

数学不再难！脑科学揭示数学学习的本质

原创 暖暖 Suzy 猫头鹰舍 2025 年 01 月 20 日 07:30 上海

在过去 20 多年的教学生涯中，我始终坚信大多数孩子都能学好小学数学，并且能在数学道路上走得更远。近期，我有幸拜读了美国戴维·A. 苏泽所著的开创性著作《人脑如何学数学》。

阅读过程中，我内心的兴奋难以言表，迫不及待地在数学群里朋友圈里分享这本书。它从前沿脑科学的视角切入数学教育领域，深入剖析了大脑学习数学的内在机制，并给出了一系列极其实用性的教学策略。

这本书与我而言意义非凡，它为我秉持的信念提供了有力的理论依据，与我多年来积累的实践经验和心得也相印证。

学数学的脑科学基础

01. 人类天生拥有数学能力

“人类祖先为适应环境、获取资源和避免危险，发展出数感、模式识别、初步逻辑推理和空间感知等基本数学能力。这些能力因有助于生存和决策，被自然选择保留并传承，成为人类天生的认知特质，为现代数学学习奠定基础。”

书中花了大量的篇幅来描述数感能力的“与生俱来”。从婴儿到动物，再到对脑损伤病人比如中风病人或脑切除病人的研究，多方面阐述数感是我们人类天生拥有的数学能力。再从感数、数数、心理数轴来详细介绍了数感在大脑中的形成过程。

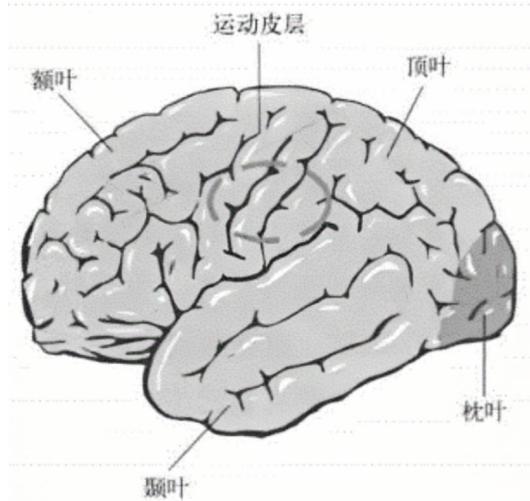


图 1.3 脑示意图

图中显示了四个脑叶和运动皮层。椭圆形内区域在个体做算术时被高度激活。这个区域包括部分顶叶和控制手指的运动皮层部分。

公众号·猫头鹰食...

(脑科学论证了手指数数的作用)

02. 脑区协同与神经可塑性

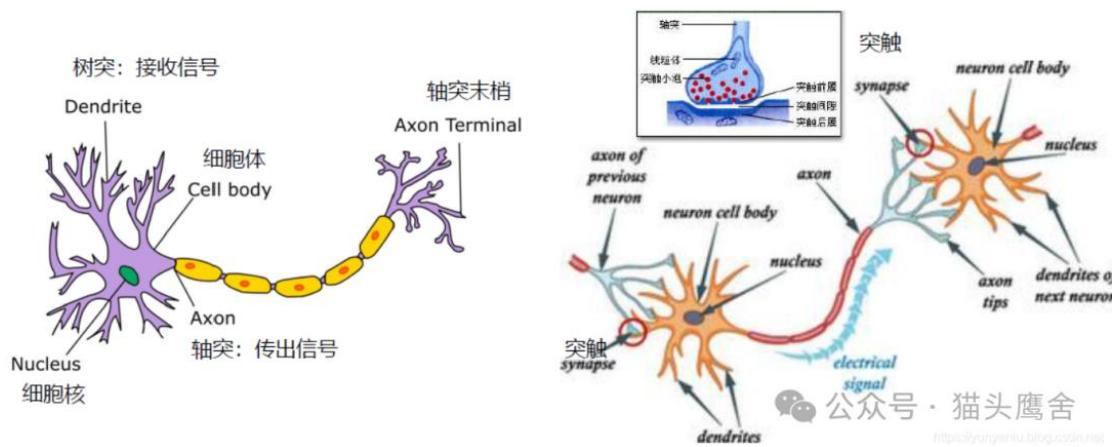
有了与生俱来的先天优势，学习数学还需各个脑区协同工作。

顶叶负责数字语义、数量感知、基本运算、估算、空间感知、逻辑推理等；颞叶主记忆、语言表达，其梭状回（颞叶的一部分）有助于复杂数字理解、数字特征加工、算术计算，问题理解等；额叶参与执行功能、高级数学思维，前额叶整合信息、制定解题策略、判推理正误，在数学思维规划、注意力调控上发挥关键。

各脑区如何协同工作呢，通过神经网络，神经网络由大量神经元构成，这些神经元通过神经突触相互连接，突触的强度和数量会随经验和环境变化而调整，进而影响大脑的功能和行为，持续的练习和学习可增强与数学相关的神经网络连接。所以神经网络具有极强的可塑性，这点是学习和记忆的关键。

我的大白话就是：“只要你在思考，不管是对是错，你大脑里的神经突触就会增多，你就会变得越聪明。”这是我对孩子们常说的话。

神经元结构



脑科学视角下的数学教学探索

01. “他是哼着歌做的第4题”——孩子的学习状态是放松的

“情绪对学习的影响与大脑的杏仁核紧密相连。杏仁核是大脑中处理情绪的关键区域，一旦受到情绪刺激，它便会向大脑各个区域发送信号，进而影响记忆的形成以及认知功能。”“情绪对学习的影响是巨大的”。

当学生产生积极情绪时，杏仁核会向奖赏系统传递信号，激活多巴胺系统等，促使多巴胺释放，比如那个哼着歌做题的孩子。多巴胺的释放不仅有助于将这些愉快的学习经历转化为长期记忆，还能让学生在思考问题时更加灵活，更容易探寻到创新的解决方案。



(那个从气鼓鼓到哼着歌做题的孩子)

但现状是，外界给孩子制定了过高的标准，学校以考代学，甚至两天一小考三天一大考的考试压力。我常常发现学生对数学存在恐惧和厌倦情绪，而且这种情况越来越趋于低龄化，着实令人担忧。

而恐惧、焦虑等消极情绪对杏仁核的刺激与积极情绪的影响截然不同。这些消极情绪会强烈激活杏仁核，进而引发一系列生理应激反应。具体来说，“杏仁核会激活下丘脑-垂体-肾上腺轴（HPA轴），促使肾上腺分泌皮质醇等应激激素，同时激活交感神经系统，导致学生出现心率加快、血压升高、呼吸急促、肌肉紧张等症状，使身体进入‘战斗或逃跑’模式，以应对其潜意识中认为的潜在威胁”。

在这种状态下，学生的认知功能受到严重干扰，难以集中精力学习，认知能

力也随之下降。长此以往，还可能逐渐形成恐惧记忆，如同许多成年人即便工作后，仍会做“数学高考的噩梦”。

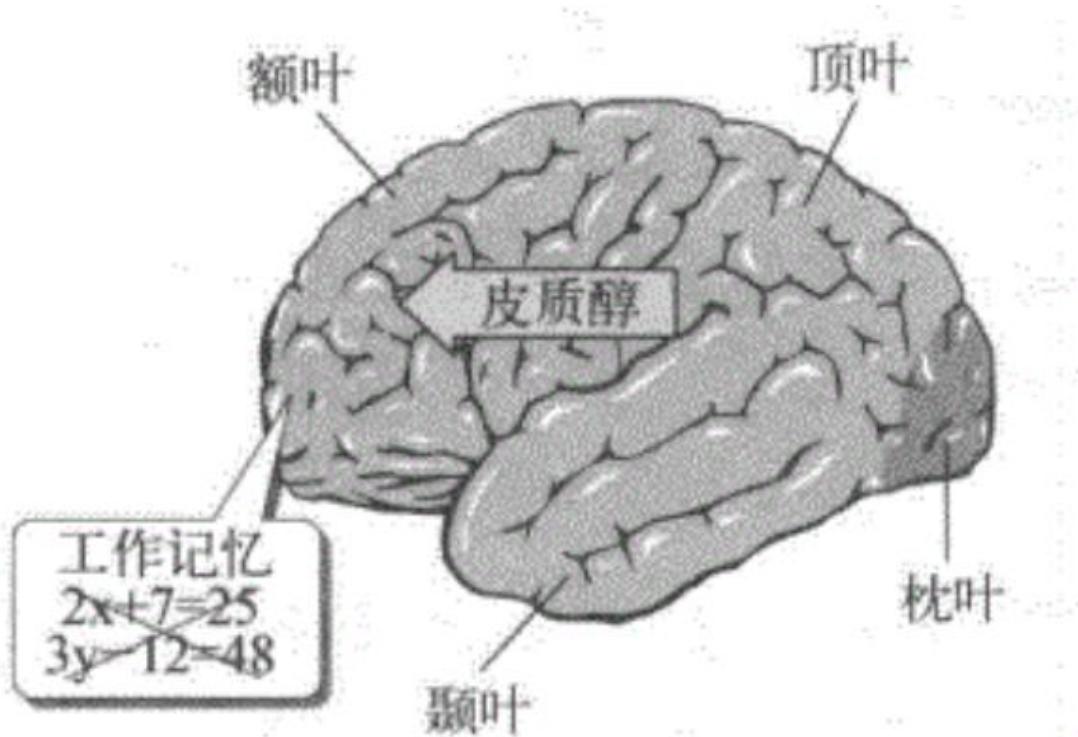


图 7.1 数学焦虑症的脑示意图

数学焦虑症引起了血液中皮质醇的释放，皮质醇使额叶重新调整集中应对焦虑。同时，工作记忆中被认为不相关的学习被干扰或遗失。

公众号·猫头鹰舍

如何让孩子的学习状态是放松的？我在课上是这样做的。

- a、 “好厉害”（关注到细节）——敏锐地捕捉孩子身上的闪光点，给予大力鼓励与由衷夸赞，让孩子在潜意识里树立“我能行”的信念；
- b、 “有错多好”（学习的机会）——创造“一个让学生敢于冒险而不会由于给出错误答案而感到羞耻的环境”，通过错误引导学生进行深入思考，从而找到正确的思路，让学生获得成就感；

c、“玩个好玩的”（调节纯烧脑）——设计一些具有趣味性和挑战性的数学小活动课程，激发兴趣，缓解“烧脑”；

d、“还可以有什么方法呢”（多角度思考）——通过多角度思考，激发学生的好奇心和求知欲；

.....

慢慢地，学生会逐渐放下焦虑，发现数学学习充满趣味和成就感。



图 7.2 缓解数学焦虑的途径

数学焦虑症是一种普遍存在于学生和成人身上的问题。在学校，通过图中所显示的五个方面采取一定的措施，可以缓解数学焦虑症。

公众号 · 猫头鹰舍

02. “为什么” “为什么” “为什么”

“意义尤为重要”

在积极的情绪下，我们还要满足孩子们的“意义”感，即回答为什么。数学学习的意义主要包含两个方面：

一是数学知识本身的意义——内在逻辑和结构，即学生能否根据已有经验理

解新的数学内容，从而把握知识的内在联系。

数学知识具有其独特的内在逻辑和结构，数学学习最终还是要回归到数学知识本身。许卫兵校长的《小学数学整体建构教学》一书，就阐述了各个知识点之间的关联（附页如下图），以及部分推理过程，避免了知识的断层感。

虽然老师们都知道知识内涵的重要性，但在日常教学中，无论是课时安排或者外在压力，大部分老师都是一笔带过，导致孩子们对基本概念的理解不清晰。



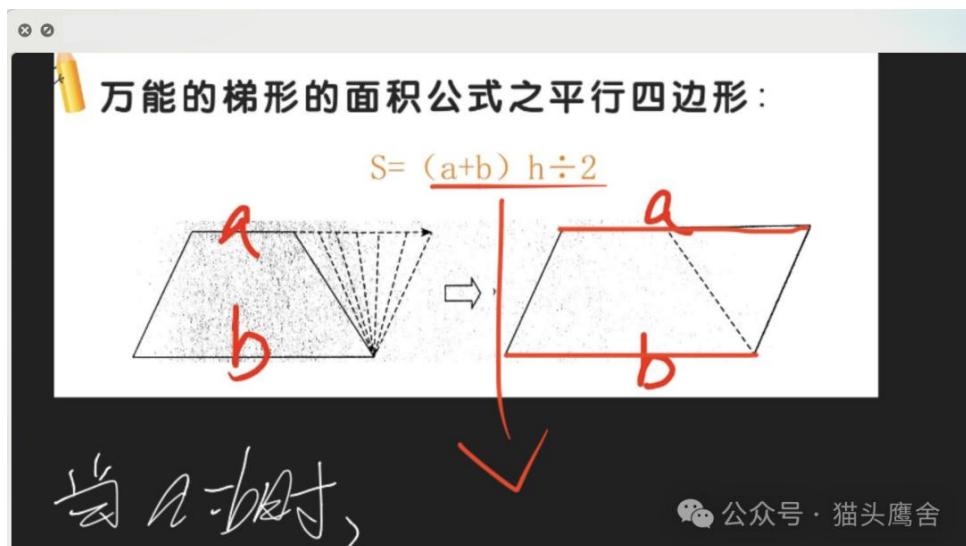
(2024年第五届全国小学数学结构化教学实验联盟“简约数学”专题研讨会，许卫兵校长的讲座)

“脑扫描结果显示，当新知识很容易被理解(有合理性)并能与过去经验相联系(有意义)时，大脑会有大幅增多的皮层活动，信息被长久储存的可能性随之大大提高(Maquire,Frith & Morris,1999)。”

这也就不难解释，当学生问为什么要学某知识时，“因为考试会考到”的回答并不会让学生的大脑感受到知识的意义，也不难解释，学生前一天将知识记在

笔记本上，第二天就完全忘记的情况，因为知识没有被大脑储存。

“如果一个过程没有储存，那么大脑对待处理这些信息时，就会像对待全新的知识一样。”



(上图是从梯形推向平行四边形)

下面以 5 年级讨论图形之间的面积公式推导举例：

课上，先带孩子们按课本上呈现的图形的面积推导顺序来梳理脉络(如下图)，再带孩子们逆向拓展，思考能否从后往前推呢？

梯形面积公式能推导出三角形、平行四边形、长方形面积公式么？通过思考推理，得出结论“都能推导”，所以被称为万能的梯形面积公式，既然是万能的，是否也能推理出圆的面积公式呢？请课后思考。



二是知识的现实意义，即学生能否将数学知识与日常生活相联系，从而理解数学概念的实际应用和价值；

随着新课改的推进，低年级的数学教材中增加了不少生活场景，能够帮助低年级学生更好地理解数学知识，这与脑科学的相关主张相吻合。然而，在高年级教材中，生活场景的呈现相对较少。



如何让孩子满足意义感？

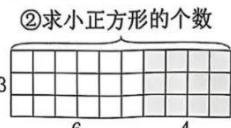
以上周“炸裂”教育圈的深圳市南山区的期末卷为例，这是4年级的期末试题。

10. 下图中可以体现乘法分配律的有（ ）个。

①简便计算

$$\begin{aligned} 13 \times 99 &= 13 \times (100-1) \\ &= 13 \times 100 - 13 \times 1 \\ &= 1287 \end{aligned}$$

A. 1个



B. 2个

③竖式计算 107×28

$$\begin{array}{r} 107 \\ \times 28 \\ \hline 856 \\ 214 \\ \hline 2996 \end{array}$$

C. 3个

④求28套服装的总价

 方法1: $(46+54) \times 28$
 方法2: $46 \times 28 + 54 \times 28$

D. 4个

下面是传统的试题，

$$52 \times 89$$

$$69 \times 101 - 69$$

$$55 \times 21 - 55$$

$$125 \times (80+8)$$

$$125 \times (80 \times 8)$$

$$125 \times 32 \times 25$$

$$99 \times 99 + 99$$

$$38 \times 7 + 31 \times 14$$

$$25 \times 46 + 50 \times 27$$

$$\text{公公是猫头鹰舍}$$

$$79 \times 25 + 22 \times 25 - 25$$

相信大家不难看出，两者考查的侧重点有所不同。

传统试题中，考查的侧重点在纯计算。在各种变式的中考查学生是否能灵活运用乘法分配律，而计算的变式总归就那么几种，只要教师和学生花大量的时间去刷题，总可以做到一眼明了，甚至条件反射的状态。

而南山区的试题则侧重考查了乘法分配律在各场景中的使用，这里更强调了学生对乘法分配律的意义的理解，有了对其含义的理解，才能灵活地数数、清晰地分析竖式计算的算理以及实际生活的应用。

下面给大家“支两招”：

a、**多问“为什么”**——为什么要学乘法啊？为什么要学扇形统计图啊？这里为什么要除以2啊？为什么用这两数相除呢？……探讨各个数学概念之间的联系。比如有孩子经过思考后总结：“原来加减乘除都是一家的啊”；

b、**“可以怎么用？”**——引导孩子观察生活，提供一些生活视角，让孩子感受所学知识的意义。

表7.3意义建构的课堂文化和传统课堂文化的对比

传 真 课 堂	意 义 建 构 课 堂
数学是程序的集合	数学是一种思考方式
操作令人费解的事物	操作可理解的事物
学习材料对于学习者失去意义	学习材料对于学习者很重要
学生是被动的	学生是主动的
由老师验证	由学生验证
真理是已经呈现在眼前的	真理是建构的
为教师所把握	为学生所把握
用教师的语言解释、描述	用学生的语言解释、描述
经常被遗忘，无法提取	能够被记住，可提取
突然出现	渐渐变化而显现
忽视学生的准备程度	关注学生的准备程度
无实验的	实验的
从课堂一开始就呈现	在课程的结束得到发展
依赖记忆手段	很少依赖记忆手段
孤立和肤浅	联系和透彻
遵循程序	开发程序
数学焦虑	获得个人效能感和信心
封闭思想和精神	活跃思想和精神

来源：Flewelling&Higginson,2001

公众号·猫头鹰舍

(创设“一个指向意义的课堂文化”)

03.“准备 10 颗棋子”“画一画”“说一说”“写一写”—“CRA 教学法”

CPA (Concrete–Pictorial–Abstract) 教学法是一种循序渐进的教学方法，即通过实物教具 (Concrete)、图像表征 (Pictorial) 和抽象符号 (Abstract) 三个阶段来帮助学生理解数学概念。

认知神经科学通过最新研究证明了 CPA 方法的有效性。

(1) 顺应大脑认知发展规律。

a、具象化阶段：学生直接通过视觉、触觉等多种感官接触数学概念，使大脑在丰富的感知刺激下初步建立对数学的认知；

b、形象化阶段：用图形代替实物，帮助学生在大脑中形成数学概念表象，为从具体到抽象的过渡搭桥；

c、抽象化阶段：使用数字和符号表示数学问题，能够有效激活大脑的高级认知

区域，促使大脑对数学知识进行深度加工和抽象概括。

(2) 促进神经连接，激活大脑神经可塑性。

a、多阶段刺激神经突触生长：三个阶段为大脑提供丰富刺激，从感知觉神经元活跃，到促使新的突触生长，再到更高层次的整合和优化从具象到抽象，不断激活神经可塑性，促进大脑结构和功能完善。

b、循序渐进的学习促进神经整合：从具象到形象再到抽象的过渡，使学生在每个阶段都能在已有的认知基础上逐步构建新的数学知识体系，大脑神经元之间的连接也在此过程中不断调整和优化，促进了大脑神经网络的整体协调发展。

(3) 促进大脑记忆与理解

多感官参与，增强记忆：具象化和形象化阶段多感官参与，使大脑多脑区编码，形成深刻记忆痕迹，提高记忆保持度。

理解深化，促进记忆：强调理解，使大脑将知识纳入认知框架，形成有意义记忆网络，实现理解与记忆良性互动。

对于青少年(青春期),介绍和解释几何学以及其他数学公理和定理,尽可能多地展示实际应用。

对于青春期前的学生,介绍和解释数学公理。
尽可能使用具体的操作,因为我们正在经历一个关键期,在这个时期,
学生可能会因符号数学不断增强的抽象特性而失去对数学的兴趣。

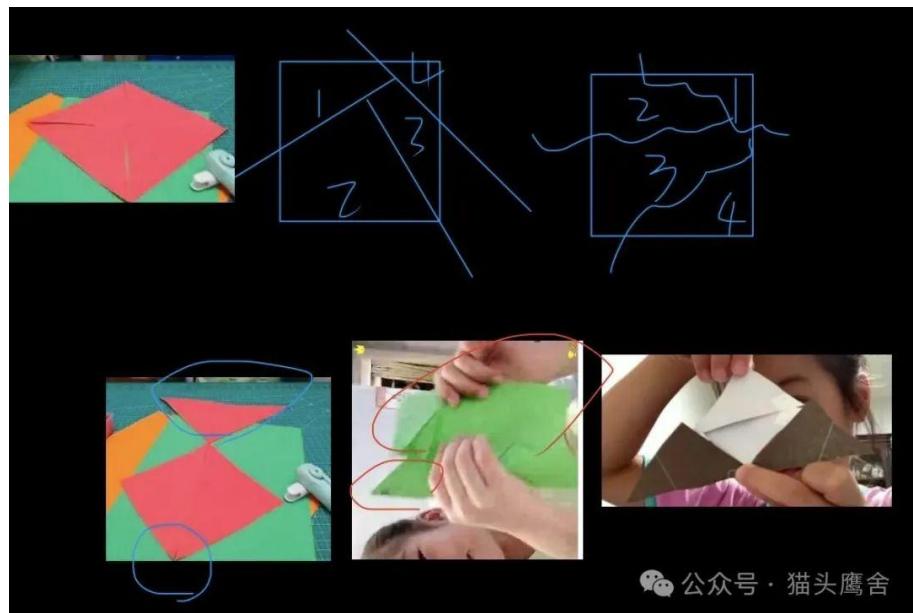
逐渐转换到引入符号表征。
说明算术符号不过是进行书面计算的捷径。
不断地将符号知识与数量直觉联系起来。

以数感、感数和数数的直觉为基础。
运用能唤醒学生天生好奇心的数字谜语和活动。

图8.2 从学前到高中的数学教学注意事项流程号·猫头鹰舍

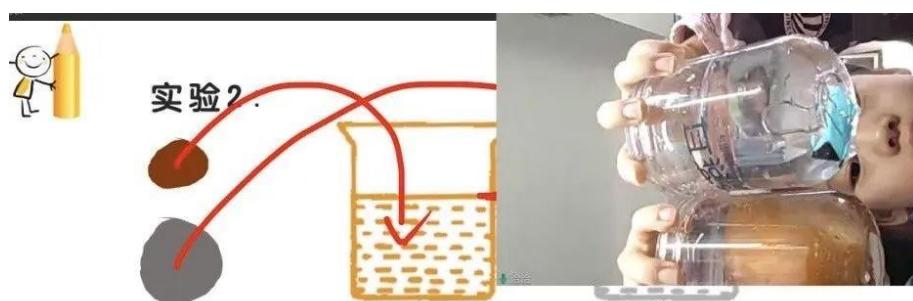
简单分享一下我课上的操作：

具象化：借助实物、图案或视觉材料引入数学概念。比如，在低年级的基础运算教学中，利用水果、围棋等常见实物，让学生通过亲手操作，从而初步理解加减乘除的基本概念。而在教授高年级的代数式时，采用电影场景图，观察其中的模式，形成对代数式的初步认知。



公众号 · 猫头鹰舍

(玩四巧板的前奏)



1、准备：2个大小不一可沉入水底的物体，两杯装有一样多水的透明杯。

2、猜测：放入两块不一样大的石头，哪个杯子里的水上升得比较多。

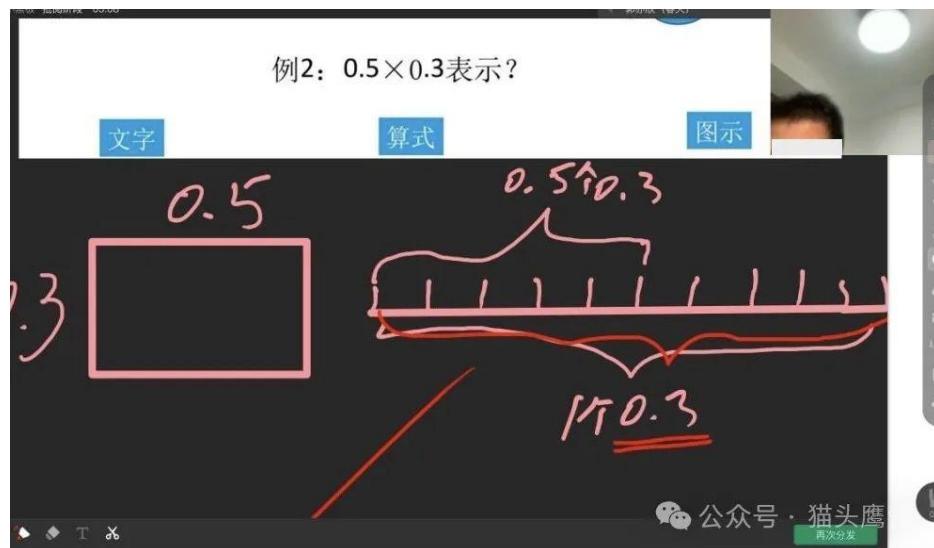
3、验证：动手验证自己的猜测是不是正确。

公众号 · 猫头鹰舍

(动手做乌鸦喝水的实验)

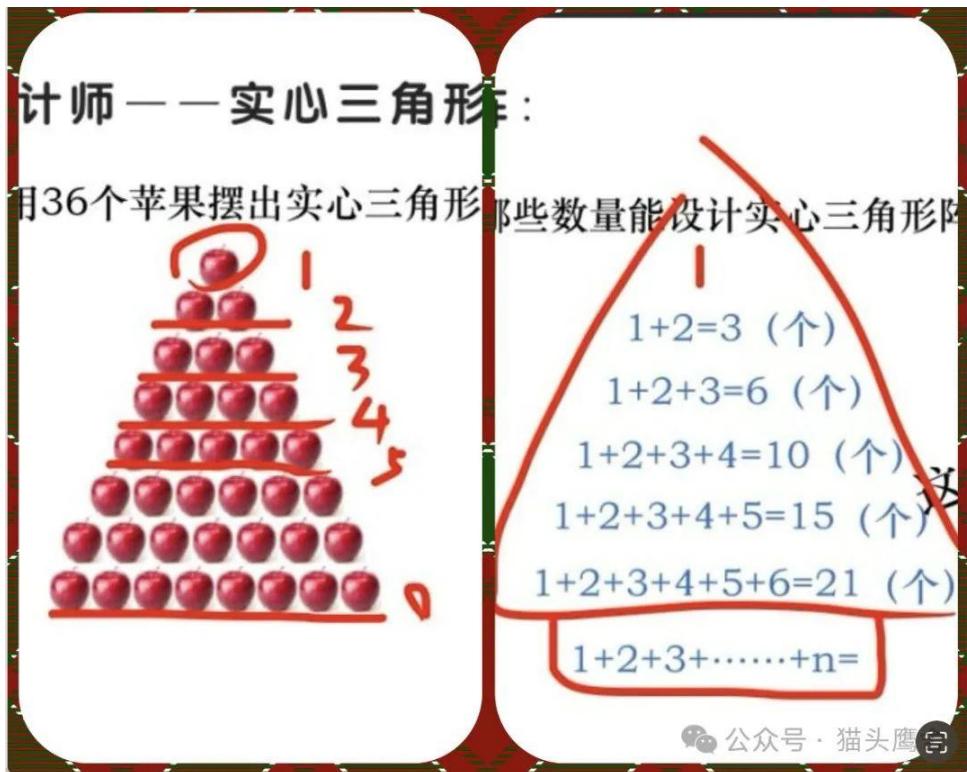
形象化：引导学生以绘图的形式呈现出实物实例，如线段图、图表、图示或

结构图等，并“解释图形实例与具体实例是如何关联的”。这种可视化的表达方式，有助于学生梳理数学问题的结构，洞察问题之间的内在联系，进而深化对数学概念的理解。



(用各种形式表示小数乘法的含义)

抽象化：鼓励学生将绘制的图形转化为算式或公式，尝试用数学语言表达自己的思考过程。学生只有基于前期的操作经验，熟练运用数学符号，才能真正实现从具体形象思维到抽象逻辑思维的跨越，更加高效地解决复杂的数学问题。



(玩数阵，从图到式再到代数式的抽象过程)

写在最后：

虽然在当前的教育大背景下，机械刷题的现象仍然较为普遍，许多家长也不得不随波逐流。但学习数学远不止为了应对考试，它更是一种思维训练。正是这本书，让我对数学教育的真谛有了更坚定的信念，我们的教学当着眼于学生对数学概念的理解，从而塑造数学思维和解决问题能力的提升时，大多数孩子都能学好小学数学，并且能在数学道路上走得更远。

经过大半个月的思考，我决定先分享以上三点核心感悟，书中阐述的角度非常宽泛，后期我再继续分享。