

水工输水隧洞模筑混凝土衬砌
施工技术要求

2021-09-16 发布

2021-12-16 实施

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 总则..... 2

5 施工准备..... 2

6 初期支护及基础面质量检查与处理..... 5

7 钢筋制作与安装..... 5

8 预埋件安装..... 7

9 模板制作与安装..... 9

10 混凝土衬砌施工..... 10

11 隧洞回填灌浆..... 15

12 质量检验..... 16

附录 A（资料性） 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌常见质量通病防治..... 18

附录 B（资料性） 混凝土衬砌施工质量评价方法..... 31

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。

本文件由山西省水利厅提出并监督实施。

本文件由山西省水利标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山西省水利发展中心。

本文件主要起草人：王宏图、刘建成、张明斌、刘瑞鹏、郭鹏飞、李敏、王晓东。

水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工技术要求

1 范围

本文件规定了水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工的术语和定义、总则、施工准备、初期支护及基础面质量检查与处理、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、隧洞回填灌浆、质量检验。

本文件适用于水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工。

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/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 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 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB 18173.2 高分子防水材料第2部分：止水带
- GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
- GB/T 50113 滑动模板工程技术标准
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB/T 50214 组合钢模板技术规范
- GB/T 50662 水工建筑物抗冰冻设计规范
- 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 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 191 水工混凝土结构设计规范
- SL 279 水工隧洞设计规范
- SL/T 352 水工混凝土试验规程
- 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 734 水利工程质量检测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

模筑混凝土衬砌

为防止围岩变形或坍塌、降低隧洞输水糙率，沿隧洞洞身周边现场支模、整体浇筑而成的永久性混凝土或钢筋混凝土支护结构。

3.2

初期支护

隧洞开挖后立即施作的第一次支护。

3.3

首件验收

隧洞混凝土衬砌和回填灌浆在首次施工或间隔较长时间重新施工时，为验证施工工艺的合理性和质量管理的适宜性，由项目法人组织设计、监理、施工等单位进行的检查和验收。

3.4

回填灌浆

为保证顶拱密实，用水泥浆液填充隧洞顶拱混凝土与围岩间的空隙，以增强结构物的整体性。

4 总则

- 4.1 为规范水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工，保证施工质量，确保工程安全，制定本技术要求。
- 4.2 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工应严格执行国家法律法规、相关技术标准，按照设计文件施工，满足工程结构安全、耐久性能及使用功能要求。
- 4.3 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工宜推广使用新技术、新工艺、新材料，并经过试验论证后使用，保证衬砌施工安全可靠、技术先进、经济合理。
- 4.4 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工过程中，应及时开展混凝土衬砌实体质量检测，发现问题应分析原因，改进施工工艺，完善施工质量保证措施。
- 4.5 施工过程中应及时收集整理混凝土衬砌施工的原始数据和资料，做到与工程建设过程同步，资料应系统、完整、真实、可追溯。

5 施工准备

5.1 一般规定

- 5.1.1 施工单位应根据设计文件、合同文件和现场实际进行施工组织准备、技术准备和现场准备，合理配置施工机具与设施。
- 5.1.2 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工应编制施工方案、作业指导书，并组织技术交底和人员培训。
- 5.1.3 水工输水隧洞模筑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，实现施工作业的标准化和规范化。

5.2 技术准备

- 5.2.1 施工单位应熟悉设计文件，做好现场调查和设计文件的核对工作。
- 5.2.2 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工方案应结合工程特点、施工难点、工期要求、施工条件等因素编制。主要内容应包括：
 - a) 编制依据；
 - b) 工程概况；

- c) 施工总体安排、施工进度计划及施工总平面布置;
 - d) 施工准备与资源配置;
 - e) 主要施工工艺、施工方法和技术要求;
 - f) 质量目标、控制要点和保证措施;
 - g) 质量检验方法和验收标准;
 - 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) 计算书及相关图纸。
- 5.2.3 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工应针对主要工序编制作业指导书,明确作业流程、施工方法、质量标准、控制要点和保证施工质量与安全的具体措施。主要工序应包括:
- a) 初期支护及基础面质量检查与处理;
 - b) 钢筋制作与安装;
 - c) 预埋件安装;
 - d) 模板制作与安装;
 - e) 混凝土衬砌施工;
 - f) 隧洞回填灌浆。
- 5.2.4 水工输水隧洞模筑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 施工单位应根据施工技术标准和现场施工质量控制需要,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。
- 5.2.6 在技术准备阶段,施工单位应制定水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工质量通病防治措施,常见质量通病防治要点见附录 A。
- ### 5.3 施工测量
- 5.3.1 施工单位应编制测量方案,复核测量控制网,复核精度应符合 SL 52 的有关规定。
- 5.3.2 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工测量应包括下列内容:
- a) 施工放样;
 - b) 变形监测;
 - c) 施工断面测量。
- 5.3.3 施工中应定期对洞内控制点点位进行检查复核,形成校核成果。
- ### 5.4 工地试验室
- 5.4.1 施工单位宜在施工现场设置工地试验室。
- 5.4.2 工地试验室应根据工程规模由相应资质的检测单位设立。
- 5.4.3 工地试验室人员和设备的配备应与所承担的任务相适应,环境条件应符合有关标准要求。
- 5.4.4 工地试验室应建立健全岗位责任制和各项管理制度,主要包括仪器设备、检测环境、样品、试验检测、检测报告审核签发、混凝土施工配合比审核发放、不合格样品等管理制度。
- 5.4.5 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,主要工作内容包括:
- a) 对砂石骨料的常规项目进行检测;
 - b) 出具混凝土配料单;
 - c) 对混凝土配料情况进行抽查;
 - d) 检测混凝土拌和物性能;

e) 按规范要求频次制作混凝土试件等。

5.4.6 工地试验室应建立检测台账、混凝土施工配合比发放台账、不合格样品台账等。

5.4.7 工地试验室投入使用前应经过项目法人组织的检查、验收。施工过程中，项目法人、监理单位应对工地试验室检验结果进行抽查和复验。

5.5 机械设备

5.5.1 水工输水隧洞模筑混凝土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。

5.5.2 混凝土拌和、运输、泵送、振捣等设备，应备有余量。

5.5.3 大断面长隧洞宜配置模板台车、钢筋台车和灌浆台车，便于钢筋绑扎、混凝土浇筑、灌浆等工序平行交叉作业。

5.5.4 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。

5.6 混凝土搅拌站（楼）

5.6.1 混凝土搅拌站（楼）布置应根据现场地形因地制宜，合理布局，划分拌和作业区、试验检测区、材料库及运输车辆存放区等，各功能区应紧密配合，人、物、机流便捷顺畅。

5.6.2 混凝土搅拌站（楼）主要负责人、技术主管、操作手等关键岗位人员应具有相应的管理和操作经验，并经岗前培训，满足上岗要求。

5.6.3 混凝土搅拌站（楼）应建立健全岗位责任制和质量管理制度，主要包括混凝土生产、原材料检查验收、混凝土质量检验、计量设备标定、设备操作、维修保养等管理制度。

5.6.4 混凝土搅拌站（楼）设备应符合 GB/T 10171 规定的技术要求，具备自动计量、记录存储、显示等功能，能对混凝土拌和物生产过程进行监控。

5.6.5 混凝土搅拌站（楼）的生产能力应根据施工高峰期作业面数量、运距、混凝土需求量等因素综合确定。

5.6.6 混凝土搅拌站（楼）计量器具应经检定，并定期（每月不少于1次）自校。使用前，应对搅拌站（楼）称量控制系统进行标定。

5.6.7 混凝土搅拌站（楼）投入使用前应经过项目法人组织的检查、验收。

5.7 工艺试验

5.7.1 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工工艺试验包括钢筋连接、止水带连接、混凝土衬砌浇筑、回填灌浆等。

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，工艺试验方案应包含下列内容：

- a) 工艺试验目的、编制依据和原则；
- b) 主要施工方法、工艺参数及施工流程；
- c) 施工机械配置和人员投入、计划节点安排；
- d) 施工质量检测内容、方法；
- e) 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。

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，应整理分析试验成果，编制工艺试验成果报告，报监理单位审批。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) 确认的施工方法;
 - e) 工艺参数和施工流程;
 - f) 质量控制要点。
- 5.7.4 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌施工应实行首件验收制度, 后续工程质量不得低于首件工程质量标准。

6 初期支护及基础面质量检查与处理

6.1 一般规定

- 6.1.1 初期支护及基础面的轴线、高程和尺寸应符合设计要求, 不得侵占混凝土衬砌结构断面。
- 6.1.2 初期支护应与围岩紧密贴合成为整体的支护体系, 共同承受山岩压力, 之间不应留有空隙。
- 6.1.3 混凝土衬砌施工前, 施工单位应对隧洞初期支护及基础面的质量进行检查, 发现问题及时处理。

6.2 初期支护质量检查及处理

- 6.2.1 隧洞初期支护质量应符合设计和规范要求, 无明显凸起、凹陷、空鼓、脱落、裂纹、渗水等。
- 6.2.2 初期支护断面尺寸检查, 直线段断面间距不宜大于5 m, 曲线段断面间距不宜大于3 m, 结构变化或特殊部位应适当加测断面。
- 6.2.3 不良地质洞段的侵限部位处理应在保证安全的前提下, 按照先加固、后拆除和分部处理的原则进行凿除或拆除。凿除应自上而下进行, 未经安全技术论证或批准, 不得采用自下而上或造成岩体倒悬的处理方式。
- 6.2.4 初期支护与围岩贴合质量可采用简易锤击、无损检测、钻孔等方式检查。发现存在空穴、空鼓、松酥等问题, 应按照设计要求采用补喷、灌浆等方式处理。
- 6.2.5 初期支护渗水宜采取堵、防、截、排等措施综合治理, 保证混凝土浇筑过程无外部水进入仓内。

6.3 基础面处理

- 6.3.1 混凝土衬砌基础面高程、尺寸应符合设计要求。
- 6.3.2 岩石洞段基础面应清理至基岩面, 无松动岩石、虚渣、杂物、泥浆和积水等。
- 6.3.3 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。
- 6.3.4 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。

6.4 质量控制要点

- 6.4.1 初期支护及基础面质量应符合 SL 632、SL 633 的规定。
- 6.4.2 项目法人应组织勘察、设计、监理、施工等单位组成联合验收小组, 共同检查核定初期支护及基础面质量, 填写联合验收签证表, 留存测量、地质编录、影像等相关资料。

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。
- 7.1.3 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。

7.1.4 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、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。

7.2.3 钢筋应平直、无损伤，表面无裂纹、油污、颗粒状或片状老锈。

7.2.4 钢筋需要代换时，应得到设计单位的书面认可。

7.2.5 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。

7.3 钢筋制作

7.3.1 施工单位应根据设计图纸、施工组织和相关规范要求，编制钢筋下料表，经监理工程师审核后，交由钢筋加工厂统一制作。

7.3.2 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。

7.3.3 加工成型的钢筋应挂牌、编号，按序堆放整齐。出厂前，施工单位应对其外观质量及规格尺寸进行检查验收。

7.4 钢筋连接

7.4.1 钢筋的连接方式应根据设计要求和施工条件选用。

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 677 和 SL 191 的规定。

7.5 钢筋安装

7.5.1 钢筋安装应遵循下列步骤：

- a) 测量放样；
- b) 安装径向定位钢筋；
- c) 安装纵向定位钢筋；
- d) 安装环向主筋、分布筋；
- e) 钢筋连接；
- f) 安装混凝土垫块。

7.5.2 钢筋安装应符合下列规定：

- a) 钢筋安装前，应在安装范围内放设隧洞中线点、横断面十字线方向点，标出拱顶、起拱线和边墙的设计位置；
- 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均匀绑扎于纵向定位钢筋上，也可使用卡槽来控制钢筋安装间距；
- 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 钢筋与模板之间应设置混凝土垫块，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设置。
- 7.5.5 混凝土浇筑前，应在底板（底拱）钢筋上搭设施工操作平台作为施工作业通道，避免直接踩踏钢筋。
- 7.5.6 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，按规定进行复检，并经监理工程师核验合格。
- 7.6.2 钢筋制作及安装质量应符合 SL 632 的规定。
- 7.6.3 模板安装前，监理工程师应对钢筋安装质量进行隐蔽工程验收，其内容包括：
- a) 钢筋的牌号、规格、数量、尺寸、位置等；
 - b) 钢筋的连接方式、接头位置、接头质量、接头面积百分率、搭接长度等；
 - c) 垫块的位置、数量、紧固程度、预留的钢筋保护层厚度等；
 - d) 钢筋骨架的刚度、稳定性等。

8 预埋件安装

8.1 一般规定

- 8.1.1 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌中的预埋件主要包括止水、伸缩缝填料、管路、安全监测设施等。
- 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 止水带各项指标应符合 GB/T 2059 和 GB 18173.2 的规定。
- 8.2.2 金属止水带宜采用专门的成型机按设计形状、尺寸加工成型。表面应平整光滑，不得有机械加工引起的裂纹、孔洞等损伤，表面浮皮、锈污、油渍等污物应清除干净。
- 8.2.3 非金属止水片应塑化均匀，不应有气孔、变形、裂纹和撕裂等。
- 8.2.4 止水材料不应露天存放，以防日光直晒和雨雪浸淋，避免与油脂、酸、碱等物质接触。
- 8.2.5 伸缩缝止水带安装应符合下列规定：
- a) 止水带宜采用钢筋卡夹持固定，如图 1 所示；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) 止水带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) 止水带应固定牢靠，浇筑过程中不应发生移位或扭曲。
- 8.2.6 施工缝纵向止水带（片）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。
- 8.2.7 施工缝止水条安装应符合下列规定：
- a) 止水条宽度、厚度应符合设计及规范要求；
 - b) 预留槽槽身应平直、槽面干净无杂物，槽深为止水条厚度的 1/2；
 - c) 安装前应先在预留槽内涂抹一层胶黏剂，使止水条与混凝土面黏结牢固；
 - d) 止水条应顺槽拉紧嵌入，与槽底密贴，无空隙，并用水泥钉固定，间距不宜大于 60 cm。
- 8.2.8 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) 金属止水片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) 橡胶止水带接头宜采用硫化热粘接，搭接长度不小于 100 mm；
- d) 止水带接头的抗拉强度不应低于母材强度的 75 %；
- e) 止水接头应选在衬砌结构应力较小的部位。

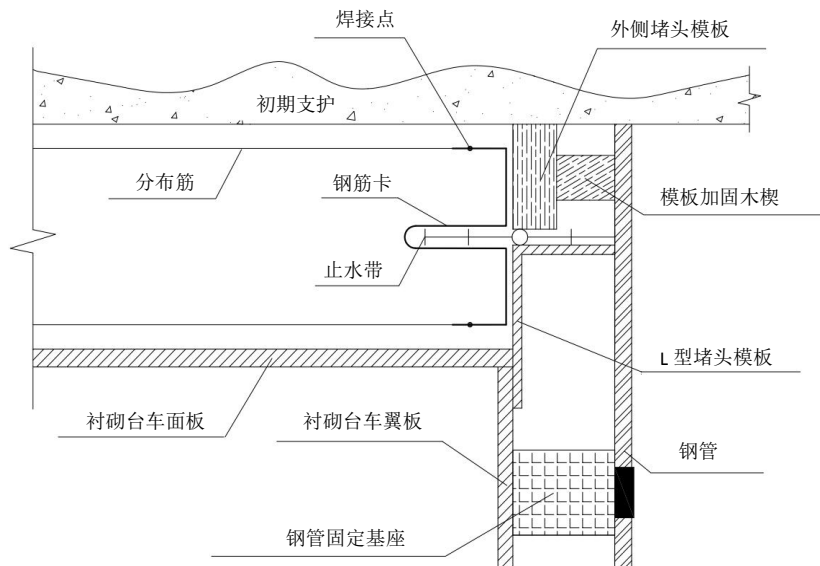


图 1 止水带安装示意图

8.2.9 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。

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，缝面填料应粘贴牢靠。

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，管口应妥善保管，防止堵塞、移位。

8.5 观测仪器

8.5.1 观测仪器安装前应经测试、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、坐标和方向、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 止水带、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，按规定进行复检或率定，并经监理工程师核验合格。

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隐蔽工程验收，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) 止水带的连接方式、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。

9.1.2 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倾角、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，能够多次使用。

9.1.3 模板和支架投入使用前，监理工程师应组织检查、验收。

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、制作及验收应符合 GB/T 50214、GB/T 50113 和 SL 32 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 166、JGJ 130 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) 边墙作业窗口应分层设置，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 45 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) 模板接缝应平整、严密；
- g) 台车行走自如，制动系统安全、可靠；

h) 全断面或底拱台车应具有抗浮装置。

9.2.6 堵头模板宜分为内侧、外侧两部分，迎水面侧为定型模板，另一侧为组合模板。

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 模板台车安装应符合下列规定：

- a) 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；
- 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、滑框倒模安装应符合 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，堵头模板应封堵严密。

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合格。

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 632、SL 32 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与初期支护变形基本稳定后施作。

10.1.2 浅埋段、不良地质条件等特殊环境洞段，混凝土衬砌可按设计要求适度提前施作，衬砌结构应有足够的强度和刚度。

10.1.3 混凝土衬砌浇筑前，应根据初期断面测量成果计算每仓混凝土浇筑方量，并在浇筑过程中与混凝土实际浇筑方量作对比，以指导混凝土浇筑施工。

10.1.4 混凝土衬砌施工应从原材料、配合比、混凝土拌和、运输、浇筑、养护等方面，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，评价混凝土衬砌施工质量状态，持续监控工程质量。

10.2 原材料

10.2.1 水泥的选用应符合 SL 677 的规定。混凝土有温度控制要求时，宜采用水化热低的水泥。环境

水对混凝土有硫酸盐侵蚀时，宜选用抗硫酸盐硅酸盐水泥。

10.2.2 掺合料可选用粉煤灰、硅粉、磨细矿渣等。粉煤灰应符合 GB/T 1596 要求的Ⅰ级或Ⅱ级粉煤灰；硅粉的品质应符合 GB/T 18736 的规定。磨细矿渣的品质应符合 GB/T 18046 的规定。

10.2.3 骨料应质地坚硬、级配合理、清洁、吸水率低、空隙率小，品质应符合 SL 677 的规定。未经论证，不应使用碱活性骨料。

10.2.4 外加剂的质量和使用要求应分别符合 GB 8076、GB 50119 的规定。

10.2.5 不同品种外加剂之间、外加剂与水泥及矿物掺合料之间应具有良好的相容性。

10.2.6 混凝土拌和用水、养护用水应符合 SL 677 的规定。

10.2.7 混凝土原材料运输、储存、使用，应符合下列规定：

- a) 水泥、掺合料、外加剂应按生产厂家、品种，分别储存到有明显标志的储罐或仓库中，不得混装；
- b) 粉状材料在运输和储存过程中应注意防水防潮，液体外加剂应采取防晒和防冻措施，并不应混入杂物；
- c) 骨料存放场地应较周边地面高，排水通畅，并有遮阳防雨设施；料仓之间应设置隔墙，隔墙高度应能保证不同规格骨料不发生混料；
- d) 各种材料应明确标识材料的名称、产地、规格、数量、批号、进场时间、检验状态等信息；
- e) 使用前，应对原材料外观质量进行检查，不得使用受污染或变质的材料。

10.3 混凝土配合比

10.3.1 混凝土配合比应按 SL 352 附录 A 的规定进行设计。

10.3.2 混凝土配合比应满足设计对强度、耐久性的要求，满足现场施工条件、施工工艺对工作性能的要求，采用的混凝土强度标准差应与现场施工水平相适应。

10.3.3 混凝土坍落度应根据运输距离、浇筑方法、浇筑部位、施工环境等因素合理确定。

10.3.4 混凝土配合比设计中宜掺入适量的粉煤灰、外加剂等，以减少水化热，提高混凝土和易性、耐久性。

10.3.5 混凝土的水胶比应经试验确定，且不应超过 SL 191、SL 677、GB/T 50662 规定的最大允许值。

10.3.6 混凝土配合比在满足设计要求及工作性能的前提下，应合理降低水泥用量，但不得少于 SL 191 规定的最小水泥用量。采用泵送混凝土时，胶凝材料用量宜不少于 300 kg/m³。

10.3.7 有抗冻要求的混凝土，应掺用引气剂，其掺量应根据混凝土的含气量要求通过试验确定。大中型水利工程，混凝土最小含气量应通过试验确定。没有试验资料时，混凝土的含气量可参照表 1 选用。

表 1 抗冻混凝土的适宜含气量

骨料最大粒径（mm）		20	40	80
抗冻等级	≥F200	(6.0±1.0) %	(5.5±1.0) %	(4.5±1.0) %
	≤F150	(5.0±1.0) %	(4.5±1.0) %	(3.5±1.0) %

注：如含气量试验需湿筛，按湿筛后骨料的最大粒径选用。

10.3.8 有抗冲磨要求的混凝土，应掺用粉煤灰、硅粉、磨细矿渣等活性掺合料，选用质地坚硬耐磨的骨料和低收缩的高效减水剂。通过配合比试验，选择抗磨蚀性、和易性、体积稳定性较优的配合比。

10.3.9 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。

10.3.10 混凝土配合比使用过程中，应根据混凝土质量信息动态调整。当出现下列情况时，应重新设计配合比。

- a) 混凝土性能指标发生调整时。
- b) 混凝土生产使用的原材料产地或质量有显著变化时。
- c) 施工环境条件或施工工艺发生较大变化时。
- d) 施工现场混凝土强度标准差与配合比选用的强度标准差发生较大差异时。

10.4 混凝土拌和

10.4.1 混凝土拌和前，应按混凝土配合比进行生产性试验，根据混凝土均匀性试验结果确定最佳投料顺序和拌和时间。

10.4.2 混凝土掺合料宜采用现场干掺法。外加剂宜配成水溶液，使用前应搅拌均匀。

10.4.3 混凝土拌和应严格执行混凝土配料单，不得擅自更改。

10.4.4 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) 应在搅拌机操作房醒目位置悬挂配合比标识牌，标识内容应包括混凝土配合比、骨料表面含水率、材料用量、坍落度、含气量等。

10.4.5 每盘混凝土拌和量应在拌和机额定容量的 110 % 以内，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。

10.4.6 混凝土由预拌混凝土生产厂家提供时，应符合下列规定：

- a) 应选择具有预拌混凝土专业承包资质的生产厂家；
- b) 预拌混凝土配合比应由具有水利工程质量检测资质的试验检测机构设计或复核验证，并经监理工程师审核；
- c) 预拌混凝土进入施工现场后，施工单位应对混凝土进行检查和验收。

10.5 混凝土运输

10.5.1 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，降低温度回升和坍落度损失，保持混凝土拌和物的均匀性。在运输过程中，不应发生分离、漏浆、严重泌水等现象。

10.5.2 混凝土运输应与混凝土浇筑速度相适应，保持施工现场混凝土浇筑的连续性。

10.5.3 混凝土拌和物从搅拌机卸出至施工仓面的时间间隔不宜大于 90 min。

10.5.4 混凝土运输、卸料及浇筑全过程严禁加水。

10.5.5 采用搅拌车运输混凝土时，应符合下列规定：

- a) 运输道路应保持平整；
- b) 装料前拌筒内积水已清理干净；
- c) 运输途中，拌筒保持 3 r/min~6 r/min 的慢速转动，不得停转；
- d) 卸料前，搅拌运输罐体应快速旋转搅拌 20 s 以上后再卸料。

10.5.6 混凝土自由下落高度宜不大于 2 m，超过时应采取缓降或其它措施，防止骨料分离。

10.5.7 采用搅拌车运输混凝土，当混凝土坍落度损失较大不能满足施工要求时，可在试验人员的指导

下，在运输车罐内添加适量与配合比相同成分的减水剂改善混凝土工作性能，达到要求的工作性能后方可继续浇筑。减水剂添加量应事先由试验确定。

10.5.8 混凝土拌和物出现初凝、塑性降低较多已无法振捣、被水淋湿、失水较多、受冻等情况之一，应按不合格料处理，不得入仓。

10.6 混凝土浇筑

10.6.1 基础面、施工缝经验收合格后，方可进行混凝土浇筑。

10.6.2 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。

10.6.3 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。

10.6.4 底板（底拱）、矮边墙混凝土浇筑，应符合下列规定：

- a) 混凝土应分层、按序浇筑，先浇筑底板（底拱）未覆盖模板区域混凝土，再浇筑底拱反弧段或矮边墙混凝土，浇筑过程不得使底板（底拱）混凝土隆起；采用整体模板时，由中间向两边逐窗对称浇筑；
- b) 混凝土应采用振捣棒振捣，采用整体模板时可辅以附着式振捣器振捣；振捣棒插入间距不应超过其有效半径的 1.5 倍，振捣上层混凝土时宜插入下层混凝土 5 cm 左右，每一位置振捣时间以混凝土粗骨料不再显著下沉，无气泡冒出，并开始泛浆为止；
- c) 振捣完成后，底板（底拱）混凝土应先整平提浆，再抹平、压光，收面过程中严禁洒水。

10.6.5 施工缝应经毛面处理，处理后缝面无乳皮，微露粗砂，有特殊要求的部位微露小石。

10.6.6 边墙、顶拱混凝土浇筑，应符合下列规定：

- a) 混凝土应分层、按序、左右侧交替对称浇筑，台车模板左右两侧混凝土高差控制在 50 cm 内，前后混凝土高差不超过 60 cm；
- b) 边墙宜采用振捣棒振捣或结合附着式振捣器振捣；顶拱宜采用附着式振捣器振捣；混凝土振捣应按浇筑顺序依次进行，无漏振和过振现象，振捣棒振捣应遵循第 10.6.4 条的规定；
- 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) 封拱时应适当减缓泵送速度、减小泵送压力，密切观察泵送压力变化和溢浆管排出浆液情况，避免因混凝土浇满后仍强行进料而导致压力过大使模板变形或跑模。

10.6.7 滑模滑升速度应与混凝土强度增长速度相适应，混凝土脱模时应不坍塌、不拉裂。

10.6.8 止水带、钢筋密集处应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、止水带。

10.6.9 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。

10.6.10 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。

10.6.11 混凝土浇筑应保持连续性，因故中断超过允许间歇时间，尚能重塑者可继续浇筑，否则应按施工缝处理。

10.6.12 混凝土浇筑完成后应加强成品保护，避免台车、运输车辆等对已浇筑混凝土衬砌造成损坏。

10.7 特殊季节施工

10.7.1 日平均气温连续 5 d 稳定在 5℃ 以下，或最低气温连续 5 d 稳定在 -3℃ 以下时，应采取低温季节施工措施。低温季节施工应符合下列规定：

- a) 宜采用加热骨料、热水拌和等措施，提高混凝土拌和物温度，拌和用水温度不宜超过 60℃；
- b) 洞口应加挂门帘，减小外界气温对洞内温度的影响；

- c) 混凝土运输设备应采取保温措施。

10.7.2 高温季节施工应符合下列规定：

- a) 宜采用遮盖、预冷、隔热等措施降低混凝土骨料温度；
- b) 混凝土浇筑温度应符合设计要求，未明确温控要求的，混凝土浇筑温度不应高于 28℃；
- c) 混凝土运输设备应采取隔热措施；
- d) 有条件时，避开高温时段浇筑混凝土。

10.7.3 雨季施工时，应增加砂石骨料含水量检测频次，及时调整混凝土配料单。

10.8 拆模及养护

10.8.1 混凝土衬砌拆模应符合下列规定：

- a) 混凝土拆模强度应根据隧洞断面形状和尺寸、外部荷载等确定；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；
- b) 底板（底拱）及矮边墙混凝土强度达到 2.5 MPa 以上，保证其表面及棱角不因拆模而损坏时，方可拆模；
- c) 顶拱采用最后一盘混凝土的同条件养护试件强度控制；模板台车脱模，洞径不大于 10 m 的隧洞顶拱混凝土强度可按 5 MPa 控制；洞径大于 10 m 的隧洞顶拱混凝土需要达到的强度应经专门论证；隧洞混凝土衬砌结构承受围岩压力时，应经计算和试验确定拆模强度；
- d) 拆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℃；
- e) 拆模过程应平稳，不可突然用力，防止用力过大导致混凝土结构产生裂缝。

10.8.2 混凝土初凝或拆模后开始养护，养护时间应符合设计要求，不宜少于 28 d。

10.8.3 混凝土衬砌养护期间，宜对有代表性的结构进行温度监控，并根据混凝土温度和环境的變化及时調整养护制度，严格控制混凝土的内外温差。

10.8.4 仓面温度低于 5℃ 时，应按低温季节施工技术措施进行保温养护，不应洒水养护。

10.9 伸缩缝处理

10.9.1 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。

10.9.2 伸缩缝嵌缝材料配置应符合设计要求，搅拌均匀，无色差。

10.9.3 嵌缝材料嵌填饱满，与混凝土面结合牢固，表面平整。

10.10 质量控制要点

10.10.1 混凝土原材料进场时，施工单位应按规定的批次进行检验，并经监理工程师核验合格。

10.10.2 混凝土拌和物质量控制与检验，应符合下列规定：

- a) 每班混凝土生产前，搅拌站（楼）操作人员应对设备性能进行检查，并对称量系统进行零点校核；
- b) 首盘混凝土应进行坍落度、含气量、温度等各项性能指标测试，合格后方可继续生产；
- c) 生产过程中，应对原材料称量偏差、混凝土拌和物的均匀性、拌和时间进行检查，每 8 h 不应少于 2 次；
- d) 混凝土坍落度应每 4 h 在出机口检测 1 次～2 次，每 8 h 在仓面检测 1 次～2 次，高温雨雪天气应加密检测；掺引气剂混凝土含气量应每 4 h 检测 1 次。

10.10.3 混凝土质量检验与评定，应符合下列规定：

- a) 混凝土强度质量检验以标准养护条件下，150 mm 立方体试件的抗压强度为标准；混凝土 28 天龄期每 100 m³ 成型 1 组抗压试件，设计龄期每 200 m³ 成型 1 组；每一浇筑块混凝土方量不足 100 m³ 时，也应取样成型 1 组试件；

- b) 混凝土抗冻、抗渗或其他特殊指标，应每季度检测 1 组～2 组；
- c) 混凝土强度应按月、分强度等级进行评定，当组数不足 30 组时，应延长统计时限；
- d) 混凝土质量评定结果应符合 SL 677 的规定。

10.10.4 施工过程中，应定期对混凝土衬砌实体强度进行检测，宜计算在等效养护龄期下混凝土衬砌实体强度的平均值、标准差和保证率，评价混凝土衬砌施工质量水平，指导衬砌施工质量管理。评价方法见附录 B。

10.10.5 混凝土浇筑及外观质量应符合 SL 632 的规定和设计要求。

10.10.6 混凝土拆模后，应检查其外观质量。发现存在质量缺陷时，施工单位应制定质量缺陷处理方案，并经总监理工程师批准后方可实施，不得擅自掩盖或自行修补。

11 隧洞回填灌浆

11.1 一般规定

11.1.1 施工前应编制回填灌浆试验方案，进行生产性灌浆试验，确定灌浆设备、灌浆区段长度、灌浆工艺及灌浆参数等。

11.1.2 回填灌浆设备应配备能自动测量并记录灌浆压力、注入率、浆液密度等数据的灌浆记录仪。灌浆泵出浆口和灌浆孔口均应安设压力表。灌浆记录仪及压力表、流量计、密度计等计量器具均应定期检定、校准。

11.1.3 回填灌浆应在衬砌混凝土达到 70 %设计强度后进行。

11.1.4 灌浆区段应封堵严密，灌浆前应用压水或稀浆检查，避免被迫中断灌浆。

11.1.5 因浇筑不饱满而造成混凝土衬砌厚度严重不足的部位，应按照设计要求处理后灌浆。

11.2 回填灌浆

11.2.1 回填灌浆应分区段进行，每区段长度不宜大于 3 个衬砌段，区段端部应提前进行封堵处理。

11.2.2 回填灌浆钻孔孔径不宜小于 38 mm，孔深应钻透混凝土背后的空腔或进入围岩不小于 10 cm，并测记混凝土厚度和混凝土与围岩之间的空腔尺寸。在钢筋混凝土衬砌中，灌浆孔应通过预埋的导向管钻进。

11.2.3 制浆材料应按照浆液配比计量，计量误差应小于 5 %；水泥浆液宜采用高速搅拌机拌制，水泥浆液的搅拌时间不宜小于 30 s。

11.2.4 回填灌浆应分序进行。先进行 I 序孔灌浆、后进行 II 序孔灌浆。灌浆应符合下列规定：

- a) 灌浆采用纯压式灌浆法；水灰比可采用 1、0.5 两级，I 序孔可直接灌注 0.5 级浆液；II 序孔可灌注 1、0.5 两级浆液；
- b) 灌浆压力视混凝土衬砌厚度和配筋确定，钢筋混凝土衬砌可采用 0.2 MPa～0.4 MPa；
- c) 回填灌浆在规定压力下，灌浆孔停止吸浆，并继续灌浆 10 min，方可结束；
- d) 对于注浆量大的孔，应多次间隙灌浆；
- e) 灌浆孔灌浆和检查孔注浆结束后，采用水泥砂浆将钻孔封填密实，并将孔口压抹平整。

11.3 质量控制要点

11.3.1 灌浆材料应经施工单位复检、监理工程师核验合格。

11.3.2 灌浆前，监理工程师应对灌浆孔钻孔的位置、深度进行检查、验收。

11.3.3 灌浆过程中，施工单位应对水泥浆液比重、灌浆压力、灌浆孔序、灌浆结束标准等进行记录，监理工程师应进行检查。

11.3.4 灌浆质量应符合 SL 633 的规定。

12 质量检验

12.1 一般规定

12.1.1 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌实体质量检验内容，应包括混凝土衬砌与围岩接触面脱空，混凝土衬砌的厚度、强度、钢筋布置、内部缺陷、断面尺寸、纵坡以及合同约定的其他项目。

12.1.2 实体质量检验应由监理单位组织施工单位实施，并见证实施过程。施工单位应制定实体质量检验专项方案，并经监理单位审核批准后实施。

12.1.3 项目法人应按照 SL 734 的规定，对混凝土衬砌实体质量进行检验。检验方案应报质量监督机构备案。

12.2 混凝土衬砌实体质量检验

12.2.1 施工过程中，宜采用无损检测的方法对混凝土衬砌厚度、钢筋布置、内部缺陷、脱空等进行检测。

12.2.2 混凝土实体强度检测可采用同条件养护试件、钻孔取芯及无损检测等方法。混凝土衬砌施工每 100 m 检测同条件养护试件强度 1 组，每 1000 m 钻芯法检测混凝土强度 1 组，不足以上数量时也应取样检测 1 组；无损法检测混凝土强度应根据实际需要及时进行。

12.2.3 混凝土衬砌竣工断面测绘，直线段断面间距不宜大于 5 m，曲线段断面间距不宜大于 3 m，结构变化或特殊部位应适当增加断面。混凝土衬砌竣工断面尺寸、纵坡应符合设计要求。

12.3 回填灌浆实体质量检验

12.3.1 回填灌浆质量检查可采用检查孔注浆、钻孔取芯、无损检测等方法。

12.3.2 采用检查孔注浆或取芯检查，时间分别在该部位灌浆结束 7 d 或 28 d 以后。检查孔应布置在顶拱中心线、脱空较大和灌浆情况异常的部位，孔深应穿透衬砌深入围岩 10 cm。承受内水压力的隧洞每 10 m~15 m 宜布置 1 个或 1 对检查孔，其他隧洞的检查孔可适当减少。

12.3.3 采用单孔压浆试验检查回填灌浆质量时，向孔内注入水灰比为 2 的浆液，压力与灌浆压力相同，初始 10 min 内注入量不超过 10 L，即为合格。采用双孔连通试验检查回填灌浆质量时，在指定部位布置 2 个间距为 2 m 的检查孔，向其中一孔注入水灰比为 2 的水泥浆，压力与灌浆压力相同，若另一孔出浆量小于 1 L/min 为合格。

12.3.4 采用钻孔取芯法检查时，通过探测钻孔及观察岩芯，浆液结石充填饱满密实满足设计要求为合格。

12.3.5 采用无损检测时，测试成果应反映回填灌浆区域无脱空、不密实等质量缺陷。

12.4 验收资料

12.4.1 水工输水隧洞模筑混凝土衬砌验收时，应提供以下资料：

- a) 设计文件及变更文件；
- b) 原材料出厂合格证和进场复验报告；
- c) 钢筋接头的试验报告；
- d) 混凝土施工记录；
- e) 灌浆记录；
- f) 混凝土试件性能试验报告；
- g) 隐蔽工程验收记录；
- h) 质量评定资料；
- i) 混凝土衬砌实体质量检验报告；

- j) 回填灌浆实体质量检验记录;
 - k) 质量缺陷处理方案和验收记录;
 - l) 其他必要的文件和记录。
- 12.4.2 施工质量验收合格后, 应将所有验收文件存档备案。
- 12.4.3 当隧洞混凝土衬砌施工质量不符合设计要求时, 应按下列规定处理:
- a) 全部返工重做的, 重新进行验收评定;
 - b) 经过有资质的检测单位检测鉴定实体质量达到设计要求的, 应予以验收;
 - c) 经有资质的检测单位检测鉴定达不到设计要求, 但经原设计单位核算并确认仍可满足结构安全 and 使用的, 可予以验收;
 - d) 经加固处理满足结构安全和使用要求的, 根据加固设计、施工资料、检测报告进行验收。

附 录 A
(资料性)
水工输水隧洞模筑混凝土衬砌常见质量通病防治

A.1 初期支护及基础面常见质量通病防治

表A.1给出了初期支护及基础面常见质量问题类型、表现形式、主要原因及防治措施要点。

表 A.1 初期支护及基础面常见质量通病防治

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
1	初期支护侵占混凝土衬砌断面	1. 初期支护的轮廓线与设计轮廓线相差较大，局部侵入混凝土衬砌结构断面，造成混凝土衬砌厚度不足，混凝土衬砌钢筋难以布置，钢筋排距不符合设计要求。 2. 隧洞一侧存在较大范围的欠挖体，另一侧则超挖严重。 3. 隧洞洞底未开挖至设计高程，顶拱部位存在较大超挖。	1. 初期支护施工前，未对隧洞欠挖部位进行清欠处理。 2. 爆破孔数量不足、钻孔精度不高、爆破参数选择不合理等。 3. 隧洞开挖放样不准确。 4. 围岩变形较大。	1. 混凝土衬砌前，应对初期支护断面进行测量，发现侵限部位及时处理。处理完成后，项目法人应组织有关单位进行复测和验收。 2. 隧洞开挖应严格按爆破设计的间距与数量钻孔，特别注意控制周边孔位置和钻孔角度，提高钻眼精度；针对不同围岩条件，动态调整爆破参数；对欠挖部位及时处理。 3. 定期复核施工导线，每个开挖循环均应准确放样。 4. 围岩变形较大时，应根据监测数据预留围岩变形量。
2	超挖部位回填处理不规范	在侧墙、底板超挖部位回填片石、石渣、袋装清底料等，造成混凝土衬砌不能与初期支护或围岩密贴，之间存在松散的软弱夹层，影响衬砌结构安全。	1. 隧洞开挖质量控制不严格，超挖严重。 2. 未按设计要求进行回填。	1. 控制隧洞开挖质量，减少超挖量。 2. 按设计和规范要求回填超挖部位。 3. 加强施工现场质量管理和作业人员质量教育。

表 A.1 （第 2 页/共 2 页）

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
3	基面处理不符合设计及规范要求	1. 底板基础未清理到岩面，表面存在积渣、积水、杂物。 2. 基面存在渗水点，影响混凝土浇筑质量。	1. 基面清理不彻底。 2. 底板超挖严重。 3. 基面渗水封堵、引排处理不及时。	1. 基面处理完成后，项目法人应组织有关单位进行验收。 2. 采取堵、防、截、排等措施，综合治理隧洞渗水，保证混凝土浇筑过程无外部水进入仓内。
4	避车洞、集水井、施工设备间等封堵未按照设计要求进行，封堵不规范	1. 挡墙砌筑不规范。 2. 墙后未按设计要求回填。 3. 封堵完成后未按设计要求进行水泥浆液灌浆，存在脱空部位。	1. 设计要求不明确。 2. 施工单位未严格按照设计要求和施工方案进行封堵。	1. 及时提供封堵体施工图纸，明确施工技术要求。 2. 施工单位应按照批复的封堵方案进行施工，加强现场施工质量控制，留存相关施工记录、影像资料。

A.2 钢筋制作与安装常见质量通病防治

表A.2给出了钢筋制作与安装常见问题类型、表现形式、主要原因及防治措施要点。

表 A.2 钢筋制作与安装常见质量通病防治

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
1	钢筋表面存在污物或锈蚀	钢筋表面不洁净，有泥浆、油渍、锈皮、鳞锈等。	1. 钢筋存储时间过久，特别是露天无序堆放，钢筋表面氧化锈蚀。 2. 堆放场地过低，未按要求采取垫高、布置排水等措施，钢筋表面污染严重。 3. 施工组织不合理，由于边顶拱衬砌不能及时跟进，底板（底拱）小边墙预留的钢筋长时间处于湿度较大的环境，且未对钢筋采取防锈措施。	1. 钢筋宜存放在仓库（棚）内；露天存放时应垫高并遮盖，存放场地排水通畅。钢筋与其它材料应分区储存，避免油料等污染钢筋。 2. 用料时，应先入库先使用，降低钢筋表面的氧化程度。钢筋加工前，应除去钢筋表面泥浆、油渍、锈皮、鳞锈等。 3. 合理组织施工，边顶拱衬砌及时跟进。 4. 湿度较大环境下，长时间预留钢筋应采取防锈措施。
2	钢筋安装不规范	1. 设计为双层钢筋混凝土，实际为单层钢筋或未布设钢筋。 2. 钢筋定位不准。内外层钢筋排距小于设计尺寸，甚至叠在一起；钢筋布置混乱。 3. 钢筋间距疏密不均。 4. 纵向分布筋间距过大，甚至不设。	1. 钢筋安装质量检查验收不严格。 2. 围岩或初期支护侵占钢筋安装空间，钢筋无法按设计布设。 3. 定位钢筋安装无具体技术要求。 4. 定位钢筋安装位置、数量、截面尺寸等不满足技术要求，径向定位筋未与围岩锚固牢靠，纵向定位筋安装位置不准确、焊接不牢固。 5. 环向筋与分布筋绑扎后，未对其间距进行调整。 6. 底板（底拱）小边墙预留钢筋排距不够，或位置偏差较大。	1. 明确定位钢筋安装的具体技术要求。 2. 影响衬砌钢筋安装的欠挖部位，应在衬砌施工前完成清欠处理。 3. 钢筋安装前，按要求施作定位钢筋。 4. 受力钢筋绑扎后，应进行间距、形态调整，及时纠偏。 5. 严格执行钢筋安装检查验收程序。 6. 合理安排埋件位置，与钢筋安装相互干扰时应进行调整。 7. 加强过程质量监管，开展衬砌实体质量检测。

表 A.2 （第 2 页/共 3 页）

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
3	钢筋连接不规范	1. 焊缝长度不足，焊缝表面宽窄不一、凹凸不平，焊缝有夹渣、焊瘤、咬边现象。 2. 相邻钢筋接头在同一截面，或同截面钢筋接头数量超过 50 %。 3. 钢筋绑扎不牢，搭接长度不足，绑扎接头松脱、漏绑，接头偏心或弯折。	1. 施焊前，未在钢筋上做焊接长度标记；焊接参数不合适，焊接过程中突然灭弧；焊接电流过小，钢筋铁锈等杂物或焊接熔渣进入焊缝；立焊时电流过大，电弧过长、运弧不稳；焊条和焊接机具选择不当。 2. 钢筋下料时，未按规范和设计要求布置钢筋接头；未根据钢筋所处的结构受拉区或受压区位置，以及接头的形式和搭接长度，确定钢筋下料长度。 3. 绑扎钢筋的铅丝硬度过大或粗细不当，扎扣形式不正确。	1. 施焊前，应按照规范要求钢筋上做好搭接长度标记；根据焊接位置、钢筋直径、焊缝型式等选择焊接电流等参数；焊接过程中不应突然灭弧，收弧时弧坑应填满；选择合适的焊条和电焊机。 2. 编制钢筋下料单时，应充分考虑施工缝位置、钢筋所处受力区域、连接方式、接头位置、搭接长度等因素，确定下料长度，控制同截面钢筋接头数量满足规范要求。 3. 绑扎前，应确定绑扎接头在结构中的位置及搭接长度，并做好标记。根据钢筋直径选择绑扎的铅丝规格；根据绑扎效果、钢筋接头部位、运输条件等选择扎扣形式，保证绑扎牢固。
4	浇筑过程中钢筋错位、变形	1. 钢筋保护层变小，甚至露筋。 2. 钢筋骨架整体或局部错位变形。	1. 定位筋设置数量不够；个别定位筋、骨架钢筋绑扎点松脱或焊点脱焊；垫块数量不足，个别垫块移位失效。 2. 受混凝土下料、振捣器等设备冲击或人为移动钢筋。 3. 底拱模板下沉，整体变形。	1. 浇筑前，应检查定位筋和垫块数量、位置，垫块应牢固绑扎在主筋上；检查定位筋、骨架钢筋绑扎点及焊点，不合格应重新加固；易变形的钢筋网架应增加联系筋；检查混凝土底模支撑数量、位置，底模和支撑的刚度应满足要求。 2. 浇筑中，发现定位筋、支撑筋、骨架钢筋绑扎点及焊点松脱时，应及时扶正加固；注意钢筋网保护，混凝土拌和物下料过程中不应造成钢筋网变形；避免振捣器和其它设备冲击钢筋网架。

表 A.2 （第 3 页/共 3 页）

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
5	钢筋保护层厚度超标或不足	1. 钢筋保护层厚度超标，远大于设计要求。 2. 钢筋保护层不足，或拆模后漏筋。	1. 钢筋放样不准确。 2. 未采取钢筋定位措施，或钢筋定位措施不足，造成钢筋骨架刚度不够，在浇筑过程中发生移位、变形。 3. 钢筋安装偏差大，位置不准确。 4. 未规范设置钢筋保护层垫块，或垫块绑扎不牢、布置密度不足。 5. 模板安装位置不准确或浇筑过程中发生移位。 6. 对已安装钢筋保护措施不足。	1. 钢筋安装前，应在安装范围内准确放样，并根据放样成果在径向定位钢筋上标出内、外层纵向定位钢筋的位置，控制环向主筋层间距及保护层厚度符合设计要求。 2. 按要求施作定位钢筋，定位钢筋的数量、位置、截面尺寸、焊接、绑扎等，应能保证钢筋骨架的刚度和稳定性。 3. 严格按设计和规范要求安装钢筋，控制保护层厚度偏差在允许范围之内。 4. 按设计要求制作钢筋保护层砂浆垫块，呈梅花状绑在钢筋骨架靠衬砌模板侧，与钢筋绑扎牢固。 5. 模板安装完成后，应对模板安装位置进行复核，保证位置准确。经复核满足设计要求后，对模板进行紧固，防止模板在浇筑过程中发生移位。 6. 混凝土浇筑前，应在底板（底拱）钢筋上搭设施工操作平台作为浇筑混凝土通道，避免直接踩踏。振捣过程中，避免振捣器撞击钢筋。

A. 3 预埋件安装常见质量通病防治

表A. 3给出了预埋件安装常见问题类型、表现形式、主要原因及防治措施要点。

表 A. 3 预埋件安装常见质量通病防治

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
1	止水材料损坏、老化、污染	1. 止水材料表面不光洁、不平整，有水泥砂浆浮皮、浮锈、油漆等污物。 2. 金属止水材料有砂眼、钉孔。	1. 制作、存放、运输环节中，止水材料受到污染、外力不均匀挤压碰撞、钝器敲击等。 2. 金属止水材料加工成型操作不当。 3. 橡胶止水材料保存不当老化。 4. 止水条提前遇水，止水失效。	1. 安装前，应将止水材料表面的水泥砂浆、浮锈等污物清除干净；制作、存放、运输等环节应注意保护，防止产生扭曲、变形。 2. 金属止水材料加工时，应采用精度较高的压模压制成型；严禁钝器敲击；砂眼、钉孔用氧焊补好。 3. 橡胶止水带应防止日晒老化。 4. 止水条安装前，应防止浸水。
2	止水材料连接不规范、破损	1. 止水材料未焊接。 2. 止水材料搭接长度不足。 3. 施工中，止水材料发生破损。	1. 止水材料安装技术交底不到位。 2. 止水材料安装不规范，未严格按照作业指导书要求操作。 3. 采用水泥钉固定或者铁丝悬挂止水带，造成止水带破损。 4. 止水材料安装质量检查验收不严格。 5. 止水材料保护措施不到位。	1. 编制止水材料安装作业指导书，明确止水材料安装工艺流程和质量要求，并对施工作业人员进行技术交底。 2. 加强质量检查、验收与控制，严格按照作业指导书安装止水材料，杜绝穿孔固定或者铁丝悬挂止水带等现象。 3. 钢筋安装、混凝土浇筑过程中，应注意对止水带的保护。
3	止水材料安装不规范	1. 止水材料偏离设计位置较大，与混凝土缝面不垂直，发生扭曲、变形等。 2. 止水材料“鼻子”不居中，偏离伸缩缝。	1. 止水材料安装工艺不正确。 2. 止水材料固定不牢，混凝土浇筑时移位。	1. 止水带安装宜采用钢筋卡，配合内、外侧堵头模板，共同夹持固定。 2. 钢筋卡间距应能保证止水带在混凝土浇筑过程中不偏移、扭曲。 3. 堵头模板要整体加固牢靠，防止在浇筑过程中发生移位。 4. 混凝土振捣应注意对止水带的保护。

A. 4 模板安装常见质量通病防治

表A. 4给出了模板安装常见问题类型、表现形式、主要原因及防治措施要点。

表 A. 4 模板安装常见质量通病防治

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
1	模板表面不 光洁、不平 整	1. 模板表面有水泥浆、油污等。 2. 模板表面平整度超标。	1. 模板表面的泥浆、水泥浆、油污等 杂物未清除干净。 2. 模板拼接精度不高，板面错台超 标。 3. 模板刚度不足或使用过程受力不 均、振捣等原因，致使模板变形。	1. 脱模后，及时清理模板表面的泥浆、水泥浆、油污等。 2. 提高模板拼装及安装工艺水平，控制模板安装平整度在规范允许范 围内。 3. 定期对模板强度、刚度、稳定性、尺寸、平整度、严密性等进行检 查和校验。 4. 根据混凝土浇筑过程中模板受力情况，选择满足刚度要求的模板； 合理设置模板支撑，模板固定应松紧一致，保证模板受力均匀。 5. 混凝土振捣过程中，应避免振捣器直接碰撞模板。
2	模板稳定性 不足	混凝土浇筑过程中模板移位。	1. 模板撑拉强度和稳定性达不到规 范要求，或模板撑拉布置不合理、撑 拉力不均。 2. 混凝土入仓、浇筑操作不规范，混 凝土浇筑面高差过大或封拱混凝土 泵送压力过大，使模板受力不均或超 过模板允许承载力。 3. 混凝土振捣不规范。	1. 模板安装时，固定模板的撑拉构件应均匀对称布置，撑拉强度和稳 定性应符合要求。 2. 混凝土浇筑过程中，应分层按序对称浇筑；封拱时，应适当减缓泵 送速度、控制封拱混凝土泵送压力。 3. 通过生产性工艺试验，确定混凝土入仓、振捣、封拱的施工工艺和 参数。振捣时，避免振捣器直接碰撞模板。

A. 5 混凝土衬砌施工常见质量通病防治

表A. 5给出了混凝土衬砌施工常见问题类型、表现形式、主要原因及防治措施要点。

表 A. 5 混凝土衬砌施工常见质量通病防治

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
1	原材料未检测、检测频次不足或抽检不合格	1. 原材料检测报告与材料进场批次不能一一对应。 2. 项目法人或监理单位对进场材料抽检不合格。	1. 取样不及时或检测频次不足。 2. 取样不规范，不具有代表性。 3. 原材料质量不稳定。	1. 加强原材料进场管理，规范取样方法，进场及时安排检测；材料存放设置“待检区”、“合格区”；检测合格后使用，检测不合格坚决予以清场。 2. 原材料生产厂家应相对固定，减少进场批次，增大每批代表数量。 3. 加强工地试验室管理。
2	不按混凝土配合比生产混凝土	1. 混凝土配料单未经监理工程师审核批准。 2. 材料生产厂家与配合比报告不一致。 3. 搅拌站（楼）自动存储设备中记录的材料用量偏差超过规范允许范围。	1. 原材料质量不稳定或进场材料来源发生变化。 2. 擅自调整混凝土配合比。	1. 原材料料源应相对固定，材料存放应具备一定的储量，保持施工过程材料质量稳定。 2. 根据材料变化情况，及时调整混凝土配料单，并经监理工程师审核批准。 3. 当原材料厂家或料源地发生变化时，应重新设计混凝土配合比。
3	搅拌站(楼)配料系统称量误差超标	1. 水、外加剂无称量器具，采用时间、体积法上料。 2. 搅拌站（楼）称量设备未检定。 3. 水泥、外加剂、水称量误差大于±1%；骨料称量误差大于±2%。	1. 搅拌站（楼）未配备水、外加剂称量设备，不具备称量条件。 2. 称量设备未定期检定和校验，或称量设备故障。	1. 配齐水、外加剂等材料称量设备。 2. 计量器具应经检定合格，并在有效期内使用。 3. 现场配足校秤砝码，每周对计量器具进行施工最大量称校验，每月进行全量程校正。对搅拌站（楼）称量控制系统定期标定，发现问题及时调整。
4	混凝土振捣不密实	混凝土粗骨料窝集，架空形成蜂窝、孔洞，混凝土不密实，混凝土强度不满足设计要求。	1. 模板台车工作窗口及附着式振捣器布置不合理。 2. 混凝土越层入仓，或浇筑层超过允许最大厚度。 3. 混凝土漏振或振捣不到位。 4. 混凝土和易性差，振捣困难。	1. 加强对模板台车设计方案的审查，合理布置浇筑窗口及附着式振捣器。 2. 混凝土浇筑前，应进行生产性工艺试验，确定混凝土振捣的方式、间距、时间等工艺参数，并在浇筑过程中严格执行。 3. 底板（底拱）、侧墙混凝土应以振捣棒振捣为主。超挖严重部位、钢筋密集部位应加强振捣。 4. 加强混凝土拌和物质量控制，保证混凝土和易性满足施工要求。

表 A.5 （第 2 页/共 5 页）

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
5	混凝土和易性差	1. 混凝土拌和物坍落度达不到施工要求；保水性差、易泌水，粘聚性差、易离析、不易振捣；卸料、摊铺、振捣困难；泵送混凝土泵送易堵管。 2. 水泥浆或砂浆少，砂石多，不能充分包裹砂石料，空隙填充不足，振捣不出浆；拌和物干涩，振捣器拔出后空洞不能闭合。 3. 拌和机出“生料”，拌和物不均匀。 4. 混凝土强度不满足设计要求。	1. 施工配合比未经监理工程师批准，或原材料发生变化，未及时调整配合比。 2. 未根据骨料级配、含水率变化情况，及时调整配合比参数，或调整不当。 3. 混凝土配料错误，或称量系统误差大。 4. 拌和时间不够，或拌和机故障。 5. 人为减少水泥、砂子用量，造成混凝土和易性差。	1. 施工配合比应经监理工程师审核批准。配合比首次使用或使用间隔超过三个月应组织开盘鉴定。使用过程中，应根据混凝土质量信息动态调整。 2. 根据骨料变化情况，按规范要求频次检测骨料级配、含水率；按规定程序调整混凝土配料单。 3. 严格控制材料用量，保证配料准确，称量误差在规范允许范围内。 4. 拌和时间应通过试验确定，不宜少于规范允许的拌和时间。 5. 加强混凝土生产过程质量管理，首盘混凝土应测定坍落度、含气量等参数；生产过程中应监测混凝土和易性变化情况，发现异常及时采取相应措施。 6. 搅拌站（楼）操作的关键岗位人员应相对稳定，并定期培训。
6	衬砌混凝土抗压强度、抗冻、抗渗指标达不到设计要求	衬砌混凝土抗压强度、抗冻、抗渗指标达不到设计要求。	1. 所用砂石、水泥、外加剂等原材料质量不合格或存放不规范受潮、变质等。 2. 未根据砂石骨料含水率调整配料单或未按照配料单进行混凝土拌和。 3. 混凝土入仓、振捣、养护不规范，造成混凝土骨料分离、局部振捣不密实、混凝土强度低。 4. 冬季施工时，未在混凝土拌和、运输过程中采取温控措施。	1. 严格材料报验程序，进场后规范存放，不合格料不得进场。 2. 根据砂石骨料级配、含水率及时调整配料单，并严格执行。 3. 混凝土严格按照规范要求入仓、振捣、养护。 4. 冬季施工时，在混凝土拌和、运输、浇筑、养护过程中采取加温、保温措施。 5. 加强混凝土衬砌实体质量的检测，掌握施工质量波动状态，指导混凝土施工。

表 A.5 （第 3 页/共 5 页）

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
7	施工缝处理不符合规定	施工缝缝面未凿毛，乳皮、浮渣、污物未处理干净。施工完成后，施工缝渗水。	1. 施工缝处理不规范，造成侧墙与底拱或矮边墙的新老混凝土接触不紧密，形成渗漏通道。 2. 施工缝处理时间选择不当，处理不彻底。	1. 混凝土收仓面应浇筑平整。 2. 通过试验确定施工缝处理时间。达到规定时间后，及时处理。 3. 规范施工缝处理，处理后缝面应无乳皮，微露粗砂，有特殊要求的部位微露小石。
8	衬砌厚度不足、脱空、三角坑	1. 衬砌混凝土厚度小于设计要求。 2. 衬砌混凝土与初期支护间存在脱空、三角坑。	1. 围岩或初期支护侵限部位未处理，侵占了混凝土衬砌结构空间，导致衬砌厚度不足。 2. 测量放样不准确，隧洞轴线偏差较大，导致一侧混凝土过厚，另一侧混凝土厚度不够。 3. 钢拱架安装偏差较大，侵占混凝土衬砌结构空间。 4. 不良地质洞段围岩变形较大超过预留量。 5. 模板固定、支撑不稳定，混凝土浇筑过程中发生偏移。 6. 浇筑间歇时间过长，混凝土拌和物流动性变小，造成混凝土充填困难。 7. 封拱工艺不合理，不能判断项拱混凝土是否饱满，造成混凝土与初期支护间空腔较大，衬砌混凝土厚度不足。	1. 混凝土衬砌前，应测量初期支护断面，发现侵限部位及时处理。初期支护经隐蔽工程验收合格后，再进行混凝土衬砌施工。 2. 加强围岩变形观测，根据计算及实测数据，预留围岩变形量。 3. 模板就位后应复核模板尺寸，经复核满足设计要求后，紧固模板支撑体系，保证模板在浇筑过程中不发生移位。 4. 合理配置施工机械设备，保证混凝土浇筑的连续性。 5. 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封拱时机。 6. 及时开展混凝土衬砌实体质量检测，发现衬砌厚度不足时，应分析原因，改进施工工艺，完善施工质量保证措施。

表 A.5 （第 4 页/共 5 页）

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
9	施工缝、伸缩缝、混凝土面渗水	施工缝、伸缩缝、混凝土面渗水，或一段时间后白色晶体析出。	1. 施工缝处理不规范，缝面清理不彻底；混凝土结合面砂浆铺设不均匀，或砂率较低。 2. 止水接头连接不规范；止水材料安装固定不牢靠，混凝土浇筑时移位、变形或撕裂；混凝土拌和物未能充实止水材料两翼区域，或漏振、振捣不密实；止水材料污染与混凝土结合不良；止水材料采用水泥钉固定，止水材料破损。 3. 混凝土未分层按序对称浇筑，层厚超过振捣棒有效长度，存在漏振、振捣不密实现象；混凝土入仓时骨料分离，在缝面形成骨料窝集；混凝土浇筑中间歇时间过长，先浇混凝土拌和物已初凝，浇筑面未按施工缝处理，形成渗漏通道或渗漏面。 4. 当围岩有渗水时，在围岩与混凝土之间形成较高的水压力，导致水流带走混凝土浆液，或击穿刚浇筑的混凝土，形成渗流通道。	1. 按规范要求对施工缝进行处理；有条件的，经设计单位同意增加纵向止水。 2. 施工缝面浇筑第一坯混凝土前，在施工缝上应均匀铺设砂浆，或同等强度的小级配混凝土或富砂浆混凝土。 3. 止水材料安装前，对止水接头进行检查；止水材料采用钢筋卡配合堵头模板共同夹持固定；浇筑过程中注意对止水材料的保护，防止移位、变形、撕裂；止水材料周边采用小型振捣器振捣密实，必要时辅以人工捣固密实，使止水材料与混凝土紧密结合。 4. 严格控制混凝土分层厚度，按顺序振捣，防止漏振。 5. 保证混凝土搅拌生产和运输能力，缩短混凝土浇筑间歇时间；在混凝土允许的间歇时间内完成平仓、振捣，保持混凝土浇筑的连续性。 6. 围岩有渗水时，应采取堵、防、截、排等措施，综合治理围岩渗水，降低外水压力，确保混凝土浇筑过程无外部水进入仓内。

表 A.5 （第 5 页/共 5 页）

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
10	衬砌裂缝	在混凝土面出现月牙形、纵向、环向、斜向裂缝。	1. 拆模时间过早，混凝土内外温差大，混凝土养护不到位。 2. 拱顶靠近堵头模板部位的混凝土浇筑不饱满，在强度较低的情况下受台车顶推冲击，形成拱顶月牙形裂缝。 3. 混凝土早期强度低、衬砌厚度不足，在围岩压力下，边墙产生龟裂、拱部产生纵向或斜向裂缝。	1. 严格控制拆模时间，避免过早拆模。 2. 严格控制混凝土水化热温升和拌和物入仓温度，减小混凝土衬砌内外温差；冬季洞口采取保温措施，防止气温骤降对洞内温度的影响。 3. 及时进行混凝土养护，养护时间不小于 28 天；隧洞贯通后，应设门帘，防止穿堂风对混凝土表面水分的蒸发。 4. 开挖过程中，应控制隧洞围岩及初期支护表面平整度，减小围岩或初期支护对混凝土衬砌的变形约束。模内混凝土应灌注饱满，衬砌厚度满足设计要求，衬砌内部受力均匀。 5. 根据围岩变形监测结果，合理确定混凝土衬砌的时机。提前施作的衬砌，衬砌结构应有足够的强度和刚度。
11	衬砌混凝土表面蜂窝、麻面、错台	衬砌混凝土表面存在蜂窝、麻面、错台。	1. 混凝土和易性差，易泌水、离析。 2. 混凝土振捣存在漏振、欠振、过振等现象。反弧、倒角部位混凝土振捣不足，或排气不充分。 3. 模板安装位置偏差大，与已浇筑衬砌贴合不紧密。模板接缝间隙过大或封堵不严，导致水泥浆流失。 4. 模板表面不光洁、不平整；未刷脱模剂或涂刷不均匀，或脱模剂质量差。 5. 模板刚度不足或支撑不稳固，模板在浇筑过程中发生变形或移位。	1. 加强混凝土拌和物质量控制，确保拌和物工作性能满足施工要求。 2. 混凝土浇筑前应进行生产性工艺试验，确定混凝土振捣方式、间距、时间等参数，并严格执行。反弧段、倒角部位应加强混凝土振捣和排气，或采用翻模等工艺，改善混凝土表面质量。 3. 模板就位后，应复核模板安装位置，检查模板接缝、模板与已浇筑混凝土的贴合质量，以及堵头模板封堵情况。经检查符合要求后，紧固模板支撑体系，保证混凝土在浇筑过程中不移位。 4. 混凝土应分层、按序、对称浇筑，控制台车模板左右两侧混凝土高差在 50 cm 内，前后高差在 60 cm 内，防止模板受力不均发生移位。 5. 定期对模板强度、刚度、稳定性、尺寸、平整度、严密性等进行检查、校验。拆模后，及时清理模板表面杂物；均匀涂刷质量合格的脱模剂。

A. 6 隧洞回填灌浆常见质量通病防治

表A. 6给出了隧洞回填灌浆常见问题类型、表现形式、主要原因及防治措施要点。

表 A. 6 隧洞回填灌浆常见质量通病防治

序号	问题类型	表现形式	主要原因	防治措施要点
1	灌浆孔深度未深入基岩	灌浆孔深度不足，未深入基岩。	1. 未按规定要求钻进。 2. 钻杆长度不足。	1. 加强技术交底工作。 2. 回填灌浆前，应对灌浆孔深度逐个进行检查，测记混凝土厚度和混凝土与围岩之间的空腔尺寸。 3. 配备满足施工要求的钻杆。
2	施工缝、伸缩缝、混凝土面存在漏浆	施工缝、伸缩缝、混凝土面有浆液渗出。	施工前未按照规范要求对可能漏浆的部位进行封堵。	回填灌浆前，加强施工缝、伸缩缝、混凝土不密实面检查；对可能漏浆的部位进行灌浆处理。
3	混凝土衬砌与围岩间空隙未充填密实	1. 脱空、灌浆不密实。 2. 压浆检查不满足设计要求，检查岩芯结石不密实。	1. 钻孔深度不足，未穿透混凝土衬砌与围岩间的空隙。 2. 较大脱空区未预埋灌浆管和排气管。 3. 钻孔未冲洗或冲洗不干净。 4. 孔位、孔序布置不当，或灌浆压力、灌浆方法不当。 5. 灌浆材料，浆液配比不适宜。 6. 灌浆中发生中断。 7. 灌浆区域封堵不严密，浆液发生串漏。	1. 保证钻孔深度深入基岩 10 cm 以上。 2. 在脱空较大的区域预埋灌浆管和排气管，分序间歇灌浆。 3. 钻孔完成后进行钻孔清洗，冲洗孔内岩粉、泥渣。 4. 按设计要求布设回填灌浆孔。灌浆前，应进行灌浆试验，确定灌浆压力、水灰比、灌浆孔序等，并在灌浆过程中严格执行。 5. 对于空隙较大部位可以灌注水泥砂浆或按设计要求灌注其它材料。 6. 灌浆中断时，宜在 30 min 内恢复，恢复后注入率明显减少或不吸浆时，应对灌浆孔和串浆孔进行扫孔，扫孔合格后复灌。 7. 灌浆区域应封堵严密。 8. 采用无损检测的方法，对回填灌浆质量进行检测。

附录 B

(资料性)

混凝土衬砌施工质量评价方法

B.1 本方法适用于评价混凝土衬砌施工质量水平，指导混凝土衬砌施工质量管理。

B.2 本方法通过混凝土专用测强曲线及强度增长曲线，测定混凝土衬砌实体早期强度，并将早期强度统一换算成等效养护龄期强度，采用概率统计的方法评价混凝土衬砌施工质量。

- a) 建立专用测强曲线。采用回弹法或瑞雷波、超声波等无损检测方法，建立本工程混凝土专用测强曲线。专用测强曲线的强度误差应在规范允许的范围内。必要时，根据钻芯法强度检测结果对专用测强曲线进行修正。
- b) 建立混凝土强度增长曲线。通过测定同条件养护试件在不同龄期的抗压强度，获得混凝土强度增长曲线。
- c) 检测混凝土衬砌实体强度。采用无损检测方法，根据专用测强曲线，检测早期混凝土衬砌实体强度。每次检测一般不宜少于 30 组。
- d) 计算等效养护龄期混凝土衬砌强度。根据混凝土强度增长规律，将无损检测得到的早期混凝土实体强度折算至等效养护龄期强度。
- e) 评价混凝土衬砌施工质量水平。计算等效养护龄期混凝土衬砌实体强度的平均值、标准差、保证率，根据 SL 677 的有关要求，评价混凝土衬砌施工质量。

B.3 当混凝土衬砌实体强度的平均值、标准差、保证率不满足 SL 677 规定时，应查找问题原因，加强施工质量控制。
