

# 概念图——物理教学的有效工具\*

王立君<sup>†</sup>

(浙江师范大学数理学院 金华 321004)

**摘要** 文章首先介绍了一般概念图的六个组成成分:概念、分支、水平层次、同一分支下概念间的连接线和连接语、不同分支下概念间的连接线和连接语、例子;在此基础上,总结了制作物理知识概念图的具体策略;而后从四个方面论述了概念图的教学功能:概念图作为先行组织者,概念图作为学生复习时整理知识的工具,概念图作为识别学生对知识的错误理解、知识欠缺和错误概念的工具,概念图作为评价学生知识理解的工具。

**关键词** 概念图,物理教学,有效工具

## Concept maps : effective tools for physics education

WANG Li-Jun<sup>†</sup>

(College of Mathematics and Physics, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

**Abstracts** A concept map consists of six components : concept , branchings , hierarchies , concept relationships , cross-links , and examples. This paper introduces strategies for constructing a concept map for physics. The effectiveness of concept mapping as an instructional tool is demonstrated in its function as an advance organizer , as a review tool prior to exams , as a means to identify learner misconceptions and deficiencies , and as a research and evaluation tool. This paper presents a variety of concept maps , and guides readers on how use concept mapping in education and practical settings.

**Key words** concept mapping , education in physics , effective instructional tool

### 1 概念图是什么

概念图是由美国心理学家 Novak 于 1984 年在《学习如何学习》著作中正式提出来的,并在此著作中系统地介绍了概念图,自此以后,在西方国家概念图已被广泛用作教与学的有效工具<sup>[1]</sup>。概念图是由概念、概念间的连线及连接语、概念的例子组成的一个知识结构网络,反映了学生头脑中已经形成的认知结构,体现了学生对某一领域知识的理解。更具体地说,概念图包括六个部分:概念、分支、水平层次、同一分支下概念间的连接线和连接语、不同分支下概念间的连接线和连接语、例子。

下面以水的概念图为例详细说明概念图的组成,水的概念图如图 1。这个概念图中共有概念 14 个,都放在椭圆框中,其中水是关键概念,放在概念图的最上端,是这个概念图的主题;水的概念图包含三个分支,也就是与关键概念“水”相连的三条线,被称为三条分支,这三个分支中每个分支下的概念

代表同一类概念,第一个分支包含三个概念:“生物、植物、动物”,说明水是被生物需要的,这个分支的概念都属于“生物”;第二分支由二个概念组成:“分子、运动”,说明水是由分子组成的,说明了水的组成成分;第三个分支由八个概念组成:“状态、固体、液体、气体、雪、冰、湖、蒸汽”,说明水存在的状态,每个分支都体现了概念的分类,关键概念“水”可看作是各分支共用的概念。同一分支下概念上下的排列顺序体现了概念图的水平层次,第一分支下的概念分为二个层次;“生物”概念是第一层次;“植物、动物”两个概念位于第二层次,包容度较大的概念放在上面,包容度较小的概念放在下面,生物包括植物和动物,所以生物概念排列在上面,植物和动物概念排列在下面;第二分支包括两个层次;“分子”

\* 浙江省教育厅 2002 年科研项目(批准号 20020869)资助  
2003-09-17 收到初稿,2004-03-09 修回

<sup>†</sup> E-mail: wlj@mail.zjnu.net.cn

概念处于第一层次；“运动”概念处于第二层次；第三分支包括三个水平层次；“状态”概念处于第一层次；“固体、液体、气体”概念处于第二层次；“雪、冰、湖、蒸汽”处于第三层次，所以水的概念图最多有三个层次。同一分支下概念间的连接线及其连接语，例如：“水”和“生物”的连接，连接线上的箭头表明连接语的读法，读作“水被生物需要”，这样的连接共有 13 个，分别是“水—生物、生物—植物、生物—动物、水—分子、分子—运动、水—状态、状态—固体、状态—液体、状态—气体、固体—雪、固体—冰、液体—湖、气体—蒸汽”。不同分支下概念间的连接及其连接语（也叫横向连接）是不同分支概念间的连接，如：“运动”与“状态”的连接，连接语“决定”，读作“运动决定状态”，是属于横向连接。“狗”是“动物”概念的一个例子；“树”是“植物”概念的一个例子，“太湖”是“湖”概念的一个例子。通过以上分析可知水的概念图包括 14 个概念，3 个分支、3 个水平层次，13 个同一分支下的连接线及其连接语，1 个横向连接，3 个例子。

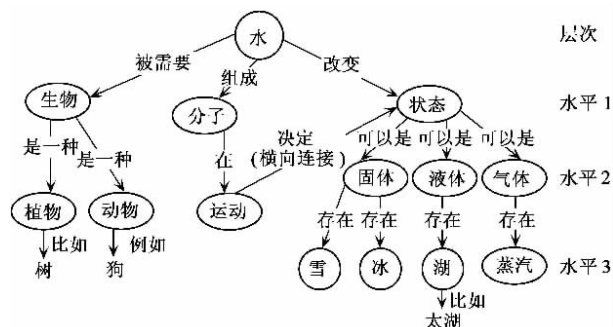


图 1 水的概念图

Novak 在《学习如何学习》著作中介绍了概念图的制作方法<sup>[1]</sup>。为了使物理知识概念图能够较好地体现概念、规律、公式等知识及其应用方法，针对物理知识的特点，对原始 Novak 的概念图进行了功能上的扩展：

- (1) 放在椭圆框中的物理量既可用文字表示也可以用物理符号表示，或同时使用物理符号和文字表示；
- (2) 连接语既可用文字表示又可用物理公式表达，或同时使用两种表达方法；
- (3) 连接语可以是一个公式也可以是两个公式；
- (4) 连接语从单向改为即可以是单向又可以是双向连接；
- (5) 连接语从仅限于体现两个概念间的关系扩

展到两个及两个以上概念间的关系；

(6) 例子从仅限于概念的具体例子扩展到还可以是概念的应用特点或概念的应用规律说明，例子的表达方式从原来只能用名词表示概念的特例扩展为可以用物理定律、物理定理、物理规律或物理公式表示；

(7) 一个连接语可以具有多种功能，既可以作为概念间的连接语，又可看作其他概念的例子。

## 2 概念图的教学应用

### 2.1 概念图作为先行组织者

在过去几十年中，科学教学反复强调学生应该理解概念，反对死记硬背。许多学校已经采取了许多教学方法促使学生成为一个高效的学习者，这些观念的理论基础源于建构主义学习理论。建构主义学习理论认为，只有学生将新知识同化到已有概念框架中，有意义学习才会发生。教学就是要采取方法促进学生有意义学习的发生<sup>[2]</sup>。先行组织者策略就是一个促使学生有意义学习的好方法。

先行组织者策略是根据奥苏贝尔的有意义学习理论，设计出相互联系的内容群。在演绎推理中首先出现范围较广的上位概念，接着出现范畴较狭窄的下位概念。上课伊始，提出一种对新旧知识起连结作用的陈述，称之为“先行组织者”，以帮助学习者顺利接受学习材料<sup>[3]</sup>。先行组织者的使命，一是把课的内容与学习者的认知结构联系起来，二是帮助学习者组织所学习的材料。概念图可以完成先行组织者的使命，概念图可以作为先行组织者。

教师可以在讲解新课之前，呈现教师画的概念图，这个概念图是由教师画的，因而所包含的知识会更准确、全面，作为先行组织者的概念图所选择的观念应包含学生已经熟悉的学习过的概念，还应包含马上就要学习的新概念，概念应依据包容度大小而上下排列，以等级结构形式组织起来，包容度大的较基本的概念应放在上面，包容度小的较具体的概念应放在下面，如力学中“位置矢量  $r$ ”、“速度  $v$ ”、“加速度  $a$ ”三个概念的排列顺序应该如图 2 所示。这样就把要学习的新概念组织在原有的学生已经熟悉的知识网络中，教师可以将概念图画在黑板上，也可以用幻灯、计算机等工具以投影方式呈现，在这样呈现的视觉信息基础上，教师在对概念图上的连接线及连接语的意义做出解释，这样学生就在新概念与原有概念所构成的各种有意义的联系中接受了新概念及相应的新知识，这时有意义学习就发生了。作为

先行组织者的概念图应由教师给出,因为学生自己建立的概念图常是不完整的、或含有错误概念、或包含对知识的错误理解。

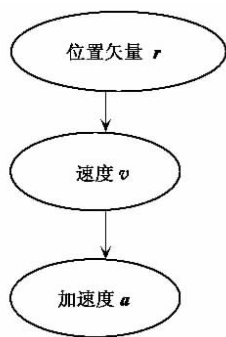


图 2

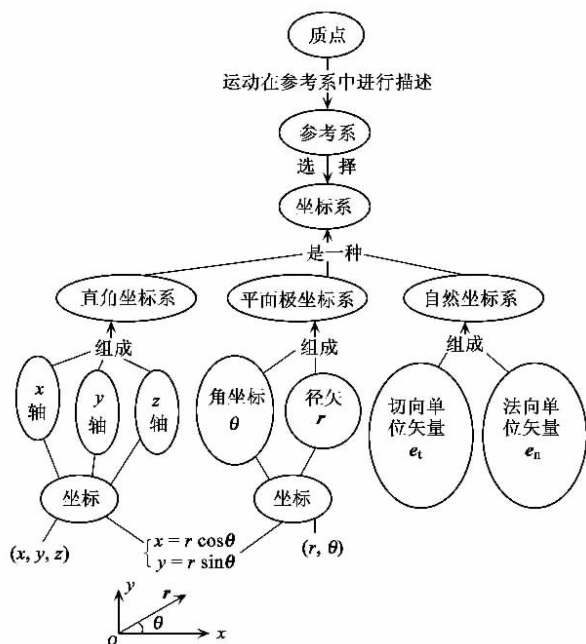


图 3

下面我们举一个具体例子说明概念图是如何充当先行组织者的?在大学物理学讲解质点运动学时,要学习新知识“平面极坐标系”和“自然坐标系”,了解到学生已经非常熟悉“直角坐标系”及其组成和应用,这时教师在讲解新知识“平面极坐标系”和“自然坐标系”之前,给出作为先行组织者的概念图如图3所示。在讲解“平面极坐标”和“自然坐标系”时对照学生早已熟悉的“直角坐标系”,学生就很容易接受“平面极坐标系”和“自然坐标系”的组成及与“直角坐标系”的联系,教师还可进一步讲解研究各种运动时所适合使用的坐标系,以促进学生正确选择坐标系。如:“自然坐标系”一般用于研究曲线运动,“平面

极坐标系”一般用于研究圆周运动,而“直角坐标系”既应用于直线运动,有时也应用于曲线运动,如研究斜抛运动时也可采用直角坐标系。

## 2.2 概念图作为学生复习时整理知识的工具

物理是一门难学的课程,许多学生经常不能通过考试,这源于学生对物理知识的理解水平较低,物理知识结构和问题解决技能都有很大缺陷,物理教学就是要采取方法促使学生主要以理解的方式复习知识,促使知识的结构化、系统化,这样才能提高问题解决技能。许多中学生和大学生认为物理由许多数学符号和公式组成,他们拥有的物理知识之间缺乏联系、缺乏系统性,知识掌握的不扎实,经常以尝试错误的方法解决物理问题,或者在参考书中找答案,或者套用在课堂上老师的解决方法,他们认为解决物理问题主要是选择数学公式、联接问题中的变量,结果,物理教学深受其苦,造成教学的低效率,学生厌学,学生学过的知识很快忘记。引导学生主动建构概念图是一种高效率地有效复习物理知识的途径,学生通过建立概念间的联系促进对知识的深入理解,学生主动建构概念图可以激发学生的主动性、创造性,使他们感受到成功的快乐,概念图使零散的知识结构化、条理化、系统化,有利于学生长期有效地记忆知识。

“认知心理学家通常将这种对所学命题有所增添或补充的过程称为精致(elaboration)。”<sup>[4]</sup>所以按照安德森的理论,概念图可以看作是一种“精致结构”,安德森认为:对学习材料所作的精致越充分,越能导致良好的记忆。在安德森看来,精致从两个方面导致更好的记忆:第一,精致给记忆提供了冗余的提取路径;第二,精致能够帮助个体推论出自己实际上已不再记得的信息。加拿大多伦多大学的克雷克(Craik F)使用“加工深度”来反映学习者对所学材料的意义进行加工的充分程度<sup>[4]</sup>。

与传统的复习方法归纳要点法和知识框图法相比较,概念图更适合作为学生复习的工具。与归纳要点法相比较,概念图形式上更为凝聚、简洁,概念图以概念为出发点建立规律和公式,更能体现规律和公式的本质含义;与知识框图法相比较,概念图呈现的知识更为具体、全面,所包括的知识范围更加灵活。教师让学生复习知识时,可以让学生自己先建立概念图,然后再给出教师制作的标准图,让学生对比自己的概念图,以便能够发现自己疏忽的知识以及对知识的错误理解。教师依据教师所制作的标准图给学生复习,更能促进学生形成正确的知识结构。

### 2.3 概念图可以作为识别学生对知识的错误理解、知识欠缺和错误概念的工具

从学生的概念图中,教师可以发现学生头脑中存在的错误概念、错误理解和知识的欠缺,而这些在传统考试形式中不能很好地外显出来。

例如从学生制作的大学物理知识概念图中发现许多学生没有真正理解“速度”和“加速度”概念的矢量性及其矢量的表示方法。许多学生的概念图中出现“ $a = a_t + a_n = r\alpha e_t + r\omega^2 e_n$ ”和“ $v = v' + u$ ”等写法,说明学生普遍忽视或没有真正理解矢量的含义及其矢量表示法的正确使用。“加速度”概念是矢量;“加速度”等于“切向加速度”和“法向加速度”的矢量相加,应写成“ $a = a_t + a_n$ ”,而 $e_t$ 与 $e_n$ 是“单位切向矢量”和“单位法向矢量”,它们只表示方向,大小为一个单位,所以在写“切向单位矢量”和“法向单位矢量”时必须写明矢量符号,正确的写法应该是“ $a = a_t + a_n = r\alpha e_t + r\omega^2 e_n$ ”;而学生写出等式“ $v = v' + u$ ”想要表达的物理知识是:在相对运动中,“绝对速度”等于“相对速度”与“牵连速度”之和,但是学生忘记了应该是矢量和,上述写法表达的是:“绝对速度”等于“相对速度”与“牵连速度”的代数和,是一种错误的表达方法,正确的表达方法应该是“ $v = v' + u$ ”。

再比如,学生的概念图如图4所示,也反映了对“速度”概念矢量性的忽视。按照图4所示的概念图,“匀速圆周运动”和“匀速直线运动”属于“匀速运动”的下位概念,都属于“匀速运动”,而“匀速运动”是指速度大小和方向都不变的运动,如匀速直线运动,匀速圆周运动只是速度大小不变,方向不断改变的匀速率圆周运动,实际是变速运动。匀速运动的加速度应满足 $a = 0$ ,而匀速圆周运动的加速度 $a$ 等于法向加速度 $a_n$ , $a_n = \frac{v^2}{r}$ ,大小不变,但 $a_n$ 的方向不断改变,也就是说匀速圆周运动的加速度大小不变,方向时刻改变,是变加速运动。从图4中反映出学生忽视了“速度”概念的矢量性。从学生的概念图中教师可以发现学生普遍忽视的知识,教师可依此采取相应的教学补救措施。

从学生的概念图中教师还可以发现学生头脑中存在的错误概念。如图5所示,该学生认为既然存在“线速度 $v$ ”,就应该存在“线加速度 $a$ ”,实际上并不存在“线加速度”概念,“线加速度”概念是学生头脑中存在的错误概念。这里“速度 $v$ ”对“时间 $t$ ”的变化率应是“加速度 $a$ ”。

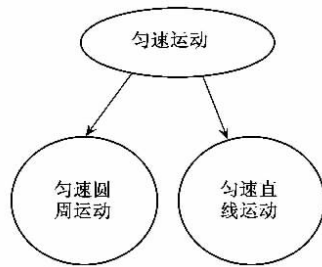


图4

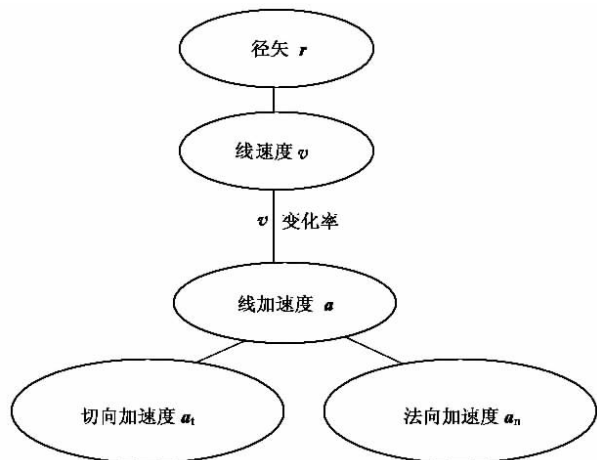


图5

学生头脑中存在的错误理解、错误概念以及学生普遍忽视的知识点,在传统的习题训练中难以具体发现,而大量的习题训练的确可以提高学生传统考试形式的成绩,学生虽然在传统形式的考试中取得了好成绩,但这些错误概念、错误理解仍然存在,传统考试形式缺乏对基本概念理解的考察,因而概念图是一种帮助教师了解学生对知识理解的良好工具,教师可依此采取相应的教学补救措施。

### 2.4 概念图作为评价学生知识理解的工具

概念图评估(concept mapping assessment)可以为我们提供一个观察学生如何组织知识的窗口,与传统的学业成绩评价手段相比,概念图评价方法最突出之处在于:“概念图评价学生对科学知识的理解,概念图提供了一种有效敲击学生思维维度的途径。”<sup>[5]</sup>通过对学生概念图的评价,教师可以深入到学生的知识结构,发现错误概念和错误理解,用较少的凝缩在概念图中的言语来了解大量的信息。概念图可以体现出学生理解知识的方式,概念图中呈现的概念数、连接词语的质量、例子的多少,都能体现出学生知识掌握的数量和质量,因此利用概念图可以评价学生知识的水平。

Novak 给出的概念图评分标准为:对每个有效连接记 1 分,对每个有效的等级水平记 5 分,对每个既有效又重要的横向连接记 10 分,对有效但没有体现系列相关概念或者命题之间综合联系的横向连接记 2 分,对每个例子记 1 分。<sup>[1]</sup>自从 Novak 给出了概念图评分标准后,许多研究者在实际对概念图评分时都对原来的记分标准有所改变,呈现出概念图记分的多种方法。如 Markham 以学生概念图的六个方面记分:(1)概念的数目——被认为是学生对某一领域知识了解程度的象征;(2)概念间的连接——被认为是学生对某一领域知识了解程度的另一个象征;(3)分支——被认为是学生对知识的理解所达到的分化程度的象征;(4)等级层次——被认为是知识分类的象征;(5)横向连接——被认为提供了知识综合的象征;(6)实例——被认为是学生掌握领域知识的象征。<sup>[6]</sup>Markham 给出概念图记分标准为:概念数目和概念连接记 1 分(每个概念记 1 分,每个有效连接记 1 分);分支的得分按照分支的精确度(每个分支记 1 分,每个成功的分支记 3 分);每个水平的等级层次记 5 分;每个横向连接记 10 分;每个实例记 1 分。Austin 利用概念图评估中学生物理课程的有意义学习,他们按照连接的质量评估概念图分数,对质量最高的连接记 3 分,较好的记

2 分,有一定意义的记 1 分,完全不正确的记 0 分。最后计算所有连接的总分记为概念图分数<sup>[7]</sup>。Rice 对七年级学生制作的生物概念图只以命题正误对概念图记分<sup>[8]</sup>。

在实际的概念图评分中,教师可以参考以上的评分标准,先应用几种不同的评分标准记概念图测验的分数,最后选定使概念图测验具有较好信度和效度的评分标准。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Novak J D, Gowin D B. Learning How to Learn. Cambridge, London: Cambridge University Press, 1984. 1—56
- [ 2 ] Mintzes J J, Wandersee J H, Novak J D. Assessing Science Understanding: A human constructivist view. San Diego: Academic Press, 2000. 7—9
- [ 3 ] Willerman Marvin. Journal of Research in Science Teaching, 1991; 28( 8 ): 705
- [ 4 ] 吴庆麟. 认知教学心理学. 上海:上海科学技术出版社, 2000. 108—111[ Wu Q L. Cognitive Psychology of Instruction. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2000. 108—111( in Chinese )]
- [ 5 ] Mintzes J J, Wandersee J H, Novak J D. Assessing Science Understanding: A human constructivist view. San Diego: Academic Press, 2000. 15—36
- [ 6 ] Markham K M, Mintzes J J, Jones M G. Journal of Research in Science Teaching, 1994; 31( 1 ): 91
- [ 7 ] Austin L B, Shore B M. Physics Education, 1995, 30( 1 ): 41
- [ 8 ] Rice D C, Ryan J M, Samson S M. Journal of Research in Science Teaching, 1998, 35( 10 ): 1103

· 物理新闻和动态 ·

## 宇宙膨胀加速与未来技术发展的极限

宇宙膨胀的加速限定了未来技术发展的极限。美国 Case Western 大学的两位宇宙学家 Lawrence Krauss 和 Glenn Starkman 证明了宇宙的加速会对未来能够存储和处理的信息量加以根本性的限制( arXiv: astro-ph/0404510V1, 26Apr 2004 )。他们还计算出摩尔定律将继续适用 600 年以上。虽然在半导体工业工作的人更悲观地认为这个著名的定律在下一个十或二十年后将不再成立。

众所周知,任何装置能够处理和存储的信息量最终是由量子力学的规律所限制的。但是 Krauss 和 Starkman 指出,宇宙本身的性质对计算加了限制,因为在一个加速的宇宙中不可能发射或接收超过所谓的总视界的信息。

宇宙的加速是由某种具有排斥的而不是吸引的力相互作用驱动的。但是,虽然一般认为这种所谓的“暗能”说明了大约三分之二的宇宙,但谁也不知道它是由什么组成的。对暗能可能的解释包括有“宇宙常数”或某种叫做精粹( quintessence )的东西。

Krauss 和 Starkman 确定了一个观察者在这样的宇宙中能够走得有多远而仍能能量发送回地球。然后他们又确定了按这种方式能够发送多少能量。为计算能够处理的总的信息量,他们假设宇宙有一个最低温度,低于此温度便没有能量(因而也没有信息)可提取。理论上预言,如果宇宙具有一个宇宙常数,就会存在这个最低温度。

他们还计算出未来能够处理的总的计算机比特数将少于  $1.35 \times 10^{120}$ 。这意味着任何观察者在膨胀着的宇宙的视界内能得到的有效信息将大大少于所谓的宇宙中总的 Hawking-Beckenstein 平均信息量。平均信息量是与黑洞相关的。许多宇宙学家预言,一个加速的宇宙最终将只剩下黑洞,此外什么也没有。而最后这些黑洞本身也将消失。

Krauss 预计这项研究结果将引起对于计算、智能、知觉和文明的极限的讨论。他说:“最终的论点将对我们如何看待自己以及我们在宇宙中的位置产生影响,这就是科学的全部意义。”

( 树华 编译自 Physics Web News, 7 May 2004 )