

DB51

四川省地方标准

DB51/T 3282—2025

公路隧道大变形防治规范

2025 - 05 - 07 发布

2025 - 06 - 07 实施

四川省市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 3

5 勘察与大变形预测 4

6 设计 7

7 施工 9

8 监控量测 12

附录 A（资料性） 大变形地层工程地质特征..... 16

附录 B（资料性） 大变形地层隧道支护措施参考..... 21

附录 C（资料性） 大变形地层隧道围岩与初期支护变形趋势分级..... 22

附录 D（资料性） 大变形地层隧道支护效果记录..... 23

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由四川省交通运输厅提出、归口、解释并组织实施。

本文件起草单位：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、四川川交路桥有限责任公司、四川高速公路建设开发集团有限公司、四川路航建设工程有限责任公司、中国华西工程设计建设有限公司、四川钻神智能机械制造有限公司。

主要起草人：林国进、唐协、朱长安、何恩怀、田志宇、江勇顺、张睿、韦远飞、向龙、丁尧、向波、田尚志、王联、唐世禄、刘复红、张斌、王永健、朱鹏程、王俊、孙璐、吴鑫沅、郑建国、李泳伸、蔚艳庆、赖孝辉、张靓、陆凌、江俊杰、喻业洪、葛正辉、杨枫、张航、滕振楠、牟智恒。

公路隧道大变形防治规范

1 范围

本文件规定了公路隧道大变形防治有关的术语和定义、基本规定、勘察与预测、设计、施工与变形控制、监控量测等方面的具体要求。

本文件适用于四川省境内以钻爆法建设为主的公路隧道大变形防治勘察、设计、施工和监控量测，其它类型的隧道大变形防治可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 197 普通螺纹 公差
- GB 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋
- GB 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
- GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护技术规范
- GB/T 50218 工程岩体分级标准
- GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG F90 公路工程施工安全技术规范
- JTG 2232 公路隧道抗震设计规范
- JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
- JTG/T 3374 公路瓦斯隧道设计与施工技术规范
- JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
- JTT 1375.1 公路水运工程施工安全风险评估指南 第1部分：总体要求
- JTT 1495 公路水运危险性较大工程安全专项施工方案审查规程
- MT146.1 树脂锚杆 第1部分：锚固剂
- MT146.2 树脂锚杆 第2部分：金属杆体及其附件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

常规支护 normal support

一般地质条件下,隧道所采用的安全、经济与合理的支护,通常采用JTG 3370.1附录P 隧道支护参数表范围的支护。

3.2

隧道大变形 large deformation of tunnel

隧道开挖后围岩向净空方向变形挤压支护,产生持续时间较长且显著超过常规支护下的变形或者二次衬砌承受较大荷载而变形开裂的现象。在常规支护下,初期支护后的单侧绝对变形的最大值与开挖宽度之比不小于2%时称为大变形,存在大变形的隧道称为大变形隧道。

3.3

大变形地层 large deformation stratum

隧道开挖后围岩出现大变形现象的地层。

3.4

初始地应力 initial geo-stress

天然状态下,存在于地层中未受工程扰动的天然地应力,也称岩体初始应力或原岩应力。

3.5

高地应力 high geo-stress

按岩石单轴饱和抗压强度 R_c 与岩体垂直隧道轴线方向的最大初始地应力 $\sigma_{\max}$ 的比值进行判定,当 $R_c/\sigma_{\max} = 4 \sim 7$ 时为高地应力, $R_c/\sigma_{\max} < 4$ 时为极高地应力,通常高地应力环境下,包含了高地应力和极高地应力。

3.6

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

岩体抗压强度 R_{cm} 与岩体垂直隧道轴线方向的最大初始地应力 $\sigma_{\max}$ 的比值。

3.7

挤压型大变形 squeezing large deformation

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大变形。

3.8

松散型大变形 loose large deformation

在较破碎、破碎或极破碎围岩中由于松散荷载过大而出现的隧道大变形,通常松散荷载高度超过JTG 3370.1附录D浅埋与深埋隧道分界最大荷载等效高度。

3.9

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。

3.10

扁平率 flattening ratio

隧道最大开挖高度与最大开挖宽度的比值。

3.11

变形趋势 deformable potential

反映隧道围岩内部积聚应变能强弱程度的潜在趋势,以预测隧道围岩变形大小。

3.12

微台阶法 mini-bench cut method

为增加开挖掌子面的稳定性,对隧道设计横断面设置为微台阶状并按一定循环进尺一次开挖成形的一种钻爆开挖工法,上台阶长度为3~5m,开挖时上、下台阶同时开挖,同步支护。JTG/T 3660称作为超短台阶法。

3.13

短台阶法 Short-bench cut method

把隧道横断面纵向上分成上、下两个台阶或上、中、下三个台阶分别开挖与支护的一种钻爆法开挖工法，两台阶开挖的上台阶或三台阶开挖的上中台阶总长度不超过40米，下台阶可不包括仰拱。

3.14

先支后锚工序 first install steel frame support, then install rock bolt support

隧道开挖找顶、初喷混凝土和紧贴初喷面挂钢筋网后，再施做钢架支护，待喷射混凝土覆盖钢架凝固后，再施做锚杆支护的一种初期支护施工工序。

3.15

先锚后支工序 first install rock bolt and steel mesh support, then install steel frame support

隧道开挖找顶后，先施做锚杆和钢筋网支护，再施做钢架支护的一种初期支护施工工序。

4 基本规定

4.1 公路隧道大变形防治应“贯彻安全第一、预防为主、动态调整、综合治理”的方针，以初期支护不侵限、二次衬砌不开裂、安全耐久、经济合理为目标，进行分级防治。

4.2 勘察设计阶段应结合工程类比和隧址区受构造影响程度等因素初步判定是否存在大变形，地层工程地质特征可参考本文件附录 A 执行。高地应力和极高地应力状态下，围岩为薄层状且呈较破碎、破碎或极破碎的软质岩、压性断层破碎带、蚀变带和呈压碎状的硬质岩，宜按大变形地层进行工程地质勘察。

4.3 公路隧道大变形由低至高分为轻微、中等和强烈共三个等级，勘察设计阶段应按本文件第 5 章预测大变形等级，根据大变形等级进行预设计。

4.4 当隧道采用常规支护，围岩与初期支护的变形超出其预留变形量，宜根据围岩与初期支护的相对位移按表 1 划分隧道大变形等级；采用常规支护已施做二次衬砌段，应根据前后段工程地质条件、衬砌开裂或支护受力监测情况等按本文件第 5 章勘察与大变形预测修正隧道大变形等级。

表1 大变形等级划分标准

大变形等级	轻微	中等	强烈
围岩支护变形特征	开挖后围岩通常呈低速变形，变形持续时间较长，绝对位移 U 较大，相对位移 $2\% \leq \frac{U}{B} < 3\%$ ；初期支护局部开裂、掉块	开挖后围岩通常呈中速变形，变形持续时间长，绝对位移 U 大，相对位移 $3\% \leq \frac{U}{B} < 5\%$ ；初期支护大范围开裂、掉块，有钢架扭曲、侵限现象	开挖后围岩通常呈高速变形，变形持续时间极长，绝对位移 U 极大，相对位移 $\frac{U}{B} \geq 5\%$ ；初期支护整体明显变形、开裂和侵限
注：B为隧道开挖宽度；U为隧道单侧变形量，取最大值。			

4.5 挤压型大变形防治支护设计应遵循“合理设置预留变形量，适度释放围岩与支护变形、主动加固深部围岩、支护强度及刚度与变形级别合理匹配”的原则；松散型大变形防治支护设计应遵循“强支护约束围岩变形”的原则。

4.6 公路隧道大变形地层段施工应遵循“快（开）挖、快锚（固）、快支（护）、快封闭”的原则，并按本文件第 7 章围岩与初期支护变形加速阶段的变形趋势评定支护体系的适应性和大变形等级。

4.7 公路隧道大变形防治应建立完整的监控量测体系，纳入隧道施工工序管理；强烈大变形地层段应结合施工监测开展运营期长期监测，并应采用自动监测与人工监测相结合的手段；中等大变形地层段宜结合施工监测开展运营期长期监测。

4.8 公路隧道大变形防治应贯彻国家有关经济政策,积极慎重地采用新技术、新工艺、新工法、新材料和新设备。

4.9 公路隧道大变形防治除应符合本文件的规定外,还应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5 勘察与大变形预测

5.1 一般规定

5.1.1 公路大变形隧道工程地质勘察各阶段、勘察方法及手段、勘察内容与要求等应遵循 JTG C20 的规定。

5.1.2 工可勘察应加强区域构造、地应力及类似工程相关资料收集分析,对于控制路线方案、大变形预测等级高的公路隧道宜超前开展大变形地层段勘察、预测评价,为路线走廊确定选择提供支撑。

5.1.3 初步勘察阶段应通过钻探、地应力测试及资料收集等方法,预测公路隧道大变形地层段及等级,为路线方案确定提供基础资料;详细勘察应在必要的钻探验证、测试及综合分析基础上,分析大变形地层的地质构造、岩体特征和变形趋势等地质特性,提出工程措施建议,为设计提供工程地质资料。

5.1.4 施工阶段应对大变形地层段开展现场地质核查工作,大变形段落、等级与预测结果出现较大差异时应进行动态修正。

5.2 工程地质调绘

5.2.1 隧道工程地质调绘前,应充分搜集和分析隧址区下列资料:

- a) 地形地貌、区域构造、矿产地质、工程地质、水文地质及既有的大变形分析成果等;
- b) 既有公路、铁路、水利、矿山等类似工程大变形勘察、设计、施工、使用现状及病害整治等;
- c) 地应力、地震和气象等;
- d) 遥感影像、数据及解译;
- e) 既有隧道工程的使用情况,隧道病害、防治措施及效果。

5.2.2 工程地质调绘的范围应满足线路方案选择及辅助通道设计的需要,应包括下列主要内容:

- a) 地形地貌类型、成因,划分地貌单元;
- b) 地层时代、层序和分布范围,岩性、岩石风化程度及坚硬程度等;
- c) 岩层厚度、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,断层和褶皱的位置、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;
- d) 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,分段预测隧道涌水量,濒临地表水体时评价地表水与地下水的水力联系;
- e) 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。

5.3 工程地质勘探与测试

5.3.1 当隧道穿越大变形地层段的范围大,变形等级高,且大变形岩带、岩组分布复杂,对工程有较大影响时,宜采用洞探,并应符合下列规定:

- a) 洞探应进行专项设计;
- b) 洞探宜开展地质编录、地应力测试、岩体原位试验、围岩变形监测及支护参数工程试验等工作。

- 5.3.2 对被覆盖的主要大变形岩带、岩组、地质构造，宜采用挖(槽)探，详细记录岩层分层位置、分层岩性等地质现象，现场同步绘制 1/100 的素描图。
- 5.3.3 大变形地层段地应力测试应符合下列要求：
- a) 初始地应力测试前应根据区域地质构造的展布特征及新构造活动形迹，采用地质调查分析方法，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；
 - b) 宜按 GB/T 50266 采用水压致裂法、孔壁应变法和孔底应变法等进行地应力测试，综合分析评价隧道围岩地应力状态与特征。
- 5.3.4 大变形地层段可采取代表性岩样品进行磨片鉴定并定名，测试矿物成分、岩石密度、吸水率，并结合原位测试及取样试验获取抗压强度、抗剪强度、弹性波速等物理力学性质指标，测试岩石的膨胀性和流变性等。
- 5.4 围岩评价与大变形预测
- 5.4.1 大变形隧道围岩评价内容应包括隧道埋深、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、层间结构面组合形式、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、大变形范围及等级预测、环境影响评价、隧道设计与施工建议等。
- 5.4.2 隧址区邻近工程出现过松散型大变形或隧道穿越大型断层破碎带（按附录 A.5）的勘察阶段可判定为松散型大变形地层。
- 5.4.3 挤压型大变形宜采用绝对地应力值法和岩体强度应力比法两种方法综合预测大变形等级。
- 5.4.4 挤压型大变形按绝对地应力值法预测时，宜按表 2 进行预测初判和表 3 进行预测复判。

表2 勘察阶段大变形等级预测初判

岩石坚硬程度	岩体破碎程度	
	较破碎、破碎岩体	极破碎岩体
较坚硬岩	无或轻微	无或轻微
较软岩	无或轻微	轻微或中等
软岩	轻微或中等	中等或强烈
极软岩	轻微或中等或强烈	轻微或中等或强烈
注1：大变形地层段代表岩性有板岩、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。		
注：薄层（厚度不大于10cm）岩层，岩层走向与隧道轴线夹角小于30°且结构面或岩层倾角大于60°，或地下水富集软化加剧围岩变形时，大变形等级应在初判最高级的基础上提高一级。		

表3 勘察阶段大变形等级预测复判（绝对地应力值法）

岩石坚硬程度	垂直隧道轴线方向的最大主应力值 $\sigma_{\max}$ （MPa）			
	<5	[5, 10)	[10, 20]	>20
较坚硬岩	—	—	—	初判上限
较软岩	—	初判下限	初判上限	初判上限
软岩	—	初判下限	初判上限	提高一级
极软岩	轻微	中等	强烈	强烈
注：表中“—”表示无大变形；“初判下限”时，大变形等级取初判的最低等级（如初判为“轻微或中等”，则取轻微）；“初判上限”时，取初判的最高等级（如初判为“轻微或中等”，则取中等）；“提高一级”时，取初判的最高等级再加一级，如初判最高等级为强烈，则维持强烈，如初判为“轻微或中等”，则取强烈。				

5.4.5 挤压型大变形按岩体强度应力比法预测大变形等级时可按表 4 进行。

表4 岩体强度应力比法大变形等级划分

大变形等级	分级指标：岩体强度应力比 $G_n = R_{cm}/\sigma_{max}$
轻微	$0.20 < G_n \leq 0.30$
中等	$0.15 < G_n \leq 0.20$
强烈	$G_n \leq 0.15$

5.4.6 按岩体完整性系数法确定岩体强度时应按式 1 计算。

$$R_{cm} = K_v R_c \dots\dots\dots (1)$$

式中： R_{cm} ——岩体强度；
 K_v 、 R_c ——分别为岩体完整性系数、岩石单轴饱和抗压强度，按JTG 3370.1计算。

5.4.7 按地质强度指数 GSI 法计算岩体强度时按式 2 计算。

$$R_{cm} = (0.0034m^{0.8})R_c[1.029 + 0.025e^{(-0.1m)}]^{GSI} \dots\dots\dots (2)$$

$$R_c = \sum_{i=1} R_{ci} \cdot \varphi_i \dots\dots\dots (3)$$

$$m = \sum_{i=1} m_i \cdot \varphi_i \dots\dots\dots (4)$$

式中：
 R_c ——岩块强度，可用点荷载测定；
 R_{ci} ——某种岩块强度；
 φ_i ——某种岩块所占掌子面上岩块的比例；
 m ——Hoek-Brown 常数，反映岩石各组分之间摩擦特性， $m \approx \sigma_c / |\sigma_t|$ ，其中 σ_c 为完整岩石单轴抗压强度， σ_t 为岩石单轴抗拉强度；
 m_i ——某种岩块 Hoek-Brown 常数；
GSI——地质强度指数，反映岩石和岩体之间的性质差异，取值见图 1。



图1 量化 GSI 图表

6 设计

6.1 一般规定

6.1.1 隧道位置选择宜避开大变形地层，必须穿过时，应调整路线尽可能符合下列要求：

- a) 应选择在大变形地层分布范围小、地质构造相对简单、岩性条件较好的地段通过；
- b) 隧道轴线宜与岩层走向垂直或大角度相交，且与最大主应力方向平行或小角度相交；
- c) 隧道穿越压性断层破碎带时宜垂直或大角度通过；
- d) 隧道顺褶皱构造轴线方向时，宜绕避褶皱轴部，选择在地质条件较好的一侧翼部通过；
- e) 应以较短距离穿越大变形地层段；
- f) 紧急停车带、附属洞室及主洞与辅助通道交叉位置等特殊结构位置宜避开大变形地层段。

6.1.2 通过大变形地层的并行隧道应设置为分离式，必要时应适当加大隧道净距；不可避免设置小净距隧道时，应采取控制施工工序和减小开挖扰动等措施，并宜加强先行洞的支护。

6.1.3 大变形地层段隧道应采用复合式衬砌，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，支护参数可参照本文件附录 B 确定，本文件未明确之处按 GB 50086 和 JTG 3370.1 相关规定执行。

6.1.4 大变形地层段隧道应采用曲墙衬砌结构形式，强烈大变形段宜加大边墙和仰拱的曲率，三车道隧道和两车道隧道停车带宜增大扁平率，扁平率不宜小于 0.65。

6.2 围岩压力

6.2.1 大变形隧道结构上的荷载分类和荷载中除围岩压力外的其他永久荷载、可变荷载及偶然荷载均应符合 JTG 3370.1 和 JTG 2232 的规定。

6.2.2 大变形隧道结构上的围岩压力在设计阶段可参考类似工程实测结果取值，施工中宜选取典型横断面实测围岩压力，按 JTG3370.1 荷载结构法计算和评价支护结构的安全性和经济性。

6.3 初期支护

- 6.3.1 挤压型大变形地层段隧道初期支护宜采用喷混凝土、系统锚杆、钢筋网和钢架等措施组合使用；开挖后掌子面能自稳的挤压型大变形地层初期支护施工工序宜采用先锚后支工序。
- 6.3.2 挤压型大变形地层系统锚杆设计应符合下列规定：
- a) 宜采用中短锚杆、长锚杆或锚索等组合方式，沿隧道周边径向布置，并应在变形较大的部位加强布设；
 - b) 锚杆宜采用快速承载的预应力螺纹钢树脂锚杆；
 - c) 锚杆成孔较困难时可采用自进式注浆锚杆；
 - d) 锚索宜采用预应力锚索，锚索锚固端宜进入稳定地层；
 - e) 初期支护变形量超出锚杆或锚索变形能力时宜采用可伸缩恒阻锚杆；
 - f) 仰拱隆起的强烈大变形隧道底部初期支护宜设置强度不低于拱墙的锚固体系。
- 6.3.3 螺纹钢树脂锚杆应符合下列规定：
- a) 锚杆杆体、蝶形垫板、螺母应符合 MT146.2 的规定，垫板尺寸不应小于 150mm（长）×150mm（宽）×8mm（厚）；
 - b) 螺纹钢杆体应选用符合国家现行标准 GB 1499.2 的热轧带肋钢筋或精轧螺纹钢，热轧带肋钢筋端部螺纹应采用滚压工艺轧制成型，螺纹公差应符合现行 GB/T197 中 6g 的规定；
 - c) 螺纹钢杆体的公称直径宜为 22mm～32mm，其力学性能应符合表 5 的规定。

表5 螺纹钢杆体的力学性能

牌 号	公称直径 (mm)	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	屈服力 (kN)	最大力 (kN)	最大力总 延伸率Ag
HRB400	22	≥400	≥540	≥152	≥205	≥7. 5%
	25			≥196	≥265	
	32			≥321	≥434	
PSB930	32	≥930	≥1080	≥748	≥868	≥3. 5%
PSB1080	32	≥1080	≥1230	≥868	≥989	
注1：对于没有明显屈服强度的实心杆体，屈服强度应采用规定塑性延伸强度R _{p0.2} 。						
注2：当实心锚杆采用其他牌号及公称直径的热轧带肋钢筋或精轧螺纹钢时，杆体的力学性能应符合国家现行相关标准的规定。						

- 6.3.4 锚索应符合下列规定：
- a) 锚索应由与注浆体直接黏结的锚索锚固段、锚索自由段和锚头组成；
 - b) 可选用钢绞线、无黏结预应力钢绞线，公称直径为 9.5mm～21.6mm，其极限强度标准值为 1720MPa～1960MPa，应符合 GB/T 5224 的规定。除修复外，钢绞线不得连接；
 - c) 垫板可选用 45 号或 Q355 号钢板，材料符合 GB/T 1591 的要求，尺寸不应小于 300mm（长）×300mm（宽）×8mm（厚）；
 - d) 预应力锚索锚具应符合现行 GB/T 14370 的有关规定；
 - e) 锚固段锚固采用树脂锚固剂。
- 6.3.5 树脂锚固剂应符合 MT146.1 的有关规定，树脂锚杆采用全长锚固时宜选用低稠度树脂锚固剂。
- 6.3.6 螺纹钢树脂锚杆纵向排距和环向间距宜为 0.6m～1.5m，锚杆预紧力为锚杆屈服力的 30%～60%，设计锚固力为锚杆屈服力的标准值。
- 6.3.7 螺纹钢树脂锚杆的钻孔直径、树脂锚固剂直径和锚杆杆体直径应合理匹配，钻孔直径与锚杆杆

体直径之差应为 6mm~10mm；钻孔直径与树脂锚固剂直径之差应为 4mm~8mm。

- 6.3.8 采用先锚后支工序时，钢筋网与锚杆应同步施做，网格间距不宜大于 100mm；钢筋网应符合 GB 1499.1 的要求。
- 6.3.9 大变形地层段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，强烈大变形地层段喷射混凝土的设计强度等级不宜低于 C30，可添加钢纤维或合成纤维。
- 6.3.10 松散型大变形地层段初期支护可采用喷混凝土、钢筋网和钢架等措施组合使用；松散型大变形地层初期支护施工工序宜采用先支后锚工序。
- 6.3.11 中等、强烈大变形地层段钢架宜全环设置。松散型大变形地层段钢架背后的间隙应注浆充填密实；松散型强烈大变形地层段初期支护可通过试验分析确定采用双(多)层钢架支护等措施，钢架纵向宜采用加粗、加密钢筋或钢板连接。
- 6.3.12 大变形地层台阶接头处宜布置直径 76mm~108mm 粗钢管对钢架锁脚，钢管锁脚与水平向角度宜为 15°~30°，并应与钢拱架形成有效稳固连接，必要时宜在接头附近采用上下分设的多级锁脚形式加强锁脚效果。
- 6.3.13 大变形地层段隧道预留变形量的设置应综合考虑大变形等级、围岩、开挖跨度、埋深、支护条件、补强空间及施工工法等因素，采用工程类比法确定；无类比资料时可按表 6 取值，并应根据现场监控量测结果进行动态调整。

表6 大变形地层段隧道预留变形建议值

单位：mm

大变形等级	轻微	中等	强烈
两车道隧道	200~300	300~400	400~500
三车道隧道	250~350	350~450	450~800
注：考虑围岩变形的不均匀性，预留变形量可分工序、分部差异化设置。			

- 6.3.14 大变形地层超前支护设计以满足掌子面开挖拱部稳定为目标，应符合下列要求：
- a) 可采用直径 76mm~108mm 管棚配合小导管，末端有足够的入岩保护长度；
 - b) 超前支护的长度与开挖工法、施工机械设备和初期支护工序等有关，采用先支后锚工序时，超前支护长度宜与开挖循环进尺匹配；采用先锚后支工序时，可根据机械设备能力和外插角控制加长一次施做超前支护的长度。

6.4 二次衬砌

- 6.4.1 公路隧道大变形地层段二次衬砌应符合下列要求：
- a) 结构型式宜采用连接圆顺的断面形式；
 - b) 二次衬砌应采用钢筋混凝土，仰拱厚度不应小于拱墙厚度。
- 6.4.2 主洞与辅助通道交叉段和设置附属洞室部位的主洞与辅助通道均应加强二次衬砌；加强段衬砌应向各交叉洞延伸，主洞延伸长度不应小于 10.0m，横通道延伸长度不应小于 5.0m。
- 6.4.3 强烈大变形地层采用加强二次衬砌仍发生严重开裂的地段，或初期支护变形长时间不收敛且后期二次衬砌开裂风险高的地段，宜结合地质条件综合评估结构安全风险，可采用双层二次衬砌结构或预留二次衬砌加固空间。

7 施工

7.1 一般规定

- 7.1.1 大变形地层段施工工艺、质量控制等应符合 JTG/T3660 和 JTG F80/1 的规定。
- 7.1.2 大变形地层段施工前应进行危险源辨析,并依据 JTT 1375.1 进行施工安全风险评估,施工中应实施动态风险控制和跟踪处理。
- 7.1.3 大变形地层段施工前应根据 JTG F90 和 JTT 1495 编制专项施工方案并组织评审,并应强化施工过程控制、工序衔接紧凑,细化施工工艺、工序质量、预案等要求。
- 7.1.4 大变形地层段施工应加强和落实以工程地质为核心的超前地质预报,遵循“先探后掘,有掘必探”原则,应符合下列要求:
- 超前地质预报目的、原则、手段与方法、预报距离分类、预报分级、预报内容、工作流程、资料要求等应符合 JTG/T 3660 和 JTG/T 3374 的规定;
 - 宜开展地应力测试,对于非完整或较完整岩体可根据 GB/T 50266 采用水压致裂法测试;
 - 施工方汇总不同手段的超前地质预报成果,分析形成综合报告,并及时反馈给参建各方;
 - 施工方可委托具备相关资质和能力的第三方机构汇总不同手段的超前地质预报成果,分析形成综合报告并及时反馈给参建各方。
- 7.1.5 隧道大变形防治宜推行机械化作业,支护、锚杆或锚索、注浆等工序应采用混凝土湿喷台车、拱架安装台车、锚杆钻机(非纯水钻)、注浆泵等专用设备。
- 7.1.6 隧道大变形防治应推行专业化施工,对锚杆或锚索等关键工序应组织专业化队伍实施。
- 7.1.7 大变形隧道支护的锚杆或锚索、钢筋网、钢架、导管等关键构件应推行工厂化生产。
- 7.1.8 隧道大变形防治应采用信息化手段进行项目管理,使用视频、自动监测等技术,实现安全保障、质量追溯、数据采集与处理隐蔽工程可视等目标。

7.2 开挖

- 7.2.1 公路隧道大变形地层段宜采用机械开挖、弱爆破或控制爆破方式开挖。
- 7.2.2 公路隧道大变形地层段施工方法应根据围岩稳定性、围岩变形趋势和施工机械化等因素综合确定,并应符合下列规定:
- 松散型大变形或掌子面不能自稳的挤压性大变形地层宜采用台阶法施工,两车道隧道可采用上下台阶,三车道隧道可采用上中下台阶;
 - 掌子面能自稳的大变形地层,两车道隧道宜采用微台阶法施工,三车道隧道可采用微台阶法施工。
- 7.2.3 微台阶法应符合下列规定:
- 上台阶长度宜控制在 3~5m,高度可为设计断面高度的 1/2~2/3;
 - 上、下台阶应平行支护作业,找顶出碴后应及时喷混凝土封闭掌子面;
 - 上台阶架设钢架后应及时施做锁脚锚杆或锚管;
 - 仰拱初期支护应及时施做,形成初期支护封闭结构,初期支护封闭段距离上台阶掌子面最大距离不宜大于 10m。
- 7.2.4 短台阶法应符合下列规定:
- 采用上、下两台阶时,上台阶应作为出碴、立架和支护等作业平台,长度不宜超过 40m;采用上、中、下三台阶时,上台阶长度宜控制在 3m~5m,中台阶宜作为出碴、立架和支护等作业平台,中、上台阶总长度不宜超过 40m;
 - 台阶高度应根据隧道断面大小、机械设备作业空间和围岩稳定性等因素综合确定;
 - 下台阶和仰拱可采用气腿式凿岩机开挖,下台阶单侧拉槽长度不宜大于 15m,左、右侧宜前后错开 3m~5m;
 - 开挖面不稳定的围岩上台阶应预留核心土开挖,核心土长度宜为 3m~5m。
- 7.2.5 不稳定掌子面应采取合理的开挖工法、循环进尺、超前支护、掌子面加固等开挖面稳定综合辅

助工程措施，可参照表 7 选用。

表7 开挖面稳定综合工程措施

开挖面稳定性评价	处理措施		
	开挖工法及循环进尺	超前支护措施	掌子面加固措施
上半断面不稳定	微台阶法或短台阶法或短台阶预留核心土法，1榀钢架进尺	超前管棚或超前小导管	喷混凝土封闭+上断面纤维锚杆，或弃碴回填反压
全断面不稳定	微台阶法或短台阶法或短台阶预留核心土法，1榀钢架进尺，非爆开挖	超前管棚或超前小导管	喷混凝土封闭+全断面纤维锚杆，或全断面帷幕注浆，或弃碴回填反压

7.3 支护与变形控制

7.3.1 隧道大变形地层段初期支护施工应符合下列规定：

- a) 开挖面能自稳时，开挖出碴找顶后宜立即紧贴围岩施做锚杆或锚索、钢筋网和初喷砼支护；
- b) 开挖面不稳定时，可通过钻孔欠挖弱爆破和机械找顶形成开挖轮廓，开挖支护工序为施工开挖面稳定辅助措施、开挖出碴、初喷砼、立钢架支护、施做下循环的超前支护、复喷砼、施做锚杆；
- c) 中等及强烈大变形地层段喷射混凝土应采用逐层加喷作业；
- d) 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；
- e) 仰拱应紧跟，初期支护应尽早形成封闭结构；
- f) 多层支护宜分层施作；
- g) 变形速率过快时应及时采取加强支护（含临时护拱）或围岩加固措施，避免支护侵限；
- h) 临时仰拱（横撑）宜根据围岩情况及量测数据确定设置区段，可采用型钢、钢管等措施。

7.3.2 隧道施工中应结合掌子面岩体完整程度，按表 8 及本文件附录 C 对变形趋势、支护体系与围岩适应性进行确认。

表8 按早期变形速率评价支护体系适应性

变形速率 v_p (mm/d)	≤10	(10, 30]	(30, 50]	>50
变形速率等级	正常	低速	中速	高速
变形趋势	正常	轻微	中等	强烈
支护体系评价	强	合理	基本合理	弱或不适应

7.3.3 松散型大变形地层段，超前支护宜在易发生溜坍部位加密设置，并辅以其他防止溜坍辅助措施。

7.3.4 挤压型大变形地层段，隧道宜结合施工工法通过预留变形量进行应力释放，强烈挤压型大变形段可结合工程实际选用超前导洞的方式释放。

7.3.5 大变形隧道变形控制过程中，可采用下列辅助措施提高支护结构整体性和刚度。

- a) 钢架宜加强纵向连接，并应加强锁脚；
- b) 轻微、中等大变形段可在钢架环向接头部位设短型钢纵向连接，强烈大变形段宜在拱墙设置短型钢纵向连接；
- c) 钢架宜加强锁脚锚杆及其与钢架的连接措施，钢架节段中部可通过锚杆锁固连接。

7.3.6 高速变形阶段难以及时施作环向注浆加固措施时,宜采用增设临时支撑、掌子面超前加固、设置锁脚钢管桩或纵向钢托梁等控制围岩变形的措施。

7.3.7 变形趋势分级强烈段可采用伸缩钢架,喷层可设置纵向变形缝,变形稳定后采取喷混凝土封闭。

7.3.8 公路隧道大变形地层段二次衬砌施作应在变形速率明显下降并趋于平缓时进行;当围岩变形较大,流变特性明显时,应采取加大二次衬砌厚度或加强配筋等工程措施,并应符合下列要求:

- a) 二次衬砌施工前应对初期支护钢架接头或表面有明显凸起的部位进行平整处理,必要时加强对变形钢架接头进行锁脚处理;
- b) 二次衬砌施作前应进行初期支护净空检测,采取措施确保二次衬砌安全。

7.3.9 衬砌拆模后应及时养护,养护时间应根据水泥性能确定,并不得少于 7d,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。

7.3.10 二次衬砌拆模应符合下列要求:

- a) 轻微大变形地层段拆模时混凝土强度应达到设计强度的 70%以上;
- b) 中等和强烈大变形地层段拆模时混凝土强度应达到设计强度的 100%;
- c) 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;
- d) 拆除模板时不得影响或中断混凝土的养护工作。

7.3.11 二次衬砌完成的地段,应继续观察和监测衬砌的稳定状态。

8 监控量测

8.1 一般规定

8.1.1 大变形地层段隧道施工期和运营期监控量测应遵循“永临结合、统筹策划”的原则,并应编制详细的实施性监测方案。

8.1.2 大变形地层段隧道的监测方法、监测项目及监测控制基准应与围岩变形等级、开挖与支护方式和监测周期等相适应。

8.1.3 监控量测宜采用受施工影响小且自动化程度高的技术手段,数据宜实现自动采集、传输、标准化输出和实时预警等,并宜建立全过程的信息化数据库。

8.1.4 监控量测布点和监测应紧接开挖和支护作业,量测数据应及时分析处理与反馈,并根据现场施工情况及时调整量测项目和内容。

8.1.5 监控量测及分析应达到以下目的:

- a) 掌握围岩及支护变形特征,核实变形等级,验证支护结构效果,进行稳定性评价及监测管理;
- b) 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;
- c) 确定支护及二次衬砌施作时机;
- d) 积累量测数据,为信息化设计与施工提供依据;
- e) 掌握运营期隧道结构受力及变形状况,评价隧道结构的安全状态,为隧道管理决策提供基础数据。

8.2 监控量测项目和技术要求

8.2.1 大变形地层段监控量测项目可按表 9 选取必测项目和选测项目,选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。量测部位和测点布置应根据地质条件、量测项目和施工方案等确定。

表9 大变形地层段隧道监控量测项目

监控量测项目		大变形等级		
		轻微	中等	强烈
1	洞内、外观察	●	●	●
2	支护表面变形及开裂观察	●	●	●
3	净空变化	●	●	●
4	拱顶下沉	●	●	●
5	拱（墙）脚位移	○	○	●
6	隧底隆起	●	●	●
7	开挖及支护断面扫描	●	●	●
8	二次衬砌位移变化	○	○	●
9	围岩压力	○	○	●
10	钢架应力	○	○	●
11	喷射混凝土应力	○	○	●
12	二次衬砌应力	○	●	●
13	接触压力（两层支护间）	●	●	●
14	锚杆（索）轴力	○	○	●
15	围岩内部位移	○	○	○
16	掌子面挤出位移	○	○	○
注：●为必选项目，○为可选项目。				

- 8.2.2 隧道施工过程中应进行开挖面观察和已施工地段观察，并应符合下列要求：
- a) 隧道开挖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；
 - b) 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；
 - c) 观察喷射混凝土、系统锚杆和钢架等变形情况，记录其发展情况，可按本文件附录 D 记录。
- 8.2.3 洞内必测项目各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。
- 8.2.4 隧道宜根据需要设置整体位移测点，宜在拱顶下沉对应的仰拱设置底鼓测点。
- 8.2.5 拱顶下沉、净空变化和拱（墙）脚位移监测项目应尽量布置在同一断面，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，并应按不低于表 10 所列间距值进行设置。

表10 大变形地层段隧道变形监控测断面间距

变形等级	断面间距（m）
轻微	10~15
中等	5~10
强烈	5

8.2.6 大变形隧道变形监测频率应按表 11 确定，并不应低于 JTG/T3660 中的要求，开挖中下台阶、仰拱或拆除临时支护等导致受力体系转换过程中，应提高监控量测频率。

表11 按位移速度确定的监控量测频率

位移速度（mm/d）	监控量测频率
≥50	4次/d
30~50	3~4次/d

表 11 按位移速度确定的监控量测频率（续）

位移速度 (mm/d)	监控量测频率
10~30	2~3次/d
5~10	2次/d
1~5	1次/d
<1	1次/(3~7) d

8.2.7 隧道初期支护及二次衬砌受力应根据需要选择典型断面开展监测, 初期支护与二次衬砌受力监测应同一断面布置, 断面间距应按表 12 的要求布置。

表12 大变形地层段隧道受力监控量测断面间距

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

8.2.8 隧道支护结构受力监测频率不小于表 13 的要求。

表13 隧道支护结构受力监测频率

应力变化速率 (kPa/d)	监测频率
≤ 2	1次/(3~5) d
2~5	1次/(2~3) d
5~10	1次/(1~2) d
>10	1~2次/d
注: 当支护结构受力超过极限承载力的70%时, 应按照应力变化速率大于10kPa / d 时的监测频率进行。	

8.2.9 围岩内部位移量测应符合下列规定:

- 代表性地段围岩内部位移量测宜设 1~2 个量测断面, 每量测断面应设 3~7 个测孔, 可采用单点、多点杆式或钢丝式位移计量测, 量测精度应不低于 0.1mm;
- 应及时计算当次围岩内部位移, 绘制不同深度位移图, 分析不同深度位移变化规律, 预测该测点可能出现的最大位移值评估围岩松动圈范围和围岩稳定性状况。

8.2.10 监控量测项目和断面宜在以下区段加密布置和监测:

- 初期支护变形开裂、侵限严重的区段;
- 受构造影响强烈、围岩极破碎的地质条件复杂区段;
- 隧道出现塌方、涌水突泥等异常情况的区段。

8.2.11 选测项目应在施工过程中根据需要采用, 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。

8.2.12 大变形等级为轻微段的隧道运营期监测周期不宜少于 3 年, 大变形等级为中等段的隧道运营期监测周期不宜少于 5 年, 大变形等级为强烈段的隧道运营期监测周期不宜少于 10 年。

8.2.13 运营期监测在下列条件下应提高监测频率, 加强分析预警:

- 雨季受地表水影响较大的地段;
- 隧址区发生地震后;
- 施工期发生过及运营期出现病害段落。

8.3 资料整理和信息反馈

- 8.3.1 应及时整理、计算和分析监控量测数据，应绘制净空变化时态曲线，以及净空变化与距开挖工作面距离、多层支护施作与施工状态的关系图等。
- 8.3.2 初期支护变形时态曲线应进行回归分析，预测可能出现的最大拱顶下沉及水平收敛值。
- 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：
- a) 每天根据监控量测数据及时进行分析，监测数据达到或超过预警值或时态曲线出现异常时，应分析原因，提出建议，并提交分析报告；
 - b) 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；
 - c) 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。

8.4 变形控制基准和评估管理

8.4.1 大变形地层段隧道施工变形管理结合地质条件，采用变形速率和位移双控指标，可按表 14 进行变形管理等级划分。

表14 大变形地层段隧道施工变形管理等级划分

变形总量	变形速率(mm/d)			
	正常 $v_p \leq 10$	低速 $10 < v_p \leq 30$	中速 $30 < v_p \leq 50$	高速 (>50) $v_p \geq 50$
$U < 50\%U_0$	绿色	绿色	蓝色	黄色
$50\% U_0 \leq U < 80\% U_0$	绿色	蓝色	黄色	红色
$80\%U_0 \leq U < 100\% U_0$	蓝色	黄色	红色	红色

注：U₀为净空位移控制基准值，通常为设计预留变形量。

8.4.2 大变形隧道根据监测管理等级可按表 15 指导施工，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。

表15 公路大变形隧道变形管理对策表

管理等级	施工对策
绿色	正常施工
蓝色	警戒，加强监测，准备预案
黄色	预警，分析原因，实施预案
红色	报警，检查预案实施情况，分析原因，完善并加强措施，进行安全性评估，必要时暂停施工

- 8.4.3 初期支护稳定性评判标准应符合下列规定：
- a) 实测最大值或回归预测最大值不得超过净空位移控制基准值；
 - b) 初期支护净空位移变化速度，三车道及以上隧道小于 2mm/d 和两车道隧道小于 1mm/d 时，且变形时态曲线趋于收敛。
- 8.4.4 运营监测宜采用量测数据与人工巡视结果相结合的方式进行综合分析、评估。
- 8.4.5 运营监测宜采用速率和累计绝对值双控指标，累计绝对值控制标准宜取构件材料的强度标准值，预警标准宜取强度标准值的 2/3。

附 录 A
(资料性)
大变形地层工程地质特征

A.1 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、地质构造运动史、主要构造线、钻孔中岩芯饼化和开挖过程中出现的围岩位移显著等主要现象，按表 A.1 进行评估。

表A.1 围岩初始地应力状态评估标准

初始地应力状态	主要现象	$\frac{R_c}{\sigma_{\max}}$
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)；σ_{max}为垂直洞轴线方向的最大初始地应力值(MPa)。

A.2 软质岩坚硬程度的划分应按表 A.2 确定。

表A.2 软质岩坚硬程度的划分

初始地应力状态		岩石饱和单轴抗压强度(MPa)	定性评估基准	代表性岩性
软质岩	较软岩	30≥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≥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	R _c ≤5	锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，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

注：无条件取得岩石饱和单轴抗压强度R_c实测值时，也可采用实测的点荷载强度指数IS(50)的换算值，换算方法按GB/T 50218《工程岩体分级标准》的规定执行。

A.3 软质岩的地质成因类型划分按表 A.3 确定。

表A.3 软质岩地质成因类型划分

软质岩类型	代表性岩石
火山型	部分凝灰岩、凝灰质页岩
沉积型	泥质页岩、钙质页岩、灰质页岩、油页岩、泥岩、斑脱岩、泥灰岩、贝壳灰岩、白垩、石膏、石膏质砾岩、泥质粉砂岩
变质型	粉砂质板岩、钙质板岩、石英片岩、石英千枚岩、钙质千枚岩、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、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
风化型	各类风化岩（全、强风化带，部分弱风化带）、泥质碎屑岩、碎裂岩

A.4 薄层岩层厚度的划分应按表 A.4 确定。

表A.4 薄层岩层厚度的划分

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

A.5 岩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.5 综合确定。其中, 岩体节理发育程度的划分可按照表 A.6 确定; 岩体结构面结合程度的划分可按照表 A.7 确定; 岩体结构类型分类应符合表 A.8 的规定; 岩体受地质构造影响程度的划分可按照表 A.9 和表 A.10 确定。

表A.5 岩体完整程度划分

岩体完整程度	定性划分							
	节理发育程度			主要结构面结合程度	主要结构面类型	岩体结构类型		
	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. 35 ≤ K_v ≤ 0. 55	10 ≤ J_v < 20
	发育	≥3	0. 4~0. 2	结合好		镶嵌结构		
				结合一般		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. 15 ≤ K_v ≤ 0. 35	20 ≤ J_v < 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	K_v ≤ 0. 15	J_v ≥ 35
注1：平均间距指主要结构面间距的平均值。								
注2：K _v = (V _{pm} /V _{pr}) ² ，V _{pm} 为岩体弹性纵波速度(km/s)，V _{pr} 为岩石弹性纵波速度(km/s)，按GB/T 50266测试。								

表A.6 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.7 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3mm，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3mm，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.8 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原层，岩层厚度一般小于等于10cm，在构造作用下发生强烈褶皱和层间错动	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

表 A.8 岩体结构类型分类（续）

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
碎裂结构	碎裂结构	构造影响严重,岩性复杂	延续差的结构面,密度大,相互交切	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.9 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

表A.10 掌子面岩层揉皱程度划分

掌子面岩层揉皱程度	基本特征	参考掌子面照片
较严重	地质构造变动较大,节理较发育,但于断层或褶曲轴的邻近地段,棱角显著	

表 A. 10 掌子面岩层揉皱程度划分（续）

掌子面岩层揉皱程度	基本特征	参考掌子面照片
严重	地质构造变动剧烈，节理发育，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	
很严重	地质构造变动极其剧烈，节理很发育，多杂乱无规则，岩体呈块石、碎石、角砾状，有的甚至呈粉末泥土状	

A. 6 地下水的出水状态分级宜按表 A. 11 确定。

表A. 11 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
出水量 $Q[L/(min \cdot 10m \text{ 洞长})]$	$Q \leq 25$	$25 < Q \leq 125$	$Q > 125$
裂隙水压力 $p(MPa)$	$p \leq 0.1$	$0.1 < p \leq 0.5$	$p > 0.5$

附 录 B
(资料性)
大变形地层隧道支护措施参考

两车道和三车道公路隧道大变形地层支护措施可按表B. 1选取。

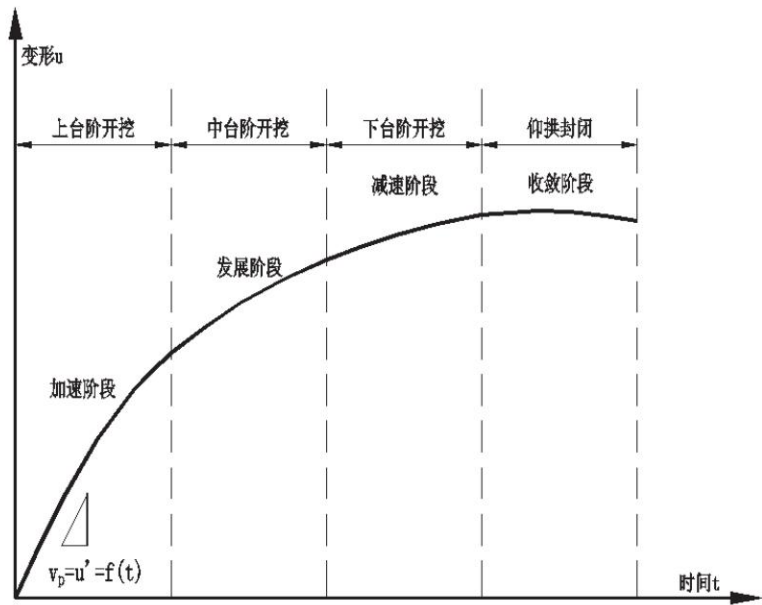
表B. 1 两车道和三车道公路隧道大变形地层支护措施参考表

序号	工程措施	变形等级		
		轻微	中等	强烈
1	断面形式	常规断面	必要时加大仰拱曲率和扁平率	边墙与仰拱加大曲率，必要时设置为圆形
2	喷射混凝土	C25	C25或C30	C30
3	预留变形量	见表7预留变形建议值		
4	系统锚杆	短锚杆 [3~4m长全长粘结锚杆，纵、环间距1.0~1.2m]	中、短锚杆交错布置 [3~4m长全长粘结锚杆，6~8m长树脂锚杆/自进式锚杆，纵、环间距1.0~1.2m]	长、短锚杆交错布置 [3m长全长粘结锚杆，8m长树脂锚杆/自进式锚杆，间距1m×1.2m(纵×环)]
5	钢架	I20 或 I22 型钢 [I20@60]	I20或I22或HW175型钢	I20或I22或HW175或HW200型钢，必要时双层钢架支护
6	钢架锁脚	小导管	小导管	中管棚、大管棚、多级锁脚
7	径向注浆	松散型大变形可采用	松散型大变形宜采用	松散型大变形宜采用
8	特殊措施	-	-	必要时考虑长锚索，多层支护、应力释放等
9	二次衬砌	50~70cm厚C30钢筋混凝土	60~90cm厚不低于C30钢筋混凝土	60~90cm厚不低于C30钢筋混凝土

附录 C
(资料性)

大变形地层隧道围岩与初期支护变形趋势分级

C.1 隧道围岩与初期支护变形划分为加速、发展、减速和收敛四个阶段，如图 C.1 所示。



图C.1 隧道围岩与初期支护变形曲线阶段划分示意图

C.2 施工中可根据变形加速阶段的变形速率评价围岩的变形趋势，采用开挖后连续 3~5 天变形速率平均值 v_p （一般取上台阶，必要时取中、下台阶），如下：

$$v_p = \sum v_i / n \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：
n—变形速率的天数；
 v_i —第*i*天的变形速率，是指当日的总收敛量与前一日总收敛量的差值。

C.3 围岩与初期支护变形趋势划分见表 C.1。

表C.1 按加速阶段变形速率对围岩变形趋势分级

变形速率分级	正常	低速	中速	高速
变形速率 v_p (mm/d)	$v_p \leq 10$	$10 < v_p \leq 30$	$30 < v_p \leq 50$	$v_p > 50$

附 录 D
(资料性)
大变形地层隧道支护效果记录

大变形地层隧道支护效果记录表示例见图D. 1。

*大变形地层隧道施工支护效果记录													
掌子面里程		埋深 (m)		变形 等级		台阶 里程	上:	中:	下:	仰拱里程		二次衬砌 里程	
变形量(mm)													
变形速率 (mm/d)	时间					1	2	3	4	5	6	7	
	(mm/d)												
施作时机	第二(多)层支护												
	仰拱												
	二次衬砌												
喷层	厚度(cm)												
	裂隙												
	剥离												
	剪切破坏												
	鼓包												
锚杆(索)、锁脚	长度(m)												
	施作时间												
	拉脱(断)												
	垫板陷入												
钢架	型号												
	有无屈服												
	接头是否完好												
底鼓	裂隙												
	隆起												
渗水情况													
记录者:						复核者:							

图D. 1 大变形地层隧道支护效果记录表示例