

大型煤炭装车站的设计探讨

肖云涛

陕西华电榆横煤电有限责任公司 陕西 榆林 719000

摘要：大型煤炭装车站是煤炭运输枢纽中的关键设施，其设计质量直接影响装车效率、环保水平及运行安全性。本文围绕大型煤炭装车站的设计原则、系统构成、关键设备选型、自动化控制、环保措施及结构安全等方面展开系统探讨。首先提出大型煤炭装车站应遵循高效、可靠、绿色、智能的设计理念，分析站址选择与总体布局的优化方法。其次，针对快速定量装车系统、缓冲仓、定量仓、装车溜槽等核心设备，阐述其选型依据与参数匹配原则。在此基础上，探讨基于PLC与工控网络的自动化控制系统设计，以及远程监控与故障诊断功能的实现路径。进一步从粉尘治理、噪声控制、污水收集与利用等方面提出环保设计要点。此外，讨论装车站的钢结构设计、基础沉降控制及消防与安全防护措施。最后总结大型煤炭装车站设计的发展趋势。本文可为同类项目的设计提供理论参考。

关键词：大型煤炭装车站；快速定量装车；系统设计；自动化控制

引言

随着我国煤炭生产与消费规模的持续扩大，煤炭装运环节的效率和环保要求不断提高。传统装车站普遍存在装车精度低、粉尘污染严重、自动化程度不足等问题，难以适应大运量、高频率的装车需求。大型煤炭装车站作为连接煤矿与铁路、公路运输的核心节点，其设计水平直接决定了煤炭外运的系统能力与运营成本。近年来，快速定量装车技术、智能控制技术以及粉尘综合治理技术的成熟为装车站的升级改造提供了技术支撑。然而，由于大型装车站涉及机械、电气、土建、环保等多个专业领域，设计过程中常常出现系统集成度不足、设备匹配不合理、环保措施不到位等问题。因此，从系统工程角度出发，全面探讨大型煤炭装车站的设计要点，形成规范化的设计思路，具有重要的工程实用价值。本文避免针对具体工程案例的罗列，而是提炼共性设计原则与技术方法，以期对相关设计人员提供理论指导。

1 设计原则与总体布局

1.1 设计基本原则

大型煤炭装车站的设计必须遵循高效、可靠、绿色、智能的原则。高效性要求装车系统具备快速作业能力，单节车厢装车时间不超过50秒，小时装车能力达到3000~5000吨。可靠性要求关键设备冗余配置，适应连续重载运行工况，年无故障作业时间不低于8000小时。绿色性体现为粉尘排放浓度低于国家标准限值（颗粒物 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ），噪声控制在85dB(A)以下。智能性则要求实现装车过程自动控制、远程监测、数据管理与优化调度。此外，设计还应兼顾经济性，在满足功能需求的前提下降低土建及设备投资。

1.2 站址选择与总平面布置

站址选择应综合考虑煤炭来源方向、铁路专用线接轨条件、地形地貌、气象条件及环境影响。装车站宜靠近煤矿或煤炭集运中心，减少皮带运输距离；场地应平坦开阔，避免高填深挖；主导风向的下风向不宜有敏感居民区。总平面布置通常采用“储煤区→受煤区→缓冲仓→装车区”的顺流程布局。储煤区采用穹顶仓或条形仓，容量满足3~5天的装车量。受煤区设置受煤坑及给煤机，将煤炭输送至筛分破碎系统后进入缓冲仓。缓冲仓与定量仓呈上下层布置，装车区布置于铁路轨道上方。主要设施间距应满足防火规范及检修通道要求。布置中还应预留远期扩容条件。

1.3 系统组成与工作流程

大型煤炭装车站主要由受煤系统、储煤系统、筛分破碎系统、缓冲仓、定量仓、装车溜槽、称重系统、车辆牵引系统、电气控制系统及环保设施组成。标准工作流程为：铁路列车进入装车区，车辆识别系统读取车型及载重信息；缓冲仓向定量仓放煤，称重传感器实时检测达到预定质量后停止供煤；定量仓向装车溜槽卸煤，同时装车溜槽插入车厢开始装车；牵引装置匀速牵引列车，装车溜槽随料位自动升降，完成连续装车；装毕后抑尘装置关闭溜槽闸门，列车驶出。全过程由中央控制系统自动协调，装车精度控制在 $\pm 0.2\%$ 以内。

2 关键设备选型与参数匹配

2.1 快速定量装车系统

快速定量装车系统是装车站的核心，由缓冲仓、定量仓、装车溜槽及液压控制系统组成。缓冲仓容量通常为500~1000吨，用于消除上游来煤不均匀的影响，其有

效容积应满足至少15分钟装车能力。缓冲仓锥斗角度不小于70°,内衬不锈钢或高分子耐磨板以防止堵煤^[1]。定量仓容量按最大单节车厢载重1.2倍设计,常见为80~120吨。定量仓采用双传感器四角称重结构,称重精度达到0.5级。装车溜槽采用伸缩式或摆动式结构,配备料位传感器自动调节插入深度,避免撒煤与冲击。液压系统额定工作压力16~20MPa,关键阀组采用冗余设计。

2.2 给料与输送设备选型

缓冲仓下部配置活化给料机或电液闸门,给料能力可调,调节范围30%~100%。活化给料机具有防卡堵、给料均匀的特点,适用于粘湿煤。输送皮带机带宽1200~1600mm,带速2.5~3.15m/s,运量匹配装车能力。驱动装置采用永磁同步电机或变频调速电机,实现软启动与功率平衡。皮带机应设置防跑偏、防撕裂、防打滑及紧急拉绳开关等保护装置。转载点落差超过3m时须设置缓冲滚筒或阶梯式溜槽,减少煤流冲击与粉尘产生。

2.3 车辆牵引与定位系统

车辆牵引系统采用公铁两用牵引车或钢丝绳牵引绞车。绞车牵引力按最大整列车重量(5000吨)乘以滚动摩擦系数0.005再考虑安全系数2.0选取,常用牵引力为60~100kN。牵引速度应连续可调,范围0.2~0.8m/s,与装车速度同步。车辆定位采用车轮传感器与雷达测距相结合的方式,定位精度±50mm,确保装车溜槽对准准确^[2]。车号自动识别系统(AEI)用于读取车厢RFID标签,自动匹配装车计划。

3 自动化与智能控制设计

3.1 控制系统总体架构

采用三层网络结构:管理层(信息层)、控制层(PLC层)和现场层(设备层)。管理层通过工业以太网连接上位机、工程师站与操作员站,实现工艺流程监控、数据存储与报表生成。控制层采用冗余PLC控制器,扫描周期≤50ms,通过PROFINET或ModbusTCP与远程I/O站通信。现场层包括各类传感器(料位计、称重传感器、限位开关)、执行机构(液压阀组、变频器、电机)及保护装置。PLC控制程序采用模块化设计,包含装车顺序控制模块、称重补偿模块、速度同步模块及故障诊断模块。

3.2 装车精度控制策略

定量装车的精度主要受称重滞后、落料冲击及惯性影响。采用“粗加料-精加料-过冲补偿”三阶段控制策略。粗加料阶段开启主闸门,加料至目标质量的90%;精加料阶段改为点动给料,直至达到设定值;通过历史过冲数据动态修正提前关闭量。此外,采用动态称重滤波

算法(卡尔曼滤波或移动平均滤波)消除振动干扰。对于多车厢连续装车,采用“空中量”补偿算法,即根据前一节车厢的实际装车偏差调整下一节车厢的设定值,使整列车总重误差趋于零。

3.3 远程监控与故障诊断

建立基于云平台的远程运维系统,实时采集设备振动、温度、电流等状态参数。通过设定阈值报警与趋势分析,实现预知性维护。故障诊断专家库涵盖常见故障模式(如闸门卡滞、称飘移、皮带跑偏等),提供处理建议。同时支持移动端APP远程监视,方便管理人员随时掌握装车进度与设备健康状态。

4 环保与节能设计

4.1 粉尘综合治理方案

大型煤炭装车站的粉尘主要产生于转载点、缓冲仓落料口及装车溜槽出口。采取“抑尘为主、除尘为辅”的策略。在转载点设置干雾抑尘系统,水雾粒径10μm以下,捕捉呼吸性粉尘。缓冲仓顶部安装脉冲布袋除尘器,处理风量按仓内换气次数4~6次/小时计算,排放浓度≤10mg/m³。装车溜槽出口配置微米级干雾抑尘装置或移动式集尘罩,同时采用伸缩溜槽减少落料高差^[3]。在装车区两侧设置防风抑尘网(高度3~5m)及喷雾炮,抑制粉尘扩散。所有尘源点应密闭,皮带机导料槽采用双密封防溢裙板。

4.2 噪声控制措施

主要噪声源包括给料机、皮带机驱动滚筒、风机及装车冲击。选用低噪声设备,给料机基座设置橡胶隔振垫,皮带机驱动装置加装隔声罩(插入损失≥15dB)。风机进出口安装消声器。装车溜槽内衬聚氨酯板以降低煤流冲击噪声。装车站边界噪声应满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》2类要求(昼间≤60dB,夜间≤50dB)。

4.3 污水收集与循环利用

装车站地面冲洗水、抑尘系统排水及初期雨水含有煤粉,须集中收集。设置沉淀池与煤泥水处理系统,沉淀池容积按一次最大暴雨初期雨水量设计(降雨厚度15~30mm)。上清液回用于抑尘系统或绿化,煤泥压滤后掺入产品煤。实现污水零外排。

4.4 节能设计要点

装车站的能耗主要来自皮带机、风机及液压系统。采用变频调速控制皮带机与风机,根据负荷自动调节转速。液压系统采用伺服泵控技术,待机时压力降至1MPa以下。照明系统选用LED灯具并配置声光感应控制器。建筑围护结构采用保温隔热材料,减少冬季取暖能耗。

5 结构及土建设计要点

5.1 钢结构设计

缓冲仓、定量仓及装车塔架均采用全钢框架结构。设计荷载包括结构自重、煤料荷载、设备荷载、风荷载、地震作用及检修荷载。煤料荷载按仓内满储且考虑超载系数1.2计算,侧压力按Janssen公式计算。仓体钢板厚度不小于8mm,环向加劲肋间距不超过500mm。装车塔架高度根据铁路限界确定(轨顶以上净高 $\geq 6.5\text{m}$),柱脚采用刚性固定连接。钢结构的耐火等级为二级,钢构件涂刷防火涂料(耐火极限 $\geq 1.5\text{h}$)。所有钢构件采用热浸镀锌或环氧富锌底漆防腐,设计使用年限50年。

5.2 基础设计与沉降控制

装车站基础承受巨大的竖向荷载与水平荷载(如绞车牵引反力)。采用桩基础或筏板基础,持力层应选在中风化岩层或密实砂层。单桩竖向承载力特征值通过静载试验确定。基础沉降量应控制在20mm以内,倾斜率不超过0.001。对于缓冲仓等重载设备区,设置后浇带以减少混凝土收缩裂缝。地脚螺栓预埋精度要求 $\pm 2\text{mm}$ 。

5.3 栈桥与转载站设计

连接储煤区与装车站的皮带栈桥采用桁架结构,跨度超过30m时设置中间支墩。栈桥倾角不超过 16° (普通皮带)或 20° (花纹皮带)。转载站采用现浇钢筋混凝土框架,楼面活荷载按 4kN/m^2 设计,设备区域按实际荷载考虑。栈桥封闭围护采用彩色压型钢板+保温棉,防止雨雪侵入与粉尘外逸。

6 安全与消防设计

6.1 防火防爆设计

煤炭为丙类可燃固体,装车站的防火分区面积不超过 3000m^2 。设置室内外消火栓系统,消防水量按 20L/s 计算,延续时间2h。缓冲仓与定量仓顶部设置无动力自启式防爆门,泄压面积按 $0.05\text{m}^2/\text{m}^3$ 仓容计算^[4]。所有电气设备采用防尘防水等级(IP54以上)。在煤尘积聚区域(如皮带机尾部)设置自动喷水灭火系统或高压细水雾系统。严禁明火作业,配备便携式瓦斯检测报警仪。

6.2 人身安全防护

装车站设置完整的防护栏杆(高度 $\geq 1.2\text{m}$)与踢

脚板。楼梯角度不大于 45° ,踏步设置防滑条。所有转动设备配置防护罩且与启停联锁。装车区设置声光报警装置,列车接近时自动触发。紧急拉绳开关沿皮带机全长布置,间距不超过30m。控制室内设一键急停按钮,切断所有动力电源。

6.3 防雷与接地

装车站按第二类防雷建筑物设计,屋面设置接闪带,网格尺寸 $\leq 10\text{m}\times 10\text{m}$ 。所有金属设备外壳、钢结构、皮带机架等均可靠接地,接地电阻 $\leq 1\Omega$ 。PLC控制系统设置浪涌保护器(SPD),信号线采用屏蔽电缆且单端接地。

7 结语

大型煤炭装车站的设计是一项多学科集成的系统工程。本文系统探讨了其在设计原则、总体布局、关键设备选型、自动控制、环保措施、结构安全及消防防护等方面的核心要点。研究表明:合理的站址选择与流程布局是保证装车效率的基础;快速定量装车系统中缓冲仓、定量仓与溜槽的参数匹配直接影响装车精度与稳定性;基于三层网络的自动化控制系统可实现装车过程的精准控制与远程运维;粉尘综合治理与噪声控制是满足环保要求的关键;钢结构、基础及栈桥等土建设计必须充分考虑荷载特性与沉降控制。此外,安全与消防设计贯穿始终,不可忽视。上述设计要点的综合应用,可有效提升大型煤炭装车站的运行可靠性、环境友好性与智能化水平。本文所探讨的设计方法可为同类工程提供参考依据,推动煤炭装车站设计从经验走向规范。

参考文献

- [1]张明,李伟,王强.大型煤炭快速定量装车系统设计关键技术研究[J].煤炭工程,2021,53(8):34-38.
- [2]刘振宇,陈刚.煤炭装车站粉尘综合治理技术及应用[J].环境工程,2020,38(5):112-116.
- [3]杨春雷,马超,王辉.大型煤炭装车钢结构塔架设计分析与应用[J].煤炭科学技术,2021,49(9):231-236.
- [4]高翔,徐建平,罗文.大型煤炭储装系统消防设计探讨[J].消防科学与技术,2022,41(10):1421-1425.