

基于 PBL 的大学物理实验与理论课融合教学模式探索

樊代和^{1,2} 谢东^{1,2} 朱浩^{1,2} 姬晓旭^{3,4} 倪宇翔^{1,2} 李相强^{1,2,4}

⁽¹⁾ 物理国家级实验教学示范中心(西南交通大学), 四川 成都 611756;

⁽²⁾ 西南交通大学物理科学与技术学院, 四川 成都 611756;

⁽³⁾ 西南交通大学智慧城市与交通学院, 四川 成都 611756;

⁽⁴⁾ 西南交通大学教务处, 四川 成都 611756)

摘要 物理基础课程(包含大学物理实验课和理论课)是国内各理工科高校均开设的公共基础必修课之一,在培养学生的基本科学素养和创新实践能力方面发挥了不可替代的作用。以西南交通大学新成立的智慧城市与交通学院物理基础课程教学为基础,构建了一种基于 PBL(Problem Based Learning)教学法的大学物理实验与理论课融合教学模式。该模式由问题导入、问题解决、知识巩固、课程考核等四个环节构成,详细阐述了该教学模式中各环节的内涵。最后,对教学实践过程中面临的教师教学能力要求、专题实验项目数量、适合的学生规模等三方面情况进行了讨论。

关键词 实验与理论融合; PBL; 教学模式

EXPLORATION OF THE INTEGRATION TEACHING MODE OF COLLEGE PHYSICS EXPERIMENT AND THEORY BASED ON PBL

FAN Daihe^{1,2} XIE Dong^{1,2} ZHU Hao^{1,2} JI Xiaoxu^{3,4} NI Yuxiang^{1,2} LI Xiangqiang^{1,2,4}

⁽¹⁾ National Demonstration Center for Experimental Physics Education (Southwest Jiaotong University), Chengdu, Sichuan 611756;

⁽²⁾ School of Physical Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 611756;

⁽³⁾ Institute of Smart City and Intelligent Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 611756;

⁽⁴⁾ Dean's Office of Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 611756)

Abstract The basic physics course (including university physics experiment and theory courses) is one of the compulsory public basic courses offered by science and engineering universities in China, playing an irreplaceable role in cultivating students' basic scientific literacy and innovative practical abilities. Based on the teaching of basic physics courses in the newly established College of Urban Rail Transportation at Southwest Jiaotong University, a teaching model integrating university physics experiment and theory courses based on the Problem-Based Learning (PBL) approach has been constructed, consisting of four links: problem introduction, problem solving, knowledge consolidation, and course assessment. The connotation of each link in this teaching model is elaborated. Finally, three aspects faced during the teaching practice, including requirements for teachers' teaching abilities, the number of special experimental projects, and the suitable student population size, are discussed.

Key words integration of experiment and theory; PBL; teaching mode

收稿日期: 2025-05-05

基金项目: 西南交通大学本科教育教学研究与改革项目(JG2024051, JG2024052), 教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会教学研究项目(DWJZW202230xn), 西南交通大学高水平育人课程教改项目(GK20240316)。

通信作者: 樊代和, dhfan@swjtu.edu.cn。

引文格式: 樊代和, 谢东, 朱浩, 等. 基于 PBL 的大学物理实验与理论课融合教学模式探索[J]. 物理与工程, 2025, 35(4): 48-53.

Cite this article: FAN D H, XIE D, ZHU H, et al. Exploration of the integration teaching mode of college physics experiment and theory based on PBL[J]. Physics and Engineering, 2025, 35(4): 48-53. (in Chinese)

物理学是一门自然科学,一方面,物理学的基本理论、实验方法和技术渗透在自然科学的各个领域,成为了其他自然科学和工程技术的基础。另一方面,在培养学生的基本科学素养,提升学生发现、分析和解决问题能力等方面,物理基础课程起着其他课程所不能替代的重要作用^[1]。也正是由于上述原因,大学物理课程成为了国内各理工科高校均开设的一门公共基础必修课程。

在大学物理实验课程的实际教学中,由于课程中涉及的实验仪器台套数有限,再加上国内高校学生规模大的实际情况,使得在大学物理实验课程教学过程中,针对同一个实验项目,所有学生只能分为若干组,不同组以一定的循环顺序进行大学物理实验项目的操作和学习。进一步考虑到大学物理实验课程中一般要涉及多个实验项目(国内理工科高校该课程均不少于15个实验项目)^[2],最终导致了针对同一实验项目,不同学生的实验学习存在一定的时间差,有时该时间差可长达数周。但是,大学物理理论课教学是不涉及到实验仪器的,因此所有学生的学习进度均可保持大致相同,这就造成了学生理论知识学习和实验技能学习在时间上存在一定的脱节。例如,会出现部分学生物理理论知识早已学完,但相关实验还未进行;或者实验早已完成,但理论知识还未学习的情况。这对学生有效掌握和巩固所学物理知识是极为不利的,最终导致物理课程在人才培养上出现“知行不一”、理论不能联系实际的情况^[3]。为了克服这一不足,尽管部分高校围绕大学物理实验课和理论课融合的教学模式和教学体系,尝试进行了相关的探索和研究,例如,结合所在高校的实际情况,电子科技大学^[4]、浙江大学^[5]、江苏科技大学^[6]、火箭军工程大学^[7]等高校相继报道了各自学校的物理实验与理论融合教学方案,但是,到目前为止,一套完整的实验和理论课有机融合的教学模式还未见报道。

近年来,PBL(Problem Based Learning)教学法在国内外的高等教育中受到了关注^[8-10]。这种教学方法以学生为中心,以解决实际问题为基础,以学生之间的合作学习为主要方式,实现了传统教育从以教师讲授为主向以学生主动学习为主的教学方式转变,为高等教育创新型本科人才的培

养提供了一种新的途径。例如,丹麦奥尔堡大学的PBL教学模式,为高等工程人才“四维”能力培养提供了启示^[11]。在国内,尽管在大学物理实验^[12]、基础物理实验网络^[13]、毒理学基础实验^[14]、实验力学^[15]等实验课程教学方面,有开展PBL教学模式的报道,但在大学物理实验课和理论课融合的背景下,如何开展有效的PBL的教学模式还未见报道。

2020年,在成渝地区双城经济圈国家战略启动实施的背景下,西南交通大学与成都市人民政府合作,新成立了智慧城市与交通学院(以下简称“城轨学院”)。城轨学院于2021年起,开始在智能建造、智能制造、新能源科学与工程等新工科专业中招生。一方面,为了能够有效实现这些新工科专业的创新型人才培养目标,我们对这些专业本科生的培养计划、课程体系、教学模式等进行了深入的研究,特别是对如物理等公共基础课程,首次提出并构建出了一种基于PBL的大学物理实验与理论相融合的教学模式。另一方面,由于是学校新开设的专业,本科生的招生数量规模还较小(每个专业招生约75人),因此物理基础课程采用了小班(每个班约25人)授课的方式。这些实际情况,为基于PBL的大学物理实验和理论相融合的教学模式顺利实施奠定了基础。

本文以西南交通大学城轨学院的物理公共基础课程教学为基础,构建出了一种基于PBL的大学物理实验与理论课相融合的基础物理课程教学模式,并对教学模式中所包括的各环节的内涵进行了详细的阐述。最后,根据教学实践与反馈,探讨了教学模式中面临的三方面问题。

1 教学模式构建

为了能够有效培养出能够适应和引领智能时代建设需要的复合型创新人才,在城轨学院“重数理基础、宽学科平台、跨学科创新”的办院指导思想下,经充分调研和总结,并结合城轨学院招生的学科专业特点,我们对物理基础课程的教学模式进行了探索和创新,打破了国内传统的大学物理实验课和理论课为两门独立课程的方式,将二者进行有机融合,最终构建出了一种基于PBL教学法的大学物理实验和理论课相融合的教学模

式,该教学模式可如图 1 所示。

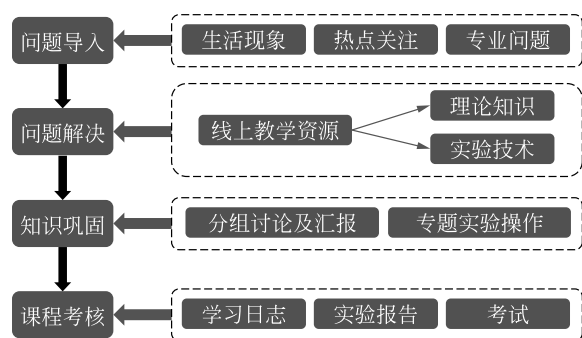


图 1 基于 PBL 的大学物理实验与理论融合教学模式

在“问题导入”环节,我们构建的教学模式为了有效实施 PBL 教学法,将日常生活中出现的有趣实验现象、新闻报道中的热点问题以及专业学科领域中常见的实际工程问题,作为学生学习课程需解决的“问题”。为实现这一目标,一方面,城轨学院购置了一批覆盖力、热、光、电学、近代物理等学科的教学演示仪器设备(如图 2 所示)。这些仪器具有体积小、重量轻的特点,方便教师将其带入到理论课课堂中进行现场操作和演示。通过在课堂中实际演示这些有趣的实验现象,促使学生带着“问题”去思考这些现象背后的物理本质,一方面激发学生学习相关物理理论知识的主动性,使其最终能用所学物理理论知识解释这些现象出现原因,另一方面也可培养学生从实际实验现象中总结出物理理论规律的能力,进而为提出新的物理理论规律奠定实验基础。除此之外,教师还能够将一些社会热点问题,如南阳日报曾报道的“水氢发动机下线”等热点新闻^[16],引入课程教学中,以该发动机是否为一“永动机”而违反热力学第二定律作为“问题”,激发学生学习相关物理理论知识和实验技能的学习兴趣。

在“问题解决”环节,该教学模式实现了实验和理论的有机融合。首先,通过超星学习通平台,建设了线上教学资源库,这些线上资源覆盖了基

本的物理基础理论知识和实验技术,学生可利用自己的课外空余时间,在线上进行基础知识的学习。其次,在课堂教学中,充分发挥出 PBL 教学法中教师转换为学生获取知识的指导者这一功能,组织学生以分组讨论形式,在解决上述“问题”的过程中掌握相关的物理理论知识和实验技能。实验和理论的有机融合,可体现在以下几个方面:在“问题解决”的过程中,不但要能用所学理论知识解释实验现象出现的原因,而且还要用学习到的实验技术,进一步给出对所学理论知识进行实验检验的设计方案,并给出实验操作的步骤和数据处理方法等,为后续专题实验的操作打下基础。而理论知识一旦在课堂教学完成后,学生就立即进入实验室(该时间差不超过一周),进行相关的实验操作,学习和掌握相关的实验操作技术,并实现实验数据处理能力的锻炼。部分知识点,甚至可实现理论课在实验室中进行(即无时间差)。构建的这种教学模式,有效实现了实验和理论的有机融合,克服了传统课程实验和理论脱节对学生知识的有效掌握造成的不利影响。

在“知识巩固”环节,该教学模式采用了小班教学、学生分组进行讨论及汇报的方式。一方面,学生分组规模较小(每组 4~5 人),学生之间可充分交流和讨论所学的理论知识 and 实验技术,然后进行归纳总结(结合线上所学内容),最后将讨论形成的结果,在课堂中进行汇报(如图 3 所示)。这种小组讨论、教师做引导者的方式,有效地加深了学生对物理知识的深度掌握。另一方面,课程设计的专题实验项目,也注重和学生专业背景的结合。例如,课程设计的“超声探伤及特性综合实验”专题实验项目,充分体现出了城轨学院的办院特色和优势;课程设计的“硅太阳能电池特性研究”专题实验项目,和城轨学院的“新能源科学与工程”专业结合度非常紧密,更有利于对学生专业能力的培养。

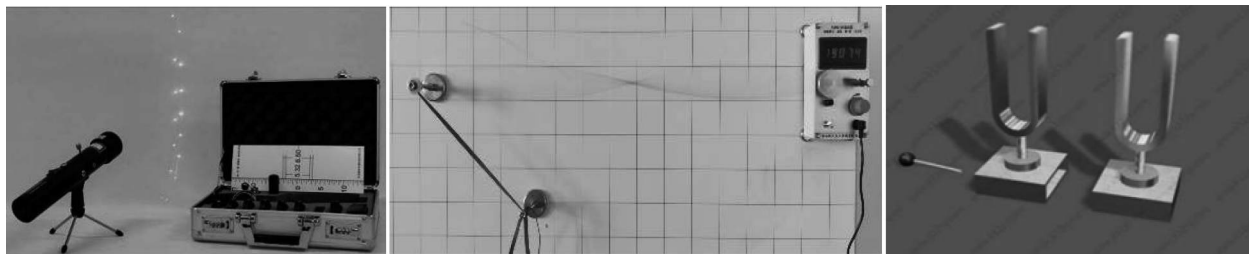


图 2 用于“问题导入”的演示实验仪器及现象示例



图3 PBL 教学过程示例

在“课程考核”环节,该教学模式在实验和理论融合的基础上,采用了多元化的考核方式。首先,在传统的考试中,一套试卷既包含了理论知识考点,又包括实验知识考点,如实验仪器调节方法、实验数据处理、误差及不确定度计算等。其次,学生在课程学习中完成的实验报告(专题实验)也要占课程总成绩的一定比例。最后,针对PBL教学中每一个专题的讨论,要求学生在课后以思维导图的方式,撰写课程学习日志并提交,该学习日志也占课程总成绩的一定比例。这种实验和理论融合后的多元化考核方式,一方面可较为科学地检验学生的学习效果,另一方面经师生座谈会等形式了解,学生表示有效实现了物理理论知识和实验技能的同向提高。同时,部分学生还能利用掌握的理论知识和实验技能,设计出新的测量装置,实现发明专利的授权等成果。

上述基于PBL教学法的物理实验和理论相融合的教学模式,有效地克服了传统物理基础课程教学中实验和理论脱节造成的不利影响,为学生有效掌握物理理论知识和实验技能提供了支持,并在培养学生解决专业领域实际问题的能力方面,发挥出了积极作用。

2 教学实践相关问题探讨

经过为期一年的教学实践发现,尽管这种基于PBL的大学物理实验和理论相融合的教学模式在教师和学生层面得到的反馈均较好,但其中有一些方面也是值得进一步探讨的。

首先,基于PBL的教学模式对教师的教学能力提出了更高的要求。一方面,正如前文所述,课程教学是从“问题导入”开始的,因此,教师对“问

题”的设计,就变得至为重要。尽管演示实验仪器可作为课程教学中较为方便的问题来源,但通常一种演示实验仪器所发挥的功能,只局限在单一的知识点上,即对教学内容的延伸和拓展性不强,所以教师需要花费较大的精力,从常见的生活现象、社会热点中与物理相关的问题中,找出适用于教学的“问题”。另一方面,由于PBL教学法中教师的角色从传统的知识灌输者,转换成为学生获取知识的指导和组织者,因此这也非常考验教师的课堂组织能力,即在教学过程中,教师既不能像传统教学过程那样长时间在讲课,又需要合理分配时间对各小组讨论中遇到的问题提供指导,不能“厚此薄彼”。第三,需要教师对实验技术和理论知识都有丰富的教学经验。经过一年的教学实践发现,这种对教师更高的教学能力要求,实际上也反过来促进了教师教学能力的有效提高。

其次,在物理实验和理论相融合的教学模式中,为更好地实现学生实际问题能力的培养,需要足够数量、种类丰富,既能与理论知识相匹配,又能与学生专业背景相结合的专题实验项目。目前,一方面,由于城轨学院为新办学院,经费支持不能实现一步到位;另一方面,受实验仪器要和专业背景相结合要求的限制,目前城轨学院专题实验项目数量还较少。例如,表1展示了当前城轨学院所开设的实验项目名称。

从表1中可以看出,尽管演示实验仪器种类较为丰富,但是如上所述,其发挥的功能具有一定的局限性。从目前的教学反馈看,学生有效掌握物理基础知识和实验技能,更多地还是通过专题实验项目来实现。表1显示的专题实验中,“刚体转动惯量测量实验”和“空气热机效率测定实验”是典型的力学和热学实验,可与理论课中质点

表 1 城轨学院开设的物理实验内容表

演示实验		专题实验				
实验名称	覆盖力、热、光、电磁、近代等学科共 17 种	刚体转动惯量测量实验	霍尔元件参数测量及磁场分布测量实验	超声探伤及特性综合实验	硅太阳能电池特性研究实验	空气热机效率测定实验

的运动学和热学理论相关内容实现紧密配合。学生通过对两个实验的实验现象复现,可进一步加深对相关力学和热学理论知识的理解与掌握。“霍尔元件参数测量及磁场分布测量实验”“超声探伤及特性综合实验”以及“硅太阳能电池特性研究实验”,一方面与城轨学院的特色学科专业密切结合,另一方面实际应用性非常明显,通过对这些专题实验的实验仪器成功调节,并将实验技能转移到其他物理量的测量或新实验仪器的开发和设计中,能够有效培养学生的动手能力及将物理实验技术应用到解决专业领域实际问题的能力。但是,也可以看出,专题实验项目的数量,是明显低于传统的大学物理实验课程中实验项目的数量的。这实际上也给物理实验仪器生产厂家提供了实验教学仪器开发的一种思路,即需要研发出既能和大学物理理论知识相结合,又能体现出所在高校的特色学科专业的物理实验仪器。

最后,大学物理实验和理论融合的教学模式,更适合于学生规模较小的情况。如上所述,目前城轨学院采用了小班教学(每个教学班约 25 人),且总的教学班数量并不多(共 11 个)。只有在这种小规模情况下,当学生完成理论知识的学习后,才可以立即进入实验室中进行实验技能的训练。如果学生规模进一步增加的话,受实验仪器台套数的限制,则传统大学物理实验课程教学中面临的情况将必然出现,即学生只能分组,按一定的循环来完成实验操作。学生规模越大,则分的组数越多,循环所用的时间就越长,实验和理论的脱节就会更明显。因此,适合大学物理实验和理论相融合教学模式的学生规模数量平衡点是多少,是一个值得进一步研究的问题。

3 结语

结合西南交通大学城轨学院的物理基础课程教学,构建了一种基于 PBL 的大学物理实验与理论相融合的教学模式。这种教学模式包含问题导

入、问题解决、知识巩固及课程考核等四个环节。一年的教学实践表明,该教学模式可帮助学生有效地掌握物理理论知识和实验技能,进一步培养其解决专业领域实际问题的能力。进一步,通过教学实践和反馈,还讨论了该教学模式实施过程中三方面的情况,包括对教师教学能力的要求更高、增加专题实验项目的数量的必要性和可行性,以及该教学适合的学生规模问题。尽管该教学模式目前仅在西南交通大学城轨学院的物理基础课程教学中进行了实践,但取得的教学实践经验,可以为国内的各理工科高校的物理基础课程教学改革提供参考。

参 考 文 献

[1] 教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会.理工科类大学物理课程教学基本要求,理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2010 年版)[M].北京:高等教育出版社,2011.
The Teaching Guidance Committee of Physics and Astronomy in higher Education institutions, Ministry of Education. Basic requirements for physics courses teaching in science and engineering universities basic requirements for physics experiment courses teaching in science and engineering universities(2010 edition)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010. (in Chinese)

[2] 樊代和. 大学物理实验数字化教程[M]. 北京:机械工业出版社,2020.
FAN D H. University physics experiment course with digital resources[M]. Beijing: China Machine Press, 2020. (in Chinese)

[3] 陈佑,霍剑青. 对大学物理实验教学的思考、改革与实践[J]. 物理,2018,47(6):387-389.
CHEN J, HUO J Q. Reflections, reforms, and practices on university physics experiment teaching[J]. Physics, 2018, 47(6): 387-389. (in Chinese)

[4] 郭袁俊,于景侠,霍中生,等. 大学物理实验与理论融合教学的探索[J]. 实验室研究与探索,2019,38(7):188-190.
GUO Y J, YU J X, HUO Z S, et al. Exploration on integration Teaching of university physical experiment and theory[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2019, 38(7): 188-190. (in Chinese)

- [5] 鲍德松,郑远,王业伍. 适合物理拔尖人才培养的物理实验教学模式探索[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(12): 241-243.
BAO D S, ZHENG Y, WANG Y W. Exploration of physics experimental teaching mode suitable for cultivation of top physics talents[J]. Experimental Technology and Management, 2020, 37(12): 241-243. (in Chinese)
- [6] 杨圆,肖沛,林季资,等. 基于理论与实验融合模式的大学物理课程教学探索[J]. 中国现代教育装备, 2020, No. 345(17): 98-99, 103.
YANG Y, XIAO P, LIN J Z, et al. Exploration of the integration of theory teaching and experiment teaching in college physics course[J]. China Modern Educational Equipment, 2020, 345(17): 98-99, 103. (in Chinese)
- [7] 沈晓芳,周战荣,高旸,等. 大学物理理论教学和随堂演示实验有机融合的教学模式探索[J]. 物理与工程, 2019, 29(S1): 118.
SHEN X F, ZHOU Z R, GAO Y, et al. Exploration of teaching mode integrating university physics theoretical teaching and in-class demonstration experiments[J]. Physics and Engineering, 2019, 29(S1): 118. (in Chinese)
- [8] 董艳,和静宇. PBL 项目式学习在大学教学中的应用探究[J]. 现代教育技术, 2019, 29(9): 53-58.
DONG Y, HE J Y. Research on the application of project-based learning in university teaching[J]. Modern Educational Technology, 2019, 29(9): 53-58. (in Chinese)
- [9] 何晓瑾,金实,曹晶,等. 创新人才培养视阈下的大学教学模式变革——基于 PBL 模式的教学实践研究[J]. 江苏高教, 2016, 190(6): 99-101, 130. (in Chinese)
HE X J, JIN S, CAO J, et al. Reform of university teaching models from the perspective of innovative talent cultivation: A practical study based on PBL[J]. Jiangsu Higher Education, 2016, 190(6): 99-101, 130. (in Chinese)
- [10] 李丽萍. PBL 课程改革中教师实践共同体的构建与思考[J]. 中国高教研究, 2010, 205(9): 90-92.
LI L P. Construction and reflection on teachers' practical community in PBL curriculum reform[J]. China Higher Education Research, 2010, 205(9): 90-92. (in Chinese)
- [11] 皮江红,廖依帆. 工业 4.0 背景下高等工程人才“四维”能力培养——丹麦奥尔堡大学 PBL 教学模式及其启示[J]. 高等工程教育研究, 2022, 195(4): 194-200.
PI J H, LIAO Y F. On Four-dimension ability cultivation of engineering talents in universities under the background of industry 4.0—PBL mode of Aalborg University in Denmark[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2022, 195(4): 194-200. (in Chinese)
- [12] 李晔,刘宏. 大学物理实验教学中 PBL 模式的运用[J]. 实验技术与管理, 2009, 26(3): 214-216.
LI Y, LIU H. Application of PBL modes for physics experiment teaching in universities[J]. Experimental Technology and Management, 2009, 26(3): 214-216. (in Chinese)
- [13] 梁会琴,冯建武,郭保忠. 基于 PBL 教学模式的“基础物理实验网络课程”[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(6): 334-337.
LIANG H Q, FENG J W, GUO B Z. Network curriculum of basic physics experiment based on PBL[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2013, 32(6): 334-337. (in Chinese)
- [14] 郭蓉,曾明,关岚,等. 基于问题导向的毒理学基础实验教学模式探讨[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(3): 221-226.
GUO R, ZENG M, GUAN L, et al. Exploration of the problem-based learning mode in experimental teaching of toxicology[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2022, 41(3): 221-226. (in Chinese)
- [15] 耿小亮,赵彬,王佩艳,等. PBL 教学模式的实验力学课程教学方法探索[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(7): 232-236.
GENG X L, ZHAO B, WANG P Y, et al. Exploration of experimental mechanics teaching method based on PBL teaching mode[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2021, 40(7): 232-236. (in Chinese)
- [16] 陈琰炜. 水氢发动机在南阳下线,市委书记点赞! [N]. 南阳日报, 2019-05-23(A1 版).
CHEN Y W. Water-hydrogen engine launched in Nanyang, praised by municipal party secretary[N]. Nanyang Daily, 2019-05-23, p. A1. (in Chinese)