T/CECS G XXXX：20XX

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道渗漏水高聚物材料快速处治技术规程

Technical specification for rapid treatment of polymer materials for leakage water in highway tunnels

征求意见稿

中国工程建设标准化协会 发布

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道渗漏水高聚物材料快速处治技术规程

Technical specification for rapid treatment of polymer materials for leakage water in highway tunnels

T/CECS G：D31-01-202X

征求意见稿

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司
中山大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

20XX 北 京

前　言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展2025年第一批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路〔2025〕134号）的要求，，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分7章和3个附录。主要内容包括：1总则、2术语符号、3基本规定、4材料、5设计、6施工、7检验。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由中交第一公路勘察设计研究院有限公司和中山大学负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路8号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或中交第一公路勘察设计研究院有限公司（地址：陕西省西安市高新区科技四路205号，邮编：710065，邮箱：15191865157@163.com）。

征求意见稿

主 编 单 位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

中山大学

参 编 单 位：中国交建轨道交通分公司

中交基础设施养护集团有限公司

南方工程检测修复技术研究院

主　　编：张　博　郭成超

主要参编人员：姚红志　富志鹏　赵力国　史宝童　秦　磊

白东锋　张　博　蔡直言　郑万坤　霍　磊　刘博峰

郭腾飞　靳昊炀　刘心怡　李东彪　童　明

主　　审：钟燕辉

参与审查人员：

参 加 人 员：

目　　次

1　总　　则 1
2　术语和符号 2
3　基本规定 5
4　材料 8
4.1　一般规定 8
4.2　膨胀型高聚物 8
4.3　水下抗分散型高聚物 9
5　设计 11
5.1　一般规定 11
5.2　高聚物水下导管注浆 11
5.3　高聚物膜袋封闭反压注浆 12
6　施工 16
6.1　一般规定 16
6.2　施工准备 17
6.3　施工工艺 17
6.4　质量控制 19
7　注浆质量检验 21
附录 A 高聚物材料膨胀比测试方法 23
附录 B 高聚物材料水中发泡测试方法 24
附录 C 施工流程图 25
用词说明 26

征求意见稿

1 总　　则

1.0.1　针对公路隧道的渗漏涌水问题，规范高聚物材料处治的方法和过程，为公路隧道建设与安全运营提供技术支撑，制定本规程。

条文说明

多年来我国公路隧道建设或者运营过程中发生的重大安全事故，大部分是由渗漏水造成的，位居各类地质灾害首位，因此公路隧道的渗漏水问题被认为是隧道领域的“顽疾”。渗漏水突发会严重影响施工进度、隧道结构的安全性和耐久性，如果没有及时响应或采取有效的应急措施，很容易导致无法估量的经济损失、人员伤亡以及无限期停工，同时也给生态环境保护、地下水资源利用带来巨大挑战。

能够做到公路隧道渗漏水彻底根治有一定难度。注浆是渗漏水处治的重要手段，水泥基类材料得到广泛应用，但难以较好地满足隧道渗漏水（特别是大流量、高水压情况）快速加固、封堵的迫切需求。而高聚物材料由于其早强高韧、抗渗性能优良、无毒无害，逐渐在隧道渗漏水处治中显现出优势。因此，为了在公路隧道发生渗漏水时，采取快速、高效的处治措施，保障公路隧道建设安全与运营安全，在总结长期的高聚物堵水的科研和实践经验基础上，制定本规程。

1.0.2　本规程适用于公路隧道施工阶段突涌水和运营阶段渗水、突涌水时高聚物材料处治的设计、施工及检验。

条文说明

本规程的渗漏水包括渗水、突涌水两个概念，突涌水特指渗漏水中流量较大的一种。处治场景包括施工阶段的突涌水、运营阶段渗水和运营阶段突涌水3种情况。而对于施工阶段的渗水，宜采用“以排为主”的处理方式，不做注浆处理，具体可参照现行行业及团体标准中有关防排水设计的相关规定。

1.0.3　公路隧道渗漏水高聚物材料快速处治技术除应符合本规程规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 隧道渗漏水 tunnel water leakage

隧道外部水通过非预期路径进入隧道的现象，视水量大小分为湿渍、渗水、漏水、涌水、突水等。

2.1.2 施工阶段突涌水 water inrush during tunnel construction

指隧道施工过程中，未施作衬砌时，地下水在压力作用下大量突发、持续涌出的现象。

2.1.3 运营阶段渗漏水 water leakage during tunnel operation

指衬砌渗漏水，即围岩或土体的水体通过衬砌裂缝或间隙渗透到衬砌内表面发生的浸渗、滴漏、涌流、喷射现象。

2.1.4 高聚物材料 polymer materials

能在适宜条件下快速发生化学反应，生成具有闭孔网状结构固结物的一类双组份高分子材料。

2.1.5 膨胀型高聚物 expansive polymer

一种混合后体积快速膨胀固化的双组分高分子聚合物材料。反应后的凝固体不降解、无污染，具有良好的稳定性和耐久性。

2.1.6 水下抗分散型高聚物 underwater anti-dispersive polymer

一种由有机高分子和无机材料制备的双组分加固型改性聚氨酯灌浆材料。A 组份主要包括水玻璃和助剂，B 组份主要包括聚氨酯预聚体和助剂。具有黏度低可注性强、凝结时间可控、可水下固化、强度高、韧性好、放热量小、气味小、阻燃等优点。

2.1.7 水下导管注浆技术 underwater duct grouting

对于渗漏，指在渗漏点钻孔并植入专用注浆导管，通过导管直接向水下渗漏通道内注射膨胀型高聚物，利用其定向膨胀的特性实现快速封堵的注浆技术。

2.1.8 膜袋封闭反压注浆技术 membrane bag closed backpressure grouting

对于涌水，先将特制膜袋系统固定于涌水口，然后向膜袋内注入膨胀型高聚物，使其迅速膨胀形成高强度止水塞，并二次注入水下抗分散型高聚物驱替高压地下水，为后续永久加固创造条件的复合注浆技术。

征求意见稿

2.1.9 凝胶时间 gel time

指高聚物浆液的双组份混合开始，至浆液失去流动性、达到初始凝胶状态所经历的时间。

2.1.10 体积膨胀率 volume expansion rate

高聚物浆液固化后体积相对于初始浆液体积的膨胀比例，以百分比表示，反映其填充裂隙的能力。

征求意见稿

2.2 符号

Q—注浆量（m^3）；

V—注浆范围总体积（m^3）；

n—孔隙率（无量纲，＜1）；

η—充填系数（无量纲，一般取 0.7~0.9）；

α—高聚物材料的膨胀比（无量纲，＞1）；

ρ_0—材料各液体组分平均密度（kg/m^3）；

ρ—聚合物表观芯密度（kg/m^3）。

S—高聚物注浆材料水中反应收缩率（%）；

d_1—泡沫切片测试最大直径（mm）；

d_2—泡沫切片测试最小直径（mm）；

d_3—测试采用的烧杯最大直径（mm）；

d_4—测试采用的烧杯最小直径（mm）。

征求意见稿

3 基本规定

3.1 隧道渗漏水处治原则

施工阶段渗水，应遵循“以排为主”的原则。施工阶段突涌水、运营阶段渗漏水，应遵循“以堵为主、排堵结合”的原则。

条文说明

注意区分渗水和突涌水，两者统称渗漏水。施工阶段渗水，宜采用“以排为主”的处置方式，具体措施可参照现行行业标准《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》JTG 3370.1 及《公路隧道防排水技术规程》T/CECS G：D72-01-2023 的相关规定。

3.2 隧道渗漏水分类

施工阶段渗漏水分类：隧道长 10m 区段内涌水量≤125L/min 时，即判定为渗水，＞125L/min 则判定为突涌水。

运营阶段渗漏水分类：浸渗、滴漏、涌流、喷射。分类定义见表 3.2.1。

表 3.2.1 运营阶段渗漏水分类

类别	定义	渗流量（L/d）
浸渗	衬砌表面呈现明显色泽变化的潮湿痕迹及可观察到明显的流挂水膜范围	＜3
滴漏	衬砌表面出现水珠，其滴落速度每分钟至少一滴	3≤渗流量＜30
涌流	衬砌表面渗漏成线状	30≤渗流量＜100
喷射	衬砌表面渗漏成喷射状	≥100

条文说明

关于施工阶段渗漏水的分类阈值，参考了现行国家标准《工程岩体分级标准》GB/T 50218-2014 中关于地下工程围岩出水状态的描述。该标准以 10m 洞长渗水量为统计量，将出水状态分为潮湿、点滴状、淋雨状、线流状和涌流状等类型。本规程结合公路隧道工程实践，以 125L/min 作为渗水与突涌水的分界阈值。实际工程中，除突涌水量外，宜结合水压、出水状态、水质含砂量等因素综合判定渗漏水危害等级。关于运营阶段渗漏水的分类阈值，参考了现行行业标准《公路隧道加固技术规范》JTG/T 5440-2018。水压分级参照《工程岩体分级标准》GB/T 50218-2014 的规定，≤0.1MPa（低水压）、0.1MPa～0.5MPa（中水压）和＞0.5MPa（高水压）。

3.3 隧道渗漏水量的测定应根据出水状态和流量大小，按下列方法测定：

征求意见稿

1 流量较小、可集中盛接时，宜采用容积法：使用定量容器和秒表，按水流充满容器的时间折算单位时间渗漏涌水量。

2 流量较大、呈沟流或面流状出水时，宜采用三角堰测流法或流速-面积法。

3 对高压喷射状出水，应在孔口加设导流装置，将水流集中引导后再行测定。

4 涌水量测定应连续进行不少于 3 次，取平均值作为测定结果。

条文说明

容积法设备简单、操作便捷，适用于小流量渗漏水的快速测定，在运营期日常检查中应用较广。三角堰测流法及流速−面积法适用于施工阶段钻孔涌水或较大流量的涌水测定。当出水为高压喷射状时，直接盛接困难且误差大，应在孔口安装导流管或集水罩，将水引入量测装置后再读数。为消除涌水脉动影响，测定结果宜取多次测量的平均值。

3.4 隧道渗漏水处治前，应进行现场调查与水文地质勘察，查明下列内容：

1 渗漏水水源类型（地表水补给、地下水、岩溶水等）。

2 渗漏水水压、水温、水质及 pH 值。

3 渗漏通道的类型（裂隙、裂缝、施工缝、变形缝等）及其空间分布。

4 渗漏通道的连通性及延伸范围。

5 围岩工程地质条件及水文地质条件。

条文说明

渗漏水水源的识别是制定处治方案的前提。地表水补给型渗漏需首先治理地表水的入渗通道；地下水型渗漏需根据水压和水量选择合适的注浆材料和工艺；岩溶水型渗漏具有通道规模大、水流急的特点，宜采用膜袋封闭反压注浆等方法。渗漏通道的探测可采用地质雷达、红外探水、高密度电法等物探手段，必要时可结合钻孔勘探验证。

3.5 高聚物注浆材料进场后，应按本规程第 4 章规定的技术要求进行性能检验，合格后方可使用。

3.6 环保与职业健康安全应满足下列要求：

1 渗漏涌水处治方案和施工组织设计中，应同步考虑高聚物材料对环境及作业人员健康的影响，提出通风、个人防护、废弃物收集与处置等措施。

2 高聚物材料在施工现场的储存、配制和注浆作业，应避免对隧道内空气

征求意见稿

质量、水体和土壤造成污染，不得向洞内排水系统、外环境直接排放未经处理的废浆液和清洗废水。

3.7 公路隧道高聚物渗漏处治及验收除执行本文件外，尚应执行 JTG/T 5440、JTG/T 3660、JTG F80/1、JTG H12、JTG 5220 等现行的国家标准、规范的规定。

征求意见稿

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 高聚物注浆材料的选择，应综合考虑隧道地质条件、注浆目的、地下水状况、涌水量大小、周边环境条件及止水效果要求，选用一种或两种材料组合使用。对于渗水病害，宜单独采用膨胀型高聚物；对于突涌水病害，宜采用膨胀型高聚物与水下抗分散型高聚物配合使用。

4.1.2 高聚物材料标签信息应清晰、完整，应有检验合格标志。

4.2 膨胀型高聚物

膨胀型高聚物 A、B 组分的技术要求应分别符合表 4.2.1、表 4.2.2 的规定，A、B 组分合成后形成的聚合物技术要求应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.1 膨胀型高聚物 A 组分技术要求

项目	技术要求	试验方法
外观	油状液体	目视
黏度（25℃）/（Pa· s）	≤0.6	GB/T 12009.3-2009
密度（25℃）/（kg/m^3）	122~125	GB/T 4472-2011
—NCO 含量/%	30.2~32.0	GB/T 12009.4-2016
酸度（以 HCl 计）/%	≤0.05	GB/T 12009.5-2016
水解氯含量/%	≤0.2	GB/T 12009.2-2016

表 4.2.2 膨胀型高聚物 B 组分技术要求

项目	技术要求	试验方法
外观	油状液体	目视
黏度（25℃）/（Pa· s）	≤1	GB/T 22314-2008
密度（25℃）/（kg/m^3）	100~120	GB/T 15223-2008

表 4.2.3 膨胀型高聚物技术要求

项目	技术要求	试验方法
自由发泡密度/（kg/m^3）	50±5	GB/T 6343-2009
重金属	符合标准卫生要求	GB/T 17219-2025
环保性	不对水质造成污染	GB/T 17219-2025
自由膨胀比	1~25	附录 A
尺寸稳定性（-30℃）/%	≤0.5	GB/T 8811-2008

征求意见稿

尺寸稳定性（80℃）/%	≤1.5	GB/T 8811-2008
抗拉强度（25℃）※/MPa	≥0.35	GB/T 1040.1-2025
抗压强度※/MPa	≥0.60	GB/T 8813-2020
抗剪强度※/MPa	≥0.50	GB/T 10007-2008
弯曲强度※/MPa	≥0.20	GB/T 8812.2-2007
耐化学腐蚀	良好	GB/T 11547-2008
水中发泡收缩率/%	≤3.00	附录 B
泡沫外表皮	表皮无粉化现象	目视
※代表材料密度达到 100kg/m³±5kg/m³ 时的测试值；其他指标为自由发泡密度（50kg/m³±5kg/m³）时的测试值。当实际工程中材料的预期密度不同于上述基准密度时，应通过试验建立密度-强度关系曲线，据此确定设计取值。		

4.3 水下抗分散型高聚物

水下抗分散型高聚物材料 A、B 组分的技术要求，应分别符合表 4.3.1、表 4.3.2 的规定，A、B 组分合成后形成的聚合物技术要求应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.1 水下抗分散型高聚物 A 组分技术要求

项目	技术要求	试验方法
外观	雾状液体	目视
黏度（25℃）/（Pa· s）	0.130±0.020	GB/T 22314-2008
密度（25℃）/（kg/m³）	1430±50	GB/T 4209-2022
模数	2.4～3.4	GB/T 4209-2022
浓度（波美度）/°Bé	35～45	GB/T 4209-2022

表 4.3.2 水下抗分散型高聚物 B 组分技术要求

项目	技术要求	试验方法
外观	棕色透明液体	目视
黏度（25℃）/（Pa· s）	0.130±0.020	GB/T 12009.3-2009
密度（25℃）/（kg/m³）	1200±50	GB/T 4472-2011

表 4.3.3 水下抗分散型高聚物技术要求

项目	技术要求	试验方法
凝胶时间（s）	160±20	JC/T 2041-2020
固化时间（min）	6.5±0.5	ASTM D4640-86
抗压强度（MPa）、空气中反应	≥45	GB/T 2567-2021
压缩最大形变量（%）、空气中反应	≥30	钢尺测量

征求意见稿

抗压强度（MPa）、水中反应	≥40	GB/T 2567-2021
压缩最大形变量（%）、水中反应	≥25	钢尺测量
抗拉强度（24h，MPa）	≥10	GB/T 2567-2021
环保性	不对水质及周边土体造成污染	GB/T 17219-2025

征求意见稿

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 隧道渗漏水高聚物注浆处治设计应细化到每处病害。

5.1.2 对于隧道施工阶段突涌水宜采用高聚物膜袋封闭反压注浆；对于运营阶段渗漏水中的涌流、喷射情况可采用高聚物水下导管注浆。

条文说明

根据渗水、突涌水类型确定注浆方式。其中，对于施工阶段突涌水封堵，适用于围岩自稳性较好的情况，而对于运营阶段渗漏水封堵，对围岩自稳性无要求。运营阶段渗漏水中的浸渗、滴漏等轻微渗漏水，宜采用表面封堵、嵌缝止水、涂层防水等非注浆处治措施，不宜采用高聚物注浆工艺。具体处治方法可参照现行行业标准《地下工程渗漏治理技术规程》JGJ/T 212 及《公路隧道加固技术规范》JTG/T 5440 的有关规定执行。

5.1.3 地下水丰富且排水时挟带泥沙引起前方围岩失稳的破碎带、风化带，可能存在涌水突泥隐患的地段或排水后对隧道周边地下水和地表水影响较大的地段，可采用超前围岩预注浆堵水。

条文说明

对于富水软弱地层掌子面的突涌水处治，可以参考现行行业标准《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)。

5.2 高聚物水下导管注浆

5.2.1 高聚物水下导管注浆适用于衬砌表面、施工缝、变形缝及伸缩缝等的涌流、喷射情况。

5.2.2 注浆孔设计应符合下列规定：

1 注浆孔的直径为 10 mm～25 mm 之间。

2 注浆孔宜沿裂缝两侧均匀间距布设，孔间距宜为 0.5 ~1.0 m 之间，孔距离裂缝宜为 0.2 m（图 5.2.2）；或在渗漏点及周边打斜孔接近结构迎水面，并穿过裂缝。

3 孔深根据渗漏水部位的结构决定，孔深宜为衬砌厚度，必须和渗漏水连通。

征求意见稿

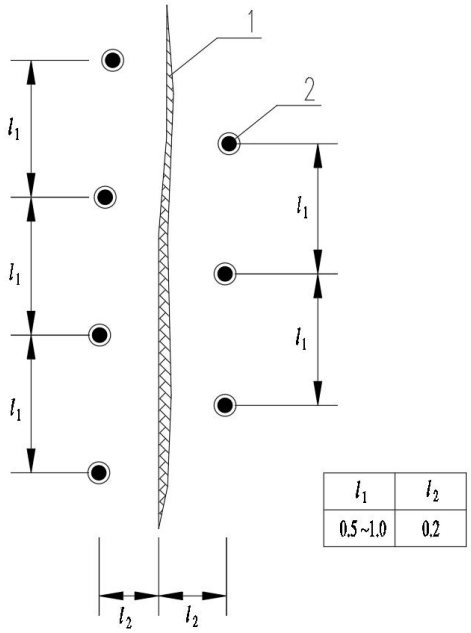


图 5.2.2 裂缝注浆堵水

1—裂缝；2—注浆孔

5.2.3 膨胀型高聚物注浆量根据地层孔隙率和膨胀比决定，参数依据现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 和行业标准《公路路基设计规范》JTG D30-2015 确定，注浆量可分别按公式 5.2.3 计算。

$$Q = Vn\eta/\alpha \qquad (5.2.3)$$

式中：Q—注浆量（m^3）；

V—注浆范围总体积（m^3）；

n—孔隙率（无量纲，＜1）；

η—充填系数（无量纲），一般取 0.7~0.9，应根据地层类型、裂隙发育程度及注浆压力综合确定。

α—高聚物材料的膨胀比（无量纲，＞1）；

条文说明

公式适用于裂隙（孔隙）岩体地层，高聚物材料在裂隙中定向膨胀并填充。公式不适用于松散砂层、黏土地层、岩溶空腔或大型溶洞。

5.3 高聚物膜袋封闭反压注浆

征求意见稿

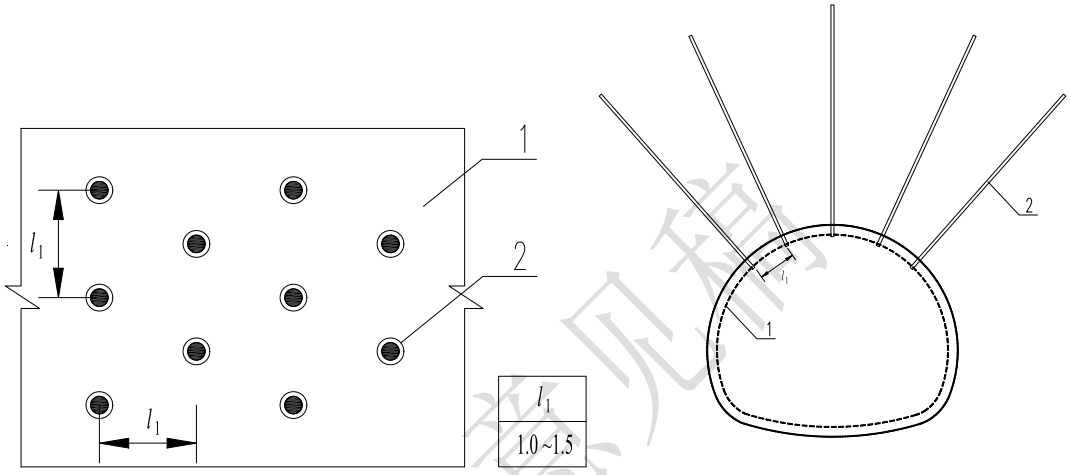
5.3.1 对于高压大流量突涌水，宜先钻孔泄压，再采用高聚物膜袋封闭反压注浆。

5.3.2 注浆孔设计应符合下列规定：

1 注浆孔的直径宜为 25 mm。

2 注浆孔宜按梅花形布置（图 5.3.2-1），孔间距宜为 1.0 m~1.5 m 之间，个别涌水严重位置可补加注浆孔。

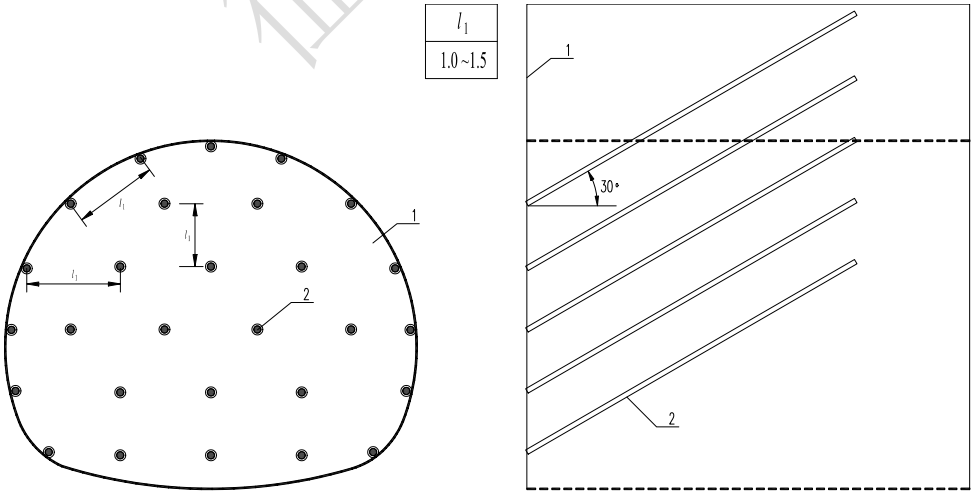
3 孔深根据渗漏水部位的结构决定，孔深必须和渗漏水连通；当孔深较长时需要考虑钻孔角度（图 5.3.2-2）。



（a）注浆孔布置平面图　　（b）注浆孔布置剖面图

图 5.3.2-1 隧道径向注浆堵水

1—基岩（衬砌）表面；2—注浆孔



（a）注浆孔布置平面图　　（b）注浆孔布置剖面图

图 5.3.2-2 隧道掌子面注浆堵水

1—掌子面；2—注浆孔

征求意见稿

5.3.3 单点涌水可根据实际情况布设 1 个或多个注浆孔。

5.3.4 当涌水量较大且渗漏通道较长时，宜采用多管分段封孔注浆（图 5.3.4）的方式，并合理调整注浆孔直径。应符合下列要求：

1 A 类注浆短管长度应为 1.5~3.0 m；A 类注浆长管长度应比 B 类注浆短管长 2.0~3.0 m。

2 B 类注浆短管长度应为孔深的一半；B 类注浆长管长度应比孔深短 0.5~1.0 m。

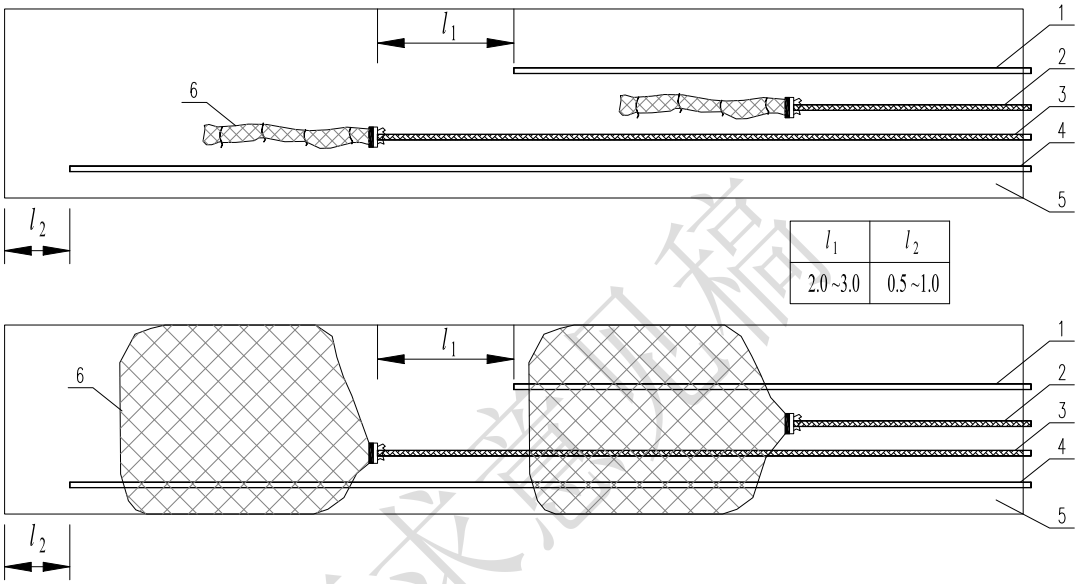


图 5.3.4 多管分段封孔注浆

1—B 类注浆短管；2—A 类注浆短管；3—A 类注浆长管；

4—B 类注浆长管；5—渗漏通道；6—土工膜袋

5.3.5 水下抗分散型高聚物注浆量由地层的孔隙决定，参数依据现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 和行业标准《公路路基设计规范》JTG D30-2015 确定，注浆量可按公式 5.3.6 计算。

$$Q = Vn\eta \tag{5.3.5}$$

式中：Q—注浆量（m^3）；

V—注浆范围总体积（m^3）；

n—孔隙率（无量纲，＜1）；

η—充填系数（无量纲），一般取 0.7~0.9，应根据地层类型、裂隙发育程度及注浆压力综合确定。

征求意见稿

条文说明

公式适用于裂隙岩体、断层破碎带等孔隙率相对均匀、渗漏通道分布较为连续的地层，高聚物材料在孔隙中扩散。公式不适用于松散砂层、黏土地层、岩溶空腔或大型溶洞。

征求意见稿

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 隧道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。

6.1.2 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，再进行隧道堵水注浆施工。

6.1.3 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。

6.1.4 使用高聚物材料进行堵水注浆施工时，施工单位应编制环境与职业健康安全专项方案，明确通风换气、个人防护、泄漏应急处置和废弃物管理要求，并对作业人员进行培训后方可上岗。

6.1.5 高聚物材料在隧道内的储存和现场配制应设置专门区域，保持良好通风，远离明火和高温热源；包装容器应密闭完好，严禁混放与其发生危险反应的材料。

6.1.6 进行注浆、切割、凿除等易产生有害气体或粉尘的作业时，作业人员应佩戴防护手套、防护眼镜、防护口罩（或防毒面具）、防护服等个体防护用品；在空间狭小、通风不良处所作业前，应检测有害气体浓度，必要时采取强制通风措施。

6.1.7 施工过程中产生的废浆液、废包装桶（袋）、被污染的抹布、吸附材料等，应分类收集并按相关环境保护要求处置，不得随意焚烧、掩埋或排入洞内排水系统及外部水体。

6.1.8 对于下列情况，应在正式施工前进行现场注浆试验：

1 首次采用本规程规定的高聚物材料及注浆工艺的工程项目；

2 地质条件复杂、渗漏水通道规模难以准确判定的工况；

3 注浆设计参数（孔间距、注浆压力、材料配比等）缺乏类似工程经验可参考的工况。

6.1.9 现场注浆试验应符合下列要求：

1 试验段应选择在具有代表性的渗漏水区段，试验孔数量不应少于 3 个；

2 试验内容应包括孔间距验证、注浆压力优化、凝胶时间调整、注浆量校核等；

3 试验完成后应进行钻孔取芯或压水试验，检验注浆效果；

4 根据试验结果调整设计参数，形成正式施工方案。

6.2 施工准备

6.2.1 准备好所需注浆材料，并确保其质量符合设计要求。

6.2.2 检查注浆泵、压力泵、注浆管等设备的完好性和性能，确保其能够正常工作。

6.2.3 对隧道地质情况进行详细勘察，了解隧道岩性、地下水分布等情况以便确定注浆方案和参数。

6.2.4 根据工程规模和复杂程度，合理安排施工队伍，明确各自职责和任务。

6.2.5 安全与环保准备应符合下列要求：

1 作业前应核查高聚物材料的安全技术说明书（SDS），向施工人员交底材料危害特性和防护要求。

2 施工现场应配备应急冲洗装置、吸附材料、泄漏收集容器及适用的灭火器材，并明确使用方法。

3 应根据隧道通风条件，编制施工期间通风换气方案，对封闭或半封闭作业空间，应采取强制通风措施。

4 高聚物材料的运输应采用有防护措施的专用车辆或容器，防止运输途中泄漏、扬撒及日晒雨淋。

6.2.6 应根据隧道涌水情况编制注浆方案。

6.2.7 对于运营阶段隧道渗漏水处治，涉路交通组织应符合下列规定：

1 施工前应与公路交通管理部门办理手续，按批准的时间、范围进行施工，并向社会发布相关公告信息。

2 施工中应设置相应的安全通行保障设施，制定专项应急预案。

3 中断交通施工时，应合理利用隧道内联络通道进行交通导行。

4 不中断交通施工时，施工未完成前，不得擅自改变作业控制区的范围和安全设施的布设位置，根据实际情况可适当延长作业控制区、设置减速带。

5 应指派专人负责交通引导。

6.3 施工工艺

6.3.1 施工流程图见附录 C。

6.3.2 高聚物水下导管注浆应遵循基面清理、钻孔埋管、安装注射帽、注浆封堵和收尾检查的施工顺序。应符合下列要求：

征求意见稿

1 基面清理：清理结构表面的污染物，使基面干净、无松散空鼓。

2 钻孔埋管：按设计孔位钻孔，钻孔顺序应自上至下。成孔后将 PVC 管（长度按衬砌厚度确定）置入注浆孔中。

3 安装注射帽：清理注射帽，将其置入 PVC 管外部端口内。

4 注浆封堵：采用专用夹具连接注射枪与注射帽，注射水下抗分散型高聚物材料，注浆压力应结合现场试验确定。注浆顺序应自下而上、左右交叉。

5 收尾检查：作业完成后观察封堵情况，如在注浆处附近出现新的渗漏点，应及时进行钻孔补注，直至无明显渗漏为止。清扫环境，进行下一道处治。

6.3.3 高聚物膜袋封闭反压注浆应遵循基面清理、钻孔、膜袋捆扎、双管协同放置、膜袋注浆、导管注浆和收尾检查的施工顺序。应符合下列要求及流程：

1 基面清理：清理围岩表面的污染物，使基面干净、无松散空鼓。

2 钻孔：按设计孔位钻孔，钻孔顺序应自上至下。

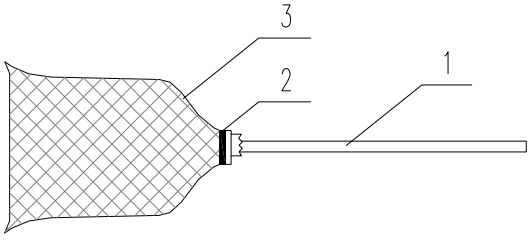
3 膜袋捆扎：用环箍将土工膜袋开口端固定在 A 类注浆管（宜采用φ16mm 钢花管）一端；用胶带或麻绳将土工膜袋捆扎成条状（图 6.3.3-1）。

4 双管协同放置：持 A 类注浆管另一端，将捆扎好的膜袋放入涌水口内；同时将不带膜袋的 B 类注浆管放入涌水口内，B 类注浆管放入深度应超出膜袋长度（图 6.3.3-2）。

5 膜袋注浆：通过 A 类注浆管向膜袋内注射膨胀型高聚物材料，注浆压力应结合现场试验确定。高聚物材料在膜袋内迅速膨胀、固化，在渗漏水通道出口形成柔性止浆塞，快速封堵出水口。

6 导管注浆：通过 B 类注浆管向渗漏水通道深处注射水下抗分散型高聚物材料，材料在水中固化并填充渗漏水通道，驱替高压地下水。注浆顺序应自下而上、左右交叉。

7 收尾检查：作业完成后观察封堵情况，如在注浆处附近出现新的渗漏点，应及时进行钻孔补注，直至无明显渗漏为止。清扫环境，进行下一道处治。



征求意见稿

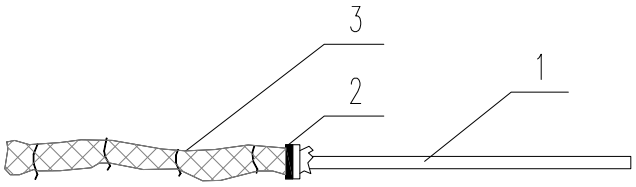


图 6.3.3-1 膜袋固定及捆扎成条

1—A 类注浆管；2—环箍；3—土工膜（布）袋

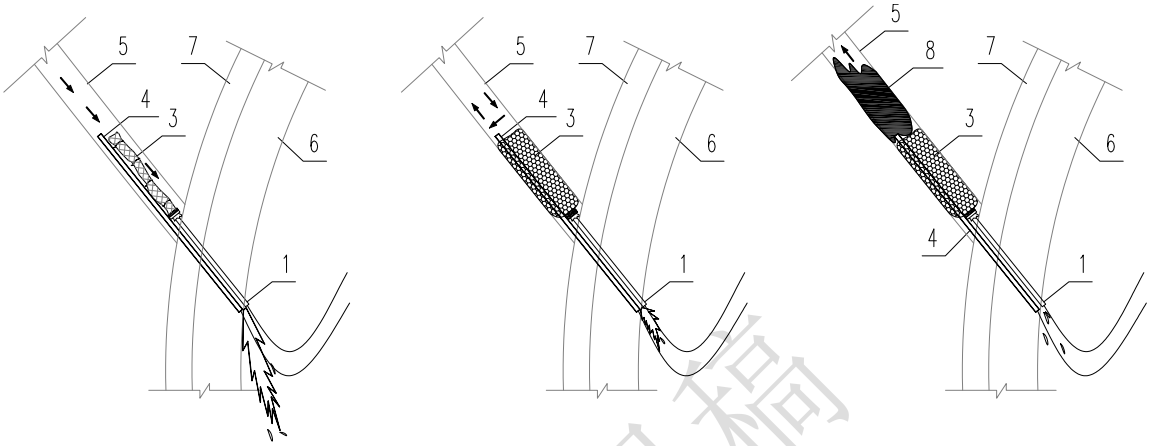


图 6.3.3-2 双管协同放置及膜袋注浆

1—A 类注浆管；3—土工膜袋（含膨胀型高聚物）；4—B 类注浆管；5—渗漏水通道；6—二次衬砌；7—初期支护；8—水下抗分散型高聚物

6.3.4 注浆过程中出现下列异常情况时，应按相应措施处理：

1 串浆：当相邻注浆孔出现串浆时，应优先封堵串浆孔，待其固化后再继续注浆；或采用间隔注浆的方式，先注奇数孔再注偶数孔。

2 漏浆：应降低注浆压力或调整凝胶时间（缩短凝胶时间），必要时可采取表面封堵措施。

3 堵管：应立即停止注浆，更换注浆管或采用高压气体疏通；堵管原因查明前不得强行升压注浆。

4 注浆压力持续不升：可能为浆液沿大通道流失，应检查凝胶时间是否过长，适当缩短凝胶时间或采用间歇注浆方式。

6.4 质量控制

6.4.1 注浆设备选用集成式高聚物注浆设备。

6.4.2 施工过程中的质量检测应符合下列规定：

1 按批检测原材料的质量。

征求意见稿

2 施工过程中对施工质量进行评定，质量检查、检验的内容、频率、允许偏差应符合表 6.4.1 的规定。

3 施工中质量控制要点应符合规定：

a）注浆帽与注浆导管应紧密结合，不能松动；

b）注浆过程中应严格控制注浆时间和材料用量，防止基岩或者衬砌压裂。

c）注浆过程中应连续监测注浆压力，出现压力突降或突升时应立即停止注浆，查明原因后再行处理。

4 注浆终止条件：注浆量达到设计要求；相邻注浆孔溢浆或裂隙（裂缝）出现溢浆；注浆设备压力增大。

表 6.4.1 工程质量控制要求

项目	技术要求	检验频率	检验方法
孔位误差/cm	≤2	数量占比 20%	钢尺测量
孔竖直度/cm	≤2	20%	钢尺测量
钻孔深度/cm	≥设计深度	20%	钢尺测量

征求意见稿

7　注浆质量检验

7.1　处治后 30 分钟内，施工部位不再发生渗漏水现象；24 小时内，渗漏量下降≥90%且无复涌。

7.2　基岩面注浆后，宜在注浆区域钻 3~5 个检查孔，取岩心测定漏水量，检验注浆堵水效果。

7.3　注浆质量检验应以检查孔压水试验为主，并结合分析法、检查孔法及物探法等综合判定。

7.4　注浆质量检验孔数量应符合现行行业标准《注浆技术规程》YS/T 5211-2018 的规定。

7.5　注浆工程质量应符合以下要求：

1 固结体的抗压强度满足设计要求。

2 处治范围内的渗透系数不大于设计值。

3 坚硬岩层钻孔中岩心渗漏水量<0.4 L/min/m，破碎带岩层中岩心渗漏水量<0.2 L/min/m。

条文说明

固结体抗压强度与渗透系数是衡量注浆加固效果和防水效果的核心定量指标。

7.6　不同注浆工艺的检验项目及指标应符合表 7.7 的规定。

表 7.6.1 高聚物注浆处治检验项目及指标汇总

检验类别	检验项目	技术要求	检验方法	检验频率
一、水下导管注浆				
主控项目	渗漏封堵效果	30min 内无渗漏，24h 渗漏量下降≥90%	目测+容积法	100%
主控项目	注浆压力	达到设计终压	检查压力记录	100%
主控项目	注浆量	达到设计注浆量	检查计量记录	100%
一般项目	孔位偏差	≤2cm	钢尺测量	20%
一般项目	孔竖直度	≤2cm	钢尺测量	20%
一般项目	孔深偏差	≥设计深度	钢尺测量	20%
一般项目	注浆帽安装	与导管紧密结合，无松动	目测+手检	100%
二、膜袋封闭注浆				

征求意见稿

主控项目	涌水封堵效果	30min 内涌水停止，24h 无复涌	目测	100%
主控项目	膜袋注浆压力	达到设计终压	检查压力记录	100%
主控项目	膜袋注浆量	达到设计注浆量	检查计量记录	100%
主控项目	导管注浆压力	达到设计终压	检查压力记录	100%
主控项目	导管注浆量	达到设计注浆量	检查计量记录	100%
一般项目	孔位偏差	≤2cm	钢尺测量	20%
一般项目	孔竖直度	≤2cm	钢尺测量	20%
一般项目	孔深偏差	≥设计深度	钢尺测量	20%
一般项目	膜袋固定	环箍紧固，捆扎牢靠	目测+手检	100%
一般项目	双管协同放置	A、B 管到位，B 管深度超出膜袋	钢尺测量	100%
三、通用检验				
—	检查孔压水试验	漏水量＜0.2~0.4 $m^3/min \cdot m$	压水试验	每注浆段 3~5 孔
—	材料进场检验	符合本规程第 4 章要求	按第 4 章试验方法	每批次

附录 A 高聚物材料膨胀比测试方法

A.0.1 试件规格与数量规定

试件规格与数量应采用以下规定：

a）试件采用边长（100±1）mm 的正方体或直径（50±1）mm、高度（100±1）mmn 的圆柱体。

b）每一样品测试 5 个试件。

A.0.2 高聚物材料的膨胀比测试规定

高聚物材料的膨胀比测试应采用以下规定：

a）按 GB/T 6343 的规定测定高聚物材料的表观芯密度。

b）按公式（A.1）计算高聚物材料的膨胀比。

$$\alpha = \frac{\rho_0}{\rho} \qquad (A.1)$$

式中：

ρ_0—材料各液体组分平均密度（kg/m^3）；

ρ—聚合物表观芯密度（kg/m^3）。

c）每组试件中剔除最大、最小两个值，取剩余三个试件的算术平均值为膨胀比的试验结果。

d）三个试件的计算结果极差不应大于平均值的 10%。否则，重新进行试验。

征求意见稿

附录 B 高聚物材料水中发泡测试方法

B.0.1 高聚物材料水中发泡试验规定

高聚物材料水中发泡试验仪器应采用以下规定：

试验应采用容积为 2000 mL 的塑料烧杯。

烧杯直径应为 133 mm，高度应为 205 mm，最小刻度 100 mL，允许尺寸误差不应大于 10%。

B.0.2 高聚物材料水中发泡试验步骤

a）应在烧杯里装入 1000 mL 水，控制水温为 25°C，静置使水面平稳；

b）应准备双组分聚氨酯材料 A、B 组分各 100 g，控制料温为 20±5°C，A、B 组分重量比为 1:1；

c）应将两种原料倒入 500 mL 量杯中，电动搅拌（搅拌频率为 2500 r/min）2s，然后在 2000 mL 烧杯杯口正中心位置匀速把搅拌好的原料倒入烧杯水中。待泡沫完全固化，烧杯中水为清液，同时泡沫在烧杯中放置 2 小时后没有明显收缩痕迹（材料和杯体之间无缝隙）；

d）应按步骤 1、2、3 制备不少于 5 个试样；

应将以上泡沫试件和烧杯一起保留，在 23±2°C 的条件下放置 16 h；

e）应把烧杯和泡沫一起切片，切片厚度为 25 mm，取出泡沫切片测试最大直径 d_1，最小直径 d_2；测试对应的烧杯最大直径 d_3，最小直径 d_4。

B.0.3 非水反应聚氨酯材料水中反应收缩率计算公式

$$s=\left[\left(d_3+d_4\right)-\left(d_1+d_2\right)\right]/\left(d_3+d_4\right) \qquad \text{（B.1）}$$

式中：

S—高聚物注浆材料水中反应收缩率；

d_1—泡沫切片测试最大直径（mm）；

d_2—泡沫切片测试最小直径（mm）；

d_3—测试采用的烧杯最大直径（mm）；

d_4—测试采用的烧杯最小直径（mm）。

征求意见稿

附录 C 施工流程图

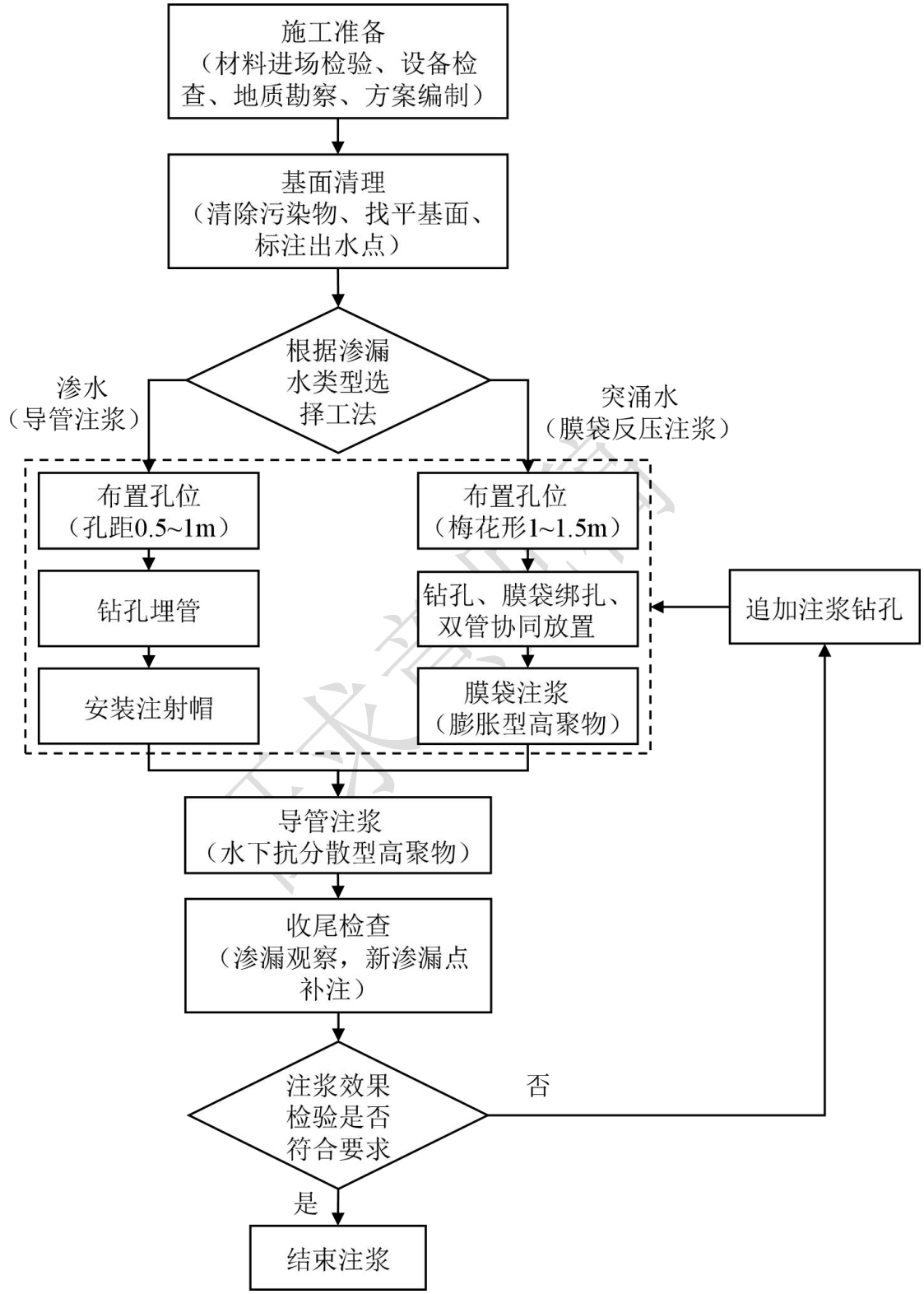


图 C.1 公路隧道渗漏水高聚物材料快速处治施工流程图

用词说明

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，在条件许可时首先应这样做的：

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”。

征求意见稿