

“做中学”科学教育丛书

以大概念理念进行科学教育

Working with Big Ideas of Science Education

[英] 温·哈伦 编著
韦 钰 译

参与专家

德雷克·贝尔，罗莎·德韦斯，休伯特·戴西，吉耶尔莫·费尔南德斯·加尔扎，皮埃尔·莱纳，罗宾·米勒，迈克尔·赖斯，
帕特里夏·罗厄尔，韦钰

科学普及出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

以大概念理念进行科学教育 / (英) 哈伦编著; 韦钰译. —北京: 科学普及出版社, 2016.3

(“做中学”科学教育丛书)

书名原文: *Working with Big Ideas of Science Education*

ISBN 978-7-110-09292-7

I. ①以… II. ①哈… ②韦… III. ①科学教育学—研究 IV. ①G40-05

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第038367号

Copyright © Wynne Harlen 2015

本书中文版由 Wynne Harlen 授权科学普及出版社出版

著作权合同登记号: 01-2015-6900

版权所有 侵权必究

责任编辑 单 亭
英文审校 祝 贺
封面设计 徐威贺
责任校对 王勤杰
责任印制 张建农

科学普及出版社

北京市海淀区中关村南大街16号 邮政编码: 100081

电话: 010-62173865 传真: 010-62179148

<http://www.cspbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京盛通印刷股份有限公司印刷

*

开本: 889mm X 1194mm 1/20 印张: 4 字数: 120千字

2016年3月第1版 2016年3月第1次印刷

ISBN: 978-7-110-09292-7/G · 3910

印数: 1-10000册 定价: 25.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、
脱页者, 本社发行部负责调换)

中文版序

Preface to the Chinese Edition

科学教育无论是对科学的未来还是对世界的未来都是极为重要的。随着科学技术成为现代社会第一生产力，科学态度、科学方法、人文和科学精神成为现代公民基本的素质，几乎所有国家都认识到科学教育关乎国家和民族的兴衰。为了应对 21 世纪社会发展所带来的挑战，各国纷纷进行教育改革，从而给国民提供更高质量的科学和人文教育，培养适应未来社会发展的创新人才。

中国的现代科学教育始于 20 世纪初，在经历了一个多世纪的不断探索和改革之后，我们科学教育的目的已经逐渐由培养社会中少数科技精英转变为面向每一个人，成为培养合格公民的基本要求之一。2006 年，国务院颁布《全民科学素质行动计划纲要（2006—2010—2020 年）》，提出完善基础教育阶段的科学教育，提高学校科学教育质量，是全民科学素质提高的最重要、最基础性的工作。

科学作为一种人类文化通过教育不断传承和发展。关于科学教育，我想科学家是应该承担这份社会责任的。因为在科学家的职业生涯中，不仅仅亲身经历了自然界规律的发现和研究过程，同时也实践了科学的精神和科学的态度和方法。历经探索科学规律、发展技术、在经济和社会发展中实践科学发展观之后，科学家们应当可以告诉人们怎样学习和理解科学和技术，怎样以人文道德观念为指导，正确运用科学技术造福社会和人类。

韦钰院士翻译了《科学教育的原则和大概念》，把来自不同国家的科学家对于科学教育的认识和思考介绍给中国的读者。这些不同国家、不同学科背景的科学家们非常关注科学教育的改革，聚会讨论研究科学教育，让科学素养能够通过教育惠及人类的下一代。他们以科学家的角度对全球的科学教育提出了一些看法——科学教育不应该传授给孩子支离破碎、脱离生活的抽象理论和事实，而是应当慎重选择一些重要的科学观念，用恰当的、生动的教育方法，帮助孩子们建立一个完整的对世界的理

解，初步形成科学态度，掌握科学方法，了解科学精神，构建一个人健康协调发展的基础。由于我们对世界的认识不断深化，由此形成的科学观念也在不断更新，新的观念不仅包含原有观念的内涵，还超越原有观念的适应范围，开辟新的科学发展领域。本书介绍的一些重要科学观念对儿童日常生活接触的范围来说已经足够，一些适应更广阔范围的科学观念可以在他们成长以后再学习。

希望这本书能给我们的科学教育带来启示与借鉴，同时这本书产生的“故事”也将唤起越来越多的科学家从科研工作中走出来，用不同的方式参与到科学教育事业中来，为我们的下一代、为国家民族的发展贡献智慧和力量。

周光召

前言

Preface

2009年，一组从事科学教育的专家举办了一次国际研讨会，其目的是为了确定在科学教育中学生应该接触到的核心概念，以帮助学生能够理解、欣赏和敬畏自然。一些科学教育课程内容过于繁琐和零碎，这是造成学生把科学看成是由一些含义很小的、割裂的事实堆积而成的原因之一。为了解决这个问题，需要认识到为达到科学教育的目的，不能依靠事实和理论堆积成的知识，而需要把科学教育作为趋向于理解核心概念（“大概念”）的进程，这些核心概念又是与学生在校期间和毕业以后的生活相关的。基于在研讨会期间和会后的后续工作，专家组出版了《科学教育的原则和大概念》一书的英文版，并在网上公开发布。此书已被译成了多国语种，并在世界范围获得了广泛的关注和好评。

五年过去了，当年确定的聚焦于发展科学大概念的依据仍然成立，但是出现了不可忽视的、需要增加考虑的新依据。因此，同一组科学教育专家和增加的一位课程改革专家，重新聚集在一起，举办了第二次国际研讨会，以对先前的工作进行回顾和评论。2014年9月举办的研讨会，得到了来自墨西哥教育部 INNOVEC 国际合作项目的可贵支持，也得到了一些参与专家所在工作机构和个人的资助。全体与会专家认真积极地参与了为期两天半的研讨会，以及之后的讨论和对此文稿的完善工作。研讨会上的报告和讨论都有详细的记录。与前一次研讨会相同，与会专家的专业领域和文化背景，会有助于将这项与科学教育有关的成果扩展到世界的不同地区。

真诚地感谢共同工作的专家组成员：德雷克·贝尔，罗莎·德韦斯，休伯特·戴西，吉耶尔莫·费尔南德斯·加尔扎，路易斯·哈维德，皮埃尔·莱纳，罗宾·米勒，迈克尔·赖斯，帕特里夏·罗厄尔，韦钰。也十分感谢记录和参与报告整理的朱丽叶·米勒女士。



本书作者在科学教育国际会议上的合影

中文版序

前言

总论	1
1 引言和依据	3
引言	3
依据	4
挑战	6
个人和社会的得益	7
2 原则	8
应用于科学教育目标的原则	8
应用于选择学习活动的原则	9
应用于学生评测上的原则	10
应用于教师和学校的原则	11
3 重温大概念：范围、大小和确认	12
范围	13
概念的大小	15
大概念的确认	16
4 发展大概念的进程	21
进程的概念	21
对趋向大概念进程的说明	22

目录 CONTENTS

5 用大概念理念进行科学教育	38
为所有学生提供机会	39
课程内容	40
教学法	42
评测	46
对影响的总结	49
6 大概念理念的实施	51
在国家课程标准中大概念的表达	51
教师对大概念的理解	54
对以大概念理念教学的形成性评估	56
总结性评论	58
研讨会人员介绍	60
参考资料	67
译者后记	70

总 论

Executive summary

在义务教育阶段，所有学生都应该对科学有基本的理解，出版本书的目的是为了更新对这个问题的讨论和结论。它是五年前出版的《科学教育的原则和大概念》¹ 一书的后继之作。在那本书中，针对许多学生对科学教育不感兴趣，或是认为与他们的生活无关的现象做出了回答。产生上述问题的部分原因，来自于课程内容过于繁杂，并且呈现为需要学习的一组组割裂的事实。为了解决这个问题，需要认识到为达到科学教育的目的，不能依靠现象和理论堆积起来的知识，而是需要把科学教育作为趋向于理解核心概念的进程，这些核心概念是与学生在学校期间和毕业后的生活相关的。书中提出了一些所有学生都应该理解的大概念，它并不是只针对那些义务教育以后继续学习科学，或是从事以科学为基础职业的学生而准备的。而是对所有的学生，不论性别、文化背景的差异，不论是否残疾，都应该是同样需要的。

《科学教育的原则和大概念》一书出自于2009年的一组科学家和科学教育专家的一次国际研讨会。那次会上确定了一些科学教育的指导原则，以及十个科学知识中的大概念和四个有关科学本身及其应用方面的大概念。《以大概念理念进行科学教育》一书是同一组专家召开的第二次国际研讨会和工作的成果。本书更为详细地叙述了以大概念理念来进行教学的理由，以及这样做对课程内容、教学法、学生评测和教师教育带来的影响。

同以前一样，关于学生和教师对科学所持观点的考虑，仍然是重要的因素。这种重要性，促使我们着手开展了这项工作。现在，还可以提出其他一些因素，它们涉及学生作为生活在创新时代个人的重要利益，也和社会的受益有关。学生个人的受益是由于能够掌握周围世界发生的事件或现象的本质特征，因而能够对影响自己和他人健康与福利的问题做出知情决策。社会因它的成员能够对一些诸如

1 《科学教育的原则和大概念》一书由温·哈伦主编，参与的专家主要有：德雷克·贝尔，罗莎·德韦斯，休伯特·戴西，吉耶尔莫·费尔南德斯·加尔扎，皮埃尔·莱纳，罗宾·米勒，迈克尔·赖斯，帕特里夏·罗厄尔，韦钰；英国科学教育协会2010年出版。中文版由科学普及出版社2011年出版。

能源合理使用和环境保护等问题做出知情决策而受益。

科学教育也需要考虑工作岗位的改变，工作岗位需要将科学与工程、技术、数学（STEM）相联系的能力；迫切需要学生对重大的全球问题进行关注，例如气候变化的负面影响；对学生进行评估所造成的正面和负面影响以及神经科学对理解学习带来的日益增长的贡献。上述所有这些都是发展大概念理念以提供有关科学教育的决策框架过程中，新增加的理由。

虽然在确定科学教育原则时，已经认识到科学教育具有多方面的目的。但是，在本书中，仍然聚焦于对概念的理解，并通过适当的教学方法，将发展科学能力和态度同时嵌入其中，而不把它们作为分开列出的目标。以对进展过程明晰的描述，来表达科学知识的大概念和有关科学本身的大概念，表达从初等教育开始直到中学毕业的过程中如何逐步建立起对核心概念的理解。

本书考虑了当这些原则和大概念应用于教学实践后，对课程内容的选择、教学法、学生评测以及对教师教育的影响。在教学法方面，不仅探究对促进概念的理解是否起到核心的作用，而且要促进基于探究的科学教育也必需确定科学知识的大概念。最后一章讨论了这些原则和大概念在实施时，在教学实践中需要发生的改变，包括如何在科学课程文件中表达概念，发展教师对大概念的理解和评估以大概念理念进行的教学。

1·引言和依据

Introduction and rationale

引言

在《科学教育的原则和大概概念》出版后的五年里，见证了教育在总体上发生的快速变化，特别是科学教育。学生在课堂内外使用着数字技术；新的课程框架已在实施之中；电脑正应用于扩展评测的范围；对于了解学习过程和如何进行学习有了进一步的进展。

更大的改变发生在工作环境的变化上，技术使得某些类型的工作不再被需要，这对教育产生了极其重要的影响。具有中等水平劳动力的工作机遇正在消失，留下的是那些难以被自动化取代的岗位——主要是只能由人来完成的低水平操作和高水平的工作。简单劳动（没有技能要求的劳动）机会正在消亡，留下来大多数职业需要特殊的技能。至少是当前，那些能创造新产品、解决问题和从事复杂任务的人，才有可能避免失业和遭受由此带来的社会后果。全球化带来了机遇，但也面临着挑战，特别是对世界上不如高度发达国家改变得那么迅速的地区，更多的是挑战。

为了在这个现代创新的社会里获得成功，需要具有掌控不同问题实质的能力，能够辨认有意义的模型，提取并应用相关知识。在科学教育中，通过专注于学习科学中影响大的概念以及有关科学活动特点和应用的概念，可以帮助培养所需要的能力和知识。上述认识构成了对2009年确定的大概概念一书进行修订的有力依据。特别是又考虑到，为了实施工作，需要说明在科学教育实践中因此而引起的相应改变。

最后，人类面临着一些全球性的问题，例如气候变化、健康和人口增长。迫切需要年轻一代对相关的科学知识、技术和伦理问题有基本的了解，并具有推理的能力，以使他们做好准备以应对上

述问题。

现在，我们来回顾一下确定大概念重要性的有关依据，并指出与此相关的挑战和得益。

依据

五年前，我们针对科学教育的目标，明确提出了一些核心概念，依据了以下理由：

- 学生对科学持有误解，认为科学是一些事实和理论片段的集合，与他们没有太大关系。针对这种现状，需要将科学概念建构成描述世界如何运作的连贯写照。
- 提供课堂活动的基础，以帮助学生能对他们认为重要的事物进行解释。
- 为从浩瀚的可以用作课程的内容中进行选择，提供基础。
- 为建立在以趋向大概念进程之上的课程框架的研制提供信息。

当前上述依据继续成立，新增加的依据也被加以考虑，并综合在一起。这些新的依据将在后文中详加阐述，这里只做扼要的讨论。这些依据来自三个方面：

- 在科学教育中，基于探究的教学法已被广泛采用。
- 已经认识到，在日常生活环境中科学和其他 STEM 课程¹之间存在着联系。
- 由神经科学提供的，对影响学习过程各种因素的了解，获得了较大的进展。

⇒ 基于探究的科学教育

基于探究的教学法已在全球范围内基本普及。并且在过去十年里，它的效果得到越来越多研究结果的支持。用探究的方法来学习科学，学习者通过自己的思维 and 实际活动来获得对知识的理解，包括

1 STEM 是指科学 (Science)、技术 (Technology)、工程 (Engineering) 和数学 (Mathematics)，定义如下：

科学：经实证检验的有关自然界的概念，它们在产生这些概念的时间长河和过程之中，不断积累而成。

技术：为了服务于人类自身的需要和向往，由人类产生的系统、过程和人工制品。

工程：为解决人类面对的问题，由科学知识支撑、具有设计目标的，系统的和可重复的过程。

数学：对模型和定量关系的系统研究，用数字的形式和形状作为符号来表达数和空间，并通过逻辑推理来证实。

从他们已有的想法开始，通过收集、分析和解释所获得的实证，得到更为有用并且科学的概念，以便能够去解释新的事件和现象。它体现了社会建构主义的学习观点，学生以一种与科学家工作类似的方式进行学习，以此来发展对科学活动特性的热爱。虽然，并不是所有对科学的学习过程都可以或者必须通过探究来进行，但是，在帮助学生获得对知识的理解上，探究起到关键作用。然而，要有效地实施探究，需要较长的课时。为了有效地利用有限和宝贵的学习时间，必须要对课题和活动进行选择。因而，在义务教育阶段，要认真采用基于探究的教学方法，必然需要选择关键的重要概念，这些概念在理解周围的世界时更为有用。

⇒ 与日常生活的联系

科学应用于日常生活的情境，会吸引许多学生的兴趣，但是常常会包含科学和其他一些科目的组合，特别是与工程、技术与数学的组合。工作岗位和科研活动的变化，越来越需要多学科/跨学科的梯队来处理涉及范围广泛的科学问题和有社会意义的问题。真实世界的内容和问题，例如设计可持续发展的能源系统、生物医学工程、在地区和全球存在着冲突的区域里保持生物多样性等，都需要来自多个学科的知识、概念和技能。当政治力量将被动员起来解决一些问题时，所有的公民都需要对这些议题和它们在伦理上的含义有总体的了解。基于这样的理由，需要考虑如何保证所有学生都能参与有关的学习，而不论他们今后是否从事有关的职业。

因此，能够看到不同的科学概念之间的联系，并且理解大概念和大概念是如何发展而成的，是为工作和生活做好准备的重要部分。能够帮助学生将同一课程领域和跨课程领域的概念联系起来的教育，也鼓励创新和革新。通过工程和应用科学知识而发展起来的技术，将会迅速改变职业和交往的方式，我们需要学生能参与其中，而不是面对这种改变束手无策。

⇒ 神经科学和对认知的研究

在对脑活动的研究进展中，一些促进有效学习的因素被迅速地确认了。其中一些研究发现，相互联系的概念，较之没有联系的概念，在遇到新情况时更容易被运用。这个发现支持了要围绕少数大概念来进行教学，用这些大概念能够使我们了解周围的世界以及我们在其中的经验，而不应该去学习一些不相联系的知识点。建立联系和确认模型，可以使学习者在尝试认识新的情况时辨认出有价值的模式。脑图像的研究还揭示：在掌握新的概念时，会伴随着乐意获取知识的情绪反应。对镜像神经元的

研究也支持了小组学习以及包含有观察比自己更有经验他人工作的学习形式。虽然，有时对神经科学在教育上的贡献有过度夸大和不实之处，但是，可以预见，在未来，来自有科学基础的研究贡献会越来越多，而且会在课堂中找到直接的应用，不仅是对科学教育，对其他学科的学习也是这样。

挑战

在强调应该集中学习一些大概念的同时，也应该认识到近年来在改革中带来的一些挑战，或者说是一些障碍。它们是在为了使 学生能够有机会真正获得对科学的理解而实施的教育改革中出现的。两个关键的挑战是学生的评测和教师的教育。

⇒ 学生的评测

在许多国家里，不断在增加测试，而且使用测试结果来设置教师 and 学校的指标，错误地认为这样做可以改善学习。通常在测试和考试中提供的是一些没有联系的问答或问题，这样做通常是在鼓励进行不连续的知识点的教学。如果趋向大概念的教学进展能够得到有力的支持和评测，那么有关学生能力的数据的产出、收集和使用方式，必须发生根本的改变。不做这样的改变，评测对教什么和怎样教的影响将仍然会被限制，甚至会扼杀学生发展关键能力和掌握知识的努力。

⇒ 教师教育

当教师在做课堂教学计划时，考虑到如何将每节课的目标嵌入到一个更为有用的、较大范围的概念模型里去，这是很重要的。这个更为有用的概念可以帮助学生理解较大范围内的有关事件和现象。在思想上具有对发展总方向的考虑，就会建构出教师在学生的活动、提问和交谈中要观察和寻找的内容；能够帮助他们确定对于学生的反馈，以及帮助他们通过形成性评测来修改自己的教学，以支持学生进一步的学习活动。这对于需要教授所有课程的小学教师来说特别具有挑战性。对某些中学教师来说，如果只深入学习过一门或两门课程，现在要进行所有科学领域的教学，也同样具有挑战性。许多教师自己 在学校接受科学教育时，缺少对科学活动的参与和培训大概念的机会。如果希望教师具备帮

助学生达到理解概念目标的能力，教师教育应该为教师提供应有的经验。

个人和社会的得益

如果我们能够面对上述挑战，将会给学生个人和社会都带来非常好的效益。对学生来说，会从任何精心设计的學習项目中获得益处。在科学上，学生会因为能了解客观世界的含义而感到欣慰，同时也认识到喜爱科学活动和赞赏科学对我们生活的作用。加之，通过掌握一些可以在相当大的范围内得到广泛应用的、很有效的概念，因而培养了学生即使在缺乏细节知识时，也能掌握事件或现象本质的能力。对周围世界面貌的理解，有助于个人在影响自身健康、环境以及生涯选择等问题上做出自己的抉择。提出问题、寻求实证和解答、与他人分享观点，都有利于建立自信和尊重自己与他人。此外，能够成功地在不同的情境下，辨认出模型，并能在模型之间建立联系，会给学生在课内和课外的学习带来重要的学习动力。

由于年轻人能够获得对关键概念的理解，从而使他们在学生期间和以后的生活中做出明智的决策，例如对他们的饮食、身体锻炼、能源使用和环境保护等方面做出的正确决策，社会将因此而受益。同样，这也会影响到他们的日常生活，这对他们和其他人的未来具有长远意义，因为人类活动对环境会产生长期的影响。只有理解科学是如何应用到生活的许多方面，才能展现出科学的重要性，并且认识到必须关注科学，确保科学知识被正确地应用。学生需要了解现今和历史科学如何应用在工程和技术上，以及可能对社会产生的正面和负面影响。在财富、就业、健康和教育诸多方面，世界存在着诸多的不平等，在理解和处理导致上述问题产生的有关议题上，科学教育具有独特的作用。

2·原则

Principles

与科学教育有关的一些原则蕴含在聚焦于学习科学核心概念的依据之中。在本书的开始，需要明晰地阐明有关的价值取向和准则，它们引导我们做出了有关大概念及其在实践中如何实施的有关决策。当回顾了《科学教育的原则和大概念》一书中所确定的原则以后，我们觉得并不需要对它做任何实质性的改变。但是，重新做更为扼要的阐述和更清晰地指明其在科学教育实践中的应用，将会对我们有所帮助。

应用于科学教育目标的原则

在义务教育阶段，学校应该通过科学教育项目，系统地发展和保护学习者对世界的好奇心、对科学活动的喜爱以及懂得如何能够阐明自然现象。

科学教育应该为每个学生提供平等的机会，使他们在遇到影响到他们自己和他人利益以及环境问题时，能够参与决策，并采取适当的行动。因此，科学教育的目的为：

- 理解有关科学的大概念，包括科学知识的大概念和有关科学本身及其应用有关的大概念
- 收集和运用实证的能力
- 科学的态度和倾向

基于学生寻求理解周围世界及其含义的与生俱来的意向，科学教育应该促进学习者的好奇心和质疑。应该引入并让学生经历科学探究的活动，这种活动是每个人，包括学生都能够参与的。他们应该得到发现新经验并将新经验与已有的经验建立联系的亲身体验。这种体验，不止会给他们带来欢愉和满足，更让他们领会到，通过主动探究能够增长知识。科学活动的过程和成果，都会唤起正面的情绪反应，激励学生投入进一步的学习。

对于学习者个人，科学教育应该帮助他们增加对知识的理解、推理能力和正确的生活态度，这些会引导他们拥有身心健康和有价值的人生。能够使他们作为个人或群体成员时，做出更为明智的选择来避免受到伤害，例如在浪费能源和其他资源、污染、不好的饮食习惯、缺乏体育锻炼和药物滥用等方面。

通过科学教育，学生应该学习有关自然界中物体、现象、物质和它们之间关系的大概念。在科学教育中，也应该学习有关科学探究、推理和研究的方法以及有关科学、技术、社会和环境之间联系的大概念。虽然本书着重关注的是关于科学知识的大概念（它们源于科学活动）以及有关科学本身的大概念（我们如何看待和运用科学），但是，科学教育的目的还应该包括培养科学能力和科学态度。

应用于选择学习活动的原则

依据现在的研究和对学习是如何产生的理解，学习项目应该显示一个趋向于科学教育目标的清晰进程。趋向于大概念的进程应该来自于对所设课题的研究，并与来自所有背景学生的生活相关。学生的多样性应该有助于全体学生的学习。

学习活动应该让学生具有科学和科学探究的体验，并与当前科学和教育的理念相符。学习活动应该加深对科学概念的理解，同样也需要有其他的目标，例如态度和能力。

学生带入到学校的观念，是他们通过在日常生活中的活动、观察和思考而形成的有关对世界的看法。这些必然是实现科学教育目标——培养对知识的理解、能力和态度的起点。不同背景的学生都应获得机会，通过引发他们的兴趣并参与相关的活动进行学习。

应该告知趋向于目标的进程，包括告知已经知道的有关进程的方向和特点，尤其是在学校教育的

不同阶段，我们期待学生能够知道、理解、操作和推理的内容。

对一些让学生感到没有意义的学习任务，他们会很难从中获得对知识的理解。当他们能够将新的经验和他们已有的知识相联系，并且在好奇心的驱使下解决问题时，他们的学习将更为有效。因而，学习活动应该能使带着真实的问题，接触真实的探究对象。教与学的项目需要有足够的灵活性，以容纳经验的差异，特别是在考虑选择在什么地点来进行探究活动时，要使学生的兴趣和问题可以用来作为趋向共同目标的起点。

学生应该体验到，科学是对知识的理解，而不是已经被证实为正确的理论和事实的堆积。科学知识是对某种自然现象的解释，是得到普遍承认的、对已取得实证的最好解释。科学是人类在包含了创新和想象、精心收集数据和解释数据过程中努力奋斗而取得的成果。

应用于学生评测上的原则

评测在科学教育中起到关键的作用。在任何情况下，评测的最终目的都应该是为了改进学习。

对学生学习过程的形成性评测和对学生学习进度的总结性评测，都应该服务于教育的整体目标。

形成性评测应该是现场教学的一个部分，它的作用在于帮助学生了解学习活动的目的以及判断他们达到目标的程度，以便指导他们更有效地学习。虽然，总结性评测更为关注于检验和告知学生已经学到了什么，但是，在实施中，应该注意要以支持进一步的学习和避免负面影响的方式进行。高权威性的测试经常会产生负面的影响。

因为测试什么和报告什么，就会被设想为它就是反映了需要学习的重要内容。因此很重要，不能将学习内容局限于容易被测试的内容。需要使用许多不同的方法来收集和解释有关学习的实证，以便学生能够显示在设置的全面教学目标上已达到的水平。应该承认，由于各种不可避免的原因（例如：只能仅对成绩进行取样以及其他一些评测方法固有的缺陷），对学习结果的评测总是近似的。

应用于教师和学校的原则

学生学习的项目以及教师职前教育和职业发展，都应该为达到科学教育多个目标所需要采用的教学方法保持一致。

在教学中，为达到所确定目标，学校的科学教育项目应该促进教师之间的合作以及鼓励社区的参与，包括科学家的加入。

在教师的职前和在职教育中，应该认识到，教师作为学习者，需要有符合他们水平的科学活动体验和讨论。课程应该包括提供能动手进行不同类型科学探究的机会，并在探究之后，对实际情景和对在支持理解科学知识的概念和有关科学本身的概念上，教师所起的作用进行反思。

还应该为教师提供合作工作的机会以及与所在社区，特别是与科学家群体合作的机会。面对改善科学教育的挑战，需要教育工作者和科学家合作。教师应该有机会提高他们自己对科学的理解，例如，通过有科学家参与的专业继续教育、参加能相互分享经验的会议和课程。从地区工业界或是社区中举办的科技活动中，教师常常可以获得有关科学应用方面的信息。也可以请高等学校中学习科学的学生或是科学家，提供在线的帮助。也可以请他们到学校来，直接和学生一起活动，用他们的专业知识辅导学生的学习和为教师提供帮助。允许科学群体对改进科学教育做出贡献，同时科学家也可以学习一些教学法，这对改善科学教育都是有效的。

3·重温大概念：范围、大小和确认

Revisiting big ideas: range、size and identification

科学是复杂的。为了掌握这种复杂性，似乎需要一个由概念、理论和原理组成的巨大阵列。那么，我们怎么能期望学生从一开始学习时就能掌握它呢？倾听科学家如何对非专业人士解释世界是如何运转的，从中我们可以找到线索。科学家会确认一些关键的科学概念（通常是很少的一些概念），用以解释某个现象，并去掉一些分散注意力的细节。比如说，物理学家可以只用两个定律（牛顿第二定律和万有引力定律）来解释卫星和太空飞船如何能够维持围绕地球的运动，并让我们能够计算出为保持这些物体在轨道上运动，或者让它们落到地球上所需要的速度。我们并不是在建议将这样一些核心概念直接教给学生，或者是否认建构一些相关的概念涉及将许多来自某些学习经验的较小概念组合在一起。但是，我们确信，如果能确保将这些学习经验和核心概念相联系，就可以为学生提供所需的知识，以便能解释他们观察到的世界。加之，正如先前讨论过的，这种对知识的理解，能够使参与需要科学基础的决策，而这些决策将会影响他们自己和其他人的福祉。

当然，这种潜在的得益是否能够实现取决于对概念的选择。下述两个抉择是关键：

范围——是否应该包括科学态度和对科学所持的观点，以及以不同的提法所表达的技能、实践能力、能力和核心科学概念。

大小——这种大概念应该能阐明多大范围的现象。我们知道概念越大，离开实际现象的距离就越远，它们呈现的形式也就更为抽象。

范围

正如在阐述与目标相关的原则时表述的那样（第 8 页），科学教育关心的并不只是对概念的理解，除了学习能解释世界发生的事件的科学知识以外，还具有其他一些目标，它包括学生在以下一些方面的发展：

- 理解科学的本质；
- 参与科学活动的的能力；
- 科学态度和对科学所持的观点；
- 支持科学和其他学科相联系，特别是与技术、工程和数学的联系。

虽然大家都知道，科学教育可以导致不同的受益，但我们认为在科学教育涉及的各个方面科学知识起到了核心的作用。因此，我们决定集中论述科学知识的大概念和有关科学本身的大概念。培养对知识的理解是所有科学教育活动的共同特点。科学探究能力，或者说实践能力以及科学态度和观点是在参与一些活动中形成的，这些活动的内容包含着对科学知识的理解，否则这样的活动就不能称之为科学活动。虽然我们可以强调对一些有关行为的表述，例如对解释数据应持仔细的态度，或者介绍在做科学调研计划时需要注意什么，指出科学活动可以和一个、也可以和多个科学概念有关，等等，但之所以没有这样做，是因为这样一些行为的发展并不能脱离科学的内容。我们选择现在的做法，并不意味着低估了那些已经指出的态度和能力的价值，而是明确地指出，在发展对概念的理解的同时，应该包含这些部分，而且在原则部分也已做出回答：所有的科学活动都应该在加深对科学概念理解的同时，关注如何达到其他一些可能具有的目标。

⇒ 对科学本质的理解

我们希望学生在了解科学活动过程的同时，也能理解这些概念是如何得出的。也就是说，不止是知道这些概念是什么，也知道这些用于解释周围世界事物的概念是如何得到的。的确，很难想象，将有关科学活动的知识和科学概念的知识相分离。除非我们了解科学概念是如何发展而成的，否则对科学的学习就会变成对许多有关自然界见解的盲目接受，因为有些见解会和常识相反。在一个日益依赖于科学应用的社会里，人们需要懂得对一些见解依据的信息质量如何进行评价，否则可能会感到无助。在科学上，这种评价涉及在检验理论时所使用的收集、分析和解释数据的方法。对生成这些见解基础

的质疑，能使我们拒绝那些基于虚假证据的主张，并辨认出为了支持某些特定的行动，证据会被有选择地使用。在做抉择时，运用科学知识来评价证据是一个关键的因素，例如，关于自然资源利用问题的抉择。

⇒ 参与科学探究的能力

参与科学探究能使学生学习到有关科学本身的概念，并了解概念如何通过科学活动来逐步形成。学生对不知道如何回答的问题寻求答案，或者对他们不理解的事物寻求解释，是这些活动的关键特点。问题可以来自于学生，但是，对所有学生而言，总是可以研究自己提出的问题是现实的。体现教师能力的一个方面，就在于能够引入问题，引入的方法要使学生在确认这些问题时，感到好像是自己在提出问题。对有些问题的回答，可以来自第一手的调查研究工作；有些问题的回答需要来自二手资源的支持。两种情况下都具有重要的特点：需要用实证来检验提出的想法。理解所得到的结果，需要依靠收集到的数据以及如何去解释这些数据。因此，在学习概念时，进行科学探究的能力起到了关键的作用，支持发展大概念的教学法，也必须促进探究能力的发展和对探究的信心。在第 5 章里，我们会再讨论这方面的问题。

⇒ STEM 的内容

之所以提出有关科学、技术、工程和数学（STEM 课程）之间的联系问题，是因为在日常生活中，这些领域常常交织在一起。更确切地说，实际上在日常生活中很多被认为是“科学”的问题，其实都是技术或工程问题。在教育项目中更多地整合 STEM，有利于教学更好地符合工作岗位和研究机构中的实际情况，更能吸引学生的兴趣和参与。认知科学的研究表明：相互有联系的知识要比分离的知识碎片更容易用于新遇到的情况，这支持了整合科目的做法。但是，也有少数对科学和其他课目整合影响的研究指出：在学校阶段，如果对每个领域的知识并没有形成牢固的学习基础便试图去整合，会产生相反的结果。与其尝试以整合的形式去进行 STEM 课程的教学，不如在课程计划中协调有关的命题和课题以将它们联系在一起，则更为有益。

概念的大小

跨领域之间联系的问题，在涉及内容时也同样存在：大概念是多大合适？我们确定的科学知识的大概念，能够对自然界一定范围内的有关现象进行解释和预测。一般说来，用于解释的概念可以有不同的大小。因为，任何对较少现象适用的概念，都会联系到一个适用于数量更多现象的较大概念，以此类推，较大的概念又可以归入一个更大的、更广泛的概念。例如，一种物质溶解于另一种物质之中的现象，如糖溶解在水里，对年幼的儿童来说，糖溶解在水里可以解释为：糖不见了。但是事实是糖仍然存在于水中，这种朴素的想法会很快被接受。然后，可以进展到更大一点的想法，去解释为什么有些物质在水里不能溶解以及除了水改变了颜色，否则我们看不到被溶解的物质。再进一步，溶解的概念需要扩大到其他的液体和固体。还可以用分子水平上的相互作用，将对这个现象的解释和其他的现象相联系。

在理论上，这种将概念连接在一起而形成较大概念的过程，可以一直延续下去，直到归纳成数目很少的几个顶层概念，甚至于可以用一个概念解释所有的事物。这样的一些概念，必然是高度抽象的，并和实际的经验相去甚远，在解释一些经验时，它们不如那些与实际事件和现象联系更为明显的概念有用。这些顶层概念不是通常所说的交叉学科的概念，它不仅是跨越了不同课程学科的边界，而是完全模糊了学科的边界，称其为跨学科的概念更为适当。这类概念包括系统、对称、因果关系、结构与功能以及模式等。

我们决定将大概念放在交叉学科的水平，低于跨学科的顶层概念。之所以这样做，是考虑到学习者和教师的需要。对于大多数学生来说，18岁左右，本科生及其以上学历的学生，更适合讨论跨学科概念。对于中小学生来说，他们以后并不一定从事以科学为基础的职业，学习那些不很普适的、但是和他们的经验联系更为明显的概念看来会更为有用。采用适当水平的大概念，符合科学教育的目的，并同时能保持关注到不同方面的目标和如何最好地去实现这些目标。当然，也可以将这里的大概念，进一步再分成一定数量的较小概念，但是这样做，可能会失去较小概念之间的联系，而不能将它们聚合成一个相关的大概念。

大概念的确认

以发展大概念为目标的科学教育方法，已经被广泛地采纳了，就基本理念而论，确实受到了欢迎。如果说在《科学教育的原则和大概念》中已经发表的概念需要做改变的话，需要改变哪些呢？为此，我们首先回顾了曾经应用于选择这些大概念的标准。我们得到的结论是，这些标准可以继续使用。大概念的选择应该考虑：

- 能够用于解释有关的大范围里的物体、事件和现象，而这些物体、事件和现象是学生在就学期间和毕业以后生活中会遇到的。
- 对学生需要参与决策的问题，提供科学知识的基础，而这些问题会影响学生自己和他人的健康、福祉以及环境，例如能源的使用。
- 能够对人们提出的有关自身和自然的问题做出回答，或是寻求答案，将会给学生带来欢愉和满足。
- 具有文化上的意义，例如对人类存在带来影响的看法——对科学发展史中成就的回顾，从研究自然中获得的激励和了解人类活动对环境的影响。

从对已选择的大概念反馈情况来看，并没有需要做大改动的必要，虽然这样的反馈还只是来自于非正式的同行评议。同时，考虑到这种方法距离在课堂实践和教师教育中能够真正实施，还有一段路要走。当前，需要更多地关注如何在实际中运用大概念来进行教学以及它对课程内容、教学法和学生评测的影响。

因而，即使我们认为可以提出不同的概念选择方案，但是在开始应用阶段就对概念进行变更似乎并不有益。此外，虽然在最近发表的课程框架中，没有以相同的方式来呈现概念，但是十分相似的目标则蕴含在许多国家的课程中。基于这些理由，在回顾所用选择概念的标准和对不同的选择进行评论以后，我们再次确认所选择的 10 个科学知识的大概念和 4 个关于科学本身的大概念，而只在概念表述的措辞上做小的改动。

在下面列出的目录中，给出了这些概念的扼要表述，这些是所有学生在义务教育阶段结束时都应该进行学习的大概念。在第 4 章里，将描述在学习年限里趋向大概念的进程，以给出对大概念更为完整的表述。

⇒ 科学知识的大概念

1 宇宙中所有的物质都是由很小的微粒构成的。

原子是构成所有物质（有生命和无生命的）的基础单元。可以用原子的行为和排列来解释不同物质的特性。化学反应使原子重新排列，以生成新的物质。每个原子都有一个原子核，原子核中包含了中子和质子并被电子围绕。质子和电子携带着相反的电荷，相互吸引，以使原子维系在一起并形成一些化合物。

2 物体可以对一定距离以外的物体产生作用。

所有的物体，不论是否和其他物体直接接触，都可以对其他物体施加影响。在有些情况下，这些影响从施加影响的物体出发，以辐射的形式到达接受影响的物体（例如可见光）。在另外一些情况下，一定距离间产生的作用是用物体之间存在着施加影响的场来解释的，例如磁场、电场和万有引力场。无论物体大小，在所有的物体之间，都普遍存在着相互吸引的万有引力，它使得行星维持在绕太阳旋转的轨道上，并使得地球上的物体都朝向地心下落。

3 改变一个物体的运动状态需要有净力作用于其上。

作用在一个物体上的力本身并不能直接呈现，但是可以从它对物体运动或形状产生的影响来进行检测。如果一个物体并没有移动，那么作用于其上的力是大小相等、方向相反的，相互之间是平衡的。由于万有引力影响着地球上的所有物体，当物体处于静止状态时，总会存在另外一个力对抗万有引力。力不能平衡时，物体会产生运动状态在净力方向上的改变。当处于不是同一直线方向上相反的力，作用在一个物体上时，会使物体旋转或扭曲，这类作用被运用在一些简单的机械上。

4
FOUR

在宇宙中能量的总量总是不变的，但是，在某种事件发生的过程中，能量会从一种储存形式转化成另一种储存形式。

许多过程或事件包含着变化，发生变化需要能量。能量能以不同方式从一个载体或一群载体转换到另外的载体上。在这个过程中，有的能量转变为不易利用的形态。能量既不能产生，也不会消失。由化石类燃料和氧气一起燃烧而释放出来的能量，其中部分变成了不易利用的形态。

5
FIVE

地球的构造和它的大气圈以及在其中发生的过程，影响着地球表面的状况和气候。

来自太阳的辐射加热了地球的表面，并在大气和海洋中产生对流。在地表之下，来自地球内部的热能导致了岩浆的运动。随之，会引起形成地壳的板块移动，形成火山和发生地震。由于岩石的形成和风化，地球的固态表面不断地发生变化。

6
SIX

宇宙中存在着数量极大的星系，我们所在的太阳系只是其中一个星系——银河系中很小的一部分。

太阳、八大行星以及其他一些按一定轨道运转的较小的星体，共同组成了太阳系。用地球围绕太阳的旋转运动和取向，可以解释白昼和黑夜的更替以及四季的形成。银河系由星系、气体和残留物构成。太阳系只是银河系中很小一部分，而银河系又是宇宙中数量极大的星系中的一员。那些星系离我们非常遥远。许多星系中也会包含行星。

7
SEVEN

生物体以细胞为基础构成，并具有一定的生命周期。

所有生物都由一个或多个细胞构成。多细胞生物含有按照不同功能分化而成的细胞。生命的所有基本功能都源于这些构成生命体的细胞内发生的过程。生长是细胞分裂增殖的结果。

8
EIGHT

生物需要能量和物质的供给，为此它们经常需要依赖于其他生物或与其他生物竞争。

食物为生物体提供物质和能量，使其能实现生命的基本功能和生长。绿色植物和有些细菌能够利用太阳能来合成复杂的食物分子。动物依靠消化这些复杂的食物分子来获得能量。动物最终都是依靠绿色植物来获得能量的。在任何生态系统中，都会存在物种之间为获得能量和物质而产生的竞争，因为能量和物质是生存和繁衍后代所必需的。

9
NINE

生物体的遗传信息会一代代地传递下去。

细胞中的遗传信息储存在化学分子 DNA 中。基因决定生物体的发育和结构。在无性繁殖中，后代具有的全部基因都来自于一个母体；在有性繁殖中，基因中的各一半分别来自父方和母方。

10
TEN

生物的多样性、存活和灭绝都是进化的结果。

当今存在的所有的生命体都可以溯源至一个共同的祖先，它是一个简单的单细胞有机体。基于物种内的天然差异，经过无数代的演变，对一定条件具有最好适应能力的一些个体，将有可能被选择而存活，不能有效适应环境变化的物种将会灭绝。

⇒ 关于科学本身的大概念

11
ELEVEN

科学是在究其所以，或是发现自然现象的原因。

科学是在寻求对自然现象的解释和理解。科学研究的方法并非单一，自然界现象的多样性，要求采用不同的方法和仪器来生成和检验科学上的解释。科学上常会运用某个事件发生所必然呈现的因素

来进行解释，并得到观察和实验中的证据所证实。有的情况下，支持性的实证来自于系统性观察中发现的模型相关性。

12
TWELVE

科学上的解释、理论和模型都是在特定的时期内与可获得的实证最为吻合的。

科学理论和模型表达了自然现象变量之间的关系，它们必需和那个时期内能获得的观察结果符合，并能引出可以被检验的预期。任何理论和模型都只在一定时期内有效，并常常会依据新的数据而被修正，即使使用新的数据得到的预期和用以前的数据得到的预期一致，也会被修正。

13
THIRTEEN

将科学研究中得到的知识运用于工程和技术，以创造服务于人类的产品。

科学知识在工程和技术领域的应用已经对人类活动的许多方面产生了显著的影响。技术的进展能进一步促进科学活动，继而增进对自然的了解。在一些人类活动的领域里，技术超前于科学知识的发现；而在另一些领域里，科学发现先于技术。

14
FOURTEEN

科学的运用常常会对伦理、社会、经济和政治产生影响。

科学知识运用于技术会产生许多创新。不管是否希望科学被应用，或发生某个特定的应用，都不是用科学知识能单独解决的问题。基于诸如公正或公平，人类安全以及对人群和环境影响的考虑，做出伦理和道德上的判断是必需的。

4·发展大概念的进程

Progression in developing big ideas

培养对科学大概念的理解是贯穿于正规教育及正规教育之外连续的渐进过程。它始于小的、局部的和特定背景下的概念，这些概念是通过研究特定现象而形成的。渐进过程中包含了归纳式和演绎式的思维。在观察中，对一些模式的关注，会引起提问“发生了什么？”。对这些问题的回答，来自于基于先前经验的假定，经常也会将过去的经验连接到新观察到的情境，从而产生创新性的思维跨越。当学习者用来自一个事件的概念去解释相关的另一些事件时，他们的想法就变得更为有用了，变得可以用来解释几种背景的内容。当某个概念变得不那么依赖于背景内容时，就必然会变得更为抽象。

对每一个学习的个体来说，从最初基于他们先前经验而形成的特定想法，进展到能够解释较大范围有关现象、更为有用的概念，都有一个进展的过程。在进入学校时，学生已经形成了对世界面貌的看法。对学生自有的概念进行的大量研究表明：许多初始的想法并不与科学上的认识一致。对每个学生来说，获得更为科学的概念所经历的途径会不一样，因为它要取决于个人的经验和在进程中如何能得到有效的帮助。但是对进程的描述，即描述随着时间进程概念变化的典型情况，对于研制课程以及为帮助学习和记录学习情况的两种评测来说都是重要的。但首先对教师更为重要。需要让教师了解在不同学习阶段中，学生的学习经验和理解大概念这个总目标之间的联系。

进程的概念

从很小开始，学生就会形成他们自己的一些想法，并带着它们来到学校。当他们毕业离开学校

时，要求他们能够掌握一些大概念。如何描述概念在这期间的进展过程呢？我们找到三种主要的概念进展模式，它们以不同的方式达到课程框架中设置的学习目标。

第一种是以爬梯子的形式比喻进展的过程，应用得最为广泛。在这种进程中，必须完成前一步，后一步才能着手开始。用学习目标确定出每一步需要完成的任务。在不同的模式中，每一步时间长短的选择是不同的，它可以是一年或多年，也可以是一个学习阶段。这种方法容易给出一种固定的线性发展印象，进展过程好像被看作是一系列可分离的不同阶段。每一个阶段都有它自己的终点，而且并不一定和掌握总的大概念相联系。如果发生这样的情况，科学学习活动的目的和相关性就可能无法转达给学生。

第二种模式是只对最终要求给出描述，允许用不同的方法，就像拼图游戏中使用的小搭片，可以用任何顺序拼在一起。这种模式的缺点是在决定适当的学习项目时，提供给教师和课程研制者的指导过少。

第三种模式是将总的目标分解成几条链。在每一条链里，概念随着时间的推移逐步开展，通过螺旋式发展的课程来实现进展。但是，在形成大概念进程中，这种模式容易失去不同链条表达的概念之间的联系。

每一种模式都有优点和不足之处。由于在学习不同的概念时，需要的学习经验性质和范围不同，或许每一种模式都需要用到。例如，在某些情况下，学生已有的概念使他们用不同的概念去解释本质是相同、但是出现在不同背景情况下的现象（如：他们能解释湿的衣服暴露在空气中和太阳下会干燥，却用水通过地面渗漏来解释路上积水的消失。）这时，需要帮助学生建立相互间的联系，知道更为科学的概念可以适用于每一种情况（拼图）。另一种情况下，学生的想法来自于有限的经验（所有的木头都能浮在水面上），这时，需要拓展他们的想法，以引导他们掌握应用更广泛的概念（螺旋式）。同样的，当学生的推理能力有限时，他们可能只注意到支持他们想法的实证，或是他们持有的某种想法，而不顾存在的与之对立的实证。由于缺乏另外的想法，这时需要引入概念（阶梯式）。

对趋向大概念进程的说明

我们用的方式是提供陈述式的说明，描述从小的概念如何变化到第3章中所确定的大概念。在陈述中，充实了一些过程中的概念。这些概念是从开始的想想法向大概念进程中形成的。这些大概念是能

用于理解自然中的物体、现象和相互关系的、宽领域的、更加抽象的概念（大概念 1—10）。对如何获得这些科学知识，也就是关于科学本身的大概念（大概念 11—14），也提供了同一类型的说明。

在给出大概念的标题和总述后，我们从小的、引入主题的想法开始，这些是在初级或小学阶段通过适当的活动和支持就能够掌握的。随后是初中生能够发展的概念，因为他们抽象思维的能力增强了，使他们能够认识到在事件或现象之间的联系。在高中教育阶段，随着学生对自然界探索的拓展，继续会形成一些模型和联系，使得他们能够掌握一些新关系和模型，进而理解更大范围的、新的和已有的经验。

在后面图表中，我们使用了边侧的栏目来标出不同学习阶段中概念适用的大致范围。由于在不同国家里，对教育阶段描述的方法差异很大，所以用年龄来做坐标。而且，在年龄范围上有所重叠，因为我们并不希望在适用的年龄段之间确定硬性的边界。允许每个学生认知发展路径上具有多样性是很重要的。在每个阶段的进展中，重要的是保持总的进程方向，要趋向于建立基于对每个阶段概念的扎实掌握上的有用的解释框架。在所有阶段中所发展的概念，都应该被视为是对进程做出的贡献。每个阶段的目标都是向着掌握大概念前进了一小步，而并不是将每一个活动和概念都十分精细地编织在一起。在任何一个年龄段里，学生能够在这个方向上前进多少，取决于许多因素，尤其是他们接受到的教学法。对此，在第 5 章里将做进一步讨论。

1

ONE

宇宙中所有的物质都是由很小的微粒构成的。

原子是构成所有物质（有生命和无生命的）的基础单元。可以用原子的行为和排列来解释不同物质的特性。化学反应使原子重新排列，以生成新的物质。每个原子都有一个原子核，原子核中包含了中子和质子，并被电子围绕。质子和电子携带着相反的电荷，相互吸引，以使原子维系在一起并形成一些化合物。

5-7

我们在日常生活中遇到的所有“物品”，包括空气、水和不同种类的固体，统称为物质，因为它具有质量，而在地球上具有重量，并占据一定的空间。辨识不同的物质可以依据它们的特性，其中的一些特性可用于分类，如分成固体、液体或气体状态。

7-11

有些物质结合在一起时会形成新的物质（或一些物质）。这些新的物质具有和原来物质不同的特性。有些物质简单地混合在一起，不会发生持久的变化，常常可以把它们重新分离。在室温下，有些物质处于固体状态，有些是液体状态，有些是气体状态。加热或冷却物质，许多物质的状态可以被改变。当固体融化或液体蒸发时，物质的量不会改变。

11-14

如果将物质分成越来越小的碎片，可以发现它们是由非常非常小的微粒组成的，这些微粒小到甚至无法用显微镜来观察。这些微粒不是位于物质之中，它们就是物质本身。某种特定物质的微粒都是相同的，并且和组成其他物质的微粒不同。这些微粒不是静止的，而是在随机的方向上运动。它们运动的速度体现为材料的温度。可以用微粒移动的速度和范围以及相邻微粒之间的距离和吸力强弱来解释物质在固体、液体和气体状态的区别。微粒之间的吸引力越强，要分开这些微粒就需要将更多的能量传给物质，例如，如果固体要转变成液体，或是从液体转变成气体都需要能量。这就是为什么物质具有不同的熔点和沸点的原因。

14-17

所有的物质，不论处于宇宙何处，也不论是有生命或是无生命的，都是由数量非常多的称为原子的基本构造单元组成的。原子大约有 100 多种不同的种类。仅由一种原子构成的物质称为元素。不同元素的原子可以组合在一起，形成数量很多的化合物。化学反应使反应物质中的原子重新排列，以形成新的物质，但是物质的总量维持不变。不同物质的特性可以用组成它的原子和原子簇的行为来解释。

原子自身具有内部的结构，包括一个由质子和中子构成的重的核，重量轻的电子围绕着它运动。电子和质子带有电荷，电子带的电荷称为负电，质子带的电荷称为正电，因为两者所带的正、负电荷精确的平衡，所以原子是中性的。电子在物质中快速地移动，形成电流和产生磁力。在化合物中存在的净作用力是将原子和分子维系在一起的吸力。当某些电子被移出或被加入时，原子变得带有正电或负电，这时称其为离子。

有些原子中的核是不稳定的，可以发射出某种微粒，这样的过程称为辐射。这个过程包括了辐射和能量的释放，释放的能量大于原子间任何其他反应涉及的能量。物质在原子核、原子和分子尺度上的行为，与通常尺度上所观察到的行为不同。

2

TWO

物体可以对一定距离以外的物体产生作用。

所有的物体，不论是否和其他物体直接接触，都可以对其他物体施加影响。在有些情况下，这些影响从施加影响的物体出发，以辐射的形式到达接受影响的物体（例如可见光）。在另外一些情况下，一定距离间产生的作用是用物体之间存在着施加影响的场来解释的，例如磁场、电场和万有引力场。无论物体大小，在所有的物体之间，都普遍存在着相互吸引的万有引力，它使得行星维持在绕太阳旋转的轨道上，并使得地球上的物体都朝向地心下落。

7-11

物体可以对其他物体产生作用，即使它们并不接触。例如光，不论它是来自近处的光源，如灯泡或火焰；还是来自很远距离外的太阳和其他恒星，我们都能看见，因为光对它到达的物体产生了效应，包括我们的眼睛。光源发出光线，光线从光源出发沿着不同的方向行进，当到达并进入我们的眼睛时，会被检测到。物体可以被看见，因为它们自身发光或是因为产生反射光，都可以被人眼检测到。声音来自振动的物件，可以在距振源一定距离外被检测到，因为周围的空气或其他物质也随之发生振动了。空气的振动传入我们耳朵，使我们听到声音。磁体和电荷之间的作用以及使物体落向地球的地心引力，都是物体无需直接接触，而对其他物体产生作用的例子。

11-14

万有引力是所有物体之间普遍存在的吸力，但是力有大有小，只有当其中一个物体非常巨大时，万有引力才可以明显地被观察到。万有引力的吸引作用是行星维持绕着太阳旋转，月亮绕着地球，其他的卫星绕着它们的行星旋转的原因。在地球上，万有引力导致的结果是使得每个物体都被拉向地心，我们称这种向心的吸引力为物体的重量。物体对地球的拉力和地球对物体的拉力是相等的，但是因为地球的质量要比物体大得多，所以我们观察到产生运动的是物体，而不是地球。在月球上，万有引力对物体的影响比在地球上要小，因为月球的质量比地球小，所以，虽然质量相同，人在月球上的重量要比在地球上的轻。地球对月球的吸力，使月球维持在绕地球的轨道上运动；而月球对地球的吸力，会引起潮汐。

14-17

可见光是辐射的一个例子，它的传播方式和水波类似。其他类型的辐射波人眼不能看到，包括射频波、微波、红外线、紫外线、X射线和伽马射线，它们之间的差别在于波长不同，它们都能通过空旷无物的空间（真空）传播。把辐射看成一种波动，可以帮助我们阐明它们的特性。虽然声音的传播也类似于波，但是它不能通过真空，它传播需要在声源和接受器之间存在某些连续的物质，固态的、液态的或是气态的，使这些物质发生振动，声波才得以传播。当辐射波在传输途中遇到其他物体时，可以被物体反射、吸收或散射，穿过该物体，或是发生上述过程的组合过程。当辐射波被镜面反射回来，或通过一个透明的物质传输时，辐射波不会发生变化。而当它被物体吸收时，会发生变化，并导致该物体温度升高。

有时物体在相距一定距离外发生的作用，并不能用源和接受器之间的辐射波来解释。例如磁体之间可以相互吸引或排斥，双方起的作用对等。类似的，在电荷之间的相吸和排斥也是互易的。可以用场的概念来考虑这类情况。场就是物体周围能产生影响的区域，场的强度随着离开物体的距离增大而衰减。其他物体进入这个场之内，就会受到它的影响，相吸或相斥。万有引力、电和磁的作用都可以用场来描述。

3

THREE

改变一个物体的运动状态需要有净力作用于其上。

作用在一个物体上的力本身并不能直接呈现，但是可以从它对物体运动或形状产生的影响来进行检测。如果一个物体并没有移动，那么作用于其上的力是大小相等、方向相反的，相互之间是平衡的。由于万有引力影响着地球上的所有物体，当物体处于静止状态时，总会存在另外一个力对抗万有引力。力不能平衡时，物体会产生运动状态在净力方向上的改变。当处于不是同一直线方向上相反的力作用在一个物体上时，会使物体旋转或扭曲，这类作用被运用在一些简单的机械上。

5-7	力可以推、拉或扭转物体，改变物体的运动状态或形状。力的作用发生在特定的方向上。作用在同一直线上方向相反大小相等的力，可以相互抵消，称之为平衡状态。如果作用于物体上的力不是平衡的，将会改变物体的运动状态。
7-11	物体的速度是对一定时间内物体能移动多远的量度。物体运动状态的改变取决于作用于物体上的力和物体的质量。物体的质量越大，使它加速或减慢需要的时间就越长。质量的这种特性称为惯性。
11-14	在地球上的所有物体都会受到重力的作用。在地球表面处于静止状态的物体，受到一个或多个与重力方向相反力的作用，平衡了重力。放在桌上的一本书不会下落，因为桌子的原子将放在它上面的书往上推，这个推力和向下拉的重力相等。一个物体可以浮在液体或空气中静止不动，因为有一个向上托的力平衡了向下拉的重力。这个向上托的力等于所排开的液体的重量，所以重的物体要能够浮起来，需要被挖空，以排开水的重量。
14-17	<p>方向相反，大小不相等的力作用在物体上时，会改变物体的运动状态，使物体的运动速度加快（加速）或使它的运动速度减慢（减速）。人们经常会察觉不到力的作用，认为运动的物体，如滚动的球，是会自动慢下来的。事实上，这种运动的逐步被减慢，是由于物体与它周围物体之间存在着摩擦力。任何情况下，运动的改变都是由于力的不平衡导致的。如果没有净力的作用，任何运动状态都将保持不变，物体将保持静止状态或沿着直线一直运动下去。运动状态的改变发生在净力的方向上，而在与净力垂直方向上的运动状态不会改变。用足够强大的力，将人造卫星送到一定的高度，使它进入围绕地球的曲线轨道。在这个轨道上，重力只是不断地改变着它的运动方向，又不存在使它减慢速度的空气阻力，因此，人造卫星能够维持在围绕地球旋转的轨道上运动。</p> <p>当不在同一直线上的、相反的力作用于物体之上时，会使物体旋转或是扭转。力产生的旋转作用，和它的作用点与旋转轴之间距离有关。距离越远，所需要的力就越小，但它运动的距离就会越大。这个原理在许多工具和机器上被广泛使用，用作用于距离远处、小的力，来产生一个距离近处、大的力。</p> <p>压力是对作用于一定面积上力大小的量度。同样大小的力施加在大面积上形成的压力就比作用于小面积上的要小。这种变换有许多应用，从雪靴到画笔。在一定地点流体（液体或气体）的压力和高于这一点的流体的重量有关，所以空气的压力会随着离开地面高度的增加而降低，而在液体中的压力随着深度的加深而增加。</p>

4
FOUR

在宇宙中能量的总量总是不变的，但是，在某种事件发生的过程中，能量的储存形式可以从一种转化为另一种。

许多过程或事件包含着变化，发生变化需要能量。能量能以不同方式从一个载体或一群载体转换到另外的载体上。在这个过程中，有的能量转变为不易利用的形态。能量既不能产生，也不会消失。由化石类燃料和氧气一起燃烧而释放出来的能量，其中部分变成了不易利用的形态。

5-7

可以用不同的方法引发某个事件，或是使物体或材料发生改变。用推力和拉力可以改变物体的运动状态。加热会引起变化，使固体溶化和使水蒸发。冷却也一样会引起变化。电可以使灯泡发光。风能使风力涡轮机的叶片转动。

7-11

在所有发生的变化中，能量从能源或具有资源的物体传递给另一个物体。燃料如石油、燃气、煤和木头都是能源。有些能源可以再生，如由风、波、太阳光和潮汐产生的能量。其他的一些能量不能再生，如化石燃料和氧气一起燃烧后产生的能量。

11-14

源于物体的化学成分（如燃料和电池）、运动状态、具有的温度、在重力场或其他类型场所处的位置，或是源于弹性物质的压缩和形变，物体都可以储存能量（也就是说，具有使事物发生变化的能力）。将一个物体提升到高于地面的位置，就可以储存能量。当它被释放并下落时，能量就储存在它的运动之中。当一个物体被加热时，它所具有的能量就比冷却状态时要多。处于较高温度的物体会加热它周边或是与它接触的较低温度的物体，直到它们全部都处于同一温度。这个过程快慢取决于被加热材料的种类，以及它们之间材料的性质（材料的范围可从热绝缘体到热导体）。在电池中含有的化学物质能储存能量。当电池连接起来产生电流时，能量就会被释放，能量被传递到电路的其他元件上或环境中。能量可以用辐射波来传递，如空气中的声音或在空气和真空中传输的光。

许多过程和现象，从植物的生长到气候的形成，都可以用能量来描述。在引起某些事件发生时的能量转换，通过加热更多的原子和分子，以及通过传导或辐射，大多会导致能量更为分散。这样的过程不能逆转，因为微粒随机运动的能量不易被利用，有些能量就被耗散了。

14-17

能量既不能产生，也不能销毁。能量从一个物体传递到另一个物体时，宇宙中的总能量是保持不变的，一个物体损失的能量等于另一个物体得到的能量。太阳通过辐射波加热地球和其他行星，逐渐损失能量。原子的质量是能量储存的一种形式，称之为核能。具有放射性的原子可释放能量，释放的能量以热能形式被利用。

由于人口数量增加和生活方式的现代化，世界各地都增加了对能量的需求，特别是对使用方便的电能的需求。通常用于发电站和发动机组中的化石燃料，是有限的资源。同时，燃烧化石燃料会使全球变暖并导致气候改变。因此，必需寻求使用其他方式来产生电能，同时降低对化石燃料的需求和改进使用过程中的效率。

5 地球的构造和它的大气圈以及在其中发生的过程，影响着地球表面的状况和气候。

来自太阳的辐射加热了地球的表面，并在大气和海洋中产生对流。在地表之下，来自地球内部的热能导致了岩浆的运动。随之，会形成地壳的板块移动，形成火山和发生地震。由于岩石的形成和风化，地球的固态表面不断地发生变化。

5-7

地球表面被大气层围绕，离开地球表面越远（在天空中越高），空气会变得越稀薄。天气取决于大气层的状况和运动。温度、压力、运动速度和方向以及大气中水蒸气的含量组合在一起，形成天气。测量这些特性随着时间的变化，能够发现一些模型，它们可用于短期内的天气预报。天气变化的长期模型和世界不同区域里的气候有关。

7-11

地球固态表面的大部分被土壤覆盖，土壤是不同尺寸的碎石和有机体残留物的混合物。沃土中还包含了空气、水和一些生物，特别是植物腐败后生成的一些化合物以及不同的生物，如昆虫、蚯蚓和细菌等。在土壤下面的固态物质是岩石。岩石有许多不同的种类，它们具有不同的成分和特性。由于风和水的作用使得岩石被逐渐磨损成较小的碎片——沙粒。沙粒由岩石的小碎片组成，泥沙是岩石更小的碎片。地球上大约三分之二的面积被液态水覆盖。水对生命是至关重要的。水通过一些过程在不断地循环。这些过程包括从海洋及其他一些表面，如土壤和植物表面，水被蒸发，冷凝成云，变成雨、雪和冰雹后落下。

11-14

地球表面的大气层对来自太阳的大多辐射是透明的，这些辐射可以穿过大气层被地球表面吸收，是地球的外来能源。自地球形成以来，地球内部的放射性物质不断衰变，是地球内部的能量源。来自太阳的辐射提供的能量，使包含在植物中的叶绿素通过光合作用产生葡萄糖。来自太阳的射线被地球吸收，使地球表面变暖，并随之发射出波长更长的射线（红外线）。红外线不能通过大气层，而会被大气层所吸收，使地球保持温暖。所以将这个过程称为地球的温室效应，是因为它和温室用太阳加热的方式是类似的。

14-17

植物通过光合作用生成大气中的氧气，直接可以保护地球免受来自太阳辐射短波部分（紫外线）的照射。紫外线会对许多生物体产生伤害。在大气层的高层，由于紫外线和氧气产生作用，生成臭氧层，从而吸收了有害的射线。地球表面的温度是精细平衡的结果，大气层中的气体增多了，温度就会上升。人类活动产生的二氧化碳和甲烷等气体会增加温室效应，并导致全球变暖和气候变化。

在地球坚硬的外壳下面是炽热的地层，称之为地幔。在一定的压力下，地幔是固态的，但是当压力降低时它会熔化（称之为岩浆）。在地壳的某些地点会存在裂缝（或是薄层），岩浆可能会流到地球表面，像火山喷发。地壳是由许多固态的板块组成的，板块之间会发生相对移动，并带动了岩浆的移动。在板块相撞的地方形成了山脉。在沿着板块边界的断裂带处，容易发生地震，也会发生火山的活动。地球表面随着时间的推移在缓慢地变化，山脉会被大气侵蚀，而在地壳受力上升时，新的山脉又会形成。

6
SIX

宇宙中存在着数量极大的星系，我们所在的太阳系只是其中一个星系——银河系中很小的一部分。

太阳、八大行星以及其他一些按一定轨道运转的较小的星体，共同组成了太阳系。用地球围绕太阳的旋转和取向，可以解释白昼和黑夜的更替以及四季的形成。银河系由星系、气体和残留物构成。太阳系只是银河系中很小一部分，而银河系又是宇宙中数量极大的星系中的一员。那些星系离我们非常遥远。许多星系中也会包含有行星。

5-7

在一天不同时间看到太阳的方位，以及每个不同夜晚看到月亮的形状都遵循一定的模式。

7-11

地球沿轨道绕太阳一圈的时间大约是一年。月亮沿轨道绕地球一圈，大约需要四个星期。位于太阳系中心的太阳，是太阳系中唯一的可见光光源。月亮反射的光来自太阳。月亮在绕地球运动时，只有被太阳照射到的部分能被看见。地球围绕一个南北方向的轴自转，使得我们好像看到太阳、月亮和星星在绕地球旋转。由于地球的自转，使得地球的各个部分轮流地朝向或背向太阳，从而出现了白昼和黑夜。地球绕太阳一周需要一年。地球自转的轴线相对于它绕太阳旋转的轨道平面是倾斜的，所以在一年中，在地球表面不同位置白昼的长短会有所变化，形成了季节。

11-14

地球是我们所处的太阳系中八大（至今已发现的）行星之一。这些行星和许多其他的较小的星体一起，以大致为圆形的轨道围绕太阳运行。行星与太阳间的距离和完成一圈运行的时间是不同的。这些星体间的距离是很大的。海王星距离太阳 45 亿千米，比地球距离太阳要远 30 倍。从地球上看去，行星好像在相对于一些位置固定不变的星体在运动。可以用机器人的装置来探测太阳系，离开地球距离近时，也可以由人来完成。

14-17

有时在绕太阳轨道上运动的一大块岩石，会飞到离地球足够近处，以致被拉进了地球的重力场，并被加速而穿过大气层。在大气层中，由于空气和岩石表面的摩擦生热，使岩石燃烧，看起来像一颗流星。陨星（流星）是一种岩石，它进入大气层时，大部分会被燃烧掉。如果它的一部分到达了地球的表面，就变成陨石。除此以外，太阳系里星体的运动通常是规则的和可以预计的。相同的科学规律——有关事件行为的一般规律——能在地球上运用的，也可以运用于宇宙之中。从空间探测得到的证据表明：行星自形成以来，它们的表面已经发生了改变。在地球以外的任何星球上（迄今为止）还没有发现生命。

太阳是构成宇宙的许多星体之一，从本质上说，都是由氢元素构成的。太阳和所有星体的辐射所具有的能量来自位于它们中心核中的核反应。太阳是共同构成银河系的数以百万计的恒星之一。下一个离我们最近的恒星要比离我们最远的行星海王星远得多。在银河系之内和各个银河系之间，星际之间的距离如此之大，要用光年，也就是光一年可以传输的距离来量度。在宇宙中存在着数以亿计的银河系，相距几乎超出想象的遥远，并且可察觉到，它们相互之间在迅速地移开。银河系呈现的运动表明：自从发生在大约 137 亿年以前的宇宙“大爆炸”后，宇宙一直在加速膨胀。

7
SEVEN

生物体以细胞为基础构成，并具有一定的生命周期。

所有的生物都由一个或多个细胞构成。多细胞生物含有按照不同功能分化而成的细胞。生命的所有基本功能都源于这些构成生命体的细胞内发生的过程。生长是细胞分裂增殖的结果。

5-7

有各种各样的生物体（有机体），包括植物和动物等。它们和无生命体的区别在于能够移动、繁殖和对某些刺激产生反应。为了存活，生物体需要水、空气、食物、以某种方式清除排泄物和居住在一定温度范围的环境里。虽然有的生物体有时似乎不在活动，但所有的生物体都会在某个阶段执行生命的过程，包括呼吸、繁殖、摄取食物、排泄、增长和发育，并且所有的生物体最终都会死亡。

7-11

11-14

所有具有生命的有机体都是由一个或多个细胞组成的，细胞只能用显微镜进行观察。所有生命的基本过程都源于细胞内发生的情况。细胞分化以取代衰老的细胞，和生成更多的细胞供生长和繁殖之用。食物是生物体为了完成各种功能所需能源的来源。在多细胞的生物体中，除实现所有细胞都需要完成的功能以外，有的细胞还需特定化，如肌肉、血液和神经细胞，以在生物体内执行特定的功能。

细胞经常组合成组织，组织构成器官，器官组成器官的系统。在人的身体中，系统实现诸如呼吸、消化、排泄和温度控制的功能。循环系统运用细胞将物质输送到身体各个部分，并将可溶解的排泄物运输到泌尿系统。干细胞并不是特定化的细胞，它可以被编程而用于修复不同功能的组织。在一定的条件下，细胞功能可得到最佳发挥。单细胞和多细胞的生物体都具有将温度和酸碱度维持在一定范围内的机制，以便使得生物体能存活。

14-17

在细胞内存在许多不同种类的分子，由分子间的相互作用完成细胞的功能。在多细胞的生物体中，通过对邻近细胞的物质递送，来进行细胞间的相互通信，以协同活性。在调控进入和逸出细胞的分子过程中，包裹着细胞的细胞膜起着重要的作用。酶调控着不同类型细胞内的活性。由特定的组织和器官分泌的激素调控其他器官和组织的活性，并影响生物体的整体功能。在人体中，大部分的激素由血液输送。许多药品可以加速或延缓酶或激素的调控机制。脑和脊椎也能调控细胞的活性，它们发送的信息沿着神经细胞以电信号的形式传递。这些电信号在细胞之间能快速传递。

在适当的介质中，来自各类生物体的细胞可以在器官外完成现场繁殖。这些细胞组织可供科学家用来研究细胞的功能，并可以运用于医学中，例如生产疫苗、筛选药物和体外受精等。植物的细胞组织被广泛用于植物学、林学和园艺学中。多数细胞可以被编程而实现一定数量的细胞分化。微生物的入侵、环境条件变化或是抗体细胞变异，一般都会导致细胞功能的损坏，同时引发疾病。当生物体的细胞不能进一步分化时，生物体就死亡了。

8
EIGHT

生物需要能量和物质的供给，为此它们经常需要依赖于其他生物或与其他生物竞争。

食物为生物体提供物质和能量，使其能实现生命的基本功能和生长。绿色植物和有些细菌能够利用太阳能来合成复杂的食物分子。动物依靠消化这些复杂的食物分子来获得能量。动物最终都是依靠绿色植物来获得能量的。在任何生态系统中，都会存在物种之间为获得能量和物质而产生的竞争，因为能量和物质是生存和繁衍后代所必需的。

5-7

所有的生物体都需要食物作为能量源，同时也需要空气、水和维持一定温度的条件。含有叶绿素的植物，能够利用太阳光来制造它们需要的食物，能够储存它们不直接消耗掉的食物。动物需要它们能够消化的食物。生物体可以直接食入植物（食草动物），或是食入动物（食肉动物）作为食物，而这些被食入的动物也食入了植物或其他动物。归根结底，动物都是依靠植物来存活的。生物体之间的这种关系可以用食物链和食物网来表示。

7-11

有些动物对植物的依赖除了食物还有其他的途径，例如居住场所。对人来说，还有衣物和燃料。植物也会以不同方式依赖于动物。例如，许多有花的植物要依靠昆虫授粉，和依靠其他动物散发它们的种子。

11-14

共同生活在特定环境条件下、相互之间依存的生物体，形成了某种生态系统。在一个稳定的生态系统中，有食物的生产者（植物），消耗者（动物）和分解者（细菌和真菌，它们可以摄入排泄物和死去的生物体）。分解者产生的物质可以帮助植物生长。所以，生物体中的分子可以不断地被循环利用，与此同时，能量在生态系统中传输。当食物被生物体用于生命过程时，其中某些能量以热的形式被耗散了。但是，来自太阳的辐射可用于生产出植物性食物，可以使得耗散掉的能量被重新替代。

在任何特定的生态系统中，为了获取维持生命所需要的能源和物质，物种间会存在竞争。某个生态系统能否继续存在，取决于环境中能源和物质的持续可利用性。植物的物种具有适应性，会适应生长在气候、地理和水源条件特定的区域里，以便得到植物生长和繁殖所需的水、光、矿物质和空间。如果条件改变了，特定的植物种群就可能改变，从而导致特定的动物群也发生变化。

14-17

控制特定植物和动物生长的人类活动，会改变生态系统。相对于其他树种，更有利于特定树种生长的森林会使供给某些动物食用的植物消失，导致减少了依靠这些植物生存的生物种类多样性，以及处于食物链中其他生物体的多样性。为了供养人类，现代农业提供的条件只适合于特定动物和植物的生存，同样降低了生物的多样性。杀虫剂的广泛使用，保护了某种类型的谷物，但会普遍地影响到为许多其他植物传递花粉的昆虫。这样一些人类的活动，造成了单一的和非自然的生态系统。这种生态系统限制了生物的多样性，导致文化上有价值景观的被破坏和野生动植物种群的丧失。

9

NINE

生物体的遗传信息会一代代地传递下去。

细胞中的遗传信息储存在生物分子 DNA 中。基因决定生物体的发育和结构。在无性繁殖中，后代具有的全部基因都来自于一个母体，在有性繁殖中，基因中的每一半分别来自双亲中的每一位。

5-7

有生命的活体会繁殖相同种类的后代，但是后代相互之间或后代与它们的双亲都不完全相同。植物和动物，包括人类，都会具有与其双亲类似的许多特征，因为遗传信息被上一代传递给了下一代。另外有一些特性，如技能和行为，并不能以同样的方式传递，而必须要通过学习来获得。

7-11

在动物和植物的细胞核内含有染色体的结构，而染色体中含有复杂的 DNA 分子。当细胞分化时，为制造更多细胞所需要的信息，以编码的形式、作为 DNA 分子中的一部分置放在一起。一个基因是一定长度的 DNA。在一个染色体中可以包含数百或数千个基因。在人体中，大多数细胞包含了 23 对染色体，携带的基因总数约为 2 万个。

11-14

当细胞分化时，也就是在生长过程或置换凋亡的细胞时，基因信息都会被复制，以便使每一个新的细胞都携带着母体细胞的复本。有时，在复制过程中会存在某个错误，导致变异。变异可能无害，也可能会对生物体带来损害。基因的变异可能源于环境条件的影响，如辐射和化学品。这种基因的变异只能影响该个体，只有当变异发生在精子和卵子细胞中时，才会影响后代。

在有性繁殖中，来自雄性的精子细胞和来自雌性的卵子细胞结合。精子和卵子细胞都是特殊的细胞，它们每个细胞所含基因的两条链中，分别来自双亲各一条，选择来自双亲的哪一条是随机的。当精子和卵子结合时，在受精卵中基因物质的一半来自精子细胞，另一半来自卵子细胞。当受精卵屡屡分化时，基因物质被复制到每个新的细胞中。当卵子和精子细胞形成并融合时，这种基因物质的选择和重组，可能会导致许多不同的基因组合。这种差异可以从上一代遗传给下一代，这就提供了自然选择的可能，因为某些变异的结果，可以使得生物体更好地适应特定的环境条件。

14-17

无性繁殖天然地广泛存在于生物体中，包括一些细菌、昆虫和植物。无性繁殖产生的特定种群具有相同的基因物质。运用生物技术，对许多种群包括哺乳动物进行人工克隆，可以得到特定基因的生物体。

一个生物体基因的全序列称为基因组。一段时间以来，通过绘制不同种类生物体的基因组图，人们对基因信息的了解越来越多。知道基因序列以后，可以用人工方法改变遗传物质，从而得到具有一定特性的生物体。在基因治疗中，使用特殊的技术输送基因给人的细胞，这种方法开始用于疾病的辅助治疗。

10
TEN

生物的多样性、存活和灭绝，都是进化的结果。

当今存在的所有的生命体都可以溯源至一个共同的祖先，它是一个简单的单细胞有机体。基于物种内的天然差异，经过无数代的演变，对一定条件具有最好适应能力的一些个体，将被选择而存活，不能有效适应环境变化的物种将会灭绝。

5-7

当今世界，生存着许多不同种类的植物和动物，但是有许多曾经存在过的种族现在已经灭绝了，我们从化石中得知它们。依据它们的相似性，可以将动物和植物分成一些类或分类。例如，在称为鸟类的动物群里，包含了不同的科，如麻雀科，一个麻雀科中又有不同的种类（物种），如家雀、树雀和大麻雀等。多数情况下，同一物种的生物体繁殖出同种类的后代。不同物种的生物交配，如果有繁殖出的后代，这些后代不再具有繁殖能力。虽然同一物种的生物体相互之间很相似，差别不大，但是后代决不会与其双亲完全一样，这是有性繁殖产生的结果。

7-11

11-14

生物体生存于特定的环境中，因为它们具有的特征使它们能在这种环境下存活。这种对环境的适应性，来自于繁殖后代时存在的细小差异，使得有些个体比另外一些个体更能适应环境。在为获取物质和能量的竞争中，那些能较好适应环境的个体更有希望存活，并且可以将它们能适应环境的特征遗传给后代。那些对特定环境适应性差的个体，更容易在繁殖后代之前死亡。这样，在后继的各代中，一定会保留更多的具有更好适应性的个体。上述情况仅适用于在生殖细胞发生改变（变异）时，而在其他细胞中发生的变异并不能传递给下一代。随着时间的流逝，这样的改变可以积累，积累到一定程度，存活的生物体变成了另一种物种。

生物的自然选择，即对具有一定特征，能更好地存活于特定环境下生物的留存，始于 35 亿年以前，在地球上最初生命形成的时期。在生命的历史中，最早出现的是简单的单细胞生物体。大约在 20 亿年以前，一些单细胞生物体转变成多细胞的生物体，最终发展成今天这么众多的动物、植物和真菌。其他有一些单细胞生物体，现在仍然保留单细胞的形态。

14-17

当气候、地理条件或者是种族数量发生改变时，由继承获得的特征带来的益处有可能会增大或者消失，这种适应过程是自然发生的。即使通过选择性繁殖来进行人工干预，选择那些具有特征更适合于特定用途或环境的动物和植物，这种对适应性过程的加速仍是非常缓慢的。

人类活动对环境的改变，远快于生物体可以通过适应性来做出的应对。水、空气和土壤的污染以及过度的种植，会对环境产生长远的影响，已经发生的变化危害着许多生物。由于人类活动导致当前物种灭绝的速度要高出人类不存在时的数百倍。生物多样性的降低，会明显导致生态系统退化和损失对环境改变的应对能力。

在地球上生命的进化仅仅是宇宙演化中有限的形态，宇宙演化指的是星系中物理和化学状态的逐渐改变，如碳原子的出现，曾增加了生命存在的有利条件，至少对于地球来说是这样的。

11
ELEVEN

科学是在究其所以，或是发现自然现象的原因。

科学是在寻求对自然现象的解释和理解。科学研究的方法并非单一，自然界现象的多样性，要求采用不同的方法和仪器来生成和检验科学上的解释。科学上常会运用某个事件发生所必然呈现的因素来进行解释，并得到观察和实验中的证据所证实。有的情况下，支持性的实证来自于系统性观察中发现的模型相关性。

7-11

科学上认为每一个事物或现象都有一个或多个起因，并且事物发展的方式有其缘由。在此前提下，科学在寻求解释事物发生的原因或为何采取某种特定的方式。这种解释并不是一种猜测，它必须有一定的依据。需要用不同的方法来揭示推动事物进展的缘由或发生的原因。仔细地观察，包括可能情况下进行测量，可以提出事物发生的可能原因。在有些情况下，可以进行一些操作，使事物发生改变，并观察发生改变的情况。这样做时，很重要是需要维持其他方面不变，使得所产生的结果，仅限于来自改变了的那个事物的影响。

11-14

仔细和系统地观察及对观察结果精确地描述，这是科学研究的基石。人们对将会发生什么的期待，会影响到他们观察到的内容，所以实施一个好的观察，应该由几个人独立地进行，并且足够清楚地报告出结果，以便由他人校核。

可以用不同的方法来阐明不同类型的自然现象。有的情况下，提出某个可能的解释（假定），指明可能引起某种现象的可变因素。为了检验这个假定，通常需要依据它来做预测，预测当所鉴别的因素改变时，事物会发生什么变化，然后观察发生的变化是否符合预测。如果结果符合预测，并且没有发现其他方面的变化会产生同样的结果，那么该因素就可以被接受为解释所观察到结果的成因。

14-17

有一些因素不能用实验的方法来操作，例如在太阳系中行星运动的情况。研究这类现象，可以用在一定时间段内，在几个适当的时机进行系统观察的方法。从数据中寻找出一些模型，可以发现一些因素之间存在着某种关联——某个因素变化时，其他的一些因素以有规律的方式随之变化。基于这种相互关系，可以提出某种假设用来进行预测，即便是这些预测中也涉及不能直接被观察或是被改变的方面。但是，通常这种关联并不能作为结论性的证据，证明的确改变这个因素引起了另一个因素的变化，因为可能存在某个另外的因素（至今还没有能确定）引起两者同时变化。发现一个事物是产生某个效应的原因，与解释这种效应产生的机理是不一样的。因此，需要基于科学定理，建立连接各种关系之间的模型。

存在于过去年代的现象，例如岩石的变化或者是物种的进化，也可以提出检验假设的过程。在这种情况下，所有提出的假设，需要和已知的全部事实以及最有可能为此提供解释的科学原理相一致。

12
TWELVE

科学上的解释、理论和模型都是在特定的时期内与可获得的实证最为吻合的。

科学理论和模型表达了自然现象变量之间的关系，它们必需和那个时期内能获得的观察结果符合，并能引出可以被检验的预期。任何理论和模型都只在一定时期内有效，并常常依据新的数据而被修正，即使使用新的数据得到的预期和用以前的数据得到的预期一致，也会被修正。

5-7

每个人都能够对自然界的事物提出问题，以及做出努力去寻求答案，来解释所发生的事物。

7-11

在科学中，通过某种系统的探究活动来寻求对事物的解释，包括通过观察或对所研究对象的特征进行测量来收集数据，或是使用来自其他渠道的数据。所得到的解释是否有效，取决于能收集到什么样的数据，并且通常需要运用某种理论，或对可能发生情况的预测，来指导数据的收集。

11-14

为了有助于阐明观察到的过程和事物发生的原因，科学家会提出一些模型来表达他们对可能发生事件的想法。有时会运用一些实物模型，例如太阳系仪——一种太阳系的模型，它包括用来代表太阳、月亮、地球和其他行星的不同的物件，或是表示物质中原子排列的球棒模型。其他一些理论模型更为抽象，例如把光表达为一种波的运动，或用数学公式来表达相互之间的关系。用计算机模型能模拟一些现象，可以容易地改变变量，并研究它们的影响。如果能够证明，一些模型在今为止所遇到的所有有关情况下都无驳论，这些模型在理论上就被确认了。有一些模型是试探性的，可能在未来会被改变。有时可能存在不止一种模型，但还不能用实证得出哪一种模型是最好的结论。对有些情况，我们的确还没能得到满意的解释模型。

模型提供了通过系统中各部分之间的关系来解释现象的方法。通过将模型给出的预测，和在真实世界里发现的现象进行对比的迭代过程来发展模型。基于模型的推理，超越了我们可以直接观察到的现象。同时，需要通过将模型给出的预测和观察到的结果对比，以保持模型和实证之间的关联。

14-17

运用理论和模型对特定的事件或现象做出科学的解释。这种解释并不能自动从数据中明显地呈现，而是常常在包含有直觉、想象和知情预测的过程中形成的。一种科学理论是对自然界某个方面有关本质的恰当阐明，它需要基于大量通过观察和实验反复验证的事实之上。

如果发现已有的科学上的认识和新获得的数据不相容，那么这个科学上的认识就必须改变，或者是被另一个科学上的认识所代替。虽然有些理论或者模型已经较为可靠了，基于它们提出的预测，已被重复和可靠的实证所确认——甚至于被认为是真相了。但是，某种解释或理论决不能被证实为“正确无误的”，因为未来总可能会有和它产生冲突的数据，或是因为找到某个能够提供更好解释的新理论。今天所使用的用于解释我们周围事物的某些科学理论和过去所被接纳的不同，在将来有些科学理论也完全可能和现在的不同。

13
THIRTEEN

将科学研究中得到的知识运用于工程和技术，以创造服务于人类的产品。

将科学知识运用于工程和技术，会对人类活动的许多方面产生显著的改变。技术的进步能进一步促进科学活动，继而增进对自然的了解。在一些人类活动的领域里，技术超前于科学知识的发现；而在另一些领域里，科学发现先于技术。

5-7	人类创造技术来制备他们所需要的或可以用的事物，例如食物、工具、衣服、生活的居所和通信的手段。如何改变材料，使它们用于一定用途的例子比比皆是。
7-11	通过工程可以发展技术。工程包括确定问题，并用科学知识和其他的思想来设计和研制合适的解决方案。总会有不同解决问题的方案，所以需要去尝试不同的可能性。为了能够决定什么是最好的解决方案，要清楚地了解期待的结果是什么和如何判断是否成功。例如想要使你能看到头的背面，还是希望让你能解放双手，解决的方案和判断成功的标准就不同。
11-14	在设计解决某个问题的方案时，一般需要画草图或制作模型。用实物模型、数学模型或计算机模型，都能对改变材料或设计时产生的影响进行测试并用于改善解决方案。通常在使解决方案最佳化的过程中，需要考虑许多因素，例如成本、材料的可利用性以及对使用者和环境的影响，这些可能会限制对方案的选择。
14-17	<p>科学、工程和技术之间存在着紧密的联系。科学应用于制造新材料就是一个很好的例子，显示了科学知识是如何推动技术进步，并为工程在设计结构时提供了广泛的选择范围的。同时，通过改进观察和测量的设备，在过于危险或耗时的情况下使用自动化的过程，特别是通过计算机来进行事先估算，这些技术的进步都有助于科学的发展。就这样，技术帮助科学发展，反过来，科学又可以应用于设计和制造供人们使用的事物。在过去的时代里，通常技术的产品依靠经验，比相关的科学知识先行出现；而今天，通常是在科学上首先或同时获得知识。科学应用于设计和制作新工具和机器，使得批量生产成为可能，这样就使得更多的人享受到了大宗的商品。</p> <p>有些技术上的产物既会带来益处，也会产生不利后果。虽然使用某些人工材料，可能意味着可以减低对稀有自然资源的需求，但是很多新材料并不像天然材料那样容易退化，而新材料被丢弃时，会出现废料处理的问题。有些技术器件，例如移动电话和计算机中所用的金属在地球上储量很小，可能会被用尽。这样的例子反应了一个普遍存在的问题，即需要循环使用材料，以保护资源和降低污染。当对环境产生不利影响，进而影响人们的生活时，需要科学家和工程师在了解问题和寻求解决方案中进行合作。</p>

14
FOURTEEN

科学的运用常常会对伦理、社会、经济和政治产生影响。

科学知识运用于技术会产生许多创新。不管是否希望科学被应用，或发生某个特定的应用，都不是用科学知识能单独解决的问题。基于诸如公正或公平，人类安全以及对人群和环境影响的考虑，做出伦理和道德上的判断是必需的。

7-11

通过科学来发展对自然的认识，使我们能够解释某些事物是如何运作的，或是某些现象是如何发生的。这些认识常常可以应用于改变或创造一些事物，以帮助解决人类面临的问题。这种技术上的解决方案，改善了世界各地许多人的生活条件和健康水平。同时，也必须认识到，其中可能使用到自然界的物质，也会产生短缺或对环境有害。

11-14

一般科学的应用都会产生正面和负面的影响。有些负面的影响可以事先预计，但是有一些是在应用过程中才暴露的。洁净水、适宜的食物和医疗的改进延长了人类的预期寿命；同时人口因之增长，增加了对资源的需求，以及为增加食物产量、居所和废物处理所需要的土地。这些对发展中国家是不利的，会毁坏一些生物的栖息地，导致了一些生物灭绝。

已有许多例子可以说明，技术和工程的进步如何导致没有预料到的后果。发展便捷和快速的交通，特别是飞机，所需燃料的燃烧会产生二氧化碳。二氧化碳是大气中通过温室效应使地球变暖的几类气体之一。增加这些气体在大气中的含量，会使地球温度升高。即使地球温度只有微小的增加，通过极地冰川、海平面和气候模式的变化，会产生广泛的影响。如果已经了解了这些有害的影响，对科学的应用就需要认真地考虑，如何在有利和不利影响之间做出权衡。

14-17

任何创新都要消耗资源，包括财力，所以当各种需求存在竞争时，需要做出决策。这些决策，无论是来自政府、地方或是工业界，都应该基于对科学概念和技术原理的了解。有关行动的决策，还应考虑价值取向和与利益竞争各方的需求，而不能只考虑科学的依据。因而，在设计一个新的系统或产品时，工程师必须在考虑科学和技术现状的同时，还要考虑伦理价值、政治和经济的现实性。

科学知识可以帮助我们确定特定应用产生的影响，但是对于是否决定采取某些行动，需要在伦理和道德上做出评价，这些评价并不能由科学知识来提供。由科学提供的科学认识 and 是否有可能对有关问题采取行动的决策之间有重大的差别，例如对保护生物多样性的需求、导致气候变化的因素、有害物质产生的不利影响、生活方式等问题上都是这样。在采取何种行动的主张上，意见可以不同，但是论据都应基于科学实证之上，对于这一点不应有异议。

5·用大概念理念进行科学教育

Working with big ideas in mind

多年来人们普遍并反复地呼吁，科学教育的目标，应当学得更深一点，减少一些不相关的内容宽度。在已出版的《科学教育的原则和大概念》书中，通过确定较小数目的一些科学大概念来应对上述挑战。这些科学大概念是在针对全体学生的科学教育中应该进行学习的内容。从已经翻译出版并使用了该书的许多国家获得的反馈来看，就学习内容而言，本书只需要做一些微小的改动，并对所选择的科学大概念的描述方法进行改变就可以了。

但是，在用大概念的理念来进行教学的实践中，我们需要更多的经验以及讨论它所带来的影响。特别是需要讨论在决定学生学习过程中一些关键要素时，以大概念理念进行教学确实带来什么不同？这些要素包括课程内容的选择、教学法和对学生的评测。这一章我们将试图回答这些问题。

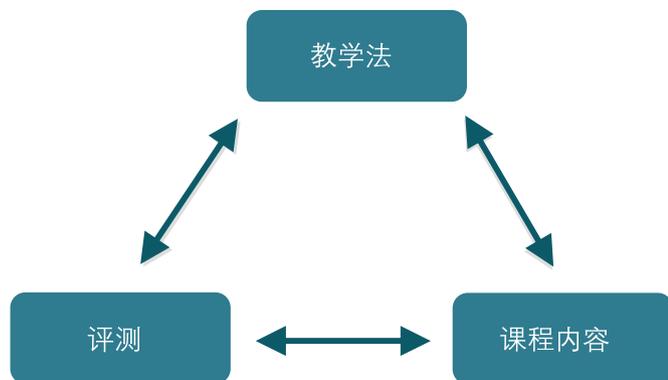


图1 学生在学习过程中各个方面的相互关系

图 1 给出了学生在学习体验到的三个方面。它们相互之间并不是孤立的，如图中箭头所示，任何一方面的改变，都会影响到其他方面。它们之间的相互影响是很重要的。如果评测要求记住许多事实的描述，如果教学法并不与形成大概概念的需要衔接，只是建议教学内容应该专注于大概概念是没有用的。如果存在的是过于权威的总结性评测系统（不管是外部的测试，还是教师的判断），或是教材内容过于臃肿，那么主张基于探究的教学也不会有效。如果教学中没有反思的时间和创新的空间，不可能期望能够培养学生对继续学习的责任心；如果课程的内容被认为远离学生的兴趣和体验，也不可能希望他们对科学持有积极的态度。

为所有学生提供机会

当我们考虑通过教材内容、教学法和评测来为学习者提供学习机会时，牢记平等的原则是很重要的（参见第 8 页）。为生活在当今复杂的世界做准备时，所有学生都同样地需要这种机会。科学研究支持这样的观点：确信所有学生都有学习的能力。然而在非常多的国家里，由于性别、文化背景以及社会经济地位而造成的成绩上的差距，仍然明显而持续地存在着。在科学教育上，造成上述差别的许多因素中，首先要考虑的是校内和校外的学习机会。虽然越来越多的学生可在校外进行学习，学校也不再是知识的主要来源，但是学校仍然是提供正规学习机会的关键来源。而且，相对于来自贫穷家庭和社区的学生来说，来自富裕家庭和社区的学生，有更多的机会进入有良好科学教学资源的学校，完成他们的第二阶段教育，并在这之后继续获得教育机会。

具有较高比例来自贫穷背景学生的学校，通常会优先考虑弥补学生在语言和数学方面的不足，其次才是其他科目，包括科学。加之他们经常会缺乏进行科学教育的教学专家和资源，因此，这些学生会失去早期学习科学的体验，而这些早期的体验是理解科学概念和发展实践能力的基础，也是决定以后是否具有优势的起点。

明确了这些问题，就可以提出解决的方法。为保证来自所有背景的学生都能获得同等的学习机会，学校需要教师、社会支持、专业设备和必要的指导。可以采取重新配置人力和物力资源的方法。同时还需要进行引导，以保证所进行的评测有助于学习，不会不利于语言能力差的学生，或者是母语和教学语言不同的学生。同样重要的是，要引导将学生的差异性变成有利因素，按照活动选择的原则（参见第 8 页），所有学生带到学校来的日常生活经验和想法，就会成为他们学习科学概念的基础。

课程内容

课程内容是指要进行学习的特定课题或主题。对学生来说，它是一种载体，通过它达到在正式学习项目中列出的关于知识、技能和态度方面的目标。由于学习科学概念可以运用许多不同的设置，例如，力和运动、食物链或是不同材料的绝缘特性，因此需要有一定的方法，从可以采用的课题和活动中进行选择。在第2章论述科学教育原则时，已经蕴含了一些选择的标准。例如，活动应该能提高学生对科学活动的热爱、保持好奇心、能使学生感兴趣，并认识到科学与他们的生活相关；当然还要考虑在科学概念的掌握、能力和态度上获得发展。此外，要让学生亲身体验到，科学是让我们理解世界是如何运作的，这是确定大概念的核心依据之一。

⇒ 从周围的世界中选择内容

教师一般都会本能地认识到抓住学生兴趣的必要性，而做到这一点最好的办法是选择内容与某个真实或是可能的、但又是有待证实的经验相关。教授年幼孩子的教师是编故事的高手，他们善于假想出情景来做探索场景——在课堂上用鞋盒子来搭建房子的模型，探究用于实际建筑中的不同材料；或是想象如何在寒风刺骨的山上保暖，来试验不同织物的绝热特性。对于年龄较大一些的学生，这类假设的情景可以用真实的体验来补充：如通过参观发电站、水处理工厂、废物处理中心等。这一类参观不仅能激发学生的兴趣，让他们了解这些日常生活供给是如何提供的，而且还能给学生提供机会，让他们去了解科学如何应用于这样一些过程。

真实世界的课题会引出学习的兴趣和动力。和学习动力的联系是很重要的，特别是对处于某个年龄段的孩子来说更是这样，他们不仅通过电视，也随时随地通过移动设备在接收快餐式的娱乐节目。但是，对学生来说，存在于周围世界的事件和现象都过于复杂，与实际事件或现象的直接互动，并不能让学生理解它们是如何运作的。虽然运用真实世界的内容有许多优点——而且有些现象由于其复杂性，需要在现场进行精确的研究，但是这也会给学生造成困惑。实际事件所具有的数量巨大的细节，会掩盖需要甄别特征，而甄别这些特征，正是为了掌握概念和把它转化应用于其他场景所需要的。

教师需要帮助学习者去关注复杂问题中的关键特征（而非不那么重要的特征），同时，教师也不应该假设学生自己就能鉴别出问题的本质与可观察现象间的相互关系。因此，为了避免因限于现场学习而出现的困惑，我们要把问题的实质部分带到课堂或实验室里，这样就可以更直接地进行试验和学

习科学概念。不论激发学习动机的内容是故事还是参观，学习的科学内容只是某个真实场景的简化版本，以便在课堂或实验室里可以控制条件，对可变的因素进行测量。

在这个过程中，很重要的是不要失去和周围事件的联系。如果不能保持和真实场景之间的关键联系，就会存在忽视课堂活动相关性的危险。所以需要在丰富性和认知需求之间寻求平衡，既不至于从现实世界的背景中提取过多的信息，又能在学习所选择的特定内容中，建立不同事件和现象之间的联系。经常讨论如何将课堂探究中的发现和推动学习的起始背景相联系也很重要。将新出现在学习内容中的概念，用到新的情景之中，并且与用于解释这些情景的其他概念相连接，以发展成为较大的概念，这是重大的挑战。

⇒ 连接内容的方式

有一些课题适合于通过调查研究或探究来进行，而另一些课题更适合呈现为一种科学发明、或对实验的讨论、或对当前热点话题的发现。所有这些都应该包括在与大概念相连的内容选择之中。学生要有机会讨论科学史中的一些科学概念是如何被改变的，以及它们发生改变的理由，这是很重要的。将这样的讨论延伸到学生自己的调查研究中去，可以帮助学生认识到在发展科学知识中实证的作用，促进他们对与科学本质和应用方面有关的大概念的认识。讨论科学的应用如何推动社会的发展，例如医学、通信和交通会对学生有进一步的帮助。一般这样的一些课题能够引起学生的兴趣，这是他们学习有关周围世界事件和现象科学知识的关键动力来源。

⇒ 概念进展和内容的连接

只要探究的内容考虑到学生随着时间的推移在学习相关科学概念时所获得的进展，完全可以在横跨学校教育的不同时间里对相同的事件、环境和现象进行学习。正如在第4章中所指出的：学生以前在校内外遇到的机会不同，导致不同学生发展的进度会不同。因而，精确地描述适用于所有学生的进程是不现实的。但是，依然存在着共同的趋势，对学生从学前教育到小学和中学阶段不同时间点上的进程，可以给出一个大致的描述。这些趋势包括：

- 越来越认识到，在解释现象时需要考虑多个因素
- 能更多地进行定量观察，以及运用数学来提炼相互关系和加深理解
- 利用不能直接观察到的特征来解释特性的能力会增加

- 能更有效地使用实物、心理和数学模型

上面提及了应用定量观察和关系模型能力的增强，突出了数学在运用科学探究方法学习科学概念中的重要作用。数学帮助学生超越只用词句的描述，运用图形、图表和表格的表达方式来组织数据，可以帮助学生注意到一些模型，并建立模型之间的联系，发展他们关于变量之间相互联系的思维，以及可以对成因构想出可以被测试的预设。用统计规律来分析数据，可以使学生能够推论有关相互关系和预期的概率。协调科学和数学的教育是互利的，数学工具帮助理解科学知识；同时，运用科学调查研究的数据，可以增进学生对数学的喜爱和拓展数学工具的应用。

教学法

在尝试理解新的经验时，不管是在课内或课外，学习者都要从已有的科学概念开始，就像科学家试图去解释某些现象以及理解周围世界事件如何运作时一样。在科学上，对自然和人造事物的了解需要通过对其问题的回答来获得，包括要收集数据、推理、依据发现的和已经知道的知识来评价实证、得出结论和交流结果。数据的来源可以是对物质的直接操作和对现象的观察，或运用第二手的资源，包括书籍、互联网、媒体和人员。对测试科学概念提供实证的数据进行解释时，需要与一些学生以及教师展开讨论，并找出专家们已有的结论。所有这些意味着，学生所参与的活动和科学家在发展科学知识时的活动是相似的。通过有意识地进行这样一些活动，学生自己对有关科学本身概念的理解会得到发展。

⇒ 通过探究来学习科学概念

学习科学概念的过程可以被描述为探究活动的一种形式——运用的是类似科学家在为了获得对周围世界理解时所使用的科学研究方法和能力。在实践中，它包含的内容可以用图 2 简化的框架模型来表示。

由于获得了新的经验，引出了如何去解释它的问题，探究从而开始。对新经验初步探索揭示出的特征，是与已经有的想法相关的，它可以引出某个可能的解释。也有可能存在数个有关的想法，从而

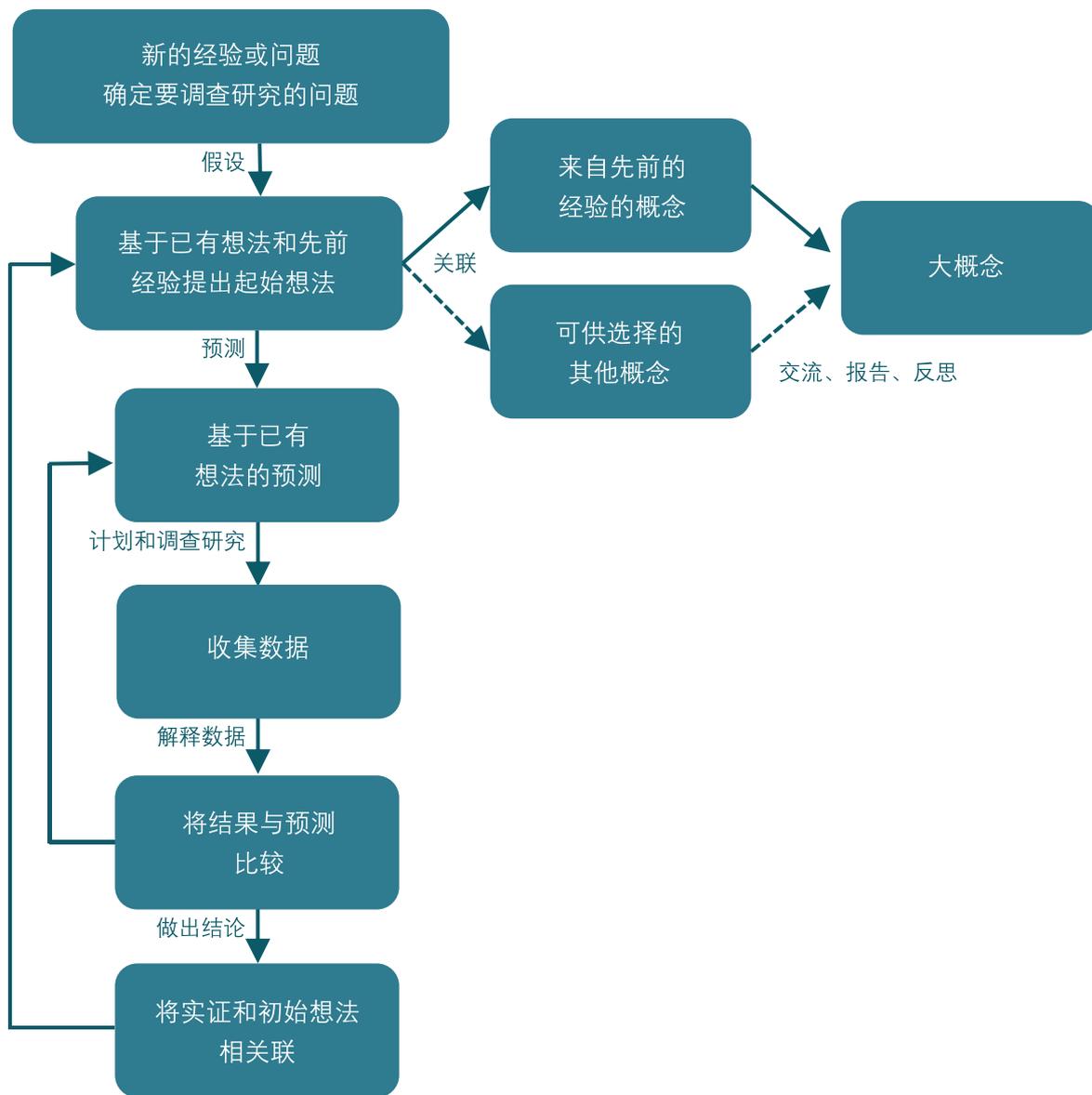


图2 通过探究进行学习的框图

提出了几种可能的解释（或假设）。如果其中有可以被接受的解释，就需要对它们进行检测。每一种检测都是为了检验是否有实证支持该预测。实证需要通过做探究计划和实施某个调查研究活动来收集，它包括收集和解释新的数据，系统地观察或是向二手资源咨询。需要进行测试的预测可以不止一种，所以需要重复地进行预测、计划和解释这一系列的工作。要看从新数据引出的结论是否支持所做的解释以及解释所依据的概念。如果是，这个概念就变的“较大”了，因为它可以解释更大范围的现象。即使不是，这种经验也有助于改善对原有概念的理解，但这时必须对另外的想法再进行试验。学生将整个活动过程和推理过程与其他人分享是很重要的。从批判性的讨论中，所有人都会受益，并且可以从了解是否可行的过程中进行学习。

⇒ 发展探究能力

图2中箭头旁附带的说明，表示从一个方框进入到下一个方框时需要进行的的活动。探究的结果取决于这些活动是如何实施的。也就是说，学生怎样完成预测并计划一个调查研究活动来测试所提出的预测，如何解释数据和得出结论。科学概念的发展取决于以科学严谨性来进行的数据收集和解释。否则，看似应该被接受的概念也会被学生排斥，而学生仍然会固守自己持有的不科学的想法。按照第8页给出的原则，帮助学生发展科学调查研究的能力，是发展对科学概念理解所需教学法的关键组成部分。最好在探究的内容中能够包括了解周围世界的科学概念，以及理解采取某些行动的理由。因而，探究的价值不只是找出对某个特定问题的答案，还可以达到两个目的：一是对大概念的理解，这些大概念可以运用于超出所研究事件和现象的范围；另一个是促进学习的能力和态度的发展，例如：在提出问题和对问题寻求答案时建立起的自信心，在与他人合作的过程中进行学习，以及对新科学理念的开放态度。

⇒ 引入供替代的概念

在尝试解释事件时，学生所使用的想法，不会总是可以用于测试和“成长”为更科学的概念，事实上经常不是这样。很多情况下，需要提出另外一个更为科学的替代概念。例如，学生对为什么能够看到并非光源的物体，解释为是他们的眼睛直接对着物体发出了一束光。检验这样的想法（也就是尝试在黑暗中观看物体）表明他们对此并不能提供一个适当的解释。那么教师的作用很重要，需要提出另一个替代的想法并支持学生去测试它。

替代的想法可以来自其他学生，来自信息资源或来自教师建议的类推，或是连接到学生没有联想到的经验。需要测试这些替代的想法，而这些想法又不是学生自己要求的“脚手架”——在给出测试替代想法的支持时，不要过于急促，好像它就是一个正确的答案一样。例如可以这样来表达：如果……会发生什么？假定……？如果……我们可以期待……？用这样的支持性语言，让学生收集实证，让他们来决定是否新的概念给他们提供了满意的解释。如果能这样做，那么引入的概念就变得“更大”了，因为它可以解释比以前更多的事件，并成为学生掌握的科学概念中的一部分。

⇒ 探究和实际操作

有时会把基于探究的科学等同于实际动手操作，或者是“动手做”的活动。这种对科学探究的观点过于局限。当然，在寻求某些事件改变时的实证以及检验解释这种变化的理论时，一个好的探究过程的确应该包括使用材料和设备。直接进行实验，可以让学生亲自看到他们的想法和解释是否行得通。但是，教师要谨防虚假的探究。在这种虚假的探究中，有很多实际动手的活动——观察、测量、记录，但是却没有让学生去理解自然现象或事件的科学意义。这可能是由于教师直接替学生做了解释，或是学生只是依照详细的指导书在进行操作，而没有思考什么是操作的目的所导致的。在第6章将会提到，进行教学评估，可以帮助甄别特定情况下产生上述问题的原因。

⇒ 探究的内容

正如我们在第3章中提及的，探究意味着学生通过他们自己对问题的调查研究来获得科学知识。他们本来不知道这些问题的答案，但是希望找到回答。这些问题，有的是学生自己提出的，或是教师以某种方式引入的，但仍然使学生觉得是自己在确定问题。对一些数量并不大、由学生考虑到的并且出自于他们认为对他们重要的问题进行调查研究，远比做大量的日常训练更有助于发展大概念。

探究并不是在科学教育中唯一使用的教学法。因为有的内容用直接教学的方法更合适，如学习使用设备的技能、名词、规章和符号等。在中学里，学生需要引入更加复杂和抽象的概念，它们不能只通过探究来获得。的确，在所有的学习阶段都会有这样的情况，探究使学生学到经验的科学含义，但不是孤立地在进行的。探究能使学生理解一些概念是怎样用来解释现象的，但不意味着探究本身就是这些概念的来源，因为概念并不是从对简单过程的观察中归纳形成的。因而，教师能够引入适当水平

的科学概念，作为学生使用的“脚手架”，是基于探究的科学教育的核心部分。这意味着，教师需要很好地理解大概念以及趋向大概念的途径。

评测

在建构大概念的内容时，对学生学习的评测起到两个重要作用：

- 提供反馈，以帮助教师调控教学过程，帮助学生将学习调整得更为有效（形成性评测）；
- 在实现科学教育各个目标的进程中保持对学生的跟踪（总结性评测）。

这里需要强调，这并不是两种不同种类的评测，而是在进行评测时运用评测手段来实现的两种有区别、但又同样重要的功能。在使用学习过程中的实证来形成评测数据时，形成性评测或总结性评测所需要的实证类型，收集的时间和如何收集都是不同的。

⇒ 形成性评测

形成性评测的应用是一个连续的反复进行的过程。评测中所获得的有关学生概念和能力的信息，要同时告知教学的各个方面，并能促进学生主动地参与学习。形成性评测整合于教学之中，并且具有对所有领域科目都有效的特点。在形成性评测中，教师和学生一起收集和使用实证，以决定下一步学习以及如何实施。下一步的学习将使学生进一步趋近于特定课程的目标。对教师来说，形成性评测的要点是要和学生分享这些目标，让学生认识到他们学习活动的目的，了解通过这样的学习活动他们能够学到什么。将判断他们学习活动质量的预期，明晰地告诉学生，帮助学生有效地管理自己的学习。同时，教师应认识到，如何能使学生通过短期的课程目的趋向于长期目标，包括对大概念的理解。

在形成性评测中，反馈对学生和教师都具有关键的作用，因为要用当前学习的实际证据去帮助学生进一步的学习。在教师给学生的反馈中，应该告诉学生可以用于推进他们学习的信息，对学生反馈内容和形式的研究表明，能够提供如何推进学习的有针对性指点，要比给出判断型的评论、或分数和等级更为有效，因为后者只能表示对工作好坏的判断。对教学的反馈会形成一种机制，用这种机制，

教师可以运用对学生和他们学习活动的观察结果，来调整教师向学生提出的问题。判断学生的能力，以采取一定的步骤加大对教学的调控，使得教学活动的要求既不过于困难——超过能够达到的程度，又不会太简单，以至于对学生没有吸引力。

那么，为发展大概念而使用形成性评测时，教师需要做什么呢？可以用提问的方法来收集有关当时学生想法的证据。所提的问题要鼓励学生去阐明他们的思想，而不是智力测验类型的题目，只期待学生给出正确的答案（如可以问“你想到的是什么？”，而不是问“什么是……？”）。在教学活动中，学生可以用口述、书写、画图和概念图等方式回答提出的问题。用向学习目标的进程来解释发现的情况，使得教师能够决定下一步的教学，并且将学生应如何向前发展的信息反馈给学生。通过帮助学生了解学习的目标和需要达到的标准，可以使学生参与评测过程，让学生对他们的学习承担一定的责任并进行反思。

⇒ 总结性评测

评测需要考虑的第二个功能，是在一定的时间点上需要记录和报告学习情况。它与一段时间内取得的学习成绩有关，而不是像形成性评测那样，需要和详细的课程目标相联系。总结性评测用于将学生的学习成绩告知家长、其他教师和学生自己，告知他们相对于目标和标准而言，学生的成绩如何。学校用总结性评测来保持教学水平和监测个体与群体的进展情况。总结性评测做得好还可以提供实例和可操作的定义，说明什么是意味着对概念的理解，以及如何通过用不同方法来应用学习的成果，从而评测对概念的理解程度。用于判别成绩的准则，可以使得学生、教师及其他人对标准和期望值变得更加清晰。虽然，总结性评测不像形成性评测那样，可以直接对学习产生帮助，但长期而言，它也可以有助于学习。

总结性评测和课程内容以及教学法之间会产生牢固的捆绑。如果不能正确地进行总结性评测，会使它的有益作用受到限制。如果评测的工具不能正确地反应所期望的目标时，会产生负面的影响，例如，应用概念的能力应该是教学的目的时，却去测试讲述事实的知识。通常会用测试的得分来表示对学生评测的结果。如果将它不适当地用于对教师和学校的权威性评估，则加重了它的负面影响。这样的应用会迫使教师针对测试来进行教学，挫伤了将课程内容聚焦于大概念的努力，因为有些大概念并不能包含在测试内容里。为了保证公平，在以测试为基础的问责制中，所需要的测试应尽可能地具有信度。但是高信度的要求会使得评测范围变窄，以及考虑和效度的折中。研究也表明，当测试行为变成课堂上的主导因素时，总结性评测会排斥形成性评测。

⇒ 总结性评测方法的延伸

在学习大概念中，为了使总结性评测起到推动作用，必须要采取一些措施，包括设计和采用一些评测方法，以便能够提供关于概念理解程度有依据的实证。为了使得评测能够更好地符合以探究为基础的科学教育目标，在革新评测方法上已经取得了一些成果。但是，为了保证对学生的总结性评测和促进大概念的学习过程与教学法相一致，还有很长的路要走。在国际学生评估项目（PISA）中，已经用书写“什么是可能发生的”方式来扩展评测；但是，与此同时，也强化了在个体化学生评测中，由于书面测试带来的局限性。也有不基于问卷的方法，而是单独或合并使用书写答案的方法，在几个国家高权威性的考试中，如在第三阶段的入学考试中已经使用了。在其他的例子中，使用的还有课程作业的分数的课程作业的档案、实际操作的课题、项目的研究工作、演讲和面试等。增加使用基于屏幕的问卷和测试课题（如同现在 PISA 正在研制的那样），在概念评测上的应用将会有很大的潜力。

较之传统的外部考试，这几种方法需要较大的投入以及教师的判断能力。如果希望这些用于总结性评测的方法能提供足够可靠的数据，必须采取一些步骤，降低教师判别时的偏向和误差。有几种有效的方法可以用于改善教师判别的可靠性，以达到总结性评测所需要的可信度水平。主要的一些方法有小组协商、使用已有的评测案例、用有关的测试作为校核。在小组协商中，教师一起对学生作业的样本进行评论，这样的做法很有价值，不仅能改善评测结果的可靠性，而且也是教师专业发展的一种形式。这样的经验，能使教师加深对用于评测和评测过程的准则的理解，对改善教师的形成性评测能力有附加的益处。用这种方法来实施评测，意味着来自实时进行的形成性评测的实证，可以对总结性评测做出贡献，使两种评测的目的变得协调，而不是冲突。

毫无疑问，需要一些总结性评测的策略和工具，用来与发展大概念所要求的内容与教学法相匹配。但是，对许多国家来说，更重要的是需要政策的改变，以支持更好的评测实践，这些政策涉及如何评估教学质量和学校的学习条件。那种用学生的测试成绩作为教学质量和学校效率的唯一量度，而不考虑学生入学时差异的方法，应该被更正确的方法所取代，要反映出教育的先进目标和有关的评估工具。没有这些政策的改变，即使有最正确的评测程序，也会在满足某些要求的压力下被逐渐削弱，从而导致对标准的狭义解读，并使得教学实践受到测试内容的过度干扰。

对影响的总结

作为总结，我们回到这样的问题上：以趋向大概理念的理念进行教学时，如何从课程内容来考虑，教学法和评测等方面影响着学生的学习经验。即使已经实践过基于探究的科学教学和形成性评测，如果学生要在逐渐发展对所确定的大概概念的理解中受益，必须增加一些工作环节。将上面讨论的各方面组合在一起，可以给出在以大概概念为理念进行教学时的一些关键特征。

⇒ 内容

- 教师能够说明课程的目的和活动如何与总的大概念相联系，并证实学习时间是用在进行这些活动上。
- 教师知道在发展大概概念中加深理解抽象程度的相继步骤。
- 学生按所选择的课题进行学习，对教师或任何观察者来说，这些课题和一个或多个大概概念之间有清晰的关联。
- 学生对自己和他人的调查研究情况以及历史上和现有的科学家的研究结果进行讨论，使学生理解如何运用实证来发展概念。
- 通过学习活动，学生能够在趋向大概概念进程中获得对概念应有的理解。

⇒ 教学法

- 教师帮助学生发展所需要的能力和态度，包括收集相关的实证来检验想法以及通过探究来回答问题。
- 学生有机会对事件和现象进行第一手的观察，有时也可能是探测。
- 学生有机会提出问题，通过探究寻求答案以及思考如何做，才能够进展到掌握较大和更为有用的概念。
- 教师帮助学生认识到，在他们课堂探究中呈现的科学概念，如何与他们的日常生活相联系，以及认识到新的经验和已有经验、新的概念和已有概念之间的联系。
- 学生有时间对他们的调查研究工作以及收集和使用实证如何导致他们概念改变的过程进行

反思。

- 教师帮助学生认识到：虽然科学知识会随着新的实证发现而被改变和改善，但是科学知识并不是某种舆论。科学上关于现象发生原因的解释必须要获得可靠的实证支持。

⇒ 评测

- 教师运用形成性评测，通过使学生了解学习活动的目的以及如何判断学习活动的质量，来促进学生主动参与学习活动。
- 教师运用对学生学习情况的持续观察，将如何改善学习的信息反馈给学生，并引导他们进入趋向大概念进程的下一步，来帮助学生获得学习上的进展。
- 教师运用有关学生进展的实证，调整教学要求的水平和学习进度，以保证学习达到掌握概念和概念进程的要求。
- 运用总结性评测的方法，通过运用概念来解释周围世界的事件和现象，使学生能展示出他们对概念的理解。

6·大概念理念的实施

Implementing big ideas

任何一种教育改革的实施过程都会受到政策和实践上许多因素的影响。在实施以大概念为理念的教学中，下述三个方面会产生特别重要的影响：

- 国家或州课程文件的形式和内容会影响到对内容、教学法和评测的决策；
- 教师在内容和教学法方面知识的核心作用是决定学生学习机会的关键因素；
- 教学的形成性评估和学生的课堂经验可告知如何改善教学实践及建立便于实施的教师专业发展资源。

在国家课程标准中大概念的表达

国家课程文件的作用是给出学习的目标和原则，应该用于指导学习目标和原则的实施，而不是用来建议学习活动。学习活动应该在教学单元或教学模块的文件中来建议。需要考虑帮助所有学生发展大概念这个总目标，它会影响列出目标的形式。虽然课程框架中需要说明对其他有关学习目标的要求，例如科学探究的技能等。但是，在这里我们主要关心的是科学概念如何被表达。它应该以大家都能理解的形式来表达，不只是针对教师、教育研究者和学生，也需要考虑到家长和其他对教育关心的人。对趋向大概念进程的描述，如同在第4章中所述的那样（也许还可以详细一点并给出一些示例）提供了有效的交流方式，说明科学教育最根本的目标是对一些科学概念相互关系的理解，而不是一连串的事实或是小概念的堆积。课程文件也应该清楚地说明，获得对大概念理解的过程是不断的、连续进行

的。这样做的目的是使教师、家长和其他人能够认同向大概念进展的过程，可以看到特定的活动如何对这个进程做出贡献。

⇒ 有关科学知识的大概念的表达

在一些国家课程文件中已有新的实例，在对目标的综合论述里包括了大概念的表达，虽然不一定和我们所挑选的科学内容的 10 个概念完全一致，但是十分相似，并且服务于同样的目的。例如，在法国研制的从幼儿园到九年级课程的指导原则中，包含了这样的知识：

宇宙由从最大尺度的物体（星系、恒星、行星）到最小的微粒（粒子、原子、和分子）构成。

但是如何将这样一种概括的目标分解成一定学习阶段或者学年的学习目标呢？做这样的分解是重要的，因为需要告知各方，掌握大概念需要一个连续和逐渐的进程。大概念应该贯穿在对所有阶段学习目标的描述中。为了表达在理解概念上的进程，只用课题或概念的名词，如“力”“电”“物质”，来表述预期学习的内容是不够的。表述中应该指出在特定阶段上，要求达到的对概念的理解水平，或是模型与连接，这样才能发生作用。

大多数的课程文件，在给出需要学习的概念时，也列出了在不同阶段应该培养的探究技能或实践能力。通常，这两种类型的要求是分别列出的，但是最近研制的课程框架中，在表达一个阶段或年度的目标时，将技能和概念合并表述了。例如在苏格兰的课程文件中，学习目标“以我能够……”的形式做表达，如以下引用的在四年级结束时，对与生物多样性和相互依存的大概念有关的结果的描述：

我能够帮助设计实验，以发现植物生长和发育需要什么。我能观察和记录我的发现，以及依靠我学习到的内容，能够在学校里种植有益的植物。

在美国从幼儿园到十二年级国家科学教育标准的框架中，学习的成果表述为：学生要证实他们能够做什么。这是一种组合实践能力和总体概念的系列表述，例如：

研究在两个或多个磁体之间力的作用来确定模式。

用模型来解释平衡力和不平衡力作用在一个系统上的效应。

这种表述的形式告知了必须通过探究和调查研究来学习概念，同时也说明，探究能力是在运用与科学内容有关的活动中培养的。然而，尽管他们清楚并不想在能力和内容组合上设置限制，但是在有关能力和内容组合时，用这样一些特定的论述会形成某种强势的引导。此外，这种表述的复杂性会模糊各个阶段学习的概念和总的大概念之间的关系。

⇒ 详细的程度

在一些国家课程文件中，说明学习经验和成果所选择的时间间隔是不同的。有些逐年列出了学习的内容；有的只列出较长的 2 ~ 3 年的时间段结束时的要求，在这中间，只有对学习内容的描述。在某个详尽的课程标准中，把科学活动变成了一个例行的程序，只是在用一些术语来应对要求，而不是花时间来保证对概念加深理解。过于详细的描述，会限制教师对于学生学习兴趣的考虑。加之，说明得越详尽，在决定准确的次序时越有问题，越有可能发生因细节而模糊总体目标——掌握大概念和发展科学探究能力的危险。在给定的学习阶段里，对期望学生学习的概念和能力如何表述，应该服从于保证趋向于总体目标进程的要求。这一点，在学习阶段衔接时特别重要，如从初等教育进入到中等教育时。如果对衔接时的结构没有明晰的表述，课程内容就好像显示成可以随意选择教学的内容，或回到传统的做法，或选择容易被评测的内容。

⇒ 包括关于科学本身的大概念

在课程文件中，对有关科学本身的大概念的关注也是不同的。本书中大概念 11 和 12 项是有关科学本质的大概念，对它们做了总体性的表述，并且认为这些概念是通过参与科学调查研究和探究活动来发展的。也就是说，培养科学能力的机会，也是反思如何通过此类活动可以建构科学概念的机会。但是，除非在课程的框架中明晰地提及，如同在英国的国家课程文件中列出了“科学地工作”目标那样，显然就很容易在设置学习项目时忽略了这样的机会。

大概念 13 和 14 项是有关科学和 STEM 中其他学科的关系以及和科学应用的关系。在国家课程文件中，也用了不同的方式来对这方面进行表述。有的是通过学科之间交叉参照的方法，通常出现在科学和数学的课程文件中。但是，这样的联系方法容易在计划课堂项目时被视作可选择的项目，经常会被个别教师或者是个别小组所选用，而不是组成一个多学科的梯队，在这样的梯队里，各个成员携带着自己的专业经验，来共同创造一个协调的学习计划。另一种方法是在总目标的描述中，嵌入有关

科学应用的部分。例如，在讨论由于 DNA 有关的技术发展而引出的道德和伦理问题中加入。第三种方法，也可能是更为有效的方法，是作为课程框架整体的一个部分，在课程的领域之间建立联系。美国《K-12 科学教育框架》¹ 文件就是一个例子。在这个文件中，以与物理科学和生命科学相同的方式，把工程和科学的应用列为学科的核心概念。这些不同的尝试释放出的信息是，了解科学和其他学科领域之间的联系，特别是和技术、工程和数学之间的联系，其重要性日益增长，但是，扩展的程度还需要进一步研究。

教师对大概念的理解

在第 5 章讨论大概念对课程内容、教学法和评测的影响时，强调了要求教师能保证学生在学习科学时逐渐建构成一个协调的整体概念，而不是一些不连贯的事实，因此，必然会对小学和中学教师以及教师教育和研究者产生影响。

在有关科学知识的大概念方面，小学教师会面临特别的挑战。首先，年幼的儿童一般注重于探索周围局部的环境，以及生活于其中的生物和非生物。这种调查研究和观察会引导到一些“小”的概念上，这些小概念要与科学大概念相连，就显得太单薄了。因而，在小学水平，要保持与科学大概念相联系的教学就更为困难。其次，在许多情况下，教师自己接受的科学教育使得他们对大概念缺乏应有的掌握，并且很少有机会学习如何将他们已经具有的片段知识联系在一起。因而，他们很可能没有足够的基础，认识到课堂活动中出现的概念和能更广泛应用的概念之间的联系，也并不处于可以帮助学生学习大概念的状态。加之，因为教师本人参与科学活动不多，从经验上升到科学知识的体验不够，从而缺乏进行科学教育的自信心，由此造成了进一步的困扰。

另一方面，小学教师也具有一些长处。作为全科的教师，他们和学生的关系要比中学的专科教师来得密切。他们知道自己不是专家，一般会非常小心地为学生准备“动手做”的科学活动，并提供学生乐于参与的体验，使得学生对科学具有积极的态度。可能产生的不足是，由于关注在动手上，影响到进行讨论和思索的环节。但这类教学活动要引导到对科学知识的理解，讨论和思索是必要的。

中学阶段与小学阶段相比，学习活动和大概念之间的联系会变得更为明显。但是中学教师面临着

1 译者注：该书中文版将由科学普及出版社出版。

在过于繁重的课程内容中如何进行探究的问题，以及本身具有的知识只局限于特定科学领域所带来的困扰——例如曾经学的是生物学，但是需要去教物理学，也会遇到由于缺乏参与科学研究的第一手经验，而在进行有关科学本身的大概念教学时缺乏自信。要进行横跨所有科学领域里的教学，对于所有的人来说都是挑战，即使对受过训练的科学家也是这样。教师应该拥有继续进行学习的机会，以面对这些一定会出现的挑战。

⇒ 教师专业发展的方法

对所有的教师而言，理想的状况是教师本人能够理解大概念和科学。由于教师自己在学校的科学教育就缺乏这方面应有的培养，这对教师教育或是后继的专业发展造成了不可忽视的困难。当然，完整的科学教育也不可能压缩在有限时间的职前教师的教育课程里。但是，教师和培训者都是有知识的成年人。他们具有较丰富的相关经验和知识，这种涉猎的广泛，常不被他们自己所察觉。作为成年人，让他们利用详尽描述的资料，来参与大概念的学习，可以帮助他们就自己的经验进一步了解它的含义，将回忆起来的片段知识组合起来。这样做，他们就能对以前认为似乎是超越他们理解能力的一些事物有了新的认识，他们会因此而感到欣慰。这里必须强调：这种学习方法不适宜用在学生的学习中。

这里用的“参与学习”的表述，远远不止是阅读和讨论有关大概念的叙述性说明，如同在第4章中给出的说明。而是应该考虑到当前的教育观点：学习是在学习者之间的互动中发生的，这点对成年人和对学生都一样。和其他人一起，对以叙述形式表达的概念进行讨论时，可以让教师利用自己和他人的经验来了解所涉及“故事”的含义。个体对知识的理解，作为个体和群体之间不断相互作用的组成部分，会受到其他人观点的影响。社会学上，以这种方式共建概念，在这里虽然并不能导致对大概念的完全掌握，但是可以帮助启动一个不断加深理解的过程。经历这样的过程，也会使得教师能够在学生的学习进程中，以同样的方式帮助学生。

这样的学习体验应该配合一些教师参与的，符合他们水平的科学探究活动。以便让教师通过参与这些探究活动，发展对科学探究本质的理解。教师和培训者需要有时间 and 机会来进行提问和调查研究。有时可以是一些十分简单的，他们日常生活中遇到的问题（例如：为什么纸巾需要多层；为什么冰在水面上会漂浮？为什么从冰箱里把饮料罐取出来以后，饮料罐的外壁会变得潮湿？）。在这样的活动中，并不要求教师担当探究的角色扮演者，而是作为对这些普通现象的真正研究人员。反思他们最初的认识、他们发现了什么更多的事物以及如何发现了这些新的事物，可以使得他们对科学知识是如何

产生的有所领悟。这样做，会给教师提供一些课前的帮助。有助于他们帮助学生理解有关科学本身的概念（特别是大概念 11 和 12 项）以及科学知识的大概念。

在给教师提供的课程中，与获得第一手经验一样重要的是，应采取方便教师随时可以获得的形式，提供理解科学概念和教育法需要的连续支持。作为信息源，互联网可以起到关键的作用。针对教师的需要，选择出一些电子出版物，也许更为可取。此外，也可以提供一些个人对科学的理解和如何对特定概念进行教学的实例。例如，和更有经验的教师和科学家进行直接交流。实践已经证明，教师向其他教师学习，非常有效。在以趋向大概念为理念、以探究为基础的教学中，教师学习其他人的教学实践经验，在促使教师转变的诸多因素中是一个重要的组成部分。

对教师专业发展需求的分析，以及在特定情况下如何培养教师，都需要做更多的研究。在下一节里，我们将对在以大概念进行的教学中，如何判别教师的教学行为，以及在什么地方需要对他们提供帮助提出一些初步的想法。

对以大概念理念教学的形成性评估

在这里，我们使用了评估一词，是因为关注于教学过程，而不是对学生学习的评测。目的是收集和使用数据，来改善课堂教学实践的有关过程，使学生能够发展对大概念的理解。这里我们并没有涉及影响有效科学教育实践的整个范围，而仅是论及其中的关键部分，虽然其中已经包括了探究性学习的许多元素，但对于要深入发展对概念的理解来说，还会涉及更多方面的问题。

⇒ 趋向于大概念学生学习活动的标示

在这里，形成性评估意味着收集和使用与教学状况有关的数据，来鉴别教学实践中已经达到的预期和需要改进的地方。在与学生学习相关的这一点上，与教学的形成性评测有相似的目的。但是，对学习的评测是与学习活动的目标相联系，而在对教学的评估中，需要与有效课堂实践的标示或是规范有关。因而在评估的开始，需要建立这样的一些标示。这些标示，可以用在帮助学生理解大概念的过程中，通过学生活动情况和教学方式来进行表达。例如，一个好的教学实践的标示，是需要包括向学生提供下述一些学习机会：

- 了解他们活动的目的
- 在进行更为有结构的调查研究起步阶段，安排了非正式的、对现象中出现的新问题的探索和“与概念一起玩”
- 将新的经验和以前的经验相连接
- 和他人一起合作参与活动，交流自己的观点并考虑他人的观点
- 展示实证，以支持他们自己的观点
- 参与讨论来论证他们自己的观点和给出的解释
- 将学习内容应用到真实生活的环境中
- 对过程和探究的结果进行反思和自我检查

不过，学生能否有获得这样一些体验的机会，取决于教师的教学计划和如何将这些计划付诸行动。运用这些与教学有关的标示，是一种较为直接的方法，可以用于辨别在什么方面教师需要帮助。给出这样一组描述商定的教学实践的标示，具有双重的目的——指出将要进行数据收集的方面，以及作为判别教师是否达到所期待的教学行为规范的判别标准。

⇒ 趋向于大概念教学的标示

下面给出一些在以发展大概念为目标的教学中评估的标示和过程。教学实践中的标示，应该来自于教师之间的讨论，讨论如何去描述具有上述目的的教学。这些讨论起到一种形成性的功能，帮助教师理解所包含的内容，同时保证这种评估完全是公开的，以便使得相关的每一个人，都知道收集的内容和将使用来形成实证的理由。如果希望教师愿意参与评价自己的教学实践，教师能了解评估的基础是很重要的。

用提问的形式来表达一些标示是很有帮助的，例如：教师是不是……

- 对学生的活动如何有助于他们趋向于理解一个或多个大概念具有明晰的想法
- 有时间让学生不受设定地探索新的情况和讨论他们最初的想法
- 帮助学生认识到新的与以前有的经验和想法之间的联系
- 与学生一起讨论如何将他们探究中引出的想法与他们日常生活的经验相联系
- 展示特定概念如何能够解释一定范围的事件和现象，以有意识地建构大概念
- 与学生一起讨论，如何像科学家那样收集和使用数据来检验提出的想法
- 帮助学生反思他们的调查研究和建构关于科学活动本质的概念

- 保证学生能从行不通的想法或计划中也能进行学习，而不认为这就是失败
- 围绕新闻中的有关热点，让学生有机会讨论科学概念是如何应用于科学研究和工程进展的
- 考虑到学生的年龄，从科学史中选取一些适当的例子来展示科学概念是如何被改变以及被改变的理由

⇒ 收集教学评估的数据

上述标示表示了对评估有用的信息来源。这些包括：教师的课程计划、教师对学生进程的记录、学生的笔记、与学生的谈话以及可能的话还有对教学过程观察。有某个人如教研员、教师的培训者或是其他的教师能对教学进行观察会很有帮助。教师可以合作互相观察课堂教学，来收集与标示有关的信息。如果不可能得到另一个观察者的帮助，教师仍然可以用评估自己教学计划、笔记和记录（包括他们自己课堂的录像带）和抽出时间与学生交谈，了解他们对自己学习活动的看法，以获得有用的信息。的确，对于教师来说，也许更愿意在课堂中自己进行评估，而不由他人来评估，至少在初始阶段是这样。

⇒ 对评估数据的解释

当然，教师不可能对每节课或序列的活动过程，给出如前面所列出清单中的回答。但是，如果在相当长的时期内，没有对一定标示条款进行实证，这时很重要，要询问为什么没有？因为评估是为了形成性的目的。回答的理由就能表现出在理解内容和教学法的哪些方面，需要给教师帮助。在引入一些教学上基础性的变革时，例如基于探究的教学和以大概念的理念来进行教学，特别需要将这类评估列为教师专业发展的一部分。并不需要总是涉及全部范围的标示，而是在教师试图去改变的特定教学实践方面提供反馈。重要的是：教师需要一直能控制这个过程，把它看成是专业学习的一部分，而不是在对教师工作的优劣做出判别。

总结性评论

在教育领域或在其他领域实施任何变革，都会与以下几方面因素有关：对改革必要性的认识；对

改革会带来预期效应的判断；对许多影响教育实践交织的因素所引起后续反应的承担和解决方案。

需要对科学教育进行改革的理由已经从有关学生状况的报告中得到证实：学生对科学持负面的观点，并且不感兴趣。对造成这种情况负主要责任的因素有过于臃肿和过于详尽的课程内容；被测试充斥的评测促使教师去教授一些不连贯的事实以及固守的一些教学方法，阻止了向基于探究的教学方法的转变。因而，在许多国家，科学教育无法为年轻人做准备，以便应对一个由于科学在技术和工程中应用而发生迅速转变的社会。每个人都需要对这种社会转变做准备，而不仅是那些将从事以科学为基础职业的人。每个人都需要对科学知识的核心理念及有关科学本身的核心理念有一个总体了解，以使得他们在影响自己与他人福祉的决策中，作为一名知情的公民参与决策。

在本书中，我们提出了一组跨领域的高层概念和模型，它们能够对相当范围内的有关现象做出解释，故称之为大概念。以大概念的教学来重申和展开论述了科学教育的目的。我们对提出的观点进行了解析，并给出了一些实证，表明确定为数不多但却十分有用的概念有很大的益处，不仅能够腾出学习时间，使得基于探究的教学法能够实施。它能使学生体验到，并且重视在科学活动中收集和使用实证，这是获得了解周围世界的科学知识以及如何运用科学知识的核心。我们认为采用以探究为基础的教法，必须以大概念来构建课程。

为了改变对科学教育目标的理解和表达，不仅需要修订课程文件。在课堂上发生的变化受到许多相互交织的实践环节影响，在本书中讨论的主要是学生的评测、教师教育和教学法。但是，还有许多其他的影响因素，例如像学校的组织结构、教学和教师的奖励和评估、家长的作用和期望，以及当地管理者和督学提供的支持，当然还需要政府政策的支持。真正的改革需要所有有影响的各方协同运作。教师是最终对学生的学习经验负责任的人，但是不能靠他们来单独实现真正的改革。在许多情况下，需要在政策上发生变化，使得革新不至于被现实的力量所扼杀。



研讨会人员介绍

德雷克·贝尔，罗莎·德韦斯，休伯特·戴西，吉耶尔莫·费尔南德斯·加尔扎，皮埃尔·莱纳，罗宾·米勒，迈克尔·赖斯，帕特里夏·罗厄尔，韦钰



德雷克·贝尔
(Derek Bell)

德雷克·贝尔 (Derek Bell)

德雷克·贝尔教授是一位致力于改善和促进全民教育的教师、研究者、顾问和倡导者。在担任英国科学教育协会 (ASE) 执行主席和惠康信托基金会 (Wellcome Trust) 教育部门负责人之前，他曾在学校和大学里工作。通过咨询工作、参与各种委员会、担任顾问和发表众多的出版物，他始终在国内和国际教育领域发挥着积极的作用。现在他担任 IBM 英国信托基金会董事，英国理解动物研究和细胞中心董事、全球科学教育委员会国际专家组成员和欧盟青年科学家竞赛评选委员会成员。2011 年，他被曼彻斯特大学授予荣誉博士称号。贝尔教授还担任 LEARNUS 的主任、英国伦敦大学教师学院的教育学教授以及教育研究所的客座研究员。



罗莎·德韦斯
(Rosa Devés)

罗莎·德韦斯 (Rosa Devés)

罗莎·德韦斯教授在加拿大西安大略大学获得生物化学博士学位，之后就职于智利大学医学院生理和生物物理系。她教授细胞生理学课程，并参与发展研究生教育，包括创建了生物医学科学的博士项目，指导该项目两个周期共达十年。在组合了12个基础和临床前科学系的基础上，德韦斯教授参与创建了生物医学科学研究所。1997—2000年，她担任该研究所的副所长。

在从事科学研究工作的同时，德韦斯教授投身于改善学校的科学教育，1999—2002年与智利教育部课程和评估分部合作，担任研制新课程的科学梯队的协调人。2003年，她与乔治·阿连德教授一起，与美国和法国科学院合作，发起了基于探究的科学教育项目（ECBI），此项目的合作单位包括智利教育部、智利科学院和大学，旨在为所有的儿童提供高质量的科学教育。

2010—2014年，德韦斯教授担任智利大学的教务长，领导了两个项目：大学教育发展的战略研究和加强公正与包容，以为来自不利背景的学生提供更多的机会。2014年7月，她被任命为智利大学主管科学研究的副校长。2003年，她担任智利科学院的通讯院士。



休伯特·戴西
(Hubert Dyasi)

休伯特·戴西 (Hubert Dyasi)

休伯特·戴西教授是科学教师教育的专家，他在国际范围内从事设计、指导和实施基于探究的科学教育项目，并为许多会议中的专业报告做同行评议。他是许多书的共同作者和一些书中的章节撰写人，例如《美国实验室报告》（美国科学院出版社，2005）、《规划科学和数学教师的专业发展计划》（科文出版社，2003）、《探究和国家科学教育标准：对教学和学习的指南》（美国科学院出版社，2000）、《国家科学教育标准》（美国科学院出版社，1996）。戴西教授被授予的荣誉有：科学教育卓越服务奖、优秀教育者、国家科学研究理事会K-12科学教育委员会成员、加州理工学院和牛津大学万灵学院（All Souls College）访问学者。他也是科学教育国家研究所高级成员和IAP科学教育项目专家委员会成员。



吉耶尔莫·费尔南德斯·加尔扎 (Guillermo Fernandez de la Garcia)

吉耶尔莫·费尔南德斯·加尔扎 (Guillermo Fernandez de la Garcia)

吉耶尔莫·费尔南德斯·加尔扎是美国－墨西哥科学基金会 (FUMEC) 的主席和首席执行官。该基金会是由美国和墨西哥政府支持的非盈利性机构。在基金会中，他推动在如航空、信息通信技术、先进制造等领域发展国家间双边的区域创新中心，也帮助中小企业的创新。他在墨西哥国立自治大学获得工程和物理学士学位，在斯坦福大学获得工程经济硕士学位，并在 IPN 和 IPADE 中完成了核工程和工商管理的高级学习，他致力于推进工业界、大学和政府的创新项目。

吉耶尔莫在传播科学和推进科学教育方面做出了显著的贡献。他是墨西哥科学技术普及学会 (SOMEDICYT) 的创始人之一。他召集了一些科学家、教育家和工商界领袖建立了 CHISPA——一个面向儿童的科学杂志，1978—1998 年间作为月刊在墨西哥出版。CHISPA 赢得了墨西哥和国际的奖励，至今墨西哥教育部还在发放该杂志的选集。由 CHISPA 组织的儿童和科学家的聚会，逐渐发展成由墨西哥科学院进行的“科学的星期六和星期日”项目。

2002 年，在 FUMEC 的支持下，他发起组织了一个非盈利的组织——科学教育革新组织 INNOVEC。这个组织在墨西哥公立学校内建立了基于探究的科学教育网络。他和墨西哥教育部、墨西哥科学院一起发起了儿童科学技术课程的探索。吉耶尔莫先生获得了 2008 年的法国科学院和圣·安梯勒矿业工程学院为儿童科学教育革新而设立的 Purkwa 奖。



温·哈伦
(Wynne Harlen)

温·哈伦 (Wynne Harlen)

温·哈伦教授毕业于牛津大学物理专业，之后担任过教师、培养教师的教授以及科学教育和评测的研究者。1985年，她被任命为利物浦大学教育 Sydney Jones 讲席教授并创建了小学科学研究和发展中心。1990—1999年她在爱丁堡担任苏格兰教育研究理事会主席。现在她在家乡苏格兰担任顾问。哈伦教授领导过许多研究项目、教师专业发展和课程发展项目，并撰写和出版了多部科学教育和评测方面的专著。

温·哈伦教授是英国科学教育学会 (ASE) 终身会员和荣誉会员，2009年曾担任该学会的主席，1999—2004年小学科学评论杂志的编委。1998—2003年她是 OECD PISA 科学专家组的首席专家。她主持英国皇家学会工作组负责编写科学和数学教育国家发展报告 (5-14)，1991年基于她对教育的贡献被女皇授予 OBE 奖，2001年被 ASE 授予科学教育杰出贡献奖。2008年她和吉耶尔莫·费尔南德斯·加尔扎先生一起获得国际 Purkwa 奖，2011年获得墨西哥科学院和 INNOVEC 颁发的探究式科学教育特殊贡献奖。



皮埃尔·莱纳
(Pierre Léna)

皮埃尔·莱纳 (Pierre Léna)

皮埃尔·莱纳是法国巴黎迪特罗大学天体物理学教授（现已退休）。在巴黎天文台工作期间，他在红外天文学、智利的欧洲超大天文望远镜（VLT）建设、应用于天文图像的新光学技术方面做出过很大贡献。他多年负责指导法国天文和天体物理学方面的研究生学院。他是法兰西科学院院士，欧洲科学院院士和梵蒂冈科学院院士。

他作为法国国家教育法研究所的所长参与了教育发展（1991—1997年）。与诺贝尔奖获得者乔治·萨帕克一起，并在法国科学院的支持下，在法国小学里倡导和推行了一项科学教育改革，即探究式的“动手做”科学教育项目（La main à la pâte）。通过这个项目研制了用于课堂的教学方法和教学资源，2002年正式确认为法国的国家课程。基于这个项目的成功，法国科学院在2005年建立了一个永久性的机构来管理这个项目，包括教师培训。直至2011年，这个机构都是在莱纳教授的领导下进行工作的。从2012年开始，法国科学院和高级工业大学（巴黎和里昂）创办了La main à la pâte科学合作基金会，有25位工作人员专职从事科学教育、国际合作和一些研究工作。基金会每年会出版一些书籍和其他的教学资源，并举办培训班。皮埃尔院士担任第一任的主席（2011—2014年）。参见 www.fondation-lamap.org 和 [www.academie-science.fr / enseignement/generalites.htm](http://www.academie-science.fr/enseignement/generalites.htm)。



罗宾·米勒
(Robin Millar)

罗宾·米勒 (Robin Millar)

罗宾·米勒教授是英国约克大学科学教育的教授（现已退休）。他获得理论物理的学士学位和医学物理的博士学位，并参加过作为教师的培训。在1982年他到约克大学任教以前，曾担任过八年爱丁堡中学的物理教师。

罗宾教授在涉及科学教学和学习的广泛领域里撰写和出版了许多专著。他的主要研究领域是科学课程中学生的学习、科学课的设计和研制以及对科学学习的评测。他指导了调研科学教育中实践环节和年轻人对科学的观念等研究项目。1999—2004年，他是基于实证的科学教育实践研究网络（EPSE）的协调人。他参加了许多重要的课程研制项目，包括《公众理解科学》和供中学学生使用的《21 世纪的科学》系列课程。

1996—2000年他担任欧盟科学教育实验室项目英国委员会的成员，2006年和2015年 OECD 国际学生评测（PISA）科学方面专家组的成员。1999—2003年，他担任欧洲科学教育研究协会（ESERA）主席，2012年担任英国科学教育协会主席。



迈克尔·赖斯
(Michael Reiss)

迈克尔·赖斯 (Michael Reiss)

迈克尔·赖斯教授是英国伦敦大学教育研究所科学教育的教授，利兹大学、约克大学和皇家兽医学院的客座教授，英国科学协会和教师学院的荣誉会员，赫尔辛基大学讲师、萨尔特－勒非尔德先进生物项目主任和英国社会科学院院士。他曾任英国皇家学会教育分部的主任。他撰写和出版了许多有关科学教育课程、教学法和评测的专著。在过去的20年时间里，赖斯教授对英国研究委员会、政府部门、基金捐助机构以及国际组织资助的研究项目、评估和咨询等众多项目进行过指导。



帕特里夏·罗厄尔
(Patricia Rowell)

帕特里夏·罗厄尔 (Patricia Rowell)

帕特里夏·罗厄尔教授是加拿大阿尔伯特大学基础教育系教授（现退休）。她的研究工作专注于应用于正规和课外小学科学教学和学习中的话语策略特性研究。她的研究得到了加拿大联邦科学基金的持续资助。她是阿尔伯特大学数学、科学和技术中心创始人之一，并负责完成供阿尔伯特全省使用的基于探究的教师学习资源。她作为科学教育者分别在纳米比亚和波斯瓦纳工作了两年，并且指导了南非、中国、智利和澳大利亚的培训班。罗厄尔教授拥有伦敦大学生物化学本科学位和牛津大学的硕士学位，以及阿尔伯特大学的科学教育博士学位。



韦钰
(Wei Yu)

韦钰 (Wei Yu)

韦钰教授任教于中国东南大学，是中国教育部儿童发展和学习科学研究重点实验室的创始人。她作为教师和研究者，长期工作于电子学领域，在发展分子和生物分子电子学方面取得了显著成绩，在1993—2002年担任教育部副部长期间，对中国的高等教育改革和远程教育的发展做出了重要贡献。

从1994年和2002年开始，韦钰教授先后担任世界科学联盟科学能力建设委员会和IAP科学教育项目的成员，她积极参与了学校科学教育的改革，发展了联系神经科学和教育学的跨学科研究，同时提出并推动了基于探究的科学教育改革项目“做中学”，建立了汉博网站。她曾担任中国基础教育小学科学标准修订委员会主席。2010年她和她的团队获得了中国基础教育改革一等奖。她也获得了法兰西科学院和圣·安梯勒矿业学院为儿童科学教育改革而设立的PuRkwa奖。韦钰教授是中国工程院院士和中国大陆以外九所大学的荣誉博士。

参考资料

- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1993) *Benchmarks for Science Literacy*. Project 2016. Oxford: Oxford University Press.
- AAAS (2001) *Atlas of Science Literacy*. Washington, DC: AAAS and NSTA.
- Abrahams, I., and Reiss, M. J. (2012) Practical work: its effectiveness in primary and secondary schools in England, *Journal of Research in Science Teaching*, 49(8), 1035-1055.
- Alberts, B. (2008) Considering science education. Editorial, *Science*, 319, March 2008.
- Alexander, R. (ed.) (2010) *Children, their World, their Education*. Final report and recommendations of the Cambridge Primary Review. London: Routledge.
- Biosciences Federation (2005) *Enthusiasing the Next Generation*. London: Biosciences Federation.
- Bransford, J.D., Brown, A. and Cocking, R.R. (eds) (2000) *How People Learn, Brain, Mind, Experience and School*. Washington, DC: National Academy Press.
- Bruner, J.S. (1960) *The Process of Education*. New York: Vintage Books.
- Butler, R. (1988) Enhancing and undermining intrinsic motivation: the effects of task-involving and ego-involving evaluation on interest and performance, *British Journal of Educational Psychology*, 58(1), 1-14.
- Carnegie and Institute for Advanced Study (2010) *The Opportunity Equation Transforming Mathematics and Science Education for Citizenship and the Global Economy*. New York: Carnegie IAS.
- Concoran, T., Mosher, F.A. and Rogat, A. (2009) *Learning Progressions in Science*. Philadelphia, PA: Centre on Continuous Instructional Improvement, Teachers College, Columbia University.
- Devés, R. (2009) *Science Education Reform in Chile (1990-2009)* Paper prepared for the 2009 Loch Lomond Seminar.
- Duncan, R.G., Rogat, A.D. and Yarden, A. (2009) A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th-10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 655-674.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H.A. Shouse, A.W. (2007) *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Washington DC: The National Academies Press.
- European Commission (2007) *Science Education Now: A renewed Pedagogy for the Future of Europe*. (Rocard Report) Brussels: European Commission.
- Fernandez de la Garza, G. (2009) Brief overview of the evolution of the science curriculum for the elementary schools in Mexico. Paper

prepared for the 2009 Loch Lomond Seminar.

Gustafson, B.J. and Rowell, P.M. (2000) Big ideas (and some not so big ideas) for making sense of our world. A resource for Elementary Science Teachers. Edmonton: University of Alberta.

Harlen, W. (2013) *Assessment and Inquiry-Based Science Education: issues in policy and practice*. Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Programme: Trieste, Italy.

www.interacademies.net/activities/projects/12250.aspx

Harlen, W. (2009) Teaching and learning science for a better future, *School Science Review*, 90 (333), 33-41.

Honey, M., Pearson, G. and Schweingruber, H. (eds) (2014) *STEM Integration in K-12 Education: Status, prospects and an agenda for research*. Washington DC: The National Academies Press.

Howard-Jones, P., Pollard, A., Blakemore, S-J., Rogers, P., Goswami, U., Butterworth, B., Taylor, E., Williamon, A., Morton, J. and Kaufmann, L. (2007) *Neuroscience and Education: Issues and Opportunities*, London: TLRP/ESRC.

La main à la pâte (1998) Ten principles of teaching. <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/105/principes-et-enjeux>

La main à la pâte (2014) www.fondation-lamap.org.

Le Socle commun des connaissances et des compétences (France, 2006).

http://cache.media.eduscol.education.fr/file/socle_commun/00/0/socle-commun-decret_162000.pdf

Learning and Teaching Scotland/SQA (nd) *Curriculum for Excellence: Sciences experiences and outcomes*. http://www.educationscotland.gov.uk/Images/sciences_experiences_outcomes_tcm4-539890.pdf

Léna, P. (2009) Big ideas, core ideas in science-some thoughts. Paper prepared for the 2009 Loch Lomond Seminar.

Mansell, W. James, M. and ARG (Assessment Reform Group) (2009) *Assessment in Schools. Fit for Purpose? A commentary by the ESRC Teaching and Learning Research Programme*. London: ARG and TLRP.

Massachusetts Science and Technology/Engineering Curriculum Framework (October 2006).

<http://www.doe.mass.edu/frameworks/scitech/1006.pdf>

Miaoulis, I. (2010) K-12 Engineering-the Missing Core Discipline. In (eds) D. Grasso and M. Brown Burkins *Holistic Engineering Education beyond Technology*. New York: Springer.

Millar, R. (2009) 'Big ideas' in science and science education. Paper prepared for the Loch Lomond seminar.

Millar, R. and Osborne, J. (1998) *Beyond 2000. Science Education for the Future*. London: King's College School of Education.

Mohan, L., Chen, J. and Anderson, C.W. (2009) Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 675-698.

NAEP (2008) *Science Framework for the 2009 National Assessment of Educational Progress*. National Assessment Governing Board, US

Department of Education.

NRC (National Research Council) (1995) *National Science Education Standards*. Washington DC: The National Academies Press.

NRC (National Research Council) (2012) *A Framework for K-12 Science Education*. Washington DC: The National Academies Press.

NRC (National Research Council) (2014) *Developing Assessment for the Next Generation Science Standards*. Washington DC The National Academies Press.

Oates, T. (2009) Missing the point: identifying a well-grounded common core. Comment on trend in the development of the National Curriculum. *Research Matters*, October 2009.

Oates, T. (2012) *Could do better: Using international comparisons to improve the national Curriculum in England*. Cambridge Assessment www.nationalnumeracy.org.uk/resources/30/index.html

OECD (2007) *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*. Paris: OECD.

Pellegrino, J.W., Chudowsky, N. and Glaser, R. (eds) (2001) *Knowing what Students Know: The Science and Design and Educational Assessment*. Washington, DC: National Academy Press.

Songer, N.B., Kelcey, B. and Gotwals, A.W. (2009) How and when does complex reasoning occur? Empirically driven development of a learning progression focused on complex reasoning about biodiversity. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 610-631.

Twenty-First Century Science specifications; Science Explanations and Ideas about Science.

http://www.ocr.org.uk/campaigns/science/?WT.mc_id=sciencecp_300310

Wilson, M. and Draney, K. (2009) On coherence and core ideas. Paper commissioned for the NRC Board of Education meeting, August 17 2009.

Wei Yu (2009) *A Pilot program of "Learning by Doing" in China's Science Education Reform*. Nanjing: Research Centre of learning Science, Southeast University.

Wellcome Trust (2014) *How neuroscience is affecting education: a report of teacher and parent surveys*.

www.wellcome.ac.uk/stellent/groups/corporatesite/@msh_peda/documents/web_document/WTP055240.pdf

Zimba, J. (2009) *Five areas of core science knowledge: What do we mean by 'STEM-capable'?* Paper prepared for the Carnegie-Institute for Advanced Study Commission on Mathematics and Science Education (see Carnegie and IAS).

译者后记

2011年，中文版的《科学教育的原则和大概概念》问世，我有幸作为译者和原著英文版的参与者之一。5年后，我很高兴能够再次以同样的身份，将《以大概概念理念进行科学教育》的中文版贡献给读者。这本书直面了五年来科学教育面对的新挑战；总结了这期间科学教育在实践和研究上取得的新成果和经验；对《科学教育的原则和大概概念》一书做了进一步的延伸和重要的发展。在实证性科学研究的支持下，进一步明确了科学教育改革的方向，涉及了科学教育的学习内容、学习方法，对学生进行的形成性评测和总结性评测、对教学过程的评估以及改进教师教育和培训等诸多方面。

本书的重要特点是明确提出，科学教育的目的是培养知情的决策者，使学生具有进行正确决策的知识基础和能力。科学教育要培养学生在学习期间以及在毕业以后继续前行的人生中，成为对自己的生活方式、生涯选择、事业发展以及事关环境、能源、科学技术应用、科学伦理等涉及社会经济发展的关键问题，能够作出知情的、明智的抉择。基于这样的学习目的，基础教育阶段科学教育学习的内容不仅要学得少一点、深一点，而且应该把学习组织成为趋向于大概概念的、连续的、有联系的学习进程。这些观点得到了来自认知神经科学的支持。

此书并没有对前一版中论述的原则和大概概念做变更，但是给出了更为清晰的表述。特别是清晰地表述了，从5岁开始直到高中毕业，整个基础教育阶段过程中不同年龄段14个大概概念学习的内容。这对基础教育阶段科学教育标准的制订、课程内容的选择有重要的指导意义和实践价值。

书中还明确指出，在以趋向于大概概念来进行科学教学的改革中，必须同时考虑教学内容、教学方法和评测方法的改革。有这三方面改革的相互支持，才能完成科学教育的整体改革。甚至可以说，没有正确的评测方法，特别是总结性的评测方法，教育改革的实践会流于形式。

书中基于五年来国际科学教育改革实践和研究的新经验，总结了改革实践中遇到的关键难题，并提出解决这些难题的思路，包括教育法、评测、教师培训等方面。但是，正如书中所指出的，这些方面的实践和研究还处于起步的阶段，虽然有了一些成功的经验，未来还有更多需要进一步探索和研究的问题。

《以大概概念理念进行科学教育》凝练了来自不同国家的科学家、教育家对于科学教育的认识和思考，反映了全球性探究式科学教育研究与实践的最新进展与发展预期。不仅对科学教育改革，也对其他课程的改革提供了具有方向性意义的启迪。

此书作为五年前工作的发展和提升，英文原版出版后，已经受到了国际教育界和科学界的广泛关

注和支持。例如：全球科学院网络 (IAP, the Global Network of Science Academies) 在第一时间将该书发布于其官方网站，并将发行 1000 册纸质书提供各国的科学教育者阅读。英国科学教育协会 (The Association for Science, ASE) 也在其官方网站发布了该书。与前一本《科学教育的原则和大概念》一样，该书的多种语言译本也已经陆续出版。该书中文版的出版，得到了中国科协的大力资助。相信此书的出版和传播将成为全球科学教育的热点，也必将给我国的科学教育改革带来有益的启示与借鉴。

韦钰
2016 年 1 月于北京