

第一章 古代和中世纪宇宙观中的物质

在早期的文化、科学和技术史上，人们对物体的大小、形状、阻力、重力使用了不同的标准和度量方式。我们的技术科学的生存世界中有关物质的概念，本身便是这种发展的构件和结果。

1. 从本原物质到前苏格拉底学派

人类利用物质的最初经验已融入人类的进化史中。大约从公元前 3000 年起，近东一些地区的农耕文化开始转变为市镇文化，也可以说是高级文化，在它的最古老的文献中，就已对物质作了描述，对物质的利用作了记录。贸易的增长和商品交换的日益扩大，需要创造可靠的方法，便

于确定和比较大宗商品，如粮食、金属等的量。在埃及人的传统中，称重的秤甚至具有宗教的意义，被当作公正的象征。于是，体积和重量很早便具有了用于对各种物质进行比较的可度量的特性。

是否一切物质性的东西都来源于一种本原物质或者都遵循着一个原始的法则，这一基础性问题是由苏格拉底以前的自然哲学家首先提出来的。按照古希腊哲学家泰勒斯（公元前 625 ~ 前 545 年）的解释，生命起源于水，或者说起源于湿润。当时的观察证实，所有生物的食物和种子都是湿润的，而湿润之物的自然基础都是水。物质的一些相互对立的特性，如干和湿、热和冷，是前苏格拉底自然哲学的核心。阿纳克西曼德（公元前 610 ~ 前 545 年）将可确定的物质特性和不可确定性、无特征性划入不同的范畴。依据亚里士多德的传统理论，不可确定的本原物质，是产生一切物质特性的根源。米利都学派的第三位自然哲学家阿纳克西美尼（卒于公元前 525 年）认为，气是万物共同的本原物质，通过它的浓缩和稀释产生了种类繁多的物质。

赫拉克利特（约公元前 500 年）认

为，物质的所有状态都可看作火这种本原物质的不同形态。他关于火的初始状态的解释，使现代的读者联想到今天所谓的能。能实际上是一种物质，所有的基本粒子、所有的原子以至于所有的物体，都是由这种物质构成的。同时，能也是一种运动的物质。赫拉克利特的一个值得注意的假说是，物质的完全相反的状态和转化通过一个隐秘的普遍适用的和谐法则而组成一个统一体。根据毕达哥拉斯的观点，自然的和谐，是在算术、几何、天文和音乐的均衡统一中体现出来的。毕达哥拉斯学派提出了这个对于近代自然科学来说造成了严重后果的观点，即物质世界的一切变化都是以一成不变的数字法则为基础的。

巴门尼德（约公元前 500 年）将经常变化的观点批评为纯粹的感官错觉。实际上，只有可与不存在严格区分开的存在。存在是没有变化，没有运动的，它处处都是一个样。巴门尼德描绘出这样一种世界景象：它是一个固体球，有边缘，自成一体，但是没有时间、没有运动、也没有交换。前苏格拉底的自然哲学似乎想要推算出所有可以设想的物质模型。在水、空气、火均被命名为本原物质之后，他们便

将这几样综合理解为构建世界的原始材料。恩培多克勒（公元前 492 ~ 前 430 年）倾向于认为，除了火、水、空气三元素之外，还应添上第四个元素土。

与恩培多克勒一样，阿那克萨戈拉（公元前 499 ~ 前 428 年）发展出一种物质的混合理论。不过他却用无限多的物质取代了恩培多克勒的四元素，他认为，这些物质均是由胚胎微粒，或者说是由均分的物质微粒所组成的。就其数量和微细而言，它们是无限的，也就是说，物质是无限可分的。阿那克萨戈拉关于天体现象的物理学解释对后世所产生的巨大影响一直持续到近代。在其宇宙构成学说中，他是以均匀的物质混合体的单一初始状态为出发点。他认为，这种物质的混合体是通过一种被他称作“心智”的非物质的原始力量而进行回旋运动，从而使不同的东西各按其运动速度发生分离的。泥土在回旋的中心黏合成团，较重的石块则被抛向回旋之外，形成星体。对于它们发光的解释是，由于运动速度快而使其物质灼热，于是发光。阿拉克萨戈拉的宇宙回旋理论，用物质的过程来解释天体的现象，在我们今天看来也是非常时髦的，而在当时，它

却是一种非同小可的挑衅行为，因为当时人们相信天是上帝的住所并具有永恒的权威。

2. 德谟克里特的原子和亚里士多德的自然哲学

德谟克里特的原子论对近代物理学和化学的物质观有着根本性的影响。他认为不同的原子有着不同的形状、位置，在物体组合中的排列也不相同。原子必须不停地作回旋运动。运动仅仅意味着空间位置的变动。一切现象、生成与消失，都可归因于原子的结合与分离。为了解释物质聚合的原因，他提出了关于原子形状的引人注目的假设，即它们有拐角、突起、弯弓及啮合等等形状。德谟克里特并不仅仅是一个赫拉克利特式的理论家，按亚里士多德的说法，他对实验也非常感兴趣。他曾用一个原子论的实验来说明，为什么金属薄片可以浮在水面，而更轻的圆形薄片却会沉入水底。稍后的原子论者鲁克瑞茨做过一个制造淡水的实验。按照原子论者的解释，如果用泥土过滤咸水，就会获得淡水，因为“粗糙”的原子留在泥土里了。

关于原子论所提出的并在毕达哥拉斯学派的文献中予以数学式自然描述的一种最早的化合物，在柏拉图的对话录《蒂迈乌斯》中有记载。前苏格拉底学者们所说的物质的变化、混合、分离，都应该系统地归因于数学的正规性和对称性。柏拉图用正规的几何体来表示自然元素，今天我们觉得，这既显得肤浅又是随心所欲（图 1）。



图 1 作为有规则几何体的元素

他认为火是由最小最尖的物体即四面体所构成，土是由稳固的正六面体所构成。空气和水分别由八面体、二十面体所构成。正十六面体因与球形相似而被用于天穹。由于多面体包含有平面和棱、角，所以只能用六面体（土的基本构件）构建成相互组接没有间隔的物体。

对有规则的几何体可以采用几何方法将其中几条棱边切开，并将其部分平面展开而成为网格。八面体的网格可做成二个共用一条棱边的四面体，二十面体网格可做成二个八面体和一个或五个四面体。而

从自然哲学的角度来观察，此处宜采用化学分析和合成的方法。如果人们将柏拉图的元素用 F（火）、L（空气）、W（水）、E（土）来表示，显然可以得出这样的“化学公式”： $L = 2F$ 和 $1W = 2L + 1F = 5F$ 。然而，如果人们不考虑一些新柏拉图主义者个别零星的论述，柏拉图的这个论点基本上是直到当代才被学术界视为有一定价值的。随着结晶学、立体化学和基本粒子物理学的产生，一个源自柏拉图数学对称性思想精髓的富有成效的数学研究项目也应运而启动，其目标是通过一种（不过是扩展了的）对称概念来解释晶体、原子和分子的结合，并且使得人们可以预言新现象，还可以凭经验对新现象进行检验。

亚里士多德认为，物理学的任务是对自然界的多样性和变化的法则与功能作出解释。他批评那些将原理和个别物质等同对待的自然哲学家。他认为，个别的植物或动物并不是物质的基本构件的简单总和。使物质成为单一个体的共性，被亚里士多德称为形式。由形式决定的东西，则称为物质。形式和物质并不是为自己而存在，而是通过抽象获得的自然法则。所以

物质也被称为成形的可能性。只有通过物质成形，才会产生现实性。

除了物质与形式，亚里士多德又用了第三条法则来解释变化，即形式有缺陷，并应通过某种相应的变化而使之消除。一般来说，运动被认作变化，认作从可能性向现实性的过渡，认作潜能的现实化（中世纪的人们可能会这么说）。与人类所创造的艺术品或技术器具正好相反，自然被理解为是运动法则本身所包含的一切。亚里士多德把运动分为三种类型，即通过量的增减而发生的数量变化、通过特性的变换而发生的质量变化和通过地点变换而发生的空间变化。

作为一个逻辑学家，亚里士多德认为，应该按系统推导，将物质概念运用于整个自然界。按照他的假设，没有形式也没有特性的本原物质，作为完美无缺的潜能，与实际存在的物质形式是有所区别的。自然界的物质产生于本原物质，并且由于结构与形式的特征越来越复杂，而划分为各种等级类别的物种。其中前一个等级都分别是体现后一个等级的更复杂的形式特征的物质，这样，按照亚里士多德的说法，物质既然能表达另一物质，故而便

具有双重性：即 X 是体现 Y 的物质。

无形式的本原物质具有四个特性，即“热”、“冷”、“湿”、“干”，它们相互结合，便产生出四个元素：土（由冷和干组成），水（由冷和湿组成）、空气（由热和湿组成）、火（由热和干组成）。元素是表达均分材料的物质，而均分材料又是表达非均分材料的物质，如生物体的各个部分，具有各不相同的功能。均分和非均分的材料都是体现具有灵魂的生物的物质，在这里，增加了作为一种新的形式特征的灵魂。因此，亚里士多德认为，物质的作用方式必然取决于结构特征，并且在其形式日益现实的意义上确定其目的。

上述便是流传下来的亚里士多德的形式与物质原理，这些原理我们可以通过对实际事物的抽象来加以区分并按逻辑归类。与此相反，斯托阿（公元前 300 年左右）的自然哲学都假定有一个万能的作用物质，它贯穿自然这个连续不断的媒介物，现代又产生出作用场的说法。具有周期循环波和场的物质模型在道家自然哲学中也能找到。在这种背景下，人们偏爱钻研声学问题并首先研究磁力和静电作用便是可以理解的了。

3. 中世纪时期的物质和创造

古代和中世纪的物质模型并不仅仅依赖于哲学的立场，部分的也是在观察、实验与测量的基础上获得的。在古希腊和稍后的伊斯兰流传下来的文献中，化学、生物学和医学的知识是随着研究者明显转向实验和实验室而进一步形成的。所以，亚历山大的炼金术士修改了亚里士多德的学说，并得出了本原物质是可以作为材料单独分离出来的结论，以便在这个基础上，引入必要的特性（形式）而使之一步步地实现突变，直至抵达银或金的级别。

早在中世纪经院自然哲学中，化学的化合概念已被创造出来。问题的关键是，元素是否留存在它的生成的产物之中其所采取的是哪种形式。比如说，如果青铜是出自铜和锡的“混合物”，那么，就产生了一个亚里士多德式的问题，即怎样才能让人明白，在“混合物”青铜中，潜在的或可能的铜元素和锡元素仍然存在。

由伊斯兰哲学家阿威罗伊（1126 ~ 1198年）进一步发展了的亚里士多德有关物质的理论，提出了一种假设，即每种

物质都有其最小的粒子，使物质具有各自的特性，并且这些最小粒子不可能分割得更小而又不失去其典型特性。因而据推测，物质的化学过程便发生在这个最小粒子的层次上。与德谟克里特的只通过量的标记，如几何形状、位置、内部结构来确定的原子不一样，最小粒子具有质量特性，此类特性在这些物质的大组合体中是可感知的。在帕多瓦学派的理论中创造了15世纪和16世纪的亚里士多德主义，最小粒子物质理论被看做是与德谟克里特原子论相对立的理论。

亚里士多德-阿威罗伊学说也认识到物质的守恒定律，按此定律，“万物均由物质生成，一切归于毁灭之物，均以某种物质形式归于毁灭”。然而，对于中世纪的经院哲学家来说，物质守恒定律的适用范围被限定在上帝所创造的世界之中。鉴于物质不可毁灭，人们对世界末日肉体复活的宗教教义进行了苦苦的思索。最终，经院神学（如托马斯·冯·阿奎因）还是求助于亚里士多德的物质理论，以便对圣餐中面包和葡萄酒变成基督的肉体和血液作出解释。在此之后，虽然面包和葡萄酒的特性（非本质属性）如体积、重量、密

度、颜色和香味等都被保留下来，但它们的载体（本体）都化作了基督的肉体和血液。奇迹就在于，事物的本体虽然改变了，但是，按照亚里士多德的学说，本不能脱离其载体而独立存在的事物却仍然存在着。

大约在 1280 年，阿吉迪乌斯·罗曼努斯使用了阿威罗伊的物质的确定和不确定量纲的概念，以便区分物质的体积这个可测之量和不能改变的物质本体的数量。于是，当物质稀释或变浓时，它们的体积将发生变化，但是其数量却保持不变。故而物质的数量是它们空间几何扩展的载体。对近代物理学来说，这预示着物质概念的一种后果严重的区分即将出现：犹如后世的笛卡尔将会断言的那样，物体的物质并不只是其本体的扩展。如果真是那样，物理学与几何学就是一回事了。对牛顿来说，任一物体的重力的和惯性的质量才是其扩展的载体。不过经院哲学的物质理论却仍然坚持亚里士多德的传统学说——其观点是，重量只是物体的特性，而不被理解为是独立的力量（本体），这个力量与物体的质量是成比例的。

那么，一个物体的运动与其物质的数

量有何关系呢？根据亚里士多德的观点，任何运动都有一个运动主体，只有在作用力持续不断的情况下，运动才能继续下去。所以便设想，投掷物体时，其周围的介质（如空气）对运动也会产生影响作用。与此相反，在6世纪，亚里士多德理论的评注者菲洛波努斯却解释说，投掷运动只能通过将一个逐渐减弱的运动力（原动力）转移给被投掷物体而形成。在14世纪，约翰·布瑞丹采用物质数量概念来解释下面的观察和实验：相同的运动力作用了大小相同的一块石头和一根羽毛，石头的运动距离比羽毛远，或者同样大小的铁块和木块，在相同的运动力的作用下，铁块的运动距离比木块远。布瑞丹认为，物质的数量决定物体对原动力的接受能力。然而，布瑞丹的观点还是和亚里士多德的传统理论相同，都把阻力看做是物体的实际的反作用力，而没有将它理解为物体质量的惯性。同样，原动力也并无运动值大小的含义，尽管它被设想为与物质的数量和物体运动的速度成一定的比例关系。

第二章 古典物理学宇宙观 中的物质

在古典物理学中，物质具有可量度、可计算的值。其核心是牛顿关于有形物体的惯性质量和重力质量的区别。此外，古典物理学的独特之处还有：将物质的质量和能量相区分，并且提出了能量守恒与转化定律。在这种科学史的背景下，在 18 世纪和 19 世纪开始了物质的技术——工业利用，并且开始了物质概念的哲学讨论。

1. 早期近代物理学 对物质的认识

伽利略（1564 ~ 1642 年）以自由落体和物体沿倾斜面滚动为例，论证了惯性是物体的“真实的质”，运动的阻力是由

此而产生的。开普勒（1571 ~ 1630 年）认为，惯性是物质独特的属性，按照推测，它与一定体积的物质的量（如一颗行星的量），即物质的密度是成比例的。由此便提炼出惯性质量的概念，它在近代取代了经院哲学的“物质量”概念。

与此相反，笛卡尔（1596 ~ 1650 年）却把物质归结为几何属性的扩展，而硬度、重量、颜色之类都只具有偶然性。笛卡尔认为，虽然物质作为扩展是匀质的，但却出现于不同的微粒子浓度之中，而微粒子的离散和相互接触则是通过碰撞定律而获得调节的。碰撞和接触作用是机械论解释物质的基本模式。

克里斯蒂安·惠更斯（1629 ~ 1695 年）试图对笛卡尔的物质理论作出精确的表述。笛卡尔曾提出，应该从机械论的视角来解释重力，即一种围绕地球作离心旋转的微小物质把较粗的物质微粒向内推动。这个模型让人想起历史上阿纳克萨戈拉的旋转理论，该理论此时便通过机械论中关于物质微粒碰撞和接触作用的原理而得到了解释。为此，惠更斯假设这是一种球形回旋运动，一种微细的或流体物质的微粒围绕地球沿着所有可能的方向旋转。

如果在迅速运动的流体物质微粒之中夹杂着较粗的粒子，而这类较粗粒子又跟不上这种回旋运动，于是物质微粒的强大的离心趋势就会将较粗的粒子向地心方向推动。

为了解释重力，惠更斯假设了一种具有一定微细度的特殊类物质。另外，他还假设了一个作为磁和电现象的载体的特殊物质。在源自一种极微细物质的光以太中，光是以弹性波的形式传播的。为了解释物体如金属的不透光的特性，他假设在金属的硬粒子之间还有一种软粒子，这软粒子吸收了以太中光微粒的冲击力。这种特别的假设，表明了机械论观点的困难之处。因为这种观点认为，要解释物质，除了大小、形态和运动之外，不允许涉及物质的其他的属性。因而后世的牛顿所便摈弃了光是通过一个假设的以太发生波动而形成的这种解释。

莱布尼茨（1646～1716年）企图使近代机械论的物质概念和亚里士多德运动的物质概念合二为一。按照他的单子理论的解释，物体是简单物质的集合的表现形式。莱布尼茨的单子，并不是德谟克里特和伽圣迪的无生命的原子，也不是笛卡尔

和惠更斯的微粒子，而是具有不同程度可能性的力和能的中心。他认为，力和能的光谱是连续的，其中不可能有间断之处。

2. 经典力学中的物质

概括而言，牛顿力学（1687年）是以三条公理为前提，这三条关于空间、时间、（加速度）力和质量的基本概念的公理是：（1）惯性定理；（2）物体的加速度跟作用力成正比，跟物体的质量成反比；（3）两物体相互作用定理。牛顿认为，物理学的任务是，用质量通过具体的力来解释可观察到的运动的原因。牛顿的最著名的定理是万有引力定律，以力学公理为条件，可以从万有引力定律推导出开普勒的行星定律。

由于物体的惯性与运动的变化是相对立的，而（惯性的）质量是衡量惯性大小的尺度，因此，必须以一个相应的参照系为前提。至于牛顿所提出的关于最终无法观察的、“非物质的”绝对空间的形而上学的假设，已被证明是子虚乌有的臆想。其实，选择一个具体的参照系（如地球）就足够了，因为在这个参照系中，惯性定理近似