

隧道施工技术及安全知识

1 洞口工程

按设计要求进行边坡、仰坡放线，自上而下分层开挖，施工机械以 PC200 长臂挖掘机为主；洞口场地用装载机辅以推土机整平压实；遇坚硬石质地层人工钻眼爆破，自卸车运输，挖方弃往指定的弃碴场。洞口段开挖应充分考虑洞内施工、修建供风、供水、供电设施及材料堆放场地和机械停放场地的需要，合理布置。

边仰坡施工

边仰坡防护、开挖按设计坡度一次整修到位，并分层进行边仰坡防护，以防围岩风化、雨水渗透而坍塌。边仰坡以锚喷防护，喷混凝土厚 5cm，以稳定边仰坡。刷坡防护到路基面标高。喷混凝土采用湿式混凝土喷射机，边仰坡锚杆采用长 2.0~5.0m 的 20 锚杆，间距为 1.5m，外露杆头不大于 6cm 并在其上挂设钢筋网；喷射砼厚度有设计的必须达到设计要求，无设计的可根据实际情况而定，但最小不应小于 5cm，并对凹处喷射混凝土找平，做到喷层表面平整园顺、外表美观。

洞口排水设施施工

洞门及洞口附近的排水、截水设施应配合洞门施工尽早完成，并与路堑排水系统连通，以免地表水冲刷坡面。洞顶天沟应顺接原排水通道，利用人工进行开挖，并保证浆砌圬工施工质量，土质天沟随挖随砌。

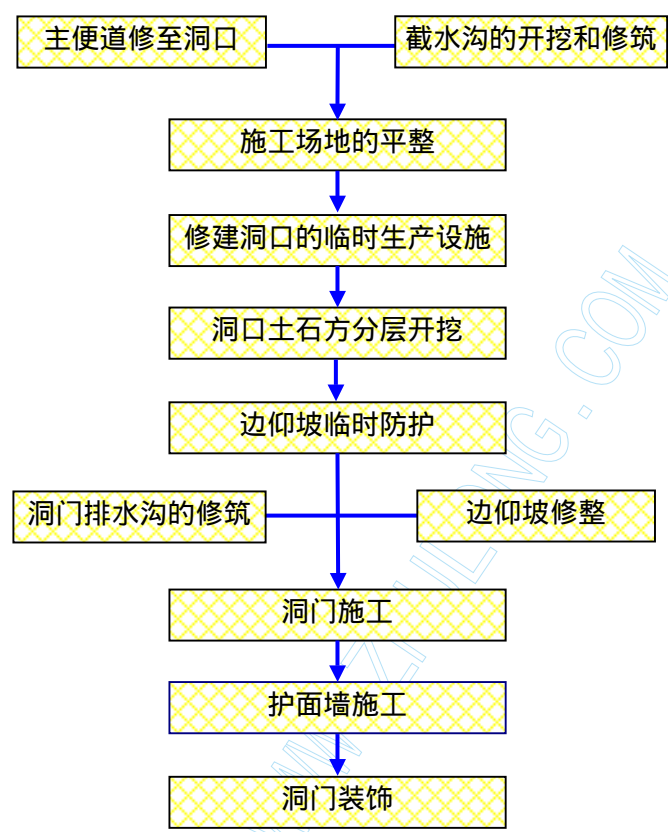
洞门施工

隧道洞门应及早施工，结合地形地质及考虑洞口美化等条件。进洞施工前，应先将洞外排水系统做好，再行进洞，

以防对洞门造成威胁。

施工工艺

洞口施工工艺流程见下图



洞口工程施工工艺框图

施工安排

为实现尽早施工的目的，在施工队伍入场后立即组织队伍进行洞门施工，争取尽早进入正洞施工。

施工前在现场核对洞口处工程地质和水文地质条件以及设计文件所定洞口位置是否恰当。

洞门端墙基础应置于稳定的地层上，清除虚碴、杂物、积水和风化软层。

洞门及洞口附近的排水、截水设施应配合洞门施工尽早做好，并与路堑排水系统连通，以免地表水冲刷坡面，

如需要修建农田水利排灌系统及人行道、高压线路、通讯线路、汽车道、拖拉机道等，应合并考虑，适当处理。

洞口仰坡和边坡宜在进洞前刷好，坡度的施工方法允许偏差为 $\pm 5\%$ ；洞口土石方不得使用集中药包爆破，以免影响仰坡、边坡的稳定；对土质、风化剥落的坡面和稳定的坡脚，应予以防护。

洞门构造、洞门墙尺寸以及基础和圬工砌筑的允许偏差，应符合技术规范。

洞门端墙顶水沟砌筑在回填土时，应分层紧密夯实回填土。

洞门端墙的砌筑与墙后回填应两侧同时进行，墙背与岩壁空隙不大时，应用与墙身相同标号圬工回填；空隙较大时，一般可用浆砌片石回填，在岩层无侧压力时，才允许用干砌片石回填，并要回填密实。

洞门端墙与洞外挡护墙宜配合施工。

洞门拱、墙应与洞内相邻的拱、墙衬砌同时施工，连成整体。

洞门砌筑时，应按设计预留隧道名牌及号标的位置。

洞口工程安全技术

一、洞口工程施工应符合下列规定：

1、坡断面应自上而下开挖，一次将土石方工程做完，开挖人员不得上下重叠作业.在高于 2m 的边坡上作业时应符合本规程第 2.7 节的规定。

2、边、仰坡以上山坡松动危石应在开工前清除干净；

施工中应经常检查，特别是在雨雪之后，发现松动危石必须立即清除。

3、爆破作业应符合本规程第 3.6 节的规定。爆破后应在清除边仰坡上的松动石块后，方可继续施工。地质不良时，边仰坡应采取加固措施。

4、端墙处的土石方开挖后，对松动岩层应进行支护。

二、隧道门及端墙工程施工应符合下列规定：

1、砌体工程脚手架、工作平台应搭设牢固，并设有扶手、栏杆。脚手架不得妨碍车辆通行。

2、起拱线以上的端墙施工时应设安全网，防护人员、工具和材料坠落。


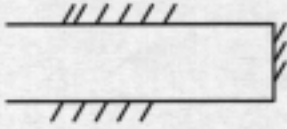
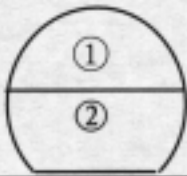
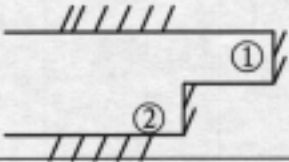
3、起吊作业应符合本规范 2.3 节规定，起吊材料时机下严禁车辆和人员通行。

2 爆破开挖


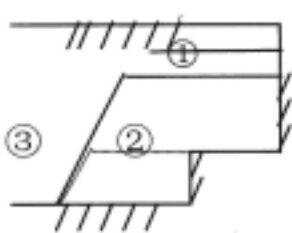
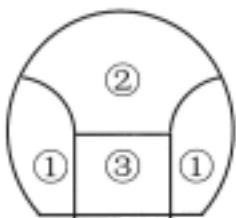
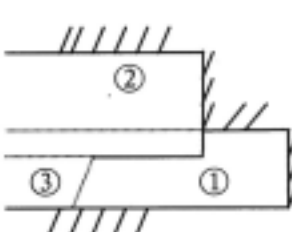
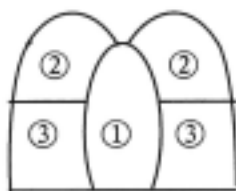
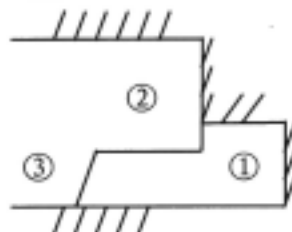
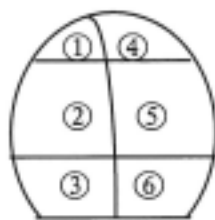
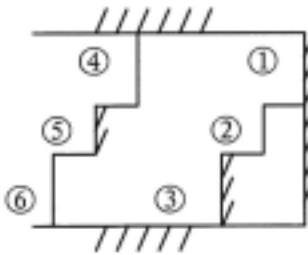
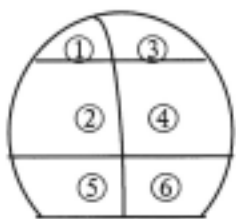
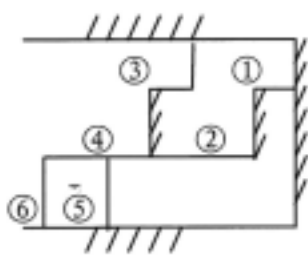
钻爆法它是隧道工程中通过钻眼、爆破、出碴而形成结构空间的一种开挖方法，是目前修建山岭隧道的最通行的方法。按开挖分部情况分为全断面、台阶、环行开挖留核心土、双侧壁导坑、中洞、中隔壁、交叉中隔壁开挖法。

图示如下：

铁路隧道钻爆法开挖方法

序号	名称	横断面示意图	纵断面示意图
1	全断面开挖法		
2	台阶法		

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

3	环形开挖 预留核心 土法		
4	双侧壁导坑法		
5	中洞法		
6	中隔壁法 (CD法)		
7	交叉中隔壁法 (CRD法)		

采用自制简易台架、台车钻眼、装药，全断面或分部光面爆破开挖。

光面爆破是一项先进的爆破技术，与传统的爆破开挖相

比，它有许多的优点，即：爆破后开挖轮廓成型规则，符合设计要求；对围岩的扰动和破坏小，增强了围岩自身的承载能力，提高了围岩的稳定性；良好的光爆效果，为提高锚喷支护和复合式衬砌防水层的施工质量提供了有利的条件；能很好地控制超、欠挖，减少出碴量和混凝土圬工量，不仅降低了工程成本，而且加快了施工进度，可以创造出良好的经济效益。因此，光面爆破技术必须在隧道钻爆法开挖中广泛推广和运用。

光面爆破通过采取一系列的措施对开挖工程周边部位实行准确地钻孔和爆破，爆破后能精确地沿周边眼连线形成断裂面，把设计要求爆除的岩石崩落下来，并使围岩稳定性不因爆破而遭到明显的破坏。为了达到良好的光爆效果，光面爆破对钻眼、装药、连线、起爆等各个环节都有严格的要求。因此，制订本光面爆破施工技术规程，以规范光爆作业。

钻爆设计

隧道开挖前，负责爆破作业的技术人员应根据工程地质条件、开挖断面、开挖方法、循环进尺、钻眼机具和爆破材料等进行钻爆设计。其内容为：炮眼的布置、数目、深度和角度；装药量和装药结构；起爆方法和爆破顺序；凿岩机的台数安排等。设计图应包括：炮眼布置图、周边眼装药结构图、钻爆参数表、主要技术经济指标及必要的文字说明。

由于地下结构的地质条件复杂多变，实际施工中应根据围岩情况和爆破效果及时修改和完善爆破设计，以选择出合理的钻爆参数。如开挖条件出现变化，需要变更爆破设计时，应由主管爆破的技术人员确定，钻爆作业必须严格按照爆破设计进行钻眼、装药、联线和引爆。

画轮廓线、布置炮眼

钻眼前应按设计要求准确绘出开挖断面中线、水平和断面轮廓，并根据爆破设计标出炮眼位置。为了提高画线精度，应尽可能采用激光导向仪定点、指导画线，在隧道周边轮廓线拱顶和两侧拱脚各安装一台激光导向仪，通过激光束在掌子面上的投点来控制轮廓关键点，激光导向仪应牢固安装在不会受爆破振动影响而产生偏移的距离处。

钻眼

钻眼精度的高低直接影响着爆破效果，它包括开孔位置、炮眼垂直度、孔底平面和周边眼外插角。为了保证打眼精度，钻眼过程中，应选派工作认真负责、有较高操作技术水平的司钻人员来领钻，以降低一般台车司机因目测方向不

准所引起的超欠挖。台车司机在钻眼过程中，则应力求做到“准、齐、平、直”。

1. “准”，即开孔位置要求准确。

要求掏槽眼孔口间距误差和孔底间距误差不大于 5cm；辅助眼孔口排距和行距误差不大于 10cm；周边眼开孔位置在设计断面轮廓线上，允许沿轮廓线调整，其误差不大于 5cm；内圈眼与周边眼的排距误差不大于 5cm。

2. “齐”，即要求各炮眼眼底都落在同一平面上，以保证爆破后能形成较整齐而垂直的开挖面。当开挖面凹凸较大时，应根据实际情况调整炮眼深度，除掏槽眼和底板眼可适当加深 10~20cm 外，其余炮眼的眼底均应在同一垂直面上。

3. “平”，即要求各炮眼相互平行，并平行于隧道轴线。

隧道利用台车打眼，台车准确就位是提高打眼精度的关键之一，因此，台车轨道中线（或台车轴线）应与隧道轴线平行，以便较好地控制炮眼的外插角。钻周边眼时，应使凿岩机尽量贴近岩壁，炮眼可以按 3~5% 的斜率外插，孔底不超出开挖轮廓线 10cm，最大不超过 15cm，以克服凿岩机外形尺寸的影响，为下茬炮钻眼创造条件；当炮眼深度超过 2.5m 时，内圈眼与周边眼应采用相同的斜率钻眼。

4. “直”，即要求各炮眼均平行于隧道的轴线方向，沿直线钻进。

台车钻眼过程中应注意：

(1) 台车的四个臂要事先划分区，定人定位，分工合作，这样有利于检查钻孔质量和提高钻孔速度，加强司钻工的责任心，提高钻眼水平，保证钻眼质量，减少相互干扰，避免错钻、漏钻。

(2) 台车钻眼时，由于操作台距掌子面近 10m，距离远，因此，应加强配合，勤于观察，注意钻眼方向、角度和深度的准确。

(3) 钻眼应按一定的顺序进行，尽量平行移动推进梁，通过调整推进梁轴线与隧道轴线平行的方法来保证炮眼的平、直，力求每个炮孔都与隧道轴线平行，互相平行不交叉，准确控制周边眼外插角。

(4) 隧道爆破开挖成败的关键是掏槽技术，掏槽成功与否直接影响着爆破效果。由于掏槽眼的打眼精度要求较高，因此，应选派责任心强、技术熟练的操作手负责掏槽眼的打眼和装药。

装药

1. 光面爆破，特别是大断面光面爆破，炮眼个数多，雷管段数、装药结构、装药量和起爆顺序较复杂，应统一安排，合理分区、分工负责，以免造成装药混乱。
2. 装药工必须了解和熟悉其负责区域的炮眼布置和装药参数，做到心中有数，保证不错装、漏装。
3. 装药准备工作做好以后，方能将爆破器材运到工作面，爆破器材应堆放整齐，以免石块砸坏和人员踩伤导爆管。
4. 装药前，应对导爆管进行直观检查，已经破损和没有段别标签的导爆管不得使用。
5. 装药时，应注意避免导爆管损坏、打结；应分断面从上而下进行，以避免落石砸断或打破导爆管。
6. 严格按照设计的装药量、雷管段数和装药结构进行装药，切勿混装，否则，会严重影响爆破效果。

周边眼宜采用低爆速、低密度、低猛度、传爆性能好的小直径药卷连续装药，或采用标准药卷空气间隔装药。为保证装药质量，提高装药速度，可事先加工药卷，具体方法是：把切好的药卷按设计的装药量和间隔距离绑扎在竹片上，并绑上导爆索，以保证传爆可靠。

内圈眼的装药量也应控制，过大易对周边围岩造成破坏，过小将使周边眼爆破的临空面形成不充分。内圈眼与周边眼的雷管宜跳段使用，以便为周边眼爆破创造良好的临空面。

7. 炮眼装药后，所有炮眼必须认真堵塞炮泥。一般 5m 深孔爆破用黄泥堵塞长度不应小于 30cm，3m 及以下孔深爆破，堵塞长度不应小于 20cm。堵塞炮眼可以充分利用炸药能量，提高爆破效果。

联接、起爆

1. 在所有非必须的机具、设备撤离爆破地点后，才可以开始联接网路。
2. 联接、起爆是钻爆作业中最后一道工序，但它的质量好坏直接关系到爆破的成功与否，应派责任心强的人负责，认真联接，避免错联或漏联。网路联接时，应由里向外进行，要防止起爆雷管附近有其它簇联线交织，避免传爆雷管打断导爆管。联接应尽可能靠近眼孔，要求联接整齐，便于直观检查网路。联接起爆的导爆管应尽量收拢，但不得拉细、打结，避免导爆管受损。
3. 传爆雷管应包扎在离导爆管自由端不小于 10cm 处，导爆管均匀地敷设在传爆雷管周围，并用黑胶布包扎牢固（三层

以上)，以免雷管爆炸后，碎片飞出割断还未传爆的导爆管。
4. 所有传爆雷管和引爆雷管都应倒装，即把雷管的聚能穴朝向所联接的导爆管端头，从而避免雷管的聚能流在导爆管内的爆轰波尚未通过之前先把导爆管切断而拒爆。起爆网路可采用簇并联方法联接，为了提高起爆网路的可靠性，可以采用同段双雷管（如 1 段）的保险网路，并且每簇不超过 20 根导爆管。
5. 网路联接好后，要认真检查联接是否正确，如：是否所有炮眼的导爆管都联接进去，是否每个簇联内都有引爆雷管等。

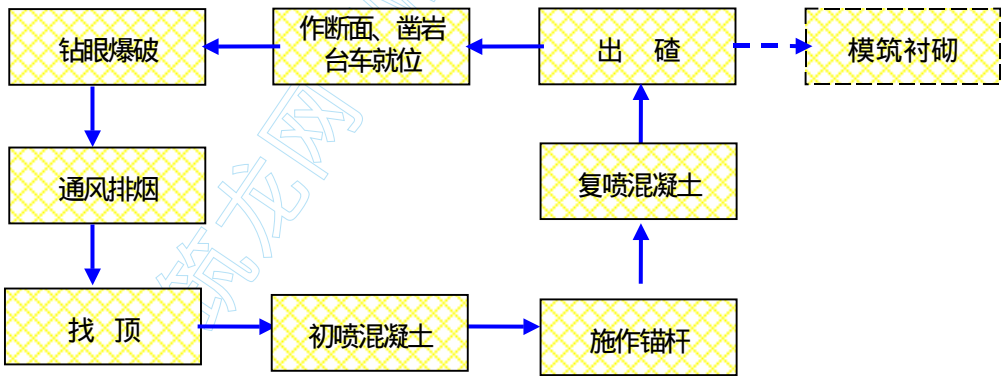
、 级围岩地段施工

施工方法

采用 自制简易台架、台车钻眼、装药，全断面光面爆破开挖，锚喷施工支护。全断面光面爆破采用直眼掏槽，炮眼直径为45mm，非电毫秒雷管起爆。

工艺流程

、 级围岩地段施工工艺流程如下图所示。



、 级围岩施工工艺图

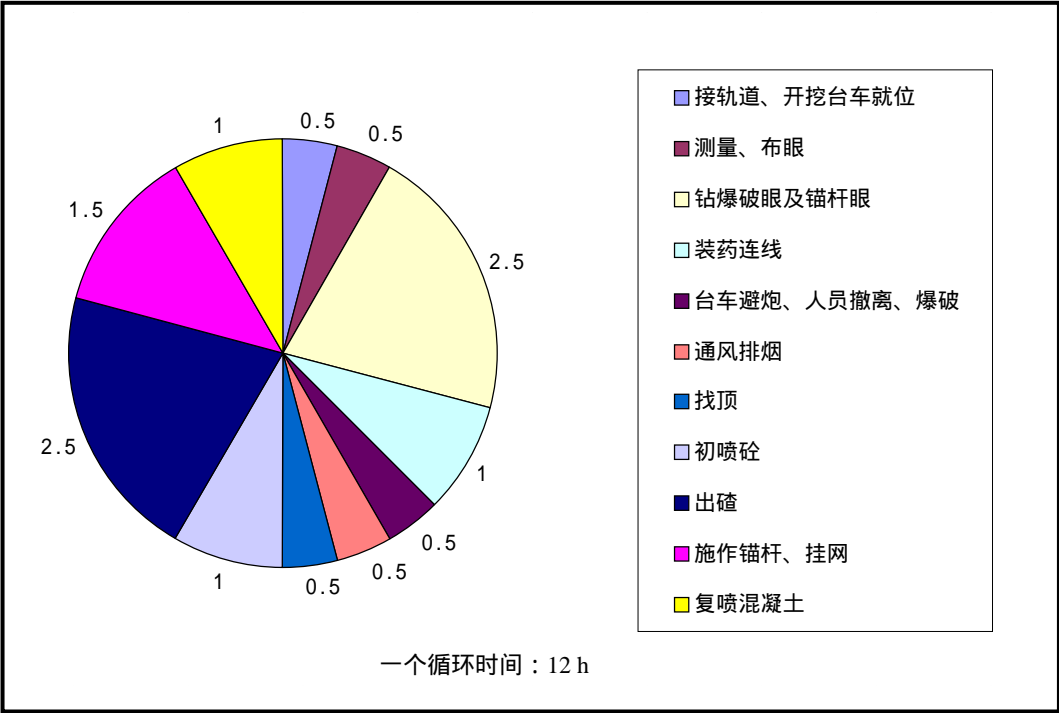
、 级围岩施工循环作业时间

a 循环作业时间表

循环时间安排表

顺序	作 业 项 目	需用时间(h)	备 注
1	接轨道、岩台车就位	0.5	
2	测量、布眼	0.5	
3	钻爆破眼（循环进尺 3.2m） 及锚杆眼	2.5	
4	装药、连线	1.0	
5	台车避炮、人员撤离、爆破	0.5	
6	通风、排烟	0.5	
7	找顶	0.5	
8	初喷混凝土	1.0	
9	出碴	2.5	
10	施作锚杆	1.5	
11	复喷混凝土	1.0	
合 计		12	

b 循环作业时间流程图



劳动力组织

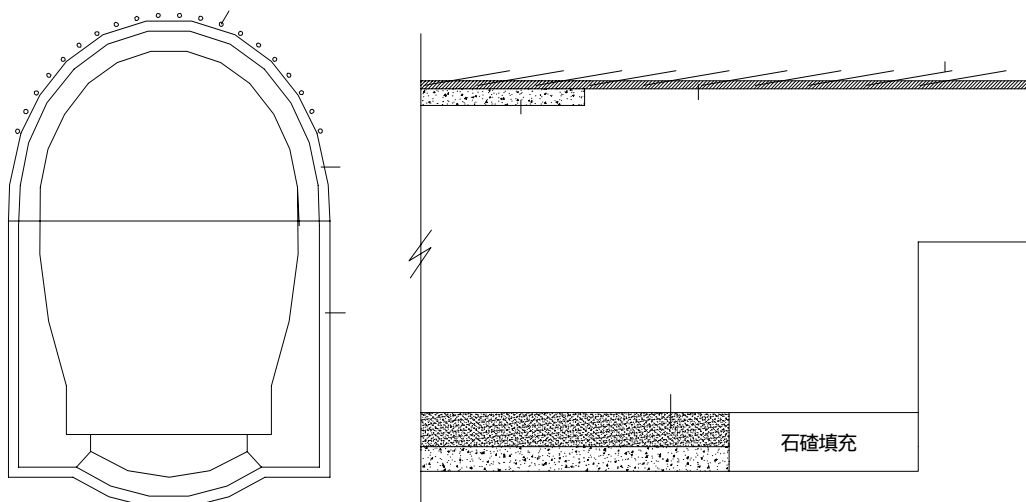
a 凿岩台车开挖（含装药爆破）：12人；装碴：司机2人，辅助作业2人，计4人；运输：电瓶车司机8人，调车员8人，计16人。共计32人；

b 施工临时支护：打锚杆、安装格栅8人，喷混凝土操作手2人、辅助工6人，共计16人。

共计48人。

围岩段施工方法、工艺流程、技术质量措施

级围岩段采用气腿式风钻利用简易钻孔台架打眼，光面爆破。简易钻孔台架用钢管脚手架搭设。正台阶开挖时，上半台阶炮眼在台阶上作业，其作业平台仅用于打下半台阶的上部炮眼上半断面的石碴由反铲挖掘机扒至下台阶后，由挖装机或装载机装碴。出碴车辆选用 8t 自卸汽车



级围岩施工程序图

注：施工拱部超前支护结构（小导管或超前锚杆）；开挖上台阶 部；施工上台阶支护结构 部；开挖下台阶 部；施工边墙支护结构 部；开挖浇注仰拱 部；施工拱墙防水层，绑扎钢筋，浇筑拱墙混凝土 。

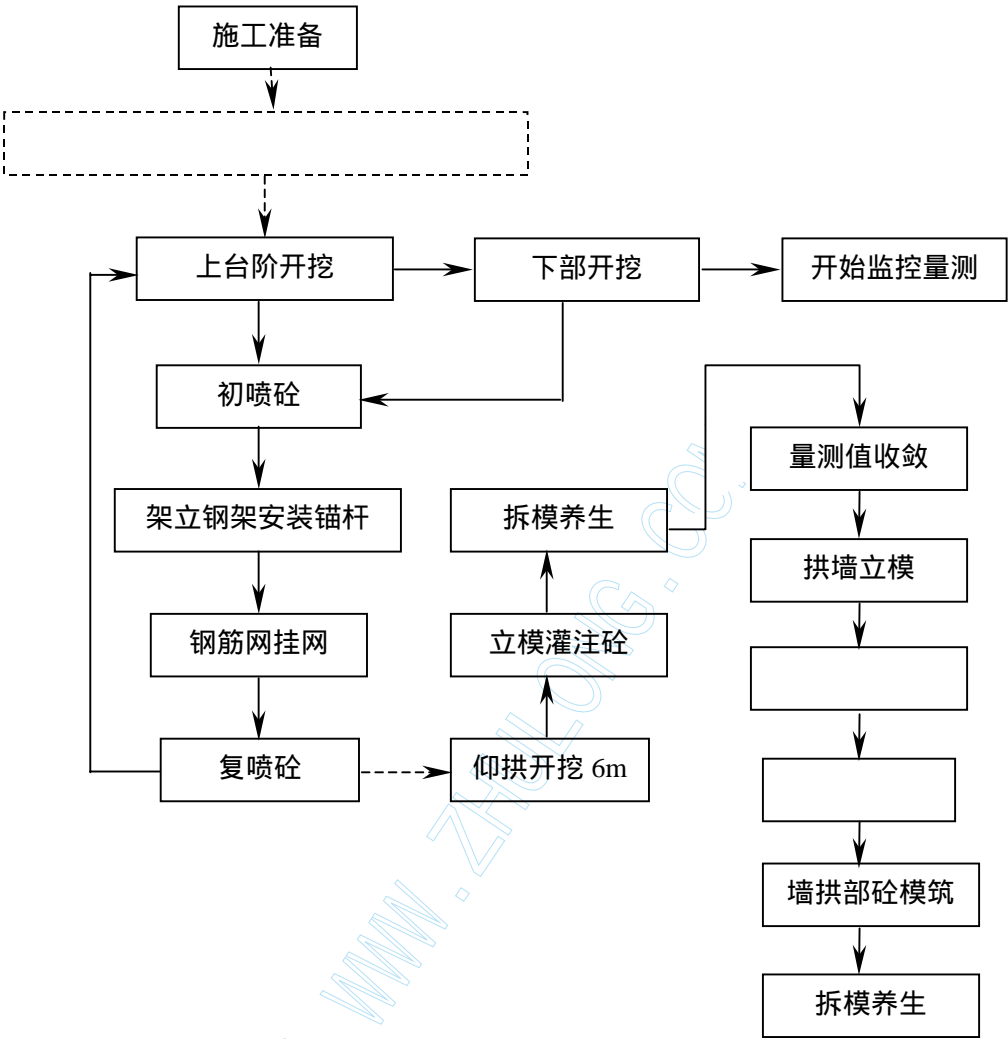
施工中合理调整工序，“钻爆、装碴、运输”机械化一条龙作业（上、下断面间钻眼、出碴等工序实行平行作业）。隧道开挖后及时施作喷锚支护，下半断面开挖后仰拱施工紧跟。

上台阶爆破开挖后，根据围岩实际情况，围岩软弱破碎时，先喷射 5-8cm 混凝土临时支护，之后安排出碴，石碴清理完毕后立即安排初期支护施工。

仰拱与下断面一次钻孔爆破，保留仰拱部位石碴，衬砌施工前，人工配合机械清理石碴，浇筑仰拱及填充混凝土

工艺流程

见图



围岩段开挖工艺流程图

作业循环

围岩段正台阶法施工作业循环时间表

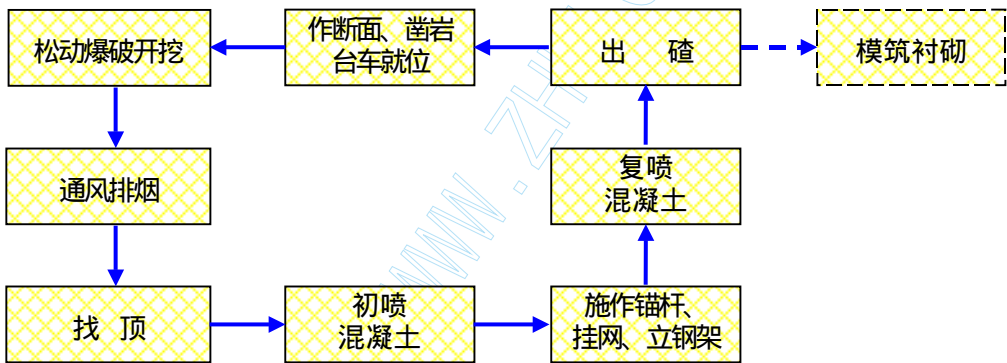
工 序	作业时间 (min)	循环时间 (h)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
地质预报及测量放线	60	—											
钻 眼	120	—	—	—	—								
装药、联线	90			—	—	—							
通 风	30					—							
出 碴	150						—	—	—	—			
初期支护	300							—	—	—	—	—	—

级围岩地段施工

施工方法

级围岩地段采用风镐或松动爆破进行短台阶法开挖，台阶长度 5m，每循环进尺为 0.8m，必要时上台阶开挖改为环形开挖留核心土，锚、喷、网和钢支撑及超前小导管注浆加强支护，并辅以钻孔超前探水，预注浆堵水。级围岩地段，坚持“短进尺、弱爆破、早支护、勤量测、紧封闭”的原则，确保施工安全。

工艺流程



级围岩施工工艺图

施工循环作业时间

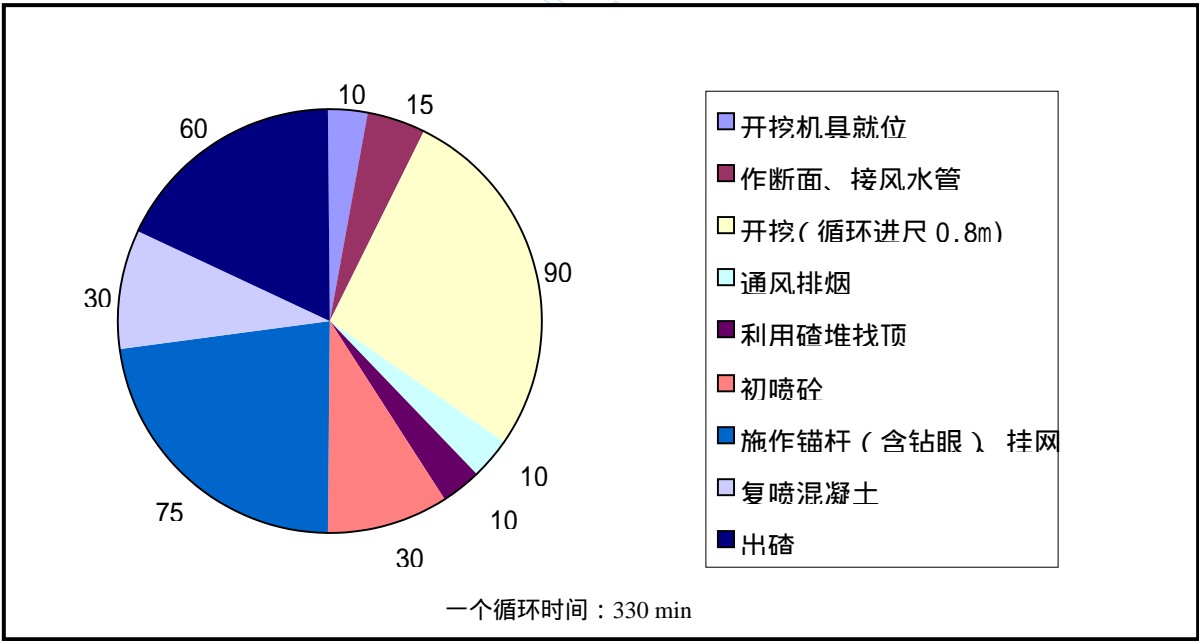
a 循环作业时间表

级围岩开挖作业循环时间表

序	作 业 项 目	需用时间	备 注
1	开挖机具就位	10	

2	作断面、接风水管	15	
3	开挖（进尺 0.8m）	90	7 台风镐
4	通风排烟	10	
5	找顶	10	
6	初喷矸	30	
7	施作锚杆、挂网、立格栅钢架	75	
8	复喷混凝土	30	
9	出碴	60	
合 计		330	

开挖作业循环时间如下图所示



说明：1. 循环作业时间中未计入施作超前支护和架立钢架时间。

2. 时间单位：min

隧道爆破安全技术

1.1 爆破器材的领取必须专人负责，其品种、规格及数量由爆破负责人视实际需要填写火工品领用单，照单领取。

不得提前班次领取爆破器材，所领取的爆破器材不得遗失或转交他人，不准擅自销毁或挪作它用。爆破结束后，必须将剩余的爆破器材如数及时交回器材库。

1.2 从炸药库向工作地点运送爆破器材时，应将爆破器材直接送到爆破地点，不得携带爆破器材在人群聚集的地方停留，禁止乱丢、乱放。雷管、炸药必须分别存放在专用的器材箱，严禁装在衣袋内。

1.3 人工搬运爆破器材时，一人一次运送的起爆器材不得超过 10 公斤；可搬运散装炸药 20 公斤；背运原包装炸药一箱(袋)；挑运原包装炸药二箱(袋)。

1.4 用有轨机动车运送炸药时，雷管和炸药不得同车运输，列车的行驶速度不得超过 7.2km/h。

1.5 洞内爆破作业必须统一指挥。

1.6 严禁摩擦、撞击、抛掷爆破器材，作业现场严禁烟火。钻孔前必须确认掌子面无瞎炮后方可施钻，否则，必须经过处理。严禁在残眼中和已装药的炮孔附近进行钻孔作业。

1.7 钻孔与装药一般不得平行作业。否则，必须采取下列措施：

(1) 装药与钻孔顺序必须自上而下。钻孔与装药孔应隔开一排孔，且其距离不少于 2.5m。

(2) 装药与钻孔人员必须分区固定。

(3) 应由值班负责人统一指挥。

1.8 用于当次爆破的雷管必须是同厂同批号产品，导爆管网路中不得有死结，不能对折，要防止管壁破损、管径拉细和异物入管。用雷管起爆导爆管网路时，导爆管应均匀分布在雷管四周，用胶布等捆扎牢固。严禁使用已受潮、发霉、变质的导火索，导火索的长度应保证点完导火索后，爆破人员能撤至安全地带，但不得短于 1.2 米；点火前，必须用快刀将导火索端头切掉 5 厘米；严禁边点火边切导火索。禁止用脚踩和挤压已点燃的导火索，严禁切割已接上雷管或已插入起爆体的导火索或导爆索。

1.9 孔内装入起爆药包后，严禁强力捣压起爆药包，禁止强行拉出或掏出起爆药包，装药时必须使用木质炮棍。

1.10 爆破前，所有人员应撤至不受有害气体、振动及飞石伤害的安全地带，同时切断电源并作好安全警戒。爆破人员必须最后撤离爆破地点。

1.11 爆破后，应由检查人员首先进入工作面仔细检查有无冒顶、危石、支护破坏和瞎炮。若发现有上述情况，检查人员应在现场设立危险警戒标志。当发现瞎炮时，必须由原爆破人员按规定处理。处理瞎炮时，无关人员不准在场，

应在危险区边界设警戒，危险区内禁止进行其他作业。

1.12 经检查，确认爆破地点安全后，经当班爆破班长同意，方准其他人员进入爆破地点。

一、隧道开挖应根据各种施工方法及地质情况制订相应的安全技术措施。

二、钻眼作业应符合下列规定。

1、钻眼前，应检查工作环境的安全状态，应待开挖面清除浮石以及瞎炮处理完毕后方可进行钻眼作业。

2、凿岩机的支架，在碴堆上钻眼时，应保持碴堆的稳定；

3、用电钻钻眼时，不得用手导引回转的钎子、用电钻处理被加住的钎子；

4、不得在残眼中钻眼；

5、采用液压凿岩台车作业时，应符合本规程第 2.3 节的规定。

三、爆破作业除应符合本规程第 2.6 节以外，尚应符合下列规定：

1、洞内爆破作业必须统一指挥。

2、洞内爆破时，所有人员必须撤离，撤离的安全距离应为：

1) 独头巷道内不小于 200m；

2) 相临上下坑道内不小于 100 m；

3) 相临坑道、横通道及横洞间不小于 50 m；

4) 双线上半断面开挖时不小于 400 m；

5) 双线全断面开挖时不小于 500 m ;

3、遇到下列情况时，严禁装药爆破：

1) 照明不足；

2) 开挖面围岩破碎尚未支护；

3) 出现流沙、流泥未经处理；

4) 有大量溶洞水及高压水涌出，尚未治理；

5) 没有警戒好的。

4、洞内爆破不得使用产生大量有害气体的炸药。

5、洞内爆破不得采用明火起爆。

6、爆破后必须通风排烟，15 min 后检查人员方可进入开挖面检查。检查内容包括；

1) 有无瞎炮；

2) 有无残余炸药或雷管；

3) 顶板及两帮有无松动的围岩；

4) 支撑有无损坏与变形。

7 爆破时，爆破工应随时佩带手电筒，并设故障照明。

8 装药与钻眼不得平行作业。当采用钻孔台车平行钻凿深孔爆破并采取下列措施时，可不受次项限制：

1) 制订操作细则，并经批准；

2) 钻孔与装药顺序应自上而下，钻孔与装药孔至少隔开一排，其间距不小于 2.5m；

3) 钻孔与装药人员必须分区。

9 两个相向贯通开挖的开挖面之间的距离只剩下 15 m 时，只允许从一个开挖面掘进贯通，另一端应停止工作并撤走工作人员和机具设备，在安全距离处设置警告标志。

10 爆破器材加工房应远离洞口 50 m 以外。若洞口距开挖面大于 1000m 时，可在洞口适当地点设立加工房，但应符合下列规定；

- 1) 存储药量仅限于当班使用量；
- 2) 洞深应大于 10m，并与隧道中线有 60° 的交角，设有两道外开的门；
- 3) 设立明显的标志和专人看守；
- 4) 加工房设在坚固的围岩中，并应设置栏杆，严禁无关人员入内。

11 采用电雷管起爆时，必须符合现行国家标准《爆破安全规程》(GB6722) 有关规定。

3 出碴

出碴是隧道施工的基本作业之一。出碴作业能力的强弱，决定了它在整个作业循环中所占时间的长短，因此，出碴运输作业能力的强弱在很大程度上影响施工速度。在选择出碴方式时，应结合隧道断面的大小、围岩的地质条件、一次开挖量、机械配套能力、经济效益、作业环境及工期要求等因素进行综合研究，制订方案。基本要求是：装碴、运输能力大于最大开挖能力；制订运输计划，统一指挥、提高运

输效率。

装碴的方式可采用人力装碴或机械装碴。人力装碴，劳动强度大，速度慢，仅在短隧道缺乏机械或断面小而无法使用机械装碴时，才考虑采用。机械装碴速度快，可缩短作业时间，目前隧道施工中常用，但仍需配少数人工辅助。

装碴机械的类型很多，按其扒碴机构型式可为：铲斗式、蟹爪式、立爪式、挖斗式。铲斗式装碴机为间歇性非连续装碴机，有翻斗后卸、前卸和侧卸式三个卸碴方式。蟹爪式、立爪式和挖斗式装碴机是连续装碴机，均配备刮板(或链板)转载后卸机构。

隧道施工的洞内运输(出碴)可以分为有轨运输和无轨运输两种方式，运输方式的选择应充分考虑与装碴机的匹配和运输组织，还应考虑与开挖速度及运量的匹配，以尽量缩短运输和卸碴时间。一般均应作技术经济合理性分析，以求方案最佳。

有轨运输是铺设小型轨道，用轨道式运输车出碴。有轨运输多采用电瓶车及内燃机车牵引，斗车或梭式矿车运碴，它可适应大断面开挖的隧道，更适用于小断面开挖的隧道，尤其适应于较长的隧道运输(3km 以上)，是一种适应性较强的和较为经济的运输方式。

有轨运碴的轨道布置形式有两种：单线运输和双线运输。单线运输：单线运输能力较低，常用于地质条件较差或

小断面开挖的隧道中。单线运输时，为调车方便和提高运输能力，应在整个路线上应合理布设会让站(错车道)。会让站间距应根据装碴作业时

间和行车速度计算确定，并编制和优化列车运行图，以减少避让等待时间。会让站的站线长度应能够容纳整列车，并保证会车安全。双线运输：双线运输时，进出车分道行驶，无须避让等待，故通过能力较单线有显著提高。为了调车方便，应在两线间合理布设渡线。渡线间距应根据工序安排及运输调车需要来确定，一般间距为 100m~200m，或更长，并每隔 2~3 组渡线设置一组反向渡线。

工作面的轨道延伸，应及时满足钻眼、装碴、运输机械的走行和作业要求，并避免轨道延伸与其它工作的干扰。有时需延至开挖面。延伸的方法可以采用浮放“卧轨”、“爬道”及接短轨。待开挖面向前推进后，将连接的几根短轨换成长轨。

工作面附近的调车措施，应根据机械走行要求和转道类型来合理选择确定，并尽量离开挖面近一些，以缩短调车的时间。单线运输时，首先应利用就近的会让站线调车；当开挖面距离会让站较远时，则可以设置临时岔线、浮放调车盘或平移调车器来调车，并逐步前移。双线运输时，应尽量利用就近的渡线来调车，当开挖面距渡线较远时，则可以设置浮放调车盘，并逐步前移。

无轨运输是采用各种无轨运输车出碴和进料。其特点是机动灵活，不需要铺设轨道，能适用于弃碴场离洞口较远和道路坡度较大的场合。缺点是由于多采用内燃驱动，作业时，在整个洞中排出废气，污染洞内空气，故一般适用于大断面开挖和中等长度或短隧道中，并应注意加强通风。为了洞内转向，还可以局部扩大洞径，设置车辆转向站，或设置机械式转向盘

隧道用无轨运输车的品种很多，多为燃油式动力、轮胎走行的自卸卡车。载重量 2t ~ 25t 不等。为适应在隧道内运输，有的还采用了铰接车身或双向驾驶的坑道专用车辆。无轨运输车的选择应注意与装碴机的匹配，尤其是能力配套，充分发挥各自的工作效率，提高整体工作能力。此外，一般要求选用载重自重比大，体形小、机动灵活、能自御、配有废气净化器的运输车。

装碴与运输安全技术

一、装碴与运输应符合下列规定：

- 1 开挖断面净空应满足装碴机械安全运转；
- 2 当采用新型机械设备时，线路铺设标准应符合机械轨距的要求。

二、装碴作业应符合下列规定：

- 1 装碴前及装碴过程中，应检查开挖面围岩的稳定情况。发现松动岩石或有塌方征兆时，必须先处理后装碴。

- 2 装碴机械在操作中,其回转范围内不得有人通过.
- 3 装碴机上的电缆或高压胶管,应有专人收放.
- 4 用扒碴机时,若遇到岩块卡堵,严禁用手直接搬动岩块,身体任何部分不得接触传送带.
- 5 装碴时若发现碴堆中有炸药雷管,应立即处理.
- 6 机械装碴的辅助人员,应随时留心装碴和机械的运行情况,防止挤碰。- 7 斜井装碴应符合下列规定：
 - 1) 装碴人员在空车到达井底停稳之后，方可走出待避所开始装碴，装完后人员应进入待避所，由信号员向井上发出提升信号，方可提升；
 - 2) 装碴不得高出车厢上口；
 - 3) 用扒碴机装碴时，距作业面的斜长安全距离不宜小于 6m;
 - 4) 装碴时斗车进入槽下接碴，扒碴机司机应在栏杆旁操作，其余人员必须退至安全地点；
 - 5) 装碴机械工作时，应保护电线路；
 - 6) 扒碴机的钢丝绳每次使用后均应检查，当一个捻距内断死面积达到钢丝绳总面积的 10%时，应立即更换。

三、有轨运输应符合下列规定：

1 行车速度与列车间距应符合表 5.3.3 的规定

牵引方式	最大行车速度(km/h)		列车间距(m)
	洞外与洞地段	洞内施工地段	

机动车牵引	15	5	> 60
-------	----	---	------

2 机动车牵引运输应符合下列规定：

- 1) 非值班司机不得驾驶机动车。
- 2) 司机不得擅离工作岗位。当离开时，应切断电源，拧紧车闸，开亮车灯。

3 列车制动距离，运物料时不得超过 40 m，运送人员时不得超过 20 m。

4 运人车使用应符合下列规定：

- 1) 发车前，应检查各车的连接装置、轮轴和车闸等。
- 2) 列车速度不得超过 10 km/h。
- 3) 乘车人员所携带的工具和物件不得露出车外。列车运行中和尚未停稳前人员不得上下。机车和车辆之间严禁搭人。

四、无轨运输应符合下列规定：

1 运输车辆限制速度应符合表的规定。

运输车辆限制速度（km/h）

项 目	作业地段	非作业地段	成洞地段
正常行车	10	20	20
有牵引车	5	15	15
会 车	5	10	10

2 在洞口、平交道口、狭窄的施工场地，应设置缓行标志，必要时应设专人指挥交通。

3 凡接近车辆限界的施工设备与机械均应在其外缘设置

低压红色闪光灯,显示限界.

4 车辆行驶,严禁超车;回车时,两车间的安全距离应大于 50cm;同向行驶的车辆,两车间的距离应大于 20m,洞内能见度较差时应予加大。

5 洞外卸碴处的路面应做成 4%的上坡段,距碴堆边缘处应设置挡木。

6 洞内倒车应由专人指挥。

辅助坑道安全技术

一、横洞、平行导坑的开挖与支护,其安全技术要求应与正洞相同。

二、斜井与竖井施工应符合下列规定:

1 斜井与竖井的开挖和支护,除应符合本规程第 5.2、5.3、5.4 节的有关规定外,尚应符合下列规定:

- 1) 装药前工作面附近的机具应提升撤至安全地点;
- 2) 爆破前所有人员必须撤至井外;
- 3) 在吊盘上工作的人员应将工具装在工具箱内,使用时应栓在身上或其他固定物上。

2 斜井运输应符合下列规定:

1) 斜井采用有轨运输时,其运行速度应符合表 5.6.2 的规定,接近洞口时速度不得大于 2m/s,升降人员加速度或减速度不得大于 0.5m/s^2 。

表 5.6.2 斜井运输运行速度

阶段	斜井长度 (m)	牵引提升速度(m/s)
阶段施工	不限	< 3 . 5
正式运输	300	< 3 . 5
	> 300	< 5 . 0

2) 当凿井长度大于 100 m 时，应在距井口下 20 m 处设挡车器或车栏。在接近井底 60 m 处或岔前 35 m 处设第二道挡车器或挡车栏，挡车器必须经常处于正位关闭状态，方车时方可打开。车辆在井内行驶过程中（含中途停留），井内严禁人员通行与作业。

3) 井口、井下及卷扬机机房应有联络信号，提升、下放与停留应有明确的色灯或音响等信号规定。

主、副井口应设专职的信号员，负责接发车工作，卷扬机司机未得到井口信号员发给的信号，不得擅自开动、停车和改变运行速度。

在运送人员的斜井中，应在车厢内装设紧急信号装置，以便再运行中能随时发送紧急信号。

4) 斜井的井底停车场应设避车洞，井底附近的固定机械、电器设备均设置在专用洞之内。

5) 车辆连挂提升时，应有可靠的连接装置和断绳保险器，挂钩均应加保险锁，车与车之间应增加连接保险钢丝绳，提升钢丝绳应设地滚承托，并采取防止车辆“蹬钩”与“蹬绳”措施。

6) 人员上下井，不得乘坐箕斗或斗车。

3 斜井的垂直深度超过 50M 时，应配备运人车，使用运人车应符合 规定：

- 1) 车辆必须有顶盖，并装有自动防溜和手制动防溜装置；
- 2) 运送人员前，应检查车辆的连接装置、保险链和防溜装置；
- 3) 乘员及携带的工具器材不得超出车厢，并不得超员。

三、竖井提升应符合下列规定：

1 吊桶升降应满足下列要求：

1) 运送人员速度不得超过 5m/s,无稳绳地段速度不得超过 1m/s；运送石碴和其他材料不得超过 8m/s，无稳绳地段不得超过 2m/s；运送爆破器材不得超过 1m/s。

2) 吊桶必须沿钢丝绳罐道升降，在施工初期尚未设罐道时，吊桶升降距离和施工时不装罐道的部分不应超过 40 m。

3) 吊桶与提升钢丝绳，应采用钩头连接。

4) 吊桶上方应设置保护伞。

5) 乘坐人员不得座在吊桶边缘，身体的任何部分不得超出桶沿。

6) 用自动翻转式吊桶升降人员时，应有防止吊桶翻转的装置。

7) 吊桶提升到地面时，人员必须从地面出车平台出入吊桶，并应在吊桶停稳和井盖门关闭以后进出。双吊桶提升时，井

盖门不得打开。

8) 当吊桶通过吊盘喇叭口，接近井口或井底时，均应减速。

2 在竖井使用吊笼期间，均应安装导向设备。吊笼导向槽和钢轨罐道之间的间隙不得大于 10mm.钢轨罐道和罐笼导向槽在一侧磨损量达到 10mm 时，必须更换。

3 罐笼升降应满足下列要求。

- 1) 罐顶应设置铁盖或铁门。
- 2) 罐底必须满铺钢板，当罐底下面有阻车器的连接装置时，应检查门。
- 3) 进出矿车的罐笼内应安装阻车器。
- 4) 提升或放下的最大载重量应在井口设标牌公布。
- 5) 罐笼装载的人数应按每人在罐笼内至少占用 0.2m^2 的有效面积计算；罐笼的净空高度不得小于 1.80 m,允许承载的最多人数应在井口及罐笼内标明。
- 6) 提碴、升降人员和放下物料的速度不得超过 3.0m/s ,加速度不得超过 0.25 m/s^2 。
- 7) 用罐笼升降超限设备、构件时，应制定专项的安全措施上报批准后实施。
- 8) 罐笼（吊桶）提升时，钢丝绳的偏角不得超过 $1^\circ 30'$ 。
- 9) 提升容器、连接装置、防坠器，罐耳、罐道绳、

阻车器、托台、装卸碴设备时，天轮、钢丝绳以及卷扬机等各部分必须设专人检查。

10) 建井时使用无防坠器的罐笼升降人员时，应有专门的安全措施。

11) 罐笼升降作业时，下面不得有人员逗留。

4 罐道和罐耳的磨损达到下列程度时，必须更换：

1) 木罐耳任一侧磨损超过 15 mm，或其间总间隙超过 40 mm。

2) 钢轨罐道轨头任一侧磨损超过 8 mm，或轨腰磨损超过原厚度的 25%，罐耳的任一侧磨损超过 8 mm，或在同一侧罐道与罐耳的总磨损量超过 10 mm，或者罐耳和罐道的总间隙超过 20 mm。

3) 组合钢罐道任一侧的磨损超过原有厚度的 50%。

4) 钢丝绳罐道和滑套的总间隙超过 15 mm。

5 提升装置必须装有信号装置和备用信号装置，井底车场和卷扬机司机之间，应设直通电话。

6 井底车场的信号应经由井口联结员转发。除发送紧急停车信号或用箕斗提升（不包括带乘人间的箕斗）外，井底车辆不得直接向卷扬机司机发信号。

五、斜、竖井提升的钢丝绳必须符合使用要求，在使用前应进行拉力试验，并在使用中定期检查、修理和更换。

1 钢丝绳磨损直径差：

提升式制动钢丝绳大于 10% ；

罐笼钢丝绳大于 15%。

2 钢丝绳的钢丝有严重锈、变黑、麻坑等损伤时。

3 钢丝绳受到损坏或其增长 0.5% 以上时。

4 钢丝绳在一个捻距内断丝面积同钢丝绳总截面积之比达到下列数值时：

- | | |
|--------------|-------|
| 1) 升降人员和物料用 | 5% ； |
| 2) 专为升降物料 | 10% ； |
| 3) 平衡钢丝绳 | 10% |
| 4) 防坠器的制动钢丝绳 | 10% |
| 5) 罐道用 | 15% |
| 6) 无导向绳运输用 | 25% |

六、提升保护装置应符合下列规定：

1 提升装置应装设下列保护装置：

- 1) 防止过卷保护装置；
- 2) 防止超速保护装置；
- 3) 过负荷和欠电压保护装置；
- 4) 限速保护装置；
- 5) 短路和断电保护装置；
- 6) 缠绕式提升装置，必须设松绳报警装置并接入安全回路；
- 7) 使用箕斗提升时，必须在井口装置满仓保护装置，

碴仓装满时，能自动报警或断电；

8) 事故停车保护装置。

2 过卷高度应符合表 5.6.6 的规定。

表 5.6.6 过卷高度

顺 序	提 升 速 度		过卷高度 (m)
1	小于 3 m/s		> 4
2	等于或大于 3 m/s 的罐笼		> 6
3	允许速度		> 4
4	凿井时期的吊桶		> 4
5	摩擦轮式提升装置，提 升速度	< 10m/s	6~10
6		> 10m/s	> 10

3 提升绞车应装设深度指示器和开始减速时能自动示警的警铃。

4 铁路隧道支护、衬砌施工方法及防排水措施

隧道支护施工方法

支护主要采用锚杆、钢筋网、钢支承、喷射混凝土等，支护施作后即成为永久性承载结构的一部分，它与围岩共同构成了永久的隧道结构承载体系。支护较传统的构件支撑，无论在施工工艺和作用机理上相比较都有以下特点：灵活性、及时性、密贴性、深入性、柔性、封闭性。

支护具有以下作用：锚杆的作用：支承围岩、加固围岩、提高层间摩阻力，形成“组合梁”、“悬吊”作用。喷射

混凝土的作用：支承围岩、“卸载”、填平补强围岩、覆盖围岩表面、阻止围岩松动、分配外力。钢拱架的作用：加强限制围岩变形、作为超前支护的后支点、承受部分松弛荷载。

喷射混凝土施工要点：选择合理的喷射方式和尽早的喷射时机、选择合理的支护参数、选择合理的配合比、做好喷射面的事先处理、根据监测结果做好喷射混凝土厚度的调整，确保喷射砼有足够强度(特别是初期强度)、有足够的厚度和喷射表面平整，确保其与围岩附着成为一体能够很好地传递力和变形。

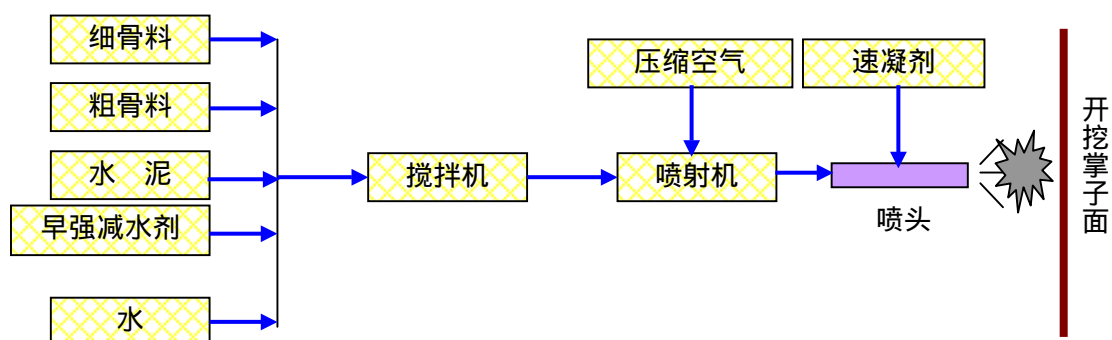
锚杆的施工要点：选择合适的成孔设备、锚固材料、锚固工艺以确保锚固质量。

钢拱架的施工要点：钢拱架分格栅、钢支撑两种。其承载原理是不完全相同的。因而其施工要点也不尽相同。格栅施工要点：确保质量、准确架立、及时喷护、充分填充、紧密接触。钢支撑施工要点：紧密接触、纵向连接、底脚牢固。

隧道采用湿喷混凝土作业。

湿喷混凝土施工工艺

湿喷混凝土工艺流程如图所示。即：将粗、细骨料、水泥和水由搅拌机拌合成坍落度为 8~15cm 的混凝土后，用搅拌运输车将混凝土运往喷射地点，卸入喷射机料斗，然后，在高压风的作用下，将混凝土以稀薄流的形式输送到喷嘴附近，与喷射机速凝剂计量添加装置泵送而来的液体速凝剂混合后，由喷嘴喷向岩面。



湿喷混凝土施工工艺流程图

湿喷混凝土施工方法

a 湿喷混凝土原材料

a) 宜优先采用不低于 425 号的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，必要时可采用特种水泥。

b) 细骨料宜采用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数应大于 2.5，含泥量不应高于 3%。

c) 粗骨料应采用坚硬耐久的碎石、卵石，最大粒径不宜大于 20mm，并宜采用连续级配，含泥量不应大于 1%。

d) 湿喷混凝土可按需要掺入速凝剂，并根据水泥品种、水灰比等，通过不同掺量的混凝土试验选择最佳掺量，可采取水泥重量的 2% ~ 4%，且应进行速凝剂与水泥的相容性试验和速凝效果的检验，要求水泥净浆初凝时间不大于 5min，终凝时间不大于 10min。

b 湿喷混凝土配合比

湿喷混凝土的配合比除应满足设计强度要求外，尚应按减少回弹、增加粘着力、提高一次喷射厚度等因素，经试验确定。其有关的技术指标可在下列范围内选用。

a) 灰骨比：1:4 ~ 1:5

b) 水灰比：0.4 ~ 0.5

c) 砂率：45% ~ 55%

d) 坍落度：8 ~ 12cm

当喷射第一层混凝土时，其配合比应为：水泥:砂:石=1:2:(1.5 ~ 2)，以利混凝土与岩面的粘结和减少回弹。

湿喷混凝土宜采用强制式搅拌机搅拌，其搅拌时间不得少于 1.5min。

c 喷射混凝土施工机具

喷射混凝土的施工机具应符合下列要求：

a) 喷射机密封性能好，输料连续、均匀，技术条件能满足喷射作业要求。

b) 空压机性能应满足喷射机工作风压和耗风量的要求。对于 Aliva 喷射机，供应的风压不应底于 0.6Mpa，风量应大于 12m³/min。

c) 混合料的搅拌应采用强制式搅拌机。

d) 输料管应具有良好的耐磨性能。

d 喷射前的准备工作

a) 检查开挖断面净空尺寸，清除松动岩块和墙脚岩碴，并用风、水冲洗受喷面（当岩面受水容易泥化时，只能用高压风吹）。

b) 设置标志或利用锚杆外露长度以掌握混凝土的喷射厚度。

c) 检查机具设备和风、水、电等管线路，并试运转。

d) 在渗水较大地段，通过埋管、盲沟和其他形式的排水措施，使渗水尽可能集中排除。

e 湿喷混凝土喷射作业

a) 喷射作业应分段、分片、分层，由下而上顺序进行，根据机械手推进梁作业范围确定喷射长度。当岩面有较大凹洼时，应先将凹处喷平。

b) 一次喷射厚度，可根据喷射部位和设计喷射厚度确定。Aliva 喷射机湿喷混凝土，不掺速凝剂，拱部为：3 ~ 5cm，墙部为：5 ~ 7cm；掺速凝剂，拱部为：5 ~ 7cm，墙部为：7 ~ 10cm。

c) 分层喷射加厚时，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行。当终凝 1h 后再喷射时，应先用高压风、水清洗受喷面。

d) 喷头宜与受喷面垂直，喷射距离应与喷射风压取得协调。Aliva 喷射机的喷射风压为 0.4 ~ 0.6Mpa，喷射距离为 0.8 ~ 1.5m。喷头应不停地缓慢做横向环形移动，使喷层厚度均匀。

e) 突然断料时，喷头应迅速移离受喷面，严禁用高压风冲击尚未终凝的混凝土。

f) 液体速凝剂应通过喷射机的计量添加装置掺加，禁止从进料斗中直接将速凝剂掺入混凝土。速凝剂的掺量应根据实际喷射能力，按试验确定的最佳掺量添加，不得随意增减。

g) 软弱围岩地段，喷混凝土应紧跟开挖时，在喷射结束后的 4h 内不得进行爆破作业。

h) 在渗水地段进行喷射作业时，除了采取必要的排水措施外，还应视情况调整湿喷混凝土的配合比。喷射作业应尽可能从渗水较小的地方开始，并逐渐向渗水较大的地方集中。

f 湿喷混凝土的质量检查

a) 喷射过程中，应根据埋设的标志及时检查喷层厚度，发现不够的地方应及时补喷，同时作好记录，分析原因，提出处理措施。

b) 喷射混凝土与岩层的粘结情况，可用锤敲击检查，发现不够的地方应及时补喷，同时作好记录，分析原因，提出处理措施。

c) 喷射过程中，应随时检查喷混凝土的回弹率和实际配合比，发现异常应及时分析原因，调整配合比，改进喷射参数。

d) 每喷 50 ~ 100m³ 混凝土，应制作不少于一组试件；不足 50m³ 时，也应制作一组试件。当材料或配合比变更时，应分别制作试件。

e) 喷射混凝土强度检查试件的制作，可采用喷大板切割法或喷边长为 100mm 的无底钢模制作试件。当对强度有怀疑时，可采用凿方切割法或钻芯取样法制作试件。

湿喷混凝土喷射作业技术参数

混凝土喷射时的风压、距离、角度、喷射顺序等对喷射混凝土的质量、回弹都有很大的影响。

a **风压**：以保证混凝土能在喷射机输送管里形成稀薄流，且保证骨料能以一定的速度连续、均匀地喷向岩面，并留在混凝土喷层里为宜。根据机械设备的性能，选择风压为 0.4 ~ 0.6Mpa，在此基础上，根据实际施工情况予以调整。

b **喷射角度**：喷射时，喷头应保持与受喷面垂直。如果喷头与受喷面的交角太小，将增加混凝土的回弹量，降低喷射混凝土的密实度；垂直于岩面喷射时，连续的混凝土“稀薄流”对反弹物有二次嵌入作用，可以降低回弹率。

c **喷射距离**：由于湿喷要求的风压较大，如果喷头距受喷面太近，高压风会将刚“粘”在受喷面上的混凝土拌合物吹走，使混凝土的回弹量增大。根据 Aliva 喷射机的机械性能并借鉴国内外的施工经验，湿喷作业时，喷头距岩面的距离宜为 1.2 ~ 1.5m，比干喷或潮喷要大。

Aliva 喷射机湿喷混凝土的喷射技术参数如表所示。

湿喷混凝土喷射技术参数

风 压 (MPa)			风 量 (m ³ /min)	喷射距离 (m)		角 度	喷射顺序	速凝剂用 量
上风压	下风压	速凝剂风压		拱部	边墙			
0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4	0.5 ~ 0.6	>12	1.2	1.5	垂直岩面	先墙后拱 由下至上	180L/h

劳动力组织

名 称	人 数
班 长	1 人
搅拌机司机	1 人
搅拌机上料	2 人
电瓶车司机	2 人
调车员	2 人
喷射手	1 人

喷射司机	1 人
修理工	1 人
共 计	11 人

(2) 锚杆施工

隧道 、 级围岩地段采用早强砂浆锚杆， 级围岩软弱破碎、成孔困难地段采用自进式锚杆。早强砂浆锚杆采用风钻钻孔，钻至设计深度后，用高压风吹孔，然后，采用锚杆注浆机向孔内灌入孔深 2/3 的砂浆，打入锚杆，孔口不满部分用泵补灌，再用砂浆将孔口抹平，安装托板螺栓。灌浆锚杆采用的水泥砂浆配合比为：灰骨比 1:1 ~ 1:2，水灰比 0.38 ~ 0.45。锚杆施工按下述要求进行：

钻眼：钻眼前应根据受喷面情况和设计要求布置孔位，并作好标记据以钻眼，钻孔直径应大于锚杆直径 15mm，孔距误差不大于 15cm，孔深误差不大于 $\pm 5\text{cm}$ 。

灌浆：灌浆前应将孔眼吹净。水泥砂浆应拌合均匀，随拌随用，灌浆饱满。灌浆从孔底开始均匀进行，不得中断，严防拔管过快，导致砂浆脱节和灌浆不满。灌浆开始或中途停止超过 30min，应用水或稀水泥浆润滑注浆罐及其管路。

锚杆安装：安装前锚杆应除锈矫直；灌浆后应立即将锚杆匀速插入，位置居中，孔口可用木楔临时封固；锚杆尾端外露长度应稍小于喷层厚度；安装好后不得敲击和碰撞。锚杆插入深度不应小于设计深度的 95%。

(3) 钢筋网施工

钢筋网的铺设在开挖岩面初喷混凝土和锚杆安装后进行，为了加快铺设进度，预先在洞外焊成(长×宽)1.0×1.0m，网格间距为 20×20cm 的半成品网片，再到洞内拼接而成。钢筋网铺设应符合下列要求。

筋网使用前应清除锈蚀。

钢筋网应随受喷面起伏铺设，与受喷面的间隙宜为 3cm。钢筋网的喷混凝土保护层厚度不得小于 2cm。

钢筋网应与锚杆或其他固定装置连接牢固，在喷射混凝土时钢筋不得晃动。

(4) 格栅钢架施工

格栅钢架应按下述要求施工：

按设计要求加工好格栅钢架，要求尺寸准确，弧形园顺，并在现场进行试拼。为了安装方便，每榀钢架分六段，拱部分二段，左右墙部各二段，全部用螺栓连接牢固。

开挖后应及时进行初喷，其厚度为设计厚度的四分之一至三分之一，然后，安装钢架。

按设计位置现场测量定位，钢架平面必须与隧道中线垂直。

现场拼接，各段应在一个平面上，用螺栓联接，不得以焊接代替。

钢架纵向间距为 0.8m 和 1.0m，钢架之间必须用纵向钢筋连接，并与锚杆外露端焊接牢固。

钢架与岩壁之间用预制混凝土块楔紧。

应先喷钢架处，然后喷钢架之间的混凝土，最后复喷混凝土达到设计厚度。

支护安全

一、 支护应符合下列规定：

- 1 根据围岩稳定情况采取有效支护。
- 2 施工期间，应对支护的工作状态进行定期和不定期的检查。在不良地质地段，应由专人每班检查。当发现支护变形或损坏时，应立即修整加固。
- 3 构件支撑的立柱不得置于虚碴和活动石块上。在软弱围岩地段，立柱底面应加设垫板或垫梁。
- 4 暂停施工时，应将支护直抵开挖面。

5 正洞与辅助坑道的连接处，应加强支护。

二、喷锚支护应符合下列规定：

1 在碴堆上作业时，应避免踩踏活动的岩块。

2 在梯、架上作业时，安置应稳妥，应有专人监护。

3 清除开挖面上的松动岩体、开裂的混凝土时，人员不得处于被清除物的正下方。

4 作业中如发生风、水、输料管堵塞或爆裂时，必须依次停止风、水、料的输送。

5 钢架及钢筋网的安装，作业人员之间应协调动作，在本排钢架或本排钢筋网未安装完毕，并与相临的钢架和锚杆连接稳妥之前，不得擅自取消临时支撑。

6 对喷锚支护体系的监控量测中发现支护体系变形、开裂等险情时，应采取补救措施。当险情危急时，应将人员撤出危险区。

7 超前锚杆或超前小导管支护时，应有防护措施。

隧道衬砌施工方法

在永久性的隧道及地下工程中常用的衬砌形式有以下三种；即整体砼衬砌、复合式衬砌及锚喷衬砌。

常用的模板类型有：整体移动式模板台车、穿越式(分体移动)模板台车、拼装式拱架模板。

整体移动式模板台车主要适用于全断面一次开挖形成或大断面开挖成形的隧道衬砌施工上。它采用大块曲模

板、机械或液压脱模、背附式振捣设备集装成整体，并在轨道上走行，有的还没有自行设备。有缩短立模时间、墙拱连续灌注、加快衬砌施工速度的特点。模板台车的长度即一次模筑段长度，应根据施工进度要求、混凝土生产能力和灌注技术要求以及曲线隧道的曲线半径等条件来确定。整体移动式模板台车的生产能力大，可配合混凝土输送泵联合作业，是较先进的衬砌设备。但其尺寸大小比较固定，可调范围较小，影响其适用性。

穿越式分体移动模板台车是将走行机构与整体模板分离，因此一套走行机构可以解决几套模板的移动问题，既提高了走行机构的利用率，又可以多段初砌同时施行。

拼装式拱架模板既适用于顺作，也适用于逆作，但拼装、拆模较费时费工。拼装式拱架模板的拱架可以采用型钢制作或现场用钢筋加工成桁架式拱架。为便于安装和运输，常将整榀拱架分解为 2—4 节，进行现场组装，其组装连接方式有夹板连接和端板连接两种形式。为减少安装和拆卸工作量，可以作为易移动式拱架，即将几榀拱架连成整体，并安设简易滑移轨道。

衬砌施工主要工作流程如下：断面检查 放线定位 拱架模板整备 立模 混凝土制备与运输 混凝土的灌注、养护与拆模

隧道防排水措施

隧道防排水包含两方面的内容：结构防排水、施工防排水

为避免和减少水的危害，我国铁路隧道坚持“防、排、堵、截相结合，因地制宜，综合治理”的防排水原则。防就是利用不透水或弱透水材料，将地下水隔绝在隧道之外。排就是人为设置排水系统，将地下水排出了隧道。堵就是以衬砌混凝土为基本防水层，以其它防水材料为辅助防水层阻隔地下水，使之不能进入隧道内的防水措施，必要时还可以采用注浆堵水措施。截就是在隧道以外将地表水和地下水疏导截流，使之不能进入隧道工程范围内。因地制宜

施工排水主要措施有：地面排截措施，通过地面排水系统或阻水措施防止地表水流入或渗入洞内。洞内排水措施，通过洞内排水沟、集水坑视顺坡、反坡情况分别采用重力式或强制式排水。辅助坑道排水措施，通过辅助坑道将水排出洞外。地面及洞内井点降水，通过设置于地面(浅埋情况)或洞内的井点将水通过水泵排出洞外。

结构防排水措施有：喷射混凝土堵水、塑料板堵水、模筑混凝土衬砌堵水、注浆堵水、盲沟排水、泄水孔排水、排水沟排水。

喷射混凝土堵水，当围岩有大面积裂隙渗水，且水量、压力较小时，可结合初期支护采用喷射混凝土堵水。但应注意引时需加大速凝剂用量，进行连续喷射，且在主裂隙处不

喷射混凝土，使水流能集中于主裂隙流入盲沟，通过盲沟排出。

塑料板堵水，当围岩有大面积裂隙滴水、流水，且水量压力不太大时，可于喷射混凝土等初期支护施作完毕后，二次支护施作前，在岩壁大面积铺设塑料板堵水。

模筑混凝土衬砌堵水，模筑混凝土本身就具有一定的抗渗阻水性能。通过合理选择参数恰当处理各种施工缝以提高自身防水性能而达到堵水目的。

注浆堵水，注浆在加固岩的同时，实际上也起到了堵水作用。若二次支护因混凝土质量欠佳而产生渗漏，则可以对其进行结构注浆堵水。

盲沟排水，盲沟的作用是在衬砌与围岩之间提供过水通道，并使之汇入泄水孔。它主要用于引导较为集中的局部渗流水。柔性盲沟通常由工厂加工制造。它具有现场安装方便，布置灵活，连接容易、接头处易被混凝土阻塞，过水效果好，成本也不太高等优点。其构造形式有：弹簧软管盲沟、化学纤维渗滤布盲沟。

泄水孔排水，泄水孔是设于衬砌边墙下部的出水孔道，它将盲沟流来的水直接泄入隧道内的纵向排水沟。

排水沟排水，排水沟承接泄水孔泄出的水，并将其排出隧道。隧道纵向排水，有单侧、双侧、中心式三种形式。它是根据线路坡度、路面形式、水量大小等因素确定的。

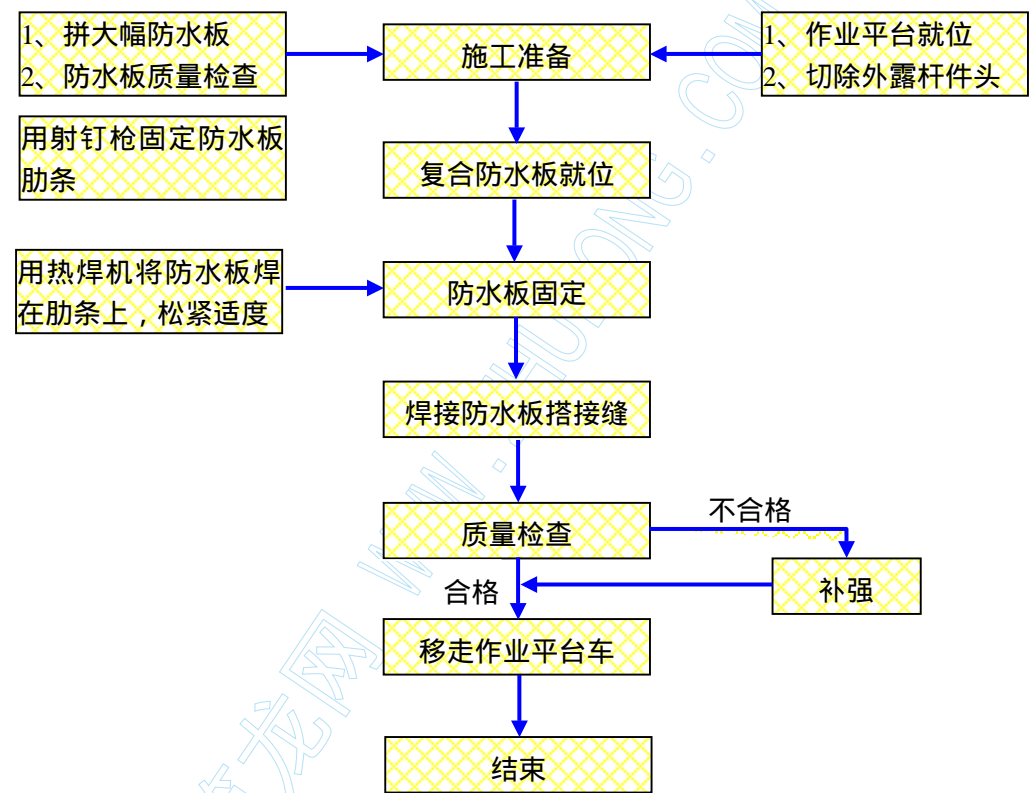
衬砌防水层施工

防水板施工

a 施工方法

混凝土衬砌前，应先做好各种防排水设施的布置，复合防水板在洞外制作成型，洞内由多功能作业平台铺设，防水层铺设时做好环向及纵向排水盲沟的施作。

b 施工工艺



防水板施工工艺框图

c 技术要求及标准

a) 防水板须在洞外宽敞平整的场地上，将幅面较窄的防水卷材拼成大幅防水板。防水板搭接宽度为 10cm，可胶粘也可热焊粘结。防水板须进行检查是否有变色、波纹（厚薄不均）、斑点、刀痕、撕裂、小孔等缺陷，如果存在质量疑虑，应进行张拉试验、防水试验和焊缝张拉强度试验。

b) 吊挂防水板的台车就位后，应用电焊或氧焊将外露的锚杆头、钢筋网头等铁件齐根切除，并抹砂浆遮盖，以防刺破防水板。对于开挖面严重凹凸不平的部位须进行修凿和找平。

c) 用射钉枪将吊挂肋条锚固在施工支护上

将防水板利用小型卷扬机提升到作业平台上，根据防水板幅面大小，将防水板托起贴在初期支护表面铺设，松紧适度并用热焊机将防水板焊在吊挂肋条上，拱部固定点间距 0.5m 左右，边墙固定点间距 1.0m 左右。

d) 上下循环两幅大幅面的防水板接头处留 10cm 搭接幅面，用热焊机将搭接缝焊好，焊缝宽度不大于 2cm。

e) 质量检查

对搭接焊缝及吊挂点焊缝进行检查，如有不符合质量要求者，应及时进行补焊处理，以满足质量要求。

附属洞室处铺设防水板时，先按照附属洞室的大小和形状加工防水板，将其焊在洞室内壁的施工支护上，并与边墙防水板焊接成一个整体。

d 技术质量措施

a) 固定防水板时，应根据施工支护面的平整度将防水板预留一定的富余量，以防防水板因绷得过紧而被混凝土挤破。

b) 为使防水板接头焊接良好，防水板每环铺设长度应比衬砌长度长 0.5 ~ 1m，以利接头焊接施工。

c) 防水板接缝和衬砌施工缝应错开 0.5 ~ 1m 为宜。

软岩地段混凝土衬砌紧跟开挖面时，衬砌端部预留防水板接头须采取防护措施，防止掌子面爆破时，飞石砸破防水板。

d) 衬砌加强钢筋安装、各种预埋件设置、挡头模板安装，以及泵送混凝土等工序作业过程中要防止破坏防水板。

软式透水管盲沟

隧道边墙设 5cm 软式透水管盲沟，墙脚纵向可设 10cm 软式透水管盲沟，

与环向盲沟、墙脚泄水孔三通连接。

用防水板条（宽 30 ~ 50cm）和塑料胀栓将软式透水管固定在施工支护面上（环向每隔 40cm 固定一处），用快凝水泥砂浆将塑料胀栓包住。

橡胶止水条

混凝土衬砌施工缝处设置橡胶止水条。

根据衬砌厚度及衬砌形式自制拼装式钢模挡头板，每块钢模挡头板宽度为衬砌厚度的一半，同时根据钢模挡头板安装顺序编号。

衬砌台车就位后，按照钢模挡头板编号安装钢模挡头板，同时将橡胶止水条沿隧道环向夹在挡头板中间，两块挡头板用 U 形卡固定。

预留一半橡胶止水条浇筑在下一循环混凝土衬砌中。

（2）模注混凝土施工

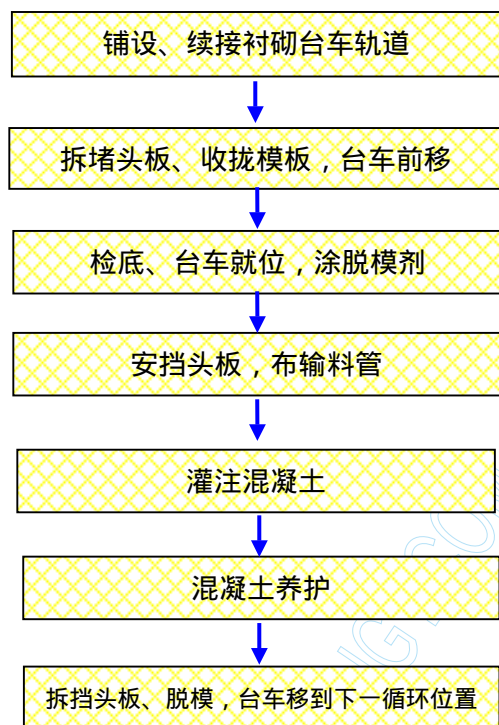
施工方法

隧道的衬砌作业线采用：混凝土搅拌站——轨行式混凝土输送车——混凝土输送泵——衬砌模板台车的设备配套模式。

为确保混凝土施工质量，保证混凝土泵送能连续进行，进出口洞外各设置一座混凝土搅拌站，并配备电子计量装置对混凝土原材料的用量进行准确计量，保证混凝土配合比的准确实现。经搅拌站拌制的混凝土，卸入轨行式混凝土输送车，由电瓶车牵引到混凝土衬砌作业面，通过混凝土输送泵泵入模板台车。

工艺流程

混凝土模注衬砌施工工艺流程如下图所示：



混凝土模注衬砌施工工艺流程图

劳动力组织

混凝土衬砌施工劳动力组织表

搅拌站	上料	4	混凝土运输	轨道运输	电瓶车司机	8
	配料	2			调车员	4
	搅拌机司机	2		管道运输	混凝土泵司机	2
					喂料	2
合计	8		合计		16	
混凝土浇筑	布料	5	台车司机	可由混凝土浇筑人员同时负责衬砌模板台车的立、拆模、涂刷脱模剂、走行等。		
	振捣	4				
	指挥	1				
	合计	10				
合计				34		

施工技术措施

a 由于施工支护仅作为施工防护，因此，应根据隧道的地质情况，合理安排衬砌工作面与开挖工作面的距离，既保证围岩稳定，又要有足够的安全距离，避免施工相互干扰和爆破震动对混凝土衬砌结构造成破坏。

b 隧道衬砌前，按设计衬砌断面、曲线加宽值等进行实地放样，保证隧道衬砌结构尺寸符合设计要求。

c 严格控制原材料的质量，优选混凝土配合比，严格按配合比计量拌制混凝土。

d 混凝土泵的泵送距离不能拉得过远，以免发生严重堵管时难以处理，泵机设置处应有方便的排水、供水、供电设施。

e 混凝土浇筑使用衬砌模板台车，有模板刚度大、整体性好、浇注速度快、质量高等优点。衬砌模板台车使用前，为了提高模板的对位精度，加快对位速度，其轨道应严格对称于隧道中线铺设，轨距、水平符合要求，衬砌模板台车移至衬砌地段后，应夹紧卡轨器，拧紧台车下部的丝杆千斤顶，以增强台车架的整体稳定性，确保混凝土灌注过程中台车不发生位移。

f 灌注混凝土时，应左右对称分层进行，并用震捣器捣固密实，切忌单侧顺序灌注，导致侧压力不均，引起模板变形，此外，混凝土的自由倾落高度不得超过 2m，否则，将引起混凝土的离析和大量气泡的产生，影响混凝土表面的光洁度。

g 建立混凝土施工质量管理机构，成立质量管理 QC 小组，对出现的混凝土质量通病进行认真分析，采取对策进行攻关，保证混凝土施工质量。

衬砌安全

一、衬砌施工应符合下列规定：

1 衬砌工作台应设置不低于 1.0m 的栏杆。跳板、梯子应安装牢固并防滑，工作台的任何部位不得有钉子露头或突出的尖角。

2 工作台、跳板、脚手架的承载重量，应在现场挂牌标

明。

3 吊装拱架、模板时，作业场所应设专人监护。

4 在 2m 以上的高处作业时，应符合本规程第 2.7 节的规定。

5 检查、维修混凝土机械、压浆机及管路时，应停机并切断风源、电源。

6 严禁在洞内熬制沥青。

二、模筑混凝土衬砌应符合下列规定：

1 拱墙模板架及台车下应留足净空，衬砌作业点应设明显的限界及缓行标志；

2 台车工作台上应铺满底板；

3 拆卸混凝土输送管道时，应先停机。

三、喷锚衬砌应符合下列规定：

1 喷射机连接的风水管路应畅通；

2 施工台周边应设置栏杆，台架上应铺满底板，周边应设置栏杆，台架上的人、料不得超过承载能力；

3 清除松动围岩、冲洗受喷面时，工作区严禁非法作业人员停留；

4 钻眼、安装锚杆、挂钢筋网及喷射混凝土，当在高于 2m 的作业时，应符合本规程 2.7 节有关规定。

四、复合式衬砌防水层的施工台架应牢固，台架下净空应满足施工需要，作业时应设警示标志或专人防护。

五、仰拱与隧道底施工应符合下列规定：

- 1 仰拱上的运输道路应搭设牢固，当向坑内倾卸混凝土时，非卸车人员应避让至安全地点；
- 2 当仰拱超前边墙施工时，应加强基坑坑壁的临时支护。

5 施工监测

超前地质预探预报

为了确保施工安全，施工过程中必须特别重视超前地质预探预报，将工程地质工作贯穿于隧道修建过程的始终，为有针对性地修正设计、施工方案，制定稳妥、可靠的工程措施提供依据。

隧道的超前地质预探预报工作主要采用洞内水平超前钻探和物探两种方法，两种方法各有侧重，又互相印证，具体为：

地下水量测、监测，断层、岩溶地段地表径流、泉水长期观测、塌陷调查，以分析、预测地下水发育规律和洞内涌水规律。

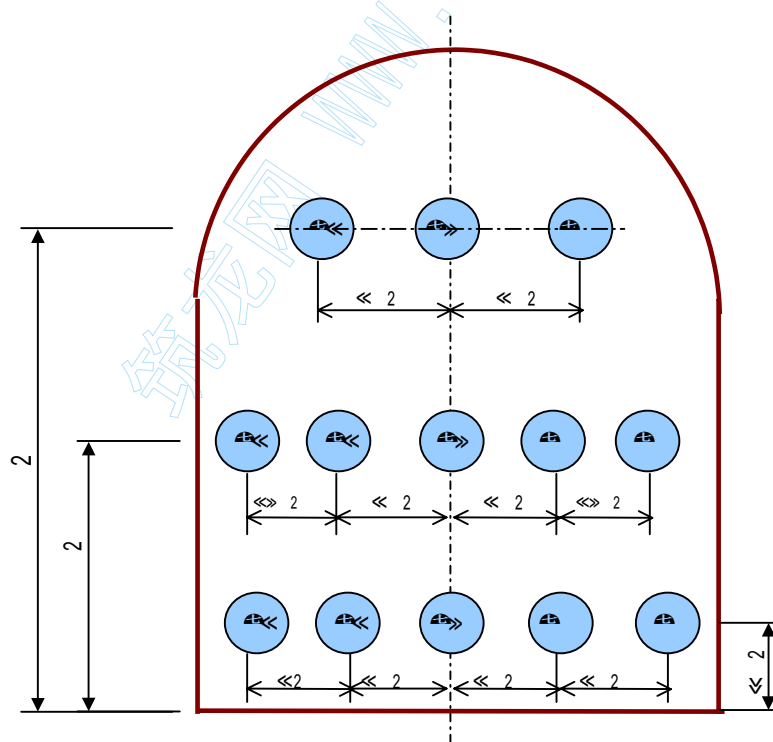
开挖面地质观测、素描。着重岩体结构面性质、特征、组合形式及地下水状态观测。通过观测、素描、地质作图，预测、分析、判断开挖面前方近距离地质构造。

开挖面超前钻孔探测。采用凿岩台车在开挖面前方钻 25m 左右深的超前探孔，根据钻进过程中的岩粉、钻速和水质情况，判断前方水文、地质条件。

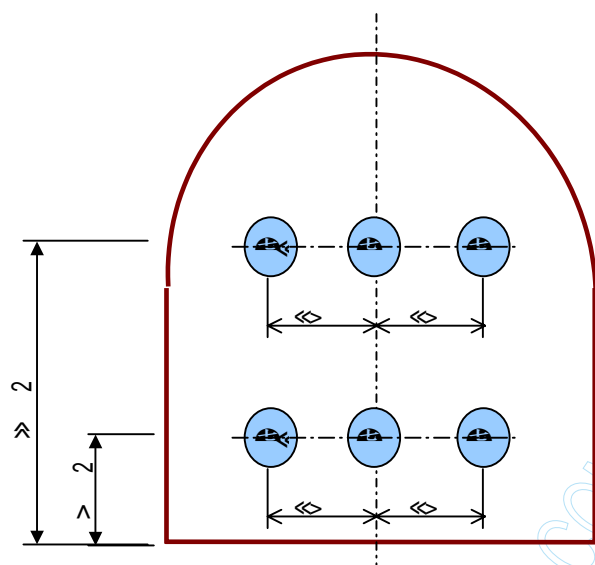
采用地质雷达探测等物探方法。通过对雷达波的分析，判断开挖面前方 50m 范围内的地质变化情况。

KDL-3 型地质雷达主要采用雷达测距定位的原理，在探测过程中，发射出不同频率的电磁波，由于在介质中传播的入射电磁波，若遇上两种电性不一的介质界面就会产生反射，界面电性差异越大，即介质介电常数和电阻率差异越大，这种反射就越强。而含有界面信息的反射信号经接收处理后，就可用于判定该反射

界面的空间方位和距离,并进一步综合判别其性质。由于掌子面前方的不良地质体,如:断层、裂隙带、岩溶、夹层等与其周围介质有较大的差异,成为良好的电磁反射体,因此,通过采用地质雷达可以大致分析、判断出掌子面前方一定距离范围内的地质情况,为有针对性地制定工程措施和施工方案提供依据。KDL-3型地质雷达在隧道中一般采用点探测方式,即:沿掌子面分上、中、下三层,每层沿横向布置若干测点,从而在掌子面上形成一个测点网格,由此可形成三条水平探测剖面 and 若干垂直探测剖面来探测出掌子面前方的地质变化情况。郁山隧道正洞和平导的地质雷达探测点布置分别如图所示。正洞探测点布置分上、中、下三层,上层布置3个测点,中、下层各布置5个测点,每个探测点采用水平向前方探测和俯角 -2° 、 -5° 、 -10° 、 -15° 、 -20° ,仰角 2° 、 5° 、 10° 、 15° 、 20° 探测。在正洞两侧的探测点还向左右各 5° 、 10° 、 15° 、 20° 角斜前方探测。平导探测点布置分二层,上、下层各布置3个探测点,每个探测点除向前方水平探测外,还进行俯、仰角探测,两侧测点还向左、右斜前方探测。



正洞地质雷达探测点布置图



平导地质雷达探测点布置图

现场量测项目

现场量测项目主要包括：洞内观察、隧道净空变形和拱顶下沉量测。量测项目及要
求见下表。

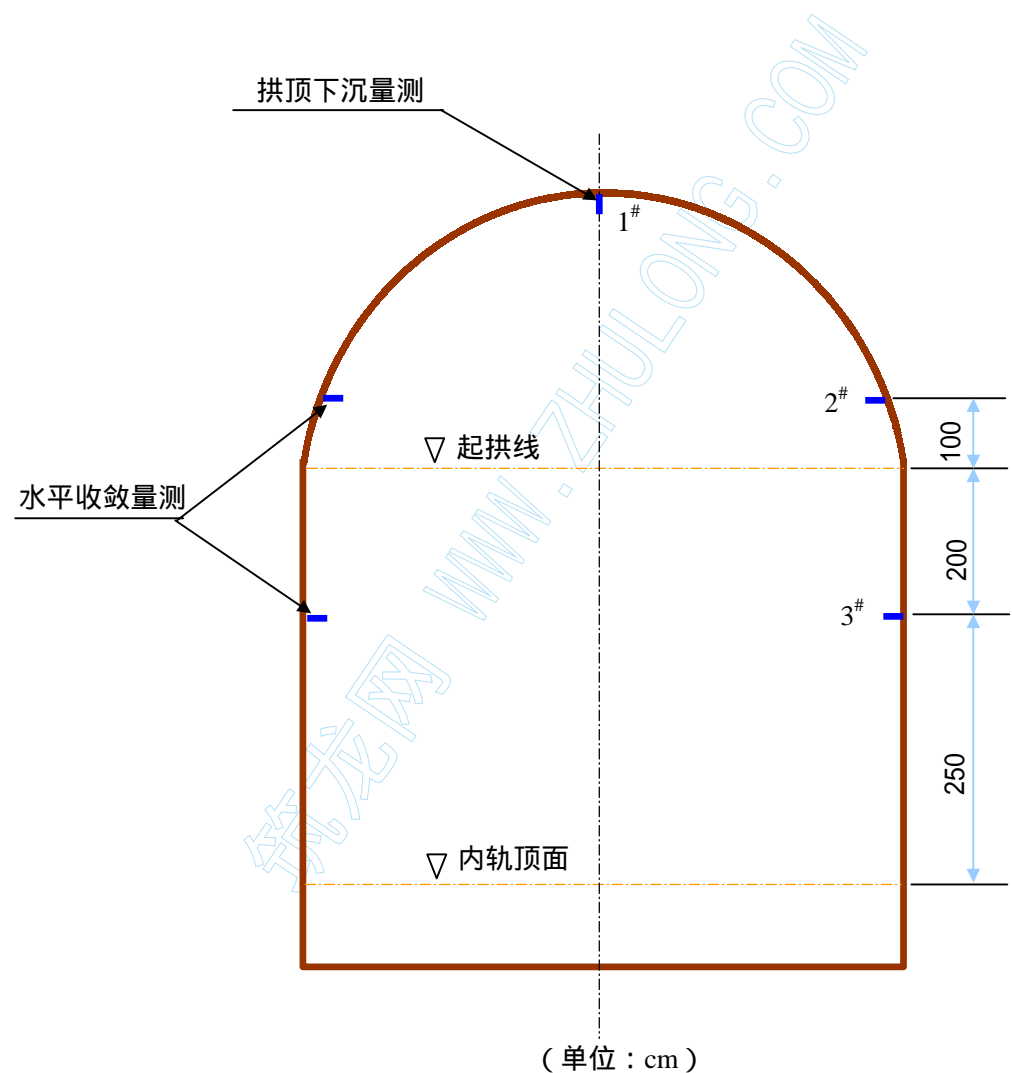
**隧道现场量测项目及要
求表**

序	量测项目	量测方法及工具	要求掌握的主要内容
1	洞内观察		1.开挖面围岩（无支护时）的自稳性；2.岩质、断层破碎带、褶皱等情况；3.支护、衬砌变形开裂情况；4.核对围岩类别；5 洞口浅埋段变形、下沉、开裂情况。
2	净空变形	收敛计	根据变形值、变形速度、变形收敛情况等用于判断：1.围岩稳定性；2.施工支护设计和施工方法的合理性；3.模筑混凝土衬砌施作时间。
3	拱顶下沉	水平仪、水准仪、钢尺	监测拱顶的绝对下沉值，了解断面变化情况，判断拱顶的稳定性，防止塌方。

量测断面布置和量测频率

隧道净空位移和拱顶下沉测点原则上设在同一断面，量测断面测点布置如图

所示。量测断面间距视隧道长度、地质条件和施工方法确定，可按《收敛和拱顶下沉量测断面布置表》选用。量测频率主要根据位移速度和距开挖面的距离而定，可参照《收敛和拱顶下沉量测频率表》选用。为取得开挖后围岩早期力学状态变化数据，测点应尽量靠近开挖面布置，距开挖面距离不大于 2.0m，并且初次读数最好在爆破后 24 小时以内或下一循环爆破前完成。



拱顶下沉、水平收敛量测测点布置图

收敛和拱顶下沉量测断面布置表

隧道情况	量测断面间距 (m)
------	------------

洞口附近或埋深小于 2B	10
长隧道开始施工的 200m 地段	20 ~ 30
一般情况	30 ~ 50

注：土砂、软岩取低值；

B 为隧道开挖跨度。

收敛和拱顶下沉量测频率表

变形速度	距开挖面距离	量测频率
$>10\text{mm/d}$	$(0 \sim 1)B$	1 ~ 2 次/d
$5 \sim 10\text{mm/d}$	$(1 \sim 2)B$	1 次/d
$1 \sim 5\text{mm/d}$	$(2 \sim 5)B$	1 次/2d
$<1\text{mm/d}$	$>5B$	1 次/7d

注：B 为隧道开挖开挖宽度。

量测数据的处理和围岩稳定性判断

为了了解围岩的变形规律和稳定性程度，应对量测数据进行回归分析。根据量测资料绘制如下曲线：

- 位移—时间变化曲线；
- 位移速度—时间变化曲线；
- 位移—距开挖面距离关系曲线。

位移—时间曲线由于最能直接明确地反映围岩和支护衬砌受力状态随时间的变化情况，因此，较多采用。

隧道施工时，围岩和支护实测位移值若超过某一临界值，则表示围岩不稳定，需加强支护衬砌。位移临界值将在施工过程中通过试验确定，也可先参照《隧道水平允许相对位移值表》选用，施工过程中再根据实测资料予以修正。除位移值外，位移速度也是判断围岩稳定的重要标志，通常规定隧道水平收敛速度小于 $0.1 \sim 0.2\text{mm/d}$ ，即表示围岩基本稳

定。

隧道水平允许相对位移值 (%) 表

围岩级别	埋 深(m)		
	<50	50 ~ 300	301 ~ 500
III	0.1 ~ 0.3	0.2 ~ 0.5	0.4 ~ 1.2
IV	0.15 ~ 0.5	0.4 ~ 1.2	0.8 ~ 2.0
V	0.2 ~ 0.8	0.6 ~ 1.6	1.0 ~ 3.0

注：水平相对位移值系指实测位移值与两测点间距离之比；

拱顶下沉允许值一般按上表数值的 0.5 ~ 1.0 倍采用；

硬质围岩取小值，软质围岩取大值；

钻爆法开挖施工要点：采取一切必要的措施保护围岩原有特性，减少对其破坏和扰动；为了充分发挥围岩的承载作用，应容许围岩有控制的变形；在施工中必须合理地决定支护结构的类型、支护结构参与工作的时间、各种支护手段相互配合、底部封闭时间、一次掘进长度等；进行实地测量监控，及时提出可靠数量的量测信息，以指导施工和设计；在隧道施工过程中，建立设计 施工检验 地质预测 量测反馈 修正设计的一体化施工管理系统，以不断提高和完善施工技术；在选择支护手段时，应选择能大面积牢固与围岩紧密接触的、能及时施设和应变能力强的支护手段；在有可能的条件下，应尽量采用全断面或大断面分部的开挖方法；

应尽量采用先修筑仰拱(或临时仰拱)或铺底的施工方法；为保证二次衬砌的质量和整体性，在任何情况下，都应采用先墙后拱的施工顺序。

6 铁路隧道施工辅助作业基本要求

施工供电要求

随着隧道施工机械化程度的提高，隧道施工的耗电量也越来越大，且负荷集中。同时为保证施工质量和施工安全，对隧道施工供电的可靠性要求也越来越高，因而施工供电显得越来越重要。在施工现场，电力供应首先要确定总用电量，以便选择合适的发电机、变压器、各类开头设备和线路导线，做到安全、可靠地供电，减少投资，节约开支。在实际生产中，并非所有设备都同时工作，另外，处于工作状态的用电设备也并非均处在额定工作状态。

隧道施工供电方式有自设发电站供电和地方电网供电两种。一般应尽量采用地方电网供电，只有在地方供电不能满足施工用电需要或距离地方电网太远时，才自设发电站。此外，自发电还可作为备用，当地方电网供电不稳定时采用，在有些重要施工场所还应设置双回路供电，以保证供电的稳定性。

隧道供电电压，一般是三相五线 400 / 230(V)。长大隧道可用 6kV-10kV，动力机械的电压标准是 380V；成洞地段照明可采用 220V，工作地段照明和手持电动工具按规定选用

安全电压 36V。

施工用电的线路设备按批准的施工组织设施装设，同时符合当地供电部门规定。使用期限超过六个月，要达到正式电力工程的技术要求。

配电系统分级配电，配电箱，开关箱外观完整、牢固、防雨防尘、外涂安全色并统一编号。其安装形式必须符合有关规定，箱内电器可靠、完好、造型、定值符合规定，并标明用途。

动力电源和照明电源分开布置。

所有电器设备及其金属外壳或构架均应按规定设置可靠的接零及接地保护。

现场所有用电设备的安装、保管和维修应由专人负责，非专职电器值班人员，不得操作电器设备，检修、搬迁电器设备（包括电缆和设备）时，应切断电源，并悬挂“有人工作，不准送电”的警告牌。

手持式电气设备的操作手柄和工作中必须接触的部分，应有良好的绝缘。使用前应进行绝缘检查。

施工现场所有的用电设备，必须按规定设置保护装置，定期检查，发现问题及时处理解决。

电器设备外露的转动和传动部分（如靠背轮、链轮、皮带和齿轮等），必须加装遮栏或防护罩。

直接向现场供电的电线上，严禁装设自动重合闸；手动

合闸时，必须与洞内值班员联系。

现场照明使用安全电源。在特别潮湿的场所、金属容器内或钢模、支架密集处作业，行灯电压不得大于 24V。

施工供水要求

由于凿岩、防尘、灌筑衬砌及混凝土养护、洞外空压机冷却等工作都需要大量用水，施工人员的生活也需要用水，因此要设置相应的供水设施。施工供水主要应考虑水质要求，水量的大小，水压及供水设施等几个方面的问题。

水质要求，凡无臭味、不含有害物质的洁净天然水，都可以作为施工用水。用水量估算应考虑施工用水、生活用水、消防用水三个方面

供水方式，主要根据水源情况而定。常用水源有：山上泉水、河水、钻井取水。上述水源自流弓 i 导或机械提升到蓄水池存储，并通过管路送达使用地点。个别缺水地区，则用汽车运水或长距离管路供水。贮水池一般修建在沿口附近上方，但应避免设在隧道顶上或其它可危及隧道安全的部位，其高差应能保证最高用水点的水压要求。水池构造力求简单不漏水，基础应置于坚固地层上，一般可采用石砌，根据地形条件用埋置式或半埋置式。当地形条件受限制，不能埋置时，也可采用修建水塔或用钢板焊接水箱等方式。利用高山自流水供水，水源流量大于用水高峰流量时，水池存水能得到及时补充，则水池容积一般为 20m^3 - 30m^3 ；如水源流

量小于用水量，则需根据相关最大用水量并考虑必要储备来计算水池容积。

施工通风要求

隧道施工通风的目的是供给洞内足够的新鲜空气，稀释并排除有害气体和降低粉尘浓度，以改善劳动条件，保障作业人员的身体健康。

隧道施工中，由于炸药爆炸，内燃机械的使用、开挖时地层中放出有害气体，以及施工人员呼吸等因素，使洞内空气十分污浊，对人体的影响严重。因此，在隧道内必须尽量降低有害气体的浓度，同时对其他不利于施工的因素如噪声、地热等也应进行控制。按照有关规定，隧道施工作业环境必须符合以下卫生标准：氧气含量：按体积计，不得低于20%。粉尘允许浓度：每立方米空气中含10%以上游离二氧化硅的粉尘为2mg。有害气体浓度：氧化碳(CO)：不大于30mg / m³，当作业时间少于30分钟时，氧化碳浓度可放宽到100mg / m³。二氧化碳(CO₂)：按体积计，不得超过0.5%。二氧化氮(NO₂)：5mg / m³以下。瓦斯(CH₄)浓度：按体积计不得大于0.5%，否则必须按煤炭工业部现行的《煤矿安全规则》之规定办理。空气温度，不得超过28℃。噪声不得大于90dB。

施工通风方式应根据隧道的长度、掘进坑道的断面大小、施工方法和设备条件等诸多因素来确定。在施工中，有

自然通风和强制机械通风两类，其中自然通风是利用洞室内外的温差或风压差来实现通风的一种方式，一般仅限于短直隧道，且受洞外气候条件的影响极大，因而完全依赖于自然通风是较少的，绝大多数隧道均应采用强制机构通风。

机械通风方式，可分为管道通风和巷道通风两大类。而管道通风根据隧道内空气流向的不同，又可分为压入式、吸出式和混合式三种。这些方式，根据通风风机(以下简称风机)的台数及其设置位置、风管的连接方法又分为集中供风和串联(或分散)供风；还根据风管内的压力来分为正压型和负压型。

巷道式通风方式是利用隧道本身(包括成洞、导坑及扩大地段)和辅助坑道(如平行导坑)组成主风流和局部风流两个系统互相配合而达到通风目的一种通风。

通风方式应针对污染源的特性，尽量避免成洞地段的二次污染，且应用利于快速施工。因而在选择时应注意以下几个问题。自然通风因其影响因素较大，通风效果不稳定且不易控制，个别短直隧道外，应尽量避免采用。压入式通风能将新鲜空气直接输送至工作面，有利于工作面施工，但污浊空气将流经整个坑道。若采用大功率、大管径，其适用范围较广。吸出式通风的风流方向与压入式相反，但其排烟速度慢，且易在工作面形成炮烟停滞区，故一般很少单独使用。混合式通风集压入式和吸出式的优点于一身，但管路、风机

等设施增多，在管径较小时可采用，若有大管径、大功充风机时，其经济性不如压入式。

利用平行导坑作巷道通风，是解决长隧道施工通风的方案之一，其通风效果主要取决于通风管理的好坏。若无平行导坑，如断面较大，可采用风墙式通风。选择通风方式时，一定要选用合适的设备——通风机和风管，同时要解决好风管的连接，尽量养活漏风率。搞好施工中的通风管理，对设备要定期检查，及时维修，加强环境监测，使通风效果更加经济合理。

设置通风机时，其安装基础要能充分承受机体重量和运行时产生的震动，或者水平架设到台架上。吸入口注意不要吸入液体和固体，而且要安装喇叭以提高吸入、排出的效率。放置在隧道内的风管，应设在不妨碍出渣运输作业、衬砌作业的空间处，同时要牢固地安装以免受到振动，冲击而发生移动、掉落。在衬砌模板台车附近，不要使风管急剧弯曲，以减少风压损失。风管一般均用夹具等安装在支撑构件上，若不使用支撑，只有喷混凝土和锚杆时，可在锚杆上装特殊夹具挂承力索，而后通过吊钩安装风管。风管的连接应密贴，以减少漏风，一般硬管用密封带或垫圈，软管则用紧固件连接。风管可挂设在隧道拱顶中央、隧道中部或靠边墙墙角等处，一般在拱顶中央处通风效果较佳。

施工防尘要求

目前，在隧道施工中采取的防尘措施是综合性的。主要是湿式凿岩、机械通风、喷雾洒水和个人防护相结合，综合防尘。

湿式凿岩，就是在钻眼过程中利用高压水湿润粉尘，使其成为岩浆流出炮眼，这就防止了岩粉的飞扬。根据现场测定，这种方法可降低粉尘时 80%。目前，我国生产并使用的各类风钻都有给水装置，使用方便。对于缺水、易冻害或岩石不适于湿式钻眼的地区，可采用干式凿岩孔口捕尘，其效果也较好。

机械通风，施工通风可以稀释隧道内的有害气体浓度，给施工人员提供足够的新鲜空气，同时也是防尘的基本方法。因此，除爆破后需要通风外，还应保持通风的经常性。

喷雾洒水，喷雾一般在爆破时实施的，主要是防止爆破中产生粉尘过大。喷雾器分两大类：一种是风水混合喷雾器，另一种是单一水力作用喷雾器。前者是利用高压风将流入喷雾器中的水吹散而形成雾粒，更适合于爆破作业使用。后者则无需高压风，只需一定的水压即可喷雾，且这种喷雾器便于安装，使用方便，可安装于装渣机上，故适合于装渣作业时使用。洒水是降低粉尘浓度的简单而有效的措施，即使在通风较好的情况下，洒水降尘仍然需要。因为单纯加强通风，还会吹干湿润的粉尘而重新飞扬。对渣堆洒水必须分层洒透，一般每吨岩石洒水的

耗水量大到为 10L—20L，如果岩石温度较大，水量可适当减少。

个人防护，对于防尘而言，个人防护主要是指配带防护口罩，在凿岩、喷混凝土等作业时还要配带防噪声的耳塞及防护眼镜等。

通风系统的维护管理

通风系统的管理目的在于保持通风系统良好的工作状态，保证风管百米漏风率在 1%以下，为此，必须加强对系统的维护管理，特别是长距离的软管，更需要经常检查、修补、调整、更换。隧道施工中的通风应符合铁道部隧道设计和施工规范的要求。并应设专职人员管理。隧道内的空气成份，应每月至少取样分析一次。风速、含尘量每月至少检测一次。

无论通风机运转与否，严禁人员在风管的进出口附近停留。

通风机停止运转时，任何人员不得靠近通风软管行走和在软管旁边停留，不得将任何物品放在通风管或管口上

通风工对责任区的通风管道及设施必须每天巡回检查，发现破损、爆裂、泄漏、脱挂、弯曲、褶皱、接头松开等要及时处理。

定期测试通风量、风压、风速，并作好记录。

经常检查和维修通风机具，检查通风设备的供风能力和动力消耗，检查风管有无损坏、损伤，并及时修补。

通风管路安装要合理，并做到平、顺、直，出现问题及时处理。

建立和稳定通风队伍，加强管理工作。

推广压气水幕降尘、捕尘器除尘等等综合防尘技术，降低通风工作量。

做好施工队伍通风安全知识宣传教育工作，牢固树立安全意识。

洞内管线布置

隧道内的管线布置统一考虑，正洞进口通风管设于隧道右侧起拱线处，高压风、水管设于进洞方向右侧，动力线及照明线设于进洞方向左侧。出口 正洞通风管设于隧道左侧起拱线处，高压风、水管和排水管设于进洞方向左侧，动力线及照明线设于进洞方向右侧。