

CERS

中国能源研究会标准

T/CERS xxx-xxxx

相变式储热装置储热性能衰减试验规程

Testing Regulations of Performance Attenuation

on Phase-change heat storage

(征求意见稿)

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

发布

目 次

前言	II
引言	1
1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
4 符号、代号和缩略语	3
5 总则	4
6 测试系统要求	4
7 测试准备	6
8 基准试验	6
9 性能衰减试验	7
10 试验方法	7
11 指标计算	7
12 储热装置储热性能衰减评价	9
13 测试报告	10

前 言

本标准由中国能源研究会储能专业委员会提出并解释。

本标准由中国能源研究会储能标准化技术委员会归口。

本标准起草单位（包括第一承担单位和参加起草单位，按对标准的贡献大小排列）：

中关村储能产业技术联盟、中国建筑科学研究院、中国科学院工程热物理研究所、北京今日能源科技发展有限公司。

本标准主要起草人：

苗常海、路宾、汪翔、张文亮。

本标准首次发布。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

引 言

近年来，我国华北地区雾霾现象频发，并呈现出愈演愈烈的态势，其中冬季居民采暖是导致雾霾的重要原因。为治理雾霾，实现清洁采暖，国家和地方政府出台的大量支持政策，鼓励各种形式的电采暖推广应用。相变式储热电采暖技术由于能够充分利用峰谷电价、储能密度高、占地面积小的优点，成为重要的清洁采暖方式，目前已有相当的应用规模，预计今后几年会实现较大规模推广。

相变式储热装置在应用中遇到的突出问题是：蓄热容量逐年衰减。由于市场上产品良莠不齐，部分蓄热产品蓄热性能衰减严重，严重影响设备使用寿命。截至目前，国家和行业层面尚无针对相变式储热装置性能衰减测试的相关标准，市场对该类标准的需求十分迫切。

为规范相变式蓄热装置蓄热性能衰减试验的方法，为用户提供蓄热设备性能衰减特性科学评价标准，特制订本标准。

相变式储热装置储热性能衰减试验规程

1 范围

本标准规定了相变式储热装置储热性能衰减试验方法、计算方法和评价方法。
本标准适用于用于供暖的相变式储热装置。

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 18660-2002 封闭管道中导电液体流量的测量 电磁流量计的使用方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

储热性能衰减 performance attenuation of thermal storage

储热装置多次循环储热/释热后，由于相分离等因素造成额定释热量下降的现象。

3.2

储热装置额定上限温度 rated upper limit temperature

用于确定储热装置释热开始状态和储热结束状态的温度点，是指储热装置内储热材料的温度，由储热装置生产厂家提供。

3.3

储热装置额定下限温度 rated lower temperature

用于确定储热装置储热开始状态和释热结束状态的温度点，是指储热装置内储热材料的温度，定为40℃。

3.4

储热过程起点 origin of thermal storage process

储热过程中，储热材料温度达到储热装置额定下限温度的时刻。

3.5

储热过程终点 end of thermal storage process

储热过程中，从储热过程起点开始，若储热材料温度达到储热装置额定上限温度时不超过8h，则储热材料温度达到储热装置额定上限温度时为储热过程终点；否则，8h时为储热过程终点。

3.6

释热过程起点 origin of thermal release process

释热过程中，储热材料温度达到储热装置额定上限温度的时刻。

3.7

释热过程终点 end of thermal release process

释热过程中，从释热过程起点开始，若储热材料温度下降到储热装置额定下限温度时不超过16h，则储热材料温度下降到储热装置额定下限温度时为释热过程终点；否则，16h时为释热过程终点。

3.8

额定储热量 rated heat stored

额定工况下，储热装置从储热过程起点到储热过程终点所吸收的热量。

3.9

额定释热量 rated heat released

额定工况下，储热装置从释热过程起点到释热过程终点所释放的热量。

3.10

额定释储热量比 the ratio of rated heat released to rated heat stored

额定释热量与额定储热量的比值。

3.11

储热性能衰减率 performance attenuation rate of thermal storage

额定释热量与第N次释热试验的释热量的差值与额定释热量的比值。

3.12

储热材料相变点温度 phase-change temperature

储热材料发生相变时的温度。

4 符号、代号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

Q_x : 储热量, kWh;

m_i : 第i分钟内热水的平均流量, kg/s;

T_{1i} : 第i分钟内储热装置进口平均水温, °C;

T_{2i} : 第i分钟内储热装置出口平均水温, °C;

C_p : 水的比热容, kJ/(kg·°C);

$i=1$: 储热过程起点的第1分钟;

$i=N$: 储热过程终点的最后1分钟。

Q_{xe} : 额定储热量, kWh;

T_{1ei} : 第i分钟内储热装置进口平均水温, °C;

T_{2ei} : 第i分钟内储热装置出口平均水温, °C;

Q_s : 释热量, kWh;

m_j : 第j分钟内热水的平均流量, kg/s;

T_{1j} : 第j分钟内储热装置进口平均水温, °C;

T_{2j} : 第j分钟内储热装置出口平均水温, °C;

$j=1$: 释热工况起点的第1分钟;

$j=N$: 释热工况终点的最后1分钟。

Q_{se} : 额定释热量, kWh;

T_{1ej} : 第j分钟内储热装置进口平均水温, °C;

T_{2ej} : 第j分钟内储热装置出口平均水温, °C。

η : 释储热量比, %。

η_e : 额定释储热量比, %。

β : 储热装置储热性能衰减率, %;

Q_{s1800} : 性能衰减试验中, 第1800次释热试验的释热量, kWh。

T_{pc} : 储热材料相变点温度, °C。

5 总则

5.1 测试样机要求

5.1.1 性能衰减试验时间较长，送检样机应采取相应的强化换热措施，尽可能缩短储热和释热过程的时间。

5.2 试验类别

整个试验分为预备试验、基准试验和性能衰减试验三部分，预备试验用于为基准试验做准备，基准试验用于确定储热装置的额定性能参数，性能衰减试验用于测试储热装置性能随储释热循环次数增加而衰减的速度和幅度。

5.3 储/释热过程

为规范储/释热试验过程，根据储热材料温度规定储热装置额定上、下限温度，作为储热过程和释热过程的起点和终点，详见图1。

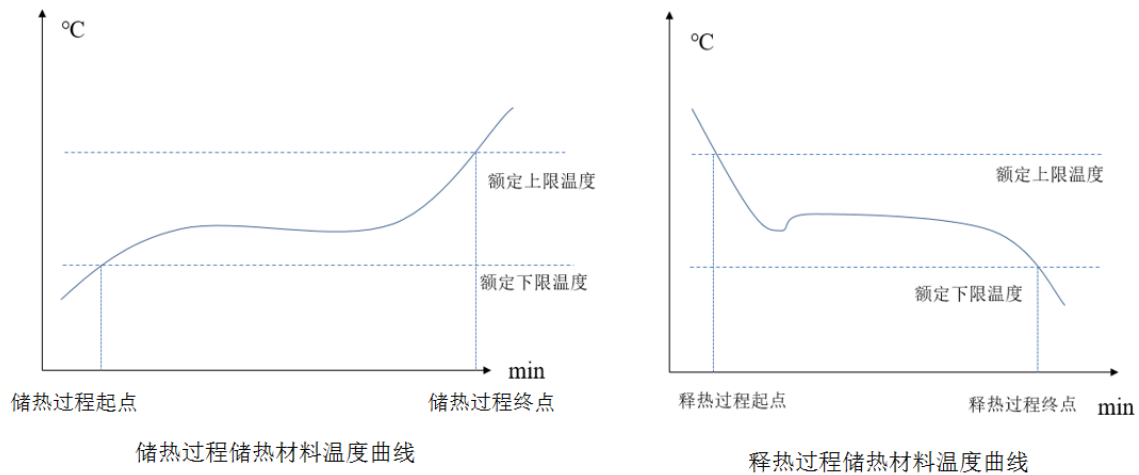


图1 储/释热过程储热材料温度变化曲线

储热装置额定上限温度由设备厂家提供，上限温度应低于储热材料的最高允许温度。

6 测试系统要求

6.1 测试系统配置

6.1.1 相变储热装置性能衰减试验系统由管道加热器、风冷器、水箱、水泵、管道、阀门、测试仪表以及待测储热装置组成，示意图见图2：

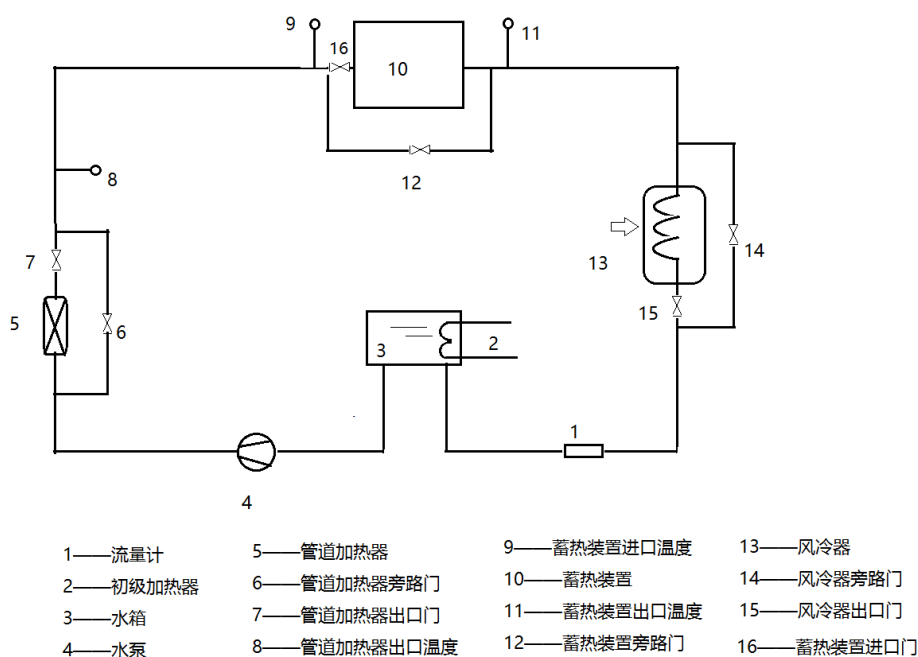


图2 测试系统示意图

6.1.2 测试系统管道加热器应具备自动调节功能，能够根据进水温度自动调节加热功率，保证出水温度相对稳定。

6.1.3 测试系统管道应采取保温措施，保证管道保温材料表面温度不高于环境温度 30℃。

6.2 测试仪表

6.2.1 一般性要求

测试系统所用的计量仪表必须经国家法定的计量检测机构检测，并在有效期内。

6.2.2 温度测试仪表

6.2.2.1 温度测试仪表及其读数显示系统的准确度、精度和分辨率应不低于表 1 的要求。

表1 温度测试仪表的要求

序号	项目	数值
1	准确度	±0.15℃
2	精度	±0.1℃
3	分辨率	±0.05℃

6.2.2.2 测量蓄热装置进出口水温的温度仪表应采取浸入式安装，测温仪表应与管道中心线垂直或成 45°角，插入深度应处在管道中心线，插入方向应与水流方向垂直或逆向，见图 3。温度测试仪表安装位置应接近蓄热装置，距离蓄热装置进出口距离不应大于 30cm。

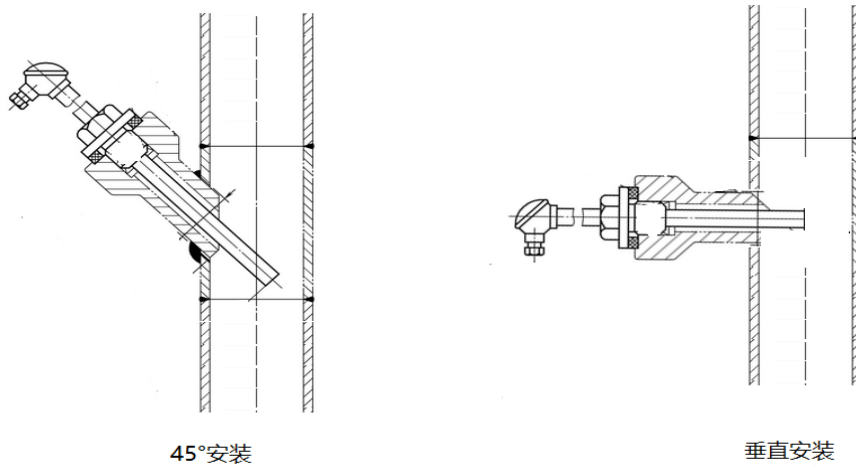


图3 储热装置进出口温度测点安装图

6.2.2.3 【保密条目】

6.2.3 流量测试仪表

6.2.3.1 流量测试仪表应采用电磁流量计，精度不低于0.5级，安装使用时应满足GB/T 18660-2002的要求。

6.2.3.2 为提高流量测量准确度，避免紊流影响，流量计应安装在直管段上，并保证流量计前面至少有10D的直管段，后面至少有5D的直管段。

7 测试准备

7.1 测试资料准备

进行储热装置储热性能衰减试验前，应具备以下资料：

- a) 储热材料相变点温度；
- b) 储热装置额定上限温度；
- c) 储热装置经济流量。

7.2 预备试验

7.2.1 做正式试验前应先做预备试验。

7.2.2 预备试验至少进行2次，每次均应包含储热、释热一个完整的循环过程。

7.2.3 预备试验按照第10章中规定的方法进行。

8 基准试验

8.1 基准试验应进行三次，以三次试验的平均数据确定储热装置的额定储热量和额定释热量。

8.2 基准试验按照第 10 章中规定的方法进行。

8.3 储热试验中，储热过程持续时间不得超过 8 小时；若超过，以 8 小时作为储热试验结束的时间点。

8.4 释热试验中，额定释热过程持续时间不得超过 16 小时；若超过，以 16 小时作为释热试验结束的时间点。

9 性能衰减试验

9.1 【保密条目】

9.2 【保密条目】

9.3 【保密条目】

9.4 【保密条目】

10 试验方法

10.1 额定工况储热试验

10.1.1 进行试验前用检查试验系统，确保管道无泄露现象。

10.1.2 检查储热装置内部温度测点，确保所有温度测点中最低的温度低于 40℃。

10.1.3 打开阀门 7、14、16，关闭阀门 6、12、15，开启水泵，调节流量至储热装置经济流量，调节管道加热器功率，确保管道加热器出口水温在储热装置额定上限温度+10℃±2℃范围内。

10.1.4 以 1 次/min 的频率测量水流量、储热装置进出口温度和储热装置内部温度，并将数据进行存储。

10.1.5 当储热装置内部多个温度测点中最高温度测点达到 40℃时记录该时刻 t_0 ，作为额定储热工况的开始时刻；当储热装置内部多个温度测点中最低温度测点达到储热装置上限温度时记录该时刻 t_1 ，作为额定储热工况的结束时刻。

10.1.6 额定储热工况的结束后继续加热 5min，并继续测量和记录数据。

10.2 额定工况释热试验

10.2.1 打开阀门 7、12、15，关闭阀门 14、16，开启风冷器和水泵，直至水箱温度降低到 35℃。

10.2.2 调节风冷器，保持储热装置进水温度不高于 35℃。

10.2.3 以 1 次/min 的频率测量水流量、储热装置进出口温度和储热装置内部温度，并将数据进行存储。

10.2.4 当储热装置内部多个温度测点中最低温度测点减低到储热装置额定上限温度时记录该时刻 t_2 ，作为额定释热工况的开始时刻；当储热装置内部多个温度测点中最高温度测点降低到 40℃时记录该时刻 t_3 ，作为额定释热工况的结束时刻。

10.2.5 额定释热工况的结束后继续冷却 5min，并继续测量和记录数据。

11 指标计算

11.1 数据整理

11.1.1 将仪器自动记录数据导入 excel，截取额定储热工况开始时刻至额定储热工况结束时刻之间的数据，额定释热工况开始时刻至额定释热工况结束时刻之间的数据。

11.2 计算

11.2.1 储热量

储热量按下式计算：

$$Q_x = \sum_{i=1}^N \frac{m_i c_p (T_{1i} - T_{2i}) \times 60}{3600} \quad (1)$$

式中：

- Q_x ——储热量，kWh；
- m_i ——第*i*分钟内热水的平均流量，kg/s；
- T_{1i} ——第*i*分钟内储热装置进口平均水温，°C；
- T_{2i} ——第*i*分钟内储热装置出口平均水温，°C；
- c_p ——水的比热容，kJ/(kg·°C)；
- $i=1$ ——储热过程起点的第1分钟；
- $i=N$ ——储热过程终点的最后1分钟。

11.2.2 额定储热量

额定储热量按下式计算：

$$Q_{xe} = \sum_{i=1}^N \frac{m_i c_p (T_{1ei} - T_{2ei}) \times 60}{3600} \quad (2)$$

式中：

- Q_{xe} ——额定储热量，kWh；
- T_{1ei} ——额定储热工况下，第*i*分钟内储热装置进口平均水温，°C；
- T_{2ei} ——额定储热工况下，第*i*分钟内储热装置出口平均水温，°C；

11.2.3 释热量

释热量按下式计算：

$$Q_s = \sum_{j=1}^N \frac{m_j c_p (T_{1j} - T_{2j}) \times 60}{3600} \quad (3)$$

式中：

- Q_s ——释热量，kWh；
- m_j ——第*j*分钟内热水的平均流量，kg/s；
- T_{1j} ——第*j*分钟内储热装置进口平均水温，°C；
- T_{2j} ——第*j*分钟内储热装置出口平均水温，°C；
- $j=1$ ——释热工况起点的第1分钟；
- $j=N$ ——释热工况终点的最后1分钟。

11.2.4 额定释热量

额定释热量按下式计算：

$$Q_{se} = \sum_{j=1}^N \frac{m_j c_p (T_{1ej} - T_{2ej}) \times 60}{3600} \quad (4)$$

式中：

Q_{se} ——额定释热量，kWh；

T_{1ej} ——额定释热工况下，第j分钟内储热装置进口平均水温，℃；

T_{2ej} ——额定释热工况下，第j分钟内储热装置出口平均水温，℃。

11.2.5 释储热量比

储热装置释蓄热量比按下式计算：

$$\eta = \frac{Q_x}{Q_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

η ——储热装置释蓄热量比，%。

11.2.6 额定释储热量比

储热装置额定释储热量比按下式计算：

$$\eta_e = \frac{Q_{xe}}{Q_{se}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

η_e ——储热装置额定效率，%。

11.2.7 储热性能衰减率

储热装置释热量衰减率按下式计算：

$$\beta = \frac{Q_{se} - Q_{s1800}}{Q_{se}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

β ——储热装置储热性能衰减率，%；

Q_{s1800} ——性能衰减试验中，第1800次释热试验的释热量，kWh。

12 储热装置储热性能衰减评价

储热装置储热性能衰减按表2进行评价。

表2 储热装置储热性能衰减评价表

序号	性能指标	评价结论	备注
1	储热装置储热性能衰减率 >20%	不合格	

2	$10\% < \text{储热装置储热性能衰减率} \leq 20\%$	合格	
3	$\text{储热装置储热性能衰减率} \leq 10\%$	优良	

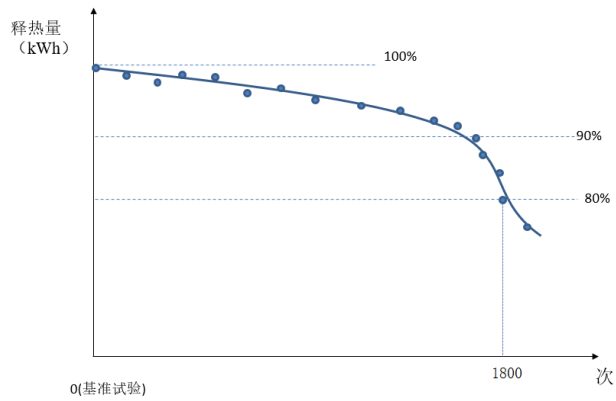
13 测试报告

测试报告应按照附录A的要求编写。

附录 A
(规范性附录)
测试报告规范

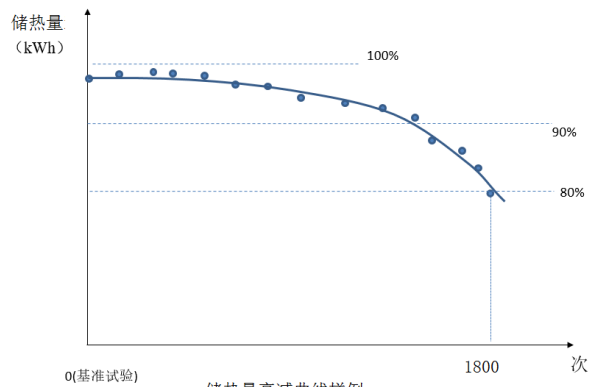
报告编号：

样品信息			
储热装置型号		送检单位	
生产单位		样品编号	
测试信息			
检测单位		检测日期	
检测人员		审核	
测试结果			
检测项目	数值	单位	备注
储热装置额定上限温度		°C	
储热装置额定下限温度		°C	
额定储热量		kWh	
额定释热量		kWh	
额定储热量比		%	
性能衰减试验第 1800 次储热量		kWh	
性能衰减试验第 1800 次释热量		kWh	
性能衰减试验第 1800 次释储热量比		%	
储热性能衰减率：			
性能衰减曲线			
<p>a) 要求根据基准试验和衰减试验数据计算每次试验的的释热量、储热量、释储热量比和储热性能衰减率。</p> <p>b) 要求根据以上数据绘制储热装置释热量衰减散点图、储热量衰减散点图、释储热量比衰减散点图，各散点图均试验次数为横坐标，分别以释热量、储热量、释储热量比和储热性能衰减率为纵坐标。以基准试验确定的额定数据为第 0 次数据。</p> <p>c) 可在散点图的基础上分析数据的规律，采用分段线性拟合或指数拟合的方法拟合衰减曲线，并提供相应的数学关系式。各衰减曲线样例如下：</p> <p>(1) 释热量衰减曲线</p>			



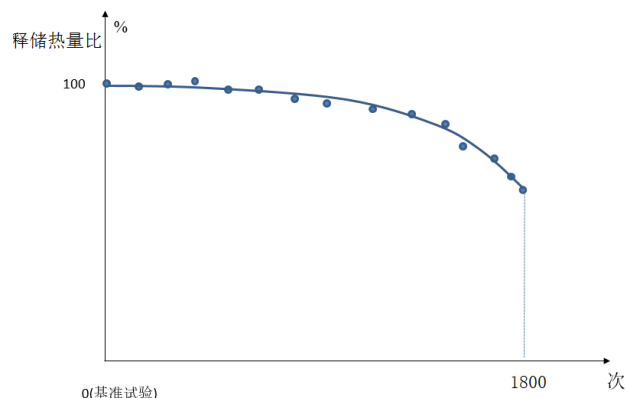
释热量衰减曲线样例

(2) 储热量衰减曲线



储热量衰减曲线样例

(3) 释储热量比衰减曲线



释储热量比衰减曲线样例

结果评价

附 录 B
(资料性附录)
水的定压比热容参数

表 B.1 水的定压比热容参数

定压比热 C_p /kJ/(kg $^{\circ}$ C)

温度 °C	压力 Mpa(a)							
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
2	4.2129	4.2124	4.2119	4.2115	4.2110	4.2105	4.2101	4.2096
4	4.2074	4.2069	4.2065	4.2061	4.2056	4.2052	4.2047	4.2043
6	4.2027	4.2023	4.2019	4.2015	4.2011	4.2006	4.2002	4.1998
8	4.1988	4.1984	4.1980	4.1976	4.1972	4.1968	4.1964	4.1960
10	4.1955	4.1951	4.1947	4.1943	4.1939	4.1936	4.1932	4.1928
12	4.1926	4.1922	4.1919	4.1915	4.1912	4.1908	4.1904	4.1901
14	4.1902	4.1898	4.1895	4.1891	4.1888	4.1884	4.1881	4.1878
16	4.1881	4.1878	4.1874	4.1871	4.1868	4.1864	4.1861	4.1858
18	4.1863	4.1860	4.1857	4.1854	4.1850	4.1847	4.1844	4.1841
20	4.1848	4.1845	4.1842	4.1839	4.1836	4.1832	4.1829	4.1826
22	4.1835	4.1832	4.1829	4.1826	4.1823	4.1820	4.1817	4.1814
24	4.1824	4.1821	4.1818	4.1815	4.1812	4.1809	4.1806	4.1803
26	4.1815	4.1812	4.1809	4.1806	4.1803	4.1800	4.1797	4.1795
28	4.1807	4.1804	4.1801	4.1798	4.1796	4.1793	4.1790	4.1787
30	4.1800	4.1798	4.1795	4.1792	4.1789	4.1787	4.1784	4.1781
32	4.1795	4.1792	4.1790	4.1787	4.1784	4.1782	4.1779	4.1777
34	4.1791	4.1788	4.1786	4.1783	4.1781	4.1778	4.1776	4.1773
36	4.1788	4.1786	4.1783	4.1781	4.1778	4.1775	4.1773	4.1770
38	4.1786	4.1784	4.1781	4.1779	4.1776	4.1774	4.1771	4.1769
40	4.1786	4.1783	4.1781	4.1778	4.1776	4.1773	4.1771	4.1768
42	4.1786	4.1783	4.1781	4.1778	4.1776	4.1774	4.1771	4.1769
44	4.1787	4.1784	4.1782	4.1780	4.1777	4.1775	4.1772	4.1770
46	4.1789	4.1786	4.1784	4.1782	4.1779	4.1777	4.1775	4.1772
48	4.1792	4.1789	4.1787	4.1785	4.1782	4.1780	4.1778	4.1775
50	4.1796	4.1793	4.1791	4.1789	4.1786	4.1784	4.1782	4.1779
52	4.1800	4.1798	4.1796	4.1793	4.1791	4.1789	4.1787	4.1784
54	4.1806	4.1804	4.1801	4.1799	4.1797	4.1794	4.1792	4.1790
56	4.1812	4.1810	4.1808	4.1805	4.1803	4.1801	4.1799	4.1796
58	4.1820	4.1817	4.1815	4.1813	4.1811	4.1808	4.1806	4.1804
60	4.1828	4.1825	4.1823	4.1821	4.1819	4.1817	4.1814	4.1812

温度	压力 Mpa(a)							
	62	4.1837	4.1834	4.1832	4.1830	4.1828	4.1826	4.1823
64	4.1846	4.1844	4.1842	4.1840	4.1838	4.1835	4.1833	4.1831
66	4.1857	4.1855	4.1853	4.1851	4.1848	4.1846	4.1844	4.1842
68	4.1869	4.1866	4.1864	4.1862	4.1860	4.1858	4.1855	4.1853
70	4.1881	4.1879	4.1877	4.1874	4.1872	4.1870	4.1868	4.1866
72	4.1894	4.1892	4.1890	4.1888	4.1885	4.1883	4.1881	4.1879
74	4.1908	4.1906	4.1904	4.1902	4.1899	4.1897	4.1895	4.1893
76	4.1923	4.1921	4.1919	4.1916	4.1914	4.1912	4.1910	4.1908
78	4.1939	4.1936	4.1934	4.1932	4.1930	4.1928	4.1926	4.1923
80	4.1955	4.1953	4.1951	4.1949	4.1946	4.1944	4.1942	4.1940
82	4.1973	4.1970	4.1968	4.1966	4.1964	4.1962	4.1959	4.1957
84	4.1991	4.1988	4.1986	4.1984	4.1982	4.1980	4.1977	4.1975
86	4.2010	4.2007	4.2005	4.2003	4.2001	4.1999	4.1996	4.1994
88	4.2030	4.2027	4.2025	4.2023	4.2021	4.2018	4.2016	4.2014
90	4.2050	4.2048	4.2046	4.2044	4.2041	4.2039	4.2037	4.2035
92	4.2072	4.2070	4.2067	4.2065	4.2063	4.2061	4.2058	4.2056
94	4.2094	4.2092	4.2090	4.2087	4.2085	4.2083	4.2081	4.2078
96	4.2117	4.2115	4.2113	4.2111	4.2108	4.2106	4.2104	4.2102
98	4.2142	4.2139	4.2137	4.2135	4.2132	4.2130	4.2128	4.2126