



VVER-1000

蒸汽发生器结构与维修



黄 潜 主 编
张福海 屈凡玉 副主编

中国核工业集团公司 编

中国原子能出版社

VVER-1000 蒸汽发生器 结构与维修

主 编 黄 潜

副主编 张福海 屈凡玉



中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

VVER-1000 蒸汽发生器结构与维修 / 黄潜主编.

—北京:中国原子能出版社,2013. 11

ISBN 978-7-5022-5950-1

I. ①V… II. ①黄… III. ①压水型堆—核电站—机组—蒸汽发生器—结构②压水型堆—核电站—机组—蒸汽发生器—维修 IV. ①TM623.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 143367 号

内 容 简 介

《VVER-1000 蒸汽发生器结构与维修》主要介绍 VVER-1000 压水堆核电机组 IIIB-1000M 型蒸汽发生器的基础知识,内容包括:蒸汽发生器的基本结构及参数、维修专用工器具的结构及使用、解体大修工艺流程及历史缺陷分析。

本教材可以作为从事 VVER-1000 压水堆核电机组维修人员的培训教材,也可供从事压水堆核电站工作的相关技术人员和承包商参考阅读。

VVER-1000 蒸汽发生器结构与维修

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 杨树录 侯茸方

装帧设计 赵 杰

责任校对 冯莲凤

技术编辑 丁怀兰

印 刷 保定市中国画美凯印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 8.75

字 数 217 千字

版 次 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-5950-1 定 价 45.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

发行电话:010-68452845

E-mail: atomep123@126.com

版权所有 侵权必究

中国核工业集团公司 核电培训教材编审委员会

总 编 孙 勤
副 总 编 俞培根 叶奇蓁

编辑委员会

主 任	陈 桦				
副 主 任	程慧平	孙习康	何小剑		
委 员	李建峰	张振华	张建成	吴炳泉	戚屯锋
	邹正宇	黄 潜	商幼明	缪亚民	卢铁忠
	葛政法	周建虎	张 勇	李苏甲	杨树录
	邵焕会	于鉴夫			

执行编委

王 刚	郭善兴	莫银良	叶丹萌	王晓波
杨 克	屈凡玉	蔡黎勇	唐锡文	谢先林
李 雁	王海平	祁昌明	丁怀兰	肖 武
张国华				

编委会办公室

霍颖颖	张红军	李兴雷	齐红心	章 超
刘 朔	侯茸方	黄 芳	方朝霞	李 丹
沈 阳				

《VVER-1000 蒸汽发生器结构与维修》

编 辑 部

主 编 黄 潜

副 主 编 张福海 屈凡玉

编 者 任 苹

统审专家 熊昌怀 严 肃

总序

核工业作为国家高科技战略性产业,是国家安全的重要基石、重要的清洁能源供应,以及综合国力和大国地位的重要标志。

1978年以来,我国核工业第二次创业。中国核工业集团公司走出了一条以我为主发展民族核电的成功道路。在长期的核电设计、建造、运行和管理过程中,积累了丰富的实践和理论经验,在与国际同行合作过程中,实现了技术和管理与国际先进水平相接轨,取得了骄人的业绩。

中国核工业集团公司在三十多年的核电建设中,经历了起步、小批量建设、快速发展三个阶段。我国先后建成了秦山、大亚湾、田湾三大核电基地,实现了我国大陆核电“零”的突破、国产化的重大跨越、核电管理与国际接轨,走出了一条以我为主,发展民族核电的成功之路。在最近几年中,发展尤为迅猛。截至2008年底,核电运行机组11台,装机容量907.82万千瓦,全部稳定运行,态势良好。

进入新世纪,党中央、国务院和中央军委对核工业发展高度重视、极为关怀,对核工业做出了新的战略决策。胡锦涛总书记指出:“无论从促进经济社会发展看,还是从保障国家安全看,我们都必须切实把我国核事业发展好。”发展核电是优化能源结构、保障能源安全、满足经济社会发展需求的重要途径。2007年10月,国务院正式颁布了《核电中长期发展规划(2005—2020年)》。核电进入了快速、规模化、跨越式发展的新阶段。

在中国核电大发展之际,中国核工业集团公司继续以“核安全是核工业的生命线”的核安全文化理念和“透明、坦诚和开放”的企业管理心态,以推动核电又好又快又安全发展为己任,为加速培养核电发展所需的各类人才,组织核电领域专家,全面系统地对核电设计、工程建造、电站调试、生产准备和生产运营等各阶段的知识进行了梳理,构造了有逻辑性、系统性的核电知识体系,形成了覆盖核电各阶段的核电工程培训系列教材。

这套教材作为培养核电人才的重要工具,是国内目前第一套专业化、体系化、公开出版的核电人才培养系列教材,有助于开展培训工作,提高培训质量、节约培训成本,夯实核电发展基础。它集中了全集团的优势,突出高起点、实用性强,是集团化、专业化运作的又一次实践,是中国核工业 50 余年知识管理的积淀,是中国核工业 10 万人多年总结和实践经验的结晶。

21 世纪是“以人为本”的知识经济时代,拥有足够的优秀人才是企业持续发展的重要基础。中国核工业集团公司愿以这套教材为核电发展开路,为业界理论探讨、实践交流提供参考。

我们要继续以科学发展观为指导,认真贯彻落实党中央、国务院的指示精神,积极推进核电产业发展。特别是要把总结核电建设经验作为一项长期的工作来抓,不断更新和完善人才教育培训体系。

核电培训系列教材可广泛用于核电厂人员培训,也可用于核电管理者的学习工具书,对于有针对性地解决核电厂生产实践和管理问题具有重要的参考价值。

中国核工业集团公司总经理



2009 年 9 月 9 日

前 言

随着中国核电的快速发展,核电人才的需求也日益增长。为了配合中国核工业集团公司系统化、正规化的全员培训工作,提高培训质量,提高员工的核安全文化意识;为中核集团的发展夯实基础,江苏核电有限公司培训中心按照中核集团核电培训教材编审委员会的要求,组织公司内有丰富理论知识和实践经验的技术人员共同编写了《VVER-1000 蒸汽发生器结构与维修》培训教材。

本教材参考了 ПГБ-1000M 型蒸汽发生器的结构图纸、运行维修手册、专用工具使用手册及维修操作程序等专业资料,同时结合现场经验反馈报告和质量缺陷报告的相关内容,本着理论联系生产实际的原则,采用图文并茂的形式介绍了 ПГБ-1000M 型蒸汽发生器的结构及维修相关知识,是一份适用性、针对性较强的技术培训材料,适用于核电厂维修人员理论培训,亦可作为压水堆核电站其他工程技术人员及承包商的参考资料。

《VVER-1000 蒸汽发生器结构与维修》培训教材由任苹编写,严巍峰、尚衍智审。

本教材的编写得到了江苏核电有限公司总经理部、维修处、培训中心的大力支持,在此谨一并表示诚挚的谢意。

本教材疏漏或不妥之处在所难免,敬请读者批评和指正。

江苏核电有限公司

2012 年 8 月

目 录

第一章 ПГВ-1000М 型蒸汽发生器结构

1.1 ПГВ-1000М 型蒸汽发生器总体介绍	1
1.1.1 蒸汽发生器基本功能和工作原理	1
1.1.2 蒸汽发生器组装件和部件分组	2
1.1.3 蒸汽发生器制造要求	3
1.1.4 蒸汽发生器的主要技术参数	3
1.2 ПГВ-1000М 型蒸汽发生器的组成	5
1.2.1 带支承件的蒸汽发生器的组成	5
1.2.2 蒸汽发生器内部构件的组成	5
1.3 ПГВ-1000М 型蒸汽发生器的主要部件	7
1.3.1 蒸汽发生器壳体容器	7
1.3.2 蒸汽发生器集流管	9
1.3.3 蒸汽发生器换热表面	9
1.3.4 蒸汽发生器主给水分配装置	16
1.3.5 蒸汽发生器应急给水分配装置和化学药剂供给装置	17
1.3.6 蒸汽发生器上部均汽孔板和水下均汽板	18
1.3.7 蒸汽发生器蒸汽母管	20
1.3.8 蒸汽发生器支承装置及液压阻尼器	20
1.3.9 蒸汽发生器液位波动箱	21
复习思考题	25

第二章 ПГВ-1000М 型蒸汽发生器 维修专用工具

2.1 ПГВ-1000М 型蒸汽发生器专用螺栓拉伸机	27
2.1.1 蒸汽发生器螺栓拉伸机成套设备的结构组成及基本 参数	27
2.1.2 蒸汽发生器螺栓拉伸机的工作原理及结构	34

2.1.3	蒸汽发生器螺栓拉伸机控制程序的使用	34
2.1.4	蒸汽发生器螺栓拉伸机的使用	50
2.2	ПГВ-1000М 型蒸汽发生器集流管专用密封堵板	
	工具	60
2.2.1	国内各核电站使用的蒸汽发生器堵板的简介	60
2.2.2	田湾核电站蒸汽发生器集流管专用密封堵板工具	62
2.2.3	堵板安装操作步骤	64
2.2.4	堵板水压试验操作步骤	70
2.2.5	田湾核电站蒸汽发生器集流管专用密封堵板拆除 操作步骤	70
2.3	ПГВ-1000М 型蒸汽发生器机械堵管成套设备	72
2.3.1	蒸汽发生器机械堵管成套设备的组成及组装连接	72
2.3.2	蒸汽发生器机械堵管成套设备的操作	79
2.3.3	堵管设备的拆除	88
2.3.4	机械堵头的结构形式	88
2.3.5	机械堵管功能验证	89
2.3.6	手工焊接堵管	91
2.4	ПГВ-1000М 型蒸汽发生器传热管吹扫成套设备	94
2.4.1	传热管吹扫成套设备的组成及连接	94
2.4.2	传热管吹扫工艺流程	96
2.4.3	卧式蒸汽发生器吹扫工艺特点	96
	复习思考题	96

第三章 ПГВ-1000М 型蒸汽发生器 解体大修

3.1	ПГВ-1000М 型蒸汽发生器的孔和一、二回路集流 管顶盖拆卸和装配	98
3.1.1	先决条件	98
3.1.2	二回路集流管顶盖拆卸	98
3.1.3	一回路集流管顶盖拆卸	100
3.1.4	侧面人孔法兰拆卸	102
3.1.5	一回路集流管顶盖装配	102
3.1.6	二次侧集流管顶盖装配	103
3.1.7	侧面人孔法兰装配	104
3.2	ПГВ-1000М 型蒸汽发生器一、二回路和二次侧 人孔法兰连接衬环空间密封性检查	105
3.2.1	准备工作	105

3.2.2	集流管一次侧法兰面密封性检查	105
3.2.3	集流管二次侧法兰面密封性检查	106
3.2.4	侧面人孔法兰面密封性检查	106
3.3	ПГВ-1000M 型蒸汽发生器维修期间传热管吹扫 ..	107
3.3.1	现场条件	107
3.3.2	风险分析及应急措施	107
3.3.3	准备工作	109
3.3.4	蒸汽发生器 1、3 号传热管的吹扫	109
3.4	ПГВ-1000M 型蒸汽发生器维修期间的保养	110
3.4.1	工作准备	110
3.4.2	保养实施	110
3.4.3	保养状态检查	110
3.4.4	硅胶的更换	110
3.4.5	退出保养	111
	复习思考题	111

第四章 ПГВ-1000M 型蒸汽发生器 缺陷案例分析

4.1	ПГВ-1000M 型蒸汽发生器一回路泄漏监测管 缺陷处理	112
4.1.1	泄漏监测管 112 焊缝(集流管半管)泄漏缺陷	112
4.1.2	泄漏监测管焊缝裂纹及管线裂纹缺陷	116
4.2	ПГВ-1000M 型蒸汽发生器一次侧密封面缺陷 处理	117
4.2.1	案例 1	117
4.2.2	案例 2	121
4.2.3	总结	122
4.3	ПГВ-1000M 型蒸汽发生器二次侧密封面缺陷 处理	122
4.4	ПГВ-1000M 型蒸汽发生器二次侧水上均汽板 裂纹缺陷处理	125
4.4.1	缺陷描述	125
4.4.2	缺陷分析	126
4.4.3	缺陷处理	127
4.4.4	结论	128
	复习思考题	128

第一章 ПГВ-1000M 型 蒸汽发生器结构

1.1 ПГВ-1000M 型蒸汽发生器总体介绍

1.1.1 蒸汽发生器基本功能和工作原理

田湾核电站一个机组有 4 台 ПГВ-1000M 型卧式蒸汽发生器 (JEA10, 20, 30, 40AC001)。作为一回路的主要设备,其主要用途是:

1) 用于将一回路冷却剂的热量传递给二回路的给水,将给水加热至沸腾,经过汽水分离后产生驱动汽轮发电机的干饱和蒸汽。

2) 作为一回路压力边界的一部分,用于承受一回路冷却剂的压力,并与一回路其他压力边界共同构成防止堆芯放射性裂变产物向二回路或安全壳内释放的屏障。

3) 在预期运行事件工况、设计基准事故工况下以及过渡工况下蒸汽发生器保证反应堆装置的可靠冷却。

工作原理:反应堆出口的一回路“热”冷却剂沿着直径为 850 mm 主循环管道的“热”管段进入蒸汽发生器的一回路冷却剂入口集流管,经过集流管中部管板上传热管孔进入 10 978 根 U 形传热管内。传热管外是蒸汽发生器二次侧给水,冷却剂将热量传给给水后即被冷却,然后进入蒸汽发生器的一回路冷却剂出口集流管,又沿直径为 850 mm 主循环管道的“冷”管段进入冷却剂泵。蒸汽发生器的主给水是沿直径为 400 mm 的管道进入蒸汽发生器的主给水分配装置,再经每个分配管上的小孔进入到传热管束外侧。由于一回路冷却剂入口集流管中冷却剂温度相对较高,其附近产生的蒸汽量大;而一回路冷却剂出口集管中冷却剂温度相对较低,其附近产生的蒸汽量小。为了平衡蒸汽负荷,在入口集管周围布置有 10 个主给水分管,在出口集管周围布置有 5 个分配管,这样使得蒸汽发生器“热端”的给水量大于“冷端”的给水量。因此,在蒸汽发生器中的给水存在自“热端”向“冷端”的自循环,这将蒸汽发生器热端聚集的盐分和杂质带到冷端,在冷端形成“盐室”。为了防止蒸汽发生器冷端的传热管遭受腐蚀,因此对冷端“盐室”的给水实施连续排污,而对于蒸汽发生器其他部分(壳段底部)实施定期排污。一回路冷却剂将蒸汽发生器中的给水加热至沸腾,产生的湿蒸汽首先经过水下均汽板,由于水下均汽板平衡了冷/热端的蒸汽负荷,同时减缓了蒸汽速度,因此减少了蒸汽带出的水分。随后蒸汽进入蒸汽空间(高度为 1 200 mm),在这里蒸汽中水分依靠自身重量实现汽水分离,这也是蒸汽发生器中最主要的汽水分离方式。分离出的蒸汽穿越上部蒸汽孔板,进一步被干燥,使蒸汽湿度小于 0.2%,最后符合要求的干蒸汽沿蒸汽母管线进入汽轮机。田湾核电站蒸汽发生器在厂房内布置及与一回路主设备连接示意图见图 1-1-1、图 1-1-2。

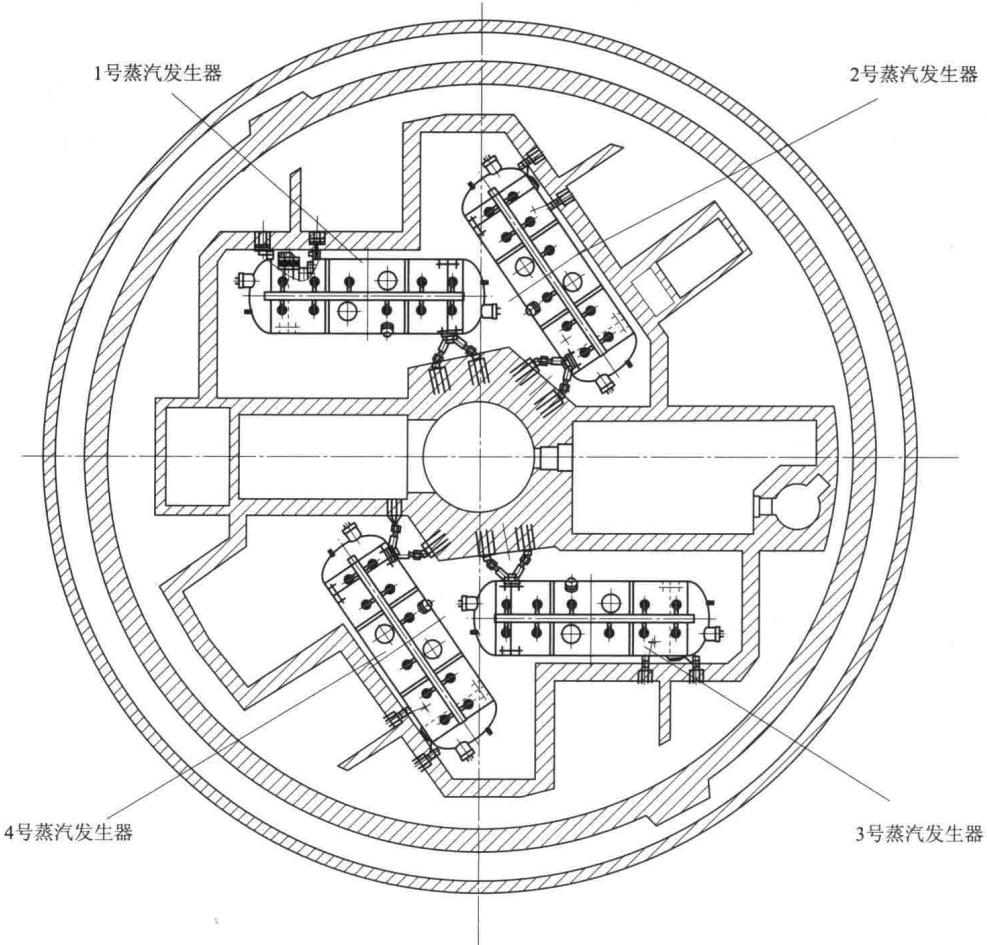


图 1-1-1 蒸汽发生器在厂房内的布置

1.1.2 蒸汽发生器组装件和部件分组

ПГВ-1000М 型带支座的蒸汽发生器属于 A 组,1H 级,抗震 1 类(见表 1-1-1)。

表 1-1-1 组件和部件分级

蒸汽发生器组装件和部件名称	设备分组	设备分级	抗震类别
1 蒸汽发生器壳体	A ¹⁾	1H ²⁾	1
2 一回路冷却剂集流管	A	1H	
3 传热管	B ¹⁾	2H	
4 平衡罐	B	2HY ^{3,4)}	
5 蒸汽集汽管	B	2H	
6 紧固件	不评定 ⁵⁾	2H	

注:1) A,B——设备分组表征对核电站安全性影响的程度。
2) H——核电站正常运行部件。
3) Y——核电站安全系统控制部件。
4) 核动力装置设计范围内的平衡容器附件的安全级别,按照使用确定:
2 级——安全系统控制部件;
3 级——控制和监测系统部件。
5) 紧固件广泛作为 B 组设备。

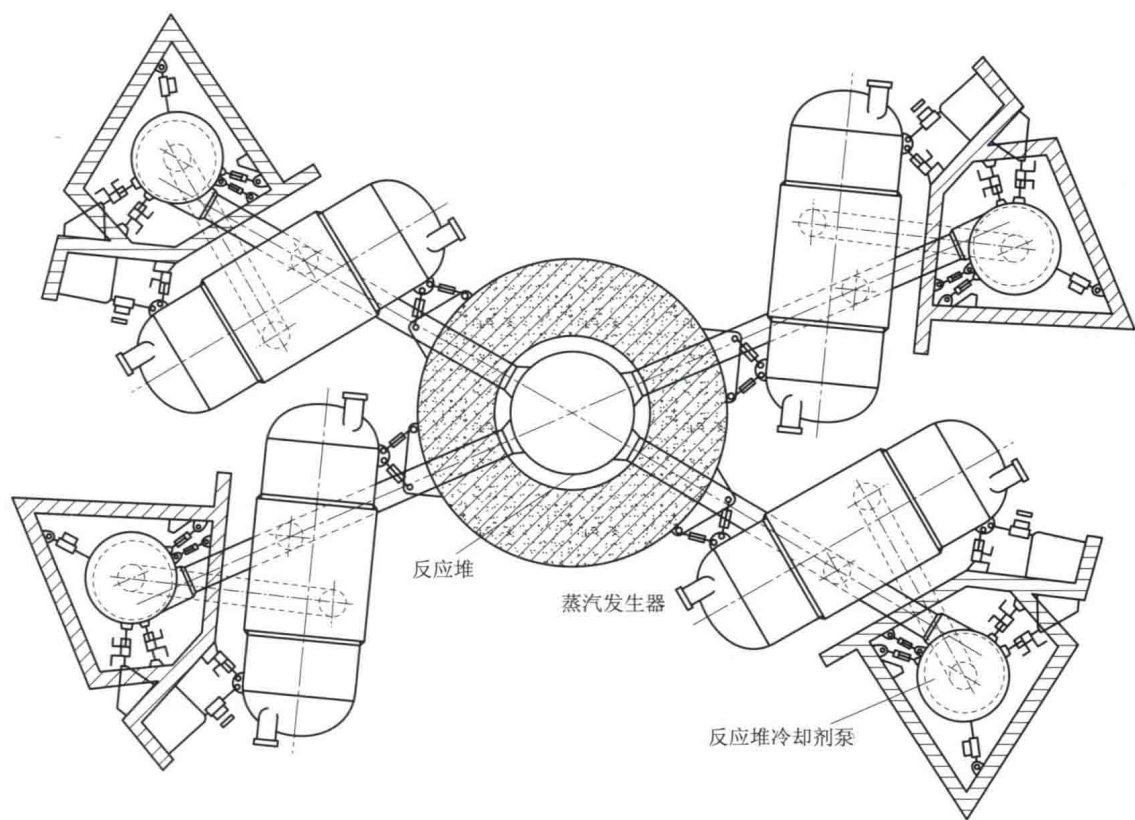


图 1-1-2 蒸汽发生器与一回路主设备的连接

1.1.3 蒸汽发生器制造要求

- 《核电站安全保证总则(ОПБ—88/97)；
- 《核电站反应堆装置核安全规则 ПБЯ РУ АС—89》；
- 《核动力装置设备和管道建造和安全运行规则》；
- 《动力装置设备和管道强度计算标准》；
- 《动力装置设备和管道焊接和堆焊 基本条例》；
- 《动力装置设备和管道焊接和堆焊 监测规则》；
- 《核电站抗震设计标准》；
- 蒸汽发生器制造企业必须有俄罗斯国家监督机构颁发的核电站设备制造权证书。

1.1.4 蒸汽发生器的主要技术参数

详见表 1-1-2。

表 1-1-2 蒸汽发生器 ПГВ-1000M 主要技术参数

序号	参 数 名 称	数 值	单 位
1	热功率	753	MW
2	蒸汽产量	1 470+100	m ³ /h
3	换热管数目	10 978	根



续表

序号	参 数 名 称		数 值	单 位
4	蒸汽发生器中新蒸汽压力		6.37	MPa
5	在蒸汽发生器出口处的蒸汽压力		6.28 ± 0.10	MPa
6	在蒸汽发生器中所产生的蒸汽温度		278.5 ± 1.0	℃
7	在蒸汽发生器入口处一回路冷却剂温度		321 ± 5	℃
8	在蒸汽发生器出口处一回路冷却剂温度		291^{+2}_{-5}	℃
9	在蒸汽发生器入口处一回路冷却剂压力		15.7 ± 0.3	MPa
10	给水温度		220 ± 5	℃
11	在没有投入高压加热器时给水温度		164 ± 4	℃
12	在蒸汽发生器出口处的湿度,不超过		0.20	%
13	一回路冷却剂流经 蒸汽发生器的流量	4个环路运行	$21\,500^{+1000}_{-1200}$	m ³ /h
		部分环路运行	26 000	m ³ /h
14	蒸汽发生器中的正常液位		$2\,400 \pm 50$	mm
15	连续排污流量		≤ 15	m ³ /h
16	定期排污流量		≤ 45	m ³ /h
17	一次侧设计压力		17.64	MPa
18	二次侧设计压力		7.84	MPa
19	一次侧设计温度		350	℃
20	二次侧设计温度		300	℃
21	事故给水泵供给的给水温度		5~40	℃
22	事故给水泵供给的给水流量		≤ 150	m ³ /h
23	蒸汽发生器一次侧水阻(冷却剂流量为 21 500 m ³ /h)		≤ 0.13	MPa
24	蒸汽发生器二次侧水阻(额定流量)		≤ 0.11	MPa
25	蒸汽发生器壳体长度		13 840	mm
26	蒸汽发生器壳体内经		4 000	mm
27	蒸汽发生器 壁厚	中间部分	145	mm
		端部	105	
		封头	120	
28	蒸汽发生器强度 水压试验压力	一次侧	24.5 (19.6)	MPa
		二次侧	10.8 (8.64)	
29	蒸汽发生器密封性 水压试验压力	一次侧	17.64	MPa
		二次侧	7.84	
30	蒸汽发生器 水压试验温度	一次侧	85~130	℃
		二次侧	85	
31	蒸汽发生水压 试验延迟时间	一次侧	10~60	min
		二次侧	10	
32	一次/二次侧压力变化速度		0.98	MPa/min
33	蒸汽发生器充注满时二次侧水容积		125	m ³

1.2 ПГВ-1000M 型蒸汽发生器的组成

1.2.1 带支承件的蒸汽发生器的组成

- 1) 蒸汽发生器本体；
- 2) 蒸汽母管；
- 3) 支承装置；
- 4) 液压阻尼器；
- 5) 单腔和双腔波动箱。

蒸汽发生器与一回路主循环管道、给水管线和蒸汽管线相连接,放置在 2 个滚动支承装置上,并且由 4 个液压阻尼器和固定部件固定,如图 1-2-1 所示。

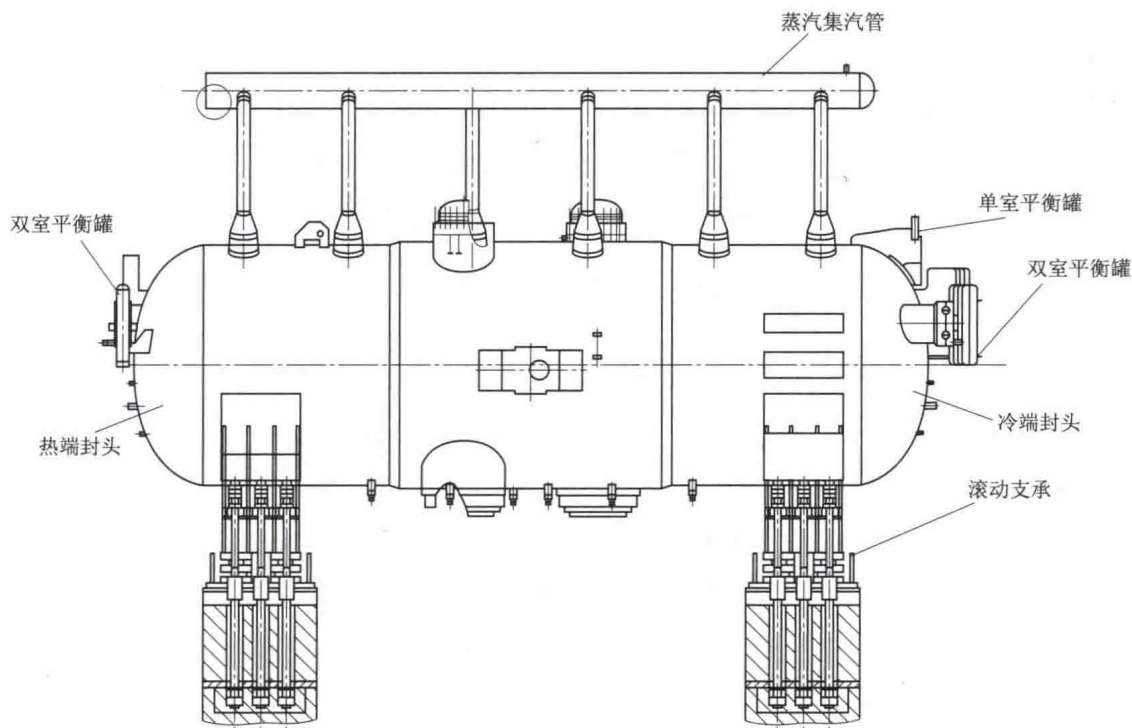


图 1-2-1 蒸汽发生器的组成

1.2.2 蒸汽发生器内部构件的组成

- 1) 换热表面(传热管)；
- 2) 一回路冷却剂集流管；
- 3) 主给水分配装置；
- 4) 应急给水分配装置；
- 5) 上部蒸汽孔板；
- 6) 水下均汽板；



7) 化学试剂分配装置。

蒸汽发生器的内部结构及侧视图见图 1-2-2 及图 1-2-3。

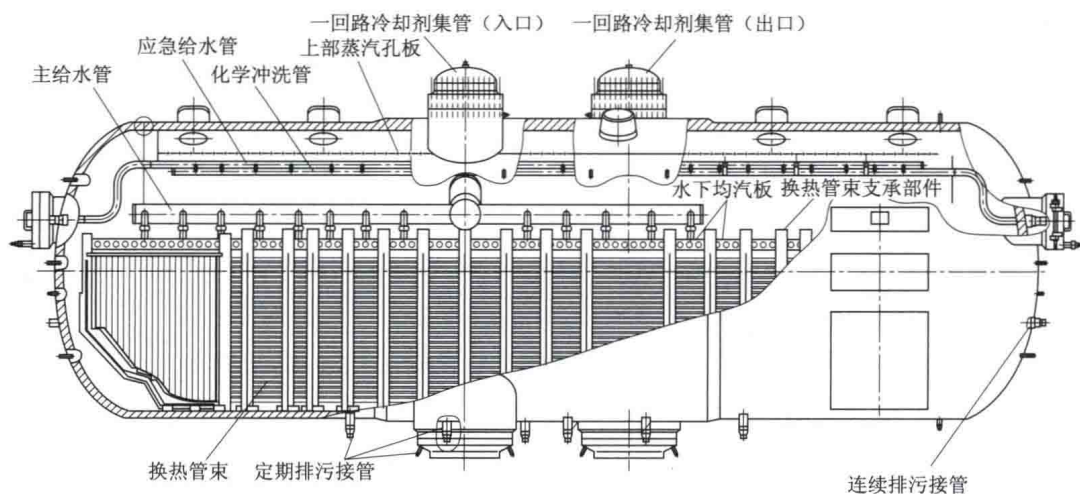


图 1-2-2 蒸汽发生器内部结构

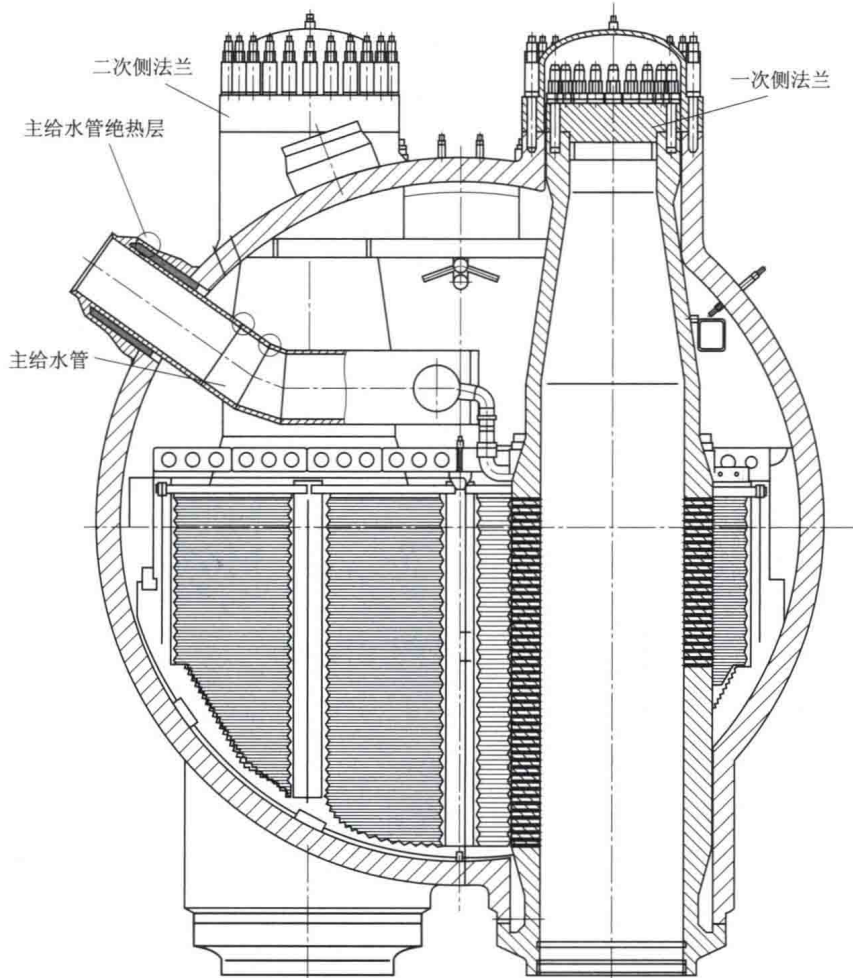


图 1-2-3 蒸汽发生器侧视图