 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i3.5184

Design and implementation of a health monitoring system for a grid frame dry coal shed

Fang Zeng[1] Yixin Shen[1] Liyang Zhang[1] Yuekun An[1] Ting Lou[2]

1. Fujian Huadian Yong'an Power Generation Co., Ltd., Shaxian, Fujian, 366013, China
2. Huadian Electric Power Research Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310030, China

Abstract

This paper designs and implements a comprehensive health monitoring system based on the structural characteristics and potential risks associated with a grid structure dry coal shed. The monitoring system conducts real-time monitoring of key parameters such as structural strain, displacement and foundation settlement, as well as environmental factors such as temperature, wind direction and wind speed. By integrating with intelligent diagnosis and early warning schemes, it achieves the assessment of the safety status of the structure. This paper provides a comprehensive elaboration on the overall design of the monitoring system, including equipment selection, measurement point arrangement, collector and cable deployment, and the development of an intelligent diagnosis and early warning framework. The relevant research provides reference basis and technical support for the safe operation and maintenance of the dry coal storage shed.

Keywords

Grid structure dry coal shed; Strain monitoring; Displacement monitoring; Foundation settlement monitoring

某网架干煤棚健康监测系统设计与实施

曾方[1] 沈一新[1] 张李洋[1] 安跃昆[1] 楼挺[2]

1. 福建华电永安发电有限公司，中国 · 福建 沙县 366013
2. 华电电力科学研究院有限公司，中国 · 浙江 杭州 310030

摘　要

本文针对某网架干煤棚的结构特点和潜在风险，设计并实施了一套全面的健康监测系统。监测系统通过对结构应变、位移和基础沉降等关键参数和温度、风向、风速等环境因素的实时监测，结合智能诊断预警方案，实现对结构的安全状态的评估。本文详细阐述了监测系统的总体设计、设备选型、测点布设、采集器及线缆布设和智能诊断预警方案等内容。相关研究为干煤棚的安全运营和维护提供参考依据和技术支持。

关键词

网架干煤棚；应变监测；位移监测；基础沉降监测

1 引言

随着工业建筑的快速发展，网架结构在大型工业设施中的应用日益广泛。作为重要的储煤设施，网架干煤棚[1]的结构安全直接关系到整个电厂的安全运营。然而，长期受到煤堆压力、环境腐蚀和自然因素等影响，网架结构可能出现变形、开裂等问题，严重时甚至导致结构失效。因此，建立一套完善的健康监测系统[2]对于保障干煤棚的安全运营具有重要意义。本文以某电厂网架干煤棚为研究对象，设计并实施了一套全面的健康监测系统，旨在实时掌握结构安全状态，及时发现潜在风险，为结构维护和安全管理提供科学依据。

2 工程概况

某电厂干煤棚采用大跨空间网架结构，总长度 96 米，跨度 92 米，高度 28.4 米。干煤棚网架形式为双层正放网架结构，支座为正方四角锥，杆件采用 Q235B 无缝钢管，螺栓球选用《优质碳素结构钢》（GB/T699-2015）中的 45 号钢，屋面为彩钢板屋面，挡煤墙为钢筋混凝土结构，墙厚 200mm。为确保结构安全，电厂决定对干煤棚建立健康监测系统，通过对结构关键部位进行实时监测实现对结构安全状态的全面了解和科学准确评估，从而有效保障干煤棚的安全运行。

【作者简介】曾方（1971–），男，中国福建沙县人，助理工程师，从事火电发电过程燃料验收系统、卸取料系统、物料输送传输系统智能化、无（少）人值守等研究。

3 监测内容

本健康监测系统主要针对网架干煤棚的关键结构参数和环境因素进行监测。结构参数方面主要包括结构应变、位移和基础沉降三个方面。应变监测主要关注网架杆件的应力变化，特别是关键节点和受力较大部位的应变情况。位移监测则重点监测网架结构的整体变形，主要针对结构水平位移。沉降监测主要针对干煤棚基础，监测结构整体的沉降和不均匀沉降情况。通过这些监测内容，可以全面掌握结构的受力状态和变形情况，及时发现异常变化。环境因素方面主要针对温度和风速、风向进行监测，用以分析结构在不同环境下的性能变化，评估环境对结构的影响。

4 监测系统设计与实施

4.1 总体设计

健康监测系统采用分布式架构，由传感器网络、数据采集与传输系统、数据处理与分析系统以及预警系统组成[3]。系统设计遵循可靠性、实用性原则，能够实现实时监测、数据存储、分析和预警功能。系统采用有线传输方式，确保数据传输的安全性、稳定性和可靠性。

安装在网架结构上的应力传感器、激光位移计和风速、风向仪以及安装在基础上的沉降传感器把结构杆件的应力、变形、环境温度、风速、风向、基础的沉降变换成电信号，通过数据采集电缆传输给数据采集器，数据采集器对数据进行前期处理后，通过数据总线电缆，传输给服务器。服务器对数据进行各种后期处理后，存入本地数据库，供操作者浏览、查询、下载数据，并通过数据传输系统，传输给用户。为便于长期监测工作的开展，及时掌握干煤棚网架结构的受力状况、基础沉降数据，及时发现异常情况，本监测系统可通过远程访问、控制。在任意地点的用户通过私有局域网连接到服务器，可对服务器的数据进行查询、浏览、下载，同时也可通过服务器对整个监测系统进行控制，设定各种采集参数，控制数据采集等。监测系统总体组成如图 1 所示。

4.2 监测设备选型

根据监测内容和现场环境特点，选用了高精度振弦应变传感器、激光位移计、静力水准仪和风速、风向仪作为主要监测设备。

本监测项目选取某公司 GK-4000A 型振弦式应变传感器进行应力监测，其量程为 ±3000με，精度1.0%FS，其主要适用于管线、钢结构、钢板桩和桥梁等结构的应变监测，可将仪器的两个端块用电弧焊焊接或使用螺栓固定在结构表面以监测钢结构的应变，内置温度传感器可同时监测环境温度，安装方便。振弦应变传感器直接输出振弦的自振频率信号，具有抗干扰能力强、受电参数影响小、零点飘移小、受温度影响小、性能稳定可靠、耐震动和寿命长等特点[4]。

位移监测选用某公司 DAN-10-150 型激光位移计，其量程为 150 米，精度±1mm，满足拟监测干煤棚结构的位移监测需求。通过在结构监测测点一侧布置激光位移计，对应侧位置布设反射板，通过激光束反射实现精确、无接触式长距离测距。

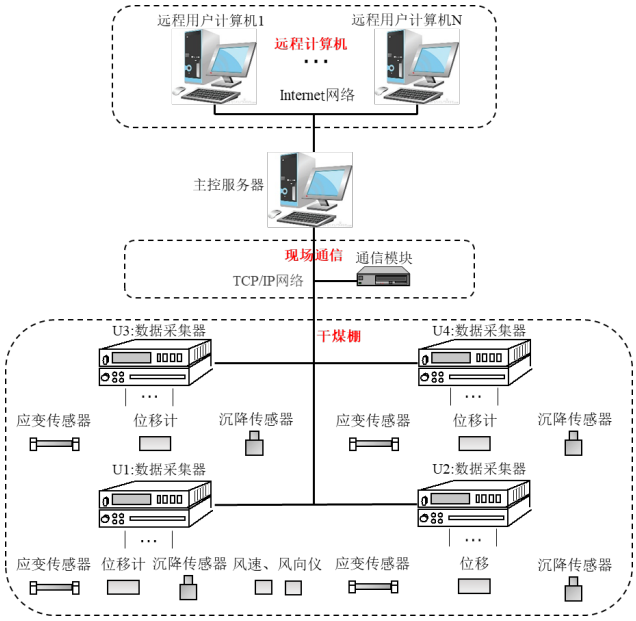


图 1 干煤棚监测系统组成

基础沉降监测选用某公司 BGK4675-50mm 型高精度振弦式静力水准仪，其量程为 50mm，精度1.0%FS，可监测到小于 0.0125mm 的高程变化。系统由一系列含有液位传感器的容器组成，容器间由通液管互相连通。参照点容器安装在一个稳定的位置，其他测点容器位于同参照点容器大致相同标高的不同位置，任意一个测点容器与参照容器间的高程变化都将引起相应容器内的液位变化，从而获取测点相对于参照点高程的变化[5]。

风速、风向监测选用某公司 T-FS 型风速仪和 T-FX 型风向仪。T-FS 型风速仪启动风力为 0.2m/s-0.4m/s，测量精度为 $\pm(0.3+0.03V)$m/s，T-FX 型风向仪测量范围为 0-359 度，分 16 个方位，测量精度为±1度。该类型风向、风速仪外形小巧轻便，采用法兰法可将其固定在杆件上，且具有良好的防雨、防腐特点。

4.3 监测测点布设

4.3.1 应变监测测点布设

应变测点主要布置在网架结构的关键受力杆件和节点处，包括支座、跨中附近和桁架曲率最大处的部位。监测断面选择应均衡，应能基本反映整个干煤棚的结构的受力情况。该干煤棚共选取 5 个监测跨，每个监测跨应变测点集中布设于端部支座附近杆件、曲率最大处附近杆件、顶部跨中附近杆件等典型代表部位。每个监测跨对称布设共计 5 个监测部位，每个监测部位分别在下弦杆、上弦杆和腹杆分别布设一个应变测点，每个监测跨共计布设 15 个应变监测测点，整个干煤棚共计布设 75 个应变监测测点。选取的监测跨如图 2 所示，各监测跨应变测点位置如图 3 所示。

4.3.2 位移监测测点布设

综合考虑监测的完整性、代表性及经济性，确定对干煤棚 5 跨桁架进行位移监测，每个位移监测跨与应变测点所在监测跨相同。有关研究表明，网架下弦杆件能较好地反映结构整体变形情况 [6]，且杆件位置越高，杆件变形越明显。为了避开煤堆遮挡且兼顾较好的变形响应和安装安全便利性，激光位移计布置在每跨监测桁架一侧下弦杆第四节位置处，相对应侧的下弦杆布置标靶。该干煤棚共布置激光位移计 5 套，测点位置如图 3 所示。

4.3.3 基础沉降监测测点布设

该干煤棚共计布设 10 个基础沉降监测测点，沉降测点沿干煤棚纵向两侧对称布置。如图 2 所示，基础沉降监测与应变、位移监测相同共选择 5 个监测跨，每个监测跨在支座基础处对称布设两个测点。测点布置考虑了地质条件和基础形式，确保能够全面反映结构的沉降情况。

4.3.4 环境因素监测测点布设

温度监测随应变、位移、沉降监测测点布设，各类型传感器内设温度传感器，可同时监测环境温度。风速、风向仪各布置一个，集中布设于干煤棚第一监测跨顶部。

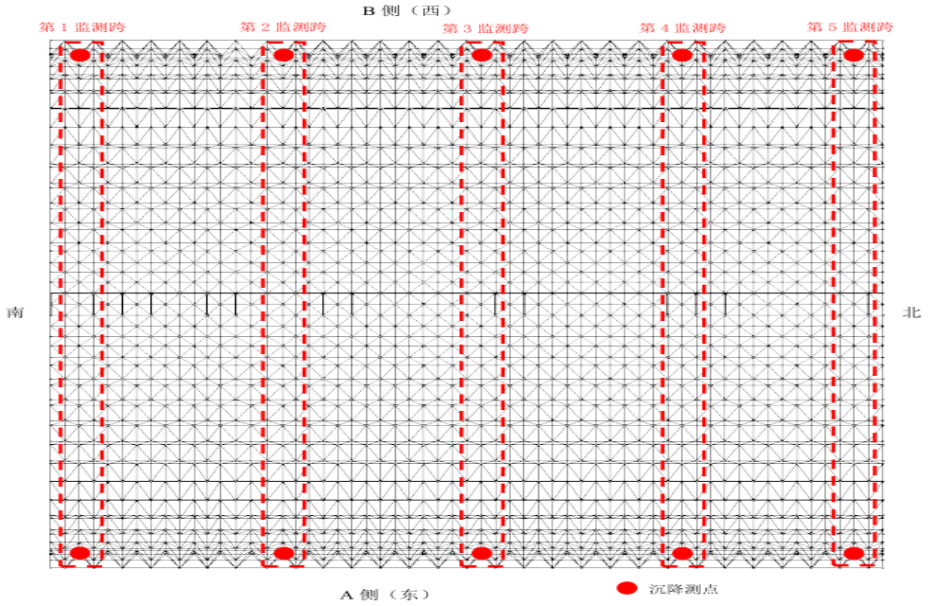


图 2 干煤棚监测跨平面示意图

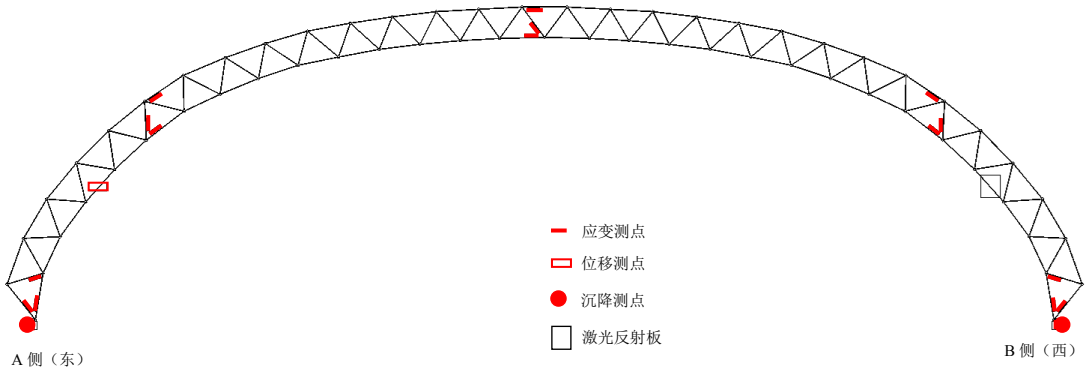


图 3 第一监测跨测点示意图

4.4 采集器及线缆布设

数据采集器采用分布式布置方式，共设置 4 个采集站，每个采集站负责一定范围内的传感器数据采集，具体布设如图 4 所示。采集器选用某公司 BGK-Micro-40Pro 型自动化数据采集仪，采集器共 24 通道，用于采集振弦式应变计、振弦式静力水准仪等传感器数据。采集器通过 RS485 本地组网，#1 采集仪接入第 1、2 监测跨东侧（A 侧）和跨中顶部共 18 个应变传感器及东侧两个静力水准仪，内置 ZLAN9480A 型 8 口 RS485 串口服务器，2 个激光位移计、风速风向仪和 #1 采集仪数据通过 RS485 服务器传输至总服务器。#2 采集仪接入第 3、4、5 监测跨东侧 18 个应变传感器及东侧 3 个静力水准仪，内置 4 口 RS485 串口服务器，3 个位移计及 #2 采集仪数据接入该服务器，并通过 #1 采集仪内的 RS485 服务器传输。#3 采集仪接入第 1、2 监测跨西侧（B

侧）及第 3、4、5 监测跨跨中顶部 21 个应变传感器和西侧 2 个静力水准仪，内置 4 口 RS485 串口服务器，#3、#4 采集仪数据通过该服务器传输至 #1 采集仪内的 RS485 服务器。#4 采集仪接入第 3、4、5 监测跨西侧 18 个应变传感器及西侧 3 个静力水准仪，数据通过 #3 采集仪内的 RS485 服务器传输至 #1 采集仪，最终传入主机服务器。

线缆布设采用桥架敷设和穿管敷设相结合的方式，确保线缆的安全性和美观性。所有线缆均采用阻燃、耐腐蚀材料，并做好防水、防鼠措施。采集器与中央控制室之间采用屏蔽双绞线通信，确保数据传输的稳定性和实时性。相关线路布设如图 4 所示。

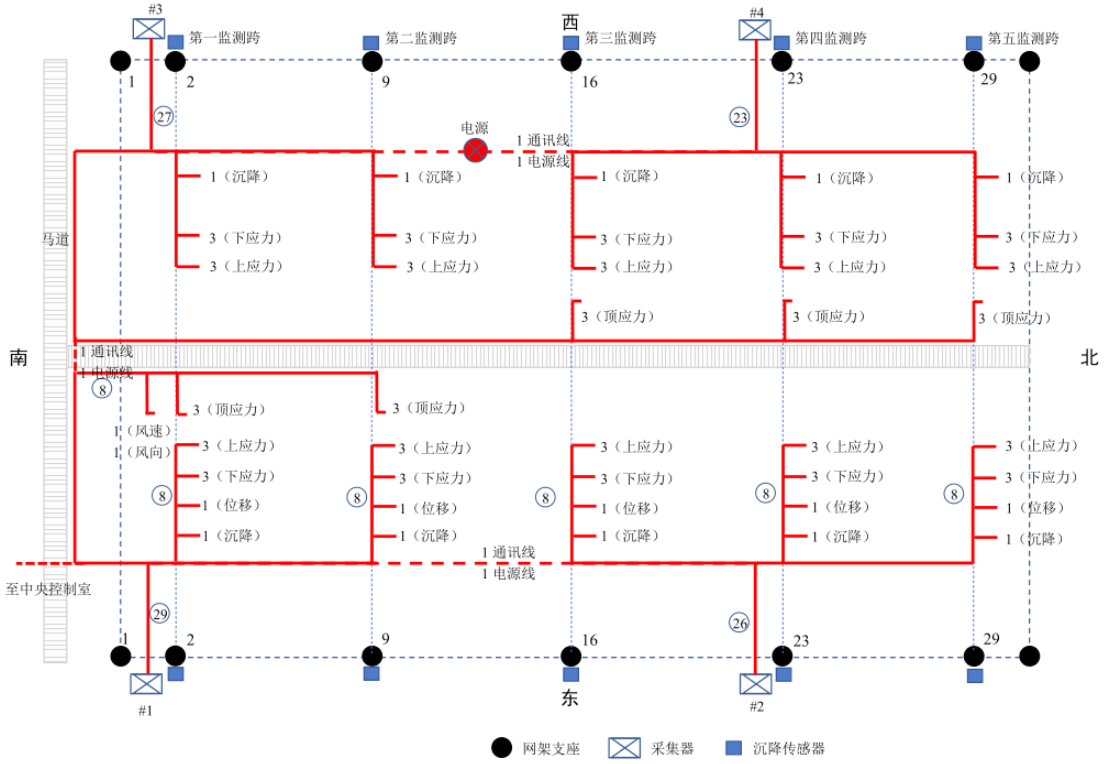


图 4 干煤棚监测系统线缆布设图

4.5 智能诊断预警方案设计

基于监测数据和结构分析模型，开发智能诊断预警系统。通过多源数据融合和机器学习算法结合结构有限元模型，建立环境多因素与结构响应的智能分析模型，分析耦合环境效应下干煤棚大跨空间结构各响应的动态演化趋势，以模型预测值和实际测量值残差作为评价结构性能的异常敏感特征指标，通过分析指标的变化趋势及特征反映干煤棚服役状态。通过概率统计方法分析结构性能指标的概率分布情况，并设定预警阈值，以此建立预警系统。预警系统拟设置三级预警机制：一级预警为提醒级别，当监测数据超出正常波动范围时触发；二级预警为警告级别，当监测数据持续异常或达到警戒值时触发；三级预警为危险级别，当监测数据达到临界值或结构出现明显异常时触发。

5 结语

本研究设计并实施的网架干煤棚健康监测系统，通过全面的监测内容，合理的监测测点、采集器及线缆布设和智能诊断预警方案，可有效实现对结构状态的实时监控和安全评估。后续可继续优化监测系统，提高数据分析的智能化水平，为类似结构的健康监测提供参考和借鉴。

参考文献

[1] 蔡杰,高伟,黄树红,等.网架干煤棚安全监测系统的设计与开发[J].华中科技大学学报：自然科学版, 2004, 32(3):3.

[2] 轩慎青,陈良超,方舟,等.大跨度空间网格结构健康监测系统设计及应用[J].北京化工大学学报:自然科学版, 2022, 49(5):108-116.

[3] 万军,田育丰,石保忠,等.导管架平台结构实时健康安全监测系统[J].中国海洋平台, 2020.

[4] 郭小丹,陈小莹,雷萌.短信模块应用于数据传输系统的方法研究[J].安徽电子信息职业技术学院学报, 2014, 13(6):5.

[5] 原创力文档.筒体高层测量及垂直度测控方案[EB/OL].[2024-07-20]. https://max.book118.com/html/2024/0719/6232231240010202.shtm.

[6] 陆玲娟.火力发电厂干煤棚网架结构的变形特性分析[D].华中科技大学,2004.