

# 团 体 标 准

T/TMAC ×××—202X

## 溶蚀性地层隧道施工技术规范

Technical standard for construction of tunnel in corrosion geosphere

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本作品著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市丰台区万丰路 68 号银座和谐广场 1101B。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：[www.ctm.org.cn](http://www.ctm.org.cn) 电子信箱：[136162004@qq.com](mailto:136162004@qq.com)

## 目 次

引言.....	III
1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 基本规定.....	3
4 溶蚀性地层分类及特点.....	5
4.1 溶蚀性地层分类.....	5
4.2 溶蚀地质复杂程度分级.....	6
4.3 溶蚀性隧道施工地质工作内容.....	7
5 施工准备.....	9
5.1 一般规定.....	9
5.2 施工调查.....	10
5.3 技术文件准备.....	10
6 施工测量要求.....	13
6.1 一般规定.....	13
6.2 控制测量.....	13
6.3 施工测量.....	14
6.4 贯通测量.....	14
7 超前预支护（预加固）.....	16
7.1 一般要求.....	16
7.2 超前预支护措施.....	16
7.3 超前锚杆支护.....	16
7.4 超前小导管注浆.....	17
7.5 超前管棚.....	19
7.6 超前预注浆.....	20
8 开挖.....	22
8.1 一般规定.....	22
8.2 开挖方法.....	22
8.3 超欠挖控制.....	24
8.4 钻爆.....	25
8.5 初期支护.....	26
8.6 施工监控测量.....	28
9 超前地质预报.....	29
9.1 一般规定.....	29
9.2 超前地质预报方法及选择.....	30
9.3 超前地质预报实施要求.....	32
9.4 超前地质预报报告要求.....	33
10 支护及模筑衬砌.....	34
10.1 一般规定.....	34
10.2 喷射混凝土.....	34
10.3 锚杆.....	35

10.4	钢筋网	36
10.5	钢架	36
10.6	二次衬砌	36
10.7	仰拱衬砌、仰拱回填和垫层	38
10.8	衬砌钢筋	39
11	施工监控量测及信息化管理	40
11.1	一般规定	40
11.2	监控量测断面设置	40
11.3	监控量测频率	41
11.4	允许相对变形值	43
11.5	监控量测数据整理	44
11.6	分析与反馈工作流程	44
11.7	施工信息化管理	45
12	防排水	46
12.1	一般规定	46
12.2	施工防水措施	46
12.3	结构防排水施工	46
12.4	地表截、排水	47
12.5	洞身排水	47
12.6	辅助排水通道	48
13	溶洞处理	50
13.1	一般规定	50
13.2	溶洞的分类	50
13.3	施工准备	51
13.4	贫水溶洞处治	51
13.5	富水溶洞处治	53
13.6	施工要求	53
13.7	注浆堵水	54
14	工程验收	56
14.1	一般规定	56
14.2	拱墙衬砌验收	56
14.3	仰拱衬砌及填充层验收	56
14.4	初期支护验收	56
14.5	防（排）水系统验收	56
14.6	注浆防水验收	57
14.7	涂料、喷层防水层验收	57
14.8	施工缝验收	57
14.9	变形缝验收	57
	附录 A（规范性）调查核对和施工组织设计	58
	附录 B（规范性）隧道施工掌子面地质素描调查表	60
	本规范用词说明	61
	引用标准名录	63

## 引 言

本规范吸收借鉴北岭山、深茂、渝怀等溶蚀性地层矿山法施工的隧道工程建设的经验，总结了岩溶隧道施工技术特点，为岩溶隧道施工和验收提供技术支撑，保障施工及运营安全。

本规范在编制过程中，总结了以往我国溶蚀性地层矿山法施工的隧道工程实践经验，借鉴了国内外相关规范，以安全为首要原则，强化了施工质量、节约资源、保护环境和防灾减灾的技术要求。

本规范共分 14 章，包括总则、术语及符号、基本规定、地质勘察、隧道施工准备、施工测量、超前预支护、开挖方法、超前地质预报、支护及模筑衬砌、施工监控量测及信息化管理、防排水规定、溶洞处理、工程验收等内容。

规范主要内容如下：

- 1.明确了本规范的适用范围，规定了溶蚀地层隧道施工应遵循的主要原则及施工控制要点等内容；
- 2.给出了与溶蚀性地层隧道施工技术相关术语的定义及内涵意义；
- 3.明确了溶蚀性地层隧道施工技术的基本规定；
- 4.明确了溶蚀性地层的分类及特点和对隧道工程的主要影响，给出施工阶段地质工作应主要包括的内容；
- 5.规定了溶蚀性地层隧道施工时的施工调查、技术文件准备、施工组织设计、设备及设施、材料、相关安全防灾等要求；
- 6.规定了溶蚀性地层隧道施工测量要求；
- 7.明确了溶蚀性地层隧道超前预支护（预加固）的一般规定、方案选择、实施过程等要求；
- 8.明确了溶蚀性地层隧道开挖一般规定、方法选择、设备配套、施工监控量测等要求；
- 9.规定了溶蚀性地层隧道超前地质预报的一般规定、方法及选择、实施要求、报告内容等要求；
- 10.规定了溶蚀性地层隧道初期支护及二次衬砌施工等要求；
- 11.规定了溶蚀性地层隧道施工监控量测的内容和方法，明确了信息反馈和信息化管理的流程及相关要求；
- 12.防水与排水中，规定了溶蚀性地层隧道防水等级分类标准及适用范围，增加了防排水、结构防排水等技术要求；
- 13.明确了溶洞的分类、处治方法、处治效果检测等要求；
- 14.规定了溶蚀性地层隧道施工的综合质量验收的过程和要求。

本文件由四川省铁路建设有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：石家庄铁道大学、中国一冶集团有限公司、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

# 1 总则

- 1.0.1 为规范溶蚀性地层隧道工程施工，使之符合安全环保、经济合理、技术先进的要求，保证工程质量和安全，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于溶蚀性地层矿山法施工的隧道工程。
- 1.0.3 溶蚀性地层隧道应加强地质选线工作，采取综合勘察方法，查清溶蚀性地层的发育规律和程度，尽量绕避溶蚀强烈发育区。
- 1.0.4 溶蚀性地层隧道应根据超前地质预报等施工地质成果，开展动态设计和信息化施工。
- 1.0.5 溶蚀性地层隧道设计、施工应开展风险评估工作，加强风险动态管理。
- 1.0.6 溶蚀性地层隧道勘察、设计、施工及运营维护除应符合本规范外，尚应符合国家和行业有关标准的规定。

## 2 术语

### 2.0.1 溶蚀性地层 corrosion geosphere

指地层中含有可溶性岩石（碳酸盐岩、石膏、岩盐等），地下水对可溶性岩石进行以化学溶蚀作用为主，流水的冲蚀、潜蚀和崩塌等机械作用为辅的地质作用后形成的地层；溶蚀性地层是隧道工程中的一种特殊地质，影响工程稳定性。

### 2.0.2 岩溶 karst

水对可溶性岩石（碳酸盐岩、石膏、岩盐等）进行以化学溶蚀作用为主，流水的冲蚀、潜蚀和崩塌等机械作用为辅的地质作用，以及由这些作用所产生的现象的总称。

### 2.0.3 隧道超前地质预报 tunnel geological prediction

在隧道开挖时，对掌子面前方及其周边的围岩与地层情况做出超前预报。

### 2.0.4 涌水突水 water gushing and gushing water

大量地下水突然集中涌入或突出隧道的现象。

### 2.0.5 注浆堵水 grouting for water blocking

将具有充填、胶结性能和较高强度的材料配置成浆液，压入岩层的裂隙空洞中，预防塌陷，防止大量地下水涌入。

### 2.0.6 隧道防水 waterproof of tunnel

为确保隧道运营不致因漏水、积水造成灾害，影响使用功能和腐蚀设备而采取的防水措施。

### 2.0.7 隧道排水 tunnel drainage

人为控制隧道内水的流向，排除与处理多余水量的措施。

### 2.0.8 泄水洞 drain tunnel

为减少地下水对隧道安全性影响，紧邻隧道修建的排泄隧道周边地下水的隧道。

### 3 基本规定

- 3.0.1 溶蚀性地层主要指隧道处于岩溶发育区存在溶蚀、溶腔、溶管、溶洞的地层。其中溶洞包括空溶洞和充填性溶洞（水和充填物）两种。
- 3.0.2 溶蚀性地层隧道施工应建立环境管理体系，制定并实施环境管理计划，有效减少施工对环境的影响，特别是对隧道周边地下水环境的影响。
- 3.0.3 溶蚀性地层隧道施工应重视职业健康和劳动卫生保护，制定管理计划并进行有效控制，加强通风、降噪、防尘、照明，积极改善隧道作业环境，减少有害气体、粉尘、噪声等对作业人员的危害，防止发生职业健康安全事故。
- 3.0.4 溶蚀性地层隧道施工前应结合地勘资料，对岩溶、岩溶水发育特点及周边环境进行核查，编制施工调查报告，并结合现场实际情况进行风险评估，制定切实可行的施工技术方案和专项应急预案。
- 3.0.5 溶蚀性地层隧道施工中应加强超前地质预报和监控量测，宜采用动态设计、动态施工、及时优化调整设计施工方案。
- 3.0.6 溶蚀性隧道施工应加强洞内外观察及围岩变形和外水压力监测，必要时进行支护结构应力监测，及时反馈信息，实施信息化施工，确保施工安全。
- 3.0.7 溶蚀性地层隧道施工中应加强超前地质预报，临近溶洞时，应查明溶洞形态、充填物、洞体的稳定程度、溶洞水等特征，确定岩溶类型，制定针对性的施工方案。
- 3.0.8 溶蚀性地层隧道施工应建设信息管理系统，洞内外建立通信联络系统，必要时建立实时监控系統，依据技术先进、安全适用、节能环保的原则合理配置机械设备，积极推进机械化施工。
- 3.0.9 溶蚀性地层隧道施工宜采用台阶法，必要时可采用中隔壁法，当溶洞出现在隧道一侧，应先开挖该侧，待初期支护完成后，再开挖另一侧。在Ⅱ、Ⅲ级围岩中，仅出现稳定性较好的小溶洞、溶隙时，可采用全断面法开挖。
- 3.0.10 溶蚀性地层隧道施工应严格控制开挖循环进尺，每循环炮眼钻孔宜密布眼、打浅眼、少装药。
- 3.0.11 溶蚀性地层隧道施工中岩溶水较大时，应采用泄水洞渲泄岩溶水，泄水洞应位于地下水来向一侧；涌水量大、涌水点多、分散、排泄通道不明显的岩溶发育地段，宜先汇集、再引排，采取辅助导坑、集水廊道结合泄水洞、行洪通道等措施处理。
- 3.0.12 岩溶地区隧道在接近溶洞时，开挖施工符合下列规定：
- 1 宜采用分步开挖，当溶洞出现在隧道一侧，应先开挖该侧，待初期支护完成后，再开挖另一侧。在Ⅱ～Ⅲ级围岩中，仅出现稳定性较好的小溶洞、溶隙时，可采用全断面法开挖。
  - 2 应严格控制开挖循环长度，每循环炮眼钻孔宜多打眼、打浅眼。
  - 3 掌子面应有不少于5个加深探测炮孔。加深探测炮孔深度宜比装药炮孔深3cm以上，直径宜与装药炮孔相同；不得在爆破残留孔中打设加深探测炮孔。
  - 4 应严格控制单段最大爆破药量，控制爆破振动。
- 3.0.13 岩溶隧道施工符合下列要求：
- 1 岩溶隧道施工宜采用动态设计、动态施工，及时优化调整设计施工方案。
  - 2 岩溶隧道施工应加强洞内外观察及围岩变形、外水压力等监测，必要时对支护结构应力、应变以及地应力进行监测，及时反馈监测信息，实施信息化施工，确保施工安全。
  - 3 岩溶发育隧道，地质预报应建立以长距离物探和钻探为主，其他物探方式为辅，红外线探测连续施测的综合预报体系。
  - 4 施工前应调查地表水出露情况，必要时可采取地表注浆等措施处理。
  - 5 岩溶地段施工应结合注浆技术、采取合理可靠的超前支护体系，降低围岩的渗水量及变形量。
  - 6 开挖宜采用台阶法，必要时采用中隔壁法。在Ⅱ、Ⅲ级围岩条件下，且溶洞仅穿过隧道底部小部分断面时，可采用全断面法。爆破开挖应密布眼、少装药，渗漏水时加强观察。
  - 7 溶洞位于隧道一侧时，应先开挖该侧，待支护完成后再开挖另一侧。
  - 8 隧道岩溶水较大时，应采用泄水洞渲泄岩溶水，泄水洞应位于地下水来向一侧；涌水量大、涌水点多、分散、排泄通道不明显的岩溶发育地段，宜先汇集、再引排，采取辅助导坑、集水廊道结合泄水洞、行洪通道等措施处理。
- 3.0.14 空溶洞揭露后，应进一步勘测溶洞规模、溶腔大小、溶腔分布于隧道准确位置关系后，查明地下水流向，判断溶腔稳定性、溶腔地下水影响等，并做好施工记录。



T/TMAC XXX—202X

3.0.15 溶洞底部沉淀泥沙对隧道构成威胁时，可采取清除、固结、设隔离墙、增设护拱等措施。

## 4 溶蚀性地层分类及特点

### 4.1 溶蚀性地层分类

4.1.1 溶蚀性地层主要分为碳酸盐类和硫酸盐类。

**【条文说明】**：一般溶蚀性地层分为碳酸盐类、硫酸盐类和氯盐类，碳酸盐类以石灰岩、白云岩和泥灰岩等典型，分布广泛，危害很大，是目前工程界处置的难点；硫酸盐类以石膏芒硝为典型，石膏： $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，芒硝： $\text{Na}_2(\text{SO}_4) \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，分布范围较大，危害较大；氯盐类分布普遍较少。因此，本规范主要针对分布广泛、危害较大的碳酸盐类的溶蚀性对隧道施工的影响进行分析和评价。

4.1.2 溶蚀地貌按埋藏条件可分为裸露型、浅覆盖型、深覆盖型以及埋藏型四种类型，其划分标准应符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 岩溶埋藏条件的分类

埋藏类型	划分标准			
	地表可溶岩出露情况	覆盖层类型	覆盖层厚度 $h(\text{m})$	地表水和地下水连通情况
裸露型	大部分	土	$H < 10$	密切
浅覆盖性	少量	土	$10 \leq h < 30$	较密切
深覆盖型	几乎没有	土	$H \geq 30$	一般不密切
埋藏型	无	非可溶岩	—	不密切

**【条文说明】**：岩溶按埋藏条件的划分参考了《公路工程地质勘察规范》（JTGC 20-2011）、《铁路工程不良地质勘察规程》（TB 10027-2001）的划分方法。

4.1.3 岩溶按形成形态可分为裂隙型、管道型、洞穴型、暗河型以及组合型。

**【条文说明】**：岩溶按形成形态一般可划分为裂隙型、管道型、洞穴型、暗河型以及组合型。

4.1.4 溶洞按充填方式可分为无充填溶洞、半充填溶洞、全充填溶洞三种类型。

4.1.5 洞穴型岩溶（溶洞）按发育规模可分为小型溶洞、中型溶洞、大型溶洞和巨型溶洞四种类型，其划分标准应符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 溶洞发育规模的分类

规模类型	划分标准
小型溶洞	溶洞洞径 < 隧道开挖半径，或溶洞洞径 < 6m
中型溶洞	隧道开挖半径 ≤ 溶洞洞径 < 隧道开挖直径，或 $6\text{m} \leq \text{溶洞洞径} < 12\text{m}$
大型溶洞	隧道开挖直径或 $12\text{m} \leq \text{溶洞洞径} < 20\text{m}$
巨型溶洞	溶洞洞径 ≥ 20m

**【条文说明】**：溶洞按发育规模划分在设计、施工中具有一定的实用意义，划分标准是按目前公路中常见的双向四车道隧道宽度  $D \approx 12\text{m}$  来划分的：小型溶洞的规模小于隧道半跨度，一般来说，对隧道围岩稳定性及结构受力的影响不大；中型溶洞的规模超过半跨度但不超过隧道跨度，一般来说，对隧道围岩稳定性及结构受力已有较大的影响；大型溶洞的规模超过隧道跨度但不超过 1.5 个隧道跨度，一般来说，对隧道围岩稳定性及结构的受力的影响已经十分显著；巨型溶洞规模超过 1.5 个隧道跨度，一般来说，对隧道围岩稳定性及结构的受力的影响极为显著，需要专门进行研究。

## 4.2 溶蚀地质复杂程度分级

4.2.1 溶蚀隧道按地形环境复杂程度可分为简单、中等、复杂三个级别，其划分标准应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 岩溶隧道地形环境复杂程度分级

地形环境复杂程度	地形、环境特征
简单	隧道仅穿越单个山峰，进出口基岩裸露、岩体完整，无岩堆、危岩分布；无村屯、高等级电塔；隧道以贫水岩溶为主，隧道开挖对水环境几乎无影响。
中等	隧道穿越较小规模的峰丛洼地、峰丛谷地、垄脊槽谷、垄岗谷地、峰丛垭口；地面仅分布零星村屯，无高等级公路、铁路、高等级输电线路及河流水库等大型地表水体；隧道进出口植被较发育、地形较完整、岩堆危岩规模较小；隧道开挖可能出现地表泉干涸、地下河流量减小。
复杂	隧道沿线地面为峰丛洼地、峰丛谷地、垄脊槽谷、垄岗谷地、溶丘洼地、溶丘盆地、溶丘谷地、岩溶高山峡谷、岩溶中山峡谷；地面存在厂矿、大型村镇、高等级公路、铁路、高等级输电线路、河流水库等大型地表水体的区域；隧道进出口植被发育、地形凌乱、岩堆危岩发育；隧道开挖可能造成地下河干涸、地表水全渗漏，地面塌陷。

4.2.2 岩溶按发育程度可分为强烈发育、中等发育、弱发育、微弱发育四个级别，其划分标准应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 岩溶发育程度分类

岩溶发育程度	地形、环境特征
强烈发育	以较纯的碳酸盐岩岩性为主；沿断裂、褶皱、不整合面等溶蚀强烈；地表洼地、漏斗、竖井、落水洞等广泛分布，地下较大规模溶洞、廊道发育；地下洞穴系统基本形成，有大型暗河；钻孔见洞隙率 $k_j > 30\%$ ，钻孔线岩溶率 $k_x > 20\%$ 。
中等发育	以次纯碳酸盐、间夹型可溶岩为主；沿断裂、褶皱、不整合面等溶蚀明显；地表洼地、漏斗、竖井、落水洞分布较多，地下中小型串珠状洞穴发育；地下洞穴系统未形成，有中小型暗河或地下集中径流；钻孔见洞隙率 $10\% \leq k_j \leq 30\%$ ，钻孔线岩溶率 $5\% \leq k_x \leq 20\%$ 。
弱发育	以不纯碳酸盐岩为主，多间夹型或互夹型；沿裂隙面、层面溶蚀；地表岩溶形态稀疏发育，地下以溶隙或小型洞穴为主，裂隙连通性差；少见集中径流，常见裂隙流水；钻孔见洞隙率 $1\% \leq k_j < 10\%$ ，钻孔线岩溶率 $1\% \leq k_x < 5\%$ 。
微弱发育	以泥质、硅质、炭质灰岩为主，裂隙状岩溶或溶孔为主；裂隙不连通，裂隙透水性差；钻孔见洞隙率 $k_j < 1\%$ ，钻孔线岩溶率 $k_x < 1\%$ 。

4.2.3 岩溶水系统按垂向动力特征可分为垂直渗流带、季节变动带、水平径流带和深部缓流带。

4.2.4 岩溶地区水文地质条件按复杂程度可分为简单、中等、复杂三个级别，其划分标准应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 水文地质条件复杂程度分级

水文地质复杂程度分级	水文地质特征
简单	隧道处于垂直渗流带内，一般位于洼地标高之上，地形有利于自然排水；主要充水含水层和构造破碎带富水性弱至微弱；仅发育微量涌水型岩溶，水压不超过 0.5MPa。
中等	隧道大部分洞段处于季节变动带内，部分洞段位于洼地标高之下，形有自然排水条件；水文地质边界较复杂，主要充水含水层和构造破碎带富水性中等至强，地下水补给条件一般；或附近地表水不构成隧道的主要充水因素，地下水补给条件差，第四系覆盖面积小且薄，疏排水可能引发少量塌陷；发育中等及少量涌水型岩溶、水压 0.5~1.5MPa 的高压涌水。
复杂	隧道部分洞段处于水平径流带内，大部分洞段位于沿线洼地、谷地标高以下；水文地质边界复杂，主要充水含水层富水性强，补给条件好，并具较高水压；构造破碎带发育、导水性强且连通区域强含水层或地表水体；第四系厚度大、分布广，疏干排水有引发大面积塌陷、沉降的可能；推测可能发生或已出现大量至特大涌水型岩溶。

### 4.3 溶蚀性隧道施工地质工作内容

4.3.1 溶蚀不良地质的处治应遵循“以防为主，防治并重，动态设计施工”的原则，避免施工及运营期发生岩溶病害。

4.3.2 溶蚀性隧道施工前应核对工点工程地质资料，掌握沿线各类工程岩溶及岩溶水分布情况。

4.3.3 施工地质应做好勘察阶段延续下来的临时气象、水文、地下水动态观测站(点)的观测分析及勘探测试工作，并为相关工程施工提供地质资料。

4.3.4 施工地质应做好超前地质预报和岩溶探测工作，预测施工中可能遇到的涌(突)水(泥)地表水或地下水疏干、地面塌陷等重大岩溶工程地质、水文地质问题，并制定相应对策，提出施工注意事项。

4.3.5 施工过程中揭示的岩溶应采用综合勘探手段，查明岩溶及岩溶水与隧道工程的关系，评价岩溶及岩溶水对工程的影响。

4.3.6 施工现场应配备地质工程师进行岩溶核对和判别。

4.3.7 溶蚀性隧道施工过程中，当遇到以下情形时应开展施工勘察：

- 1 工程地质、水文地质条件复杂，施工地质灾害频发；
- 2 岩溶强烈发育，溶洞规模大、形态复杂，确定工程处治方案困难的；
- 3 隧底及周边可能发育对隧道结构安全有影响的隐伏岩溶的；
- 4 隧道顶拱存在缓倾夹泥层状结构或契形体等不稳定节理组合，有规模较大塌方风险的；
- 5 发生中型规模以上突水突泥灾害，且岩溶水文地质复杂的；
- 6 地下水疏排诱发地面塌陷和地表水漏失等环境问题的；
- 7 有延续观测工作的；
- 8 施工图评审认为需要进一步查明的重大工程地质、水文地质问题及施工揭露的溶洞规模大、形态复杂、岩溶水害严重，对工程方案和施工安全影响较大的地段。

**【条文说明】：**根据近年来溶蚀性隧道大量施工案例，在特殊情况下的施工勘察是必要的，对于进一步查明地下复杂的地质条件、控制建设工程风险起到了重要作用。

4.3.8 施工勘察应符合下列规定：

- 1 收集施工方案、勘察报告、工程周边环境调查报告以及施工中形成的相关资料；
- 2 收集和分析工程检测、监测和观测资料；
- 3 充分利用施工开挖面了解工程地质条件，分析需要解决的工程地质问题；
- 4 根据工程地质问题的复杂程度、已有的勘察工作和场地条件等确定施工勘察的方法和工作量。
- 5 施工勘察可主要采取掌子面观测、超前钻孔、物探等手段；
- 6 针对具体的工程地质问题进行分析评价，并提供所需的岩土参数，提出工程处理措施的建议。

4.3.9 溶蚀水文地质条件复杂或隧道建设可能影响周边环境重大变化时，应进行水文专项勘察，并编制相应勘察大纲。

**【条文说明】：**由于岩溶地区地下水分布的复杂性，岩溶隧道水文地质勘察工作十分重要，这是确保防排水设计合理可靠的重要前提，也是提高岩溶勘察精度提升设计准确度降低隧道施工安全风险的重要技术手段，尤其是岩溶水文地质条件复杂的隧道以及隧道建设可能造成周边环境重大变化的时候，必须进行岩溶水文地质勘察。

4.3.10 深埋隧道顶部存在隐伏溶蚀发育区时，宜分析其对隧道的影响，影响较小时可采取加强支护，必要时应进行岩溶发育区处治。

4.3.11 隧道范围内一侧为完整基岩，一侧为溶蚀填充物时，宜加强支护，溶蚀填充物具有明显偏压作用时，宜采用偏压型支护。

4.3.12 溶蚀发育区应评估基础承载力、沉降及不均匀沉降对隧道结构稳定性的影响，必要时应采取工程措施。

4.3.13 隧道施工中发现的空溶洞，应结合洞底岩溶填充物、水潭、溶洞形状综合考虑处治措施，未有可靠处治措施之前，不应封堵。

4.3.14 深埋隧道穿过比隧道范围大的溶蚀填充物时，宜按照溶蚀填充物的岩土性质进行围岩分级，在溶蚀填充物厚度不明时，宜采用浅埋荷载最大值进行分析。

4.3.15 溶蚀发育区应具有完善的防排水系统，并适当加强环向排水盲管。

4.3.16 溶洞的处治应结合溶洞的发育形态、规模、与隧道的相对位置关系、洞壁围岩、地下水、落石、坍塌可能性等情况，采取有针对性的处治措施。

4.3.17 当处治溶洞可能导致工程停工时，可考虑采用导洞绕避溶洞施工，然后在探明溶洞情况后，从两段进行综合处治。

4.3.18 工程规模巨大、工程措施效果不理想时，经安全、经济、技术可行性等比较后，可采用局部改线的方案绕避溶洞。

## 5 施工准备

### 5.1 一般规定

5.1.1 隧道施工前，施工单位应熟悉设计文件和地质勘察报告，领会设计意图，做好现场调查和图纸核对工作，内容可参考附录 A。

5.1.2 隧道施工前，施工单位应编制隧道施工组织设计，并做好施工准备和组织落实工作；编制施工组织设计时，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，具体内容可参考附录 A。

5.1.3 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，开工前应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，应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。工地试验室为临时试验室，有些试验检验数量较少的项目，可通过委托试验进行，委托单位应具有计量认证和检测项目检测资质。

5.1.4 隧道开工前，应完成工程划分、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。工程划分影响施工组织 and 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，应提前做好混凝土配合比。

5.1.5 应合理安排隧道与临近工程的施工顺序，避免后道工序施工影响结构安全和质量，减少互相干扰。

**【条文说明】**临近隧道的桥涵及路基支挡构筑物等相关工程的施工，如：桥台开挖等，可能干扰隧道施工，甚至影响隧道的稳定，它们与隧道的施工顺序需要全面考虑，妥善安排，以减少干扰，保证安全和质量。

5.1.6 岩溶处治应遵循“探测在前、因地制宜、综合治理”的总原则，施工阶段应根据超前地质预报、监控量测和施工期间补充勘察或施工地质勘察成果，动态调整处治方案。

**【条文说明】**岩溶发育过程漫长，形成规律极其复杂，根据目前的勘察手段，难以准确掌握溶洞规模、形态、填充特性、岩溶水发育程度、与隧道洞室的空间关系等情况，施工过程中，应根据超前地质预报的成果及施工揭示的岩溶状况，进行动态调整。

岩溶隧道施工前通常要建立隧道工程地质、水文地质多元信息融合评价指标和体系，将动态勘察设计贯穿到施工全过程。施工过程中要充分利用超前预报成果，对隧道稳定性有影响的溶洞（管）及其填充物进行合理处置，以确保施工安全、快速推进，不留后患。

5.1.7 隧道临近溶洞时，应先应查明溶洞形态、规模、充填物、洞体稳定程度、溶洞水等特征，确定岩溶类型，综合评估岩溶对隧道施工和运营安全的影响；对隧道施工和运营安全有直接影响的地段应开展专项设计，编制专项施工方案。

**【条文说明】**岩溶隧道应按照超前地质预报要求开展地质工作，遵循物探普查、以钻为主、综合探测、相互验证的原则，采用地质调查、物探、钻探和水文观测等多种手段进行综合判识。

隧道岩溶处治前，宜根据全寿命周期风险评估结果，分析岩溶对隧道施工和运营安全方面的影响程度。对于风险等级比较高，对隧道施工和运营安全有直接影响的岩溶地段，应开展专项设计，系统开展岩溶专项勘察，制定消除风险的措施。

5.1.8 应根据溶洞规模、形态、填充特性、岩溶水发育状况、与隧道洞室的空间关系等因素，采取安全、合理、可靠的处治措施。

**【条文说明】**岩溶处治设计应根据岩溶的类型及与隧道的空间关系，制定针对性的措施，满足合理、可靠的要求。溶腔处治一般采用“超前地质预测预报、超前预注浆、超前大管棚注浆预支护、排水降压、迂回绕行、加强型复合式衬砌”等系列工程措施。

对于充填粘土型岩溶，通常采取径向注浆加固、超前帷幕注浆和大管棚支护处治技术；对于充填淤泥型岩溶，通常采取锚网喷防护、格栅钢架支护和大管棚处治注浆技术；对于充填泥沙型岩溶，通常采取超前帷幕注浆、大管棚和小导管注浆处治技术；对于充填块石型岩溶，通常采取锚网喷防护、大管棚支护和相应的隧底结构处治技术（如板跨、钢管桩梁跨等）；对于充水型岩溶，通常采取迂回绕行、分水降压、大管棚支护和相应的隧底结构处治技术；对于无充填型岩溶，通常采取超前帷幕注浆、大管

棚支护和相应的隧底结构处治技术。

## 5.2 施工调查

5.2.1 岩溶隧道施工前应进行实地调查，结合勘察设计文件逐段对岩溶、岩溶水发育特点及周边环境等进行核查，编制施工调查报告。

5.2.2 施工调查报告应包括下列重点内容：

- 1 隧址区地质条件及岩溶发育情况，包括溶洞、竖井、漏斗、洼地、落水洞、塌陷坑、岩溶泉、暗河进出口等的形状、大小、位置、高程等。
- 2 隧址区降雨、降雪等气象资料。
- 3 地表水、地下水等水文地质情况。

## 5.3 技术文件准备

5.3.1 岩溶隧道施工前应做好技术文件准备，应包括下列重点内容：

- 1 设计文件和地质勘察报告。
- 2 气象水文资料。
- 3 施工组织设计文件。
- 4 专项施工方案。
- 5 施工作业指导书。
- 6 防灾措施及应急预案。

## 5.4 施工组织设计

5.4.1 施工前应根据可能发生的突水突泥、地表坍塌等灾害情况，对施工场地及临时工程等进行系统规划布置。

**【条文说明】**施工场地规划时，一般需预留好突水突泥时水流沟渠通道，对原地表沟渠进行改造，制定防冲刷措施，与地表排水设施连通，结合既有沟渠设置排水路径，确保排水系统畅通。对风险大的建筑物及设施拆迁改移。

岩溶地区隧道涌水突泥风险较高，平导和泄水洞洞口排水系统的设置需系统完善，且应有一定冗余，确保水流畅通，避免对下游构筑物产生次生灾害，满足防洪要求。

5.4.2 岩溶隧道施工应选用具备岩溶隧道施工经验的专业队伍和人员，并进行作业培训。

5.4.3 高风险岩溶隧道施工应配足超前地质预报仪器和高效钻孔注浆设备。

5.4.4 岩溶隧道反坡施工时，应根据反坡段的地质条件编制专项反坡排水方案，配置满足施工需求的机械排水系统。

5.4.5 岩溶发育段落，应认真施作超前探孔和超前炮孔，严格实施逐孔验收。

5.4.6 高风险岩溶隧道应制定突水突泥应急预案，贮备抢险器材、物资和设备，并组织演练。

## 5.5 设备及设施要求

5.5.1 应根据安全、可靠、经济、适用的原则配置隧道施工机械和设备，并应符合下列规定：

- 1 应与施工方法相配套，与隧道长度、断面大小、施工工期相适应。
- 2 应按相关工序流水施工配套配置，提高机械的总体效率。
- 3 宜优先选用污染小、噪音小的机械设备。
- 4 应方便维修。
- 5 二次衬砌模板台车宜在隧道开挖进洞前准备到位。
- 6 应配备满足工程需要的检测仪器和设备，并在检校有效期内使用。
- 7 岩溶隧道反坡施工时，配置满足施工需求的机械排水系统，并有一定的冗余量。

## 5.6 材料要求

5.6.1 岩溶地区隧道地下水具有较强的腐蚀性时，隧道初期支护应采用防腐蚀混凝土材料，防水层应检测耐化学（硫酸盐、酸类物质）腐蚀性指标。

5.6.2 岩溶隧道衬砌结构宜采用钢筋混凝土结构，并根据岩溶水的腐蚀性及其程度，选择采用防腐蚀性的混凝土和防排水材料。

5.6.3 注浆材料应根据岩溶隧道工程地质、水文地质条件和注浆目的合理选择，宜选择普通硅酸盐水泥、超细水泥、硫铝酸盐水泥、水玻璃等注浆材料。当地下水为动水时，应选用凝胶时间短、抗分散性好、早期强度高的注浆材料。

## 5.7 安全防灾

5.7.1 高风险岩溶隧道应制定突水突泥应急预案，贮备抢险器材、物资和设备，并组织演练。

5.7.2 高风险岩溶隧道应建立施工防灾报警系统，并由专人负责管理，制订施工防灾制度和防灾方案，定期组织作业人员进行演练。

5.7.3 施工防灾报警系统组成应包括声光报警系统、应急通信和电视监控、逃生通道和疏散标志、应急照明、逃生装备、应急排水设施。

**【条文说明】**1 声光报警系统由应急报警按钮、声光报警器、报警主机等组成，报警主机可实时记录报警地点、报警时间、系统状态等数据。

2 应急通信和电视监控系统需满足以下要求：

- 1) 在隧道洞口值班室设置电话集中机，隧道施工工作面和重点防护等地点设置供电电话机（具备来电声、光提示功能），利用声光报警系统控制电缆构成应急电话通信系统。
- 2) 在隧道洞口值班室设置视频监控控制终端，隧道施工工作面和重点防护地点设置低照度黑白摄像机，通过光缆与同轴电缆相结合的方式构成视频监视系统。

3 逃生通道和疏散标志系统需满足以下要求：

- 1) 利用相邻隧道、车行（人行）横通道、辅助坑道布置应急逃生路径和设施，逃生通道保持畅通状态，严禁在逃生通道内堆置施工杂物。
- 2) 顺坡施工的工作面，在可能发生突水突泥地段适当增加横通道的数量，以方便逃生。
- 3) 顺坡施工地段掌子面后方每间隔一定距离设逃生爬梯，以备人员暂避。
- 4) 各主要工作面和横通道口处设置清晰的逃生路线和疏散标志，标志箱或标志牌涂刷反光漆或其他在黑暗状态下易于辨别的材料。

4 应急照明系统需满足以下要求：

- 1) 利用隧道内施工的低压线路，安装 EPS 应急照明灯具。照明灯具每隔 40~50m 一盏，灯具应急时间不小于 90min。
- 2) 隧道照明采取分段供电，隧道内某一处断电，不影响其他地段的照明。

5 逃生装备系统需满足以下条件：

- 1) 在可能突水突泥的施工掌子面附近，根据各工作面的作业人数，配备方便使用的救生衣、救生圈和救生竹筏等装备。
- 2) 采用有轨运输的隧道，在危险地段工作面附近，配备逃生专用矿车；采用无轨运输的隧道工作面附近，配备逃生专用汽车。
- 3) 所有逃生装备应有专人维护管理，并经常检查，确保处于良好的使用状态。

6 应急排水系统需满足以下条件：

- 1) 可能发生突水突泥的洞内反坡施工段，设置满足施工期排水需要的机具设备和材料，确保排水的安全畅通。结合施工现场洞口场地情况，施作完善的洞外排水系统，防止洞内涌水冲毁农田、民房或其他人工构筑物。
- 2) 根据需要，全线可配备一套大于预估涌水量（如 5 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ）抽水能力的机具设备和配套的管路、接头、变配电系统和电缆线等，由建设单位统筹管理和调配使用。

5.7.4 高风险岩溶隧道应在洞口及高风险地段设置 24 小时视频监控系统，并由专人进行监视。

5.7.5 高风险岩溶隧道施工应制定严格的进洞人员监控措施。

5.7.6 岩溶隧道施工应在掌子面附近设置紧急逃生设施：

- 1 紧急逃生设施可采用逃生棚、逃生管道、爬梯、逃生车辆、救生圈、救生衣、逃生绳等措施。
- 2 采用逃生棚、逃生管道时，必须具有足够的强度、刚度，逃生管道长度不应小于 200m。
- 3 逃生设施应充分利用辅助坑道，主洞及辅助坑道均应设置应急照明设施，逃生线路应设置明显的指示标志。

4 紧急逃生设施附近应配备应急照明及救援药品。

5.7.7 高风险岩溶隧道应将超前地质预报和监控量测成果纳入施工防灾管理，利用地质预报成果及监



控量测成果预警地质灾害。

5.7.8 岩溶隧道施工过程中出现地质灾害时的应急救援原则、物资、队伍等应符合下列要求。

- 1 岩溶隧道的应急救援应遵循“以人为本、安全第一、统一指挥、分级负责、依法依规、科学救援、预防为主、平战结合”的基本原则。
- 2 高风险岩溶隧道必须在施工前配备充足的救援物资，组织专业救援队伍，并加强演练。

## 6 施工测量要求

### 6.1 一般规定

6.1.1 隧道施工测量的平面坐标系和高程系统宜与定测隧道控制网坐标系和高程系统一致。

**【条文说明】**本条文说明引用《公路隧道施工技术规范》(JTGT 3660-2020) 5.1.1条,一般情况下,隧道施工测量的平面坐标系和高程系统与线路控制网坐标系和高程系统一致,可以使长度归算简单、明确。但是测区东西向较长,或者测区高程差较大时,投影长度变形值太大,不能满足隧道施工测量精度的要求。选择适宜的平面坐标系,可降低投影变形的影响。

6.1.2 平面控制网的运算及平差计算的基准平面宜与定测控制网一致,或者采用隧道纵断面设计高程的平均高程面。

**【条文说明】**本条文说明引用《公路隧道施工技术规范》(JTGT 3660-2020) 5.1.2条,平面控制网运算及平差计算的基准平面与定测控制网一致,可以直接利用定测交桩资料,节省施工控制网桩点,既能减少工作量,还可以减少出现错漏的概率。

采用隧道纵断面设计高程的平均高程面作为基准平面,高程差较小时,可以减少投影变形的影响。当高程差太大(如大于100m)时,可以考虑增加投影面以减小影响。

6.1.3 施工前应建立工程测量管理体系,根据隧道长度、隧道宽度按本规定要求编制专项测量方案,测量控制点复测等方案,综合考虑控制网等级、布设方式、测量仪器精度、采用的测量方法,确保误差范围可控,以确保测量数据结果满足工程施工需要。

### 6.2 控制测量

6.2.1 控制测量应符合下列基本规定:

- 1 布设的控制网桩点应稳固、可靠,选点要在不受隧道爆破震动、施工机械影响范围外。
- 2 测量工作中的各项计算,应由两组人员独立进行,相互校核,发现问题应及时检查并找出原因,两组人员校核一致后方可用于正式放样。
- 3 在控制网误差调整时,不得将低于隧道平面及高程控制网平差误差传入隧道控制网中。

6.2.2 隧道工程施工前,应根据隧道设计图、隧道长度、线路形状和对贯通误差的要求,进行隧道测量控制网设计。

6.2.3 平面控制网测量可采用卫星定位测量、导线测量。洞外平面控制网测量宜利用已有的定测控制网,并应符合本规范关于隧道贯通误差的有关规定和隧道施工的要求。隧道平面控制测量等级应按表6.2.3确定。

表 6.2.3 隧道平面控制测量等级

隧道贯通长度 $L$ (m)	测量等级
$L \geq 6000$	二等
$3000 \leq L < 6000$	三等
$1000 \leq L < 3000$	四等
$L < 3000$	一级

**【条文说明】**利用定测桩点,经过加密后满足施工需要,是便捷经济的做法。隧道平面控制测量等级表是根据《公路路勘测规范》(JTG C10-2007)制定的。本规范中的卫星定位测量不仅仅局限于GPS系统,也包括北斗系统等。

6.2.4 每个洞口和井口平面控制测点应不少于3个,高程控制测点应不少于2个。

**【条文说明】**此处的洞口不仅仅指正洞洞口,也包括斜井、竖井、横洞和平行导洞等辅助坑道的洞口。

6.2.5 隧道洞外平面控制网的建立应符合下列规定:

- 1 控制网宜布设成自由网,并应根据线路测量的控制点进行定位和定向;
- 2 控制网可采用卫星定位测量控制网、三角形网、导线网等形式,并应沿隧道两洞口的连线方向布设;
- 3 隧道的各个洞口应布设不少于2个相互通视的控制点;

### 6.2.6 隧道洞内平面控制网的建立应符合下列规定：

- 1 洞内的平面控制网宜采用导线形式，并应以洞口投点（插点）为起始点沿隧道中线或隧道两侧布设成直伸的长边导线或狭长多环导线；
- 2 导线的边长宜近似相等，直线段不宜短于200m，曲线段不宜短于 70m；导线边距离洞内设施不应小于0.2m；
- 3 当双线隧道或其他辅助坑道同时掘进时，应分别布设导线，并应通过横通道连成闭合环；
- 4 当隧道掘进至导线设计边长的2倍~3倍时，应进行1次导线延伸测量；

### 6.2.7 隧道高程控制测量应符合下列规定：

- 1 隧道洞内、外的高程控制测量宜采用水准测量方法；
- 2 隧道两端的洞口水准点，斜井、竖井、平洞口水准点和临近的洞外水准点，应组成闭合或往返水准路线；
- 3 洞内每隔200m~500m应设立一个水准点，水准测量应往返观测；

## 6.3 施工测量

6.3.1 用于测量的设计图文件应认真核对，包括所标注的结构物尺寸、绝对标高，绝对坐标，平纵曲线要素表等，确认无误后方可使用。

6.3.2 开挖前应校核洞内控制点，洞内控制点由洞外高等级基准控制点采用支导线引入，采用全站仪盘左、盘右往返复测，并满足《工程测量标准》（GB 50026-2020）相关要求，在开挖掌子面断面上用明显标记标出设计断面轮廓线。

6.3.3 防水板施工前，应复核初支衬砌后的隧道中线位置和标高，检查断面尺寸，确保衬砌厚度和净空满足规范和设计的要求。

**【条文说明】**防水板施工后很难进行超欠挖处理，所有的超欠挖都应当在防水板施工前得到处理，所以要在防水板施工前复核中线位置和标高。无防水板的隧道要在衬砌立模前复核中线位置和标高。

6.3.4 安装初支钢拱架或钢格栅时，应放样出钢拱架或钢格栅轮廓位置，可在围岩上钻孔打入钢筋头做出明显标记。

6.3.5 二衬钢筋安装前，先放样出内层主筋位置，待主筋位置固定在进行复测，复测结果满足要求后，在大面积安装钢筋，隧道纵向每隔 5m 放样一次，衬砌模板台车就位后应对台车模板轮廓线进行检查和校正。

6.3.6 洞内施工用的水准点，应根据洞外、洞内已设定的水准点，按施工需要加设，为方便施工，在导坑内拱部、边墙施工地段宜每 100m 设立一个临时水准点，并定期复核。

## 6.4 贯通测量

6.4.1 贯通误差的测定应符合下列规定：

1 采用导线法测时，在贯通面附近定1个临时点，由两端分别测量该点的坐标，所得的闭合差分别投影至贯通面及其垂直方向，得出实际的横向和纵向贯通误差，再置镜于该临时点测求方位角贯通误差。

2 采用中线法测量时，由两端向中间进行测量，并在贯通面上分别得出中线点，量出两点的横向和纵向距离，即为该隧道的实际贯通误差。

3 由两端向中间进行水准测量，分别测至贯通面附近的同一高程控制点或中线点上，所测得高程差即为实际的高程贯通误差。

6.4.2 控制测量对隧道相向施工贯通面的贯通误差影响极限值应符合表 6.4.2 规定：

表 6.4.2 贯通误差影响极限值

测量部位	$L < 3000$	$3000 \leq L < 6000$	$6000 \leq L < 9000$	高程中误差 (mm)
洞外	45	60	90	25
洞内	60	80	120	25
整个贯通区间	75	100	150	35

注：不适用于利用竖井联系测量和贯通长度超过9Km的隧道。

**【条文说明】**贯通中误差影响值的规定根据《公路勘测细则》（JTG/T C -2007）制。

6.4.3 隧道贯通后，洞内导线、施工中线及高程的实际贯通误差，应在贯通面两侧未衬砌段调整，该贯通误差调整段的长度应根据中线形式、贯通误差值、支护和衬砌（包括仰拱）施工情况综合确定，长度宜大 100m，贯通面两侧对称。该段的后续施工工序均应以调整后的中线及高程为准进行放样。

## 7 超前预支护（预加固）

### 7.1 一般要求

7.1.1 超前预支护应做好地质描述、超前地质预报，根据围岩条件的变化，因地制宜，提前采取相应措施，做好相应的工序设计、做到安全可靠、经济合理。

【条文说明】因地制宜，根据实际情况，选择合适的超前预支护方法措施，并及时根据条件变化进行调整，同时应考虑到安全性和经济性。

7.1.2 施工中应注意观察地形和降水、地质条件和地下水的变化以及量测数据的突变等情况，预防突发事件的发生。

7.1.3 超前预支护施工应做好详细的施工记录。

7.1.4 施工作业人员应做好安全防护工作。

【条文说明】施工作业人员应配备安全防护用具和安全防护服装，应急逃生设备等；作业人员的皮肤应避免与速凝剂、树脂胶泥等化学制剂直接接触；在整个施工过程中，作业环境应符合规范以及有关的职业健康安全标准。

### 7.2 超前预支护措施

7.2.1 超前预支护主要措施及其选择条件见表 7.2.1。

表 7.2.1 溶蚀性地层隧道超前预支护措施及其适用条件

选适用条件	超前预支护方法		其他要求
掌子面围岩破碎、渗漏水严重的临时措施	喷射混凝土		
IV~V级围岩，开挖数小时内可能剥落或局部坍塌	超前锚杆支护		
软弱、破碎地层中成孔困难或易塌孔，且施作超前锚杆比较困难或者结构断面较大时	超前小导管支护		
软弱地层和特殊困难地段，如极破碎岩体、塌方体、砂土地层、强膨胀性地层、强流变性地层、裂隙发育岩体、断层破碎带、浅埋大偏压等围岩，并对地层变形有严格要求的工程	超前管棚支护		
围岩裂隙发育或破碎难以成孔的岩层，深孔注浆可采用前进式分段注浆	前进式分段注浆	超前预注浆	
围岩局部破碎，可以顺利成孔的岩层	后退式分段注浆		
孔深小于6m或围岩裂隙较均匀	全孔一次性注浆		

【条文说明】超前预支护是指对尚未开挖的岩土体进行预支护，预防其在开挖时的冒落或塌落。这些岩土体主要是指一些开挖后来不及支护就会发生破坏性事故，如流沙、严重的破碎带、松散的软岩、高应力围岩等。超前预支护一般都是在迫不得已的情况下采用，代价相对比较高，但往往能收到很好的效果，比破坏后的修复省工省时，具有较好的经济效果。超前支护的方法和措施有许多，如开挖前施工的喷射混凝土、管棚支护、注浆、超前锚杆及和各种形式的结合结构。应根据实际情况，因地制宜，选择合适的超前预支护方法措施。

### 7.3 超前锚杆支护

7.3.1 超前锚杆施工应符合下列要求：

- 超前锚杆搭接长度应大于 1 m，锚杆插入孔内的长度不得小于设计长度。
- 超前锚杆宜和钢架支撑配合使用，外插角宜为 5°~20°。锚杆长度宜为 3 m~5 m，并应大于循环进尺的 2 倍。
- 锚杆应在开挖后尽快安设，钻孔应圆而直。其孔径和深度满足设计要求。
- 根据围岩级别，按设计要求的长度和位置进行施工。
- 锚杆粘结剂应尽量早强，其外露长度不宜大于 10cm。
- 锚杆材质的加工质量应符合设计要求。
- 锚杆安装结束后 4 小时内不应进行爆破作业。

【条文说明】超前锚杆是一种超前预支护的方法，一般适用于在浅埋松散破碎的地层内。首先用凿岩机或钻孔台车沿隧道外轮廓线向外钻孔，然后安设锚杆。超前锚杆根据围岩情况，可采用双层或三层。一般超前锚杆设置后，即可进行开挖，但应保证前后两组支护在纵向有不小于 1m 的水平投影搭接长度。超前锚杆支护若采用一般砂浆作胶结物时，爆破后很可能影响其强度。为此宜采用早强砂浆作为锚杆与岩层孔壁间的胶结物，以使其尽早发挥超前支护作用。

7.3.2 超前锚杆施工可按图 7.3.2 所示施工工序进行。



图 7.3.2 超前锚杆支护施工工序

7.3.3 超前锚杆钻孔时，应测量开挖面中线、高程，画出开挖轮廓线，并点出锚杆孔位，钻孔台车或凿岩机就位，对正孔位钻孔，达到设计要求后，用吹管、掏勺将孔内碎渣和水排出。

7.3.4 注浆或填塞锚固药卷时，将早强锚固剂药卷放在水中，泡至软而不散时取出，再人工持炮棍将药卷塞满至孔深 1/3 ~ 1/2 处。

7.3.5 用人工持铁锤将锚杆打入，以锚杆达孔底且孔口有浆液流出为止。将锚杆的尾部和系统锚杆的环向钢筋或钢架焊连，以增强共同支护作用。锚杆沿开挖轮廓线周边均匀布置，尾端与钢架焊接牢固，锚杆入孔长度符合要求。

7.3.6 超前锚杆施工质量应符合表 7.3.6 规定。

表 7.3.6 超前锚杆支护施工质量标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	长度	不小于设计	尺量
2	孔位 (mm)	±50	尺量
3	钻孔深度 (mm)	±50	尺量
4	孔径	符合设计要求	尺量

## 7.4 超前小导管注浆

7.4.1 超前小导管注浆施工应符合下列要求：

- 超前小导管直径应按设计要求选用和加工，长度应满足设计要求，纵向搭接长度应不小于 1 m。
- 对超前小导管的安装和注浆应有影像资料。严禁不注浆行为。
- 对小导管注浆应有记录，记录内容应包含以下内容：

【条文说明】超前小导管预注浆是沿隧道开挖轮廓线向外将管壁带孔的小导管打入地层内，并以

一定的压力向管内压注浆液。它既能将坑道周围岩体预先加固及堵住围岩裂隙水，又能起到超前预支护的作用。这种方法施工简单，且注浆时间短，适用于自稳时间很短的砂层、砂卵(砾)石层、断层破碎带、软弱围岩浅埋地段或处理塌方等地段。为加速注浆，可在小导管前安装分浆器，一次可注入3根~5根小导管。注浆后至开挖的时间间隔，应视浆液种类决定。当采用单液水泥浆时，开挖时间为注浆后的8h，采用水泥—水玻璃浆液时为4h左右。这主要是为了保证注浆材料有充分的胶凝时间，使其与地层充分胶结硬化，达到加固堵水的目的。小导管注浆记录包括施作里程范围、小导管根数及长度、注浆控制压力、最大单根注浆量、最小单根注浆量、总注浆量等。

7.4.2 超前小导管注浆施工可按图7.4.2所示施工工序进行。



图 7.4.2 超前小导管支护施工工序

7.4.3 小导管前端加工成锥形，防止浆液前冲，方便顺利插入已钻好的导管孔内。当围岩松软时，可直接打入，小导管尾端可采用钢筋焊一圈加强箍，防止顶进时导管尾端变形。为了便于注浆，在小导管中部钻梅花形布置的小孔。对加工好的成品要经过严格的质量检验，以保证注浆质量。为了能与注浆协调进行，可提前安排加工。

7.4.4 超前小导管沿隧道纵向开挖轮廓线向外以 10°~30° 的外插角钻孔，将小导管打入地层。导管环向间距宜为 200 mm~500 mm。超前小导管和钢架联合支护时，宜从钢架腹部穿过，尾端与钢架焊接。

7.4.5 钻孔、安装小导管后，管口用麻丝和锚固剂封堵钢管与孔壁间空隙，管口安装封头和孔口阀，并能承受规定的最大注浆压力和水压。

7.4.6 超前小导管注浆应符合如下要求：

1 注浆前，严格控制配合比与凝胶时间，初选配合比后，用凝胶时间控制调节配合比，并测定注浆固结体的强度，选定最佳配合比；应对开挖面及周边喷射混凝土封闭，以防止注浆作业时发生孔口跑浆现象；

2 注浆时，严格控制注浆压力，注浆压力宜为 0.5 MPa~1.0 MPa，注浆按由下至上的顺序施工，浆液先稀后浓、注浆量先大后小；保证浆液的渗透范围，防止出现结构变形、串浆、危及地下构筑物、地面建筑物的异常现象；

3 注浆结束标准：以终压控制为主，注浆量校核。当注浆压力为 0.7 MPa~1.0 MPa，持续 15min 即可终止；

4 注浆过程派专人记录，开挖时要检验注浆效果。

7.4.7 注浆后至开挖的时间间隔，应视浆液种类决定：当采用单液水泥浆时，开挖时间为注浆后 8h；采用水泥—水玻璃浆液时，为 4h 左右。

7.4.8 开挖时应保留 1.5 m~2.0 m 的止浆墙，防止下一次注浆时孔口跑浆。

7.4.9 超前小导管注浆施工质量应符合表 7.4.9 的规定。

表 7.4.9 超前锚杆支护施工质量标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
----	----	----------	---------

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	长度	不小于设计	尺量：检查10%
2	孔位（mm）	±50	尺量：检查10%
3	钻孔深度（mm）	±50	尺量：检查10%
4	孔径	符合设计要求	尺量：检查10%
5	注浆压力	符合设计要求	压力表：全部检查

## 7.5 超前管棚

7.5.1 超前管棚施工应符合下列要求：

- 超前管棚支护的长度和钢管外径应满足设计要求。
- 纵向搭接长度应不小于 3 m。
- 超前管棚钢管外径宜为  $\Phi(70 \sim 180)$  mm，钢管中心间距宜为管径的 2 倍~3 倍，外插角宜为  $1^\circ \sim 5^\circ$ ，单根钢管长度宜为 4 m~6 m。

【条文说明】超前管棚支护适用于极破碎的地层、塌方体、岩堆等地段。在这些地段内辅以灌浆，效果更好。当遇有流塑状岩体或岩溶、严重流泥地段时，采用与围岩预注浆相结合的方法，也是一种行之有效的方法。超前管棚分为：超前大管棚 20 m~40 m；超前中管棚 13 m；超前小管棚 4 m。

7.5.2 超前管棚施工可按图 7.5.2 所示施工工序进行。

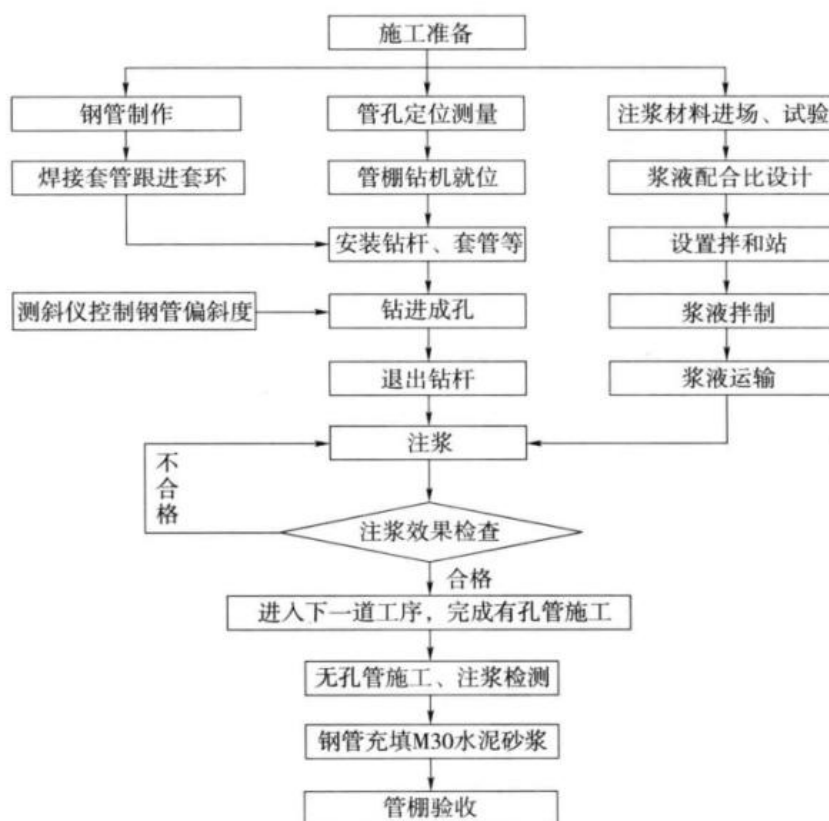


图 7.5.2 超前管棚施工工序

7.5.3 沿隧道开挖轮廓线纵向钻设管棚孔，其外插角以侵入隧道开挖轮廓线越小越好；为保证成孔质量，防止邻孔钻进时前面的成孔坍塌，钻孔间隔进行。先钻奇数孔，后钻偶数孔；孔深不宜小于 10 m，孔径比管棚钢管直径大 20 mm~30 mm，钻孔顺序由高孔位向低孔位进行。

7.5.4 接长管棚钢管时，接头应采用厚壁管箍，上满丝扣，丝扣长度不应小于 150 mm。接头应在隧



道横断面上错开。

7.5.5 管棚定位：以套拱内预埋的孔口管定向、定位，严格控制其上抬量和角度。

7.5.6 钻孔施工采用管棚钻机，利用套管跟进的方法钻进，长管安装一次完成。为保证长管棚施工质量，在拱脚部位，选2个孔作为试验孔，找出地层特点，并进行注浆和砂浆充填试验。安装钢管时，先打有孔钢管，注浆后再打无孔钢管。每钻完一孔便顶进一根钢管。

7.5.7 为确保注浆质量，在钢管安装后，管口用麻丝和锚固剂封堵钢管与孔壁间空隙，钢管自身利用孔口安装的封头将密封圈压紧，压浆管口，上安装三通接头。

7.5.8 用双液注浆时，应按先下后上，先单液浆、再双液浆，先稀后浓的原则注浆。注浆量由压力控制，初压 0.5 MPa~1.0 MPa，终压为 2.0MPa。达到结束标准后，停止注浆。

7.5.9 注浆后，扫排管内胶凝浆液，用水泥砂浆紧密充填，增强管棚的刚度和强度；对于非压浆孔，直接充填即可。

### 7.6 超前预注浆

7.6.1 超前预注浆施工应符合下列要求：

1 注浆工艺根据注浆方式不同，分为前进式分段注浆、后退式分段注浆、全孔一次性注浆。前进式分段注浆：当钻孔遇到较大涌水时，应暂停钻孔，待压浆后钻孔，重复钻孔、注浆；后退式分段注浆：当钻孔中涌水量较小时，则钻孔可直接钻到设计深度，然后从孔底向孔口分段注浆；全孔一次性注浆：当钻孔直到孔底，然后一次注浆完毕。

2 注浆顺序宜为先内圈孔、后外圈孔；先无水孔、后有水孔；从拱顶顺序向下进行。

3 注浆管的长度应满足设计要求，宜为 15 m~30 m。

4 注浆管的布置角度及深度应符合设计要求。

5 注浆管应根据设计要求选用相应规格的钢管加工。

6 注浆材料及浆液配合比应根据地质条件、注浆目的、注浆工艺等因素确定。一般情况下注浆材料应选用水泥系浆材，不宜采用化学浆材，水泥一般选用普通硅酸盐水泥。采用水泥浆液时，水灰比可采用 0.5:1~1:1。采用水泥-水玻璃浆液，应根据胶凝时间配制。一般水玻璃浓度为 25~40 波美度时，水泥浆与水玻璃的体积比宜为 1:1~1:0.3。

7 注浆压力应根据岩性、施工条件等因素在现场试验确定。注浆过程中应根据浆液扩散情况、注浆量、注浆压力等参数调整注浆材料和配合比。

8 注浆过程中应做好施工记录。发现问题，应及时处理。

7.6.2 超前预注浆施工可按图 7.6.2 所示施工工序进行。

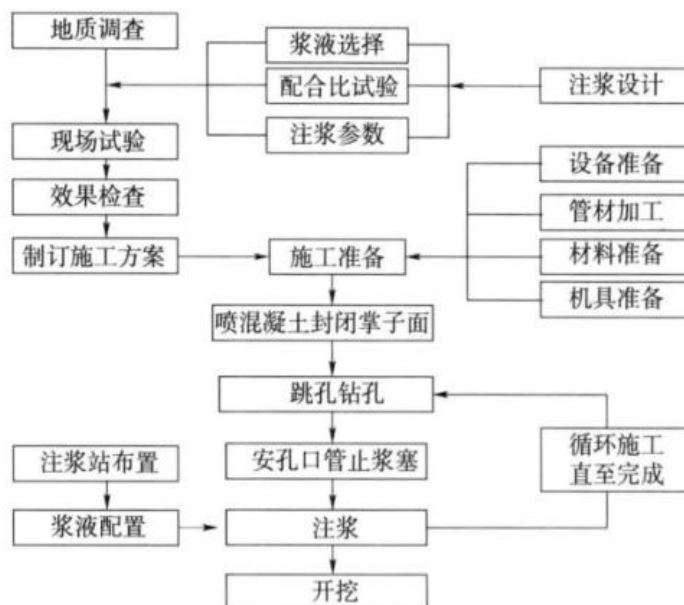


图 7.6.2 超前预注浆施工工序

### 7.6.3 超前预注浆钻孔施工要点包括但不限于以下几点：

- 1 8 m~15 m的浅孔可采用钻孔台车或重型风钻钻孔；孔深超过15m时，则应采用地质钻机钻孔；
- 2 钻孔要点：先按设计标定孔位，将钻头对准孔位，并按该孔偏角调整钻机角度后固定，开孔时做到轻加压，速度慢；
- 3 记录钻孔情况：孔号、进尺、起始时间、岩石裂隙发育情况、出现涌水位置、涌水量和涌水压力等。
- 4 钻进过程中若单孔出水量小于30 L/min，可继续钻进；若单孔出水量大于30 L/min，立即停钻进行注浆。在涌水量大、压力高的地段钻孔时，应先设置带闸阀的孔口管；当出现大量涌水时，拔出钻具，关闭孔口管上的闸阀，做好准备后进行注浆；当掌子面围岩破碎时，应先设置止浆墙和孔口管。孔口管埋入止浆墙深度应根据最大注浆压力而定；孔口管应为无缝钢管，直径不宜小于90 mm。

### 7.6.4 注浆作业应按下列施工要点进行：

- 1 注浆机具设备应性能良好，满足使用要求。
- 2 注浆前，应进行压水或压入稀浆试验，判断地层的吸浆和扩散情况，确定浆液种类、浓度和注浆压力，发现与设计不符时，应立即调整。
- 3 安装注浆管时，应在注浆管孔口处用胶泥和麻丝缠绕，使之与钻孔孔壁充分挤压塞紧，实现注浆管的止浆与固定。胶泥凝固到有足够强度后方可进行注浆。
- 4 分段注浆时，应设置止浆塞，止浆塞应能承受注浆终压。
- 5 注浆过程中应做好施工记录，包括孔位、孔径、孔深、浆液配合比、注浆压力、注浆量、跑浆及串浆等情况的说明，发现问题应及时处理。
- 6 浆液的浓度、胶凝时间应符合设计要求，不得任意变更。
- 7 单孔注浆结束标准为注浆压力达到设计终压并稳定10 min，且进浆速度小于开始进浆速度的1/4，或注浆量不小于设计注浆量的80%；全段注浆结束标准为所有注浆孔均已符合单孔结束条件，无漏注情况。
- 8 注浆后应对注浆效果进行检查，如未达到要求，应进行补孔注浆。
- 9 注浆效果的检查可采用方法分析法、检查孔法和物探无损检测法。

#### 【条文说明】

分析法：分析注浆过程，查看每个孔的注浆压力、注浆量是否达到设计要求；注浆过程中漏浆、跑浆是否严重，从而以浆液注入量估算注浆扩散半径，分析是否与设计相符；

检查孔法：用地质钻机按设计孔位和角度钻检查孔提取岩芯进行鉴定，同时测定检查孔的吸水量（即钻机漏水量），单孔时应小于  $1\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ ，全段应小于  $20\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 。

物探无损检测法：用地质雷达、声波探测仪等物探仪器对注浆前后岩体声速、波速、振幅及衰减系数等进行无损探测来判断注浆效果。

## 8 开挖

### 8.1 一般规定

8.1.1 应贯彻动态设计与信息化施工思想，加强超前地质预报、监控量测及施工期间的地质勘察工作，为动态调整提供依据。开挖方法和支护参数调整时，应做好各工序的衔接。

【条文说明】由于岩溶分布的随机性、隐蔽性，岩溶造成的地质灾害多具有突发性，因此施工过程中，动态设计和信息化施工思想极为重要，应加强超前预报工作、监控量测工作以及施工期间的地质勘察工作，及时调整开挖方法、在施工过程中及时调整支护参数和施工方法。

8.1.2 隧道进、出洞前，应按设计完成超前支护等辅助工程措施。

8.1.3 对于可能发生失稳、坍塌、涌水等地段，应预先采取针对性的预处理措施。

8.1.4 开挖作业应做到：

- 1 开挖断面尺寸符合设计规定；
- 2 根据开挖方法、断面大小、地质条件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 开挖后应清除危石，并及时进行初期支护作业；
- 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。

8.1.5 爆破作业应满足下列要求：

- 1 采用光面爆破；
- 2 隧道邻近有需要保护的重要建(构)筑物时，应严格控制爆破振动；亦可选择机械开挖；
- 3 爆破作业及爆破物品管理，应符合现行《爆破安全规程》(GB 6722)有关规定；
- 4 爆炸物品装运应符合《民用爆炸物品安全管理条例》和现行《公路工程施工安全技术规范》(JTG F90)的相关规定。

【条文说明】岩石隧道爆破，采用光面爆破技术，其目的是为了使得隧道开挖断面尽可能地符合设计轮廓线，减轻对围岩的扰动，减少超、欠挖。

爆破作业存在若干危险因素，如果不慎，将会给国家和人民生命财产带来重大损失。

### 8.2 开挖方法

8.2.1 溶蚀性地层隧道开挖方法选择应考虑隧道长度、跨度、结构形式、掌子面稳定性、地质条件等参考表 8.2.1 进行选择。

表 8.2.1 溶蚀性地层隧道开挖方法

开挖方法		围岩级别	
		双车道	三车道
全断面法		I~III	I~II
台阶法	长台阶法	III~IV	II~III
	短台阶法	IV~V	III~IV
	超短台阶法	V	IV
分部开挖法	环形开挖留核心土法	V~VI	III~IV
	中隔壁法	V~VI	IV~V
	交叉中隔壁法	V~VI	IV~VI
	双侧壁导坑法	—	V~VI

注：长台阶的台阶长度50m以上；短台阶的台阶长度5~50m；超短台阶，亦称微台阶，其台阶长度3~5m。

【条文说明】根据超前地质预报成果开展揭示风险评估，宜采用上台阶小断面控制爆破揭示方案；充填物强度较低，稳定性较差时，宜选择短进尺分部开挖，并适当加大预留变形量；

隧道对向开挖的两工作面相距达到4倍隧道跨度时，两端施工应加强联系，统一指挥；两工作面不得同时起爆。土质和软弱破碎围岩，两开挖面间距离达到3.5倍隧道跨度时，应改为单向开挖；围岩条件较好地段，两开挖面间距离达到2.5倍隧道跨度时，应改为单向开挖。

#### 8.2.2 全断面法开挖应符合下列要求：

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：Ⅲ级围岩宜控制在3m左右；Ⅰ、Ⅱ级围岩，使用气腿式凿岩机时可控制在4m左右，使用凿岩台车时可根据围岩稳定情况适当调整。采用特殊设计的其他情况每循环进尺应符合设计规定。

【条文说明】全断面法作业空间较大，工序少、干扰小，有利于大型机械配套作业，提高施工进度，便于施工组织和管理。要求各种设备合理配套是为了提高效率和设备利用率。

爆破振动和爆破药量正相关，延时爆破把一个爆破工作面分成多个区段分开起爆，这样一次爆破的爆破药量远远小于工作面的总爆破药量，从而极大地减弱了爆破振动。所以控制爆破振动首先要控制各个区段的爆破药量，特别是各个区段中装药最多的段装药量，即“单段最大爆破药量”，也就是俗称的“最大单响爆破药量”。

#### 8.2.3 台阶法开挖应符合下列要求：

1 台阶数量、台阶高度、台阶长度应综合考虑隧道断面高度、机械设备及围岩稳定性等因素确定；台阶开挖高度宜为2.5m~3.5m。台阶数量可采用二台阶或者三台阶，不宜大于3个台阶。

2 上台阶开挖每循环进尺，Ⅱ级围岩宜不大于3m；Ⅳ级围岩宜不大于2榀钢架间距；Ⅴ级围岩宜不大于1榀钢架间距。Ⅳ、Ⅴ级围岩下台阶每循环进尺宜不大于2榀钢架间距。

3 下台阶单侧拉槽长度宜不超过15m。

4 下台阶左、右侧开挖宜前后错开3m~5m，同一榀钢架两侧不得同时悬空。

5 下部施工应减少对上部围岩、支护的干扰和破坏。

6 下台阶应在上台阶喷射混凝土强度达到设计强度的70%以后开挖。

7 采确定台阶的长度考虑以下两个因素：初期支护形成闭合断面的时间要求，稳定性愈差的围岩要求闭合时间愈短；上半断面施工时开挖、支护、出渣机械设备所需的作业空间。

【条文说明】台阶法因其灵活多变、适用性强等优点，已成为大断面隧道施工的主流施工方法。

实际施工中视围岩条件和机械设备情况可派生出各种台阶法。

#### 8.2.4 环形开挖预留核心开挖应符合下列要求：

1 台阶开挖高度宜为2.5m~3.5m。

2 环形开挖每循环进尺，Ⅴ级围岩宜不大于1榀钢架间距，Ⅳ级围岩宜不大于2榀钢架间距。中下台阶每循环进尺，不得大于2榀钢架间距。核心土面积宜不小于断面面积的50%。

3 上台阶钢架施工时，应采取有效措施控制其下沉和变形。

4 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3m~5m，宽度宜为隧道开挖宽度的1/3~1/2。

5 各台阶留核心土开挖每循环进尺宜与其他分部循环进尺相一致。

6 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3m~5m，同一榀钢架两侧不应同时悬空。

7 仰拱施作应紧跟下台阶，以及时闭合成稳固的支护体系。

【条文说明】当地质条件较差，采用台阶法开挖掌子面自稳能力不足时，可采用环形开挖留核心土法。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。

#### 8.2.5 中隔壁法开挖应符合下列要求：

1 各分部开挖时，周边轮廓应圆顺。开挖进尺不应大于1榀钢架间距。

2 初期支护完成、强度达到设计规定后方可进行下一分部开挖。

3 当开挖形成全断面时，应及时完成全断面初期支护闭合。

4 临时支护拆除宜在仰拱施工前进行，一次拆除长度应与仰拱浇筑长度相适用。

5 临时支护拆除后，应及时浇筑仰拱和仰拱填充、施作拱墙二次衬砌。

6 临时支护拆除前后，应进行变形量测。

#### 8.2.6 交叉中隔壁法开挖应符合下列要求：

- 1 各分部开挖时，周边轮廓应圆顺。开挖进尺不应大于1榀钢架间距。
  - 2 初期支护完成、强度达到设计规定后方可进行下一分部开挖。每个台阶底部均应按设计规定及时施工临时钢架或临时仰拱。
  - 3 当开挖形成全断面时，应及时完成全断面初期支护闭合。
  - 4 临时支护拆除宜在仰拱施工前进行，一次拆除长度宜与仰拱浇筑长度相适用。
  - 5 临时支护拆除后，应及时浇筑仰拱和仰拱填充、施作拱墙二次衬砌。
  - 6 临时支护拆除前后，应进行变形量测。
- 8.2.7 双侧壁导坑法开挖应符合下列要求：
- 1 侧壁导坑开挖时，周边轮廓应圆顺。导坑跨度宜为整个隧道开挖宽度的三分之一；
  - 2 导坑与中间土体同时施工时，导坑应超前30 m~50 m。
  - 3 侧壁导坑开挖后，应及时施工初期支护并尽早形成封闭环。
  - 4 临时支护拆除宜在仰拱施工前进行，一次拆除长度宜与仰拱浇筑长度相适用。
  - 5 临时支护拆除后，应及时浇筑仰拱和仰拱填充、施作拱墙二次衬砌。
  - 6 临时支护拆除前后，应进行变形量测。
- 8.2.8 双侧壁导坑法开挖应符合下列要求：
- 1 应控制仰拱到掌子面的距离。必要时，仰拱应紧跟掌子面。
  - 2 仰拱开挖时，应采取交通安全措施。
  - 3 仰拱开挖长度：土和软岩应不大于3m，硬岩应不大于5m。开挖后应及时施作仰拱初期支护、二次衬砌及填充。
  - 4 应做好排水设施，清除底面积水和松渣，严禁松渣回填。
- 8.2.9 开挖方法转换应符合下列要求：
- 1 转换前应进行围岩级别核对，确认开挖方法和支护参数适用于前方围岩。
  - 2 分部断面变大、支护变弱应在较好的围岩段中进行。
  - 3 转换前应进行技术交底。
  - 4 转换应逐渐过渡。
  - 5 转换过程中各开挖分部应及时支护，及时闭合。

【条文说明】全断面法作业空间较大，工序少、干扰小，有利于大型机械配套作业，提高施工速度，便于施工组织和管理。要求各种设备合理配套是为了提高效率和设备利用率。

爆破振动和爆破药量正相关，延时爆破把一个爆破工作面分成多个区段分开起爆，这样一次爆破的爆破药量远远小于工作面的总爆破药量，从而极大地减弱了爆破振动。所以控制爆破振动首先要控制各个区段的爆破药量，特别是各个区段中装药最多的段装药量，即“单段最大爆破药量”，也就是俗称的“最大单响爆破药量”。

### 8.3 超欠挖控制

- 8.3.1 隧道开挖轮廓应根据设计开挖轮廓和围岩变形量确定。

【条文说明】隧道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，因此施工中需要根据隧道现场监测数据及时调整，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。

- 8.3.2 当采用钢架支撑时，如围岩变形较大，支撑可能沉落或局部支撑难以拆除时，宜适当加大开挖断面，预留支撑沉落量，保证衬砌设计厚度。应根据围岩性质和围岩压力预留支撑沉落量，并在施工过程中根据监控量测结果调整。

- 8.3.3 应严格控制欠挖。当岩层完整、岩石抗压强度大于 30 MPa 并确认不影响衬砌结构稳定和强度时，每 1 m<sup>2</sup> 内欠挖面积不宜大于 0.1 m<sup>2</sup>，欠挖隆起量不得大于 50 mm。拱脚、墙脚以上 1 m 范围内及净空图折角对应位置严禁欠挖。

- 8.3.4 宜减少超挖，不同围岩地质条件下超挖控制值应符合相关规定。

【条文说明】隧道开挖总不免会有超挖。超挖量随岩质、节理裂隙状况、开挖方式和方法等而异。超挖过多，不仅出渣量和衬砌量增多而提高工程造价，而且由于局部挖掉围岩会产生应力集中问题，因此需要尽量减少超挖量。

- 8.3.5 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如下要求：

1. 拱部坍塌形成的超挖处理应编制方案，并经审批后按方案处理。
2. 沿设计轮廓线的均匀超挖，有钢架时，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；无钢架时，可在施工二次衬砌时，以二次衬砌混凝土回填。
3. 局部超挖，超挖量不超过 200 mm 时，宜采用喷射混凝土回填密实。
4. 边墙部位超挖，可采用混凝土或片石混凝土回填。

## 8.4 钻爆

8.4.3 爆破器材应具备相关的检验合格证、技术指标及说明书。

8.4.4 钻爆设计应符合如下要求：

1. 钻爆设计应根据工程地质、地形环境、开挖断面、开挖方法、循环进尺、钻孔机具、爆破材料和出渣能力等因素综合考虑。
2. 钻爆设计的内容宜包括：爆破方法、炮孔(掏槽孔、辅助孔、周边孔)的布置、数目、深度和角度、炸药种类、装药量和装药结构、起爆方法、起爆器材和爆破顺序等。
3. 钻爆设计图应包括炮孔布置图、周边孔装药结构图、钻爆参数表、主要技术经济指标及必要的说明。
4. 钻爆设计应根据爆破效果优化调整。

8.4.5 钻爆作业应符合如下要求：

- 1 应按照钻爆设计钻孔、装药、接线和引爆。
- 2 爆破作业人员应经过专业培训，持证上岗。
- 3 光面爆破应根据围岩特点合理选择周边孔间距及周边孔的最小抵抗线；应严格控制周边孔的装药量，并使药量沿炮孔全长合理分布；周边孔宜采用小直径药卷不耦合装药或装填低威力炸药。可借助导爆索实现空气间隔装药。
- 4 宜采用毫秒雷管微差顺序起爆，使周边爆破时产生临空面。周边孔宜采用导爆索网路同时起爆；同时起爆药量超过安全允许药量时，也可分段起爆。
- 5 光面爆破参数应根据爆破效果及时调整，优化爆破效果。

【条文说明】爆破是隧道施工的重要工序，对安全、质量、进度、造价均很关键。爆破设计如有问题，不但会影响隧道超欠挖，还可能加大对围岩的扰动，甚至诱导塌方。所以，需要进行钻爆设计并形成完整的钻爆设计文件。爆破后应根据爆破效果分析比较，及时修正钻爆参数，提高爆破效果，改进技术经济指标。钻爆设计文件力求简明易懂，以指导钻爆工正确执行钻爆设计。

8.4.6 钻孔施工应符合如下要求：

- 1 钻孔前应定出开挖断面中线、水平线和断面轮廓，经检查符合规定后方可钻孔。
- 2 非程控钻机钻孔前应标出炮孔位置，钻孔完成后，应按炮孔布置图检查并做好记录，不符合规定的炮孔应重钻，经检查合格后方可装药。
- 3 应控制内圈孔的爆破参数，防止围岩过度龟裂。
- 4 应控制周边孔外插角度。
- 5 掏槽孔宜布置在开挖断面的中央稍靠下部。两个掏槽孔间距不宜小于 200mm。在岩层层理或节理发育时，斜孔掏槽的炮孔方向宜与层理面或节理面垂直。掏槽孔宜比辅助孔孔底深 100 mm ~ 200 mm。爆破后开挖面凹凸较大时，应按实际情况调整炮孔深度及装药量。开挖断面底面两隅处，宜合理布置辅助孔，适当增加药量，消除爆破死角。断面顶部应控制药量。

8.4.7 装药作业应符合如下要求：

- 1 严禁装药与钻孔平行作业。
- 2 严禁作业人员穿戴化纤衣服。
- 3 装药前，无关人员与机具等应撤至安全地点。
- 4 应使用木质或竹质炮棍装药。非间隔装药各药卷间应彼此密接。
- 5 已装药的炮孔应及时堵塞密封。除膨胀岩土地段和寒区隧道外，炮泥宜采用水炮泥、粘土炮泥。严禁用块状材料、煤粉或其他可燃材料作炮泥。

8.4.8 连线起爆作业应符合如下要求：

- 1 每次起爆前，爆破员应仔细检查起爆网络。

- 2 起爆前，应确认邻近爆破工作面未装炸药及雷管。
- 3 爆破员应最后离开爆破地点，撤离到有掩护的安全地点起爆。
- 4 起爆前，所有人员应撤至不受有害气体、振动及飞石伤害的安全地点；安全地点至爆破工作面的距离，在独头坑道内不应小于200 m，当采用全断面开挖时，应根据爆破方法与装药量计算确定安全距离。在有可能发生涌水、突水地段应加强开挖工作面与洞内后部工作点的联系。
- 5 起爆前班组长应清点人数，确认无误后，方可下达起爆指令。爆破员接到起爆指令后，应先发出爆破警号，至少等5s后，方可起爆。
- 6 处理瞎炮、残炮应符合现行GB 6722相关规定。
- 7 爆破后应待洞内有害气体浓度达到规定要求后方可进入开挖面工作。
- 8 采用电力起爆时，除应符合GB 6722的有关规定外，还应符合如下要求：工作面的电灯及电线应在装药前全部撤离，装药时应用矿灯、投光灯或风灯照明；起爆主导线不宜与电线和管路敷设在同一侧；若设在同一侧时，与钢轨、管道等导电体的间距应大于1.0 m，并悬空架设；起爆前，应确保现场人员、机械设备等已撤离到安全距离外，并检查主线的连接，确认起爆顺序无误后方可起爆；在地下水发育地段，爆炸材料应防水；应采用塑料导线作为连接线。应加强接头的防水与绝缘处理，爆破管路接头不得浸在水中。
- 9 爆破作业应在上一循环喷射混凝土终凝3h后进行。
- 10 爆破效果应达到围岩稳定、无大剥落或坍塌、块度适于出渣的要求。应对开挖断面形状、轮廓尺寸及爆破效果进行检查。

## 8.5 初期支护

【条文说明】正面喷射混凝土是一种临时支护方法，可用早强水泥或普通水泥加速凝剂的喷射混凝土，一般在掌子面破碎、渗淋水严重的情况下采用，以防止掌子面松弛，提高掌子面的自稳性或作为止浆墙。

- 8.5.1 喷射混凝土不应采用干喷工艺；宜在软弱及有水地层采用潮喷工艺施工；在硬岩少水地层采用湿喷工艺施工。
- 8.5.2 液体速凝剂应采用环保无碱速凝剂。
- 8.5.3 喷射混凝土配合比应通过试验确定并满足设计强度和喷射工艺的要求。
- 8.5.4 隧道开挖后应及时初喷，硬岩地段复喷作业距离掌子面不应大于60 m，软岩地段初期支护应紧跟掌子面。

8.5.5 喷混凝土施工可按图 8.5.5 所示施工工序进行。



图 8.5.5 喷射混凝土施工工序

8.5.6 喷混凝土作业前准备应满足下列要求：

- 1 岩面有渗水时，应先引排处理。当局部出水量较大时，可采用埋管、凿槽、树枝状排水盲沟等措施，将水引导疏出后再喷射混凝土。
- 2 应埋设标志或利用锚杆外露长度控制喷射混凝土的厚度，以确保最小厚度满足设计要求。
- 3 检查材料、机具、劳力的准备情况，检查风、水、电等管线路，并试运转，作业面具有良好的通风和照明条件。

8.5.7 喷混凝土原材料应满足下列要求：

- 1 水泥宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。特殊情况下可采用特种水泥，采用特种水泥时应进行现场试验，指标应满足设计要求。
- 2 粗集料应采用连续级配、坚硬耐久的碎石，最大粒径不应大于13.2 mm，其压碎值应 $\leq 16\%$ ，针片状颗粒含量 $\leq 25\%$ ，含泥量 $\leq 2.0\%$ 。
- 3 细集料应采用连续级配、坚硬耐久、颗粒洁净、粒径小于4.75 mm的河砂或机制砂，细度模数宜大于2.5，其含泥量 $\leq 5.0\%$ 。
- 4 外加剂应对混凝土的强度及围岩的黏结力基本无影响，对混凝土和钢材无腐蚀作用，易于保存，不污染环境，对人体无害。外加剂使用前应进行相应性能试验。喷射混凝土拟用于堵塞漏水灌浆，或要求支撑加固尽快达到强度值，可掺加早强剂于混合料中。为使喷射混凝土在喷射后达到速凝，可掺加速凝剂于混合料中。



5 速凝剂应采用液体速凝剂，严禁采用粉状速凝剂；应根据水泥品种、水灰比等，通过不同掺量的混凝土试验选择掺量，使用前应做好速凝效果试验，要求初凝不应大于5 min，终凝不应大于10 min。

6 水应符合工程用水的有关标准，不应使用污水、pH值小于4的酸性水和硫酸盐含量(以SO<sub>2</sub>-计)超过水质量1%的水。在喷射混凝土的用水中，不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质。

7 外掺料剂量应通过试验确定，加外掺料后的喷射混凝土性能应满足设计要求。

#### 8.5.8 喷混混凝土作业应满足下列要求：

1 应分段、分片依次进行，喷射顺序自下而上进行，每次作业区段纵向长度不宜超过6 m；

2 需紧跟开挖面时，下次爆破距喷射混凝土作业完成时间的间隔不小于4 h；

3 喷射混凝土混合料应随拌随喷，回弹物不应重新用作喷射混凝土材料；

4 一次喷射厚度应根据设计厚度和喷射部位确定，初喷厚度宜为40 mm~60 mm。复喷一次喷射厚度拱顶不应大于100 mm，边墙不应大于150 mm。

5 首层喷混凝土时，要着重填平补齐，将小的凹坑喷圆顺。岩面有严重坑洼处采用锚杆吊模模喷混凝土处理；

6 喷射作业应以适当厚度分层进行，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行。若终凝后间隔1 h以上且初喷表面已蒙上粉尘时，受喷面应用高压风、水清洗干净；

7 喷嘴应垂直岩面，喷嘴距岩面距离以0.6 m~1.2 m为宜，喷射料束与受喷面垂线成5°~15°夹角时最佳；喷射时，应使喷射料束螺旋形运动；喷射机工作压力应控制在0.1 MPa~0.15 MPa。

8 钢架与壁面之间的间隙应用喷射混凝土充填密实；喷射混凝土应由两侧拱脚向上对称喷射，并将钢架覆盖、保证将其背面喷射填满，黏结良好。拱脚基础喷射混凝土要密实，严禁悬空；

9 喷混凝土终凝2h后，应喷水养护，养护时间不少于7d；隧道内环境温度低于5° C时，不应喷水养护。

10 冬季施工时，喷射混凝土作业区的温度不应低于5 °C，混合料进入喷射机的温度不应低于5 °C，在结冰的岩面上不得进行喷射混凝土作业。混凝土强度未达到6 MPa前不应受冻。

### 8.6 施工监控测量

8.6.1 施工前应根据设计要求及工程特点编制监控量测实施方案。监控量测实施方案内容应包括但不限于：

- 1 工程概况；
- 2 监控量测项目；
- 3 监控量测体系人员组织及分工；
- 4 监控量测方法；
- 5 元器件、设备及其标定情况；
- 6 监控量测断面、测点布置，监测频率及控制基准；
- 7 数据记录格式、分析方法；
- 8 信息反馈及成果提交方法；
- 9 现场安全管理及质量保证措施。

8.6.2 根据实际情况对以下项目实施监控量测：

1 施工过程中，对揭示的大型富水岩溶、地下暗河等复杂岩溶段及高风险岩溶隧道的涌水位、水压、水量、降雨量等洞内、洞外水文指标进行观测。必要时，宜进行长期监测。

2 岩溶填充物软塑性物质的半充填、全充填大型溶洞，巨型富水高压溶洞、暗河或可能发生工程环境变化等复杂岩溶隧道重点段落的工程结构变形、内力、接触压力等影响结构安全的敏感指标。

3 已发生塌方、涌水突泥等地质灾害地段，对洞内的处治工程的结构变形、内力、接触压力，衬砌背后的水压力、水量，地表的沉降变形等敏感指标进行监测。必要时，宜进行长期监测。

4 其它可能影响隧道施工及结构安全的项目。

8.6.3 施工监控量测工作应与施工开挖、支护紧密配合，应贯穿施工的全过程。

8.6.4 对生态环境要求严格、生态环境脆弱地区，在施工期及运营期宜进行长期监测，包括地表地下水环境监测、地表沉降监测、受影响建（构）筑物变形及爆破振动监测等环境监测。

## 9 超前地质预报

### 9.1 一般规定

9.1.1 岩溶地区隧道施工，应结合地勘资料，采取综合超前地质预报手段，探清岩溶发育规模、溶洞分布、岩溶充填、地下水及其流向等情况，核实岩溶与隧道空间位置关系等。探测精度应满足工程施工需要。

9.1.2 岩溶隧道的施工应编制超前地质预报专项施工方案并进行动态调整与实施，方案包括超前地质预报目的、探测原理与方法、探测范围、探测精度、成果形式等内容。

9.1.3 每期预报应综合所有预报成果进行归纳、分析、对比，相互印证，提出最终预报成果和工程措施建议，指导隧道施工，并应确定下一步预报方案和各预报手段的工作计划。

9.1.4 岩溶隧道应根据岩溶发育强度、地下水特征进行地质复杂程度分级，一般情况下可按表 9.1.4 划分，并应在施工过程中根据超前地质探测成果和揭示的地质情况对分级进行动态调整。

表 9.1.4 岩溶隧道地质复杂程度分级

复杂程度 影响因素	复杂	较复杂	中等复杂	简单
岩溶发育程度	隧道位于地下水位以下，岩溶中等发育~强烈发育，以暗河、管道、廊道，溶洞、竖井和落水洞为主，地下洞穴系统已形成；隧道位于地下水位以上，岩溶强发育，受岩溶及充填物影响围岩稳定性差	隧道位于地下水位以下，沿断层、层面、不整合面等有显著溶蚀，小型岩溶发育，地下洞穴系统未形成，有小型暗河或集中径流；隧道位于地下水位以上，岩溶发育，受岩溶及充填物影响围岩稳定性较差	弱发育，沿裂隙、层面溶蚀扩大为岩溶化裂隙或小型洞穴，裂隙连通性差，少见集中径流，常有裂隙水流	微弱发育，以裂隙状岩溶或溶孔为主，裂隙不连通，裂隙透水性差
涌水涌泥程度	特大型涌突水，涌水量大于100 000 m <sup>3</sup> /d，大型涌突水，涌水量10 000 m <sup>3</sup> /d~100 000 m <sup>3</sup> /d，突泥，高水压	较大型涌突水，涌水量1 000m <sup>3</sup> /d-10 000 m <sup>3</sup> /d，突泥	中型涌水，涌水量100 m <sup>3</sup> /d~1 000 m <sup>3</sup> /d，涌泥	小型涌水，涌水量小于100 m <sup>3</sup> /d，涌突水可能性极小
断层稳定程度	大型断层破碎带，自稳性差，富水，可能引起大型失稳坍塌	中型断层带，软弱，中~弱富水，自稳性较差，可能引起中型坍塌	中小型断层，弱富水，有一定自稳性，可能引起小型坍塌	中小型断层，无水，自稳性较好，掉块
影响环境程度	可能造成地下河干涸、地表水全渗漏，地面塌陷	可能出现地表泉水干涸、地下河流量减小	可能出现地表泉水流量减小	无

9.1.5 隧道施工中应注意是否存在岩溶不良地质体的可能前兆，一般按表 9.1.5 进行特征分析。

表 9.1.5 隧道内岩溶不良地质体前兆特征

特征		掌子面地质前兆现象
不良地质类别	岩溶	①临近前裂隙、溶隙间出现较多的铁染锈或黏土； ②岩层明显湿化、软化，或出现淋水现象； ③岩层溶蚀、小溶洞出现的频率增加，且多有水流、河沙或水流痕迹； ④钻孔中的涌水量剧增，且夹有泥沙或小砾石； ⑤有哗哗的流水声； ⑥钻孔中有凉风冒出。
	突泥	①淤泥带主要在降雨量较大的岩溶发育地层；大多数赋存于断层中，但有少数淤泥带赋存于层间滑移的陡倾可溶岩地层中； ②在物质成分组成上，与普通围岩相比，具有大量的黄泥和碎石； ③岩溶淤泥带的规模由上向下逐渐变小，到一定深度消失，所以埋深浅的隧道较多遇

		见，而埋深大的隧道较少遇见； ④岩溶淤泥带的物质成分在剖面上也有变化，一般地表或地表下一定深度由黄泥和碎石组成，往深处碎石含量减少，黄泥含量增多，再往深处逐渐变为黄泥，最后又以稀黄泥和地下水为主； ⑤地下水位以上的岩溶淤泥带多呈干固状态，而地表水位以下的淤泥带则主要为能够流动的黄泥。
--	--	--

## 9.2 超前地质预报方法及选择

9.2.1 超前地质预报应根据预报方法特点、隧道岩溶水文地质特点、隧道施工方法选择预报方法，宜以地质分析法、地震波法、探地雷达法、电法、超前钻探法为主，其他方法为辅进行综合超前地质预报，并应采用宏观预报指导微观预报、长距离预报指导下短距离预报的方法。

9.2.2 岩溶区超前地质预报方法的应用范围和适用条件应符合表 9.2.2 的规定。

表 9.2.2 岩溶区预报方法应用范围

预报方法		地质分析法	地震波法	瞬变电磁法	探地雷达法	电法	超前钻探法
岩溶不良地质	涌水	○	△	△	○	○	○
	突泥	○	△	○	○	○	○

注：○主要方法，△辅助方法

9.2.3 岩溶地区隧道施工超前地质预报距离和方法选择应符合下列规定：

- 1 长距离预报宜适用于掌子面前方不少于100m的范围，宜选用地震波法、地质分析法。
- 2 中距离预报宜适用于不少于60m的范围，宜选用地震波法、瞬变电磁法、地质分析法。
- 3 短距离预报宜适用于不少于20m的范围，宜选用探地雷达法、电法、超前钻探法、地质分析法。

9.2.4 地表地质调查应符合下列规定：

1 应对隧道经过的地表附近的泉水、消水沟的流量、水位、颜色进行观测，观测频次数可根据隧道掌子面距离的远近确定。

2 应及时获取隧道地表沉降观测和洞内收敛变形观测的数据资料。

3 应调查可溶地层与非可溶岩地层的分布与接触关系、可溶岩地层的展布范围及其与隧道中线的相互关系。

4 应分析构造、褶皱、主要节理带与岩溶发育的关系、岩溶发育特征和发育程度，划分岩溶发育带。

5 应分析地下水的埋藏、补给、径流和排泄情况、水位动态及水力连通情况，分析隧道受岩溶地下水影响的程度。

6 应分析隧道处于岩溶垂直分带的部位，处于季节变动带与水平径流带时发生涌泥、突水的可能性。

7 应根据岩性关系、构造运动和水文地质条件，分析岩溶发育的层数与隧道的关系。

8 应依据岩溶发育的垂直分带性、隧道标高和季节的变化，分析判断可能与隧道相遇的溶洞、暗河的含水量，或分析不与隧道相遇的有水溶洞或暗河对隧道施工的影响程度。

9 应分析岩溶类型、位置、大小、分布规律及与地表水、地下水的联系，以及地表岩溶形态和地下岩溶形态的联系。

10 在可溶岩发育的地层及构造范围内，应调查洼地、河岸可能存在的溶洞或暗河出入口位置及标高，并结合可能成为暗河通道的较大断层或较紧闭背斜褶皱的核部位置、产状，推断暗河大致通道，判断能否与隧道相遇或与隧道的大概空间位置关系。

11 应分析褶皱轴、断层、节理密集带、可溶岩与非可溶岩地层接触带、陡倾角可溶岩地层、厚层可溶性地层的位置与产状，分析隧道内可能出现大型溶洞、暗河的位置。

12 应收集、调查老矿区的资料，分析矿洞的分布情况。

9.2.5 洞内地质调查应与隧道施工现场地质工作相配合，现场工作应符合下列规定：

1 洞壁有岩粉时，应进行清洗。

2 洞内地质素描的范围应包括掌子面、顶拱、两侧壁。

3 地质素描应在初期支护前进行，地质构造复杂、重点预报洞段应每开挖一个循环进行一次素描，其他一般地段宜每20m进行一次。

4 洞内地质调查应进行地层岩性识别和层位划分。

- 5 隧道施工掌子面地质素描调查记录应符合本规程附录B的规定。
- 6 洞内地质调查应对洞内揭露的地层岩性、地质构造、结构面产状、溶洞、洞壁岩石含水情况、出水点位置和状态进行记录，现场绘制素描图。
  - 7 洞内地质调查应对煤层、沥青层、含膏盐层、膨胀岩和含黄铁矿等特殊地层进行描述。
  - 8 洞内地质调查应分析和绘制隧道遇到的各种坑道和洞穴等人为坑洞与隧道的空间关系图。
  - 9 洞内地质调查应记录塌方部位、方式与规模及随时间的变化情况。
  - 10 洞内地质调查应对可能产生有害气体的洞段进行测试。
  - 11 洞内地质调查应估算每个出水点的水量。
  - 12 需要进行室内试验时，应采集试验所需的岩石、水的样本。
  - 13 洞内地质调查可采用照相或图像扫描的方式获取洞壁及掌子面的照片及影像资料。
- 9.2.6 洞内地质调查除应符合本规范第9.2.5条的规定外，还应符合下列规定：
  - 1 洞内地质调查应调查洞内可溶岩与非可溶岩地层分界线、断层、裂隙密集带位置、宽度，结合地表地质调查资料重新修正掌子面前方地层、断层、构造产状。
  - 2 洞内地质调查应调查掌子面附近岩石溶蚀现象、地下水活动情况。
  - 3 隧道内溶洞、暗河和空洞前兆观测应符合本规范第9.1.5条的规定。
- 9.2.7 地震波法预报应符合下列规定：
  - 1 地震波法宜用于预报具有较大反射面和较大规模的溶洞、暗河，相邻两轮预报的重叠洞段长度不应小于20m。
  - 2 垂直发育的溶缝、可溶岩与非可溶岩地层接触面的走向与隧道轴线前进方向的夹角不宜小于 $30^{\circ}$ 。
  - 3 地震波法预报沿断层、可溶岩与非可溶岩地层界线发育的大型溶洞、暗河时，应执行本规范第9.2.8条的规定。
  - 4 地震反射法应依据一个区域内反射波呈现不规则、多点强反射的特点来识别随机发育的溶洞、溶蚀裂隙，同时还应根据反射波相位是否反向、横波反射幅度强弱、纵横波速比值或泊松比值增大等异常情况来判断溶洞、采空区等是否充水充泥。
  - 5 地震反射法预报应依据纵横波速度和泊松比曲线的异常范围划分溶洞段长度。
  - 6 地震三维层析成像法应以反射能量、反射在空间的分布情况判断溶洞、暗河或采空区的规模和含水情况。
- 9.2.8 断层破碎带地震波法预报应符合下列规定：
  - 1 断层破碎带应具有一定宽度且连续，破碎带组成物质的地震波速应明显低于围岩波速。
  - 2 断层破碎带走向及倾角与隧道轴线前进方向的夹角不宜小于 $30^{\circ}$ 。
  - 3 相邻两轮预报的重叠洞段长度不应小于20m。
  - 4 地震反射法预报时，激发炮孔和接收孔应布置在距断层较近的洞壁一侧。
  - 5 地震反射法预报应根据反演后沿隧道轴向的一维纵波速度曲线、横波速度曲线和泊松比曲线的异常情况，解释断层破碎带在隧道轴线上的位置和宽度。
  - 6 地震反射法预报宽度较大的断层破碎带时，应利用纵波速度、纵横波速度比值和泊松比值对破碎带岩体质量进行分级评价。
  - 7 地震反射法预报应根据二维或三维反射图像中反射层的性质、空间分布情况，解释断层破碎带的走向和倾向。
  - 8 在富水洞段，地震反射法预报宜根据反射波相位倒转、波速和泊松比变化情况，分析断层破碎带是否存在涌泥、突水情况。
  - 9 地震三维层析成像法预报应通过沿隧道轴线的水平和垂直二维反射能量图的异常分布情况，解释断层破碎带空间几何形态、宽度和位置。
  - 10 在富水洞段，地震三维层析成像法预报可依据反射波相位倒转、反射系数异常情况，分析是否存在涌泥、突水情况。
- 9.2.9 瞬变电磁法预报应符合下列规定：
  - 1 溶洞、暗河或采空区应具有一定规模，洞内充填物的电阻率、介电常数与围岩应具有明显差异。
  - 2 沿断层、可溶岩与非可溶岩地层界线发育的大型溶洞、暗河的走向及倾角与隧道轴线前进方向宜具有一定角度。
  - 3 相邻两轮预报的重叠洞段长度不应小于20m。

- 4 当隧道掌子面面积较大时，应在掌子面布置网状测线，且宜在两侧壁布置测线。
  - 5 每个测点宜进行3个角度的线框测量。
  - 6 瞬变电磁法预报应根据电阻率断面图中低电阻率异常位置、范围，判断溶洞、暗河、采空区的位置和范围。
  - 7 瞬变电磁法预报宜根据不同剖面、多个方向上的电阻率异常分布情况推断暗河延伸情况。
  - 8 瞬变电磁法预报可根据观测曲线二次场衰减慢、尾支下降慢的特征进行涌泥、突水预报。
- 9.2.10 探地雷达法预报应符合下列规定：
- 1 探地雷达法预报应采用短距离跟踪探测中长距离预报发现的溶洞或采空区目标异常体。
  - 2 探地雷达预报应在掌子面布置多条测线，宜同时在掌子面附近顶底板、左右侧壁布置一定量的测线。
  - 3 相邻两轮预报的重叠洞段长度不应小于5m。
  - 4 探地雷达法预报应根据雷达图像呈现的点状或双曲线异常现象预测规模较小的溶洞。
  - 5 探地雷达法预报应根据雷达反射波相位情况判断溶洞或采空充水、充泥情况，并结合异常规模来预报涌泥、突水情况。
  - 6 探地雷达法预报应根据雷达图像反射界面的距离，估算溶洞或采空区距掌子面的位置。
  - 7 在接近大型溶洞、暗河、采空区5m~10m位置，应对洞的边缘距离、内部充填和涌泥、突水情况进行探测，并为超前钻探提供孔位、孔深资料。
- 9.2.11 电法预报应符合下列规定：
- 1 电法预报应根据隧道掘进方法，选择循环预报或实时监测预报方式，增加循环预报的频率和重叠洞段长度。
  - 2 当隧道掌子面高度或宽度大于5m时，应在掌子面布置网状测线。
  - 3 在富水洞段，应进行激发极化、自然电位、电阻率预报。
  - 4 电法预报应根据电阻率、极化率、自然电位的异常情况，预报溶洞、采空区，估算溶洞、采空区的位置和空间规模。
  - 5 电法预报应在低电阻率的基础上，分析极化率、自然电位的异常情况，进行涌泥、突水预报。
  - 6 搭载TBM进行连续监测预报时，应事先根据试验结果设定涌泥、突水、断层预报的阈值。
- 9.2.12 超前钻探预报应符合下列规定：
- 1 超前钻探应以掌子面探地雷达预报资料为基础，确定超前钻孔数量、位置和长度。
  - 2 当掌子面高度或宽度大于5m、溶洞规模大于隧道高度或宽度的一半时，宜在掌子面布置多个钻孔进行超前钻。
  - 3 超前钻孔中可进行钻孔雷达测试，或采用其他物探方法进行探测，探测钻孔及钻孔周围的溶洞、空洞。
  - 4 对充满高压水的溶洞、老矿井进行超前钻探预报时，应安装带泄水阀的孔口管。

### 9.3 超前地质预报实施要求

#### 9.3.1 岩溶预报实施步骤及要求

- 1 应根据区域水文地质、工程地质资料与勘察设计资料，对隧址区岩溶发育段落及其周边区域进行补充地质调查，分析岩溶发育的规律，重点查明和分析地质构造、岩溶垂直分部带与隧道路线的相互关系，隧道受岩溶地下水影响程度，可能出现大型溶洞、暗河的位置。
- 2 应根据超前地质预报设计方案、地质复杂程度分级情况和地质条件，采用弹性波反射法进行长、中长距离探测，以探明规模较大、可足以被探测的岩溶形态。
- 3 采用瞬变电磁法、高分辨直流电法进行中长、短距离探测，定性探测岩溶水的位置及发育情况；采用地质雷达法进行短距离探测，以查明岩溶位置、规模和形态。
- 4 对已探得的岩溶段落，应采用超前地质钻探法进行探测和验证。具体要求如下：
  - a) 根据物探结果确定超前钻孔的数量、位置及长度，超前地质钻探必须连续重叠式进行。
  - b) 超前钻探揭示岩溶后，应适当加密，查清岩溶规模及发育特征，条件允许时可在超前钻孔中进行钻孔雷达测试和钻孔电视观察，探测钻孔四周的溶洞。
  - c) 岩溶发育区必须进行加深炮孔探测。
- 5 地质综合判析，提交综合分析成果报告。

9.3.2 岩溶重点发育地区应采取多种手段探测隧道周边、隧底隐伏岩溶，并符合以下要求：

- 1 采用综合物探查明隧道周边、隧道隐伏岩溶洞穴的位置及规模；
- 2 根据物探资料布置钻孔；
- 3 根据隧道钻探验证结果修正物探异常成果图，作出预测隐伏岩溶图；
- 4 隐伏岩溶图，比例宜为1:100~1:500，应标明隐伏岩溶的位置、规模、埋藏深度、类型和验证钻孔。

9.3.3 空溶洞揭露后，应进一步勘测溶洞规模、溶腔大小、溶腔分布和其与隧道准确位置关系，查明地下水流向，判断溶腔稳定性、溶腔地下水影响等，并应做好施工记录。

#### 9.4 超前地质预报报告要求

9.4.1 隧道施工超前地质预报报告宜包括下列内容：

- 1 概况，包括隧道工程概况、工程地质及水文地质条件、施工设计要求；
- 2 编制依据；
- 3 隧道地质条件复杂程度分级，根据本规范第9.1.4条的规定对隧道地质风险源进行综合评价分析，得出复杂程度的级别；
- 4 超前地质预报目的和内容；
- 5 预报体系，包括预报方法、预报流程、循环方式、成果内容与形式；
- 6 超前地质预报工作量；
- 7 预报安全措施和配合工作；
- 8 其他需要说明的问题。

9.4.2 预报工作完成后应编写预报成果报告并归档，报告宜包括单次预报成果报告、月报年报、竣工总报告，报告应内容全面、目的明确、方法技术可靠、数据真实、图表齐全、结论正确，报告应经预报实施单位校核和审查合格后方可提交。

9.4.3 单次预报成果报告内容宜包括下列内容：

- 1 预报项目施工、地质概况；
- 2 预报方法及现场布置；
- 3 预报成果；
- 4 结论与建议；
- 5 附图、附表。

9.4.4 预报月报、年报内容宜包括：

- 1 当月、当年项目施工及地质概况；
- 2 预报方法及工程量；
- 3 预报质量控制；
- 4 预报成果；
- 5 预报建议；
- 6 附图、附表。

9.4.5 预报竣工报告内容宜包括：

- 1 工程概况；
- 2 项目施工设计、地质条件；
- 3 预报方法技术及工程量；
- 4 预报质量控制；
- 5 数据处理、资料整理和分析解释；
- 6 预报成果；
- 7 预报成果验证或印证情况；
- 8 预报建议；
- 9 附图、附表。

## 10 支护及模筑衬砌

### 10.1 一般规定

10.1.1 隧道喷锚支护应紧随开挖及时施作，及时施作喷锚支护可减小围岩掉块，维护围岩稳定，保证施工安全，避免围岩进一步垮塌。

10.1.2 隧道衬砌中线、高程应满足设计要求，施工误差不得导致衬砌结构减薄、侵入隧道设计内轮廓线。

10.1.3 隧道衬砌施工应结合超前地质预报和现场监控量测结果，与设计文件配合对支结构和开挖、支护方式进行动态调整。

**【条文说明】**溶蚀性地层隧开挖后变形大，通过超前地质预测预报隧道开挖前方的围岩地质条件、地下水等地质信息；通过施工监控量测对围岩和支护结构的观察、监测，掌握围岩动态及支护结构受力状态，根据预测和监测情况，对支护结构和开挖、支护方式进行调整，实行动态设计、动态施工。以达到安全、快速、节约建设投资的目的。

### 10.2 喷射混凝土

10.2.1 喷射混凝土施工应做好下列准备工作：

- 1 清理受喷岩面的浮石、岩屑、杂物和粉尘等。
- 2 检查开挖断面净空尺寸，凿除欠挖凸出部分。
- 3 岩面渗水处采取引排措施。
- 4 设置控制喷射混凝土厚度的标识。
- 5 检查作业机具、设备、风水管路、电缆线路，并试运转正常。
- 6 检查作业场地的通风和照明条件。

10.2.2 喷射混凝土的材料应符合下列规定：

1 应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，有特殊要求时，可采用特种水泥。采用特种水泥时应进行现场试验，强度指标应满足设计要求。

2 粗集料应采用坚硬耐久的碎石或卵石，粒径不宜大于12mm。细集料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数宜大于2.5，集料级配宜采用连续级配。

3 外加剂应符合现行《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119）的规定。

4 应选择速凝效果好，对喷射混凝土强度和收缩影响小的速凝剂，其初凝时间应不大于3min，终凝时间应不大于12min，并应符合现行《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119）的规定。

5 应根据水泥品种、水灰比等通过试验确定速凝剂掺量。

6 为改善和提高喷射混凝土粘结力、喷射性能、减少回弹量，可通过试验试配添加硅灰等矿物掺合料，试配强度应满足设计要求。

10.2.3 喷射混凝土配合比应满足设计强度和喷射工艺的要求，喷射混凝土1d龄期的抗压强度不应低于8MPa。

10.2.4 喷射混凝土施工宜采用湿喷工艺。（《公路隧道施工技术规范》（JTGT 3660-2020）9.2.4）

10.2.5 喷射混凝土混合料应采用机械搅拌，并拌和均匀，搅拌时间不应少2min。

10.2.6 喷射混凝土作业应符合下列规定：

1 喷射混凝土应直接喷在围岩面上，与围岩密贴，受喷面不得填塞杂物。

2 喷射混凝土作业应按初喷混凝土和复喷混凝土分别进行，复喷混凝土可分层多次施作。

3 喷射混凝土应分段、分片、分层按由下而上顺序进行，拱部喷射混凝土应对称作业。

4 初喷混凝土厚度宜控制在20~50mm，岩面有较大凹洼时，可结合初喷找平。

5 根据喷射混凝土设计厚度，喷射部位和钢架、钢筋网设置情况，复喷可采用一次作业或分层作业。拱顶每次复喷厚度不宜大于100mm，边墙每次复喷厚度不宜大于150mm。复喷最小厚度不宜小于50mm。

6 后一层喷射混凝土应在前一层喷射混凝土终凝后进行，若终凝后初喷射混凝土表面已蒙上粉尘时，后一层喷射混凝土作业前，受喷面应吹洗干净。

7 未掺入速凝剂的混合料存放时间不宜大于2h。

8 喷射混凝土作业时，喷嘴宜垂直岩面，喷枪头到受喷面的距离宜为0.6~1.5m。喷射机工作压力宜根据混凝土塌落度、喷射距离、喷射机械、喷射部位确定，可先在0.2~0.7MPa之间选择，并根据现场试喷效果调整。

9 喷射混凝土不得挂模喷射。

10 喷射混凝土回弹物不得重新用作喷射混凝土材料。

10.2.7 喷射混凝土养护应符合下列规定：

1 喷射混凝土终凝2h后，应进行养护，养护时间不应少于7d。

2 隧道内环境日均温度低于5℃时不得洒水养护。

10.2.8 冬期施工应符合下列规定：

1 喷射混凝土作业区的气温不宜低于5℃。

2 在结冰的层面上不得进行喷射混凝土作业。

3 喷射混凝土强度未达到6MPa前不得受冻。

4 喷射混凝土拌和条件应符合冬期施工方案的要求。

10.2.9 有钢架的地段喷射混凝土作业应符合下列规定：

1 钢架安装就位后应及时进行复喷射混凝土，由下至上进行，钢架背后与围岩之间的空隙不得填塞杂物，应喷密实。

2 喷射混凝土应将钢架包裹、覆盖。

### 10.3 锚杆

10.3.1 在设有系统锚杆的地段，系统锚杆宜在下一循环开挖前完成，锚杆施作时序应符合下列规定：

1 无钢架地段，锚杆在初喷混凝土、挂钢筋网后施作，或在初喷混凝土、挂网钢筋网、复喷后施作。

2 有钢架地段，锚杆在初喷混凝土、挂网钢筋网、立钢拱架、复喷混凝土后施作。

10.3.2 锚杆孔钻孔施工应符合下列规定：

1 锚杆孔宜采用锚杆钻机或（多臂）钻孔台车钻孔。

2 钻孔前应按设计布置要求，标出钻孔位置，钻孔数量不得少于设计数量。

3 系统锚杆钻孔方向应为设计开挖轮廓法线方向，垂直偏差不宜大于20°。

4 局部锚杆应与岩层层面或主要结构面成大角度相交。

5 锚杆钻孔直径应大于锚杆杆体15mm。

6 钻孔深度应满足设计要求，与设计锚杆长度允许偏为±50mm。

10.3.3 锚杆安装前应进行下列检查工作，并做好原始记录：

1 锚杆原材料型号、规格以及锚杆各部件质量和性能应满足设计要求。

2 锚杆孔位、孔径、孔深及布置形式应满足设计要求。

3 孔内积水、岩粉应吹洗干净。

4 锚杆杆体应调直、除锈、清除油污。

5 锚杆外露端应有螺纹，应逐根检查并与螺母试装配。

10.3.4 锚杆垫板应与喷射混凝土层接触，垫板与喷射混凝土间的间隙应用M20水泥砂浆填实。

10.3.5 锚杆安装完成后，应截断锚杆杆体外露多余长度，锚杆外露头和垫板应进行防锈处理并满足防水板铺设对基面的要求。

10.3.6 锚杆安设后不得随意敲击，其端部3d内不得悬挂重物。

10.3.7 锁脚锚杆安装施工应符合下列规定：

1 应在钢架安装就位后立即施作。

2 安装位置应在钢架连接钢板以上100~300mm，采用型钢钢架时设于钢架两侧；采用格栅钢架时设在钢架主筋之间。

3 锁脚锚杆方向应符合设计规定。

4 锁脚锚杆杆体可采用螺纹钢或钢管，采用钢管时管内应注满砂浆。

5 锁脚锚杆外露头与型钢钢架焊接时，可采用U形钢筋辅助焊接。

6 上部台阶锁脚锚杆砂浆强度达到设计强度的70%，方可进行下一台阶开挖。



## 10.4 钢筋网

### 10.4.1 钢筋网铺设应符合下列规定：

- 1 应在初喷混凝土后再进行钢筋网铺设
- 2 钢筋网应随受喷岩面起伏铺设，与初喷混凝土面的最大间隙不宜大 50mm,为快速建造，可在加工场将钢筋网焊接成隧道环形方向2m左右长度的钢筋网片再进行铺设。（后半句改动）
- 3 采用双层钢筋网时，两层钢筋网间距应满足设计要求，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被喷射混凝土全部覆盖后铺挂。
- 4 钢筋网钢筋每节长度不宜小于2.0m，钢筋搭接长度不应小于30倍钢筋直径。
- 5 钢筋网每个交点和搭接段均应绑扎或焊接。
- 6 钢筋网应与锚杆或其他固定装置联结牢固，在喷射混凝土时不晃动。

## 10.5 钢架

### 10.5.1 钢架制作应符合下列规定：

- 1 钢架型号、规格、几何尺寸应满足设计要求，其形状应与开挖断面相适应。
- 2 钢架支护断面内轮廓尺寸可根据隧道实际开挖轮廓进行加工，加工的内轮廓曲线半径不应小于设计钢架的内轮廓曲线半径。
- 3 钢架可分节段制作，每节段长度应根据设计尺寸和开挖方法确定，每节段长度不宜大于 4m，每节段应编号，注明安装位置。
- 4 钢架节段两端应焊接连接钢板，连接钢板平面应与钢架轴线垂直。
- 5 连接钢板规格尺寸应满足设计要求，连接钢板上螺栓孔应不少于4个，应采用冲压或锐切成孔并应清除毛刺不得采用氧焊烧孔。
- 6 不同规格的首榀钢架加工完成后应在平整地面上试拼，当各部尺寸满足设计要求时，方可进行批量生产。

### 10.5.2 型钢钢架加工应符合下列规定：

- 1 型钢钢架应采用冷弯法制造成形，宜在工厂加工。
- 2 型钢钢架每节段宜为连续整体，当节段中出现两段型钢对接焊接时，应在焊缝两侧增加钢板骑缝帮焊，并应进行抗弯和抗扭矩试验，每节段对接焊缝数不得大于1处。对接焊应在场外完成。
- 3 型钢钢架与连接钢板焊接应采用双面焊。

### 10.5.3 格栅钢架加工应符合下列规定：

- 1 格栅钢架应在加工场生产制造。
- 2 所有钢筋连接结点必须采用双面对称焊接。
- 3 格栅钢架主筋端头与连接板焊接时，除主筋端头与钢板焊接外，应采用U形钢筋帮焊,每块连接钢板的U形钢筋数量应不少于2个，U形钢筋直径应不小于主筋直径U形钢筋应同时与主筋和连接钢板焊接，U形钢筋与主筋的焊接长度不应小于150mm。

### 10.5.4 钢架安装应符合下列规定：

- 1 钢架应在初喷混凝土后安装。
- 2 应清除钢架拱脚虚渣，使之支承在稳固的地基上，锁脚锚杆应及时施作并应符合设计规定。
- 3 钢架节段与节段之间应通过连接钢板用螺栓连接。
- 4 相邻两榀钢架之间应采用钢筋或型钢连接。
- 5 钢架应垂直于隧道中线在竖直方向安装，竖向不倾斜，平面不错位、不扭曲；上、下、左、右允许偏差为±50mm，钢架倾斜度允许偏差为±2°。
- 6 钢架应贴近初喷射混凝土面安装，当钢架和围岩初喷射混凝土面之间有间隙时，应采用钢楔块或木楔块楔紧，并用喷射混凝土充填密实，有多个楔块时，楔块和楔块的间距不宜大于2m。
- 7 钢架安装宜采用机械设备配合进行。

## 10.6 二次衬砌

### 10.6.1 拼装式模板应符合下列规定：

- 1 混凝土浇筑过程中，模板拱架不偏移、不扭曲，模板光滑、不变形，模板接缝平整不漏浆。

2 模板拱架形状应与衬砌断面形状相适应，模板表面各点应不侵入衬砌内轮廓，放样时，可将设计衬砌轮廓线外扩大50~80mm，但不得影响衬砌厚度，并应预留拱架高程沉落量，施工中应随时测量、调整。

3 循环的前后两端拱架外形尺寸最大误差宜不大于5mm。单块活动模板长度宜为1000mm，最大不应超过1500mm，宽度不宜大500mm。

5 挡头模板应与衬砌断面相适应，方便止水带安装。

6 挡头模板安装应固定牢固、封堵严密，不得损坏防水板。

7 模板重复使用时循环使用前应进行检查，出现异常应予以修整。

8 模板、拱架架设位置应准确，高程应满足设计要求。

#### 10.6.2 全断面衬砌模板台车应符合下列规定：

1 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。

2 台车支撑门架结构净空应满足施工车辆和人员安全通行要求。

3 台车支撑门架间距不宜大于2.0m，且门架位置宜与模板拼缝重合。

4 台车应配置自动行走装置和固定装置。

5 应设置可整体调节升降的液压装置，边墙模板应设置可伸缩的液压调节或螺杆调节的支撑装置并应满足边墙与边墙脚一次浇筑要求。

6 台车模板应表面光滑、接缝严密，台车钢模板厚度不宜小于10mm。

7 模板应留振捣窗，振捣窗纵向间距不应大于2.5m，与端头模板距离不应大1.8m，横向间距不应大于2.0m，振捣窗不宜小于450mm×450mm，振捣窗周边模板应加强刚度，窗门应平整、严密、不漏浆。

8 台车挡头模板应采用可重复使用并能同时固定止水带的定型模板，应便于固定。

9 台车挡头模板安装应固定牢固、封堵严密，不得损坏防水板。

10 台车应与洞室中线垂直方向架设位置准确，高程满足设计要求。

11 台车应根据施工通风风管设计参数预留风管穿越的空间

12 台车电缆线应穿入PVC管中

13 采用模板台车浇筑的混凝土，一次浇筑长度宜为6.0~12.0m。

10.6.3 隧道主洞拱墙衬砌混凝土浇筑应采用全断面衬砌模板台车，车行横洞、人行横洞、紧急停车带、地下风机房等其他洞室拱墙衬砌混凝土浇筑可采用拼装式模板。

10.6.4 拱、墙混凝土应一次连续浇筑，不得采用先拱后墙浇筑 不得先浇矮边墙。

10.6.5 拱墙模板就位后、混凝土浇筑前应进行下列工作：

1 检查模板背后混凝土浇筑净空尺寸。

2 清除钢筋上的油污。

3 钢模板涂脱模剂，木模板用水润湿。

4 涂刷模板脱模剂时，不得污染钢筋。

5 混凝土直接接触的喷射混凝土应洒水润湿。

6 检查防水板、排水盲管、衬砌钢筋、预埋件等隐蔽工程，做好记录。

7 清除底部杂物、积水；有仰拱地段，仰拱交接面用高压水冲洗干净、并涂刷界面剂。

10.6.6 衬砌混凝土振捣应符合下列规定：

1 采用附着式和插入式振捣相结合的方式振捣。

2 采用高频机械振捣时，振捣时间宜为10~30s。

3 振捣不应使模板、钢筋和预埋件移位。

10.6.7 衬砌混凝土施工应符合下列规定：

1 混凝土出料口距浇筑面的垂直距离不应大于2.2m。

2 混凝土应从两侧边墙向拱顶、由下向上依次分层对称浇筑，两侧混凝土浇筑高差不应大于1.0m，同一侧混凝土浇筑面高差不应大于0.5m。

3 混凝土浇筑至振捣窗下0.2m时，应关闭振捣窗。

4 混凝土衬砌应连续浇筑，当出现间歇浇筑时，其间歇浇筑时间不应大表10.6.7的规定。

表 10.6.7 浇筑混凝土允许间歇时间 (min)

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

注：表中规定的时间未开裂外加剂作用及其他特殊施工和混凝土本身温度的影响。

5 当间歇浇筑时间超过本条第4款的规定时，应修整间歇面与二次衬砌曲线法向方向一致，并将界面凿毛，用高压水冲洗干净，界面剂拉伸黏结强度不小于0.5MPa、剪切黏结强度不小于1.5MPa。

6 混凝土混合料应备料充足，衬砌混凝土应浇筑密实，衬砌混凝土结构厚度应满足设计要求，在衬砌混凝土浇筑结束前，应进行检查，结构厚度达到设计要求后，方可收盘。

10.6.8 隧道通过含有侵蚀性地下水地段时，应测定地下水水质，采用相应的抗侵蚀性混凝土。

### 10.7 仰拱衬砌、仰拱回填和垫层

10.7.1 仰拱衬砌施工前应进行下列工作：

- 1 隧底开挖断面形状、尺寸、基底高程、基底承载力应符合设计规定。
- 2 应凿除欠挖。
- 3 应清除隧底虚渣、杂物、淤泥，并抽干积水。

4 隧底超挖可采用强度等级不低于C15的混凝土或C20的喷射混凝土回填，回填后应再次检查断面形状、尺寸。

- 5 隧底溶洞、采空区或其他空穴应按设计要求进行处理。

10.7.2 仰拱初期支护施工应符合下列规定：

- 1 仰拱初期支护应随开挖及时施作。
- 2 仰拱初期支护喷射混凝土不得与仰拱混凝土衬砌一次浇筑。
- 3 仰拱初期支护钢架应与拱墙钢架对齐误差不应大于20mm。
- 4 仰拱钢架节段之间的连接及相邻钢架之间的横向连接方式应与拱墙钢架连接要求相同。

10.7.3 仰拱混凝土衬砌施工应符合下列规定：

1 仰拱混凝土衬砌应先于拱墙混凝土衬砌施工，超前距离应根据围岩级别、施工机械作业环境要求确定，一般不宜大于拱墙衬砌浇筑循环长度的2倍。

- 2 仰拱衬砌混凝土应整幅一次浇筑成形，不得左右半幅分次浇筑，一次浇筑长度不宜大于5.0m。

3 仰拱混凝土，应使用模板浇筑，模板应留振捣窗，振捣窗纵横向间距不宜大于2.0m，振捣窗不宜小于450mm×450mm，振捣窗周边模板应加强刚度，窗门应平整、严密、不漏浆。

- 4 挡头模板应采用可重复使用并能同时固定止水带的定型模板。

- 5 仰拱混凝土衬砌与拱墙混凝土衬砌连接面应规整、密实。

6 仰拱混凝土衬砌和拱墙混凝土均为素混凝土时，仰拱与拱墙连接面应插连接钢筋，钢筋级别不应HRB400、钢筋直径不应小于20mm、长度不应小于500mm，插入深度和外露长度均不应小于250mm，连接钢筋沿衬砌内外缘两侧布置，纵向间距不应大于300mm，当拱墙衬砌为钢筋混凝土、仰拱为素混凝土时，插入钢筋直径和布置间距应与拱墙受力筋相同，并与拱墙受力钢筋焊接。

10.7.4 仰拱填充施工应符合下列规定：

- 1 仰拱填充混凝土不得与仰拱衬砌混凝土一次浇筑。
- 2 仰拱填充混凝土施工前应清除仰拱表面积水、杂物等。
- 3 仰拱衬砌横向施工缝与填充混凝土横向施工缝宜错开设置错开距离不宜小0.5m。
- 4 在设有变形缝的位置，仰拱衬砌变形缝与填充混凝土变形缝应在同一断面位置。
- 5 仰拱填充混凝土顶面应平顺，坡度应符合设计规定。

6 仰拱填充采用片石混凝土时，片石距挡头模板的距离应大于50mm，片石间距应大于混凝土粗集料的最大粒径，并应分层掺放。

10.7.5 仰拱和仰拱填充混凝土应在其强度达到2.5MPa后方可拆模。

10.7.6 无仰拱地段隧道底部垫层混凝土施工应符合下列规定：

- 1 隧底开挖高程应满足设计要求。
- 2 清除隧道底部洞渣、杂物、淤泥、积水。
- 3 隧道底部超挖采用垫层同级混凝土回填时应与垫层混凝土同时浇筑，超挖较大时，可采用浆砌片石回填，承载力和稳定性应满足设计要求，不得采用洞渣回填。
- 4 垫层顶面应平顺、坡度应符合设计规定。
- 5 垫层混凝土可半幅浇筑，接缝应平顺。
- 6 垫层混凝土底部应做好排水处理，隧道底部围岩有地下水冒出时，应设盲沟引排。

10.7.7 仰拱填充和垫层混凝土强度达到设计强度的100%后方可允许运渣车辆通行。

10.7.8 仰拱、仰拱填充和垫层混凝土浇筑宜采用插入式振捣器振捣密实。

## 10.8 衬砌钢筋

10.8.1 衬砌钢筋连接应符合下列规定：

- 1 环向受力筋与纵向分布筋每个节点应进行绑扎或焊接。
- 2 环向受力筋的搭接应采用焊接或机械连接。
- 3 相邻环向受力筋搭接位置应错，开错开距离应不小于1000mm。
- 4 同一受力钢筋的两个搭接距应不小1500mm。
- 5 箍筋连接点应在环向受力筋与纵向分布筋的交叉连接处，并应进行绑扎或焊接。
- 6 内外层受力钢筋之间的限位钢筋与环向受力筋进行焊接。
- 7 仰拱衬砌钢筋或预埋连接钢筋应与拱墙环向受力筋焊接或机械连接。

（一般规定：初期支护（包括喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢架）施工要求；二次衬砌（包括衬砌钢筋、混凝土衬砌、仰拱、仰拱填充、垫层）施工要求。）

## 11 施工监控量测及信息化管理

### 11.1 一般规定

- 11.1.1 隧道施工应根据工程地质条件、施工方法及风险评估结果进行监测设计，制订监测实施专项方案，确定合理的监测方法、项目及内容。
- 11.1.2 溶蚀性地层围岩、初期支护和二次衬砌变形监测纳入隧道监控量测必测项目，由现场隧道监控量测小组负责实施。
- 11.1.3 监控量测工作应按监控量测方案和实施细则进行，及时量测和反馈，为施工提供有关围岩稳定性、初期支护及二次衬砌合理施作时间、施工方法改变的信息和依据。
- 11.1.4 施工过程中应对隧道渗水状态、涌水量、水压力、地下水位变化和降水对溶蚀性围岩的影响进行监测，并依此调整防水排水方案。

### 11.2 监控量测断面设置

11.2.1 在隧道开挖工作面爆破后，应立即对开挖后没有支护的围岩进行观测。围岩的观测应包括以下内容：

- 1 岩质种类和分布状态、交界面位置的状态。
- 2 岩性特征：岩石的成分、结构、构造。
- 3 地层时代归属及产状。
- 4 节理性质、组数、间距、规模、节理裂隙的发育程度和方向性。
- 5 岩溶发育程度、溶洞的大小、位置、产状。
- 6 地下水类型、涌水量大小、涌水位置、涌水压力、水的化学成分、湿度等。
- 7 开挖工作面的稳定状态，顶板及侧壁有无剥落现象。

11.2.2 对开挖后已支护段的观测应每天不间断地进行。观测中如果发现异常情况，应详细记录发现时间，距开挖工作面的距离、相邻测点的各项量测数据以及超前地质预报情况，并应适当增加观测频率。支护观测与记录值应包含如下内容：

- 1 初期支护完成后，对喷层表面的观察及裂缝状况的描述和记录。
- 2 锚杆是否保持与围岩协同作用。
- 3 喷射混凝土是否产生裂隙或剥离。
- 4 钢拱架是否出现屈曲现象。
- 5 是否有底鼓现象。
- 6 喷射混凝土表面有无大量涌水、渗水情况。

11.2.3 观测断面的布设应符合下列规定：

- 1 隧道洞门结构范围内应布设一个观测断面。
- 2 隧道内观测断面应尽量靠近开挖工作面，测点应在距开挖面2m的范围内尽快安设，并应保证爆破后24h内或下一次爆破前测出初次读数。
- 3 隧道内一般地段观测断面的布设应根据地质围岩级别确定，II级、III级围岩每10m布设一个观测断面，IV级、V级围岩每5m布设一个观测断面，在岩溶及溶蚀段按每5m布设一个观测断面。
- 4 隧道洞口、岩体交界面位置和溶洞处均应进行沉降观测。
- 5 当隧道位于软弱围岩地段，或地表设有对沉降要求非常严格的地面构造物时，隧道的浅埋段应进行地表下沉量测。浅埋隧道地表下沉量测的重要性随隧道埋深变浅而增大，可按表11.2.3确定。

表 11.2.3 地表沉降量的重要性

埋深 (m)	重要性	量测与否
$>3B$	小	不必量测
$(2\sim3)B$	一般	宜量测
$(1\sim2)B$	重要	应量测
$<B$	非常重要	必须列为主要量测项目

注：B-隧道最大开挖宽度

11.2.4 隧道变形监测断面的测点和侧线布设数量应依据表 11.2.4 所示。不同断面的测点应尽量布置在相同的位置，收敛测点应位于同一水平。

表 11.2.4 隧道监控量测点及侧线布设原则

开挖工法	一般地段	特殊地段
全断面	一条周边收敛测线； 一个拱顶下沉测点	两条周边收敛测线， 垂直间距不小于1.5m； 三个拱顶下沉测点 水平间距不小于1.5m
台阶法	两条周边收敛测线； 一个拱顶下沉测点	两条周边收敛测线； 三个拱顶下沉测点， 水平间距不小于1.5m
环形开挖预留核心土法	两条周边收敛测线； 三个拱顶下沉测点， 水平间距不小于1.5m	断面间距适当减小
双侧壁导坑法	三条周边收敛测线； 三个拱顶下沉测点	断面间距适当减小
中隔壁法	六条周边收敛测线； 两个拱顶下沉测点	断面间距适当减小
交叉中隔壁法	六条周边收敛测线； 两个拱顶下沉测点	断面间距适当减小

注：1 特殊地段特指隧道加宽带、富水、断层、破碎带、溶蚀性地层带以及发生坍塌的地段。

2 地表下沉测点宜布置在洞内净空收敛量测点所在的横截面上，纵向间距可以根据隧道埋深和围岩性质调整，每个隧道至少应布置两个纵向量测断面。

3 采用全断面开挖时，地表下沉量测在横截面上应至少布置11个测点，两测点的距离为2~5m。在隧道中线附近测点应加密布置，远离隧道中线可适当减少测点。

11.2.5 变形观测点及观测元器件的埋设位置应标设准确。洞内收敛及拱顶测桩应在初支施工过后及时埋设，对应不同的监测部位，确定测桩的埋设位置和钻孔深度。围岩变形测桩应至少入岩 100mm，初支喷层变形测桩钻孔深度不小于喷层厚度的 2/3，钢拱架变形测桩应采用焊接与拱架连接，测桩的外露长度不少于 100mm。

11.2.6 观测期间应对观测点采取有效的保护措施，防止施工机械的碰撞，人为因素的破坏。支护结构应力传感器应牢固固定在支护结构上，严禁直接焊接，应采用安装底座辅助固定，且有传感器保护装置。围岩压力传感器应牢固固定在支护结构上，并采取措施保证与围岩密贴。

### 11.3 监控量测频率

11.3.1 隧道变形观测所使用的仪器和设备应进行定期检查并详细记录。

11.3.2 围岩净空位移量测和拱顶下沉量监测频率应根据测点距开挖面的距离及位移速度，分别按表 11.3.2-1 和表 11.3.2-2 确定，对比其上量测频率比较取大值。当施工状况发生变化时（开挖下台阶或撤除临时支护等），应增加监测频率。

表 11.3.2-1 距开挖面的距离确定的监测频率

监测断面距开挖断面距离 (m)	监测频率
(0~1) B	2次/d
(1~2) B	1次/d
(2~5) B	1次/ (2~3) d
>5B	1次/ (3~7) d

注：B-隧道最大开挖宽度

表 11.3.2-2 位移速度确定的监测频率

位移速度 (mm/d)	监测频率
>5	2~3次/1d
1~5	1次/1d
0.5~1	1次/(2~3) d
0.2~0.5	1次/3d
<0.2	1次/(3~7) d

11.3.3 地表下沉量测频率应根据量测区间段的位置确定，按照表 11.3.3 规定进行观测。

表 11.3.3 距开挖面前后距离确定的监测频率

监测断面距开挖断面距离 (m)	监测频率
<2B	1~2次/d
(2~5) B	1次/2d
>5B	1次/(3~7) d

注：B-隧道最大开挖宽度

11.3.4 隧道主体工程完工后，基础沉降观测期不少于 3 个月，频次不低于表 11.3.4 的规定，沉降稳定后可不再进行观测。

表 11.3.4 隧道基础沉降观测频次

观测阶段	观测频次	
	观测期限	观测周期
隧底施工后	2 个月	1 次/3天

11.3.5 隧道沉降观测成果资料整理应符合下列规定：

1 应采用统一的隧道沉降观测记录表格，做好观测数据的记录与整理，观测资料应齐全、详细、规范，符合设计要求。

2 根据观测资料，及时完成每个观测标志点的荷载—时间—沉降曲线的绘制。

3 及时整理、汇总、分析沉降观测资料，按有关规定整理成册，报送有关单位进行沉降分析、评估。

11.3.6 钢架荷载的量测工作应与洞室拱顶下沉及收敛的量测同步进行，量测频率可按照围岩净空变形的量测时间间隔进行。对量测资料作以下分析：

1 根据同一时间内所测定的钢架受力和围岩变形的大小，分析隧道围岩位移与围岩压力（钢架上的压力）间的关系。

2 通过分析钢架受载与围岩变形关系，了解钢架的工作状态和与围岩的适应性，为设计合理的钢架提供依据。

3 分析隧道围岩变形与围岩压力的关系，确定在特定围岩条件下支护结构应具有力学特性。

11.3.7 锚杆受力监测应包含隧道的重要部位、局部地质条件较差和施工质量有疑问处，锚杆检测内容应包括锚杆轴力和锚固密实度，且锚杆质量检测宜采用无损检测。

1 对距掘进工作面50m以内的锚杆进行监测，每天监测1次，在其他期间每周监测2次。

2 锚杆质量检测应配合施工进度，锚杆锚固质量现场监测宜在锚杆注浆强度达到设计强度70%后进行。永久性锚杆的抽检比率不小于施工总数的10%，单次抽检根数不宜少于20根，临时性锚杆的抽检比率应为施工总数的3%，单次抽检根数不宜少于5根。

3 测量锚杆受力时，在施工过程中将正常安装的锚杆换成测力锚杆，测力锚杆的杆体各段的应力通过检测仪随时测取。

4 测力锚杆的安装应尽可能靠近掘进工作面安装，但必须保证不被施工机械破坏，一般距工作面0.5m左右，这样可以给施工留给足够的空间，保证下次掘进不会破坏测力锚杆。

11.3.8 当位移—时间曲线趋于平缓时，应进行监控量测数据处理或回归分析，推算最终位移值和掌握

位移变化规律。当位移—时间曲线出现反弯点，即位移出现反常的急骤增长时，表明围岩和支护已呈不稳定状态，应提高监测频率，并适当加强支护，必要时应立即停止开挖并进行施工处理。

#### 11.4 允许相对变形值

11.4.1 隧道周边位移量测可采用收敛计、全站仪或智能监测方法。采用收敛计量测时，测点宜采用钻孔布设；采用全站仪量测时，选择合适点在预埋件上安装好测点靶标。围岩内部位移量测可采用单、多点位移计，位移计应钻孔埋设。

11.4.2 监控量测安全管理等级依据隧道变形（周边收敛和拱顶下沉）确定，根据风险由高到低分为I、II、III三级并用红、黄、绿三色识别，按照最不利原则以最先达到者作为预警依据。

11.4.3 对于一般隧道，位移控制基准应根据测点距开挖面的距离，由初期支护极限相对位移按表 11.4.3 确定。

表 11.4.3 初期支护极限相对位移

类别	距开挖面1B	距开挖面2B	距开挖面较远
允许值	$65\%U_0$	$90\%U_0$	$100\%U_0$

注：B-隧道最大开挖宽度， $U_0$ 为围岩预留变形量和支护结构的极限位移的较小值的90%。

11.4.4 一般隧道初期支护极限相对位移表可按照 11.4.4-1 和表 11.4.4-2 选用。

表 11.4.4-1 单线铁路隧道初期支护拱顶相对下沉极限位移

围岩级别	距开挖面1B	距开挖面2B	距开挖面较远
	$H \leq 50$	$50 < H \leq 300$	$300 < H \leq 500$
III	0.01~0.04	0.03~0.11	0.10~0.25
IV	0.03~0.07	0.06~0.15	0.10~0.60
V	0.06~0.12	0.10~0.60	0.50~1.20

表 11.4.4-2 双线铁路隧道初期支护拱顶相对下沉极限位移

围岩级别	距开挖面1B	距开挖面2B	距开挖面较远
	$H \leq 50$	$50 < H \leq 300$	$300 < H \leq 500$
III	0.03~0.06	0.04~0.15	0.12~0.30
IV	0.06~0.10	0.08~0.40	0.30~0.80
V	0.08~0.16	0.14~1.10	0.80~1.40

注：1 本表使用于复合式衬砌的初期支护，硬质围岩隧道取表中较小值，软弱围岩隧道取表中较大值。表列数值可以在施工中通过实测资料积累作适当的修正。

2 拱顶相对下沉指拱顶下沉值减去隧道下沉值后与原拱顶至隧底高度之比。

3 公路隧道初期支护拱顶相对下沉极限位移可参照铁路隧道断面开挖跨度确定。

11.4.5 软岩大变形隧道净空变化和拱顶下沉预警指标可按表 11.4.5 确定。

表 11.4.5 软岩隧道变形速率预警指标

施工环节	黄色预警速率 (mm/d)	持续时间	红色预警速率 (mm/d)	持续时间
上台阶开挖	10	$\leq 5d$	15	$\leq 3d$
下台阶开挖	15	$\leq 2d$	20	$\leq 3d$
拱架连接后 仰拱施作前	10	$\leq 3d$	15	$\leq 3d$
仰拱施作后	5	$\leq 3d$	10	$\leq 3d$

注：1本表给定的变形指标可适用于台阶法开挖、复合式衬砌软岩隧道的初期支护，其他开挖工法下的预警指标可以在施工中通过实测资料积累在本表基础上作适当修正。



2 监测黄色预警值超过表中的持续时间，应定为红色预警，需要马上采取措施。

11.4.6 软岩大变形隧道变形总位移量在不同的施工过程对于支护结构和围岩的扰动效应不同，应结合围岩变形过程发展规律，确定不同工序的总位移量预警值如表 11.4.6 所示。

表 11.4.6 隧道监控量测变形总位移量预警指标

施工环节	黄色预警	红色预警
上台阶开挖	$U_0/10$	$U_0/5$
下台阶开挖	$2U_0/5$	$U_0/2$
拱架连接后 仰拱施作前	$3U_0/5$	$7U_0/10$
仰拱施作后	$4U_0/5$	$9U_0/10$

注：1 本表给定的变形指标可适用于台阶法开挖、复合式衬砌软岩隧道的初期支护，其他开挖工法下的预警指标可以在施工中通过实测资料积累在本表基础上作适当修正。

2  $U_0$ 为围岩预留变形量和支护结构的极限位移的较小值的90%，也可以建立在已有的数据的基础上根据概率统计确定阈值。

11.4.7 对于软岩隧道时，满足下列要求之一时，可认为围岩与支护结构达成稳定状态，可施作二次衬砌：

- 1 监控变形速率达到稳定，且变化量值达到1mm/d以下，净空未出现侵限情况。
- 2 监控变形速率达到稳定，且变化量值在1mm/d~1.5mm/d，但距离掌子面达到规定的安全步距。
- 3 监控变形速率呈现明显的减小或趋于稳定趋势，且变化量值在1.5mm/d~2mm/d，距离掌子面达到规定的安全步距。

## 11.5 监控量测数据整理

11.5.1 监测数据采集应根据实际情况选择多种手段相结合的方法进行，常用的方法包括人工或自动化仪器量测等。

11.5.2 监测数据的处理与信息反馈宜利用专门的工程监测数据处理与信息管理系统，实现数据采集、处理、分析、查询和管理的一体化以及监测成果的可视化。

11.5.3 数据处理应注明开挖工法、施工工序以及监测点与施工作业面的距离等信息，并及时计算累计变化值、变化速率值。

11.5.4 隧道围岩、初期支护、二次衬砌及溶蚀地层段监测，应根据围岩级别、监测控制值、类似施工经验等制定监测预警方案。

11.5.5 监测数据的分析应包括以下主要内容：

- 1 根据监测数据绘制时程曲线和距开挖面距离的关系图，必要时绘制断面曲线图、等值线图。
- 2 分析监测数据变化原因，总结变化规律，预测变化趋势。
- 3 根据工程实际情况，选择合理的预测模型，对监测结果进行回归分析，预测最终值，并与控制基准进行比较。
- 4 评价结论及相应的工程对策建议。

## 11.6 分析与反馈工作流程

11.6.1 隧道施工过程中，应根据洞内外地质调查、超前地质预报、现场监控量测等施工信息，对隧道的支护参数、辅助施工措施、施工开挖方法、预留变形量、施工工艺及各工序的施作时机等进行信息反馈修正设计。

11.6.2 隧道施工中的信息反馈修正设计，应贯穿于隧道的整个施工过程，且应符合以下规定：

- 1 应对各种信息进行综合分析，互相印证。
- 2 根据施工信息所做综合分析结果，只适用于该断面前后不大于5m的同级围岩地段的设计参数修正。
- 3 根据施工监测数据应适当的修正设计参数，并应符合动态设计与信息化施工的有关规定，根据施工信息再次分析验证。

4 施工过程中的信息反馈修正设计应包含围岩分级及其物理力学参数的修正、初期支护及二次衬砌参数的调整、施工开挖方法及施工工艺的调整、预留变形量的调整和监控量测内容与评价标准的调整。

11.6.3 当出现下列情况之一时，可适当增强初期支护：

- 1 隧道开挖后，工程地质和水文地质条件、围岩级别比预计的差。
- 2 观察发现喷射混凝土层裂纹多，裂缝大或不断扩展。
- 3 实测位移量超出规范规定或超出围岩允许变形值。
- 4 稳定性特征出现异常状态。

11.6.4 当出现下列情况之一时，可适当减弱初期支护：

- 1 隧道开挖后，围岩级别比预设计的好。
- 2 初期支护未完成前，位移已收敛，达到施作二次衬砌的指标。
- 3 初期支护全部施作完，实测位移量远小于规范规定。
- 4 需要提前施作二次衬砌。

## 11.7 施工信息化管理

11.7.1 监测报告可分为日报、警情快报、阶段性报告和总结报告，应按规定的格式和内容，及时向相关单位报送。监测报告应包括以下内容：

- 1 工作概况。
- 2 工作量统计及工作进度。
- 3 技术依据。
- 4 实施方法。
- 5 主要设备。
- 6 监控结果。
- 7 结论。
- 8 时程曲线图。

11.7.2 监控量测数据取得后，应立即对观测数据进行整理，包括观测数据计算，调表制图，误差处理等。

11.7.3 每周、月应进行阶段分析，总结数据变化规律，对施工质量进行评价，提交阶段分析报告，指导后续施工。

11.7.4 监控量测数据分析应符合下列要求：

- 1 根据量测值绘制时态曲线。
- 2 选择回归曲线，预测最终值，并与控制基准进行比较。
- 3 及时反馈评价结论，并提出相应工程对策建议。

11.7.5 监测信息应及时反馈、分析，并应根据分析结果修正设计。

11.7.6 当隧道施工遇到溶洞，仅依靠改变施工工序，施工方法及支护参数还不能完全保证隧道围岩的稳定时，应采用针对性的施工辅助措施，确保施工安全。

## 12 防排水

### 12.1 一般规定

12.1.1 隧道工程防排水，应采取“防、堵、截、排相结合，因地制宜，综合治理”的原则，采取切实可靠的施工措施，保障结构物和设备的正常使用和行车安全。

12.1.2 对水文环境有严格要求的隧道，防排水应采取“以堵为主、限量排放”的原则。对地表水和地下水应作妥善处理，使洞内外应形成一个完整的防排水系统。其余的岩溶隧道（地段）应采取“以排为主”的防排水措施，以减小地下水对隧道结构的不利作用。

12.1.3 水文地质条件复杂的岩溶隧道应进行防排水专项设计，详细规划堵水措施或排水路径，确保洞内、洞外主排水系统完整、通畅。

12.1.4 隧道采用的防排水措施，应注意保护自然环境；排水设施应按清污分流原则进行设计，避免污水直接排入自然沟渠；排水设施施工不应造成周围水文地质环境出现较大变化，影响附近居民生产、生活用水。

【条文说明】岩溶地区隧道采用“以排为主”的设计理念还是采用“以堵为主”的设计理念是近些年来岩溶区隧道防排水设计的争论最大的问题之一。从编制组多次调研成果来看，绝大多数的专家是支持采用以排为主的防排水设计理念，其主要原因在于：一是岩溶水的排泄路径以目前的技术无法完全掌握，无法全部堵住，堵水处理往往以失败告终；二是，堵水代价太高，也很难保证质量，一些采用了堵水措施设计的岩溶隧道运营后出现了严重的渗漏问题，甚至有些衬砌背后积水过多而导致了衬砌开裂、破坏等。而采用“以排为主”的设计理念，一般来说，比较容易实现，造价相对较低，但是近些年来也出现了一些严重影响生态环境的事件，社会影响很大。一般都是由于排水导致地表河流、湖泊水位下降，农田漏水、地表大面积沉降等等，破坏了隧道穿越地区的水文地质环境。随着国家对生态环境越来越重视，采用“以排为主”的设计理念时必须考虑对生态环境的影响。

### 12.2 施工防水措施

12.2.1 隧道防水应遵循“以衬砌自防水为主体，以接缝防水为重点”的设计原则。

12.2.2 衬砌自防水应与围岩注浆防水、接缝防水等形成综合防水体系，并符合以下规定：

1 应根据不同区段岩溶水的发育情况进行分区防水，各分区应具有与其岩溶及岩溶水发育程度相适应的防水能力，各分区接头处应作为重点部位进行防水设计。

2 衬砌模筑混凝土应满足抗渗要求，混凝土抗渗等级不应低于 P8；有抗水压要求的区域，混凝土抗渗等级不应低于 P10。

3 富水高压岩溶隧道（地段）且水压变化幅度较大时，衬砌自防水应考虑采取工程措施防止岩溶水压变化导致衬砌局部破坏或裂缝发展进而诱发整体防水系统的破坏。

4 穿越富水岩溶核心区段且不宜排水的，宜根据水压情况对隧道采取全包防水或注浆堵水+半包防水。

【条文说明】1 在岩溶隧道调研的结果来看，岩溶隧道衬砌接缝处出现漏水、喷水的非常多。由此可见，在岩溶隧道中一般来说，有衬砌段落一般防水问题不大，但是衬砌接缝位置却往往是防水最薄弱的部位，尤其是岩溶水有一定的压力时，非常容易击穿接缝材料，导致防水失效。因此，加强接头处的防水将是岩溶隧道防水的重点。2 本条与《公路隧道设计规范 第一册：土建工程》（JTG 3370.1）中的要求是一致的，但对于有抗水压要求时，必须适当提高衬砌抗渗等级。3 富水高压岩溶隧道（地段）且水压变化幅度较大时，很容易导致衬砌局部破坏，或裂缝发展进而诱发整体防水系统破坏，此时可以采取一些措施，比如衬砌加厚、泄压等措施。

12.2.3 接缝防水措施应符合以下要求：

1 采用两种（道）以上的接缝防水措施，且均应具有一定的抗水压能力。

2 合并设置施工缝、变形缝、沉降缝，减少接缝个数，减少容易发生渗漏的部位。

3 防水措施应考虑水质因素的适应性以及施工的可操作性，方便安装。

12.2.4 在强化引排水措施的同时，富水岩溶段防水加强措施应考虑向相邻段延伸一定范围以防止岩溶水纵向串流，延伸的长度应根据岩溶水量、水压大小以及防水措施、二次衬砌一次施工长度等综合确定。

### 12.3 结构防排水施工

12.3.1 隧道结构防水施工应以接缝防水为施工控制重点。防排水系统的质量、混凝土自防水质量及施工缝变形缝防水质量应符合设计要求。

12.3.2 隧道结构防排水施工工艺流程中铺设排水管和防水板前应对初期支护的表面及渗漏水情况进行检查。

12.3.3 铺设排水管防水板前应对初期支护的表面及渗漏水情况检查，并应符合下列要求：

1 初期支护表面应平整，无空鼓、裂缝酥酥，并用喷混凝土(或砂浆)对基面进行找平处理。

2 钢筋网注浆管头、锚杆等凸出部分应先切断遮盖或铆平后，用砂浆或喷混凝土找平。

3 初期支护表面平整度应符合  $D/L < 1/10$  的要求( $D$ 为初期支护基面相邻两凸面凹进去的深度； $L$ 为基层相邻两凸面间的距离且 $L < 1m$ )。

4 基面出现股状涌水时，宜采用局部注浆、围截注浆法进行封堵，封堵后的剩余水量可用排水盲管或排水板集中，将水引入洞内排水沟排出。

12.3.4 衬砌背后排水系统由排水盲管、排水板等根据需要组合形成，排水盲管的施工应满足施工工艺流程要求。

12.3.5 防水混凝土抗渗等级应符合设计要求，防水混凝土的施工配合比设计抗渗等级宜比设计要求高 0.2 MPa。

12.3.6 施工缝可采用背贴式止水带、遇水膨胀止水条、中埋式止水带的单一或复合防水方式。

#### 12.4 地表截、排水

12.4.1 应重视隧道地表溶蚀洼地、溶潭、落水洞、溶蚀槽谷及岩溶地表塌陷等汇水对隧道的影响；在确保地表排水能力且工程规模允许的情况下，可在隧道施工前对溶蚀洼地、溶潭、落水洞、溶蚀槽谷及岩溶地表塌陷进行封闭处理，减小地表水流下渗。

12.4.2 隧道地表存在汇水面积大且难以封闭的溶蚀洼地时，可增设引排水通道连接至集中出水点，将水流有效引排至洞身影响范围外。

12.4.3 隧道地表的截排水措施应与其它的截水沟、排水沟、急流槽、洼地引排水通道以及洞口截、排水沟进行系统化设计，确保地表水流能及时有效地排出洞身范围外，避免壅水下渗影响洞内结构安全和正常使用。

#### 12.5 洞身排水

12.5.1 隧洞身排水系统设计应符合以下规定：

1 排水系统应具有一定的安全储备，排水管沟的间距、孔径或截面应根据段落内的预测涌水量大小进行设计。

2 排水系统应考虑施工、运营期间的可维护性。

3 充填型溶洞段落宜在核心区段外设置独立的排水系统，且排水措施应考虑防范充填物质的流失。

4 当利用天然岩溶管道作为排水通道时，应对岩溶管道的排泄能力进行评估，确保排水顺畅。

5 隧道排水系统设置应兼顾施工期间的临时排水过渡措施。

12.5.2 隧道主排水沟的排水能力，应按峰值最大涌水量设计，并保证一定的安全系数；主排水沟宜采用仰拱底矩形或圆形排水沟；必要时，可设辅助排水通道加强排水。

12.5.3 隧道除全封闭衬砌外，衬砌背后应设置完整的排水系统，保证衬砌背后不积水，并符合下列要求：

1 岩溶水发育地段排水盲管间距应加密、管径宜加粗，且盲管应直接引入纵向排水管或主排水沟、辅助排水通道。

2 集中出水点应设置竖向盲管，管径应根据出水量计算确定，竖向盲管应直接引入纵向排水管或主排水沟、辅助排水通道。

3 隧底岩溶水发育的地段宜设置隧底排水系统。

4 集中涌水处应设置专用排水设施。

12.5.4 隧道穿越溶蚀洼地、岩溶漏斗、暗河以及向斜构造核部、富水断层、可溶岩与非可溶岩接触带等储水构造地段，应强化对应洞身段的引、排水能力。

12.5.5 隧道充填型溶洞段岩溶水引排应符合以下规定：

1 引排岩溶水不能影响隧道衬砌工作环境的稳定,应采取防止周边固体物质流失的措施,必要时可对隧道周边一定范围进行注浆固结。

2 引排水系统应具有防止固体物质沉积的功能,保证排水系统的通畅有效。

3 岩溶水量较大时,宜在隧道安全距离以外设置独立的截排水系统。

4 排水应考虑对地表环境的影响与破坏。

12.5.6 当岩溶水含较多泥沙杂质或化学结晶杂质时,岩溶隧道排水系统宜考虑防泥沙和结晶淤塞措施及运营期间的可检修性、可维护性。

12.5.7 严重渗水段应在隧道仰拱以下设置纵横贯通的渗沟排水体系,并接入主排水沟或辅助排水通道。

12.5.8 岩溶裂隙较密集、富水的地段,可采用泄水孔进行排水降压:

1 泄水孔宜设置在拱脚或集中出水点,并引排至主排水沟。

2 泄水孔穿透二次衬砌、初期支护深入岩溶裂隙或岩溶管道内部。

3 仰拱底部渗水量较大时,在仰拱填充层中钻孔或预留管道引排至主排水沟。

## 12.6 辅助排水通道

12.6.1 隧道当地表、地下水十分丰富,含水层明显且有长期、充分的补给来源,预测可能发生大型或特大型涌水,采用常规的排水设施和堵水措施不能满足要求,且经评估可能危及隧道工程安全时,可设置辅助通道加强排水,可采取的辅助通道有泄水洞、排水廊道、迂回导坑、隧底涵洞等。辅助通道可按以下原则进行选择:

1 长大隧道位于岩溶水水平径流带、季节变动带以及大面积封闭岩溶洼地下方,通过洞内防排水措施无法满足要求时,宜设置泄水洞。

2 受季节性涌水影响严重或可能产生严重淤积的富水地段,可在隧道一侧或两侧设置排水廊道集中排水。

3 设置有施工迂回导坑的岩溶隧道,可利用迂回导坑进行辅助排水。

4 隧道跨越溶洞段,宜采用隧底涵洞保持原有排水通道通畅。

12.6.2 隧道泄水洞的设置应符合以下要求:

1 应按永久结构设计,满足结构安全、使用功能及耐久性要求。

2 应根据排水量、机具配置及施工方法、运营维护要求等因素综合确定,断面形式宜采用马蹄形或直墙拱形断面。

3 纵坡应根据排水量大小、设计流速等要求设置,不应小于主洞纵坡。

4 应与集中出水点有效连通,并在邻近主洞段落边墙设置泄水减压孔,间距不宜大于 3m。

5 当正洞揭示有涌突水风险的岩溶通道时,泄水洞应与之有效连通并确保足够的排水能力。

6 泄水洞洞口宜设置在主洞洞口路基影响范围外,且出口标高应低于主洞排水系统出口;洞外排水系统应与自然水系、既有排水设施顺接,避免对农田、民房等设施造成不利影响;当泄水洞排水对周边环境造成影响时,应设置消能、沉淀、拦污等设施。

7 应进行超前预报和监控量测,高风险地段应设置施工防灾报警系统。

12.6.3 泄水洞结构设计应满足以下要求:

1 衬砌结构设计参数应根据围岩级别、工程地质、水文地质、断面尺寸、施工方法等条件采用工程类比、结构计算确定。

2 I~III级围岩段宜采用裸洞;IV级及以上围岩段可采用喷锚衬砌;软弱破碎围岩地段、洞口段、岔洞段、与主洞交叉段及有特殊要求地段应采用复合式衬砌。

3 泄水洞与主洞可通过打设泄水孔与主洞或岩溶管道、岩溶裂隙相连;泄水洞与主洞交叉段,主洞衬砌应加强,加强范围应根据围岩条件、空间受力特征等综合确定。

4 洞内可设置照明设施、插座箱等方便检修的设施,并满足防腐蚀、防潮等要求。

12.6.4 排水廊道的设置应符合以下要求:

1 宜设置在岩溶地下水迎水面一侧或两侧。

2 廊道内可通过打设泄水孔与岩溶管道、岩溶裂隙相连。

3 断面尺寸可根据岩溶水涌水量、检修便捷性等确定。

4 廊道底部应低于隧道仰拱底部标高。

5 宜采用裸洞,软弱破碎围岩地段、与正洞交叉段及有特殊要求地段可采用喷锚支护或复合式衬砌。

6 设置廊道处的主洞衬砌应加强，加强范围应根据围岩条件、空间受力特征等综合确定；主洞二次衬砌上应预留门洞便于后期维修、保养。

12.6.5 排水廊道的设置应符合以下要求：

隧底涵洞设置应符合以下要求：

1 宜沿原始排水通道设置隧底涵洞，其两端与隧道主排水沟或天然排水通道接通，确保岩溶水流畅通。

2 涵洞管径或断面尺寸应根据岩溶水量大小确定，并保留一定的安全系数，同时应考虑后期的可养护和维修性。

3 采用隧底涵洞地段应按照涉水路基要求进行填筑。

## 13 溶洞处理

### 13.1 一般规定

13.1.1 岩溶处治应遵循“探测在前、因地制宜、综合治理”的原则，设计阶段进行预案设计，施工阶段根据超前地质预报、监控量测和施工期间补充勘察或施工地质勘察成果，动态调整处治方案。

【条文说明】岩溶隧道施工前通常要建立隧道工程地质、水文地质多元信息融合评价指标和体系，将动态勘察设计贯穿到施工全过程。施工过程中要充分利用超前预报成果，对隧道稳定性有影响的溶洞及其填充物进行合理处置，以确保施工安全、快速推进，不留后患。岩溶发育过程漫长，形成规律极其复杂，根据目前的勘察手段，难以准确掌握溶洞规模、形态、填充特性、岩溶水发育程度及其与隧道洞室的空间关系等情况，设计阶段应根据地勘成果，进行处治预案设计，确定处治的规模及费用。施工过程中，根据超前地质预报的成果，进行动态调整。

13.1.2 临近溶洞时，应先查明溶洞形态、规模、充填物、洞体稳定程度、溶洞水等特征，确定岩溶类型，综合评估岩溶对隧道施工和运营安全的影响；对隧道施工和运营安全有直接影响的地段应开展专项设计，编制专项施工方案。

13.1.3 应根据溶洞规模、形态、填充特性、岩溶水发育状况、与隧道洞室的空间关系等因素，采取安全、合理、可靠的处治措施。

13.1.4 岩溶水的处治应结合水文地质、自然环境以及排水系统状况综合确定，一般地段宜采取疏导为主的处治原则，尽量恢复或维持既有排泄通道，必要时增设排水通道；对环境敏感地段，宜遵循“以堵为主、限量排放”的处治原则。

13.1.5 巨型溶洞、高压富水溶洞及复杂暗河的处治宜根据其具体特征及对隧道的影响，在多方案比较的基础上研究确定；富水岩溶隧道（地段）宜选择在枯水季节施工。

### 13.2 溶洞的分类

13.2.1 溶洞按岩性可分为碳酸盐岩溶洞、石膏溶洞、盐岩溶洞等。

【条文说明】碳酸盐岩溶洞：碳酸盐岩是溶洞形成的主要岩石类型，因此碳酸盐岩溶洞是最常见的溶洞类型。碳酸盐岩中的钙质矿物质溶解于地下水中，长时间的作用下，形成了丰富多样的溶洞地貌，如钟乳石、石笋等。

石膏溶洞：石膏是一种可溶性较强的矿物，其溶解速度比碳酸盐岩更快，因此石膏溶洞形成较为迅速。石膏溶洞通常呈现出平坦、宽敞的洞穴空间，但因石膏的不稳定性，洞顶和墙壁容易发生坍塌。

盐岩溶洞：盐岩中的盐类矿物质也具有较强的溶解性，因此盐岩溶洞也比较常见。盐岩溶洞通常呈现出平坦、宽敞的空间，但与石膏溶洞不同的是，盐岩溶洞的洞顶和墙壁相对较为稳定。

13.2.2 溶洞按照地质构造可分为填隙溶洞和硅质溶洞。

【条文说明】填隙溶洞：指形成于岩石中的缝隙或裂隙中的溶洞。岩石中的裂隙可以是构造裂隙、节理裂隙或岩层间的接触面等。填隙溶洞通常呈线状或脱落状，长度较长，宽度较窄。

硅质溶洞：硅质溶洞是由于硅酸盐岩石中的石英等矿物质的溶解而形成。硅质溶洞通常呈现出丰富的石笋，具有较为独特的地貌特征。

13.2.3 溶洞按照水文条件可分为内流溶洞和外流溶洞。

#### 【条文说明】

内流溶洞：内流溶洞是指地下水在山地、高原等地区形成的溶洞。这些溶洞通常位于地下水位以下，水流通常在溶洞内部形成地下河流或湖泊。

外流溶洞：外流溶洞是指地下水与地表水相互作用形成的溶洞。这些溶洞通常位于地下水位以上，水流通常通过洞流出。

13.2.4 溶洞按照发育阶段可分为：分类初级溶洞、中级溶洞、高级溶洞等。

#### 【条文说明】

初级溶洞：初级溶洞是指刚刚开始形成的溶洞，通常只有一些基本的地下空间，没有形成复杂的地貌特征。

中级溶洞：中级溶洞是指在初级溶的基础上进一步发展形成的溶洞。中级溶洞通常具有一些较为复杂的地下空间和地貌特征，如钟乳石、石笋等。

高级溶洞：高级溶洞是指在中级溶洞的基础上进一步发展形成的溶洞。高级溶洞通常具有非常复杂

的地下空间和地貌特征，如地下河流、地下湖泊等。

### 13.3 施工准备

13.3.1 岩溶隧道施工前应进行实地调查，结合勘察设计文件逐段对岩溶、岩溶水发育特点及周边环境等进行核查，编制施工调查报告。施工调查报告应包括下列重点内容：

1 隧址区地质条件及岩溶发育情况，包括溶洞、竖井、漏斗、洼地、落水洞、塌陷坑、岩溶泉、暗河进出口等的形状、大小、位置、高程等。

2 隧址区降雨、降雪等气象资料。

3 地表水、地下水点等水文地质情况。

13.3.2 施工前应根据可能发生的突水突泥、地表坍塌等灾害情况，对施工场地及临时工程等进行系统规划布置。

13.3.3 岩溶隧道施工应选用具备岩溶隧道施工经验的专业队伍和人员，并进行作业培训。

13.3.4 高风险岩溶隧道施工应配足超前地质预报仪器和高效钻孔注浆设备。

13.3.5 岩溶隧道需要进行反坡施工时，应根据反坡段的地质条件编制专项排水方案，配置满足正常施工需求的机械排水系统。

13.3.6 岩溶发育段落，应认真施作超前探孔和超前炮孔，严格实施逐孔验收。

13.3.7 高风险岩溶隧道应制定突发事件应急预案，贮备抢险器材、物资和设备，并组织演练。

【条文说明】施工场地规划时，一般需预留好突水突泥时水流沟渠通道，对原地表沟渠进行改造，制定防冲刷措施，与地表排水设施连通，结合既有沟渠设置排水路径，确保排水系统畅通。对风险大的建筑物及设施拆迁改移。岩溶地区隧道涌水突泥风险较高，平导和泄水洞洞口排水系统的设置需系统完善，且应有一定冗余，确保水流畅通，避免对下游构筑物产生次生灾害，满足防洪要求。

### 13.4 贫水溶洞处治

13.4.1 对中、小型无充填贫水溶洞处治应符合以下规定：

1 位于拱顶、拱腰的贫水溶洞，可采用低标号素混凝土、喷射混凝土进行回填；位于边墙的贫水溶洞，可采用浆砌片石、低标号素混凝土回填。

2 位于仰拱下部的贫水溶洞，应根据溶洞与隧底之间的地质条件确定其处治方案；如果存在岩盘且稳定性满足要求，可不做处理；如果岩盘稳定性不满足要求或者不存在岩盘，可对岩盘进行注浆加固，或采用低标号混凝土进行回填，回填前应清除溶洞底部的松软沉积物。

【条文说明】当回填厚度较大时，宜设置厚度不小于 50cm 的钢筋混凝土护拱，护拱两侧嵌入岩石内不小于 50cm，并采用锚杆与岩石连接，护拱外的空腔可采用轻质材料填满。回填前应预埋导水管，并加密环向盲管。从结构受力的角度，边墙空洞会导致衬砌结构受力出现应力集中现象，因此对贫水溶洞应进行回填处理，宜采用浆砌片石或低标号素混凝土回填。溶洞处理应维持地下水排泄通道的通畅，避免出现排泄通道堵塞进而导致地层水压力骤增，对贫水溶洞可采用加密导水管措施保证排水通畅。

13.4.2 对大型、巨型无充填贫水溶洞处治应符合以下规定：

1 隧道全断面穿越大型、巨型溶腔时，应先根据隧道在溶腔内部的位置、拱顶溶腔的稳定性等，选择合适的通过方法；溶腔洞壁不稳定时，应先采取加固措施加固溶腔；当溶腔加固风险特别大时，经技术、经济、施工可行性比较后，可采用先回填后暗挖通过的方法。

2 当隧道拱顶存在大型、巨型溶腔，且溶腔顶部为不稳定水平向岩层时，宜采用混凝土立柱支顶方案进行处理。

3 当隧道拱顶存在大型、巨型溶腔，且发育高度很高，溶腔顶部为不稳定竖向岩层，节理裂隙发育时，宜采用拱罩护顶方案进行处理。

4 隧道底部穿越大型、巨型溶洞，应根据溶腔的发育特点采取针对性处理方案，可采用钢筋混凝土梁板跨越、托梁+板跨、型钢混凝土+板跨、群桩加固跨越、桩基+承台跨越、路基填筑跨越和拱桥跨越方案等。

【条文说明】如果隧道拱顶溶腔不稳定，首先考虑进行加固，如果加固难度很大，可以考虑回填等方法。如果隧道拱顶溶腔相对稳定，可根据溶腔岩层的发育产状，选择不同的针对性处治方案。隧道所处溶腔不同的位置，决定了冲击荷载的大小的不同和下部处治方法的差异，是影响处治方案选择的主要因素。岩溶洞壁的稳定性评估，应在岩溶隧道风险评估中体现，并有明确的结论。所谓岩溶洞壁加固



风险特别大，是指岩溶洞壁加固施工时，可能引发溶腔坍塌，造成重大安全事故。或者溶腔顶部距离地面较近，稳定性较差，受到施工扰动后，溶腔顶部极易坍塌，造成地表沉陷。

13.4.3 对已探明的大型、巨型无充填贫水溶洞处治应符合以下规定：

1 隧道拱顶已探明存在隐伏大型、巨型溶洞，且隧道拱顶的岩盘厚度较小时，宜超前采用不低于C15的低标号混凝土进行回填，且拱顶有效厚度不宜小于2m。

2 隧道拱腰、边墙、仰拱底部已探明存在隐伏大型、巨型溶洞，且隧底岩盘厚度不满足安全要求时，宜采取梁板跨越，或爆破隧底溶洞顶板后采用路基形式通过。

【条文说明】顶部以上隐伏的大型、巨型溶洞时应结合顶部剩余岩盘厚度对岩层的稳定性加以评价，岩层有效厚度较薄时应进行处置，以采用素混凝土或加筋混凝土进行回填加固，加固后的有效厚度不低于2m。底部隐伏的大型、巨型溶洞应结合剩余岩盘厚度对岩层的稳定性加以评价，岩层有效厚度较薄时应进行处置设计。

13.4.4 对半充填贫水溶洞处治应符合以下规定：

1 对于半充填贫水溶洞，应先根据溶腔形态及规模、与隧道空间位置关系、岩层厚度及产状、充填物性质及厚度等因素，先对溶腔壁稳定性及充填物特性进行综合分析评价。

2 当拱顶、拱腰存在不稳定的半充填贫水溶洞且充填物厚度不大于2m时，可先将充填物清除，再采取清除危石，并设置喷锚、锚索等措施加固溶腔洞壁，最后采用护拱方式通过；当拱顶、拱腰存在不稳定的半充填贫水溶洞且充填物厚度大于2m时，应先对充填物进行加固，然后采用加强超前支护、加强支护结构的方式通过。

3 当隧道底部存在半充填贫水溶洞时，应根据填充物的性状对底部填充物进行加固处治，可采用换填、混凝土直接回填、加强锁脚、增设套拱、加强钢架纵向连接、边墙增设锚索、灌浆加固、路基式填筑、桥梁跨越、桩筏结构及“袖阀管注浆+旋喷桩加固”等措施。

【条文说明】半充填贫水岩溶是指地下水对隧道工程基本无影响，充填物没有将溶洞填满，隧道可能从充填物下部或者上部穿过，主要风险为岩溶洞壁坍塌、基底陷落，所以对岩溶洞壁的整体稳定性和充填物的特性进行评价。拱腰以上填充式不稳定岩溶洞壁加固处置需考虑填充物的影响。

13.4.5 对全充填贫水溶洞处治应符合以下规定：

1 对全充填贫水溶洞，应先根据充填物特性，结合岩溶规模、形态、与隧道空间关系等，确定隧道超前预加固和预支护措施。

2 碎块石、泥砾石全填充的岩溶洞穴，可采用超前注浆加固进行预处理，处理范围按照隧道的开挖尺寸确定，预加固后采用暗挖的形式进行处治。

3 黏性土、泥沙、淤泥全填充的岩溶洞穴，一般采用加强超前支护、设置型钢混凝土护拱等措施，影响段落的开挖方式应采用控制爆破。

4 当溶洞充填物为软塑状黏土夹块石等土质松散物时，可采取加强钢架支护、锁脚、增设套拱、加强钢架纵向连接等措施；存在软弱、软硬不均充填物时，可采取基底注浆、桩基、筏板、复合地基等加固措施。

【条文说明】1 全充填贫水岩溶是指地下水对隧道工程基本无影响、隧道从充填物中穿越，主要风险为充填物坍塌、基底陷落。充填物的特性和稳定性对隧道穿越影响至关重要，需要对充填物的稳定性进行综合评价。2 碎块石填充的溶洞一般地层间隙大、稳定性差，直接清除开挖施工风险高，应采取预注浆或超前泵送混凝土预处理，以满足暗挖施工条件。3 黏性土填充的贫水溶洞稳定性一般较好，处治时应减少施工对粘土沉积物的扰动，对超前支护及衬砌结构设计进行加强，充分考虑填充物的荷载作用。4 软塑状黏土夹块石等土质松散物填充的贫水溶洞稳定性一般较差，处治时必须保证支护结构基础的承载能力，确保支护沉降不致过大。

13.4.6 根据超前地质预报成果开展揭示风险评估，宜采用上台阶小断面控制爆破揭示方案；充填物强度较低，稳定性较差时，宜选择短进尺分部开挖，并适当加大预留变形量。

13.4.7 对于采用回填处治的贫水溶洞，应预埋导水管，确保回填层外侧的地下水能够通过导水管排出；处治工程设计应确保维持过水通道的自然排水体系；处治区段的环向排水盲管应加密。

13.4.8 隧道边墙及拱部露空部位，应设置护墙、护拱等保护层及缓冲层防护措施。

13.4.9 当溶腔顶板和洞壁存在分层脱落掉块风险时，应对溶腔壁采取永临结合防护措施。

【条文说明】可于边墙外设置混凝土挡墙上端顶住溶洞顶板，下端设置混凝土基础底座；隧道中线两端对溶洞顶板锚喷防护加固。洞壁完成处理后，通常对二次衬砌采取拱罩护顶防护，拱罩可采用混

凝土，并在混凝土护拱上部吹砂。

13.4.10 大型、巨型贫水溶洞与隧道相交的部位，宜结合洞壁稳定性合理设置进洞超前支护措施，且应对支护结构进行加强，每侧加强范围不宜小于 10 m，并采用钢筋混凝土结构。

【条文说明】溶腔与隧道相交的部位，隧道结构前后的边界条件发生了改变，

结构受力在交界面附近易发生应力集中现象，且地层条件及结构受力状态在交界面附近及溶洞范围内变异性大，因此溶腔范围及两侧一定范围内的隧道支护结构宜进行加强，并采用钢筋混凝土衬砌结构。

13.4.11 充填型溶洞地段的隧道结构设计应充分考虑溶洞充填物特征、加固效果、充填物流失、施工方法等因素，通过工程类比和理论分析综合确定。

13.4.12 贫水岩溶处治宜按照超前探测→编制专项施工方案→超前预加固(有充填物且稳定性较差时)→揭示并核实岩溶形态、地质补勘→修正完善专项施工方案→开挖支护(全充填)或清理填充物(有充填且厚度不超过 2m 时)→溶腔壁清危加固、防护(溶腔壁不稳定时)→基底加固(基底承载力不足时)→施作排水设施→施作衬砌结构的流程进行。

### 13.5 富水溶洞处治

13.5.1 富水溶洞应遵循“释能降压、超前加固、综合治理”的原则进行处治，并符合下列规定：

1 必须进行以超前钻孔为主的超前地质预报探明富水溶洞溶腔规模、与隧道的空间位置、充填物类型、特征、规模以及岩溶水的发育特征、水量、水压等，并采用超前钻孔进行排水降压、释能降压或注浆堵水后再进行处治。

2 应结合充填物性状、溶腔尺寸大小等因素设置合理可靠的超前预加固措施，可采用超前帷幕注浆、超前周边注浆、径向注浆等堵水加固措施。

3 应根据富水溶洞的发育位置、规模，充填物类型、特征、规模以及岩溶水的发育特征、水量、水压等，确定安全、合适的处治方案；处治措施可采用贫水溶洞类似的方案，但应重点考虑岩溶水的发育特征。

4 应采取工程措施，保证过水通道的畅通，并应充分考虑季节性变化的影响，必要时应增设泄水洞、排水廊道等辅助排水通道。

【条文说明】1 针对水压力特别大、水量特别丰富的岩溶地下水系统，规定排水降压设计规定，包括：工作流程、补充勘察、确定安全岩盘厚度、爆破方案、排水方案、开挖支护方案等。2 全充填富水溶洞的填充物受地下水影响一般条件极差，应设置合理可靠的预加固措施。3 富水溶洞的富水性与季节性变化有关。

13.5.2 进行排水减压时，应疏通、拓展既有排水通路，或采用增设排水廊道、泄水洞等措施，避免堵塞；引排岩溶水不能影响隧道衬砌周边围岩的稳定，以保障开挖施工安全。

13.5.3 对于高压富水溶洞且地下水环境不敏感区域，宜采用释能降压措施；释能降压宜采用远程放炮揭示溶洞，并增设泄水洞引排岩溶水。

13.5.4 对有不稳定填充物的溶洞，揭示前宜对溶洞填充物进行注浆加固，并采取超前管棚等措施保障施工安全；施工中应留足沉降量和变形量，加强支护并及时封闭成环。

13.5.5 大型、巨型、复杂的全充填富水溶洞、高压富水溶洞等处理周期较长的富水溶洞或溶洞群，可结合地质条件和工期要求设置迂回导坑，双向夹击处理；对于储水量大的反坡排水高压富水溶洞，宜采取先绕行，再反向排水降压处置。

13.5.6 富水溶洞段隧道结构应进行加强，加强范围应根据溶洞围岩情况、富水情况、充填物特征等综合确定；高压富水岩溶地段，隧道衬砌结构应根据岩溶类型、排水能力等充分考虑承受的水、土压力，应选择带仰拱的衬砌断面型式。

13.5.7 富水岩溶处治宜按照超前探测→编制专项施工方案→排水降压或势能降压→超前预加固(有充填物且稳定性较差时)→揭示并核实岩溶形态、地质补勘→修正完善专项施工方案→开挖支护(全充填)或清理填充物→溶腔壁清危加固、防护(溶腔壁不稳定时)→基底加固(基底承载力不足时)→施作排水设施→施作衬砌结构的流程进行。

### 13.6 施工要求

13.6.1 岩溶隧道施工宜采用动态设计动态施工，及时优化调整设计施工方案。

13.6.2 岩溶隧道施工应加强洞内外观察及围岩变形外水压力等监测，必要时对支护结构应力、应变以及地应力进行监测，及时反馈监测信息，实施信息化施工确保施工安全。

13.6.3 岩溶发育隧道，地质预报应建立以长距离物探和钻探为主，其他物探方式为辅，红外线探测连续施测的综合预报体系。

13.6.4 施工前应调查地表水出露情况，必要时可采取地表注浆等措施处理。

13.6.5 岩溶地段施工应结合注浆技术采取合理可靠的超前支护体系，降低围岩的渗水量及变形量。

13.6.6 开挖宜采用台阶法，必要时采用中隔壁法。在Ⅰ级围岩条件下，且溶洞仅穿过隧道底部小部分断面时，可采用全断面法。爆破开挖应密布眼、少装药，渗漏水时加强观察。

13.6.7 溶洞位于隧道一侧时，应先开挖该侧，待支护完成后再开挖另一侧。

13.6.8 对于高压富水溶洞且地下水环境不敏感区域，宜采用释能降压措施；释能降压宜采用远程放炮隧道岩溶水较大时，应采用泄水洞宣泄岩溶水，泄水洞应位于地下水来向一侧；涌水量大、涌水点多、分散排泄通道不明显的岩溶发育地段，宜先汇集再引排，采取辅助导坑、集水廊道结合泄水洞、行洪通道等措施处理。

【条文说明】泄水洞洞外排水系统实施前，需结合排水能力调查洞外排水环境及地形地质条件，合理确定排水线路，并满足以下要求：

1 排水沟渠满足岩溶水快速排放的要求，保证排水通畅。

2 排水系统一般以最短途径引排到自然稳定的沟谷或天然沟渠中。

3 避免直冲建（构）筑物、破坏农田。当洞外排水对生活、生产设施存在安全隐患时，可根据影响范围采取拆除方案或增设安全防护措施。

4 排水设施避开不良地质、不稳定地质体。

5 当与既有涵洞顺接时，验算其过水能力，防止壅水。

6 涌（突）水（泥）事件发生后，可能会造成下游居民积水，对下游居民造成一定财产损失，泄水洞洞外排水系统可考虑一定的安全防护措施，防止洞内夹带泥沙及石块对下游构筑物造成影响。

### 13.7 注浆堵水

13.7.1 岩溶隧道注浆设计可综合考虑注浆地段的位置、规模、工程地质与水文地质、施工作业面要求、造价等因素，采用地表注浆、洞内超前注浆、水平旋喷注浆、径向注浆、基底注浆以及洞内帷幕注浆等形式。

13.7.2 注浆应进行专项设计，注浆设计应包含注浆目标、注浆范围、注浆材料、浆液影响半径、钻孔布置、注浆压力、注浆用量、施工方法和顺序、注浆效果评估等设计内容。

13.7.3 地表注浆包括浅孔注浆、深孔注浆和超深孔注浆，浅孔注浆深度不大于 20m，可采用钢花管注浆；深孔注浆深度约 20~50m；超深孔注浆深度大于 50m；深孔与超深孔注浆宜采用袖阀管等定向或定域注浆工艺。

13.7.4 洞内超前注浆包括超前帷幕注浆、超前周边注浆、超前局部注浆，应符合下列规定：

1 洞内超前注浆应设置止浆设施，掌子面应预留一定厚度的止浆岩盘或设置止浆墙，止浆岩盘或止浆墙厚度根据计算或经验类比确定一般不小于2m。

2 帷幕预注浆、周边预注浆的注浆圈厚度宜为隧道开挖线以外3m~10m。

3 注浆设计压力应根据地质条件合理确定，应比静水压力大0.5MPa~1.5MPa；当静水压力较大时，宜为静水压力的 2~3倍。

4 注浆孔底中心间距宜为 1.5m~3.0m，也可取浆液扩散半径的1.5~1.7倍。

5 注浆单孔注浆结束的条件为各孔段均达到设计终压并稳定10min，且注浆量不小于设计注浆量的80%、进浆速度为开始进浆速度的1/4。

13.7.5 当溶洞填充物为粉细砂等颗粒状介质时，可采用水平旋喷注浆加固工艺，水平旋喷工艺参数应结合岩溶发育形态规模、填充物物理力学特性等因素综合确定。

13.7.6 对于高压富水溶洞且地下水环境不敏感区域，宜采用释能降压措施；释能降压宜采用远程放炮径向注浆用于周边围岩自稳性较好、但地下水丰富的地段，或地下排放对隧道周边地下水和地表水影响较大的地段。围岩径向注浆设计，应符合下列规定：

1 根据地质条件、注浆加固堵水要求等因素，可选用全断面径向注浆、局部径向注浆和补注浆等措施。

- 2 注浆圈厚度宜为开挖轮廓线外 2m~5m。
- 3 注浆终压宜为实际静水压力 1~2倍。
- 4 根据渗水、涌水状态综合确定合理的浆液凝结时间,必要时采用多次分阶段实施后注浆加固措施。

**【条文说明】**围岩径向注浆在隧道开挖并完成初期支护后沿隧道开挖轮廓线径向实施。隧道开挖后围岩渗水量大小、出水位置、渗水形态已完全暴露,注浆堵水目标明确,工艺简单,效果较好,费用也较超前围岩注浆低。但隧道成洞后实施的后注浆措施无法解决隧道开挖成洞期间的渗水、涌水问题,后注浆加固工艺应结合超前探孔验证的地下水、地质条件情况合理选用。

## 14 工程验收

### 14.1 一般规定

- 14.1.1 隧道工程使用的防水材料应有合格证书和性能检测报告，材料的品种、规格、性能等应符合现行国家产品标准和设计要求。不合格的产品不得在工程中使用。
- 14.1.2 溶蚀性地层隧道防排水应采用截、排、防、堵相结合，因地制宜，综合治理的原则，采取切实可行的措施，达到排水通畅、防水可靠。
- 14.1.3 富水溶蚀性地段宜设置永久截排水设施，实施控制排放，并防止堵塞。
- 14.1.4 溶蚀性地层隧道，仰拱（底板）施工前，应采用物探、钻探等手段探测隧底溶蚀情况，发现异常情况应提请变更，及时处理。
- 14.1.5 拱墙环向施工缝的设置应符合设计要求，并应与仰拱、填充施工缝对齐；设计为钢筋混凝土结构时，环向施工缝、沉降缝处纵向钢筋可断开。

### 14.2 拱墙衬砌验收

- 14.2.1 隧道拱墙衬砌施工前，应对初期支护净空断面进行检查，断面尺寸应符合设计要求。
- 14.2.2 拱墙衬砌钢筋规格、数量及安装应符合设计要求。
- 14.2.3 拱墙衬砌混凝土强度应符合设计要求。
- 14.2.4 有抗渗要求的混凝土抗渗等级应符合设计要求。检验数量和方法应符合《铁路工程混凝土施工质量验收标准》TB10424 的相关规定。
- 14.2.5 隧道拱墙衬砌浇筑施工完毕后，应及时对隧道衬砌净空断面进行测量，并应符合设计要求。
- 14.2.6 实体混凝土的强度应符合设计要求。
- 14.2.7 实体混凝土的厚度、密实度、钢筋间距、保护层厚度应符合设计要求。

### 14.3 仰拱衬砌及填充层验收

- 14.3.1 仰拱（底板）和填充的基底清理及断面尺寸应符合设计要求。
- 14.3.2 仰拱、底板钢筋规格、数量及安装应符合设计要求。
- 14.3.3 隧道电力、通信号管及各种预埋件的规格、型号、位置等应符合设计及相关专业要求。
- 14.3.4 仰拱（底板）和填充混凝土强度应符合设计要求。
- 14.3.5 有抗渗要求的仰拱（底板）和填充混凝土抗渗等级应符合设计要求，检验数量和方法应符合《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 的相关规定。
- 14.3.6 仰拱（底板）和填充混凝土应密实，无空洞和杂物。

### 14.4 初期支护验收

- 14.4.1 喷射混凝土强度应符合设计要求。
- 14.4.2 喷射混凝土平均厚度应满足设计要求，且 90%以上的检测点应不小于设计厚度值。
- 14.4.3 钢筋网规格、网格尺寸应符合设计要求。
- 14.4.4 钢筋网搭接长度应不少于 1 个网格。
- 14.4.5 锚杆类型、规格、长度应符合设计要求。
- 14.4.6 各类锚杆的胶结、锚固质量应符合设计要求，全长胶结锚杆的锚固长度不应小于设计长度的 95%。
- 14.4.7 钢架及其连接螺栓的种类和材料规格应符合设计要求。
- 14.4.8 钢架应置于牢固的基础上，钢架锁脚锚杆（管）、钢架节段间连接、钢架纵向间连接应符合设计要求。

### 14.5 防（排）水系统验收

- 14.5.1 铺设防（排）水层的基面应大面平顺，两凸出物之间的深长比小于 1/20，无尖锐物体。
- 14.5.2 防（排）水板铺设范围应符合设计要求，搭接宽度不应小于 15cm，与衬砌端头的搭接预留长度不应小于 100cm。采用固定点铺设的防（排）水板应固定牢固、松紧适度，拱部挂点间距宜为 0.5m~0.8m，边墙挂点间距宜为 0.8m~1.0m，必要时还应加密。环向铺设时先拱后墙，下部防（排）水板应压住上部

防（排）水板。

14.5.3 防水板焊缝应符合设计要求。设计无要求时，应采用双焊缝焊接，每一单焊缝的宽度不应小于15mm，无漏焊、假焊、焊焦、焊穿等。

14.5.4 排水板粘接宽度应符合设计要求，无漏粘。

14.5.5 排水盲管铺设位置和范围应符合设计要求，且不应低于隧道水沟底面高程，固定应牢固、平顺。

14.5.6 排水盲管之间的连接、盲管与排水沟的连接应符合设计要求，连接应牢固。

14.5.7 泄水孔、泄水槽、横向排水管的位置、间距、尺寸和坡度应符合设计要求，盲管、水沟和孔槽排水顺畅、无堵塞。

14.5.8 泄水洞和正洞联络通道的数量、高程、排水坡率和断面尺寸应符合设计要求。

14.5.9 隧底深埋排水沟平面位置、断面尺寸、沟底高程、坡度应符合设计要求。

14.5.10 隧底深埋排水沟横向排水管和纵向渗水管品种、规格应符合设计要求，连接牢固。

#### 14.6 注浆防水验收

14.6.1 注浆效果检查应符合下列规定：

1 可采用P-Q-t，曲线法、注浆堵水率分析法、检查孔法、孔内摄像法和取芯检查法等方法。

2 根据钻孔、注浆记录分析薄弱部位，进行针对性检查。

3 采用检查孔法时，检查孔个数宜取总注浆孔的3%~5%，检查孔应无坍孔，涌水量小于 $0.2L/(m \cdot \min) \sim 2L/(m \cdot \min)$ ，具体评定标准的取值应根据填充介质、溶洞规模、水压等因素确定。

4 可采取不同方法相互校核，综合评价注浆效果。

5 检查孔应及时进行注浆封堵。

14.6.2 注浆所用原材料的品种、规格应符合设计要求。

14.6.3 注浆范围应符合设计要求。

14.6.4 注浆后每延米每昼夜出水量应符合设计要求。

14.6.5 注浆孔布设、孔深及角度应符合设计要求。

#### 14.7 涂料、喷层防水层验收

14.7.1 涂料、喷涂防水层所用材料品种、规格应符合设计要求。

14.7.2 结构基面处理应符合设计要求，基面阴阳角应做成圆弧形，基面应洁净、平顺，不应有空鼓、松动、起砂和脱皮等现象。

14.7.3 涂料防水层应按设计遍数进行涂刷，与基面粘结牢固；平均厚度应符合设计要求，最小厚度不应小于设计厚度的80%。

14.7.4 喷涂防水层平均厚度应符合设计要求，最小厚度不应小于设计厚度的85%。

#### 14.8 施工缝验收

14.8.1 施工缝止水带、止水条的品种、规格应符合设计要求。

14.8.2 止水带的连接方式和搭接长度应符合设计要求。

14.8.3 遇水膨胀止水条接头搭接长度不应小于50mm，混凝土浇筑前不得浸水。

#### 14.9 变形缝验收

14.9.1 变形缝所用止水条、止水带、嵌缝材料的品种、规格应符合设计要求。

14.9.2 变形缝位置、宽度和构造形式等应符合设计要求。

14.9.3 变形缝止水带、止水条安装应牢固、平直。

14.9.4 变形缝嵌填时，缝内应清洁、干燥，基层处理应符合设计要求，嵌填密实牢固。

附录 A  
(规范性)

调查核对和施工组织设计

**A.0.1** 现场调查宜包含但不限于下列内容：

- 1 历史洪水、地质灾害发生情况及不良地质现象。
- 2 隧道施工对地表和地下已设结构物的影响。
- 3 交通运输条件和施工运输便道的调查。
- 4 施工场地布置与洞口相邻工程、弃渣利用、农田水利、征地等的关系。
- 5 建（构）筑物、道路工程、水利工程和电信、电力线等设施的拆迁情况和数量。
- 6 调查和测试水源、水质并拟定供水方案。
- 7 天然筑路材料(粘土、砂砾、石料)的产地、数量、质量鉴定及供应。
- 8 可利用的电源、动力、通信、机具、车辆维修、物资、消防、劳动力、生活供应及医疗卫生条件。
- 9 当地气象、水文资料及居民点的社会状况和民族风俗。
- 10 施工中和运营后对自然环境、生活环境的影响及需要采取的保护措施。
- 11 尚待解决的问题。

**【条文说明】**

1 调查研究是做好隧道工程施工准备工作的前提，为了强调施工的科学、系统，避免盲目施工，做出本条规定。

通常，隧道控制全线工期，因此要求先行开工，其施工组织安排常独立进行。施工前调查研究是计划安排工期、工程费用、施工方法及安全生产管理的基础。

2 对结构物的类型、数量、位置、埋设深度、与隧道的关系进行调查，是为了预测隧道施工对地表或地下已设结构物的影响。

3 为了考虑既有交通条件的利用条件，交通运输条件调查通常包括公路等级、道路里程、路线平纵断面及桥涵构造物限载条件、路面状况，车辆类型、交通量及可利用的乡村公路等。

4 一般隧道洞口施工场地比较狭窄，对洞外相邻工程和施工安排、弃渣场位置、弃渣填筑路堤及弃渣对农田水利的影响等作详细调查，有利于做出统筹安排。

5 施工前调查影响隧道施工的各设施的情况和数量，是为了给制定拆迁计划提供依据。

6 对隧道附近水源位置、储水量及水质情况等进行调查是为了拟定供水方案。

7 根据设计文件中提供的料场，对砂石等材料的产量、质量进行鉴定，是为了确定材料供应方案。

8 利用当地电源、动力、通讯、机具车辆维修、物资、消防、劳力、生活供应及医疗卫生条件，可以节省工程费用，有利于节能减排和环境保护。

9 气象、水文资料及社会状况调查通常包括：

(1) 气温、气压、湿度、降雨量蒸发及冻土深度。

(2) 河川流量、地下水位、水利状况、工程对地下水影响等。

(3) 居民风俗习惯、宗教信仰、生活水准、社会秩序、环境保护和防止公害条例等。

10 对地形、地貌、地质、动植物、土地利用、运输道路、噪声、振动、排水通路、地表下沉、名胜古迹、环境保护区等进行调查，是为了限制隧道施工给自然环境和生活环境造成不良影响，采取相应对策。

**A.0.2** 图纸核对工作宜包含但不限于下列内容：

- 1 技术标准、主要技术条件、设计原则。
- 2 隧道设计的勘测资料，如地形、地貌、工程地质及水文地质、钻探图表等。
- 3 隧道平面、纵断面、洞口横断面。
- 4 洞门位置、式样、衬砌类型、洞口周围环境及衔接工程。
- 5 设计文件中确定的施工方法、通风方案、技术措施与施工实际条件是否相符合。
- 6 洞外排水系统和设施的布置是否与地形、地貌、水文、气象等条件相适应。

7 设计给定的明暗分界断面地形地质与设计是否一致，边仰坡刷坡是否过高，浅埋段长度能否减少，能否按“早进晚出”原则调整明暗分界断面位置。

8 工程数量。

### 【条文说明】

核对设计文件是施工前的一项重要工作。条文规定的 8 个方面是过去施工经验总结。

#### A.0.3 施工组织设计宜包含但不限于下列内容：

1 编制依据：承建项目的合同、批准的设计文件、国家和行业现行的标准规范规程、环境保护及法律法规要求等。

2 编制原则：满足指导性施工组织设计的要求。技术经济方案比选最优。积极应用新技术、新工艺、新材料、新设备。因地制宜，就地取材。根据工程特点、工期要求，合理安排施工工序流程及衔接。加强机械化施工能力，加快工程进度，确保工程质量。符合国家关于工程质量、安全生产、职业健康、土地管理及环境保护的法律、法规规定。

3 工程概况：工程简介、工程特点、重点和难点。

4 重点、难点工程的施工方案设计：施工方法及工艺、关键工序的作业实施细则、监控量测、超前地质预报、施工通风以及供水、供电设计等。

5 施工总平面布置：生产生活区及设施、施工便道、混凝土拌和站、构件及钢筋加工场、弃渣场地、供电、供水、供风、通信等临时工程。

6 工期安排：总进度、施工形象进度、施工网络图等。

7 施工单位组织机构及资源配置：组织机构、机械设备配置、工区划分及管理、劳动力配置、材料供应、资金使用计划、文明施工等。

8 质量、安全、进度、成本及环水保目标和保证措施。

9 超前地质预报、监控量测、施工作业面、施工过程、有害气体、原材料、半成品、产成品监控信息的收集、流转和处置。

10 安全管理和安全保证体系的组织机构，包括项目经理、专职安全管理人员、特种作业人员配备的数量及安全资格培训持证上岗情况。

11 施工安全生产责任制、安全管理规章制度、安全操作规程。

12 安全防护用具的配备。安全技术措施费用的使用计划。

13 施工现场临时用电方案的安全技术措施和电气防火措施。

14 针对重点部位和重点环节制定的工程项目危险源监控措施和应急预案。

15 发生自然灾害、紧急情况时的应急预案。

16 施工人员安全教育计划、安全交底安排。

17 创优规划、科技研发规划。

18 附图及各种表格。

### 【条文说明】

在调查研究，核对设计文件，线路测量复查等工作基础上编制实施性施工组织设计。编制实施性施工组织设计的通常步骤如下：

1 复核与分析工程设计文件，掌握工程施工的特点，摘录工程数量。

2 确保总的施工方案和总的实际施工期限。在施工方案中，需要包括：机械化程度、初步安排施工进度、工序作业流水线和流水速度、总的施工程序划分和施工场地初步安排平面图。

3 选择各分项工程的施工方法和计算工作量。

4 确定各分项工程的实际施工进度和施工期限。

5 编制施工进度网络图，并进行最合理的调整，直到满意为止。

6 计算劳动力、电力、材料和机械设备的需要量，并根据施工进度的要求，编拟供应计划。

7 布置运输线路，计算运输量，选择运输方式，确定运输工具数量。

8 确定自产材料的开采和加工方案，提出各种附属企业的设置方案和生产计划。

9 制定各项临时工程施工方案和计算工作量。

10 拟定安全、质量、节能、节地、节水、节材和环境保护等主要技术措施。

11 提出施工管理机构的方案，确定劳动组织的编制，制定各种相应的管理制度。

12 编写施工组织设计说明书。



## 附录 B

(规范性)

隧道施工掌子面地质素描调查表

预报单位			记录编号			
工程名称			隧道名称			
施工单位			埋深 (m) 及桩号			
围岩岩性			开挖方式及掘进方向			
 <p>掌子面地质素描图</p>						
围岩产状	层理 <input type="checkbox"/>	片麻理 <input type="checkbox"/>	侵入岩 <input type="checkbox"/>			
风化程度	新鲜 <input type="checkbox"/>	微风化 <input type="checkbox"/>	弱风化 <input type="checkbox"/>	强风化 <input type="checkbox"/>	全风化 <input type="checkbox"/>	
岩石坚硬程度	坚硬 <input type="checkbox"/>	较坚硬 <input type="checkbox"/>	较软 <input type="checkbox"/>	软 <input type="checkbox"/>	极软 <input type="checkbox"/>	
软弱层或夹层	条数 (R <sub>t</sub> )	厚度 (m)	长度及延伸情况			
层间结合情况	良好 <input type="checkbox"/>		一般 <input type="checkbox"/>		差 <input type="checkbox"/>	
节理	组别 (J <sub>i</sub> )	产状及延伸情况	长度及间距	充填情况	扭矩/张性	密度 (条/m)
地下水	富水情况	丰富 <input type="checkbox"/>	较丰富 <input type="checkbox"/>	不丰富 <input type="checkbox"/>	无水 <input type="checkbox"/>	
	出水情况	突水 <input type="checkbox"/>	股状 <input type="checkbox"/>	线状 <input type="checkbox"/>	滴水 <input type="checkbox"/>	潮湿 <input type="checkbox"/>
	涌泥突水情况					
围岩质量类别	勘察设计					
	现场调查					
围岩稳定状态						
其他						
调查人				年 月 日		

## 本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的：正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件允许时首先这样做的：正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
- 2 JTGC 20 公路工程地质勘察规范
- 3 TB 10027 铁路工程不良地质勘察规程
- 4 GB 50026 工程测量标准
- 5 GB 6722 爆破安全规程
- 6 T/CRS C0801 岩溶隧道技术规范
- 7 JTG/T D70 公路隧道设计细则
- 8 TB 10003 铁路隧道设计规范
- 9 TB 10753 高速铁路隧道工程施工质量验收标准
- 10 TB 104417 铁路隧道工程施工质量验收规范