

# 线上优秀教学案例-《电磁场与电磁波》

——信息科学与技术学院 高婷

## 一、课程信息

**课程名称：**电磁场与电磁波

**课程类型：**专业核心课

**授课教师：**高婷

**开课年级：**大三年级

**面向专业：**电子信息科学与技术专业

《电磁场与电磁波》课程在总体课程设计中，以学生为中心，深度挖掘思政元素，强化辩证思维、熏陶科学素养、激发家国情怀，以为国家培养爱国的高素质专业人才为教学理念，把培育和践行社会主义核心价值观融入教书育人的全过程。

本课程秉承“以人为本”的核心教育教学理念，结合电子信息科学与技术专业的培养目标，制定课程目标，旨在使学生通过系统的学习，全面地认识和理解电磁运动的基本现象和基本概念，系统地掌握电磁运动的基本规律，树立科学的自然观、世界观，并具备一定的分析、解决电磁学问题的能力和初步应用的能力，同时为学习后续课程打下必要的和坚实的理论基础;通过在知识传授中融入科学方法教育，增强学生的科学观察和思维的能力以及独立获取知识的能力;通过融入双重文化(科学文化与人文文化)教育，培养学生的求实精神、探索精神与科学美感，激发学生的创新欲望，促进其知识、能力、素质协调发展，成为健全和谐的创新型人才。

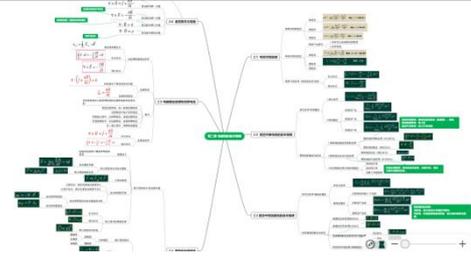
## 二、在线方式

**超星学习通+钉钉**

**超星学习通：**在线签到、学习资源发布、课堂活动和测验、拓展知识讨论和作业发布。

**钉钉：**直播上课

表 1 在线方式---学习通+钉钉直播

超星学习通	钉钉
 <p>目录</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>第1章 第一章 向量分析             <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1 绪论</li> <li>1.2 向量代数</li> <li>1.3 三种常用的正交坐标系</li> <li>1.4 标量场的梯度</li> <li>1.5 矢量场的通量与散度</li> <li>1.6 矢量场的环流与旋度</li> <li>1.7 无源场与无旋场</li> <li>1.8 拉普拉斯定理与格林定理</li> <li>1.9 亥姆霍兹定理</li> </ul> </li> <li>第2章 电磁场的基本规律             <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 电荷守恒定律</li> <li>2.2 真空中静电场的基本规律</li> <li>2.3 真空中恒定磁场的基本规律</li> <li>2.4 媒质的电磁特性</li> <li>2.5 电磁感应定律和位移电流</li> <li>2.6 麦克斯韦方程组</li> <li>2.7 电磁场的边界条件</li> </ul> </li> <li>第3章 静态电磁场及其边值问题的解</li> </ul>	 <p>钉钉</p> <p>线上授课情况</p>
<p>线上课程任务</p>  <p>任务点</p>	<p>线上授课 PPT</p>  <p>电磁场与电磁波 主讲：高婷</p> <p>赛利斯做了一系列关于琥珀摩擦的实验，从中得出，摩擦使琥珀变得带电了。</p>
<p>线上课程资料</p>  <p>任务点</p> <p>向量代数-课型练习1</p> <p>1 【单选题】</p> <p>1 已知 <math>\vec{a} = -2\vec{a}_1 + 3\vec{a}_2 + 5\vec{a}_3</math>, <math>\vec{b} = \vec{a}_1 + 3\vec{a}_2 - 4\vec{a}_3</math>, 则 <math>\vec{a} + \vec{b}</math> 等于</p> <p> <input type="radio"/> A. <math>-3\vec{a}_1 + 6\vec{a}_2 + \vec{a}_3</math>  <input type="radio"/> B. <math>-\vec{a}_1 - 6\vec{a}_2 - \vec{a}_3</math>  <input type="radio"/> C. <math>-\vec{a}_1 + 6\vec{a}_2 + \vec{a}_3</math>  <input type="radio"/> D. <math>\vec{a}_1 - \vec{a}_3</math> </p> <p> <input type="radio"/> A. <math>-3\vec{a}_1 + 6\vec{a}_2 + \vec{a}_3</math>  <input type="radio"/> B. <math>-\vec{a}_1 - 6\vec{a}_2 - \vec{a}_3</math>  <input type="radio"/> C. <math>-\vec{a}_1 + 6\vec{a}_2 + \vec{a}_3</math> </p>	<p>课程思维导图</p> 
<p>线上课程练习</p>	

### 三、教学设计---以法拉第电磁感应定律为例

#### 1. 教学内容:

##### 1) 课程知识点解读

通过前面章节的学习,学生对电磁学知识有了一定的认知基础和了解。本章的大部分知识不但与学生亲身体验的生活密切相关(微波炉,磁悬浮列车、喷墨打印机),而且学生对静电场、恒定电场、恒定磁场都有了一些较为理性的认识,并能够用矢量场的知识描述和分析静态的电场和磁场,但缺少对电磁波真正意义上的深入认识,尤其是时变的电场和时变的磁场之间的关系和分析方法。本章内容跨度较大,从磁场到电磁感应,从电磁场到电磁波以及微观世界的量子化,需要精心设计教学过程,通过由浅入深,由现象到本质的理论讲授达到最终的教学目标。

“法拉第电磁感应定律”是《电磁场与电磁波》课程重要内容之一,属于时变电磁场部分的内容,电磁理论的基石。从知识传授、能力培养、价值塑造三个方面进行讲授。

**知识传授有深度。**从电磁场与电磁波的三大实验定律出发,导入法拉第电磁感应定律;通过观察电磁感应现象,使学生在知识和领会层面掌握法拉第电磁感应定律的内容;以磁通变化的原因为问题导向,介绍了法拉第电磁感应定律的两种形式;从电磁感应的本质引出感生电动势和动生电动势,并对2个典型应用进行了深入的分析。

**能力培养有广度。**通过分析电磁感应定律的典型应用-变压器和发电机的工作原理,启发学生思维,激发和提升学生的学习兴趣 and 探究能力,体会科学就是生产力,科学改变世界,增强学生们学好专业基础课、投身科技报国的自信心。

**价值塑造有高度。**法拉第历时10年,经过无数次反复实验,才发现了电磁感应现象,奋斗历程给同学们的启示:科学的大道不是一帆风顺,只有培养坚忍不拔探索、不折不挠钻研的科学家品质,才能取得成功。

##### 2) 学生学情分析

**认知基础:**对于本级内容中涉及的磁感线的教学,对于通电直导线和通电圆环周围磁感线的分布情况,如果学生缺乏三维空间想象能力,将会遇到学习障碍。由于线上教学条件限制,教师设计通过演示实验视频来帮助学生理解,加深认识。教学中应注意培养学生的空间想象力,使学生形成经典物理的物质观、运动观和相互作用观等物理观念,并能用这些观念解释自然现象和解决实际问题。

学生对电与磁的联系和电磁波有较丰富的生活经验。学生对手机等通讯工具,使用过收音机、电视机等电子设备较为熟悉,对于这部分知识的理解学生感觉比较简单。

**学科前概念:**学生前面学习过静电场和静磁场的知识,但对电流元的理解还是存在一定的困难。此处科学研究方法有:用物理量之比定义新物理量值定义法、理想化模型法、微元法、类比法。特别需要指出的是,类比法是一种重要的研究方法和思维方法,可以发展学生的求同思维和变异思维能力。

**认知关键点:**对磁通量的概念学生不易理解与掌握,教师可以用磁感线的疏密来帮助理解磁感应强度的大小,类比电场强度的强弱也是用电场线疏密来表示。磁通量的表达式先从匀强磁场再到非匀强磁场,是逐渐深入的过程。这也渗透着微元法和累积求和的思想,需要

让学生在亲身体验中理解这一重要的思想方法。

学生在学习本章知识的过程中，通过电磁学史的学习，引领学生从中接受科学思维和科学方法的熏陶，领悟科学探究的精神。奥斯特、法拉第等科学家发现了“电生磁”和“磁生电”，打开了电与磁联系的大门。经过麦克斯韦的进一步研究，建立了电磁场理论，统一解释了各种电磁现象。

在学生课前充分预习和课上适当讨论的基础上，以教师的生动讲解为主。多铺垫、多设疑，按照物理学史的发展进程展开，让学生从三大电磁实验定律到麦克斯韦方程，从科学家的科学探索活动中，体会到电磁学的发展历程，学习他们实事求是的科学方法和勇于创新的科学精神。

## 2. 教学目标

通过对教学内容和学生学情的充分分析，遵循认知和情感发展规律，根据布鲁姆教育目标分类原则和电磁场与电磁波的课程知识结构，将教学目标细分为初级认知目标和高级要求：



图 1 教学目标层次

法拉第电磁感应定律属于时变场部分的内容，电磁理论的基石。法拉第电磁感应定律的教学目标包括：

- (1) 通过观察电磁感应现象，理解电磁感应的本质；
- (2) 能够利用法拉第电磁感应定律的内容及计算公式分析时变磁场的问题；
- (3) 能够理解法拉第电磁感应定律的应用，并评价其在电磁学发展中的意义。

案例教学设计采用 BOPPPS 教学法，知识讲授从电磁场与电磁波的三大实验定律出发，导入法拉第电磁感应定律，引出本节教学目标。

### 3. 教学实施

教学过程	教学内容	教学意图和教学方式
实例导入	<div data-bbox="443 611 959 1173" data-label="Image"> </div> <p>观看通电导线引起磁针偏转的实验视频，导入本节课内容：1820年4月的一天，奥斯特在一次这样的课堂实验中，意外发现了电流的磁效应，电和磁第一次联系在了一起。</p> <p>同时，电能生磁，磁能生电吗？这个问题第一次有人提出了，他就是法拉第。</p> <p>观看奥斯特电流磁效应实验，引导学生思考：通电导线附近的磁针偏转说明何种物理现象？如果需要你去设计一个实验验证你的想法，你将如何设计？</p> <p><b>以提问互动的方式</b>引发学生思考：电流的磁效应是如何呈现的？电与磁这样的互生互制的关联如何证明？什么样的实验能够证明变化的磁场能够产生电场？<b>引出本节内容</b>----法拉第电磁感应定律</p> <p>采用<b>提问</b>，引导学生思考伟大的实验科学家法拉第所思考的问题，体会实验科学需要怎样的思维能力，面对怎样的困难。</p>	<p><b>教学意图：</b></p> <p>(1) 观看视频，由一个直观而经典的电磁感应现象视频，激发学生的学习兴趣；</p> <p>(2) 引导式思考，将学生的思维逐步引入课堂，进行深入思考；</p> <p>(3) 从电磁场与电磁波的三大实验定律出发，导入法拉第电磁感应定律，引出本节教学目标。</p> <p><b>课程思政：</b></p> <p>辩证思维—电能生磁，磁能生电吗？</p> <p>科学精神—“唯物辩证哲学、实事求是作风、不迷信不盲从”</p> <p><b>教学方式：</b></p> <p>讲授法、引导法、课堂互动、视频、PPT演示。</p>

讲授新知



英国科学家

1831年，发现电磁感应现象

- 坚忍不拔探索
- 不折不挠钻研

电磁理论的基石 ← 
$$e = -\frac{\partial \Phi_m}{\partial t}$$

1851年，总结规律凝练公式

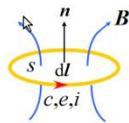
电流的磁效应，揭开了研究电磁本质联系的序幕。英国科学家法拉第，从设想到实验，经过无数次反复的研究实验，历时 10 年，终于在 1831 年发现了电磁感应现象， 1851 年确立了电磁感应定律，取得了磁感应生电的重大突破。

法拉第历时 10 年，经过无数次反复实验，直到发现电磁感应现象，奋斗历程给同学们的启示：科学的大道不是一帆风顺，只有培养坚忍不拔探索、不折不挠钻研的科学家品质，才能取得成功。

**课程思政：**  
科学精神—理论源于实践，法拉第发现问题、提出问题，勇于尝试探索，实事求是，不迷信不盲从，用实验验证、用科学的方法解决问题。  
科学家品质—求实严谨求证、坚忍不拔探索、不折不挠钻研  
**教学方式：**  
讲授法、引导法、课堂互动、PPT 演示。

讲授新知

一. 法拉第电磁感应定律



穿过曲面 S 的磁通量：

$$\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

沿曲面边界回路的感应电动势：

$$e = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

感应电动势引起的感应电流*i*产生的磁场企图阻止磁通的变化。

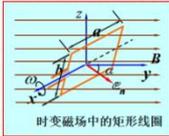
*B*增加，*e*<0，*i*与*dI*反向；*B*减小，*e*>0，*i*与*dI*同向。

法拉第电磁感应定律的内容：当穿过一闭合导体回路的磁通发生变化时，在导体回路就会出现电流，这种现象就称为电磁感应现象；闭合导体回路中出现的电流就称为感应电流。闭合回路中的感应电动势 *e* 与穿过此回路 S 的磁通  $\Phi_m$  随时间的变化率成正比。电磁感应定律公式如下。

$$e = -\frac{\partial \Phi_m}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad \text{-----公式 1}$$

**教学意图：**  
课程讲授通过观察电磁感应现象，分析电磁感应本质，以及磁通变化的原因。  
**教学方式：**  
讲授法、引导法、类比法、PPT 演示

<p>激活旧知 讲授新知</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>感生电动势 <math>e = \oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}</math></p> <math display="block">\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}</math> <p>感生电动势 变压器工作原理</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>动生电动势 <math>e = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}</math></p> <math display="block">\nabla \times (\mathbf{E} - \mathbf{v} \times \mathbf{B}) = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}</math> <p>动生电动势 发电机工作原理</p> </div> </div> <p>介绍法拉第电磁感应定律的两种形式，引出了感生电动势和动生电动势，即变压器的工作原理和发电机的工作原理。</p> <p>通过生动有趣的“单相发电机”动图，具体讲解工程发电机的工作原理。</p> <div style="text-align: center;"> <p>电磁感应：涡流检测</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>电磁感应加热：电磁炉、电磁热水器</p> </div> <p>在课程反思与拓展部分，首先对学生容易混淆“感应电动势”与“感应电流”的概念进行了分析比较。感应电动势就像一个电池，有没有回路，它都存在，但只有当它接到闭合的导体回路时才有感应电流。</p> <p>其次，感应电流会产生热效应，导致“涡流损耗”，变压器中的硅钢片多层叠放，就是为了减小“涡流损耗”。但事物都具有两面性，我们生活中司空见惯的“电磁炉”，正是利用涡流产生的热效应来的加热食物的。</p>	<p><b>课程思政：</b> 对比涡流损耗和电磁炉工作原理体会事物都具有两面性。</p> <p><b>教学方式：</b> 讲授法、引导法、PPT演示</p>
<p>知识总结 引出下讲</p>	<p>在课程后测环节，通过展示的 4 张图片，请同学们辨一辨，说出图片名称，进一步理解和掌握磁通变化以及电磁感应的本质。</p> <div style="display: grid; grid-template-columns: 1fr 1fr; gap: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>运动的磁铁</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>运动的恒定电流</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>变化的电流</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>恒定磁场中运动的导体</p> </div> </div> <p>最后，对本节课进行总结，要求学生不但要理解电</p>	<p><b>教学意图：</b> 总结本讲知识，引导学生运用已学知识分析电路，思考电磁波是怎样形成的。</p> <p><b>教学方式：</b> 讲授法、引导法、PPT演示</p>

	<p>磁感应现象的本质，还要认识电磁感应定律的重要性及应用。</p>	
<p>分析应用 练习巩固</p>	<div data-bbox="483 324 1070 645" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p><b>例 2.5.2</b> 在时变磁场 <math>\vec{B} = \vec{e}_y B_0 \sin(\omega t)</math> 中，放置有一个 <math>a \times b</math> 的矩形线圈。初始时刻，线圈平面的法向单位矢量 <math>\vec{e}_n</math> 与 <math>\vec{e}_y</math> 成 <math>\alpha</math> 角，如图所示。试求：(1) 线圈静止时的感应电动势； (2) 线圈以角速度 <math>\omega</math> 绕 <math>x</math> 轴旋转时的感应电动势。</p> <p><b>解：</b>(1) 线圈静止时，感应电动势是由时变磁场引起，故</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <math display="block">\begin{aligned} \varepsilon_m &amp;= \int_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S} \\ &amp;= - \int_S B_0 \omega \cos(\omega t) \cos \alpha dS \\ &amp;= -B_0 a b \omega \cos(\omega t) \cos \alpha \end{aligned}</math> </div> </div> <p style="text-align: center; font-size: small;">时变磁场中的矩形线圈</p> </div> <p>分析电磁感应定律的例题，引导学生能够在已知时变磁场的不同条件下求解感应电动势。</p> <p>通过练习深化知识理解，掌握电磁感应定律在不同变换条件下的应用。</p>	<p><b>教学意图：</b> 由浅入深，应用新知识。注意对学生的引导，锻炼学生的知识应用能力。</p> <p><b>教学方式：</b> 讲授法、引导法、PPT 演示</p>
<p>应用与思考</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center; width: 45%;">  <p>微波治疗</p> </div> <div style="text-align: center; width: 45%;">  <p>微波肿瘤热疗仪</p> </div> <div style="text-align: center; width: 45%;">  <p>手机无线充电</p> </div> <div style="text-align: center; width: 45%;">  <p>电动汽车无线充电</p> </div> </div> <p>通过介绍电磁感应定律在医疗、电子科技等多个领域的广泛应用，启发学生应当在专业学习和以后的工程实践中，应具备扎实的基础知识和专业技能，科学改变世界，增强学生们学好专业基础课、增加科技报国的信心。</p>	<p><b>课程思政：</b> 作为担当民族复兴大任的新时代新青年，同学们应以法拉第、麦克斯韦等一众卓越的科学家为榜样，立远大理想，培养科学精神和科学家的品质，为中华民族伟大复兴而不懈努力。</p> <p><b>教学方式：</b> 讲授法、引导法、PPT 演示</p>
<p>深化知识应用</p>	<p>通过学习通发布本节内容习题，请同学们作答（6分钟）。</p> <p>通过微助教的成绩汇总功能查看每道题的答题正确率情况，并讲解。对正确率低于 70% 的题目进行知识点回顾。</p> <p>巩固有关法拉第电磁感应定律的相关知识和公式运用。</p>	<p><b>教学意图：</b> 趁热打铁，应用习题组卷练习应用，巩固知识，查漏补缺，同时，学生也通过正确完成组卷获得成就感。</p> <p><b>教学方法：</b> 学习通答题、引导法，讲授法，PPT 演示。</p>

<p>课程小结</p>	<p>通过补充绘制第二章已学知识的思维导图, 帮助学生梳理课程知识点脉络。</p>	<p><b>教学意图:</b> 利用思维导图复习巩固, 同时帮助其形成系统的知识结构和逻辑化的思维习惯。</p> <p><b>教学方法:</b> 思维导图、讲授法。</p>
<p>课后作业 思维拓展</p>	<p>请同学们以小组合作的形式, 查阅资料合作学习, 在超星平台提交报告做为讨论作业。</p> <p><b>【课程报告】:</b> 在这一章中, 我们讨论了均匀、线性、各向同性的媒质的电磁特性, 给出了反映媒质的电磁特性的基本参数电导率、介电常数和磁导率, 在自然界中, 我们发现这些参数都是正值, 你知道双负材料吗? 即材料的介电常数和磁导率均为负值, 你知道双负材料有什么特殊的电磁特性吗? 目前电磁超材料是电磁领域研究的热点, 你了解电磁超材料吗? 电磁超材料是如何构成的?</p>	<p><b>教学意图:</b> 拓展知识层次, 同时锻炼学生的辩证性思维及文字表述能力。</p> <p><b>教学方法:</b> 小组合作、课程报告。</p>

## 四、教学效果

1、评教情况：本课程初次开课，没有教学系统评教情况

2、优秀学生笔记

适于解决：由电荷分布求解 体积中的 体电荷密度。  
 3. 利用高斯定理 计算电场强度。  
 在电荷分布具有一定对称性的情况下，可以利用高斯定理计算。  
 具有以下几种对称性的可用。

- 球对称分布：包括均匀带电的球面、球体和多层同心球壳等。
- 轴对称分布：如无限长均匀带电的直线、圆柱面、圆柱壳等。
- 无限大平面电荷：如无限大的均匀带电平面、平板等。

例 2.2.2. 求真空中均匀带电球体的电场分布，已知球半径为  $a$ ，电荷密度  $\rho$

图2 高斯定理笔记

解(1). 球外某点场强。  
 由  $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3$   
 $\Rightarrow E = \frac{\rho r^2}{3\epsilon_0} \quad (r > a)$   
 (2) 求球体内一点的场强。  
 由  $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3$   
 $E = \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \quad (r < a)$

2.3. 真空中恒定磁场的分布规律。  
 2.3.1 安培力定律 磁感应强度。  
 1. 安培力定律。  
 1821-1825年之间 → 电流相互作用力公式。  
 实验表明，真空中的载流回路  $C_1$  对载流回路  $C_2$  的作用力。  
 $\vec{F}_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{C_1} \oint_{C_2} \frac{I_1 d\vec{l}_1 \times (I_2 d\vec{l}_2 \times \vec{R}_{12})}{R_{12}^3}$  (安培力定律)  
 载流回路  $C_1$  对载流回路  $C_2$  的作用力  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$  (牛顿第三定律)  
 $\vec{F}_{12} = \oint_{C_2} I_2 d\vec{l}_2 \times \left( \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{C_1} \frac{I_1 d\vec{l}_1 \times \vec{R}_{12}}{R_{12}^3} \right) = \oint_{C_2} I_2 d\vec{l}_2 \times \vec{B}_1(\vec{r}_2)$   
 $\vec{B}_1$  ← 电流  $I_1$  在电流元  $I_2 d\vec{l}_2$  处的磁感应强度

2. 磁感应强度  $\vec{B}$   
 电流在其周围空间中产生磁场。描述磁场分布  $\vec{B}$ ，单位 T。  
 特征：对场中的电流施磁力作用，载流回路  $C$  对载流回路  $C'$  中作用力是回路  $C$  中电流  $I$  产生的磁场对回路  $C'$  中的电流  $I'$  的作用力。  
 $\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_C \frac{I d\vec{l} \times \vec{R}_{12}}{R_{12}^3}$

图3 恒定磁场笔记

$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta q / \Delta t) = dq / dt$   
 单位: A (安)  
 电流方向:  $\vec{i}$  电荷的流动方向。

形成电流的条件:  
 存在可以自由移动的电荷;  
 存在电场。

1. 体电流  
 电荷在某一体积内定向运动所形成的电流称为体电流。  
 用电流密度矢量来描述。  
 $\vec{j} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta i}{\Delta S} = \vec{e}_n \frac{dq}{dS}$   
 单位: A/m<sup>2</sup>  
 流进任意曲面  $S$  的电流为  $i = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$

2. 面电流  
 电荷在一个厚度可以忽略薄层内定向运动所形成的电流。  
 用面电流密度矢量  $\vec{j}_s$  来描述其分布。  
 $\vec{j}_s = \vec{e}_t \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta i}{\Delta l} = \vec{e}_t \frac{dq}{dl}$   
 单位: A/m  
 通过薄层上层任意有向曲线  $l$  的电流为  
 $i = \int_l \vec{j}_s \cdot (\vec{e}_n \times d\vec{l})$

2.1.3 电荷守恒定律 (电流连续性方程)  
 电荷守恒定律:

图4 电荷密度笔记

1. 圆柱坐标:  $\rho, \varphi, z$   
 单位矢量:  $\vec{e}_\rho, \vec{e}_\varphi, \vec{e}_z$   
 位置矢量:  $\vec{r} = \vec{e}_\rho \rho + \vec{e}_z z$   
 微元矢量:  $d\vec{l} = \vec{e}_\rho d\rho + \vec{e}_\varphi \rho d\varphi + \vec{e}_z dz$   
 面积矢量:  $d\vec{S}_\rho = \vec{e}_\rho d\rho dz, d\vec{S}_\varphi = \vec{e}_\varphi \rho d\varphi dz, d\vec{S}_z = \vec{e}_z \rho d\rho d\varphi$   
 体积矢量:  $dV = \rho d\rho d\varphi dz$   
 $dS = \rho d\varphi dz$   
 $P(\rho, \varphi, z): \rho \in [0, +\infty), \varphi \in [0, 2\pi], z \in (-\infty, +\infty)$   
 $\rho$  与  $z$  垂直  
 $\rho$  与  $\varphi$  垂直

2. 球坐标:  $r, \theta, \varphi$   
 单位矢量:  $\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_\varphi$   
 位置矢量:  $\vec{r} = r \vec{e}_r$   
 微元矢量:  $d\vec{l} = \vec{e}_r dr + r \vec{e}_\theta d\theta + r \sin\theta \vec{e}_\varphi d\varphi$   
 面积矢量:  $d\vec{S}_r = \vec{e}_r r^2 \sin\theta d\theta d\varphi, d\vec{S}_\theta = \vec{e}_\theta r^2 d\theta d\varphi, d\vec{S}_\varphi = \vec{e}_\varphi r^2 \sin\theta d\theta dr$   
 体积矢量:  $dV = r^2 \sin\theta dr d\theta d\varphi$   
 $P(r, \theta, \varphi): r \in [0, +\infty), \theta \in [0, \pi], \varphi \in [0, 2\pi]$   
 $r$  与  $\theta$  垂直  
 $r$  与  $\varphi$  垂直

叉乘关系:  $(\vec{e}_\rho \times \vec{e}_\varphi) \rightarrow (\vec{e}_\varphi \times \vec{e}_\rho) \rightarrow (\vec{e}_z \times \vec{e}_z)$   
 点乘关系:  $\vec{e}_i \cdot \vec{e}_j = \begin{cases} 1 & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$   
 坐标分量:  $\begin{cases} x = \rho \cos\varphi \\ y = \rho \sin\varphi \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = \sqrt{x^2 + y^2} \tan\varphi \\ \tan\varphi = \frac{y}{x} \end{cases}$

单位矢量:  $\begin{cases} \vec{e}_x = \vec{e}_\rho \cos\varphi - \vec{e}_\varphi \sin\varphi \\ \vec{e}_y = \vec{e}_\rho \sin\varphi + \vec{e}_\varphi \cos\varphi \end{cases}$   
 $\begin{cases} \vec{e}_\rho = \vec{e}_x \cos\varphi + \vec{e}_y \sin\varphi \\ \vec{e}_\varphi = -\vec{e}_x \sin\varphi + \vec{e}_y \cos\varphi \end{cases}$   
 $\frac{\partial \vec{e}_\rho}{\partial \varphi} = -\vec{e}_x \sin\varphi + \vec{e}_y \cos\varphi = \vec{e}_\varphi$   
 $\frac{\partial \vec{e}_\varphi}{\partial \varphi} = -\vec{e}_x \cos\varphi - \vec{e}_y \sin\varphi = -\vec{e}_\rho$

图5 三种坐标系笔记

图 2-5 优秀学生笔记

### 3、学生考评体系：本课程采用多元化过程性的考评体系

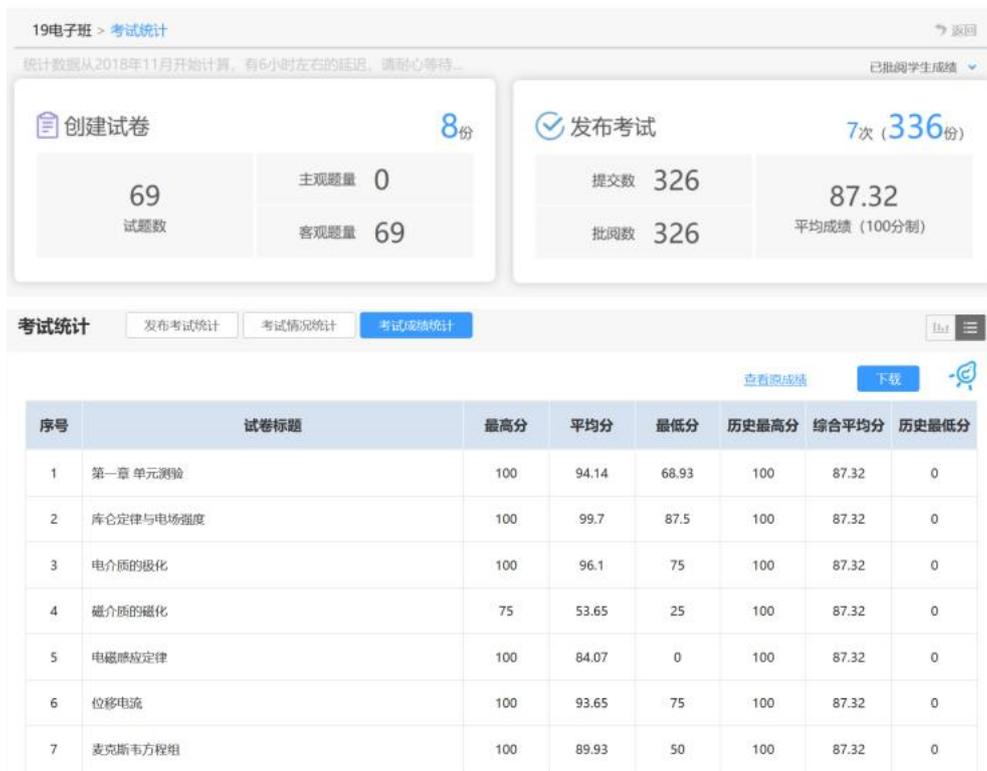


图 6 考试发布次数和平均成绩



图 7 重点知识点课堂测验情况



图 8 作业发布情况

第1章 第一章 矢量分析

1.1 绪论	2	✓	92%
1.2 矢量代数	7	✓	74%
1.3 三种常用的正交坐标系	4	✓	61%
1.4 标量场的梯度	4	✓	63%
1.5 矢量场的通量与散度	4	✓	63%
1.6 矢量场的环流与旋度	7	✓	61%
1.7 无旋场与无散场	2	✓	59%
1.8 拉普拉斯运算与格林定理	2	✓	59%
1.9 亥姆霍兹定理	5	✓	60%

第2章 电磁场的基本规律

2.1 电荷守恒定律	4	✓	64%
2.2 真空中静电场的基本规律	3	✓	61%
2.3 真空中恒定磁场的基本规律	1	✓	52%
2.4 媒质的电磁特性	6	✓	38%
2.5 电磁感应定律和位移电流	2	✓	37%
2.6 麦克斯韦方程组		○	✓
2.7 电磁场的边界条件		○	✓

第3章 静态电磁场及其边值问题的解

图 9 学习通章节学习资源和任务点分布情况

## 五、课程建设情况

- ▶ 安培力演示.mp4
- ▶ 第三章3-静电场分析3.mp4
- ▶ 第一章单元测验讲解.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律3-电荷守恒定律.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律6-回顾复习.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律9-恒定磁场的散度与旋度.m...
- ▶ 电磁场的基本规律12-磁介质的磁化1.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律15-媒质的传导特性.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律18-电磁感应定律3.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律21-麦克斯韦方程组.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律24-电磁场的边界条件2.mp4
- ▶ 课后习题讲解-矢量代数.mp4
- ▶ 矢量分析2.mp4
- ▶ 矢量分析5-三种坐标系.mp4
- ▶ 矢量分析8-标量场的梯度.mp4
- ▶ 矢量分析11-矢量场的通量和散度2.mp4
- ▶ 矢量分析14-矢量场的环流与旋度2.mp4
- ▶ 矢量分析17-三度小结2.mp4
- ▶ 矢量分析20-重难点梳理.mp4
- ▶ 矢量分析23-习题解答3.mp4
- ▶ 绪论2.mp4
- ▶ 绪论5.mp4
- ▶ 第二章1-静电场分析1.mp4
- ▶ 第二章4-静电场分析4.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律1-电荷密度.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律4-库仑定律.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律7-静电场的散度与旋度.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律10-电介质的极化1.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律13-磁介质的磁化2.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律16-电磁感应定律1.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律19-位移电流1.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律22-麦克斯韦方程组2.mp4
- ▶ 法拉第电磁感应实验.mp4
- ▶ 散度与旋度：麦克斯韦方程组、流体等所用...
- ▶ 矢量分析3.mp4
- ▶ 矢量分析6-三种坐标系2.mp4
- ▶ 矢量分析9-标量场的梯度2.mp4
- ▶ 矢量分析12-矢量场的通量与散度3.mp4
- ▶ 矢量分析15-矢量场的环流与旋度3.mp4
- ▶ 矢量分析18-无旋场与无散场 拉普拉斯运算.m...
- ▶ 矢量分析21-习题解答1.8.mp4
- ▶ 现代战争中的电磁战.mp4
- ▶ 绪论3.mp4
- ▶ 绪论5-无声音.mp4
- ▶ 第三章2-静电场分析2.mp4
- ▶ 第三章5-导电媒质中的恒定电场分析1.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律2-电流密度.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律5-回顾复习.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律8-安培力定律与磁感应强度...
- ▶ 电磁场的基本规律11-电介质的极化2.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律14-磁介质的磁化3.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律17-电磁感应定律2.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律20-位移电流2.mp4
- ▶ 电磁场的基本规律23-电磁场的边界条件1.mp4
- ▶ 赫兹电火花实验.mp4
- ▶ 矢量分析1.mp4
- ▶ 矢量分析4.mp4
- ▶ 矢量分析7-三种坐标系3.mp4
- ▶ 矢量分析10-矢量场的通量和散度1.mp4
- ▶ 矢量分析13-矢量场的环流与旋度1.mp4
- ▶ 矢量分析16-三度小结1.mp4
- ▶ 矢量分析19-格林定理&亥姆霍兹定理.mp4
- ▶ 矢量分析22-习题解答2.mp4
- ▶ 绪论1.mp4
- ▶ 绪论4.mp4
- ▶ 绪论6.mp4

图 10 教学视频库

序号	文件名	上传者	大小	创建日期	操作
<input type="checkbox"/>	 电磁场与电磁波 谢处方.pdf	高婷	30MB	2022-02-23	    
<input type="checkbox"/>	 绪论.ppt	高婷	84KB	2022-02-23	     
<input type="checkbox"/>	 第一章 矢量分析.ppt	高婷	2MB	2022-02-23	     
<input type="checkbox"/>	 第二章 电磁场的基本规律.ppt	高婷	3MB	2022-02-23	     
<input type="checkbox"/>	 第三章 静态场及其边值问题的解.ppt	高婷	4MB	2022-02-23	     
<input type="checkbox"/>	 第四章 时变电磁场.ppt	高婷	1MB	2022-02-23	     
<input type="checkbox"/>	 第五章 均匀平面波在无界媒质中的传播070129.ppt	高婷	4MB	2022-02-23	     
<input type="checkbox"/>	 第六章 均匀平面波的反射和透射.ppt	高婷	7MB	2022-02-23	    
<input type="checkbox"/>	 第七章 导行电磁波.ppt	高婷	2MB	2022-02-23	    
<input type="checkbox"/>	 第八章 电磁辐射.ppt	高婷	1MB	2022-02-23	     
<input type="checkbox"/>	 《电磁场与电磁波教学指导书（第4版）》谢处方 教学指导书.pdf	高婷	9MB	2022-03-14	     
<input type="checkbox"/>	 《新概念物理教程电磁学》_11783527.pdf	高婷	43MB	2022-05-07	     

图 11 课程资料库

序号	作业标题	创建者	创建时间	操作
□1	3.1 静电场分析	高婷	2022-05-16 18:01	    <span>发布</span>
□2	2.7边界条件作业	高婷	2022-05-13 11:22	    <span>发布</span>
□3	麦克斯韦方程组	高婷	2022-05-07 09:55	    <span>发布</span>
□4	高斯定理和环路定理在静电场、恒定磁场、电介质、磁介质中的体现	高婷	2022-04-22 14:05	    <span>发布</span>
□5	磁场散度与旋度、电介质的极化	高婷	2022-04-22 12:06	    <span>发布</span>
□6	静电场散度与旋度 恒定磁场安培力定律、磁感应强度	高婷	2022-04-19 12:07	    <span>发布</span>
□7	电场强度	高婷	2022-04-18 09:10	    <span>发布</span>
□8	电荷密度 电流密度 库仑定律 电场强度	高婷	2022-04-12 11:08	    <span>发布</span>
□9	总结环流与旋度	高婷	2022-03-29 11:26	    <span>发布</span>
□10	总结梯度与散度	高婷	2022-03-24 10:40	    <span>发布</span>
□11	标量场的梯度	高婷	2022-03-21 14:54	    <span>发布</span>
□12	三种坐标系-课堂练习	高婷	2022-03-15 12:05	    <span>发布</span>

图 12 课程作业库

序号	目录	题型	难易	题量	使用量	创建者	创建日期	操作
□	 第一章 矢量分析	---	---	56	---	高婷	2022-03-28	   
□	 第二章 电磁场的基本规律	---	---	65	---	高婷	2022-05-16	     
□	 第三章 静态电磁场及其编制问题的解	---	---	5	---	高婷	2022-05-16	    

图 13 课程试题库