



中国石油高技能人才培养丛书

钻井地质技师培训教程

中国石油天然气集团公司人事部 ©编



石油工业出版社

中国石油高技能人才培养丛书

钻井地质技师培训教程

中国石油天然气集团公司人事部 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是中国石油高技能人才培养丛书的一本,内容包括岩性的识别、地质录井技术应用、特殊条件下的录井技术、综合录井技术、录井新技术、相关知识。

本书可供从事石油钻井地质的现场人员使用,也可用于相关人员培训。

图书在版编目(CIP)数据

钻井地质技师培训教程/中国石油天然气集团公司人事部编.
北京:石油工业出版社,2012.7

(中国石油高技能人才培养丛书)

ISBN 978-7-5021-9139-9

I. 钻…

II. 中…

III. 油气钻井-工程地质-技术培训-教材

IV. TE142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 138611 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

编辑部:(010)64523582 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:27.75

字数:570 千字

定价:70.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油高技能人才培养丛书》

编 委 会

主 任：单昆基

副 主 任：任一村

执行主任：丁传峰

委 员：(按姓氏笔画排序)

王子云 左洪波 吕凤军 刘 勇 刘德如

杨 锋 杨静芬 李世效 李建军 李孟洲

李钟磬 李保民 李超英 李禄松 何 波

张建国 陈宝全 尚全民 周宝银 徐进学

高 强 高丽丽 职丽枫 崔贵维 韩贵金

傅敬强 霍 良

前 言

为加快高技能人才知识更新,提升高技能人才职业素养、专业知识和解决生产实际问题的能力,进一步发挥高端带动作用,在总结“十一五”技师、高级技师跨企业、跨区域开展脱产集中培训的基础上,中国石油天然气集团公司人事部依托承担集团公司技师培训项目的培训机构,组织专家力量,历时一年多时间,将教学讲义、专家讲座、现场经验及学员技术交流成果资料加以系统整理、归纳、提炼,开发出首批 15 个职业(工种)高技能人才培训系列教材,由石油工业出版社陆续出版。

本套教材在内容选择上,突出新知识、新技术、新材料、新工艺等“四新”技术介绍,重视工艺原理、操作规程、核心技术、关键技能、故障处理、典型案例、系统集成技术、相关专业联系等方面的知识和技能,以及综合技能与创新能力的知识介绍,力求体现“特、深、专、实”的特点,追求理论知识体系的通俗易懂和工作实践经验的总结提炼。

本套教材是集团公司加快适用于高技能人才现代培训技术和特色教材开发的有益尝试,适合于已取得技师、高级技师职业资格的人员自学提高、研修培训、传承技艺使用,也适合后备高技能人才超前储备知识使用,同时,也为现场技术人员和培训机构提供了一套实践参考用书。

《钻井地质技师培训教程》由中国石油华北技师学院组织编写,中国石油华北技师学院陈国强、渤海钻探工程有限公司姜维寨任主编,参加编写的人员有渤海钻探工程有限公司李金顺、孟宪军、田秋月、郭明红、徐明磊,中国石油华北技师学院田跃辉、王志、孙建华、刘冬梅。参加审定的人员有中国石油工程技术分公司刘应忠,长城钻探工程有限公司夏季,大庆油田钻探工程公司高述先、段宏伟,西部钻探工程有限公司张玉新,川庆钻探工程有限公司龙利平等。

由于编者水平有限,书中错误、疏漏之处在所难免,请广大读者提出宝贵意见。

编者

2011 年 10 月

目 录

第一章 岩性的识别	(1)
第一节 岩浆岩的基本特征	(1)
第二节 变质岩的主要特征	(19)
第三节 沉积岩的主要特征	(26)
第二章 地质录井技术应用	(53)
第一节 地层划分与对比	(53)
第二节 卡准完钻层位技术应用	(57)
第三节 卡准钻井取心层位技术应用	(59)
第四节 卡准潜山界面技术应用	(61)
第五节 油(气)水界面判断	(70)
第六节 水平井录井综合导向技术	(74)
第七节 生、储、盖层评价	(85)
第八节 油气层综合评价技术	(87)
第三章 特殊条件下的录井技术	(108)
第一节 特殊地质条件下录井技术	(108)
第二节 特殊钻井条件下录井技术	(122)
第四章 综合录井技术	(134)
第一节 综合录井技术概述	(134)
第二节 气体录井技术	(141)
第三节 工程录井	(171)
第四节 钻井液录井	(196)
第五节 压力录井	(217)
第五章 录井新技术	(236)
第一节 岩石热解地球化学录井技术	(236)
第二节 热解气相色谱录井技术	(253)
第三节 轻烃气相色谱录井技术	(262)
第四节 定量荧光录井技术	(284)
第五节 核磁共振录井技术	(306)
第六章 相关知识	(323)
第一节 钻井新工艺新技术	(323)
第二节 矿场地球物理测井技术	(361)
第三节 地震勘探技术	(417)
参考文献	(434)

第一章 岩性的识别

岩石是由矿物或类似于矿物的物质(如有机质、玻璃、非晶质等)组成的固体集合体。多数岩石由不同矿物组成,单矿物的岩石相对较少。岩石不仅是地球物质的重要组成部分,也是类地行星(以硅酸盐岩石为主要成分的行星)的组成部分,目前人类不仅能获得地球一定深度范围的岩石样品,而且也获得了月岩和陨石的样品。

在地质研究中,岩石始终是重要的研究对象。因为山脉、岛屿、平原土层之下、江河湖海的基底都是岩石构成的,各种金属与非金属矿产以及石油等绝大多数蕴藏于岩石中,与岩石具有成因及时空上的联系,而且岩石记录了地壳和上地幔形成演化的历史,因此研究岩石对于了解地壳、地幔,以及其他星球的物质组成、起源、发展等具有重要的科学意义。岩石也是构成各种地质构造和地貌的物质基础,因此,进行各类岩石的研究对指导找矿勘探、开发地下水资源、设计建筑工程,以及交通运输、国防工程的建设等具有重要意义。

岩石的种类很多,按成因可以将自然界的岩石划分为三大类:岩浆岩、变质岩和沉积岩。

三大类岩石之间的界限有时并不能截然分开,其间有逐渐过渡的关系。因此,虽然各有特征,但彼此之间常有密切联系,不过这种联系关系并不是简单的循环重复,而是不断地向前发展。概括地说,先存的变质岩、岩浆岩及埋深较大的沉积岩可以在高温条件下发生熔融或部分熔融形成岩浆,岩浆固结成火成岩(即岩浆岩);先存的岩浆岩、沉积岩和变质岩暴露于地表后经过剥蚀、机械破碎、搬运和沉积可以形成沉积岩;先存的岩浆岩及沉积岩在温度、压力及应力的作用下可以发生变质形成变质岩。这三种岩石可以相互转化、相互过渡,但它们之间又有较明显的差异。

三大岩类在地表和地壳内部的分布情况是不同的。地球除去外地核及极少量赋存于地壳及上地幔中的熔体外,主要是由固态的岩石组成的。在陆地上,表层沉积岩约占 66%,其余部分岩浆岩及变质岩大约各占一半。在大洋下面,沉积物及沉积岩形成薄层状,覆盖于下部的岩浆岩及变质岩之上,后两种岩石组成了大洋地壳的主体。

第一节 岩浆岩的基本特征

一、岩浆

(一)岩浆的概念

岩浆(magma)这个词最早来源于希腊,原意是指一种似粥状物。据对近代活火山(如意大利维苏威和夏威夷基拉韦厄等火山)的观察,发现在火山活动时不但有气体及碎屑自火山口喷出,而且还有炽热的熔融物质自火山溢流出来。前者称为挥发物质和火山碎屑,后者称为熔岩流。熔岩流来源于岩浆,在地下深处有高温炽热的熔融物质存在,这种高温炽热的熔融物

质就是岩浆。现在已发现的岩浆有好几种,最普遍和最主要的是硅酸盐成分的岩浆。此外,还有碳酸盐、氧化物、硫化物等岩浆,即所谓非硅酸盐岩浆。因此,一般认为岩浆是上地幔或地壳部分熔融的产物,成分以硅酸盐为主,含有挥发组分,也可以含有少量固体物质,是高温粘稠的熔融体。

(二)岩浆的基本特征

1. 岩浆形成的深度

岩浆形成的部位约在上地幔的软流圈中,无论是活火山地区(如夏威夷和堪察加等地)的地震资料,还是岩浆产物的高温、高压实验资料,都表明原生岩浆主要形成于地下 50 ~ 200km 的范围内。

2. 岩浆的成分

岩浆的主要成分包括 O、Si、Al、Fe、Mg、Ca、Na、K、Mn、Ti 等造岩元素,此外还有 H_2O 、 CO_2 、 SO_2 等挥发性物质及少量的金属硫化物和氧化物。

3. 岩浆的温度

根据对现代火山喷出的熔岩流的观察和仪器遥测结果,火山熔岩流的温度范围一般为 700 ~ 1200℃ 之间,并随岩浆成分不同而有所差异。基性岩浆温度较高,为 1000 ~ 1200℃;中性岩浆次之,为 900 ~ 1000℃;酸性岩浆温度最低,约为 700 ~ 800℃。

4. 岩浆的粘度

岩浆的粘度与岩浆的成分(主要是 SiO_2)、挥发组分含量、温度和压力的大小等因素有关。岩浆中 SiO_2 含量越高,粘度越大;挥发组分含量越高,则岩浆的粘度越小。

二、岩浆岩的概念及物质成分

(一)岩浆岩的概念

岩浆岩是岩浆在内力地质作用的影响下,由深处侵入地壳表层或喷出地表,并经过冷凝固结而形成的岩石。在岩浆冷却过程中,失去大量的挥发物质,所以岩浆岩是失去了大量挥发组分的岩浆冷凝物。

岩浆岩按其生成环境不同,通常分为侵入岩和喷出岩两类。

侵入岩是岩浆在地表以下不同深度冷凝结晶而形成的岩石。根据形成的深度,侵入岩又可进一步分为深成岩和浅成岩。前者是岩浆在地壳深处冷凝结晶而成,多呈大岩体产出;后者是岩浆在地壳浅处冷凝结晶所致,多呈小岩体出现。

喷出岩是岩浆沿裂隙或火山通道喷出地表冷凝或结晶而成。它的形成常与火山喷发作用有直接关系,因此又称为“火山岩”。

(二)岩浆岩的成分

岩浆岩的成分包括岩浆岩的化学成分和矿物成分。研究岩浆岩的成分及其变化规律,有助于了解各类岩浆岩的内在联系、成因及次生变化。岩浆岩的成分及其含量是岩浆岩分类的主要依据,它们是岩浆岩固有的最主要的特征之一。

1. 岩浆岩的化学成分

岩浆岩的化学成分非常复杂,几乎包括了地壳中所有的元素,但其含量相差悬殊。其中含量最多的是 O、Si、Al、Fe、Mg、Ca、K、Na、Ti 九种元素,通常称为“造岩元素”。它们的总和约占岩浆岩总量的 99.25%,其中 O 占 46.59%,Si 占 27.59%。除上述九种元素外,周期表内的其他元素在岩浆岩中的总量不超过 1%,称为“微量元素”。

这些元素常以氧化物来表示,其中含量最多的为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 H_2O 、 TiO_2 这十种氧化物,它们约占岩浆岩总量的 99%。在这些氧化物中, SiO_2 的含量居首位,平均约为 59.14%; Al_2O_3 次之,约为 15.34%;以下依次为 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 等。

SiO_2 是重要的一种氧化物,能反映岩浆性质,直接影响岩浆岩矿物成分变化。 SiO_2 的含量是岩浆岩化学成分分类的主要依据。根据 SiO_2 含量的多少,可将岩浆岩分成四大类:超基性岩(SiO_2 含量小于 45%)、基性岩(SiO_2 含量 45%~52%)、中性岩(包括中性—碱性岩类)(SiO_2 含量 52%~65%)、酸性岩(SiO_2 含量大于 65%)。

各种主要氧化物在各类岩浆岩中的变化具有明显的规律性:

- (1) SiO_2 在超基性岩中含量最少,在酸性岩中含量最多。
- (2) MgO 、 FeO 的含量随 SiO_2 含量的增加而减少。
- (3) K_2O 、 Na_2O 的含量随 SiO_2 含量的增加而增加,特别是 K_2O 的表现更为突出。
- (4) CaO 在纯橄榄岩中含量很低,但在辉长岩中急剧增加。
- (5) Al_2O_3 在超基性岩中含量最少,在其他岩类中含量为百分之十几,且变化幅度很小。

2. 岩浆岩的矿物成分

地壳中已知的矿物种类有 3700 余种,但组成岩浆岩最主要的矿物不过 20~30 种,通常把这些矿物称为造岩矿物。

根据资料统计,石英、长石、角闪石、辉石、云母、橄榄石、霞石、白榴石、磁铁矿、磷灰石十种矿物占岩浆岩总量的 99%。

依据岩浆岩中矿物的共同性和特殊性以及研究时的方便性,可以从不同角度来对矿物进行分类。

1) 根据矿物在岩浆岩分类和命名中的作用分类

(1) 主要矿物:指那些对划分岩石大类起决定性作用的矿物。例如,花岗岩中的石英和钾长石都是主要矿物,没有它们也就不能称为花岗岩;而在辉长岩中,斜长石、辉石则是主要矿物。

(2) 次要矿物:对划分岩石大类不起主要作用,但可作为确定岩石种属的矿物。例如,闪长岩中石英的存在与否对确定闪长岩大类没有影响,若有石英则视含量多少称为石英闪长岩或含石英闪长岩。

(3) 副矿物:含量最少,通常少于 1%,仅在个别情况下可达 5%,在岩石的分类与命名中不起作用。最常见的副矿物有磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石等。

2) 根据矿物的颜色和化学成分分类

(1) 暗色矿物(铁镁矿物):带有深浅不同的各种颜色,在成分上富含 Fe、Mg 的硅酸盐矿

物,如橄榄石、角闪石、黑云母等。

(2)浅色矿物(硅铝矿物):无色或颜色较浅者,在成分上富含 SiO_2 、 Al_2O_3 ,不含 Fe、Mg 的矿物。如石英、长石等。

3) 根据矿物成因分分类

(1)原生矿物:这是岩浆在冷凝过程中形成的矿物。它们可以是岩浆中直接结晶出来的,也可以是结晶后与岩浆重新反应而生成的矿物。例如,长石、石英、橄榄石、辉石、角闪石等都是原生矿物。

(2)次生矿物:这是岩石受各种外部地质营力(如地表风化作用)的影响而形成的矿物。这些矿物的形成与原来岩浆岩的成因没有关系,但可以反映岩石次生变化的强弱,如钾长石风化后形成的高岭石、橄榄石蚀变后形成的蛇纹石等。

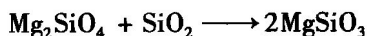
3. 岩浆岩的矿物共生组合规律及其化学成分关系

岩浆岩不是任意组合,而是有规律地共生的。这种共生组合除了形成的温度、压力等因素外,还要取决于岩浆岩的化学成分,化学成分不同的岩浆岩的矿物成分也不一样。

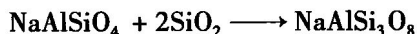
岩浆岩中主要造岩矿物的共生组合有如下特点:

暗色矿物		浅色矿物		岩石类型
橄榄石	+	基性斜长石(很少或无)	→	超基性岩
辉石	+	基性斜长石(拉长石、培长石)	→	基性岩
角闪石	+	中性斜长石	→	中性岩
黑云母	+	钾长石、酸性斜长石、石英	→	酸性岩

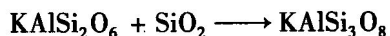
在岩浆岩中,有些矿物不能同时存在于同一种岩石中。例如,有镁橄榄石存在的超基性岩中不可能有石英出现;有霞石或白榴石出现的碱性岩类中也不可能可能有石英出现。这种不能共生的原因可由下列反应式来说明:



镁橄榄石(液相) 顽火辉石



霞石(液相) 钠长石



白榴石(液相) 钾长石

上述三个反应式说明,如果在含有橄榄石、霞石或白榴石的熔浆中仍有 SiO_2 时,则 SiO_2 必然与它们立即反应生成新的矿物。也就是说,有上述三种矿物存在的熔浆中不可能有多余的 SiO_2 存在,故不能单独结晶出石英。

上述反应表明,橄榄石、霞石、白榴石都是 SiO_2 不饱和情况下的产物,它们的出现标志着岩石中 SiO_2 含量是不饱和的。

如果熔浆中 SiO_2 的含量除与上述矿物继续反应生成新矿物外还绰绰有余,这部分多余的 SiO_2 必将单独结晶出石英。因此,岩石中有大量石英出现说明 SiO_2 是过饱和的。

岩浆岩的矿物成分与化学成分的关系极为密切。化学成分不同,矿物的共生组合也不相同。按岩石中 SiO_2 逐增的顺序来观察不同成分岩浆岩中矿物共生关系。

在超基性岩中, SiO_2 含量低于 45%,富含 Fe、Mg,少 K、Na, SiO_2 不能与过量铁镁氧化物相平衡,故形成大量的硅酸不饱和的橄榄石等铁镁矿物,一般占 90% 以上,浅色矿物少见,这是由于 K、Na 少, SiO_2 、CaO、 Al_2O_3 含量低。超基性岩主要含橄榄岩、辉石,而长石含量很少或无。

在基性岩中, SiO_2 含量占 45% ~ 52%。随着 SiO_2 含量增加,FeO、MgO 减少, Al_2O_3 和 CaO 大量出现,因此辉石和基性斜长石共生,且含量近于相等。

在中性岩中, SiO_2 含量占 52% ~ 65%,FeO、MgO 仍继续减少, K_2O 、 Na_2O 的含量相对增加,因而角闪石和中性斜长石共生,铁镁矿物则降至 30% 左右。另一类较富含 K_2O 、 Na_2O 的中性岩(正长岩类)则出现铁镁矿物和碱性长石的共生。

在酸性岩中, SiO_2 含量可达 65% 以上,FeO、CaO、MgO 含量大幅度减少, K_2O 、 Na_2O 含量显著增加,因此出现了富钾和“OH-”的暗色矿物黑云母,以及含 K、Na 较多的酸性斜长石和钾长石。由于 SiO_2 处于过饱和状态,与其他氧化物反应后仍绰绰有余,故单独结晶出石英。酸性岩中铁镁矿物则仅占 10% ~ 15%。

在碱性岩中, K_2O 、 Na_2O 含量急剧升高,其他成分与中性岩相近。当 K_2O 、 Na_2O 含量超过 10% 时,它们与 SiO_2 的反应在碱质过饱和状态下进行,故使浅色矿物中出现了副长石。过饱和的 K_2O 和 Na_2O 参加形成暗色矿物的反应,因此出现了富含 K、Na 的暗色碱性矿物,如霓石、霓辉石、钠闪石、棕闪石等。

综上所述,可将各类岩浆岩中矿物成分和化学成分之间的变化规律归纳为以下几点:

- (1) 暗色矿物随 FeO、MgO 含量减少而减少。
- (2) 随 SiO_2 含量的增加,斜长石由基性变为酸性,钾长石含量逐渐增多。
- (3) 随 SiO_2 饱和程度增加,石英从无到有。当 SiO_2 过饱和时,可出现大量石英。
- (4) 随碱质(K_2O 、 Na_2O)含量的增加,出现碱性长石、副长石和碱性暗色矿物。

三、岩浆岩的产状和相

(一) 岩浆岩的产状

岩浆岩的产状是指岩浆岩的产出状态,即岩体的形态、大小以及它们与围岩的关系。岩浆岩的产状种类繁多,它们和岩浆成分、岩浆的活动方式等密切相关。这里介绍常见的几种岩浆岩产状(图 1-1)。

1. 侵入岩的产状

1) 岩基

岩基是规模巨大的不规则的穹窿状侵入体,在地面的出露面积可达几百平方千米以上,越往地下深处面积越大。这种大规模岩基的主要成分是花岗岩类,故有花岗岩基之称。我国花岗岩分布很广,如海南的琼中、占县两个花岗岩基面积分别为 5000km^2 和 3000km^2 ,占整个海南岛面积的四分之一。

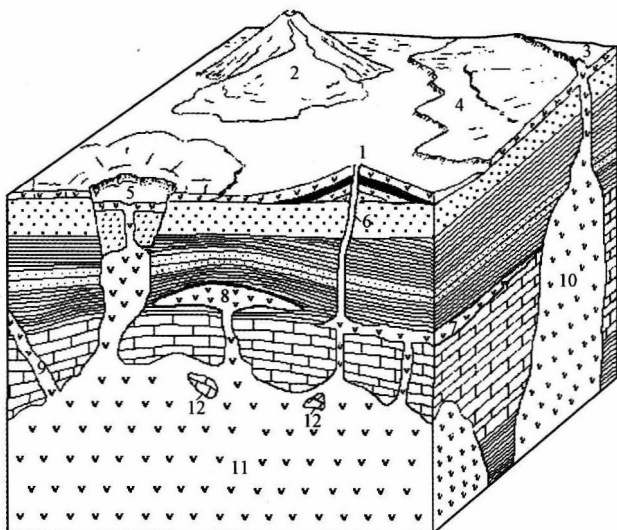


图 1-1 岩浆岩的产状示意图

1—火山锥;2—熔岩流;3—火山颈及岩墙;4—岩被;5—破火山;
6—火山颈;7—岩床;8—岩盘;9—岩墙;10—岩株;11—岩基;12—捕虏体

岩基上覆地层和周围的岩石称为围岩。围岩因岩浆侵入而发生接触变质现象,在其边缘部分常有围岩的捕虏体。

2) 岩株

岩株是规模相对较小的侵入岩体。平面上呈近圆形或不规则形态,与围岩接触面较陡且常参差不齐,边部常有树枝状小岩枝穿切贯入围岩。岩株出露面积一般小于 100km^2 ,其成分与岩基相类似。

3) 岩盘和岩盆

岩浆沿断裂上升,侵入岩层中,冷凝成一个上凸下平的透镜状侵入体,称为岩盘(或称岩盖),规模一般不大;形状中央凹下四周高起似盆者称为岩盆,规模大小不一。大者面积可达几百平方千米,小者仅有几平方千米,厚度从几百米至几十米。

4) 岩床

岩床呈层状夹于围岩岩层之间,是岩浆沿围岩顺层侵入冷凝而成的板状岩体,产状与围岩平行一致,多由基性岩组成,其厚度可以从不到一米至数十米不等。

5) 岩墙和岩脉

岩墙由岩浆沿围岩的垂直或斜交方向的裂缝侵入后冷凝而成,岩体呈墙状,与围岩层理相交,厚度从数厘米至数千千米不等,长度从数十米至数十千米。规模很小者称为岩脉。

2. 喷出岩的产状

喷出岩的产状与岩浆喷出地表的方式即喷发类型有关。喷发类型不同,产状也不同。常见的喷发类型及其相应的产状有以下几种。

1) 中心式喷发

中心式喷发是指岩浆沿着颈状管道喷出地表的一种喷发类型,也称为筒式喷发。喷发通道在平面上为点状,因此中心式喷发又称点状喷发。多数近代火山属于这种喷发类型。中心式喷发常常伴随强烈的爆发作用。在爆发时除喷出大量的气体外,还从火山口喷出大量的碎屑物质,如火山弹、火山砾、火山灰及火山渣等,最后溢出岩浆。中心式喷发形成的岩体主要为火山锥、岩钟、岩针等。

(1) 火山锥是火山喷发物围绕火山通道堆积的锥状岩体。火山锥大多是由粘度较高的中酸性岩浆喷发而成,在喷发作用的同时往往伴随着爆炸作用。

(2) 岩针与岩钟。如果从火山口喷出的是中酸性岩浆,因其粘度较大不易流动。当岩浆不断溢出时,通道被堵塞,向上推挤而形成突出的针状岩体,称为岩针。如果粘度很大的酸性岩浆,当其不断从火山口溢出时,在上部推挤成穹窿状,外形很像我国寺庙中的大钟,称为岩钟。

2) 裂隙式喷发

裂隙式喷发是指岩浆沿着一定方向的大断裂上升至地表而形成的一种喷发类型,由于通道皆呈线状,故又称线状喷发。此类喷发以粘度小、流动性大的基性熔浆为主,喷出的岩浆呈平缓的大面积分布,形成典型的熔岩流、熔岩瀑布。

3) 熔透式喷发

这种喷发也称为面式喷发,首先是由戴里提出的。岩浆上升时,因过热和极高的化学能,将其顶部围岩熔透,岩浆即溢出地表而冷凝,形成熔透式喷发。这种喷发类型形成的火山岩产状主要是岩被。这种喷发类型目前尚属推论性的。我国东南沿海闽浙一带大片出露的中生代中酸性熔岩,有人认为是这种喷发类型形成的。

(二) 岩浆岩的相

岩浆上侵定位时的深度不同,会影响到岩浆体系的冷却速度、压力及挥发组分的溶解度,从而对最终固结的岩浆岩的矿物组成、结构构造产生影响。国内常据侵入体的定位深度,将侵入体分为三个相,侵入岩的相可据其矿物组成、结构构造及围岩蚀变程度等特征进行识别。

1. 浅成相

浅成相侵入深度为0~3km。侵入体规模较小,以岩墙、岩床、岩盖、小岩株、隐爆角砾岩体等常见。因冷却速度快、静水压力较低,挥发组分逸失较多,岩体快速固结而形成细粒、隐晶质结构及斑状结构,斑晶可具熔蚀或暗化边结构。组成岩石的矿物常保存了高温条件下的结构状态,如长石类矿物有序度、三斜度低,斜长石环带发育,常见高温石英斑晶,出现易变辉石等;接触变质较弱,有时有硅化、绿泥石化、绢云母化蚀变。浅成相小型侵入体常与金属矿产有关,尤其是隐爆角砾岩体,是很好的溶矿构造。

2. 中深成相

中深成相侵入深度为3~10km,多属较大的侵入体,如岩株、岩基、岩盆等,也有岩盖、岩墙等小型侵入体。因冷却速度较慢,并具有相对较高的静水压力,岩石具中粒—中粗粒结构、似斑状结构,矿物内部的结构状态在缓慢冷却过程中得到调整,如长石类矿物的有序度、三斜度

高,斜长石环带不发育,石英为他形的低温石英。接触变质带较宽,有时有云英岩化带,常见矽卡岩带,在接触带可形成各种接触变质和高温汽成热液矿床。

3. 深成相

深成相侵入深度大于10km。岩体较大,岩体走向与区域构造线理方向一致,围岩为区域变质的结晶片岩、片麻岩类,岩体主要为花岗岩类。岩体常为片麻状构造,交代结构十分发育。长石类矿物有序度及三斜度高,斜长石无环带。岩体无冷凝边,围岩无接触变质带,与围岩多为逐渐过渡关系。侵入体由边缘向中心固结时的冷却速度由快趋缓,矿物结晶粒度因而具有由细到粗的变化,因此由边缘向中心又分为边缘相、过渡相和中心相。

四、岩浆岩的结构和构造

(一) 岩浆岩的结构

岩浆岩的结构是指岩石中矿物的结晶程度、颗粒大小、形状及其组合方式,是岩石本身的特征,并非指岩石中矿物具有的某种结构。

1. 岩石中矿物的结晶程度

根据岩石中结晶部分(矿物)和非晶质部分(玻璃质)的比例,可将岩浆岩的结构分为全晶质、半晶质、玻璃质三大结构类型。

1) 全晶质结构

岩石全部由结晶的矿物颗粒组成[图1-2(a)]。例如花岗岩就是全晶质结构,它的矿物成分全部是由长石、石英、云母等矿物晶体组成的。全晶质结构一般是岩浆在地下深处温度缓慢降低的条件下从容结晶而成的,多见于深成侵入岩。

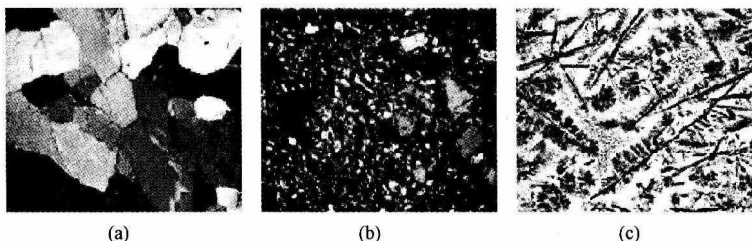


图1-2 根据矿物结晶程度划分的三种结构类型

2) 半晶质结构

岩石由一部分结晶的矿物晶体和一部分非晶质的玻璃质组成[图1-2(b)],多见于喷出岩及浅成侵入岩的边部,如安山岩和石英斑岩。

3) 玻璃质结构

岩石几乎全部由未结晶的非晶质火山玻璃组成[图1-2(c)],它是岩浆在喷出地表条件下骤然冷却、各种组分来不及结晶而形成的。玻璃质结构主要出现于酸性喷出岩或浅成、超浅成侵入体的边部,如黑曜岩。

玻璃质在岩石中常呈现不同的颜色,如黑色、砖红色、褐色、灰绿色等,一般呈玻璃光泽,具

贝壳状断口,性脆。玻璃质是一种不稳定的物质,随着时间的推移,它们会逐渐转化为结晶物质,故仅在较新的喷出岩中才有玻璃质存在。

2. 岩石中矿物颗粒的大小

根据肉眼观察,首先可区分出显晶质结构和隐晶质结构两大类。

(1)显晶质结构。显晶质结构是用肉眼或借助放大镜能分辨出岩石中矿物颗粒的岩浆岩结构。按照颗粒的绝对大小,可进一步划分为如下结构类型:

- ① 粗粒结构:颗粒直径大于5mm;
- ② 中粒结构:颗粒直径介于2~5mm之间;
- ③ 细粒结构:颗粒直径介于0.2~2mm之间;
- ④ 微粒结构:颗粒直径小于0.2mm。

粗粒结构和中粒结构一般为深成侵入岩的特征,细粒结构和微粒结构一般为浅成侵入岩的特征,少数基性喷出岩也可具细粒结构甚至微粒结构。

需要指出的是,这里所谓的颗粒的绝对大小是指岩石中最主要矿物颗粒的平均大小。在标本和薄片观察、测量时,需选择同一种主要矿物进行测量,一般多以长石作为标准。

(2)隐晶质结构。岩石的矿物颗粒很细,用肉眼或放大镜无法辨认的晶体矿物组成岩浆岩的结构称为隐晶质结构。具这种结构的岩石外貌致密,有时不易与玻璃质岩石相区别,但其断口粗糙、无玻璃光泽,也不像火山玻璃那样脆。

按照矿物颗粒的相对大小,可划分出等粒、不等粒、斑状、似斑状等四种结构类型。

(1)等粒结构:岩石中同种主要矿物颗粒大小近似相等,这种结构常见于侵入岩中。

(2)不等粒结构:岩石中同种主要矿物颗粒大小不等,这种结构常见于侵入岩体的边部或浅层侵入岩。

(3)斑状结构和似斑状结构:岩石中所有矿物颗粒大小截然不同,且颗粒大小变化不连续。大的矿物颗粒称为斑晶,小的矿物颗粒称为基质。基质多为微粒、隐晶质或玻璃质。如果基质为显晶质,则为似斑状结构。

3. 岩石中矿物的自形程度

岩浆岩中矿物的自形程度是指矿物从岩浆中结晶析出时按自身结晶习性形成晶体外形的完整程度。在全晶质岩石中,按矿物晶体外形轮廓的完整程度,可分为自形晶、半自形晶、他形晶三种结构类型。

1) 自形晶结构

岩石全部由自形矿物晶体所组成的结构称为自形晶结构[图1-3(a)]。在岩石中矿物颗粒能按照自己的结晶习性发育,有较完整的晶面。薄片矿物颗粒多呈规则的多边形。这种结构表明,矿物结晶时,岩浆处于地下深处,冷却缓慢,晶体有充足的时间和空间结晶。这种结构较为少见,多出现于单矿岩如橄榄岩和辉石岩中,它们多是岩浆结晶分异产生的自形晶下沉形成的。

2) 半自形晶结构

主要由半自形矿物晶体组成的结构称为半自形晶结构[图1-3(b)]。岩石中矿物晶体的晶面发育不完整,部分晶面完全,部分晶面不规则,或岩石中矿物晶体自形程度不一致,有些

是晶体轮廓规则的自形颗粒,有些是形状不规则的他形颗粒,但大部分为半自形晶体。这种结构是由于晶体结晶时受到已析出的其他晶体的限制,或同时结晶的矿物较多、互相干扰、没有足够的自由空间按自己结晶习性自由生长而形成的。此结构在深成岩及浅成岩中分布较广。

3) 他形晶结构

岩石主要由他形粒状矿物组成的结构称为他形晶结构[图1-3(c)]。岩石中矿物晶体没有发育完整的晶面,颗粒外形不规则。这种结构的形成是由于岩浆在地壳浅处冷却较快,矿物晶体几乎同时结晶,彼此互相干扰而不能形成完整的晶体轮廓。此类结构多出现在浅成岩中。由他形石英、长石组成的细晶岩中最常见此结构,故又称为细晶结构。

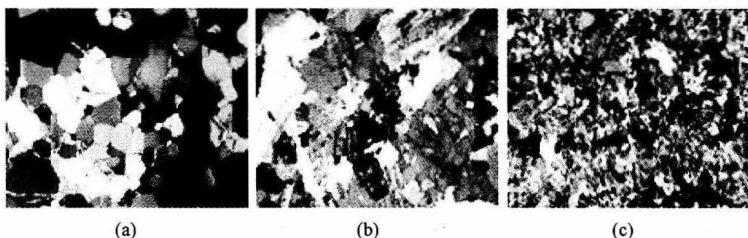


图1-3 根据矿物自形程度划分的结构类型

(a) 自形晶结构; (b) 半自形晶结构; (c) 他形晶结构

以上是按照三个不同方面来认识和描述岩浆岩结构的,但常常在同一岩石中可以同时反映出这三方面特征,如花岗岩多为全晶质、粗粒、半自形晶结构。

4. 岩石中矿物颗粒之间的相互关系

1) 交生结构

岩浆岩中常见到两种或两种以上主要矿物相互穿插生长,形成所谓的交生结构。

(1) 文象结构:石英呈一定的外形(尖棱形、楔形),有规律地镶嵌在钾长石中,形似希伯来文,故称文象结构。这些石英在正交偏光镜下同时消光。这种结构主要出现在伟晶岩中,其形成原因是当富含碱性长石的酸性岩浆温度下降到共结温度时,碱性长石与石英同时结晶。

(2) 条纹结构:是钾长石和钠长石交生的结构,常表现为大的钾长石晶体中穿插有很多的钠长石条纹。这种结构形成于岩浆冷却时钾—钠长石固熔体发生熔离,形成钠长石条纹,且具有一定的排列方向。

(3) 蠕虫结构:许多细小的形似蠕虫状的石英穿插生长在长石中。正交偏光镜下蠕虫状石英同时消光。它是由于斜长石交代钾长石后剩余的 SiO_2 单独结晶而成,成因有三种,即共结蠕虫、交代蠕虫、分解蠕虫。

2) 环带状结构

晶体颗粒表现出明显的环带,正交偏光镜下呈环带状消光,在中性斜长石中尤为常见。斜长石的环带内外成分不同,内部环带的长石成分偏基性,外部偏酸性。它是在岩浆冷却速度中等条件下形成的,出现于中深成岩或部分浅成岩中,而深成岩中的长石少见环带状结构。

3) 反应边结构

在岩浆冷却过程中,最先结晶的矿物与岩浆继续发生反应。当这些反应不彻底时,在最先

形成的矿物外围形成另一种成分完全不同的新矿物,它完全或局部包围着早结晶的矿物,这种结构称为反应边结构。如橄榄石的辉石反应边、单斜辉石的角闪石反应边。

4) 辉长结构

辉长结构是辉长岩的典型结构,表现为辉石与基性斜长石的自形程度相似,均为半自形—他形粒状,且粒度近于相等,相互穿插,不规则排列。这种结构是辉长岩独有的结构,它是由于岩浆冷却到共结温度时两种矿物同时结晶而成。

5) 包含结构

较大的矿物颗粒中包含有许多较小的矿物颗粒,称为包含结构。如果大的辉石或橄榄石中包含许多自形柱状的斜长石晶体,称嵌晶含长结构。

6) 粗玄结构(间粒结构)

岩石中斜长石的自形程度高于辉石,在斜长石柱状微晶组成的架状空隙中,有辉石、角闪石颗粒、磁铁矿充填。这是玄武岩中常见的一种结构。

7) 辉绿结构

与粗玄结构相似,不同之处是在斜长石组成的架状空隙中充填着大块辉石,在相邻几个空隙中的辉石在正交偏光镜下同时消光,说明其光性方位是相同的,这是辉绿岩的结构特点。

8) 花岗结构

在花岗岩类岩石中,暗色铁镁矿物自形程度较好,碱性长石大多为半自形,而石英为他形晶充填于不规则结晶间隙中。它普遍见于花岗岩和其他酸性、中酸性侵入岩中。

9) 煌斑结构

富含铁镁矿物,具有特殊的斑状结构。铁镁矿物(常为黑云母、角闪石)不论在斑晶中还是在基质中都呈全自形,而且斑晶含量一般很高,这是煌斑岩所特有的结构。

5. 岩浆岩结构与岩浆冷凝条件的关系

岩浆在结晶时一方面是形成结晶中心(晶芽),另一方面是围绕这些结晶中心不断长大。

在结晶作用过程中,岩浆的结晶能力的大小决定于结晶中心形成的速度和晶体生长的速度。实验证明,在岩浆冷却过程中,结晶中心形成速度和晶体生长速度从低到高,达到最大值后再逐渐减弱下来。一般来说,矿物都是在过冷区域(低于熔点若干度)内结晶的。如果冷却缓慢,有充分时间,则结晶好;如果冷却迅速,来不及结晶,则结晶不好或形成玻璃质。

(二) 岩浆岩的构造

1. 块状构造

岩石内各组分均匀分布、无定向排列、无其他特殊现象的均匀块体称块状构造,又称均一构造,是岩浆岩中分布最广、最常见的一种构造。

2. 条带状构造

岩石由颜色、成分或粒度不同的条带相间排列,条带彼此平行或近于平行而呈现出的构造,称为条带状构造。它主要出现于基性和超基性岩体中,如辉长岩中常见的暗色矿物辉石、橄榄石与浅色矿物基性斜长石相互间隔排列而成的条带状构造。