

# 堆取料机的全自动控制应用调研报告

中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司

2020年12月

## 目录

1	堆取料全自动智能化作业系统概述 .....	1
2	堆取料全自动智能化作业系的技术优势分析 .....	3
3	堆取料全自动智能化作业系统方案配置和技术特点 .....	7
4	堆取料全自动智能化作业系统应用案例调研情况 .....	27
5	调研总结 .....	35

## 1 堆取料机全自动智能化作业系统概述

目前燃煤电厂的煤场主要有条形煤场和圆形封闭煤场（除皮带直接来煤和筒仓外），分别配置斗轮堆取料机和圆形煤场堆取料机。



斗轮堆取料机

圆形煤场堆取料机

图 1.1 条型煤场斗轮堆取料机和圆形煤场堆取料机

堆取料机无人值守系统利用自动控制、激光三维扫描技术、精确定位技术、先进通信技术、三维建模等技术，对斗轮位置和煤堆形状进行精准检测、数据运算、分析、判断，实现堆取料机对堆取煤、寻迹、流量、运行模式的模糊控制，建立数字化的堆场信息，实现堆取料机的远程全自动控制。全自动智能化作业系统，除保留斗轮堆取料机就地人工操作方式外，可在运煤控制室实现远方手动、半自动和全自动堆料、取料操作。

斗轮堆取料机操作方式可分为：就地人工操作方式、远程手动操作、远程半自动操作和堆取料全自动工作方式。

就地驾驶室司机手动操作：保留，作为后备。

远程手动操作：包括远程硬手动操作和远程软手动操作（应用不多）；

远程半自动操作：主要用于实现堆取料机上无人中控远程半自动控制，即堆取料机上不设置操作人员，仅在中央控制室设置操作人员，操作人员根据生产计划结合视频监控系统的视频画面，远程手动操作设备调度至初始位置，并远程手动调整各机构就位，再输入堆取作业参数后（如起始位置角度、终止角度、机构动作角度等），控制设备进行自动堆取作业，在堆料/取料方式和边界识别等需要人工选择和确认；

无人化全自动操作：实现堆取料机上无人全自动控制，即堆取料机上不设置操作人员，仅在中央控制室设置操作人员，操作人员仅需在作业前根据生产计划（由数字化煤场管理系统或人工录入提供），再结合堆场的可视化界面中料堆的位置、形状、品种等相关信息，输入作业参数后确认下发即可，后续关联的设备自动调车至初始位置、自动调整各机构就位、自动取料、自动堆料过程完全由控制系统自动实现。

正常生产时，采用无人化全自动操作系统，仅在无人化全自动控制系统发生故障或进行维护时，或特殊情况需要采用远程半自动操作系统时，才将系统切换至远程半自动操作系统进行设备作业控制。在全自动和半自动模式下都不能正常工作情况下，可切换至就地手动控制模式，保证作业正常。

为实现远程硬手动操作在输煤集控室设计为堆取料机安装一套可远程操作的操作终端。实现堆取料的手自动无扰切换及驾驶室的就地手自动无扰切换，提高作业效率和系统安全性。

1. 手动作业：手动作业是国内大部分企业采取的模式，主要通过人工在司机室操作手柄、按钮等控制元件来操作堆取料机进行作业，垛型的反馈主要靠目测。



图 1.2 手动作业

2. 机上半自动作业：机上半自动作业是较早的自动控制方法，主要通过人工在司机室手动进行对垛，设定左右角度和步进参数，然后可以半自动取料作业，换层、归零等动作仍然是手动作业。



图 1.3 机上半自动作业

3. 远程半自动作业：人员从机上撤下，在远程中控室进行远程半自动作业，对垛、换层、归零还是需要远程手动控制，在远程操作台上通过手柄结合摄像头信息反馈进行控制。

4. 远程全自动作业：人员从机上撤下，在远程控室进行远程全自动作业，操作人员只需要输入相应的作业垛位和取料量，从对垛、切入、回转取料、换层、归零全部自动完成，无需人工干预。



图 1.4 远程全自动/半自动操作界面

堆取料全自动智能化作业系统主要包括：堆取料机识址系统、安全防撞系统、三维建模系统、数据传输系统、流量监测系统、通讯系统、远程操作中心及中央控制站，如下表所示：

表 1 智能化作业系统各子系统功能

子系统	功能概述
堆取料机识址系统	实现冗余的堆取料机识址系统，包含一套编码器识址和一套UWB无线识址。
安全防撞系统	包含三套防护装置，具体由一套软件防撞系统和硬件安全激光雷达监测系统和一套UWB极限安全防护系统。
三维建模与分析系统	通过获取盘煤数据和其他传感器数据，对作业面进行分析并形成控制指令。
流量监测系统	实现不接触式的悬胶皮带流量监测系统，恒流量取料和过载监测。
通讯装置	提供冗余的通讯方式（控制部分信号冗余），采用无线通讯+光缆通讯相结合的方式。
远程操作中心	提供自动过程中的可干预操作，提供干预手柄、急停按钮等。
中央控制站	提供整套系统的数据分析、滤波、模型分析、自动化控制以及设备测点监控与报警等软硬件功能与设备。

## 2 堆取料机全自动智能化作业系统的技术优势分析

### 2.1 目前堆取料机作业的现状和问题

目前国内燃煤电厂的煤场管理环节现状和问题：

（1）煤场管理普遍粗放，大部分火电厂不能实现来煤按预设方案自动引导接卸，目前煤场接卸的手段大多也只能依靠人工。

（2）煤场接卸验收环节不能实现验收考核信息自动传输。

（3）堆取料机的计量装置基本都没有配置，还有推煤机直接堆、取作业的，很难准确分煤场分区域计量煤量。

（4）无法实现不同煤种存煤数量、质量、价格、存煤时间等信息的实时监控。

(5) 煤场数字化计量实现困难。

(6) 部分企业煤场盘点采用人工方式，盘煤效率和准确度较低，煤场盘点体积、密度不实等。

(7) 随着形势变化，电力行业出现了供应过剩的局面，年发电小时数逐年降低，而电煤市场煤价持续走高，给燃煤发电企业带来生产经营困难。在外部环境无法改变的前提下，提高燃料管理全过程工作水平和工作效能，向内部挖潜降低成本成为必然的选择。当前，国内外火力发电厂燃煤场大部分采用人工操作堆取料设备，作业效率与安全完全取决于操作人员的熟练程度与操作方式，目前堆取料机大都采用“司机手动”操作方式，但是司机手动操作，堆取料的精准度不高，作业效率偏低，加之现场粉尘易对司机的视线造成遮挡，尤其是在阴雨、大雾、夜间等环境下，容易发生事故，同时采用人工作业，效率普遍偏低，燃煤堆放位置、指标、数量等基础数据准确性差、相关性差、实时性差、共享性差，导致难以满足生产调度的实际需要。也有火力发电厂燃煤场采用具有半自动控制功能的堆取料设备。

(8) 此外，目前国内某些电厂煤场的堆取料机或堆取料机配有远程手动操作系统，由于缺少完善的实时煤场三维模型，无法做到精准的堆煤与取煤，同时还存在防碰撞和其他保护措施不健全，据调研，目前远程操作功能完全处于闲置状态，堆取料作业仍采用由司机现场操作、人工驾驶的方式，自动化程度低、劳动强度大、工作环境差、计划、处理、操作、堆取、管理等完全依赖人工进行信息传递。作业效率和堆取煤精确性受运行人员的操作水平、疲劳强度等影响较大，容易在作业中出现质量和安全事故。因此，智能无人值守的堆取料作业系统具有重大的现实意义。

人工操作堆取料设备存在以下的问题：

(1) 煤场安全环境不利于长期人工作业：尤其是煤场封闭后，煤场内  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}$  等排放流通不足以及粉尘大，长时间作业危害人身健康。

(2) 人工效率高，单位吨煤能耗偏高：人工作业取煤流量不稳定，平均取煤量一般在额定值的 69%至 44%之间，效率普遍偏低，造成每班输煤上仓运行时间长，输煤单位能耗偏高。

(3) 劳动强度大：人工作业过程中堆取煤操作频繁，劳动强度大，长时间作业人员容易疲劳，尤其是在夜间或雾天作业强度更大。

(4) 配煤精度差：人工配煤过程中难以控制流量的稳定，造成配煤精度低下，不能有效发挥掺配烧的经济性。

(5) 堆场信息实时性差：目前大多数燃煤电厂的堆场管理以人工管理为主，每天进出数

量巨大，仅凭人工管理很难实时掌握煤场的动态变化情况。

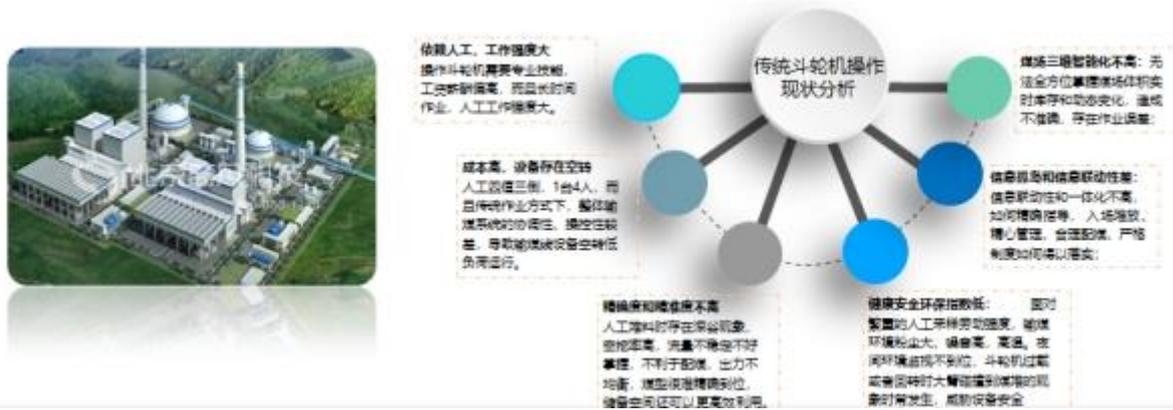


图 2 人工堆取料作业存在的问题

表 2 堆取料机各种作业方式对比表

国内外行业	操作模式	煤堆模型	煤堆防撞	空间防撞	配煤控制	是否全天候	作业效率	工作环境	安全性	人均控制机器数
国内大部分企业	机上手动	无	拉绳	初级	人工手动，稳定性差	是	根据工人水平起伏	恶劣	差，依靠人工	0.5-1
	机上半自动	无	拉绳	初级	半自动，稳定性中	是	高	恶劣	差，依靠人工	1
少部分企业	远程半自动	无	拉绳及激光	初级	半自动，稳定性中	否	低	好	差，依靠人工	1-2
少部分企业	全自动	3d 数学模型	三重防护	精密防撞	自动控制，稳定性好	是	高	好	高	3-6

## 2.2 堆取料机全自动智能化作业的技术优势和意义

系统采用精确定位、激光扫描、三维建模、智能控制等多项专利技术，实现了堆取料机就地无人值守及远程集中一键式智能控制（含堆取料机基于料堆空间模型信息的全自动作业三维坐标位置寻迹功能），极大地提高了堆取料机的作业效率，大幅降低输料单位能耗，降低司机劳动强度和改善作业环境，大幅减少人员配置数量，经济、社会效益显著，也为电厂燃料智能化、智慧电厂、智能码头建设奠定基础。

堆取料机智能化作业控制系统要达到的目的是尽量将人从繁重、恶劣的堆取料操作工作和环境中解脱出来，让设备按照制定的标准自动作业，大幅降低劳动强度和人工成本，提升安全预警能力和效率，最大幅度的降低安全和环保管理效率和水平，更进一步降低了各类设备的空转时间，更加准确的执行煤堆掺烧配比，实现“降本、增效、安全环保和节能”，同时为下一步的智能燃料系统开发建设奠定坚实的基础。

（1）提升堆取料效率：使堆形更规整、提高煤场空间利用率，提升取煤煤流稳定性和效率，分流优化投入，缩短输煤运行时间。

（2）发挥掺配煤优势，实现掺烧精细化：根据配煤要求实现堆取料机按比例进行恒流量掺配，为精细化掺烧提供基础支持，提高机组经济效益。

（3）减轻劳动强度：堆取煤全过程智能控制，减轻运行人员劳动强度，也可嵌入输煤程控。

（4）提升安全可靠：通过无人值守，实现减员增效，通过现场安全防护，减少人员与现场设备的接触，提升安全预警能力和效率，最大幅度的降低安全和环保管理效率和水平。

（5）减少维护成本：输煤运行时间的缩短，减少转动部件的磨损，可大幅降低设备和人工维护费用。

（6）改善系统性能：系统安全性、可靠性进一步提高，也减少皮带跑偏，撒煤、堆煤扬尘等现象。

（7）降低输料单耗：恒流取料大幅提高取料效率，降低整个输料系统单耗。

（8）降低维护成本：转动部件、托辊、皮带等运行减少时间，降低设备和人工维护费用至少 20%。

（9）减少人工成本：可实现多台堆取料机远程集中式控制，减少堆取料机司机配置，降低人工成本。

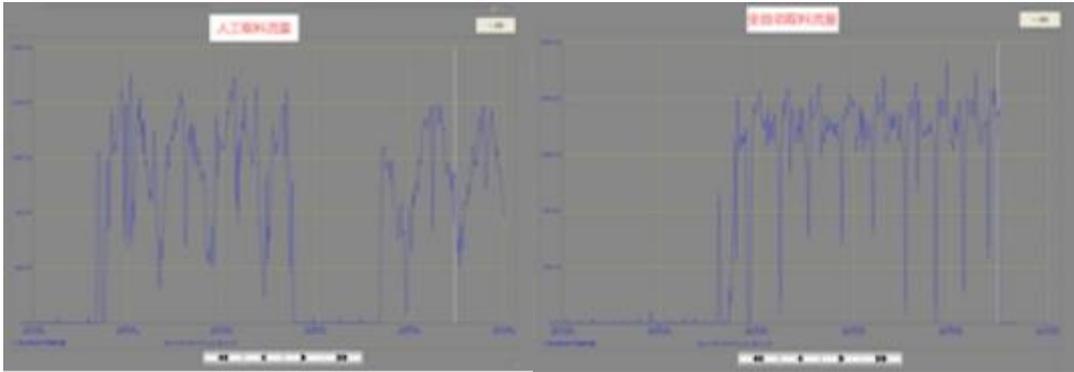
（10）提高安全性：系统在原有基础上增加了多重保护，包括极限位、跨场、行走、拖链、防撞、坍塌、过载、惯性冲击、皮带、人员、料温等检测和保护。

(11) 提高可靠性：定位、保护设备及系统通讯网络均可冗余配置，智能诊断，自修复，免维护，安全可靠。

(12) 提高环保性：堆料过程中自动调节悬臂高度，减少扬尘；取料流量恒定，减少皮带撒料。

(13) 配套料场全封闭改造：料场全封闭改造后，智能堆取料机控制系统改造将成为保障输料系统安全可靠高效运行及运行人员职业健康的迫切需求。

(14) 实现智慧煤场管理一体化：是从煤场综合角度上实现掺烧、三维实时测控盘煤、采制化的质检信息和燃料管理信息的来煤接卸等一体化联动的前提。

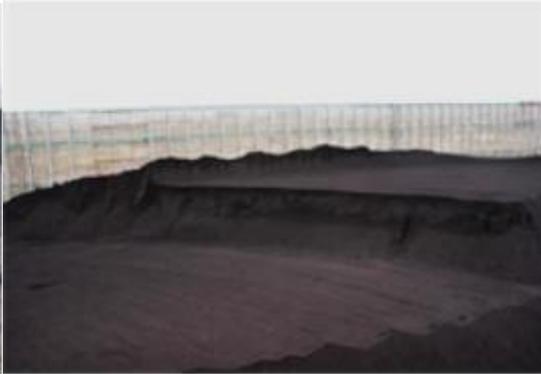


(a)人工取料流量不稳定，效率低

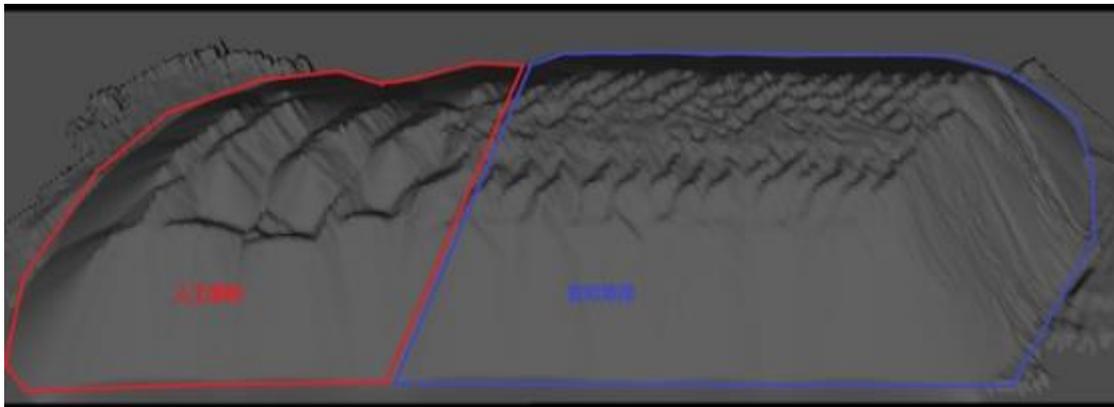
(b)自动取料流量稳定，效率高



(c)人工取料料堆外角残留多，易倒塌



(d)自动取料堆外角残留少，不易倒塌



(e)人工堆料波峰大，自动堆料平整，平均提高可用库容约 13%

图 3 堆取料机人工和全自动作业效果对比

系统将堆取料机认为是一个高效执行的机器人，通过煤场三维实时管控，通过模型运算实时指挥堆取料机应该去哪里取和堆，而且综合三级掺配，实现精细化掺烧，实现高效、节能和降耗。



图 4 建设效果

### 3 堆取料全自动智能化作业系统方案配置和技术特点

堆取料全自动智能化作业系统应包含完善的识址定位系统、安全防碰撞系统、流量监测系统、三维建模与分析系统以及远程控制系统等。

- (1) 识址定位系统，堆取料机堆取料机、回传、俯仰的精准定位系统：由定位系统检测得到堆取料机设备实时位置的三维坐标信息，定位精度误差 $< 5$  厘米，以达到堆取料机精准控制的目的。需采用定位+校正方式。识址定位系统包括堆取料机行走定位、起升机构定位、斗轮小车定位、移动皮带小车定位等。应采用先进可靠的定位方式，可采用绝对值型编码器、扫码定位系统、射频定位系统、激光定位、UWB定位、格雷码定位等多种方式相互协作，提供设备的精确定位，宜采用绝对值型编码器和UWB或格雷码相结合的定位方式。
- (2) 防撞预警和安全保护系统应能根据堆取料机位置信息、煤堆三维位置信息的比较分析，实现堆取料机作业过程中的防撞预报警。应采用三重防碰撞系统，第一重为雷达或激光防护，大臂防碰撞可采用在大臂两侧各装一台激光扫描仪，此外在大臂前端两侧各安装两台激光雷达（共四台）或安装四台雷达测距仪（共八台），堆取料机行走防撞可采用超声波雷达；第二重为模型算法防护；第三重为拉绳开关防护。

- (3) 皮带煤流量的实时反馈。由煤流量检测采集系统中的激光扫描设备对堆取料机堆取时皮带上的煤流量进行实时检测，经过软件分析计算后用于实时控制，通过调节系统能达到综合工况下（含皮带启停、切换空载时间、堆取料机调车时间、卸样时间等）取煤量不低于1500T/h的目标。
- (4) 堆取料机与后台之间的通讯宜采用冗余通讯方式，可采用冗余光纤或光纤+无线的通讯方式，无线通讯宜采用5G网络。
- (5) 三维建模与分析系统应与智能盘煤系统相结合，通过获取盘煤数据和其他传感器数据，对作业面进行分析并形成控制指令。
- (6) 堆取料机设备及煤场的高清视频监控系统：通过合理增加视频监控设备，对堆取料机堆取料过程中的设备状态、煤场动态能进行实时远程进行监控，达到无人值守目的。
- (7) 远程操作中心应提供自动过程中的可干预操作。提供干预手柄、急停按钮等。同时应提供整套系统的数据分析、滤波、模型分析、自动化控制以及设备测点监控与报警等软硬件功能与设备。

### 3.1 煤场三维建模系统配置方案

激光扫描设备是煤场主要的检测传感器。通过对煤场的实时扫描，获得煤场的准确数据。将信号传入中控室服务器，来控制系统的堆料、取料操作。

为了保证全天候无人自动取料作业，设计了基于雷达反馈的数学模拟三维建模系统。正常天气情况下，使用激光建模，恶劣天气时，自动切换到数学模拟建模系统，保证各个单机能够全天候进行无人自动取料作业。同时，正常天气情况下，利用激光扫描数据为数学模拟建模的累积误差进行修正。

固定式激光盘料系统中激光扫描仪用来获取被测目标的表面形态；堆取料机定位系统用来得到堆取料机位置信息；数据采集器用来进行数据的初步整合，盘料分析终端服务器提供软件系统运行平台，完成数据处理、三维重构、可视化及测量结果的输出等功能。

雷达与激光扫描的三维建模对比：

三维激光扫描建模：

1. 建模精度较高，可达厘米级。
2. 作业过程中无法建模，需要单独时间扫描。
3. 受天气一环境因素影响大，无法实现全天候。

雷达数学模拟计算建模：

1. 建模精度略低，可以满足使用。
2. 塌垛、推煤机推煤等导致料堆模型变化大时，无法实时修改模型，只能手动修正。
3. 实现自动作业的实时建模。
4. 作业过程实时建模，不需要单独时间
5. 不受天气影响，可以实现全天候
6. 无扫描仪费用和维护费用。
7. 可以手工修改，适应性强。

可以将雷达数学模拟建模及三维激光扫描融合的三维建模技术，获取堆场料垛的三维模型。

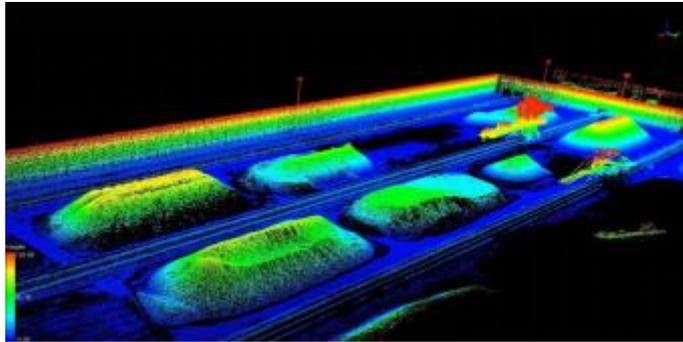


图 2.4 三维建模效果图

根据目前主要的煤场形状及堆取料机的类型，主要有四种盘煤仪固定应用：条形煤场悬臂式堆取料机前端固定应用、条形煤场或圆形煤仓悬臂式堆取料机顶部固定应用、煤棚顶部高塔式固定式应用和煤棚顶部滑轨安装方式。可根据实际情况选择不同的方案，从而获得较为精确的煤场表面图形。下面分别对激光盘煤仪的各种安装方式进行介绍。

在煤场顶部棚架或堆取料机本体上安装配云台的 3D 激光扫描系统。保证激光扫描系统全方位、无盲点进行激光盘煤，通过对煤场的实时扫描，获得煤场的准确数据。并将信号传入中控室服务器，来控制系统的堆料、取料操作。根据目前主要的煤场形状及堆取料机的类型，主要有四种盘煤仪固定应用：条形煤场悬臂式堆取料机前端固定应用、条形煤场或圆形煤仓悬臂式堆取料机顶部固定应用、煤棚顶部高塔式固定式应用和煤棚顶部滑轨安装方式。可根据实际情况选择不同的方案，从而获得较为精确的煤场表面图形。

#### （1）堆取料机大臂前端推杆及可拆卸安装

斗轮堆取料机、取料机、堆料机、混匀堆料机形式接近，激光成像系统的安装方式相同。仅以斗轮堆取料机为例，

在大臂前部安装 2 台带高精度云台的激光扫描设备，设备顶部高处安装 2 台带高精度云台

的远距离激光扫描设备。必要时在堆取料臂头部安装超声波传感器，作为辅助检测堆取料操作过程中的煤堆信息。

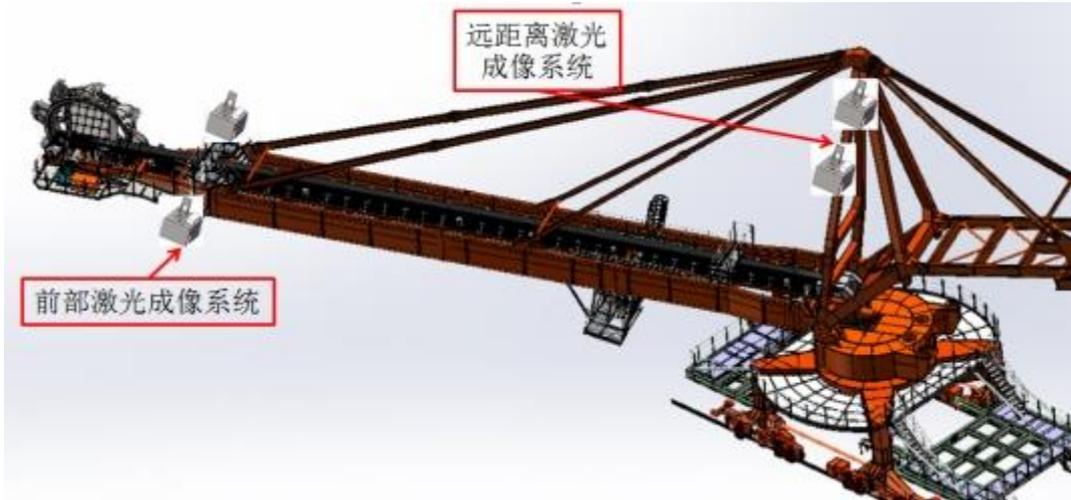


图 2.5 激光成像系统安装位置示意图

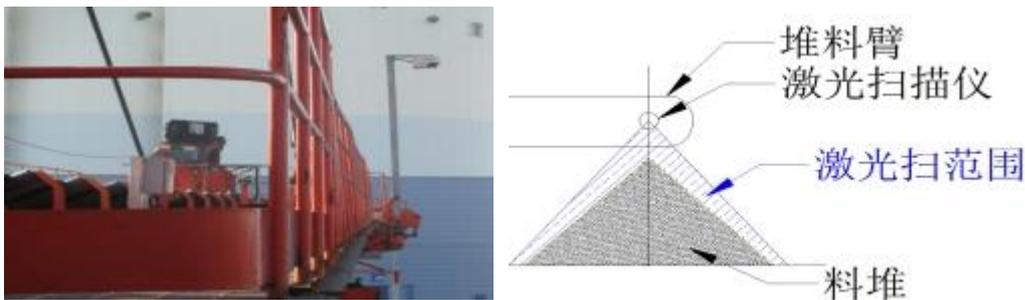


图 2.6 堆取料机大臂前端激光扫描仪示意图

将激光扫描仪安装在堆取料机大臂前端。

其扫描过程为：在进行煤场盘点扫描时，要求堆取料机从煤场的一侧开始，将大臂抬起到最高点后，堆取料机开始前行到煤场的另一侧，在前行过程中完成一侧煤场的扫描，之后堆取料机大臂旋转到另一侧，在旋转过程中，完成两个煤场的头部扫描，旋转完成后，堆取料机再退回到起点，在后退的过程中完成另一侧煤场的扫描，在这整个扫描过程中，堆取料机大臂需要一直处于抬起最高点状态且与煤场垂直。主要问题是扫描过程占用堆取料机，盘煤时间受限制，扫描时需要堆取料机在轨道上进行一次往返运动，同时还有旋转过程，扫描时间，另外在尾车部分有部分的扫描盲区，甚至在煤场高度过高时无法完成盘煤。

## (2) 堆取料机门架顶端安装

顶部两台激光扫描设备负责煤场整体成像。当设备需要对某一工作面进行作业时，通过悬臂头部激光扫描设备对工作区域进行扫描成像，精确得到工作区域的料堆状态。

首次工作时，需要通过设备在煤场上行走一遍得到煤场的原始数据三维模型。工作过程中，

通过前部激光扫描设备对工作区域进行实时扫描，局部更新工作区域的料堆变化数据。中部远距离激光成像系统用于大机设备在执行生产任务或者其他原因不便移动时，对煤场进行远距离成像扫描。成像数据通过无人值守通信系统传送至远端中控室内。

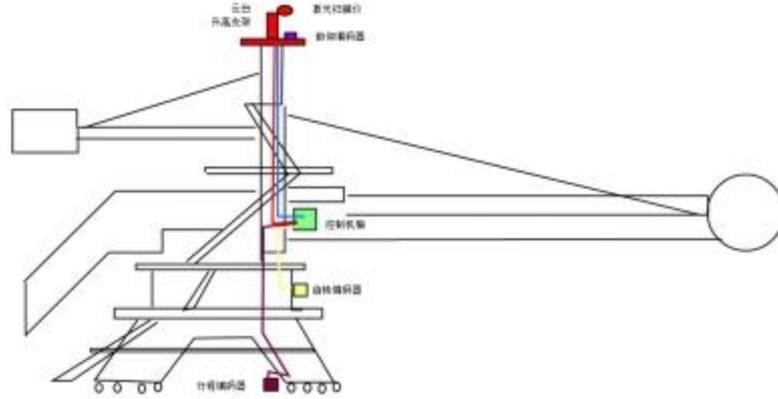


图 2.7 堆取料机门架顶端安装示意图

通过在堆取料机顶部安装支撑平台，将激光扫描仪安装到堆取料机平台顶端，同时，在支撑平台上通过载重云台，实现激光扫描仪的 360 度旋转扫描。在电厂定期整体盘煤时，使用堆取料机为载体将整个煤场进行扫描，堆取煤盘煤在每次堆取料机堆取煤后，对堆取煤部分进行扫描。该方案扫描时，将激光扫描仪通过云台控制，启动盘煤系统，煤场扫描方式为前端部扫描—左、右煤场同时扫描—后端部扫描，整个扫描过程只需要堆取料机行走一次，扫描时间节省短，工作效率高。本方案实现了煤场全断面覆盖式扫描，避免了堆取料机的机械盲区，增加了扫描的精度，且盘煤过程简单，对煤堆没有要求。但是堆取料机顶部需要制作专用平台，受到不同堆取料机顶部的限制安装通用性较差，由于维护时需要上到堆取料机顶部，具有一定危险性。

### （3）煤棚顶部固定式多点安装方式

上述的两种安装方式，煤场盘点作业中传统的安装方式全部需要借助堆取料机才能进行盘点工作。对于具有封闭煤场的煤场，堆取料机作为主要作业机械，可以给予固定式盘煤仪安装和调试的时间有限，且无法做到随时盘点的要求，这些对以后数字化煤场的实施也产生影响。可以有效解决激光盘煤仪需要安装在堆取料机上存在的各种问题，且盘煤精度高。真正做到煤场盘存全面无死角扫描。

根据煤场大小建设不同尺寸的杆塔，在高塔上或煤棚上方的检修走廊上安装不同型号激光扫描仪来实现对煤场表面三维数据的实时采集。再按照激光探头扫描距离布置激光探头控制系统，该系统包括：激光探头、探头防护罩、旋转云台、安装支架、探头控制箱。

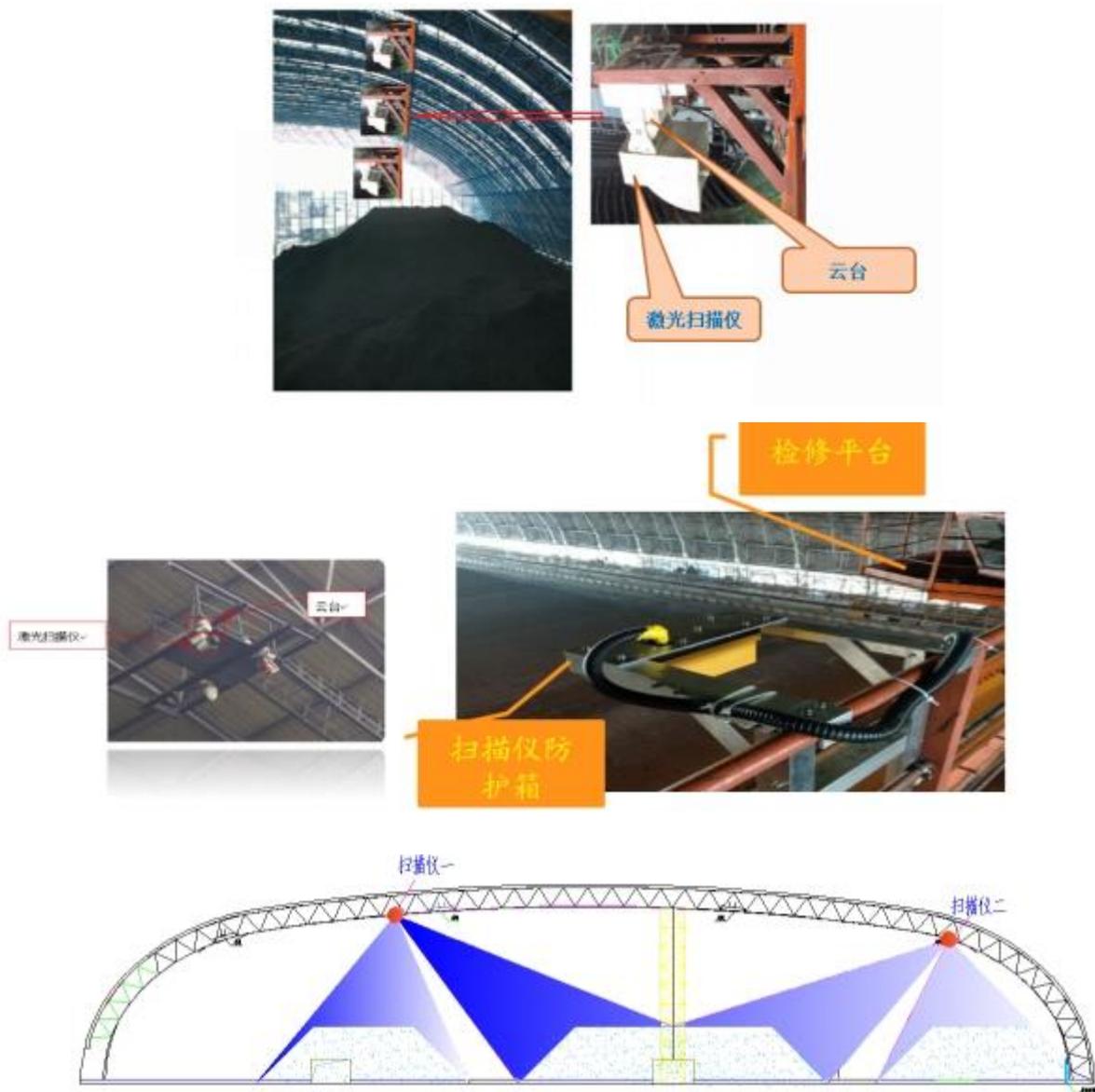


图 2.8 煤棚顶部高塔式多点固定安装方式示意图

其扫描方式为在煤场顶部安装旋转云台，旋转云台下方连接激光扫描仪。扫描时，通过旋转云台的转动，带动激光扫描仪实现煤场的断面扫描。每个扫描仪旋转过程中，扫描出来的是旋转云台旋转过程中的圆形区域，通过多个圆形区域的交叠，实现对整个煤场的扫描。此种方案扫描过程不借助煤场堆取料机，可以随时进行煤场的盘点，远离堆取料机作业时产生的粉尘与振动，扫描过程无盲区，精度高，但是需安装多台激光扫描仪并且安装位置较高，前期投入和安装维护成本高。

假设一个电厂探头对黑色（煤）物体的测量距离是最远 80m，而整个煤场的长度是 260 米，单个煤场宽度是 60 米，为了能够在扫描中全面覆盖煤场范围，需要安装三个探头。如下图：

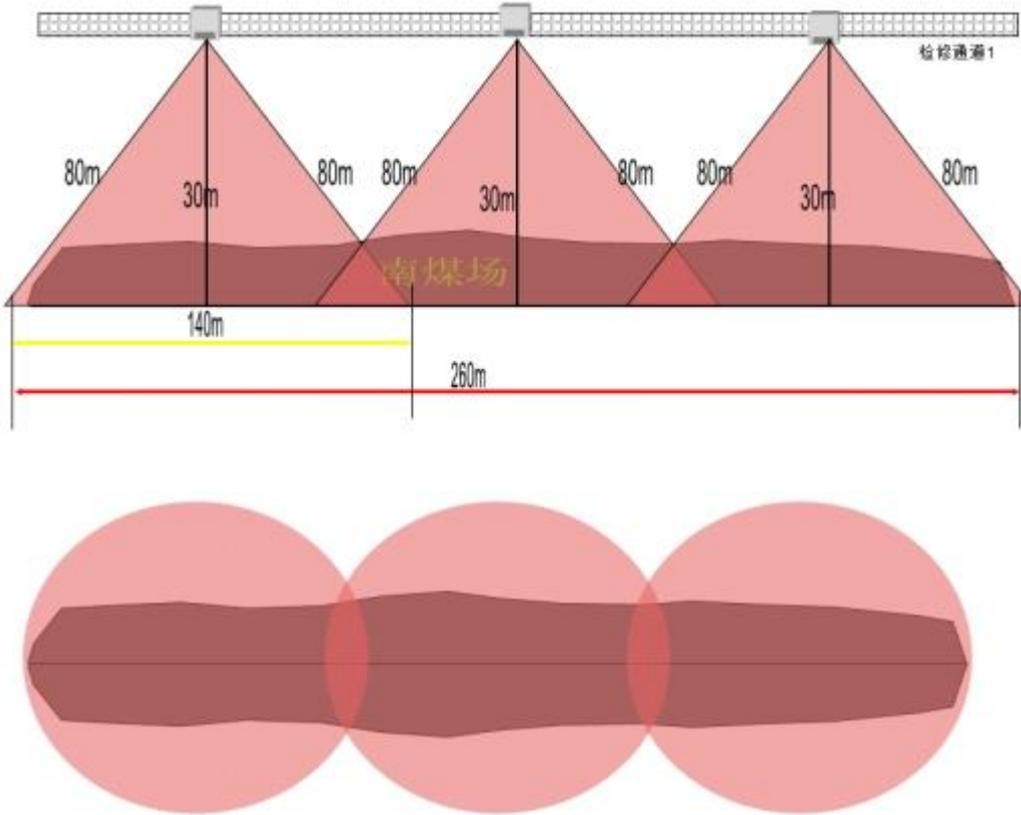


图 2.9 条形煤场盘煤仪扫描范围示意图

如果封闭煤场为圆形煤场，一般在煤场顶部检修平台安装三台红外热成像一体化三维激光扫描系统，三台设备之间间隔 120 度安装，实现对圆形煤场内部存煤无死角扫描，扫描结束后软件自动进行点云规格化及点云拼接。

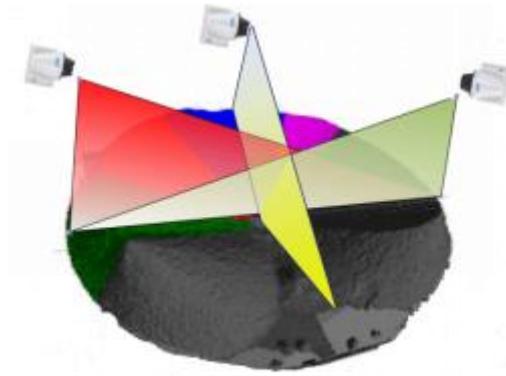


图 2.10 圆形煤场顶部固定式安装（三台盘煤仪）

#### (4) 煤棚顶部滑轨安装方式

对于存在全封闭干煤棚的条形煤场，还可以采用煤棚顶部轨道式智能盘点系统，该套系统方案通过借助干煤棚顶部马道，在其下部安装导轨，通过智能小车带动激光扫描仪进行测量的方式，煤棚顶部滑动轨道方式主要针对煤场有大范围的煤棚的地点使用，通过在煤棚顶部安装

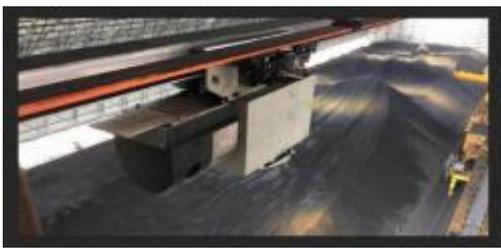
铝合金轨道，通过轨道机器人带动激光扫描仪在煤棚顶部行走完成整个煤场的扫描。

电厂煤场干煤棚一般在顶部附近都预留有检修通道，便于维修煤棚顶部的照明灯相关设施。我公司方案就是借助于这些检修通道作为载体，在检修通过下方安装轨道，通过盘煤机器人加载激光扫描传感器，完成煤场的整体扫描。系统主要有轨道式机器人、扫描定位系统、数据采集系统、盘煤处理系统。

在轨道机器人上配套有扫描仪定位系统，用来确定扫描仪在煤场中的相对位置，安装在铝合金轨道上，与扫描仪一起运行。

数据采集系统获取扫描仪与扫描仪定位系统数据，再传输到盘煤处理系统，完成煤场的扫描。

盘煤处理系统安装在输煤程控室，用来实时获取现场扫描仪盘点数据，同时将数据处理成煤场的实时三维图形以及三维煤场结果。而固定安装的方案由于无法调整自身位置，无法躲避堆料臂或者取料臂的遮挡。



滑轨供电式



蓄电池供电式

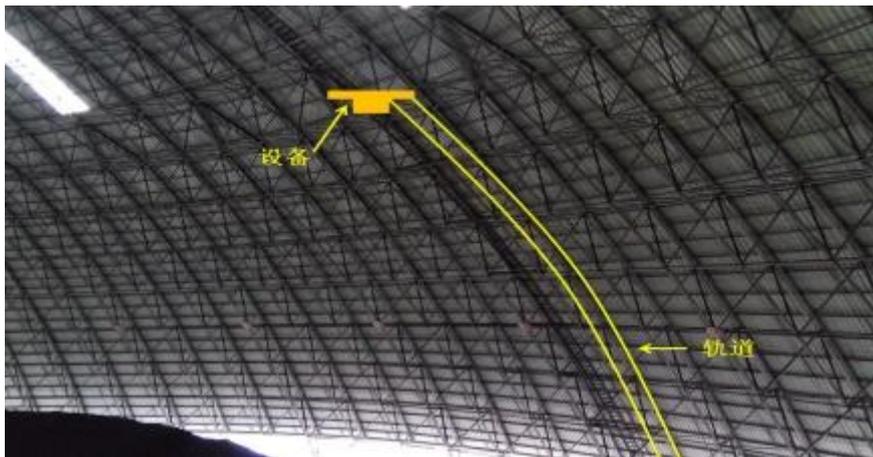


图 2.11 圆形煤场轨道式安装方式

采用密封设计滑线给电装置，搭配粉尘清扫器，清扫器需要定期更换，直供电稳定可靠。机器人本体不易维护，不方便维护检修，当需要维护或出现故障时，将其回收至检修平台进行处理。此外，还有厂家移动机器人采用蓄电池驱动，维护量较大，滑动速度相对较慢。

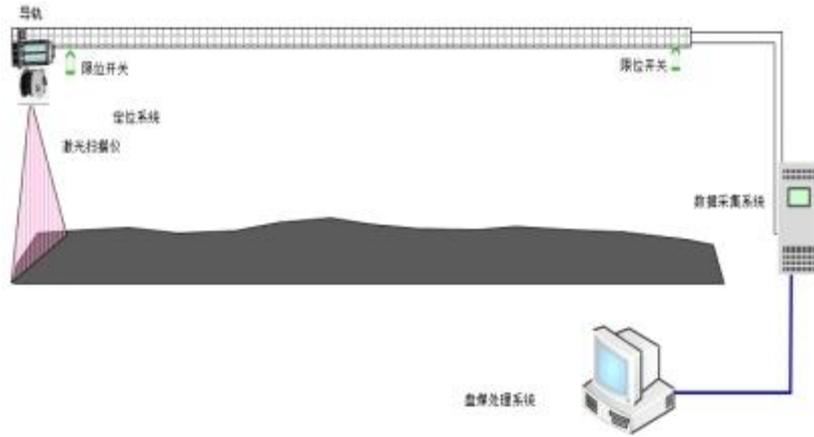


图 2.12 轨道机器人安装及行走示意图

表 2.2 煤棚顶部盘煤仪滑轨式和固定式的对比

安装方式	固定式多点安装	轨道式机器人
投资预算	和煤场面积和形状有关，圆形煤场，轨道式略高；条形煤场，投资相当。	
煤实时性	3-5 分钟	10~26 分钟左右（条形煤场） 5~15 分钟左右（圆形煤场）
业绩情况	较多	业绩不多，能够生产的厂家较少
检修维护便捷性	维护方便，可以通过煤棚现有马道进行维护保养，无需其它设备辅助	借助马道进行维护，但只能在检修平台处进行维护。
可靠性	固定安装，只有云台是运动部件，云台防护等级高，故障率较低。	由于机器人整体需要在轨道上先走运动，传动部件增多，相应增加了故障点。如果小车采用蓄电池驱动，电池需要定期更换，电池使用寿命较短。轨道多年使用以后可能需要平整度维修等。
先进性	很先进，整个盘点在中控室一键完成，无需人为干预，自动化程度高。	很先进，适应工业 4.0 发展，智能化程度高，在中控室即可一键完成盘点。
扩展性	无	可增加传感器如气体监测、红外测温等设备的集成

准确性	较高，尽管有多个扫描仪相互补偿，但极端情况下还是会产生较小的盲区。扫描稳定性好。	最高，完全俯视断面式扫描，无机盲区。但扫描稳定性依赖轨道水平度稳定性不如固定式。
与数字化煤场及堆取料机无人值守的应用	无法调整自身位置，无法躲避堆料臂或者取料臂的遮挡，所以没有巡护功能。 可以通过数字化煤场实现盘点，可通过接口将实时盘点数据反馈给堆取料机无人值守系统，数据刷新频率高	能跟随并协调取料臂作业，实时监控当前作业面，及时反馈踏垛情况，防止碰撞危险 可以通过数字化煤场实现盘点，可通过接口将实时盘点数据反馈给堆取料机无人值守系统，数据刷新频率较慢。

此外，目前还有采用无人机进行盘煤，但还没有应用到堆取料机无人值守，本报告不再介绍。

### 3.2 视频监控系统配置方案

以条形煤场为例，在条形煤场棚架南北两面的墙面上，每隔 70 米，安装配云台高清摄像头。用于识别设备的轮廓，特殊情况下进入煤场的工作人员、车辆等。将画面信号传回中控室服务器，防止设备自身、或者设备和其他人员、车辆碰撞，保证操作环境的安全性。

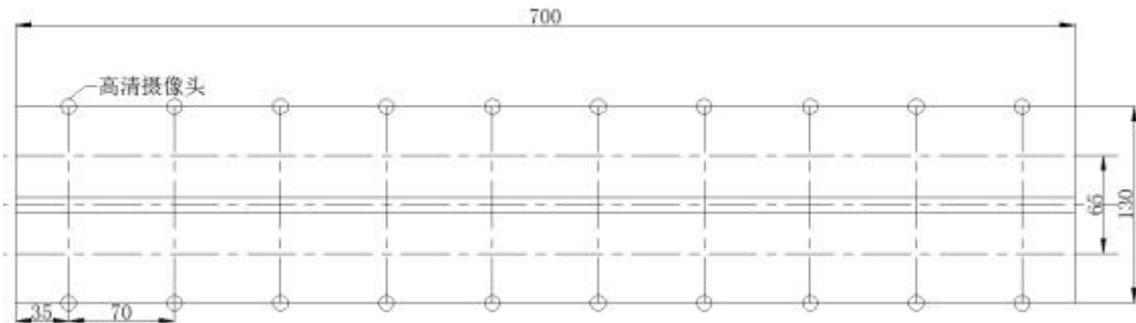


图 2.13 高清摄像头安装位置示意

在堆取料机上安装高清摄像仪，对斗轮堆取料机的行走作业进行全方位监控。



图 2.14 堆取料机视频监控安装示意图

当任何一套安全系统报警时，系统根据传感器报警信息，自动跟踪、筛选离报警区域最近处的视屏信息，在中控室大屏幕上醒目处理（窗口放大等）

### 3.3 移动检测系统配置方案

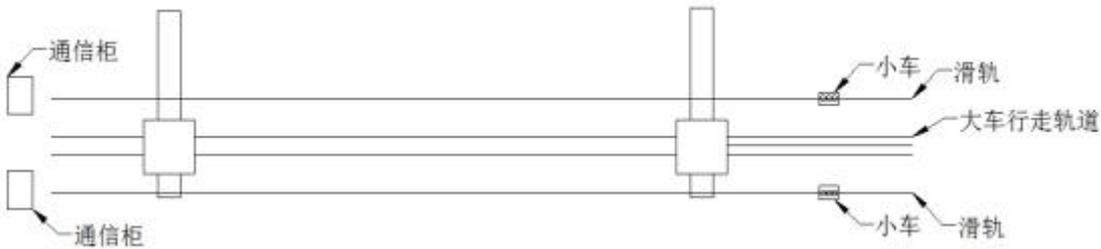


图 2.15 移动检测系统示意图

如图所示，在堆取料机行走轨道的两侧分别布置两条轻轨，轨道吊挂在钢煤棚顶上，每条轻轨上布置有可移动小车，小车上设置可 180 度旋转的云台，分别搭载一套红外摄像机和一套可燃有毒气体检测仪。在轻轨的末端，设置两个通讯箱，为轻轨上安装高速高精度小车和小车上的所有设备提供电力和通信条件。小车和通信柜之间采用拖链或者托令的方式连接。每条轨道上的设备主要负责对自身一侧的煤堆进行实时监测，必要时也可辅助另一侧煤堆的实时监测。

### 3.4 定位系统配置方案

为实现设备的无人值守控制，对运行设备的定位要求较高。故采用绝对值型编码器、扫码定位系统、射频定位系统、激光定位、UWB 定位等多种方式相互协作，提供设备的精确定位。包括堆取料机行走定位、起升机构定位、斗轮小车定位、移动皮带小车定位等。斗轮堆取料机定位系统的组成见下图：

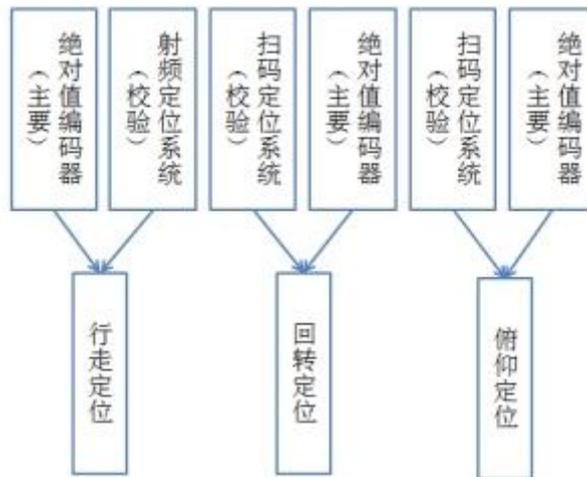


图 2.16 斗轮堆取料机定位系统

整套系统采用以绝对值型编码器定位为主，扫码定位、射频定位系统为辅的定位方式。在

正常状态下，服务器平台采用编码器数据作为堆取料机定位数据。对设备行走、俯仰、回转加装绝对值编码器；对设备俯仰、回转定位中加装扫码定位，当编码器定位数据超出扫码定位系统数据误差范围时，需要根据堆取料机设备信息重新校核定位系统的定位基点；对堆取料机行走加装射频定位系统，当编码器定位数据超出射频定位系统数据误差范围时，立即根据就近的射频定位数据来重新校核编码器。

分别在堆料臂、取料臂的头部、尾部、和中间位置设置高识别的条码或者凹凸识别物，通过顶棚激光扫描设备来识别设备的实时状况，数据传回中控室，提供设备定位信息，安全操作。



图 2.17 识别码安装位置

### 1. 绝对值型编码器

对堆取料机行走、回转悬臂变幅使用绝对值编码器，采用和现场配套的通讯协议方式，将三组编码器的数据传入 PLC 中，实时检测变幅角度变化并将采集到的数据传入 PLC 进行处理，方便中控室对堆取料机运行情况进行控制和观察。



图 2.18 绝对值型编码器

绝对值编码器主要安装在行走机构从动轮中心轴处，回转机构，以及变幅机构。安装位置如下图。



图 2.19 行走编码器安装位置示意图



图 2.20 设备回转和俯仰编码器暗转位置示意图

对移动皮带小车从动轮进行改造，增加绝对值编码器，利用移动皮带小车的左右限位开关对绝对值编码器进行校核。以此来获取移动皮带的位置。



图 2.21 移动皮带小车绝对值编码器安装位置示意图

## 2. 扫码定位

基于绝对位置测量，无需参考点，不受断点影响。定位精度达到 $\pm 0.1\text{mm}$ 。扫码定位系统主要由码带、读码器和传输电缆三部分组成。

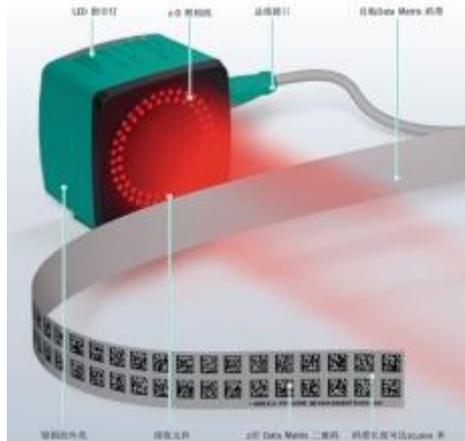


图 2.22 扫码定位系统

条码定位系统有两个设备，一个扫码设备和一条码带。安装在俯仰和回转平台机构处，辅助编码器确定俯仰角度和回转角度。安装如下图所示。



图 2.23 扫码定位安装示意图

### 3. 射频识别系统定位

该定位系统用于堆取料机行走机构，通过传感器识别数据存储器里面的数据，再将传感器接收到数据通过智能信号放大器，最终将信号传送给 PLC。通过在堆取料机行走轨道一侧每隔 20m 安装数据存储器，来实现堆取料机行走的定位，该定位可配合绝对值编码器确定行走位置，也可用来校核绝对值编码器的误差。

射频定位系统分为两部分：读写器和标签。标签类似于名片，安装于地面皮带安装支架上，侧面安装。读写器安装于大机在移动时上下浮动不大的主梁上，通过安装支架安装于标签附近，侧面安装。



图 2.24 射频定位系统安装

#### 4. UWB 定位

UWB（超宽带）技术是近年来新兴的一项全新的、与传统通信技术有极大差异的通信无线新技术。它不需要使用传统通信体制中的载波，而是通过发送和接收具有纳秒或纳秒级以下的极窄脉冲来传输数据，从而具有  $3.1 \sim 10.6\text{GHz}$  量级的带宽，在无线定位领域具有良好的前景。

超宽带定位技术常采用 TDOA 演示测距定位算法，就是通过信号到达的时间差，通过双曲线交叉来定位的超宽带系统包括产生、发射、接收、处理极窄脉冲信号的无线电系统。而超宽带定位系统则包括 UWB 接收器、UWB 标签等。定位过程中由 UWB 接收器接收标签发射的 UWB 信号，通过过滤电磁波传输过程中夹杂的各种噪声干扰，得到含有效信息的信号，再通过中央处理单元进行测距定位计算分析。

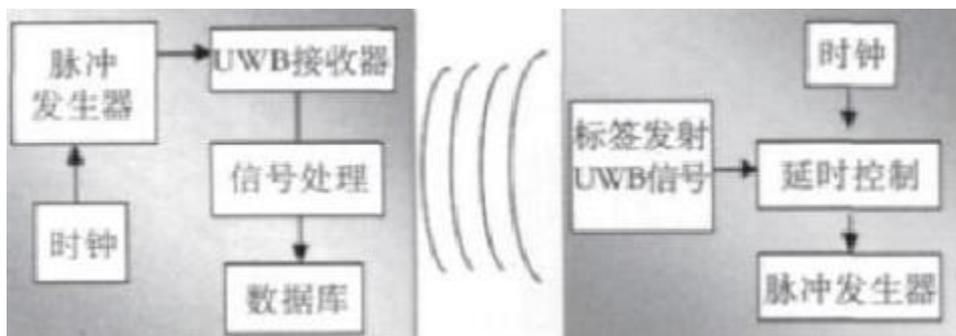


图 2.25 UWB 定位结构

UWB 定位优势：

- 测距精度高，点对点测距精度为分米级，定位精度为亚米级。
- 相比于其它精准定位方案，综合成本大大降低，系统性价比高。
- 系统中不同角色设备（如标签、信标等）硬件架构一致，通过选择不同的运行参数，同一设备可以在不同角色间动态切换。
- 设备运行所需的主要参数可以通过外部开关或者远程命令的方式灵活配置。

➤ 系统成熟度高，可以长时间稳定工作，免托管、免维护。

UWB 定位技术在堆取料机无人值守定位系统中应用方案如下。

以一个长 400m，宽 50m 的煤场为例，而标签到信标的最长距离约为 200 米，在大棚两侧立柱上各布置 2 个信标，在挡风墙上布置一个信标，在没有大棚的左右两边的轨道上各布置一个信标，在斗轮小车上布置一个标签，在起升机构上布置一个标签，在移动皮带小车上布置一个标签，还有行走机构上布置一个标签。总计布置七个信标，四个标签。四个信标即可定位标签的位置。当堆取料机堆取料机行走或堆取料作业时，通过定位标签计算出斗轮堆取料机实时行走坐标和堆取料机构的实时坐标，并用来参与无人值守控制。该定位系统布置需要在以上安装位置处布线，提供直流 24V 电源。下图为信标及标签示意图。沿堆取料机行驶轨道左右两侧终端的两个信标未在下图中体现。



图 2.26 UWB 系统安装位置示意图

### 3.5 料位监测系统配置方案

料位检测系统用于检测设备工作时设备本体和物料之间的距离，一方面判断设备的工作负荷，取料机检测吃料深度，堆料机检测料堆的实时堆料高度，另一方面保障生产任务安全执行，防止事故发生。超声波传感器安装在悬臂头部，安装位置大致如下图所示，主要用来检测侧下方和下方料堆的距离。

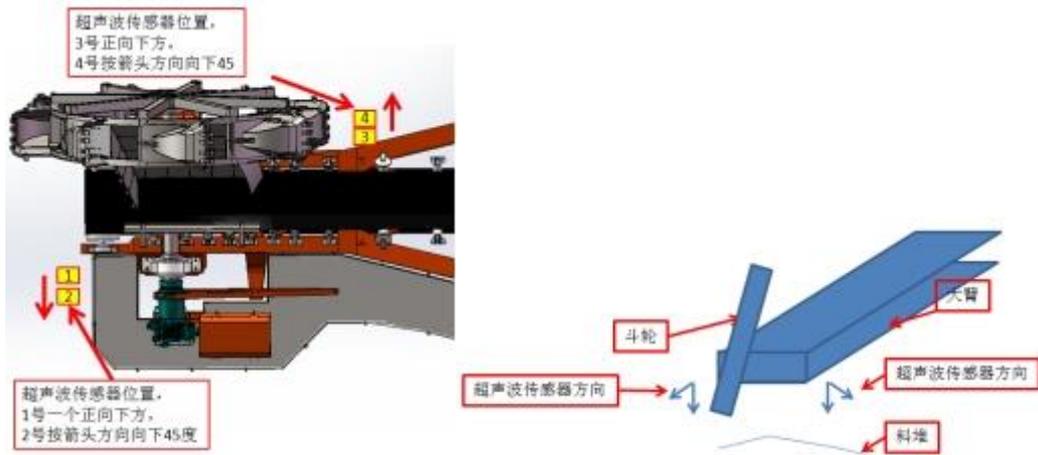


图 2.27 料位系统安装示意图

### 3.6 防碰撞系统配置方案

煤场堆取料过程中的设备数量较多，并且相互之间都有重复的工作区域，防碰撞系统同可以有效得避免执行生产任务过程中设备之间发生碰撞。目前，应用比较多的方案为，三重防碰撞系统，第一重为雷达、激光防护，第二重为模型算法防护，第三重为拉绳开关防护。

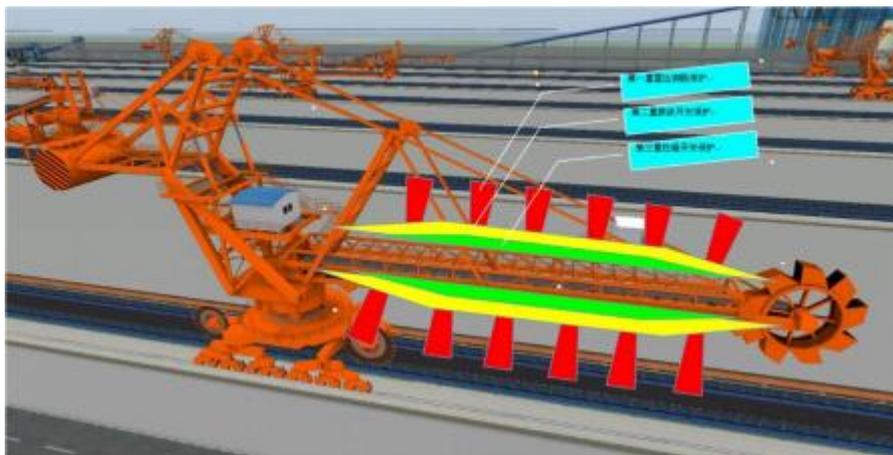


图 2.28 重防碰撞系统配置示意图

臂架防碰撞系统，配备激光雷达防碰、拉绳防碰和基于高精度定位定姿系统，料堆三维模型等软件等防碰撞装置和系统。下面对激光防护进行介绍。

激光扫描仪通过测量发射单点光束与物体反射光束的时间差得到被测物体之间的距离，该值是一维或二维空间值，但堆取料机的任何动作都是在三维空间内进行的。因此利用激光扫描仪测量距离远、范围大，测量数据实时性高、响应速度快等特性，结合堆取料机走行、俯仰、回旋编码器采集到的堆取料机三维空间运动坐标数据，将一维或二维空间距离转换到三维空间内，使扫描仪形成一个运动的扇形扫描区域。

激光防碰撞系统采用两台激光扫描仪，安装在悬臂前部左右两侧，形成防护区域。安装的

具体位置视现场情况而定，一般而言需安装在悬臂最易与料堆发生碰撞的部分。为更好地满足堆取料机防碰撞要求，同时又能给悬臂最大的运动空间，为堆取料机设定了两级防护区域。第一级是减速区域，堆取料机运动过程中悬臂与料堆相距较近时，堆取料机机构的运动速度要自动降低，以慢速运动；第二级是紧停区域，当堆取料机运动过程中悬臂与料堆相距很近时，堆取料机机构的运动必须马上停止。进入紧停区域前，堆取料机机构已进入减速区域，机构运动速度已经很低，运动惯性很小，能真正做到马上停止。下图为激光扫描仪大致安装位置。

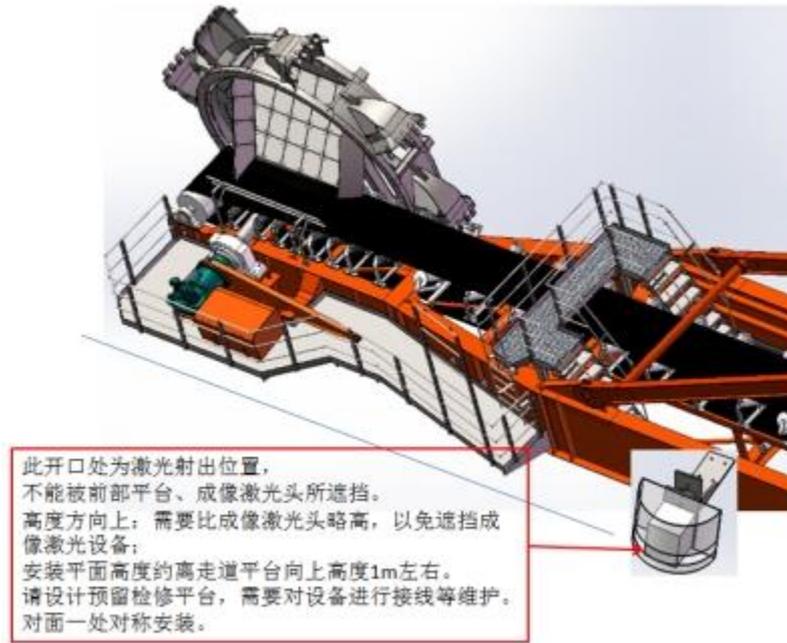


图 2.29 激光防碰撞设备安装示意图

### 3.7 智能控制优化系统配置方案

煤场中设备原有的 PLC 系统一般都相对独立，无法和其他设备进行交互管理，设备的独立性导致无法满足无人值守的控制要求。同一煤场有多个设备作业时，需要对每台设备的 PLC 进行作业优化，一方面提供设备运行的优化参数，另一方面，对设备进行生命周期管理。减少设备的维护成本。以达到协同作业目的。

采集大机设备中主要作业部件的电气特性，将设备的特性参数导入数据库进行模拟分析。所有设备上的数据，通过升级后的 PLC 系统，将数据以工业以太网的形式传送至中控室服务器。由中控室服务器对下属 PLC 进行统一管理。真正做到分散控制、集中操作、分级管理、配置灵活。

堆取料机在取料作业的时候最直接和物料接触，故也是最直接反应当前负载的机构，需要采集以下具体关联参数：斗轮实时电流，实时电压，实时功率，在这些参数中还需要对斗轮或

者刮板回转速度、角度位置、取料时堆取料机行走的速度、斗轮或刮板下降的速度、皮带电机实时电流、实时电压、实时功率等参数进行综合分析。具体的操作方式是在安装采集变送器，对每台设备先采用便携式功率分析仪对上面参数的变化进行初步的采录分析，如果参数只涉及到电流变化明显，直接从软启动器内读取数据；再安装相应的采集器并按照分析结果设置规格化参数。采集完的数据传送至服务器平台进行平行算法分析，统一建模。

### 3.8 其他辅助系统配置方案

#### 1. 无人值守通讯及供电系统

无人控制系统增加的激光扫描设备根据设备位置就近加装电气控制柜。原则上其他设备直接由设备上低压电气房提供通讯和供电，根据需要也可通过加装的电气控制柜进行中转。通讯则采用光纤或者无线的形式，建议采用光纤，将信号实时、稳定、可靠的传至中控室，以达到设备无人控制的准确性、安全性。现场需要提供设备与中控室的光纤或者无线通讯系统。

#### 2. 高精度云台系统

对现场的激光成像扫描仪加装高精度云台系统，转动精度达到 0.01 度，通讯效率高。目前市场上大多数云台通讯采用串口通讯，通讯效率低，同步性低，对物料成像造成误差影响。用于无人化控制的云台需通过工业以太网的方式将数据发送至服务器，优化激光扫描设备数据采集和云台转动角度之间的同步性。服务器在获取激光点云数据的同时，获得角度方位信息，得到高精度料堆数据。

#### 3. 智能平衡控制系统

为提高激光扫描的成像精度，需要对成像激光扫描设备进行水平处理。由于激光扫描仪的安装精度问题和设备运动原因，会造成激光扫描仪倾斜，会给煤场的成像带来误差。对激光扫描成像系统加装智能水平控制系统，可以很好的避免此类误差的产生，提高了煤场成像精度，进而提高了无人值守作业的安全性。

#### 4. 激光扫描仪外壳保护系统

露天煤场环境恶劣。设备会遭受腐蚀空气，粉尘，物料打击、日晒雨淋等侵袭。激光扫描仪防护等级 IP67。为了设备能更长时间的服务于系统对设备加装外壳保护装置，延长设备服务周期。

## 4 堆取料机全自动智能化作业系统应用案例调研情况

### 4.1 国能谏壁电厂概况

国家能源集团谏壁发电厂位于江苏省镇江市东南约 15km，在长江南岸，处于苏南电网中心，是华东电网的主力电厂之一，目前共有 2×330MW（#11 、#12 机组）、2×1000MW（#13 、#14 机组），全厂总容量为 2660MW。



图 4.1 谏壁发电厂

煤场分为#4、#5、#6、#7A、#7B、#7C 煤场，设计储量为 56 万吨。（7C 圆形料场堆取料机正在建设中）

#7A、#7B 煤场为全封闭圆形煤场，直径 93 米，煤场作业机械为圆形堆取料机，堆取料机由长春发电设备有限责任公司于 2010 年建成并投入运行。均为额定堆料 3000t/h，取料 1500t/h。卸煤系统皮带机规格为：B=1600mm，V=2.5m/s，Q=3000t/h。上煤系统皮带机双路布置的规格为：B=1200mm，V=2.5m/s，Q=1000t/h。

该项目对 7B 圆形煤场堆取料机进行智能化改造，实现 7B 圆形煤场内堆取料机智能无人值守功能，由南京国电南京环保科技有限公司负责无人值守智能化改造，堆取料机无人值守系统于 2020 年 5 月正式投入运行。



图 4.2 #7B 圆形煤场及卸煤码头

## 4.2 项目调研过程

### 4.2.1 调研内容

本次调研于 2020 年 8 月 3 日至 8 月 7 日进行，我院工程技术中心电气室史沁鹏、姚四旺以及中南院和广东院同行一行 4 人，先于 2020 年 8 月 3 日至 8 月 5 日在南京对南京国电南京环保科技有限公司进行调研，听取技术人员对堆取料机无人值守以及其他燃料智能化管控系统进行介绍，并对其生产车间进行参观。此后，8 月 6 日至 8 月 7 日，赴江苏镇江对国电谏壁电厂进行调研，在电厂相关专业技术人员的陪同下，调研组参观了数字化煤场管控中心，并实地考察了#7B 圆形煤场内堆取料轮机的工作情况。

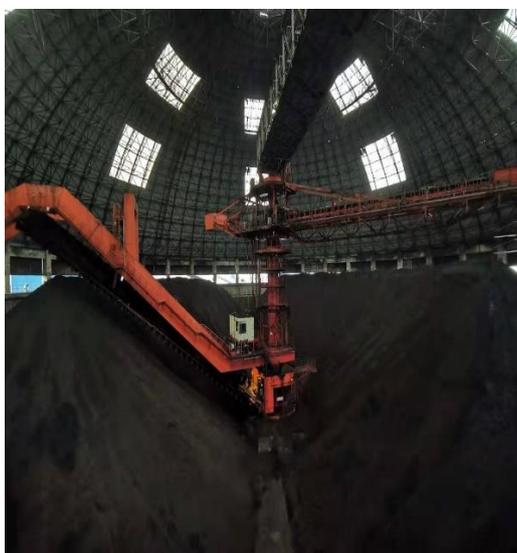


图 4.3 #7B 圆形煤场堆取料机



图 4.4 谏壁电厂数字化煤场管控中心



图 4.5 煤场三维界面

该项目结合#7B 圆形煤场堆取料机实际工况设计，系统通过开发建设堆取料机定位系统、三维煤场动态测控系统、安全防撞保护系统、堆取料机测声测温测振系统、UWB 人员安全定位系统、智能人脸识别系统、煤场测温系统、高清视频监控系统以及升级原有 PLC 控制系统，在煤场动态智能管控的基础上，实现了堆取料机无人值守全自动化运行。



图 4.6 堆取料作业操作界面

系统主要功能包括实现堆取料机作业煤场区域选择、堆取料机作业模式（堆料/取料/分流）、一键起停、全自动堆取料作业，以及堆取料机各种工作模式的无扰动全自动切换；实现输煤程控室远程实时视频监控及智慧大屏展示功能；实现输煤程控室内远程操控、紧急停机功能；实现煤场人员进出安全管控及场内作业人员安全定位管控；实现堆取料机无人值守系统测声测温测振功能；实现堆取料无人值守系统与输煤程控 DCS 数据交换，辅助配煤掺烧任务计划，并可根据需要具备将生产数据传入燃料 DCS 达到接入 SIS 的接口，具体内容如下：

#### 1) 激光扫描子系统配置：

每个煤棚顶部固定安装三台三维激光扫描仪。该系统工作时，多台三维激光扫描仪同时工作，共同完成全部料场的测量工作。圆形堆取料机无人作业系统和扫描仪生成的三维煤场模型共享，知道无人作业。

#### 固定式激光雷达参数：

10%反射率： $\geq 100$  米；

角分辨率： $0.0225-0.09^\circ$  ，

扫描角度： $\geq 90^\circ$

扫描频率：20Hz/40Hz

工作温度：-50 到  $50^\circ\text{C}$

#### 2) 堆取料机防撞避撞智能传感器系统：

运用超声波技术，加装超声波传感器，防止刮板机、堆料臂与煤堆或其他物体碰撞，实现生产作业三重安全防护。调研工程在每台圆形堆取料机大臂左右和下部、堆取料机前后部安装若干套毫米波雷达防撞装置。在正常作业中，毫米波波防撞装置进行实时检测，当检测到大臂周围预警区（可自行设置）内有障碍物时，毫米波雷达立刻报警，同时将对应的开关量信号或者模拟量信号传入对应的 PLC 中，PLC 接受到信号后立刻进行处理，进行预判断发出警报。而当大臂继续靠近，进入危险区（可自行设置）时，PLC 立刻做出停机的命令，防止大臂继续动

作，从而阻止安全事故的发生。同时软件也会实时获取堆取料机大臂位置，通过计算得出离料堆点云的距离，当距离过近时报警提示。

堆取料机、俯仰、旋转机构有各种硬件和软件的保护限位，如编码器软限位、硬件防撞限位等。当堆取料机、俯仰、旋转机构到达预定的保护终点而没有停车的时候，极限保护立刻动作，切断电源。同时，故障报警器响起，此时表示机构已经达到极限状态。

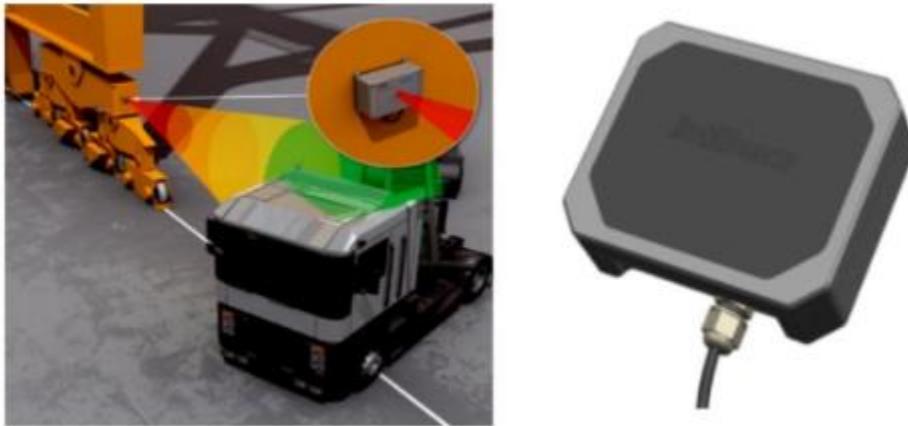


图 4.7 堆取料机前后毫米波防撞



图 4.8 大臂毫米波防撞

毫米波雷达参数：

雷达工作频段：77GHz~79GHz

有效探测距离： $\geq 60$  米

测距精度：0.2m

测速范围：-210km/h~+210km/h

测速精度： $\pm 0.3$ km/h

工作电压范围：9V~30V

温度范围： $-40^{\circ}\text{C}$ ~ $+85^{\circ}\text{C}$

防护等级：IP67

3) 堆取料机料堆料位智能传感器：加装雷达波料位计用以测量在堆料时煤堆的高度，实现自动堆料。

4) 中心料仓高精度料位传感器：加装雷达波料位计用以测量中心料仓内料位的高度，实现自动智能加仓。

5) 高精度定位识址系统：加装高精度绝对值编码器以及 RFID 校准装置、传感器等，实时获取堆料臂、取料臂、刮板机姿态位置参数，通过 RFID 校准装置进行实时校准，实现动态高精度定位。大车采取绝对值编码器定位+RFID 校验，俯仰采用绝对值编码器定位+倾角仪，旋转采用绝对值编码器+RFID 校验。大车定位选择编码器作为位置检测，使用 RFID 进行校验及辅助定位。俯仰选择绝对值编码器为主，倾角仪为辅的方式检测和校验俯仰角度。旋转采用编码器为主，RFID 为辅检测和校验旋转角度。

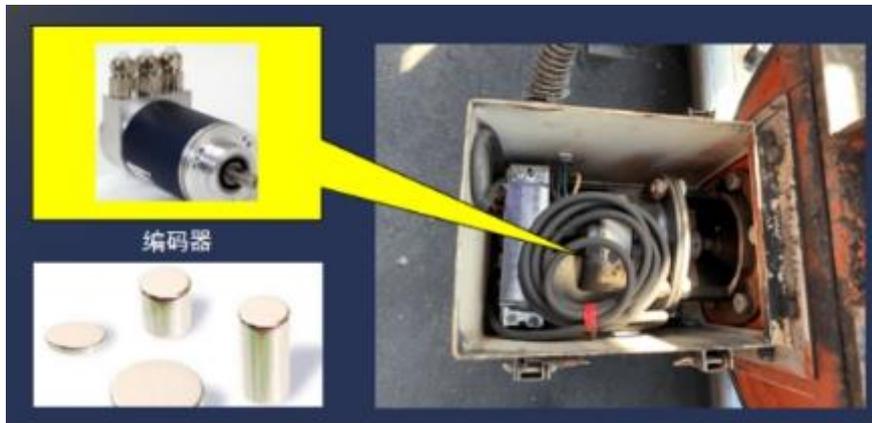


图 4.9 现场编码器安装图

6) 料流量子系统：

在圆形堆取料机上取料皮带上分别安装一只料流量激光雷达，通过激光扫描获取皮带上物料的顶部轮廓坐标数据，根据实时测量得到的皮带速度，可以计算得到皮带上物料的瞬时流量（立方/秒）和总流量，结合密度算出重量。



图 4.10 料流量激光雷达现场安装图

料流量激光雷达参数：

10%反射率 0.5 到 20 米

角分辨率 0.06-0.25°

扫描角度≥180°

扫描频率 25Hz/50Hz

工作温度-40 到 50℃，

7) 三维动态测控系统：在堆料臂两侧加装激光扫描装置，实现整个煤场包括附属建筑物和堆取料机的三维建模，实现煤堆按属性不同分堆、分层展示，可实时计算煤场的存煤体积及盘盈、盘亏吨数，同时实现智能边界取料，在自动加仓时能够实时探知刮板机两侧的煤堆界限防止碰撞，真正实现边角自动智能取料处理，实现无人干预。

7B 取料		7B 堆料	
7B 取料状态:	7B 取料实时数据:	7B 堆料状态:	7B 堆料实时数据:
取料臂回转: 停止	取料臂回转柱号: 5.12	堆料臂回转: 停止	堆料臂回转柱号: 29.23
取料臂变幅: 停止	取料臂变幅角度(度): 18.11	堆料皮带机: 停止	堆料料堆高度左(m): 20.11
刮板机: 停止	刮板电机1电流(A): 0	堆料臂故障: <input checked="" type="checkbox"/>	堆料料堆高度右(m): 20.12
取料臂故障: <input checked="" type="checkbox"/>	刮板电机2电流(A): 0	取料上限设置位: <input checked="" type="checkbox"/>	堆料皮带电流(A): 0
刮板机故障: <input checked="" type="checkbox"/>	取料臂远程回转频率: 0	取料左转停止限位: <input checked="" type="checkbox"/>	C9B皮带称瞬时流量: 0
7B 取料任务参数:	左超声波预警: <input checked="" type="checkbox"/>	取料右转停止限位: <input checked="" type="checkbox"/>	堆料左转停止限位: <input checked="" type="checkbox"/>
任务小柱号: 0	右超声波预警: <input checked="" type="checkbox"/>	取料左转防撞1: <input checked="" type="checkbox"/>	堆料右转停止限位: <input checked="" type="checkbox"/>
任务大柱号: 0	中心料仓料位值: 33.33%	取料右转防撞1: <input checked="" type="checkbox"/>	7B 堆料任务参数:
当前小柱号: 0	C10B皮带称瞬时流量: 0	取料左转防撞2: <input checked="" type="checkbox"/>	当前运动方向:
当前大柱号: 0	堆取料臂夹角(柱): 0	取料右转防撞2: <input checked="" type="checkbox"/>	任务小柱号: 0
取煤方式: 未取料		通讯: <input checked="" type="checkbox"/>	任务大柱号: 0
			距离边界: 0 (柱)
			设定料高: 0 (m)

8) 高清视频监控系统：在机上关键部位安装高清摄像系统，实现在输煤程控管控中心，实时监控堆取料机的现场作业工况。本调研工程堆取料机无人值守系统的工业电视(ITV)系统的视频信号可在远程操作中心大屏上、远程操作台或其他安装视频监控客户端软件上访问。在

堆取料机的各个关键部位应安装工业高清数字摄像机，图像通过视频网络传送至远程智能操控及调度指挥中心及司机室。堆取料机在作业过程中，运行人员可以实时监视设备当前的运行情况，实现堆取料机全方位监视。系统中每台堆取料机配置 11 个摄像头：前大梁斗轮处、悬臂落料点处、悬臂上皮带监控、悬臂下部监控、尾车皮带运行监控、堆取料机司机室、回转平台、动力电缆卷盘、控制电缆卷盘、堆取料机四方向、电气房及其他关键部位。工业电视系统需在司机室内配置图像监视器，并能自由进行监控画面切换和配置（可支持快速切换，通过切换按钮可以同时同步切出堆料、取料多个视频监控）。

视屏监控主画面如下：



图 4.11 视频监控系统视屏监控主画面

每台堆取料机的 11 台摄像机，具体如下：

摄像机 1：半固定摄像机 监控斗轮部分（立杆安装）

摄像机 2：室内半球摄像机 监控司机室

摄像机 3：一体化云台摄像机 监控全局

摄像机 4：室内半球摄像机 监控电气室

摄像机 5：半固定摄像机 监控上部落料区域

摄像机 6：半固定摄像机 监控大臂下方斗轮区域

摄像机 7：半固定摄像机 监控大机前进轨道区域

摄像机 8：半固定摄像机 监控下部落料区域

摄像机 9：半固定摄像机 监控尾车皮带

摄像机 10：半固定摄像机 监控大机后退轨道区域

摄像机 11：室内半球摄像机 监控配电室

9) 智能测温测振测声系统：在堆取料机转动部分安装测温装置并实时采集显示于系统界

面，对温度进行监控；在重要敏感电机及减速机上加装测振装置并实时采集，对机械振动进行监控。通过测温测振系统能够实时反应堆取料机各转动部分运行状态，便于了解设备的稳定性。通过在系统内设定报警值，当某个单元超过设定值后在远程提示报警，通知人员查看并处理；关键运动部位增加声音采集器，从而将现场实际声音采集反馈回控制中心，并通过报警功能设定报警值进而达到预警作用。

10) 网络通讯子系统配置：调研项目通信部分采用两种方式实现，分别是局域网有线光纤通信方式和 5G 无线通信方式。斗轮机和地面基站采用无线通信，集控室与堆场地面基站采用光纤通信。通信通道分为控制和视频两路通道。

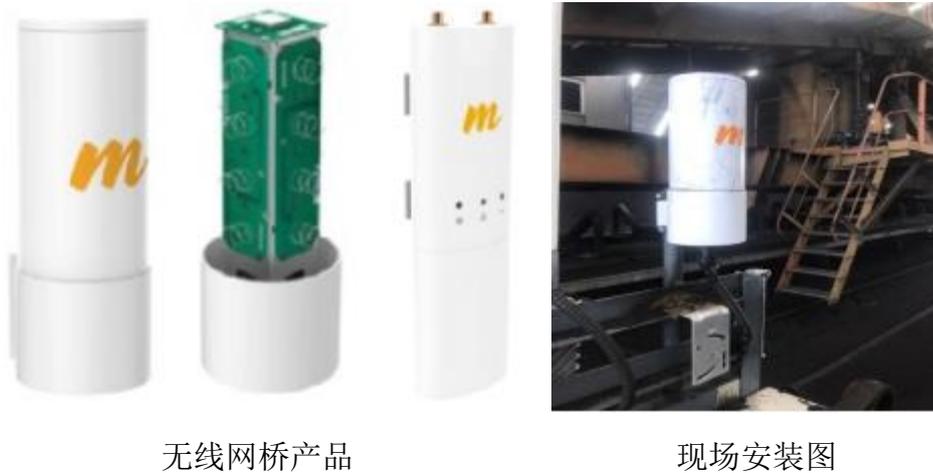


图 4.12 现场无线网桥及现场安装图

其中采用的无线网桥参数如下：

最大吞吐量：550Mbps 以上，物理层速率 866Mbps

无线协议：WIFI 互联

MIMO 和调制方式：2x2: 2MIMO OFDM，最高到 256-QAM

GPS Sync 模式：4900-6200MHz

最大发射功率：27dBm

POE 供电被动式 POE 12-56V

千兆网口：10/100/1000-BASE-T

多用户 MIMO: 设备采用波束赋形技术，同时向多个用户发送

室外防护等级：IP67

工作温度：-40℃~+55℃

工作湿度：5 至 100%冷凝

RoHS 认证、UL/EC/EN、FCC Part 15.407 and Part 90Y, IC RSS210, CE, ETSI 301 893/302 502

11) 控制子系统：本调研项目堆取料机无人之后为改造项目，改造后的新增 PLC 系统架构独立，原堆取料机上的 PLC 系统不受任何影响；堆取料底层控制算法，执行速度快、纠错能力强；核心“心跳”控制算法，保障系统整体稳定运行。



图 4.13 改造后 PLC 远程通信子系统

12) 智能人脸识别系统：在煤场进出口位置安装人脸识别系统，从而达到实时监控人员进出煤场信息，实现煤场人员安全管控。

13) UWB 人员安全定位系统：在煤场内安装人员 UWB 人员定位系统，实现人员煤场内作业定位及场内管控。





经调研，通过上述各项智能化改造，谏壁电厂#7B 圆形煤场实现了符合生产实际的堆取料机全自动无人作业控制系统，真正实现现场脱人，堆取料无人值守自动作业。

#### 4.2.2 调研项目技术特点

调研项目堆取料机无人值守系统除了 4.2.1 节的各子系统配置方案外，无人值守系统还具有以下特点：

1) 实现取料防撞避撞保护：安装高精度超声波传感器，实现物体与刮板的防撞避撞。系统中设定报警阈值距离以及停机阈值距离，当物体（煤堆或其他物）距离小于报警距离时，系统做出告警提示；当距离小于停机距离时，系统自动停止取料旋转，防止刮板撞击物体，实现智能防撞避撞。

2) 实现取料堆料行走姿态高精度校准：配置高精度 RFID 校准装置，保证堆取料姿态信息的准确可靠。

3) 实现堆取料夹角保护：采用高精度绝对值编码器，在程序内通过计算取料与堆料部分角度的夹角，并设定报警角度与停机角度，智能判断与控制。通过此保护显著减小碰撞机会，实现智能夹角保护。

4) 智能自动边角精细取料：实现煤场三维高精度建模的同时，实现边角智能自动取料，无人干预（国内大部分圆煤仓堆取料无人值守系统在边角处需要人工介入取煤操作）。

5) 智能移动定点堆取料：与国内同类型项目相比，谏壁电厂实现一键自动定点移动，无

需人工操作，自动进行移位操作，自动堆取料。

6) 实现煤场人员非法入侵保护：无人值守项目中，创新性的利用 UWB 人员定位系统，实现人员煤场内作业定位及场内管控；在煤场出入口处安装人脸智能识别系统，实现煤场人员进出授权，当有人员进入煤场内时，能够在程控室内提示，从而排除人员误操作风险及安全隐患。

7) 实现堆取料机声音采集及监控：在堆取料机上安装声音采集装置，解决无人值守控制模式下声音采集需求，并通过网络传输至远方程控室内。通过设定告警阈值，当采集声音超过报警阈值时，在程控室内提示报警，远程操作人员查看并处理。

8) 实现堆取料机测温测振及监控：在堆取料机关键部位安装测温测振装置，通过测温测振系统能够实时反应堆取料机各转动部分运行状态，实现现场脱人情况下，堆取料机作业安全生产。

### 4.2.3 调研项目运行情况

该项目于 2020 年 5 月份投运，总体上运行平稳。实现了任务下发一键堆料、一键取料的自动作业，有效降低了劳动强度，提升了设备安全高效运行水平。

## 4.3 调研项目经济效益分析

项目实施后，综合效益显著，能改善劳动环境，提高设备可靠性和安全性，提高劳动效率，提高掺配烧的经济性，同时机组运行可靠性得到提高。

### 1、经济效益（单台堆取料机）

电耗成本：堆取料机全自动改造后效率至少提升百分之 20 以上，按照目前平均发电符合计算，单台堆取料机每天平均每班取料作业时间为 2.5 小时，改造后取料作业时间缩短至 2 小时，即每班取料作业时间减少了 0.5 小时。

降低设备损耗：延长皮带及辅助设备使用周期 20%以上，大大节约设备维修费用，预计年节约不少于 30 万元以上。

运行人员费用：堆取料机实现远程全自动控制后至少能减少一半堆取料机司机人员。

一定程度降低储煤热值损耗。进一步提高配煤掺烧水平，一定程度降低锅炉煤耗。

### 2、安全

通过完善的精确定位系统，增加防碰、防撞装置、极限保护、冗余配置、安全堆煤等安全防范措施，结合全自动闭环控制系统，堆取料机运行安全性、稳定性大大提高。

### 3、环保

堆取料机控制系统的全自动使得输送过程更加节能降耗，恒流控制减少撒煤现象发生、智

能堆煤减少扬尘，集中控制平台有效改善工作环境。

## 5 调研总结

通过调研，堆取料机的全自动控制应用能显著提高厂内堆取料机的作业效率，降低司机劳动强度和改善作业环境，提高设备可靠性和安全性，降低人员成本，提高掺配烧的经济性，同时机组运行可靠性得到提高。通过完善的精确定位系统，增加防碰、防撞装置、极限保护、冗余配置、安全堆煤等安全防范措施，结合全自动闭环控制系统，堆取料机运行安全性、稳定性大大提高。但通过现场技术人员反馈，由于系统造价原因，某些部位尤其是大臂的防碰撞传感器及高精度定位等配置不够完善，同时有些仅靠堆取料机卸料臂安装的盘煤仪的项目，无法实时对整个煤场进行盘煤，导致一些煤堆塌垛不能被及时检测，这些因素都会影响堆取料自动控制应用的可靠性和效率。

