



隧道隧洞 超前地质预报

SUIDAO SUIDONG
CHAOQIAN
DIZHI YUBAO

刘志刚 凌宏亿 俞文生 编著



人民交通出版社
China Communications Press

Suidao Suidong Chaoqian Dizhi Yubao
隧道隧洞超前地质预报

刘志刚 凌宏亿 俞文生 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书凝结了作者多年的研究成果和实践经验,概述了隧道隧洞超前地质预报必须掌握的基础知识,提出了隧道隧洞超前地质预报创新性的地质理论,详细地论述了隧道隧洞超前地质预报的重要技术手段和独辟的预报技术。全书分为三篇,共计十五章。

本书是从事隧道隧洞和其他地下工程施工的经理、监理人员和工程技术人员,特别是施工地质和超前地质预报工程技术人员重要的工具书;也是大中专院校土木工程、地下工程、地质工程、岩土工程的师生和科研、设计单位相关专业的工程技术人员很好的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

隧道隧洞超前地质预报 / 刘志刚等编著. —北京:
人民交通出版社, 2011.1
ISBN 978-7-114-08730-1

I. ①隧… II. ①刘… III. ①隧道工程—工程地质—
预报 IV. ①U452.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 202483 号

书 名: 隧道隧洞超前地质预报

著 者: 刘志刚 凌宏亿 俞文生

责任编辑: 赵 蓬 丁润铎

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 21.25

字 数: 488千

版 次: 2011年1月 第1版

印 次: 2011年1月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08730-1

印 数: 0001-2500册

定 价: 50.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

据统计,当前我国每年开工修建的隧道隧洞多达千余座,因此,21世纪将是我国隧道隧洞修建史上一个大发展时期,21世纪也将是我国地下工程的世纪。

超前地质预报工作是保障隧道隧洞安全快速施工的重要保证,是贯彻“以人为本”精神的具体体现。从2005年开始,我国大多数隧道隧洞施工普遍开展了超前地质预报工作,很多隧道隧洞工程甚至把它作为一道必做的工序贯穿从开挖到贯通的全过程,出现了十分可喜的局面。瑞士 AMBERG 研发制造的隧道地震勘探设备 TSP 大量引进我国,更对我国隧道隧洞超前地质预报工作起到了“如虎添翼”的作用。

然而,当前国内外超前地质预报均还存在很多难题。例如,由于缺乏预报理论,特别是地质理论的指导而近于盲目工作状态;再如,仪器的探测和成果解译,缺乏地质分析技术的支撑,无法解决“多解性”的问题;还如,最具代表性的超前地质预报设备 TSP,无法解决主要探测壁的正确选择问题和解译精度偏低的问题等等。本书的出版,将为上述大量超前地质预报理论和技术难题的解决提供一个重要途径。

在本书的编著过程中,得到了江西省交通厅武宁至吉安高速公路建设项目办公室的大力支持与资助,武吉项目办王运金教授级高级工程师、石家庄铁道大学孟硕、刘春姣老师和中国京冶工程技术有限公司罗利锐工程师为本书的研究成果做了大量的工作,在此一并表示衷心感谢。

作者

2010年7月12日于石家庄

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 基础知识

第一章 地质基础	9
第一节 矿物岩石学基础	9
第二节 地层地史学基础	25
第三节 构造地质学基础	28
第四节 地质力学基础	45
第五节 地应力学基础	85
第六节 煤田矿井地质基础	88
第七节 水文地质基础	93
第八节 工程地质基础	101
第二章 物探基础	113
第一节 震波探测基础	113
第二节 雷达探测基础	126
第三节 红外探测基础	130

第二篇 地质理论

第三章 断层破碎带理论	135
第一节 断层破碎带的概念和分类	136
第二节 断层的成生机理	140
第三节 断层的成因特征	144
第四节 断层破碎带的稳定性	146
第五节 断层破碎带的控水与导水	152
第六节 断层破碎带的方向性	155
第七节 断层破碎带研究实例	156
第四章 断层影响带理论	160
第一节 断层影响带的概念及划分	160
第二节 断层影响带与隧道断层超前预报	165

第三节	Liu Zhigang 公式	167
第五章	地下岩溶理论	180
第一节	地下岩溶发育的基本条件	180
第二节	地下岩溶发育的一般规律	182
第三节	地下岩溶的类型与成生机制	183
第四节	地下岩溶的成因特征与鉴别	188
第六章	岩爆与冲击地压理论	194
第一节	岩爆	194
第二节	冲击地压	195
第七章	瓦斯地质理论	197
第一节	决定瓦斯含量的地质因素	197
第二节	瓦斯涌出	199
第三节	煤与瓦斯突出	199
第八章	围岩稳定与分级理论	204
第一节	围岩压力与围岩失稳	204
第二节	影响围岩稳定的地质因素	206
第三节	围岩稳定与级别评价	209

第三篇 预报技术

第九章	技术路线概述	217
第一节	地质分析与宏观预报	217
第二节	长期超前地质预报	218
第三节	短期超前地质预报	221
第四节	超前钻探	225
第五节	地质灾害临近警报	225
第十章	地面地质调查和投射技术	227
第一节	地质测绘技术	227
第二节	隧道隧洞地质复查技术	230
第三节	地面地质体投射技术	240
第十一章	地质分析技术	242
第一节	地质分析在超前地质预报中的作用	242
第二节	地质分析的对象和资料	243
第三节	地质分析的流程和目标	244
第四节	厦门海底隧道地质分析实例	245
第五节	武吉昌坊岩溶隧道地质分析实例	252
第十二章	TSP 探测解译技术	256
第一节	TSP 的基本原理与测量原理	257

第二节	TSP 的系统组成	260
第三节	TSP 探测技术	262
第四节	TSP-202 成果解译技术	268
第五节	TSP-203 系列成果解译技术	274
第十三章	断层参数预测法预报技术	284
第一节	断层参数预测法的关键技术	284
第二节	断层参数预测法的方法和步骤	288
第三节	断层参数预测法的应用实例	289
第十四章	短期超前地质预报技术简介	296
第一节	地质雷达探测解译技术	296
第二节	红外探水技术	304
第三节	地质素描法预报技术	309
第四节	不良地质前兆法预报技术	311
第十五章	超前钻探和地质灾害临近警报技术	313
第一节	超前钻探	313
第二节	地质灾害临近警报	314
参考文献	326

绪 论

一、超前地质预报是隧道隧洞最主要的施工地质工作

全面系统的隧道隧洞施工地质工作,应该包括两大方面的内容和任务,即隧道隧洞施工期间的超前地质预报,隧道隧洞施工期间的围岩级别准确鉴定,并依据隧道隧洞的围岩地质条件提出开挖与支护建议。

超前地质预报是一项最主要的隧道隧洞施工地质工作。广义的隧道隧洞超前地质预报包括:隧址所在地区地质分析和隧道隧洞不良地质分析与宏观预报,隧道隧洞不良地质长期超前预报,隧道隧洞不良地质短期超前预报,隧道隧洞主要不良地质超前钻探,隧道隧洞施工地质灾害评估与临近警报共五项内容。

二、我国的隧道隧洞超前地质预报和施工地质工作现状

(一)隧道隧洞施工地质队伍与施工地质工作

可以说,除水电行业某些施工单位的隧洞施工外,国内绝大多数铁路、公路隧道施工单位没有自己的施工地质队伍,设计院驻点的地质人员也基本不承担具体的施工地质工作。

由于勘察设计精度的限制或其他各种原因,设计院提交的隧道隧洞设计图常常遗漏很多(甚至大量的)只在隧道隧洞掘进过程中才能发现的不良地质体,围岩级别也只能概略地圈定。然而,由于没有施工地质这道工序,大多施工单位只得处于盲目施工状态。至于具体施工地质技术工作,除近年来个别长大隧道隧洞施工过程中,由设计院参与了部分工作外,绝大多数隧道隧洞的施工地质技术工作几乎等于零。所以总体说,我国隧道隧洞施工地质工作十分薄弱,尚没有真正起步,从上到下也没有对其给予足够的重视。具体施工单位则基本处于盲目施工、“靠侥幸”施工和“地质科盲”施工状态。

出现上述情况的原因很多,但归根结底,仍是管理体制问题。首先,在我国,由于多数甲方(投资方)第一次投资不包括塌方、突泥突水等风险投资,乙方(工程承包方)在施工出现塌方等地质灾害后,可以争取到更多的投资,甚至出现“不塌方不赚钱,少塌方少赚钱,多塌方赚大钱”的怪现象;只要不延误工期、不伤(亡)人,施工单位就不怕塌方。有时,上级主管部门常常不认真地调查塌方的主观原因,追究塌方的技术责任,反而常以塌方多少来评价工程的难易程度。在舆论导向上,也常常单纯报导如何抢救塌方,基本不过问发生地质灾害的技术原因和工作责任。至于那些重视施工质量(包括重视施工地质工作)的单位,由于少塌方、没塌方,没发生突泥突水等地质灾害,反而被认为是地质条件好(其实并非地质条件好,甚至比那些多塌方标段的地质条件还复杂)。所有这些,都为某些施工单位不重视施工地质工作提供了不好的先例。

(二) 隧道隧洞施工中存在的认识上的误区

1. 关于“塌方不可抗御论”

“塌方不可抗御论”至今仍是我国隧道隧洞施工队伍难以动摇的观点,也是某些媒体或舆论界在认识“施工地质灾害”之所以发生,在观念上存在的一个死角。上述习惯势力或习惯思维在我国地下工程施工队伍长久存在,恰恰是忽视施工地质工作的必然恶果。

科研实践表明,造成隧道隧洞施工塌方等地质灾害发生的最主要原因无非有两个。

第一个原因是施工方法不当,特别是隧道隧洞通过不良地质区段的初期支护不当。然而,在这方面,在我国隧道隧洞施工中还是比较重视的。例如,主管部门专门制订了通过不良地质区段辅助工法的十八字口诀,即“管超前、严注浆,短开挖、快封闭,勤量测、快衬砌”。多年来,这对减少隧道隧洞塌方起到一定的作用。

第二个原因,其实这是更主要的原因,就是地质情况不明。长期以来,我国隧道隧洞施工不重视、甚至忽视隧道隧洞施工过程中的地质调查;大多数隧道隧洞施工既无隧道隧洞施工地质工作这道工序,更无专职隧道隧洞施工地质技术人员。虽然“新奥法”隧道隧洞施工技术在我国已推行多年,但是,作为“新奥法”施工技术重要组成部分的“隧道隧洞施工地质调查”工作却基本上没有得到贯彻执行。地质情况不明,对不良地质性质及塌方、突泥、突水等地质灾害监测不利、判断不准,只凭“感觉”施工,这是造成隧道隧洞塌方的最主要原因。

其实,只要在隧道隧洞施工过程中做好上述两项工作,隧道塌方是完全可以抗御的。

2. 关于“塌方与地质条件”的关系

长期以来,在我国隧道隧洞施工队伍中存在着一个错误观念,就是“塌方越多,地质条件越复杂”。它的形成,也是多年来我国隧道隧洞施工不重视施工地质工作的另一个严重后果。

科研实践和大量的施工实践证明:只要做好施工地质工作,并与恰当的不良地质区段辅助工法紧密配合,地质条件再复杂的隧道隧洞,也可以做到少塌方或不发生塌方,至少可以保证不发生大塌方;反之,地质条件并不复杂的隧道,如果缺少施工地质这道工序,对不良地质区段不能鉴别或不能进行恰当的预支护,也会发生塌方,甚至大塌方。

总之,我国的隧道隧洞施工地质工作,不论与国外同行相比,还是与国内相近的其他地下工程行业相比,都显示出明显的不足。突出表现在既缺乏专职施工地质队伍,又不重视具体施工地质工作上。

(三) 刚刚起步的工作

在我国,首次在隧道隧洞施工中提出超前地质预报工作,是在修筑成昆铁路期间。但是,由于选用的技术路线和研究的超前地质预报技术没有取得进展,不得不将超前地质预报变为抢险救灾工作。之后一段时间里,很多工程技术人员不断探索超前地质预报技术,但均未取得重大进展。

1985~1988年,中国科学院地质研究所与中铁隧道局二处合作,在大秦铁路军都山隧道施工中,以隧道地质素描为主,配合地面地下地质构造相关性调查、超前风钻钻速测试、声波测试等五种方法开展短距离超前地质预报,预报的准确率达到71.5%。1996~1998年,铁道部第一勘测设计院西安分院在秦岭特长隧道开展了施工地质综合测试工作及超前预报工作,并

将地质工作贯穿隧道建设全过程,取得了可喜的成绩。实际上,上述这些工作是在我国开展全面隧道隧洞施工地质工作的道路上迈出的极重要的、开创性的一步。

1999~2000年6月,石家庄铁道学院桥隧施工地质技术研究所与中铁十四局隧道处合作,在株六复线新保纳隧道正式开展了全面系统的施工地质工作。该隧道全长2080m,属于典型的“烂洞子”型隧道,它溶洞、暗河、煤系、软岩俱全,断层十分发育,最大涌水量近20万t/d,施工难度之大可以想象。然而,因为在施工过程中,全面正规地开展了隧道施工地质工作(其中包括由地面地质调查和地质体投射法、断层参数预测法、TSP-202仪器探测法、不良地质前兆预测法和地质素描预测法组成的综合长期、短期超前地质预报工作),并在项目部领导的大力支持下,与正确的不良地质区段辅助施工方法(主要是初期支护方法和手段)紧密结合,致使该隧道从开挖至贯通没出现一次塌方,也没发生任何其他施工地质灾害。这是全面、正规的隧道施工地质工作首次应用于我国隧道隧洞施工所取得的第一个丰硕成果,也创造了我国隧道隧洞修建史上不可多见的奇迹。

2000年6月,石家庄铁道学院桥隧施工地质技术研究所开始正式在若干铁路隧道和水电隧洞进行全面正规的施工地质工作,并于2000年06月~2001年03月在公伯峡水电站右岸导流洞施工中,与水电四局第一施工局合作,应用TSP-202探测和围岩级别的准确鉴定以及施工地质灾害的监测判断等跟踪地质技术手段,开展了隧洞施工地质工作,取得了令人信服的工作成果:应用TSP-202,探明了两个宽达30~50m的压性断层和两条断层交会组成的断层破碎带;通过监测与判断的跟踪地质工作,及时发出了塌方紧急警报,避免或极大地减少了两次大塌方和特大塌方事故。

2001年06月~2002年12月,石家庄铁道学院桥隧施工地质技术研究所再次与中铁十一局合作,在渝怀铁路歌乐山隧道施工中开展了全面正规的隧道施工地质工作。歌乐山隧道是渝怀铁路的重点工程,以岩溶淤泥带型为主的地下岩溶异常发育,其出现的强度和频率在我国隧道隧洞修建史上是罕见和空前的(在岩溶发育的嘉陵江组中,在2002年5月1日以前已掘进的不到300m的范围内,实现100~300m³/h以上、中型~小型突泥突水级的强涌水带就达4处之多)。由于全面隧道施工地质工作,特别是以TSP探测、红外探测为主要手段的超前地质预报工作的开展,准确地发现以岩溶淤泥带型为主的高压、强富水带,加上超前钻探探水工作的有力配合,未发生一次重大塌方和突泥突水等重大施工地质灾害,有力地保障了隧道的快速、安全施工,取得了巨大的经济和社会效益。

与此同时,中铁隧道局设计院、中铁二局和云南省元磨高速公路项目部等多家单位也相继开始应用TSP、地质雷达、红外线等设备开展隧道隧洞超前地质预报工作,并取得了令人瞩目的成绩。

2005年以来,由于铁道部、交通部^①、水利部等国家相关部门的重视,在全国主要新建铁路、高速公路、大型输水引水工程的隧道隧洞施工中(例如宜万铁路、沪蓉西高速公路、大伙房水库引水工程、厦门翔安海底隧道、青岛胶州湾海底隧道),普遍开展了以TSP、地质雷达和红外线探水为主的超前地质预报工作,并制订了相关工作指南,这些都为我国隧道隧洞超前地质预报工作的大发展创造了十分有利的条件。

^①现已更名为交通运输部。

然而,我国隧道隧洞超前地质预报工作仍存在很多严重的问题。

首先是对隧道隧洞超前地质预报理论与技术的深入研究相对滞后,论文不少、专著不多,致使全国从事隧道隧洞超前地质预报的工程技术人员缺少进一步学习钻研的系统著作;其次是全国隧道隧洞超前地质预报的队伍技术水平参差不齐,相当多的超前地质预报单位预报效果不够理想,不能满足施工单位要求。

因此,我国隧道隧洞全面施工地质工作和超前地质预报工作虽然有了一个好的开端,却仍属于刚刚起步的阶段。今后的工作和任务还是任重道远,迫切需要我辈和后辈同仁继续努力,不断探索前进。

三、超前地质预报在隧道隧洞施工中的意义和作用

完整的超前地质预报应当包括:隧址区域地质分析和隧道隧洞不良地质分析、隧道隧洞不良地质长期超前预报、隧道隧洞不良地质短期超前预报、隧道隧洞主要不良地质超前钻探、隧道隧洞施工地质灾害评估与临近警报,共五个相互依存、相互衔接、不可或缺的工作步骤。

地质分析与宏观预报能概略地预报隧道隧洞不良地质的类型、走向、大约位置和可能发生的地质灾害,为后续的长期、短期仪器探测的布孔、布线提供地质资料,更为后续的长期、短期仪器探测成果的准确解译,提供必不可少的依据。

长短期超前地质预报能查明隧道隧洞掌子面前方隐伏的不良地质体的性质、种类、位置和规模,能半定量地确定掌子面前方的围岩地质条件(如不良地质体的围岩级别或富水性),以及对隧道隧洞施工的影响程度和有无发生施工地质灾害的可能。长期超前地质预报可以帮助施工单位了解掌子面前方围岩的地质条件,较准确地了解掌子面前方 100~150m 内的围岩地质情况,特别是围岩级别和不良地质发育情况;概略地了解 150~300m 范围内的围岩地质情况和不良地质发育情况;提前做好施工准备和施工计划,防患于未然。

短期超前地质预报还能根据地体产状(走向、倾向和倾角),定量预报隧道隧洞掌子面已揭露的断层破碎带、特殊软岩(膨胀岩层)、煤层、富水砂岩等形状规则的不良地质体向掌子面前方延伸的情况、影响隧道隧洞的距离和尖灭点;能根据各类不良地质的前兆,定性或半定量地确定掌子面前方较近距离内是否隐伏不良地质体;定量探测掌子面前方近距离内上述隐伏的不良地质体较准确的位置和规模。

超前钻探在长短期超前地质预报的基础上进行,它能准确地判定塌方带的性质、类型、位置和宽度,准确地判定突泥突水带的性质、类型、位置、规模和突泥突水的级别。

地质灾害评估与临近警报在超前地质预报或超前钻探的基础上进行,它能通过一定的监测技术和手段,对塌方、片帮、掉块、岩爆、瓦斯爆炸和突泥突水、煤与瓦斯突出等地质灾害进行评估并及时发出警报。这种评估和警报为施工单位在通过不良地质及时、有效地采取应急施工措施,防止发生施工地质灾害,特别是防治重大施工地质灾害提供了前提保障。

显然,高水平、高质量、准确的超前地质预报,对隧道隧洞施工具有重大的意义。

总之,超前地质预报对于隧道隧洞,特别是地质条件复杂、工期紧的隧道隧洞快速、安全施工来说,其作用和意义尤为突出。所以,超前地质预报应当成为,也必然要成为隧道隧洞施工的必不可少、不可或缺的工序。

四、超前地质预报的应用前景和发展方向

如前所述,目前,在我国的隧道隧洞施工中,施工地质工作、特别是超前地质预报工作,虽然已有了一个良好开端,但距离普及和高水平的预报还相差甚远。然而,很多开展了施工地质工作或超前地质预报工作的施工单位,都尝到了甜头,取得了巨大的经济和社会效益。因此,我们完全可以相信隧道隧洞施工地质工作或超前地质预报必将很快在我国隧道隧洞施工中开展起来。虽然还存在很多困难,但前景是无限光明的。

对于超前地质预报的发展方向来说,国外主要侧重仪器探测。然而,根据我们的经验,无论是长期还是短期超前地质预报和临近警报,仪器探测离不开准确的地质资料,仪器探测成果的解译离不开地质分析,仪器探测更要与各种地质预测方法紧密结合,才是高质量、高精度、高水平超前地质预报的必由之路,也是隧道隧洞超前地质预报的真正发展方向。

当然,无论是仪器探测法还是工程地质预测法,都还有待提高,有待进一步深入研究。

在仪器探测方面,研制准确、远距离、更先进的探测设备是首选。对于当前国内外最先进的长期超前地质预报设备 TSP、TGP(隧道地震勘探)来说,虽然探测距离可以达到掌子面前方 300m 甚至 500m,但目前有效解译预报距离却只在掌子面前方 100m、最多 150m 范围内,150~500m 范围内只能为无效解译预报范畴(有较大误差);所以,如何增加 TSP 的有效解译预报距离,是当前 TSP 探测的主要努力方向之一。除此而外,当前应用 TSP、TGP 探测断层破碎带等不良地质已较为成熟;但是,如何对于探测地下水问题(如水带的类型、性质、涌水量等),以及如何应用 TSP、TGP 的探测成果预报围岩级别等,尚不够成熟,需要进一步研究和总结经验,也是今后努力的方向。

在工程地质预测方法方面,刘志刚教授已研制出一种全新的预报隧道隧洞断层破碎带的长期超前地质预报方法,即参数预测法及其预测公式,这种预测法和技术手段还有待进一步完善和提高;同时,更新的工程地质预测方法的研制,仍是地质预测方法发展方向的首选。

第一篇 基础知识

隧道隧洞超前地质预报学属于地质与物探相结合的边缘学科,本质上它是隧道隧洞施工地质学的组成部分,而且是最主要的组成部分。从事隧道隧洞超前地质预报的工程技术人员必须具备一定的地质和物探基础知识。

第一章 地质基础

必备的地质基础知识主要包括:矿物岩石学基础知识、地层地史学基础知识、构造地质学基础知识、地质力学基础知识、地应力学基础知识、瓦斯地质学基础知识、水文地质学基础知识和隧道工程地质学基础知识。

第一节 矿物岩石学基础

隧道隧洞施工,常常要与岩石打交道,所以,要掌握隧道隧洞超前地质预报理论与技术,必须要掌握岩石学的一些主要基础知识。包括了解组成岩石的基本单元——矿物;了解三大岩类(岩浆岩、沉积岩、变质岩)的形成、主要特征和常见的岩类;了解识别它们的简单方法。

一、矿物

(一)什么是矿物

矿物是组成岩石的基本单元,它是地壳中一种或几种元素在多种地质作用下形成的以固态化合物为主的自然产物。它们都具有一定的内部构造和比较固定的化学成分,因而,也具有一定的物理性质和形态。自然界中的矿物,绝大多数呈固态,只有少数呈气态或液态。前者是构成岩石的基本单元。

(二)常见的造岩矿物

自然界中,造岩矿物多达 2 000 多种,但常见的造岩矿物只有 20 余种。现将三大岩类中常见的造岩矿物及主要特征简述如下。

1. 石英 SiO_2

石英是最主要的造岩矿物之一,在岩石中多呈粒状或块状;单晶石英称水晶,为六方柱或六方锥状晶体,一般为白色、灰白、乳白色,水晶则为无色,如含杂质呈多种颜色;晶面为玻璃光泽,透明~半透明,硬度大于小刀,无解理,具贝壳状断口,断口为油脂光泽,相对密度为 2.65。

2. 正长石 KAlSi_3O_8

正长石也是主要的造岩矿物,在岩浆岩中约占 15%,常见于花岗岩和各类砂岩中。单晶正长石呈短锥状或板状,集合体多为粒状或块状;肉红色或浅黄色;玻璃光泽,硬度大于小刀,有两组明显解理。

3. 斜长石 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ — $\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$

最主要的造岩矿物之一,约占岩浆岩矿物总量的 35%,常见于闪长岩、花岗岩和各类砂岩中;单晶呈板状或粒状,集合体呈粒状;白色或灰白色;玻璃光泽,硬度大于小刀,有两组中等解理。

4. 白云母 $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

常见的造岩矿物,约占岩浆岩矿物总量的 3.85%;单晶呈片状,无色透明,有弹性;集合体呈板状或鳞片状;一组完全解理;玻璃光泽,硬度小于指甲。

5. 黑云母 $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

常见的造岩矿物,约占岩浆岩矿物总量的 3.86%;常因含铁多而呈黑色或黑褐色,单晶呈片状,有弹性;集合体呈板状或鳞片状;一组完全解理;玻璃光泽,硬度小于指甲。

6. 辉石 $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})[(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6]$

常见于辉长岩、辉石岩等岩浆岩岩石中;单晶呈短柱状,集合体呈粒状;黑色、黑绿色;玻璃光泽,硬度近于小刀,有两组解理。

7. 角闪石 $(\text{Ca},\text{Na}),(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al}\cdots\cdots)_5[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{11}](\text{OH})_2$

常见的造岩矿物;单晶呈细长柱状,集合体呈粒状;黑色、黑绿色,玻璃光泽,硬度大于小刀,有两组完全解理。

8. 橄榄石 $(\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{SiO}_4)$

主要见于深色岩浆岩中,多以粒状集合体形式出现;橄榄绿色,强玻璃光泽,硬度大于小刀。

9. 方解石 CaCO_3

常见的造岩矿物,尤其多见于沉积岩和变质岩中;单晶为菱面体状,无色透明者为冰洲石;或为乳白色,半透明;玻璃光泽,硬度小于小刀,有三组完全解理;遇稀盐酸剧烈反应起泡,放出 CO_2 。

10. 白云石 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

多见于沉积岩和变质岩中,单晶也为菱面体状,白色或浅黄色;玻璃光泽,硬度小于小刀,有三组完全解理。遇稀盐酸缓慢反应起泡,放出 CO_2 。

11. 黄铁矿 FeS_2

常见的造岩矿物,多见于沉积岩和变质岩中;单晶为立方体;淡黄色,绿黑色条痕;金属光泽,不透明;硬度大于小刀;相对密度为 5;集合体呈粒状。