

团 体 标 准

T/TMAC ×××—202X

全断面岩石掘进机同步衬砌关键技术规程

Technical code for synchronous lining of full-face rock tunnel boring machines

（征求意见稿）

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。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人均可提出制修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲 23 号城乡华懋大厦 12 层 1217 室。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

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 材料 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 混凝土 2

 5.3 钢筋 3

 5.4 防水材料 3

 5.5 防腐蚀材料 3

6 同步衬砌设计 3

7 同步衬砌台车 4

 7.1 一般规定 4

 7.2 结构与功能设计 5

 7.3 精度设计 6

 7.4 智能化 7

8 施工 7

 8.1 一般规定 7

 8.2 施工准备 8

 8.3 衬砌台车组装 9

 8.4 钢筋安装及模板定位 9

 8.5 混凝土浇筑 10

 8.6 拆模养护 11

9 质量控制 11

附录 A（资料性）脱模时间 13

参考文献..... 14

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。

本文件由中铁十八局集团隧道工程有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：中铁十八局集团隧道工程有限公司、××××××、××××××、××××××、××××××、××××××、××××××、××××××、××××××、××××××、××××××、××××××。

本文件主要起草人：×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××。

全断面岩石掘进机同步衬砌关键技术规程

1 范围

本文件规定了岩石掘进机法隧道同步衬砌的相关术语和定义、基本规定、材料、同步衬砌设计、同步衬砌台车、施工准备、施工、质量控制。

本文件适用于敞开式岩石隧道掘进机法隧道的同步衬砌施工。

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 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋

GB 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋

GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂

GB/T 14902 预拌混凝土

GB/T 34652 敞开式岩石隧道掘进机

GB/T 50046 工业建筑防腐蚀设计标准

GB 50108 地下工程防水技术规范

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准

GB 55001 工程结构通用规范

GB 55030 建筑与市政工程防水通用规范

GB/T 51438 盾构隧道工程设计标准

JC/T 881 混凝土接缝用建筑密封胶

JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程

JGJ/T 2832 自密实混凝土应用技术规程

SL 279 水工隧洞设计规范

SL/T 212 水工预应力锚固设计规范

SL/T 352 水工混凝土试验规程

TB 10003 铁路隧道设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

衬砌 lining

支护隧道围岩的结构体。

3.2

同步衬砌 synchronous lining

在TBM掘进施工的同时，不中断TBM出渣、风水电管线及洞内物料运输，在掘进机后方设衬砌台车，同步进行二次衬砌施工。

3.3

二次衬砌 secondary lining

在初期支护内侧施作的最终衬砌，一般采用模注混凝土。

3.4

敞开式岩石隧道掘进机 open type hard rock tunnel boring machine

在稳定性较好的岩石中，利用撑靴撑紧洞壁以承受掘进反力及扭矩，不采用管片支护的岩石隧道掘进机。

3.5

衬砌台车 lining trolley

由模板总成、顶模架体、平移机构总成、门架总成、主从行走机构、丝杠千斤顶、液压系统、电气系统等组成，是隧道施工过程二次衬砌中必须使用的专用设备。

3.6

仰拱 invert

设置在隧道底部的反向拱形衬砌结构。

3.7

回填灌浆 filling grouting

用浆液填充混凝土结构物施工留下的空穴、孔洞，或地下空腔，以增强结构物或地基的密实性的灌浆工程。

4 基本规定

- 4.1.1 同步衬砌应遵循“安全、耐久、经济、节能、环保”的基本原则。
- 4.1.2 同步衬砌应按永久性建筑设计，具有规定的强度、稳定性和耐久性，满足使用年限要求，方便养护和维修作业。
- 4.1.3 同步衬砌应贯彻国家有关技术经济政策，积极推行新技术、新材料、新设备、新工艺。
- 4.1.4 同步衬砌的建筑物结构、防排水的设计及建筑材料的选择，应充分考虑地区环境的影响。
- 4.1.5 同步衬砌施工使用的材料、产品和设备，应符合国家现行有关标准、设计文件和施工方案的规定。
- 4.1.6 同步衬砌的设计与施工应综合考虑服役环境、水质条件、使用年限等因素，施工宜采用机械化配套模筑法施工。
- 4.1.7 同步衬砌除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5 材料

5.1 一般规定

- 5.1.1 衬砌购进原材料、半成品和成品，应按相关标准进行检验、验收、登记，验收合格才能投入使用。
- 5.1.2 衬砌材料应满足后期使用环境中耐久性、耐腐蚀、强度等性能要求，混凝土耐久性要求应根据结构设计使用年限进行确定。
- 5.1.3 建筑材料的选用应符合下列规定：
 - a) 应符合结构强度和耐久性要求，同时满足抗冻、抗渗和抗侵蚀的需要；
 - b) 当有侵蚀性水作用时，所用混凝土和水泥砂浆均采用具有抗侵蚀性能的水泥和集料配制，其抗侵蚀性能的要求视水的侵蚀特征确定；
 - c) 最冷月平均气温低于-15℃的地区及受冻害影响的隧道，混凝土强度等级应适当提高。

5.2 混凝土

- 5.2.1 混凝土所用的原材料除应符合国家和行业有关标准的规定外，尚应符合下列规定：
 - a) 不应使用碱活性集料配制混凝土；
 - b) 钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于C25；预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于C30；
 - c) 钢筋混凝土构件中，钢筋的技术条件应符合现行《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》（GB 1499.1）、《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》（GB 1499.2）的规定。
- 5.2.2 在满足混凝土性能要求的范围内，衬砌混凝土宜采用水化热小的水泥。

- 5.2.3 混凝土原材料应重点加强对碱活性骨料、含硫酸盐或硫化物杂质的骨料的检验和质量控制。
- 5.2.4 细骨料宜选用级配合理、质地坚固、吸水率低、空隙率小的洁净天然中粗河砂，也可选用专业机组生产的人工砂。人工砂的质量标准应符合现行铁路有关标准规定，且通过公称直径为315 μ m筛孔的颗粒含量不宜少于 15%。
- 5.2.5 粗骨料最大公称粒径不应超过表1的要求。

表1 粗骨料最大公称粒径表

混凝土类型	粗骨料最大公称粒径 (mm)
素混凝土	40
仰拱钢筋混凝土	40
拱墙钢筋混凝土	31.5

- 5.2.6 混凝土搅拌前应测定粗、细骨料的含水率，及时调整施工配合比。每工班至少检测一次，当含水率有明显变化时应增加检测次数。
- 5.2.7 混凝土搅拌时间应根据配合比和搅拌设备情况通过试验确定，但最短时间不宜少于120s，纤维混凝土及冬期混凝土均应适当延长。

5.3 钢筋

- 5.3.1 钢筋应分批检验，同一牌号、同一炉号、同一规格的钢筋为一批，每批重量不大于 60t。
- 5.3.2 进场钢筋应逐批检查其外观质量、力学性能、工艺性能和重量偏差，检验结果应符合相应标准的规定。
- 5.3.3 钢筋应平直、无损伤，表面无裂纹、油污、颗粒状或片状老锈。
- 5.3.4 钢筋需要代换时，应得到设计单位的书面认可。
- 5.3.5 钢筋宜存放在仓库（棚）内，按不同品种、规格，分批堆置整齐；露天存放时，应垫高并遮盖。

5.4 防水材料

- 5.4.1 防水层应符合以下规定：

- 选用的土工布缓冲层材料应有良好的导水性、化学稳定性及耐久性，单位面积质量不宜小于300 g/m²；
- 防水板应选用高分子防水板，可选用聚氯乙烯（PVC）、乙烯-醋酸乙烯共聚物（EVA）、乙烯-共聚物沥青（ECB）、高密度聚乙烯（HDPE）、低密度聚乙烯类（LDPE）或其他性能相近的防水板。

- 5.4.2 衬砌内表面采用防水涂料时，应符合以下规定：

- 防水涂料应具有良好的耐水性、耐久性、耐腐蚀性及耐菌性，且无毒、难燃、低污染；
- 无机防水涂料应具有良好的潮湿基面粘结性、耐磨性；
- 有机防水涂料应具有较好的延伸性及较大适应基层变形能力。

- 5.4.3 衬砌接缝防水材料应符合以下规定：

- 橡胶止水带和钢边橡胶止水带不得采用再生橡胶，塑料止水带不得采用再生塑料；
- 对于高内水压、预计变形大的地段，施工缝、变形缝施工宜选用钢边橡胶止水带；
- 中埋式止水带应优先选用橡胶止水带或钢边橡胶止水带，遇有腐蚀性介质时宜选用氯丁橡胶止水带，橡胶止水带的防霉等级应不低于2级；
- 中埋式止水带的宽度应视内水压力大小、混凝土结构厚度等确定，宜控制在 300mm~350 mm；
- 嵌缝材料应选用满足JC/T 881的规定，选用聚硫或聚氨酯类建筑密封胶。

5.5 防腐蚀材料

- 5.5.1 衬砌内表面设置防腐材料时，材料基本技术指标应符合GB 50212 的规定。
- 5.5.2 防腐蚀材料采用涂料时，涂料品种的选用、层数、厚度等应符合设计规定，可采用环氧类涂料、聚氨酯类涂料、丙烯酸树脂类涂料等。

6 同步衬砌设计

- 6.1.1 衬砌设计应符合安全实用、质量可靠、经济合理、技术先进的要求。
- 6.1.2 衬砌设计应综合考虑围岩地质条件、断面形状、支护结构、施工条件等，充分利用围岩的自承能力。衬砌应有足够的强度、稳定性和耐久性，保证隧道长期使用安全。

- 6.1.3 衬砌结构类型、应根据使用要求、围岩级别、工程地质和水文地质条件、隧道埋置深度、结构受力特点，并结合周边工程环境、施工方法，通过工程类比和结构计算综合分析确定。
- 6.1.4 衬砌应采用模筑混凝土或模筑钢筋混凝土；衬砌结构应进行结构抗震设计，可参照 GB/T51438 的规定执行。
- 6.1.5 衬砌应采用模筑混凝土或模筑钢筋混凝土衬砌结构，宜采用仰拱衬砌、边顶拱衬砌、全圆衬砌等型式。
- 6.1.6 隧洞断面设计应符合 SL 279、JTG 33701、TB 10003 等相关标准要求。
- 6.1.7 整体式衬砌截面可设计为等截面或变截面。设计为变截面时，断面变径范围在±10%以内。设置仰拱时，仰拱厚度不应小于边墙厚度。
- 6.1.8 较长隧洞可采用多种断面形状和衬砌型式，但不宜过多过密，并应符合下列要求：
- a) 不同断面或衬砌型式之间应设置渐变段，渐变段的边界应采用平缓曲线，并便于施工；
 - b) 有压隧洞渐变段的圆锥角宜采用 $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ，对承受双向水流的渐变段应取小值。渐变段的长度不宜小于1.5倍洞径（或洞宽）；
 - c) 无压隧洞渐变段的体形应通过试验确定。
- 6.1.9 在确定开挖断面时，除应满足隧道净空和结构尺寸外，尚应考虑围岩及初期支护的变形，预留适当的变形量。预留变形量大小应根据围岩级别、断面大小、埋置深度、施工方法和支护情况等，通过计算分析确定或采用工程类比法预测。预留变形量还应根据现场监控量测结果进行调整。
- 6.1.10 采用同步衬砌的隧洞开挖洞径宜不低于8m。
- 6.1.11 仰拱衬砌应符合下列要求：
- a) 仰拱施作前，必须将隧底虚碴、杂物、积水等清除干净，超挖部分应采用同级混凝土回填与找平；
 - b) 仰拱应超前拱墙衬砌施作，其超前距高宜保持5倍以上衬砌循环作业长度；
 - c) 仰拱施工缝、变形缝处应作防水处理，其工艺按有关规定办理；
 - d) 仰拱施作应各段一次成型，不得分部灌筑；
 - e) 仰拱衬砌宜在TBM设备区域施工或采用仰拱台车施工。
- 6.1.12 拱墙衬砌应符合下列要求：
- a) 衬砌宜采用曲墙式衬砌或直墙式衬砌，在铺设仰拱预制块或完成仰拱衬砌后实施；
 - b) 拱墙衬砌与仰拱之间施工缝应做止水处理，结合面做凿毛处理；
 - c) 拱墙衬砌与仰拱之间预留或植入接茬钢筋，接茬钢筋长度及工艺要按相关规定处理；
 - d) 拱墙施工缝、变形缝处应作防水处理，其工艺按有关规定办理；
 - e) 拱墙衬砌施作应各段一次成型，不得分部灌筑。
- 6.1.13 防腐蚀、抗冲磨设计应符合下列要求：
- a) 衬砌结构的防腐蚀设计应根据混凝土结构设计使用年限，通过提高混凝土结构自身耐久性能，辅以附加防腐蚀措施，并进行施工质量控制及使用期检测维护来满足隧道现浇钢筋混凝土二次衬砌结构的防腐蚀设计要求；
 - b) 衬砌结构防腐设计应根据结构的设计使用年限、水工隧洞内部水流类别及作用等级、结构重要性，并考虑施工条件、维护便利性、全寿命成本等因素进行合理设计；
 - c) 水工隧洞衬砌应做好拟传输水体中固体颗粒的体积含量、颗粒形状、粒径、硬度、矿物成分、异重流运动规律等信息的收集，推移质多的水体应收集推移质的数量、粒径及其运动方式并分析其对混凝土表面的冲磨影响，按相关规定做好抗冲磨设计。

7 同步衬砌台车

7.1 一般规定

- 7.1.1 衬砌台车应根据隧道曲率半径、浇筑速度、混凝土工作性能、左右分层浇筑高度差等进行设计，并有经审查批准的结构计算书，其强度、刚度及稳定性应符合有关标准规定。
- 7.1.2 衬砌台车应选用自行式台车，应能满足风、水、电，连续皮带机，运输车辆的通过要求，并应具有风管等管线保护措施。
- 7.1.3 衬砌台车用电应具有防漏电、防触电装置，除动力系统外应采用安全电压，关键位置应设必要的安全警示及标识。
- 7.1.4 衬砌台车生产制造中采用的设备、材料、检测仪器等应符合国家现行标准，具备相应的合格证书。
- 7.1.5 衬砌台车出厂时宜标明设备正常浇筑循环次数，并出具使用说明书、维修保养手册及操作规程。使用过程中，应进行定期检查。

- 7.1.6 衬砌台车实际使用寿命不小于7km，衬砌浇筑时间宜控制在8h~12h左右且不超过12h。
- 7.1.7 衬砌台车人行踏板应采取防滑设计，工作平台及步梯应有牢固可靠的防护栏杆等安全设施，防护栏杆设置应符合相关规范的规定。
- 7.1.8 台车模板设计加工时应考虑隧道排水盲管、槽道、预埋件等安装要求。

7.2 结构与功能设计

- 7.2.1 衬砌台车的主要结构应包括骨架结构、钢模板、混凝土布料系统、混凝土振捣系统、液压系统、信息化监测系统、电气控制系统、行走系统以及附属功能结构和装置等。
- 7.2.2 衬砌台车宜具备下列主要功能：
- 混凝土自动布料功能：衬砌台车宜具备便捷的混凝土分配机构，以降低人工换管的劳动强度；
 - 混凝土振捣功能：边墙可采用插入式振捣棒和附着式振动器配合使用，拱部宜采用气动式附着式振动器，必要时可增加机械辅助振捣系统，保证拱部的混凝土得到充分振捣。
- 7.2.3 骨架结构应符合下列规定：
- 台车骨架基本尺寸应优化设计，具备足够的强度与刚度；
 - 设计强度要求：主要结构计算时荷载分项系数不小于1.5；采用容许应力法计算时，安全系数不小于2.0；
 - 设计刚度要求：1.5倍额定荷载条件下，全断面计算总体变形量不大于6 mm。
- 7.2.4 模板体系设计应符合以下规定：
- 钢模板应具备承受混凝土浇筑荷载强度和安全性，面板计算挠度不应超过3mm；
 - 模板体系的选用应结合隧道断面、区间长度、施工部署、材料及机械供应进行确定，优先采用模板台车进行施工；
 - 模板台车及拼装式模板支架应进行设计、验算，应满足混凝土浇筑过程中的强度、刚度和稳定性要求；
 - 模板体系设计应计算泵送混凝土荷载和辅助振捣荷载，并确保模板台车在拆卸、移动、安装等施工条件下不变形；
 - 模板宜选用高强度合金材料，模板强度与刚度足够，保证寿命期内浇筑过程中不变形；
 - 合理考虑搭接长度，应满足单独施工、前端或后端单侧搭接施工和前后两侧搭接施工；
 - 挡头模板应与衬砌断面相适应，方便止水带安装，应采用可重复使用并能同时固定止水带的定型模板；
 - 采用拼装式模板时，单块活动模板长度宜为1000mm，最大不应超过 1500mm，宽度不宜大于500mm。
- 7.2.5 混凝土布料系统应符合下列规定：
- 衬砌台车宜具备混凝土自动布料功能，实现封闭管路输送混凝土。
 - 衬砌台车布料系统布置应方便操作，实现混凝土纵向对称、横向对称自动布料。
 - 布料系统宜配置余料回收装置及清洗系统。
- 7.2.6 混凝土振捣系统应符合下列规定：
- 振捣系统布置应合理，实现混凝土均匀、密实振捣功能，不漏振，并重点考虑施工缝附近和拱顶部位的振捣。
 - 附着式振捣器及插入式振捣棒均采用高频振捣器，振动器转速不应小于10000 r/min。
 - 振捣工作窗布置应确保振捣范围满足施工要求。端头工作窗距离端头不得大于75 cm。
 - 振捣器布置间距应与其有效工作范围相匹配且不宜大于1.5 m，附着式振捣器距端头不得大于75cm。
- 7.2.7 隧道掘进方向有偏差时，台车模板应可横向移动，调整量单向不得小于100mm。
- 7.2.8 衬砌台车应设置防止台车移位装置。
- 7.2.9 衬砌台车应满足运输车辆车行界限的要求，合理设置混凝土分配器及管路，混凝土浇筑宜不倒管作业，利于运输车辆穿行台车。
- 7.2.10 模板台车设计应合理留置振捣窗、观察窗、浇筑孔（注浆孔）、排气孔（溢浆孔）。
- 7.2.11 台车模板与已衬砌段搭接部位应敷设橡胶等缓冲密封材料，避免已衬砌段混凝土受到损伤。
- 7.2.12 衬砌台车应符合以下规定：
- 台车单节长度应根据隧道曲率大小、混凝土供应能力、衬砌厚度等进行确定；
 - 隧道曲率较大时，台车长度设计应注意台车过弯侵限问题，可采用减小台车长度或者台车分节

铰接连接的措施；

- c) 台车应有可靠的导向装置（如轨道、针梁等），行走方式宜设计为自行式，配置自动行走装置和固定装置；
- d) 台车时行走方式宜设计为轨行式，配置行走轮及行走轨道；
- e) 台车应满足中间人员及材料安全通行的要求，可采用可穿行式设计；
- f) 仰拱台车及全圆式台车设计时，应进行抗浮设计。

7.2.13 拱墙衬砌台车应结构合理，满足管线、连续皮带机、运输车辆等空间要求，结构空间应符合以下要求：

- a) 衬砌台车有效衬砌长度宜为9m~16m；
- b) 端头模板应安装牢固、不漏浆，端头模板及卡具应操作方便，不得损伤防（排）水板，端头模板拱顶最高处应设置透视观察窗；
- c) 衬砌台车内部工作空间宽度不宜小于600 mm，高度不宜小于1500 mm。台车两端工作平台伸出宽度不宜小于1500 mm，工作高度不宜小于1600 mm；
- d) 衬砌台车应预留连续皮带机穿行空间，设计辅助皮带机穿行和限制皮带架左右移动的装置。在行走过程中，支撑连续皮带机保持在规定的高度和固定位置，不得影响连续皮带机正常运转；
- e) 衬砌台车前后两端设计引导装置，保障风管脱离拱顶后顺利穿越衬砌台车；台车台车移动过程中阻力小，风管不应受损伤且不偏离原布置点位。

条文说明：风筒风压较大时，同步衬砌台车的移动会造成风筒损伤，影响TBM供风，在台车前移过程中采用降低风机频率，减小供风风压，并人工辅助风筒通行。

7.2.14 拱墙衬砌台车功能应满足以下要求：

- a) 考虑混凝土的浇筑、振捣、检查等作业需要，在适当位置设置浇注口和作业窗（检查窗）；其中边墙作业窗应分层布置，层高不宜大于2m，纵向分布间距不宜大于3m，窗口净空不宜小于50cmx45cm，并具备良好的锁紧封闭措施；拱顶浇筑口不宜少于3个，拱部临近已衬端浇筑口距台车端部不应大于 0.75m；混凝土浇筑口应均匀布置，边墙浇筑口距拱顶距离不宜超过2m。
- b) 具备带压浇筑功能，浇筑过程中混凝土管路系统应形成封闭结构，并保证拱顶带压浇筑端具有一定压力值。
- c) 应配置定型组合端模，并能根据衬砌厚度及隧道轮廓线调整，端头模板及卡具强度、刚度、稳定性应满足带压浇筑要求。
- d) 衬砌台车可设置模板顶推限位装置，避免已衬砌段混凝土受到损伤。
- e) 设计有中埋止水带时应配置止水带固定端模，止水带位置应保证衬砌内侧厚度不小于20cm。
- f) 台车模板与已衬砌段搭接部位应敷设橡胶等缓冲密封材料，避免已衬砌段混凝土受到损伤。

7.2.15 仰拱衬砌台车结构空间应符合以下要求：

- a) 台车长度应满足仰拱一次最大施工长度需求，填充端搭接长度不小于1 m。
- b) 台车两端引桥的坡度不大于12°。
- c) 台车的栈桥底部距填充面高度不小于0.5 m。

7.2.16 仰拱衬砌台车功能应符合以下要求：

- a) 台车应兼顾边墙、水沟和预埋沟槽模板的安装便利。
- b) 台车应具备横向移动功能，并应设置防滑及护栏装置。
- c) 台车前引桥设计应便于下组仰拱清渣和轨排拆卸。
- d) 两端支撑体应牢固、平整，满足作业及填充混凝土保护等要求。
- e) 仰拱台车进场使用前应组织验收，使用过程中应定期进行安全检查。

7.3 精度设计

7.3.1 衬砌台车门字框架的对角线误差不大于±5mm，每片门架的垂直度不大于5 mm。

7.3.2 模板变形量不大于1cm，钢模板应符合下列规定：

- a) 单块模板无缺焊、脱焊，拱板无扭曲，筋板无弯曲，面板无锈蚀、凸凹等缺陷。单块模板制造允许偏差应符合表2的规定。

表2 单块模板制造允许偏差

序号	项目	允许偏差
1	工作窗板面与模板表面弧度应一直：错台、间隙	≤2mm
2	对角线	≤3mm
3	长度	±2mm

4	宽度	±1mm
5	铰接孔位置	≤0.5mm
6	铰接孔中线连接与模板中线垂直度	≤1mm
7	腹板与面板垂直度	1.5mm/300mm

b) 钢模板表面光洁，无凸凹、焊渣、毛刺、飞边等情况。模板储存、运输、吊装设有防变形措施。钢模板允许偏差应符合表3的规定。

表3 钢模板允许偏差

序号	项目	允许偏差
1	抡锅半径	不得侵占设计内轮廓
2	模板平面度	≤2mm/2m
3	模板错台	≤2mm
4	模板接缝间隙	≤1mm
5	衬砌台车外轮廓表面纵向直线度	≤2mm/2m ≤5mm/10m ≤6mm/12m
6	工作窗面板与模板面弧度一致：错台、间隙	≤1mm
7	衬砌台车前后端模板轮廓（测各高程弦长）	≤3mm
8	注浆口和面板错台	≤1mm

c) 衬砌台车的安装允许偏差和检验方法应符合表4的规定。

表4 衬砌台车的安装允许偏差和检验方法

序号	项目	允许偏差	检验方法
1	边墙角	±10mm	尺量
2	起拱线	±2mm	尺量
3	拱顶	±2mm	水平测量
4	相邻浇筑断面高度差	±4mm	尺量

7.3.3 作业窗应符合下列规定：

- a) 铰销、定位销配合间隙不大于0.5 mm。
- b) 作业窗表面与模板表面的错台不大于1mm。
- c) 作业窗面板四周与模板面板之间的缝隙不大于1mm。
- d) 各作业窗开启、关闭自如。

7.3.4 支撑系统应符合下列规定：

- a) 每根丝杠的弯曲度不得大于2mm。
- b) 丝杆转动灵活，螺纹有效长度合理。
- c) 台车的整体支撑系统布置合理，无支撑弱区。

7.4 智能化

7.4.1 衬砌台车宜借助物联网、5G等技术，实现各项工序的功能集成化、与其他隧洞施工设备的协同智能化作业。

7.4.2 衬砌台车宜具备智能化作业功能，主要体现在自动移轨送轨、智能分仓浇注、新型材料端模板封堵、自动浇筑监控、智能防脱空预警、自动振捣等方面。

7.4.3 衬砌台车宜具备数据采集、记录、存储和传输功能，对数据进行实时分析，根据施工环境及时调整施工工艺、参数。

7.4.4 衬砌台车宜具备混凝土浇筑时间记录、浇筑方量计量、浇筑压力和拱顶饱满度监测、入模温度测量等参数监测功能。

条文说明：浇筑过程中，混凝土监测系统应布置合理，实时监测拱部浇筑压力。

7.4.5 衬砌台车宜具备远程监控功能及搭接预警监测功能。

7.4.6 液压系统升降油缸宜采用遥控系统。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 同步衬砌施工工艺流程如图1所示。

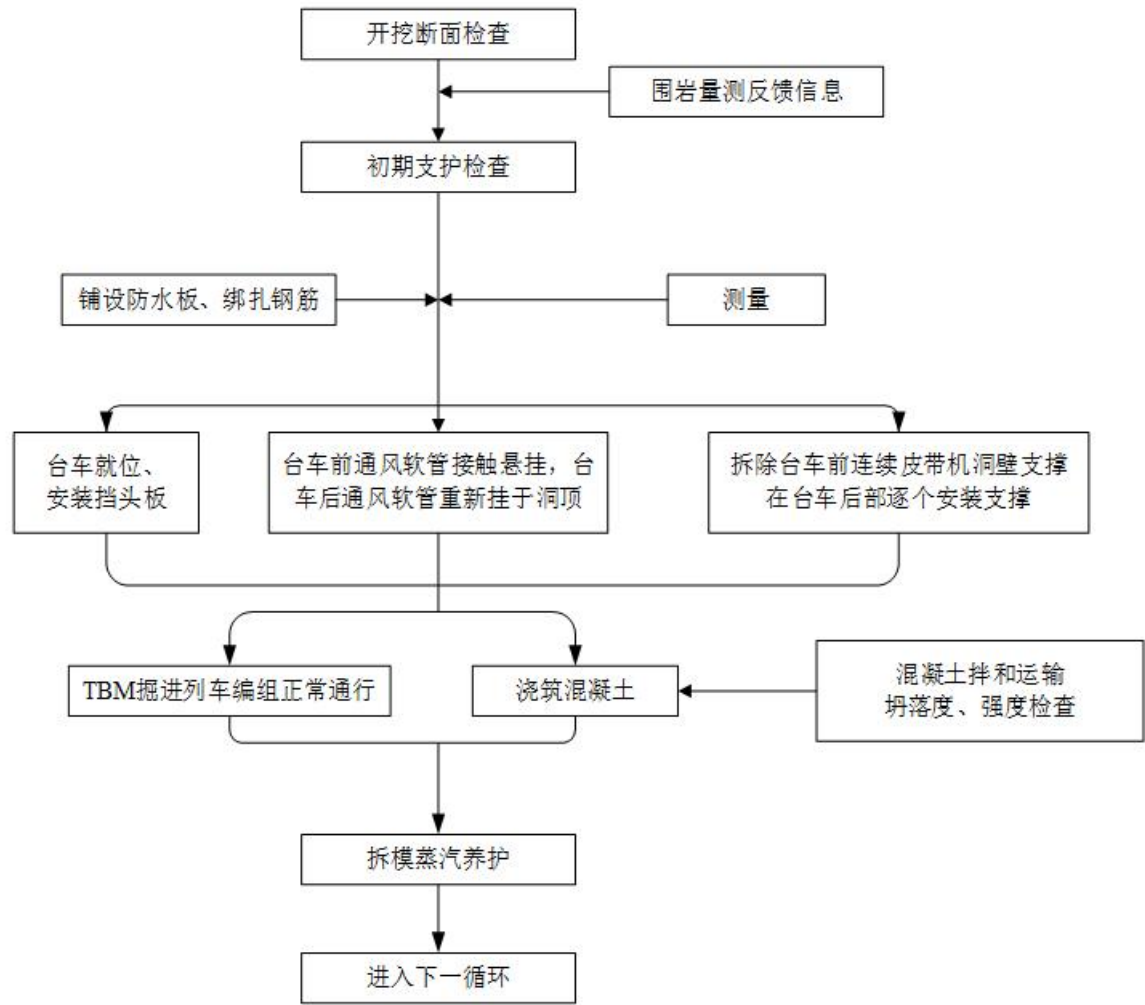


图1 同步衬砌施工工艺流程图

- 8.1.2 衬砌混凝土应根据计算、试验并考虑自然环境、养护条件、足够的安全系数等因素设定脱模强度。
- 8.1.3 衬砌台车现场涂刷脱模剂不得污染钢筋和纵向施工缝。
- 8.1.4 TBM掘进一定距离后，围岩和初期支护变形基本稳定后开始衬砌施工。
- 8.1.5 混凝土浇筑过程应进行记录。

8.2 施工准备

- 8.2.1 同步衬砌施工前应结合工程特点、施工难点、工期要求、施工条件等因素编制专项施工方案，应包含以下内容：
- a) 主要施工方法和技术要求：明确混凝土工作性能及浇筑方案。
 - b) 质量控制措施：明确衬砌施工各环节工艺标准，提出防范施工冷缝、衬砌空洞、裂缝、渗漏水等质量问题控制要点。
 - c) 安全环保技术措施：明确隧道内用电、照明、通风、安全防护、劳动保护和职业健康防护措施。
 - d) 应急预案：明确隧道衬砌施工的备用设备、设施及应急措施。
 - e) 其他：隧道内临时设施设计；TBM风、水、电、皮带机穿行布置及移动方案；钢筋及混凝土水平运输方案。
- 8.2.2 衬砌施工应根据隧洞长度、断面大小、地质条件、施工方法、工期要求、施工场地等因素，按照技术先进、安全适用、节能环保的原则合理配置施工机械设备。
- 8.2.3 施工机械的安装、使用、管理、维修和保养应严格执行有关规定，保证机械使用安全、正常运转。
- 8.2.4 混凝土拌和、运输、泵送、振捣等设备，应备有余量。
- 8.2.5 大断面长隧洞宜配置钢筋台车、养护台车和灌浆台车等配套设备，便于钢筋绑扎、混凝土浇筑、灌浆等工序平行交叉作业。

- 8.2.6 洞内运输应充分考虑TBM掘进与二次衬砌施工材料运输，规划运输车辆的数量、列车编组、运输线路、道岔布置等。
- 8.2.7 台车出厂前应对电气系统、液压系统进行检验，并对模板加工和构件焊接质量进行检查。
- 8.2.8 衬砌施工前应对初期支护表面应平整，无空鼓、裂缝、松酥，并用喷混凝土（或砂浆）对基面进行找平处理。

8.3 衬砌台车组装

- 8.3.1 衬砌台车组装应在TBM组装完成并向前步进时开始组装，组装完成后跟随TBM行走至步进洞洞室内。
- 8.3.2 衬砌台车组装使用的材料、电气、液压等设备应符合国家现行标准，电气系统具有防漏电、防触电装置。
- 8.3.3 台车及配件进场时，施工单位应对其质量证明文件和外观质量进行检查。
- 8.3.4 骨架结构应符合下列规定：
- 骨架结构无弯曲、弯扭变形，焊缝布置合理、厚度达标，无脱焊及其他焊接缺陷。
 - 组装后，各螺栓孔基本无错位。
- 8.3.5 液压操作系统应符合下列规定：
- 各阀及油缸运动自如，油缸的有效行程合理。
 - 系统管路布置合理，各接头均无漏油现象，不得影响人员行走与操作。
 - 脱模、就位动作灵活，无卡碰现象。
- 8.3.6 行走系统应符合下列规定：
- 行走系统运动自如，无抖动、打滑等现象。
 - 行走驱动力应满足隧道设计坡度条件下正常行走的要求并具有制动功能，应能保证台车移动过程中有效驻停。
 - 行走变速箱无漏油现象，链条下垂度适中。
 - 使用行走速度不应大于4m/min。
- 8.3.7 衬砌台车现场组装完成后应对骨架结构及钢模板等的外形几何尺寸、表面平整度等进行检查验收，并对电气、液压系统进行调试，并经核验合格。

8.4 钢筋安装及模板定位

- 8.4.1 拱墙钢筋安装应符合下列规定：
- 拱墙钢筋应提前加工成型，运至现场安装。
 - 钢筋安装应测量定位，确保径向位置准确，层间距及内、外层保护层厚度应符合设计要求。
 - 钢筋与防（排）水板，钢筋与模板间均应设置垫块，垫块应与钢筋扎紧，并互相错开，垫块的材质、规格、数量应符合设计要求。设计无要求时，垫块数量不应少于4个/m²，混凝土垫块的抗压强度和耐久性不应低于拱墙混凝土的标准。
 - 环向施工缝位置纵向钢筋可断开；环向钢筋间距可适当调整。
 - 钢筋安装接长宜采用绑扎或机械连接方式，不得使用焊接。
- 8.4.2 仰拱钢筋安装应符合下列规定：
- 钢筋提前加工预弯，现场安装固定。
 - 钢筋施工应采用定位卡具控制钢筋环向间距和层间距，设置定位筋及垫块控制保护层厚度。
 - 环向施工缝位置纵向钢筋可断开，环向钢筋间距可适当调整。
- 8.4.3 衬砌台车定位应符合下列规定：
- 台车定位应测量钢模板拱顶中心点、顶模与边模的两个铰接点、两侧边模的两个底脚点的平面位置和高程。
 - 台车就位后应检查台车模板与混凝土搭接情况，对其安装位置、尺寸进行复核，复测无误后锁紧行走系统，紧固模板支撑体系。
 - 轨道宜安装在衬砌混凝土表面或枕木上，不得损伤混凝土衬砌；轨道中心线与隧洞中心线偏差应小于1 cm。
 - 台车行车轨道应牢固、平顺、支撑稳定。
- 8.4.4 模板定位应符合下列规定：
- 定位前应进行测量放样，根据隧洞中线、标高及断面设计尺寸，确定衬砌立模位置。

- b) 模板台车应与已浇筑混凝土面接触紧密，搭接平顺，搭接长度不宜小于10cm。
- c) 模板安装应定位准确，支撑稳固，堵头模板应封堵严密。
- d) 模板涂刷脱模剂前，应对模板表面进行清理、打磨。
- e) 涂刷的脱模剂不应污染钢筋及混凝土的施亚禁使用废机油作模板脱模剂。
- f) 模板安装中，不得擅自移动或割除钢筋。
- g) 模板顶推不得挤压损伤已衬砌段混凝土。
- h) 端头模板应采用金属杆件压紧和支撑。

8.5 混凝土浇筑

8.5.1 仰拱衬砌混凝土施工应符合下列规定：

- a) 混凝土浇筑宜采用仰拱台车施工。
- b) 仰拱浇筑时，应设仰拱模板，并不得采用木模板。
- c) 仰拱应分段整幅施工，由仰拱中心向两侧对称连续浇筑一次性完成。

8.5.2 仰拱衬砌施工工艺应符合下列规定：

- a) 仰拱（底板）宜采用泵送方式入模浇筑。
- b) 浇筑过程中应采用插入式高频振捣棒振捣密实。
- c) 仰拱（底板）施工时，排水管沟、检查井应采用钢筋固定支架等措施固定。
- d) 填充混凝土浇筑完毕应采用人工或辅助工具及时抹平收面并拉毛。

8.5.3 仰拱衬砌施工工艺质量控制要点应符合下列规定：

- a) 溜槽出料口距混凝土浇筑面的高度不应超过2m。
- b) 插入式振捣棒插点应均匀排列，不得漏振；每次插点移动距离应不大于振捣棒作用半径的1.5倍。
- c) 插入式振捣棒应快速插入，缓慢拔出，与下层混凝土搭接深度不小于10 cm。
- d) 每次振捣时间宜为20s~30s，当混凝土不显著下沉、无气泡、开始泛浆时结束振捣。
- e) 底板及填充混凝土顶面平整度应小于1cm/m。
- f) 仰拱及填充混凝土脱模后应养护不少于7d，宜采用覆盖保湿养护。

8.5.4 拱墙衬砌混凝土浇筑施工应符合下列规定：

- a) 根据进度要求合理布置施工机具，确保连续均匀供料。
- b) 宜采用泵送带压入模，拱顶浇筑口可采用 45°~60° 倾角。
- c) 输送泵选型可根据混凝土浇筑量、泵送距离、输出量等因素，输送泵的输送能力应与混凝土的浇筑进度相适应。
- d) 混凝土施工时，模板内应有足够的照明，便于观察检验混凝土振捣效果。

8.5.5 拱墙衬砌施工工艺应符合下列规定：

- a) 输送泵出口管路截面不得突变，不得设软管；输送管路应用支架、吊具等固定。
- b) 浇筑前宜先拌制少量同水胶比砂浆对输送泵管道进行润滑。
- c) 混凝土在泵管内停滞时间不应超过45 min。
- d) 混凝土应左右对称分层连续浇筑，分层松铺厚度不宜大于40cm，浇筑速度和左右混凝土浇筑高度差不得超过模板设计预定值。
- e) 浇筑时应严格管理边墙浇筑高度，减少拱部混凝土浇筑工作量，避免拱部混凝土浇筑量过大，在起拱线附近或封顶处形成冷缝。
- f) 拱顶混凝土应由已衬砌段向另一端按顺序依次浇筑。
- g) 振捣顺序应紧随浇筑进程逐层逐窗进行，不得采用振捣棒在模板内赶送混凝土。
- h) 采用插入式振捣棒振捣混凝土时，移动间距不宜大于捣固作用半径的1.5倍，插入下层混凝土内的深度宜为10cm，无漏振及过振现象；振捣时不得碰撞预埋管件。
- i) 混凝土浇筑振捣过程应有专人观察，防止跑模和漏浆现象发生。
- j) 拱部封顶时应适当减缓泵送速度，通过观察孔检查浇筑情况。

8.5.6 拱墙衬砌施工工艺质量控制要点应符合下列规定：

- a) 运输至工作面的混凝土应进行坍落度、扩展度、含气量测试，确保工作性能良好。
- b) 混凝土振捣应加强施工缝附近的振捣质量，并注意保护防（排）水板和止水带不受损坏。
- c) 混凝土终孔封顶应在已衬砌端浇筑孔进行，终孔封顶入模混凝土压力应达到0.03 MPa~0.05 MPa，并持续稳压3min~5 min。
- d) 边墙混凝土每小时浇筑高度宜为1m~2m。

e) 钢筋混凝土浇筑分层厚度不宜过大，振捣时间应适当延长。

8.6 拆模养护

8.6.1 拆模施工应符合下列规定：

- a) 衬砌台车脱模应明确流程，并采取措施避免混凝土衬砌挤压损伤。
- b) 混凝土脱模时间应结合脱模混凝土强度和温度监测综合确定，并不应小于附录A的规定。
- c) 台车脱模后，模板表面残留的混凝土浮浆应进行清理。对钢模板的工作质量应检查，发现问题应及时修复和处理。对于变形的构件应进行校正维修或调换。

8.6.2 混凝土养护应符合下列规定：

- a) 不得使用已污染或对混凝土有腐蚀作用的水源，养护用水不低于拌和用水标准。
- b) 混凝土养护的最低期限不应少于14d，混凝土养护相对湿度宜控制在 90% 以上。
- c) 养护工艺应根据隧道断面、衬砌厚度、混凝土等级，结合衬砌混凝土芯部温度变化规律确定。
- d) 混凝土养护期间，混凝土近围岩侧衬砌内部温度不宜超过 60 ℃，最高不得大于65 ℃。
- e) 混凝土养护期间，混凝土近围岩侧衬砌内部温度与表面温度之差、表面温度与环境温度之差不宜大于20℃，养护用水温度与混凝土表面温度之差不得大于15 ℃。
- f) 当环境温度低于5℃时，不得对混凝土表面进行洒水养护。
- g) 衬砌混凝土养护期间周围温度的升、降温速度不宜大于10 ℃/h。

9 质量控制

9.1 钢筋施工工艺质量控制要点应符合下列规定

- 9.1.1 钢筋宜采用工厂化集中加工，规格数量应满足设计要求。
- 9.1.2 钢筋表面应无削弱钢筋截面伤痕、无污染、无锈蚀。
- 9.1.3 环向受力钢筋的搭接应采用焊接或机械连接。机械连接应按《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 规定执行。
- 9.1.4 钢筋安装过程中应防止划伤、刺破、烧伤防水板。
- 9.1.5 仰拱预留钢筋应准确定位，并与拱墙钢筋连接，符合设计要求。
- 9.1.6 预埋件钢筋应预埋准确，固定牢固，防止发生偏位。
- 9.1.7 钢筋与模板相贴面宜设置混凝土垫块，垫块强度和耐久性不低于衬砌混凝土指标。
- 9.1.8 钢筋位置应准确，钢筋定位宜采用定位卡具、架立钢筋及“型定位筋”。钢筋安装及保护层厚度允许偏差应符合表5的规定。

表5 钢筋安装及保护层厚度允许偏差

序号	名称	允许偏差/mm
1	双层钢筋的内、外层间距	±5
2	同一排中受力钢筋水平间距	±15
3	分布钢筋间距	±20
4	箍筋间距	±20
5	钢筋保护层厚度	+10 -5
6	钢筋网格尺寸	±10

9.2 衬砌台车模板施工工艺质量控制要点应符合下列规定

- 9.2.1 台车上各定位测量控制点平面位置与高程的允许偏差应控制在 10 mm 以内。
- 9.2.2 浇筑混凝土前应对台车锁紧装置、端头模板固定等进行检查，发现有松动应立即加固处理。

9.3 仰拱衬砌施工质量控制要点

- 9.3.1 隧底开挖断面、地基承载力应符合设计要求。

- 9.3.2 仰拱和底板施工前，清除底面虚渣、积水、淤泥等杂物。
- 9.3.3 混凝土浇筑宜采用自行式液压仰拱栈桥及整体弧形模板整幅一次浇筑成形，不得左右分幅浇筑。
- 9.3.4 仰拱结构层范围内的预埋管线应位置准确、固定牢固，施工中应采取保护措施。
- 9.3.5 端头模板宜采用可重复使用并能准确固定止水带的定型模板。
- 9.3.6 仰拱衬砌横向施工缝与填充混凝土横向施工缝宜错开设置，错开距离不小于 0.5 m。
- 9.3.7 仰拱衬砌变形缝和填充混凝土变形缝应在同一断面设置。
- 9.3.8 仰拱填充混凝土与仰拱衬砌混凝土分次浇筑，仰拱填充混凝土应在仰拱混凝土达到设计强度70%后进行。
- 9.3.9 仰拱及仰拱填充混凝土施工采用插入式振捣棒，仰拱填充混凝土收面宜采用振捣梁。
- 9.3.10 仰拱混凝土衬砌与拱墙混凝土衬砌连接面规整、密实。仰拱混凝土衬砌和拱墙混凝土均为素混凝土时，仰拱与拱墙连接面应插连接钢筋，钢筋级别应不低于 HRB400、钢筋直径不应小于 20 mm、长度不应小于 500 mm，插入深度和外露长度均不应小于 250 mm，连接钢筋沿衬砌内外缘两侧布置，纵向间距不应大于 300 mm。当拱墙衬砌为钢筋混凝土、仰拱为素混凝土时，插入钢筋直径和布置间距应与拱墙受力主筋相同，并与拱墙受力主筋焊接。

9.4 拱墙衬砌施工质量控制要点

- 9.4.1 放样时宜将设计衬砌轮廓线扩大5.0cm~8.0cm，防止模板表面侵入衬砌内轮廓。
- 9.4.2 衬砌台车模板打磨完成后宜采用水溶性脱模剂均匀涂刷。
- 9.4.3 预埋（留）件、预埋管线数量、位置准确，固定牢靠。衬砌钢筋及预埋件经验收合格后进行台车定位，混凝土浇筑过程中应防止发生偏移。
- 9.4.4 堵头模板安装应拼缝严密不漏浆、支撑牢固，拆模后端头混凝土断面整齐、光滑平整。
- 9.4.5 拱墙混凝土配合比设计宜同时加入硅粉等掺和料及减水剂等外加剂。
- 9.4.6 输送管端部宜连接软管，软管口与浇筑面垂直距离宜控制在 2.2m以内，防止混凝土拌合物直接冲击防水板。
- 9.4.7 拱墙衬砌混凝土分层对称浇筑，应控制混凝土浇筑速度，两侧混凝土灌注面高差宜控制在 1.0m以内，同一侧混凝土浇筑面高差不大于 0.5 m。
- 9.4.8 拆除预留洞室模板时防止混凝土损坏，预埋管线孔预留穿线铁丝，封堵端头。
- 9.4.9 衬砌混凝土宜采用可控制温度、湿度、时间的智能喷淋台车进行养护。

9.5 拆模施工工艺质量控制要点应符合下列规定

- 9.5.1 初期支护变形稳定后施工的混凝土衬砌，拱部混凝土强度应达到10MPa方可脱模;特殊条件下，脱模混凝土强度应符合设计要求，设计无要求时不应低于设计强度的70%。
- 9.5.2 脱模时混凝土内部与表层、表层与环境之间的温差不得大于 20℃，结构内外侧表面温差不得大于 15℃。
- 9.5.3 脱模后应对施工缝等部位衬砌混凝土表面进行检查。

附录 A
(资料性)
脱模时间

A.0.1 脱模时间可按照立方体混凝土抗压法(标准法)进行计算,并经试验确定,初期支护变形基本稳定后施作的二次衬砌脱模时间可按不小于表 A.0.1进行选择。

表A.0.1 初期支护变形基本稳定后施作的二次衬砌脱模时间

隧道环境 温度/℃	C30~C40 混凝土脱 模时间/h	隧道环境温度 /℃	C30~C40 混凝土脱 模时间/h	隧道环境 温度/℃	C30~C40 混凝土 脱模时间/h
5.0	81.1	17.0	23.8	29.0	14.0
5.5	73.7	17.5	23.2	29.5	13.7
6.0	67.6	18.0	22.5	30.0	13.5
6.5	62.4	18.5	21.9	30.5	13.3
7.0	57.9	19.0	21.3	31.0	13.1
7.5	54.1	19.5	20.8	31.5	12.9
8.0	50.7	20.0	20.3	32.0	12.7
8.5	47.7	20.5	19.8	32.5	12.5
9.0	45.0	21.0	19.3	33.0	12.3
9.5	42.7	21.5	18.9	33.5	12.1
10.0	40.5	22.0	18.4	34.0	11.9
10.5	38.6	22.5	18.0	34.5	11.7
11.0	36.8	23.0	17.6	35.0	11.6
11.5	35.3	23.5	17.2	35.5	11.4
12.0	33.8	24.0	16.9	36.0	11.3
12.5	32.4	24.5	16.6	36.5	11.1
13.0	31.2	25.0	16.2	37.0	11.0
13.5	30.1	25.5	15.9	37.5	10.8
14.0	28.9	26.0	15.6	38.0	10.7
0.6	28.0	26.5	15.3	38.5	10.5
15.0	27.0	270.0	15.0	39.0	10.4
15.5	26.2	27.5	14.8	39.5	10.2
16.0	25.3	28.0	14.5	40.0	10.1
16.5	24.6	28.5	14.2		

注:1 脱模时间按混凝土达到10 MPa进行计算。

2 脱模时间以最后一车混凝土开始拌和的时间为起始时间。

3 考虑到原材料和配合比差异,应根据项目实际使用的二次衬砌混凝土进行至少一次同条件试件强度验证,当达到脱模强度时的实测时间与上表中所列的时间之差大于0.5h时:应进行脱模时间修正。

A.0.2 采用贯入法检测混凝土强度时,应均匀布置测点并与其他试验方法进行校核。

参 考 文 献

[1]GB 50010 混凝土结构设计规范
