



中华人民共和国国家标准

GB/T 13922—2011
代替 GB/T 13922.1~13922.4—1992

水处理设备性能试验

Performance test for water treatment equipment

2011-12-30 发布

2012-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国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 2

4 总则 4

5 离子交换设备性能试验 5

6 过滤设备的性能试验..... 14

7 热力除氧器性能试验..... 18

附录 A（资料性附录） 水、饱和水及饱和蒸汽焓值 23

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 13922.1—1992《水处理设备性能试验 总则》、GB/T 13922.2—1992《水处理设备性能试验 离子交换设备》、GB/T 13922.3—1992《水处理设备性能试验 过滤设备》、GB/T 13922.4—1992《水处理设备性能试验 除氧器》。

本标准对 GB/T 13922.1—1992、GB/T 13922.2—1992、GB/T 13922.3—1992、GB/T 13922.4—1992 进行了整合,与 1992 年版本相比,主要变化如下:

- 增加和修改了部分规范性引用文件;
- 增加和修改了术语和定义;
- 修改了部分化学测量指标;
- 增加了离子交换设备性能试验的“试验条件”;
- 在离子交换设备性能试验中增加了工作交换容量、再生剂耗量、再生自耗水率、除碳器除碳效率等的测定要求,并给出了计算公式;
- 过滤设备试验对象增加了高效纤维过滤设备和除铁过滤设备;
- 增加了过滤设备反洗强度的测量;
- 除氧设备试验对象限定为热力除氧器;
- 溶解氧测定方法直接引用 GB/T 12157,删除了 GB/T 13922.4—1992 中第 6 章和第 7 章的内容;
- 除氧设备试验要求中规定了各种疏水不参与试验,简化了除氧器热力及流体性能的测量和计算公式。

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本标准负责起草单位:中国锅炉水处理协会。

本标准参加起草单位:中国特种设备检测研究院、宁波市特种设备检验研究院、广州市特种承压设备检测研究院、无锡国联华光电站工程有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院常州分院、温州市润新机械制造有限公司。

本标准主要起草人:王驷凌、周英、杨麟、徐月湖、胡月新、伍孝荣、王婷。

本标准代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 13922.1—1992、GB/T 13922.2—1992、GB/T 13922.3—1992、GB/T 13922.4—1992。

水处理设备性能试验

1 范围

本标准规定了离子交换设备、过滤设备、热力除氧器等水处理设备性能试验的要求、测量方法和试验报告的内容。

本标准适用于上述水处理设备产品鉴定试验、新安装后或者在用设备技术改造后进行调试和验收时的性能试验,也适用于对在用水处理设备使用使用经济性评估时的性能试验。

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 209 工业用氢氧化钠

GB 320 工业用合成盐酸

GB/T 534 工业硫酸

GB/T 1226 一般压力表

GB/T 1227 精密压力表

GB/T 1576—2008 工业锅炉水质

GB/T 5462 工业盐

GB/T 5757 离子交换树脂含水量测定方法

GB/T 5758 离子交换树脂粒度、有效粒径和均一系数的测定

GB/T 5759 氢氧型阴离子交换树脂含水量测定方法

GB/T 5760 氢氧型阴离子交换树脂交换容量测定方法

GB/T 6904 工业循环冷却水及锅炉用水中 pH 的测定

GB/T 6907 锅炉用水和冷却水分析方法 水样的采集方法

GB/T 6908 锅炉用水和冷却水分析方法 电导率的测定

GB/T 6909 锅炉用水和冷却水分析方法 硬度的测定

GB/T 8144 阳离子交换树脂交换容量测定方法

GB/T 8330 离子交换树脂湿真密度测定方法

GB/T 8331 离子交换树脂湿视密度测定方法

GB/T 11991 离子交换树脂转型膨胀率测定方法

GB/T 11992 氯型强碱性阴离子交换树脂交换容量测定方法

GB/T 12148 锅炉用水和冷却水分析方法 全硅的测定 低含量硅氢氟酸转化法

GB/T 12149 工业循环冷却水和锅炉用水中硅的测定

GB/T 12151 锅炉用水和冷却水分析方法 浊度的测定(福马胨浊度)

GB/T 12152 锅炉用水和冷却水中油含量的测定

GB/T 12157 工业循环冷却水和锅炉用水中溶解氧的测定

GB/T 12598 离子交换树脂渗磨圆球率、磨后圆球率的测定

GB/T 13689 工业循环冷却水和锅炉用水中铜的测定

GB/T 14343 化学纤维 长丝线密度试验方法
GB/T 14415 工业循环冷却水和锅炉用水中固体物质的测定
GB/T 14420 锅炉用水和冷却水分析方法 化学耗氧量的测定 重铬酸钾快速法
GB/T 14424 工业循环冷却水中余氯的测定
GB/T 14427 锅炉用水和冷却水分析方法 铁的测定
GB/T 14640 工业循环冷却水及锅炉用水中钾、钠含量的测定
GB/T 15453 工业循环冷却水和锅炉用水中氯离子的测定
GB/T 18300 自动控制钠离子交换器技术条件
GB 50109 工业用水软化水除盐设计规范
DL/T 502.5 火力发电厂水汽分析方法 第5部分:酸度的测定
DL/T 502.8 火力发电厂水汽分析方法 第8部分:游离二氧化碳的测定(固定法)
DL/T 502.14 火力发电厂水汽分析方法 第14部分:铜的测定(双环己酮草酰二胺分光光度法)
DL/T 502.22 火力发电厂水汽分析方法 第22部分:化学耗氧量的测定(高锰酸钾法)
DL/T 502.25 火力发电厂水汽分析方法 第25部分:全铁的测定(磺基水杨酸分光光度法)
DL/T 5068 火力发电厂化学设计技术规程
FZ/T 54001—1991 丙纶 BCF 丝
JB/T 2932 水处理设备技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

硬度 hardness

水中易于形成沉淀物的金属离子总浓度,通常以水中钙、镁离子的总浓度表示。

3.2

软化水 softened water

除掉大部分或全部钙、镁离子后的水。

3.3

离子交换树脂 ion-exchange resin

采用化学合成方法制成的具有活性基团的高分子共聚物,能与溶液中相同电性的离子相互交换的离子交换剂。

3.4

再生过程 regeneration phase

使失效离子交换树脂恢复交换能力的过程,包括但不限于反洗、再生、置换、正洗等各步骤的过程。

3.5

再生 regeneration

将一定浓度的再生液以一定的流速流过失效的树脂层,使离子交换树脂恢复交换能力的步骤。

3.6

再生剂 regenerant

用于恢复交换剂交换能力的物质。

3.7

再生液 regeneration solution

配制成一定浓度的再生剂溶液。

3.8

再生剂耗量 regeneration level

使离子交换树脂恢复 1 mol 交换能力所消耗的纯再生剂的克数。

3.8.1

盐耗 salt consumption

钠离子交换树脂每恢复 1 mol 交换能力所消耗的食盐(以纯 NaCl 计)的克数。

3.8.2

酸耗 acid consumption

H 型离子交换树脂每恢复 1 mol 交换能力所消耗的盐酸(以纯 HCl 计)或硫酸(以纯 H_2SO_4 计)的克数。

3.8.3

碱耗 alkali consumption

OH 型离子交换树脂每恢复 1 mol 交换能力所消耗的氢氧化钠(以纯 NaOH 计)的克数。

3.9

再生剂比耗 molar amounts of regenerant consumption

再生剂耗量与再生剂摩尔质量之比。

3.10

周期制水量 service cycle water production

交换器再生后,开始投运制水至失效这一周期内所制取的产品水总量。

3.11

再生自耗水率 regeneration self-water consumption ratio

再生过程的耗水总量(其中不包括带中排的逆流再生离子交换器大反洗的耗水)与离子交换树脂的体积比。

3.12

工作交换容量 working exchange capacity

在工作状态下,单位体积树脂所能交换离子的量。

3.13

粒径 particle size

滤料的粒径通常以平均粒径和有效粒径表示。平均粒径 d_{50} ,是指有 50%(按称量计)的滤料能通过的筛孔孔径;有效粒径 d_{10} ,表示有 10%(按称量计)的滤料能通过的筛孔孔径,常以 mm 为单位。

3.14

不均匀系数 uneven coefficient

滤料粒度的均匀性常用不均匀系数 K_{80} 来表示,它是指 80%(按称量计)的滤料能通过的筛孔孔径(d_{80})与 10%的滤料能通过的筛孔孔径(d_{10})之比。

3.15

线密度 linear density

每米单根纤维在标准大气中调湿后的质量,单位为分特克斯(dtex)。

3.16

热负荷 heat load

单位时间内蒸汽传给水的热量。

3.17

进汽量 inlet steam flow

除氧器进口蒸汽流量,包括排汽损失量。

3.18

进汽压降 inlet steam pressure drop

除氧器进口蒸汽压力与除氧器(除氧头)内工作压力之差。

3.19

除氧水焓增量 deoxygenized water enthalpy increase

除氧器出口水焓与进口水焓之差。

3.20

终温差 final temperature difference

除氧器内饱和蒸汽温度与除氧器出口水温度之差。

3.21

排汽量 outlet steam flow

除氧器排汽口排出的蒸汽量。

3.22

定常参数 steady parameters

除氧器性能试验时,1 h 内或相当于十次更换水箱贮水(在试验出力下)所需时间内应保持稳定的参数。

4 总则

4.1 试验大纲

4.1.1 在进行水处理设备性能试验之前,应制定试验大纲。试验大纲应包括以下内容:

- a) 试验目的、试验地点、试验时间、试验程序、数据处理及计算方法(包括误差处理原则)等;
- b) 试验工况,预备性试验,试验前后需做的设备检查内容和要求;
- c) 参加试验的人员分工和职责;
- d) 试验用仪器仪表的型号、数量、精度等级、布置位置,以及仪器仪表的校正要求;
- e) 明确试验工况的要求、稳定工况的方法,以及允许工况变动的范围;
- f) 设备流入液的质量及预处理方法;
- g) 对流入液和流出液测定项目、分析方法及其精度要求;
- h) 确定取样和记录仪表读数的时间间隔;
- i) 试验必需的安全措施。

4.1.2 对于验收试验和鉴定试验,试验双方应对上述试验大纲中每一项内容达成协议。

4.2 试验要求

4.2.1 在正式试验前,应做一次预备性试验。在预备性试验中,应查清设备、控制装置、采样点和仪器仪表的工作性能情况,以保证能记录到正确的试验数据。

4.2.2 在稳定状态建立后,预备性试验至少应经历一次完整的周期,对除氧器要持续一定时间,以确定设备运行是否正常,试验程序是否可行。

4.2.3 在做试验前应检查进行试验的设备是否处于待用状态。如果处于工作状态,应记录以下内容:

- a) 设备已运行的时间;
- b) 试验前曾经发生过的任何不正常情况。

4.2.4 试验所用的所有控制装置都应预先予以校正。所有的测量仪器、仪表等都应符合相应的标准或技术规范的要求,并按计量检定规程的要求计量有效。

4.2.5 化学测量所用的试剂应保证有效,标准溶液应进行准确标定。

4.2.6 为确保设备性能及求得各参数的平均值,试验应持续一定的时间。

4.3 试验报告的要求

4.3.1 每次性能试验结束后,试验单位应出具完整的试验报告。

4.3.2 试验报告至少应包含以下几方面:

- a) 基本信息;
- b) 试验概况;
- c) 试验设备叙述;
- d) 试验数据记录;
- e) 试验结果;
- f) 结论。

4.3.3 试验基本信息至少应包括以下内容:

- a) 试验单位、联系人和联系电话;
- b) 设备使用单位或者试验申请单位、联系人和联系电话;
- c) 试验的水处理设备;
- d) 试验地点;
- e) 水源的种类及水质;
- f) 出水水质要求;
- g) 试验人员;
- h) 试验日期。

4.3.4 试验概况至少应包括以下内容:

- a) 试验目的;
- b) 试验内容和程序;
- c) 试验前的准备工作;
- d) 试验前和试验中的运行情况;
- e) 主要测量参数、测试方法、测点布置(必要时附图);
- f) 试验工况的修正。

4.3.5 试验设备叙述、数据记录、试验结果和结论等的报告内容应根据设备具体情况和性能试验要求确定。

5 离子交换设备性能试验

5.1 试验对象

本标准适用于以下几种型式的离子交换设备及系统:

- a) 钠离子交换设备;
- b) 阳离子交换设备;
- c) 阴离子交换设备;
- d) 阳离子交换-除碳器-阴离子交换系统;
- e) 阴、阳混合离子交换设备。

试验时可根据水处理流程的需要做单台设备的性能测试,也可几台设备组合起来进行系统测试。

5.2 试验内容及目的

5.2.1 一般要求

5.2.1.1 对一般离子交换设备(以下简称交换器)的试验,至少要有三个周期。对于工作周期需很长时

间的深度除盐设备,至少要有—个完整的周期。

5.2.1.2 在试验中,主要通过压差、流量、温度、树脂装填体积、运行周期、交换器内径、再生剂用量等的测量以及水质化学测量,确定交换器的周期制水量、工作交换容量、再生剂耗量和比耗、再生自耗水率等的性能。

5.2.2 压差测量

通过压差测量,反映离子交换树脂床层表面的污染程度及树脂颗粒的破碎程度。树脂层反洗的效果—般可通过测量反洗前后树脂层的压降予以确定。

5.2.3 流量测量

通过流量的测量可确定设备的出力,也可确定再生过程中反洗、再生、置换、正洗等各步骤中交换器内的流体流速。

5.2.4 温度测量

5.2.4.1 试验时应测量水温和再生液的温度,了解温度对再生效果和工作交换容量的影响。

5.2.4.2 在对样品进行化学分析时,对电导率、pH 值等受温度影响的项目应采取温度补偿措施。

5.2.5 树脂装填体积测量

5.2.5.1 通过对树脂堆体积的测量,确定交换器内是否装有适当数量的树脂。

5.2.5.2 通常树脂在第一次工作周期中会有—定量的不可逆膨胀,尤其是弱型离子交换树脂具有这个特性。在这种情况下,要求在设备进行多次运行周期后再做树脂堆体积测量。

5.2.5.3 树脂装填体积不包括压脂层和惰性树脂的体积。

5.2.6 运行周期的测量

交换器在额定出力下,测定并记录从开始投运至失效的连续运行时间,确定制水周期是否符合设计要求。

5.2.7 反洗强度测量

通过对反洗流量和交换器内径的测量,确定适宜的反洗强度,以保证树脂的清洗效果,并避免颗粒树脂流失。

5.2.8 化学测量

5.2.8.1 通过测定经过离子交换后水质的变化,确定交换器的水处理性能。

5.2.8.2 本试验中化学测量指标见表 1。

表 1 各种离子交换系统性能试验中的化学测量指标

离子交换系统	进水化学测量指标	出水化学测量指标
钠离子交换	总硬度 氯离子 浊度 余氯 总铁离子 化学耗氧量(KMnO ₄ 法)	总硬度 氯离子

表 1 (续)

离子交换系统	进水化学测量指标	出水化学测量指标
氢-钠离子交换	总硬度 氯离子 碱度 pH 值 酸度 浊度 余氯 总铁离子 化学耗氧量(KMnO ₄ 法)	总硬度 氯离子 碱度 pH 值 酸度
氢离子交换 (包括弱酸性阳离子交换和强酸性阳离子交换及其多室床)	总硬度 钠离子 pH 值 碱度 电导率 浊度 余氯 总铁离子 化学耗氧量(KMnO ₄ 法)	总硬度 钠离子(仅对强阳离子交换要求) pH 值 酸度
除碳器	二氧化碳	二氧化碳
阴离子交换 (包括弱碱性阴离子交换和强碱性阴离子交换及其多室床)	酸度 pH 值 二氧化硅 二氧化碳 余氯 化学耗氧量(KMnO ₄ 法)	酸度(仅对弱碱阴离子交换要求) pH 值 二氧化硅(仅对强阴离子交换要求) 氯离子(仅对弱碱阴离子交换要求) 电导率
阳、阴离子混合交换(混床)	电导率 二氧化硅 pH 值	电导率 二氧化硅 pH 值
凝结水处理混床	总硬度 钠离子 二氧化硅 电导率 pH 值 总铜离子 总铁离子	总硬度 钠离子 二氧化硅 电导率 pH 值 总铜离子 总铁离子
冷凝水(回水)钠离子交换	总硬度 电导率 总铁离子 pH 值 浊度 油	总硬度 电导率 总铁离子
注:也可根据需要增加其他化学测量指标。		

5.2.9 周期制水量测量

通过对周期制水量测定,确认交换器在进水水质稳定情况下的再生效果。

5.2.10 工作交换容量测定

通过测定交换器中树脂的工作交换容量,对交换器实际运行的经济性及树脂的交换能力进行评估。

5.2.11 再生剂耗量和比耗

通过对再生剂实际耗量和比耗的测定,判断交换器再生的经济性及再生剂用量是否合理。

5.2.12 再生自耗水率

通过再生自耗水率测定,确认交换器再生过程中的耗水量是否符合设计要求,避免再生用水的浪费。

5.2.13 除碳器除碳效率测定

通过除碳器除碳效率的测定,确认离子交换除盐系统中,经过除碳器除碳后水中残留的二氧化碳对阴离子交换性能的影响。

5.3 试验条件

5.3.1 离子交换树脂质量要求

交换器中填装的离子交换树脂应符合相应型号树脂的质量标准。必要时可在试验前按表 2 对树脂进行理化分析,以确认其是否符合设计要求。

表 2 树脂理化分析的测定项目和方法

测定项目 ^a	测定方法
全交换容量	GB/T 5760、GB/T 8144、GB/T 11992
含水量	GB/T 5757、GB/T 5759
湿真密度	GB/T 8330
湿视密度	GB/T 8331
转型膨胀率	GB/T 11991
强度	GB/T 12598
粒度	GB/T 5758
^a 也可根据需要增加其他项目的测定。	

5.3.2 用于垫层的石英砂要求

5.3.2.1 对于下布水采用石英砂垫层的交换器,应对所填装的石英砂进行化学稳定性试验。

5.3.2.2 石英砂的化学稳定性试验按以下方法进行:

取各规格的石英砂 100 g~150 g,加 100 mL~150 mL 5% HCl,保持 20 ℃ 浸泡 4 h,冲洗至中性,沥干;再加 100 mL~150 mL 5% NaOH 溶液,保持 40 ℃ 浸泡 4 h 后,用无硅水彻底冲洗干净,沥去水

分,烘干;取 50 g 放在 1 000 mL 塑料杯中,加 500 mL 无硅水保持 20 ℃,每 4 h 摇动一次,浸泡 24 h,其水溶液中二氧化硅的增加量不超过 20 μg/L;硬度含量不应有增高。

5.3.3 进水水质要求

离子交换系统的进水水质应符合 JB/T 2932 的要求。

5.3.4 再生剂要求

5.3.4.1 再生剂的质量应符合 GB 209、GB 320、GB/T 534、GB/T 5462 等相应标准的要求。

5.3.4.2 对再生液的浓度应进行测定和调整,以符合 GB 50109 或 DL/T 5068 对再生的要求。

5.4 试验方法

5.4.1 物理测量

5.4.1.1 压差测量

用沿程安装的压力表、压差计对设备及系统各部件按以下要求进行压力和压差测量:

- 单一设备或几台设备组成的系统的压力损失值,可用压差计或一对配套的、经校准的压力表进行测量。采用一对压力表测量时,两者宜安装在同一高度,以避免对不同静压头的修正,并便于同时读出进、出口压力;
- 应适当地选择压力表的量程,压力表最大量程一般应是指示平均值的 1.5 倍~2 倍;
- 按试验大纲确定的参数调整流量,避免不同流量对压差测量值的影响;
- 进行设备阻力损失的试验,应将压力测点置于设备的进口及出口管道上。

5.4.1.2 流量测量

交换器再生过程中及运行时的流量,可以通过在交换器的各出口管路上安装流量计来测定。对于小型离子交换系统,如果没有安装流量计,也可以将水流从交换器各排出口分别引入参加试验各方一致商定的、既可称量又可测量体积的容器中,同时用秒表计量时间,确定再生各个过程及运行时的流量。

5.4.1.3 温度测量

温度测量可采用充液式玻璃温度计。

5.4.1.4 树脂体积测量

树脂堆体积的测量按如下方法进行:对设备中已再生的树脂反洗 10 min,使树脂床层膨胀至少 50%。打开交换器空气门,静置 5 min~10 min,使树脂自然沉降。然后在大气压力下排水,排水速度以不超过 1 kg/(s·m²)为宜,直到设备内液面高于树脂 10 cm 左右,再测量树脂床高度。注意不要震动设备或扰动树脂床。并计算出树脂堆体积,记录数值并标明树脂形态(Na 型、H 型、OH 型)。

5.4.1.5 反洗强度测量

反洗强度测量可通过测定反洗时使树脂层膨胀到规定高度时的反洗流量来确定。

5.4.1.6 自动钠离子交换器的测量

自动钠离子交换器除了进行上述测量外,还应按 GB/T 18300 的要求进行空气止回性能、盐水液位控制性能的测量。

5.4.2 化学测量

5.4.2.1 水样的采集

交换器进水和出水的水样采集,应符合 GB/T 6907 的要求。

5.4.2.2 化学测量方法

交换器的进水和出水按表 1 的要求进行化学测量。各项指标的测定方法见表 3。

表 3 水质各项化学测量指标测定方法

化学测量指标	测定方法
总硬度	GB/T 6909
总碱度	GB/T 1576—2008 附录 H
氯离子	GB/T 15453
余氯	GB/T 14424
pH 值	GB/T 6904
浊度	GB/T 12151
酸度	DL/T 502.5
电导率	GB/T 6908
二氧化碳	DL/T 502.8
二氧化硅	GB/T 12148;GB/T 12149
钠离子	GB/T 14640
总铁离子	DL/T 502.25;测纯水:GB/T 14427
总铜离子	GB/T 13689;DL/T 502.14
化学耗氧量	GB/T 14420;DL/T 502.22
油	GB/T 12152

5.4.3 周期制水量和工作交换容量的测定

5.4.3.1 周期制水量的测定

通过安装在交换器出水管上的流量计,记录交换器开始投运至失效时累计制水的量。一般需进行三个周期的测定,取其平均值。

5.4.3.2 工作交换容量的测定

根据试验时测定的周期制水量、树脂体积、交换器的进水和出水水质,按以下公式计算各类离子交换的工作交换容量。

a) 钠离子交换的工作交换容量按式(1)计算:

$$E = \frac{Q(YD - YD_c)}{V_R}$$

..... (1)

式中:

E ——树脂的工作交换容量,单位为摩尔每立方米(mol/m³);

- Q ——周期制水量,单位为立方米(m^3);
 YD ——制水周期中原水的平均硬度,单位为毫摩尔每升(mmol/L);
 YD_c ——钠离子交换器出水的残留硬度,单位为毫摩尔每升(mmol/L);
 V_R ——交换器内树脂的填装体积,单位为立方米(m^3).

b) 氢离子交换的工作交换容量按式(2)计算:

$$E = \frac{Q \Sigma Y_{+}}{V_R} \approx \frac{Q(JD + SD)}{V_R} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- ΣY_{+} ——阳离子交换器进水中阳离子总含量,单位为毫摩尔每升(mmol/L);
 JD ——制水周期中阳离子交换器进水平均碱度,单位为毫摩尔每升(mmol/L);
 SD ——制水周期中阳离子交换器出水平均酸度,单位为毫摩尔每升(mmol/L).
其余符号意义同式(1).

c) 氢氧型阴离子交换的工作交换容量按式(3)计算:

$$E = \frac{Q \Sigma Y_{-}}{V_R} \approx \frac{Q(SD + CO_2 + SiO_2)}{V_R} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- ΣY_{-} ——交换器进水阴离子总含量,单位为毫摩尔每升(mmol/L);
 SD ——制水周期中阴离子交换器进水平均酸度,单位为毫摩尔每升(mmol/L);
 CO_2 ——制水周期中阴离子交换器进水二氧化碳平均含量,单位为毫摩尔每升(mmol/L);
 SiO_2 ——制水周期中阴离子交换器进水二氧化硅平均含量,单位为毫摩尔每升(mmol/L).
其余符号意义同式(1).

d) 弱酸型-强酸型阳离子交换串连系统中,弱酸型和强酸型树脂工作交换容量计算如下:

1) 弱酸型阳离子交换树脂工作交换容量按式(4)计算:

$$E \approx \frac{Q(YD_T + \alpha)}{V_{Rr}} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- YD_T ——制水周期中平均进水碳酸盐硬度,单位为毫摩尔每升(mmol/L);
 V_{Rr} ——弱酸型树脂的体积,单位为立方米(m^3);
 α ——弱酸型树脂阳离子交换后,出水中平均碳酸盐硬度残余量,单位为毫摩尔每升(mmol/L),当 α 值难以测定时,也可按表4选取.

其余符号意义同式(1).

表 4 α 值参考数据

进水水质	硬度/碱度	1.0~<1.5		1.5~2.0	
	YD_T mmol/L	≤ 2	> 2	≤ 3	> 3
α 值 mmol/L		0.15~0.20	0.20~0.30	0.10~0.20	0.20~0.40

2) 强酸型阳离子交换树脂工作交换容量按式(5)计算:

$$E = \frac{Q(JD + SD - YD_T + \alpha)}{V_{Rq}} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- JD ——制水周期中弱型阳离子交换器进水平均碱度,单位为毫摩尔每升(mmol/L);
 SD ——制水周期中强型阳离子交换器出水平均酸度,单位为毫摩尔每升(mmol/L);

V_{Rq} ——强型树脂的体积,单位为立方米(m^3)。

其余符号意义同式(4)。

e) 弱碱型-强碱型阴离子交换串连系统中,弱碱型和强碱型树脂工作交换容量按以下计算:

1) 弱碱型阴离子交换树脂工作交换容量按式(6)计算:

$$E \approx \frac{Q(SD - \beta)}{V_{Rr}} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

SD ——制水周期中弱型阴离子交换器进水平均酸度,单位为毫摩尔每升($mmol/L$);

V_{Rr} ——弱碱型树脂的体积,单位为立方米(m^3);

β ——弱碱型树脂阴离子交换后,出水中平均强酸根阴离子残余量,单位为毫摩尔每升($mmol/L$)。 β 值近似于弱碱型阴离子交换器出水平均酸度,无酸度时可近似按出水氯离子平均含量计(以 $mmol/L$ 为单位)。

其余符号意义同式(1)。

2) 强碱型阴离子交换树脂工作交换容量按式(7)计算:

$$E = \frac{Q(CO_2 + SiO_2 + \beta)}{V_{Rq}} \dots\dots\dots (7)$$

式中符号意义同式(3)、式(5)和式(6)。

5.4.4 再生剂耗量和比耗的测定

5.4.4.1 盐耗测定

盐耗按式(8)计算:

$$H_Y = \frac{m_{\alpha}}{Q(YD - YD_C)} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

H_Y ——盐耗,单位为克每摩尔(g/mol);

m_{α} ——再生一次所用纯再生剂的量(按 100% 计),单位为克(g)。

其余符号同式(1)。

5.4.4.2 酸耗测定

酸耗按式(9)计算:

$$H_s = \frac{m_{\alpha}}{Q\Sigma Y_+} \approx \frac{m_{\alpha}}{Q(JD + SD)} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

H_s ——酸耗,单位为克每摩尔(g/mol);

其余符号同式(2)和式(8)。

5.4.4.3 碱耗测定

碱耗按式(10)计算:

$$H_I = \frac{m_{\alpha}}{Q\Sigma Y_-} \approx \frac{m_{\alpha}}{Q(SD + CO_2 + SiO_2)} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

H_I ——碱耗,单位为克每摩尔(g/mol);

其余符号同式(3)和式(8)。

注:弱酸型-强酸型阳离子交换系统,或者弱碱型-强碱型阴离子交换系统通常采用联合再生,可通过测定交换器进、出水水质,按式(9)和式(10)计算总的酸耗和碱耗。

5.4.4.4 再生剂比耗计算

再生剂比耗按式(11)计算:

$$d = \frac{H}{M} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

d ——再生剂比耗;

H ——再生剂耗量,单位为克每摩尔(g/mol);

M ——再生剂的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol)。

用食盐(NaCl)作再生剂时 $M=58.5$ g/mol;用盐酸作再生剂时 $M=36.5$ g/mol;用氢氧化钠作再生剂时 $M=40$ g/mol。

5.4.5 再生自耗水率的测定

5.4.5.1 按 5.4.1.2 方法测定再生过程各步骤中的流量(带中排的逆流再生离子交换器不包括大反洗),同时记录各步骤的实际时间,计算出再生过程总耗水量。

5.4.5.2 再生自耗水率按式(12)计算:

$$Z_{HS} = \frac{Q_H}{V_R} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

Z_{HS} ——再生自耗水率;

Q_H ——再生过程总耗水量,单位为立方米(m^3);

V_R ——交换器内树脂的填装体积,单位为立方米(m^3)。

5.4.6 除碳器除碳效率测定

5.4.6.1 在除碳器稳定运行状态下,按照 DL/T 502.8 测定除碳器进水(或阳床出水)和除碳器出水的二氧化碳含量。

5.4.6.2 试验至少应持续至阴离子交换器两个制水周期,以便确定除碳器除碳效率对阴离子交换性能的影响。

5.4.6.3 除碳器除碳效率按式(13)计算:

$$\eta = \frac{CO_{2in} - CO_{2out}}{CO_{2in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

η ——除碳器除碳效率,单位为质量百分数(%);

CO_{2in} ——除碳器进水二氧化碳含量,单位为毫克每升(mg/L);

CO_{2out} ——除碳器出水二氧化碳含量,单位为毫克每升(mg/L)。

5.5 试验报告

5.5.1 试验报告应符合总则的要求。

5.5.2 试验设备的叙述至少应包含以下内容:

- a) 设备制造单位名称;
- b) 设备类型、型号及出厂编号;
- c) 设备及系统的设计参数;
- d) 交换器的数量、尺寸和布置;
- e) 离子交换系统及其布置;

- f) 系统管道的尺寸和布置;
- g) 各交换器中树脂的型号、体积和层高;
- h) 各交换器中树脂垫层材料类型、质量和级配情况;
- i) 交换器的再生系统及装置;
- j) 交换器所用压缩空气装置的参数;
- k) 测量装置的系统图。

5.5.3 试验数据记录至少应包括以下内容:

- a) 各个交换器内树脂的实测体积;
- b) 运行(包括进水和出水的压力、温度、水质、流量及时间等);
- c) 反洗(包括反洗流量、时间、反洗强度、水质等);
- d) 再生(包括再生方式、再生剂种类、再生剂纯度、再生剂用量、再生流速、再生时间、再生液浓度、再生液温度等);
- e) 置换(包括置换清洗用水、流速、时间等);
- f) 正洗(包括正洗流速、时间、水质等)。

5.5.4 试验结果应包含以下几项性能指标:

- a) 系统出力;
- b) 制水质量;
- c) 运行周期、周期制水量和工作交换容量;
- d) 再生剂耗量和比耗;
- e) 再生自耗水率;
- f) 除碳器除碳效率。

5.5.5 结论中应对被测试的离子交换水处理效果、树脂再生效果以及运行和再生的经济性作出评价。

6 过滤设备的性能试验

6.1 试验对象

本标准适用的过滤设备包括:

- a) 压力式机械过滤器,包括单流、双流、多层多介质滤料过滤器;
- b) 高效纤维过滤器;
- c) 活性炭过滤器;
- d) 除铁过滤器。

6.2 试验内容及目的

6.2.1 压差测量

通过压差测量,反映滤料床层的截污情况。通过测量反洗前后滤料床层的压降判断过滤器反洗效果。

6.2.2 流量测量

通过流量的测量确定设备的出力,以及反洗、正洗时的流体流速。

6.2.3 温度测量

测量过滤器在运行和反洗时的水温,了解温度对过滤效果、反洗效果以及对滤料溶出物的影响。

6.2.4 反洗强度测量

通过反洗强度(包括空气擦洗强度)的测量,确定使过滤器达到良好反洗效果所需的反洗水和压缩空气流量。

6.2.5 滤料填装体积的测量

测量各种规格滤料填装的层高和体积,确定填装量是否满足设备设计的要求。

6.2.6 颗粒状滤料粒度和密度的测量

6.2.6.1 滤料填装前测量颗粒滤料粒度,确定过滤材料的粒度是否满足设备设计的要求。

6.2.6.2 多介质过滤器通过测量各类型滤料密度,确定其是否符合设计要求。

6.2.7 纤维束滤料的检查

检查纤维束滤料的质量、规格、数量及其安装是否满足设备设计的要求。

6.2.7.1 纤维束滤料物理性能指标应符合 FZ/T 54001—1991,4.1 的规定。

6.2.7.2 纤维束滤料外观指标应符合 FZ/T 54001—1991,4.2 的规定。

6.2.7.3 纤维束线密度应在 1 110 dtex~4 270 dtex 范围内。

6.2.8 化学测量

通过对进水和出水的化学测量,确定过滤设备的过滤性能。过滤设备性能试验中应进行的化学测量项目和测定方法见表 5。

6.2.9 截污容量测量

通过截污容量测定,确定过滤器滤料的截污能力,并判断过滤器的过滤性能。

表 5 各类过滤设备性能试验中应进行的化学测量项目和测定方法

过滤设备类型	进水化学测量指标	出水化学测量指标	测定方法
压力式机械过滤器	浊度 悬浮物	浊度 悬浮物	GB/T 12151 GB/T 14415
高效纤维过滤器	浊度 悬浮物 COD _{Mn}	浊度 悬浮物 COD _{Mn}	GB/T 12151 GB/T 14415 DL/T 502.22
活性炭过滤器	COD _{Mn} 余氯 浊度 悬浮物	COD _{Mn} 余氯 浊度 悬浮物	DL/T 502.22 GB/T 14424 GB/T 12151 GB/T 14415
除铁过滤器	总铁离子 浊度 悬浮物 pH 值	总铁离子 浊度 悬浮物 pH 值	DL/T 502.25 GB/T 12151 GB/T 14415 GB/T 6904

6.3 测量方法

6.3.1 物理测量

6.3.1.1 压差测量

压差测量按 5.4.1.1 的要求进行。

6.3.1.2 流量测量

过滤设备的反洗、清洗及运行流量,可以通过在过滤设备的进出口管道上安装流量计来测量。对于没有安装流量计的小型过滤系统,也可以将水流从过滤设备各排出口引入参加试验各方一致商定的、既可称量又可测量体积的容器中,同时用秒表计量时间,确定反洗、清洗及运行的流量。

6.3.1.3 温度测量

温度测量可采用充液式玻璃温度计。

6.3.1.4 反洗强度测量

颗粒滤料的过滤器通过测量反洗时使滤料膨胀到规定高度时的反洗流量来确定反洗强度。
纤维过滤器按设备说明书的规定调节反洗参数,同时测量纤维束滤料反洗水流量和空气擦洗强度。

6.3.1.5 滤料填装层高和体积测量

- a) 颗粒滤料通过测量层高计算体积。对于多层多介质滤料的过滤器应分别测量各种规格滤料的层高,分别计算其体积。
- b) 纤维束滤料的体积根据运行时压实体积按以下测量:
 - 1) 胶囊纤维过滤器滤料体积的测量,按纤维束层高和过滤器截面积计算滤层体积,再减去胶囊充水体积;
 - 2) 活动孔板纤维过滤器滤料体积的测量,按运行时纤维束层高和过滤器截面积计算滤料体积。

6.3.1.6 颗粒状滤料粒度的测量:

滤料粒度的测量包括粒径和不均匀系数。粒径可采用筛分分析法测量,不均匀系数 K_B 按式(14)计算:

$$K_B = \frac{d_{80}}{d_{10}} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- d_{80} ——有 80%(按称量计)滤料能通过的筛孔孔径(常以 mm 表示);
- d_{10} ——有 10%(按称量计)滤料能通过的筛孔孔径(常以 mm 表示)。

6.3.1.7 纤维束滤料线密度的测量

纤维束滤料线密度按 GB/T 14343 测量,或由设备制造厂提供纤维束线密度测试报告。

6.3.2 化学测量

6.3.2.1 水样的采集

过滤设备进水与出水的水样采集,应符合 GB/T 6907 的要求。

6.3.2.2 化学测量项目和测量方法

过滤设备进水和出水化学测量指标和方法按表 5 的要求进行。

6.3.3 截污容量测量

6.3.3.1 周期制水量测定

通过安装在过滤器出水管上的流量表,记录过滤器开始投运至运行终点的周期制水量。至少需进行三个周期的测定,取平均周期制水量测算截污容量。

6.3.3.2 截污容量测算

截污容量按式(15)计算:

$$W_J = \frac{Q(XF_J - XF_C)}{V_L} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

W_J ——过滤器截污容量,单位为千克每立方米(kg/m^3);

Q ——过滤器周期制水量,单位为立方米(m^3);

XF_J ——过滤器进水悬浮物,单位为毫克每升(mg/L);

XF_C ——过滤器出水悬浮物,单位为毫克每升(mg/L);

V_L ——滤料体积,单位为立方米(m^3)。

注:悬浮物也可以用浊度代替。

6.4 试验报告

6.4.1 试验报告应符合总则的要求。

6.4.2 试验设备的叙述至少应包含以下内容:

- a) 过滤设备制造单位名称;
- b) 过滤器类型、设备型号及出厂编号;
- c) 设备及系统的设计参数;
- d) 过滤器的数量、尺寸和布置;
- e) 空气擦洗的方式和参数;
- f) 系统管道的尺寸和布置;
- g) 设备中滤料的种类、规格、粒度和层高;
- h) 测量装置的系统图。

6.4.3 试验数据记录至少应包括以下内容:

- a) 各过滤器内各种滤料的实测体积、密度等;
- b) 运行(包括进水和出水的流量、压力、压差、温度、水质、运行时间等);
- c) 反洗(包括反洗流量、时间、空气擦洗的参数、反洗强度、水质等);
- d) 清洗(包括流量、时间、压差、水质等)。

6.4.4 试验结果应包含以下几项指标:

- a) 过滤器实际出力;
- b) 设计流量下的运行起始压差和终点压差;
- c) 过滤效果;
- d) 反洗强度;
- e) 过滤器截污容量。

6.4.5 结论中应对被测试过滤器的过滤效果、截污容量、反洗效果等性能作出评价。

7 热力除氧器性能试验

7.1 试验前的准备

7.1.1 试验前应按照总则要求制定试验大纲,并取得参加试验的各方认可。

7.1.2 试验前试验各方应就下列事项预先达成协议:

- a) 试验期间热力除氧器(以下简称除氧器)及与之相关的其他设备的运行方式;
- b) 试验期间为避免各种影响或干扰除氧器除氧性能的因素,需采取的临时措施;
- c) 试验期间除氧器及相关设备运行参数的允许偏差;
- d) 所有参数包括定常参数的建立;
- e) 试验中允许代用的运行仪表及其标定和检验方法。

7.1.3 试验各方代表应在试验前对除氧器和所有与之相关的其他设备进行检查,以确认设备运行是否达到试验状态。

7.2 试验内容

除氧器性能试验主要测量和确定下列几项性能指标:

- a) 加热负荷;
- b) 所需加热蒸汽流量;
- c) 终温差;
- d) 除氧效果。

7.3 试验要求

7.3.1 在正式试验前应进行预备性试验。当预备性试验完全符合本标准的要求时,经各方同意,其试验数据也可作为正式试验数据的一部分。

7.3.2 试验应力求在事先规定的参数下进行。

7.3.3 试验各方可事先选定某些参数作为定常参数。但下列参数在试验中的稳定时间不得少于 30 min:

- a) 除氧器进、出口水的压力、温度、流量;
- b) 加热蒸汽的压力、温度、流量;
- c) 除氧头工作压力、温度;
- d) 除氧水箱的工作压力、温度。

7.3.4 试验时压力和温度测点的设置应符合本标准的规定。

7.3.4.1 除氧器进水管、出水管上应分别设置压力和温度的测点。

7.3.4.2 加热蒸汽(即进口蒸汽)的压力和温度的测点应设置在进汽阀与除氧器之间的进汽管道上。

7.3.4.3 除氧头筒体、除氧水箱应分别设置工作压力和温度的测点。

7.3.4.4 传压管和测压孔的设置应符合以下要求:

- a) 从测压孔至测量仪表或一次感受元件之间的连接管(传压管)内径应大于 8 mm;
- b) 为避免传压管中存在汽、水两相介质,在敷设传压管时必须注意能够保证管中完全充满水,或能将水彻底排尽。一般应采用仪表位置低于测压孔的安装方式,从表计至测点连续向上倾斜,确保传压管中充满水。必要时可在靠近测点的同一水平位置或稍高位置设一个特制的凝结装置。在传压管容易凝集气体的部位应装设排气(汽)装置;
- c) 在靠近仪表尤其是水银压力计接口处,传压管必须具有水封结构,以防高温汽、水的冲击;

- d) 在传压管靠近测压孔处,应装设截止阀;当压力较高时,在靠近仪表接口处应再设一个截止阀;
- e) 测压孔的开孔位置应避免有局部阻力件(如阀门、弯头等)和涡流的部位。孔的中心轴线应与介质流动方向或壁面相垂直,孔的边缘不应有毛刺和倒角。

7.3.4.5 温度测点应选择在介质充分流动的区段,避开可能存在的滞流区域,并尽量靠近相应的压力测点。

7.3.5 除氧器取样冷却装置的设置应符合 GB/T 6907 要求。取样点应尽量靠近除氧器水箱的出口。

7.3.6 试验期间应避免各种影响或干扰除氧器除氧性能的因素,并需采取以下临时措施:

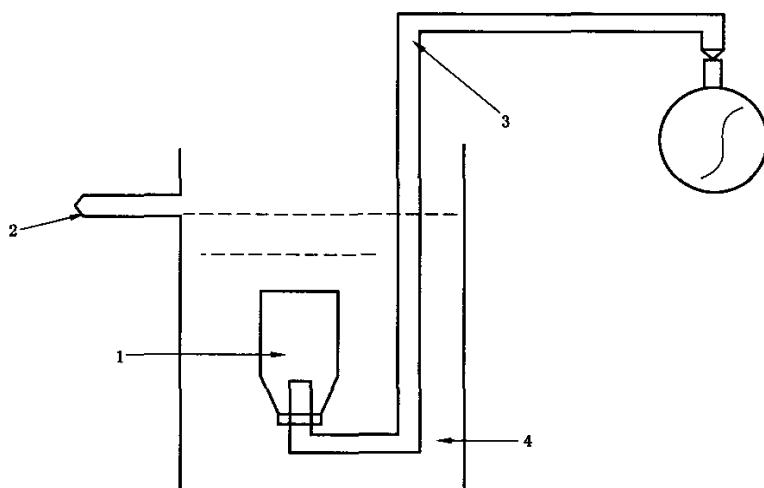
- a) 取样点之前的系统内不得加入除氧剂;
- b) 稳定除氧器排汽量;
- c) 试验开始和结束时除氧水箱的水位应一致;
- d) 疏水暂不进入除氧器。

7.3.7 至少应进行两次平行试验。每次试验至少进行 4 次溶解氧含量测定,或者采用在线溶解氧测定仪连续测定。每次试验应持续足够长的时间以确保获得准确和一致的结果。

7.3.8 试验期间应每隔 5 min 记录一次给水的温度、流量和蒸汽压力,其他参数每 10 min 读数一次。溶解氧含量测定的取样间隔时间不超过 10 min。

7.3.9 如果发现测得的数据有严重偏差或不一致,应重新进行试验。

7.3.10 在补给水和回流至除氧器的各种水中不得含有游离态气体(即未溶解的气体)。如果有必要可按图 1 所示方法进行检验。开始检验前,容器、捕气器和取样管路中均应注满水,试样应取自管路高点处和管子顶部。



- 1——捕气器;
- 2——疏水管;
- 3——取样管路;
- 4——容器。

图 1 游离空气检测方法

7.4 试验方法

7.4.1 溶解氧含量测定

7.4.1.1 除氧器出水取样应符合 GB/T 6907 的要求。

7.4.1.2 溶氧量测定按照 GB/T 12157 或 GB/T 1576—2008 中规定的试验方法进行,也可以通过在线溶氧测定仪表测定。

7.4.2 热力和流体性能的测量

7.4.2.1 热力和流体性能的主要测量项目见表 6,测量仪器和仪表应符合相应标准和技术规范的要求。

表 6 热力和流体性能的主要测量项目

项 目		符 号	测量方法	备 注
压力 Pa	当地大气压	p_0	7.4.2.2	1. 当压力表指示为表压时,用实测的当地大气压 p_0 将各表压换算成绝对压力。 2. 进口给水包括补给水、凝结水等(下同)
	除氧器进口给水压力	p_s	7.4.2.2	
	除氧器进口蒸汽压力	p_a		
	除氧器出口水压力	p'_s		
	除氧头工作压力	p_a		
	除氧水箱工作压力	p_x		
温度 ℃	除氧器进口给水温度	t_s	7.4.2.3	t_a 也可根据 p_a ,从蒸汽性质表中查得
	除氧器进口蒸汽温度	t_a		
	除氧器出口水温度	t'_s		
	除氧头工作温度	t_a		
	除氧水箱工作温度	t_x		
流量 kg/s	除氧器进口给水流量	W_s		净流量不包括锅炉给水泵再循环流量
	除氧器进口蒸汽流量	W_a		
	除氧器出口水流量	W'_s		
	除氧器出口水净流量	W''_s		
焓 kJ/kg	除氧器进口给水焓	H_s	根据相应的压力和温度查附录 A 求得	
	除氧器进口蒸汽焓	H_a		
	除氧器出口水焓	H'_s		

7.4.2.2 压力测量

大气压力的测量可采用水银玻璃气压计测量;蒸汽压力及进口给水压力按以下要求测量:

- a) 当绝对压力低于或等于 0.25 MPa 时,可采用高级无铅玻璃管制作的水银压力计测量。水银压力计的玻璃管内径应不小于 12 mm,且均匀一致,测量时应垂直放置;
- b) 当绝对压力高于 0.25 MPa 时,应采用标准弹簧管压力表,其技术要求应符合 GB/T 1226 和 GB/T 1227;
- c) 压力测量也可以采用精度等级符合要求的其他压力表、压力变送器及与之相应的二次表作为蒸汽压力及进口给水压力的测量仪表。

7.4.2.3 温度和焓的测量

温度和焓的测量按以下要求进行:

- a) 测量低于 100 ℃ 的进口给水温度,可采用具有 0.1 ℃ 分刻度的高精度水银玻璃温度计。对高于 100 ℃ 的蒸汽(或水)的温度及不宜采用水银玻璃温度计的场合,应采用高精度的热电偶或

热电阻温度计；

- b) 当有两路或两路以上介质在进入除氧器之前相汇合，应在汇合点下游足够远处测量其温度。如果不能保证介质在汇合点下游充分混合，则应在汇合点上游分别测量各路介质的温度，并分别计算各路介质的焓；
- c) 当某根管道的介质在进入除氧器前分两路或两路以上的管路输送，应分别测量各路介质的温度，取它们的温度算术平均值或加权平均值作为平均工作温度。对双除氧头的除氧器应分别测定每根管路的介质温度并分别求得焓值。

7.4.2.4 流量测量

除氧器进口和出口给水的流量可采用标准孔板流量计或测量精度不低于1%的超声波流量计等测量；排汽量可采用冷凝法测量。

7.5 测量结果计算

7.5.1 测量结果计算所用的水、汽性质图表应与提出保证值(除氧器热力计算或热平衡计算)所依据的汽水性质图表一致，其中水、汽的焓值可参见附录 A。

7.5.2 压力式和大气式除氧器根据测量结果按以下公式计算加热负荷、所需加热蒸汽流量和终温差：

- a) 加热负荷按式(16)计算：

$$q = W'_s H'_s - W_s \cdot H_s \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

q ——加热负荷，单位为千焦尔每秒(kJ/s)；
 W'_s ——出口水流量，单位为千克每秒(kg/s)；
 H'_s ——出口水焓，单位为千焦尔每千克(kJ/kg)；
 W_s ——进口给水流量，单位为千克每秒(kg/s)；
 H_s ——进口给水焓，单位为千焦尔每千克(kJ/kg)。

- b) 所需加热蒸汽流量按式(17)计算：

$$W_q = \frac{W_s (H'_s - H_s)}{\eta (H_q - H'_s)} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

W_q ——所需加热蒸汽流量，单位为千克每秒(kg/s)；
 η ——散热系数；
 H_q ——进口蒸汽焓，单位为千焦尔每千克(kJ/kg)；
 其余符号同式(16)。

- c) 终温差按式(18)计算：

$$\Delta t = t_n - t'_s \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

Δt ——终温差，单位为摄氏度(℃)；
 t_n ——除氧器内饱和蒸汽温度，单位为摄氏度(℃)；
 t'_s ——除氧器出口水温度，单位为摄氏度(℃)。

7.6 试验报告

7.6.1 试验报告应符合总则的要求。

7.6.2 试验设备的叙述至少应包含以下内容：

- a) 除氧器制造单位名称；
- b) 除氧器类型、型号、产品出厂编号；

- c) 设备及系统运行的设计参数；
- d) 设备数量、管道尺寸、系统布置；
- e) 设备技术特性、运行情况及必要的简图；
- f) 除氧器中填料的种类、材质、数量(体积)、层高等；
- g) 测量装置的系统图。

7.6.3 试验数据记录至少应包括以下内容：

- a) 大气压力、除氧器进水、出水、进口蒸汽、除氧头和除氧水箱等压力及进汽压降；
- b) 除氧器进水、出水、进口蒸汽、除氧头和除氧水箱等温度，以及除氧水焓增；
- c) 除氧器进水、出水、进口蒸汽等流量及排汽量。

7.6.4 试验结果应包括以下内容：

- a) 加热负荷；
- b) 所需加热蒸汽流量；
- c) 终温差；
- d) 除氧器出水含氧量。

7.6.5 结论中应对被测试除氧器的除氧效果和运行经济性作出评价。

附 录 A
(资料性附录)
水、饱和水及饱和蒸汽焓值

A.1 水的焓值见表 A.1。

表 A.1 水的焓值表

温度 ℃	焓 kJ/kg	温度 ℃	焓 kJ/kg	温度 ℃	焓 kJ/kg	温度 ℃	焓 kJ/kg
1	4.784 1	34	142.99	67	280.97	100	419.54
2	8.996 3	35	147.17	68	285.15	101	423.76
3	13.206	36	151.35	69	289.34	102	427.97
4	17.412	37	155.52	70	293.53	103	432.19
5	21.616	38	159.70	71	297.72	104	436.41
6	25.818	39	163.88	72	301.91	105	440.63
7	30.018	40	168.06	73	306.10	106	444.85
8	34.215	41	172.24	74	310.29	107	449.07
9	38.411	42	176.41	75	314.48	108	453.30
10	42.605	43	180.59	76	318.68	109	457.52
11	46.798	44	184.77	77	322.87	110	461.76
12	50.989	45	188.95	78	327.06	111	465.98
13	55.178	46	193.13	79	331.26	112	470.20
14	59.367	47	197.31	80	335.45	113	474.44
15	63.554	48	201.49	81	339.65	114	478.67
16	67.740	49	205.67	82	343.85	115	482.90
17	71.926	50	209.85	83	348.04	116	487.14
18	76.110	51	214.03	84	352.24	117	491.37
19	80.294	52	218.21	85	356.44	118	495.61
20	84.476	53	222.39	86	360.64	119	499.85
21	88.659	54	226.57	87	364.84	120	504.09
22	92.840	55	230.75	88	369.04	121	508.34
23	97.021	56	234.94	89	373.25	122	512.58
24	101.20	57	239.12	90	377.45	123	516.83
25	105.38	58	243.30	91	381.65	124	521.08
26	109.56	59	247.48	92	385.86	125	525.33
27	113.74	60	251.67	93	390.07	126	529.58
28	117.92	61	255.85	94	394.27	127	533.83
29	122.10	62	260.04	95	398.48	128	538.09
30	126.28	63	264.22	96	402.69	129	542.35
31	130.46	64	268.41	97	406.90	130	546.61
32	134.63	65	272.59	98	411.11	131	550.87
33	138.81	66	276.78	99	415.33	132	555.13

表 A.1 (续)

温度 ℃	焓 kJ/kg	温度 ℃	焓 kJ/kg	温度 ℃	焓 kJ/kg	温度 ℃	焓 kJ/kg
133	559.40	138	580.76	143	602.17	148	623.65
134	563.67	139	585.04	144	606.46	149	627.95
135	567.93	140	589.32	145	610.76	150	632.26
136	572.21	141	593.60	146	615.05		
137	576.48	142	597.88	147	619.35		

A.2 按压力排序的饱和水、饱和蒸汽焓值见表 A.2。

表 A.2 按压力排序的饱和水、饱和蒸汽焓值表

绝对压力 MPa	温度 ℃	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg	绝对压力 MPa	温度 ℃	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg
0.001 0	6.982 8	29.34	2 514.4	0.020	60.086 4	251.45	2 609.9
0.001 5	13.035 6	54.71	2 525.5	0.021	61.145 0	255.88	2 611.7
0.002 0	17.512 7	73.46	2 533.6	0.022	62.161 5	260.14	2 613.5
0.002 5	21.096 3	88.45	2 540.2	0.023	63.139 5	264.23	2 615.2
0.003 0	24.099 6	101.00	2 545.6	0.024	64.081 9	268.18	2 616.8
0.003 5	26.693 6	111.85	2 550.4	0.025	64.991 6	271.99	2 618.3
0.004 0	28.982 6	121.41	2 545	0.026	65.870 9	275.67	2 619.9
0.004 5	31.034 8	129.99	2 558.2	0.027	66.722 0	279.24	2 621.3
0.005 0	32.897 6	137.77	2 561.6	0.028	67.546 7	282.69	2 622.7
0.005 5	34.605 2	144.91	2 564.7	0.029	68.346 9	286.05	2 624.1
0.006 0	36.183 2	151.50	2 567.5	0.030	69.124 0	289.30	2 625.4
0.006 5	37.651 2	157.64	2 570.2	0.032	70.614 7	295.55	2 628.0
0.007 0	39.024 6	163.38	2 572.6	0.034	72.028 6	301.48	2 630.4
0.007 5	40.315 6	168.77	2 574.9	0.036	73.374 0	307.12	2 632.6
0.008 0	41.534 3	173.86	2 577.1	0.038	74.657 6	312.50	2 634.8
0.008 5	42.689 1	178.69	2 579.2	0.040	75.885 6	317.65	2 636.9
0.009 0	43.786 7	183.28	2 581.1	0.045	78.743 2	329.64	2 641.7
0.009 5	44.832 9	187.65	2 583.0	0.050	81.345 3	340.56	2 646.0
0.010	45.832 8	191.83	2 584.8	0.055	83.737 5	350.61	2 649.9
0.011	47.709 9	199.68	2 588.1	0.060	85.953 9	359.93	2 653.6
0.012	49.445 8	206.94	2 591.2	0.065	88.020 9	368.62	2 656.9
0.013	51.061 7	213.70	2 594.0	0.070	89.959 1	376.77	2 660.1
0.014	52.574 3	220.02	2 596.7	0.075	91.785 1	384.45	2 663.0
0.015	53.997 1	225.97	2 599.2	0.080	93.512 4	391.72	2 665.8
0.016	55.341 0	231.60	2 601.6	0.085	95.152 0	398.63	2 668.4
0.017	56.614 9	236.93	2 603.8	0.090	96.713 4	405.21	2 670.0
0.018	57.826 4	241.99	2 605.9	0.095	98.204 4	411.49	2 673.2
0.019	58.981 8	246.83	2 607.9	0.10	99.632	417.51	2 675.4

表 A.2 (续)

绝对压力 MPa	温度 ℃	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg	绝对压力 MPa	温度 ℃	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg
0.11	102.317	428.84	2 679.6	0.49	151.084	636.83	2 746.6
0.12	104.808	439.36	2 683.4	0.50	151.844	640.12	2 747.5
0.13	107.133	449.19	2 687.0	0.52	153.327	646.53	2 749.3
0.14	109.315	458.42	2 690.3	0.54	154.765	652.76	2 750.9
0.15	111.372	467.13	2 693.4	0.56	156.161	658.81	2 752.5
0.16	113.320	475.38	2 696.2	0.58	157.518	664.69	2 754.0
0.17	115.170	483.22	2 699.0	0.60	158.838	670.42	2 755.5
0.18	116.933	490.70	2 701.5	0.62	160.123	676.01	2 756.9
0.19	118.617	497.85	2 704.0	0.64	161.376	681.46	2 758.2
0.20	120.231	504.70	2 706.3	0.66	162.598	686.78	2 759.5
0.21	121.780	511.29	2 708.5	0.68	163.791	691.98	2 760.6
0.22	123.270	517.62	2 710.6	0.70	164.956	697.06	2 762.0
0.23	124.705	523.73	2 712.6	0.72	166.095	702.04	2 763.2
0.24	126.091	529.63	2 714.5	0.74	167.209	706.90	2 764.3
0.25	127.430	535.34	2 716.4	0.76	168.300	711.68	2 765.4
0.26	128.727	540.87	2 718.2	0.78	169.368	716.35	2 766.4
0.27	129.984	546.24	2 719.9	0.80	170.415	720.94	2 767.5
0.28	131.203	551.44	2 721.5	0.82	171.441	725.44	2 768.5
0.29	132.388	556.51	2 723.1	0.84	172.448	729.85	2 769.4
0.30	133.540	561.43	2 724.7	0.86	173.436	734.19	2 770.4
0.31	134.661	566.23	2 726.1	0.88	174.405	738.45	2 771.3
0.32	135.754	570.90	2 727.6	0.90	175.358	742.64	2 772.1
0.33	136.819	575.46	2 729.0	0.92	176.294	746.77	2 773.0
0.34	137.858	579.92	2 730.3	0.94	177.214	750.82	2 773.8
0.35	138.873	584.27	2 731.6	0.96	178.119	754.81	2 774.6
0.36	139.865	588.53	2 732.9	0.98	179.009	758.74	2 775.4
0.37	140.835	592.69	2 734.1	1.00	179.884	762.61	2 776.2
0.38	141.784	596.76	2 735.3	1.05	182.015	772.03	2 778.0
0.39	142.713	600.76	2 736.5	1.10	184.067	781.13	2 779.7
0.40	143.623	604.67	2 737.6	1.15	186.048	789.92	2 781.3
0.41	144.515	608.51	2 738.7	1.20	187.961	798.43	2 782.7
0.42	145.390	612.27	2 739.8	1.25	189.814	806.69	2 784.1
0.43	146.248	615.97	2 740.9	1.30	191.609	814.70	2 785.4
0.44	147.090	619.60	2 741.9	1.35	193.350	822.49	2 786.6
0.45	147.917	623.16	2 742.9	1.40	195.042	830.07	2 787.8
0.46	148.729	626.67	2 743.9	1.45	196.688	837.46	2 788.9
0.47	149.528	630.11	2 744.8	1.50	198.289	844.67	2 789.9
0.48	150.313	633.50	2 745.7	1.55	199.850	851.70	2 790.8

表 A.2 (续)

绝对压力 MPa	温度 ℃	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg	绝对压力 MPa	温度 ℃	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg
1.60	201.372	858.56	2 791.7	3.9	248.836	1 080.1	2 800.8
1.65	202.857	865.28	2 792.6	4.0	250.333	1 087.4	2 800.3
1.70	204.307	871.84	2 793.4	4.1	251.800	1 094.6	2 799.9
1.75	205.725	878.28	2 794.1	4.2	253.241	1 101.6	2 799.4
1.80	207.111	884.57	2 794.8	4.3	254.656	1 108.5	2 798.9
1.85	208.468	890.75	2 795.5	4.4	256.045	1 115.4	2 798.3
1.90	209.797	896.81	2 796.1	4.5	257.411	1 122.1	2 797.7
1.95	211.099	902.75	2 796.7	4.6	278.754	1 123.8	2 797.0
2.00	212.375	908.59	2 797.2	4.7	260.074	1 135.8	2 796.4
2.00	212.375	908.59	2 797.2	4.8	261.373	1 141.8	2 795.7
2.05	213.626	914.33	2 797.7	4.9	262.652	1 148.2	2 794.9
2.10	214.855	919.96	2 798.2	5.0	263.911	1 154.5	2 794.2
2.15	216.060	925.50	2 798.6	5.1	265.151	1 160.7	2 793.4
2.20	217.244	930.95	2 799.1	5.2	266.373	1 166.9	2 792.6
2.25	218.408	936.32	2 799.4	5.3	267.576	1 172.9	2 791.7
2.30	219.552	941.60	2 799.8	5.4	268.763	1 178.9	2 790.8
2.35	220.676	946.81	2 800.1	5.5	269.933	1 184.9	2 789.9
2.40	221.783	951.93	2 800.4	5.6	271.086	1 190.8	2 789.0
2.45	222.871	956.98	2 800.7	5.7	272.224	1 196.6	2 788.0
2.50	223.943	961.96	2 800.9	5.8	273.347	1 202.4	2 787.0
2.55	224.998	966.88	2 801.2	5.9	274.456	1 208.1	2 786.0
2.60	226.037	971.72	2 801.4	6.0	275.550	1 213.7	2 785.0
2.65	227.061	976.50	2 801.6	6.1	276.630	1 219.3	2 783.9
2.70	228.071	981.22	2 801.7	6.2	277.697	1 224.8	2 782.9
2.75	229.066	985.88	2 801.9	6.3	278.750	1 230.3	2 781.8
2.80	230.047	990.49	2 802.0	6.4	279.791	1 235.8	2 780.6
2.85	231.014	995.03	2 802.1	6.5	280.820	1 241.1	2 779.5
2.90	231.969	999.53	2 802.2	6.6	281.837	1 246.5	2 778.3
2.95	232.911	1 003.97	2 802.2	6.7	282.842	1 251.8	2 777.1
3.0	233.841	1 008.4	2 802.3	6.8	283.836	1 257.0	2 775.9
3.1	235.666	1 017.0	2 802.3	6.9	284.818	1 262.2	2 774.7
3.2	237.445	1 025.4	2 802.3	7.0	285.790	1 267.4	2 773.5
3.3	239.183	1 033.7	2 802.3	7.1	286.751	1 272.6	2 772.2
3.4	240.881	1 041.8	2 802.1	7.2	287.702	1 277.6	2 770.9
3.5	242.540	1 049.8	2 802.0	7.3	288.643	1 282.7	2 769.6
3.6	244.164	1 057.6	2 801.7	7.4	289.574	1 287.7	2 768.3
3.7	245.754	1 065.2	2 801.4	7.5	290.496	1 292.7	2 766.9
3.8	247.311	1 072.7	2 801.1	7.6	291.408	1 297.6	2 766.5

表 A.2 (续)

绝对压力 MPa	温度 ℃	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg	绝对压力 MPa	温度 ℃	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg
7.7	292.311	1 302.6	2 764.2	10.0	310.961	1 408.0	2 727.7
7.8	293.205	1 307.4	2 762.8	10.2	312.420	1 416.7	2 724.2
7.9	294.091	1 312.3	2 761.3	10.4	313.858	1 425.2	2 720.6
8.0	294.968	1 317.1	2 759.9	10.6	315.274	1 433.7	2 716.9
8.1	295.836	1 321.9	2 758.4	10.8	316.670	1 442.2	2 713.1
8.2	296.697	1 326.6	2 757.0	11.0	318.045	1 450.6	2 709.3
8.3	297.549	1 331.4	2 755.5	11.2	319.402	1 458.9	2 705.4
8.4	298.394	1 336.1	2 754.0	11.4	320.740	1 467.2	2 701.5
8.5	299.231	1 340.7	2 752.5	11.6	322.059	1 475.4	2 697.4
8.6	300.069	1 345.4	2 750.0	11.8	323.361	1 483.6	2 693.3
8.7	300.882	1 350.0	2 749.4	12.0	324.646	1 491.8	2 689.2
8.8	301.097	1 354.6	2 747.8	12.2	325.914	1 499.9	2 684.9
8.9	302.505	1 359.2	2 746.2	12.4	327.165	1 508.0	2 680.6
9.0	303.306	1 363.7	2 744.6	12.6	328.401	1 516.0	2 676.1
9.1	304.100	1 372.8	2 743.0	12.8	329.622	1 524.0	2 671.6
9.2	304.888	1 372.8	2 741.3	13.0	330.827	1 532.0	2 667.0
9.3	305.668	1 377.2	2 739.7	13.2	332.018	1 540.0	2 662.3
9.4	306.443	1 381.7	2 738.0	13.4	333.194	1 547.9	2 657.4
9.5	307.211	1 386.1	2 736.4	13.6	334.357	1 555.8	2 652.5
9.6	307.973	1 390.6	2 734.7	13.8	335.506	1 563.8	2 647.5
9.7	308.729	1 395.0	2 733.0	14.0	336.342	1 571.6	2 642.4
9.8	309.479	1 399.3	2 731.2	14.2	337.764	1 579.5	2 637.1
9.9	310.222	1 403.7	2 729.5	14.4	338.874	1 587.4	2 631.8

A.3 按温度排序的饱和水、饱和蒸汽焓值见表 A.3。

表 A.3 按温度排序的饱和水、饱和蒸汽焓值表

温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg	温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg
0.00	0.000 610 8	—0.04	2 501.6	8	0.001 072 0	33.60	2 516.2
0.01	0.000 611 2	0.00	2 501.6	9	0.001 147 2	37.80	2 518.1
1	0.000 656 6	4.17	2 503.4	10	0.001 227 0	41.99	2 519.9
2	0.000 705 5	8.39	2 505.2	11	0.001 311 6	46.19	2 521.7
3	0.000 757 5	12.60	2 507.1	12	0.001 401 4	50.38	2 523.6
4	0.000 812 9	16.80	2 508.9	13	0.001 496 5	54.57	2 525.4
5	0.000 871 8	21.01	2 510.7	14	0.001 597 3	58.75	2 527.2
6	0.000 934 5	25.21	2 512.6	15	0.001 703 9	62.94	2 529.1
7	0.001 001 2	29.41	2 514.4	16	0.001 816 8	67.13	2 530.9

表 A.3 (续)

温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg	温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg
17	0.001 936 2	71.31	2 532.7	55	0.015 741	230.17	2 601.0
18	0.012 062 4	75.50	2 534.5	56	0.016 511	234.35	2 602.7
19	0.002 195 7	79.68	2 536.4	57	0.017 313	238.54	2 604.5
20	0.002 336 6	83.36	2 538.2	58	0.018 147	242.72	2 606.2
21	0.002 485 3	88.04	2 540.0	59	0.019 016	246.91	2 608.0
22	0.002 642 2	92.23	2 541.8	60	0.019 920	251.09	2 609.7
23	0.002 807 6	96.41	2 543.6	61	0.020 861	255.28	2 611.4
24	0.002 982 1	100.59	2 545.5	62	0.021 838	259.46	2 613.2
25	0.003 166 0	104.77	2 547.3	63	0.022 855	263.65	2 614.9
26	0.003 359 7	108.95	2 549.1	64	0.023 912	267.84	2 616.6
27	0.002 563 6	113.13	2 550.9	65	0.025 009	272.03	2 618.4
28	0.003 778 2	117.31	2 552.7	66	0.026 150	276.21	2 620.1
29	0.004 004 0	121.48	2 554.5	67	0.027 334	280.40	2 621.8
30	0.004 241 5	125.66	2 556.4	68	0.028 563	284.59	2 623.5
31	0.004 491 1	129.84	2 558.2	69	0.029 838	288.78	2 625.2
32	0.004 753 4	134.02	2 560.0	70	0.031 162	292.97	2 626.9
33	0.005 028 8	138.20	2 561.8	71	0.032 535	297.16	2 628.6
34	0.005 318 0	142.38	2 565.4	72	0.033 958	301.36	2 630.3
35	0.005 621 6	146.56	2 565.4	73	0.025 434	305.55	2 632.0
36	0.005 940 0	150.74	2 567.2	74	0.036 964	309.74	2 633.7
37	0.006 273 9	154.92	2 569.0	75	0.038 579	313.94	2 635.4
38	0.006 624 0	159.09	2 570.8	76	0.040 191	318.13	2 637.1
39	0.006 990 8	163.27	2 572.6	77	0.041 891	322.33	2 638.7
40	0.007 375 0	167.45	2 574.4	78	0.043 652	326.52	2 640.4
41	0.007 777 3	171.63	2 576.2	79	0.045 474	330.72	2 642.1
42	0.008 198 5	175.81	2 577.9	80	0.047 360	334.92	2 643.8
43	0.008 639 1	179.99	2 579.7	81	0.049 311	339.11	2 645.4
44	0.009 100 1	184.17	2 581.5	82	0.051 329	343.31	2 647.1
45	0.009 582 0	188.35	2 583.3	83	0.053 416	347.51	2 648.7
46	0.010 086	192.53	2 585.1	84	0.055 573	351.72	2 650.4
47	0.010 612	196.71	2 586.9	85	0.057 803	355.92	2 652.0
48	0.011 162	200.89	2 588.6	86	0.060 108	360.12	2 653.6
49	0.011 736	205.07	2 590.4	87	0.062 489	364.32	2 655.3
50	0.012 335	209.26	2 592.2	88	0.064 948	368.53	2 656.9
51	0.012 961	213.44	2 593.9	89	0.067 487	372.73	2 658.5
52	0.013 613	217.62	2 595.7	90	0.070 109	376.94	2 660.1
53	0.014 293	221.80	2 597.5	91	0.072 815	381.15	2 661.7
54	0.015 002	225.99	2 599.2	92	0.075 608	385.36	2 663.4

表 A.3 (续)

温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg	温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg
93	0.078 489	389.57	2 665.0	131	0.278 314	550.58	2 721.3
94	0.081 461	393.78	2 666.6	132	0.286 696	554.85	2 722.6
95	0.084 526	397.99	2 668.1	133	0.295 280	559.12	2 723.9
96	0.087 686	402.20	2 669.7	134	0.304 07	563.40	2 725.3
97	0.090 944	406.42	2 671.3	135	0.313 08	567.68	2 726.6
98	0.094 301	410.63	2 672.9	136	0.322 29	571.96	2 727.9
99	0.097 761	414.85	2 674.4	137	0.331 73	576.24	2 729.2
100	0.101 325	419.07	2 676.0	138	0.341 38	580.53	2 730.5
101	0.104 996	423.28	2 677.6	139	0.351 27	584.82	2 731.8
102	0.108 777	427.50	2 679.1	140	0.361 38	589.11	2 733.1
103	0.112 670	431.73	2 680.7	141	0.371 72	593.40	2 734.3
104	0.116 676	435.95	2 682.2	142	0.382 31	597.69	2 735.6
105	0.120 800	440.17	2 683.7	143	0.393 13	601.99	2 736.9
106	0.125 044	444.40	2 685.3	144	0.404 20	606.29	2 738.1
107	0.129 409	448.63	2 686.8	145	0.415 52	610.59	2 739.3
108	0.133 900	452.85	2 688.3	146	0.427 09	614.90	2 740.6
109	0.138 518	457.08	2 689.8	147	0.438 92	619.21	2 741.8
110	0.143 266	461.32	2 691.3	148	0.451 01	623.52	2 743.0
111	0.148 147	465.55	2 692.8	149	0.463 37	627.83	2 744.2
112	0.153 164	469.78	2 694.3	150	0.476 00	632.15	2 745.4
113	0.158 320	474.02	2 695.8	151	0.488 90	636.47	2 746.5
114	0.163 618	478.26	2 697.2	152	0.502 08	640.79	2 747.7
115	0.169 060	482.50	2 698.7	153	0.515 54	645.12	2 748.9
116	0.174 650	486.74	2 700.2	154	0.529 29	649.44	2 750.0
117	0.180 390	490.98	2 701.6	155	0.543 33	653.78	2 751.2
118	0.186 283	495.23	2 703.1	156	0.557 67	658.11	2 752.3
119	0.192 333	499.47	2 704.5	157	0.572 30	662.45	2 753.4
120	0.198 543	503.72	2 706.0	158	0.587 25	666.79	2 754.5
121	0.204 915	507.97	2 707.4	159	0.602 50	671.13	2 755.6
122	0.211 454	512.22	2 708.8	160	0.618 06	675.47	2 756.7
123	0.218 162	516.47	2 710.2	161	0.633 95	679.82	2 757.8
124	0.225 042	520.73	2 711.6	162	0.650 16	684.18	2 758.9
125	0.232 098	524.99	2 713.0	163	0.666 69	688.53	2 759.9
126	0.239 333	529.25	2 714.4	164	0.683 56	692.89	2 761.0
127	0.246 751	533.51	2 715.8	165	0.700 77	697.25	2 762.0
128	0.254 354	537.77	2 717.2	166	0.719 31	701.62	2 763.1
129	0.262 147	542.04	2 718.5	167	0.736 21	705.99	2 764.1
130	0.270 132	546.31	2 719.9	168	0.754 45	710.36	2 765.1

表 A.3 (续)

温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg	温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg
169	0.773 06	714.74	2 766.1	207	1.795 95	884.07	2 794.8
170	0.792 02	719.12	2 767.1	208	1.832 63	888.62	2 795.3
171	0.811 35	723.50	2 768.0	209	1.869 89	893.17	2 795.7
172	0.831 06	727.89	2 769.0	210	1.907 74	897.74	2 796.2
173	0.851 14	732.28	2 769.9	211	1.946 18	902.30	2 796.6
174	0.871 60	736.67	2 770.9	212	1.985 22	906.88	2 797.1
175	0.892 44	741.07	2 771.8	213	2.024 86	911.45	2 797.5
176	0.913 68	745.47	2 772.7	214	2.065 11	916.04	2 797.9
177	0.935 32	749.88	2 773.6	215	2.105 98	920.63	2 798.3
178	0.957 36	754.29	2 774.5	216	2.147 48	925.23	2 798.6
179	0.979 80	758.70	2 775.4	217	2.189 61	929.83	2 799.0
180	1.002 66	763.12	2 776.3	218	2.232 37	934.44	2 799.3
181	1.025 94	767.54	2 777.1	219	2.275 77	939.05	2 799.6
182	1.049 64	771.96	2 778.0	220	2.319 83	943.68	2 799.9
183	1.073 77	776.39	2 778.8	221	2.364 54	948.30	2 800.2
184	1.098 33	780.83	2 779.6	222	2.409 92	952.94	2 800.5
185	1.123 33	785.26	2 780.4	223	2.455 96	957.58	2 800.7
186	1.148 78	789.71	2 781.2	224	2.502 69	962.23	2 800.9
187	1.174 67	794.15	2 782.0	225	2.550 09	966.88	2 801.2
188	1.201 03	798.60	2 782.8	226	2.598 19	971.55	2 801.4
189	1.227 84	803.06	2 783.5	227	2.646 98	976.21	2 801.5
190	1.255 12	807.52	2 784.3	228	2.696 48	980.89	2 801.7
191	1.282 88	811.98	2 785.0	229	2.746 68	985.58	2 801.8
192	1.311 11	816.45	2 785.7	230	2.797 60	990.27	2 802.0
193	1.339 83	820.92	2 786.4	231	2.849 25	994.97	2 802.1
194	1.369 03	825.40	2 787.1	232	2.901 63	999.67	2 802.2
195	1.398 73	829.89	2 787.8	233	2.954 75	1 004.4	2 802.2
196	1.289 4	834.37	2 788.4	234	3.008 61	1 009.1	2 802.3
197	1.459 65	838.87	2 789.1	235	3.063 23	1 013.8	2 802.3
198	1.490 87	843.36	2 789.7	236	3.118 60	1 018.6	2 802.3
199	1.522 61	847.87	2 790.3	237	3.174 74	1 023.3	2 802.3
200	1.554 88	852.37	2 790.9	238	3.231 65	1 028.1	2 802.3
201	1.587 68	856.88	2 791.5	239	3.289 35	1 032.8	2 802.3
202	1.621 01	861.40	2 792.1	240	3.347 83	1 037.6	2 802.2
203	1.654 89	865.93	2 792.7	241	3.407 11	1 042.4	2 802.1
204	1.689 32	870.45	2 793.2	242	3.467 19	1 047.2	2 802.0
205	1.724 30	874.99	2 793.8	243	3.528 08	1 052.0	2 801.9
206	1.759 84	879.53	2 794.3	244	3.589 79	1 056.8	2 801.8

表 A.3 (续)

温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg	温度 ℃	绝对压力 MPa	饱和水焓 kJ/kg	饱和蒸汽焓 kJ/kg
245	3.652 32	1 061.6	2 801.6	283	6.715 83	1 252.6	2 777.0
246	3.715 68	1 066.4	2 801.4	284	6.816 65	1 257.9	2 775.7
247	3.779 88	1 071.2	2 801.2	285	6.918 63	1 263.2	2 774.5
248	3.844 93	1 076.1	2 801.0	286	7.021 76	1 268.5	2 773.2
249	3.910 84	1 080.9	2 800.7	287	7.126 06	1 273.9	2 771.8
250	3.977 60	1 085.8	2 800.4	288	7.231 54	1 279.2	2 770.5
251	4.045 24	1 090.7	2 800.1	289	7.338 21	1 284.6	2 769.1
252	4.113 75	1 095.5	2 799.8	290	7.446 07	1 290.0	2 767.6
253	4.183 14	1 100.4	2 799.5	291	7.555 14	1 295.4	2 766.2
254	4.253 43	1 105.3	2 799.1	292	7.665 43	1 300.9	2 764.6
255	4.324 62	1 110.2	2 798.7	293	7.776 95	1 306.3	2 763.1
256	4.396 72	1 115.2	2 798.3	294	7.889 69	1 311.8	2 761.5
257	4.469 73	1 120.1	2 797.9	295	8.003 69	1 317.3	2 758.2
258	4.543 67	1 125.0	2 797.4	296	8.118 9	1 322.8	2 758.2
259	4.618 53	1 130.0	2 796.9	297	8.235 5	1 328.3	2 756.4
260	4.694 34	1 134.9	2 796.4	298	8.353 2	1 338.9	2 754.7
261	4.771 09	1 139.9	2 795.9	299	8.472 3	1 339.5	2 752.9
262	4.848 80	1 144.9	2 795.3	300	8.592 7	1 345.1	2 751.0
263	4.927 47	1 149.9	2 794.7	301	8.714 4	1 350.7	2 749.1
264	5.007 11	1 154.9	2 794.1	302	8.837 4	1 356.3	2 747.2
265	5.087 73	1 159.9	2 793.5	303	8.961 7	1 362.0	2 745.2
266	5.169 34	1 165.0	2 792.8	304	9.087 3	1 367.7	2 743.2
267	5.250 94	1 170.0	2 792.1	305	9.214 4	1 373.4	2 741.1
268	5.335 55	1 175.1	2 791.4	306	9.342 7	1 379.2	2 739.0
269	5.420 17	1 180.1	2 790.6	307	9.472 5	1 384.9	2 736.8
270	5.505 81	1 185.2	2 789.9	308	9.603 6	1 390.7	2 734.6
271	5.592 48	1 190.3	2 789.1	309	9.736 1	1 396.5	2 732.3
272	5.680 18	1 195.4	2 788.2	310	9.870 0	1 402.4	2 730.0
273	5.768 93	1 200.6	2 787.4	311	10.005	1 408.3	2 727.6
274	5.858 74	1 205.7	2 786.5	312	10.142	1 414.2	2 725.2
275	5.949 60	1 210.9	2 785.5	313	10.280	1 420.1	2 722.7
276	6.041 54	1 216.0	2 784.6	314	10.420	1 426.1	2 720.2
277	6.134 56	1 221.2	2 783.6	315	10.561	1 432.0	2 717.6
278	6.228 67	1 226.4	2 782.6	316	10.704	1 438.1	2 714.9
279	6.322 87	1 231.6	2 781.5	317	10.848	1 444.2	2 712.2
280	6.420 18	1 236.8	2 780.4	318	10.993	1 450.3	2 709.4
281	6.517 60	1 242.1	2 779.3	319	11.140	1 456.4	2 706.6
282	6.616 15	1 247.3	2 778.1	320	11.289	1 462.6	2 703.7