

ICS 27.120.20

F 65

备案号: 59631—2017

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20446—2017RK

压水堆核电厂主蒸汽系统设计要求

Main steam system design requirement of pressurized water reactor
nuclear power plant

2017 - 04 - 01 发布

2017 - 10 - 01 实施

国家能源局 发 布
国家核安全局 认 可

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 系统功能..... 1

4 系统范围及相关接口系统..... 1

 4.1 系统范围..... 2

 4.2 与主蒸汽系统接口的其他系统..... 2

5 安全等级和抗震类别..... 2

6 性能准则..... 2

 6.1 输送蒸汽..... 2

 6.2 提供蒸汽发生器二次侧的超压保护..... 2

 6.3 隔离主蒸汽管道..... 3

 6.4 设置必需的测量通道..... 3

7 设计要求..... 3

 7.1 系统的设计要求..... 3

 7.2 管系的设计要求..... 3

 7.3 主蒸汽安全阀的设计要求..... 4

 7.4 主蒸汽隔离阀的设计要求..... 4

 7.5 主蒸汽系统疏水的设计要求..... 4

 7.6 主蒸汽系统保温层的设计要求..... 5

 7.7 仪表和控制的设计要求..... 5

 7.8 电气的设计要求..... 5

 7.9 布置的设计要求..... 5

 7.10 试验与检查准则..... 5

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国核电工程有限公司。

本标准参编单位：中广核工程有限公司 和上海核工程研究设计院

本标准主要起草人：赵嘉明、李嫦月、于沛、盛美玲、李军、赵斌、王忠信、江浩。

本标准于2017年10月25日，经国家核安全局审查认可。

压水堆核电厂主蒸汽系统设计要求

1 范围

本标准规定了压水堆核电厂主蒸汽系统的系统功能、系统范围、安全等级和抗震分类、性能准则等设计要求。

本标准适用于压水堆核电厂主蒸汽系统的设计。

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，所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17569 压水堆核电厂物项分级

GB/T 16702 压水堆核电厂核岛机械设备设计规范

NB/T 20268 压水堆核电厂安全阀和卸压阀管系设计准则

NB/T 20100 压水堆核电厂反应堆冷却剂系统和主蒸汽系统超压分析要求

NB/T 20370 非能动压水堆核电厂核岛主要系统布置准则

EJ/T 336 压水堆核电厂核供汽系统布置准则

3 系统功能

- 3.1 核电厂正常运行时，主蒸汽系统将蒸汽发生器产生的蒸汽供给汽轮发电机组等设备。
- 3.2 机组启动和停运时，主蒸汽系统与启动给水系统或辅助给水系统（或其他相应功能的给水系统）一起，通过蒸汽旁路系统排放蒸汽来控制一回路温度变化速率。
- 3.3 在事故工况或某些瞬态时，主蒸汽系统将蒸汽发生器产生的蒸汽排放到汽轮机冷凝器或直接排到大气，导出反应堆冷却剂系统的热量。
- 3.4 主蒸汽系统在需要时向辅助给水泵（如果设计有）提供蒸汽。
- 3.5 主蒸汽系统测量通道的全部或部分信号用于产生紧急停堆、安全注入和主蒸汽管线隔离的保护信号。
- 3.6 当主蒸汽管道破裂时，主蒸汽系统中相关阀门能够隔离主蒸汽管道，阻止一台以上蒸汽发生器的完全排空，以防止：
 - 反应堆冷却剂系统冷却速率过大，超出反应堆或反应堆冷却剂系统的设计限值；
 - 当安全壳内侧的主蒸汽管道破裂时，超过安全壳的设计压力值。
- 3.7 主蒸汽安全阀提供蒸汽发生器二次侧和主蒸汽管道的超压保护。
- 3.8 安装在安全壳内的主蒸汽管道，与蒸汽发生器的二次侧承压边界及主蒸汽管道在安全壳上的贯穿件一起，作为安全壳的延伸，组成安全壳屏障的一部分，起到第三道实体屏障的作用。
- 3.9 位于安全壳外的主蒸汽隔离阀、疏水阀等提供了安全壳隔离功能。

4 系统范围及相关接口系统

4.1 系统范围

主蒸汽系统主要包括从蒸汽发生器限流器出口到汽轮机主汽门上游的主蒸汽管道和设备,以及与之连接的疏水排气管线。

主蒸汽系统的主要设备包括:主蒸汽安全阀、主蒸汽隔离阀、疏水隔离阀和仪表等。

4.2 与主蒸汽系统接口的其他系统

与主蒸汽系统接口的其他系统包括但不限于:

- 反应堆冷却剂系统;
- 汽轮发电机组及其辅助系统;
- 蒸汽旁路系统(大气排放系统和汽轮机旁路系统);
- 凝结水抽取系统;
- 除氧器系统及给水加热系统;
- 主给水系统、启动给水系统和辅助给水系统(或其他相应功能的给水系统);
- 电厂控制系统;
- 疏水系统;
- 辅助蒸汽系统;
- 反应堆保护系统;
- 电气系统;
- 供气系统等。

5 安全等级和抗震类别

5.1 主蒸汽系统的管道和设备安全等级划分应按照 GB/T 17569(或其他相当的标准或规范)的规定执行。

5.2 主蒸汽系统中执行安全壳隔离功能所必需的管道、设备应属安全 2 级,抗震 I 类。

5.2.1 以主蒸汽隔离阀出口侧为界,其上游管道为安全 2 级,抗震 I 类;

5.2.2 以主蒸汽隔离阀上游疏水管线第一道隔离阀为界,其上游管道为安全 2 级,抗震 I 类;

5.2.3 主蒸汽隔离阀及其上游疏水隔离阀和主蒸汽安全阀为安全 2 级,抗震 I 类设备。

5.3 主蒸汽隔离阀至横向限制件之间的管道应为安全级(安全 2 级或 3 级),抗震 I 类。

5.4 主蒸汽系统中执行系统安全功能所必需的管道、设备的支承件应属安全级,抗震 I 类。

5.5 主蒸汽系统中执行安全功能的仪表,其测量通道为 1E 级。

6 性能准则

6.1 输送蒸汽

核电厂正常运行时,主蒸汽系统能够将蒸汽输送到汽轮发电机组等设备。某些事故工况或瞬态时,主蒸汽系统与其他系统(给水系统、汽轮机旁路系统或大气排放系统)一起导出反应堆热量。需要时,向辅助给水泵(如果设计有)提供蒸汽。

每台蒸汽发生器连接一条主蒸汽管道,主蒸汽系统容量应与所有蒸汽发生器产生的蒸汽量相适应。其设计应保证来自每台蒸汽发生器的蒸汽流量的均衡。

6.2 提供蒸汽发生器二次侧的超压保护

主蒸汽系统应设置主蒸汽安全阀，为蒸汽发生器二次侧和主蒸汽管道提供超压保护。每台蒸汽发生器安全阀的组合排量应保证各工况下的蒸汽压力不超过相应工况下的超压准则，按照NB/T 20100执行。

6.3 隔离主蒸汽管道

每条主蒸汽管道应设置主蒸汽隔离阀，在收到主蒸汽管线隔离信号后，能够实现快速隔离。主蒸汽隔离阀关闭时间应与相应事故分析所采用的时间相适应。

6.4 设置必需的测量通道

6.4.1 主蒸汽系统应设置蒸汽压力、流量和温度测量通道，全部或部分测量通道可用于引发反应堆停堆、安全注入和蒸汽管道隔离等保护信号。

6.4.2 主蒸汽系统应设置二回路放射性剂量监测通道。

7 设计要求

7.1 系统设计要求

7.1.1 主蒸汽隔离阀与汽轮机主汽门和调速阀相配合，设计成在蒸汽管道破损同时又发生单台能动部件故障时能够防止一台以上蒸汽发生器完全排空。

7.1.2 主蒸汽系统与蒸汽发生器二次侧连通，其设计压力 and 设计温度应与蒸汽发生器二次侧的设计压力 and 设计温度相适应。

7.1.3 主蒸汽系统用于传输蒸汽发生器所产生的蒸汽，系统容量应与蒸汽发生器产生的蒸汽量相适应。

每台蒸汽发生器与汽轮机之间的蒸汽管道，其直径和布置应保证来自每台蒸汽发生器的蒸汽流量的均衡，从而确保反应堆冷却剂系统的均匀排热。

7.1.4 应限制蒸汽发生器出口和汽轮机入口处的蒸汽湿度，以防止蒸汽挟带的液滴对汽轮机叶片造成损害。

7.1.5 安全壳外侧主蒸汽隔离阀入口的超级管道（或管道破裂排除区），即主蒸汽管道安全壳贯穿件支承点与主蒸汽隔离阀之间的管段，除确保该管段产品质量、特殊制造工艺和质量管埋外，还应采用以下专门防范措施，使得这段管道破裂的概率降低：

- 用安全壳贯穿件支承点和隔离阀甩击限制件（如果设计采用）来保护该管段；
- 尽量缩短该管道长度，尽可能减少焊缝；
- 采用锻制管件；
- 采用锻制钢管；
- 限制正常运行和事故工况下相应的设计应力值；
- 制定并实施专门的在役检查规程；
- 其他防范措施。

7.2 管系设计要求

7.2.1 根据有关汽水管道设计标准或规范规定的蒸汽流速的范围，选择确定主蒸汽管道的蒸汽流速。一般情况下，推荐选择饱和蒸汽管道介质流速为 30~50m/s。根据蒸汽流速和主蒸汽系统的蒸汽流量、压力、温度等参数，确定主蒸汽管道的管径。

7.2.2 主蒸汽安全级管道的最小壁厚按照有关设计标准或规范计算。

7.2.3 管系的设计中应将管系内所有部件,诸如阀门、管道、支承及其所依附的构筑物等都考虑在内。在确定载荷组合时参照 GB/T 16702(或其他相当的标准或规范)。

7.2.4 主蒸汽管道至主蒸汽安全阀进口处的管嘴长度尽量短,管嘴内镗孔变径处应充分倒圆,以尽量减少安全阀开启时从管道至安全阀进口处的压力损失。管嘴应能承受阀门排放时产生的力矩。

7.2.5 管系疏水的设计应满足 7.5 的要求。

7.2.6 主蒸汽安全阀排放立管按照 NB/T 20268 进行设计。

7.2.7 管系支承和限位器应满足管系布置和力学分析的要求,能够承受相应于主蒸汽系统设计所使用的载荷组合,并按照有关的机械设计标准进行设计。

7.2.8 主蒸汽系统设计应使得管系阻力尽可能小。

7.2.9 管系的设计应考虑汽锤的影响。

7.3 主蒸汽安全阀设计要求

7.3.1 确定安全阀的数量和容量,应遵守以下原则:

——每台蒸汽发生器至少要有两台安全阀。

——安全阀有助于通过排出反应堆冷却剂系统产生的能量来防止一回路超压和过热;通过限制蒸汽释放的总量和速率来防止堆芯过冷。

——每台蒸汽发生器安全阀的组合排量应保证各工况下的蒸汽压力不超过相应工况下的超压准则。确定每台安全阀的最大排量时,要考虑单个安全阀误开启或卡滞在全开位置时对堆芯的影响,要与核电厂的功率调节控制能力相适应,以免对核电厂相关系统造成较大扰动。

7.3.2 主蒸汽安全阀整定压力的设置要保证在蒸汽压力升高的瞬态过程中给主蒸汽系统提供较为平缓的压力扰动。

7.4 主蒸汽隔离阀设计要求

7.4.1 主蒸汽隔离阀应能够实现双向隔离,其执行机构(关阀部分)应设置冗余系列。主蒸汽管道的隔离时间应与相应事故分析所采用的时间相适应。

7.4.2 对于每个主蒸汽隔离阀应设置旁通管道,该管道上的阀门应有隔离和流量调节的能力,用于主蒸汽隔离阀开启之前暖管和平衡隔离阀上下游压力。

7.5 主蒸汽系统疏水的设计要求

7.5.1 疏水流量的确定对应于一回路的升温速率,在蒸汽管道暖管或热停堆期间,排出蒸汽管道的冷凝水。主蒸汽管道的疏水系统设计应使汽轮机开始盘车之前和盘车过程中及停车时将水排除,疏水流速不得超过 3 m/s。

7.5.2 在主蒸汽管道的各个低位积水处应设疏水点。

7.5.3 在每个主蒸汽隔离阀的上游应设置低点疏水。

7.5.4 主蒸汽管道有较长距离的水平走向后,紧接着设置垂直向上的竖直管道,在管道拐弯前应设置疏水点。

7.5.5 疏水管道应向下敷设,水平管道应向水流方向以至少 1%的斜率向下倾斜。

7.5.6 汽轮机节流阀下游的疏水装置的疏水管不能连接到上游的疏水总管上。

7.5.7 对系统运行必不可少的疏水管道不得使用过滤器,除非它们与全自动多重疏水系统一起使用。

7.5.8 安全有关的主蒸汽疏水装置(位于从蒸汽发生器到主蒸汽隔离阀的区域内)应设置远程操作阀门。非安全有关的主蒸汽疏水装置(从主蒸汽隔离阀到汽轮发电机)应自动操作。

7.5.9 疏水箱(如果设计采用)应有自动或手动控制的疏水阀,应使操纵员能操纵疏水阀并能就地使它投入运行。应监测疏水箱水位并对高水位发出报警。

7.6 主蒸汽系统保温层设计要求

主蒸汽系统应设置保温层以减少热能损失和避免人员烫伤，并考虑对其周围构筑物和设备的影响。

7.7 仪表和控制设计要求

7.7.1 测量仪表设计要求

7.7.1.1 主蒸汽系统应设有用于引发反应堆停堆、安全注入和蒸汽管道隔离等保护信号的测量通道，还应有二回路放射性剂量监测措施。

7.7.1.2 主蒸汽母管的压力测量通道用于控制通向冷凝器的蒸汽旁路排放。

7.7.1.3 事故后监测系统可使用每条主蒸汽管道上的放射性剂量监测通道和蒸汽压力测量通道。

7.7.1.4 为安全功能而提供的仪表应符合保护、安全仪表及控制的有关准则。

7.7.1.5 布置在主蒸汽管道隔间的仪表应考虑到管道破裂效应及其环境条件的影响，并遵守相关的设计准则。

7.7.2 控制设计要求

7.7.2.1 在电厂正常运行期间，主蒸汽系统由主控室操作，主控室设有一切必要的控制器和显示（报警和指示器）。

7.7.2.2 在主控室不可用时，主蒸汽系统由辅助控制室监控，并设有主要参数显示。

7.8 电气设计要求

7.8.1 主蒸汽系统的电气设计应满足有关的电气设计准则。

7.8.2 主蒸汽隔离阀和旁路阀的执行机构，以及安装在每条主蒸汽管道中安全级变送器应为 1E 级设备，这些执行安全功能的部件按相关安全设备鉴定标准进行鉴定。

7.9 布置设计要求

7.9.1 设备和管道的布置设计应按照 EJ/T 336 或 NB/T 20370 规定执行（或其他相当的标准或规范）。

7.9.2 主蒸汽系统属于安全等级的部分，其布置应考虑地震、飞机坠落、周围工业区产生的爆炸等外部灾害带来的影响。

7.9.3 系统布置应能保护系统免受汽轮机飞射物的破坏。

7.9.4 核岛厂房内每条环路主蒸汽管道应满足实体隔离的布置要求，其有关隔间的土建结构设计应能减少管道破裂的风险，并使其后果减至最低程度。

7.9.5 在安全壳内，可使用甩击限制件，以防止一根蒸汽管道断裂而破坏其邻近的安全相关系统、部件及构筑物；如果 LBB（破前泄漏）技术成熟，可采用 LBB 技术以减少和取消甩击限制件。

7.9.6 在汽轮机厂房内，应考虑主蒸汽管道破裂引起的甩击效应对安全有关构筑物和设备的影响。

7.9.7 系统的布置设计应满足维修、在役检查、辐射防护和实体保护考虑的有关准则和措施。

7.10 试验与检查准则

7.10.1 为保证主蒸汽系统完成核电厂设计中所规定的系统功能，系统设计应考虑必要的试验、检查和维修的措施。

7.10.2 蒸汽系统管道和设备的工厂试验和检查按照相应的规程和标准进行。设备需要进行有关的鉴定试验、水压试验和性能试验等。

7.10.3 根据在役检查的有关准则的要求，主蒸汽系统的设计应提供在役检查的可达性。对管道和设备保温时，应考虑焊缝的在役检查要求。

7.10.4 主蒸汽系统的设计应包括按照设备设计的有关准则要求进行初次水压试验的措施,设计应允许在这些准则所规定的压力下定期进行水压试验。

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
压水堆核电厂主蒸汽系统设计要求
NB/T 20446—2017RK

*

核工业标准化研究所出版发行

北京海淀区骚子营1号院

邮政编码：100091

电 话：010-62863505

原子能出版社印刷

版权专有 不得翻印

*

2017年10月第1版 2017年10月第1次印刷

印数 1—50

定价 21.00 元