

第四节 喷锚暗挖法施工

1K413041 喷锚暗挖法的掘进方式选择

1K413042 工作井施工技术

1K413043 超前预支护及预加固施工技术

1K413044 喷锚支护施工技术

1K413045 衬砌及防水施工要求

1K413046 喷锚暗挖法辅助工法施工技术要点

1K420112 喷锚支护施工质量检查与验收

1K420172 暗挖法施工安全措施

三、超前预支护及预加固施工技术



管超前

指采用超前管棚或小导管注浆防护，实际上就是采用超前支护的各种手段，提高掌子面的稳定性，防止围岩松弛和坍塌。

强支护

指在浅埋的松软地层中施工，初期支护必须十分牢固，具有较大的刚度，以控制开挖初期的变形。

严注浆

指在导管超前支护后，立即进行压注水泥浆或其他化学浆液，填充围堰空隙，使隧道周围形成一个具有一定强度的壳体，以增强围岩的自稳能力。

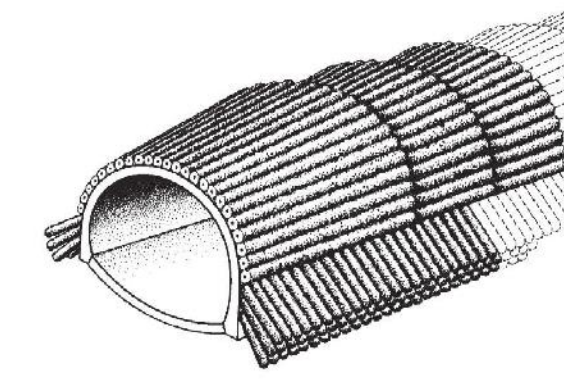
在浅埋软岩地段、自稳性差的软弱破碎围岩、断层破碎带、砂土层等不良地质条件下施工时，若围岩自稳时间短、不能保证安全地完成初期支护，为确保施工安全，加快施工进度，应采用超前预支护及预加固技术进行预加固处理，使开挖作业面围岩保持稳定。(P169)

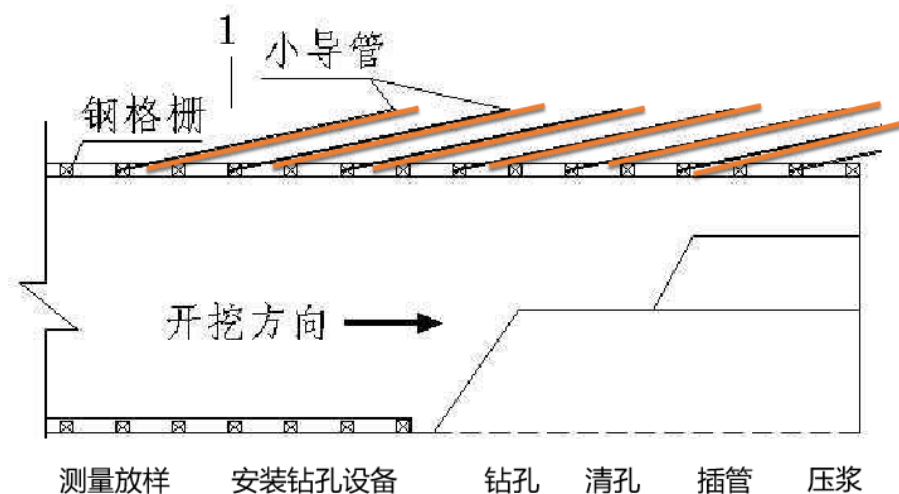
根据地质条件、地下水状况、施工方法以及环境条件等因素，地层超前预支护及预加固可采取下列措施：

(1)超前小导管注浆加固。

(2)深孔注浆。

(3)管棚支护。



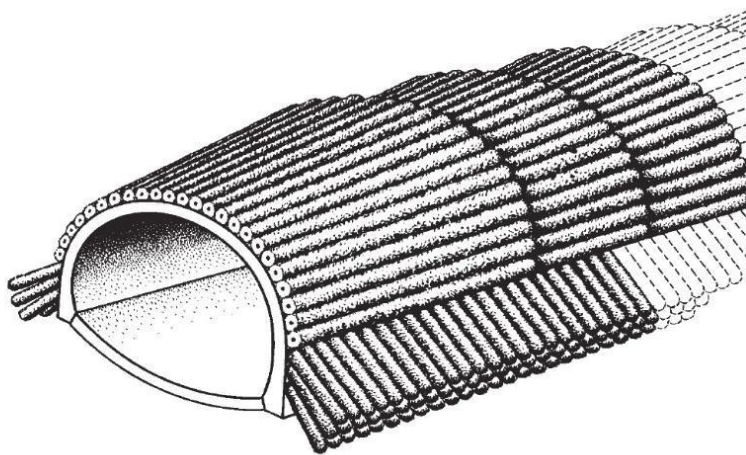


一、超前小导管注浆加固 (P169)

(一) 适用条件

(1)超前小导管注浆加固技术可作为暗挖隧道常用的超前预支护措施，能配套使用多种注浆材料，施工速度快，施工机具简单，工序交换容易。

(2)在软弱、破碎地层中成孔困难或易塌孔，且施作超前锚杆比较困难或者结构断面较大时，宜采取超前小导管注浆加固处理方法。

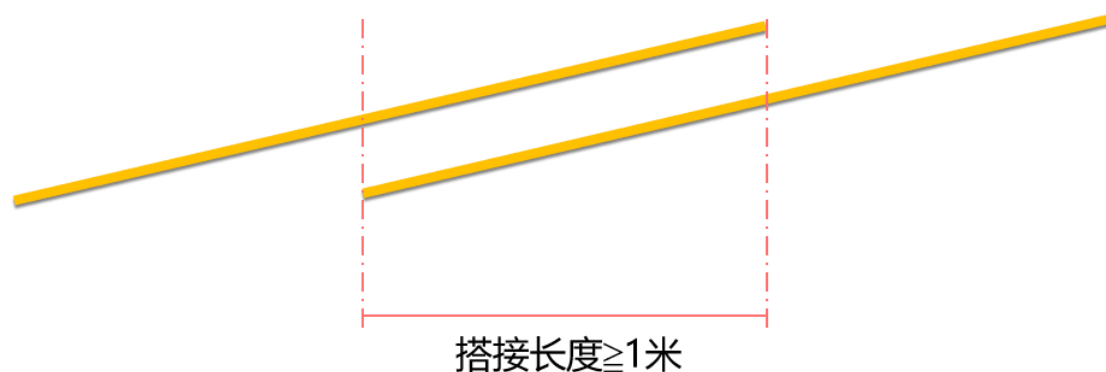


(二) 技术要点

(1)超前小导管应沿隧道拱部轮廓线外侧设置，根据地层条件可采用单层、双层超前小导管；其环向布设范围及环向间距由设计单位根据地层特性确定；安装小导管的孔位、孔深、孔径应符合设计要求。

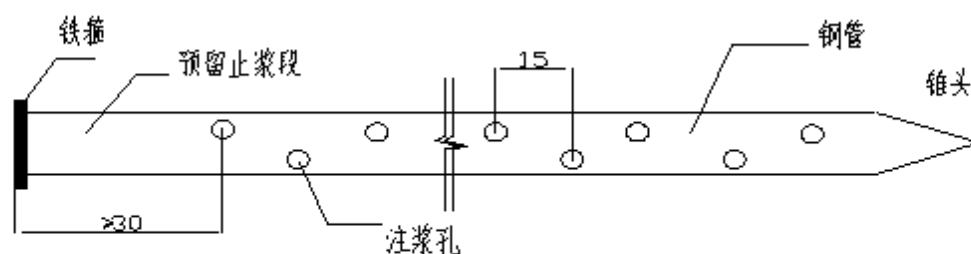
(2)超前小导管应选用直径为 40-50mm 的钢管或水煤气管，长度应大于循环进尺的 2 倍，宜为 3~5m,具体长度、直径应根据设计要求确定。

(3)超前小导管应从钢格栅的腹部穿过，后端应支承在已架设好的钢格栅上，并焊接牢固，前端嵌固在地层中。前后两排小导管的水平支撑搭接长度不应小于 1m。

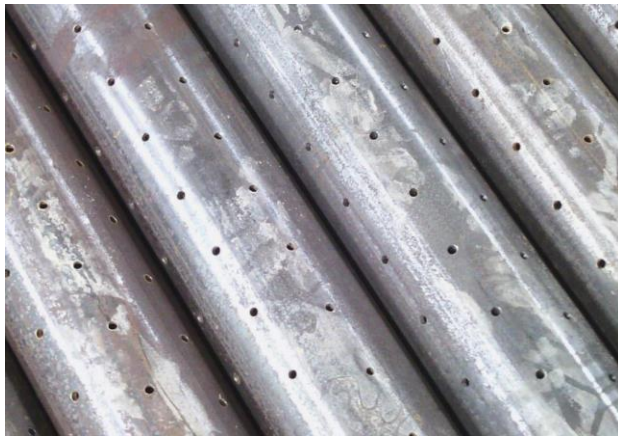


(4)超前小导管的成孔工艺应根据地层条件进行选择，应尽可能减少对地层的扰动。

(5)小导管其端头应封闭并制成锥状，尾端设钢筋加强箍，管身梅花型布设冷 6~8mm 的溢浆孔。



小导管构造图 (示意)





(6) 超前小导管加固地层时，其注浆浆液应根据地质条件、并经现场试验确定；并应根据浆液类型，确定合理的注浆压力和选择合适的注浆设备。注浆材料可采用普通水泥单液浆、改性水玻璃浆、水泥-水玻璃双液浆、超细水泥等注浆材料。（你戏双玻）

(7) 浆液的原材料应符合下列要求：

1)水泥：强度等级 P•O42.5 级及以上的硅酸盐水泥。

2)水玻璃：浓度 40~ 45oBe。

3)外加剂：视不同地层和注浆工艺进行选择。

(8) 注浆施工应符合下列要求：

1)注浆工艺应简单、方便、安全，应根据土质条件选择注浆工艺（法）。在砂卵石地层中宜采用渗入注浆法；在砂层中宜采用挤压、渗透注浆法；在黏土层中宜采用劈裂或电动硅化注浆法。

2)注浆顺序：应由下而上、间隔对称进行；相邻孔位应错开、交叉进行。

3)渗透法注浆压力：注入压力应保持在 0.1~0.4MPa，注浆终压应由地层条件和周边环境控制要求确定，一般宜不大于 0.5MPa。每孔稳压时间不小于 2min。劈裂法注浆压力应大于 0.8MPa。

4)注浆速度应不大于 30L/min。

5)注浆施工期应进行监测，监测项目通常有地（路）面隆起、地下水污染等，特别要采取必要措施防止注浆浆液溢出地面或超出注浆范围。



二、深孔注浆加固技术

(1)深孔注浆前，应依据设计文件，并综合考虑地下水状态、地层条件和浆液类型等，在施工设计中确定其注浆范围。

(2)注浆孔的孔位、角度、深度的偏差应符合相关规范的要求。

(3)注浆段长度应综合考虑地层条件、地下水状态和钻孔设备的工作能力予以确定，宜为10~15m，并应预留一定的止浆墙厚度。

(4)浆液的材料和类型应综合考虑土质条件、注浆要求、地下水状况、周围环境条件及效果要求等因素；且应经现场试验确定。可参考表 1K413043 进行选择。



双液浆注浆机（注浆机进浆管）



双液浆注浆机



洞内注浆工作面



注浆后开挖效果



洞内上台阶人工开挖

常用的注浆材料、浆液类型及其基本性能指标						表1K413043
浆液名称	注入砂的最小粒径 (mm)	注入地层的最小渗透系数 (cm/s)	结石体渗透系数 (cm/s)	凝胶时间	抗压强度 (MPa)	注入方式
普通水泥浆	1	5×10^{-2}	$10^{-1} \sim 10^{-3}$	6 ~ 15h	10 ~ 25	单液
水泥-水玻璃	1	3×10^{-3}	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	几十秒至几分钟	5 ~ 20	双液
超细水泥浆	0.1 ~ 0.2	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	$10^{-4} \sim 10^{-5}$	20s ~ 几分钟	15 ~ 50	单液
改性水玻璃浆	0.1	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	$10^{-4} \sim 10^{-6}$	瞬间 ~ 几十分钟	<3	单液 双液

(5)隧道内注浆孔应按设计要求采取全断面、半断面等方式布设，并应满足加固范围的要求；浆液扩散半径应根据注浆材料、方法及地层条件，经现场注浆试验确定。

(6)根据地层条件和加固要求，深孔注浆可采取①前进式分段注浆、②后退式分段注浆等方法。

(7)钻孔应按先外圈、后内圈、跳孔施工的顺序进行。钻孔时，应按规范要求作好施工记录，包括孔号、进尺、时间、地层、涌水位置、涌水量和涌水压力等内容，并应根据现场条件及时调整施工工艺参数。



掌子面施作止浆墙 → 止浆墙上安装孔口管 → 钻机成孔 (3-5m) →
 安装法兰盘及注浆管 → 注浆 → 拆除法兰盘 → 土方开挖后，原孔位继续钻机成孔



(8)施工中应严格控制注浆质量，避免出现注浆盲区。注浆未达到设计要求的区域，应采用钢花管进行补注浆，以确保注浆效果。注浆工艺控制应符合下列要求：

1)注浆压力一般宜为 0.5~1.5MPa，并应根据地层条件和隧道埋深选择注浆终压大小。管线附近施工时应根据相关单位要求适当降低注浆压力，调整钻孔角度和间距。

2)单孔结束标准：

①注浆压力逐步升高至设计终压，并继续注浆 10min 以上。

②注浆结束时的进浆量小于 20L/min。

③检查孔钻取岩芯，浆液充填饱满。

3)全段结束标准：

①注浆孔均符合单孔结束条件，无漏浆现象。

②浆液有效注入范围大于设计值。

(9)注浆结束后，施工单位应进行注浆效果检查，经检查确认注浆效果符合要求后方可开挖。

三、管棚支护

(一) 结构组成与适用条件

1.结构组成

(1)管棚法是一种临时支护方法，与超前小导管注浆法相对应，通常又称为大管棚超前预支护法。

(2)管棚是由钢管和钢格栅拱架组成。钢管入土端制作成尖靴状或楔形，沿着开挖轮廓线，以较小的外插角，向掌子面前方敷设钢管或钢插板，末端支架在钢拱架上，形成对开挖面前方围岩的预支护。

(3)管棚中的钢管应按照设计要求进行加工和开孔，管内应灌注水泥浆或水泥砂浆，以便提高钢管自身刚度和强度。



2.适用条件

(1)适用于软弱地层和特殊困难地段，如极破碎岩体、塌方体、砂土质地层、强膨胀性地层、强流变性地层、裂隙发育岩体、断层破碎带、浅埋大偏压等围岩，并对地层变形有严格要求的工程。

(2)通常，在下列施工场合应考虑采用管棚进行超前支护：

1)穿越铁路修建地下工程。

2)穿越地下和地面结构物修建地下工程。

3)修建大断面地下工程。

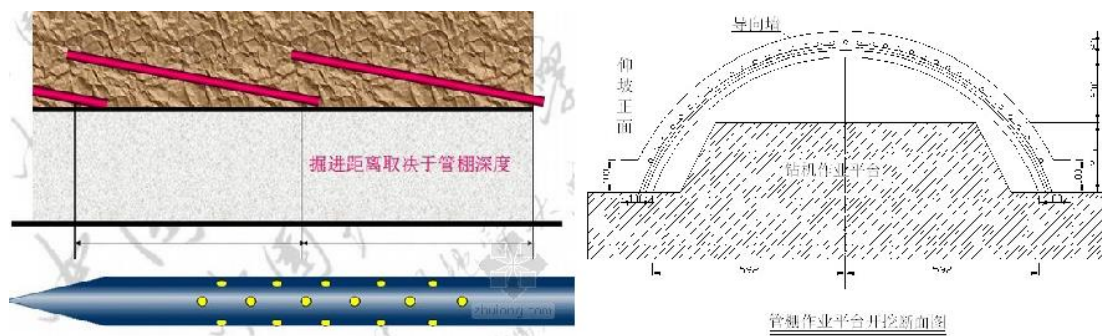
4)隧道洞口段施工。

5)通过断层破碎带等特殊地层。

6)特殊地段，如大跨度地铁车站、重要文物保护区、河底、海底的地下工程施工等。

(二) 技术要点

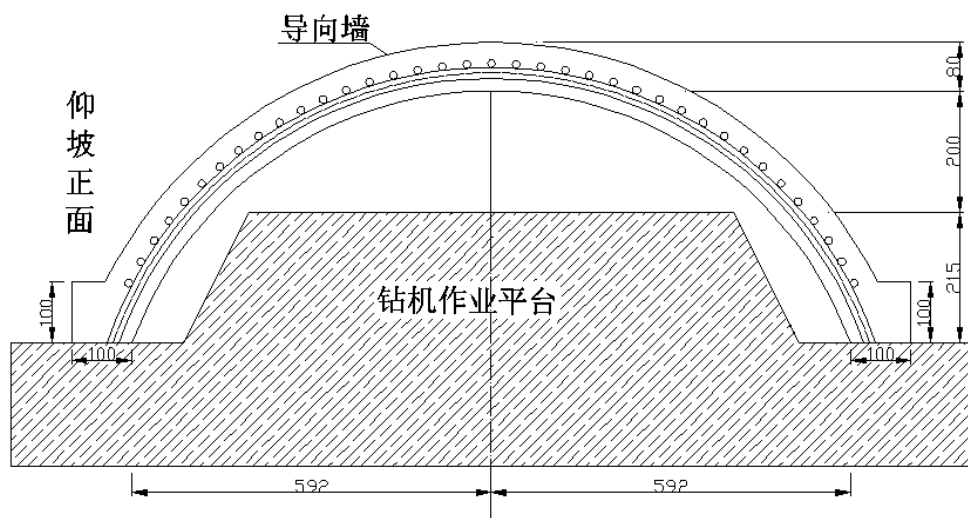
施工流程：测放孔位→钻机就位→水平钻孔→压入钢管→注浆（向钢管内和管周围土体）→封口





(2)管棚应根据地层情况、施工条件和环境要求选用，并应符合以下要求：

- 1)宜选用加厚的 $\Phi 80 \sim \Phi 180\text{mm}$ 焊接钢管或无缝钢管制作。一般采用 $\Phi 108 \times 8\text{mm}$ 钢管，相应的孔口管采用 $\Phi 127 \times 8\text{mm}$ 钢管。
- 2)钢管间距应根据支护要求（如：防坍塌、控制建（构）筑物变形等）予以确定，宜为 $300 \sim 500\text{mm}$ 。
- 3)双向相邻管棚的搭接长度不小于 3m 。
- 4)为增加管棚刚度，应根据需要在钢管内灌注水泥砂浆、混凝土或放置钢筋笼并灌注水泥砂浆。
- 5)钢管宜沿隧道开挖轮廓线纵向近水平方向或按纵坡要求设置。
- 6)长管棚宜在竖井内实施。必须在隧道内施作时，应预先设置加高段来满足钻机操作空间要求，对掌子面应采用喷射混凝土墙进行封闭处理。



管棚作业平台开挖断面图

(3)钢格栅拱架应根据现场条件单独设计制作，以满足管棚施工和受力要求。

(4)钻孔顺序应由高孔位向低孔位进行。钻孔直径应比设计管棚直径大 30~40mm。钻杆方向和角度应符合设计要求。钻孔过程中应注意钻杆角度的变化，并保证钻机不移位。

(5)管棚在顶进过程中，应用测斜仪控制上仰角度。顶进完毕后应对每根管进行清孔处理。



(6)钢管在安装前应逐孔逐根进行编号，按编号顺序接管推进、不得混接。管棚接头应相互错开。

(7)管棚就位后，应按要求进行注浆；钢管内部宜填充水泥砂浆，以增加钢管强度和刚度。

注浆应采用分段注浆方法,浆液能充分填充至围岩内。注浆压力达到设定压力,并稳压 5min

以上,注浆量达到设计注浆量的 80%时,方可停止注浆。



(1)当浅埋暗挖施工地下结构处于富水地层中,且地层的渗透性较好,应首选降低地下水位法达到稳定围岩、提高喷锚支护安全的目的。含水的松散破碎地层宜采用降低地下水位法,不宜采用集中宣泄排水的方法。

(2)在城市地下工程中采用降低地下水位法时,最重要的决策因素是确保降水引起的沉降不会对已存在构筑物或拟建构筑物的结构安全构成危害。

(3)降低地下水位通常采用地面降水方法或隧道内辅助降水方法。

(4)当采用降水方案不能满足要求时，应在开挖前进行帷幕预注浆，加固地层等堵水处理。

根据水文、地质钻孔和调查资料，预计有大量涌水或涌水量虽不大，但开挖后可能引起大规模塌方时，应在开挖前进行注浆堵水，加固围岩。

四、喷锚支护施工技术

浅埋暗挖法施工地下结构需采用喷锚初期支护，主要包括①钢筋网喷射混凝土、②锚杆—钢筋网喷射混凝土、③钢拱架—钢筋网喷射混凝土等支护结构形式，可根据围岩的稳定状况，采用一种或几种结构组合。





(一) 主要材料

(1) 喷射混凝土应采用早强混凝土，其强度必须符合设计要求。严禁选用具有碱活性集料。

可根据工程需要掺用外加剂，速凝剂应根据水泥品种、水胶比等，通过不同掺量的混凝土试验选择最佳掺量，使用前应做凝结时间试验，要求初凝时间不应大于 5min，终凝时间不应大于 10min。



(2) 钢筋网材料宜采用 Q235 钢（碳素钢），钢筋直径宜为 6~12mm，网格尺寸宜采用 150~300mm，搭接长度应符合规范。钢筋网应与锚杆或其他固定装置连接牢固。

(3) 钢拱架宜选用钢筋、型钢、钢轨等制成，采用钢筋加工而成格栅的主筋直径不宜小于18mm。



(二) 格栅加工及安装

(1) 格栅拱架和钢筋网片均应在模具内焊接成型。

(2) 格栅拱架、钢筋网片加工制作应符合下列要求：

1)按照图纸组装焊接格栅拱架各部件，“8”字筋布置应均匀、对称，方向相互错开，“8”字筋间距不得大于 50mm。节点板用连接螺栓紧固。

2)格栅钢架在模具内初步点焊固定，从模具内对称、均匀取出，按设计要求将格栅钢架冷弯、

焊接成型。

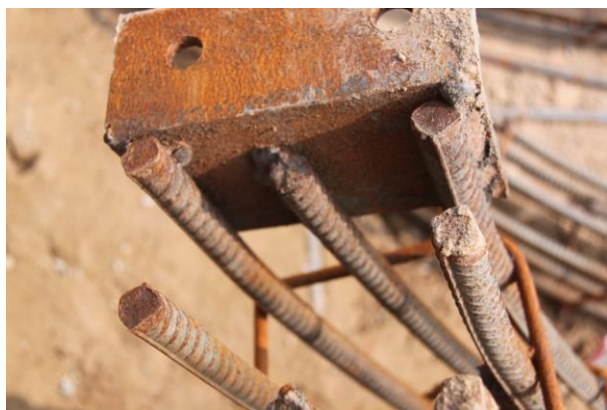


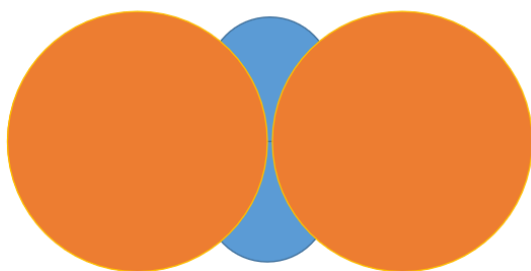
3) 格栅拱架组装焊接应从两端均匀对称地进行，以减少应力变形。

4) 格栅拱架主筋和“8”字筋之间、主筋与连接板之间应双面焊连接，焊缝应平顺、饱满、连续，无咬蚀、气孔、夹渣现象；焊接成品的焊缝药皮应清理干净。

5) 钢架主筋应相互平行，偏差应不大于 5mm。连接板应与主筋垂直，偏差不得大于 3mm。

6) 钢筋网片应严格按设计图纸尺寸加工，每点均为四点焊接。





(3)首榀格栅拱架应进行试拼装，并应经建设单位、监理单位、设计单位共同验收合格后方可批量加工。格栅拱架拼装尺寸允许偏差应为 $0\sim+30\text{mm}$ ，平面翘曲应不大于 20mm 。

(4)格栅拱架、钢筋网片应分类存放、标识，并采取防锈蚀措施；运输和存放过程中应采取防变形措施。



(5) 格栅拱架安装应符合下列要求：

- 1)格栅拱架安装应符合设计要求，严格控制间距。
- 2)格栅拱架安装定位后，应紧固外、内侧螺栓。
- 3)格栅拱架节点应采用螺栓紧固；钢筋帮（条）焊应与主筋同材质。

(6)钢筋网片应沿格栅拱架内、外侧主筋和纵向连接筋铺设，钢筋网片纵向和环向搭接长度

应不小于 1 个网孔，网片之间、网片与格栅钢架、纵向连接筋应绑扎牢固或点焊连接牢固。

(7)纵向连接筋直径、间距以及连接应符合设计要求。连接筋应与格栅主筋点焊牢固；沿环向连接筋应在主筋内、外侧交错布置。

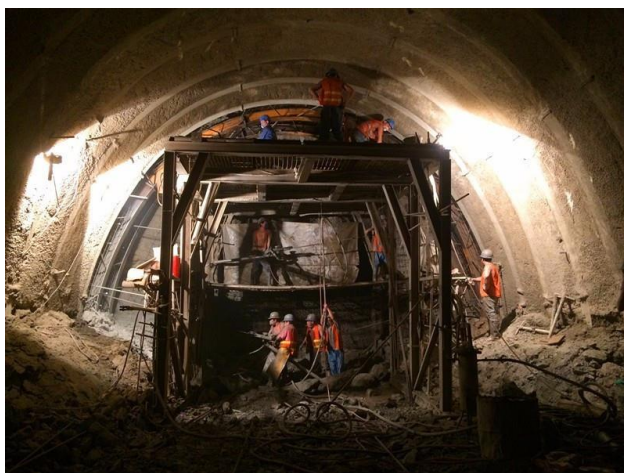
(8)连接筋长度应为格栅拱架间距+搭接长度；采用双面搭接焊时，搭接长度为 5d；单面焊的搭接长度为 10d。焊接质量应符合设计和现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ18—2012 的相关要求。

(9) 格栅拱架安装时，其拱脚处不得座在虚土上，连接板下宜加垫板以减小拱架下沉量；相邻格栅纵向连接应牢固。

(10) 在自稳能力较差的土层中安装格栅拱架时，应按设计要求在拱脚处打设锁脚锚管，以防止拱架下沉。

(11)折点处的格栅拱架安装时，应预先进行排列计算并画出格栅排列图，以确保转弯半径要求。

(12)双层隧道格栅拱架的安装应配合中隔板、临时支撑施工，并应保证受力体系转换安全可靠。

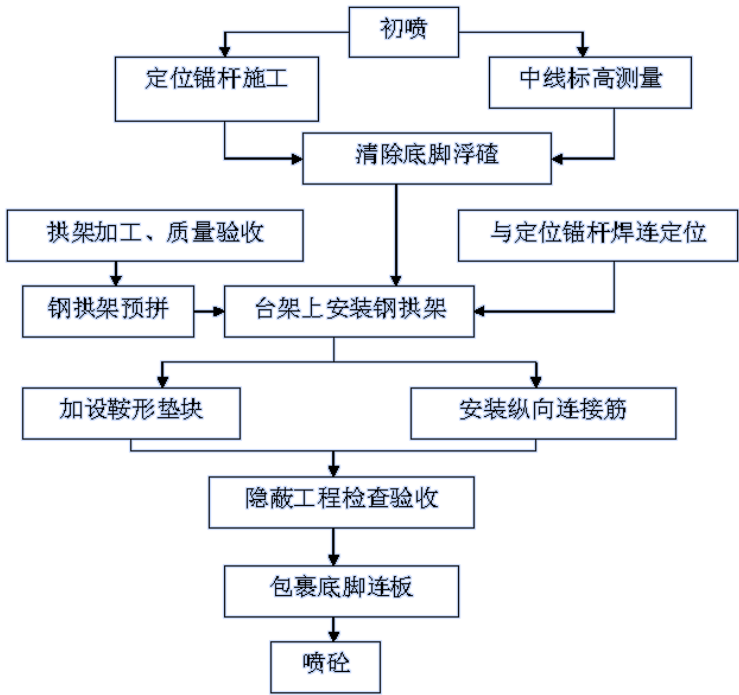


(13) 格栅架立及安装应符合下列要求：

1)格栅架立纵向允许偏差应为 $\pm 50\text{mm}$ ，横向允许偏差应为 $\pm 30\text{mm}$ ，高程允许偏差应为 $\pm$

35mm。

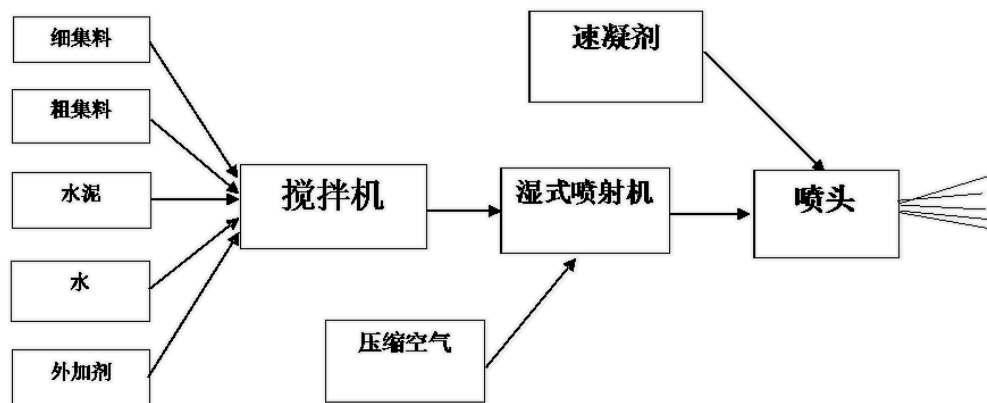
2)格栅安装时，节点板栓接就位后应帮焊与主筋同直径的钢筋。单面焊长度不小于 10d。



(二) 喷射混凝土

(1)喷射混凝土时，应确保喷射机供料连续均匀。作业开始时，应先送风送水，后开机，再给料；结束时，应待料喷完后再关机停风。喷射机作业时，喷头处的风压不得小于 0.1MPa。喷射作业完毕或因故中断喷射时，应先停风停水，然后将喷射机和输料管内的积料清除干净。

(2)混凝土喷射前应检查喷射机喷头的状况，使其保持良好的工作性能。喷射时，应用高压风清理受喷面、施工缝，剔除疏松部分；喷头与受喷面应垂直，距离宜为 0.6 ~1.0m。





(3)喷射混凝土应分段、分片、分层自下而上依次进行。混凝土厚度较大时，应分层喷射，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行。素喷混凝土一次喷射厚度参见表 1K413044。

喷射方法	部位	掺速凝剂	不掺速凝剂
干拌法	边墙	70-100	50-70
	拱部	50-60	30-40
湿拌法	边墙	80-150	——
	拱部	60-100	——

(4)喷射混凝土时，应先喷格栅拱架与围岩间的混凝土，之后喷射拱架间的混凝土。格栅拱架连接板、墙角等钢筋密集处应适当调整喷射角度，保证混凝土密实。



(5)喷射混凝土应控制水胶比中的水灰比，避免喷射后发生流淌、滑坠现象，并应采取措施减少喷射混凝土材料的回弹损失。严禁使用回弹料。

(6)在遇水的地段进行喷射混凝土作业时，应先对渗漏水处理后再喷射，并应从远离漏渗水处开始，逐渐向渗漏处逼近。

(7)在砂层地段进行喷射作业时，应首先紧贴砂层表面铺挂钢筋网，并用钢筋沿环向压紧后再喷射。喷射时，宜先喷一层加大速凝剂掺量的水泥砂浆，并适当减小喷射机的工作风压，待水泥砂浆形成薄壳后方可正式喷射。

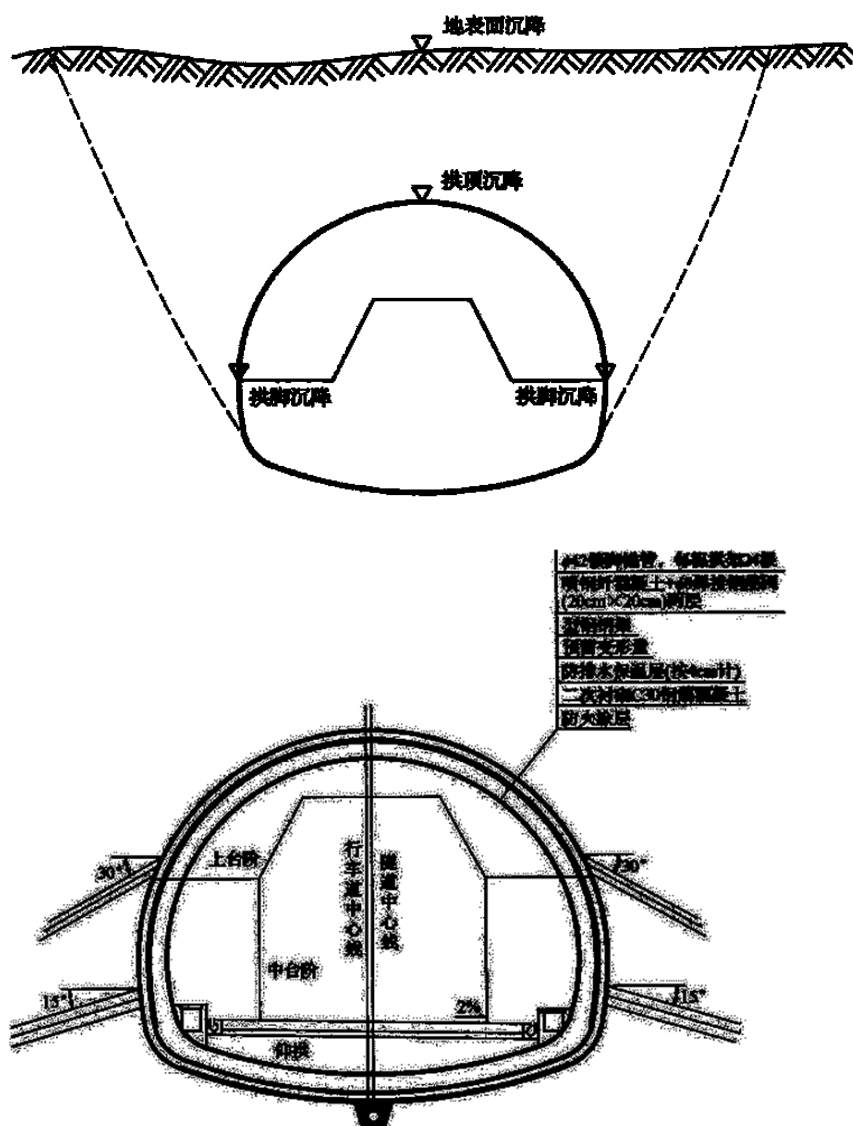
(8)格栅拱架、钢筋网片的喷射混凝土保护层厚度应符合设计要求。

(9)喷射混凝土的养护应在终凝 2h 后进行，养护时间应不小于 14d；当环境潮湿有水时，可根据情况调整养护时间。

(五) 锁脚锚杆注浆加固

(1)隧道拱脚应采用斜向下 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 打入的锁脚锚杆（管）锁定。

(2)锁脚锚杆（管）应与格栅焊接牢固，打入后应及时注浆。



(六) 初期支护背后注浆

(1)隧道初期支护封闭后, 应及时进行初支背后回填注浆。注浆作业点与掘进工作面宜保持在 5~10m 的距离。

(2)背后回填注浆管在格栅拱架安装时宜埋设于隧道拱顶、两侧起拱线以上的位置, 必要时侧墙亦可布设, 间距应符合设计要求。注浆管应与格栅拱架主筋焊接或绑扎牢固, 管端外露不应小于 100mm。

(3)背后回填注浆应合理控制注浆量和注浆压力。当注浆压力和注浆量出现异常时, 应分析原因, 调整注浆参数。

(4)根据地层变形的控制要求，可在初期支护背后多次进行回填注浆。注浆结束后，宜经雷达等检测手段检测合格，并应填写和保存注浆记录。