

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2024

岩质隧道单层衬砌施工及验收规范

Code for construction and acceptance of single layer lining of rock tunnel.

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

前 言	1
1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
3.1 单层衬砌 single layer lining	2
3.2 无碱速凝剂 alkali-free flash setting admixture	2
3.3 纤维喷射混凝土 fibrous shotcrete	3
3.4 喷涂防水 spray waterproof coating	3
4 基本规定	3
5 材料	3
5.1 锚杆	3
5.2 喷射混凝土	4
5.3 纤维	4
5.4 防水材料	5
6 施工	5
6.1 一般规定	5
6.2 设备	6
6.3 锚杆施工	6
6.4 喷射混凝土施工	7
6.5 喷涂防水膜施工	8
7 质量检验与验收	9
7.1 一般规定	9
7.2 质量检验	9
7.3 工程验收	10
附 录 A (规范性附录) 预应力锚杆结构图	11
附 录 B (规范性附录) 锚杆验收试验	12
附 录 C (规范性附录) 喷射混凝土回弹率试验	14
附 录 D (规范性附录) 喷射混凝土抗压强度标准试块制作方法	15
附 录 E (规范性附录) 喷射混凝土粘结强度标试验	16
附 录 F (规范性附录) 喷涂防水材料不透水性试验	17
附 录 G (规范性附录) 喷涂防水材料粘结强度试验	18

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。

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国铁建投资集团有限公司、中南大学、长沙垚森工程科技有限公司、中铁十八局集团有限公司、青岛市地铁四号线有限公司、湖南财政经济学院。

本文件主要起草人：蒲振兴、任世林、张世雄、汪优、王星华、丁泊淞、乔宾、张树勋、王振宇、陈宝光、许玉和、朱明、王锋、于兵。

岩质隧道单层衬砌施工及验收规范

1 范围

本文件规定了岩质隧道单层衬砌的建筑材料、工程施工及质量验收等内容。
本文件适用于Ⅳ级围岩以上的公路、铁路、城市地下轨道交通的隧道工程。
本文件适用于以喷射混凝土、喷涂防水为主要原材料进行施工的单层衬砌。

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/T35159 《喷射混凝土用速凝剂》
- GB50086 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》
- GB/T5224 《预应力混凝土用钢绞线》
- GB50204 《混凝土结构工程施工质量验收规范》
- GB50208 《地下防水工程质量验收规范》
- GB50300 《建筑工程施工质量验收统一标准》
- GB50010 《混凝土结构设计规范》
- GB50108 《地下工程防水技术规范》
- GB/T 16777 《建筑防水涂料试验方法》
- GB/T50299 《地下铁道工程施工质量验收标准》
- GB50208 《地下防水工程质量验收规范》
- TB10417 《铁路隧道工程施工质量验收标准》
- TB10424 《铁路混凝土工程施工质量验收标准》
- TB10753 《高速铁路隧道工程施工质量验收标准》
- TB/T3209 《中空锚杆技术条件》
- JGJ52 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》
- JGJ/T221 《纤维混凝土应用技术规程》
- JGJ/T372 《喷射混凝土应用技术规程》
- JTG/T3660 《公路隧道施工技术规范》
- DB14/T 715 《高速公路隧道工程施工指南》
- DB34/T 2558 《高速公路施工标准化指南(第5分册): 隧道工程》
- DB50/T 1391 《公路隧道湿喷混凝土施工技术规范》

3 术语和定义

3.1

单层衬砌 single layer lining

以喷射混凝土和喷涂防水为主要材料，并根据围岩级别设置必要的支护构件如锚杆，共同构成的支护体系。

3.2

无碱速凝剂 alkali-free flash setting admixture

氧化钠当量含量不大于1.0%的速凝剂。

3.3

纤维喷射混凝土 fibrous shotcrete

将胶凝材料、骨料及纤维等按一定比例拌制的拌合物送入喷射设备,借助压缩空气或其他动力输送,高速喷至受喷面所形成的一种混凝土。

3.4

喷涂防水 spray waterproof coating

采用喷涂技术在喷射混凝土层中间位置施作一层全面覆盖的防水材料,形成具备防止水渗透和侵蚀功能的防水层,与喷射混凝土层共同构成单层衬砌的主体结构。

4 基本规定

4.1 施工单位应建立健全施工技术、质量、安全生产绿色施工等管理体系,制定各项施工管理规定,并贯彻执行。

4.2 施工前,施工单位应组织有关施工技术管理人员深入现场调查,了解掌握现场情况,做好施工准备工作。

4.3 施工单位应按设计文件进行施工。发生设计变更及工程洽商应按国家现行有关规定程序办理设计变更与工程洽商手续并形成文件。

4.4 工程所用主要原材料、半成品、构(配)件、设备等产品,进入施工现场时应进行进场验收。进场验收时应检查每批产品的订购合同、质量合格证书、性能检验报告、使用说明书、进口产品的商检报告及证件等,并按国家有关标准规定进行复验,验收合格后方可使用。现场配制的混凝土、砂浆、防水涂料等工程材料应经检测合格后方可使用。

4.5 所用材料、半成品、构(配)件、设备等在运输、保管和施工过程中,应采取有效保护措施。

4.6 施工单位应遵守国家 and 地方政府有关环境保护的法律法规,采取有效措施控制施工现场的各种粉尘、废气、废弃物以及噪声、振动等对环境造成的污染和危害。

4.7 施工单位应取得安全生产许可证,并应遵守有关施工安全、劳动保护、防火、防毒的法律、法规,建立安全管理体系和安全生产责任制,确保安全生产。

4.8 在质量检验、验收中使用的计量器具和检测设备,应经计量检定、校准合格后方可使用。承担材料和设备检测的单位,应具备相应的资质。

4.9 各分项工程应按照施工技术标准进行质量控制,每分项工程完成后,应进行检验,相关分项工程之间未经检验或验收不合格不得进行下道分项工程。

5 材料

5.1 锚杆

5.1.1 锚杆材料和部件应满足锚杆设计和稳定性要求,不同材料间不能产生不良的影响。

5.1.2 宜选用拉力型预应力锚杆或涨壳式预应力中空注浆锚杆。

5.1.3 拉力型预应力锚杆的材料应符合下列规定:

- a) 锚杆杆体采用的钢绞线、环氧涂层钢绞线、无粘结钢绞线,应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T5224 的有关规定;

- b) 锚杆杆体采用的预应力筋宜采用预应力螺纹钢筋；当锚杆极限承载力小于 200kN 且锚杆长度小于 20m 的锚杆，也可采用普通钢筋；
- c) 注浆水泥宜采用普通硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，强度等级不应低于 32.5。

5.1.4 涨壳式预应力中空注浆锚杆的材料应符合下列规定：

- a) 应由中空杆体、钢质涨壳锚固件、止浆塞、注浆（排气）管、垫板和螺母组成；
- b) 杆体应采用材料为合金钢，壁厚不小于 5.0mm 的无缝钢管制作，外表全长应具有标准的连接螺纹，并能现场切割和用套筒连接加长；
- c) 用于锚杆加长的连接套筒应与锚杆杆体具有同等设计抗拉力；
- d) 锚杆垫板宜用 Q235 钢板，厚度不宜小于 6mm，尺寸不宜小于 150mm×150mm。

5.1.5 锚杆的防腐保护等级与措施应根据锚杆的设计使用年限及所处地层的腐蚀性程度确定，应符合以下规定：

- a) 腐蚀环境中采用Ⅰ级防腐保护构造设计，非腐蚀环境中采用Ⅱ级防腐保护构造设计；
- b) 锚杆锚固段杆体水泥浆或水泥砂浆保护层厚度不应小于 20mm；
- c) 需调整预应力值的永久性锚杆的锚头宜装设钢质防护罩，其内应充满防腐油脂；
- d) 不需调整拉力的永久性锚杆的锚具、承压板及端头筋体可用混凝土防护，混凝土保护层厚不应小于 50mm。

5.1.6 锚杆其他性能应符合现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的规定。

5.2 喷射混凝土

5.2.1 配置喷射混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，强度等级不低于 42.5 级。当采用其他品种水泥时，其性能指标应符合国家现行有关标准的规定。

5.2.2 宜选用低水化热、低 C3A 含量、低碱含量的矿物掺合料。

5.2.3 选用无碱速凝剂作为外加剂，掺量不宜超过水泥用量的 10%。

5.2.4 喷射混凝土中的粗骨料粒径不大于 12 mm，喷射纤维混凝土中的粗骨料粒径不大于 10 mm。

5.2.5 湿拌法喷射时，骨料含水率不大于 0.5%，粗骨料含水率不大于 0.2%。

5.2.6 喷射混凝土最小胶凝材料用量不应小于 380 kg/m³，喷射纤维混凝土的胶凝材料用量不应小于 400kg/m³

5.2.7 单层衬砌喷射混凝土强度等级不应小于 C30，1 天龄期混凝土抗压强度不低于 8MPa。

5.2.8 喷射混凝土抗渗等级不应低于 P6，含水岩层中的喷射混凝土抗渗等级不应低于 P8。

5.2.9 处于冻融侵蚀环境时，喷射混凝土的抗冻融循环等级不应低于 F200。

5.3 纤维

5.3.1 选用的合成纤维抗拉强度不低于 270N/mm²，直径宜为 10μm~100μm，长度宜为 12mm~25mm，纤维体积率宜为 0.06%~0.25%。

5.3.2 选用的钢纤维抗拉强度不低于 600N/mm²，直径宜为 0.3mm~0.8mm，长度宜为 20mm~35mm，且不得大于拌合物输送管内径的 0.7 倍，长径比宜为 30~80，纤维体积率宜为 0.35%~1.0%。

5.3.3 钢纤维不得有明显的锈蚀和油渍及其他妨碍钢纤维与水泥粘结的杂质；钢纤维内含有的因加工不良造成的粘连片、铁屑及杂质的总重量不应超过钢纤维重量的 1%。

5.3.4 纤维其他性能应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定。

5.4 防水材料

- 5.4.1 采用喷涂式防水材料，应具有良好的耐水性、粘结性、耐久性及寒区抗冻性，且无毒、难燃低污染。
- 5.4.2 防水材料包括无机防水涂料和有机防水涂料。无机防水涂料可选用掺外加剂、掺合料的水泥基防水涂料、水泥基渗透结晶型防水涂料。有机防水涂料可选用反应型、水乳型、聚合物水泥等涂料。
- 5.4.3 无机防水涂料的性能指标应符合表 1 的规定。

表 1. 无机防水涂料性能指标

涂料种类	抗折强度 (MPa)	粘结强度 (MPa)	抗渗性 (MPa)	冻融循环 (次)
掺外加剂、掺合料水泥基防水涂料	>4	>1.0	>0.8	>50
水泥基渗透结晶型防水涂料	≥4	≥1.0	>1.0	>50

- 5.4.4 有机防水涂料的性能指标应符合表 2 的规定。

表 2. 有机防水涂料性能指标

涂料种类	可操作时间 (min)	粘结强度 (MPa)	抗渗性 (MPa)	浸水 168h 后拉伸强度 (MPa)	浸水 168h 后断裂伸长率 (%)	耐水性 (%)	表干 (h)	实干 (h)
反应型	≥20	≥0.5	≥0.3	≥1.7	≥400	≥80	≤12	≤24
水乳型	≥50	≥0.2	≥0.3	≥0.5	≥350	≥80	≤4	≤12
聚合物水泥	≥30	≥1.0	≥0.3	≥1.5	≥80	≥80	≤4	≤12

注：1.浸水168h后的拉伸强度和断裂伸长率是在浸水取出后只经擦干即进行试验所得的值；
2.耐水性指标是指材料浸水168h后取出擦干即进行试验，其粘结强度及抗渗性的保持率。

- 5.4.5 掺外加剂、掺合料的水泥基防水涂料厚度不得小于 3.0mm；水泥基渗透结晶型防水涂料的用量不应小于 1.5kg/m²，且厚度不应小于 1.0mm；有机防水涂料的厚度不得小于 1.2mm。
- 5.4.6 冬期施工宜选用反应型涂料。
- 5.4.7 防水材料应符合现行行业标准《建筑防水涂料中有害物质限量》JC 1066 的规定。

6 施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 单层衬砌施工应按照设计要求进行，并应编制专项施工方案，配置相应的人员和仪器设备。
- 6.1.2 应建立完善的施工信息系统，对收集的地质资料、施工进度、劳力安排、材料消耗、机械台班、质量控制等信息建立档案，应设专人进行动态分析，优化施工对策。
- 6.1.3 喷射施工操作应选择熟悉喷射设备性能的喷射工或在其指导下进行，且喷射混凝土和喷涂防水施工前，喷射工应进行试喷，材料性能合格后方可进行喷射操作。
- 6.1.4 应采用湿拌法喷射施工，喷射混凝土在运输及喷射过程中严禁加水。
- 6.1.5 喷射施工前应对受喷面进行找平、封闭处理，质量验收符合要求后方可施工。
- 6.1.6 采用分层喷射施工，施工顺序为基层喷射混凝土、喷涂防水膜、面层喷射混凝土。

6.1.7 单层衬砌总体施工工艺流程如图 1。



图 1 总体施工工艺流程图

6.2 设备

6.2.1 单层衬砌施工设备应参考工程特点、基底条件、混凝土配合比以及喷射方量等施工条件进行选择。

6.2.2 喷射机性能应符合下列要求：

- a) 具有良好的密封性和连续均匀液压输送混凝土能力；
- b) 生产能力不应小于 $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ，允许输送骨料的最大粒径不宜大于 15mm ；
- c) 水平输料距离不宜小于 30m ，竖向输料距离不宜小于 20m ；
- d) 输料管工作时的承压能力应大于 0.8MPa ，管径应满足输送设计最大粒径骨料的要求，并应具有良好的耐磨性能。

6.2.3 空气压缩机的选择除应满足喷射设备工作风压和耗风量的要求外，尚应符合下列规定：

- a) 转子式喷射设备用空气压缩机的供风量不应小于 $9\text{m}^3/\text{min}$ ，泵送式喷射设备用空气压缩机的供风量不应小于 $4\text{m}^3/\text{min}$ ；
- b) 应能提供稳定的风压，其波动值不应大于 0.01MPa ，风压不宜小于 0.6MPa ；
- c) 空气压缩机至喷射机的送风管的承压强度不应宜小于 0.8MPa 。

6.3 锚杆施工

6.3.1 锚杆工程施工前，应根据锚固工程的设计条件、现场地层条件和环境条件，编制出能确保安全及有利于环保的施工组织设计。

6.3.2 锚杆钻孔应符合以下要求：

- a) 钻孔应按设计图所示位置、孔径、长度和方向进行，并应选择对钻孔周边地层扰动小的施工方法；

b) 向钻孔安放锚杆杆体前，应将孔内岩粉和土屑清洗干净。

6.3.3 锚杆制作与安放应符合以下要求：

- a) 严格按照设计要求制备杆体、垫板、螺母等锚杆部件；
- b) 应按设计图所示形状、尺寸和构造要求进行杆体组装，居中隔离架的间距不应大于2.0m，宜在工厂或施工现场专门作业棚的台架上进行；
- c) 在杆体的组装、存放、搬运过程中，应防止筋体锈蚀、防护体系损伤、泥土或油渍的附着和过大的残余变形；
- d) 根据设计要求的杆体设计长度向钻孔内插入杆体；
- e) 杆体正确安放就位至注浆浆体硬化前，不得被晃动。

6.3.4 锚杆注浆应符合以下要求：

- a) 对下倾的钻孔注浆时，注浆管应插入距孔底300mm~500mm处；对上倾的钻孔注浆时，应在孔口设置密封装置，并应将排气管内端设于孔底；
- b) 注浆材料应根据设计要求确定，并不得对杆体产生不良影响，宜选用水灰比为0.5~0.55的纯水泥浆，对改善注浆料有特殊要求时，可加入一定量的外加剂或外掺料；
- c) 注入水泥砂浆浆液中的砂子直径不应大于2mm；
- d) 对密封装置的注浆应待初次注浆孔口溢出浆液后进行，注浆压力不宜低于 2.0MPa；
- e) 在注浆体强度达到70%设计强度前，不得敲击、碰撞或牵拉锚杆。

6.3.5 锚杆的张拉与锁定应符合现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086的规定。

6.3.6 采用钻爆法施工，砂浆锚杆安装后在作业区附近进行爆破开挖的时间间隔不宜小于 8h。

6.4 喷射混凝土施工

6.4.1 喷射作业前的准备工作需符合下列要求：

- a) 应清除开挖面的浮石、碎石和黏土以及墙角的岩渣、堆积物等，保证受喷表面平整；
- b) 隧道开挖后，需满足二级防水要求。喷射施工前必须对岩层表面进行清洗作业，存在的渗漏水 and 湿渍应处理完毕，要求达到无渗漏水，单个湿渍面积不应超过 0.3m²；
- c) 基底应进行预湿处理至饱和面干；
- d) 采用人工喷射，当水平喷射的高度超过 1.5m，或竖向喷射的高度超过 3m 时，应搭设工作台架，工作台架外缘应设有栏杆；
- e) 应埋设控制喷射混凝土厚度的标志，其纵横间距宜为 1.0m~1.5m。当设有锚杆时，可用锚杆露出岩面的长度作为控制喷层厚度的标志。

6.4.2 喷射混凝土的制备需符合下列要求：

- a) 制备喷射混凝土原材料计量允许偏差应符合表 3 的规定；

表 3. 喷射混凝土原材料允许计量偏差

原材料种类	胶凝材料	骨料	水	外加剂	纤维
允许偏差	±2	±3	±1	±1	±1

- b) 喷射混凝土拌合物宜在混凝土搅拌楼完成搅拌，采用容量规格不应小于 0.5m³ 的集中强制式搅拌机，搅拌时间不宜小于 120s；
- c) 喷射纤维混凝土拌合物的搅拌方式和时间应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定；
- d) 应使用搅拌运输车运输喷射混凝土；

- e) 喷射前拌合物最长停放时间不应超过 120min。

6.4.3 喷射作业需符合以下要求：

- a) 喷射混凝土的喷射作业区温度宜为 5℃~35℃，喷射混凝土拌合物温度宜为 10℃~30℃。冬期施工时，不得在结冰的待喷面上进行直接喷射；
- b) 喷射作业应分段，自上而下施工，每段长度不宜大于 6m，两次循环作业的喷射混凝土搭接长度不宜小于 200mm；
- c) 喷射时，喷嘴指向与受喷面应保持 90° 夹角，喷嘴与喷射面的距离保持在 1~1.5m；
- d) 喷射混凝土一次喷射厚度应符合表 4 的规定；

表 4. 喷射混凝土一次喷射厚度 (mm)

拌制办法	部位	厚度
湿拌	水平喷射	80~150
	竖直喷射	60~100

- e) 喷射混凝土与各基底间的最小粘结强度应符合表 5 的规定；

表 5. 喷射混凝土与基底的最小粘结强度 (N/mm²)

粘结类型	混凝土基底	岩石基底	喷涂防水层基底
粘结强度	1.0	0.8	0.8

- f) 喷射混凝土施工过程中，水平喷射混凝土拌合物回弹率不宜大于 15%，竖直喷射混凝土拌合物回弹率不宜大于 25%。喷射时产生的回弹物料，严禁重新掺入喷射拌合物中；
- g) 采用钻爆法施工，喷射混凝土紧跟开挖工作面施工时，混凝土终凝到下一循环爆破的间隔时间不宜小于 3h。

6.4.4 喷层养护需符合以下要求：

- a) 喷射混凝土终凝后养护时间不应少于 14d；
- b) 冬季施工时，日均温度低于 5℃时，避免过度浇水养护，宜使用喷雾器或喷洒养护剂。

6.5 喷涂防水膜施工

6.5.1 施工单位应按照设计规定的设备、方法、材料（包括配合比）等进行施工前试验验证防水效果，试验面积不小于 10m²。

6.5.2 宜使用电动或空气驱动的干式转子机进行两次喷涂防水形成防水膜。

6.5.3 喷涂防水作业时，隧道空气温度宜在 5℃至 40℃之间，作业区的粉尘浓度不应大于 10mg/m³。

6.5.4 喷涂防水膜基面处理需符合以下要求：

- a) 应进行基面处理，保持干净整洁，无水泥浆、松散体、灰尘、污垢、油脂等污染物；
- b) 喷涂防水材料前宜采用喷射水泥砂浆试做找平层，水泥砂浆强度不低于 M30；
- c) 喷涂防水材料前，基层喷射混凝土或找平层每月的连续变形不超过 1mm。

6.5.5 防水膜施工及养护需符合以下要求：

- a) 宜采用两层不同颜色的喷涂防水，以便检查喷涂防水的覆盖率。
- b) 喷涂前确定喷涂防水硬化的时间，宜在第一层喷涂防水硬化后喷涂第二层防水；
- c) 喷涂防水中断超过6小时，再次喷涂时在既有喷涂区域搭接长度不宜小于200mm；

- d) 第一层喷涂防水施工2h后进行第二层喷涂防水，未能及时喷射第二层防水层时，应采取防尘措施；
- e) 喷涂防水完成后，应采取防尘措施，直到防水膜养护结束为止；
- f) 喷涂防水养护时间不宜小于24h，然后可进行面层喷射混凝土施工；
- g) 喷涂防水不均匀或者开裂，对该区域进行复喷，搭接长度不宜小于200mm。

7 质量检验与验收

7.1 一般规定

7.1.1 隧道单层衬砌工程施工过程及竣工后，应按设计要求和质量合格条件分步分项进行质量检验和验收。

7.1.2 工程施工中对检验出不合格的预应力锚杆、喷射混凝土及喷涂防水膜应根据不同情况分别采取增补、更换或修复的方法处治。

7.2 质量检验

7.2.1 原材料进场时应按规定批次查验使用说明书、出厂合格证或检验报告等质量证明文件。原材料进场后应进行现场抽检试验，合格后方可使用。

7.2.2 锚杆工程的质量检验与验收标准应符合表 6 的规定。

表 6. 锚杆工程质量检验与验收标准

项目	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	锚杆长度	+100mm -30mm	钢尺测量 无损减伤
	承载力极限值	符合设计要求	现场试验
	预应力锚杆预加力（锁定荷载）变化	符合设计要求	测力计测量
	锚固结构物变形	符合设计要求	现场量测
一般项目	锚杆位置	±100mm	钢尺测量
	钻孔直径	±10mm（设计直径>60mm） ±5mm（设计直径≤60mm）	卡尺测量
	钻孔倾斜度	2%钻孔长	现场测量
	注浆量	不小于理论计算注浆量	检查计量数据
	浆体强度	达到设计要求	试样送检
	杆体钻入钻孔长度	不小于设计长度的 97%	钢尺测量

7.2.3 喷射混凝土工程的质量检验与验收标准应符合表 7 的规定。

表 7. 喷射混凝土工程质量检验与验收标准

项目	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	拌合物性能	达到设计要求	现场试验
	抗压强度	达到设计要求	试样送检

(续) 表 7. 喷射混凝土工程质量检验与验收标准

项目	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	粘结强度	达到设计要求	试样送检
	厚度	-30mm (设计厚度 $\geq 100\text{mm}$) -20mm (设计厚度 $< 100\text{mm}$)	现场试验
一般项目	表面质量	密实、平整、无裂缝、无脱落、无漏喷、无空鼓和无渗漏水	观察检查

7.2.4 喷涂防水膜工程的质量检验与验收标准应符合表 8 的规定。

表 8. 喷涂防水膜工程质量检验与验收标准

项目	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	拉伸强度	达到设计要求	试样送检
	断裂伸长率	达到设计要求	试样送检
	不透水性	达到设计要求	试样送检
	粘结强度	达到设计要求	试样送检
	厚度	平均厚度应符合设计要求 最小厚度不小于设计值的 90%	现场试验
一般项目	表面质量	不允许有漏涂、流坠、开裂、孔洞、气泡和透底	观察检查

7.3 工程验收

7.3.1 隧道单层衬砌工程验收应取得下列资料：

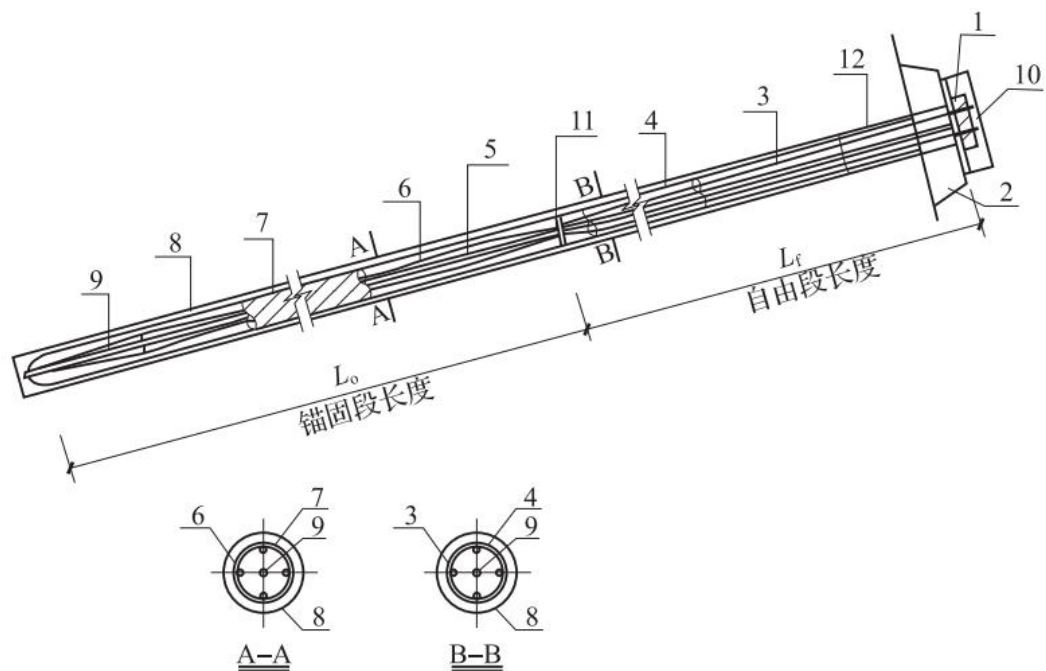
- 施工图设计文件及施工方案。
- 材料的质量合格证明及进场复验报告。
- 单层衬砌工程施工记录。
- 锚杆基本实验、验收试验记录及相关报告。
- 喷射混凝土性能及厚度检测记录与报告。
- 喷涂防水性能及厚度检测记录与报告。
- 隐蔽工程验收记录。
- 其他必要的文件和记录

附 录 A

(规范性)

预应力锚杆结构图

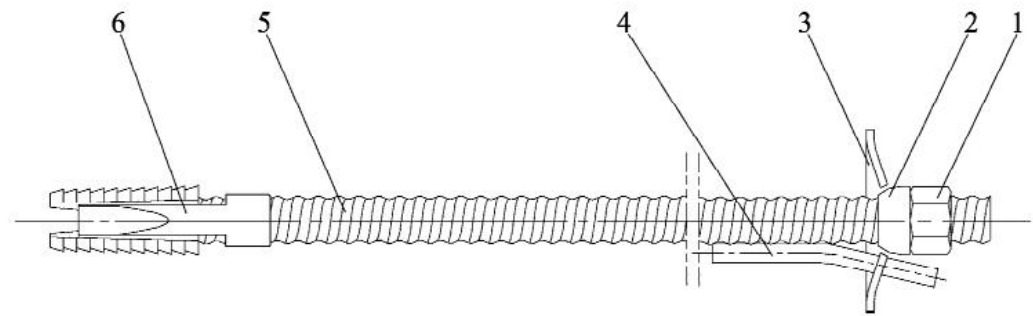
A. 1. 1 永久性拉力型锚杆（I级防护）应由锚具、台座、无粘结钢绞线、光滑套管、对中支架、波形套管、钻孔、注浆管、过渡管组成（图A.1.1）。



图A. 1. 1 永久性拉力型锚杆(I级防护)结构详图

1-锚具;2-台座;3-无粘结钢绞线;4-光滑套管;5-对中支架;6-钢绞线;7-波形套管;8-钻孔;9-注浆管;10-锚头;11-套管与波形套管搭接处(搭接处长度不小于200mm);12-过渡管

A. 1. 2 涨壳式预应力中空锚杆应有螺母、垫圈、承压板、涨壳锚固件、中空锚杆体组成(图 A.1.2)。



图A. 1. 2 涨壳式预应力中空锚杆结构图

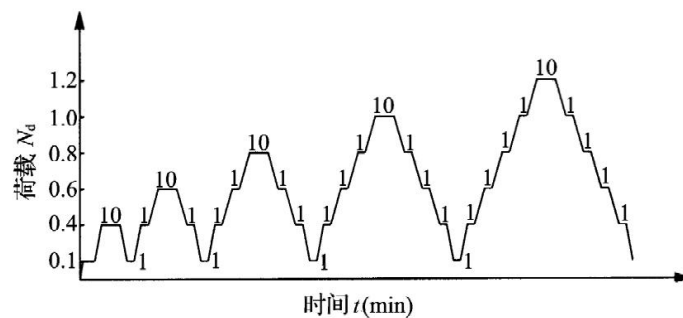
1-螺母; 2-垫圈; 3-承压板; 4-注浆(排气)管; 5-中空锚杆体; 6-涨壳锚固件

附 录 B

(规范性)

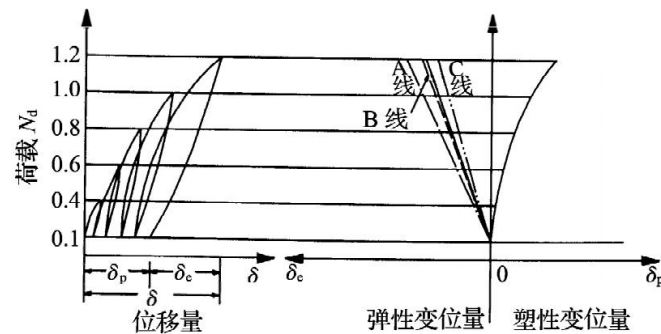
锚杆验收试验

B. 1. 1 锚杆多循环张拉验收试验的加荷、持荷和卸荷模式（图B.1.1）的初始荷载宜为锚杆拉力设计值 N_d 的0.1倍，各级持荷时间宜为10min。



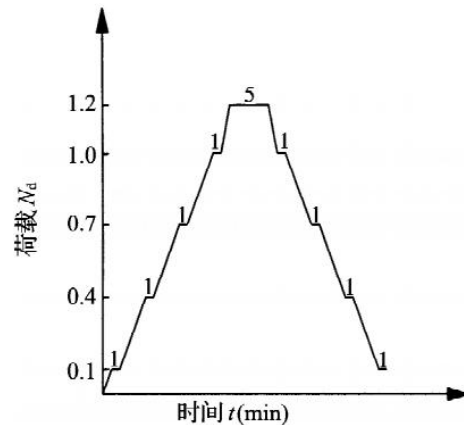
图B. 1. 1 锚杆多循环张拉验收试验加荷、持荷和卸荷模式

B. 1. 2 锚杆多循环张拉验收试验结果整理应绘制荷载-位移曲线图、荷载-弹性位移曲线图和荷载-塑性位移曲线图（图B.1.2）。



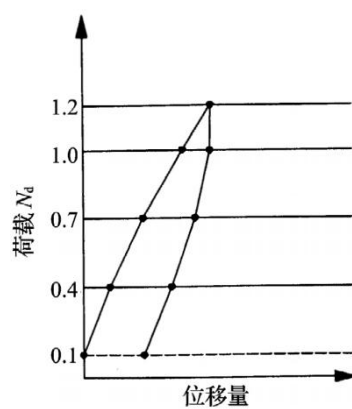
图B. 1. 2 锚杆多循环张拉验收试验荷载 (N) - 位移 (δ) 曲线、荷载 (N) - 弹性位移 (δ_e) 曲线和荷载 (N) - 塑性位移 (δ_p) 曲线

B. 1. 3 锚杆单循环张拉验收试验加荷、持荷和卸荷模式（图B.1.3）的初始荷载宜为锚杆拉力设计值 N_d 的0.1倍,最大试验荷载的持荷时间不宜小于5min。



图B. 1. 3 锚杆单循环张拉验收试验加荷、持荷和卸荷模式

B. 1. 4 锚杆单循环张拉验收试验结果整理应绘制荷载-位移曲线图（图B.1.4）。



图B. 1. 4 锚杆单循环张拉验收试验荷载 (N) - 位移 (δ) 曲线

附 录 C

（规范性）

喷射混凝土回弹率试验

C.1.1 本试验适用于喷射混凝土回弹率测定。

C.1.2 喷射混凝土回弹率试验应使用下列仪器：

- a) 容积大于 1m^3 搅拌机；
- b) 喷射机；
- c) 面积为 $40\sim 50\text{m}^2$ 塑料膜；
- d) 量程 $500\text{kg}\sim 3000\text{kg}$ ，分度值 $200\text{g}\sim 1000\text{g}$ 机械或电子称。

C.1.3 试验步骤

- a) 根据需测试水平回弹率或垂直向上回弹率在喷射现场选择一喷射侧面或顶面，并用塑料膜在喷射侧面旁或顶面下覆盖 $40\sim 50\text{m}^2$ 的面积区域。
- b) 拌制不少于 0.75m^3 混凝土拌合物，并运输至喷射地点进行喷射。待喷射出料稳定后开始进行测试，喷射总厚度为 $40\sim 60\text{mm}$ ，分为两层喷射，每层为 $20\sim 30\text{mm}$ 。喷射过程需保证连续不间断，料斗里混凝土在测试开始和结束时需保持均匀一致。喷嘴指向与受喷面应保持 90° 夹角；并保持 $0.8\text{m}\sim 1.5\text{m}$ 的距离。
- c) 喷射结束后，从塑料膜上收集回弹料，并进行称重。
- d) 回弹料与总喷出拌合物的质量比即为喷射回弹率。

附录 D

(规范性)

喷射混凝土抗压强度标准试块制作方法

D.1.1 喷射混凝土抗压强度标准试块应采用从现场施工的喷射混凝土板件上切割或钻心法制取。最小模具尺寸应为 $450\text{mm} \times 450\text{mm} \times 120\text{mm}$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 高），模具一侧边为敞开状。

D.1.2 标准试块制作应符合下列步骤：

- a) 在喷射作业面附近,将模具敞开一侧朝下,以 80° (与水平面的夹角)左右置于墙脚。
- b) 先在模具外的边墙上喷射待操作正常后将喷头移至模具位置由下而上逐层向模具内喷满混凝土。
- c) 将喷满混凝土的模具移至安全地方,用三角抹刀刮平混凝土表面。
- d) 在潮湿环境中养护1d后脱模。将混凝土板件移至试验室,在标准养护条件下养护7d,用切割机去掉周边和上表面(底面可不切割)后加工成边长100mm的立方体试块或钻芯成高100mm直径为100mm的圆柱状试件,立方体试块的边长允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$,直角允许偏差应为 $\pm 2^\circ$ 。喷射混凝土板件周边120mm范围内的混凝土不得用作试件。

D.1.3 加工后的试块应继续在标准条件下养护至28d龄期,进行抗压强度试验。

附 录 E

(规范性)

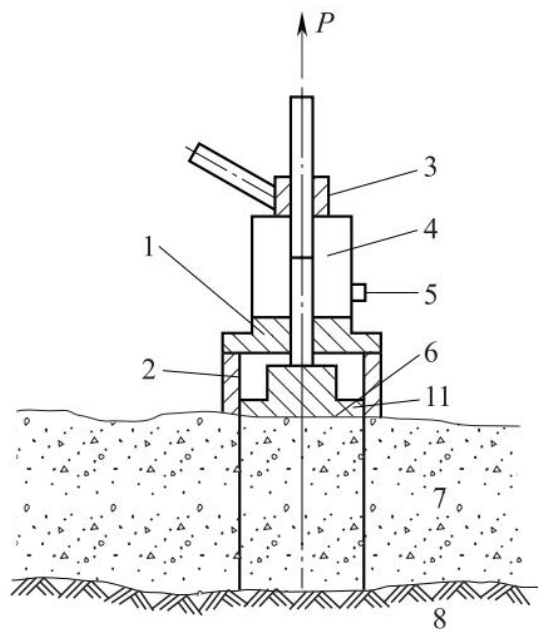
喷射混凝土粘结强度标试验

E. 1. 1 喷射混凝土与岩石的粘结强度试验可在现场采用对被钻芯隔离的混凝土试件进行拉拔试验完成，也可在试验室采用对钻取的芯样进行拉力试验完成。

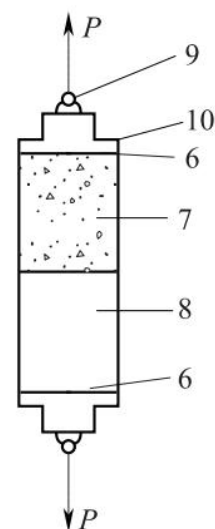
E. 1. 2 钻芯隔离试件拉拔法及芯样拉力试验示意图应符合图E.1.2-1及图E.1.2-2。

E. 1. 3 试件直径尺寸可取50mm~60mm，加荷速率应为每分钟1.3MPa~3.0MPa；加荷时应确保试件轴向受拉。

E. 1. 4 喷射混凝土粘结强度试验报告应包含试块编号、试件尺寸、养护条件、试验龄期、加荷速率、最大荷载、测算的粘结强度以及对试件破坏面和破坏模式的描述。



图E. 1. 2-1 对钻芯隔离的喷射混凝土试件的拉拔试验图



E. 1. 2-2 钻取试件的直接拉力试验

1—基座；2—支撑装置；3—螺母；4—千斤顶；5—泵；6—粘结剂；7—喷射混凝土；8—基岩；9—接头；10—支架；11—托架

附录 F

(规范性)

喷涂防水材料不透水性试验

F. 1. 1 本试验适用于喷射防水材料不透水性测定。

F. 1. 2 喷射防水材料不透水性试验应使用下列实验器具：

a) 涂膜模框：如图 F.1.2 所示，材质可为玻璃、金属或塑料；

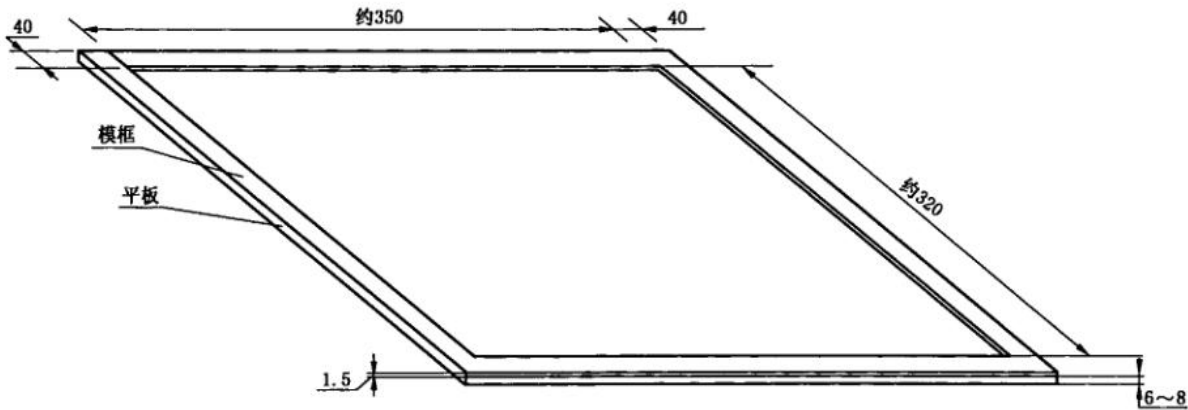


图 F. 1. 2 涂膜模框示意图（单位：mm）

b) 电热鼓风烘箱：控温精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；

c) 不透水仪；

d) 金属网：孔径为 0.2mm。

F. 1. 3 试验步骤

- 将符合标准的喷涂防水材料一次或多次（最多三次，每次间隔不超过 24h）涂覆入模框中，最后一次将表面刮平，保证模框不得卷曲且表面平滑。
- 在标准条件下养护 96h 后脱模，脱模后将涂膜翻面养护，养护条件为 $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 48h 后标准条件下 4h，脱模过程中应避免损伤涂膜。
- 养护完成后，裁取的三个约 (150×150) mm 试件，在标准试验条件下放置 2h，试验在 $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 进行，将不透水仪装置中充水直到满出，彻底排出装置中空气。
- 将试件放置在透水盘上，再在试件上加一相同尺寸的金网，盖上 7 孔圆盘，慢慢夹紧直到试件夹紧在盘上，用布或压缩空气干燥试件的非迎水面，慢慢加压到规定的压力。
- 达到规定压力后，保持压力 (30 ± 2) min。试验时观察试件的透水情况（水压突然下降或试件的非迎水面有水）。

F. 1. 4 结果评定

所有试件在规定时间内应无透水现象。

F. 1. 5 试验报告

实验报告包括如下信息：

- 制备试件信息；
- 试验压力；
- 试验结果；
- 试验过程中采用方法的差异或遇到的异常；
- 试验日期。

附 录 G

（规范性）

喷涂防水材料粘结强度试验

G. 1. 1 本试验适用于喷射防水材料粘结强度测定。

G. 1. 2 喷射防水材料粘结强度试验应使用下列实验器具：

- a) 拉伸试验机：拉伸速度 $5 \pm 1 \text{ mm/min}$ ；
- b) 电热鼓风烘箱：控温精度 $\pm 2^\circ\text{C}$ ；
- c) 拉伸金属夹具、垫板；
- d) 水泥砂浆块：尺寸 $70 \times 70 \times 20 \text{ mm}$ 。采用强度等级 42.5 的普通硅酸盐水泥，将水泥、中砂按照质量比 1:1 加入砂浆搅拌机中搅拌，加水量以砂浆稠度 $70 \sim 90 \text{ mm}$ 为准，倒入模框中振实抹平然后移入养护室，1d 后脱模，水中养护 10d 后再在 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 的烘箱中干燥 $24 \pm 0.5 \text{ h}$ ，取出在标准条件下放置备用，去除砂浆试块成型面的浮浆、浮砂、灰尘等，同样制备五块砂浆试块。
- e) 高强度胶粘剂：难以渗透涂膜的高强度胶粘剂，推荐无溶剂环氧树脂。

G. 1. 3 试验步骤

- a) 试验前制备好的砂浆块、工具、涂料应在标准试验条件下放置 24h 以上。
- b) 取五块砂浆块用 2 号砂纸清除表面浮浆，必要时按生产厂要求在砂浆块的成型面 $70 \times 70 \text{ mm}$ 上涂刷底涂料，干燥后将符合标准的喷涂防水材料涂抹在成型面上，涂膜的厚度 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$ （可分两次涂覆，间隔不超过 24 h）。然后将制得的试件进行养护，养护条件为 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 48h 后标准条件下 4h，不需要脱模，制备五个试件。
- c) 将养护后的试件用高强度胶粘剂将拉伸用上夹具与涂料面粘贴在一起，如图 G.1.3-1 所示，小心的除去周围溢出的胶粘剂，在标准试验条件下水平放置养护 24h。然后沿上夹具边缘一圈用刀切割涂膜至基层，使试验面积为 $40 \times 40 \text{ mm}$ 。
- d) 将粘有拉伸用上夹具的试件按照图 G.1.3-2 安装在试验机上，保持试件表面垂直方向的中线与试验机夹具中心在一条线上，以 $5 \pm 1 \text{ mm/min}$ 的速度拉伸至试件破坏，记录试件的最大拉力。试验温度为 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

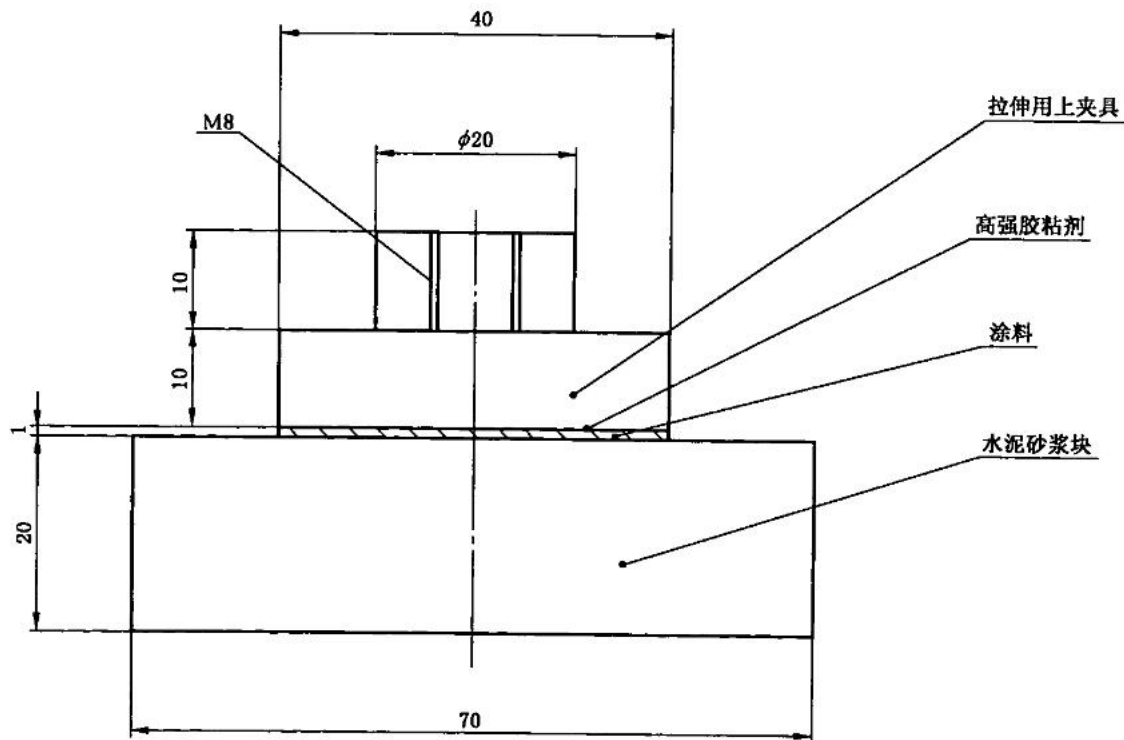


图 G. 1. 3-1 喷涂防水材料位置示意图 (单位: mm)

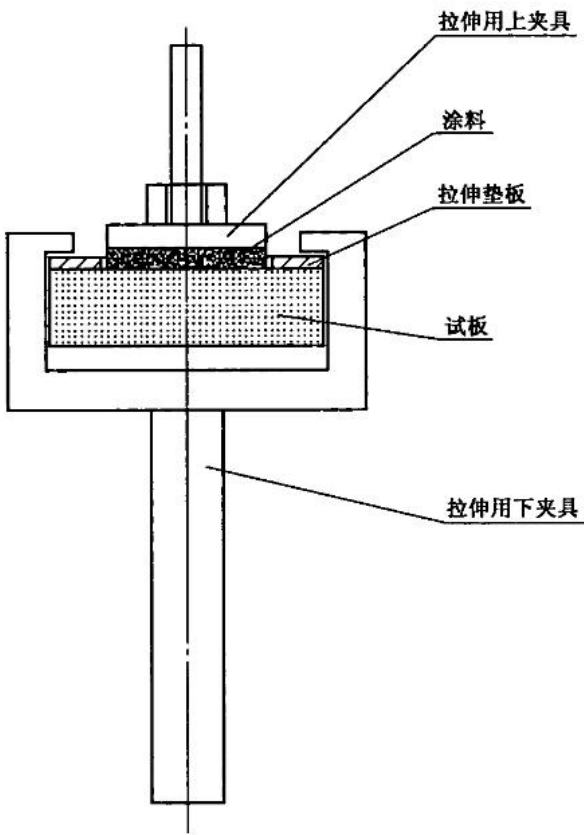


图 G. 1. 3-2 试件安装示意图