

ICS 27.120.20

F 69

备案号: 46472-2014

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20287—2014

压水堆核电厂装卸料机设计制造规范

Design and fabrication rules for refueling machine of PWR nuclear power
plants

2014 - 06 - 29 发布

2014 - 11 - 01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总体要求.....	2
5 结构	3
6 机构	4
7 电气及仪控.....	5
8 安全	8
9 制造、检验和验收.....	9
附录 A（资料性附录） 装卸料机运行速度参考	13

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国核电工程有限公司。

本标准主要起草人：唐兴贵、李均、常宗虎、谢亮、吴明、董安。

压水堆核电厂装卸料机设计制造规范

1 范围

本标准规定了核电厂装卸料机的总体要求，及其结构、机构、电气、仪控、安全、制造、检验和验收的基本要求。

本标准适用于压水堆核电厂装卸料机。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注明日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 1184 形状和位置公差未注公差值

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差

GB/T 3811—2008 起重机设计规范

GB/T 4334—2008 金属和合金的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法

GB/T 4942.1—2006 旋转电机整体结构的防护等级（IP代码）分级

GB 6067.1 起重机械安全规程 第1部分：总则

GB/T 9944 不锈钢丝绳

GB/T 10183.1 起重机 车轮及大车和小车轨道公差 n第1部分：总则

GB/T 11021—2007 电气绝缘 耐热性分级

GB/T 11264 轻轨

GB/T 14405 通用桥式起重机

GB 50661 钢结构焊接规范

JB/T 4730—2005 承压设备无损检验

JB/T 5000.3—2007 重型机械通用技术条件 第3部分：焊接件

JB/T 5000.6 重型机械通用技术条件 第6部分：铸钢件

JB/T 5000.8 重型机械通用技术条件 第8部分：锻件

NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件

NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定

NB/T 47018 承压设备用焊接材料订货技术条件

HAD 102/15 核动力厂燃料装卸和贮存系统设计

TSG Z6002-2010 特种设备焊接操作人员考核细则

IEC 60880 核电站 对安全重要的仪表和控制系统 执行A类功能的计算机系统软件问题(nuclear power plants – instrumentation and control important for safety – software aspects for computer-based systems performing category A functions)

NB/T 20287—2014

IEC 62138 核电站 对安全重要的仪表和控制系统 执行B类或C类功能的计算机系统软件问题
(nuclear power plants – instrumentation and control important for safety – software aspects for computer-based systems performing category B or C functions)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

大车 bridge

装卸料机在水平方向执行纵向（堆腔换料水池长度方向）运行功能的部件。

3.2

小车 trolley

装卸料机在水平方向执行横向（堆腔换料水池宽度方向）运行功能的部件。

3.3

主起升机构 main hoist

装卸料机执行垂直方向运行功能的部件。

3.4

辅助起升机构 auxiliary hoist

装卸料机用于操作专用工具的机构，也作为主起升机构的备用机构。

3.5

固定套筒 stationary tube

装卸料机上用于燃料组件保护和伸缩套筒升降导向的管状部件。

注：燃料组件在运输过程中整体位于固定套筒内部。

3.6

伸缩套筒 telescoping tube

装卸料机上连接抓具和主起升钢丝绳的部件。

4 总体要求

4.1 装卸料机设计应符合 HAD 102/15 的相关规定。

4.2 装卸料机设计应保证在反应堆首次装料和换料期间，以设定的速度，在正常载荷情况下连续运行。

4.3 装卸料机应具备电动操作方式和紧急手动操作方式。

4.4 装卸料机应具备水平运行、垂直升降燃料组件和旋转燃料组件的功能。

4.5 装卸料机应具备准确定位功能，抓具对燃料组件的定位精度不宜超过 $\pm 3\text{ mm}$ 。

4.6 设计应保证所有零部件的安全操作，各部件应经过试验以保证安全可靠。

4.7 所有可能受到辐照的部件应考虑其耐辐照能力。

4.8 零部件的外形设计应易于清除放射性玷污。

4.9 装卸料机的设计寿命应与核电厂的设计寿命相同，运行必需的部件的平均故障间隔时间不应低于5000h。

4.10 走台板的设计载荷不应小于 4.5 kN/m^2 。

4.11 装卸料机各零、部件应采用可靠的连接，以降低发生掉落的风险。

4.12 装卸料机应设置防倾翻装置以防脱轨。

4.13 地震期间，燃料组件不应从抓具中脱落。

- 4.14 地震之后,经过检修和部分零部件的更换,装卸料机应能正常运行。
- 4.15 装卸料机设计应保证:设备遇到意外失效时,燃料组件保持在安全的状态和位置。
- 4.16 装卸料机应在控制系统误操作时不会发生载荷脱落。
- 4.17 抓具发生故障时,应能手动释放载荷。

5 结构

5.1 基本要求

- 5.1.1 装卸料机主要结构一般应包括大车结构、小车结构、主起升塔架结构、套筒结构、辅助门架结构和轨道结构等。
- 5.1.2 大车主梁和端梁宜采用箱形梁结构,主梁和端梁宜采用螺栓紧固,应保证桥架的刚性联结。
- 5.1.3 大车宜设置两个走台,沿桥架的全长装在两根主梁外侧,走台应铺设钢板。走台的外侧应设栏杆和踢脚板。
- 5.1.4 大车走台的上方如设置辅助单轨吊车门架,应设置上部平台,平台应设栏杆和踢脚板,应设置进入上部平台的梯子。
- 5.1.5 小车架宜采用型钢和箱形梁组焊的结构,应适合于支撑主起升塔架结构和固定套筒组件,并为操作员提供操作装卸料机的平台。平台应铺设钢板,其四周装设栏杆和踢脚板。平台上宜设置窥视窗,用于观察伸缩套筒和抓具等操作。
- 5.1.6 应为主起升机构设置检修平台。
- 5.1.7 栏杆高度不应低于1 m,踢脚板高度不应低于100 mm。
- 5.1.8 在大车、小车(带套筒)以及燃料组件的重力作用下,大车主梁的最大挠度应小于大车跨度的1/2000。
- 5.1.9 固定套筒应为伸缩套筒提供导向和支承,并保持伸缩套筒在垂直状态。在固定套筒内的下端应设导向件,以限制燃料组件的侧向摆动。
- 5.1.10 伸缩套筒应有足够的长度,以便降到最低位置时其上端能与固定套筒内的两组导向滚子相接触。伸缩套筒的下端安装抓具,其连接应便于快速、方便地拆卸。
- 5.1.11 大车和小车的轨道应进行机加工,且各有一根轨道作为导向轨用。导向轨的踏面及两侧面应进行机加工,非导向轨仅需加工其踏面。
- 5.1.12 导向轨的直线度以及导向轨和非导向轨的水平度和平行度应满足抓具在规定位置定位的准确度和重复性的要求。
- 5.1.13 大车轨道应能调整。

5.2 材料

- 5.2.1 装卸料机所用材料均应符合国家标准、行业标准和设计技术文件规定。
- 5.2.2 除非得到采购方认可,铝和铝合金等活性金属材料不应在本设备上使用。
- 5.2.3 有机材料,包括润滑油,除特殊情况外不应在水下部件中使用。
- 5.2.4 所有浸泡在或可能接触到含硼除盐水中的部件,除特殊情况外,应采用不锈钢材料制造。
- 5.2.5 水下焊接件使用材料应为低碳奥氏体不锈钢,含碳量不宜大于0.030%,否则,应按照GB/T 4334—2008的方法E-不锈钢硫酸-硫酸铜腐蚀试验做晶间腐蚀试验。
- 5.2.6 主要承载结构件所用材料力学性能不应低于Q345(GB/T 1591),并且在低于环境温度17℃的温度下做冲击试验,冲击值不小于34 J(三个试样的平均值),三个试样中最小值不小于24 J。次要结构件所用材料力学性能不应低于Q235B(GB/T 700)。

NB/T 20287—2014

5.2.7 在干燥环境中的部件宜采用碳钢制造，并按专门的工艺规程涂漆或用适当的防腐材料处理。

5.2.8 水下紧固件应考虑抗咬死。

5.2.9 小车轨道、大车主梁的主腹板、起升机构、吊钩和抓具抓钩等重要承载件的母材和焊接接头应进行体积和表面无损检验。

5.3 应力准则

5.3.1 装卸料机的工作级别按照 GB/T 3811—2008 划分为 U2-Q3-A3。

5.3.2 装卸料机主要承载零部件的最大设计应力应小于材料抗拉强度的 20%，即 $\sigma < 0.2 R_m$ 。该应力由正常运行载荷和事故超载引起，但不包括地震载荷。

5.3.3 由正常运行载荷与运行基准地震（SL-1）载荷产生的组合应力应小于 0.3 倍的材料抗拉强度，即 $\sigma < 0.3 R_m$ 。本条款适用于需要分析 SL-1 工况的核电厂。

5.3.4 由正常运行载荷与安全停堆地震（SL-2）载荷产生的组合应力应小于材料屈服强度，即 $\sigma < R_{eL}$ 。

5.3.5 装卸料机应进行动态抗震分析计算。

5.3.6 装卸料机（不包括辅助门架）抗震分析阻尼比，SL-1 工况下宜采用 2%；SL-2 工况下宜采用 4%。如征得采购方认可，亦可采用其它阻尼比。

5.3.7 辅助门架抗震分析阻尼比，SL-1 工况下宜采用 4%；SL-2 工况下宜采用 7%。

6 机构

6.1 机构设计要求

6.1.1 装卸料机的机构一般应包括大车驱动机构、小车驱动机构、主起升机构、其它辅助机构等。

6.1.2 按照 GB/T 3811—2008 划分，装卸料机大车驱动机构、小车驱动机构和主起升机构的工作级别为 T5-L2-M5。

6.1.3 机构的设计计算参照 GB/T 3811—2008 相关章节执行。主要承载件应力准则按 5.3.2、5.3.3 和 5.3.4 的规定。

6.1.4 驱动机构应设置紧急手动操作装置。

6.1.5 在驱动机构减速器和轴承座下应设置接油盘，接油盘的容量应能容纳该部位全部润滑油，且应便于清理。

6.1.6 起升机构应设置三重制动器，其中应包括直接刹住卷筒的安全制动器。每一个制动器的制动力矩均应满足独立制动的要求。设计技术文件另有规定除外。

6.1.7 起升机构应采用双钢丝绳卷绕系统，并设置平衡装置。

6.1.8 起升及运行速度应可调，低速不宜超过 1 m/min（见附录 A）。

6.1.9 起升及运行过程中应避免对燃料组件施加不可接受的载荷。

6.1.10 起升机构应设置载荷传感器。

6.2 零部件设计要求

6.2.1 不锈钢钢丝绳应符合 GB/T 9944 的要求，采用不含油的钢芯。起升双钢丝绳安全系数不应小于 6。

6.2.2 起升卷筒应由不锈钢材料制成，其绳槽的长度应能容纳全部起升绳的长度，当伸缩套筒处于下部位置时，卷筒上卷绕的钢丝绳，除固定绳尾的圈数外，不应少于 2 圈。当伸缩套筒处于上部位置时，至少还宜留有 1 整圈的绕绳余量。应防止钢丝绳从卷筒上滑脱。

6.2.3 起升机构滑轮和卷筒的卷绕直径按 GB/T 3811—2008 的规定执行。

- 6.2.4 减速器按照 GB/T 3811—2008 中 6.1.1.5 的规定进行设计选型,起升机构减速器在正常选用的基础上应将承载能力提高 2 倍。
- 6.2.5 减速器应全封闭,宜采用齿轮减速器,并带有轴密封以防漏油。
- 6.2.6 应选用机械常闭式制动器,制动器应能手动打开。
- 6.2.7 起升机构的每一个单独作用的制动器的安全系数不应低于 1.50。
- 6.2.8 零、部件构成的封闭区域应设通气孔或考虑能够承受安全壳压力试验的压力。
- 6.2.9 水下零、部件的设计应考虑空腔的影响,不应降低水屏蔽效果。
- 6.2.10 气管卷筒宜采用弹簧式,气管卷绕应与主起升运动同步。
- 6.2.11 电缆卷筒按照 GB/T 3811—2008 中 7.2.2.2.3 的规定进行设计选型。

7 电气及仪控

7.1 基本要求

7.1.1 控制系统的主要功能

在水池范围内,使用平面坐标,精确控制大、小车定位;控制主起升抓取燃料组件;控制系统应具有冗余保护措施。

7.1.2 控制系统主要操作模式

7.1.2.1 手动

操作员使用操作杆完成所有方向的运动控制。大、小车和主起升不能同时运行。大、小车定位后,可以对大、小车位置进行微调。每次微调操作实现大、小车行走距离宜小于 3 mm。

7.1.2.2 半自动

操作员在触摸屏上输入坐标值,大、小车能同时移动,自动安全地移动到目标位置上方。主起升运动需操作员确认。大、小车定位后,可以对大、小车位置进行微调。每次微调操作实现大、小车行走距离宜小于 3 mm。

7.1.2.3 全自动

操作员在触摸屏上选择装卸料机的自动操作功能,使其完成自动装卸料过程。根据装载的燃料组件安装顺序数据库文件,可进行自动装卸料。水平运动和垂直运动之间的切换,应需要操作员的确认,方可执行。

7.2 电气控制设备

7.2.1 控制系统组成

装卸料机控制系统一般包括以下子系统:

- 大、小车和主起升定位控制系统;
- 电源分配系统;
- 电机驱动系统;
- 称重系统;
- 位置测量系统;
- 抓具控制系统;

NB/T 20287—2014

- 水下闭路电视系统；
- 辅助起升电控系统。

7.2.2 一般要求

控制台、电源柜、按钮盒、接线箱防护等级应不低于IP55级（GB/T 4942.1—2006），电气绝缘材料耐热等级155（GB/T 11021—2007）。控制台、电源柜内应设有防潮，除湿措施，反应堆运行期间应能撤离。

7.2.3 控制台

控制台上应安装触摸屏、闭路电视显示器、带锁旁通开关和信号灯等。控制台上应安装大车、小车、主起升及闭路电视系统的主要操作按钮和手柄。

触摸屏应显示操作装卸料机所需要的大部分信息，例如：大、小车和主起升运行的全部信息、故障报警显示、反应堆堆芯示意图、联锁及旁路操作画面、帮助信息显示等。应完成部分操作，例如：选择、确认、旁路、输入定位坐标等。

控制台内部应按集成的方式安装电控设备，便于控制台的撤离。

7.2.4 电源柜

电源柜内应安装主接触器、电源分配装置、变压器、照明控制设备等电气设备。

7.2.5 供电回路

供电回路应设置断路保护装置或熔断器作短路保护，应保证电气设备能承受在接线盒端发生380 V电源短路产生的短路电流50 kA，持续时间不超过1 s搜索。当发生断电故障时，不应产生危害安全的状态。

7.2.6 模拟机

如有模拟机，应能与控制台连接，为操作人员提供培训，同时可对控制系统的功能进行调试、检查。

7.2.7 辅助起升控制设备

辅助起升机构应由悬挂按钮控制盒控制。按钮盒上应包括：启动/停止开关、低速起升按钮、高速起升按钮、低速下降按钮、高速下降按钮、横向运行按钮等。

辅助起升机构应设置控制柜，用于安装电气和控制设备。

显示系统应能够清晰地显示载荷重量信息，应使操作人员在装卸料机小车平台上能够观察到。

7.2.8 接线箱

应设置接线箱，作为连接各种传感器、限位开关、电缆汇总和分支的接口设备。

7.2.9 位置检测装置

应设置位置检测装置，用于大车、小车和主起升及摄像装置的位置连续检测和精确定位，应满足装卸料机的定位精度要求。

7.2.10 称重检测仪

称重检测仪应包括一套载荷传感器与信号处理器，系统精度应优于1%。

7.2.11 摄像系统

大车及小车上宜设置水上摄像系统，以辅助观察设备运行及定位情况。

7.2.12 撤离要求

不能承受安全壳压力试验的电气元器件应易于撤离。

7.3 电动机

7.3.1 电动机一般宜选用交流变频电动机、交流伺服电动机，或适合于装卸料机运行特点的其他电动机。

7.3.2 电动机外壳防护等级不应低于 IP55 级（GB/T 4942.1—2006），电气绝缘材料耐热等级应为 155（GB/T 11021—2007）。

7.3.3 电动机宜采用断续工作制，具备一小时启动 120 次的能力，还应考虑一次较长时间运行的发热问题。

7.3.4 电动机对每一相都应设置缺相保护。

7.4 电缆

7.4.1 电缆应能承受不低于 1.4×10^5 Gy 的累积辐射剂量。

7.4.2 除非得到采购方认可，不应使用聚氯乙烯电缆。

7.4.3 控制台和电源柜内的电缆可不受上述两条款限制。

7.5 水下照明

7.5.1 宜提供附加的水下聚光灯。这些灯具宜装在装卸料机的固定套筒的末端，随着装卸料机一起移动，并能拆卸更换。

7.5.2 灯具应有保护罩，防止万一灯泡或灯具以及其他易碎件损坏时玻璃碎片飞溅落入水池。灯具应在不断开其他聚光灯和不拆换电缆的情况下进行更换。应提供连接器用于电缆和灯具的连接。

7.5.3 水下灯应能长期工作在水下 20 m 处。

7.5.4 在水中距灯具 5 m 处，被照物体中心照度应不小于 800 lx，光照面积约 1 m^2 。水下灯能承受累积辐照 10^5 Gy 和水下压力 0.2 MPa 而不丧失其性能。灯具的电源电缆应能承受不低于 600 N 的载荷。在使用环境下，光源的寿命不应小于 800 h，并带有失水保护功能。

7.6 水下摄像

7.6.1 应设置水下摄像系统，作为装卸燃料组件的在线观察和记录的手段。

7.6.2 应通过闭路电视系统的控制面板来控制摄像头及辅助灯，如电源开关、变焦操作、照明亮度、变换视角等。

7.6.3 摄像头组件设计为可在水下使用，通过操作变换视角机构，使摄像头可灵活变换视角，以便观察抓具操作燃料组件时的情况，同时观察燃料组件上升和下降。摄像头应设计为遥控光学变焦。

应满足的技术参数：

——分辨率：画面中心大于 500 线（垂直）。

——信噪比：大于 42 dB。

摄像头自带辅助照明。摄像头的外壳应用经过磨光处理的奥氏体不锈钢制成，方便去污。摄像头应方便从电视摄像杆上拆除。

带辅助灯摄像头的直径应小于 150 mm。

摄像头组件应能在下列环境下操作：

- 耐辐照： 10^6 Gy 累计剂量， 10^3 Gy/h 下 1 000 h。
- 印刷电路板在受到 5×10^5 Gy 剂量辐照后不应丧失其功能。
- 操作深度：大于或等于 20 m。
- 操作温度：最高到 50 ℃。

7.6.4 视频记录仪应能接收来自摄像头的视频信号和编码器给出的 X-Y 坐标值，并能转换为数字信号，存储在硬盘上，硬盘容量不应小于 500 GB，同时视频录像可以刻录在 DVD 光盘上。

7.6.5 照明系统应提供系统照明电源开关和照明亮度的调节。

8 安全

8.1 基本安全要求

8.1.1 装卸料机的安全设计应符合 HAD 102/15、GB/T 3811 和 GB 6067.1 的规定。

8.1.2 装卸料机起升机构的设计应满足单一故障保护原则，即单一部件故障不会导致设备失去保持住载荷的功能。应采用双钢丝绳、三个制动器、多重限位的设计。辅助起升机构如参与操作燃料组件，其设计应满足单一故障保护原则。

8.1.3 大车宜设置人员安全装置，当人员处于大车轨道和水池栏杆之间的大车附近时，装置应能使大车停止运行。

8.1.4 装卸料机应设置报警装置，运行时发出警示音响。

8.1.5 抓具应具备自锁功能。抓具带载运行时，抓爪不能脱扣。

8.1.6 所有的零部件均应有锁紧装置或者等效的防止由于振动而松动的装置。

8.2 载荷保护

8.2.1 起升机构应设置冗余的载荷保护系统，应提供连续的起升载荷显示。

8.2.2 起升机构应采用双钢丝绳卷绕系统，一根钢丝绳断裂时，另一根钢丝绳应能保持并升降载荷。

8.2.3 在起升过程中，当起升载荷超过设定值时，载荷保护系统应停止起升机构的上升运动。

8.2.4 在下降过程中，当起升载荷低于设定值时，载荷保护系统应停止起升机构的下降运动。

8.2.5 设计应保证带有抓具的伸缩套筒的总重量作用在燃料组件上的轴向载荷小于设定值。

8.2.6 应依据燃料组件吊装载荷限值设置载荷保护系统超载和欠载限值。

8.3 行程保护

8.3.1 大车和小车应设置行程限位开关，限位开关应能停止大车和小车的运行。

8.3.2 起升机构应设置多重行程保护，上部限位应选用不同形式的限位开关。伸缩套筒到达上部极限位置时，行程限位开关应能停止起升运动。

8.3.3 主起升机构应设置一个上部缓冲器，作为冗余的行程保护，在上部极限限位开关失灵时起作用。

8.3.4 伸缩套筒应设置下部止挡。

8.4 运行路径保护

8.4.1 装卸料机应设置运行路径保护系统。

8.4.2 运行路径保护宜采用编码器、限位开关或光电传感器等形式实现。

8.5 联锁与旁通

- 8.5.1 大车、小车的运行与主起升运动应相互联锁。
- 8.5.2 大车和小车只有当伸缩套筒处于上部位置时才能运行。
- 8.5.3 抓具只有处于“啮合”或“释放”状态，起升机构才能运动。
- 8.5.4 紧急手动操作与电动操作应相互联锁。
- 8.5.5 装卸料机应设置必要的旁通，以实现特定的操作。

9 制造、检验和验收

9.1 材料要求

- 9.1.1 装卸料机用材料应具有质量证明书。材料质量证明书和材料上的标志内容应一致。材料质量证明书的内容应当齐全、清晰，且盖有材料制造厂质量检验章。
- 9.1.2 装卸料机制造厂应对材料及质量证明书的真实性和一致性负责，不应使用不能确认材料及质量证明书真实性的材料。
- 9.1.3 制造厂应对主要承载结构件材料的化学成分和力学性能进行验证性复验，以验证主要承载结构件材料与本标准规定的符合性。当设计技术文件无规定时，化学成分和力学性能的复验项目由装卸料机制造厂提出，经装卸料机采购方认可后方可实施。
- 9.1.4 碳钢及不锈钢承载结构件材料要求见 5.2。
- 9.1.5 大车轨道宜采用 GB/T 11264 推荐的材料。
- 9.1.6 不锈钢材料应进行酸洗钝化处理。
- 9.1.7 焊接材料的选择应与被焊母材相适应，并应符合 NB/T 47018 相应的要求。对于碳钢承载焊缝的焊接，应选用低氢型焊条。焊接材料的使用、保存、烘干应满足 GB 50661 相应的规定。焊接材料冲击要求不应低于母材。
- 9.1.8 对低碳奥氏体不锈钢材料的焊接，应选用低碳型焊接材料。当熔敷金属含碳量不高于 0.035%，可不要求进行晶间腐蚀试验，否则应按 GB/T 4334—2008 的方法 E-不锈钢硫酸-硫酸铜腐蚀试验进行晶间腐蚀试验，同时应满足：
 - 对 308L 类焊接材料，铬含量应大于 19%；
 - 对 316L 类焊接材料，铬含量应大于 17%。
- 9.1.9 外表面保护涂层材料应具有足够的附着力和防腐蚀能力，有良好的去除放射性污染和耐辐照的性能，涂膜应不含铝粉，在设计基准事故条件下保持稳定。

9.2 金属结构的焊接要求

- 9.2.1 焊接方法可采用手工电弧焊、钨极氩弧焊以及埋弧焊，不应使用熔化极气体保护焊，若采用其它焊接方法应事先征得采购方的书面同意。
- 9.2.2 焊工或焊接操作工应经过专门的技术培训，并按 TSG Z6002-2010 “特种设备焊接操作人员考核细则”取得资格证书。制造厂可提议使用其他考核标准，经采购方认可后采用。
- 9.2.3 焊接之前应按 NB/T 47014 进行焊接工艺评定，并根据评定合格的工艺和产品的实际条件编制焊接工艺规程。此外，对晶间腐蚀性能有要求时，应对评定试件按 GB/T 4334—2008 的方法 E-不锈钢硫酸-硫酸铜腐蚀试验进行试验并合格。
- 9.2.4 产品焊接、预热和道间温度控制、焊后消氢热处理、焊后消应力热处理应符合 GB 50661 相应要求。
- 9.2.5 焊接成型的部件，线性尺寸公差和形位公差应按图纸要求执行。如图纸中没有明确具体的公差要求，线性尺寸公差按 JB/T 5000.3—2007 的 B 级，形位公差按 JB/T 5000.3—2007 的 F 级执行。

9.2.6 焊接作业完成后,所有焊缝应按照 JB/T 5000.3—2007 进行外观检验,承载焊缝外观质量分级应符合 II 级标准规定,非承载焊缝外观质量分级不应低于 III 级标准规定。

9.2.7 所有承载焊缝应按 JB/T 4730—2005 要求进行 100%磁粉或液体渗透检测(对铁磁性材料应优先采用磁粉检测),质量分级应符合相应 II 级标准规定。对主要承载结构(主梁、端梁、平衡梁、小车架等失效可能导致载荷跌落的结构)的全焊透焊接接头,应按 JB/T 4730—2005 要求 100%射线(AB 级)或超声波检测(B 级),质量分级应符合 II 级(对于射线检测)和 I 级(对于超声波检测)标准规定;其他承载结构全焊透接头,应按 JB/T 4730—2005 要求按焊缝长度抽查至少 20%进行射线(AB 级)或超声波检测(B 级),质量分级应分别符合 III 级(对于射线检测)和 II 级(对于超声波检测)标准规定,当发现超标缺陷时,应在缺陷延伸方向或可疑部位加倍检测,如检测结果仍不合格时,则应对该条焊缝作 100%检测。

9.2.8 每完成一项焊接作业(焊接接头、补焊),每一作业或者使用同一种焊接工艺的一组作业应填写一张产品焊接记录单。

该记录单至少应包括:

- 接头、接头组或补焊所属设备的编号;
- 接头、接头组或补焊的编号;
- 使用的焊接工艺的编号;
- 使用的焊接材料的牌号和批号;
- 完成每个工序的焊接操作工的姓名(代号);
- 对于自动焊,使用的焊机的编号。

9.3 机械加工要求

9.3.1 机械加工(不包括切割)的线性尺寸公差和形位公差应按图纸要求执行。如图纸中没有明确具体的公差要求,线性尺寸公差按 GB/T 1804 的 M 级规定,形位公差按 GB/T 1184 的 H 级规定。

9.3.2 铸钢件应符合 JB/T 5000.6 的要求。

9.3.3 碳钢和低合金钢锻件应符合 JB/T 5000.8 中 V 级锻件的要求,不锈钢锻件应符合 NB/T 47010 中 III 级锻件的要求。

9.4 装配及安装要求

9.4.1 轨道

9.4.1.1 大车轨距偏差不应超过 ± 1 mm。

9.4.1.2 大车轨道轨顶标高与理论标高偏差在堆芯区不应超过 ± 1 mm,在转运区不应超过 ± 2 mm。

9.4.1.3 大车导向轨与非导向轨轨顶标高差在堆芯区不应大于 0.5 mm,在转运区不应大于 1 mm。

9.4.1.4 大车导向轨与导向轮接触面直线度不应大于 0.25 mm/m,堆芯区和转运区导向轨直线度不应大于 1 mm。

9.4.1.5 大车轨道接头处的高度差不应大于 0.5 mm;接头横向错位不应大于 0.5 mm;接头处间隙不宜大于 1 mm。

9.4.1.6 大车和小车轨道的其它要求应符合 GB/T 10183.1 的规定。

9.4.1.7 小车轨距偏差不应超过 ± 0.75 mm。

9.4.1.8 小车轨道轨顶高度差不应大于 0.5 mm。

9.4.1.9 小车导向轨与导向轮接触面直线度不应大于 0.1 mm/m,总长直线度不应大于 0.5 mm。

9.4.2 大车

- 9.4.2.1 大车跨度偏差不应超过 $\pm 1\text{ mm}$ 。
- 9.4.2.2 大车桥架对角线偏差不应超过 $\pm 2\text{ mm}$ 。
- 9.4.2.3 各车轮接触点高度差不应大于 1 mm 。
- 9.4.2.4 同一端梁下的两个车轮相对于轨道中心线的同位差，在导向轨侧，不应超过 $\pm 0.5\text{ mm}$ ；在非导向轨侧，不应超过 $\pm 1\text{ mm}$ 。
- 9.4.2.5 导向轮间距中心线相对于轨道中心线的偏差不应超过 $\pm 1\text{ mm}$ 。
- 9.4.2.6 其它要求应符合 GB/T 14405 的规定。

9.4.3 辅助门架及辅助单轨吊车

- 9.4.3.1 辅助单轨吊车带额定载荷工况下，轨道跨中挠度不应大于轨道长度的 $1/700$ 。
- 9.4.3.2 辅助单轨吊车应单独进行通电空载运转检查。

9.4.4 小车

- 9.4.4.1 小车架对角线偏差不应超过 $\pm 2\text{ mm}$ 。
- 9.4.4.2 固定套筒支撑面的平面度不应大于 0.1 mm 。
- 9.4.4.3 小车的其它要求见 9.4.2.3、9.4.2.4、9.4.2.5 和 9.4.2.6。

9.4.5 固定套筒

- 9.4.5.1 固定套筒安装就位后，转盘轴承法兰表面的水平度不应大于 0.1 mm 。
- 9.4.5.2 固定套筒安装就位后，铅垂度不应大于 1.5 mm 。

9.4.6 主起升支承结构

- 9.4.6.1 主起升机构支承面的水平度不应大于 0.1 mm 。
- 9.4.6.2 主起升机构吊点的静态投影与固定套筒中心偏差不应大于 3 mm 。

9.4.7 伸缩套筒

- 9.4.7.1 伸缩套筒本体直线度不应大于 0.6 mm/m ，全长不应大于 1.5 mm 。
- 9.4.7.2 伸缩套筒导向件直线度不应大于 0.25 mm 。
- 9.4.7.3 每根伸缩套筒导向件两侧面相对于套筒轴线的对称度不应大于 0.10 mm 。

9.4.8 抓具

- 9.4.8.1 抓具处于啮合状态的各抓爪承载面的高度差不应大于 0.15 mm 。
- 9.4.8.2 抓具抓取组件时应保证不少于 3 组抓爪同时承受载荷。

9.4.9 附件

- 9.4.9.1 气路系统元器件的连接应有良好的密封措施。
- 9.4.9.2 气路系统应进行密封性试验，试验压力宜采用气路系统的设计压力，保压 2 h ，每小时压降应小于 1% 。

9.5 控制系统集成要求

- 9.5.1 系统内所有模块应为标准化、模块化和插入式结构。
- 9.5.2 控制系统裕量要求如下：
 - 系统中 CPU 的负荷率不大于 50% 。

- 系统存储器的负荷率不大于 40%。
- 系统中电源模件的负荷率不大于 40%。
- I/O 模件裕量 10%~15%。
- 系统通讯总线负荷率不大于 30%，以太网负荷率不大于 20%。

9.5.3 应用软件应是经过验证的成熟软件，为工程专门开发的软件应按标准规范和质量保证计划实施，软件验证和确认（V&V）参照 IEC 60880 和 IEC 62138 实施。

9.5.4 电气部件应安装在容易接近的地方，机箱预留大约 10% 的空间。在端子板和机箱底之间应留敷线空间。端子排的最小节距宜为 6 mm，每个端子最多能接两根线。

9.6 试验、检验与验收

9.6.1 控制系统集成功能试验

控制系统集成后的测试试验主要包括数字量、模拟量的输入输出试验，通讯功能试验，系统重置试验，软件集成试验。

9.6.2 厂内试验

9.6.2.1 试验内容应包括载荷试验、功能试验、联锁和旁路试验、保护试验和模拟故障试验。

9.6.2.2 载荷试验应包括 1.4 倍额定载荷的静载试验和 1.2 倍额定载荷的动载试验。采用其它试验载荷值需得到采购方认可。载荷试验包括辅助单轨吊车。

9.6.2.3 装卸料机定位精度试验应包括大车、小车定位精度试验和抓具定位精度试验。

9.6.2.4 大车、小车定位精度不应超过 ± 1 mm，抓具定位精度不应超过 ± 3 mm。

9.6.2.5 抓具定位精度试验应包括重复定位精度试验和回转定位精度试验。重复定位精度应在 1 mm \times 1 mm 正方形范围内，回转定位精度应在 2 mm \times 2 mm 正方形范围内。

9.6.2.6 联锁试验至少应包括：大、小车运动与主起升运动联锁、抓具操作与主起升位置联锁、紧急手动与电动操作的联锁等试验。

9.6.2.7 保护试验应包括载荷保护试验、速度分区试验和边界控制试验。

9.6.2.8 模拟故障试验通过模拟设备运行中出现的故障，检查设备监测和应对故障的能力。

9.6.3 厂内检验与验收

装卸料机检验与验收的标准是：设备运动速度和定位精度满足设计要求，各项试验结果满足设计指标，能够满足安全装卸和转运燃料组件的功能，满足换料效率的要求。

9.6.4 现场试验

现场试验除了静载试验，应重复厂内试验的内容，同时装卸料机的所有参数、定位点和载荷保护值应按现场条件进行设定和试验。

9.6.5 现场验收

装卸料机现场检验与验收的标准是：设备定位点符合现场堆芯布置，各项试验结果满足设计指标，满足安全装卸和转运燃料组件的功能，满足换料效率的要求。

附 录 A
(资料性附录)
装卸料机运行速度参考

装卸料机运行速度参考见表A.1。

表A.1 装卸料机运行速度参考

机构	主起升	大车	小车
高速 (m/min)	0~12	0~18 (15)	0~12
低速 (m/min)	0~1	0~1	0~1