

## 物理学咬文嚼字之三十二

# 切呀切

曹则贤

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

管他什么人挣扎,着了语言文字须要差.

——京剧《天女散花》

**摘要** 物理学涉及许多与切相关的词汇. 与切相关的西文词包括源于τομωσ的 atom, anatomy, tomography, dichotomy; 源于 caedere 的 incise, suicide, decide; 源于 scindere 的 abscission, shear, abscissa, schizophrenic, scissor; 源于 seperare 的 separate, sever; 源于 secare 的 section, segment, saw, sector, 等等. 此外, cut, carve, slit, slice, trim, truncate, prune, amputate, chop 等动词也都是切的意思. 一些本意为切的西文词, 其中文译文字面已无痕迹, 而 tangent, intercept, frustum 等本身不含切的意思的词却被汉译为切.

人类文明的标志, 一说是编故事(historia)的能力<sup>1)</sup>, 一说是制造工具的能力. 制造工具自然地会遇到一些切割、剥削、剪裁之类的动作, 并且这些动作也会融入到我们对自然的描述中. 分析曾经是研究自然的几乎唯一的手段和观点, 因此科学在过去很大程度上是一种分析的实践. 要分析, 就要不断地把事物的整体分割成更小的组成部分. 切是一种切实的研究方法. 石头碰碎了还是石头, 土块揉碎还是土块, 一桶水洒成细碎的水滴, 还是水. 自然, 古人会问, 物质是一直这样分下去还能保持其自性呢, 还是能找到一个基本(elementary)的构成单元, 就像木材是桌子、椅子和大车的构成单元那样? 这样的基本单元, 应是不可再分的(atomos), 这就是最初的原子概念. 英文原子(atom), 其词干是希腊文的切(τομωσ), 这一点为大家所熟知. 其实, 英文表达切的意思的词汇, 除了常见的 cut 以外, 还有许多来自古法语、古德语和拉丁语的词汇, 散见于许多科技词汇中. 现择其常见者之一二, 指出其内在关系, 或于上心的读者有所裨益.

**1. Cut.** Cut 可能是许多人学的第一个具有切的意思的英文词. Cut 大约是要用刀的, 英文解释说它要 denoting penetration or incision, 也就说所用器具要穿过待切的物体. 英文词 shortcut 与其和中文捷径对应, 不如翻译成截径, 因为截径更能反映出这条路径被开辟的过程(想象一下某人在方格状的田里, 不沿田埂行走, 而是从田里斜插过去, 就是

making a shortcut); 或者翻译成剪径也未必不可, 这个用于土匪野外打劫的专业词汇, 反映的也是一种致富的捷径, 而且汉字的剪、切、截有通用的地方. Cut 当然也可用于一些虚拟的切入过程, 比如 cutting through the fog of complexity with insight and clarity (深刻、清晰地看穿复杂性的迷雾). Cutting edge 指刀锋, 英语中 cutting-edge 作修饰词有 state of the art (最高水平)的意味, 如我们随时能读到 cutting-edge theoretical physics, cutting-edge research 这样的短语, 汉语对应大约是前沿理论物理、前沿研究. 中文有用切之效果作比喻的场合, 如用“刀切豆腐两面光”形容人两面讨好谁都不得罪, 不知英文有没有类似的表述. 与 cut 在古英语同源的词有 carve, 英汉字典常会将之翻译成雕刻, 如 carve a statue out of stone (雕一石像)是为我们大家所熟知的说法. 其实, carve 也可同 cut 一样用作庸俗的切, 比如切肉(to carve meat).

**2. -Tom.** Tomy (tomos) 来自希腊语 τομή (τομωσ), 现代希腊语动词形式有 τέμνω (temno, to cut, to divide) 和 τέμαχιζω (temaheezo, to cut into pieces), 拉丁语动词形式为 tondere. 含词干 tom 的现代科技词汇很多, 如 anatomy (throughout + cut, 解剖学), tomography, dichotomy, trichotomy 等等.

1) 直白点说, 是撒谎的能力. 印象中是某期 discovery 节目中这样说的. ——笔者注

Dichotomy (dicho + tomy), 字面上为一分为二, 不过可不是简单的 cut into two halves (切成两半), 它在不同学科中的学究式的用法需要仔细把握其内涵. 作为植物学词汇(汉译对分, 分枝), 它指的是植物的一个茎分叉长成差不多相等的两部分, 比如从原先的一个分生组织 (apical meristem) 同时长出两片叶子. 有些事物的一分为二可不会像两片叶子那样和谐, 而是含有内在的张力或者矛盾. 比如, 态度的两分法 (an odd dichotomy in his attitude) 自然含有自相矛盾的地方. 其它如重音节拍语言 (比如英语) 同以音节记韵律的语言 (比如汉语) 之间的 dichotomy (dichotomy between stress-timed and syllable-timed languages), 社会网络同教育之间的 dichotomy (dichotomy between social networks and education), 可能就强调两者之间的不同或不协调. 那种强调量子与经典的分立 (quantum - classical divide) 的哲学, 就被称为 Bohr's dichotomy (玻尔的一分为二, 反映在他的互补哲学 (complementarity) 上). 这种以为量子世界和日常生活的经验世界遵循不同物理定律的想法, 即对世界的两分化 (dichotomization), 甚至比亚里斯多德将世界分为天界和月下的俗界以及笛卡尔将存在分为物质与精神来得极端 (This (the quantum world and the world of everyday experience seem to obey different laws) was a dichotomization of the world no less drastic than Aristotle's separation of the celestial realm from the sublunar world, or Descartes' bifurcation of existence into matter and spirit.)<sup>[1]</sup>. 注意, 这句中, dichotomization 和 bifurcation (分叉, 分岔), separation (切) 是并列的. 类似地, trichotomy 字面意思为一分为三, 但不是简单的切成三片. 哈密尔顿爵士在深刻地认识了复数性质的基础上研究三元数的代数结构, 从而变得醉心于构造世界的 trichotomy, 类似自我、肉体和精神 (a trichotomy of self, body and mind) 那样的 trichotomy. 有趣的是, 对哈密尔顿爵士此番努力的回报恰恰是四元数 (quaternion) 的发现, 是要丢弃 (i, j, k) 这样的 trichotomy 的<sup>[2]</sup>. 有意学点电磁学理论的朋友, 不妨在这方向上多努力.

Tomography (cut + write), 字面意思为分层切片成像 (imaging by sectioning), 汉译断层摄影术或者断层成像. 这里的切 (section, slice) 不是真要将样品切片, 传统的医用 X 射线断层成像是相对移动 X 射线源和胶片, 这样只有焦平面附近的部分 (slice) 才清晰成像. 现代版的 tomography 则是对物体从不同角度获得投影图, 然后由计算 (通过 Rad-

on 变换) 重构出物体的像<sup>[3]</sup>, 因此被称为 CT (computer assisted tomography 或者 computerized tomography). 1979 年, Allan M. Cormack 和 Godfrey N. Hounsfield 因为发展了计算机辅助断层成像术 (CT) 获得了诺贝尔生理或医学奖.

Atom (a + tomos) 意为不可分割的, 即今天我们所谓的原子<sup>2)</sup>. 当然, 原子只是化学层面上不可分割的存在, 而关于原子的研究, 物理学已经深入到原子核构件之核子的内部. 这个词今天在物理学中之不合时宜恰恰昭示了其历史的久远. 意为不可分割 (unbreakable) 的还有一同源词为 adamant, 这指的是金刚石而非原子. 宏观物质的切割依赖物质间的切磋, 金刚石是最硬的物质, 和其它物质之间切磋受损的是其它物质<sup>3)</sup>, 所以称为是不可切割的. 读者请注意, 在今天的西文文献中, atom 也不总是指那种原子核加电子构成的所谓原子, 而只是指某种事物之最本原的、不可再分的构成单元, 如单群是有限群的基本构成或者“原子” (The simple groups are thus the primes or “atoms” of finite group theory), 其中的 atom 就是指保持某种性质前提下的不可再分的基本因子. 在另一句中 “... the aim of complex systems is to explain and understand the local (atomic) workings and rules of a system, and then to make global connections and inferences based on this knowledge”<sup>[4]</sup>, 此处的 “atomic” 显然是指基本构成单元的意思. 不过基本单元可能是宏观的存在, 比如对社会这样的复杂体系, 其 atom 可能是尺度为米的个人.

**3. Cide (—cise, —sci).** 带词干 sci 的词汇在科学词汇中广泛用到, 它具有切的意思可能是我们中的许多人不太熟悉的. 不过如果注意到它和 cide (法语 cide, 拉丁语动词为 caedere) 的渊源可能就好理解了. Cide, 或者 caedere, 的意思是 to cut down, to kill. 英汉字典遇到 suicide 和 pesticide 等词会简单地解释为自杀、杀虫剂, 这样英文学习者就容易忽略这里 cut down 的意思. 一个含 cide 的常见动词为 decide, 习英文者常满足于知道其中文译文“(作) 决定”而不知其本意为 to cut down, 作了断 (判断) 的意思; 比较西语成语 to cut the Gordian knot (原始的动作为 sliced the knot with a sword-stroke) 和中

2) 原子, 以及许多其它的概念, 都是演化着的. 在阅读科学文献时, 注意到文中具体概念所处的历史时期对于准确理解内容常常是有益的, 有时甚至是必须的. ——笔者注

3) 切割铁、镍等物质时吃亏的则是金刚石, 不过是因为发生了化学反应, 不影响金刚石硬度 (力学性能) 最高的事实. ——笔者注

文的快刀斩乱麻,可见语言面对相同的情景总有相通之处.以 *cise* 为结尾的词有 *incise* (往里切,雕刻), *circumcise* (环切.男性包皮手术就是用这个动词)等<sup>4)</sup>.以 *sci* 形式出现含“切”的意思的词汇,来自拉丁语 *scindere*.作为常见名词的 *scissor* (英语,剪刀;形容词形式为 *scissile*)和 *scie* (法语,锯子;动词形式为 *scier*)就是来自这个动词,英文学习者如果知道其词源会会心一笑.含有词干 *sci* 的科学词汇很多.一个常见动词为 *abscise* (*ab*+*cide*),就是截断、锯掉的意思,由此而来的科学名词一为 *abscission*,另一为 *abscissa*.*Abscission* 意为截断、切除,植物的器官与整体自然脱离的过程也是 *abscission* (*abscission of leaves*,树叶的脱落),在此过程中起到关键作用的化学物质为 *abscisic acid* (汉译脱落酸).*Abscissa*,一说来自拉丁语 *caedere*,一说来自 *abscindere*,*to abscond*,*to sever* 的意思,其复数形式为 *abscissas* 或者 *abscissae*.在笛卡尔平面直角坐标系中被用来标记点在水平方向的坐标值.许多地方人们遇到 *abscissa* 时直接翻译成 *x* 坐标值<sup>5)</sup>,有失严谨.注意,*abscission* 作为脱落有某种主动的意思,而修剪树木花草、手术截肢对应的词分别为 *prune* (The workers have pruned all the dead branches,工人们已经剪去了所有的枯枝)和 *amputate*.

和 *sci* 同源的还有 *shear* (大剪刀),也可作动词 (*to shear the wool*,剪羊毛).该动词的德语同源词为 *scheren*,其名词形式 *die Schere*,就是德语的剪刀(比较法语的 *scie*).*Shear* 是个常见的物理学词汇,出现在如 *shear modulus*,*shear force*,*shear stress*,*shear flow* 等词汇中,汉译剪切.所谓的 *shear stress* (剪切应力),是指平行于(擦着)材料的某一个面(可是在材料内部)施加的应力 (*shear stress is defined as a stress which is applied tangential to a face of a material*).这里的关键是 *tangential*.设想你将手碰到 (*tangere*) 了一个物体上,如果你试图沿着法线方向继续或者缩回来,则液体感受到的 *stress* 为 *normal stress* (法向应力);而如果你的手沿着和法线垂直的任意方向运动,则会带动物体随着你的手运动,该物体会感受到切应力.设想一种普通的牛顿流体如水,流动着.如果因为某种原因比如固体器壁的粘附,则必然会产生一速度梯度.设想你数学地将流体用一包含速度矢量且和速度梯度垂直的平面剪成两半,则由于速度梯度的存在,两侧液体互施一个应力,即为 *shear stress*  $\tau(x)$ .记  $\tau(x) = \mu \frac{dv}{dx}$ ,  $\mu$  就是液体的粘滞系数.

如果固体在某个面上存在 *shear stress*,固体不流动,不会产生流动速度的梯度,但是会沿着应力的方向变形,产生 *shear strain*  $\gamma$  (剪切应变,定义为与应力所在面垂直的方向上单位高度上的相对位移),两者之比为 *shear modulus* (剪切模量),和 *Young's modulus* 一起构成对固体材料力学性质的描述(硬度则综合反映两者)(图1).

带 *shear* 的词强调面两侧的存在不同调从而发生扭结、纠缠的现象,敌对国家边境地区的人民对 *shear stress* 可能会多有体会.两股势力拉锯战的受害者可能会耍起两面(牌)派.长期处于 *shear stress* 中的人,不管其原因为何,可能会得 *schizophrenia* (*schizo*+*phren* (*mind*),精神分裂症,人格分裂)<sup>6)</sup>.*Schizo* 和 *sci* 一样,来自拉丁语 *scindere*,也是切.

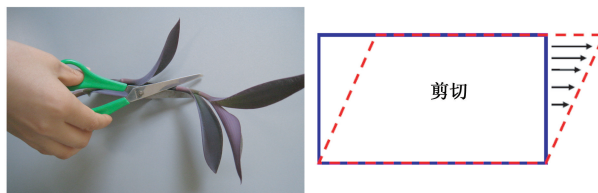


图1 剪刀(英文为 *scissor*, 德语为 *die Schere*)和剪切(*cut*, *shear*)

**4. Sever.** *Sever* 来自拉丁语 动词 *seperare*, 看到这里,读者可能已经想到它和 *separate* 是同一个词. *To sever from the family* (同家庭失去联系), *to sever all the relationship* (断绝所有关系),都有分割、切开、断开的意思. *Sever* 的一个形容词形式是大家熟悉的 *several*, 通常指不多的几个,比如说 *he has read several books on physics* (读过几本物理书),就是比较含蓄的说法.当然,*several* 说“这几个”可能还强调其是不同的,如 *they went their several ways* (各奔东西). *Sever* 的另一个形容词是 *severable*, 意为可分割的 (*can be severed*). 过去分词 *severed* 可以直接用作形容词.如我们在 2009 年研究由地电极出射的大气压等离子体注的发生机理时,用的是截成三段然后各通过一个电阻连接起来的地电极,我们就管它叫 *severed ground electrode*<sup>[5]</sup>.显然,同 *slice* 相比,*sever* 截成的是段.

**5. Slit (slice).** *Slit*, 刺下一个长的、直的刀口

- 4) *exercise* (练习,锻炼)的词尾是 *ercise*=*enclose*, 没有切的意思.类似的词还有 *exorcise* (驱邪,招魂).——笔者注
- 5) 在三维直角坐标系中,*x*-,*y*-,*z*-轴的英文名分别为 *abscissa*, *ordinate*, *applicata*.——笔者注
- 6) *schizophrenia* 好像是从希腊语  $\sigma\chi\iota\zeta\omicron\sigma\phi\rho\epsilon\nu\iota\kappa\acute{o}\varsigma$  直接按照字母转写过来的.——笔者注

(incision)或者槽口,以及切成条的意思.名词 slit,汉译狭缝,如 single-slit diffraction, double-slit interference中就被译成单缝衍射和双缝干涉.这是理解光(束)性质的重要实验,在光学和量子力学以及电子光学等领域中都有充分的讨论<sup>7)</sup>.与 slit 同源(来自古法语)的有 slice,不过 slice 是切成片,如 sliced sausage (切香肠),比喻有条不紊地、缓慢地推进某事,蚕食.英语中的 slice of life,是对法语 tranche de (la) vie 的直译,是指在文学、电影新闻中对日常生活的写实性记录和表现.利用 life 的双关语义,有人在 Science 杂志上发表过题为“Optical Sectioning——Slices of Life”的文章,讨论的是如何对生物活体不切片而能进行不同薄层上成像的问题(... images of sections of a specimen without the need to physically slice it)<sup>[6]</sup>.

**6. Section (segment).** Section 来自拉丁语动词 secare,就是 to cut,形容词形式为 sectional.英文的一种切开方式——锯(saw),也来自这个词. Section既是名词,也是动词,作为名词部分、部门、片段等意思.数学上有个名词叫 cross section,汉译截面或者横切面.其实, cross section,对应的德语为 Durchschnit,更多地强调完全地切(锯)过去.相关的物理学名词 scattering cross section (散射截面),用来描述散射发生的概率,因其量纲为面积而得名.这是一个贯穿多个物理学领域的关键词,学物理的朋友要深入关注一下.在机械制图领域, section 就译为断面、剖面,如 section drawing 即为剖面图.

同样来自拉丁语动词, secare 的英文词 segment,作为名词的意思为任何物体上分割出来或可分割的部分.注意,德语的锯子为 die Säge(发音为 sege),可见其同 segment 的渊源.锯(saw, sägen)可以理解为不爽快地切,德语把不断重复的、烦人的提琴声、哭闹的孩子等称为 die Nervensäge (神经锯子),属于神来之笔.法语的 scie 倒是可以理解为一刺两半,不是那么痛苦. A line segment (线段), a circular segment(圆弓形),汉译常常让人忘了其是切的结果.说到切一个圆(slice of a circle),有两种方式,其一如切 pizza 饼,得到的是 circular sector,汉译扇区,扇面. sector 和 section 可看作是一个词;其二是随意的一刀下去(比 tangere 这个动作要大),得到的是 a circular segment (圆弓形)(图2).当然, segment 作为切的结果也可以是如切 pizza 那样的,比如桔子、大蒜的瓣也是 segment. Eating orange in segments,就是一瓣一瓣地掰着吃桔子.

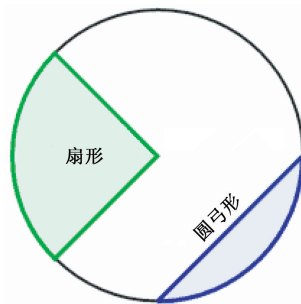


图2 圆的切法(slice):扇形(sector)与圆弓形(segment)

说到 section,有必要多聊聊 conic section. Conic section 是平面和锥体 (cone)的 intersection (字面意思是互切),其结果为点、线、双线(two intersecting lines)、圆、椭圆、抛物线和双曲线(图3),汉译圆锥曲线显然是错误的——它把点、线和双线给排除了.三维空间中的平方反比力场中,被束缚物体的运动轨迹为 conic section,这一点是 Johann Bernoulli 在 1742 年证明的(牛顿原理一书中用平面几何证明的是这个问题一个特例的逆问题).不过,关于这个问题需要做一些说明:其一,物体只能沿着一个连续的轨道运动.所谓的双线或者双曲线,真实的物理轨迹只能取其一;其二,沿着点、线、圆、椭圆、抛物线到双曲线的顺序,轨道对应的物体的动能是增加的.圆和椭圆是行星的轨道,抛物线和双曲线是彗星的轨道,而人造卫星的轨道可以是点、线、圆到椭圆.当然, conic section 不是有心力场中运动轨迹的全部,被大质量恒星吞噬的行星,其轨道更复杂.扯远了,打住.

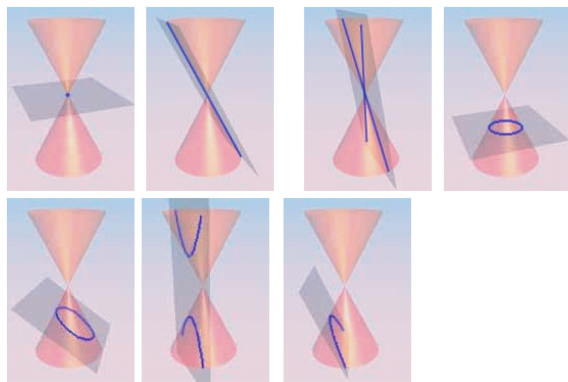


图3 Conic section (图片取自 <http://math2.org/math/algebra/conics.htm>)

**7. Trim (truncate).** Trim 的意思很多,其中包括切的意思,常和 off 一起用(to trim dead branches off a tree,修剪枯叶).一个特殊的用法是切成指定的大小或者形状.在著名的如何切蛋糕这样的数学

7) 我有一种感觉,基于单缝衍射和双缝干涉的关于光之本性的讨论,可能恰恰妨碍了我们对光之本性的认识.关于这一点,我当前的认识还很含糊,盼有一日能明确地加以阐述.——笔者注

问题中,描述切这个动作除了 cut 以外,许多地方用到 trim. Trim 可当作名词用来指修剪后的(装饰性)边角料,如 a dress with lace trim (带蕾丝边的衣服). Trimming 也有这样的意思,如在分蛋糕问题中,如果有人认为两块蛋糕尺寸不同,他可以 trim 那块他觉得大的蛋糕(即改刀),改刀后得到那个小边角料就是 trimming. Truncate 来自拉丁语 truncare, 就是 to cut off a part of; shorten by cutting 的意思. 名词 trunk 即与其同源,指两端都截去后留下的树之中间部分,汉语树干是也. Truncate 常用于描述一些多面体的形状,因此在固体物理和晶体学中常会见到. 比如,对于面心立方晶格,其第一布里渊区就是 truncated octahedron (截角八面体,由 14 个面组成的凸多面体)(图 4). 面心立方金属微纳米晶粒易长成由 5 个正四面体组成的十面体型,如果继续生长(在外露的(111)小面上择优生长),会造成在[110]轴向上的延长,形成 truncated decahedron(截角十面体)(图 5).

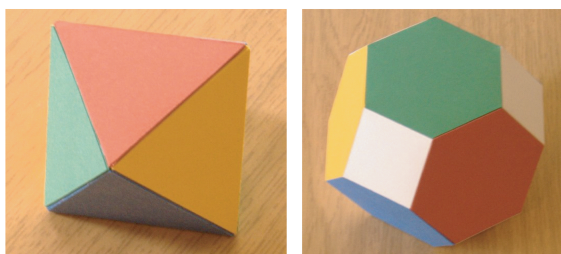


图 4 八面体(octahedron)与截角八面体(truncated octahedron)

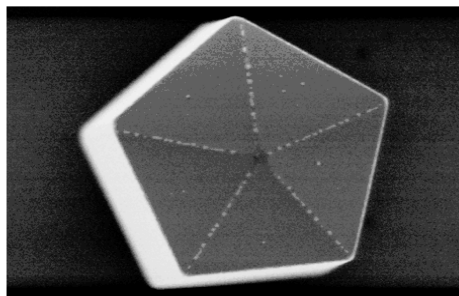


图 5 形状为 truncated decahedron 的银微晶颗粒(李超荣教授提供)

8. 其它与切有关的英文动词还有 split 和 chop (剁),其名词 splitter 和 chopper 在光学中时常出现. Beam splitter 是把光束或其它粒子束一分为二的器件,而 chopper(optical chopper, light chopper)则把光束斩(sever)成一段一段的.

9. 切. 有许多时候,一些科技词汇被汉译为切,但对应的西文原文可能不是切(cut)的意思. 例子之一是 tangent line(切线), tangent plane(切面),

tangent function(正切函数,即  $\tan(x)$  形式的函数)中的 tangent(图 6). 一个角的正切函数为(含这个角的直角三角形的)对边和邻边的比,之所以这样叫是因为这个值可以表示为单位圆的切线段的长度(called so because it can be represented as a line segment tangent to the circle). Tangent, 动词为拉丁语 tangere, 本意是触摸(to touch)的意思. 如果我们将 tangent line(plane) 理解为切到某个几何体的线(面)的话,那这个切的功夫可比做刀削面难,因为它要求切掉的量为零. 切,不能保证是数学上的 tangent 效果, tangere 是轻柔地碰触,只搭上一点.

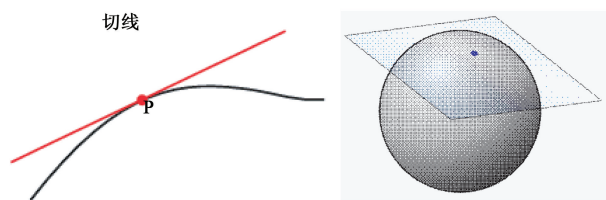


图 6 Tangent line(左),切线,刚刚接触到其它(凸)线、面或体的线;相应地,tangent plane(右),切面,为刚刚接触到其它(凸)面或体的面. 高维几何中的情形更复杂

Intercept, 中止、中断的意思,数学上将之翻译成截距. 虽然这个词本身有 cut-off 的意思,但是其词源却是 to take between. 数学上将直线同 y 轴的交点命名为 intercept, 是取其 to stop on the way 的意思,不是切.

Frustum(复数形式为 frusta 或者 frustums),原意是断裂的意思. 在几何中,frustum 指用一对平行的平面所截的固体(如圆锥、棱锥)所得到的部分,如 frustum of cone(圆锥台,又称 circular truncated cone), frustum of pyramid(棱锥台)(图 7). 有些地方将 frustum 译成截头或者截角,frustum of sphere 被译成球截角锥体,frustum of pyramid 被称为平截头棱锥体. 虽然,frustum 是 truncate 的结果,译为截角未必有错,但其本意为断裂而来,大家也不妨知道. 这个词用来描述一些晶体的外形可能更合适.

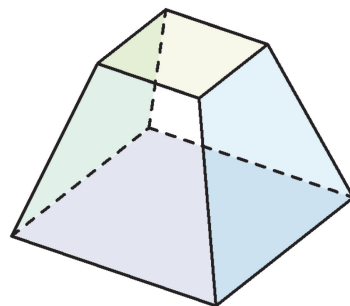


图 7 Square frustum, 底为正方形的棱锥台  
有必要罗嗦几句关于切的物理与哲学. 切在物

理上要用力,但 cut 本质上要 breaking bonds, 是电磁学过程. 一块物体被切成两部分, 取决于具体物质的键合性质, 可能会留下净电荷, 此为摩擦带电的原因. 有时, 一些物质的断裂甚至会将电子发射出来. 物质的切分, 一般地会得到更小的部分, 因此科学界过去曾形成了一种 reductionism 哲学, 认为理解了物质的组成部分就能理解上一层面的问题. 不过这个哲学遇到了一个困难, 就是切、割(碰撞)并不必然得到更小的单元. (石英)玻璃球和玻璃球碰撞得到了玻璃碎片, 碎片碰撞能得到  $\text{SiO}_2$  团簇, 一路碰撞下去能得到分子、原子、原子核直至中子和质子, 但是质子和质子碰撞得到了更大个的介子(质子质量为  $938\text{MeV}$ , 而介子质量为  $139\text{MeV}$  ( $\pi^+$ ) 到  $9460\text{MeV}$  ( $r$ ) 不等), 说明这个 reduction 的过程有个尽头. Reductionism 作为一种哲学曾为认识世界提供了有益的指导, 今天人们知道光有分析和综合是不足以认识世界的全部的. 自然在每一个层面上都

有其自己的特征, 甚至连这层面之说也是一种权宜说辞, 笔者以为自然原不过是混沌一体的.

收笔回头检视一番, 发现关于切的英文说法竟然是如此之多. 考虑到我开始收集关于切的相关词汇时所知远少于本文内容, 则有理由相信本文已有内容仍不免挂一漏万, 留待日后再行增补.

### 参考文献

- [1] Evans J, Thorndike A S(ed.). Quantum Mechanics at the Crossroads, Springer, 2006
- [2] Hankins T L, W R. The Johns Hopkins University Press, 1980
- [3] Herman G T. Fundamentals of Computerized Tomography: Image Reconstruction from Projections, 2nd Edition, Springer, 2009
- [4] Foote R. Nature, 2007, 318:410
- [5] Jiang N, Ji A L, Cao Z X. J. Appl. phys., 2010, 108
- [6] Paddock S. Science, 2002, 295: 1319