

隧道施工方案

一、隧道工程概况

1. 设计概况

本合同段有隧道四座，即后眷隧道和斗米 、 、 号隧道群，分别位于福建省南靖县**镇**村和**镇**村，具体设计情况见下表：

序号	隧道名称	起讫桩号	长度 (米)	净空 (宽×高)	洞门形式		地质概况	备注
				米	进口端	出口端		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	后眷隧道	ZK65+190 ~ ZK66+365	1175	9.75×5	削竹式	城墙式	弱风化花岗岩	分离式 隧道
		YK65+000 ~ YK66+405	1405	9.75×5	削竹式	城墙式	弱风化花岗岩	
2	斗米 号 隧道	K67+013 ~ K67+175	162	2-9.75×5	城墙式	城墙式	强风化花岗岩	连拱 隧道
3	斗米 号 隧道	K67+252 ~ K67+482	230	2-9.75×5	城墙式	城墙式	强风化花岗岩	连拱 隧道
4	斗米 号 隧道	K67+745 ~ K68+025	280	2-9.75×5	仰斜式	城墙式	强风化花岗岩	连拱 隧道

后眷隧道设一处行车横洞及紧急停车带，三处人行横洞，行车横洞及紧急停车带对应桩号，左洞：ZK65+950；右洞：YK65+943.08。人行横洞对应桩号，左洞：ZK65+460、ZK65+690、ZK66+140；右洞：YK65+481.15、YK65+711.71、YK66+162.60。

隧道路面设计除斗米 号隧道龙岩往漳州方向采用 30cm 厚的水泥混凝土面层外，均采用 26cm 厚的水泥混凝土面层，15cm 厚的 20#素砼调平层。

2. 隧道地质

(1) 工程地质

后眷隧道岩性以 $5^{2(3)c}$ 花岗岩为主，属硬质岩，但局部节理裂隙较发育，且洞身通过多处冲沟凹地，这些路段隧道围岩顶板厚度小，风化强，围岩较破碎。该隧道在 ZK65+160、ZK65+896 及 YK65+158 附

近存在裂隙密集带，宽约 10~20m。

斗米、号隧道围岩以^{2(3)c}花岗岩及正长斑岩为主，风化强烈，松散残积风化覆盖厚，隧道围岩较破碎，属类围岩。

(2) 水文地质

本合同段隧道的地下水主要有两种类型：

残坡积土、砂状土强风化孔隙潜水，受大气降水补给，水量随季节变化；

基岩风化层裂隙水，赋存于基岩连通裂隙中，尤其节理裂隙密集带。

隧道地下水位不发育，但隧道围岩风化强烈，覆盖层厚，且土层透水性好，受大气降水影响。地下水对砼无腐蚀性。

3. 结构形式及支护参数

本合同隧道结构设计按照新奥法原理，采用复合式衬砌。初期支护由湿喷（钢纤维）混凝土、锚杆及钢筋网组成，并辅以钢拱架、注浆小导管等支护措施，充分调动和发挥围岩的自承能力，在监控量测信息的指导下施作初期支护和二次衬砌。各类复合式衬砌支护参数见下表。

各类复合式衬砌支护参数表

衬砌类型	支护参数									二次衬砌 25# 砼 (cm)		辅助施工措施	
	20# 湿喷射砼 (cm)	锚杆					钢架支撑			拱墙	仰拱		
		类型	部位	规格 (mm)	长度	间距 (m)	部位	规格	间距				
后衬隧道	S2-1	20	中空	拱墙	25	3.5	1.0×1.0	拱墙仰拱	U25	0.5	45	40	超前小导管
	S2	20	中空	拱墙	25	3.0	1.0×1.0	拱墙仰拱	U25	0.8	40	40	超前小导管
	S3	16	普通	拱墙	22	3.0	1.2×1.2	拱墙	425 格栅	1.0	35		
	S4	10	普通	拱	22	2.5	1.4×1.4				30		

	S5	8									30		
	S7-1	12	普通	拱墙	22	4.0	1.2×1.2				45		
	S7	10	普通	拱墙	22	4.0	1.2×1.2				40		
斗米隧道群	LS2-2	23	中空	拱墙	25	4.0	0.8×0.8	拱墙仰拱	U25	0.3	55	50	超前小导管
	LS2-1	23	中空	拱墙	25	4.0	0.8×0.8	拱墙仰拱	U25	0.5	55	50	超前小导管
	LS2	23	中空	拱墙	25	4.0	0.8×0.8	拱墙仰拱	U25	0.8	50	50	超前小导管
	中导洞	20	普通	拱墙	22	3.5	1.0×1.0	拱墙	4 25格 栅	0.8			超前中空锚杆

注：初期支护喷射砼均采用湿喷法喷射，严禁采用干喷法喷射。

代表喷钢纤维，代表普通砼加挂网（钢筋网直径为6mm，间距20×20cm），

本合同段隧道考虑预留变形量数值为：Ⅰ类围岩10cm，Ⅱ类围岩5cm，Ⅲ、Ⅳ类围岩不计；施工误差，各类围岩均为5cm。

二、施工组织安排

1. 工期安排

（1）施工准备：2002年7月1日-2002年8月31日

后眷隧道：2002年9月1日开工，2004年1月15日完工；

斗米 号隧道：2002年11月1日开工，2003年8月31日完工；

斗米 号隧道：2002年9月15日开工，2003年10月14日完工；

斗米 号隧道：2002年9月15日开工，2003年12月15日完工。

（2）隧道施工是本合同段重点，为做好均衡生产，根据本工程实际情况，后眷隧道采用双口掘进，左右线同时施工，爆破地段两洞开挖面前后距离保持40m以上，进度指标为：Ⅰ类围岩地段30m/月，Ⅱ类围岩地段45m/月，Ⅲ、Ⅳ类围岩地段90m/月。斗米隧道群都属Ⅰ类围岩，长度较短，而工期相对较长，本着安全、经济的目的，兼顾施工难度较大的特点，采用单口掘进，进度指标为：中导坑50m/

月，正洞 40m/月。施工进度计划具体安排如下（单口掘进）：

（3）施工进度图

详见《隧道工程总体计划进度横道图》、《后眷隧道施工进度横道图》、《后眷隧道左洞施工形象进度图》及《后眷隧道右洞施工形象进度图》。

2. 劳力组织

（1）后眷隧道采用双口掘进，左右洞进口分别由隧道施工一、二队（220人/队）负责施工，左右洞出口分别由隧道施工三、四队（220人/队）负责施工；每个队包括掘进、衬砌、综合三个工班。掘进工班负责隧道开挖，支护、出碴、运输。衬砌工班负责衬砌，包括砼的生产、运输

《隧道工程总体计划进度横道图》

《后脊隧道施工进度横道图》

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

《后脊隧道左洞施工形象进度图》、》

《后脊隧道右洞施工形象进度图

和灌注；综合工班负责风、水、电及设备维修、保养，场外材料的转运等工作由。按三班制安排组织施工，在人员安排时每人每天按少于

8 个小时工作时间。各分项工作劳力具体安排见后附表。

单口掘进劳力组织及分工表

序号	名称	人 数	职 责
1	工班长	3	负责施工组织指挥工作
2	安全员	3	负责安全工作，发现和排除事故苗头
3	电工	6	负责电路
4	钻孔	36	负责钻孔工作
5	爆破	10	负责制做起爆药卷、运送炸药、装药、联线、起爆
6	装碴	6	负责装碴
7	扒碴(洞内)	10	负责洞内扒碴
8	出碴运输	10	负责出碴运输
9	初期支护	20	负责支护、注浆堵水加固地层等
10	守库员	2	看守雷管、炸药库、保管发放火工材料
11	修理工	4	一般维修工作
12	辅助工	6	
	合计	116	

单口衬砌劳力组织及分工表

序号	名称	人数	职 责
1	工班长	3	负责施工组织指挥工作
2	拌合站	8	操作拌合站
3	装料工	6	砂石料及外加剂上料
4	砼泵司机和辅助工	8	操作砼输送泵及装拆管和砼运输车运输砼
5	防水板工	10	安设防水板铺设盲沟
6	台车就位和辅助工	10	台车的移动，定位及模板轮廓尺寸
7	砼震捣工	8	捣固砼
8	模板工	6	避人、车洞模板架立
9	修理工	3	负责设备维修
	合计	62	

单口综合工班（风、水、电设备及洞外保障）劳力组织

序号	名称	人数	职 责
1	工班长	3	负责组织指挥

2	风水电	12	高压风水电的供给管理,高压风水管的安装
3	通风排烟等	3	通风机、风管、排水管路安装维修
4	修理工	6	作业区的主要维修工作
5	机加工	9	作业区的所有机加工工作
6	电焊工	3	焊接作业
7	洞外辅助工	6	洞外材料装卸及其他辅助工作
	合计	42	

(2) 斗米隧道群每个隧道采用单口掘进,分别安排隧道施工五队、隧道施工六队及隧道施工七队负责施工,每个隧道施工队(220人)包括掘进、衬砌、综合三个工班。掘进工班负责隧道开挖、支护、出碴、运输;衬砌工班负责衬砌,包括模板台车作业、洞内防排水工程施工、混凝土灌注;综合工班负责钢构件加工制作及场外材料的转运等工作。保障专业队负责风、水、电、混凝土的供应及设备维修、保养。按三班制安排组织施工,在人员安排时每人每天按少于8个小时工作时间。

3. 机械设备

隧道施工采用液压式多臂掘进台车钻孔。装载机装碴自卸汽车出碴运输、湿喷混凝土初支、整体衬砌台车模注、砼拌合站拌合、砼运输车运输、砼输送泵泵送的施工方法,配合施工所需机械装备详见第五篇投标书附表“表3 拟投入本合同工程的主要施工机械表”。

4. 主要材料供应

主要材料供应来源及组织运输方案见“材料组织及供应计划”。

5. 场地布置

施工场地及队伍驻地的布置主要考虑离洞口较近,上下工方便,避风、防洪、环保要求等因素。

施工场地布置考虑了如下原则:

(1) 适应地形，紧凑布置。

(2) 发电机组、配电房、电动压风机房尽量靠近洞口，进洞的风水管路及电线路尽可能短，以减少风、水阻力损失及电压降。

(3) 材料堆放便于汽车运输，尽可能减少运输干扰。常用料如砂石、水泥、木料等放在同一条运输线近旁，便于运料。

(4) 炸药、雷管库房远离驻地和隧道洞口，以策安全。

后脊隧道施工场地布置见“后脊隧道进口施工平面布置图”、“后脊隧道出口施工平面布置图”。

斗米隧道群施工具体设施布置详见“表 4 施工总平面布置图”

6. 临时工程

(1) 交通便道

本标段线位与 319 国道隔西溪而行，间隔一定的距离均可通过跨西溪的桥与 319 国道相连，交通方便，利用新修一定数量的便道便可到达隧道施工地点。

从 ZK64+600 左侧既有老路切入，分别新修 800m 和 500m 便道至后脊隧道进口左、右洞。

在 K67+490 利用既有公路新修 700m 便道至后脊隧道出口和斗米 号隧道进口。

在 K67+520 处修一钢便桥跨过冲沟，连接斗米 号隧道出口和斗米 号隧道进口，新修便道 100m。

在 K68+248 处修一钢便桥跨过冲沟，连接斗米 号隧道出口，新修便道 250m。

“后眷隧道进口施工平面布置图”。

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

“后脊隧道出口施工平面布置图”。

(2) 高压供风系统的布置

在后脊隧道左右洞口各设 4 台 $20\text{m}^3/\text{min}$ 电动空压机，高压风管采用 120mm 的无缝钢管，置于与通风管一侧的墙脚。

在斗米 、 号隧道进口和斗米 号隧道出口分别设 4 台 $20\text{m}^3/\text{min}$ 电动空压机，高压风管采用 120mm 的无缝钢管，置于与通风管一侧的墙脚。

施工过程中要加强管理，防止漏风。

(3) 供水系统的布置

就近河沟取水，每个洞口在山上各修建一座 100m^3 的高位水池，高度高于洞口拱顶标高 80 米左右，铺设水管安设高压水泵。

(4) 供电系统的布置

本标段隧道施工用电利用地方电源，引入高压电线，在掘进进口设配电房。后眷隧道进出口左右线各设 1 台容量为 1000KVA 的变压器，并配备 1 台 320KW 内燃发电机组。斗米隧道每掘进口设 1 台容量为 800KVA 的变压器，并配备 1 台 320KW 内燃发电机。

(5) 施工通风系统的布置

后眷隧道按独头施工长度最大约 700m ，采用长管路压入式通风。选用 88-1 型轴流通风机，防静电阻燃增强型 PVC 软风管组成通风系统。

通风机设在离洞口外 $10\sim 20\text{m}$ ，以避免洞内流出的污浊空气重新进洞。风管悬挂于拱脚处。为解决台车处风管的阻风问题，在台车顶部设置 1.4m 的硬管，以便风管顺利穿行，避免软管缩径和弯曲变形。

斗米 、 、 号隧道在每掘进口中导洞口配设一台天津产 2SZ 型，功率为 $2\times 37\text{KW}$ 的轴流式通风机，进行压入式通风，通风管用 1.0mWSFG 通风软管。

洞内三管两线见“洞内管线布置示意图”。

洞内管线布置示意图”

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

7. 总体施工方案

本合同隧道以新奥法的基本原理为依据，对软弱围岩以“短开挖、弱（不）爆破、快封闭、强支护、勤量测、紧衬砌”的原则为

指导(见“新奥法施工程序图”)进行施工。后脊隧道进出口左右线同时掘进,共分四个作业面,四个作业工区,安排四个施工队;根据情况,Ⅰ、Ⅱ类围岩采用先超前中导坑后全断面施工法,中导洞超前3米;Ⅲ、Ⅳ类围岩采用半断面正台阶法施工,台阶长度一般控制在5米。斗米隧道群(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号)按单口掘进方案,施工时首先开挖中导坑并灌注中隔墙混凝土,当中隔墙砼达到设计强度70%以上,然后采用两台阶分步平行开挖法施工主洞,斗米隧道群全为Ⅰ类围岩,尽量采用无爆破开挖,局部采用微震光面爆破技术,开挖循环进尺控制在0.5~1.0m。全断面法以及台阶法下台阶采用钻孔台车钻眼。出碴采用侧卸式装载机装渣,自卸汽车出渣。二次衬砌采用衬砌台车,砼由拌合站拌合,砼运输车运输,砼输送泵泵送入模灌筑,全断面一次施作。

8. 通风除尘

(1) 通风方式

本合同段隧道单口最长掘进通风长度约700m,采用洞外设风机、软管压入式通风方式。

(2) 提高通风除尘效果

洞内作业环境质量直接关系到施工的快慢与职工人身健康,因此必须高度重视,认真搞好。为此采取下列措施:

通风管路方面,围绕“防漏降阻”加强管理。风管安装除了做到平、直、稳、紧外,风管节长选用30~50m一节,减少接头漏风;在衬砌台车地段,台车上部设1.4m的硬管,以便软风管穿越,避免或减少风管缩径和弯曲变形降低风阻。

加强对进洞机械车辆的维修保养,定期检查空气滤清器是否堵塞,进、排气是否畅通,喷油效果不好的喷油嘴及时更换,使喷

油效果好，雾化程度高，柴油充分燃烧。部分机械进行机外净化，主要对装载机配上带有催化剂的附属箱，连接在尾气排放管上，把发动机排出的尾气用催化剂和水洗的办法降低其有害气体。

采用湿式凿岩、水幕降尘和个人防护相结合的办法防尘。水幕降尘就是采用湿式喷雾法除尘降尘。每个工区距开挖面 30 米处设一台水幕降尘器，炮前 10 分钟开阀，炮后半小时关闭。另外，专门成立尘毒测试站，定期测试粉尘和有害气体浓度。

三、施工方法及工序

1. 隧道开挖方法

(1) 后眷隧道开挖方法

隧道施工开挖采用光面爆破（见“光面爆破施工工艺流程图”），以最大限度地保护周边岩体的完整性，同时减少超挖量，提高初期支护的承载能力。在Ⅱ、Ⅲ类围岩地段采用半断面正台阶法施工，台阶长度根据情况控制在 5 米，上台阶采用环形开挖预留核心土，Ⅱ类围岩落底时，先挖边槽初支，后挖核心土，Ⅲ类围岩落底时，先开挖核心土，预留边墙土，人工开挖下落初支，以保证初期支护及时落底封闭，确保初期支护的承载能力。Ⅳ、Ⅴ类围岩采用先超前中导坑后全断面施工法，中导洞超前 3 米。

洞口段的施工方法

在进行洞口段开挖施工前，施作好洞顶截水沟，防止地表水渗入开挖面影响明洞边坡和成洞面的稳定；在进行开挖过程中，边坡防护与边坡开挖同步进行，做好边坡防护是保证安全进洞的重要一环，边坡按设计打锚杆、挂钢筋网、喷砼防护。开挖到成洞面附近时预留核心土体，洞口段超前支护施工完成后再开挖进洞。

洞口地质较差，避开雨季施工，明洞衬砌完成后及时回填。

类围岩开挖方法

由于 类围岩以松散结构的残坡积层砾质粘性土、强风化花岗岩为主，围岩自稳性差，易坍塌，故 类围岩开挖时，采用半断面正台阶法施工，根据围岩情况，台阶长度为5m，每次开挖进尺控制在0.5~1m左右。主要采用风镐等小型机具开挖，部分地段围岩较硬，风镐施工困难时，采用弱松动爆破。出碴使用正装侧卸装载机装碴，自卸汽车运输。

类围岩开挖方法

由于 类围岩以弱风化~微风化花岗岩为主，围岩较稳定， 类围岩开挖时，采用半断面正台阶法施工，台阶长度根据情况控制在5米，每次开挖进尺控制在1~1.5m左右，主要采用弱爆破掘进作业。出碴使用正装侧卸装载机装碴，自卸汽车运输。

、 类围岩开挖方法

、 类围岩首先采用YT-28风枪开挖超前中导坑，然后用钻孔台车钻孔，进行光面爆破开挖。为提高光面爆破效果，控制好开挖断面轮廓，整个隧道断面一次性打眼放炮。中导坑每循环进尺1.7米，其余断面每循环进尺3.5米左右，中导坑超前3.0米左右，导坑断面3.0米宽，3.0米高。

隧道开挖施工程序见“后眷隧道开挖、支护顺序图”。

钻爆设计

A. 炮眼布置、起爆网络

见《 类围岩正台阶法炮眼布置图》、《 、 类围岩中洞法炮眼布置图》。

后着隧道开挖、支护顺序图”。

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

类围岩正台阶法炮眼布置图》、《

、 类围岩中洞法炮眼布置图》。

b . 掏槽

采用垂直中空直眼掏槽形式，中空眼使用 102 钻头钻成。

c . 爆破器材

采用非电毫秒雷管（1~20段），炸药采用2号岩石硝铵炸药，规格分别为32×20cm和25×20cm药卷。周边眼用25×20cm药卷，间隔装药，其它眼均用32×20cm药卷，连续装药。起爆系统采用导爆管传爆，以集束为主的混合联接引爆网络。

（2）斗米、号隧道开挖方法

洞口段的施工方法

在进行洞口段开挖施工前，施作好洞顶截水沟，防止地表水渗入开挖面影响明洞边坡和成洞面的稳定；在进行开挖过程中，边坡防护与边坡开挖同步进行，做好边坡防护是保证安全进洞的重要一环，边坡按设计打锚杆、挂钢筋网、喷砼防护。开挖到成洞面附近时预留核心土体，洞口段超前支护施工完成后再开挖进洞。

中导坑施工方法

中导坑采用全断面开挖，紧跟开挖及时支护，浇注中隔墙。开挖采用人工、风镐开挖，风镐开挖有困难时，用气腿式风枪钻眼，采用微震光面爆破技术开挖。循环进尺控制在1m左右，以架立1~2榀钢拱架为度。

正洞开挖方法

正洞开挖采用两台阶分步平行开挖法施工，尽量采用人工、风镐开挖。局部较硬围岩采用微震光面爆破技术，尽可能减少超挖及减轻对围岩的扰动和破坏。具体施工程序详见“斗米隧道群开挖、支护顺序图”。

斗米隧道群开挖、支护顺序图”

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

2 . 钻眼爆破

隧道 类围岩台阶法上台阶采用 YT-28 型凿岩机钻眼 ,台阶法下台阶以及 、 围岩中洞法除中洞外的其余断面采用钻孔台车钻眼。

在施工中根据光面爆破设计结合现场地质变化情况进行爆破试验，不断修正爆破参数，实行定人、定岗、定标准的岗位责任制，达到最优爆破效果。

（1）钻眼

钻眼前，放出开挖断面中线、水平和断面轮廓线，并根据爆破设计标出炮眼位置，经检查符合设计要求后，按照不同孔位将施工人员定点定位再进行钻眼。

钻眼时，掏槽眼、周边眼按设计的深度、角度施工，误差控制在设计要求的允许范围内。

钻眼完毕，按炮眼布置图进行检查，并做好记录，对不符合要求的炮眼重钻，经检查合格后方可装药爆破。

（2）装药

装药前，所有炮眼必须用高压风吹净孔内岩沫。

装药时，要定人、定位、定段别，严格按设计的装药结构和药量施作。周边眼采用 25 的小直径药卷间隔装药方式，其余采用 32 药卷连续装药、密集堵塞方法。

装药完毕严格按设计联结起爆网络，注意导爆索的连接方向和连接点的牢固性，以保证起爆的可靠性和准确性。网络联结好后要有专人负责检查。

（3）爆破

非点炮人员撤离安全区后才能引爆。

采用 1~20 段非电毫秒雷管起爆，爆破后由专职安全员对危石清理后，方可进行下一道工序。

爆破后及时检查光爆效果，分析原因，调整爆破设计。

3. 出碴运输

采用侧卸式装碴机装碴、自卸汽车运输出碴。衬砌台车应合理设计，预留不小于 3m 的空间，便于运输车辆的进出，解决出碴与衬砌作业的干扰。洞外弃碴场地挡碴墙先行修好，弃碴场地的弃碴顶面保持平整，并防止水流冲蚀造成溢流。对运输道路要进行维修和养护，使其经常处于平整畅通，道路两侧和余料随时清除。

4. 支护与衬砌

各种类别的围岩支护与衬砌参数见“复合式衬砌支护参数表”。

(1) 初期支护

本合同段隧道初期支护包括系统锚杆、湿喷(钢纤维)混凝土、钢架支护等。初期支护紧随开挖面及时施作，减少围岩暴露时间，控制围岩变形，防止围岩短期内松弛。

(2) 喷锚支护施工

A. 锚杆

锚杆采用锚杆台车钻孔。

锚杆为中空注浆锚杆时，施工工艺为：a. 在岩面上标出锚杆位置；b. 钻孔；c. 清除孔内粉尘；d. 插入锚杆；e. 安装止浆塞、垫板、螺母，垫板尺寸为 $200 \times 200 \times 10\text{mm}$ ；f. 连接注浆泵注浆，注浆压力控制在 $0.4 \sim 0.6\text{Mpa}$ 之间。

中空注浆锚杆施工工艺见本篇表 5《中空注浆锚杆施工工艺流程图》。

锚杆为普通砂浆锚杆时，施工工艺为：a. 在岩面上标出锚杆位置；b. 钻孔；c. 清除孔内粉尘；d. 孔内注浆，注浆压力控制在 $0.4 \sim 0.6\text{Mpa}$ 之间；e. 打入锚杆；f. 安设挡头板，其尺寸为 $150 \times 150 \times 10\text{mm}$ ；

普通砂浆锚杆施工工艺见本篇表 5《普通砂浆锚杆施工工艺流程图》。

B. 挂网

按设计要求加工钢筋网，随受喷面起伏铺设，同定位锚杆固定牢固，钢筋网与受喷面的间距以 3cm 为宜，混凝土护层大于 2cm。

C. 喷射混凝土

隧道除 S5、S7 衬砌类型地段为素喷混凝土和中导洞为网喷混凝土外，其余地段初期支护采用钢纤维喷射混凝土。要求钢纤维弯曲韧度系数 $Re^3 \geq 67\%$ ，钢纤维抗拉强度 $\geq 600\text{Mpa}$ ，掺量为 $35 \sim 40\text{kg/m}^3$ 。喷射砼相当抗拉强度 $\geq 2.5\text{Mpa}$ 。

钢纤维喷射混凝土要求采用湿喷工艺施工。为了达到上述设计指标，钢纤维混凝土需按如下要求施工：水泥标号不得低于 425 号，粗骨料最大粒径不得大于 10mm，水泥与砂石的重量比 1:3~1:4，砂率不宜小于 50%。由于实际喷射混凝土时，回弹具有不可避免性，且集料回弹率和纤维回弹率不同，施工前设计出 2~4 组配合比试验，然后进行试喷，并获取不同龄期试件，最后回弹量最低，物理力学性能满足设计要求的一组，即为应用的施工配合比。

在进行钢纤维喷射混凝土施工时，特别注意钢纤维的成球现象和喷嘴堵塞，在超挖过于严重时，在保证钢纤维喷射混凝土的设计厚度，并得到监理工程师的认可的情况下，可先用喷射混凝土喷平。喷嘴的方向应和作业面保持直角，作业面和喷嘴距离 1m 左右，喷射混凝土的喷射压力保持在 $2 \sim 5\text{kg/m}^2$ 左右。在钢纤维混凝土施工后，注意把喷射混凝土面的钢纤维去掉，以避免防水板受损。

为提高喷射砼的效果，减少回弹量和粉尘对人体的危害，喷射砼全部采用 TK-961 型湿喷机施喷。

在喷射混凝土之前，用水或风将受喷面粉尘和杂物清除干净。

拌料时严格掌握规定的速凝剂掺量、防腐掺加剂量和混凝土配合比，其水灰比一般控制在 0.4 ~ 0.5，喷射距离一般为 0.8 ~ 1.2m，且垂直于岩面。初喷厚度 3 ~ 5cm，复喷每次 5 ~ 8cm，直至设计厚度。两次喷射间隔时间为 15 ~ 30 分钟。

施喷时由下而上、分段进行。台阶法开挖拱部喷砼，先拱脚、后拱顶，如岩面凹凸不平时，先喷凹处找平。喷嘴缓慢呈螺旋形均匀移动，一圈压半圈，行与行之间搭接 2 ~ 3cm。

漏水地段先用塑料管将水引出，并根据实际情况调整混凝土配合比，增加水泥用量，再喷射混凝土。

喷射砼施工工艺见本篇表 5《分次投料及喷射砼工艺流程图》。

D. 钢架加工制作及架设

a. 钢架加工制作工艺要求

按设计图放大样（预留焊接余量及切割、刨边的余量），将主钢筋、U 型钢按要求尺寸冷弯成形，弧形圆顺；

格栅拱架按设计图配置加强筋与主筋焊接，为防止变形，焊接时沿钢架两边对称焊接；

焊接前对焊接材料和钢材均应进行质量检查，应符合设计文件的要求及国家标准规定；

施焊前，对焊工应进行摸底试焊，按手工电焊规范进行考试合格评定焊接等级；

钢架加工后应进行试拼，沿隧道周边轮廓误差不大于 3cm，

螺栓孔中心间距公差不得超过 $\pm 0.5\text{mm}$ ，钢架平放时，平面挠曲应小于 $\pm 2\text{cm}$ 。

b. 钢架架设工艺要求

安装前分批检查验收加工质量；

架立钢架时挖槽就位，清除浮渣；并在钢架基脚处设槽钢以增加基底承载力；

为保证钢架安装准确，按设计在 U 型钢架、连接板处和格构钢架的两拱脚处、两边墙脚处预留凹槽，在初喷混凝土时，应在凹槽处打入木楔，为架设钢架留出连接板（或槽钢）位置，U 型钢架 U 型槽应朝向圆心；

按设计焊接定位系筋及纵向连接筋，段间连接安设垫片拧紧螺栓，确保安装钢架质量；

严格控制钢架的中线、垂直度及标高尺寸；

钢架与岩面间安设混凝土契形垫块（契形垫块环向间距不大于 0.8m ），确保岩面与钢架密贴、牢靠、稳固；

确保初喷质量，钢架在初喷 $2\sim 5\text{cm}$ 后架立，架立后尽快施作喷混凝土，并将钢架全部覆盖，使钢架与混凝土共同受力。

钢架架设施工工艺见本篇表 5 《钢架架设施工工艺流程图》。

（3）辅助施工措施

本合同段隧道洞口浅埋地段及 软弱围岩地段施工难度较大，施工时采取强有力的辅助施工措施与初期支护相结合。本隧道采用的辅助施工措施有：超前小导管、超前锚杆等。

A. 超前小导管注浆

超前小导管设置在掌子面超前施作后可以后续初期支护

的施工提供足够的时间和安全保护。超前小导管设计参数：

支护类型	长度 cm	规格(外径× 壁厚)mm	布置		浆液
			间距(环向×纵向)cm	外插角(度)	
S2-1	500	50×5	50×250	15	30号水泥浆
S2	500	50×5	50×320	15	30号水泥浆
LS2	500	50×5	50×320	15	30号水泥浆和水玻璃双液浆
LS2-1	500	50×5	50×250	15	30号水泥浆和水玻璃双液浆
LS2-2	500	50×5	50×250	10、40	30号水泥浆和水玻璃双液浆

钢管采用热轧无缝钢管，在钢管距尾端 0.4 米范围外间隔 15cm 交错钻 8mm 注浆孔。钢管尾端加焊铁箍。

超前小导管施工步骤为：

- a. 沿开挖面周边布置注浆眼。
- b. 按布置的注浆眼位置钻眼，眼深 5 米（按设计）。将压浆管顶入岩层。小导管顶入长度不小于钢管长度的 90%。
- c. 孔口止浆封堵。导管打入后用塑胶泥封堵孔口导管与孔壁间隙，并在导管附近及工作面喷砂，以防工作面上岩土坍塌，同时作为注浆止浆岩墙。
- d. 压注浆液。注浆压力控制在 0.7 ~ 1.0Mpa，注浆达到设计注浆量和注浆压力时可结束注浆。注浆过程中随时观察注浆压力，分析注浆情况，防止堵塞、跑浆，做好注浆记录，以便分析注浆效果。

工艺流程图见本篇表 5 《小导管注浆施工工艺流程图》。

e. 施作超前小导管注浆支护时应注意的问题

. 在施工过程中, 钻机需隔开一定距离, 否则因向岩体注水太多, 可能导致围岩塌滑。

. 在钻进过程中, 最重要的是保证钻杆及钻头水孔的畅通, 为此, 需要注意水从钻孔中流出的情况, 如发现水孔有堵塞的迹象, 则将钻杆后撤 50cm 左右, 经反复扫孔使水孔畅通, 然后慢慢进尺, 直至达到设计深度。

.液浆应严格按配合比配制，并随配随用，以免浆液在注浆管、泵中凝结。

.注浆过程中若出现堵管现象，则应及时清理注浆软管和注浆泵；如果当时注浆泵的压力表显示有压，则应先卸压后拆接头进行处理。

.为保证注浆效果，橡胶止浆塞打入孔口不应小于 30cm，而且要待排完气之后立即用快凝水泥砂浆封闭止浆塞以外的钻孔，这样才能保证在 1.0MPa 的压力下浆液不致窜出。

B. 超前锚杆

超前锚杆设置在斗米隧道群 类围岩中导洞施工地段。锚杆采用直径 25mm，长 500cm 的中空注浆锚杆，环向间距 80cm，纵向间距 320cm，梅花形布置，外插角 20 度。实际施作时锚杆方向应根据岩体结构面产状确定，以尽量使锚杆穿透更多的结构面为原则，每排锚杆的纵向搭接长度也要求不小于 1.6m。

超前中空锚杆预注浆工艺见本篇表 5 《超前中空锚杆预注浆施工工艺流程图》。

(4) 隧道衬砌

A. 总体布置

在隧道口设自动计量拌合楼生产砼，防水混凝土应通过试验选择合适的配合比，配料时精确计量，采用砼泵和砼输送车输送砼。

隧道每工作面各设 1 台衬砌台车，衬砌由洞口向洞身推进，台车长度 12m。

B. 衬砌施工工艺流程与技术要求

a. 衬砌施工工艺：衬砌施工工艺见本篇表 5 《衬砌施工工艺流程图》。

b. 衬砌准备工作：清理初期支护面，安设盲沟软透水管、BW-S120 缓膨型橡胶止水条、中埋式橡胶止水带，铺设 EVA 防水板，焊接防水板接缝，质量检查。

c. 衬砌台车就位

. 清理模板、涂脱模剂，拆除堵头板，测量放样，就位调整，固定台车及模板。

. 安装堵头板，砼输送泵就位。

d. 砼的生产

为保证砼配合比准确，拌合站的自动控制和自动计量系统定期检查标定，砂、石质量严格控制。

e. 砼灌筑：采用砼输送泵（拖泵）灌筑砼，两侧砼对称灌筑。砼灌筑过程中采用插入式震捣棒振捣，防止过捣和漏捣出现，确保砼表面光滑、平整。砼泵应连续运转，管道拐弯圆缓，接头严密，使用前润滑管道。砼灌注结束后，及时清理现场，及时检修，保养输送泵，清洗管道。

C. 仰拱、铺底施工工艺

a. 仰拱施工

隧道衬砌采用先做仰拱后做墙拱的施工顺序。

仰拱采用架空道路就地灌注砼的方法，即仰拱底部挖够后，将木横梁架设在边墙的下部，支顶运输道路，其下捆扎钢筋灌筑仰拱和仰拱填充，待仰拱砼达到设计强度后，拆除横梁恢复运输道路，然后再进行下一环节的施工。

b. 铺底

隧道铺底待衬砌工序施工一段时间后与水沟一同施工。铺底铺设标高通过在已衬砌的边墙上标出路面设计标高线进行控制

(5) 隧道的防排水施工

隧道防排水遵循“以防、排、截、堵相结合，因地制宜、综合治理为原则，达到防水可靠、排水畅通，经济合理，施工方便的目的”。隧道建成后达到洞内无渗漏水、安装孔眼不渗水、路面不冒水、不积水的要求，保证结构和设备的正常使用和行车安全。

衬砌排水：为了有效地排除二次衬砌背后积水，消除二次衬砌背后的静水压力，在初期支护与防水层之间铺设环向塑料盲沟，将水引入边墙两侧 10cm 双壁打孔波纹管集水，然后通过 10cmPVC 横向排水管将水引入两侧 25cmU-PVC 双壁打孔波纹管侧式排水管排出洞外，路面水通过路缘间隙式排水沟排出洞外，与洞外的天沟、排水沟，截水沟形成完整的排水系统。侧式排水管及纵、横向排水管外裹一层无纺土工布，防止砂土流入管内。

衬砌防水：在初期支护与二次衬砌之间敷设一层 EVA 复合土工布防水板，作为第一道防水措施，防水板敷设范围为自拱部至边墙下部引水管。同时，拱部及边墙二次衬砌采用不低于 S8 的防水混凝土，作为第二道防水措施。二次衬砌沉降缝用中埋式橡胶止水带止水，施工缝用 BW-S120 缓膨型橡胶止水条。

EVA 防水板施工工艺见本篇表 5 《EVA 防水板施工工艺流程图》。

施工中首先按设计做好洞口、洞顶地表排水沟、截水沟，保证水沟畅通，对地表洞穴及时封堵，减轻地表渗水对洞内的压力。

喷锚前，对岩壁的渗水要进行有效处理，大股水流用胶管引导，裂隙渗水用无纺布引导，大面积渗水用防水砂浆抹平，将渗水集中，然后开槽引排。

衬砌施工过程中，严格控制水灰比及振捣工艺，保证砼内实

外光。

施工缝是衬砌的薄弱环节，施工中要尽量做到连续灌注，减少间隔，少留施工缝，保持衬砌的连续性。每条沉降缝设置中埋式橡胶止水带止水，止水带安装时采用钢筋卡，沿衬砌轴线在挡头板上每隔 0.6 米钻一钢筋孔，将制成的钢筋卡，由灌注一侧向另一侧穿入，内侧卡紧止水带之半，另一半止水带平靠在挡头板上，待砼凝固后拆除挡头板，将止水带靠钢筋拉直，然后弯钢筋卡套上止水带。每条施工缝设置 BW- S120 缓膨型橡胶止水条，在先灌注的混凝土端面上中部预留凹槽，使止水条在凹槽安装牢固后再灌注新混凝土。

(6) 人行、车行横通道的施工

后脊隧道设 1 处行车横洞，横洞两侧应与路缘带顺坡，并与左洞成 70° 交角。设置行车横洞的位置，在主洞外侧左右洞各设紧急停车带一处（行车横洞及紧急停车带均设置在 Ⅲ 类及 Ⅳ 类以上围岩地段）。行车横洞及紧急停车带对应桩号：右洞 YK65+943.08；左洞 ZK65+950。

后脊隧道左、右洞间共设 3 处人行横洞，人行横洞的底面和沟边盖板的顶面平。人行横洞对应桩号：右洞 YK65+481.15、YK65+711.71、YK66+162.60；左洞 ZK65+460、ZK65+690、ZK66+140。

人行和车行横通道采用全断面开挖，在初期支护完成和两侧主隧道二次模筑衬砌施工前进行施工。人行和车行横通道应避免地质不良地段，施工中若发现横通道位于不良地质地段和施工缝处，按设计要求适当调整其里程。

(7) 隧道路面工程施工

隧道路面的施工安排在全隧道的二衬施工完成，隧道的铺底接近完成时开始，目的是尽量减少施工干扰。

隧道路面的施工工艺详见本篇表 5 《水泥混凝土路面面层施工工艺流程图》。

(8) 隧道内沟槽、预埋件及其它附属工程的施工

沟槽、预埋件及其它附属工程的施工安排在二次衬砌、铺底和隧道路面等工序施工同步进行，平行作业。

对隧道内沟槽及隧道运营期间的通讯、消防、监控、供电、通风、给排水等设施在安装时所需的各种预埋管件，应按图纸所示的位置准确设置，管件预埋施工前，应相应检查其名称、规格，在确认无误后方可施工，避免发生错乱。

浇筑砼以及拆模时不得对预埋管件有所损伤、碰歪等不良情况。

其它附属工程的施工安排在二衬、铺底、隧道路面等工序施工同步进行，平行作业。

5. 隧道的施工排水

施工位于上坡方向，采用在隧道底部两侧设排水沟自然排水方式，排水沟的断面根据水量大小确定，水沟纵坡与线路纵坡一致；反向纵坡地段每隔 60m 设集水坑一个，由自吸泵排水总管集中排往洞口。地下水和施工用水经排水沟汇集于洞外沉淀池，经沉淀后排放。并做好道路横向排水坡，确保道路平顺、不积水。

当工作面涌水量较大时，先钻孔放水，经水管或水槽引入两侧排水沟内。对岩层破碎、涌水量大地段，采用排堵结合治水方法，先钻孔放水，再进行小导管注双液浆堵水。

6. 明洞的施工

(1) 明洞的开挖

明洞开挖采用明挖法，用挖掘机按设计尺寸位置挖出洞门及明洞位置，避免对洞门边、仰坡的扰动。施工过程中加强对仰坡的观测，同时对边仰坡采取加固防护措施。基础 1.0 米以内由人工开挖，避免对基础造成松动破坏。

（2）明洞衬砌及其附属工程施工。

衬砌施工必须按设计要求制作定型挡头板、内模、外模和骨架，并有防止跑模的措施，拱圈砼达到设计强度的 80%且拱顶回填高度达到 0.7 米以上时，才能拆除内支模拱架。

衬砌完成并按设计要求施作防水层后及时回填，回填时必须对称分层夯实，每层厚度不宜大于 0.3 米，两侧回填高差不得大于 0.5 米，回填至拱顶以后，亦应分层填筑。

拱背回填粘土隔水层应与边、仰坡搭接良好，封闭严实，防止地表水下渗影响回填土体的稳定。

明洞部分的截水沟、排水设施应配合明洞施工，并及早完成。

7. 不良地质地段隧道施工

（1）隧道穿越断层施工措施

后脊隧道局部存在裂隙密集带，宽约 10 ~ 20m。当隧道掘进至裂隙密集带附近时，采用地质钻探机进行超前钻探及 TSP202 地震波超前地质预报系统，探明地质和水文地质情况，根据断层的详细情况，及早采取相应的措施，确保施工安全。断层地段的施工可采用管棚钢架超前支护的方法。

（2）岩爆地段隧道施工措施

岩爆多发生在埋藏深、整体、干燥和质地坚硬的岩层中，并且无明显预兆，对施工安全威胁大，施工时应注意：

采用光面爆破，严格控制用药量，尽量减少爆破对围岩的影响；

可喷射高压水冲洗，先期将岩层的原始应力释放一些，以减少岩爆的发生；

加强支护工作，爆破后及时施作锚杆、钢筋网和喷射混凝土，衬砌工作紧跟，尽可能减少岩层暴露时间，减少岩爆发生，确保人身安全。

四、监控量测

见“隧道监控量测项目表”、“后脊隧道施工监控量测项目布置图”、“斗米隧道群施工监控量测项目布置图”及本篇表5《监控量测程序图》。

隧道监控量测项目表

序号	项目名称	方法及工具	布置	量测间隔时间			
				1-15天	16天-1月	1月-3月	3月以后
1	地质和支护状况观察	岩性，结构面产状及支护裂缝观察或描述，地质罗盘及规尺等。	开挖后及初期支护后进行	每次爆破后及初期支护后			
2	周边收敛及拱顶下沉	收敛计，水平仪、水准尺	见图表中所列桩号	1-2次/天	1次/2天	1次/周	2次/月
3	地质超前预报	地震波超前预报仪 TSP202	间隔 50~100m 一个断面				
4	地表下沉	水平仪及水准尺	见图表中所列桩号	开挖面距量断面前后 < 2B 时，1-2次/天 开挖面距量断面前后 < 5B 时，1次/2天 开挖面距量断面前后 > 5B 时，1次/周			
5	围岩压力及两层支护间压力	各种类型压力盒	取代表性断面，每个断面 15 个测点	1次/天	1次/2天	2次/周	2次/月
6	钢拱架支撑内力	支柱压力计或其它测力计	后脊隧道每 10 榀一个断面，斗米隧道每 20 榀一个断面，支撑底部	1次/天	1次/2天	2次/周	2次/月

7	锚杆抗拔力	锚杆测力计及拉拔器	每 10 米一个断面				
8	喷射砼应力及二衬砼应力裂缝	应变计、应力计及测缝计	取代表性断面,每个断面 11 个测点	1 次/天	1 次/2 天	2次/周	2次/月

注：B 为隧道开挖宽度。

“后脊隧道施工监控量测项目布置图”

筑龙网 WWW.ZHILONG.COM

斗米隧道群施工监控量测项目布置图”

由于岩土工程的复杂性和特殊性，在隧道施工过程中需要根据施工过程中洞内外地质调查、洞内观察、现场监控量测及岩土物理力学实验等施工反馈信息，进一步分析确定围岩的物理力学参数，以最终确定和修改隧道施工方法、初期支护和二次衬砌的参数。本合同段隧道支护结构应用新奥法原理采用复合衬砌，施工过程中，进行现

场监控量测，及时掌握围岩在开挖过程中的动态和支护结构的稳定状态，提供有关隧道施工的全面、系统信息资料，以便及时调整支护参数，通过对量测数据的分析和判断，对围岩-支护体系的稳定状态进行监控和预测，并据此制定相应的施工措施，以确保洞室周边岩体的稳定以及支护结构的安全。

根据本合同段隧道的实际情况，在施工过程中进行的监控量测项目主要有洞内外观察、拱顶下沉、周边收敛及洞口浅埋地段地表下沉量测。

1. 洞内外观察

(1) 洞内观察

洞内观察分开挖工作面观察和已施工区段两部分，开挖工作面观察应在每次开挖后进行一次，内容包括节理裂隙发育情况、工作面稳定状态、涌水情况及底板是否隆起等，当地质无明显变化时，可每天观察一次，观察后及时绘制开挖工作面的地质素描。

在观察过程中如发现地质条件恶化，初期支护发生异常，应立即采取应急措施，并派专人进行不间断观察。

对已施工地段每天至少观察一次，内容包括喷射混凝土、锚杆、钢架的状况，以及施工质量是否符合要求。

(2) 洞外观察包括洞口地表情况、地表沉陷、边坡及仰坡的稳定、地表水渗透的观察。

2. 拱顶下沉及周边收敛量测

在进行洞室开挖施工过程中，进行洞室拱顶下沉及周边收敛量测，拱顶下沉及周边收敛量测在同一断面进行，并采用相同的量测频率，如位移出现异常情况，应加大量测频率。拱顶下沉及周边收敛量测断面见图表中所列桩号。

3. 地表下沉量测

地表下沉量测为必测项目，其测点布置与拱顶下沉及周边收敛测量的测点在同一断面，见图表中所列桩号。在观测前注意仪器校正、观测点及基点的设置工作，在观测过程中注意做好数据的整理和分析工作，为下部洞室施工提供咨询意见。

4. 监控量测注意事项

(1) 施工前应做好量测准备工作：如设置测点，引入高程控制点，配置必要的人员及仪器。

(2) 在布置测点时应注意在位移量较大的地段将测点布置密一点。

(3) 地表下沉量测与地下洞室各项监测应同步进行，以利于资料的相关分析。

(4) 测点埋设情况、量测数据及分析结果全部纳入竣工资料，以备运营中查考或继续观察。

5. 观测数据的整理

(1) 绘制每一观测横断面沉降位移随时间变化关系图。

(2) 绘制每一观测横断面最大沉降量随时间变化关系图。

(3) 绘制每一观测横断面最大沉降量与开挖面距离关系图。

(4) 对横断面沉降垂直位移进行回归分析。

(5) 对纵断面沉降垂直位移进行回归分析。

(6) 根据隧道顶部地表沉降及拱顶沉降值对土体内部垂直位移进行回归分析。

(7) 根据回归分析数据求出每一断面沉降稳定值。

(8) 根据回归分析数据，结合其他相关资料，分析确定土体的物理力学参数。

6. 量测数据的应用

(1) 在整理资料时,若发现地表位移量过大或下沉速度无稳定趋势时,应停止洞内开挖,对下部结构采取补强措施:

增加喷射混凝土厚度,或加长加密锚杆,或加挂更密更粗的钢筋网;
提前施作二次衬砌,要求通过反分析校核二次衬砌强度;
提前施作仰拱。

(2) 在整理资料时,若发现地表下沉速度具有稳定趋势时,应据此求出隧道结构初期支护及二次衬砌最终荷载,以便对结构的安全度作出正确的判断。

(3) 若经过对地表及隧道内的量测数据联合反分析后,发现初期支护或二次衬砌结构安全系数较大,在经过设计人员的同意后,可对下一段与此地质类型相同的支护参数作适当调整。

五、确保隧道施工安全、质量、工期的措施

1、确保隧道施工安全的措施

贯彻“安全第一,预防为主”的方针,严格执行各项技术组织措施,切实做到安全施工,保障职工的生命和施工设备不受损害。把施工安全工作作为首要任务来抓,摆正并正确处理好施工中安全、质量、进度间的关系,工程自始至终高度重视安全生产,在工程进度与安全发生矛盾时,必须坚决服从安全。

(1) 落实各项安全管理制度

由于隧道内施工条件较差,工人常在振动、噪声、地下水、有害气体等的不良环境中从事繁重的体力劳动,加之隧道施工工艺操作要求高,组织施工时,更需做到文明施工和科学管理,从工程管理、规章制度、纪律教育、安全培训、机械设备的运用与保养等各个方面,

建立安全施工责任制，抓好纪律教育、技术培训，不断提高各级施工人员的素质，同时采取奖惩制度，并创造安全、卫生、无害的劳动条件，严格按规定的工序、工艺施工，确保工程安全。

（2）重视目测观察

目测观察既省事作用又很大，对于开挖后未支护的围岩，观察内容为围岩的岩质和分布，节理裂隙发育程度和方向，接触面填充物的性质、状态，涌水量和涌水压力，隧道顶部、侧部的稳定状态等；对于开挖后已支护的地段，目测观察内容包括锚杆是否被拉断，喷混凝土层是否产生裂隙、剥离和剪切破坏，钢架有无被压屈现象，隧道是否有底鼓现象等。

目测观察中应特别注意围岩危险性较大的破坏状态和可能引起塌方事故的破坏状态。当围岩变形无明显减缓或喷混凝土层产生较大剪力破坏时，应停止开挖工作，及时采取辅助施工措施加固围岩。

（3）洞口段施工安全措施

在隧道洞口段施工时，必须根据洞口附近的地形、工程地质、水文地质、环境条件等，预估可能发生的各种危险及对环境的影响等，制定保障洞口段施工安全的技术措施。

洞口段开挖可在加设锚杆、钢筋网、护坡和喷射混凝土之后再行。当有坍塌可能时，可先按设长锚杆或管棚预支护等，在其防护下开挖。

由于各种条件的限制，隧道洞口往往地形、地质条件不利。为保证洞口段施工安全，详细掌握洞口附近的地形、工程地质、水文地质、环境条件等，根据可能出现的各种危险，预先制定出当发生险情时可采取的相应技术措施：

洞口段施工时可能出现的危险及可采取的技术措施

可能出现的危险 可采取的相应措施	滑 坡	斜 面 崩 塌	地 表 下 沉	偏 压	地 基 承 载 力 不 足	开 挖 工 作 面 坍 塌	涌 水	施 工 时 间		
								开 挖 前	开 挖 中	开 挖 后
注浆										
从地表加固围岩										
管棚										
地表排水沟										
洞内排水沟										
墙部打桩										
超前钢管										
开挖工作面锚喷										
初期支护闭合（喷砼）										
加固底部围岩										
护坡										
钢架支撑下部垫板										
锚杆										
喷射混凝土										
提早施作衬砌或初期支护										
刷坡										
填土加重										
防滑杆										
斜锚杆										
环形导坑										
土锚杆										

(4) 锚杆施工安全措施

在锚杆作业中发生的事故多因围岩或喷射混凝土剥落、坍塌所造成。而围岩、喷射混凝土剥落、坍塌则是由于清理浮石不彻底、凿眼机械的振动、喷射混凝土与受喷岩面粘结不良所造成。为了锚杆施工

的安全，应加强观察，及早发现危险征兆。为防止因地下水的影响使锚固用的材料流失，得不到足够的锚固力，从而导致因锚杆滑脱造成的人身事故，应指定专人，定期检查锚杆抗拔力。

(5) 注浆施工安全措施

在注浆作业开始前和结束后应认真检查、清洗机械管道和接头，经试压运转方可正式作业。当发生堵塞管路时，应在消除压力后方可拆卸和维修；注浆人员必须按规定配带防护用具（胶皮手套、防尘口罩、防护面罩、眼镜等）。

(6) 喷射混凝土施工安全措施

在喷射混凝土作业开始前，仔细检查围岩受喷面，彻底清理危石；

根据喷射方式（湿喷）、混凝土配合比等条件，采用合适的降尘措施，控制空气中粉尘的含量。对从事喷射作业的人员，定期进行健康检查；

进行喷射作业时，必须配带防护用具（胶皮手套、防尘口罩、防护面罩、眼镜等）；

当拌合机设在洞内时，应对拌合机以及其它机械的回转部分予以覆盖，防止产生卷夹伤人事故。必要时，应在拌合机所在位置附近设置集尘机，搞好局部空气净化；

在开始喷射作业前，应由专人仔细检查管路、接头等，防止在喷射时发生因软管破损、接头断开等引起的事故；

当采用人工喷射时，应配备辅助喷射支架，防止在发生管路堵塞时因喷嘴剧烈振动而引起的危害。当转移喷射地点时，必须先关闭喷射机，在喷嘴前方不得站人。

在处理管路堵塞时，喷头应有专人看护，以防消除堵塞后，喷头摆动喷射伤人；

为避免供料、拌合、运输、喷射作业之间的干扰，建立各工序之间联络信号和联络方法。喷射作业应由班组长按规定的信号、方法进行指挥，防止因喷射手和机械操纵人员联络不佳造成事故。

(6) 钢架施工安全措施

由于多为大断面开挖，尤其是在进行钢架的顶部连结作业时，高处作业较多，故作业人员应配带安全带。所采用的升降设备（作业工人站立的台车等）应具备有扶手或栏杆。

在搬运过程中，应将构件绑扎牢固，以防发生碰撞伤人、车辆倾覆、构件坠落等事故；

架设应由专人按规定的信号进行指挥，随时观察围岩动态或喷射混凝土的情况，防止落石、坍塌引起伤人事故；

在架设前，应采用垫板等将基础面垫平。架设时，应采用纵向连结杆将相邻的钢架连接牢固，防止钢架倾覆或扭转。

当紧固顶部连接螺栓、楔紧钢架时，作业人员应以正确的姿势站立在平稳、牢固的脚手架上，并需配带安全带，防止发生工人坠落事故；

对钢架应经常检查，如发现扭曲、压屈等现象或征兆时，必须及时采取加固措施，必要时，应使其他人员撤至安全地带，防止因坍塌造成的伤亡事故。

(7) 二次衬砌施工安全措施

根据通过模板台车内部车辆的限界，加适当的安全富余量，以确定模板台车内部的净空尺寸。大型车辆在调车人员指挥下通过模板台车。此时，在台车内部作业的人员应回避，不得站在模板台车内部；

模板台车上应有足够的照明设施；

灌筑二次衬砌混凝土的作业人员应站在稳定的脚手架上，并配带安全带；

应防止异物混入混凝土料斗中，当有异物进入料斗中时，首先应使机械停止运转，然后方可取出异物；

当泵送混凝土的管路、接头发生堵塞时，首先应消除管道中的压力，然后拆卸接头，进行疏通作业。此时，在接头前方（依混凝土压送方向确定）不得站有其他作业人员。

（8）其它安全要点

及早修建洞门和洞口排水设施，确保洞口段的稳定。

、 类软弱围岩段遵循；短开挖，弱爆破、快支护、勤量测、早衬砌的原则，加强监控量测，密切注意支护和围岩变化情况，一旦情况异常，立即采取措施，防止坍塌。

采用水平钻探加物探的方法，做好超前地质预报，根据预报地质情况，提前制定方案，及时采取措施。

对于断层段、岩溶段及其它可能出现突然漏水的地段，在开挖面用水平地质钻机加钻 3~5 个水平深孔，提前探明情况及放水。

加强洞内排水和管理，特别是反坡施工地段，备有足够抽水机和备用发电机，及时将水排出，防止淹没或积水长时间浸泡墙基。

掌子面采用 36V 以下安全电压。

2、确保隧道施工质量的措施

（1）开挖

全面推行光面爆破技术，每一循环爆破后，及时分析爆破效果，调整爆破参数，周边眼炮痕保存率 Ⅰ类围岩 80%，Ⅱ类围岩 70%，Ⅲ类围岩 50%，严格控制超欠挖。

每一循环开始前，首先在掌子面测量放线，标出开挖轮廓线，点出炮眼位置，钻眼严格按爆破设计要求的方向和深度作业。

(2) 初期支护与二次衬砌

初期支护锚喷作业严格按规范和设计要求施工。喷砼采用湿喷方式，喷射咀距喷射面的距离控制在 0.8~1.2m 范围，并保持垂直，以保证喷砼层的强度和厚度，减少回弹。二次衬砌作业，液压衬砌台车调试要到位，模板表面涂脱模剂。砼灌注采用泵送，两侧对称进行，捣固用插入式振动器振捣密实，保证二次衬砌砼内实外美，坚决消除砼工程质量通病，通过施工过程控制来实现“验标”规定的各项指标。

防水板铺设采用无钉敷设，铺设前清除表面上钢筋头，对于凹凸不平的地方进行补喷，以防防水板破裂。防水板铺设时要留有足够的松弛量，搭接采用爬焊机焊接，保证防水效果，做到不渗不漏。

推广四新成果，引进新设备、新材料、新工艺、新技术，加大质量投入，以此保证各部质量。

(3) 控制测量与施工测量

控制测量

A. 洞外平面控制测量：隧道洞外控制复测采用高精度的 GPS 全球定位系统。高程采用三等水准进行复测。

B. 洞内平面控制测量：为确保隧道高精度贯通，采用二等导线测角精度进行施测，平均边长 600 米。隧道内导线按等边直伸

导线布置，且形成导线网。

C. 高程控制测量：洞内、洞外、高程按三等水准要求施测。

施工测量

采用经纬仪延伸与激光导向相结合的方法。

作业要求：

A. 测量人员须先培训后上岗。

B. 洞内联测，应选在阴天，气温稳定，无大风情况下进行。

水平角观测采用方向观测法观测 9~12 测回，测距采用对向观测。竖直角两个测回，测距四次，考虑气象改正，投影改正，投影面高度统一采用隧道投影高程。高程测量严格按照《测规》三等水准测量要求进行，结合具体情况，采用往返不同路线进行施测。

C. 洞内控制测量采用闭合环的方式，每个导线环边数不大于 6 条。洞内测量应在洞内施工不影响时进行，并加强通风，保证照明充分，提高清晰度。水平角观测采用方向观测法观测，采用 J₁ 级仪器观测不少于 6 个测回，测距与洞外部分相同。水准测量要求与洞外部分相同，特别注意视线高度不能太低。

D. 坚持三级复核制

a. 洞内控制点由队测量班负责按本设计方案要求布设。项目精测队负责 300 米内洞内中线的测量。

b. 隧道每进尺 300~400 米，由项目精测队测量班根据精测队测量的结果进行洞内导线延伸，施测时必须联测两个以上同等级控制点。

c. 精测队负责洞内的首级控制，隧道每进尺 600~650 米，由精测队负责对新设控制点进行施测，平差计算后出精测成果。

d. 隧道贯通后，由三级测量单位均派人到现场一起进行贯通测

量，并一起进行平差计算工作，共同协商贯通误差调整方案。

e. 洞内首级控制测量采用仪器为：TC702 全站仪及相配套的三脚架，反光镜等设备。测角精度 1 秒，测距 2~2PPM。NI10 水准仪和配套的钢钢水准尺，精度 $\pm 0.5\text{mm/km}$ 。

f. 测量仪器和设备按国家规定每年送国家授权检定部门进行检定，合格后方能使用。

3、确保隧道施工工期的措施

(1) 隧道安排多个工区，按施工组织设计的进度计划同时组织施工，每个工区采用三班制作业，施工计划在执行过程中根据周围环境、施工条件、围岩类别的变化及时进行调整。

(2) 隧道施工全部采用机械化，建立钻眼爆破、喷锚支护、二次衬砌三条机械化作业线，以及满足施工需要的风、水、电配套机械设备。对关键工序的掘进钻孔机械，装碴运输机械，喷锚机械配有性能先进、机况良好，并选用技术高、责任心强、操作熟练的机械司机负责，以确保施工的高效率。

(3) 加强机械设备的管理，保证设备配件的供应，并配有专门机修人员，在机械设备的配置上留有余地。

(4) 搞好爆破设计，根据围岩石质的变化，及时调整各项爆破参数，进行爆破设计的优化，根据不同围岩类别采用不同的爆破参数做好光面爆破，严格控制超欠挖。

(5) 加强高压风的管理，空压机的配置应根据计算留有余地，风管布置合理，并加强管理，以减少漏风和风压损失。

(6) 加强洞内道路的维修以及确保运输车辆的完好率，提高运碴速度。

(7) 加强通风管理，保证工作面有足够的新鲜空气，爆破后要确保

15 分钟内排完烟，并加强照明管理，改进洞内作业环境，以提高作业率。

(8) 安设激光指向仪，压缩测量画线时间。

(9) 加大劳力的投入，施工队伍选择经验丰富、技术高、战斗力强的高素质施工队伍负责本隧道的施工。

(10) 在施工组织上严格控制各作业时间，按每个工班进行改评，发现问题及时解决改进，确保循环率。

(11) 建立现场保障组，负责“三管两路”的维护，使之始终保持良好的状态。

(12) 指挥部人应现场值班，跟班作业，并明确职能，责任到人，及时发现解决施工现场出现的各种问题，确保施工顺利进行。

(13) 对软弱围岩地段采用以下措施

加强地质超前预报，推测掌子面前方地质条件，确保初期支护参数，正确指导施工，选用初期支护参数时要贯彻“宁强勿弱”的原则，根据超前预报选择制定合理的、稳妥安排的施工方法，严防塌方。

施工中遵循：短进尺、弱爆破、强支护、勤量测、衬砌紧跟的原则进行组织施工。

对特殊地段配置性能强的钻孔和注浆设备，并加强管理和工艺控制，保证钻孔、注浆的顺利进行，确保注浆效果。