

JB/T 4755—2006
《铜制压力容器》

JB/T 4756—2006
《镍及镍合金制压力容器》

标准释义

全国锅炉压力容器标准化技术委员会 编

新 华 出 版 社

理、
发
m

JB/T 4755—2006 《铜制压力容器》

JB/T 4756—2006 《镍及镍合金制压力容器》

标准释义

全国锅炉压力容器标准化技术委员会 编

新 华 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

JB/T 4755—2006《铜制压力容器》 JB/T 4756—2006
《镍及镍合金制压力容器》标准释义/ 全国锅炉压力容器
标准化技术委员会编. —北京: 新华出版社, 2007.1
ISBN 978-7-5011-7773-8

I. J... II. 全... III. ①铜—压力容器—国家标准
—解释—中国 ②镍—压力容器—国家标准—解释—
中国 ③镍合金—压力容器—国家标准—解释—中国
IV. TH49—65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 151843 号

JB/T 4755—2006 《铜制压力容器》
JB/T 4756—2006 《镍及镍合金制压力容器》
标准释义

全国锅炉压力容器标准化技术委员会 编

*

新华出版社出版发行

(北京石景山区京原路 8 号 邮编: 100043)

新华书店经销

北京鑫瑞兴印刷有限公司印刷

*

开本 880×1230 1/16 印张 18.75 字数 410 千字

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5011-7773-8 定价: 95.00 元

目 录

JB/T 4755—2006《铜制压力容器》标准释义	(1)
JB/T 4756—2006《镍及镍合金制压力容器》标准释义	(125)

JB/T 4755—2006 《铜制压力容器》

标准释义

前言

铜及铜合金制压力容器是重要的有色金属压力容器，主要用于耐腐蚀容器、低温容器和换热容器等。美、日、德、俄等国均已有了铜及铜合金制压力容器的标准。我国的《压力容器安全技术监察规程》（简称“容规”）、GB 151—1999《管壳式换热器》、JB/T 4750—2003《制冷装置用压力容器》等均已包含有铜及铜合金制压力容器的内容。JB/T 4730.1~4730.6—2005《承压设备无损检测》中也包含有铜及铜合金制压力容器射线无损检测的内容。但我国一直缺少铜及铜合金制压力容器的基础标准，本标准填补了此项空白。

铜为人类最早使用的金属之一，属重金属。世界铜贮量约 5 亿多吨，我国贮量约 0.4 亿吨。2005 年世界铜产量约 1650 万吨，铜消费量约 1730 万吨；我国铜产量约 250 万吨，铜消费量约 350 万吨，铜进口量约 135 万吨。世界各主要工业国家都制定有铜的材料标准，我国也有系统的铜材国家标准，形成了一定的铜材生产能力。尽管现行铜材国家标准中的某些技术指标距压力容器用铜材的要求还有不少差距（如不保证 $R_{p0.2}$ 值），但在这些铜材标准的基础上，再补充一些压力容器用铜材的技术要求，还是可以据此制定铜制压力容器行业标准的。

本标准释义主要说明标准中一些重要参数的确定依据，同时还介绍了铜及铜合金的一些材料性能和概况，以供参考。由于我国的铜制压力容器也使用一些国外材料，因此本标准释义对有些国外铜材也作了介绍。

本标准释义由全国锅炉压力容器标准化技术委员会组织编写，黄嘉琥执笔、寿比南审核。



JB/T 4755—2006 《铜制压力容器》标准释义

第一章 铜材分类和检验

一、分类	(5)
二、拉伸性能检验	(6)
三、特殊检验	(7)

第二章 铜材性能

一、物理性能	(9)
二、力学性能	(10)
三、耐蚀性能	(12)
四、焊接性能	(18)

第三章 各国铜材牌号标示方法

一、美国牌号标示	(23)
二、日本牌号标示	(25)
三、德国牌号标示	(26)
四、俄罗斯牌号标示	(27)
五、欧盟标准牌号标示	(27)
六、我国牌号标示	(29)

第四章 国外压力容器用铜材

一、美国压力容器用铜材	(31)
二、日本压力容器用铜材	(48)
三、德国 (和 ISO、EN) 压力容器用铜材	(55)
四、法国 (和 EN) 压力容器用铜材	(71)
五、俄罗斯压力容器用铜材	(71)

第五章 我国压力容器用铜材的选择

一、以我国铜材标准为基础	(74)
二、室温规定延伸强度的保证	(75)

三、对室温断后伸长率下限值的要求 (78)

四、参考国外压力容器用铜的牌号、状态与数据 (79)

五、其他选择原则 (92)

第六章 铜的焊接材料

一、美国焊接材料 (93)

二、日本焊接材料 (93)

三、德国焊接材料 (93)

四、我国焊接材料 (93)

五、E N焊接材料 (93)

第七章 本标准的重要参数与内容

一、最高设计压力 (110)

二、最高设计温度 (110)

三、最低设计温度 (113)

四、压力试验压力 (113)

五、焊接接头系数 (115)

六、焊接评定的材料分组 (118)

七、焊接接头拉伸试验合格指标 (119)

八、焊接接头弯曲试验参数 (120)

九、铜材的技术要求 (120)

十、中温强度保证值 (120)

十一、安全系数和许用应力 (121)

十二、铜翅片管的应用 (122)

十三、外压图表 (123)

第一章 铜材分类和检验

一、分类

铜及铜合金材料有压力加工材和铸材，分别有各自不同的材料标准、牌号和性能。铜及铜合金一般可以分为纯铜、黄铜、青铜和白铜四类，由于纯铜凝固时具有很大的体收缩率（4.1%）和线收缩率（1.42%），铸造性能较差，铸件容易产生气孔、疏松和裂纹，因而一般少用纯铜铸件，常用铜合金铸件。现将四类铜及铜合金分述如下。

1. 纯铜

纯铜指铜含量（有时包括杂质银含量）不低于 99.5% 的工业纯铜，因表面呈紫红色有时也称为紫铜，纯铜按氧含量可分为三类：氧含量 0.02%~0.1% 为普通纯铜或含氧铜，这种铜中含有氧化亚铜，氧含量在冶炼时应控制，但在材料的供货技术要求中并不要求检验；氧含量小于或等于 0.01% 为脱氧铜，铜中不含氧化亚铜，但含有一定量的脱氧剂，常用磷作为脱氧剂，称为磷脱氧铜，材料供货时也不要求分析氧含量；氧含量小于或等于 0.003% 为无氧铜，铜中不含氧化亚铜，也不含任何脱氧剂残留物，要求检验氧含量和许多杂质含量。

2. 黄铜

黄铜指以锌为主要合金元素的铜合金。锌在铜中的最大溶解度为 39%，工业用黄铜的锌含量均低于 50%。不加其他合金元素的黄铜称为普通黄铜，加入其他合金元素的黄铜称为特殊黄铜，如镍黄铜（ $\text{Ni} \leq 6.5\%$ ）、锡黄铜（ $\text{Sn} \leq 3.0\%$ ）、铁黄铜、铅黄铜、铝黄铜、锰黄铜、硅黄铜、加砷黄铜等。

3. 青铜

以除锌、镍以外的合金为主要合金元素的铜合金为青铜，其中以锡为主要合金元素的青铜为锡青铜，以除锡、锌、镍以外的合金元素为主要合金元素的青铜为无锡青铜，常用的有铝青铜、硅青铜等。锡在铜中的最大溶解度为 15.8%、铝为 9.4%、硅为 4.6%。合金含量大多不宜太高。

4. 白铜

以镍为主要合金元素的铜合金为白铜，但当镍含量小于 4.0%，锰含量超过镍含量时也称为白铜。镍和铜可无限互溶。再加入其他合金元素的有铁白铜、锰白铜、锌白铜等。

黄铜的英文名词为 brass、青铜为 bronze，但白铜没有相应的英文专用名词，只能称为铜镍合金。有的国家将铜镍合金和铜镍锌合金（相当于锌白铜）分为两类。美国将铜含量 99.3%~96% 之间的铜合金称为高铜合金或低合金铜，不放在黄铜类中。

二、拉伸性能检验

铜及铜合金的材料标准可分为两类，一类为供各种一般用途的通用材料标准，另一类为专供某种专业用途的专用材料标准，对于压力容器用铜而言，有压力容器用铜板标准、热交换器用铜板标准、热交换器用铜管标准等。压力容器用铜的技术要求应满足压力容器对材料的基本技术要求，如在订购铜材因没有压力容器的专用材料标准而采用通用材料标准时，应按压力容器对材料的技术要求，补充必要的技术检验要求。

与其他压力容器用材一样，压力容器用铜材的拉伸性能经检验后应能保证三项内容：室温抗拉强度 R_m 下限值、室温规定延伸强度 ($R_{p0.2}$ 、 $R_{t0.5}$) 下限值及室温断后伸长率 A 下限值，并符合标准或协议的要求。各国铜材标准中的规定比较复杂，现进行分述：

1. 抗拉强度 R_m 和断后伸长率 A

各国铜材标准中一般都能保证室温抗拉强度和断后伸长率下限值，但也有例外：

(1) 英国的铜板、棒、锻件及一般用铜管标准中都保证室温抗拉强度和断后伸长率，但其热交换器用铜管标准 BS 2871 (Ⅲ) 中却不保证室温抗拉强度和断后伸长率 (也不保证规定延伸强度)，只保证硬度并进行水压试验和扩口试验，退火状态应保证晶粒度。

(2) 法国多数铜材能保证 R_m 和 A ，但黄铜板 A51-101 中只保证 R_m ，不保证 A (保证硬度)，黄铜管 A51-103 中退火状态的黄铜管不保证 R_m 和 A (保证硬度和晶粒度)，换热器用管 A51-102 中所有黄铜、青铜、白铜在退火状态下使用，都不保证 R_m 和 A (只保证硬度)。

(3) 美国铜材标准一般都保证 R_m 和 A ，有时只有铜管保证 R_m ，不保证 A ，但应进行扩口试验和水压试验。热交换器用管还应控制晶粒度，进行压扁试验。

(4) ISO 铜材标准 (2000 年已停止生效) 中，压力容器用铜板要求保证 R_m 和 A ，而一般用铜板、铜棒、铜管及热交换器用铜管则由用户订货时选择或要求保证 R_m 和 A ，或要求保证硬度。

(5) 欧盟 EN 铜材标准中，全部保证室温 R_m 和 A 。

我国所有铜材标准中都能保证室温 R_m 和 A 下限值检验，这符合于压力容器用材的基本要求，因此本标准中要求压力容器用铜材应保证检验室温 R_m 和 A 下限值合格。国外少数铜材标准可能出于在一定条件下硬度可以代替力学性能，扩口试验可以代替断后伸长率来控制塑性等观点，并不符合我国标准状况和多数国家的习惯，本标准中不予考虑。

2. 规定延伸强度 ($R_{p0.2}$ 、 $R_{p1.0}$ 、 $R_{t0.5}$ 、 $R_{t0.2}$ 等)

压力容器用材除应控制抗断裂性能外，还应控制抗塑性变形的性能。对于铁素体钢而言，室温拉伸时有明显的屈服现象，常应检验室温屈服强度下限值。对于室温时不是铁素体组织的材料，如奥氏体高合金钢和铝、铜、镍、钛及其合金等有色金属材料，室温拉伸时没有明显的屈服现象，为控制其抗塑性变形时的性能，常检验其在室温下产生规定少量塑性变形时的强度下限值，一般可称为规定延伸强度下限值。各国压力加工铜材标准中对室温规定延伸强度的检测规定及铜制压力容器标准中对各温度下铜材规定延伸强度列出数据的情况见表 1-1。

表 1-1 各国压力加工铜材对规定延伸强度的规定

国家或组织标准	检测的规定延伸强度类型	压力加工铜材标准中是否保证室温规定延伸强度下限值	铜制压力容器标准中是否列出各温度的规定延伸强度数据
中 (GB)	$R_{p0.2}$	不保证 (除翅片管外)	本标准列出
美 (ASTM)	$R_{t0.5}$ 、 $R_{p0.2}$	保证	列出
日 (JIS)	$R_{p0.2}$	压力容器用铜保证, 其他不保证 (附 ISO 标准保证)	列出
俄 (ГОСТ)	$R_{p0.2}$ 、 $R_{p1.0}$	不保证	未列出
德 (DIN)	$R_{p0.2}$ 、 $R_{p1.0}$	大部分牌号保证	列出
法 (NF)	$R_{p0.2}$	大部分牌号保证 (CODAP 中未采用 NF 铜材料标准)	无铜容器标准
英 (BS)	$R_{p0.2}$	板、管不保证; 部分棒材、锻件保证 (BS 铜材标准已作废, 被 EN 标准取代)	无铜容器标准
ISO	$R_{p0.2}$	压力容器用铜标准保证, 通用铜材标准给出指标作为附加技术要求 (ISO 铜材标准已停止生效)	
欧盟 (EN)	$R_{p0.2}$ 、 $R_{p1.0}$	保证	无铜容器标准, 但铜材标准中列出

由表 1-1 可见:

(1) 尽管一些铜材的通用材料标准中并未保证或并未全部保证室温规定延伸强度下限值, 但压力容器专用铜材标准均保证室温规定延伸强度下限值, 有时由于采用了通用铜材标准而不能保证室温规定延伸强度下限值时, 在铜制压力容器标准中也应补充列出室温和各温度时的规定延伸强度数据, 或在标准外另外掌握这些数据, 这样才能以规定延伸强度作为确定许用应力的重要依据之一。尤其是压力容器用铜多采用退火状态, 屈服比较低, 在确定许用应力时多以规定延伸强度为决定性因素。本标准据此也对国内的铜材标准提出了检测室温规定延伸强度的附加技术要求。

(2) 铜材的规定延伸强度多采用 $R_{p0.2}$, 对于塑性较好的铜材, 可依据 $R_{p1.0}$ 确定较高的许用应力。

(3) 美国铜材标准中规定检测的规定延伸强度一般主要用规定总延伸强度 $R_{t0.5}$, 有时把测定 $R_{p0.2}$ 作为附加技术要求 (除铜之外的其他金属材料多测 $R_{p0.2}$)。这可能由于铜的弹性模量低, 同时屈服比也较低, 测定 $R_{t0.5}$ 比较方便之故。实际上铜材的 $R_{t0.5}$ 在多数情况下与 $R_{p0.2}$ 的数据是比较接近的。

因此, 我国压力容器用铜材在已有铜材标准未保证室温 $R_{p0.2}$ 下限值时, 应作补充技术要求提出。

三、特殊检验

1. 氧含量检验

我国在无氧铜的管、棒材标准中规定应按 YS/T 335—1994《电真空器件用无氧铜含氧量金相检验方法》检验氧含量, 符合标准中的图片 1、2、3 级为合格。但在板材标准中未作检验氧含量的规定。纯铜中含氧时, 会形成氧化亚铜 Cu_2O 。当在含有氢气或一氧化碳等的还原性气氛中加热时, 氢和一氧化碳会渗入铜中, 与氧反应形成水蒸气或二氧化碳, 可在局部区域形成高压, 产生微裂纹, 称为“氢病”, 会降低铜的耐蚀性能与工艺性能。美国 ASME 中也规定对无氧铜 C10200、低磷脱氧铜 C12000 进行 75 倍金相检验, 退火态的试样中应观察不到氧化亚铜。我国 GB/T 17791—1999《空调与制冷用

无缝铜管》实际上是参照美国 ASTM B 280《空调与制冷设备用无缝铜管》制定的。在所列 TU1、TU2、TP1、TP2、T2 牌号中,要求对无氧铜(TU1、TU2)应进行含氧量的检验,而要求对磷脱氧铜(TP1、TP2)必须保证氢脆检验合格。氢脆检验应将试样置于至少含有 10% (体积) 氢气的炉内于 $850^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ 时保温至少 20min, 然后将其在水中淬火, 放大 75 倍金相观察, 不得显示出气泡或晶界开裂等脆性特征。这种氢脆检验实际上也是控制铜中氧化亚铜含量的检验措施。

2. 晶粒度检验

我国铜材标准中, GB/T 8890—1998《热交换器用铜合金无缝管》中规定平均晶粒度应在 0.01mm~0.05mm 范围内, 按 YS/T 347—1994《单相铜合金晶粒度测定法》测定。在 GB/T 2040—2002《铜及铜合金板材》中则将软态板材晶粒度的检验作为附加技术要求, 纯铜的最大晶粒度不得大于 0.050mm, H80、H70、H68、H65 等黄铜则分为 A、B、C、D 四级, 最大平均晶粒度分别为 0.015mm、0.025mm、0.035mm、0.050mm。试验方法按 YB/T 5148—1993《金属平均晶粒度测试方法》。GB/T 17791—1999《空调与制冷用无缝铜管》中规定对所有牌号 TU1、TU2、TP1、TP2、T2 管材均应进行氢脆检验, M 状态的平均晶粒度应为 0.025mm~0.06mm, M2 (轻软退火) 状态的平均晶粒度应小于或等于 0.040mm。一般用途的管、棒标准中未提此项要求。美国所有非标准尺寸铜管 (tube) 标准中均要求检验平均晶粒度为 0.010mm~0.045mm, 铜板标准中, 仅冷轧退火状态的纯铜薄板要求平均晶粒度小于或等于 0.050mm。

3. 内应力检验

我国 GB/T 8890—1998《热交换器用铜合金无缝管》要求按 GB/T 8000—1987《热交换器用黄铜管内应力氨熏检验方法》检验内应力。GB/T 1527—1997《铜及铜合金拉制管》要求按 GB/T 10567.2—1997《铜及铜合金加工材残余应力检验方法—氨熏试验方法》检验内应力。GB/T 4423—1992《铜及铜合金拉制棒》规定半硬、硬、特硬态的黄铜 (除 H96 外)、锡青铜、硅青铜、锌白铜应进行消除内应力处理。黄铜按 GB/T 10567.2 检验。锡青铜、硅青铜、锌白铜等铜合金棒的内应力可按硝酸亚汞法检验。GB/T 11092—1989《黄铜焊接管》中规定, 硬态及半硬态管材进行内应力试验时, 表面不得出现裂纹 (需方要求时才做, 一般可以不做, 但必须保证)。仲裁方法按硝酸亚汞法。相应标准为 GB/T 10567.1—1997《铜及铜合金加工材残余应力检验方法 硝酸亚汞试验方法》。GB/T 10567.1 等效采用了 ISO 196, GB/T 10567.2 等效采用了 ISO 6957。含锌量不太低的黄铜 (除 H96 以外) 在潮湿的氨、二氧化硫介质中容易产生应力腐蚀开裂, 因而黄铜在材料冷成形后应消除内应力, 以免产生应力腐蚀。为检验内应力的消除程度是否是足够, 采用了对黄铜应力腐蚀敏感性较强的氨、硝酸亚汞等标准介质对其进行检验, 以不产生应力腐蚀裂纹为合格。

第二章 铜材性能

一、物理性能

(1) 由表 2-1 可见，纯铜的热导率是压力容器用各种金属材料中最高的。常温下纯铜的热导率约为碳素钢的 7 倍，约为奥氏体钢的 30 倍。常温下黄铜的热导率约为碳素钢的 2 倍，约为奥氏体钢的 7 倍。常温下青铜和白铜的热导率与碳素钢差别不大，但也为奥氏体钢的 2~3 倍。铜及铜合金尤其是纯铜的高热导率，从压力容器的应用性能而言，适宜于制造换热容器。美、俄、德、法、英、欧盟及我国除一般用铜管标准外，还制定有冷凝器和换热器用铜管的专用材料标准（ISO 原也有换热器用铜管标准，但已随所有铜材标准停止生效），而且美、德、法和我国除一般用铜板标准外，还制定有换热器管板的铜板专用材料标准（ISO 原也有换热器用铜板标准，也已随所有铜材标准停止生效），因此，换热容器是铜制压力容器的主要用途之一。铜及铜合金的高热导率对于制造容器的焊接性能而言有不利影响，焊接能源提供热能熔化焊缝熔池的同时，大量热能会由铜母材传导散失，大大降低了焊接的热效率，因而要求焊接热源能量大而集中，才能保证较好的焊接质量。

表 2-1 典型铜及铜合金与其他材料物理性能的比较

材料类型		常温相对密度	熔点范围 温度，℃	常温弹性 模量，GPa	常温热膨胀 系数，×10 ⁻⁶ /℃	常温热导率 W/(m·K)	100℃比热容 J/(kg·K)
铜及铜合金	工业纯铜	8.9	1083~1150	117	16.2	389	380
	黄铜 H68	8.5	915~955	103	16.7	117	380
	铝青铜 QA19-4	7.6	1040~1060	121	17.2	60	380
	70-30 白铜	8.9	1170~1240	152	15.6	31	380
	90-10 白铜	8.9	1105~1150	124	17.1	52	380
其他对比材料	低碳钢	7.8	~1500	205	11.6	56	461
	18-8 奥氏体钢	7.9	1400~1425	195	16.4	16.3	502
	工业纯铝	2.7	645~660	70	22	281	960
	铝镁合金	2.7	585~650	71	22	151	960
	工业纯镍 200	8.9	1435~1446	207	11.9	73	544
	镍铜合金 400	8.8	1300~1350	179	13.9	21.8	544
	镍铬合金 600	8.4	1370~1425	214	12.2	14.9	461

续表 2-1

材料类型		常温相对密度	熔点范围 温度, ℃	常温弹性 模量, GPa	常温热膨胀 系数, $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	常温热导率 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	100℃比热容 $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
其 他 对 比 材 料	镍铁铬合金 800	8.0	1355~1385	197	14.2	11.6	502
	镍铝合金 B	9.2	1320~1350	214	10.8	10.6	381
	镍铬钼合金 C-276	8.9	1325~1370	205	10.8	11.8	427
	工业纯钛	4.5	1668~1705	111	8.2	16.3	578
	工业纯锆	6.5	~1845	99	5.8	25	280
注: 钢、钛、锆的比热容为室温时的数据。							

(2) 铜及铜合金的热膨胀系数约为碳素钢的 1.5 倍, 而与奥氏体钢接近。因此用碳素钢作基层, 用铜及铜合金作衬层或覆层的衬里结构或复合板结构, 在升温时铜层受到的热应力为压应力。铜及铜合金的热膨胀系数与其他有色金属材料相比, 仅比铝及铝合金低, 而比镍及镍合金、钛、锆都要高。

(3) 铜及除铝青铜外的铜合金的相对密度比钢稍高, 与镍及镍合金接近, 比铝、钛、锆等均高。在有色金属中铜属重金属, 而铝、钛属轻金属。

(4) 铜及铜合金的熔点比铝及铝合金高, 而比钢和镍、钛、锆等及其合金都要低。铜合金的熔点要比纯铜低, 其中黄铜最低。铜的比热要比钢、铝、镍、钛等都低 (仅高于锆), 因而熔化单位质量的铜要比熔化单位质量的钢、铝、镍、钛等所需要的热量都低 (不考虑热量损失)。

(5) 铜及铜合金的弹性模量比钢、镍及镍合金低, 而比铝及铝合金、锆高。因而在弹性范围内, 在相同应力的作用下, 铜及铜合金的弹性变形量要比钢大。铜与黄铜、青铜的弹性模量与钛接近, 但退火状态的纯铜的弹性极限仅为纯钛 TA0 的 1/4, 为纯钛 TA2 的 1/8, 因而冷变形后钛的回弹量大, 而铜的回弹量并不大。

(6) 铜为非磁性材料, 不适用于磁性法无损检测。

(7) 铜为面心立方晶格, 无同素异构体, 绝大部分铜合金为单相基体, 有良好的变形性能。

(8) 纯铜凝固的体收缩率为 4.7%, 而碳素钢仅为 2%。纯铜凝固时容易产生缺陷, 因而纯铜很少用作铸件, 焊接性能也比铜合金差。铜和许多铜合金由于没有相变细化晶粒的作用, 其铸造组织容易形成大晶粒, 主要通过变形来细化晶粒。纯铜和普通黄铜板材常要求检测控制晶粒度, 以免过大的晶粒度而影响铜材的性能。

(9) 铜只与镍可无限互溶。合金元素在铜中的最大溶解度, 锌为 39%, 锡为 15.8%, 铝为 9.4%, 硅为 4.6%, 铁为 4%, 磷为 1.7%, 锆为 1%, 铬为 0.7%。

二、力学性能

(1) 容器设计中为确定设计温度时的许用应力, 铜材应具有设计温度下的抗拉强度、规定延伸强度、持久强度或蠕变强度数据, 这些数据一般采用下限保证值, 持久强度和蠕变强度有时也可用平均值。表 2-2 和表 2-3 列出了 ASME 的铜板和冷凝器用管的室温力学性能。德国 AD-2000, W6/2 中列出铜材的力学性能较全, 其中室温拉伸性能数据见表 4-15。

(2) 铜及铜合金在退火状态和热作状态有好的塑性, 因而大多在退火或热作状态下使用, 少数换热管和棒材才用冷作状态。总的说, 铜及铜合金的强度高于铝及铝合金, 而低于钢和钛、镍及其合

金。铜及铜合金的塑性也高于铁素体钢、铝及铝合金，而和奥氏体钢、镍及镍合金相似，许多牌号室温断后伸长率下限值常为 30%~40%。如果把规定延伸强度和抗拉强度的比值称为屈强比，退火态的纯铜室温时的屈强比可为 0.2，是压力容器用材中最低的。退火态（或软态）的铜合金室温时的屈强比大多也不超过 0.4。因而铜及铜合金具有较高的塑性和较低的屈强比，这是面心立方晶格金属的共性。应具有良好的冷成形性能。

（3）从表 2-2 中可见，对于黄铜和白铜而言，其室温 $R_{0.5}$ 和 $R_{p0.2}$ 的下限指标值相同，铝青铜的 $R_{0.5}$ 也仅比 $R_{p0.2}$ 高百分之几，可以认为，铜及铜合金的 $R_{0.5}$ 和 $R_{p0.2}$ 的值相差不大。美国铜材标准中规定延伸强度可任意采用 $R_{0.5}$ 或 $R_{p0.2}$ 。

表 2-2 ASME—2004、SB-171 压力容器用铜合金板的力学性能

UNS No.	板厚, in	R_m , KSI ≥	$R_{0.5}$, KSI ≥	$R_{p0.2}$, KSI ≥	$A (L_0=2in)$ %, ≥	$\frac{R_{0.5}}{R_m}$	$\frac{R_{p0.2}}{R_m}$
C36500	≤2	50	20	20	35	0.40	0.40
	>2~3.5	45	15	15	35	0.33	0.33
	>3.5~5	40	12	12	35	0.30	0.30
C44300, C44400, C44500	≤4	45	15	15	35	0.33	0.33
C46400、C46500	≤3	50	20	20	35	0.40	0.40
	>3~5	50	18	18	35	0.36	0.36
C61300	≤2	75	37	36	30	0.49	0.48
	>2~3.5	70	30	28	35	0.43	0.40
	>3.5~5	65	28	26	35	0.43	0.40
C61400	≤2	70	30	28	35	0.43	0.40
	>2~5	65	28	26	35	0.43	0.40
C63000	≤2	90	36	34	10	0.40	0.38
	>2~3.5	85	33	31	10	0.39	0.36
	>3.5~5	80	30	28	10	0.38	0.35
C70600	≤2.5	40	15	15	30	0.38	0.38
	>2.5~5	40	15	15	30	0.38	0.38
C71500	≤2.5	50	20	20	30	0.40	0.40
	>2.5~5	45	18	18	30	0.40	0.40
注：1KSI=6.89476MPa，1in=25.4mm。							

表 2-3 ASME—2004、SB-111 冷凝器用无缝铜管的力学性能

UNS No.	状态代号	状 态	R_m , KSI ≥	$R_{0.5}$, KSI ≥	$A (L_0=2in)$ %, ≥	$\frac{R_{0.5}}{R_m}$
C10200 C12000 C12200 C14200	H55	轻度拉拔	36	30	—	0.83
	H80	深度拉拔	45	40	—	0.89
C19200	O61	退火	38	12	—	0.32
C23000	O61	退火	40	12	—	0.30
C28000	O61	退火	50	20	—	0.40
C44300, C44400, C44500	O61	退火	45	15	—	0.33
C60800	O61	退火	50	19	—	0.38
C68700	O61	退火	50	18	—	0.36
C70400	O61	退火	38	12	—	0.32
C70600	H55	轻度拉拔	40	30	—	0.75
	O61	退火	40	15	—	0.38
	H55	轻度拉拔	45	35	—	0.78
C71000	O61	退火	45	16	—	0.36
C715000	O61	退火	52	18	—	0.35
	HR50	拉拔, 消除应力	72	50	12 (厚≤0.048) 15 (厚>0.048)	0.69
C71640	O61	退火	63	25	—	0.40
	HR50	拉拔, 消除应力	81	58	—	0.72
C72200	O61	退火	45	16	—	0.36
	H55	轻度拉拔	50	30	—	0.60
注: 要求扩口、压扁等试验。厚度单位为 in。						

(4) 多数纯铜和黄铜在 200℃左右以下温度的力学性能较稳定, 青铜和白铜 250℃~350℃以下有稳定的力学性能, 以此确定最高使用温度, 但一些含铅等低熔点合金元素的铜合金, 力学性能稳定的温度较低。

(5) 在低温下, 铜及铜合金的强度比室温高, 且能保持很好的塑性, 因此铜及铜合金可用于低温压力容器。按 ASME—2004 规定, 在不低于-198℃时, 可无附加力学性能检验要求, 低于-198℃时应检验其设计温度的伸长率仍然良好。一般不用于-268℃以下的温度。

三、耐蚀性能

1. 纯铜

(1) 只有金属的标准电极电位低于介质溶液中某物质的还原反应的平衡电位时才能产生腐蚀 (包括钝化腐蚀), 因而标准电极电位较高的金属具有较好的耐蚀性。相对于标准氢电极而言, 容器

用金属电极反应的电极电位见表 2-4。

铜的标准电极电位比表中其他金属都正，因而具有更好的耐蚀性。而且铜是这些金属中标准电极电位比氢正的惟一金属，铜的腐蚀不会产生析氢反应。

表 2-4 一些金属电极反应的标准电极电位

电 极 反 应	标准电极电位, V (相对于 SHE)
$\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{e}$	-1.66
$\text{Ti} \rightleftharpoons \text{Ti}^{2+} + 2\text{e}$	-1.63
$\text{Ti} \rightleftharpoons \text{Ti}^{3+} + 3\text{e}$	-1.21
$\text{Zr} \rightleftharpoons \text{Zr}^{4+} + 4\text{e}$	-1.53
$\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}$	-0.762
$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$	-0.49
$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}$	-0.036
$\text{Ni} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}$	-0.25
$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	0.00
$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}$	+0.337
$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + \text{e}$	+0.521
注: SHE 为标准氢电极电位。	

(2) 金属在介质溶液中是否产生电化学腐蚀，主要取决于金属在介质中的电位及介质的 pH 值。各金属在水溶液中的电位—pH 腐蚀状态图可以说明是否会产生腐蚀的趋势。图 2-1 为铜的实测的电位—PH 腐蚀状态图。图中可分稳定区、腐蚀区和钝化区三种区域。图 2-2 为几种金属稳定区的比较。可见铜的稳定区的电位范围比其他金属均宽，在负电位时几乎均处于稳定区。因而纯铜本身有很好的耐蚀性。铜的钝化区较窄，在酸性介质中一般不钝化，在 pH 不超过 11.5 的碱性介质中才可能钝化。在正电位时，在酸性介质和 pH>11.5 的碱性介质中均为腐蚀区。

(3) 铜的腐蚀过程不产生氢的去极化作用，主要靠氧的去极化作用。当介质中没有氧化剂存在时，铜在水及非氧化性酸中是稳定的。当溶液中有氧化剂存在时，会加速铜的腐蚀。

(4) 铜中含氧时会形成 Cu₂O，降低铜的耐蚀性。在含氢气或一氧化碳等还原性气氛中加热时，氢和一氧化碳会渗透入铜中，并与氧反应形成水蒸气或二氧化碳，并在局部区域形成高压，产生微裂。由氢产生的微裂纹称为“氢病”。降低铜中的氧含量可提高纯铜的耐蚀性。一般纯铜的氧含量为 0.02%~0.10%，脱氧铜的氧含量低于 0.01%，无氧铜的氧含量低于 0.003%。

(5) 纯铜在大气中能生成 CuCO₃·Cu(OH)₂ 保护层，有一定的稳定性。铜在大气、淡水、冷凝水中有优良的耐蚀性，但在潮湿的氯、溴、碘、二氧化硫、硫化氢等气体中会遭到腐蚀。纯铜在醋酸等有机酸、温度不高的稀硫酸中有好的耐蚀性，常使用脱氧铜。