



二氧化碳 CARBON DIOXIDE

AIGA 068/20

(AIGA 068/10 修订版)

亚洲工业气体协会

新加坡 Vision Exchange 22-28 号 Venture Drive 大道 2 号，邮编 608526
电话: +65 67055642 传真: +65 68633379

网址: <http://www.asiaiga.org> | LinkedIn 资料: <https://www.linkedin.com/company/asiaigaorg>



二氧化碳 CARBON DIOXIDE

作为行业标准统一计划的一部分，亚洲工业气体协会（AIGA）发布了 AIGA 068，《二氧化碳》，由国际协调理事会成员联合制作，最初由压缩气体协会（CGA）出版为 CGA G-6《二氧化碳》。

本出版物旨在作为亚洲工业气体协会（AIGA），压缩气体协会（CGA）和日本工业和医疗气体协会（JIMGA）所有成员在全球范围内使用和应用的国际统一标准。除了地区法规要求以及格式和拼写的微小变化之外，每个协会的技术内容都是相同的。

免责声明

所有AIGA或带AIGA名称的出版物包含的信息，包括业务守则、安全程序及技术信息均从AIGA认为可靠的来源获得，并且/或者基于AIGA及其他组织成员在出版之日提供的技术信息和经验。有鉴于此，我们无法对这些出版物所含信息的精确性、完整性或正确性作出保证，也不为此承担任何法律责任。

尽管AIGA建议其成员参考或使用协会出版物，成员或第三方对出版物的参考或使用行为纯粹出于自愿，不具有约束力。AIGA或其成员对参考或使用AIGA出版物所含信息或建议产生的结果不作任何担保，亦不承担任何相关的法律责任。

AIGA无法控制任何个人或团体（包括AIGA成员）执行或不执行、误解、正确或不正确使用任何AIGA出版物所含任何信息或建议，AIGA明确声明不承担任何与之相关的法律责任。

AIGA出版物接受定期审查，用户请注意获取最新版本。

如有任何内容方面的分歧、或经授权翻译的文件内容与本出版物的英文内容不相符合时，应以 AIGA 提供的官方英文版的内容为准。

ANY AMBIGUITIES OR INTERPRETIVE DIFFERENCES BETWEEN AN AUTHORIZED TRANSLATED VERSION AND THE ENGLISH VERSION OF THIS PUBLICATION SHALL BE CONSTRUED AND APPLIED TO PRESERVE THE MEANING SET FORTH IN THE OFFICIAL ENGLISH VERSION WHICH IS AVAILABLE FROM AIGA.

© 转载获得美国压缩气体协会的许可。版权所有。

亚洲工业气体协会

新加坡 Vision Exchange 22-28 号 Venture Drive 大道 2 号，邮编 608526 电话：+65 67055642 传真：+65 68633379

网址：<http://www.asiaiga.org> | LinkedIn 资料：<https://www.linkedin.com/company/asiaigaorg>

目录	页码
1 前言	1
2 适用范围和目的	1
2.1 适用范围	1
2.2 目的	1
3 定义	1
4 二氧化碳	3
4.1 物理和化学特性	3
4.2 制造	3
5 特殊危险	14
5.1 通则	14
5.2 个人防护装备	14
5.3 干冰堵塞	14
5.4 滞留液体	15
5.5 排放和排污管中的滞留的固体（干冰和冰）	15
5.6 人员过度暴露	15
5.7 二氧化碳泄漏检测系统	17
5.8 容器和钢瓶的过量充装	17
5.9 静电	Error! Bookmark not defined.
6 二氧化碳的生理效应	19
6.1 通则	19
6.2 过度暴露于二氧化碳的物理影响	21
6.3 监管标准	21
6.4 安全预防措施	21
6.5 救援和急救	21
7 二氧化碳的运输，储存和处理	22
7.1 通则	22
7.2 适用于容器和气瓶的法规	25
7.3 非绝热二氧化碳钢瓶	25
7.4 绝热二氧化碳钢瓶	28
7.5 小型固定式二氧化碳绝热容器	30
7.6 槽罐车	33
7.7 便携式储槽	33
7.8 货罐	34
7.9 大宗液态二氧化碳储存容器	36
7.10 固态二氧化碳（干冰）	43
7.11 输送软管	45
8 二氧化碳应用	46
9 参考文献	47
表格	
表 1 — 二氧化碳的物理常数	4
表 2 — 二氧化碳在水中的溶解度（单位体积二氧化碳/单位体积水）	6

表 3 — 饱和二氧化碳固相、液相和蒸气相的热力学特性（美制单位）	7
表 4 — 饱和二氧化碳固相、液相和蒸气相的热力学特性（国际标准单位）	9
表 5 — 最大允许工作压力 350 psi（2410 kPa）的绝热容器在 200 psi（1380 kPa）下饱和的液态二氧化碳受热时的体积膨胀量	19
表 6 — 二氧化碳的 NFPA 危险标识指示	24
表 7 — 非绝热二氧化碳钢瓶的典型尺寸和容量	26

图表

图 1 — 二氧化碳相图	6
图 2 — 压焓图	11
图 3 — 典型的块状或成型产品	13
图 4 — 不安全的封闭空间示例	Error! Bookmark not defined.
图 5 — 自然通风和有监控的封闭空间示例	Error! Bookmark not defined.
图 6 — 监控合理但通风不良的封闭空间示例	Error! Bookmark not defined.
图 7 — 通风良好且监控合理的封闭空间示例	Error! Bookmark not defined.
图 8 — 栅栏式二氧化碳装置室外围墙	17
图 9 — 用于二氧化碳装置的室外墙体或场地	17
图 10 — 350 psi 二氧化碳容器的安全充装量	19
图 11 — 典型警示牌	21
图 12 — 在选定温度下被充装到指示密度的二氧化碳 DOT-3AL 1800 气瓶中的压力示例	22
图 13 — NFPA 液态二氧化碳危险标签	24
图 14 — 真空绝热二氧化碳钢瓶	30
图 15 — 小型固定式绝热二氧化碳容器（迷你储罐）	31
图 16 — 小型固定式绝热二氧化碳容器的典型配管示意图	32
图 17 — 液态二氧化碳罐车	33
图 18 — 液态二氧化碳货罐	34
图 19 — 液态二氧化碳货罐（单体卡车）	35
图 20 — 大宗液态二氧化碳容器	36
图 21 — 卧式聚氨酯绝热二氧化碳存储系统的典型管道示意图	37
图 22 — 立式真空绝热二氧化碳存储系统的典型管道示意图	38
图 23 — 增压气化器	42
图 24 — 直接处理电热气化器	42
图 25 — 直接处理蒸汽气化器	43
图 26 — 绝热二氧化碳钢瓶充装软管	45
图 27 — 大宗液体输送软管	46

注：在上一版基础上所做的技术更改已加下划线标识。

1 前言

本出版物是编制的一系列旨在满足关于压缩和液化气体、低温液体和相关产品的生产、储存、运输、安全操作和使用的信息需求的出版物之一。

2 适用范围和目的

2.1 适用范围

本出版物的适用范围包括二氧化碳的物理和化学特性、生理学、毒性、危险、生产、法规、储存、操作、运输和应用。

2.2 目的

本出版物的目的是提供关于二氧化碳的信息。本出版物应有助于二氧化碳用户、生产商和经销商。更多关于二氧化碳及其运输使用的其他方面的详细信息可以在本出版物所列参考文献中找到。

3 定义

在本出版物中，以下定义适用。

3.1 术语

3.1.1 应（应该）

表示步骤或程序是强制性的。在所有明确建议的标准不允许偏差的情况下使用

3.1.2 宜

表示步骤或程序是推荐（建议）性的。

3.1.3 可，可以

表示步骤或程序是可选择的。

3.1.4 将，将会

仅用于表示将来，而非需求程度。

3.1.5 能，能够

用于表示一种可能性或能力。

3.2 技术定义

3.2.1 二氧化碳

由一个碳原子与两个氧原子结合组成的一种化合物，化学式是 CO₂。

3.2.2 容器

设计和制造都符合美国机械工程师协会（ASME）的锅炉和压力容器规范第 I 部分第 VIII 章的用于储存液体二氧化碳的绝热压力容器[1]。¹

注一 容器也可被称作贮槽或储罐。

¹ 参考文献用方括号中的数字表示，并按出现顺序在参考文献章节列出。

3.2.3 临界点

一种纯气体的液相和气相平衡存在时的最高压力和温度。

注 — 对于二氧化碳，这发生在 87.9 °F (31.1 °C) 的温度和 1070.6 psia (7381.8 kPa, abs)² 的压力下。

3.2.4 临界压力

在临界温度下产生液化所施加的压力。

注 — 对于二氧化碳，临界压力是 1070.6 psia (7381.8 kPa, 绝压)。

3.2.5 临界温度

无论压缩程度，在此温度之上，纯气体将不能再被液化。

注 — 对于二氧化碳，临界温度是 87.9 °F (31.1 °C)。

3.2.6 钢瓶

3.2.6.1 绝热钢瓶

美国交通部 (DOT) 批准的绝热压力容器，其水容量不超过 120 gal (454 L) 或 1000 lb (454 kg)，额定工作压力不低于 40 psi (276 kPa) 但是不超过 500 psi (3448 kPa) 的压力容器，或加拿大交通部 (TC) 批准的绝热压力容器，其水容量不超过 119 gal (450 L) 且额定工作压力是 3 bar 至 35 bar。

3.2.6.2 非绝热钢瓶

DOT 或 TC 批准的最小额定工作压力是 1800 psi (124 bar) 且水容量不超过 120 gal (454 L) 的圆形的有圆形横截面的压力容器。

注 — 最小工作压力 1800 psi (124 bar) 特指二氧化碳。

3.2.7 干冰

固态二氧化碳的常用名称。

注 — 干冰在大气压力下的温度是 -109.3 °F (-78.5 °C)。

3.2.8 最大允许工作压力 (MAWP)

在特定温度下，容器顶部工作位置的最大允许表压[1]。

3.2.9 合格的二氧化碳技术人员

因为教育、培训以及经验而知晓二氧化碳的特性，熟悉用于储存、运输和使用二氧化碳的设备，并且了解必要的安全使用二氧化碳设备的预防措施的人员。

3.2.10 注册检验员

依据《美国联邦法规》第 107 部分 F 小节第 49 章在 DOT 注册的人员[3]，具备确定货舱储槽是否符合适用的 DOT 规范的知识能力。

3.2.11 小型固定式绝热二氧化碳容器

ASME 许可的二氧化碳容量不超过 1000 lb (454 kg) 的二氧化碳绝热压力容器。

3.2.12 饱和状态

所有现有物理状态的压力和温度处于平衡的状态。

3.2.13 升华

不经过液相而从固相直接变成气相的过程。

² kPa 表示表压，除非另有说明，如 (kPa, abs) 表示绝压，(kPa, 差压) 表示压差，所有 kPa 值均根据 CGA P-11 《压缩气体行业度量标准实践指南》四舍五入[2]。

3.2.14 超临界流体

一种处于等于或超过其临界点的压力和温度下的物质。一种具有液相和气相完全互溶性的物质。

3.2.15 三相点

一种物质同时作为固体、液体和气体三相存在时所处的温度和压力。对于二氧化碳，三相点是 $-69.9\text{ }^{\circ}\text{F}$ 和 75.1 psia ($-56.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 518 kPa, abs)。

3.2.16 异常条件

任何超出正常设计参数范围的条件。

4 二氧化碳

4.1 物理和化学特性

二氧化碳是一种无色、无嗅、微酸性气体，比空气重约 50%。二氧化碳是不易燃的，不支持燃烧。在表 1 中对二氧化碳的物理常数进行了汇总。二氧化碳能够作为固体、液体、气体或超临界流体存在（取决于温度和压力条件）。

二氧化碳在其三相点 $-69.9\text{ }^{\circ}\text{F}$ 和 75.1 psia ($-56.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 518 kPa, abs) 同时作为液体、气体和固体存在。压力或温度的任何变化都会导致二氧化碳还原为两相状态（参见图 1）。

二氧化碳在其临界点 $87.9\text{ }^{\circ}\text{F}$ 和 1070.6 psia ($31.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 7381.8 kPa, abs) 同时作为液体、气体和超临界流体存在。在超过临界点的压力和温度下，二氧化碳仅作为一种超临界流体存在。

二氧化碳在水中的溶解度随温度和压力而变化。各种温度和压力条件下的溶解度参见表 2[4]。

关于二氧化碳的热力学和物理特性，参见表 3 和 4 以及图 2a 和 2b。

4.2 制造

大量用于商业用途的二氧化碳主要来自下列工艺方法之一：

- 酸中和
- 氨
- 煤气化
- 燃烧
- 环氧乙烷
- 发酵
- 氢
- 磷矿石
- 井/地热

通常通过以下方法把二氧化碳提纯到所需纯度：

- 吸附/解吸
- 精馏
- 过滤
- 氧化；和/或
- 洗涤

关于二氧化碳纯度规格，参见 CGA G-6.2 《二氧化碳商品规格》[5]。

二氧化碳一般通过压缩和制冷进行液化以便储存或运输。它以液态形式在 200 psig 和 -20 °F 至 350 psig 和 11 °F (1380 kPa, -29 °C 至 2410 kPa, -12 °C) 的压力和温度下进行储存和运输。

固态二氧化碳是通过把液体的压力降低到其三相点以下而形成的干冰（雪）和冷蒸气来制造的（参见 CGA G-6.9 《干冰》）[6]。

固态二氧化碳可以被压缩成干冰块，切割或成型为板片或薄片，或挤压成干冰粒。市售干冰块是 10 in (25.4 cm) 标称尺寸的立方体，重 50 lb~60 lb (23 kg~27 kg)，密度约为 94 lb/ft³ (1500 kg/m³)。板片和薄片可以按照客户要求提供各类重量和尺寸。挤压产品也有各种尺寸，参见图 3。

表 1 — 二氧化碳的物理常数

	美制单位	国际标准单位
化学式	CO ₂	CO ₂
分子量	44.01	44.01
在 2° F (-16.7 °C) 下的蒸气压力 ¹⁾	302 psi	2082 kPa
在 70 °F (21.1 °C) 和 1 大气压 下的气体比重	1.522	1.522
在 70 °F (21.1 °C) 和 1 大气压下的固体与气体膨胀比 (气体比容)	8.741 ft ³ /lb	0.5457 m ³ /kg
在 70 °F (21.1 °C) 和 1 大气压下的气体密度	0.1144 lb/ft ³	1.833 kg/m ³
在 2 °F (-16.7 °C) 下的饱和液体密度	63.3 lb/ft ³ (8.46 lb/gal)	1014 kg/m ³
在 1 大气压和 -109.3 °F (-78.5 °C) 下的固体 (干冰) 密度	97.6 lb/ft ³	1563 kg/m ³
在 1 大气压下的升华温度	-109.3 °F	-78.5 °C
临界温度	87.9 °F	31.1 °C
临界压力	1070.6 psia	7381.8 kPa, abs
临界密度	29.2 lb/ft ³	468 kg/m ³
三相点	-69.9 °F 和 <u>75.1 psia</u>	-56.6 °C 和 <u>518 kPa, abs</u>
在 2 °F (-16.7 °C) 下的气化潜热	119.0 Btu/lb	276.8 kJ/kg
在 1 atm 和 -69.9 °F (-56.6 °C) 下的熔化潜热	85.6 Btu/lb	199 kJ/kg
在 1 atm 和 -109.3 °F (-78.5 °C) 下的升华潜热	245.5 Btu/lb	571.0 kJ/kg
在 77 °F (25.0 °C) 和 1 atm 下的气体比热 C _p C _v	0.203 Btu/(lb)(°F) 0.157 Btu/(lb)(°F)	0.850 kJ/(kg)(°C) 0.657 kJ/(kg)(°C)
在 59 °F (15.0 °C) 下的比热比 (C _p /C _v)	1.304	1.304
在 68 °F (20.0 °C) 下在水中的溶解度 (vol/vol)	0.90	0.90
在 2 °F (-16.7 °C) 下的饱和液体粘度	0.287 lb/(ft)(hr)	0.000119 Pa·s
¹⁾ 所有的 psi 值都以 14.696 psia (101.325 kPa, abs) 作为基准。		

Anjali Srivastava <Anjali.Srivastava@asiaiga.org>; Veeraragavan B (External)
<veeraragavan.b@linde.com>

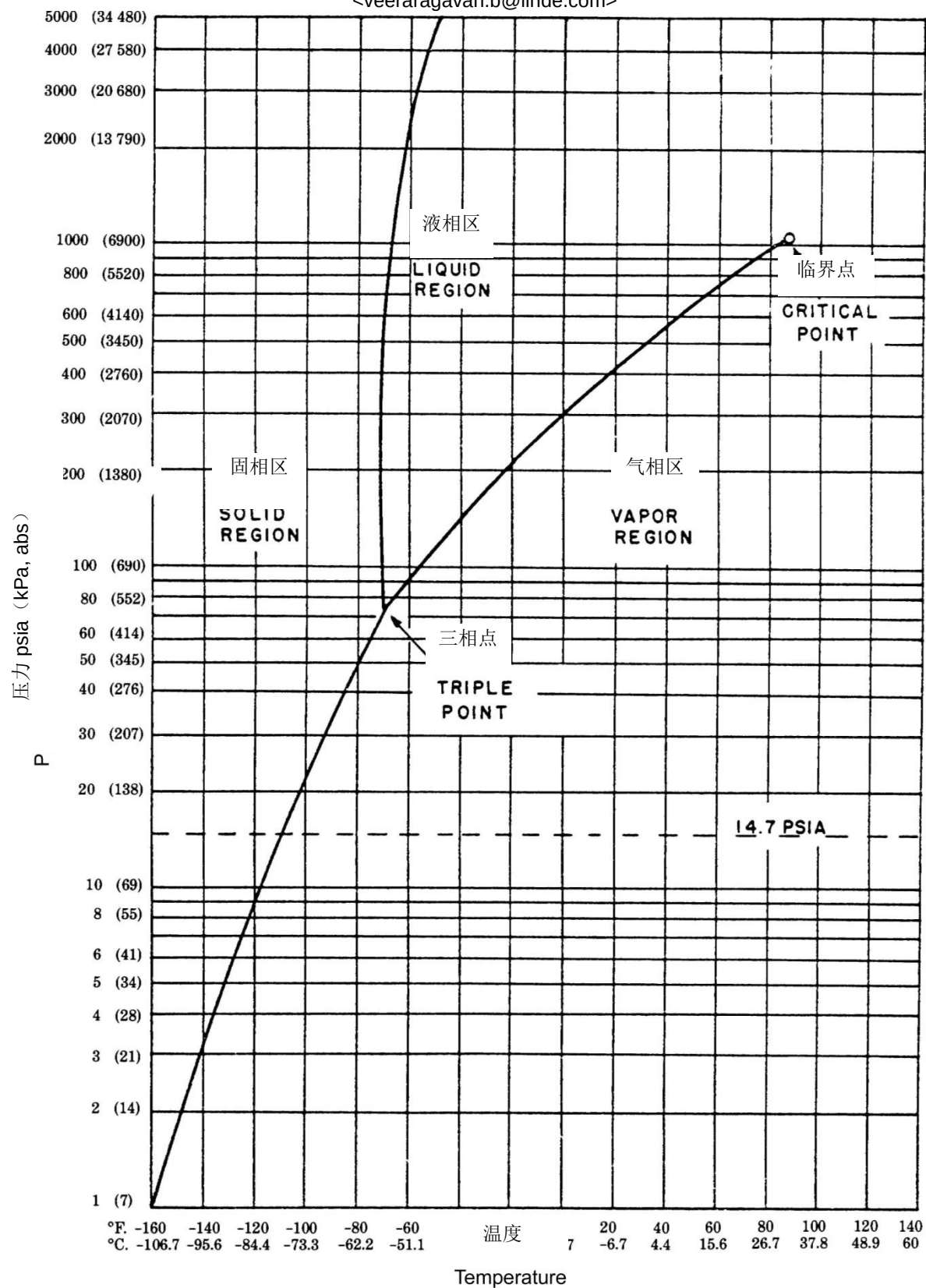


表 3 — 饱和二氧化碳固相、液相和蒸气相的热力学特性（英制单位）

温度 °F		压力		密度	比容	焓 ¹⁾		熵 ¹⁾	
		psia	psig	lb/ft ³	ft ³ /lb	Btu/lb		Btu/(lb)(°R)	
				固体或 液体	气体	固体或 液体	气体	固体或 液体	气体
固体和气体	-150	1.793	26.26 ²⁾	99.7	41.81	53.55	305.50	0.3394	1.1530
	-140	3.171	23.46 ²⁾	99.2	24.41	56.36	306.90	0.3483	1.1318
	-130	5.405	18.92 ²⁾	98.8	14.69	59.22	308.30	0.3571	1.1126
	-120	8.923	11.75 ²⁾	98.3	9.131	62.15	309.62	0.3658	1.0945
	-110	14.34	7.725 ²⁾	97.5	5.829	65.16	310.81	0.3743	1.0770
	-109.3	14.70	0.000	97.5	5.683	65.38	310.90	0.3748	1.0758
	-105	17.94	3.244	97.2	4.708	66.69	311.45	0.3786	1.0687
	-100	22.28	7.584	96.9	3.814	68.24	312.01	0.3829	1.0606
	-95	27.67	12.97	96.6	3.103	69.80	312.50	0.3872	1.0527
	-90	34.14	19.44	96.2	2.531	71.41	312.89	0.3915	1.0449
	-85	41.63	26.93	95.7	2.074	73.01	313.11	0.3959	1.0372
	-80	50.58	35.88	95.3	1.714	74.63	313.22	0.4002	1.0292
	-75	61.72	47.02	94.9	1.418	76.28	313.29	0.4045	1.0215
	-70	74.76	60.06	94.4	1.182	77.96	313.42	0.4089	1.0151
	-69.9	75.13	60.43	94.4	1.157	78.01	313.42	0.4112	1.0150
三相点									
液体和气体	-69.9	75.13	60.43	73.53	1.157	163.6	313.42	0.6308	1.0150
	-68	78.48	63.78	73.30	1.117	164.4	313.49	0.6318	1.0128
	-66	82.34	67.64	73.05	1.060	165.3	313.58	0.6340	1.0107
	-64	86.35	71.65	72.79	1.011	166.1	313.67	0.6362	1.0088
	-62	90.50	75.80	72.54	0.9659	167.0	313.76	0.6384	1.0070
	-60	94.76	80.06	72.28	0.9254	167.9	313.85	0.6406	1.0053
	-58	99.15	84.45	72.01	0.8876	168.8	313.94	0.6427	1.0038
	-56	103.7	89.00	71.76	0.8501	169.6	314.03	0.6448	1.0024
	-54	108.4	93.70	71.49	0.8145	170.5	314.12	0.6469	1.0010
	-52	113.2	98.50	71.23	0.7809	171.4	314.23	0.6490	0.9996
	-50	118.2	103.50	70.97	0.7489	172.3	314.33	0.6511	0.9982
	-48	123.4	108.70	70.71	0.7184	173.2	314.44	0.6533	0.9967
	-46	128.8	114.10	70.44	0.6896	174.1	314.57	0.6555	0.9952
	-44	134.3	119.60	70.16	0.6622	175.0	314.68	0.6577	0.9938
	-42	140.0	125.30	69.88	0.6361	175.9	314.78	0.6599	0.9924
	-40	145.9	131.20	69.60	0.6113	176.8	314.89	0.6621	0.9910
	-38	152.0	137.30	69.33	0.5876	177.7	314.98	0.6642	0.9897
	-36	158.1	143.40	69.04	0.5648	178.7	315.09	0.6663	0.9883
	-34	164.6	149.90	68.76	0.5432	179.6	315.20	0.6684	0.9869
	-32	171.2	156.50	68.48	0.5227	180.5	315.31	0.6704	0.9855
	-30	178.0	163.30	68.20	0.5031	181.4	315.40	0.6725	0.9842
	-28	184.9	170.20	67.92	0.4844	182.3	315.49	0.6746	0.9829
	-26	192.1	177.40	67.64	0.4665	183.2	315.58	0.6767	0.9817
	-24	199.6	184.90	67.35	0.4492	184.3	315.67	0.6788	0.9805
	-22	207.2	192.50	67.06	0.4325	185.2	315.74	0.6810	0.9793
	-20	215.0	200.30	66.77	0.4166	186.1	315.81	0.6831	0.9781
	-18	223.1	208.40	66.47	0.4014	187.0	315.86	0.6852	0.9769
	-16	231.3	216.60	66.17	0.3868	188.1	315.92	0.6873	0.9756
	-14	239.8	225.10	65.87	0.3731	189.0	315.95	0.6894	0.9743
	-12	248.7	234.00	65.56	0.3599	189.9	315.99	0.6916	0.9730
	-10	257.6	242.90	65.25	0.3473	191.0	316.01	0.6937	0.9717
	-8	266.9	252.20	64.93	0.3351	191.9	316.01	0.6958	0.9704
	-6	276.3	261.6	64.62	0.3233	193.0	316.01	0.6979	0.9691
	-4	285.8	271.1	64.29	0.3119	193.9	315.99	0.7000	0.9678

温度 °F		压力		密度	比容	焓 ¹⁾		熵 ¹⁾	
		psia	psig	lb/ft ³	ft ³ /lb	Btu/lb		Btu/(lb)(°R)	
				固体或 液体	气体	固体或 液体	气体	固体或 液体	气体
液体和气体	-2	295.7	281.0	63.96	0.3010	194.9	315.95	0.7022	0.9666
	+ 0	305.8	291.1	63.63	0.2906	195.8	315.92	0.7043	0.9654
	2	316.3	301.6	63.30	0.2805	196.9	315.88	0.7064	0.9642
	4	327.0	312.3	62.97	0.2707	198.0	315.83	0.7085	0.9629
	6	337.9	323.2	62.64	0.2613	198.9	315.76	0.7106	0.9616
	8	349.0	334.3	62.30	0.2523	200.0	315.68	0.7127	0.9603
	10	360.5	345.8	61.99	0.2436	200.9	315.59	0.7148	0.9589
	12	372.2	357.5	61.69	0.2353	202.0	315.50	0.7169	0.9575
	14	384.3	369.6	61.32	0.2273	203.0	315.40	0.7190	0.9561
	16	396.5	381.8	61.02	0.2196	204.1	315.27	0.7211	0.9547
	18	409.0	394.3	60.67	0.2122	205.2	315.13	0.7232	0.9533
	20	421.9	407.2	60.32	0.2050	206.3	314.96	0.7253	0.9520
	22	435.1	420.4	59.91	0.1980	207.4	314.80	0.7275	0.9507
	24	448.7	434.0	59.57	0.1911	208.4	314.62	0.7297	0.9493
	26	462.5	447.8	59.17	0.1845	209.5	314.42	0.7319	0.9479
	28	476.6	461.9	58.78	0.1783	210.6	314.19	0.7341	0.9465
	30	490.8	476.1	58.40	0.1722	211.7	313.90	0.7363	0.9450
	32	505.5	490.8	58.02	0.1663	212.8	313.58	0.7385	0.9434
	34	520.5	505.8	57.59	0.1602	214.0	313.20	0.7407	0.9417
	36	536.0	521.3	57.12	0.1542	215.1	312.77	0.7429	0.9399
	38	551.7	537.0	56.70	0.1482	216.4	312.28	0.7452	0.9380
	40	567.7	553.0	56.29	0.1425	217.4	311.76	0.7475	0.9360
	42	584.0	569.3	55.89	0.1372	218.7	311.20	0.7598	0.9340
	44	600.8	586.1	55.44	0.1321	220.0	310.63	0.7521	0.9321
	46	617.8	603.1	54.95	0.1273	221.2	310.05	0.7544	0.9302
	48	635.2	620.5	54.43	0.1226	222.5	309.47	0.7568	0.9283
	50	652.9	638.2	53.91	0.1181	223.7	308.90	0.7593	0.9264
	52	671.2	656.5	53.45	0.1138	225.0	308.32	0.7618	0.9246
	54	689.7	675.0	52.95	0.1095	226.4	307.75	0.7643	0.9227
	56	708.6	693.9	52.37	0.1054	227.7	307.13	0.7668	0.9207
	58	727.9	713.2	51.81	0.1014	229.1	306.49	0.7694	0.9187
	60	747.6	732.9	51.17	0.09752	230.6	305.78	0.7720	0.9166
	62	767.7	753.0	50.47	0.09372	232.0	305.03	0.7746	0.9145
	64	788.3	773.6	49.78	0.08999	233.5	304.22	0.7773	0.9123
	66	809.3	794.6	49.08	0.08631	235.1	303.35	0.7801	0.9100
	68	830.8	816.1	48.39	0.08261	236.7	302.45	0.7830	0.9077
	70	852.7	838.0	47.62	0.07894	238.3	301.52	0.7861	0.9053
	72	875.0	860.3	46.80	0.07535	240.3	300.51	0.7894	0.9030
	74	897.8	883.1	45.90	0.07173	242.1	299.39	0.7930	0.9006
	76	921.1	906.4	44.94	0.06811	244.3	298.10	0.7970	0.8982
	78	945.1	930.4	43.90	0.06411	246.4	296.57	0.8013	0.8957
	80	969.5	954.8	42.67	0.06013	248.9	294.75	0.8060	0.8924
	82	994.5	979.8	41.23	0.05603	251.5	292.46	0.8112	0.8881
	84	1020	1005	39.59	0.05171	254.7	289.67	0.8170	0.8821
	86	1046	1031	37.03	0.04711	259.0	285.64	0.8249	0.8737
	87.9	1071	1056	29.21	0.03423	272.7	272.70	0.8483	0.8483

1) 根据处于绝对零度-458.67 °F (-273.15 °C) 下的完美晶体的值为零。

2) 低于大气压力的水银柱英寸数。

表 4 — 饱和二氧化碳固相、液相和蒸气相的热力学特性（国际标准单位）

温度 °C		压力		密度	比容	焓 ¹⁾		熵	
		kPa 绝对压力	kPa 表压	kg/m ³	m ³ /kg x 10 ⁻³	kJ/kg		kJ/(kg)(K)	
				固体或 液体	气体	固体或 液体	气体	固体或 液体	气体
固体和气体	-102	11.36	-89.97	1597	2837	123.5	710.1	1.415	4.841
	-100	13.97	-87.36	1595	2327	125.8	711.3	1.428	4.809
	-98	17.15	-84.18	1593	1916	128.2	712.4	1.442	4.777
	-96	20.95	-80.38	1591	1583	130.5	713.6	1.455	4.746
	-94	25.49	-75.84	1588	1314	132.9	714.8	1.469	4.716
	-92	30.89	-70.44	1585	1095	135.3	715.9	1.482	4.687
	-90	37.27	-64.06	1582	917.3	137.7	717.1	1.495	4.658
	-88	44.76	-56.57	1579	771.9	140.2	718.2	1.508	4.630
	-86	53.53	-47.80	1576	651.3	142.6	719.3	1.521	4.603
	-84	63.77	-37.56	1573	550.7	145.1	720.4	1.534	4.376
	-82	75.72	-25.61	1569	467.1	147.6	721.4	1.548	4.550
	-80	89.62	-11.71	1565	397.7	150.1	722.4	1.561	4.523
	-78.5	101.3	0.0	1562	354.7	152.1	723.1	1.569	4.504
	-78	105.7	4.4	1561	339.8	152.7	723.4	1.574	4.498
	-76	124.2	22.9	1558	291.1	155.3	724.4	1.586	4.473
	-74	145.6	44.3	1554	249.9	157.9	725.4	1.599	4.449
	-72	170.0	68.7	1549	215.1	160.5	726.3	1.612	4.425
	-70	198.1	96.8	1545	185.7	163.1	727.1	1.625	4.402
	-68	230.2	128.9	1541	160.8	165.8	727.7	1.638	4.378
	-66	267.0	165.7	1536	139.5	168.4	728.1	1.651	4.353
	-64	308.9	207.6	1532	121.1	171.1	728.4	1.664	4.328
	-62	356.7	255.4	1527	105.1	173.9	728.6	1.677	4.304
	-60	409.8	308.5	1522	91.23	176.7	728.7	1.690	4.281
	-58	467.1	365.8	1517	81.00	179.5	728.8	1.703	4.262
	-56.6	518.0	416.7	1513	72.22	181.4	729.0	1.722	4.250
三相点									
液体和气体	-56.6	518.0	416.7	1178	72.22	380.5	729.0	2.641	4.250
	-56	531.7	430.4	1176	71.10	381.5	729.1	2.643	4.244
	-54	578.9	477.6	1168	64.72	385.2	729.5	2.659	4.229
	-52	629.5	528.2	1161	59.78	388.9	729.8	2.675	4.215
	-50	683.6	582.3	1154	55.41	392.5	730.2	2.691	4.203
	-48	741.0	639.7	1146	51.36	396.2	730.6	2.707	4.192
	-46	801.9	700.6	1139	47.63	399.9	731.1	2.723	4.181
	-44	866.3	865.0	1131	44.20	403.7	731.5	2.739	4.170
	-42	934.3	833.0	1123	41.05	407.5	732.0	2.756	4.160
	-40	1006	904.7	1115	38.16	411.3	732.4	2.772	4.149
	-38	1082	981	1107	35.52	415.1	732.9	2.788	4.139
	-36	1162	1061	1099	33.11	419.0	733.3	2.803	4.129
	-34	1246	1145	1091	30.90	422.9	733.7	2.819	4.119
	-32	1335	1234	1083	28.87	426.8	734.1	2.835	4.109
	-30	1429	1328	1074	27.00	430.8	734.4	2.851	4.100
	-28	1527	1426	1066	25.27	434.8	734.7	2.867	4.091
	-26	1630	1529	1057	23.66	438.8	734.9	2.883	4.081
	-24	1739	1638	1048	22.16	442.8	735.0	2.899	4.072
	-22	1852	1751	1039	20.76	446.9	735.0	2.915	4.062
	-20	1971	1870	1030	19.45	451.0	735.0	2.931	4.053
	-18	2095	1994	1021	18.24	455.1	734.9	2.947	4.044
	-16	2226	2125	1011	17.13	459.3	734.7	2.963	4.034
	-14	2362	2261	1002	16.09	463.6	734.4	2.979	4.024
	-12	2503	2402	991.9	15.11	467.8	734.1	2.994	4.014
	-10	2649	2548	982.0	14.19	472.2	733.6	3.010	4.004

温度 °C		压力		密度	比容	焓 ¹⁾		熵	
		kPa 绝对压力	kPa 表压	kg/m ³	m ³ /kg x 10 ⁻³	kJ/kg		kJ/(kg)(K)	
				固体或 液体	气体	固体或 液体	气体	固体或 液体	气体
液体和气体	-8	2804	2703	971.8	13.34	476.6	733.0	3.027	3.993
	-6	2964	2863	961.5	12.54	481.1	732.2	3.043	3.983
	-4	3131	3030	951.5	11.79	485.6	731.4	3.059	3.973
	-2	3305	3204	940.7	11.07	490.3	730.5	3.076	3.962
	0.0	3485	3384	929.4	10.38	495.0	729.4	3.092	3.950
	2.0	3673	3572	917.4	9.703	499.8	727.7	3.109	3.937
	4.0	3869	3768	905.0	9.046	504.7	725.4	3.126	3.923
	6.0	4071	3970	892.1	8.435	509.8	723.1	3.143	3.908
	8.0	4282	4181	878.0	7.878	515.0	720.8	3.161	3.894
	10.0	4501	4400	863.6	7.375	520.4	718.5	3.179	3.879
	12.0	4730	4629	848.2	6.900	525.9	716.1	3.198	3.864
	14.0	4966	4865	831.9	6.446	531.6	713.5	3.217	3.849
	16.0	5210	5109	814.3	6.006	537.6	710.5	3.236	3.833
	18.0	5464	5363	795.5	5.577	543.8	707.2	3.256	3.817
	20.0	5727	5626	775.2	5.157	550.4	703.5	3.278	3.800
	22.0	6001	5900	753.6	4.745	557.8	699.4	3.303	3.783
	24.0	6285	6184	728.9	4.337	566.0	694.6	3.331	3.765
	26.0	6581	6480	696.4	3.914	575.4	688.2	3.364	3.745
	28.0	6890	6789	655.7	3.460	586.3	679.1	3.403	3.710
	30.0	7211	7110	593.1	2.910	602.5	664.4	3.454	3.658
	31.1	7382	7281	467.9	2.137	634.3	634.3	3.552	3.552

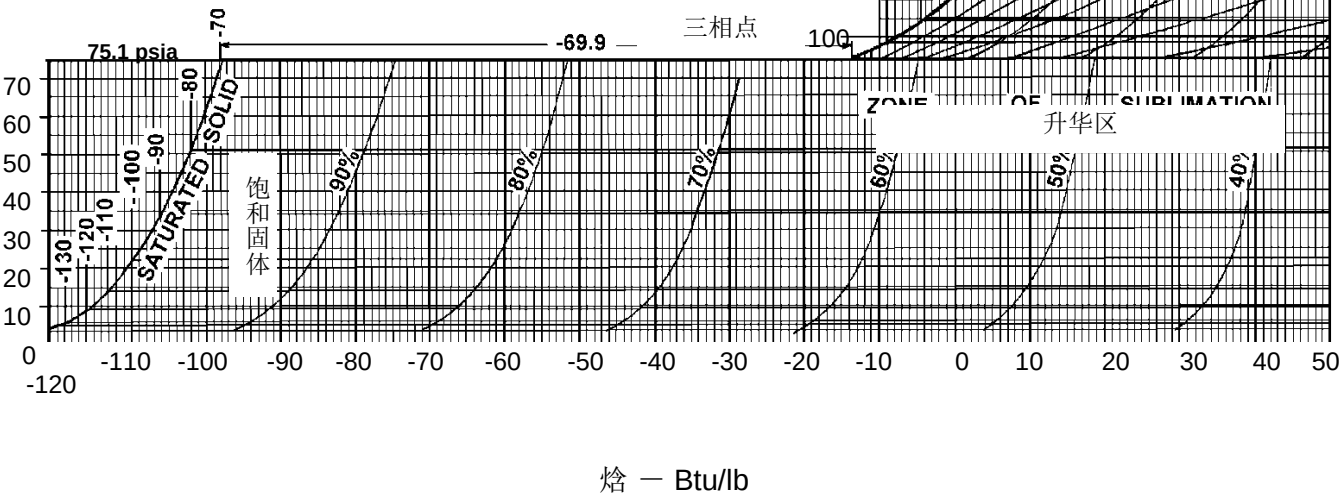
¹⁾ 根据处于零开氏度（-273.15 °C 绝对零度）下的完美晶体的值为零。

二氧化碳 压焓图

压力单位: lb/in², abs
温度单位: 华氏度

根据 Plank 和 Kuprianoff 的数据[7]

焓值根据 ASHRAE 基准-40 °F



焓 — Btu/lb
图 2a — 压焓图 (第 1 部分) (图 2b——压焓图 (第 2 部分))

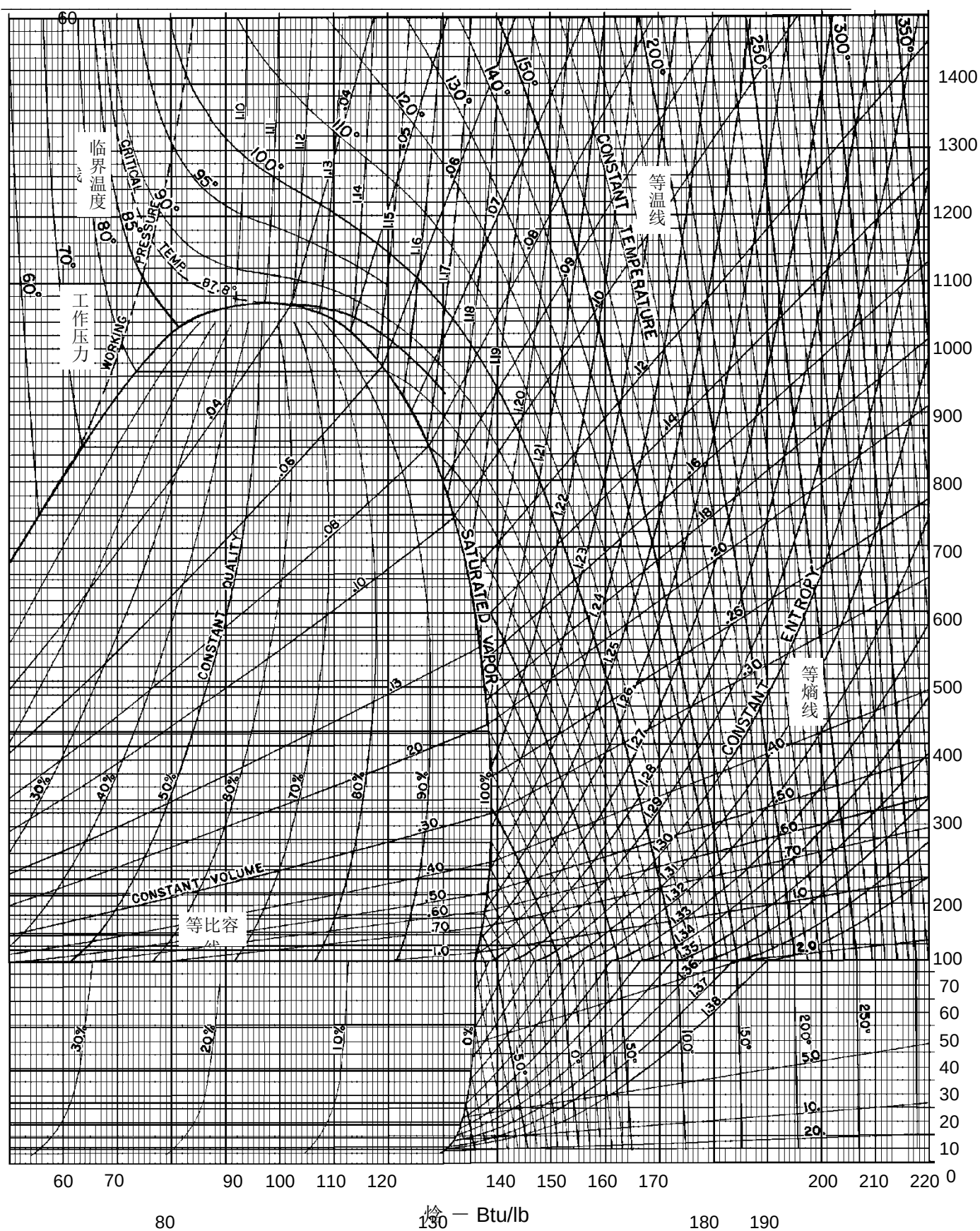


图 2a — 压焓图 (第 1 部分)



挤压干冰颗粒 (1/4 in [0.635 cm])



挤压干冰颗粒 (5/8 in [1.588 cm])



挤压干冰颗粒 (3/4 in [1.905 cm])



板状干冰



挤压干冰颗粒 (1/2 in [1.27 cm])



低温/高密度/吹扫用干冰 (0.14 in [0.289 cm])



块状干冰 (整)



航空公司尺寸 (空运) 干冰

图 3 — 典型的块状或成型产品

5 特殊危险

5.1 通则

对二氧化碳进行操作处置的工作人员应完全熟悉二氧化碳的相关危险。在某些条件下，可能存在对工作人员和设备的极端危险。以下描述了这些条件并且提供了规程和指南从而防止危险条件继续发展。

5.2 个人防护装备

暴露的皮肤与冷管道或二氧化碳蒸汽之间的接触可能导致冻伤。液态二氧化碳降压形成的干冰颗粒温度极低，可能对没有配备防护装置的眼部或皮肤造成严重损伤。在对含有二氧化碳的设备进行操作处理时，宜佩戴适当的手套和眼部防护装置。

可能需要配备其他的个人防护用品（PPE）但不限于听力保护，空气呼吸器和安全鞋。

5.3 干冰堵塞

液态二氧化碳在软管或管道中的像水一样流动。然而，当压力被降到 75.1 psia（518 kPa, abs）以下时，液体会变成蒸汽与固态二氧化碳的混合物。因为吹扫不当，阀门泄漏或设计失误而导致固态二氧化碳在管道或软管中形成会造成干冰堵塞。这会导致阀门超压和/或堵塞物强力喷出。

干冰堵塞物内部及其背后的压力可能随着干冰升华而增高，直至堵塞物被强行喷出或者软管或管道破裂。干冰堵塞物可能从软管或管道的任何开口端喷出，其力足以因干冰堵塞物的冲击或堵塞物突然弹出时软管/管道的突然晃动，或两者突然同时发生而对人员造成严重伤害。

5.3.1 液体管线泄压

为了防止干冰堵塞，在把压力降低到 75.1 psia（518 kPa, abs）以下之前，应使用二氧化碳蒸气对软管或管道中所有残余的液态二氧化碳进行吹扫。最常用的方法是从软管或管道系统的一端通入 200 psi（1380 kPa）或更高压力的二氧化碳气体来保持压力在三相点之上，同时从另一端排出液体来实现。这可以通过连通二氧化碳气源到液相管线的跨接管线来实现。更进一步的信息，参见 CGA G-6.4 《液化二氧化碳在绝热储槽，槽车和移动式容器中的安全传输》[8]。

5.3.2 液体管线加压从而防止在引入液体时形成干冰堵塞

为了防止干冰堵塞，在引入液态二氧化碳之前，应使用二氧化碳气体把液体管线加压到高于 75.1 psia（518 kPa, abs）。这通常是通过在引入液体前先向软管或管道系统通入 200 psi（1380 kPa）或更高压力的二氧化碳气体来完成。这同样可以避免引入低于系统的设计温度的液体二氧化碳。

弯曲软管处含有残留干冰可造成内衬断裂，从而引发破坏性失效。

5.3.3 对材料产生的低温效应

液态二氧化碳系统降压可能导致形成低温液态二氧化碳和/或干冰，从而导致容器、管道和软管处于比系统设计温度更冷的一种异常工况下。更进一步信息，参见 CGA G-6.7 《失压液态二氧化碳容器的安全操作处置》[9]。

如果在经受干冰温度（-109.3 °F（-78.5 °C））的同时被施加应力，许多在正常液态二氧化碳温度下可以安全使用的材料可能变脆并且失效。因此，被用于二氧化碳输送系统（其中包括软管）的结构材料必须适合二氧化碳以及相应的温度和压力条件。

运行温度低于环境温度的管道系统会收缩。应在管道和支撑系统中留有余量从而补偿这些尺寸变化。温度每降低 100 °F（55.6 °C），常用铜管每 100 ft（30.5 m）将收缩大约 1 in（2.5 cm）。

关于管道系统的进一步信息，参见 CGA G-6.1 《用户现场的绝热液态二氧化碳系统标准》[10]。

5.4 滞留液体

当液态二氧化碳滞留在一个固定容积（例如在两个关闭的阀门之间或在一个阀门内）时，压力将随着二氧化碳变暖和膨胀而升高。只要在阀门或管道中有气体空间，压力会以大约 5 psi/°F（62 kPa/°C）的速率增高。当管道或阀门充满液体时，静压以 80 psi/°F（990 kPa/°C）的速率增高。随着温度继续增高，被滞留液体的压力可能超过管道和软管能够承受的压力。这将导致软管或管道破裂并引发人员伤害和财产损失。

为了防止滞留的液体成为危险源，所有的液态二氧化碳管道和输送管线应在液体可能被滞留的所有系统组成部分中（例如在阀门、止回阀与泵之间）配备泄压装置。这些泄压装置的泄放压力应该设定在其保护的系统的设计压力内，且排向一个通风良好的区域（更进一步的信息，参见 CGA G-6.5 《小型固定式保温二氧化碳供应系统标准》）[11]。

为了防止滞留液体在球阀和闸阀中成为危险，应这些阀门对进行适当的设计从而防止液态二氧化碳滞留在阀门内。

5.5 排放和排污管中的滞留固体（干冰和冰）

液体二氧化碳排至大气的管道和/或消音器在设计应配置防止干冰，冰或两者兼有的堵塞的功能。应尽量减少排污阀下游的管道，以防止形成干冰堵塞，内部水凝绝，并应设计为防止移动的形式。液体降压而形成的干冰可能聚集在消音器或排放装置的管道或挡板内，从而阻碍流通。这种固体堵塞会导致管道或元件意外升压而高于设计压力以及温度低于设计温度。不建议在液体二氧化碳排放管道上使用排放消音器，以防止堵塞，使用者应该仔细考虑干冰和/或冰堵塞的潜在可能性。任何用于二氧化碳液体的消音器或排放装置均应按要求使用合适的泄压装置进行保护。

5.6 人员过度暴露

如果二氧化碳被用于封闭区域内，必须对这个区域进行充分的通风从而为工作人员保持一个安全的工作环境。气态二氧化碳无色、无嗅并且不易检测。气态二氧化碳的密度是空气的 1.5 倍，它会在低处以较高的浓度存在。因此，在封闭区域内，通风系统宜被设计为从最低平面处排气并允许从较高处补充空气。不要仅依赖对空气中的氧含量进行测量，因为即使有充足的氧用于生命支持，较高浓度的二氧化碳也是危险的。更多信息，参见 CGA G-6.5[11]。通风要求相冲突的区域（比如比空气组分更重和更轻）应采用工程通风系统，否则不受这些条件约束。

一个有合适的报警系统的二氧化碳检测器宜被安装来检测二氧化碳的危险浓度。二氧化碳泄漏检测系统宜在通往泄漏检测器位置的区域配备声和/或光报警装置，以向进入该位置前的人员进行危险状况警示。二氧化碳可能导致窒息因为气体会积聚在低处，例如地下室，和不通风的房间中，而不仅仅局限于容器所在的位置。即便是占系统容量小比例的缓慢泄漏也会带来危险气体浓度升高。更多信息，参见 CGA SB-29，《二氧化碳配送至小客户现场的伤害和损失的防止》[12]。

封闭，通风不良的区域可能包括但不限于地下室和室外像是一个有四面实心墙但是没有顶棚的区域。参见图 4，5，6 和 7。

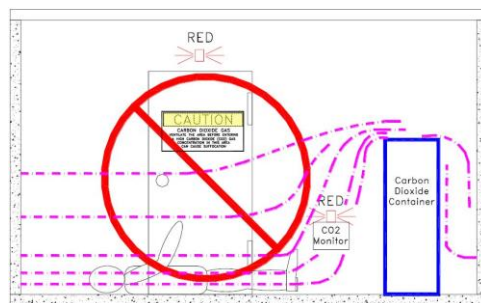


图 4 — 不安全的封闭空间示例

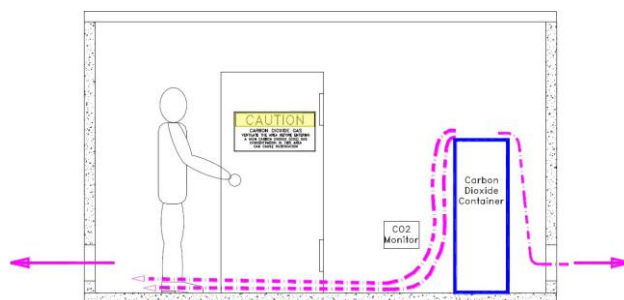


图 5— 自然通风和有监控的封闭空间示例

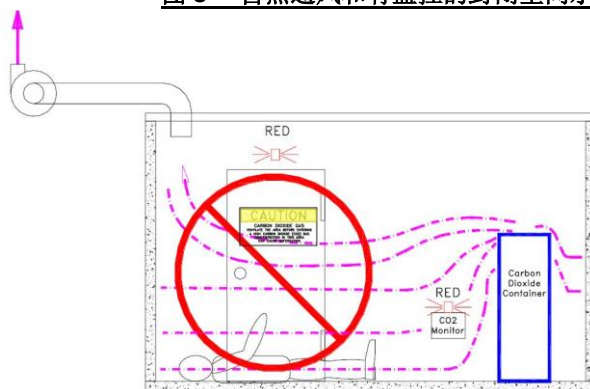


图 6— 监控合理但通风不良的封闭空间示例

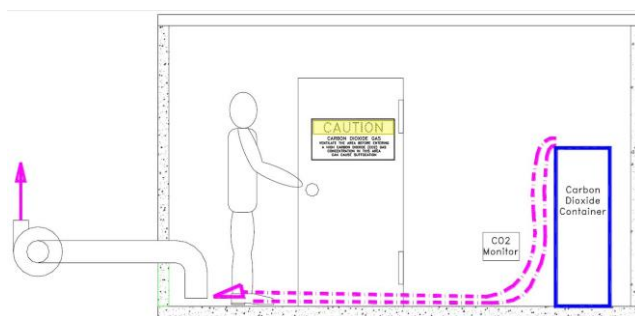


图 7— 通风良好且监控合理的封闭空间示例

二氧化碳系统可以被封闭在有围栏的室外围墙内。如图 8 所示，任何封闭空间应至少在地面两侧有不低于 25% 的开放区域。一些围墙可能采用混凝土砖块或者其他固体材料，那也应在地面提供同样 25% 的开放区域，以防止浓郁的二氧化碳气体聚集到危险浓度。见图 9。更多信息，参见 CGA P-41，《场地中大宗液体储存系统的定位》[13]。

室外安装的二氧化碳储存容器宜高于地面且处于非封闭的气流通畅区域。见图 8 和 9。非封闭的区域应具备：

- 至少 25% 的周边区域应通大气；
- 开口的间距应形成交叉通风，并尽可能低，以确保二氧化碳不会聚集，致使人员暴露在危险中；并且
- 尽可能地在直接运输中贴地面侧开口；

任何不满足这些条件的装置都宜被认作封闭式装置。

注 — 大小不足以让人进入或使用的小型封闭空间不受这些条件约束。

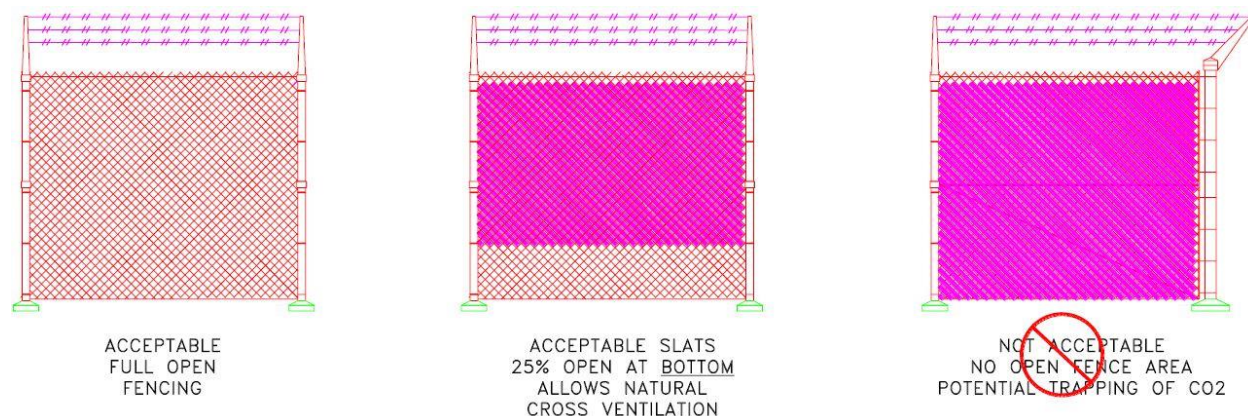


图 8—室外栅栏式围墙的二氧化碳装置

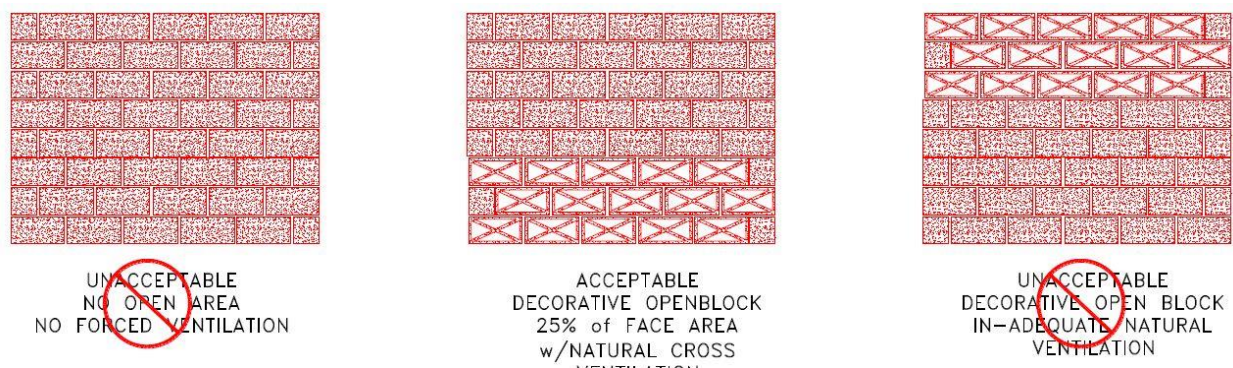


图 9—用于二氧化碳装置的室外围墙或场地

5.7 二氧化碳泄漏检测系统

在室内区域，房间，或封闭室外场所，充装或使用二氧化碳的系统都应安装泄漏检测和报警系统。这个系统应该能够检测并通知建筑物使用者关于二氧化碳气体泄漏达到或超过由美国职业安全与健康局（OSHA）发布的时间加权平均允许暴露极限值（TWA-PEL）以及由美国政府工业卫生专家协会（ACGIH）发布的短间接接触限值（TLV®-STEL）[14, 15]。允许使用更多的保护设定值。

当二氧化碳泄漏检测系统启动时，应在安装该系统的房间或区域内发出声音警报。气体检测系统应按照制造商的说明进行安装和维护。

5.8 容器和钢瓶的过量充装

如果液态二氧化碳被储存在一个容器中时，很少或根本不使用，受热会导致温度和压力增高以及液体膨胀。只要在容器中有气体空间，压力会以大约 5 psi /°F (62 kPa /°C) 的速度增加。当容器充满液体时，静压会以 80 psi /°F (990 kPa /°C) 的速率增加。表 5 和图 10 说明了这一现象，使用了一个原始充装了 92.6%，-20 °F (-28.9 °C) 的液体二氧化碳的容器中的压力增加数据。尽管储存容器一般配备制冷系统，以将液体温度维持在 0 °F (-17.8 °C) 附近，但仍可能发生电源故障。小型和便携式容器没有配备制冷系统，所有的储存容器都可能充满液体。

为了防止容器承受过高应力和泄压装置频繁动作，从而导致产品损失，液体二氧化碳存储容器不宜在达到泄压装置设定值之前被充注到视为满液位的液位，泄压装置的设定值一般是 350 psi（2410 kPa）。

容器过度充注的典型状况包括：制冷系统在运行但容器压力未降低，液位计运行不稳定以及蒸气管路上结霜过多。请联系供应商或合格的二氧化碳技术人员以解决这些问题。

安全充注液位取决于被输送到容器中的液体温度。液体越冷，液体膨胀越需要蒸发空间越多。图 10 显示了一定液体温度范围内的安全充注液位线。超过此线将导致过量充注。请注意，图 10 仅适用于配备了设定压力在 350 psi（2410 kPa）或更低的泄压装置的保温容器的充注。这些数值对于非保温高压气瓶来说，将是严重过量充注的一个显著标志，并且将超过配备了设定值高于 350 psi（2410 kPa）的泄压装置的 DOT-4L/TC-4LM 保温钢瓶的最大允许充装密度。DOT 充装密度表中规定，对于 86%最大充装密度，泄压装置的最大设定值高达 625 psi（4310 kPa）（参见 49 CFR 173.304a(e)(2)）[3]。在 CSA B340 《用于运输第 2 类危险品的气瓶、球形罐、长管和其它容器的选择和使用》中的 TC 充装密度表规定，对于 86%最大充装密度，压力控制阀的设定值高达 4300 kPa [16]。

5.9 静电

固态干冰制造产生静电荷（> 100,000 volts）。这可能导致向所有接地物体或人员的静电放电。

应仔细评估在可燃环境中使用二氧化碳干冰雪或固态干冰的情况。由于在干冰形成过程中会产生的极高静电荷，因此液态二氧化碳不宜被用于惰性可燃环境中。气态二氧化碳可用于惰性可燃环境中，而没有产生静电荷的风险。更多信息，参见 CGA SB-33 《液态或固态二氧化碳静电危害》[17]。

表 5 — 最大允许工作压力 350 psi (2410 kPa) 的绝热容器
在 200 psi (1380 kPa) 下饱和的液态二氧化碳受热时的体积膨胀量

压力		温度		液态二氧化碳最大允许 占用容积 ¹⁾
psi	kPa	°F	°C	%
200	1380	-20	-28.9	92.6
210	1450	-18	-27.8	93.1
220	1520	-15	-26.1	93.5
230	1590	-13	-25.0	94.1
240	1650	-11	-23.9	94.6
250	1720	-8	-22.2	95.1
260	1790	-6	-21.1	95.6
270	1860	-4	-20.0	96.1
280	1930	-2	-18.9	96.6
290	2000	0	-17.8	97.1
300	2070	2	-16.7	97.6
310	2140	4	-15.6	98.1
320	2210	5	-15.0	98.6
330	2280	7	-13.9	99.0
340	2340	9	-12.8	99.5
350	2410	<u>11</u>	<u>-11.7</u>	100.0

¹⁾ 液体充满百分比是液体占容器总容积的百分比，不宜与液位计读数混淆。

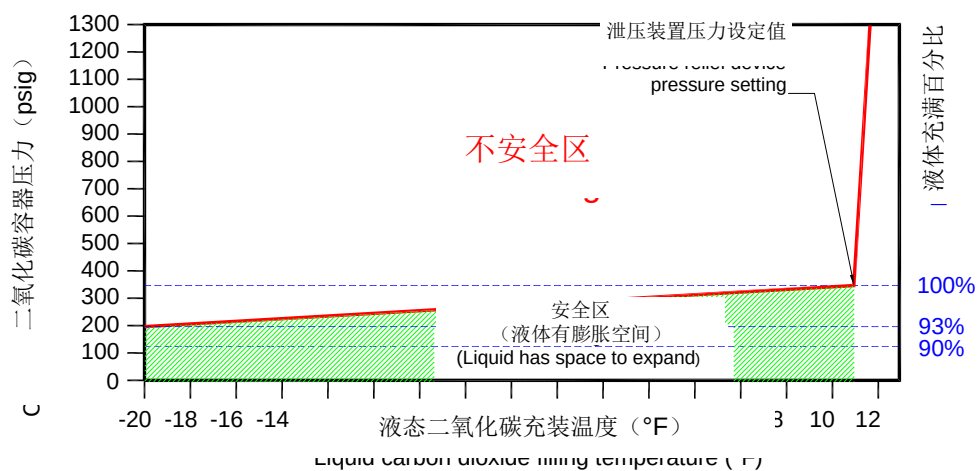


图 10 — 350 psi 二氧化碳容器的安全充装量

6 二氧化碳的生理效应

6.1 通则

二氧化碳是一种正常代谢产物，是人体正常的内部化学环境的一种需求，是对呼吸、循环以及在休息和运动时对代谢需求的血管反应进行联系的一种活性信使物质，因此二氧化碳的生理效应是独特的。

在动脉血液和组织液中，呼吸控制系统把二氧化碳压力保持在一个相对较高水平（大约 50 mm Hg）。它将组织液和细胞液的酸度保持在适当的水平从而确保必需的代谢反应和膜功能。组织内正常的二氧化碳压力发生变化可能是有害的。如果组织内压力过低（换气过度可能导致这种情况），可能发生关键神经肌肉功能衰竭或意识丧失。

被吸入的二氧化碳与代谢产生的二氧化碳具有相同的生理效应。当吸入二氧化碳导致组织内二氧化碳压力增高时，身体使用呼吸和自适应过程作出反应从而适应变化。这些自适应过程的效果是有限的，无法应对严重暴露，这就导致了体液 pH 值发生变化。在吸入高浓度二氧化碳时，就会发生二氧化碳的毒性效应（也就是严重的破坏性酸中毒）。

血液和细胞液实际上是含有大量其它物质的碳酸氢钠溶液。严重暴露于二氧化碳环境中将在血液中形成碳酸，碳酸氢钠对于碳酸不是一种有效的缓冲剂。由于神经控制系统被过度驱动，因此 pH 值降低具有一种快速毒性效应。这些效应与被吸入的大气中的含氧量无关，注意到这一点是很重要的。

低浓度和中等浓度二氧化碳产生的反应是生理性和可逆的，但是高浓度的反应是有毒和有害的[18]。

对二氧化碳吸入的反应取决于暴露程度和持续时间，即使在健康、正常个体中也存在很大差异。血液中的过量二氧化碳引起的生理效应的医学术语是高碳酸血症。即使氧浓度正常，二氧化碳也可以是有毒的。吸入低浓度二氧化碳能够被长时间耐受而不会产生明显的影响，或可能仅导致呼吸急促的不自然感觉。持续暴露于 5%浓度的二氧化碳环境中会导致紧张性呼吸急促。如果吸入的二氧化碳浓度超过 7%，呼吸急促变成费力的（呼吸困难），并且出现烦躁、昏厥、严重头痛和意识模糊。在 15%的浓度下，不到 1 分钟就会出现意识丧失并伴随着身体僵直和颤抖。在 20%~30%范围内，不到 30 秒钟即导致意识丧失和抽搐。由于二氧化碳在组织液中的扩散速率约为氧的 20 倍，因此这些反应会迅速发生。高浓度二氧化碳可能没有先兆地迅速导致窒息并且没有自救的可能性（无论氧浓度是多少）。

6.2 过度暴露于二氧化碳的物理影响

皮肤、口腔或眼部与温度为-78.5 °C (-109.3 °F) 的固态二氧化碳接触可能导致严重冻伤、皮肤病变、角膜灼伤或因组织深冻导致的更加严重的损伤。液体从容器中排出时会产生低温粗糙的高速二氧化碳雪粒，也会带来类似伤害。

6.3 监管标准

二氧化碳以大约 350 ppm (0.035%) 的浓度 (按体积) 存在于大气中。美国《联邦法规汇编》标题 29 (29 CFR) 1910.1000 中的 OSHA 标准规定，在一个 40 小时工作周的任何 8 小时班次中，雇员暴露于二氧化碳环境中不应超过 5000 ppm (0.5%) (9000 mg/m³) 的 8 小时时间加权平均值 (TWA-PEL) [14]。根据 ACGIH, 15 分钟或不到 15 分钟的短期暴露极限 (STEL/最高限值) 是 30 000 ppm (3%) (54 000 mg/m³) [15]。在加拿大，省级立法对类似的极限作出了强制性规定。

6.4 安全预防措施

应在高浓度二氧化碳气体可能积聚区域入口布置适当的警告标志。图 11 显示了一个典型的警示牌：

应在进入二氧化碳气体可能已经积聚的任何密闭空间或地势较低地区之前执行二氧化碳监测。在进入密闭空间或地势较低地区之前，应通过通风把二氧化碳清除到低于 3% 的浓度或应配备一个供气式呼吸器，参见 29 CFR 1910.146 [14]。更多信息见 5.6。

警告：滤罐式呼吸器不能替代供气呼吸器。

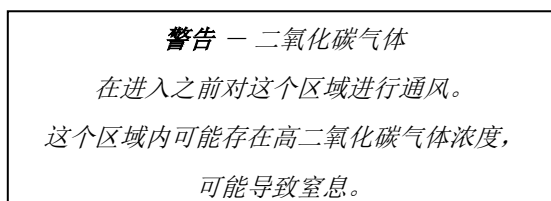


图 11 — 典型警示牌

6.5 救援和急救

不得在无适当的救援设备的情况下试图移动暴露于高浓度二氧化碳中的任何人员，否则救援者也可能成为一名伤亡者。救援人员在密闭空间死亡人数中占比超过 60%。如果暴露的人员丧失意识，立即求助并且执行规定的应急程序。

如果个人已经吸入大量二氧化碳并且表现出不良影响，立即把暴露的个人移到新鲜空气中。如果呼吸已经停止，立即进行人工呼吸。只有有资格的工作人员才能向受害者输氧。对受影响的个人进行保暖并且保持休息状态。尽快就医。新鲜空气和辅助呼吸适合所有过度暴露于气态二氧化碳的情况。如果对二氧化碳紧急情况反应及时，通常可以完全康复。

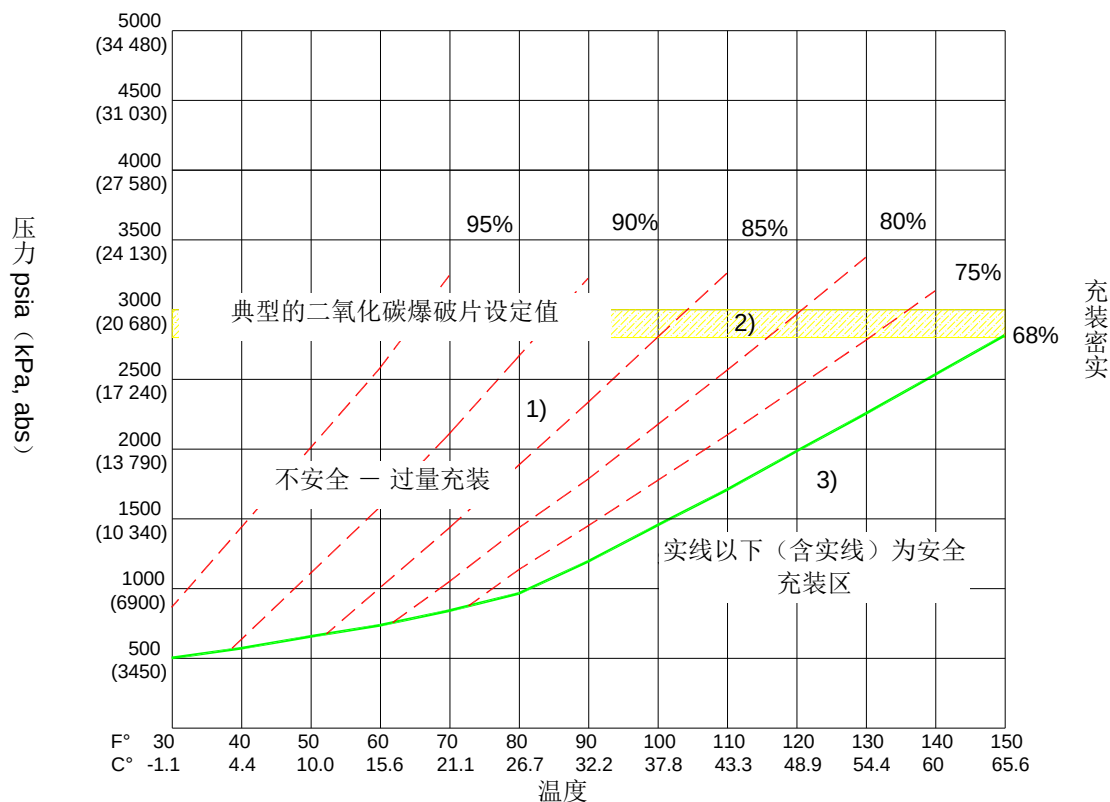
注意—供气式呼吸器应仅由经过适当培训并具备使用呼吸器资质的授权人员使用。

如果干冰或压缩二氧化碳气体与皮肤或口腔接触，立即停止暴露。如果已经出现冻伤，立即就医。不要摩擦接部位。可以浸在 37.8 °C~40.6 °C (100 °F~105 °F) 温水中。

7 二氧化碳的运输、储存和处理

7.1 通则

用于运输二氧化碳的气瓶和容器可以是绝热保温或非绝热保温的。绝热保温液体容器的工作压力通常是 1380 kPa~3450 kPa (200 psi~500 psi)。可以对这些容器进行制冷从而补偿介质在运输过程中获得的热量。这些容器包括绝热液体钢瓶、罐车、便携式储槽和货罐。非绝热保温气瓶的设计压力应当保证在正常环境温度下可以安全地保存二氧化碳。这些气瓶的压力随环境温度而变, 参见图 12。



注 — 该表以一个充装到其正确的最大液态二氧化碳容量总容积(水容量)的68%的DOT-3AL 1800气瓶为依据。过充的气瓶会明显承受由二氧化碳膨胀而带来的巨大内部压力, 因为充装后被升温加热。

- 1) 虚线表示当最大允许充装密度为68%的气瓶被过量充装时的温度-压力关系。
- 2) 正确安装的二氧化碳气瓶爆破片的破裂范围为19 310 kPa~20 680 kPa (2800 psig~3000 psig) (取决于设计)。
- 3) DOT-3AL 1800 最大允许充装密度是68%。

图 12 — 在选定温度下被充装到指示密度的二氧化碳 DOT-3AL 1800 气瓶中的压力示例

进行运输的二氧化碳的三种形式的产品, 其运输名称和产品标识如下:

- 二氧化碳, UN 1013;
- 二氧化碳, 冷冻液体, UN 2187;
- 二氧化碳, 固体或干冰, UN 1845。

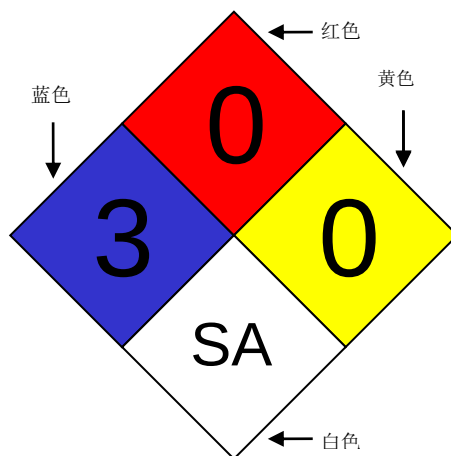
DOT 和 TC 关于二氧化碳和二氧化碳冷冻液体的危险分类是 2.2 (非易燃气体)。根据 DOT, 空运或水运的二氧化碳固体是第 9 类 (其它危险材料), 铁路或公路运输的二氧化碳固体未分类。在加拿大, 二氧化碳固体是第 9 类 (其它危险品) (无论运输方式)。

CGA 按照美国国家消防协会（NFPA）危险等级系统对二氧化碳气体，液体和固体的建议危险等级如表 6 所示，援引自 CGA P-19 《CGA 关于压缩气体的建议危险等级》[19、20]。

液体二氧化碳的 NFPA 危害标签示例，见图 13。

表 6 — 二氧化碳的 NFPA 危险标识指示

气体	
健康	3
易燃性	0
不稳定性	0
特殊	SA ¹⁾
液体	
健康	3
易燃性	0
不稳定性	0
特殊	SA ¹⁾
固体	
健康	3
易燃性	0
不稳定性	0
特殊	SA ¹⁾
注 — CGA 推荐的二氧化碳评级使用 NFPA 的评级系统。 ¹⁾ CGA 建议用 SA 指定一种单纯的窒息剂。SA 标识应被用于冷冻液体，液化压缩气体，以及非液化压缩二氧化碳系统和大量使用干冰的封闭区域。	



已获得 NFPA 704—2017, 《应急响应物资危险识别系统》, © 2016 年版权, 国家消防协会, 授权再版。该再版材料所引用的主题并不是 NFPA 完整的和官方的立场, 它仅代表可以通过 NFPA 网站 www.nfpa.org 获得的标准全部。系统中任何特定材料的分类均为使用者个人责任, 与 NFPA 无关。NFPA 对使用该系统对任何特殊材料分类或表现的任何取值的任何决定概不负责[19]。

图 13 — NFPA 液态二氧化碳危险标签

7.2 适用于容器和气瓶的法规

在美国，联邦监管机构根据 DOT 颁布的法规，对州际商业中的二氧化碳铁路运输、公路运输、空运和水运进行监管[3]。在加拿大，TC 通过《危险品运输（TDG）法规》对所有的运输方式进行监管[21]。加拿大法规采用如下标准：

- 关于铁路运输—加拿大运输，TP 14877 《铁路运输危险品容器》[22]；
- 关于钢瓶运输—CSA B339，《用于危险品运输的钢瓶、球形罐和长管》或者 CSA B340 [23,16]；以及
- 关于公路大宗运输—CSA B620《用于运输危险品的公路槽罐和 TC 移动式槽罐》，或者 CSA B622《用于运输第2类危险品的公路槽罐、TC 移动式槽罐和吨罐的选择和使用》[24, 25]

这些监管机构的规范特别要求用于二氧化碳容器和气瓶的材料必须符合一定的化学和物理要求、必须通过规定的静水压试验，并且使用充足的泄压装置提供防护。

7.3 非绝热二氧化碳钢瓶

7.3.1 通则

在美国，非绝热二氧化碳钢瓶应符合 DOT 规格 3、3A-1800、3AX-1800、3AA-1800、3AAX-1800、3E1800、3T1800、3HT2000 或 39。非绝热二氧化碳铝瓶应符合 DOT-3AL1800。

在加拿大，非绝热二氧化碳钢瓶应符合 TC 规格 TC-3AM138、CTC-3A1800、TC-3AXM138、CTC-3AX1800、TC-3AAM138、CTC-3AA1800、TC-3AAXM138、CTC-3AAX1800、TC-3EM124、CTC-3E1800、ICC-3、TC-3TM138、TC-39M、CTC-39、TC-3HTM138、CTC-3HT2000 或 TC-3ASM138。非绝热二氧化碳铝瓶应符合规格 TC-3ALM124 或 CTC-3AL1800。自 1993 年以来，加拿大非绝热二氧化碳钢瓶按照公制单位进行制造，在规格中标有字母 M 并且使用 bar 标明工作压力。1 bar 等于 100 kPa 或大约 14.5 psi。

非绝热二氧化碳钢瓶目前为钢制或铝制，最小额定工作压力为 124 bar（1800 psi）。DOT 和 TC 是美国和加拿大公认的监管机构，对非绝热二氧化碳钢瓶的生产进行监管[3, 21]。表 7 列举了最常用的非绝热二氧化碳钢瓶的典型尺寸和容量。

7.3.2 接头

非绝热二氧化碳钢瓶瓶阀接头标准被提供在 CGA V-1，《压缩气体钢瓶瓶阀出口和进口接头标准》中，并且已经被公认为美国和加拿大标准[26]。非绝热二氧化碳钢瓶使用一个 CGA 320 出口接头。配有轭型阀的小型医用非绝热二氧化碳钢瓶使用 CGA 940 出口接头。

7.3.3 泄压装置

非绝热二氧化碳钢瓶，除某些例外，应配备泄压装置用于泄放由于过量充装、暴露于明火或高温而产生的过度压力。非绝热二氧化碳钢瓶的最小允许额定工作压力是 12 410 kPa（1800 psi）。他们应有一个设计成在不超过钢瓶所需最小试验压力下爆破的爆破片（例如 DOT 非绝热二氧化碳钢瓶工作压力的 5/3 倍）。泄压装置的更多细节见 CGA S-1.1《泄压装置标准—第1部分—用于压缩气体的钢瓶》[27]。

7.3.4 充装极限

非绝热二氧化碳钢瓶应进行称重充装。应注意避免过量充装，否则可能导致突变失效。DOT 和 CSA B340 限定了一个非绝热二氧化碳钢瓶中可充入的二氧化碳重量[3、16]。应注意避免过量充装，否则可能导致突变失效。如果一个非绝热二氧化碳钢瓶被充装至超过其最大允许充装密度，则温度的升高可能导致钢瓶充满液体。在图 12 中提供了在一个非绝热二氧化碳钢瓶里充装二氧化碳到其水容量的不同百分比时对应的压力值。关于非绝热二氧化碳钢瓶充装的详细信息，参见 CGA G-6.3《二氧化碳气瓶充装和操作处理规程》[28]。

表 7 — 非绝热二氧化碳钢瓶的典型尺寸和容量

标称二氧化碳容量 lb	内部容积 in ³	充水重容量 lb	总长度 in	外径 in
0.22 (3.5 oz)	9	0.32	5.3	2.0
0.45 (7 oz)	18	0.65	9.4	2.0
0.66 (10.5 oz)	27	0.97	13.0	2.0
0.75 (12 oz)	31	1.1	9.4	2.5
1.0	41	1.5	7.8	3.2
1.25	51	1.6	9.4	3.2
1.5	61	2.2	11.1	3.2
1.75	71	2.6	12.5	3.2
2	84	3.0	9.3	4.4
5	205	7.4	14.8	5.3
10	408	14.7	16.8	6.9
15	612	22.1	23.4	6.9
20	816	29.4	23.6	8.0
35	1429	51.5	38.6	8.0
50	2040	73.5	46.6	8.6
50	2370	85.2	51	8.5
50 或 60	2675	96.0	51	9.0
75	3055	110.3	56	9.3
100	4080	147.3	58	10.6

7.3.5 复检

DOT 和 TC 法规要求除规格 3HT, 3E 和 39 以外的非绝热二氧化碳钢瓶, 每 5 年要由一个获得授权的复检机构重新认证一次才能继续使用。规格 3HT 的钢瓶应每 3 年一次复检。规格 3E 的钢瓶因直径小于 5 cm (2 in) 且长度小于 61 cm (24 in) 而不要求复检。规格 39 的钢瓶不可以被再次充装。

这项重新认证的内容包括彻底的外部和内部外观检查以及内部静水压试验, 参见 CGA C-1 《压缩气体钢瓶的压力测试方法》; CGA C-6 《钢制压缩气体钢瓶外观检查标准》; CGA C-6.1 《高压铝合金压缩气体钢瓶外观检查标准》; 和 CGA C-8 《DOT-3HT、CTC-3HT 和 TC-3HTM 无缝钢瓶再鉴定标准》[29、30、31、32]。对于 DOT 非绝热二氧化碳钢瓶和较旧的加拿大 (CTC、BTC 或 CRC) 钢瓶, 应在 5/3 倍的铭牌工作压力下进行水压试验。对于公制 TC 非绝热二氧化碳钢瓶, 应在 1.5 倍的标示工作压力下进行水压试验。由于湿二氧化碳能够迅速腐蚀钢瓶, 因此应仔细地进行内部目测检查, 从而检测有害腐蚀。

存在物理损害迹象 (凹痕、点蚀、裂纹、电弧灼伤、明火/热损坏、螺纹损坏、鼓包或任何其它物理损坏迹象) 或没有通过水压试验的非绝热二氧化碳钢瓶应被停用。

应在每一个经过重新认证的钢瓶上清晰和永久地压印标明试验月份和年份以及复验机构的标识号 (RIN) (在复验日期的月份和年份之间)。在美国, 钢瓶业主应保存一份关于所有非绝热二氧化碳钢瓶的检查和复验数据的记录, 直至下一次重新认证。在加拿大, 钢瓶业主应保存一份重新认证报告为期 10 年。

注: 亚洲国家的用户还应核查当地法规的要求以遵循相应的测试周期和程序, 确保合规性。

7.3.6 标记和标签

DOT 和 TC 要求在所有非绝热二氧化碳钢瓶的瓶肩、上盖或瓶颈上清晰地压印以下标志:

- DOT 或 TC 规格编号, 在编号后面标明工作压力 (例如 DOT-3A1800 或 TC-3AM138);
- 钢瓶制造商的序列号和识别标志。该识别标志应向 DOT 和/或 TC 进行注册; 以及

- 独立检验机构（第三方）官方标志和制造试验日期。如果一个端盖采用旋压工艺制成或受到封堵影响，应添加文字 SPUN 和/或 PLUG（参见 49 CFR 第 178 部分 C 子部分《钢瓶规格》或 CSA B339）[3, 23]。

不应在钢瓶上的所需标记进行改动，除非是 DOT 或 TC 法规另有规定。绝不应去除或改动序列号和制造商的名称或标识标志，并且应保持清晰状态。

除了前面列出的所需标记以外，还应在非绝热二氧化碳钢瓶上标明：

- 产品运输名称 — 二氧化碳。
- 产品标识号 — UN 1013。应采用刷印、打印或制作标签方式来制备这些标记，这些标记不应易于去除并且应符合 49 CFR 或 TDG 规定[8, 21]。
- 每一个非绝热二氧化碳钢瓶上，均应使用一个 100 mm（3.9 in）大小，在顶角有钢瓶符号，在底角有危险等级编号 2 的绿色菱形非易燃气体标识。在美国，该标识上使用“非易燃气体”词语是可选项。对于自美国输入加拿大的货物，可以接受在绿色菱形中使用“非可燃性气体”一词，但是在加拿大境内运输或装运产品时可能不包括这些词[3, 21]。
- 作为替代，DOT 法规（参见 49 CFR 172.400a）允许使用 30 mm（1.25 in）的方形点标签，只要气瓶没有过度包覆并且按照 CGA C-7《压缩气体分类和标签指南》附录 A 在钢瓶上进行持久和清晰的标记[3, 33]。
- 在加拿大，一般要求是一个标签的每一侧的长度至少是 100 mm 并且在边缘内侧有一个延伸 5 mm 的线条。但是，如果容器形状不规则或小型容器的尺寸导致这个尺寸的标签连同运输名称、技术名称和 UN 编号无法被显示，可以减小标签每一侧的长度，直至标签连同运输名称、技术名称和 UN 编号能够适合这个小型容器，但是不应被减小到 30 mm 以下。参见《危险品运输法规》第 4.10(4)小节[21]。

关于美国和加拿大标记的详细补充信息，参见 CGA G-6.3 和 CGA C-7 [28、33]。

在配备汲取管或虹吸管（以便在气瓶直立时抽取液体）的非绝热二氧化碳钢瓶外部应使用文字“虹吸管”、“汲取管”或其它描述性短语进行清晰的标识。这不适用于灭火气瓶。配备一个虹吸管的非绝热二氧化碳钢瓶上绝不应装配气体调压器。

注：亚洲国家的用户还应核查当地法规的要求以遵循相应的钢瓶标签和标识的规定，确保合规性。

7.3.7 存储注意事项

非绝热二氧化碳钢瓶应储存在一个明确指定的位置（参见 CGA P-1《容器中压缩气体的安全处理标准》）[34]。切记，非绝热钢瓶中的液态二氧化碳在室温下的储存压力在大约 5860 kPa（850 psi），气瓶失效可能导致能量剧烈释出。二氧化碳气体比空气重约 1.5 倍。从一个非绝热二氧化碳钢瓶中逸出的气体将往往积聚在低位区或密闭空间，并且可能导致窒息。

由于会发生超压，因此非绝热二氧化碳钢瓶被设计为正常运行温度不超过 51.7 °C（125 °F）。不宜把非绝热二氧化碳钢瓶储存在阳光直射位置、炉子、散热器或其它热源附近。已经经受火灾或高热的非绝热二氧化碳钢瓶应报废或返回气瓶制造商进行检查以确定是否适合继续使用。已经经受火灾或受热的铝瓶不得再次使用。超过 177 °C（350 °F）的温度将不可逆地改变铝的特性，应把已经受过火灾或高热的铝制非绝热二氧化碳钢瓶报废，参见 CGA G-6.3[28]。

不应抛落非绝热二氧化碳钢瓶或使其经受可能对钢瓶、阀门或泄压装置造成损坏的异常机械震动。不宜把非绝热二氧化碳钢瓶储存在电梯或过道附近或者可能被重型可移动物体撞击或坠砸的位置。应使用链条或约束装置防止非绝热二氧化碳钢瓶倒落。非绝热二氧化碳钢瓶的充装可利用钢瓶套作为可接受的固定方式。

非绝热二氧化碳钢瓶应储存在地面以上的干燥、通风良好的位置。外部腐蚀可能导致非绝热二氧化碳钢瓶失效，并且不应把钢瓶储存在电镀室内或其它可能存在腐蚀性气体的环境内。

7.3.8 使用注意事项

应对工作人员进行关于非绝热二氧化碳钢瓶的正确操作处理和使用的培训。还应确保工作人员了解绕开、改动或忽略获得批准的规程所涉及的危险。关于补充信息，参见 CGA G-6.3, CGA P-1, CGA P-65 和 CGA C-7 [28, 34, 35, 33]。

非绝热二氧化碳钢瓶的内部压力随环境温度而变。例如，在 -40°C (-40°F) 的平衡条件下，压力约为 900 kPa (131 psi)；在 29.4°C (85°F) 下，压力是 7020 kPa (1018 psi)。应特别仔细地对非绝热二氧化碳钢瓶进行连接、断开、充装、排放和维修。

连接到使用点的管道系统应设计为可安全承压。应对管道或管子件提供充分的支撑和机械防护。CGA G-6.1[10]提供了可接受的管道规格示例。

如果液态二氧化碳可能残留，应提供适当的泄压装置，参见 5.4。

注意：不得使用普通铸铁管和可锻铸铁，因为它们在撞击时会破裂，特别是在寒冷条件下。

应按照二氧化碳用途对气体减压调节器进行专门设计。氯丁橡胶、尼龙、三元乙丙橡胶 (EPDM) 和聚四氟乙烯 (PTFE) 通常被用于二氧化碳调节器和气瓶阀门。避免使用会吸收二氧化碳并且会膨胀或变形的材料（例如丁腈橡胶和天然橡胶的某些配方）。用气量大的场合可能要求安装一个带预热器的调节器。

在返回空的非绝热二氧化碳钢瓶进行再充装时，宜紧闭阀门从而防止空气或水分进入。

7.4 绝热二氧化碳钢瓶

7.4.1 通则

用于运输液态二氧化碳的绝热液体二氧化碳钢瓶应符合 DOT 4L 和 TC 4LM 规范

7.4.2 接头

绝热二氧化碳钢瓶瓶阀接头标准已经被 CGA 采用，并被公认为美国和加拿大的标准。其被定义在 CGA V-1 [26]中。

7.4.3 泄压装置

绝热二氧化碳钢瓶应该配备泄压装置以释放因漏热、过充、暴露于明火环境或者高温下正常压力上升而形成的超压。一个用于运输的充装了液态二氧化碳的绝热二氧化碳钢瓶应配备一个或多个泄压装置，这些泄压装置的尺寸、指定的类型、位置、数量均按照 CGA S-1.2, 《泄压装置标准—第 2 部分—便携式压缩气体容器》[36]的要求。泄压装置的测试应按照 CGA S-1.2[36]。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.4.4 充装极限

按 DOT 4L 和 TC 4LM 规格制造的绝热二氧化碳钢瓶应进行称重充装。绝热二氧化碳钢瓶不宜被充装到一个在接近泄压装置设定值前就满足满液条件的液位。更多绝热二氧化碳钢瓶充装详细信息，参见 CGA G-6.4[8]。

7.4.5 复检/检查

7.4.5.1 复检

按照 49 CFR, 180.209 部分以及 TDG 规定[3, 21]要求，按 DOT 和 TC 规格设计的绝热二氧化碳钢瓶不要求周期性地复检。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.4.5.2 检查

重大物理损伤（例如凹痕、点蚀、裂纹、明火/热损坏）可以导致绝热二氧化碳钢瓶失去真空。真空损失将导致绝热二氧化碳钢瓶压力上升至泄压设定，通过泄压装置大量释放二氧化碳气体。应检查损坏的绝热二氧化碳钢瓶，并确定绝热二氧化碳钢瓶是否可以修复或应报废。检查和修复都应由有资质的人员进行。

7.4.6 标记和标签

DOT 和 TC 要求按照 DOT 4L 和 TC 4LM 规格制造的绝热二氧化碳钢瓶在肩部，顶部或固定连接板上有以下明显的永久性标记：

- DOT 或 TC 规格编号，在编号后面标明工作压力；
- 序列号以及绝热二氧化碳钢瓶制造商的名称或识别标志；以及
- 独立检验机构（第三方）官方标志（TC）和制造试验日期。

不应在绝热二氧化碳钢瓶上的所需标记进行改动，除非 DOT 或 TC 法规另有规定。绝不应去除或改动序列号和制造商的名称或识别标志，并且应保持清晰状态。

绝热二氧化碳钢瓶还应标有 360 度标签，显示产品的运输名称—二氧化碳。更详细的标签说明，请参见 CGA C-7 中的附录 F [33]

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.4.7 存储注意事项

应将绝热二氧化碳钢瓶储存在一个指定位置。这些钢瓶被设计为可排放二氧化碳气体以防止随介质变暖而超压。因此，存储位置应通风良好，远离交通路线，在地平面以上并且远离较重的二氧化碳气体（比空气重 1.5 倍）可能积聚的地下室或低洼区。存储地应远离过热源。

7.4.8 使用注意事项

7.4.8.1 绝热二氧化碳钢瓶的常规使用

绝热二氧化碳钢瓶非常重，移动这些钢瓶必须使用一个专用四轮手推车。滚动绝热二氧化碳钢瓶是极端危险的。如果一个绝热二氧化碳钢瓶翻倒，仅其重量就可能导致重伤。

由于搬运环不适合用于吊运，可能受到损坏，因此不要使用搬运环来吊运一个绝热二氧化碳钢瓶。如果必须使用一台起重机或叉车来移动一个绝热二氧化碳钢瓶，必须使用一个适当的支撑杆把吊钩附接在专用吊耳上。

7.4.8.2 真空绝热二氧化碳钢瓶的特殊使用

真空绝热二氧化碳钢瓶有一个内容器悬吊系统从而最大限度地减少热输入。这些钢瓶依靠保温空间内的真空提供所需保温程度。损失这个真空将导致过量气态二氧化碳通过泄压装置被排放。在这些情况下，宜立即把这些钢瓶移到室外并且通知钢瓶供应商。这些钢瓶绝不宜受到震击、翻倒或撞击，应总是保持直立，参见图 14。

如果真空绝热二氧化碳钢瓶掉落倾倒，其内部容器可能会损坏。全部压力将释放到真空空间，会导致外壳严重受损。



图 14 — 真空绝热二氧化碳钢瓶

7.4.9 操作注意事项

许多真空绝热二氧化碳钢瓶在环状空间内设有一个汽化器用于提供接近环境温度的气态二氧化碳。如果使用率过高，绝热二氧化碳钢瓶外壳将严重结霜，被抽取的二氧化碳可能极冷。不要为了除霜或升温而向真空绝热二氧化碳钢瓶外部施加热量，而是要降低使用率或把更多的气瓶连接到汇流排中。

一个绝热二氧化碳钢瓶配备一个充装/液体专用阀、一个气体专用阀、一个增压阀、一个排放阀、一个压力表、一个液位计和各种调节器和泄压装置。只有气体专用阀和液体专用阀、增压阀、液位计和压力表是供客户使用的装置。

7.5 小型固定式绝热二氧化碳容器

容器的设计，制造和测试应符合容器制造时最新的 ASME 《锅炉和压力容器规范》（ASME 规范）第八章第 1 部分的要求，或亚洲一些特定国家/地区主管部门接受的其他当地/国际规范。，请参见图 15 [1]。有关小型固定式绝热二氧化碳容器的典型管道示意图，请参见图 16。

容器的设计和构造应尽量减少过充的风险。

切勿让容器完全满液。

有关迷你储罐的更多信息，请参见 CGA G-6.5 [11]。



图 15 — 小型固定式绝热二氧化碳容器（迷你储罐）

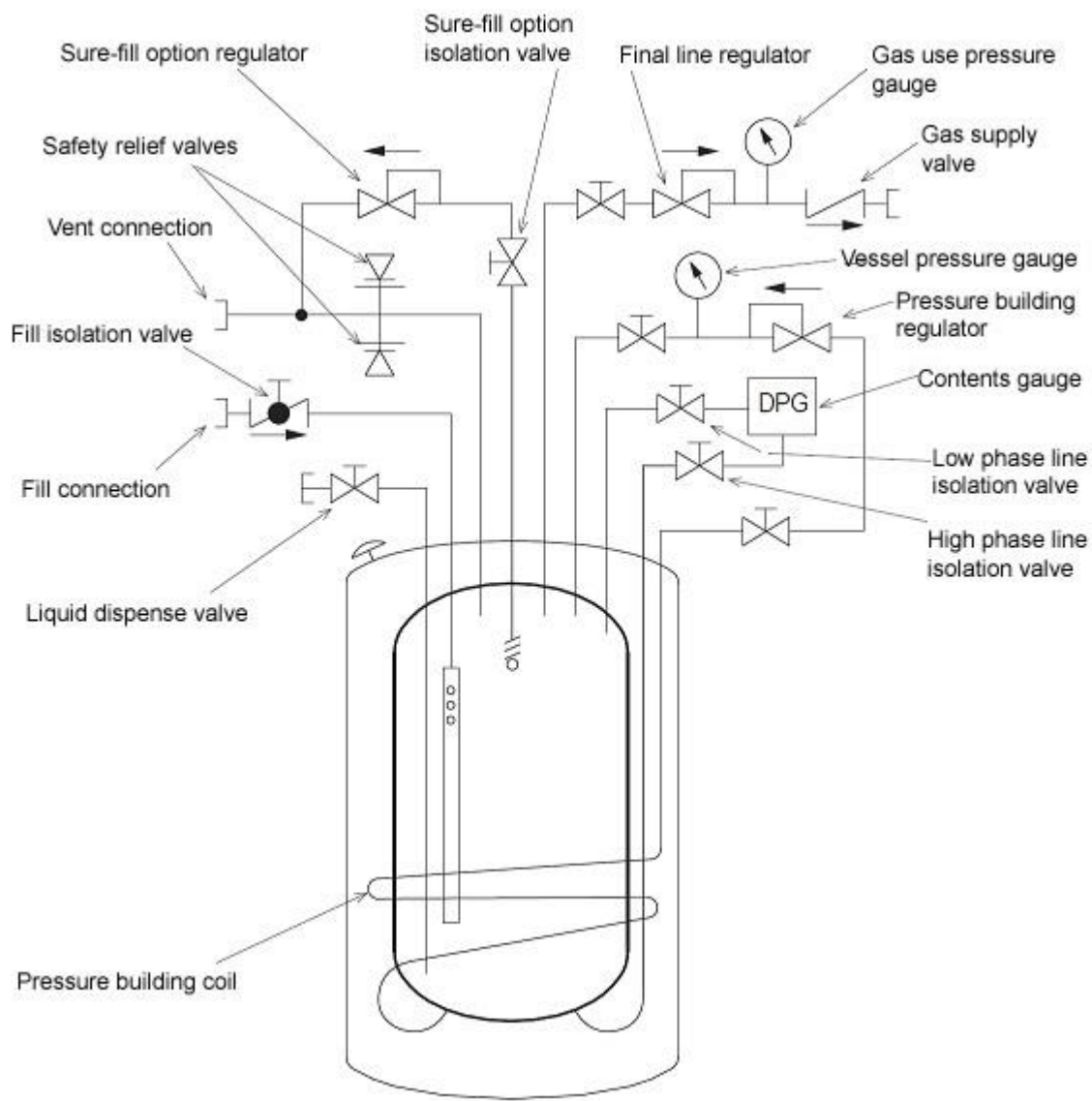


图 16 — 小型固定式绝热二氧化碳容器的典型配管示意图

7.6 罐车

7.6.1 通则

在 49 CFR 173.314 和 173.31[3]中提供了 DOT 关于液态二氧化碳铁路运输的法规。在 TP 14877 [22]中提供了 TC 法规。两者都授权使用 DOT 或 TC 规格 105A500W, 105S500W 和 105J500W 罐车运输, 请参见图 17 [3, 22]。



图 17 — 液态二氧化碳铁路罐车

7.6.2 泄压装置

DOT 105A500 和 DOT/TC 105A500W 铁路罐车的泄压装置由一个被设定在 2590 kPa (375 psi) 或更低压力下开启的主泄压装置、一个在低于罐体试验压力 (3450 kPa [500 psi]) 的压力下破裂的爆破片和两个被设定在 2410 kPa (350 psi) 下打开的压力调节装置组成。这些装置应获得美国铁路罐车委员会协会的批准, 参见 49 CFR 173.314(b)(4)和 173.314(c)[3]。宜确保工作人员 (例如铁路雇员) 了解两个压力调节装置中的一个或两个在运输过程中应例行打开。在这种阀门打开时逸出的二氧化碳会发出一种声音, 让未经培训的人员可能以为这是一种危险泄漏, 而实际上这是正常运行, 且能这样正常运行的铁路罐车才可以安全地移动。应在用于运输液态二氧化碳的铁路罐车上刷印文字“调节阀排放正常”。

注: 在亚洲, 如果有的话, 还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定, 确保合规性。

7.6.3 充装极限

美国和加拿大法规要求铁路罐车充装时, 处于 -17.8°C (0°F) 下的液态气体部分不能完全充满槽罐, 参见 49 CFR 173.314 注 5 和 TP 14877 [3, 22]。表 5 和图 10 列示了容器中的容积与温度的关系。

注: 在亚洲, 如果有的话, 还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定, 确保合规性。

7.6.4 复检和重新认证

应每 10 年至少一次对被用于运输液态二氧化碳的罐体进行重新认证, 参见 49 CFR 180.509(c)和 TP 14877 [3, 22]。应每 5 年一次对泄压装置进行重新认证, 参见 49 CFR 180.509(c)(3)(ii)和 180.509(h) [3]。应在罐车上刷印罐体和泄压装置的重新认证日期。

注: 在亚洲, 如果有的话, 还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定, 确保合规性。

7.7 便携式储槽

7.7.1 通则

DOT 授权在符合 DOT 规格 51 的便携式储槽以及 49 CFR 173.32 (b) 中概述的其他便携式储槽中运输液化二氧化碳, 有关更多详细信息, 请参阅 49 CFR 173.315 [3]。在加拿大, 可以根据 CSA B622 或 TP14877 [25, 22]使用 TC 51 便携式储槽。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.7.2 泄压装置

每一个便携式储槽应安装一个或多个先导式或弹簧式泄压装置。便携式储槽还可以配备一个能够对内部压力进行调节的压力控制装置，该装置在当压力达到一个预设的略低于泄压装置的初始排放压力的设定压力值时开始排放，参见 49 CFR 173.315(i)(9)和(11)[3]。在 CGA S-1.2 中提供了关于泄压装置要求的详细信息[36]。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.7.3 充装极限

DOT 法规禁止便携式储槽充装超过其体积容量的 95%，通常是在充装作业过程中使用固定长度的内汲取管或通过称重来确定[3]。取决于正在被装载的二氧化碳的温度，为了防止便携式储槽在达到泄压装置的初始排放压力之前充满液体，可能有必要充装到一个更低的百分比液位，参见 49 CFR 173.315) [3]。表 5 和图 10 显示了容器中的容积与温度的关系。

7.7.4 复检

每 5 年应至少一次对用于运输二氧化碳的便携式储槽进行水压试验。复检压力应至少是设计压力的 1.5 倍。对于规格 DOT/TC-51 便携式储槽，最小设计压力是 1380 kPa (200 psi)。被停用 1 年或更长时间的便携式储槽在恢复使用之前，应进行复检，参见 49 CFR 180.605(b)或 CSA B620) [3、24]。应在便携式储槽的金属铭牌上或其附近标明最近的复检日期，参见 49 CFR 180.605(k)或 CSA B620[3、24]。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.7.5 制冷系统

制冷系统在便携式容器上并不常见。如果需要，该系统应类似于固定容器上使用的系统，请参阅 7.9.5。

7.8 货罐

7.8.1 通则

DOT 批准在符合规格 MC-330 和 TC/MC-331 的货罐中运输液态二氧化碳[3]。在加拿大，TC 批准在 CSA B622 中概述的 TC 331 或 TC 338 公路槽罐中运输液态二氧化碳，参见图 18 和图 19[25]。



图 18 — 液态二氧化碳货罐



图 19 — 液态二氧化碳货罐（单体卡车）

7.8.2 泄压装置

每一个货罐应装配一个或多个弹簧式泄压装置，每一个货罐可以配备一个定额是设计压力的 1.5 倍~2 倍的爆破片式装置。货罐还可以配备一个能够对内部压力进行调节的压力控制装置，该装置在当压力达到一个预设的略低于泄压装置的初始排放压力的设定压力值时开始排放，参见 49 CFR 173.315(i)(9)和(10)和 CSA B620[3、24]。在 CGA S-1.2 中提供了关于泄压装置要求的详细信息 [36]。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.8.3 充装极限

DOT 法规禁止货罐的充装超过其体积容量的 95%，通常是在充装作业过程中使用固定长度的内汲取管或通过称重来确定。取决于正在被装载的二氧化碳的温度，为了防止货罐在达到泄压装置的初始排放压力之前充满液体，可能有必要充装到一个更低的百分比液位，参见 49 CFR 173.315 和 CSA B620 [3、24]。表 5 和图 10显示了容器中的容积与温度的关系。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.8.4 复检

每 5 年应至少一次由一个注册的检验机构对用于二氧化碳的货罐进行一个内部检查和水压或气压试验。还要求每年进行一次外观检查。MC-330 和 TC/MC-331 货罐的复验压力至少应为设计压力的 1.5 倍。复验的书面报告应保存在车辆档案中至少为期 5 年。应在货罐夹套的金属铭牌附近使用高度至少是 32 mm (1.25 in) 的字体持久和清晰地标明上次试验的月份和年份，参见 49 CFR 180.407 和 CSA B620[3、24]。

还应每年一次对用于运输二氧化碳的 MC-330 和 TC/MC-331 货罐进行泄漏试验。应在货罐夹套的金属铭牌附近使用高度至少是 32 mm (1.25 in) 的字体持久和清晰地标明试验的月份和年份，参见 49 CFR 180.407(h) 和 CSA B620[3、24]。

已经被停用 1 年或更长时间的货罐在恢复使用之前需进行复检，参见 49 CFR 180.407(b)(3)和 CSA B620 [3、24]。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.9 大宗液态二氧化碳储存容器

7.9.1 通则

容器的设计，制造和测试应符合在容器制造时通用的 ASME 规范第Ⅷ章第 1 部分的要求，或亚洲一些特定国家/地区主管部门接受的其他国内/国际规范，请参见图 20 [1]。

容器的设计和制造应可最大限度地减轻过量充装风险并且绝不应允许容器完全充满液体，参加表 5。

应对容器提供充分的绝热以及可以配备制冷和气化系统从而把压力保持在设计压力和温度限制内。参见图 21 和图 22 分别显示了一个典型的卧式二氧化碳储存系统和立式二氧化碳储存系统的管道示意图。

超过 4536 kg (10 000 lb) 的二氧化碳存储量被 40 CFR 第 370 部分涵盖，并且需按照《环境赔偿基金修正与再授权法案》(SARA) 标题 III 第 312 节第 II 级危险化学品库存报告要求进行报告[37, 38]。用户负责在每一个日历年的 3 月 1 日之前提交相应的政府报告。第 II 级报告应送交相应的州紧急响应委员会 (SERC)、相应的当地应急规划委员会 (LEPC) 和当地消防部门。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

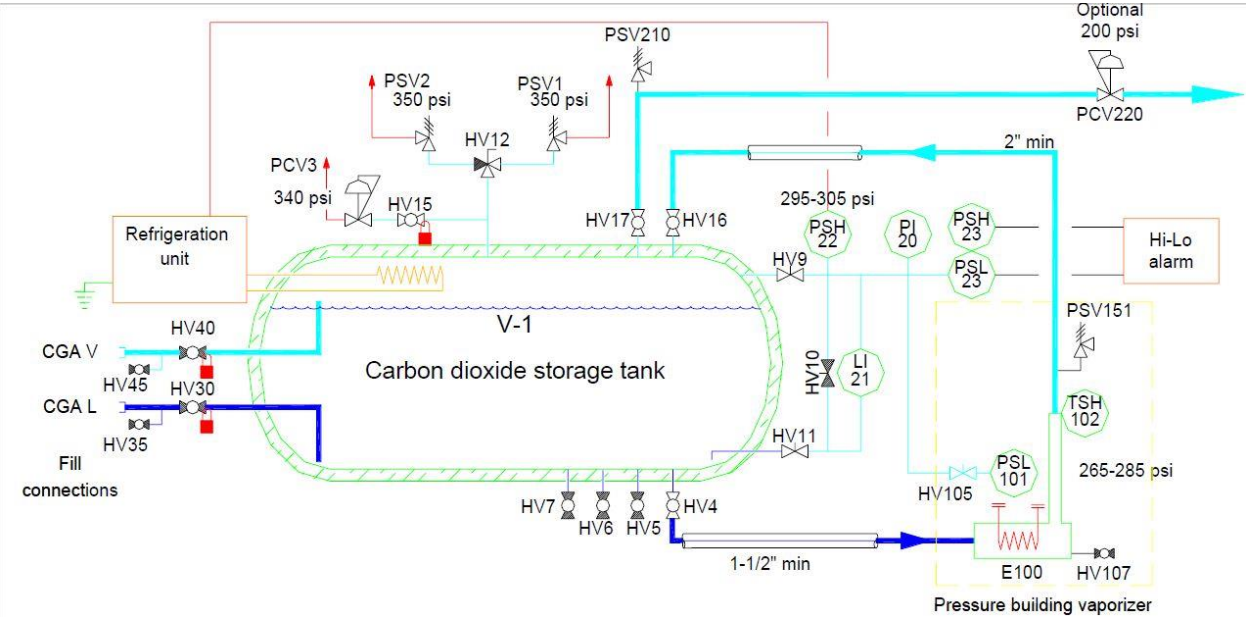


图 20 — 大宗液态二氧化碳容器

7.9.2 接头

多种尺寸的大宗液态二氧化碳容器接头标准已被 CGA 采纳，并被公认为美国 and 加拿大的标准。绝热二氧化碳容器的接头被定义在 CGA V-6 《标准大宗冷藏液体传输接头》[39]中。

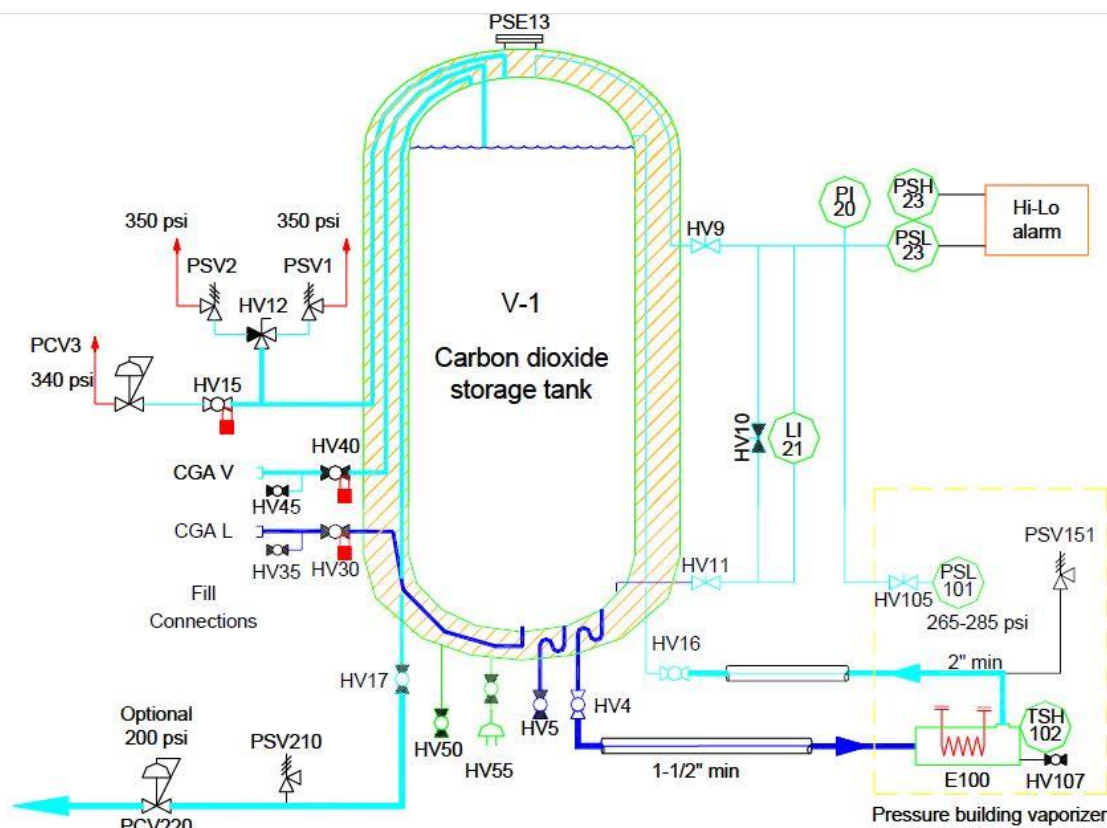
注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。



CGA L	液体充装接头	HV40	气相平衡充装阀
CGA V	气相平衡充装接头	HV45	气相平衡排污阀
E100	增压（PB）汽化器	HV105	PB 汽化器传感阀
HV4	PB 汽化器液相阀	HV107	PB 汽化器排污阀
HV5	液相工艺阀	LI21	液位计
HV6	液相工艺阀	PCV3	辅助泄压设备
HV7	液相工艺阀	PCV220	背压控制阀
HV9	液位计低压阀	PI20	压力指示计
HV10	液位计平衡阀	PSH22	制冷启/停压力开关
HV11	液位计高压阀	PSH23, PSL23	高/低报警压力开关
HV12	安全排放导流阀	PSL101	PB 汽化器启/停压力开关
HV15	背压控制设备阀	PSV1,PSV2	主要泄压设备
HV16	PB 汽化器蒸汽阀	PSV151	PB 汽化器泄压设备
HV17	气相工艺阀	PSV210	过程压力泄放阀
HV30	液体充装阀	TSH102	PB 汽化器过热温度开关
HV35	液体充装排污阀	V1	大宗液体二氧化碳存储容器

注一并非每台容器都包含上述所有组件。

图 21— 卧式聚氨酯绝热二氧化碳存储系统的典型管道示意图



注一仅为示意图：穿过夹套的出口连接点会因储槽的设计和制造而有差别。

CGA L	液体充装接头	HV50	抽空阀
CGA V	气相平衡充装接头	HV55	真空热电偶阀
E100	增压 (PB) 汽化器	HV105	PB 汽化器传感阀
HV4	PB 汽化器液相阀	HV107	PB 汽化器排污阀
HV5	液相工艺阀	LI21	液位计
HV9	液位计低压阀	PCV3	辅助泄压设备
HV10	液位计平衡阀	PCV220	背压控制阀
HV11	液位计高压阀	PI20	压力指示计
HV12	安全排放导流阀	PSE13	泄放装置—外容器挡板
HV15	背压控制设备阀	PSH23, PSL23	高/低报警压力开关
HV16	PB 汽化器蒸气阀	PSL101	PB 汽化器启/停压力开关
HV17	气相工艺阀	PSV1, PSV2	主泄压设备
HV30	液体充装阀	PSV151	PB 汽化器泄压设备
HV35	液体充装排污阀	PSV210	过程压力泄放阀
HV40	气相平衡充装阀	TSH102	PB 汽化器过热温度开关
HV45	气相平衡充装排污阀	V1	大宗液体二氧化碳存储容器

注一并非每台容器都包含上述所有组件。

图 22-1 立式真空绝热二氧化碳存储系统的典型管道示意图

7.9.3 泄压装置

不论大小，用于服务液态二氧化碳的容器均应配备与二氧化碳兼容的尺寸合适的泄压装置。即使泄压装置的大小是根据气相二氧化碳气流大小而确定，但建议所有泄压装置材料，包括密封件和软性物质，都应能够暴露于液态二氧化碳。ASME 规范 泄压装置应选用弹跳阀；不得使用调节式 ASME 泄压装置阀。

更多本节[1, 40]讨论的主题的详细要求, 请参阅 ASME 规范和 CGA S-1.3, 《泄压装置标准 - 第 3 部分 - 压缩气体的固定式存储容器》。本节中的信息适用于常规状况, 如果 ASME 规范或 CGA S-1.3 允许使用替代方法, 则可以基于工程分析的结果来应用这些替代方法[1, 40]。

CGA S-1.3 需要主要和辅助系统来处理操作紧急情况和火灾[40]。主要和辅助系统应能同时启用。习惯上对于二氧化碳容器, 主系统要么是单个 ASME 规范 泄压装置或者是导流阀和双 ASME 泄压装置的组合。辅助系统传统上是非 ASME 压力控制阀 (也称为背压调节器或泄放阀), 其设置为比主泄压装置的设定压力低 138 kPa (20 psi), 并排入大气。

主系统设计为满足 ASME 规范[1]的要求。辅助系统不需要满足 ASME 规范, 但它必须满足 CGA S-1.3 [1, 40]的要求。辅助系统设定压力比主系统低的目的在于处理操作异常情况, 例如制冷单元发生故障但主系统未打开。当辅助系统打开时, 其排气产生的噪音和蒸气也可以视为警报, 提示需要维修存储单元。如果将非 ASME 泄压装置用作辅助系统的一部分, 则它们的容量不能计算在满足 ASME 规范要求所需的范围内[1]

主泄压装置应当具有能够进入容器气相空间顶部的通道。辅助泄压装置进入气相空间的通道应在尽可能高的位置。它们的入口管道不宜穿过容器的液相空间。这样可以防止在泄压装置中形成水冰。泄压装置应排入通风良好的区域以防窒息。二氧化碳比空气重 1.5 倍, 并且会积聚在低洼处或通风不良的地方。泄压装置及其排放管道的设计和安装应使其不会积聚会阻碍其正常运行的水分或其他杂质。泄压装置设备的出口应布置在避免被逸出的气体或容器内液体, 夹套, 控制设备, 结构部件或人员撞击的位置。泄压装置的排放管道布置应避免发生泄压装置启动后松动的状况。

不建议使用爆破片型泄压装置, 但可以使用。爆破片失效会使容器完全卸压, 从而导致形成 -78.5° C (-109.3° F) 干冰。要恢复使用, 需要按照批准的程序移除干冰或对容器进行升压, 参阅 CGA G-6.7 [9]。绝热系统上的外部夹套的类型会对泄压装置的尺寸带来很大影响。真空绝热容器的外部夹套可以减轻火灾的影响, 并让应急操作成为决定泄压装置选型的主要考量。聚氨酯泡沫绝热容器的夹套让火灾, 而不是应急操作, 成为决定泄压装置选型的主要考量。在实践时应考查所有状况。

注: 在亚洲, 如果有的话, 还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定, 确保合规性。

7.9.3.1 主泄压装置系统

虽然可以使用单弹簧操作的泄压装置, 但建议使用配备具有合适的尺寸和结构的三通换向阀的双泄压装置或者配有外接现场测试接头的单先导操作泄压装置。使用这两种推荐配置中的任何一种, 可以按照 CGA S-1.3 的要求进行定期维护和阀门测试, 而无需对容器卸压并因此被迫停止使用[40]。泄压装置上应清楚标记其设定工作压力和流量。它应具有锁死设定点调节的手段。它的定位和安装应尽可能考虑操作性以防止误动和损坏。主泄压系统应通过 ASME 认证。

ASME 规范要求泄压装置的尺寸选型应能满足处理应急操作和暴露于明火或其他外部热源的情况[1]。确定泄压装置调节大小的第一步是制定包含所有潜在应急操作情况以及它们同时发生的可能性的列表。应急操作情况通常是由无法在常规设定点关闭或打开设备引起的。评审中应包括以下条件[40, 41, 42, 43]:

- 泵和汽化器无法关闭;
- 不起作用的制冷系统
- 其他系统的阀门无法关闭或打开; 以及
- 再充装时过充等。

分析暴露于明火或其他外部热源时需考虑的因素包括绝热类型、着火的潜在性等[40、42、43]。容器接触明火的可能性和严重性会对泄压装置的大小产生很大影响。当安装因素降低了容器接触明火的可能性和严重性时, CGA S-1.3 允许使用两种不同的泄压装置容量因子 (1.0 和 0.3) [40]。根据 ASME 规范, 用户有责任在储槽运行之前确保安装大小合适的泄压装置[1]。

泄压装置的尺寸选型应保证容器内的压力在应急操作时不超过最大许用工作压力 MAWP 的 110%，以及火灾时不超过 MAWP 的 121% [40]。泄压装置的选型还应考虑在容器和泄压装置之间的管道、附件、导流阀内的压降。ASME 规范推荐从进口管道至泄压装置的最大压降在泄压装置设定压力的 3%；当然也可以在工程分析结果的基础上允许突破 3% [1, 40]。工程分析应考虑压降对泄压装置的泄压能力和诸如阀门振动等运行情况的影响 [42, 43]。关于推荐的泄压装置的进口管道和排放管道，请参见 ASME 规范附录 M【1】。

泄压装置的排放管的长度应保持最小。排放管道中产生的任何背压均不应将泄压装置的能力降低到要求的水平以下。可以向泄压装置制造商咨询可接受的背压限值。排放管道的设计应防止积水，冰和碎屑，以免妨碍正常运行。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.9.3.2 辅助泄压装置系统

CGA S-1.3 要求了一个辅助泄压装置系统，但允许该系统有三个选项[40]。

选项一是压力控制阀的设定值不高于主泄压装置设定值的 97%。该压力控制阀的流量应调整为足以处理应急操作，火灾除外。该阀在流量分级压力不大于主泄压系统最低设定点的情况下，最小流量应为 142 m³ / hr (5000 scfh)。该压力控制阀不需要经过 ASME 认证。

选项二是附加一个通过 ASME 有效认证的足以处理应急操作的泄压装置，火灾除外。

选项三是容量为 1000 lb 或更少（迷你储罐）的二氧化碳容器，可以配备以下安全释放装置：

- 一个主泄压阀，其设定压力等于容器的 MAWP，满足 CGA S-1.3 [40]中规定的应急操作（包括火灾）的最小流量要求；
- 二级泄压阀的设定压力不高于容器的 MAWP 的 150%，并且同样满足 CGA S-1.3 [40]中规定的应急操作（包括火灾）的最低流量要求；和
- 此配置不要求将压力控制阀或泄放阀设置在 MAWP 以下。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。

7.9.4 其他安装注意事项

大多数二氧化碳容器被设计放置在适当隔离，避免被明火包围的位置，而其他地方，则应重新评估泄放阀的大小[40]。

对于放置在室内和院落的情况，需要遵循以下几点：

- 所有泄压装置都应由管道连接到外部安全位置；和
- 按照 49 CFR 177.834 (3) [3]的要求，液位计和压力表等容器充装连接点应通过管道连接到室外便于负责充装二氧化碳到容器的相关人员操作和抵达的位置。关于院落的更多信息，请参见 CGA P-41 [13]。

建议监测所有室内安装的二氧化碳浓度。

有关其他安装注意事项，请参见 NFPA 55，《压缩气体和低温流体规范》[44]。

7.9.5 制冷系统

当容器内的液体二氧化碳消耗速度过慢或者外部热量输入增加期间，液体二氧化碳存储容器可以使用一个机械制冷系统保持所需的运行压力。

制冷单元对二氧化碳蒸气进行冷凝从而清除介质热量，这会使压力相应降低。制冷蒸发器盘管应安装在容器的气相空间内。制冷系统自动运行以保持预设最大压力，通常是 2000 kPa~2140 kPa（290 psi~310 psi）。制冷系统失效可能导致二氧化碳蒸气经泄压系统排放而逐渐损失。

应根据进入容器的正常热量以及所采用的工艺流程导致的所有额外的热负荷，对制冷系统进行设计和尺寸选用。其它的热负荷例如一个循环回路或一个气瓶充装泵向容器的返液。

7.9.6 增压汽化系统

在气相用量较大或液体抽取量较高期间，可能要求用一套增压汽化系统维持所需的运行压力。见图 23。从容器中抽取气体产品时会发生一种冷却效应，导致压力和温度降低。

增压汽化系统防止容器中的压力降低到预设值以下。它汽化一小部分液体并将汽化后的气体返回容器的气相空间。

宜按照预期气相抽取速率，选择汽化器的尺寸。典型的电加热汽化器功率是 9 kW~56 kW。也可以使用蒸汽或热水作为热源来提供更大热负荷。电加热汽化器应装配超温停机装置，以防止汽化器在空罐无液或控制故障的情况下运行而损坏。

汽化器系统在预设定压力下运行从而保持一个预设定最小压力，通常是 1690 kPa~1760 kPa（245 psi~255 psi）。

注意：汽化器系统失效可能导致容器温度降低到最小设计金属温度以下。在这种失效之后对产品连续抽取可能导致容器内介质转化成干冰。更多信息，参见 CGA G-6.7 [9]。

7.9.7 直接处理汽化系统

直接处理汽化器（有时称为在线汽化器）设计用于直接从容器中汽化液体二氧化碳流体至用户应用点。这些汽化器通常用于需要大量二氧化碳气体的地方，请参见图 24 和 25。

常用的热源包括蒸汽，热水和电热铝外壳。

直接处理汽化器应包含低温停机系统，以防止在汽化器发生故障的情况下液体二氧化碳直接进入工艺流程。

当从容器中抽出大量液体时，除了直接处理汽化器外，可能还需要附加一个增压汽化器，请参见图 23。

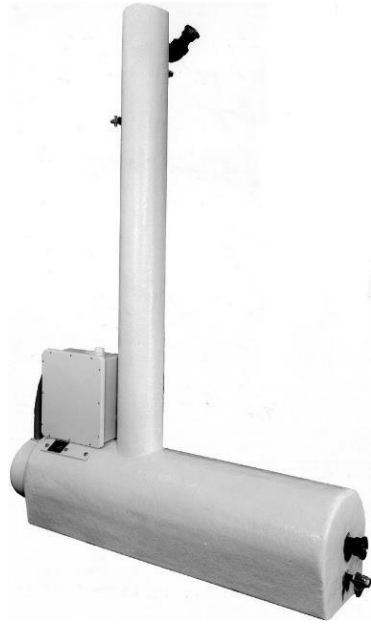


图 23— 增压汽化器



图 24 — 直接处理电热汽化器

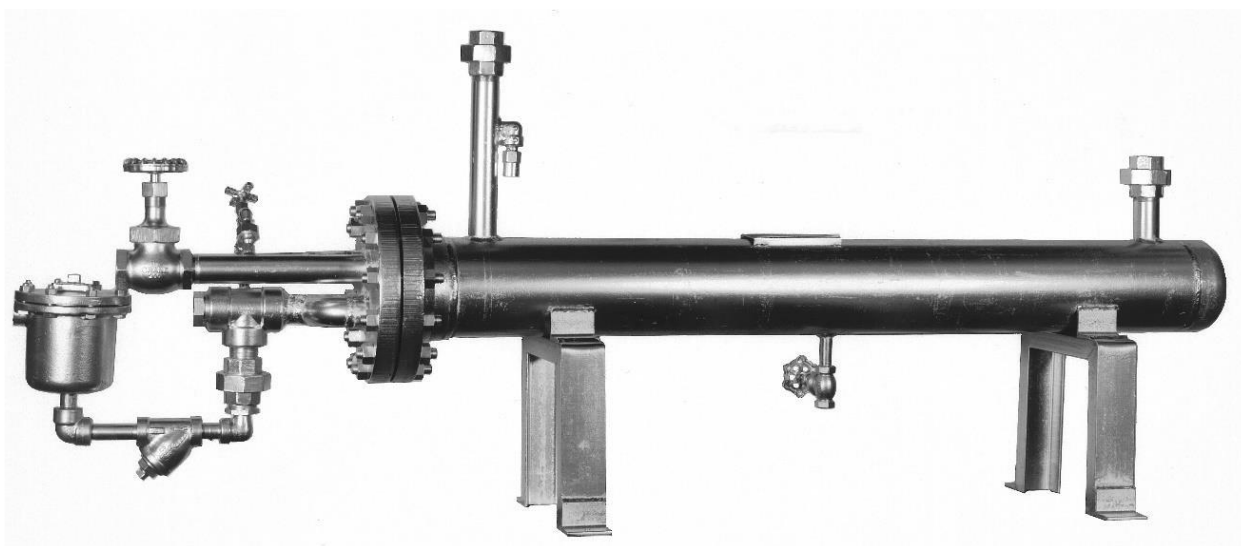


图 25 — 直接处理蒸汽汽化器

7.10 固态二氧化碳（干冰）

7.10.1 通则

干冰应在通风良好的地方处理，并且如果可能，应存放在阴凉的地方以最大程度地减少热传递和升华。

干冰不应存储在封闭的房间中，因为一磅干冰（454 克）会升华形成 246 L（8.7 ft³）的二氧化碳气体，见表 1。

有关更多信息，请参见 CGA G-6.9 [6]。

7.10.2 存储箱

干冰的存储箱无论顶部是否开合都应在底部和侧面有良好的隔热。如果顶部可以紧密关闭，则箱子的设计应防止升华而引起的压力积聚。开顶箱通常用隔热毯覆盖，该隔热毯在箱边缘处要敷设得足够紧密，以消除空气的侵入，但同时仍允许二氧化碳气体逸出。合适的存储以及屏蔽空气中的水分可以最大程度地减少霜的积累。干冰块可以用纸或塑料垫片存放，以防止冰块粘在一起。

7.10.3 个人防护设施

日常经常使用干冰或切割干冰的工人应配备以下 PPE：

- 防护手套；
- 带侧面防护罩的安全眼镜；
- 安全鞋；
- 长袖衬衫；和
- 平脚长裤（裤脚应覆盖在靴子外面）。

7.10.4 处理和使用注意事项

人员应接受正确处理和使用干冰的培训。有关处理干冰的更多信息，请参阅 CGA P-61，《工业和医用气体行业的人机工程学指南》[45]。还应使他们意识到当已经批准的程序被规避，更改或忽略时，会发生的危险。有关更多信息，请参见 CGA P-1 和 CGA P-65 [34, 35]。

以下是使用干冰应遵循的准则：

- 切勿赤手处理干冰。应始终佩戴防护手套；
- 小心处理干冰。如果在不使用安全鞋的情况下跌落块状产品或容器，可能会导致严重的脚伤；
- 使用钢钳移动干冰块；
- 应使用适当的起重技术以防止背部受伤；
- 干冰的形状和大小应符合拟使用要求；
- 避免在卡车或汽车的驾乘空间中运输干冰。如果无法做到这一点，则应将少量干冰放在隔热的容器（即冷却器）中，并保持足够的外部通风。在开着窗户的情况下行驶，以确保恒定而充分的通风，防止乘员过度暴露于二氧化碳气体中。干冰在封闭的驾乘空间中会导致二氧化碳气体积聚至危险浓度，因此，不要把干冰遗留在封闭停放的车内。干冰可以安全地在卡车的封闭货物区域内运输，而无需特殊通风，前提是要限制乘客乘坐在卡车的驾驶室。当水运或空运干冰时，有适用的特殊要求（参见 49 CFR 173.217 和 *TDG 法规* 3, 21]）；
- 干冰不宜用于饮料的直接冷却；
- 如果摄入干冰，可能会导致严重的内部灼伤；
- 切勿将干冰存放在密封（气密）的容器中，否则会导致容器破裂或爆炸；和
- 请注意，干冰升华会吸引昆虫。

7.10.5 弃用干冰的处置

弃用的干冰应妥善处理。处置不当会造成多种安全和环境危害，例如：

- 因误用导致潜在的伤害，尤其是孩童；
- 对环境或野生生物有害；
- 强制安排未经培训的个人进行清理；
- 极端低温会损坏财产；和
- 低温造成的易滑表面。

首选的处置方法是使干冰升华或蒸发到通风良好的不会发生二氧化碳气体体积聚的区域。这些区域的进入应当由获得授权和经过培训的人来控制以保证安全，并且不能在公共区域，避免公众进入。

不要将干冰丢弃在以下场所：

- 在下水道，水槽或厕所中；
- 在水体中；
- 在垃圾箱中；
- 位于地下公用设施上方的地面上；以及

- 在不受保护的盒/箱子中。

7.11 输送软管

用于在容器、货罐和槽罐车之间输送大宗液态和气态二氧化碳的软管，是被设计为专门用于传输液态二氧化碳的软管。这些软管应符合或超过 CGA G-6.6 《大宗二氧化碳输送软管标准》的要求[46]。参见图 26 和图 27。按照 CGA P-7 《被用于输送二氧化碳冷冻液体的货罐软管重新认证标准》规定，应每 6 个月一次对这种类型的软管进行检查和重新认证从而确定是否适合继续使用，建议最长使用寿命是 4 年[47]。输送二氧化碳的软管应在两个端头进行束缚限制，以防止软管连接失败时发生甩动。

用于在货罐和小型固定式绝热二氧化碳容器（迷你储罐）之间输送液态二氧化碳的软管通常是非金属软管，它应被设计为满足或超过 CGA G-6.5 的要求[11]。

用于把液态二氧化碳输送到 DOT-4L 和 TC-4LM 规格液态气瓶中的软管应按至少液体钢瓶的最大允许工作压力的 1.25 倍的最大允许工作压力和-53.9 °C (-65 °F) 的最低设计温度进行设计。软管材料应适合液态二氧化碳输送。见图 26。

建议输送二氧化碳到非绝热钢瓶中的软管应符合 CGA E-9 《供压缩气体使用的 ETFE 衬里和 PTFE 衬里挠性软管标准》[48]。

注：在亚洲，如果有的话，还应核查当地法规的要求以遵循相应的规定，确保合规性。



图 26 — 绝热二氧化碳钢瓶充装软管

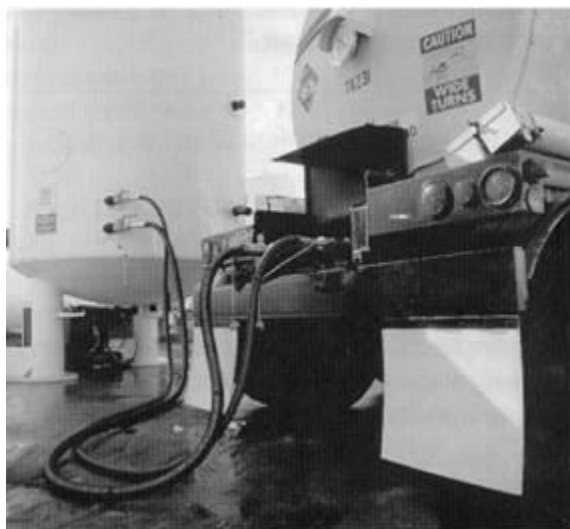


图 27 — 大宗液体输送软管

8 二氧化碳应用

以下是二氧化碳的应用举例

- 消耗性制冷剂
 - 冷藏
 - 低温研磨
 - 干冰吹扫清洗
 - 环境试验
 - 食品冷冻
 - 塑料吹塑模具冷却
 - 橡胶修边
 - 冷套装配
 - 冷藏和冷冻产品运输：
- 闭环制冷剂：
 - 汽车空调系统
 - 覆叠制冷系统
 - 超市陈列柜
 - 冷水机组（自动饮水机）：
- 碳酸化
 - 啤酒和葡萄酒
 - 饮料调配
 - 软饮料；

- 化学反应剂
 - 铸芯
 - 碳酸盐制造
 - 甲醇
 - 尿素；
- 加压/溶剂介质
 - 气溶胶推进剂
 - 发泡剂
 - 增强原油采收；
- pH 控制
 - 饮用水处理
 - 游泳池和废碱中和；
- 灭火
- 受控气氛
 - 惰化和惰性气体覆盖保护效应
 - 温室气肥富集
 - 保护气
 - 焊接；和
- 其它
 - 干洗，干式清洁
 - 粮食熏蒸
 - 医用呼吸疗法混合物
 - 特技效果
 - 超临界萃取。

9 参考文献

除非另有说明，否则均以最新版本为准。

- [1] 《ASME 锅炉和压力容器规范》，美国机械工程师协会，www.asme.org
- [2] CGA P-11 《压缩气体行业公制实践指南》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [3] 《联邦法规汇编》，第 49 章（运输），美国政府印刷局，www.gpo.gov
- [4] Quinn, E.L.和 Jones, Charles L, 《二氧化碳》第 97 页，《美国化学学会专著系列》，Reinhold Publishing Corp。

- [5] CGA G-6.2 《二氧化碳商品规格》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [6] CGA G-6.9 《干冰》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [7] Plank, R. 和 J. Kuprianoff, Z. Ges. Kaltein. Beih., 1, No. 1(1929)
- [8] CGA G-6.4 《液化二氧化碳在绝热货罐，槽罐车和便携式容器中的安全传输》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [9] CGA G-6.7 《失压的液态二氧化碳容器的安全操作处理》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [10] CGA G-6.1 《用户现场的绝热液态二氧化碳系统标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [11] CGA G-6.5 《小型固定式绝热二氧化碳供应系统标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [12] CGA SB-29 《二氧化碳配送至小客户现场的损失和伤害预防》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [13] CGA P-41 《大宗液体存储系统在场地的定位》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [14] 《联邦法规汇编》，第 29 章（劳工）第 1900~1999 部分，美国政府印刷局，www.gpo.gov
- [15] 《TLVs® 和 BEIs® 化学物质和物理剂阈限值以及生物暴露指数》，美国政府工业卫生学家会议，www.acgih.org
- [16] CSA B340 《运输第 2 类危险货物的钢瓶，球罐，管道和其他容器的选择和使用》，加拿大标准协会，www.csa.ca
- [17] CGA SB-33 《液态或固态二氧化碳的静电危害》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [18] Lambertson, C.J., 《二氧化碳耐受性和毒性》，1974 年，环境医学研究院，宾夕法尼亚大学，www.upenn.edu
- [19] NFPA 704 《应急响应材料危险识别标准系统》2007 年版，美国国家消防协会，www.nfpa.org
- 注 一 已获得 NFPA 704-2017，《应急响应物资危险识别系统》，版权所有© 2016，美国国家消防协会，授权再版。该再版材料所引用的主题并不是 NFPA 正式和官方的立场，它仅代表可以通过 NFPA 网站 www.nfpa.org 获得的标准全部。系统中任何特定材料的分类均为使用者个人责任，与 NFPA 无关。NFPA 对使用该系统对任何特殊材料分类或表现的任何取值的任何决定概不负责。
- [20] CGA P-19 《CGA 关于压缩气体的建议危险等级》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [21] 《危险品运输法规》，加拿大交通部，www.tc.gc.ca
- [22] TP14877，《危险品铁路运输容器》，加拿大交通部，www.tc.gc.ca
- [23] CSA B339 《被用于运输危险品的钢瓶、球罐和管道》，加拿大标准协会，www.csa.ca
- [24] CSA B620 《运输危险品的高速公路槽罐和 TC 便携式槽罐》，加拿大标准协会，www.csa.ca
- [25] CSA B622 《运输第 2 类危险品的高速公路槽罐、吨容器和 TC 便携式槽罐的选择和使用》，加拿大标准协会，www.csa.ca
- [26] CGA V-1 《压缩气钢瓶瓶阀出口和进口接头标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [27] CGA S-1.1 《泄压装置标准—第 1 部分—压缩气体钢瓶》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [28] CGA G-6.3 《二氧化碳钢瓶充装和操作处理规程》，压缩气体协会，www.cganet.com

- [29] CGA C-1 《压缩气钢瓶水压试验方法》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [30] CGA C-6 《压缩气体钢瓶目测检查标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [32] CGA C-8 《DOT-3HT、CTC-3HT 和 TC-3HTM 无缝钢瓶重新认证标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [33] CGA C-7 《压缩气体分类和标签指南》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [34] CGA P-1 《容器中压缩气体的安全处理标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [35] CGA P-65 《安全数据表危险性公示补充信息》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [36] CGA S-1.2 《泄压装置标准—第 2 部分—用于压缩气体的便携式容器》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [37] 《联邦法规汇编》，第 40 章（环境保护），美国政府印刷局，www.gpo.gov
- [38] 《超级基金修正案和重新授权法》（SARA），美国环境保护署，<https://www.epa.gov/superfund/superfund-amendments-and-reauthorization-act-sara>
- [39] CGA V-6 《大宗冷藏液体传输连接标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [40] CGA S-1.3 《泄压装置标准—第 3 部分—用于压缩气体的固定式存储容器》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [41] CGA P-40 《带爆破片的低温储槽再次充装过程中超压的防止和分析计算方法》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [42] API RP 520 《泄压装置的尺寸，选择和安装，第 II 部分—安装》，美国石油学会，www.api.org
- [43] API Std 521 《泄压和降压系统》，美国石油学会，www.api.org
- [44] NFPA 55 《压缩气体和低温流体规范》，美国国家消防协会，www.nfpa.org
- [45] CGA P-61 《工业和医用气体行业的人体工程学指南》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [46] CGA G-6.6 《二氧化碳大容量输送软管标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [47] CGA P-7 《二氧化碳冷藏液体输送中使用的货罐软管的重新认证标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [48] CGA E-9 《供压缩气体使用的 ETFE 衬里和 PTFE 衬里挠性软管标准》，压缩气体协会，www.cganet.com
- [49] AIGA 074 《安全处理失压液体二氧化碳容器》，亚洲工业气体协会，www.asiaiga.org