

ICS 93.060

CCS P 21

团体标准

T/TMAC ×××—2024

特长水下盾构隧道低碳绿色建筑 技术标准

Technical standard for low carbon and green construction of extra long
underwater shield tunnels

××××-××-×× 发布

××××-××-×× 实施

中国技术市场协会 发布

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	4
4 盾构管片绿色低碳设计与生产	5
4.1 一般规定	5
4.2 高性能管片结构设计	5
4.3 管片低碳绿色化生产	7
4.4 管片养护与贮存	8
5 内部构件绿色低碳设计与生产	9
5.1 一般规定	9
5.2 隧道内部结构设计	10
5.3 箱涵绿色低碳化生产	10
5.4 烟道板绿色低碳化生产	12
5.5 行车道板绿色低碳化生产	13
6 智能化掘进与拼装	15
6.1 一般规定	15
6.2 盾构智能掘进	15
6.3 管片智能拼装	15
6.4 箱涵智能拼装	16
7 盾尾密封与保护	17
7.1 一般规定	17
7.2 盾尾间隙充填注浆	17
7.3 盾尾间隙密封	18
8 特长盾构隧道物资高效储运	19
8.1 一般规定	19
8.2 主要物资智能化储运	19
8.3 预制构件运输信息化管控	19
9 水下盾构隧道结构防水、控制与维护	21
9.1 一般规定	21
9.2 防水体系设计、施工与维护	21
9.3 管片结构防水控制	21
10 浆渣绿色处理与资源化利用	22
10.1 一般规定	22
10.2 浆渣绿色处理	22
10.3 浆渣资源化利用	22
11 施工安全与环境保护	24
11.1 一般规定	24
11.2 施工安全	24
11.3 资源节约	24
11.4 环境保护	25
本指南用词说明	28
引用标准名录	29

Contents

1 General provisions	1
2 Terms	2
3 Basic provisions	4
4 Shield pipe sheet green low carbon design and production	5
4.1 General provisions	5
4.2 High performance tube sheet structure design	5
4.3 Low carbon green production of pipe sheets	7
4.4 Tube sheet maintenance and storage	8
5 Green and low-carbon design and production of internal components	9
5.1 General provisions	9
5.2 Internal structural design of the tunnel	10
5.3 Box culvert green low-carbon production	10
5.4 Green and low carbon production of flue panels	12
5.5 Green and low-carbon production of carriageway panels	13
6 Intelligent digging and assembling	15
6.1 General provisions	15
6.2 Shield Intelligent Digging	15
6.3 Intelligent assembly of pipe pieces	15
6.4 Intelligent assembly of box culvert	16
7 Shield tail sealing and protection	17
7.1 General provisions	17
7.2 Shield tail gap filling grouting	17
7.3 Shield tail gap seal	18
8 Efficient storage and transport of materials for long shield tunnels	19
8.1 General provisions	19
8.2 Intelligent storage and transport of major materials	19
8.3 Prefabricated components transport information control	19
9 Waterproofing, control and maintenance of underwater shield tunnel structure	21
9.1 General provisions	21
9.2 Waterproofing system design, construction and maintenance	21
9.3 Pipe sheet structural waterproofing control	21
10 Green treatment and resource utilisation of slurry residue	22
10.1 General provisions	22

10.2 Green treatment of slurry and slag	22
10.3 Resource utilisation of slurry residue	22
11 Construction safety and environmental protection	24
11.1 General provisions	24
11.2 Construction safety	24
11.3 Resource conservation	24
11.4 Environmental protection	25
Explanation of terms used in this guide	28
List of referenced standards	29

1 总则

- 1.0.1 为规范隧道工程绿色施工，做到节约资源、保护环境以及保障施工人员的安全与健康，制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于以盾构法为主的特长水下隧道的低碳、绿色施工。
- 1.0.3 特长水下隧道低碳绿色施工技术的选用，应综合分析工程特点、自然条件、施工环境、资源配置，遵循因地制宜原则。
- 1.0.4 特长水下隧道低碳绿色施工应遵循国家有关安全生产、环境保护等相关法律法规。
- 1.0.5 特长水下隧道低碳绿色施工技术应用除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。
- 1.0.6 本标准在设计、运营方面遵循国家和地方相关的绿色建筑、节能减排法规及标准，充分融入绿色低碳理念，以降低隧道全生命周期的能源消耗和碳排放。

2 术语

2.0.1 绿色施工 green construction

在保证质量、安全等基本要求的前提下，通过科学管理和技术进步，最大限度地节约资源，减小对环境负面影响，实现环境保护、节材、节水、节能、节地、节约人力资源的施工活动。

2.0.2 绿色施工技术 green construction technology

施工阶段能够实现资源节约、环境保护目标的具体施工技术，包括施工方法、工艺参数、采用的机具设备、组织管理等。

2.0.3 绿色建材 green building material

在全寿命期内可减少资源的消耗、减轻对生态环境的影响，具有节能、减排、安全、健康、便利和可循环特征的建材产品。

2.0.4 施工废弃物 construction waste

施工垃圾分类后，丧失施工现场再利用价值的部分。

2.0.5 绿色施工评价 green construction evaluation

对工程建设项目绿色施工水平及效果所进行的评价活动。

2.0.6 泥水平衡盾构机 slurry shield machine

以泥浆为主要介质平衡隧道开挖面地层压力，通过泥浆输送系统出渣的压力平衡式盾构机，简称“泥水盾构”。

2.0.7 泥水平衡盾构隧道 slurry balance shield tunnel

指用泥水平衡盾构机开挖的隧道。

2.0.8 特长水下盾构隧道 Specialty underwater tunnel

指隧道全长 3000m 以上，利用盾构技术施工的穿越水域（如江河湖海等）的地下隧道。

2.0.9 盾构法 shield tunnel method

用盾构机械进行开挖、推进，在盾壳内进行管片拼装而建成隧道的施工方法。

2.0.10 箱涵 box culvert

按设计图纸工厂预制或现场浇筑形成的中空构件单元，包括边箱涵、中间箱涵。

2.0.11 管片 segment

隧道预制衬砌环的基本单元，管片的类型有钢筋混凝土管片、纤维混凝土管片、钢管片、铸铁管片、复合管片等。

2.0.12 BIM building information modeling

BIM 全称是建筑信息模型，是指建筑物在设计和建造过程中，创建和使用的可计算数字信息，而这些数字信息能够被程序系统自动管理，使得经过这些数字信息所计算出来的各种档案，自动地具有彼此吻合、一致的特性。

2.0.13 盾构浆渣 shield slurry slag

在盾构施工过程中产生的废弃物。

2.0.14 资源化 resource utilization

通过采取管理和技术措施，从废物中回收有价值的物质和能源的过程，目的是优化环境和创造经济价值。

3 基本规定

- 3.0.1 盾构隧道施工管理组织机构，应建立安全生产管理体系、质量保证体系、环境管理体系、职业健康安全体系和相关管理制度，并采取风险管理、质量控制和环境保护措施，实现工程质量、节能减排、文明施工。
- 3.0.2 工程参建各方应推动绿色施工技术的策划、应用与创新。
- 3.0.3 施工单位应编制用于指导绿色施工技术应用绿色施工专项方案或包含绿色施工章节的施工组织设计。
- 3.0.4 施工单位应根据绿色施工技术要求，选用环保、节能的施工材料。
- 3.0.5 施工前应编制绿色施工组织设计，并经审批后执行。
- 3.0.6 应建立信息管理系统、视频监控系统，加强维护，并保证地上地下通信联络畅通。
- 3.0.7 施工单位应建立绿色施工技术管理制度，强化技术管理，配备相应管理人员，及时收集施工过程资料。
- 3.0.8 应做好盾构及附属设备管理工作，保障盾构设备的可靠性、安全性。
- 3.0.9 隧道在设计阶段应将结构安全置于首位，充分考虑特长水下隧道的各种潜在危险因素，如地质灾害、水压变化、火灾风险等，采取有效的防范措施。
- 3.0.10 设计应遵循安全耐久、质量可靠、技术先进、经济合理的原则。采用高质量的建筑材料和可靠的结构形式，确保特长水下隧道在设计使用年限内稳定运行。
- 3.0.11 在运维阶段，建立全方位、实时的安全监控体系，制定完善的应急预案，确保在突发情况下能够迅速、有效地进行处置。
- 3.0.12 盾构隧道的整体布局、土建结构以及通风消防系统应满足特长水下隧道的日常运营、灾害防护、紧急救援、管理维护等方面的需求。

4 盾构管片绿色低碳设计与生产

4.1 一般规定

- 4.1.1 管片设计应考虑隧道所处环境条件，选用绿色低碳、耐腐蚀、抗老化的材料，延长管片的使用寿命。
- 4.1.2 盾构管片生产应具有健全的质量管理体系、质量控制和检验制度，并应制定安全和低碳绿色化的生产制度。
- 4.1.3 管片生产人员应进行技术培训，培养绿色低碳生产管理方式，合格后方可上岗。
- 4.1.4 智能化设备和设施应满足绿色低碳要求，且应对主要设备定期进行检测。
- 4.1.5 运维阶段应利用监测设备对管片的变形、裂缝、渗漏等情况进行定期检测。

4.2 高性能管片结构设计

- 4.2.1 预制管片混凝土强度不宜低于 C60，且应具有抗渗、抗冻、抗腐蚀等耐久性要求。
- 4.2.2 预制管片混凝土中水泥应符合以下规定：
 - 1 宜采用硅酸盐水泥，应符合 GB 175 相关规定；
 - 2 比表面积不宜大于 $360 \text{ m}^2/\text{kg}$ ；
 - 3 水泥进场应提供出厂检验报告或合格证等证明文件，且检验项目应符合 GB 50164 相关规定。
- 4.2.3 预制管片混凝土中矿物掺合料应符合以下规定：
 - 1 预制管片混凝土中矿物掺合料可包括粉煤灰、高炉矿渣粉、硅灰、钢渣粉、石灰石粉、复合掺合料等。
 - 2 粉煤灰性能应符合 GB/T 1596 相关规定，高炉矿渣粉性能应符合 GB/T 18046 相关规定，硅灰性能应符合 GB/T 27690 相关规定，钢渣粉性能应符合 GB/T 20491 相关规定，石灰石粉性能应符合 GB/T 30190 相关规定，复合掺合料性能应符合 JG/T 486 相关规定。
- 4.2.4 预制管片混凝土中骨料应符合以下规定：
 - 1 骨料颗粒级配、含水率等应符合 GB/T 14684、GB/T 14685 相关规定；
 - 2 宜采用非碱活性骨料，碱骨料反应预防措施应符合 GB/T 50733 相关规定；
 - 3 骨料进场应提供出厂检验报告或合格证等证明文件，且检验项目及检验批量应符合 GB50164 相关规定。
- 4.2.5 预制管片混凝土中外加剂应符合以下规定：
 - 1 高性能减水剂、早强剂、缓凝剂等性能应符合 GB 8076 和 GB 50119 相关规定；
 - 2 膨胀剂性能应符合 GB/T 23439 和 JGJ/T 178 相关规定，防冻剂性能应符合 JG 475 相关规定；
 - 3 采用其他新型外加剂，应经预试验测试符合要求后使用。
- 4.2.6 预制管片混凝土耐久性应符合以下规定：
 - 1 预制管片混凝土的抗冻、抗裂、抗硫酸盐侵蚀、抗碳化等耐久性能等级划分应符合 GB 50164 和 JGIT 193 相关规定，耐久性能试验方法应符合 GB/T 50082 相关规定；
 - 2 氯离子侵蚀环境条件下，预制管片混凝土的抗氯离子渗透性能的电通量不宜大于 1000 C 或氯离子迁移系数(D_{RCM})不宜大于 $1.5 \times 10^{-12} \text{ m/s}$ ；

- 3 盐冻环境条件下, 预制管片混凝土的抗冻等级不宜小于 F350;
 - 4 盐渍土环境条件下, 预制管片混凝土的抗硫酸盐等级不宜小于 KS150。
- 4.2.7 管片结构设计应符合以下规定:
- 1 管片宽度允许偏差宜为 ± 0.5 mm; 厚度允许偏差宜为 ± 1.0 mm; 弧、弦长允许偏差宜为 ± 1.0 mm; 纵环向螺栓孔孔径允许偏差宜为 ± 1.0 mm;
 - 2 管片边角处应进行圆角设计;
 - 3 考虑钢纤维的增强作用而减少一定比例的受力钢筋, 配筋少于构造要求的减筋混凝土管片; 考虑钢纤维的增强作用而不配钢筋的无筋混凝土管片, 减少钢筋用量, 节约建筑材料, 增加耐久性, 达到绿色低碳环保要求。
- 4.2.8 采用钢筋钢纤维混凝土管片的隧道结构计算及隧道衬砌设计应符合 GB/T51438 相关规定, 且其安全等级应为一级, 设计工作年限应为 100 年。其他安全等级的设计使用年限不应低于 50 年。
- 4.2.9 减筋/无筋钢纤维混凝土管片材料应满足以下要求:
- 1 减筋纤维混凝土管片宜采用端钩形钢纤维, 端钩形钢纤维长度宜为 30~60 mm, 纤维长径比宜为 40~100 mm, 抗拉强度不小于 1000 MPa;
 - 2 减筋纤维混凝土管片宜采用端钩形钢纤维, 端钩形钢纤维长度不低于 45 mm, 纤维长径比宜为 60~100 mm, 抗拉强度不小于 1300 MPa;
 - 3 用于减筋纤维混凝土管片和无筋纤维混凝土管片的纤维混凝土的正常使用阶段的强度标准值和极限强度标准值, 应符合设计要求;
 - 4 用于钢筋钢纤维混凝土管片的钢纤维混凝土轴心抗压强度不小于 3 MPa, 残余抗拉强度不小于 1.5 倍轴心抗压强度, 减筋钢纤维混凝土管片中钢纤维掺量不应小于 20 kg/m³; 无筋钢纤维混凝土管片中钢纤维掺量不应小于 30 kg/m³。
- 4.2.10 减筋/无筋钢纤维混凝土管片构造应满足以下要求:
- 1 钢筋钢纤维混凝土管片可适当减少钢筋配置, 降低钢筋用量, 调整钢筋布置方式;
 - 2 钢筋钢纤维混凝土管片可适当调整管片厚度, 减少材料用量, 降低自重, 减少施工难度与成本, 实现管片设计轻量化与高效化;
 - 3 钢筋钢纤维混凝土管片的最外层钢筋保护层厚度宜取 35 mm。隧道环境存在腐蚀性介质时可增大保护层厚度;
 - 4 当钢纤维混凝土残余抗弯强度等级小于 4 MPa 时, 钢筋钢纤维混凝土管片内侧和外侧纵向受力钢筋的配筋率不应小于 0.2 %和 0.45 倍钢筋抗拉强度设计值/混凝土轴心抗拉强度设计值中的较大值, 钢筋钢纤维混凝土管片箍筋的最小配筋率不应小于 0.24 倍钢筋抗拉强度设计值/混凝土轴心抗拉强度设计值。
- 4.2.11 钢筋钢纤维混凝土管片耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476 和《盾构隧道工程设计标准》GB/T51438 的有关规定。
- 4.2.12 钢筋钢纤维混凝土管片耐久性设计应包括下列内容:
- 1 确定管片周围环境;
 - 2 确定钢筋钢纤维混凝土管片材料耐久性等属性;
 - 3 确定管片的钢筋保护层厚度;
 - 4 确定具体环境条件下的耐久性技术措施。

4.3 管片低碳绿色化生产

- 4.3.1 管片低碳绿色化生产应包括模具制作、高精度智能化生产、机器人抹面、钢筋混凝土管片检测、智能运输等操作步骤。
- 4.3.2 管片模具必须具有良好的精度、稳定性和承载力，且应便于安装和拆卸使用；
- 4.3.3 管片模具安装后应进行精度验收，符合要求后进行预生产。
- 4.3.4 管片钢筋骨架应采用焊接，且骨架放入模具后，应测量各项尺寸，受力钢筋间距允许偏差宜为 $\pm 10\text{ mm}$ ，箍筋间距允许偏差宜为 $\pm 10\text{ mm}$ ，分布筋间距允许偏差宜为 $\pm 5\text{ mm}$ 。
- 4.3.5 高精度智能化绿色生产应符合以下规定：
- 1 应使用高精度设备进行材料配比，降低不必要的原料生产过程损耗；
 - 2 混凝土浇筑前应进行均匀搅拌，并检测其坍落度、粘聚性和保水性等指标；
 - 3 混凝土制作完成后的运输、浇筑、间歇等时间总和应小于混凝土的初凝时间；
 - 4 混凝土浇筑试件应符合 GB50204 相关规定；
 - 5 宜运用智能化系统监控和优化生产参数，确保最佳资源利用率；
 - 6 预生产管片应进行随机抽检，每组抽取 3 环进行水平拼装检验，质量合格后方可正式生产；
 - 7 应在生产过程中回收和再利用废料。
- 4.3.7 管片生产宜采用智能化或自动化设备，提高管片生产质量和技术管理水平，达到低碳绿色化生产需求。
- 4.3.8 扫描机器人：盾构管片 3D 尺寸测量技术。由移动平台、高精度三维激光扫描仪、光学跟踪仪、信息管理系统等组成，采用本技术自动进行管片模具、成品尺寸测量，自动生成测量数据，写入管片 RFID 芯片标识。
- 4.3.9 自动化模具运行设备：超大直径盾构管片生产线动力轮控制体系，采用电机驱动动力轮，带动模具运行的重载管片模具生产线体系。
- 4.3.10 自动化钢筋加工设备：利用钢筋调直机、钢筋切断机、钢筋弯曲机、钢筋网片成型机等设备，按照各种混凝土结构所需钢筋骨架的要求进行加工成形。
- 4.3.11 焊接机器人：集成自动焊接系统、PLC 控制系统为一体，可实现一键式控制、全自动焊接作业。
- 4.3.12 自动化混凝土振捣体系：利用先进的振动设备和控制系统，包括振捣器、振动平台、实时监测传感器、中央控制系统和用户界面等组件，自动调节振捣参数，提供数据分析和报警功能。
- 4.3.13 整平机器人：适用于盾构管片初抹、精抹的机械臂抹面设备，代替施工现场人工抹面流程。
- 4.3.14 清理机器人、喷涂机器人：盾构管片模具清理及喷涂机械臂设备，适用于盾构管片模具清理和脱模剂喷涂的机械臂设备。依靠机器人行走轨迹程序，实现管片模具脱模后的自动清理和脱模剂喷涂。
- 4.3.15 运载机器人：用于管片绿色、自动化生产线的模具搬运，将浇筑成型后带模具的混凝土管片移动到养护窑，脱模后进入养护池内养护，养护完成后将模具移动到管片生产线上，实现模具的流转。
- 4.3.16 自动化脱模吊装设备：适用于盾构管片脱模的吊装桁架体系，采用双钩

欧式行车桁架、真空吸盘专用通道、平移式翻转机、脱模控制体系，实现管片脱模吊装安全可控。

4.4 管片养护与贮存

- 4.4.1 管片养护应包括蒸汽养护、水中养护、喷淋养护或喷涂养护剂等。
- 4.4.2 蒸汽养护应在混凝土浇筑后至管片脱模前进行，水中养护、喷淋养护或喷涂养护剂应在管片脱模后进行。
- 4.4.3 管片蒸汽养护时，除满足一般蒸汽养护操作规程外，还应符合下列规定：
 - 1 升温应控制在 2~3 小时，每小时温速变化率控制在 10~15 °C，不宜超过 20°C；
 - 2 恒温阶段应控制在 1.5 小时左右，蒸养温度应控制在 50~60 °C；
 - 3 降温时间应控制在 1.5 小时以上，未到规定降温时间禁止脱模；
 - 4 养护罩内的温度、湿度应由专人每小时记录一次，并及时调整供气量、控制温度；
 - 5 蒸汽养护前的静停时间不得小于 2 小时。
- 4.4.4 应采用节能、高效的喷水系统或喷涂系统，实现绿色低碳养护。
- 4.4.5 应使用绿色环保型养护剂，如水基养护剂，避免产生有害化学物质。
- 4.4.6 管片现场储存应符合下列规定：
 - 1 管片出池后应运至堆放场后继续养护存放，管片堆放场地应坚实平整、排水流畅、支垫稳固可靠；
 - 2 采用内弧面向上水平存放时，管片与管片之间应有柔性垫条，垫条尺寸应满足上下层管片间距要求。采用木制垫条时应采取措施防止木制垫条遇水污损管片。垫条摆放的位置应保持在一条直线上；
 - 3 采用侧立存放时，场地或地基承载力应满足要求，并采取一定的保护措施防止磕碰。侧立存放的管片，上下层管片应在同一垂直线上；
 - 4 管片存放层数应符合设计要求，并按吊运、安装顺序和型号分别堆码，堆垛间留有运输通道并满足吊车的吊距及叉车作业距离要求；
 - 5 管片储存应按生产日期分批放置；
 - 6 特长盾构隧道大规模管片存储时，管片堆放不宜超过 3 层。

5 内部构件绿色低碳设计与生产

5.1 一般规定

- 5.1.1 箱涵生产应采用工厂化固定台座生产法集中预制。
- 5.1.2 通过固定式箱涵模型来实现混凝土输送浇筑、振捣、收面、养护、脱模等生产全过程。
- 5.1.3 箱涵生产应结合智能控制技术和节能设备，降低能源消耗，减少环境污染。
- 5.1.4 箱涵设计阶段应精确计算和分析所承受的土压力、水压力、地面交通荷载等，确保结构具备足够的强度和刚度。
- 5.1.5 箱涵设计阶段应考虑内部管线、设备的布置和安装需求，预留足够的空间和通道，方便后期的维护和检修。
- 5.1.6 在运维阶段定期清理箱涵内部的淤积物，保证排水畅通，防止积水对结构造成损害。
- 5.1.7 应选调富有箱涵、烟道板、行车道板设计生产经验的管理和技术人员进入职能部门，组建管理队伍。
- 5.1.8 箱涵、烟道板、行车道板的生产应按生产规模合理配备管理与服务人员以及作业人员。
- 5.1.9 特种作业人员全部持证上岗，并进行定期培训及考核。应建立健全劳动纪律和规章制度，形成“交底—施工—验收”的组织监控体系，使施工队伍处于最佳工作状态，建设作风严谨的高素质高效率高标准队伍。
- 5.1.10 遵循先进性和技术性能相匹配及确保设备可靠性的原则。针对箱涵生产的需要及相关要求，进行机械设备配套，设备配置示例表见表 5.1-1。

表 5.1-1 设备配置示例表

序号	功能分类	属性分类	名称
1	模板	工装	模具
2	混凝土	设备	拌和站粉剂筒仓
3	混凝土	设备	混凝土拌和站
4	混凝土	设备	装载机
5	钢筋	工装	箱涵钢筋胎具
6	钢筋	设备	二氧化碳保护焊机
7	钢筋	设备	钢筋切断机
8	钢筋	设备	钢筋弯曲机
9	钢筋	设备	手孔螺旋筋弯曲机
10	钢筋	设备	弯弧机
11	配属	设备	空压机
12	钢筋	工装	钢筋半成品备料架
13	吊运	设备	桥式起重机
14	吊运	工装	箱涵水平吊具

- 5.1.11 模具及设备工装的选型要根据生产方案合理配置。根据安全、质量、环保、工期、运距等相关要求与实际情况，初步确定使用设备的类型、大小、数量

等。

5.2 隧道内部结构设计

5.2.1 内部结构设计在满足功能、安全、美观的前提下，尽量为绿色低碳施工创造条件。

5.2.2 箱涵设计时应符合以下要求：

1 应根据设计流量、使用要求和地形条件等确定箱涵的断面尺寸，考虑预留一定的富余量，以适应未来可能的流量增加或功能变化。

2 应确保混凝土强度等级不低于 C60，保证箱涵在施工和使用过程的稳定性。

3 应选用防水性能良好的材料，确保材料的质量和耐久性，能够长期有效地防止水的渗透。

4 应对箱涵的变形缝、施工缝、穿墙管等部位进行特殊的防水处理。

5 在箱涵内部设置排水结构，及时排除积水，防止水对结构的侵蚀。

5.2.3 烟道板设计时应符合以下要求：

1 烟道板应能够承受自身重量、通风设备重量以及可能的动荷载。

2 根据隧道的断面形状和通风系统的布置要求，确定烟道板的尺寸和形状，保证烟道板的厚度能够满足结构强度和防火要求。

3 烟道板与隧道壁之间的连接设计应牢固可靠，能够承受各种外力作用，连接部位应进行密封处理，防止漏风。

4 应考虑在火灾等特殊情况下，采用耐火性能良好的材料，烟道板能够保持一定的稳定性，不发生坍塌，烟道板耐火极限不应低于 30 min。

5 烟道板应能够引导气流均匀分布，避免出现局部涡流和死角，可以通过设置导流板、格栅等措施来改善气流分布，保证通风系统的进出口位置合理。

6 烟道板应与隧道的排烟系统相结合，能够在火灾发生时及时排除烟雾和有毒气体。

5.2.4 行车道板设计时应符合以下要求：

1 行车道板应能够承受车辆的静载和动载，根据隧道的交通等级、车辆类型和轴重等因素进行计算，确定合适的板厚和配筋。

2 行车道板与隧道衬砌之间连接应牢固可靠，能够传递车辆荷载和地震力等。

3 路面材料应具有良好的耐久性，能够抵抗车辆磨损、化学侵蚀和自然老化等因素的影响。

4 路面应具有足够的抗滑性能，以防止车辆在行驶过程中发生打滑和侧滑。

5 行车道板的路面应具有良好的平整度，以保证车辆行驶的舒适性和安全性。平整度要求一般符合相关的道路工程标准。

6 考虑在特殊情况下，如地震、火灾等，行车道板仍能保持一定的稳定性和承载能力。

5.3 箱涵绿色低碳化生产

5.3.1 箱涵生产应符合下列规定：

1 箱涵生产车间布置符合工艺要求，并根据产能配置生产设备；

2 将模具安装到生产台座后，进行质量验收，尤其是精度、强度等指标；

3 安装、调试混凝土搅拌设备，检定各种计量器具、设备，通过试配，确定混凝土设计配合比，各项原材符合技术标准；

- 4 在箱涵生产过程中，采用先进的节能技术和设备；
- 5 在箱涵生产过程中，优先选择环保、可再生的材料；
- 6 建立环保监测和管理机制，定期对生产过程中产生的废气、废水和固废进行监测和管理，确保排放达标；

7 在箱涵生产过程中，注重废料的回收利用。对于可再生的废料，进行分类收集和处理将其转化为新的原材料或能源。

5.3.2 钢筋笼制作应符合下列规定：

- 1 钢筋开料、成型、钢筋骨架制作每道工序必须在管服人员的监督下进行；
- 2 工人持证上岗，在上岗之前都要接受质量技术交底、安全技术交底，操作工人应熟悉操作要点。

5.3.3 模具组成应符合下列规定：

- 1 模具应具有足够的强度、刚度和稳定性；
- 2 箱涵各部分形状、尺寸及预埋件的准确位置；
- 3 模具进场后应进行细致全面的检查，并进行试拼装，模型的拼装顺序基本上是先拼装底模，其次内模和侧模。

5.3.4 钢筋笼入模应符合下列规定：

1 在钢筋笼上指定位置装上混凝土垫块（强度不低于 C40）后，由吊机配合专用吊具按规格把钢筋笼吊放入模具，操作时桥吊司机与地面操作者密切配合，两端由操作者扶牢，以明确手势指挥，对准位置轻吊、轻放，以免钢筋笼与模具发生碰撞；

2 钢筋笼放入模具后要检查模侧，底部保护层是否匀称，任何一侧保护层大于规定公差，或严重扭曲的钢筋笼都不得使用，吊离模具运走；

3 由专人按规定安装预埋配件；

4 钢筋笼入模后，按要求将钢筋笼每处一一进行校正。

5.3.5 混凝土拌和应符合下列规定：

1 混凝土拌和应符合现行相关规范、标准；

2 混凝土基准配合比需经试配试验确定。每天混凝土开拌前根据气候、气温和骨料含水率的变化，出具当日搅拌的混凝土配合比，拌和站不准随意更改配合比。若混凝土出现异常情况，确实需要调整配合比，由拌和站及时通知试验室或技术部门解决；

3 混凝土配合比材料允许偏差：水、水泥、粉煤灰、外加剂为 $\pm 1\%$ ，粗、细骨料为 $\pm 2\%$ ；

4 混凝土搅拌时间最低限为 120 秒，如掺有外加剂，搅拌时间可适当延长；

5 混凝土坍落度控制在 120-160mm、含气量为 2%~4%；

6 混凝土拌出后由中心试验室随机取样做拌和物质量检验及试块制作。混凝土试块每班留置 3 组。其中 2 组进标养室标养，作 28 天强度试验（其中有 1 组作备用）；另 1 组同箱涵同条件养护，测得起吊时的抗压强度；

7 搅拌结束后及时清洗拌筒，料斗和各附配件，上料系统除每日例行保养外，每月应进行一次保养，其所有设备配专人负责操作及检查保养。

5.3.6 混凝土浇筑应符合下列规定：

1 浇筑前必须按规定对组装好的模具进行验收，发现任何不合格项目应通知上道工序返工，经验收合格后取走挂在钢筋笼上的标志牌表示可以浇筑；

2 只有被确认坍落度在 120~160mm 范围内才可使用，否则要重新设计配合比；

3 混凝土振捣由专业混凝土工进行，采用插入式振捣棒的振捣方式，振动至混凝土与侧板接触处不再有喷射状气、水泡，并均匀为止。每个振动点振动时间控制在 10-20 秒内，振动实后振棒必须慢慢拔出，振捣过程中注意预埋管及吊装孔位置的振捣质量，并加强对预埋件的保护。

5.3.7 箱涵脱模应符合下列规定：

- 1 脱模时的箱涵表面温度与环境温度之差不得大于 20℃；
- 2 当相同条件养护混凝土试件强度值达到工艺要求脱模强度（设计强度的 40%）以上，方可进行拆模；
- 3 箱涵脱模后经专用吊具吊入存放场进行存放养护。

5.3.8 箱涵吊运应符合下列规定：

- 1 箱涵脱模后，经检查所有与模型的连接、配件及成孔器全部拆除后方可进行吊运；

5.3.9 箱涵存储应符合下列规定：

- 1 箱涵脱模后运至堆放场继续养护存放，箱涵堆放场坚实平整，排水流畅，支垫稳固可靠；
- 2 箱涵按吊运、安装顺序和型号分别堆码，堆垛间留有运输通道并满足吊车的吊距要求；
- 3 箱涵堆垛整齐划一，无倾斜感。合格印戳和型号清楚易见；
- 4 箱涵搁置在柔性垫条上，箱涵与箱涵之间有柔性垫条相隔，垫条摆放的位置均匀，厚度一致；
- 5 箱涵采用平卧堆放整齐，码放高度不超过 3 层，层间用垫木垫平、垫实，上下层垫木应在一条垂线上。

5.3.10 箱涵精度检查相关要求见表 5.3.10 所示。

表 5.3.10 箱涵精度（允许公差）要求

序号	项 目		检测要求	允许误差（mm）
1	外型尺寸	长（纵向）、结构壁厚	测 12 个点	±2
		宽	测 6 个点	±5
		高	测 6 个点	±5
2	对角线之差		测 6 个点	±5
3	吊装孔、装置螺栓孔间距		测 6 个点	2
4	手孔间距		测 6 个点	2
5	表面平整度		测 6 个点	8

5.3.11 每块箱涵进行外观质量检验，箱涵表面光洁平整、无蜂窝、露筋、无裂纹、缺角，无气、水泡，无水泥浆等杂物。

5.3.12 对盾构箱涵的检查和验收过程应进行记录和报告，详细描述发现的问题和解决措施，确保整个过程的可追溯性和透明性。

5.4 烟道板绿色低碳化生产

5.4.1 烟道板在质量控制上需要考虑 4 个方面：

- 1 检查行车道板所使用的材料是否符合设计要求；
- 2 大跨径、小厚度的烟道板在静力荷载下，跨中挠度应符合设计要求；
- 3 外观整齐美观，线型流畅，表面平整达到设计风阻要求；
- 4 耐火等级达标，符合设计要求。

- 5.4.2 烟道板在模座上养护1周，再吊至临时养护场地进行自然养护，等强度达100%设计强度后，吊至储存待用场地等待使用。
- 5.4.3 应遵循绿色低碳的生产与存放原则，通过优化布局，缩短物料运输距离，降低运输过程中的能耗。
- 5.4.4 烟道板需要有良好的预制及堆放场地条件，若现场条件有限，则只能进行场外预制。
- 5.4.5 应考虑使用可再生资源生产的材料，提高资源的循环利用率。
- 5.4.6 优先选择新能源运输车辆完成对烟道板的运输。
- 5.4.7 建立环保监测和管理机制，定期对运输及安装过程中产生的废气、废水和固废进行监测和管理，确保排放达标。
- 5.4.8 技术人员应合理设计生产工序和流程，减少不必要的操作环节和能源浪费。
- 5.4.9 应建立完善的水循环系统，对生产过程中产生的废水进行处理和净化，使其达到一定的水质标准后，回用于生产过程中的非关键环节。
- 5.4.10 烟道板成品检测应符合以下规定：
- 1 烟道板的表面应平整，无明显凹凸不平、裂缝等缺陷；
 - 2 检查烟道板的边缘是否整齐、无缺角、破损等情况；
 - 3 烟道板的长度、宽度、厚度、尺寸偏差应符合设计要求；
 - 4 隧道烟道板应具有一定的阻燃性能，应符合隧道防火要求；
 - 5 烟道板预留孔位孔径是否符合设计要求。
- 5.4.10 烟道板放入时应应对吊装区域进行清理，清除障碍物和无关人员，设置明显的警示标志，确保吊装作业的安全范围。
- 5.4.11 应对烟道板的安装位置进行精确测量和调整，确保烟道板的安装高度、水平度和垂直度符合设计要求。

5.5 行车道板绿色低碳化生产

- 5.5.1 行车道板的模板制作、安装，应符合以下规定：
- 1 模板必须保证工程结构和构件各部分形状尺寸和相互位置的正确；
 - 2 模板和支架必须具有足够的承载能力、刚度和稳定性，能可靠地承受自重和侧压力，以及施工过程中所产生的荷载；
 - 3 模板的接缝应严密，不得漏浆，模板表面应清洁，不得有污物；
 - 4 模板制作质量标准满足设计要求。
- 5.5.2 生产过程应遵守绿色低碳生产规章制度，加强环境保护，减少粉尘、噪声、废水等对环境的污染。
- 5.5.3 待混凝土强度达到设计强度的80%且拆完模后，用起重吊车进行转运至存板区。
- 5.5.4 应对行车道板的尺寸、外观质量、强度等进行检测，检测项目包括长度、宽度、厚度、平整度、裂缝等，确保行车道板的质量符合设计要求。
- 5.5.5 在满足安全性、耐久性等的前提下，可选用由可再生材料生产的行车道板。
- 5.5.6 行车道板成品检测应符合以下规定：
- 1 检查行车道板表面是否光滑平整，无裂纹、气泡、砂眼、毛刺等明显缺陷，涂层应完整美观；
 - 2 检查行车道板的各项尺寸参数（如长度、壁厚、截面尺寸等）是否符合设计要求及允许公差范围；
 - 3 检查行车道板的安装是否符合设计图纸要求，包括施工工艺、连接方式、

密封性等；

4 检查行车道板的防火性能是否符合消防安全要求，检查行车道板的耐腐蚀性能；

5 检查行车道板所选材料是否符合设计要求。

5.5.7 成品放入时必须注意轻起轻放，防止行车道板因外力作用造成的破损。

5.5.8 成品运输与放入过程中应采用低能耗设备。

6 智能化掘进与拼装

6.1 一般规定

- 6.1.1 施工单位应遵循绿色智能化施工的原则，制定相应的绿色智能化施工的专项方案。
- 6.1.2 施工过程中应优先采用节能减排的技术和设备，减少对环境的影响。
- 6.1.3 掘进与拼装过程中应采用低能耗设备，减少碳排放，严禁使用国家或地方政府明令禁止的高能耗、高污染施工设备和材料。
- 6.1.4 应定期对施工人员进行绿色智能化施工的培训和教育。
- 6.1.5 应使用 BIM、大数据、人工智能等技术实现隧道掘进及管片拼装的智能化和自动化，提高施工效率。
- 6.1.6 隧道掘进和拼装时，应采用智能化施工技术，减少施工噪音和振动，保护周边环境。

6.2 盾构智能掘进

- 6.2.1 应采用智能地质探测技术，根据隧道地质水文情况，做好隧道施工安全风险评估及应对措施。
- 6.2.2 施工前应使用 BIM 和人工智能技术对地质情况进行评估和模拟，通过大数据技术进行风险评估，识别潜在的施工问题。
- 6.2.3 应使用 BIM 技术进行施工进度的可视化展示和进度控制。
- 6.2.4 施工过程中应实时更新 BIM 模型，确保模型与实际施工状态一致，利用 BIM 技术收集和分析施工数据，以指导后续施工。
- 6.2.5 应利用智能化调度技术进行施工资源的合理分配和调度。
- 6.2.6 应基于智能化管理平台，进行信息共享与协同，解决组织和物料跟踪，环境监测等活动。
- 6.2.7 应通过智能管理系统合理安排施工工序，减少施工停顿：
 - 1 优化管片拼装工序，提高拼装效率和质量；
 - 2 加强对盾构机及配套设备的维护保养，应定期提醒检查和维修，降低设备故障发生率；
 - 3 应建立高效的施工协调机制，通过智能共享信息加强各部门、各工种之间的沟通与协作；
 - 4 应实时监测隧道内的各项参数，如土压力、盾构姿态等，根据监测数据智能调整施工工序。

6.3 管片智能拼装

- 6.3.1 施工前应利用可视化技术进行管片拼装的模拟，进行碰检测撞，优化施工方案。
- 6.3.2 可视化模型应包含所有管片的详细信息，包括尺寸、位置和拼装顺序。
- 6.3.3 管片智能拼装系统应能够精确控制管片的位置和姿态，减少拼装误差，提高隧道的成型质量。
- 6.3.4 管片智能拼装系统应根据施工进度和地质条件自动调整拼装方案，优化施工流程，提高施工效率。
- 6.3.5 管片智能拼装系统应可以实时记录和传输管片拼装的相关数据，便于施工

管理人员进行远程监控和质量控制。

6.3.6 当在联络通道等特殊位置拼装管片时，管片智能拼装系统应根据特殊管片的设计位置，预先调整盾构姿态，管片智能拼装应符合设计要求。

6.4 箱涵智能拼装

6.4.1 应进行精确的测量，确定箱涵的安装位置和高程，建立准确的坐标系统，为智能拼装设备提供可靠的定位依据。

6.4.2 应对智能拼装设备进行检查，包括机械结构、电气系统、传感器等，确保设备各部件完好无损，功能正常。

6.4.3 应实时监测拼装过程中的受力情况，如有异常，及时调整拼装参数。

6.4.4 智能拼装系统应严格按照设计要求进行防水处理，确保箱涵之间的密封良好，防止地下水渗入。

6.4.5 应通过智能拼装系统进行实时检查箱涵的位置、高程、平整度、垂直度等参数，确保符合设计要求。

6.4.6 智能拼装系统应可以实时记录和传输箱涵拼装的相关数据，便于施工管理人员进行远程监控和质量控制。

7 盾尾密封与保护

7.1 一般规定

- 7.1.1 盾尾间隙充填应使用环保型注浆材料，注浆材料应具备良好的流动性、较快的凝固时间和适宜的强度；
- 7.1.2 注浆过程中施工人员必须采取措施减少对周围水体和生态环境的污染；
- 7.1.3 注浆过程中施工人员必须定期对盾尾密封系统进行泄漏监测。

7.2 盾尾间隙充填注浆

- 7.2.1 施工前准备工作应符合下列规定：
 - 1 施工前应使用工作效率高、污染排放低的清理设备对盾尾间隙内的杂物、泥浆等进行及时清理；
 - 2 根据施工现场的实际情况和工艺要求，应合理选择施工设备，提高施工效率和质量。
- 7.2.2 施工安全措施应符合下列规定：
 - 1 施工人员应对施工设备进行定期检查和维修，及时处理可能存在的安全隐患，确保施工过程安全可控；
 - 2 在清理和使用施工设备过程中，应严格遵守安全操作规程，做好相关安全防护工作，确保施工人员的安全；
 - 3 施工前注浆材料配合比设计应采用工程实际使用的原材料，进行同步注浆材料浆液性能、硬化后结石体力学性能等试验，试验结果应满足设计和施工的要求。
- 7.2.3 注浆材料的选择应符合下列规定：
 - 1 注浆材料应符合环保标准，严禁含有害物质；
 - 2 注浆材料应具有良好的抗渗性能，能够有效阻止水的渗透，确保隧道的密封性能；
 - 3 注浆材料应具有足够的强度和稳定性，能够承受水压和地下环境的影响，确保隧道结构的安全性；
 - 4 注浆材料应具有良好的耐腐蚀性能，能够长期稳定地存在于水下环境中；
 - 5 注浆材料应具有良好的施工性能，能够适应水下、特长等复杂环境下的施工操作。
- 7.2.4 注浆材料的保存应符合下列规定：
 - 1 所需的充填材料应存放在干燥、通风良好的场地，防止材料受潮或变质；
 - 2 根据充填工艺要求，应合理安排充填材料的存放位置，便于施工操作和管理。
- 7.2.5 注浆材料的防治失效措施应符合下列规定：
 - 1 充填注浆材料应进行定期检查和测试，确保其质量符合要求，防止因材料失效而影响充填效果；
 - 2 在充填过程中，应及时调整充填材料的配比和使用方法，减少资源消耗。
- 7.2.6 应严格控制充填施工工艺，确保充填材料充实到位，防止空洞和渗漏，最大限度地减少材料浪费。
- 7.2.7 注浆过程中应对注浆区域内的隧道衬砌、管线、构筑物、道路等进行监测。

7.2.8 完成施工后,应进行定期的监测和维护工作,以确保隧道的长期稳定运行。

7.3 盾尾间隙密封

7.3.1 密封油脂性能应符合下列规定:

1 密封油脂应选用环保型无污染油脂,成分宜为植物油、植物粉体和混合植物纤维等,减少不可再生资源消耗和污染环境;

2 密封油脂应具备良好的耐磨性、密封性、粘附性、耐高温性、泵送性和力学性能等工作特性。

7.3.2 盾尾密封刷应使用环保材料且具备良好的耐磨性、承压能力和抵抗塑性变形能力等;

7.3.3 盾尾密封失效的应对措施应符合下列规定:

1 盾尾密封系统必须进行及时的密封状态的监测和安全预警;

2 盾尾密封失效后应采取紧急封堵措施,防止更多的水或泥浆渗入隧道内部;

3 密封失效后,应及时进行维修或更换密封刷等配件;

4 针对密封失效的原因应进行安全评估,采取必要的改进措施,防止类似问题再次发生,避免人力、物力的不必要损失。

7.3.4 管片表面精细化控制应严格控制管片表面的平整度和光洁度,使盾尾刷与管片之间贴合更紧密,提高密封效果。

7.3.5 盾尾密封防止漏水、击穿应符合以下要求:

1 应减少管片表面粗糙度,降低盾尾刷磨损,延长其使用寿命,防止漏水和击穿等问题的发生。

2 在拼装过程中,应采用专业的拼装设备和工艺,保证管片的位置准确、角度正确。严格控制管片拼装精度,确保管片之间的接缝紧密贴合。

3 应加强管片拼装后的螺栓紧固力,确保管片之间的连接牢固。螺栓紧固应按照设计要求进行,不得过松或过紧。

4 进行同步注浆,应将浆液注入管片与地层之间的空隙,填充空隙,减少地层沉降,同时也起到止水的作用。同步注浆的浆液应具有良好的流动性、填充性和早期强度。

5 应根据需要进行二次注浆,对同步注浆效果不理想的部位进行补充注浆,二次注浆应使用具有更高的强度和抗渗性能的浆液。

6 应制定应急预案,对可能出现的管片击穿情况进行预演和准备。一旦发生管片击穿,应立即采取应急措施,如停止盾构推进、进行封堵处理等,防止事故扩大。

8 特长盾构隧道物资高效储运

8.1 一般规定

- 8.1.1 盾构隧道物资储运应使用防水、防潮的包装材料，选择坚固的包装以及实行适合长途运输的保护措施，减少货物在运输中的损坏风险。
- 8.1.2 物资运输方式和设备的选择应基于隧道长度、直径、纵坡、盾构机类型、掘进速度、施工进度、物资类型、运输距离以及场地条件等因素。
- 8.1.3 物资运输可采用皮带输送系统、挖掘机、装载机、电动小车和吊车等运输方式。
- 8.1.4 盾构隧道渣土宜采用皮带输送系统，同步注浆浆液宜采用管道输送系统，大型设备和材料的垂直运输宜采用吊车输送系统。
- 8.1.5 物资运输设备应配备必要的安全防护装置并定期进行全面检查，确保其安全性能良好。
- 8.1.6 物资储运前必须进行详细的环境影响评估，识别潜在的环境风险，管理和处理储运过程中产生的废物和污染物。

8.2 主要物资智能化储运

- 8.2.1 盾构物资运输应使用新能源运输工具，如电动叉车、电动运输车等，减少传统燃油车的使用。
- 8.2.2 特长盾构隧道应确保有足够的充电设施和电源，支持新能源运输工具的高效运转。
- 8.2.3 渣土皮带输送应符合下列规定：
 - 1 输送皮带应具备高强度、耐磨损性能，适应半固体物料的运输；
 - 2 皮带上的物料残渣应定期清理，防止皮带磨损和效率下降；
 - 3 技术人员应设计合理的输送系统布局，减少输送距离和弯道。
- 8.2.4 同步注浆浆液管道输送应符合下列规定：
 - 1 施工人员应选择适合水泥浆、水玻璃等运输的管道材料，如高耐压、耐腐蚀的管道。
 - 2 施工人员应进行预实验，根据浆液性质，考虑注浆材料配比及管道的温度控制，防止浆液在管道中凝固。
 - 3 施工人员应根据现场实际状况实时调节浆液输送速度，确保浆体的均匀性和质量。
- 8.2.5 特长隧道运输应进行管道运输路径优化设计。
- 8.2.6 特长隧道运输应设置管道运输接力设备和装置。
- 8.2.7 参与垂直运输操作人员应严格按指令操作，提前清理周围障碍物，匀速稳定吊运相关物资。

8.3 预制构件运输信息化管控

- 8.3.1 技术人员应建立预制构件实时跟踪运输系统，记录每个运输环节的详细数据，包括运输车辆位置、运输时间、装载量等，更新频率应不少于每分钟一次。
- 8.3.2 预制构件运输车辆的承载力、稳定性等都应满足国家安全标准，避免运输过程中构件出现损坏或事故；
- 8.3.3 运输过程中，应合理使用道路安全标志，做好周围交通管理。
- 8.3.4 管片运输应符合下列规定：

1 达到龄期并检验合格的管片应有计划地运到施工现场,吊卸到专门的管片堆放区,严禁使用简陋、不标准的吊装设备;

2 管片运输车辆应根据道路条件、管片长度、管片数量和施工要求等因素进行选择;

3 管片运输前,应检查管片的质量和数量,并将管片进行编号;

4 隧道管片在运输过程中约每小时应停车检查一次,以确保管片状态良好,运输安全;

5 管片在卸货之前应进行逐一的外观检测,不符合要求(如破损、裂缝、无标志、标志错误等)的管片应进行退回。

8.3.5 箱涵运输应符合下列规定:

1 运输前应确保运输设备能够承载箱涵的尺寸和重量,箱涵的长、宽、高及重量应符合运输设备的承载能力。

2 运输人员应使用钢丝绳、夹具或其他可靠的绑扎工具将箱涵牢固地绑扎在运输设备上;

3 在极端温度条件下,宜调整运输环境,避免材料热胀冷缩或其他温度影响。

4 在运输前、运输过程中以及运输后需进行详细检查和记录,包括检查绑扎、支撑及箱涵的完整性。

9 水下盾构隧道结构防水、控制与维护

9.1 一般规定

- 9.1.1 水下盾构隧道防水材料的选择应根据隧道水压大小、规定年限、环境条件及施工需求等因素，并应符合相应的防水等级标准。
- 9.1.2 盾构隧道防水设计应包括外部防水和内部防水的双重保护，并着重于衬砌结构自防水、管片接缝防水和特殊部位防水，全方位保证隧道防水效果。
- 9.1.3 技术人员应设计有效的排水系统，如排水管道和集水井，减少积水对结构的长期影响。
- 9.1.4 施工人员应定期进行结构检查，包括防水层、接缝和其他关键部位，发现问题应及时上报并处理。

9.2 防水体系设计、施工与维护

- 9.2.1 特长盾构隧道的防水系统应确保各部分有效衔接，避免漏水。
- 9.2.2 防水设计时要考虑接缝、变形缝、管道穿越点等关键部位的防水处理，使用高质量且无污染的密封材料。
- 9.2.3 防水条应按隧道地质条件、施工设计要求、管片型号等因素选用。
- 9.2.4 防水条的粘贴应无气泡、过长或缺失等现象，且应保持直线、平整。
- 9.2.5 应采用具有良好抗水压、抗渗透、抗老化、耐化学腐蚀等性能的防水混凝土、防水砂浆层、防水涂料等防水材料。
- 9.2.6 施工前应检查防水材料的质量和规格，确保其符合设计要求和标准。
- 9.2.7 防水混凝土结构厚度不应小于 250 mm，裂缝宽度不得大于 200 mm。
- 9.2.8 应设置合理的防水砂浆层厚度，并考虑防水层的分层设计，确保综合防水性能。
- 9.2.9 防水砂浆层施工后应进行适当的养护，避免防水层在未固化前受到损坏。
- 9.2.10 防水涂料应按技术要求和施工环境进行配制，涂层应均匀，不得漏涂。
- 9.2.11 应按照相关规范和标准进行防水体系验收和维护，确保防水工程符合设计要求和质量标准。

9.3 管片结构防水控制

- 9.3.1 应对管片受力面进行控制，防止管片局部受力破损，产生裂缝、位移或变形。
- 9.3.2 管片接缝处应设置符合规范的防水弹性密封垫，控制错台变形。
- 9.3.3 管片厚度小于 400 mm 且处于富含水区域时，宜在管片密封垫处增设防水密封条。
- 9.3.4 管片结构注浆防水控制应符合下列规定：
 - 1 应在衬砌后使用注浆材料，且注浆材料应具备良好的环保性和抗渗性；
 - 2 施工前应彻底清理管片接缝，确保注浆材料与管片胶结良好；
 - 3 施工时应确保注浆材料充填均匀、管片密封严实。
- 9.3.5 水下盾构隧道管片迎水面处应涂抹防腐蚀防水涂层。
- 9.3.6 防腐蚀防水涂层宜采用硅氧烷类材料、改性环氧类材料或水泥基结晶型材料等。
- 9.3.7 防腐蚀防水涂层应具有良好的耐腐蚀性、耐水性、绿色低碳性并应无毒或低毒。
- 9.3.8 施工人员应严格按照设计规范施工，定期检查和维护管片防水系统，对出现问题的管片及时进行修复。

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/798103135065006131>