

建筑经典译丛



JIANZHU
JINGDIAN
YICONG

接触硬化胶凝材料及复合材料

Jiechu Yinghua Jiaoning Cailiao
ji Fuhe Cailiao

著 В.Д.ГЛУХОВСКИЙ (格鲁荷夫斯基)
Р.Ф.РУНОВА (鲁诺娃)
С.Е.МАКСУНОВ (马克苏诺夫)

译 蒲心诚

重庆大学出版社

接触硬化胶凝材料及复合材料

蒲心诚 译

重庆大学出版社

以及所形成产品的性能,可以用来生产膜状的防护-饰面复合材料,与类似的材料相比,它们的特点是,它们有高度的使用性能,不需要价格昂贵的组分。白的颜色是制得各种色调涂料的基础。

众所周知,金属键化合物具有剩余的自由能,又如本书作者的研究所确定的,含共价键的不稳定结构硅酸盐亦具有剩余自由能,缩聚现象与物质剩余自由能之间相互联系的概念,是研制成金属-硅酸盐粉末材料的前提,这种材料按接触硬化原则缩聚,所形成的复合物,其性能不受叠加规则控制。

本书中总结了 15 年作者研制、制备和应用此类材料的经验,在这些材料研制中,采用了新的科学原则。这些原则也可以推广到其他体系,这将会促进建筑材料和专门材料品种的扩大。

译者序

本专著是作者 P. Ф. ПУХОБА 教授(乌克兰工程院院士)于 1991 年应译者之邀,到重庆建筑大学讲学时,送给译者的礼物。译者在聆听了 P. Ф. ПУХОБА 教授讲学之后,认识到接触硬化理论及其工艺是一个全新的材料领域,具有许多独特的优点和应用前景,有必要介绍给我国广大的读者。因此,译者断断续续用了数年的时间,才将其译成中文。

现由重庆大学出版社正式出版,译者感到十分欣慰和高兴。

用接触硬化工艺方法制造人造石的要点是:将原料加工成具有非稳定结构的宏观分散粉末,然后在压力下让粉末颗粒紧密接触,从而产生具有强度和抗水性的人造石。接触硬化工艺方法具有下列特点:①与烧结、熔融、水硬化等方法相比,接触硬化过程中没有化学反应,且无需高温过程;②与水硬化方法相比,硬化过程极短,制品在压制成型后,石材结构即已形成,立即具有强度,并立即具有抗水性;③接触硬化人造石经粉碎后,仍具有接触硬化性能,如此可以重复多次。应用接触硬化原理制成的材料是一个广泛的新型材料领域,包括高效保温材料、轻质墙体材料、饰面材料、内外墙涂料、与金属或与聚合物的复合材料,以及一些特殊用途材料,如摩擦材料、辐射吸收材料及导电接触硬化材料。接触硬化材料的原料极为广泛,许多地方性材料及工业废渣都是制备这种材料的适宜原料。

物质的缩聚与分散是物质运动的两种形式,物质是否缩聚或分散,取决于物质本身的能量状态,物质的缩聚过程,如核的合成,由等离子体合成原子,由原子合成分子,由分子合成晶体等,每一阶段都伴随有体系能量的减少。相反,物质的分散过程则伴随有能量的吸收。吸收的能量和缩聚过程放出的能相等(扣除损耗)。缩聚过程是自发的,拥有自由能的分散物质都具有缩聚的倾向。

处于非稳定状态(无定形态以及亚稳亚结晶态)拥有自由能以共价键为主体的硅酸盐、铝酸盐及铝硅酸盐物质的宏观分散粉末,与金属粉末相似,在压制过程中,当粒子之间的距离微小到粒子的引力范围内时,粒子之间的结构键立即形成。这就是非稳定结构的矿物质具有接触硬化性能的理论基础。稳定结晶的共价键物质的宏观分散粉末和离子键物质相似,不显示接触硬化性能。因此,具有共价键物质的接触硬化能力是其结构状态的函数。即随着结构有序化程度的提高,体系自由能减少,接触硬化能力降低。

接触硬化胶凝材料的粒子很小,其尺度处于纳米材料的范围,是一种硅酸盐、铝酸盐及铝硅酸盐纳米材料。

本书第 1 章的基础理论部分,十分深奥,难以读懂,可以用通读的方法了解其

梗概。以后各章则需细读,以知晓接触硬化胶凝材料的制备方法、工艺基础、材料性能以及应用领域。

接触硬化材料是一种节能材料,原料非常广泛。但译者认为此种材料亦有不足之处,由于其成型过程需要很大的压力,这就限制了其制品(除用以制作涂料外)尺度的扩大。

由于译者的水平所限,难免存在不妥之处,希望读者批评指正。

蒲心诚
2004 年于重庆大学

目 录

第 1 章 硅酸盐缩聚与分散理论的基本原则	1
1.1 矿物质的缩聚能力——矿物质结构的状态函数	1
1.2 物质的聚集状态——物质结构的函数	4
1.3 缩聚与分散——物质运动的形式	5
1.3.1 天体物质的缩聚与分散	6
1.3.2 混凝土和陶瓷中物质的缩聚与分散	15
1.3.3 地壳硅酸盐的形成与风化	17
1.3.4 物质缩聚与分散过程的基本反应类型	18
第 2 章 接触-缩聚硬化的基本原理	31
2.1 制备人造石的现有方法和其相伴过程	31
2.1.1 水化-缩聚硬化的特点	31
2.1.2 经烧结和熔融的高温缩聚	34
2.1.3 由于机械化学活化的结团	35
2.2 接触-缩聚硬化的规律性	36
2.2.1 硅酸盐结构状态的作用	36
2.2.2 含水硅酸盐和无水硅酸盐缩聚性能的比较	45
2.2.3 结构键的特点	49
2.2.4 水的功能	55
2.3 不稳定结构分散硅酸盐物质缩聚的物理化学基础	57
2.3.1 稳定、亚稳和不稳定态硅酸盐物质的一般特性	57
2.3.2 接触-缩聚硬化过程的能量原则	60
2.3.3 单个接触的评价	70
2.3.4 硅酸盐密度对接触硬化机理的影响	73
第 3 章 接触硬化胶凝材料的制取工艺原理与性能	81
3.1 一般特点与分类	81
3.2 无水硅酸盐水化分散产物基胶凝材料	86
3.3 分散水化硅酸钙胶凝材料	101

3.4	混合胶凝材料	111
第 4 章	工业废料加工成接触硬化材料的低能耗工艺	119
4.1	氧化铝生产中含贝利特废浆的无煅烧再加工工艺	119
4.2	三水铝矿废浆细粒混凝土	130
4.3	热电站存灰库含水高钙灰渣基材料	132
第 5 章	分散水化硅酸钙基复合材料	135
5.1	无蒸压高效硅酸盐砖	135
5.2	聚合物-硅酸盐防护-装饰涂料	142
第 6 章	金属硅酸盐复合材料	151
6.1	金属-非稳定结晶结构硅酸盐分散系中的结构形成	151
6.1.1	硅酸盐组分的水化性能对结构形成过程的影响	156
6.1.2	高温处理对结构形成过程的影响	162
6.2	导电接触硬化胶凝材料	171
6.3	研制特殊用途金属硅酸盐复合材料的基本方向	179
	接触硬化材料的发展和应用前景	181
	参考文献	185

第 1 章 硅酸盐缩聚与分散理论的基本原则

1.1 矿物质的缩聚能力——矿物质结构的状态函数

物质的聚集状态取决于材料实体具体的存在条件,并取决于在这些条件下,物质是否经受了缩聚过程或分散过程(破坏过程)而变化。缩聚和分散是材料运动的基本形式,一般情况下,在人造石的合成(缩聚)过程中,物质的聚集状态按以下方向变化:等离子体→气体→液体→固体,而在分散过程中,则由固体→液体→气体→等离子体。

一方面,物质的聚集状态取决于微粒(电子、离子、原子、分子等,它们相互间呈现引力)间的键能,另一方面,取决于这些粒子的能量,包括其热运动的能量。如果热运动的能量显著地超过了键能,则物质处于等离子体状态或者气态。随着动能的减少,且当键能够保持粒子在一起,但又还不能阻止粒子彼此之间的运动和滑移,物质则处于液态。如果键能显著地超过了热运动的能量,物质则缩聚成固体。一般地,固体可处于无定型状态和结晶状态。

晶体是无数的原子或分子堆积而成的固体,其特征是有确定的外形,且粒子按空间晶格定律分布。此种结构确定了晶体的主要性质——远程有序,表现为构成晶体的粒子在空间周期性的重复,这就是所有经典固体存在的条件。

无定型态是一种力学上的固体,其特点仅为近程有序,其结构处于晶体结构和液体结构之间的中间状态。根据这一点,它们接近液体。大分子和胶团等分散粒子系统亦属于无定型固体,这些体系由许多单个分子的连接或者在分子中原子数量的增加时形成。无定型态很容易变化,因此,也可以说是不稳定的。

在无定型结构中可形成亚微观晶体结构,这些结构由基本晶胞或由具有晶体所有性质的晶胞堆积物无序的构成。此种状态亦可以视为不稳定结构,因为这可以逐步地发展为稳定的结晶系统。

结晶——这是一个由无数的单个原子或分子堆积而过渡到晶体的过程,即由微观世界过渡到宏观世界的过程,或者是由不可见的微观粒子缩聚成宏观粒子、直至实际上的无限尺度的固体的过程。

在微观世界,物质微观粒子之间的引力是缩聚的动力,这种引力决定了键能。因此,气态物质、溶解物质或熔融物质,即被分散至离子尺度、原子尺度或分子尺度的物质有缩聚成刚性键的固体的可能性毋庸置疑。宏观分散的物质,无论粒子的物理状态如何,要缩聚成此种固体,一般认为是不可能的(金属粉末除外)。但可以想象,此种缩聚能力,不仅仅金属粉末才拥有,一系列其他物质也拥有。总之,缩聚能力决定于宏观分散系统的能量状态,取决于是否有剩余的自由能。

缩聚过程的动力学取决于许多因素,其中主要的是物质化学键的主导键型:共价键、离子键、金属键、氢键等。

众所周知,具有离子键物质缩聚成固体时,立即产生晶体,此种晶体不含分子,而是由单个的离子构成。此时,在晶体中离子的实际堆积如果说不是最紧密的,但也是一个由最紧密的离子构成的堆积。因此,有离子键占主导地位的物质形成的固体,立即形成稳定的晶体结构,在缩聚时刻就拥有最终的物理力学性能。

由此可以得出,用机械方法将离子键固体分散至宏观分散尺度的产品,在不向体系输入能量的情况下,当由于压制而使其粒子相互接近时,不可能再次缩聚成抗水的固体,因为这些粒子是稳定结构的晶体,不拥有表现为相互吸引的自由能。这些宏观分散的粒子再次缩聚成固体,只有给它们输入能量后才有可能。输入的能量要足够使它们转入液态或气态的聚集状态,在此状态下,它们将被分散至离子、原子或分子的尺度,即分散至微观分散状态。

在由金属键物质构成的固体中,也和由离子键化合物缩聚成的固体一样,立即形成晶体。但是,这些晶体在缩聚时刻不具有最终性质,这种固体不含有分子,而是由单个的原子构成,更确切地说,由正离子、电子核和围绕其周围的电子云构成。这些固体用机械方法分散并随后在压力下使微观粒子相互靠近时的缩聚有良好的结果。

宏观分散物——粉末,是一种金属晶体,当用压制方法缩聚时,立即具有强度和抗水性。这是因为,呈固体聚集态的金属是一种拥有自由能的晶体,它以宏观粒子相互间的引力形态显示出来,这种引力允许原子移动,而又不使键断裂。因此,金属具有塑性和可锻性。除此之外,离子键物质的宏观分散物也有缩聚的可能,即由于向系统输入能量使它们分散至液态或气态的微观粒子并随后冷却。当非常迅速冷却时,金属可以从熔体缩聚成无定型态。

这样,对于离子键物质和金属键物质,下面一点是共同的:它们由液体聚集态转化为固态的过程中,物质结晶。它们的区别在于:在不输入热能情况下,前一种物质的宏观分散物相互靠近时,不显示缩聚能力,而第二种物质则显示这种能力。

共价键物质足够广泛,这些物质能形成矿物多聚结构,这种键是依靠拥有共同电子实现的。这点,这种键使我们想起了金属键。共价键和离子键相联系之点:共用的并不是全部电子,而仅仅是公共价电子。共价键不同于金属键和离子键的地方是:拥有此种键的物质在由液态转化为固态的过程中,一般不立即缩聚成稳定结构

构的晶体。

硅酸盐、铝酸盐、铝硅酸盐以及类似系统都是属于共价键物质,这些体系有无定型态和结晶态。此类物质是水硬性矿物胶凝物质(其中包括水硬性胶凝材料和混凝土),以及热水泥(термоцемент,以粘土矿物为代表)和陶瓷的基础。一般,这些物质转变为固体聚集态是分阶段的。过程的初始阶段是“次固体”的亚稳定态,无定型胶体分散态和玻璃状的力学固态属于这种状态,随后的阶段是亚稳的亚微观结晶状态或不稳定的结晶状态,最后阶段是稳定结晶的固体状态。这样,这些物质在缩聚过程中形成无定型结构或亚稳定(易变)的结构,这种结构逐步地转化为亚稳的无序结构,然后转化为稳定的有序结晶结构。在稳定结构的晶格中,原子在其平衡位置附近以严格的规则进行振动,同时在晶格节点上围绕自己的轴转动。晶体的热能基本上由这些振动能量所决定。只有向物质输入足以使晶格产生破坏的能量,这种稳定结构才可能被破坏。此时,原子和分子靠吸收光子积蓄能量,或者靠吸收电磁辐射的其他量子积蓄能量,结果加速了自己的旋转并拥有移动的可能性,原子的电子转移到高能级。体系的能量急剧增长,听其自便的物质微观粒子发射光子直至进入新晶格的确定位置及转入最低能量状态为止。

可以假定,为破坏晶格吸收量子的数量取决于物质的本质,而被分散粒子重新缩聚成固体的时间,即进入结晶晶格位置中的时间,则取决于物质的化学键型。在这种情况下,物质结构有序化速度取决于它的化学成分(化学成分决定了系统中共价键与离子键的比重)。而这一过程的动力学则取决于这些键型之间的比例。因此,硅酸盐物质(其特点是共价键占优势)首先缩聚成无定型结构的石材类物质,然后才进行结晶,稳定的结晶结构将逐步形成,而它的有序化过程伴随有能量的释放。处于无定型态的硅酸盐系统有最高的自由能,有序化的或稳定结晶态的硅酸盐系统,自由能最少。

系统中离子键的数量增加,结晶过程加快,但是,并不排除将物质固定于无定型态的可能性。如果离子键居统治地位,则结晶过程进行得很快,以至无定型态不可能固定。与离子键物质不同,在熔体中或在溶液中被分散至原子或分子即分散至微观粒子的这些物质,它们缩聚时,形成各种结构有序的石材类固体,并随后稳定下来。

这样,综上所述,可以断定,硅酸盐矿物体系聚集态的变化,伴随有能量状态的变化。分散过程按固体→液体→气体→等离子体的方向进行,这一过程的发展导致物质结构的无序化和宏观物体至微观粒子的分散并吸收能量,只有向系统输入能量,过程才能实现。缩聚过程按等离子体→气体→液体→固体方向进行,这一过程的发展,使微观粒子扩展为宏观物质,并导致物质结构的有序化,且伴随有从系统中释放能量,因此,这一过程的进行是自动的。这种规律性对一切物质都适用,而不取决于其化学键性质。键的性质取决于微观粒子间相互作用的力(引力),这些力只有在与粒子尺度可比的距离上才显著。因此,如果物质不是分散至微观粒

子的尺度,而是分散至宏观粒子的尺度,并且这些物质显示出缩聚成固体的能量,则毋庸置疑,这种能力是另外形式的力量作用的结果。这种力量决定于宏观分散体的能量势位,而能量势位又决定于化学键的性质,化学键性质使所形成结构的性质受到制约。例如,拥有多余自由能的金属粉末在压制过程中缩聚成固体,而不拥有自由能的离子键结晶物质在压制过程中,仍停留在粉末状态。与此类似:处于不稳定态的共价键物质在压制过程中,其行为类似金属粉末,因为在这种状态下,物质具有自由能。处于稳定结晶状态的共价键物质,它们的行为类似离子键物质,不显示缩聚能力。这使我们有根据肯定,此类物质的缩聚能力是其结构状态的函数,并以结构的有序化效应显示出来。

员摇物质的聚集状态——物质结构的函数

现代科学技术进步的基本倾向是模拟我们周围物质世界所遇见的现象、物质和过程。原子的裂变和原子核的聚合是人类模拟物质世界的最伟大的过程。而微观粒子和宏观粒子缩聚成固体以及固体分散成分散体系是人类模拟物质世界规模最为宏大的过程。

正如已经提到的,人工建筑石材的合成是模拟分散物的缩聚过程,而人工石材在水化、脱水和使用条件下的破坏,则是模拟固体的分散过程。

人工建筑石材有圆种基本的硅酸盐物质形态:混凝土与陶瓷,其区别在于材料中形成刚性结构键的新生物不同。在混凝土中,作为此种结构键的是含水矿物新生物,而在陶瓷中,则是无水的矿物新生物。含水新生物在人工水硬性胶凝材料(其中包括水泥熟料)的水化与硬化过程中产生,而无水新生物是天然的含水矿物(粘土矿物)、碳酸盐、热水泥等在脱水和烧结过程中产生,除此之外,无水新生物也在水泥的合成过程中产生。

根据现有概念,水泥浆体在硬化过程中所出现的现象,和陶瓷原料在烧结过程所出现的现象,两者有本质的不同。但是,硅酸盐物质的有序化效应原理却可以从这些过程找出许多共同点,根据这些原理,混凝土和陶瓷的石材化过程在本质上是归一的。在两种情况下,物质在缩聚前都有其物理状态的变化,表现为由化学成分的改变和固相体积的改变所引起的分散。在水泥中,这是由水结合到无水物质上去的结果,而在陶瓷中,是由于水从结晶水化物中排除的结果。

毋庸置疑,物质的最小粒子——分子在水化时要结合水,在脱水时要排除水。因此,两个过程都将导致系统的局部无定型化或全部无定型化,这两个过程都是石材化过程中的预备阶段。

煅烧时,在现代熟料和陶瓷中天然结晶水化物的分散要靠向系统输入热能而源

实现,而混凝土中的水泥颗粒的分散是自动进行的,即不需输入热能,而是依靠煅烧时储存在水泥熟料中的能量。

在无定型分散物质硬化成抗水的石材的这一阶段上所发生的过程是相同的,在两种情况下,缩聚过程都是自动进行的,并伴随有能量的释放。前者是无水新生物的缩聚,后者是含水新生物的缩聚,都导致固体的形成。

如果是用于制取陶瓷的碳酸盐、粘土矿物等分散含水结晶物进行预先分散(无定型化),则它们与水泥积蓄能量相似。如同混凝土一样,用它们制成的制品,随着时间的推移,其强度自动提高。其特点是:制品在成型时,即无定型无水分散物的粒子在互相靠近,就拥有抗水性和一定的初始强度。如果将水硬性胶凝物质,包括波特兰水泥、矾土水泥、罗马水泥用水化方法预先无定型化至分散状态,也可得到同样的结果,即在成型时刻就具有抗水性和初始强度。

上述原理证明:尽管形成水泥石结构的过程与形成陶瓷的过程存在显著的具体差别,但其物理化学方向性的本质是相同时。这样,可以假定,矿物分散体都服从于物质世界缩聚与分散的总规律。

1.1 缩聚与分散——物质运动的形式

物质的能量状态是物质缩聚和分散最通常的原因之一。众所周知,物质在下列方向上的缩聚,如核的合成,由等离子体合成原子,由原子合成分子,由分子合成晶体,在所有的阶段上都应伴随有质体的缺陷和体系自由能的减少,在每个阶段上都以热能的形式释放出来。相反,物质的分散则伴随有能量的吸收,如果将结晶物质分散(例如分散至等离子体),则需要消耗从等离子体缩聚成晶体所释放的能量同样多的能量(扣除损耗)。因此,缩聚是自发过程,缩聚倾向是拥有自由能的分散物质所固有的性能,这种自由能是它们在分散过程中积蓄的。这种情况可以假定,物质缩聚过程与物质分散过程的循环性。

以下,对于缩聚将理解为由分散系统合成固体,对于分散将理解为由固体形成分散系统。

在建筑人造石的生产中,矿物分散物的缩聚过程是借助于胶凝物质实现的。

在普遍概念上,对于胶凝物质必须理解为具有自由能,因此有自动缩聚成石材类物体倾向的矿物分散系统。这种倾向性不仅仅为建筑胶凝物质所固有,物质世界绝大多数的现象正是与材料这种性能的显示有关。这种性能可以从整个物质世界里表现为物质的循环消散与缩聚这种有规律的变化中观察到。

从这些总的立场出发,我们讨论物质循环缩聚与消散过程的三种相近情况:①天体物质的缩聚与消散;②地壳石材类生成物的产生与它们的风化;③在混凝土与

陶瓷的生产中,分散物的缩聚与其在使用过程中的分散。如果这些现象的本质和原因都是一样,则它们全部都应服从一个总的规律,更逻辑地说,它们是更为一般的过程之单个阶段。

讨论天体物质的缩聚与分散

物质的缩聚过程依赖于它的分散程度,因此,在选择循环过程的模型时,首先必须解决分散物质的条件问题。

众所周知,向固体导入能量,固体可以转变为液体和气体,然后转化为低温和高温的等离子体状态。用另外的途径,例如,利用引力质量能量,即在引力作用下物质的压缩能,也可以取得同样的结果,质量是如此巨大,以至能将物质分散至基本粒子的尺度。在讨论天体的缩聚与分散时,我们将选择第二种分散途径。

在天体尺度上,这些现象伴随着极度复杂的过程。寻找简单模型而又不涉及过分详细伴生细节是知晓这些过程的阶梯。

根据牛顿万有引力定律,可以获得缩聚与分散最一般规律的某些概念。

陨石尘埃、陨石、小行星以及其他天体的物质成分,允许假设硅酸盐物质及其类似物质,充满部分宇宙空间的可能性。

让我们来讨论半径为 R , 充满恒定密度为 ρ 的硅酸盐分散物质的封闭球状体。物质的粒子有同样的质量并以速度 v 运动。在球体的表面,单位质量的任何粒子将有按以下方程决定的加速度

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{GM}{R^2} \quad (1)$$

式中 $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ ——球体内部物质的质量;

G ——重力常数。

取常数 ρ 在 $R=0$ 至 $R=R_0$ 两端预先乘以 $\frac{dR}{dt}$ 并积分得:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = -\frac{GM}{R} + C \quad (2)^*$$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = -\frac{GM}{R} + C \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = -\frac{GM}{R} + C \quad (4)$$

式中 $E = \frac{1}{2} M v^2$ ——体系总能量;

* 译注:原式为 $\frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = -\frac{GM}{R} + C$

耘越 $\frac{\text{员}}{\text{圆}}$ ——单位质量粒子的动能；

耘越 $\frac{\text{早}}{\text{砸}}$ ——单位质量粒子的势能。

如果在 越越时刻 ,密度 ρ 越(越)和速度 越越(匀 匀为比例常数 ,即 越越 常数) 则方程(员)有以下形式：

$$\frac{\text{员}}{\text{圆}} \frac{\text{匀}}{\text{早}} \frac{\text{源}}{\text{猿}} \pi \rho \frac{\text{早}}{\text{砸}} \frac{\text{早}}{\text{越}} \text{越或越} \left(\frac{\text{匀}}{\text{圆}} \frac{\text{源}}{\text{猿}} \pi \rho \frac{\text{早}}{\text{越}} \right) \text{越} \quad (\text{员})$$

如果 耘越园,硅酸盐物质粒子的动能和势能彼此相等 ,符号相反。由于划出的容积可以无限地膨胀 ,而相应于这种状态的极限密度为 $\rho_{\text{越}}$,由方程(员)可以得到：

$$\frac{\text{员}}{\text{圆}} \frac{\text{匀}}{\text{早}} \frac{\text{源}}{\text{猿}} \pi \rho_{\text{越}} \frac{\text{早}}{\text{越}} \text{越园}$$

由此

$$\rho_{\text{越}} \text{越} \frac{\text{员}}{\text{愿}} \pi \frac{\text{早}}{\text{越}} \quad (\text{员})^*$$

摇摇在这种情况下 ,得到各向同性材料系统的模型 ,这一模型的容积可以无限膨胀。

当 $\rho \neq \rho_{\text{越}}$ 时 ,可以有另外的模型。

从球体膨胀速度的一般式中 ,我们得到：

$$\frac{\text{越}}{\text{越}} \sqrt{\frac{\text{早}}{\text{砸}}} \frac{\text{早}}{\text{越}} \text{越或越} \frac{\text{源}}{\text{猿}} \frac{\text{早}}{\text{越}} \sqrt{\frac{\text{早}}{\text{砸}}} \frac{\text{早}}{\text{越}} \quad (\text{员})$$

当 $\rho \text{约} \rho_{\text{越}}$ 则 耘越园系统将膨胀 ,如 $\rho \text{远} \rho_{\text{越}}$ 则 耘越园压缩将代替膨胀。

上面列举 猿种状态密度的物理意义如下 $\rho \text{越} \rho_{\text{越}}$ (第 员种模型——平凡体系)和 $\rho \text{约} \rho_{\text{越}}$ (第 圆种模型——开放体系)时发生膨胀 ,因为粒子的动能等于或者超过了其势能的绝对值。如果 $\rho \text{远} \rho_{\text{越}}$ (第 猿种模型——封闭体系)时 ,则势能占优势 ,这将导致膨胀被压缩代替 ,并将看到物质缩聚与分散的循环过程。

后一种模型是现代相对论宇宙哲学的基础 ,它是由相对论的一般理论得出的 ,并有佛里德曼爱因斯坦模型的称谓。按照现代概念 ,当物质聚集到超过太阳质量的数量 ,此种循环过程就有可能。我们不去深入讨论这种其尺度和事件都是无穷的假说性现象 ,而试图从对其分析中得到硅酸盐物质缩聚和分散最普通的原因概念。我们称这种现象为“结构的有序化效应” ,并且有条件的假定 ,此种效应严格按照下面的原则发展 ,物质粒子缩聚的过程都向着结构有序化方向进行 ,而物质粒子的分散过程都向着结构的无序化方向进行。

为了简化物质在循环过程中历经的无数变化阶段 ,我们只讨论 园个阶段 ,这

* 译注 : (员) 式疑为 $\rho_{\text{越}} \frac{\text{早}}{\text{越}}$