

谈 2021 年强基计划笔试环节物理科目备考策略

——以 2020 年清华大学强基计划物理试题为依据

姚允贺 丁蕊

(河北定州中学 河北 定州 073000)

摘要:选择 2020 年清华大学强基计划校考物理试题中比较有代表性的三道电磁学题目,给出详细解答过程并对其进行考查内容重点剖析,同时对整卷 20 道试题考查内容及考点分布分析总结,由此提出强基计划笔试环节中物理科目的备考策略;注重竞赛中的大学先修课程的学习;灵活使用经典模型并识记重要结论;结合高质量习题加深对知识的理解。

关键词:强基计划;笔试试题;备考策略;物理竞赛

中图分类号:G633.7

文献标识码:B

文章编号:1008-4134(2021)09-0058-04

2020 年高校强基计划实施第一年,国内顶尖大学校测考核内容备受关注,其试题呈现的难度、广度是高中教师及 2021 年高考班同学备战本年度强基计划校考的重要参考依据. 物理学科的测试在难度与区分度上较为明显,其中清华大学物理笔试试题体现的最为显著,考核的大部分内容为物理竞赛知识,即大学物理先修课内容. 试题形式多以选择题的方式出现,虽在难度上未及竞赛,但在极为有限的时间内完成大题目的试卷确是较为严苛的考验,并且考查范围大,对学生知识掌握量及灵活、精准、快速处理问题的能力要求很高. 本文给出 2020 年清华大学强基计划物理笔试试题中三道比较有代表性的电磁学题目的考查点剖析、点评和整套试卷 20 道试题考查点的分析、总结,由此提出强基计划物理科目的备考策略.

1 示例考题分析与解答

例题 1 (2020 清华强基物理 7 题) 电导率为 σ , 相对介电常数为 ϵ_r 的介质填充到半径为 R , 间距为 h 的平行板电容器当中, 在电容器两极板间加电压 $V = \beta t$, 则在电容器中距离中轴线 r 处的电场强度与磁感应强度分别为

$$A. E = \frac{\beta t}{h}, B = \frac{\mu_0 r \beta \sigma t}{2h}$$

$$B. E = \frac{\beta t}{h}, B = \frac{\mu_0 r \beta (\sigma t + \epsilon_0 \epsilon_r)}{2h}$$

$$C. E = \frac{\beta t}{\epsilon_r h}, B = \frac{\mu_0 r \beta \sigma t}{2h}$$

$$D. E = \frac{\beta t}{\epsilon_r h}, B = \frac{\mu_0 r \beta (\sigma t + \epsilon_0 \epsilon_r)}{2h}$$

分析与解答:

从选项中可以看出, 题目已做忽略边缘效应假定, 电容器中的电场强度可直接表示为: $E = \frac{V}{h} = \frac{\beta t}{h}$. 计算较为直接且容易, 利用高中所学知识即可求解. 但学生对电容器中磁感应强度的分析则容易出错, 经验性地直接从欧姆定律出发去计算电流非常容易漏项, 而且采用的公式不同, 耗费的时间也会有较大差异. 值得注意的是, 学生若未接触竞赛知识, 对本题磁场部分则会无从下手. 作为对照, 下面给出两种解答方法.

解法 1: 给定了介质的电导率, 所以要考虑电容器的漏电, 电容器中的电流分为两项, 一项为传导电流 I , 另一项与电容器充电有关, 记作 I' . 图 1 为解题示意图, 取图 1 所示的安培环路 L , 则由磁场安培环路定理有

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2\pi r = \mu_0 \frac{I + I'}{\pi R^2} \pi r^2$$

其中

$$I = \frac{V}{\frac{1}{\sigma} \cdot \frac{h}{\pi R^2}}$$

$$I' = \frac{dq}{dt}$$

$$q = CV$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \pi R^2}{h}$$

结合题中给定 $V = \beta t$ 可解得

作者简介:姚允贺(1989-), 男, 黑龙江人, 硕士, 中学一级教师, 研究方向: 物理竞赛与培优;

丁蕊(1990-), 女, 河北人, 硕士, 中学一级教师, 研究方向: 中学物理学科教学.

$$B = \frac{\mu_0 \gamma \beta (\sigma t + \epsilon_0 \epsilon_r)}{2h}$$

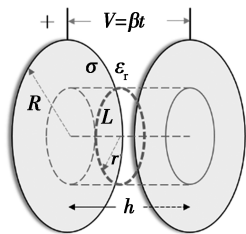


图1

解法 2: 磁场由传导电流和变化的电场产生, 有两个对应的电流项. 将传导电流密度记作 j , 与变化的电场对应的另一项为位移电流密度记作 j' . 由欧姆定律微分形式及位移电流表达式有

$$j = \sigma E$$

$$j' = \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E$$

将已经求得的 E 和两个电流项代入磁场安培环路定理有

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 (j + j') \pi r^2$$

可得出与解法 1 相同的结果. 可见, 解法 2 更加简洁. 首先是中间量少, 运算过程不易出错, 而且传导电流与位移电流在麦克斯韦方程中是捆绑在一起的, 不容易被遗漏掉某一项.

例题 2 (2020 清华强基物理 15 题) 以不大的速度 v 做匀速运动的带电量为 q 的粒子在空间产生电磁场, 如图 2 所示, 场中距粒子所在位置距离为 r 的点 P (图中 θ 已知) 处的电场强度 E 和磁感应强度 B 的大小分别为

$$A. E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}, B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv}{r^2}$$

$$B. E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q \sin \theta}{r^2}, B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin \theta}{r^2}$$

$$C. E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}, B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin \theta}{r^2}$$

$$D. E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}, B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \cos \theta}{r^2}$$

分析与解答: 电场强度的计算比较友好, 可以利用高中知识直接处理. 对磁感应强度的求解则考查到了竞赛知识. 取图 3 所示电流元

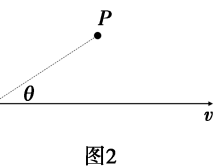


图2

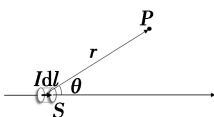


图3

Idl , 令电流截面为 S .

设电荷密度为 n , 运动电荷形成的电流强度公式为 $I = nqvS$, 具体到本题, 体元 $dV = Sdl$ 内电荷的数目为 $dN = n dV = nSdl$, 则一个运动电荷对应的等效电流元为

$$Idl = \frac{nqvSdl}{dN} = qv$$

由毕奥—萨伐尔定律可得 P 处磁感应强度为

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times r}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \times r}{r^3}$$

$$\text{其大小为 } B = \frac{\mu_0 qv \sin \theta}{4\pi r^2}.$$

题目考查运动电荷产生磁场的问题, 且只有一个运动电荷, 未涉及连续电流, 只需要计算一个电流元的磁场. 无需积分, 计算量并不大, 只要厘清等效电流元的形式, 代入毕奥—萨伐尔定律公式即可得出结果. 等效电流元的表达式也可以理解为 dt 时间内电荷穿过体元 $dV = Sdl$, 则一个运动电荷所在处即等效电流元处单位体积内电荷数为 $n = \frac{1}{Sdl}$, 所以有

$$Idl = nqvSdl = \frac{1}{Sdl} qvSdl = qv$$

运动电荷等效电流元的表达式属于竞赛中的知识点, 有过竞赛学习经历的学生会作为结论记忆. 将 $Idl = qv$ 作为结论直接代入, 相当于口算即可得出答案, 准确度与速度可想而知. 而对于未接触过竞赛知识的学生来讲, 或许可以得出等效电流元表达式, 若未学习过毕奥—萨伐尔定律, 因为是选择题, 所以一旦错选, 即使得出等效电流元表达式, 也不会得过程分的. 竞赛知识在本题的求解过程中显得尤为重要. 而且, 经典模型的灵活使用及重要结论的识记对精准、高效解题极为有利.

例题 3 (2020 清华强基物理 16 题) 一根线电荷密度为 λ 的均匀带电绝缘杆置于光滑水平面上, 绕过固定点 O 的竖直轴以角速度 ω 旋转. 已知杆的延长线始终过 O , 杆的一端与 O 的距离始终为 a , 另一端与 O 的距离始终为 b , 则 O 处的电场强度 E 和磁感应强度 B 的大小, 以及杆的磁矩 m 分别为

$$A. E = \frac{\lambda}{4\pi \epsilon_0} \frac{b-a}{ab}, B = \frac{\mu_0 \lambda \omega}{4\pi} \ln \frac{b}{a}, m = \frac{1}{6} \lambda \omega (b^3 - a^3)$$

$$B. E = \frac{\lambda}{4\pi \epsilon_0} \frac{b-a}{ab}, B = \frac{\mu_0 \lambda \omega}{8\pi} \ln \frac{b}{a}, m = \frac{1}{3} \lambda \omega (b^3 - a^3)$$

$$C. E = \frac{\lambda}{8\pi \epsilon_0} \frac{b-a}{ab}, B = \frac{\mu_0 \lambda \omega}{8\pi} \ln \frac{b}{a}, m = \frac{1}{6} \lambda \omega (b^3 - a^3)$$

D. $E = \frac{\lambda}{8\pi\epsilon_0} \frac{b-a}{ab}, B = \frac{\mu_0\lambda\omega}{4\pi} \ln \frac{b}{a}, m = \frac{1}{3}\lambda\omega(b^3 - a^3)$

分析与解答:可直接使用微积分求出 O 点电场强度,题中只涉及大小,所以用标量形式分析即可. 令杆中带电元为 dr ,如图 4 所示.

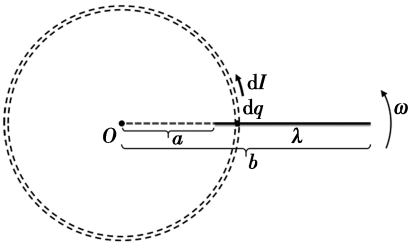


图4

该线元到 O 点的距离为 r ,则电场强度大小为

$$E = \int_a^b \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dr}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{b-a}{ab}$$

杆绕 O 点旋转, r 处带电元随杆一起以角速度 ω 旋转,等效为环形电流

$$dI = \frac{dq}{T} = \frac{\lambda dr}{2\pi/\omega}$$

由毕奥—萨伐尔定律可得,环形电流 dI 在环心 O 处的磁感应强度大小 dB 为

$$dB = \frac{\mu_0 dI}{2r}$$

方向均为同一竖直方向,所以 O 处总的磁感应强度大小为

$$B = \int \frac{\mu_0 dI}{2r} = \int_a^b \frac{\mu_0 \omega \lambda dr}{4\pi r} = \frac{\mu_0 \lambda \omega}{4\pi} \ln \frac{b}{a}$$

环形电流 dI 对应的磁矩为 $dM = \pi r^2 dI$,所以均匀带电旋转绝缘杆的总磁矩为

$$M = \int \pi r^2 dI = \int_a^b \pi r^2 \frac{\omega \lambda dr}{2\pi} = \frac{1}{6} \lambda \omega (b^3 - a^3)$$

本题也涉及毕奥—萨伐尔定律的使用,以不同于前一题的模型再次考查,并将定积分的使用也列入考核范围之内. 而且在前两题计算电场强度、磁感应强度的基础上加入了对磁矩的定量计算. 在求解磁感应强度时,若已熟知环形电流在环心处磁感应强度的形式,则在计算上可以省去由毕奥—萨伐尔定律得出环心处磁感应强度的时间,做到高效解题.

三道电磁学题目虽均涉及了电场强度和磁感应强度的计算,但三个问题对应三种不同情境,横跨大学物理电磁学中的电场、电介质、磁场、电磁感应(题1融合了位移电流、题3融合了磁矩的概念)四个章节. 而这仅为整套考卷中的三道题. 因而备考时在习题训练方面要注意综合性,不能盲目求量,毕竟备考时间

极为有限. 所以对教师来讲,为做好强基笔试备考的教学,高质量习题的收集、编制工作非常重要.

2 试题考点梳理与对比

2020 年清华强基测试物理试题共计 20 题,均为选择题,包括不定项选择题. 涉及力学内容的题目共计 8 道,有 2 道题为高考难度,1 道题略高于高考,另外 5 道题用到了大学物理先修课程知识. 问题描述及考查内容见表 1.

表 1 2020 年清华强基测试物理力学题目描述及考查内容

题号	问题描述	考查内容
1	给定地球半径及绕地飞船轨道半径,求解飞船上时钟与地面时钟的计时偏差	天体运动结合相对论 高考难度
3	转动圆盘与静止圆盘间通过边沿摩擦相互作用,求圆盘最终角速度及摩擦生热	刚体转动惯量及转动 动能且能熟练使用角 动量定理
5	在悉尼、北京、赤道上空分别静止释放一重物,判断物体下落时的偏转情况	落体偏东——科里奥 利力方向的定性判断
8	三质点用两段轻绳连接成 V 形,一冲量沿绳作用于一端质点,求另一端质点开始运动的速度	动量定理的分解和速 度关联 略高于高考
9	绕地飞船被陨石击中,计算飞船、陨石结合体能够坠落到地面的最小陨石速度	动量守恒、角动量守恒 及万有引力平方反比 势能
18	给定波长、振幅及波速的两列完全相同的平面简谐波在空间确定点的叠加	波的干涉中波程差的 计算 高考难度
19	重力场中未绷紧的绳连接两小球,一小球有速度,求绳从绷紧开始到两小球处于同一水平面的时间	参考系的合理选取及 速度关联 周期解多选
20	粗糙地面上给定初始状态做平面平行运动的乒乓球平动速度与角速度匹配关系的辨析	刚体平面平行运动可 能的运动状态 多选

涉及电磁学内容的题目共计 8 道,有 2 道题在高考难度,另外 6 道题用到了大学物理先修课程知识. 其中第 14 题涉及带电导体球电势的表达形式,若对其足够熟悉并加以识记则可快速得出正确选项. 问题描述及考查内容见表 2.

表 2 2020 清华强基测试物理电磁学题目描述及考查内容

题号	问题描述	考查内容
4	海水中正负离子在磁场、电场正交复合场中的受力及运动问题	力电综合,电场力及洛伦兹力方向的定性判断,高考难度
7	示例考题中的题目 1,变化电压下含介质电容器中电场强度与磁感应强度的计算	欧姆定律微分式、位移电流表达式、磁场安培环路定理
10	平行放置的三块金属板,给定中间板带电量,外侧两板为电中性且以导线相连,分析各板的带电量	电荷守恒、静电场高斯定理及等势条件的应用
13	金属导体在匀强电场中静电平衡状态下导体内部电荷及电场情况的判断	导体静电平衡条件的应用,高考难度
14	半径为 R 和 $R/2$ 的两导体球带电量均为 Q ,分析两者接触后的带电情况	点电荷电势分布函数及电势的标量叠加性
15	示例考题中的题目 2,求低速情况下匀速运动带电粒子在距粒子 (r, θ) 处的电场强度及磁感应强度	等效电流元的表达式及毕奥—萨伐尔定律的应用
16	示例考题中的题目 3,求解旋转均匀带电杆的磁矩和旋转中心处的电场强度、磁感应强度	微积分、毕奥—萨伐尔定律的应用、磁矩表达式
17	一带电导体球壳外充满带电物质,壳外各处场强大小相等,求带电物质体电荷密度分布函数	微元法、对称性分析及静电场高斯定理

涉及热学、光学、近代物理内容的题目共计 4 道。其中第 2 题为热学题,第 6 题与第 11 题为近代物理题,第 12 题为波动光学题。考查内容均为竞赛知识。尤其是第 6 题与第 11 题涉及的玻尔氢原子模型,其能量、角动量及轨道半径的表达式都是竞赛中重要识记的内容,对知识掌握熟练就能为解题省去很多中间推导时间。问题描述及考查内容见表 3。

表 3 2020 年清华强基测试热学、光学、近代物理题目描述及考查内容

题号	问题描述	考查内容
2	热机斯特林循环由温度为 $T_1、T_2$ 的等温过程和体积为 $V_1、V_2$ 的定容过程围成,求循环效率	热力学循环过程中吸、放热的判断及定量计算
6	电荷量为 Ze 的负粒子绕氢原子核转动形成玻尔模型,求第 n 个定态的能量	库仑平方反比势能表达式及轨道角动量量子化条件
11	氢核外被质量为电子 207 倍的 μ -粒子取代,求其基态能量、角动量、轨道半径变化的倍数	玻尔模型中的能量、角动量、轨道半径,二体约化质量

续表 3

题号	问题描述	考查内容
12	两束波长为 λ 的平行相干光束入射到一屏上,与法线夹角为小角 $\alpha、\beta$,求相邻条纹间距	光程差的相关处理及条纹间距所对应的相位差条件

3 备考策略提炼与总结

清华大学 2020 年强基计划理科基础组笔试考查数学、物理、化学,其中数学 35 道题、物理 20 道题、化学 18 道题,考试时间为 7 月 29 日上午 9:00 – 12:00 共 3 小时,物理可支配答题时间不足 1 小时。时间紧、解题任务繁重,纵观物理 20 道笔试考题,仅 4 道只考查了高中物理知识,其它题目均涉及竞赛中大学物理先修课的内容,除个别题目只作定性判断外,大部分试题均需定量计算,并且不回避高等数学工具的使用,这也是近年来竞赛的一大特点。强基计划实施之初就已经将笔试考查范围瞄准了普通物理,可想而知 2021 年度的笔试试题在思维量和计算量上会更具区分性。所以,为了做好充足准备,注重竞赛中的大学先修课程的学习是备考策略的核心。

力学板块中的题目中规中矩,便于在力学强系统性的知识框架下集中突破。电磁学模块中的竞赛知识所占比重较大,模型较多,对常用模型烂熟于心才能做到有的放矢。另外,热学、光学和近代物理板块具有“小、杂、乱”的特点,试题往往起点高、落点低,对竞赛范围内的相关知识融会贯通即可熟能生巧。灵活使用经典模型并识记重要结论是高效解题的利器。

解题是物理教学中的一个重要环节,它对于正确地、深入地理解基本内容,培养分析问题和解决问题的能力,以及从中汲取广博的实际知识等等,具有不可替代的重要作用。索未菲曾经写信告诫他的学生海森堡:“要勤奋地去做练习,只有这样,你才会发现,哪些你理解了,哪些你还没有理解。”因而,编制、收集、选用各种题目特别是难题,并借此有效地提高学生的解题能力,已经成为广大师生瞩目的课题。物理学科应用性强,学物理就是以各种问题为主线,在一次次解决问题的过程中构建知识网络并丰富方法体系。因而借高质量习题来加深对知识的理解是备战强基笔试不断取得进步的重要途径。

参考文献:

[1] 范小辉. 高校强基计划直通车(物理分册)[M]. 上海: 上海交通大学出版社,2020.
[2] 赵凯华,陈熙谋. 新概念物理教程电磁学(第 2 版)[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
[3] 舒幼生,胡望雨,陈秉乾. 物理学难题集萃[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社,2014. (收稿日期:2021-03-10)