

# 《化工设备机械基础》课程思政教学案例二

## 1、教学设计

### 1.1 教学内容

《化工设备机械基础》分为三篇：化工设备材料篇，包括化工设备材料及其选择；化工容器设计篇，包括容器设计的基本知识、内压薄壁容器的应力分析、内压薄壁圆筒与封头的强度设计、外压圆筒与封头的设计、容器零部件；典型化工设备的机械设计篇，包括管壳式换热器的机械设计、塔设备的机械设计、搅拌器的机械设计。基本包括了进行化工设备设计所必备的基础，为理解化工设备设计及进一步学习及应用提供了条件。本堂课的教学内容为第二篇化工容器设计篇中的第4章内压薄壁圆筒与封头的强度设计的4.1节强度设计的基本知识。本堂课内容承接第3章内压薄壁容器的应力分析，是在应力分析的理论基础上引出实际在化工设备中的应用。本节课内容主要分为两部分，分别是“关于弹性失效的设计准则”和“强度理论及其相应的强度条件”。本堂课要求学生可以根据弹性失效设计准则，应用强度理论确定应力的强度判据。同时为接下来“化工设备几种典型容器厚度的设计计算”做铺垫。

### 1.2 教学目标

本堂课教学目标如下：

知识目标：1、掌握弹性失效设计准则的基本概念；2、掌握强度理论的基本概念，基本理论及相关计算公式

能力目标：1、通过案例分析培养学生分析、解决问题的能力；2、通过选用合适的强度理论及对应的强度条件来解决相应的实际问题。

育人目标：1、通过江苏盐城响水爆炸事件的原因分析，强化学生工程伦理教育；2、通过俞茂宏院士“双剪强度理论”，培养学生精

益求精的大国工匠精神，同时激发学生科技报国的家国情怀和使命担当。3、通过老师与学生共同获得的成果，鼓励学生投入到创新创业实践中，树立本专业自信自强的人生观。

### 1.3 教学方法



本门课程教学方法主要以 BOPPPS 教学模式为教学主线，线上线下混合式教学，以问题为导向，结合具体案例分析，以化工设计大赛中典型设备设计作为任务驱动和项目实践来源，形成了以学生为主体的教学方法。



本堂课采用 BOPPPS 教学模式为主线，穿插示范教学法、个案分析法、分组讨论法等课程环节中进行教学。将整堂课程有机的分为

六个环节，课程导入；前测；教学目标；参与式教学；后测以及总结。课程导入主要通过具体设备失效所引起安全案例（江苏盐城响水爆炸实事件，视频形式），引出课程；前测环节是让学生回顾之前所学理论，将内容进行有机结合，可在学习通上线上完成该环节；学习目标是让学生了解本节课需要掌握的知识点，激发学生积极性；参与式学习主要采用讲授法、个案分析法、示范教学法完成教学重难点的教学；后测环节是为了实时了解学生学习情况，并形成评价；总结环节可以设置成互动环节，邀请学生上讲台，学生在教中学，加强学习效果。

## 1.4 教学资源



本门课程在学习通上搭建了在线开放课程，设置了相应章节的视频和 PPT，同时还设置了思政相应的拓展资料，前测和后测相关习题也在学习通上提前设置，方便学生线上进行观看和答题，形成线上线下混合式教学。同时搜集了相关优秀课程思政案例，建有丰富的课程思政资源。



同时,本门课程组建了优秀的教学团队,团队成员由邓人杰博士、刘华杰副教授、颜炜伟实验师、李泳霖博士以及崔海帅博士组成,本团队拥有丰富的工科背景。同时积极组织本院学子组建竞赛团队,参加全国化工设计大赛以及湖南省化学化工学科竞赛,本门课程化工设计大赛中扮演重要的角色。近三年,本院学子取得了优异的成绩,本课程拥有丰富的项目实践资源。

## 1.5 教学环节

本堂课具体教学环节如下表所示:

教学环节	教学活动	设计意图
环节一: 新课导入	<p><b>教师活动:</b> 引导式提问,回顾上节课应力分析,提出在圆筒容器设备设计过程中我们应该最优先考虑的是哪一方向的力?</p> <p><b>学生活动:</b> 回答:圆筒设备所受到的最大主应力经向应力;</p> <p><b>教师活动:</b> 请同学们观看一段警示视频,并带着问题“该起事故的主要原因是什么?”进入观看。并在学生讨论的基础上进行总结,主要原因是由于设备失效,从而导致爆炸发生。引出设备强度设计的重要性。同时引入思政育人元素,强调设计工程师的意识与责任教育。</p> <p><b>学生活动:</b> 根据视频找到事故原因,基本可确定为是设备失效,认识到本课程的重要性,同时在此过程中认识到自身所肩负的责任。</p>	培养能力目标 1 以及育人目标 1。
环节二: 前测	<p><b>教师活动:</b> 通过课程引入,讲授在设计压力容器时,通用的是弹性失效理论。最大应力达到材料在屈服强度 <math>R_{eL}</math>。设置问题“结合前面所学的知识,那我们来确定弹性失效理论与材料的什么性质相关?”,可以适时提醒其实问题课转换为“屈服强度与材料的什么性质有关?”</p> <p><b>学生活动:</b> 回忆屈服强度概念以及其影响因素,材料本身以及温度。</p>	学生回顾之前所学的理论知识,使内容结合起来,形成一定的整体性。教师了解学生是否掌握了屈服强度相关知识点,同时培养学生能力目标 1。

环节三：教学目标	<p><b>教师活动：</b>黑板上书写本堂课的教学目标，即知识目标 1、2。</p> <p><b>学生活动：</b>了解本堂课的基本目标，带有目的性进入学习。</p>	使学生了解要干什么，激发学生的积极性。
环节四参与式学习	<p><b>教师活动：</b>讲授弹性失效设计准则：容器的每一部分都必须处于弹性变形范围内；把抽象的理论具象化，用数学表达式表示出来，即：<math>\sigma_{eq} &lt; R_{eL}</math>（黑板上书写），同时引导学生思考，在设备设计过程中相当应力是否能达到最大工作应力？即相当应力与最大工作应力的关系？</p> <p><b>学生活动：</b>参与思考，并给出类似安全裕量答案；</p> <p><b>教师活动：</b>对学生回答进行总结，并提出强度安全条件，即引出相当应力与最大工作应力的关系，并进行板书。同时进一步抛出问题：结合前面最大工作应力和材料本身有关，那对于不同的材料：脆性材料和韧性材料其强度设计的理论是否一致？</p> <p><b>学生活动：</b>参与思考，并能大致形成不同材料所采用的强度理论不同的思想；</p> <p><b>教师活动：</b>提出压力容器的四个强度理论，并对其强度设计条件（即数学表达式）进行列出，并说明其适用材料以及考虑的主应力的区别。并在此基础理论上进行扩展，提出目前应用比较广泛的“双剪统一强度理论”，并利用人物图片和文献展示的形式向大家介绍俞茂宏院士相关事迹。为俞茂宏院士长期坚持、潜心研究、锲而不舍的精神鼓掌。</p> <p><b>学生活动：</b>全程参与，并积极思考，在优秀中国科学家的身上汲取大国工匠精神，同时激发自身科技报国的家国情怀和使命担当。</p> <p><b>教师活动：</b>讲解完基本理论之后，以本校学生参加化工设计大赛国家一等奖作品中所涉及到的设备设计为例，讲解强度理论的应用。并结合自身对于硝化反应的绿色方法研究，也为设备的设计另辟蹊径？可进行提问（条件温和，设备的最大工作应力就降低，对于设备的要求降低，换角度思考问题），同时鼓励学生积极投入到创新创业实践中去，同时树立起本专业自信自强的人生观。</p> <p><b>学生活动：</b>参与思考，作答，积极响应加入化工设计大赛和老师的科研项目。</p>	<p>通过启发式教育达到知识目标 1；</p> <p>引出强度理论及其相应的强度条件；</p> <p>完成知识目标 2，育人目标 2；</p> <p>理论联系实际，同时达成育人目标 3</p>
环节五后测	<p><b>教师活动：</b>通过学习通设置题目，列出几个典型材料（脆性材料以及韧性材料 低碳钢和铸铁），让学生选取相应的强度理论。</p> <p><b>学生活动：</b>在学习通上完成相应的题目。并对于强度理论适用范围进行思考。</p>	达成知识目标 2，能力目标 2，并让老师实时掌握学生的学习情况，并能形成有效的形成性评价。
环节六总结	<p><b>教师活动：</b>预留课堂最后 3-5 分钟，邀请学生上讲台进行相应的总结，老师进行点评并对于下一节课内容进行初步引入，可通过问题的形式“对于具体的设备我们选取第一强度理论后如何进行强度设计？”，让学生带着问题进入下一节课的预习。</p> <p><b>学生活动：</b>对整堂课有一个概括性的复习，并能带着问题进入课后。</p>	互动式学习，邀请加强学生学习效果，加深印象。

## 1.6 课程思政设计

本堂课的课程思政设计理念是以立德树人为根本，提高站位，以知促行，强化担当，以行践知。形成了守初心，塑匠心，树信心的课程思政主线。





思政目标具体课程活动以及教学方法如下表所示：

思政目标	课程思政活动	教学方法
<p><b>守初心（忠诚守则、敬业守分）</b> 强化学生<b>工程伦理教育</b>的核心“<b>意识与责任教育</b>”。</p>	<p>通过观看一段警示视频，<b>江苏盐城响水爆炸事件</b>，并带着问题“该起事故的主要原因是什么？”进入观看。并在学生讨论的基础上进行总结，主要原因是由于设备失效，从而导致爆炸发生。引出设备强度设计的重要性。同时引入思政育人元素，<b>强调设计工程师的意识与责任教育</b>。</p>	<p>讲授法 讨论式教学 案例教学</p>
<p><b>塑匠心（精益求精、工匠精神）</b> 培养学生<b>精益求精</b>的大国<b>工匠精神</b>，同时激发<b>学生科技报国的家国情怀和使命担当</b>。</p>	<p>提出压力容器的四个强度理论，并对其强度设计条件（即数学表达式）进行列出，并说明其适用材料以及考虑的主应力的区别。并在此基础理论上进行扩展，提出目前应用比较广泛的“<b>双剪统一强度理论</b>”，并利用人物图片和文献展示的形式向大家介绍<b>俞茂宏院士长期坚持、潜心研究、锲而不舍的精神鼓掌</b>。</p>	<p>讲授法 案例教学 自主学习法</p>
<p><b>树信心（开拓创新、自信自强）</b> 鼓励学生积极投入到创新创业实践中去，同时树立起本专业<b>自信自强</b>的人生观。</p>	<p>以<b>本院学生参加化工设计大赛国家一等奖作品</b>中所涉及到的设备设计为例，讲解强度理论的应用。结合自身对于硝化反应的绿色方法研究，也为<b>设备的设计另辟蹊径</b>？可进行提问（条件温和，设备的最大工作应力就降低，对于设备的要求降低，换角度思考问题），<b>同时鼓励学生积极投入到创新创业实践中去，树立起本专业自信自强的人生观</b>。</p>	<p>任务驱动 项目实践</p>

## 2、教学实施过程

### 2.1 课程导入

● **设计意图** 忠诚守则、敬业守分：强化工程伦理教育的核心“意识与责任教育”

爆炸事故，牵动人心

分析原因，坚守初心

本堂课的课程导入采用观看一段警示视频，引导学生找出事故原

因，视频内容为 2019 年江苏盐城响水 3.21 特大爆炸事件，视频时长 1min，事故的主要原因是某硝化项目设备失效，造成硝化废料爆炸，从而导致人员、财产的损失，爆炸事故，牵动人心。学生在分析原因的基础上既能了解设备强度设计的重要性，也可完成课程思政理念中守初心的思政教育，引导学生坚守设计工程师的初心，勇担设计工程师的使命。

## 2.2 前测

本堂课的前测要求学生在学习通上完成，在学习通上完成相应的题目：“结合前面所学的知识，那我们来确定弹性失效理论与材料的什么性质相关？”，可以适时提醒其实问题可转换为“屈服强度与材料的什么性质有关？”学生在回答问题的同时，也将内容进行了有机结合。



## 2.3 参与式学习

参与式学习是教学环节中的重点，我们在此环节中除了完成相应的知识目标 and 能力目标外，“塑匠心”和“树信心”的课程思政也在此部分完成。

设计意图

培养发现问题、分析问题和解决问题的能力



### 弹性失效的设计准则

#### 1.弹性失效准则

容器上任一处的最大应力达到材料在设计温度下的屈服点 $R_{eL}$ ，容器即告失效（指容器失去正常的工作能力），也就是说，容器的每一部分必须处于弹性变形范围内。保证器壁内的当量应力必须小于材料由单向拉伸时测得的屈服点，即 $\sigma_{eq} < R_{eL}$ 。

#### 2.强度安全条件

为保证结构安全可靠地工作，必须留有一定的安全余量，使结构中的最大工作应力与材料的许用应力之间满足一定的关系，即：

$$\sigma_{eq} \leq \frac{\sigma^0}{n} = [\sigma]$$

抽象理论具象化  
问题导向

首先是对于教学重点内容：弹性失效的设计准则和强度安全条件，我们采用抽象理论具象化，以问题为引导：在设备设计过程中相当应力是否能达到最大工作应力？即相当应力与最大工作应力的关系？从而引出弹性失效准则以及相应的强度条件，从而培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。

对于教学难点内容：强度理论及相应的强度条件以及其应用。我们在讲解完四大基本强度理论后，引入了中国西安交通大学俞茂宏院士的双剪统一强度理论，通过俞茂宏院士的先进事迹，培养学生精益求精的大国工匠精神，激发学生科技报国的家国情怀和使命担当。

设计意图

培养精益求精的大国工匠精神，激发学生科技报国的家国情怀和使命担当



俞茂宏院士  
双剪统一强度理论  
填补理论空白

#### 1.1 轴对称问题的屈服条件

俞茂宏在1961年提出了双剪强度理论。它可以充分考虑单元体在双剪应力作用下，所有的应力分量对材料的影响，并且还可以考虑单元体在应力循环条件下的损伤。对于求解岩体等材料的抗冲切问题极为适用。对于轴对称问题，双剪强度理论的具体表述如下：

设岩体的抗压强度为 $\sigma_c$ ，抗拉强度为 $\sigma_t$ ，并令：

$$a = \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \quad (1)$$

$$m = \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \quad (2)$$

式中： $a < 1, m > 1$ 。

由双剪强度理论可知，岩体屈服破坏的条件为：

$$\sigma_1 = \sigma_2 - \frac{1}{2m}(\sigma_2 + \sigma_3) \quad (3)$$

式中： $\sigma_1$ 为大主应力， $\sigma_2$ 为中间主应力， $\sigma_3$ 为小主应力。

#### 2.1 用抗剪强度参数表示的双剪统一强度理论(以压为正)

(1) 以拉为正条件下的强度理论公式  
俞茂宏提出的考虑中间主剪应力影响的双剪统一强度理论为：

当 $\tau_{12} + \beta\sigma_{12} \geq \tau_{23} + \beta\sigma_{23}$ 时，有

$$F = \tau_{12} + b\tau_{12} + \beta(\sigma_{12} + b\sigma_{12}) = C \quad (6)$$

当 $\tau_{12} + \beta\sigma_{12} \leq \tau_{23} + \beta\sigma_{23}$ 时，有

$$F' = \tau_{23} + b\tau_{23} + \beta(\sigma_{23} + b\sigma_{23}) = C \quad (7)$$

式中： $\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{31}$ 为材料的3个主剪应力； $\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{31}$ 为3个主剪应力对应的正应力； $b$ 为反映中间主剪应力影响的系数； $\beta, C$ 为双剪统一强度理论的2个强度参数。


中国院士  
强度理论实际应用



**设计意图**

**培养精益求精的大国工匠精神，激发学生科技报国的家国情怀和使命担当**

教学难点



破解了基础力学理论领域的世界性难题，使中国人创立的理论，第一次写入了材料力学和工程力学教科书

**强度理论百年总结\***

俞文忠  
西安交通大学建筑力学与力学学院, 西安 710049

摘 要 自从 1900 年著名的 Mohr-Coulomb 强度理论建立以来, 已有 100 多年的历史. 在 20 世纪, 关于材料在复杂应力状态下的强度理论进行了大量的理论研究和实验研究工作. 本文材料 (包括金属材料、岩石、土、混凝土、水、冰、橡胶、复合材料等) 在复杂应力状态下强度理论 (包括薄层、层间薄层等) 的百年发展进行了总结. 总结了各种理论之间的关系, 为研究工程中的复杂应力问题提供了帮助. 同时, 还总结了三大类强度理论, 统一了薄层理论、层间薄层理论和其他各种强度理论, 并阐述了强度理论的再新发展, 以及多轴理论等研究.


关于强度理论的主题, 虽然已经有一些综述性论文和专著, 但进行总结仍然十分困难, 并且工作量巨大. 20 世纪上半叶, Mohr<sup>[1]</sup>, Westergaard<sup>[2]</sup>, Schlieffen<sup>[3]</sup>, Nadai<sup>[4]</sup>, Marcq<sup>[5]</sup>, Goussier<sup>[6]</sup>, Mohr<sup>[7]</sup>, Durr<sup>[8]</sup> 和 Prager<sup>[9]</sup> 等曾做过总结. 60 年代的代表性总结有: Frossard 和 Geiringer<sup>[10]</sup>, Naghdi<sup>[11]</sup>, Filonenko-Boroditsch<sup>[12]</sup>, Marcq<sup>[13]</sup>, Paul<sup>[14]</sup>, Goldenhat 和 Kovcov<sup>[15]</sup>, Taira<sup>[16]</sup> (在多轴应力下的蠕变) 等人. 70 年代的总结有: Tsai 和 EM Wu (各向异性材料)<sup>[17]</sup>, Bell (实验)<sup>[18]</sup>, Knap<sup>[19]</sup>, EM Wu (各向异性材料破坏准则)<sup>[20]</sup>, Michno 和 Findley (金属)<sup>[21]</sup>, Saleem (土)<sup>[22]</sup>, Geniev 等 (混凝土)<sup>[23]</sup>. 80 年代, 俞文

忠<sup>[24-26]</sup>, Zienkiewicz<sup>[27]</sup>, WF Chen (混凝土)<sup>[28]</sup>, Wood (聚合物)<sup>[29]</sup>, WF Chen 和 Baladi (土)<sup>[30]</sup>, Hansen 总结<sup>[31]</sup>, Shao<sup>[32]</sup>, Hradov<sup>[33]</sup>, Romandini<sup>[34]</sup>, Bergami (低温)<sup>[35]</sup> 和 Duan<sup>[36]</sup> 等作了进一步的总结. 90 年代的强度理论总结工作有: Khassan<sup>[37]</sup>, WF Chen<sup>[38]</sup>, 程庆生<sup>[39]</sup>, 程克非<sup>[40]</sup>, Anshu<sup>[41]</sup> (岩石)<sup>[42]</sup>, 沈珠江 (岩石、土)<sup>[43]</sup>, Kerr (冰)<sup>[44]</sup>, 高树松和 Brown<sup>[45]</sup> (多轴理论)<sup>[46]</sup>, You 和 Shi<sup>[47]</sup> (水输运)<sup>[48]</sup>, Shao<sup>[49]</sup> (岩石)<sup>[50]</sup>, WF Chen (混凝土)<sup>[51]</sup>, 程克非, 程庆生 (岩石、混凝土)<sup>[52]</sup>, 沈珠江和程克非<sup>[53]</sup>, 程克非和 You<sup>[54]</sup> (陶瓷)<sup>[55]</sup>. 这期间还出版了关于强度理论的两本专著<sup>[56,57]</sup>. 21 世纪初出版了关于强度理论及其应用的两大专著 (俞文忠等, 混凝土强度理论及其原理, 高等教育出版社, 2002; Yu-Mao-Hong, Unified Strength Theory and Its Applications, Springer, Berlin, Heidelberg, 2004). 强度理论将广泛地应用.

在强度理论实际应用部分，我们采用本院学子以本校学生参加化工设计大赛国家一等奖作品中所涉及到的设备设计为例，讲解强度理论的应用。同时我们还可以回到课程导入硝化反应设备失效，结合教师自身科研，研究硝化反应的特性，降低反应条件，为化工硝化设备设计另辟蹊径，引导学生换角度思考问题。同时鼓励学生积极投入到创新创业实践中去，树立起本专业自信自强的人生观。

**设计意图**

**鼓励学生积极投入到创新创业实践中去，同时树立起本专业自信自强的人生观**



强度理论实践环节  
化工设计大赛 典型设备设计

**过程设备设计计算书**

设计日期: 2022.01.01

物料衡算表		能量衡算表	
物料名称	流量 (kg/h)	物料名称	流量 (kJ/h)
物料 1	1000	物料 1	100000
物料 2	500	物料 2	50000
物料 3	200	物料 3	20000
物料 4	100	物料 4	10000
物料 5	50	物料 5	5000

**化学工程**

CHEMICAL ENGINEERING (CHEN)

**甲苯绿色硝化反应的实验与理论研究**

张英杰, 刘学杰, 田 磊, 郑人杰  
(湖南工程学院 材料与化学工程学院, 湖南 湘潭 411001)

摘要 针对传统硝化反应存在环境污染问题, 采用二氧化碳作为硝化剂, 对甲苯的绿色硝化反应进行理论研究. 研究了不同反应条件下, 二氧化碳、甲苯和甲苯二硝化反应总时间对甲苯硝化率和甲苯选择性影响. 同时采用了密度泛函理论 (DFT) 计算甲苯硝化反应中甲苯和甲苯二硝化反应的过渡态, 研究了甲苯硝化反应中甲苯的活化能. 甲苯硝化反应的活化能为 43.4 kJ/mol, 同时理论计算结果与实验结果一致. 本研究可为甲苯绿色硝化反应提供一定的理论指导.

关键词 化学工程; 分子模拟; 计算化学; 硝化反应; 密度泛函理论

中图分类号: TQ 205.1; 文献标识码: A; 文章编号: 1674-0203(2022)04-0000-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-0203.2022.04.002

硝化反应的绿色方法研究，另辟蹊径  
条件温和，对于设备的要求降低，换角度  
思考问题

## 2.4 后测

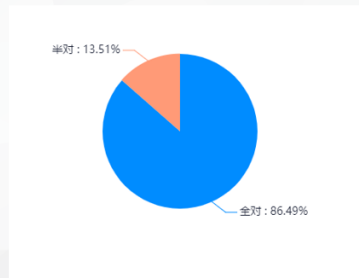
在后测这一环节，通过学习通设置题目，列出几个典型材料（脆性材料以及韧性材料 低碳钢和铸铁），让学生选取相应的强度理论。让老师实时掌握学生的学习情况，形成有效的评价。

● 设计意图

实时掌握学生的学习情况，并能形成有效的形成性评价。



线上设题，混合式教学



实时了解，形成评价

## 2.5 总结

在总结环节，预留课堂最后 3 分钟，邀请学生上讲台进行相应的总结，互动式学习，使学生在教中学。老师进行点评并对于下一节课内容进行初步引入，可通过问题的形式“对于具体的设备我们选取第一强度理论后如何来进行强度设计？”，让学生带着问题进入下一节课的预习。

● 设计意图

互动式学习，加强学生学习效果，加深印象。



学生教中学，加强学习效果

## 3、教学反思

教学中应更注重以学生为中心，对于基础理论的讲解，特别是数学公式这一块，需要更加凝练，学生对于科学前沿和理论的实践运用感兴趣，在今后的课程中可以加强这一方面的内容引入，课程思政教

育需坚持不懈，思政教育是一个长期持续的过程，对学生跟踪调查，示范性教学，实现立德树人。

#### 4、教学方案主要创新点

本堂课程的主要创新点在于思政教育方面，确定了守初心，塑匠心，树信心的课程思政主线。培养学生忠诚守则、敬业守分，强化工程伦理教育融入爱国与敬业情怀，培养学生的大国工匠精神；鼓励学生开拓创新、自信自强，树立专业信心。

