



高等院校通识教育系列教材

宇宙新概念

第三版

赵江南 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

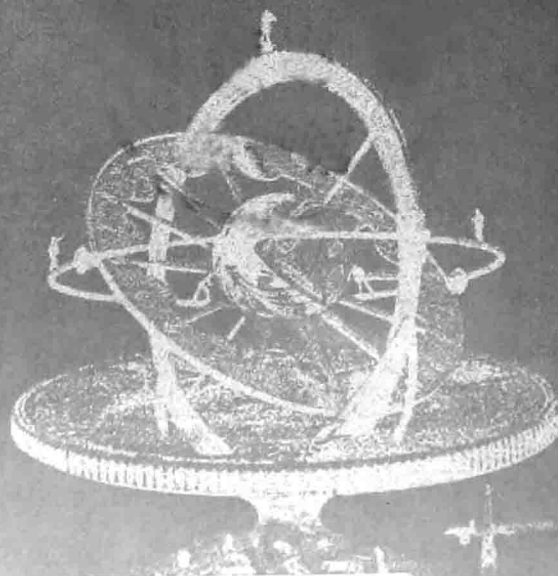


高等院校通识教育系列教材

宇宙新概念

第三版

赵江南 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

宇宙新概念/赵江南编著. —3 版. —武汉: 武汉大学出版社, 2014. 7
ISBN 978-7-307-13285-6

I. 宇… II. 赵… III. 宇宙学 IV. P159

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 092280 号

责任编辑:顾素萍 责任校对:汪欣怡 版式设计:马 佳

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 武汉中远印务有限公司

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 18.25 字数: 419 千字 插页: 2

版次: 2003 年 5 月第 1 版 2006 年 6 月第 2 版
2014 年 7 月第 3 版 2014 年 7 月第 3 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-13285-6 定价: 32.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

主任委员：顾海良
刘经南

委 员：陶德麟
韩德培
马克昌
谭崇台
刘纲纪
朱 雷
冯天瑜
彭斐章
郭齐勇
陆耀东
杨弘远
查全性
宁津生

总 序

进入新世纪，中国高等教育发展形成的共识之一，就是要着力教育创新。教育创新共识的形成，是以对时代发展的新特点的理解为基础的，以对当今世界和我国教育发展的新趋势的分析为背景的，以实现中华民族的伟大复兴和社会主义教育事业发展的历史任务为目标的，它深刻地反映了高等教育确立“以人为本”新理念的必然要求。

教育创新的首要之义就在于，教育要与经济社会发展的实际相结合，要与我国社会主义现代化建设对各类高层次人才培养的需要相适应，努力造就具有创造精神和实践能力的全面发展的人才。为了达到教育创新的这些要求，高等教育不仅要实行教育理论和理念的创新，而且还要深化教育教学改革，着力提高教育教学质量和水平。特别要注重学科与专业设置的调整和完善，形成有利于先进科学技术发展和提高国民经济发展水平的学科专业和教学内容；要注重人才培养结构的优化，形成既能适应现代化建设对各级各类高层次人才的需求，又能体现和反映高校优秀的办学特色、办学风格和办学传统的人才培养模式。教育教学创新的这些措施，必然提出怎样对传统意义上的以“学科”、“专业”为主体的教育教学结构进行整合，并使之与现代社会发展要求相适应的“通识”教育相兼容和相结合的重大问题。

高等教育人才培养模式中的“专”、“通”关系问题，并不是现在才提出来的。至于与“专业”教育相对应的“通识”教育的思想，出现得更早些。在亚里士多德那里，就有与“自由”教育相联系的“通识”教育的思想。这里所讲的“通识”教育，通常是指对学生普遍进行的共通的文化教育，使学生具有一定广度的知识和技能，使学生的人格与学识、理智与情感、身体与心理等各方面得到自由、和谐和全面的发展。

世界高等教育的发展曾经经历过时以“通识”教育为主、时以“专业”教育为主，或者两者并举、并立的发展时期。从高等教育发展历史来看，早期的高等教育似倚重于“通识”教育。随着经济、科技和社会分工的不断发展和进步，高等教育也相应地细分为不同学科、专业，分别培养不同领域的专业人才，“专业”教育的比重不断增大。20世纪中叶以来，经济的迅猛发展、科技的飞速进步、知识的不断交叉融合，使学科之间更新频率加快，高度分化和高度综合并存，“专才”与“通识”的需求同在。但是在总体上，“通识”似更多地受到重视。这是因为，新时代高等教育培养的人才，应该具有很强的应变能力和适应能力，应该具有更为宽厚的知识基础和相当广博的知识层面，应该具有更强的信息获取能力和多方面的交流能力。显然，仅仅依靠知识领域过窄的专业教育，是难以培养出这样的人才的。

我国大学本科教育专业一度划分过细，学生知识结构单一，素质教育薄弱，人才的社会适应能力多有不足。随着国家经济体制改革的深入、产业结构调整步伐的加快和国

民经济的飞速发展，国家和社会对人才需求的类型和结构发生了急剧变化，对人才的规格和质量的要求也不断提高，划分过细的专业教育易于造成人才供给的结构性短缺。经济全球化发展和我国加入 WTO，对我国高等教育人才培养提出了更为严峻的课题，继续走划分过窄、过细的专业教育之路，就可能出现一方面人才短缺、另一方面就业困难的严峻局面，将严重阻碍我国经济社会的发展，也将使我国高等教育陷入困境。我国教育界的有识之士和国家教育主管部门，已经深切地认识到这种严峻的形势。教育部前几年就在多方征求意见的基础上，推出了经大幅度修订的新的本科专业目录，使本科专业种类调整得更为宽泛些。各高等学校也在进一步加大教学改革力度，研究和修订教学计划，改革教学内容，努力使专业壁垒渐趋弱化，基础知识教育得到强化。这些都将有利于学生拓宽知识面，涉猎不同学科和专业领域，增强适应能力，全面提高综合素质。

在高等教育“通”、“专”关系的处理上，教育创新提供了解决问题的根本方法。通过教育创新，一方面能构筑高水平的通识教育的平台；另一方面也能增强专业教育的适应性，目的就是做好“因材施教”，实现“学以致用”。在这一过程中，除了要解决好选人制度即招生制度创新和教师队伍建设创新外，还要注重教学内容、教学方式和方法，以及教材建设等方面的创新。

近些年来，武汉大学出版社经过精心组织与策划，奉献给广大读者的这套通识教育系列教材，力图向大学生展示不同学科领域的普遍知识及新成果、新趋势或新信息，为大学生提供感受和理解不同学术领域和文化层面的基本知识、思想精髓、研究方法和理论体系，为大学生日后的长远学习提供广阔的视野。我们殷切地希望能有更多更好的通识教材面世，不仅要授学生以知识、强学生之能力，更要树学生之崇高理想、育学生之创新精神、立学生之民族振兴志向！

顾海良，原武汉大学校长

第三版前言

第二版推出已经 8 年多了，与本书同名的通识课程自 1995 年在武汉大学开设以来，影响力越来越大，得到了学校和学生的充分肯定，教学效果非常好，近 20 年来选修本课程的学生人数已超过 28 000 人，作为理工类选修课取得这样的成绩实属不易。2010 年由武汉大学学生会主办的第五届“尊师爱学”——我最喜爱的十佳优秀教师活动，作者被评选为武汉大学十佳优秀教师。此次评选活动完全由学生投票选举产生，代表了学生对教师的最高评价。

2013 年作者获得了武汉大学杰出教育贡献校长奖，颁奖词写道：他在三十年的教学生涯中，勤勤恳恳，教书育人，近三年的教学工作量约为 1 800 学时。无论是通识课还是专业课，强调学生参与互动和自主学习，授课达到很好的效果。十多年来他独自一人开设的天文学课程“宇宙新概念”成为武汉大学理工科类通识课最受学生欢迎的课程，也是武汉大学最有影响力的公共课程之一。

2014 年 5 月，作者所授课程“宇宙新概念”入选教育部大学素质教育精品通选课。

随着时间的推移，书本中有些内容需要作适当的修改，一些新的内容和研究成果要作相应添加，学生教学用书的需求也是本书再版的原因。

根据读者和同学们的反馈意见，他们对宇宙探索的方方面面和中国的相关研究非常感兴趣，故在修订原有章节内容基础上，第三版比第二版增加了两章，即《第 9 章 宇宙探索》和《第 10 章 我国天文学和空间研究概况》，特别是第 10 章，对中国的天文学和空间研究作了适当的介绍，可激发学生的爱国热情。

书中若有不当之处，敬请批评指正。

作 者

2014 年 6 月

再 版 序

为了进一步深化教育教学改革，拓宽学生的知识基础，培养全面发展的高素质人才，武汉大学于 2004 年 2 月决定在原公共选修课程基础上，规划和设计通识教育指导选修课程。

21 世纪高等教育所培养的人才，不仅应受到专业的学术训练，而且要形成和谐健全的人格，这是和谐社会的建立所面临的很重要的任务。大学教育应给予学生充分的选择机会，让他们接触不同的事物，使他们能对不同的学科、文化和不同的思维模式保持高度的兴趣和尊重，同时增进对自身、社会、自然及其相互关系的了解，使其能对自己未来的生活做出明智的选择。

通识教育指导选修课的目的在于向学生展示不同学科领域的各门知识及在这些领域内探索的形式，引导学生获得多种不同分析方法，了解这些方法如何运用以及它们的价值所在，强调的是能力、方法和性情的培养。

通识教育指导选修课的设置力图向学生介绍大学本科教育所不可或缺的知识领域中获得知识的主要方法，让学生剖析不同学术领域和文化的研究层面、研究方法和思想体系，从而为资质、能力和经验各异的大学生提供日后长远学习和工作所必需的方法和眼界。

通识课教学内容重在启发思想，掌握方法，培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力，而非灌输知识的细节。课程内容应尽可能地反映学科新成果、新趋势、新信息。

值得一提的是，通识课程所探讨的问题应适合全体学生学习，而不必预先修习系统的专业知识。

2004 年 5 月，“宇宙新概念”课程被正式确定为武汉大学通识教育指导选修课程。

根据《武汉大学通识教育指导选修课程实施意见》的规定，将对第一版《宇宙新概念》的内容作必要的修正、补充：增加了最近几年天文学研究最新进展的内容，新增了第 7 章地外生命，将霍金的宇宙观单独作为第 8 章来讨论，并对天文学发展史作了一个简单的附录，以便读者对天文学发展和进步的过程一目了然。

“宇宙新概念”课程网站已经制作完毕，有兴趣的读者可进入武汉大学教务部通识课程或精品课程网站查看。

在本书的再版过程中，得到武汉大学教务部和武汉大学出版社的大力支持与帮助，得到金燕老师的鼎力相助，完成了大量资料收集与整理工作。另外，本书再版过程中还参考了国内外有关著作和论文，吸收了其中的部分观点，在此一并表示衷心的感谢。

作 者

2006 年 4 月

前言

宇宙是如何起源的，又是如何演化、发展、灭亡的？自古以来一直是人类最感兴趣和不断探索的问题。关于宇宙的问题，历史上曾出现过各种神话故事，但作为一门科学，应该建立在严格的理论和实验基础上。宇宙学无论在科学上还是在哲学上都是一个探索中的问题，并没有现成的确切答案，所以科学的态度对认识宇宙尤为重要。

从柏拉图、亚里士多德的地心说，到哥白尼的日心说，从牛顿的万有引力理论到爱因斯坦的广义相对论，人类就是这样一步一步地来认识自然规律的。

人类是从认识太阳、月亮、太阳系中的行星开始认识宇宙的。很长一段时间，宇宙被认为是空间上无边无际、时间上无头无尾的物质的总和。随着科学技术的发展，人类已经观察到宇宙的边缘，这是距地球约 100 多亿光年的类星体。一些天文观测事实和理论研究使人们相信宇宙产生于爆炸的一瞬间，所以宇宙的概念发生了根本的变化。不仅如此，人们还能了解距地球十分遥远的恒星的物理状态。人们的足迹开始涉及其他星球。天文学的研究需要人们认识自然的最新知识，需要最先进的技术，而且天文学永远是人类认识自然的最前沿的科学。但是天文学又是最古老的科学，它几乎是伴随人类同时产生的，现代天体和宇宙所有的新概念都经历了漫长的发展，所以现代天文学是建立在人类不断追求和摸索的基础之上的。

远古时代关于宇宙的神话传说可称为人类认识宇宙的启蒙时期。人类的祖先发展到从事农牧生产的时候，就逐渐意识到日月运行、昼夜交替、寒来暑往这些天象变化与他们的生活有着极为密切的联系。历法的制定就是因为生产的需要，这是人类研究宇宙的第一章，是认识宇宙的开端。与此同时，他们对变化多端又遵循规律的天象赞叹、恐惧、信服和崇敬，于是产生了对控制自然力量的崇拜，从而有了神话和宗教的出现。世界各民族都有它自己的关于开创宇宙的神话，在这些神话中都能找到主宰宇宙各种天象的神。随着生产的发展、社会的变革、科学的不断进步，人类征服自然、支配自然的能力日益增长，人类放弃了宇宙是由神来支配的想法，开始了试图用科学的方法来解释宇宙的尝试……

天文学是自然科学中最基本的科学。天文学虽然是一门最古老的科学，但又永远是最前沿的科学。所有的学科中，天文学与哲学的关系最为密切，两者互相依存、互相促进：一方面，哲学是一门研究世界观的学问，世界观就是宇宙观，它在阐明关于宇宙的最根本观点——宇宙是精神的还是物质的，宇宙是静止的还是运动的时，离不开天文学为之提供的科学证据；另一方面，天文学在研究它的一些重大理论问题时，离不开哲学的指导，要精确地描绘宇宙、宇宙的发展、人类的发展，以及这种发展在人们头脑中的反映，就必须用辩证唯物主义的方法，使我们的理论不偏离科学的轨道。作为一门基础

科学,天文学的任何进步都对人类社会有重要的积极意义。

现代天文学的研究还可以启发人们去思考、探索与人类的现在和将来息息相关的各种应用技术。如对太阳发光及能量来源机制的研究,获得了核聚变理论。宇宙中还有更多比聚变能量更高的天体存在,这就向人们提出了存在新的更有效的能源转换规律的可能性。这对地球上深受能源问题困扰的人类,难道不是一个福音吗?目前,天文学给出的更多的是问题,而非答案。如,黑洞真的存在吗?宇宙中除地球以外其他地方有生命吗?有比人类更高级的生命吗?还有新的物质、能量形式存在吗?一旦这些问题得到解决,必将引起自然科学的重大变革。

我们知道,文化素质教育是大学生素质教育的重要内容之一,提高大学生文化素质不仅是高等学校人才培养的基本要求,同时也是现阶段提高我国高等教育竞争力的迫切需要。素质教育不仅包括人文科学、艺术类的教育,而且包括自然科学技术的方方面面。

对非天文学专业的学生进行天文学的教学,在国外大学比较普遍,在国内大学却并不多见,有的学校在自然辩证法的教学中加进了天文学的内容,但往往未能反映最新的研究成果,且内容不够系统。

据我们现在所掌握的资料,武汉大学把天文学作为素质教育的内容在国内大学教学中尚属首次。“宇宙新概念”正是武汉大学每学期向全校所有本科生开设的天文学方面的公共选修课。1995年以来,选修过该课程的学生已达6500人以上,是理工类公共选修课中最受欢迎的课程之一。1999年该课程被首批列入武汉大学重点建设课程名录。

本课程的学习,对学生正确理解马克思主义哲学的核心,掌握自然辩证法的本质有极其重要的参考作用。学习这门课程,对提高学生的科学文化素质,提高辨别是非的能力,反对邪教,都有着极为重要的意义。

“宇宙新概念”作为一门公共选修课,总的授课时间为36学时,因此它不可能涉及深奥的数学运算,但对每个概念及其物理意义,需用最简洁易懂的语言加以概括和总结,这样才能做到形象生动。作为一门全校性公共选修课,面对文、理、工、医各年级学生,对其内容的选取必须考虑到授课对象的特点。天文学的范围太广了,我们当然不可能深入地讲解天文学的各个细节,而且这也不符合公共课的目的。我们希望以天体物理为主要内容,系统地介绍天文学的主要概念。20世纪60年代天文学的四大发现改变了人类对宇宙的看法,也有必要介绍这些重要发现。刚刚闭幕的第24届国际数学家大会,请到了科学伟人、天体物理学家史蒂芬·霍金作专题报告,表明了中国政府对天文学的关注和重视。霍金教授被认为是20世纪仅次于爱因斯坦的杰出科学家,他关于宇宙起源和演化的理论有必要向学生作一个简单介绍。

不断收集整理天文学研究的最新成果,不断补充和更新教学内容,不断采用先进的教学手段和方法,才能使这门课的教学更生动,效果更显著,从而达到提高大学生文化素质的目的。对复合型人才来说,必须具备广阔的知识面,而不应局限于某个狭窄的专业里。

基于上述原因,我们在试用7年的自编教材——《宇宙新概念》、《天文学导论》的基础上,经过进一步修订、补充,编写成一部新的公共选修课教材——《宇宙新概

念》公开出版。

在大学生中开设天文学方面的课程，本身就是一件开创性的工作，需多方协作才能不断完善。空间探测技术的发展，人们对宇宙的认识越来越深入，几乎每天都有新的观测结果、新的观点看法问世。网上、报纸杂志上也不乏这方面的最新报道。如何及时收集这些信息，分门别类、归纳总结，并将这些成果融合到教学中去，其工作量是非常巨大的。然而只有做到了这一点，才能真正体现“宇宙新概念”这门课中的“新”字。

作者 1983 年毕业于南京大学天文系天体物理专业，现为武汉大学空间物理专业在职博士，武汉大学电子信息学院副教授，受过天文学方面系统而良好的教育，基础扎实，不仅使这门课取得了良好的教学效果，而且使教材的编写相得益彰。

如果有校内的同事、兄弟院校同仁曾做过这方面的工作，或有兴趣做这项工作，我们不妨多多联系，共同提高。

书中若有不当之处，欢迎批评指正。

作 者

2003 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 天文学研究的对象、方法和意义	1
1.1.1 天文学研究的对象	1
1.1.2 天文学研究的方法	1
1.1.3 天文学三大分支	2
1.1.4 天文学研究的意义	2
1.2 现代天文学的起源及发展简述	3
1.2.1 地心说	3
1.2.2 日心说	5
1.2.3 近代天文学	6
1.2.4 现代天文学	6
1.3 时间和历法	8
1.3.1 天球	8
1.3.2 节气	9
1.3.3 时间	11
1.3.4 历法	14
1.3.5 干支纪时和属相	15
1.3.6 周	16
1.4 天文学和哲学关系略论	17
1.4.1 天文学在哲学进步中的作用	17
1.4.2 哲学对天文学的指导作用	18
1.5 天文望远镜	19
1.5.1 天体的辐射	19
1.5.2 光学望远镜	20
1.5.3 光学望远镜发展简史	20
1.5.4 射电望远镜	22
1.5.5 射电望远镜发展简史	23
思考题	25
第 2 章 太阳系	26
2.1 太阳	26

2.1.1	太阳的基本参数	26
2.1.2	太阳大气	27
2.1.3	日球	29
2.1.4	太阳的能量来源	30
2.1.5	太阳中微子之谜	31
2.2	地球和月球	33
2.2.1	地球的基本参数	33
2.2.2	地球大气	34
2.2.3	地球的自转、公转和地轴进动	34
2.2.4	月球的基本参数	34
2.2.5	盈亏现象	35
2.2.6	月球的表面状况	35
2.2.7	日、月、地天文现象	35
2.2.8	日地空间	38
2.3	太阳系的其他天体	42
2.3.1	八大行星	42
2.3.2	太阳系的小天体	45
2.3.3	柯伊伯带和冥王星	51
2.3.4	太阳系有其他大行星吗?	52
2.4	太阳系的起源和演化	52
2.4.1	太阳系起源的研究简史	53
2.4.2	太阳系起源的现代观点	55
2.4.3	太阳系的演化	56
2.4.4	太阳系起源和演化的哲学思想	57
	思考题	58
第3章	恒星	59
3.1	恒星参数的测定	60
3.1.1	恒星的距离	60
3.1.2	恒星的亮度和视星等	62
3.1.3	恒星的光度和绝对星等	63
3.1.4	恒星的大小、质量和密度	63
3.2	恒星光谱及其相关性质	65
3.2.1	光谱概念的物理基础	65
3.2.2	恒星光谱与氢原子谱线	67
3.2.3	光谱在恒星研究中的应用	68
3.2.4	恒星的光谱、颜色和表面温度之间的关系	69
3.2.5	恒星的赫罗图	70

3.3	变星和新星	71
3.3.1	造父变星	71
3.3.2	新星和超新星	72
3.4	恒星集团	73
3.4.1	双星	73
3.4.2	聚星	75
3.4.3	星团	75
3.4.4	星协	76
3.5	星云和星际物质	76
3.5.1	星云	76
3.5.2	星际物质	77
3.6	恒星的起源和演化	77
3.6.1	恒星的内部结构	78
3.6.2	恒星的年龄	79
3.6.3	引力收缩阶段	79
3.6.4	主星序阶段	80
3.6.5	红巨星阶段	80
3.6.6	爆发阶段	81
3.6.7	临终阶段	81
3.6.8	小结	82
3.7	恒星起源与演化中的哲学思想	84
3.7.1	新陈代谢是恒星演化的基本规律	84
3.7.2	吸引与排斥的对立统一是恒星演化的动力	85
3.7.3	质量互变是恒星演化的主要规律	86
	思考题	87

第4章	星系	88
4.1	银河系	89
4.1.1	银河系的结构	89
4.1.2	银河系的运动	90
4.1.3	星族	91
4.1.4	银河系中心是巨大黑洞	91
4.1.5	银河系经典理论与起源学说简介	91
4.2	河外星系	92
4.2.1	河外星系的分类	93
4.2.2	星系团	94
4.2.3	银河系附近的三个著名星系	95
4.2.4	多普勒效应和谐线红移	95

4.2.5 河外星系的起源演化简介	96
4.3 正常星系和特殊星系	97
4.3.1 正常星系	98
4.3.2 特殊星系	99
4.3.3 类星体	99
4.3.4 哈勃常数	102
4.3.5 类星体红移的可能机制和能量来源	103
4.3.6 类星体研究的最新成果	104
思考题	105
第5章 致密天体	106
5.1 白矮星和黑矮星	106
5.1.1 白矮星	106
5.1.2 黑矮星	108
5.2 中子星和脉冲星	108
5.2.1 脉冲星	108
5.2.2 中子星	109
5.2.3 脉冲双星和引力波探测	112
5.3 黑洞和白洞	113
5.3.1 引力坍缩与黑洞	113
5.3.2 黑洞的性质	116
5.3.3 寻找黑洞	119
5.3.4 天鹅座 X-1 的特征	120
5.3.5 黑洞研究的最新成果	121
5.3.6 白洞	123
5.3.7 白洞的性质	124
5.4 虫洞和时空隧道	125
5.4.1 虫洞	125
5.4.2 时空隧道	126
思考题	127
第6章 宇宙论	128
6.1 两种不同的时空观	128
6.1.1 牛顿时空观	128
6.1.2 相对论时空观	130
6.2 3K 宇宙微波背景辐射	134
6.2.1 消除不掉的噪声	134
6.2.2 宇宙起源的大爆炸理论	135

6.2.3	背景辐射的确认	138
6.2.4	背景辐射的均匀性	140
6.3	宇宙的形状和年龄	141
6.3.1	宇宙的形状	142
6.3.2	宇宙的年龄	143
6.4	宇宙学的其他模型	144
6.4.1	稳恒态模型	145
6.4.2	疲劳光宇宙论	146
6.4.3	阿普天体	146
6.4.4	星系和反星系	146
6.4.5	收缩的宇宙	147
6.4.6	小结	148
6.5	宇宙早期的暴胀模型	148
6.5.1	大爆炸理论的缺陷	148
6.5.2	大统一理论	150
6.5.3	暴胀宇宙模型	151
6.6	宇宙中的其他问题	153
6.6.1	下落不明的质量和暗物质	153
6.6.2	宇宙中的暗能量和宇宙的加速膨胀	156
6.6.3	宇宙线及其起源	157
6.6.4	化学元素的产生	159
6.6.5	宇宙中的常数	161
6.6.6	引力波	161
6.6.7	人类面临的挑战	164
6.7	宇宙新奇模型	165
6.7.1	大挤压理论	165
6.7.2	平行宇宙	165
6.7.3	无限宇宙	168
6.7.4	气泡宇宙	169
6.7.5	数学宇宙	169
6.7.6	婴儿宇宙	169
6.8	宇宙中的哲学思想	170
6.8.1	宇宙起源中的辩证法	170
6.8.2	宇宙演化中的辩证法	171
	思考题	173
第7章	地外生命	174
7.1	关于生命	174

7.1.1	生命的定义	174
7.1.2	生命存在的条件	174
7.1.3	生命的起源	175
7.2	地外生命	176
7.2.1	地外生命存在的依据	176
7.2.2	地外生命的探测	177
7.3	地外文明	179
7.3.1	地外文明存在的可能性	179
7.3.2	地外文明的分类	181
7.3.3	地外文明的探索	181
7.3.4	UFO 现象	184
	思考题	185

第 8 章	霍金的宇宙	186
8.1	一个好汉三个帮	187
8.1.1	费因曼 (Richard Feynman)	188
8.1.2	瑞斯 (Martin Rees)	188
8.1.3	哈特尔 (James Hartle)	188
8.1.4	彭罗斯 (Roger Penrose) 和彭罗斯楼梯	188
8.1.5	索恩 (Kip Thorne)	190
8.2	时空奇点	190
8.2.1	奇点定理	190
8.2.2	奇点的消失	191
8.3	黑洞不是那么黑了	191
8.3.1	不确定原理	191
8.3.2	黑洞的辐射	193
8.3.3	黑洞不是那么黑了	194
8.3.4	黑洞的空间弯曲	194
8.3.5	霍金的灰洞理论	195
8.4	时空再认识	195
8.4.1	时间的形态	195
8.4.2	虚时间	197
8.4.3	p -膜理论	197
8.4.4	全息术在高维空间中的应用	198
8.4.5	从膜到泡泡	199
8.4.6	回到从前	200
8.5	量子引力论	201
8.5.1	什么是量子引力	201