

2版



高等学校教材
Textbook for Higher Education

物理学

(成教工学高职高专)

主编 宋士贤
郭晓枫
刘云龙



西北工业大学出版社
<http://www.nwpup.com>



教育部推荐教材

物理学

（机械工业出版社）

主编：张三

副主编：李四

编委：王五



高等学校教材

物 理 学

(成教工学·高职高专)

(第2版)

宋士贤 郭晓枫 刘云龙
谢晓嘉 于明章 乔晓华 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是在保持第1版特色与风格的基础上,参照教育部颁布的成教(工学)和高职高专物理教学基本要求修订而成的。按经典与近代物理内容组建全书框架,突出了基本概念和研究思路及方法,并将近代物理知识、观点和物理原理在工程技术上的应用等内容有机渗透到全书各部分。在数学处理上避免或删减了一些对专科学学生不甚必要的繁杂推证和计算要求。在习题配置上也作了大幅度改革。全书统一采用“法定计量单位”和最新版“物理学名词”。

全书共分六篇。内容丰富、新颖,论述严谨,重点突出,通俗易懂,易教易学,特别在体现工程专科特点,凸显“宽、浅、用、新、活、趣”诸方面,颇有新意和特色。并有物理大作业、学习指导、实验教学导引和练习题与大作业分析解答,与其配套使用。可供高等工业学校、高职高专及各类成人高校的工程专科76~100学时物理课程作为教材。也适用于少学时相关专业本科使用。

图书在版编目(CIP)数据

物理学/宋士贤,郭晓枫,刘云龙等编.—2版.—西安:西北工业大学出版社,2001.11

ISBN 7-5612-0740-9

I. 物… II. ①宋… ②郭… ③刘… III. 物理学-教材 IV. 04

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第069631号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号,邮编:710072 电话:029-8493844

网 址: <http://www.nwpu.com>

印刷者:西安向阳印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:32.5

字 数:788千字

版 次:1995年6月第1版 2002年2月第2版 第6次印刷

书 号:ISBN 7-5612-0740-9/O·99(课)

印 数:22 001~30 000册

定 价:35.00元(含物理学大作业6.00元)

人类总得不断总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

——毛泽东

前 言

(第2版)

本书第1版于1995年6月出版以来，承蒙广大读者和师生的厚爱。随后几年，我国教育事业的发展很快，教育部先后颁布了成教（工学）和高职高专物理教学基本要求。为了适应教育发展的新形势，全国高等理工院校成人教育研究会物理学科委员会在1999年南京会议上正式商定，计划组织编写一套符合教学基本要求的专科物理系列教材，包括本教材、物理大作业、学习指导书、实验教学导引及练习题与大作业分析解答；并建议主教材以本书第1版为蓝本进行修订。

在修订过程中，我们保持了第1版的风格与特色，并听取了部分使用过本书的院校的教师们的意见和建议，增删了部分内容，同时，在如何体现高等工程专科物理教材特点，凸显“宽、浅、用、新、活、趣”方面作了大胆的尝试。具体有：

1. “教材是教出来的，不是凭空编出来的”。出版教材的目的是为了教学的需要，让教师好教，学生好学。因此，在修订时认真总结了教学经验和多方面的信息，除仍按经典与近代物理内容组建全书框架外，适当增加了近代物理的份额，加强了对物理概念、物理思想、物理图像以及研究思路和方法的论述，删减了一些对工程专科学学生不甚必要的推证和计算要求，并注意将近代物理的观点和物理学在现代工程技术中的应用原理有机地渗透到全书的各个部分。力求知识面宽一点，内容浅一点，选材新一点，思路活一点，对工程专科的针对性和趣味性更强一点，以提高学生学习、掌握新技术和新工艺的适应能力。

2. 在习题部分，仍采用“基础练习十大作业”的习题作业方式，与第1版相比，适当增加了作业的题量，降低了一些难度，使学生能得到更好的训练，同时，修订后的大作业由原来装订为一册改为分册装订，这样，教师既可按教学内容先后次序选用，也可解决做作业与交阅作业的矛盾，并便于携带。

3. 增强了教材的趣味性。除了选材力求新颖和在行文中注意启迪思维、引起兴趣、唤起共鸣外，在各篇、章及练习题之首，重新精选了一些有关治学态度和治学方法的科学家、教育家名言，使学生从中能得到启迪。同时，结合教学内容需要，新开辟了〈课间小憩〉、〈趣味物理〉、〈物理学家〉……等小窗口，着意从教学角度反映科学发展的连续性和新潮迭起的动态，让学生在“趣味”中使所学知识得到升华，并激起创新的欲望。

全书分 I. 导论 (1~2 章)、II. 力学 (3~6 章)、III. 波动 (7~9 章)、IV. 热学 (10~11 章)、V. 电磁学 (12~14 章)、VI. 近代物理 (15、16 章) 六篇共 16 章。统一采用《中华人民共和国法定计量单位》、1994 年实施的《量和单位》国家标准和全国自然科学名词审定委员会 1996 年公布的《物理学名词》。适用于高等工业学校、高职高专学院和各类成人高校工程专科 76~100 学时的物理课程使用, 也可供相关少学时专业本科使用。

本书由宋士贤、郭晓枫、刘云龙任主编。参加修订工作的有: 宋士贤 (1, 2, 6 章)、于明章 (3~5 章)、谢晓嘉 (7, 8 章)、郭晓枫 (9, 15, 16 章)、刘云龙、乔晓华 (10, 11 章)、乔晓华、刘云龙 (12~14 章)。《物理大作业》由于明章、郭晓枫主编。

在修订过程中, 得到了全国高等理工院校成人教育研究会物理学科委员会、西北工业大学应用物理系和继续教育学院、同济大学物理系和继续教育学院、《现代物理知识》编辑部等的关怀和支持, 并得到物理学科委员会顾问组严导淦 (同济大学)、唐光裕 (哈尔滨工业大学)、吴百诗 (西安交通大学)、邓新元 (清华大学)、汤毓骏 (东华大学)、马文蔚 (东南大学)、陈小平和张思挚 (高等教育出版社) 等专家教授的关怀、指导和帮助。顾问组成员、西北工业大学徐绪笃教授担任了本书的主审。全书插图由孙卫东绘制, 医学照片由西北工业大学医院何雅柏、崔同霞提供。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限, 本书中一定还有许多不妥、甚至错误之处, 恳请使用本书的师生和其他读者不吝赐正。

编 者

2001 年 3 月于西安

第1版

序

1994年盛夏，应徐绪笃教授坚邀，飞抵古城西安，在西北工业大学参与了本书的审稿会。

本书作为一本高等工程专科物理课程的教材，乃是编者坦诚地启用长期积累的知识库存和教学经验宝藏，经历了长达5年余的探索、构思、设计、选材、编写、试用和迭经修改后而出台的。

在高等工程专科教育领域内，编者从物理课程所面临的挑战和选择的困惑中，重新寻求物理教学演变轨迹上的最佳“坐标”，旨在推出一本更适应当前专科教学需求的教材，俾能使本课程更好地为工程类专业培养目标服务。

编者参照全日制和函授专科教育中有关本课程的教学基本要求，对全书内容和体系作了积极稳妥的处理，既不拘泥于同类教材的传统模式，又便于教学操作。在按经典物理内容构建全书框架和精选内容时，寻找接口，融入了一些近代物理基本知识和当代物理学新成就在工程技术上的应用，如能级概念、散斑应用、电流变液、空间技术等等；且以生替熟，避免了与中学物理内容不必要的重复。

本书在论述上，主要表现为以简胜繁，由浅入深，引俗趋真而又不诡随，意到笔随而不拘一格，重在基本概念和基本理论的定性阐释，鲜有繁复的数学推导和赘文滞句；且颇多点睛之笔，对读者起到一定的点拨解惑作用。特别是对一些抽象难懂的概念和理论，紧密结合工程技术和生活实际，给以较轻松的包装，使读者在引人入胜的知识享受中，既接受到一些物理思想和理论的蕴涵，又突现了本书在理论联系实际方面的专科教材特色，可谓相得益彰。其次，随在每章之末的“练习题”，经编者精心设计，别具一格，布题周详，题材多样，难易适中，导引有序，尤其对自学读者来说，通过习作，有助于把握全章内容，并达到基本训练的目的。

总之，编者按照本课程的教学要求和偏低的学时数，以有限的篇幅，在适当提高物理直觉性的浓度、信息量的密度和物理思想的深度等方面所作的努力，断非率尔操觚者所能为的。至于书中欠当之处，也在所难免，这就有待于编者不断实践，用一个漫长的未来，去进一步求索一份完美。

、“忽如一夜春风来，千树万树梨花开”。也许在本书问世后，对当前新形势下的工科大学物理教材改革，能起到一些推波助澜的效应，那么，这恐怕是对编者们的莫大的慰藉和鞭策了，也是物理教学界的同仁所企望的。

编者嘱序，书此短文，藉达葵忱，以酬高谊。

嚴遵陸

1994年6月13日端午节于同济学舍，
时梅雨霏霏，蒲绿榴红。

第 1 版

前 言

(摘 录)

高等工程专科物理课程是一门必修的基础理论课程。其任务是：为培养工程应用型人才打好必要的物理基础，提高人才素质，开阔思路，激发探索和创新精神，增强学习和掌握新技术、新工艺的能力。因此，编写一本符合高工专教育层次的特点、利于教学的高工专物理教材，就成为作者多年来的愿望。本教材初稿就是在这种愿望的驱使下，经过 5 年多的酝酿和努力而问世的。

本教材在突出高工专层次的教学特点上，有如下的一些举措：

1. 内容的取舍服从于为培养目标服务，服从于本课程在培养工程应用型人才中所承担的任务，并符合高工专物理课程教学基本要求。……

2. 根据编者的教学经验，在课程体系上有所更新。增加了入门的导论篇：把一些近代物理的概念、方法和前沿交叉科学最新研究进展揉合到经典物理中去讨论；把波动光学与机械波合成为波动篇一起讨论；把气体动理论改写为热运动的物理图像及统计方法予以介绍等。做到该扩充的内容就作必要的扩充，该删减的内容也毫不吝啬，着意反映科学发展的连续性和新潮迭起的动态。同时，在版式设计、插图设计等方面也力求新颖，尽量使读者在阅读时从内容到形式都有新鲜感。

3. 对习题作业作了大幅度改革。本教材采用了作者 10 多年研究试验的“基础练习和大作业”的习题作业方式，即习题作业由基础练习与大作业两部分组成。

“基础练习”印在教材各章的最后，它紧密结合教学内容，以内容为单元归类选编，并冠以相应的标题。题目从对有关的基本概念和规律的分析讨论，到处理问题的一般思路方法，再导向到具体问题的求解和应用，一个层次一个层次地展开，形成一个完整的框架结构。这些题目一般不要求学生做到作业本上，主要供学生课后复习、自学时钻研之用，因此，它实际上相当于一份自学指导提纲。

“大作业”是某一部分教学内容结束后应完成的综合性作业，与本教材配套出版使用。它覆盖了该部分教学要求的全部内容，题型包括选择题、填空题、计算题、证明题、问答题等，以利于从各个侧面检验学生掌握知识的程度和能力水平。由于它带有阶段总结的性质，故称为“大作业”。大作业共 10 次，要求学生在完成练习题的基础上，经过阶段复习后独立完成，可以在 2~3h 内集中完成，也可按课程进度分散完成，每道题均留有答题空位，学生可直接在其上答题，不需另备作业本。

本教材共分六篇。编者的分工是：“导论”——宋士贤；“力学”——文喜星、宋士贤；“波动”——郭晓枫、赵建林；“热学”——阮在勤、宋士贤；“电学”——刘云龙、王济民；“近代专题”——戴慧莹、文喜星。由宋士贤任主编并负责全书的策划和统稿，郭晓枫、刘云龙任副主编。

.....

一本新书像一艘船，带
领着我们从狭隘的地方，驶
向生活的无限广阔的海洋。

—— 凯勒

目 录

第 I 篇 导 论

〈物理之窗〉20 世纪中国重大科技成果纵览	2
第 1 章 物质与运动	4
§ 1.1 物理学理论与物理学对工程技术的影响	4
§ 1.2 物质的物理图像	6
〈趣味物理〉夸克	11
§ 1.3 中华人民共和国法定计量单位	13
内容提要	18
练习 1 物质与运动	19
第 2 章 物理学中的矢量运算	21
§ 2.1 矢量的概念	22
〈趣味物理〉斜拉桥的奥秘	24
§ 2.2 矢量和与矢量差	25
§ 2.3 矢量的标识	28
§ 2.4 矢量的矢积	29
§ 2.5 矢量的导数和积分	30
内容提要	33
练习 2 物理学中的矢量运算	33

第 II 篇 力 学

第 3 章 时间、空间与运动学	36
§ 3.1 质点运动学的基本概念	36
§ 3.2 运动的描述方法	52
〈趣味物理〉枪打落猴	56
§ 3.3 圆周运动的角量描述	61
内容提要	64
练习 3 时间、空间与运动学	65
第 4 章 牛顿运动定律	72
§ 4.1 力是导致物体运动状态变化的原因	72
〈趣味物理〉自然界的四种基本相互作用	76
§ 4.2 牛顿运动定律	77
〈物理学家〉I. 牛顿	79
§ 4.3 处理动力学两类问题的思路	80
§ 4.4 牛顿运动定律与科学技术	88
〈趣味物理〉旋转水银面望远镜	90
内容提要	91
练习 4 牛顿运动定律	92
第 5 章 守恒定律	96
§ 5.1 动量守恒定律	97
§ 5.2 动量守恒定律在高科技发展中的应用	100
§ 5.3 质点的动量矩守恒定律	104
〈课间小憩〉太阳系不会塌缩	107
§ 5.4 质点的动能定理	107
§ 5.5 势能	112
§ 5.6 机械能守恒与转换定律	116
〈趣味物理〉能级与能量量子化	119
§ 5.7 应用两个守恒定律解题示例	120
§ 5.8 工程技术中的普遍能量守恒与转换定律	124
内容提要	125
练习 5 守恒定律	125

第 6 章 刚体的定轴转动	130
§ 6.1 刚体运动的基本概念	131
§ 6.2 刚体定轴转动的运动学规律	134
§ 6.3 刚体定轴转动的动力学规律	135
〈趣味物理〉葛洲坝水利工程的弧形闸门.....	138
〈趣味物理〉彗星 - 木星的世纪之吻.....	140
〈课间小憩〉由动量矩守恒引起的.....	145
内容提要.....	147
练习 6 刚体的定轴转动	148

第 III 篇 波 动

第 7 章 简谐运动	153
§ 7.1 简谐运动及其特征	153
§ 7.2 简谐运动的描述方法	157
§ 7.3 简谐运动的合成	165
§ 7.4 阻尼振动 受迫振动	170
〈课间小憩〉火车的危险速率.....	172
内容提要.....	172
练习 7 简谐运动	173
第 8 章 机械波的传播规律	179
§ 8.1 机械波的基本概念	179
§ 8.2 波动的描述方法	182
§ 8.3 波的能量特征	189
§ 8.4 波的干涉	190
〈趣味物理〉多普勒效应.....	193
§ 8.5 声波	193
内容提要.....	196
练习 8 机械波的传播规律	197
第 9 章 光的波动性	201
§ 9.1 光波的物理图像	201
§ 9.2 光的干涉	203
〈课间小憩〉紫镜头与滤色片.....	212
§ 9.3 光的衍射	213
〈趣味物理〉眼睛的分辨本领.....	221

§ 9.4 光的偏振性	222
内容提要	226
练习 9 光的波动性	227

第 IV 篇 热 学

第 10 章 热运动的统计描述	233
§ 10.1 热现象与热运动	233
§ 10.2 气体动理论的基本概念	241
〈趣味物理〉壮观的和平号“流星雨”	249
内容提要	250
练习 10 热运动的统计描述	251
第 11 章 热力学	254
§ 11.1 理想气体的准静态过程	254
§ 11.2 热量	257
§ 11.3 热力学第一定律	258
§ 11.4 循环过程	265
〈课间小憩〉电冰箱与空调器	268
§ 11.5 热力学第二定律	269
内容提要	270
练习 11 热力学	271

第 V 篇 电磁学

第 12 章 静电场	276
§ 12.1 物质的电结构	277
§ 12.2 电场强度	279
§ 12.3 电位	286
§ 12.4 静电场的环路定律和高斯定理	291
§ 12.5 静电场中的导体	297
〈课间小憩〉高压带电作业	300
§ 12.6 电介质对电场的影响	302
〈课间小憩〉导电性塑料	305
〈物理之窗〉新型介质材料——电流变液	307
§ 12.7 导体的电容 电场能量	308
内容提要	313

练习 12 静电场	315
第 13 章 稳恒电流的磁场	322
§ 13.1 稳恒电流的基本概念	323
§ 13.2 磁场的场源	325
§ 13.3 磁场的物质性	327
〈课间小憩〉 太阳黑子与地磁场	328
〈趣味物理〉 电磁轨道炮	331
§ 13.4 电流激发磁场的基本规律	334
§ 13.5 磁场中的环路定律与高斯定理	337
§ 13.6 磁介质对磁场的影响	340
内容提要	343
练习 13 稳恒电流的磁场	344
第 14 章 电磁感应与电磁场	350
§ 14.1 电磁感应的实验研究	350
§ 14.2 电磁感应基本规律	353
〈物理学家〉 M. 法拉第	355
§ 14.3 动生电动势	356
§ 14.4 感应电场与感生电动势	359
§ 14.5 互感、自感及电场能量	361
〈课间小憩〉 阿尔法磁谱仪	365
§ 14.6 麦克斯韦电磁场理论	366
〈物理学家〉 J. 麦克斯韦	368
内容提要	370
练习 14 电磁感应与电磁场	371

第 VI 篇 近代物理

第 15 章 狭义相对论	378
§ 15.1 狭义相对论的两条基本原理	378
〈物理学家〉 A. 爱因斯坦	381
§ 15.2 相对论时空观	382
〈趣味物理〉 孪生子效应	386
§ 15.3 相对论动力学结论	387
内容提要	392
练习 15 狭义相对论	393

第 16 章 量子物理 395

 § 16.1 光子..... 396

 〈物理学家〉 M. 普朗克 400

 § 16.2 量子力学引论..... 402

 § 16.3 氢原子中的电子分布..... 405

 § 16.4 固体的能带..... 409

 § 16.5 激光技术的物理基础..... 414

 〈课间小憩〉 我国第一台激光器 416

 〈趣味物理〉 奇妙的激光全息照片 419

 〈课间小憩〉 CD 技术 421

 内容提要..... 423

 练习 16 量子物理 424

附 录 基本物理常量及有关数据的计算用值..... 428

参考文献 430

在任何行业中,走向成功的第一步,是对它产生兴趣。

—— W. 奥斯勒

第 I 篇

导 论

物理学是研究物质的基本结构和相互作用、物质最基本最普遍的运动形式及其相互转化规律的学科。大至恒星、星系,小至分子、原子和“基本粒子”,其研究范围十分广泛,可以说一切自然现象都与物理学有关。

物理学的基本理论与方法,渗透于自然科学的各个领域,应用于生产技术的许多部门,并对近代技术的形成和发展具有更为直接的意义。物理学的许多发现和重要效应,常常是技术发展的先导,每逢物理学上取得一次重大突破,总会导致一场新的重大的技术革命。例如,在 17,18 世纪牛顿力学的建立和热力学的发展,不仅有力地推动了其它学科的进展,而且适应了发展机械工业和研制蒸气机的社会需要,引发了第一次工业革命。到了 19 世纪,由于电磁学的发展,很快转化为新技术,并对已往的技术产生影响,导致了电动机、发电机、电灯、电话、电报、雷达、变压器等的发明和应用,使人们进入了应用电能的时代,形成了第二次工业革命。进入 20 世纪以来,随着相对论和微观物理学的发展,又涌现出半导体、激光、电子计算机、电子显微镜、原子能、电视、遥感、空间技术、信息技术等一系列新兴技术,把人类带进了一个以信息化为标志的崭新时代——知识经济时代。当然,技术的发展和生产力的要求,又反过来有力地推动了物理学研究的发展。有人对 20 世纪以来国内外 70 项重大技术发明作了分析,绝大多数项目均来自于物理学的发展或与物理学科的相互渗透有关。不仅如此,物理学的知识、概念和思想方法,已渗透到现代医学、生命科学、考古学、文化艺术和生活诸方面,出现了诸如生物物理、材料物理、地球物理、化学物理……等许多新的边缘交叉科学。当今越来越多的人都已认识到:自然科学和工程技术的各个领域,都有必要从物理学中吸取养料,并把它作为本学科的理论基础之一。在高科技发展的今天,不懂得物理学,就难以成为自然科学、工程技术乃至医学等方面的优秀专家,即使是第一线的操作和管理人员,不懂物理学,也难以适应新技术发展的需要。

初学物理课的专科学生,在某些方面面临着比高年级学生更艰难的任务。他们不仅要学习物理学的框架、概念、思路和方法,了解物理原理在工程技术上的应用途径,还面临着在学习方法上由中学向大学过渡的问题。但是,物理课作为工程专科各专业的一门基础理论课程,并

不能包含物理学的全部内容。本篇作为导论,将首先简要介绍一下物理世界的概貌,目的是使初学者在学习之初,就对物理学有一个较为完整的认识,并知道今后所学习的每一部分内容在整个物理框架中所处的地位和作用。

物理学对数学的依赖和相互促进也是很明显的,数学为物理学提供了定量表示和预见的能力,并且对自然界的描述优美而简明。本书将用到简单的矢量和微积分运算,熟练地掌握这些必要的数学工具是很关键的。不过,尽管物理规律最终要用数学方程来表述,但在方程的背后却是物理概念之间的联系;在物理学研究中,数学工具始终是紧密结合物理概念的需要而引入的,决不是相反。在导论中,我们将侧重从物理角度来讨论这些数学知识。另一方面,物理学又是建立在对物理现象观测的基础上的一门科学,因此,当开始学习物理时,还必须熟悉各种测量单位和所采用的单位制。在这一篇中,我们也将较系统地介绍中华人民共和国法定计量单位的有关内容,为后面的学习作好充分的准备。

物理之窗

20 世纪中国重大科技成果纵览

1. 计算机科学与技术

1958 年,中国科学院计算技术研究所制成了我国第一台电子计算机——“八一”型通用电子计算机。

2. 激光技术

1961 年 9 月,我国科学家王之江、邓锡铭等研制成功我国第一台激光器。

3. 断手再植

1963 年,上海第六人民医院陈中伟、钱允庆等医师成功接活了王存柏被冲床切断的右手,这是世界医学史上第一例断手再植手术。

4. 核技术

1964 年 10 月 16 日,我国爆炸了第 1 颗原子弹;1967 年 6 月 17 日,爆炸了第 1 颗氢弹;1969 年 9 月 23 日,又成功进行了首次地下核试验;1991 年 12 月 15 日,我国自行设计、制造的第一座核电站——秦山核电站并网发电成功。

5. 生物工程

1965 年 9 月 17 日,中国科学家在世界上首次用人工方法合成了结晶牛胰岛素,标志着人类在探索生命奥秘的征途上迈开了关键性的一步;20 世纪 90 年代,又在基因研究方面获得了重大突破;1990 年,西北农林科技大学张涌教授获得世界第一批胚胎克隆山羊,2000 年 6 月,又获得了世界第一例体细胞克隆山羊,在动物克隆技术领域处于世界领先水平。

6. 空间技术

1970年4月24日,我国第1颗人造地球卫星——东方红1号发射成功;1975年1月29日,第1颗返回式遥感卫星试验成功;1999年11月20日,第1艘试验飞船“神舟号”发射升空并在预定区域成功着陆;2000年1月10日,第1艘正样无人宇宙飞船——神舟2号(见图01)升空,在太空遨游7昼夜,环球运行108圈后返回。世界航天科技从此进入了俄、美、中“三国时代”。

7. 超导研究

1987年,中科院赵忠贤、陈立泉研究出转变温度为100K的超导体;1989年又合成了132K的超导材料,居国际领先水平。

8. 高能物理

1988年10月16日,北京正负电子对撞机首次对撞成功,标志着我国高能物理研究迈上了新台阶,并取得了重大突破(见图02)。

9. 科学考察

1998年,中国科学家第一次徒步穿越雅鲁藏布大峡谷,进行了50d的探险考察,发现雅鲁藏布大峡谷全长504.6 km,最深处6.009 km,为世界第一大峡谷。

10. 纳米技术

20世纪90年代以来,我国在纳米技术研究上取得了重大进展,已能自如地操纵原子,且拉制成功了超塑性薄铜片,制备了纳米水……,与先进国家并驾齐驱。

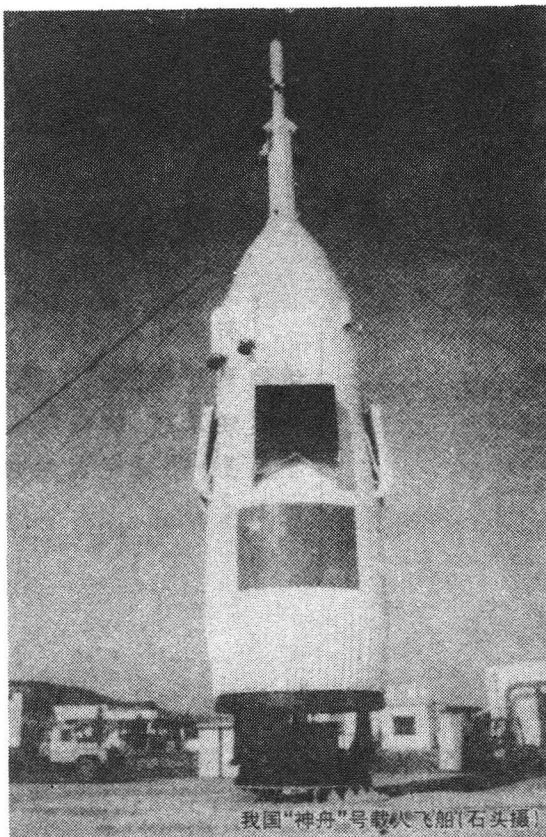


图01 神舟号飞船

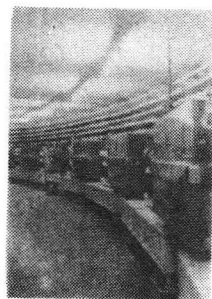


图02 正负电子对撞机的电子束流输运线