

铁 路 基 础 施 工 技 术 丛 书

隧 道 开 挖

邓德祥 编



TIE LU JI JIAN SHI GONG JI SHU CONG SHU

中 国 铁 道 出 版 社

内 容 简 介

本书是铁路基建施工技术丛书之一，详细叙述了隧道的开挖方法，炮眼布置、炮眼施工，装药及爆破和隧道支撑等知识，并简单扼要地介绍铁路工程地质、地层压力、光面爆破、粉尘及有害气体防治等方面的基础知识，可供从事地下工程施工的工人学习参考。

铁路基建施工技术丛书

隧 道 开 挖

邓德祥 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 李云国

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：9 插页：1 字数：205 千

1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷

印数：0001—4,000 册 定价：0.75 元

科技新书目177—73

统一书号：15043·6251



目 录

第一章 铁路工程地质常识.....	
第一节 常见岩石的识别.....	
第二节 地质构造.....	
第三节 不良物理地质现象.....	14
第四节 工程地质与隧道施工.....	22
第二章 地层压力.....	28
第一节 隧道开挖后的地压.....	28
第二节 地压影响因素.....	30
第三节 围岩分类.....	33
第三章 隧道开挖方法.....	39
第一节 概述.....	39
第二节 钻眼爆破开挖.....	43
第三节 辅助坑道开挖.....	61
第四章 炮眼布置.....	74
第一节 导坑炮眼的布置.....	74
第二节 扩大刷帮炮眼的布置.....	93
第三节 挖底炮眼的布置.....	97
第四节 边墙马口炮眼的布置.....	100
第五节 其他开挖方法炮眼布置.....	103
第五章 炮眼施工.....	106
第一节 钻眼机具.....	106
第二节 风动凿岩机钻眼.....	116
第三节 电动凿岩机钻眼.....	135
第四节 凿岩台车施工.....	146

第六章 装药及爆破	152
第一节 隧道常用的爆破材料	152
第二节 装药	167
第三节 起爆顺序及方法	170
第四节 隧道爆破安全事项	181
第七章 隧道支撑	184
第一节 木支撑	184
第二节 金属支撑	201
第三节 钢筋混凝土支撑	204
第四节 锚杆支护	206
第五节 喷射混凝土支护	219
第八章 光面爆破	224
第一节 概述	224
第二节 光面爆破施工	233
第三节 深孔光面爆破	237
第九章 粉尘及有害气体的防治	243
第一节 防尘方法	243
第二节 有害气体的防治	250
附录 常用的计算公式	257

第一章 铁路工程地质常识

任何一条铁路，都要穿过各种不同的地形和地貌单元，穿过各种不同岩层和各种地质构造。要和各种不良物理地质现象作斗争，所以，铁路工程地质工作，是铁路建设的重要基础。

铁路工程地质工作在解放前是空白，解放后才开始发展壮大起来，积累了不少经验教训。由于铁路勘测设计、施工阶段对地质条件没有给予足够的重视，因而，在设计中对建筑物的稳定性往往习惯于采取加大安全系数的办法，造成投资的浪费。由于忽视地质条件，造成许多久治不愈的病害，拖长了工期，严重的影响正常运输。在现场施工中忽视地质条件，而造成的损失也是数不胜数的。

铁路工程地质对隧道工程的设计、施工是密切相关的。一个洞口位置的选择，衬砌型式的确定，施工方法的选择，安全措施的制定，施工进度快慢，工程投资的大小等都受客观地质条件的影响，也是我们从事隧道施工能否多快好省地修建的关键。所以，地质也可以说是隧道的基础，因此，从事隧道开挖的施工人员，应具有一定的工程地质知识，以便正确评价施工段的地质条件，提出合理的改善设计方案和处理意见，选择合理的施工方法和开挖顺序，确定钻爆方法、炮眼布置、施工支护及安全生产措施。

第一节 常见岩石的识别

岩石是由矿物所组成，而矿物又是由各种化学元素组成的天然化合物，是地表或地壳深处所进行的各种物理化学作

用的产物，具有一定的化学成分和物理性质。构成岩石的主要矿物被称为造岩矿物，常见的有石英、长石、云母、角闪石、辉石、方解石等，造岩矿物的主要特征见表1—1。鉴定岩石中的矿物成分是判定岩石的性质、分类和名称的基本依据。

主要造岩矿物的特征

表1—1

名称	形 状	颜 色	光 泽	断 口	硬 度
正长石	短柱状，柱状	白，灰，粉红，肉红	玻璃	平坦状	6
斜长石	短柱，薄片，柱状	白，灰色	玻璃	不平坦状	6
辉 石	八面柱体，短柱体	褐色，黑色	玻璃	不平坦状	5~6
角闪石	针状，长柱状	深绿，黑色	玻璃， 丝绸	锯齿状	5.5~6
橄榄石	八面体，颗粒块体	绿，棕色	玻璃	贝壳状	6.5~7
白云母	片状集合体	无色或白色	珍珠，玻璃		2.5~3
黑云母	片状集合体	黑，绿，深棕	珍珠，玻璃		2.5~3
蛇纹石	纤维状	各种色调的绿色	油脂，蜡状，丝绸		3~4
绿泥石	板状，鳞片状	绿色	玻璃，珍珠		2
滑 石	板状，鳞片状	白，黄，绿	油脂，珍珠		1
高岭土	土状	白，黄	暗淡	土状	1
海绿石	粒状	绿	暗淡	粒状	2~3
石 英	六方双锥体	无色，烟，乳白， 粉红	晶面为玻璃	贝壳状	7
燧 石	块状	黑，深棕	断面为油脂玻璃	贝壳状鳞片	7
磁铁矿	块状	黑褐	金属	贝壳状	5.5~6
赤铁矿	块状	赤红	次金属	贝壳状	5.5~6
褐铁矿	土状，钟乳状	褐	暗淡	土状	5.1~5.5
方解石	菱形状	白	玻璃		3
白云石	菱形状	白色，无色	玻璃		3.5~4
石 膏	柱状，板状	白，灰	玻璃， 丝绸	锯齿状	2
黄铁矿	立方体	钢黄	玻璃	不平坦状	6~6.5
岩 盐	立方体	白，灰	玻璃		2.5
磷灰石	针状六面柱体	白绿，黄棕，褐	油脂	不平坦状 贝壳状	5

一、岩石的分类及特性

（一）岩石分类

岩石按其成因可分为岩浆岩（一般称火成岩）、沉积岩和变质岩三大类。

岩浆岩是由地壳内高温岩浆侵入到地壳上部或喷到地表冷凝而成的岩石。

沉积岩是地表及地表不太深处的岩体，在常温常压下，由风化作用、生物作用及某种火山作用所形成的沉积层，经过改造而成的岩石。

变质岩是由于地壳运动、岩浆活动等地质作用影响，使原来的岩石在矿物成分、结构、构造等各种性质有所改变而形成的岩石。

（二）岩石特性

岩浆岩、沉积岩、变质岩由于形成的环境和过程不同，因此，在矿物成分、结构和构造方面也是不相同的。

矿物成分方面的区别：岩浆岩由于是岩浆冷凝而成，因此，矿物成分比较复杂，各种矿物都可以出现；沉积岩是沉积而成，矿物成分比较简单，一般是以石英颗粒为主要成分，化学沉积岩也是比较简单的方解石或白云石等矿物为主；变质岩的矿物成分主要取决于原来的岩石，但是其最大的特点是常含有某些特定的变质矿物。

结构方面的区别：结构是指组成岩石的矿物颗粒大小、形状以及它们的排列。岩浆岩具有一定的结晶轮廓；沉积岩里的矿物，大多是圆粒或具有圆滑的棱角；变质岩的矿物由于挤压而平行排列具一定方向。

构造方面的区别：岩浆岩主要是块状构造，即岩石中矿物的组合，各方向都一样，很难分辨它的上下左右的关系；

沉积岩主要是层状构造，即岩石具有成层的外貌；变质岩则常具有片状构造，即岩石中的矿物，具有受挤压后的定向排列、分带集中的特性，黑白色矿物常相间出现。

二、岩石的野外识别

（一）岩浆岩的识别

野外对岩浆岩的鉴别，主要根据岩石的矿物组成、结构、构造的特征进行。主要岩浆岩的野外特征见表1—2。

（二）沉积岩的识别

沉积岩最大的特点是具有物质成分、构造、结构、颜色等变化，而形成的层理。沉积岩中多有化石，并且一般只有石英、白云母等抵抗风化能力较强的矿物，呈碎屑状。常见沉积岩的野外特征见表1—3。

（三）变质岩的识别

变质岩的构造是鉴定变质岩的重要标志。常见的构造有片状构造、片麻构造、均一构造。变质岩最大特点是具有变质矿物，主要有：滑石、石榴子石、十字石、蓝晶石、矽线石、红柱石、叶腊石、硬绿泥石、硅灰石等。另外一些矿物虽不是变质岩所特有，但大量出现时，亦可作为变质岩特征，如：绿泥石、绢云母、刚玉、绿帘石、蛇纹石、石墨等。

各类变质岩的野外特征见表1—4。

常见岩浆岩的野外识别特征

表 1—2

岩石名称	主要矿物	结构构造	颜色	产状
花岗岩	正长石、石英、白云母（黑云母、普通角闪石）	全晶质结构，有时是斑状结构，块状构造	灰白，淡红，淡褐，黄色	常呈大块岩体，如岩基、岩株，也有呈岩脉、岩墙、岩盖
正长石	正长石，角闪石，黑云母，辉石等	全晶质中粒结构，块状构造	浅色岩石，颜色决定于长石，常呈浅红，浅黄色	岩体很小，很少能有几百平方公里，常与其它岩石过渡共生
闪长石	斜长石，角闪石，少量正长石，辉石等	全晶质粗粒结构，块状构造	灰色，灰绿色	一般呈小型岩基，或岩株，岩墙，岩床产出
玄武岩	斜长石，辉石，角闪石，黑云母等	粗状或斑状结构。气孔状，杏仁状构造	黑绿色，黑色或红褐色	大面积岩流，岩被产出
辉长岩	斜长石，辉石，少量角闪岩，黑云母，橄榄石等	全晶质粗粒、中粒结构。块状构造	深色，由暗色矿物的含量决定岩石的颜色	深成侵入体，常呈岩株、岩盆、岩盖产出
辉绿岩	斜长石，普通辉石，角闪石，黑云母等	细粒或致密状的辉绿结构。块状或杏仁状构造	颜色深暗，有棕、紫、灰黑等色	岩墙，岩床或岩被产出
橄榄岩	橄榄石，角闪石，辉石，黑云母，斜长石等	全晶质中、粗粒状结构。块状构造	黑色，暗绿色，深绿色等深色	一般构成不大的岩体，可成独立岩体或脉状侵入体
辉石岩	辉石及少量的橄榄石	全晶质，粗粒结构。块状构造	黑色，黑绿色	一般岩体不大，多在橄榄石岩体边缘产出

沉积岩野外识别特征

表 1—3

岩石名称	物质成分	结构	颜色	其它特征
砾岩 角砾岩	岩屑，其次为矿物碎屑	碎屑	常由胶结物的矿物成分确定	50%以上的碎屑大于2毫米，胶结物有钙质、石膏、粘土等

续表 1—8

岩石名称	物质成分	结 构	颜 色	其 它 特 征
石英砂岩	石英、少量长石及燧石	砂状	白色	碎屑的磨圆度及分选性较好，胶结物大部分为硅质
长石砂岩	长石30%和石英(30~60%)	砂状	灰白色、浅黄色，肉红色	碎屑呈棱角状和圆棱状，中等分选度，胶结物常为钙质
杂砂岩	基性喷出岩，凝灰质岩，千枚岩等岩屑	砂状	暗色	胶结物主要是粘土物质，分选不好，碎屑的磨圆度差
页 岩	高岭土，石英，云母，绿泥石及其它云母矿物	泥质、粉砂泥质、砂泥质	浅绿，浅灰，浅黑，浅黄，褐，浅红色	有土味，无光泽，呈致密状，具有沿层理面分裂成薄片或页片的性质。加HCl强烈起泡的为钙质页岩，坚硬致密的为硅质页岩等
石灰岩	方解石为主	结晶粒状，生物结构，碎屑结构	白色，浅黄，浅灰色	产状呈层状，遇HCl起泡
白云岩	白云石为主	隐晶质结构，生物结构，碎屑结构	白色，黄色，浅褐色，灰色，浅绿色，黑色	遇冷HCl不起泡或起微泡
凝灰岩	熔岩或围岩的碎块，常含有矿物晶体	碎屑	常为紫红、灰绿等色	火山碎屑物，小于2毫米，外貌很象砂岩
火山角砾岩	熔岩角砾	碎屑	常为灰、黄、绿、红等色	一般为2~10毫米，棱角状，无任何分选性，为凝灰质胶结，常与火山岩共生
火山集块岩	火山碎屑	碎屑	常为灰、黄、绿、红等但多为浅色	碎屑一般大于100毫米，砾石多为纺锤形，如火山弹性堆积，胶结物一般为火山灰

变质岩野外识别特征

表 1—4

名称	结构构造	矿物成分	一般特征	其 它
石英岩	块状构造, 致密粒状结构	几乎全由石英组成	白色或其他浅色, 质密坚硬, 断口平坦, 具有油脂光泽	有些岩石受高温高压的动力变质作用成为坚脆的硅质岩是一种硅化现象, 常为灰黑色、棕黑色
千枚岩	千纹状构造	主要为绢云母, 绿泥石, 石英等	外表以黄绿、灰黑色较多, 质细密具丝绸光泽, 可破开成薄片状	以含矿物的不同命名为绢云母千枚岩, 绿泥石千枚岩等
板岩	板状构造	肉眼难辨认	质细密, 有时具条带状层理, 能剥开成薄板片状, 外表多为灰绿色, 灰至黑色或紫红色	
大理岩	块状构造, 等粒变质结构	主要由方解石、白云石重结晶而成, 有时含蛇纹石, 石墨, 滑石, 石榴石等	外表一般为白色, 因含有杂质可呈各种颜色和花纹, 硬度较小, 遇冷稀盐酸可起泡	以其所含矿物或杂质命名, 如白云质大理岩、蛇纹石大理岩等
片岩	片状构造	主要为云母, 绿泥石, 石墨, 阳起石, 长石, 石英, 滑石, 角闪石	片理明显, 矿物压扁, 拉长平行排列, 易沿片理剥开, 表面常有丝绸光泽或珍珠光泽	根据所含主要矿物命名
片麻岩	片麻状构造	主要矿物为长石, 石英, 角闪石, 云母, 闪石等, 变质矿物有电气石, 绿帘石, 石榴石等	外表颜色随变质深浅不一, 拉长矿物平行排列, 但不能裂开成片状	据所含主要矿物命名

续表 1—4

名称	结构构造	矿物成分	一般特征	其它
糜棱岩	多具带状构造	多为石英, 长石, 新生变质矿物有绿泥石, 绢云母, 叶腊石等	原岩已全部压碎为均可细小的颗粒, 颗粒间充填粉末碎屑, 颗粒具棱角, 有的尚未胶结成岩	常为断层带的产物

第二节 地质构造

构造地质就是研究地壳的构造, 即研究不同形态的岩层与岩体在地壳中的空间位置和分布上的相互关系。地质构造对铁路建筑物的稳定性以及其位置的选择关系是很密切的, 无论在铁路勘测设计, 新线施工及旧线养护, 都必须了解铁路周围的地质构造, 特别在隧道施工中, 对地质构造的认识和处理, 对合理选择施工方法和合理的支护有着重要意义。

一、倾斜岩层和产状要素

层状岩层在沉积过程中形成层面, 层面通常近于平行。上下层面之间的最短距离称为厚度或真厚度。沉积岩的原始层位是呈水平或近于水平的, 水平的岩层称为正常岩层。沉积岩的厚度变化很大, 变化不大的称为厚度稳定, 变化剧烈的称为厚度不稳定。当岩层厚度在短距离内减小, 则称为变薄, 岩层厚度变化对工程意义很大, 由于不均匀受力而引起铁路建筑物的变形。

倾斜岩层及产状要素

经过地壳变动影响后的岩层变成倾斜状态, 这种倾斜状态称为岩层的产状。用产状要素说明岩层的空间位置, 一般

用走向、倾向和倾角三要素表示，如图 1—1 所示。

走向：岩层面与水平面的交线的方向称为岩层的走向。即岩层在地面上的延长方向，此交线称为岩层的走向线。

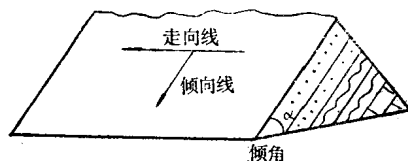


图 1—1 岩层产状要素

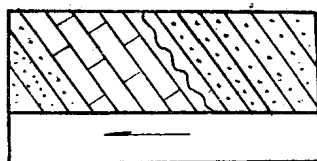
倾向：岩层面上最大倾斜线在水平面投影线的方向称为岩层倾向（即岩层的倾斜方向），它和走向线在同一水平面上相互垂直，但仅指向岩层面倾斜低下的一方向。

倾角：岩层面与水平面所夹的最大锐角叫做倾角（或叫做真倾角）。但是铁路线路并不一直都是垂直岩层走向所以线路方向经常是与岩层走向斜交，因而产生所谓视倾角。视倾角永远小于岩层的真倾角。

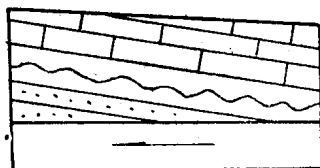
岩层的走向和倾向常以方位角表示，用罗盘仪或倾斜仪测量。在作图时，岩层真倾角和视倾角的换算，可以直接测出剖面方向和岩层走向求出夹角即可从倾角换算表查得。

岩层产状的表示方法如 $SE175^\circ \angle 25^\circ$ 即表示走向方位角为 175° 倾角为 25° ，倾向由走向加或减 90° 即可测出。

确定岩层的产状要素，对于正确的反映地层构造，作出正确的地质剖面、正确分析地质构造和铁路隧道的关系具有现实意义。当隧道中线与岩层走向垂直相交（见图 1—2），



(甲)



(乙)

图 1—2 隧道中线垂直岩层走向

则地层对隧道的压力较小，倾角越大，压力越小，如图中（甲）比（乙）压力小。倾角过小则易形成很薄的岩楔，在节理切割多时，可形成铺盖石，造成洞顶坍落。如隧道中线与岩层走向平行时，隧道最好在单一岩层中穿过（见图 1—3），但应尽量避免在软硬岩层交界处通过。在隧道洞口处岩层倾向如图 1—4

（甲）所示时较为有利，仰坡稳定性较好。如图 1—4（乙）所示，容易引起仰坡坍方。另外，当岩层倾角很大时，则不易坍塌，而隧道处于

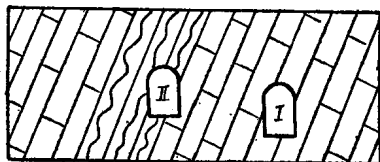


图 1—3 隧道中线平行岩层走向

水平岩层，特别是软弱的水平层时，则顶部易坍塌，施工时要采取安全措施。例如在娄山关隧道施工中就曾遇上水平岩层，在扩大时采取了措施，隧道虽然通过水平岩层地段很长，但在开挖、支撑、衬砌中均未发生事故保证了安全。

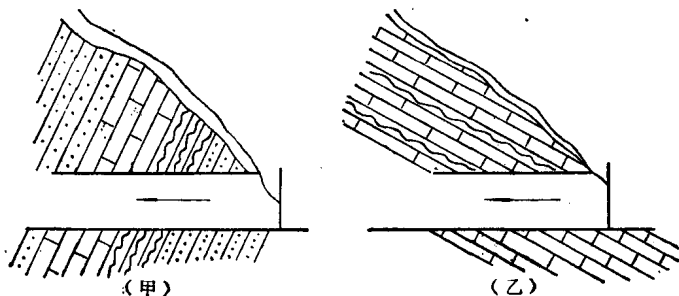


图 1—4 洞口岩层与仰坡稳定关系

二、褶皱构造

构造变动主要表现为两种型式：一种是地层在地质构造

变动中，受水平力挤压的影响，使岩层发生柔性变形，变得弯弯曲曲，但不丧失其原有的连续完整性，这种构造形态，叫做褶皱。另一种是地层在变动过程中发生了破裂，使岩层的完整性和连续性遭到了破坏，这种破坏的形式，叫做断层。

褶皱构造的基本单位是褶曲，其基本形式可以分为背斜褶曲和向斜褶曲两种，如图 1—5 所示。

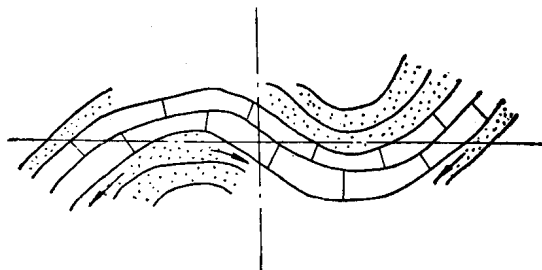


图 1—5 褶曲形态横线下为被外力破坏后的褶曲

当岩层受挤压而发生褶皱时，岩层面改变了原始的水平状态，有部分隆起向上弯曲形成背斜褶曲，有的向下凹陷形成向斜褶曲。在一般正常情况下，背斜褶曲两边的岩层是相背倾斜的，向斜褶曲两边的岩层是相向倾斜的。但是，假如两边岩层直立或发生倒转时，就会发生判断的错误。所以，一般我们应以褶曲中部和两侧岩层年代的新老关系来判断是背斜或向斜。凡是老岩层在中间，新岩层在两边的称为背斜褶曲；凡是新岩层在中间，老岩层在两边的称为向斜褶曲。

由于褶曲是岩层在水平力的作用下受挤压而发生弯曲变形，所以褶曲岩层的内外缘岩石总是要受到强大的张力和压力，而产生大量的节理，发生许多裂口，使岩层的整体性遭到破坏，降低其岩石的物理力学性质，造成地下水活动的条件，加速风化作用的进行。故在隧道开挖施工时，遇上向斜褶曲，应特别注意和及早采取措施，防止坍方和大量涌水。

三、断层构造

断层就是沿断裂面有显著位移的断裂变动。岩层发生断裂后即产生一个断层面,如果这个面是倾斜的,那么,断层面以上的岩石块体叫做上盘,断层面以下的岩石块体叫做下盘,如图 1—6 所示。断层面与地面的交线叫做断层线,断层线不一定是直线,可以是弯弯曲曲的也可以是折线。断层上下盘发生相对位移的距离叫做断距。在断层发生的地区或地段,岩石受到强力的破坏,岩层为搓碎,形成所谓断层破碎带。大的断层甚至可把岩石搓成碎屑颗粒状而

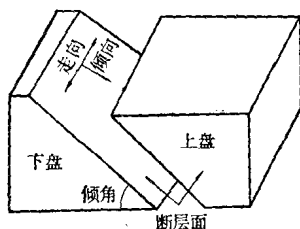


图 1—6 断层

成为糜棱岩。如乃托地区牛日河大断层。有的岩层裂面被磨成光亮的平面(即所谓断层镜面)在这些裂面和破碎岩石中,很容易受到风化和剥蚀,造成地下水活动的条件,切断含水层时,断层破碎带往往成为含有大量地下水的地质,大大恶化岩层的工程地质条件,降低岩石的物理力学性质,给施工造成极大的困难,如跷脚河断层。所以,在施工中不能绕避断层时,一定要开挖十分精心,施工人员应正确选择施工方法和支护方法,凿岩时也应结合施工进行岩石力学的量测,使其在开挖时,保持隧道围岩的稳定,避免坍方,使隧道顺利穿过断层。

四、节理

节理是岩石中发生的许多细小裂隙,可以用肉眼看出,实际上节理也是断裂,不过岩层没有发生显著的位移罢了。

一般石质较脆的岩层往往节理较多，节理密度不同，常呈平行、垂直或交错状存在。形成节理的最主要原因是构造应力，即由地壳内部物质的运动引起的。其次是风化作用，岩浆岩的冷凝作用也可以形成节理。节理的间距从几厘米到几米，延伸长度可从几厘米到几千米不等。节理在岩层中往往有一定的排列系统，一些彼此平行的节理称为“一组”。一个地区的节理，首先要观察出几组节理，量出每组的产状要素，分析那一组节理是主要的，这和隧道中线的方向有着密切的关系。如主节理面倾斜向隧道中线方向，岩石就有可能在隧道开挖后沿节理面的倾斜方向梭帮或坍方的现象发生，危及施工安全，增大地层压力，影响掘进。如西南地区在隧道施工中，由于节理切割造成岩石坍方的比例超过80%以上。

节理对隧道开挖有以下几个主要影响：

1. 由于节理的存在，岩石被切割成块状，在和层理及软弱夹层的共同作用下，隧道开挖造成临空，使之在重力作用下发生落石坍方。所以，凿岩开挖时，一定要注意节理的发育程度和存在状态，主节理的方向。如主节理为水平，则对隧道开挖影响就不大，但如主要方向倾向隧道坑壁时，就容易坍塌，开挖时要注意支撑。
2. 由于节理发育的岩层，裂隙较多，容易漏气，因此爆破效果较差。假如用药量过多，又易引起坍方。
3. 节理造成的岩石裂隙，常是地下水活动和贮存的好地方，稳定性差，不但给施工造成困难，而且易于软化岩层造成坍方。
4. 在高陡峡谷地段两岸，由于原有节理不断扩展，加上水对悬崖的冲刷，逐渐破坏斜坡的稳定，产生深大的斜坡张裂，如图1—7所示。选择隧道位置时，应尽可能选在深大