7 地下工程地质问题

本章要点：

主要的地下工程地质问题的分析及保障地下洞室围岩稳定性的处理措施。

学习目标：

1、知道围岩压力变形破坏的基本类型，围岩压力的表现形式。

2、知道地下洞室围岩稳定与哪些因素有关，主要的地下工程地质问题。

3、知道保障地下洞室围岩稳定性的处理方法。

在岩（土）体内，为各种目的经人工开凿形成的地下工程构筑物称为地下洞室。

研究地下洞室围岩稳定性的实质，是研究岩体在开凿洞室后，力学变化机理和岩体中应力分布状况。一般情况下，在查明岩体结构特征和地应力条件的基础上，根据岩体的强度和变形特点就可以判别围岩的稳定性。目前用于研究围岩稳定性的方法有：数学力学计算方法，围岩的变形和破坏机制分析方法，围岩地质结构分析和围岩稳定性分类方法，模拟试验方法等。本章的主要内容有：以岩体结构及地应力理论为基础；系统的分析岩体变形与破坏机制和基本类型；介绍围岩的工程分类及其应用。此外还要讨论围岩稳定性的评价方法，常见地下工程地质问题。

7.1 地应力与洞室围岩的变形及破坏

地应力也称天然应力、原岩应力、初始应力、一次应力，是指存在于地壳岩体中的应力。由于工程开挖，使一定范围内岩体中的应力受到扰动而重新分布，则称为二次应力或扰动应力，在地下工程中称围岩应力。

地应力包括岩体自重应力、地质构造应力、地温应力、地下水压力以及结晶作用、变质作用、沉积作用、固结脱水作用等引起的应力。

洞室开挖后，地下形成了自由空间，原来处于挤压状态的围岩，由于解除束缚而向洞室空间松胀变形；这种变形大小超过了围岩所能承受的能力，便发生破坏，从母岩中分离、脱落，导致坍塌、滑动、隆破和岩爆等。

洞室围岩的变形与破坏程度，一方面取决于地下天然应力、重分布应力及附加应力；另一方面与岩土体的结构及其工程地质性质密切相关。

一、围岩的变形

导致围岩变形的根本原因是地应力的存在。地下洞室开挖前，岩（土）体处于自然平衡状态，内部储蓄着大量的弹性能，地下洞室开挖后，这种自然平衡状态被打破，弹性能释放，一定范围内的围岩发生弹性恢复变形。另一方面，由于围岩应力重新分布，各点的应力状态发生变化，导致围岩产生新的弹性变形。这种弹性变形是不均匀的，从而导致地下洞室周边位移的不均匀性。

重新分布的围岩应力在未达到或超过其强度以前，围岩以弹性变形为主。一般认为，弹性变形速度快、量值小，可瞬间完成，一般不易觉察。当应力超过围岩强度时，围岩出现塑

性区域，甚至发生破坏，此时围岩变形将以塑性变形为主。塑性变形延续时间长、变形量大，发生压碎、拉裂或剪破，塑性变形是围岩变形的主要组成部分。

如果围岩裂隙十分明显或者围岩破坏严重时，节理、裂隙间的相互错位、滑动及裂隙张开或压缩变形将会占据主导地位，而岩块本身的变形成分退居次要地位，按照岩体结构力学的原理，由于岩体中大小结构面的存在，围岩的变形都会或多或少地存在结构面的变形。

此外，由于岩石的流变效应十分明显，围岩长期处于一种动态变化的高应力作用之中，流变也是围岩变形不可忽略的组成部分。

二、围岩的破坏

（一）脆性破坏

整体状结构及块状结构岩体，在一般工程地区开挖时是稳定的，有时产生局部掉块；但是在高地应力地区，由于洞室周边应力集中可引起岩爆，属脆性破裂。在地下洞室开挖过程中，施工导洞扩挖时预留的岩柱，易产生劈裂破坏，也具有脆性破裂的特征。

（二）块体滑动与塌落

块状、厚层状以及一些均质坚硬的层状结构岩体构成的围岩稳定性是高的。当这类岩体受软弱结构面的切割形成分离块体时，在重力和围岩应力作用下，有可能向临空面方向移动，而形成块体的滑动与塌落。

在块状岩体中，由于破裂结构面的发育程度和组合方式不同，时分离体的形态各有差异，反应在块体的塌落规模和自行稳定的时间上也不一样。因此，就可以根据洞室各个部位结构面的组合特征，去预报不稳定块体的形态与大小。

最为常见的是锯齿形，其次为人字及各种槽形。

（三）层状岩体的弯曲折断

层状岩体的弯曲折断多发生在层状结构岩体中，尤其是在夹有软岩的互层状结构岩体中最为常见，然而在一些大型的地下工程中，受一组极发育的结构面控制的似层状结构岩体，也可以产生类似的弯曲破坏。

（四）碎裂岩体的松动解脱

在水工隧洞施工中，较大规模的塌落和滑动多发生在由构造挤压破碎、节理密集以及岩脉穿插的破碎地段。当岩体中泥质结构面数量较少时，围岩具有一定的承载能力，但是在张力和振动力作用下容易松动、解脱成为碎块散开或脱落。一般在洞顶呈现崩塌，在边墙上则表现为滑塌或碎块的坍塌。

（五）塑性变形和膨胀

有些具备松散结构的岩体，在重力、围岩应力和地下水的作用下产生塑性变形，并导致围岩的破坏。常见的塑性变形和破坏形式有边墙挤入、底鼓及洞径收缩等。膨胀是岩体体积随时间变化而增大的一种现象，通常是把由潜在膨胀性的岩石失水后引起的体积应变看作膨胀。

（六）松散围岩的变形与破坏

松散围岩体是指强烈构造破碎、强烈风华岩体或新近堆积的松散土体。这类围岩的力学属性表现为弹塑性、塑性或流变形，其破坏形式易拱形冒落为主。当围岩结构均匀是，冒落拱的形状较为规则，但当围岩结构不均匀或松散岩体仅构成局部围岩时，则常表现为局部塌方、塑性挤入及滑动等变形破坏形式。

（七）特殊地质问题

1、涌水

当地下洞室穿越含水层时，不可避免的会是地下水涌进洞内，为施工带来困难。

（1）涌水条件：

开挖洞室：遇相互贯通又富含水的节理、断层破碎带，蓄水洞穴或地下暗河等，可能产生涌水。

已开挖洞室：与地面有贯通裂缝，暴雨时可能产生涌水。

（2 ）涌水预测方法：

1）相似比拟法：

①由实测导坑涌水量推算：$$Q=\frac{F}{F_0}\cdot\frac{S}{S_0}\cdot Q_0$$

②由于开挖地段涌水量推算：$$Q=\frac{L}{L_0}\cdot Q_0$$

2）水均衡法：$$Q=\frac{1000\cdot F\cdot\alpha\cdot A}{T}$$

3）地下水动力学法：

①潜水含水层中的完整型隧道：$$Q=B\cdot K\frac{H^2-h^2}{R}$$

②承压水含水层中的完整型隧道：$$Q=B\cdot K\frac{[M(2H-M)-h^2]}{R}$$

2、有害气体

天然存在的有害气体能够充满岩石中的孔隙。这种气体或许处于压力之下，并且曾有过受压气体突然进入地下井巷使岩石受爆炸力破坏的情况。很多气体是危险的，例如甲烷，即沼气，可在上石炭统煤系中碰到。

如：瓦斯：（以甲烷为主的有害气体的总称，主要发生在含煤地层）

危害条件：瓦斯浓度小于5—6%；能在高温下燃烧。

瓦斯浓度为5～6%—14～16%；易爆炸。（特别是含量为8%时）

瓦斯浓度为42～57%时，易使人窒息。

施工要求：瓦斯浓度大于1%，不准装药放炮。

瓦斯浓度大于2%，工作人员撤离现场。

3、地温

地壳中温度有一定变化规律。地表下一定深度处的地温、常年不变的称为常温带。常温带以下，地温随深度增加，地热增温率为深度增加 100m 时地温的增加值。

4、岩爆

地下洞开挖过程中，围岩突然猛烈释放室在弹性变形能，造成岩石脆性破坏，或将大小不等的岩块弹射或掉落，并常拌有响声的现象叫做岩爆。

- 岩爆特点：
  - 发生在高应力地区的坚硬岩石中
  - 岩爆时，尚伴有声音
  - 岩爆过程分为启裂阶段，应力调整阶段、岩爆阶段
  - 岩爆发生的临界深度为200m

5、腐蚀

- 1、腐蚀类型：
  - 结晶类腐蚀：
    - 芒硝型腐蚀
    - 石膏型腐蚀
    - 钙矾型腐蚀
  - 此外：还有冰劈作用
  - 分解类腐蚀：
    - 一般酸型腐蚀
    - 碳酸型腐蚀
  - 结晶分解复合类腐蚀
- 2、腐蚀严重程度：
  - 无腐蚀
  - 弱腐蚀 → 局部砂浆剥落
  - 中等腐蚀 → 局部骨料外露
  - 强腐蚀 → 局部呈豆腐碴状，深度达20cm以上
- 3、腐蚀易发生地区：
  - R、K、J红层及T灰岩等中的含膏地层
  - 泥炭、淤泥、沼泽等地
  - 我国东南沿海有红树林残体的冲积层
  - 我国长江以南的酸性红土
  - 含硫矿床的地下水层
  - 冶炼厂、化工厂、废渣场、堆煤场等地的地下水层

7.2 围岩的工程地质分类及其应用

分类科学也称为分类学，是研究分类理论的内涵，包括基础、原理、过程及规则，岩体分类的目的是为了系统的认识岩体的工程特性及其产生变形和破坏的一般规律，以便有效地利用和改造岩体，为工程设计和施工提供依据。岩体的分类目的包括：

1. 确定影响岩体特征最重要的参数。
2. 根据岩体的明显特征，将其相同的分成一组。
3. 明确每一个岩体组的特征及其分类基础。
4. 进行一个工程的岩体特征分析，并与其他工程对比分析。

5.取得为工程设计的定量资料和准则。

6.建立工程师与地质师之间的相互关系。

目前，国内外比较有系统的围岩分类至少有百十余种。但是，其中堪称完善且能为众人所接受的分类是不多的。一个好的分类应当具备下述基本要求：类别明确，特征突出，符合实际，简单易行，并且应能经的起工程实践的检验。

根据现有分类所采用的原则，大体上可归并成三个分类系统：

1.按围岩的强度或岩体主要力学性质属性分类。

2.以围岩稳定性为基础的综合分类。

3.按岩体质量等级的分类。

7.3 围岩稳定性计算

围岩稳定性计算是根据不同的岩体结构，不同的力学属性，简化成不同的力学模型，应用相应的力学方法，研究围岩的变形破坏过程，对围岩稳定性进行定量计算评价的方法，其重点是计算围岩压力。

围岩压力是指围岩作用在支护（衬砌）上的压力，是确定衬砌设计荷载大小的依据，围岩压力也称山岩压力或地压。围岩有松动压力、变形压力、冲击压力和膨胀压力四种。

（1）松动压力

由于开挖而引起围岩松动或坍塌的岩体以重力形式作用在支护结构上的压力称为松动压力，亦称散体压力。松动压力是因为围岩个别岩石块体的滑动、松散围岩以及在节理发育的裂隙岩体中，围岩某些部位沿软弱结构而发生剪切破坏等导致局部滑动引起的。

（2）变形压力

开挖必然引起围岩变形，支护结构为抵抗围岩变形而承受的压力称为变形压力。围岩变形是时间的函数，变形压力与围岩变形和支护结构有关.所以变形压力是时间和支护结构特性的函数。围岩压力随时间的增加而减小，同一支护结构，一般随着支护时间的增加变形压力减小，但太长的支护时间会导致变形超过围岩极限变形而使围岩破坏，出现松动压力，从而作用到支护结构上的围岩压力又将增加.也使围岩性能变坏，因此隧道开挖后，一定的支护结构应有一个合理的支护时间。同一支护时间采用不同的支护结构，变形压力也将不同，一般地说支护结构柔性越好则变形压力就越低。

（3）冲击压力

在坚硬完整岩体中，地下建筑开挖后的洞体应力如果在围岩的弹性界限之内，则仅在开挖后的短时期内引起弹性变形，而不致产生围岩压力。但当建筑物埋深较大，或由于构造作用使初始应力很高，开挖后洞体应力超过了围岩的弹性界限，这些能量突然释放所产生的巨大压力，称为冲击压力。冲击压力发生时，伴随着巨响，岩石以镜片状或叶片状高速迸发而出，因此冲击压力也称岩爆。

（4）膨胀压力

某些岩体由于遇水后体积发生膨胀，从而产生膨胀压力。膨胀压力与变形压力的基本区别在于它是围岩吸水膨胀引起的，从现象上看与流变和压力相似。膨胀压力的大小取决于岩体的物理力学性质和地下水的活动特征。

7.4 地下洞室围岩稳定性的分析方法

一、影响围岩稳定的因素

地下洞室围岩的稳定与岩性、岩体结构与构造等自然因素有关，与开挖方式、支护形式及时间等人为因素也有关。

1．岩性

坚硬完整的岩石一般对围岩稳定性影响较小，而软弱岩石则由于岩石强度低、抗水性差、受力容易变形和破坏，对围岩稳定性影响较大。

我们知道岩石由于其矿物成分、结构和构造的不同，物理力学性质差别很大。如果地下洞室围岩为整体性良好、裂隙不发育的坚硬岩石，岩石本身的强度远高于结构面的强度。这种情况下，岩石性质对围岩的稳定性影响很小。

如果地下洞室围岩强度较低、裂隙发育、遇水软化，特别是具有较强膨胀性围岩，则二次应力使围岩产生较大的塑性变形，或较大的破坏区域。同时裂隙间的错动，滑移变形也将增大，势必给围岩的稳定带来重大影响。

2．岩体结构

块状结构的岩体作为地下洞室的围岩，其稳定性主要受结构面的发育和分布特点所控制，这时的围岩压力主要来自最不利的结构面组合，同时与结构面和临空面的切割关系有密切关系；碎裂结构围岩的破坏往往是由于变形过大，导致块体间相互脱落，连续性被破坏而发生坍塌，或某些主要连通结构面切割而成的不稳定部分整体冒落，其稳定性最差。

3．地质构造

地质构造对于围岩的稳定性起重要作用，当洞室通过软硬相间的层状岩体时，易在接触面处变形或坍落。若洞室轴线与岩层走向近于直交，可使工程通过软弱岩层的长度较短，若与岩层走向近于平行而不能完全布置在坚硬岩层里，断面又通过不同岩层时，则应适当调整洞室轴线高程或左右变移轴线位置，使围岩有较好的稳定性，洞室应尽量设置在坚硬岩层中，或尽量把坚硬岩层作为顶围。

当洞室通过背斜轴部时，顶围向两侧倾斜，由于拱的作用，利于顶围的稳定。而向斜则相反，两侧岩体倾向洞内，并因洞顶存在张裂，对围岩稳定不利。另外，向斜轴部多易储存聚集地下水，且多承压，更削弱了岩体的稳定性。

当洞室邻近或处在断层破碎带，若断层带宽度愈大，走向与洞室轴交角愈小，它在洞内出露越长，对围岩稳定性影响便越大。

4.构造应力的影响

构造应力随地下洞室的埋深增加而增大，因此一般地下洞室埋藏越深，稳定性越差。根据经验，沿构造应力最大主应力方向延伸的地下洞室比垂直最大主应力方向延伸的地下洞室稳定；地下洞室的最大断面尺寸沿构造应力最大主应力的方向延伸时较为稳定，这是由围岩应力分布决定的。一般地质构造复杂的岩层中构造应力十分明显，尽量避开这些岩层，对地下洞室的稳定非常重要。

5．地下水的影响

围岩中地下水的赋存、活动状态，既影响着围岩的应力状态，又影响着围岩的强度。当洞室处于含水层中或地下洞室围岩透水性强时，这些影响更为明显。静水压力作用于衬砌上，等于给衬砌增加了一定的荷载，因此，衬砌强度和厚度设计时，应充分考虑静水压力的影响。另一方面，静水压力使结构面张开，减小了滑动摩擦力，从而增加了围岩坍塌、滑落的可能性；动水压力的作用促使岩块沿水流方向移动，也冲刷和带走裂隙内的细小矿物颗粒，从而增加裂隙的张开程度，增加围岩破坏的程度。地下水对岩石的溶解作用和软化作用，也降低了岩体的强度，影响围岩的稳定性。

地下洞室围岩的稳定性，除了受到上述天然因素的影响外，人为因素也是不可忽视的，比如开挖方法、开挖强度、支护方法和时间等因素。

二、地下洞室围岩稳定性的分析方法

由于不同结构类型的岩体变形和失稳的机制不同，不同类型的地下洞室对稳定性的要求不同，围岩稳定性分析和评价的方法多种多样，目前有以下几种方法。

1．围岩稳定分类法

围岩稳定分类法是以大量的工程实践为基础，以稳定性观点对工程岩体进行分类，并以分类指导稳定性评价。围岩稳定分类方法很多，大体上可归纳为三类：岩体完整性分类、岩体结构分类、岩体质量的综合分类。

2.工程地质类比法

即根据大量实际资料分析统计和总结，按不同围岩压力的经验数值，作为后建工程确定围岩压力的依据。这种方法是常用的传统方法，其适用条件必须是被比较的两个地下工程具有相似的工程地质特征。

3．岩体结构分析法

⑴借助赤平极射投影等投影法进行图解分析，初步判断岩体的稳定性。

⑵在深人研究岩体结构特征基础上建立地质力学模型，通过有限单元法或边界元计算，得出工程岩体稳定性的定量指标，判断围岩的稳定性。

4．数学力学计算分析法

岩体稳定性分析正处于由定性向定量的发展阶段，数学力学计算的方法已广泛应用。

5．模拟试验法

是在岩体结构和岩体力学性质研究的基础上，考虑外力作用的特点，通过物理模拟和数学模拟方法，研究岩体变形、破坏的条件和过程，由此得出岩体稳定性的直观结果。

7.5 地下工程地质问题

地下工程修建在各种不同地质条件的岩体内，所遇到的工程地质问题比较复杂。从现有的工程实践来看，地下建筑工程的工程地质问题主要是围绕着岩体稳定而出现的，一般说来，地下工程所要解决的主要工程地质问题有如下几方面：

（1）在选择地下建筑工程位置时，判定拟建工程的区域稳定性和山体岩体的稳定性(包括洞口边坡稳定和洞身岩体的稳定)。这时一般多从拟建洞室山体的地形、地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件及其它影响建设洞室的不良地质现象等方面来判定岩体的稳定性。

（2）在已选定的工程位置上判定地下建筑工程所在岩体的稳定性。这个阶段除进行一般的岩体稳定评价以外，还要解决一些与土建设计有关的岩体稳定方面的问题，这些问题有：

①洞室四周岩体的围岩压力的评价(即岩体本身对衬砌支护的压力评价)；

②岩体内地下水压力的评价(即地下水对衬砌支护的压力)；

③提出保护围岩稳定性和提高稳定性的加固措施；

④在需要时，进行岩体弹性抗力的评价(弹性抗力即在衬砌对围岩有作用力时，围岩变形所表现出来的抵抗力。此项评价对于洞室有内压力时较为有用，而对地下工厂则一般意义不大)。由于地下工程的重要性和各种自然地质现象的复杂多变，要想详细地弄清楚上述各种不同的工程地质问题，在进行洞室工程勘测时，应坚持必要的程序，按勘测设计阶段，由浅入深的做好勘测工作。

下面着重就地下工程的基本工程地质条件、地下工程总体位置和洞口、洞轴线的选择要求，分别加以分析和讨论。

一、地下工程总体位置的选择

在进行地下工程总体位置选择时，首先要考虑区域稳定性，此项工作的进行主要是向有关部门收集当地的有关地震、区域地质构历史及现代构造运动等资料，进行综合地质分析和评价。待别是对于区域性深大断裂交会处，近期活动断层和现代构造运动较为强烈的地段，尤其要引起注意。

一般认为具备下列条件是适合建洞的：基本地震烈度一般小于 8 度，历史上地震烈度及震级不高，无毁灭性地震；区域地质构造稳定，工程区无区域性断裂带通过，附近没有发震构造；第四纪以来没有明显的构造活动。

区域稳定性问题解决以后，即地下工程总体位置选定后，进一步就要选择建洞山体，一般认为理想的建洞山体具有以下条件：

（1）在区域稳定性评价基础上，将洞室选择在安全可靠的地段；

（2）建洞区构造简单，岩层厚且产状平缓，构造裂隙间距大、组数少，无影响整个山体稳定的断裂带；

（3）岩体完整，层位稳定，且具有较厚的单一的坚硬或中等坚硬的地层，岩体结构强度不仅能抵抗静力荷载，而且能抵抗冲击荷载；

（4）地形完整，山体受地表水切割破坏少，没有滑坡、塌方等早期埋藏和近期破坏的地形。无岩溶或岩溶很不发育，山体在满足进洞生产面积的同时，又有 50~100 米覆盖厚度的防护地层；

（5）地下水影响小，水质满足建厂要求；

（6）无有害气体及异常地热；

（7）其他有关因素，例如与运输、供给、动力源、水源等因素有关的地理位置等。

上述因素实际上往往不能十全十美，应根据具体情况综合考虑。

二、洞口选择的工程地质条件

洞口的工程地质条件，主要是考虑洞口处的地形及岩性、洞口底部的标高、洞口的方向等问题。至于洞口数量和位置(平面位置和高程位置)的确定必须根据工程的具体要求，结合所处山体的地形、工程地质及水文地质条件等慎重考虑，因为出入口位置的确定，一般来说，基本上就决定了地下洞室轴线位置和洞室的平面形状。

(1)洞口的地形和地质条件

洞口宜设在山体坡度较大的一面(大于 300)，岩层完整，覆盖层较薄，最好设置在岩层裸露的地段，以免切口刷坡时刷方太大，破坏原来的地形地貌而暴露目标。一般来说洞口不宜设在悬崖绝壁之下，特别是在岩层破碎地带，容易发生山崩和土石塌方，堵塞洞口和交通要道。

(2)洞口底标高的选择

洞底的标高一般应高于谷底最高洪水位以上 0.5 米~1.0 米的位置(千年或百年一遇的洪水位)，以免在山洪暴发时，洪水泛滥倒灌流入地下洞室；如若离谷底较近，易聚集毒气，各个洞口的高程不宜相差太大，要注意洞室内部工艺和施工时所要求的坡度，便于各洞口之间的道路联系。

(3)洞口方向

洞口最好应选在隐蔽而易于伪装地带，洞口位置应选在面对高山和沟谷不宽的山体的北坡背阴处。一般来说，山体北坡较陡，岩石风化程度较轻，岩石较坚固。洞口设置分散，最好不要在同一方向上设置。如受到地形限制，一定要在同一方向上设立若干个洞口，则各个洞口之间要保持一定距离。特别要注意洞口不要面对常年主导风向，以免毒气人员侵入洞室。

(4)洞门边坡的物理地质现象

洞门边坡的物理地质现象同于一般自然山坡和人工边坡的问题。

但在选择洞口选择时，必须将进出口地段的物理地质现象调查清楚。洞口应尽量避开易产生崩塌、剥落和滑坡等地段，或易产生泥石流和雪崩的地区。以免对工程造成不必要的损失。

三、洞室轴线选择的工程地质条件

洞室轴线的选择主要是由地层岩性、岩层产状、地质构造及水文地质条件等方面综合分析来考虑确定。

1．布置洞室的岩性要求

洞室工程的布置对岩性的要求是：尽可能使地层岩性均一，层位稳定，整体性强，风化轻微，抗压与抗剪强度都较大的岩层中通过。一般说来，凡没有经受剧烈风化及构造影响的大多数岩层都适宜修建地下工程。岩浆岩和变质岩大部分均属于坚硬岩石，如花岗岩、闪长岩、辉长岩、辉绿岩、安山岩、流纹岩、片麻岩、大理岩、石英岩等。在这些岩石组成的岩体内建洞，只要岩石未受风化，且较完整，一般的洞室（地面下不超过 200~300 米，跨度不超过 10 米）的岩石强度是不成问题的。也就是说，在这些岩石组成的岩体内建洞，其围岩的稳定性取决于岩体的构造和风化程度等方面。在变质岩中有部分岩石是属于软质的，如粘土质片岩、绿泥石片岩、千枚岩和泥质板岩等，在这些岩石组成的岩体内建洞容易崩塌，影响洞室的稳定性。

沉积岩的岩性比较复杂。总的来说，比上述两类岩石差。在这类岩石中较坚硬的有石灰岩、硅质胶结的石英砂、砾岩等，较软弱的岩石有泥质页岩、粘土岩、泥砂质胶结的砂、砾岩和部分凝灰岩等，这些较软弱的岩石往往具有易风化的特性。在这类岩体中建洞易产生变形和崩塌，或只有短期的稳定性。

2．地质构造与洞室轴线的关系

洞室轴线的位置确定，纯粹根据岩性好坏往往是不够的。通常与岩体所处的地质构造的复杂程度有密切的关系。在修建地下工程时，岩层的产状及成层条件对洞室的稳定性有很大影响，尤其是岩层的层次多、层薄或夹有极薄层的易滑动的软弱岩层时，对修建地下工程很不利。

当岩层无裂隙或极少裂隙的倾角平缓的地层中压力分布情况是：垂直压力大，侧压力小。相反，岩层倾角陡，则垂直压力小，侧压力增大。

下面进一步分析有关洞室轴线与岩层产状要素以及地质构造的关系。

（1）当洞室轴线平行于岩层走向时，根据岩层产状要素和厚度不同大体有如下三种情况：

①在水平岩层中(岩层倾角＜50~100)，若岩层簿，彼此之间联结性差，又属于不同性质的岩层，在开挖洞室(特别是大跨度的洞室)时，常常发生塌顶，因为此时洞顶岩层的作用如同过梁，它很容易由于层间的拉应力达到极限强度而导致破坏。如果水平岩层具有各个方向的裂隙，则常常造成洞室大面积的坍塌。因此，在选择洞室位置时，最好选在层间联结紧密、厚度大(即大于洞室高度二倍以上者)不透水、裂隙不发育，又无断裂破碎带的水平岩体部位，这样对于修建洞室是有利的(图 7-1)。

②在倾斜岩层中，一般说来是不利的，因为此时岩层完全被洞室切割，若岩层间缺乏紧密联结，又有几组裂隙切割，则在洞室两侧边墙所受的侧压力不一致，容易造成洞室边墙的变形(图 7-2)。

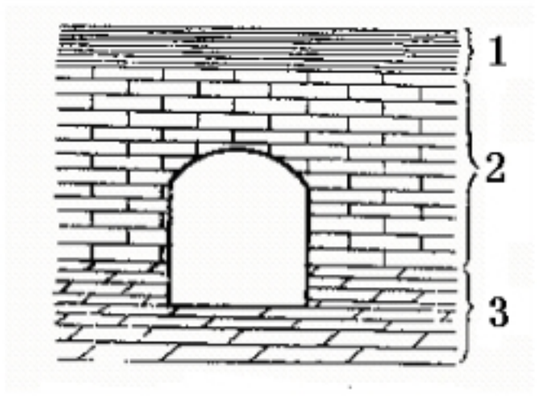


图 7-1 水平岩层中的洞室

1-页岩；2-石灰岩；3-泥灰岩

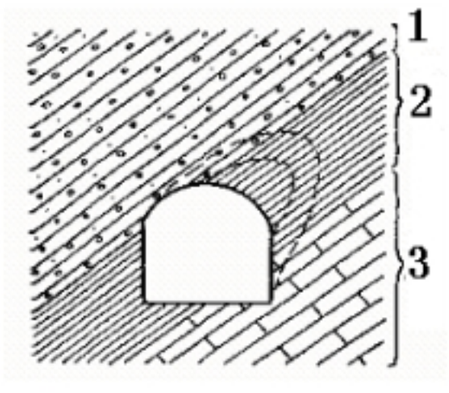


图 7-2 倾斜岩层中的洞室

1-砾岩；2-页岩；3-石灰岩

③在近似直立的岩层中，与上述倾斜岩层出现类似的动力地质现象，在这种情况下，最好限制洞室开挖的长度，而应采取分段开挖。若整个洞室位置处在厚层、坚硬、致密、裂隙又不发育的完整岩体内，其岩层厚度大于洞室跨度一倍或更大者，情况则例外。但一定要注意不能把洞室选在软硬岩层的分界线上(图 7-4)。特别要注意不能将洞室置于直立岩层厚度与洞室跨度相等与小于跨度的地层内(图 7-3)。因为地层岩性不一样，在地下水作用下更易促使洞顶岩层向下滑动，破坏洞室，并给施工造成困难。

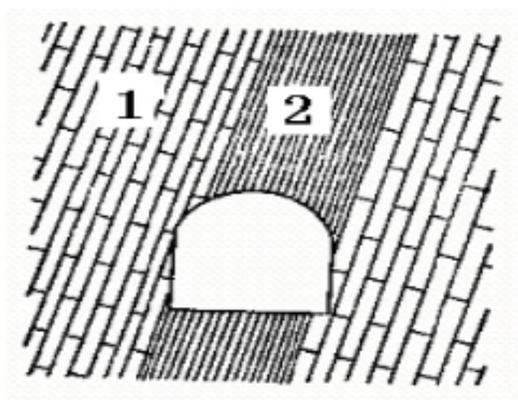


图 7-3 陡立岩层中的洞室

1-石灰岩；2-页岩

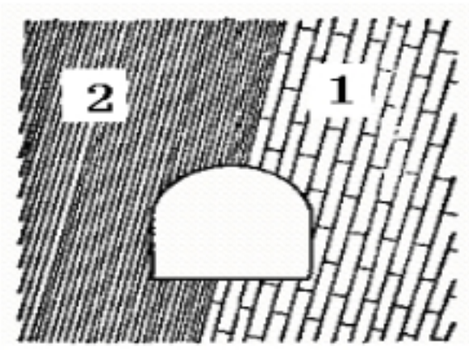


图 7-4 陡立岩层岩性分界面处洞室

1-石灰岩；2-页岩

（2）当洞室轴线与岩层走向垂直正交时，为较好的洞室布置方案。在这种情况下，当开挖导洞时，出于导洞顶部岩石应力再分布的结果，断面形成一抛物线形的自然拱，因而由于岩层被开挖对岩体稳定性的削弱要小得多，其影响程度取决于岩层倾角大小和岩性的均一性。

①当岩层倾角较陡，各岩层可不需依靠相互间的内聚力联结而能完全稳定。因此，若岩性均一，结构致密，各岩层间联结紧密，节理裂隙不发育，在这些岩层中开挖地下工程最好(图 7-5)。

②当岩层倾角较平缓，洞室轴线与岩层倾斜的夹角较小，若岩性又属于非均质的、垂直或斜交层面、节理裂隙又发育时，在洞顶就容易发生局部石块坍落现象，洞室顶部常出现阶梯形特征(图 6-6)。

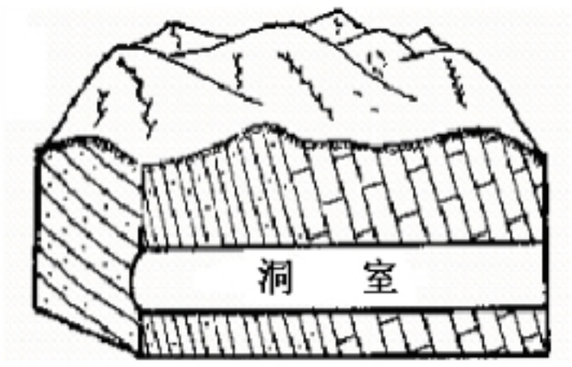


图 7-5 单斜（陡倾立）构造中洞室

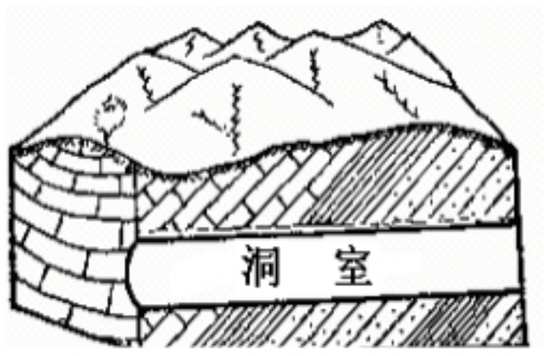


图 7-6 单斜（陡倾立）构造中洞室

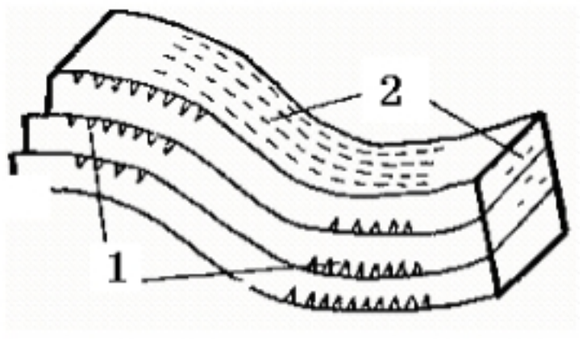
（　　泛到　　齐

压破碎，加上风化外作用，岩层往往破碎厉害。因而在开挖时遇到的岩层岩性变化较大，有

时在某些地段常遇到大量的地下水，而在另一些地段可能发生洞室顶板的岩块大量坍落。一般洞室轴线穿越褶曲地层时将遇到以下几种情况：

①洞室横穿向斜层。在向斜的轴部有时遇到大量地下水的威胁和影响洞室顶板岩块崩落的危险。因轴部的岩层遭到挤压破碎常呈上窄下宽的楔形石块(图 7-7)，组成倒拱形，

因而使其轴部岩层压力增加，洞顶岩块最容易突然地坍落到洞室。另外，由于轴部岩层破碎又弯曲呈盆形，在这些地带往往是自流水储存的场所。



1-张开裂隙；2-剪切裂隙

图 7-7 褶曲构造中裂隙的分布

若当洞室开挖在多孔隙的岩层中，在高压力下，大量的地下水将突然涌入洞室；如果所处岩层是属于致密的坚硬岩石，则承压状态的地下水将出现于许多节理中，对洞室围岩稳定和施工将会造成很大的威胁（图 7-8）。

②洞轴线横穿背斜层。由于背斜呈上拱形，虽岩层被破碎犹如石砌的拱形结构，能很好的将上覆岩层的荷重传递到两侧岩体中。因而地层压力既小又较少发生洞室顶部坍塌的事故。但是应注意若岩层受到剧烈的动力作用被压碎，则顶板破碎岩层容易产生小规模掉块。因此，当洞室穿过背斜层也必须进行支撑和衬砌(图 7-9)。

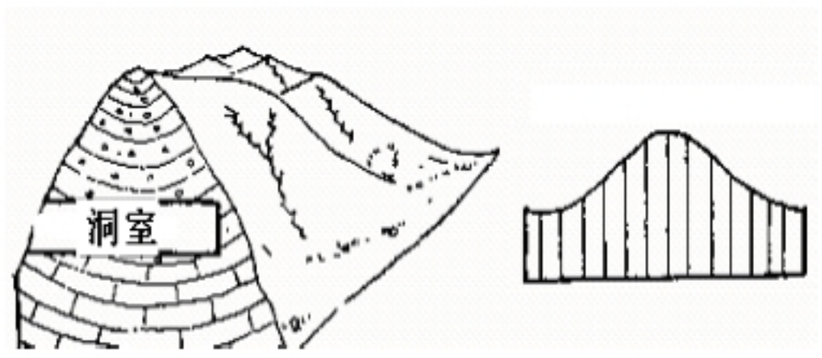
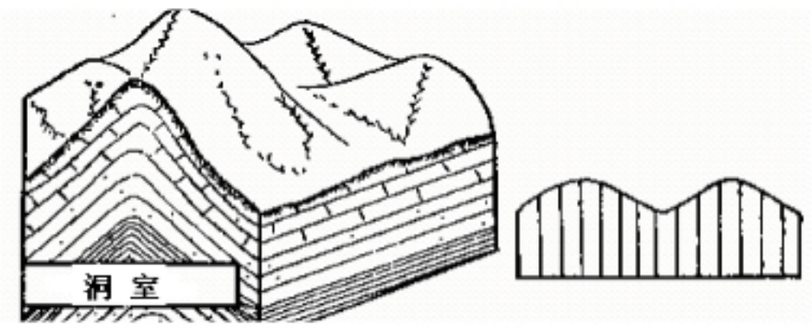


图 7-8 向斜洞室轴线上压力强度分布示意图



7-9 背斜洞室轴线上压力强度分布示意图

③当洞室轴线与褶曲轴线重合时，也可有几种不同情况。

过背斜轴部时，从顶部压力来看，可以认为比通过向斜轴部优越，因为在背斜轴部形成了自然拱圈。但是另一方面，背斜轴部的岩层处于张力带，遭受过强烈的破坏，故在轴部设置洞室一般是不利的(图 7-10 中 1 号洞室)。

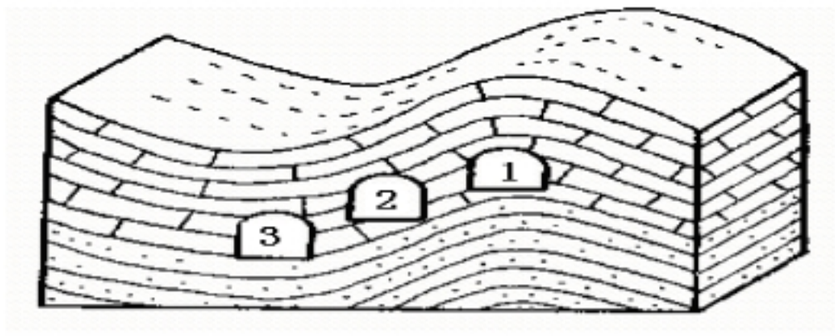


图 7-10 洞室轴线与褶曲轴线关系示意图

1-轴线与背斜轴线重合；2-洞室位于褶曲的翼部；3-洞室轴线与向斜轴线重合

在发育剪切裂隙的同时，由于地下水的存在，将产生动水压力，因而倾斜岩层可能产生滑动而引起压力的局部加强。

当洞室沿向斜轴线开挖（图 7-10 中 3 号洞室），对工程的稳定性极为不利，应另选位置。若必须在褶曲岩层地段修建地下工程，可以将洞室轴线选在背斜或向斜的两翼，这时它的侧压力增加，在结构设计时应该慎重分析，采取加固措施。

④在断裂破碎带地区洞室位置的布置，应特别慎重。一般情况下，应避免洞室轴线沿断层带的轴线布置，特别在较宽的破碎带地段，当破碎带中的泥砂及碎石等尚未胶结成岩时，绝对不允许建筑洞室工程，因为断层带的两侧岩层容易发生变位，导致洞室的毁坏；断层带中的岩石又多为破碎的岩块及泥土充填，且未被胶结成岩，最易崩落，同时也是地表水渗漏的良好通道，故对地下工程危害极大，如图 7-11 中的 1 号洞室。

当洞室轴线与断层垂直时(图 7-11 中的 2 号洞室)，虽然断裂破碎带在洞室内属局部地段，但在断裂破碎带处岩层压力增加，有时还能遇到高压的地下水，影响施工。若断层两侧为坚硬致密的岩层，容易发生相对移动。特别遇到有几组断裂纵横交错的地段，洞室轴线应尽量避开。因为这些地段除本身压力增高外，还应考虑压力沿洞室轴线及其他相应方向重新分布，这是由几组断裂切割形成的上大下小的楔形山体可能将共自重传给与相邻的山体，而使这些部位的地层压力增加(图 7-12)。

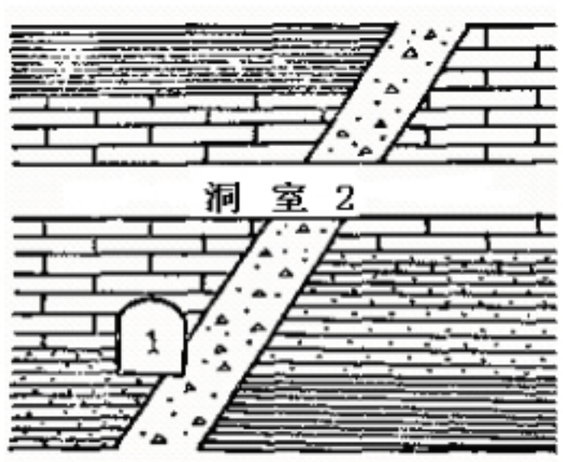


图 7-11 洞室轴线与断层轴线示意图

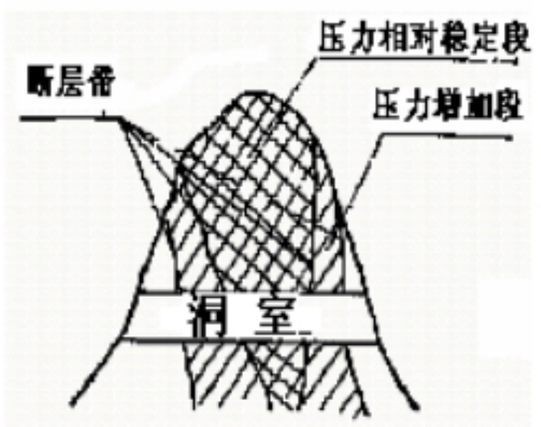


图 7-12 洞室被几组断裂切割，洞室承受压力不同

在新生断裂或地震区域的断裂，因还处于活动时期，断裂变位还在复杂地持续过程中，这些地段是不稳定的，不宜选作地下工程场地。若在这类地段修建地下工程，将会遇到巨大的岩层压力，且易发土岩体坍塌，压裂衬砌造成结构物的破坏。

总之，在断裂破碎带地区，洞室轴线与断裂破碎带轴线所成的交角大小，对洞室稳定及施工的难易程度关系很大。如洞室轴线与断裂带垂直或接近垂直，则所需穿越的不稳定地段较短，仅是断裂带及其影响范围岩体的宽度；若断裂带与洞室轴线平行或交角甚小，则洞室不稳定地段增长，并将发生不对称的侧向岩层压力。

7.6 保障地下洞室围岩稳定性的处理措施

研究地下洞室围岩稳定性，不仅在于正确地据以进行工程设计与施工，也为了有效地改造围岩，提高其稳定性。常采用光面爆破、掘进机开挖等先进的施工方法以及对围岩采取灌浆、锚固、支撑和衬砌等加固措施。从工程地质观点出发，保障地下洞室围岩稳定性的途径有二：第一，保护地下洞室围岩原有的强度和承载能力，如及时封闭围岩以防风化，及时衬砌阻止围岩产生过大变形和松动；第二，赋予围岩一定的强度使其稳定性有所提高，如给围

岩注浆、封闭裂隙、用锚杆加固危岩等。前者主要是采用合理的施工和支护衬砌方案，后者主要是加固围岩。

一、合理施工，尽量减少围岩的扰动

围岩稳定程度不同，应选择不同的施工方案。尽可能全断面开挖，多次开挖会损坏岩体。若地下洞室断面较大，一次开挖成型困难时，可采用分部开挖逐步扩大的施工方法，并根据围岩的特征，采用不同的开挖顺序以保护围岩的稳定性。例如，当洞顶围岩不稳定而边墙围岩稳定性较好时，应先在洞顶开挖导洞并立即做好支撑，当洞顶全部轮廓挖出做好永久性衬砌后再扩大下部断面。如整个洞室的围岩均不甚稳定时，则应先开挖侧墙导洞并做好衬砌后，再开挖上部断面。

二、支撑、衬砌与锚喷加固

支撑是临时性加固洞壁的措施，衬砌是永久性加固洞壁的措施。此外还有喷浆护壁、喷射混凝土、锚筋加固、锚喷加固等。

1．支撑

支撑按材料可分为木支撑、钢支撑和混凝土支撑等。在不太稳定的岩体中开挖时，应考虑及时设置支撑，以防止围岩早期松动。支撑是保护围岩稳定性的简易可行的办法。

2．衬砌

衬砌的作用与支撑相同，但经久耐用，使洞壁光坦。砖、石衬砌较便宜，钢筋混凝土、钢板衬砌的成本最高。衬砌一定要与洞壁紧密结合，填严塞实其间空隙才能起到良好效果。作顶拱的衬砌时，一般还要预留压浆孔。衬砌后，再回填灌浆，在渗水地段也可起防渗作用。

3．锚喷加固

充分利用围岩自身强度来达到保护围岩并使之稳定的目的。此方法在我国的应用日益广泛，国外采用也很普遍。

锚喷支护是喷射混凝土支护与锚杆支护的简称，其特点是通过加固地下洞室围岩，提高围岩的自承载能力来达到维护地下洞室稳定的目的。它是近三十年来发展起来的一种新型支护方式。这种支护方法技术先进、经济合理、质量可靠、用途广泛，在世界各地的矿山、铁路交通、地下建筑以及水利工程中得到广泛使用。

在支护原理上，锚喷支护能充分发挥围岩的自承能力，从而使围岩压力降低，支护厚度减薄。在施工工艺上，喷射混凝土支护实现了混凝土的运输、浇筑和捣固的联合作业，且机械化程度高，施工简单，因而有利于减轻劳动强度和提高工效；在工程质量上，通过国内外工程实践表明是可靠的。

锚喷支护在危岩加固、软岩支护等方面均有其独到的支护效果，但是到现在为止，锚喷支护仍在发展和完善之中，无论是作用机理的探讨，还是设计与施工方法的研究均有待于科学技术工作者作出新的成就，以缩短理论和实践的差距。

（1）喷层的力学作用

喷层的力学作用有两个方面。其一是防护加固围岩，提高围岩强度。地下洞室掘进后立即喷射混凝土可及时封闭围岩暴露面，由于喷层与岩壁密贴，故能有效地隔绝水和空气，防止围岩因潮解风化产生剥落和膨胀，避免裂隙中充填料流失，防止围岩强度降低。此外，高压高梦喷射混凝土时，可使一部分混凝土浆液渗人张开的裂隙或节理中，起到胶结和加固作用，提高了围岩的强度。其二是改善围岩和支架的受力状态。含有速凝剂的混凝土喷射液，可在喷射后几分钟内凝固，及时向围岩提供了支护抗力（径向力），使围岩表层岩体由未支护时的双向受力状态变为三向受力状态，提高了围岩强度。

(2)锚杆的力学作用

目前比较成熟和完善的有关锚杆的支护力学原理有悬吊作用、减跨作用和组合作用。

悬吊作用认为，锚杆可将不稳定的岩层悬吊在坚固的岩层上，以阻止围岩移动或滑落。这样，锚杆杆体中所受到的拉力即为危岩的自重，只要锚杆不被拉断，支护就是成功的，当然，锚杆也能把结构面切割的岩块连接起来，阻止结构面张开。

减跨作用在地下洞室顶板岩层打人锚杆，相当于在地下洞室顶板上增加了新的支点，使地下洞室的跨度减小，从而使顶板岩石中的应力较小，起到了维护地下洞室的作用。

组合作用在层状岩层中打人锚杆，把若干薄岩层锚固在一起，类似于将叠置的板梁组成组合梁，从而提高了顶板岩层的自支承能力，起到维护地下洞室稳定的作用，这种作用称为组合梁作用。另一种组合作用力—组合拱，深入到围岩内部的锚杆，由于围岩变形使锚杆受拉，或在预应力作用下锚杆内受力，这样相当于在锚杆的两端施加一对压力。由于这对力的作用，使沿锚杆方向一个圆锥体范围的岩体受到控制。这样按一定间距排列的多根锚杆的锥体控制区连成一个拱圈控制带，这就是组合拱，组合拱间的围岩相互挤压相当于天然的拱碹，从而起到维护围岩的作用。

4. 灌浆加固

在裂隙严重的岩体和极不稳定的第四纪堆积物中开挖地下洞室，常需要加固以增大围岩稳定性，降低其渗水性。最常用的加固方法就是水泥灌浆，其次有沥青灌浆、水玻璃灌浆等。通过这种办法，在围岩中大体形成一圆柱形或球形的固结层，起到加固的目的。

掌握内容：

1、知道围岩压力变形破坏的基本类型，围岩压力的表现形式。

2、知道地下洞室围岩稳定与哪些因素有关，主要的地下工程地质问题。

3、知道保障地下洞室围岩稳定性的处理方法。