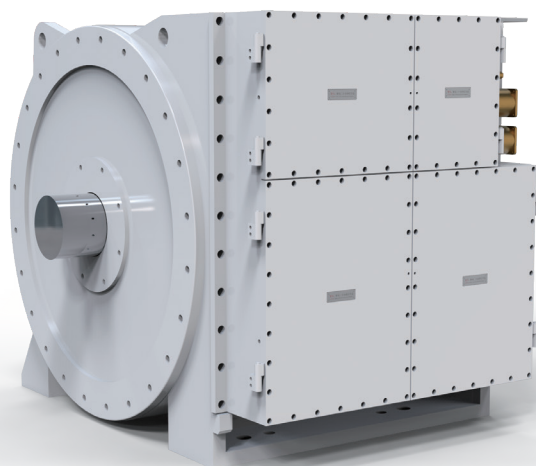


煤矿用防爆变频调速一体机



煤矿用永磁低速直驱变频一体机

# 大型矿用设备节能传动技术创新应用

## —— 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机应用效果显著

王立才 杨海鹏 王岩

2021年12月28日，国务院印发了《“十四五”节能减排综合工作方案》（国发〔2021〕33号），指出到2025年，全国单位国内生产总值能源消耗比2020年下降13.5%，全国单位国内生产总值能源消耗比是衡量国家经济社会发展的主要约束性指标之一。煤炭在我国能源消费构成中一直占主导地位，巨大的消耗量带动着煤炭开采量的不断攀升。2021年，全国共生产原煤40.7亿t，比2020年增长了4.7%。为了实现节能减排，建设绿色矿山的目标，煤炭开采的能源消耗必须得到控制，大型矿用装备的节能传动技术创新是实现节能减排和煤矿智能化的重要途径之一。

多年来，山东能源集团有限公司与科研院所、先进设备厂家进行产学研合作，针对传统传动模式存在的启动转矩小、启停冲击大、对电网冲击大，以及刮板输送机断链事故频发、多机动态功率无法平衡调节等难题，开展了矿用大功率变频一体机、永磁变频一体机等技术和产品的研发与应用，取得了重要进展。

### 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机创新技术与优势

矿用大功率（永磁）防爆变频一体机结合变频器控制、电机电磁设计、稀土永磁材料、功率半导

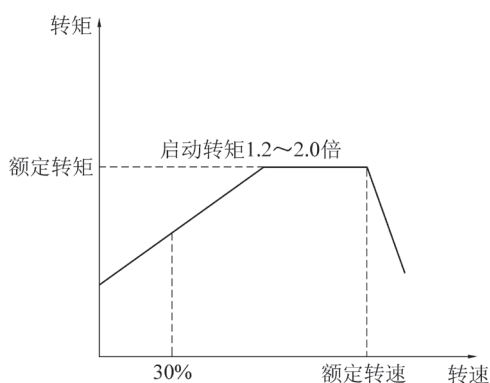


图1 常规异步电动机转矩输出曲线

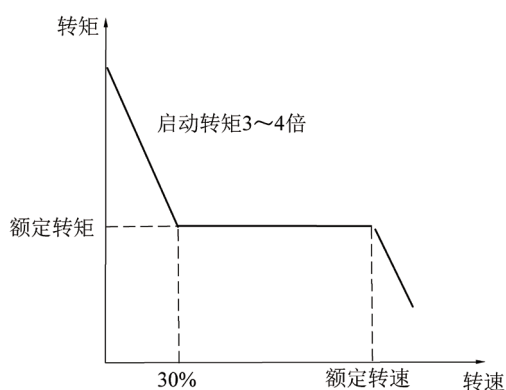


图2 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机转矩输出曲线

体高压绝缘、高效矿井水冷却、高可靠性通信等多学科理论知识和前沿技术，实现了煤矿高粉尘、高温、高湿、淋水、强震动、空间狭小、复杂电磁干扰和爆炸性气体等特殊环境下关键生产设备的高效驱动，替代了传统的液力耦合器、CST及“变频器+电机”分体式等传动方式，永磁变频一体机系列产品省去了维护量大、故障率高、传动损耗大的减速增扭环节，综合效益大幅提升。相比较于传统的驱动产品，矿用大功率（永磁）防爆变频一体机具有以下5项创新技术优势。

### 启动转矩大

（1）常规异步电动机启动转矩倍数与最大转矩倍数均有限，启动输出转矩为低速低转矩曲线模型（图1），启动转矩为额定转矩的1.2~2.0倍，并且需要堵转电流较大，持续时间超过额定启动时间将造成电机温度报警，甚至发生“烧电机”情况。

（2）矿用大功率（永磁）防爆变频一体机的启动转矩与磁极对数成正比，启动输出转矩为低速高转矩曲线模型（图2），启动转矩可以达到额定转矩的3~4倍，非常适合井下矿用大功率设备在大负载情况下的应急启动工况。

### 最大转矩保护

最大转矩保护可以通过对带式输送机或刮板输

送机的应力分析，确认输送带或刮板所能承受的最大转矩，从而在矿用大功率（永磁）防爆变频一体机中设定相应的最大转矩，当输送带或刮板输送机负载超过设定的最大转矩时，矿用大功率（永磁）防爆变频一体机将自动降速保护，如果长时间过载，将进行故障性停机，并将故障信息直观地反馈给现场操作人员，杜绝设备超负荷运行造成设备损坏。

### 功率平衡控制优越

矿用大功率（永磁）防爆变频一体机的控制方式为直接转矩控制，即以矿用大功率（永磁）防爆变频一体机的转矩为控制变量，在多点驱动使用时，以其中1台矿用大功率（永磁）防爆变频一体机的输出转矩和转速作为参考，比较被控的其他多台矿用大功率（永磁）防爆变频一体机的输出转矩和转速，通过PID运算来校正被控矿用大功率（永磁）防爆变频一体机的转速设定，达到多台矿用大功率（永磁）防爆变频一体机功率平衡、高效协作的目标。

### 自动化与可靠性高

矿用大功率（永磁）防爆变频一体机具有高可靠性的故障自诊断系统，采用总线控制模式，便于在智能矿山建设中与其他设备进行组网，提供便于接入环网的网络接口。

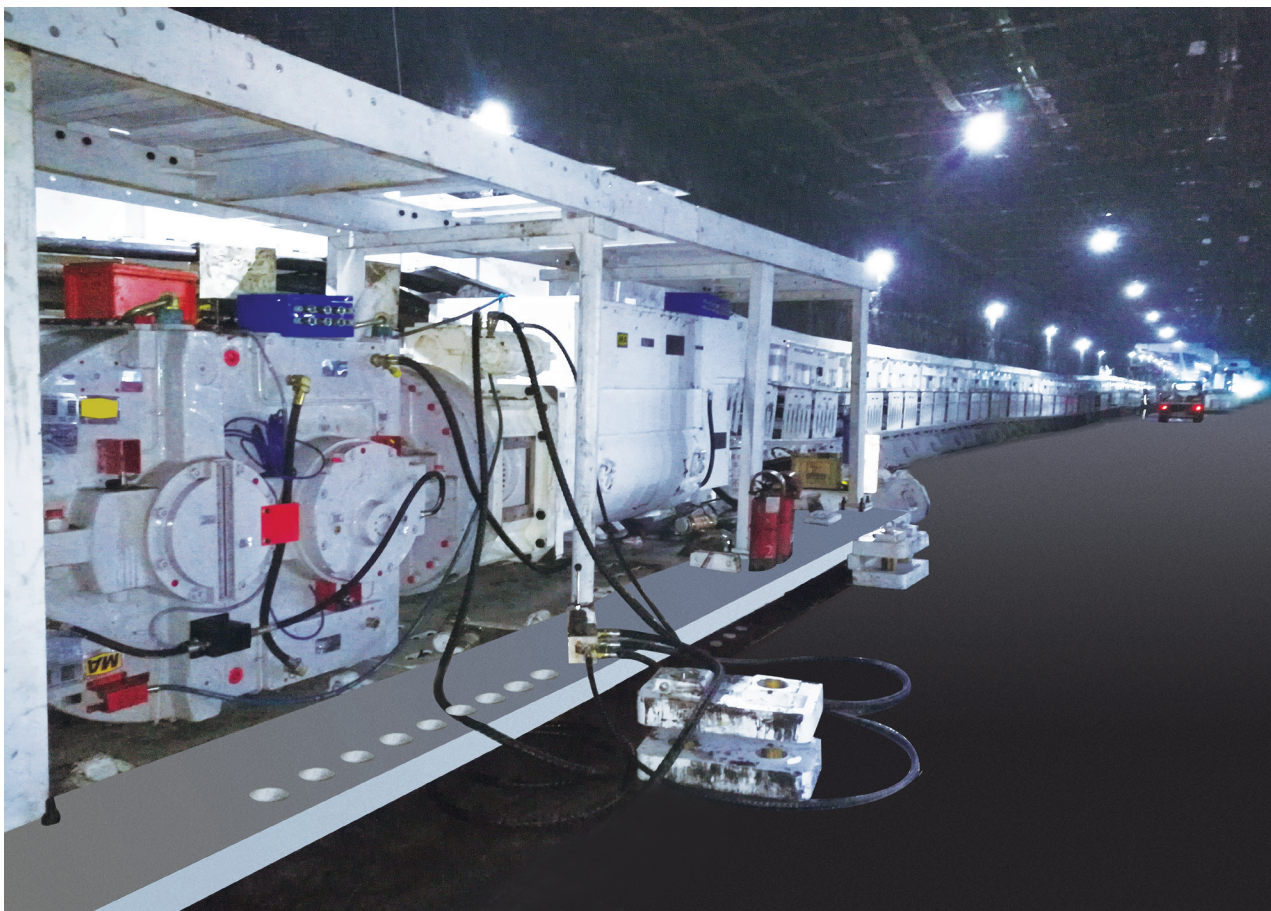


图3 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机在刮板输送机上的应用

### 节能效果优越

以传统四驱710 kW CST可控驱动系统为例，传动效率为0.821，传动功率损耗为508 kW·h，CST外置油冷系统损耗（油泵、风扇电机）为150 kW·h，按满功率驱动计算，传统CST驱动系统的功率总损耗为658 kW·h。

相同的四驱710 kW矿用大功率（永磁）防爆变频一体机传动效率为0.955，无油冷系统，只有水冷系统风扇电机2.2 kW·h的损耗，按满功率驱动计算，系统的总损耗为127.8 kW·h，水冷系统功率为8.8 kW·h，功率总损耗为136.6 kW·h。

对比可知，使用矿用大功率（永磁）防爆变频一体机可以节约电量521.4 kW·h，按平均每天开机时间16 h，1年开机时间330 d计算，每年节约电费约192万元。

### 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机应用及效果

在矿用刮板输送机、带式输送机和乳化液泵站等重要矿山装备上广泛应用了矿用大功率（永磁）防爆变频一体机，实现了大型矿用设备调控性能的提升和节能运行，有力地支撑了智能矿山建设，引领了大型矿用设备驱动的技术变革，是实施“双碳”战略及节能减排的重要技术支撑。目前，矿用大功率（永磁）防爆变频一体机已覆盖功率55 ~ 3 000 kW、电压660 ~ 10 000 V的全系列产品。

#### 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机在刮板输送机上的应用

目前，采煤工作面主要采用双速电机作为刮板





图4 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机在乳化液泵站上的应用



图5 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机在带式输送机上的应用

输送机的驱动，存在功率平衡性差，对设备冲击性大，耗能高，重载无法启动等弊端。在刮板输送机上应用矿用大功率（永磁）防爆变频一体机（图3），可实现重载启动，减小对刮板输送机的冲

击，实现功率平衡动态控制，提高系统可靠性，应用大数据分析建立断链保护、过载预警、自动调速等模型，大幅提升了刮板输送机系统的效率和稳定性。

#### 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机在乳化液泵站上的应用

矿用大功率（永磁）防爆变频一体机应用在乳化液泵站上可实现恒压供液（图4），具有噪声小、冲击小、占地空间小等优点，根据工作面需要将压力自动调整至加载区间，在满足恒压供液的同时还实现了节能。

#### 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机在带式输送机上的应用

矿用大功率（永磁）防爆变频一体机应用于带

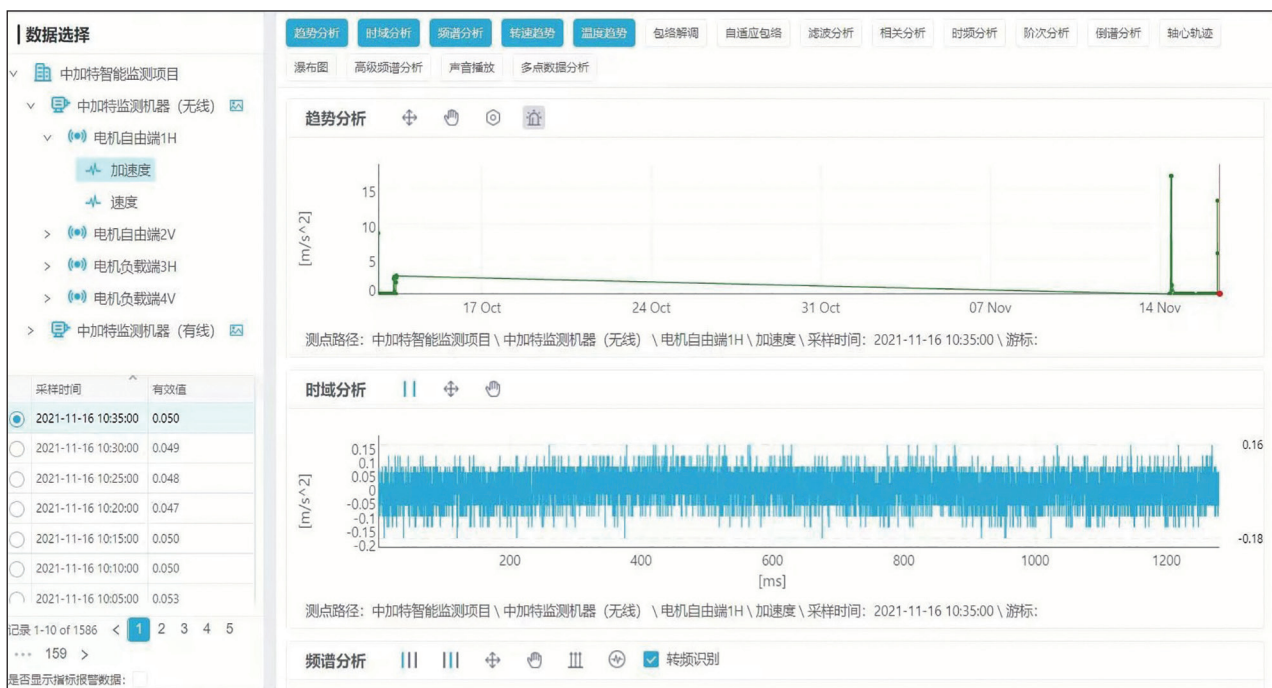


图6 震动传感器数据在线监测界面

式输送机，采用电机直驱滚筒的驱动方式，改变了传统液力耦合器+减速机等减速驱动方式，具有无减速系统、免维护性、节能降耗、高转矩直接启动等优点（图5）。

矿用大功率（永磁）防爆变频一体机引入先进的预防性维护理念，并结合预测性维护，其内置温度、振动、电参数等传感器可实时监测和上传运行数据，震动传感器数据在线监测界面如图6所示。同时可以对生成的大数据进行分析，对异常数据进行预警，识别趋势性参数劣化，实现故障预测，从而采取对应的预防措施，减少生产计划外的停机，提高设备开机率，将人工维护转化为自动化维护，将被动响应转化为主动预防和预测。

### 矿用大功率（永磁）防爆变频一体机在山东能源集团的应用

2021年，山东能源枣庄矿业集团蒋庄煤矿大采高综采工作面的刮板输送机应用525 kW/3 300 V永磁直驱传动，采煤工作面“三机”生产系统运行更加稳定可靠，重载情况下实现了平滑启动，降低

刮板输送机的启动冲击；应用传感器技术、大数据技术、工业互联网技术实现断链检测功能数学模型的搭建，优化了变频器控制算法，提升了工作面安全生产保障水平。山东能源集团不断在所属煤矿推广应用矿用大功率（永磁）防爆变频一体机电力拖动系统，并开始对大功率、高电压矿用大功率（永磁）防爆变频一体机开展深入研究，目前已在1 600 kW/3 300 V矿用大功率（永磁）防爆变频一体机实现技术突破。

矿用大功率（永磁）防爆变频一体机作为传动领域的重大创新性技术，源于煤矿并服务于煤矿。目前，该技术已成为矿用刮板输送机、带式输送机和乳化液泵站等设备的主流驱动技术，为智能矿山建设提供了支撑。

■ 责任编辑：李金松

#### 作者简介：

第一作者：王立才，研究员，硕士，现任山东能源集团总经理助理、调度指挥中心主任。

作者单位：山东能源集团有限公司