

团 体 标 准

盾构法隧道结构加固技术规范
Technical specification for
reinforcement of shield tunnel structures

2023-xx-xx 发布

2023-xx-xx 实施

天津市勘察设计协会 发布

目 录

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	5
4	材料	6
4.1	一般规定	6
4.2	钢材	6
4.3	注浆和填充材料	6
4.4	加固用粘结材料	7
4.5	纤维材料	7
5	盾构法隧道结构病害类型及分级	9
5.1	一般规定	9
5.2	结构病害类型	9
5.3	病害分级	9
6	管片破损	11
6.1	一般规定	11
6.2	设计	11
6.3	施工	11
7	管片错台加固	13
7.1	一般规定	13
7.2	设计	13
7.3	施工	14
8	管片裂缝	15
8.1	一般规定	15
8.2	设计	15
8.3	施工	15
9	管片变形	17
9.1	一般规定	17
9.2	设计	17

9.3 地面微扰动注浆施工	19
9.4 钢内衬加固施工	20
10 管片渗漏水	24
10.1 一般规定	24
10.2 设计	24
10.3 施工	24
11 隧道移位	26
11.1 一般规定	26
11.2 设计	26
11.3 施工	27
12 其他	28
12.1 一般规定	28
12.2 设计	28
12.3 施工	28
13 质量检验	30
附录 A 钢内衬施工工艺流程图	32
参考文献	33

前 言

本规范按照 GB/T1.1--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。

在本规范编制过程中,编制组广泛调查研究和总结了全国各地盾构法隧道结构加固的工程实践经验,参考了国内外有关标准,并在广泛征求意见基础上,对具体内容进行了反复讨论、协调和修改,最后经审查定稿。

本规范的内容包括:第1章总则,规定了本规范的适用范围;第2章术语;第3章基本规定,提出了对盾构法隧道结构加固的总体要求;第4章材料,明确了用于隧道结构修复加固的各种材料的性能要求;第5章隧道结构病害类型及分级,给出了隧道结构的主要病害类型和分级标准;第6~12章明确了盾构隧道结构管片破损、错台、裂缝、变形、渗漏水、位移、管片穿孔、道床剥离等病害修复加固的基本程序,提出了上述病害修复加固的设计方法,给出了常见病害修复加固的施工步骤、应急程序;第13章确立了加固后的质量目标和验收标准;附录、参考文献。

本规范由中铁第六勘察设计院集团有限公司提出。

本规范由天津市勘察设计协会归口。

本规范主编单位:

本规范参编单位:

本规范主要起草人:

本规范主要审查人员:

1 总则

1.0.1 为使盾构法隧道结构的加固，做到安全可靠、节能环保、技术先进、经济适用、确保质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于城市轨道交通、城市道路、铁路、公路、水利、电力行业和给水、排水、燃气、热力、城市地下综合管廊等市政行业盾构法隧道结构加固的设计、施工、检验。

1.0.3 盾构法隧道结构加固应符合国家现行相关标准的规定。

2 术语

2.0.1 盾构法隧道 shield tunnel

采用盾构机掘进并拼装预制管片衬砌的圆形、双圆形或类矩形隧道。

2.0.2 预制混凝土管片 precast concrete segments

以钢筋、混凝土为主要原材料，采用工厂化、标准化、模块化、装配化制作的混凝土衬砌环的基本单元。

2.0.3 管片错台 segment slah staggering

相邻环在垂直于隧道轴线平面内发生的相对位移，或单环内相邻管片沿径向产生的相对位移。

2.0.4 管片破损 segment failure or damage

盾构法隧道预制管片结构发生断裂、破损、剥落、掉角、开裂等现象。

2.0.5 管片裂缝 segment crack

预制混凝土管片在生产、拼装、隧道运营时产生的纵向或环向的混凝土裂缝。

2.0.6 收敛变形 convergence deformation

盾构法隧道横断面方向，变形后的隧道直径与理论正圆直径相减，取绝对值后最大的数值。

2.0.7 隧道渗漏 water seepage or leakage

盾构法隧道出现点渗漏、裂缝渗漏及面渗漏等现象。隧道渗漏的严重程度可以分为渗水、漏水和涌水。

2.0.8 隧道病害 tunnel disease

隧道出现的渗漏、衬砌裂损、衬砌腐蚀、隧道冻害、震害、火灾威胁和洞内空气污染等现象，对隧道安全、舒适、正常运营有重要影响和威胁的统称为隧道病害。

2.0.9 同步注浆 synchronous grouting

同步注浆是在盾构掘进时通过盾构机的注浆管和管片的注浆孔进行壁后注浆的方法。

2.0.10 二次注浆 secondary grouting

是填充同步注浆后的未填充部分，补充注浆材料收缩体积减小部分，处理渗漏水和处理由于隧道变形引起的管片、注浆材料、地层之间产生剥离，通过填充注浆使其形成整体，提高止水效果等。

2.0.11 管片修补 segment repair

盾构法隧道结构出现病害和损坏等情况，影响隧道使用功能和安全，为使其恢复使用功能和结构安全状态，采用技术措施对隧道结构进行修补、加固、补强、堵漏、加固等，使其满足质量要求。

2.0.12 钢环加固 steel lining reinforcement

为弥补隧道结构承载能力不足，满足结构使用寿命期内功能和耐久性要求，采用环形钢板，通过膨胀螺栓或化学锚栓固定于隧道内弧面，并进行充填黏结，以此形成钢环与原隧道结构共同受力的一种工艺。

2.0.13 洞内注浆 grouting inside the tunnel

在隧道内部，用适当的方法将某些能固化的浆液注入隧道周边地层或隧道衬砌与道床之间的裂缝或孔隙中。

2.0.14 洞外注浆 grouting outside the tunnel

在隧道外部，用适当的方法将某些能固化的浆液注入隧道周边地层的裂缝或孔隙中，通过充填、混合或挤压等方式填充空隙、改善隧道周围土层物理力学性质、减轻收敛变形和隧道纵断面相对变形等。

2.0.15 纤维织物加固 reinforcement with fiber fabric

采用纤维织物和胶粘剂对出现管片破损部分的隧道结构进行加固的一种工艺。

2.0.16 隧道移位 Tunnel displacement

隧道移位是指盾构法隧道结构受外部不均匀应力影响或隧道基土流失产生位的位移。

2.0.17 椭圆度 ovality

圆形隧道管片衬砌拼装成环后隧道最大与最小直径的差值与隧道设计内径的比值，以千分比表示。

2.0.18 嵌缝密封 inlay sealing

采用密封材料对渗漏病害进行密封，以修复渗漏病害的方法。

2.0.19 纵向相对变形 longitudinal relative deformation

某一隧道区段范围内，反映隧道纵向曲率变化特点的指标。

2.0.20 注浆止水 grouting method for leak-stoppage

在压力作用下注入灌浆材料，切断渗漏水流通通道，以修复渗漏病害的方法。

2.0.21 涂抹封闭 daub sealing

在背水面涂抹水泥基渗透结晶型材料，通过渗透、反应、结晶堵塞混凝土细微裂缝，提高混凝土致密性和防水性，以解决混凝土裂缝病害的方法。

2.0.22 灌浆法 grouting method

以一定压力将灌浆材料注入混凝土裂缝中，通过灌浆材料与原结构材料的有机结合，对受损混凝土进行填充，堵漏和加固，以解决混凝土裂缝病害的方法。

2.0.23 填充法 filling method

通过直接填充或开槽填充的方式，使修补材料和原结构材料有效结合，对受损混凝土进行填充、堵漏和加固，以解决混凝土裂缝病害的方法。

2.0.24 无筋嵌缝修补 no reinforcement infill repair

采用早强快硬修补材料分层嵌填，对混凝土破损进行修复的方法。

2.0.25 有筋嵌填修补 reinforcement infill repair

采用植筋、钢筋网片等材料，结合早强快硬修补材料分层嵌填，对混凝土破损进行修复的方法。

2.0.26 地表卸载 surface unloading

通过在盾构法隧道上方卸载，减少隧道上覆压力，以改善隧道受力状态的一种隧道病害修复方式。

2.0.27 洞内隧道外注浆 grouting outside the tunnel from inside

在隧道内部，用适当的方法将某些能固化的浆液注入隧道周边地层的裂缝或空隙中，通过充填、混合或挤压等方式填充空隙、改善隧道周围土层物理力学性质、形成隧道底部或侧向的有效支墩、减轻收敛变形和隧道纵断面相对变形等。

2.0.28 道床剥离 track bed spalling

受列车循环振动荷载作用，位于软土或液化砂层中的铁路、城市轨道交通盾构法隧道内道床易产生横向断面变形、纵向不均匀沉降和与管片剥离。

3 基本规定

- 3.1.1 盾构法隧道结构加固前应到现场对病害进行勘察，根据结构病害的性状、特点进行原因分析，评估其对隧道安全稳定的影响，制定相应有效的加固方案，并根据加固方案要求进行验收。
- 3.1.2 根据盾构法隧道的使用特性，选用以结构补强功能为主的加固材料，制定相适宜的处理措施和加固方案，严格防控选用不当材料和工艺，对混凝土结构产生二次损害。
- 3.1.3 盾构法隧道结构加固时，应全程进行隧道结构的沉降、上抬、收敛变形监测，应对周边环境进行监测。
- 3.1.4 盾构法隧道结构加固施工应做好个人安全防护措施、隧道结构及隧道内设施的安全保护。
- 3.1.5 盾构法隧道结构加固应选用粘接性能好的加固材料，可抗振动、不剥离掉块、材料绿色环保。
- 3.1.6 盾构法隧道结构加固施工时，隧道内原有管线和其他设施的移位或保护应符合相应的安全规定。
- 3.1.7 施工结束后需清理现场，不遗留任何影响隧道结构的施工物体。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 盾构法隧道结构加固采用的原材料应符合现行国家有关产品标准的规定，并应符合设计要求。

4.1.2 盾构法隧道结构加固采用的原材料应具有质量合格证明文件。

4.2 钢材

4.2.1 选用钢材的品种、性能、规格等应符合现行国家产品标准。

4.2.2 钢内衬板：选用 Q355 及以上，对需要焊接构件应选用 Q355-B。

4.2.3 钢板：选用 Q345 及以上，对需要焊接构件应选用 Q345-B。

4.2.4 钢筋：HRB400 及以上。

4.2.5 锚栓：强度等级 6.8 级及以上。

4.3 注浆和填充材料

4.3.1 选用材料需符合设计及相关规定要求。

4.3.2 用于管片渗漏水处理的材料，应依据设计方案和相应规范执行。

4.3.3 应依据受损的原因制定相应的处理方案，用于结构受损加固的材料，选用的材料应能满足管片加固后的强度和耐久性设计要求。

4.3.4 水泥注浆材料可用于隧道脱空区的充填注浆；与环氧树脂进行复合注浆对隧道受损部位的补强加固，用于隧道不均匀沉降隧底基土的稳定处理。

环氧注浆材料：

表 4.3.4-1 环氧树脂注浆材料浆液物理性能

序号	项目	指标
1	密度（g/cm）	> 1.00
2	初始粘度（mpa.s）	< 30
3	可操作时间/min	> 120
4	接触角/°	< 25.0

表 4.3.4-2 环氧树脂注浆材料固化物力学性能

序号	项目	指标
1	抗压强度/Mpa	≥ 50.0
2	拉伸剪切强度/Mpa	≥ 7.0
3	抗拉强度/Mpa	≥ 12.0
4	干粘结强度/Mpa	≥ 3.5
5	湿粘结强度/Mpa	≥ 3.0
6	抗渗压力/Mpa	≥ 1.5
固化物性能的实验龄期为 28d。		

水泥注浆材料：

表 4.3.4-3 稳定性水泥浆液性能指标

项目	水灰比	密度 g/cm ³	析水率%	漏斗粘度 s	流量参数		结石强度		结石湿容 g/cm ³	结石干容 g/cm ³	备注
					τ (Pa)	η (Pa·s)	7d	28d			
性能	0.6:1	1.75	2	26.7	0.75	0.0123	11	16.5	1.82	1.31	未加速凝剂

4.3.5 填充粘结材料宜选用环氧树脂。环氧树脂材料应符合设计要求，产品质量应符合现行行业标准《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC/T 1041 的规定。

4.3.6 钢环防腐选用喷涂型聚脲弹性体。防腐材料的性能指标应满足设计要求，产品质量应符合现行行业标准《喷涂聚脲防水工程技术规程》JGJ/T 200 和《喷涂型聚脲防护材料涂装工程技术规范》HG/T 20273 的规定。

4.4 加固用粘结材料

4.4.1 管片加固用粘结材料的性能指标应满足设计要求，且符合表 4.4.1-1 的规定。

表 4.4.1-1 加固用粘结材料性能指标

序号	项目	指标
1	抗拉强度(MPa)	≥40
2	抗压强度(MPa)	≥65
3	抗弯强度(MPa)	≥50
4	抗剪强度(MPa)	≥15
5	弹性模量(MPa)	≥2500
6	正拉粘结强度(MPa)	≥30
7	初凝时间(min)	≤20
8	终凝时间(h)	≤2
9	伸张率(%)	≥1.3
10	与混凝土正拉粘结强度(MPa)	≥2.74
11	力学性能指标应在 80℃ 高温下不衰减	

4.4.2 加固用粘结材料应按工程用量应分次进场，进场时应对其品种、级别、型号、规格、包装、标识、产品合格证和出厂检验报告等进行检查，并应对胶粘剂的初凝时间、终凝时间和粘结强度进行见证取样复验。

4.5 纤维材料

4.5.1 隧道结构加固的纤维复合材料可采用碳纤维复合材料和芳纶纤维复合材料。在接触网供电隧道中不宜采用碳纤维复合材料加固。

4.5.2 纤维复合材料的纤维必须为连续纤维，其受力方式必须设计成仅承受拉应力作用。

4.5.3 纤维复合材料的物理性能满足表 4.5.3-1。

表 4.5.3-1 纤维织物性能指标

序号	项目	指标
1	纤维抗拉强度(MPa)	≥ 2000
2	受拉弹性模量(GPa)	≥ 110
3	伸长率(%)	≥ 1.8

4.5.4 纤维复合材的安全性鉴定必须与所选用的配套结构胶同时进行。

4.5.5 承重结构加固用的碳纤维复合材料，其品种和规格易选用聚丙烯腈基(PAN基) 12k 或 12k 以下的小丝束纤维，严禁使用大丝束纤维。

4.5.6 承重结构加固用的芳纶纤维品种，应符合下列规定：

- 1) 弹性模量不得低于 8.0×10^4 MPa；
- 2) 饱和含水率不得大于 4.5%。

芳纶纤维复合材安全性鉴定时，应按委托方报的复合材料等级进行检验。

5 盾构法隧道结构病害类型及分级

5.1 一般规定

5.1.1 盾构法隧道结构病害发生后应进行检测，根据检测情况分为常规病害和险情类病害。

5.1.2 病害检测应根据病害类型定量描述病害程度及发展趋势。

5.1.3 常规病害可根据其发展程度、趋势、对隧道结构及运营影响程度进行评估分级，针对不同隧道病害等级采取合理加固措施以保证隧道结构及运营安全。

5.1.4 险情类病害威胁盾构法隧道结构及运营安全，应采取应急处理措施控制险情。

5.2 结构病害类型

5.2.1 盾构法隧道病害指会影响隧道结构或运营安全的现象，根据其影响表现型式，主要为管片破损、管片错台、管片裂缝、管片变形、管片渗漏水、隧道移位、管片击穿、盾构法隧道洞门开裂与渗漏水、铁路和城市轨道交通隧道道床剥离等。

5.2.2 管片破损病害根据病害特点可分为管片纵（横）向开裂、管片剥离、管片崩角、管片掉块以及管片松动等。

5.2.3 管片渗漏水病害根据其严重程度分为湿渍、渗水、滴漏、线漏、漏泥沙。

5.2.4 管片变形病害根据变形分布可分为管片径向收敛变形、纵向相对变形、管片错台、接缝张开、道床剥离等。

5.2.5 管片击穿根据拱部击穿位置不同分为拱顶管片击穿、拱角管片击穿、拱腰管片击穿。

5.2.6 盾构法隧道洞门病害根据其形成原因分为工作井端墙过大变形导致接口脱节或错台、洞门接口环梁开裂、接口处存在空腔渗漏。

5.2.7 道床剥离病害根据剥离程度分为道床与管片间开裂、道床与管片间脱空、道床与管片剥离翻浆冒泥。

5.3 病害分级

5.3.1 应根据设计规定、使用时间、使用条件和使用状况，进行病害分级鉴定。鉴定工作内容应包括结构使用条件和结构性能的检查，以及结构运营状态的评定。隧道结构的检查应查明隧道使用条件及其变化、查验与检验隧道结构及其材料的性能、分析隧道结构及其材料的性能变化。

5.3.2 隧道病害分级采用单项指标法，评定时以最不利一项评定因素的危害程度作为隧道结构最终的危害程度分级。隧道病害分级按照表 5.3.2-1 执行。

表 5.3.2-1 隧道法隧道病害分级

病害分级	评估因素			
	发展程度	发展趋势	对隧道结构安全影响	对运营安全影响
I级	严重	迅速	严重威胁隧道结构安全	严重威胁运营安全
II级	较严重	较快	威胁隧道结构安全	威胁运营安全

III级	中等	较慢	不干预将会影响隧道结构安全	不干预将会影响隧道结构安全
IV级	轻微	稳定	基本无影响	基本无影响
1 下列病害应判定为I级： 1) 破损病害，隧道结构破损存在侵限危险或者顶部松动存在掉块危险时。 2) 变形病害，对于铁路及公路隧道的变形量存在侵限危害时。 3) 渗漏病害，对于轨道交通车站及机电设备集中区段：高速公路、一级公路、二级公路、城市道路的隧道拱部、腰部及设备处；三级公路、四级公路隧道的设备处；一级铁路隧道，二级铁路电化隧道；有冻害地段铁路非电化隧道、城市地下综合管廊等出现渗水，结构表面有湿渍时。 2 符合下列条件，病害级别应提高一级，病害等级为I级时，不再提高： 管片裂缝条数较多，且裂缝多为贯通裂缝。 3 符合下列条件时，病害级别可酌情降低一级，病害等级为IV级时，不再降低： 1) 病害常相伴发生，如仅单项指标超标，且经评估隧道安全性、适用性和耐久性状态较好。 2) 所处地层条件较好，且经评估隧道安全性、适用性和耐久性状态较好。				

5.3.3 管片错台的病害分级标准：

表 5.3.3-1 管片错台分级标准

隧道类型	错台病害等级			
	IV级	III级	II级	I级
城市轨道交通隧道	$\Delta < 4\text{mm}$	$4\text{mm} \leq \Delta < 10\text{mm}$	$10\text{mm} \leq \Delta < 20\text{mm}$	$\Delta \geq 20\text{mm}$
公路隧道	$\Delta < 5\text{mm}$	$5\text{mm} \leq \Delta < 12\text{mm}$	$12\text{mm} \leq \Delta < 24\text{mm}$	$\Delta \geq 24\text{mm}$
铁路隧道	$\Delta < 5\text{mm}$	$5\text{mm} \leq \Delta < 12\text{mm}$	$12\text{mm} \leq \Delta < 24\text{mm}$	$\Delta \geq 24\text{mm}$
水工隧道	$\Delta < 6\text{mm}$	$6\text{mm} \leq \Delta < 15\text{mm}$	$15\text{mm} \leq \Delta < 30\text{mm}$	$\Delta \geq 30\text{mm}$
市政隧道	$\Delta < 6\text{mm}$	$6\text{mm} \leq \Delta < 15\text{mm}$	$15\text{mm} \leq \Delta < 30\text{mm}$	$\Delta \geq 30\text{mm}$
油气隧道	$\Delta < 6\text{mm}$	$6\text{mm} \leq \Delta < 15\text{mm}$	$15\text{mm} \leq \Delta < 30\text{mm}$	$\Delta \geq 30\text{mm}$

5.3.4 管片变形病害级别为IV级时，可暂不采取处理措施，但应对病害进行跟踪巡检；病害级别为III级时，宜采取处理措施；病害级别为II级时，对病害的轻重缓急立即采取有针对性处理措施；病害级别为I级时，应立即采取抢险类处理措施。

6 管片破损

6.1 一般规定

6.1.1 管片破损修补前应先完成渗漏处理。对受损隧道管片加固，应进行现场摸查，分析受损原因，依受损性状进行分类，制定相应的处理加固方案，如隧道管片结构受外部不均匀应力影响产生的收敛变形，影响产生的破损，应先消除不均匀应力影响，稳定隧道结构后，方可进行管片受损的加固。

6.2 设计

6.2.1 管片破损加固设计前，应根据破损检测结果对管片结构受力、隧道限界及纵断面线型等进行验算。

6.2.2 管片破损加固设计须采取改善结构受力的有效措施，以满足衬砌结构承载力、安全性、适用性和耐久性的要求，加固后管片不低于原设计要求的技术标准。

6.2.3 破损管片初始状态受力计算遵守下列规定：

6.2.4 破损管片的计算厚度应按照实际有效厚度进行计算。

- 1) 材料性能参数、几何尺寸均应按照实际计算。
- 2) 采用荷载-结构模型，考虑管片背后地层对隧道的约束作用的弹性反力。
- 3) 管片破损等级为Ⅰ级和Ⅱ级时，采用反映结构损伤的模型进行数值模拟分析。

6.2.5 破损管片加固设计遵守以下原则：

- 1) 根据破损分级，结合盾构法隧道所处的地质条件、运营环境，制定针对性设计方案。
- 2) 钢环内衬加固应在其他加固措施完成且隧道结构稳定后实施。
- 3) 已开通运营的交通隧道，加固设计方案结合运营管理部门意见及实际可实施的时间综合确定。
- 4) 未开通运营隧道加固方案设计要考虑运营期间正常检修和维保。
- 5) 管片修补新老结构连接确保整体受力，避免或者减少对既有结构不可逆的损伤。

6.2.6 对于交通隧道管片顶部行车影响范围内的破损应采用有筋嵌填修补或者钢环内衬加固，其余位置破损根据破损程度采用无筋嵌填修补、有筋嵌填修补、钢环内衬加固。

6.3 施工

6.3.1 管片裂缝处理沿裂缝布孔，采用缝面封闭注浆，选用环氧树脂类注浆材料，注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$ ，严格控制注浆压力不能诱发管片的二次损伤。

6.3.2 管片崩角、碎裂面处理施工前检查崩角、碎裂面的混凝土受损面积、深度范围，依情制定加固方案。损伤深度 $\leq 20\text{mm}$ 的，基面清理后，涂上环氧界面剂后采用环氧砂浆进行嵌填加固；损伤深度 $> 20\text{mm}$ 的，应视深度植筋或膨胀螺丝，严重碎裂面还应预埋注浆管对深部裂缝进行固结处理，视加固深度挂网分层压填环氧砂浆，待环氧砂浆凝固后进行环氧类注浆材料灌浆，注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$ 。

6.3.3 管片破损加固分项工程包括：界面处理、涂抹封闭、灌浆法、填充法、植筋、嵌填修补、表面修整。

- 6.3.4 破损管片修补前，应清理破损基面浮沉等杂质，修补完成后应对管片表面进行清理。
- 6.3.5 结构胶粘剂的配置、搅拌时间应符合设计要求或产品说明书规定，且不得混入碎块、灰尘等杂质，搅拌后在规定时间内完成嵌填，管片破损面与补强材料间均匀、密实充填胶粘剂。
- 6.3.6 破损管片修补后表面平整度不应大于 5mm，且不得明显突出表面。
- 6.3.7 植筋钻孔深度宜为 50mm，钢筋露出管片破损面长度不小于 50mm，植筋孔位由孔洞中心向外扩散，间距不大于 200mm。植筋和钢丝网的位置偏差允许值为 $\pm 50\text{mm}$ ，钢丝网尺寸偏差允许值为 $\pm 20\text{mm}$ 。
- 6.3.8 钢环加固所采用的膨胀螺栓和化学锚栓应进行拉拔试验并满足设计要求。钢环加固封边时，应封堵严实并埋设注浆管，封边表面平整、无明显凹凸。

7 管片错台加固

7.1 一般规定

7.1.1 处理前应进行原因分析，隧道收敛变形稳定监测后方可进入错台加固。

7.1.2 管片错台发生后，应对管片进行错台检测，根据检测结果对错台进行病害分级。

7.1.3 管片错台检测内容应包括病害区间内错台的数量、分布，及对应的错台量。还可包括：混凝土碳化深度；螺栓、钢筋和钢构件的锈蚀程度等。

7.1.4 管片错台加固施工前，宜具备地质勘察报告、原隧道结构竣工图、管线及建构筑物资料、周边环境调查资料、隧道结构监测检测数据或受损评估报告、隧道加固工程设计文件、隧道加固工程施工方案。

7.2 设计

7.2.1 管片错台加固设计前，应根据错台病害检测结果对管片结构受力、隧道限界及纵断面线型等进行验算。

7.2.2 管片错台加固设计应采取改善结构受力的措施，使其满足衬砌结构承载力及安全性、适用性和耐久性的要求，不应低于原设计要求的技术标准。

7.2.3 管片初始状态受力计算遵守下列规定：

- 1) 按照实际材料性能参数，几何尺寸进行计算。
- 2) 采用荷载—结构模型，并考虑地层对隧道变形约束作用的弹性反力。
- 3) 错台病害等级为Ⅰ级和Ⅱ级时，宜进行数值模拟分析。
- 4) 采用钢环等管片内衬加固形式时，内衬加固与管片之间的黏结作用宜考虑采用弹簧模拟。

7.2.4 管片错台加固设计遵守以下原则：

- 1) 根据错台病害分级，结合隧道所处的地质条件、使用环境，制定针对性加固设计方案，加固后的隧道应具有一定的变形裕量。
- 2) 当对同一环管片采取多种加固方案时，应明确加固工序。钢环等管片内衬加固应在其他加固措施完成且隧道变形稳定后实施。
- 3) 对于已开通运营的隧道，加固设计方案应结合运营管理部门意见及实际可施工时间综合确定。
- 4) 对于未开通运营的隧道，加固设计方案需要考虑运营后的正常检修及维保。
- 5) 新老结构连接需要确保整体受力以避免或减少对既有结构的损伤。
- 6) 保证隧道排水畅通。

7.2.5 管片错台病害采取加固措施后，宜对隧道结构进行受力性能分析，以保证其具有足够的刚度及延性。

7.2.6 管片错台病害加固措施宜选钢环等管片内衬加固，可采用洞内注浆或洞外注浆加固的措施，也可根据实际组合选取多种加固措施。

7.2.7 盾构法交通隧道拱顶范围的加固应确保加固材料与原结构的有效结合，不应出现加固材料坠落影响隧道的运营安全。

7.2.8 采用钢环等管片内衬加固方案时，应采取有效措施保证环向内衬与既有结构形成叠合结构；加固之前应对既有结构进行基面处理，环向内衬加固除需要满足限界及承载性能要求外，尚需要满足防腐、防火、防坠落、防杂散电流等要求。

7.2.9 钢环加固分为“全断面钢环”和“钢环+牛腿”两类。当采用“钢环+牛腿”设计时，需要确保牛腿的做法既满足承载力要求，又满足隧道两侧排水沟的明排及检修要求。

7.2.10 钢环等管片内衬加固又分为“骑缝环”和“环面环”两类。当环缝错台超限时，应采用“骑缝环”；当收敛变形与环缝错台同时超限时，应采用“全环钢环”即“环面环”+“骑缝环”的方案，但为保证隧道纵向的柔性，不应形成通长的“全环钢环”加固。

7.2.11 钢内衬与钢筋混凝土管片通过刚性环氧树脂及锚栓连接，锚栓定位应避开手孔、环缝、纵缝、钢筋等构造。钢环安装后，宜尽量避免在钢环上进行焊接，防止高温影响环氧树脂黏结效果。

7.3 施工

7.3.1 管片错台处理前检查错台的深度、范围、依情制定处理方案。

7.3.2 错台位小于 20mm 的依低位面进行基面处理和清理，涂上环氧类界面剂后，压填环氧砂浆与邻边高位面找平（留出拼缝位）。

7.3.3 错台位 $\geq 20\text{mm}$ 的视错台深度在低位面植入相应高度的膨胀螺丝，涂上环氧类界面剂后，分层压填环氧修补砂浆，与相邻环管片找平，形成对边斜面找平。

8 管片裂缝

8.1 一般规定

8.1.1 管片结构出现裂缝病害,影响使用功能和结构耐久性时,应对管片结构进行治理。结构治理应遵循先渗漏治理、后管片加固的原则。

8.1.2 盾构法隧道管片裂缝病害处理应以注浆固结补强为主。处理前应对裂缝的成因进行分析,针对裂缝的开裂宽度进行制定处理方案。

8.1.3 管片结构加固后应满足结构承载力、安全性、耐久性的要求,不低于原设计要求的技术标准。

8.1.4 盾构法隧道管片裂缝根据其是否渗水分为湿裂缝和干裂缝,渗水裂缝加固后,需满足原隧道设计防水等级要求,并应符合现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB50208的有关规定。

8.1.5 隧道工程中漏水的平均渗漏量不应大于 $0.05 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,任意 100m^2 防水面积渗漏量不应大于 $0.15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

8.1.6 盾构法隧道管片加固后应进行定期巡查,管片加固和巡查应由专业单位完成,并形成检测、巡查报告。

8.1.7 对于已开通运营的盾构法隧道,管片裂缝加固方案应结合运营部门意见和可施工时间综合确定。对于未开通运营的隧道,加固方案需考虑运营后的正常检修和维保。

8.2 设计

8.2.1 盾构法隧道管片拼装前出现大于 0.2mm 宽或贯穿性裂缝、或其它影响管片受力和耐久性的裂缝等情况时不再使用。

8.2.2 盾构法隧道管片裂缝病害处理,应在裂缝长度、宽度或数量停止发展后进行修补或加固。

8.2.3 盾构法隧道管片裂缝宽度小于 0.2mm 且属于停止发育的非贯通性干裂缝,可将表面清洗干净、干燥后涂刷不少于 2 道高渗透性树脂类涂料进行封闭处理。

8.2.4 盾构法隧道管片拼装完成后出现大于 0.2mm 宽的裂缝或贯穿性裂缝,无论干湿裂缝,必须进行处埋,修补材料强度不应低于管片设计强度。

8.2.5 盾构法隧道管片裂缝宽度大于 0.2mm 时,宜采用树脂类化学注浆填补。对于贯通性裂缝、渗水裂缝应根据裂缝长度,在混凝土表面,开槽埋设注浆管,按 45° 交角钻注浆孔,反复注浆处理,并根据地质条件,控制注浆压力,直至裂缝完全填充后,封堵注浆孔。当裂缝宽度在 1.0mm 以上时,可采用填充法进行加固。注浆钻孔应避免管片钢筋、环缝、纵缝等接缝部位。

8.2.6 盾构法隧道管片裂缝发育较为充分,且整体裂缝宽度较大时,宜采用钢环等管片内衬加固。盾构法隧道采用钢环等管片内衬加固前,应完成隧道渗漏、破损剥落加固,手孔封堵及注浆孔预留,内衬加固完成后应定期进行检查。

8.3 施工

8.3.1 盾构法隧道管片出现宽度小于 0.2mm 裂缝，可沿缝布孔，采用缝面口封闭埋管，进行环氧注浆材料注浆，注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$ ，为避免对管片二次伤害，不得在裂缝两侧布设斜孔。

8.3.2 盾构法隧道管片出现宽度大于 0.2mm 裂缝，需沿缝开槽，槽口宽 20-30mm，深 30-40mm，清孔清槽后采用早强水泥嵌槽埋管，进行环氧注浆材料注浆，注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$ ，待凝后清除嵌缝早强水泥和注浆管，对槽壁涂上环氧界面剂，嵌入环氧砂浆找平。

9 管片变形

9.1 一般规定

- 9.1.1 盾构法隧道结构出现管片变形病害，影响使用功能和结构耐久性时，应对隧道结构进行治理，隧道加固整治应遵循先渗漏处理、后结构治理的原则。
- 9.1.2 针对管片横、纵向收敛变形，宜采用地面微扰动注浆工艺以及钢内衬加固工艺。

9.2 设计

- 9.2.1 对于管片结构存在收敛变形的情况，整治方案应按下表确定。

表 9.2.1-1 病害隧道整治方案

序号	直径变形 $\Delta D(\text{mm})$	整治方案
1	$\Delta D > 1.8\%D$ (D 为隧道内径)	微扰动注浆+钢内衬
2	$1.5\%D < \Delta D \leq 1.8\%D$ (D 为隧道内径)	微扰动注浆

- 9.2.2 隧道结构加固设计应采取增强或改善结构内力等措施，并应符合结构承载力要求以及安全性、耐久性和适应性。
- 9.2.3 隧道结构安全性验算宜包括隧道管片本体结构、管片接缝等。
- 9.2.4 隧道结构安全复核计算应根据隧道工程地质及水文条件、周围环境等选取合理计算荷载和围岩参数，并根据计算参数建立隧道横断面、纵断面或整体结构模型。
- 9.2.5 隧道结构内力和变形计算宜采用荷载-结构法计算，应计及围岩对衬砌结构变形约束作用的弹性反力。弹性反力及分布可根据衬砌结构型式和围岩变形性质等因素，采用局部变形理论计算确定。
- 9.2.6 钢内衬加固应采用衬砌圆环计算模型，根据隧道变形原因以及隧道实测收敛变形值，计算变形后衬砌的弯矩和轴力内力值，并以叠合结构型式验算加固后隧道断面截面承载力，控制加固后隧道变形稳定。

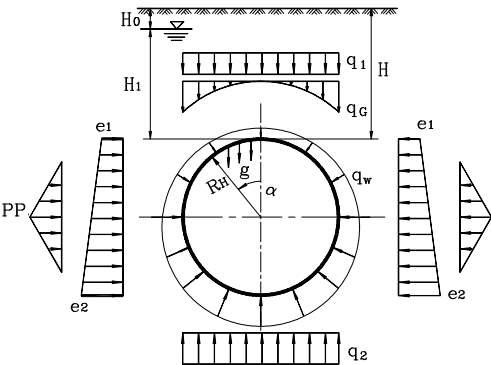


图 9.2.6-1 衬砌圆环计算模型

- 9.2.7 截面承载力应按下列公式确定：

$$N \leq \alpha_1 f_{c0} b x + f'_{y0} A'_{s0} - f_{y0} A_{s0} - f_{sp} A_{sp} \quad (9.2.9-1)$$

$$N \cdot e \leq \alpha_1 f_{c0} b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_{y0} A'_{s0} (h_0 - \alpha') + f_{sp} A_{sp} (h - h_0) \quad (9.2.9-2)$$

$$e = e_i + \frac{h}{2} - \alpha \quad (9.2.9-3)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (9.2.9-4)$$

式中：

N ——加固后轴向压力设计值（kN）；

α_1 ——系数，按《混凝土结构设计规范》（GB50010）规定取值；

f_{c0} ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

b ——截面宽度（mm）；

x ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度（mm）；

f'_{y0} ——原构件受压区纵向钢筋抗压强度设计值（N/mm²）；

A'_{s0} ——原构件受压区纵向钢筋截面面积（mm²）；

f_{y0} ——原构件受拉区纵向钢筋抗压强度设计值（N/mm²）；

A_{s0} ——原构件受拉区纵向钢筋截面面积（mm²）。

f_{sp} ——加固钢板的抗拉强度设计值（N/mm²）；

A_{sp} ——加固钢板截面面积（mm²）；

e ——轴向压力作用点至纵向受拉钢筋和钢板合力作用点的距离（mm）；

e_i ——初始偏心距（mm）；

e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距（mm），取 $e_0 = M/N$ 。

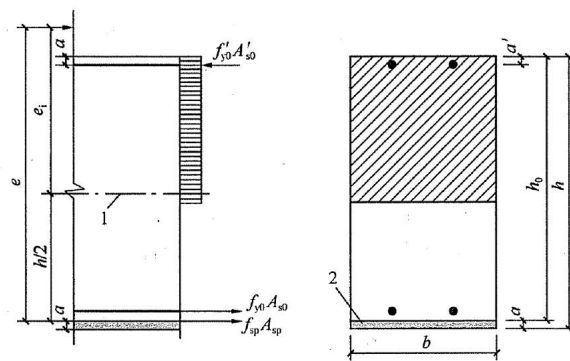


图 9.2.7-1 矩形截面大偏心受压构件粘钢加固承载力计算

1——截面重心轴；2——加固钢板

e_a ——附加偏心距（mm），按偏心方向截面最大尺寸 h 确定；当 $h \leq 600\text{mm}$ 时， $e_a = 20\text{mm}$ ；当 $h > 600\text{mm}$ 时， $e_a = h/30$ ；

α 、 α' ——分别为纵向受拉钢筋和钢板合力点、纵向受压钢筋合力点至截面边的距离（mm）；

h_0 ——截面有效高度（mm）；

h ——截面高度（mm）；

9.3 地面微扰动注浆施工

9.3.1 地面微扰动注浆工艺宜用于解决隧道收敛变形、差异沉降、水平位移等病害。

9.3.2 施工工序可按图示确定。

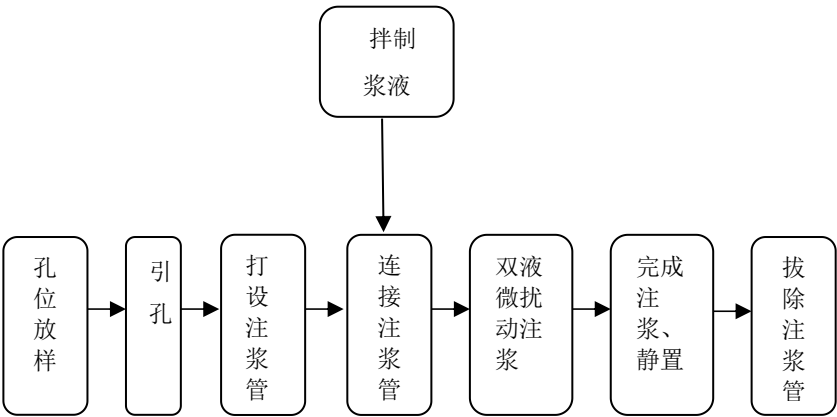


图 9.3-1 地面双液微扰动注浆施工工序图

9.3.3 放样应符合下列规定：

- 1) 由监测单位对注浆孔位放样。对于隧道平面走向为直线或微曲线的区域，可每 5～10 环放样一个孔位，起止孔位应放样，并用卷尺采用内插法对剩余孔位放样；
- 2) 对于隧道平面走向为曲线的区域，应逐环放样。放样完成后在软土区采用长 40cm～50cm 的木桩打入，在坚实地面用道钉打入，并在适当位置标注里程或环号或点号等。

9.3.4 钻取导孔施工时，确定孔位位置及注浆深度后，可采用工程地质钻机钻取注浆导孔，并应符合下列规定：

- 1) 操作工程地质钻机行驶至指定位置，直立桅杆将钻头与孔位对准，钻头中心与孔位放样误差应小于 5cm；
- 2) 采用水平尺对垂直度校准；
- 3) 采用工程地质钻机钻取导孔时应根据监测单位提供的隧道埋深控制钻孔深度，导孔底部与隧道外顶垂直距离应大于 2m。

9.3.5 打设注浆管应符合下列规定：

- 1) 根据每孔注浆深度确定注浆芯管数量；
- 2) 将连接好注浆前端装置的注浆芯管插入导孔，并逐根连接注浆芯管直至将注浆前端装置插入导孔底部土层；
- 3) 使用平板振动器或振管机将剩余注浆芯管逐根打设入土层，注浆芯管应打设至隧道轴线标高以下。

9.3.6 连接注浆管路应符合下列规定：

- 1) 通过注浆管路将拌浆系统、水玻璃储存桶、注浆泵、流量仪、混合器与注浆芯管等连接；
- 2) 打开回流，泵送清水检查管路是否通畅。

9.3.7 配制浆液应符合下列规定：

- 1) 用拌浆系统按水灰比 0.7~1.0 拌制水泥浆，冬季施工时水灰比宜为 0.7~0.8；夏季施工时宜为 0.9~1.0，且应根据实际施工前小样确定合适的水灰比；
- 2) 当场地条件允许时，拌浆系统应优先选用轻型自动拌浆系统，当场地条件有限或无处排放废浆时，可使用拌浆桶拌制水泥浆。

9.3.8 拔管、注浆应符合下列规定：

- 1) 采用双泵双液注浆方法对微扰动注浆，利用拔管器或振管机缓慢连续均匀的边注浆边拔管；
- 2) 拔管速度约为每分钟拔 10cm，可根据实际监测数据调整拔管提升速度；
- 3) 每完成 1m 注浆时，应拆除最顶部一根注浆芯管后再恢复注浆，拆除过程应迅速。
- 4) 注浆流量应根据设计双液浆配比及喷浆孔孔径、布置确定，双液浆流量宜为 20 L/min，水泥浆泵流量宜为 14 L/min~16 L/min，水玻璃泵流量宜为 4 L/min~6 L/min。
- 5) 注浆过程中应对隧道收敛变形等数据监测，设置专人对隧道内情况巡检。

9.3.9 单孔注浆完成应符合下列规定：

- 1) 当单孔注浆按设计要求完成或隧道监测数据达到警戒值时，打开回流，停止当前单孔注浆；
- 2) 待 10min~20min，将混合器拆除，并利用拔管器或振管机将剩余注浆芯管逐根拔除，单孔注浆完成。

9.3.10 隧道内螺栓复紧应符合下列规定：

- 1) 地面微扰动注浆单孔完成后应进行螺栓紧固；
- 2) 复紧范围包括螺栓紧固作业间隔期间内地面微扰动注浆孔的对应环及其两侧外延 3 环；
- 3) 螺栓紧固对象为环缝连接螺栓，紧固作业时采用长力臂专用扳手；同时每个施工点应配备力矩扳手，由专人对紧固效果抽检；
- 4) 完成所有注浆孔施工后，注浆范围对应区间隧道应再对螺栓复紧。

9.4 钢内衬加固施工

9.4.1 钢内衬分块应根据隧道内管线分布，尺寸、重量，加工、运输、安装可操作性等因素确定，分块接缝位置不宜与管片的纵缝重合。

9.4.2 单个施工点施工结束时应将已安装完毕后的钢内衬固定牢固，不得侵限。

9.4.3 钢内衬制作与安装应符合下列要求：

- 1) 钢内衬材质、板厚、宽度应符合设计要求。
- 2) 钢内衬加固应在盾构成型隧道结构稳定后开始实施。
- 3) 盾构成型隧道内管线宜优先改排或迁移，并满足施工需求。

4) 夜间城市轨道交通停运后施工时,应满足运营要求,其他隧道应满足产权单位规定。

5) 加固完成后应进行管线复位。

9.4.4 芳纶布或碳纤维加固时,盾构成型隧道内环境温度应为 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$,环境湿度不应大于70%。

9.4.5 盾构法隧道采用钢内衬加固前,应完成隧道渗漏治理、管片修补、封堵手孔或纤维织物加固。

9.4.6 钢内衬制作与安装的施工过程应符合下列要求:

1) 钢内衬安装应在隧道收敛监测数据稳定之后进行。

2) 对于运营隧道,施工前应对隧道内的各种管线进行改排并迁移支架,以满足钢内衬安装施工需求;钢内衬不应侵入隧道建筑限界。

3) 加固完成后,应进行管线和支架复位。

9.4.7 钢内衬施工工艺流程可按附录A实施。

9.4.8 环氧树脂灌浆材料应符合《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC/T 1041的规定,弹性环氧树脂可参照表9.4.10-1确定,刚性环氧树脂可参照表9.4.10-2确定。

9.4.9 管片封缝宜采用弹性环氧胶泥,材料性能指标应符合表9.4.10-3确定。

9.4.10 钢内衬防腐宜采用喷涂型聚脲弹性体涂层,材料性能指标应符合表9.4.10-4的规定,检测依据应符合《喷涂聚脲防水涂料》GB/T 23446的规定。

表 9.4.10-1 弹性环氧树脂灌浆材料性能指标表

序号	项目		指标
1	VOC(g/L)		<100
2	25℃黏度 (mPa·s)		<400
3	粘结强度	干粘接 (MPa)	≥ 1.5
		湿粘接 (MPa)	≥ 1.0
4	延伸率 (%)		≥ 80

注:固化物性能的测定试龄期为28d。

表 9.4.10-2 刚性环氧树脂灌浆材料性能指标表

序号	项目		指标
1	固含量 (%)		≥ 95
2	浆液密度 (g/cm ³)		>1.00
3	初始黏度 (mPa·s)		<150
4	可操作时间 (min)		>30
5	固化性能		II
6	抗压强度 (MPa)		≥ 75
7	拉伸抗剪强度 (MPa)		≥ 8.0
8	抗拉强度 (MPa)		≥ 20
9	粘结强度	干粘接 (MPa)	≥ 4.0
		湿粘接 (MPa)	≥ 2.5
10	抗渗压力 (MPa)		≥ 1.2
11	渗透压力比 (%)		≥ 400

注:固化物性能的测定试龄期为28d。

表 9.4.10-3 弹性环氧胶泥性能指标

序号	项目		指标
1	下垂度（垂直）（mm）		≤2
2	延伸率（%）		≥80
3	粘结强度（MPa）	与干混凝土粘结	>2.0
4		与湿混凝土粘结	>1.5
5	硬度（邵氏 A）		>30

注：检验依据：国家现行标准《聚合物水泥涂料》GB/T 23445、《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC/T 1041。

表 9.4.10-4 喷涂型聚脲弹性体性能指标

序号	项目		技术指标
1	固体含量（%）		≥98
2	凝胶时间（s）		≤45
3	表干时间（s）		≤120
4	拉伸强度（MPa）		≥16
5	断裂伸长率（%）		≥450
6	mm）		≥50
7	低温弯折性（℃）		≤-40
8	不透水性		0.4MPa，2 h 不透水
9	加热伸缩率（%）	伸长	≤1.0
		收缩	≤1.0
10	粘结强度（MPa）		≥2.5
11	吸水率（%）		≤5.0
12	定伸时老化	加热老化	无裂纹及变形
		人工气候老化	无裂纹及变形
13	热处理	拉伸强度保持率（%）	80~150
		断裂伸长率（%）	≥400
		弯折性（℃）	≤-35
14	人工气候老化 a	拉伸强度保持率（%）	80~150
		断裂伸长率（%）	≥400
		低温弯折性（℃）	≤-35
15	硬度 b（邵氏 A）		≥80
16	耐磨性 b [（750g/500r）/mg]		≤30
17	耐冲击性 b（kg.m）		≥1.0
	用于长期外露使用人工气候老化累计辐照能量至少为 3150mJ/m ² （约 1512 h），否则需要表面加保护层。 仅对通行用途时，或根据工程 and 用户要求时测定。		

9.4.11 钢内衬制作与加工应符合下列规定：

- 1) 钢内衬尺寸应根据设计图纸要求现场实测、放样。
- 2) 加工、制作时应控制精度，并做好喷砂除锈和防腐处理。

3) 对每块加工好的钢板标示。

9.4.12 轨道行车盾构法隧道结构完工后运营前加固，宜根据管线安装位置，按下列要求加固：

1) 道床未浇筑时，宜采用无牛腿的整环钢环加固。

2) 道床已浇筑时，宜采用带牛腿的钢环加固。

9.4.13 施工前应模拟运营隧道工况条件，实施钢内衬安装训练。

9.4.14 管线、设施设备改排后总高度不应大于 70cm，管线与混凝土管片垂直距离不应小于 15cm。

9.4.15 施工范围内管片应采用打磨清理。

9.4.16 安装界面凿毛处理应根据设计图纸确定。

9.4.17 钢内衬牛腿安装应符合下列要求：

1) 隧道空间满足拼装台车运行时，可采用机械臂安装。

2) 隧道空间不满足拼装台车运行时，可采用人工安装。

9.4.18 钢内衬环板安装工艺应符合下列规定：

1) 环形钢板安装相邻两块错边不应大于 2mm。

2) 钢板就位后应采用膨胀螺栓锚固，膨胀螺栓技术指标应符合设计要求；

3) 在剩余的预留孔内应植入化学锚栓，化学锚栓技术指标应符合设计要求。

4) 钢内衬环板上应预留盾构成型管片原注浆孔位置，预留孔可采用左右横径为 110mm，上下竖径为 130mm 的椭圆状；

5) 根据设计图纸要求制作钢内衬拉条，安装时，不得影响运营，可中间断开后从钢轨底部穿过，再焊接。

9.4.19 整环焊接工艺应符合下列规定：

1) 焊接宜采用 CO₂ 气体保护焊；

2) 钢内衬在安装过程中可先将钢内衬块与块之间点焊，后续施工过程中整环焊接；

3) 焊缝质量等级按二级标准执行，在施工结束后应探伤检测。

9.4.20 环氧充填应符合下列要求：

1) 钢内衬安装完成后，应按设计图纸要求对钢板两侧、外露锚栓头、钢内衬拉条等封边。

2) 环氧填充宜自下而上分层压注，直至顶部预留孔溢出树脂后停止压注，注浆压力不大于 0.1MPa。

3) 可利用移动平板搭设活动作业平台，采用小型电动注浆泵压注环氧树脂。

9.4.21 防腐处理应符合下列规定：

1) 钢内衬表面在安装前可采用喷涂型聚脲弹性体涂层做防腐处理，每块钢内衬接缝两端焊缝处宜预留 15cm 焊缝位置。

2) 待施工结束后，应对钢板表面再次防腐补涂。

3) 涂层应厚度均匀，宜分两层喷涂，总厚度不宜少于 1.2mm。

10 管片渗漏水

10.1 一般规定

10.1.1 受隧道结构应力变化及施工质量的影响，盾构法隧道出现裂缝、拼缝、螺丝孔、壁后注浆孔等渗漏水。

10.1.2 管片渗漏水的加固应以满足隧道防水等级为目标，治理后盾构管片防水一般应不低于原隧道的防水等级，并应符合现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB50208 的有关规定。

10.2 设计

10.2.1 管片渗漏病害的加固措施主要包括管片注浆、壁后注浆、嵌填密封、快速封堵，不同位置渗漏病害的加固方式参照以下加固措施：

- 1) 管片环、纵缝及螺栓孔、注浆孔：宜采用管片注浆止水措施，辅以快速封堵、壁后注浆、嵌填密封措施。
- 2) 隧道洞口段：宜采用管片注浆止水措施，辅以壁后注浆、嵌填密封措施。
- 3) 隧道与连接通道相交处：宜采用管片注浆止水措施，辅以壁后注浆、嵌填密封措施。
- 4) 道床以下的管片接头：宜采用管片注浆止水、壁后注浆措施。
- 5) 根据不同位置及病害特点可采取多种加固措施，针对拱顶部位（拱顶 66° 范围）宜谨慎采用嵌填密封，避免密封材料掉落对行车或设备产生影响。

10.2.2 对于潮湿而无明水（湿渍）的环、纵缝宜采取嵌填密封处理；对于有明显渗漏水的环、纵缝宜采取注浆止水；对于因变形病害引起的渗漏病害，宜进行壁后注浆。

10.2.3 渗漏病害加固所选用的材料应符合下列规定：

- 1) 材料应适应现场环境条件。
- 2) 材料应与原防水材料相容，并不应对环境造成污染。
- 3) 材料应满足工程的特点使用功能要求。

10.2.4 隧道结构渗漏处理宜选用堵漏用改性环氧灌浆材料、丙烯酸盐浆液等注浆材料，丙烯酸盐浆液一般不用于有补强要求的工程。

10.2.5 结构变形缝处的渗漏，采用的堵漏材料尚应满足变形缝受力性能要求。

10.2.6 联络通道钢管片与混凝土管片环缝渗漏严重时（滴漏或线漏），可考虑利用在混凝土管片上的预留注浆孔进行壁后注浆方式堵漏。若仅有湿渍、渗水情况则采用骑缝堵漏方式进行注浆堵漏。

10.3 施工

10.3.1 拼缝渗漏水处理：

- 1) 清缝，设置终止孔，孔深至止水带；
- 2) 沿缝布注浆孔，缝两侧涂 EAA 环氧界面剂采用早强水泥封闭埋管。
- 3) 进行环氧材料注浆，注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$ 。

4) 特殊大涌水漏水及注浆量较大的部位, 应先采用水泥注浆后采用环氧材料复合注浆进行处理。

10.3.2 管片注浆孔渗漏处理:

拆除注浆孔盖, 清理孔壁杂质, 采用早强水泥封闭埋管, 先进行水泥注浆后进行环氧材料注浆, 注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$ 。

10.3.3 管片螺丝孔渗漏处理:

对渗漏部位进行钻孔埋管, 采用快干水泥埋封注浆管, 进行环氧材料注浆, 注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$, 对渗水小的部位可采用早强水泥直接封闭。

11 隧道移位

11.1 一般规定

11.1.1 隧道移位包括隧道结构的椭变、纵横向水平偏移、纵向不均匀沉降或上浮、扭曲等。

11.1.2 病害加固前，应对造成隧道移位的原因进行分析，及时采取针对性措施，避免移位趋势进一步加剧。严禁在盾构法隧道的加固中对结构产生二次损害，如加大沉降、上抬、收敛、扭曲变化量。

11.1.3 在进行隧道移位处理前，尚应收集隧道衬砌及配件情况、周边地质条件及施工影响区域周边的建构筑物、管线等资料，避免对周边既有建构筑物及管线等造成二次影响。

11.1.4 盾构法隧道加固，全程实行相关安全监测，确保隧道结构和运营安全。

11.1.5 加固后的盾构法隧道应能满足原设计规范要求。

11.2 设计

11.2.1 隧道结构移位处理设计前，应先对病害段进行检测，根据检测结果对管片受力、隧道限界及平纵断面线型等进行校核。

11.2.2 隧道结构移位处理设计应结合病害原因及管片受力、隧道限界、平纵断面线型等校核结论，选取合适的处理方案，消除病害原因的同时，使衬砌（管片）满足结构承载力、安全性、适用性及耐久性的要求，不应低于原设计要求的技术标准。

11.2.3 由于隧道结构移位造成相应管片裂缝、管片渗漏、管片变形、道床离缝等次生病害的处理方案可参考本规范相关章节的要求，并应满足其规定、标准。

11.2.4 隧道结构移位加固后的受力计算要求应满足本规范相应处理加固章节的要求。

11.2.5 隧道结构移位处理加固措施包括地表卸载、地表局部加载、洞侧隔离体加固、洞外注浆加固、洞内注浆加固、衬砌内钢环加固、管片局部替换、联络通道预埋注浆管等，不同程度的移位病害应采取针对性的措施或同时采用多种措施。可参照下表执行。

加固措施	病害类型					
	纵断面相对变形	横断面收敛变形	管片错台	接缝张开	道床离缝	联络通道部位长期沉降
地表卸载		▲		▲		
洞外注浆	★	★	▲	▲	▲	
洞内注浆	▲	▲	▲	▲	★	▲
钢环等管片内衬加固	★		★	★		
地表局部加载		▲				
洞侧隔离体加固	▲	▲				
管片凿除替换	▲					

预埋注浆 管注浆加 固						★
开孔泄水	▲					
★-宜选 ▲-可选						
注：1）相对管片破损等加固措施详见其他章节。 2）地表卸载主要用于隧道纵向局部沉降、管片受力变形增大，接缝增大等情况，应先考虑对隧道进行地基及周边土体加固，如确定加固效果无法满足，并结合管片受力变形不可控，洞内结构加固受限，结构安全受到威胁的情况方可采用地表卸载的方式（地表周边环境允许或临时抢险除外），一般不推荐采用。						

11.2.6 洞内外注浆加固、隔离体设计等方案的参数指标、验收标准可参考《盾构法隧道工程设计标准》、《地铁设计规范》、《盾构法隧道施工及验收规范》等相关规范进行设计，并满足其规定要求。

11.2.7 注浆加固应明确注浆材料、注浆压力、注浆时序、注浆量级填充加固效果。主要依据现场试验或成功经验来确定，设计应结合相关规范要求对以上内容提出指导性要求。

11.3 施工

11.3.1 盾构法隧道基底出现水土流失，产生沉降或偏移，为控制沉降、偏移的发展，须对盾构法隧道流失的基土进行稳定固结处理。处理应依据隧道沉降、上抬偏移情况进行管片壁后布孔。

1）布孔尽量利用原壁后注浆孔进行。如沉降处理，可利用原壁后 5 点位，7 点位布孔，因特殊需要，方可在管片上进行布孔，控制对管片新开壁后注浆孔。

2）注浆应采用低水灰比的水泥浆体，一般在 0.6~1，水泥浆的调整应以隧道基土的地质特性和含水率进行调配，以满足隧道外基土稳定，不产生离散流失。

3）根据地质特性，选择隧道外基土的加固范围和深度，严格控制处理过程中对隧道外基土的扰动增大土体流失，注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$ 。

4）注浆过程全程采用抬动沉降监测，出现抬动时应立即停止注浆。注浆存在继续沉降部位，应采用多次重复注浆。

5）如移位表现为上浮时注浆布孔应以上半圆（9、10、11、12、1、2、3）点位的壁后注浆孔做注浆孔，上半圆注浆应做好注浆压力的释放，以防控浆液填充的过程对隧道产生新的变形。

12 其他

12.1 一般规定

12.1.1 盾构法隧道在建成和投入使用中,出现管片意外被打穿,应采取应急处理措施,及时制止沙、泥、水的掉落、流入,维护隧道结构的稳定。

12.1.2 盾构法隧道管片与工作井洞门环梁位置,洞门环梁与管片连接位和与侧墙壁连接位,因壁后充填注浆不密实及其它施工质量等问题容易出现渗漏水。

12.1.3 铁路和城市轨道交通盾构法隧道受列车运行振动影响和隧道不均匀上浮、沉降影响,道床出现剥离,水沟开裂,水沟出现翻浆、冒泥现象,道床变形缝剥离,严重时道床产生断裂裂缝。

12.2 设计

12.2.1 轨道出现道床离缝,轨枕与道床离缝等现象时,应及时采取加固措施,道床离缝采取注浆加固措施时,注浆孔宜位于道床中部,道床缝位置,适当调整,避开道床钢筋;注浆前应清除道床下方积水,注浆材料宜选用亲水环氧树脂灌浆材料。

12.2.2 洞内道床底注浆采用亲水环氧树脂灌浆材料,对道床与管片之间空隙填充。

12.2.3 洞内道床底注浆宜从道床较低点向较高点进行,低点为压浆口,高点为出浆口。

12.2.4 洞内道床底注浆钻孔前,应对道床尺寸进行精确测量,钻孔过程中严格控制钻孔深度,不应影响隧道结构安全。

12.2.5 洞内道床底注浆钻孔完毕后埋设注浆管,可根据加固情况进行多次注浆,施工过程中加强对轨道几何尺寸测量,以保证轨道线性要求。

12.3 施工

12.3.1 盾构法隧道结构穿孔处理

1) 应急措施:采用早强水泥封闭洞口,依穿孔孔洞大小选用外贴钢板,膨胀螺丝临时固封处理。

2) 地表面采用水泥注浆充填钻孔位地层,稳定隧道钻孔周边地层,同时封堵穿孔孔洞外围地下水,待注浆初凝后对管片穿孔加固。

3) 管片穿孔洞口的加固:拆卸孔洞外封钢板,清除原穿孔洞内封闭的早强水泥,清孔后涂刷环氧材料界面剂,在压填环氧砂浆前布设预埋注浆管至孔底,压填环氧砂浆至孔洞面,待环氧砂浆初凝后,对预埋注浆孔进行环氧材料注浆,注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$,增强受损洞口的抗水溶蚀和耐水腐蚀性能力,注浆待凝后清除注浆管,对洞口进行修饰。

12.3.2 盾构法隧道道床剥离处理

1) 道床布孔注浆应依道床的结构形式而定,如两侧水沟、中心水沟、浮置板式等,布孔应充分考虑施工环境和浆液在道床底的有效铺展和充填粘结能力。

2) 道床注浆布孔孔深至道床底与管片面,须确保管片的完整性。

3) 道床底剥离注浆前, 须对道床面裂缝、拉裂变形缝、水沟裂缝等进行注浆封闭, 在道床进行注浆时浆液不在这些缝位产生窜浆、冒浆, 确保道床底部的注浆效果。

4) 在道床注浆中遇道床剥离脱空较大, 先进行水泥浆充填注浆, 水灰比 0.6~1, 注浆压力 0.1~0.2Mpa, 再进行环氧材料注浆, 注浆压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$ 。

5) 道床剥离注浆应选用具有一定力学强度、有良好的渗透性和亲水性环氧注浆材料, 在道床与仰拱剥离面上能均匀渗透固结。

12.3.3 盾构法隧道洞门渗漏处理

1) 处理前依据设计图掌握洞门环梁与管片的连接形式, 认真勘察连接位的渗漏水情况, 针对环框梁外地层和地下水情况, 编制处理洞门环梁与管片连接处、侧墙与管片连接处的渗漏水病害处理方案。

2) 注浆材料采用水泥浆或稳定性水泥浆, 水灰比宜取 0.6~1, 注浆压力现场试验确定。

13 质量检验

13.1.1 管片裂缝修复加固施工过程中应建立各道工序的自检、交接验收和专项检查验收制度，应保存完整的检查验收记录；上道工序未验收合格，不应进行下道工序施工；工程质量最终验收应在施工单位自行检查评定合格的基础上进行。

13.1.2 管片破损修复分项工程包括：界面处理、涂抹封闭、灌浆法、填充法、植筋、嵌填修补、表面修整。

13.1.3 破损管片修补前，应清理破损基面浮沉等杂质，修补完成后应对管片表面进行清理。

13.1.4 结构胶粘剂的配置、搅拌时间应符合设计要求或产品说明书规定，且不得混入碎块、灰尘等杂质，搅拌后在规定时间内完成嵌填，管片破损面与补强材料间均匀、密实充填胶粘剂。

13.1.5 破损管片修补后表面平整度不应大于 5mm，且不得明显突出表面。

13.1.6 植筋钻孔深度宜为 50mm，钢筋露出管片破损面长度不小于 50mm，植筋孔位由孔洞中心向外扩散，间距不大于 200mm。植筋和钢丝网的位置偏差允许值为 $\pm 50\text{mm}$ ，钢丝网尺寸偏差允许值为 $\pm 20\text{mm}$ 。

13.1.7 盾构法隧道管片错台病害加固后应进行跟踪巡检。错台病害检测和跟踪巡检应由专业单位完成，并形成检测报告。

13.1.8 管片裂缝加固材料应具有产品合格证和质量检验报告。

13.1.9 管片裂缝加固施工质量应满足设计防水等级要求，并应符合《地下防水工程质量验收规范》（GB 50208-2011）和《地下工程渗漏治理技术规程》（JGJ/T 212）的相关规定。

13.1.10 隧道加固完成后，应对管片表面进行清理，不应有浆液等杂物残留，并做好标记，定期检查和养护

13.1.11 隧道加固工程质量验收程序和组织应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定。

13.1.12 隧道加固工程质量验收记录应符合下列规定：

1) 施工现场质量管理检查记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 附录 A 的规定。

2) 检验批质量验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 附录 E 的规定。

3) 分项工程质量验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 附录 F 的规定。

4) 分部工程质量验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 附录 G 的规定。

5) 单位工程质量竣工验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 附录 H 的规定。

13.1.13 单位工程竣工验收时，应提供下列文件和记录：

1) 隧道限界确认文件、监测数据及分析文件。

- 2) 隧道修复加固工程竣工图纸及相关设计文件。
- 3) 施工现场质量管理检查记录。
- 4) 有关安全及功能的检验和见证检测项目记录。
- 5) 有关外观质量检验项目检查记录。
- 6) 分部工程所含各分项工程质量验收记录。
- 7) 隐蔽工程检验项目检查验收记录。
- 8) 原材料、成品质量合格证明文件、中文标识及性能检测报告。
- 9) 修复加固工程质量问题的处理记录及验收记录。
- 10) 重大质量技术问题实施方案及验收记录。
- 11) 现场施工过程影像资料。
- 12) 其他有关文件和记录。

13.1.14 钢环加固所采用的膨胀螺栓和化学锚栓应进行拉拔试验并满足设计要求。钢环加固封边时，应封堵严实并埋设注浆管，封边表面平整、无明显凹凸。

13.1.15 盾构法隧道渗漏加固部位不得有渗漏或积水现象，排水系统应畅通。

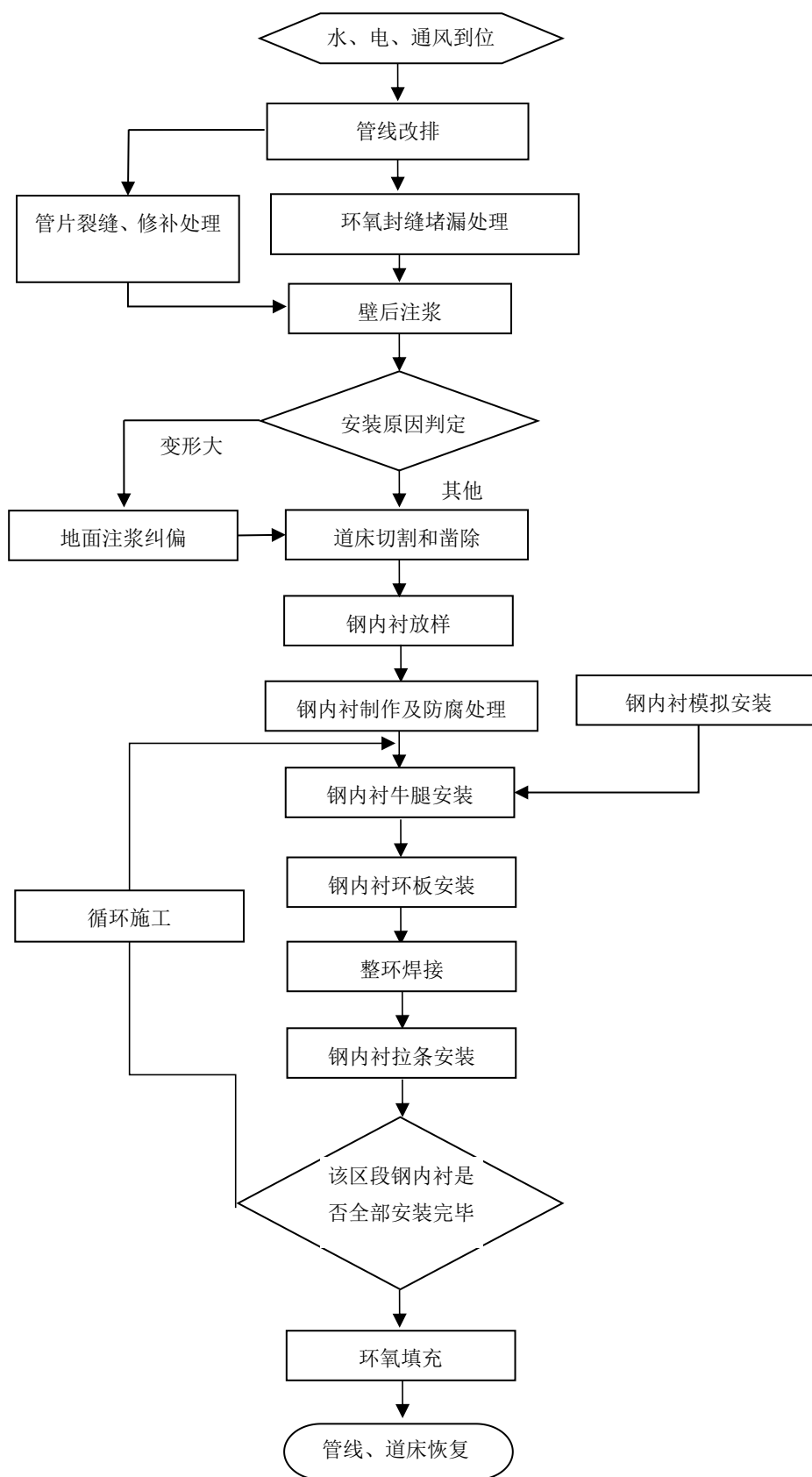
13.1.16 盾构法隧道衬砌的嵌缝材料应表面平滑，缝边应顺直，无凹凸不平现象。

13.1.17 洞内隧道外注浆和洞外注浆，注浆效果检验应在注浆结束 28d 且隧道结构稳定后进行。

13.1.18 洞内注浆钻孔过程中严格控制钻孔深度，并做好记录，不应影响隧道结构安全。

13.1.19 洞内隧道外注浆和洞外注浆停止应以隧道线型及变形情况为准，并满足设计要求。

附录 A 9.4.7 钢内衬施工工艺流程图



参考文献

- [1] GB50010 混凝土结构设计规范
- [2] GB 50367 混凝土结构加固设计规范
- [3] GB50446 盾构法隧道施工及验收规范
- [4] JC/T 1041 混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料
- [5] DG / TJ08-2231 地铁盾构法隧道修复加固工程施工质量验收规范
- [6] TCSPSTC 68 地铁盾构隧道结构修复加固技术规程
- [7] JGJ/T 200 喷涂聚脲防水工程技术规程
- [8] HG/T 20273 喷涂型聚脲防护材料涂装工程技术规范