

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1929—2024

公路隧道喷锚单层衬砌设计与施工 技术指南

Technical guide for design and construction of shotcrete and bolt single-shell lining
for highway tunnel

2024 - 12 - 26 发布

2025 - 01 - 26 实施

陕西省市场监督管理局 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 建筑材料 2

5 设计 3

6 施工 6

7 施工质量检测 7

附录 A （规范性） 隧道主洞和辅助通道（除竖井）喷锚单层衬砌设计参数 9

附录 B （规范性） 竖井喷锚单层衬砌设计参数 10

附录 C （规范性） 隧道内沿程摩擦阻力测试 11

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。

本文件由陕西省交通运输厅提出。

本文件由陕西省交通运输厅归口。

本文件起草单位：长安大学、陕西交通控股集团有限公司、中交第一公路勘察设计研究院有限公司。

本文件起草人：陈建勋、罗彦斌、赵鹏宇、陈丽俊、王传武、刘伟伟、赵超志、仵涛、韩常领、王万平、曹校勇、赫连超、毛金沙、董长松、苟超、张长胜。

本文件由长安大学解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：长安大学

电话：029-82334887

地址：陕西省西安市南二环路中段长安大学

邮编：710064

公路隧道喷锚单层衬砌设计与施工技术指南

1 范围

本文件规定了公路隧道喷锚单层衬砌建筑材料、设计（衬砌、防排水、耐久性和通风设计）、施工和施工质量检测的要求。

本文件适用于以钻爆法为主要开挖手段的新建或改扩建公路隧道正洞、斜（竖）井等辅助通道构造物的喷锚单层衬砌设计和施工。

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 175 通用硅酸盐水泥
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB 6722 爆破安全规程
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ/T 372 喷射混凝土应用技术规程
- JTG/T D70 公路隧道设计细则
- JTG/T D70/2-02 公路隧道通风设计细则
- JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG 3370.1 公路隧道设计规范 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

喷锚单层衬砌 shotcrete and bolt single-shell lining
由一层或多层喷锚支护组成的衬砌结构。

3.2

钢纤维 steel fiber

钢材料通过切断、薄钢片切削、钢锭铣削或由熔钢抽取等方法制成，并能随机分布于喷射混凝土中短而细的钢丝。

3.3

合成纤维 synthetic fiber

以合成高分子化合物为原料，经过挤出、拉伸、改性等工艺制成的短细丝。

3.4

纤维喷射混凝土 fiber reinforce shotcrete

混凝土拌合物由胶凝材料、骨料、纤维等组成的喷射混凝土。

3.5

沿程摩擦阻力 friction resistance along the way

风流与隧道周壁互相摩擦以及风流中空气分子间的扰动和摩擦而产生的阻力。

4 建筑材料

4.1 一般要求

4.1.1 喷锚单层衬砌建筑材料的选用应符合下列规定：

- a) 应符合衬砌结构强度和耐久性要求，同时满足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应采用具有抗侵蚀性能的水泥和集料配制，其抗侵蚀性能要求视水的侵蚀特性确定。

4.1.2 喷锚单层衬砌常用的喷射混凝土包括普通喷射混凝土和纤维喷射混凝土，纤维喷射混凝土可选用合成纤维喷射混凝土或钢纤维喷射混凝土。

4.1.3 喷锚单层衬砌用锚杆宜为全长黏结型锚杆，锚杆孔内应注满水泥砂浆或树脂。变形较大的围岩地段可采用预应力锚杆。预应力锚杆的锚固端必须锚固在稳定岩层内，预加力不应小于 100 kPa。

4.2 原材料

4.2.1 喷射混凝土用水泥、集料、水等基质材料应满足下列要求：

- a) 水泥应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，并符合 GB 175-2023 中第 5、6 和 7 章的规定。水泥强度等级不应低于 42.5 级，用量不宜小于 300 kg/m³；
- b) 粗集料应采用坚硬耐久的碎石或卵石，不得使用碱活性材料；石子粒径不宜大于 16 mm，钢纤维喷射混凝土中的石子粒径不宜大于 10 mm；
- c) 集料级配宜采用连续级配，细集料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数宜大于 2.5，砂的含水率宜控制在 5 %～7 %，砂率宜为 50 %～60 %；
- d) 水泥等胶凝材料与集料比宜为 1：4～1：4.5；
- e) 用水水质应符合 JGJ 63-2006 中 3.1 条的规定。

4.2.2 喷射混凝土用粉煤灰、硅粉等矿物掺合料应满足下列要求：

- a) 粉煤灰的级别不宜低于Ⅱ级，烧失量不应大于 5 %，掺量应通过试验确定，其他性能应符合 GB/T 1596-2017 的有关规定；
- b) 硅粉比表面积不应低于 15000 m²/kg，二氧化硅含量不应小于 85 %，掺量宜为水泥重量的 5 %～10 %。

4.2.3 喷射混凝土用速凝剂、减水剂等添加剂应满足下列要求：

- a) 速凝剂应与水泥具有良好的适应性，掺速凝剂的水泥净浆初凝时间不应大于 3 min，终凝时间不应大于 12 min；掺速凝剂的喷射混凝土试件，28 d 强度不应低于不掺速凝剂强度的 90 %；应采用无碱速凝剂；
- b) 减水剂可采用普通减水剂、高效减水剂或高性能减水剂，应与水泥有良好的相容性，pH 值、密度（或细度）、含固量（或含水率）、减水率等应符合 GB 8076-2008 中第 5 章的规定。

4.2.4 喷射混凝土用钢纤维宜采用普通碳素钢制成，并应满足如下要求：

- a) 钢纤维抗拉强度不应低于 380 MPa，宜用等效直径为 0.3 mm~0.5 mm 的方形或圆形断面，长度宜 20 mm~25 mm，并不得大于拌合物输送管内径的 0.7 倍，长度直径比宜为 40~60，掺量宜为干混合料质量的 1.5 %~4 %；
- b) 钢纤维表面不应有明显的锈蚀和油渍及其它妨碍钢纤维与水泥粘结的杂质，其中因加工不良造成的粘连片、铁屑及杂质含量不应超过钢纤维重量的 1.0%。

4.2.5 喷射混凝土用合成纤维应满足如下要求：

- a) 合成纤维抗拉强度不宜低于 280 MPa，直径宜为 10 μm~100 μm，长度宜为 4 mm~25 mm，纤维掺量应根据试验确定；
- b) 纤维表面不应有明显的油渍及其它妨碍纤维与水泥粘结的杂质。

4.2.6 全长黏结型锚杆应满足如下要求：

- a) 杆体材料宜采用 HRB335、HRB400 热轧带肋钢筋；
- b) 杆体钢筋直径宜为 20 mm~28 mm；
- c) 水泥砂浆浆液材料应根据设计要求确定，并不得对杆体产生不良影响，且注入水泥砂浆浆液中的砂子直径不应大于 2 mm；
- d) 垫板宜用 Q235 热轧钢板，厚度不宜小于 8 mm，尺寸不宜小于 150 mm×150 mm；
- e) 锚杆杆体与孔壁间的水泥浆或水泥砂浆结石体的强度等级不应低于 M20；
- f) 对于自稳时间短的围岩，宜用树脂锚杆或早强水泥砂浆锚杆；岩体破碎、成孔困难的围岩，宜采用自进式锚杆。

4.3 喷射混凝土

4.3.1 普通喷射混凝土力学性能符合下列要求：

- a) 设计强度等级不应低于 C25；
- b) 1d 龄期的抗压强度不应低于 8 MPa；
- c) 与岩石的粘结强度不应低于 0.8 MPa，与混凝土之间的粘结强度不应低于 1.0 MPa；
- d) 弹性模量不应低于 26 GPa。

4.3.2 纤维喷射混凝土的设计强度等级不应低于 C30。

5 设计

5.1 基本要求

5.1.1 喷锚单层衬砌结构设计应综合考虑功能需求、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。

5.1.2 喷锚单层衬砌结构形式和设计参数应根据使用要求、工程地质、水文地质、隧道埋深、围岩级别、结构受力特点，并结合工程施工和环境条件，综合采用工程类比和计算分析确定。在隧道施工阶段，应根据超前地质预报及现场监控量测信息对支护参数进行必要的调整。

5.1.3 喷锚单层衬砌应有足够的强度、稳定性和耐久性，满足设计使用年限要求。

5.1.4 公路隧道喷锚单层衬砌地段应进行通风设计和计算，必要时可采用相关措施降低隧道沿程阻力系数。

5.1.5 喷锚单层衬砌防排水设计一般以“引、排”为原则。对局部出水较多段落，应进行专项设计。

5.1.6 在以下情况的公路隧道宜设置喷锚单层衬砌：

- a) 地下水不发育，衬砌结构不承担较高静（动）水压力，或注浆堵水后地下水较小的地段；
- b) 辅助通道，包括竖井、斜井、平行通道、车行横通道、人行横通道、送风道、排风道、运输通道等；
- c) 无滑动可能的倾斜岩层（如顺层滑动、滑坡等）地段；
- d) 地震动峰值加速度小于 $0.2g$ 地区的深埋隧道；
- e) 非活动性断层及活动性断层影响带；
- f) 非塌方地段或无显著不对称围岩荷载的地段；
- g) 非软岩、冻土、黄土、膨胀（岩）土、高地应力、严寒等特殊地质、环境地段。

5.2 衬砌设计

5.2.1 喷锚单层衬砌喷射混凝土、锚杆、钢架设计应符合 JTG 3370.1-2008 中 8.2 条的相关规定，喷射混凝土强度等级不应低于 C25，纤维喷射混凝土强度等级不应低于 C30。

5.2.2 衬砌结构设计宜根据 JTG 3370.1-2008 中 3.6 条和 JTG/T D70-2010 中 6.3 条围岩分级相关规定，选择相应的衬砌结构形式和支护参数，包括喷射混凝土类型和厚度、锚杆长度和间距、钢架间距和截面高、超前支护形式等。不同开挖跨度下不同围岩级别隧道主洞和辅助通道（除竖井）采用的支护形式和设计参数可参考表 A.1。不同开挖跨度下不同围岩级别隧道竖井采用的支护形式和设计参数可参考表 B.1。

5.3 防排水设计

5.3.1 地下水发育地段可采用超前预注浆、开挖后径向注浆等堵水措施，减小地下水排放量。

5.3.2 喷锚单层衬砌可通过以下措施提高自防水能力：

- a) 掺加硅粉、粉煤灰等添加剂。
- b) 在单层衬砌中间施作一层聚合物改性喷射混凝土用作防水层；
- c) 喷射混凝土不同层之间喷射防水涂料层，如喷射防水薄膜等。

5.3.3 在喷射混凝土施工前，应依据不同的围岩出水形式采用不同的引水方法。小股涌水和裂隙线状渗水，可采用半圆管等环向排水管进行引水；大面积的片状渗水，可采用排水板进行环向引水。

5.3.4 隧道两侧路面可设置双侧水沟，进行隧道集中排水。双侧水沟纵向坡度可与隧道纵坡一致。

5.3.5 在距衬砌墙脚底部 10 cm 位置的衬砌与围岩面之间，可设置打孔波纹管，波纹管一端与环向引水措施连通，另一端与双侧排水沟连通（预留合适长度至排水沟）。

5.4 耐久性设计

喷锚单层衬砌应符合耐久性要求，必要时采取以下措施提高耐久性：

a) 掺加粉煤灰、硅粉等添加剂提高喷射混凝土抗渗性能，喷射混凝土在压力恒定为 $0.8\text{ MPa} \pm 0.05\text{ MPa}$ ，时间 24 h 标准试验条件下渗水深度 D 不应大于 7.8 cm，抗渗等级不应低于 P8；

b) 采用添加合成纤维或钢纤维，提高喷射混凝土韧性和抗裂性能；

c) 钢架临空一侧的喷射混凝土保护层厚度不应小于 40 mm，钢筋网喷射混凝土保护层厚度不应小于 20 mm。

5.5 通风设计

5.5.1 隧道沿程阻力系数 λ 应根据现场沿程摩擦阻力测试计算确定，若不具备测试条件，可取平均壁面粗糙度 72.5 mm，并按 $\lambda = 1/\left[1.1138 - 2\lg(\Delta/D)\right]^2$ （ Δ 为平均壁面粗糙度、 D 净空断面当量直径）进行计算。

5.5.2 隧道通风设计前宜进行沿程摩擦阻力测试，相关要求见附录 C。

5.5.3 大坡度隧道沿程阻力系数计算应考虑高差、纵向温差的影响，其值可按公式（1）进行计算

$$\lambda = \frac{2 \times [\Delta H_r - \rho_a \times g \times \Delta Z + (\rho_1 - \rho_2) \times g \times \Delta Z] \times D_{\text{avg}}}{L \times \rho_a \times v_{\text{avg}}^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ρ_1 —试验段断面 1（见图 1）所在位置空气平均密度；

ρ_2 —试验段断面 2（见图 1）所在位置空气平均密度；

ρ_a —试验段内空气平均密度， $\rho_a = (\rho_1 + \rho_2)/2$ ；

v_1 —试验段断面 1 所在位置平均风速；

v_2 —试验段断面 2 所在位置平均风速；

v_{avg} —试验段内平均风速， $v_{\text{avg}} = (v_1 + v_2)/2$ ；

g —重力加速度；

L —试验段长度；

Z_1 —试验段断面 1 所在位置的高程；

Z_2 —试验段断面 2 所在位置的高程；

ΔZ —试验段高差， $\Delta Z = Z_1 - Z_2$ ；

D_{avg} —试验段平均当量直径， $D_{\text{avg}} = \sum_i^n D_i = \sum_i^n \frac{4S_i}{U_i}$ ，可由试验段内多个断面的当量直径求算术

平均得到；

S_i —试验段内某一断面的净空面积；

U_i —试验段内某一断面的周长；

$H_{r,1}$ —试验段断面 1 所在位置的空气平均全压值；

$H_{r,2}$ —试验段断面 2 所在位置的空气平均全压值；

P_1 —试验段断面 1 所在位置的大气压；

P_2 —试验段断面 2 所在位置的大气压；

ΔH_r —试验段断面 1 和断面 2 之间考虑大气压进行修正后的全压差，

$$\Delta H_r = (H_{r,1} - H_{r,2}) + (P_1 - P_2)。$$

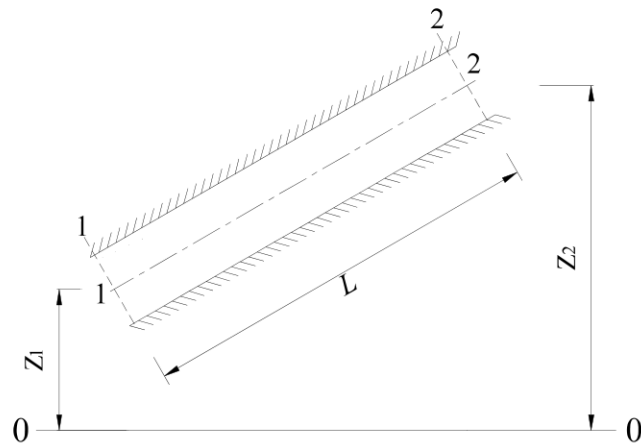


图 1 隧道内沿程摩擦阻力测试试验段示意图

5.5.4 应将计算得到的沿程阻力系数值代入 JTG/T D70/2-02-2014 中的第 7 章进行隧道通风设计计算。

6 施工

6.1 基本要求

- 6.1.1 公路隧道喷锚单层衬砌施工应采用技术先进、经济合理、安全可靠的装备、工艺、材料和施工方法。
- 6.1.2 隧道爆破应采用光面爆破。
- 6.1.3 喷锚单层衬砌材料的标准、规格及材料配比、外加剂类型和掺量要求应满足衬砌设计强度、性能和施工工艺要求。
- 6.1.4 隧道防排水应采取切实可行的施工措施，达到防水可靠、排水通畅、经济合理的目的。防排水材料应根据工程的水文和地质条件、耐久性要求、施工技术水平、防水等级、地下水腐蚀性，选用适宜的材料。

6.2 洞身开挖

- 6.2.1 隧道应根据衬砌设计、开挖断面大小、工法转换的难易、机械设备的配置、工期要求、地质条件及环境制约等因素，选择合适的开挖方法，如台阶法、全断面法等。
- 6.2.2 隧道开挖时，可通过增加导爆索、减小药卷、增大不偶合系数等措施提高光面爆破效果，主要钻爆参数应通过计算和试验确定，并按施工中的爆破效果及时优化调整。爆破作业应符合 GB 6722-2014 中第 6 章的有关规定。
- 6.2.3 隧道周边不应欠挖，平均线性超挖值应小于 100 mm，超挖应回填密实。

6.3 衬砌施作

- 6.3.1 衬砌施作方式应与开挖方法协调配套，采用有利于缩小围岩裸露面积和裸露时间的施工工序和方法。
- 6.3.2 衬砌施作前，应将受喷岩面的浮石、岩屑、杂物和粉尘等清除干净。
- 6.3.3 喷锚单层衬砌喷射混凝土应采用湿喷工艺。
- 6.3.4 喷射混凝土施工前应进行配合比设计，根据试喷试验情况，优化配合比及施工工艺。
- 6.3.5 施工缝应避开环向排水管路和结构层湿渍部位。

6.3.6 喷锚单层衬砌喷射混凝土作业除应符合 JTG/T 3660-2020 中 9.2 条的规定外,还应满足下列要求:

- a) 喷射混凝土作业区气温不宜低于+5℃;
- b) 喷射作业时应保证供料连续均匀,且机器正常运转时料斗内应保持足够的存料,喷射料流连续均匀;
- c) 喷头应与受喷面垂直,距离应与工作气压相适应;
- d) 拱部喷射混凝土回弹率不应大于 20%,边墙不应大于 10%;
- e) 严格控制水灰比,喷到岩面上的混凝土应湿润、粘塑性好,无干斑或滑落流淌现象;
- f) 喷射混凝土终凝 2 h 后应进行养护,时间不应少于 7 d;
- g) 隧道内环境温度低于+5℃时,不得洒水养护;
- h) 隧道爆破作业应在上一循环喷射混凝土终凝 3 h 后进行。

6.4 防排水施作

6.4.1 防排水系统施工前应观测隧道内围岩渗漏水情况,并进行分类和统计,采取针对性的处理措施。

6.4.2 对有涌水、渗水或潮湿的岩面,喷射混凝土前应按下述不同情况处理:

- a) 大股涌水宜采用注浆堵水后再喷射混凝土;
- b) 小股涌水或裂隙渗水宜采用岩面注浆或环向排水管、排水板引流后再喷射混凝土,环向排水管、排水板应密贴岩面;
- c) 大面积潮湿的岩面宜采用粘结性强的混凝土,如添加粉煤灰等外加剂。

6.4.3 隧道发育有地下水时,衬砌自防水要求高,喷射混凝土应分层施作,两层施作时间间隔 28 d 以上。首层施工缝应避开排水管路,第二层施工缝应避开结构层湿渍部位。

6.4.4 喷锚单层衬砌施作 28 d 后应观测是否出现明显裂缝、裂纹和渗漏水情况,若因裂纹或施工缝形成渗漏水,宜采取深度不小于 5 cm 的凿槽就近就低引排至排水系统,或化学注浆封堵。

6.4.5 隧道双侧水沟断面尺寸、沟底高程和排水纵坡应符合设计规定,水沟整体连续、顺直。

6.4.6 隧道注浆时,浆液不应浸入排水沟、管内。

7 施工质量检测

7.1 基本要求

7.1.1 应按照设计文件和现行施工技术规范的要求做好材料质量、施工参数控制、现场施工过程质量和分部分项过程验收工作。

7.1.2 施工单位应有完整的施工记录和影像资料,以及所用材料的质量检验结果、材料配比、试验数据等质量保证材料。

7.2 开挖施工质量检测

隧道应按设计尺寸严格控制开挖断面,不得欠挖,其允许超挖值应符合表1规定。

表 1 隧道允许超挖值

隧道开挖部位	围岩分级			
	硬岩（Ⅰ级围岩）		中硬岩（Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级围岩）	
	平均	最大	平均	最大
拱部	100	200	150	250
边墙	100	150	100	150
隧底	150	250	150	250

7.3 衬砌施工质量检测

7.3.1 衬砌表面圆滑平顺，不应有裂缝和离鼓现象，锚杆尾端及钢筋网不得外露；表层混凝土粗糙度应适中，骨料和浆体应嵌实均匀，不得出现骨料在表面凹凸不平或有较大的棱角突起，不得有表面掉砂现象。

7.3.2 衬砌表面应平整，无空鼓、裂缝、松酥。衬砌表面平整度应符合矢弦比要求（见公式（2）），否则应采用喷射混凝土找平处理。

$$\frac{D_s}{L_s} \leq \frac{1}{6} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

D_s —衬砌表面相邻两凸面间的距离（ $L \leq 1\text{m}$ ）；

L_s —表面相邻两凸面间凹进去的深度。

7.3.3 衬砌厚度应满足设计要求，其检查及控制标准应符合表 2 规定。

表 2 衬砌厚度检测标准

检查项目	允许偏差	检查方法
衬砌厚度（m）	平均厚度不小于设计值； 60%的检查点的厚度不小于设计值； 最小厚度不小于0.6倍的设计值，且不小于0.05 m	标尺法或雷达检测仪：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

7.3.4 喷射混凝土抗压强度、早期强度应进行喷大板试验，喷射混凝土之间、喷射混凝土与围岩之间的黏结强度宜进行原位取样检测，各项性能应满足本文件 4.3 条的规定。

7.3.5 锚杆、钢筋网、钢架施工应符合 JTG F80/1-2017 中 10.8 条、10.9 条和 10.10 条的规定。

7.4 防排水施工质量检测

7.4.1 隧道防排水工程质量应符合下列要求：

- a) 隧道主洞拱部、边墙、设备箱洞不渗水，路面无湿渍；
- b) 斜井、横通道、联络通道等辅助通道拱部不滴水，边墙不滴水；
- c) 竖井不流水、不漏泥沙，安装设备的孔眼不渗水。

7.4.2 喷射混凝土应进行抗渗性能试验，试验试件应在现场喷大板制作，在标准条件下养护。混凝土防水质量应符合 JTG/T 3660-2020 中 11.4.4 条的规定。

7.4.3 环向排水管、排水板等整体线形应平顺，与打孔波纹管应有效连接，接头处不得出现松动。

附 录 A
(规范性)
隧道主洞和辅助通道（除竖井）喷锚单层衬砌设计参数

表 A.1 隧道主洞和辅助通道（除竖井）喷锚单层衬砌设计参数

围岩级别				I	II	III	IV	V ₁	V ₂ /VI
超 小 跨 度	L<5m	喷射 混凝土	类型	/	普通喷射 混凝土	普通喷射 混凝土	普通喷射 混凝土	钢纤维喷射 混凝土	通过试验 或计算确 定
			厚度/m	/	0.05	0.06~0.08	0.08~0.12	0.15	
		锚杆	长度/m	/	/	1.0~2.0	2.0~2.5	2.0~2.5	
			间距/m	/	/	局部	1.0	0.75~1.25	
小 跨 度	5m≤L<9m	喷射 混凝土	类型	普通喷射 混凝土	普通喷射 混凝土	普通喷射 混凝土	普通喷射 混凝土	钢纤维喷射 混凝土	
			厚度/m	0.05	0.05~0.08	0.08~0.12	0.12~0.15	0.20	
		锚杆	长度/m	/	1.5~2.0	2.0~2.5	2.0~3.0	2.5~3.5	
			间距/m	/	局部	1.0	1.0	0.75~1.0	
		钢架间距 /m		/	/	/	/	0.8	
中 跨 度	9m≤L<14m	喷射 混凝土	类型	普通喷射 混凝土	普通喷射 混凝土	普通喷射 混凝土	合成纤维喷射 混凝土	钢纤维喷射 混凝土	
			厚度/m	0.05~0.08	0.05~0.08	0.08~0.15	0.20~0.35	0.35~0.40	
		锚杆	长度/m	1.5~2.0	2.0~3.0	2.0~3.5	2.5~3.5	3.0~3.5	
			间距/m	局部	局部	1.0	1.0~1.2	0.6~1.0	
		钢架间距 /m		/	/	/	局部或 1.0~1.5	0.8~1.0	
注：L为隧道开挖宽度。									

附 录 B
(规范性)
竖井喷锚单层衬砌设计参数

表 B.1 竖井喷锚单层衬砌设计参数

围岩级别			I	II	III	IV	V	VI		
小 直 径	D<5m	喷射混凝土 厚度/m		0.05	0.05~0.08	8~10	0.10~0.15	0.20~0.25	通过试验或 计算确定	
		锚杆	长度 /m	/	2.0	2.5	3.0	3.5		
			间距 /m		1.2	1.0	1.0	0.8		
		钢架间距/m		/	/	/	/	0.8		
中 等 直 径	5m≤D≤7m	喷射混凝土 厚度/m		0.05~0.08	0.08~0.12	10~15	0.18~0.25	0.25~0.30		
		锚杆	长度 /m	/	2.0	2.5	3.0	3.5		
			间距 /m		1.2	1.0	1.0	0.8		
		钢架间距/m		/	/	/	1.0	0.8		
	7m<D<10m	喷射混凝土 厚度/m		0.05~0.10	0.10~0.15	12~15	0.22~0.27	0.27~0.32		
		锚杆	长度 /m	/	2.5	3.0	3.5	4.0		
			间距 /m		1.2	1.0	1.0	0.8		
		钢架间距/m		/	/	/	1.0	0.8		
	中 等 直 径	10m≤D<12m	喷射混凝土 厚度/m		0.05~0.12	0.12~0.18	18~25	0.25~0.30		0.30~0.35
			锚杆	长度 /m	/	3.0	3.5	3.5		4.0
间距 /m				1.0		1.0	0.8	0.6		
钢架间距/m			/	/	1.2	0.8	0.6			
注：D为竖井直径。										

附 录 C
(规范性)
隧道内沿程摩擦阻力测试

C.1 测试要求

- C.1.1 现场隧道内沿程摩擦阻力测试应选择直线段，无交叉风道，且区段内无车辆、机械、土石方等的干扰。
- C.1.2 隧道内沿程摩擦阻力测试内容应包括隧道试验段净空断面尺寸、高差、大气压力、空气全压、温湿度、风速、风向。
- C.1.3 在同一试验段内的大气压力、空气全压、温湿度、风速、风向测试应保持同步。
- C.1.4 现场测试应选择高分辨率、高精度测试仪器。