

624.19/253

# 铁路隧道围岩分类

关宝树 编

人民铁道出版社

# 铁路隧道围岩分类

关宝树 编

人 民 铁 道 出 版 社

1978年·北京

## 内 容 简 介

本书简要介绍了地下坑道围岩分类的现状，铁路隧道围岩分类的基本内容及其应用，可供从事地下工程设计、施工人员参考，亦可作为大专院校地下工程专业的教学参考书。

### 铁路隧道围岩分类

关宝树 编

人民铁道出版社出版

责任编辑 赵洪鑫

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本 787×1092 1/32 印张：2.75 字数：60千

1978年11月第1版 1978年11月第1次印刷

印数：0001—4,500册

统一书号 15043·6146 定价：0.28元

## 目 录

概述	
第一节 围岩分类的现状	3
一、以岩石强度或岩石的物性指标为代表的分类方法	3
二、以岩体构造、岩性特征为代表的分类方法	7
三、与地质勘查手段相联系的分方法	9
四、以多种因素进行组合的分类方法	17
五、以坑道稳定状态为代表的分类方法	23
第二节 围岩分类的基础条件	27
一、几个基本概念	27
二、影响坑道围岩稳定性的因素及分析	30
三、围岩分类与围岩压力	43
四、分类指标的选择	48
第三节 铁路隧道围岩分类	53
一、铁路隧道围岩分类发展情况	53
二、铁路隧道围岩分类的基础条件	55
三、铁路隧道围岩分类表	59
四、判定隧道围岩分类的工程地质方法	62
五、各类围岩的物理力学性质指标	66
第四节 围岩分类的应用	68
一、坑道围岩稳定性的分类及其特征	68
二、支护结构的选择及其参数	69
三、关于设计荷载(围岩压力)的确定	72

四、围岩分类与施工方法的选择.....	80
结束语.....	82
参考文献.....	83

## 概 述

目前，地下工程的设计和施工在很大程度上还处在“经验设计”、“经验施工”的阶段。其中一个主要原因是：做为地下工程设计、施工的基础条件——坑道围岩分类还处在“经验分类”的阶段上所造成的。人们对于坑道围岩的认识，也就是说，对于与地下工程有直接关系的地质条件的认识还不充分，还不能客观地揭示出地质条件与地下工程之间本质的、内在的联系，因而也就不能客观地预测或判断坑道围岩的状态。

地下工程所遇到的地质条件，诸如地质构造、岩性、地下水……等，都是千变万化的。这就给地下工程的设计和施工带来了很大的、不可避免的“盲目性”。但也应指出，地下工程的某一种类型的支护结构，或某一种施工方法，在多数条件下都有很大的地质适应性。例如：上下导坑施工法，就可以适应大部分中等程度的地质条件；喷射混凝土做为临时支护，在采取一定措施的情况下，几乎可以适应绝大多数的地质条件。这就说明：针对不同的工程目的（爆破开挖、支护、掘进机掘进……等），是可以把与之相适应的地质条件进行一定的概括、归纳并加以分类的，从而为地下工程的设计、施工提供一定的基础条件。因此，国内外在最近十几年内，把地下坑道围岩分类做为地下工程技术基础研究内容之一，从定性上、定量上进行了大量的探索和实践，并获得了一定成果。

我国铁路系统，从1972年起，在编制新的《铁路工程技术规范》的过程中，对隧道的围岩分类进行了较为重大的改

革，并于1975年7月开始正式在全路试行。在国家建委、冶金、煤炭、水电、军工等部门中，也相继提出了针对本部门地下工程特点的坑道围岩分类。在坑道围岩分类这一研究领域出现了“百家争鸣”的局面，这是一个可喜的现象。

这本小册子拟以铁路隧道围岩分类为基础，简述地下坑道围岩分类的现状，分类的基础条件，分类指标的选择，判断围岩类别的工程地质方法以及铁路隧道围岩分类在隧道设计、施工中的应用。

## 第一节 围岩分类的现状

坑道围岩分类是在地下工程实践的基础上发展起来的，是随着人们对地下工程、地质条件及两者间相互关系的了解、不断深化、不断提高的基础上发展起来的。

所谓围岩分类，简言之，就是针对不同的工程要求，如爆破、开挖、支护、编制定额……等，而把与之相适应的地质条件进行分类，以满足地下坑道设计、施工的需要。因此，国内外提出了许多坑道围岩分类的建议和方法，有的还在实践中得到了广泛的应用。

目前，在实践中得到应用的坑道围岩分类，大体上有下述几种方法：

- 一、以岩石强度或岩石的物性指标为代表的分类方法；
- 二、以岩体构造、岩性特征为代表的分类方法；
- 三、与地质勘查手段相联系的分方法；
- 四、以多种因素进行组合的分类方法；
- 五、以坑道稳定状态为代表的分类方法。

下面扼要说明各类方法的内容及有代表性的分类建议。

### 一、以岩石强度或岩石的物性指标 为代表的分类方法

在地下工程的初期，由于对地下工程与地质条件的关系认识不充分，再加上缺乏有效的地质勘查手段（方法），围岩分类也多单纯的以岩石强度作为分类指标。例如，我国解放前采用的坚石、次坚石、软石的分类方法，就是以岩石单轴极限抗压强度为代表的（表1、表2）。



岩石分级表

表 1

分 类	岩石试件极限抗压强度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	岩石平均单位容重 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
软 石	< 400	1100~2700
次 坚 石	400~1000	2200~3000
坚 石	>1000	2500~3300

岩石分级表

表 2

分 类	岩石极限抗压强度( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	岩石平均单位容重( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
松 软 土	—	1500~1900
普 通 土	—	1750~1900
硬 土	—	1950~2200
软 石	< 200	2000~2200
次 坚 石	400~1000	2700~2900
坚 石	1000~1600	2700~3200
特 坚 石	1600~2500	2800~3300

上述分类除了考虑岩石极限抗压强度外，还引进了岩石的平均单位容重。当时的认识是：坑道开挖后，它的稳定性主要取决于岩石的强度。岩石愈坚硬，坑道愈稳定，反之，岩石愈松软，坑道稳定性就愈差。实践证明，这种认识以及建立在这种认识基础上的围岩分类是不全面的，在某些情况下还会导致错误的判断。例如，老黄土在无水的条件下，坑道开挖后是相当稳定的，有些黄土人工洞室，在无支护条件下可以维持十几年、几十年之久。但如单纯地从岩石的抗压强度出发，其数值很小，只有几公斤/厘米<sup>2</sup>，就应属于坑道围岩稳定性很差的一类，就势必导致采用强力支护的措施。又如，在岩性相同的条件下，坑道稳定性与岩体的破碎程度或地质构造因素有极其密切的关系。在岩石强度虽高，但岩体破碎的情况下，坑道也是不稳定的。因此，这种单纯地以

岩石强度为基础的分类方法，并没有得到进一步的发展。

在这种分类法中，值得提出的就是苏联的“岩石坚固性系数”分类法（或谓之“ $f$ ”值分类法，或普氏分类法）（表3）。它在我国的地下工程中曾经得到广泛的应用。

普氏岩石坚固性系数分类表

表 3

围岩类别	坚硬程度	地 层	$f$
1 I	极度坚硬	最坚硬，紧密及坚韧的石英和玄武岩，在强度方面为其他岩层所不及者……	20
2 II	很 硬	很硬的花岗岩层，石英质斑岩，很硬的花岗岩，硅质片岩，比上述石英略弱的石英，最硬的砂岩及石灰岩……	15
3 III	坚 硬	花岗岩（紧密的）和花岗岩层，很硬的砂岩和石灰岩，石英质矿脉，硬的砾岩，很硬的铁矿……	10
		石灰岩（坚硬的），不硬的花岗岩，硬的砂岩，硬大理石，黄铁矿，白云石……	
III甲	同 上	石灰岩（坚硬的），不硬的花岗岩，硬的砂岩，硬大理石，黄铁矿，白云石……	8
4 IV	相当坚硬	普通砂岩，铁矿……	6
IV甲	同 上	砂质片岩，片岩状砂岩……	5
5 V	普 通	硬的粘土质片岩，不硬的砂岩和石灰岩，软的砾石……	4
V甲	同 上	各种片岩（不硬的），紧密的泥灰岩……	3
6 VI	相当软	软片岩，软石灰岩，白垩，岩盐，石膏，冻结土，无烟煤，普通的泥灰岩，破碎的砂岩，胶结的卵石和砂砾，掺石土……	2
		碎石土，破碎的片岩，松散的卵石和碎石，硬煤（ $f=1.4\sim 1.8$ ），硬化粘土……	
VI甲	同 上	碎石土，破碎的片岩，松散的卵石和碎石，硬煤（ $f=1.4\sim 1.8$ ），硬化粘土……	1.5
7 VII	软 地 层	粘土（紧密的），普通煤（ $f=1.0\sim 1.4$ ），硬冲积土，粘土质土壤……	1
		略带砂性粘土，黄土，砂砾，软煤（ $f=0.6\sim 1$ ）……	
VII甲	同 上	略带砂性粘土，黄土，砂砾，软煤（ $f=0.6\sim 1$ ）……	0.8
8 VIII	土质地质	种植土，泥炭，略带砂性沃土，湿沙……	0.6
9 IX	散粒地层	沙，漂砾，小砂砾，松散土，开采出的煤……	0.5
10 X	流砂地层	流沙，沼泽土，含水黄土和其他含水土壤（ $f=0.1\sim 0.3$ ）……	0.3

“ $f$ ”值分类法是以岩石的综合物性指标为基础的。“ $f$ ”值是表示岩石在采矿各个方面的相对坚固性的：如人工破碎

岩石时的破碎性；钻炮眼或钻孔时的抗钻性；对炸药的抗爆性；支护结构上的地压等。因此“ $f$ ”值是一个综合的物性指标。在大多数岩石中，这些物性（抗钻性、抗爆性、抗压强度……）是可以互换的，即抗压强度大的，抗钻性及抗爆性也高，反之，亦相反。因此，“ $f$ ”值能够反映岩石各方面的大致性能。但从确定“ $f$ ”值的主要方法看，即  $f_{\text{岩石}} = \frac{1}{100} R_c$

（ $R_c$ ——岩石极限抗压强度  $\text{kg/cm}^2$ ），它仍然是岩石强度指标的一个反映。因而这种分类法，实质上也是以岩石强度为基础的。

普氏也曾指出，把“ $f$ ”值应用到地下工程的设计、施工时，要考虑一定的地质条件。即把某一种岩石划归那一类不能仅仅根据它的名称，也要根据它的物理状态。风化的、有节理的、接近断层的……等岩石都要划到较低一类岩石中去。这实质上是把由强度决定的“ $f$ ”值适当降低，即

$$f_{\text{岩体}} = K \cdot f_{\text{岩石}}$$

$K$  是考虑地质条件的折减系数。在这种情况下的“ $f$ ”值应该称为岩体的（或围岩的）坚固性系数（ $f_{\text{岩体}}$ ），而不是岩石的了。我国铁路隧道设计施工实践中所采用的“ $f$ ”值实质上就是岩体坚固性系数。这一点后面还要作进一步说明。

以岩石强度，主要是抗压强度为基础的分类方法，在选择钻孔机械，在确定掘进机的类型等与开挖工艺有密切关系的问题上，仍然具有重要的意义，因为这些方法的有效性取决于岩石的强度或硬度。因此，还不能忽视对岩石强度性质的研究。

## 二、以岩体构造、岩性特征为 代表的分类方法

在这方面，较早的在地下工程应用较广的是 K. 泰沙基的分类法(表 4)。

K. 泰沙基围岩分类表

表 4

岩层状态	岩石荷载高度(米)	说 明
1. 坚硬的, 无损害的	0	当有掉块或岩爆时可设轻型支撑
2. 坚硬的, 呈层状或片状的岩层	$0 \sim 0.5 B$	采用轻型支撑。荷载局部作用, 变化不规则
3. 大块, 有一般节理的	$0 \sim 0.25 B$	
4. 有裂痕, 块度一般的岩层	$0.25 B \sim 0.35 (B + H_t)$	无侧压
5. 裂隙较多, 块度小的岩层	$(0.35 \sim 1.10) (B + H_t)$	侧压很小或没有
6. 完全破碎的, 但不受化学侵蚀的	$1.10 (B + H_t)$	有一定侧压。由于漏水, 隧道下部分变软, 支撑下部要作基础。必要时可采用圆形支撑
7. 挤压变形缓慢的岩层 (覆盖厚度中等)	$(1.10 \sim 2.10) (B + H_t)$	有很大侧压, 必要时修仰拱, 推荐采用圆形支撑
8. 同上, 但覆盖层较厚	$(2.10 \sim 4.50) (B + H_t)$	
9. 膨胀性地质条件	与 $(B + H_t)$ 无关, 一般达 80 米以上	要用圆形支撑, 激烈时采用可缩性支撑

[注] 表中  $B, H_t$  分别为坑道宽度及高度。

这个分类表是以坑道支护所需的地压值为对象的。它把不同岩性、不同构造条件的围岩分为九类。每类围岩都有一个相应的地压范围值。分类是以有水条件为基础的, 当确认无水时, 4~7 类围岩的地压值应降低 50%。应该指出表 4 是根据早期阿尔卑斯山隧道导坑 (3.0 m × 3.0 m) 中的实地量测资料整理的。因此在围岩的定性描述上是比较概括的,

给定的地压值在多数情况下是偏高的。最近的一些研究指出，这个数值可以减小 70%。此外分类还缺少定量的描述。但应指出，这个分类目前在欧、美各国的地下工程中，仍然是广泛采用的一个分类方法。

我国铁路隧道，1960 年左右在“ $f$ ”值的基础上，考虑了围岩的地质特征(风化、破碎、裂隙……)提出的岩体坚固性分类法，列于表 5。在这里我们引进了岩体的概念，这是对地下工程与地质条件的正确认识的一个反映。

铁路隧道采用的岩体坚固性系数( $f_{岩体}$ ) 表 5

$f_{岩体}$	围岩地质特征	岩层名称	单位体积重量 $\gamma(t/m^3)$	内摩擦角 $\phi$
$\geq 15$	坚硬密实稳固无裂隙和未风化的岩层	很坚硬的花岗岩和石英岩，最坚硬的砂岩和石灰岩等	2.6~3.0	—
$\geq 8$	坚硬密实稳固岩层，有很小裂缝	坚硬的石灰岩和砂岩，大理岩，白云岩，黄铁矿，不坚硬的花岗岩	2.5	80°
6	相当坚硬的较密实的稍有风化的岩层	普通砂岩，铁矿	2.4~2.5	75°
5	较坚硬的较密实的稍有风化的岩层	砂质片岩，片岩状砂岩	2.4~2.5	72°30'
4	较坚硬的岩层，可能沿着成层面和沿着节理脱落，已受风化的岩层	坚硬的粘板岩，不坚硬的石灰岩和砂岩，软砾岩	2.5~2.8	70°
3	中等坚硬的岩层	不坚硬的片岩，密实泥灰岩，坚硬胶结的粘土	2.5	70°
2	较软岩石	软片岩，软石灰岩，冻结土，普通泥灰岩，破碎砂岩，胶结卵石	2.4	65°
1.5	较软或破碎的地层	碎石土壤，破碎片石，硬化粘土，硬煤，粘胶的卵石和碎石	1.8~2.0	60°
1.0	软的或破碎的地层	密实粘土，坚硬的冲积土，粘土质土壤，掺砂土，普通煤	1.8	45°
0.6	颗粒状的和松软地层	湿砂，粘砂土，种植土，泥炭，软砂粘土	1.5~1.6	30°

前已指出， $f_{\text{岩体}}$ 实质上是把 $f_{\text{岩石}}$ 作适当地降低。降低的幅度，则视围岩的地质条件而定。表5主要考虑的地质因素是岩性(软、硬)、风化程度、松散破碎程度等，但都缺少定量的描述。

我国在修建成(都)昆(明)铁路时，结合对实测地压的测量数据的分析对比以及在施工过程中对围岩稳定性的观察，对岩体结构进行了一定的分析，提出了表6所列的“岩体综合分类”。

这个分类正确地指出，坑道围岩的稳定性主要取决于坑道围岩的地质构造特征、围岩的结构面状态、风化状况、地下水情况等，并依上述条件将岩质围岩分为五类。各类围岩都建议了相应的施工方法、地压值及支护结构的类型。

应该指出，上述分类都缺乏较为可靠的、有效的判断或预测方法，在一定程度上要等到隧道开挖后再进行分析、判断。分类都只有简单的定性描述，缺少相应的定量分析，因而在应用上受到“经验”因素影响很大，这是很难避免的。

### 三、与地质勘查手段相联系的分方法

随着工程地质勘探方法，尤其是物探方法的进展，如何能够根据地质勘查过程中采用的方法，预测围岩的状态，判断围岩的类型，逐渐成为围岩分类研究中一个重要的内容。

在这方面，日本按弹性波速度进行围岩分类的方法是一个很有前途的方法。理论与实践都证明，弹性波传播特征与岩石性质、岩性好坏、岩体结构以及所受应力等有密切关系。这种内在联系为采用弹性波速度进行围岩分类提供了可能。

在分类中，首先把处于良好、完整状态各类岩石、土壤等，按其生成条件、岩石性质分为七大类，参见表7。然后，把各类岩石，土壤，按其弹性波速度的不同，又细分为

## 岩 体 综 合

类别	完整性	地质构造特征	结构面特征	
			节理	层理
I	良好的	无明显的断层褶曲	有一些交错的节理,或虽有一、二组但节距很大,线裂隙率1~3条/米,隙宽从密闭至2mm,几乎看不到张开节理	单独层厚常>0.4m,或巨厚层,层间胶结良好,没有软弱夹层
II		只有个别小断层或平缓的小褶曲	多半有二组节理,节距0.3~1.0m(平均0.5左右),隙宽1~3mm,超过2mm者较少,节面较粗糙。多为硅质钙质充填,有个别张开节理,体裂隙率0.1~0.5%	单独层厚0.3~1.0m,偶见<0.3m者,层间胶结较紧密,仅有极个别的软弱夹层
III	中等的	构造作用较明显,局部处有小型的断层或褶曲	常有二、三组较发育的节理,节距0.2~0.8m(平均0.4左右),隙宽多在2~4mm以内,部分为硅质、钙质、泥质充填,有少数张开节理,体裂隙率0.3~0.8%	单独层厚0.2~0.8m,少数<0.2m,层间胶结较好,间或有软弱夹层
IV		有断层和褶曲,但规模小,不剧烈	多为三组较发育的节理,节距0.1~0.6m(平均0.3m左右),隙宽可达3~6mm,填充不填充的均有,张开节理不太多,体裂隙率0.5~1.0%,有时见少许风化节理	单独层厚0.1~0.5m,有时<0.1m,层间胶结一般,有软弱夹层,但不占优势
V	破软的	断层褶曲频繁剧烈	有三组或更多的节理,节距平均在0.3m以下,隙宽5~10mm或更大,少部分有填充,节面多未胶结,节理方向不规则,有时很密集,致使岩体十分破碎,体裂隙率>1.0%,有时风化节理相当多	单独层厚<0.3m,且<0.1m的较多,层间胶结不均,软弱层较多,软质岩层与硬质岩层交互层时软的占优势
VI	土质的			

说明: 1. 结构面产状(包括节理、层理、片理等)倾向不利于隧道——一般走  
 2. 节理的“线裂隙率”,指沿一定方向的一段直线,所穿过的平均单  
 3. 节理的“体裂隙率”,指单位岩体内,所有节理裂隙的总体积,占  
 4. 土质隧道如何分类及物理力学指标,有待进一步研究。

分 类 表

表 6

风化状况	地下水情况	施工情况	山体压力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
风化极轻微,而且不易风化	没有地下水,或有少量裂隙水	可半断面或全断面开挖,除非施工方法的需要,一般不需支撑,有时也发生很个别的掉石现象,开挖后周壁稳定	拱部均无明显 的山体压力
风化较轻,亦不易风化	只有微量滴(渗)水,或虽有少量裂隙水而不致引起岩体软化者	导坑部分需支撑,有时上导坑可用弧形导坑开挖,掘进导坑时只有个别掉块现象,拱部扩大后不需支撑,侧壁直立稳定	拱部法向压力 0.05~0.15, 墙部侧压力 0.05~0.03
风化较轻,可采取防护措施防止风化	有少量地下水,但岩体为不易软化的	导坑大部分需支撑,掘进导坑和拱部扩大时有少量坍塌,扩大后个别处需支撑,打拱时支撑可全部拆除,侧壁基本稳定	拱部法向压力 0.15~0.33, 墙部侧压力 0.07~0.15
风化稍重,比较容易风化	有的地方裂隙水较大,或虽有地下水易于排导处理者	上下导坑均需支撑,局部有坍塌,拱部扩大后局部需支撑,打拱时个别支撑较难拆除,侧壁稳定性较差,支撑排架显著受力	拱部法向压力 0.33~0.50, 墙部侧压力 0.10~0.20
风化严重,很容易风化	多有地下水活动	导坑支撑有时需加强,开挖后坍塌范围会扩大,拱部扩大后需扇形支撑,排架受力大或有显著变形,打拱时有些支撑很难拆除	拱部法向压力 0.5~1.0, 墙部侧压力 0.15~0.30

向与隧道交角 $<30^\circ$ , 倾斜角 $30^\circ\sim 60^\circ$ , 又结构面胶结不好者, 应考虑偏压问题。  
位长度内的条数。  
岩体体积的百分数。



续上表

类别	岩(土)体物理力学性 指标(kg/cm <sup>2</sup> )	建议衬砌型式	岩层举例	附注
I	岩体的压切强度 $\Delta$ 7.5, 混凝土与岩体 间的粘着力 $>0.6$	1. 不衬砌 2. 喷混凝土(浆) 支护	砂岩(非泥质)、 石灰岩、花岗岩、 片麻岩等	山体压力为 单线铁路隧 道的数值、 压力分布不 均
II	岩体的压切强度 $\Delta$ 6.5, 混凝土与岩体 间的粘着力 0.6	1. 大拱脚喷混凝土(浆)支护 2. 大拱脚花边墙	砂岩、以砂岩为互 层的砂页岩、花 岗岩、片麻岩、 玄武岩等	压力值已考 虑超载系 数, 即较实 测数值增大 1.5 倍
III	岩体的压切强度 $\Delta$ 5.5, 混凝土与岩体 间的粘着力 0.5	1. 大拱脚花边墙 2. 大拱脚喷混凝土(浆)支护 3. 大拱脚薄边墙	同 上	
IV	岩体的压切强度 $\Delta$ 4.5, 混凝土与岩体 间的粘着力 0.4	1. 大拱脚薄边墙 2. 大拱脚花边墙	砂岩、砂页岩互 层、石灰岩、花 岗岩、片麻岩、 玄武岩、较好的 硅质钙质片岩等	片理、劈理 也是结构面
V	岩体的压切强度 $<$ 4.5, 混凝土与岩体 间的粘着力 $\leq 0.3$		断层褶皱带、泥 灰岩、页岩、煤 纹岩、片岩、煤 系地层等	
VI				