

高等学校教材

锅炉水处理初步设计

上海电力学院 丁桓如 编



177096

TK223.5
1044

高等学校教材

锅炉水处理初步设计

上海电力学院 丁桓如 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍锅炉水处理的初步设计方法,包括设计的原始资料、水处理系统选择和工艺计算、附属系统选择、图纸绘制等部分。涉及的内容包括:离子交换系统设计、预处理系统设计、预脱盐系统设计、凝结水处理系统设计及加药系统设计等。

本书为高等院校应用化学(电厂化学)专业教材。由于本书汇集了众多的水处理计算公式和技术数据,对锅炉水处理专业的设计、科研、生产等方面的工程技术人员有一定的参考价值,还可供工业水处理专业、给水排水专业的工程技术人员参考。

高等学校教材

锅炉水处理初步设计

上海电力学院 丁桓如 编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行,各地新华书店经售

北京市地矿局印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 8.25印张 185千字
1995年11月第一版 1995年11月北京第一次印刷

印数 0001—1570册

ISBN 7-120-02383-7/TK·350

定价 6.60元

前 言

本书是按原能源部教育司《1990~1992年高等学校教材编审出版计划》编写的，供高等院校应用化学（电厂化学）专业学生在进行课程设计（或毕业设计）时使用。

工程设计是一项技术性和政策性很强的工作，为加强对学生能力的培养，课程设计必须密切结合工程设计，因而就要严格遵守工程设计的各种规定和要求。所以，本书在编写时，除了考虑教学上需要的循序渐进外，还在具体内容上力争能尽可能地汇集本专业工程设计的设计思想和设计经验，并严格遵守现行的各项技术规程和规定，另外还尽可能多地收集各种设计数据和运行数据。因此，本书除了作为大专院校教材外，对本专业的设计、科研、生产的工程技术人员也有一定的参考价值。

本书中物质量的单位为摩尔（mol）。需要说明的是本书中摩尔是指参加化学反应的基本单元，对一价离子及分子是以其本身作基本单元，对二价离子以其 $1/2$ 作基本单元，对三价离子以其 $1/3$ 作基本单元，余此类推。

本书在编写过程中，首先遇到的问题是资料不足，虽然水处理系统设计是一项已广泛开展的工作，但它的系统总结却很少，需要从众多的零星资料中进行收集、整理。所以，在编写本书过程中，参考了许多单位和个人编写的技术资料 and 学术论文，其中既包括武汉水利电力大学、东北电力学院、上海电力学院原有的锅炉水处理设计资料，又包括各电力设计院编写的资料，以及水处理方面的各种书籍、杂志，在此仅向它们的作者表示感谢。

本书由武汉水利电力大学李培元教授审阅，在此表示感谢。

由于编写本书是一个尝试，加之时间仓促和水平所限，书中难免有不妥之处，甚至错误，希读者不吝赐教，以便再版时订正。

编 者

1995. 1

1995. 1

目 录

前 言

绪论	1
第一章 设计的原始资料及其整理	4
第一节 电厂的性质、规模及水汽质量标准	4
第二节 热力设备对补给水水质及水量的要求	8
第三节 水源水质资料及其他资料	15
第二章 水处理系统选择	20
第一节 离子交换系统选择	20
第二节 预处理系统和预脱盐系统选择	26
第三节 凝结水处理及给水和炉水处理系统选择	30
第四节 水处理系统的技术经济比较	32
第三章 水处理系统工艺计算及设备选择	38
第一节 补给水处理系统工艺计算	38
第二节 带有弱型树脂的交换器工艺计算	55
第三节 预脱盐装置工艺计算	67
第四节 凝结水处理及加药系统工艺计算	81
第五节 箱类的选择	87
第四章 管道、泵及附属系统的选择	89
第一节 管道及泵的选择	89
第二节 再生剂(酸、碱、盐)系统设计	95
第三节 压缩空气系统设计	98
第四节 加药系统、自用水系统及废排水系统设计	100
第五节 水处理系统程序控制和监测仪表的选择	102
第五章 系统图和设备布置图	106
第一节 系统图	106
第二节 设备布置图	108
附录	114
附录一 国产离子交换树脂技术参数	114
附录二 离子交换器设计参考数据	116
附录三 澄清池、滤池和水箱规格	119
附录四 过滤设备技术参数	121
附录五 水处理常用管道	123
附录六 水处理设备及管道防腐方法	125

绪 论

不论是对电厂锅炉还是对工业锅炉，水处理工作的重要性已经毋庸置疑，不必费言了。但是，如何使水处理工作能满足锅炉设备的需要，却是值得讨论的问题。从某种角度来说，这个问题在很大程度上是和设计水平、安装及调试质量和运行管理水平有联系。

设计，就是按照设备的实际需要和现场的实际情况，在技术条件允许的情况下，选择合适的水处理方案，编制整个水处理工作的蓝图；安装及调试是按照设计要求来建造实际设备，并调试到最佳运行工况；运行管理是在设计和调试的基础上，充分发挥设备能力，满足实际生产的需要。所以，在一个工程中，设计是整个工程工作的第一步，设计工作的好坏，直接影响到以后的安装、调试及运行管理的质量。

那么，要做出一个好的工程设计，对于设计者来讲，除了应具备本专业范围内的知识外，还应注意以下几个问题：

(1) 认真了解和执行国家的基本建设方针，在设计中充分体现国家的经济政策和技术政策。

设计本身就是一种建设。设计是和国家的经济状况、技术水平，以至国家的政治环境紧密地联系在一起的，所以设计不能脱离具体的环境。每一个时期，国家都有具体的基本建设方针和政策，每一个工业部门，往往还根据国家的总方针，结合各自当前的技术水平，制定具体的设计规程和规定，作为设计人员进行工程设计时遵守的准则。如《火力发电厂设计技术规程》和《火力发电厂化学水处理设计技术规定》SDGJ2—85，它们容纳了国家的基本建设方针和当前的技术经济政策，以及这些方针政策在电力设计实践中的应用；它还总结了水处理领域中的技术成果和多年的设计经验，对水处理设计中的各种问题作了许多具体的规定，是电厂锅炉水处理设计人员必须遵守的准则。

(2) 一个优秀的工程设计，应当在技术、经济两方面都具有优势。技术上要保证设备的可靠性，提高生产效率，满足设备长期、稳定的生产需要；经济上要降低工程造价，减少水耗、电耗及药品耗量等运行费用，获得最大的综合经济效益。

(3) 要积极慎重、因地制宜地应用新技术、新材料、新工艺、新布置、新结构。国内外的先进技术，应当认真的学习、借鉴，但要因地制宜，不可生搬硬套，要认真做好采用先进技术的前期准备工作（必要的试验研究和调查总结），要经得起实际运行的检验。

(4) 要结合建厂厂址附近条件，选择设备、材料，特别是日常生产消耗的药品材料，包括它们的运输、供应等问题，必须一并考虑。

(5) 努力提高设备的机械化、自动化水平，以便提高劳动生产率和运行管理水平。

(6) 改善劳动条件，包括现场工作的操作位置、工作场所的环境条件、危险地区的防护装置等。

(7) 设计中应节约用水，减少“三废”排放，按照有关环境保护的法规要求对“三

废”进行治理，使之符合环保法规的规定。

(8) 对扩建工程的设计，要与原有的系统布置、建筑结构、运行管理经验等结合起来，作全面考虑，统一协调。

我国现行的工程设计一般分为初步可行性研究，可行性研究，设计任务书编制，初步设计，施工图设计等几个阶段。

1. 初步可行性研究

根据我国电力建设的经验，这一工作主要是根据中长期电力规划进行规划选厂。它是根据燃料资源、运输条件、地区自然条件、建设计划、供电方向及电源布局等诸多因素，并正确处理农业、工业、国防设施和人民生活等多方面关系，经过分析比较，推荐可能的厂址及其规模，编写规划选厂报告。

2. 可行性研究

可行性研究的主要内容是工程选厂。它根据批准的项目建议书或审定的初步可行性研究报告，研究电网结构、热电负荷、燃料、水源、交通、运输、环境、出线、灰场、施工条件等，进行详细的技术经济比较和经济效益分析，作出肯定的选厂结论，编写工程选厂报告。

3. 设计任务书编制

根据可行性研究结果，通过设计任务书来确定并下达所建电厂项目及方案。其内容包括：所建项目的目的和依据，建厂地点、规模、速度及建厂条件，主要协作的配合条件，主机炉设备及主要工艺流程，环境保护，占地，投资，定员等。

4. 初步设计

初步设计包括准备工作（收集和分析资料，拟定建设原则等），确定方案，编制设计文件，报批等步骤。

这一工作是按各专业范围进行。对水处理专业来讲，要完成锅炉补给水处理、凝结水处理、循环冷却水处理、给水与炉水处理、热网补充水处理、废水处理、汽水取样、油处理、制氢等方面的初步设计，确定设计依据，选择系统，进行设备布置并编写工程概算和主要设备材料清单等。图纸方面要完成系统图、设备布置图及主要断面图等。

5. 施工图设计

施工图设计是在初步设计的基础上，结合全厂设计构思（如全厂布置、地下设施等）及各专业之间的要求进行各专业的施工设计。施工设计应能使施工单位按照本设计顺利的进行现场施工建设。它主要包括各种施工图纸，如系统图、布置图、管道图、设备图、非标设备设计图、非标准件加工图，以及电气仪表及土建等方面的图纸，还要编制工程概算和材料设备表（修订）等，并编写设计说明书（内容包括设计依据、特殊问题说明及施工运行中注意事项等）。

由上可知，一个工程设计（即使对单一的水处理设计也一样）是十分繁杂的。它涉及很复杂的方案比较和设计计算，并且还容纳了众多的技术数据和设计资料，工作量十分浩大，也很繁琐。为了提高设计的工作效率，还可以借助计算机来进行，即设计过程的CAD化（Computer - Aided Design）。目前正在开展计算机优化设计的研究，主要是利用计

算机来贮存各种设计资料，在计算机内进行方案比较、设计计算以及画图，这可以大大提高设计速度和方案比较的准确性。

上述的工程设计工作基本程序，对于高等院校应用化学(电厂化学)专业学生的课程设计(毕业设计)来讲，由于时间、条件等方面的限制，不可能全部完成，只能有重点的选择一部分内容，进行工程设计的练习。它通常只限于初步设计阶段，即在给定的建厂规模、主机炉设备和水质条件下，进行水处理方面的初步设计，完成系统图、设备布置图，并编写设计说明书。

据此，本书重点介绍锅炉水处理的初步设计，讨论的内容主要是补给水处理、凝结水处理及给水与炉水处理。

第一章 设计的原始资料及其整理

工程设计,是把工程技术与现场实际条件结合起来,设计出既符合技术要求,又能在具体现场条件下运转的系统设备。因此,在一个工程设计开始之前,必须广泛地了解所设计工程的具体内容和要求,以及厂址地区的实际情况。这就是收集设计的原始资料。

具体到电厂锅炉水处理系统设计来讲,设计的原始资料包括:所设计电厂的性质、规模、热力设备情况,它们对水质、水量等方面的要求,有关水源水质资料,以及水处理设备、药品、材料等有关方面的资料。

第一节 电厂的性质、规模及水汽质量标准

一、电厂性质、规模及热力设备情况

在水处理系统设计之前,应了解所建电厂的性质,是凝汽式电厂还是热电厂;是带基本负荷的电厂还是带调峰负荷的电厂。对热电厂,还应了解供热负荷、回水量、回水水质及外供化学处理水的水质、水量等。

另外,还应了解所建电厂本期建设规模、容量,扩建情况(扩建容量及时间),机炉设备型式、容量、参数、结构特点、减温方式、燃料情况(对汽包锅炉还应了解锅内装置型式),汽轮机辅机设备(凝汽器、加热器、各种热交换器等)的材质及冷却水质,发电机的冷却方式等。

对于老厂扩建,还应了解老厂的容量、设备规范、水处理系统、设备布置及运行管理人员的经验。新建厂的辅助启动设施也应知道。

二、锅炉水汽平衡数据及水汽质量标准

为了了解热力设备对给水和补给水水质、水量方面的要求,必须进行锅炉水汽平衡计算。在进行这种计算之前,要了解有关的技术数据。它们有的是各种规定值,也有的是计算值或经验值。如水汽质量标准,蒸汽携带系数,汽水损失情况等。

表 1-1 锅炉排污率允许值

适用范围	允许值
以化学除盐水为补给水的凝汽式电厂	$>1\%$
以化学除盐水和蒸馏水为补给水的热电厂	$>2\%$
以化学软化水为补给水的热电厂	$>5\%$
正常情况下锅炉排污率最小值	$<0.3\%$

1. 锅炉排污率

锅炉排污率太大,热损失及水损失增大,经济效益下降;排污率太小,又不利于炉水中沉渣的排出。所以,对锅炉正常情况下的排污率有具体规定,列于表1-1中。

2. 汽包锅炉常用的汽水分离装置及其蒸汽携带系数

各种参数汽包锅炉常用的汽水分离装置及其蒸汽携带系数列于表1-2、表1-3中。

表 1-2

汽包锅炉常用的汽水分离装置

锅炉类型		蒸发系统	汽水分离装置	主要决定因素
亚临界锅炉		单段蒸发	旋风分离器一次分离	
超高压锅炉		单段蒸发	旋风分离器一次分离和蒸汽清洗	炉(给)水含硅量
高压锅炉	凝汽式电厂	单段蒸发	旋风分离器一次分离 旋风分离器一次分离和蒸汽清洗	补给水含硅量
	热电厂	两段蒸发 $m_2^{\text{I}} = 15\%$	旋风分离器一次分离和蒸汽清洗	补给水为软化水
中压锅炉	凝汽式电厂	单段蒸发 两段蒸发	旋风分离器一次分离	
	热电厂	两段蒸发	旋风分离器一次分离和蒸汽清洗	补给水为软化水

① 盐段蒸汽占总蒸发量的份额。

表 1-3

汽包锅炉常用汽水分离装置的蒸汽携带系数

锅炉类型	蒸汽携带系数	单段蒸发				两段蒸发			
		A	A+C	B	B+C	锅内Ⅱ段 盐段B 净段B	锅内Ⅱ段 盐段B+C 净段B	外置Ⅱ段 盐段B	外置Ⅱ段 盐段C 净段B
中压锅炉	$K_{\text{H}_2\text{O}} (\times 10^{-4})$	1~2		0.5~0.8		0.5~0.65		0.35~0.55	
	$K_{\text{SiO}_2} (\times 10^{-2})$	0.05~0.08 ^① 0.1 ^②		0.05~0.08 ^① 0.1 ^②		0.08		0.075	
高压锅炉	$K_{\text{H}_2\text{O}} (\times 10^{-4})$	1~2	0.6	0.8	0.4		0.35		0.3
	$K_{\text{SiO}_2} (\times 10^{-2})$	1.0	0.4	1.0	0.35		0.35		0.3
超高压锅炉	$K_{\text{H}_2\text{O}} (\times 10^{-4})$	2~3		1.0	0.45				
	$K_{\text{SiO}_2} (\times 10^{-2})$	3~5		3~5	1.0				
亚临界锅炉	$K_{\text{H}_2\text{O}} (\times 10^{-4})$			1~2					
	$K_{\text{SiO}_2} (\times 10^{-2})$			7~9					

① 指石灰二级钠处理。

② 指氨钠处理。

注 A—简单机械分离元件；B—旋风分离器作一次分离；C—蒸汽清洗装置。

对于15.58 MPa及以下的锅炉，影响蒸汽品质的主要是机械携带和SiO₂溶解携带，可利用表1-3中所列数据。对于15.68 MPa及以上的亚临界锅炉，蒸汽溶解性携带除了SiO₂以外，还有NaCl、NaOH等物质。虽其携带系数远比SiO₂的小（表1-4），蒸汽品质主要是从SiO₂角度来考虑，但必要时也要对蒸汽中钠盐（或含盐量）进行校核计算。对超临界锅炉，则要考虑化合物在超临界参数的单相介质中的溶解度。

表 1-4 几种钠化合物溶解携带系数K值

蒸汽压力 (MPa)	NaCl (%)	NaOH (%)	Na ₂ SO ₄ (%)	Na ₃ PO ₄
15.19	0.028	0.04		
16.66	0.1	0.2		
17.64	0.3			极微
18.62	~0.5			
19.6	0.7		0.01	

3. 水汽质量标准

水汽质量标准是保证热力设备安全、经济运行的重要监督依据和判断准则,SD 163—85《火力发电厂水汽质量标准》对各种水汽品质都作了规定。从设计角度来讲,必须保证各项技术指标符合该标准要求。

(1) 蒸汽质量标准 对于中压至亚临界的各种汽包锅炉和直流锅炉,其蒸汽质量标准列于表1-5中。

表 1-5 锅炉饱和蒸汽和过热蒸汽质量标准

炉型	压力 (MPa)	钠 (μg/kg)		二氧化硅 (μg/kg)
		磷酸盐处理	挥发性处理	
汽包锅炉	3.82~5.78	<15		<20
	5.88~18.62	<10	<10(5)	
直流锅炉	5.88~18.62	<10(5)		<20

注 括号内数值为争取标准。

(2) 汽包锅炉炉水质量标准 列于表1-6中,该表中除列出一些控制标准之外,还列有一些参考控制指标。

表 1-6 汽包锅炉炉水质量标准

锅炉压力 (MPa)	磷酸根 (mg/L)			pH	含盐量 ^② (mg/L)	二氧化硅 ^② (mg/L)	氯离子 ^② (mg/L)
	单段蒸发	两段蒸发					
		净段	盐段				
3.82~5.78	5~15	5~12	<75	>9			
5.88~12.64	2~10	2~10	<50	9~10	<100	<2	<4 ^①
12.74~15.58	2~8	2~8	<40	9~10	<50	<1.5	<4 ^①
15.68~18.62	0.5~3			9~10	<20	<0.25	<1 ^①
15.68~18.62 (挥发性处理)				8.5~9.5	<2.0	<0.2	<0.5

① 指除盐水作补给水的锅炉。

② 为参考控制指标(挥发性处理除外)。

(3) 给水质量标准 给水质量标准是在防止锅炉及给水系统发生腐蚀、结垢,并使锅炉排污率不超过规定值的前提下规定的,其值列于表1-7中。需要说明的是,本标准中对

表 1-7 锅炉给水质量标准

锅炉压力 (MPa)	硬度 (umol/L)	氧 (ug/L)	铁 (ug/L)	铜 (ug/L)	钠 (ug/L)	二氧化硅 (ug/L)	pH (25°C)	联氨 (ug/L)	油 (mg/L)	总CO ₂ (mg/L)
3.82~5.78	<3	<15	<50	<10		保证蒸汽 SiO ₂ 符合标准	8.5~9.2		<1.0	
5.88~12.64	<2	<7	<30	<5			8.8~9.3	10~50		
12.74~15.58	<2.5	<7	<20	<5			或 9.0~9.4 (加热器为 钢管)	或 10~30 (挥发性处 理)	<0.3	<1
15.68~18.62	~0	<7	<20	<5						
18.68~21.52	~0	<7	<10	<5(3)	<10(5)					

注 () 内数值为争取值。

1. 有凝结水处理时为 0。

表 1-8 国外超临界直流锅炉给水质量标准

项 目	原 苏 联		美 国		日 本		德 国	
	全挥发处理	中性处理	全挥发处理	全挥发处理	全挥发处理	联合处理	联合处理	联合处理
电导率 (25°C + H) (uS/cm)	<0.3	<0.2	<0.2	<0.2	<0.25	<0.1	<0.1	<0.1
钠 (ug/L)	<5	<5				<2	<2	
二氧化硅 (ug/L)	<15	<15	<10	<10	<20	<10	<10	
硬度 (umol/L)	<0.1	<0.1			0	<10	<10	
全铁 (ug/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
全铜 (ug/L)	<5	<5	<2	<2	<2	<2	<2	
pH	9.1~9.1	6.9~7.3	有铜系统 8.8~9.3 无铜系统 9.0~9.6		9.0~9.5	8.0~8.5		
过剩N ₂ H ₄ (ug/L)	20~60				在 pH 未超过七限时 >10			
氧 (ug/L)	<10	200~100	<5		<7	50 (30~150)		

中高压锅炉给水中总CO₂允许含量没有作出规定，主要是因为目前软化系统已很少采用。曾经规定过中压锅炉给水中总CO₂ ≤ 6mg/L，高压锅炉小于或等于4mg/L，这在某些情况下，可以作为参考依据。

超临界机组给水质量目前国内没有制定标准，表1-8中列出一些国外标准。

第二节 热力设备对补给水水质及水量的要求

一、汽包锅炉盐平衡及允许给水水质的确定

水处理系统的设计首先要确定机组所需要的给水水质，以便进而确定补给水水质和水处理系统。汽包锅炉给水水质要通过盐平衡计算来求得。

1. 单段蒸发汽包锅炉的盐平衡

对单段蒸发锅炉，如用 D 代表蒸发量， D_g 代表给水量， D_p 代表排污量（图1-1），则有如下汽水平衡关系：

$$D_g = D + D_p$$

将上式各项均除以 D ，且令排污率 $P\% = D_p/D \times 100\%$ ，则可建立如下盐平衡关系：

$$(100 + P)S_g = 100S + PS_p$$

$$S_g = \frac{100S + PS_p}{100 + P} \quad (1-1)$$

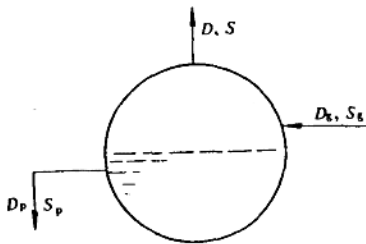


图 1-1 单段蒸发汽包锅炉盐平衡

式中 S_g ——给水水质（含盐量或某种物质含量）；

S ——蒸汽品质（含盐量或某种物质含量）；

S_p ——排污水（炉水）水质（含盐量或某种物质含量）。

利用式（1-1）可以计算锅炉的允许炉水水质，式中排污率 P 可按锅炉允许的最大排污率取值， S 按规定的蒸汽质量标准取值^①，允许的炉水水质 S_p 可按下式计算：

$$S = K S_p$$

$$S_p = \frac{S}{K} \quad (1-2)$$

式中 K 值为所采用的锅炉汽水分离装置的携带系数，见表1-3，在以含盐量计算时， $K = K_{机}$ ，以含硅量计算时， $K = K_{机} + K_{SiO_2}$ 。如果对高参数机组，还要考虑钠化合物携带，则按表1-4取值校核。

2. 两段蒸发汽包锅炉的盐平衡

同单段蒸发锅炉一样，也有如下的盐平衡关系（图1-2）。

① 对采用混合式减温器的锅炉， S 值还可以按下式计算：

$$(100 - D')S + D'S_g = 100S'$$

式中： S' 为蒸汽质量标准规定值； D' 为减温水量占锅炉蒸发量的百分数； S_g 为减温水含盐量（或某种物质含量），可根据情况暂选一值，待计算完毕后再进行反校，如对 SiO_2 可取 $20\mu g/L$ 或稍大。

锅炉总的盐平衡:

$$(100 + P) S_g = 100 S + P S_{pII} \quad (1-3)$$

S 值可按式计算:

$$100 S = n_1 K_1 S_{pI} + n_2 K_2 S_{pII} \quad (1-4)$$

式中 n_1, n_2 —— 净段及盐段蒸汽占总蒸发量(为100)的份数;
 S_{pI}, S_{pII} —— 净段及盐段炉水水质(含盐量或某种物质含量);

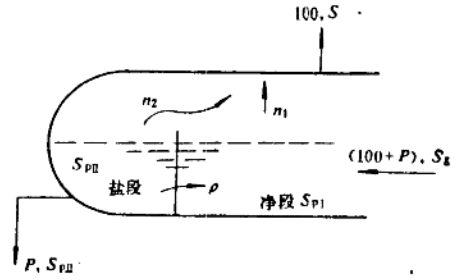


图 1-2 两段蒸发汽包锅炉盐平衡

K_1, K_2 —— 净段、盐段的携带系数, 可近似看作 $K_1 = K_2 = K$ (K 为总的携带系数)。

盐段盐平衡:

$$S_{pII} P + n_2 K_2 S_{pII} + n_2 \rho S_{pII} = (n_2 + n_2 \rho + P) S_{pI} \quad (1-5)$$

净段盐平衡:

$$(100 - P) S_g + n_2 \rho S_{pII} = n_1 K_1 S_{pI} + (n_2 + n_2 \rho + P) S_{pI} \quad (1-6)$$

上两式中 ρ —— 盐段炉水由于各种原因(泄漏、返回等)而返回净段的炉水占盐段出力的百分数; 当锅炉为外置盐段时, $\rho = 0$, 内置盐段时, ρ 约为 0.05~0.1。

令 $C_{II/I}$ 为盐段炉水与净段炉水浓度的比值(浓缩倍率), $C_{I/g}$ 为净段炉水与给水浓度的比值, 即

$$C_{II/I} = \frac{S_{pII}}{S_{pI}} \quad \text{或} \quad S_{pII} = C_{II/I} S_{pI} \quad (1-7)$$

$$C_{I/g} = \frac{S_{pI}}{S_g} \quad \text{或} \quad S_{pI} = C_{I/g} S_g \quad (1-8)$$

由式(1-5)可得

$$C_{II/I} = \frac{n_2 + n_2 \rho + P}{n_2 (K_2 + \rho) + P} \quad (1-9)$$

由式(1-6)可得

$$\begin{aligned} C_{I/g} &= \frac{100 + P}{n_1 K_1 + n_2 + P + n_2 \rho - n_2 \rho C_{II/I}} \\ &= \frac{100 + P}{n_1 K_1 + n_2 + P - \left[\frac{n_2 + n_2 \rho + P}{n_2 (K_2 + \rho) + P} - 1 \right] n_2 \rho} \end{aligned} \quad (1-10)$$

将式(1-7)、式(1-8)代入式(1-4)可得

$$100 S = K (n_1 C_{I/g} S_g + n_2 C_{II/I} C_{I/g} S_g)$$

所以

$$S_g = \frac{100 S}{K (n_1 C_{I/g} + n_2 C_{II/I} C_{I/g})} \quad (1-11)$$

由于 P, ρ, K_1, K_2 值可以查得, 故可利用式(1-9)、式(1-10)求得 $C_{II/I}, C_{I/g}$,

进而可利用式 (1-11) 求得允许给水水质 (给水含盐量或含硅量)。

盐段炉水允许水质 S_{PII} :

$$S_{PII} = S_g C_{1/8} C_{II/1} = \frac{100 S}{K \left(\frac{n_1}{C_{II/1}} + n_2 \right)} \quad (1-12)$$

净段炉水允许水质 S_{PI} :

$$S_{PI} = S_g C_{1/8} = \frac{100 S}{K (n_1 + n_2 C_{II/1})} \quad (1-13)$$

3. 汽包锅炉允许给水水质

可根据所设计电厂的汽包锅炉蒸汽参数和汽水分离装置形式, 按式 (1-1) 及式 (1-11) 计算其允许给水水质。对于中压、高压、超高压及亚临界锅炉常用的汽水分离装置形式, 允许炉水和给水水质列于表 1-9 中。该表除了根据式 (1-1) 及式 (1-11) 计算之外, 还参考了一些实际运行锅炉的热化学试验数据。

表 1-9 汽包锅炉允许炉水水质和给水水质参考值 (mg/L)

项 目	单 段 蒸 发				两 段 蒸 发			
	A	A-C	B	B-C	锅内 II 段 盐段 B 净段 B	锅内 II 段 盐段 B+C 净段 B	外置 II 段 净段 B	外置 II 段 盐段 C 净段 B
允 许 炉 水 水 质	中 压 含盐量	150~300		450~750		净300 盐1500		净450 盐1850
	SiO ₂	20~24		20~24		净8 盐10		净14 盐58
	高 压 含盐量	150~300	300	350	500		净300 盐1500	
	SiO ₂	2	4	2	4		净3 盐15	
	超 高 压 含盐量	100		300	400			
	SiO ₂	0.4~0.5		0.4~0.5	1.5~2			
允 许 给 水 水 质	亚 临 界 含盐量			150				
	SiO ₂			0.2				
	中 压 含盐量	2~4		9~15		30		90
	SiO ₂	0.2~0.24		0.4~0.5		0.8		2.8
	高 压 含盐量						30	50
	SiO ₂	0.035	0.05	0.035	0.05		0.3	0.4
超 高 压 水 质	含盐量							
	SiO ₂	0.025		0.025	0.04			
	亚 临 界 含盐量							
	SiO ₂			0.02				

注 (1) 表中符号 A、B、C 的注释同表 1-3, 允许给水水质是按规定的最大排污率考虑, 其中两段蒸发锅炉和单段蒸发的中压旋风分离器 (B) 锅炉是按排污率 2% 考虑的 (其中中压外置式两段蒸发锅炉按 5% 考虑), 其余的都是按 1% 考虑的

(2) 炉水允许含盐量是按蒸汽含钠量 (换算成 NaCl) 考虑的。

应当说明的是：表1-9中所列数据是在保证蒸汽品质合格的前提下获得的，然而实际运行情况表明，锅炉的安全经济运行，除了与蒸汽品质有关外，还与腐蚀、结垢等因素有关。如果再考虑腐蚀与结垢，则允许的炉水和给水水质将要大幅度提高（含盐量及含硅量数值减少）。

SD163—85《火力发电厂水汽质量标准》中曾规定了炉水水质（含盐量、二氧化硅及氯离子）的参考标准（表1-6），这个标准中二氧化硅与表1-9基本一致，但含盐量值却大大降低，这是从减缓腐蚀和结垢角度提出的。

在实际设计中如何应用这两个不同的计算值，作者认为：对炉水和给水的允许含硅量，可按表1-9中数值选取；对某些不可能用除盐水作补给水而要用软化水作补给水的锅炉（目前主要是指某些中压炉），给水允许含盐量可按表1-9中数值选取；对可能采用除盐水或蒸馏水作补给水的锅炉，给水允许含盐量按表1-6中取值，再按式（1-1）进行计算。

二、补给水水质和水量的确定

1. 补给水量

设计机组对补给水水量的要求，除了要能满足正常补给水量外，还要在非正常情况下，也能提供足够的合格补给水量。非正常情况是指机组启动或事故状况下对水量的增加需要。具体的说，设计的补给水水量应满足下列诸方面需要。

（1）厂内正常的水汽损失 D_1 ：这部分损失不包括排污及生产和非生产用汽，其数值有如下规定：

对于200MW以上机组，为锅炉最大连续蒸发量的1.5%；

对于100~200MW机组，为锅炉最大连续蒸发量的2%；

对于100MW以下机组，为锅炉最大连续蒸发量的3%。

（2）考虑机组启动或事故而要增加的水处理设备出力 D_2 ：对于100MW及以上机组，为全厂最大一台锅炉连续蒸发量的6%；对于100MW以下机组，为全厂最大一台锅炉连续蒸发量的10%。

（3）对外供汽损失 D_3 ：对外供热机组，无返回水时，对外供汽损失等于对外供汽量；有返回水时，为对外供汽量与可回收使用的返回水量的差值。

（4）其他用汽损失 D_4 ：这部分损失包括生产和非生产用汽，如锅炉点火及燃油系统用汽、吹灰系统用汽、化学及暖通用汽、生活用汽等，其数值根据具体资料确定。

（5）闭式热网损失 D_5 ：经过论证，如果这部分水需要由化学补给水系统供给的话，那么其正常补给水量按热网水量的1%~2%考虑，或根据需要取值。该数值包括启动等非正常情况的需要，但正常与非正常损失之和不得小于 $20\text{m}^3/\text{h}$ 。

（6）化学处理水的其他供应量 D_6 ：这部分包括厂内外各种供应量，按需要取值。

（7）锅炉排污损失 D_p ：排污损失取值有两种方法：

一种方法是不论正常与非正常情况，排污率 P 均按表1-1中规定的最大值取值，此时排污量为

$$D_p = DP\% \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (1-14)$$

另一种方法是将正常和非正常情况下的排污率分别进行计算取值。正常情况下排污率

P ，用于计算正常运行时水处理设备出力。

$$P = \frac{(a_1 + a_3 + a_4)S_w}{S_p - (1 - \beta)S_w} \% \quad (1-15)$$

$$D_p = \frac{D(a_1 + a_3 + a_4)S_w}{S_p - (1 - \beta)S_w} \text{ m}^3/\text{h} \quad (1-16)$$

式中 a_1 ——厂内水汽循环中水汽损失率， $a_1\% = D_1/D \times 100\%$ ；

a_3 ——对外供汽损失率， $a_3\% = D_3/D \times 100\%$ ；

a_4 ——其他用汽损失率， $a_4\% = D_4/D \times 100\%$ ；

S_w ——所选定的补给水处理系统供出的补给水水质（含盐量或含硅量）；

β ——连续排污扩容器蒸汽分离的百分数，对中压锅炉连续排污扩容器绝对压力为0.12MPa时， $\beta \approx 0.25$ ，对高压锅炉采用二级扩容（0.6及0.12MPa）时， $\beta \approx 0.35$ 。

非正常情况下排污率计算，要考虑由于补给水量增加而引起的排污增加，其值可用于水处理设备最大出力计算：

$$P = \frac{(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)S_w}{S_p - (1 - \beta)S_w} \% \quad (1-17)$$

式中 a_2 ——事故状态下增加的补给水量占锅炉（或全厂）蒸发量的百分数， $a_2\% = D_2/D \times 100\%$ ，或者 $a_2\% = D_2/(\Sigma D) \times 100\%$ 。

式（1-15）和式（1-17）计算的排污率不得小于0.3%，若小于0.3%则按0.3%计算。

综上各点，化学补给水处理设备的正常供水量 Q'_n 为

$$Q'_n = D_1 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 + D_p \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (1-18)$$

化学补给水处理设备的最大供水量 Q'_{\max} 为：

$$Q'_{\max} = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 + D_p \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (1-19)$$

向给水系统正常补充的补给水量 Q_w 为

$$Q_w = D_1 + D_3 + D_4 + D_p \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (1-20)$$

正常情况下锅炉给水系统补水率 $a_w\%$ 为

$$a_w\% = \frac{Q_w}{D + D_p} \times 100\% = \frac{D_w}{D_g} \times 100\% \quad (1-21)$$

2. 补给水水质

允许的补给水水质是根据允许的炉水水质或给水水质确定的。它为正确的选择水处理系统提供依据。

（1）直流锅炉允许的补给水水质 由于直流锅炉不能通过排污将给水带入的杂质排走，所以SD163—85《火力发电厂水汽质量标准》中规定，直流锅炉给水允许含钠量和二氧化硅量与蒸汽标准相同，补给水质量也应符合给水质量标准，即 $\text{SiO}_2 < 20 \mu\text{g}/\text{L}$ ，钠 $< 10 \mu\text{g}/\text{L}$ （电导率 $\leq 0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ ）。

（2）汽包锅炉允许的补给水水质 汽包锅炉允许的补给水水质 S_w ，可以根据允许的炉水水质按平衡关系进行计算：