

低溫用鋼匯編

第一机械工业部情报所编

机械工业出版社

71.22
566

低 温 用 钢 汇 编

第一机械工业部情报所编

21551/23



机 械 工 业 出 版 社

本汇编介绍了可供实际使用的一些低温用钢。其中有16锰、09锰2钒、09锰钒铜稀土、06锰钼、06钼铜、06钼铜钒、20锰23钼、15锰26钼4，其中还介绍了目前对低温用钢韧性评定方法的看法等内容。

可供冶金、化工、机械、国防等部门从事低温容器的设计、加工等方面的技术人员和工人参考。

低 温 用 钢 汇 编

第一机械工业部情报所编

(只限国内发行)

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张11

1972年12月北京第一版·1972年12月北京第一次印刷

印数00,001—20,000·定价1.40元

*

统一书号: 15033·(内)511

写 在 前 面

在我国第四个五年计划的第一年，为了适应国民经济发展的需要，特别是为了满足我国正在飞跃发展的石油化学工业和空分制氧设备对低温钢的需要，在第一机械工业部、燃料化学工业部、冶金工业部、上海市革命委员会和杭州市革命委员会的关怀和支持下，于1971年8月在杭州召开了“低温用钢经验交流座谈会”。参加座谈会的生产、科研、制造、设计及使用部门的代表遵照毛主席关于“**要认真总结经验**”和“**团结起来，争取更大的胜利**”的教导，坚持革命精神和科学分析态度相结合的原则，进行了学习、交流了经验，会议期间广泛地交流了各种低温钢的资料。根据会议建议，我们将有关低温钢的资料进行汇编工作。鉴于会议交流资料内容丰富，而本册篇幅有限，因此选取了部分资料汇编成册，在汇编过程中进行了一定的删节。

在汇编过程中得到上海第一冷冻机厂、上海东方红锅炉厂、广州重型机器厂、武汉钢铁研究所、兰州石油机械研究所、上海第一钢铁厂、鞍山钢铁研究所和沈阳金属研究所等单位大力协助，并经上海材料研究所、上海化学工业设计院、上海第三钢铁厂、杭州制氧机研究所等单位进行了审查和修改，特此致以深切谢意。

由于我们水平有限，时间仓促，不妥之处，望有关单位和读者批评指正。

编 者

1972年12月

前 言

近代科学技术的进展促进了液化气体的生产及使用，特别在冶金、石油化学及国防等工业部门中气体的液化及液化气体的使用越来越普遍。为了适应国民经济发展的需要，要求冶金工业部门提供更多的原材料；石油化学工业部门提供广泛的质量好的产品，如合成橡胶、合成塑料、合成纤维；而国防工业的发展要求有更多的液体燃料。这些工业部门的发展，尤其是其中液化气体的生产和应用，对材料在低温下的性能提出了严格的要求。世界各国近二十年来对材料在低温下性能的研究进行了大量的工作。

长期来国内在低温领域中习惯于采用高镍铬（铬 18-镍 9 型）合金钢或有色金属制造低温受压容器或管道，以避免发生脆性破坏。为了节约昂贵的合金元素，国外进行了大量的试验研究工作，推荐了 3.5% 镍钢和 9% 镍钢分别作为 -100°C 及 -195°C 以下的低温用钢，这些钢种仍不适合我国的具体情况。

我国工业战线的广大职工在以毛主席为首的党中央的领导下，批判了叛徒、内奸、工贼刘少奇的反革命修正主义路线，批判了“洋奴哲学”和“爬行主义”，决心走自己工业发展的道路，豪迈地提出：“要立足于国内资源，创造我国自己的低温用钢体系”。

人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。无产阶级文化大革命有力地推动了我国国民经济的飞跃发展。我国广大科技工作者深入工厂，以工厂为基地，在工人阶级领导下，广泛开展社会主义大协作。全国各地成立了有科研、设计、生产等部门参加的三结合试验小组，大搞群众运动，在短短的几年中创造了很多立足于国内资源的低温用钢，初步建立了我国低温用钢体系，并对低温用钢韧性评定方法及指标作了探索。

国产低温用钢的出现，打破了帝、修、反对我们的封锁，具有很大的政治意义，在经济上其效果也较显著。如以 -120°C 用钢 06 铝镍铜氮为例，其中板单位价格仅为 铬 18-镍 9 型不锈钢的九分之一，对一年处理量 10 万吨轻油的石油化工厂分离车间来说需用低温钢材约 120 余吨，仅材料费用即可节约投资约 180 余万。

为了交流我国低温用钢科研、生产及使用的经验，在有关领导机关支持下，由上海第三钢铁厂、杭州制氧机研究所、上海材料研究所及上海化学工业设计院在杭州召开了“低温用钢经验交流座谈会”。本资料根据会议部分资料汇编而成。由于低温用钢的试验、生产、使用在我国还只刚刚开始，尚需不断地进行工作，继续提高，因此所提出的观点仅供参考，不妥之处，望有关单位和读者批评指正。

目 录

前言

I、-40℃用钢16锰	1
II、-70℃用钢09锰2钒	27
III、-70℃用钢09锰钛铜稀土	49
IV、-90℃用钢06锰铌	81
V、-120℃钢管用钢06铝铜	94
VI、-120℃用钢06铝铌铜氮	98
VII、-196℃用钢20锰23铝	125
VIII、-253℃用钢15锰26铝4	135
IX、对压力容器低温用钢的韧性评定方法的初步意见	139
附录A：落锤试验	160
附录B：缺口静弯试验	164
附录C：符号对照	166

I - 40℃ 用 钢 16 锰

一、16Mn 钢性能简介

16Mn 钢作为高强度钢（专业用钢）广泛地应用在造船、桥梁、锅炉、压力容器、车辆等行业。经过各种低温性能试验和低温爆破试验证明，16Mn 钢又作为 - 40℃ 低温用钢是安全、可靠的。并已在 - 40℃ 左右的中低压压力容器中使用。

（一）16Mn 钢的化学成分

表 I-1 钢板化学成分(%)

C	Mn	Si	S	P
0.12~0.20	1.20~1.60	0.20~0.50	≤0.045	≤0.040

（二）16Mn 钢的机械性能

表 I-2 钢板的机械性能

板 厚 (毫米)	σ_s (公斤/毫米 ²)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ_5 (%)	冷弯180°	α_k (公斤-米/厘米 ²)			断 口
					室 温	- 40℃	时 效	
5~6	≥35	≥52	≥21	$d = 2a$ 合格	≥6	≥3	≥3	合 格
11~20	≥33	≥52	≥19	$d = 3a$ 合格				

二、16Mn 钢焊接材料性能简介

（一）酸性焊条结 502 性能简介

结 502 焊条（上焊 16）是一种钛钙型涂料并加有强化元素，用于焊接 16Mn 钢 或其它 $\sigma_s \geq 35$ 公斤/毫米² 的普通低合金钢的交直流两用的酸性焊条。符合一机部部颁标准 JB294-61 中 T 5022 要求。

1. 熔敷金属化学成分：

表 I-3 结 502 焊条熔敷金属化学成分(%)

C	Mn	Si	S	P
0.08~0.10	~0.8	~0.2	≤0.04	≤0.05

2. 熔敷金属常温机械性能：

表 I-4 结 502 焊条熔敷金属常温机械性能

σ_s (公斤/毫米 ²)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ_5 (%)	ψ (%)	冷弯 $d = 2a$ 180°
$\frac{46.0, 47.4}{46.7}$	$\frac{57.7, 57.0, 59.4}{58.0}$	$\frac{26.7, 26.3, 26.0}{26.3}$	$\frac{57.8, 57.8, 57.8}{57.8}$	合 格

3. 16Mn 钢焊缝金属化学成分:

表 I-5 结 502 焊接 16Mn 钢焊缝金属化学成分(%)

C	Mn	Si	Mo	S	P
0.09	0.84	0.24	0.31	0.015	0.022

4. 16Mn 钢焊接接头常温机械性能:

表 I-6 结 502 焊接 16Mn 焊接接头常温机械性能

σ_s (公斤/毫米 ²)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ_5 (%)	ψ (%)	冷弯 $d=2a$ 180°	备 注
44.8, 43.8, 43.5 44.0	63.0, 61.6, 62.5 62.4	15, 16, 16 15.7	—	合 格	断于母材

(二) 埋弧自动焊性能简介

埋弧自动焊选用了最普通的 H08A 焊丝与焊剂 431 (高硅高锰焊剂) 进行试验。

1. H08A 焊丝化学成分。

表 I-7 H08A 焊丝化学成分(%)

C	Mn	Si	P	S
0.06~0.10	0.30~0.55	≤0.03	≤0.035	≤0.035

2. 焊剂 431 化学成分。

表 I-8 焊剂 431 化学成分(%)

MnO	SiO ₂	MgO	CaO	CaF ₂	Al ₂ O ₃	FeO	S	P
34.5~38	40~44	5~7.5	≤5.5	3~6.5	≤4	≤1.5	≤0.10	≤0.10

3. H08A (φ5) 焊丝 + 焊剂 431 熔敷金属化学成分。

表 I-9 H08A (φ5) + 焊剂 431 熔敷金属化学成分(%)

C	Mn	Si	S	P
0.08	0.75	0.32	0.017	0.018

4. H08A (φ5) 焊丝 + 焊剂 431 熔敷金属常温机械性能。

表 I-10 H08A (φ5) + 焊剂 431 熔敷金属常温机械性能

σ_s (公斤/毫米 ²)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ_5 (%)	ψ (%)	冷 弯 $D=2a$
38.2, 37.9, 37.9 38.0	42.8, 42.8, 42.8 42.8	36.3, 36.0, 34.3 35.5	62.0, 59.9, 59.9 60.6	180°合格

5. 16Mn 钢自动焊焊缝金属化学成分。

表 I-11 H08A (φ5) + 焊剂 431 焊接 16Mn 焊缝金属化学成分(%)

C	Mn	Si	S	P	备 注
0.15	0.93	0.33	0.023	0.023	采用结 502 焊条打底

6. 16Mn 钢自动焊焊接接头常温机械性能。

表 I-12 焊接接头常温性能

σ_s (公斤/毫米 ²)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ_5 (%)	冷弯 $D=2a$	备 注
$\frac{44.2, 41.0}{42.6}$	$\frac{62.1, 60.7, 61.0}{61.3}$	$\frac{16, 16, 16}{16}$	180°合格	断于母材

三、用结502酸性焊条焊接16Mn钢的低温性能

(一) 低温拉伸试验

表 I-13 16Mn 钢低温拉伸性能

试样 取向	试验温度 (°C)	σ_s (公斤/毫米 ²)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ_5 (%)	δ'_5 (%)	ψ (%)	ψ'	σ_s/σ_b (%)
纵 向 试 样	+20	$\frac{34.2, 35.0}{34.6}$	$\frac{58.2, 58.8}{58.5}$	$\frac{26.8, 33.7}{30.3}$	$\frac{22.0, 17.5}{19.8}$	$\frac{65.4, 64.8}{65.1}$	$\frac{14.9, 11.2}{13.1}$	59.0
		$\frac{36.0, 36.0}{36.0}$	$\frac{60.6, 61.1}{60.9}$	$\frac{28.6, 25.0}{26.8}$	$\frac{20.0, 18.2}{19.1}$	$\frac{66.2, 64.4}{65.3}$	$\frac{19.3, 19.0}{19.2}$	59.2
	-10	$\frac{37.6, 36.4}{37.0}$	$\frac{62.3, 62.5}{62.4}$	$\frac{23.4}{23.4}$	$\frac{17.4}{17.4}$	$\frac{64.0, 64.0}{64.0}$	$\frac{12.6}{12.6}$	59.4
		$\frac{41.6, 41.2}{41.4}$	$\frac{66.8, 66.1}{66.5}$	$\frac{29.0, 34.0}{32.0}$	$\frac{17.6, 17.4}{17.5}$	$\frac{63.7, 65.4}{64.6}$	$\frac{14.0, 15.9}{15.0}$	62.2
	-40	$\frac{34.0, 36.0}{35.0}$	$\frac{58.8, 59.4}{59.1}$	$\frac{22.2, 18.5}{20.4}$	$\frac{18.2, 18.9}{17.6}$	$\frac{55.3, 55.0}{55.2}$	$\frac{12.3, 12.6}{12.5}$	59.1
		$\frac{35.8, 36.7}{36.3}$	$\frac{60.8, 61.8}{61.3}$	$\frac{25.9, 25.3}{25.6}$	$\frac{18.4, 17.8}{17.9}$	$\frac{53.8, 56.8}{55.3}$	$\frac{12.1, 9.7}{10.9}$	59.3
	-70	$\frac{38.2, 38.8}{38.5}$	$\frac{62.6, 62.7}{62.7}$	$\frac{18.5, 20.3}{19.4}$	$\frac{17.3, 17.2}{17.3}$	$\frac{52.8, 59.3}{56.0}$	$\frac{14.0, 13.9}{14.0}$	61.3
		$\frac{41.4, 41.0}{41.2}$	$\frac{68.2, 67.2}{67.7}$	$\frac{24.6, 24.8}{24.7}$	$\frac{17.6, 17.8}{17.7}$	$\frac{53.7, 55.4}{54.6}$	$\frac{13.6, 14.0}{13.8}$	60.9

注: (1) 拉伸速度不大于 0.5 毫米/分。 (2) δ'_5 、 ψ' 拉伸试验试样开始形成缩颈时测得的数据。

(二) 低温缺口静弯试验

表 I-14 16Mn 纵向试样缺口静弯试验结果

试 样 编 号	试验温度 (°C)	最大负荷 $P_{最大}$ (公斤)	纤维状断口百 分率 (%)	陡降载荷 $P_{陡}$ 最大载荷 $P_{最大}$ (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b$, %)
纵 A 0-13, 14, 15	-40	$\frac{1135, 1110, 1170}{1138}$	$\frac{95, 98, 90}{94}$	$\frac{0, 0, 0}{0}$	$\frac{10.0, 9.2, 9.0}{9.4}$
纵 A 0-10, 11, 12	-55	$\frac{1165, 1190, 1180}{1178}$	$\frac{5, 5, 5}{5}$	$\frac{96, 96, 96}{96}$	$\frac{5.2, 4.4, 4.8}{4.8}$
纵 A 0-16, 17, 18	-70	$\frac{1260, 1190, 1190}{1213}$	$\frac{5, 0, 5}{3}$	$\frac{99, 99, 99}{99}$	$\frac{5.4, 4.8, 5.0}{5.1}$

注: V 形缺口角度为 45°。

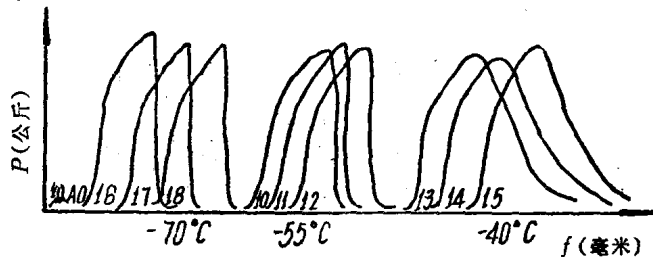
图 I-1 16Mn 纵向试样缺口静弯试验 $P-f$ 曲线图。

表 I-15 16Mn 横向试样缺口静弯试验结果

试 样 编 号	试验温度 (°C)	最大负荷 $P_{\text{最大}}$ (公斤)	纤维状断口百 分率 (%)	陡降载荷 $P_{\text{陡}}$ 最大载荷 $P_{\text{最大}}$ (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b$, %)
横 A 0-7, 8, 9	-20	$\frac{1250, 1165, 1220}{1212}$	$\frac{40, 50, 90}{60}$	$\frac{78, 71, 14}{54}$	$\frac{9.6, 8.8, 12.2}{10.2}$
横 A 0-10, 11, 12	-30	$\frac{1255, 1215, 1195}{1222}$	$\frac{95, 25, 95}{72}$	$\frac{0, 84, 0}{28}$	$\frac{12.4, 9.0, 12.2}{11.2}$
横 A 0-13, 14, 15	-40	$\frac{1250, 1200, 1220}{1223}$	$\frac{5, 5, 5}{5}$	$\frac{98, 95, 98}{97}$	$\frac{7.4, 5.8, 5.8}{6.3}$
横 A 0-16, 17, 18	-70	$\frac{1260, 1225, 1240}{1242}$	$\frac{5, 0, 0}{2}$	$\frac{99, 98, 99}{99}$	$\frac{5.2, 5.0, 6.0}{5.4}$

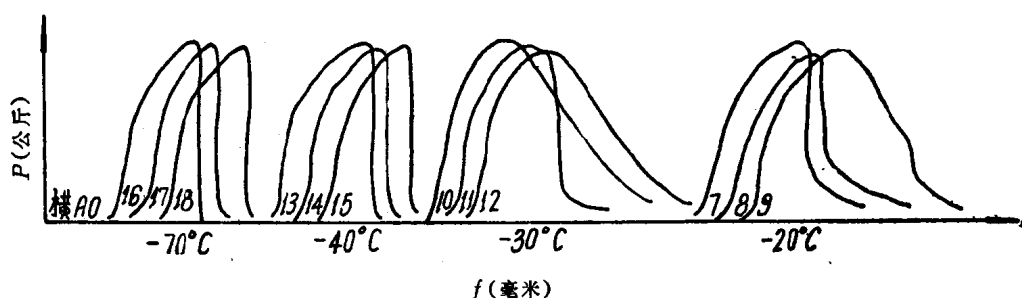
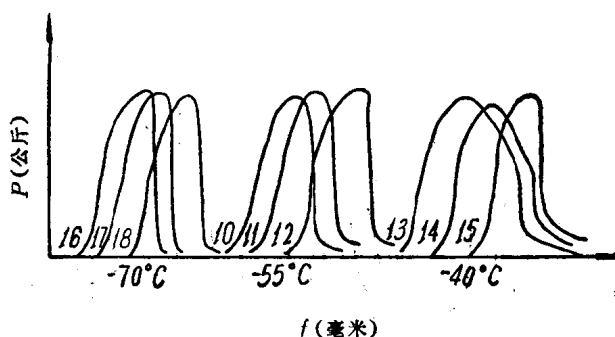
图 I-2 16Mn 横向试样缺口静弯试验 $P-f$ 曲线图。

表 I-16 结502焊接 16Mn 焊缝试样缺口静弯试验结果

试 样 编 号	试验温度 (°C)	最大负荷 $P_{\text{最大}}$ (公斤)	纤维状断口百 分率 (%)	陡降载荷 $P_{\text{陡}}$ 最大载荷 $P_{\text{最大}}$ (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b$, %)
A 1-13, 14, 15	-40	$\frac{1260, 1185, 1265}{1233}$	$\frac{70, 70, 30}{57}$	$\frac{33, 30, 78}{47}$	$\frac{9.6, 8.8, 5.8}{8.1}$
A 1-10, 11, 12	-55	$\frac{1260, 1285, 1260}{1235}$	$\frac{10, 10, 10}{10}$	$\frac{89, 88, 85}{87}$	$\frac{4.0, 4.0, 5.4}{4.5}$
A 1-16, 17, 18	-70	$\frac{1290, 1270, 1275}{1278}$	$\frac{10, 10, 10}{10}$	$\frac{92, 94, 94}{93}$	$\frac{4.8, 4.6, 4.6}{4.7}$

图 I-3 结 502 焊接 16Mn 焊缝试样缺口静弯试验 $P-f$ 曲线图。

(三) 低温冲击试验

表 I-17 纵向试样 U 型缺口梅氏机冲击试验结果

试样编号	试验温度 °C	冲击韧性 α_k (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口百分率 %	底部最大膨胀率 $\Delta b/b$, %
1 QBO2 3	+25	13.57, 13.22, 13.32 13.37	95, 97, 95 95.7	18.39, 16.74, 16.01 17.04
4 5 6	-10	8.96, 8.86, 9.17 9.00	50, 45, 50 48.3	12.13, 11.77, 11.94 11.95
7 8 9	-25	8.35, 8.84, 8.54 8.57	40, 40, 35 38.3	10.45, 11.06, 10.74 10.75
10 11 12	-40	4.22, 10.20, 8.85 7.76	20, 12, 20 17.3	5.96, 9.15, 10.96 8.69
13 14 15	-55	4.61, 7.33, 1.74 4.56	5, 15, 0 6.67	5.78, 8.85, 2.29 5.64
16 17 18	-70	1.50, 1.12, 0.75 1.12	0, 0, 0 0	1.79, 1.39, 0.99 1.39

表 I-18 横向试样 U 型缺口梅氏机冲击试验结果

试样编号	试验温度 °C	冲击韧性 α_k (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口百分率 (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b$, %)
1 HBO2 3	+25	7.46, 7.45, 7.69 7.53	98, 95, 98 97	10.92, 10.91, 11.20 11.01
4 5 6	-10	5.83, 5.72, 5.96 5.84	65, 65, 55 61.6	8.43, 9.14, 8.64 8.74
7 8 9	-25	5.59, 5.46, 5.72 5.59	50, 40, 50 46.6	7.23, 6.94, 7.06 7.08
10 11 12	-40	4.84, 4.97, 4.47 4.76	20, 20, 20 20	6.06, 6.35, 5.85 6.09
13 14 15	-55	3.60, 1.61, 4.47 3.23	0, 1, 1 0.6	4.57, 1.98, 5.16 3.90
16 17 18	-70	1.00, 2.23, 0.62 1.28	0, 0, 0 0	1.29, 2.18, 0.99 1.49

表 I-19 纵向试样 V 型缺口梅氏机冲击试验结果

试样编号	试验温度 °C	冲击韧性 C_V (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口百分率 %	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b$, %)
1 QCO2 3	+25	8.08, 7.60, 9.20 8.29	95, 90, 99 94.7	12.44, 11.28, 13.84 12.52
4 5 6	-10	3.24, 4.48, 3.74 3.82	40, 45, 40 41.7	5.28, 6.97, 5.38 5.88
7 8 9	-25	2.99, 1.78, 2.50 2.42	20, 25, 20 21.7	2.79, 3.29, 4.19 3.42
10 11 12	-40	0.87, 1.0, 1.76 1.21	5, 1, 12 6	1.59, 1.40, 2.82 1.94
13 14 15	-55	0.88, 0.50, 1.12 0.83	0, 0, 1 0.3	1.20, 0.7, 1.59 1.16
16 17 18	-70	0.5, 0.63, 0.5 0.54	0, 0, 0 0	0.8, 1.2, 0.2 0.73

表 I-20 横向试样 V 型缺口梅氏机冲击试验结果

试样编号	试验温度 ℃	冲击韧性 C_v (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口百分率 (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b\%$)
1 HCO2 3	+25	<u>5.96, 5.72, 5.60</u> 5.76	<u>99, 97, 99</u> 98.3	<u>12.21, 8.94, 8.33</u> 9.84
4 5 6	-10	<u>3.48, 3.23, 2.86</u> 3.19	<u>65, 50, 50</u> 55	<u>5.16, 4.77, 4.57</u> 4.83
7 8 9	-25	<u>2.48, 3.10, 2.98</u> 2.85	<u>35, 45, 45</u> 41.7	<u>3.57, 4.77, 4.97</u> 4.44
10 11 12	-40	<u>1.0, 1.37, 1.49</u> 1.29	<u>12, 10, 12</u> 11.3	<u>1.49, 2.09, 1.93</u> 1.85
13 14 15	-55	<u>0.75, 0.75, 1.0</u> 0.83	<u>0, 1, 1</u> 0.66	<u>1.49, 0.80, 1.89</u> 1.39
16 17 18	-70	<u>0.62, 0.62, 0.62</u> 0.62	<u>0, 0, 0</u> 0	<u>0.7, 0.3, 0.4</u> 0.47

表 I-21 纵向试样 V 型缺口却贝机冲击试验结果

试样编号	试验温度 ℃	冲击值 C_v (呎-磅)	冲击韧性 C_v (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口 百分率(%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b\%$)
1 QDO2 3	+25	<u>52, 57, 58</u> 55.7	<u>8.93, 9.77, 9.96</u> 9.55	<u>82, 98, 99</u> 93	<u>11.93, 12.22, 13.04</u> 12.46
4 5 6	-10	<u>28, 27, 26</u> 27	<u>4.8, 4.64, 4.47</u> 4.64	<u>45, 45, 40</u> 43.3	<u>6.77, 6.37, 6.27</u> 6.47
7 8 9	-25	<u>21, 26, 21</u> 22.7	<u>3.61, 4.47, 3.61</u> 3.90	<u>20, 25, 20</u> 21.7	<u>5.28, 5.78, 4.28</u> 5.11
10 11 12	-40	<u>12, 14, 14</u> 13.3	<u>2.06, 2.41, 2.41</u> 2.29	<u>10, 12, 10</u> 10.7	<u>2.39, 3.29, 3.29</u> 2.99
13 14 15	-55	<u>5, 6, 7</u> 6	<u>0.86, 1.03, 1.20</u> 1.0	<u>1, 1, 1</u> 1	<u>0.9, 1.2, 1.4</u> 1.16
16 17 18	-70	<u>3, 4, 2</u> 3	<u>0.52, 0.68, 0.35</u> 0.52	<u>0, 0, 0</u> 0	<u>0.5, 0.5, 0.4</u> 0.47

表 I-22 横向试样 V 型缺口却贝机冲击试验结果

试样编号	试验温度 ℃	冲击值 C_v (呎-磅)	冲击韧性 C_v (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口 百分率(%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b\%$)
1 HDO2 3	+25	<u>36, 37, 38</u> 37	<u>6.17, 6.93, 6.50</u> 6.83	<u>99, 99, 99</u> 99	<u>14.5, 13.3, 10.22</u> 12.7
4 5 6	-10	<u>18, 19, 22</u> 20	<u>3.08, 3.25, 3.78</u> 3.37	<u>55, 50, 50</u> 51.7	<u>4.67, 4.57, 6.06</u> 5.10
7 8 9	-25	<u>21, 17, 19</u> 19	<u>3.60, 2.90, 3.25</u> 3.25	<u>30, 31, 35</u> 32	<u>4.97, 4.67, 4.97</u> 4.87
10 11 12	-40	<u>9, 11, 11</u> 10	<u>1.54, 1.89, 1.89</u> 1.77	<u>17, 15, 10</u> 14	<u>1.98, 2.48, 2.88</u> 2.45
13 14 15	-55	<u>7, 6</u> 7	<u>1.2, 1.03</u> 1.12	<u>9, 9</u> 9	<u>1.39, 1.19</u> 1.29
16 17 18	-70	<u>3, 4, 5</u> 4	<u>0.52, 0.68, 0.86</u> 0.69	<u>0, 0, 0</u> 0	<u>0.4, 0.4, 0.99</u> 0.6

表 I-23 焊缝金属 U 型缺口梅氏机冲击试验

试验编号	试验温度 (°C)	冲击韧性 α_k (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口百分率 (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b$ %)
B1-1	+60 +5	<u>12.45</u> "	<u>100</u> "	<u>16.35</u> "
2 3 4	+25	<u>11.30, 12.30, 12.20</u> 11.87	<u>100, 90, 94</u> 94.7	<u>14.32, 14.92, 13.12</u> 14.12
5 6 7	-10	<u>8.70, 8.95, 8.20</u> 8.62	<u>47, 69, 47</u> 54.3	<u>10.18, 10.38, 10.38</u> 10.31
8 9 10	-40	<u>6.46, 7.44, 6.93</u> 6.94	<u>40, 40, 47</u> 42.3	<u>6.97, 9.14, 8.36</u> 8.16
11 12 13	-70	<u>4.97, 5.47, 5.96</u> 5.47	<u>27, 16, 21</u> 21.3	<u>4.58, 6.17, 6.37</u> 5.71
14 15 16	-80	<u>6.60, 5.35, 4.46</u> 5.47	<u>21, 17, 6</u> 14.7	<u>6.07, 4.98, 4.37</u> 5.14
1-1-B 2 3	-40	<u>7.95, 3.24, 7.45</u> 6.21	<u>33, 23, 47</u> 34.3	<u>9.25, 3.59, 7.96</u> 6.93
4 5 6	-70	<u>3.85, 4.97, 5.74</u> 4.85	<u>11, 21, 17</u> 16.3	<u>4.18, 6.18, 4.98</u> 5.11
7 8	-80	<u>4.73, 3.12</u> 3.93	<u>6, 6</u> 6	<u>2.99, 2.99</u> 2.99

表 I-23, I-24, I-25 注: B1-(1-16)系缺口槽轴线平行于钢板轧制面(即焊缝大面开槽)。

1-(1-8)-B系缺口槽轴线垂直于钢板轧制面(即焊缝侧面开槽)。

表 I-24 焊缝金属 V 型缺口梅氏机冲击试验

试验编号	试验温度 (°C)	冲击韧性 C_V^M (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口百分率 (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b$ %)
C1-1 2 3	+25	<u>8.84, 9.71, 9.45</u> 9.33	<u>95, 99, 98</u> 97.3	<u>9.76, 13.35, 13.15</u> 12.09
4 5 6	-10	<u>8.96, 5.47, 6.10</u> 6.84	<u>81, 72, 70</u> 74.3	<u>11.95, 7.57, 7.57</u> 9.03
7 8 9	-40	<u>3.48, 3.23, 3.61</u> 3.44	<u>26, 31, 36</u> 31	<u>4.58, 4.18, 4.08</u> 4.28
10 11 12	-70	<u>2.24, 2.74, 1.99</u> 2.32	<u>11, 17, 16</u> 14.7	<u>2.39, 2.19, 1.70</u> 2.19
13 14	-80	<u>2.11, 1.99</u> 2.05	<u>16, 11</u> 13.5	<u>1.80, 1.50</u> 1.65
1-1-C 2 3	-40	<u>2.23, 3.60, 4.09</u> 3.31	<u>21, 30, 47</u> 32.7	<u>2.78, 4.08, 5.17</u> 4.01
4 5 6	-70	<u>1.25, 1.25, 2.24</u> 1.58	<u>11, 0, 5</u> 5.3	<u>0.80, 0.60, 1.70</u> 1.03

表 I-25 焊缝金属 V 型缺口却贝机冲击试验

试验编号	试验温度 (°C)	冲击值 C_v (呎-磅)	冲击韧性 C_v (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口 百分率(%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b\%$)
D1-1 2 3	+25	$\frac{53,62,58}{57.6}$	$\frac{9.10,10.66,9.96}{9.91}$	$\frac{90,92,94}{92}$	$\frac{12.15,12.55,12.95}{12.55}$
4 5 6	-10	$\frac{32,36,42}{36.6}$	$\frac{5.50,6.18,7.22}{6.30}$	$\frac{56,56,69}{60.3}$	$\frac{5.98,8.16,8.16}{7.43}$
7 8 9	-40	$\frac{21,24,22}{22.3}$	$\frac{3.61,4.13,3.78}{3.84}$	$\frac{35,40,31}{35.3}$	$\frac{3.99,3.59,4.18}{3.92}$
10 11 12	-70	$\frac{8,10,21}{13.0}$	$\frac{1.38,1.72,3.61}{2.24}$	$\frac{5,11,11}{12.3}$	$\frac{0.6,1.19,2.00}{1.26}$
13 14 15	-80	$\frac{10,10,16}{12.0}$	$\frac{1.72,1.72,2.75}{2.06}$	$\frac{5,5,11}{7}$	$\frac{0.6,1.40,2.59}{1.53}$
1-1-D 2 3	-40	$\frac{8,24,20}{17.3}$	$\frac{1.37,4.12,3.43}{2.97}$	$\frac{16,31,16}{21}$	$\frac{2.0,4.78,3.39}{3.39}$
4 5 6	-70	$\frac{6,13,10}{9.6}$	$\frac{1.03,2.23,1.71}{1.66}$	$\frac{5,5,0}{3.3}$	$\frac{0.20,1.68,1.29}{1.06}$
7	-80	$\frac{6}{n}$	$\frac{1.03}{n}$	$\frac{0}{n}$	$\frac{0}{n}$

表 I-26 熔合线, 热影响区 U 型缺口梅氏机冲击试验

试验编号	试验温度 (°C)	冲击韧性 α_k (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口百分率 (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b\%$)	备 注
B-2-1* 2 3	+25	$\frac{8.34,7.71,8.95}{8.33}$	$\frac{100,100,100}{100}$	$\frac{10.18,10.48,10.18}{10.24}$	0,0 0, -0.5 0, -1
4 5 6	-10	$\frac{7.60,6.47,8.46}{7.51}$	$\frac{77,68,100}{81.7}$	$\frac{8.56,8.36,10.37}{9.09}$	0,0 0,0 0,0
7 8 9	-40	$\frac{4.71,4.98,3.49}{4.39}$	$\frac{65,85,65}{71.1}$	$\frac{5.27,7.17,4.58}{5.64}$	0,0 0,0.5 0,0
10 11 12	-70	$\frac{2.74,3.38,3.98}{3.37}$	$\frac{16,11,17}{14.7}$	$\frac{2.79,3.60,4.38}{3.59}$	0,0 0,0 -1, -1
B-3-1* 2 3	+25	$\frac{6.97,8.46,8.47}{7.97}$	$\frac{87,100,100}{95.7}$	$\frac{9.16,12.16,9.68}{10.03}$	1.5,1.5 0.5,1.0 1.5,2.0
4 5 6	-10	$\frac{5.72,7.08,7.94}{6.91}$	$\frac{61,70,94}{75}$	$\frac{6.77,9.36,11.06}{9.06}$	1.5,1.5 1.0,1.0 1.0,1.5
7 8 9	-40	$\frac{5.95,3.98,4.98}{4.97}$	$\frac{75,17,50}{47.3}$	$\frac{7.25,4.18,6.37}{5.93}$	1.0,1.0 -1.5, -1.5 0,0.5
10 11 12	-70	$\frac{3.74,3.23,3.24}{3.41}$	$\frac{6,11,0}{5.7}$	$\frac{2.99,3.68,3.58}{3.41}$	2,2, 2,2, 0.5,0.5

表 I-27 熔合线, 热影响区 V 型缺口梅氏机冲击试验

试验编号	试验温度 (°C)	冲击韧性 C_v (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口百分率 (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b\%$)	备 注
C-2-1*	+25	6.23, 6.93, 6.47	100, 100, 100	8.76, 7.76, 8.96	0.0
2		6.54	109	8.49	0.5, 1
3					0.5, 0.5
4	-10	4.73, 4.73, 6.47	96, 75, 86	6.97, 6.57, 7.77	0.0
5		5.31	85.7	7.10	-0.3, 0.5
6					-0.2, 0
7	-40	3.48, 1.87, 2.62	55, 33, 45	4.58, 2.39, 3.78	0.5, 0.5
8		2.66	44.3	3.58	0.0, 2
9					-1, 0
10	-70	1.00, 2.49, 1.25	0, 11, 20	0, 2.59, 1.50	0.0
11		1.58	10.3	1.36	1, 1
12					0.5, 0.5
C-3-1*	+25	7.36, 7.22, 5.10	100, 100, 88	11.79, 9.55, 5.97	1, 1
2		6.56	96	9.10	1.5, 1
3					1, 1
4	-10	5.73, 7.10, 7.96	100, 80, 99	9.96, 9.16, 9.56	1, 1
5		6.93	93	9.56	1.5, 1.5
6					1, 1
7	-40	2.86, 3.24, 1.99	27, 50, 5	3.19, 4.58, 2.50	1, 1
8		2.70	27.3	3.42	-1, -1
9					1, 1
10	-70	0.62, 0.7, 1	1, 0, 0	0.3, 0.1, 0.4	1, 1
11		0.77	0.3	0.27	1, 1
12					0.5, 0.7

表 I-28 熔合线

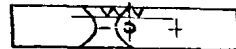
试验编号	试验温度 (°C)	冲击韧性 α_k (公斤-米/厘米 ²)	纤维状断口百分率 (%)	底部最大膨胀率 ($\Delta b/b\%$)	备 注
D-2-1*	+25	6.87, 8.58, 7.22	100, 100, 96	9.36, 10.56, 7.66	0.3, 0.3
2		7.56	95.3	9.19	0.4, 0.4
3					开侧面
4	-10	4.98, 6.02, 4.30	70, 77, 62	5.78, 6.68, 5.58	0.0
5		5.10	69.7	6.01	-0.5, -0.5
6					0.0
7	-40	4.33, 3.95, 4.47	50, 39, 45	5.08, 4.88, 5.68	-0.2, -0.3
8		4.24	44.7	5.21	0.0
9					0.0
10	-70	1.21, 2.93, 1.72	16, 11, 6	0.6, 2.7, 1.7	0.1
11		1.95	11	1.67	-0.5, -0.5
12					-0.5, -0.5
D-3-1*	+25	6.86, 7.73, 7.22	91, 100, 100	7.37, 6.57, 7.48	0.5, 0.5
2		7.27	97	7.14	1, 1
3					1, 1
4	-10	4.47, 4.13, 6.36	68, 68, 85	5.58, 5.48, 7.38	1, 1
5		4.99	73.7	6.15	1, 1
6					1, 1
7	-40	25.8, 1.72, 2.75	33, 30, 29	4.18, 2.70, 3.88	1, 1
8		2.35	30.7	3.59	1, 1
9					1, 1
10	-70	2.24, 0.86, 1.03	6, 0, 0	1.60, 0.4, 0.7	1.2, 1.2
11		1.38	2	0.9	2, 2
12					1, 1

表(I-26, I-27, I-28) 注: 备注内数字表示, 冲击试样两侧缺口根部距熔合线的相对位置。单位毫米。

“0”——表示, 缺口根部位于熔合线上;

“+”——表示缺口根部在热影响区内;

“-”——表示缺口根部在焊缝内。



* B-2-(1~12)表示熔合线冲击试样; B-3-(1~12)表示热影响区冲击试样。

四、压力容器低温爆破试验

(一) 容器结构设计和强度计算

1. 试验容器的结构:

筒体内径 $D_i = 576$ 毫米。

筒体壁厚 $S = 12$ 毫米。

筒体长度 $L = 1200$ 毫米。

封头 (标准椭圆形) 壁厚 $S_H = 14$ 毫米。

筒体中部开孔接管外径 $d_o = 159$ 毫米 (指开孔的容器)。

试验容器分光筒和带接管二种结构型式, 试验容器的结构见图 (I-4)。

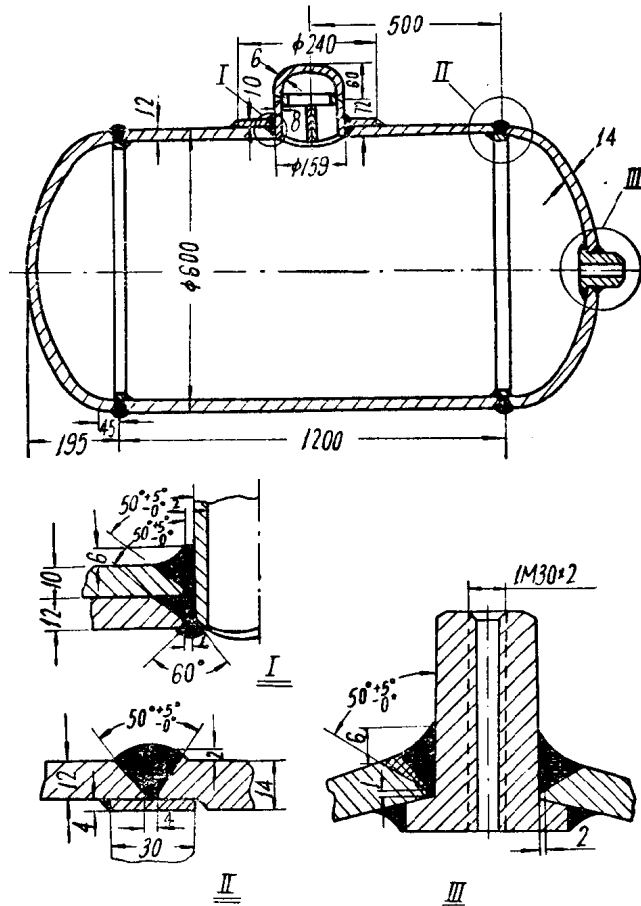


图 I-4 低温爆破容器制造图 (单位: 毫米)。

2. 爆破容器工作压力: 计算结果列于表 (I-29)。

3. 低温爆破试验容器爆破压力的估算: 其结果列于表 (I-30)。

表 I-29 容器圆筒体部分工作压力

序 号	公 式 名 称	计 算 公 式	板						材		焊 接 试 板		备 注
			常温 实测 数据	-10℃低温		-40℃低温		-70℃低温		手工焊	自动焊		
				纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向				
1	苏联压力容器计算标准 PTM42-62	$S = \frac{PD_b}{2[\sigma]\varphi - P} + C$	72.4	75.4	76.0	77.3	77.6	82.3	83.7	82.3	83.7	$[\sigma] = \sigma_b/n \quad n = 2.6$ $\varphi = 0.9 \quad C = 1.5 \text{毫米}$	
2	苏联锅炉监察手册 61年	$S = \frac{PD_b}{200[\sigma]\varphi - P} + C$	53.7	56.0	56.4	57.3	57.6	61.2	62.2	61.2	62.2	$[\sigma] = \sigma_b/n \quad n = 3.5$ $\varphi = 0.9 \quad C = 1.5 \text{毫米}$	
3	苏联汽轮机锅炉研究所 1968(ЧКТИ)	$S = \frac{PD_b}{230[\sigma]\varphi - P} + C$	72.2	75.1	75.7	77.0	77.5	82.1	83.5	82.1	83.5	$[\sigma] = \sigma_b/n \quad n = 3$ $\varphi = 0.9 \quad C = 1.5 \text{毫米}$	
4	英 国 BS 1515-65	$t = \frac{PD_1}{2fJ - P} + C$	80.2	83.5	84.1	85.6	86.0	91.3	92.8	91.3	92.8	$f = \sigma_b/n \quad n = 2.35$ $J = 0.9 \quad C = 1.5 \text{毫米}$ $Di = 576 \text{毫米}$	
5	美国 ASME 锅炉及压 力容器规范计算方法 (62年)	$t = \frac{PR_b}{SE - 0.6P}$	53.5	55.7	56.1	57.1	57.4	60.8	62.0	60.8	62.0	$S = \sigma_b/n \quad n = 4$ $E = 0.9 \quad R_b = 288 \text{毫米}$	
6	日 本 JISB 843-63	$t = \frac{PD}{200fxy - P} + C$	47.1	49.0	49.3	50.2	50.5	53.5	54.5	53.5	54.5	$x = \frac{1}{n_b} \quad n_b = 4$ $y = 0.9 \quad C = 1.5 \text{毫米}$ $D_b = 576 \text{毫米}$	
7	化工部“钢制化工容 器设计规定”(暂行) 公式	$S = \frac{PD_b}{2[\sigma]\varphi - P} + C$	69.3	72.2	72.6	74.0	74.3	78.8	80.3	78.8	80.3	$[\sigma] = \sigma_b/n \quad n = 2.7$ $C = 1.5 \text{毫米}$	