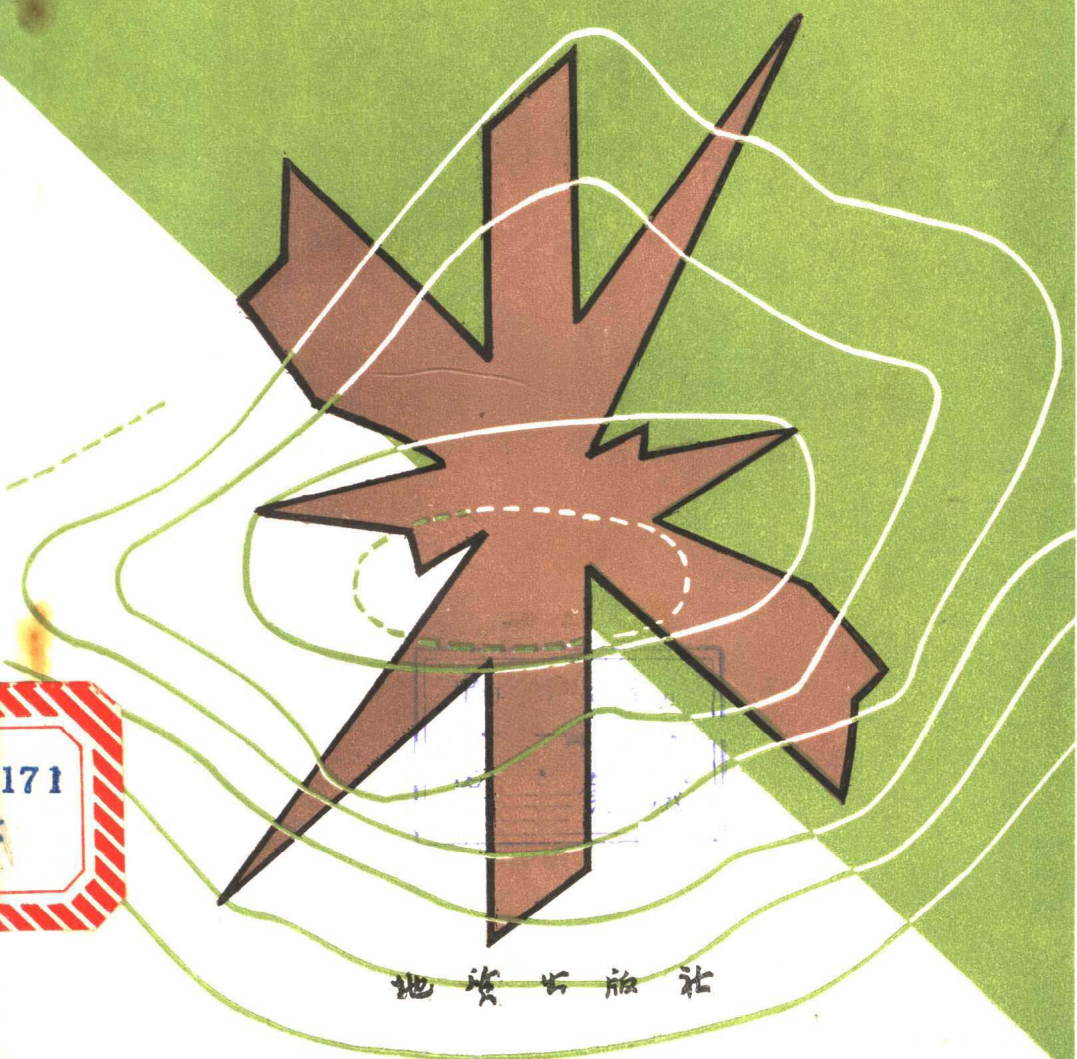


基岩裂隙水的 野外调查方法

卢金凯 编著



171

地质出版社

基岩裂隙水的野外调查方法

卢金凯 编著

地质出版社

基岩裂隙水的野外调查方法

卢金凯 编著

•
责任编辑：袁志梅

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

•
开本：850×1168¹/₁₆印张：6¹⁵/₁₆ 字数：180,000
1985年4月北京第一版·1985年4月北京第一次印刷
印数：1—5,365册 定价：1.95元
统一书号：13038·新69

前 言

基岩裂隙水是我国分布最为普遍的地下水类型之一。由于我国所处的地质条件和大地构造环境，裸露和半裸露的基岩山区面积很大，据统计约占全国面积的三分之二。山区广泛发育的泉，溪沟和河网常年地排泄地下水，形成稳定的河川基流，大部分补给平原第四系含水层。基岩本身也储存有相当丰富的地下水资源，仅四川省统计的基岩裂隙大泉、暗河就有2500多个，年径流量约100多亿方。但是，过去对基岩裂隙水的研究很少，尚未引起应有的重视。当前，随着我国四化建设的需要，积极配合全国农业自然资源区划和国土整治工作。加快山区建设，对水的需求量将会成倍增长。因此，对广大基岩山区的水文地质调查和地下水资源的评价，加强对基岩裂隙水的调查方法和理论的研究，是摆在我们水文地质工作者面前的一项十分紧迫和光荣的任务。

当前研究基岩裂隙水的关键是如何加强对基岩裂隙和断裂带规律的分析 and 地下水在这种非均质介质中的补给、储存、富集和运动规律的研究。从而掌握这种裂隙地下水的赋存规律，正确评价水资源，指导开发利用。

目前，国外一些地质学家都非常重视这方面的工作，特别是对区域裂隙、断裂构造形迹形成和展布规律的研究。我们知道各种裂隙，断裂构造是反映着区域地质条件的最好依据，也是对成矿规律，储油构造和地下水的赋存、运移条件起着直接的控制作用。而裂隙、断裂的形成又反映各种区域地质构造应力作用的强度和规律。因此，通过对区域裂隙和断裂形迹布局的分析研究和解释，有助于我们正确判断基岩裂隙水的富集地带，指导在基岩地区进行水文地质调查和找水工作。

本书是在总结了我国多年来在基岩地区所进行的水文地质普

查工作经验的基础上，提出了一套分析寻找基岩裂隙水的方法。

全书共分五章，为适应初级专业人员的需要，第一章简单介绍了各种基岩裂隙、断裂构造的一般知识；第二章是裂隙和断裂的野外测量与水文地质分析方法，这一部分是本书的重点，也是作者几年来的研究心得；第三章地质力学法研究和寻找构造裂隙水的一般知识；第四章重点介绍各种基岩裂隙水的野外调查和山区找水方法；第五章概括介绍了目前常用的基岩裂隙水资源评价的计算方法。为了适应实际工作的需要，全书引用的实例较多。另外，为了本书的系统性把碳酸盐岩类的岩溶裂隙水也包括在内。变质岩类裂隙水的特点是界于碎屑岩和火成岩裂隙水之间的类型，所以未作单独划分。

本书着重介绍了野外调查和室内分析研究的具体工作方法。相信对从事野外工作的人员会有一定的指导意义。书中搜集了大量野外实际资料和部分国外资料。包括各省、市、自治区水文地质队，建设工程兵水文地质部队几年来最新的普查成果，参阅1:20万比例尺的水文地质普查报告近200份。同时还引用了有关裂隙水的文章内容。贾福海、陈梦熊、王秉忱等同志曾对本书提出了不少宝贵意见，在此一并致以谢意。

由于个人水平有限，有些论点尚缺乏更多的实践。也有些宝贵经验和资料没有很好的总结和表达出来，缺点或错误在所难免，热切地希望从事水文地质工作的同志们批评指正。

目 录

前 言

第一章 岩石的裂隙与断裂的基本知识	1
第一节 岩石的裂隙	1
一、基本概念	1
二、裂隙的分类	2
第二节 原生裂隙	3
一、沉积岩的原生裂隙	3
二、火山岩的原生裂隙	4
三、火成岩的原生裂隙	6
第三节 风化裂隙	7
第四节 构造裂隙	11
第五节 断层	17
一、断层的深度	17
二、断层的分类	20
三、断层的组合形式	22
第二章 裂隙和断裂的野外测量与水文地质分析方法	24
第一节 裂隙的野外测量	24
一、裂隙的观察与测量	24
二、观测点的布置与选择	25
三、裂隙图解的编制与分析	26
第二节 断裂带的野外观察	38
第三节 航空地质调查法	40
第四节 利用物探方法寻找断裂带	46
第五节 裂隙富水带的分析方法	50
一、I级构造影响带分析	51
二、II—III级构造影响带分析	58

三、新构造断裂的分析	62
第六节 断裂带地下水	66
第七节 利用概率统计法分析裂隙水赋存规律	80
第八节 野外资料的综合分析 with 整理	85
第三章 地质力学法研究和寻找构造裂隙水	95
第一节 结构面的力学性质	95
第二节 构造形迹发生的序次	96
第三节 构造体系及构造类型	67
第四节 应用地质力学研究基岩裂隙水	98
一、山字型构造的富水地段分析	98
二、多字型构造的富水地段分析	105
三、棋盘格式构造的富水地段分析	108
四、入字型构造的富水地段分析	109
五、旋卷构造的富水地段分析	110
第四章 基岩裂隙水的调查方法	120
第一节 碳酸盐岩岩溶裂隙水的调查	123
一、北方型	126
二、南方型	130
第二节 砂页岩裂隙水的调查	149
一、风化裂隙水	150
二、层间裂隙水	153
三、断裂带裂隙脉状水	154
第三节 红层裂隙水的调查	157
一、风化裂隙水	157
二、层间裂隙水	158
三、断裂带裂隙脉状水	159
第四节 侵入岩裂隙水的调查	161
一、风化裂隙水	166
二、断裂带脉状水	170
三、接触带裂隙水	174
第五节 火山岩裂隙水的调查	178

一、风化裂隙水	181
二、断裂带脉状裂隙水	183
三、成岩裂隙水	186
第五章 基岩裂隙水的资源评价	190
第一节 地下水资源的概念	191
第二节 基岩裂隙水的资源评价	193
一、断面流量法	193
二、水均衡法	195
三、降水渗入法	198
四、地下径流模数法	199
五、水文分析法	201
六、影响半径法	203
七、相关分析法	204
八、水点流量汇总法	205
九、消耗系数法	206
十、流量过程曲线法	206
十一、河流“流量差值”法	206
主要参考文献	214

第一章 岩石的裂隙与 断裂的基本知识

第一节 岩石的裂隙

一、基本概念

岩石中的缝隙，一般没有位移，或者只有很微小的位移，即称为裂隙。按开启程度，裂隙可分三类：张开裂隙，闭合裂隙和隐蔽裂隙。张开裂隙的特点是有明显可见的空隙。闭合裂隙一般用肉眼即可清楚地看到裂缝，但裂隙两壁非常接近，以致沿着断裂看不到空隙。隐蔽裂隙通常不易观察到，但在岩石受敲打或者染色时，才能发现。

裂隙的开启程度与很多因素有关。如坑道和钻孔岩心揭露出的岩石裂隙比地表上出露的同一岩石里的裂隙要少得多，而且在坑道里和钻孔岩心的裂隙一般多属闭合的。

地表附近裂隙张开的原因是由于上复岩层的压力减轻，岩石发生扩张所引起的。另一个原因是地表附近风化作用强烈，造成裂隙张开。

一般情况下，在岩石里同时有几组裂隙发育，并且可以看出裂隙组之间有密切的联系。这种互相有关的裂隙组走向一致而裂隙向两方倾斜。我们常常见到两组互相以直角相交的直立裂隙，而当一组裂隙的走向改变时，其他一组裂隙的走向也随之发生相应的变化。这种互相交汇的裂隙组最好归入一个裂隙系统。每一个裂隙组都是说明一次地质构造作用力的标志。

岩石被裂隙所分割成的块段或碎块称为节理体。节理体形状一般受裂隙排列的控制。在沉积岩里通常发育的是：长方节理体，立方节理体，平方六面体节理体，柱状节理体，板状节理

体，球状节理体和碎块状节理体；变质岩里发育的是：板状节理体，片状节理体，肋骨状节理体和锐角状节理体；火山岩里发育的是：角柱状节理体，圆柱状节理体，球状节理体和层状节理体；在火成岩里发育的是立方节理体，长方节理体，平行六面体节理体和垫状节理体等等。

二、裂隙的分类

按照岩石裂隙的构造特性，以及裂隙在空间的定向分类，称为几何分类，另一种分类是根据裂隙的生成条件进行分类，这种分类称为成因分类，这两种分类方法虽观点不同，但对研究裂隙构造是可以互相补充和参考的。

1. 几何分类

在几何分类里，我们把层理显著或层理不显著但片理构造清楚的沉积岩和变质岩里的裂隙分为（图1—1）：

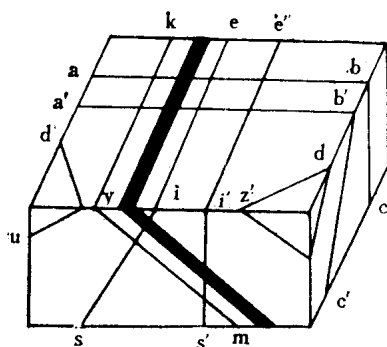


图 1—1 裂隙的几何分类，黑色的层表示层理

abc 和 $a'b'c'$ —横裂隙； sic 和 $s'i'e'$ —纵裂隙； dzu 和 $d'z'u'$ —斜交裂隙；
 kvm —顺理裂隙

a. 横裂隙 — 这种裂隙在平面图上顺倾斜方向切过层理或片理。在剖面上横裂隙可以是直立的，也可以是倾斜的；

b. 纵裂隙 — 这种裂隙平行于走向线，但在直立剖面上切过层理或片理；

c. 斜交裂隙 — 这种裂隙穿过层理或片理而与走向和倾向都成斜交；

d. 顺理裂隙 — 这种裂隙在平面图上和剖面上都和层理或片理平行。

在块状岩体里以及在具有层理和片理的岩体里，裂隙常常可

按倾角分类。在这种情况下，分为以下几种裂隙：

直立裂隙	倾角 $80^{\circ}-90^{\circ}$
急倾斜裂隙	倾角 $45^{\circ}-80^{\circ}$
缓倾斜裂隙	倾角 $10^{\circ}-45^{\circ}$
水平裂隙	倾角 $0^{\circ}-10^{\circ}$

2. 成因分类

通常还把裂隙分为构造裂隙和非构造因素而产生的裂隙，在每一类中又根据裂隙生成作用的性质再分若干类型。这种分类在野外进行工作时，应用起来是简易可行的，在进行水文地质调查时，我们常把裂隙划分为原生裂隙（包括成岩裂隙），风化裂隙和构造裂隙，下边分别予以介绍。

第二节 原生裂隙

原生裂隙主要指岩石生成时伴生的各种裂隙，其中包括沉积岩、火成岩和火山岩。因此，原生裂隙的成因是岩石（主要是沉积岩）变干，压实，发生体积变化、温度压力变化和物理—化学变化时，产生内应力作用的结果。

一、沉积岩的原生裂隙

沉积岩里的原生裂隙或成岩裂隙主要是在成岩过程中产生的。在成岩作用中发生的最重要的物理变化是沉积物以减少水份和空隙度的方式脱水而压密。这些作用是在很长时间过程里才能完成的。有人认为在150—200米以下的深度沉积物才能完全变成坚硬的岩石，在这个过程中它只是极慢地脱水和压密。

成岩裂隙在岩石产状水平或者变动轻微的地区表现得最清楚。在岩层褶皱发育，经过剧烈构造运动的地方，沉积岩里的原生裂隙往往被比较新的构造裂隙所扩大或掩盖。因此，原生裂隙在较稳定的地区保存得最完整。原生裂隙不会切过其它地层，而是分布在各层或者与各岩层间的小分层之中。这些裂隙排列在不同的位置：有垂直、斜交，也有平行层理的以及不规则的复杂形

状。

裂隙的排列还决定于岩石的岩性成分。碳酸盐岩类石灰岩、白云岩的裂隙是垂直于层理发育的，并把这些岩石分裂成平行六面体。在砂岩里除了垂直于层理的裂隙以外，还有与层理成不同角度的倾斜裂隙。它们所划分的节理体在形状上类似角柱型和角锥型的多面体，或组成比较复杂的形状。在泥灰岩、页岩里，最常见的是形状复杂的裂隙，它们把岩石划分成贝壳状和破片状。

岩层里上下层间的裂隙方向常常不同。在同一岩层里的不同部位里也有走向不同的裂隙存在。有人认为比较规则的节理是产生在成分均匀的岩石里。原生裂隙通常也有张开的，也有闭合的。张开裂隙受充填的程度取决于许多原因，而在很大程度上取决于地下水沿裂隙的流通；但大部分的裂隙并没有被充填。

裂隙的密度随岩石的厚度和成分的不同而异。一般薄层状岩层里裂隙较密，而在比较厚的岩层里裂隙比较稀疏，在泥灰岩和页岩等较柔软的岩层里，裂隙出现得比同样厚度的砂岩岩层要密一些。

在沉积岩地层里识别成岩裂隙是比较复杂的，因为往往这种裂隙被晚期的构造裂隙干扰，不易分辨，甚至在稳定地区产状水平的岩层里，也不是随时能有把握的将这种成岩裂隙分辨出来。成岩裂隙在新的未经压实的新生界地层里容易辨别，而岩石时代越老、越坚固时，它们受后期构造运动影响越大，构造裂隙的发育也越强烈，因而对这种裂隙的分辨也就更难。

二、火山岩的原生裂隙

火山岩的原生裂隙是在岩浆冷却凝固时体积收缩时发生的张力影响下产生的，这种力是裂隙生成的直接原因。

为了查明岩浆冷却时的线状收缩，而测定了裂隙的总宽度，统计表明：平均收缩达到4—5%。收缩量沿着各个裂隙分散，而这些裂隙的张开程度和密度相当于岩石体积的侧向缩小值。

在地表冷凝的熔岩流里，大量的挥发物散失能促使迅速冷却而生成裂隙。火山岩的冷却是不均衡的。在陆相喷发和海底相喷

发时其裂隙、孔隙有显著的不同。熔岩的外壳生成得迅速，而岩流内部的冷却进行得比较缓慢。

由于不平衡冷却，熔岩往往分裂成它们特有的节理形状。在这方面，最显著的是玄武岩熔岩的柱状节理，其他熔岩也偶然有这种节理。这些长度常达几百厘米的多面柱状体是垂直于冷却面排列的（图 1—2），但是在一些熔岩里，原始位态已经改变，那么划分柱体的裂隙可以是倾斜的，甚至是水平的。

限定柱状节理体的裂隙的生成与互相间距相等的收缩轴有关。联结这些中心直线与最大引张应力的方向相符合，而当熔岩凝固时就出现和这些直线垂直的裂隙 由图 1—2 可见，裂隙相交而成六边形。随着熔岩的逐渐冷却，这些柱体由表面向熔岩盖层的深处伸延，而把它分成多面柱体。应当注意，这些收缩中心也可这样排列，使节理体不成六边形而成其他的形状，如正方形、菱形或三角形。

熔岩里的球状节理和椭圆形节理是在岩流快速冷却时产生的。当熔岩和海水接触时或在大雨下喷出时，以及当它们侵入柔软的被水浸透的沉积物时，都会造成这种条件。

各圆球和椭圆体的张力使气孔、微晶和斑晶都成和表面平行的同心状排列。

除了柱状节理和球状节理以外，在熔岩里也生成方向和岩流表面平行而使熔岩呈板状节理体的裂隙。这种裂隙的生成是由于

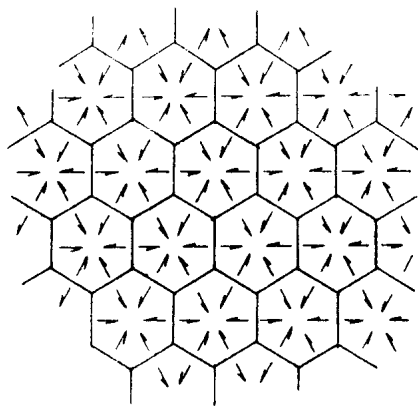


图 1—2 火山熔岩冷却时由平均张力而产生的柱状节理生成方式，箭头表示围绕各点的作用力方向

冷却面的垂直方向上岩石收缩不均衡的缘故。

三、火成岩的原生裂隙

在火成岩侵入过程未彻底冷凝前，受侵入体内应力的影响，致使岩体冷却阶段发生的裂隙称为火成岩的原生裂隙，以此与其他较晚构造运动影响而产生的次生裂隙相区别。岩浆的流动对岩浆源已冷凝部分所产生的力是原生裂隙的形成的主要原因。在火成岩侵入时的构造环境直接影响了侵入体的形状，结晶的长条矿物和片状矿物的定向排列，流动构造或原生条带的出现。

侵入体里的原生条带是由于熔体里已经结晶析出的矿物发生移动并在空间里重新分配而造成的。这时，侵入的岩浆在侵入体外围的摩擦有相当大的影响，它使侵入体和围岩的接触带形成了特别清楚的原生条带。

当岩浆源冷却和结晶时，岩石体积缩小，收缩应力出现，这无异于岩石受外力的引张。这种引张作用为裂隙的生成所补偿，而裂隙的排列和密度为流动构造所引起的各向异性所决定。

流动构造的定向，将裂隙分为横裂隙、纵裂隙、层状裂隙和斜交裂隙。

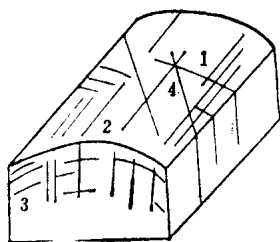


图 1—3 岩体中原生构造要素和原生裂隙

- 1—横裂隙；2—纵裂隙；
3—层状裂隙；4—斜交裂隙

1. 横裂隙：横裂隙是垂直于流动构造的方位而发育的（图 1—3），它们比较直而裂隙面平坦。横裂隙在岩体的边缘部分表现得比较清楚。在同一岩体的中心部分，定向流动构造或者发育微弱，或者完全不存在的部分，横裂隙常常完全消失。

横裂隙总是有些张开的，而从力学观点来看，它们是由于方垂直于裂隙走向的引张而发生的张裂隙。

2. 纵裂隙：纵裂隙是顺沿线状流动构造的走向排列的。它们比横裂隙粗糙些，表现得模糊些，而没有光滑平坦的裂隙面。

纵裂隙通常比横裂隙张开得少些。纵裂隙普通是直立的或急倾斜的，并且随着流动构造的变化而改变其走向。

3. 层状裂隙：层状裂隙是产生在侵入体的上部和旁侧部分。它们通常和原生条带的面相符合，在岩体上部原生条带倾斜平缓处，层状裂隙的产状也缓，而靠近陡急的接触界限处，裂隙就变得比较陡。一般说，它们大致平行于岩层的边界，而在发育良好的地方，它们好象是岩体的层理一样，沿着它们容易剥离。层状裂隙，常构成高地的边坡，对于地形的形成起较大的作用。除了岩体冷凝时体积缩小而外，上复岩石负荷的不同和岩体上部冷凝快慢的不一致都对层状裂隙的生成有重要的影响。

4. 斜交裂隙：斜交裂隙与流动构造的方向斜交，但是它们远非同时生成的。它们通常是急陡的，而在力学方面可以解释为在水平压力或垂直压力的作用下生成的剪裂隙。

斜交裂隙在岩体里是以直角或较小角度相交的，但是这两个方向中常常只沿一个主要方向发展，而另一个方向的裂隙很少遇到。沿着这种裂隙，又进一步发生位移，而在裂隙面上留下滑动擦痕和磨光面。除了上列原生节理的裂隙类型外，侵入体的边缘部分普遍存在着边缘裂隙，这种裂隙一般比较发育，有时会被各种岩脉所充填。它们反映出在围岩的强烈阻挡下，岩浆向上推进的趋向。岩脉的生成显然和接触带的边缘裂隙有密切关系。有时接触带里还常有更晚的逆断层产生。

第三节 风 化 裂 隙

岩石在风化时失掉它们原来完整的结构。岩石里出现裂隙网。同时产生矿物颗粒破坏和胶结物变松的现象，使岩石变成碎石，砂和土等残积层。岩石风化裂隙大多数是沿着岩石的原生裂隙和构造裂隙发育的（图1—4）。引起风化裂隙生成和原有裂隙加宽的基本因素是：1. 地下水的侵蚀和水冻结时的扩张作用；2. 昼夜温度变化；3. 植物根的张裂作用；4. 岩石中结晶析出的盐类

和矿物的张裂作用；与风化带中不稳定矿物分解和稳定矿物生成有关的生物化学反应和化学作用。

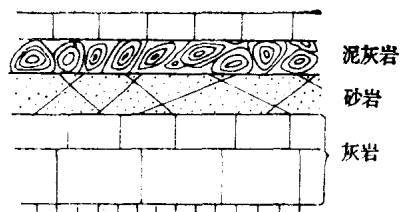


图 1—4 原生裂隙排列与岩性的关系示意图
(柯洛门斯基)

风化裂隙的密度和性质取决于岩石的成分、构造和结构，也取决于露头的构造和方位（图1—5）。风化裂隙一般是定向发育的，也就是沿各种岩石的原生裂隙和构造裂隙的方向发育。有的风化裂隙还沿着包裹物的表面发育，例如底砾岩的面或石灰岩里的生物遗迹面……。许多地区的泥质页岩、粘土岩、砂岩和泥灰岩的风化带里发育的球状节理。这种节理一般是在均匀的岩石里，或在同一岩层的范围里出现的。节理的形状很不一致，有的构成棱角浑圆的平行六面体状甚至为椭球体状和圆球状。

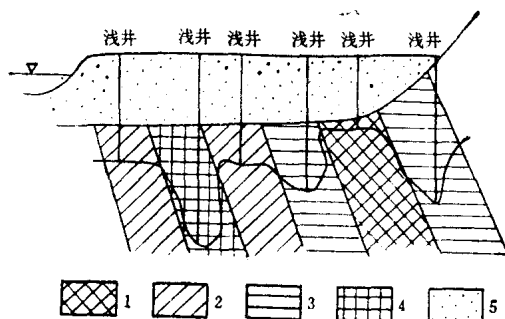


图 1—5 不同岩的风化强度比较
(柯洛门斯基)

1—不易风化的岩层；2—风化速度中等的岩层；3—风化速度快的岩层；4—风化速度很快的岩层；5—冲积层

节理体的长轴顺着岩层排列。最常见的是横长40—80厘米的节理。在球状节理生成之前，首先沿球面发生带状的化学风化。这种作用的基本营力是水。水最初沿着原生节理的裂隙渗入岩石里，逐步地由节理的边缘向中心渗透，同时将一些最不稳定的矿物，首先是含铁矿物溶解。随着水的渗透，在一定的过饱和阶段内由水溶液里析出氧化铁的胶结沉积。这种作用可以重复多次，因而在两个节理体中生成由于氧化铁含量不同而成的环带，这种环带在边缘部分大致顺沿原生节理的外部轮廓，而在中心是浑圆的，结果原来均匀的岩石变成不均匀的岩石，而在物理风化营力作用下，岩石就沿着同心的反应环带裂开。

温度的昼夜变化使岩石发生剥离，而使岩石里出现贝壳状节理。当岩石的表面晒热时，变热的薄层就要被许多平行于岩石表面的边缘裂隙和冷的岩体分开。当表面冷却时，外部的薄层要缩小体积，但是因内部散热较慢不能同时收缩，所以表层就被一些方向垂直于岩石表面的裂隙网分裂了。风化裂隙与其它类型的裂隙比较时，它们主要的特点是方位变化无常，有分支和折曲的现象。看起来风化裂隙的排列似乎是杂乱无章的，实际上是取决于岩石的成分，构造和结构，以及风化作用的营力和营力的强度及作用于岩石的条件。

风化作用所引起的岩石破坏程度和裂隙的密度都由地表向下迅速地减小。据野外调查结果，风化裂隙通常分布在地面以下2—5米到5—15米的深度范围，有时达30—50米，最深可达100米以上（图1—6）。

岩层出露的方位及地形对风化裂隙的形成影响很大。一般山脉南坡的岩石露头风化裂隙比北坡密得多。这说明南、北坡昼夜温度变化所引起的岩石胀短差比较大的结果。在其余条件相同的时候，直立的岩石露头比倾斜的或水平的露头所受的风化影响小一些。

造成风化裂隙发育程度大小的主要因素是：

1. 温度的变化是主要的风化营力（图1—7）；