

### 公路隧道维修加固技术规程

Technical specification for maintenance and reinforcement of highway tunnel

(征求意见稿)

(本草案完成时间: 2023年6月2日)

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。

2023-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

# 公路隧道维修加固技术规程

## 1 范围

本文件界定了公路隧道维修加固技术的术语与定义，规定了调查、检测与勘察，加固处治，不良地质处治，裂缝修补及渗漏水处治，监控量测。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内采用钻爆法施工的新建、改扩建及已建山岭公路隧道的维修加固设计、施工和监测。

## 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/T 700 碳素结构钢
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50367 混凝土结构加固设计规范
- JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### **隧道加固 tunnel strengthening**

对发生病害隧道的围岩、结构、构件采取工程措施，使其满足安全性、耐久性及使用功能要求。

### 3.2

#### **换拱 replace lining**

对原衬砌拱墙结构整体或局部拆除后重新施作的加固方法。

### 3.3

#### **增设套拱 Add arch sleeves**

沿原衬砌表面增设拱形混凝土结构，与原衬砌形成共同承载体的加固方法。

### 3.4

#### **粘贴抗拉材料 paste tensile material**

对隧道衬砌表面粘贴钢板、复合纤维材料等抗拉材料，提高衬砌结构抗弯能力的加固方法。

### 3.5

#### **增设支点 add fulcrum**

通过型钢、锚杆、锚索、钢管等临时或永久结构增加衬砌支撑点，提高衬砌抵抗继续变形的承载能力。

### 3.6

#### 内嵌钢架 embedded steel arch

通过对既有衬砌切槽，埋设钢架，并采用高强混凝土、喷射混凝土等填料填塞使得钢架与既有衬砌形成整体从而提高承载力的加固方式。

### 3.7

#### 叠合式套拱 Superimposed form arch

通过采取设置连接钢筋、锚栓、混凝土凿毛界面、胶粘接等连接措施，使得既有结构与新增套拱接触界面能够传力剪力形成整体共同受力的套拱。

### 3.8

#### 复合式套拱 Composite arch sleeve

新增套拱与既有结构之间界面未进行处理，新增套拱与既有结构主要通过径向传力形成协同受力的套拱。

## 4 总体要求

4.1 公路隧道的维修加固应根据检测、评估结论或鉴定论证结论及委托方提出的要求进行加固设计、施工。

4.2 公路隧道的维修加固设计、施工应综合考虑其技术经济效果，避免不必要的拆除或更换。

4.3 加固后达到的功能要求及设计使用年限，应根据隧道结构破坏后果的严重性、结构的重要性，由委托方与设计方按实际情况共同商定。

4.4 加固过程中可能出现倾斜、失稳、过大变形或坍塌的混凝土结构，应采取临时性安全措施。

4.5 对于可靠度要求高，加固经济性差，耐久性不足，无法彻底解决病害诱因的隧道段，应结合安全性、经济性、可靠性进行维修加固与拆除重建方式的比选。

4.6 设计应明确结构加固后的用途。在加固设计使用年限内，未经技术鉴定或设计许可，不应改变加固后结构的用途和使用环境。

## 5 调查、检测与勘察

### 5.1 一般规定

5.1.1 公路隧道维修加固前应进行充分调查，并根据调查结果分析是否需要进行检测及勘察。

5.1.2 调查、检测与勘察应相互结合，互为补充，为公路隧道维修加固设计、施工提供充分的依据。

5.1.3 调查、检测与勘察应根据维修加固设计、施工的需要及时动态调整内容和方法。

5.1.4 公路隧道的维修加固的调查可作为勘察或检测的一部分，调查、检测与勘察工作应由具备相关资质的单位承担，调查、检测与勘察结论应明确。

### 5.2 调查

5.2.1 应调查搜集病害隧道勘察、设计和施工资料，近5年定期检查、专项检查报告及保养维修、病害处治等资料。

5.2.2 公路隧道维修加固的调查应根据实际条件，向参与修建的相关人员了解施工过程中情况，搜集施工期间的掌子面照片、开挖方法及施工期监控量测、变更设计及特殊地段针对性处理等情况。

5.2.3 公路隧道的维修加固应充分调查隧址段的地形地貌、地质特点、水文地质情况以及植被变化情

况。

5.2.4 隧道洞身病害段存在裂缝的，应对裂缝的长度、宽度、深度、形态、分布情况进行调查，并将调查结果进行记录。

5.2.5 隧道洞口段出现病害的，应重点调查洞门墙的变形开裂情况、二次衬砌的变形开裂情况、隧道边仰坡的稳定情况、隧顶山体变形及开裂情况。

5.2.6 隧道路面出现拱起病害时，应重点调查隧道排水系统的工作状况，二次衬砌仰拱或底板设置情况、隧底地质情况以及地下水水压情况。

5.2.7 隧道附属设施出现病害时，应同时调查与附属设施相邻的隧道主体结构的病害类型、形态。

5.2.8 公路隧道维修加固调查结果应汇总成册，并根据调查结果对下一步工作提出要求及建议。

5.2.9 公路隧道的维修加固调查结果应与勘察、检测结果充分融合，为下一步病害成因分析、维修加固设计与施工提供依据。

### 5.3 检测

5.3.1 应根据情况采取结构变形检测、裂缝检测、渗漏水检测、材质检测、荷载检测、衬砌及围岩监测。

5.3.2 应对隧道净空断面、平面线性、纵面坡度、沉降高程变化、附属设施变形情况进行测量及检测。

5.3.3 应对衬砌裂缝的发展变化速度、裂缝长度、宽度及深度进行检测，裂缝深度可采用超声波等物探并结合钻孔验证的方法进行检测。

5.3.4 应对衬砌表面病害、保护层厚度、衬砌强度、钢筋锈蚀、碳化深度、渗漏水情况进行检测。

5.3.5 可根据结构病害的严重程度，采取无损检测、钻孔检测的方式对衬砌及围岩状况检测，摸清衬砌背后地质情况、衬砌厚度、空洞、钢筋、钢架、衬砌配筋、仰拱充填层密实程度情况。

5.3.6 由于外荷载和水压引起的结构病害，应增加应力、应变、水压力和围岩荷载检测。

5.3.7 检测完成后，检测报告成果应包括：

- a) 对所测专项给出明确的检测结论；
- b) 对缺损或病害的成因、范围、数量、程度等情况的分析；
- c) 隧道结构的养护维修及病害处治建议；
- d) 对所测专项涉及的相关标度进行评定。

### 5.4 勘察

5.4.1 现有调查及检测结果无法支撑隧道维修加固设计时，应进行补充勘察。

5.4.2 补充勘察应包括水文地质勘察、工程地质勘察，勘察手段包括资料搜集、地调、物探、钻探、现场力学试验以及必要的监测、测量工作。

5.4.3 因围岩压力持续增长而需要加固的围岩病害段，应进行补充取样钻孔，并进行孔内测试，重新判定围岩级别，对特殊岩性，应补充物理力学试验。

5.4.4 软弱地基病害段，应补充钻孔，查明软弱层类型、深度、范围，采用现场贯入试验或平板试验测试地基承载力特征值。

5.4.5 高水压病害段，应查明地下水补给、地下水位、水质情况，评价地下水的影响，计算涌水量，提出水压折减系数。

5.4.6 隧道洞口山体滑坡病害段，应补充钻探及物理力学试验，查明工程地质、水文地质、潜在滑动面，并对滑体的稳定性及滑体对隧道的作用进行评价。

5.4.7 对于存在膨胀性岩土的特殊岩土，应查明膨胀性岩土的物理力学性质及对隧道结构的影响。

- 5.4.8 岩溶区隧道的维修加固，应综合采用物探、钻探、物理力学试验查明岩溶的发育情况：
- 针对与隧道相交的溶洞，查明隧道周边完整岩盘保护层厚度、溶洞内充填物状况。
  - 针对隐伏岩溶，查明隐伏岩溶的位置、空间分布，评价隐伏溶洞对隧道的影响。
  - 针对存在水害地段，进行水文调查，查明岩溶水的补径排情况，评价岩溶水对隧道的影响。
- 5.4.9 勘察成果应包含以下内容：
- 勘察内容、勘察方法、勘察手段；
  - 围岩判定、地下水情况、不良地质、物理力学参数；
  - 病害的主要原因推测；
  - 对病害段的处治建议。

## 6 加固处治

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 公路隧道的维修加固设计应以原勘察设计、施工、检测资料为基础，结合成因分析，针对病害产生原因针对性的提出设计方案。
- 6.1.2 应对病害进行分类，对于复杂的病害应从安全、技术、经济、环保、交通影响、施工可行性等方面进行方案比选。
- 6.1.3 加固设计不应改变隧道的原设计建筑限界标准，必须改变原设计建筑限界标准时，应委托有关单位进行行车安全性、行车速度、通行能力等方面的论证。
- 6.1.4 涉及到预留洞室、电缆沟的加固处治应结合机电改造进行。
- 6.1.5 加固处治施工前宜制定专项施工方案，专项施工方案应包括施工工艺、安全控制措施、施工质量控制措施等内容。

### 6.2 加固材料

- 6.2.1 加固材料的品种规格和性能指标应符合国家、行业现行相关标准的规定并满足设计要求。
- 6.2.2 衬砌加固用喷射混凝土强度等级不应低于 C25，模筑混凝土强度等级宜比原结构强度提高一级，且不应低于 C25，补偿收缩混凝土强度等级不应低于 C30。
- 6.2.3 钢筋混凝土中的钢筋技术条件，应符合 GB 1499.1、GB1499.2 的规定，锚杆预应力筋宜采用预应力螺纹钢筋；植筋应采用热轧带肋钢筋，不应采用光圆钢筋。
- 6.2.4 粘贴钢板、钢带宜采用 Q345 级钢材，型钢、钢管宜采用 Q235 级、Q345 级钢材，钢材的性能应符合 GB/T 700 和 GB/T 1591 的规定，钢材的性能设计值应按 GB 50017 的规定采用，重要结构的焊接构件，应采用 Q235-B 级、Q345-C 级钢材。
- 6.2.5 纤维复合材料可采用碳纤维、玻璃纤维及芳纶纤维，其品种和性能应符合表 1 的规定：

表1 纤维符合材料主要力学性能指标

纤维类别		性能项目					
		抗拉强度标准值 (Mpa)	弹性模量 (Mpa)	断裂伸长率 (%)	弯曲强度 (Mpa)	纤维符合材料混凝土正拉黏结强度 (Mpa)	层间剪切强 (Mpa)
碳纤维	高强度 I 型	≥3400	≥2.4×10 <sup>5</sup>	≥1.6	≥700	≥2.5,且为混凝	≥45

	高强度 II 型	≥3000	≥2.0x10 <sup>5</sup>	≥1.5	≥600	土内聚破坏	≥35
玻璃纤维	S 型（高强）	≥2200	≥1.0x10 <sup>5</sup>	≥2.5	≥600		≥40
	E 型（无碱）	≥1500	≥7.2x10 <sup>5</sup>	≥1.8	≥500		≥35
芳纶纤维	高强度 I 型	≥2100	≥1.1x10 <sup>5</sup>	≥2.2	≥400		≥40
	高强度 II 型	≥1800	≥0.8x10 <sup>5</sup>	≥2.6	≥300		≥30

6.2.6 注浆材料可采用水泥(砂)浆、水泥-水玻璃浆、超细水泥浆、水溶性聚氨酯浆液、丙烯酸浆液等，水溶性聚氨酯性能浆液指标见表 2，丙烯酸浆液性能指标见表 3。

表2 水溶性聚氨酯浆液性能指标

性能项目		性能要求
浆液性能	黏度 (MPa·s)	<1000
	抗渗指标 (MPa)	>0.9
	遇水膨胀率 (%)	≥20
与混凝土黏结强度 (MPa)		≥1.1
结石抗压强度 (MPa)		<1.5

表3 丙烯酸盐浆液性能指标

性能项目		性能要求	
		I 型	II 型
浆体性能	黏度 (MPa·s)	≤10	
	渗透系数 (cm/s)	≤1x10 <sup>-6</sup>	≤1x10 <sup>-7</sup>
	遇水膨胀率 (%)	≥30	
固砂体抗压强度 (MPa)		≥0.2	≥0.4

### 6.3 总体设计

6.3.1 结构加固方法应配合使用裂缝修补技术、锚固技术、防锈蚀技术和防排水设施恢复技术。

6.3.2 加固设计应考虑原结构的实际受力状态，充分考虑加固后的组合结构的应变滞后、协同受力、及结合面连接问题。

6.3.3 加固设计应对交通组织、监控量测、临时加固措施等提出安全、技术要求。

6.3.4 加固设计应安全可靠、易于实施，应采取有效措施，保证新旧结构间连接可靠，并加强对原有构件的保护。

6.3.5 应对病害类型进行分类，根据病害类型针对性处治，病害类型见表 4。

表4 隧道病害分类

病害类型	病害特点	处治重点
非结构性裂缝	浅层裂缝、收缩裂缝、温差裂缝、张开的施工缝、温差裂缝	以封闭提高耐久性为主
施工缺陷	二次衬砌空洞、漏筋、混凝土不密实、防水系统失效、排水系统堵塞、混凝土不密实、施工	以注浆、凿除恢复为主

	冷缝	
承载力不足	结构性裂缝、衬砌大变形、衬砌压裂崩落、附属设备掉落	提高结构承载力
软弱地基	路面沉降、路面拱起、电缆沟挤裂	进行地基处理
高水压	突水突泥、衬砌开裂、喷水、渗漏水	结构加强、排水、围岩加固等
洞口山体滑坡	山体位移、结构阻滑段受力集中、洞门结构位移破坏	减载、结构加强、控制推移变形
膨胀性压力	各方向挤压结构、变形量大、反复加卸载	围岩加固、结构加强、排水措施、圆形轮廓

## 6.4 荷载

6.4.1 由环境、材料、施工或设计等因素引起的隧道病害，在围岩压力变化不大的情况下，隧道加固宜按新建隧道计算荷载。

6.4.2 隧道病害由外力引起，病害无继续发展趋势时，荷载计算应符合下列规定：

- a) 结构存在轻微破损时，按新建隧道计算荷载。
- b) 结构存在破坏或较严重破坏时，按新建隧道低一级围岩的物理力学参数计算。

6.4.3 隧道病害由外力引起且尚在发展时，荷载计算应符合下列规定：

- a) 计算围岩压力时，采用至少低一级围岩的物理力学参数进行计算。
- b) 由地下水压力引起衬砌破损时，荷载计算应考虑衬砌外围水压力的影响，当隧道病害段水文地质条件复杂且地下水压力较大时，应进行专项研究。
- c) 膨胀性围岩、软岩形变产生的压力应根据塑性变形理论及施工措施估算围岩形变压力，可引起隧道衬砌结构严重破坏时，应进行围岩压力专项研究。
- d) 滑坡引起隧道衬砌结构破损较严重时，应通过坡体稳定性分析确定边坡滑动对隧道衬砌结构产生的附加荷载。

6.4.4 既有隧道隧址区因隧道、边坡、构筑物等施工造成既有隧道产生病害时，应根据既有隧道与临近施工的隧道、边坡、构筑物的空间位置关系进行荷载专项研究，评估爆破震动、边坡卸荷、隧道开挖造成的荷载变化。

6.4.5 衬砌背后空洞注浆或围岩注浆产生的荷载，应包括注浆压力荷载和浆液自重荷载。注浆压力荷载宜按线性方式分布计算；浆液自重荷载宜根据填充的浆液高度、重度进行计算。

6.4.6 洞口山体滑动时应计算滑体产生的附加荷载，附加荷载的计算应符合附录 A 的规定。

6.4.7 运营期抗水压复合式衬砌的水压荷载应由二次衬砌承担，施工期初期支护的水压荷载应结合临时排水条件、排水系统排水能力及工程经验综合分析确定。运营期抗水压复合式衬砌二次衬砌的水压力荷载可按照式（1）计算，水压力折减系数可按表 2、表 5、表 6 取值。

$$P = \beta \gamma_w H \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$P$ ——水压力荷载标准值（kPa）；

$\gamma_w$ ——水的重度（kN/m<sup>3</sup>）；

$H$ ——作用水头（m）；

$\beta$ ——折减系数。

表5 岩溶隧道水压力折减系数

出水形态	围岩破碎程度	堵水加固圈	折减系数
岩溶区地下水主通道离隧道较远, 呈现溶孔涌流、裂隙节理渗流状态	完整及较完整	完整或加固后隔水岩盘 > 8m	0~0.2
		完整或加固后隔水岩盘 < 8m	0.2~0.4
	较破碎、破碎、极破碎	加固后堵水圈 > 8m	0.2~0.4
		加固后堵水圈 < 8m	0.4~0.6
岩溶主通道离隧道较远, 支管道离隧道较近或与隧道相交, 地下水呈现涌流状态	完整及较完整	完整或加固后隔水岩盘 > 8m	0.2~0.4
		完整或加固后隔水岩盘 < 8m	0.4~0.6
	较破碎、破碎、极破碎	加固或堵塞后堵水圈 > 8m	0.4~0.6
		有效堵水圈 < 8m	0.6~0.8
岩溶地下水过水主通道或大型溶洞涌水	岩溶填充物充填	加固或堵塞后堵水圈 > 5m	0.7~0.9
		有效堵水圈 < 5m	0.9~1.0
	无岩溶填充物或局部岩溶填充物充填		1.0
<b>注1:</b> 没有采取加固措施的管道流折减系数宜取 1.0。 <b>注2:</b> 水文条件较为复杂时, 宜结合流场分析综合确定。			

表6 碎屑岩隧道水压力折减系数

出水形态	围岩破碎程度	堵水加固圈	折减系数
汇水、储水主通道离隧道较远, 隧道处呈现孔隙流、裂隙节理渗流状态	完整及较完整	完整或加固后隔水岩盘 > 8m	0~0.2
		完整或加固后隔水岩盘 < 8m	0.2~0.4
	较破碎、破碎、极破碎	加固后堵水圈 > 8m	0.2~0.4
		加固后堵水圈 < 8m	0.4~0.6
汇水、储水主通道离隧道较远, 支通道离隧道较近或与隧道相交, 地下水呈现涌流状态	完整及较完整	完整或加固后隔水岩盘 > 8m	0.2~0.4
		完整或加固后隔水岩盘 < 8m	0.4~0.6
	较破碎、破碎、极破碎	加固或堵塞后堵水圈 > 8m	0.4~0.6
		有效堵水圈 < 8m	0.6~0.8
隧道处于地下水过水、储水主通道	较破碎、破碎、极破碎	加固或堵塞后堵水圈 > 5m	0.7~0.9
		有效堵水圈 < 5m	0.9~1.0
<b>注3:</b> 水文条件较为复杂时, 宜结合流场分析综合确定。			

6.4.8 隧道衬砌设置深部泄水孔时, 可对抗水压衬砌段的水压荷载进行折减。按式(2)、(3)计算。

$$P = \beta_0 \beta \gamma_w H \dots\dots\dots (2)$$

$$\beta_0 = 1 - \frac{Q}{Q_0} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\beta_0$ ——计入渗水量的水压折减系数;

$Q$ ——隧道建成后渗水孔设计流量峰值, 该值应小于隧道排水系统最大排水能力;

$Q_0$ ——开挖后毛洞状态下的实测流量峰值。

6.4.9 因隧道围岩长期风化、劣化造成隧道病害时, 宜按在运营期可能产生的最大劣化程度, 考虑围岩级别、物理力学参数, 并据此计算围岩压力。

## 6.5 结构计算



- 6.5.1 当原衬砌已接近丧失承载能力时，加固后的衬砌结构验算不宜考虑原衬砌的作用。
- 6.5.2 隧道病害计算模型应符合下列规定：
- 衬砌厚度不足，按隧道衬砌的实际厚度进行计算。
  - 按实测的材料弹性模量、抗压强度和抗拉强度值进行计算。
  - 采用荷载结构法计算时，衬砌背后空洞处不计围岩压力和地层抗力；采用地层结构法计算时，空洞按实际几何尺寸建模分析。
  - 结构存在裂缝，贯通裂缝可采用“塑性铰”模拟；素混凝土衬砌受拉区开裂，采用有效面积计算；钢筋混凝土衬砌受拉区开裂，开裂部分拉应力全部由钢筋承担，混凝土采用有效面积计算。
- 6.5.3 采用套拱加固时，计算应符合下列规定：
- 采用叠合式套拱时，按整体受力进行计算其内力。
  - 叠合式套拱承载力验算可参照 JTG 3370.1 进行验算，但应考虑结构传力界面的应力滞后的不利影响，叠合式结构的承载力取值不宜大于计算值的 0.9 倍。
  - 采用复合式套拱时，可不考虑新增套拱和原有结构的剪切作用，按照径向传力模型或根据经验给予不同的分别比例进行套拱内力计算。
  - 复合式套拱的验算应采取既有结构与套拱分别验算，验算可参照 JTG 3370.1 进行验算。
- 6.5.4 采用粘贴钢板和粘贴纤维复合材料加固时，加固层和原衬砌结构宜按无相对滑移、变形协调状态考虑，进行结构验算时，验算方法可参照 GB 50367 进行验算。
- 6.5.5 锚杆加固衬砌结构，采用地层结构法计算时，锚杆宜采用杆单元进行模拟；采用荷载结构法计算时，锚杆宜采用弹簧单元进行模拟。
- 6.5.6 采用荷载结构法计算时，围岩弹性抗力系数应根据实际围岩情况测定；无实测资料时，可按 JTG 3370.1 选取。
- 6.5.7 衬砌背后空洞注浆后，结构内力计算应计入原空洞处的围岩弹性抗力。
- 6.5.8 围岩采用注浆加固时，宜对加固范围的围岩按承载拱计算，承载拱和衬砌共同承担围岩压力。
- 6.5.9 当采用多种加固方法处治时，应考虑前序方法对围岩力学性能的改善及衬砌结构承载能力的提高进行加固计算。
- 6.5.10 洞口洞门加固计算应符合下列规定：
- 边仰坡采用锚杆、锚索、抗滑桩等加固措施时，验算加固后的稳定性。
  - 洞口有危岩体分布或边仰坡有崩塌可能时，计算预测落石的运动轨迹和范围。
  - 采取防护网措施时，对防护网的布设位置、范围、强度等进行分析。
  - 加固后的洞门端墙按 JTG 3370.1 对结构及整体稳定性进行计算。

## 6.6 围岩加固

- 6.6.1 围岩加固可采用地表注浆、洞内注浆以及锚杆等加固方法。
- 6.6.2 地表注浆适用于洞口段或洞身浅埋段，洞内注浆适用于岩体破碎、空洞段，锚杆加固适用于围岩为 IV 级及以上较好围岩。
- 6.6.3 地表注浆灌浆孔应根据病害的成因进行布孔，布孔深度在隧道两侧宜深入潜在滑裂面以内，在隧道洞身范围内宜距离初期支护不小于 50cm。
- 6.6.4 通过既有隧道衬砌钻孔注浆时宜考虑注浆压力对衬砌产生的不利影响，注浆对素混凝土衬砌产生的压力不宜大于 0.1MPa，对钢筋混凝土产生的压力不宜大于 0.2MPa。地表注浆宜结合注浆深度进行分析确定，注浆可造成既有衬砌开裂或破坏时，应采取临时加固措施。

6.6.5 注浆材料应根据功能需要进行选择，一般情况下可采用水泥（砂）浆，岩体孔隙、裂隙较小时可采用超细水泥浆，有堵水要求时可采用化学浆液、水泥—水玻璃浆。

6.6.6 注浆加固施工应按由下向上、由少水处向多水处、先两端后中间的顺序施工；地下水富集、有水压的段落，宜先设置泄水孔排水，再进行注浆。

6.6.7 注浆过程中发生异常，可采取降低注浆压力，间歇注浆，调整注浆材料等手段进行施工。注浆结束后宜采取钻孔取芯等方法对注浆效果进行检查，检查孔应封填密实。

6.6.8 注浆结束后应对原排水系统进行检查，存在堵塞、破坏现象时，应进行疏通、恢复或采取其他可靠措施。

6.6.9 洞内注浆钻孔施工既有衬砌部分应采用回转式钻孔，围岩钻进过程中易塌孔时，宜采用跟管钻进工艺，注浆结束后，应按设计要求封孔。

6.6.10 锚杆进行加固时，宜与既有衬砌配合使用，锚杆的布置宜按照梅花形布置，间距不宜过密。锚杆宜采用全粘结性锚杆，锚杆孔内宜采用高强水泥浆进行灌孔。锚杆的长度宜采取类比、理论分析、数值分析综合确定，锚杆的长度宜超过设计的加固圈不小于 1m。

## 6.7 提高衬砌承载力

6.7.1 应根据病害类型、净空条件、既有衬砌承载力、补强程度确定提高承载力的方式，可采取粘贴抗拉材料、内嵌钢架、增设套拱、喷锚支护、换拱，具体可参照表 7 选用。

表7 提高衬砌承载力方法

加固方式	适用类型	承载特点
粘贴抗拉材料	表层弯拉结构性裂缝	利用材料抗拉强度，主要为表层处理
内嵌钢架	素砼结构、内圈净空限制。	利用嵌入钢架与既有衬砌形成组合承载结构
增设套拱	内圈净空可以利用。 内圈净空无限制。	利用净空再增加一层衬砌
喷锚支护	局部缺陷、内圈净空可以利用。	利用喷锚支护与围岩、既有衬砌及围岩形成协同受力
加固围岩	周边围岩岩体较好、 加固后自承载力高。	主要为加固围岩，充分发挥围岩自承载能力
换拱	无法满足长期承载的要求、 软弱基础高水压等处治需换拱。	大幅度提高结构承载能力

6.7.2 黏贴钢板（带）、黏贴复合纤维材料加固设计与施工，应符合以下规定：

- 黏贴钢板（带）、黏贴复合纤维材料加固适用于局部抗拉强度不足的情况，在与既有衬砌有效粘结的情况下，可利用黏贴钢板（W 钢带）增大衬砌刚度和抗压能力。
- 黏贴钢板（带）、黏贴复合纤维材料应采用锚栓、结构胶等方法与既有衬砌有效锚固，保障与既有结构的协调变形能力。
- 黏贴在衬砌面上的钢板（带），其外表面应进行防锈蚀处理。表面防锈蚀材料对钢板及胶粘剂应无害。
- 粘贴在混凝土构件表面上的纤维复合材料，不应直接暴露于阳光或有害介质中，其表面应进行防护处理。表面防护材料应对纤维及胶粘剂无害，且应与胶粘剂有可靠的粘结强度及相互协调的变形性能。

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/115112214324011041>