

DB 37

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 2513—2014

隧道复合式衬砌“工序延展循环”施工技术规范

Technical Specification for "Construction Procedure Extending Circulation" of
Highway Tunnel Composite Lining

2014-08-08 发布

2014-09-08 实施

山东省质量技术监督局

发 布

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由山东省交通运输厅归口并提出。

本标准由山东省交通运输厅负责起草，山东省交通运输厅公路局、山东大学、山东省交通规划设计院、中铁十四局集团第三工程有限公司、山东恒建工程监理咨询有限公司、山东东泰工程咨询有限公司参加起草。

本标准主要起草人：杨永顺、李英勇、薛志超、李术才、万利、李树忱、曹佩荣、杨秀生、高晋、陈宝强、李诚、赵秋宇、高钟涛、王培国、李新志、李秀贤、林杰、厉呈伟、张栋、吴庆东、高钟涛、刘树堂、曹卫东。

引 言

为了进一步规范全省交通基础设施建设和管理行为，全面提升公路隧道建设管理水平，按照交通工作实现“标准化，规范化，集约化，人本化”管理的目标要求，山东省交通运输厅提出并主持编制了本标准。

随着我国公路建设的快速发展，高速公路隧道等基础设施的发展取得了举世瞩目的成就。但从总体上说，我国公路隧道建设技术及管理水平和国外先进水平相比还存在一定差距。在实际施工过程中，由于隧道内施工空间狭小，环境较差，空气污浊，存在监控不到位、安全质量状态不稳定等情况，从而导致隧道坍塌、严重渗漏水、衬砌开裂、界限受限等安全事故和质量病害，给隧道后期运营带来诸多问题。因此，突破隐蔽工程质量难以控制的瓶颈，使隐蔽工程始终处于“阳光”下控制，具有显著的现实意义。

近年来山东省山区高速公路建设逐年增加，隧道工程日益增多。为使山东省公路隧道工程复合式衬砌施工和验收的规范化，突破隐蔽工程质量难以控制的瓶颈，提供统一、明确的施工规程和验收标准，提高工程施工质量，山东省交通运输厅公路局等单位在山东省交通科技项目支持下，通过广泛调研及大量试验，历时多年研究攻关，在实体工程应用基础上，总结并制定了本技术标准。

隧道复合式衬砌“工序延展循环”的常规施工区间为：初期支护施工合格段、土工布施工合格段、防水板施工合格段、钢筋绑扎施工合格段和二衬混凝土施工区。

监控量测为新奥法隧道施工的核心，是“工序延展循环”施工能否取得实效的前提和关键，必须贯穿于施工全过程。

公路隧道施工及管理除应执行本规范外，尚应符合国家和行业其他现行有关标准、规范的规定。

隧道复合式衬砌“工序延展循环”施工技术规范

1 范围

本标准规定了隧道复合式衬砌“工序延展循环”施工的术语和定义、“工序延展循环”施工、监控量测、初期支护施工合格段、土工布施工合格段、防水板施工合格段、钢筋绑扎施工合格段、二衬混凝土施工区、通风、供水及便道和安全环保及文明施工。

本标准适用于以新奥法为指导，采用钻爆法开挖为主的复合式衬砌支护的各级公路隧道，其它行业的隧道可参照执行。

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 3608 高处作业分级
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB 50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GBJ 146 粉煤灰混凝土应用技术规范
- JTG E30 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG E42 公路工程集料试验规程
- DBJ 50—107 城市隧道工程施工质量验收规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工序延展循环 construction procedure extending circulation

隧道复合式衬砌在施工过程中，按“四段一区”为一单元展开施工，循环推进，即为“工序延展循环”。

3.2

四段一区 four construction-sections&one construction-area

公路隧道复合式衬砌“工序延展循环”中的不同施工工序，具体为：初期支护施工合格段、土工布施工合格段、防水板施工合格段、钢筋绑扎施工合格段和二衬混凝土施工区。如下图1所示。

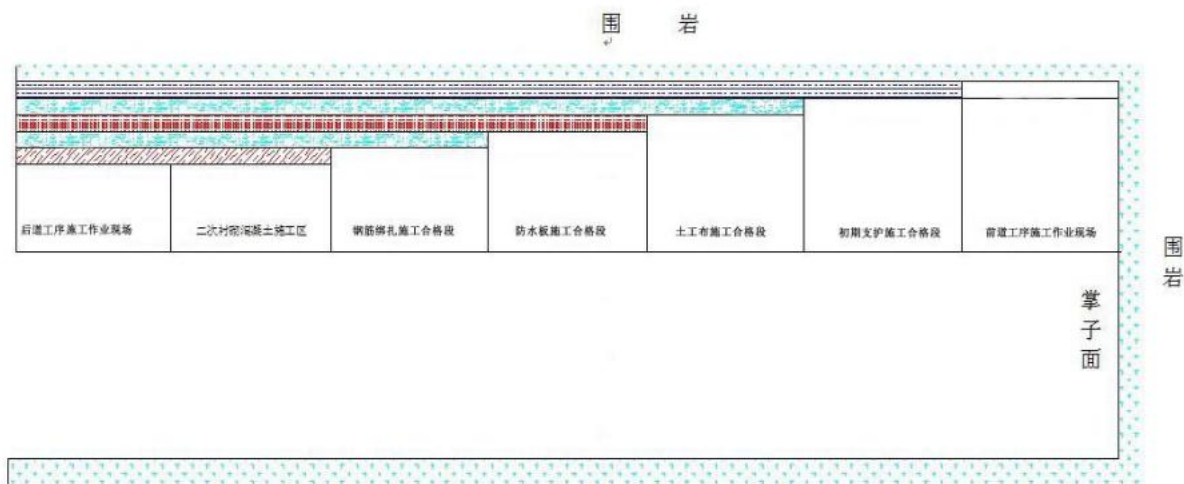


图1 隧道复合式衬砌“工序延展循环”示意图

3.3

第三方 third party

为保证施工质量，以公正、权威的非承担承包合同主体单位身份，根据有关法律、标准或合同实施隧道监控量测、质量检测等检验机构。

3.4

一次性入库 strict inspection storage system

隧道施工主要材料一次性或分批次入库检测验收制度。

3.5

关键工序 key construction procedure

隧道施工中工艺复杂，质量容易波动，对人工技艺要求高或是发生问题较多，对可靠性和成本有直接影响的工序。

3.6

复合式衬砌 composite lining

分内外两层先后施作的隧道衬砌结构形式。在隧道开挖后，先及时施作与围岩密贴的外层柔性支护，称为初期支护。容许围岩产生一定的变形，而又不至于围岩过度变形产生松动压力，待围岩变形基本稳定以后再施作内层衬砌，称为二次支护或二次衬砌。初期支护和二次衬砌之间，设置土工布和防水板。

3.7

新奥法 new austrian tunneling method

应用岩体力学理论，以维护和利用围岩的自承能力为基点，采用锚杆和喷射混凝土为主要支护手段，及时进行支护，控制围岩的变形和松弛，使围岩成为支护体系的组成部分，最大限度的发挥围岩体自身的承载能力，并通过对围岩和支护的量测、监控来指导隧道施工和地下工程设计施工的方法和原则。

3.8 监控量测 monitoring measurement

在隧道施工和运营阶段，通过使用各种量测仪器和工具，对围岩变化情况及支护结构的工作状态进行监测，及时提供围岩稳定程度和支护结构可靠性信息的工作。

3.9

初期支护 first support

采用新奥法进行隧道施工时，围岩支护一般分为初期支护和二次衬砌，二次衬砌一般是混凝土或钢筋混凝土结构。在二次衬砌施作之前，刚开挖之后立即进行的支护形式称之为初期支护，初期支护一般为喷射混凝土、喷射混凝土加锚杆、喷射混凝土锚杆与钢架联合支护等形式。

3.10

喷锚支护 shotcrete and rock bolts support

由喷射混凝土、锚杆和钢筋网等组合而成的支护结构。

3.11

钢架 steel frame or beam support

用钢筋或型钢、钢管、钢轨等制成的支护骨架结构。

3.12

土工布 geotextile

又称土工织物，它是由合成纤维通过针刺或编织而成的透水性土工合成材料，在隧道工程中主要起保护防水板的作用。

3.13

防水板 waterproof plate

又叫土工膜，习惯上把 ≥ 0.8 mm厚的土工膜叫防水板， < 0.8 mm的叫土工膜，它是以高分子聚合物为基本原料制成的一种防渗材料，分为均质防水板和复合防水板。在隧道工程中的作用主要为防治地下水向隧道内渗漏。

4 “工序延展循环”施工

4.1 采用复合式衬砌的隧道，除对二次衬砌施作时机有特殊要求的段落外，均应按照“工序延展循环”法进行施工及验收。

4.2 照“工序延展循环”法施工，必须以一个完整施工循环为单元，某个单元完成后方可进行下一单元的施工。

4.3 除特殊情况外，应至少保证一个完整施工循环处于已检状态。

4.4 监控量测为“工序延展循环”施工的时机和安全性提供数据支持，应进行科学组织和管理。

4.5 隧道施工主要材料应实行一次性入库。

5 监控量测

5.1 一般规定

- 5.1.1 复合式衬砌隧道开工前，应制订施工全过程监控量测方案，作为关键工序纳入现场施工组织管理。
- 5.1.2 监控量测应实施动态管理，管理流程宜参照图 2 执行。

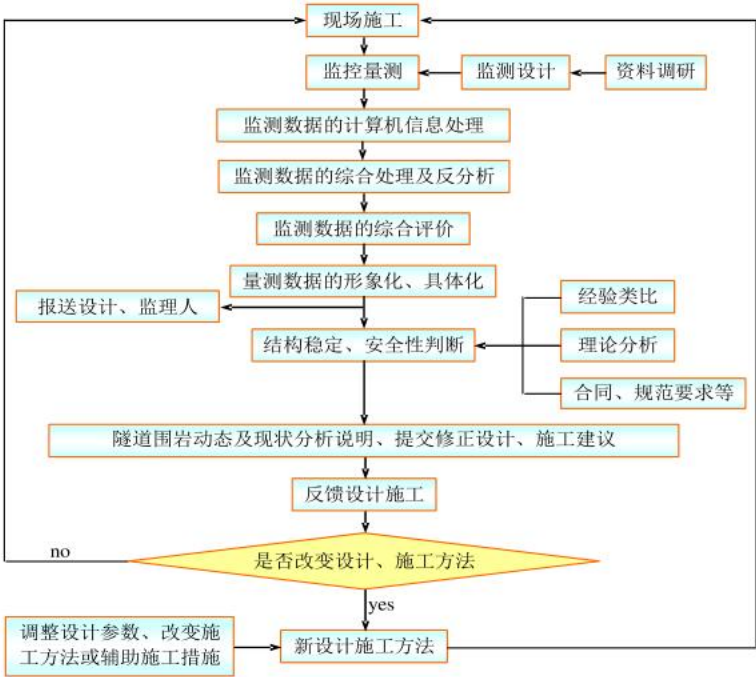


图2 监控量测动态管理图

- 5.1.3 监控量测工作应结合开挖、支护作业的进程，按要求布点和监测，并根据现场实际情况及时调整补充，量测数据应及时分析、处理和反馈。
- 5.1.4 监控量测应建立等级管理和信息反馈与报告制度。
- 5.1.5 监控量测宜委托第三方完成。

5.2 量测作业

- 5.2.1 在复合式衬砌和喷锚衬砌隧道施工时必须进行必测项目的量测。必测项目见表 1。

表1 隧道现场监控量测必测项目

序号	项目名称	方法及工具	布置	测试精度	量测间隔时间			
					1 d~15 d	16 d~1 个月	1~3 个月	大于 3 个月
1	洞内、外观察	现场观测、地质罗盘等	开挖及初期支护后进行	—	—			
2	周边位移	各种类型收敛计	每 5 m~50 m 一个断面，每断面 2~3 对测点	0.1 mm	1 次/d~2 次/d	1 次/2 d	1 次/周~2 次/周	1~3 次/月
3	拱顶下沉	水准测量的方法，水准仪、钢尺等	每 5 m~50 m 一个断面	0.1 mm	1 次/d~2 次/d	1 次/2 d	1 次/周~2 次/周	1 次/月~3 次/月
4	地表下沉	水准测量的方法，水准仪、铟钢尺等	洞口段、浅埋段 ($h_0 \leq 2 b$)	0.5 mm	开挖面距量测断面前后 $< 2 b$ 时，~2 次/d； 开挖面距量测断面前后 $< 5 b$ 时，1 次/2~3 d； 开挖面距量测断面前后 $> 5 b$ 时，1 次/3~7 d；			

表1 隧道现场监控量测必测项目（续）

序号	项目名称	方法及工具	布置	测试精度	量测间隔时间			
					1 d~15 d	16 d~1 个月	1~3 个月	大于 3 个月
注1：b——隧道开挖宽度； h0——隧道埋深。								
注2：洞内外观察应包括浅埋段地表、初期支护变异、掌子面地质观察等。								

5.2.2 应根据设计要求、隧道横断面形状和断面大小、埋深、围岩条件、周边环境条件、监控量测条件、支护类型和参数、施工方法等, 结合工程需要综合选择选测项目, 选测项目见表2。

表2 隧道现场监控量测选测项目

序号	项目名称	方法及工具	布置	测试精度	量测间隔时间			
					1 d~15 d	16 d~1 个月	1 个月~3 个月	大于 3 个月
1	钢架内力及外力	支柱压力计或其他测力计	每代表性地段 1 个~2 个断面, 每断面钢支撑内力 3 个~7 个测点, 或外力 1 对测力计	0.1 MPa	1 次/d~2 次/d	1 次/2 d	1~2 次/周	1 次/月~3 次/月
2	围岩体内位移 (洞内设点)	洞内钻孔中安设单点、多点杆式或钢丝式位移计	每代表性地段 1 个~2 个断面, 每断面 3 个~7 个钻孔	0.1 mm	1 次/d~2 次/d	1 次/2 d	1 次/周~2 次/周	1 次/月~3 次/月
3	围岩体内位移 (地表设点)	地面钻孔中安设各类位移计	每代表性地段 1 个~2 个断面, 每断面 3 个~5 个钻孔	0.1 mm	同地表下沉要求			
4	围岩压力	各种类型岩土压力盒	每代表性地段 1 个~2 个断面, 每断面 3 个~7 个测点	0.01 MPa	1 次/d~2 次/d	1 次/2 d	1 次/周~2 次/周	1 次/月~3 次/月
5	两层支护间压力	压力盒	每代表性地段 1 个~2 个断面, 每断面 3 个~7 个测点	0.01 MPa	1 次/d~2 次/d	1 次/2 d	1 次/周~2 次/周	1 次/月~3 次/月
6	锚杆轴力	钢筋计、锚杆测力计	每代表性地段 1 个~2 个断面, 每断面 3~7 锚杆(索), 每根锚杆 2~4 测点	0.01 MPa	1 次/d~2 次/d	1 次/2 d	1 次/周~2 次/周	1 次/月~3 次/月
7	支护、衬砌内应力	各类混凝土内应变计及表面应力解除法	每代表性地段 1~2 断面, 每断面 3 个~7 个测点	0.01 MPa	1 次/d~2 次/d	1 次/2 d	1 次/周~2 次/周	1 次/月~3 次/月
8	围岩弹性波	种声波仪及配套探头	在有代表性地段设置	—	—			
9	爆破震动	测振及配套传感器	临近建(构)筑物	—	随爆破进行			
10	渗水压力、水流量	渗压计、流量计	—	0.01 MPa	—			
11	地表下沉	水准测量的方法, 水准仪、铟钢尺等	洞口段、浅埋段 ($h_0 > 2b$)	0.5 mm	开挖面距量测断面前后 $< 2b$ 时, 1~2 次/d; 开挖面距量测断面前后 $< 5b$ 时, 1 次/2~3 d; 开挖面距量测断面前后 $> 5b$ 时, 1 次/3~7 d;			
注3: b ——隧道开挖宽度。								
注4: h_0 ——隧道埋深。								

5.2.3 应按表3 和表4 检查净空位移和拱顶下沉的量测频率, 并与按表1 确定的量测频率比较取大值。施工状况发生变化时 (开挖下台阶、仰拱或撤除临时支护等), 应增加监测频率。

表3 净空位移和拱顶下沉的量测频率（按位移速率）

位移速率 (mm / d)	量测频率
≥ 5	2~3 次/d
1~5	1 次/d
0.5~1	1 次 / 2~3 d
0.2~0.5	1 次/3 d
< 0.2	1 次/3~7 d

表4 净空位移和拱顶下沉的量测频率（按距开挖面距离）

量测断面距开挖面距离 (m)	量测频率
(0~1) b	2 次/d
(1~2) b	1 次/d
(2~5) b	1 次/2~3 d
> 5 b	1 次/3~7 d
注：b——隧道开挖宽度。	

5.2.4 各项量测作业均应持续到变形基本稳定后 15 d~20 d 结束。

5.3 量测数据处理与应用

5.3.1 每次量测后应及时进行数据整理和数据分析，依据回归分析，预测位移、收敛、拱顶下沉及钢筋应力的最终值，并绘制量测数据时态曲线和距开挖面距离图和地表下沉值沿隧道纵向和横向变化量和变化速率曲线。

5.3.2 围岩稳定性、二次支护时间应根据所测位移量或回归分析所得最终位移量、位移速率及其变化趋势、隧道埋深、开挖断面大小、围岩等级、支护所受压力、应力、应变等进行综合分析判定。

5.3.3 应根据量测数据处理结果，及时提出调整、优化施工方案和工艺；当出现下列现象时，应及时加强支护，并建议进行设计变更：

- a) 局部石块坍塌或层状劈裂、喷射混凝土层的大量开裂；
- b) 累计位移量已达到允许变形值的 2/3，且仍未发现隧道周边位移速率有明显减缓的趋势；
- c) 每日位移量大于允许变形值的 10 %；
- d) 隧道变形加速，即在无施工干扰时的变形速率加大；
- e) 当拱顶下沉、水平收敛速率达 5 mm/d 或位移累计达 100 mm 时。

5.3.4 当各测试项目所显示的位移率明显减缓并已基本稳定；已产生的各项位移量已达预计位移量 80 %~90 %，各项位移速率小于 0.1 mm/d~0.2 mm/d 时，应尽快进行二次衬砌的施作。

5.4 监控量测管理

5.4.1 应成立专门的隧道监控量测管理和量测小组，管理小组由各参建单位相关人员组成，量测小组人员宜为建设单位委托的第三方或是由施工单位委托并经建设单位批准的第三方。

5.4.2 管理小组应建立例会制度，掌握施工中围岩和支护的力学动态信息及稳定程度并及时反馈，确定变形管理等级，据此指导施工作业，保证施工安全。变形管理等级见表 5。

表5 变形管理等级表

管理等级	管理位移	施工状态
III	$U_0 < (U_n/3)$	可正常施工
II	$(U_n/3) \leq U_0 \leq (2U_n/3)$	应加强支护
I	$U_0 > (2U_n/3)$	应采取特殊措施
注1： U_0 ——实测变形值。		

- 5.4.3 量测小组应编写详细的监测实施方案，及时向管理小组反馈量测数据和意见，紧急情况下，协助施工单位做好应急处理。
- 5.4.4 量测项目宜布置在同一断面，测点埋设应及时、牢固；平面位置和断面里程应符合设计要求；测点标识应准确、醒目，符合量测方法要求。
- 5.4.5 监控量测元件、工具精度、测量范围满足设计要求，并具有良好的防震、防水、防腐性能；当采用接触量测时，测点挂钩宜做成闭合三角形，保证牢固不变形。
- 5.4.6 应编制专用表格进行监测记录，记录内容除监测结果外，尚应包括开挖方法、施工工序、测点距开挖面距离等信息。

6 初期支护段

6.1 一般规定

- 6.1.1 隧道开挖后，应在保证施工安全的前提下及时进行初期支护。
- 6.1.2 锚杆、超前小导管应一次性入库检验。
- 6.1.3 初期支护前须对开挖面进行检查，确保净空尺寸符合设计及规范要求。
- 6.1.4 采用非全断面法开挖时，开挖、支护结合部的喷射混凝土应密实，钢筋网、拱架等按规范衔接。
- 6.1.5 软弱围岩采用台阶法施工时，必须采取设置锁脚锚杆（管）等控制拱（墙）脚位移的措施，必要时应设置横向临时支撑或临时仰拱。
- 6.1.6 围岩欠挖部分应凿除；超挖部分在允许范围内，应采用喷射混凝土补平，必要时增设钢筋网，超出允许范围，应根据相关规范制定方案报批后实施。
- 6.1.7 初期支护施工完成后，除按相关规范规定频率检测相关项目外，应对喷射混凝土厚度、喷射混凝土与围岩密实情况，锚杆数量、长度、注浆饱满度，拱架间距、倾斜度，初期支护净宽、净高、偏位等实施第三方检测。
- 6.1.8 隧道内施工应安装视频监控设施，做到隐蔽工程始终处于“阳光”下控制。
- 6.1.9 隧道支护施工过程中做好施工记录。

6.2 喷射混凝土

- 6.2.1 喷射混凝土的原材料、配合比、拌和、运输、喷射、质量检查等，应符合有关规定。喷射混凝土施工前对喷射工作面进行检查，严禁填塞石块或挡板等造成空洞，形成质量隐患。
- 6.2.2 喷射混凝土应优先采用湿喷工艺，不得采用干喷工艺，特殊地质条件下可另行设计。
- 6.2.3 喷射混凝土作业应符合下列规定：
- 当喷射作业分层进行时，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行；
 - 混合料应随拌随喷；
 - 喷射混凝土回弹物不得重新利用；
 - 隧道环向宜每 2 m 布设一个厚度标尺；
 - 进行喷射作业时，喷嘴应与喷射面垂直，其间距宜为 0.7~1.5 m；
 - 当岩面有较大凹处时，应先将凹处喷平。
- 6.2.4 喷射混凝土应适时进行养护，隧道内环境温度低于 5° 时不得洒水养护。
- 6.2.5 对有大股涌水的岩面宜先埋管引排小股水或裂隙渗漏水宜改良喷射工艺。
- 6.2.6 在喷射侧壁下部（台阶法施工上半断面拱脚）及仰拱时，应将上半断面喷射时的回弹物清理干净，防止将回弹物卷入下部喷层中形成“蜂窝”，降低支护强度。

6.2.7 喷射混凝土的性能、回弹率、粉尘浓度应符合 GB 50086 的规定,“初级强度”3 h 应达到 1.5 MPa, 24 h 达到 5.0 MPa。

6.2.8 喷射混凝土的厚度、平整度应符合下列规定:

- a) 喷射混凝土平均厚度不应小于设计厚度,平整度符合设计要求;
- b) 喷射混凝土厚度检查点数的 90 %及以上大于设计厚度;
- c) 喷射混凝土最小厚度不小于设计厚度的 2/3。

6.2.9 冬期施工应符合下列规定:

- a) 洞口喷射混凝土作业时,应采取防冻保暖措施;
- b) 结冰的层面上不得进行喷射混凝土作业;
- c) 作业区的气温和混合料进入喷射机的温度不应低于 5 ℃;
- d) 混凝土强度未达到 6 MPa 前,不得受冻。

6.2.10 喷射混凝土作业安全与防护应符合下列规定:

- a) 应检查和处理支护作业区危石,施工机具应布置于安全地带;
- b) 施工用作业台架应牢固可靠,并应设置安全栏杆;
- c) 施工时,非作业人员不得进入喷射作业区,喷嘴前禁止站人;
- d) 作业人员应戴防尘口罩、防护镜、防护帽等劳保用品;
- e) 喷射作业完成后,应及时清洗机具。

6.3 锚杆

6.3.1 锚杆类型、规格、技术性能应满足设计要求。

6.3.2 锚杆施工应符合下列规定:

- a) 钻孔机具应根据锚杆类型、规格及围岩情况选择;
- b) 锚杆钻孔按设计要求沿隧道周边径向布设,不宜平行于岩层层面,应与岩体主结构面或滑移面成较大角度相交,对层理及节理发育部位,应局部加密;
- c) 水泥砂浆锚杆钻孔直径应大于锚杆杆体直径 15 mm,其他形式锚杆钻孔直径应满足设计要求;
- d) 钻孔孔位允许偏差为 ± 150 mm,数量应符合设计规定;
- e) 钻孔深度不应小于锚杆杆体有效长度,但深度超长值不应大于 100 mm;
- f) 严格施工过程控制,确保每个部位锚杆数量、长度和类型符合设计要求,锚垫板施作到位。

6.3.3 锚杆安装前应做好下列检查工作,并做好原始记录:

- a) 锚杆材料型号、规格等应符合设计要求,配件应配套;
- b) 锚杆杆体应调直、除锈、清除油污;
- c) 锚杆孔位、孔径、孔深及布置形式应满足设计要求;
- d) 孔内应无积水、岩粉应吹洗干净;
- e) 锚杆外端标准螺纹应有效,逐根检查并与标准螺母试装配。

6.4 钢筋网

6.4.1 钢筋网用钢筋应满足设计要求,使用前应调直、清除锈蚀和油渍。

6.4.2 钢筋网片应在钢筋加工场地集中加工,制作成型的钢筋网片应堆放在指定场地,存放和运输过程中要避免潮湿的环境,防止锈蚀、污染和变形。

6.4.3 钢筋网安装应符合下列规定:

- a) 一般情况下,应在初喷一层混凝土后再进行钢筋网铺设;
- b) 采用双层钢筋网时,第二层钢筋网应在第一层钢筋网被喷射混凝土全部覆盖后进行铺挂;
- c) 钢筋搭接长度不得小于 $30d$ (d 为钢筋直径),并不得小于一个网格长边尺寸;

- d) 钢筋网应与锚杆或其他固定装置连接牢固；
- e) 钢筋网应随受喷岩面起伏铺设，与受喷面的最大间隙不宜大于 30 mm；
- f) 钢筋网的混凝土保护层厚度应不小于 20 mm；
- g) 砂层等特殊地段宜先加铺钢筋网，沿岩面压紧后再喷射混凝土。

6.5 钢架

6.5.1 钢架必须具有足够的强度和刚度，采用的钢架类型应满足设计要求。

6.5.2 钢架材料应满足设计要求。

6.5.3 钢架加工应符合下列规定：

- a) 钢架加工尺寸，应符合设计要求，其形状应与开挖断面相适应；
- b) 型钢拱架的每节弯曲时，两端 60 cm 范围的弧度应严格控制；
- c) 不同规格的首榀钢架加工完成后，应放在平整地面上试拼，周边拼装允许偏差为 ± 30 mm，平面翘曲应小于 20 mm；

6.5.4 钢架安装应符合下列规定：

- a) 钢架拱脚必须放在牢固的基础上。应清除底脚下的虚渣及其他杂物，脚底超挖部分应用喷射混凝土或浆砌片石、混凝土填充；
- b) 钢架应分节段安装，节段与节段之间应按设计要求连接。连接钢板平面应与钢架轴线垂直，两块连接钢板间采用螺栓连接，螺栓不应少于 4 颗；
- c) 钢架接长应根据围岩条件沿隧道两侧马口式开挖，两侧交错进行，每次宜接长 1~2 榀；
- d) 相邻两榀钢架之间必须用纵向钢筋连接，同时将钢架与系统锚杆焊成一体，使钢架与锚杆共同受力。连接钢筋直径不应小于 18 mm，连接钢筋间距不应大于 1.0 m；
- e) 钢架应垂直于隧道中线，竖向不倾斜、平面不错位、不扭曲。上、下、左、右允许偏差 ± 50 mm，钢架倾斜度应小于 2° ；
- f) 架设钢架时每个施工区段一侧至少 5 组榀距，与设计榀距相比较，差值不大于 50 mm。

6.5.5 钢架安装就位后，钢架与围岩之间的间隙应用喷射混凝土充填密实，严禁用杂物填塞。喷射混凝土应由两侧拱脚向上对称喷射，并将钢架覆盖，临空一侧的喷射混凝土保护层厚度应不小于 20 mm。

6.6 隧道仰拱

6.6.1 仰拱开挖前必须完成钢架锁脚锚杆，每循环开挖进尺不得大于 3 m。

6.6.2 仰拱混凝土施工应超前于拱墙混凝土。

6.6.3 仰拱距离掌子面的距离不宜大于 50 m。

6.6.4 仰拱开挖应设置仰拱栈桥，栈桥长度不宜小于 16 m。

6.6.5 设有初期支护的仰拱，开挖后应及时封闭。

6.6.6 施作仰拱混凝土前必须清除隧底虚渣、淤泥、积水和杂物，仰拱混凝土应分段连续浇筑，一次成型。

6.6.7 仰拱施工完毕及时施作排水沟，排水沟标高、顺直度必须符合设计要求，管路埋好后，应进行通水试验，发现积水、漏水应及时处理。

6.6.8 仰拱施工缝和变形缝处应按设计要求进行防水处理。

6.6.9 仰拱施工完毕及时施作回填混凝土并进行养护，混凝土达到设计强度方可允许车辆通行。

6.6.10 仰拱回填前，超挖在允许范围内时，应采用与仰拱相同强度等级的混凝土进行施作；超挖大于规定时，应按设计要求回填，不得用洞碴随意回填，严禁片石侵入仰拱断面。

6.6.11 仰拱填充采用片石混凝土时，片石应距模板 50 mm 以上，片石间距应大于粗集料的最大粒径，并应分层摆放，捣固密实。

6.7 初期支护合格段

- 6.7.1 初期支护施工完毕后应进行关键工序综合验收，确认初期支护合格段。
- 6.7.2 围岩和初期支护基本稳定，符合规范要求。
- 6.7.3 应对初期支护段渗漏水状况详细观测和记录，并明确标记，对股状流水或大面积潮湿的段落应采取引排、敷设防水板、注浆等措施进行处理，保证喷面基本干燥。
- 6.7.4 仰拱及仰拱回填层或铺底调平层施工完毕；地下水合理引排；基础部分的杂物及积水清理干净。
- 6.7.5 初期支护合格段净高、净宽、平面位置符合设计要求。
- 6.7.6 初期支护合格段表面大面平整，无明显凸起、缺陷，无外露锚杆、钢筋头等尖锐物体，喷射砼表面无裂纹、脱落等现象。
- 6.7.7 资料齐全，按表 12 初期支护合格段验收，并挂牌标识，注明合格段桩号、自检人、验收人、验收时间，为后续工作提供工作面。

6.8 质量检验及标准

6.8.1 喷射混凝土支护施工质量应符合表 6 规定。

表6 喷射混凝土支护施工质量标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	喷射混凝土强度	在合格标准内	试件强度试验报告
2	喷射厚度	平均厚度≥设计厚度；检查点的60 %≥设计厚度；最小厚度≥2/3倍设计厚度，且≥60 mm	凿空法或雷达探测仪：每 10 m 检查一个断面，每个断面从拱顶中线起每 3 m 检查 1 点
3	空洞检测	无空洞、无杂物	同上
4	大面平整度	≤100 mm	每 10 m 检查一个断面，用 2 m 直尺，每断面检测 3 处

6.8.2 锚杆支护施工质量标准如表 7 所示。

表7 锚杆支护施工质量标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	锚杆数量	不少于设计	现场逐根清点
2	锚拔力	拔力平均值≥设计值，最小拔力≥90 %设计值	按锚杆数 1 %且不少于 3 根做拔力试验
3	孔位 (mm)	± 50	尺量
4	钻孔深度 (mm)	± 50	尺量
5	钻孔直径	满足设计要求	尺量
6	锚杆长度	满足设计要求	按锚杆数的 3 %，或不少于 3 根

6.8.3 钢筋网支护施工质量标准如表 8 所示。

表8 钢筋网支护施工质量标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	网格尺寸 (mm)	±10	尺量
2	钢筋保护层厚度	满足设计要求	凿孔 (或厚度检测仪) 检查: 每 10 m 检查 5 点
3	与受锚岩面的间隙 (mm)	≤30	尺量: 每 10 m 检查 10 点
4	网的长、宽 (mm)	±10	尺量

6.8.4 钢架支护施工质量标准如表 9 所示

表9 钢架支护施工质量标准

序号	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	安装间距 (mm)		50	尺量: 每榀检查
2	净保护层厚度		满足设计要求凿孔	检查: 每榀自拱顶每 3 m 检查 1 点
3	倾斜度 (°)		±2	仪器测量: 每榀检查
4	安装偏差 (mm)	横向	±50	尺量: 每榀检查
		竖向	不低于设计高程	
5	拼装偏差 (mm)		±3	尺量: 每榀检查

6.8.5 仰拱及底板施工质量应符合表 10 规定。

表10 仰拱及底板施工质量标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度	在合格标准内	试件强度试验报告
2	仰拱 (底板) 厚度	不小于设计	水准仪: 每 10 m 检查一个断面, 每个断面检查 5 点
3	钢筋保护层厚度 (mm)	≥50	凿孔检查: 每 10 m 检查一个断面, 每个断面检查 3 点
4	顶面高程 (mm)	±15	水准仪: 每一浇筑段检查一个断面

6.8.6 洞内排水沟断面质量标准应符合表 11 规定。

表11 洞内排水沟断面质量标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检验方法和频率
1	断面尺寸 (mm)	±10	尺量: 每 100 m 随机检查 5 处
2	壁厚 (mm)	±5	
3	高度 (mm)	0, -20	
4	沟底高程 (mm)	±20	水准仪: 每 20 m 测高程

6.8.7 初期支护合格段应符合表 12 规定。

表12 初期支护合格段质量标准

序号	检查项目	检查方法及要求
1	锚杆	按照表 7 验收, 第三方检测阶段性确认, 资料齐全
2	钢筋网	按照表 8 验收, 资料齐全
3	钢架	按照表 9 验收, 第三方检测阶段性确认, 资料齐全

表 12 初期支护合格段质量标准（续）

序号	检查项目	检查方法及要求
4	喷射混凝土	按照表 6 验收，第三方检测阶段性确认，资料齐全
5	仰拱	按照表 10 验收，第三方检测阶段性确认，资料齐全
6	外观	表面平整、混凝土外观密实、锚杆等尖锐物无外露、无集中渗水
7	净宽	不小于设计，尺量：每 20 m（曲线）或 50 m（直线）检查一处。第三方检测阶段性确认。
8	净高	不小于设计，水准仪：每 20 m（曲线）或 50 m（直线）测一断面，每断面测拱顶和拱腰 3 个点。第三方检测阶段性确认。
9	隧道偏位（mm）	不大于 20 mm，全站仪：每 20 m（曲线）或 50 m（直线）检查一处。第三方检测阶段性确认。
10	引道中心线与隧道中心线的衔接（mm）	不大于 20 mm，分别将引道中心线和隧道中心线延长至两侧洞口，比较其平面位置
注：表中项目当有第三方检测时，应取得第三方阶段性确认。		

7 土工布段

7.1 一般规定

- 7.1.1 土工布是隧道防水施工的关键工序，以有效保护防水板。
- 7.1.2 土工布铺设应在初期支护合格段进行，该施工段前应预留不小于其作业长度的初期支护合格段。
- 7.1.3 根据工程的水文地质条件、耐久性要求、防水等级、施工技术水平等，科学地选用土工布新材料、新工艺。
- 7.1.4 土工布应一次性入库检验。

7.2 土工布的性能要求

- 7.2.1 土工布应质地均匀，材质、厚度及单位面积重量等符合设计要求。
- 7.2.2 土工布的抗拉强度、接合强度、梯形撕裂强度、顶破强度、刺破强度、抗压缩性能等应满足工程需要。
- 7.2.3 土工布抗紫外线辐射、温度变化、化学与生物侵蚀、水解影响、冻融变化、机械磨损等的能力及蠕变性能等耐久性指标应满足规范要求。

7.3 土工布的施工要求

- 7.3.1 铺设土工布之前，应检查围岩的含水情况。
- 7.3.2 土工布铺设区与掌子面应保证一定的安全距离。
- 7.3.3 铺设宜采用专用台车，并进行先期试铺。
- 7.3.4 铺设时应根据基面实际情况适当留有松弛度。
- 7.3.5 铺设时，一般仅设环向接缝，并采用搭接连接，搭接宽度不小于 50 cm。
- 7.3.6 防水板铺设前应检查土工布质量，不得有断裂、孔洞等缺陷，做好接头标记，并填写质量检查记录。

7.4 排水管（沟）安装

- 7.4.1 各向排水管应按照设计布设，坡度满足要求，分段控制得当，无局部凹陷现象。
- 7.4.2 环向排水管应紧贴岩面，纵向排水管应被土工布和防水板包裹。
- 7.4.3 环、纵向排水管相交处宜设置四通，二衬施工时预留侧墙渗漏检修孔。
- 7.4.4 中心排水沟坡度应符合设计要求，管路埋好后应进行通水试验，发现积水、漏水应及时处理。

7.5 土工布、排水管（沟）保护措施

- 7.5.1 土工布堆放场所严禁使用明火。
- 7.5.2 钢筋焊接及锚杆切割作业时，应采用非燃材料对土工布进行覆盖，并备有灭火器。
- 7.5.3 应加强施工过程对排水管的保护，以免发生人为破坏。

7.6 土工布合格段

- 7.6.1 土工布及排水管沟施工过程中关键工序同步验收合格。
- 7.6.2 土工布铺设范围及铺挂方式符合设计要求，挂吊点数量合理。
- 7.6.3 土工布与基面固定牢固，基面坚实、平整、圆顺。
- 7.6.4 土工布无破损现象，阴阳角处呈圆弧形。
- 7.6.5 资料齐全，按表 14 土工布合格段验收，并挂牌标识，注明合格段桩号、自检人、验收人、验收时间，为后续工作提供工作面。

7.7 质量检验及标准

防水板施工质量标准应符合表13规定。

表13 土工布合格段质量标准

序号	检查项目	检查方法及要求
1	搭接宽度	搭接大于 100 mm，全部搭接均要检查，每个搭接检查 3 处
2	固定点间距	符合设计要求
3	外观	无褶皱，拱墙曲面圆顺，大面平整
4	接缝与施工缝错开距离（mm）	大于 500 mm，每个接缝检查 5 处

8 防水板段

8.1 一般规定

- 8.1.1 防水板铺设应在土工布合格段进行，该施工段前应预留不小于其作业长度的土工布验收合格段。
- 8.1.2 防水板施工的安全技术、防护用品均按国家有关规定执行、配备。
- 8.1.3 防水板进场前应对材料质量及供货商的质量保证能力进行检测、评估。
- 8.1.4 不得使用有毒的、污染环境材料。
- 8.1.5 防水板应一次性入库检验。

8.2 防水板工程性能

塑料防水板厚度不宜小于1.5 mm，物理力学性能应符合表14的规定。

表14 塑料防水板主要物理性能

项目	拉伸强度 (MPa)	断裂延伸率 (%)	热处理时变化率 (%)	低温弯折性	抗渗性
指标	≥12	≥200	≤2.5	-20℃无裂纹	0.2 MPa24 h 不透水

8.3 防水板铺设

- 8.3.1 铺挂防水板前，应对土工布基面进行检查和修整。
- 8.3.2 防水板铺设宜采用专用台车无钉铺设，铺设前应进行试铺以减少接头。
- 8.3.3 环向铺设时，应先拱后墙，下部防水板应压住上部防水板。
- 8.3.4 防水板铺挂应有一定的松弛度，留出足够的空余量，避免防水板拉裂，造成渗漏水。
- 8.3.5 防水板之间的搭接缝应采用双焊缝，单条焊缝的有效焊接宽度应介于 10 mm~20 mm，初期支护渗水严重段落应再焊一层防水板，三层以上塑料防水板的搭接形式必须是 T 型接头。
- 8.3.6 已铺设的防水板应及时与暗钉圈焊接牢固，两幅防水板的搭接处应预留不少于 20 cm 的余量。
- 8.3.7 施工过程中应加强防水板的保护，防止火花灼伤和器具损伤，附近有露头钢筋的宜套 3 cm 塑料软管进行保护。

8.4 防水板的检查与修补

- 8.4.1 二次衬砌台车定位前，应检查防水板铺设质量和焊接质量，出现破损的，应及时处理。
- 8.4.2 防水板的搭接缝焊接质量检查按充气法检查，有气泡的地方重新补焊，直到不漏气为止。
- 8.4.3 防水板修补材料宜剪成圆角，不得出现尖角。

8.5 防水板合格段

- 8.5.1 防水板施工过程中关键工序同步验收合格。
- 8.5.2 防水板铺设范围及铺挂方式应符合设计要求，挂吊点数量应合理。
- 8.5.3 防水板应与土工布固定牢靠，不得有绷紧和破损现象，阴阳角处应做成圆弧形。
- 8.5.4 防水板必须按设计要求进行焊接，焊接应牢固，不得有漏焊、假焊、焊焦、焊穿等现象。
- 8.5.5 资料齐全，按表 15 防水板合格段质量标准验收，并挂牌标识，注明合格段桩号、自检人、验收人、验收时间，为后续工作提供工作面。

8.6 质量检验及标准

防水板施工质量标准应符合表15规定。

表15 防水板合格段质量标准

序号	检查项目		规定值或允许偏差	检验方法和频率
1	搭接宽度 (mm)		≥100	尺量：全部搭接均要检查，每个搭接检查 3 处
2	缝宽 (mm)	焊接	两侧焊缝宽≥25	尺量：每个搭接检查 5 处
		粘接	粘缝宽≥50	
3	固定点间距 (mm)	拱部	符合设计要求	尺量：检查总数的 10 %
		侧墙	符合设计要求	
4	接缝与施工缝错开距离 (mm)		≥500	尺量：每个接缝检查 5 处
5	外观			无褶皱，拱墙曲面圆顺，大面平整

9 筋绑扎段

9.1 一般规定

- 9.1.1 钢筋绑扎应在防水板合格段进行，该施工段前应预留不小于其作业长度的防水板验收合格段。
- 9.1.2 钢筋进场时，需进行钢筋质量标准检查，并按批抽取试件做力学试验。
- 9.1.3 钢筋加工应在标准化钢筋加工场地上进行，加工弯制前应调直，并符合下列规定：
- a) 钢筋表面的油渍、漆污、水泥浆和用锤敲击能剥落的浮皮、铁锈等均应清除干净；
 - b) 钢筋应平直，无局部折曲；
 - c) 钢筋拉直、弯钩、弯折、弯曲应采用冷加工，钢筋的矫直伸长率为：Ⅰ级钢筋不得大于2%；Ⅱ级、Ⅲ级钢筋不得大于1%；
 - d) 加工好的钢筋表面不应有削弱钢筋截面的伤痕。
- 9.1.4 钢筋焊接前必须根据施工条件进行试焊，合格后方可施焊。冷拉钢筋的闪光对焊或电弧焊，应在冷拉前进行，冷拔低碳钢丝的接头，不得焊接。

9.2 钢筋安装

- 9.2.1 钢筋安装应符合下列规定：
- a) 横向与纵向钢筋的每个节点均须进行绑扎或焊接；
 - b) 搭接长度及焊缝应满足设计要求；
 - c) 相邻主筋搭接位置应错开，错开距离不应小于1000 mm；
 - d) 同一受力钢筋的两个搭接距离不应小于1500 mm；
 - e) 箍筋连接点应在纵横向筋的交叉连接处，必须进行绑扎或焊接；
 - f) 钢筋的其他连接方式应符合相关规范的规定。
- 9.2.2 钢筋的长度、间距、位置、保护层厚度应满足设计要求。当设计中未注明保护层厚度时，受力钢筋的保护层厚度不应小于35 mm，亦不应大于50 mm；对于厚度在300 mm以内的结构，保护层厚度不应小于20 mm。箍筋或不计算应力的次要钢筋，其保护层厚度不应小于15 mm。环境介质有侵蚀性的工程或大体积基础工程，保护层厚度宜增加。
- 9.2.3 钢筋与模板之间可用水泥砂浆垫块、塑料垫块，钢筋支撑等方式确保保护层厚度，采用水泥砂浆垫块时，其强度不应小于设计的混凝土强度，垫块应互相错开，分散布置，并不得横贯保护层的全部截面。
- 9.2.4 安装钢筋骨（网）架时，应保证其在模型中的正确位置，不得倾斜、扭曲，也不得变更保护层的规定厚度。

9.3 钢筋绑扎合格段

- 9.3.1 钢筋绑扎过程中应进行关键工序同步验收，确认钢筋绑扎合格段。
- 9.3.2 钢筋绑扎应符合设计要求。
- 9.3.3 资料齐全，按表16钢筋绑扎合格段验收，并挂牌标识，注明合格段桩号、自检人、验收人、验收时间，为后续工作提供工作面。

9.4 质量检验及标准

钢筋施工质量标准应符合表16规定。

表16 衬砌钢筋合格段质量标准

序号	检查项目			规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	主筋间距（mm）			±10	尺量：连续3处以上
2	两层钢筋间距（mm）			±5	尺量：两段、中间各1处以上
3	箍筋间距（mm）			±20	尺量：连续3处以上
4	绑扎搭接长度	受拉	HPB 级钢	30 d	尺量：每20 m 检查3个接头
			HRB 级钢	35 d	
		受压	HPB 级钢	20 d	
			HRB 级钢	25 d	
5	钢筋加工长度（mm）			-10，+5	尺量：每20 m 检查2根
6	钢筋保护层厚度			+10，-5	尺量：两端、中间各1处

10 二衬混凝土施工区

10.1 一般规定

- 10.1.1 二衬混凝土施工应在钢筋绑扎合格段进行。
- 10.1.2 模板放样时，允许将设计衬砌轮廓线扩大，确保衬砌不侵入隧道建筑限界。隧道竣工后，应进行竣工测量，净空满足设计要求且应符合现行国家有关标准的规定。
- 10.1.3 二衬模板台车靠近掌子面侧宜安装智能监控系统，留存合格段影像资料。
- 10.1.4 软弱围岩及不良地质段的隧道二次衬砌应及时施作，二次衬砌距掌子面的距离应根据监控量测结果和设计要求合理把握。
- 10.1.5 二次衬砌完成后，应由第三方对隧道净空、衬砌混凝土厚度、配筋和背后空洞情况进行检测。

10.2 水泥、砂、集料和外掺剂

- 10.2.1 水泥应符合 GB 175 的规定，并按 JTG E30 的规定的检验水泥的安定性和强度，水泥存放时间超过三个月（快硬硅酸盐水泥为一个月）时，应重新取样检验。
- 10.2.2 混凝土用砂，应采用级配良好、质地坚硬、颗粒洁净的河砂或机制砂，钢筋混凝土严禁采用海砂，素混凝土不得不采用海砂时，砂中氯化物含量应小于 0.02 %。
- 10.2.3 砂的检验方法应符合 JTG E42 的规定。
- 10.2.4 混凝土用粗集料应采用坚硬的卵石或碎石，其检验方法应符合 JTG E42 规定。
- 10.2.5 拌制混凝土宜采用饮用水；当采用其他水源时，应符合表 17 规定

表17 混凝土拌制用水标准

项目	钢筋混凝土	素混凝土
pH 值	≥4.5	≥4.5
不溶物含量（mg/L）	≤2000	≤5000
可溶物含量（mg/L）	≤5000	≤10000
Cl ⁻ 含量（mg/L）	≤1000	≤3500
SO ₄ ²⁻ 含量（mg/L）	≤2000	≤2700
碱含量（mg/L）	≤1500	≤1500

10.2.6 混凝土中掺用外加剂的质量及应用技术符合 GB 8076、GB 50119 和有关环境保护的规定。

10.2.7 混凝土掺加粉煤灰时，应符合 GB/T 1596 和 GBJ 146 规定。

10.2.8 严禁使用含氯化物的水泥，混凝土中氯化物总含量应符合下列规定：

- a) 对于素混凝土，不得超过水泥含量的 2 %；
- b) 对于钢筋混凝土，不得超过水泥质量的 0.3%；环境潮湿并且含有氯离子时，不得超过水泥质量的 0.1 %。

10.3 模板台车及其安装

10.3.1 模板台车长度宜为 9 m~12 m。

10.3.2 衬砌模板及支架必须具有足够的精度、强度、刚度和稳定性。

10.3.3 模板安装前，应仔细检查防水板、排水盲管、衬砌钢筋、预埋件等隐蔽工程，做好记录；安装时应核查中线、高程、断面和净空尺寸。

10.3.4 模板台车应预留通风管、安全管道的安设空间。

10.4 止水条（带）安装

10.4.1 施工缝、变形缝所用止水带、止水条等材料的品种、规格、性能等应符合设计要求，遇水膨胀止水条安装前应检查是否受潮膨胀。

10.4.2 止水条（带）应按断面环向长度截取，尽量减少搭接。

10.4.3 止水带安装位置应准确，伸入模内和外露部分宽度应相等。

10.4.4 不得在止水条、止水带穿孔打洞固定止水带，严禁钢筋、振捣棒等触及止水条。

10.5 混凝土施工

10.5.1 混凝土的拌制

10.5.1.1 混凝土所用的原材料（水泥、粗骨料、细骨料、水、外加剂等）经检测合格后方可使用。

10.5.1.2 混凝土配合比应满足设计和施工工艺要求。

10.5.1.3 粗细骨料含水率应经常测定，雨天施工时应增加测定次数，根据工地实际情况及时调整配合比。

10.5.2 混凝土的运输

10.5.2.1 应采取可靠措施确保混凝土在运输过程中不发生离析、漏浆、严重泌水及坍落度损失过多等现象。

10.5.2.2 用混凝土搅拌运输车运输已拌制好的混凝土时，宜以 2 r/min~4 r/min 的转速搅动，严禁高速旋转。

10.5.3 二次衬砌混凝土浇筑段施工接头处

宜采取以下措施：

- 模板台车采用带有气囊的端模（堵头板），以防止漏浆；
- 选用硬橡胶间隙带。

10.5.4 混凝土浇筑

10.5.4.1 在浇筑混凝土前，必须将基底石渣、污物和基坑内积水排除干净，严禁向有积水的基坑内倾倒混凝土干拌合物。

- 10.5.4.2 浇筑混凝土前应对模板、支架、预埋件等加以检查，保证位置、尺寸的准确性，预埋管内应预留钢丝或绳。
- 10.5.4.3 混凝土的入模温度，冬季施工时不应低于 5℃，夏季施工时不应高于 32℃。
- 10.5.4.4 混凝土浇筑时的自由倾落高度不得大于 2 m，当大于 2 m 时，应采用接软管等方式浇筑。
- 10.5.4.5 混凝土应由下向上从两侧向拱顶对称浇注，避免偏压造成衬砌台车移位，控制浇注速度，防止台车上浮和减少混凝土表面的气泡。
- 10.5.4.6 混凝土浇筑应连续进行。在施工过程中，如发生停电应立即启动备用电源，其中中断时间应小于前层混凝土的初凝时间或能重塑时间。当超过允许中断时间时，应按施工缝处理。
- 10.5.4.7 混凝土应在初凝前完成浇筑。
- 10.5.4.8 拱部混凝土浇筑时，应在拱顶预留注浆孔，注浆孔间距应不大于 3 m，且每模板台车范围内的预留孔应不少于 4 个。
- 10.5.4.9 拱顶注浆充填，宜在混凝土强度达到 100 %后进行，注入砂浆的强度等级应满足设计要求，注浆压力应控制在 0.1 MPa
- 10.5.4.10 施工中如发现泵送砼坍落度不足时，不得擅自加水，应使用添加减水剂的方法解决。明洞浇筑时侧模宜采用钢模或竹胶板，不宜采用木模，明暗洞防水板搭接要满足止水要求。
- 10.5.4.11 浇筑二次衬砌混凝土过程中，要随时检查防水板有无被拉动、脱落、损坏，如有应及时修补，并派专人在现场检查修补质量。

10.5.5 二次衬砌拆模时间应符合下列规定：

- 10.5.5.1 不承受外荷载的衬砌混凝土强度达到 8.0 MPa 以上，且其表面及棱角不因拆模而受损时，方可拆除。
- 10.5.5.2 对承受围岩应力较大的衬砌混凝土强度应满足设计要求。
- 10.5.5.3 特殊情况下，应根据试验及监控量测结果确定拆模时间。

10.5.6 养护

- 10.5.6.1 衬砌拆模后应立即养护，养护期限一般为 7 d~14 d，且养护不得中断。混凝土养护期间，混凝土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℃。
- 10.5.6.2 当环境气温低于 5℃时不应进行浇水养护。

10.6 质量检验及标准

- 10.6.1 衬砌模板安装施工质量应符合表 18 规定。

表18 模板安装施工质量标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	平面位置及高程 (mm)	±15	尺量：全部
2	起拱线高程 (mm)	±10	水准仪测量：全部
3	拱顶高程 (mm)	+10, 0	水准仪测量：全部
4	模板平整度 (mm)	5	2 m 靠尺和塞尺：每 3 m 测 5 点
5	相邻浇注段表面错台 (mm)	±10	尺量：全部

- 10.6.2 预埋件和预留孔洞允许偏差和检验方法应符合表 19 的规定。

表19 预埋件和预留孔洞的允许偏差和检验方法

序号	项目		允许偏差（mm）	检验方法
1	预留孔洞	中心线位置	5	尺量
		尺寸	+100	
2	预埋件	中心线位置	10	尺量
		水平及高程	±5	水准测量

10.6.3 混凝土衬砌施工质量应符合表 20 规定

表20 混凝土衬砌施工质量标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度	在合格标准内	试件强度试验报告
2	边墙平面位置（mm）	±10	尺量：全部
3	拱部高程（mm）	+30，0	水准仪测量（按桩号）
4	衬砌厚度	不小于设计值	激光断面仪或地质雷达随机检查
5	边墙、拱部表面平整度（mm）	15	2 m 直尺、塞尺：每侧检查 5 处；或断面仪测量

10.6.4 止水带施工质量应符合表 21 规定

表21 止水带施工质量标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	纵向偏离（mm）	±50	尺量：每环至少 3 处
2	偏离衬砌中心（mm）	≤30	尺量：每环至少 3 处

10.6.5 防水混凝土施工质量应符合表 22 规定

表22 防水混凝土施工质量标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	抗压强度	在合格标准内	试件强度试验报告
2	抗渗等级	符合要求	每 200 m 衬砌做一组（6 组）试件

11 通风、供水及便道

11.1 隧道通风应设置直径不小于 110 cm 软式通风管，高压风管的直径应通过计算确定，长大隧道应设置二级以上通风装置，掌子面风压应不小于 0.5 MPa。

11.2 风、水管不宜与电缆、电线敷设在同一侧。

11.3 在空气压缩机站和水池总输出管上必须设总闸阀，主管上每隔 300 m~500 m 应分装闸阀，高压风管长度大于 1000 m 时，应在管路最低处设置油水分离器，定时放出管中的积油和积水。

11.4 高压风、水管安装前应进行检查，有裂纹、创伤、凹陷等现象时不得使用，管内不得保留有残留物或其他脏物。

11.5 隧道内修筑至掌子面的通行施工便道，应随开挖面的延长而延长，并经常维护保养。

12 安全环保及文明施工

12.1 安全

12.1.1 承包人应贯彻“安全第一，预防为主，综合治理”的方针，严格遵守法律、法规的有关规定，制定安全制度和采取安全措施，并负责检查实施情况，切实做到施工安全。

12.1.2 在施工作业中应采取各种有效的防护措施，做好通风、照明、防尘、防水、降温和防治有害气体等的措施，保护环境卫生，保障施工人员的健康和生产安全。

12.1.3 二衬施工属于高空作业应做好安全防护，衬砌台车设安全防护措施，挂安全提示标语，洞内设疏导标志，指示标志、应急灯等安全设施；施工人员配戴安全帽、安全带，安全员 24 小时跟班作业。

12.1.4 在安全风险大的地质条件下施工，如存在岩爆、涌水、瓦斯、大量地下水等的段落，应制订预控措施。

12.1.5 爆破期间，除引爆电路外，所有动力及照明电路均应断开或改移到距离爆破点不小于 50 m 的地点，人员撤至 200 m 以外。

12.1.6 在有害气体隧道施工，应安装连续检测可燃气体和有害气体的分析仪和报警器，并为工作人员提供各种必要的安全工具，如安全灯、防毒面具等。

12.1.7 隧道入口设置值班房，建立进出隧道登记制度；安全标志、应急灯、监控设备宜设在比较明显的位置；爆破用火工品库应建在远离居住区的位置，建立专门火工品出入库登记制度。

12.2 环保

12.2.1 隧道施工中，应尽量减少对原有自然环境的破坏。

12.2.2 隧道弃碴应充分利用，多余部分应在规定地点弃置，并做好妥善保护。

12.2.3 施工现场的废料、废物、废水严禁污染周边环境，施工现场尽量做到工完料净。

12.3 通风、防尘、防有害气体

12.3.1 空气中的氧气含量在作业过程中始终保持在 19.5 %以上，严禁用纯氧进行通风换气。

12.3.2 噪声不应大于 90 DB。

12.3.3 隧道施工独头掘进长度超过 150 m 时，必须采用机械通风。通风方式应根据隧道长度、断面大小、施工方法、设备条件等综合确定，当主风流的风量不能满足隧道掘进要求时，应设置局部通风系统，并应尽量利用辅助坑道。

12.3.4 隧道施工应采用通风洒水等降尘措施，并按规定时间测定粉尘和有害气体浓度。

12.3.5 放射性地层隧道现场施工人员必须穿戴防辐射衣具，工作场所设置更衣室、淋浴室、监控装置等。

12.3.6 加强通风、照明、防尘、防冻和防有害气体工作，建立和健全医疗卫生保障制度和体系，设立施工人员健康状况动态跟踪系统，确保施工人员生命安全和身体健康。

附 录 A

(资料性附录)

隧道复合式衬砌“工序延展循环”施工技术规范条文说明

A.1 总则

山东省是我国经济大省,随着经济的快速发展,对交通建设提出更高的要求,近些年高速公路的建设逐年增加,隧道工程日益增多,但是在隧道施工过程中,由于隧道内施工空间狭小,环境较差,空气污浊,存在监控不到位等情况,从而导致隧道严重渗漏水、衬砌开裂、界限受限等事故和病害,给隧道后期运营带来诸多问题。造成这些问题出现的主要原因为隧道施工工序繁多,转换频繁,工程质量监管和验收困难。为解决长期以来困扰隧道施工监管的传统性难题,在结合国家相关隧道设计和施工要求基础上,针对隧道施工验收中存在的问题,通过编制《隧道复合式衬砌“工序延展循环”施工技术规范》,促进公路隧道施工技术管理水平不断提高,保证工程质量,使隧道施工符合技术先进,经济合理,生产安全,环境保护的要求。

A.2 术语和定义

四段一区说明如下:

- 公路隧道复合式衬砌“工序延展循环”中的常规施工工序包括:初期支护施工合格段、土工布施工合格段、防水板施工合格段、钢筋绑扎施工合格段和二衬混凝土施工区,因此称为“四段一区”。
- 对于衬砌不需施作钢筋或者采用复合式防水板的公路隧道,施工工序可以简化为“三段一区”或“两段一区”。

A.3 “工序延展循环”施工

A.3.1 “工序延展循环”施工可以有效的解决目前隧道施工中存在的质量控制困难问题,将隐蔽工程暴露于“阳光”下。施工监控量测是新奥法施工中在二次衬砌施工前的一项必须完成的工作环节,它作为调整和修改支护设计和确定二次衬砌施作时机的重要依据,有着非常重要的作用,规范执行过程中应予以重视。

A.3.2 其中二次衬砌施作时机有特殊要求的段落主要是指在软弱围岩地质、富水断层破碎地质、流砂地质、岩溶地质、高地应力地质、煤系地质和湿陷性黄土等不良地质段。由于此类地质段的围岩稳定性难以控制,因此在隧道施工方法和支护措施方面具有强烈的自主性和不确定性,对于此类隧道二次衬砌施作可以根据现场情况确定,不必拘束于“工序延展循环”施工的有关规定。

A.4 监控量测

A.4.1 我国公路隧道的设计和施工越来越多地采用新奥法。为掌握施工中围岩稳定程度与支护受力、变形的力学动态或信息,以判断设计、施工的安全性及经济性,隧道开挖后应按照设计要求和现场实际情况立即布点并进行监测,因此必须在隧道开挖前制定完善、可靠的监控量测方案。

A. 4.2 监控量测工作在隧道施工过程中具有重要地位,但在实施过程中,往往未引起施工单位的重视,因此为了保证监控量测的质量,实施监控量测工作的单位与施工单位应相对独立,实现监控量测的独立性,即实施第三方监测。

A. 4.3 现场监控量测应根据设计要求、隧道横断面形状和断面大小、埋深、围岩条件、周边环境条件、支护类型和参数、施工方法等选择测试项目。为保证施工安全,选测项目应根据具体的工程特征,由监控量测实施单位与建设单位、设计单位及监理单位等共同研究确定。

A. 4.4 由于岩体结构的复杂性和多样性,围岩稳定性判断是一项非常复杂的工作,必须结合具体工程情况,根据所测得的位移量或回归分析所得的最终位移量、位移速率及其变化趋势、隧道埋深、开挖断面大小、围岩等级、支护所受的压力、应力应变等进行综合分析判断。

A. 4.5 隧道围岩稳定性的判别极其复杂,并缺乏统一的判别标准,因此必须重视任何异常信息,经综合分析后,采取有效措施以保证施工安全。

A. 4.6 允许变形值应根据所建隧道工程现场实际监测数据预测得到总变形值,同时结合理论计算分析以及相关规范综合确定。由于岩体稳定的位移控制指标受岩石性质、地质情况、施工方案、施工季节等因素影响较大,因此难以给出不同围岩的稳定位移控制指标,通常采用围岩位移速率作为判定隧道稳定性的依据。

A.5 初期支护段

A. 5.1 隧道开挖后,在进行初期支护之前,必须先进行危石处理等工作,在保证施工安全的前提下,对于自稳较差的围岩必须及时支护。

A. 5.2 进行隧道支护时,中线、高程,隧道开挖断面形状、尺寸必须满足设计要求。除测量精度必须符合要求外,还应事先考虑施工误差、超欠挖控制;初期支护完工后,应再次检查内空尺寸,保证二次衬砌的厚度。

A. 5.3 施工期间安装监控设施有利于规范施工行为,保证施工质量及施工安全。

A. 5.4 隧道初期支护施工过程中各项工序施工的记录,是计量支付、竣工决算及运营后的养护、维修的重要依据。

A. 5.5 清除钢架底脚处虚碴是为了防止钢架整体下沉或两边不均匀下沉。为确保钢架的支护效果,钢架背后应喷射密实,确保钢架和喷射混凝土形成一体。

A. 5.6 为保证仰拱整体稳定,宜采用一次浇筑混凝土成形工艺。

A. 5.7 仰拱填充应在仰拱混凝土达到设计强度的70 %后施工,不得在施工中为了减少工序而一次性浇筑仰拱及仰拱填充混凝土,避免仰拱与边墙界面处因刚度变化过大产生的应力集中,进而成为受力薄弱环节。

A. 5.8 初期支护合格段是指围岩基本稳定,初期支护后的隧道净空满足二衬厚度设计要求,基面平整度等达到规范要求的段落。

A.6 土工布段

A. 6.1 隧道复合衬砌中,土工布和防水板一起组成复合防水层,其主要作用一是保护防水板,防止被刺破,二是排水作用,排除渗过初期支护混凝土的地下水,以减小作用于防水板上的水压力。因此,土工布的成功铺设是防水措施成功的关键。

A. 6.2 土工布施工必须在初期支护施工段检验合格后进行,避免初期支护对土工布的损坏,这是保证土工布施工质量的前提。

A. 6.3 土工布是否合格是土工布施工质量和工程安全的基本保障，实行一次性入库的目的是为减少进料和检验环节产生质量问题。

A. 6.4 隧道使用寿命较长，为了满足使用年限的要求，土工布应具有保证工程使用的耐久性；隧道施工环境恶劣，无纺土工布必须具备混凝土浇筑时挤压最低强度和伸缩性，同时绝对不能与防水板或由其他天然地下水或水泥浆形成的任何腐蚀性混合物起化学反应。

A. 6.5 地下水丰富地段，土工布施工前所进行的引排或注浆处理，主要是防止二衬混凝土浇注期间局部水压力过大，造成防水板鼓包，二衬出现空洞。

A. 6.6 土工布施工段应离掌子面有一定安全距离，主要是防止爆破产生的碎石会对其造成的损害，必须采取适当的保护措施，安全距离应根据现场实际情况确定。

A. 6.7 铺设土工布必须考虑后续施工对其的影响，避免在后续施工中，出现土工布绷紧和过于松垮的现象：绷得过紧，容易造成土工布的损坏，起不到保护防水板的作用；过于松垮，易于褶皱，在局部造成凸起，失去应有的效能。

A. 6.8 土工布铺设属于精细施工，具有高空作业特点，必须重视施工人员的安全，同时土工布属于易燃材料，应采取保护措施，避免钢筋焊接等产生的火花伤及。

A. 6.9 土工布合格段是指施工完毕的土工布大面平整度、松弛度、搭接满足设计要求的段落。

A. 6.10 环、纵向排水管相交处根据设计环向排水管的间距设置三通或四通，结合已使用隧道处治渗漏水的经验，二衬施工时宜预留侧墙渗漏检修孔，间距宜为50 m，设置直径30 cm的圆孔或50 cm的方孔便于检修。

A.7 防水板段

A. 7.1 防水板施工是隧道防水中的关键环节，必须在土工布施工合格段进行，以免材料受到损失或因上一循环不合格导致二次铺设。

A. 7.2 为减少进料和检验环节产生质量问题必须实行一次性入库，防水板使用前应按照工程要求检测项目进行检测。

A. 7.3 防水板铺挂时应留出足够的空余量（一般留5 %的余量），实铺长度与弧长的比值宜为10: 8（横向5 %~15 %、纵向10 %~20 %的富余量），松弛度以手掌将防水板贴在岩面上没有紧绷感为准，保证足够的松弛度，避免防水板固定处拉裂，造成渗漏水。

A. 7.4 防水板破损是隧道运营过程中出现衬砌渗漏水的主要原因，需特别要注意对防水板的保护，施工过程中必须严格进行检验，并对损坏部位进行修补，严禁因赶进度和简化工序而忽视检验和修补工作。

A. 7.5 防水板合格段是指施工完毕的防水板大面平整度、松弛度、搭接满足设计要求，无漏焊、假焊、焊焦、焊穿等现象。由于防水板极易受掌子面爆破施工的破坏，因此，应采取必要的措施防止土工布被掌子面爆破施工破坏。

A.8 钢筋绑扎段

A. 8.1 钢筋绑扎必须在防水板施工合格段进行，禁止超前或与防水板并行施工，其目的是便于监管人员的随时抽查，也避免因不合格造成的返工。

A. 8.2 钢筋混凝土结构的钢筋保护层，对防止钢筋锈蚀、保证结构的耐久性具有重要作用。本规范对垫块的制作、设置、固定等方面做出了相应规定，其最终目的是保证钢筋的混凝土保护层厚度满足设计要求。

A. 8.3 钢筋合格段是钢筋绑扎完毕，验收合格的段落，即钢筋数量、规格、连接方式、保护层厚度等满足设计及规范要求。

A.9 二衬混凝土施工区

A.9.1 二衬混凝土浇筑前，应复测中线、高程，轮廓等，确保符合设计要求。其中，衬砌轮廓线还应考虑施工误差和预留变形量的影响，允许在放样时将设计轮廓线扩大50 mm，以免影响隧道净空尺寸，增加修整断面的工作量。

A.9.2 根据我省公路隧道修建的经验，二衬混凝土施工区距掌子面的合理间距可参考以下参数并根据监控量测结果合理确定：

- Ⅰ、Ⅱ级围岩地段不宜大于200 m；
- Ⅲ级围岩地段不宜大于120 m；
- Ⅳ级围岩地段不宜大于100 m或设计规定；
- Ⅴ、Ⅵ级围岩地段不宜大于90 m或设计规定；
- 不良地质段，出现过塌方、涌水的段落二衬应及时跟进。

A.9.3 隧道净空是保证隧道使用功能的根本，二衬质量则关系到隧道结构的稳定性和耐久性，均应进行第三方检测。

A.9.4 二衬混凝土施工缝不应随意留置，一般情况下沿隧道纵向以衬砌台车或衬砌移动台架的长度为一个浇筑段留置施工缝。施工缝应与设计的沉降缝、伸缩缝结合布置；水平方向原则上不留施工缝，必须留置时，留置位置应在边墙脚1 m以上和拱脚0.5 m以下的范围内。

A.9.5 我省施工环境季节性明显，应注意环境温度的变化，不同的季节采取不同的施工措施，保证混凝土施工质量。

A.9.6 预埋件是隧道机电工程的基础，衬砌施工期间必须完全按照设计要求进行预留安装，避免因遗漏补埋造成衬砌损坏、开裂、渗水等病害，留下运营隐患。

A.9.7 当衬砌承受围岩压力时，混凝土强度不足很可能造成衬砌沉降变形、开裂等情况的发生。为保证隧道衬砌的安全和使用功能，拆模时，衬砌混凝土强度应达到8.0 MPa以上，该强度为同条件养护混凝土试件的强度。

A.9.8 侧墙渗漏比较普遍，其主要原因是防水板和土工布在此处熔焊接不密实。采取下压上的方式，极易在浇筑二衬混凝土时造成接茬破坏，为避免这一质量通病，可以将防水板和土工布的熔焊接方式改为上压下的方式。

A.10 通风、供水及便道

A.10.1 隧道施工作业卫生标准的规定，目的是保证施工人员进行正常的安全生产。

A.10.2 隧道施工期间，要求施工便道随掘进延伸至开挖面，缘于便道不仅是工程建设的需要，发生紧急情况时更成为人员逃生和外部救援的生命线，必须在施工过程中认真施作。

A.11 安全环保文明施工

A.11.1 “安全第一，预防为主，综合治理”是我国安全生产工作的基本方针，应贯穿于施工的全过程。安全事故的预防与控制分安全技术、安全教育和安全管理三个方面。安全技术主要解决物的不安全状态问题；安全教育和安全管理主要解决人的不安全行为问题。由于自然、人为或技术等原因，当事故或灾害不可能完全避免时，建立重大安全事故应急预案，组织及时有效的应急救援行动，是抵御事故或控制灾害蔓延、降低危险后果的关键。

A.11.2 本规范所指的高处作业，是指符合GB/T 3608规定的“在坠落高度基准面2 m以上（含2 m），有可能坠落的高处进行的作业。”

A.11.3 隧道施工的地域范围内，周边环境复杂，因此在施工中应采取必要的措施，降低或减少噪声，尽量避免干扰沿线居民的正常生活、工作和学习。
