

DB63

青 海 省 地 方 标 准

DB 63/T 1976—2021

寒区公路隧道二次衬砌混凝土施工
技术规范

2021 - 12 - 01 发布

2022 - 01 - 01 实施

青海省市场监督管理局

发 布

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 材料要求 2

5 施工工艺 4

6 质量检验 7

附录 A （规范性） 早期抗裂试验..... 8

附录 B （规范性） 非接触法收缩试验..... 10

附录 C （规范性） 抗水渗透试验..... 12

附录 D （资料性） 公路隧道二次衬砌混凝土施工工艺流程图..... 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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由青海省交通运输标准化专业技术委员会提出。

本文件由青海省交通运输厅归口。

本文件起草单位：青海省交通控股集团有限公司、青海省交通建设管理有限公司、中铁十六局集团第一工程有限公司、青海交通职业技术学院、青海省路达交通建设招标有限公司、长安大学。

本文件主要起草人：张金保、郭志永、王永亮、刘海涛、王剑、肖欧辉、王发平、张维明、张超、赵青林、夏海、李冬梅、金哲、范建闻、张跃辉、张惠、刘岳泰、贾治勋、江玉慧、张海云、韩志强、盛燕萍、王振军。

本文件由青海省交通运输厅监督实施。

寒区公路隧道二次衬砌混凝土施工技术规范

1 范围

本文件规定了寒区公路隧道二次衬砌混凝土施工技术的术语与定义、材料要求、施工工艺、质量检验。

本文件适用于寒区公路隧道二次衬砌混凝土的施工技术，其它地区可参照执行。

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 175 通用硅酸盐水泥
GB 8076 混凝土外加剂
GB/T 8077 混凝土外加剂匀质性试验方法
GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
GB/T 50784 混凝土结构现场检测技术标准
GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范
JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
JGJ 63 混凝土用水标准
JGJ/T 221 纤维混凝土应用技术规程
JTG 3370.1 公路隧道设计规范
JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
JTG E42 公路工程集料试验规程
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

寒区

累年最冷月平均温度不高于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或日平均温度不高于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 天数在145d以上的地区。

3.2

衬砌

为防止围岩变形或坍塌，沿隧道洞身周边用钢筋混凝土等材料施作的永久性支护结构。

3.3

二次衬砌

在初期支护内侧施作的模筑混凝土或钢筋混凝土衬砌，与初期支护及防水层共同组成复合式衬砌。

3.4

仰拱

为改善上部支护结构受力条件而设置于隧道底部的反向拱形衬砌结构。

3.5

伸缩缝

为防止材料膨胀对结构物产生不利影响而在结构物中预先设置的间隙。

3.6

沉降缝

为防止地基不均匀变形对结构物产生不利影响而在结构物中预先设置的间隙。

3.7

施工缝

混凝土施工不能一次连续浇筑时，在结构规定位置预留的搭接面或后浇间隔槽。

4 材料要求

4.1 一般规定

4.1.1 原材料包括水泥、粗集料、细集料、拌合水、外加剂及掺合料等。

4.1.2 进场后应按规定对原材料分批进行验收、复验，并具有检验合格标志。

4.1.3 检验和试验方法应按 GB 8076、GB 50119、JTG E42 和 JTG 3420 规定执行。

4.2 原材料

4.2.1 水泥

水泥应符合GB 175规定，并满足以下要求：

- a) 水泥宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等，也可采用其它特种水泥；
- b) 水泥应根据混凝土结构所处的环境条件和工程需要合理选用，寒区使用的水泥中碱含量应不大于 0.60%，不准许掺有石灰、石粉类混合物；
- c) 水泥强度等级应根据所配制的混凝土强度等级选定，宜不低于 42.5 级。

4.2.2 细集料

细集料应符合JTG E42规定，并满足以下要求：

- a) 应选用粒径不大于 5 mm 的天然砂或机制砂，应洁净、无风化、无杂质；
- b) 砂的级别应不低于 II 级；

- c) 细度模数应为 2.6 ~ 3.2;
- d) 细集料中有害物质含量应符合规定, 细集料中含泥量应小于 2.0 %。

4.2.3 粗集料

粗集料应符合GB/T14685规定, 并满足以下要求:

- a) 粗集料为碎石, 最大粒径宜不大于 31.5 mm, 且质地坚硬、洁净、无风化、无杂质;
- b) 粗集料级别应不低于Ⅱ级, I级集料吸水率应小于 1.0 %, Ⅱ级集料吸水率应小于 2.0 %;
- c) 颗粒级配应为连续级配; 特殊要求时也可采用间断级配;
- d) 粗集料中有害物质含量应符合规定, 粗集料中含泥量应小于 1.0 %;
- e) 不同粒径的粗集料应分类堆放, 不应混杂或混入泥土。

4.2.4 外加剂

混凝土中宜掺入膨胀剂、高效减水剂等外加剂, 并应符合GB 8076、GB 50119、GB/T 8077规定, 使用前应现场试验, 测定外加剂中有效物质含量、不同掺量对混凝土性能的影响, 并确定最佳掺量。寒区混凝土中宜使用引气剂。

4.2.5 掺合料

混凝土中宜掺加粉煤灰、矿渣粉和硅灰等掺合料及纤维素, 并应符合GB/T 51003、JGJ/T 221规定。使用前应进行现场试验, 测定不同掺量对混凝土性能的影响, 并确定最佳掺量。

4.2.6 水

混凝土施工用水应符合JGJ 63规定。

4.2.7 钢筋

钢筋应符合JTG 3370.1规定。

4.3 配合比设计

4.3.1 一般要求

1. 混凝土配合比应针对气候特征和工程条件通过试配确定, 并符合 JGJ 55 规定。
2. 混凝土试配应根据设计强度等级、环境条件、耐久性能、工作性能等要求综合确定, 还应满足抗冻、抗渗和抗侵蚀性等要求。
3. 混凝土抗裂性能应符合 JTG 3370.1 中有关规定。

4.3.2 配合比

4. 混凝土抗渗等级应不小于 P8 级, 水泥品种应按设计要求选用; 有抗冻要求时, 应优先选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。
5. 粗集料、细集料应符合本文件 4.2.2、4.2.3 规定。
6. 砂率应为 36% ~ 42%。
7. 混凝土可掺入减水剂、膨胀剂、减缩剂等外加剂。
8. 最小胶凝材料用量宜不小于 320 kg/m³。粉煤灰掺量宜为 9% ~ 11 %, 可适当掺入矿渣粉、粉煤灰等矿物掺合料以及纤维素。

4.3.2.1 抗冻性能应符合以下要求:

- a) 抗冻等级大于 F100 的混凝土，应掺入引气剂；
- b) 抗冻混凝土所用的粗骨料和细骨料均应进行坚固性试验，并应符合 JGJ 55 规定；
- c) 二次衬砌钢筋混凝土结构中不应使用掺有含氯盐的防冻剂；预应力混凝土中不应使用含有亚硝酸盐或碳酸盐的防冻剂；
- d) 应严格控制最大水胶比和引气剂的掺入量。

4.3.2.2 最大水胶比应符合表 1 规定。

表1 混凝土最大水胶比

抗渗等级	C20~C30 混凝土	C30 以上混凝土
P6	0.60	0.55
P8~P12	0.55	0.50
>P12	0.50	0.45

4.3.2.3 应综合评价混凝土抗裂、收缩和抗渗性能，其试验方法按附录 A、附录 B 及附录 C 执行。

5 施工工艺

5.1 一般要求

- 5.1.1 施工工艺流程见附录 D。
- 5.1.2 混凝土浇筑前，应按设计要求预留洞室、预埋各种构件。
- 5.1.3 混凝土应采用带自动计量的混凝土拌合楼拌和、输送泵输送、搅拌运输车运输。
- 5.1.4 混凝土施工应按 JTG/T 3660 规定执行，并应满足以下要求：
 - a) 混凝土的配合比、原材料的计量、拌和、运输、养生和沉降缝、施工缝的处理，符合设计要求；
 - b) 混凝土浇筑应采用输送泵送料入模、均匀布料，入模温度宜为 5℃ ~ 32℃，拱、墙混凝土应一次性连续浇筑，且振捣密实，无孔洞、蜂窝麻面现象；
 - c) 混凝土应按规定取样试验，结果应符合设计要求。
- 5.1.5 混凝土拌合楼、输送泵及输送管道、搅拌运输车均应采取保温措施；搭设保温停车棚供运输车停车待料时保温。
- 5.1.6 二次衬砌施工前，对围岩涌水、漏水的定位与处置应满足设计要求。
- 5.1.7 二次衬砌施工应采用整体移动式模板台车，具有整体调节升降的液压装置，边墙模板设置可伸缩的液压调节装置或螺杆调节的支撑装置，满足边墙与边墙脚一次浇筑的要求。
- 5.1.8 应根据施工进度及操作合理性要求，设计模板台车的长度，台车必须具有足够的强度、刚度和稳定性。并满足以下要求：
 - 二次衬砌台车宜配置分层布料机，保证混凝土连续、均匀、对称浇筑，减少泵管拆装时间；
 - 混凝土浇筑应采用混凝土输送泵，大小宜根据隧道断面配置，并满足泵送要求；
 - 台车拱顶宜设置混凝土饱满度监测仪，确保二衬拱顶混凝土的密实度。
- 5.1.9 防水、止水带应符合以下要求：
 - 台车就位前，应检查防水板接缝及完整性，对接缝脱落、破损等应重新焊接或修补；
 - 止水带应居中布置、固定牢固，外漏宽度符合设计要求。
- 5.1.10 仰拱初期支护喷射混凝土作业分层施工时，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行，混凝土衬砌应在喷射混凝土施工结束 7d 后进行，仰拱混凝土应在混凝土衬砌施工结束 7d 后进行。
- 5.1.11 二次衬砌施工时，周边变形速率明显下降并趋于缓和，或水平收敛（拱脚附近 7d 平均值）小于 0.2mm/d，拱顶下沉速度小于 0.15mm/d。

5.1.12 应对隧道围岩体因冻胀引起的仰拱或局部变形进行检测，确保二次衬砌施工质量。

5.2 施工准备

5.2.1 施工前拱墙基底浮渣、污物和基坑内积水应清除干净。

5.2.2 放线定位应满足以下要求：

- a) 根据隧道中线、标高及断面尺寸，测量确定衬砌的立模位置，并放线定位；
- b) 确保衬砌不侵入建筑限界，放线定位时应计入预留沉落量，并考虑曲线段加宽；
- c) 预留沉落量的数值可根据监控量测数据确定或参照经验确定。

5.2.3 二衬钢筋安装前，应进行环向和纵向盲管完整性及连接性检测，确保排水管道连接紧密，排水通畅。

5.2.4 根据隧道中线和水平进行测量，检查初期支护断面是否符合设计要求，欠挖部分按规范要求进行凿除，并作好断面检查记录。

5.2.5 模板台车应根据放线位置就位，并检查位置、尺寸、方向、标高、坡度、稳定性等，满足以下要求：

- a) 浇筑时模板拱架不应偏移、扭曲，模板表面光滑、不变形，模板接缝平整不漏浆；
- b) 模板拱架形状应与衬砌断面形状相适应，模板表面各点应不侵入衬砌内轮廓，放样时设计衬砌轮廓线可外扩 50 mm~80 mm，且不影响衬砌厚度，并预留拱架沉降量，施工中应随时测量、调整；
- c) 每一施工循环的前后两端拱架外形尺寸最大误差宜不大于 5 mm；
- d) 单块活动模板长度宜为 1.0 m，最大应不超过 1.5 m，宽度宜不大于 0.5 m；
- e) 挡头模板应与衬砌断面相适应，便于止水带安装；挡头模板安装应固定牢固、封堵严密，不应损坏防水板；
- f) 模板循环使用前应进行检查，出现异常予以修整；
- g) 模板和拱架架设位置应准确，高程应满足设计要求；
- h) 一次浇筑长度宜为 9.0 m~12.0 m。

5.2.6 弧形模板施工应符合以下规定：

- a) 混凝土衬砌模板及支架具有足够的强度、刚度和稳定性；
- b) 按设计要求设置沉降缝，衬砌施工缝应与设计的沉降缝、伸缩缝结合布置；
- c) 安装模板时检查中线、高程、断面和净空尺寸；
- d) 模板安装前仔细检查防水板、排水盲管、衬砌钢筋、预埋件等隐蔽工程做好记录。

5.2.7 安装钢筋时，钢筋长度、间距、位置、保护层厚度应满足设计要求。

5.3 混凝土拌和

5.3.1 混凝土拌和前，应进行以下准备工作：

- a) 检查搅拌机及上料设备，并试运行；
- b) 检查所有计量器具，并定磅；
- c) 校对施工配合比；
- d) 检查所有原材料的质量、规格、品种、产地及牌号等，并核对施工配合比；
- e) 检测砂石的含水率，应及时调整用水量。

5.3.2 混凝土拌和应满足以下要求：

- a) 按计量要求集中拌和，并控制混凝土入模温度、坍落度，保证和易性，浇筑后应及时养护；
- b) 采用强制式拌和机，搅拌投料顺序为：石子→砂→水泥→水→掺合料→外加剂。投放干料时应缓慢、均匀、分散加水。加水后搅拌时间宜比普通混凝土搅拌时间延长 0.5 min；

- c) 按试验室配合比进行操作，不准擅自修改。

5.4 混凝土运输

5.4.1 混凝土运输应满足以下要求：

- a) 采用搅拌运输车运送，运送时间应不超过 45 min，运送中不应产生离析或初凝现象；
- b) 环境温度低于 5℃施工时，应做好搅拌车保温措施；
- c) 混凝土运输过程中，不应停止搅拌，不准许加水。

5.4.2 根据水泥初凝时间及施工温度，确定混凝土加水拌和至入模的最长时间。

5.4.3 混凝土应使用输送泵输送入模，且满足以下要求：

- a) 浇筑前应拌和 $2\text{ m}^3 \sim 3\text{ m}^3$ 与混凝土同强度的砂浆，润滑输送管道，当砂浆输送顺利后，方可进行混凝土输送；
- b) 输送过程中应保证混凝土的和易性、均匀性；
- c) 根据输送泵运转情况实时调整档位，并随时检查工作油温及压力表，确保正常运转。

5.5 混凝土浇筑

5.5.1 浇筑混凝土前，应检查防排水系统的完整性、可靠性；清除初期支护层或防水层表面的粉尘，并洒水润湿。

5.5.2 混凝土浇筑满足以下要求：

- a) 浇筑混凝土入模温度应不小于 5℃；
- b) 混凝土浇筑应直接入仓，自由跌落(垂直地或倾斜地)距离应不大于 1.2 m；
- c) 振捣方式宜采用附着式和插入式相结合，振捣时不应损坏防水层；采用高频机械振捣时，振捣时间宜为 10 s~30 s；
- d) 混凝土应对称、分层、连续浇筑，两侧同时或交替进行，每层厚度宜为 15 cm~30 cm；
- e) 混凝土表面超过拱顶时，泵送管道出口应埋设在混凝土内，保证拱顶所有空间均填满、密实。

5.5.3 沉降缝、施工缝和伸缩缝施工应满足以下要求：

- a) 围岩存在对衬砌有不良影响的硬、软岩层分界处应设置沉降缝；
- b) 衬砌的分段施工缝应与设计沉降缝、伸缩缝及设备洞的位置综合考虑、合理确定。拱墙衬砌沉降缝、伸缩缝应与仰拱混凝土衬砌沉降缝、伸缩缝竖向对齐；
- c) 沉降缝的设置位置应使拱圈、边墙和仰拱在同一里程断面上贯通；
- d) 应在洞口和易受冻害地段设置伸缩缝。

5.6 混凝土拆模与养护

5.6.1 混凝土拆模应满足以下要求：

- a) 混凝土强度达到设计强度 75%时，方可拆模；
- b) 拆模时预埋件或预留洞(盒)不应损伤、变形等；
- c) 不承受外荷载的拱、墙混凝土拆模时强度应达到 5.0MPa；承受围岩压力的拱、墙以及封顶和封口的混凝土拆模时强度应达到设计要求；围岩和初期支护变形未稳定，或在塌方地段浇筑的衬砌混凝土拆模时强度应达到设计强度的 100%；
- d) 每次拆模后，应及时清理模板表面，并检修。

5.6.2 混凝土养护满足以下要求：

- a) 混凝土浇筑 10 h~20 h 后，即可洒水养护；
- b) 根据施工温度、相对湿度、水泥品种等确定养护龄期和洒水次数，养护龄期宜为 7 d~14 d；

- c) 当施工现场昼夜平均气温连续 3d 稳定低于 5℃或最低气温低于-3℃时，浇筑的混凝土应采取冬期防冻措施。冬期施工期间，混凝土强度达到设计强度的 60%之前，不应受冻。

6 质量检验

6.1 材料检验

- 6.1.1 每批原材料进场后均应进行试验检验。
 6.1.2 施工中对每工班的原材料、配合比及拌和均匀性检查应不少于 2 次，严格控制砂的含水量。
 6.1.3 二次衬砌混凝土的检查应符合 JTG F80/1 规定。

6.2 外观质量检查

- 6.2.1 采用目视及器具对露出面、裂缝、施工缝等情况进行检查，并符合以下要求：
 a) 蜂窝麻面面积不应超过该面总面积的 0.5%，深度不应超过 10mm；
 b) 隧道衬砌钢筋混凝土结构裂缝宽度不应超过 0.2mm，混凝土结构裂缝宽度不应超过 0.4mm。
 6.2.2 基于目视检查结果，必要时应采用回弹仪和钢筋保护层厚度测定仪等检测。
 6.2.3 检查结果有异常时，应采取处理措施。

6.3 形状、尺寸检查

完工后应按 JTG F80/1 规定对衬砌净空断面尺寸、强度、厚度、墙面平整度及背部密实状况进行检测。检查结果不合格，应采取措施进行处理，并复测，直至满足检测评定标准要求。

6.4 强度检查

- 6.4.1 强度检查采用混凝土回弹强度法等非破坏检查方法，应符合 GB/T 50784 规定。
 6.4.2 检查结果不合格时，应采取处理措施。

6.5 实测项目

二次衬砌混凝土实测项目应符合表2规定。

表2 二次衬砌混凝土实测项目

项次	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/MPa	在合格标准内	按JTG F80/1 附录D检查
2	衬砌厚度/mm	90%的检查点的厚度≥设计厚度，且最小厚度≥0.5设计厚度	尺量：每20m 检查1个断面，每个断面测5点。 按JTG F80/1附录R检查：沿隧道纵向分别在拱顶、两侧拱腰、两侧边墙连续测试，共5条测线，每10m 检查1个断面，每个断面测5点。
3	墙面平整度/mm	施工缝、变形缝处≤20 其它部位≤5	2m直尺：每20m每侧连续检查5尺，每尺测最大间隙。
4	衬砌背部密实状况	无空洞、无杂物	按JTG F80/1附录R检查：沿隧道纵向分别在拱顶、两侧拱腰、两侧边墙连续测试共5条测线。

附 录 A
(规范性)
早期抗裂试验

A. 1 试件

本试验方法采用平面薄板型试件，标准试件尺寸为800 mm×600 mm×100 mm，每组2个试件。

A. 2 试验装置

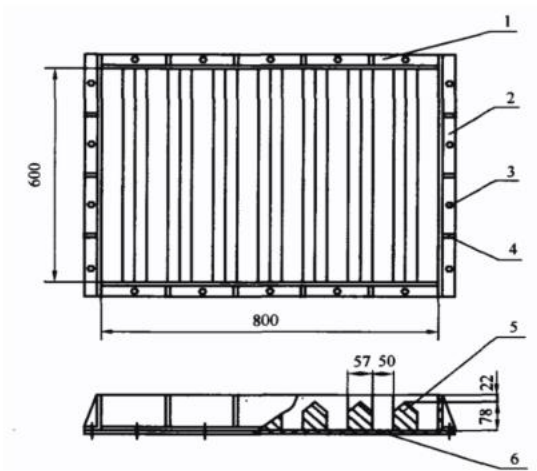
A. 2. 1 试模要求

采用钢制模具，模具四边用槽钢焊接，四边与底板用螺栓固定。模具内的7根应力诱导发生器，分别用50 mm×50 mm、40 mm×40 mm角钢与5 mm×50 mm钢板焊接组成，并平行于模具短边，与底板固定。底板应采用不小于5 mm厚的钢板，并在底板表面铺设聚乙烯薄膜隔离层。模具作为测试装置的一个部分，测试时应于试件连在一起。

A. 2. 2 试模尺寸

形状和尺寸如图A. 1所示。

单位：mm



标引序号说明：

- 1——长侧板；
- 2——短侧板；
- 3——螺栓；
- 4——加强肋；
- 5——裂缝诱导器；
- 6——底板。

图 A. 1 试模形状尺寸示意图

A.3 试验步骤

试验应按以下步骤进行：

- a) 试验温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $60\% \pm 5\%$ ；
- b) 将混凝土浇筑至模具内，混凝土摊平后表面应比模具略高，使用平板表面式振捣器或者采用捣棒插捣，防止过振和欠振；
- c) 振捣后应整平，表面平实，集料不外露；
- d) 试件成型 30min 后，风扇应置于试件表面中心正上方 100mm 位置，风速为 $(5 \pm 0.5)\text{ m/s}$ ，使风向平行于试件表面与烈风诱导器布置方向一致，直至试验结束；
- e) 混凝土浇筑 $24\text{h} \pm 0.5\text{h}$ 后应检测裂缝，并应满足以下要求：
 - 裂缝长度以肉眼可见裂缝为准，用钢直尺测量，取裂缝两端直线距离为裂缝长度；
 - 当一个刀口上有两条裂缝时，可将两条裂缝的长度相加，折算成一条裂缝的长度；
 - 采用放大倍数大于 40 倍的读数显微镜（分度值为 0.01 mm ），测量每条裂缝的最大宽度。
- f) 根据检测裂缝的数据，计算平均开裂面积、单位面积的裂缝数目和单位面积上的总开裂面积。

A.4 数据处理

A.4.1 每条裂缝的平均开裂面积应按公式 A.1 计算：

$$a = \frac{1}{2N} \sum_i^N (W_i \times L_i) \dots\dots\dots \text{(A.1)}$$

式中：

- W_i ——第 i 根裂缝的最大宽度，毫米；
- L_i ——第 i 根裂缝的长度，毫米；
- N ——总裂缝数目，条；
- a ——每条裂缝的平均开裂面积，每条平方毫米。

A.4.2 单位面积的裂缝数目应按公式 A.2 计算：

$$b = \frac{N}{A} \dots\dots\dots \text{(A.2)}$$

式中：

- A ——平板的面积，平方米；
- N ——总裂缝数目，条；
- b ——单位面积的裂缝数目，每条每平方米。

A.4.3 单位面积上的总开裂面积应按公式 A.3 计算：

$$c = a \times b \dots\dots\dots \text{(A.3)}$$

式中：

- a ——每根裂缝的平均开裂面积，每条平方毫米；
- b ——单位面积的裂缝数目，每条每平方米；
- c ——单位面积上的总开裂面积，每平方米平方毫米。

附录 B
(规范性附录)

B.1 试件

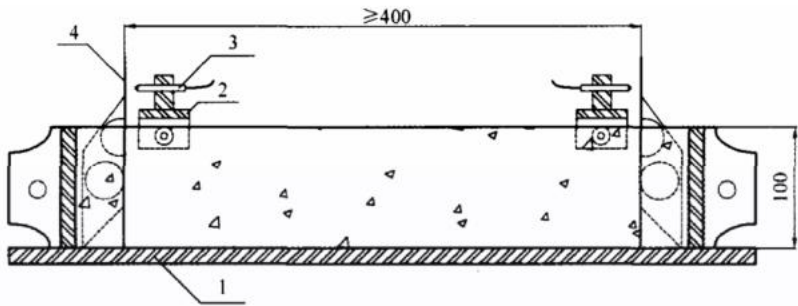
本方法采用100 mm×100 mm×515 mm的棱柱体标准试件，每组3个试件。

B.2 试验设备

B.2.1 非接触法混凝土收缩变形测定仪

非接触式混凝土收缩变形测定仪应设计成整机一体化装置，并具备自动采集和处理数据的功能，整个测试装置（含试件、传感器等）应固定于具有避震功能的固定式实验台面上，构造原理如图B.1。

单位：mm



标引序号说明：

- 1——试模；
- 2——固定架；
- 3——传感器探头；
- 4——反射靶。

图 B.1 非接触法混凝土收缩变形测定仪构造原理图

B.2.2 试模

应采用可靠方式将反射靶固定于试模上，试模应具有足够的刚度，试模长度应保证混凝土试件的测量标距不小于 400 mm。

B.2.3 位移传感器和反射靶

- B.2.3.1 传感器的测试量程应不小于试件测量标距的0.1%，测试精度应不小于0.005 mm。
- B.2.3.2 应采用可靠方式将非接触传感器侧头固定，确保侧头与试模相对位置固定不变。
- B.2.3.3 反射靶的构造形式及埋设方式应保证其与混凝土同步工作，即反射靶能够随着混凝土的收缩而同步移动。

B.3 试验步骤

- B.3.1 试验温度应为20℃±2℃，相对湿度应为60%±5%。
- B.3.2 试模内先涂刷润滑油，再铺设2层塑料薄膜，每层薄膜上均匀涂抹一层润滑油，使混凝土在试模中应能自由变形，并将反射靶固定在试模两端。
- B.3.3 将混凝土拌合物浇筑在试模中，振动成型后，并抹平，应带模立即移入恒温恒湿室。
- B.3.4 成型试件时应按GB/T 50080规定，测定混凝土的初凝时间。
- B.3.5 当初凝或接近初凝时，采用固定于试模两端的非接触式位移传感器测定试件左右两侧的初始读数，此后至少应按每隔1h或规定的时间间隔测定试件两侧的变形读数。
- B.3.6 试件放置在变形测定仪的位置和方向均应始终保持固定不变。
- B.3.7 测定混凝土自身收缩值的试件，浇筑振捣后应立即用塑料薄膜密封处理。

B.4 数据处理

B.4.1 混凝土收缩率应按公式B.1计算：

$$\epsilon_{st} = \frac{(L_{1i} - L_{10}) + (L_{2i} - L_{20})}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- i ——混凝土收缩率试验测试期，h；
- ϵ_{st} ——测试期为t的混凝土收缩率，t从测定试件初始读数时算起；
- L_{10} ——左侧非接触式位移传感器测定初始读数，mm；
- L_{1i} ——左侧非接触式位移传感器测试期为t的测定读数，mm；
- L_{20} ——右侧非接触式位移传感器测定初始读数，mm；
- L_{2i} ——右侧非接触式位移传感器测试期为t的测定读数，mm；
- L_0 ——试件测量标距，等于试件长度减去试件中两个反射靶沿试件长度方向埋入试件中的长度之和，mm。

B.4.2 取3个试件测试结果的算术平均值作为该混凝土的早期收缩值，计算精度为 1.0×10^{-6} ，作为相对比较的混凝土早期收缩值以3d龄期测试得到的混凝土收缩值为准。

附 录 C
(规范性)
抗水渗透试验

C.1 试验设备

试验过程使用的设备主要有：

- a) 混凝土抗渗仪：应使水压能按规定稳定作用在试件上。仪器施压范围：0.1 MPa～2.0 MPa；
- b) 圆台体试模：上口直径 175 mm、下口直径 185 mm、高 150 mm；
- c) 密封材料：石蜡加松香或水泥加黄油等；
- d) 梯形板：采用尺寸为 200 mm×200 mm 的玻璃或者其它透明材料制成，尺寸见图 C.1，并标有十条等间距垂直于上下端的直线；

单位：mm

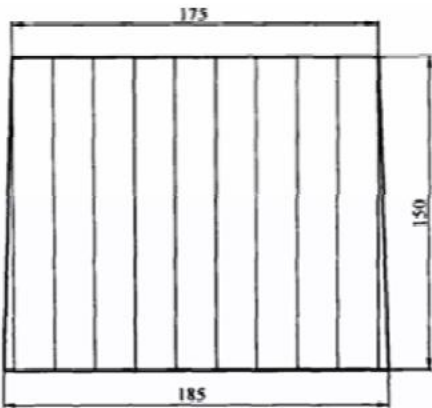


图 C.1 梯形板示意图

- e) 钢尺：分度值为 0.1 mm；
- f) 计时器：分度值为 1 min；
- g) 辅助设备：螺旋加压器、烘箱、电炉、浅盘、铁锅、钢丝网等；
- h) 加压设备：采用螺旋加压或其它加压形式，其压力以能将试件压入试模内为宜。

C.2 试验步骤

- C.2.1 试件制作和养护应按规定方法进行，制作抗渗试件时试模内不宜涂刷憎水脱模剂，每组6个试件。
- C.2.2 试件拆模后应清除两端水泥浆膜，标准养护室进行养护。
- C.2.3 应在养护龄期（一般为28 d）前一天，取出试件，擦拭干净、晾干后，密封试件。
- C.2.4 石蜡密封时应在试件侧面滚涂一层熔化的石蜡（内加少量松香）。再用螺旋加压器将试件压入经预热的试模中，使试件与试模底平齐，试模变冷后解除压力。试模预热温度应以石蜡接触试模后缓慢熔化、不流淌为宜。
- C.2.5 水泥和黄油密封的质量比为（2.5～3.0）:1.0。试件表面晾干后，应使用三角刀将密封材料均匀刮涂在试件侧面，厚度为1 mm～2 mm。压入试模，并与试模底齐平。也可采用其它密封方式。

C.2.6 启动抗渗仪，开通阀门，使水从6个孔中渗出，充满试位坑。关闭抗渗仪，将密封好的试件置于抗渗仪上。

C.2.7 试验时水压应为 $1.2 \text{ MPa/d} \pm 0.05 \text{ MPa/d}$ 。加压过程应不大于5 min，压力稳定时间作为试验记录起始时间（精确至1 min）。稳压过程中应随时观察试件端面的渗水情况，当其中某一个试件端面出现渗水时（此时该试件的渗水高度即为试件高度），则停止试验，并记录时间。

C.2.8 试件端面未出现渗水情况时，试验24h后应停止试验，取出试件。试验过程中，如水从试件周边渗出，应重新密封。

C.2.9 试件放在压力机上，在试件上下两端面直径处各放一根直径为6 mm的钢垫条，应保证它们在同一竖直平面内，开动压力机，将试件沿纵断面劈裂为两半。标记水痕，不宜太粗，即为渗水轮廓。

C.2.10 梯形板放在试件劈裂面上，用尺沿水痕等间距量测10个点的渗水高度值，读数精确至0.1 mm。

C.3 数据处理

C.3.1 平均渗水高度：以10个测点处渗水高度的算术平均值作为该试件的渗水高度。计算6个试件的渗水高度的算术平均值，作为该组试件的平均渗水高度。

C.3.2 平均渗水高度应按公式C.1计算。

$$\overline{h_{i,j}} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left[\left(\sum_{j=1}^{10} h_{i,j} \right) / 10 \right]}{6} \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

式中：

$\overline{h_{i,j}}$ ——6个试件的平均渗水高度，mm；

$h_{i,j}$ ——第i个试件第j个测点的渗水高度，mm。

C.3.3 相对渗透系数应按公式C.2计算：

$$K_k = \frac{\alpha \times \overline{h_{i,j}}}{2TH} \dots\dots\dots (\text{C.2})$$

式中：

K_k ——相对渗透系数，mm/h；

$\overline{h_{i,j}}$ ——6个试件的平均渗水高度，mm；

H ——水压力，以水柱高度表示，mm；

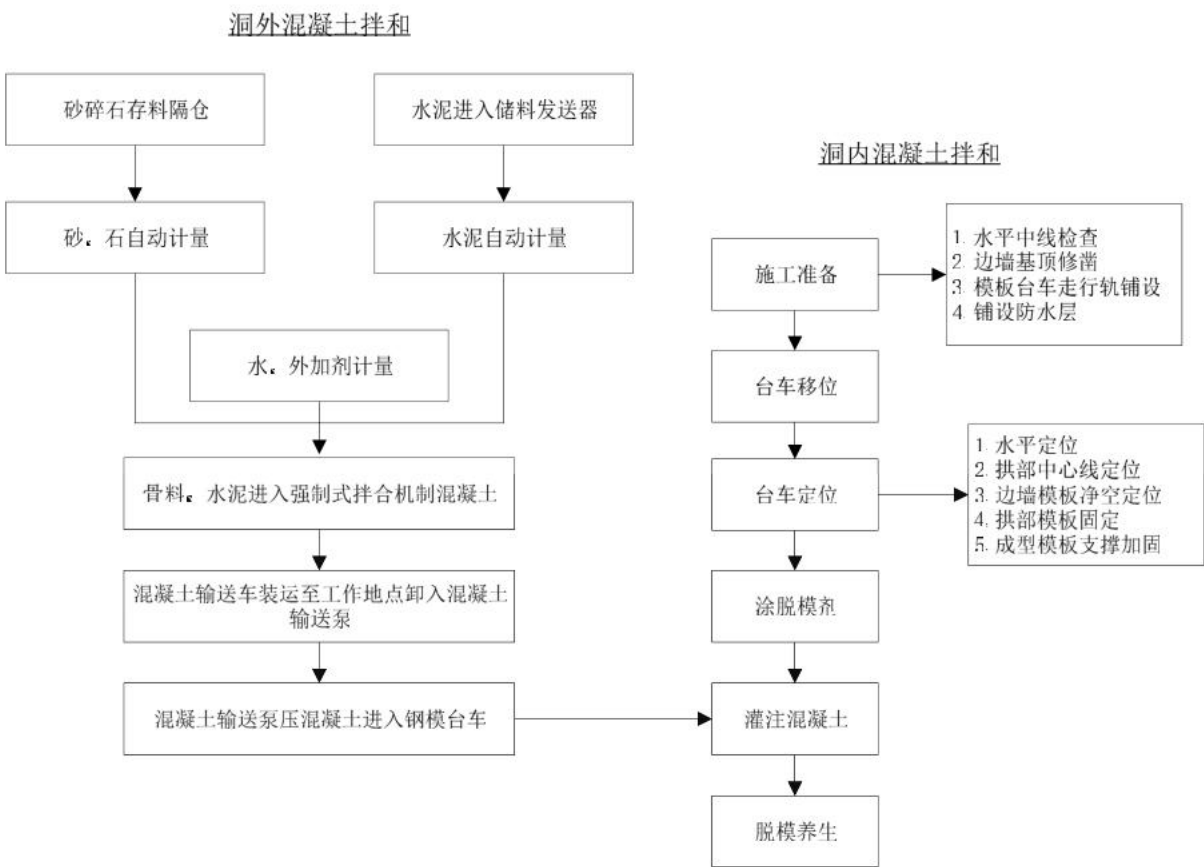
T ——恒压经过时间，h；

α ——混凝土吸水率，无试验条件时可取0.03，即为3%。

C.3.4 每组6个试件渗透系数的算术平均值作为渗透系数试验结果。当最大值和最小值均应不大于6个试件渗透系数平均值的30%时，取平均渗透系数为试验结果；否则应剔除1个最大值和1个最小值，取其余4个平均渗透系数为试验结果。

附 录 D
(规范性)
公路隧道二次衬砌混凝土施工工艺流程图

公路隧道二次衬砌混凝土施工工艺流程见图D. 1。



图D. 1 公路隧道二次衬砌混凝土施工工艺流程图