

第三章

压力容器材料以及环境和时间 对其性能的影响

**MATERIALS FOR PRESSURE VESSELS
AND INFLUENCES OF
ENVIRONMENT AND TIME
ON PROPERTIES OF THESE MATERIALS**

应力分析

是压力容器选材和确定结构尺寸的基础，
但应力分析本身并不能提高其安全性。

决定压力容器
安全性

外在因素：载荷、时间和环境条件

内在因素：结构和材料性能

(充分考虑)

制造工艺、时间效应、环境作用

本章主要内容

●3.1 压力容器材料

3.1.1 压力容器常用钢材

3.1.2 有色金属和非金属

●3.2 压力容器制造工艺对钢材性能的影响

3.2.1 塑性变形

3.2.2 焊接

3.2.3 热处理

●3.3 环境对压力容器用钢性能的影响

3.3.1 温度

3.3.2 介质

3.3.3 加载速率

●3.4 压力容器材料选择

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

3.4.2 压力容器钢材的选择

3.1 压力容器材料

教学重点：

压力容器常用钢材。

教学难点：

高合金钢。

3.1 压力容器材料

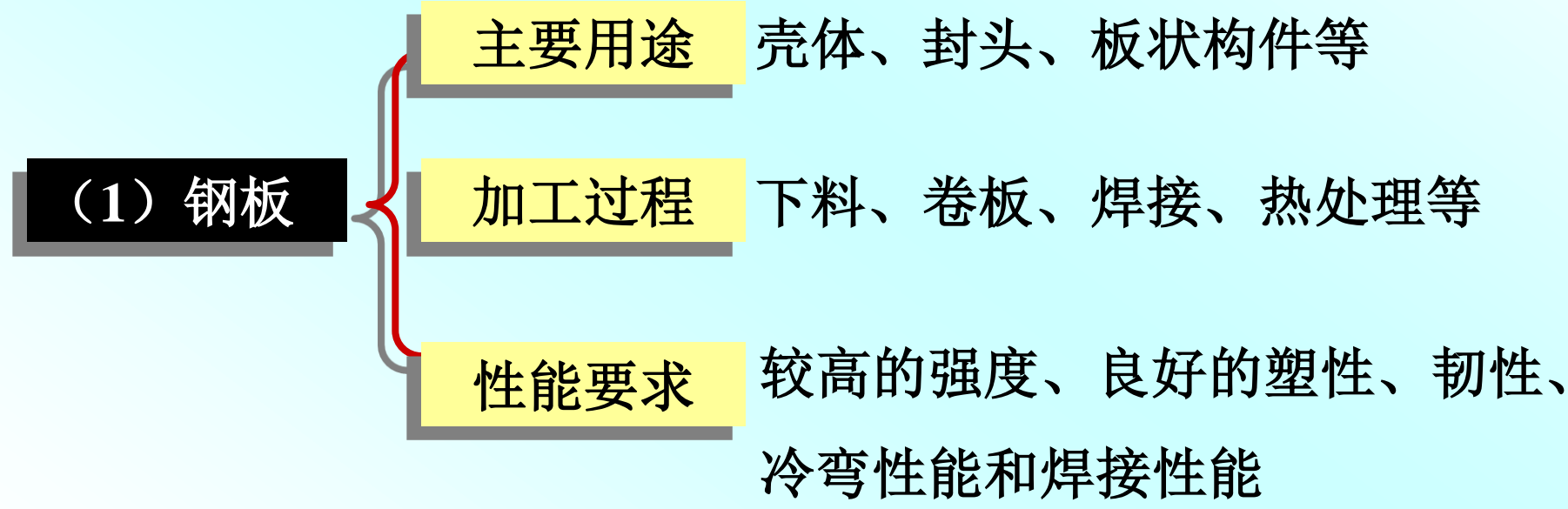
3.1.1 压力容器常用钢材

3.1.2 有色金属和非金属

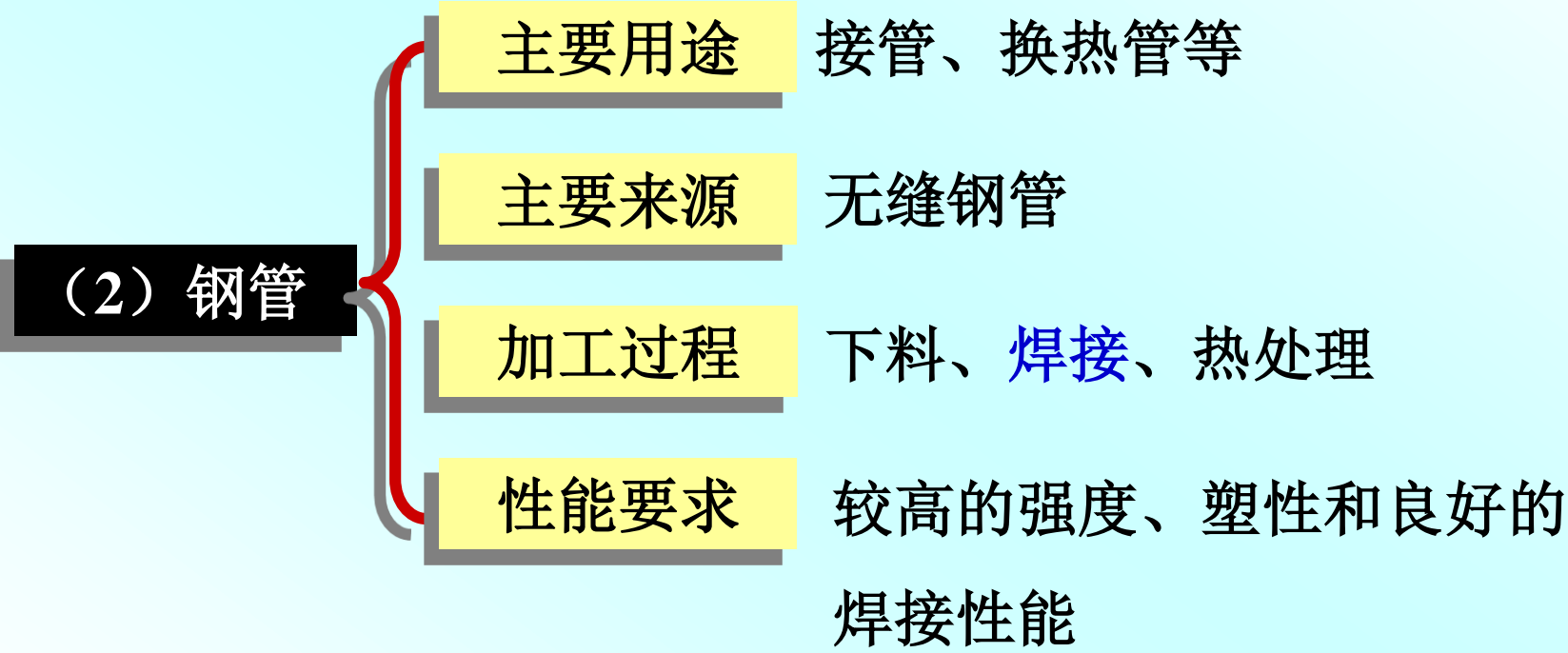
3.1.1 压力容器常用钢材

一、钢材分类

钢材的形状包括板、管、棒、丝、锻件、铸件等。压力容器本体主要采用板材、管材和锻件，其紧固件采用棒材。



3.1.1 压力容器常用钢材



3.1.1 压力容器常用钢材

(3) 锻件

主要用途

高压容器的平盖、端部法兰、中（低）压设备法兰、接管法兰等

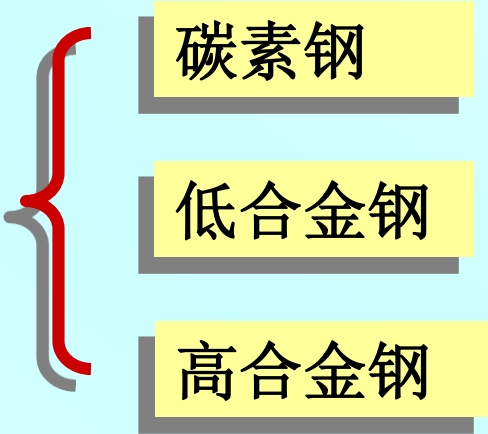
分 级

I、II、III、IV四个级别。级别越高，要求检验项目越多，例如，I级锻件只需逐件检验硬度，而IV级锻件却要逐件进行超声检测，并进行拉伸和冲击试验。

3.1.1 压力容器常用钢材

二、钢材类型

按化学成分分类



3.1.1 压力容器常用钢材

1、碳素钢

含碳量0.02%~2.11% (一般低于1.35%) 的铁碳合金。

压力容器
用碳素钢

碳素结构钢

Q235-B和Q235-C钢板

优质碳素结构钢

10、20钢钢管
20、35钢锻件

压力容器专用钢板

Q245R, 20G

R----压力
容器专用
钢板
G----高压
无缝钢管

强度低，塑性和可焊性较好，价格低廉；
常用于常压或中、低压容器；
也做垫板、支座等零部件材料。

3.1.1 压力容器常用钢材

2、低合金钢

特点及优点

- ◆ 是一种低碳低合金钢，合金元素含量较少（总量一般不超过3%），具有优良的综合力学性能，其强度、韧性、耐腐蚀性、低温和高温性能等均优于相同含碳量的碳素钢。
-
- ◆ 采用低合金钢，不仅可以减薄容器的壁厚，减轻重量，节约钢材，而且能解决大型压力容器在制造、检验、运输、安装中因壁厚太厚所带来的各种困难。

3.1.1 压力容器常用钢材

**D----低
温用钢**

压力容器常用低合金钢：

钢板

Q345R、15CrMoR、16MnDR、15MnNiDR、
09MnNiDR、07MnCrMoNbR、07MnCrMoNbDR;

钢管

16Mn、09MnD

锻件

16Mn、20MnMo、16MnD、09MnNiD、12Cr2Mo

3.1.1 压力容器常用钢材

应用介绍

(1) Q345R

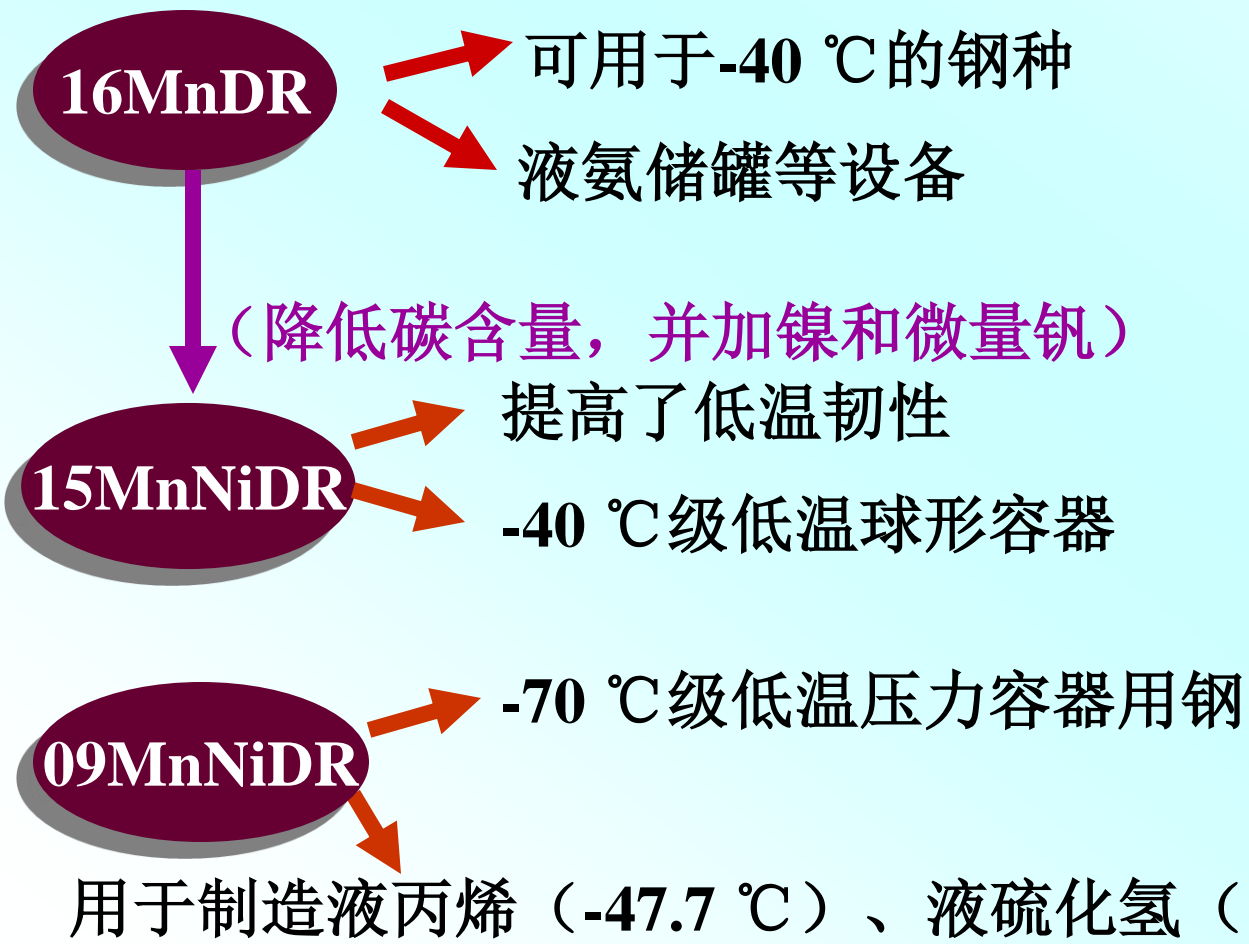
- ◆ 屈服点 R_{eL} 为 $340MPa$ 级的压力容器专用钢板
- ◆ 我国压力容器行业使用量最大的钢板
- ◆ 具有良好的综合力学性能、制造工艺性能
- ◆ 主要用于制造中低压压力容器和多层高压容器

应用介绍

3.1.1 压力容器常用钢材

(2) 16MnDR、15MnNiDR、09MnNiDR

◆低温压力容器用钢，工作在-20 ℃及更低温度的压力容器专用钢板



3.1.1 压力容器常用钢材

应用介绍

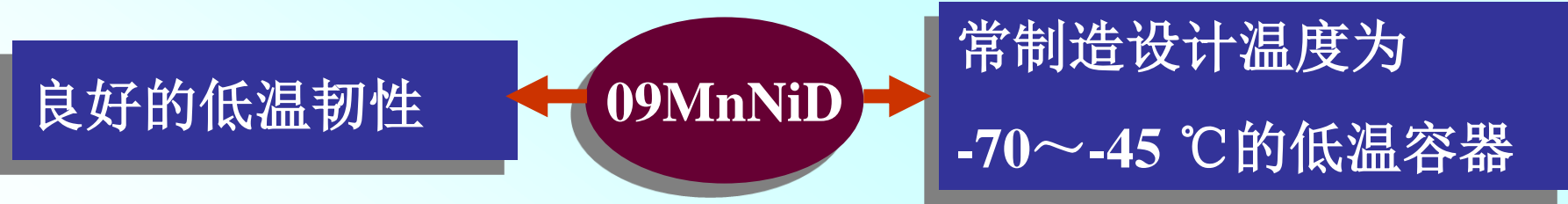
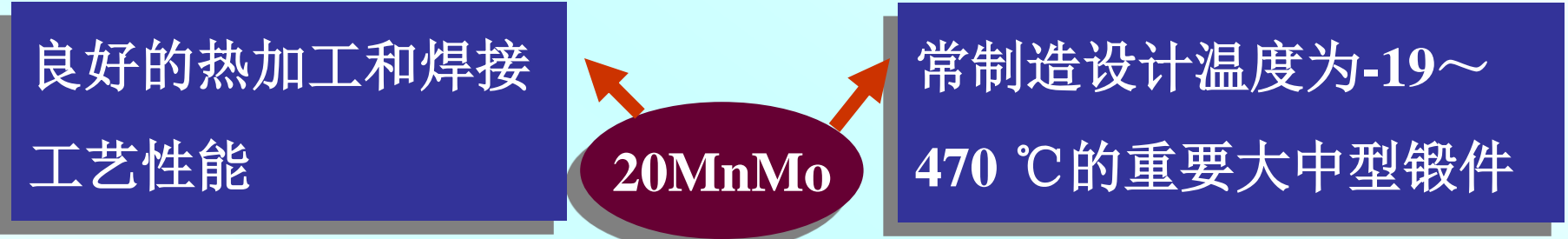
(3) 15CrMoR

- ◆ 低合金珠光体热强钢
- ◆ 中温抗氢钢板
- ◆ 用于制造设计温度不超过550 ℃的压力容器

应用介绍

3.1.1 压力容器常用钢材

(4) 20MnMo、 09MnNiD、 12CrMo1、 SA508III



应用介绍

3.1.1 压力容器常用钢材

(4) 20MnMo、09MnNiD、12CrMo1、SA508III (续)

12CrMo1



2.25Cr-1Mo-0.25V



常用于制造加氢反应器；
热强性、抗氧化性、焊接性；用于高温高压临氢容器

SA508III



Mn-Ni-Mo锻制钢

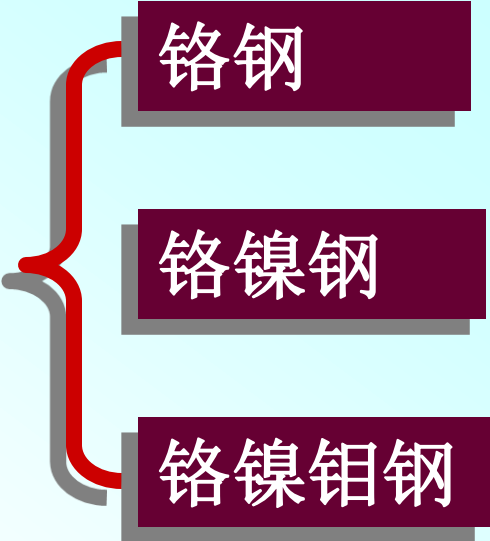


常用于制造核压力容器筒体、法兰和封头；
较高的高温强度、抗疲劳强度和良好的低温性能，中子辐照引起的脆化倾向小。

3.1.1 压力容器常用钢材

3. 高合金钢

压力容器中采用的低碳或超低碳高合金钢大多是
耐腐蚀、耐高温钢



3.1.1 压力容器常用钢材

(1) 铬钢

有较高的强度、塑性、韧性和良好的切削加工性能

是常用的铁素体不锈钢



在室温的稀硝酸以及弱有机酸中有一定的耐腐蚀性

但不耐硫酸、盐酸、热磷酸等介质的腐蚀

3.1.1 压力容器常用钢材

(2) 铬镍钢

0Cr18Ni9 (S30408)、0Cr18Ni10Ti (S32168)、
00Cr19Ni10 (S30403) 三种钢均属于奥氏体不锈钢。

0Cr18Ni9

在固溶态，具有良好的塑性、韧性、冷加工性，在氧化性酸和大气、水、蒸汽等介质中耐腐蚀性亦佳

但长期在水及蒸汽中工作时，0Cr18Ni9有晶间腐蚀倾向，并且在氯化物溶液中易发生应力腐蚀开裂。

0Cr18Ni10Ti

具有较高的抗晶间腐蚀能力，可在-196℃～600℃温度范围内长期使用。

00Cr19Ni10

为超低碳不锈钢，具有更好的耐蚀性。

3.1.1 压力容器常用钢材

(3) 铬镍钼钢

奥氏体-铁素体双相
不锈钢

00Cr18Ni5Mo3Si2
(S21953)

兼有铁素体不锈钢的强度与耐氯化物应力
腐蚀能力和奥氏体不锈钢的韧性与焊接性

3.1.1 压力容器常用钢材

复合板

- 基层：**与介质不接触，主要起承载作用，通常为碳素钢和低合金钢。
- 复层：**与介质直接接触，要求与介质有良好的相容性，通常为不锈钢、有色金属等耐腐蚀材料，其厚度一般为基层厚度的 $1/10 \sim 1/3$ 。

复合板应用特点

- ①用复合板制造耐腐蚀压力容器，可大量节省昂贵的耐腐蚀材料，从而降低压力容器的制造成本。
- ②复合钢板的冷热加工及焊接通常比单层钢板复杂

3.1.1 压力容器常用钢材

焊接材料

压力容器零部件间焊接还需要焊条、焊丝、焊剂、电极和衬垫等焊接材料。

一般应根据待连接件的化学成分、力学性能、焊接性能，结合压力容器的结构特点和使用条件综合考虑选用焊接材料，必要时还应通过试验确定。

压力容器用钢的焊接材料可参阅有关标准。

3.1.2 有色金属和非金属

一、有色金属

使用状态

在退火状态下塑性好，一般都在退火状态下使用
选用时应注意选择同类有色金属中的合适牌号

压力容器常用 有色金属

- 铜及其合金
- 铝及其合金
- 镍和镍合金
- 钛和钛合金

3.1.2 有色金属和非金属

1. 铜及其合金

特性:

纯铜和黄铜的设计温度不高于200℃，纯铜的导热率是压力容器用各种材料中最高的。在没有氧存在的情况下，铜在许多非氧化性酸中都是比较耐腐蚀的。但铜最有价值的性能是在低温下保持较高的塑性及冲击韧性，是制造深冷设备的良好材料。

3.1.2 有色金属和非金属

2. 铝及其合金

- 特性：**
- ◆含镁量大于或者等于3%的铝合金（如5083、5086），设计温度范围为-269℃~65℃；其余牌号的铝和铝合金设计温度范围为-269℃~200℃。设计压力不大于16MPa。铝很轻（密度约为钢的1/3）耐浓硝酸、醋酸、碳酸、氢铵、尿素等，不耐碱；
 - ◆在低温下具有良好的塑性和韧性；
 - ◆有良好的成型和焊接性能。

应用： 可用来制作压力较低的贮罐、塔、热交换器，防止铁污染产品的设备及深冷设备

3.1.2 有色金属和非金属

3. 镍和镍合金

特性： 设计温度范围 $-268^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。在强腐蚀介质中比不锈钢有更好的耐腐蚀性，比耐热钢有更好的抗高温强度。

应用： 由于价格高，一般只用于制造特殊要求的压力容器。

3.1.2 有色金属和非金属

4. 钛及钛合金

- 特性：**
- ◆ 对中性、氧化性、弱还原性介质耐腐蚀，如湿氯气、氯化钠和次氯酸盐等氯化物溶液；
 - ◆ 具有密度小（ 4510kg/m^3 ）、强度高（相当于Q245R）、低温性能好、黏附力小等优点；
 - ◆ 设计温度不高于 315°C 。

应用： 在介质腐蚀性强、寿命长的设备中应用，可获得较好的综合经济效益。

3.1.2 有色金属和非金属

二、非金属材料

用途

它既可以单独用作结构材料，也可用作金属材料保护衬里或涂层，还可以用作设备的密封材料、保温材料和耐火材料。

压力容器用非金属材料要求

有良好的耐腐蚀性，
有足够的强度，
抗老化性能，
良好的加工制造性能。

缺点

大多数材料耐高温性能不高，对温度波动比较敏感，与金属相比强度较低(除玻璃钢外)。

3.1.2 有色金属和非金属

压力容器常用非金属材料

涂料

工程塑料

不透性石墨

陶瓷

搪瓷

3.1.2 有色金属和非金属

1. 涂料

涂料是一种有机高分子胶体的混合物，
将其均匀地涂在容器表面上能形成完整而坚韧的薄膜，起耐腐蚀和保护作用。

3.1.2 有色金属和非金属

2. 工程塑料

热塑性塑料

加热软化，冷却硬化，过程可逆，可反复进行

如：聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）、聚四氟乙烯（PTFE）、改性聚苯乙烯（ABS）等；
可用作制造低压容器的壳体、管道，也可用作密封元件、衬里等的材料。

热固性塑料

第一次加热可以软化流动且为不可逆过程

3.1.2 有色金属和非金属

3. 不透性石墨

具有良好的化学稳定性、导电性和导热性，可用于制造热交换器。

4. 陶瓷

具有良好的耐腐蚀性能，且有一定的强度，被用来制造塔、储槽、反应器和管件。

3.1.2 有色金属和非金属

5. 搪瓷

◆ 搪瓷设备是由含硅量高的瓷釉通过900°C左右的高温煅烧，使瓷釉密着于金属胎表面而制成的。

◆ 它具有优良的耐蚀性，较好的耐磨性，广泛用作耐腐蚀、不挂料的反应罐、储罐、塔和反应器等。

3.1.2 有色金属和非金属

复合材料

▲具有重量轻、强度高、耐腐蚀性好等优点，是一种很有发展前途的压力容器材料，已被用于制造天然气瓶、液化石油气储罐等产品。