

ICS 号

CCS 号

# 团体标准

T/CHTS XXXXX-2022

## 公路挤压性围岩隧道施工技术规范

Technical specification of construction for highway tunnel of  
squeezing surrounding rock

(征求意见稿)

2022-xx-xx 发布

2022-xx-xx 实施

中国公路学会 发布

作为国家标准委、中国科学技术协会团体标准双试点单位，中国公路学会积极贯彻国务院《深化标准化工作改革方案》（国发〔2015〕13号）的要求，立足交通运输行业公路交通领域，于2015年6月份正式启动团体标准工作。同时，中国公路学会标准工作得到了交通运输部的大力支持，并正式写入交通运输部《交通运输标准化“十三五”发展规划》。

中国公路学会严格按照学会标准管理办法及团体标准良好行为指南要求对标准化工作进行管理，遵循开放、公平、透明、协商一致的原则，突出团体标准贴近实际、注重实用的特点，充分发挥密切跟踪行业科技创新进程、及时了解市场技术发展需求的优势，为交通运输行业公路交通领域提供优质的标准，促进行业技术进步，并打造中国公路学会标准品牌。

获取更多学会标准资讯请关注“中国公路学会标准”微信公众号(微信号: CHTS-standard)。

本标准版权为中国公路学会所有。除用于国家法律法规规定用途，或事先得到中国公路学会文字上的许可，不得以任何形式擅自复制、改编、汇编、翻译、发行或传播本标准。

中国公路学会地址：北京市朝阳区安华路17号

电话：010-64288712

网址：<http://www.chts.cn/>

电子信箱：[CHTS-S@qq.com](mailto:CHTS-S@qq.com)

团体标准

公路挤压性围岩隧道施工技术规范

Technical specification of construction for highway tunnel of  
squeezing surrounding rock

T/GHTS XXXXX-2022

主编单位：中交一公路集团有限公司

发布单位：中国公路学会

实施日期：2022年××月××日

×××××××(出版单位)

# 前 言

本规程是在系统总结国内典型高地应力挤压性围岩隧道变形控制技术研究成果和工程经验的基础上编制而成。

本规程按照《中国公路学会标准编写规则》(T/CHTS 10001)编写。共分为8章、8个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、施工技术准备、围岩探测与评价、开挖支护措施、施工控制、监控量测与应急处理等。

本规程由中交一公局集团有限公司提出，受中国公路学会委托，负责具体解释工作。请有关单位将实施中发现的问题和建议反馈至中交一公局集团有限公司（地址：北京市朝阳区管庄周家井世通国际大厦A座，联系电话：010-65894613，电子邮箱：304173986@qq.com），供修订时参考。

**主编单位：**中交一公局集团有限公司

**参编单位：**中交隧道工程局有限公司、中交一公局第五工程有限公司、中交一公局西南工程有限公司

**主要起草人：**赵宗智、孙建平、朱荣辉、鞠加元、光明、王强、强思翰、黄解放、任伟涛、朱永领、伍建林、彭国才、任正刚、杨金龙、初立伟、王学海、于方正、王知远、赵永祥、裴宏宇、崔明、梁显伟、荆敏、赫英龙、蔡举胜、郝敏洁

**主要审查人：**×××、×××、×××

# 目 次

1 总则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术语 .....	2
2.2 符号 .....	5
3 基本规定 .....	6
4 施工技术准备 .....	8
4.1 一般规定 .....	8
4.2 地质核查 .....	8
4.3 风险评估 .....	9
4.4 针对性技术措施准备 .....	10
5 围岩探测与评价 .....	12
5.1 一般规定 .....	12
5.2 地质调查 .....	12
5.3 地应力测试 .....	13
5.4 岩石物理力学试验 .....	14
5.5 超前地质预报 .....	15
5.6 围岩评价及变形等级划分 .....	16
6 开挖支护措施 .....	19
6.1 一般规定 .....	19
6.2 开挖方法 .....	19
6.3 锚固体系 .....	20
6.4 预留变形量 .....	22
6.5 二次衬砌 .....	22
7 施工控制 .....	24
7.1 一般规定 .....	24
7.2 开挖方法 .....	24
7.3 系统锚杆施工 .....	26

7.4 预应力锚索施工 .....	28
7.5 网片施工 .....	28
7.6 钢拱架施工 .....	29
7.7 喷射混凝土施工 .....	29
7.8 二次衬砌施工 .....	30
7.9 其他 .....	32
8 监控量测及应急处理 .....	34
8.1 一般规定 .....	34
8.2 监控量测项目及技术要求 .....	35
8.3 监控量测数据分析与反馈 .....	40
8.4 变形过程管控 .....	41
8.5 应急处理技术措施 .....	43
附录 A 公路隧道挤压性围岩地质特征 .....	45
附录 B 挤压性围岩变形控制措施表 .....	49

# 1 总则

1.0.1 为统一公路挤压性围岩隧道施工技术标准，使公路挤压性围岩隧道建设安全可靠、技术先进、经济合理，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于公路挤压性围岩隧道的施工。

## 条文说明

本规范是依据挤压性围岩变形特征、治理案例进行研究而编制的，其他软弱围岩如膨胀性围岩、富水软黄土等地层的变形治理，参考使用。

1.0.3 公路挤压性围岩隧道的施工应结合挤压性围岩的特点，因地制宜，并做到结构可靠，保障施工和运营安全。

1.0.4 公路挤压性围岩隧道施工应积极采用新技术、新工艺、新材料和新设备。

1.0.5 公路挤压性围岩隧道施工应遵守国家、地方有关环境保护、水土保持及安全生产等方面的法律法规，并重视隧道工程对生态环境和水资源的影响。

1.0.6 公路挤压性围岩隧道的施工除应符合本规范外，尚应符合国家有关强制性标准的规定，本规范未规定的内容应符合现行的有关规范及标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 初始地应力 initial geo-stress

自然状态下，存在于地层中未受工程扰动的天然地应力，也称岩体初始应力。

#### 条文说明

初始地应力是存在于地壳中的未受工程扰动的天然应力，也称岩体初始应力、残余应力或原岩应力，广义上也指地球体内的应力。它包括由地热、重力、地球自转速度变化及其他因素产生的应力。

#### 2.1.2 初始地应力场 initial geo-stress field

自然状态下岩体中的应力场，也称天然地应力场，主要由构造应力和自重应力构成。

#### 2.1.3 高地应力状态 high geo-stress

按岩石饱和单轴抗压强度  $R_c$  与岩体最大初始应力  $\sigma_{\max}$  比值进行判定，当  $R_c/\sigma_{\max} = 4\sim 7$  为高地应力， $R_c/\sigma_{\max} < 4$  为极高地应力。

#### 条文说明

对高地应力的判定，目前主要有以下划分标准：

一是，根据初始地应力测试值大小，国内一些学者以及水电工程规范规定：最大主应力  $\geq 20$  MPa 为高地应力，最大主应力  $> 30$  MPa 或  $\geq 40$  MPa 为极高地应力。这类划分标准为应力的绝对大小。

二是，根据岩石的强度应力比，主要采用岩石饱和单轴抗压强度与最大初始地应力之比来划分。说明表 2.1.3-1、说明表 2.1.3-2 给出了部分国家及国内采用这一类划分方法的标准。这里高地应力是一个相对概念，是相对于岩石强度而言的，不是应力绝对值大小的概念。

说明表 2.1.3-1 部分国家采用岩石（饱和）强度应力比划分地应力标准

划分标准	低地应力	中地应力	高地应力
法国隧协	$>4$	2~4	$<2$
日本应用地质协会	$>4$	2~4	$<2$
乌克兰顿巴斯矿区	$>4$	2.2~4	$<2.2$
日本国铁隧规	$>4$	4~6	2~4

说明表 2.1.3-2 国内采用岩石（饱和）强度应力比划分地应力标准

划分标准	低地应力	中地应力	高地应力	极高地应力
------	------	------	------	-------

铁路工程行业标准	—	—	4~7	<4
公路工程行业标准	—	—	4~7	<4
水电工程行业标准	(<10 MPa) >7	(10~20 MPa) 4~7	(20~40 MPa) 2~4	(≥40MPa) <2
水电工程国家标准	(<10 MPa) >7	(10~20 MPa) 4~7	(20~40 MPa) 2~4	(≥40MPa) <2
岩土工程国家标准	—	—	4~7	<4

注：表中水电工程标准采用实测最大主应力和强度应力比双控指标，括号内为实测最大主应力值。

可以看出，即使采用相同的岩石强度应力比方法进行划分，各国之间以及行业之间的标准也并不统一。

在依据高地应力条件来判断岩体是否产生挤压性时，采用上述标准可能出现偏差。如具有碎裂化结构特征的岩体，其原岩的岩石强度应力比即使不满足上述高地应力条件，也有可能产生挤压变形。实际上，与岩体稳定性相关的因素不仅仅是岩石强度，更直接的是岩体强度，尤其是岩块较硬但整体结构破碎、完整性很低的岩体，其岩块的强度并不能真实反映这类岩体的力学特性，岩体强度需要进行现场原位试验获取。

#### 2.1.4 挤压性围岩 squeezing rock

在高地应力环境下，隧道周边一定范围内产生显著塑性变形或流变的岩体。

#### 条文说明

挤压性围岩是高地应力作用下的软岩。软岩分为地质软岩和工程软岩。地质软岩是指强度低、孔隙度大、胶结程度差、构造面切割及风化影响显著或含有大量的膨胀性黏土矿物的松、散、软、弱层；工程软岩是指在工程力作用下能产生显著塑性变形的工程岩体。前者指依据强度大小划分为低强度的一类岩石(soft rock)；后者则指在工程荷载作用下能产生显著塑性变形的一类岩石，是含义更为广泛的软弱岩石(weak rock)。因为在不同的工程荷载条件下，低强度岩石对于小的荷载作用可能表现并不软弱(不发生显著塑性变形)，而有些较高强度岩石在大的荷载作用下可能会表现为软弱(发生显著塑性变形)。

依据岩石强度划分，20世纪90年代ISRM定义软岩为单轴折压强度在0.5 MPa~25 MPa之间的岩石，国内相关规范及手册则定义单轴饱和抗压强度低于30 MPa的岩石为软岩。以上皆为传统意义的软岩概念，强调了软弱松散的低强度特点。

更为广泛的软岩概念则包括低强度软岩、高应力软岩、节理化软岩和复合型软岩等类型。低强度软岩指较低应力水平条件下即发生显著变形的低强度岩体，属低应力软岩范畴，主要有泥质岩体，以含大量黏土矿物为显著特征，具有遇水膨胀的特性。高应力软岩指在较高应力水平条件下才发生显著变形的中高强度的岩体，这类软岩主要为含泥质矿岩。节理化软岩指节理发育、岩块强度颇高(表现为硬岩特性)，但整个岩体强度较低易发生显著变形的岩体，岩体破碎、碎裂结构为其显著特征。复合型软岩为上述类型的组合，如高应力—强膨胀、高

应力-节理化等复合型软岩。

由于挤压性围岩是处于高地应力环境中的有流变性的岩体,因此挤压性围岩除涵盖传统意义的低强度软岩外,还涵盖高应力软岩、高应力-强膨胀复合软岩和高应力-节理化复合软岩等工程软岩的范畴。但软岩不等同于挤压性围岩,离开高地应力,软岩只是软岩,不是挤压性围岩。显然,岩石的挤压性是一种伴随高地应力而存在的变形特性,而膨胀岩的膨胀性与此不同,后者不管地应力高低都存在。

由于高地应力是产生挤压性的环境条件,因此在工程地质特征上,挤压性围岩具有典型高地应力地层的标志,如岩体结构致密、开挖无渗水、围岩收敛变形大等。正是由于高地应力作用下的岩石流变性,相对结构松散的低应力岩体变形容易坍塌,挤压变形除了变形量级大外还有“大而不塌”的特点。

#### 2.1.5 岩体强度应力比 strength stress ratio of rock mass

岩体抗压强度与岩体最大初始地应力的比值。

#### 2.1.6 挤压大变形 squeezing large deformation

高地应力环境下,隧道开挖后围岩向净空方向位移挤压支护体系,当挤压变形位移超出常规围岩变形量时,称为大变形。

#### 条文说明

挤压大变形,国际岩石力学学会(ISRM)对岩石挤压性变形描述为:是一种由于超过极限剪切应力而发生在隧道周边的与时间相关的大变形,其本质是蠕变行为,这种变形可能会在施工期间停止,也可能会持续很长一段时间。

#### 2.1.7 变形潜势 deformable potential

反映挤压性围岩内部积聚应变能的强弱程度,以预测挤压性围岩隧道变形大小。

#### 2.1.8 大变形等级 deformable grade

根据地应力大小、岩体完整程度和岩石强度、变形量、变形速率等指标,将挤压性围岩隧道变形划分为不同变形程度的分级。

#### 条文说明

挤压性围岩变形等级是评定围岩性质、判断隧道稳定性确定隧道衬砌结构类型、选择隧道支护方式和指导施工的基础。

#### 2.1.9 应力释放 stress relief

通过技术手段释放岩体中积聚的应变能,使围岩地应力降低的方法。

#### 2.1.10 变形管理基准 deformation control benchmark

用于隧道围岩变形控制而设定的基准值。

## 2.2 符号

$G_n$ ——岩石强度应力比

$R_c$ ——岩石饱和单轴抗压强度

$R_{cm}$ ——岩体抗压强度

$q$ ——围岩垂直压力

$\lambda$ ——围岩侧压力系数

$K_v$ ——岩体完整性指数

$\sigma_{max}$ ——岩体最大初始地应力

$B$ ——隧道开挖跨度

$H$ ——隧道埋深

$S$ ——挤压性围岩隧道变形等级

中国公路学会标准征求意见稿

### 3 基本规定

3.0.1 公路挤压性围岩隧道现场施工应重点做好下列工作：

- 1 明确专项施工方案，细化施工工艺、工序质量的过程控制。
- 2 明确注浆、锚杆(索)、监控量测等关键工序的专业化要求。
- 3 配备喷射混凝土、注浆、锚杆(索)等关键工序的专用机械设备。
- 4 加强注浆、锚杆(索)、监控量测等关键工序的控制，确保施工质量。
- 5 明确监控量测实施细则，做好预警、预报和预案实施工作。

3.0.2 公路挤压性围岩隧道施工应根据开挖揭示地质情况及变形特征进行动态调整，并建立预警、预报等完整的监控量测体系。

#### 条文说明

挤压性围岩受地质构造和围岩岩性的影响，其完整程度在不同隧道或同一隧道不同的段落差异大，围岩变形程度差异也大，具有随机性特点，故施工阶段应根据揭示地质、变形情况等进一步动态调整设计参数，动态管理。

3.0.3 公路挤压性围岩变形潜势及变形等级判定工作可在施工阶段根据揭示的围岩特征、变形速率及实测总变形量综合评价围岩的变形潜势，确认变形等级；并对支护体系的适应性进行评判，动态调整设计。

#### 条文说明

由于挤压性围岩的软弱、破碎特征，现场取样、试验较为困难，尤其是挤压严重地段，受褶皱、构造影响，围岩条件和地应力的不确定性极为突出，且岩体的完整程度、层厚沿隧道纵向差异很大，其变形等级及变形潜势预测与勘察、设计阶段有一定出入，故施工中结合隧洞开挖揭示的围岩特征、完整程度，根据已发生的挤压性变形现象、变形速率、变形量等综合分析，对变形等级在施工阶段验证，进行动态调整。

3.0.4 公路挤压性围岩隧道支护结构应考虑安全、工期、造价等因素综合确定，贯彻可控与适度原则，使支护措施的强弱与变形等级合理匹配。

3.0.5 公路挤压性围岩隧道变形控制应以适度释放、主动加固、强化支护为基本原则，合理确定工程措施及其施作时机。

3.0.6 公路挤压性围岩隧道施工宜遵循少扰动、快开挖、早封闭、勤量测的原则。

#### 条文说明

团结隧道、东天山隧道等挤压性围岩隧道施工过程中的变形情况及监控量测资料显示，挤压性围岩隧道除与围岩特征、地应力量级等因素有关外，也和开挖爆破振动、施工、支护

强度等因素相关。因此,解决挤压性变形问题,施工中要立足于“少、快、早”,即少扰动、快支护、早封闭。

(1)“少扰动”就是采取控制爆破或非爆破开挖,减小对围岩的破坏。开挖爆破极易恶化围岩条件,振速越大,破坏的范围也越大,且能加大围岩变形速度,导致更大的变形;而微振动控制爆破或非爆破开挖有利于保护围岩,减小松动范围,控制变形速率,有利于变形控制。

(2)“快支护”要求开挖后及时封闭岩面,尽快施作喷锚网等支护措施.防止软岩在暴露时间长、变形过快的情况下进一步恶化围岩条件.大幅降低围岩强度,产生更大的塑性范围及更大的变形。

(3)“早封闭”则要求支护结构在最短的时间发挥最有效的价用.而要做到这一点,只有支护尽快成环。现场监测显示,支护封闭成环后,围岩变形一般会得到抑制,围岩变形会进入一个相对稳定的阶段。

(4)考虑挤压性围岩的复杂性和多变性,勘察及设计阶段多为围岩定性的评价,为隧道预设计提供依据,根据新奥法动态设计原则,重点在施工阶段中对挤压性大变形的预判与评定,根据监控量测结果进行动态调整。

3.0.7 公路挤压性围岩隧道应加强监控量测,对变形潜势强烈段宜结合施工测点布置进行长期监测。

3.0.8 超前地质预报应纳入工序管理,及时对预报结果进行分析评价,并结合现场分析调整预报方法。

## 4 施工技术准备

### 4.1 一般规定

4.1.1 挤压性围岩隧道施工前，应熟悉设计文件和地质勘察报告，领会设计意图，做好现场调查、地质核查和图纸核对工作。

4.1.2 挤压性围岩隧道施工前，应编制施工组织设计，并做好施工准备和组织落实工作。编制时，应根据隧道长度、跨度、工期、地质和自然条件、重点及难点工程、施工方法、施工进度等因素，配备适宜、充足的施工机械，组织均衡生产，提高劳动生产效率。

4.1.3 挤压性围岩隧道施工前应开展安全风险评估，辨识施工过程中的主要危险源及危害因素，制定安全防护措施，并应根据工程建设条件、技术复杂程度、地质与环境条件、施工管理模式以及工程建设经验对隧道工程实施动态风险控制和跟踪处理。

4.1.4 挤压性围岩隧道施工，应根据变形等级、地质条件、断面尺寸、结构受力特点、地下水活动状态确定施工方法，编制专项施工方案并组织审查。

4.1.5 挤压性围岩隧道施工应具备满足隧道施工需要和质量控制要求的试验检测能力。

#### 条文说明

为了控制和保证隧道工程的质量。开工前需要具备相应的试验检测条件。通常要建设工地试验室。工地试验室是控制工程质量的临时试验机构，承担工程项目施工所需的标准试验（如：配合比试验）、原材料试验以及施工过程中的试验及检测工作，需要通过政府相关部门的验收，取得满足施工要求的临时试验资质。工地试验室是临时试验室，有些试验检验数量较少的项目，通常通过委托试验进行，开工时需要确定准备委托进行试验检测的单位“具有计量认证和检测项目检测资质”。

4.1.6 挤压性围岩隧道开工前，应完成分项工程划分、先期工程施工方案编制及混凝土配合比设计等技术准备工作。

#### 条文说明

本条规定的技术准备工作均对隧道开工和过程管理有较大影响。分项划分影响施工组织和资料收集；施工方案影响先期工程的开工；而混凝土配合比的试配试验需对混凝土试件进行 28d 的标准养护，因此，为不影响施工工期，隧道开工前，需要提前做好混凝土配合比。

### 4.2 地质核查

4.2.1 挤压性围岩隧道施工前，应收集区域地质、工程地质、遥感影像、地震、既有工程

挤压性围岩勘察设计及防治等资料，分析挤压性围岩的地质特征。

4.5.2 在现有收集资料的基础上，应采用遥感、物探、挖(槽)探、钻探、硇探、测试、监测、室内试验等方法对挤压性围岩隧道进行针对性核查与分析。

4.5.3 应根据地质核查结果，查明隧道围岩岩性、地质构造及地应力特征，并初步判定隧道围岩分级，评价其工程地质条件，提出工程措施建议和意见。

#### 条文说明

挤压性围岩隧道工程地质核查宜采在地质勘察的基础上，有针对性地补充工程勘探及测试工作，查明下列主要内容：

1 地貌类型、成因、发育特征，以及其与岩性、构造等因素的关系，划分地貌单元。

2 地层时代、成因、层序、名称和分布范围，岩层层厚、岩石结构及坚硬程度等岩性特征，以及岩石风化程度和深度等。

3 岩层层理、片理、节理、软弱结构面的产状及组合形式，节理、裂隙发育程度，岩体完整程度，断层和褶皱的性质、产状、宽度、破碎程度及含水情况，新构造活动的痕迹及特点，以及与隧道的关系。

4 地表水的集聚、水深和排泄条件，地下水的类型、富水或储水构造及裂隙、补给径流排泄条件、埋藏深度及变化规律、水质、侵蚀性，井泉露头和分布，预测隧道最大及正常分段涌水量，濒临地表水体时评价地表水与地下水的水力联系。

5 不良地质的性质、范围及危害程度，以及其发生、发展和分布规律，特殊岩土的类型、性质和分布范围等。

6 初始地应力状态，岩石成分及其物理力学性质，划分岩土施工工程分级。

4.5.4 挤压性围岩地区地质核查的范围应满足隧道施工方案选择的需要；控制线路方案或特别复杂的地段，应扩大地质核查范围。

#### 条文说明

复杂挤压性围岩具有复杂的地质特征，严重影响技术层面的可行性或工程的经济性，由于对该种特殊复杂挤压性围岩高地应力大变形的认识较浅，没有成熟的工程处理措施或建设经验，在其他类似工程中出现的问题较多，在勘察的时间周期内难以查清其工程性质及其对公路工程的影响，需要提前开展加深地质工作或专题地质研究。

4.5.5 工程地质核查的记录应采用文字记录与示意图或地质照片相结合的方法，记录资料应准确可靠、条理清晰、文图相符。

### 4.3 风险评估

4.3.1 挤压性围岩隧道应建立健全挤压性围岩隧道施工专项安全质量风险控制体系。

4.3.2 挤压性围岩隧道施工应按相关规定进行安全质量风险辨识、评估以及其他风险控制工作。

4.3.3 依据风险评估结论，应对风险等级较高的分部分项工程编制专项施工方案，并附安全验算结果。

4.3.4 应编制应急预案，储备应急物资，定期开展应急演练。

#### 条文说明

《公路工程施工安全技术规范》(JTGF90—2015) 3.0.3 条规定：“公路工程施工前应进行危险源辨识，并按要求对桥梁、隧道、高边坡路基等工程进行施工安全风险评估，编制风险评估报告，现场应监控。”

《公路水运工程安全生产监督管理办法》(中华人民共和国交通运输部令 2017 年第 25 号) 规定：

第二十四条 公路水运工程建设应当实施安全生产风险管理，按规定开展设计、施工安全风险评估。

设计单位应当依据风险评估结论，对设计方案进行修改完善。

施工单位应当依据风险评估结论，对风险等级较高的分部分项工程编制专项施工方案，并附安全验算结果，经施工单位技术负责人签字后报监理工程师批准执行。必要时，施工单位应当组织专家对专项施工方案进行论证、审核。

第二十五条 建设、施工等单位应当针对工程项目特点和风险评估情况分别制定项目综合应急预案、合同段施工专项应急预案和现场处置方案，告知相关人员紧急避险措施，并定期组织演练。

施工单位应当依法建立应急救援组织或者指定工程现场兼职的、具有一定专业能力的应急救援人员，配备必要的应急救援器材、设备和物资，并进行经常性维护、保养。

#### 4.4 针对性技术措施准备

4.4.1 挤压性围岩隧道应强化机械配置，并应根据地质条件和变形等级进行机械设备配套，提高工艺质量水平。

4.4.2 挤压性围岩隧道施工应结合工程特点推广应用新材料、新技术、新工艺，并对施工人员进行安全教育、技术交底和培训。

4.4.3 挤压性围岩隧道工程应推行工厂化施工，对钢架、锚杆(索)、钢筋网、导管等关键构件应工厂化生产。

4.4.4 挤压性围岩隧道工程应推行专业化施工，对注浆、锚杆（索）施做、监控量测等关键工序组织专业化队伍实施。

中国公路学会标准征求意见稿

## 5 围岩探测与评价

### 5.1 一般规定

5.1.1 挤压性围岩隧道施工前,应在地质核查及勘察文件的基础上,综合分析挤压性围岩的分布及地质特征。

5.1.2 挤压性围岩探测与评价应综合考虑隧道地质条件、空间大小、围岩变形等情况,采用地质调查、超前地质预报、地应力测试、室内试验等方法对围岩进行分析。

5.1.3 施工阶段应详细查明挤压性围岩的岩性特征、范围、地质构造,变形潜势等地质特性,分析评价其工程地质条件,提出工程措施建议。

### 5.2 地质调查

5.2.1 挤压性围岩隧道每循环开挖爆破前后对围岩进行地质素描,包括工程地质和水文地质特征。

#### 条文说明

地质调查不占用开挖工作面施工时间、不干扰施工、设备简单、操作方便,提交资料及时,可随时掌握隧道开挖工作面的地层、岩性、地质构造、地下水等地质条件的变化,是隧道施工过程中的地质工作,是隧道工程全过程地质工作的重要一环,是隧道超前地质预报的基础工作。它不仅是一种地质预报手段,而且可以补充和完善隧道设计地质资料,也便于施工与设计资料进行对比,积累经验,同时也是竣工资料的一部分,更为隧道运营阶段隧道病害整治提供完整的隧道地质资料。

5.2.2 工程地质包括地层岩性、断层特征、岩溶特征、塌方特征。

1 地层岩性,包括地层时代、岩性、岩体产状等。

2 断层,包括断层性质、位置、产状、破碎带宽度及构造岩划分,并进行断层带岩体的稳定性评价。

3 节理,包括节理产状、密度、宽度、延伸情况、节理面特征、力学性质,分析组合特征、判断岩体完整程度。

4 岩溶,包括岩溶规模、形态、位置、所属地层和构造部位,充填物成分、状态,以及岩溶展布的空间关系。

5 塌方,应记录塌方部位、方式与规模及其随时间的变化特征,并分析产生塌方的地质原因。

5.2.3 水文地质包括出水状态、水质分析、洞内涌水特征等。

1 出水点位置、出水状态、水量、水压、水温、颜色、泥砂含量测定，必要时进行长期观测。

2 水质分析，判定水对建筑材料的腐蚀性。

3 出水点和地层岩性、构造、岩溶、暗河等的关系分析。

4 必要时进行地表相关气象、水文观测，判断洞内涌水与地表径流、降雨的关系。

5 必要时应建立涌突水点地质档案。

### 5.3 地应力测试

5.3.1 挤压性围岩隧道宜进行地应力测试，分析评价隧道区地应力特征。

5.3.2 初始地应力测试前应在分析区域地质资料的基础上，采用地质调查分析方法，根据区域地质构造的展布特征及新构造活动形迹，分析构造形成期的主应力方向、古构造应力场和现今构造应力场。

5.3.3 施工阶段可在深钻孔、探硐，隧道洞室采用水压致裂法、应力解除法或应力恢复法等进行地应力测试。

#### 条文说明

地球在各种动力运动作用下，在地壳中产生各种应力场使地壳物质处于其综合作用之下，产生了内应力效应，这种应力即地应力。从岩体工程来说，其地应力主要来源于地质构造运动和自重作用。它对正确认识岩体的力学性质，研究围岩的破坏机制掌握地应力对岩体工程（如坝基、地下建筑物、岩石边坡等）的影响，充分发挥围岩的自承能力，都是极为重要的。

地应力测试是测定天然状态下岩体内部应力的技术，是工程岩体稳定性分析及工程设计的重要参数。目前主要靠实测求得。特别是构造活动较强烈及地形起伏复杂的地区，由于应力不能直接测得，只能通过测量应力变化引起的诸如位移、应变等物理量的变化值，然后基于某种假设反算出应力值。因此，目前国内外使用的所有应力测量方法都是在平硐壁面或地表露头面上打钻孔或划槽，引起应力扰动，然后用探头测量由应力扰动而产生的各种物理量变化值的方法来实现。地应力测试方法主要有水压致裂法、应力解除法和应力恢复法。地应力测试的地球物理法（包括声发射率法、声波法、地震波法）和电阻率法也在研究中。

(1) 水压致裂法：水压致裂法是目前测量地壳应力的常用方法。其前提是：①岩石为线弹性各向同性；②岩石是非渗透性的③若石中有一主应力分量与钻孔轴线平行。试验时先钻一深孔达所需部位，用可膨胀的橡皮封隔器封隔一段钻孔，泵入液体对这段钻孔加压，同时记录液压随时间的变化，当增压到孔壁岩体破裂时，压力随之下降，经稳压一段时间后停止加压，待压力降到某一定值后结束试验。根据测试结果，绘制压力与时间的关系曲线，按

弹性力学理论计算出地应力值。如在试验段用印模橡胶套筒向孔壁加压,在其上印出破裂印痕。印痕方向用井下定向仪、钻孔电视或超声波钻孔电视测定。

(2) 应力解除法: 应力解除法分为孔壁应力解除法和孔底应力解除法两种。①孔壁应力解除法。从岩石表面向岩体内先钻一测量孔,孔深超过表面松动范围和应力集中区,然后在孔内安设测量元件,如钻孔变形计、压磁应力计或孔壁应变计等。在测记初始值后,在测量孔外用同心套钻钻取岩芯,使岩芯与围岩脱离;在套钻过程中同时测记各测量元件的读数,直到作用在岩芯上的应力被解除而产生弹性恢复,各测量元件读数不变时停止套钻;根据应力解除前后测得的变形或应变差值,计算出地应力的大小和方向。用孔壁应变计可实现单孔全应力测量,但对应变计的粘贴防潮技术要求高。②孔底应力解除法。将测量元件(以门塞式应变计为代表)安装在磨平的钻孔底部岩石面上,并继续钻进,测量钻孔端部岩芯应力解除前后的应变变化量,据此计算地应力。与孔壁应力解除法相比较,其要求解除的岩芯短且费用较低。

(3) 应力恢复法: 应力恢复法先在岩石表面安设测微计(如钢弦式应变计、电阻片式应变计、千分表等),测记初始值后进行垂直于岩面的切割,以解除岩体中的应力,同时测记测微计读数变化,而后将液压枕插入切槽中,并灌注水泥砂浆填实。待水泥砂浆凝固后,利用液压枕向岩体加压,直到测微计恢复到初始值,此时的压力即为岩体中的地应力值。这种测试方法简便,但只能在岩体表面,且主应力方向为已知时,测量地应力的大小。但应指出,该值为应力调整后之应力。

## 5.4 岩石物理力学试验

5.4.1 挤压性围岩地段应采取代表性岩石样品进行磨片鉴定并定名,测试岩石密度、吸水率、抗压强度、抗剪强度、弹性波速等常规物理力学性质指标。必要时测试矿物成分、变形模量、弹性模量、泊松比、黏土矿物、黏土含量,化学成分,崩解性膨胀性等。

5.4.2 主要挤压性围岩地段,结合隧道设计施工需求,必要时开展岩体剪切、三轴抗压,载荷、旁压、地应力等现场试验及岩体弹性波速测试。

### 条文说明

通过现场岩体力学试验,可以深入了解岩石和岩体的力学性能、变形、破坏规律,以及隧道施工对岩体所引起的各种物理、力学效应,为工程设计、施工提供所需要的参数。

5.4.3 岩石物理力学试验应符合现行《公路工程岩石试验规程》(JTGE41)等相关标准的规定。

5.4.4 施工应在工地设置试验室,无条件设置工地试验室时,试样不得因长时间存放或长

距离运输影响试验数据的真实性。

## 5.5 超前地质预报

5.5.1 挤压性围岩隧道应结合围岩地质特征及施工需求,综合选择物探、超前地质钻探等方法进行辅助勘察。

5.5.2 采用的物探方法主要有弹性波反射法、地质雷达法高分辨直流电法等,其技术参数应结合现场地形、地球物理条件和勘探的目的,在方法试验的基础上确定。

### 条文说明

物探法适用范围广、方法多、设备轻便、效率高,是超前地质预报的重要手段。但各种物探方法都有一定的应用条件,其装置的选择、测线的布置、采集的数据质量和资料的处理与解释都直接关系到物探的效果,因此需合理的使用。

探测的对象具有多种物理性质,根据与相邻介质的不同物性差异选择两种或两种以上有效的物探方法,通过综合物探可利用探测对象的多种物性特征研究其空间形态,相互补充、相互印证可以减少物探的多解性,取得好的物探效果。因此,对于地质条件复杂的隧道采用综合物探,并结合其他探测资料综合分析。

5.5.3 物探成果的解释应与其他勘探资料相互对比,综合分析,并用钻探加以印证。

5.5.4 超前钻探法包括超前地质钻探、加深炮孔探测及孔内摄影等,孔数、孔位应根据隧道断面大小和地质复杂程度确定,并应符合下列规定:

1 断层、节理裂隙密集区或其他破碎富水地层应布设1~3个孔。

2 围岩挤压性变形地段宜采用中、长距离超前钻探,并辅以加深炮孔短距离探测。发现异常情况应结合其他探测手段。

3 采用取芯钻探的钻孔直径应满足取芯、取样和孔内测试要求。

### 条文说明

地质超前钻探的主要特点有:

(1) 比较直观地探明钻孔所经过部位的地层岩性、岩体完整程度、岩溶及地下水发育情况等,必要时需要测试水压、取样、室内试验。与物探方法相比,它具有直观性、客观性,不存在物探手段经常发生的多解性、不确定性。

(2) 对煤系地层可进行孔内煤与瓦斯参数测定。

(3) 超前钻探虽直观,但具有“一孔之见”的不足,对断层等面状构造一般不会漏报,但对溶洞有漏报的可能。

5.5.5 物探法及超前地质钻探法其他技术要求应符合现行《公路隧道施工技术规范》

(JTG/T 3660—2020)等相关标准的规定。

## 5.6 围岩评价及变形等级划分

5.6.1 挤压性围岩评价应包括地质构造、地层岩性、岩石坚硬程度、岩层厚度、岩体完整程度、岩层产状、水文地质条件、初始地应力状态、不良地质、特殊岩土、围岩分级、变形潜势、环境影响评价、隧道设计施工建议等内容。

5.6.2 同时满足表 5.6.2 的条件时，可判定为挤压性围岩。

表 5.6.2 挤压性围岩判别条件

判定项目	地质条件
初始地应力状态	高地应力、极高地应力
岩石坚硬程度	饱和单轴抗压强度 $\leq 30\text{MPa}$ 的极软岩
岩层厚度	岩层厚度 $\leq 10\text{cm}$
岩体完整程度	较破碎~极破碎

注：挤压性围岩代表岩性有板岩、炭质板岩、片岩、云母片岩、炭质片岩、千枚岩、炭质千枚岩、页岩、蚀变岩带、压性断层破碎带等。

5.6.3 挤压性围岩变形潜势分级可按表 5.6.3 和附录 A 的规定进行。

表 5.6.3 挤压性围岩变形潜势分级

岩体完整程度 \ 岩层厚度	较薄层	中薄层	极薄层	断层破碎带及蚀变带
	较破碎	轻微	轻微	中等
破碎	轻微	中等	强烈	强烈
极破碎	中等	强烈	强烈	强烈

注：根据岩层产状、地下水、岩石坚硬程度等因素进行修正。

### 条文说明

变形潜势分级是判断挤压性围岩变形程度的基础。变形潜势分级主要由初始地应力状态、岩石坚硬程度、岩层厚度和岩体完整程度等因素确定，以定性分析围岩特征为基础，结合产状、地下水等因素综合确定。挤压性围岩变形潜势分级与围岩特征的关系按说明表 5.6.3 确定。

说明表 5.7.3 挤压性围岩特征与围岩变形潜势分级关系

变形潜势	轻微	中等	强烈
围岩特征	IV级：较软岩、软岩或软岩夹硬岩，较薄层或中薄层状为主，层理、板理清晰。层间结合一般或结合差，石质较硬，受构造影响较重，节理较发育~发育，岩体较破碎，呈层状或层状碎裂结构，围岩稳定性差，有少量基岩裂隙水	IV级：软岩或软岩夹硬岩，中薄层状为主，层理板理清晰，层间结合一般或结合差，受构造影响较重，节理较发育~发育，岩体较破碎，有柔皱现象，含泥化夹层及层间挤压破碎带，呈薄层状或层状碎裂结构，围岩稳定性差，有少量基岩裂隙水	V级：软岩、极软岩，极薄层为主，层间结合一般或结合差，受构造影响严重~很严重，节理发育~很发育，岩体破碎~极破碎，有柔皱现象，呈层状碎裂结构或碎裂结构，围岩稳定性很差，有少量渗水
	IV级：硬质岩，受构造影响严重或有一定的蚀变作用，岩体破碎，呈压性碎石（角砾）状镶嵌结构或碎裂结构，围岩稳定性差，有少量基岩裂隙水	V级：软岩、极软岩，中薄层状为主，层间结合差，受地质构造影响严重，节理发育~很发育，小褶皱(曲)发育，含泥化夹层或泥团，软硬不一，岩体破碎，呈层状碎裂结构或碎裂结构；较软岩、压碎岩、蚀变带，层间结合很差或软硬不一，受地质构造影响严重，节理很发育，岩体破碎~极破碎，呈碎裂结构；围岩稳定性差，有少量基岩裂隙水，且发育不均	V级：断层泥砾带，受构造影响很严重，岩体极破碎，呈散体结构。围岩稳定性很差，有少量渗水

注：围岩特征需符合现行《公路隧道设计规范》(JGT-T D70-2010)中相应围岩级别的规定。

(1) 关于地下水的修正通过木寨岭隧道、东天山隧道、岷县隧道等挤压性围岩变形隧道的实例及科研试验总结，对于挤压性围岩变形等级预判为一级的隧道围岩石质相对较硬、岩层较厚，受地下水的影响小，变形潜势分级可不考虑地下水的修正，预判为二级大变形的围岩遇淋雨状、线状出水及股状出水可降低一级大变形分级。三级大变形地段往往地下水不发育，如遇地下水软化围岩情况需加强支护。

(2) 实践证明，岩层走向与隧道洞轴线关系对围岩大变形程度的确有较为明显的影响，变形潜势预判需进行修正，中薄层、极薄层围岩当岩层走向与洞轴线夹角小于  $30^\circ$  且倾角大于  $40^\circ$  时降低一级。

(3) 变形潜势分级尚需考虑隧道埋深、相邻隧道间距、隧道断面尺寸等因素。

5.6.4 挤压性围岩变形等级应按变形潜势和岩体强度应力比综合确定，按表 5.7.4 进行划分，施工阶段可根据掌子面围岩特性及变形特征调整。

表 5.6.4 挤压性围岩变形等级划分标准

变形潜势	轻微	中等	强烈
岩体强度应力比 $R_{cm}/\sigma_{max}$	$0.3 \geq G_n > 0.2$	$0.2 \geq G_n > 0.15$	$G_n \leq 0.15$

挤压性围岩变形等级	一	二	三
-----------	---	---	---

### 条文说明

岩体强度应力比是目前预判挤压变形的指标。在设计阶段根据地勘资料对可能发生的挤压变形进行预判，目前方法主要是采用强度应力比法。但由于挤压性围岩的复杂性和多变性，勘测设计阶段挤压性围岩变形等级划分多为定性预测为主，难以真实反映挤压性围岩变形程度，需在施工阶段结合开挖揭示掌子面围岩完整程度、层厚等特性和隧道围岩变形速率、变形量及支护破坏特征等综合分析，动态调整。

中国公路学会标准征求意见稿

## 6 开挖支护措施

### 6.1 一般规定

6.1.1 挤压性围岩隧道应根据围岩变形等级、围岩特性、断面跨度、埋深、施工方法等因素，通过工程类比和理论分析，确定合理的开挖、支护、衬砌方案，以保证施工安全。

6.1.2 挤压性围岩隧道应采用曲墙带仰拱的复合式衬砌结构形式，变形潜势分级强烈的单线隧道宜加大边墙曲率。

6.1.3 挤压性围岩隧道荷载应由初期支护和二次衬砌共同承担，隧道结构设计应考虑围岩流变特性，满足强度、刚度和耐久性要求。

6.1.4 挤压性围岩隧道宜采用大刚度初期支护结构，并加强二次衬砌。

6.1.5 挤压性围岩隧道结构应由变形等级高的地段向变形等级低的地段延伸加强，延伸长度不宜小于2B。

6.1.6 辅助坑道与正洞的交叉位置、附属洞室、单双洞过渡段等宜避开挤压性围岩地段；若无条件时，宜避开变形潜势分级强烈地段。

6.1.7 挤压性围岩隧道可根据变形等级、围岩特性、断面跨度等因素，适当引入机械开挖、让压锚杆、可伸缩钢架等四新技术，其施工参数通过工程类比和理论分析确定，必要时经过试验分析确定。

### 6.2 开挖方法

6.2.1 依据 5.6 节围岩变形等级划分标准，隧道开挖后 I、II、III 级挤压性围岩变形特征见表 6.2.1。

表 6.2.1 不同等级挤压性围岩变形特征

大变形等级	围体强度应力比 ( $R_{cm}/\sigma_{max}$ )	围岩变形特征
I 级	0.2~0.3	开挖后围岩位移较大，持续时间较长；一般支护开裂或破损较严重，相对变形量 3%~5%，围岩自稳时间短，以塑流型、弯曲线、滑移型变形量模式为主，兼有剪切型变形
II 级	0.15~0.2	开挖后围岩位移大，持续时间长；一般支护开裂或破损严重，相对变形量 5%~8%，洞底有隆起现象，围岩自稳时间很短，以塑流型、弯曲线型变形模式为主

III级	<0.15	开挖后围岩位移很大，持续时间很长；一般支护开裂或破损很严重，相对变形量大于8%，洞底有明显隆起现象，流变特征很明显，围岩自稳时间很短，以塑流型变形模式为主
------	-------	---

注：相对变形量为变形量与隧道当量半径之比。

6.2.2 挤压性围岩隧道应根据地质情况、围岩应力变形情况、超前地质预报选择开挖方法。挤压性围岩隧道适宜的开挖方法见表 6.2.2：

表 6.2.2 挤压性围岩隧道适宜的开挖方法

变形等级	适宜工法
I 级	全断面法、微台阶法
II 级	全断面法、微台阶法
III级	微台阶法、环形开挖预留核心土法

### 条文说明

对挤压性围岩隧道，建议一般采用微台阶法或全断面法施工，该工法工序简单，可实现仰拱的快速封闭。而采用分步开挖法施工时，虽然有利于地应力的逐步释放，但支护无法快速闭合，易导致应力释放过度，不利于控制围岩变形。全断面、微台阶等开挖法有利于初期支护的快速封闭，但对变形潜势分级强烈地段及III级挤压性围岩变形段，容易导致隧道失稳，因此可采用环形开挖预留核心土法进行开挖。

## 6.3 锚固体系

6.3.1 挤压性围岩隧道支护结构设计应遵循“加固围岩、预留变形、先柔后刚、先放后抗、刚柔并举、分次支护、及早封闭、底部加强、信息化施工”的综合治理原则，并采用喷锚支护复合结构。

6.3.2 初期支护宜采用混凝土射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等措施组合使用，并符合以下要求：

1 喷射混凝土宜采用早强混凝土，24 小时不低于 10MPa，设计强度等级不小于 C25，变形等级三级地段强度不小于 C30，必要时可网喷或添加钢（合成）纤维。

2 钢筋网宜采用直径 6~8mm 的钢筋焊接而成，网格间距宜为 15cm~25cm。

3 喷射混凝土可视情况预留纵向变形缝。

4 钢架应全环设置，在开挖后或初喷混凝土后及时架设，钢架背后的间隙应注浆填充充实。

5 系统锚杆宜沿隧道周边按梅花形均匀布置，方向应接近径向或垂直岩层，以便锚杆更好的受力。

6.3.3 系统锚杆可单独或组合采用中空锚杆,长锚杆(索)等方式,应及时测出塑性圈的发展规律,以此来确定每个阶段锚杆的长度,同时宜满足以下规定。

1 短锚杆与长锚杆(索)的锚杆长度及施作时间,可由塑性圈的发展速度来确定,确保足够的锚固长度。

2 短锚杆采用快凝全长黏结型锚杆,为提高锚固速度,可采用树脂锚固剂。

3 中锚杆采用自进式注浆锚杆,预应力锚杆等。

4 围岩破碎地段宜长锚杆(索)采用自进式注浆锚杆或预应力杆(索)。

#### 条文说明

一般短锚杆长度 4m~5m,随施工步序快速施作,避免围岩破坏速度过快,抑制早期变形;中锚杆长度 6m~8m,在短锚杆施作完成后进行补作,防止围岩产生更大范围的破坏;长锚杆长度 8m~12m、锚索长度 12m~18m,长锚杆(索)采用自进式注浆锚杆或预应力锚杆(索),待围岩变形相对稳定后,借助工具施作,一方面控制洞周深处围岩变形,另一方面将承载拱结构悬吊于稳定岩体,使隧道洞周和远区围岩共同作用,协调变形。

6.3.4 变形等级一、二级的隧道支护设计应符合下列要求:

1 钢架支护应用足够的刚度和强度。

2 锚杆体系采用中短锚杆结合,注浆加固围岩。

3 加强钢架锁脚及纵向连接,初期支护应尽早封闭。

#### 条文说明

根据已建工程如东天山隧道、木寨岭隧道等挤压性围岩隧道经验,变形等级一、二级时采用 I20、I22、H175 等较大刚度钢架配中短锚杆的支护体系,有效地控制了围岩变形。

6.3.5 变形等级为三级的隧道支护宜采用长短锚杆结合、注浆加固及掌子面围岩补强等配合大刚度钢架初期支护体系;必要时可采用长锚索、双(多)层支护措施,配合伸缩钢架,具体参数通过试验段来确定。

#### 条文说明

对挤压性围岩三级变形,一般通过增设长锚杆、注浆加固及掌子面围岩补强、加大支护刚度和强度等单层支护体系控制变形,但部分三级变形段具有以下特征时,变形控制措施采用双(多)层支护、增设超前应力释放导洞等,具体通过现场试验分析确定,如木寨岭隧道岭脊段(长约 1km)。

(1) 断层泥砾带,受构造影响很严重,岩体极破碎,挤压致密;

(2) 变形速率分级为高速,围岩平均变形速率(连续 3~5 天) $>80\text{mm/d}$ ;

(3) 岩体强度应力比  $R_{cm}/\sigma_{\max}<0.10$ 。

根据统计,木寨岭隧道挤压性围岩一、二、三级变形采用单层支护的约占 95%,采用多

层支护、超前应力释放导洞的约占 5%。

## 6.4 预留变形量

6.4.1 挤压性围岩隧道严禁欠挖，需适当加大开挖断面，预留足够的沉落量，保证衬砌设计厚度。

6.4.2 挤压性围岩隧道的预留变形量的设置应综合考虑变形等级、围岩特征、开挖跨度、埋置深度、支护条件、补强空间及施工方法等因素，采用工程类比法确定；当无类比资料时可参照 6.4.2 表采用，并应根据现场监控量测结果进行调整。

表 6.4.2 挤压性围岩隧道预留变形量

围岩变形等级	预留变形量 (mm)
I 级	150~250
II 级	250~350
III 级	350~450

### 条文说明

挤压性围岩隧道变形量大，变形时间长，周边围岩变形量不仅随围岩类别、水文地质和隧道宽度不同而异，而且与施工方法、初期支护、辅助工程措施等密切相关，因此施工中需加强隧道现场监测并及时调整，以防止实际变形量超过预留变形量时，造成开挖净空不够、影响二次衬砌厚度；同时也避免实际变形量远小于预留变形量时，造成开挖浪费、和二次衬砌厚度增加过大或增加回填量等现象。

6.4.3 超挖应回填密实。超挖回填应符合设计规定，设计没有规定时应符合下列规定：

1 沿设计轮廓线的均匀超挖，可采用喷射混凝土回填，或增大钢架支护断面尺寸，使钢架贴近开挖轮廓，在施工二次衬砌时，以二次衬砌混凝土回填。

2 局部超挖，超挖量不超过 200mm 时，宜采用喷射混凝土回填密实。

3 边墙部位超挖，可采用混凝土或片石混凝土回填。

## 6.5 二次衬砌

6.5.1 挤压性围岩隧道衬砌结构的型式，宜采用连接圆顺的断面形式。

6.5.2 挤压性围岩隧道二次衬砌应采用钢筋混凝土，混凝土强度等级不应小于 C25，受力主筋的净保护层厚度不应小于 40mm，仰拱厚度不应小于拱墙厚度。

6.5.3 正洞与辅助坑道、联络通道交叉处及设置附属洞室部位，二次衬砌应加强。

6.5.4 二次衬砌可按理论分析及工程类比法设计，并根据监控量测及现场试验数据进行调整。

6.5.5 衬砌完成的地段，应继续观察和监测衬砌的稳定状态，注意变形、开裂、侵入净空等现象，及时记录，并做出长期稳定性评价。

中国公路学会标准征求意见稿

## 7 施工控制

### 7.1 一般规定

7.1.1 挤压性围岩隧道施工应遵循快开挖、快支护、快封闭的理念，强化施工过程控制，确保工序衔接紧凑、措施及时有效。

7.1.2 挤压性围岩隧道开挖方法应根据隧道跨度、掌子面稳定性、地质条件、掌子面后方初支体系的变形特性、大小、快慢等综合确定，并应根据开挖方法选择配套的机械设备。

7.1.3 开挖作业应符合下列规定：

- 1 开挖断面尺寸应符合设计规定并应充分考虑隧道预留变形量。
- 2 应根据开挖方法、断面大小、地质条件、变形特性、工序循环时间等因素确定合理的循环进尺。
- 3 开挖作业不得危及人员、设备及支护结构的安全。
- 4 开挖后应处理欠挖、清除危石，并及时进行初期支护作业，尽快形成初支封闭。
- 5 危石清除工作应采用机械作业与人工作业相结合的方式。

#### 条文说明

规定的目的是保证施工质量和安全，核对地质条件、把握围岩稳定情况，降低安全和环境风险。

7.1.4 挤压性围岩隧道支护结构应提高整体刚度，避免发生初支或掌子面失稳坍塌等情况，确保施工安全。

7.1.5 挤压性围岩隧道支护、衬砌应严格遵循设计要求进行施工，加强过程管控，确保措施及时有效。

7.1.6 挤压性围岩隧道应做好超前地质预报工作，对掌子面前方探明的不良地质情况，提前采取相应的加固措施进行处治。

7.1.7 挤压性围岩隧道应加强监控量测，及时掌握支护结构变形及受力情况，与设计配合及时调整施工方法和支护手段。

### 7.2 开挖方法

7.2.1 挤压性围岩隧道宜采用全断面、微台阶等开挖分部少、可快速闭合的开挖方法。若采用分步开挖法，应及时封闭成环。

7.2.2 变形等级为 I、II 级的围岩应采用光面爆破开挖，并根据工程地质、地形环境、开挖断面、开挖方法、循环进尺、钻孔机具、爆破材料等因素进行爆破设计；变形等级为 III 级的围岩应优先考虑采用机械开挖，机械开挖应根据开挖断面的大小、隧道围岩变形的特性、开挖效率、场地条件等选择合适的开挖方法、开挖参数、使用机械等。

7.2.3 全断面法施工应符合下列规定：

- 1 宜采用机械化作业，各种机械设备应合理配套。
- 2 应控制一次同时起爆的单段最大爆破药量。
- 3 应根据掌子面围岩稳定情况、爆破振动、钻孔和出渣效率、超挖控制等确定循环进尺，采用特殊设计的其他情况每循环进尺应符合设计规定。
- 4 全断面法宜对掌子面进行预加固，有利于初期支护的快速封闭，但对变形潜势分级强烈地段，地应力释放有限，可通过试验采用。

7.2.4 台阶法施工应符合下列规定：

- 1 台阶法根据其台阶数量可分为两（微）台阶法和三（微）台阶法，具体工法选择和优化应根据隧道断面尺寸、围岩变形等级等进行综合分析比对选择。
- 2 台阶高度应根据隧道断面、机械设备、人员安排、围岩稳定性等因素综合考虑确定，两台阶开挖高度宜为 3~4m，三台阶时上台阶开挖高度宜为 2.5~3m，中台阶宜为 3~3.5m。
- 3 各步台阶长度宜控制在一倍洞径以内，可根据围岩变化特性酌情缩短或延长台阶长度，应尽可能缩短台阶长度，以保证衬砌快速封闭。
- 4 开挖进尺应根据初期支护钢架间距确定，I 级围岩不得大于两榀钢架间距，II、III 级围岩不得大于 1 榀钢架间距，且最大不得超过 1.2m。
- 5 采用三台阶法施工时，中下台阶开挖时应错开开挖，中台阶错开不小于 2 榀，下台阶左右宜错开 3~5m，钢架不得悬空，严禁下台阶拉槽开挖。
- 6 若边墙钢架发生明显下沉或内移，必要时可根据 CRD 法设置临时横撑、竖撑，并进行系统支护补强，以确保施工安全。
- 7 围岩变化导致开挖工法变化时，应注意工序组织及衔接，避免开挖后围岩裸露时间较长引起掉块或局部坍塌等。

7.2.5 若围岩破碎难以自稳，可采用环形开挖预留核心土法开挖，并符合以下要求：

- 1 环形开挖留核心土法可分为两台阶环形开挖留核心土法和三台阶环形开挖留核心土法，台阶开挖高度宜为 2.5~3.5m。
- 2 环形开挖每循环进尺，I 级围岩宜不大于 2 榀钢架间距，II、III 级围岩宜不大于 1 榀钢架间距。
- 3 拱部超前支护完成后，方可开挖上台阶环形导坑；留核心土长度宜为 3~5m，宽度宜

为隧道开挖宽度的  $1/3\sim 1/2$ ，面积宜不小于断面面积的 50%。

4 核心土与下台阶开挖应在上台阶支护完成且喷射混凝土强度达到设计强度的 70%后进行。下台阶左、右侧开挖应错开 3~5m，同一榀钢架两侧不得同时悬空。

5 开挖过程中应及时施作初期支护，形成封闭体系。钢拱架施工时，应采取加强锁脚等有效措施控制其下沉和变形。

#### 7.2.6 仰拱开挖应符合下列规定：

1 应严格控制仰拱、二衬到掌子面的距离。必要时暂停掌子面使仰拱、二衬紧跟掌子面，以确保后方施工安全。

2 仰拱开挖应结合上台阶开挖，做到及时封闭。

3 仰拱开挖长度一次性不应大于 3m，开挖后及时施做初期支护和衬砌。

4 应做好仰拱排水措施，严禁积水浸泡基底。

5 仰拱开挖后及时清理虚渣，采用人工配合机械清理方式，严禁虚渣回填仰拱。

6 仰拱开挖时应加强测量，如异常应立即对下台阶采取加固措施。

#### 7.2.7 工法转换应符合下列规定：

1 转换前应做好超前地质预报工作，围岩变化较大段落建议超前水平钻应进行取芯验证。

2 转换前应对围岩进行核对，对前方地质情况进行判别，确定适用于前方围岩的开挖方法。

3 工法转换应在地质较好段落进行，应错开隧道变截面及有辅助洞室等位置。

4 转换前应编制相应的施工方案并进行技术交底，提前备好相应的施工材料。

5 转换时应加强监控量测频次，观察其变形情况。

### 7.3 系统锚杆施工

7.3.1 挤压性围岩隧道应设置系统锚杆支护，锚杆规格、性能应根据变形等级进行选择，并符合设计要求与国家现行技术标准。

7.3.2 系统锚杆宜沿隧道周边按梅花形均匀布置，其方向应接近径向或垂直岩层。

7.3.3 系统锚杆可单独或组合采用中短锚杆、长锚杆、锚索等方式，并应符合下列规定：

1 短锚杆采用早强水泥砂浆锚杆；

2 中锚杆采用中空注浆锚杆、预应力锚杆等；

3 长锚杆、锚索采用中空注浆锚杆或预应力锚杆、锚索。

7.3.4 变形等级为一、二级的隧道可采用中短锚杆锚固，变形等级为三级的隧道应采用中

锚杆配合长锚杆、锚索的手段控制围岩变形。

#### 7.3.5 早强水泥砂浆锚杆安装作业应符合以下规定：

- 1 砂浆锚杆应采用风钻打锚杆孔，锚杆钻孔利用台架施钻，按照设计间排距，尽可能垂直结构面打入，并用高压风吹孔。
- 2 锚杆砂浆应选用早强水泥浆液，拌和均匀、随拌随用，已初凝的砂浆不得使用。
- 3 锚杆孔灌浆时，灌浆管应插至距孔底 50~100mm 处，并随砂浆的灌入缓慢匀速拔出。
- 4 孔内注满早强砂浆后，用风枪将锚杆送入孔内，直到设计深度，并保证杆体位于孔位中央。
- 5 砂浆终凝后安装垫板，垫板须用螺帽紧固在岩面上，增强锚杆与初喷混凝土的综合支护作用。

#### 7.3.6 中空注浆锚杆安装作业应符合以下规定：

- 1 中空注浆锚杆钻孔工艺同砂浆锚杆。
- 2 钻孔验收合格后，将锚杆装好锚头后插入注浆孔，并安装止浆塞。止浆塞应留有排气孔。
- 3 锚杆注浆应选用早强水泥浆液，砂浆应搅拌均匀，随拌随用。
- 4 通过快速注浆接头将锚杆与注浆机连接，注浆前先进行压水试验，检查机械设备是否正常，管路是否连接正确，并应润滑注浆管路。
- 5 注浆时应控制注浆压力，达到设计注浆量和注浆压力时即可结束注浆。
- 6 浆体终凝后应安装垫板、拧紧螺母，垫板应与喷层面紧贴。
- 7 若围岩破碎，成孔困难，应采用自进式注浆锚杆进行支护作业。

#### 7.3.7 当围岩变形较大时，宜采用预应力锚杆进行支护，安装作业应符合以下规定：

- 1 预应力锚杆应采用精轧螺纹钢，如果预应力不大或者是锚固的深度相对较小，则可采用 II 级或 III 级钢筋。
- 2 预应力锚杆应在现场制作，并符合设计要求。
- 3 预应力锚杆钻孔应选用与钻孔直径、深度相适应的钻孔设备，钻孔的倾角及方向需要满足设计要求，实际钻孔深度应略大于设计深度。
- 4 预应力锚杆注浆应采用高强度水泥砂浆，注浆必须饱满密实，达到设计要求后方可终止注浆。
  - 5 预应力锚杆第一次注浆将锚固段注满，第二次待张拉锁定后从锚头预留孔口注浆。
  - 6 预应力张拉应在浆体达到设计强度后进行。张拉时，应根据锚杆材料的性能参数确定张拉力，并分级施加，张拉到位后进行锁定。
  - 7 张拉结束后，机械切割多余钢筋，锚头外余  $\geq 10\text{cm}$  以防滑脱。预应力锚杆先补浆后

封锚，封锚混凝土等级不得低于 C25，封锚砼厚度不得小 20mm。

7.3.8 变形等级为三级的隧道可采用让压锚杆进行支护，让压锚固可通过结构元件滑移或杆体伸长提供让压阻力，提升支护效果。让压锚杆施工应满足以下要求：

- 1 应根据围岩应力与变形特征选择合适的让压锚杆种类，并进行试验测试获取施工参数。
- 2 锚杆的安装要严格按照安装步骤作业，确保施工安全。
- 3 锚杆安装后应达到设计荷载。

7.3.9 用于支护和加固围岩的系统锚杆、局部锚杆不应与钢架焊接，以免锚固效果受到影响。

7.3.10 系统锚杆其他加工、作业要求应符合《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660—2020)等相关标准的规定。

#### 7.4 预应力锚索施工

7.4.1 若挤压性围岩变形等级较高，隧道失稳风险极大，应采用预应力锚索进行锚固。

7.4.2 预应力锚索施工应遵循以下要求：

- 1 预应力锚索制作、施工应严格遵循设计规定。
- 2 预应力锚索应使用高强钢丝与钢绞线制作，制作过程中留设注浆管与排气管。
- 3 预应力锚索安装宜采用人工为主、机械为辅的方法。推送时用力要均匀一致，不得使锚索扭转或损坏锚索配件。在将锚索体推送至预定深度后，应检查排气管和注浆管是否畅通，否则应拔出锚索体，排除故障后重新安放。
- 4 预应力锚索注浆时，应将锚固段和自由段同时注满，套管和孔壁间注满砂浆。
- 5 预应力锚索张拉结束后，机械切割多余钢绞线，随后直接封锚，
- 6 预应力锚索钻孔、注浆、张拉等其他要求见 7.3.7 预应力锚杆施工。

#### 7.5 网片施工

7.5.1 挤压性围岩隧道钢筋网钢筋规格应满足设计要求，使用前应调直、清除锈蚀和油渍。

7.5.2 钢筋网施工应符合以下要求：

- 1 钢筋网应在初喷混凝土及系统锚杆施作后铺设，混凝土保护层应大于 3cm。
- 2 钢筋网应根据被支护岩面的实际起伏铺设，搭接长度不得小于 30d (d 为钢筋直径)。
- 3 钢筋网连接处、与锚杆、钢架连接应用细铁丝绑扎或点焊在一起，使钢筋网在喷射时

不易晃动。

4 喷射混凝土时，应减小喷头至受喷面距离和控制风压，以降低钢筋网振动及回弹。

5 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被混凝土覆盖后铺设，覆盖厚度不应小于 3cm。

## 7.6 钢拱架施工

7.6.1 挤压性围岩隧道应设置全环钢拱架，并提高钢拱架型号规格，为隧道变形提供足够支护抗力。

7.6.2 钢拱架应按设计图加工，并在洞外试拼装合格后运进洞，安装应满足以下要求：

1 钢拱架施工前应清理拱角或墙角的松碴，钢架底角应置于牢固的基础上，若悬空则垫设预制块。

2 钢拱架应按设计位置拼装，钢架与封闭砟之间间隙大时增设垫块定位，沿钢架外缘每隔 1m 应用木楔或混凝土预制块楔紧。

3 钢拱架应尽量密贴围岩并与锚杆焊接牢固，两排钢架间纵向按设计要求用  $\Phi 22$  钢筋连接，环向间距满足设计要求，如仍不能满足稳固要求，则用槽钢或管棚联接，形成纵向连接体系。

4 钢拱架节点应采用钢板及高强度螺栓连接，螺栓用扭力扳手捏紧。如钢板不能密贴，则通过塞垫钢板的方式解决。

7.6.3 分步开挖法钢拱架安装完成后，应进行锁脚处理，以提高初期支护的承载能力和抗沉降能力。挤压性围岩隧道锁脚锚杆直径不应小于 42mm，每个拱脚不应少于 2 根，钢拱架与锚杆之间的连接采用“L”型钢筋进行焊接处理，锁脚锚杆施工工艺与系统锚杆相同。

7.6.4 变形等级二、三级的隧道可采用可伸缩式钢拱架进行支护，通过型钢拱架中预留伸缩缝接头滑移缩短钢架的周长，避免因围岩压力过大致使钢架失效，增强支护效果，具体施工参数可通过试验段进行确定。

7.6.5 钢拱架其他制作、加工、安装要求应符合《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660—2020)等相关标准的规定。

## 7.7 喷射混凝土施工

7.7.1 挤压性围岩隧道喷射混凝土作业应分为初喷和复喷。初喷在开挖完成后立即进行，复喷应在钢架安装完成后进行。

7.7.2 喷混凝土宜采用早强喷射混凝土，设计强度等级不应低于 C25，变形等级Ⅲ级地段喷射混凝土的设计强度等级不宜低于 C30。

7.7.3 初喷混凝土厚度不应小于 3cm，复喷混凝土厚度应完全覆盖钢拱架，喷射作业应符合以下要求：

1 喷射混凝土施工应采用湿喷工艺。

2 初喷前应处理危石，检查开挖断面净空尺寸，当受喷面有涌水、淋水、集中出水点时，先引排水处理。

3 喷射混凝土应设置控制喷射混凝土厚度标志，作业时分段、分片、分层进行，有较大凹洼处，先喷射混凝土填平。

4 一次喷射混凝土的最大厚度，拱部不超过 10cm，边墙不超过 15cm，分层喷射时，后一层喷射应在前一层喷射混凝土终凝后进行。

5 喷射混凝土应由两侧拱脚向上对称喷射，并将钢架覆盖，临空一侧的喷射混凝土保护层厚度应不小于 20mm，钢架与围岩之间的间隙应用喷射混凝土充填密实。

7.7.4 变形等级二、三级的隧道可采用钢纤维或合成纤维混凝土进行支护，其中钢纤维掺量宜为干混合料质量的 1.5~4%，合成纤维掺量应根据试验确定。

7.7.5 变形等级为三级的隧道可在混凝土喷层中可预设纵向伸缩缝，环向间距 2~3m，缝宽 10~15cm，变形稳定后采用高强混凝土进行封闭。

7.7.6 喷射混凝土其他作业、养护要求应符合《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660—2020)等相关标准的规定。

## 7.8 二次衬砌施工

7.4.1 挤压性围岩隧道二次衬砌应采用钢筋混凝土施工，混凝土型号、强度、厚度、配筋应符合设计要求。

7.4.2 挤压性围岩隧道二次衬砌施作应在围岩和初期支护变形基本稳定后进行。变形基本稳定应符合：变形速率明显下降并趋于缓和；当无经验时，可按变形速率(7d 平均值)中小跨小于 1mm/d、大跨及以上小于 2mm/d 执行，并对二次衬砌进行加强。

### 条文说明

国内外隧道现场实践表明，挤压性围岩隧道具有明显的流变性质，具有变形量大、变形速率高、持续时间长、难以稳定、支护结构受力大等特征，在短时间内很难达到规范要求的稳定值，在施工完成后 2~3 年内，甚至 5~6 年才能最终稳定。兰渝铁路挤压性围岩隧道变形在短时间内很难达到规范要求的稳定值，根据现场实测，结合专家意见，二次衬砌施作时

机变形速率为 1mm/d~2mm/d, 仍有部分段落很难满足上述控制标准, 调整为 2mm/d~4mm/d。目前, 木寨岭挤压性围岩隧道运营状态良好, 未出现二衬裂损现象。

7.4.3 挤压性围岩隧道二次衬砌施工应采用全断面衬砌模板台车, 一次浇筑完成拱、墙, 模板台车支架、模板应满足混凝土浇筑过程中的强度、刚度和稳定性要求。

7.4.4 由于挤压性围岩隧道变形量较大, 为保证支护结构安全, 二次衬砌应按设计要求设置沉降缝和伸缩缝。若设计文件没有特殊说明, 沉降缝、变形缝布置应根据围岩条件、变形综合确定。

7.4.5 二次衬砌施工前应按设计要求安设衬砌钢筋及防水板, 台车就位后进行二次衬砌作业, 并符合以下要求:

- 1 混凝土浇筑前检查防水板、排水盲管、衬砌钢筋、预埋件等隐蔽工程位置及净空尺寸。
- 2 混凝土浇筑前须对集料含水率进行检测, 对施工配合比、含水率进行相应的调整, 满足设计强度和施工工艺要求。
- 3 混凝土应采用混凝土搅拌运输车运输, 并在浇筑前检测塌落度。
- 4 衬砌混凝土浇筑应采用混凝土输送泵送料入模、均匀布料。混凝土入模温度应控制在 5~32℃。
- 5 混凝土浇筑时, 应由下至上分层、左右交替、对称浇筑。每层浇筑高度、方向根据搅拌能力、运输距离、浇筑速度、洞内气温和振捣等因素确定。两侧混凝土浇筑面高差不应大于 1.0m, 同一侧混凝土浇筑面高差不应大于 0.5m。当混凝土超过隧道衬砌的拱部以后, 混凝土排出管末端应埋在混凝土中, 以保证填充完全。
- 6 混凝土应连续浇筑, 宜避免停歇造成“冷缝”, 间歇时间超过规范要求时(表 7.4.5), 按施工缝处理。

表 7.4.5 浇筑混凝土允许间隔时间/min

浇筑温度 T (°C)	浇筑材料	
	普通硅酸盐水泥	矿渣水泥
20~30	90	120
10~20	135	180
5~10	195	—

7 混凝土浇筑时应采用附着式振捣器和插入式振捣器联合捣固, 保证混凝土内部密实, 外部光滑, 振捣时不得使模板、钢筋、防排水设施、预埋件等移位。

8 混凝土浇筑完成后, 应通过台车预留注浆管进行拱顶注浆, 浆液严格按照配合比拌制且强度必须符合设计要求。注浆时必须保证回填密实, 注浆完成采用雷达扫描法检验, 若无脱空说明注浆效果达到标准。

7.4.6 二次衬砌拆模应符合下列要求：

- 1 一级变形地段拆模时混凝土强度应达到设计强度的 70%以上。
- 2 二、三级变形地段拆模时混凝土强度应达到设计强度的 100%。
- 3 二次衬砌拆模时混凝土内部与表层、表层与环境之间的温差不得大于 20℃，结构内外层表面温差不得大于 15℃；混凝土内部开始降温前不得拆模。

7.4.7 拆模后应进行衬砌混凝土养护，养护时间应根据水泥性能确定，养护方式应考虑现场条件、环境温湿度、变形特点、断面尺寸、施工操作等因素。

7.4.8 二次衬砌其他施工要求应符合《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660—2020)等相关标准的规定。

## 7.9 其他

7.9.1 在上述变形控制措施基础上，根据围岩变形情况及监控量测数据，可采用围岩加固、多层延期支护、应力释放等措施，以控制围岩变形发展趋势。

7.9.2 若挤压性围岩隧道变形难以稳定或存在失稳坍塌风险，可对隧道围岩进行加固，并符合以下作业要求：

- 1 围岩加固可采用超前小导管、管棚、长锚杆、锚索注浆加固等措施，具体应根据设计要求及围岩变形情况综合选定并调整。当某一种围岩加固措施难以保证围岩稳定、施工安全时，可同时采用多种加固措施联合使用。

- 2 长锚杆、锚索施工技术可参见本章 7.3、7.4 节。

- 3 超前小导管施工时尾端应与钢架焊接牢固，共同组成棚架，施工参数应符合设计要求，并根据开挖后围岩稳定状态适当调整。超前锚杆施作后，需等待至少 8 小时，待浆液凝结后方可进行开挖作业。

- 4 超前管棚施工流程为：浇筑导向墙（包括安设导向管）→钻孔→打设管棚钢管→插入钢筋笼→管棚钢管内注浆，具体施工要求可参考《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660—2020)。

7.9.3 挤压性围岩变形等级较高时，可采用多层支护结构或衬砌，实现隧道变形的让抗结合，提高综合支护效果，其作业应符合以下要求：

- 1 各层支护结构施作应间隔一定时间，充分发挥柔性支护的应力释放效果。

- 2 各层支护形式及支护参数应在设计的基础上，通过试验段确定。

- 3 多层延期支护结构施工时，应加强隧道的监控量测，若出现围岩压力、支护结构变形异常增大等情况，应立即采取补充支护手段，保障施工安全。

7.9.4 由于挤压性围岩应力较大，隧道施工时宜结合施工工法进行应力释放，变形等级为一、二级的围岩可通过合理设置预留变形量进行释放；三级变形段必要时可选用超前钻孔、超前导洞等方式释放，超前释放应有足够的释放截面比及释放时间，具体参数应根据围岩条件、应力水平等因素进行综合确定。

#### 条文说明

挤压性围岩岩体中积聚的应变能需通过变形来充分释放，才能使围岩压力降到一个合理的水平，以减轻支护结构尤其是二次衬砌的长期安全风险。因此挤压性围岩隧道工程对策不能只强调变形控制同时也需要强调应力释放而这正是挤压性围岩与一般围岩工程对策不同之处。因此针对挤压性围岩的设计与施工，支护参数、开挖方法以及变形控制基准等一系列工程对策均满足应力释放的要求。目前，国内外一般均采用的措施是加大预留变形量，允许支护变形释放部分应力；而对于挤压变形潜势强烈防若采取变形释放，则周期长、成本高、风险大，需采取超前导洞进行先期应力释放。

中国公路学会标准征求意见

## 8 监控量测及应急处理

### 8.1 一般规定

9.1.1 监控量测工作应纳入工序管理，布点和监测应紧接开挖、支护作业，并根据现场施工情况及时调整量测项目和内容。量测数据应及时分析处理、反馈。监控量测作业流程如图 9.1.1 所示。

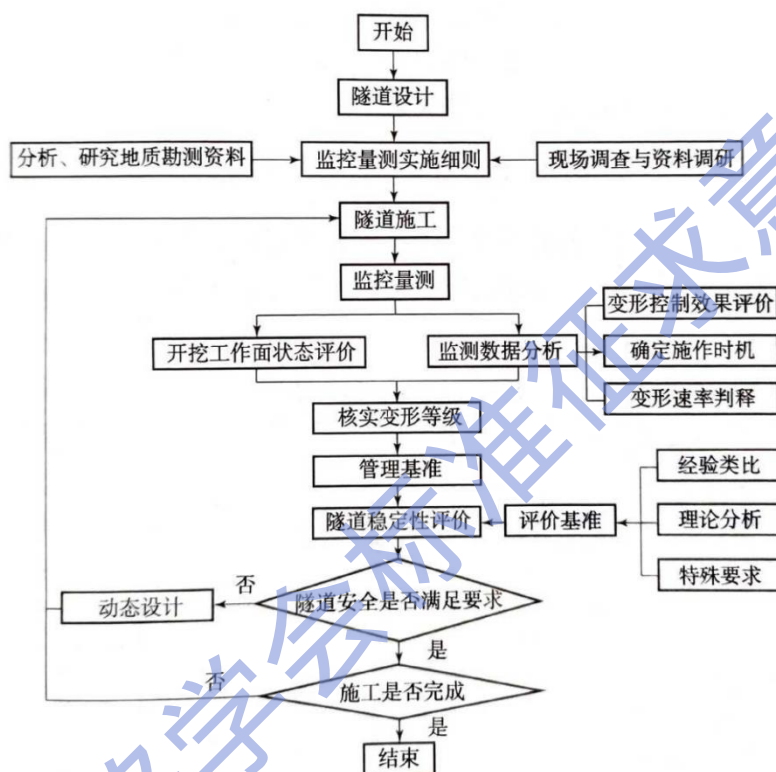


图 9.1.1 监控量测作业流程图

8.1.2 监控量测设计应根据隧道规模、变形等级、地形地质条件支护类型和参数、施工方法及周围环境等进行。

8.1.3 监控量测及分析应达到下列目的：

- 1 判识围岩稳定性，核实变形等级。
- 2 掌握围岩及支护变形特征，验证支护结构效果，进行稳定性评价及监测管理。
- 3 确定锚固、支护及二次衬砌施作时机。
- 4 判断支护参数和施工方法的合理性，为调整支护参数和施工方法提供依据。
- 5 积累量测数据，为信息化设计与施工提供依据。

8.1.4 挤压性围岩隧道的监测方法、项目及控制基准应与围岩变形等级、支护方式及施工

方法相适应。

### 条文说明

根据目前勘测技术水平及手段欲准确掌握隧道所通过地区的工程地质、水文地质等情况，难度很大。尤其是开挖方法、开挖进度、工人的技术水平、支护质量及施作时间等因素，对围岩都有明显的影响。实践表明，我们较难对影响围岩动态的诸因素都能及时地加以评价和分析，监测结果只是围岩动态的综合反映。目前，主要是通过监测对围岩动态和支护工作状态作出正确评价从而为隧道设计、施工的安全和经济提供依据。

为使施工前设计与围岩条件相适应，需在施工中不断对设计参数进行修正。故在制定量测计划时，首先要明确量测目的、对量测结果的评价方法，根据隧道用途、规模、施工前地质调查及环境调查所提供的资料条件等制定适合于隧道具体条件的量测计划。在制定量测计划时，还要使量测作业的经费开支尽量节省。

9.1.5 监控量测数据应真实、有效、规范并经过复核，有可追溯性，及时填报反馈报表。

## 8.2 监控量测项目及技术要求

8.2.1 在公路挤压性围岩隧道施工时必须进行表 8.2.1 所列项目的量测，其作业应符合表 9.2.1 规定。

表 8.2.1 隧道现场监控量测必测项目

序号	项目名称	方法及工具	测点布置	精度	量测间隔时间			
					1~15d	16d~1个月	1~3个月	大于3个月
1	洞内、外观察	现场观测、地质罗盘等	开挖及初期支护后进行	—	—			
2	周边位移	各种类型收敛计、全站仪或其他非接触量测仪器	每 5~100m 一个断面，每断面 2~3 对测点	0.5mm（预留变形量不大于 30mm 时）；	1~2 次/d	1 次/2d	1~2 次/周	1~3 次/月
3	拱顶下沉	水准仪、钢钢尺、全站仪或其他非接触量测仪器	每 5~100m 一个断面	1mm（预留变形量大于 30mm 时）	1~2 次/d	1 次/2d	1~2 次/周	1~3 次/月
4	地表下沉	水准仪、钢钢尺、全站仪	洞口段、浅埋段（ $h \leq 2.5b$ ），布置不少于 2	0.5mm	开挖面距量测断面前后 $< 2.5b$ 时，1~2 次/d； 开挖面距量测断面前后 $< 5b$ 时，1 次			

			个断面，每断面不少于3个测点		/2~3d; 开挖面距量测断面前后 $\geq 5b$ 时，1次 /3~7d;
5	拱脚下沉	水准仪、钢尺、全站仪	富水软弱破碎围岩、流沙、软岩大变形、含水黄土、膨胀岩土等不良地质和特殊性岩土段	0.5mm	仰拱施工前，1~2次/d

注：b-隧道开挖宽度；h-隧道埋深。

### 条文说明

现场量测项目分为必测项目和选测项目两大类。表 9.2.1 为必测项目。必测项目是为了在施工中保证安全，通过量测信息判断围岩稳定性来指导设计、施工的经常性量测，这类量测通常测试方式简单，费用少，可靠性高，但对监视围岩稳定、指导设计施工却有巨大作用。

8.2.2 挤压性围岩隧道监控量测选测项目作业应符合表 8.2.2 规定。

表 8.2.2 隧道现场监控量测选测项目

序号	项目名称	方法及工具	布置	测试精度	量测间隔时间			
					1~15d	16d~1个月	1~3个月	大于3个月
1	钢架内力及外力	支柱压力计或其他测力计	每代表性地段 1~2 个断面，每断面钢架内力 3~7 个测点，或外力 1 对测力计	0.1MPa	1~2 次/d	1 次/2d	1~2 次/周	1~3 次/月
2	围岩内部位移（洞内设点）	洞内钻孔中安设单点、多点杆式或钢丝式位移计	每代表性地段 1~2 个断面，每断面 3~7 个钻孔	0.1mm	1~2 次/d	1 次/2d	1~2 次/周	1~3 次/月
3	围岩内部位移（地表设点）	地面钻孔中安设各类位移计	每代表性地段 1~2 个断面，每断面 3~5 个钻孔	0.1mm	同地表下沉要求			
4	围岩压力	各种类型岩土压力盒	每代表性地段 1~2 个断面，每断面 3~7 个测点	0.01MPa	1~2 次/d	1 次/2d	1~2 次/周	1~3 次/月
5	两层支护	压力盒	每代表性地段 1~	0.01MPa	1~2	1 次/2d	1~2	1~3 次

	间压力		2个断面，每断面3~7个测点		次/d		次/周	/月
6	锚杆轴力	钢筋计、锚杆测力计	每代表性地段1~2个断面，每断面3~7锚杆（索） 每根锚杆2~4测点	0.01MPa	1~2次/d	1次/2d	1~2次/周	1~3次/月
7	支护、衬砌内应力	各类混凝土内应变计及表面应力解除法	每代表性地段1~2个断面，每断面3~7个测点	0.01MPa	1~2次/d	1次/2d	1~2次/周	1~3次/月
8	围岩弹性波速度	各种声波仪及配套探头	在有代表性地段设置	—	—			
9	爆破振动	测振及配套传感器	邻近建（构）筑物	—	随爆破进行			
10	渗水压力、水流量	渗压计、流量计	—	0.01MPa	—			
11	地表下沉	水准测量的方法，水准仪、钢钢尺等	有特殊要求段落	0.5mm	开挖面距量测断面前后 $<2.5b$ 时，1~2/d； 开挖面距量测断面前后 $<5b$ 时，1次/2~3d； 开挖面距量测断面前后 $>5b$ 时，1次/3~7d。			
12	地表水平位移	经纬仪、全站仪	有可能发生滑移的洞口段高边坡	0.5mm	—			

注：b-隧道开挖宽度。

### 条文说明

现场监控量测需要根据设计规定、隧道横断面形状和断面大小、埋深、围岩条件、周边环境条件、支护类型和参数、施工方法等来选择量测项目。表9.2.2为选测项目。选测项目是对一些有特殊意义和具有代表性意义的区段以及试验区段进行补充量测，以求更深入地掌握围岩的稳定状态与喷锚支护效果，具有指导未开挖区的设计与施工的作用。这类量测项目量测较为麻烦，量测项目较多，花费较大，根据需要选择其中部分或全部量测目。

8.2.3 监控量测项目可根据围岩性质、变形等级、设计与施工特殊要求等条件确定，挤压性围岩量测作业应符合表8.2.3规定。

表 8.2.3 不同围岩变形等级监控量测项目

	围岩变形等级	一级	二级	三级
监控量测项目				

掌子面围岩状态评价	●	●	●
支护表面变形及开裂观察	●	●	●
水平收敛	●	●	●
拱顶下沉	●	●	●
拱脚位移	○	○	●
隧底隆起	●	●	●
开挖及支护断面扫描	●	●	●
二次衬砌位移变化	○	○	●
围岩内力	○	○	●
钢架内力	○	○	●
喷混凝土内力	○	○	○
二次衬砌内力	●	●	●
两层支护间压力	●	●	●
锚杆轴力	○	○	●
锚索轴力	○	○	●
围岩内部位移	○	○	○
掌子面挤出位移	○	○	○

注：●为必测项目，○为选测项目。

#### 条文说明

测点要埋设在能反映变形且便于量测、易于保存的部位。二次衬砌测点布置需满足长期可靠且易于识别、自动采集、安全管理的原则。

#### 8.2.4 隧道施工过程中应进行开挖面观察和已施工地段观察，并符合下列要求：

- 1 隧道开挖工作面爆破后应立即进行工程地质状况的观察和记录，进行地质素描及数码成像。
- 2 填写工作面观察表和施工阶段围岩级别判定卡，与勘察资料对比，必要时进行物理力学试验。
- 3 观察喷混凝土、锚杆和钢架等变形情况，记录其发展情况，观察中发现支护状态结构异常时，应及时采取相应措施。

#### 条文说明

在隧道工程中，开挖前的地质勘探工作很难提供准确的地质资料，所以有必要在隧道每次开挖后进行细致的观察。通过观察获得与围岩稳定有关的直观信息，可以预测开挖面前方的地质条件，根据喷层表面状态及锚杆的工作状态，分析支护结构的可靠程度。开挖工作面观察在每次开挖后进行。观察中若发现围岩条件恶化时，立即采取相应处理措施；观察后及时绘制开挖工作面地质素描图，同时进行数码成像，填写开挖工作面地质状况记录表，并与勘察资料进行对比。

- (1) 对开挖后没有支护的围岩进行观察，主要是了解开挖工作面下列工程地质和水文

地质条件:

- ①岩质种类和分布状态, 结构面位置的状态;
- ②岩石的颜色、成分、结构、构造;
- ③地层时代归属、产状及倾角、层厚;
- ④节理性质、组数、间距、规模、节理裂隙的发育程度和方向性, 结构面状态特征, 充填物的类型和产状等;
- ⑤断层的性质、产状、破碎带宽度、特征等;
- ⑥地下水类型、涌水量大小、涌水位置、涌水压力、湿度等;
- ⑦开挖工作面的稳定状态, 有无剥落现象。

(2) 对已施工地段的观察每天至少要进行一次, 其目测内容如下

- ①初期支护完成后对喷层表面的观察以及裂缝状况的描述和记录, 要特别注意喷混凝土是否发生剪切破坏;
- ②有无锚杆脱落或垫板陷入围岩内部的现象;
- ③钢拱架有无被压屈、压弯现象;
- ④是否有底鼓现象。

对观察到的有关情况和现象, 要详细记录, 并绘制隧道开挖工作面及两侧素描图, 要求每个断面至少绘制 1 张, 同时进行数码成像。

观察中如果发现异常现象, 要详细记录发现时间、距开挖工作面的距离等。

8.2.5 净空变形监测断面的间距应根据隧道断面尺寸、变形等级、围岩级别、埋深及工程重要性确定, 并按表 8.2.5 设置。测试项目应尽量布置在同一断面。

表 8.2.5 变形监控量测断面间距

变形等级	断面间距 (m)
一	10~15
二	5~10
三	5

8.2.6 正常施工段初期支护及二次衬砌受力监控量测断面间距应按表 9.2.6 的要求布置。初期支护与二次衬砌受力监测应同一断面布置。

表 8.2.6 受力监控量测断面间距

变形等级	断面间距 (m)
一	根据需要在试验段设置, 不少于 2 个断面
二	300~500m, 不少于 2 个断面
三	50~150m, 不少于 2 个断面

8.2.7 净空变化检测频率应按表 8.2.7 确定，并不低于现行《公路隧道监控量测》中的要求。开挖中下台阶、仰拱或拆除临时支护等施工状况发生变化时，应增加监控频率。

表 8.2.7 按位移速度确定的监控量测频率

位移速度 (mm/d)	监测频率
≥50	4 次/d
30~50	3~4 次/d
10~30	2~3 次/d
5~10	2 次/d
1~5	1 次/d
<1	1 次/(2~3d)

8.2.8 变形量测点应在距掌子面不超过 2m 处及时埋设，初读数应在开挖后 12h 内读取。

#### 条文说明

初期支护拱顶下沉、净空变化监测断面距掌子面距离不超过 2m，初始监测在同一开挖循环内进行。相关测点布置参照《软岩隧道监控量测技术规范》(T/CSPSTC 40-2019) 执行。

8.2.9 受力监测项目应在各变形等级初始位置布设不少于 2 组断面，其频率应结合量测值的变化情况进行调整。

8.2.10 选测项目应在施工过程中根据需要加测，其量测频率应根据设计和施工要求以及必测项目反馈信息结果确定。

### 8.3 监控量测数据分析与反馈

8.3.1 监控量测应及时进行数据整理和数据分析，并绘制监控量测数据时态曲线和离开挖面距离变化曲线图；应绘制地表下沉值沿隧道纵向和横向变化量和变化速率曲线。

8.3.2 监控量测数据整理、分析应符合下列规定：

1 对初期的时态曲线应进行回归分析，预测可能出现的最大值和变化速度，掌握位置变化的规律。

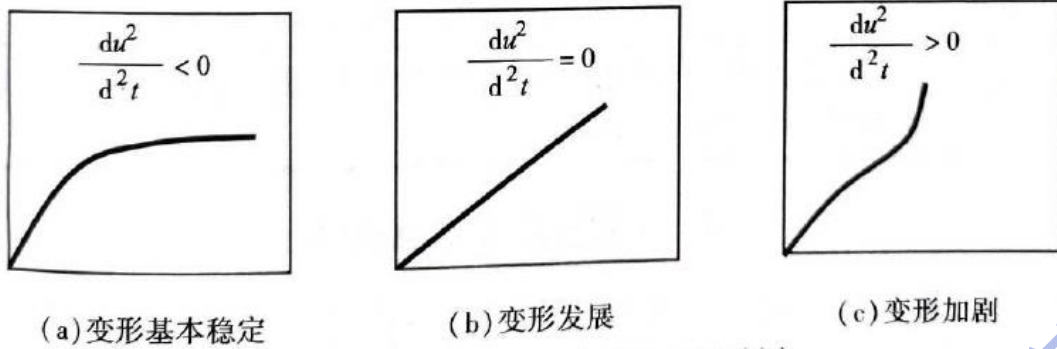
2 数据异常时，应及时分析原因，提出对策和建议，并及时反馈有关单位。

#### 条文说明

根据量测结果，支护结构稳定性评判标准应符合下列规定：

1 实测最大值或回归预测最大值不得超过控制值。

2 基于流变性的研究成果,将变形时态曲线安全状态分为以下三类来评判隧道稳定性,如说明图 8.3.2 所示。



说明图 8.3.2 变形时态曲线稳定性判定

3 初期支护净空位移变化速度，大跨隧道小于 2mm/d、中小跨隧道小于 1mm/d 时且满足说明图 8.3.2 (a) 条件，可认为变形达到基本稳定。

4 在监测过程中，发现数据异常（位移与时间曲线满足说明图 8.3.2 (c)）时，需要分析原因，制定对策，必要时需要立即停止开挖并进行施工处理。

### 8.3.3 施工过程中应进行监控量测数据的适时分析和阶段分析，并应符合下列要求：

- 1 每天根据监控量测数据及时进行分析，发现安全隐患应分析原因并提交异常报告。
- 2 按周、月进行阶段分析、总结监控量测数据的变化规律，对施工情况进行评价，提交阶段分析报告，指导后续施工。
- 3 按工序、分层支护分析、总结监控量测数据的变化规律，确定合理的施工顺序和支护施作时机。

### 8.3.4 监控量测资料整理应包括下列内容，并纳入交竣工文件：

- 1 现场监控量测计划。
- 2 实际测点布置图。
- 3 围岩和支护位移—时间曲线图、空间关系曲线图，以及监控量测记录汇总表。
- 4 变更设计和改变施工方法地段的信息反馈记录。
- 5 现场监控量测说明。

#### 条文说明

将量测资料列入竣工文件，是为隧道的施工积累资料，为其他类似工程设计和施工提供依据，并为运营管理服务。

## 8.4 变形过程管控

8.4.1 监控量测数据反馈应包括净空变化、净空变化与距开挖工作面距离、多层支护施做与施工状态关系等信息，以获得围岩稳定性及支护结构的工作状态信息，并结合公路隧道挤

压性围岩变形控制基准进行分析与决策，优化开挖和支护设计。

8.4.2 监测数据达到或超过预警值时(或时态曲线出现异常)，应立即采取相应措施。

8.4.3 公路隧道挤压性围岩变形控制基准判定，应在监控量测结果的基础上上，满足以下要求：

1 变形控制基准包括净空位移（沉降、收敛）、变形速率等，应根据地质条件、变形等级、隧道施工安全性、隧道结构的长期稳定性等因素制定。

2 变形控制基准应采用工程类比法确定，当无类比资料时控制基准可参照表 9.4.3 选用，并应根据现场监控量测结果进行调整。

表 8.4.3 变形控制基准  $U_0$  (mm)

变形等级	I	II	III
小、中跨 ( $B \leq 12m$ )	300	500	700
大跨及以上 ( $B > 12m$ )	400	600	800

注:表中大小值可根据埋深和跨度综合确定，并在施工中通过实测资料的积累作适当调整。

8.4.4 根据量测结果，挤压性围岩隧道支护结构稳定性评判标准应符合下列规定：

1 实测最大值或回归预测最大值不得超过控制值。

2 初期支护净空位移变化速度,大跨隧道小于  $2mm/d$ 、中小跨隧道小于  $1mm/d$  时,且满足说明图 8.3.2(a) 条件,可认为变形达到基本稳定。

8.4.5 挤压性围岩隧道施工变形管理采用变形速率和位移（沉降、收敛）双控指标，按表 8.4.5 进行变形管理等级划分，并结合地质条件及变形特征进行调整。

表 8.4.5 公路挤压性围岩隧道施工变形管理等级划分

变形速率 (mm/d)	管理等级			
	一般 (5-10)	低速 (10-30)	中速 (30-50)	高速 (>50)
变形总量 $U < 50\%U_0$	绿色	绿色	蓝色	黄色
$50\%U_0 \leq U < 70\%U_0$	绿色	蓝色	黄色	红色
$70\%U_0 \leq U < 100\%U_0$	蓝色	黄色	红色	红色

### 条文说明

分级指标和颜色标示参照了《公路隧道施工技术规范》(JTGT-3060—2020) 条文说明第 18.6.3 条、《国家突发事件应对法》第四十二条以及相关规范。根据参考来源，表 9.4.5 适用于变形监控量测项目，其他项目可作参考。表中分级指标延续了《公路隧道施工技术规范》

(JTGT-3060—2020)对于公路隧道管理等级的划分以及《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 关于黄、橙、红预警分级的通行划分,具有一定的代表性和成熟性,实施过程中可根据使用情况进行修订,通过实践进一步完善这一指标体系。

8.4.6 挤压性围岩隧道根据监测管理等级可按表格 8.4.6 指导施工。

表 8.4.6 公路挤压性围岩隧道施工变形管理等级对策

管理等级	施工对策
绿色	正常施工
蓝色	警戒,加强检测,准备预案
黄色	预警,分析原因,实施补强预案
红色	报警,检查预案实施情况,分析失败原因,完善并加强补救措施,进行安全性评估,必要时考虑停止施工

## 8.5 应急处理技术措施

8.5.1 挤压性围岩隧道施工过程中应做好风险源识别及排查,根据围岩岩性、地应力状态、监控量测结果动态调整施工方法和技术措施,确保施工安全。

8.5.2 挤压性围岩隧道施工应针对挤压性围岩特点制定应急管理预案,成立指挥小组及应急救援队伍,储备应急救援物资与专业装备,并对应急救援队伍展开定期培训与演练。

8.5.3 事故发生前应制定应急程序,施工事故发生后按程序做好应急救援、事故调查、安全警戒、综合协调、后勤保障、善后处理等工作。

8.5.4 挤压性围岩开挖过程中,如发生坍塌事故,可按以下原则指导治理:

1 发生隧道坍塌事故后,立即停止作业。详细观测塌方范围、形式、塌穴的地质构造,查明塌方发生的原因,制定处理方案。

2 塌方处理应先加固未坍塌地段,防止其继续发展。对于小塌方,首先加固塌体两端洞身,并抓紧采用锚杆和喷射砼联合支护,封闭洞穴顶部和侧部,再进行清渣;对于大塌方,在查清塌穴规模大小和穴顶位置后,可采用大管棚和注浆固结法稳定围岩体和渣体,待其基本稳定后,按先上部后下部的顺序清除渣体,

3 塌方地段的衬砌,可视塌穴大小和地质情况予以加强,衬砌背后与塌穴洞孔周壁间必须紧支撑。当塌穴较小时,用喷射砼回填圆顺,当塌穴较大时,采用钢拱架上设置套拱的形式加固。

8.5.5 根据支护变形情况及监控量测数据,挤压性围岩隧道支护结构破坏可按以下原则

指导治理:

1 当混凝土表面已出现明显裂缝时,应采取立即补强措施,并改变施工方法或设计参数。

2 当出现混凝土大块剥落但拱架无扭曲变形时,应暂停掌子面施工,采取护拱拱架加强措施,形成两次支护体系。

3 当初支混凝土大块剥落且拱架出现明显扭曲、变形等现象,应停止施工,进行不间断监控量测,待沉降数据基本稳定时,经评估满足安全要求时,方可采取补强措施。一般可采取的补强措施包括护拱加强、扇形支撑和竖向支撑,辅助措施有进行长锁脚锚杆加固、径向注浆等。

4 当初支钢拱架已产生结构性破坏,宜采用反压回填措施,防止产生初支垮塌,然后再采取相应的处治措施。

8.5.6 若挤压性围岩隧道变形量过大,发生侵限需要拆换拱,可按以下原则指导施工:

1 对变形收敛数据持续增大部位钢架应增设临时支撑,以防止拆换拱时发生坍塌。临时支撑可采用钢管、工字钢进行竖撑、横撑及斜撑,端头采用木楔或混凝土预制块顶实,工字钢间采用连接钢板及螺栓铰接,相邻拱架换拱稳定后方可拆除支撑进行置换。

2 对侵限段喷射砼可采用松动爆破配合人工风镐凿除,凿除循序为先拱后墙,拆除至钢筋网或连接筋处混凝土面时,优先切断钢筋网及连接筋,全部切断后方可对剩余混凝土进行凿除,然后重新进行初期支护的施工。

3 换拱应采用跳拆法进行拆换拱,即每榀钢架拆换完成后须等 24 小时以上,初支混凝土强度上来后方可拆除相邻钢架。重新架设钢架按照先拱后墙的顺序进行,每次作业一榀,拱脚采用 C25 砼垫块垫设,未侵限单元进行锁脚锚管加固,必要时每榀钢拱架分节从边墙到拱部依次进行。

4 换拱达到一环模筑混凝土衬砌长度时应立即浇筑一模衬砌;若监控量测数据显示变形数据偏大,换拱半模即可施作模筑混凝土衬砌,以保证施工安全。

## 附录 A 公路隧道挤压性围岩地质特征

A. 0.1 挤压性围岩初始应力状态, 有实测的应力成果时, 应采用实测值; 无实测资料时, 可根据隧道工程埋深、地形地貌、地质特征、构造运动史、主要构造线和开挖过程中出现的岩芯饼化、岩体变形等特殊地质现象, 按表 A. 0.1 进行评估。

表 A. 0.1 挤压性围岩初始地应力状态评估标准

初始地应力状态	主要现象	评估基准 $R_c/\sigma_{\max}$
一般地应力	岩芯无或少有饼化现象, 开挖过程中洞壁岩体有一定的位移, 成洞性一般较好	>7
高地应力	岩芯时有饼化现象, 开挖过程中洞壁岩体位移显著, 持续时间较长, 成洞性差	4~7
极高地应力	岩芯常有饼化现象, 开挖过程中洞壁岩体有剥离, 位移极为显著, 甚至发生大位移, 持续时间长, 不易成洞	<4

注:  $R_c$  为岩石饱和单轴抗压强度 (MPa);  $\sigma_{\max}$  为最大的初始地应力值 (MPa)。

A. 0.2 软质岩坚硬程度的划分应按表 A. 0.2 确定。

表 A. 0.2 软质岩坚硬程度的划分

坚硬程度	岩石饱和单轴抗压强度 (MPa)	定性鉴定	代表性岩性
软质岩	较软岩 $30 \geq R_c > 15$	锤击声不清脆, 无回弹, 较易击碎; 浸水后, 指甲可刻出印痕	粉砂质板岩、钙质板岩、石英片岩、石英千枚岩、钙质千枚岩
	软岩 $15 \geq R_c > 5$	锤击声哑, 无回弹, 易击碎; 浸水后, 手可掰开	泥质板岩、绢云母片岩、绿泥石片岩、绢云千枚岩、绢云母化蚀变岩
	极软岩 $\leq 5$	锤击声哑, 无回弹, 有较深凹痕, 手可捏碎; 浸水后, 可捏成团	炭质板岩、蛇纹石片岩、绢云千枚岩、绿泥千枚岩、炭质千枚岩、绿泥石化蚀变岩

A. 0.3 岩层厚度的划分应按表 A. 0.3 确定。

表 A. 0.3 岩层厚度的划分

岩层厚度划分	薄层		
	较薄层	中薄层	极薄层
层厚 (cm)	$10 \geq h > 3$	$10 \geq h > 3$	$h \leq 1$

A.0.4 若体完整程度应采用定性划分和定量指标两种方法按照表 A.0.4-1 综合确定。其中，岩体节理发育程度的划分可按照表 A.0.4-2 确定；岩体结构面结合程度的划分可按照表 A.0.4-3 确定；岩体结构类型分类应符合表 A.0.4-4 的规定；岩体受地质构造影响程度的划分可按照表 A.0.4-5 确定。

表 A.0.4-1 岩体节理发育程度划分

岩体完整程度	定性划分						岩体定量指标	
	节理发育程度主要结			主要结构面结合程度	主要结构面类型	岩体结构类型	岩体完整性指数	岩体体积节理数(条/m <sup>3</sup> )
	定性描述	组数	平均间距(m)					
较破碎	较发育	2~3	1.0~0.4	结合差	节理、裂隙、劈理、层面、小断层	薄层状或层状碎裂结构	0.55≥Kv >0.35	10≤Jv <20
	发育	≥3	0.4~0.2	结合好 结合一般		镶嵌结构 薄层状结构		
破碎	发育	≥3	0.4~0.2	结合差	各种类型结构面	层状碎裂结构	0.35≥Kv >0.15	20≤Jv <35
	很发育		≤0.2	结合一般或结合差		碎裂结构		
极破碎	无序	-	-	结合很差	-	散体结构	Kv≤0.15	Jv≥35

表 A.0.4-2 岩体节理发育程度划分

节理发育程度	基本特征
较发育	节理 2~3 组，呈 X 形，较规则，以构造型为主，多数间距大于 0.4m，多为密闭节理，部分为微张节理，少有充填物。岩体被切割成大块状
发育	节理 3 组以上，不规则，呈 X 形或米字形，以风化型和构造型为主，多数间距小于 0.4m，大部分为张开节理，部分有充填物。岩体被切割成块状
很发育	节理 3 组以上，杂乱，以风化型和构造型为主，多数间距小于 0.2m，以张开节理为主，有个别宽张节理，一般均有充填物。岩体被切割成碎裂状

表 A.0.4-3 岩体结构面结合程度划分

结合程度	结构面特征
结合好	张开度小于 1mm，为硅质、铁质、钙质胶结，结构面粗糙，无充填物；张开度 1mm~3mm，为硅质铁质胶结；张开度大于 3mm，结构面粗糙，为硅质胶结
结合一般	张开度小于 1mm，结构面平直，钙泥质胶结或无充填物；张开度 1mm~3mm，为钙质

	胶结；张开度大于 3 mm 结构面粗糙，为铁质或钙质胶结
结合差	张开度小于 1mm 结构面平直，泥质充填，张开度 1mm~3mm，结构面平直. 为泥质胶结或钙泥质胶结，张开度大于 3 mm，多为泥质或岩屑充填
结合很差	泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差

表 A. 0. 4-4 岩体结构类型分类

岩体结构类型	地质背景	结构体特征	结构面特征	岩体工程特征	可能发生的工程问题	
薄层状结构	构造影响较重~严重，多韵律的薄层或薄层夹中厚层，岩层厚度一般小于等于 10cm，在构造作用下发生强烈褶曲和层间错动	碎石状、薄层状、板状、薄板状、片状	层理、片理、节理发育，原生软弱夹层、层间错动和小断层时有出现，结构面间距一般为 0.2m ~ 0.4m，结构面多为泥膜、碎屑和泥质充填	接近均一的各向异性，其变形和强度特征受层面及岩层组合控制，可视为弹塑性体，稳定性差	不稳定结构体可产生滑塌，特别是岩层的弯曲破坏及软弱岩层的塑性变形	
碎裂结构	镶嵌结构	构造影响严重，一般发育于脆硬岩层中，结构面组数较多，密度较大	以规模不大的结构面为主，但组数多，密度大，延续性差，闭合无填充或充填少量碎屑	形状不规则，棱角显著	完整性破坏大，整体强度低，受构造结构面控制，稳定性差	不稳定结构体可产生滑塌，易引起岩体失稳或变形
	层状碎裂结构	构造影响较重~严重，受构造裂隙切割的层状岩体	以层面、软弱夹层和层间错动面等为主构造裂隙发育	以碎石(角砾)状板状、短柱状为主	完整性破坏较大，整体强度低，稳定性差	易引起岩体大变形
	碎裂结构	构造影响严重，岩性复杂，构造破碎较强烈	以层面、软弱夹层和层间错动面等为主构造裂隙发育	碎屑和大小不等的岩块，形状多种，不规则	完整性破坏大，整体强度很低，受构造结构面控制，多呈弹塑性介质，稳定性很差	易引起岩体失稳，地下水加剧岩体失稳
散体结构	构造影响很严重构造破碎带	裂隙和节理很发育，无规则	岩屑、角砾、碎片、碎块，岩粉	完整性遭到很大破坏，稳定性极差，岩体属性接近松散体介质	易引起规模较大的岩体失稳，地下水加剧岩体失稳	

表 A. 0. 4-5 岩体受地质构造影响程度划分

构造影响程度	基本特征
较严重	地质构造变动较大，位于断层或褶曲轴的邻近地段，可有小断层，节理较发育
严重	地质构造变动剧烈，位于褶曲轴部或断层影响带内，软质岩多见扭曲及拖拉现象，节理发育
很严重	位于断层破碎带内，岩体呈块石、碎石、角砾状，有的甚至呈粉末、泥土状，节理很发育

A. 0. 5 地下水的出水状态分级宜按表 A. 0. 5 确定。

表 A. 0. 5 地下水的出水状态分级

地下水出水状态	潮湿或点滴状出水	淋雨状或线流状出水	涌流状出水
水量 $Q$ [L/(min · 10m 洞长)]	$Q \leq 25$	$25 < Q \leq 125$	$Q > 125$
裂隙水压力 $p$ (MPa)	$p \leq 0.1$	$0.1 < p \leq 0.5$	$p > 0.5$

## 附录 B 挤压性围岩变形控制措施表

B.0.1 不同等级挤压性围岩可按表 B.0.1 选择开挖、支护措施。

表 B.0.1 挤压性围岩开挖措施表

变形等级	开挖措施	适用说明
I	正常台阶法开挖	I类变形隧道在正常开挖爆破工法下，采用“快挖、强支、快封闭”的原则，其变形在可控范围，当二衬封闭完后变形稳定。在施工中应注重初支质量体系，同时应加强测量监测。
II	弱爆破配合三台阶法（微台阶）开挖	II类变形隧道其变形已经较强了，且其岩性复杂，施工中应尽量减小对围岩的扰动，避免因围岩应力释放较快产生较大变形以致发生隧道塌方。所以在施工中应进行弱爆破配合机械开挖方法，减小对围岩扰动，经验证明微台阶能加快二衬封闭成环，减小变形时间达到减小隧道变形量的结果，在二衬施做之前其变形在可控范围内，II类变形隧道在衬砌施做完后，其变形稳定。
III	弱爆破或者非爆破配合微台阶法或环形开挖预留核心土法施工	III类变形隧道其变形能力很强，施工风险较高，在施工中只能采取小断面开挖，常采用微台阶、非爆破或弱爆开挖方式，保证其隧道掌子面稳定，施做初支体系安全，因其变形发展较快，常采用微台阶法施工，缩短二衬封闭时间和减小衬砌到掌子面距离，确保整个作业面施工安全，在施工经验中因其隧道变形不可控，即使衬砌支护后也发生变形致衬砌开裂等，所以III类变形隧道在施工中应特别重视，开挖前应探索出围岩变形特性，常根据围岩变形特性进行开挖工艺优化和改进，以达到安全施工的目的。

B. 0. 2 不同等级挤压性围岩可按表 B. 0. 2 选择变形控制措施。

表 B. 0. 2 挤压性围岩隧道支护及变形控制措施表

变形等级	一	二	三
断面形式	常规断面	必要时加大曲率断面	加大曲率断面，必要时设为圆形
喷射混凝土	C25	C25 或 C30	C30 或 C30 钢纤维混凝土
系统锚杆	短锚杆	中短锚杆	长短锚杆（索）
钢架	I20-I22 型钢	I22-H175 型钢	HW175-HW200 型钢或采用双层型钢或伸缩钢架
径向注浆	可采用	宜采用	应采用
特殊措施			必要时考虑采用长锚索、多层支护、变形钢架、应力释放等。
二次衬砌	钢筋混凝土	钢筋混凝土	钢筋混凝土

注：锚杆的长度要根据塑性圈的发展来确定

## 用词说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

2) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

3) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《×××××》(×××)的有关规定”。

2) 当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行。”

中国公路学会标准征求意见稿