

量子力学教学中量子隧穿浅谈

任重丹¹ 吴 娅²

(1. 遵义师范学院物理与电子科学学院 贵州 遵义 563006;

2. 上海师范大学理学院 上海 200235)

摘要量子力学是物理学专业一门极其重要的专业课。由于它的很多物理结论与日常的直觉相悖，学生在理解和掌握相关知识时会存在诸多困难。我们系统地分析了量子隧穿这一知识点在传统教学情况下学生状况，发现学生在能量守恒、定性理解波函数以联系现实物理实体方面都存在困难。我们发现这些问题并不是孤立现象，更多的与教师在上课时没有详尽地解释清楚相关的抽象概念。

关键词量子隧穿；能量守恒；波函数；物理实体

量子隧穿是量子力学中一个奇特现象，它与现实世界的很多物理现象相关，如：原子衰变，分子成键等[1, 2]。作为一个与直觉相悖的量子现象，量子隧穿是量子力学知识体系中的一个重要内容。

对于一般的量子力学教材[3-5]，对于量子隧穿这部分内容通常需要学生完成如下的学习目标：(1) 可以计算不同物理模型中的量子隧穿概率；(2) 可以描述不同势能函数和波函数示意图；(3) 当物理模型改变时，势能函数和波函数如何做相应的改变；(4) 如何把物理模型和现实世界的现象联系起来。

量子隧穿在量子力学教学中是一个十分值得研究的内容。通过调研学生对这一内容的学习困难，可以帮助我们改进量子力学的教学方式。在通常的教学中，学生对这一部分的内容存在或多或少的学习困难，如：只了解方势阱和方势垒的计算，没有把抽象模型运用到实际体系的能力；对于粒子穿过势垒的能量守恒问题物理图像不清晰；不能正确地定性出来一个粒子穿过一个势垒的波函数等。针对上述问题，我们提出一种改进的教学方案。这个方案的思路不仅适用于这一部分内容，对整个量子力学教学中也同样的有借鉴意义。

一、量子隧穿过程中的能量守恒

有关量子隧穿过程中的能量守恒，学生在学习过程中可能存在两个误解：

(1) 隧穿过程中波函数和能量可以相互转换；(2) 隧穿过程中存在能量耗散。

对于误解(1)的原因，主要是一般的教材中通常把能量和波函数画在同一个示意图中，这可能对学生有误导作用。我们让学生观察一个方势阱中某一个能级的波函数的概率零点，通过这样一个概念思考问题可以解决学生的相关误解。

对于误解(2)，部分学生从直觉出发，认为粒子穿过势垒，肯定存在某种耗散机制，从而能量不再守恒。有的学生仅知道量子隧穿过程中能量守恒，但他们对其中的物理机制并不了解。对此，我们指出在薛定谔方程中并不存在耗散项，并且能量不是一个局域量，要区分清楚粒子的总能量、动能和不同区域势能的关系。

二、绘制隧穿波函数存在困难

传统的量子力学教学过多注重公式推导，忽略对相关结果图形的分析。通常情况下学生很难说出隧穿过程中波函数的物理意义，也不具有定性画出某个隧穿模型中的波函数的能力。为此我们专门让学生思考不同情况下隧穿波函数在不同区域不同形状背后的物理原因，这即可以让了解到波函数和能量的区别，也能认识到总能量是个非局域量。

三、势能和物理实体

在通常的教学中，教师只是给出一个简单的方势阱或方势垒物理模型，并写出它们相应的势能函数，并没有给出相对应的物理实体。其实即使对于一个经验丰富的教师，这也是很困难的，因而学生会对于势能函数的物理意义感觉困惑。

为此，我们给出了一个简单的物理实体来说明方势阱或方势垒。一个短的导线可以作为方势阱，两个被空气隔开的长直导线可作为势垒散射体系。由于电子在导线内可以自由的运动，导线内的势能可以看成常数。电子被束缚在导体内，需要较大的能量才能逃逸出导体，因而导体外的势能很大，所以短导体可以看成方势阱。为了让学生进一步了解模型和物理实体的联系，我们让学生画出与量子隧穿有关的物理现象的势能图，如扫描隧道显微镜和原子核的 β 衰变。

四、量子隧穿模拟

现在的量子力学课堂大都是公式推导，学生通常是只见树木不见森林，不能建立公式背后的物理图像。大多数量子力学教程中有关量子隧穿的内容都采用了用平面波代表隧穿粒子。这种方法虽然可以较容易地得到隧穿系数的解析解，但这导致很难把整个隧穿过程可视化，从而把解析结果和真实的物理过程联系起来。

我们采用波包代表隧穿粒子，通过mathematica或matlab等软件可以模拟隧穿过程。这样学生就可以对隧穿过程中波的空间变化和时间变化有个形象的概念。同时，通过调节势能和能量等参数，学生们可以了解不同物理情况下的结果。同时，通过把程序代码分享给同学，可以让他们了解科学研究的方法和思路。

五、结语

通过研究学生在学习量子隧穿时存在的困难，我们发现学生对量子力学的掌握仍停留在数学层面，对波函数是描述物理实体的基本量以及势能是物理实体和环境的相互作用等物理图像仍没有建立起来。通过建立现实物理现象和量子模型的联系，可以很好地帮助学生理解量子隧穿相关公式背后的物理意义。

参考文献

- [1] Mohsen Razavy. Quantum theory of tunneling [M]. New York: World Scientific, 2003.
- [2] 罗国忠, 安 峰, 一维时间周期势的量子隧穿, 大学物理, 2017, 36 (5)
- [3] 曾谨言. 量子力学卷一 [M]. 5版. 北京: 科学出版社, 201 3. 77—80
- [4] 苏汝铿. 量子力学. [M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 65—70.
- [5] Sakurai J J, Jim Napolitano. Modern Quantum Mechanics [M]. Second Edition. Boston: Addison Wesley, 2010.

作者简介:

任重丹 (1981.10—), 男, 汉族 河北辛集人, 学历: 博士, 职称: 副教授, 从事凝聚态理论研究。

吴娅 (1995.05—), 女, 苗族, 贵州印江人, 学历: 研究生, 从事凝聚态计算研究。

桥梁施工中的桥梁伸缩缝施工技术及其质量控制分析

张冬青

(建始县交通运输综合执法大队 湖北 建始 445300)

摘要随着经济的飞速发展，桥梁建设项目的规模大幅度的提高，桥梁施工中的桥梁伸缩缝的质量直接决定了桥梁建设的质量。本文分析了桥梁施工桥梁伸缩缝技术的技术，并从多角度探讨了影响桥梁施工中的桥梁伸缩缝施工质量的可变因素。

关键词桥梁施工；桥梁伸缩缝施工；质量控制

随着我国经济水平的提高，交通拥挤问题为人们的出行造成了不便，架设桥梁可以有效缓解当前的交通问题，为人们的出行提供了便捷服务。而在桥梁建设过程中施工的质量，直接决定了桥梁的使用寿命。而在桥梁施工中的桥梁伸缩缝的质量直接影响到整个工程的质量，施工时一定要重视相关技术的实施。

一、桥梁施工中的桥梁伸缩缝技术

(一) 施工前准备

桥梁施工中的桥梁伸缩缝施工前要做好准备工作，要对施工材料进行合理的分区放置，对材料要进行防晒、防潮处理。施工前要了解施工人员的技术水平，对施工人员进行能力测试，筛选能够适应桥梁伸缩缝施工条件的人员进入施工现场。降低施工发生工程失误的概率。对于施工环节的设计进行大致了解，对于伸缩缝的系数参数有一个明确的认识，做好施工防护措施。对于施工过程中可能出现的问题进行一个大概的考虑，并强调施工相关的细节问题，明确施工的重要事项。

(二) 切缝施工

切缝施工过程中要按照实际的施工情况调整伸缩缝的宽度，在宽度不达标时要对路面及时进行有效调节，同时要保障桥面的平整，并基于此进行切缝施工。在此基础上，结合工程项目的设计图，反复测量确保无偏差后进行划线，以保证切缝

划线的位置是合乎标准的。用布条固定缝线的外部区域，以免在切割过程中造成污染，施工人员在切割时用切割机贴划线测量的边缘进行切割，以保证切割缝边缘的痕迹是相对平整的。

(三) 开槽施工

开槽施工是桥梁施工中很重要的一项施工环节，施工过程中要研究设计图纸，确定好开槽的位置和尺寸后再动土，往往施工时要在伸缩缝的中心位置放样施工，以保证两侧的尺寸达到标准。开槽清理施工时，施工人员要对缝线中间残余的沥青、混凝土进行及时的清除，以保证开槽施工的高度高于0.12米。开槽施工后要采取防腐处理，并理顺预埋钢筋。

(四) 混凝土浇筑技术

根据桥梁建设的结构，对混凝土进行配比设计，在配比过程中掺入高效混凝土外加剂，以达到提高混凝土的使用性能的作用。要尽早确定好伸缩性、严密性、牢度，进而选择高效的材料和进行更为合适的配备比例。混凝土浇筑完毕后要对浇筑的效果进行检测，是否有渗漏现象出现，一旦出现渗漏就会影响桥梁使用效果，因此要做好养护工作，给混凝土及时补水，以免因路面干燥出现裂缝。

二、桥梁施工中的桥梁伸缩缝施工质量控制