

水利工程隧洞模筑混凝土衬砌质量控制要点

1 范围

本文件规定了水工无压输水隧洞混凝土衬砌施工准备、初期支护、钢筋制作与安装、预埋件安装、模板制作与安装、混凝土衬砌施工、隧洞固结和回填灌浆及质量控制与检验。

本文件适用于水利工程无压输水隧洞模筑混凝土衬砌的施工。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 175 通用硅酸盐水泥
GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB/T 2059 铜及铜合金带材
GB 5749 生活饮用水卫生标准
GB 8076 混凝土外加剂
GB/T 10171 建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）
GB/T 14902 预拌混凝土
GB 18173.2 高分子防水材料 第2部分：止水带
GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
GB/T 50113 滑动模板工程技术标准
GB/T 50214 组合钢模板技术规范
JGJ/T 23 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程
JGJ/T 128 建筑施工门式钢管脚手架安全技术标准
JGJ 130 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范
JGJ/T 152 混凝土中钢筋检测技术标准
JGJ 166 建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范
SL 32 水工建筑物滑动模板施工技术规范
SL 52 水利水电工程施工测量规范
SL/T 62 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范
SL 176 水利水电工程施工质量检验与评定规程
SL 191 水工混凝土结构设计规范
SL/T 291.1 水利水电工程勘探规程 第1部分：物探
SL/T 352 水工混凝土试验规程
SL 377 水利水电工程锚喷支护技术规范
SL 632 水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准 混凝土工程
SL 633 水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准 地基处理与基础工程
SL 677 水工混凝土施工规范
SL/T 713 水工混凝土结构缺陷检测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无压输水隧洞 free-flow tunnel

洞内水流具有自由水面的水工隧洞。

3.2

混凝土衬砌 concrete lining

保证隧洞围岩稳定及洞内良好水流条件的混凝土衬护结构。

3.3

模筑混凝土衬砌 cast-in-situ concrete lining

采用现场支模浇筑成形，具有防渗功能的永久性混凝土或钢筋混凝土支护结构。

3.4

初期支护 first stage support

隧洞开挖后，用于控制围岩变形及防止坍塌而及时施作的支护。

3.5

回填灌浆 backfill 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。

3.6

防排水措施 waterproof and drainage measures

为了保证混凝土衬砌施工过程中不因渗漏水导致工程质量发生问题，干扰衬砌施工而采取的防水及排水措施。

3.7

防水板 waterproof board

用于隧洞内部的防水保护材料，其主要作用是引流围岩渗水，保护隧洞施工过程不受渗水的影响。

3.8

质量通病 Common quality issues

工程实践中经常出现的一些质量问题，这些问题通常是由于施工过程中的疏忽、技术操作不当或管理不到位等原因造成的。质量通病不仅影响工程的质量和安全性，还可能导致工程成本的增加和工程进度的延误。

4 基本规定

4.1 水工输水隧洞混凝土衬砌施工应执行国家法律法规和相关技术标准，应识别并执行工程涉及的强制性标准，按照设计文件施工，满足工程结构安全性、使用功能、耐久性要求，遵守国家环境保护和劳动保护的有关规定。

4.2 水工输水隧洞混凝土衬砌施工各方应健全质量管理体系，明确质量责任，保证工程质量和施工安全。

4.3 水工输水隧洞混凝土衬砌施工前应完成对初期支护的质量检查。

4.4 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工，应开展原材料质量检验、混凝土拌合物性能和衬砌实体质量检测。

4.5 水工输水隧洞混凝土衬砌施工宜推广采用新材料、新技术、新工艺、新设备，应用前需经试验论证，确保衬砌施工质量可控、安全可靠、技术先进、经济合理和绿色环保。

4.6 水工输水隧洞混凝土衬砌施工过程中应及时收集整理混凝土衬砌施工的各项原始数据和资料，并与工程建设过程同步进行。资料应做到全面系统、内容完整、真实可靠，并可追溯。

4.7 水工无压输水隧洞模筑混凝土衬砌常见质量通病防治见附录 A.1—A.6。

5 施工准备

5.1 一般规定

5.1.1 施工单位应结合工程特点和现场实际，按照设计文件、合同要求做好施工技术、设施设备等各项准备工作。

5.1.2 水工输水隧洞混凝土衬砌施工前应编制施工方案，对施工人员进行岗前专业培训、技术交底、安全交底、职业健康教育等。

5.1.3 水工输水隧洞混凝土衬砌施工前应进行工艺试验，验证施工工艺的合理性和可靠性，规范施工工艺和流程。

5.2 技术准备

5.2.1 施工单位应熟悉设计文件，组织各专业人员对施工图进行会审，做好现场调查，对结构设计尺寸和关键施工参数等进行核对。

5.2.2 勘察、设计单位应当在工程施工前，向施工、监理等有关参建单位进行交底，对施工图设计文件作出详细说明，并对涉及工程结构安全的关键部位进行明确。

5.2.3 混凝土衬砌施工方案应按照合同、设计文件及相关技术标准要求，结合工程特点、施工条件，施工方法、施工重点及难点、质量控制、安全生产、工期要求、环境保护等因素编制。

5.2.4 混凝土衬砌施工方案应包含下列内容：

a) 工程概况；

- b) 编制依据、编制原则;
- c) 施工总体部署、施工进度计划及施工总平面布置;
- d) 施工准备、资源配置;
- e) 施工工艺、施工方法和技术要求;
- f) 质量目标、控制要点和保证措施;
- g) 质量检验及验收标准;
- h) 质量通病及防治措施;
- i) 施工期安全监测;
- j) 施工安全保证措施;
- k) 环境保护保证措施;
- l) 文明施工保证措施;
- m) 危险源辨识与风险评价, 事故应急预案;
- n) 低温季节施工;
- o) 计算书及相关图纸。
- p) 水工输水隧洞混凝土衬砌施工应实行分级技术交底制度, 并形成书面记录。

5.2.5 水工输水隧洞混凝土衬砌施工前, 应根据混凝土设计强度、耐久性等指标开展混凝土配合比设计工作。

5.2.6 施工单位、监理单位、项目法人均应根据规程规范、设计文件及施工技术要求制定工程质量检测计划, 明确检测项目、检测频次、检测数量等内容。

5.3 施工测量

5.3.1 施工单位应编制施工测量方案, 复核测量控制网, 复核精度应符合 SL 52 的有关规定。

5.3.2 隧洞衬砌施工测量应包括下列内容:

- a) 施工放样;
- b) 断面测量;
- c) 变形监测。

5.3.3 施工放样测量时, 应对衬砌结构的尺寸、位置、高程等数据进行复核, 施工过程中应定期对洞内控制点点位进行检查复核。

5.3.4 在施工过程中, 应根据设计要求及施工需要在两侧边墙内埋设铜质或不锈钢质永久标志, 并测定高程、里程等数据, 以便检修和监测时使用。

5.4 工地试验室

5.4.1 水工输水隧洞混凝土衬砌施工检测应由具有相应资质等级的水利工程质量检验检测机构承担。

5.4.2 检验检测机构应根据合同约定在施工现场设置相应的工地试验室。

5.4.3 工地试验室应根据工程规模、工程特点、建设内容、任务要求和试验检测需要等因素设立。

5.4.4 工地试验室的选址应充分考虑环境保护、室内通风、采光效果、供电供水、排水设施、消防安全等因素。所处位置应便于弃水排放、废弃物处理。试验室的环境条件应满足检测项目的相关要求。

5.4.5 工地试验室配备的人员和设备应与所承担的任务相适应, 满足工程需要。检测人员应具备相应的检测资格和能力, 持证上岗。检测人员的专业与数量符合相关要求。检测仪器和设备需经过检定/校准, 并在有效期内使用。

5.4.6 工地试验室应建立健全质量保证体系, 确保检测数据、结果的及时和准确。

5.4.7 工地试验室应在搅拌站（楼）设立现场试验区，配备满足原材料及拌和物质量控制需要的设备和人员，依据规范要求开展检测工作。

5.4.8 工地试验室应建立检测台账和不合格样品检测台账。

5.4.9 工地试验室应经项目法人组织验收通过后方可投入使用。

5.5 机械设备

5.5.1 水工输水隧洞混凝土衬砌施工应根据隧洞长度、断面尺寸、地质条件、施工方法、施工工期及进度、施工场地等因素，按照技术先进、安全适用、性能可靠、经济合理、节能环保的原则合理配置施工机械设备。

5.5.2 混凝土拌和、运输、泵送、振捣等设备，应备有余量，优先选用污染小、噪声小的机械设备。

5.5.3 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工宜配备钢筋台车、模板台车和灌浆台车等提高施工效率的设备。

5.5.4 施工机械设备应严格按照有关规定进行安装、使用、管理、维修和保养，保证在施工过程中安全运行。

5.6 混凝土搅拌站（楼）

5.6.1 混凝土搅拌站（楼）应按照确保生产质量和生产安全、经济合理且满足环保要求的原则进行设置。

5.6.2 人员要求：

- a) 混凝土搅拌站（楼）的主要负责人、技术负责人、检验人员、操作人员等关键人员上岗前应进行岗位培训；
- b) 混凝土搅拌站（楼）应建立健全各项管理制度、操作规程，落实岗位责任制。管理制度主要包括原材料检验验收、混凝土生产、混凝土质量检验、计量设备标定、设备操作、维修保养等。

5.6.3 设备要求：

- a) 混凝土搅拌站（楼）所处位置地基应稳固，环境风险小，距混凝土浇筑点宜较近，高差宜较小；
- b) 混凝土搅拌站（楼）应根据工程规模、分布特点、环境条件、现场地形、施工组织要求等合理布置拌和作业区、试验检测区、材料储存区、运输车辆存放区等各功能区，做到工序衔接紧密、配合得宜、交通顺畅，实现高效的运行和生产效率；
- c) 混凝土搅拌站（楼）的型式和数量应根据工程规模、施工工期、混凝土生产工艺、施工强度、原材料技术指标、混凝土质量要求、温度控制、浇筑方案、机械设备等因素确定；
- d) 混凝土搅拌站（楼）储料罐设置应满足材料进场、检验、周转使用要求；
- e) 混凝土搅拌站（楼）应选择性能优异、节能环保、自动化信息化程度高的设备。混凝土搅拌站（楼）采用的设备应符合 GB/T 10171 的技术要求，并实现自动计量、记录存储、信息显示、混凝土拌和物生产过程监控等功能；
- f) 混凝土搅拌站（楼）的生产能力应满足施工高峰期的浇筑强度要求，综合施工高峰期混凝土施工作业面数量、运输、混凝土浇筑量等因素计算确定；
- g) 混凝土搅拌站（楼）的计量器具应经检定，符合要求后方可使用。并应定期（每月不少于 1 次）进行检验校正，必要时应随时抽验。每班称量使用前，应对称量设备进行零点校验；
- h) 混凝土搅拌站（楼）的拌和设备在使用前应进行检查检测，确保其满足使用性能要求。拌和过程中应加强对拌和设备的观测，发现故障及时排除；
- i) 混凝土搅拌站（楼）宜安装与运输车辆识别系统配套的控制系統；

- j) 如需进行冬期施工,混凝土搅拌站(楼)的拌和设备设施应根据气候条件进行热工计算,配备必要的保暖、加热设施,符合防火、防爆的有关规定;
 - k) 混凝土搅拌站(楼)的建设和运行应符合环境保护的有关规定,采取有效措施减少污染。
- 5.6.4 混凝土搅拌站(楼)运行前,项目法人应组织人员对混凝土搅拌站(楼)进行检查、验收。验收通过后,方可投入使用。

5.7 工艺试验

5.7.1 水工输水隧洞混凝土衬砌施工前应在施工现场同条件环境下进行钢筋连接、止水连接、混凝土衬砌浇筑、灌浆等工艺试验。

5.7.2 工艺试验前,施工单位应编制工艺试验方案并报监理单位审批。工艺试验方案宜包含下列内容:

- a) 编制依据、编制原则、试验目的;
- b) 主要施工方法、工艺参数及施工流程;
- c) 人员投入、施工机械配置、检测试验仪器、计划安排;
- d) 施工质量检测内容、检测方法;
- e) 质量目标、质量控制要点和质量保证措施;
- f) 安全保证措施、应急预案等。
- g) 工艺试验前应对试验人员进行技术交底和培训。
- h) 工艺试验使用的设备应与施工现场使用的设备一致,且处于正常工作状态。

5.7.3 施工单位应按照批准的工艺试验方案进行工艺试验。工艺试验完成后,应收集整理试验资料,分析试验成果,对施工工艺进行总结,编制工艺试验成果报告,并报监理单位审批同意后方可使用。工艺试验成果报告应包含下列内容:

- a) 工艺试验概况;
- b) 工艺试验成果分析比选;
- c) 检测试验数据及相关报告;
- d) 施工方法确认;
- e) 工艺参数和施工流程;
- f) 质量控制要点等。

6 初期支护及基础面质量检查

6.1 一般规定

- 6.1.1 初期支护施工应做好排水、治水工作。
- 6.1.2 初期支护应与围岩紧密贴合,之间不应留有空洞和间隙。
- 6.1.3 初期支护完成后的轴线高程和尺寸应符合设计要求,不得侵占隧洞混凝土衬砌结构尺寸。
- 6.1.4 混凝土衬砌施工前,施工单位应对衬砌基础面的质量进行检查,发现问题及时处理。

6.2 初期支护施工及质量检查

- 6.2.1 混凝土初期支护施工应根据工程量大小、进度要求、工艺流程等条件,选择密封性好、料物输送均匀、性能稳定的喷射机具。
- 6.2.2 锚杆、钢拱架、钢筋网、喷射混凝土等施工工序及质量检查应符合 GB 50086 和 SL 377 的相关规定。

6.2.3 初期支护与围岩贴合质量检查可采用简易锤击、无损、钻孔等方式，检查是否存在空穴、空鼓、松酥等问题，发现问题按照设计要求采用补喷、灌浆等方式进行处理。

6.2.4 不良地质洞段的侵限部位处理应在保证安全的前提下，按照设计要求进行处理。

6.3 基础面质量检查及处理

6.3.1 岩石洞段基础面应无虚渣、杂物、泥浆和积水等。

6.3.2 隧洞超挖部位可采用与衬砌相同强度等级的混凝土回填。除设计要求外，严禁用其他方式回填。

6.3.3 隧洞内避车洞、集水井、施工设备安装间等应按设计要求封堵、回填。

6.3.4 隧洞衬砌施工前应根据设计要求结合工程现场情况采取防排水措施。

6.3.5 防排水措施应根据材料、工艺等特性选择，并通过工艺性试验。

6.3.6 防排水层施工主要应满足以下要求：

- a) 初期支护表面应平整，平整度应符合 $D/L \leq 1/20$ 的要求（D 为基面相邻两凸面间凹进深度；L 为基面相邻两凸面间的距离，且 $L \leq 1\text{ m}$ ）。
- b) 初期支护喷射混凝土表面无尖锐物，锚杆端头、钢筋露头等尖锐物应采用护具防护或割除，并采用砂浆抹平，避免刺穿破坏防水层。
- c) 排水系统布设应符合设计要求，集中将渗水引出混凝土仓外。
- d) 排水设施穿过防水层时，应做好密封防水处理。

6.4 质量控制要点

6.4.1 钢筋及防排水材料等性能、规格应符合国家、行业标准及设计要求。

6.4.2 防排水施工工艺应满足下列控制要点：

- a) 缓冲层及防水卷材应与施工基面密贴，固定缓冲层的点位间距拱顶不大于 50 cm，边墙不大于 80 cm，接缝搭接宽度不小于 10 cm。
- b) 防水板平面部位的搭接宽度不应小于 15 cm，搭接缝应为双焊缝，单条焊缝的有效宽度不应小于 1.5 cm，焊缝应连续不间断、不得漏焊、假焊、焊焦、焊穿。

7 钢筋制作与安装

7.1 一般规定

7.1.1 钢筋的牌号、规格、性能应符合国家现行标准和设计要求。

7.1.2 钢筋的安装位置、数量、规格、尺寸、接头连接质量，应符合设计图纸和规程规范要求。

7.2 材料

7.2.1 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 60 t。

7.2.2 进场钢筋应逐批检查其外观质量、物理指标和力学性能，检验结果应符合 SL 677 的有关规定。

7.2.3 以另一种牌号或直径的钢筋代替设计文件规定的钢筋时，应符合 SL 677 及产品标准的相关要求。

7.2.4 钢筋应按不同等级、牌号、规格及生产厂家分批验收，分别堆放且应立牌以便识别。钢筋宜堆置在仓库（棚）内，露天堆置时，应垫高并加遮盖，不应和酸、盐、油等物品存放在一起。运输、贮存过程中应避免锈蚀和污染。

7.3 钢筋制作

7.3.1 钢筋的调直、清除污锈、弯折及端头加工应符合 SL 677 的有关规定。

7.3.2 钢筋宜在加工棚内集中加工，统一配送运至作业现场安装成型。

7.4 钢筋连接

7.4.1 钢筋的连接方式应符合设计要求。当施工条件受限，或经专门论证后，钢筋连接型式可根据现场条件确定。

7.4.2 钢筋焊接或机械连接前，应在现场施工条件下进行工艺试验，确定工艺参数。

7.4.3 钢筋连接及接头布置应符合 SL 191 和 SL 677 的规定。

7.5 钢筋安装

7.5.1 钢筋安装前应设置定位筋，安装后的钢筋骨架应有足够的刚度和稳定性。

7.5.2 钢筋安装应符合下列规定：

- a) 钢筋安装前，应对钢筋安装位置进行测量放样，标出安装控制点；
- b) 径向定位钢筋应布置在隧洞横断面轮廓线（弧）段的转折点、中点等位置，与洞壁锚固牢靠，环向间距不宜大于 2 m，纵向间距不宜大于 3 m；
- c) 纵向定位钢筋应焊接在径向定位钢筋上，焊接应位置准确，保证环向主筋层间距及预留保护层厚度符合设计要求；
- d) 衬砌内、外层环向主筋应按设计间距绑扎于纵向定位钢筋上；
- e) 分布筋与环向主筋的交叉点应全部绑扎或焊接，焊接不得损伤钢筋截面。

7.5.3 钢筋与模板之间宜设置混凝土垫块，垫块的制作、设置和固定应符合下列规定：

- a) 混凝土垫块的耐久性和抗压强度应不低于衬砌混凝土；
- b) 垫块应相互错开、分散设置在钢筋与模板之间，布设数量不宜少于 4 个/m²，关键部位应适当加密；
- c) 垫块应与钢筋绑扎牢固，绑丝的丝头不应进入保护层内。

7.5.4 隧洞铺设防水板时，径向定位钢筋不得穿破防水板。

7.5.5 当预留钢筋外露时间较长且环境湿度较大时，宜对钢筋采取防锈措施。

7.6 质量控制要点

7.6.1 钢筋进场时，施工单位应逐批检查钢筋合格证、出厂检验报告和外观质量，按规定进行检验，并经监理工程师核验合格后方可进场使用。

7.6.2 钢筋制作及安装质量应符合设计要求和 SL 632 的规定。

8 预埋件安装

8.1 一般规定

8.1.1 水工输水隧洞混凝土衬砌中的预埋件主要包括止水、伸缩缝填充材料、管路、观测仪器等。

8.1.2 预埋件的结构型式、位置、尺寸及材料的品种、规格、性能等应符合设计要求和有关技术标准。

8.1.3 预埋件不应露天存放，以防晒防潮，避免与油和润滑剂接触。各种观测仪器应有库房存放和专人管理。

8.1.4 预埋件安装完成后，应做好保护，避免移位、变形、损坏、堵塞等。

8.2 止水

8.2.1 止水应有生产厂家的性能检测报告和出厂合格证，在使用前，应按 GB/T 2059 和 GB 18173.2 的规定进行抽样检测。

8.2.2 金属止水表面的浮皮、锈污、油漆、油渍均应清除干净，如有砂眼、钉孔，应予补焊。金属止水宜采用专门的成型机按设计形状、尺寸加工成型。

8.2.3 非金属止水不应有气孔，应塑化均匀，有变形、裂纹和撕裂的不应使用。

8.2.4 伸缩缝止水安装应符合下列规定：

- a) 止水宜采用钢筋卡夹持固定；钢筋卡可采用 $\Phi 10$ 的钢筋弯制而成，安装间距不宜大于 50 cm；
- b) 止水安装位置应符合设计要求，与混凝土接缝面垂直，其中线位于衬砌接缝中心线上；
- c) 止水应固定牢靠，浇筑过程中不应发生移位或扭曲。

8.2.5 施工缝应按照设计要求设置止水。纵向止水可采用钢筋卡与角钢组合的方式固定，钢筋卡的间距不宜大于 50 cm。

8.2.6 止水连接应符合下列规定：

- a) 止水连接前应进行工艺性试验；
- b) 金属止水连接宜采用搭接双面焊，搭接长度不小于 20 mm；经试验能满足质量要求亦可采用对接焊接；
- c) 橡胶止水接头宜采用硫化热粘接，搭接长度不小于 100 mm；
- d) 止水接头的抗拉强度不应低于母材强度的 75 %；
- e) 止水接头位置应选在衬砌结构应力较小的部位。
- f) 施工过程中，应对已安装的止水采取保护措施，防止止水被污染、刺破，扭曲变形移动。

8.3 伸缩缝

8.3.1 环向伸缩缝应在同一平面内，不得错开。

8.3.2 伸缩缝缝面应平整、洁净，外露铁件应割除。

8.3.3 缝面应干燥，先刷冷底子油，再按序粘贴缝面填充材料。

8.3.4 缝面填充材料应粘贴牢靠，破损的应及时修补。

8.3.5 伸缩缝嵌缝材料嵌填饱满，与混凝土面结合牢固，表面平整。

8.4 管路

8.4.1 灌浆导向管安装的位置、方向、数量应符合设计要求。

8.4.2 在围岩超挖较大、塌陷、溶洞等部位，应预埋灌浆和排气管路。埋管数量不应少于 2 根，埋设管路应通向回填部位的最高处。

8.4.3 排水、冷却等管路应按设计要求埋设。

8.4.4 埋设的管路应固定牢靠，管口应妥善保护，防止堵塞、移位。

8.5 观测仪器

8.5.1 观测仪器应按设计图纸和文件以及仪器使用说明书的要求埋设安装。埋设前，所有仪器（设备）均应进行编号、测试、校正和率定。

8.5.2 观测仪器安装应符合下列规定：

- a) 观测仪器安装时，应保证安装位置、方向和角度准确；

- b) 仪器安装定位后，应经检查合格和校正，并读取初始值后方可浇筑混凝土；
- c) 混凝土浇筑时应剔除仪器周围粒径大于 40 mm 的骨料，采用人工或小功率振捣器振捣密实，浇筑过程中应有专人看护；
- d) 观测仪器埋入后应记录仪器编号、桩号位置和方向、埋设日期、埋设前后观测数据及环境情况等，及时成图；
- e) 观测仪器电缆应采用专用电缆，接头应绝缘、不透气、不漏水。

8.6 质量控制要点

8.6.1 止水、伸缩缝填充材料、观测仪器进场时，施工单位应逐批检查产品合格证、出厂检验报告和外观质量，按规定进行检验或率定，并经监理工程师复核合格后方可进场使用。

8.6.2 止水、伸缩缝填充材料、管路、观测仪器等预埋件安装质量应符合 SL 632 的规定。

8.6.3 模板就位前，监理工程师应对预埋件安装质量进行验收，其内容包括：

- a) 预埋件的形状、尺寸、外观等；
- b) 预埋件的安装位置、角度、数量、固定及保护等；
- c) 止水的连接方式、搭接长度、接头质量、接头位置等。

9 模板制作与安装

9.1 一般规定

9.1.1 模板的材料、设计、制作、安装、拆除及维修等应符合 SL 32 和 SL 677 的规定。

9.1.2 模板工程应编制专项施工方案。对于超过一定规模的危险性较大的模板工程及支撑体系，施工单位应组织专家对专项施工方案进行审查论证。

9.1.3 模板和支架应符合下列规定：

- a) 模板和支架的选用应与隧洞结构特征、断面形状、施工条件和浇筑方法相适应。
- b) 具有足够的强度、刚度和稳定性，能够承受施工过程中产生的各类荷载，并保证变形在允许范围内。
- c) 模板板面应平整、光洁，接缝严密、不漏浆。
- d) 安装和拆卸方便、安全。

9.1.4 采用台车支模的台车骨架应具有足够的强度与刚度。

9.2 模板制作

9.2.1 平洞混凝土衬砌施工宜优先选用模板台车，竖井混凝土衬砌施工宜优先选用滑模或滑框倒模，斜井混凝土衬砌施工可采用滑模、模板台车等。

9.2.2 圆形平洞衬砌宜优先选用针梁模板等模板台车。异形断面宜采用组合钢模板。

9.2.3 组合模板、滑动模板的设计、制作及施工应符合 GB/T 50113、GB/T 50214、SL 32 和 SL677 的规定。

9.2.4 采用定型钢管脚手架作为模板支架材料时，支架的设计应符合 JGJ/T 128、JGJ 130、JGJ 166 的规定。

9.2.5 模板台车制作应满足下列要求：

- a) 有效衬砌长度宜为 6 m~12 m；
- b) 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；

- c) 模板应撑张、收缩自如，具有定位微调 and 锁定机构，定位准确、支撑稳固；
 - d) 作业窗应分层布置，层高不宜大于 2 m，每层相邻窗口间距不宜大于 3 m，窗口净空不宜小于 50 cm×45 cm，顶部浇筑口不宜少于 3 个；
 - e) 台车附着式振捣器应布置合理，振捣间距与其有效工作范围相匹配，相邻振捣器宜错开布置，振捣范围应覆盖全部浇筑面，振捣器的频率、功率应满足施工需要；
 - f) 模板接缝、作业窗应平整、严密；
 - g) 台车移动自如，制动系统安全、可靠；
 - h) 全断面或底拱台车应具有抗浮装置；
 - i) 应考虑台车脱模后给模板清理、涂刷脱模剂留有足够的操作空间。
- 9.2.6 端头模板及卡具强度、刚度、稳定性应满足带压浇筑要求并应符合下列规定：
- a) 组合端头模板应能根据衬砌厚度及基础面轮廓进行调整；
 - b) 设计有中埋式止水时应独立制作可固定止水的端模；
 - c) 端头模板应安装牢固，混凝土浇筑过程不漏浆。
- 9.2.7 模板台车与已衬砌段搭接部位宜敷设橡胶等缓冲密封材料，避免已衬砌段混凝土受到损伤。
- ### 9.3 模板安装
- 9.3.1 模板安装前应进行测量放样，根据隧洞中线、标高及断面设计尺寸，确定衬砌立模位置。
- 9.3.2 模板台车定位应符合下列规定：
- a) 模板台车行车轨道安装应牢固、平顺、支撑稳定，不得损伤已衬砌混凝土；定位后中心线偏差应控制在 10 mm 以内；
 - 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 10 cm；
 - c) 模板台车就位后，应对其安装位置、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。
- 9.3.3 滑模安装应符合 GB/T 50113、SL 32 的规定。
- 9.3.4 组合模板安装应符合 GB/T 50214、SL 677 的规定。
- 9.3.5 模板安装应定位准确，支撑稳固，端头模板应封堵严密。
- 9.3.6 模板涂刷脱模剂前，应对模板表面进行清理、打磨。涂刷的脱模剂不应污染钢筋及混凝土的施工缝，严禁使用废机油作模板脱模剂。
- 9.3.7 模板安装中，不得擅自移动或割除钢筋。
- ### 9.4 质量控制要点
- 9.4.1 模板及配件进场时，施工单位应对其质量证明文件和外观质量进行检查，模板台车、滑模等模板应经过拼装、调试，并经监理工程师核验。
- 9.4.2 混凝土浇筑前，监理工程师应对模板安装质量进行验收，其主要内容包括：
- a) 模板的位置、断面尺寸、支撑的稳定性等；
 - b) 板面的平整度、错台、外观、接缝的严密性等；
 - c) 脱模剂的质量、涂刷等。
- 9.4.3 模板制作及安装质量应符合 SL 32 和 SL 632 的规定。
- 9.4.4 模板台车每衬砌 500 m~600 m，施工单位应进行一次全面检验。

10 混凝土衬砌施工

10.1 一般规定

10.1.1 混凝土衬砌应在围岩变形基本稳定后进行。

10.1.2 隧洞洞口段、浅埋段、不良地质条件等短期内不能明显趋于稳定的特殊环境洞段，可按设计要求适度提前施作衬砌，衬砌结构应有足够的强度和刚度，脱模强度应符合设计要求。

10.1.3 底板（底拱）、矮边墙混凝土应整幅浇筑，一次成型；每循环浇筑的长度宜与边墙、顶拱衬砌浇筑长度相一致。

10.1.4 混凝土衬砌施工中应加强混凝土温度控制，预防温度裂缝的产生。

10.1.5 施工过程中应对混凝土衬砌实体质量检测数据进行统计分析，评定混凝土质量。

10.2 原材料

10.2.1 水泥、骨料、掺合料、外加剂、水等应符合产品标准及 SL 677 的规定。

10.2.2 混凝土原材料的运输、存储、使用应符合 SL 677 的规定。

10.3 混凝土拌和

10.3.1 混凝土配料单应经监理工程师审核签发后执行。

10.3.2 混凝土配合比首次使用或使用间隔时间超过三个月的，施工单位应组织开盘鉴定。开盘鉴定应符合下列规定：

- a) 生产使用的原材料应与配合比设计一致；
- b) 混凝土拌和物性能应满足施工要求；
- c) 混凝土强度、耐久性能应符合设计要求。

10.3.3 混凝土配料单签发、调整和标识，应符合下列规定：

- a) 混凝土拌和前，试验人员应测定砂石骨料的表面含水率，检测细骨料的细度模数和粗骨料超、逊径含量，根据试验结果调整混凝土施工配合比，出具混凝土配料单，经监理工程师审核后签发；
- b) 生产过程中应每 4 h 检测 1 次砂石骨料的表面含水率，雨雪天气等特殊情况应加密检测；当砂石骨料表面含水率发生较大变化或混凝土和易性不好时，试验人员应查明原因，需对混凝土配料单进行调整时，应经监理工程师审核后重新签发；
- c) 在搅拌机操作房醒目位置悬挂配合比标识牌。

10.3.4 每盘混凝土最少拌和时间应满足 SL 677 的规定。添加掺合料、外加剂或低温季节施工时，应适当延长拌和时间。

10.3.5 采用预拌混凝土浇筑时，应符合 GB 14902 的有关规定。

10.4 混凝土运输

10.4.1 混凝土运输应合理选择运输方式、缩短运输时间、减少转运次数，保持混凝土拌和物的均匀性，不应发生分离、漏浆、严重泌水等现象。

10.4.2 混凝土运输、卸料及浇筑全过程严禁加水。

10.4.3 混凝土拌和物运输出现初凝、塑性降低较多已无法振捣、被水淋湿、失水较多、受冻等严重影响混凝土质量情况时，应按不合格料处理，不得入仓。

10.4.4 混凝土搅拌运输车应根据天气条件采取保温隔热、遮盖防雨等措施。

10.5 混凝土浇筑

- 10.5.1 混凝土浇筑前应通过工艺试验，确定混凝土入仓、振捣、封拱的施工工艺及参数。
- 10.5.2 混凝土浇筑应符合下列要求：
- a) 混凝土应分层、按序、左右侧交替对称浇筑。
 - b) 混凝土宜采用插入式振捣棒振捣，或结合附着式振捣器振捣，混凝土振捣应按浇筑顺序依次进行，无漏振和过振现象。
 - c) 顶拱浇筑时宜沿上坡方向逐孔进行，浇筑完成后及时采用封拱器封孔；封拱时机应根据混凝土浇筑量，通过观察孔、溢浆管及泵送压力综合判断。
 - d) 止水、钢筋密集处宜采用小型振捣器振捣密实，必要时辅以人工捣固密实。振捣棒不应直接碰撞模板、止水。
 - e) 混凝土振捣过程中，应有专人负责模板的检查，发生变形、移位、漏浆等现象，应及时采取加固、封堵等措施。
 - f) 混凝土浇筑过程中，应避免外来水进入仓内，仓内泌水应及时排除。
- 10.5.3 混凝土衬砌施工缝应设置在衬砌结构拉应力及剪应力均较小的部位。受力复杂的结构，施工缝设置应经设计单位认可。
- 10.5.4 边墙、顶拱混凝土应一次浇筑成型，每仓混凝土浇筑时间宜控制在 10 h 以内。
- 10.5.5 低温季节、高温季节、雨季施工应符合 SL 677 相关规定。
- 10.6 拆模及养护
- 10.6.1 混凝土衬砌拆模应满足下列要求：
- a) 混凝土衬砌拆模强度应符合设计要求和 SL 677 规定。
 - b) 混凝土拆模时间应考虑同条件养护试件强度增长，以及混凝土内外温差等因素。
 - c) 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。
- 10.6.2 混凝土养护应符合下列规定：
- a) 混凝土脱模后应及时进行保温、保湿养护，养护装置应根据现场条件、环境温湿度、构件特点、技术要求、施工操作、经济性等因素确定。
 - b) 宜根据隧洞断面、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养护工艺。
 - c) 应根据衬砌混凝土芯部温度变化规律、环境气温、相对湿度、养护技术要求、施工操作等因素及时调整养护制度。
 - d) 混凝土养护时间应符合 SL 677 要求。
- 10.6.3 养护台车
- a) 养护台车应紧跟衬砌台车，对脱模后的衬砌混凝土进行养护，并应根据衬砌施工进度及时调整养护工艺。
 - b) 养护台车应具有保温、保湿功能，保湿用水应配置加热装置。
 - c) 养护台车应具备养护温度、湿度的调节和实时监控功能，并能实现养护数据的自动采集、记录、存储和传输功能。
 - d) 养护台车宜能及时将脱模后的衬砌混凝土覆盖。
- 10.7 伸缩缝处理
- 10.7.1 伸缩缝缝槽基面应平整、干燥，无灰尘、浮浆、残渣，缝槽尺寸应符合设计要求。
- 10.7.2 伸缩缝嵌缝材料配置应符合设计要求，搅拌均匀，无色差。
- 10.7.3 嵌缝材料嵌填饱满，与混凝土面结合牢固，表面平整。

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/237030111134006134>