

大涌水量隧道工程高聚物注浆技术规程

Technical specification for polymer grouting of big water inflowed tunnel

2022 - 01 - 12 发布

2022 - 04 - 10 实施

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 基本规定..... 2

5 技术设计..... 2

6 材料..... 5

7 施工..... 6

8 检验及评价..... 7

附录 A（规范性） 大涌水量隧道工程高聚物注浆流程..... 8

参考文献..... 9

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。

本文件由山西省交通运输厅提出并监督实施。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西省交通科技研发有限公司、山西交通科学研究院集团有限公司、山西交科岩土工程有限公司。

本文件主要起草人：周新星、张艳聪、李旭华、兰建丽、张俊生、郝晋高、许鑫、郭书翊、谢鹏达。

大涌水量隧道工程高聚物注浆技术规程

1 范围

本文件规定了大涌水量隧道工程高聚物注浆技术设计、材料、施工、检验及评价的要求。
本文件适用于大涌水量公路隧道工程高聚物注浆的设计、施工及验收。

2 规范性引用文件

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

- GB 50027 供水水文地质勘察规范
- GB 50404 硬泡聚氨酯保温防水工程技术规范
- GB/T 1041 塑料压缩性能试验方法
- GB/T 6343 泡沫塑料及橡胶 表观密度的测定
- JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
- JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
- TB 10049 铁路工程水文地质勘察规范
- YS/T 5211 注浆技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

涌水 water inflow

隧道在施工过程中，地下水突然大量涌出的现象。

3.2

含水体 water bearing zone

地下水赋存场所（含水层、含水带等）的统称。

3.3

最大涌水量 maximum water yield

隧道在含水体中出现的日最大水量。

3.4

正常涌水量 normal water yield

隧道的涌水达到相对稳定时的涌水量。

3.5

凝胶时间 gel time

高聚物注浆材料按一定比例混合后，在一定温度下，由液体变为固态凝胶体所需的时间。

4 基本规定

4.1 隧道最大涌水量、正常涌水量的预测与评价

按照TB 10049和GB 50027确定的方法，宜选用简易水均衡法或地下水动力学法进行预测与评价。

4.2 隧道涌水量的测定

采用秒表和定量容器，按涌水量流满容器的时间折算出单位时间的隧道涌水量。

4.3 隧道大涌水的判定

隧道长10 m区段内涌水量大于100 L/min时，即判定为隧道出现大涌水。

4.4 隧道大涌水的处理措施

按照JTG/T 3660 确定的涌水处理措施进行预处理。

5 技术设计

5.1 资料准备

按照JTG 3370.1确定的资料搜集内容进行资料准备。

5.2 注浆现场试验方法

5.2.1 地质钻探

确定土质柱状图。

5.2.2 渗透系数测定

确定岩土渗透性。

5.2.3 触探试验

划分土层，确定土体的性质。

5.2.4 现场抗剪强度测定

确定土体的抗剪强度。

5.3 现场原位注浆试验

5.3.1 单孔注浆试验

应通过单孔注浆确定注浆管的选择、各层土的注浆方法、注浆压力及注浆量。

5.3.2 多孔注浆试验

应通过多孔注浆试验确定注浆孔间距、注浆压力及注浆量。

5.4 注浆设计

5.4.1 注浆标准的确定

对于较为重要的隧道防渗工程，渗透系数应小于 10^{-7} m/s；对于临时隧道工程或允许出现较大渗流量而又不致于发生渗透破坏的隧道，渗透系数应小于 10^{-5} m/s。

5.4.2 注浆范围的确定

大涌水量隧道注浆时应根据注入目的、周围环境、围岩条件等综合确定注浆范围。不同工况下，隧道注浆范围的确定如下：

- a) 隧道穿越建筑物底部正处于建筑物荷载分布区域时，横断面可呈马蹄形，宽度宜为2-5倍隧道直径；
- b) 隧道穿过桩基础时其注浆范围应达到增加地层承载力和开挖时防止坍塌的要求；
- c) 隧道穿越铁路时，在铁路路基荷载范围内，纵向应有足够长度，横断面可呈方形或马蹄形，隧道顶部的注浆区厚度应不小于2-5倍隧道直径。

5.4.3 注浆孔的布置

5.4.3.1 注浆孔间距的布置

止水的场合，注浆孔间距宜为0.8 m~1.2 m；加固的场合，注浆孔间距宜为1.0 m~1.5 m。

5.4.3.2 预注浆孔的布置

大涌水量隧道注浆时，预注浆孔的布置如下：

- a) 地面预注浆孔的布置方式分为单排和多排。采用单排注浆孔布置时，各孔间距 D 与注浆半径 R 应满足： $D < 2R$ 。采用多排注浆孔布置时，注浆孔宜采用梅花形排列。
- b) 隧道工作面预注浆注浆孔的布置应根据注浆范围、注浆段长度、单个注浆孔的作用范围等现场条件确定。注浆孔布置宜长短结合、呈伞形辐射状，且应以含水层为主。
- c) 隧道工作面预注浆注浆孔布置宜双圈（内、外圈钻孔按梅花状排列）或三圈，当岩层裂隙不甚发育或单次开挖长度很短时，注浆孔也可布置为单圈。
- d) 隧道工作面预注浆时，注浆段长度应按公式（1）计算：

$$L = (3 \sim 5)D \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- L ——为注浆段长度（m）；
- D ——为开挖轮廓线外注浆层厚度（m）。

对于大涌水量、含裂隙的岩层，破碎带、断层，隧道工作面预注浆注浆段长度应选低值；地质条件良好时，应选高值。

5.4.3.3 隧道工作面预注浆止浆岩盘的布置

止浆岩盘包括岩层止水岩盘和混凝土止水岩盘，对于大涌水量隧道工程高聚物注浆，应选用岩层止水岩盘。当注浆段长为30 m~39 m时，岩层止水岩盘宜取5 m；当注浆段长为40 m~50 m时，岩层止水岩盘厚度宜取8 m；当注浆段长度小于30 m或大于50 m时，止浆岩盘的厚度可参照相关厚度计算公式^[1]确定。隧道穿越断层破碎带宜采用混凝土止水岩盘。

5.4.4 注浆方法与注浆分段长度的确定

5.4.4.1 注浆方法应根据工程实际及适用范围综合确定，隧道注浆方法及适用范围见表 1。

表 1 隧道注浆方法的选择

注浆方法	说明	适用范围
隧道全断面帷幕预注浆	钻孔分布在开挖面内及轮廓线外一定距离，注浆形成一个整体	水下隧道及无排水条件的隧道工程
隧道周边半封闭注浆	在工作面周边布孔，注浆在开挖轮廓线外形成半封闭壳	有自然排水条件的水工、铁路、公路隧道
隧道围截注浆	在出水口周围一定范围内布孔注浆，先外后内，最后顶水注浆封堵涌水	隧道开挖后出现大涌水
隧道固结注浆	衬砌（或一次支护）完成后，隧道仍在通过注浆加固围岩，增强支护抗力（急剧变形或大面积漏水）	围岩
隧道回填注浆	衬砌背后与地层之间有孔隙，浆液充填后，起到加固和堵水作用	衬砌背后

5.4.4.2 注浆方式与注浆分段长度应符合表 2 的规定。

表 2 注浆方式与注浆方式的选择

岩层裂隙程度	钻孔涌水量 m ³ /h	注浆方式	注浆分段长度 m
发育	>10	下行式	5~10
较发育	5~10	下行式	10~15
不够发育	2~5	上行式	15~20
不发育	<2	上行式	20~30

5.4.5 凝胶时间与注浆压力的确定

5.4.5.1 凝胶时间的确定

对于大涌水隧道工程高聚物注浆材料，凝胶时间宜控制在5 s~50 s。

5.4.5.2 注浆压力的确定

注浆压力应通过现场原位注浆试验确定。

5.4.6 注浆量的确定

5.4.6.1 应根据工程地质、水文条件、注浆方案及注浆材料综合估算注浆量。

5.4.6.2 总注浆量宜按公式（2）计算，单孔注浆量宜按公式（3）计算：

$$Q = Vna \dots\dots\dots (2)$$

$$Q' = \pi R^2 L n a \dots\dots\dots (3)$$

式中：

Q ——为注入预定地层范围内的浆液的量（m³）；

- Q' ——为单孔注入浆液的量 (m³) ;
V ——为预定注浆范围内的地层总体积 (m³) ;
R ——为浆液扩散半径 (m) ;
L ——为注浆段长 (m) ;
n ——为地层的孔隙率;
a ——为地层的填充率 (%) , 一般为30 %~90 % , 按岩层性质确定。

5.4.6.3 裂隙含水岩层注浆时, 注浆量也可参照表 3 选定。

表 3 裂隙含水岩层注浆量的选择

注浆孔涌水量 L/min	<100	100~200	200~500	500~1000	1000~2000
注浆量 m ³ /分段长度	3~5	5~10	10~15	15~20	20~30

5.5 注浆设备的选择

采用高聚物注浆材料时, 宜使用计量泵, 如隔膜计量泵、柱塞式计量泵; 若无计量泵时, 也可采用双液注浆泵或具有相同功能的注浆泵替代。

6 材料

6.1 注浆材料的选择

6.1.1 注浆材料的选择应根据隧道地质条件、注浆目的、地下水情况、涌水量大小、周围环境、止水效果等综合确定。常用高聚物注浆材料的性能见表 4。

表 4 常用高聚物注浆材料的性能

高聚物名称	黏度 10 ⁻³ Pa · s	最小渗透系数 m/s	固结体渗透系数 m/s	凝胶时间 min	抗压强度 10 ⁶ Pa	浆料类型
甲凝	1	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁹	0.1~60	0.5~5.0	单浆液
丙凝	1.2	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷	10 ⁻⁸ ~10 ⁻¹⁰	10~60	0.4~0.6	双浆液
脲醛树脂类	5~6	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁸	10~60	0.8~5.0	单或双浆液
环氧树脂类	1~2	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷	10 ⁻⁸ ~10 ⁻¹⁰	5~1440	10.0~35.0	单浆液
聚氨酯类	10~100	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷	10 ⁻⁸ ~10 ⁻¹⁰	0.01~19	0.5~30.0	单或双浆液

6.1.2 当要求渗透系数小于 10⁻⁶ m/s 时, 应选用丙凝、环氧树脂或聚氨酯类高聚物注浆材料; 当要求抗压强度大于 4×10⁶ Pa 时, 应选用甲凝、脲醛树脂类、环氧树脂类或聚氨酯类高聚物注浆材料; 当要求渗透系数小于 10⁻⁶ m/s 且抗压强度大于 4×10⁶ Pa 时, 应选用聚氨酯类高聚物注浆材料; 在动水环境下, 应优先选用聚氨酯类高聚物注浆材料。

6.2 大涌水量隧道工程高聚物注浆材料的性能要求

大涌水量隧道工程高聚物注浆时材料的性能还应满足表5的要求。

表 5 大涌水量隧道工程高聚物注浆材料的性能要求

性能	要求	试验方法
密度 kg/m ³	600~1200	GB/T 6343
抗压强度 10 ⁶ Pa	>5.0	GB/T 1041
防水率 %	100	GB 50404

7 施工

7.1 施工工艺程序

施工工艺程序按附录A。

7.2 注浆施工准备工作

7.2.1 应按施工要求准备注浆设备，并检查注浆设备运作问题。进厂的材料应检查外观、质量有无异常。

7.2.2 应根据隧道涌水情况编制注浆方案。

7.3 注浆施工

7.3.1 止浆岩盘的设置和检验

7.3.1.1 使用预留注浆段作为岩层止水岩盘时，岩层止水岩盘检验应用清水试压，注入压力应大于注浆设计终压。若岩层止水岩盘没有泡水，则认为岩层止水岩盘的设置合格；反之，应局部注浆加固或浇筑混凝土。

7.3.1.2 使用混凝土止水岩盘时，应按布孔要求预设孔口管，浇筑用的混凝土强度等级应不低于 C20。

7.3.2 钻孔

应严格按照设计的钻孔角度和孔径进行钻进。

7.3.3 测涌水量

当钻进过程中遇到涌水，应立即停止钻进，并通过测定涌水量确定注浆方式。

7.3.4 封口

大涌水量隧道施工过程中可采用旧麻袋、麻丝或铅丝捆好孔口管，然后塞紧于钻孔内，或用速凝胶泥或水泥砂浆封堵孔隙。

7.4 注浆

应根据设计要求及工程实际进行注浆参数选择、配浆及注浆。

7.5 注浆结束的判定

对于大涌水量隧道工程,单浆液注浆量为50 L/min~60 L/min或双液注浆量为100 L/min~120 L/min时,应结束注浆。

8 检验及评价

- 8.1 应使用现场测定的渗透系数和实测锤击数检验单孔注浆试验和多孔注浆试验的注浆效果。
- 8.2 隧道工作面注浆后,宜在掘进掌子面钻3~5个检查孔,取岩心测定漏水量,检验注浆堵水效果。
- 8.3 注浆质量检验应以检查孔压水试验为主,结合分析法、检查孔法及物探法等综合判定。
- 8.4 注浆质量检验孔数量应符合YS/T 5211中的规定。
- 8.5 注浆工程质量应符合以下要求:
 - a) 固结体的抗压强度满足设计要求;
 - b) 处治范围内的渗透系数不大于设计值;
 - c) 坚硬岩层钻孔中岩心渗漏水流量 $<0.4\text{ L/min/m}$,破碎带岩层中岩心渗漏水流量 $<0.2\text{ L/min/m}$ 。

附 录 A
(规范性)
大涌水量隧道工程高聚物注浆流程

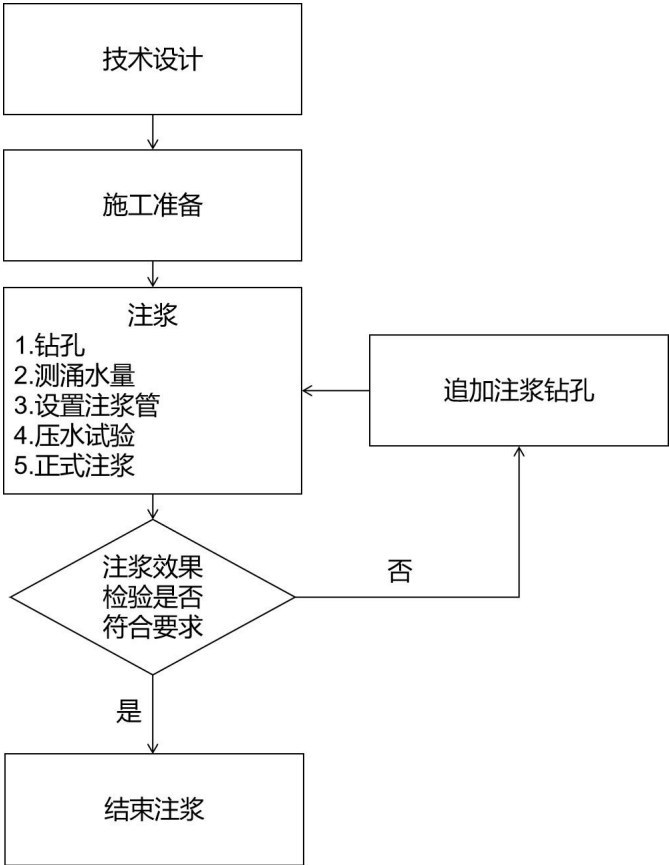


图 A. 1 大涌水量隧道工程高聚物注浆流程图

参 考 文 献

- [1]崔玖江, 崔晓青. 隧道与地下工程注浆技术[M]. 中国建筑工业出版社, 2010.
-