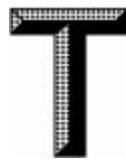


ICS 93.060
CCS P 21

团 体 标 准



T/CSRME 034—2023

隧道岩溶堵水注浆技术规程

Technical Specification for karst water Plugging Grouting of Tunnel

2023-07-01发布

2023-08-01实施

中国岩石力学与工程学会 发布

中国岩石力学与工程学会

岩学字〔2023〕122号

关于批准发布《隧道岩溶堵水注浆 技术规程》团体标准的公告

各有关单位：

根据《中国岩石力学与工程学会团体标准管理办法》的相关规定，现批准发布一项团体标准。标准编号和名称如下：

1. T/CSRME034—2023《隧道岩溶堵水注浆技术规程》

上述标准自2023年7月1日发布，自2023年8月1日起实施。

现予公告！

中国岩石力学与工程学会

2023年6月29日

前 言

本规程按照《工程建设标准编写规定》给出的规则起草。

本规程根据中国岩溶地区隧道堵水的发展状况,在广泛调研的基础上,总结近年来岩溶地区隧道堵水成功经验,参考有关国内外先进技术,对隧道岩溶堵水勘察、设计及施工等有关内容进行了规定。

本规程共 9 章和 5 个附录,主要技术内容有:

- 一岩溶涌水勘察;
- 一岩溶堵水注浆设计;
- 一岩溶堵水注浆试验;
- 一岩溶堵水注浆施工;
- 一质量检查与效果评价。

本规程由中国岩石力学与工程学会归口管理。

本规程技术条款由中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司负责解释,在采用过程中,如有意见或建议,请寄送中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司(地址:贵州省贵阳市观山湖区兴黔路 16 号,邮编:550081,电子邮箱:12954993@qq. com),以便修订时参考。

主编单位:中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

参编单位:中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院岩土工程有限公司
中国水电基础局有限公司
云南省水利水电勘测设计研究院
湖南宏禹工程集团有限公司

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司
贵州路桥集团有限公司

河海大学

贵州大学

四川共拓岩土科技股份有限公司

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

贵州高速公路集团有限公司

主要起草人：余 波 曾树元 王 静 朱代强

刘松富 王锦国 黄 勇 何 桥

吴述斌 张位华 郑克勋 吕联亚

钟久安 黄 磊 张 洋 王国丰

邓建祥 张朝强 杨东升 赵明华

赵燕容 柏立懂 曾 耀 臧 鹏

邬忠虎

主要审查人：杨晓东 宋胜武 刘文连 郭熙灵

薛 强 王文远 蒋良文 彭春雷

黄理兴 李正兵 张可能 蔡正银

周黎月 徐速超 吴顺川 李建林

李利平 杜宇本 齐庆新

目 次

1 总 则	1
2 术 语	2
3 基本规定	3
4 岩溶涌水勘察	5
4.1 一般规定	5
4.2 前期岩溶水文地质专题勘察	5
4.3 施工期岩溶涌水补充勘察	6
5 岩溶堵水注浆设计	8
5.1 一般规定	8
5.2 堵水注浆材料	9
5.3 管道型岩溶堵水注浆设计	10
5.4 裂隙型岩溶堵水注浆设计	12
6 岩溶堵水注浆试验	15
6.1 一般规定	15
6.2 堵水注浆试验	15
7 岩溶堵水注浆施工	17
7.1 一般规定	17
7.2 注浆设备和机具	17
7.3 岩溶堵水注浆施工准备	18
7.4 管道型岩溶堵水注浆施工	20
7.5 裂隙型岩溶堵水注浆施工	23
7.6 堵水注浆施工安全监测	25
8 质量检查与效果评价	27

8.1 一般规定	27
8.2 注浆岩体质量检查	27
8.3 堵水效果评价	28
9 资料整编	29
附录 A 堵水注浆工作流程	30
附录 B 隧道岩溶涌水量预测和评价方法	31
附录 C 隧道岩溶物探方法	34
附录 D 岩溶管道封堵体厚度计算方法	35
附录 E 堵水注浆施工记录	36
本规程用词说明	37
引用标准名录	38
条文说明	39

contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	3
4	Investigation For karst water Gushing	5
4.1	General Requirements	5
4.2	special survey on karst Hydrogeology In The Early stage	5
4.3	special survey of karst water lufLOW During construction period	6
5	Design of karst water plugging Grouting	8
5.1	General Requirements	8
5.2	water plugging Grouting Materials	9
5.3	Design of water plugging Grouting of karst conduit	10
5.4	Design of water plugging Grouting of Grike	12
6	Grouting Test For karst water plugging	15
6.1	General Requirements	15
6.2	water Blocking GroutingTest	15
7	construction of karst water plugging Grouting	17
7.1	General Requirements	17
7.2	Grouting Equipment and Tools	17
7.3	construction preparation of karst water plugging Grouting ...	18
7.4	construction of water plugging Grouting of karst pipe	20
7.5	construction of water plugging Grouting of karst Fractures	23
7.6	safety Monitoring of water Blocking Grouting construction ...	25
8	Quality Inspection and Effect Evaluation	27

8.1 General Requirements	27
8.2 Quality Inspection of Grouting Rock Mass	27
8.3 Evaluation of water Blocking Effect	28
9 Data Compilation	29
Appendix A work flow of karst water plugging Grouting	30
Appendix B prediction and Evaluation Methods for karst water Inflow of Tunnel	31
Appendix C List of Application of Tunnel karst Geophysical Methods	34
Appendix D Calculation Method For The Thickness of karst plugging sealing Body	35
Appendix E Record of water plugging Grouting Construction ...	36
Explanation of wording in This standard	37
List of Quoted standards	38
Explanatory of provisions	39

1 总 则

1.0.1 为规范隧道岩溶堵水注浆工程勘察、设计、试验、施工、质量检查与效果评价、资料整编等工作,保障隧道岩溶堵水注浆工程质量和安全,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于岩溶地区的公路、铁路、轨道交通、市政、水利、水电和矿山等领域采用钻爆法施工的隧道岩溶堵水注浆。

1.0.3 隧道岩溶堵水注浆应制定和采取环境保护、职业健康和安全生产措施。

1.0.4 隧道岩溶堵水注浆除应符合本规程规定外,应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 岩溶堵水注浆 karst water plugging grouting

采用注浆方式对岩溶渗流通道进行涌水封堵的工程措施。

2.0.2 岩溶管道 karst conduit

碳酸盐岩或其他易溶岩体中发育的直径或宽度大于等于 200 mm 的管状、缝状地下水渗流通道。

2.0.3 岩溶裂隙 karst fissure

碳酸盐岩或其他易溶岩体中沿结构面被地下水溶蚀后形成直径或宽度小于 200mm 的缝状或隙状空隙。

2.0.4 隐伏岩溶 covered karst

隧道洞壁外或隧道掌子面前端未开挖揭露的岩溶管道或岩溶裂隙。

2.0.5 揭露型岩溶 exposed karst

隧道开挖揭露的溶洞、岩溶管道或岩溶裂隙。

2.0.6 阻水止浆结构 water blocking and grout plugging structure

为防止地下水或浆液涌出，并承担注浆压力而预留的天然岩体或设置的人工结构。

3 基本规定

3.0.1 隧道出现或将出现影响施工安全、隧道衬砌结构和隧道运行安全、周边水环境变化等不能采取引排的岩溶涌水，应采取注浆方式进行堵水处理。

3.0.2 隧道岩溶堵水注浆应按岩溶涌水勘察、设计、试验、施工、质量检查与效果评价程序开展，堵水注浆工作流程参见附录 A 的图 A.1。

3.0.3 隧道岩溶堵水注浆设计前应收集工程区已有的地形地貌、岩溶水文地质、工程地质、隧道布置及结构设计、施工要求、运行要求等资料。

3.0.4 隧道宜在开挖揭露前对岩溶涌水进行封堵处理，岩溶涌水开挖揭露后宜按“变动为静、可控引排、综合治理”的原则进行堵水处理。

3.0.5 隧道岩溶堵水注浆设计、材料选择和施工工艺应遵循因地制宜、安全可靠、保护环境、经济合理的原则。

3.0.6 根据岩溶涌水通道形态、涌水压力及涌水量，可按表 3.0.6 对岩溶涌水类型进行划分。

表 3.0.6 岩溶涌水类型划分表

岩溶涌水类型	涌水通道形态	涌水压力 (Mpa)	涌水量 (m ³ /d)
1类	管道型	≥1.0	≥10000
2类		<1.0	
3类		≥1.0	<10000
4类		<1.0	

表 3.0.6 岩溶涌水类型划分表 (续)

岩溶涌水类型	涌水通道形态	涌水压力 (Mpa)	涌水量 (m ³ /d)
5类	裂隙型	≥ 1.0	< 10000
6类		< 1.0	

3.0.7 岩溶地区隧道施工过程中,应进行超前探测,预报是否存在隐伏岩溶和难以处理的高压或大流量岩溶涌水。

3.0.8 隧道岩溶堵水注浆施工过程中,应对施工影响洞段进行变形、渗流监测,并编制专项安全施工方案。

3.0.9 隧道岩溶堵水注浆应根据注浆试验、超前探测、施工过程中取得的岩溶水文地质资料进行动态设计和信息化施工。

4 岩溶涌水勘察

4.1 一般规定

4.1.1 岩溶水文地质条件复杂地区隧道建设应开展岩溶涌水专题勘察,并进行岩溶涌水预测与评价。隧道岩溶涌水量预测和评价方法可参照附录 B。

4.1.2 岩溶涌水专题勘察分为前期岩溶水文地质专题勘察和施工期岩溶涌水补充勘察。

4.1.3 地表岩溶水文地质调查与测绘范围应包含涌水洞段所在的岩溶地下水流动系统的补给区、径流区和排泄区。

4.1.4 岩溶涌水专题勘察应根据查明的地下水位与隧道涌水部位高差、涌水部位与地表水的联系或隧道开挖揭露的涌水实测数据,结合岩溶涌水预测与评价,进行岩溶涌水类型划分,岩溶涌水类型的划分应符合本规程 3.0.6 条的规定。

4.1.5 隧道岩溶涌水勘察应提交专题勘察报告。勘察报告应包含工程概况、基本地质条件、岩溶水文地质条件、岩溶地下水系统划分、岩溶涌水预测与评价、处理措施建议等内容,并附岩溶水文地质平面图和相关剖面图。

4.2 前期岩溶水文地质专题勘察

4.2.1 岩溶水文地质条件复杂地区,前期勘测设计阶段应开展隧道岩溶水文地质专题勘察,专题勘察应包括下列内容:

- 1 查明隧道区地层结构及构造、可溶岩洞段岩溶发育特征及水文地质条件,划分岩溶水文地质单元与岩溶地下水流动系统,分析岩溶发育的空间分布特征及与隧道的关系。

- 2 划分岩溶洞段围岩类别,分析岩溶发育洞段和涌水洞段,预测岩溶涌水类型和涌水动态特征,预估涌水量和涌水压力。

3 评价隧道岩溶涌水对施工、衬砌或支护结构、周边环境的影响，并针对不同的岩溶涌水类型提出处理建议。

4.2.2 前期岩溶水文地质专题勘察，宜采用岩溶水文地质调查与测绘、物探、钻探和水文地质试验等综合方法，专题勘察应符合下列规定：

1 在岩溶水文地质调查与分析基础上，采用电法、电磁法等物探方法探测主要隐伏岩溶、含水构造溶蚀带、节理裂隙密集带的发育规律。隧道岩溶物探方法可参照附录 C 的规定进行选择。

2 采用钻孔验证岩溶水文地质分析及物探测试成果，钻孔应布置在地形低洼、岩溶强烈发育、地下水位洼槽或变幅较大部分及隧道洞体范围外岩溶主发育方向。

3 根据涌水预测及分析需要，前期可采用岩溶泉井水动态观测、钻孔压水试验、钻孔注水试验、水位观测或连通试验等。

4 岩溶水文地质钻孔宜综合利用，开展相应的物探和水文地质测试。

5 隧道洞壁周边的勘探钻孔应进行回填封堵，地下水位长期观测孔应采取孔口保护措施。

4.3 施工期岩溶涌水补充勘察

4.3.1 施工期开挖揭露的岩溶涌水影响施工或运行安全，或造成地表岩溶塌陷、水体泄漏、地表水和井泉干涸等重大岩溶环境水文地质问题时，应开展施工期岩溶涌水补充勘察。补充勘察应包括下列内容：

1 应在前期勘察工作的基础上，针对可能发生岩溶涌水、突泥等洞段开展超前地质预报。超前地质预报宜采取地质分析、超前物探、超前钻孔、地下水测试等多种方法综合判定。

2 施工期应针对前期预测的岩溶涌水洞段，根据开挖揭露的地质条件，结合超前地质预报成果，复核、分析前期岩溶涌水评价成果。

3 对涌水后会产生影响施工或运行安全的隐伏岩溶，在施工

期岩溶涌水补充勘察时,应分析隐伏岩溶与隧道的空间关系、外水压力,评价阻水岩体质量,提出预留阻水岩体的安全厚度、涌水预防措施及处理建议。

4.3.2 对开挖揭露的岩溶涌水,应结合前期勘察资料和施工揭露的地质条件,补充相关岩溶调查、水文地质测试、物探和验证性钻孔等工作,进一步查明岩溶形态的空间分布、规模及与隧道的关系、地下水补水和排泄、与地表水的水力联系、涌水量与涌水压力、涌水动态、塌陷坑、井泉水位水量变化特征,划分岩溶涌水通道类型,补充勘察应符合下列规定:

1 施工期岩溶涌水补充勘察可采用探地雷达、地震勘探、弹性波测试、声波或电磁波 CT等物探方法,查明主要隐伏岩溶的位置、规模、充填情况、充水情况、地下水位、岩体完整性。

2 施工期应根据隧洞涌水情况及影响,及时开展涌水量、涌水压力、涌水动态变化、地表水和井泉变化等监测。

3 施工期隧道内岩溶涌水钻探宜与超前地质预报相结合,主探测方向应根据前期勘察和超前地质预报成果确定;掌子面前方岩溶强烈发育或水文地质条件复杂时,可在掌子面布置放射状钻孔;有相邻隧道或地下空间时,可利用相邻隧道或地下空间布置钻孔。

4 结合岩溶管道的封堵施工,可布置探洞追踪岩溶管道,查明其空间位置及规模。

5 岩溶堵水注浆设计

5.1 一般规定

5.1.1 隧道岩溶堵水注浆设计应与隧道工程总体防渗布置相结合,渗流控制标准应满足工程总体渗流控制或隧道运行及结构安全的要求。

5.1.2 隧道岩溶堵水注浆设计应包括堵水注浆材料选择、钻孔布置、注浆工艺及参数设计、质量检查及效果评价标准等内容。

5.1.3 隧道岩溶堵水注浆设计,应考虑下列因素:

1 有明确地表水补给源的隧道段,应采取地表堵、截、排措施。

2 季节性涌水隧道段,宜在枯水期进行堵水,丰水期堵水应考虑外水压力的影响。

3 岩溶涌水类型。

5.1.4 隧道岩溶堵水注浆设计应结合隧道类型及功能要求、涌水类型、涌水通道与隧道的空间关系、围岩质量、岩溶充填物及性状、是否开挖揭露等,按涌水类型,初拟注浆孔布置及注浆顺序、材料、浆液配合比、工艺方法及参数等,并应符合下列要求:

1 1类、2类、3类、5类堵水注浆应在实施阶段进行生产性试验,验证堵水注浆方案的可行性和合理性,根据试验成果调整堵水注浆方案及初拟的各项参数。

2 4类、6类堵水注浆可按工程类比法拟定堵水方案,在实施阶段初期结合施工情况进行调整。

5.1.5 隧道岩溶堵水注浆设计应评估注浆施工造成的地下水变化对工程相关建(构)筑物及周边环境的影响。

5.1.6 隧道岩溶堵水注浆施工前,可利用部分钻孔在涌水部位周边实施补充超前探查及物探测试。

5.1.7 隧道岩溶堵水注浆效果可采用渗水量、灌后注浆岩体透水率进行评价,并应符合下列要求:

1 隐伏型岩溶堵水注浆,阻水岩体内检查孔压水试验透水率应满足隧道防渗与安全要求,其他按常规防渗及固结注浆标准进行评价。

2 开挖揭露型堵水注浆,堵水部位或洞段渗水量应小于隧道设计相应允许渗漏量。

3 堵水注浆不应应对周边环境造成不利影响。

5.2 堵水注浆材料

5.2.1 隧道岩溶堵水注浆的材料选择应根据隧道功能要求、涌水类型、涌水量、涌水压力、环境保护、注浆方法及工艺等因素综合确定。

5.2.2 管道型岩溶堵水材料,可选用水泥黏土浆液、高流态细石混凝土、混合砂石浆、混合砂浆、膏状浆液、混合水泥浆液、水泥浆液、沥青浆液、复合浆液等,模袋注浆材料宜采用水泥浆液。注浆材料采用水泥浆液、水泥混合浆液、混合砂浆时,水灰比可选用1:1、0.8:1、0.5:1,涌水压力大于1Mpa时,可在浆液中添加速凝剂、稳定剂或絮凝剂。

5.2.3 裂隙型岩溶堵水材料,可选用水泥浆液、水泥混合浆液、混合砂浆、膏状浆液、化学浆液、高分子材料等。

5.2.4 1类、3类堵水注浆可采用具有抗冲蚀性高流态细石混凝土、具有自堆积性的混合砂石浆或混合砂浆、模袋注浆、膏状浆液或热沥青浆液;2类、4类堵水注浆可采用混合砂浆、膏状浆液、模袋注浆。

5.2.5 堵水注浆原材料应符合《岩溶注浆工程技术规范》T/CSRME 003的规定。

5.2.6 浆液中添加外加剂的品种和数量,应通过试验确定,并应符合环保及耐久性要求。

5.3 管道型岩溶堵水注浆设计

5.3.1 开挖揭露的管道型岩溶涌水,堵水注浆设计应符合下列要求:

1 设置引排孔,并在孔口预埋带阀门的引排管,对涌水进行可控引排。引排孔孔径应大于注浆孔,孔深应大于封堵体并进入岩溶管道。

2 在开挖揭露部位浇筑混凝土阻水止浆结构对岩溶管道进行封堵。

3 对阻水止浆结构至引排管间岩溶管道进行注浆回填,形成封堵体。

4 对封堵体接缝及周边岩体进行加固注浆,注浆材料一般采用水泥浆液。

5 关闭引排管,对引排孔进行注浆,注浆材料可采用水泥混合浆液、水泥浆液等。

5.3.2 开挖揭露的季节性岩溶管道,宜浇筑混凝土作为封堵体对岩溶管道进行封堵,并对岩溶管道周边岩体进行固结注浆,加固后洞周的封堵体和周边岩体应能承受丰水期的外水压力。

5.3.3 1类、2类、3类堵水注浆钻孔孔口应设置引流泄压及安全闭锁装置。

5.3.4 岩溶管道封堵体最小厚度可按附录 D 的式(D.0.1-1)进行计算。

5.3.5 开挖揭露的岩溶管道阻水止浆结构厚度,1类不宜小于1倍隧道洞径或 5 m, 3类不宜小于 0.5 倍隧道洞径或不宜小于 4 m, 2类和 4类不宜小于 3 m。

5.3.6 注浆孔孔径根据堵水工艺、注浆材料确定,并应符合下列规定:

1 水泥注浆孔终孔直径不宜小于 76mm。

2 采用热沥青浆液作为注浆材料时,注浆孔直径不宜小于 110mm。

3 采用混凝土、混合砂石浆或级配料回填时,注浆孔直径不宜小于 150mm。

4 采用模袋注浆时,注浆孔直径应根据岩溶管道尺寸及模袋大小确定。

5.3.7 管道型岩溶堵水注浆,宜先进行岩溶管道回填注浆,再对接触带及周边溶蚀破碎岩体进行系统注浆防渗及加固。

5.3.8 开挖揭露有黏土、粉细沙、淤泥充填的岩溶管道,可先采用高压风水联合冲洗的方式对岩溶管道进行置换处理,再进行堵水注浆。

5.3.9 岩溶管道位于开挖掘进前方,宜沿隧道洞轴线布置放射状堵水钻孔;岩溶管道位于隧道周边,宜在隧道壁布置径向堵水钻孔;对有明确空间分布的岩溶管道或溶缝、溶隙,应根据涌水通道的空间展布确定排水孔及注浆孔的布置方式。

5.3.10 管道型岩溶堵水注浆孔间排距应根据岩溶管道与隧道的空间关系、岩溶管道和隧道断面尺寸、注浆材料的扩散范围等综合确定。

5.3.11 岩溶管道内宜全孔一次注浆,周边岩体部分可分段注浆。

5.3.12 隧道岩溶堵水注浆压力应根据隧道埋深、岩体条件、浆液性能及涌水压力等因素综合确定,并应符合下列规定:

1 注浆压力应控制在围岩、阻水止浆结构、衬砌或支护结构允许承受范围内。

2 注浆压力大于 1 Mpa 时,应在注浆岩体或结构部位设置变形监测装置。

3 注浆压力应大于 1.2倍涌水压力。

5.3.13 会击穿围岩造成隧道塌方、涌水而影响施工及运行安全的隐伏型岩溶管道应进行超前预注浆,并符合下列规定:

1 对超前预报有明确岩溶管道的,应进行超前孔钻孔探测,准确查明岩溶管道发育情况。超前探孔应镶铸孔口管,孔口应安装分流泄压装置。

2 根据超前探孔探测成果,阻水止浆岩体厚度不满足设计要

求的，宜浇筑混凝土止浆结构或采用注浆方式形成满足设计厚度的混合阻水止浆结构。

3 阻水止浆结构形成后，宜在封堵处理范围 1 m外钻孔安装引流泄压管，孔口设置分流泄压装置，再进行岩溶管道回填压密注浆。

4 1类、3类堵水注浆宜采用浓浆或速凝浆液进行管道回填，2类、4类堵水注浆宜采用膏状浆液或水泥砂浆进行管道回填，无涌水的岩溶管道可采用细石混凝土进行回填。

5 岩溶管道回填压密注浆完成后，应对岩溶管道发育洞段进行系统防渗注浆处理。

6 超前预注浆可参照《岩溶注浆工程技术规范》T/CSRME 003的规定进行设计。

5.3.14 管道型岩溶堵水注浆结束标准，应符合下列要求：

1 1类、3类采用水泥浆液注浆，当注浆压力达到最大设计压力，注入率不大于 2 L/min后，继续注浆 30min，可结束注浆，当采用速凝浆液进行堵水注浆时，注入率不大于 2 L/min，可结束注浆。

2 2类、4类采用水泥浆液注浆，当注浆压力达到最大设计压力，注入率不大于 1 L/min后，继续注浆 10min，可结束注浆，当采用速凝浆液进行堵水注浆时，注入率不大于 1 L/min，可结束注浆。

3 岩溶通道有充填的，结束时间可适当延长，采用混合砂浆注浆，该段注入率不大于 4 L/min 时，宜继续灌注 10min后结束。

5.3.15 封孔宜符合《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》SL/T 62的规定。

5.4 裂隙型岩溶堵水注浆设计

5.4.1 已开挖揭露的 5类、6类堵水注浆，应符合下列要求：

1 设置引排孔，并在孔口预埋带阀门的引排管。引排孔孔径应大于注浆孔，孔深应大于防渗圈 2 m。

2 在开挖揭露部位浇筑混凝土止水止浆结构。

3 对溶蚀裂隙进行注浆，堵水注浆材料可选用水泥浆液、水泥混合浆液、化学浆液等。

4 关闭引排管，对引排孔进行注浆。

5.4.2 开挖揭露的裂隙型岩溶堵水止水止浆结构厚度，5类不宜小于3m，6类不宜小于2m。

5.4.3 开挖揭露的裂隙型岩溶堵水，注浆孔孔距排距应结合裂隙与隧道的空间关系、隧道断面尺寸、注浆材料在裂隙内的扩散范围等综合确定，并应符合下列规定：

1 裂隙位于掌子面前方时，注浆孔在掌子面上宜沿洞轴向呈伞型放射状布置，孔底间距宜为0.5m~2m，孔深应穿过溶隙后满足孔底距裂隙壁1m。

2 裂隙位于洞周时，注浆孔宜在隧道洞周方向沿径向与裂隙面垂直布置成环形、梅花型，孔底间距宜为0.5m~1.5m，钻孔应与裂隙面大角度相交，孔深应穿过溶隙1m。

5.4.4 开挖揭露的裂隙型岩溶堵水注浆宜分段钻孔注浆，第一段宜为1m~3m，以下各段段长宜为5m~6m，具备一定条件时可延长段长，但最长不应大于8m，裂隙密集发育带注浆段长应缩短。

5.4.5 对会击穿围岩造成隧道塌方、涌水而影响施工及运行安全的裂隙型隐伏岩溶应进行超前预注浆，超前预注浆参照T/CSRME003的规定进行设计。

5.4.6 隧道裂隙型岩溶堵水注浆结束标准，应符合下列规定：

1 涌水压力大于1Mpa时，采用水泥浆液注浆，当注浆压力达到最大设计压力，注入率不大于1L/min后，继续注浆10min，可结束注浆，当采用速凝浆液进行堵水注浆时，注入率不大于1L/min，可结束注浆。

2 涌水压力小于1Mpa时，采用水泥浆液注浆，当注浆压力达到最大设计压力，注入率不大于1L/min后，继续注浆10min，可结束注浆，当采用速凝浆液进行堵水注浆时，注入率不大于1L/min，

可结束注浆。

5.4.7 封孔宜符合《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》SL/T 62 的规定。

6 岩溶堵水注浆试验

6.1 一般规定

6.1.1 1类、2类、3类、5类堵水注浆应开展现场注浆试验，编制试验大纲，提出试验技术及安全要求。

6.1.2 堵水注浆现场试验应包括下列内容：

- 1 注浆原材料、浆液配合比及浆液流变性能。
- 2 钻孔、制浆、注浆及计量等设备的适宜性。
- 3 注浆孔布置方式、孔距与排距等。
- 4 钻孔工艺、孔径、段长、孔深等。
- 5 孔内水位、压水试验等。
- 6 注浆工艺，注浆压力、浆液变换、结束标准等。
- 7 质量检查方法和效果评价标准。

6.2 堵水注浆试验

6.2.1 堵水注浆试验区的选择应符合下列规定：

- 1 试验区应具有代表性。
- 2 应充分考虑水、电、交通及施工干扰等现场条件。
- 3 试验区宜考虑与隧道永久结构相结合，永久隧道试验区不应进行破坏性试验及检查。

6.2.2 注浆试验孔深度应达到岩溶管道部位，数量不宜少于 5 个，检查孔数量不宜少于 2 个，可利用后续注浆孔作为试验孔和检查孔。

6.2.3 试验期间应根据设计及相关规范要求对隧道围岩、衬砌或支护结构和地下水进行监测。

6.2.4 试验区应采用压水试验、物探、钻孔取芯、孔内录像等多种方法对堵水体进行质量检查和堵水效果评价。

6.2.5 试验过程中应及时收集和整理试验成果，适时调整试验方案。

6.2.6 堵水注浆试验成果应包括下列内容：

- 1 试验区岩溶水文地质、工程地质条件的分析评价。
- 2 注浆原材料选择及浆液配制的分析评价。
- 3 注浆设备的适应性分析评价。
- 4 堵水注浆设计参数的分析评价。
- 5 质量检查及效果评价标准。
- 6 试验结论及建议。
- 7 附图、附表。

7 岩溶堵水注浆施工

7.1 一般规定

7.1.1 隧道岩溶堵水注浆施工应根据现场施工条件、设计要求及堵水注浆试验成果编制施工组织设计。

7.1.2 岩溶涌水伴随有围岩坍塌现象时，应待施工段围岩支护安全稳定后，再进行隧道岩溶堵水注浆施工。

7.1.3 注浆作业中止时，孔口应采取保护措施，防止流入污水或落入异物。

7.1.4 注浆压力大于 2 Mpa 注浆孔孔口应设置止浆塞，止浆塞的安全性能应与注浆方式、注浆压力及地质条件相适应。

7.1.5 堵水注浆应积极推行数字化管理，宜采用自动化和智能化控制，初始流动度小于 160 mm 的浆液或多种材料配置的混合浆液，可采用人工记录。

7.1.6 堵水注浆后，宜按隧道后续施工或运行要求进行补强固结注浆，补强固结注浆根据相关行业标准执行。

7.1.7 施工过程中排放的废水、废气、废渣应符合环境保护要求。

7.1.8 施工记录应及时、准确、详细、真实，堵水注浆施工记录内容可按附录 E 执行。

7.2 注浆设备和机具

7.2.1 钻孔设备应根据隧道断面、地层岩性和钻孔参数确定，宜采用冲击或回转式钻机。涌水压力影响钻孔安全时，应采用双卡盘钻机。

7.2.2 制浆机技术性能应与浆液的类型、特性、注浆泵的排量相适应，能保证均匀、连续地拌制浆液，并应满足注浆高峰期的供浆要求。

7.2.3 注浆泵应能满足最大和最小注入率的要求，额定工作压力应大于最大注浆压力的 1.5 倍，压力波动范围应小于注浆压力的 ±20%，双液注浆泵应能按要求的精度调节双液比例。

7.2.4 纯水泥浆、水泥混合浆液注浆宜采用多缸柱塞式注浆泵，低流动性浆液、水泥砂浆、水泥砂浆液灌注可采用螺杆式砂浆泵或可泵送砂石的柱塞泵。

7.2.5 注浆管路应保证浆液流动畅通，并能够承受 1.5 倍的最大注浆压力，注浆管路中的阀门应采用耐高压、耐冲蚀的高强度材质阀门。采用高凝集力浆液时，管径宜大，长度宜短。

7.2.6 注浆泵和注浆孔口处均应安装压力表，压力表量程宜为最大注浆压力的 2 倍~4 倍。压力表与管路之间应设隔浆装置，压力传递应保证灵敏，压力表应按规定进行率定。

7.2.7 注浆自动记录仪应定期进行校验或率定，保证量值准确。

7.2.8 化学注浆的注浆设备及管路应满足抗化学腐蚀的要求。

7.2.9 沥青浆液应用耐热泵输送，必要时可采用双层保温管。

7.2.10 水泥注浆的设备和机具除满足上述要求外，还应符合相关行业规定。

7.3 岩溶堵水注浆施工准备

7.3.1 隧道岩溶堵水注浆施工准备，应包括下列工作：

- 1 熟悉地质资料、设计图纸、技术要求，理解设计意图。
- 2 风、水、电、排水已完备，道路畅通。
- 3 施工测量放样。
- 4 完成生产性试验。
- 5 完成施工组织设计编制及报批。
- 6 完成专项安全施工方案编制及报批。
- 7 完成塌方、突水突泥应急处置及其他安全应急方案编制及报批。

7.3.2 隧道岩溶堵水注浆施工前，应完成下列工作：

- 1 对已开挖揭露的管道型岩溶涌水，堵水注浆施工前应完成

止水止浆结构施工，隐伏型岩溶管道应评估止水岩体厚度及质量是否满足设计要求。

2 1类、3类、5类堵水注浆，施工前应完成变形、渗流监测仪器安装，并取得初始值。

3 根据设计要求进行单元划分。已揭露的岩溶管道洞周注浆单元长度不宜超过 20m，轴向宜按超前或掌子面划分为一个单元，掌子面上超前探孔不应少于 3个。

7.3.3 管道型岩溶堵水注浆前，应完成下列准备工作：

1 复核止水止浆岩体厚度，并对较破碎的止水止浆岩体进行注浆加固。

2 对无涌水的管道空腔进行回填注浆，并对周边溶蚀破碎岩体进行注浆加固。

3 1类、3类堵水注浆，施工前应完成变形、渗流监测仪器安装，并取得初始值。

4 开挖揭露的 2类、4类岩溶管道，宜在设计封堵范围内进行预处理，一般采用混凝土堵头、浆砌石封堵体封闭岩溶管道，再进行管道回填注浆。

5 1类、2类、3类岩溶管道回填注浆，宜在设计堵水注浆范围外设置回填观测孔，孔内预埋钢管，长度宜大于设计封堵范围 1 m，管口安装分流泄压装置。

7.3.4 隧道裂隙型岩溶堵水注浆前，应完成下列施工前准备工作：

1 了解出水点的部位、形状、流量，在出水点安装引水管，并封闭涌水点及周边岩体，测量涌水压力。

2 应对注浆部位溶蚀裂隙的空间展布特征进行钻孔复核，查清溶蚀裂隙的基本特征。

3 经复核，止水止浆岩体抗压性能不满足要求的，应补充设置混凝土止水止浆结构，满足止水止浆体要求，并对止水止浆岩体进行注浆加固。

4 裂隙型岩溶堵水注浆压力大于 1 Mpa 时，应在施工前布置围岩及衬砌支护结构变形监测装置。

5 5类堵水注浆，宜设置钻孔进行深部引流泄压，泄压孔的孔深应大于设计堵水深度 1 m 以上。

6 宜先在溶蚀裂隙发育洞段两端分别进行深孔止水帷幕注浆截渗。

7.3.5 所有设备、机具均应定期维护保养，保证其正常工作状态，并留有合理的备用数量。

7.4 管道型岩溶堵水注浆施工

7.4.1 管道型岩溶堵水钻孔施工应符合下列规定：

1 孔位与设计孔位误差不应大于 10cm，孔深不得小于设计孔深。

2 钻孔孔底偏差不应大于 3 σ 。

3 注浆孔应镶铸孔口管，孔口管长度应根据阻水止浆结构厚度、水头、注浆压力及试验确定，孔口管径应根据终孔孔径要求确定。

7.4.2 钻孔过程应详细记录地层岩性及掉钻、卡钻、塌孔、失水、涌水等异常情况。

7.4.3 堵水注浆钻孔过程中遇岩溶涌水时，应立即停止钻进，测量涌水压力和流量。

7.4.4 堵水注浆钻孔过程中涌沙、突泥的处理，符合下列规定：

1 钻孔过程涌沙、突泥，应立即停止钻孔，在孔口安装引流泄压装置，打开闸阀观测涌沙量，涌沙量较小时，宜在涌水含沙量最小或涌水清洁时安装单向阀反灌。

2 涌沙量较大时，宜在钻孔内下注浆花管或采用扰动喷射钻头对砂土层进行高压注浆处理，待凝后扫孔复灌，直至砂土层胶结达到堵水效果，再进行下一段堵水施工。

3 钻孔突泥时，应立即停止钻孔，在孔口安装封闭装置封闭突泥，立即进行注浆处理，或采用多孔置换注浆，将岩溶管道中的软泥置换到孔外，在管道内形成浆液固结体封堵岩溶管道，再进行下一段堵水施工。

7.4.5 堵水注浆钻孔过程中遇无水的岩溶空腔，宜采用水泥砂浆或高流态细石混凝土对岩溶空腔进行回填，再进行下一段钻孔施工。

7.4.6 管道型岩溶堵水注浆浆液，应符合下列规定：

1 1类、2类、3类堵水注浆浆液，宜采用抗冲蚀膏状浆液、水泥-水玻璃双液浆或其他抗冲蚀浆液，采用普通水泥浆液时，水灰比可采用 0.8：1、0.5：1两个比级。

2 4类堵水注浆浆液，宜采用水泥砂浆或速凝浆液，无涌水的岩溶管道可采用细石混凝土进行管道回填封堵。

7.4.7 注浆压力应根据隧道运行要求、注浆部位的岩体质量、承压水头等情况综合确定，对有涌水的管道型岩溶堵水注浆，注浆压力应大于地下水压力，施工过程中可根据工程实际情况进行调整。

7.4.8 管道型岩溶堵水注浆施工宜在堵水体工作面上由低向高、由内向外，由浅入深分段钻进、分段注浆，采取纯压式注浆法，直至全孔堵水注浆完成。

7.4.9 隧道顶部的 1类、2类、3类、4类堵水注浆，宜分层进行回填注浆，并对隧道顶部岩体进行注浆施工全过程监测，出现变形应立即停止注浆。

7.4.10 岩溶管道回填注浆结束，待凝 72h后，应按设计要求对岩溶管道发育洞段进行系统堵水注浆施工。

7.4.11 开挖揭露岩溶管道后，堵水注浆应符合下列规定：

1 1类、2类、3类堵水注浆，应在围岩较完整的部位浇筑混凝土阻水止浆结构，并安装引水管引排管道涌水。

2 涌水压力较高时，阻水止浆结构宜为楔形堵头，且宜在浇筑部位设置锚杆，引水管的管径及数量宜满足排放涌水量的 1.5倍。

3 阻水止浆结构应预留混凝土回填管和注浆管。

4 阻水止浆结构浇筑完成，强度大于等于 75%后，宜进行止浆体与围岩之间的接触注浆。

5 接触注浆结束后，对止浆结构后方 20m~30m 范围的洞

段进行截水帷幕注浆,防止关闭引水阀时,岩溶管道水绕渗至已开挖的非防水注浆处理洞段。

6 固结注浆结束并检查合格后,关闭引水阀,对止浆结构后的空腔及岩溶管道进行回填。

7 回填注浆结束待凝 48 h 后,再进行系统堵水注浆施工。岩溶管道位于掘进前方的,在掌子面布置放射状钻孔进行轴向系统堵水注浆,岩溶管道位于隧道周边的,在隧道壁布置径向钻孔进行系统堵水注浆。

8 1类、3类堵水注浆,宜引排涌水后浇筑混凝土阻水止浆结构进行堵水注浆处理。

9 2类、4类堵水注浆,可在揭露管道部位埋设引水管,将涌水引排后封闭揭露的岩溶空腔,再进行堵水注浆施工。

10 系统堵水注浆结束后,应对引水管进行注浆封堵。

7.4.12 岩溶管道未开挖揭露时,应按下列要求对影响施工及运行安全的隐伏岩溶进行超前预注浆:

1 对超前预报有明确岩溶管道的,应进行超前孔钻孔探测,准确查明岩溶管道发育情况。超前探孔应镶铸孔口管,孔口应安装分流泄压装置。

2 根据超前探孔探测成果,阻水止浆岩体厚度不满足设计厚度的,宜浇筑混凝土止浆结构达到设计厚度或采用注浆方式形成满足设计厚度与强度的阻水止浆岩体;阻水止浆岩体厚度满足设计厚度的,宜进行阻水止浆岩体注浆加固。

3 阻水止浆结构形成后,宜按设计要求在封堵处理范围外 1 m 处钻孔安装引流泄压管,孔口设置分流泄压装置,再进行无水管道回填注浆。

4 1类、3类堵水注浆,宜采用浓浆或速凝浆液进行管道回填。

5 2类、4类堵水注浆,宜采用膏状浆液或水泥砂浆进行管道回填,无涌水的岩溶管道可采用细石混凝土进行回填。

6 岩溶管道回填压密注浆完成后,应对岩溶管道发育洞段进

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/36813706503300611>
1