

CSPSTC

团 体 标 准

T/CSPSTC X-2021

隧道衬砌脱空治理技术规程

Code of practice for grouting treatment of tunnel lining void filling

2021-xx-xx 发布

2021-xx-xx 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言.....	I
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 充填注浆.....	3
6 安全施工与环境保护.....	9
7 注浆整治效果评价.....	13

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。

本文件由铁正检测科技有限公司提出。

本文件由//////////归口。

本文件起草单位：铁正检测科技有限公司

本文件主要起草人：

引 言

为减少隧道建设及运用过程中衬砌脱空安全隐患,规范隧道衬砌脱空注浆整治工作流程而制定本规程,此目的在于根据隧道衬砌空洞缺陷的严重级别,确定缺陷注浆整治的适用范围,以及后续注浆施工的规范化流程,并规定了相应的安全和环保技术措施,以及注浆施作后的效果评价指标。

隧道衬砌脱空治理技术规程

1 范围

本文件描述了隧道衬砌脱空缺陷分级、充填注浆的一般规定、注浆设计、注浆材料的应用、注浆设备的选用、注浆施工、注浆安全施工与环境保护、注浆整治效果评价的方法。

本文件适用于矿山法施工的二次衬砌存在脱空病害的公路隧道、铁路隧道及城市道路隧道。

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。

JGJ/T 212-2010 地下工程渗漏治理技术规程

JTG F80/1-2017 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

JTG H12-2015 公路隧道养护技术规范

JTG/T 5440-2018 公路隧道加固技术规范

TB 10223-2004 铁路隧道衬砌质量无损检测规程

TB 10417-2018 铁路隧道工程施工质量验收标准

YS/T 5211-2018 注浆技术规程

3 术语和定义

3.1

衬砌脱空 void behind lining

是指在隧道施工过程中，由于开挖面不平整、施工中灌注和回填不密实、防水板铺设不平整、水风化侵蚀、模板下沉、初支表面不平整、施工组织管理等原因造成混凝土浇筑后衬砌存在一定空腔的现象。

3.2

充填注浆 filling and grouting

为保证隧道衬砌结构受力的合理性，充填隧道初期支护和二次衬砌之间空隙的注浆作业。

3.3

黏度 viscosity

表示在浆液流动时，因分子间相互作用而产生的阻碍运动的内摩擦力，一般指浆液配成时的初始值，可用简易黏度计测量，其单位是帕斯卡秒（Pa·s）。

3.4

凝胶时间 gel time

是指参加反应的全部成分从混合时起，直到凝胶发生，浆液不再流动为止的一段时间（s）。

3.5

渗透系数 permeability coefficient

是指浆液固化后结石体透水性的 高低，或表示结石体抗渗性的强弱（cm/s）。

3.6

超细水泥浆 superfine cement

是指水泥中的最大颗粒不超过 20 μm，经过特殊磨细加工的水泥，能渗入细砂层和岩石的微小裂

隙中，性能稳定，其析水性、流动性都比普通水泥有明显改善，浆液结石体具有较高的强度和耐久性。

3.7

水泥基浆 cement based grout

是指以水泥为主要材料所配置的浆液。常用的有普通水泥单液浆、超细水泥单液浆及硫铝酸盐水泥浆等。

3.8

注浆流量 flow of grouting

单位时间内注入浆液的体积（L/min）。

4 基本规定

- 4.1 隧道衬砌脱空治理适用于衬砌缺陷等级按照 4.8 条判定为Ⅱ级及以下的情况。
- 4.2 隧道衬砌脱空治理目的在于缺陷经注浆整治后二衬结构密实，内部饱满，无安全隐患，满足运营标准。
- 4.3 隧道衬砌脱空治理方案以被整治段围岩级别符合施工图或变更设计，施工期间初期支护及围岩变形稳定、二衬施作时机符合现行公路及铁路隧道施工技术规范的规定、二衬混凝土强度满足设计要求为前提。
- 4.4 隧道衬砌脱空整治施工前，需对衬砌缺陷情况进行验证、查明，掌握详细的衬砌结构及缺陷情况并对衬砌脱空情况进行评定，方可确定隧道衬砌脱空整治措施。
- 4.5 隧道衬砌脱空整治完成后应对被整治段内结构变形情况、外观状态、防水效果进行不定期观测。
- 4.6 隧道衬砌脱空整治应以保证结构安全为根本，整治过程中做好对局部凿除部位的防水板、止水带、排水盲管等的保护，如有破坏，应及时进行修补，最大程度地减少对原有防排水体系的破坏。
- 4.7 现场进行钻孔验证，应记录钻孔情况，钻孔记录表可参照本文件附录 A.1。
- 4.8 根据脱空性质，确定缺陷的量化指标，对衬砌脱空缺陷进行分级，如表 1~表 3 所示，分级标准按从重原则定级，且至少符合两种相应缺陷，其中缺陷等级判定为Ⅲ级及以上，应经设计单位或具有资质的检测机构与修缮单位评估，对不适宜注浆的情况应采用局部拆除或整板拆除进行重新施作。

表 1 衬砌缺陷按长度分级

缺陷等级	I	II	III	IV
缺陷项目	轻微	较严重	严重	极严重
较小脱空	$m_1 \leq 1.5$	$1.5 < m_1 \leq 3$	$3 < m_1 \leq 4$	$m_1 > 4$
较大脱空	$t_1 \leq 1$	$1 < t_1 \leq 2$	$2 < t_1 \leq 3$	$t_1 > 3$
大脱空	$k_1 \leq 0.5$	$0.5 < k_1 \leq 1$	$1 < k_1 \leq 1.5$	$k_1 > 1.5$
注：m ₁ —衬砌单处较小脱空测线长度（m）；t ₁ —衬砌单处较大脱空测线长度（m）；k ₁ —衬砌单处大脱空测线长度（m）。				

表 2 衬砌缺陷按面积分级

缺陷等级	I	II	III	IV
缺陷项目	轻微	较严重	严重	极严重
较小脱空	$m_s \leq 1$	$1 < m_s \leq 2$	$2 < m_s \leq 3$	$m_s > 3$
较大脱空	$t_s \leq 0.8$	$0.8 < t_s \leq 1.5$	$1.5 < t_s \leq 2$	$t_s > 2$
大脱空	$k_s \leq 0.3$	$0.3 < k_s \leq 0.5$	$0.5 < k_s \leq 0.8$	$k_s > 0.8$
注：m _s —衬砌单处较小脱空面积（m ² ）；t _s —衬砌单处较大脱空面积（m ² ）；k _s —衬砌单处大				

脱空面积 (m²)。

表 3 衬砌缺陷按体积分级

缺陷等级	I	II	III	IV
缺陷项目	轻微	较严重	严重	极严重
较小脱空	$mv \leq 0.8$	$0.8 < mv \leq 1$	$1 < mv \leq 2$	$mv > 2$
较大脱空	$tv \leq 0.5$	$0.5 < tv \leq 0.8$	$0.8 < tv \leq 1.5$	$tv > 1.5$
大脱空	$kv \leq 0.25$	$0.25 < kv \leq 0.4$	$0.4 < kv \leq 0.6$	$kv > 0.6$
注: mv—衬砌单处较小脱空体积 (m ³); tv—衬砌单处较大脱空体积 (m ³); kv—衬砌单处大脱空体积 (m ³)。其中, 较小脱空是指脱空高度不大于 5 cm; 较大脱空是指脱空高度 5 cm~15 cm; 大脱空是指脱空高度大于 15 cm。				

5 充填注浆

5.1 一般规定

5.1.1 充填注浆的主要工序包括注浆管埋设、连接注浆管路、注浆。

5.1.2 注浆管应在二次衬砌时预埋或采用钻孔埋设法。钻孔过程中钻杆应有限深装置, 防止钻破防水层。

5.1.3 注浆管用 $\phi 32$ 或 $\phi 20$ 钢管制成, 长度等于衬砌厚度加 200 mm (外露), 一端应有连接管路装置。

5.1.4 注浆时, 孔口封堵材料强度达到设计强度。

5.1.5 注浆顺序是从两端拱脚开始向拱顶压注, 注浆过程中要时刻观察注浆压力和流量的变化, 并每隔 5 min 记录一次, 当注浆压力达到设计终压或相邻孔出现串孔, 即可结束本孔注浆。

5.1.6 注浆成孔应符合以下要求:

- a) 钻孔宜采用取芯钻进。当检测厚度不小于设计厚度的 90 % 时, 可采用无芯钻进;
- b) 钻孔孔径不宜大于 50 mm;
- c) 钻孔倾斜应小于 1/100;
- d) 应记录钻孔时间和成孔质量;
- e) 每处脱空不少于 2 个钻孔, 一个作为注浆孔 (位于低位), 另一个作为出浆孔 (观测孔), 出浆孔位于高位。

5.1.7 注浆开始前, 应根据注浆方式正确连接管路, 应进行压水或压浆稀释试验, 检验管路的密封性和地层的吸浆情况, 压水试验的压力应不小于设计终压, 时间不小于 5 min。

5.1.8 双液注浆时间每隔 5 min 或变更浆液配比时, 要在孔口测量浆液凝胶时间, 并根据情况进行调整。

5.1.9 注浆过程中要做好注浆记录, 每隔 5 min 详细记录压力、注浆流量、胶凝时间等。

5.1.10 注浆施工时, 应记录注浆里程、注浆顺序、注浆时间、间隔时间、浆液配合比、注浆压力、注浆量和外加剂用量, 注浆施工记录表可参照本文件附录 A.2。

5.1.11 当平均气温低于 5 °C 或最低温度低于 -3 °C 时, 机房、贮浆桶和注浆管路系统应采取防冻保温措施, 注浆口浆液温度不宜低于 5 °C。浆液可用热水搅拌, 水温不应超过 55 °C。

5.1.12 当平均气温高于 30 °C, 在浆液静止状态下, 贮浆桶和注浆管路系统下不应暴露于阳光下, 应采取防晒降温措施, 防止浆液凝固。搅拌桶内水泥浆温度不宜高于 45 °C。

5.1.13 注浆因故中断时, 应采取以下措施进行处理:

- a) 当注入速凝浆时, 应用清水冲洗管路系统;
- b) 当水泥浆中断时间超过 30 min 时, 应冲洗注浆孔, 当冲洗无效果时, 应进行清孔。

5.1.14 注浆时,应经常观测注浆压力和流量的变化,发现异常情况及时处理。注浆过程中,应经常观察工作面及管口情况,发现漏浆和串浆,应及时进行封堵。当注浆压力突然上升或下降,或流量突然增大时,应立即停止注浆,查明原因,并应采取以下措施:

- a) 疏通管道或采取封堵措施;
- b) 调整注浆压力、浆液浓度、浆液凝结时间或加入惰性材料;
- c) 采取间歇注浆、限制注浆量等措施。

5.1.15 浆液未采取缓凝措施时宜在搅拌完成后 2 h 内用完。

5.1.16 注浆前应对整个注浆管路系统进行压力试验,试验压力宜为设计注浆压力的 1.2~1.5 倍,持续时间不应少于 5 min。

5.1.17 注浆孔孔口封闭止浆后,应检查其密封性。

5.1.18 注浆过程中应观测、量测盲沟出水口的冒浆情况,以免浆液渗透至防水层堵塞盲管排水系统。

5.2 注浆设计

5.2.1 注浆设计应包括以下内容:

- a) 注浆目的和技术要求;
- b) 注浆范围和深度;
- c) 注浆孔布置和注浆顺序;
- d) 注浆材料和配合比;
- e) 注浆工艺参数和注浆结束标准;
- f) 监测内容及要求;
- g) 质量检验要求;
- h) 现场的条件工况。

5.2.2 现场施工人员采用地质雷达法为主,敲击法辅助,确定对空腔、脱空的准确位置及大致面积。

5.2.3 注浆方案应根据注浆目的、工程水文地质条件和环境条件,并宜考虑注浆对邻近衬砌板块的影响等因素综合确定。

5.2.4 注浆孔的布置间距应根据现场脱空分布具体设置,不宜小于 1.0 m*1.0 m,实际施作中可根据实际的衬砌厚度、缺陷范围和衬砌背脱空程度的不同,对钻孔布置进行适当调整。

5.2.5 当采用孔口封闭式压力注浆时,止浆塞应封闭在衬砌表面;当脱空较大时,可采用自流式无压注浆。

5.2.6 注浆孔布置应沿径向钻进。

5.2.7 注浆压力:素混凝土衬砌控制在 0.3~0.5 MPa 以内;钢筋混凝土衬砌控制在 0.8~1.0 MPa 以内。

5.2.8 注浆材料浆液配合比建议采用 0.5~0.8:1,并通过现场试验进行调整,当地下水为侵蚀性环境时,所用材料应根据侵蚀环境类型采用耐侵蚀浆材。

5.2.9 注浆孔孔径应根据缺陷分级、钻孔深度和注浆工艺确定。

5.2.10 水泥浆液水灰比可为 0.6~0.8,缺陷等级为 II 级时,可注入掺细沙浆液(细砂掺量 5%~10%),减少收缩影响。

5.2.11 注浆压力应综合根据脱空范围、衬砌强度、浆液性能等因素通过试验确定,并符合以下要求:

- a) 前期注浆压力宜为 0.2 MPa~0.5 MPa,当缺陷等级为 II 级时,可采用无压充填;
- b) 注浆终止压力宜为 1.0 MPa~1.5 MPa。

5.2.12 单孔充填注浆空洞注浆量可按下式(1)估算:

$$Q=\alpha\beta V/m \quad (1)$$

式中:

V——空洞体积(m^3);

α ——充填系数,取值范围在 0.80~0.95。

β ——损耗系数,充填注浆时取值范围在 1.2~1.5;充填其他材料时取值范围在 1.0~1.1。

m ——充填物结石率或充填度。充填浆液时结石率取值范围在 0.50~0.95, 充填砂浆时结石率取值范围在 0.85~0.95, 水灰比大取小值, 反之取大值, 充填粉煤灰和砂石时充填度取值范围在 0.90~0.95, 充填超流态混凝土时结石率取 1。

5.3 注浆材料

5.3.1 注浆材料应符合以下要求:

- 浆液应无毒无臭, 对人体无伤害, 不污染环境;
- 浆液流动性好、可注性强、黏度和凝结时间可控;
- 浆液固化体稳定性好, 能与主体结构形成整体;
- 选用的注浆泵、管接头、闸门控制系统等设备应保证浆液流动畅通, 接头牢固可靠;
- 注浆料配合比每 50 m³ 检查一次;
- 浆液固结后渗透系数不宜过大, 整体收缩小, 具有良好的粘结性、抗渗性。

5.3.2 注浆材料分类及性能指标见表 4。

表 4 注浆材料分类及性能指标

注浆材料	浆液体名称	黏度 (Pa·s)	可注最小粒径 (mm)	凝胶时间	渗透系数 (cm/s)	结石体抗压强度 (MPa)
水泥基浆	纯水泥浆	15~140	1.1	12~24 h	10 ⁻³ ~10 ⁻¹	5.0~25.0
	超细水泥浆	/	/	4~10 h	/	32.0~83.0
	水泥-水玻璃	/	/	几秒~几十分钟	10 ⁻³ ~10 ⁻²	5.0~20.0
化学浆	水玻璃类	(3~4) × 10 ⁻³	0.1	瞬间~十几分钟	10 ⁻²	<3.0
	丙烯酸盐浆液	/		3~5 min (常温下)	/	/
	水溶性聚氨酯浆液	100~300 (20 °C)	100~300 (20 °C)	10~1800 s	/	<3.5
	铬木素类	(3~4) × 10 ⁻³	0.03	十几秒~十几分钟	10 ⁻⁵ ~10 ⁻³	0.2~0.4
	丙烯酰胺类	1.2 × 10 ⁻³	0.01	十几秒~十几分钟	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁵	0.4~0.6
	脲醛树脂类	(5~6) × 10 ⁻³	0.06	十几秒~十几分钟	10 ⁻³	2.0~8.0
	聚氨酯类	几十~几百	0.03	十几秒~十几分钟	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁴	6.0~10.0

5.3.3 浆液制备应符合以下要求:

- 胶凝材料、外加剂、水的计量误差应小于 1 %, 粗细骨料的计量误差应小于 2 %;
- 当采用普通搅拌机搅拌水泥浆时, 搅拌时间不应少于 3 min; 当采用高速搅拌机搅拌水泥浆时, 搅拌时间不应少于 30 s;
- 搅拌完成的浆液应经过滤后才能放入贮浆桶中;
- 浆液在贮浆桶中应进行二次搅拌, 并边搅拌边注浆。

5.3.4 浆液配置应符合以下要求:

- 注浆材料采用水泥砂浆, 水泥砂浆配合比宜采用 0.8: 1, 并通过现场试验进行调整, 现场配备比重计进行检测; 水泥宜采用 P·042.5 普通硅酸盐水泥, 但应选用初凝时间 3 h 以上和终凝时间较长的水泥, 不应使用受潮变质的水泥;
- 单液水泥浆配置应在搅拌机内进行。其投料顺序为: 在放水的同时, 将促凝剂食盐和三乙醇胺一并加入并搅拌, 待水加至设计量后, 继续搅拌 1 min, 然后投入水泥, 再搅拌 3 min;
- 水泥-水玻璃浆液的配置应符合以下要求:
 - 水泥的配置: 在放水的同时, 将缓凝剂食盐和三乙醇胺一并加入并搅拌, 待水加至设计量后, 继续搅拌 1 min, 然后投入水泥, 再搅拌 3 min;
 - 水玻璃的稀释: 采用边加水边搅拌边用波美计测量的方法进行, 亦可用计算方法, 先算出加水量, 然后加水搅拌均匀。

- d) 硫铝酸盐水泥浆液配制应在搅拌机内进行,先放入一定量的水,在高速搅拌的情况下放入一定量的水泥,搅拌 5 min;
 - e) 配制浆液时应严格按照设计配合比进行下料,下料误差要求:主料应不大于 2%,外加剂不大于 1%;
 - f) 配制浆液或稀释水玻璃时,严防水泥包装纸及其他杂物混入。注浆时应对浆液设过滤网。未经过滤的浆液不应进入泵体;
 - g) 配制好的浆液不应停放时间过长,停放超过一小时应重新对浆液胶凝时间等指标进行测定,浆液停放超过 2 h,应按废弃处理。
- 5.3.5 当采用水泥-水玻璃浆液时,水玻璃浓度宜为 40 Be,水玻璃模数宜为 2.2~3.4,水泥浆与水玻璃浆体积比宜控制在 1:0.4~1:1,注浆施工涌水的 PH 值不宜小于 4.0。
- 5.3.6 浆液的选择应符合以下要求:
- a) 当脱空缺陷分级为 1 级时,应采用比设计强度等级提高一级的水泥砂浆;
 - b) 当脱空缺陷分级为 2 级时,可选用水泥净浆;
 - c) 当钻孔对防水板造成破坏时,可采用水泥-水玻璃双液浆;
 - d) 根据注浆目的,选用超细水泥浆、化学浆液等;
 - e) 当脱空达到 II 级时,采用掺入 5 %-10 %的细沙的砂浆。

5.4 注浆设备

- 5.4.1 注浆导管应配备与工艺相适应的成孔设备、注浆设备、搅拌设备和其他设备,不可临时拼凑,以保证注浆质量。
- 5.4.2 成孔设备可根据衬砌设计强度和厚度情况选用成孔深度 50 cm 以上的风钻、高压 (0.6 MPa) 吹管或煤电钻。
- 5.4.3 根据注浆工艺,应配有单液注浆泵、双液注浆泵 (或两台单液注浆泵),其注浆压力量程应不小于 5 MPa,排浆量应不大于 50 L/min,并可连续注浆。
- 5.4.4 搅拌水泥浆的设备应选用低速机械式搅拌机,其搅拌有效容积应不小于 400 L;搅拌改性水玻璃的设备应选用高速机械式搅拌机或自制风动搅拌机。
- 5.4.5 所有计量仪器、仪表均应有产品合格证及检定单位检定合格证。
- 5.4.6 砂浆泵应满足注入 3 mm 以下、水灰比 0.5 以上、注浆压力 2 MPa 以上注浆量 ≥ 50 L/min 的要求。
- 5.4.7 注浆泵出口、注浆孔口应设置压力表和流量计,压力表量程宜为最大注浆压力的 2.0~3.0 倍。

5.5 注浆施工

5.5.1 施工流程

隧道衬砌脱空充填注浆治理施工流程见图 1。

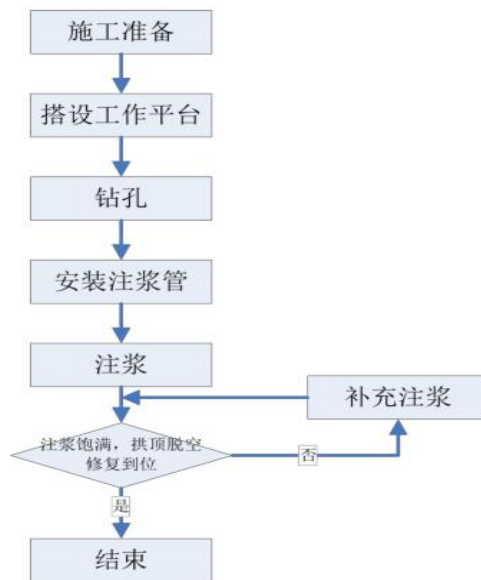


图 1 隧道衬砌脱空充填注浆治理施工流程图

5.5.2 施工准备

5.5.2.1 根据检测数据确定需要处理的衬砌位置，在缺陷的起止里程做好标识，明确该段缺陷处理方式。

5.5.2.2 对缺陷部位打孔检测实际衬砌厚度，根据实际情况，配备内窥镜摄像头，利用探孔对脱空部位进行探测，标明缺陷脱空所在的位置、范围、厚度及衬砌脱空厚度等参数，结合现场探明的情况，对检测结果进行验证，如确实存在脱空，应按照既定方案进行处理，如果实探结果与检测结果相差较大，应重新检测，复核里程位置是否存在偏差。

5.5.2.3 隧道充填注浆应具备以下资料：

- a) 隧道二衬无损检测报告；
- b) 隧道二衬现场验证记录；
- c) 隧道设计资料和相关里程的施工日志；
- d) 注浆目的和技术要求。

5.5.2.4 注浆施工前应具备以下文件和资料：

- a) 注浆施工图文件；
- b) 施工场地及周边环境保护要求；
- c) 注浆施工设备和注浆管的技术性能资料，压力表和流量计合格证和标定校验资料；
- d) 注浆原材料质检报告；
- e) 注浆试验资料。

5.5.2.5 注浆施工前应完成以下准备工作：

- a) 平整场地，设置材料堆放地点，并采取材料防护措施；围挡施工场地，并采取除尘、减霾等环保措施。
- b) 组织施工文件和图纸会审，并形成会审纪要；
- c) 编制注浆施工组织设计或施工方案，并报批；
- d) 安装施工设备，并调适运转；
- e) 施工人员进场，并进行安全技术交底。

5.5.2.6 施工注意事项应包括以下内容：

- a) 注浆时在孔口设置孔口管，注浆过程中，相邻注浆孔应设置孔口塞，以免跑浆。
- b) 施工前应先进性注浆试验，并根据试验结果调整注浆参数。
- c) 衬砌脱空充填注浆时隧道纵向应由下坡方向向上坡方向进行；横向应先注边墙孔、两侧孔，再注拱顶孔。
- d) 应对钻孔进行编号，钻孔注浆过程中应对钻孔、注浆压力、注浆量等进行详细记录，根据现场

情况确定注浆钢管。

- e) 注浆过程中应严密观察衬砌状况，若发现衬砌有异常、变形、开裂或既有裂纹有加速发展趋势等，则应立即停止注浆，以确保衬砌安全。
- f) 施工过程中应做到随钻随注以免跑浆。
- g) 注浆完成后，应及时采用封堵措施，防止浆块掉落，影响施工安全。
- h) 注浆结束后，先凿出 10 cm×10 cm×8 cm（长×宽×深）楔形孔（孔底长宽尺寸为 13 cm×13 cm），将孔清洗干净后采用膨胀水泥砂浆封堵注浆孔，膨胀剂物理性能指标应符合 GB/T 23439-2017 的规定，胶凝材料（水泥、膨胀剂和掺合料的总量）每方最少用量为 350 kg/m³，膨胀剂掺量不宜大于 15%，不宜小于 10%，水胶比不宜大于 0.5。

5.5.3 搭设作业平台

作业台车采用门式移动脚手架组成，底座带有轮式走行系统和自锁系统，移动式脚手架自设上下梯步，梯步步距高度 30 cm，同时梯步扶手设置高度不应小于 1.0 m，顶部工作满铺不小于 3 cm 厚的木板，木板采用绑丝绑扎牢固，不应出现探头板，顶部工作平台四周设置高度不小于 1.0 m 的围栏，确保作业人员的安全。

门式钢管脚手架架设的工艺流程如下：

拉线放底座→扫地杆固定脚轮→自一端起立门架并随即装交叉支撑→装水平架→装剪刀撑→用上述步骤，逐层向上安装→铺顶部脚手板→装设护栏→挂设安全网。

5.5.4 钻孔

钻孔应符合以下要求：

- a) 对照检测结果，根据脱空部位的范围，确定该范围内是否有原设计预留注浆孔，有原设计预留注浆孔，应对注浆管进行清理，保证管道通畅；没有原设计预留注浆孔，应在缺陷的最高处采用 $\phi 42$ mm 的钻头进行钻眼成孔；
- b) 利用既有注浆孔或钻孔，确定缺陷段最高处后，根据标记位置使用风枪对衬砌进行钻孔，根据实际情况，应在注浆孔附近设置排气孔，确保注浆质量。现场技术人员根据检测报告中显示的脱空厚度，对现场作业人员进行技术交底，明确孔位、孔深，作业人员根据技术交底要求的施工参数，进行钻孔作业；
- c) 拱顶位置预留注浆孔无法满足注浆要求时，应采用梅花形布设注浆孔，具体钻孔位置和数量根据缺陷范围确定，在隧道注浆满足要求前提下，宜尽量减少隧道钻孔数量，钻孔数量宜按每处缺陷布设 2 个孔设置（根据注浆结果确定是否增加注浆孔）；
- d) 钻孔深度未达到技术交底要求的深度，钻机出现突进现象时，为防止继续钻进钻破防水板，应立即停止钻孔作业，同时确认已到脱空位置；
- e) 钻孔深度已达到技术交底要求的深度，仍未发现有突进现象时，应立即停止钻孔作业，并及时上报现场检测人员，进一步分析后方可继续作业，不应私自加深钻探孔深；
- f) 钻到设计厚度后仍无脱空现象，应重新在脱空的相邻部位重新钻孔，同时核查里程是否正确。如无脱空，宜采用红笔标识“X”标识该孔作废；
- g) 注浆孔位偏差不应大于 20 cm，注浆孔深应根据缺陷深度确定，钻孔应垂直二衬表面，垂直度偏差不应大于 1.5 %；
- h) 钻孔时应记录钻速、进尺。

5.5.5 安装注浆管

注浆管及排气管宜采用直径 42 mm，壁厚 4 mm 热轧无缝钢管加工制成，外露段应有连接管路装置，管口中心对正钻眼位置，排气管口应比注浆管口高。

5.5.6 注浆

注浆应符合以下要求：

- a) 注浆前用塑料管口连接丝扣接口，注浆前应与每根预留注浆管进行试接，确保拌制的浆液能够在规定的时间内使用完，使注浆能够连续进行，应记录注浆效果，注浆效果统计表可参照本文件附录 A.3；
- b) 水泥基浆配比应根据所采用的注浆设备要求确定，应做好使用前的配比性试验，水泥宜采用 42.5 级硅酸盐水泥，加入膨胀剂（掺入比例应经过现场试验确定）。水泥基浆应按照试验配比拌制，拌制应连续，拌制过程中应严格控制水泥用量，确保浆液的粘度；
- c) 注浆管埋设 1 h 后开始注浆。采用注浆机器注浆，注浆压力应在 0.3 Mpa 范围内，注浆过程中应随时观察压力和流量变化。注浆完毕后宜采用土工布封堵注浆管，防止浆液从管内溢出；
- d) 应按先下后上的顺序进行注浆。按埋设好的注浆管，打开注浆管阀门，注浆开始后，应逐渐升压，待注浆管出浆后立即封闭其孔，继续采用 0.3 MPa 压力持续压浆 5 min 后方可停止注浆。注浆速度宜为 30~60 L/min，灌浆管端头设置防堵设施，注浆结束后应将灌浆管孔封堵密实；
- e) 第 1 次注浆后间隔 2 h，每个注浆孔宜按 0.1 Mpa 的压力保持 10 min 注浆；
- f) 正式施工前，应先施作 1 处进行现场试验，记录注浆压力等数据以指导后续施工。注浆结束后应进行复测，以检验注浆效果，方可继续进入下一处。注浆时在孔口设置孔口管，注浆过程中，相邻注浆孔应设置孔口塞，以免跑浆；
- g) 衬砌脱空充填注浆时隧道应由纵向下坡方向向上坡方向进行；横向应先从边墙孔、两侧孔注浆，再对拱顶孔进行注浆；
- h) 灌浆管端头设置防堵设施，注浆结束后应将灌浆管孔封堵密实。注浆时在孔口设置孔口管，注浆过程中，相邻注浆孔应设置孔口塞，以免跑浆。同时，应对钻孔进行编号，钻孔及注浆过程中应对钻孔数量、钻孔位置、注浆压力、注浆量等进行详细记录，根据钻孔情况确定注浆钢管长度；
- i) 注浆过程中应严密观察衬砌状况，若发现衬砌有异常、变形、开裂或既有裂隙有加速发展趋势等，则应立即停止注浆，以确保衬砌安全；
- j) 施工过程中应做到随钻随注，以免跑浆。注浆完成后，应及时采取封堵措施，防止浆块掉落。

5.5.7 补充注浆

根据记录分析判断注浆效果及现场施工情况，待注浆达到设计强度后，应检查注浆效果，注浆不密实或仍有空洞应补充注浆，以确保衬砌空洞充填密实。补充注浆流程宜在初次充填注浆基础上原位补注。

5.5.8 结束注浆

当达到下述情况之一时，即可结束注浆：

- a) 当注浆量达到或超过测算的注浆量，孔口管出现冒浆时；
- b) 浆液从衬砌板缝间渗出，且溢出速度均匀；
- c) 当注浆压力达到设计终压并稳定 5 min 以上、吸浆量很少或不吸浆时即可结束该孔注浆。

5.5.9 拔管及封堵

注浆完成并验收合格后，将注浆管沿孔根部用手砂轮割除，先凿出 10 cm×10 cm×8 cm（长×宽×深）楔形孔（孔底长宽尺寸为 13 cm×13 cm），将孔清洗干净后采用膨胀水泥砂浆封堵注浆孔，厚度应超出原衬砌 1~2 mm，待其达到强度后再磨平整。注浆完成且浆液凝固后应将注浆管外露部分切割打磨平整，并作防锈处理。

6 注浆安全施工与环境保护

6.1 一般规定

6.1.1 施工现场应建立安全和管理制度，配备专职管理人员，明确管理责任。

6.1.2 注浆施工应采取有针对性的安全保证措施和环境保护措施，对重大危险源和重要环境因素应进

行辨识，并应制定相应的控制措施和应急预案。

6.1.3 注浆作业人员应经岗位培训合格后方可上岗，特种作业人员应持证上岗，施工前应进行安全教育和安全技术交底。

6.1.4 注浆施工前，应详细调查注浆作业区内的管线，地下设施及建筑物位置和现状，并应采取避让和保护措施，施工现场应设置安全防护设施、安全警示牌、警告标志牌。

6.1.5 注浆施工过程中应遵守安全操作规程，不应违章作业。应加强安全和现场环境巡视、检查，发现隐患应立即整改。

6.1.6 注浆作业人员应佩戴安全帽、护目镜、口罩、橡胶手套、围裙、鞋罩和耳塞等防护用品。

6.1.7 注浆泵应由专人操作，并应与其他人员密切配合，由孔口人员统一指挥开泵、加压和停泵等操作。

6.1.8 现场施工作业应遵循《隧道施工安全九条规定》和 TSG 08-2017 的规定，作业场地应有足够的照明；高空作业应严格执行《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ80-2016，穿好防护鞋和防护服、正确佩戴安全帽、正确使用安全绳等；作业人员应穿戴有反光标示的作业背心并做好入场人员的登记工作；严格用电管理。

6.1.9 应成立现场生产及安全指挥机构，明确职责，落实责任，对施工人员进行培训。加强施工管理，每步施工均应进行记录，确保施工质量及运营安全。

6.1.10 施工中若现场情况与预估不符，或发现存在安全隐患时，应立即停止施工。

6.1.11 施工前应编制实施性施工组织设计，安排好进度、各工序衔接、机具配置、施工场地布置等，并应特别强调可采取的安全防护等措施，以确保安全，注浆过程中发生事故，应做好事故统计，事故统计表可参照本文件附录 A.4。

6.1.12 当采用钻孔取芯时，如前期防水层采用高分子预铺反粘防水卷材，取样后应验证防水层与二衬混凝土之间的剥离强度，数量不宜少于 5 个，以现场观察卷材不脱离结构且粘附于结构表面为合格，并拍照纳入防水质量后评价报告中反馈原设计单位。

6.2 注浆安全施工

6.2.1 注浆孔成孔安全应符合 GB/T 50585-2019 的规定。

6.2.2 设备安装应符合以下要求：

- a) 注浆设备和高压管路应密封安装，无泄漏，零部件应紧固无松动；
- b) 安全阀和压力表应安装正确。安全阀应进行试验检验，确保在达到开启压力时能卸压；
- c) 注浆高压管路上应至少安装 2 个卸压阀，并应保证管路首尾各安装 1 个；
- d) 设备安装后应采用清水试机。

6.2.3 设备的传动机、装置和制动器应紧固，皮带机、电动机、传动轴和搅拌机等应有防护罩。

6.2.4 搅拌机运转中不应清理灰浆。清理和维修时，应切断电源，锁好配电箱，挂上“禁止合闸”标牌，并应有专人监护。

6.2.5 注浆时应采取以下安全措施：

- a) 注浆时人员不应在注浆孔下停留；
- b) 注浆施工时宜有备用水箱和电源。停泵时，应清理注浆泵和注浆管内浆液；
- c) 当注浆设备和注浆压力骤增时，应立即停机，查明原因，经卸压后再进行处理；
- d) 采用孔口封闭注浆方式时，注浆前应检查孔口密封性，并应采取防爆措施。

6.2.6 施工现场用电应符合 JGJ 46-2005 的规定。

6.2.7 施工作业应做好原材料保护，防止损伤。化学材料及堆放使用过程中有特殊要求的材料，应由专人保管，严格遵守和执行领料、用料管理制度，防止事故发生。纤维布应集中放置，专人管理，防止打折、污染、风吹之后缠绕洞内设施。

6.2.8 施工中应核对和监测隧道净空，通过设点加强对衬砌变形与位移监测，采取安全、稳妥的施工方式，永久加固工程不应侵入建筑限界范围。

6.3 环境保护

- 6.3.1 施工场地应道路通畅，施工现场应围挡，并保持整洁，施工废料应分类堆放，集中处理。
- 6.3.2 水泥等细颗粒散体材料应在库内存放或严密遮盖，搅拌区域应设置防尘棚。裸露地面应定期洒水或覆盖，不应焚烧包装材料及其他废料。
- 6.3.3 运输易飞扬的细颗粒散体材料或渣土时，应覆盖或封闭，不应遗漏；装卸时，应采取控制扬尘措施，施工车辆应清理干净后驶出场地。
- 6.3.4 场地排水系统应畅通，废浆应排至沉淀池处理，废水应经处理达标后排放，不应直接排放。对腐蚀性溶液，应按 GB 8978-1996 的规定进行处置。
- 6.3.5 施工现场噪声控制应符合 GB 12523-2011 的规定，施工应采用低噪声机械。当采用钻机和空压机等机械时，应采取隔音措施，防止噪声超标。
- 6.3.6 注浆施工过程中，应采取防止浆液泄露，减少对二衬表面的污染。
- 6.3.7 施工现场照明设施应加设防护罩，防止产生光污染。
- 6.3.8 注浆材料在运输、装卸、贮存和使用过程中应采取防护措施和环境保护措施。

7 注浆整治效果评价

7.1 一般规定

- 7.1.1 充填注浆质量检验方法宜采用锤击、钻孔取芯、物探等手段，并结合施工记录综合分析。
- 7.1.2 检验部位应选择脱空顶部、漏浆严重地段或有代表性的区域。
- 7.1.3 纯水泥浆注浆质量检验应在注浆结束 14 d 后进行，速凝浆液可根据具体情况缩短检验起始时间，但不应少于 7 d。
- 7.1.4 钻孔取芯检验数量不宜少于注浆孔总数的 5%，且不宜少于 3 处，无损检测应不少于 3 条测线，测线应在缺陷中心及缺陷左右两侧分别布设，两侧测线距缺陷中心不应大于 40 cm。
- 7.1.5 对不符合结束标准要求的，应进行补孔注浆。
- 7.1.6 衬砌脱空后期的维修治理过程中，应对前期防水设防层结合渗漏情况做防水设计质量的后评价体系，并增设分区系统以减少因防水板与初支和二衬脱开而引起的“窜水”。

7.2 整治效果评价

- 7.2.1 对于已完成注浆的空洞位置可进行锤击验证，若产生空响，可判断为注浆处理效果较差，仍存在空洞；若锤击声音沉闷，应结合雷达检测、钻孔验证进行综合评定。
- 7.2.2 利用雷达检测法评价整治效果有如下五种情况：
 - a) 对于无异常反射信号的，可判断为该处混凝土密实，注浆效果好；
 - b) 对于三振相明显减弱，二次反射消失，原被缺陷强反射信号遮盖的钢筋或拱架信号出现的，可判定为该处混凝土密实，注浆效果较好；
 - c) 对于三振相减弱，二次反射减弱，缺陷处电磁波相位发生反转的可判定为该处混凝土密实，注浆效果较好；
 - d) 对于三振相无明显减弱，二次反射无减弱，缺陷处电磁波相位发生反转的可判定为该处混凝土密实，注浆效果较好；
 - e) 对于三振相无明显减弱，二次反射无减弱，缺陷处电磁波相位未发生反转的可判定为该处混凝土仍存在脱空，注浆效果很差；
 - f) 对于三振相无明显减弱，二次反射无减弱，缺陷处电磁波相位未发生明显反转的可判定为该处混凝土仍存在脱空，注浆效果较差。
- 7.2.3 对于钻孔验证，根据实际情况，边墙及拱腰部位可在空洞注浆处进行冲击钻打孔，打孔深度应结合雷达检测衬砌厚度为依据（防止破坏防水板），打孔位置应选择雷达图谱所显示具有代表性的点位，钻孔后采用铁丝制作的弯钩对孔顶、孔壁进行钩挂检查或采用内窥镜进行检查；对于存在间隙小于 2 cm 的缺陷，可视为注浆整治合格。拱顶采用钻孔+内窥镜检查方式，应做好验证结果统计，验证结果统计表可参照本文件附录 A.5。

7.2.4 利用声波法进行检测应参照 TB 10223-2004。

7.2.5 对于衬砌空洞注浆后检查不合格的点位，应进行二次补注，直至检测合格。

7.2.6 复检结果应与初检结果进行对比分析，应记录好注浆效果评定结果，注浆效果评定表可参照本文件附录 A.6，并出具复检报告。

附 录 A
(资料性)
注浆施工记录

表 A. 1 隧道衬砌钻孔记录表

施工单位：			工程名称：		钻孔设备：	
孔号	孔深 (cm)	钻孔时间 (min)	孔径 (cm)	衬砌厚度 (cm)	脱空范围	备注

记录员： 施工员： 施工班组长： 质检员： 工地负责人： 年 月 日

表 A.2 隧道衬砌注浆施工记录表

施工单位：		工程名称：			注浆时间：		
注浆里程：		注浆设备：			注浆量：		
注浆孔号	浆液类型	浆液配合比	注浆压力 (MPa)	注浆终压 (MPa)	凝胶时间 (min)	注浆流量 (m³)	备注

总注浆量：

材料消耗：

填表说明：1、备注栏填漏浆、串浆情况；2、改性水玻璃（SS）时配合比填 PH 值；3、C-S 浆填凝胶时间，其他不填。

记录员： 施工员： 施工班组长： 质检员： 工地负责人： 年 月 日

表 A.3 隧道衬砌注浆效果统计表

[illegible]

填表说明：1、一个孔注两种以上浆液，可占2格以上，并有注浆量小计。2、备注栏填注浆情况，有无漏浆，串浆3、统计表后应附注浆记录。

整理员：

复核员：

年 月 日

表 A. 4 隧道衬砌缺陷注浆事故统计表

施工单位：			工程名称：			
注浆设备：			统计时间：			
事故原因	事故造成的损失	事故处理措施		事故经验教训	事故责任人处罚情况	备注

整理员：

复核员：

表 A. 5 隧道衬砌钻孔验证结果统计表

施工单位：					工程名称：				
钻孔设备：					统计时间：				
序号	钻孔时间	钻孔部位	钻孔里程	钻孔深度 (cm)	缺陷部位	缺陷里程	缺陷深度 (cm)	钻孔结果描述	备注

整理员：

复核员：

表 A. 6 隧道衬砌空洞注浆效果评定表

施工单位：		工程名称：			日期：	
检测方法：		检测依据：			环境条件：	
序号	检测部位	检测里程	结果判定		备注	
			合格	不合格		
、						

检测员：

复核员：