

密级：AA

内部资料
不得翻印

版次	A
序号	施設 4.4.2.1
共 1 册第 1 册	

华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程

燃料装卸系统
输送转换设备技术规格书

设备及部件要求

H	S	1	T	1	0	7	3	1	0	F	C	A	0	0	0	1	D	S	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

清华大学核能技术设计研究院

工程设计证书甲级 010609-sj

国核安证字第 S (11) 17 号

2014 年 10 月

密级：AA

内部资料
不得翻印

版次	A
序号	施设 4.4.2.1
共 1 册第 1 册	

华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程

燃料装卸系统
输送转换设备技术规格书
设备及部件要求

H	S	1	T	1	0	7	3	1	0	F	C	A	0	0	0	1	D	S	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

清华大学核能技术设计研究院
工程设计证书甲级 010609-sj
国核安证字第 S (11) 17 号
2014 年 10 月

文 件 目 录

本文件共 143 页

章节序号	标 题	页 次
1	总则.....	1
1.1	主题内容.....	1
1.2	适用范围.....	1
1.3	定义.....	2
1.4	总体要求.....	3
2	引用标准及文件.....	5
2.1	引用标准、规范.....	5
2.2	适用文件.....	9
3	设备构成及等级、类别划分.....	9
3.1	设备构成.....	9
3.2	等级划分.....	11
4	功能.....	11
4.1	主要功能.....	11
4.2	安全相关功能.....	12
5	主要技术特性.....	13
5.1	总体设计工况.....	13
5.2	性能参数概况.....	14
5.3	运行工况.....	15
5.4	环境条件.....	15
5.5	接口条件.....	16
5.6	安装要求.....	18
5.7	特殊要求.....	19
6	设计.....	19

文 件 目 录

本文件共 143 页

章节序号	标 题	页 次
6.1	总体设计概述.....	19
6.2	装卸料装置.....	30
6.3	堆芯进料装置.....	37
6.4	碎球分离装置.....	40
6.5	装料暂存装置.....	45
6.6	卸料暂存装置.....	49
6.7	堆芯缓冲装料装置.....	54
6.8	定向转换装置.....	57
6.9	桥联器.....	63
6.10	能耗测量定位分配器.....	64
6.11	阻流器.....	66
6.12	单通器.....	68
6.13	转向器.....	69
6.14	分配器.....	70
6.15	停球器.....	71
6.16	检调定位装置.....	72
6.17	隔离器.....	74
6.18	补偿器.....	76
6.19	缓冲器.....	78
6.20	石墨球复检定位装置.....	79
6.21	能耗测量标定定位器.....	80
6.22	抽吸装置.....	80
6.23	元件夹钳.....	81

文 件 目 录

本文件共 143 页

章节序号	标 题	页 次
6.24	屏蔽件.....	82
6.25	特种过球管道配件.....	82
6.26	发射器.....	84
6.27	收尘器.....	85
6.28	减速器.....	85
6.29	喷射器.....	86
6.30	法兰短节.....	86
6.31	“T”型半开管架.....	86
6.32	挤压和锻制管件.....	87
6.33	过球检测装置.....	87
6.34	电气部件.....	90
7	供货范围.....	92
7.1	供货范围.....	92
7.2	供货方承担的项目.....	93
7.3	供货方服务的范围.....	93
8	材料要求.....	94
8.1	金属材料.....	94
8.2	焊接材料.....	95
8.3	紧固与密封材料.....	95
8.4	屏蔽及保温材料.....	95
8.5	其他材料.....	96
9	制造要求.....	97
9.1	零部件一般要求.....	97

文 件 目 录

本文件共 143 页

章节序号	标 题	页 次
9.2	机械加工.....	98
9.3	特种管件的制造.....	99
9.4	焊接.....	100
9.5	热处理.....	102
9.6	表面处理.....	102
9.7	电气设备制造.....	103
9.8	清洁.....	103
9.9	铭牌和标示.....	105
10	检测、试验及验收要求.....	107
10.1	无损检验.....	107
10.2	耐压试验.....	108
10.3	气密性试验.....	110
10.4	工厂验收试验 (FAT)	111
10.5	现场验收试验(SAT).....	131
10.6	最终验收.....	133
11	涂漆、包装和贮运.....	133
11.1	涂漆、包装和贮运总体要求.....	133
11.2	涂覆与包装要求.....	135
12	质量保证和质量控制.....	136
12.1	质量保证.....	136
12.2	质量控制.....	137
13	供货方提供的文件.....	138
13.1	总的要求.....	138

文 件 目 录

本文件共 143 页

章节序号	标 题	页 次
13.2	出厂技术文件.....	139
13.3	质保文件.....	140
13.4	工艺性文件.....	141
13.5	管理报告.....	141
13.6	分包方文件.....	141
14	配套设备要求.....	142
14.1	设备部件耐辐照要求.....	142
14.2	配套管道及钢结构要求.....	142
14.3	配套仪电控要求.....	142
15	安装及服务要求.....	142
15.1	安装要求.....	142
15.2	服务要求.....	143
16	附表.....	143
17	附图.....	143

设备及部件要求

1 总则

1.1 主题内容

本技术规格书规定华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程（HTR-PM）中，燃料装卸系统用输送转换设备的技术要求，包含设计、制造、试验和检验等方面的技术要求和各相关过程的质量保证要求，以及设计、制造和技术服务的工作范围和职责，未包含的其他需遵守的通用技术标准、规范等要求由供货方保证。

本技术规格书是设备订货、制造和验收的依据。本技术规格书提供了设备的基本技术要求。在设备订货合同签订之后，如有变更及补充之处，需按规定程序由订货方（甲方）和供货方（乙方）协商确认。本技术规格书中未尽事项，如订货方认为应为设备制造过程中所必须且经供货方及订货方共同认可，也可成为本技术规格书之附加技术条件。

1.2 适用范围

本技术规格书涉及的设备及部件，隶属于 HTR-PM 燃料装卸系统中的球流主系统（FCA），其适用范围包括装卸料装置、定向转换装置、检调定位装置、过球检测装置、特种过球管道配件及相关电气部件等全部输送转换设备及部件。本技术规格书仅适用于所述输送转换设备的技术要求，包含设计、材料、制造、试验、检验、验收、质量保证及技术服务和现场支持等要求。

本技术规格书规定的 HTR-PM 中燃料装卸系统用输送转换设备的设计、性能、制造、检验、试验等方面的技术要求，以及各相关过程的质量保证要求，将作为合同的一部分与合同等效。经订货方（或订货方代表）和供货方认可的各种计算、图纸、试验规程和技术文件不转移供货方对合同应负的责任。

1.3 定义

HTR-PM	华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程
DCS	HTR-PM 的分布式控制系统
NS	设备的安全等级为非安全级
NA	设备为常规抗震类
NC	设备为常规质保等级
QA3	设备的质保等级为3级
FCA	KKS 系统编码, 燃料装卸主系统
FCB	KKS 系统编码, 装卸料装置 (复杂设备升级为系统)
AB	KKS 设备编码, 隔离器
AE	KKS 设备编码, 定向转换装置、石墨球复检定位装置
AF	KKS 设备编码, 驱动线 (装卸料装置)
AS	KKS 编设备码, 补偿器
AU	KKS 设备编码, 堆芯进料装置、缓冲器
AX	KKS 设备编码, 损耗测量标定定位器
BB	KKS 设备编码, 粉尘/碎球罐、收尘器
BN	KKS 设备编码, 发射器、喷射器
BP	KKS 设备编码, 减速器
BQ	KKS 设备编码, T 型管架
CX	KKS 设备编码, 过球检测装置
GW	KKS 设备编码, 机柜电源设备
GX	KKS 设备编码, 电磁驱动机构
HA	KKS 设备编码, 机械壳体部分
HB	KKS 设备编码, 机械转动部分
HD	KKS 设备编码, 轴承构件
JS	KKS 设备编码, 屏蔽部件
-A	KKS 关键部件编码, 电磁驱动器

-M	KKS 关键部件编码, 电动机、伺服电机
-N	KKS 关键部件编码, 伺服控制器
-L	KKS 关键部件编码, 过球检测装置传感器
-U	KKS 关键部件编码, 过球检测装置二次仪表
MG	KKS 关键部件编码, 缓冲器 (设备部件)
MR	KKS 关键部件编码, 管道部件
MU	KKS 关键部件码, 磁力同步器/传动器、永磁传动器

1.4 总体要求

1.4.1 工艺与技术特性

本技术规格书中所述设备种类繁多, 且均为非标设备, 供货方在设计、材料、制造、检验和试验等方面应重点关注以下要求:

- (1) 设备的专用性。这些设备和部件均是 HTR-PM 燃料装卸系统特有的专用设施, 大多数设备均含有运动部件, 或者参与球形元件的输送与转换操作, 且主要在高温、高压和含粉尘的强渗透性氦气环境, 以及强放射性的 γ 射线工况下高频运转。因此, 设备及部件的结构极其特殊, 在压水堆、柱状堆芯的高温气冷堆, 以及其他堆型上极为罕见, 设计和制造难度大;
- (2) 特有的球流装卸与输送性能。采用单一化输送原则, 靠重力和气体压送输送球形元件, 在输送中存在球形元件结拱、因碎屑和粉尘而堵塞等故障, 要采取破拱、除尘等措施, 装卸料装置必须采用经过验证的装卸料机构和相关的内部及外部构件;
- (3) 耐辐照性能及辐照防护要求。绝大部分设备和部件内部要通过或存储强放射性的球形元件, 40 年寿命期内设备部件的内部累积辐照剂量大于 107Gy, 外部累积辐照剂量大于 105Gy, 在设计和选材上, 如非金属材料、密封件和电气部件, 必须考虑辐射的影响; 为达到维修人员的可接近性和减少射线对特殊零件的辐射, 对一些设备的部位和有关部件必须进行屏蔽;

- (4) 耐摩擦磨损和冲击磨损性能。设备部件主要安装于承压管路上，依靠重力和气体压送输送球形元件的数量多达200~3000个/天，在选材和材料表面处理工艺上，必须重点关注相关部位和部件的摩擦磨损与冲击磨损，以保证设备部件的运行寿命；
- (5) 无油润滑技术。设备工作在高温、高纯度的氦气气氛中，对运动部件应采用基于固体润滑剂或自润滑的无油润滑技术，尤其是轴承材料必须经过辐照老化试验、高温和无油润滑带载加速运行试验，以验证其运行可靠性；
- (6) 动密封及静密封要求。承压设备部件均工作在高压、强渗透性氦气氛中，对动密封要采用“全密封”的轴封结构，如磁力传动器和电磁驱动器，对静密封采用金属 O 形环和软金属垫等；盘根密封、O 形橡胶圈、金属缠绕垫等密封均满足不了泄漏要求；
- (7) 精准的运动控制要求。定向转换装置都属于回转型机构，利用磁力同步器解决压力、温度、辐照、动密封等技术难题，通过交流伺服系统精确控制转角，以保证到位准确、流畅输送元件，为保证长期可靠、精准的运动控制，必须采用经过验证的磁力传动部件和交流伺服系统；
- (8) 严格的加工工艺。在转动的设备内有元件通过，在设备和部件的流道上限制错边量 ($<0.2\text{mm}$) 和间隙 ($<1\text{mm}$)，避免棱角、突变，以保护石墨基体球形元件的几何完整性；各类设备的驱动机构及相关配合部件对加工精度、表面粗糙度、润滑及到位准确性要求严格，应积累一定加工经验方可承担此加工重任。

1.4.2 业绩及设计验证要求

本技术规格书中涉及的各类输送转换设备是 HTR-PM 燃料装卸系统的核心装备、主要设备和关键部件，其相连管路与反应堆联通，属于反应堆一回路分支系统。

燃料装卸系统执行 HTR-PM 寿命期内堆芯元件的全部操作功能，该系

统不仅是一个具有特殊空间布局的压力管道与承压设备部件系统，更是一个庞大的运动控制型机电系统，系统中的输送转换设备，尤其是其大量运动设备部件，超长时间连续运行在极端苛刻的环境条件中和十分复杂运行工况下，这些设备部件的成熟性与运行可靠性关系到核电站的经济性和反应堆的安全性。按照核安全法规相关要求，核心设备及关键部件均需通过设计验证，因此，供货方应基于1.4.1的工艺与技术特性，对如下内容提供响应资料：

- (1) 相关或类似产品的制造业绩；
- (2) 相关或类似产品的运行报告及试验数据；
- (3) 设备组成材料的辐照数据资料，以及屏蔽结构技术方案；
- (4) 装卸料装置卸料机构及破拱部件、定向转换设备驱动线、隔离器与缓冲器等设备内部结构及配套部件的技术方案；
- (5) 装卸料装置和定向转换装置成套方案及核心部件工艺路线；
- (6) 技术偏离说明及证明材料。

如供货方无相关运动设备及部件的供货业绩和制造经验，则在开工制造前应制造样机并通过型式试验，样机及试验技术方案应提交 HTR-PM 核岛设计院确认，型式试验内容至少包括：

- (1) 耐压试验；
- (2) 正压氦检漏试验；
- (3) 过球功能试验；
- (4) 冷态及热态寿命试验；
- (5) 电气控制试验。

2 引用标准及文件

2.1 引用标准、规范

HAF 003	核电厂质量保证安全规定
HAD003/03	核电厂物项和服务采购中的质量保证

HAD102/05	核电厂燃料装卸和贮存系统
HAD003/06	核电厂设计中的质量保证
HAD003/08	核电厂物项制造中的质量保证
GB 150-2011	压力容器
GB 713—2008	锅炉和压力容器用钢板
GB 1497-1985	低压电器基本标准
GB 3047.6-2007	电子设备台式机箱基本尺寸系列(GBT)
GB 14976-2002	流体输送用不锈钢无缝钢管
GB 24511-2009	承压设备用不锈钢钢板和钢带
GB/T 222-2006	钢的成品化学成分允许偏差
GB/T 469-2005	铅锭
GB/T 699-2008	优质碳素结构钢
GB/T 700-2006	碳素结构钢
GB/T 825-1988	吊环螺钉
GB/T 983-2012	不锈钢焊条
GB/T 1184-1996	形状和位置公差数值 形位公差未注公差值
GB/T 1220-2007	不锈钢棒
GB/T 1801-1999	公差带和配合的选择
GB/T 2423.2-2001	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 B：高温
GB/T 2423.11-1997	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Fd：宽频带随机振动——一般要求
GB/T 3181-2008	漆膜颜色标准
GB/T 3217-92	永磁（硬磁）材料磁性试验方法
GB/T 4180-2000	稀土钴永磁材料
GB/T 4208-2008	外壳防护等级 IEC 60 529:2001
GB/T 4334-2008	金属和合金钢的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法

GB/T 4798.1-2005	电工电子产品应用环境条件, 的1部分: 贮存
GB/T 4798.2-2008	电工电子产品应用环境条件, 的2部分: 运输
GB/T 6394-2002	金属平均晶粒度测定方法
GB/T 6807-2001	钢铁工件涂装前磷化处理技术条件
GB/T 8923-2011	涂覆涂料前钢铁表面处理
GB/T 9239-2006	恒态(刚性)转子平衡品质要求
GB/T 10233-2005	低压成套开关设备和电控设备基本试验方法
GB/T 11376-1997	金属的磷酸盐转化膜
GB/T 12363-2005	锻件功能分类
GB/T 12789.3-1992	核反应堆仪表准则第三部分:高温气冷反应堆
GB/T 13237-2013	优质碳素结构钢冷轧钢板和钢带
GB/T 13306-2011	标牌
GB/T 13384-2008	机电产品包装通用技术条件
GB/T 14048-2000	低压开关设备和控制设备
GB/T 14986-2008	耐蚀软磁合金技术条件
GB/T 15823-2009	无损检测 氦泄漏检验方法
GB/T 17626-1998	电磁兼容 试验和测量技术
GB/T 17626.1-1998	电磁兼容试验和测量技术抗扰度试验总论
GB/T 25137-2010	钛及钛合金锻件
GSB 05-1426-2001	漆膜颜色标准样卡
JB/T 4711-2003	压力容器涂敷与运输包装
JB/T 4712-2007	容器支座
JB/T 4730-2005	承压设备无损检测
JB/T 6396-2006	大型合金结构钢锻件 技术条件
JB/T 6397-2006	大型碳素结构钢锻件 技术条件
JB/T 7352-1994	工业过程控制系统用电磁阀
JB/T 57184-1994	电磁阀产品质量分等

JB/T 57209-1994	电磁阀可靠性要求与考核方法
NB/T 4790-2010	承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
NB/T 20003-2010	核电厂核岛机械设备无损检测
NB/T 20010-2010	压水堆核电厂阀门
NB/T 20010.7-2010	压水堆核电厂阀门 第7部分 包装运输与贮存
NB/T 47008-2010	承压设备用碳素钢和合金钢锻件
NB/T 47010-2010	压力容器用不锈钢锻件
NB/T 47014-2011	承压设备焊接工艺评定
NB/T 47015-2011	压力容器焊接规程
EJ/T 168-2001	核设备用不锈钢锻件
EJ/T 471-1999	压水堆核电厂 GH4169A 合金 O 形环技术条件
EJ/T 564-2006	核电厂物项包装、运输、装卸、接收、贮存和维护要求
EJ/T 626-1992	核电厂电气、仪表和控制设备安装、检查试验要求
EJ/T 626-1992	核电厂电气、仪表和控制设备安装、检查试验要求 HTR-PM S-Eng.2.05 工程设计手册 设备和管道的常用颜色
EJ/T 789-1993	核设施辐射屏蔽设计一般原则
EJ/T 1012-1996	压水堆核电厂核岛机械设备制造规范
EJ/T 1022.7-1996	压水堆核电厂阀门 包装、运输和贮存
EJ/T 1022.17-1996	压水堆核电厂阀门 表面处理通用技术条件
IEEE 323—83	核电厂1E级设备要求
HB 5022-1994	航空钢制件渗氮、氮碳共渗金相组织检验标准
HTR-PM 施設1.2.8	核岛油漆选用技术条件 (C 版)
HTR-PM 施設1.13.1	核岛系统安装阶段现场清洁及清洁度技术要求
HTR-PM 施設 N.2.24.1	仪控电盘柜箱体制作规定

HTR-PM 施設 N.2.24.2 仪控电设备标牌制作规定

RAL K5 德国劳尔色卡

注：凡标准中有与本规格书发生矛盾的地方均以本规格书为准。

2.2 适用文件

2.2.1 附带的技术条件

输送转换设备技术规格书 设备技术特性

输送转换设备技术规格书 设备及部件总图

2.2.2 不附的文件

本技术规格书涉及的技术规范及相关的规范标准；

本规格书中涉及的中国国家标准、部颁标准和涉及的相关规范。

3 设备构成及等级、类别划分

3.1 设备构成

3.1.1 装卸料装置

执行球形元件的装卸、分选与暂存等功能，是燃料装卸系统的核心主设备，依据运行压力，分为两类，即：

(1) 承压的机电一体化设备，包括碎球分离装置、装料暂存装置、卸料暂存装置；

(2) 非承压机械设备，包括堆芯进料装置和堆芯缓冲装料装置。

3.1.2 定向转换装置

执行球形元件的截停、定位、分隔、分流、阻流、桥接、分配、转向、切换等输送转换功能，是燃料装卸系统可靠运行的关键主设备，依据运行压力，分为两类，即：

(1) 承压的机电一体化设备，包括桥联器、燃耗测量定位分配器、阻流器、单通器、分配器、转向器；

- (2) 非承压机械设备，包括空气下使用的停球器、转向器和桥联器等。

3.1.3 检调定位装置

用于执行检修、调试、隔离、复检、定位、管路补偿、减缓球速、故障处理等功能，是燃料装卸系统运行与维修配套的重要设备部件，依据在线情况，分为两类，即：

- (1) 安装于管路的设备，包括隔离器、补偿器、缓冲器和石墨球复检定位装置；
- (2) 存放备用的设备，包括燃耗标定定位器、抽吸装置、元件夹钳和屏蔽件等。

3.1.4 特种过球管道配件

安装于球流主系统管路，辅助执行球形元件重力输送、气力输送，以及管路连接和支撑设备等功能球流管路非标部件，是燃料装卸系统球流管路的重要配套件，包括两类，即：

- (1) 管道组装件，包括发射器、减速器、喷射器、收尘器、法兰短节、T型球管夹具和补偿器支撑座等。
- (2) 管道组成件，包括过球弯头、异径接头和过球三通等。

3.1.5 过球检测装置

由基于涡流检测原理的管道外装式传感器和二次仪表两部分组成，用于实时探测管道内球形元件运动状态，并进而通过主控制系统 DCS 指令管理暂存和通过的元件数量、控制装卸料装置和定向转换装置的执行机构的运动，是燃料装卸系统自动化运行的关键主设备，依据在线情况，分为两类，即：

- (1) 在线安装设备，包括单向计数器、双向计数器、碎球计数器；
- (2) 调试备用设备，包括单向计数器、测速器。

3.1.6 电气控制设备

为上述机电一体化设备供电和控制相关仪控箱，设备包括：

- (1) 电气柜。用于8台变频电机的变频驱动；
- (2) 控制柜。用于28台定向转换设备伺服电机的驱动及3台反吹过滤器的控制；
- (3) 仪表柜。用于72台过球检测装置的二次仪表箱。

3.2 等级划分

安全等级：	NS
抗震类别：	I、NA
规范等级：	GB
质保等级：	QA3、NC
管道等级：	S1A3
清洁度等级：	A1、A23、B、C
包装贮运分级：	B、C、D

4 功能

4.1 主要功能

HTR-PM 采用球形燃料元件运行，在不停堆的情况下进行燃料循环和装卸，隶属于燃料装卸球流主系统的输送转换设备执行如下主要功能：

4.1.1 初始装料及过渡循环

- (1) 初始堆芯混合燃料装料，直至初始临界。
- (2) 低功率调试状态或停堆状态下，将堆芯底部纯石墨区内的石墨球全部排出，同时堆芯顶部装满混合燃料，实现满功率运行。
- (3) 用低富集度燃料元件逐步替换堆芯的石墨球，直至堆芯柱内的石墨球全部排出堆芯。
- (4) 用平衡堆芯高富集度燃料元件逐步替换低富集度燃料元件，直

至低富集度燃料元件全部排出堆芯，达到平衡堆芯状态。

4.1.2 正常运行中的燃料装卸

- (1) 在功率运行时，进行堆芯卸料，将分离出的破损燃料元件和燃料元件碎片送入碎球罐贮存；
- (2) 对从堆芯排出的燃料元件进行燃耗测量，并将没有达到最终燃耗深度的燃料元件装入堆芯作再循环；
- (3) 卸出乏燃料并输送到乏燃料贮存系统；
- (4) 向堆芯补充新燃料元件。

4.1.3 堆芯排空与重新装料

- (1) 在特殊情况下需将堆芯排空，并将排出的全部燃料元件输送到乏燃料贮罐（或再装料罐）中；
- (2) 需要时将这些燃料元件重新装入堆芯。

4.1.4 取样与退役

- (1) 提取样品燃料元件以进一步开展分析研究；
- (2) 反应堆退役时的堆芯燃料元件卸出。

4.2 安全相关功能

本技术规格书所述的输送转换设备不参与反应性控制、堆芯余热排出和堆芯冷却剂包容，不执行反应堆安全功能，因而不属于反应堆安全设施。

但是，所述主要输送转换设备隶属于燃料装卸球流主系统，其相连管路与反应堆联通，属于反应堆一回路分支系统，执行球形元件装卸与循环输送的主要功能，同时执行如下与反应堆安全无关的系统级安全相关功能：

(1) 燃料管理

通过过球检测装置对过球管路进行过球信号探测，对管路暂存段和暂存容器内的球形元件进行数量复核，辅助执行反应堆堆芯燃料管理功能。

(2) 燃料几何完整性保护

对输送中的燃料元件进行减速和缓冲，以免燃料元件因过分碰撞与跌落而破损。

(3) 高放废物固体暂存

对破损燃料元件及放射性粉尘进行收集与场内暂存。

(4) 放射性气体包容

对输送转换设备的承压壳体进行可靠密封，对大气边界进行可靠隔离，限制放射性气体的对外排放。

(5) 乏燃料余热排出

对卸料暂存装置内的乏燃料进行强制冷却，避免设备和舱室过热。

(6) 设备及人员辐射防护

对机电一体化的输送转换设备执行电气设备的辐射防护功能，以保证使用寿命；对承压密封件合理选材进行 γ 射线防护，以保证密封性能；对球形元件暂存且可能维修的设备部件进行 γ 射线及中子屏蔽，以保证人员安全。

5 主要技术特性

5.1 总体设计工况

表5.1 工况参数

序号	名称	单位	量值	备注
1	设计压力			
1.1	高压设备及部件	MPa	8.3/8.9	卸料暂存装置、装料暂存装置、碎球分离装置、燃耗测量定位分配器、单通器、阻流器、桥联器、分配器、转向器、隔离器、补偿器等
1.2	低压设备及部件	MPa	0.4	停球器、抽吸装置、石墨球复检定位装置等
1.3	常压设备		常压	堆芯进料装置、堆芯缓冲装料装置、长柄工具、T型管夹等、燃耗测量标定装置、计数器等
2	设计温度			
2.1	高温设备	°C	350	堆芯进料装置

2.2	中高温设备	°C	260	卸料暂存装置、碎球分离装置、能耗测量定位分配器、单通器、阻流器、桥联器、隔离器等
2.3	中温设备	°C	80	装料暂存装置、分配器、转向器、计数器
2.4	常温设备		常温	停球器、抽吸装置、石墨球复检定位装置、堆芯缓冲装料装置、长柄工具、T型管夹、能耗测量标定装置等
3	辐照剂量			
3.1	内辐照剂量	Gy	$\sim 10^7$	主循环球路设备承压壳内部件 卸料球路设备承压壳内部件
3.2	外辐照剂量	Gy	$\sim 10^5$	球路舱室设备
3.3	内辐照剂量	Gy	$\sim 10^3$	新燃料装料设备承压壳内部件
3.4	其余	Gy	$\sim 10^2$	备用设备部件

5.2 性能参数概况

表5.2 性能参数

序号	名称	单位	量值	备注
1	屏蔽结构厚度			
1.1	卸料管屏蔽	cm	17	铅
1.2	碎球分离装置筒体	cm	15	铅
1.3	碎球分离装置底面	cm	10	铅
1.4	粉尘收集罐	cm	3	钢
1.5	电机及伺服电机	cm	3	钢
1.6	卸料暂存装置垂直筒体	cm	22	铅
1.7	卸料暂存装置中子屏蔽	cm	10	含硼聚乙烯
1.8	碎球罐	cm	13.5	铅
1.9	进料装置中子屏蔽塞高度	cm	50	钢
2	球形元件			
2.1	燃料球输送限制速度	m/s	10	
2.2	燃料球下落限制高度	m	4	
2.3	碎球率		6/100,000	
2.4	碎球等效尺寸	mm	56.5	

3	功能参数		
3.1	循环球能力	个/天	9000
3.2	暂存装置容量	个/罐	4000
3.3	碎球罐数量	个	4
3.4	碎球罐容量	个	4000
4	转换器性能		
4.1	磁力同步器转角精度	°	±0.2
4.2	磁力同步器扭矩	Nm	50
4.3	磁力同步器转速	r/min	10
5	管件参数		
5.1	重力输送管件内径	mm	65
5.2	气力输送管件内径	mm	62
5.3	堆内进球管内径	mm	70
6	密封要求		
6.1	内密封泄漏率	Pam ³ /s	≤1×10 ⁻⁵
6.2	外密封泄漏率	Pam ³ /s	≤1×10 ⁻⁷
7	可靠性要求		
7.1	使用寿命	年	40
7.2	检修周期	年	4

5.3 运行工况

上述输送转换设备及部件安装于燃料装卸球流主系统的不同位置，有的放置于备用与检修设备间。各种设备和每台设备及部件均有各自相应的运行工况，甚至对应于多种运行工况和动态的运行参数。

所有这些设备及部件的运行工况与参数，都是通过复杂的燃料装卸工艺流程及控制逻辑来实现和调节的，具体工况在《燃料装卸系统手册》中详细说明。

5.4 环境条件

工作温度： <40℃

相对湿度： ≤85%

辐照分区： 橙区

舱室辐照剂量： 10^5Gy

5.5 接口条件

5.5.1 输送转换设备之间的接口

以下设备部件具有相同的进球接管和出球接管：

- (1) 碎球分离装置、卸料暂存装置、装料暂存装置；
- (2) 各种定向转换装置；
- (3) 隔离器、石墨球复检定位装置；
- (4) 各类特种过球管道配件。

这些设备及部件之间通过特种过球管道、管件相连，接口如下：

- (1) 接口材料：06Cr18Ni11Ti；
- (2) 接口尺寸：ID65×6 或者 ID62×6；
- (3) 接口形式：焊接。

5.5.2 与燃料装卸辅助系统之间的接口

输送转换设备作为球流主系统的设备部件，与氦气气力输送系统、压缩空气气力输送系统、装卸料气氛切换系统和吹扫系统等辅助系统通过气体管道相连，接口如下：

- (1) 接口材料：06Cr18Ni11Ti；
- (2) 接口尺寸： $\Phi 60\times 5$ 、 $\Phi 34\times 4$ 、 $\Phi 21\times 3$ ；
- (3) 接口形式：焊接。

5.5.3 与新燃料供应系统和乏燃料贮存系统的接口

输送转换设备作为燃料装卸球流主系统的设备及部件，通过特种过球管道和管件与新燃料供应系统（FAA）和乏燃料贮存系统（FAB）相连，其实体接口如下：

- (1) 接口材料：06Cr18Ni11Ti；

(2) 接口尺寸: $\phi 60 \times 5$ 、 $\phi 34 \times 4$ 、 $\phi 21 \times 3$;

(3) 接口形式: 焊接

(4) 接口数量: FAA 有 2 个, FAB 有 3 个。

输送转换设备通过球流管路与两系统的工艺管路相连, 其装新燃料和卸乏燃料的运行与两系统的工艺控制关联, 由主控制系统 DCS 统一协调。

5.5.4 与燃耗测量系统的接口

基于辐射检测原理, 通过设备准直孔与燃耗测量系统 (FBA) 关联, 实体接口如下:

(1) 燃耗测量定位分配器及其准直孔;

(2) 燃耗测量标定定位器及其准直孔;

(3) 石墨球复检定位装置及其准直孔。

输送转换设备中围绕燃耗测量及石墨球复检工艺, 其运行与 FBA 系统的工艺控制关联, 由主控制系统 DCS 统一协调。

5.5.5 与反应堆压力容器的接口

输送转换设备在反应堆压力容器上封头有三个接口, 包括:

(1) 正常运行接口

- 进球管接口设备: 堆芯进料装置
- 进球管接口形式: $\phi 300$ 管板法兰
- 进球管接口数量: 2/单堆

(2) 初装料及再装料接口 (共用)

- 初始装料接口设备: 堆芯缓冲装料装置
- 初始装料管接口形式: $\phi 300$ 法兰
- 初始装料管接口数量: 1/单堆

5.5.6 与金属堆内构件的接口

- 接口设备: 堆芯进料装置
- 接口形式: 支座及螺栓紧固件

- 接口数量：3

5.5.7 电气接口条件

- (1) 碎球分离装置、装料暂存装置和卸料暂存装置的执行机构由变频电机驱动，由变频驱动电气柜供电和控制。电气柜与现场电机之间的电缆采用耐辐照电缆，由核岛电气设备布置与电缆桥架敷设系统（BCS）负责，不在本技术规格书供货范围内；
- (2) 碎球分离装置、装料暂存装置和卸料暂存装置破桥扰动由电磁驱动机构完成，石墨球复检装置采用电磁驱动，电气柜与现场电机之间的电缆采用耐辐照电缆。电气柜和电缆均由核岛电气设备布置与电缆桥架敷设系统（BCS）负责，不在本技术规格书供货范围内；
- (3) 定向转换装置的执行机构由交流伺服电机驱动，由伺服驱动控制柜供电和控制。控制柜与现场电机之间的电缆采用耐辐照电缆，由核岛电气设备布置与电缆桥架敷设系统（BCS）负责，不在本技术规格书供货范围内；
- (4) 在碎球分离装置、装料暂存装置和卸料暂存装置上设置的压力、温度和真空等测点的相关仪表、仪表阀及电缆等由热工过程测量系统（CFB）负责，不在本技术规格书供货范围内；
- (5) 输送转换设备的自动运行统一由核电站主控制系统 DCS 控制。

5.6 安装要求

5.6.1 现场布置

输送转换设备分别安装在 HTR-PM 示范工程的装卸料循环主舱室 1（1UJA95 101）、装卸料循环主舱室 2（1UJA95 201）、缓冲管道间（1UJA91 105）和提升隔离阀间（1UJA20 104）内。

备用的专用设备放置于装卸料备用工具间（1UJA95 106）、检修工具间（1UJA91 106）和再装料设备间（1UJA20 106）内。

设备电控柜安装在装卸料电气设备间（1UJA85 104）内。

5.6.2 安装特征参数

输送转换主设备及特种管道配件与非标管道附件，通过过球管道连接为球流主系统，并由钢结构支撑。设备及部件的安装另见设备安装图册、设备及管道布置轴测图，设备安装要求另见《燃料装卸系统设备及管道安装技术要求》。

5.7 特殊要求

参见 1.4。

6 设计

6.1 总体设计概述

6.1.1 系统设计

本技术规格书所述输送转换设备隶属于 HTR-PM 燃料装卸球流主系统（FCA），这些设备与部件分属于 FCA 的堆芯卸料、燃料提升、堆芯装料、新燃料装料、乏燃料卸料、再装料及备用等 6 个子系统，设备基本布置参见施設 4.4.2.3 之附图 1-1。

6.1.1.1 堆芯卸料子系统及设备

堆芯卸料子系统的上游与反应堆压力容器的卸料管相连，包括卸料装置（承压壳体安全一级）、压力边界隔离阀组（安全一、二级）、竖直补偿器、碎球分离装置、桥联器、燃耗测量定位分配器及相关球流管路与管件。

每座反应堆模块各有一个独立的堆芯卸料子系统，并在卸料装置两侧分成两个支路，即两列管路系统。在每列的碎球分离装置处各引出一个通往碎球罐的分支管路。桥联器可任意连通两列主管路，每个燃耗测量定位分配器均与外部接口的燃耗测量系统关联。以碎球分离装置为界，上游为下落高度接近 4 米的竖直管路，下游为倾斜空间管路，在碎球分离装置入口处设置有缓冲器，用以保护球形元件的几何完整性。每个球流管路系统

均至少设有一个计数器（包括单向计数器和碎球计数器），用于探测球流信息，并进而通过 DCS 主控制系统进行堆芯卸料的自动控制。

两个堆的堆芯卸料子系统及其输送转换设备分别安装于装卸料循环主舱室 1（1UJA95 101）和装卸料循环主舱室 2（1UJA95 201）内。

6.1.1.2 燃料提升子系统及设备

燃料提升子系统的上游与堆芯卸料子系统管路和新燃料装料子系统管路相连，包括阻流器、发射器、收尘器、底部空间管线、空间补偿器、过球变径接头、中部提升管线、顶部空间管线、减速器、压力边界隔离阀组（安全一、二级）、隔离器（承压壳体安全一级）、过球穿墙件（贯穿件安全三级、管道安全一级）及安全一级球流管道与管件。

每个反应堆模块各有一个独立的燃料提升子系统，每个模块的燃料提升子系统均包括两列管路系统，分别与各堆各自堆芯卸料系统中的两列系统相连，并在发射器、减速器及三通管件处分别与氦气气力输送子系统相连，共同执行球形元件向堆芯的气力提升输送。每列球流管路系统至少设有若干计数器（包括单向计数器和双向计数器），用于探测球流信息，并进而通过 DCS 主控制系统进行燃料提升的自动控制。

两个堆的燃料提升子系统及其输送转换设备分别安装于装卸料循环主舱室 1（1UJA95 101）、装卸料循环主舱室 2（1UJA95 201）、缓冲管道间（1UJA91 105，共用）、提升隔离阀间（1UJA20 104，共用），以及反应堆压力容器舱室 1（1UJA20 101）和反应堆压力容器舱室 2（1UJA20 201）内。

6.1.1.3 堆芯装料子系统及设备

堆芯装料子系统的上游与燃料提升子系统管路相连，包括两个进料法兰管板（安全一级）和一台堆芯进料装置。进料法兰管板的竖直出口管承插在堆芯进料装置两个进料通道之一的进料漏斗内，堆芯进料装置与堆芯上部的金属堆内构件相连。

每个反应堆模块各有一个独立的堆芯装料子系统，两个堆的堆芯装料子系统及其输送转换设备分别安装于反应堆压力容器舱室 1 (1UJA20 101) 和反应堆压力容器舱室 2 (1UJA20 201) 内。

6.1.1.4 新燃料装料子系统及设备

新燃料装料子系统是一个两堆共用的子系统，包括两个可隔离的支路，即两列管路系统，每列管路系统在球流输送方向上可分为装料入口管段、装料暂存管段与装料出口管段三部分。

装料暂存管段以两个装料暂存装置为核心，相关管口与气氛切换子系统相连，执行新燃料接纳、暂存和单一卸料等功能。装料暂存装置包含大容量承压暂存罐、箱体和卸料机构等结构。暂存罐设计容量为 4000 个球形元件，暂存罐入口处设置有缓冲器，用以保护球形元件的几何完整性。在箱体底部的两个出口管分别连接装料出口管段并通向收集和暂存粉尘的粉尘罐支路，在粉尘管支路上设置有隔离器。

装料入口管路为两个独立的支路，即两列管路，入口管与外部新燃料供应系统连接。在倾斜空间管线上设置有停球器、计数器、压力边界隔离阀组及相关球流管件，执行向对应的装料暂存装置输送球形元件的功能。

装料出口管段也是倾斜的空间管线，包括转向器、电动隔离阀组、分配器、缓冲器、隔离器及相关球流管道、管件。两列装料出口管段的上游分别与对应的装料暂存装置相连。两列装料出口管段分别在转向器后各引出一个支路，并通过过球三通管件和另一列管路连通。在分支管道上设置的隔离阀组可控制两列管路之间的通断。每列装料出口管路在过球三通管件下游均分为两个支路，通过过球三通管件与两堆对应的燃料提升子系统的两列管路相连，执行向两堆两列管路定向输送球形元件的功能。

每个球流管路系统均至少设有一个单向计数器，用于探测球流信息，并进而通过 DCS 主控制系统进行堆芯卸料的自动控制。

两堆的新燃料装料子系统及其输送转换设备分别安装于缓冲管道间 (1UJA91 105, 共用)、装卸料循环主舱室 1 (1UJA95 101) 和装卸料循环

主舱室 2 (1UJA95 201) 内。

6.1.1.5 乏燃料卸料子系统及设备

乏燃料卸料子系统是一个两堆共用的子系统，包括可隔离的两列管路系统，每列管路系统在球流输送方向上可分为卸料入口管段、卸料暂存管段和卸料出口管段三部分。

卸料暂存管段以两个卸料暂存装置为核心，相关管口与气氛切换子系统相连，执行乏燃料的接纳、暂存和单一卸料等功能。卸料暂存装置包含大容量承压暂存罐、箱体和卸料机构等结构，暂存罐设计容量为 4000 个球形元件。暂存罐入口处设置有缓冲器，用以保护球形元件的几何形状完整性；在箱体底部的两个出口管分别连接卸料料出口管段和通向收集和暂存碎屑、粉尘的屏蔽粉尘罐支路，在屏蔽粉尘罐支路上设置有隔离器。

卸料入口管段包括入口分支管路、主管路和出口分支管路等三部分空间管线，其中主管段包括阻流器、发射器、收尘器、隔离器、底部空间管线、隔离器、空间补偿器、过球变径接头、中部提升管线、顶部空间管线、减速器、法兰短节、转向器及相关球流管道与管件。每列卸料入口管段在上游有两个入口分支管路，分别与相应反应堆堆芯卸料子系统两列管路系统中的燃耗测量定位装置相连，执行乏燃料卸料一次提升功能，两个入口管各包括一台单通器，并在下游通过过球三通管件汇合到卸料入口管段的主管路。每列卸料入口管段在主管路下游通过转向器各分出一个分支管路，即每列卸料入口管段在主管路引出两个出口分支管路，可分别执行向两个卸料暂存装置定向缓冲输送球形元件的功能，出口分支管路设置有压力边界隔离阀组，可实现双列相互隔离。

卸料出口管段也包括两列倾斜空间管路，其中一列管路与外部乏燃料贮存系统连接，包括压力边界隔离阀组、桥联器、缓冲器、石墨球复检定位装置、收尘器、发射器及相关球流管道与管件；另一列则与燃料元件取样管路，包括压力边界隔离阀组、桥联器、隔离器及相关球流管道与管件。两列卸料出口管段的上游分别与对应的卸料暂存装置相连，下游管段通过

桥联器实现上下游管路的自由切换。

由于舱室空间的限制，乏燃料卸料需要执行两次气力提升功能，因而分别与氦气气力输送子系统和压缩空气气力输送子系统相连。石墨球复检定位装置与外部接口的燃耗测量系统关联。

两堆的乏燃料卸料子系统及其输送转换设备分别安装于装卸料循环主舱室 1（1UJA95 101）、装卸料循环主舱室 2（1UJA95 201）、缓冲管道间（1UJA91 105，共用）和提升隔离阀间（1UJA20 104，共用）内。

6.1.1.6 再装料及备用子系统

再装料及备用子系统包括再装料管路和备用设备两列系统。

再装料管路列系统以 1FCB30 卸料暂存装置为核心，在球流输送方向上可分为再装料入口管段和再装料出口管段两部分。

再装料入口管段是一个空间倾斜管线，包括停球器、隔离器组及相关球流管道与管件，其上游与外部乏燃料贮存系统的再装料管路相连，下游通过乏燃料卸料子系统卸料入口管段 1FCB30BR031 管路隔离阀组后的过球三通与 1FCB30BR031 管路相连。来自乏燃料贮存系统的燃料元件可以经过此管路装入 1FCB30 卸料暂存装置中。

再装料出口管段是一个包含两个支路的空间倾斜管线，出口管段的主管段上游与安装于乏燃料卸料出口管段 1FCB30BR040 管路隔离阀组前的转向器的再装料出口相连，其上设置有一个隔离器。在主管段下游设置一个转向器，引出两个支路，两个支路上各设置一个隔离器。两个支路分别通过新燃料装料子系统装料出口管段中两列主管路 1FCB40BR030 与 2FCB40BR030 上的过球三通与所述两列主管路相连，来源于乏燃料贮存系统并暂存于 1FCB30 卸料暂存装置中的燃料元件可以经过所述新燃料装料子系统的两列主管路向两堆堆芯重新装料。

备用设备列系统包括堆芯缓冲装料装置、抽吸装置、长柄工具，以及其他备用和专用工具。其中堆芯缓冲装料装置为两堆共用，可用于反应堆初始装料和堆芯再装料。

再装料管路列系统及其输送转换设备安装于缓冲管道间（1UJA91 105），备用设备列系统的设备部件则分别存放于装卸料备用工具间（1UJA95 106）、检修工具间（1UJA91 106）和再装料设备间（1UJA20 106）内。

6.1.2 流程设计

燃料装卸系统在设计上采用单列化和单一化的定向有序输送原则，利用重力和气动两种方式输送和装卸燃料元件，前者是利用球形燃料元件有利的几何形状，依靠重力在竖直或倾斜管道中自上而下输送；后者依靠气动提升系统实现燃料元件的自下而上输送。燃料装卸球流主系统中燃料元件的输送去目标方向包括堆芯、碎球罐、燃耗测量定位器、装料暂存装置、卸料暂存装置和乏燃料贮存系统等。

HTR-PM 采用燃料元件 15 次通过堆芯的两堆带一机运行方式。为满足 HTR-PM 不停堆连续可靠运行要求，FCA 中的输送转换设备通过全厂 DCS 主控制系统控制，执行初始堆芯装料、堆芯燃料元件循环、卸出乏燃料元件、补充新燃料元件、堆芯排空与再装料等工艺流程，简化的工艺流程图参见施設 4.4.2.3 之附图 1-2。

6.1.2.1 初始堆芯装料

初始堆芯装料是在反应堆底部预装一定高度的石墨球后，在空气气氛下向堆芯输送为初始堆芯特制的混合球形元件，直到堆芯装满，其工艺流程由以下子系统共同完成：

- （1）球流主系统中的新燃料装料子系统和燃料提升子系统；
- （2）燃料装卸辅助系统中的压缩空气气力输送子系统；
- （3）外部接口系统中的新燃料供应系统；
- （4）再装料及备用子系统堆芯缓冲装料装置；
- （5）反应堆主控制系统中的燃料装卸控制子系统。

初始装料时，需要将堆芯缓冲装置装料平台放置于反应堆顶部大厅，去除堆芯进料装置内的中心柱组件，使缓冲管开放。用防护管连接装料平

台和反应堆压力容器顶封头，将伸缩给料管放入缓冲管内，并实施调整给料管长度。

初始装入堆芯的球形元件来源于新燃料装料子系统接口的新燃料供应系统，这些球形元件混合后由一系列独立的装料入口管段输入，并经由装料暂存装置顶部的缓冲器缓冲减速后落入暂存罐中，随后通过装料暂存装置的卸料机构进行单一卸料，料箱内粉尘经由粉尘出口落入粉尘罐，完好元件则流向装料出口管段的转向器和分配器预设通路。之后，这些初始元件流向指定反应堆堆芯装料管路中预定的提升列，在经过管路缓冲器减速后到达堆芯提升子系统发射器，由专设的罗茨风机向堆芯压送，球形元件通过堆芯进料装置导流管后，经由缓冲管进入伸缩给料管，经多级跳跃缓冲后落入堆芯球床。

6.1.2.2 燃料元件主循环

燃料元件主循环工艺流程由以下子系统共同完成：

- (1) 球流主系统中的堆芯卸料子系统、燃料提升子系统和堆芯装料子系统；
- (2) 燃料装卸辅助系统中的气力输送氮气子系统；
- (3) 外部接口系统中的燃耗测量系统；
- (4) 反应堆主控制系统中的燃料装卸控制子系统。

在反应堆运行过程中，活性区中的燃料元件在堆芯中靠重力自上而下流动，并从堆芯下部 $\phi 500\text{mm}$ 直径的卸料管排出。排出的元件分别进入卸料管下端卸料装置料箱，进而通过卸料装置两侧的两套卸料机构分两列，向下游碎球分离装置单一输送。经过碎球分离装置分选后，碎球落入碎球罐中，完好的元件经由桥联器进入燃耗测量定位分配器上游管段，之后逐一在燃耗测量定位分配器上进行燃耗测量。

桥联器能够任意联通上下游两列管路，用以保证卸料的可靠性，燃耗测量定位分配器具有串列元件支撑、隔料、单一输送、元件定位、定向分配等功能。测量后未达到目标燃耗深度的元件经由燃耗测量定位分配器向

堆芯方向提升的管道定向输送，这些元件首先到达阻流器，然后继续向下游管道输送，在经过发射器后，连续运行的氦气气力输送系统利用压缩氦气载带球形元件经由空间管线向堆芯压送。在提升管路顶端，氦气由减速器回流，同时元件经瞬时减速后在重力作用下向堆芯加速下行，进入堆芯进料装置中。在装置中经过缓冲减速后落入堆芯球床，开始再循环。

6.1.2.3 乏燃料元件卸出

乏燃料元件卸出工艺流程由以下子系统共同完成：

- (1) 球流主系统中的堆芯卸料子系统和乏燃料卸料子系统；
- (2) 燃料装卸辅助系统中的氦气气力输送子系统与压缩空气子系统；
- (3) 燃料装卸辅助系统中的气氛切换子系统；
- (4) 外部接口系统中的燃耗测量系统与乏燃料贮存系统；
- (5) 反应堆主控制系统中的燃料装卸控制子系统。

HTR-PM 两堆堆芯每天卸出约 800 个乏燃料元件。由于卸料入口管段的主管段上游有两个分支管路，分别连通单堆堆芯卸料子系统中两列的燃耗测量定位器，为避免堆芯两列卸出的乏燃料同时到达主管段阻流器而发生卡堵，当其中一列经燃耗测量检测出已达到目标燃耗深度的乏燃料元件后，由 DCS 主控制系统判断两列乏燃料元件的检测时间间隔，如果间隔时间大于阈值，则该列乏燃料元件经由单通器默认直通通道到达阻流器；如果间隔时间小于阈值，则该列单通器旋转至停球状态，等待另一列检测到的乏燃料元件到达阻流器并提升后，再启动该列单通器旋转至隔料输送位置或直通位置，向阻流器放行乏燃料。

乏燃料元件经由阻流器后继续向下游管道输送，在经过发射器后，连续运行的氦气气力输送系统利用压缩氦气载带乏燃料经由主管段空间管线向卸料暂存装置压送。在卸料入口管段的主管段下游的转向器预先导通两个卸料暂存装置中的一个。在乏燃料元件压送至提升管顶端，氦气由减速器回流，元件同时瞬时减速后在重力作用下加速下行，并流向预先导通的

卸料暂存装置。经过卸料暂存装置顶端的缓冲器缓冲减速后落入卸料暂存装置料箱暂存。

在卸料暂存装置内的乏燃料元件数量达到预定值后进行卸料操作，首先进行气氛切换，然后通过卸料暂存装置的卸料机构进行单一卸料。从料箱内排出的碎球和粉尘经由碎球出口落入粉尘罐，完好乏燃料元件则在卸料出口管段经由桥联器、缓冲器到达发射器，由乏燃料贮存系统专设的罗茨风机执行二次提升功能，将其吸送（负压抽吸）至乏燃料贮存系统。

6.1.2.4 新燃料元件补充

新燃料元件补充工艺流程由以下子系统共同完成：

- (1) 球流主系统中的新燃料装料子系统和燃料提升子系统；
- (2) 燃料装卸辅助系统中的氦气气力输送子系统；
- (3) 燃料装卸辅助系统中的气氛切换子系统；
- (4) 外部接口系统中的新燃料供应系统；
- (5) 反应堆主控制系统中的燃料装卸控制子系统。

HTR-PM 两堆堆芯每天需要补充约 800 个新燃料元件，这些新燃料元件来源于与新燃料装料子系统接口的新燃料供应系统。外部新燃料元件由一系列独立的装料入口管段输入，并经由装料暂存装置顶部的缓冲器缓冲减速后落入暂存罐中。

在装料暂存装置内的新燃料数量达到预定值后进行装料操作，首先气氛切换，使管内气氛与堆芯气氛连通平衡，然后通过装料暂存装置的卸料机构进行单一装料。从料箱内排出的粉尘经由粉尘出口落入粉尘罐，完好新燃料则排向装料出口管段的转向器和分配器预设通路流向目标反应堆堆芯装料管路中预定的提升列。之后，经过管路缓冲器减速后到达发射器，由专设的氦气压缩机向堆芯压送装料。

6.1.2.5 堆芯排空与再装料

堆芯排空工艺流程与乏燃料元件卸出工艺流程相同，只是经由卸料装

置连续卸出元件，并且不进行燃耗测量，直接输送至卸料暂存装置和乏燃料贮存系统。

堆芯再装料工艺流程由以下子系统共同完成：

- (1) 外部接口系统中的乏燃料贮存系统；
- (2) 球流主系统中的乏燃料卸料子系统；
- (3) 燃料装卸辅助系统中的氦气气力输送子系统与压缩空气子系统；
- (4) 燃料装卸辅助系统中的气氛切换子系统；
- (5) 球流主系统中的再装料管路列系统；
- (6) 球流主系统中的新燃料装料子系统和燃料提升子系统；
- (7) 反应堆主控制系统中的燃料装卸控制子系统。

来源于乏燃料贮存系统的球形元件，由再装料管路列系统中的入口管段装入 2FCB30 卸料暂存装置，然后卸料流向再装料管路列系统中的出口管段预设导通管路，经由预定的新燃料装料子系统出口管段和燃料提升子系统列管路，向目标反应堆堆芯重新装料。

6.1.3 设备范畴

在上述 FCA 子系统中，以下设备和部件不包含在本技术规格书中：

- (1) 堆芯卸料子系统的卸料装置、压力边界隔离阀组（安全一、二级）；
- (2) 燃料提升子系统的压力边界隔离阀组（安全一、二级）、隔离器（承压壳体安全一级）、过球穿墙件（贯穿件安全三级、管道安全一级）及安全一级球流管道、管件；
- (3) 新燃料装料子系统的压力边界隔离阀组；
- (4) 乏燃料卸料子系统的压力边界隔离阀组；
- (5) FCA 系统中的过球管道；
- (6) 燃料装卸系统中气体辅助系统的设备、部件、管道及管件。

本技术规格书中的众多输送转换设备作为相对独立的设备和部件安装

于 FCA 管路系统，或者放置于检修工具间，如 3.1 节所述，根据总体功能，划分为如下 6 种类别：装卸料装置、定向转换装置、检调定位装置、特种管道配件、过球检测装置和电气控制设备。

以下 6.2~6.34 将针对各类设备的共性要求及具体设备的设计要求进行分别描述。

6.1.4 运动设备及部件综述

上述输送转换设备中装卸料装置、定向转换装置和部分检调定位装置均包含有运动部件，且主要在高温、高压和含粉尘的强渗透性氦气环境，以及强放射性的 γ 射线工况下运转。这些运动部件的材料、磨损、密封、润滑和制造质量等，关系到设备和系统的可靠性，因此，必须精心设计和施工。

虽然众多输送转换设备执行的功能不同，其主体结构和运动部件也各不尽相同，根据操作功能，将输送转换设备中的动设备划分为以下三类：

6.1.4.1 连续长时自动运转设备

这类设备主要是承压的装卸料装置，包括碎球分离装置、卸料暂存装置和装料暂存装置三种设备，有关特殊要求如下：

- (1) 动力部件采用变频控制的电机和减速机；
- (2) 动密封采用钕钴永磁材料的磁力传动器；
- (3) 静密封采用金属 O 型密封环密封；
- (4) 滚动轴承采用带聚酰亚胺保持架的合金球轴承或者全合金满球轴承；
- (5) 采用电磁驱动机构解除结拱故障；
- (6) 采用永磁阻尼结构的缓冲器减缓球速。

6.1.4.2 间歇短时自动运转设备

这类设备主要是定向转换装置，包括桥联器、燃耗测量定位分配器、阻流器、单通器、分配器、转向器（含左转向器和右转向器）、停球器和石

墨球复检定位装置等八种设备，有关特殊要求如下：

- (1) 动力部件采用交流伺服系统，其中石墨球复检定位装置采用电磁驱动机构；
- (2) 动密封采用钕钴永磁材料的磁力同步器；
- (3) 静密封采用金属 O 型密封环密封；
- (4) 滚动轴承采用带聚酰亚胺保持架的合金球轴承或者全合金满球轴承。

6.1.4.3 不经常运转的手动或电动设备

主要是用于检修的隔离器，包括传动部件、执行部件和承压壳体，有关特殊要求如下：

- (1) 采用手动驱动；
- (2) 必要时更换电动装置进行电动控制（再装料工况）；
- (3) 动密封采用钕钴永磁材料的磁力同步器；
- (4) 静密封采用金属 O 型密封环密封；
- (5) 采用合金轴承。

6.1.4.4 随动设备

无动力源的设备，包括补偿器和缓冲器，这些设备安装于球流管路，随管路或球流小幅运动。

6.2 装卸料装置

6.2.1 设备功能需求

在 HTR-PM 燃料装卸系统中，承担燃料装料、暂存和分选的设备统称为装卸料装置，其主要功能包括：

- (1) 堆芯装料功能。安装于反应堆的压力容器内上支撑板，接收正常两列主循环管路来料，并导流和缓冲装入堆芯；
- (2) 碎球分选功能。安装于堆芯卸料装置出口管路，执行完好球与碎球的分选、落球缓冲，以及卡堵故障处理等多重功能；

- (3) 装料暂存功能。安装于新燃料装料管路，执行装料气氛切换、新燃料暂存、落球缓冲等多重功能；
- (4) 卸料暂存功能。安装于乏燃料卸料管路，执行卸料气氛切换、乏燃料暂存、落球缓冲、辐射防护、余热排出等多重功能；
- (5) 初始缓冲装料功能。在反应堆初始装料时与堆芯进料装置配合，执行给料管的伸缩、落球缓冲等功能。

6.2.2 设备总体方案与结构

6.2.2.1 设备种类

装卸料装置是保证燃料元件装卸、循环与贮存过程中可靠输送的核心设备，包括以下单体设备：

- (1) 堆芯进料装置。执行上述堆芯装料功能；
- (2) 碎球分离装置。执行上述碎球分选功能；
- (3) 装料暂存装置。执行上述装料暂存功能；
- (4) 卸料暂存装置。执行上述卸料暂存功能；
- (5) 堆芯缓冲装料装置。执行上述初始缓冲装料功能。

6.2.2.2 部件划分

承压的机电一体化装卸料装置基本都由以下类型部件组成：

- (1) 承压壳体。执行容纳内部构件功能，并包容球形元件和放射性气氛；
- (2) 驱动机构。执行卸料、分选及粉尘排出动力源功能；
- (3) 缓冲组件。执行接收球形元件并对其精心减速功能；
- (4) 内部构件。执行限流、分流、导流、支撑轴系等功能；
- (5) 外部构件。参与和执行扰动破桥、检修、冷却、外部接口等功能；
- (6) 屏蔽构件。执行 γ 射线和中子屏蔽功能。

承压的机电一体化装卸料装置的配套部件还包括：

- (1) 粉尘、碎渣或碎球排出管路;
- (2) 隔离器;
- (3) 粉尘罐或碎球罐;
- (4) 测量仪表。

6.2.3 装卸料装置驱动机构

6.2.3.1 碎球分离装置驱动机构

碎球分离装置采用“变频电机+减速机+联轴器+磁力传动器+执行机构”的卧式驱动线，其驱动机构采用变频电机和行星摆线针轮减速机，有关技术参数如下：

- (1) 采用立式电机直联型，二级减速，卧式安装，使用环境温度为-10℃至 50℃；电机为变频电机，功率 0.55kW，额定输入转速 1500r/min (50Hz)，参考型号 XLEDV 0.55 - 8115B - 231 - W；
- (2) 采用行星摆线针轮减速机，制造参考标准 JB/T 2982-1994 摆线针轮减速机，减速比 231；减速机与设备本体的机械连接安装接口需在签订采购合同时与减速机制造方确认；
- (3) 电机机采用变频器驱动，变频器输入电源为三相 380VAC、50Hz，参考型号：施耐德 ATV312H075N4，频率范围为 0.5 至 500 Hz；
- (4) 驱动机构的运行工况为 24 小时/天平稳连续运行，期间短时间歇不大于 4 次，间歇时间小于 40min，使用系数不小于 1.2，输出轴许可扭矩不小于 400Nm。

6.2.3.2 暂存装置驱动机构

卸料暂存装置和装料暂存装置采用“变频电机+减速机+联轴器+磁力传动器+执行机构”的驱动线，其驱动机构采用变频电机和行星摆线针轮减速机，有关技术参数如下：

- (1) 采用立式电机直联型，二级减速，正反转运转。使用环境温度为-10℃至 50℃。其中卸料暂存装置为立式安装，装料暂存装置

- 为卧式安装；电机采用三相异步电机，功率 0.09kW，额定输入转速 1500r/min (50Hz)，参考型号 XLED0.09-8115A-5133 -L；
- (2) 采用行星摆线针轮减速机，制造参考标准 JB/T 2982-1994 摆线针轮减速机，减速比 5133；减速机与设备本体的机械连接安装接口需在签订采购合同时与减速机制造方确认；
 - (3) 电机机采用变频器驱动，变频器输入电源为三相 380VAC, 50Hz。设备正常运行时，变频器输出频率固定在 50Hz；特殊工况下对设备减速使用。参考型号施耐德 ATV312H075N4，型号的频率范围为 0.5 至 5 00 Hz；
 - (4) 驱动机构的运行工况为 24 小时/天平稳连续运行，期间短时间歇不大于 4 次，间歇时间小于 40min，使用系数不小于 1.2；输出轴许可扭矩不小于 400Nm。

6.2.3.3 磁力传动器

碎球分离装置、装料暂存装置和卸料暂存装置各利用一台磁力传动器实现密封传动和角行程回转运动。

- (1) 磁力传动器由支架、外磁组件、隔离罩、内磁组件以及若干轴承组成。电机和减速机等安装于隔离罩外，改善了动力部件的运行环境，并利用磁耦合作用，将动密封转化为静密封，实现了强渗透性氮气的零泄漏密封；
- (2) 磁力传动器的外磁组件通过键与弹性联轴器连接，进而与电机和减速机相连，内磁组件则通过花键与执行部件的轴系相连，支架法兰利用紧固件和静密封件将隔离罩压紧在承压壳体法兰上，从而将高温高压放射性氮气隔离在承压壳体内；
- (3) 磁力传动器的内外磁组件的磁极采用磁性能优异、稳定、耐高温的钕钴稀土永磁材料，其隔离罩选用涡流损失小、强度高的 TC4 钛合金；
- (4) 滚动轴承采用耐磨减摩的钨镍钛全合金轴承，并配备耐温、耐

磨、自润滑性优良的聚酰亚胺保持架；

- (5) 将动力部件整体置于壁厚不小于 30mm 的钢套内，以避免过量的 γ 射线辐照。

6.2.3.4 电磁驱动机构

电磁驱动机构包括承压壳、下导磁板、中导磁板、上导磁板、动铁芯组件和两个线圈组件，动铁芯组件包括动铁芯和顶杆。通过其两个线圈组件的交替通断电实现顶杆往复运动。电磁驱动机构设计时应考虑石墨粉尘影响，密封体箱体应设置容尘结构。

(1) 无反馈电磁驱动机构

无反馈电磁驱动机构安装于碎球分离装置、卸料暂存装置、装料暂存装置壳体侧壁，主要作用是通过其两个线圈组件的交替通断电实现顶杆往复运动，旨在解除料箱出口及碎球出口的球结桥问题。

其电气特性为双电磁铁，供电电流为 220VAC。每个电磁铁额定功率不超过 0.2kW，最大额定电流不超过 0.91A。其余控制的接口见表 6.1 无反馈电磁驱动机构 DCS 接口。

表 6.1 无反馈电磁驱动机构 DCS 接口

功能定义	DCS 的 IO 类型	信号定义
出杆	DO	无源触点，闭合出杆；220VAC，318mA
收杆	DO	无源触点，闭合收杆；220VAC，318mA

(2) 带反馈电磁驱动机构

带反馈电磁驱动机构用于碎球分离装置破拱吹扫组件和石墨球复检定位装置电磁驱动部件。其电气特性为双电磁铁，供电电流为 220VAC。每个电磁铁额定功率不超过 0.2kw，最大额定电流不超过 0.91A。其余控制的接口见表 6.2 带反馈电磁驱动机构 DCS 接口。

表 6.2 带反馈电磁驱动机构 DCS 接口

功能定义	DCS 的 IO 类型	信号定义
放行到位	DI	无源触点，闭合放行到位
放行	DO	无源触点，闭合放行；220VAC，318mA
拦截	DO	无源触点，闭合拦截；220VAC，318mA
拦截到位	DI	无源触点，闭合拦截到位

6.2.4 设备及重要部件标识

各种装卸料装置的设备编码如下：

- (1) 堆芯进料装置：1FCA00AU001、2FCA00AU001
- (2) 碎球分离装置：1FCB10、1FCB20、2FCB10、2FCB20
- (3) 装料暂存装置：1FCB40、2FCB40
- (4) 卸料暂存装置：1FCB30、2FCB30
- (5) 堆芯缓冲装料装置：0FCB10

装卸料装置重要部件编码如下：

- (1) 承压壳体，系统码+HA001
- (2) 驱动机构，系统码+AF101
- (3) 缓冲组件，系统码+AU071
- (4) 执行构件，系统码+HB001
- (5) 屏蔽构件，系统码+JS001

6.2.5 安装、调试、运行及维护

6.2.5.1 安装与调试

碎球分离装置、装料暂存装置和卸料暂存装置安装于燃料装卸球流主系统的不同管路各相关管段上，通过对接焊与过球管道连接，本体并通过支架安装于相应钢结构上。

- (1) 安装前应安装公司进行设备交接，进行设备完整性和通电动作检查，其中电磁驱动机构应离线通电检查，驱动部件检查后

应拆卸电机和减速机；

- (2) 安装前应核对分包的零部件标识，确保相关零部件正确安装到相应的设备本体及管路；
- (3) 应按设备及管路布置图册和设备安装图册，进行设备本体及配套粉尘与碎球管路安装，所有接管采用对焊焊接，并进行无损检测；
- (4) 设备本体安装后，可按设备总图进行分装零部件（包括电机减速机、电磁驱动机构、外屏蔽等）的现场装配；
- (5) 设备安装后，应进行单机通电功能调试；
- (6) 设备的单机和联机调试可另见调试大纲。

6.2.5.2 运行与维护

碎球分离装置、装料暂存装置和卸料暂存装置电控运行要求如下：

- (1) 围绕变频器组成控制电路，下位与电机减速机相连，对电机进行变频驱动；上位与反应堆 DCS 控制系统相连，接受 DCS 控制，并反馈基本的运行状态；
- (2) 与 DCS 接口的信号必须包含表 6.3 变频控制与上位 DCS 控制的 I/O 接口所列信号；
- (3) 设备控制柜上配置就地控制方式及就地远程切换（切换开关配锁）；就地方式仅在设备调试或其他特殊过程中使用；

碎球分离装置、装料暂存装置和卸料暂存装置的易损件包括缓冲器和轴承，电机和减速机也需要定期维修或更换。进行维修更换操作前必须停止堆芯卸料，并排空相应设备内的球形元件，驱动机构润滑保养如下：驱动机构优选耐辐照润滑脂，按照 40 年累积剂量 10^5Gy 配备润滑脂，并在供货时提供一定量的备用，反应堆大修期检查润滑脂情况，必要时对润滑脂进行更换。

表 6.3 变频控制与上位 DCS 控制的 IO 接口

功能定义	DCS 的 IO	信号定义	信号供电	信号来自	信号去往
调速	AO	4-20mA	DCS	DCS	柜内变频控制电路
故障	DI	无源触点, 断开故障	DCS	柜内变频控制电路	DCS
启机	DO	无源触点, 闭合启动; 24VDC, 20mA(最大允许电流)	柜内变频控制电路	DCS	柜内变频控制电路
停机	DO	无源触点, 闭合停止; 24VDC, 20mA(最大允许电流)	柜内变频控制电路	DCS	柜内变频控制电路
反向	DO	无源触点, 闭合反向; 24VDC, 20mA(最大允许电流)	柜内变频控制电路	DCS	柜内变频控制电路

6.3 堆芯进料装置

6.3.1 设备功能需求

在反应堆压力容器上封头 $\phi 4665.2$ 直径圆周上分布有两个 $\phi 300$ 的进料口, 进料管通过法兰连接进入反应堆压力容器内部。燃料元件在主循环管道顶部经倾斜管道进入反应堆压力容器, 总落球高度接近 7m, 且由于气力输送作用而具有一定的初始落球速度, 导致超过了燃料元件自由落球的 4m 设计高度限值和 10m/s 落球末速度, 因此, 需要在堆内设置对燃料元件进行减速的堆芯进料装置。

在两座反应堆的压力容器内上支撑板上, 各安装一台堆芯进料装置 1FCA00AU001 和 2FCA00AU001, 其主要功能包括:

- (1) 接收双路主循环管路中气力输送的循环燃料元件, 并缓冲减速后向堆芯输送;
- (2) 接收主循环管路中气力输送且来自新燃料供应系统的新燃料元件和石墨球, 并缓冲减速后向堆芯输送;
- (3) 特殊情况下, 接收主循环管路中气力输送且来自乏燃料贮存系统的堆芯排空燃料元件, 并缓冲减速后向堆芯输送;

- (4) 对上封头腔室和堆芯气体实施阻流；
- (5) 为堆芯缓冲装料装置提供通道，共同执行初始堆芯装料功能；
- (6) 满足 40 年免维修要求。

6.3.2 设备总体方案与结构

堆芯进料装置是一台非承压且无能动部件的机械设备，工作在热态氮气和强放射性环境中，由以下部件组成：

- (1) 导流组件。执行气体阻流，接收、辅助缓冲、球流导流，以及支撑功能；
- (2) 缓冲组件。执行主缓冲、固定及支撑功能，并为中心柱组件、屏蔽组件提供定位安装条件，满足堆芯缓冲装料装置元件通过要求；
- (3) 中心柱组件。执行限流和导流功能。
- (4) 定位组件。执行中子屏蔽和定位功能。

堆芯进料装置技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 2-1。

6.3.3 设备标识及主要技术参数

设备及重要部件编码参见施設 4.4.2.2 之附表 1-1。

堆芯进料装置的技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-1。

6.3.4 部件设计

6.3.4.1 导流组件

导流组件包括支承管座以及与其焊接为一体的导流管，其中支承管座由支承座和支撑柱组成。

6.3.4.2 缓冲组件

缓冲组件由进球管座、缓冲管座、缓冲管、变径接头和出球管组成。

缓冲管由 $\phi 250$ 和 $\phi 150$ 上下两节同轴异径管组成，可以保证从两进球支管引入的球形元件即使同时到达 $\phi 150$ 管入口端也不会发生结桥现象。

具有初速度的球形元件由两个进球漏斗组件切向引入上部 $\phi 250$ 的缓冲段，在离心力作用和螺旋导槽约束下，球形元件可以在缓冲管内盘旋减速下落，通过其下部 $\phi 150$ 管段导入堆芯顶部球床中。

6.3.4.3 中心柱组件

中心柱组件同轴安装于上面所述缓冲组件的缓冲管座内，由吊环、定位盘、螺旋导板和中心柱组成。

进入该进料装置缓冲管内的球形元件无论入口速度的大小，都会被螺旋导槽引导，只能在中心柱和缓冲管内壁的间隙内作螺旋轨迹运动，在脱离螺旋导槽后，仍然受中心柱和缓冲管内壁约束，作曲线下落运动至变径接头后继续减速，最终脱离变径时以零初速度经由出球管自由下落，从而确保球形元件下落不超过下落速度限值。

6.3.4.4 定位组件

定位组件由吊环、顶杆、屏蔽柱和限位柱等组成。

6.3.5 安装与运行

6.3.5.1 安装

HTR-PM 两堆各有一台堆芯进料装置（1FCA00AU001、2FCA00AU001），位于反应堆压力容器内，通过支座和螺栓固定在反应堆压力容器内的金属堆内构件上支承板中心上，进球管从环向阵列的控制棒驱动机构间隙及吸收球贮罐间隙穿过，插入进料装置的进球漏斗。

6.3.5.2 运行模式

两台堆芯进料装置具有相同的结构与配置，工作模式如下：

（1）正常运行

通过双路主循环管路，依靠重力，将堆芯卸出的循环燃料元件或者来自新燃料供应系统的新燃料元件缓冲装入堆芯。

（2）初始装料运行

取出定位组件和中心柱组件，配合堆芯缓冲装料装置，依靠重力，执行堆芯初始装料或者堆芯排空后的重新装料功能。

6.4 碎球分离装置

6.4.1 设备功能需求

6.4.1.1 主要功能

在两堆装卸料循环主舱室的各两个主循环管路上，各设置有一台碎球分离装置，其主要功能包括：

- (1) 接收由堆芯卸料装置卸出的燃料元件，并通过缓冲器减缓速度对设备和燃料元件进行几何完整性予以保护；
- (2) 对球形元件进行尺规检测，分选出碎球和碎屑，并将完好球形元件输送到下游设备；
- (3) 调节碎球分选速度，与堆芯卸料速度和能耗测量速度相匹配；
- (4) 对粉尘和碎渣进行收集。

6.4.1.2 安全相关功能

由于来自堆芯燃料元件所固有的放射性，碎球分离装置还需执行以下安全相关功能：

- (1) 对碎球分离装置壳体进行 γ 射线屏蔽，保证人员安全；
- (2) 对碎球分离装置动力源进行 γ 射线内屏蔽，保证电机安全。

6.4.1.3 辅助功能

- (1) 配合脉冲管路，对上游卸料管路可能发生碎屑与元件卡堵事故进行脉冲扰动；
- (2) 配合下游管路，完成下游管路和设备的常规吹扫。

6.4.2 设备总体方案与结构

碎球分离装置为机电一体化设备，包括设备本体和配套部件，其中设备本体由以下部件组成：

- (1) 承压壳体。执行容纳内部构件功能，并包容放射性气氛；
- (2) 驱动机构。执行对检测组件的电动驱动功能；
- (3) 缓冲组件。参与脉冲扰动功能，执行球形元件减速功能；
- (4) 内部构件。检测组件和漏斗组件，执行碎球分离、分流及导流等功能；
- (5) 外部构件。电磁破桥、外部接口管等。
- (6) 屏蔽构件。内部屏蔽及外部屏蔽，执行 γ 射线屏蔽功能，内部屏蔽主要支撑检测轨板和轴承等。

碎球分离装置的配套部件包括：

- (1) 粉尘及碎渣排出管路；
- (2) 碎球罐；
- (3) 测量仪表；
- (4) 电控系统。

碎球分离装置技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 2-2。

6.4.3 设备标识及主要技术参数

碎球分离装置设备及重要部件编码参见施設 4.4.2.2 之附表 1-2。

碎球分离装置的技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-2。

配套碎球罐的技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-3。

6.4.4 部件设计

6.4.4.1 承压壳体

碎球分离装置位于卸料装置正下方，安装于金属波纹膨胀节之后，该设备为承压机械设备。

其承压壳体由锻件筒体、端部盲法兰和连接法兰组成。

连接法兰用于连接筒体和磁力传动器，磁力传动器的隔离罩与承压壳体共同构成压力边界。

6.4.4.2 驱动构件

采用电机和减速机作为动力源，并利用变频调速。

磁力传动器是一个磁性联轴器，其外磁组件通过联轴器与减速机相连，内磁阻件则通过花键与检测组件的轴系相连，通过其磁耦合作用，将动密封转化为静密封，实现软连接密封传动。

6.4.4.3 缓冲组件

从卸料装置自由卸料处至碎球分离装置辊筒接球为的高度超过3.5米，接近于球形元件设计的4米落球高度限值。为保护球形元件以及辊筒接球面免受过度冲击而破损或磨损，在碎球分离装置入口处设置一缓冲器用于缓冲减速。

缓冲器包括承压壳、磁阻尼、耐磨块和导流槽，其中磁阻尼利用互斥的钕钴永磁磁极构成磁力弹簧，对球形元件实施卸载。耐磨块则选用硬度高且塑性好的钛合金。

6.4.4.4 内部构件

碎球分离装置的内部构件包括执行机构、检测轨板和出球漏斗。

执行机构即检测组件，为一位于承压壳内的螺旋辊筒，通过两端双轴承支撑于壳体内部屏蔽上。辊筒为一细长的螺旋筒，矩形螺纹高20mm，槽宽80，球形元件在辊筒表面运行的总长度大于4m，在矩形螺纹边按一定距离设置若干球扰动块，不断改变球的运动方向。

球形元件和碎屑、粉尘进入碎球分离装置后，在螺旋辊筒的推进和扰动下，配合检测轨板，等效球冠高度小于56.5的破碎球形元件则由中间检测端间隙落入中间的碎球漏斗，之后排入碎球罐；随后完好球形元件则运动到辊筒终端落入好球漏斗经出口排出。

碎球分离装置其中一侧屏蔽上设置了一个燕尾槽结构的检测轨板，螺旋辊筒安装于一侧屏蔽之后，可通过调整燕尾槽处的垫片厚度调整检测检测轨板与辊筒的间隙，也就是调整检测间隙的基础为轨板检测边与辊筒圆

柱面母线之间距离。检测轨板与辊筒轴向长度一致，调整间隙的基础为轨板检测边与辊筒圆柱面母线，应保证在检测长度范围内的检测边到圆柱面母线的距离为 56.3mm(热态 56.5mm)，最终确定是否合格的依据是用边长为 56.3mm 的样块插入间隙中检验。

在承压壳内及辊筒下方依次设置碎球漏斗和好球漏斗，以及对应的两个接管，分别用于碎球和好球出口。

由于碎球检测端轴向长度包括 3 个以上碎球，如有两个以上碎球同时落入碎球漏斗口，则可能发生结桥。为解决这种极小概率的故障，将碎球漏斗的一个侧板设置为铰链翻板，通过贯穿承压壳的电磁驱动机构扰动，实现破桥。

6.4.4.5 外部构件

外部构件包括外屏蔽、碎球破桥电磁驱动机构、脉冲扰动电磁驱动机构和有关外部接口。

为解决碎球漏斗可能发生的结拱问题，在承压壳体上设置一个电磁驱动机构，配合碎球漏斗翻板执行扰动破桥功能。

为解除上游卸料装置出球管路可能存在的卡堵问题，在缓冲器上游设置一个具有气流通孔推杆的电磁驱动机构，所述推杆同时执行阻流功能，配合脉冲气流管路执行脉冲扰动功能。

碎球分离装置的外部接口包括：

- (1) 进球接管，焊接，ID65×6
- (2) 好球出球接管，焊接，ID65×6
- (3) 粉尘及碎球接管，焊接，ID65×6
- (4) 氩气吹扫出口接管，焊接， $\phi 34\times 4$
- (5) 温度套管， $\phi 30\times 10$
- (6) 压力测管，焊接， $\phi 14\times 3$

6.4.4.6 屏蔽构件

碎球分离装置的内部屏蔽位于壳体内部两侧，其中一侧屏蔽上设置了一个燕尾槽结构的检测轨板。检测组件安装于两侧屏蔽内的轴承，因此内部屏蔽对于轴承的聚酰亚胺保持架提供保护，保证材料的使用寿命。外屏蔽置于壳体外，用于维修人员辐射防护。

6.4.4.7 结构差异

四台碎球分离装置基本结构相同，但由于安装空间限制，其中 1FCB10 和 2FCB20 的结构完全相同，1FCB20 和 2FCB10 的结构完全相同，1FCB10 和 1FCB20 在壳体接管、碎球破桥用电磁驱动机构接口，以及壳体内部漏斗和检测组件的安装方位不同。

6.4.4.8 粉尘及碎球排出管路

包括管道、管件和隔离器。其中管道不在本技术规格书供货范围内。

本隔离器正常工况下处于常开状态，以保证粉尘及碎渣管路畅通，其承压壳体与卸料暂存装置本体承受相同的温度和压力；需要时可以关闭隔离器，对碎球罐进行有关操作。

6.4.4.9 碎球罐

经过卸料装置碎球分选后的破损燃料元件贮存在屏蔽容器内，在每台碎球分离装置下方各设置一个容积相当于 4000 个完好元件的碎球罐，满足核电站寿命期内 40 年现场贮存碎球的要求。

碎球罐为铅屏蔽罐，包括进料口、取料口、密封屏蔽塞、料位检测器等，用于收集和暂存碎球分离装置分选出的粉尘与碎球。

正常运行期间，可以利用主动式的料位检测器检测料位，一旦接近满载，可以隔离上游管路，利用抽吸装置从取料口转运粉尘和碎球。

碎球罐技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 2-7。

6.4.5 运行及维修

6.4.5.1 运行模式

单堆两列的各一台碎球分离装置，工作模式如下：

(1) 双机独立运行

两台设备同时接收来自上游卸料装置卸料管路中的球形元件，并进行碎球分选及相关功能。

(2) 备用单机运行

当上游卸料装置一侧发生故障或者下游其中一台碎球分离装置发生故障不能运行时，可对上游卸料装置无故障一侧的卸料轴系加速运行，相应地提高与之连接的无故障碎球分离装置的速度，进行碎球分选后利用下游桥联器分配向双路卸料输送堆芯的球形元件。

6.4.5.2 拆卸与检修

碎球分离装置压力边界内的易损件包括缓冲器和轴承，压力边界外的电机和减速机都需要定期维修或更换。进行维修更换操作前必须停止堆芯卸料，并排空装置内的球形元件。

维修或更换电机与减速机只需停止燃料装卸系统运行，无需泄压。

维修或更换缓冲器和轴承，则需要关闭反应堆压力边界安全及隔离阀和相关联气路与球路的隔离阀与隔离器。

6.5 装料暂存装置

6.5.1 设备功能需求

在缓冲管道间的新燃料装料主设备管路上，设置有两台装料暂存装置1FCB40和2FCB40，其主要功能包括：

- (1) 作为新燃料装料中间转换设备，参与气氛切换以实现与大气的连通，进而从新燃料供应系统接收并暂存石墨球和新燃料元件；
- (2) 保证取料和卸料速度，解除可能发生的结拱、卡堵、滞留等问题；

- (3) 作为新燃料装料中间转换设备，参与气氛切换，以实现与堆芯气氛连通，进而向堆芯装入石墨球和新燃料；
- (4) 在接收新燃料元件时，对设备零件表面和燃料元件几何完整性进行保护；
- (5) 对粉尘进行收集。

6.5.2 设备总体方案与结构

装料暂存装置为机电一体化设备，包括设备本体和配套部件，其中设备本体由以下部件组成：

- (1) 承压壳体。即料仓部件，执行容纳和暂存新燃料功能，并包容放射性气氛；
- (2) 卸料机构。执行新燃料卸料功能；
- (3) 缓冲组件。执行接收和向料仓部件缓冲装料功能；
- (4) 内部构件。执行卸料过程中的限流和导流功能；
- (5) 外部构件。参与和执行扰动破桥、外部接口等功能。

装料暂存装置的配套部件包括：

- (1) 粉尘排出管路；
- (2) 粉尘罐；
- (3) 测量仪表；
- (4) 电控系统。

装料暂存装置技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 2-3。

6.5.3 设备标识及主要技术参数

装料暂存装置的设备及重要部件编码参见附表 1-3。

装料暂存装置的技术特性参见附表 4-4。

6.5.4 部件设计

6.5.4.1 承压壳体

承压壳体（料仓部件）由端法兰、箱体和料筒等承压部件构成一个包

容氦气的承压边界，也用于支撑卸料机构、料仓内部构件、装料构件和料仓外部构件。

6.5.4.2 卸料机构

卸料机构包括动力部件、传动部件和执行部件。动力部件由电机和减速机组成，传动部件是一个磁力传动器，利用其无接触软连接传动特性，将动密封转化为静密封，实现对放射性氦气的零泄漏密封。执行部件由卧式轴系组件和带有多个取料孔的转盘组件组成，当电机通过磁力传动器带动轴系组件转动时，转盘组件同步转动，其上设置的多个取料孔可从料仓内取得球形元件，并经由导流管卸出。

6.5.4.3 缓冲组件

为避免球形元件因落球速度过高受碰撞而破损，在装料暂存装置顶部设置一个缓冲器。缓冲器和相关接管共同构成缓冲组件。

6.5.4.4 内部构件

内部构件包括内衬筒、斜料筒和导流管。料筒包含一个直筒仓，而斜料筒包含一个斜筒仓。所述直筒仓和斜筒仓共同构成一个现场暂存新燃料的大容量料仓，其总容积为 4000 个球形元件。在所述料仓内利用内衬筒形成截流坝，以减小料仓内球形元件对所述卸料机构的压力。

6.5.4.5 料仓外部构件

为解决料箱可能的结拱，采用电磁驱动机扰动破桥。

装料暂存装置的外部接口包括：

- (1) 进球接管，ID65×6
- (2) 出球接管，ID65×6
- (3) 粉尘接管， $\Phi 60\times 5$
- (4) 氦气入口接管， $\Phi 34\times 4$
- (5) 氦气排放及抽真空接管， $\Phi 60\times 5$

(6) 压力测管, $\phi 14 \times 3$

(7) 真空测管, $\phi 21 \times 3$

6.5.4.6 粉尘排出管路

包括管道、管件和隔离器。其中管道不在本技术规格书供货范围内。

本隔离器是一个承受高压的低压隔离器, 正常工况下处于常开状态, 以保证粉尘管路畅通, 其承压壳体与装料暂存装置本体承受相同的温度和压力; 需要对粉尘罐进行隔离时, 可以首先进行气氛切换至常温差压空气, 之后关闭隔离器。

6.5.4.7 粉尘罐

粉尘罐用于收集装料暂存装置中新燃料及石墨球磨损的粉尘。

粉尘罐技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 2-8, 但无倾斜接管管口。

6.5.5 运行及维修

6.5.5.1 运行模式

两台装料暂存装置具有相同的结构与配置, 工作模式如下:

(1) 相对独立运行

两台设备同时向各自对应连接的反应堆装料, 其中第一台接近空载时, 切换工作模式, 即由这一台设备同时向两堆装料, 另一台进行一次气氛切换并完成设备料仓装料后, 进行二次气氛切换, 替换第一台设备同时向两堆装料。在第一台设备进行一次气氛切换并完成设备料仓装料及二次气氛切换后, 回归到正常堆芯装料状态, 即两台设备同时向各自对应连接的反应堆的装料。

(2) 备用交替运行

两台设备互为备用, 一台设备可完成向两堆装料。当第一台设备空载后, 启用第二台设备同时向两堆装料, 同时第一台设备进行一次气氛切换, 完成设备料仓装料及进行二次气氛切换后, 等待第二台空载后由他重新向双两堆装料, 依此类推。

(3) 完全独立运行

两台设备同时向与各自对应连接的反应堆装料，互不影响。当任一台设备空载时，进行一次气氛切换并完成设备料仓卸料及进行二次气氛切换后，重新向对应反应堆的装料。

6.5.5.2 拆卸与检修

当需要设备维修或更换轴承时，需要首先关闭上下游隔离阀后泄压，进而进行磁力驱动部件及壳体内执行机构轴承的更换。

6.6 卸料暂存装置

6.6.1 设备功能需求

6.6.1.1 主要功能

在缓冲管道间的乏燃料卸料主设备管路上，设置有两台卸料暂存装置，其主要功能包括：

- (1) 作为乏燃料卸料中间转换设备，参与气氛切换，以实现与堆芯气氛连通，进而接收并暂存堆芯卸出的乏燃料；
- (2) 接收乏燃料时，对设备和乏燃料进行几何完整性保护；
- (3) 作为乏燃料卸料中间转换设备，参与气氛切换以实现与大气的连通，进而向乏燃料贮存系统排出暂存的乏燃料；
- (4) 卸料稳定可靠，保证取料和卸料速度，解除可能发生的结拱、卡堵、滞留等问题；
- (5) 对粉尘和碎渣进行收集。

6.6.1.2 安全相关功能

由于乏燃料所固有的放射性和余热，卸料暂存装置还需执行以下安全相关功能：

- (1) 对卸料暂存装置进行 γ 射线屏蔽，保证设备和人员安全；
- (2) 对卸料暂存装置进行中子屏蔽，保证设备和人员安全；

- (3) 对卸料暂存装置实施冷却，保证设备本体及上下游设备良好的运行环境。

6.6.2 设备总体方案与结构

卸料暂存装置为机电一体化设备，包括设备本体和配套部件，其中设备本体由以下部件组成：

- (1) 承压壳体。执行容纳和暂存乏燃料功能，并包容放射性气氛；
- (2) 卸料机构。执行乏燃料卸料，以及粉尘和碎渣排出功能；
- (3) 缓冲组件。执行接收和向料仓部件缓冲装料功能；
- (4) 内部构件。执行卸料过程中的限流和导流功能；
- (5) 外部构件。参与和执行扰动破桥、冷却、外部接口等功能；
- (6) 屏蔽构件。执行 γ 射线屏蔽和中子屏蔽功能。

卸料暂存装置的配套部件包括：

- (1) 粉尘及碎屑排出管路；
- (2) 粉尘罐；
- (3) 测量仪表；
- (4) 电控系统。

卸料暂存装置技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 2-4。

6.6.3 设备标识及主要技术参数

设备及重要部件编码参见施設 4.4.2.2 之附表 1-4。

卸料暂存装置的技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-5。

配套粉尘罐的技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-6。

6.6.4 部件设计

6.6.4.1 承压壳体

承压壳体由端法兰、屏蔽套、箱体、盲法兰和料筒等承压部件构成一个包容氦气的承压边界，同时也用于支撑卸料机构、料仓内部构件、装料构件、料仓外部构件和屏蔽构件。

6.6.4.2 卸料机构

卸料机构包括动力部件、传动部件和执行部件。动力部件由电机和减速机组成，传动部件是一个磁力传动器，利用其无接触软连接传动特性，将动密封转化为静密封，实现对放射性氦气的零泄漏密封。执行部件由立式轴系组件和带有多个取料孔的转盘组件组成，当电机通过磁力传动器带动轴系组件转动时，转盘组件同步转动，其上设置的多个取料孔可从料仓内取得球形元件，并卸出。

转盘组件设置了围挡、内挡环、刮板、各种扰动结构，以保证取料孔能从料仓内顺利取得乏燃料。当转盘组件转动时，乏燃料元件、粉尘和碎屑在重力流作用下，进入取料孔，继续转动时，转盘和刮板推动球形元件前行，粉尘和碎屑则通过底护板组件中过滤板的碎球口和粉尘接管漏入下游粉尘罐收集并暂存，乏燃料从出球孔向下游排出。

6.6.4.3 缓冲组件

为避免球形元件因落球速度过大受碰撞而破损，在卸料暂存装置顶部设置一个缓冲器。缓冲器和相关接管共同构成缓冲组件。

6.6.4.4 内部构件

内部构件包括内衬筒、斜料筒、二次挡板和底护板组件。料筒包含一个直筒仓，而斜料筒包含一个斜筒仓，底护板组件包含一个卸料仓。所述直筒仓、斜筒仓和卸料仓共同构成一个现场暂存乏燃料的大容量料仓，其总容积为 4000 个球形元件。为了在转盘组件转动过程中使料仓内的球形元件顺利进入取料孔，在料仓内利用内衬筒和二次挡板形构成两道截流坝，以减小料仓内球形元件对转盘组件的侧压力。

底护板组件包括底弧板和插排组件，用于限制和引导料仓内乏燃料的流动。底弧板包括导流槽、粉尘出口和球形元件出口，利用支撑柱通过定位孔固定在箱体。

插排组件则包括第一插排、斜挡板、扰动筋、直挡板、接板、第二插

排、门架。斜挡板、门架、直挡板和接板配合底弧板的进料斜面，共同为卸料转盘围成一个进料口。斜挡板、直挡板和扰动筋用以破坏料箱出口处球形元件的规律化排列，以减小料箱出口处球结拱概率。在特殊需要时，可以在泄压后，打开盲板，推动第一插排和第二插排将料箱出口元件拦截。

底护板组件中设置了一个过滤板，并在底弧板入口处，即球形元件出口对侧，设置一个粉尘出口。过滤板安装于底弧板粉尘出口上方，其上表面是一个与转盘组件刮板形状匹配的 V 形槽，属于底弧板导流槽的组成部分，所不同的是，该 V 形槽被过滤板中间的导料桥分割为两个碎球口。

6.6.4.5 外部构件

为解决料箱可能的结拱，采用电磁驱动机构扰动破桥。

为冷却料箱内乏燃料的余热，在外屏蔽与圆筒承压壳体之间设置半圆管夹套冷却管进行水冷。

卸料暂存装置的外部接口包括：

- (1) 进球接管 2 个，焊接，ID65×6
- (2) 出球接管，焊接，ID65×6
- (3) 粉尘及碎球接管，焊接，ID65×6
- (4) 氦气入口接管，焊接， $\Phi 34\times 4$
- (5) 氦气排放及抽真空接管，焊接， $\Phi 60\times 5$
- (6) 温度套管， $\Phi 30\times 10$
- (7) 压力测管，焊接， $\Phi 14\times 3$
- (8) 真空测管，焊接， $\Phi 21\times 3$
- (9) 冷却水进口、出口管，法兰连接， $\Phi 60\times 5$

6.6.4.6 屏蔽构件

卸料暂存装置的屏蔽包括以下方面：

- (1) 筒体外部铅屏蔽，屏蔽 γ 射线；
- (2) 箱体内部钢屏蔽，屏蔽 γ 射线；

- (3) 电机钢屏蔽, 屏蔽 γ 射线;
- (4) 筒体外部含硼聚乙烯, 屏蔽中子。

6.6.4.7 结构差异

两台卸料暂存装置基本结构相同, 但由于安装空间限制及上游管路差异, 1FCB30 和 2FCB30 的结构略有不同, 主要在于 1FCB30 的一个进球口接管还包括一个三通结构, 从而实际存在三个进球接管。

此外, 设备冷却水接管接口的安装方位也有所不同。

6.6.4.8 粉尘及碎屑排出管路

包括管道、管件和隔离器。其中管道不在本技术规格书供货范围内。

本隔离器正常工况下处于常开状态, 以保证粉尘及碎渣管路畅通, 其承压壳体与卸料暂存装置本体承受相同的温度和压力。需要对粉尘罐进行隔离时, 可以首先进行气氛切换至常温常压空气, 之后关闭隔离器。

6.6.4.9 粉尘罐

粉尘罐用于收集卸料暂存装置分离出的乏燃料及石墨球磨损的粉尘与碎渣, 包括进料口和取料口。

粉尘罐技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 2-8。

6.6.5 运行及维修

6.6.5.1 运行模式

两台卸料暂存装置具有相同的结构与配置, 工作模式如下:

(1) 相对独立运行

两台设备同时接收来自各自对应连接的反应堆的乏燃料元件, 其中第一台接近满载时, 切换工作模式, 即第二台设备同时接受两堆乏燃料元件, 第一台进行一次气氛切换并完成卸料后, 进行二次气氛切换, 替换第二台设备同时接受两堆乏燃料元件, 在第二台设备进行一次气氛切换并完成卸料后, 进行二次气氛切换, 回归正常状态, 即两台同时接收来自与各自对

应连接的反应堆的乏燃料元件。

(2) 备用交替运行

两台设备互为备用，一台设备同时接受两堆乏燃料元件，当第一台设备满载后，启用第二台设备同时接受两堆乏燃料元件，同时第一台设备进行一次气氛切换，完成卸料后，进行二次气氛切换，等待第二台满载后重新接收两堆乏燃料元件。

(3) 完全独立运行

两台设备同时接收来自与各自对应连接的反应堆的乏燃料元件，互不影响；当任一台设备满载时，进行一次气氛切换并完成卸料后，进行二次气氛切换，重新接受对应反应堆的乏燃料元件。这台设备卸料和气氛切换时这路乏燃料元件卸入另一台设备中。

6.6.5.2 拆卸与检修

由于取料单一器转盘轴系的重量较轻，装配要求低，运转平稳，且主轴承为无保持架的满装角接球轴承，轴承套圈和滚珠均采用耐磨减摩的硬质合金，根据轴系加速试验结果预期能够满足 40 年运行寿命要求，从而可做到轴系免维护。

当由于意外需要更换轴承时，需要首先关闭上下游隔离阀后泄压，进而在拆卸动力部件与磁力驱动部件后快速更换轴系主轴承。

特殊情况下，可以利用插排组件阻拦料箱内的球形元件后，从上部快速地整体抽出转盘轴系组件，进而将料盘整体抽出检修。

6.7 堆芯缓冲装料装置

6.7.1 设备功能需求

HTR-PM 两堆共用一台堆芯缓冲装料装置 (0FCB10)，其主要功能包括：

- (1) 在初始堆芯底部装填一定高度石墨球后，执行向堆芯装入石墨球和新燃料功能，并保证球形元件的几何完整性；

- (2) 特殊情况下, 利用乏燃料卸料、新燃料装料和主循环管路, 将在堆芯排空后暂存在乏燃料贮存系统中的燃料元件重新装入堆芯, 并保证球形元件的几何完整性;
- (3) 装料过程中, 限制堆内粉尘向周围环境扩散。

6.7.2 设备总体方案与结构

堆芯缓冲装料装置是一台非承压且无能动部件的机械设备, 由以下部件组成:

- (1) 廊桥支架。支撑和固定活动廊桥;
- (2) 活动廊桥。为装料平台提供安装支撑, 为人员操作提供活动空间;
- (3) 装料平台。执行对标准缓冲管的操作功能;
- (4) 粉尘防护管。执行粉尘防护功能, 避免粉尘扩散到大气中;
- (5) 装料接头。执行与堆芯装料装置的对接功能;
- (6) 标准缓冲管段。执行给料缓冲功能。

堆芯缓冲装料装置技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 2-5。

标准缓冲管段及给料管技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 2-6。

6.7.3 设备标识及主要技术参数

设备及重要部件编码参见施設 4.4.2.2 之附表 1-5

堆芯缓冲装料装置的技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-7。

6.7.4 部件设计

6.7.4.1 廊桥支架

廊桥支架共有两件, 通常存放于工具间内; 初始装料时, 安装于反应堆装料大厅。廊桥支架作为活动廊桥的出入口, 位于活动廊桥两侧, 一方面用于固定廊桥端部, 另一方面可斜拉支撑活动廊桥的悬臂桥。

6.7.4.2 活动廊桥

活动廊桥是一个可伸缩或可折叠的桥体平台，存放时收缩放置于工具间内，初始装料时，伸展开后安装于廊桥支架上，其伸展跨度约为 13.5 米。

6.7.4.3 装料平台

装料平台安装于活动廊桥上，与反应堆大厅吊车配合，执行对标准缓冲管段的拆装操作功能。

6.7.4.4 粉尘防护管

粉尘防护管采用轻质材料，其两端分别与装料平台和反应堆压力容器上封头顶部装料口连接，组装后的标准缓冲管段从其内部通过。

装料时先开启压力容器上封头顶部装料口的盲法兰，装料后恢复盲法兰密封状态。

6.7.4.5 标准缓冲管段

标准缓冲管段包括缓冲管、上部连接接头和下部连接接头组成，在缓冲管内设置有多级台阶，以引导球形元件变向和跳跃缓冲下落。标准缓冲管段连接在一起构成伸缩給料管。

6.7.4.6 装料接头

装料接头安装于伸缩給料管最上一节标准缓冲管段顶端，并通过反应堆大厅吊车和装料平台将伸缩給料管安装于堆芯进料装置的缓冲管内，将堆芯进料装置与伸缩給料管连接，实现堆芯缓冲装料。

6.7.5 安装与运行

在反应堆初始装料和堆芯排空后的重新装料时，将廊桥支架、活动廊桥和装料平台安置于反应堆大厅，并将粉尘防护管与反应堆压力容器上封头顶部装料口法兰连接，然后将安装好装料接头以及多个串联的标准缓冲管段从装料平台和粉尘防护管穿入堆芯进料装置。在堆芯进料装置内定位

好装料接头后，即可利用新燃料装料子系统和燃料提升及堆芯装料子系统进行操作，参考 6.1 节的装料流程。

6.8 定向转换装置

6.8.1 设备功能需求

在 HTR-PM 燃料装卸系统中，控制燃料元件的运动状态、输送数量与输送方向的设备统称为定向转换装置，其主要功能包括：

- (1) 桥联转换功能。安装于两个并列的球流列系统，执行两种功能，其一是导通同侧上、下游两列管路，其二是导通上游一列管路与下游一列管路；
- (2) 定位及分配转换功能。执行成串球形元件的支撑、隔料、单一输送、定位、辅助准直测量、定向分配等多重功能；
- (3) 输送与阻流转换功能。安装于气力输送管路启动端，执行球形元件单一输送和气流阻流功能；
- (4) 单一与直通输送功能。可执行停球、隔料输送和直通输送等多重功能；
- (5) 分配输送功能。在等角度分叉管路上，执行停球和定向分配功能；
- (6) 转向输送功能。在直通及旁通支路交叉点，执行定向导通球流输送管路的功能；
- (7) 停球输送功能。在直通管路上，执行截停和导通球流输送管路的功能。

6.8.2 设备总体方案与结构

6.8.2.1 设备种类

定向转换装置是保证燃料元件装卸、循环与贮存过程中可靠输送的关键设备，示范电站燃料装卸系统中不同管段不同位置共设置有 28 台不同类型的定向转换装置，定向转换装置包括以下单体设备：

- (1) 桥联器。执行上述桥联转换功能；
- (2) 能耗测量定位分配器。执行上述定位及分配转换功能；
- (3) 阻流器。执行上述输送与阻流转换功能；
- (4) 单通器。执行上述单一与直通输送功能；
- (5) 分配器。执行上述分配输送功能；
- (6) 转向器。执行上述转向输送功能；
- (7) 停球器。执行上述停球输送功能。

6.8.2.2 部件划分

这些定向转换装置基本都由以下部件组成：

- (1) 动力部件。包括伺服电机和减速机；
- (2) 传动部件。包括联轴器和磁力同步器；
- (3) 执行部件。执行上述相关功能的转子部件；
- (4) 箱体或承压壳体。包容执行部件及氦气；
- (5) 内部构件。在执行部件和承压壳体间，辅助执行上述的功能；
- (6) 屏蔽构件。对伺服电机和减速机进行 γ 射线屏蔽。

6.8.3 交流伺服系统

定向转换类装置的伺服驱动机构，包括 3 部分：与现场设备本体部分相连的联轴节与减速机、伺服电机、伺服驱动器及控制接口电路。伺服驱动及控制部分向上与上位反应堆控制 DCS 接口；向下驱动安装于现场设备本体上的伺服电机。定向转换装置的具体的控制运行算法及与上位 DCS 的接口定义在伺服驱动器中给出。通过控制电路的转换，匹配 DCS 的接口。

6.8.3.1 联轴节与减速机

联轴节推荐选择弹簧膜片式联轴节，使用寿命耐受不小于 4.5×10^7 次的往返转动。

除阻流器外的定向转换装置配套减速机，输出扭矩不小于 110Nm，减速比 100:1，输出的角度偏差小于 0.05° 。使用寿命 40 年、或正反转 4.5

$\times 10^7$ 次。

阻流器减速机，输出扭矩不小于 400Nm，减速比 100:1，输出的角度偏差小于 0.05° 。使用寿命 40 年、或正反转 4.5×10^7 次。

6.8.3.2 伺服电机

选用性能稳定，可靠的精密交流伺服电机，基本参数要求：

- (1) 供电电压为 220V 或 400V；
- (2) 最高转速不小于 6000RPM；
- (3) 标准防护等级为 IP65，低转子转动惯量；
- (4) 电机工作温度范围 -40°C 至 $+75^\circ\text{C}$ ，线圈工作温度可达 150°C ；内置温度传感器，提供实时温度检测信号参考；
- (5) 堵转转矩不小于 0.8Nm（使用系数约为 1.6）；
- (6) 抗冲击能力达到 15G 以上；
- (7) 旋转变压器信号反馈，正弦波控制；
- (8) 工作制：40 年 7×24 小时/周连续短时间歇往返运行，间歇周期约 20 秒；
- (9) 推荐瑞士瑞诺 INFRANOR 公司的 BLS7 系列伺服电机。

6.8.3.3 伺服驱动器

驱动器需满足以下要求：

- (1) 用户编程控制的开关量及模拟量输入输出点；
- (2) 可软件自由配置的柔性通用交流伺服；
- (3) 支持旋转变压器；
- (4) 带单轴控制功能，支持编程序列，可定义寻参，扭矩，速度，位置等序列，程序间可自由循环跳转；
- (5) 标准模式：常用标准伺服运行模式（寻参模式，扭矩模式，速度模式，位置模式，插补位置模式）；
- (6) 紧凑体积，无风扇设计。

- (7) 带现场总线接口，带 RS232 通信诊断接口；
- (8) 供电电压须支持与之配套的伺服电机；
- (9) 驱动器与伺服电机之间接线应牢固连接。非专设连接部件的接头，宜采用焊接；推荐瑞士瑞诺（INFRANOR）紧凑型交流伺服驱动器 Pac-ak230/11；
- (10) 伺服驱动器使用寿命不小于 10 年。

6.8.3.4 伺服驱动器控制接口

伺服驱动器与上位反应堆 DCS 控制系统接口。接受 DCS 的控制，并驱动下位伺服电机，并向 DCS 反馈执行结果。其与 DCS 的接口见表 6.4 伺服驱动器控制接口表。

表 6.4 伺服驱动器控制接口表

功能定义	扩展码	IO 类型	信号定义	供电	信号来自	信号去向
使能	XC05	DO	固态开关，闭合使能；24VDC，20mA	伺服控制电路	DCS	伺服控制电路
动作启动	XC11	DO	固态开关，闭合启动；24VDC，20mA	伺服控制电路	DCS	伺服控制电路
动作选择 1 位	XC12	DO	固态开关，闭合选择；24VDC，20mA	伺服控制电路	DCS	伺服控制电路
动作选择 2 位	XC13	DO	固态开关，闭合选择；24VDC，20mA	伺服控制电路	DCS	伺服控制电路
重置	XC06	DO	固态开关，闭合重置；24VDC，20mA	伺服控制电路	DCS	伺服控制电路
状态 1 位	XC01	DI	无源触点，闭合选择	DCS	伺服控制电路	DCS
状态 2 位	XC02	DI	无源触点，闭合选择	DCS	伺服控制电路	DCS
故障	XB39	DI	无源触点，断开故障	DCS	伺服控制电路	DCS

6.8.4 磁力同步器

定向转换装置中的各种设备，以及隔离器，各利用一台磁力同步器实现密封传动和角位移精确运动控制。磁力同步器由支架、外磁组件、隔离罩、内磁组件以及若干轴承组成。

磁力同步器的外磁组件通过键与弹性联轴器连接，进而与电机和减速机相连，内磁组件则通过花键与执行部件的轴系相连，支架法兰利用紧固件和密封件将隔离罩压紧在承压壳体上，从而将高温高压放射性氦气隔离在承压壳体内。伺服电机和减速机置于隔离罩外，改善了动力部件的运行环境，并利用磁耦合作用，将动密封转化为静密封，实现了强渗透性氦气的零泄漏密封。

6.8.5 主要技术特征

- (1) HTR-PM 的各种定向转换装置要求性能可靠，其动力源包括动力部件和传动部件，采用伺服电机、减速机、金属联轴器和磁力同步器组成的机电一体化装置；
- (2) 动力部件采用带旋转变压器的交流伺服电机，并自带具有诊断和指令编程功能的控制驱动器，减速机为行星齿轮减速机；
- (3) 磁力同步器的内外磁组件的磁极采用磁性能优异、稳定、耐高温的钕钴稀土永磁材料，其隔离罩选用涡流损失小、强度高的 TC4 钛合金；
- (4) 轴承采用耐磨减摩的钨镍钛合金轴承，并配备耐温、耐磨、自润滑性优良的聚酰亚胺保持架；
- (5) 利用机械限位或者位置探测器，进一步保证这些定向转换装置执行部件（转子）按照预定转角间歇式往复摆动或者回转运行的安全性和可靠性；
- (6) 将动力部件整体置于壁厚不小于 30mm 的钢套内，以避免过量的 γ 射线辐照；
- (7) 各种定向转换装置的主要区别在于承压壳体和执行部件（转子）

的结构；

- (8) 在空气气氛下运行的输送转换设备，则省略了磁力同步器部件，减速机通过联轴节与转子连接。

6.8.6 设备及重要部件标识

各种定向转换装置的设备编码如下：

- (1) 桥联器，系统码+“AE001”，如：1FCA00AE001
- (2) 能耗测量定位分配器，系统码+“AE101”，如：1FCA10AE101
- (3) 阻流器，系统码+“AE201”，如：1FCA10AE201
- (4) 单通器，系统码+“AE301”、系统码+“AE302”
- (5) 转向器，系统码+“AE401”、系统码+“AE402”
- (6) 停球器，系统码+“AE501”
- (7) 分配器，系统码+“AE601”

定向转换装置重要部件编码如下：

- (1) 动力部件，系统码+设备码+“-M01”，如：1FCA00AE001-M01
- (2) 传动部件，系统码+设备码+“MU01”
- (3) 执行部件，系统码+设备码+“MM01”
- (4) 箱体或承压壳体，系统码+设备码+“MF01”
- (5) 内部构件，系统码+设备码+“MK01”
- (6) 屏蔽构件，系统码+设备码+“QT01”

6.8.7 安装与运行

各类定向转换装置安装于燃料装卸球流主系统的不同管路各相关管段上，通过对接焊与过球管道连接，并通过支架安装于相应钢结构上。

各类定向转换装置自身是一个复杂的机电一体化结构，在运行过程中，配合相关联的过球计数器，接受主控制系统指令完成燃料元件的有序与定向输送功能。

在 I/O 直接输出的驱动器控制下，带旋转变压器的伺服电机通过减速

器和磁力同步器的内外磁组件带动执行部件（转子）实现精确的预定转角运动。

磁力同步器通过隔离罩可靠密封管路系统内的热态、带压、含放射性粉尘的氦气。

6.9 桥联器

6.9.1 主要技术参数

HTR-PM FCA 共设置 2 台桥联器，箱体结构、转子结构和配置相同。

桥联器及其重要部件的编码标识参见施設 4.4.2.2 之附表 1-6。

桥联器技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-8。

6.9.2 主要技术特征

桥联器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 3-1。

（1）承压壳体

桥联器的承压壳体由箱体、连接法兰与传动部件中磁力同步器的隔离罩组成。箱体包括一个转子沉孔、两两互通交叉的四个通孔，以及与之连接的四个过球接管。

（2）执行部件

桥联器的执行部件（转子）上设置一个直通过球孔和两个导流槽。

6.9.3 运动控制

正常运行工况下，桥联器的转子保持初始工作状态，即箱体内壁的四个管口与转子两侧的导流槽对应连通，从而保证上下游两两畅通，以保证两列管路球形元件顺利通过。

需要时或特殊情况下，转子转动 45° ，将转子中间通孔与箱体异侧的进球管和出球管连通，即由直通变更为斜通，从而可实现由一列管路向异侧的另一列管路输送球形元件。

6.10 燃烧测量定位分配器

6.10.1 主要技术参数

燃烧测量定位分配器具有串列元件支撑、隔料、单一输送、元件定位、定向分配等功能。

燃烧测量定位分配器及其重要部件的编码标识参见设施 4.4.2.2 之附表 1-7。

燃烧测量定位分配器技术特性参见设施 4.4.2.2 之附表 4-9。

6.10.2 主要技术特征

燃烧测量定位分配器技术方案参见设施 4.4.2.3 之附图 3-2。

(1) 承压壳体

承压壳体包括端面法兰、箱体、进球接管和出球接管。

进球接管有一个变径段，且其小端与所述箱体的进球通孔同轴等径，以引导球形元件流动。

所述箱体包括一个转子沉孔、一个进球通孔、两个出球通孔和一个准直沉孔，准直沉孔的直径等于球形元件直径。

(2) 执行部件

执行部件（转子）由转轴、转盘、托耳和轴承组成。

一对托耳固定安装在转盘上；托耳高度与球形元件直径相当，其宽度略大于球形元件，两托耳之间的最小间隙为 15~25mm，以保证安全平稳分隔球形元件。

转盘还包含过球通孔和减薄槽，过球通孔直径为 $\Phi 61$ 。

(3) 内部构件

内部构件由内衬环、轴承压板、轴承座和定位销组成。

内衬环包括限位环、安装口、进球孔道和出球孔道。

(4) 配合特征

燃烧测量定位分配器的箱体与转盘上分别设有匹配的限位柱与限位

槽，在转盘上两限位极限点中心夹角为 60° ，以限制转盘转角运动范围。

托耳顶面与所述内衬环的停球面之间的距离为 200~250mm。

准直沉孔轴线方向上的箱体与转盘的总有效准直厚度为 15mm，以消除相邻球形元件对被测元件的辐射贡献和在准直测量方向上的壁厚影响，保证燃耗测量精度。

6.10.3 工作原理及运动控制

燃耗测量定位分配器采用带托耳和过球通孔的转盘实现成串球形元件的分隔与单一输送功能，消除相邻球形元件的影响；利用转盘过球通孔及减薄孔、内衬环的停球面和箱体准直沉孔等实现准确定位，控制壁厚及准直孔结构的影响，保证测量精度；利用匹配的内衬环出球孔道、箱体出球通孔和出球接管，以及机械限位和运动控制球实现球形元件燃耗测量后的定向分配。

根据燃耗测量结果，在 DCS 指令下，燃耗测量定位分配器以短时连续工作制运转，其循环工作流程为：接纳球形元件→转动分隔球形元件→定位测量→定向分配→接纳球形元件。

初始转盘处于静止接球位，此时转盘过球通孔和托耳位于左限位（或右限位）点，来自上游的球形元件将在进料接管和箱体的进球通孔中串列暂存，并由转盘支撑面支撑。在转盘接受指令后开始转动，托耳从球形元件之间的间隙经过。当转盘到达中间位置时，将除最底层一个球形元件的串列球形元件托起，同时被分隔开的最底层一个球形元件依靠重力进入转盘过球通孔，并停靠在在内衬环的停球面上，停稳后，即可进行燃耗测量。测量过程中，来自上游的球形元件将停靠在球形元件之上，由托耳支撑。在完成燃耗测量后，根据测量结果和 DCS 指令，转盘左转或者右转，将测量后的球形元件向堆芯方向或乏燃料贮存方向的管路定向输送，同时，转盘回到接球位，上游管道内的串列球形元件再次下落到转子支撑面上。

6.11 阻流器

HTR-PM 燃料装卸系统包含了两堆 6 个用于燃料循环和乏燃料卸料的氦气气力输送回路和支路。由于燃料循环及卸料数量大、速度快，元件在管路内以连续的离散球流形式进入堆芯乏燃料暂存装置。这些气力输送回路和支路无法从物理上完全与堆芯进行气流隔离，且回路的压力和温度与堆芯存在差异，因而，气力输送回路不仅与一回路压力水平息息相关，而且在堆芯顶部和底部与堆芯有流量交换。为保证球形元件气力输送和入堆的稳定性，必须在启动气力输送的球路入口前设置限制气流交换的阻流器。

在调试阶段，可以拆卸阻流器转子，用于排出球。

6.11.1 主要技术参数

阻流器包括动力部件、传动部件、执行部件、承压壳体和内部构件。

阻流器及其重要部件的编码标识参见施設 4.4.2.2 之附表 1-8。

阻流器技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-10。

6.11.2 主要技术特征

阻流器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 3-3。

(1) 承压壳体

承压壳体包括端面法兰、箱体、进球接管和出球接管，箱体包括一个转子沉孔、一个进球通孔和一个出球通孔。

(2) 执行部件

执行部件（转子）由转轴、转盘、护板、若干弹力块和轴承组成，转盘包含至少一个接球杯和限位槽，弹力块安装于所述限位槽内，并受限于转盘两侧的护板。

(3) 内部构件

阻流器的内部构件由内衬环、限位板和轴承座组成，内衬环包括两个同轴的过球孔道。

内衬环以小过盈量或过渡配合方式安装于箱体的转子沉孔内，转盘则

以间隙配合形式安装于内衬环内；弹力块采用互斥的永磁磁极提供弹力，并采用耐温和磁性能优异的钕钴永磁材料。

（4）配合特征

阻流器采用多组弹力块与内衬环同轴等径安装，在弹力作用下，所述弹力块与内衬环形成阻流配合面，而在转动过程中，二者形成摩擦副，并均具有良好的耐磨性，保持良好的动态压紧状态，同样具有相对稳定的阻流密封效果。

由于采用了永磁磁阻尼，具有很好的热胀、偏心与机械补偿性能；同时采用多个取料孔，运转平稳，能够有效减小磨损，在磨损后，可以更换内衬环和弹力块，而无需对壳体进行更换维修。

6.11.3 工作原理及运动控制

阻流器工作原理如下：当第一接球杯位于箱体进球接管（405）轴线方向上时，接收来自上游的第一个球形元件。转过 90° 后，第一接球杯装载第一球形元件到达 90° 位置，此时，第二接球杯位于箱体进球接管轴线方向上，接收来自上游的第二个球形元件。再次同向转过 90° 后，即旋转 180° 后，第一接球杯装载第一球形元件到达出球接管轴线方向位置，此时，第三接球杯位于箱体进球接管轴线方向上，接收来自上游的第三个球形元件。继续转过同向 90° 后，即旋转 270° 后，第二接球杯装载第二个球形元件到达出球接管轴线方向位置，此时，第四接球杯位于箱体进球接管轴线方向上，接收来自上游的第四个球形元件。在之后继续同向转过 90° 和 180° 后，第三个球形元件和第四个相继从第三接球杯与第四卸出至出球接管。如此周而复始，在主控制系统 DCS 和电机控制器指令下，执行部件每次转角 90° ，在阻流密封情况下，每次可向下游输送一个球形元件。

在该运行工况下，如果发生断电及相关故障，需要对执行部件重新找零点，由于磁力传动器为无接触软连接，从隔离罩外难以获得执行部件的准确位置信息，为此，在磁力传动器中设置一个角度反馈传感器，其基本原理是，在内磁组件上设置磁限位器，并在隔离罩相应位置设置磁探头，

当磁限位器转动至磁探头相应位置，基于永磁耦合和霍尔元件，探测并调整初始转角，以保证接收和输送球形元件的稳定性。

6.12 单通器

由于卸料入口管段的主管段上游有两个分支管路，分别连通单堆堆芯卸料子系统中两列的燃耗测量定位器，为避免堆芯两列卸出的乏燃料同时到达主管段汇聚三通而发生卡堵，在两个分支管路上各设置一个单通器。

6.12.1 主要技术参数

HTR-PM FCA 共设置 4 台单通器，箱体结构、转子结构和配置相同。

单通器及其重要部件的编码标识参见施設 4.4.2.2 之附表 1-9。

单通器技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-11。

6.12.2 主要技术特征

单通器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 3-4。

(1) 承压壳体

承压壳体包括连接法兰、箱体、进球接管和出球接管，箱体包括一个转子沉孔、一个进球通孔和一个出球通孔。

(2) 执行部件

执行部件（转子）由转轴、转盘和轴承组成，其转盘一半加工为弯月形缺口，另一半则设置有两个交汇于中心的通道，并在其中一个通道的两侧设置有托耳。

(3) 配合特征

单通器的转子有三个定位点，即直通位、停球位和隔料输送位，通常处于直通位。

6.12.3 运动控制

对于上游的两个乏燃料卸料分支管路而言，当其中一列经燃耗测量检测出已达到目标燃耗深度的乏燃料元件后，由 DCS 主控制系统判断两列乏

燃料元件的检测时间间隔，如果间隔时间大于阈值，则该列乏燃料元件经由单通器默认直通通道到达阻流器后提升。如果间隔时间小于阈值，则该列单通器旋转至停球位，以接受球形元件，同时等待另一列检测到的乏燃料到达阻流器并完成提升；如果等待另一列时间过长，进球管内由多于一个球形元件，则在轮换到本列卸料时，启动该列单通器旋转至隔料输送位置，逐一向下游阻流器放行乏燃料元件，否则可以直接启动该列单通器旋转至直通位置，向下游阻流器放行乏燃料元件并完成提升。

6.13 转向器

如前所述，在新燃料装料、乏燃料卸料和再装料工艺过程中，均存在上游管路向下游分支管路定向输送球形元件的工况，在这些分支节点需要设置转向装置，使得同一时间只有一条通路导通。对于某些位置而言，受空间限制，需要采用“直通+旁通”形式的转向装置，即转向器。

6.13.1 主要技术参数

HTR-PM 燃料装卸系统中设置了 7 台转向器。由动力部件、传动部件及执行部件组成的轴线为驱动线正方向，沿驱动线正方向看，箱体中旁通管位于直通管左侧则为左转向器，位于右侧则为右转向器。

HTR-PM 燃料装卸系统中的 7 台转向器有 4 台为左转向器，另 3 台为右转向器。

转向器及其重要部件的编码标识参见施設 4.4.2.2 之附表 1-10。

转向器技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-12。

6.13.2 主要技术特征

左转向器和右转向器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 3-5 和 3-6。

(1) 承压壳体

承压壳体由箱体和与之焊接的等径过球管组成，箱体包括轴线相交的第一直通孔和第一旁通孔，以及一个与两通孔轴线面垂直的转子沉孔，第一直通孔和第一旁通孔的夹角为 60° ，过球管包括一个进球管及与之同轴

的直通出球管和一个旁通出球管，进球管和直通出球管同轴且轴线与第一直通孔的轴线重合，旁通出球管的轴线与第一旁通孔的轴线重合。

(2) 执行部件

执行部件（转子）由转轴、转鼓和轴承组成，转子的转鼓包括轴线相交的第二直通孔和第二旁通孔，其夹角也为 60° 。

(3) 配合特征

传动组件由联轴器和磁力传动器组成，动力部件的伺服系统由带旋转变压器的交流伺服电机和行星齿轮减速机组成，动力部件通过联轴器与磁力传动器的支架相连，磁力传动器隔离套通过第一组紧固件和第一密封件与箱体相连，转子组件置于磁力传动器隔离套和箱体组件构成的密封空间内，转子的转鼓通过轴承支撑于箱体的转子沉孔中；所有第一直通孔、第一旁通孔、第二直通孔和第二旁通孔的轴线共面，且相交或重合。

6.13.3 运动控制

初始转子处于主管道直通位，根据需要对球形元件进行输送去向的需要，决定转子是否转动。

当需要经由旁通支路管输送球形元件时，在 DCS 指令下，首先由伺服控制器控制交流伺服电机及整个驱动线回转，根据转向器的方向，顺时针或逆时针转动 60° 后到位；然后上游设备动作并输送球形元件；在完成输送后，再由 DCS 指令恢复初始直通位。

6.14 分配器

6.14.1 主要技术参数

如前所述，两列装料出口管段的下游均分为两个支路，与两堆对应的燃料提升子系统的两列管路相连接，在支路节点处设置一个分配器，用于通过指定支路向预定的燃料提升列管路定向输送新燃料元件，并装入堆芯。两堆装新燃料各设置一台分配器，结构和配置相同。

分配器及其重要部件的编码标识参见施設 4.4.2.2 之附表 1-11。

分配器技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-13。

6.14.2 主要技术特征

分配器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 3-7。

(1) 承压壳体

承压壳体由带过球通孔及转子沉孔的箱体，以及与之焊接的等径的一个进球管与两个出球管，三个过球管的中轴线共面并相交于一点，以 120° 圆周阵列。

(2) 执行部件

执行部件包括转子和轴承，转子的转鼓上有一过球弯通孔，过球弯通孔两出口中轴线之间的夹角也为 120° 。

(3) 配合特征

屏蔽与磁力传动器的支架相连，动力部件置于屏蔽内，并通过联轴器组件与磁力传动器的外磁组件相连，转子的转轴与磁力传动器的内磁组件相连，而转鼓则通过轴承支撑于箱体的转子沉孔内，转鼓的弯通中轴线与箱体过球管的中轴线共面。

6.14.3 运动控制

分配器的转子有两个定位点，即左分支通路位和右分支通路位。根据需要或预设，在 DCS 控制和伺服驱动器驱动下，分配器旋转至左分支通路位或右分支通路位，放行新燃料。

6.15 停球器

6.15.1 主要技术参数

HTR-PM 中共设置有 3 台停球器。

停球器及其重要部件的编码标识参见施設 4.4.2.2 之附表 1-12。

停球器技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-14。

6.15.2 主要技术特征

停球器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 3-8。

(1) 箱体组件

箱体组件由带过球通孔及转子沉孔的箱体，以及焊接进球管和出球管组成。

(2) 执行部件-转子

执行部件包括转子和轴承，转子上有一过球通孔，其轴承支撑在箱体的圆柱形沉孔内。

(3) 配合特征

屏蔽与中法兰相连，伺服系统置于屏蔽内；中法兰内设置填料密封，并通过紧固件与箱体相连。

6.15.3 运动控制

停球器与球阀功能类似，但球阀主要适用于液态和气态介质的通断，而停球器的主要功能是对单列连串球形元件进行截停和导通，没有内密封要求，采用伺服系统控制，能满足数万次频繁启停，并能满足强 γ 射线辐照剂量下的长寿命可靠运行要求。

6.16 检调定位装置

6.16.1 设备功能需求

在 HTR-PM 燃料装卸系统中，用于执行检修、调节、定位、处理等功能的设备统称为检调定位装置，其主要功能包括：

- (1) 维修隔离功能。安装于球流管路，用于维修设备时隔离气氛；
- (2) 调节功能。执行管路补偿或落球速度调节功能；
- (3) 定位功能。执行燃耗测量装置标定或石墨球复检定位功能；
- (4) 防护及处理功能。执行屏蔽、放射性球形元件及粉尘的提取与转运功能。

6.16.2 设备种类

检调定位装置包括以下单体设备：

- (1) 隔离器。执行上述维修隔离功能；
- (2) 补偿器。安装于球流管路，执行管路位移补偿功能；
- (3) 缓冲器。安装于球流管路，执行落球缓冲减速功能；
- (4) 石墨球复检定位装置。安装于乏燃料卸料管路，执行石墨球停球和复检定位功能；
- (5) 燃耗测量标定定位器。安装于 1 号堆装卸料循环主舱室，执行燃耗测量标定定位功能；
- (6) 抽吸装置。执行好球、碎球及粉尘的柔性运转功能；
- (7) 元件夹钳。执行射性球形元件的远距离夹持和转运功能；
- (8) 屏蔽件。包括卸料管外屏蔽、临时屏蔽等，执行检修及事故处理防护功能。

6.16.3 设备及重要部件标识

各种检调定位装置的设备编码如下：

- (1) 隔离器：

设备码+AB001、设备码+AB002；

设备码+AB101、设备码+AB102、设备码+AB103；

- (2) 补偿器：

竖直补偿器：设备码+AS001；

空间补偿器：设备码+AS101；

- (3) 缓冲器：设备码+AU071~075

- (4) 石墨球复检定位装置：1FCA00AX001

- (5) 燃耗测量标定定位器：0FCA30AE701

- (6) 抽吸装置：0FCB20

- (7) 元件夹钳：0FCA40AS201、0FCA40AS202

- (8) 卸料管屏蔽：

(9) 临时屏蔽:

除隔离器外的检调定位装置清单参见施設 4.4.2.2 之附表 4-16。

6.17 隔离器

6.17.1 设备功能需求

HTR-PM 燃料装卸主系统一方面与反应堆及其一回路相连, 另一方面通过外部新燃料供应系统和乏燃料贮存系统与大气相连。在反应堆压力边界处设置有安全级一级和二级电动球阀, 作为反应堆一回路冷却剂的压力边界隔离阀。在装料暂存装置和卸料暂存装置的上下游管路, 同样分别设置有两道电动球阀, 作为气氛切换工艺流程以及与大气的压力边界隔离阀。

当这些压力边界阀门出现故障或者需要进行密封零部件更换时, 可以在管路系统泄压和保持微正压后, 隔离堆芯方向管路, 以便进行压力边界阀门的检修, 此种维修工况是在微正压下对管路实施隔离, 相对于上述球路阀门的密封要求低, 动作次数少, 因而可采用结构简单、易于操作、成本相对更低的专用隔离装置, 即隔离器。另一方面, 特殊情况下, 在管路系统中需要处置放射性球形元件、碎球和粉尘时, 也可以采用此类隔离器。

作为球流管路动设备, 这些隔离器需要满足三项特殊要求, 即:

- (1) 核电站寿命期内顺利过球, 不会对球形元件产生任何不利影响;
- (2) 对强渗透性并携带放射性粉尘的氦气进行可靠的外密封, 核电站寿命期内无需更换和维修设备自有密封件;
- (3) 在核电站寿命期内累积辐照剂量不会对设备产生影响。

6.17.2 设备总体方案与结构

隔离器安装于球流管路, 用于碎球罐与粉尘罐内物料转运时的气氛隔离、取样管道隔离、球路气氛切换阀门的维修隔离、再装料备用隔离等, 仅在主阀门维修、粉尘罐与碎球罐操作、堆芯重新装料等特殊工况下使用, 采用闸板阀结构, 由以下部件组成:

- (1) 承压壳体。隔离器承压边界;

- (2) 执行部件。带导流孔的直动闸板结构，执行过球和密封功能；
- (3) 磁力传动器。执行密封传动功能；
- (4) 手动或电动装置。执行行程驱动功能。

隔离器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 4-1。

6.17.3 设备标识及主要技术参数

6.17.3.1 设备及部件标识

设备及重要部件编码如下：

- 隔离器：系统码+AB001，AB101~103
- 承压壳体，系统码+设备码+“MF01”
- 执行部件，系统码+设备码+“MM01”
- 磁力传动器，系统码+设备码+“MU01”
- 手动或电动装置，系统码+设备码+“-M01”

6.17.3.2 主要技术特性

HTR-PM 燃料装卸系统的过球管路以及设备支路中共设置有 20 台隔离器。

隔离器及其重要部件的编码标识参见施設 4.4.2.2 之附表 1-13。

隔离器技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-15。

6.17.4 工作原理及运动控制

6.17.4.1 主要部件

承压壳体由箱体和端法兰组成，端法兰过球通孔附近的法兰面内镶嵌有稀土永磁磁极，箱体过球通孔附近堆焊密封面。

执行部件包括螺杆和隔离密封板，隔离密封板分密封板和过球通道两部分，其中密封板的一侧内嵌与端法兰反磁性的磁极。

磁力传动器通过紧固件和密封件将支架与隔离罩同箱体相连，其外磁组件与手动或电动装置相连，内磁组件则通过螺纹与执行部件的螺杆相连。

利用磁力传动器的内、外磁组件和隔离罩将动密封转化为静密封，实现零泄漏外密封。

6.17.4.2 运动控制

正常运行工况下，过球通道与两侧过球球管同轴等径微间隙直通，需要隔离时，通过手动或电动驱动磁力传动器的外磁组件，利用磁耦合原理，将运动传递到执行机构，依靠介质压力和磁推力强制关闭和隔离管路。

6.18 补偿器

6.18.1 设备功能需求

6.18.1.1 竖直位移补偿

- (1) 卸料装置底部到反应堆压力容器下支承的距离约 15m，从初始安装到功率运行，受热膨胀影响，卸料装置底部要下移约 40mm，要求补偿量大于 50mm；
- (2) 满足重力落球要求，过球套管通径 DN65，轴向间隙小于 2mm，过度圆滑；
- (3) 底部固定与支撑功能。能够支撑设备管路补偿的反向压力；
- (4) 满足 40 年运行环境及工况要求：260°C/8.3MPa， 10^7 Gy 辐照剂量。

6.18.1.2 空间位移补偿

- (1) 在提升管路上进行压力平衡和位移补偿；燃料循环的提升管段和乏燃料二次提升管段长达数十米，这些空间管线需要进行导向、压力平衡与热胀补偿；
- (2) 满足气力输送球形元件要求，过球套管通径 DN65，轴向间隙小于 2mm，圆滑过渡；
- (3) 满足 40 年运行环境及工况要求：260°C（80°C）/8.3MPa， 10^7 Gy 辐照剂量。

6.18.2 设备总体方案与结构

6.18.2.1 设备种类

补偿器包括以下单体设备：

- (1) 直通补偿器。采用外压型金属波纹膨胀节结构，执行竖直位移补偿及过球功能；
- (2) 弯通补偿器。采用弯管压力平衡型金属波纹膨胀节结构，执行空间位移补偿及过球功能。

6.18.2.2 部件划分

补偿器基本由以下部件组成：

- (1) 承压壳体。支撑内件、通过球流、包容气体；
- (2) 波纹管组件。执行柔性补偿功能；
- (3) 套筒组件。执行过球导流功能；
- (4) 拉杆组件。执行预拉伸或预压缩功能；
- (5) 支撑座。用于支撑和固定外压型金属波纹膨胀节；
- (6) 弯头组件。用于压力平衡型金属波纹膨胀节。

竖直补偿器与空间补偿器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 4-4 和 4-5。

6.18.3 设备标识及主要技术参数

设备及重要部件编码如下：

- 竖直补偿器：AS0 01
- 空间补偿器：AS1 01
- 承压壳体，MF01
- 波纹管组件，MR01
- 套筒组件，MM01
- 拉杆组件，MS01

补偿器的技术特性参见施設 4.4.2.2 附表 4-18。

6.18.4 安装与调试

直通补偿器以预拉伸方式安装，并合理调整拉伸量。

6.19 缓冲器

6.19.1 设备功能需求

HTR-PM 燃料装卸系统中大量动设备的运行可靠性取决于各设备自身结构特性及其相关零部件的质量外，在很大程度上取决于球形元件的质量和过球管路的管系配置。如果球形元件的强度和耐磨性足够好，且空间管路中每一步路的落球高度相对较小，球形元件基本不会被碰撞损坏而产生碎块，或者因磨损而产生微粒与粉尘，则动设备不会发生卡堵，因而运转通畅，使用寿命长；否则发生卡堵和损坏的风险增大。

由于设备安装及管路空间布置的需要，HTR-PM 燃料装卸球流主系统中，一些落球管路很长，相对高度大，在这些大步路的管系中，一方面球形元件与管道、管件或设备的碰撞动量大，不仅加大了球形元件损坏概率和磨损量，也因日积月累导致被碰撞的管道、管件和设备磨损。为降低上述落球风险，保证系统运行的可靠性，在管路以及主设备上设置了缓冲器。

缓冲器设置有侧面法兰，可用作调试阶段分段调试时的出球口。

6.19.2 设备总体方案与结构

缓冲器由以下部件组成：

- (1) 承压壳体。包括箱体、进球接管、出球接管和端盖盖板，支撑内件、通过球流、包容气体；
- (2) 磁阻尼部件。利用永磁磁极的推拉特性，实现落球缓冲。包括底座磁阻件和导向磁阻件，磁阻件中的磁极采用稀土永磁材料，导向磁阻件的基体中采用硬度大、强度高，且塑性好的钛合金；
- (3) 导流组件。采用硬度大、强度高，且塑性好的钛合金制作流道，限制和引导球流流向。

缓冲器的磁阻尼部件通常为—组，置于承压壳体，由于上游管路数值

高度大，新燃料装料和再装料管路中的 1FCA50AU071、1FCA40AU071 和 2FCA40AU071 缓冲器设置了两组磁阻尼部件，即为双联缓冲器

缓冲器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 4-6。

6.19.3 设备标识及主要技术参数

设备及重要部件编码如下：

- 缓冲器，AU
- 承压壳体，MF01
- 磁阻尼部件，MB01
- 导流组件，MM01

缓冲器的技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-19。

6.19.4 安装与维修

缓冲器安装于球流管路上相对落差较大的位置，由于缓冲落球量大，冲击频繁，磁阻尼部件和导流组件会产生冲击磨损，因此，需要对磁阻尼部件和导流组件进行定期检查和更换。

6.20 石墨球复检定位装置

6.20.1 设备功能需求

在乏燃料二次提升管段前设置了一套石墨球复检定位装置，避免将高放射性的乏燃料元件输送至石墨球贮罐。活度识别的时间短，不要求对球形元件精确定位，但要求停球快捷，因此，在过球管路上设置了一个电磁驱动的燃料石墨球复检定位装置。

6.20.2 设备总体方案与结构

石墨球复检定位装置安装于乏燃料二次提升前的球流管路，由以下部件组成：

- (1) 检测管段。具有过球通道，支撑电磁驱动器 and 外屏蔽；
- (2) 电磁驱动器。利用电磁力驱动定位杆，执行定位停球功能；

(3) 探头固定筒。提供探头安装固定孔，执行 γ 射线屏蔽，保护复检装置。

石墨球复检定位装置技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 4-2。

6.20.3 设备标识及主要技术参数

6.20.3.1 设备及部件标识

设备及重要部件编码如下：

- 石墨球复检定位装置：0FCA30AE701
- 检测管段，0FCA30AE701MR01
- 电磁驱动器，0FCA30AE701-Y01
- 探头固定筒，0FCA30AE701MS01

6.20.3.2 主要技术特性

石墨球复检定位装置的技术特性参见施設 4.4.2.2 之附表 4-17。

6.21 燃耗测量标定定位器

两堆共有 1 台燃耗测量标定器，位于装卸料主舱室 1 内两个燃耗测量定位器之间，用于维修期间配合燃耗测量装置执行标定功能。

燃耗测量标定定位器是一台非承压的固定设备，由箱体和标定球组成，其准直孔定位点位于两个燃耗测量标定定位器准直孔水平线中点。

燃耗测量标定定位器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 4-7。

6.22 抽吸装置

6.22.1 设备功能需求

抽吸装置作为备用工具，其使用场合及功能需求包括：

- (1) 转移碎球罐内放射性碎球；
- (2) 转移粉尘罐内放射性粉尘；
- (3) 事故情况下将因事故而堆积球形元件转移走；
- (4) 调试试验阶段向提升管段顶部输送试验用石墨球。

6.22.2 设备总体方案与结构

抽吸装置存放于工具间，由以下部件组成：

- (1) 罗茨真空泵组。执行抽吸功能；
- (2) 消音器组件。消减抽吸时的管路噪音；
- (3) 金属过滤器。执行粉尘过滤功能；
- (4) 分离器组件。执行球气分离功能；
- (5) 球阀。执行抽气管路通断功能；
- (6) 金属软管。球、气通道；
- (7) 抽吸头。分球形元件和粉尘两种抽吸头。

抽吸装置技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 4-3。

6.22.3 设备标识

设备及重要部件编码如下：

- (1) 抽吸装置：0FCB50
- (2) 罗茨真空泵组，0FCB50AP001
- (3) 消音器组件，0FCB50BS001
- (4) 金属过滤器，0FCB50AT001
- (5) 分离器组件，0FCB50BT001
- (6) 球阀，0FCB50AA001
- (7) 金属软管，0FCB50BR001、0FCB50BR002
- (8) 抽吸头，0FCB50BN001、0FCB50BN002

6.23 元件夹钳

元件夹钳是一个简单的机械手，由外壳、连杆、手柄、钢丝绳组件、抓手组件等组成。主要材料为铝合金，净重 2.6kg，柄长 3m，作为长柄工具。在事故工况下，用于远距离抓取并转移散落的燃料元件。

元件夹钳技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 4-8。

6.24 屏蔽件

在维修时为保证人员安全，在碎球分离装置、卸料暂存装置以及球形元件滞留的管段设置有不同结构形式的铅屏蔽件，支撑在设备或钢结构上。由于与设备的配套、抗震支撑及设备维修等要求，这些屏蔽件均为非标定制。在碎球分离装置和卸料暂存装置内部还设置有钢屏蔽，与承压壳体内件装配。对于包含非金属件的电机、减速机及伺服电机等设备部件，其外均设置有钢屏蔽套，以保证其运行寿命。

上述屏蔽大多和设备本体成套供货，此外，单独供货的屏蔽还包括：

- (1) 卸料装置筒体外屏蔽组件；
- (2) 卸料管外屏蔽组件；
- (3) 屏蔽掩体组件；
- (4) 临时屏蔽。

6.25 特种过球管道配件

6.25.1 设备功能需求

与常规流体管路不同，FCA 过球管路是一个近等径的球流管路。由于燃料元件为直径 60mm 的石墨基体球形元件，而靠重力输送的自流管路和气力输送提升球流管路的内径分别为 65mm 和 62mm，安装于过球管道上的管道配件必须满足球流输送的特殊要求，不得对球形元件造成卡堵、划伤和磕碰损伤，具体要求包括：

- (1) 启动提升功能。安装于重力与气力输送管路结合处，是球形元件气力输送载带气体入口管件；
- (2) 碎屑收集功能。安装于球流管路最低处，用于不能悬浮的大颗粒碎屑收集；
- (3) 减速回流功能。安装于气力输送过球管路顶端，配合执行气体回流、元件减速功能的管件；
- (4) 吹扫输入功能。安装于竖直或大角度倾斜球路，用于球路设备

吹扫的入口管件；

- (5) 调试连接功能。安装于特定过球管段，用于调试阶段取球；
- (6) 关节支撑功能。安装于设备钢结构或钢平台，具有多个自由度，用于支撑、导向和固定过球管路；
- (7) 承载支撑功能。安装于设备钢结构，用于支撑补偿器并承受其反作用力；
- (8) 流道调整功能。属于管道组成件，改变流道大小、方向和分支等。

6.25.2 设备种类

特种过球管道配件包括以下单体设备：

- (1) 发射器。锻件焊接组装管件，执行上述启动提升功能；
- (2) 收尘器。焊接及钣金组装管件，执行上述碎屑收集功能；
- (3) 减速器。锻件焊接组装管件，执行上述减速回流功能；
- (4) 喷射器。锻件焊接组装管件，执行吹扫输入功能；
- (5) 法兰短节。卡箍连接机加工组装管件，执行上述调试连接功能；
- (6) T型管架。机加工组装支架，执行上述关节支撑功能；
- (7) 补偿器支撑座。锻件加工件，执行上述承载支撑功能；
- (8) 过球弯头。挤压管件，DN65 和 DN62 过球管道的弯通；
- (9) 过球变径接头。挤压或锻制管件，DN65-DN62 圆滑变径通道；
- (10) 汇聚过球三通。锻制管件，重力过球路汇集接头；
- (11) 异径球气三通。锻制管件，过球管路吹扫回流管接头；
- (12) 过球法兰。与过球管道焊接，组对法兰及管段用于过球管道调节。

各种过球管道配件的设备编码如下：

- (1) 发射器：系统码+BN201；
- (2) 收尘器：系统码+BB301；
- (3) 减速器：系统码+BP401；

- (4) 喷射器：系统码+BN101、102；
- (5) 过球法兰：管道编码+MR41/MR51；
- (6) T 型半开管架；
- (7) 补偿器支撑座：系统码+AS301；
- (8) 过球弯头；
- (9) 过球变径接头：管道编码+MR31；
- (10) 汇聚过球三通：管道编码+MR01；
- (11) 异径球气三通：管道编码+MR11。

特种过球管道配件清单参见施設 4.4.2.2 之附表 4-20，相应的管道管件等级表参见施設 4.4.2.2 之附表 4-21。

6.26 发射器

发射器安装在各气力提升管底部向下倾斜段的入口处，与其上游的阻流器配合使用，是球形元件进行气力提升的启动管路部件，保证球形元件气力输送启动平稳。两堆共有 7 台发射器，结构和配置相同，如下所列：

- (1) 由承压壳、导流块和端接管组成；
- (2) 承压壳是一个具有倾斜进球管和直通出球管并呈 120° 方向的端部开口锻件；
- (3) 导流块是栅栏结构的金属块，栅栏开口总面积相当于 DN50 管道截面；
- (4) 端接管是一个包含缓冲腔的小锻件，并与承压壳焊接为一体。

球形元件自倾斜进球管进入，连续的气流从端接管引入，并在缓冲腔内缓冲，经由导流块的栅栏中吹出，推送球形元件平稳启动，以实现气力输送。导流块的另一功能是引导球形元件到启动段，并可避免球形元件在三通内回流卡堵和结拱。

发射器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 5-1。

6.27 收尘器

收尘器安装于各重力流过球管路与气力提升管相连的最低管段，位于发射器下游，执行管路粉尘及碎屑收集功能。两堆共有 7 台收尘器，结构和配置基本相同，如下所列：

- (1) 收尘器由承压壳、导流管和收集管组成；
- (2) 承压壳是一个大曲率半径弯头型圆管管件，包含一定长度的进球管和出球直管段；
- (3) 导流管是一个与承压壳走向同轴的方形围护管件，焊接于承压壳内，并在其底部导流板两侧设置有漏尘口；
- (4) 收集管与承压壳焊接为一体，位于导流管漏尘口下方。

在球形元件重力和气力输送过程中摩擦与碰撞产生的粉尘和碎屑，依靠自重和气流吹扫，在漏尘口处进入收集管暂存，在收集管底部有可拆卸盲段，用于在检修期间开启以清除粉尘。

收尘器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 5-4。

6.28 减速器

减速器安装在各气力提升管底部顶部大弯头之后的下降段，在该处实现球气分离，减缓气力提升后的过球速度。两堆共有 6 台减速器，结构和配置相同，如下所列：

- (1) 减速器由承压壳和导流管组成；
- (2) 承压壳是一个呈 90° 方向具有进球管和出气管的端部开口锻件；
- (3) 导流管是一个 DN65-DN62 的变径管，且具有若干长条出气口；
- (4) 导流管插入承压壳内，并与承压壳焊接为一体。

在燃料元件提升到最高点后通过本设备时，完成球气分离。球形元件沿球管靠重力输送到目标位置，载带气体则由支路返回至氮气压缩机入口端，实现提升气体的堆外循环。

另一方面，在减速器处气体通过导流管回流至氮气压缩机，而不会直接推动燃料元件滚向堆芯，起到减速作用，避免燃料元件因速度过快而造

成过分撞击，确保燃料元件完整性。

减速器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 5-2。

6.29 喷射器

喷射器安装于各重力过球管路不同管段的底部，用于管道吹扫气体进入过球管路，执行对过球管路中的粉尘和碎屑吹扫的功能，以避免管路卡堵，保证动设备的运转可靠性。

两堆共有 9 台喷射器，结构和配置相同，如下所列：

- (1) 喷射器由承压壳、喷射管和导流管组成；
- (2) 承压壳是一个呈 60° 方向具有出球管和喷气管的端部开口锻件；
- (3) 导流管是一个引导球形元件流动的多边形管件，进气口位于球形元件流动盲区；
- (4) 导流管插入承压壳内，并与承压壳焊接为一体。

正常运行时，球形元件受多边形导流管的限制，在导流面上流动并顺利通过，不会与喷气管口发生碰撞而磨损。在球形元件输送间歇期，可以利用专用氦气压缩机对管路实施吹扫，吹扫气流从喷气管进入本喷射器后，气流沿喷气管和过球管斜向上吹扫。

喷射器技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 5-3。

6.30 法兰短节

法兰短节由 2 个带颈法兰、2 个卡箍和 1 个带颈短节组成。安装在过球管路上不同位置，用于安装调试中进行过球试验的加、取球。

法兰短节技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 5-5。

6.31 “T”型半开管架

燃料装卸系统的球流管道具有如下的特点：

- (1) 主舱室中的卸料管路呈不规则倾斜下行，并受反应堆压力容器和卸料管大膨胀量（40mm 左右）的影响显著；
- (2) 装卸料缓冲管道间的装新燃料缓冲管道和卸乏燃料管道呈不规

则倾斜下行；

(3) 不锈钢管道材料线膨胀系数大，热变形量大。

系统设置了“T”型半开管架装夹在输球管道，其尾直段可在固定支座的轴孔中滑动。输球管道可在“T”型管架中沿其轴向伸缩，而管道螺旋回路则可沿其法向自由膨胀，且能保持原有形状，以解决管道热膨胀量较大的问题。管路的重量可通过“T”型管架传递到支座，得到支撑，而利用螺旋回路的“弹簧”效应可以吸收其热膨胀变形。

这种“T”型半开管架对管道的支承作用可称之为法向半滑动约束固定。每个“T”型管架与支座组合有3个自由度可供调节，并可方便地紧固，有利于管道安装施工。管道安装后，可松开部分“T”型管架与支座的连接，使之形成轴向滑动运动副，适应管道的热膨胀变形。T型半开管架的支座可就近固定在设备支架上，不需专门架设支架。

“T”型半开管架技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 5-6~5-8。

6.32 挤压和锻制管件

HTR-PM 燃料装卸球流主系统中的管件，如补偿器支撑座、过球弯头、过球变径接头、汇聚过球三通、异径球气三通、过球法兰等，均需要满足过球特殊要求。内壁表面粗糙度、椭圆度、形状度和壁厚等均高于一般气、液管道的要求。例如，弯头主要采用奥氏体不锈钢无缝钢管模具推压及系列化的钢球推挤和整形工艺制作。其余管件则采用奥氏体锻件按图加工制造。

“挤压和锻制管件技术方案参见施設 4.4.2.3 之附图 5-9~5-14。

6.33 过球检测装置

6.33.1 设备功能需求

过球检测装置是燃料装卸系统中实现燃料元件循环与输送自动化的关键传感设备，其主要功能是对各球流管段与贮存容器中燃料元件的动态信息（包括各管路中燃料元件的通过方向、数量、球停状态，以及各容器中

燃料元件的累计贮量与排出数量等) 进行实时准确的判断、统计和记录, 并把主要信息传递给主控制系统中, 以保证燃料元件定向有序输送和贮存的自动化控制、堆芯燃料的准确管理和反应堆的可靠运行。

管路中不同位置的过球检测装置的细分功能包括:

- (1) 单向计数。主要安装于重力过球管路, 对单向过球信号进行探测和处理;
- (2) 双向计数。安装于气力输送球流提升管路, 对双向过球信号进行探测和处理;
- (3) 碎球计数。安装于碎球卸料管路, 对球冠等效高度大于 30mm 的碎球进行探测和处理;
- (4) 过球测速。系统调试阶段, 安装于特定管段, 进行过球速度的检测与信号处理。

6.33.2 设备总体方案与结构

过球检测装置由过球探测传感器和二次仪表两部分组成。

(1) 过球探测传感器

过球探测传感器为中心剖分外装式结构, 由两个半环线圈对装于管道外。传感器采用涡流检测原理实现对以石墨为基体的燃料元件和石墨球的通过探测。缠绕线圈的骨架固定于探测器外壳内。

(2) 二次仪表箱

二次仪表箱包括壳体、电子元器件和内部线缆等组成。二次仪表负责提供激励电流、信号提起、检波、滤波、精整、放大、输出等信号处理功能, 并满足 EMC 要求。

燃料装卸系统不同管段不同位置共设置有 72 套过球检测装置, 根据上述细分功能和过球探测传感器的结构不同, 过球检测装置包括 4 种类型:

- (1) 单向计数器。执行上述单向计数功能;
- (2) 双向计数器。执行上述双向计数功能;
- (3) 碎球计数器。执行上述碎球计数功能;

(4) 测速器。执行上述测速功能。

四种类型的过球检测装置的过球探测传感器基本相同，只是线圈匝数、组数、布置方式和间距有所不同，二次仪表与探测传感器一一对应，在信号处理技术方案上有所差异。

设备及重要部件编码如下：

- 单向计数器，系统码 + CX 001~010，如，1FCA10CX001
- 双向计数器，系统码 + CX 101~102，如，1FCA10CX101
- 碎球计数器，系统码 + CX 001，如，1FCB10CX001
- 测速器，0FCA40CX201、0FCA40CX202
- 过球探测传感器，系统码+设备码+“-L01”，如，1FCB10CX001-L01
- 二次仪表，系统码+设备码+“-U01”，如，1FCB10CX001-U01

过球检测装置及其重要部件的编码标识参见施設 4.4.2.2 之附表 1-14。

过球检测装置基本技术特性如下，其他参见施設 4.4.2.2 之附表 4-22。

6.33.3 主要技术参数

6.33.3.1 总体设计参数

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| (1) 误计率： | $<1 \times 10^{-4}$ |
| (2) 平均无故障时间： | $>1 \times 10^4 \text{h}$ ； |
| (3) 过球信号传输距离： | $\leq 50 \text{m}$ |
| (4) 可检测的燃料球速度范围： | $0.1 \sim 10 \text{ m/s}$ |
| (5) 二次仪表使用寿命： | 10a |
| (6) 检修周期： | 3a |

6.33.3.2 二次仪表参数

- | | |
|-----------|---------------------|
| (1) 输入电压： | AC220V |
| (2) 功率： | 100W |
| (3) 检测通道： | ≤ 4 |
| (4) 接口形式： | 宽度 40~60ms 的 24V 脉冲 |

6.33.3.3 传感器参数

- (1) 传感器安装管外径: 77mm, 74mm
- (2) 传感器抗振动频率: 10~150 Hz
- (3) 传感器抗振动加速度谱密度: $\geq 2(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$
- (4) 抗辐照要求: $\leq 10^5 \text{Gy}$
- (5) 涡流传感器激励频率: 4kHz

6.33.4 安装、运行与维修

传感器为外装式结构，由两个半环线圈对装于管道外，采用紧固螺栓+卡环方式支承固定。传感器线圈获得的过球信号经传输电缆输送至二次仪表进行处理。计数器二次仪表能够向上位控制系统提供宽度为 40~60ms 的 24V 过球信号，接线位置位于机柜内的接线端子。耐辐照传输电缆不包括在本技术规格书供货范围内，但应提供调试用电缆。

过球探测传感器的骨架采用耐辐照的非金属材料，但难以满足寿命期内过球管道中高剂量 γ 射线的照射，二次仪表电子器件也有寿命要求，因此过球探测传感器和二次仪表均需要定期更换。

二次仪表分层放置于电气间内的计数器仪表柜内，在系统停运期间可以对电路板随时更换。过球探测传感器安装于现场管道，需要停止系统运行，并排空相应位置的球形元件，方可拆卸整体更换。

6.34 电气部件

6.34.1 电气柜

装卸料装置类设备中碎球分离装置、装料暂存装置、卸料暂存装置采用变频控制的方式，驱动三相异步变频电机，与减速器一起构成变频驱动机构与设备连接，驱动现场的设备执行机构的。每 4 台变频驱动机构的变频器及其电路放置于 1 台电气柜内。系统内共设置 2 台电气柜，安装于电气设备间（1UJA85 104），电气柜标识如下：

- (1) 1 号堆及共用 1 列变频驱动柜，1FCA00GH101

(2) 2 号堆及共用 2 列变频驱动柜, 2FCA00GH101

装卸料装置电气设备的变频驱动机构与相应电气柜的对照情况见施設 4.4.2.2 之附表 3-1。

6.34.2 控制柜

燃料装卸系统中的定向转换装置, 需要对其内部转动位置进行无反馈的精确定位。而且累计运行定位精度不得超出 0.2° , 需要进行较高精度的位置控制。采用伺服电机与减速机构成伺服驱动机构, 驱动现场设备执行机构。共计 28 台设备的伺服驱动器及控制电路部分、接口电路放置在 3 台控制柜内。此外, 系统中的 3 台反吹过滤器, 其自身的控制系统放置在 1 台控制柜内。这 4 台控制柜放置于电气设备间 (1UJA85 104) 内, 其设备标识如下:

- (1) 反吹过滤器控制柜, 0FBT00GH001;
- (2) 共用设备伺服驱动柜, 0FCA00GH001;
- (3) 1 号堆伺服驱动柜, 1FCA00GH001;
- (4) 2 号堆伺服驱动柜, 2FCA00GH001。

电气设备与控制柜的对照关系见施設 4.4.2.2 之附表 3-2。

6.34.3 二次仪表柜

过球检测装置的二次仪表箱分层放置在二次仪表柜中, 向下与现场传感器相连, 检测过球信息; 向上与反应堆控制系统 DCS 相连, 向 DCS 发出约定格式的 PI 信号, 传递过球信息。

共设置 3 台仪表柜, 均用于存放所有过球检测装置的二次仪表箱, 放置于电器件 1UJA91 104 内, 标识如下:

- (1) 两堆共用二次仪表柜, 0FCA00GH201;
- (2) 1 号堆二次仪表柜, 1FCA00GH201;
- (3) 2 号堆二次仪表柜, 2FCA00GH201。

与现场过球检测传感器对照关系见施設 4.4.2.2 之附表 3-3~3-5 现场

过球检测传感器与二次仪表柜对照关系表。

7 供货范围

7.1 供货范围

最终供货要求是提供符合本技术规格书、图纸及文件要求的，并经试验、检验和验收，符合本技术规格书、图纸及文件要求的，全部输送转换设备及部件。具体包括：

7.1.1 供货方提供的主要设备及部件

主要设备及部件共计592台/件，具体参见分册之附表5-1，说明如下：

- (1) 装卸料装置11套/台及重要部件56台/套。包括碎球分离装置4台、装料暂存装置2台、卸料暂存装置2台，以及缓冲器、永磁驱动机构、电磁驱动机构、粉尘罐、碎球罐、电机、减速机和变频器等配套部件；堆芯进料装置2台和堆芯缓冲装料装置1套，以及屏蔽、支撑和操作平台等配套部件。
- (2) 定向转换装置28台及配套部件28件。包括桥联器3台、能耗测量定位分配器4台、阻流器6台、单通器2台、分配器2台、转向器8台、停球器3台和伺服电机屏蔽28件，以及相关主设备的伺服电机、减速机、伺服驱动器、永磁驱动机构和电磁驱动机构等配套部件。
- (3) 检调定位装置44台/个，包括隔离器10台、补偿器11台、缓冲器12台、抽吸装置1台、石墨球复检定位装置1台、能耗测量标定定位器1台、屏蔽6套、元件夹钳2件。
- (4) 过球检测装置72套。包含单向计数器50台、双向计数器12台、碎球计数器6台、备用单向计数器2台、备用测速器2台。
- (5) 特种过球管道附件344件。包括发射器、减速器、喷射器、收尘器、过球法兰、T型球管夹具，以及非标定制的弯头、异径接头、过球三通和支撑座等。

- (6) 电气部件9台。包括电气柜2台、控制柜4台和计数器二次仪表柜3台。

7.1.2 安装及维修专用工具

- (1) 专用拆卸工装及工具。
- (2) 安装支架、螺栓、支撑件等的辅助安装部件，以及调试用电缆。

7.1.3 备件

- (1) 移动及活动屏蔽。
- (2) 紧固件、密封件、轴承等其他备品和备件。
- (3) 相关技术文件。

7.2 供货方承担的项目

- (1) 标准及非标配套设备部件的选型
- (2) 非标设备必要的设计与验证；
- (3) 材料和外购件的采购；
- (4) 设备的制造；
- (5) 各阶段的检查、检验和试验；
- (6) 协助订货方组织设备的验收；
- (7) 设备的最终出厂清洗；
- (8) 组织设备的包装发送；
- (9) 参与设备安装设计的技术协调。

7.3 供货方服务的范围

- (1) 制造质量问题的处理及有关的咨询服务；
- (2) 向监造人员提供有关的文件资料及一切必须的协助；
- (3) 向订货方提供有关的技术资料；
- (4) 配合订货方授权检验人员在制造现场进行见证检验；
- (5) 组织有关主管部门和订货方的质保审查和监督；

- (6) 提供合格备品备件;
- (7) 发货时提供产品供货零件清单和装箱单;
- (8) 为设备的现场安装和调试提供技术支持;
- (9) 对安装调试过程中发现的设备不符合项进行处理, 并提交不符合项处理报告(或记录);
- (10) 在现场安装调试后的质保期内, 随时提供技术咨询或设备故障处理服务;
- (11) 为设备的长期运行提供技术支持和服务;
- (12) 除合同书规定的服务外, 当现场需要时, 供货方应派技术人员到现场服务, 协助安装、调试、维修等工作;
- (13) 供货方提供培训订货方操作、维修人员, 并负责现场调试。

8 材料要求

8.1 金属材料

承压边界材料适用材料参见施設4.4.2.2之附表2-1;

承压边界设备的非承压附件材料适用材料参见施設4.4.2.2之附表2-2;

非承压边界设备的材料适用材料参见施設4.4.2.2之附表2-3。

承压设备材料的选取满足 GB150-2011、JB 4726-2000、GB/T 222-2006 以及 GB/T 20066-2006相关要求。承压材料应出具材料鉴定试验报告或合格证书。

设备使用的接管材料为不锈钢, 钢管质量应符合 GB/T14976《流体输送用不锈钢无缝钢管》的规定; 锻件材料应符合 NB/T 47010-2010《压力容器用不锈钢锻件》规定。

锻件材质应符合 NB/T 20010.5-2010要求, 材料成份偏差满足 GB/T 222-2006要求, 按 GB/T 6394-2002进行晶粒度检测, 晶粒度等级不低于5级, 按 GB/T 10561-2005进行非金属夹杂物检测, A、B、C、D 非金属夹杂物均不大于2级, 总和不大于6级, 按 GB/T 4334-2008 E 法进行晶间腐蚀

试验。锻坯需进行超声、渗透检测，满足 NB/T 20003.2-2010和 NB/T 20003.4-2010要求，加工后所有表面需进行渗透检测，并满足 NB/T 20003.4-2010要求。

非结构附件和临时附件，如铭牌等，可用不附质量合格证明的材料，但必须符合相关规定。非结构附件的材料和相连接的材料相容，并被鉴定，适于焊接。

8.2 焊接材料

承压设备焊接材料应符合 GB150的要求，不锈钢焊接材料应满足 GB/T 983-2012的要求，碳钢焊接材料应满足 GB/T 5117-2012《非合金钢及细晶粒钢焊条》的要求，焊丝应符合现行国家标准 GB/T 14957-1994《熔化焊用钢丝》、GB/T 8110-2008及《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 10045-2001《碳钢药芯焊丝》、GB/T 17493-2008《低合金钢药芯焊丝》的规定。

焊接材料制造厂必须提供合格的焊接材料质量证明书。

8.3 紧固与密封材料

螺栓材料选用42CrMoA。

本技术规格书中的设备通过接管与管道对焊连接，所有运动部件均通过永磁传动部件或者电磁驱动方式将动密封转化为静密封。由于氦气所固有的强渗透性，且在高温、高压、强放射性等工况下运行，静密封均采用金属密封环。

所有装卸料装置、各种定向转换装置、隔离器、石墨球定位复检装置、缓冲器等静密封均采用金属椭圆垫、金属 O 形环和金属 C 形环等

金属 O 形环和金属 C 形环的材质 Inconel 750，镀银或包覆铝材质，技术条件遵照 EJ/T 471-1999。

8.4 屏蔽及保温材料

装卸料装置的电机及减速机，以及定向转换装置的伺服电机与减速

机，采用与其连接的磁力传动器和磁力同步器支架相同的钢材，有效屏蔽厚度不小于30mm。

卸料暂存装置的配套粉尘罐辐射屏蔽在壳体设计中与强度设计一起考虑，有效屏蔽厚度不小于30mm。

碎球罐、卸料暂存装置的筒体屏蔽、卸料装置及卸料管屏蔽、临时检修屏蔽的屏蔽体材料选择 GB/T 469中的 Pb-1铅锭的要求，铅纯度不低于99.994%。

铅的浇注应是一次连续操作的，且应进行电加热保温处理，灌铅后铅和碳钢内筒外表面及外筒内的贴紧面积应分别不小于99%，贴紧面积用超声波检查。灌铅部件的灌铅重量可通过注水体积比较法获得。

本设备没有保温要求。

8.5 其他材料

8.5.1 电磁驱动机构材料

承压壳采用06Cr18Ni11Ti，上导磁板、中导磁板和下导磁板采用10钢加工制造，顶杆采用14Cr17Ni2钢加工制造，线圈外壳采用20钢加工制造，压盖、压套和支架采用06Cr18Ni11Ti 钢加工制造，上盖采用45钢加工制造，线圈漆包线采用聚酰亚胺漆包铜线。

8.5.2 永磁传动部件材料

永磁传动部件选用的稀土钴永磁材料，应符合 GB/T4180的规定。

8.5.3 过球检测装置及电气部件材料

计数器传感器线圈骨架采用特种高性能工程塑料，传感器外壳采用Q235B 钢，传感器漆包线采用聚酰亚胺漆包铜线，二次仪表机箱为铝合金，仪控柜主体材料为 Q235B。二次仪表电子元器件尽可能采用军品器件，至少应为工业品器件。

电气部件包括电气柜、控制柜和计数器二次仪表柜的柜体材料应采用优质冷轧碳钢板，符合 GB/T 13237-1991要求，其它应符合 GB/T 14048-2000

要求。

8.5.4 无油润滑轴承

本技术规格书中的装卸料装置、定向转换装置和隔离器等60余台设备及配套永磁传动部件中，共涉及轴承360多套，这些轴承主要工作在高温、高压、含粉尘性氦气及强放射性环境下，需要在无润滑条件下24小时连续运行，满足长期运行的寿命要求。这些工况对于轴承而言是很大的挑战，根据本系统设备的工况和试验验证，可以采用下列5种组配的滚动轴承。

- (1) 在空气气氛下，可以采用带聚酰亚胺保持架的常规不锈钢轴承，由于聚酰亚胺耐辐照性能限制，更换周期 8~10 年；
- (2) 在中低温氦气气氛和低频运转工况情况下，可以采用常规不锈钢轴承，并对轴承内、外圈和滚珠进行脱脂处理后浸入一定量 MoS₂，的更换周期 15~20 年；
- (3) 在中低温氦气气氛和高频运转工况情况下，可以采用带聚酰亚胺保持架的陶瓷轴承，由于聚酰亚胺耐辐照性能限制，更换周期 8~10 年；
- (4) 在高温氦气气氛，以及中低温氦气气氛和高频运转工况，采用带聚酰亚胺保持架的合金轴承，由于聚酰亚胺耐辐照性能限制，更换周期 8~10 年；
- (5) 对于卸料暂存装置的立式轴系，采用全合金的满装球滚动轴承。

9 制造要求

输送转换设备的制造应遵循 EJ/T 1012-96 进行制造，同时应满足本节要求。

9.1 零部件一般要求

9.1.1 机加工零部件

- (1) 机加工零部件应符合 GB/T1801、GB/T1184 的规定或符合图纸

技术要求;

- (2) 所有零部件的公差与配合尺寸、形状与位置公差应用相应精度的量具进行测量;
- (3) 表面粗糙度的测量应按照 GB6062 进行。

9.1.2 承压设备部件

- (1) 除了按本规格书要求外,承压设备还应按 GB150 的要求设计和制造,并应满足图纸要求;
- (2) 承压设备的所有 A、B、D 类焊缝采用全焊透结构。

9.2 机械加工

9.2.1 表面粗糙度

- (1) 法兰堆焊层的表面粗糙度:非密封部位最大值为 $3.2\ \mu\text{m}$;法兰密封面最大值为 $0.8\ \mu\text{m}$;
- (2) 法兰的主螺栓螺纹孔的表面粗糙度最大值为 $3.2\ \mu\text{m}$,主螺栓螺纹表面(精加工后)粗糙度最大值为 $1.6\ \mu\text{m}$;
- (3) 其他表面的粗糙度应符合设计图纸的规定。

9.2.2 尺寸和公差

- (1) 主螺栓、主螺母和主螺纹孔的螺纹应符合设计图纸规定的精度。其他普通螺纹按 GB197 6H/6g 级。
- (2) 零部件的加工公差、未注公差尺寸按设计图纸的规定。

9.2.3 表面处理

- (1) 主螺栓、主螺母和主垫圈应进行锰基磷化处理。制造厂负责制定磷化工艺程序,可参见 RCC-M 中 F5200。磷化前应对工件除油,酸浸和冲洗,磷化层的厚度 $9\text{--}12\ \mu\text{m}$,最后必须冲洗、钝化和干燥;
- (2) 其它零件的表面处理应符合设计图纸的要求。

9.2.4 超差报告

凡不符合本规格书要求、GB150的有关规定和图纸要求的所有情况，都应提出超差报告，原材料和制造方面的不符合项亦应提出报告。报告至少应包括如下内容：

- (1) 表示超差位置的简图；
- (2) 超差的说明；
- (3) 检查出超差的方法；
- (4) 处置超差的建议，包括修补工艺。

9.2.5 钢印标记

按相应图纸规定的部位打钢印标记。打印时必须用钝凸头连接形或断续圆点形低应力钢印，字体调试除图纸上规定者外，一律用 6.5mm 高。

当要求带冲眼标记时，应用圆头中心冲制。

9.3 特种管件的制造

9.3.1 尺寸与公差

- (1) 弯头种类包括 DN62R800(内径 62, 曲率半径 800)、DN62R300、DN65R300、DN65R400 四种类型，分别以端部内径 (ID) 62、65mm 为基准尺寸，壁厚均为 6mm，其结构型式和尺寸应符合 4.4.2.3 附图 5-13 和附图 5-14 要求，极限偏差见表 9.1，形位公差均为 0.5；
- (2) 三通和异径接头的结构型式和尺寸应符合 4.4.2.3 附图 5-10~5-12 要求，尺寸的极限偏差见表 9.1，具体参见 4.4.2.3 附图 5-13 和附图 5-14；
- (3) 过球弯头在加工弯曲时外侧壁厚减薄量应 $\leq 5\%$ ；
- (4) 管件内外表面不应有裂纹、折叠、结疤、离层、划痕、过烧等缺陷。管件内外表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$ ；
- (5) 过球弯头中心角度偏差为 $90^\circ \pm 0.5^\circ$ ；

- (6) 过球弯头及过球三通、异径接头直段部分，其同一截面上最大内径与最小内径之差 $<0.4\text{mm}$ 。

表9.1 管件尺寸的极限偏差

公称通径 DN, mm	端部外径 OD	端部内径 ID	壁厚 S
62	± 0.35	± 0.3	± 0.3
65	± 0.4	± 0.3	± 0.3

9.3.2 管件制造

- (1) 成形可采用冲压、挤压、锻造等工序完成。
- (2) 热处理条件如下：
 - a) 温度： $1050\sim 1150^{\circ}\text{C}$ 固溶处理；
 - b) 保温时间： $t\times 4$ 或 $t\times 5$ 分钟（但不少于 24 分钟）， t 为材料厚度；
 - c) 冷却方式：用水急冷。
- (3) 成品管件应经酸洗、钝化、清洗、干燥处理，最终清洗应采用去离子水。

9.4 焊接

9.4.1 焊缝的一般要求

零部件图的所有焊缝坡口型式、尺寸以及堆焊的工艺允许采用工厂经过焊接工艺评定的焊接工艺规程（WPS）中采用的焊缝坡口和堆焊工艺。

9.4.2 许可的焊接工艺类型

如下的焊接工艺类型是许可的：

- (1) 埋弧焊（SAW）。
- (2) 手工电弧焊（SMAW）。
- (3) 电渣堆焊（ESW）或埋弧堆焊（SASW）。
- (4) 手工氩弧（堆）焊（GTAW）。

(5) 熔化极气体保护电弧焊 (GMAW)。

(6) 钨极气体保护电弧焊 (GTAW)。

9.4.3 焊接评定

设备制造中所使用的焊接工艺规程应符合焊接工艺评定的要求，焊工和焊接操作者应具有按 JB/T 4709 评定合格的操作技能。焊接工艺评定应符合 NB/T 47014-2011 和 NB/T 47015-2011 的规定。设备制造中所使用的所有焊接工艺规程至少应包含下列资料：

- (1) 电焊条或填充金属和焊剂的牌号和规格；
- (2) 焊接工艺规程适用的焊接位置和方法；
- (3) 适用的母材规格牌号；
- (4) 焊接电流特性、极性、电流、电压和焊接速度；
- (5) 表示实际的焊缝几何形式和焊道熔敷程序的简图，焊枪运行和摆动形式的措施；
- (6) 清理；
- (7) 产品焊缝的检验方法和验收标准；
- (8) 焊缝接头根部一侧的处理；
- (9) 预热温度范围；
- (10) 层间温度范围；
- (11) 焊后热处理工艺；
- (12) 焊接工艺评定应用的资料。

9.4.4 焊缝的制作、检验和补焊

- (1) 焊条、焊剂及其他焊接材料的贮存库应保持干燥，相对湿度不得大于 60%；
- (2) 在进行密封面的不锈钢堆焊及加工，进行不锈钢零件的加工及焊接时，应采取措施保持工作区的清洁，防止可能的外界污染。焊接及加工完成之后，应采取措施对这些部位进行防护。可参

见 RCC-M 中 F6400;

- (3) 焊接接头的制作应按 JB/T4709 要求进行,完工焊缝表面错边量、棱角度等应符合规定。禁止在设备表面起弧;
- (4) 焊缝金属缺陷的焊补,应符合 GB150 的规定。同一部位的缺陷焊补应不超过 2 次;
- (5) 焊缝金属通常不允许锤击。为使变形减到最小,可以进行有控制的锤击。除非焊缝进行焊后热处理,否则第一层焊缝和焊缝金属的根部、以及最后一层焊缝都不得采用锤击;
- (6) 承压零件上不允许焊接临时性附件;
- (7) 焊接之后,对焊缝表面要进行最终加工,以便实施规定的无损检验,焊缝表面必须符合无损检验的要求。对于焊缝的最终加工,特别是涉及不锈钢堆焊层时所采用的工具,砂轮等都必须满足清洁要求,不影响焊缝质量。当用打磨方法加工碳钢或合金钢焊缝时,必须防止邻近的不锈钢零件或堆焊层被喷溅物污染。

9.5 热处理

承制厂应制定符合 GB150以及零部件的技术条件的热处理制度,并严格控制相关参数。

9.6 表面处理

碎球分离装置、卸料暂存装置和装料暂存装置以及其配套碳钢与低合金钢部件,应依照 GB/T 11376和 EJ/T 1012要求进行磷化处理,并依照 EJ/T 1022.17中 PIC 涂层要求对装料暂存装置及其配套碳钢与低合金钢部件采用进行涂装,依照 EJ/T 1022.17对碎球分离装置和卸料暂存装置及配套碳钢与低合金钢部件进行镍镀层处理或表面镀锌处理。

对于具有耐磨要求的辊筒、轴系、转子,以及弯头与异径接头管件可依据 EJ/T 1022.17和 HB 5022进行渗氮或氮碳共渗处理。

9.7 电气设备制造

9.7.1 电气柜制造

电控柜规格800×800×2200，进出线为下进下出。颜色为劳尔灰 RAL K5 (RAL 7035)。柜前后均需标识，包含中英文名称和编码。

承制厂应设计、制造和检验过程中应遵照且不局限与下列依据。

- (1) GB7251 低压成套开关设备和控制设备；
- (2) GB9466 低压成套开关设备基本试验方法；
- (3) GB14048 低压开关设备和控制设备；
- (4) GBT14048.1 低压开关设备和控制设备总则；
- (5) GB2681 电工成套装置中的绝缘导线颜色；
- (6) GB2682 电工成套装置中指示灯和按钮颜色；
- (7) GB4942.2 外壳防护等级的分类；
- (8) IEC 标准：IEC 51, IEC158, IEC255, IEC269, IEC292, IEC408, IEC417, IEC439, IEC947。

除上述标准外，制造厂还应该遵照行业其他通用标准和规范。

9.7.2 二次仪表箱制作

二次仪表箱制作应满足 GB 1497-1985 低压电器基本标准。仪表箱尺寸应按 GB3047.6-2007基本尺寸系列，安全要求依据 GB/T 4942.2-1993 低压电器外壳防护等级的有关规定，以及订货合同的要求执行。

9.8 清洁

9.8.1 清洁度要求

各类输送转换设备根据其安装位置、执行功能，以及与反应堆一回路的关系，具有不同的清洁度要求，具体如下：

- (1) 堆芯进料装置、堆芯缓冲装料装置的标准缓冲管段为 A1级,;
- (2) 主循环管路设备内表面为 A22级，外表面为 B 级；
- (3) 其他设备及部件为 B 级；

- (4) 具体设备部件的清洁度要求参见本技术规格书施設4.4.2.2附表4技术特性，各设备应依据其相应的清洁度等级，按照《HTR-PM 施設1.13.1 核岛系统安装阶段现场清洁及清洁度技术要求》附录3进行验收；
- (5) 各设备部件应依照《HTR-PM 施設1.13.1 核岛系统安装阶段现场清洁及清洁度技术要求》的 II 级要求存放。

9.8.2 污染预防

在不锈钢堆焊层检验、焊接、热处理、运输、贮存和包装时，应小心防止外来物质对耐腐蚀材料的污染，具体要求可参见 RCC-M F6400规定。严禁铁素体钢和下列物品或元素所造成的污染：

- (1) 易分解出氯化物或氟化物的物品；
- (2) 含氯 0.25%以上的材料。主要是指有此含量的塑料及橡胶制品；
- (3) 含卤素 25ppm 的水；
- (4) 硫及硫化物；
- (5) 低熔点元素及其化合物，如铅、汞等；
- (6) 不可溶的标记物品；
- (7) 焊接或热处理过程中，可以在材料上形成合金或沉积物的物品；
- (8) 在加工、装卸、安装过程中使用铁素体工具触及不锈钢堆焊层零部件。

9.8.3 表面清洗要求

- (1) 设备外表面应清除所有外来杂物，如：焊接飞溅、焊剂等；
- (2) 设备内部和外表面可采用异丙醇、蒸馏纯乙醇或丙酮等除油；
- (3) 碳钢设备的内、外表面采用缓蚀性有机酸（形成或不形成螯合物的）或无机酸除氧化皮；
- (4) 不锈钢设备的内、外表面应酸洗钝化，以无蓝点为合格；
- (5) 产品组焊前，对后期无法清洁部位，应在组焊前彻底清洁，并

在后续工艺过程中切实保持其洁净度；

- (6) 产品装配应在洁净车间进行，装配前应对零部件彻底清洁，并采取保护措施保护其洁净度。

9.9 铭牌和标示

9.9.1 设备及部件铭牌

各种装卸料装置（堆芯进料装置除外）、定向转换装置、检调定位装置，以及与这些主设备配套的缓冲器、磁力同步器、磁力传动器、电磁驱动机构、隔离器、碎球罐和粉尘罐等重要部件，应在设备醒目的位置设置铭牌，铭牌至少应包括下列内容：

- (1) 设备名称；
- (2) 设备编码；
- (3) 设备规格；
- (4) 设备重量；
- (5) 出厂编号；
- (6) 制造日期；
- (7) 制造单位。

承压类设备及配套部件铭牌还应包括下列内容：

- (1) 设计压力；
- (2) 设计温度；
- (3) 工作介质；
- (4) 工作容积（承压容器适用）；
- (5) 容器类别（承压容器适用）；
- (6) 容积（承压容器适用）；
- (7) 有效制造许可证的编号（如有）。

电气部件（含电气柜、控制柜和二次仪表柜）应在显著位置设置铭牌，铭牌应包括但不限于以下内容：

- (1) 设备名称；

- (2) 设备编码;
- (3) 额定电压;
- (4) 额定频率;
- (5) 额定电流;
- (6) 额定短时耐受电流;
- (7) 额定峰值耐受电流;
- (8) 外壳防护等级;
- (9) 外形尺寸;
- (10) 出厂编号;
- (11) 制造日期;
- (12) 制造单位。

设备及部件的铭牌设置还需满足以下要求:

- (1) 设备及重要部件的名称和编码遵照本技术规格书设施 4.4.2.2 之附表 1 的设备名称和 KKS 编码;
- (2) 设备制造过程中, 应对重要部件 (包括内部构件) 按设施 4.4.2.2 之附表 1 进行标示, 以确保相应设备部件进行组配组装和调试与试验;
- (3) 堆芯进料装置和堆芯缓冲装料装置的标准管段不设置铭牌, 但应设置标示, 可挂牌或采取其它合适的方式, 不得对设备部件表面造成划擦损伤和化学蚀刻;
- (4) 电气部件 (含电气柜、控制柜和二次仪表柜) 应在前、后两面合适位置设置标牌, 标牌其它要求详见设施 N.2.24.2;
- (5) 过球检测装置的传感器和二次仪表箱应遵照本技术规格书设施 4.4.2.2 之附表 1-14 设置铭牌, 安装和调试时应严格按编码组对;
- (6) 定向转换装置伺服控制器、磁力同步器和主设备应按设施 4.4.2.2 之附表 1 进行设置铭牌或标示, 安装和调试时应严格按编码组对;

(7) 除过球弯头外特种过球管件应按相关要求标识,表示中应包含 KKS 编码;

(8) 铭牌大小、字体由制造厂依照相关标准或行业标准选择,但应保证清晰、美观,并易于识别。

9.9.2 管件标志

每个管件均应用不含有害金属的油漆或墨水进行标注,标注方式可按制造厂家习惯,但应标注有厂名、钢种、炉号、规格、批号、执行标准、安全等级及检验源代码。

10 检测、试验及验收要求

承压设备检验及试验应按 GB150-2011 和 TSG R0004-2009 要求进行。

10.1 无损检验

担任 RT、UT、MT 和 PT 项目检测的无损检验的人员必须持有有关部门颁发的相应方法无损检验人员资格证书。

10.1.1 原材料的无损检验

无损检验的阶段,检验规程和验收标准按各相应材料技术条件中的规定。检验类型包括超声波检验,磁粉或液体渗透检验。

(1) 检验时机——材料使用之前进行。

(2) 在主螺栓锻棒最终机加工后进行的无损检验。

10.1.2 焊缝的无损检验

10.1.2.1 射线检验

承压设备的所有 A、B 类焊缝应进行 100%射线检测,并符合 JB4730-2005 规定,技术等级不低于 AB 级,合格等级不低于 II 级。

对箱体与接管连接焊缝应在中间的或要求的最终焊后热处理之后进行 100%射线检验,射线检验的检验规程和验收标准按照 JB/T4730, II 级

为合格。

10.1.2.2 液体渗透检验

承压设备的 C、D 类焊缝及角焊缝进行 100%液体渗透检测，并符合 JB4730-2005 规定中的 I 级为合格，设备支撑焊缝的要求与设备上承压焊缝相同。

液体渗透检验适用各种钢材，主要用于非铁素体材料和奥氏体不锈钢。检验规程和验收标准按 JB/T4730，I 级为合格。

对用不锈钢堆焊层表面液体渗透的用品（如渗透剂和显影剂），氯化物和硫化物的最大允许含量为 200ppm。对法兰密封面堆焊完成和精加工后进行 100%进行液体渗透检验。渗透检验的检验规程和验收标准按照 JB/T4730，I 级为合格。

10.1.3 试验前目视检查

试验前应对设备或部件进行目视检查，确定达到试验规定的设备状态，以确保试验的安全，目视要求至少包括：

- （1）本体结构完整，配套零部件齐全；
- （2）重要部件按标识严格组对装配，无错装和错漏；
- （3）管口及其外形尺寸满足试验预留；
- （4）内外壁无磕碰、划伤检查；
- （5）内外壁满足清洁度要求。

10.2 耐压试验

承压设备应进行进行水压试验(或气压试验)，符合 GB150-2011 的规定。

对于卸料暂存装置，应对半圆管夹套和承压壳体按照各自的试验压力分别进行耐压试验。

10.2.1 水压试验的温度

材料为 Q345B 的承压设备，水压试验温度不得低于 5℃；其他材料的承压设备，水压试验温度不得低于 15℃。

在承压壳体、箱体及附件和加压介质未达到上述温度前，不能施加试验压力。

10.2.2 水压试验的水质

应满足下列 B 级水质规定的要求：

氯离子	$\leq 1.0\text{ppm}$
氟离子	$\leq 0.15\text{ppm}$
电导率	$\leq 20\ \mu\text{S/cm}$
总固体残渣	$\leq 10\text{ppm}$
PH 值	6.0~8.0
清晰度	无混浊、无油、无沉淀物

水压试验后立即用符合 B 级水质的清洁水将卸料装置壳体内壁冲洗干净。为了防止锈蚀，应当用干燥的热空气吹干。

10.2.3 水压试验压力

水压试验压力为设计压力的 1.25 倍，相关设备部件的设计压力参见设备特性表。

要求承压壳体在水压试验压力下至少保持 10 分钟，在设计压力下的密封检漏试验至少保压 30 分钟。

10.2.4 水压试验要求

- (1) 水压试验前应拆除壳体内部附件，并清除干净内部残留物；
- (2) 水压试验系统上应有两只经检定合格、量程相同的压力表同时显示试验压力，并保证压力表在检定有效期内；
- (3) 用于显示试验压力的压力表其最大量程应为试验压力的 1.5~2.5 倍，表盘直径不应小于 100mm，精度等级不应低于 1.5 级；

- (4) 水压试验时，应缓慢升压至设计压力，确认无泄漏后继续升压至规定试验压力。水压试验施压达到保压时间后，降压到设计压力并保持规定时间后，对所有接头和所有高应力区进行检验，不得发现泄漏；
- (5) 目视检查输送转换设备承压箱体外壁，目视检查时不得加压，但可以保温。水压试验目视检查的合格标准为：无渗漏、冒汗；无可见的异常变形；试验过程中无异常的响声。

10.3 气密性试验

10.3.1 氦质谱检漏试验方法及验收指标

- (1) 对设备焊缝用吸枪法进行正压氦检漏检验，氦检压力为工作压力，充压气体采用氦气和氮气混合气体，其中氦气体积比不小于 15%。具体氦检规程按照 GB/T 15823-1995 氦泄漏检验标准执行。
- (2) 每个泄漏点的最大外泄漏率应不超过 $1 \times 10^{-7} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。
- (3) 对隔离器还应进行工作压力下的内漏正压氦检，内泄漏率应不超过 $1 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

10.3.2 气密性试验要求

- (1) 气密性试验应在水压试验合格后，表面涂敷之前进行；
- (2) 气密性试验充气系统中应设置能可靠地除油和除水的装置，以保证试验介质符合要求；
- (3) 气密性试验时，安全附件应安装齐全。试验系统应设置两只经计量检定合格、量程相同的压力表同时显示试验压力，并保证压力表在检定有效期内；安全阀应经校验合格；
- (4) 试验用压力源的出口额定压力及流量，应与卸料装置承压壳体相关参数（压力、容积等）相适应；
- (5) 应选择量程大于 10MPa 的高精度压力表（或压力变送器）显示

试验压力，精度等级不应低于 0.05 级，压力表盘直径不应小于 100mm。

10.3.3 气密性试验升压程序及检验

- (1) 首先应缓慢升压至试验压力（设计压力）的 10%后，暂停进气，对连接密封部位及焊缝进行正压氮检，确认无泄漏或异常现象后继续升压；
- (2) 升压应按相同梯次逐级提高，每级一般为试验压力的 10%~20%，每级之间应适当保压，并进行正压氮检，确认无泄漏或异常现象后继续升压；
- (3) 升压过程中，严禁工作人员在现场作业或进行检查工作；
- (4) 在达到试验压力后，保压 15min，并进行正压氮检。

10.4 工厂验收试验（FAT）

10.4.1 出厂验收总体要求

10.4.1.1 零部件要求

- (1) 所有焊缝不得有任何表面缺陷，外部焊缝应余高均匀、宽度一致、焊纹流畅，内部焊缝均需打磨光滑；
- (2) 所有过球路径上的内部焊缝、机械连接及配合间隙，均应利用工业内窥镜进行检查，错边、涂漆、内凹和间隙大小等均应符合相关要求；
- (3) 所有零部件的表面粗糙度应符合图纸的要求。

10.4.1.2 整机要求

- (1) 应按图纸要求对装卸料装置完成壳体内件及执行部件的装配工作，在经过订货方对外观、重要受控尺寸和功能试验后完成总体装配；
- (2) 所有设备应按要求设置铭牌和相关标记，有涂漆要求的应与所

要求色标和色卡保持一致；

(3) 对每台设备和每个管件进行逐一出厂验收；

(4) 出厂设备及管件内部不得有金属屑、杂物、油污，零部件不得有锈蚀。

10.4.1.3 验收试验先决条件

(1) 成立验收小组，小组成员由供货方和订货方共同确认；

(2) 准备验收大纲、试验大纲和试验程序等文件；

(3) 为耐压试验准备去离子水、相关仪表、增压设备及空压机；

(4) 为气密性试验准备氦气、氮气、相关仪表及氦质谱检漏仪；

(5) 为计数器和测速器准备延长接管及装卡工具；

(6) 为运动设备准备调试工具箱。

10.4.1.4 验收试验内容及顺序

(1) 承压壳体耐压试验（如有）；

(2) 部件组装及整机总配；

(3) 单机功能试验；

(4) 联机试验装配与联机试验；

(5) 修正、调整及重新试验（如有）；

(6) 内部及外部清洗；

(7) 氦检漏试验（如有）；

(8) 零部件拆解与清洁、包装（如必要）；

(9) 涂漆（如有）、包装与发运。

10.4.1.5 验收指标

(1) 尺寸不得出现偏差，动配合如有超差，应进行调整；

(2) 焊缝及外观如有不符，应进行修整；

(3) 功能试验如出现异常，应对相关部件进行修整、调整和重新试验，直至满足功能要求。

- (4) 签署验收纪要;
- (5) 按照相关标准和要求进行清洁、包装、固定与发运。

10.4.1.6 需见证待检项目

订货方或其代表应在现场参加下列见证:

- (1) 承压部件焊接工艺评定;
- (2) 设备部件的无损检验;
- (3) 产品焊接试板的力学性能检验;
- (4) 承压部件的水压或气压试验;
- (5) 承压部件的氦检漏试验;
- (6) 用模拟石墨球的功能试验;
- (7) 订货方或其代表认为必要的其它项目。

10.4.1.7 安装及出厂

- (1) 按照合同文件, 检验所有零件及外购件的安装情况, 对于功能单一的设备, 必须全部安装后方可出厂;
- (2) 对于结构复杂、体积庞大, 或者运输对装配精度可能产生影响的设备, 可以按主体装配、部件分装方式出厂, 但必须提供现场安装程序及注意事项;
- (3) 供货方应随产品提交厂方内部质量检验合格单及相关的质保文件;
- (4) 完成设备验收工作之后, 要将验收结果写入验收纪要中。对于验收过程中发现的问题, 要写明解决办法并要明确写明是否同意验收。验收纪要经订货和供货双方代表签字后, 连同验收记录等文件一并形成设备验收文件。验收纪要的文件格式, 验收时由双方商定;
- (5) 出厂前由供货方详细填写发运清单并由填写人签字后方可发运。

10.4.2 卸料暂存装置出厂验收

10.4.2.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 应对底护板组件中竖向扰动肋的高度、宽度和角度尺寸复检，并检查定位焊外观；
- (2) 对底护板组件的门档宽度、角度和门架高度尺寸进行复检；
- (3) 对铅屏蔽、中子屏蔽、钢屏蔽进行尺寸和外观检查；
- (4) 对电磁驱动机构位置和内伸长度进行复检；
- (5) 对底护板与转盘的相关配合尺寸进行复检。

10.4.2.2 执行部件及总装试验

- (1) 用手盘车，所有活动件应转动轻便、灵活，转动一周，手感无抗力点出现；
- (2) 电气调试接线；
- (3) 轴系转动方向检查；
- (4) 电磁驱动机构推力及行程检验；
- (5) 电机调频试验；
- (6) 主机、配套隔离器和粉尘罐的总装；
- (7) 在进球管和出球管安装计数器。

10.4.2.3 功能试验

在上述各项验收合格的基础上，采用1000个直径为60mm 的实验用石墨球进行过球试验，以检验本装置的综合性能，每个球至少正常通过三次以上。检查功能包括：

- (1) 电磁驱动机构扰动功能；
- (2) 永磁驱动机构拦截功能；
- (3) 缓冲器落球缓冲功能；
- (4) 料箱流动功能；
- (5) 转盘取料功能；

- (6) 转速及转动方向调节功能;
- (7) 排球功能、碎球与粉尘收集功能;
- (8) 装卸料计数功能。

10.4.3 装料暂存装置出厂验收

10.4.3.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 应对转盘组件进行重要尺寸和配合间隙进行复检, 进料转盘与进球料箱组件、固定盘之间的轴向间隙均为 $2\pm 0.1\text{mm}$, 以保证进料转盘的转动灵活;
- (2) 对出球漏斗进行外观和尺寸检查。

10.4.3.2 执行部件及总装试验

- (1) 用手盘车, 所有活动件应转动轻便, 灵活, 转动一周, 手感无抗力点出现;
- (2) 电气调试接线;
- (3) 轴系转动方向检查;
- (4) 电磁驱动机构推力及行程检验;
- (5) 电机调频试验;
- (6) 主机、配套隔离器和粉尘罐的总装;
- (7) 在进球管和出球管安装计数器。

10.4.3.3 功能试验

在上述各项验收合格的基础上, 采用1000个直径为60mm 的实验用石墨球进行过球试验, 以检验本装置的综合性能, 每个球至少正常通过三次以上。检查功能包括:

- (1) 电磁驱动机构扰动功能;
- (2) 缓冲器落球缓冲功能;
- (3) 料箱流动功能;
- (4) 转盘取料功能;

- (5) 排球功能、碎球与粉尘收集功能;
- (6) 装卸料计数功能。

10.4.4 碎球分离装置出厂验收

10.4.4.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 应对检测轨板与辊筒圆柱面之间的切线距离（分选尺寸）进行复检，要求分选尺寸 56.3mm（公差在 $\pm 0.1\text{mm}$ ，考虑了热胀后的冷态尺寸）;
- (2) 针对两种型号的碎球分离装置检查破桥电磁驱动机构安装方向;
- (3) 对电磁驱动机构位置和内伸长度进行复检;
- (4) 对出球漏斗进行外观和尺寸检查。

10.4.4.2 执行部件及总装试验

- (1) 用手盘车，所有活动件应转动轻便，灵活，转动一周，手感无抗力点出现;
- (2) 电气调试接线;
- (3) 轴系转动方向检查;
- (4) 电磁驱动机构推力及行程检验;
- (5) 电机调频试验;
- (6) 碎球罐料位检测试验;
- (7) 主机、配套隔离器和碎球罐的总装;
- (8) 在进球管和出球管安装计数器;
- (9) 在吹扫管口连接压缩空气气源。

10.4.4.3 功能试验

在上述各项验收合格的基础上，采用50个直径为60mm 的完好石墨球以及球冠等效高度在56.3mm 附近尺寸的碎球10个随机混装进行过球试验，以检验本装置的碎球分选及输送功能，每个球根据其尺寸要求至少正常通

过三次以上。检查功能包括：

- (1) 电磁驱动机构破桥功能；
- (2) 缓冲器落球缓冲功能；
- (3) 碎球分离器分选功能；
- (4) 电磁闭锁器组件隔离功能；
- (5) 电磁闭锁器组件吹扫功能；
- (6) 排球功能、碎球与粉尘收集功能；
- (7) 碎球计数功能；
- (8) 料位检测功能。

10.4.5 堆芯进料装置出厂验收

10.4.5.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 应对导流管内径和倾斜角度进行复检；
- (2) 对缓冲管分段位置和内径进行复检；
- (3) 对缓冲管锥斗的角度和表面粗糙度进行复检；
- (4) 对中心柱直径和高度进行复检；
- (5) 对中心柱组件中螺旋导流板的螺旋升角、导程、双螺旋间隙，以及双螺旋的起止位置进行复检；
- (6) 对焊缝外观进行复检。

10.4.5.2 总装及单机过球试验

- (1) 对堆芯进料装置本体、中心柱组件和屏蔽组件总装；
- (2) 在进球管和出球管外安装测速器；
- (3) 采用 100 个直径为 60mm 的试验用石墨球进行过球试验，通过测速器检验本装置的缓冲功能。

10.4.5.3 联机功能试验

在上述各项验收合格的基础上，将上述总装的堆芯进料装置安装于清华大学燃料装卸冷态综合试验装置，采用200个直径为60mm的试验用石墨

球进行过球试验，每个球要求至少正常通过五次以上。通过测速器检验本装置的缓冲功能，并检查石墨球表面状态和石墨球主要撞击部位的外观。

10.4.6 堆芯缓冲装料装置出厂验收

10.4.6.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对标准缓冲管段的缓冲块及导流通道进行尺寸和外观检查；
- (2) 对缓冲管连接接头进行外观和尺寸检查；
- (3) 对顶部过渡连接接头进行外观和尺寸检查。
- (4) 对装料平台进行外观检查；
- (5) 对焊缝外观进行复检。

10.4.6.2 总装及单机过球试验

- (1) 对可拆卸装料钢结构进行组装，并进行伸缩与铺放试验；
- (2) 将装料平台与装料钢结构总装；
- (3) 对标准缓冲管段进行多节组装；
- (4) 在标准缓冲管段顶部组装过渡连接接头；
- (5) 在完成总装的装料钢结构平台上，采用 100 个直径为 60mm 的试验用石墨球进行过球试验，通过测速器和伸缩给料管段的拆装，检验本装置的缓冲功能。

10.4.6.3 联机功能试验

- (1) 在上述各项验收合格的基础上，将装料平台安装于清华大学燃料装卸冷态综合试验装置中，并与已安装的堆芯进料装置配合进行伸缩给料试验；
- (2) 采用 200 个直径为 60mm 的试验用石墨球进行过球试验，每个球要求至少正常通过五次以上，装料过程中进行标准缓冲管段的拆装实现伸缩和缓冲给料；
- (3) 通过测速器检验本装置的缓冲功能，并检查石墨球表面状态，以及各个缓冲管段中石墨球主要撞击部位的外观。

10.4.7 抽吸装置出厂试验

10.4.7.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对过球抽吸头和粉尘抽吸头进行尺寸和外观复查;
- (2) 对抽吸联箱和阀门进行外观检查;
- (3) 对焊缝外观进行复检。

10.4.7.2 总装及单机过球试验

- (1) 对各部件进行总装;
- (2) 对各阀门进行手动开关试验;
- (3) 对真空泵进行启停试验;
- (4) 安装过球抽吸头后, 在敞口容器内, 对 20 个完好石墨球和 30 个碎球进行抽吸试验;
- (5) 更换粉尘抽吸头, 在敞口容器内, 对粉尘进行抽吸试验。

10.4.7.3 联机功能试验

- (1) 在碎球罐抽吸口, 采用过球抽吸头后, 对罐内 20 个完好石墨球和 30 个碎球进行抽吸试验;
- (2) 在粉尘管取料孔口, 采用粉尘抽吸头后, 对罐内粉尘进行抽吸试验;
- (3) 将抽吸装置管路反接, 将安装过球抽吸头的抽吸装置与放射器进气口通过过渡接头相连, 用 20 个完好石墨球进行正压气力压送输送试验。

10.4.8 桥联器出厂验收

10.4.8.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对箱体的过球接管、通道, 以及转子的通孔、导流槽等进行尺寸和外观复查, 在球流路径上不得有棱角;
- (2) 对箱体与转子的配合进行检查, 轴向间隙不得大于 2mm;

- (3) 对焊缝外观进行复检。

10.4.8.2 总装及单机过球试验

- (1) 将箱体和转子组装;
- (2) 用手盘车, 所有活动件应转动轻便、灵活;
- (3) 用手盘车, 采用模拟石墨球进行单路、双路和对侧过球试验, 石墨球应无卡堵现象和无磕碰损伤, 每种情况至少过球 20 个;
- (4) 电气调试接线;
- (5) 整机总装, 手动与自动控制配合, 进行过球和切换试验, 离散球和成串球均应过球通畅, 每种情况至少过球 20 次, 无卡堵和磕碰损伤。

10.4.9 能耗测量定位分配器出厂验收

10.4.9.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对箱体的过球接管、通道, 以及内衬环和转子的通孔进行尺寸和外观复查, 在可球流路径上不得有棱角;
- (2) 对托耳宽度、安装高度、间隙进行尺寸检查, 与球形元件接触的托耳边线与接触面不得有棱角和突变;
- (3) 准直沉孔的直径、深度、底部厚度, 轴线的中心高度, 以及轴线与箱体基准面的垂直度等进行尺寸检查;
- (4) 对箱体与转子的配合进行检查, 轴向间隙不得大于 2mm;
- (5) 对焊缝外观进行复检。

10.4.9.2 总装及单机过球试验

- (1) 将箱体、内衬环和转子组装;
- (2) 用手盘车, 所有活动件应转动轻便、灵活;
- (3) 用手盘车, 采用离散的和成串的模拟石墨球进行停球、隔料输送、定位、双向分配过球试验, 石墨球应无卡堵现象和无磕碰损伤, 每种情况至少过球 20 个;

- (4) 电气调试接线;
- (5) 整机总装, 并手动与自动控制配合, 进行过球和切换试验, 离散球和成串球均应过球通畅, 每种情况至少过球 20 次, 且无卡堵和磕碰损伤。

10.4.9.3 热态过球试验

- (1) 在上述各项验收合格的基础上, 将上述总装的燃耗测量定位分配器安装于清华大学燃料装卸设备型式试验回路上进行热态过球试验;
- (2) 该试验回路提供热态带压氦气, 并预置 50 个直径为 60mm 试验用石墨球;
- (3) 利用调试箱或控制系统, 并基于伺服控制系统, 随转子部件进行热态连续运转, 动作次数至少 1000 次;
- (4) 在对转子进行运动控制和热态运行期间, 由试验回路的输送单一器分十次间歇性向本设备输送石墨球, 每次 5 个, 进行热态过球试验;
- (5) 观察和监视设备运行状态, 试验结束后, 检查石墨球表面状态及设备内部状态。

10.4.10 阻流器出厂验收

10.4.10.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对箱体的过球接管、通道, 内衬环通孔, 以及转子组件的接球杯和弹力块进行尺寸和外观复查, 在球流路径上不得有棱角;
- (2) 对弹力块宽度、安装角度进行尺寸检查;
- (3) 对箱体与转子的配合进行检查, 轴向间隙不得大于 0.2mm;
- (4) 对焊缝外观进行复检。

10.4.10.2 总装及单机过球试验

- (1) 将箱体、内衬环和转子组装;

- (2) 用手盘车，对弹力块进行弹性试验，转子应转动灵活，弹力平稳；
- (3) 用手盘车，采用离散模拟石墨球进行单一输送过球试验，石墨球应无卡堵现象和无磕碰损伤，每种情况至少过球 20 次；
- (4) 电气调试接线；
- (5) 在吹扫管口连接压缩空气气源；
- (6) 整机总装后，手动与自动控制配合，进行过球和切换试验，离散球应过球通畅，每种情况至少过球 20 次，且进球口无气流逸出，石墨球无卡堵和磕碰损伤。

10.4.10.3 热态过球试验

- (1) 在上述各项验收合格的基础上，将上述总装的阻流器安装于清华大学燃料装卸设备型式试验回路上进行热态过球试验；
- (2) 该试验回路提供热态带压氦气，并预置 50 个直径为 60mm 试验用石墨球；
- (3) 利用调试箱或控制系统，并基于伺服控制系统，随转子部件进行热态连续运转，动作次数至少 1000 次；
- (4) 在对转子进行运动控制和热态运行期间，由试验回路的输送单一器间歇性向本设备投送 50 个石墨球，进行热态过球试验；
- (5) 观察和监视设备运行状态，试验结束后，检查石墨球状态及设备内部状态。

10.4.11 单通器出厂验收

10.4.11.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对箱体的过球接管、通道，以及转子通孔进行尺寸和外观复查，在球流路径上不得有棱角；
- (2) 对托耳宽度、安装高度、间隙进行尺寸检查，与球形元件接触的托耳边线与接触面不得有棱角和突变；

- (3) 对箱体与转子的配合进行检查，轴向间隙不得大于 2mm；
- (4) 对焊缝外观进行复检。

10.4.11.2 总装及单机过球试验

- (1) 将箱体和转子组件组装；
- (2) 用手盘车，所有活动件应转动轻便、灵活；
- (3) 用手盘车，采用离散的和成串的模拟石墨球进行停球、隔料输送、直通过球试验，石墨球应无卡堵现象和无磕碰损伤，每种情况至少过球 20 个；
- (4) 电气调试接线；
- (5) 整机总装后，手动与自动控制配合，进行过球和切换试验，离散球应过球通畅，每种情况至少过球 20 次，且石墨球无卡堵和磕碰损伤。

10.4.11.3 热态过球试验

- (1) 在上述各项验收合格的基础上，将上述总装的单通器安装于清华大学燃料装卸设备型式试验回路上进行热态过球试验；
- (2) 该试验回路提供热态带压氦气，并预置 50 个直径为 60mm 试验用石墨球；
- (3) 利用调试箱或控制系统，并基于伺服控制系统，随转子部件进行热态连续运转，动作次数至少 1000 次；
- (4) 在对转子进行运动控制和热态运行期间，由试验回路的输送单一器间歇性向本设备投送 50 个石墨球，进行热态停球、隔料输送、直通过球试验；
- (5) 观察和监视设备运行状态，试验结束后，检查石墨球表面状态及设备内部状态。

10.4.12 分配器出厂验收

10.4.12.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对箱体的过球接管、通道，以及转子弯通孔进行尺寸和外观复查，在球流路径上不得有棱角；
- (2) 对箱体与转子的配合进行检查，轴向间隙不得大于 2mm；
- (3) 对焊缝外观进行复检。

10.4.12.2 总装及单机过球试验

- (1) 将箱体和转子组件组装；
- (2) 用手盘车，所有活动件应转动轻便，灵活，无卡堵现象；
- (3) 用手盘车，采用离散的模拟石墨球进行停球和定向分配过球试验，石墨球应无卡堵现象和无磕碰损伤，至少过球 20 个；
- (4) 电气调试接线；
- (5) 整机总装后，手动与自动控制配合，进行停球和定向分配试验，至少过球 20 次，且石墨球无卡堵和磕碰损伤。

10.4.13 停球器出厂验收

10.4.13.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对箱体的过球接管、通道，以及转子直通孔进行尺寸和外观复查，在球流路径上不得有棱角；
- (2) 对箱体与转子的配合进行检查，轴向间隙不得大于 2mm；
- (3) 对焊缝外观进行复检。

10.4.13.2 总装及单机过球试验

- (1) 将箱体和转子组件组装；
- (2) 用手盘车，所有活动件应转动轻便、灵活；
- (3) 用手盘车，采用离散的和成串的模拟石墨球进行停球和过球试验，石墨球应无卡堵现象和无磕碰损伤，至少过球 20 个；

- (4) 电气调试接线；
- (5) 整机总装后，手动与自动控制配合，进行停球和过球试验，至少过球 20 次，且石墨球无卡堵和磕碰损伤。

10.4.14 转向器出厂验收

10.4.14.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对箱体的过球接管、通道，以及转子直通孔进行尺寸和外观复查，在球流路径上不得有棱角；
- (2) 核对并确认设备铭牌与转向器支路方向一致；
- (3) 核对并确认与左转向器及右转向器的箱体及转子限位方位；
- (4) 对箱体与转子的配合进行检查，轴向间隙不得大于 2mm；
- (5) 对焊缝外观进行复检。

10.4.14.2 总装及单机过球试验

- (1) 将箱体和转子组件组装；
- (2) 用手盘车，所有活动件应转动轻便、灵活；
- (3) 用手盘车，采用离散的和成串的模拟石墨球进行停球和过球试验，石墨球应无卡堵现象和无磕碰损伤，至少过球 20 个；
- (4) 电气调试接线；
- (5) 整机总装后，手动与自动控制配合，进行停球和过球试验，至少过球 20 次，且石墨球无卡堵和磕碰损伤。

10.4.15 隔离器出厂验收

10.4.15.1 外观及关键尺寸检查

- (1) 对箱体的过球接管、通道，内衬环通孔，以及隔离板过球通孔进行尺寸和外观复查，在球流路径上不得有棱角；
- (2) 对隔离板厚度，以及密封件进行尺寸及外观检查；
- (3) 对焊缝外观进行复检。

10.4.15.2 总装及单机过球试验

- (1) 将箱体、隔离板和驱动器总装；
- (2) 手动开启隔离板，采用离散模拟石墨球进行过球试验，石墨球应无卡堵现象，无磕碰损伤，至少过球 50 次；
- (3) 手动关闭隔离板，在进球侧通以压缩空气，出球侧应无气流逸出。

10.4.15.3 热态过球试验

- (1) 在上述各项验收合格的基础上，将上述总装的阻流器安装于清华大学燃料装卸设备型式试验回路上进行热态过球及隔离试验；
- (2) 该试验回路提供热态带压氦气，并预置 50 个直径为 60mm 试验用石墨球；
- (3) 手动开启隔离板，在回路中通以热态氦气，由试验回路的输送单一器间歇性向本设备投送 50 个石墨球，进行热态过球试验；
- (4) 回路泄压，进行隔离器泄漏检测；
- (5) 观察和监视设备运行状态，试验结束后，检查石墨球表面状态及设备内部状态。

10.4.16 石墨球复检定位装置出厂验收

- (1) 对箱体的过球接管、通道，以及推杆出口进行尺寸和外观复查，在可球流路径上不得有棱角；
- (2) 对准直孔进行尺寸和外观检查；
- (3) 电气调试接线，对定位杆行程和噪音进行检查；
- (4) 持续通电，每个 20s 进行一次驱动，连续驱动不少于 5000 次，期间每隔 500 次进行一次温升检查；
- (5) 每 20s 输送一个石墨球，进行拦截和放行过球试验，至少进行 500 次过球试验。

10.4.17 缓冲器出厂验收

- (1) 对箱体的过球接管、通道，以及推杆出口进行尺寸和外观复查，在球流路径上不得有棱角；
- (2) 对磁力缓冲块进行尺寸、外观及行程检查；
- (3) 采用试验用石墨球，进行离散球垂直落球缓冲试验，落球高度分别为 1m、2m、3m 和 4m,每种情况至少落球 10 次，石墨球不得有磕碰损伤；
- (4) 采用试验用石墨球，进行成串垂直球落球缓冲试验，成串球数量不少于 10 个，落球高度分别为 1m、2m、3m 和 4m,每种情况至少落球 10 次，石墨球不得有磕碰损伤；
- (5) 采用试验用石墨球，进行离散球和成串球的倾斜落球缓冲试验，倾斜角度分别为 10° 、 30° 、 60° ，,每种情况至少落球 10 次，石墨球不得有磕碰损伤。

10.4.18 元件夹钳出厂验收

- (1) 对元件夹钳的抓手进行尺寸和外观复查，不得有棱角；
- (2) 对元件夹钳的弹力手柄进行抓握试验，应收放自如；
- (3) 采用试验用石墨球，进行元件夹钳取球试验，取球次数不少于 10 次，石墨球不得有磕碰损伤。

10.4.19 补偿器出厂验收

- (1) 对金属波纹膨胀节的接管、套筒和及球通道进行尺寸和外观复查，在球流路径上不得有棱角；
- (2) 对竖直补偿器进行伸缩补偿试验；
- (3) 对竖直补偿器进行垂直过球试验，过球次数不少于 10 次，石墨球不得有磕碰损伤；
- (4) 对空间竖直补偿器进行伸缩补偿试验；
- (5) 利用压缩空气和试验用石墨球，对空间竖直补偿器进行气力输

送过球试验，过球次数不少于 10 次，石墨球不得有磕碰损伤。

10.4.20 能耗测量标定定位装置出厂验收

- (1) 对准直孔进行尺寸和外观复查；
- (2) 采用模拟标定球进行定位试验。

10.4.21 过球检测装置

设备检验和验收应按本技术规格书和EJ/T 626-1992 核电厂电气、仪表和控制设备的安装、检查和试验要求、GB/T 998-1982 低压电器基本试验方法。

室温下对设备进行过球试验，对于单向计数器和双向计数器，采用 $\phi 60\text{mm}$ 石墨球，以 $\sim 5\text{m/s}$ 球速各进行 50 次单个球（50 个球）和 3 个成串球（150 个球）过球试验，正常计数为合格。对于碎球计数器，验证球冠高度分别为 40mm 和 20mm 的大小碎球冠，以 $\sim 5\text{m/s}$ 球速各进行 100 次连续过球试验，对大球冠正确计数，对小球冠不计数。以 $\sim 5\text{m/s}$ 球速进行 200 次连续过球试验，功能正常为合格。

每批次计数器抽查一台进行 EMC 试验，EMC 试验大纲订货方提供。如不通过，抽取双倍的数量进行试验，如再次不合格，本批次产品判定为不合格。

10.4.22 主设备配套零部件的技术成熟性检查

- (1) 主设备配套零部件包括电机、减速机、伺服系统、密封件、磁力传动器、磁力同步器、永磁驱动机构、电磁驱动机构、料位检测器等配套零部件；
- (2) 所使用的零部件应为成熟产品，并提供相关证明材料；
- (3) 10.4.23.3 如果为新产品，应按照相关的标准规范进行型式试验，并提供试验报告；
- (4) 近 5 年类似产品供货证明应该在投标人方案中提供；
- (5) 主设备配套零部件中的磁力传动器和磁力同步器的隔离罩，以

及电磁驱动机构的承压部件，在设备组装前应按照 GB150 要求开展无损检测试验、水压或气压试验、气密性试验等试验；

- (6) 电磁驱动机构出厂前应进行顶杆功能试验，即：常温常压空气气氛下，要求顶杆 50 次往复运动顺畅，每次保持时间 5 秒，间隔 20 秒，顶杆力和线圈表面温升达到设计要求。在运抵订货方主设备装配现场后，应进行包装和外观检查及 10 次顶杆往复运动试验；
- (7) 磁力传动器和磁力同步器的内、外磁转子应做质量静平衡试验，平衡品质等级应不低于 GB/T 9239-2006 中规定的 G6.3 级；
- (8) 永磁传动部件应逐个做出厂检验，检验项目包括：零部件平衡、水压试验、扭矩检测。

10.4.23 减速器、发射器、收尘器、喷射器出厂检查

- (1) 减速器、发射器、收尘器、喷射器是气力输送过球管路上的重要部件，应对其进出口和过球通道进行尺寸和外观复查，在球流路径上不得有棱角；
- (2) 对减速器、发射器、收尘器、喷射器等内孔用工业内窥镜检查，导流用内件、孔眼和通道应圆滑过渡；
- (3) 对减速器、发射器、收尘器、喷射器等进行过球试验，内件、孔眼和通道不得影响球形元件流动，球形元件不能出现磕碰损伤。

10.4.24 特种管件的出厂检查

10.4.24.1 抽检试验

- (1) 管件试验和检查的项目及取样方式按表 10.1 的规定。其中弯头不需进行表 10.1 中的第 1、3、5 序号检查，其余管件不需进行表 10.1 中第 3、5 序号检查；表 5 第 6 序号检测仅针对锻制管件；
- (2) 各项试验中若有一个试验结果不合格时，须将试验不合格的管

件挑出，再取双倍数量的试样进行不合格项目的复验。若复验结果仍有一个试样不合格，则该批管件不得交货，但承制厂有权逐个检验、返修或重新热处理，重组批交货。但重新热处理不得超过一次。

表10.1 管件的试验和检查

序号	检查或试验项目	检查或试验方法	取样要求	取样数目
1	化学成分	ASTM A751	每批	1 个
2	力学性能 (20℃)	ASTM A370 ASTM E21	每批	2 个
3	晶间腐蚀	ASTM A262	每批	2 个
4	晶粒度	ASTM E112	每批	2 个
5	非金属夹杂物	ASTM E45	每批	2 个
6	超声波检查	ASTM E213	逐个	所有管件
7	液体渗透检查	ASTM E165	逐个	所有管件
8	热处理检查	按本规格书 9.3.2 (2) 要求 查热处理记录曲线	每批	所有管件
9	尺寸偏差	按本规格书 9.3.1 要求	逐个	所有管件
10	外观检查	按本规格书 9.3.1 (5) 要求	逐个	所有管件
11	清洁度检查	按本规格书 9.3.2 (3) 要求	逐个	所有管件

10.4.24.2 普检项目

- (1) 尺寸检验 管件的尺寸应采用卡尺、千分尺、超声测厚仪或其它具有相应检测要求精度的工具逐件进行，检测内容遵照相关技术条件规定；
- (2) 表面检验 管件的内外表面用肉眼或其它具有相应检测要求精度的工具逐件进行检查；
- (3) 性能检验 管件的各項性能试验应符合相关技术条件的规定；

- (4) 管件的检查和验收由供方的技术监督部门进行, 订货方依照双方签字认可的质量计划现场见证, 并抽取每种类型管件各 1 件进行水压试验, 水压试验压力取 1.25 倍设计压力。

10.4.25 电气柜的出厂验收

制造厂在设备制造过程中的各个环节均应有质量记录, 订货方有权派代表对其质量控制过程和进度进行检查, 必要时允许会同第三方代表一起参加相关检验。

制造厂应向订货方提供设备试验和检验所采用的标准、方法、试验规程等内容的方案, 经订货方书面批准后实施。制造厂应根据有关规范进行工厂测试, 并提供一式三份完整的、具有签署及日期的、装订成册的质量检验报告, 证明设备的性能完全符合产品质量检验标准。订货方对工程进行监督测试的内容包括以下内容:

- (1) 外观检验 (包括漆面质量、表面粗糙度等);
- (2) 几何尺寸检查;
- (3) 电器检查;
- (4) 系统精度及重复性的检验及报告;
- (5) 订货方确认的电控柜设计规格书中要求的检查和试验的内容。

制造厂需保证所供产品均符合用户要求, 所供产品从设计、制造到检验, 以及产品的最终交付均按经确认的电控柜设计规格书的设计、制造和检验依据的有关规定进行。

10.5 现场验收试验(SAT)

10.5.1 总体要求

- (1) 设备按要求运抵现场后进行包装、随设备文件、外观和功能检查, 供货方代表应在场;
- (2) 订货方现场验收遵照技术条件、验收大纲及合同规定进行, 验收时存在不合格项时应予以拒收;

- (3) 如设备现场贮存期小于 6 个月，完成现场验收后，可将设备部件直接移交安装公司，此时，应安排安装公司代表到场参加现场交接验收。

10.5.2 质量证明文件的检查

交货时，生产厂应向订货方提交材料和质量证明文书，其中管件产品应包括以下内容，其他材料和产品参考提供证明文件：

- (1) 订货号或合同号；
- (2) 熔炼炉号及熔炼分析报告；
- (3) 成份分析报告及机械性能试验报告；
- (4) 热处理记录报告；
- (5) 水压试验报告（抽查）；
- (6) 超声波检验报告；
- (7) 管道的涡流检验报告；
- (8) 液体渗透检验报告；
- (9) 尺寸检验报告；
- (10) 不符合项的纠正措施和复验结果。

10.5.3 验收尚需检查的内容及原始记录

- (1) 检测产品用仪器、设备的定期检验合格证明及有效期；
- (2) 检测人员的相应资格等级和持证有效期；
- (3) 检测程序及结果原始记录，并有相应责任人员的签名认可；
- (4) 检测用的试样、试块。

10.5.4 设备及部件的外观检查与功能检查

- (1) 设备应附有完整技术资料和质量证明书；
- (2) 检查外观完整性以及接口尺寸的正确性；
- (3) 对每台设备均应做功能检验；对分装运输的设备，应在现场完成组装后进行功能检验；

- (4) 为保证设备清洁度和便于现场安装，功能检查以模拟检查为主，对各类电动设备及部件应逐台作检验，质量应符合下列要求：a) 组装正确，动作灵活，到位准确；b) 定向转换设备应逐个进行通球检验，用 $\phi 61\text{mm}$ 石墨球各通过 5 次，无卡球和划伤球现象出现。

10.5.5 特种管件的外观检查

- (1) 管件应附有的完整技术资料、产品质量证明书和按技术条件规定应提供的合格的材料实验报告；
- (2) 应对管件逐件进行外观检验，复核其内径、外径、壁厚、粗糙度、椭圆度。复核弯头曲率半径、弯曲度数、内径、外径、弯曲部分椭圆度、弯曲部分外侧壁厚和粗糙度。复核结果应达到技术条件规定的要求；
- (3) 复查中如果发现有表面划痕、凹坑等局部缺陷超过允许值，应作去除缺陷处理。经处理后的管件相应局部最小厚度应不小于设计厚度；
- (4) 应对管件逐件通球检验，用 $\phi 61\text{mm}$ 石墨球各通过 5 次，无卡球和划伤球现象出现。

10.6 最终验收

设备按要求运抵订货方指定现场、就位安装后，系统进行气压和气密性试验时供货方代表应在场，系统压力试验正常，设备功能调试和运行无异常情况，供货方和订货方进行最终验收签字。

11 涂漆、包装和贮运

11.1 涂漆、包装和贮运总体要求

输送转换设备及部件按以下物项分级要求，遵循 EJ/T 564-2006 要求进行包装、运输、装卸、接收、贮存和维护：

- (1) 碎球分离装置、装料暂存装置、卸料暂存装置、定向转换装置、检调定位装置等的物项分级为 C；
- (2) 碎球分离装置、装料暂存装置、卸料暂存装置、定向转换装置配套电机减速机、伺服电机及驱动器、电磁驱动机构等物项分级为 B；
- (3) 所有过球检测装置和电气部件设备物项分级为 B；
- (4) 粉尘罐、碎球罐、部分特种过球管件等物项分级为 D；
- (5) 装料缓冲装置的操作平台、装料平台和保护管物项分级为 D，其标准缓冲管段物项分级为 C。

此外，相关设备及部件的涂漆、包装和贮运还应参照和遵循以下要求：

- (1) 粉尘罐、碎球罐的涂漆、包装和贮运依照 JB/T 4711-2003《压力容器涂敷与运输包装》；
- (2) 装卸料装置、定向转换装置、隔离器等参考 EJ/T 1022. 7-1996 进行包装、运输和贮存；
- (3) 电子设备的贮运按 GB/T 4798.1-2005 和 GB/T 4798.2-2008 以及相关国家规范进行；
- (4) 包装和贮运过程中应采用与设备相适应的支撑固定，应有防止振动或碰撞造成产品或包装箱损坏的保证措施，并保证各接管管口清洁和密封；
- (5) 设备部件存放于通风、干燥的场所；对于永磁传动部件，长期不用时，定期（30 天）将外磁转子旋转 360°；对于其它动设备，长期不用时，定期（60 天）通电或手动运行；
- (6) 过球检测装置的传感器外壳内外表面和机箱的外表面进行喷塑处理，颜色按订货合同（或补充协议）规定；
- (7) 电磁驱动机构在贮存期间应避免阳光直射产品，环境温度要求控制在 5~25℃；
- (8) 不锈钢零部件不涂漆，但应消除焊接氧化色，保证表面光洁；

- (9) 设备应依照 HTR-PM 施設 1.13.1 《核岛系统安装阶段现场清洁及清洁度技术要求》II 级要求存放。

11.2 涂覆与包装要求

11.2.1 油漆和防护涂层

- (1) 除法兰密封表面外，所有碳钢和低合金钢设备外表面应涂耐辐射漆；
- (2) 需表面涂覆的设备，应遵从 HTR-PM S-Eng.2.05 要求；
- (3) 所有法兰堆焊表面，所有的不锈钢零件表面应涂上不会污染腐蚀奥氏体不锈钢的临时性可剥落涂层。表面上孔穴，宜在涂可剥落层前用胶带覆盖好；
- (4) 除不锈钢零件以外的不涂油漆的表面，应涂可稀释防锈油（到现场再清洗，由安装公司用丙酮之类清洗掉）；
- (5) 电磁驱动机构的电器部分外壳表面涂耐高温防锈底漆和面漆，颜色按订货合同（或补充协议）执行。

11.2.2 包装要求

包装应遵照 EJ/T 564-2006，按 B 级物项包装和贮运，同时满足 GB/T 4798.1-2005、GB/T 4798.2-2008 要求，并应遵照以下要求：

- (1) 设备在出厂验收合格后，应完成内部零部件的安装，清洁度检验合格后应立即进行包装；
- (2) 单台设备的本体采用整体包装，磁力传动器和磁力同步器随设备主体包装，注意对外磁组件的固定与定位；电机、电磁驱动机构、永磁驱动机构、料位器等部件可拆包分装，分包产品的包装应符合 GB/T 13384 规定，特殊包装可由供需双方协商确定；
- (3) 包装、运输应遵守 HAD003/08 的有关规定。对于拆装的密封副，可使用橡胶密封圈代替金属密封环，放在外壳法兰的密封槽内，并将开口封住后，放入干燥剂；

- (4) 包装应考虑水运、陆运和安装、贮存的要求。包装应具有一定的屏障以防止水汽、带盐分的空气、尘土、污物和其他形式的污染物透入；
- (5) 包装所用的材料、密封件材料应符合防污染规则的要求，禁止使用含铅、汞或其他低熔点合金及其化合物，以及限制含氯化物、氟化物的材料接触不锈钢、非铁素体材料。用于奥氏体不锈钢的包装材料必须满足下列要求之一：
 - a) 卤素或硫含量的重量比必须小于 0.10%；
 - b) 氯化物和氟化物的溶解过滤分离量小于 50ppm；
- (6) 应特别注意对凸出部位和产品密封面等精密加工部位的保护，以免在运输、安装过程中受到损伤；
- (7) 包装运输标记按合同规定。

12 质量保证和质量控制

12.1 质量保证

供货方应遵循 HAF003-1991《核电厂质量保证安全规定》，建立符合质量要求的质保体系，编制每种产品设计、制造、试验、检验的质保计划及有关的程序、文件。在设备的设计、制造和试验过程中，按计划执行，建立齐全的设计和产品质量记录。

订货方有权监督供货方的制造质量，包括工艺和相关的质量影响因素。订货方有权进行相关制造质量的监督，供货方应出示相关的质量记录和报告。

订货方有权派遣质量控制人员对设备的制造工艺进行质量监督。供货方应与订货方的质量控制人员进行充分的合作，提供工作所需的各项条件和便利。

如果出现明显背离合同中质量技术要求的情况，订货方有权签发受影响工作范围的停工令。供货方应遵守这样的停工令，进行调查并采取适当

的纠正措施。

供货方应在其工作范围内编制并实施不符合项控制工艺，以进行有效的不符合项控制。供货方应以报告的形式将不符合项报告随设备发送给订货方。

供货方应审查并处理安装和调试阶段出现的不符合项。

订货方的质量控制工作不转移合同中规定的供货方的责任和义务。

12.2 质量控制

12.2.1 质量控制总体要求

- (1) 供货方应针对每种设备制定质量计划，对质量控制点做出专门规定，并与订货方协商确定（停工待检点）、W点（见证点）、R点（记录点）；
- (2) 对于同种规格的多台设备，如制造进度不统一，不能同时选点见证，则应分别制定质量计划供订货方确定H、W、R点；
- (3) 供货方设计完成，由订货方组织设计评审，经认可后，方能投产。

12.2.2 重要控制点及见证点

12.2.2.1 材料

- (1) 设备材料的拉伸试验和断裂韧性试验；
- (2) 不锈钢材料的晶间腐蚀试验；
- (3) 热处理后的超声波检验；
- (4) 焊接材料的验收。

12.2.2.2 承压壳体的制作

- (1) 焊接坡口和堆焊表面的磁粉检验或液体渗透检验；
- (2) 螺纹加工之前，主螺栓和主螺母的磁粉检验；
- (3) 承压焊缝的射线检验及超声波检验；

- (4) 堆焊层的超声波检验;
- (5) 接管对接焊缝的射线检验及超声波检验;
- (6) 壳体的最终焊后热处理;
- (7) 产品焊缝见证试验件的试验;
- (8) 材料的最终力学性能试验;
- (9) 水压试验;
- (10) 气密性试验;
- (11) 加工过程对关键尺寸的检验以及最终尺寸检验;
- (12) 水压试验后, 对有记录显示的母材和修补过的母材及包括二侧热影响区的主焊缝的超声波检验, 超声波无法检验时进行表面检查;
- (13) 水压试验后, 壳体焊接外部表面的磁粉或液体渗透检验;
- (14) 水压试验后, 卸料装置法兰面堆焊层表面的最终目视检验。

12.2.2.3 设备主体

- (1) 设备主体组装和整机总装;
- (2) 设备的功能试验;
- (3) 设备的最终清洁度检查;
- (4) 设备的包装检查。

13 供货方提供的文件

13.1 总的要求

- (1) 本规格书要求制造厂(包括分包厂)提供的文件包括设计文件、出厂技术文件、工艺性文件、项目管理报告和质保文件等各 4 套。要求文件内容尽量详细, 以便复验;
- (2) 提供的所有文件必须有制造厂(包括分包厂)名称、零件编号、修订号、发行日期和设备的订货号;
- (3) 在设备开始制造之前, 应按规定的程序提供事先商定的质量计

划和进度计划，提供纸质版和电子版两种形式；

(4) 所提供的技术文件完整准确无误，并对其正确性负责。

13.2 出厂技术文件

13.2.1 设备投产前应提交的文件

设备投产前，制造厂必须将下列文件预先交采购方批准认可。

- (1) 设备制造质量计划；
- (2) 设备制造工艺流程；
- (3) 尺寸/目视检查工艺；
- (4) 液体渗透检验工艺；
- (5) 射线照相检验工艺或超声波检查工艺；
- (6) 清洁和表面处理工艺；
- (7) 焊接、补焊工艺评定报告；
- (8) 设备包装设计、标记和运输流程。

13.2.2 机械设备技术文件

机械设备至少包括以下内容：

- (1) 设备竣工图；
- (2) 其他随机出厂图；
- (3) 装箱清单和发货清单；
- (4) 设备组成和主要零部件清单；
- (5) 设备备件清单；
- (6) 安装、调试、使用和维护说明书。

13.2.3 过球检测设备技术文件

过球检测设备还应提供设备说明书，至少应包括下列内容：

- (1) 设备特性（包括设备功率、工作温度、耐辐照等级、球速检测范围、信号传输距离）；
- (2) 设备主要零、部件明细表；

(3) 设备安装、调试、使用及维护说明。

13.2.4 配套电磁驱动机构技术文件

电磁驱动机构还应提供设备说明书、总图和设计计算书，设备说明书至少应包括下列内容：

- (1) 设备的结构特征和工作原理；
- (2) 设备技术特性及参数；
- (3) 设备主要零、部件明细；
- (4) 设备安装和调试说明；
- (5) 设备使用及维护说明。

总图至少包括内容：

- (1) 外形尺寸；
- (2) 电磁驱动器进出口连接尺寸(焊接坡口、过渡段尺寸)；
- (3) 电磁驱动器重量和重心位置；
- (4) 电磁驱动器主要参数表包括压力、温度、介质、密封性和强度试验等；
- (5) 电磁驱动器总图明细表（包括：零部件名称、材料、数量及重量等）。

设计计算报告至少包括内容：

- (1) 承压球壳的强度分析；
- (2) 法兰的强度分析；
- (3) 筒体端部的强度分析。

13.3 质保文件

至少包括下列内容：

- (1) 产品合格证；
- (2) 产品质量证明书；
- (3) 各种金属材料（含焊材）的质量合格证明书和复验报告；

- (4) 磁性材料、各种元器件、电缆质量合格证明书及复检报告;
- (5) 计数器的骨架和漆包线质量合格证明书;
- (6) 聚酰亚胺、轴承合金等的质量合格证明书;
- (7) 重要外购配套件 (含密封件、电机、驱动器等) 质量证明书;
- (8) 螺栓连接件性能参数文件 (包括螺栓预紧力矩值);
- (9) 所有不符合项的处理记录。

13.4 工艺性文件

- (1) 焊缝返修报告;
- (2) 无损检查报告;
- (3) 压力试验报告;
- (4) 气密性试验报告;
- (5) 电气性能检验报告;
- (6) 电气控制测试报告;
- (7) 过球检测及功能试验报告;
- (8) 内部清洁度检验报告。

13.5 管理报告

- (1) 进度计划;
- (2) 进展报告。

13.6 分包方文件

总包方向各零部件分包厂提出的采购技术条件及采购简图等资料, 须及时提交订货方认可。

各分包厂的制造、检验和质量鉴定程序等, 须及时提交订货方, 并由订货方认可。

14 配套设备要求

14.1 设备部件耐辐照要求

本技术规格书中的设备均按整机和成套供货，所有设备部件均有耐辐照要求，应综合进行耐辐照材料选材和抗辐照结构设计，提供必要的屏蔽部件和专用工具，满足人员和设备部件的辐射防护要求，并满足辐照条件下快速维修的要求。

14.2 配套管道及钢结构要求

本技术规格书中所有设备和特种管件安装在不同舱室的管路系统及钢结构平台上，管道和主体钢结构不包含在本技术规格书内，其相关规格及技术要求另行提供。

14.3 配套仪电控要求

本技术规格书中的装卸料装置涉及的配套测温计压力仪表由反应堆仪表系统供货，仪表清单另行提供，不包含在本技术规格书供货范围内。

本技术规格书中的运动设备的配套调试箱和调试电缆，其中调试电缆采用常规电缆，系统安装后更换为耐辐照电缆，由反应堆电气系统提供。

本技术规格书中提供的电控柜是主设备配套部件，可用于单台设备或局部设备部件的调试，但正式运行需要并入核电站主控制系统，由 DCS 统一控制，全系统控制要求另行提供不包含在本技术规格书供货范围内。

15 安装及服务要求

15.1 安装要求

承制厂应针对装卸料装置、输送转换设备和过球检测装置等特殊设备部件明确地提出安装和调试要求，至少应包括下列几方面：

- (1) 安装所必须的空间要求；
- (2) 最佳安装和允许安装位置；
- (3) 安装前的检查项目，安装中的注意事项、安装后的检查项目；

(4) 设备所需工具、调试程序及注意事项;

(5) 装运标记应按工程设备制造合同书中有关规定执行。

15.2 服务要求

除合同书规定的服务外,当现场安装和调试需要时,承制厂及分包厂应派技术人员到现场服务,协助安装、调试、维修等工作。

在反应堆调试和满功率运行后的质量保证期内(在订货合同中确定),针对本技术规格书设备部件的使用情况,供货方应提供现场技术和咨询服务。

16 附表

参见施設 4.4.2.2 《输送转换设备技术规格书 设备技术特性》。

17 附图

参见施設 4.4.2.3 《输送转换设备技术规格书 设备及部件总图》。