

“做中学”科学教育丛书

Working with Big Ideas
of Science Education

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

 科学普及出版社
POPULAR SCIENCE PRESS

“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。

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；对学生进行评测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，留下来的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和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概念来进行教学，用这些大概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。它们是在为了使學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学习项目中获得益处。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上科学知识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