



中华人民共和国国家标准

GB/T 39225.2—2020

托卡马克聚变堆遥操作部件兼容性设计与 评估技术指南 第2部分:评估技术指南

Guidance for compatibility design and assessment for remotely-handled components
of Tokamak fusion reactor—Part 2: Guidance for compatibility assessment

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 聚变堆遥操作部件兼容性评估 1

附录 A（资料性附录） 遥操作部件定义评估审核表 5

附录 B（资料性附录） 遥操作任务定义表 6

附录 C（资料性附录） 遥操作流程说明表 7

附录 D（资料性附录） 遥操作兼容性评估表 9



前 言

GB/T 39225《托卡马克聚变堆遥控操作部件兼容性设计与评估技术指南》分为两个部分：

——第1部分：设计技术指南；

——第2部分：评估技术指南。

本部分为GB/T 39225的第2部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分由全国核能标准化技术委员会(SAC/TC 58)提出并归口。

本部分起草单位：中国科学院等离子体物理研究所。

本部分主要起草人：宋云涛、程勇、陆坤、李阳、杨洋、潘洪涛、赵文龙、黄素贞、方秀芬。



托卡马克聚变堆遥操作部件兼容性设计与 评估技术指南 第2部分:评估技术指南

1 范围

GB/T 39225 的本部分提供了托卡马克聚变堆遥操作部件兼容性设计的评估方法和评估实施流程。

本部分适用于托卡马克聚变堆遥操作部件兼容性设计阶段的评估活动。

2 规范性引用文件

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

GB/T 4960.9—2013 核科学技术术语 第9部分:磁约束核聚变

GB/T 39225.1 托卡马克聚变堆部件兼容性设计与评估技术指南 第1部分:设计技术指南

3 术语和定义

GB/T 4960.9—2013 和 GB/T 39225.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

遥操作机具 remotely-handled equipment

用于实现聚变堆中部件检测、更换、维修或转运处理等活动的远程操作设备。

3.2

遥操作任务 remotely-handled tasks

通过遥操作机具实现聚变堆中部件的更换、维修或转运处理等活动中具体实施的工作。

4 聚变堆遥操作部件兼容性评估

4.1 分段评估

评估活动在下列每个设计阶段结束并准备转入下一个阶段时进行:

- 部件概念设计(可行性研究)阶段;
- 部件初步设计阶段;
- 部件工程设计(最终设计)阶段。

4.2 评估对象

评估对象包括:

- 遥操作部件设计报告;
- 遥操作部件维护流程设计报告;

- 遥操作机具设计报告；
- 虚拟仿真测试报告；
- 实物模拟测试和/或平台测试报告；
- 遥操作任务过程中相关联环境的设计报告。

4.3 评估内容

4.3.1 遥操作部件兼容性需求定义

评估各阶段设计报告中对兼容性需求定义是否清晰和完整：

a) 维护任务及环境条件描述：

- 1) 部件位置及外形结构描述,主要参考指标包括:遥操作部件的安装位置和安装结构、遥操作部件的外形机构尺寸以及相邻部件之间的间隙等；
- 2) 维护任务描述,如检查、原位维修、切割、流道封堵、拆卸、清洗、损坏部件移出、焊接、检漏、流道(管线)重连、部件更换、复位/连通检测、损坏(活化)部件转运、辐射防护及后续活化分析等；
- 3) 作业环境描述,遥操作维护作业过程的运行环境条件主要包括环境温度、辐射剂量、区域磁场强度等；
- 4) 作业空间描述,主要参考指标包括遥操作机具可达空间、转运通道空间、管线切割及焊接的操作空间、紧固件拆卸及再装配的空间、机械手抓取及移出物件的操作空间等；
- 5) 维护步骤描述,针对每项具体维护任务,清晰地描述维护步骤;对于复杂的维护任务,还要通过仿真模拟、实物模拟和测试平台,来验证维护步骤的真实可行性。

b) 遥操作部件等级定义：

根据遥操作部件的维护要求和兼容性设计要求,将遥操作部件的等级划分为1级~3级,其中最高为1级,最低为3级。

c) 遥操作部件兼容性接口的定义：

在满足部件功能设计的要求前提下,评估部件与遥操作设备接口的兼容性是否清晰;主要参考指标包括遥操作部件布局设计、遥操作部件模块化设计、遥操作部件可靠对接设计、遥操作部件自定位设计和遥操作部件焊接结构设计等。

4.3.2 遥操作部件维护流程

评估各阶段设计报告中撰写的遥操作维护流程是否满足实施要求：

- 部件检测流程,根据检测步骤,评价是否存在检测盲区,能否准确获取检测数据；
- 部件维修流程,根据设定的维修步骤和遥操作机具的作业面,评价维修过程中是否影响其他部件,能否完成设定的维修任务；
- 部件拆卸流程与安装流程,根据部件拆卸步骤、部件安装步骤及遥操作机具的作业面,评价部件拆卸和安装过程中是否影响其他部件,能否完成设定的拆卸与安装任务；
- 部件运输流程,根据损坏(或活化)部件转运过程中对安全防护和环境保护要求,评价遥操作机具的运载能力和安全防护能力,不同部件转运流程间是否存在冲突,转运流程中是否影响其他部件等。

4.3.3 遥操作工艺的兼容性

评估各阶段设计报告中对遥操作工艺的兼容性是否满足要求：

- 遥操作部件布局设计:考虑部件在聚变堆内的空间位置、形状、与维护通道对应关系等,评估遥

- 操作机具是否满足对此部件的维护要求；
- 遥操作部件模块化设计：遥操作部件根据遥操作等级和遥操作设备的能力，设计成具有高效维护性的模块；
 - 遥操作部件可靠对接设计：部件与遥操作机具的对接机构及对接特征一一对应，保证遥操作机具对接机构咬合和解锁简单、安全可靠；
 - 遥操作部件载荷传递设计：部件支撑或吊点在满足部件的定位和连接强度要求的前提下优先采用垂直和长直路线传递载荷，同时尽量控制局部尺寸；
 - 遥操作部件自定位设计：需考虑部件安装和拆卸过程中的自啮合和自定位，部件与安装位置、遥操作设备接口均有自定位结构；
 - 遥操作部件焊接结构设计：需考虑遥操作机具焊接定位、焊接期间的支撑固定、气体或杂质的清洁处理以及焊后质量检测的实施。

4.3.4 遥操作任务可测试性

- 评估各阶段设计报告中对遥操作任务的测试方案是否完备：
- 维护前仿真模拟测试：利用仿真模拟技术实现对部件遥操作运维的模拟测试；
 - 维护前实物模拟测试和测试平台验证：利用实体测试平台实现部件遥操作维护的实物测试。
- 各阶段兼容性评估内容见表 1。

表 1 聚变堆遥操作部件兼容性评估内容

评估内容		部件概念设计	部件初步设计	部件工程设计
兼容性需求定义	维护任务及环境条件描述	√	√	√
	部件维护等级定义	√	√	√
	部件兼容性接口定义	√	√	√
维护流程	部件检测流程	√	√	√
	部件维修流程	—	√	√
	部件拆卸流程与安装流程	—	√	√
	部件运输流程	√	√	√
兼容性设计	部件布局设计	—	√	√
	部件模块化设计	—	—	√
	部件可靠对接设计	—	√	√
	部件载荷传递设计	—	—	√
	部件自定位设计	—	√	√
	部件焊接结构设计	—	—	√
遥操作任务可测试性	仿真模拟测试	—	√	√
	实物模拟测试和测试平台验证	—	—	√
注：“√”为需要进行兼容性评估的内容，“—”为不需要进行兼容性评估的内容。				

4.4 评估流程

在聚变堆部件设计各个阶段内，宜按照图 1 流程对遥操作运维部件兼容性进行评估。



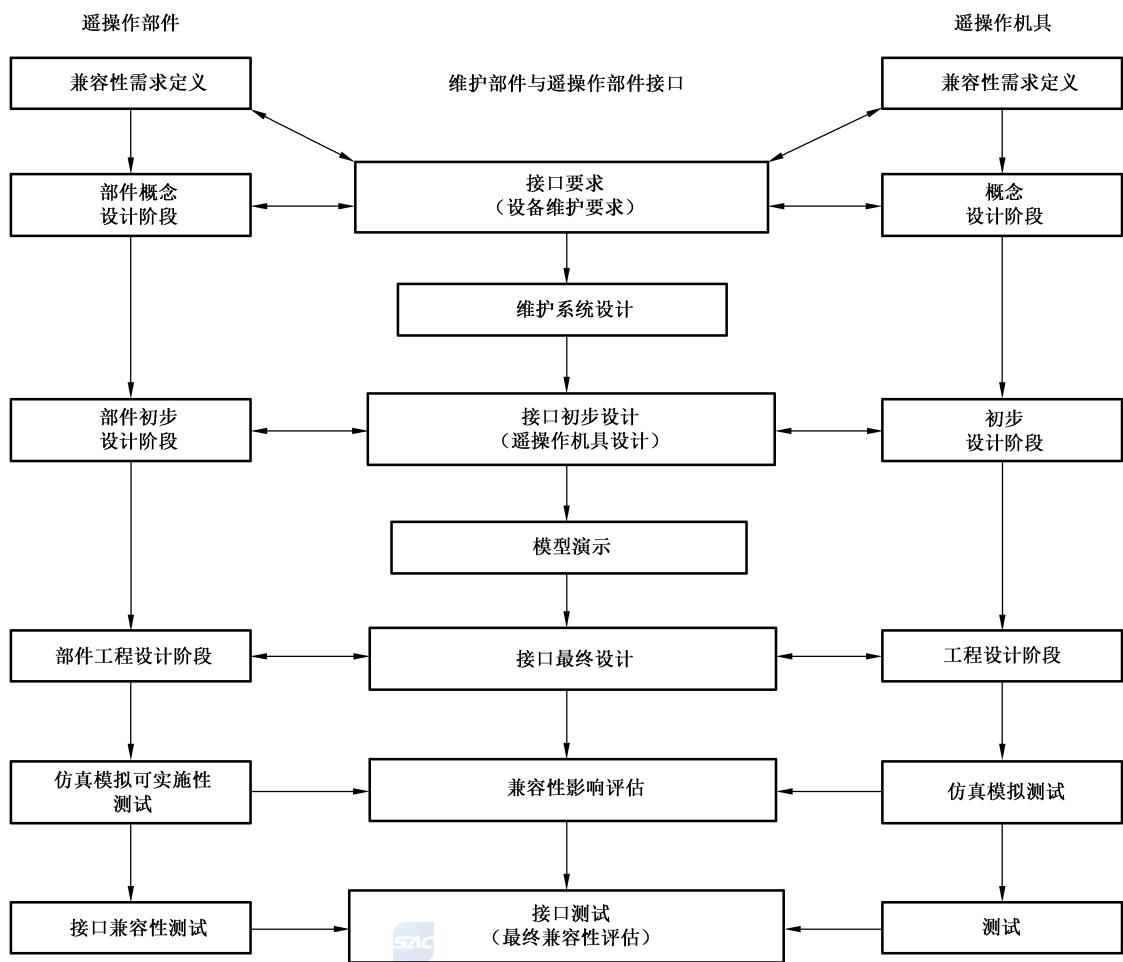


图 1 兼容性评估流程

4.5 评估结论与输出

兼容性评估贯穿整个遥操作运维部件设计各个阶段,评估人员按照 4.4 所列评估流程,逐一完成 4.3 所列所有评估内容的检查,分阶段给出部件遥操作兼容性评估结论:

- a) 遥操作部件兼容性需求定义评估报告:使用遥操作部件定义评估审核表(参见附录 A)对部件进行描述;
- b) 遥操作部件维护流程评估报告:使用遥操作任务定义表(参见附录 B)和遥操作流程说明表(参见附录 C)对维护进行描述;
- c) 遥操作部件遥操作兼容性设计评估报告:使用遥操作兼容性评估表(参见附录 D)对评估结果进行描述;
- d) 遥操作部件可测试性评估报告。

附 录 A

(资料性附录)

遥操作部件定义评估审核表

遥操作部件定义评估审核表参见表 A.1。

表 A.1 遥操作部件定义评估审核表

描述		
装配图		
物理特性		
质量/t		
尺寸/m		
材料		
其他特性		
工作环境		
接触辐射剂量率/(Gy/h)		
遥操作工作温度/℃		
维护计划		
转运车接口		
其他方面		
遥操作结构		
固定		
定位机构		
遥操作点		
专用表面/材质		
其他方面		
遥操作需求		
任务	遥操作等级	评论/备注

附 录 B
(资料性附录)
遥操作任务定义表

遥操作任务定义表参见表 B.1。

表 B.1 遥操作任务定义表

任务描述			
任务目的			
目标部件			
起始状态			
结束状态			
设想			
主要问题			
维护步骤			
	任务	人工/远程	
工具需求			
功能	特性	人工/远程	
重要问题			
内容	名称	发现日期	解决日期
数据来源			
数据来源可信度			
历史版本			
项目	作者	日期	评论

附 录 C
(资料性附录)
遥操作流程说明表

遥操作流程说明表参见表 C.1。

表 C.1 遥操作流程说明表

任务制定者	
说明	
任务目的	
部件	
设想	
开始状态	
结束状态	
作业步骤	
需要的遥操作系统	
物流及流程图	
序列标注	

表 C.1（续）

移动步骤
实物模型需求
虚拟现实模拟需求
参考图纸及文件
任务提示
流程执行情况说明

附 录 D
(资料性附录)
遥操作兼容性评估表

遥操作兼容性评估表参见表 D.1。

表 D.1 遥操作兼容性评估表

部件名称		新设计或修改	
遥操作评审员			
1. 部件描述			
2. 总装图			
图形描述			
文件描述			
3. 物理参数			
质量/kg			
外形尺寸/m			
材料			
其他特性			
4. 条件			
遥操作等级			
遥操作期间辐射率/(Gy/h)			
遥操作工作温度/℃			
维护/替换计划			
转运车接口			
其他考虑			
5. 部件接口			
配合			
子部件			
位置精度要求/mm			
服务项目			
6. 遥操作结构			
固定结构			

表 D.1 (续)

定位结构			
对接机构			
遥操作标准连接头			
遥操作标准焊接头			
遥操作标准管接头			
专用表面/零件			
其他考虑			
7. 数据来源/参考			
8. 数据可靠度			
9. 总体评价			
是否与遥操作兼容			
10. 历史版本			
项目	作者	日期	评论
11. 批准历史			
项目	批准人	日期	评论

