



STEM 项目 学生研究手册

[美]达西·哈兰德◎著
中国科协青少年科技中心◎译



科学普及出版社
POPULAR SCIENCE PRESS



STEM 项目 学生研究手册

STANFORD UNIVERSITY
STANFORD UNIVERSITY

STANFORD UNIVERSITY



STEM项目学生研究手册

[美]达西·哈兰德◎著
中国科协青少年科技中心◎译

科学普及出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

STEM 项目学生研究手册/(美)哈兰德著;中国科协青少年科技中心译.
—北京:科学普及出版社,2013.8

书名原文:STEM Student Research Handbook

ISBN 978-7-110-08339-0

I. ①S… II. ①哈…②中… III. ①科学教育学—高中—手册 IV. ①G630-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 207732 号

Translated and published by Popular Science Press with permission from NSTA. This translated work is based on *STEM Student Research Handbook* by Darci J. Harland©2011, NSTA. All Rights reserved. NSTA is not affiliated with Popular Science Press or responsible for the quality of this translated work.

著作权合同登记号 01-2012-8016

本书中文版由美国科学教师协会(NSTA)出版社授权科学普及出版社出版,未经出版者许可不得以任何方式抄袭、复制或节录任何部分

科学普及出版社出版

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

北京市凯鑫彩色印刷有限公司

*

开本:210 毫米×255 毫米 1/16 印张:15.25 字数:380 千字

2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-110-08339-0/G·3494

印数:1—6000 册 定价:39.00 元

致词

这本书献给所有我曾经的学生，感谢你们每一个人。你们勤奋学习，绝少抱怨，对我是极大的鼓舞。我的目标从来不是把你们培养成科学、技术、工程和数学（STEM）领域的研究者，而是要帮助你们清楚地认识到如何获取科学知识。感谢你们容忍我的不足和唠叨，并且在我告诉你们辛苦必有回报时能相信我。

序言

美国的成功取决于要在创新和革新方面作为世界的发动机……企业的管理者知道，企业的将来取决于他们利用创新的能力，对新时代的洞察力和预见性。明天的领导力取决于我们如何教育学生——特别是在科学、技术、工程和数学方面。

——美国总统奥巴马，2010年9月16日 [萨布·奇克 (Sabochik), 2010]

近年来，加强科学、技术、工程和数学教育已经成为一个热门话题。但是，很清楚的是，如今高中学生在学校里接受的 STEM 教育却很少能反映出从事科学职业的人实际做的工作。学生更多关注的是记忆，而不是发现问题和找到解决问题的方法。本书帮助学生掌握科技领域专业技术人员，所使用的同样的探究问题的技能。本书可以帮助学生掌握设计和操作实验、分析数据、展示成果等方面的技能。

我相信科学教师没有把以学生为主体的科学研究，作为课程组成部分的主要原因在于他们自己在这方面的经验有限。我写这本书的目的是为教师和学生提供一个实用的资源，帮助他们主动地参与到感兴趣的研究课题，并指导他们顺利地走过这个长期的课题研究的各个阶段。我希望这本书能提供一个资源来帮助学生体验科学家的学习方式——开展研究，并以此来消除科研人员和科学教师之间的障碍。

我的经历和很多教师一样，在某一时刻决定在课堂上开展一个研究课题。由于在本科生阶段仅仅设计和完成过一个科学实验，在研究生阶段也仅开展过一次教育研究，我不太确定自己是否有能力指导高中学生去开展研究。当收到第一批学生的研究论文时，很明显，我必须改变在学生研究过程中提供支持和帮助的方法。这些年来，通过提供资源支持、修改完成期限、开展一系列活动以帮助学生自己实施科学研究的过程，我发现学生研究论文的水平已经大大提高了。这本书包括了多年工作的成果、从失败中总结出的经验教训以及其他教师和科技专家的建议。

这本书强调开展研究的两个主要方面：计划和开展实验，然后通过写作来分析和交流结

果。首先，这本书为科学教师提供了一个在与学生共同完成科学研究的过程中，能够使用的框架。书中还提供了足够的细节，这样即使是从未独立设计过实验的教师，也能自信地指导学生完成他们的实验。其次，这本书用了很大的篇幅来强调如何写研究报告（即语言艺术），这对于一些没有受过太多写作训练的科学教师是非常有帮助的。作为一名也曾研究并教过英语的科学教师来说，我能够帮助科学教师们认识到，通过有效的写作来表达研究成果的重要性。书中有整个章节介绍做笔记的方法、研究论文的文献管理方法，以及成果展示的准备等。很遗憾，在其他指导学生如何开展实验研究的书中，通常缺乏有深度的关于写作的建议。

设计和开展一个科学实验，并在当地的科学研讨会上将研究成果展示出来，这样的机会改变了我很多高中学生的生活。他们学会了如何在学习过程中充分发挥主动性，很多人在进入大学时选择了与科学相关的专业领域。随着我越来越擅长指导学生们在他们真正感兴趣的领域完成科学研究项目，他们开始在竞赛中频频获奖，有的甚至获得了最高奖。2004年，由于我的学生在科学竞赛中获得的优异成绩以及在激励其他科学教师开展长期科学研究项目方面的突出成绩，我获得了 Sigma Xi（伊利诺伊州立大学/伊利诺伊威利斯大学分校）杰出科学教师奖。但是，对我来说，最大的奖励在于我的学生们，从始至终真正地参与到了激动人心的科学研究过程中，并且对于科学知识是如何发展的有了更深入的理解。这种经历与听一次讲座、观察一名科技工作者如何工作，甚至实际操作由别人设计的实验，都是截然不同的。

参考文献

Sabochik, K. 2010. Changing the equation in STEM education. The Whitehouse Blog: www.whitehouse.gov/blog/2010/09/16/changing-equation-stem-education.

关于作者

达西·哈兰德 (Darci J. Harland)，博士，曾任生物和英语教师，现为美国伊利诺伊州立大学数学、科学和技术中心 (CeMaST) 的助理主任。她的教学经历包括本科生和研究生的教育和生物课程，高中和初中的科学和英语课程。研究领域涉及开展科学研究对高中和本科生的长期影响，个性对在线指导和课堂面授的影响，数字媒体作为思考工具的使用以及在一比一配备笔记本电脑的教室中的探究水平。

致谢

我要感谢很多人在我成长的过程和这本书的写作过程中对我的支持和帮助。

首先，我要感谢我的父母——克瑞顿（Craigton）和琳达（Linda Hippenhammer），感谢他们从小培养了我对于世界的好奇心，并鼓励我尽可能地去学习。还要感谢我的丈夫——克雷格（Craig）和两个儿子在漫长的写作过程中一直支持我。

特别感谢美国伊利诺伊州立大学数学、科学和技术中心（CeMaST）的同事们：威廉·汉特（William Hunter）博士，在我想要放弃时，他鼓励我坚持下去；莫里斯·佩雷斯（Ydalisse Perez），尼科尔·艾思格尔（Nicole Enzinger）和杰夫·赫尔姆斯（Jeff Helms）博士等3人，在我不擅长的领域提供了写作和概念上的支持；玛丽·库宾斯（Mary McCubbins）在图表设计方面贡献了她的专业知识；萨拉·库宾斯（Sara McCubbins）和阿曼达·塞恩（Amanda Fain）进行了编辑校对工作。

还要感谢奥利弗拿撒勒大学的蓝迪·约翰逊（Randall Johnson）博士，每当他问“这是怎么知道的？”，总会激发我自然的好奇心。我感谢在本科阶段读他的生态学课程，这些课程为我提供了第一次开展科学研究的机会。我现在非常感激他用更多的问题来回答我提出的问题时所展现出来的克制。他是教师的表率。

最后，我要感谢苏珊娜·迈克罗蒂（Suzanne McGroarty），一位退休时我希望能继承她衣钵的老教师，是她促成了这本书。我非常感谢“McGroarty 传统”和因此而获得的让我作为一名教师提升自己的机会。她对于科学的爱，对学生真正的关心以及作为一名终生从事教师职业的人的积极态度，使她成为所有科学教师的典范。

内容简介

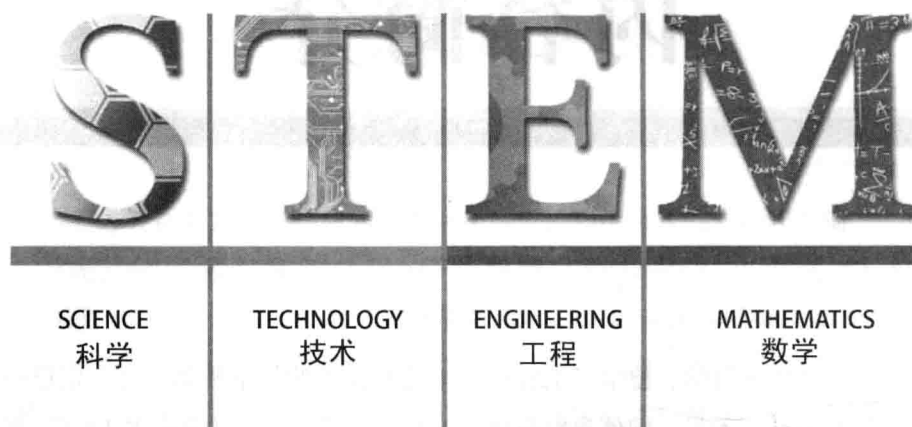
致教师

如果你是一位高中的科学、技术、工程和数学或其他类的科学教师，你一定已经了解让学生“做科学”的意义。不过，即使我们在教学过程中尽最大的努力去提倡探究，而“以鼓励学生提出问题并且自己解决的方式来组织学习经历”的逻辑仍然占据主导地位。如果你考虑过，或者正在考虑开展一个以学生为中心的、长期的研究项目，我想你会提出一些问题，比如：如何在不同的阶段指导学生做不同的课题？如果学生想设计一个你对其一无所知的课题实验，你该如何指导？如果学生想做的课题超越了他们的能力，又该怎么办？能将一个长期的研究项目纳入到现有的课程中，同时又能涵盖必修的内容吗？如果自己从未做过一个实验，又该如何指导学生们设计一个实验呢？类似这样的问题足够让教师们陷入混乱，并且永远放弃这样的想法。但是，我可以告诉你，这本指导书能够帮助你。

将研究性学习纳入到高中科学课程中

教师、教研组和学校有多种方式，能将长期的研究项目融合到科学课程中，如有时一位教师帮助一些有抱负的学生在课余时间开展他们的科学研究；另一些教师将一个长期的研究项目加到现有的课程中，努力平衡他们需要教授的课程内容和学生完成研究项目所需的内容之间的关系；一些科学课系统地将研究内容贯穿于课程中，使得学生在毕业时已经在不同的难度水平上开展过多种研究项目；有时学校也能专门开设一门以学生为中心的研究课程或利用暑期活动为学生提供一个类似的研究课程经历。这本书适用于以上各种情况。

不管是以上哪种情况，我建议你首先决定打算在研究项目上花多少时间，然后决定完成期限。对于任何一个单元计划，开始之前心里都要想好结束的时间。什么时候需要学生提交研究



项目（以论文或展板展示的形式）来评分？一旦决定了最后的完成期限，就要在研究过程中设定时间节点对学生进行评价。这本书为在不同阶段设定完成时间表提供了支持。附录 A 是一个设置各部分截止时间表的样例。书中还提供了一些不太直接的线索。尽管这本书的写作语言针对的是高中学生，但是书中你会发现一些为“你的老师”提供的注释。这是我为教师设置的一些线索。我用以下这样的一些短语来提示你与学生们讨论一下你的要求，如“你的老师可能会让你去看……”或“你的老师会选择____或____”。这些线索为在研究过程中对学生进行哪种评价提供了一些建议的选项。我建议你在研究的整个过程中为学生评分（正式的和非正式的），以此培养学生关于“研究是一个过程”的概念，而不是仅仅是对最后的结果给出一个分数。

其次，你需要决定学生们如何去开展研究，是一个人、两个人还是以小组进行？一方面，让学生个人开展研究能够简化研究过程，因为每个学生都是独立完成研究的每个过程，所以能够选择一个对这个学生个人有意义的课题。当然，对你来说，个人项目会增加你指导和评估的工作量。另一方面，让学生以小组的形式来开展研究会减少你的评分次数，但是这确实带来了另外一些挑战。比如，学生们经常需要你指导他们如何分担工作量（本书的“集体”图标提供了一些如何合作完成集体项目的建议——见第 21 页）。如果选择集体项目方式，我建议在研究过程中要提供时间让小组成员坦率地讨论他们的优点和不足，采用自我评价和互相评价的方式，然后分配各自的任务，并形成书面的协议，每位成

员和教师都要在协议上签名。每个小组的协议应该包括研究项目的各个阶段：背景研究（第3章），撰写研究方案（第5章），数据收集（第6章），撰写论文（第11章）以及成果展示（第12章）等。

使用外部导师

你也许想鼓励或要求你的学生们，在他们感兴趣的研究领域找一位科技专家作为导师。即使你所在的地区没有大学或科研企业，学生们也能够通过网络找到导师进行远程指导。如果学生在这样的导师指导下开展研究，你的角色就是确保学生能按时完成任务，尽可能地让他们自己完成科学研究的过程，以及保持与他们的导师进行沟通。来自专业领域导师的支持，能让你免于成为每个学生项目内容的专家。但是同时，你对学生所经历的研究过程的水平也难以控制，尤其学生是在导师的实验室实地进行工作时。导师的研究方向有可能会将学生的兴趣限制在某一领域或课题内。学生可能没有机会形成自己的假设和研究设计，转而参与到导师正在开展的项目中。这样的经历对学生仍然是非常有价值和有益的，但是这和没有导师的学生的研究经历是不同的。

那些在网上寻找导师的学生更有可能形成他们自己的实验设计。他们将导师作为内容专家，并在他们希望研究的课题上帮助他们决定最合适的研究设计。这些导师如果能投入进来并证明是可靠的，那将非常有价值，能够为学生提供对研究过程的理解，而这些是难以通过其他方式获得的。在这本书里，我统称为“你们的老师”，但是在本章节中的“致高中学生”（开始于本书的第21页）部分，我让学生了解，如果他们是和导师一起工作，那么有一些给教师的建议实际上是给他们的“导师”的。你需要和学生清晰地说明关于你和导师的不同角色。

不要低估你自己在没有外部导师的情况下，指导学生开展科学研究的能力。学生们能够将你作为最主要的资源，并获得成功的研究经历。即使你自己从来没有从制订计划到最后展示成果这样完整地开展过一个研究项目，这本书提供了很多细节，能指导你和你的学生们顺利地整个研究过程。

科学写作

当学生们完成了研究项目后，很有可能你会让他们设计一块展板来展示他们的研究成果

当我在高中时，我学会了如何和去哪里寻找资料来支持我的想法。这对我进入大学后撰写研究论文帮助很大。

——学生研究者

或是写一篇论文。无论是哪种情况，学生们都要通过写作来交流他们的成果。重要的是，你不能忽视项目的写作部分。虽然科学教师往往对实验技术和过程比对最后的论文写作和写作步骤更感兴趣，这个很自然，但关键是，你要给学生留出必要的时间去做笔记、写下他们的实验设计和结果、撰写最后的论文，并准备把他们的实验展示给观众。本书将在这些方面为你提供帮助（参见第3章、第10章和第11章）。

把你研究方案中关于写作方面的问题，与语文教研组的同事们进行讨论是个好主意。询问他们当学生第一次撰写大型报告时，他们要求学生达到什么水平以及他们是如何教授报告写作过程的。这个信息将会有助于你决定你的学生们需要多少帮助。如果你用到他们所教的做笔记和文献管理的方法，你很可能会得到英语老师们的支持。大部分高中学生在上你的课之前已经写过报告了，但是做详细的、有组织的笔记，用于论文写作并且使用参考文献对学生们来说可能还是一个新的概念。可能到目前为止，你还没有在论文中使用过“参考文献”，并且只是偶尔在论文最后简单地列出“参考书录”。让学生理解完整的文献标注的重要性，对学生来说是个巨大的帮助。

我选择 MLA（现代语言协会）的文献标注方法让学生们使用。MLA 方法是大部分高中老师让学生们使用的方法，也很有可能是他们进入大学所使用的第一个文献使用方法。我完全能理解科学教师对于 MLA 方法的抗拒，因为科学论文从来没有以这种方式来写作。但是，重要的是要让这个阶段的学生理解文献使用背后的原则。如果你计划让学生们在本地、州级或全国性的科学竞赛上展示他们的研究成果，肯定要在他们的研究大纲中提到文献研究的方法。大部分竞赛并不要求特定的方法，只要使用得正确和前后一致就行。

在完成一个研究项目的过程中，我学到的最重要的是基本的研究方法，如：使用数据库、记笔记和正确使用参考文献。

——学生研究者

另外一个学生开展科学研究需要学习的重要方法就是如何在网络和图书馆里开展对研究课题的背景研究。我建议你要联系学校和当地的图书馆，为学生们提供相关的研究资源。尽管学校和当地的图书馆可能没有关于某些科学问题的最新的研究论文，但是他们可以提供一节指导课程，帮助学生学会如何访问那些图书馆与之有共享协议的数据库（本书使用“技术”图标来提示在研究过程中使用技术的一些方法——见第21页）。我强烈地建议，如果可能的话，组织一次一整天的大学图书馆实地考察，特别是如果学生还没有在英

语课上了解到关于大学图书馆的信息时。图书馆能提供的大量的科学研究方面的学术资源值得你这么做。

提出研究方案

在我指导学生开展科学研究项目的第一年，我发现很少有学生知道如何在科学实验中运用科学的方法。我的学生能够界定实验中的不同概念，比如：控制组和对照组，外部变量、参数等，但是一旦要将这些概念运用到实验中时，他们就不知所措了。我发现学生们在形成自己的研究设计时需要很多支持。

因此，我写了一个研究方案批准过程（见第5章）。制定研究方案本身就是学生们的一个成果。本书帮助他们一小步一小步地达到一个目标，直到最后他们能完成一个完整的研究方案。这些步骤包括辨别他们关于一个研究课题中的问题，区分可能的独立变量和相关变量，了解他们已经存在的联系，然后写一个假设验证他们的想法。第2章里提供的研究设计表将会帮助学生们进一步推进他们的设想。我建议你在撰写假设部分给学生留出相当长的时间，并在学生开始动手写研究方案之前，预先审核批准他们的假设。学生的第一个重要的成绩应该是在研究假设方面。

——学生研究者

完成研究项目是我第一次真正自己学习的过程。老师们不是直接把各种信息放在我面前让我死记硬背，而是必须要我自己进行研究。我学到多少知识与我在研究项目中所付出的努力有直接关系。

——学生研究者

我也强烈建议你让学生不断地修改研究方案，直到你确信这个计划表明他们已经对课题进行了充分的研究，考虑到了额外变量，研究设计足够详细具体，你相信学生很可能会成功地完成研究课题。我把这种评价称之为“需要接受批准的作业”（DUA），见附录A。要使用这种方法，我设定了两个截止日期。第一个是要求学生提交第一稿草案的时间，第二个截止日期是在一周或两周后完成草案的修改。对每一个草案我都写出评语以帮助

其中一个截止日期，他们在研究方案方面的得分将不会超过“B”。

学术研讨会和科学竞赛

我鼓励你找机会让学生参加学术研讨会或科学竞赛来分享他们的研究成果。知道有教师以外的其他人要观看和评价他们的研究工作，这对学生来说是一个巨大的推动。你能在网上很容易地找到这类科学竞赛。即使你不想参加别人的竞赛，我强烈建议你在某个晚上找一个空教室，学生可以在那里向父母、学校管理者和社区居民展示他们的研究成果。你可以找一些评委，也可以仅仅是让大家参观一下并与学生谈谈他们的研究项目。

我从来不会因为学校的功课去投入太多的精力，但因为这个研究是我自己的，而我也将带着它参加研讨会，因此我投入更多的兴趣来完成这个项目，我更关心的是会有什么样的结果，而不是计算做了多少工作。

——学生研究者

通常大学和高中的学生，只是在论文和项目一遍遍地复述别人的知识。但是，实际的研究却促使我提出自己对实验的想法，在别人研究的基础上形成自己的结论。

我最后一个建议是，注意平衡好你对学生项目的控制和学生自主研究的关系。尽管学生们需要指导、反馈和支持，但是更重要的是让他们自己开展研究项目。这意味着学生们可能会选择一个你不熟悉的课题。我建议你允许学生们开展综合性的科学项目的研究，即使他们的选择让你不适应。比如，学生可能在另外一节科学课上学会了如何使用一个特定的装置，希望将其作为这个研究项目的一部分。要承认你的不足，并且和学生一起学习。指导学生经历研究过程将成为你教学生涯中最有成就感的经历。

——学生研究者

以学生为中心的科学研究的重要性

在所有的科学课程中，科学方法通常是被作为一个介绍性主题来教授（Bereiter and Scardamalia, 2009）。但是，有很多研究表明，学生仅仅能表述科学研究过程，并不意味着他们能够进行科学思考或具备了富有创造力的研究技能（Ayers and Ayers, 2007; Leonard and Chandler, 2003; Tang et al., 2010）。因此，没有从头至尾经历过科学研究过程的学生，不可能真正理解科学的本质，尤其是科学探究的过程经常是非线性的。

真实的科学研究经历，能够为学生提供高中和大学老师所期望的科学推理能力。尽管有

一些科学课的课堂上只是按程序使用实验室，学生们只是简单地记录实验结果，但是也有一些学校是进行探究式教学或基于问题的学习（PBL）。对 K-12 年级课堂教学的研究显示，当教师开展基于问题的项目和基于探究的实验时，学生们不仅能够学到与以讲课为主的教学中同样的内容，还能够培养批判性思维和解决问题的能力（Drake and Long, 2009; Tarhan, et al., 2008; Wong and Day, 2009）。

基于问题的学习和探究应该在科学课程中发挥重要作用。但不幸的是，通常的教学模式仍然是以教师为中心的（Tang et al., 2006）——即教师决定学生要学什么，提出学生要回答的问题。尽管学生们也能参与到解决问题的过程中并有所收获，但是他们不能设计自己的实验，解决他们自己发现的问题。由学生主导自己的研究，会增强他们的动机，创造出强烈的自我意识（Marcus et al., 2010）。

很多高中课程不包括学生能设计和开展一个长期实验的探究式研究项目（Leonard and Chandler, 2003; Tang et al., 2006）。这可能就是为什么高等院校的科学老师发现，大学新生缺乏基本的科学研究的技能（ACT, 2009）。

本书的组织框架

本书为你和你的学生们在科学研究两个领域提供支持，即计划和实施科学研究（第 1—第 6 章），以及进行数据统计分析和交流研究成果（第 7—第 12 章）。以下是对每个章节内容的简要介绍。

第 1 章 启动一个 STEM 研究项目

本章界定了什么是研究，如何产生和聚焦研究课题，包括科学研究中的安全和伦理问题。

第 2 章 研究设计

介绍了一个基本的研究设计的要素，界定了一些关键词，如实验组、常数、定量数据、定性数据等。

第 3 章 背景研究和做研究笔记

帮助学生组织背景研究。讨论了如何分辨可靠的信息来源，提供了两种不同的组织笔记的方法，介绍了如何避免抄袭的窍门以及一些有用的技术工具。

第4章 撰写假设

引导学生完成构建一个可验证的假设过程。

第5章 撰写研究方案

指导学生不断改进研究方案，直到提出一个认为可以通过的书面的实验计划。本章也说明了一些对于科学写作的错误认识。

第6章 建立实验记录本

向学生介绍一个实验室记录本所包含的关键内容，并对如何像一位科技专家一样做实验记录提供了一些技巧。

第7章 描述统计

指导学生如何发现趋势和统计差异的方法，同时也展示了一旦完成实验后可以进行的进一步的计算。

第8章 图表展示

描述了用于数据交流的各种图表展示形式，如各种图形和表格。图表展示的形式要根据数据的类型来确定，或是定量数据，或是定性数据。

第9章 推论统计与数据解释

介绍了可用于决定数据的统计显著性的各种数学测试方法。本章的最后部分帮助学生解释他们的数据。

第10章 文献标注和研究论文的格式

介绍了文献标注的基本概念，提供了关于 MLA 文献标注方法的简要介绍。

第11章 撰写 STEM 研究论文

帮助学生完成研究论文的写作过程。

第12章 展示 STEM 研究项目

为需要通过口头报告展示研究的学生们提供帮助。

每个章节的结构

每章开头列出了本章要介绍的术语。每章开头的“学习目标”，将帮助你确定学生学习完本章之后应该掌握的要点。每章最后部分是“本章问题”和“本章应用”。“本章问题”与“学习目标”相对应，你可以布置给学生作为作业或引发课堂讨论。“本章应用”