A、B 段配电装置、输煤 380V PC A、B 段开关柜电源回路，由输煤 10kV 及 380V PC 段引接的皮带电动机、碎煤机等设备的监控采用 I/O 分控装置接入输煤控制系统站控层，I/O 分控装置集中组柜布置在 10kV、380V PC 配电室或装于 10kV、380V PC 柜内；对二位置头部伸缩装置、活化给煤机、电动三通、分煤装置、堵煤振打、犁煤器、10kV 皮带制动器等同时存在就地配电和监控的设备，采用将动力配电与现场总线设备合二为一的智能型电控箱，可直接通过总线接入系统；对翻车机、圆形煤场堆取料机、采煤样装置、皮带秤、皮带秤动态校验装置、转运站除尘器、粉尘在线监测装置、梳式摆动筛、碎煤机超温超振监控、除铁器等设备厂自带电控箱实现就地控制的设备，在设备就地控制箱旁设分布式 I/O 现场总线采集装置，以实现此类设备与输煤控制系统的硬接线接入；对跑偏开关、拉绳开关、撕裂开关、速度开关等皮带保护装置以及皮带就地控制箱、皮带预启警铃等设备经现场总线通讯的 I/O 分控装置，直接挂接在各皮带所属的现场总线上，经区域主控装置后接入整个输煤控制系统。

各区域主控装置挂墙安装，每台区域主控装置负责两条皮带所属的现场总线设备接入。区域主控装置除负责提供对下与 I/O 分控装置或总线智能电控箱之间的总线通讯、对上提供与输煤程控站控层系统之间的光纤通讯接口等功能外，尚实现对总线型皮带保护装置的总线供电功能。

运行效果：电厂输煤程控系统自投运以来安全、稳定运行。

(3) 京能十堰热电厂，装机容量为  $2 \times 350\text{MW}$ ，中南电力设计院设计，2015 年开工，2017 年投产。该厂全厂辅网控制系统采用了南京科远 NT6000 FCS 控制系统，为了与全厂辅网 FCS 控制系统保持一致，输煤程控 FCS 控制系统也采用了南京科远 NT6000 系列的 DPU 作为输煤程控主站控制器，就地各个转运站按皮带设置区域控制器，就地设备旁设分布式 IO 现场总线装置。该项目现场总线总体采用了双冗余通讯网络结构。

该工程各类设备接入输煤程控系统的方式具体如下：

对于在 380V 开关柜上控制的胶带机开关、制动器、犁煤器、电动三通等设备以及输煤 PC、MCC 电源系统，直接采用带 Profibus-DP 冗余总线通讯接口的马达保护控制器和框架断路器测控装置，以双网的形式通讯接入转运站区域控制器，但也保留硬接线控制接口；对于由 6kV 胶带机开关、碎煤机、斗轮机等设备则在 6kV 配电室设置远程 IO 分站通过硬接线进行数据采集，远程 IO 分站以光纤通讯方式接入输煤 FCS 主站；对于布袋除尘器、振动煤蓖、滚轴筛、暖通湿式除尘器、微雾抑尘装置、除铁器、煤采样等自带控制箱的设备，经过自带控制箱的外部接口以及通讯接口，采用硬接线分布式总线 IO 模块进行数据采集，并通过现场总线就近接入对应的区域控制器，每台设备作为一个独立的现场总线节点经区域控制器以通讯方式接入整个输煤控制系统；对跑偏开关、拉绳开关、撕裂开关、速度开关等皮带保护装置，皮带预启警铃等传感元件采用常规传感器+分布式总线 IO 采集模块的方式通讯接入输煤控制系统。

运行效果：电厂输煤程控系统自投运以来安全、稳定运行。

## 4.2 电力线式现场总线技术在部分电厂中的应用

(1) 重庆安稳电厂，装机容量为  $2 \times 600\text{MW}$ ，中南电力设计院设计，2014 年开工，2016 年投产。

该项目输煤系统所有的工艺设备，以及 10kV 输煤系统开关柜、380V PC 电气进线、母联及至 MCC 段馈线开关柜均采用电力现场总线系统接入输煤控制系统中，是较为完整采用电力线式现场总线方案的电厂之一，该项目电力线式现场总线总体采用单环网结构。

对于输煤系统的电源回路，该项目在 10kV 输煤配电室内的设置壁挂安装的总线模块箱，内设就地 I/O 采集模块和 AI 采集模块，采集模块与输煤 10kV 开关柜（如 10kV 胶带机、碎煤机、斗轮机开关柜）之间采用硬接线方式采集信号，各模块之间则采用电力现场总线 BH-FTBUS 双绞线进行通讯，模块箱以光纤环网通讯至输煤程控主站；该项目在 380V 输煤 PC 段电源回路的配电柜安装 4DO/8DI 采集模块和 CT/PT 直接交流采样模块，各模块与开关柜进行柜内硬接线连接，模块之间则采用电力现场总线 BH-FTBUS 双绞线进行通讯，模块箱以光纤环网通讯至输煤程控主站。

对于输煤工艺系统，在每个胶带机头部设置一台电力线主控装置，主控装置通过，斗轮机与地面皮带系统的联系采用无线技术接入。皮带沿线的电控箱除了除铁器电控箱、采样机电控箱、煤仓层高压静电除尘器电控箱由工艺厂家成套外，其余均采用集现场总线设备和工艺配电于一体的智能化总线电控箱。

该系统工程设计阶段输煤程控采用了 FOXBRO DCS 系统的 DPU 作为输煤控制系统的主站，但后续工程投产后进行了一次现场改造，改为皮带间的联锁控制逻辑采用西安博恒的 FPU 控制器实现，上位操作、历史数据记录等功能则仍由 FOXBRO DCS 控制系统（实际使用 1 对 DPU）实现。

该项目布置于现场的主控装置与布置于输煤程控室 FPU 处理器之间的通讯采用工业以太网，单环网结构。FPU 控制器与 DCS DPU 之间也采用工业以太网，点对点连接。FPU 控制柜（1 面）与 DCS DPU 控制柜（1 面）在输煤综合楼电子间内并排紧靠布置。

运行效果：该系统自投运以来，除发生过几次因以太网网线 RJ45 接头接触不良而导致 DCS 画面闪动和高压皮带电动机制动器报故障致皮带电动机异常跳闸的事件，以及煤场斗轮机所在户外长皮带边安装的皮带定位分控因现场施工防水措施不完善致模块进水而上报通讯故障的事件外，无其它异常事件发生，整个控制系统总体运行稳定。

存在问题：对 DCS 画面，由于 FOXBRO DCS DPU 扫描周期慢，现场拉绳开关等快速变化 DCS 侧无法及时扑捉并记录，现场总线侧报给 DCS 侧的一些故障信息，在 DCS 画面侧显示未连接或连接错误，以致现场发生问题后故障诊断记录不完善。后续该项目进行了改造，增加了一套西安博恒的 FPU 控制器，独立于 DCS 系统进行故障诊断和历史记录，FPU 控制器也可独立于 DCS 系统实现操作。

(2) 山东莱州电厂二期，容量为 2x1000MW，由国核电力设计院设计，2016 年开工，2018 年投产。该项目的输煤控制系统整体采用了电力线式现场总线通讯方案。

该系统建设阶段皮带间的联锁控制逻辑、上位操作、历史数据记录等输煤主站功能均采用国电南自美卓 DCS 系统实现，DCS 系统设三对 DPU，分别布置于三个位置，每处设独立的电子间。在各转运站设置电力线区域主控装置，负责与就地设备、电控箱、传感器进行电力线总线通讯，区域主控装置直接采用挂墙式安装。布置于现场的区域主控装置与布置于输煤程控室主站 DPU 之间的通讯则采用工业以太网单环网结构。

该项目除位于电气配电室的皮带电动机采用带 Profibus 总线接口的马达保护控制器直接与 DCS 系统通讯连接外，其它的所有设备全部采用电力线现场总线接入。皮带沿线的电控箱除除铁器电控箱、采样机电控箱继续由工艺厂家成套，采用硬接线的方式与布置于就地的电力线式总线 IO 装置接口，其余输煤工艺设备均采用了集成电力线式现场总线接口一体化智能电控箱，这些电控箱直接通过电力线式现场总线。

运行效果：该系统自投运以来两年半时间有余，除在海边露天布置的几台定位分控模块因施工防护措施不力致总线电缆接头处腐蚀氧化，发生过个别模块报通讯超时信号外，整个控制系统运行稳定，正常。

(3) 京能秦皇岛热电机组项目，装机容量为 2x300MW，由华北电力设计院设计，2017 年开工，2019 年底投产。该项目的输煤控制系统整体采用了电力线式现场总线通讯方案。

该项目全厂 DCS 系统为和利时控制系统，但由于 DCS 的扫描周期较慢（100ms），在输煤控制系统设置了一套西安博恒的全分布式 FPU 控制器（FPU 扫描周期 20ms，以壁挂机箱的方式布置于输煤控制室内），输煤系统皮带间的所有联锁控制逻辑、上位操作、历史数据记录等均由 FPU 实现，前期输煤控制系统所配置的 DCS DPU 控制器仅作为 FPU 控制器的备份考虑，运行人员通过 FPU 控制器提供的人机接口 Web 服务功能实现监控。该系统在各转运站现场设置电力线式区域主控装置，FPU 主站控制器与布置于各转运站现场电力线式区域主控装置之

间的通讯采用工业以太网双环网结构连接。

输煤系统所有工艺设备除采样机保留工艺厂家的电控柜外，其余所有设备均采用了与集成电力线式总线接口的一体智能电控箱实现，这些电控箱直接通过电力线式总线与区域主控装置进行通讯。电气各 PC 柜对应的信号采用双绞线现场总线模块硬接线接入，双绞线模块单独组屏安装。皮带沿线的所有传感器采用电力线现场总线接入区域主控装置。

该系统区别于其它项目的最大特点在于：整个系统全部采用分布式设计理念，系统内的任意一个设备故障、任意一个位置断线均不影响系统的正常控制功能，即使在皮带系统正常运行阶段，也允许将程控室的 FPU 控制器断电退出，该系统称为真正意义上的全分布式控制系统；该项目的另一个特点就是该系统采用 FPU 主站控制器，不同于一般的 PLC 或 DCS，其主站的实时性更高，其 FPU 按 8 万点的控制信息量考虑，系统的扫描周期可以达到 20ms，是目前常规 PLC/DCS 系统无法到达的目标；另外该系统的操作员站采用 Web 服务器方式实现，任何控制器只要可以运行浏览器软件，就可以作为该系统的操作员站使用；该系统的主控装置、FPU 控制器，只要外接一台显示器，就可随时变为一台操作员站，方便现场的调试，是其它控制器无法实现的；该系统现场侧的所有故障均可在历史记录中监视记录。

该项目作为京能集团的科技计划项目，目前已通过集团组织的现场验收阶段。

## 5 输煤系统现场总线应用范围

归纳国内近年现场总线在输煤控制系统中的应用，系统的结构大多数是采用将 FCS 技术集成到现有的输煤 DCS/PLC 控制系统中去，现场总线设备的应用和分布主要在现场设备层。关于输煤系统中应用现场总线的范围，本调研报告根据实际工程经验和调研，提出如下观点和建议。

### 5.1 不建议输煤采用现场总线技术的应用范围

在电厂输煤系统中，斗轮机、叶轮给煤机、卸船机等大型机械设备，工作时位置可移动，不建议直接采用现场总线传输信号，以免通讯电缆损坏，通讯中断，这些移动式设备更适合采用局部或整体无线传输方案来传输信号；在 6kV/10kV 开关柜供电的斗轮机、碎煤机、胶带机，一般还是采用传统远程 I/O 的方式接入

输煤控制系统，虽然目前国产的中压开关柜综保装置一般都具备了各类现场总线接口，通过综保装置也可以方便的实现开关的控制和信息采集，但考虑到中压设备的重要性，目前大部分电厂的中压段仍采用常规硬接线的方式进入电厂控制系统，总线通讯往往只作为补充信息的采集手段，因此，输煤系统中的 6kV/10kV 电动机开关柜也不建议直接采用总线通讯的方式。

## 5.2 建议输煤采用现场总线技术的应用范围

除了 5.1 “不建议输煤采用现场总线技术的应用范围”外，输煤系统其它部分均属于“可采用现场总线技术的应用范围”，总线的应用范围需要根据各工程业主的需求确定。在这些范围内应用现场总线技术应具备以下几个基本特征：

1) 所采用的现场总线技术及通讯协议，应满足输煤控制系统实时性和可靠性的要求；

2) 所采用的现场总线技术应能与 DPU 或 PLC 相配合；

3) 通过合理的分散和冗余，可以将危险的可能进行分散，并提高整个系统的可用性和可靠性，使可用性达到与常规 DCS/PLC 相同水平；

4) 通过采用现场总线技术，充分利用现场设备通信功能所提供的智能化信息，能够为输煤控制系统后台的数据数据的收集、整理以及处理提供足够的附加值；

5) 整体费用可控，相对传统 I/O 方式，系统全生命周期费用不会大幅度增加。

根据以上原则，针对燃煤火电机组输煤系统应用总线的方式推荐如下：

序号	应用设备	是否采用总线	备注
1	皮带输送机	整体采用现场总线	皮带机的现场控制和测温适宜在就地设备总线式 I/O 采集装置采集现场数据，并以现场总线通讯方式接入输煤控制系统。
2	其他工艺设备	整体采用现场总线	布置在皮带沿线和转运站内的其他工艺设备例如：头部伸缩装置、碎煤机、筛煤机、振动给煤机、犁式卸料器、电动三通挡板、防闭塞振打器、除铁器、刮水器、皮带秤及链码校验装置以及除尘器、喷水抑尘系统等都可以采用现场总线接入

			控制系统。其中部分设备如头部伸缩装置、振动给煤机、犁式卸料器、电动三通挡板、防闭塞振打器、刮水器等设备可采用智能动控一体总线控制箱的方式接入输煤程控系统。其他自带电控箱的设备则采用就地设置总线式 I/O 的方式接入输煤程控系统。
3	皮带保护传感器	整体采用现场总线	拉绳、跑偏、撕裂、速度、堵煤、煤流等胶带机沿线传感器适宜采用现场总线接入输煤控制系统。输煤传感器可采用一体化总线型设备，也可采用常规输煤传感器加总线型定位 I/O 装置的方式进行通讯接入。
4	低压配电间内设备	根据情况确定	输煤系统低压配电柜内信号比较集中，灰尘较少，可根据具体需求采用现场总线还是传统 I/O 远程站方式。低压开关柜可采用带总线通讯接口的测控装置和马达保护控制器，这些设备可直接与输煤程控系统进行总线通讯。

## 6 输煤现场总线技术项目实施建议

输煤控制系统如采用现场总线方案，最重要的是要保证系统的实时性和可靠性，输煤总线控制系统优良特性取决于几个因素：①系统的高可用性；②系统的高实时性；③辅助措施。建议在项目实施过程中采用如下措施以保证输煤总线控制系统的品质：

■ 输煤控制系统主站控制器无论采用 PLC 还是 DCS 方案，其主站配置原则与常规输煤控制方案一致，即采用冗余的、双机热备的主站 PLC 或 DPU，以保证主站的可靠性。

■ 无论是就地的现场总线网络，还是各区域控制器至主站的光纤网络，应采用双冗余网络或环形网络的拓扑结构形式，保证系统任一处单一接点网络故障，不会造成系统整体瘫痪。

■ 采用冗余网络结构的现场总线，在冗余技术允许的条件下，遵循总线接口

模块冗余、总线线缆冗余、总线设备接口冗余的原则。

■ 如采用 PROFIBUS-DP 等通讯协议，现场总线设备的冗余 DP 口，应分别采用独立的 DP 通信模块，而不是一个 DP 通信模块的两个扩展分支接口。

■ 配置在同一控制器下的并列运行或冗余配置的设备（如 1 号转运站胶带机 A 和 1 号转运站胶带机 B），应配置在同一控制器下不同的现场总线网段上。

■ 对于采用 DP 通信协议的系统，通过总线模块可设定通信速率。根据输煤系统胶带机的长度，单个网段的覆盖范围，一般都在 100 米~400 米之间，根据 PROFIBUS 通信规范，每个 Profibus-DP 总线网段通信速率宜设定在 500k bit/s 最为稳定。

■ 网段的划分一般以胶带机为单位，每条胶带机设置一台主控装置。对于采用 DP 通信协议的系统，每个网段上连接设备数量满足下列要求：①理论计算满足实时性要求，且留有至少 50% 裕度；②每个网段连接总线设备数量不多于 16 台；对于电力线式总线系统，胶带机沿线各分控设备均以电力总线接入主控装置，每个网段接入设备数量无特别限制。

■ 对于输煤工艺设备，如需配电电控箱，建议尽量采用一体化的智能总线型电控箱，电控箱的质量和功能够得到保证，省去了在就地电控箱旁布置分布式 IO 模块箱的麻烦。

■ 考虑到总线系统的干扰问题，沿着胶带机敷设的不同设备之间的总线建议设置专用的通讯槽盒（可选用 100mm 的热镀锌电缆槽盒），布置于胶带机的一侧，与其他控制电缆和通信电缆严格区分开来。

■ 考虑到输煤系统环境极差，输煤转运站及栈桥沿线的粉尘较多，输煤栈桥经常需要水冲洗，布置于就地的分布式 IO 装置及各分控装置、区域控制器、总线一体化电控箱以及各类总线连接附件的防护等级应达到 IP67。如转运站有专门的配电室，建议区域控制器、交换机等通讯接口装置布置于转运站配电室内。

■ 采用总线方案的系统现场有大量的设备需要进行总线接口施工，在施工前建议成套设备厂家向施工单位开展相应的施工要点培训，以免现场总线设备接口损坏、接触不良、接口处的防水防尘密闭性达不到要求。

■ 考虑到系统可靠性，分散于就地各区域控制器、分控装置、分布式 IO 装置应采用 UPS 电源供电。