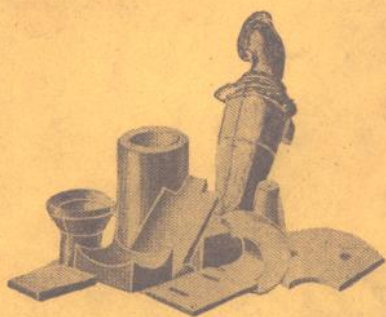


铸石

中国科学院地质研究所



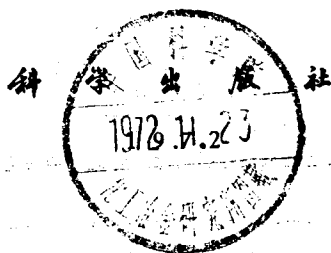
科学出版社

71.224
144

鑄石

中国科学院地质研究所

21547/22



内 容 提 要

本书比较系统地综合了国内外有关铸石生产、使用等方面的资料和参加生产实践的一些体会。在铸石生产基本原理、原料的选择以及产品的测试鉴定方面提出了一些看法和测定标准。文字通俗易懂,便于阅读。

全书共分七章。第一章,铸石生产的基本原理;第二章,铸石的原料和配方;第三章,铸石的生产工艺;第四章,铸石矿物相、显微结构和构造;第五章,铸石的物理、化学性质及力学性质;第六章,铸石的应用与施工方法;第七章,特种铸石。

本书可供铸石生产人员、施工使用部门和科研设计部门人员参考。

铸 石

(只限国内发行)

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1972 年 3 月第一版 1972 年 3 月第一次印刷

定 价: 0.35 元

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

外国有的，我们要有，外国没有的，我们也要有。

备战、备荒、为人民。

前 言

铸石是利用分布广泛的天然岩石——玄武岩、辉绿岩或某些工业废渣为主要原料，经配料、熔化、浇铸成型、结晶、退火而成的一种新型工业材料。它具有一般金属材料所达不到的耐磨性能和耐化学腐蚀性。其耐磨性能比合金钢材、普通钢材、铸铁高几倍、十几倍，有的甚至达四、五十倍。除氢氟酸和过热磷酸外，其耐酸、碱度几乎接近百分之百。此外，铸石还有良好的介电性和较高的机械强度。

目前，在我国的冶金、矿山、发电、煤炭、石油、化工、建材、轻工等工业部门较广泛地应用了铸石材料，并取得了极其显著的效果。实践证明，铸石是一种钢铁、有色金属、合金材料、橡胶、耐酸搪瓷等较为理想的代用材料。铸石制品的应用，使很多工业部门在耐磨、耐化学腐蚀方面长期未能解决的一些关键问题得到解决，而且从中为国家节省了大批金属、橡胶材料。此外，采用铸石材料还可以延长设备的使用寿命，增加生产，降低成本。

我国是一个有七亿多人口的国家，工农业的飞速发展对钢铁的需要量越来越大，发展铸石工业，推广使用铸石制品，节约钢材，把钢铁用在最需要的地方，这对于加强战备，多快好省地发展地方工业，具有十分重要的意义。

我国铸石生产虽有十多年的历史，文化大革命以前由于叛徒、内奸、工贼刘少奇及其代理人的竭力干扰和破坏，曾被迫一度停产。无产阶级文化大革命中，我国铸石工厂的广大革命职工，狠批了大叛徒刘少奇及其代理人推行的“洋奴哲学”、“爬行主义”、“专家治厂”等反革命修正主义黑货，为我国铸石工业的飞速发展扫除了障碍。从此，我国铸石工业的发展进入了一个崭新的阶段，在全国各地相继建立了一批铸石工厂。铸石的种类除辉绿岩铸石外，

还增加了玄武岩铸石、铬渣辉绿岩铸石、铬渣铸石和炉渣铸石，不但生产板材，还能生产管材和各种异形产品。此外，烧结铸石的试制也有了很大的进展。近年来，对于铸石生产工艺和设备有不少的改进和革新，在铸石材性的改善方面亦取得一定的成果。

伟大领袖毛主席教导我们：“**革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展。**”随着我国铸石工业的迅速发展，广大革命职工迫切希望交流和掌握有关铸石生产的基本原理、生产工艺和性能测试方面的有关知识，以便把铸石生产的发展推向新的水平。为了满足广大革命同志的迫切要求，我们编写了这本小册子，书中所引的资料有很大一部分是由铸石厂和兄弟单位提供的，在此，我们向各有关铸石厂的广大革命职工和其他兄弟单位的同志们表示衷心的感谢。

在编写的过程中，我们力求做到通俗易懂，但是，由于我们缺少生产实践的锻炼，理论水平又低，一定有很多错误和不妥之处，请同志们批评指正。

目 录

前 言	(iii)
第一章 铸石生产的基本原理	(1)
第一节 岩浆的性质	(1)
第二节 岩浆的结晶作用	(8)
第三节 铸石的矿物和结构	(17)
第二章 铸石的原料和配方	(27)
第一节 铸石制品的化学组成	(27)
第二节 铸石化学成分与矿物相关关系	(28)
第三节 生产铸石的原料	(30)
第四节 铸石原料的选择和配料方法	(42)
第三章 铸石的生产工艺	(51)
第一节 炉料的制备	(51)
第二节 熔化及其设备	(52)
第三节 浇铸工艺	(67)
第四节 结晶工艺	(69)
第五节 退火工艺	(72)
第六节 废品种类原因及防止办法	(77)
第七节 耐酸粉的生产	(80)
第八节 浇铸岩浆的模具	(80)
第四章 铸石矿物相、显微结构和构造	(84)
第一节 铸石的矿物相	(84)
第二节 铸石的显微结构	(93)
第三节 铸石的几种特殊构造	(96)
第四节 铸石物相的X射线粉末法鉴定	(100)

第五章 铸石的物理化学性质及力学性质	(110)
第一节 物理性质及力学性质的测试	(110)
第二节 铸石的化学稳定性	(122)
第三节 铸石的力学性质、热稳定性与其化学成分、矿物相 及结构之间的关系	(125)
第六章 铸石的应用与施工方法	(128)
第一节 铸石在国民经济中的应用	(128)
第二节 铸石的施工方法	(131)
第七章 特种铸石	(144)
第一节 炉渣铸石	(144)
第二节 其他特种铸石	(148)
结束语	(151)
附录一 氧化物重量百分比与分子数换算表	(152)
附录二 铸石矿相、结构图片	(162)

第一章 鑄石生产的基本原理

第一节 岩漿的性质

当我们一走进鑄石车间，首先注意到的就是由熔炉中流出来的炽热的岩漿，给我们第一个感性认识就是，岩漿和铁水大不一样，岩漿粘稠得多，很象是玻璃窑里的熔体。岩漿究竟是什么东西呢？它为什么这样粘稠呢？铁水可以说是液态的铁，岩漿是不是可以说是液化了的石头呢？当然这样说也不错，但这样仍然没有点出岩漿的本质，岩漿的本质不是一句话可以说得清楚的，我们下面将来阐述这个问题。

一、岩石的熔化和岩漿的成分

鑄石的主要原料玄武岩或輝綠岩有复杂的化学成分。它们是由二氧化硅(SiO_2)、三氧化二铝(Al_2O_3)、氧化铁(Fe_2O_3)、氧化亚铁(FeO)、氧化钙(CaO)、氧化镁(MgO)、氧化钠(Na_2O)、氧化钾(K_2O)、二氧化钛(TiO_2)、氧化锰(MnO)、五氧化二磷(P_2O_5)和水(H_2O)等组成的。但是这并不是说玄武岩或輝綠岩中存在这些独立形式的氧化物(独立形式的二氧化硅，就是平常叫的硅砂或石英，氧化钙就是生石灰，氧化镁就是平炉炼钢用的镁砂，二氧化钛就是化工用的钛白粉)，在玄武岩或輝綠岩中，这些氧化物是组合成矿物形式出现的。这些矿物有輝石、橄欖石、斜长石和磁铁矿等。以氧化物含量表示岩石的化学成分，只是为了计算方便而已。化学成分中，二氧化钛、氧化锰、五氧化二磷和水等含量很少，一般可以不予考虑。所以岩石化学成分可以归纳为：二氧化硅、三氧

化二铝、氧化铁全量(包括氧化铁和氧化亚铁)、氧化钙、氧化镁和碱(包括氧化钠和氧化钾)六项。但碱量一般较少,而前五项占总量的百分之九十五至九十八。前五项就是工人师傅常说的“五大组分”。铸石的配方和生产都必须正确处理“五大组分”之间的关系。

如上所述,玄武岩或辉绿岩主要是由辉石、斜长石、橄榄石、磁铁矿组合而成。辉石是由氧化钙、氧化镁、氧化铁、三氧化二铝和二氧化硅组成的一种偏硅酸盐矿物。斜长石是由氧化钙、氧化钠(及部分氧化钾)、二氧化硅和三氧化二铝组成的一种铝硅酸盐矿物。橄榄石是由氧化镁、氧化铁和二氧化硅组成的正硅酸盐矿物。磁铁矿是一种铁的氧化物。它们都有很高的熔点:

辉石 (以透辉石为例)	1391℃
斜长石 (以钙长石为例)	1550℃
橄榄石 (以镁纤橄榄石为例)	1890℃
磁铁矿	1500℃

那么要使玄武岩或辉绿岩熔化需要多高的温度呢?是不是要比橄榄石的熔点 1890℃ 还高才行呢?如果是那样的话,铸石大炉的温度就要高达 2000℃,那么一般燃料都无能为力,只有电力才能熔化它们了。可是事实却不是这样,用不着二千度的高温,而是在 1200~1300℃,岩石就熔化了,1400~1500℃ 就能得到符合铸石要求的岩浆。这是为什么呢?原来,在自然界存在一种有趣的现象,叫做低共熔现象。也就是说,两种或两种以上的物质混在一起,熔点就会比单一物质降低,如果达到一个最适合的比例,混合物的熔点就降到最低,这时混合物中的各种组成物都一起熔化。如辉石(透辉石)和斜长石(钙长石)当其重量比为 58:42 时,在 1270℃ 时辉石和斜长石就同时熔化了,这温度比 1391℃ 和 1550℃ 都来得低。三个以上的矿物混在一起情形就复杂多了,但低共熔的实质是相似的。所以主要由辉石、斜长石、橄榄石、磁铁矿组成的玄武岩和辉绿岩有较低的熔点。值得注意的是最适合铸石生产的玄武岩、辉绿岩其矿物的比例非常接近最低共熔点的要求,因此这些原料有最低的熔点,可以节约大量的燃料。

这种低共熔的现象在日常生活中也是常见的。电工用的保险丝是一种由锡、镉、铋等组成的合金，它的熔点比这几种纯金属熔点都低。所以当超过负载，温度稍一升高，保险丝就达到其熔点而烧断，达到确保安全目的。保险丝的合金就是按最低共熔的比例配制的。

铸石生产中熔炉流出的岩浆的化学组分往往有别于原料配方的化学成分，一般硅铝含量都有所增加，这是由于炽热的岩浆对炉壁耐火砖腐蚀的结果。耐火砖的耐火度虽然高于岩浆的温度，但是在两者接触的地方，耐火砖会和岩浆反应，于是就会被腐蚀，这和低共熔现象也有关系。在某些铸石（如工业废渣铸石：铬渣铸石、马丁炉渣铸石）的生产中往往要加入一定量的硅砂（熔点 1713°C ）、镁砂（熔点 2880°C ），它们也能在 1500°C 左右完全地熔化，这种现象只能用低共熔来解释。

二、岩浆的本质和粘度

1. 岩浆的本质

岩浆的粘稠性只是一种表面现象，是其本质的反映。伟大领袖毛主席教导我们：“**我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。**”岩浆除了粘稠性外，还有其他许多特性，其中包括导电性。导电性证明在岩浆内部必然可以分为带正电和带负电的两种原子团（或称离子团）。正电、负电是一对矛盾，岩浆就是这对矛盾的统一体。铁、镁、钙、钾、钠、钛等金属元素的原子带正电，叫阳离子。硅和氧形成复杂的带负电的原子团，叫硅氧络阴离子。铝虽然也是金属，但是它有明显的两重性，时而和铁、镁一样形成阳离子，时而又和氧组成铝氧络阴离子，而且后者是主要的形式。铝氧络阴离子又和硅氧络阴离子结合构成更为复杂的硅铝氧络阴离子团。这两种分别带正电及带负电的离子或离子团的矛

盾对立的斗争和矛盾对立面在一定条件下的转化，就决定了岩浆的各种特性。因此就有必要简要地叙述一下硅铝氧络阴离子团的一般情况。

离子是有实际大小的，是客观存在的物质。它的大小只能用一个很小很小的长度单位来测量，这个长度单位叫做埃(以符号 $\text{\AA}$ 表示， $1 \text{\AA} = 10^{-8}$ 厘米也即一埃等于一亿分之一厘米)。离子是球形的，其大小以离子半径表示，硅的离子半径是 0.40 埃，氧的离子半径比硅大得多是 1.40 埃。硅离子总是把四个氧离子紧紧地拉在一起(靠正负电的吸引力)，形成最简单的硅氧络阴离子[见图 1-1(a)]。人们为了方便起见，把四个氧离子的中心连接起来，就形成一个四面体，四面体的中心是硅离子，用这种四面体来表示最简单的硅氧络阴离子[见图 1-1(b)]。这种最简单的硅氧络阴离子

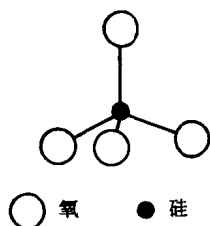


图 1-1(a) 硅氧络阴离子

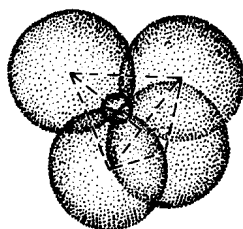
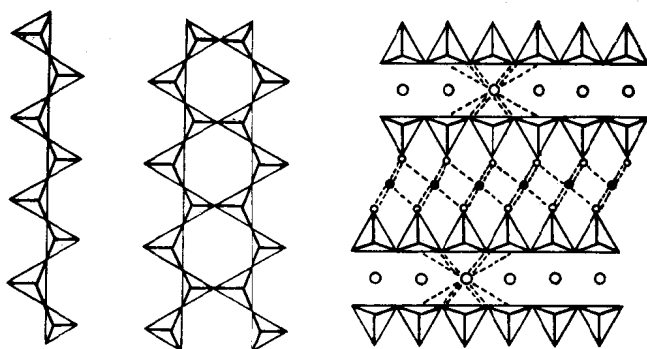


图 1-1(b) 四面体配位多面体

还可以进一步结合成更复杂的形态，如双四面体型的硅氧络阴离子团，还有更加复杂的链状、层状或架状的庞大的硅氧络阴离子团。在图 1-2 中氧离子都没有画出来，而是由四面体角顶表示，四面体中间有硅离子。图中表示的只是几种代表性的形态，硅氧络阴离子团的形态是非常复杂的。

铝的离子半径为 0.51 埃，它与硅相似，也可以拉着四个氧离子靠紧自己，形成铝氧四面体型的离子团，而且这些离子团和硅氧的离子团可以彼此连接在一起，从而形成密不可分的硅铝氧络阴离子团。最简单的硅铝氧络阴离子团比其他的阳离子(铁、镁、钙、钠等)大十倍左右，更复杂的络阴离子团比这些阳离子大得更多。



单链硅氧四面体群 双链硅氧四面体群

层状硅氧四面体群

图 1-2

虽然如此，它们还是很小很小的，用显微镜，甚至用电子显微镜也看不见，只能用X射线才能测量出来。

岩浆就是由各种复杂的硅铝氧四面体组成的络阴离子团和铁、镁、钙、钠、钾、钛等简单阳离子组成的。就体积而言前者占了绝大部分。这两种离子是一对矛盾，它们带着相反的电荷，彼此作用着并不停地作无规律的运动。

2. 岩浆的粘度

岩浆的粘度是衡量其流动性的尺度，粘度越大，流动性越小。反之，粘度越小，流动性越大。岩浆的粘度对铸石生产有很大的影响。

岩浆的粘度比铁水大千百倍，这是因为铁水中只有简单的铁原子，没有复杂而庞大的离子团去阻碍流动，因此铁水具有非常小的粘度。岩浆却不然，有各种复杂而庞大的硅铝氧络阴离子团团，它们阻碍流动，因而粘度大。岩浆的粘稠性首先决定于硅铝。

岩浆的粘度随温度的升高而降低，这是因为温度升高有两个作用：(1)硅铝氧的络阴离子团团的结合能力，由于温度升高而降低，使得一些大的团团分裂为小的较简单的团团；(2)温度升高使离子活动能力加大，因此就加大了岩浆的流动性。温度下降时，情

况则相反,粘度加大。

表 1-1 列出各种岩石熔浆的粘度与温度的关系。从表中可以看出,基性的岩浆,如玄武岩、方沸玄武岩、橄榄玄武岩、辉绿岩的岩浆比中性岩浆(安山岩岩浆)和酸性岩浆(黑曜岩岩浆)的粘度小得多,这就是铸石原料为什么选用基性岩石(玄武岩和辉绿岩)而不采用安山岩或黑曜岩、流纹岩的原因之一。从表中还可以看出,基性岩浆的粘度 1200~1300℃ 之间发生急剧的变化,因此铸石生产中浇铸温度应以 1300℃ 左右为宜。在铸石生产中,希望岩浆的粘度,随温度下降增加得不要太快,使在一个足够宽的温度间隔内,岩浆的粘度仍能适合浇铸的要求,这个温度间隔叫做浇铸的温度区间。增加岩浆中的氧化亚铁的含量可以加大浇铸温度区间。

表 1-1 各类岩石岩浆粘度变化与温度关系

粘度 (泊) 温度℃	玄武岩 岩浆	方沸玄武 岩岩浆	橄榄玄武 岩岩浆	辉绿岩 岩浆	安山岩 岩浆	黑曜岩 岩浆	玻 璃 熔 浆
1400	55	851	126	60	1175	17000	123
1300	126	1820	395	130	3980	—	263
1200	369	6310	11300	420	16000	—	661
1150	813	13200		4470	89800	—	1086

从表 1-1 中,还可以看出一点,各种岩浆与玻璃熔体比,还不大一样,即岩浆的粘度随温度降低而增加很快,而玻璃熔浆却较慢。这就说明岩浆虽然也可以形成玻璃,但是这种玻璃很快就硬化,因而不大适合做复杂的玻璃器皿和吹玻璃的材料。

岩浆粘度与其成分有密切关系,二氧化硅和三氧化二铝含量的增加,都大大地增加了岩浆的粘度。正如前面所说,它们含量的增加,就使硅铝氧络阴离子团增加,而且使其复杂化,因而增加粘度。其他的金属阳离子增加都起着降低粘度的作用,因为阳离子增加,就加大了它们对络阴离子团团的作用,促使其分化为较小的团团,因而降低了粘度。总之,岩浆中硅铝氧络阴离子团团和简单

阳离子两个矛盾着的对立面面对粘度起着相反的作用。

金属的氧化物含量对降低岩浆粘度的作用各有不同，依大小顺序排列如下：

氧化亚铁、氧化锰、氧化镁、氧化钙、氧化钠、氧化钾。

表 1-2 是氧化镁和氧化钙对辉长岩岩浆粘度的影响。氧化镁和氧化钙可以大大降低它们的粘度。

表 1-2 氧化镁和氧化钙对辉长岩岩浆粘度的影响

被熔化的岩石 粘度 (泊)	温度℃	1150°	1200°	1250°	1300°	1350°
辉 长 岩	结晶固体	5717	2673	1330	644	
+ 6% MgO	结晶固体	1000	467	336	285	
+ 6% CaO	结晶固体	1053	506	296	169	
+10% CaO	结晶固体	753	379	215	144	

三、岩浆的均化与脱气

岩石在开始熔化时，并不是均匀的。例如玄武岩或辉绿岩，在熔化的第一个阶段，其中的辉石、橄榄石、磁铁矿熔化为比较富含铁镁而相对贫硅铝和碱质的岩浆，这种岩浆如果形成玻璃则颜色较暗，而斜长石熔化成的岩浆，则富含硅铝和碱质，倘若形成玻璃，则是浅色的。由于熔化的第一阶段，熔浆粘度都很大，这二种成分有差异的岩浆彼此来不及扩散均化，只有在温度进一步升高，加强扩散，才能达到均化。未达到均化的岩浆，结晶时就不容易达到获得单一矿物相的目的，而常常导致辉石、橄榄石、磁铁矿和斜长石就在原来的“废墟”上重新结晶，这种现象叫“结晶继承性”，即铸石中重新出现原料中的矿物相，使铸石达不到改造原料矿物相的目的，导致废品的形成。为了达到均化，一方面是适当提高熔化温度，以减小岩浆粘度加强岩浆的扩散作用，另一方面设置“均化池”

(即前炉),让岩浆有一段停留时间,以求达到均化。

熔炉流入前炉的岩浆中有相当量的气体。气体来源有三个,即(1)鼓风机吹入的空气,焦炭燃烧形成的二氧化碳和一氧化碳以及氮气这是主要的。(2)岩石中某些次生的矿物所含的结晶水及附加料角闪岩中的结晶水所形成的水蒸气,这是次要的。(3)附加料萤石(氟化钙)和岩石起反应形成气态的四氟化硅,这是更次要的。岩浆中气体的存在大大减小岩浆的粘度,加大其流动性,有利于均化。岩浆中气体的这种积极的作用应该看到。但是,如同对待任何事物一样,要一分为二地看待气体的作用。由于岩浆有相当量的气体,就使生产中带来了“脱气”的麻烦。生产中“脱气”的办法是让岩浆在前炉中澄清,岩浆表面的气泡层用前炉的挡板挡在前炉中,不使其流入模型内,以达到除气的目的。

气体的积极作用在铸石生产中往往是被小看的,而把消极的一方面看得多。我们这里举一个自然界火山喷发的例子来说明气体对岩浆流动性的影响。据地质资料记载,太平洋中的夏威夷岛上的火山屡次喷出玄武岩岩浆,常常形成几十米至几百米宽,长20至50公里的岩流,岩浆的流速最大达到每小时45公里。这就是由于岩浆中含有大量气体的缘故,否则流速如此大,是不能设想的。这个例子充分证明气体有减小粘度加大流动性的积极作用。倘若大炉中的岩浆中没有气体,它就不可能顺利地流到前炉里去。

第二节 岩浆的结晶作用

铸石生产中第二道主要工序就是结晶。不经过结晶的铸件是玻璃状态的,这种铸件无论在耐磨性、耐酸碱性还是机械强度上都达不到要求,合格的产品必须是结晶的。耐酸粉也必须是由结晶的铸石制成。因此结晶这道工序相当重要。

结晶作用是在结晶窑内进行,结晶温度为 900°C 左右,结晶时间一般是几十分钟到十几分钟,视铸件大小而定。经过结晶作用

后必须保证以下两点：(1)铸件的矿物相要尽可能的单一，绝大部分矿物应该是辉石，而不希望有斜长石、橄榄石存在，因为只有这样才能保证铸石的化学稳定性。(2)保证铸件结构均匀，形成细密的结构，结晶尽可能的完全，玻璃都最大限度地转变为结晶体，因为只有这样才能使铸石在耐磨性以及其它机械强度方面的特性达到要求。总之，要认识岩浆的结晶规律，从而更好地控制岩浆结晶，以便在生产过程中减少盲目性提高自觉性的目的。为此，我们在这里扼要地叙述一下岩浆结晶作用的基本理论知识。

一、结晶态与玻璃态

所谓结晶态就是说物质是由晶体所组成的。它在自然界是广泛存在着的，如金属、陶瓷、天然岩石(绝大多数)、冰、雪、盐、糖，甚至棉花纤维都是结晶态的东西。那么什么叫晶体呢？晶体就是原子、离子或分子呈现有严格规律排列的物质。这种排列的规律是架子状，如图 1-3 是自然界最简单的晶体——食盐(氯化钠)的晶体构造图，图中很清楚的反映出架子状构造，这种架子叫做晶格。晶格中每种原子、离子或分子都有一定位置，在晶体中“对号入座”。铸石中的晶体也同样有架子状构造，但是它比氯化钠的晶格构造要复杂得多。晶体的晶格构造可以用爱克斯射线(伦琴射线)测定。

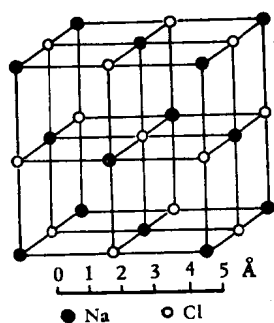


图 1-3 NaCl 的晶体构造图

液态，是内部原子、离子或分子在相当范围内作不规则运动的一种物质状态，超出这个范围就叫气态。前面已经说明，岩浆是由不规则运动着的硅铝氧络阴离子团团和金属阳离子组成的液态物质。那么玻璃态又是什么呢？在玻璃内部，原子、离子或分子是作不规则排列的，它与液体的差别只在于玻璃内的原子、离子或分子是“不动的”（只是相对地不动，象“原地踏步”似的），因此玻璃态是凝固的。从