

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2024

高压富水隧道施工技术规范

Technical specification for construction of high-pressure water-rich tunnel

（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。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

前言 III

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 2

5 施工原则 3

 5.1 一般规定 3

 5.2 高压富水裂隙隧道 3

 5.3 高压富水断层隧道 3

 5.4 富水岩溶隧道 4

 5.5 富水砂土层隧道 5

6 超前地质预报 6

7 注浆 6

 7.1 一般规定 6

 7.2 周边注浆 7

 7.3 地表高压旋喷注浆 7

 7.4 充填注浆、径向注浆 7

 7.5 高压顶水注浆 8

 7.6 中高压帷幕注浆 8

 7.7 精细化分区注浆 9

 7.8 双液回退注浆 11

 7.9 注浆检验及效果评价 11

8 施工降排水 11

 8.1 一般规定 11

 8.2 泄水孔 12

 8.3 泄水洞 12

 8.4 富水溶腔释能降压 12

 8.5 轻型井点降水 13

 8.6 地表重力深井降水 14

 8.7 反坡排水 14

 8.8 清污分流 15

9 开挖方法 15

 9.1 一般规定 15

 9.2 台阶法 15

 9.3 分部开挖法 15

 9.4 步距管理 15

10 监控量测 15

10.1 一般规定 15

10.2 量测内容和方法 16

10.3 自动化监测 17

11 安全及应急管理 17

11.1 一般规定 17

11.2 专项应急预案 17

11.3 预警与应急系统 17

11.4 应急逃生 18

11.5 应急救援 18

12 运营维护 18

附 录 A 开挖工作面地质状况记录表 19

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。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中铁十九局集团有限公司、中国公路工程咨询集团有限公司、保利长大工程有限公司、重庆市交通规划和技术发展中心、贵州交通职业技术学院、中交第二公路工程局有限公司、贵州路桥集团有限公司、中国矿业大学。

本文件主要起草人：周烨、李飞、陶琦、关喜彬、吴勇木、肖涛、田学志、许明明、李艺娴、罗发胜、李彬、樊德、尚尔海、刘宏图、王孝平、谭大龙、苏艺、向程龙、李飞、王帅帅、刘春虹、王胜国、崔小鹏、方永桥、靳俊奇、蔚立元、李卫。

高压富水隧道施工技术规范

1 范围

本文件规定了高压富水隧道工程施工原则、超前地质预报、注浆、开挖方法、监控量测、安全及应急管理、运营维护等建设方法。

本文件适用于钻爆法施工的铁路、城市轨道交通、公路和城镇道路高压富水隧道工程。

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。

GB500009 水工建筑物荷载设计规范
GB/T 12329 岩溶地质术语
HG/T 20691 高压喷射注浆施工技术规范
JTG/T F72 公路隧道交通工程与附属设施施工技术规范
TB 10601 高速铁路工程测量规范
TB 10101 铁路工程测量规范
TB 10304 铁路隧道工程施工安全技术规程
TB 10313 铁路工程爆破振动安全技术规程
TB 10003 铁路隧道设计规范
YS/T5211 注浆技术规程
T/CECS G: D72-01 公路隧道防排水技术规程
T/CRS C0801 铁路岩溶隧道技术规范
Q/CR 9215 铁路隧道工程施工信息化技术规程
Q/CR 9217 铁路隧道超前地质预报技术规程
Q/CR9247 铁路隧道工程风险管理技术规范
Q/CR 9511 铁路黄土隧道技术规范
Q/CR9604 高速铁路隧道工程施工技术规程
Q/CR9218 铁路隧道监控量测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高压富水隧道 high pressure water-rich tunnel

穿越地下水发育的岩溶、断层、裂隙和砂土等不良地质地段，具有一定水压和水量的高风险隧道。

3.2

富水断层 water-rich fault

是一种典型的地下水储存或富集大断层，具有断裂带宽度大、强度低、复杂等特点。

3.3

富水岩溶 water-rich karst

地下水发育、含水丰富地下水的岩溶裂隙或溶洞。

3.4

富水裂隙 water-rich fissures

丰富的地下水发育在岩石裂隙中。

3.5

富水砂土层 water-rich sand

砂土层中含有足够多的水，使其孔隙被水填充的状态。

3.6

涌水量推算 calculation of water inflow

根据现有掌握的水情资料，通过必要的推演过程，估计隧道施工中发生涌水的量值及分布。

3.7

地表重力深井 deep surface gravity wells

由滤水井管、吸水管和抽水机械等组成。管井埋设的深度和距离根据需降水面积、深度及渗透系数确定，一般间距 10~50m，最大埋深可达 100m。

3.8

顶水注浆 top water grouting

适用于围岩完整性较好，局部涌水量大、水压高的裂隙通道注浆。

3.9

双液回退注浆 double liquid back grouting

采用水泥水玻璃双液浆由底部向孔口方向注浆，适用于流塑状态富水砂土地层。

3.10

多分部开挖法 multi-section excavation method

将隧道的断面划分为多个部分，形成独立闭合空间，可进行多个空间单独掘进，来实现最终设计断面的施工方法。

3.11

释能降压 release energy for depressurization

在富含地下水的岩溶地区，它是针对高压富水充填溶腔采取有计划、有目的的精确爆破揭示，释放溶腔所存储的能量，通过配套处治措施完成溶腔治理的一种技术措施，降低施工及运营期水土压力对隧道形成影响。

4 基本规定

4.1 工程建设各方应加强管理制度、人员配备、现场管理和全过程控制，落实终身责任制，实现质量、安全、工期、投资效益、环境保护、技术创新等建设目标，提高文明施工水平。

4.2 应及时掌握气象、水文和地质灾害等相关信息，进行自然地质灾害的识别评估、规划预防、监测应急等工作，防范自然地质灾害及其影响。

4.3 应进行超前地质预报和监控量测设计，施工阶段应将超前地质预报和监控量测作为工序纳入施工管理。

4.4 应建立安全风险分级管理和现场安全隐患排查治理双重预防机制。

- 4.5 应积极推行机械化、工厂化、专业化、信息化施工，采用的新技术、新工艺、新设备、新材料，应符合相关标准和程序的规定。
- 4.6 高压富水隧道应采用理论解析法、半理论半经验法、定性分析法、水平钻孔流量推算等方法进行隧道内涌水量推算后确定针对性的措施方案。
- 4.7 各类人员应经过专门培训，考核合格方可上岗，施工中应做好职业健康和劳动保护。
- 4.8 资料的收集和整理工作应与工程进度同步进行，做到系统、完整、真实、准确，竣工后应根据施工特点及时编写单项和全面的施工技术总结。

5 施工原则

5.1 一般规定

- 5.1.1 应按规定编制专项施工组织设计，施工前应编制隧道超前支护、开挖、初期支护、基底处理、防排水、二次衬砌、超前地质预报、监控量测等关键工序的作业指导书，明确施工作业标准和工艺要求，加强管理。
- 5.1.2 建设各方应制定项目管理规划，加强高压富水地段的风险管理，加强对注浆加固、施工降排水、结构防排水等隐蔽工程的管理。
- 5.1.3 主要材料应集中采购，各种材料应按规定进行检验，各项技术指标应符合设计要求及相关规定方可使用。
- 5.1.4 高压富水隧道注浆加固、施工降排水应选择专业化队伍进行施工，管理和作业人员应相对固定。
- 5.1.5 应根据隧道富水类型、断面大小、坡度、施工方法等因素编制专项排水方案，合理配置抽排水设备、管路及供电系统。
- 5.1.6 隧道内、外宜建立清污分流系统，洞口应建立污水处理系统，经检测达到污水综合排放标准或当地有关部门环保要求后方可排放。
- 5.1.7 隧道施工中要控制地下水的排放，防止过量排放造成地表生态环境的破坏。
- 5.1.8 应建立信息管理系统，做到工程施工管理信息传递及时、可靠有效，对突涌水风险实时响应。
- 5.1.9 应采用系统化观念进行管理，主要措施有降排水方案、超前预加固措施、开挖工法、注浆加固、资源配置、步距控制、监控量测等进行统筹协调管理。

5.2 高压富水裂隙隧道

- 5.2.1 施工过程中应通过地质素描判别涌水通道及通道节点。
- 5.2.2 高压裂隙水封堵前应采用物探和钻探方法查明裂隙分布情况、发育程度、规模、形状、水流速度和流量、水力梯度等地质条件，确定封堵方法。
- 5.2.3 高压富水裂隙隧道施工应符合下列要求：
- a) 高压富水裂隙隧道注浆时宜采用排量大的注浆泵，以满足快速封堵的要求。
 - b) 高压裂隙水封堵宜采用格栅、模袋、粗颗粒材料将水流速度降低，形成注浆骨架体后再进行充填压密注浆封堵。
 - c) 高压富水裂隙隧道可采用水泥-水玻璃双液浆对裂隙进行快速胶结和填充。
 - d) 高压裂隙水在探明通道及节点后，宜采用顶水注浆封堵，注浆材料宜选用不溶水注浆材料。
- 5.2.4 高压富水裂隙，硬质岩、稳定地段宜采用大型机械化施工。

5.3 高压富水断层隧道

- 5.3.1 施工中宜采用注浆堵水结合超前钻孔限量排水的方法，特大涌水可采用辅助坑道排水，辅助坑道开挖应超前正洞适当距离。
- 5.3.2 充填断层泥的富水段落，在开挖轮廓线外一定范围进行注浆加固，应在加固范围外设置排水泄压导洞，便于注浆时置换出断层泥水、废浆，以达到注浆效果。
- 5.3.3 地下水与地表水连通的隧道，宜采用地表降水、注浆堵水等措施，浅埋隧道宜采用地表注浆，深埋隧道宜采用在开挖工作面前预注浆。
- 5.3.4 断层段宜采用非爆破开挖法，采用爆破施工时，应短进尺、弱爆破，工法宜采用环形开挖预留

核心土法，大断面隧道宜采用隔壁法或双侧壁导坑法等多分部开挖法，循环逐榀开挖。

5.3.5 断层范围内应加强初期支护和二次衬砌的支护参数，断层前后应设置加强过渡段落，宜采用同一施工工法，不宜在断层段落内调整工法。

5.3.6 断层范围内施工时应做好资源配置，加强施工组织，合理安排施工工序，使初期支护结构尽早封闭成环，拱墙宜设置双排锁脚或加长、加大锁脚锚管支护方式稳步通过。

5.3.7 衬砌背后的排水管道与隧道排水沟应顺畅连接，防止地下水在背后聚集对其形成压力。

5.3.8 高压富水断层按影响程度可采用中高压帷幕注浆、精细化分区注浆、周边注浆、局部双液回退等注浆方法。

5.3.9 高压富水断层隧道超前预注浆，宜选择理论分析、数值模拟等方法，研究“上堵下排、泄水降压”等注浆方法对富水断层堵水加固的可行性，并进行注浆参数设计。

5.4 富水岩溶隧道

5.4.1 岩溶处理措施应根据岩溶发育部位、岩溶类型、岩溶规模、岩溶水发育程度、岩体完整性等，结合隧道设计、施工、环境保护及运营维护等因素确定。

5.4.2 岩溶水处理应遵循以排为主、排堵结合的原则，对环境敏感区段应采取以堵为主限量排放的原则，可采用注浆堵水，隧道衬砌应采用钢筋混凝土。

5.4.3 施工前应研究分析工程及水文地质资料结合现场实际情况，作出风险评估，根据风险等级进行分级管理，制定完整的施工技术方案和专项应急预案，做好各项资源储备，定期组织演练。

5.4.4 施工中应按规定进行隧道二次衬砌基底沉降变形观测，及时向有关单位提供观测资料。

5.4.5 岩溶范围前后应采取加强支护的过渡措施方案实施，岩溶段宜采用非爆破开挖法，必须采用爆破施工时，应采用短进尺、弱爆破开挖法。

5.4.6 高压富水岩溶通常采用的处置方案有释能降压、中高压帷幕注浆、双液回退注浆等。

5.4.7 岩溶管道隧道施工

5.4.7.1 处理宜采取如下工程措施及施工流程：编制专项施工组织方案→排水措施→揭示岩溶管道→注浆加固→开挖支护→施作永久排水设施→隧道衬砌。

5.4.7.2 岩溶管道地段应加密衬砌背后排水盲管及边墙泄水孔。

5.4.7.3 岩溶管道处理措施应符合下列规定：

- a) 岩溶水量大、水压高的岩溶管道地段，隧道衬砌应采用钢筋混凝土，具有一定的抗水压能力。
- b) 加密衬砌背后排水盲管及边墙泄水孔，加大泄水孔孔径。
- c) 集中涌水的岩溶管道应采用专门的管道引排至洞内水沟。

5.4.7.4 岩溶管道发育地段应结合其发育部位，评价围岩的稳定性，必要时可采取超前预加固措施。

5.4.7.5 当地下水发育或水压高时，施工期间可采取钻设超前集水钻孔，进行排水泄压。

5.4.8 溶洞隧道施工

5.4.8.1 宜采取如下工程措施及施工流程：编制专项施工组织方案→确定安全岩盘厚度→排水降压、水文观测与分析→注浆加固→开挖支护→地质补勘→完善专项方案→施作永久排水设施→隧底基础处理、隧道结构施作及监测。

5.4.8.2 溶洞段隧道衬砌结构应结合岩溶水、充填物、溶洞与隧道空间关系等因素综合确定，采用钢筋混凝土结构。

5.4.8.3 充填型溶洞处理应符合下列规定：

- a) 开挖前，根据溶洞形态特征及风险评估结果，制定超前预加固、支护及结构设计方案。
- b) 结合溶洞充填物强度低、稳定性差的特点，开挖施工可适当加大预留变形量。
- c) 贫水型充填溶洞可适当加密衬砌排水盲管及边墙泄水孔。
- d) 富水型充填溶洞应加密衬砌排水盲管及边墙泄水孔，加大泄水孔孔径。

5.4.8.4 当采用超前注浆对溶洞进行预加固处理时，注浆施工应符合以下规定：

- a) 注浆方式可采用地表注浆、超前帷幕注浆、超前周边注浆、局部注浆等。
- b) 注浆材料宜优先选择以水泥基材料为主的常用注浆材料。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。

- c) 注浆材料的配比参数应根据试验结果确定。
- d) 注浆量应根据地层空隙率、裂隙充填率和浆液损失率等因素及时调整。
- 5.4.8.5 注浆施工前应对设计参数进行试验验证。
- 5.4.8.6 注浆完成后应进行注浆效果检查,采用检查孔法进行效果检查时,检查孔个数宜取总注浆孔的3%~5%;检查孔应及时进行注浆封堵。
- 5.4.8.7 地下水环境不敏感区域,宜采用排水降压措施,释放溶腔能量,减小溶腔压力,降低施工风险;地下水环境敏感区域,应采取注浆堵水措施,防止地下水流失。
- 5.4.8.8 无填充溶洞处理应符合下列规定:
 - a) 溶洞洞壁稳定性应根据岩溶形态规模与隧道空间位置关系和岩层产状、层厚、倾角、节理裂隙、埋深等因素,进行综合分析评价。
 - b) 当洞壁整体稳定性较好,局部存在零星孤石,应采取清除措施。
 - c) 当洞壁整体稳定性较好,局部易掉块、易坍塌时,可采取喷锚、棚架防护措施。
 - d) 当溶洞顶部存在不稳定水平岩层时,可采取混凝土立柱支顶、溶洞顶板设置锚索等措施。
 - e) 洞壁处理完成后,衬砌外宜采取混凝土拱罩护顶,在混凝土拱罩上部吹砂。拱罩内应预留排水管,引排至中心沟。
- 5.4.8.9 隧底结构应结合溶洞充填特征、充填物性质、岩溶水特点、溶洞与隧道关系、轨道类型等因素,可采用回填、换填、复合地基、跨越结构等措施,应符合下列规定:
 - a) 隧底溶洞充填物深度小于5m时,基础可采用圬工或其他材料换填。
 - b) 溶洞充填物具有流失风险时,隧底不应采用复合地基基础。
 - c) 隧道采用无砟轨道结构时,溶洞段基底行车部分宜采用梁、板、拱等跨越结构。
 - d) 隧底筏板、梁跨等跨越结构的桩基础应采用钻孔灌注桩,应嵌入完整基岩一定深度,其深度应根据充填物、结构受力等因素确定。
 - e) 隧底溶洞深度大、充填物复杂、桩基施工困难地段,隧底跨越结构应强化板、梁,采取增大桩径、减少桩数等措施,必要时隧底基础可采用大跨度拱跨结构。
 - f) 隧底结构应结合溶洞的防排水系统设置。
- 5.4.8.10 巨型溶洞处理应根据溶洞的具体特征及对隧道的影响进行专项方案研究。
- 5.4.9 岩溶管道及暗河隧道施工
 - 5.4.9.1 处理宜采取如下工程措施及施工流程:编制专项施工组织方案→暗河水引排→防护、加固→开挖支护→地质补勘→专项方案修订及完善→隧道衬砌。
 - 5.4.9.2 岩溶管道及暗河影响段,隧道衬砌结构应采用钢筋混凝土。
 - 5.4.9.3 施工期间应观测岩溶管道,对隧道本体结构有影响的贫水型岩溶管道区段可参照无填充型溶洞进行处理;富水型岩溶管道宜采取疏导为主,维系既有过水通道,必要时增设泄水洞、管涵等处理措施。
 - 5.4.9.4 连通型岩溶管道应避免堵塞,保持原始管道畅通。
 - 5.4.9.5 暗河处理措施应符合下列要求:
 - a) 当隧道揭穿暗河时,应根据隧道与暗河的相对关系采取暗河上跨隧道、暗河下穿隧道、暗河改移等处理措施。
 - b) 原则上应维持既有暗河排泄通道,当不能维持但可恢复既有排泄通道时,应增设引水构筑物。引水构筑物可采用涵洞、集水廊道、倒虹吸、U形槽等,当无法维持或恢复既有排泄通道时,可利用平导或增设泄水洞等进行引排。
 - c) 穿越暗河段宜在旱季施工。

5.5 富水砂土层隧道

- 5.5.1 开工前应核对工点工程地质勘察设计资料,掌握隧道工程深厚砂层形成的成因、年代,分布区域、厚度和埋深及地下水赋存等情况。
- 5.5.2 富水砂土围岩应开展含水率、颗粒密度、孔隙比、渗透系数、压缩系数等物理特性试验,揭示围岩工程特性,选择针对性的工程措施。
- 5.5.3 富水砂土隧道施工宜优先降水疏干,不稳定的宜采用双液注浆加固,不宜采用单液注浆。

- 5.5.4 富水砂土层按影响程度可采用中高压帷幕注浆、精细化分区注浆、双液回退注浆。
- 5.5.5 应进行数值模拟计算，选择合理的开挖工法，确定循环进尺、台阶长度等。
- 5.5.6 富水砂土层不同状态的处理流程：地质调查→制定方案→降排水→围岩加固→超前预加固→开挖。
- 5.5.7 富水砂土具有特殊的水敏特性，机械振动、人员扰动，围岩易出现振动液化现象，应及时采取基底换填、扩大拱脚基础等措施进行处理。
- 5.5.8 富水砂层的物理特性、工程现象及采取的工程措施归纳为三种状态，即渗水状态、软流塑状态、突涌状态。
- 5.5.9 渗水状态隧道施工
 - 5.5.9.1 综合降排水措施宜采用超前泄水孔、轻型井点降水、反坡排水、清污分流等。
 - 5.5.9.2 超前预加固措施宜采用超前管棚配合小导管、双层小导管、密排小导管等。
 - 5.5.9.3 围岩加固措施宜采用周边注浆加固、双液回退劈裂注浆等。
- 5.5.10 软流塑状态隧道施工
 - 5.5.10.1 综合降排水措施宜采用超前泄水孔、泄水洞、轻型井点降水、反坡排水、清污分流等。
 - 5.5.10.2 超前预加固措施宜采用超前管棚配合小导管、密排小导管等。
 - 5.5.10.3 围岩注浆加固宜采用帷幕注浆、周边注浆加固、双液回退劈裂注浆等。
 - 5.5.10.4 采用常压注浆加固的，大断面宜采用分部法开挖，小断面宜采用台阶法开挖；采用中高压注浆加固的，宜采用台阶法开挖。
 - 5.5.10.5 富水浅埋软流塑地段宜采用地表高压旋喷注浆措施。
- 5.5.11 突涌状态隧道施工
 - 5.5.11.1 综合降排水宜采用地表重力深井降水、泄水洞、超前泄水孔、轻型井点降水、反坡排水、清污分流等。
 - 5.5.11.2 超前预加固宜采用超前管棚配合小导管、双层小导管等。
 - 5.5.11.3 围岩注浆加固宜采用帷幕注浆、周边注浆加固、双液回退劈裂注浆等。
 - 5.5.11.4 采用中高压帷幕注浆对突涌地段进行注浆加固，宜采用台阶法开挖。

6 超前地质预报

- 6.1 高压富水隧道施工应将超前地质预报纳入工序管理，探查掌子面前方的工程地质与水文地质情况，预测施工中可能遇到的突涌水（泥）等地质问题，应制定相应对策，提出施工注意事项。
- 6.2 高压富水隧道应以地质调查法为基础，实施综合超前地质预报，做到地质与物探结合、物探与钻探结合、长距离与短距离结合、地面与地下结合、超前导坑与主洞探测结合，相互验证和补充。
- 6.3 其他常规措施参照相关行业隧道超前地质预报技术标准执行。

7 注浆

7.1 一般规定

- 7.1.1 注浆钻孔施工中，钻孔注浆设备的配套应满足设计要求。
- 7.1.2 注浆施工应根据设计，结合工程现场实际情况制定注浆方案。
- 7.1.3 注浆施工时，应根据现场试验进行参数调整和工艺完善，保证注浆效果。
- 7.1.4 注浆材料宜以水泥系材料为主，浆液配合比应经现场试验确定。
- 7.1.5 注浆材料应具备以下要求：
 - a) 浆液初始黏度要低，流动性好，可注性强，能渗透到细小的裂隙或空隙内。
 - b) 凝胶时间可以在几秒至数小时范围内任意调整，应能准确控制。
 - c) 稳定性好，在常温、常压下较长时间存放而不改变其基本性质。存放不受温度、湿度变化的影响。
 - d) 无毒、无臭、不污染环境。对人体无害，属非易燃、非易爆品。
 - e) 浆液对注浆设备、管道、混凝土结构物等无腐蚀性，容易清洗。

- f) 浆液固化时无收缩现象，固化后与岩体、混凝土等有一定的粘结力。
 - g) 结石体（固结体）具有一定的抗压、抗拉强度，抗渗性好，抗冲刷及耐老化性好。
 - h) 材料来源丰富，价格便宜；配制方便，操作简单。
- 7.1.6 注浆设备包括注浆泵、制浆站（机）、低速搅拌机和储浆桶等。根据流量、压力注入材料等的不同，选用不同型式的注浆泵，设备选型的原则是：
- a) 钻机可选用回转式、冲击式钻机等，钻孔机具应满足注浆段长的要求。
 - b) 中、高压水泥注浆宜选用柱塞泵，双液注浆宜选用双液注浆泵，灌注砂浆宜选用砂浆泵或挤压泵，化学注浆或结构补强注浆时，宜选用化学材料注浆泵，最大压力应达到设计压力的1.5~2.0倍。
 - c) 注浆管根据设计要求选用相应规格的管材。
- 7.1.7 注浆过程中应做好施工记录，如注浆里程、孔位、孔径、孔深、浆液配合比、注浆压力、注浆量等，注浆结束后应对注浆钻孔及检查孔封填密实。
- 7.1.8 注浆过程中应加强监控量测，当围岩或支护结构发生较大变形、窜（跑）浆等异常情况时，可采取下列措施：
- a) 降低注浆压力或采用间歇注浆，直至停止注浆。
 - b) 改变注浆材料或缩短浆液凝胶时间。
 - c) 对窜（跑）浆部位进行封堵。
 - d) 调整注浆实施方案。
- 7.1.9 注浆是一个系统工程，做好注浆工作应从降排水、开挖工法、资源配置、步距管理、监控量测等多方面综合落实。

7.2 周边注浆

- 7.2.1 周边注浆主要是通过钢管对隧道开挖周边围岩注浆加固，适用于水压和水量较小、围岩有一定自稳能力的地层，或作为全断面注浆和帷幕注浆后的补充加固，注浆材料一般采用水泥浆、水泥-水玻璃双液浆等。
- 7.2.2 钻孔和注浆顺序由外向内，同一圈孔间隔施工，对薄弱位置增加注浆孔。
- 7.2.3 周边注浆采用后退式分段注浆施工工艺，多功能地质钻机开孔，穿过止浆墙后钻孔至设计位置实施后退式注浆。
- 7.2.4 钻进过程中遇涌水或因岩层破碎造成卡钻时，应停止钻进，进行注浆扫孔后再行钻进。
- 7.2.5 注浆终止条件注浆采用注浆量和注浆压力双控，注浆压力控制在 4MPa~6MPa。
- 7.2.6 注浆前在探明前方地质情况下，根据压水试验结果，对注浆参数进行优化。

7.3 地表高压旋喷注浆

- 7.3.1 地表高压旋喷注浆适用于淤泥、淤泥质土、流塑至可塑的粘性土、拱顶流砂、涌水及坍塌流严重的富水浅埋地段。
- 7.3.2 高压旋喷注浆应采用大型专用钻机、高压注浆泵、自动化水泥仓等设备。
- 7.3.3 施工前，应选择有代表性的地层进行现场试验，确定注浆孔间距、加固体强度、浆液配比、施工参数及施工工艺。
- 7.3.4 注浆终止条件注浆采用注浆量和注浆压力双控，常用注浆压力控制在 20MPa~30MPa。
- 7.3.5 注浆施工过程中出现钻进不成孔，注浆量小等问题，应及时停止作业，结合地层特性与注浆材料颗粒特性综合分析，调整注浆方案。

7.4 充填注浆、径向注浆

- 7.4.1 初期支护施作时，初期支护背后充填注浆的注浆管宜外露 100mm，封堵管口后再喷射混凝土。
- 7.4.2 充填注浆宜采用全孔一次性注浆工艺，按单液注浆方式连接注浆管路，开始前应进行压浆试验。
- 7.4.3 初期支护与二次衬砌之间充填注浆管应在二次衬砌施工时预埋，充填注浆材料采用水泥砂浆，有特殊要求的地段宜采用微膨胀、高强度、流动性好的水泥砂浆。
- 7.4.4 径向注浆应从两边墙底部向拱顶进行，宜按从无水孔向有水孔、从少水孔向大水孔、从散水区域向集中涌水区域的次序进行注浆。

7.4.5 初期支护背后充填注浆当注浆压力逐渐上升，流量逐渐减少，注浆压力达到设计终压后，稳定不少于 3min 或相邻孔出现串浆，可结束单孔注浆。

7.4.6 注浆压力达到设计终压，且注浆量达到设计注浆量的 80%以上或注浆压力未能达到设计终压，但注浆量已达到设计注浆量 1.5 倍，且无漏浆现象，可结束单孔注浆；注浆量未达到设计量的 80%时，应根据相邻孔注浆量大小，判断是否可以终止单孔注浆，必要时补孔注浆。

7.4.7 90%径向注浆孔达到注浆结束标准，且无漏注现象、堵水率达或控制围岩变形达到设计要求，一段径向注浆完成。

7.5 高压顶水注浆

7.5.1 围岩完整性较好，局部集中涌水量较大、水压高且长期排水无法满足环保及当地居民生产生活用水要求的区段，应对出水点采取高压顶水注浆为主的方式进行封堵。

7.5.2 高压顶水注浆施工工艺流程如图 1 所示。

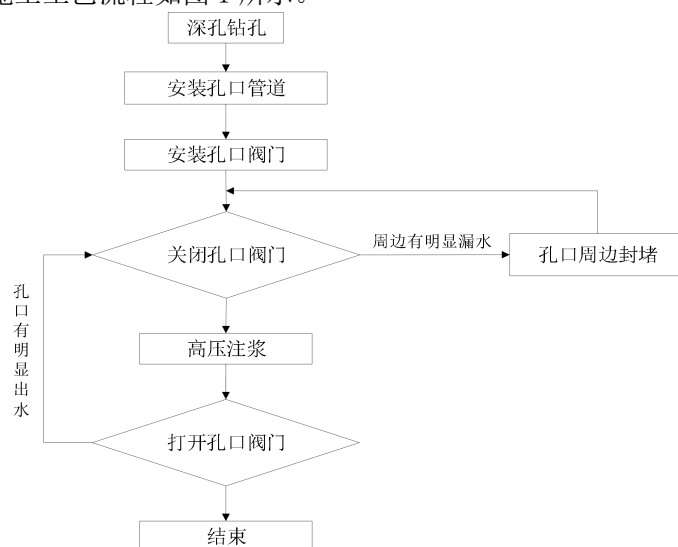


图1 顶水注浆施工工艺流程图

7.5.3 顶水注浆应以围岩表面涌水点为中心进行钻孔，设孔口管后采用孔口管注浆。

7.5.4 顶水注浆前注浆体内富含的水应处于静止状态，可利用抗冲性好的浆液、木楔等进行孔口管周边快速压密封堵。

7.5.5 注浆前期可利用遇水膨胀化学浆液材料、水玻璃等快凝材料进行浅层封堵，后期宜采用水泥-水玻璃或水泥浆液进行深层堵水，注浆压力宜高于静水压力 1.5MPa。

7.5.6 顶水注浆结束后，及时关闭止浆阀。

7.6 中高压帷幕注浆

7.6.1 中高压帷幕注浆适用于承压水引起的突水涌泥灾害的预防和治理。

7.6.2 中高压帷幕注浆参数要通过计算确定，一般选取加固范围开挖轮廓线外 5m~8m，注浆终压宜控制在 5MPa~8MPa，每循环加固长度为 15m~20m，搭接长度不小于 5m。

7.6.3 采用自上而下分段注浆法时，注浆孔封孔应采用分段灌浆封孔法或全孔灌浆封孔法；采用自下而上分段注浆时，应采用全孔灌浆封孔法，浆液可采用单液浆、双液浆。

7.6.4 帷幕注浆质量检验孔数量不应少于注浆孔总数的 10%，且不应少于 5 个，帷幕轴线上检验孔间距不应大于 30m，其中压水试验孔不少于检验孔总数的 60%。

7.6.5 检验孔应采取岩芯，绘制钻孔柱状图，岩芯采取率不应小于 75%。

7.6.6 帷幕注浆施工资料宜包括下列内容：

- a) 钻孔验收记录。
- b) 分序注浆统计表。

- c) 各序孔注浆成果表。
- d) 帷幕注浆综合剖面图。
- e) 各序注浆孔透水率频率曲线图。
- f) 各序注浆孔单位注浆量频率曲线图。
- g) 简易压水试验和压水试验等记录。
- h) 检验孔岩芯柱状图。

7.7 精细化分区注浆

7.7.1 围岩破碎软弱、物质构成不均匀、水流方向难以确定的富水围岩宜采用精细化分区注浆进行堵水加固。

7.7.2 精细化分区注浆按四步进行：分区定位、基本注浆、区域加强、效果检查。

7.7.3 精细化注浆分区定位时，可根据超前探孔涌水量差异、围岩工程性质等信息，将掌子面划分为弱水区和强水区。

7.7.4 基本注浆设计时，按内、外两圈注浆孔设计，外圈孔宜为隧道开挖轮廓线外 3m~5m，内圈孔宜为隧道开挖轮廓线外 1m~3m。

7.7.5 区域加强注浆范围宜为基本注浆区外 2m~3m。

7.7.6 注浆参数设计宜按下列原则确定：

a) 注浆设计压力应根据围岩水文地质条件合理确定，宜比静水压力大 0.5MPa~1.5MPa；当静水压力较大时，宜为静水压力的 2~3 倍，注浆泵的量程应达到设计压力的 1.3~1.5 倍。

b) 注浆方式应根据水文地质情况、机械设备等因素综合确定。

c) 注浆结束标准，各孔均达到设计终压，稳定 10min 以上，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；或各孔均达到设计终压，稳定 10min 以上，注浆结束时的进浆量 < 2L/min；检查孔涌水量小于 0.2L/min；检查孔钻取岩芯，浆液充填饱满。

d) 全段结束标准，所有注浆孔均已符合单孔结束条件，无漏注现象；注浆后预测涌水量 < 1m³/m²d；浆液有效注入范围大于设计值。

7.7.7 在动水条件下，注浆材料除了满足上述原则外，还应满足抗分散性好、早期强度高、凝胶时间可调、结石体抗冲刷性能好等要求。

7.7.8 注浆视围岩状况可采取前进式分段注浆、后退式分段注浆和全孔一次性注浆施工工艺。钻孔注浆分段长度根据地质情况确定，深孔宜为 3m~10m，浅孔宜为 1m~5m。前进式分段注浆和后退式分段注浆施工工艺流程如图 2 和图 3 所示。

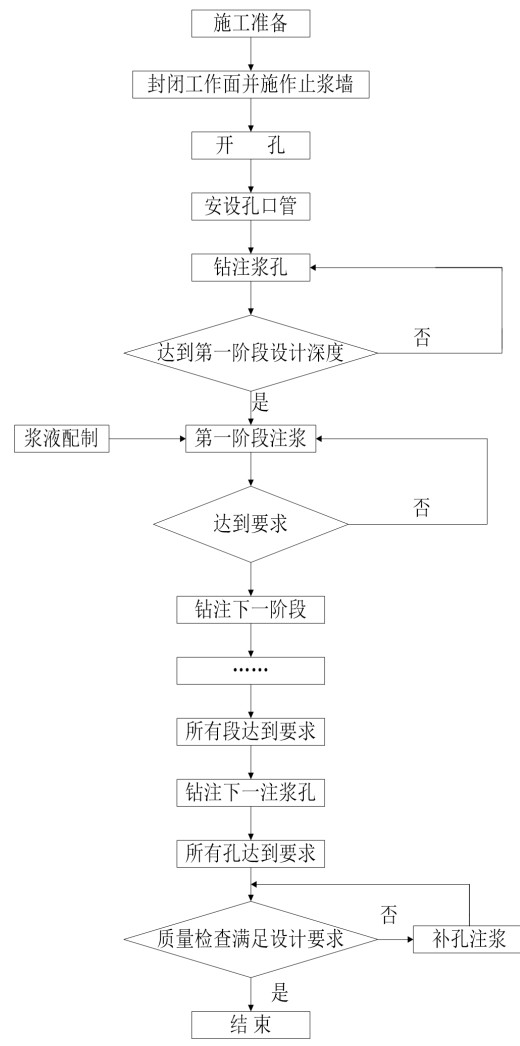


图3 前进式分段注浆施工工艺流程图

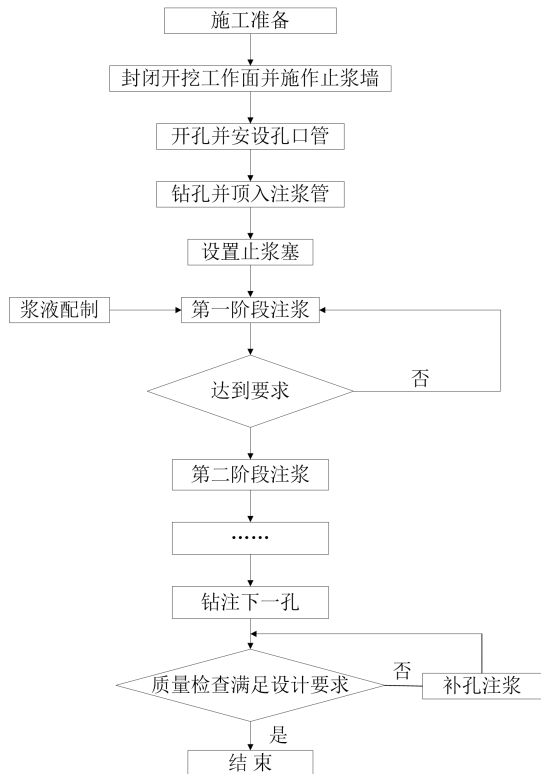


图3 后退式分段注浆施工工艺流程图

7.7.9 进行后退式分段注浆时，应设置止浆塞。止浆塞可采用气囊、水囊或橡胶止浆塞，应能承受注浆终压的要求，必要时可采用孔口管法兰盘止浆方式。

7.7.10 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的配比。

7.8 双液回退注浆

7.8.1 主要适用于软塑、流塑状段落的富水砂土围岩加固。

7.8.2 双液回退注浆采用Φ25mm钢管，管身不设散浆孔，钢管长4m~6m，注浆采用底部双液回退法注浆，可采用钻注一体机，旋转注浆，达到注浆压力，回退钻杆实现劈裂注浆。

7.8.3 注浆材料采用水泥、水玻璃、缓凝剂等。

7.8.4 单孔注浆压力达2MPa~3MPa，持续注浆10min，且进浆速度为开始进浆的1/4或进浆量达到注浆量3m³以上时单孔注浆结束。

7.8.5 所有注浆孔均符合单孔结束条件，掌子面出水量减少，出水中带砂量减少，以上条件均达到要求时整体注浆结束。

7.9 注浆检验及效果评价

7.9.1 注浆技术已成为地下工程施工中重要的辅助工法，对软岩加固、注浆堵水、渗漏整治等工程处理有着良好的效果，注浆检验及效果评价，是验证注浆效果的重要手段。

7.9.2 注浆效果检查评定是决策开挖施工方案的依据。注浆效果检查评定主要有注浆量分析法、填充率分析法、注浆P-Q-T曲线分析法、钻检查孔法等一种或多种方法综合评定。

8 施工降排水

8.1 一般规定

8.1.1 高压富水隧道应根据工程规模、工程地质、水文地质、设计方案、周围环境等要求，制定施工降排水方案，主要内容如下：

a) 降排水量预测与计算。

- b) 埋深浅的地段宜采用洞内外综合降排水方案,埋深大的地段宜采用洞内综合降排水方案。
- c) 降排水系统的平、纵断面布置图、抽排水设备的型号和数量。
- d) 降水井的构造,井点系统的组合与构造,排放管沟的构造、断面和坡度。
- e) 降排水系统宜采用信息化对水量、水位高度等进行监测。
- f) 沿线地下和地上管线、周边构(建)筑物的保护和施工安全措施。

8.1.2 有地表降水措施的富水地段应在开挖前提前施作,宜在开挖前 2~3 个月进行降排水作业。

8.1.3 在综合降水措施实施后,围岩的工程状态会发生变化,洞内相应措施应实施动态调整。

8.2 泄水孔

8.2.1 应结合工程地质、水文地质和超前探测结果,判断地下水流方向,确定钻孔位置、方向、孔数和钻进深度。

8.2.2 钻孔排水施工时,应采取下列安全预防措施:

- a) 非钻孔施工人员应撤出现场。
- b) 隧道反坡开挖时,应测算水量、水压、水的流速、泥砂含量等,完善抽排水系统。
- c) 泄水孔口应预先埋设阀门管,控制排水量,防止钻孔时承压水冲击及淹没坑道等灾害发生。
- d) 钻孔至预期深度未出水时,应进行地质和水文的勘测工作,重新判定地下水情况。

8.3 泄水洞

8.3.1 泄水洞的设置应根据水源方向、流量大小等因素,合理选择位置、方向、断面及坡度等。

8.3.2 泄水洞宜设置于地下水主要来源的一侧,纵坡宜与隧道一致,且不宜小于 3%,坑底高程应低于隧道结构底面,当地下水排放量大时,应通过计算确定,应设置横向排水通道将隧道水沟水引排至平行导坑。

8.3.3 泄水洞的开挖应符合下列要求:

- a) 应结合泄水洞的断面尺寸、水量、围岩级别及有水作业环境等进行专项爆破设计。
- b) 在可能突涌水的岩溶区,开挖前应进行超前探水,超前探测距离不应小于 30m。
- c) 泄水洞开挖时不应封堵水源,超前预注浆应控制注浆量不得封堵水源通道。

8.3.4 泄水洞衬砌应留有足够的泄水孔,必要时增加导坑或导水管将正洞的水引入泄水洞。

8.4 富水溶腔释能降压

8.4.1 判释溶腔应包括岩溶地质水文特征、规模大小及释放对环境的影响。

8.4.2 释能降压法施工宜选择在无雨或少雨的旱季进行。

8.4.3 释能降压法实施分为查找溶腔阶段、锁定溶腔阶段、打开溶腔阶段、处治溶腔阶段共四个阶段。

8.4.4 查找溶腔应采取以地质素描和 TSP203 等物探先行,以钻孔为主的综合超前预测预报方法。

8.4.5 释能降压法安全岩盘厚度应根据围岩地质条件采用结构力学方法、数值方法、经验类比法等方法计算后综合确定。

8.4.6 泄水洞接近溶腔时时,采用钻探对溶腔临近界面进行区域锁定,应符合下列要求:

- a) 钻孔深度不小于 5m。
- b) 钻孔应对掌子面按上中下、左中右分别布置。
- c) 根据钻进速度、排渣情况、水量大小,按区域确定溶腔岩盘厚度。
- d) 必要时可通过取芯进行确认。

8.4.7 打开溶腔宜进行爆破预设计和试验,应符合下列要求:

- a) 距离岩盘 2 倍洞径段作为近接岩盘段,在 2 倍洞径至 1 倍洞径段,爆破进尺不能超过 2m。
- b) 爆破预设计及实施宜按 4 次进行,爆破进尺依次递减,依次可为上一循环的 0.6~0.8 倍。
- c) 爆破后揭开溶腔断面面积应不大于 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 。

8.4.8 释能降压法工作程序应按图 4 流程图进行。

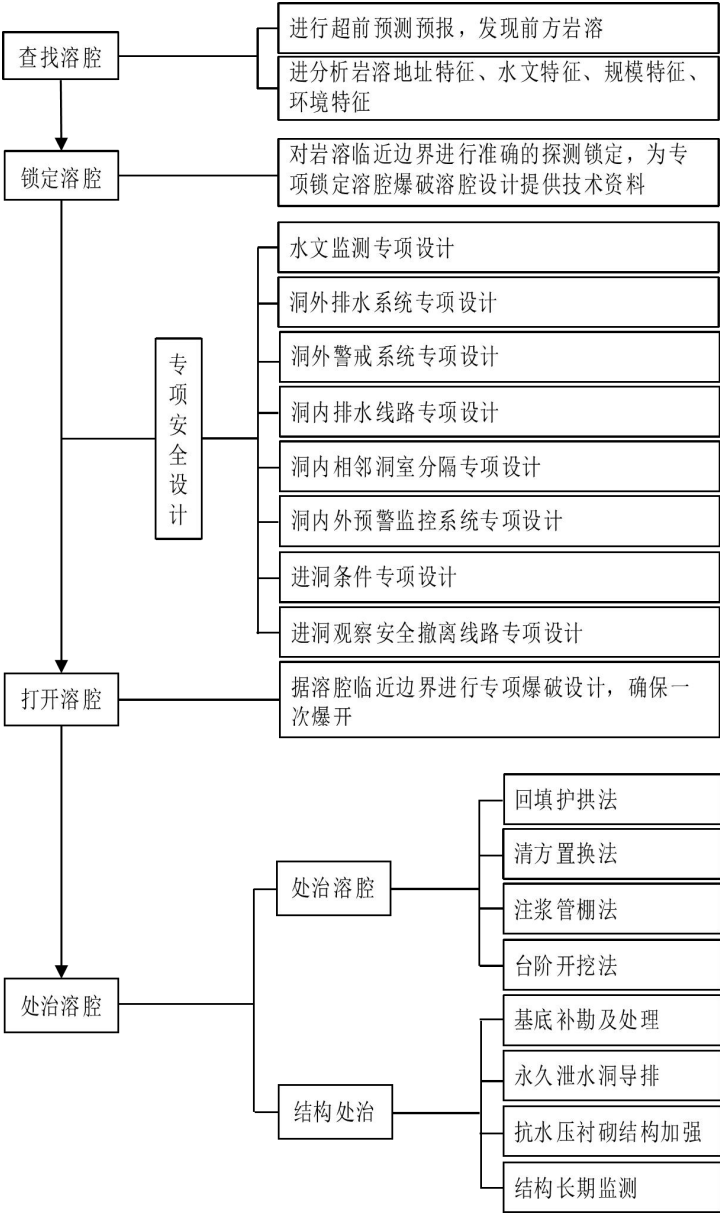


图 4 释能降压法工作流程图

8.4.9 释能降压法应进行安全专项设计，包括以下内容：

- a) 水文监测专项设计。
- b) 洞外排水系统专项设计。
- c) 洞外警戒系统专项设计。
- d) 洞内排水线路专项设计。
- e) 洞内相邻洞室分隔专项设计。
- f) 洞内外预警系统专项设计。
- g) 进洞条件专项设计。
- h) 进洞观察安全撤离线路专项设计。

8.5 轻型井点降水

8.5.1 井点降水应按照场地条件、周围地层的水文地质条件、降水深度及设备条件等进行专项方案设

计。降水方案应包括降水设备、降水井布置、降水井深度、沉淀池布置、管路布置以及保护措施等。

8.5.2 降水井的深度应根据设计降水深度、含水层的分布和降水井的出水能力确定。井点降水应使地下水位保持在隧道仰拱底以下。停止降水时，应验算涌水量和隧道衬砌结构在施工期间的抗浮稳定性，当不能满足要求时，不得停泵。

8.5.3 降水应加强监测，有相应的保护措施，防止地表及周围建筑物沉降超限。

8.5.4 降水井点施工应符合下列要求：

- a) 钻孔口应设置护筒孔径应比管径大20cm~30cm，孔底比管底深50cm~100cm。
- b) 分节组装的井管直径应一致。钢管井管的滤管应采用穿孔钢管，开孔率不应小于25%，应在外壁设过滤层；无砂混凝土井管孔隙率不应小于20%，外壁应设过滤层。
- c) 井管各节应连接严密并同心；滤管应置于含水层中，井管口应高出地面30cm~50cm；井管安装就位后应临时封闭。
- d) 井管周围滤料应洁净，规格为含水层筛分粒径的5~10倍；滤料投放量不应小于计算的95%；井口下1m范围应用黏性土填平夯实。
- e) 井点泵组应设防雨设施。寒冷地区冬季施工时，井点泵组及排水管路应有防冻措施。
- f) 降水井点安装后应检查渗水性能并进行抽水试验。

8.5.5 降水管理应符合下列要求：

- a) 降水井点系统应设双路电源供电。
- b) 降水应设置降水观测孔，观测孔应沿坑中心两侧垂直成排布设，宜延长至基坑外 2~3倍降水深度，临近建（构）筑物应增加观测点。
- c) 降水期间，应对抽水含砂率、地下水水位、流量和各类降水设备运转情况进行检测和观测。
- d) 水位观测应在降水前测初始水位，降水中定期观测，雨季应增加观测频率。

8.5.6 降水过程中，应加强井点降水系统的维护和检查，不间断抽水。拆除多层井点应自底层开始逐层向上进行，下层井点拆除期间，上部各层井点应继续抽水。

8.6 地表重力深井降水

8.6.1 井位布置应符合下列规定：

- a) 降水井应根据施工进度集中施作，施作顺序为靠近掌子面的井先实施，由近及远，钻孔深度满足降水需求。
- b) 井位应详细调查核实场区地下管线分布情况，避开各种障碍物，当无法确定时可采用人工开孔探坑的方法探明。

8.6.2 钻井可采用正反循环钻工艺，钻进过程中准确量测初见水位和静止水位，应做好钻探记录。

8.6.3 深井填料要具有一定的磨圆度，应避免填料速度过快或不均造成滤管偏移及滤料在孔内架桥现象。

8.6.4 下管、填料完成后应立即进行洗井，洗井要达到“水清砂净”；洗井后应及时补充滤料，实际填料量不小于理论计算量的 95%。

8.6.5 抽水设备应进行定期保养，不得随意停抽，宜采用自动化监测方法实时监测地下水位动态。

8.6.6 降水群井应建立洞内和地表沉降监测点，进行监测，出现异常应及时采取相应措施。

8.7 反坡排水

8.7.1 施工排水系统应根据隧道预测涌水量、纵坡、辅助坑道设置、施工任务划分对周围环境的影响等合理设置管路、泵站、供电等排水系统。

8.7.2 反坡施工时，根据水量大小、坡度、距离和设备管线布置情况，应采用间隔接力方式排出洞外。

8.7.3 设置隧道及辅助坑道的排水泵站时，主排水泵站和辅助排水泵站位置、排水能力、集水坑的有效容积应满足现场排水疏干需求。

8.7.4 长大隧道在地下水发育地段进行反坡施工时，排水系统应具有两套独立的供电系统。

8.7.5 反坡排水时，配备抽水机的抽水能力应大于预测最大涌水量的 1.2 倍，应备有富余的抽排水系统。

8.8 清污分流

8.8.1 应综合出水量、管线坡度、设备配置等在仰拱至掌子面间建立污水收集站；衬砌完段落建立清水收集站。

8.8.2 施工废水经集水坑重力或泵引至废水排水沟，排水沟内设置拦水闸板进行清污隔离，实现清污分流排出洞外。

8.8.3 污水处理实现了对石油类物质、悬浮物等分离与去除。

8.8.4 施工期间富水隧道洞口应建立具有混凝、沉淀、过滤等功能的污水处理设备。

9 开挖方法

9.1 一般规定

9.1.1 高压富水隧道施工方法的选择应根据地质条件、断面大小、设备条件、降排水及超前预注浆方案等因素综合确定，宜采用台阶法或分部开挖法等。

9.1.2 大断面隧道可根据断面形状进行竖向、横向或横竖结合综合分部进行开挖，依照结构安全结合小型机械化配套确定分部断面大小，小断面宜采用台阶法开挖，各分部开挖时周边轮廓圆顺，钢架接头连接牢固。

9.1.3 隧道开挖后，应及时喷射混凝土封闭围岩，及早完成初期支护。采用分部开挖，初期支护设有钢架时，下部开挖后应及时安装钢架，严禁拱脚长时间悬空。

9.1.4 采用分部法施工，临时支撑的拆除应在初期支护封闭成环，通过监控量测确认稳定后进行，一次拆除长度不应超过 15m。拆除过程应加强监控量测。

9.1.5 各分部钢架基脚处应施作锁脚锚杆(管)或采用扩大拱脚等措施，减少拱脚下沉量。

9.1.6 在施工组织上应做到快挖、快支、快封闭，使结构尽早成环。

9.2 台阶法

9.2.1 应根据围岩条件合理确定台阶长度和高度。台阶长度不宜过长，宜控制在 1 倍洞径以内。

9.2.2 台阶形成后，左右侧宜交错进行，各台阶开挖支护宜平行作业。

9.2.3 循环进尺应根据围岩的地质条件、自稳能力和初期支护钢架间距合理确定。

9.3 分部开挖法

9.3.1 中隔壁法施工开挖循环进尺不宜大于钢架设计间距，同层左右两侧错开 10m~15m，单侧开挖应采用短台阶，台阶长度 3m~5m，各部施工应设置临时仰拱步步成环。

9.3.2 双侧壁导坑法施工应先开挖隧道两侧导坑，再开挖中部剩余部分，导坑开挖应超前中部 10m~15m，宽度宜为 1/3 隧道宽度，侧壁导坑、中部开挖应采用短台阶，台阶长度 3m~5m，开挖循环进尺不宜大于钢架设计间距，必要时留核心土。

9.4 步距管理

9.4.1 每循环开挖支护进尺应符合下列规定：

a) V级围岩掌子面每循环1榀钢架间距，IV级围岩掌子面每循环不大于2榀钢架间距，仰拱开挖循环进尺不大于3m。

b) 仰拱距开挖工作面距离应尽量缩短，V级围岩初支封闭成环位置距离掌子面不应大于35m；二次衬砌应及时施作，距掌子面的距离IV级围岩不应大于90m、V级围岩不应大于70m。

9.4.2 隧道步距控制指标应按地质条件、监控量测数据等情况，具体分析判定。

10 监控量测

10.1 一般规定

10.1.1 开工前应根据设计及现场情况编制监控量测方案，内容包括：量测项目、量测仪器选择、测点布置、量测频率、数据处理、信息反馈、组织机构、管理体系等。

10.1.2 监控量测应作为工序纳入施工管理，由专业人员进行监控量测，贯穿于施工的全过程。

10.1.3 监控量测应及时分析反馈，为施工提供有关围岩稳定性、支护可靠性、二次衬砌合理施作时间、围岩级别及支护参数调整、施工方法改变的信息和依据。

10.1.4 现场量测仪器，应根据量测项目及测试精度选用。宜选择简单适用、稳定可靠、操作方便、量程合理、便于进行结果处理和分析的测试仪器。

10.2 量测内容和方法

10.2.1 洞内应测项目，各测点宜在靠近掌子面、不受爆破影响范围内尽快安设，初读数应在每次开挖后 12h 内、下一循环开挖前取得，最迟不得超过 24h。

10.2.2 对各项监控量测结果进行动态管理，随时掌握地质情况和支护信息，根据动态管理曲线，指导隧道施工，量测资料全部纳入竣工文件资料备查。

10.2.3 富水隧道施工安全监控量测项目可分为应测项目和选测项目，应测监测项目根据富水类型确定，选测监测项目应根据现场情况结合设计、施工等需要确定，具体按表 1 富水隧道施工安全监测项目选取。

表1 富水隧道施工安全监测项目

序号	监控量测项目	富水岩溶	富水断层	富水裂隙	富水砂土
1	洞内、外观察	△	△	△	△
2	钻孔水压力	△	△	△	△
3	钻孔水量	△	△	△	□
4	孔隙水压力	△	△	△	△
5	水量	△	△	△	□
6	掌子面变形	△	△	□	△
7	拱顶下沉	△	△	△	△
8	净空变化	△	△	△	△
9	地表沉降	△*	△*	△*	△*
10	拱脚下沉	△*	△*	△*	△*
11	拱脚位移	△o	△o	△o	△o
12	围岩内部位移	□	□	□	△
13	地应力	□	□	□	□
14	围岩压力	□	□	□	△
15	初期支护和围岩接触压力	□	□	□	△
16	二次衬砌内力	□	□	□	□
17	隧底隆起	□	□	□	△
18	锚杆轴力	□	□	□	□
19	拱架内力	□	□	□	□
20	混凝土应力	□	□	□	□
21	爆破振动	□	□	□	□

注：△表示应测项目；△*表示隧道浅埋段应测项目；△o表示隧道深埋段应测项目；□表示选测项目

10.2.4 隧道施工中出现下列情况之一时，应立即停工，采取措施进行处理：量测数据有不断增大的趋势；支护结构变形过大或出现明显的受力裂缝且不断发展；时态曲线长时间没有变缓趋势。

10.2.5 应测项目应按照相关行业监控量测技术标准要求进行断面设置、布点，确定量测频率，进行数据分析，及时反馈。

10.3 自动化监测

10.3.1 自动化监测系统由感知层、采集层、传输层、云服务器和人机交互几部分组成，通过物联网、云计算、传感器、无线通信等技术，组成一套智能、安全、快捷的隧道健康自动化在线监测系统，通过无线网络或有线网络将数据实时传输，提供有效的数据依据和安全保障。

10.3.2 自动化监测主要由变形监测、受力监测及环境监测组成。变形监测包括拱顶沉降、周边收敛、围岩内部位移；受力监测包括应力监测、锚杆轴力监测、土压力监测、裂缝监测；环境监测包括温湿度监测、有害气体监测、水质水量监测。

10.3.3 高压富水隧道对水量、水质等宜选用自动化监测方法。

11 安全及应急管理

11.1 一般规定

11.1.1 应建立应急组织机构，建立、健全应急工作责任制。

11.1.2 富水隧道，施工前应对进洞作业人员进行安全生产制度培训。

11.1.3 隧道各作业面人员的逃生路线应事先作好规划，逐级进行交底和组织演练。

11.1.4 高风险隧道应安装防灾声光报警装置，报警装置应形成系统，一旦有灾害，预警系统立即发出警报，传给洞口值班室，值班室立即启动应急通信、应急照明，指挥洞内人员安全撤离。

11.2 专项应急预案

11.2.1 应急救援预案应包括下列内容：

- a) 工程概况。
- b) 可能发生的故事类型及其后果的严重程度。
- c) 组织机构及职责。
- d) 预警与预防。
- e) 信息报告程序。
- f) 分级响应程序。
- g) 救援方案及措施。
- h) 物资和装备等保障。

11.2.2 救援预案的演练应半年至少组织一次，对预案演练效果进行评估，分析存在的问题，修改完善救援预案。

11.2.3 应急救援预案应充分考虑社会应急资源，与地方政府、上级主管单位以及相关部门的预案无缝衔接。

11.3 预警与应急系统

11.3.1 视频监控系统应实时无误地反映施工现场情况，准确掌握施工现场情况，及时发现施工隐患，为提前防患做好准备。

11.3.2 声光报警器系统应在第一时间警报施工人员撤离现场，为现场施工人员赢得时间，减少伤亡。系统由应急报警按钮、声光报警器、报警装置、报警主机、系统软件等组成。

11.3.3 高风险富水隧道内的施工地段、隧道内其它有人值班地段设置公共通讯设备，在隧道洞口值班室设置通讯设备，构成以洞口值班员为中心的应急通信系统。

11.3.4 隧道作业面应安装警报、通信装置，符合下列规定：

- a) 视频监控系统应实时无误地反映施工现场情况，准确掌握施工现场情况，及时发现施工隐患，为提前防患做好准备。
- b) 设置警报设备的场所，应有应急照明，在停电时能够识别。
- c) 作业面应配备手动或自动警报设备、旋转灯、扩音器、口哨等，组合使用，互为备用，其性能应可靠。
- d) 使用电源的警报设备应配置备用电源。

11.4 应急逃生

- 11.4.1 正洞、辅助坑道、横通道应配置足够数量和亮度的照明指示, 利于洞内人员逃生。
- 11.4.2 富水隧道掌子面应配置救生服、救生筏、救生圈、逃生爬梯, 逃生线路应安装应急指示灯、应急报警系统, 做好应急演练。
- 11.4.3 发生涌水时, 应启动报警系统, 发出警报信号, 迅速切断电源, 启动应急照明, 作业人员应立即沿逃生路线迅速向洞外或避难所撤离; 当涌水量较大时, 人员可利用事先准备的救生圈皮划艇等逃生。

11.5 应急救援

- 11.5.1 应急救援应配备足够数量的纺织袋、麻绳、砂袋、方木、木板、工作灯等应急物资。
- 11.5.2 应对从业人员进行应急救援相关知识和技能的培训、教育, 应急救援培训应包括下列内容:
 - a) 潜在危险的性质和对健康的危害。
 - b) 应急救援程序。
 - c) 必要的自救及互救知识。
 - d) 预先指定的主要及备用逃生路线、集合地点及各种避难急救场所位置。
 - e) 各种警报含义, 掌握警报设备、通信装置、避难器具等的使用方法。

12 运营维护

- 12.1.1 富水隧道运营维护应遵循安全、维修方便的基本原则。
- 12.1.2 高压富水隧道运营阶段应加强运营维护管理, 应对排水设施应定期进行清理和疏通, 必要时对富水段落进行监测。
- 12.1.3 运营期间应对隧道富水段线路状态、衬砌结构、泄水洞、地表水及地下水情况等进行检查、观察。
- 12.1.4 富水隧道排水系统应检查、维护, 及时清淤, 排水畅通。
- 12.1.5 富水隧道结构变形、渗水严重等特殊地段, 应重点监测, 采取处置措施。
- 12.1.6 富水隧道竣工交验时, 建设单位应组织参建各方编制残余风险报告, 主要内容应包括不同富水区段开挖揭示的富水情况工程处理措施、衬砌及钢筋、残余风险等级、运营维护注意事项等。
- 12.1.7 富水隧道运营监测设备安装应方便传感器的更换和维护, 监测系统数据传输应采用无线组网方式, 满足实时传输要求。

附 录 A

(资料性)

开挖工作面地质状况记录表

开挖工作面里程								埋深 (m)								
地层岩性				围岩类别	设计			饱和单轴抗压强度 R _b (MPa)	极硬岩	硬岩	较软岩	软岩	极软岩	取样编号	试验编号	
					施工				>60	30~60	15~30	5~15	<5			
开挖工作面上围岩岩体结构特征	层理	产状		单层厚度 (m)		层面特征			与隧轴夹角							
	节理裂隙	组次	产状	间距 (m)	长度 (m)	缝宽 (m)	充填物	与隧轴夹角	结构面与隧道轴线关系图							
		1														
		2														
		3														
		4														
	断层	产状		破碎带宽度 (m)			破碎带特征		与隧轴夹角		纵波速度 (m/s)					
左侧壁								右侧壁								
侧壁围岩岩体结构特征	层理	产状		单层厚度 (m)		层面特征			层理	产状		单层厚度 (m)		层面特征		
	节理裂隙	组次	产状	间距 (m)	长度 (m)	缝宽 (m)	充填物	与隧轴夹角	节理裂隙	组次	产状	间距 (m)	长度 (m)	缝宽 (m)	充填物	与隧轴夹角
		1								1						
		2								2						
		3								3						
		4								4						
	断层	产状		破碎带宽度 (m)			破碎带特征		断层	产状		破碎带宽度(m)			破碎带特征	
地下水	涌水位置		涌水量[L/ (min·10m)]		无水	滴水	线状	股状	含泥砂情况	侵蚀类型		取水样编号	试样编号			
					<10	10~25	25~125	>125								
稳定性	洞周	稳定			拱部掉块	边墙掉块	拱部坍塌	边墙坍塌	塌方>10m³			塌方<10m³				
	掌子面	稳定			拱部坍塌			开挖工作面挤出	开挖后至掉块或坍塌的时间							
侧壁描述								开挖工作面素描				工程措施及有关参数				
左侧壁					右侧壁			开挖工作面								
施工方签字								年 月 日		监理签字				年 月 日		