(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103527194 B
(45)授权公告日 2016.06.22

(21)申请号 201310481513.4

(22)申请日 2013.10.15

(73)专利权人 淮北矿业(集团)有限责任公司
地址 235000 安徽省淮北市孟山路1号

(72)发明人 程刚 宣啸 许金龙 山显雷 刘后广 赵长青

(74)专利代理机构 北京科亿知识产权代理事务所(普通合伙) 11350
代理人 汤东凤

(51)Int.Cl.
E21C 35/24(2006.01)
E21C 35/04(2006.01)

(56)对比文件
CN 101963797 A,2011.02.02,
CN 203066979 U,2013.07.17,
CN 201771503 U,2011.03.23,
US 2010/0259091 A1,2010.10.14,
US 2012/0091782 A1,2012.04.19,
丁志勇.新型高效电牵引采煤机嵌入式健康状态监测与故障诊断系统研发.《煤矿机械》.2012,第33卷(第10期),275-277.
王增强等.电牵引采煤机在线监测与故障诊断系统研究.《重型机械》.2012,41-44.
吴行标等.基于可靠性分析的采煤机健康度监测系统设计.《矿山机械》.2013,第41卷(第9期),第36页第1节、第37页的第2节,第38页的第3.1节,图1-6.
张建文等.基于多传感器的电牵引采煤机综合监测系统.《电气应用》.2007,第26卷(第9期),114-117.

审查员 袁任远

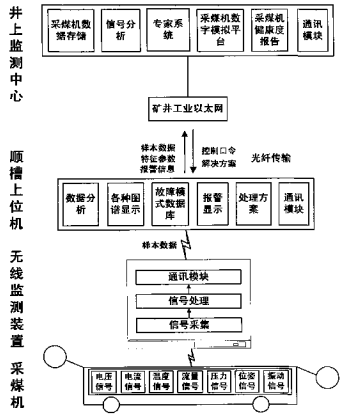
权利要求书2页 说明书11页 附图4页

(54)发明名称

一种电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价系统及其方法

(57)摘要

本发明公开了一种电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价系统,包括采煤机、无线监测装置、顺槽上位机和井上监测中心;所述系统中采煤机属于被监测对象,包括电压传感器、电流传感器、温度传感器、流量传感器、压力传感器、位姿传感器、振动传感器在内的传感器以分布式方法布置在采煤机机身,构成左摇臂监测单元、右摇臂监测单元、高压控制箱监测单元、振动监测单元、机身外围监测单元,实现采煤机运行状态信号的获取;利用本发明的系统和方法,提高了采煤机整机健康度实时监测效率,降低了采煤机故障发生率,改善了采煤机整机工作状况和井下操作工人工作环境,对实现井下无人或少人采掘工作面具有重要的意义。



CN 103527194 B

1.一种电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价系统，其特征在于，包括采煤机、无线监测装置、顺槽上位机和井上监测中心；所述系统中采煤机属于被监测对象，包括电压传感器、电流传感器、温度传感器、流量传感器、压力传感器、位姿传感器、振动传感器在内的传感器以分布式方法布置在采煤机机身，构成左摇臂监测单元、右摇臂监测单元、高压控制箱监测单元、振动监测单元、机身外围监测单元，实现采煤机运行状态信号的获取；

所述无线监测装置通过安装在采煤机上的无线收发器实现各路传感信号的采集，对采集到的信号进行处理后将样本数据通过无线局域网传送至顺槽上位机；所述无线监测装置包括通讯模块、信号采集模块和信号处理模块，通讯模块实现与采煤机和顺槽上位机的实时通讯；信号采集模块实现对采煤机工作状态信息的实时采集；信号处理模块对采集到的信号进行初步的处理；

所述顺槽上位机包括数据分析模块、图谱显示模块、故障模式数据库、报警显示模块、处理方案模块和通讯模块，数据分析模块利用故障模式数据库对无线监测装置传来的样本数据进行分析，得出振动趋势图、频谱图、频谱瀑布图的图谱并在图谱显示模块进行显示；在报警模块中将分析结果与设定好的各参数报警阈值进行比较，判断是否超限，超限则表明相应部件有故障发生，进行报警信息显示；处理方案模块输出对报警信息的处理方案，以便于对采煤机进行维护；通讯模块实现与无线监测装置和井上监测中心的实时通讯，与此同时，顺槽上位机的通讯模块通过矿井工业以太网、安全栅以光纤传输的方式将相关信息传至井上监测中心；

所述井上监测中心包括数据存储装置、信号分析模块、专家系统、采煤机数字模拟平台、健康度报告模块和通讯模块，数据存储装置用于存储顺槽上位机传输过来的处理数据，以备进一步处理，或者存储处理好的数据，以便于向顺槽上位机传输指令，并且采煤机数字模拟平台会实时地从数据存储装置里读取数据，以便于在采煤机数字模拟平台里实时的显示采煤机的工作状态；信号分析模块可以实时的分析所监测到的信号数据，并且评价采煤机的工作状态；专家系统结合信号分析模块分析所得结果可以给出更全面的采煤机故障诊断结果，并可以做更全面的可靠性分析；采煤机数字模拟平台利用虚拟现实技术建立了采煤机远程模拟数字化平台，实现采煤机三维虚拟样机模型的实时驱动模拟；健康度报告模块可以根据信号分析模块中所得到的信号分析结果实时的给出采煤机健康度分析报告，并提供维护策略；通讯模块用于和顺槽上位机的实时通讯，以便于快速传输指令；

所述故障模式数据库包括元件名称、元件功能、故障模式名称、故障原因、故障影响、严酷度类别、故障模式危害度、故障模式风险优先序数和维修策略；

所述专家系统是在故障模式数据库的基础上建立的，结合采煤机整机复杂的工作环境以及许多复杂多变的影响因素，提出模糊逻辑和贝叶斯网络相结合的可靠性分析方法，利用模糊逻辑确定相应故障等级的隶属度，利用贝叶斯网络正向和反向推理得到采煤机整机相关系统的故障状态和故障原因，并提出相应的维护策略；

所述的实时监测与智能评价系统的监测与评价方法包括以下步骤：

(1)首先进行系统初始化配置；

(2)系统完成初始化配置过程后，实时接收电牵引采煤机工作状态监测信息；

(3)对监测的信息进行实施的评价分析，当采煤机工作状态异常时，产生报警信号，并且采煤机远程模拟数字化平台显示采煤机故障部位；

(4)采煤机异常信息归档,进一步分析采煤机状态异常信息,产生采煤机健康度分析报告,并提出采煤机维护策略;

所述步骤(1)中系统的初始化配置包括;

(a)首先运行系统,搜索到数据管理模块并调用其数据初始化接口,从而生成与采煤机数字化模拟平台相关的配置信息;

(b)然后对生成的配置信息进行手工配置;

(c)最后在配置窗口中完成运行相关的配置;

所述步骤(2)中,实时接收电牵引采煤机的工作状态信息包括采煤机左摇臂监测单元、右摇臂监测单元、高压控制箱监测单元、振动监测单元、机身外围监测单元实时输出的监测信息,包括采煤机工作电压、电流、温度、压力、流量、位姿、振动信息,并将信息实时传输到顺槽上位机和井上监测中心;

所述步骤(3)中,监测信号分析过程为:

(a)无线监测装置初步的信号处理,将数据实时传输到顺槽上位机;

(b)顺槽上位机对无线监测装置传输过来的信号进一步分析,得到得出振动趋势图、频谱图、频谱瀑布图;将分析结果与设定好的各参数报警阈值进行比较,判断是否超限,超限则表明相应部件有故障发生,进行报警信息显示;与此同时,顺槽上位机的通讯模块通过矿井工业以太网、安全栅以光纤传输的方式将相关信息传至井上监测中心;

(c)井上监测中心采用更全面的分析方法,充分利用各种信号分析手段、全面的故障数据库及专家系统对采煤机进行故障诊断及可靠性分析;并且井上监测中心的采煤机远程模拟数字化平台可以实时的显示采煤机的工作状态,包括采煤机位姿、机身振动程度、摇臂切割角度,一旦采煤机发生故障,相关故障部位就会实时的显示出来,方便井上监测人员远程监控;

所述步骤(4)中,采煤机健康度分析报告主要包括:

(a)无线监测装置对采集的原始信号进行初步的分析,生成初步的信号处理结果,判断采煤机的工作状态;

(b)顺槽上位机对采集信息作进一步的全面分析,根据故障模式库产生报警信息,生成采煤机健康度分析报告,提出现场处理方案,快速排出采煤机故障,并且处理结果传输到井上监测中心;

(c)井上监测中心进行更加全面的采煤机工作状态分析,结合数据库和专家系统生成更全面的健康度分析报告,并结合采煤机数字化模拟平台显示的采煤机工作状态,提出更加全面的维护策略,将维护指令传输到顺槽上位机和采煤机,给维护人员提供更加详细的维护方案。

一种电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价系统及其方法

技术领域

[0001] 本发明涉及健康度监测及智能评价技术，特别涉及一种电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价系统及其方法。

背景技术

[0002] 目前，煤炭在我国能源中占有主导地位，是我国最为重要的基础能源，并且新型能源及可再生能源难以形成产业化和规模化，在未来的50年内，煤炭仍将是我国的主要能源。

[0003] 电牵引采煤机以其性能参数优、可靠性高、自动化程度高、操作方便、控制灵敏、监控保护及监测功能完善等众多优点被迅速推广使用，目前已成为国内现代化矿井机械化高产高效综掘装备的核心。但煤矿井下环境极端恶劣，空间狭小，工作面潮湿且充满煤尘，严重影响了电牵引采煤机整机健康度，从而使煤矿生产与安全形式严峻。由于电牵引采煤机是一个大型机、电、液一体化的复杂系统，其整机健康度影响因素种类繁多，且不易监测，现有监测方法不能对其准确描述，目前国内外研究仅局限于一些如位姿、振动等外围状态参数的监测，无法正确对其整机健康度进行预判，所以如何建立电牵引采煤机整机健康度实时监测及智能评价机制，以便提高电牵引采煤机的整机使用效能，成为当前我国电牵引采煤机现场使用及设备管理中亟待解决的问题。

[0004] 电牵引采煤机在煤矿井下特殊的运行环境中，将会受到如煤层厚度、倾角、煤的硬度、夹矸、顶底板性质等工作面地质条件、如工作面长度、切口长度、进刀方式等技术条件以及其它工艺环节的影响，这种具有鲜明煤矿特色的运行环境使得电牵引采煤机整机健康度预判技术不同于应用于其它场合的大型机电设备运行状态监控技术。

[0005] 电牵引采煤机由截割模块、牵引模块、电气模块、液压模块及辅助模块组成，起到破煤、落煤和运煤的作用。然而煤矿井下环境十分恶劣，由于巨大外力冲击、外物污染以及工作人员操作不当等因素的存在，使采煤机极易产生故障；另一方面，采煤机结构复杂、零部件较多，给采煤机故障的排查造成了一定的困难。传统采煤机故障诊断的途径主要有：

[0006] (1)依靠产品使用维护说明书中的常见故障来进行排查，检修；

[0007] (2)依靠技术人员的工作经验来进行排查，检修；

[0008] (3)依靠采煤机机载仪表的显示及报警来进行排查，检修。

[0009] 传统的采煤机故障诊断方式在一定程度上适应了煤炭产业的发展，但它们都具有一定的缺点：

[0010] (1)已记载的故障模式较少，不能全面的体现采煤机的故障种类；

[0011] (2)故障诊断和定位在很大程度上有赖于人的经验，并且只能为现场操作人员和维护人员服务；

[0012] (3)诊断经验有限、诊断效率低下，故障不能得到及时、准确的处理，累计故障率增高，影响采煤机高校正常工作。

[0013] 传统的电牵引采煤机故障诊断方法已严重滞后于一般工程机械采用的故障诊断方法。目前，针对电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价方面的研究还存在空白。

[0014] 另外，随着科技的发展，国外许多电牵引采煤机具有远程监控、智能控制、可视化人机交互、工况检测及状态显示、故障诊断及预警等多种功能，提高了采煤机使用寿命，降低了故障发生概率，然而国内电牵引采煤机代表机型在总体参数性能方面仅相当于国外20世纪90年代中后期水平，并且在一些关键部件以及总体性能、功能、适用范围还需进一步提高与完善。然而，近年来迅速发展的3DVR技术为煤矿开采环境的研究与探索提供了崭新的思路与方法。

[0015] 采煤机工作状态虚拟现实是一项复杂的技术，建立模拟真实环境的综采工作面更是一项巨大的系统工程，利用计算机图形与可视化技术、三维虚拟现实技术构建采煤机三维虚拟样机，远程实时模拟采煤机工作状态，井上调度人员通过上位机可以清楚地看到采煤机工作情况，并对可能发生的故障进行及时预测与报警，克服了传统的采煤机远程控制以数据和曲线形式显示信息的缺点。将虚拟现实技术应用到煤矿生产满足现代煤矿建设的需要，对提高煤炭行业科技发展水平具有重要意义。

[0016] 长期以来煤矿井下生产人员密集，工作艰苦、劳动强度大、人员效率较为低下，迫切需要提高自动化生产水平，尤其是在高危险性的采煤工作面，大幅提升采煤机、液压支架和运输系统自动化水平对煤炭生产过程本身乃至整个社会发展与进步都具有重要的意义。本章在现有采煤机监控系统的基础上，设计具有高性能的采煤机无线监测装置，以期提升采煤机的自动化水平。

[0017] 目前国内尚没有电牵引采煤机整机健康度检测与智能评价系统产品，此领域的研究文献也很少。在已有相关的文献中，提到过天地科技股份有限公司上海分公司开发了以PLC为核心的采煤机电控系统，并在采煤机上安装了大量的传感器，可对系统状况进行较全面的监视，于2010年研制出采煤机顺槽工况监测与集控系统，实现了采煤机的顺槽监控。顺槽监控主要由两部分构成，一部分是具有到顺槽双向控制通讯能力的采煤机机载控制计算机系统，另一部分是安放在顺槽设备列车上的采煤机顺槽通讯控制计算机(又称顺槽通讯显示箱)。两部分之间采用高速调制通讯技术，实现双向实时控制数据通信。采煤机顺槽通讯控制计算机提供一个基于RS485的Modbus RTU从机接口，实现与工作面集控PLC(主控计算机)通讯，同时提供1个备用Modbus TCP接口。通过这两个上位机接口按照约定的数据格式，向工作面主机或井下综合数据网提供采煤机的运行、报警等监控数据。

[0018] 但是，现有采煤机监测系统任然存在以下不足：(1)机载监测系统使用环境恶劣，很难达到预期的监测效果，顺槽监测系统需铺设专用的有线传输电缆，使用不便，大多煤矿很少使用；(2)大都只能实现非振动信号的监测，不能满足所有重要部件关键参数综合性实时监测的需求；(3)专家库不够完善，导致其故障诊断及可靠性分析准确度不高；(4)系统软件监测画面不直观，更没有实时报表、历史曲线、数据库查询、虚拟现实等功能，为采煤机的故障分析和统筹管理带来很大的不便。因此，现有的采煤机监测系统使用不便，实用性不强，分析功能弱，根本满足不了采煤机整机健康度实时监测与智能评价的要求。

发明内容

[0019] 为了解决现有电牵引采煤机故障诊断技术落后和诊断效率低的现状，本发明提供了一种电牵引采煤机整机健康度实时监测与智能评价系统及其实现方法。

[0020] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：

[0021] 一种电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价系统，包括采煤机、无线监测装置、顺槽上位机和井上监测中心；所述系统中采煤机属于被监测对象，包括电压传感器、电流传感器、温度传感器、流量传感器、压力传感器、位姿传感器、振动传感器在内的传感器以分布式方法布置在采煤机机身，构成左摇臂监测单元、右摇臂监测单元、高压控制箱监测单元、振动监测单元、机身外围监测单元，实现采煤机运行状态信号的获取；

[0022] 所述无线监测装置通过安装在采煤机上的无线收发器实现各路传感信号的采集，对采集到的信号进行处理后将样本数据通过无线局域网传送至顺槽上位机；所述无线监测装置包括通讯模块、信号采集模块和信号处理模块，通讯模块实现与采煤机和顺槽上位机的实时通讯；信号采集模块实现对采煤机工作状态信息的实时采集；信号处理模块对采集到的信号进行初步的处理；

[0023] 所述顺槽上位机包括数据分析模块、图谱显示模块、故障模式数据库、报警显示模块、处理方案模块和通讯模块，数据分析模块利用故障模式数据库对对无线监测装置传来的样本数据进行分析，得出振动趋势图、频谱图、频谱瀑布图等图谱在图谱显示模块进行显示；在报警模块中将分析结果与设定好的各参数报警阈值进行比较，判断是否超限，超限则表明相应部件有故障发生，进行报警信息显示；处理方案模块输出对报警信息的处理方案，以便于对采煤机进行维护；通讯模块实现与无线监测装置和井上监测中心的实时通讯。与此同时，顺槽上位机的通讯模块通过矿井工业以太网、安全栅以光纤传输的方式将相关信息传至井上监测中心；

[0024] 所述井上监测中心包括数据存储装置、信号分析模块、专家系统、采煤机数字模拟平台、健康度报告模块和通讯模块，数据存储模块用于存储顺槽上位机传输过来的处理数据，以备进一步处理，或者存储处理好的数据，以便于向顺槽上位机传输指令，并且采煤机数字模拟平台会实时地从数据存储装置里读取数据，以便于在采煤机数字模拟平台里实时的显示采煤机的工作状态；信号分析模块可以实时的分析所监测到的信号数据，并且评价采煤机的工作状态；专家系统结合信号分析模块分析所得结果可以给出更全面的采煤机故障诊断结果，并可以做更全面的可靠性分析；采煤机数字模拟平台利用虚拟现实技术建立了采煤机远程模拟数字化平台，实现采煤机三维虚拟样机模型的实时驱动模拟；健康度报告模块可以根据信号分析模块中所得到的信号分析结果实时的给出采煤机健康度分析报告，并提供维护策略；通讯模块用于和顺槽上位机的实时通讯，以便于快速传输指令。

[0025] 上述系统中采煤机整机故障模式库包括元件名称、元件功能、故障模式名称、故障原因、故障影响、严酷度类别、故障模式危害度、故障模式风险优先序数和维修策略，为了建立比较齐全的采煤机整机故障莫水库，本发明充分调研了影响采煤机整机健康监测的各个方面的因素，并且提出了FMECA(Failure Model,Effects and Critically Analysis)和DFTA(Dynamic Fault Tree Analysis)相结合的动态混合可靠性分析算法，对影响采煤机整机健康度的相关因素进行可靠性定性和定量分析，基于可靠性定性和定量分析结果以及所调研的采煤机整机健康度影响因素建立了目前国内比较齐全的电牵引采煤机整机故障模式库。

[0026] 上述系统中提到的动态混合可靠性分析算法有FMECA和DFTA两种可靠性分析算法组成，FMECA是分析产品中每一产品所有可能的故障模式及其对系统可能造成的影响。包括故障模式分析、故障原因分析、故障影响分析、故障检测方法与补偿措施分析，并且在在故

障模式影响分析的基础上对故障模式进行的定性和定量分析，得到包括风险优先序数和故障模式危害度在内的可靠性分析结果，用来判断每种故障模式影响的致命程度有多大，尽量消除致命度高的故障模式。针对FMECA的局限性，建立了基于FTA和马尔科夫模型的DFTA分析方法，得到故障状态之间的转移关系、转移速率和转移概率，DFTA是以一个不希望的产品故障事件(或灾难性的产品危险)为分析目标，首先通过自上而下严格的按层次进行故障演绎推理分析，找出故障事件的充要原因，然后计算它们的发生概率，最后提出设计改进和故障检测、维修等措施，以减小危险事件的发生概率。

[0027] 上述系统中的故障诊断专家系统是在采煤机整机故障模式库的基础上建立的，结合采煤机整机复杂的工作环境以及许多复杂多变的影响因素，提出模糊逻辑和贝叶斯网络相结合的可靠性分析方法，利用模糊逻辑确定相应故障等级的隶属度，利用贝叶斯网络正向和反向推理得到采煤机整机相关系统的故障状态和故障原因，并提出相应的维护策略。

[0028] 上述系统中的振动信号分析算法包括Morlet小波振动信号特征提取算法、Hilbert-Huang变换和SOM神经网络故障模式识别算法，由于电牵引采煤机井下特殊的工况，对采煤机振动信号的监测分析更加有利于全面的评估采煤机整机健康度。

[0029] 上述中电牵引采煤机井上监测中心健康度评价系统，主要实现功能有：

[0030] (1)电牵引采煤机运行状态的实时动态监测

[0031] 监测界面分为主监测界面、电机和牵引变压器电流监测、电机和高速轴温度监测、喷雾冷却系统流量和压力监测、机身和摇臂倾角监测、变频器和牵引电机监测。主监测界面包括：电机和牵引变压器电流最高值显示、温度最高值显示、机身位置监测、牵引方向和速度。

[0032] (2)状态参数上下限和初始化设定

[0033] 需要设定的固定参数有机身尺寸、电机过载保护电流上下限、热保护温度上下限、甲烷浓度上限、变频器和牵引电机运行参数等，这些设定参数被作为上位机故障报警的依据。

[0034] (3)电牵引采煤机故障报警显示

[0035] 监测系统故障报警表按时间顺序显示故障发生的位置、故障名和发生时刻。在该表中，可记录存储故障，供进行历史查询。

[0036] (4)电牵引采煤机状态监测系统重要数据的归档

[0037] 如对倾角、电机电流、变频器运行和故障信息等进行归档，可供历史查询、显示趋势以及生成电子报表。

[0038] (5)变频器故障报警诊断

[0039] 高性能变频器可提供报警和故障跟踪功能，可在数据库中事先将变频器警告故障信息、产生原因和解决方法存入数据库中，当变频器出现故障，上位机随时显示原因和解决方法，方便用户排除故障。

[0040] (6)采煤机健康度综合评价

[0041] 基于Labview的电牵引采煤机状态监测系统提供了图像画面模块，在该界面中可查看各种故障信息，如故障编号、时间、危害性报告、维修信息文本等，并且可以根据诊断数据库、专家系统和振动信号分析模块相结合给出采煤机健康度报告。当变频器或牵引电机的运行参数超过规定范围时，系统报警模块就会产生报警信息，即在消息文本中就会出现

响应的故障项，提醒操作人员。

[0042] 上述系统中提出了电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统各个功能区划分方法，电牵引采煤机远程监控平台及控制面板程序对其访问模式可是本地也可是远程，控制面板及电牵引采煤机虚拟样机均运行在3DVR平台上。井上监测中心远程控制器通过井下工业以太网与控制器及无线数据采集器通信，实现电牵引采煤机数据采集及控制指令传输，向上与监测系统进行通信，实现电牵引采煤机状态数据及模拟控制指令传输。电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统界面可分为4个功能区：井下电牵引采煤机工作状态真实再现区、工作参数显示区、电牵引采煤机远程模拟控制区及故障显示区。其中工作参数显示区和远程控制区可根据需要显示和关闭。真实再现区主要实现井下电牵引采煤机的虚拟现实场景；工作参数显示区主要显示电牵引采煤机位置、左右摇臂高度状态、滚筒转动状态、内部关键部位传动状态、油温、水温及其他的一些辅助状态显示；远程模拟控制区放置有不同作用的功能按钮及控制参数输入列表框，实现各种模拟控制以及检修、急停和故障报警等。

[0043] 一种电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统，包括以下步骤：

[0044] (1)首先进行系统初始化配置；

[0045] (2)评价系统完成初始化配置过程后，实时接收电牵引采煤机工作状态监测信息；

[0046] (3)对监测的信息进行实施的评价分析，当采煤机工作状态异常时，产生报警信号，并且采煤机远程模拟数字化平台显示采煤机故障部位；

[0047] (4)采煤机异常信息归档，进一步分析采煤机状态异常信息，产生采煤机健康度分析报告，并提出采煤机维护策略。

[0048] 进一步，所述步骤(1)中系统的初始化配置包括：

[0049] (a)首先运行评价系统，搜索到数据管理模块并调用其数据初始化接口，从而生成与采煤机数字化模拟平台相关的配置信息；

[0050] (b)然后对生成的配置信息进行手工配置；

[0051] (c)最后在配置窗口中完成运行相关的配置。

[0052] 上述与数据管理模块相关的信息包括：采煤机故障模式库、专家系统和报警信号库。

[0053] 上述与采煤机数字化模拟平台相关的配置信息包括：模拟平台的数据库目录和数据库文件。

[0054] 上述运行相关的配置包括：默认规则的选择、最大支持的任务数和规则中各个规则的分权配置。

[0055] 所述步骤(2)中，实时接收电牵引采煤机的工作状态信息包括采煤机左摇臂监测单元、右摇臂监测单元、高压控制箱监测单元、振动监测单元、机身外围监测单元等实时输出的监测信息，包括采煤机工作电压、电流、温度、压力、流量、位姿、振动信息，并将信息实时传输到顺槽上位机和井上监测中心。

[0056] 所述步骤(3)中，监测信号分析过程为：

[0057] (a)无线信号检测装置初步的信号处理，将数据实时传输到顺槽上位机；

[0058] (b)顺槽上位机对无线监测装置传输过来的信号进一步分析，得到得出振动趋势图、频谱图、频谱瀑布图。将分析结果与设定好的各参数报警阈值进行比较，判断是否超限，

超限则表明相应部件有故障发生，进行报警信息显示。与此同时，顺槽上位机的通讯模块通过矿井工业以太网、安全栅以光纤传输的方式将相关信息传至井上监测中心；

[0059] (c)井上监测中心采用更全面的分析方法，充分利用各种信号分析手段、全面的故障模式库及专家系统对采煤机进行故障诊断及可靠性分析；并且井上监测中心的采煤机模拟数字化平台可以实时的显示采煤机的工作状态，包括采煤机位姿、机身振动程度、摇臂切割角度等，一旦采煤机发生故障，相关故障部位就会实时的显示出来，方便井上监测人员远程监控。

[0060] 所述步骤(4)中，采煤机健康度分析报告主要包括：

[0061] (a)无线监测装置对采集的原始信号进行初步的分析，生成初步的信号处理结果，判断采煤机的工作状态；

[0062] (b)顺槽上位机对采集信息作进一步的全面分析，根据故障模式库产生报警信息，并且相应的生成采煤机故障信息，提出处理方案，快速排出采煤机故障，并且处理结果传输到井上监测中心；

[0063] (c)井上监测中心进行更加全面的采煤机工作状态分析，结合数据库和专家系统生成更全面的健康度分析报告，并结合采煤机数字化模拟平台显示的采煤机工作状态，提出更加全面的维护策略，将维护指令传输到顺槽上位机和采煤机，给维护人员提供更加详细的维护方案。

[0064] 与现有技术相比，本发明专利的主要优点有：

[0065] (1)本发明利用完善的网络系统和成熟的无线通信技术，提出了一种电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价系统的总体架构模式，为实现电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价提供了系统架构保证。

[0066] (2)本发明通过制定井下特殊环境信息监测策略，实现了对电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价功能。

[0067] (3)本发明通过在电牵引采煤机安装实时监测模块，实现了永远在线的功能，使得电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价中心能不间断的持续对电牵引采煤机进行实时监测，为最终的智能评价提供充足的诊断信息。

[0068] (4)本发明通过在井上监测中心建立电牵引采煤机数字化模拟平台，提供了对电牵引采煤机工作状态直观的监控。

[0069] (5)本发明通过在评价系统设置指令控制优先级，实现了井上监测中心、顺槽上位机及无线监测装置同时监测电牵引采煤机运行状态的功能，这样一旦机器发生故障，可以快速定位故障部位、发生原因，同时提出处理意见；即使机器没有故障，也可以在工作环境相对较好的顺槽上位机或井上监测中心实施监测采煤机工作状态，不必在嘈杂的机器现场布置过多操作人员，改善了工人工作环境，提高了采煤机开机时间。

[0070] (6)本发明建立了电牵引采煤机健康度实时监测与智能评价平台，对建立与发展综掘工作面无人及少人操作环境具有重要意义。

[0071] 综上所述，本发明所涉及的牵引采煤机健康度实时监测与智能评价系统及其实现方法，能满足各种类型国产采煤机无线监测的需求，便于与各类主流国产采煤机通过无线的方式进行可靠的实时数据连接，双向数据传输接口，与各类采煤机现有专用通信协议进行匹配；采煤机整机系统处于异常状态时，能够快速、正确地给出报警，并给出处理建议；采

煤机状态监测与智能评价系统界面友好，人机交互方便，操作简洁，上手容易，数据处理结果能够直观地在屏幕上显示，便于用户辨别和判断，同时软件功能完善，具有分析结果的报表打印等输出功能；便捷的存储管理。系统默认的存储方式是定时保存采煤机的采集数据到数据库，并且能够手动进行相关数据的存储。且存储格式通用性好，便于在其他专业软件中进行进一步的分析和处理。

[0072] 本发明的有益效果是，将工作面采煤机健康度实时监测技术、针对井下复杂工作环境的故障诊断专家系统及基于3DVR技术的电牵引采煤机健康度远程模拟平台相结合，实现了对综采工作面电牵引采煤机整机健康度的实时监测及智能评价，提高了采煤机整机健康度实时监测效率，降低了采煤机故障发生率，改善了采煤机整机工作状况和井下操作工人工作环境，对实现井下无人或少人采掘工作面具有重要的意义。

附图说明

[0073] 图1是电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统结构示意图。

[0074] 图2是井上监测中心监测系统结构图。

[0075] 图3是基于3DVR技术的电牵引采煤机数字化模拟平台原理图。

[0076] 图4是电牵引采煤机数字化模拟平台与数据传输及系统集成原理图。

[0077] 图5是电牵引采煤机数字化模拟平台功能区协同原理图。

[0078] 图6是电牵引采煤机无线监测装置系统构建图；

具体实施方式

[0079] 以下结合具体实施例，对本发明进行详细说明。

[0080] 如图1所示，本发明专利涉及的电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统包括采煤机、无线监测装置、顺槽上位机和井上监测中心。

[0081] 上述系统中采煤机属于被监测对象，电压、电流、温度、流量、压力、位姿、振动等传感器以分布式方法布置在采煤机机身，构成左摇臂监测单元、右摇臂监测单元、高压控制箱监测单元、振动监测单元、机身外围监测单元，实现采煤机运行状态信号的获取。

[0082] 无线监测装置通过安装在采煤机上的无线收发器实现各路传感信号的采集，对采集到的信号进行处理后将样本数据通过无线局域网传送至顺槽上位机。上述系统中无线监测装置包括通讯模块、信号采集模块和信号处理模块，通讯模块实现与采煤机和顺槽上位机的实时通讯；信号采集模块实现对采煤机工作状态信息的实时采集；信号处理模块对采集到的信号进行初步的处理。

[0083] 顺槽上位机包括数据分析模块、图谱显示模块、故障模式数据库、报警显示模块、处理方案模块和通讯模块，数据分析模块利用故障模式数据库对对无线监测装置传来的样本数据进行分析，得出振动趋势图、频谱图、频谱瀑布图等图谱在图谱显示模块进行显示。在报警模块中将分析结果与设定好的各参数报警阈值进行比较，判断是否超限，超限则表明相应部件有故障发生，进行报警信息显示。处理方案模块输出对报警信息的处理方案，以便于对采煤机进行维护；通讯模块实现与无线监测装置和井上监测中心的实时通讯。与此同时，顺槽上位机的通讯模块通过矿井工业以太网、安全栅以光纤传输的方式将相关信息传至井上监测中心。

[0084] 上述系统中的井上监测中心包括数据存储装置、信号分析模块、专家系统、采煤机数字模拟平台、健康度报告模块和通讯模块，数据存储模块用于存储顺槽上位机传输过来的处理数据，以备进一步处理，或者存储处理好的数据，以便于向顺槽上位机传输指令，并且采煤机数字模拟平台会实时地从数据存储装置里读取数据，以便于在采煤机数字模拟平台里实时的显示采煤机的工作状态；信号分析模块可以实时的分析所监测到的信号数据，并且评价采煤机的工作状态；专家系统结合信号分析模块分析所得结果可以给出更全面的采煤机故障诊断结果，并可以做更全面的可靠性分析；采煤机数字模拟平台利用虚拟现实技术建立了采煤机远程模拟数字化平台，实现采煤机三维虚拟样机模型的实时驱动模拟；健康度报告模块可以根据信号分析模块中所得到的信号分析结果实时的给出采煤机健康度分析报告，并提供维护策略；通讯模块用于和顺槽上位机的实时通讯，以便于快速传输指令。

[0085] 上述系统中故障模式数据库包括元件名称、元件功能、故障模式名称、故障原因、故障影响、严酷度类别、故障模式危害度、故障模式风险优先序数和维修策略，为了建立比较齐全的故障模式数据库，本发明充分调研了影响采煤机整机健康监测的各个方面的因素，并且提出了FMECA(Failure Model,Effects and Critically Analysis)和DFTA(Dynamic Fault Tree Analysis)相结合的动态混合可靠性分析算法，对影响采煤机整机健康度的相关因素进行可靠性定性和定量分析，基于可靠性定性和定量分析结果以及所调研的采煤机整机健康度影响因素建立了目前国内比较齐全的电牵引采煤机整机故障模式库。

[0086] 上述系统中提到的动态混合可靠性分析算法由FMECA和DFTA两种可靠性分析算法组成，FMECA是分析产品中每一产品所有可能的故障模式及其对系统可能造成的影响。包括故障模式分析、故障原因分析、故障影响分析、故障检测方法与补偿措施分析，并且在在故障模式影响分析的基础上对故障模式进行的定性和定量分析，得到包括风险优先序数和故障模式危害度在内的可靠性分析结果，用来判断每种故障模式影响的致命程度有多大，尽量消除致命度高的故障模式。针对FMECA的局限性，建立了基于FTA和马尔科夫模型的DFTA分析方法，得到故障状态之间的转移关系、转移速率和转移概率，DFTA是以一个不希望的产品故障事件(或灾难性的产品危险)为分析目标，首先通过自上而下严格的按层次进行故障演绎推理分析，找出故障事件的充要原因，然后计算它们的发生概率，最后提出设计改进和故障检测、维修等措施，以设法减小危险事件的发生概率。

[0087] 上述系统中的专家系统是在故障模式数据库的基础上建立的，结合采煤机整机复杂的工作环境以及许多复杂多变的影响因素，提出模糊逻辑和贝叶斯网络相结合的可靠性分析方法，利用模糊逻辑确定相应故障等级的隶属度，利用贝叶斯网络正向和反向推理得到采煤机整机相关系统的故障状态和故障原因，并提出相应的维护策略。

[0088] 上述电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统工作过程为：评价系统进行系统初始化配置，自动进入工作状态；评价系统完成初始化配置过程后，实时接收电牵引采煤机工作状态监测信息，包括采煤机工作电压、电流、温度、压力、流量、位姿、振动信息，并将信息实时传输到顺槽上位机和井上监测中心；对监测的信息进行实施的评价分析，当采煤机工作状态异常时，产生报警信号，并且采煤机远程模拟数字化平台显示采煤机故障部位；采煤机异常信息归档，进一步分析采煤机状态异常信息，产生采煤机健康度分析报告，并提

出采煤机维护策略;维护人员可以查看健康度报告、评价结果及相关的维护策略,并可在详细的数据浏览界面中查看运行图和评价信息图。

[0089] 如图2所示,本发明专利基于Labview程序开发环境软件建立电牵引采煤机井上监测中心健康度评价专家系统,主要包括以下的模块:系统模块、通讯模块、变量模块、图形画面模块、归档模块、故障报警模块等。监测系统结构如图5所示,主要实现功能有:

[0090] (1)电牵引采煤机运行状态的实时动态监测

[0091] 监测界面分为主监测界面、电机和牵引变压器电流监测、电机和高速轴温度监测、喷雾冷却系统流量和压力监测、机身和摇臂倾角监测、变频器和牵引电机监测。主监测界面包括:电机和牵引变压器电流最高值显示、温度最高值显示、机身位置监测、牵引方向和速度。

[0092] (2)状态参数上下限和初始化设定

[0093] 需要设定的固定参数有机身尺寸、电机过载保护电流上下限、热保护温度上下限、甲烷浓度上限、变频器和牵引电机运行参数等,这些设定参数被作为上位机故障报警的依据。

[0094] (3)电牵引采煤机故障报警显示

[0095] 监测系统故障报警表按时间顺序显示故障发生的位置、故障名和发生时刻。在该表中,可记录存储故障,供进行历史查询。

[0096] (4)电牵引采煤机状态监测系统重要数据的归档

[0097] 如对倾角、电机电流、变频器运行和故障信息等进行归档,可供历史查询、显示趋势以及生成电子报表。

[0098] (5)变频器故障报警诊断

[0099] 高性能变频器可提供报警和故障跟踪功能,可在数据库中事先将变频器警告故障信息、产生原因和解决方法存入数据库中,当变频器出现故障,上位机随时显示原因和解决方法,方便用户排除故障。

[0100] (6)采煤机健康度综合评价

[0101] 基于Labview的电牵引采煤机状态监测系统提供了图像画面模块,在该界面中可查看各种故障信息,如故障编号、时间、危害性报告、维修信息文本等,并且可以根据诊断数据库、专家系统和分析软件相结合给出采煤机健康度报告。当变频器或牵引电机的运行参数超过规定范围时,系统报警模块就会产生报警信息,即在消息文本中就会出现响应的故障项,提醒操作人员。

[0102] 如图3所示,本发明实现井下工作面电牵引采煤机工作状态的真实再现,建立了基于3DVR技术的电牵引采煤机井上模拟数字化平台。采煤机无线监测装置实时获取的采煤机工作状态数据,同过根据制定的OPC通信协议,OPC server会实时地将状态监测信息提供给采煤机健康度监测及智能评价平台,然后通过EON里Vitool SDK模块分别将数据传输到播放器与控制平台和采煤机数字化模拟平台,播放器与控制平台实时的播放所检测的状态,Vitool SDK模块信息驱动模拟平台里采煤机做出相应的动作;同时根据得到的采煤机工作状态实时数据进行分析和预测,借助各种先进交互手段,实现采煤机的有效控制。

[0103] 如图4所示,本发明提出了电牵引采煤机数字化模拟平台与数据传输及系统集成方法,在电牵引采煤机数字模拟过程中,其状态数据通过本地无线控制器和工业以太网传

输到井上监测中心，并通过Labview监测平台实现状态监测。3DVR采煤机数字模拟平台通过调用数据库中的采煤机参数，实现电牵引采煤机三维虚拟样机模型的实时驱动模拟，并可通过井上监控平台实现控制指令的下发，通过归档数据库、Labview监测系统以及井上监测中心，把模拟控制指令传输到采煤机的无线监测装置中，从而实现电牵引采煤机数字化模拟平台与数据传输及系统集成。

[0104] 如图5所示，本发明了提出了电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统各个功能区协同工作方法，电牵引采煤机远程监控平台及控制面板程序对其访问模式可是本地也可是远程，控制面板及电牵引采煤机虚拟样机均运行在3DVR平台上，井上监测中心远程控制器通过井下工业以太网与控制器及无线数据采集器通信，实现电牵引采煤机数据采集及控制指令传输，向上与Labview系统进行通信，实现电牵引采煤机状态数据及模拟控制指令传输。

[0105] 电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统界面可分为4个功能区：井下电牵引采煤机工作状态真实再现区、工作参数显示区、电牵引采煤机远程模拟控制区及故障显示区。其中工作参数显示区和远程控制区可基于Labview插件开发其外部程序，可根据需要显示和关闭。真实再现区主要实现井下电牵引采煤机的虚拟现实场景；工作参数显示区主要显示电牵引采煤机位置、左右摇臂高度状态、滚筒转动状态、内部关键部位传动状态、油温、水温及其他的一些辅助状态显示；远程模拟控制区放置有不同作用的功能按钮及控制参数输入列表框，实现各种模拟控制以及检修、急停和故障报警等。

[0106] 如图6所示，本发明了提出了电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统底层采煤机工作状态实时动态采集的无线检测装置构建方法，无线监测装置的主要作用是从传感器获取相关的信号，经过处理后传输给上层处理器，在对采煤机各测点进行信号采集时，本发明采用同步采集方式，能够保证状态监测的有效性，无线监测装置采用基于以太网的组网方式。数据采集端选用NI cDAQ-9188，数据可以通过有线方式传输到数据采集端，传输速度快、比较稳定，但安装不方便；也可以通过无线方式如Wi-Fi或3G方式传输到数据采集平台，传输速度相对较快，传输距离远，安装方便。一个NIcDAQ-9188有8个插槽，可同时运行最多8类I/O模块，可测量最多256路通道的电子、物理、机械或声音信号，多个采集设备可以以不同的网络方式连接数据采集端。

[0107] 综上所述，电牵引采煤机监测数据的类型以温度、电流、电压、转速、振动为主，根据不同的被测参数所需的采集频率和精度要求不同选用不同的模块，根据需求分析及监测对象的特点，对于振动监测采用分辨率较高的NI9234，转速监测采用NI9215，温度监测采用NI9211，电流监测采用NI9203，本发明以此处4个插槽为例，剩余的可留作扩展用。

[0108] 另外，为了方便工作面工人操作并实时掌握采煤机健康度，为无线监测站安装合适的便携式PC机，选用稳信PPC-1010-GD全平面工业平板电脑，该机型整机厚度只有45mm，整机重量仅1.3Kg，便于携带；板载第三代Intel Atom D25501.86GHz嵌入式双核处理器，可以满足信号实时分析的要求；板载DDR32GB，支持CFAST和SSD高速固态硬盘，可以实现大数据量监测信号的存储；工作温度为-10～60℃，可承受10g的冲击，适合在移动和震动环境下连续工作；提供WIFI/3G等无线通信方式，支持Windows XP/WIN7/WIN2K/XPE/WES，Linux Fedora9.0等操作系统，便于开发。

[0109] 本发明设计的电牵引采煤机健康度实时监测及智能评价系统，包括以下步骤：

[0110] 首先，进行系统的初始化配置，其具体过程为：运行评价系统，搜索到数据管理模块并调用其数据初始化接口，从而生成与采煤机数字化模拟平台相关的配置信息；然后对生成的配置信息进行手工配置；最后在配置窗口中完成运行相关的配置。上述与数据管理模块相关的信息包括：采煤机故障模式库、专家系统和报警信号库。上述与采煤机数字化模拟平台相关的配置信息包括：模拟平台的数据库目录和数据库文件。上述运行相关的配置包括：默认规则的选择、最大支持的任务数和规则中各个规则的分权配置。

[0111] 评价系统完成初始化配置过程后，可以实时接收电牵引采煤机的工作状态信息包括采煤机左摇臂监测单元、右摇臂监测单元、高压控制箱监测单元、振动监测单元、机身外围监测单元等实时输出的监测信息，包括采煤机工作电压、电流、温度、压力、流量、位姿、振动信息，并将信息实时传输到顺槽上位机和井上监测中心。

[0112] 根据监测装置采集到的监测信息，监测信号处理过程包括两个方面：监测信息处理和生成采煤机健康度报告。首先进行监测信息处理，其具体过程为：首先，无线信号检测装置初步的信号处理，将数据实时传输到顺槽上位机；其次，顺槽上位机对无线监测装置传输过来的信号进一步分析，得到得出振动趋势图、频谱图、频谱瀑布图。将分析结果与设定好的各参数报警阈值进行比较，判断是否超限，超限则表明相应部件有故障发生，进行报警信息显示。与此同时，顺槽上位机的通讯模块通过矿井工业以太网、安全栅以光纤传输的方式将相关信息传至井上监测中心；最后，井上监测中心采用更全面的分析方法，充分利用各种信号分析手段、全面的故障数据库及专家系统对采煤机进行故障诊断及可靠性分析；并且井上监测中心的采煤机远程模拟数字化平台可以实时的显示采煤机的工作状态，包括采煤机位姿、机身振动程度、摇臂切割角度等，一旦采煤机发生故障，相关故障部位就会实时的显示出来，方便井上监测人员远程监控。然后生成采煤机健康度分析报告分析，其具体过程为：首先，无线监测装置对采集的原始信号进行初步的分析，生成初步的信号处理结果，判断采煤机的工作状态；其次，顺槽上位机对采集信息作进一步的全面分析，根据故障模式哭产生报警信息，生成采煤机当前故障信息，提出现场处理方案，快速排出采煤机故障，并且处理结果传输到井上监测中心；最后，井上监测中心进行更加全面的采煤机工作状态分析，结合数据库和专家系统生成更全面的健康度分析报告，并结合采煤机数字化模拟平台显示的采煤机工作状态，提出更加全面的维护策略，将维护指令传输到顺槽上位机和采煤机，给维护人员提供更加详细的维护方案。

[0113] 应当理解的是，对本领域普通技术人员来说，可以根据上述说明加以改进或变换，而所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

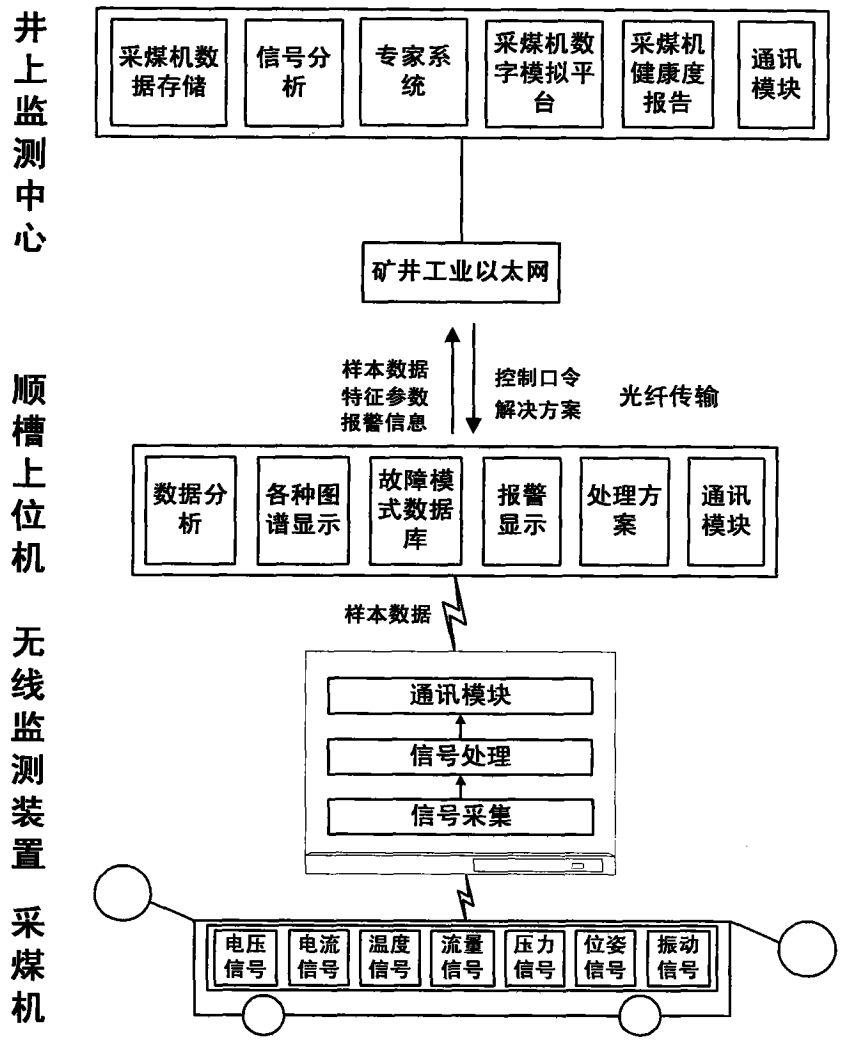

井上监测中心
采煤机数据存储
信号分析
专家系统
采煤机数字模拟平台
采煤机健康度报告
通讯模块
矿井工业以太网
样本数据
特征参数
报警信息
控制口令
解决方案
光纤传输
顺槽上位机
数据分析
各种图谱显示
故障模式数据库
报警显示
处理方案
通讯模块
样本数据
无线监测装置
通讯模块
信号处理
信号采集
采煤机
电压信号
电流信号
温度信号
流量信号
压力信号
位姿信号
振动信号

图1

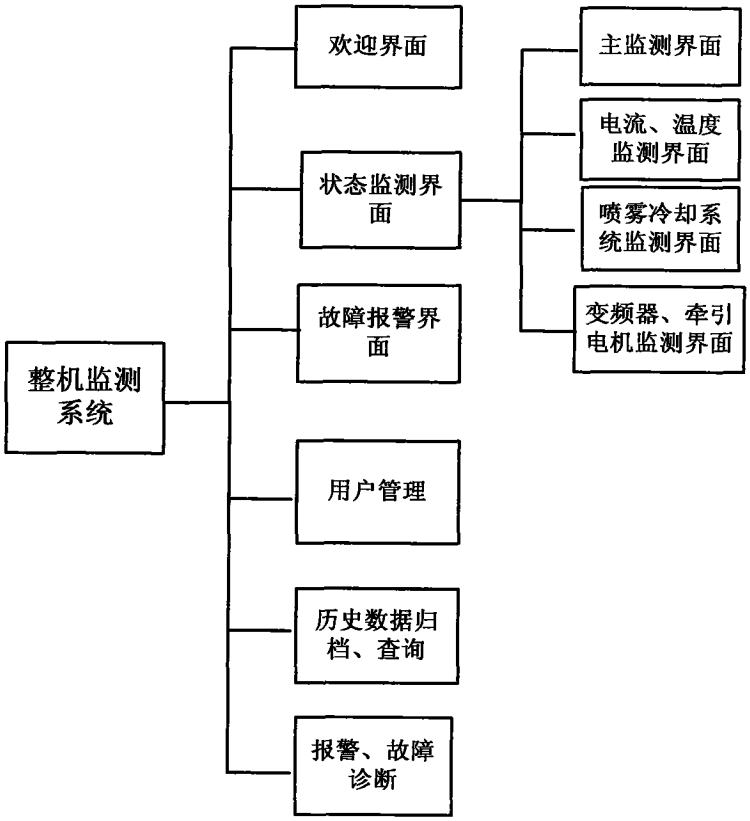

整机监测系统
欢迎界面
状态监测界面
故障报警界面
用户管理
历史数据归档、查询
报警、故障诊断
主监测界面
电流、温度监测界面
喷雾冷却系统监测界面
变频器、牵引电机监测界面

图2

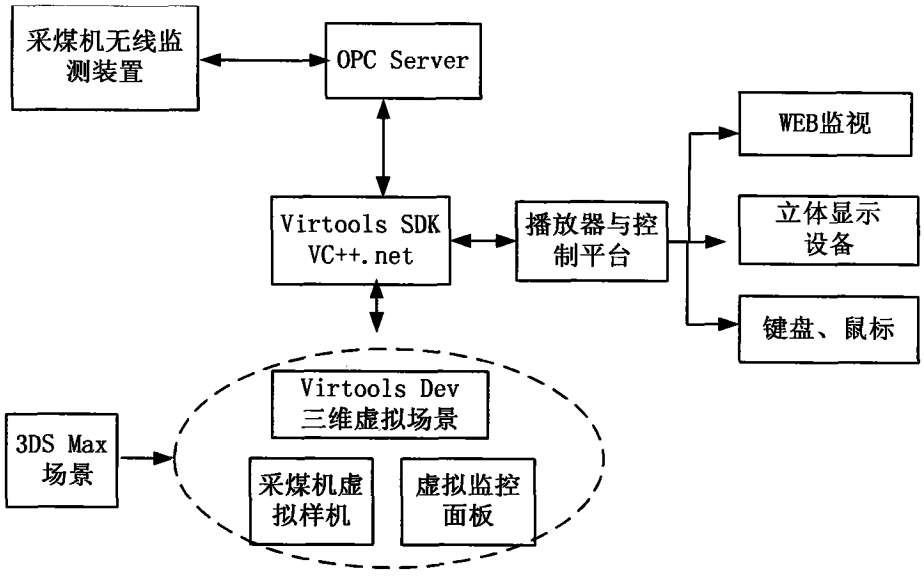

采煤机无线监测装置
OPC Server
Virtools SDK VC++.net
播放器与控制平台
WEB监视
立体显示设备
键盘、鼠标
Virtools Dev 三维虚拟场景
3DS Max 场景
采煤机虚拟样机
虚拟监控面板

图3

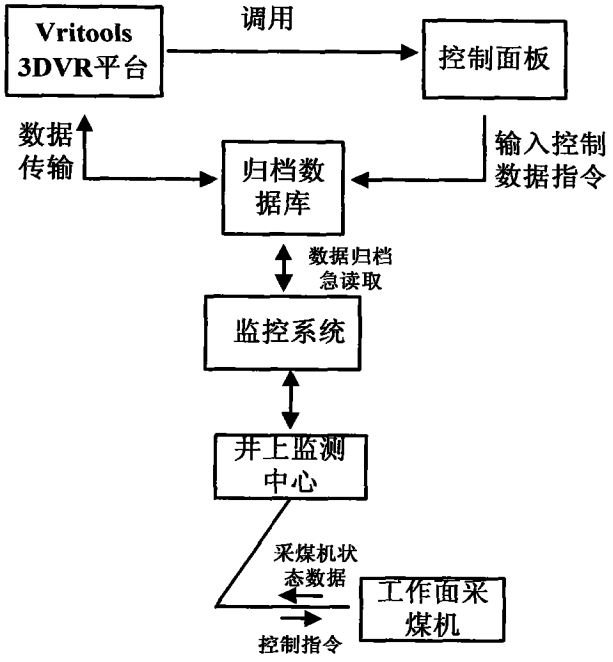

Vritools
3DVR平台
调用
控制面板
数据
传输
归档数
据库
输入控制
数据指令
数据归档
急读取
监控系统
井上监测
中心
采煤机状
态数据
工作面采
煤机
控制指令

图4

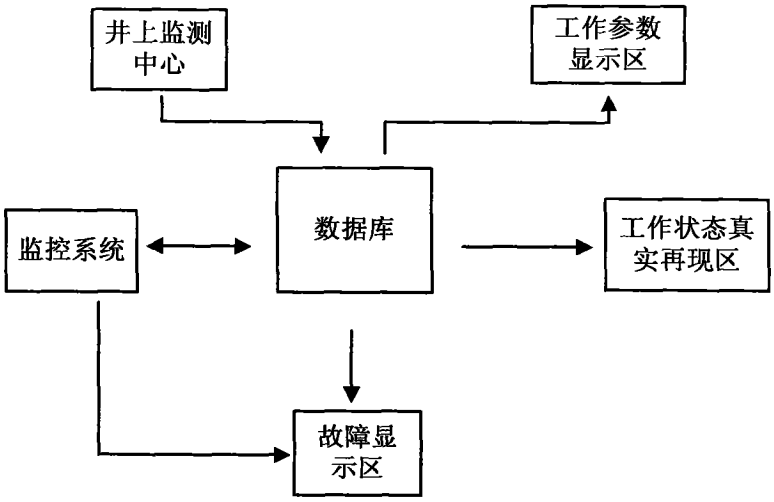

井上监测
中心
工作参数
显示区
监控系统
数据库
工作状态真
实再现区
故障显
示区

图5

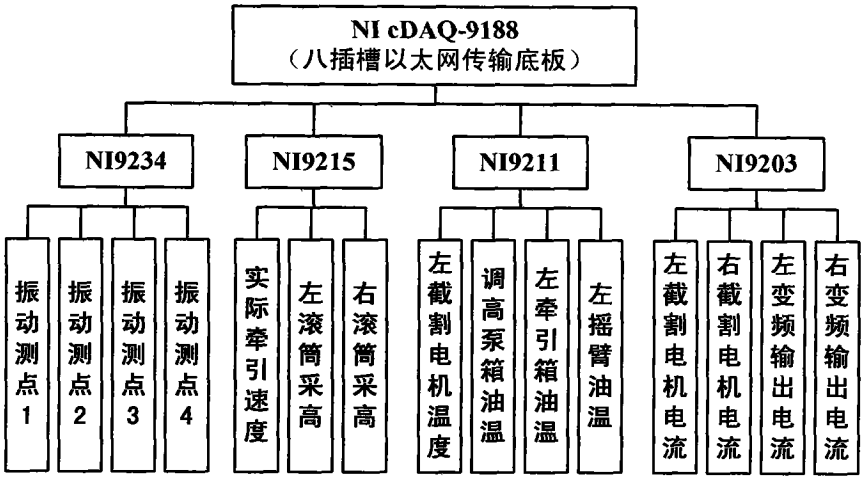

NI cDAQ-9188
（八插槽以太网传输底板）
NI9234
NI9215
NI9211
NI9203
振动测点1
振动测点2
振动测点3
振动测点4
实际牵引速度
左滚筒采高
右滚筒采高
左截割电机温度
调高泵箱油温
左牵引箱油温
左摇臂油温
左截割电机电流
右截割电机电流
左变频输出电流
右变频输出电流

图6