

第十四篇

山岭隧道施工新技术与 成功实例分析

第一章 矿 山 法

第一节 矿山法修筑道路隧道的基本施工方法

一、漏斗棚架法

该施工方法也称为下导坑先墙后拱法或称六部开挖法。

(一) 施工顺序

施工顺序如图 14-1-1 所示。图中开挖用阿拉伯数字表示 ,衬砌(或其它支护结构)用罗马数字表示。如图：

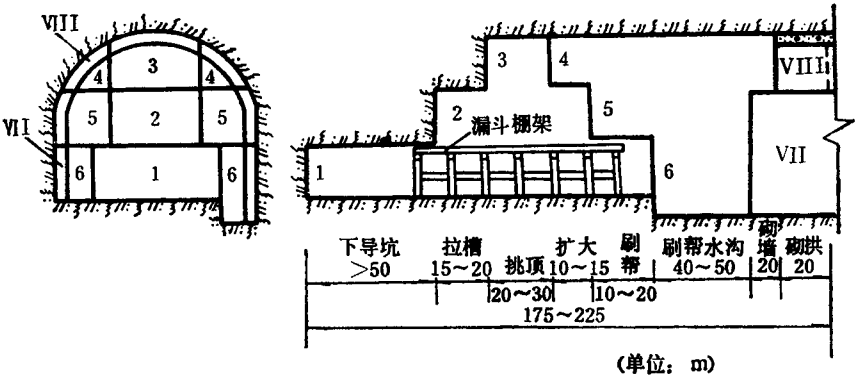


图 14-1-1

①部为开挖下导坑。导坑开挖是隧道分部开挖施工中的先导,为了核实地质和水文地质、加快施工进度、更好地组织出渣、进料、排烟、排水等,导坑开挖要超前于其它部分的开挖。位于断面下部的导坑称为下导坑,下导坑一般宜超前 50m 以上。在爆炸安全距离 20~30m 外,设置漏斗棚架;

②部开挖亦称为拉槽,距①部开挖 50m 以外,这除了考虑爆破安全外,还需考虑在其间存放一定数量斗车以利出渣;

③为挑顶开挖,挖至拱部设计轮廓线(并考虑一定的预留沉落量),为了不与②部开挖互相干扰,且因③部落渣后,在棚架上堆得较高,不利②部排烟,故③部需离②部足够距离,一般为 15~20m;

④部为两侧扩大开挖,与③部一样挖至设计轮廓线,为使施工互不干扰,④部应距③部约 20~30m;

⑤部为向下刷帮,⑤部与④部拉开的距离应保证出渣工作方便,并可存放一定数量的斗车,一般相距 10~15m;

⑥部刷帮直至底面水平,如设置侧水沟,则同时挖出水沟断面,因⑤部开挖后要拆除棚架,为了互不干扰,⑥部应距⑤部约 10~20m;

Ⅶ部为墙部衬砌灌注,此时,整个断面已经挖成,⑥部开挖时,爆破安全距离要比小断面中开挖时大,通常距⑥部约 40~50m。为避免围岩暴露时间过长,拉开距离太大也是不适宜的;

Ⅷ部为修筑拱部衬砌。

(二)漏斗棚架构造

漏斗棚架构造如图 14-1-2 所示。

棚架一般由圆木及旧钢轨(或厚木板)、小圆木等构成。顶梁通常采用直径 25~30cm 圆木,立柱采用直径 20cm 圆木,上面纵向排列 16~24kg/m 的钢轨,在运输线上方留有 60~75cm 宽的纵向空隙,其间用 1m 长,直径为 10cm 的小圆木密排盖住。棚架构造应考虑所采用的出渣运输车辆所必需的安全运输空间,布置通风管道,电线,高压风管等必需的空间,以及运输车辆与管间需有 20cm 以上的安全空隙,施工人员避让的空间。为避免爆破后石渣落下的冲击力打坏棚架,在放炮前棚架顶面应预留有厚 20~30cm 的石渣。②、③、④、⑤部开挖的石渣都先堆放在棚架上,故棚架要有一定的长度。爆破后石渣块度不能太大,要与漏斗口(即上述棚架顶部留的纵向空隙)大小相配合,同时要考虑装车方便及防止落渣砸坏装渣车辆。

(三)漏斗棚架法的适用范围及特点

该法常用于围岩较稳定的坑道施工,一般适用于Ⅵ~Ⅳ类围岩石质隧道。

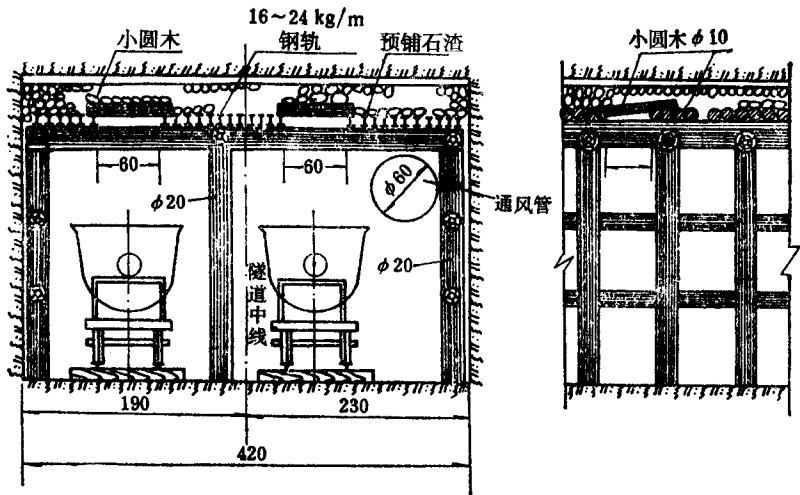


图 14-1-2

该法将断面分成若干部分进行开挖,工作面拉开,可容纳较多人员同时施工,这对工作面少和空间窄小的地下施工、且无大型机具的条件下是很可取的。除①部开挖外,均有较多的爆破临空面,爆破效果好,爆破器材省。利用棚架及渣堆可不另作脚手架而完成整个断面的钻爆作业。棚架上石渣装车由漏斗口漏入车内,省力、速度快。这使该法能在无大型机具条件下获得快速施工的效果。

该法衬砌施工是先墙后拱,因此,衬砌质量较好。施工中对于个别岩块松动,因有棚架,可便于架设临时支护。

但该法由于每个开挖口需要 60~70 延米的漏斗棚架,需有大量木材、钢轨,棚架也易因爆破而损坏,⑥部开挖易损坏风水管设备,工作面拉开距离长,虽对配备劳力有利,但围岩暴露时间较长,对施工安全不利。

二、反台阶法

该法由漏斗棚架法发展而来,施工顺序如图 14-1-3 所示。当坑道开挖后,围岩稳定,不需临时支护,如Ⅵ、Ⅴ类围岩,且无大型装渣等施工机具时,可采用该法。因道路隧道跨度较大,漏斗棚架需大量木材、钢材。采用该法施工既能使工序减少、施工干扰少、下部断面可一次挖至设计宽度、空间大、便于出渣运输和布置管线,又能节省大量材料。

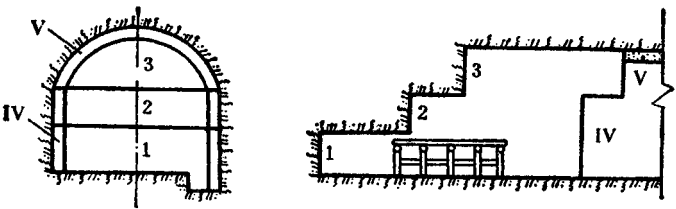


图 14-1-3

三、正台阶法

当围岩稳定性较好,开挖后不需或仅需局部临时支护的坑道,且有能力较强的装渣出渣机具设备,则可采用如图 14-1-4 所示的正台阶施工方法。施工顺序为先挖上部弧形断面(高一般为 2.0~2.4m),然后挖下面部分,下部亦可分若干台阶,装渣机械有足够能力时,应尽量减少分层,以一次开挖为宜,这可使开挖面平整,便于爆破,减少翻渣工作量。

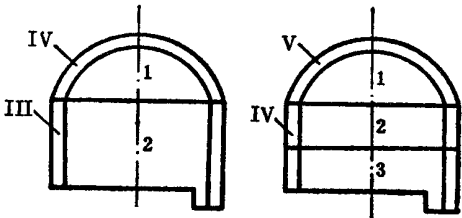


图 14-1-4

①部开挖不宜超前过多,以免石渣积聚在台阶上,这样可以减少翻渣工作,加快循环作业。

当采用人工翻渣时,该法宜台阶数多些,多层台阶可使上部断面钻眼与下台阶翻渣工作同时进行,使整个循环时间缩短。台阶高度和宽度一般为高 2.0m 左右,宽 1.5m 左右。台阶斜度为 1:0.3~1:0.6。

该法工序少,干扰少,爆破效果好。但在围岩条件变化较大而需变换为其它施工方法时,则比较困难。

四、全断面开挖法

在围岩稳定、完整,开挖后不需临时支护,施工有大型机具设备的情况下,可采用全

断面开挖法 施工顺序如图 14-1-5 所示。

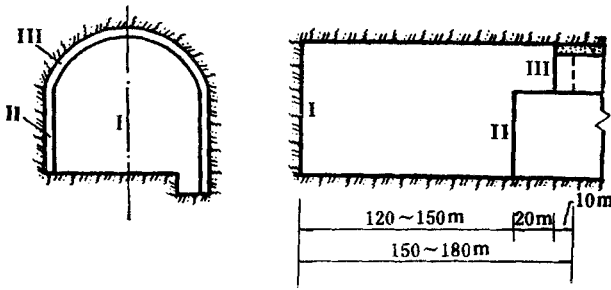


图 14-1-5

钻孔台车钻出全部炮眼,一次爆破成洞。通风排烟之后,用大型装渣机及配套的运载车辆迅速出渣,衬砌为先墙后拱,一般配备有活动模板及衬砌台车灌注。当采用喷锚支护时,一般由台车同时钻出锚孔。

该法特点是:工序简单,断面一次挖成,能够较好地发挥深眼爆破的优越性,提高钻爆效果;各工序干扰少,空间大,便于大型机具设备的应用;各种管线铺设便利并较少被爆破损坏,运输、通风、排水等条件均较有利,便于施工组织与施工管理。

但是由于应用大型机具,就需要相应的施工便道,组装场地、检修设备、足够的能源,因此该法的应用往往受到条件限制。而且当隧道较长,地质情况多变时,变换施工方法需要较多时间。

该法一般适用于Ⅴ、Ⅵ类围岩的石质隧道施工。

五、上下导坑先拱后墙法

该法适于Ⅵ类及Ⅲ类围岩的石质或土质道路隧道施工。

(一) 施工顺序

如图 14-1-6 所示。有二个导坑,先挖出上部断面,然后把拱圈修筑好,在拱圈保护之下开挖下部断面,然后再修筑边墙等。

上导坑位置应考虑到围岩压力增长有可能顶部支撑不能拆除,在永久支护修筑之前支撑有一定沉落,因此支撑需架设在设计轮廓线外,并根据地质情况预留沉落量。沉落量的大小,土质隧道为 30~60cm,软石隧道为 20~40cm。

(二) 防止拱圈下沉的措施

在拱圈保护下开挖下部断面,施工较安全,但当挖去边墙处围岩后,拱脚会因“悬空”而下沉,不采取措施防止拱圈下沉,会导致拱圈开裂,严重时甚至会整段拱圈下落而发生

事故,因此需采取如下措施。

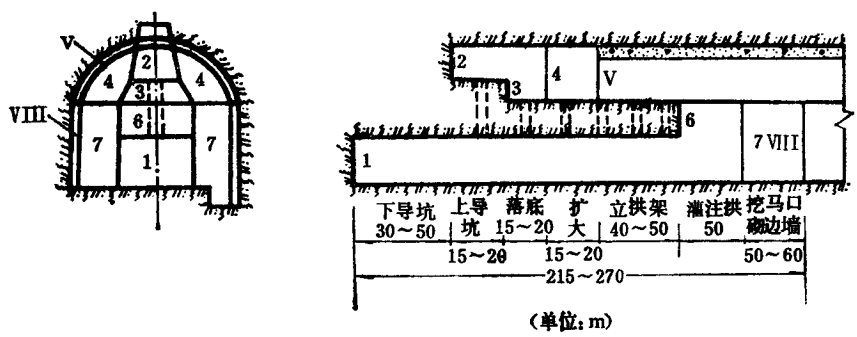


图 14-1-6

- (1) 拱圈混凝土达 70% 设计强度后进行下部开挖,以防拱圈因不大的不均匀下沉即开裂。若工期紧迫,则应采用高标号水泥,适当使用早强剂等措施。
- (2) 控制下部开挖时的炸药用量,避免拱圈因爆破受损,开挖中层应在拱脚处留 0.3 ~ 1.0m 平台。围岩稳定性差时,应分段跳跃开挖,不宜一次挖通;
- (3) 边墙部分围岩开挖采取“挖马口”方式。拱圈是分环节灌注的,施工缝处的联结较弱,隧道拱圈被施工缝分割为一段一段,为避免开挖边墙处围岩时使整段拱圈悬空,需采用跳槽施工,即称为马口开挖。

图 14-1-7 所示马口开挖为错开与对开相结合的施工布置。

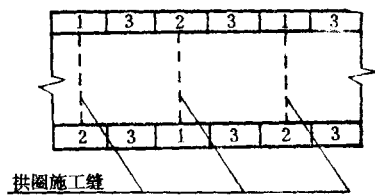


图 14-1-7

为防止拱圈下沉,马口开挖长度应予控制,Ⅵ~Ⅳ类围岩中一般不宜超过 10m,Ⅲ~Ⅰ类围岩中不宜超过 4m。对于一环拱圈,端部错开施工,待两端边墙衬砌后,中间部分可以对开。错开施工要待混凝土达 70% 设计强度,其进度较慢。

- (4) 拱脚悬空后需加强临时支撑,围岩稳定性差时,拱脚应设置托梁。
- (5) 适当加厚拱脚处衬砌,呈大拱脚状如图 14-1-8 所示。边墙部分开挖后,拱脚仍有部分支承在围岩上,不致完全悬空,防止拱圈下沉。围岩较稳定时,大拱脚拱圈下部马口开挖可减少步骤,例如减至二步,如图 14-1-9 所示。在围岩更稳定的情况下(硬

石质隧道)还可采取对开马口方式,每次挖 4~8m。由于不必来回跳跃,既加快了进度,又可提高衬砌质量(避免因跳跃开挖,后开挖时会打坏对面已成衬砌)。甚至因大拱脚而使边墙受力情况改善,可减薄边墙,节省混凝土用量。

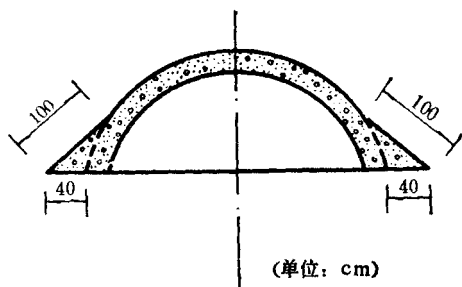


图 14-1-8

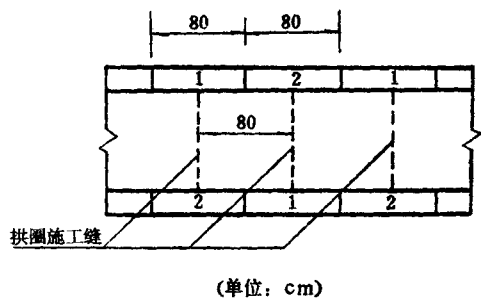


图 14-1-9

(三)上下导坑先拱后墙法施工特点

该法最大优点是施工安全。设两个导坑,运输、通风、排水、管线路布置等都易解决,能拉开工作面,便于使用小型机具。遇地质情况变化,变换施工方法较易。

马口开挖影响进度,并使衬砌质量低,整体性差,边墙与拱脚处封口不易密实。该法工序多、干扰大,施工管理不便,两个导坑也增加开挖费用。

六、下导坑先拱后墙法

施工顺序如图 14-1-10 所示,该法适用于Ⅳ、Ⅴ类围岩的道路隧道施工。

该法以下导坑领先,然后类似漏斗棚架法。②、③、④部开挖完成时,断面如蘑菇形,故又称为蘑菇形开挖法。以后步骤与上下导坑先拱后墙法相同。可见,此法介于漏斗棚架法与上下导坑先拱后墙法之间,故该法有②、③、④都可用漏斗棚架法出渣的优点,亦具先拱后墙法的安全优点。不过该法消耗的木材钢轨较多,棚架易因爆破受损,挖马口

还影响施工进度 ,衬砌的整体性也差。

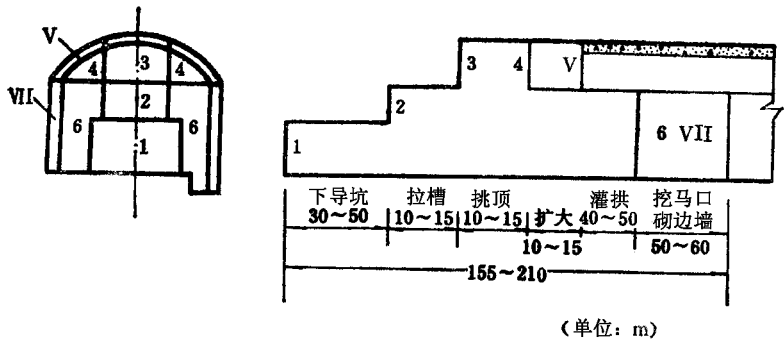


图 14 - 1 - 10

七、品字形导坑先拱后墙法

该适用于 V—Ⅲ类围岩石质道路隧道施工 ,施工顺序如图 14 - 1 - 11 所示。

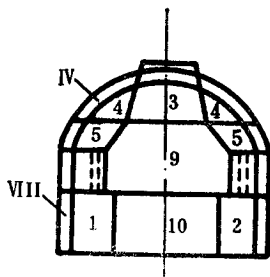


图 14 - 1 - 11

在下部两侧开挖下导坑 ,顶部布置上导坑 ,呈品字形。上导坑沿两帮扩大 ,挖完拱部围岩后即砌拱圈 ,然后向下挖出边墙部分⑦(即⑤下面部分) ,修筑边墙衬砌Ⅷ。⑨部岩体称为核心 ,最后开挖核心 ,在开挖之前 ,它可作为临时支撑的基础。

上导坑的布置同样需考虑预留沉陷量。下导坑的位置需注意⑦部有足够的厚度而不使拱脚沉陷 ,若⑦部厚度不够 ,则需下导坑往中间布置 ,或缩窄下导坑宽度以使拱脚下先不挖空 ,然后跳跃开挖。围岩松软时 ,拱脚处要设置托梁 ,以防拱圈下沉。

⑦部宜跳跃开挖 ,挖一段 ,修筑一段边墙。但在 V 类围岩中 ,岩体较稳定 ,可按顺序开挖、砌墙。

该法工作面较多 ,施工干扰少 ,保留核心有利于支撑和施工安全 ,进度也较快。但有三个导坑 ,造价较高 ,衬砌整体性也较差 ,变换施工方法较难。

八、侧壁导坑法

此法适用于 I、II 类围岩土质道路隧道。施工顺序如图 14-1-12 所示。

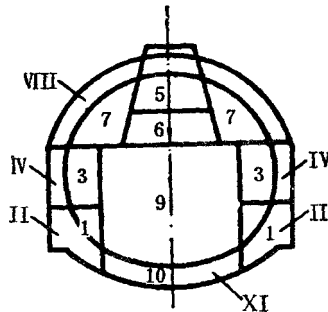


图 14-1-12

断面下部两侧开挖导坑,挖后即灌注边墙下部,达到强度要求后再开挖上面第二层导坑,接着灌注边墙上部。待两侧边墙修好后,再开挖上导坑,并沿两帮扩大,核心部分暂保留,待砌筑拱圈之后,最后挖除核心,并砌筑仰拱。

当围岩比较稳定时,侧导坑可宽些,砌边墙后尚可有运输通道。但在围岩不稳定,围岩压力较大时,或在松软含水层处,则导坑宽度就不能太大,应尽量减小宽度。此时,一般在边墙灌注后就没有空间可通行,往往是先回填土石,以防所砌边墙被侧压推动或压坏,修筑边墙时是由内向外灌注,开挖一段砌筑一段。

衬砌修完前,⑨部核心作为临时支护的基础,所以核心需有足够的宽度,并防止⑨部土体挖成反台阶形,使⑨部核心可靠地承受临时支护传来的压力。

因该法用于围岩不稳定的情况,故需注意临时支护结构要坚固可靠、及时,必要时用“先撑后挖”方式进行开挖(如插板法等)。衬砌时需支撑抽换,此时也应按“先顶后抽”的原则进行。

该法安全可靠,坑道暴露时间短,开挖面小,对围岩扰动小,留核心土能使支撑材料节省并较可靠。衬砌为先墙后拱,质量较好。但施工进度慢,导坑多,造价高,通风排水困难。

九、复合衬砌施工方法(新奥法)

该法施工顺序为:

当开挖面稳定时,如图 14-1-13(a),施工顺序是开挖→第一次柔性衬砌→施工量

测(位移、应力等量测)→防水层→第二次衬砌。

当开挖面不稳定时,如图 14-1-13(b),施工顺序是开挖弧形导坑→第一次柔性衬砌(拱)→开挖核心及侧壁→第一次柔性衬砌(边墙)→开挖仰拱部分并修筑仰拱→施工量测(位移、应力等量测)→防水层→第二次衬砌。

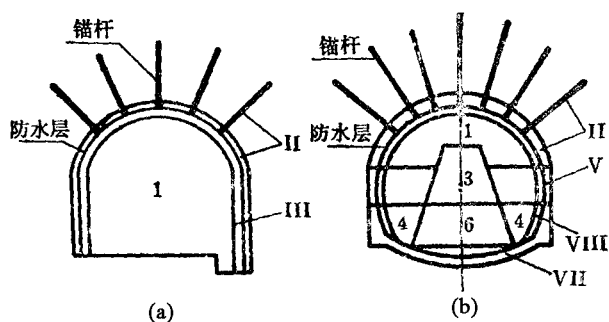


图 14-1-13

坑道开挖后,在岩体松散破坏之前,及时修筑一层柔性薄壁衬砌(第一次衬砌),通过施工中的量测监视,确定围岩变形稳定之后,修筑防水层及第二次衬砌,此即为复合衬砌施工方法(新奥法)。该法并不单纯是一种施工方法或支护方法,该法是对围岩动态性质通过施工中的量测的认识和理解,通过周密的量测工作,系统地控制坑道变形与应力,从而确定所建立的支护体系受力情况,并不断加以修改、完善。

衬砌为联合型复合衬砌。开挖可一次或分部完成,如图 14-1-13 例中,开挖后装设锚杆支撑并喷混凝土作为第一次支护,通过量测,待岩体变形稳定后,约距开挖面 100 至 500m 处,修防水层及修筑第二次支护(喷混凝土或灌注整体式混凝土衬砌)。可见,本法是以喷混凝土、锚杆作为主要支护手段的一种施工方法。但衬砌材料并不限于这些,衬砌可用锚杆、喷混凝土、灌注混凝土、混凝土预制块、钢拱支撑等、各类支护均可单独或联合使用。

与前述方法相比,该法有如下特点:

1. 支护为联合型复合衬砌,支护作业分两步:坑道开挖后迅速修筑早期柔性支护,用以控制岩体初期变形,这种变形在初期发展较快,经量测确定围岩充分稳定后,修筑防水层及第二次衬砌;

2. 第一次柔性支护与围岩共同工作,并允许有限制的变形,防止产生强大的松散土压,第二次衬砌基本上是不承载的;

3. 如设锚杆则可提高原岩体的岩体强度;

4.以施工量测信息控制施工程序 ,并根据量测信息检验、修改和完善支护体系的设计。

在施工中 ,该法有许多变化方案 ,但其施工程序基本是一致的。该法在设计中 ,不但要决定支护结构的参数 ,而且还需包括施工过程及施工量测的设计 ,这是该法的关键。在一般情况下 ,该法可用于各类围岩。

第二节 成功实例分析

一、白花山隧道

(一)隧道工程地质条件

隧道建设地位于白花山 ,山体呈南北走向 ,两侧山坡坡度 $40^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 不等 ,山坡植被良好 ,隧址区地震为 7 度。

隧道呈东西走向 ,最大埋深 67m ,穿过地层为震旦系片状石英岩(区域变质岩)碎裂片状构造 ,由于受珠江构造大断层的影响 ,隧道内出现小挤压和压扭断层 ,节理发育 ,裂隙纵横交错 ,岩层风化严重 ,大部分已风化呈土状 ,局部为碎块石结构 ,并有多条灰白黄色高岭土夹层 ,岩层开挖暴露后易崩解软化 ,稳定性较差。隧道围岩分类见表 14 - 1 - 1。

表 14 - 1 - 1 隧道围岩分类情况

围岩类别		风化程度	长度(m)
左线	Ⅱ	全风化	165
	Ⅲ	强风化	35
	Ⅳ	弱风化	40
	Ⅴ		120
右线	Ⅱ	全风化	304
	Ⅲ	强风化	21
	Ⅳ	弱风化	65

隧道地下水位低,且没有发现大股地下水出露,水质对混凝土无侵蚀性。

(二)隧道衬砌结构

白花山隧道是应用新奥法基本原理设计和施工的,其衬砌结构除各洞口根据地形、地质条件设置一小段明洞外,其余均用喷锚支护与二次衬砌相结合的复合式衬砌。根据围岩类别和埋深情况,采用以下五种衬砌结构形式:

(1) S_1 明洞衬砌,在隧道进出口范围采用。明洞衬砌为钢筋混凝土结构,根据洞口地形及地质情况,结合部分地段出现偏压的情况, S_1 衬砌设仰拱。

(2) S_2 复合式衬砌,在Ⅱ类围岩及浅埋地段采用。喷射混凝土结合格栅钢筋拱架、钢筋网、系统锚杆作为初期支护,模注混凝土作为二次衬砌, S_2 衬砌设仰拱。同时,在Ⅱ类围岩地段采用短管棚作为超前支护。

(3) S_3 复合式初砌,在Ⅲ类围岩及部分浅埋地段采用。喷射混凝土结合格栅钢筋拱架、钢筋网、超前锚杆及系统锚杆作为初期支护,模注混凝土作为二次衬砌。

(4) S_4 复合式衬砌,在Ⅳ类围岩地段采用。喷射混凝土结合系统锚杆(部分破碎地段采用钢筋网)作为初期支护,模注混凝土作为二次衬砌。

(5) S_5 复合式衬砌,在Ⅴ类围岩地段采用。喷射混凝土作为初期支护,模注混凝土作为二次衬砌。

(三)隧道施工

1. 辅助施工措施

(1)长管棚结构

白花山隧道左、右线四个洞口除右线出口外均位于Ⅱ类围岩地段,且覆盖层厚度很小,利用一般施工方法难于安全进洞。因此,在左线进出口、右线进口采用长管棚结构,在长管棚超前支护保护下采用环形导坑台阶法安全进洞。长管棚钢管采用外径 $\Phi 108\text{mm}$ 、壁厚 6mm 的热扎无缝钢管,钢管纵向长度为 30m ,由节长 4m 、 6m 的钢管采用丝扣连接而成,以便达到隧道纵向同一横断面内的接头数不大于 50% ,相邻钢管的接头至少错开 1m 的要求。钢管设置于衬砌拱部,管中心在设计外轮廓外 300mm ,平行于路线中心线,钢管环向间距为 400mm 。长管棚施工采用 $\text{XT}-2\text{B}-300$ 电动钻机进行钻孔及顶进钢管,用 $\text{BW}-250/50$ 型注浆泵进行水泥—水玻璃双液注浆。

(2)短管棚超前支护

在Ⅱ类围岩地段,除长管棚范围内,均采用短管棚作超前支护。短管棚采用外径 $\Phi 42\text{mm}$ 、壁厚 3.5mm 、长 3.5m 的无缝钢管,钢管环向间距 520mm ,前后两排钢管搭接水平方向长不小于 1.0m ,钢管前端呈尖锥状,尾部焊上 $\Phi 6$ 钢筋劲箍,管壁四周钻 $\Phi 10\text{mm}$

压浆孔(尾部 100mm 不设压浆孔)。短管棚施工时,钢管穿过格栅钢架,与洞轴线成 15° 倾角打入拱部围岩,钢管尾端焊接在格栅钢拱架上,进行水泥—水玻璃双液注浆。

(3) 导坑台阶施工

在 S_2 衬砌段,设计采用双侧壁导坑施工,在施工过程中施工队采用了导坑台阶法施工,保证了施工安全,加快了施工进度。导坑台阶法具体做法是:

- ①开挖拱部弧形导坑,预留沉落量,并及时完成初期支护;
- ②采用马口跳槽的方法开挖两侧边墙,施作边墙初期支护与拱部初期支护连接,使初期支护形成整体环;
- ③开挖核心土;
- ④挂防水板、先墙后拱施作二次衬砌;
- ⑤仰拱开挖及衬砌。

2. 洞口段的施工

洞口是隧道的咽喉,在隧道开挖进洞前必须将边仰坡作稳妥的加固处理。在洞口施工中,根据边仰坡开挖暴露的岩层层理、走向、节理及破碎情况进行挂网锚喷,强化了边仰坡的稳定,及时做好洞顶截水沟的铺砌,以防止地面水流下渗增大地层压力,危害洞口安全。同时,做好洞口施工区的排水系统,这样,确保了洞口的安全稳定,为后续各工序的施工打下了坚实的基础。

二、猫山隧道

(一) 猫山隧道工程概况

猫山隧道位于广东省新会市崖南镇,潭江入海口——崖门口,是广东省西部沿海高速公路新会段的重要构造物。由于隧道紧连崖门大桥西桥头,受大桥宽度的影响,设计为双洞双向四车道曲墙连拱隧道。隧道按高速公路平原微丘标准设计,两隧道轴线间距 13m,连拱跨度 26m,中隔墙最小厚度 1.9m,隧道单洞长 411m。隧道内轮廓为曲墙半圆拱,拱半径 5.75m、曲墙半径 7.59m,两侧设检修道。隧道单洞净宽 11.32m,即 $2 \times 1.16 \text{ m} + 2 \times 0.75 + 7.5 \text{ m}$,净高 7.27m,净空面积 68.3 m^2 ,隧道路面横坡 2%、纵坡 -2%。

猫山隧道由广东省西部沿海高速公路新会段有限公司投资建设,广东省公路勘察规划设计院与交通部重庆研究所设计,广东冠粤路桥有限公司施工总承包,广东虎门大桥咨询有限公司监理,中铁第十四工程局第四工程处施工。原合同工期 428 天,1998 年 12 月 9 日开工,主体工程于 2000 年 6 月 29 日竣工,历时 450 天。

(二) 工程地质条件

该隧道所处地段为第四系地层,含花岗岩残积、坡积碎块石砂、砾质亚粘土,覆盖厚

度 0~0.8m。基岩为燕山期中、粗粒花岗岩,呈肉红色、灰白色,岩体巨厚、裂隙发育,多为巨块状镶嵌结构和砌体结构。山体表层风化程度较高,其厚度为 8.2m。

经地质勘探判断,隧道穿山体地段不存在构造断裂。但是岩体中裂隙普遍发育,有一组走向为 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}\text{EW}$ 的剪切裂隙,裂面近于直立,连续性较强,且与隧道轴线近乎平行。隧道进口位于分水垭口东侧坡地,地面坡度较陡,场地狭窄,洞口面向崖门大桥。洞口右侧为分水垭口冲沟,左侧为低山主体,边坡稳定,无不良地质现象。隧道出口位于垭口西侧冲沟部位。冲沟两侧山坡较稳定,无不良地质现象。但在隧道开挖施工中,出现 4 条方向为 $\text{NE}60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 、 $\angle 70^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 、宽 1~2m 的较大断层,洞身为 II、III、IV 类围岩(按《公路隧道设计规范》(JTJ 026—90)规定的围岩分类标准)。

本段地下水为花岗岩风化裂隙水,受大气降水补给,流量少,随季节变化大。地下水类型为低矿化度(31.9mg/L),侵蚀性 $\text{CO}_2 = 2.54\text{mg/L}$,不具侵蚀性。

(三)施工前设计情况

结构设计:采用复合式衬砌结构,初期支护以喷锚钢筋网为主要支护手段。II、III 类围岩地段采用格栅钢架作为加强措施,洞口 II 类围岩地段采用双排超前小导管作超前支护。支护参数由于同类工程(连拱)实例不多,考虑到中隔墙的作用,从安全角度出发按三车道隧道类比。II、III 类围岩二次衬砌采用 C25 钢筋混凝土,衬砌厚度为 60cm,III、IV 类围岩二次衬砌采用素混凝土(局部设构造钢筋),衬砌厚度分别为 50cm、40cm。II、III 类围岩均设有仰拱,混凝土厚度分别为 60cm 和 50cm。

(四)施工概况

1. 总体方案

掘进采取进口(东洞口)和出口同时推进方案,由于隧道纵断面从东往西设有 2% 的降坡,东洞口施工段采用集水井强制排水,洞室开挖采用台阶法。

2. 隧道主体基本施工方法

(1)洞身采用三导坑开挖,化大断面为小断面,以控制和减小围岩的松动范围。

(2)中隔墙导坑先行,并做好导坑的临时支护。

(3)从中导坑中间向两端洞口浇筑中隔墙混凝土,并将中隔墙墙顶与导坑拱顶回填紧密,控制围岩松动高度,以减小围岩荷载。

(4)左右洞侧壁导坑开挖,紧跟掌子面及时做好初期支护和临时支撑。

(5)边墙二次衬砌在侧导坑开挖过程中施作,其余的在侧导坑全部贯通以后进行。

(6)主洞开挖之前先施作明洞,保证边仰坡稳定。明洞按仰拱—中隔墙—拱墙衬砌顺序施工。

- (7)左右隧洞开挖错开距离不小于 50m。
 - (8)洞身二次衬砌按先墙后拱的顺序施工。
- 3.隧道主体工程施工主要程序(见图 14-1-14)

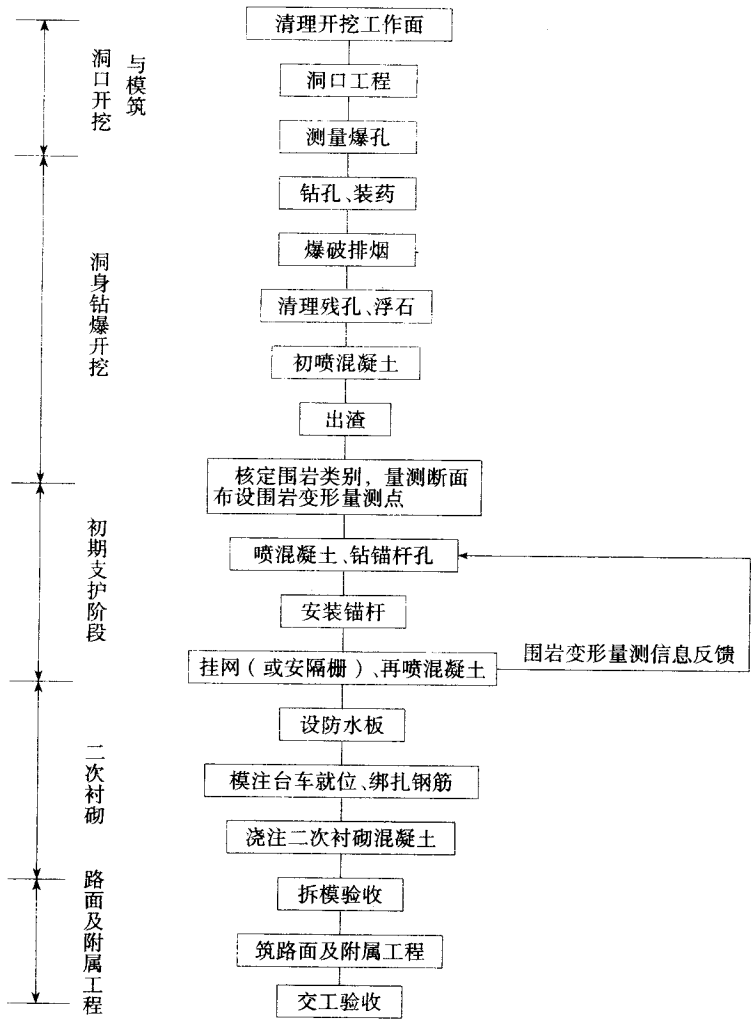


图 14-1-14 施工程序图

(五)猫山隧道开挖方案的探讨与选定

1.猫山隧道开挖的特点

(1)猫山隧道是双洞连拱形式,与单洞隧道相比,双洞连拱隧道的最大特征是有中隔墙。而中隔墙上方的围岩是薄弱环节,施工过程中在中导坑开挖及左、右隧洞拱部开挖时先后共有三次扰动,需要及时压浆加固及中隔墙上方的圬工回填。

(2)在左、右洞不对称开挖过程中易造成中隔墙受力不均,产生偏压,在施工过程中如何控制偏压,是施工中的一大难点。

(3)双洞连拱隧道的控制截面弯矩由单洞隧道的跨中移向中隔墙一侧,而中隔墙一侧的围岩由手受到中导洞及其另一侧的相邻洞室两次开挖的扰动,岩体力学指标将大大降低,危及中隔墙一侧临时边坡的稳定,易造成坍塌。因此,在制定进洞方案时应首先分析洞口附近的地质情况,选择地质较差的一侧进洞,这样,不仅可以提高进洞效率,而且可以确保临时边坡的稳定。

由于双洞连拱隧道跨度较大,结构复杂,应视围岩的类型选择不同的开挖方法。对于完整性较差的围岩,一般应选择三导洞的开挖方法,并在施工中严格遵循“弱爆破、短进尺、多循环、强支护、快封闭”的原则,严格控制超欠挖,以确保工程质量、进度、施工安全和经济效益。

2. 开挖方案的探讨

(1)原设计方案

双洞连拱隧道由于中隔墙的存在,大部分施工过程必须先进行中隔墙的开挖及衬砌,从而保证拱部初期支护及二次衬砌具有着力点。

猫山隧道施工设计图建议采用三导洞施工的方案,所谓“三导洞”即将整个开挖断面分为三个小洞室超前掘进(两个侧壁洞,一个中洞)。其中,中洞超前是为了解决连拱的交点支撑问题,两个侧壁洞的超前是为了解决拱脚支撑问题。当围岩软弱时(Ⅱ~Ⅲ类),一般采用“三导洞先墙后拱法”施工;此外,左右洞每个断面开挖还可再分为起拱线以上部分开挖、下半部分开挖及落底开挖。而当围岩石质较好时(Ⅳ类以上)可采用中导洞先行,取消侧壁洞而改为左右洞全断面掘进的方案。根据围岩类别、埋置深度的不同,又将开挖顺序分为两类,如图14-1-15、图14-1-16所示。

“三导洞”开挖的施工特点:

1)三导洞超前掘进,可起到超前地质预报的作用,并疏排未开挖围岩中的水分,明显改善开挖条件。

2)三导洞建立初期支护后,为后续开挖建立了稳固的支撑面,从而可及早实施二次衬砌。另外,大跨度隧道的稳定性得以保证,有利于施工安全。

3)三导洞施工可有效地降低地表沉陷,对于城市地下工程施工有着重要的意义。

4)本方法采用超前管棚、格栅钢架、注浆等辅助支护措施,可在凸泥涌水等特软弱地层下施工。

5)机动灵活,可增加作业面,进度稳定,工期保障性强。

6)无须大型机械设备,投入少,操作性强,易推广。

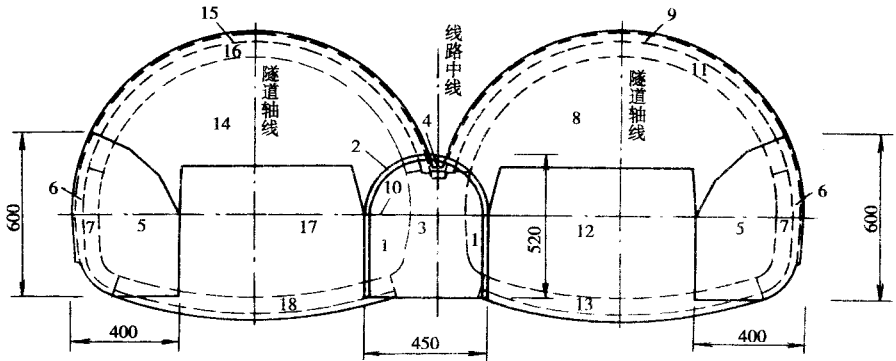


图 14-1-15 浅埋、软岩(Ⅱ~Ⅲ类)隧道开挖、支护顺序图(尺寸单位:cm)

- 1—中导坑开挖 2—中导坑锚喷支护、钢架支撑等 3—中隔墙衬砌 4—铺设中隔墙顶防水板并回填混凝土 5—侧导坑开挖 6—侧导坑锚喷支护、钢架支撑等 7—侧墙铺设防水板、灌筑二次衬砌混凝土 8—右洞中央拱部开挖 9—右洞中央拱部锚喷支护、钢架支撑 10—在左洞设置工字钢临时支顶以平衡右洞二次衬砌产生的水平推力 11—右洞防水板铺设及灌筑二次衬砌混凝土 12—右洞下半部开挖及拆除临时支撑 13—右洞落底开挖及灌筑仰拱混凝土；
- 14—左洞中央拱部开挖 15—左洞中央拱部锚喷支护、钢架支撑等 16—左洞防水板铺设及灌筑二次衬砌混凝土 17—左洞下半部开挖及拆除临时支撑；
- 18—左洞落底开挖及灌筑仰拱混凝土

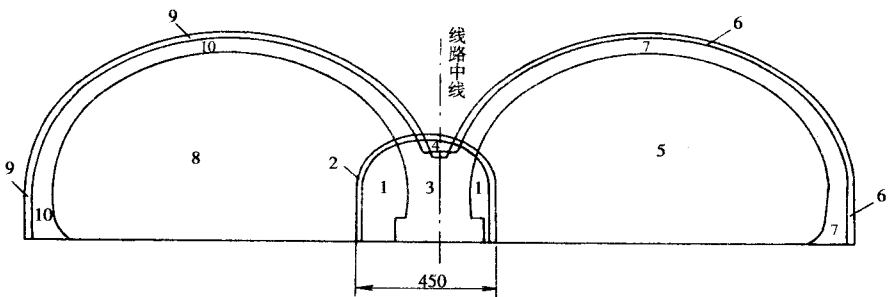


图 14-1-16 深埋、硬岩(Ⅳ类以上)隧道开挖、支护顺序图

- 1—中导坑开挖 2—中导坑锚喷支护 3—中隔墙衬砌 4—铺设中隔墙顶防水板并回填混凝土；
- 5—右洞全断面开挖 6—右洞锚喷支护 7—右洞铺设防水板及灌筑二次衬砌混凝土 (必要时应先在左洞设置水平临时支撑) 8—左洞全断面开挖 9—左洞锚喷支护；
- 10—左洞铺设防水板及灌筑二次衬砌混凝土

设计图中指定的开挖方案为三导洞先墙后拱法 ,两隧洞不能同时开挖 ,必须错开 50m 以上。其中 ,中导洞不对称于中隔墙开挖 ,开挖高度 5.2m ,宽度 4.5m ;两侧导洞开挖尺寸为 7m 高 4.5m 宽 ,如图 14-1-17 所示。

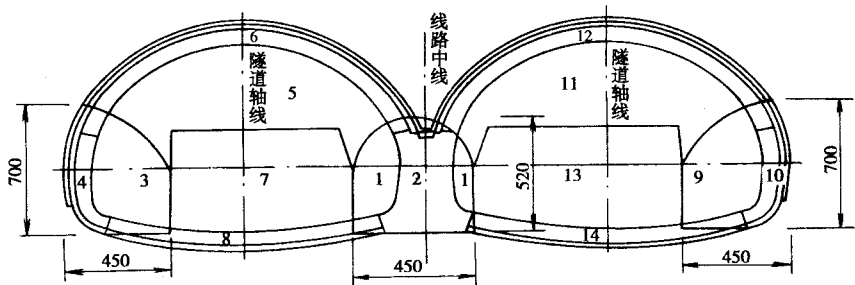


图 14-1-17 隧道三导洞开挖及支护顺序图(尺寸单位 :cm)

- 1—中导洞开挖 ;2—中隔墙支护 ;3—左侧导坑开挖 ;4—左侧导坑支护 ;5—左隧洞上部开挖 ;
6—左隧洞上部支护 ;7—左隧洞下部开挖 ;8—左隧洞灌筑仰拱及拆除临时支护 ;9—右侧导坑开挖 ;10—右侧导坑支护 ;11—右隧洞上部开挖 ;12—右隧洞上部支护 ;
13—右隧洞下部开挖 ;14—右隧洞灌筑仰拱及拆除临时支护

(2)初期实施方案

施工初期 ,施工单位除了在Ⅱ、Ⅲ类软弱围岩段按三导洞先墙后拱法施工外 ,还在Ⅳ类围岩区段采用台阶法开挖一个洞室 ,然后纵向跳槽开挖中隔墙马口进行中隔墙施工 ,最后再开挖另一个洞室的办法来进行施工 ,具体的开挖及支护顺序如图 14-1-18 所示。

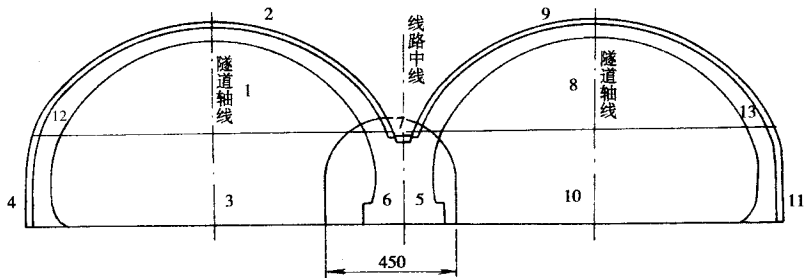


图 14-1-18 Ⅳ类围岩开挖及支护顺序图

- 1—左洞上部开挖 ;2—左洞上部初期支护 ;3—左洞下部开挖 ;4—左洞下部初期支护 ;5—纵向跳槽开挖中隔墙马口 ;6—中隔墙衬砌 ;7—中隔墙顶部铺设防水板并回填密实 ;
8—右洞上部开挖 ;9—右洞上部初期支护 ;10—右洞下部开挖 ;11—右洞下部初期支护 ;12—左洞洞周施作二次衬砌 ;13—右洞洞周施作二次衬砌

注 ①跳槽开挖中隔墙马口的一次开挖长度不宜过长 ,具体应视围岩情况而定 ,最大长度不应超过 6m ;

②左、右两洞不能同时开挖 ,需相互错开 50m 以上。

(3)专家咨询意见

连拱的开挖方案得到业主、总承包商等各单位的高度重视。在施工初期 ,由于开挖面所暴露出的部分中隔墙区段的岩层坚硬致密、完整性较好 ,有关专家提出保留中隔墙岩柱 ,改中导洞为中隔墙两侧导洞的四导洞开挖方案 ,如图 14 - 1 - 19 所示。

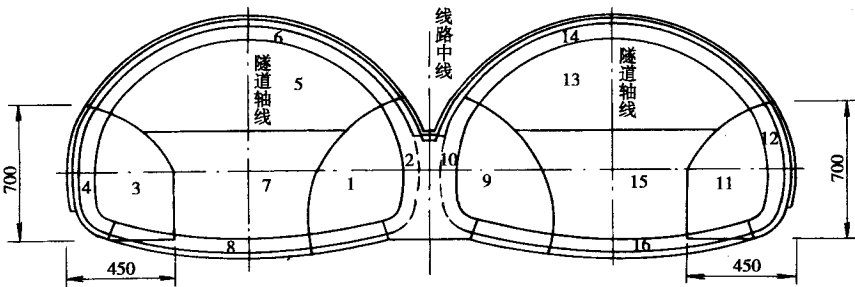


图 14 - 1 - 19 隧道四导洞开挖及支护顺序图(尺寸单位 :cm)

- 1—中隔墙左侧导坑开挖 ;2—中隔墙左侧导坑支护 ;3—左隧洞侧导坑开挖 ;4—左隧洞侧导坑支护 ;5—左隧洞上部开挖 ;6—左隧洞上部支护 ;7—左隧洞下部开挖 ;8—左隧洞灌筑仰拱及拆除临时支护 ;9—中隔墙右侧导坑开挖 ;10—中隔墙右侧导坑支护 ;11—右隧洞侧导坑开挖 ;12—右隧洞侧导坑支护 ;13—右隧洞上部开挖 ;14—右隧洞上部支护 ;15—右隧洞下部开挖 ;16—右隧洞灌筑仰拱混凝土及拆除临时支护

注 :两隧洞不能同时开挖 ,需错开 50m 以上。

经过分析、研究 ,专家建议保留中隔墙岩柱的开挖方案。由于该方法对中隔墙两侧岩体光面爆破技术要求极高 ,施工难度较大 ;且中隔墙那部分岩柱由于受到多次爆破振动干扰 ,岩体力学指标大大降低 ,其自身稳定性受到很大影响 ,而连拱结构对中隔墙结构 (特别是中隔墙基础)的承载能力要求较高 ,故此方案在施工中未加采用。

(4)几种开挖方案比较(表 14 - 1 - 2)

表 14 - 1 - 2 几种开挖方案比较表

项 目	设计开挖方案 (三导洞先墙后拱法)	专家建议开挖方案 (保留中隔墙岩柱)	实际开挖方案(台阶法纵向 跳槽开挖中隔墙马口)
施工的安全性	安全	较安全	不够安全
施工技术难度	高	高	低
施工机械类型	小型	小型	大中型
施工工序	工序较多	工序多	工序少

项 目	设计开挖方案 (三导洞先墙后拱法)	专家建议开挖方案 (保留中隔墙岩柱)	实际开挖方案(台阶法纵向 跳槽开挖中隔墙马口)
掌子面的稳定性	稳定性好	稳定性较好	稳定性较差
周边变形量	小	小	较大
工程造价	高	低	较低
适用范围	洞室跨度大、地质条件 差、安全要求高	地质条件好、爆破技术要 求高	地质条件好、工程投资 少、工期要求高

(5)最后选定的施工方案

通过以上比较,最后确定:在Ⅱ、Ⅲ类软弱围岩段必须采取三导洞先墙后拱法施工,以保证洞室的稳定和施工的安全。其中,中导洞超前施工,两侧导洞滞后20~30m,左、右洞施工应相互错开50m以上。

在Ⅳ类以上硬岩段,采用台阶法纵向跳槽开挖中隔墙马口的掘进方案,以充分发挥大中型施工机械的作业效率,加快施工进度,降低工程造价。

(六) 软岩开挖

1. 工艺原理

采用“大洞小作,以小代大”的方法,将大洞室分为若干个小洞室,利用小洞室岩层松动范围小的有利条件,构成稳固的初期支护。步步为营,以小洞室为基础发展为较大的洞室,进一步形成大跨结构。

2. 施工工艺

施工工序如图14-1-20所示。

3. 断面参数的确定

(1)中导坑的断面选择条件

- ①满足模筑混凝土及预埋件的最小空间要求,中导洞中线偏离中隔墙中线约1m左右。
- ②满足中导洞出渣平行作业所需的最小空间。
- ③尽可能保持圆拱形断面。
- ④尽可能减少非开挖空间(中隔墙右侧及顶部)的占用。

猫山隧道中导洞断面布置如图14-1-21a)所示,高5.2m,宽4.5m,中隔墙中线偏离中导洞中线1m。

(2)侧壁导洞的断面选择条件

- ①竖向高度满足边墙模筑混凝土及钢筋预留长度的最小空间要求。

②横向宽度应能满足边墙模筑混凝土及掌子面开挖运输的最小空间要求。

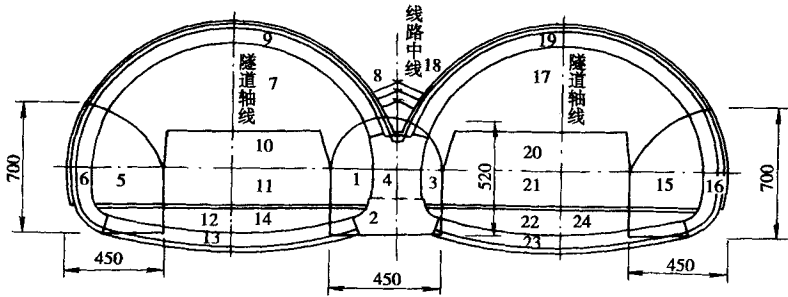


图 14-1-20 隧道三导洞先墙后拱法施工工艺图(尺寸单位:cm)

- 1—中导洞开挖;2—灌筑中隔墙基础;3—灌筑中隔墙右侧(M7.5 砂浆砌片石);4—灌筑中隔墙混凝土;5—左侧导洞开挖;6—左侧导洞支护(锚喷支护及灌筑边墙衬砌混凝土);7—左洞隧道上部开挖;8—中隔墙顶部左上方回填 C25 混凝土至密实(必要时压浆加固);9—左洞隧道拱部支护(锚喷支护及二次衬砌);10—左洞隧道中部开挖;11—左洞隧道下部开挖;12—左洞隧道落底开挖;13—灌筑左隧洞仰拱混凝土;14—灌筑左隧洞仰拱填充混凝土;15—右侧导洞开挖;16—右侧导洞支护(锚喷支护及灌筑边墙衬砌混凝土);17—右隧洞上部开挖;18—中隔墙顶部右上方回填 C25 混凝土至密实(必要时压浆加固);19—右隧洞拱部支护(锚喷支护及二次衬砌);20—右隧洞中部开挖;21—右隧洞下部开挖;22—右隧洞落底开挖;23—灌筑右隧洞仰拱混凝土;24—灌筑右隧洞仰拱填充混凝土

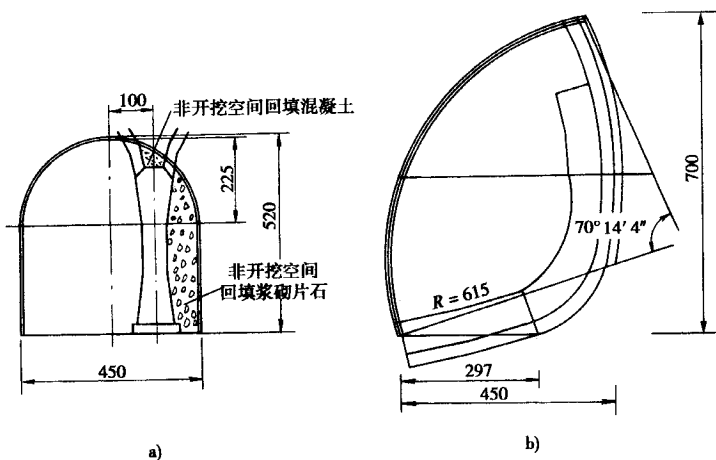


图 14-1-21 导洞断面布置(尺寸单位:cm)

a)中导洞断面;b)侧壁导洞断面

③结构轮廓尽可能圆顺,高宽比不宜大于 2。

侧壁导洞断面布置如图(14-1-21b)所示,高 7.0m,宽 4.5m。

4. 初期支护

初期支护为 18 号工字钢、 $\Phi 22$ 全粘结药卷锚杆与 C_{20} 喷射混凝土相结合,中、侧导洞锚杆长 0.8~1.5m。间距 \times 排距为 100cm \times 100cm,喷射混凝土厚度为 10cm。

5. 出渣

出渣采用装载机、推土机、挖掘机与自卸汽车配合使用。

(七) 硬岩开挖

1. 工艺原理

在围岩石质较好的情况下,为充分发挥围岩的自承能力,采用大中型机械分部开挖的方法来提高劳动效率,加快施工进度。

2. 工艺流程

具体的施工顺序见本章图 14-1-19 所示。

3. 断面参数的确定

1) 隧洞拱部断面高度的选择以中隔墙顶的高度为基准线,以减轻在另一隧洞拱部断面开挖时爆破施工对于已浇筑成型的中隔墙结构的振动。

2) 隔墙一侧非开挖空间的距离要尽可能小,一般不应大于 30cm。

4. 初期支护

Ⅳ类围岩初期支护为 $\Phi 22$ 全粘结锚杆与 C_{25} 喷射混凝土结合,锚杆长 3.0m,间距 \times 排距为 150cm \times 150cm,喷射混凝土厚度 10cm。

5. 出渣

出渣采用无轨运输方式,同前所述。

(八) 钻爆施工方案

猫山隧道总的施工方案是先施工中隔墙,贯通后再进行左右隧洞开挖。左右隧洞作业面错开距离不小于 50m。整个隧洞采用正台阶法施工。

1. 中隔墙导洞中的Ⅲ类围岩开挖断面采用 4.5m \times 5.2m(宽 \times 高);Ⅳ类围岩开挖断面采用 5.5m \times 5.2m(后加大到 7.0m \times 5.2m);进口段Ⅱ类围岩主要采用风镐开挖,完整性较好的Ⅲ类围岩和Ⅳ类围岩采用光面爆破。

2. 左(右)洞上断面采用浅孔光面爆破,风动凿岩机,钻孔最大深度一般为 2~2.5m。开挖断面为 10m \times 4.8m(宽 \times 高)。隧洞的下半断面开挖采用预裂爆破,一次成型。对有裂隙水的Ⅲ类围岩地段钻孔深度取 1.5m,无水时取 2~2.5m。

(九) 钻爆施工组织与分工

根据工程的总规模、工期、开挖方案、钻孔机具性能及循环进尺 ,确定在东西洞口各组织一个作业区 ,各作业区分别组织了七个流水作业班(组)分段承包施工。各作业班(组)的编成、劳力组织与装备见表 14－1－3。

表 14－1－3 作业班(组)的编成、劳力组织与装置

序号	工 序	机械配备		劳动力组合	
		名 称	数 量	工班名称	人数
1	测量画线(包括监控量测工作)	经纬仪、水平仪等测量工具 激光导向仪 净空收敛计 ,单点、多点位移计 等量测仪器	一套 三台 按设计	测量班	4
2	钻孔(含锚杆安装)	风动凿机、空压机	六部 二台	钻孔班	26
3	装药 爆破	装药平台车 梯子、炮棍等	二台	爆破班	25
4	通风 洒水 找顶	通风机 高压水管或水幕降尘器 竹竿、钢钎撬棍或反铲	按设计 二套 一台	综合班 (一)	6
5	喷射混凝土	PH30 型混凝土喷射三联机 混凝土湿喷机 喷射混凝土上料车	一台 二台 三台	喷射混凝土班	27
6	出渣	966D 轮胎式装载机 DP205C 型、DP205L 型或 DP255 型自卸车	二台 8～10 台	运输班	28
7	清渣(含风、水、电安 装)	HD850G 反铲挖掘机人工操作 工具	1～2 台	综合班 (二)	28
8	备注	表中机械和人员组成了掘进分队 ,分队管理人员 9 员 ,全分队共计 153 人			

(十) 钻孔机具的选择

根据猫山隧道的地质情况、工期要求和开挖循进尺 ,确定选用 YT－25、7655 等几种手持风动凿钻机 ,配以多功能台架钻孔气腿 ,如 FT－160、FT－140 ,这些机具性能如表 14－1－4。

表 14-1-4 钻孔机具性能

钻机型号	YT-25	7655	钻机型号	YT-25	7655
制造厂	沈阳	沈阳	凿岩速度(mm/min)	517(f = 10)	
机身质量(kg)	24	23	气腿	FT-160	FT-140
空气压力(MPa)	0.5	0.5	最小(mm)	1668	1650
空气消耗量(m³/min)	3.2	2.6	行程(mm)	1338	1320
扭矩(N·m)	14.7	9.8	质量(kg)	17	15
凿岩孔径(mm)	34 ~ 42	34 ~ 38	水压(MPa)	0.2 ~ 0.3	0.2 ~ 0.3
凿岩深度(m)	5	5			

(十一) 循环流水线组织

钻爆作业循环流水线组织如图 14-1-22 所示。

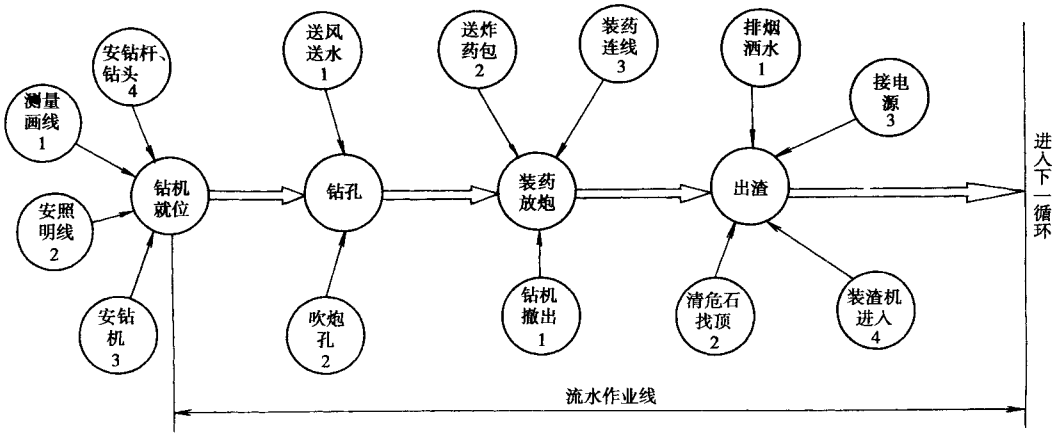


图 14-1-22 钻爆作业循环流水作业图

(十二) 爆破器材的选择、加工与装配

1. 炸药的选择

(1) 隧道工程常用炸药有岩石硝铵炸药、防水胶质炸药等。常用的炸药性能如表 14-1-5。

表 14－1－5 常用炸药的主要性能

序号	指标 品种 性能	硝铵类炸药		乳胶炸药	
		2 号岩石标准药卷	2 号岩石小药卷	RJ－2 大药卷	RJ－2 小药卷
1	药卷直径(mm)	35	22	40	32
2	药卷长度(mm)	165	270	330	200
3	药卷重量(g)	150	105	490	190
4	密度(g/cm ³)	0.96	0.34	1.20	1.20
5	爆速(m/s)	3050	2200	4100	3600
6	猛度(mm)	≥12	/	≥13－16	≥12
7	威力(ml)	≥320	/	≥340	≥340
8	殉爆(cm)	7	3	13	9
9	有害气体(L/kg)	<43	<43	<42	<42
10	保存期(月)	6	6	6	6
11	单价比较(依次)	最便宜①	②	③	④
12	生产厂家	韶关 309 厂		南岭化工厂	

猫山隧道主要选用 2 号硝铵炸药 ,这种炸药的优点是感应迟钝 (洞内)生成有害气体少 ,使用安全、猛度小、成本低、供货容易 ,缺点是吸湿性强、抗水性差 ,受潮后硬化结块 ,严重的拒爆或不能充分起爆 ,在运输和工地存放时主要靠包装纸和石蜡涂料来防潮 ,在工地还需专门设防湿库。

猫山隧道在有水地段还使用了乳胶炸药。

(2)隧道用炸药总量预算

炸药消耗量与围岩类别、开挖方法和所用的炸药品种有关 ,根据一些隧道实际炸药消耗量 ,结合猫山隧道选用的凿孔机具和开挖断面面积(最大约为 117m²)等情况 ,各类围岩总平均单位炸药消耗量采用类比法 ,取 1.2ks/m³ ,猫山隧道共需开挖石方量约 8.2 万立方米 ,共需炸药约 98.4t ,实际使用 90.2t ,各类围岩总平均单位炸药消耗量约为 1.1kg/m³。

2. 起爆系统的选择

为提高爆破效果 ,保证爆破安全 ,猫山隧道全部采用非电毫秒雷管起爆系统。这是目前大跨度隧道普遍采用的新的、先进的起爆方法。它的特点是安全度高、防电性能好 ,在静电感应大 ,雷雨天隧洞内电器设备多的情况下使用安全可靠 ,能实现全断面一次起爆或组合成多段位控制起爆秩序。

(1)器材介绍、加工与装配

非电起爆系统由塑料导爆管、非电毫秒延期雷管或半秒延期雷管、传爆雷管和连接件、击发装置等组成。下面将组成主要元件性能、加工、装配使用方法作一介绍。

①塑料导爆管。塑料导爆管是 20 世纪 70 年代问世的新型起爆器材 ,是由高压聚乙烯制成的管线(结构见图 14 - 1 - 23) ,柔软、无毒。软管外径为 $3 \pm 0.2\text{mm}$,内径为 $1.5 \pm 0.1\text{mm}$,内壁涂有一层很薄的特制混合炸药(91% 奥克托金、9% 铝粉 ,外加 0.25% 工艺附加物硬脂酸) ,药量 $16 \sim 20\text{mg/m}$ 。当有火帽、激发电笔对着管腔激发所产生的冲击波传入管腔时 ,或当雷管、导爆索紧靠塑料导爆管爆炸(但需连接可靠) ,使管腔内产生冲击波 ,管腔内的炸药粉末就会因受冲击波的作用而发生化学反应(也称管壁效应) ,这种化学反应所产生的能量 ,沿管线传送冲击波 ,使冲击波沿管腔迅速而稳定地向末端传播 ,达到引爆雷管的作用。其传播速度可达 $1950 \pm 50\text{m/s}$ 。这种塑料导爆管具有明显的优点 :它在遇到强大电流如 30kV 静电、明火燃烧、重锤冲击时 ,都不会传爆 ,它能承受水压 ,在水深 80m 时 ,传爆毫无影响 ,它本身不能起爆炸药 ,故可视为非危险品 ,便于运输和存放。塑料导爆管是目前比较优良的爆破器材 ,已得到广泛的应用 ,效果良好。但不能在有矿尘和瓦斯的地方使用 ,使用时也不能打结。

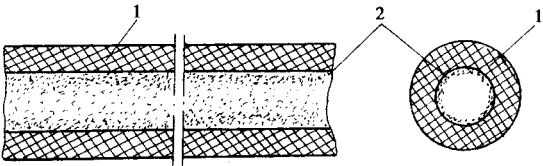


图 14 - 1 - 23 导爆管结构图

1—塑料壁 2—涂层炸药

②非电延期雷管。非电毫秒延期雷管与非电半秒延期雷管是解决大断面光面爆破组合各种顺序起爆的主要元件。猫山隧道钻爆施工中 ,采用了非电毫秒延期雷管与导爆管装配来起爆炸药 ,其构造见图 14 - 1 - 24。国产非电毫秒及半秒延期雷管 ,规格与精度标准见表 14 - 1 - 6 和表 14 - 1 - 7。

③非电传爆雷管及传爆网络制作。它由塑料导爆管、卡口塞与 8 号纸雷管(或塑料雷管)装配而成 ,传爆雷管使塑料导爆管内药粉被激发产生冲击波 ,在线路中起传爆作用。

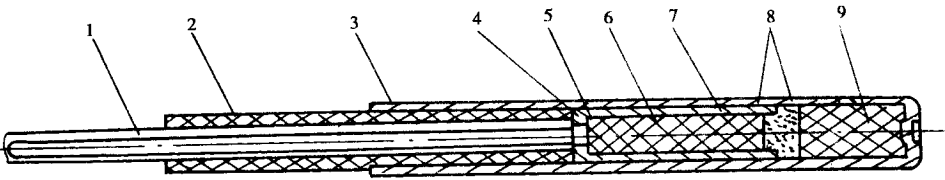


图 14-1-24 起爆雷管构造图

1—塑料导爆管 2—塑料卡口塞 3—雷管壳 4—延期管壳 5—点火药；
6—延期药 7—起爆药 8—黑索今炸药 9—黑索今炸药柱

表 14-1-6 国产非电毫秒延期雷管精度标准表

段 别	延期时间(ms)	段 别	延期时间(ms)	段 别	延期时间(ms)
1	≤ 13	8	250 ± 25	15	880 ± 60
2	25 ± 10	9	310 ± 30	16	1020 ± 70
3	50 ± 10	10	380 ± 35	17	1200 ± 150
4	+ 15 75 - 10	11	460 ± 40	18	
5	110 ± 15	12	550 ± 45	19	
6	150 ± 20	13	650 ± 50	20	
7	+ 20 200 - 25	14	760 ± 55		

注 :ms—毫秒。

表 14-1-7 国产非电半秒延期雷管精度标准表

段 别	延期时间(BS)	段 别	延期时间(BS)
1	< 0.3	6	2.5 ± 0.20
2	0.5 ± 0.15	7	3.5 ± 0.30
3	1.0 ± 0.15	8	4.5 ± 0.30
4	1.5 ± 0.20	9	5.5 ± 0.30
5	2.0 ± 0.20	10	6.5 ± 0.40

注 :BS—半秒。

将雷管和非电导爆管连接成非电传爆雷管的加工方法是 :将导爆管截成所需长度 ,切去一端 ,插至卡口塞底部 ,然后将卡口塞插入 8 号纸雷管(或塑料雷管)壳内 10 ~ 12mm ,用电工胶布在卡口塞与塑料导爆管及雷管壳处包扎两圈。为利于防水 ,塑料导爆管应封口备用(当天使用可不封口)。根据设计 ,也可在工厂订做相应长度的非电传炸爆管。

用这种自制的非电传爆雷管 ,可组合成不同需求的起爆网络 ,满足使用需要。

④击发装置。当导爆管网络连接完成后 ,形成用来起爆整个网络的装置 ,称为击发装置。常用的击发装置有三种 :

a)普通雷管起爆。使用该方法时 ,必须注意引线(导火索)的燃速。为避免速燃现象的出现 ,施工现场规定引线长度要大于所需要长度 0.5m ,使用前应进行检查 ,并试燃 0.5 ~ 1m ,确认无速燃现象后 ,方可使用。一般规定引线最短不得小于 2.5m。

b)采用电雷管起爆。这是利用电阻丝加热少量黑火药引爆的自制装置。这种起爆方法可以解决爆破动态量测仪器与起爆时间的同步问题。必须注意的是 ,起爆电阻丝雷管的电源线路必须采用专用线路 ,开关需用箱子锁上 ,加以严格管制。每次起爆必须待人机安全撤出后 ,才能打开电源箱 ,接通电源起爆。

c)击发枪起爆。此起爆装置只要用击发枪与导爆管将雷管连接起来即可。当击发枪火帽打火时 ,即可起爆 ,安全可靠 ,简便 ,爆速稳定。但为保障起爆操作人员的安全 ,需连接一段满足安全距离要求的导爆管 ,费用高 ,不经济 ,不象电雷管起爆时导线可多次利用。

经反复研究和实践 ,证明隧道引进使用的非电起爆系统解决了由于洞内杂散电流大、使用电雷管不安全的弊病 ,并且基本消灭了瞎炮 ,能满足各种时差的要求 ,网络容量不受限制 ,为起爆顺序、光面爆破的瞬时等问题提供了条件。

(2)非电起爆网路的装配与连接方法

导爆管起爆系统的装配要依照预定的网路形式认真操作 ,以构成简单可靠的起爆网路。目前 ,塑料导爆管非电起爆系统 ,有系统和组件两种出厂形式 ,可由用户选订。系统由工厂将元件装配成完整的系统出厂 ,用户无须再进行加工 ,可以直接使用。这种形式 ,便利用户 ,但这样增加了作为危险品运输的数量。组件出厂 ,则是将导爆管和其他配套组件单独出厂 ,由用户装配。实际使用中 ,多为用户自行装配加工成导爆管系统 ,因为这样做较为灵活自如 ,可组合成串联、并联、串并联(混联)等多种起爆网络 ,亦较符合工程实际。其装配方法如下 :

①导爆管分段

a) 截取塑料导爆管。先解去成卷导爆管的捆扎线, 然后从卷心抽出管头, 按需要的长度截断。

b) 将截取的导爆管绕成小卷, 并将一端封口(用火柴头火焰加热即可), 若截取导爆管一天内不与雷管装配, 则需两端封口, 以防止水气和杂物进入管内, 影响正常传爆。最后与雷管装配或用连通管连接, 再将需要结合的封口端切去 5cm。

② 组件装配

按照爆破设计的网路形式, 用连接元件将导爆管与传爆雷管、导爆管或导爆延期雷管、导爆管与起爆雷管连接起来, 最后与击发装置相连, 构成起爆网路。

③ 网路连接

隧道掘进爆破作业, 工作掌子面范围小, 药孔多, 并且药孔排列不规则, 多采用如图 14-1-25 所示的簇连式起爆网路。簇连式是把每个药孔中引出的导爆管捆扎在传爆雷管上构成的一种网路。若传爆雷管采用 8 号工程雷管, 则捆扎的导爆管根数以不超过 40 根为宜。若多于 40 根, 则需增加簇数。捆扎时, 要将导爆管均匀地排布在传爆雷管的周围, 用胶布或细绳在雷管的后半部将导爆管捆紧(胶布缠 5 层以上), 被连接的导爆管末端捆扎处应不小于 10cm, 而且其端部最好要进行封口(热合或用胶布粘住)。

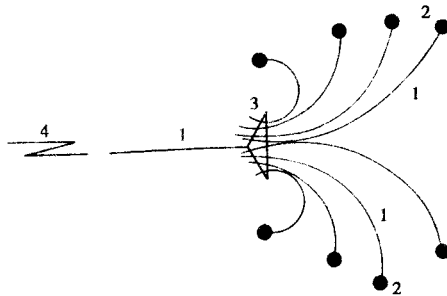


图 14-1-25 簇连式起爆网路

1—导爆管 2—药孔内装入的起爆雷管;

3—连接元件接续的传爆管; 4—激发装置

起爆顺序的控制, 可以用孔内延期方式, 即通过导爆延期雷管或毫秒火雷管来实现。同样地, 也要考虑导爆管的固有延期, 以便使爆序更加准确无误。

在作业面连接摆放网络时, 传爆雷管与导爆管需要有一定的安全距离, 以防止传爆雷管起爆时, 击穿相邻的导爆管而中断传爆。

(十三) 猫山隧道中隔墙的爆破设计和参数的选取

猫山隧道中隔墙开挖断面原设计为 $4.5\text{m} \times 5.2\text{m}$ ($b \times h$), 后考虑到混凝土浇筑作业

需要 ,开挖断面改为 $7.0\text{m} \times 5.2\text{m}$ ($b \times h$) 断面面积为 35.7m^2 。按硬岩(Ⅲ -Ⅳ类)围岩光面爆破设计 ,使用 7655 型风动气腿式凿岩机 ,钻孔深度为 $2 \sim 3.0\text{m}$,使用 2 号硝铵炸药 ($\Phi 25$ 、 $\Phi 35$ 药卷) 钻孔直径每 $\Phi 40\text{mm}$,其爆破设计如下 :

1. 爆破参数的选定

爆破参数选取一般有 :工程类比法、计算法和现场试验法。在实际施工中多是三种方法交叉使用 ,相互比较选取 ,再在实施过程中根据围岩变化情况进行调整。

炮孔数量及装药量的确定 :

在药量一定的条件下 ,炮孔数过少会影响爆破效果 ,过多会增加钻孔工作量。正确确定爆破炮孔数是取得良好爆破效果和提高开挖速度的重要条件之一。

炮孔数可按总装药量与单个炮孔装药量之比来计算 :

$$N = \frac{KSL}{Ln\gamma}$$

式中 N ——炮孔数量(个) ,对小直径($35 \sim 42\text{mm}$)的炮孔 ,开挖断面在 30m^2 以下时 ,单位面积的钻孔数一般为 $1.6 \sim 4.5$ 个/ m^2 ,通常是 :开挖岩体完整、坚硬、断面较小时孔可布多一些 ,反之可少一些 ,具体可按公式计算或参数表 14 - 1 - 8 选取 ;

K ——单位炸药消耗量(kg/m^3) ,与岩体的软硬开挖断面和使用炸药有关 ,中隔墙开挖断面为 36.4m^2 ,用 2 号硝铵炸药 ,Ⅲ -Ⅳ类围岩参照表 14 - 1 - 10 取 1.6 ;

L ——炮孔深度 根据使用钻岩机的性能、计划循环进尺 ,取 2.0m ,掏槽孔取 2.5m ;

n ——炮孔装药系数 ,此系数与围岩类别、炮孔位置有关 ,可按表 14 - 1 - 8 选取 ;

r ——装药的线装药密度(kg/m) 2 号硝铵炸药取值参见表 14 - 1 - 9 ;

S ——开挖面积 ,中隔墙开挖面积为 $7.0 \times 5.2 = 36.4\text{m}^2$ 。

表 14 - 1 - 8 炮孔装药系数 n 值

岩面 f 值 炮孔名称	10 ~ 20	8 ~ 10	7 ~ 8	5 ~ 6	3 ~ 4	2 ~ 1
掏槽孔	0.80	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
辅助孔	0.70	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
周边孔	0.75	0.65	0.60	0.55	0.45	0.40

表 14－1－9 炸药的线装药密度 γ

药卷直径(mm)	32	35	38	40	45	50
γ 值(kg/m)	0.78	0.90	1.10	1.25	1.54	1.90

将以上系数取值代入公式中 ,计算得 $N = 71$ 个(参考数)。但从上式的系数中可以看出 ,影响炮孔数量的因素较多 ,因此在计算时 ,需将过去施工的经验数给以类比 ,然后在爆破设计图上进行排列 ,再到现场进行试验 ,经 2 ~ 3 次试验后 ,确定合理的炮孔数。猫山隧道的中隔墙爆破炮孔经计算和试验后确定为 77 个。

2. 光面爆破参数(见表 14－1－10)

表 14－1－10 光面爆破参数

周边孔间距 E(cm)	光面爆破厚度 W(cm)	周边孔密集 系数 m	装药集中度 (kg/m)	炮孔堵塞长度 (cm)	周边孔装 药结构	起爆方法
60	75	0.8	0.20 ~ 0.25	30	间隔装药	非电毫秒雷管 1－13 段

3. 总装药量及药量分配

①总装药量 $Q = KLS$ (kg)

式中 Q ——一次(一个循环)爆破总装药量(kg);
 K ——单位岩石爆破炸药消耗量(kg/m³) ,按Ⅳ类岩取 1.6 ;
 L ——炮孔深度(m) ,取 2m ;
 S ——开挖面积(m²)为 36.4m²。

将各系数代入得

$Q = 1.6 \times 2 \times 36.4 = 116.48\text{kg}$

②单孔装药量的分配

炸药量的分配可按表 14－1－8 装药系数进行 ,但掏槽孔的装药量比扩槽孔的装药量应增加 20% ~ 30% ,底板孔应比扩大孔增加 20% ~ 30% ,各孔的装药量见表 14－1－11 ,经调整总药量确定为 120.9kg。

4. 炮孔布置

一般是先布掏槽孔 ,然后布置掘进孔和周边孔。由于中隔墙的断面作为导坑是较大的 ,故布孔时按上稀下密 ,周边孔适当加密 ,断面的中部一般是按均布的原则布置。光面爆破炮孔按表 14－1－10 和表 14－1－11 参数进行布置。在图上作业时可作局部调整 ,中隔墙光面爆破炮孔布置如图 14－1－26。

表 14－1－11 中隔墙爆破装药参数

炮孔名称	孔数(个)	孔深(m)	非电雷管段别	单孔装药量(kg)	每段装药量(kg)
掏槽孔	1	2.5	1	2.55	2.5
掏槽孔	1	2.5	3	2.5	2.5
掏槽孔	2	2.5	4	2.5	5.0
掏槽孔	2	2.5	5	2.5	5.0
掏槽孔	4	2.5	6	2.5	10.0
掘进孔	11	2.0	7	2.2	24.2
掘进孔	13	2.0	8	2.0	26
内环孔	17	2.0	9	2.0	34
底板孔	11	2.0	11	2.2	24.2
周边孔	25	2.0	13	0.5	12.5
合 计	77				120.9

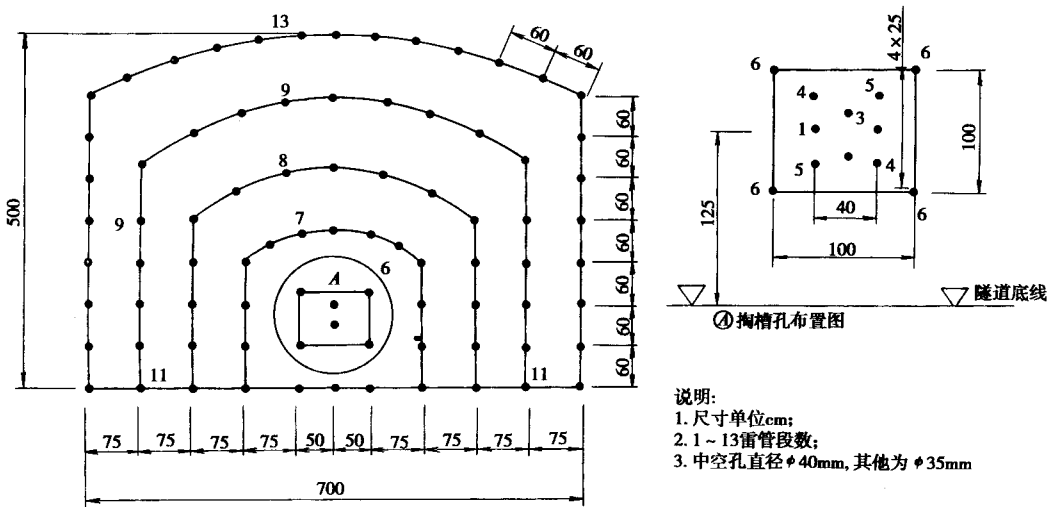


图 14－1－26 中隔墙光面爆破炮孔布置图

5. 起爆顺序安排

为达到先爆破的炮孔为后续爆破的眼孔减小岩石的夹制作用 ,增加临空面 ,创造更好的爆破条件 和为了保证爆破效果 ,必须正确安排各炮孔的起爆顺序 ,故猫山隧道选用了非电毫秒雷管起爆 ,具体安排是先掏槽孔 ,为整个开挖断面创造临空面 ,继而扩挖孔、掘进孔 ,自里层向外层扩大爆破直至全断面爆破完成。在安排起爆顺序时 ,考虑到猫山隧道地质复杂 ,围岩变化频繁 ,往往在同一断面上(掌子面)出现不同的地质情况 ,在安排毫秒雷管段别时使每段最大装药量(Ⅳ类围岩)控制在 40kg 以下。

(十四)Ⅱ、Ⅲ类围岩上半断面光面钻爆设计

猫山隧道 K6 + 900 ~ 964、K7 + 265 ,共约 452m 路段岩体风化严重 ,节理发育密集呈碎块。有的开挖断面 ,Ⅱ、Ⅲ围岩交织在一起 ,岩体软硬不均 ,并有少量裂隙水 ,围岩稳定性差。这些地段采用密眼浅孔 ,振动装药爆破。上下断面微台阶掘进 ,上半断面从起拱线开始 5.2m ,超前下断面 3 ~ 5m ,形成微台阶 ,上半断面 75m² ,采用光面爆破 ,下半断面为 45m² 采用预裂爆破。上半断面钻孔与装药在作业台上进行 ,用 YT—25 气腿式凿岩机钻孔 ,孔径 Φ40mm ,钻杆长度 2 ~ 2.5m ,循环进尺 1.8 ~ 2.25m ,使用 2 号硝铵炸药用非电雷管起爆。

1. 钻孔参数

(1)掏槽孔。采用单临空孔直眼掏槽形式 ,临空孔直径 Φ70mm ,掏槽面积 110cm × 110cm(图 14 - 1 - 27) ,药卷直径 Φ22mm ,不偶合系数为 1.82 ,装药参数如表 14 - 1 - 12。

表 14 - 1 - 12 掏槽装药参数表

掏槽形式	钻孔深度 (m)	临空孔数	装药孔数	每孔装药量 (kg)	装药集中度 (kg/m)	装药系数 (%)	雷管段数
单临空孔	2.0	1	12	0.63	0.315	81	1 ~ 6

(2)扩槽孔。扩槽孔与掏槽孔间距为 35cm ,采用 2 号岩石标准药卷(φ35mm)集中装药 ,装药集中度为 0.6kg/m。

(3)掘进孔。掘进孔距内圈孔的排距 65cm ,间距为 80 ~ 105cm ,采用 2 号岩石标准药卷(φ35mm)集中装药 ,其不偶合系数为 1.14 ,装药集中度为 0.75kg/m。

(4)内圈孔。内圈孔距周边孔的排距为 50cm ,内圈孔之间的间距为 50cm。采用 2 号岩石炸药标准药卷(φ35mm)集中装药 ,不偶合系数为 1.14 ,装药集中度为 0.45kg/m。

(5)周边孔。

a)周边孔间距 $E = 40\text{cm}$,周边孔密集系数 $K = E / W = 0.8$ (E 为孔距 , $W = 50\text{cm}$,为最小抵抗线长度)。

b)周边孔距内圈孔 50cm。周边孔装药集中度取 0.21kg/m。

c) 装药结构:为减小对围岩的扰动,采取直径 $d = 22\text{mm}$ 的药卷进行间隔装药,不偶合系数为 1.82。炸药采用 2 号岩石炸药小药卷。施工时,为缩短洞内装药时间,可在洞外预先将爆破药串按设计加工好。

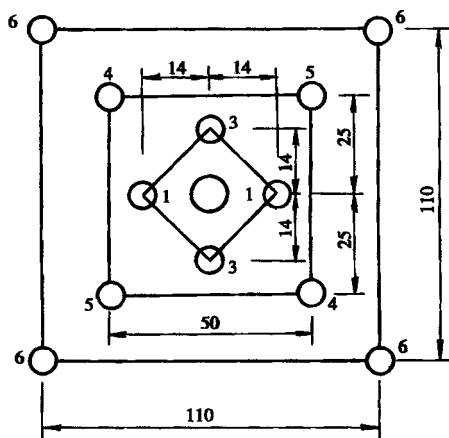


图 14-1-27 掏槽孔布置图(尺寸单位:cm)

(6)底板孔。由于底板有水,采用 $\Phi 32\text{mm}$ 乳胶炸药小药卷集中装药,孔间距为 80cm 。钻孔参数见表 14-1-13,炮孔布置见图 14-1-28 图中点位数字为起爆雷管段数。

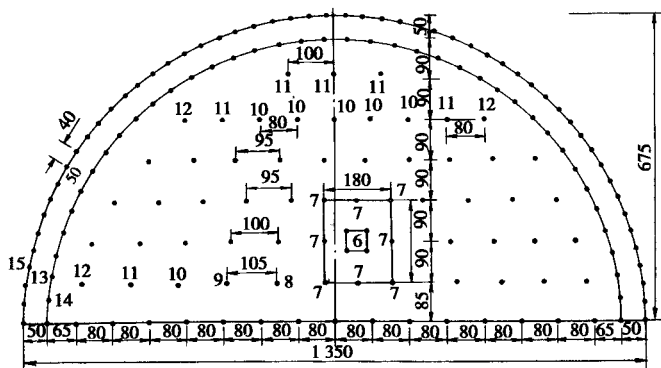


图 14-1-28 II、III类围岩上半断面炮孔布置图(尺寸单位:cm)

表 14－1－13 Ⅱ、Ⅲ类围岩上半断面钻孔参数表

项目	开挖断面	钻孔直径	临空孔	装 药 孔							钻孔深度	计划进尺	钻孔总长
				总数	掏槽孔	扩槽孔	掘进孔	内圈孔	周边孔	底板孔			
单位	m ²	个	个	个	个	个	个	个	个	个	m	m	m
数量	71.57	40	1	178	12	8	49	38	52	19	2.0	1.8	358.0
备注			Φ70mm										含临空孔

装药参数见表 14－1－14。

表 14－1－14 Ⅱ、Ⅲ类围岩上半断面装药参数表

序号	炮孔名称	炮孔数量 (个)	装药结构	装药系数 (%)	每孔装药量		装药集中度 (kg/m)	起爆雷管段别
					药卷直径/ 药卷节数	质量 (kg)		
1	临空孔	1	不装药	0				
2	掏槽孔	12	集中装药	81	Φ22/6 节	0.63	0.315	1～6
3	扩槽孔	8	集中装药	66	Φ35/8 节	1.2	0.6	7
4	掘进孔	49	集中装药	82.5	Φ35/10 节	1.5	0.75	8～12
5	内圈孔	38	集中装药	49.5	Φ35/6 节	0.9	0.45	13
6	底板孔	19	集中装药	80	Φ32/8 节	1.52	0.76	14
7	周边孔	52	间隔装药		Φ22/4 节	0.42	0.21	15

共计 (1+178)孔 总装药量 :175.58kg 雷管 :178 发

表中 Φ35mm 药卷采用 2 号岩石硝铵炸药 ,每节长 165mm ,每节质量 1.05kg ,Φ22mm 药卷为 2 号岩石炸药小药卷 ,每节长 270mm ,每节质量 1.05kg。底板孔考虑到防水及板的夹制作用 ,采用 Φ32mm 乳胶炸药小药卷 ,每节长 200mm ,每节质量 1.90kg。

2.起爆顺序

(1)段间隔差调配

根据以往隧道爆破实测资料记载 :在软弱围岩中爆破 ,振动频率较低 ,在隧道爆破中为避免振动强度的叠加 ,雷管全部跳动使用 ,段间隔时差控制在 75～100ms 范围内。

(2)起爆顺序

光面爆破从掏槽孔开始 ,从截面中心往外一层一层进行 ,最后是周边孔爆破。

(3)炮眼布置 :先布置掏槽孔、扩槽孔、周边孔、然后是底板孔、内圈孔、最后是掘进孔。内圈孔应比掘进孔密一些 ,比周边孔稀一些 ,如图 14 - 1 - 28。

周边孔间距为 40cm ,在靠中隔墙顶部起拱线以上 45°范围内 ,视围岩间距适当加密 (可加密至 30 ~ 35cm)。周边孔装药集中度 $q = 0.2 \sim 0.25\text{kg/m}$ (2 号岩石硝铵炸药小药卷)。

(十五)Ⅱ、Ⅲ类围岩下半断面预裂爆破设计

1.爆破参数

猫山隧道软弱围岩地段下半断面采用全断面一次爆破成型 ,爆破参数如表 14 - 1 - 15。

表 14 - 1 - 15 下半断面预列爆破设计参数表

序号	炮孔名称	炮孔数量 (个)	装药结构	装 药 品 种	炮孔间距 (cm)	与相邻外圈 炮孔间距 (cm)	起爆雷 管段别
1	掘进孔	36	集中装药	Φ35mm 二号岩石标准药卷	80	80	16 ~ 19
2	内圈孔	27	集中装药	Φ35mm 二号岩石标准药卷	60	50	20
3	底板孔	16	集中装药	Φ32mm 乳胶炸药小药卷	60	70	21
4	周边孔	36	间隔装药	Φ22mm 二号岩石小药卷	40	1(与外 轮廓线)	即发

注 :每孔装药量同上半断面同类作用的孔相同。

在猫山隧道Ⅱ、Ⅲ类软岩下半断面的爆破施工中 ,由于大量裂隙水及地下水的影响 ,每循环开挖进尺根据实际情况及时作了调整。在裂隙水及地下水作用明显地段 ,钻孔深度一般仅按 1.5m 考虑 ,在无水地段 ,每循环进尺加大至 2.5m。

2.起爆顺序与炮孔布置见图 14 - 1 - 29。

(十六)猫山隧道掘进爆破施工中 ,对特殊部位的保护

因猫山隧道施工掘进方案是先开挖中隔墙 ,然后用混凝土填充 ,待混凝土达到设计强度后 ,才进行左、右洞掘进(掌子面相差 50m) ,这对爆破施工带来了一定的难度。下面介绍这一问题的处理办法。现场爆破作业的条件见图 14 - 1 - 30。

如前介绍 ,中隔墙开挖宽度实际为 7m ,中隔墙已浇筑后每边的空隙距离为 2.55m ,右洞掘进时 ,要保护的部位有二处 :中隔墙墙体和中隔墙顶部与拱部的结合部 ,即图中 2

的指向处。

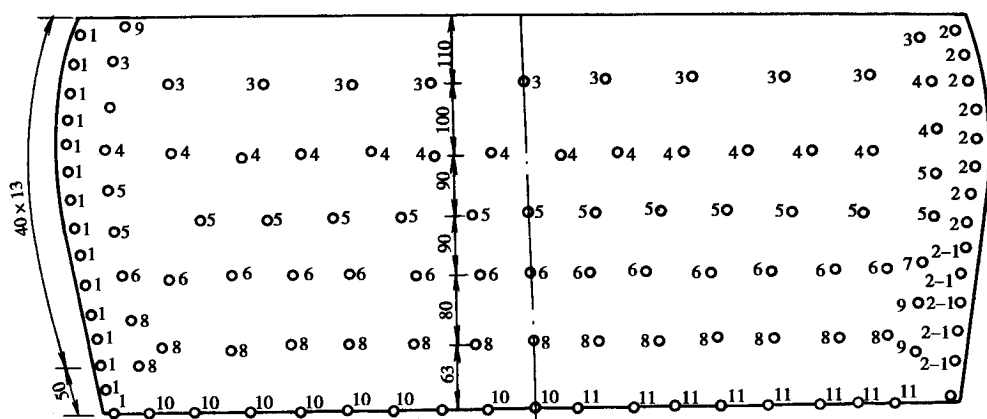


图 14-1-29 下半断面炮眼布置图(尺寸单位:cm)

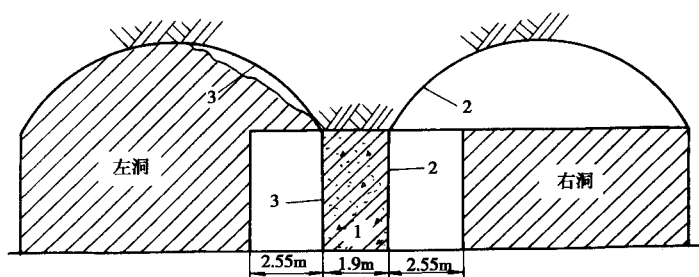


图 14-1-30 保护右洞左上角和中隔墙的简图

1—已浇筑的中隔墙 2、3—应保护的部位

右洞超前左洞掘进 50m,除在右洞 2 处采用锚杆固结使其形成较好的整体性外,同理在左洞 3 的指向处同样要采取保护措施。

针对被保护的部位,在爆破方法上主要采取了以下措施:

1.对分隔墙顶部的保护

中隔墙顶部受力最弱,在爆破手段上,采取控制爆破,一次的齐爆药量控制在能承受的质点振动范围内。右洞向右逐渐调整孔距、药量和最小抵抗线,直至松动圈离中隔墙边缘 0.5m 后,才采用常规爆破法。同理,左洞向左逐渐调整孔距、药量和最小抵抗线,直至中隔墙安全为止。在左洞实施时,还应考虑右洞已成临空面的实际情况,尤其一次齐爆药量带来的振动危害。

2. 对分隔墙墙体的保护

墙体相对中隔墙顶部保护要容易一些,主要考虑石块对墙体的冲击和一次齐爆药量

带来的质点振动速度的危害。靠近墙体处的空间直线距离只有 2.55m ,在掘进时同样采取在右洞时由左向右逐渐调整爆破诸参数直至可以按常规进行 ,左洞的调整方向与右洞相反 ,以克服飞石的冲击。

3.对保护的目标要反复计算其振动范围、松动范围 ,尔后根据计算调整每一个孔的装药参数和一次齐爆药量。特别是中隔墙支撑的拱顶结合处 ,属于两种介质的结合面 ,对爆破引起的振动和冲击力最敏感。

4.利用网路安排起爆时差 ,降低振速

按爆破原理 ,两点起爆时带来的地振波会叠加 ,引起共振 ,但如果利用起爆时差 ,一点起爆将形成地振波 ,另一点起爆也形成地振波 ,如果后一点振波恰好赶在稀释波时 ,不但不会叠加 ,相反给予抵消。

我们利用这一原理 ,首先 ,为了防止掏槽区起爆的炮孔之间产生共振 ,要求雷管的延时差应大于 $75 \sim 100\text{ms}$ (单孔爆破的振动周期约 $10 \sim 30\text{ms}$) ,采用大直径中空孔的双眼平行直孔掏槽法 ,每个炮孔只用一个段位雷管 ;其次 ,为了防止扩槽区、掘进区和其他区域炮孔起爆后产生共振 ,采用了较高段位并具有一定延时差的高精度雷管 ,同段雷管的延时偏差值 $\geq 100\text{ms}$,以实现随机干扰的目的。

方案确定后 ,对开挖方法、掏槽形式、炮孔布置、炮孔直径、装药量等方面作了设计。

(1)开挖方法采用台阶法 ,上半断面高度 4.8m ,底宽 10.0m ,台阶长度控制在 2m 以内。

(2)上半断面掏槽孔采用 $\Phi 70\text{mm}$,双临空孔直孔平行掏槽 ,装药炮孔直径为 42mm ,掏槽孔填装 $\Phi 25\text{mm}$ 药卷 ,分 8 个段分别起爆 ,雷管延时差为 100ms。

(3)上半断面周边采用光面爆破 ,掘进孔、内圈孔及周边孔按“微振爆破”方法来确定起爆顺序、段别、延时差。

(十七)Ⅲ、Ⅳ围岩上半断面光面爆破设计

1.炮孔布置如图 14-1-31。

2.爆破参数见表 14-1-16。

上半断面开挖后 ,由于增加了临空面 ,下半断面的开挖采用常规爆破 ,在此不重述。

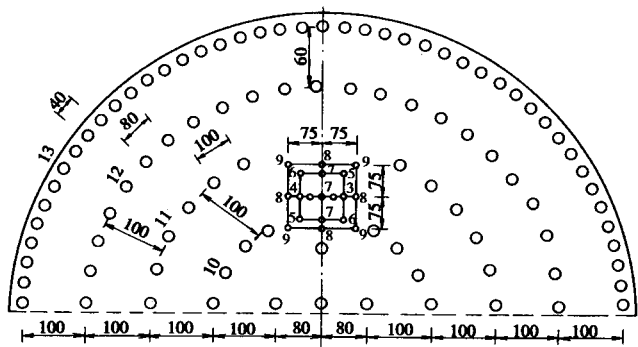


图 14-1-31 Ⅲ、Ⅳ类围岩上半断面炮孔布置图(尺寸单位:cm)

注 ① 钻孔直径为 $\Phi 40\text{mm}$,钻孔深度为 1.5~2.0m ;
② 每段最大起药量在 3kg 以内。

表 14-1-16 上半断面爆破参数表

序号	炮孔名称	炮孔数量	段别	钻孔直径 (mm)	药卷直径 (mm)	装药量(kg)		导爆索长度(m)		雷管个数 (个)	堵塞长度 (个)	备注
						单孔	合计	单孔	合计			
1	临空孔	2		$\Phi 70$								
2	掏槽炮孔	9	1~7	$\Phi 40$	$\Phi 25$	0.6	5.4			9	0.2	
3	扩槽炮孔	8	8~9	$\Phi 40$	$\Phi 32$	0.45	3.6			8	0.2	
4	主爆炮孔	17	10~11	$\Phi 40$	$\Phi 32$	0.6	10.2			17	0.2	
5	内圈炮孔	21	12	$\Phi 40$	$\Phi 32$	0.6	12.6			21	0.2	
6	周边炮孔	43	13	$\Phi 40$	$\Phi 32$	0.1	4.3	0.9	38.7	43	0.1	间隔装药
7	底板炮孔	9	14	$\Phi 40$	$\Phi 32$	0.6	5.4			9	0.2	
8	底板角炮孔	2	15	$\Phi 40$	$\Phi 32$	0.6	1.2			2	0.2	
9	合计						42.7			109		

(十八) 猫山隧道的超欠挖控制

在隧道钻爆施工中 ,开挖断面的控制、超欠挖的控制是一大难题 ,下面介绍猫山隧道解决这一问题的一些做法和体会。

1. 超欠挖的概念和允许值

隧道超欠挖在一些专业著作中被定义为以设计隧道开挖轮廓为基准线 ,将实际开挖

获得的轮廓线与基准线比较 ,基准线以外部分称为超挖 ,基准线以内部分称为欠挖。而在《公路隧道施工技术规范》中对超欠挖有如下规定 :当岩层完整 ,岩石抗压强度大于 30MPa ,并确认不影响衬砌结构稳定和强度时 ,允许岩石个别突出部分(每 1m² 内不大于 0.1m²)欠挖 ,但其隆起量不得大于 5cm ,拱、墙脚以上 1m 内断面严禁欠挖。不同围岩地质条件下的允许超挖值规定见表 14 - 1 - 17。

表 14 - 1 - 17 允许超挖值(cm)

开挖部位	围岩条件类型	硬岩(一般相当于Ⅵ类围岩)	中硬岩、软岩(相当于Ⅴ ~ Ⅲ类围岩)	破碎松散岩石及土质(相当于Ⅱ ~ Ⅰ类围岩)一般不需爆破开挖
拱部		平均 10 ,最大 20	最大 25 ,平均 15	平均 10 ,最大 15
边墙、仰拱隧底		平均 10	平均 10	平均 10

注 :①硬岩是指岩石抗压极限强度 $R_b > 60\text{MPa}$,中硬岩 $R_b = 30 \sim 60\text{MPa}$,软岩 $R_b < 30\text{MPa}$;
②平均线性超挖值 超挖面积 A /爆破设计开挖断面周长 K (不包括隧底) ,即 A/B ;
③最大超挖值系指最大超挖处至设计开挖轮廓切线的垂直距离 ;
④表列数值不包括测量贯通误差、施工误差 ,如采用预留支撑沉降量时 ,不应再计超挖值。

从施工现场实际情况看 ,初步认为一些专业著作中提出的超欠挖概念欠完整。笔者以为完整的表达应是 隧道超挖是以含允许超挖值的设计隧道开挖轮廓线为基准 ,经将实际开挖获得的轮廓线与此基准线相比较 ,基准线以外的部分称为超挖 ,以内的称为欠挖 ,见图 14 - 1 - 32。

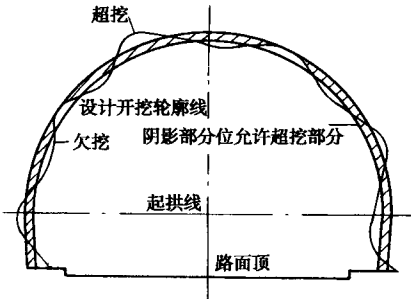


图 14 - 1 - 32 超欠挖示意图

2. 造成超欠挖的主要因素

从猫山隧道实践看 ,超欠挖主要受以下几个因素控制 :钻孔技术、爆破技术、测量画线精度、地质条件等。猫山隧道在开挖过程中 ,曾对不同围岩地段做了一些对比实验 ,下面分别介绍。

(1)围岩地质条件和节理发育程度对超欠挖的影响

猫山隧道岩体受地质构造影响严重,围岩节理发育,同一开挖断面石质不均匀,上下左右软硬不一,围岩完整程度变化较大,Ⅱ类围岩岩层间夹以粘土,软弱结构层面较多,产状极不规则,裂隙水较发育,开挖后稳定性差。尤其在2号洞内各种围岩类别交替出现,有时候在一个断面上出现五种岩性(花岗岩、辉绿岩、页岩、块状破碎角砾及砂质土)。施工前期我们对此情况认识不足,仍以一般情况进行爆破,结果爆破效果不佳,拱部出现较大的超挖(最大超挖厚度达1m左右),在节理呈水平的部位,超挖更加严重。边墙角也由于节理较发育,产状近似直立而形成较大面积片状超挖。

在施工2号洞K6+913断面处时,在靠近中隔墙、边墙一侧围岩节理较发育,在爆破开挖后,原有的节理裂隙扩张,同时产生新的大量裂隙,而此时地下水渗入裂隙,长期浸于水中的岩石剪应力降低。当剪应力超过岩石抗剪强度时产生塌坍,造成超挖现象。再有节理极发育的地段,地下水通过节理而渗入洞内,如遇反坡开挖时,洞内水位越积越高,容易造成开挖面下半部欠挖。猫山隧道东洞口为反坡开挖,在距洞口约40~50m的地方有一软岩带,带内渗漏水常年不断,在进行仰拱开挖时,恰逢雨季,仰拱无法进行打孔、装药,只得在洞内设置几台大功率抽水机抽水方得以勉强开挖。

(2) 钻爆技术对超欠挖的影响

猫山隧道围岩变化错综复杂,围岩类型交替出现,给钻爆设计增加一些困难,主要表现在:

——同一掌子面围岩类别不同且差异较大的情况下,爆破方式选择及爆破参数难以确定;

——同一截面上药量的不均衡分配及相应的装药方式较难;

——纵向短距离内围岩性质变化较大而引起参数调整困难。

因此每一循环爆破后,对掌子面所暴露的岩体如不能及时准确判断,修改爆破参数,则下一循环的爆破就会出现严重的超欠挖现象。下面介绍爆破技术对超欠挖的影响情况。

1) 钻孔精度的影响

在钻爆施工中,周边炮孔的外插角、钻孔定位和钻孔深度的精度等,对控制超欠挖影响是很大的。为了探讨钻孔技术对隧道超欠挖的影响,猫山隧道施工中分别在1号洞和2号洞K7+010段选择两段围岩相同地段,配备同一操作工班的操作人员,做了两组采用不同控制装置来控制周边炮孔外插角精度的现场对比实验:第一组按熟练技术工人以经验控制外插角,第二组按导向仪来控制炮眼外插角,两组均强调顺帮打孔并按画好的轮廓线钻孔,两组共做了8个开挖循环,周边炮孔深度均为2.5m,以此来了解不同控制

装置对隧道超欠挖的影响 ,最后抽查统计结果列于表 14－1－18。

表 14－1－18 钻孔技术对隧道超欠挖的影响

项 目	外插角均值 (°)	外插角标准差 (°)	负外插角率 (%)	平均线性超挖 (cm)	欠挖率 (%)
理论控制目的	3.6			7～15	0
第一组	6.02	5.39	12.24	23.8	18.6
第二组	4.55	2.89	6.19	14.5	4.5
二组比一组减小(%)	24.4	46.4	49.4	39.1	76

由上表的结果显示：

①当不采用导向仪控制时 ,外插角试验均值 6.02°与控制目标值 3.6°相差较大 ,因此引起的超欠挖值也大大超过了规定值。

②当采用导向仪来控制炮孔的外插角时 ,外插角均值与目标控制值相差较小 ,引起的超欠挖值也在规定的范围之内。

③采用导向仪来控制比没有导向仪控制时 ,周边孔外插角均值减小了 24.4% ,隧道的平均线性超挖减小了 39.1% ,隧道欠挖率减小了 76%。

可见提高钻孔精度对控制隧道超欠挖是非常有效的。

2)爆破方式的影响

施工实践证明 :采用光面爆破开挖的超挖量远比用普通爆破法要小得多。当然在实际施工中 ,并不是所有采用光面爆破法的超挖量控制都达到规范要求 ,这要根据施工方式、围岩情况、施工设备等实际情况而定。比如猫山隧道在施工 2 号洞 K6＋950 段时 ,该断面石质好坏不匀 ,施工时按一般情况进行爆破 ,结果爆破效果不佳。针对这一情况现场重新进行钻爆设计并加强对现场的调控 ,采取在同一掌子面上同时进行光面、预裂二种爆破方式及开挖断面不均衡分配药量、隔孔装药等有效控制措施 ,基本上克服了地质差所带来的困难 ,取得了较好的效果。但在施工时 ,隧道内的地质、爆破参数不可能判断的那么准确 ,效果不很理想 ,这需要在实践中进一步研究提高。

3)单位耗药量的影响

一般的钻爆参数设计 ,大都是用经验公式和工程类比的方法来确定爆破参数 ,而围岩是个复杂多变的地质体 ,每一循环的围岩类型不尽相同 ,理论上又没有一个与该变化着的地质体相符的较完整较可靠的公式来确定钻爆参数 ,因此在施工时 ,参照同类围岩有关资料统计数据 ,结合猫山隧道现场的钻孔设备、爆破器材及围岩类别等各方因素 ,最

后确定单位耗药量的范围为 $0.73 \sim 1.19 \text{ kg/m}^3$ 。实际现场按此耗药量来施工,爆破效果较为理想。由于洞内纵线断面围岩类型变化频繁,一线施工人员不易掌握,不能及时改变钻爆参数,超挖现象还是频频发生。鉴于此,在对中硬岩以上围岩进行爆破施工时,猫山隧道借鉴其他隧道施工经验,即在其他爆破参数不变的情况下,只改变单位耗药量,以控制超欠挖,经验公式为:

$$h = 14.4q - 3.26$$

式中 h ——线性超挖量;

q ——单位耗药量。

式中单位耗药量 q 与隧道平均线性超挖 h 呈线性正相关关系,且单位耗药量 q 每增加 1 kg/m^3 ,平均线性超挖量将增大约 14.4 cm ,故根据隧道规范规定超挖控制目标 $7 \text{ cm} < h < 15 \text{ cm}$,利用上式得出:单位耗药量 q 的范围为 $0.72 \sim 1.27 \text{ kg/m}^3$,说明此时的装药量产生的爆破能量适中,可以较好的控制隧道的超欠挖。实践也证明在施工右线 2 号 K6 + 940 ~ 960 段时,将开挖预留控制在 $8 \sim 10 \text{ cm}$,利用经验公式得出单位耗药量为 $0.78 \leq q \leq 0.92 \text{ kg/m}^3$ 。实际施工中,中硬岩取单位耗药量 0.9 kg/m^3 。在其后的中硬岩施工中,隧道内的光爆效果也较好,超欠挖相对控制较好。

4) 炮孔布置的影响

一般隧道爆破,炮孔按拱形布置,拱形对外力有抵抗力,要使它破碎耗用炸药量多,产生的振动速度大。猫山隧道爆破时采用线形布置炮孔线形起爆,这种形式临空面好,可提高炸药爆炸能量利用率,用炸药量少,爆破振动速度小,炮孔排列整齐便于钻孔,可提高钻孔效率,易于采用光面爆破控制开挖轮廓,便于调整孔网参数,控制岩石块度,提高装载效率。

5) 周边孔线装药密度与周边孔布置的影响

周边炮孔的装药量与周边炮孔长度之比值称为周边炮孔线装药密度。光面爆破中周边孔线装药密度是决定光面爆破的关键,周边孔线装药密度如果太小,炸药爆破能量小,不能使相邻的周边孔有效地形成贯通的裂缝,爆破能量主要集中作用于孔壁周围的较小区域,对孔壁岩体产生破坏作用,该部位即产生超挖现象。线装药密度如果过大,炸药爆破能量较大,容易使孔壁的岩体破碎并增加岩体的破碎作用,在爆破后发生松落掉块,更容易产生较大的超挖。因此,选择适当周边孔线装药密度是至关重要的。合适的选择会使周边孔容易形成贯通的裂缝,不会过多的破坏孔壁岩体,同时造成的超挖量也较小。

6) 起爆系统、爆破器材及装药结构的影响

合理的起爆时差可以避免爆破振动波的叠加,减小振动对围岩的扰动,从而减少超欠挖。猫山隧道通过试验和实践,采用毫秒与等差雷管组合爆破能减小振动,因此可以较大程度地减少超欠挖。光面爆破中,从扩槽孔开始,每段之间的秒差 200ms,能满足前一段雷管起爆后,引起围岩的振动速度降低到最小所需的时间,防止前段的振动波与后段的振动波相互叠加。猫山隧道施工实践证明,隧道大断面爆破时,与等差毫秒雷管配套使用,可获得较理想的效果。根据施工具体情况、雷管适当地进行调段使用。至于各段的搭配情况,可视爆破设计情况和要求而定。

为了控制超欠挖,控制爆破振动速度,必须选择合适的炸药和雷管。根据爆轰理论,炸药爆轰速度直接影响质点振动速度,要降低质点振动速度,应选用低爆速炸药。为了获得好的爆破效果,又不宜用低爆速炸药,因此,根据当地供应情况,选用了中等爆速的岩石硝铵炸药和乳化炸药,其药卷直径分别为 20、22、25mm。实践证明,它们可以满足猫山隧道掘进爆破需要。毫秒雷管是决定段装药量的关键。对于隧道爆破来说,根据资料统计,段与段间隔 25ms。振动波就不会产生叠加,可以满足要求。但是,从爆破效果来说,为了使前一段爆破的岩石离开原位,为下一段爆破创造临空面,段与段间隔最小应为 50ms。但施工时当地只有普通 15 段毫秒雷管,加上我国目前还不能生产多段位高段差(100ms 以上)的等差毫秒雷管,所以决定采用 25 段等差 50ms 的雷管。

在周边孔控制爆破中,为减少炸药爆炸对围岩的直接破坏作用,应特别注重装药质量,因为它直接影响爆破效果和超挖量。尤其是周边孔间隔装药质量更为重要。为了慎重起见,装药前,用竹片将设计药卷按间隔距离绑扎成药串,各段钻孔装药量严格控制。另外装药还强调采用三低一高(即低密度、低爆速、低猛度和高爆力)的炸药,并特别强调采用不偶合装药结构。炮孔装药后,必须认真填堵炮泥,炮泥堵塞和其质量的好坏直接影响到炸药用量及隧道超欠挖的控制,对保护围岩稳定性具有重要的意义。

7) 炮孔精度对隧道超欠挖的影响

测孔画线确定炮孔位置的精度直接影响隧道爆破开挖效果,特别是周边孔的放线定点精度,更直接影响超挖值。施工中在控制其他炮孔的钻孔精度的同时,应特别注意对周边孔钻孔精度的控制。周边孔钻孔沿隧道设计断面轮廓线上的间距误差不得大于 5cm,周边孔外斜率不得大于 5cm/m,孔底不超出开挖断面轮廓线 10cm,最大不超过 15cm,内圈孔至周边孔的排距误差不得大于 5cm。炮孔深度超过 2.5m 时,内圈炮孔与周边孔采用相同的斜率。影响炮孔的画线精度主要有两方面:一是掌子面的凸凹不平 and 倾斜,这种误差一般可控制在 5cm 以内,对隧道超欠挖影响较小;二是人为放大开挖轮廓线。隧道施工中历年来形成一种“宁超勿欠”的观点,一般隧道的开挖轮廓线都被人为地

放大 5 ~ 10cm , 而因此引起的超挖量一般占隧道总超欠挖量的 40% ~ 50% , 对隧道超欠挖影响很大。隧道中线或标高产生偏差 , 属于施工测量误差 , 其后果将使开挖轮廓线偏移 , 造成较大的超欠挖。一般在开挖壁面基本平整的情况下 , 如果实际的开挖量一侧超挖、一侧欠挖 , 很可能就是中线左右偏差造成的 ; 如果上部超挖、下部欠挖 , 则可能是隧道的水平线上下偏差造成的。

8) 开挖机械因素的影响

猫山隧道采用的钻孔机械是风动凿岩机 , 结构简单、使用安全、不怕反复启动 , 使用较为广泛。但是需要人工操作的风动凿岩机对炮孔角度及深度极难掌握 , 特别是在周边和底板两角隅处 , 不能够完全遵循《规范》要求。对这些特殊部位进行缩小孔距和加密炮孔处理 , 造成周边孔密集系数不恰当 , 极易出现表面凸凹不平的超欠挖现象。

9) 施工管理水平对隧道超欠挖的影响

现场管理包括钻爆作业过程中的人员组织、作业安排、技术交底、作业技术指导、质量检查、信息反馈以及执行施工纪律、制度和技术措施等。

实践证明 , 在钻爆作业中建立比较科学完善的质量监督和保证体系 , 对爆破设计、钻爆作业实施全面监督管理 , 对有关人员进行技术培训 , 建立质量管理责任制 , 实行质量奖惩制度 , 并以预先制订的各项作业方法和作业质量标准为准 , 经常检查各项作业质量 ; 建立及时准确的信息反馈系统 , 保证超欠挖的信息及时反馈给现场施工负责人 , 及时修正有关设计和施工步骤 , 一般是能将超欠挖量控制在目标值以内的。

3. 猫山隧道超欠挖的控制措施

(1) 根据不同的围岩类别选择合理的钻爆参数

(2) 提高画线及孔精度

发达国家已将便携式断面仪广泛应用于隧道开挖、围岩断面、喷射混凝土和其他各类衬砌限界、洞室的横断面测量 , 而猫山隧道掘进轮廓线放样仍以传统的人工测量为主。

1) 断面放样 : 在每次全断面爆破前 , 需测定周边孔的位置 , 其他炮孔根据炮孔设计图 , 由周边孔的位置来确定放样轮廓线。主要测量仪器有经纬仪、水平仪以及垂球等。

2) 画孔位 : 经纬仪架设在洞内 , 测量后视点完成后 , 转至开挖掌子面外 , 找准隧道中线 , 用水平仪定出该断面处高程 , 以确定周边孔的第一炮孔 , 从第一炮孔用垂球吊至地面 , 确定一横坐标点 , 根据图 14 - 1 - 33 示的尺寸用长杆定出纵坐标点 (即拱部轮廓线周边孔位置) , 将定出的纵坐标点用红油漆标示。断面画孔位完成后 , 为确保测量的精度 , 应在已画的孔位内抽查几个 , 保证炮孔位置的准确性。

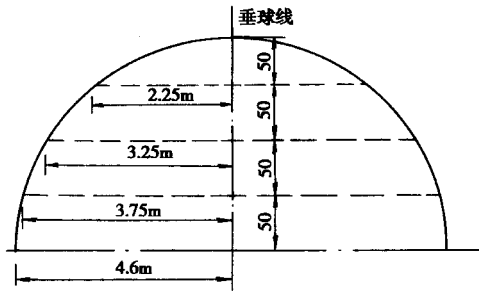


图 14-1-33 放孔位示意图(单位 :cm)

(3)提高装药质量和炮孔口堵塞质量

装药质量直接影响爆破效果和超挖量 ,尤其是周边孔间隔装药质量更为重要。猫山隧道爆破装药前先用竹片、导爆索和雷管按设计装药量和间隔距离绑扎成药串 ,将周边孔的装药尽量呈线形分布(将炸药装在一长条的塑料带内 ,保证装药成线形)。

炮孔装药后 ,必须认真堵塞炮泥 ,装药炮孔如果不堵塞 ,炸药就仅有冲击波能量和一部分爆炸气体 ,作了功 ,而有较多的能量被浪费。猫山隧道施工时特别注意炮孔的堵塞 ,并且堵塞长度不应小于 30cm ,如图 14-1-34。

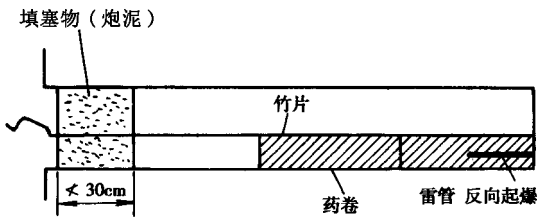


图 14-1-34 炮孔装药及堵塞示意图

(4)坚持断面检测及信息反馈

在开挖放炮后 ,断面超欠挖情况、爆破效果等都必须及时了解、掌握 ,以便制定下一循环的改进措施。超欠挖的多少体现隧道开挖的质量好坏 ,因此要控制超欠挖 ,首先要控制开挖质量。对开挖质量进行评定实质上包括两方面内容 :一是检测开挖断面的规整度 ,二是超欠挖控制。对于规整度一般采用目测的方法进行评定 ;对于超欠挖则需通过对大量实测开挖断面数据的计算分析才能做出正确的评价 ,其实质就是要正确地测出隧道开挖的实际轮廓线 ,并将它与设计轮廓线纳入同一坐标系中比较 ,从而十分清楚地从数量上获悉超挖和欠挖的部位 ,据此及时指导下一步的施工。

超欠挖测定因施工的实际情况不同而不同 ,目前国内对隧道超欠挖的测定方法有表

14-1-19 中所示几种。

表 14-1-19 隧道超欠挖的测定方法

测定方法及采用的测定仪器		测定法概要
比较施工量的方法	(1)求开挖出碴量的方法	将开挖量换算成渣量并与实际渣量相比较
	(2)求衬砌混凝土的方法	将包含背面注浆在内的实际衬砌量与设计量比较
直接量测开挖面断面积的方法	(3)使用激光束的方法	利用激光射线在开挖面上定出基点,并由该点实测开挖断面
	(4)使用投影机的方法	利用投影机将基点或隧道基本形状投影在开挖面上,然后据此实测开挖断面面积
三维接触观测法	(5)三维近景摄影法	在隧道内设置摄影站,采用三维近景摄影方法获取立体像,在室内利用立体测图仪进行定向和测绘,得出实际开挖轮廓线
	(6)直角坐标法	利用激光打点仪照准开挖壁面各变化点,用经纬仪测出各点的水平和竖直角,利用立体几何的原理计算各测点距坐标系的纵横坐标,按比例画出断面图形

1)猫山隧道在开挖施工时,根据现场实际情况,选择两种检测超欠挖的量测方法:
以台车内模为参照物测量开挖断面(用于Ⅳ类及以上围岩);用坐标法测量开挖断面
(用于软弱的Ⅱ、Ⅲ类围岩)。

2)内模为参照物测量开挖断面

①测量方法

在二次衬砌立模后(台车就位,猫山隧道衬砌台车长 6m),以内模为参照物,从内模量至围岩壁的数据(加上内净空 R,即为开挖断面数据),量测时,钢尺尽量与内模垂直,见图(14-1-35a)。

②测段数的划分:自测板顶至拱顶均分为 9 段,两侧共 18 段,19 个量测数据,编号分别为 A1~A19,见图 14-1-35b)。因衬砌台车 6m 长,隧道内每隔 6m 测量一个开挖断面。

③开挖质量评价

隧道开挖质量不能以某一个开挖断面为标准进行评价,而应以某一长度段内所有的实测数据综合计算分析来评价本段开挖质量。猫山隧道重点对 1 号洞 K7+004.7~K7+067.7 段 63m 长(围岩类别为Ⅲ类),开挖的实测数据作一分析群,这一分析群内共

(60/6+1)=11 个断面,通过对这 11×19=209 个实测数据的综合计算,得出的数据与设计要求进行比较分析得出结论:该段开挖平均半径 $R=6.32$,设计半径 $R=6.25$,整体数据显示该段超挖比例较大。

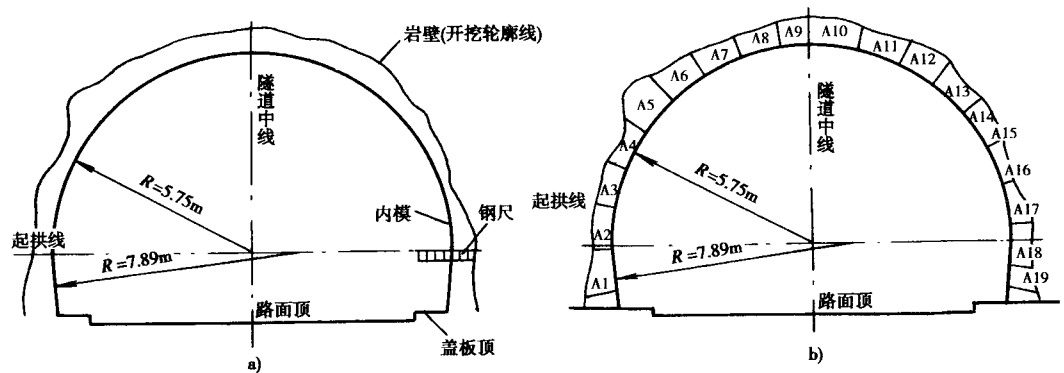


图 14-1-35 开挖断面实测法
a)以内模为参照物 b)开挖断面分段实测

4. 猫山隧道超欠挖的处理

(1)超挖的处理

猫山隧道在隧道开挖过程中,对隧道超欠挖部位进行统计分析,从结果来看,超挖部位主要集中在软弱围岩破碎带、拱顶部位、节理较发育的侧墙部位。

1)拱部较大超挖时的处理。由于地下水作用,往往在软弱围岩地段爆破后,在距离掌子面斜上方的一块三角区域的松岩也会跟着掉下来。对于这种有水平节理的破碎围岩地段,爆破后如不及时对超挖部位进行处理,破碎围岩会随着地下水不断渗漏、风化等因素,形成更大的超挖。猫山隧道施工 2 号洞 K6+913 段曾出现这种情况,初喷后,围岩自稳时间很短,拱顶围岩时有崩坍,见图 14-1-36。为此,在初喷后,着重进行如下处理。

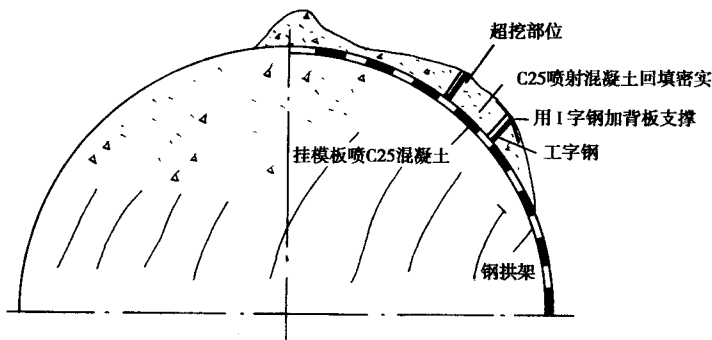


图 14-1-36 2 号 K6+913 断面超挖示意图

初喷混凝土后,尽快安设格栅钢架(对超挖较大的部位挂钢筋网),在钢格栅上吊装模板进行模喷或用部分混凝土浇注,超挖内部无法填实的部位,预先预埋压浆管,待浇筑的混凝土达到强度后,从外向内压浆。

2)对于中隔墙的超挖处理。中隔墙顶部的V形区域是受爆破振动次数最多的部位,容易造成超挖。V形区域又是整个隧道的受力支撑点,所以对V形区域超挖的控制尤其显得重要。对该区域超挖部位采取:

a.用干硬性混凝土填充密实,如图(14-1-37);

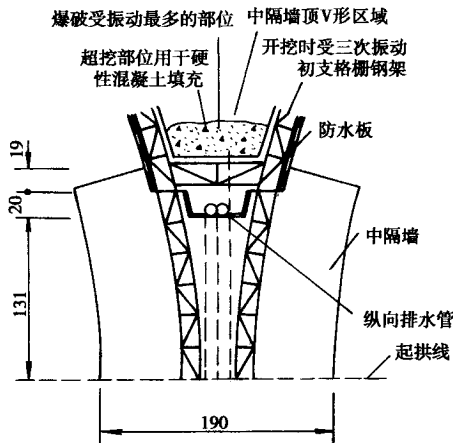


图 14-1-37 中隔墙 V 形区域示意图(尺寸单位:cm)

b.对顶部节理裂隙较发育的部位要预作压浆处理,保证因爆破振动而扩张的裂隙内都充满浆液。

3)边墙超挖部位用浆砌片石砌筑,保证浆砌片石与围岩密贴,空隙部位用水泥浆灌注,如图 14-1-38。

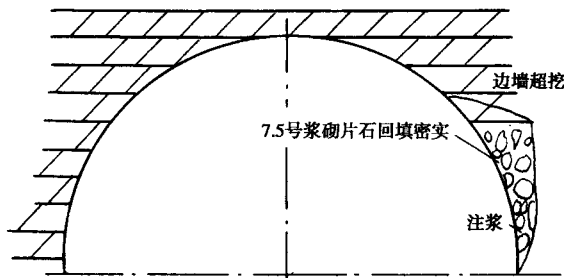


图 14-1-38 边墙部位超挖示意图

(2) 欠挖的处理

以往的隧道施工都受“宁超勿欠”的思想指导,周边孔的轮廓线人为地向外扩大10cm,所以欠挖的部位不是很多。而现在隧道施工在讲究安全经济的前题下;“宁超勿欠”的思想已被否定,隧道施工中欠挖部分也呈上升趋势。原因自然也是多方面的,处理欠挖也只有重新钻孔放炮,以确保开挖的轮廓线达到设计及规范要求,保证衬砌断面的厚度和不侵入限界。

三、十八跳隧道

(一)隧道工程地质条件

十八跳隧道位于浙江省开化县境内,为一座越岭隧道,全长为1160m,净宽10.5m,净高5m,拱顶净高6.98m。隧道址区属侵蚀山岭地貌,植被发育,沿轴线地形起伏大。区内主要分布有古生代寒武系地层,依次是荷塘组炭质泥岩、粉砂质泥岩、硅质泥岩,杨柳岗组泥质灰岩、硅质泥岩、条带状灰岩和华严寺组白云质条带灰岩及第四系覆盖层和岩脉侵入体。隧道施工到K30+359遇到挤压破碎带,并出现拱顶局部坍塌,地质素描如图14-1-39所示。

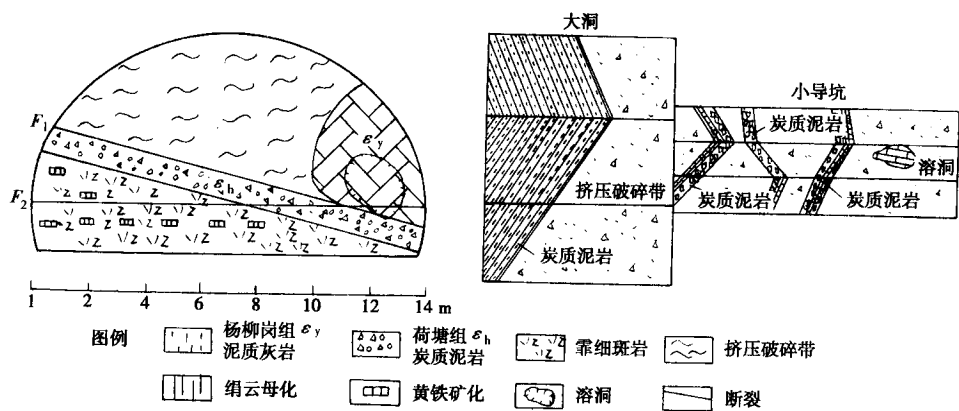


图 14-1-39 地质素描示意图

(二)小管棚短台阶法设计

该地段受强烈挤压,岩石全风化,呈黄褐色,且泥状松散结构,围岩的完整性和稳定性差。其中K30+361前后已经出现过长约10m,高约15m的坍塌,因此,必须采取超前支护加固围岩,确保安全开挖。

为缩短隧道建设工期和节约工程造价,参考Ⅰ类围岩地段正台阶开挖施工工艺特点,结合Ⅱ、Ⅲ类围岩地段隧道设计现状,提出以下小管棚短台阶法设计方案。

设计方案的原理:先采用小管棚(必要时增设钢插板)对隧道周边围岩进行超前加固,用短台阶法开挖并实施拱部衬期支护,再两侧开挖实施边墙初期支护,最后开挖隧道仰拱部位并实施仰拱浇筑,尽早形成闭合环支护体系,如图 14-1-40 所示。

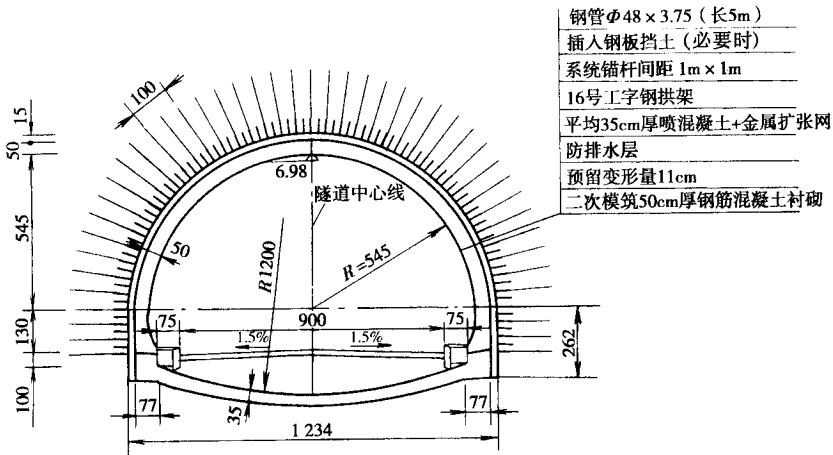


图 14-1-40 II 类围岩支护示意图(尺寸单位:cm)

设计方案的优点 ①施工工艺简单,不需要特殊钻机,一般钻机即可,松散泥状围岩甚至可直接打入;②采用的钢管小而短,直径 $\Phi 48\text{mm}$,壁厚 3.75mm,长仅 5m;③适合人工、机械多作业面施工,工期较短;④造价较低。其不足是:由于该工艺属探索阶段,成熟的施工队伍较少。

(三)小管棚短台阶法施工

采用小管棚短台阶法施工的施工技术要点有:

(1)隧道周边围岩进行超前加固方案,根据水文、岩质情况确定方案,既保证生产安全,又要经济合理;

(2)每一循环开挖进尺,视围岩情况和初期支护钢拱架的间距,一般考虑 0.5~1m;

(3)根据隧道宽度和开挖作业方式,确定台阶的数量,一般为 2~3 个台阶;

(4)初期限支护和仰拱的施工工程质量,包括钢拱架的制装、锚杆施工混凝土等;

(5)形成闭合环后,要加强隧道各部位位移变形的测量,及时调整相关数据。

打好管棚后,即可按短台阶开始掘进,开挖步骤如图 14-1-41 所示。先进行上半断面开挖,对松散岩层或土体,可采取人工配合挖掘机开挖,遇较硬的岩石,采用密眼微振爆破配合人工开挖。开挖必须遵循“短进尺、少扰动”的原则,最大限度地减小土体松弛变形。从实践中看,管棚下的上抬量基本沉落,因此实际开挖断面比设计断面大一些,而管棚以下岩层一般不会脱落,设计中为防止可能掉块,必要的地方要求管棚上方插入

钢板挡土(在有涌水的地方,钢插板是十分必要的)。

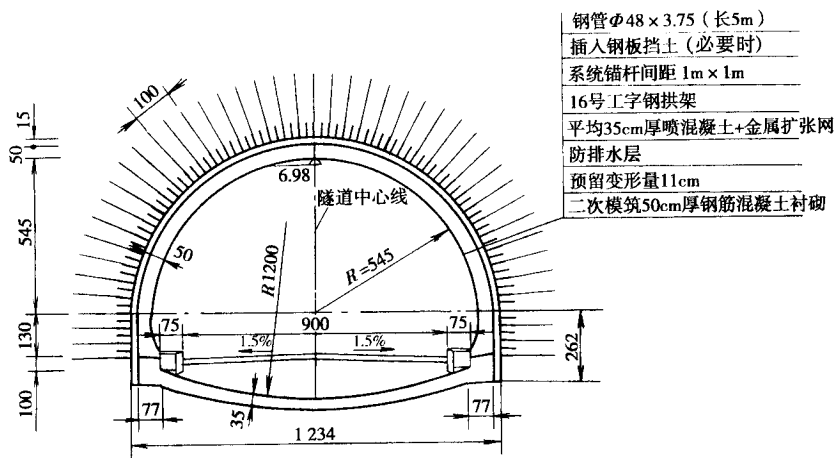


图 14-1-41 隧道开挖示意图

每一循环掘进深度一般 0.5 ~ 1m 为宜,并立即架设钢拱架,与管棚钢管焊接连接。
为进一步加固岩层,明显提高围岩的自稳能力,采用 $\Phi 22$ 砂浆锚杆 + 金属扩张网的锚喷混凝土加固岩层,完成了一个循环围岩的初期支护。

(四) 施工中注意事项

- (1) 遵循“短进尺、少扰动、强支护、快封闭、勤量测”的原则,开挖中视围岩情况 0.5 ~ 1.0m 为宜,开挖方式以人工挖掘为主,减少对围岩的扰动。
- (2) 洞内应完善排水设施,当地下水量较大时,可在洞内采用集水坑排水法,及时把水排出洞外。
- (3) 架设拱架时,上下导坑的拱脚必须用 $\delta = 14\text{mm}$ 钢板(宽 30cm)沿隧道轴线方向铺垫,以减少不均匀沉降。
- (4) 锁脚锚杆、系统锚杆,应严格按照要求施作,其质量将直接关系下导坑落底的施工安全。
- (5) 开挖如出现局部坍塌、掉块,应及时在管棚上面插 $\delta = 3\text{mm}$ 钢板挡土,以确保施工人员的施工安全。
- (6) 超前管棚的施工要由技术人员放样布置后进行施作,并严格控制仰角及方向的准确。
- (7) 超前管棚采用 M20 水泥砂浆将管内注满,以增加钢管的刚度。
- (8) 钢拱架榀与榀间联系钢筋与钢拱架搭接处应双面焊接牢固,不得采用点焊。拱架单元间连接板拧紧螺栓后,除靠围岩一侧外,其余三侧均应焊接牢固。

(五) 施工工序及步骤

该隧道净宽 10.5m ,其中约 700m 从石炭质泥岩中通过 ,围岩构造复杂 ,施工时出现多处局部小坍塌 ,稳定性极差。隧道进口端地质属Ⅲ类围岩(炭质泥岩) ,上导洞开挖 ,上导洞超前 50m ,初期支护紧跟 ,下导洞先拉中槽 ,两边各留 3m ,用挖掘机刷帮 ,月进尺只有 50m。进洞 195m 后遇一特大断层破碎带(开挖后揭示长为 110m ,参考地质素描) ,原岩为下古生系粉砂质泥岩 ,夹少量硅质粉砂岩 ,受强烈挤压 ,全风化 ,黄褐色 ,泥状松散结构 ,围岩的完整性及稳定性极差 ,极容易坍塌。

对该段围岩的开挖 ,我们制定的开挖方法及工艺 (1)采用短台阶开挖法 (2)超前小钢管加固围岩 (3)开挖后用钢拱架、钢插板、钢筋网、锚杆、喷射混凝土及时作初期支护。

施工要求 :

(1)遵循‘短进尺 ,少扰动 ,强支护 ,快封闭 ,勤测量’的原则 ,开挖过程中视围岩情况进尺 0.5 ~ 1.0m 为宜 ,开挖方式以人工挖掘为主 ,减少对围岩的扰动。超前小钢管与钢拱架间的空隙必须用 C20 喷混凝土喷实 ,不得有空隙或用片石填充。

(2)洞内应完善排水措施 ,当地下水量较大时 ,可在洞内采用集水坑排水法 ,及时把水排出洞外。

(3)架设拱架时 ,上、下导坑的拱脚用 $\delta = 14\text{mm}$ 钢板(宽 30cm)沿隧道轴线方向铺垫 ,以减少不均匀沉降。

(4)如果遇到钢拱架横向内移(内挤压力偏大时) ,则需在钢拱架脚部增设钢木横向支撑。

(5)开挖过程中如出现松散体应预先在小钢管上面插入 $\delta = 3\text{mm}$ 钢板 ,预防产生局部坍塌 ,确保施工人员安全。

(6)超前小钢管的施工要由技术人员放样布置进行施作 ,并严格控制外插角及方向的准确性。

(7)超前小钢管内注满 M20 水泥砂浆 ,以增加小钢管的刚度。

(8)钢拱架每榀间连接为 $\Phi 22$ 钢筋 ,其间距可根据实际情况设定为 0.5 ~ 1.0m ,连接筋应焊接牢固 ,不得采用点焊。拱架单元间的连接板拧紧螺栓后 ,除靠围岩一侧外 ,其余三侧均应焊接牢固。

(9)每两榀钢拱架之间的纵向间距为 0.5m。

在实施该方案时 ,遇到以下几个问题 ,施工时作了调整 :

(1)小钢管外插角原设计为 $3^\circ \sim 5^\circ$,只有在进尺是 2.0m ,其 1 ~ 3 榀不架设 ,先架第 4 榀 ,才能达到目的。而在施工中是不允许有这样大的跨径的。我们选取进尺 1.0m 先架

设迎头这榀钢拱架,继而打小钢管,之后补架中间一榀钢拱架,这样外插角控制在 10° 左右。

(2)小钢管间距原设计为 $30\sim 50\text{cm}$,该段围岩大部分全风化,已接近土壤,如果按 50cm 打,控制不住,这时我们根据实际情况间距调整为 $20\sim 30\text{cm}$ 。结果围岩控制非常好,无需插钢板。插钢板的难题是,即便碰到一个小孤石,也根本无法插进去。

(3)小钢管采用 $\Phi 48$ 普通钢管,壁厚 4mm ,刚度足够,可不注砂浆。

(4)在全风化层通过时,一定要对整个断面及时喷混凝土封闭,喷厚 $10\sim 15\text{cm}$ 。注意还要留核心土。

该方法在通过软弱围岩或全风化土层时都能适用,其最大特点就是安全性好。目前全洞已顺利贯通,没出过一次大小安全事故。

综上所述,可以得出如下结论:

(1)小管棚短台阶法主要适用于软弱围岩,如破碎地带、砂土地层、软岩的隧道,尤其适用于注浆效果不佳的岩层,主要强调特殊地质隧道围岩应用强预支护的重要性。

(2)与大管棚相比,具有材料简单、操作方便、不需特种机械等优点。

(3)施工安全可靠。

(4)本施工方法是一种对围岩主动支撑方法,可改善围岩的自稳能力,一般还应配合锚喷混凝土或小导管注浆等方法进行。

四、钦村联体隧道

钦村联体隧道,设计为连体整体式单向行车双道(上下行分离)隧道,总长 220m 。其中明洞 75m 、暗洞 145m 。地质围岩划分为Ⅱ类 90m 、Ⅲ类 55m 。设计施工步骤为:中侧导洞开挖和临时支护为第一步;中隔墙浇筑为第二步;洞身开挖和初期支护为第三步;二次衬砌(包括防水、排水)为第四步;洞内饰面和路面工程为第五步。

(一)洞口开挖

洞口石质基本为强风化和中等风化的凝灰岩和凝灰质砂砾岩,风化节理发育,岩石呈土状和碎块状并且透水性良好,因此,宜采用明挖法。为了避免对围岩的振动,严格控制炮眼距离及爆破最低抵抗线,炮眼深度适当,少装药,弱爆破,并及时做好边坡和仰坡的防护工程,如采用锚喷支护确保坡面稳定。与此同时,要做好洞口排水工作,对于洞顶地表水,应及时做好截水天沟,防止冲刷边坡及仰坡。为施工安全及洞口围岩的稳定,在隧道进洞前对洞口围岩进行锚喷或网喷。

(二)洞身开挖及支护

(1)先在联拱处按设计宽度及设计高度挖掘中导洞,严格控制中导洞的开挖高度,严

禁超挖。整体导洞开挖前,先开挖探测洞(即下导洞超前)。如发现导洞围岩不允许连续性掘进,即采用钢支架临时支护,再进行导洞开挖。

(2)在中导洞开挖结束后,即进行中隔墙混凝土浇筑。

(3)考虑到左右线隧道平衡因素,左右线隧道同时或短差距并进开挖,永久性钢支架支护配合锚喷跟随进行。Ⅱ类围岩地段均采用超前锚杆,进洞段采用超前管棚,以确保围岩稳定。

(4)洞身掘进并经初次支护后,在围岩稳定性经测量无变化或变化极小的前提下,先挖通成洞,再连续进行二次衬砌,有利于提高工程质量和施工工效。如情况不允许,二次衬砌应及时跟随。

(三)Ⅱ类围岩施工

1. 开挖

Ⅱ类围岩基本在隧道进出口处,岩性为强风化及中等风化的凝灰岩及凝灰质砂砾岩。根据围岩情况及支护方法,拟采用下侧导洞适度超前全断面施工,爆破时遵循弱爆破、强支护的原则,多打孔,少装药,尽量减少对围岩的扰动。同时,临时支护紧跟作业面,确保围岩的稳定。出渣采用 ZL50 装载机装渣,自卸汽车运输。

2. 超前锚杆

该段围岩衬砌,视围岩稳定情况必要时做好拱部超前锚杆,锚杆按设计要求以 20° 仰角打入,并保证前后两排锚杆反搭接长度不小于 1m ;超前锚杆长度,视地质情况决定,初定每循环进尺 1.5m ,坡前锚杆长度 3.5m ,具体施工方法同锚杆施工方法。

3. 锚喷支护

临时支护采用锚喷支护,作为永久性支护的一部分,支护时间在放炮通风 20min 之后。锚喷支护施工要求如下:

① 钻孔打入锚杆

- a) 孔位根据设计要求和围岩情况作出标记,偏差不大于 20cm 。
- b) 宜沿隧道周边径向钻孔,但钻孔不宜平行于岩层层面。
- c) 锚杆孔深度不大于孔深 $\pm 10\text{cm}$,且锚杆孔保持直线。
- d) 打入锚杆。

② 注浆

- a) 选择配合比,确保注入水泥浆的质量。
- b) 注浆宜采用早强水泥。
- c) 注浆完毕应立即堵塞锚杆孔口,防止浆液外流。

d)注浆完毕时水泥浆压力突然升高,则可能发生堵管,应停机检查,当堵管时,要敲打或滚动以疏通注浆管。

③挂网

挂设钢筋网时,使钢筋网保护层不小于 3cm,钢筋网用交叉点焊而成,每片长 2.3cm,宽 1.5m 左右。钢筋网片之间搭接长度不小于 15cm。钢筋网与锚杆及锚定装置联结牢固,喷射时钢筋不得晃动。

④喷混凝土施工要求

a)准备工作 喷射施工前,首先清除岩面及墙脚堆积碎石,用高压风、水冲洗受喷面,确保受喷面干净。检查机具和风、水、电等管线路并试运转,对于作业区要具有良好的通风条件。混合料选用 42.5 级以上(含 42.5 级)普通硅酸盐水泥和初凝时间不大于 5min,终凝时间不大于 10min 的速凝剂,严格按配合比进行混合料拌和,随拌随喷,增加混凝土与岩石的粘结力,严格控制一次喷射厚度(初喷大于 4~6cm)。

b)施喷作业 喷射作业按拱、墙分段、分层,由上而下的顺序进行,若断面有较大的凹洼处。喷射时先供水、再供料,后关水。使喷头尽量垂直于受喷面,喷嘴距离受喷面为 0.6~1.2m,喷头不停作环形移动,使喷层厚度均匀。若喷射突然中断,将喷头迅速脱离受喷面,以防高压风水冲洗未终凝混凝土层,一次喷 5~6m。为控制粉层,喷射作业系统的水压保持在 0.3MPa 以上,喷头风压在 0.25MPa 以下,同时砂子的含水率保持在 4%~6%。喷混凝土终凝 2h 后,开始喷水养护,养护时间不小于 7 天。

c)喷混凝土的场地布置 喷混凝土施工的平面布置,在满足施工工艺的前提下,力求紧凑、充分利用场地空间及运输情况,避免施工工序干扰。集料堆料棚设置在洞口附近,用于存储干料,始终保持较低的自然湿度(3%~6%),干搅拌前严格筛选,防止大块料混入,干拌物料调制前,所用水泥和集料均过磅,以保证混凝土的质量。混凝土搅拌机放在洞外,用手推车将混合料运到工作面附近,堵气筒设置在洞外,工地采用 400W 聚光灯照明,工人配备规定的防护用品(防尘口罩、眼镜、乳胶手套等)。

(四)Ⅲ类围岩施工

Ⅲ类围岩为本隧道通过的主要岩层,是工期的关键,根据图纸提供的资料,围岩类型基本为微风化凝灰岩和微风化凝灰质砂砾岩,岩石完整,稳定性较好。因此,结合本隧道的地形、地质构造、工程工期以及本投标人的施工经验、技术水平、装备等情况,决定对Ⅲ类围岩采用钻爆法全断面开挖。

1. 钻爆设计

采用光面爆破技术,根据不同的围岩类别以及断面形状设计炮眼位置、个数、装药

量。在施工时,钻眼前应测出开挖断面中线、水平和断面轮廓线,标出炮眼位置,经检查符合设计要求后方可钻眼。

为保证爆破质量,炮眼应符合以下要求:

a)掏槽眼:深度、角度按设计施工,眼口排距误差和眼底误差不大于5cm。

b)辅助眼:深度、角度按设计施工,眼口排距误差和眼底误差不大于10cm。

c)周边眼:炮眼间距误差不大于5cm,外斜率不大于5cm/m,与内圈眼最小抗线误差

不宜大于10cm。

装药前将炮眼内的泥浆、石粉吹干净,检查炮眼达到要求后方可装药,装药后所有炮眼均须堵塞炮泥。

2. 炸药及起爆系统

①炸药:2号岩石硝胺炸药和乳化炸药。

②起爆系统:非电塑料导爆管引爆传导,毫秒雷管起爆,具体起爆顺序参见炮眼布置图的段数。

3. 通风与防尘

采用压入式通风,为了提高通风效果,应经常对风管进行维护,同时采用湿式作业,在出渣时进行洒水,减少粉尘的产生,有利于正常施工。

4. 出渣

出渣采用装载机装渣,自卸汽车运输。

洞身开挖过程中,若遇到不良地质条件时,如断层带及其它软弱地层,施工应本着“短开挖、弱爆破、强支撑、早封闭、勤测量”的基本原则。并与设计单位或监理工程师共同商量,确定施工方案,以确保施工安全,保质保量完成施工任务。在不同类别围岩及同种类别不同风化程度的围岩的接触地段及易产生掉块的地段,在人工机械清理浮石的过程中,派专人进行旁站观察,确保施工安全,并及时进行支护,尽早封闭围岩。

(五) 施工注意事项

(1)开挖断面尺寸符合设计要求;

(2)爆破后,对开挖面(含未衬砌地段)进行检查,对可能出现的险情,采取有效措施及时处理;

(3)开挖中不损坏支护、衬砌及设备,保护好测量用的控制点;

(4)做好地质构造的核对和素描,地质变化处和重要地段,必须拍照并记录;

(5)选择最低爆破抵抗线,控制周边眼距离及装药量,确保光面爆破效果;

(6)中导洞开挖完成后,左右线隧道开挖并行同距开挖,如出现开挖进度偏差,后行

洞开挖要采取对先行洞围岩保护的技术措施；

(7)中导洞开挖完成后,如左右线隧道不允许全断面开挖,即采用下导坑法开挖,最后全断面开挖时严格控制每循环班进尺,一般在2m以内,并必须随时跟上初次支护作业；

(8)仰拱部位开挖须采取整幅或半幅法开挖,并一次性挖至设计深度,底面平顺,两侧与侧墙联接处一定要掌握好平顺开挖,避免引起应力集中；

(9)加强测量工作,防止超欠挖,并配合出渣进行断面检查,清除欠挖,处理危石。

(10)控制光面爆破有关参数(详见表14-1-20)。

表 14-1-20 光面爆破诸参数

参数 岩石种类	单轴抗压极限 强度 R_{ik} (MPa)	装药不偶 合系数 D	周边眼间 距 E(cm)	周边眼最小 抵抗线 V(cm)	相对距离 E/V	周边眼装药 集中度 P(kg/m)
中硬岩	30	1.5	45	60	0.8	0.20
软岩	≤ 30	2.00	30	40	0.5	0.07

五、西湾隧道

(一)设计简介

1.工程概况

西湾隧道位于温州市区北侧的双屿镇西湾村附近,是金丽温高速公路温州段二期工程中的主要构造物之一。隧道分上、下行左、右分离双洞单向行车隧道。隧道全长为330m,左右线分别位于 $R=2500m$ 、 $R=4000m$ 的圆曲线上,路线纵坡为3.0%。

西湾隧道围岩性单一、以凝灰岩为主,在隧道的进出口段据钻探揭示岩石风化层较厚,尤以左线甚。岩石的节理裂隙十分发育,富含基岩裂隙水。

2.技术标准

隧道净宽 $0.75+0.5+0.5+2\times 3.75+0.5+0.5=10.25$ ；

隧道净高5.0m；

设计行车速度100km/h；

路面照明亮度9cd/m²。

3.衬砌结构见表14-1-21。

(二)设计施工措施

隧道按照新奥法组织施工,主要工序采用机械化作业,Ⅱ、Ⅲ类围岩浅埋地段宜采用

侧壁导坑施工 ,Ⅳ、Ⅴ类围岩及Ⅲ类围岩深埋段 ,用台阶法或全断面法施工。隧道拱部开挖采用光面爆破、边墙开挖采用预裂爆破。

表 14 – 1 – 21 隧道支护衬砌结构参数

围岩类别	初 期 支 护						二次衬砌	
	超前小导管	超前锚杆	系统锚杆	喷混凝土	钢筋网	钢拱架	拱周	抑拱
Ⅱ	Φ30 长 3.5m 外插角 7° (0.4 × 2.25)		Φ22 长 3.0m (1.0 × 1.0m)	25cm	Φ8(20 × 20cm)两层	间距 0.75m	50cm	45cm
Ⅲ		Φ22 长 3.5m 外插角 10° (0.4 × 2m)	Φ22 长 3.0m (1.2 × 1.2m)	20cm	Φ8(20 × 20cm)	间距 1.0m	45cm	40cm
Ⅳ			Φ22 长 2.5m (1.5 × 1.5m)	12cm	Φ8(20 × 20cm)		40cm	
Ⅴ				8cm			30cm	

进出口软弱围岩中的超前小导管支护、在安设时应与钢支撑结合 ,以增强使用效果 ,另外钢支撑应尽可能与洞周密贴。

(三)隧道工程施工

1. 隧道开挖(新奥法施工)

进洞前首先做好洞顶截水沟和洞脸锚喷网支护 ,使其由平面受力状态转化为三维受力状态 ,并由右线先开挖 ,左线滞后 50m 开挖 ,避免爆破对另一隧道的影响。洞口段及不良地质地段按“ 短循环、弱爆破、强支护、勤量测 ”的原则施工 ,Ⅱ类围岩循环进尺 1m ,采用超前小导管、工字钢支撑与锚喷网联合支护 ,超前小导管环向间距 30cm ,排距 2m ,长度为 3.5m ,工字钢间距 75cm ,超前小导管与工字钢焊接成一整体 ,挂设双层金属扩张网 ,喷混凝土 25cm ,Ⅲ类围岩采用超前锚杆配合钢格栅、锚喷网联合支护 ,其中超前锚杆环向间距 50cm ,排距为 2m ,长度 3.5m ,格栅拱间距 1m ,超前锚杆与格栅钢架焊成一整体 ,挂设结果评定支护效果 ,选定合适的支护方式。

进口段Ⅱ、Ⅲ类围岩采用下导洞适度超前全断面开挖施工 ,其它Ⅳ、Ⅴ类围岩采用全断面开挖。隧道开挖采用光面爆破技术 ,采用 YT – 27 型气腿式凿岩机凿岩 ,钻孔直径为 42mm ,爆破炸药采用 2# 岩石销铵炸药 ,有水孔采用乳化炸药 ,周边眼采用 Φ22 光爆小药卷 ,周边眼间距控制在 50cm ,起爆网络采用 8# 为雷管簇联非电毫秒雷管起爆。其中Ⅳ类围岩先开挖小导洞超前 15m 左右 ,然后压光爆层 ,每排炮眼长 5.0m ,可增加工作面各提高光爆效果。出碴采用 ZL – 50 装载机配自卸汽车装岩运输 ,地层较好地段每月掘

进 140m 左右,Ⅱ、Ⅲ类围岩月进尺为 30~50m。

2. 洞身衬砌

采用复合式衬砌,工字钢支撑,格栅拱支撑,锚喷网作为衬期支护,模筑混凝土为二次衬砌。为提高衬砌质量,采用自行式全断面全液压钢模台车配 HBT-30 混凝土输送泵施工工艺。搅拌采用 JZC-750 型搅拌机,震捣采用附着式震捣器和插入式震捣器。混凝土搅拌时间不小于 2min,浇注时左右、前后对称浇注,左右混凝土面高差小大于 50cm,防止发生跑模,并根据泵送压力来防止拱顶脱空,拆模后采用洒水养护,确保混凝土内在质量和表面美观。

3. 隧道防排水

隧道防排以防为主,防排堵、截结合的综合治理原则。隧道衬砌防水采用防水混凝土,在混凝土中添加 FN-M 型防水剂,掺入量为 10%,在初期支护与二次衬砌之间铺设一层 PVC 复合防水层,施工缝采用 X2322-10 型中埋式橡胶止水带,便于止水带安装,钢模台车设计时增加一挂设平台。

隧道排水:紧贴岩面沿纵向铺设 $\Phi 100$ 软式透水管,在地下水丰富地段增设 $\Phi 50 \times 3$ 环向透水管与纵向透水管相连,并将地下水引入两侧水沟,最终排至洞外。在地下水丰富的情况下,隧道未出现一处渗漏水现象。

西湾隧道于 1998 年 7 月 30 日开工,1999 年 9 月完工,在各方的努力下,按期、保质、安全地完成隧道施工任务。

六、莲花山大跨度联体隧道施工方法介绍

莲花山隧道全长为 400m,于 1997 年顺利建成贯通。根据线路布置和场地的地质条件,莲花山隧道设计为双向双车道联体隧道。相对于常用的分离式隧道形式,这种设计大节省了线路的占地面积,具有可观的经济效益。隧道的单拱截面跨度为 11.7m,连拱全断面的开挖跨度达 23.4m,截面开挖高度为 8.17m,高跨比仅为 1:2.86。因此,隧道开挖过程中围岩稳定、初期支护、二次衬砌的安全性倍受关注,开挖顺序和及时支护的施工方案的成败的关键。

(一) 地质概况和支护结构

莲花山的地貌为剥蚀低山,地形起伏较大,相对高差达 140 余米。山坡陡峻,基岩直接裸露。此山的南坡和北坡分别是五和采石场和测山采石场。该隧道线路选择从两采石场工作面穿山而过,隧道埋深超过 100m。

工程区内的地层岩性自上而下主要为:①第四系坡积层,低液限粘土,褐黄色,硬塑

状,层厚 0~2m;②燕山期花岗岩全风化带,灰黄色,呈土或土夹砂状,层厚 2~4m;③花岗岩弱风化带,灰白色,成分主要为石英、斜长石、黑云母及少量角闪石,粗粒结构,块状构造,层厚 6~10m;④花岗岩强风化带,灰白色,呈碎块状,层厚 3~6m;⑤花岗岩微风化带,节理较发育,岩体呈大块,单轴抗压极限强度 $R_b = 30 \sim 40 \text{ MPa}$,属 II 类围岩。

地质构造方面,花岗岩岩大面积出露。花岗岩弱风化带岩体呈块、碎石块状镶嵌结构,节理间距为 0.2~0.4m。人洞脸裸露岩体量测得主要节理产状为:五和采石场进口 $\text{NW}350^\circ \angle 70^\circ$ 、 $\text{SE}105^\circ \angle 62^\circ$ 、 $\text{SW}230^\circ \angle 60^\circ$;测山采石场出口 $\text{SW}243^\circ \angle 53^\circ$ 、 $\text{NW}277^\circ \angle 60^\circ$ 、 $\text{SE}100^\circ \angle 84^\circ$ 。进出口均无地下水出露。地震基本烈度为 VI 级。

隧道开挖采用钻爆法施工。隧道初期支护采用 C20 喷射混凝土和锚杆联合支护。隧道二次衬砌采用模筑混凝土边墙和拱圈,钢筋混凝土中隔墙,混凝土设计强度等级为 C20。

(二) 施工方案设计

施工设计提出两种方案,详细开挖支护顺序叙述如下。

方案一:台阶式分部开挖左右洞及中墙,如图 14-1-42 所示。主要的施工工序为:

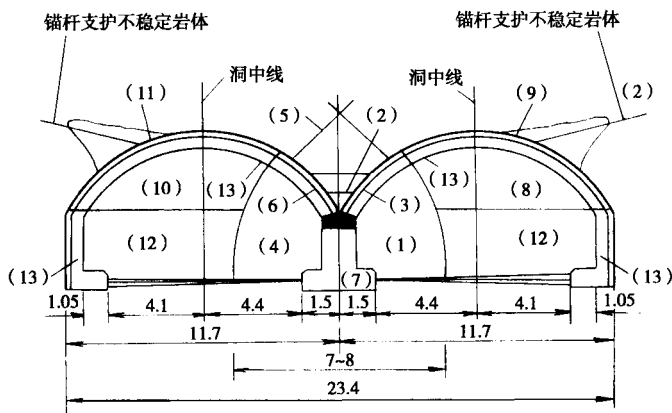


图 14-1-42 方案一施工工序(单位:m)

- (1) 右洞中导坑开挖;
- (2)~(3) 喷锚支护洞顶围岩,以确保围岩的稳定性;
- (4) 左洞中导坑开挖;
- (5)~(6) 喷锚支护拱顶围岩,以稳定围岩;
- (7) 修筑钢筋混凝土中隔墙衬砌;
- (8) 右洞上台阶开挖;

- (9) 喷锚支护右洞拱顶围岩；
- (10) 左洞上台阶开挖；
- (11) 喷锚支护左洞拱顶围岩；
- (12) 左右洞下台阶开挖；
- (13) 修筑左右洞边墙和拱圈混凝土衬砌。

方案二 左右洞全断面平行掘进，跳槽式形式挖上隔墙，如图 14-1-43 和图 14-1-44 所示。主要施工工序为：

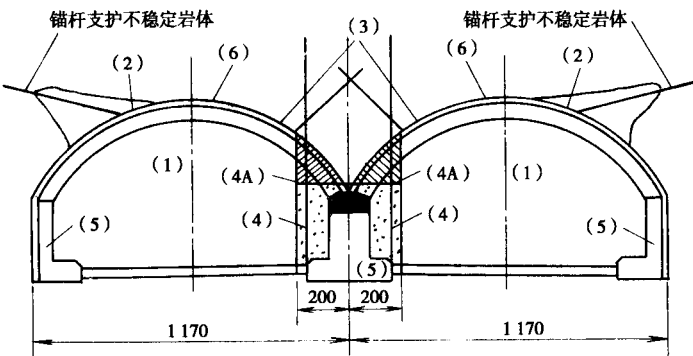


图 14-1-43 方案二施工工序(单位 :m)

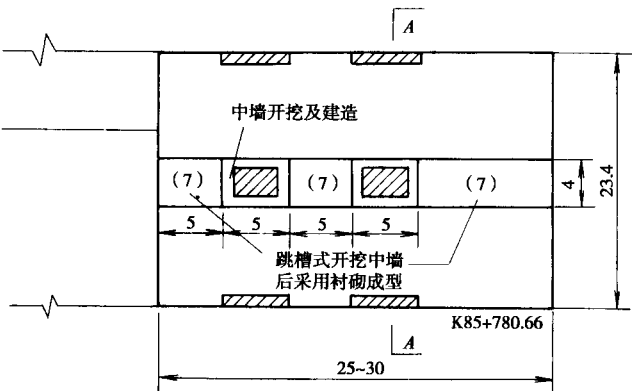


图 14-1-44 方案二跳槽式开挖中隔墙岩体和浇筑中隔墙衬砌(单位 :m)

- (1) 采用全断面平行开挖左右洞，掘进进尺限制为 25m 至 30m 纵深；
- (2) 采用喷射混凝土和锚杆临时支护洞室边墙和拱顶；
- (3) 采用锚杆临时支护中隔墙顶部；
- (4) 中墙部分岩体采用爆破开挖，中墙开挖段长度限制为 5m；
- (4A) 中隔墙顶部岩体采用钻机人工开挖；

(5)修筑钢筋混凝土中隔墙衬砌和左右洞混凝土边墙衬砌；

(6)修筑左右洞混凝土拱圈衬砌；

(7)跳槽式开挖中隔墙,然后采用(4)~(6)的工序,对25~30m纵深的隧道开挖和衬砌修筑。

方案一是常用的台阶式隧道开挖和支护方案。先开挖左右洞中导坑,形成跨度较小的临空面,及时浇筑钢筋混凝土中隔墙衬砌,使之尽早承受松动围岩的应力,保证围岩的稳定性。再采用上下台阶式开挖左右洞,用喷锚临时支护体系稳定左右洞拱顶围岩。最后才浇筑左右洞边墙和拱圈混凝土衬砌,与先期浇筑的上隔墙衬砌相连形成完整的二次衬砌体系。这种方案施工工艺成熟,但施工顺序比较繁杂,施工工期较长。

方案二是一种新颖的隧道开挖和支护方案。先全断面平行开挖左右洞,注意稳定中隔墙岩柱,使之能随左右洞围岩拱圈集中传递来的应力。再用锚杆加固中隔墙顶部岩体,按开挖长度不超过5m为原则跳槽式开挖中隔墙岩柱,使得原中隔墙岩柱传递,产生围岩应力重新分布。为保证岩柱的承载力,未开挖的中隔墙岩柱纵向长度不应小于5m。然后及时浇筑左右洞和中隔墙混凝土衬砌,与先期浇筑的二次衬砌节段连完整的二次衬砌体系。这种方案施工工艺技术新颖,各施工阶段应力传递明确,施工顺序简单,施工工期交短。

经详细技术经济比选,决定采用方案二。同时,为保证爆破工程不致危及洞口高边坡的安全及已建成的衬砌结构的完整性,提出限制近距离爆破引起最大粒子速度(PPV)来控制炸药用量指导施工。

(三)非连续变形数值模拟分析

为研究开挖过程中洞室的稳定性和支护结构的受力特性,利用非连续变形数值分析软件 UDEC 对上述方案二进行了施工模拟。UDEC 是由美国 ITASCA 公司开发的数值分析软件,用于不连续系统(如岩体工程中的节理岩体)静力或动力响应的二维离散单元程序。可以允许块体沿不连续面的大变形和块体的转动,块体可以是刚体或可变形体。用 UDEC 能模拟洞室开挖过程中岩体和节理的变形及支护的受力,其分析结果对隧道施工具有指导性意义。所建立的 UDEC 数值模型根据主要节理产状和节理间距离散洞室围岩,用 MOHR-COLUMB 本构模型模拟岩石块体的可变形特性,用 BARTON-BANDIS 本构模型模拟节理的剪切滑移等力学特性。根据方案二的施工顺序模拟洞室不同的开挖阶段,同时还对围岩不同的开挖阶段作了多种支护方案,并且还作了多种支护方案的围岩响应分析。岩石节理也可按给定变导异参数随机生成,以资优化支护方案指导施工。

图 14-1-45 分析了没有喷锚支护情况下,平行开挖左右洞室围岩的变形情况。由图

14-1-45a 可见 ,全断面开挖左右洞后 ,如不及时支护 ,拱顶某些局部不稳定的岩块会危及安全和稳定。由图 14-1-45b 可见 ,开挖中隔墙岩柱会引起拱顶围岩的塌落破坏。

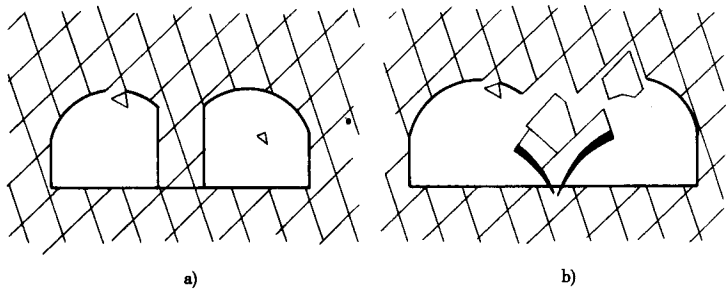


图 14-1-45 没有喷锚支护平行开挖左右洞室围岩
a)拱顶某些局部不稳定的岩块 b)中隔墙拱顶围岩塌落破坏

图 14-1-46 分析了及时喷锚支护情况下 ,平行开挖左右洞室围岩的变形情况。由图 14-1-46a 可见 ,全断面开挖左右洞岩体后及时施加锚杆支护 ,洞室围岩是稳定的 ,中隔墙岩柱所承受的应力也未超过岩体的承载力。由图 14-1-46b 可见 ,在适当锚杆支护稳定中隔墙顶部围岩下开挖中隔墙岩柱 ,洞室拱顶围岩能保持稳定。由图 14-1-46c 可见 ,中隔墙顶部局部不稳定的岩块仍需适当支护。图 14-1-46d 所示为拱顶围岩锚杆的轴力分布 ,可见锚杆支护能有效地加固岩体 ,调动围岩的承载能力 ,使得被节理切割的岩体也能形成有效的承载环 ,承受地层压力。

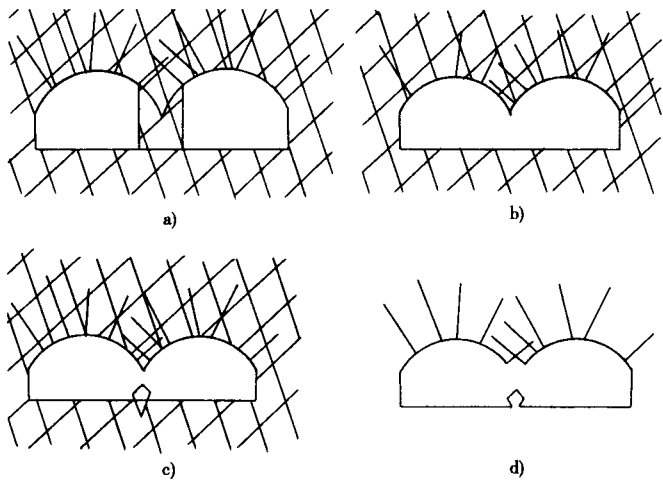


图 14-1-46 喷锚支护平行开挖左右洞室围岩

a)全断面开挖左右洞室后及时施加锚杆支护 b)锚杆支护稳定中隔墙顶部围岩下开挖中墙 ;
c)中隔墙拱顶围岩局部不稳定的岩块 d)拱顶围岩锚杆的轴力分布

同时应注意到中隔墙开挖高度约为 4.2m ,跳槽式开挖中隔墙段的纵向开挖长度限制为 5m 。因此从隧道纵向来看 ,开挖后中隔墙的高跨比约为 $1:1.2$,开挖中隔墙段时可使重新分配的岩体应力向两边未开挖的中隔墙岩体或已建筑的中隔墙衬砌传递(图 14 - 1 - 44) ,有利于中隔墙顶部围岩的稳定。

总之 ,对于联体隧道的施工 ,本工程所采用的左右洞全断面平等掘进中隔墙岩柱跳槽式开挖的设计方案 ,与常用的台阶式隧道开挖方案相比 ,具有明显的技术经济优势。中隔墙岩柱跳槽式开挖的施工方案具有施工工艺技术新颖 ,各施工阶段应力传递明确。模拟非连续块体变形、转动等特性的离散元数值分析软件 UDEC 模拟隧道的施工过程 ,结果表明了中隔墙岩柱跳槽式开挖的施工方案是合理的。莲花山隧道工程是联体硬岩隧道成功采用中隔墙岩柱跳槽式开挖施工的一个成功的典型实例。

本工程实例所介绍方法与本书中介绍的联体隧道施工方法类似 ,但本书中介绍的联体隧道施工方法的力学特性更好和施工更简便。

七、海游联体隧道

(一) 国内已建成的联体隧道结构设计不足及易出现的病害

目前国内已建成或正在设计中的联体隧道结构如图 14 - 1 - 47 所示 ,存在如下不足 ①左右洞开挖和衬砌期间中隔墙顶部不密实 ,有空隙 ,导致洞室围岩跨度增大 ,促使隧道围岩受力不利 ;②中隔墙与顶部注浆后易堵塞排水通道 ,且是渗漏水薄弱环节 ;③左右洞结构受力不明确且相互影响。

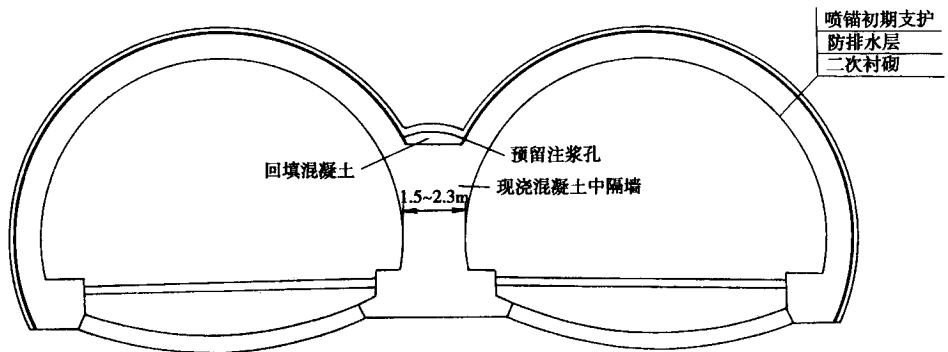


图 14 - 1 - 47 传统的断面示意图

由于如图 14 - 1 - 47 所示联体隧道受力条件复杂 ,加上施工期间各工序相互影响 ,对围岩的多次扰动以及支护衬砌相互之间及与中隔墙的非同步施工 ,易造成联体隧道拱

脚开裂,中隔墙出现纵向或环向裂缝,中隔墙侧拱脚处渗漏水,若两侧拱部受力不均衡,可能会导致整个结构物的破坏或留下严重病害。

(二)中交一院联体隧道结构优化设计的合理性及改进意见

中交一院的联体隧道结构优化设计如图 14-1-48 所示。其优点为:①将防水与结构设计统一考虑且衬砌防水效果更理想;②在不削弱结构的条件下,将两侧二次衬砌各自独立成环,左右洞结构受力明确,相互影响少。其缺点为:①左右洞开挖和衬砌期间中隔墙顶部不密实,有空隙,导致洞室围岩跨度增大,促使隧道围岩受力不利;②中隔墙施工较麻烦;③中隔顶部注浆易堵塞土工布层排水通道,使防水效果达不到要求。

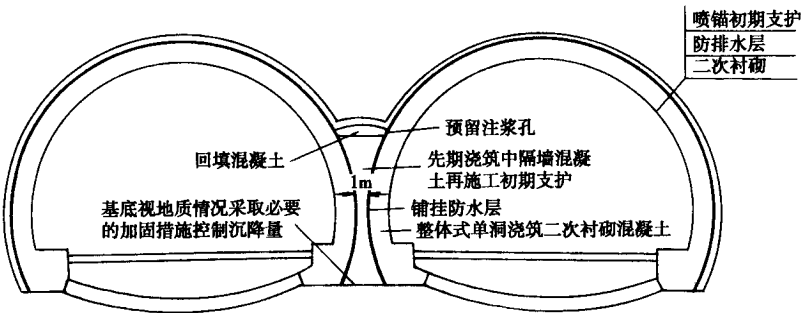


图 14-1-48 优化的断面示意图

由于如图 14-1-48 所示联体隧道结构优化设计在结构受力上,连拱实质上是初期支护的连拱,开挖过程和初期支护期间受力仍不很明确。建议作如下改进:如图 14-1-48 所示,先开挖中导洞,根据中导洞拱顶围岩情况用锚杆或小导管注浆加固中导洞拱顶围岩,然后再做钢筋混凝土中隔墙,中隔墙钢筋与加固导洞拱顶锚杆或小导管焊接成整体,这样达到减跨支护的作用,当围岩软弱时中隔墙采用扩大基础或基底注浆加固措施。使左右洞开挖过程初期支护受力明确且相互影响减小,受力基本独立。

(三)海游联体隧道设计改进措施

1. 海游联体隧道简介

海游体隧道位于浙江三门县岭口至上枫坑一级公路(属甬台温高速公路连接线),是该路段控制工程。由于受地形限制,隧道形式采用双连整体式联拱隧道。隧道岩性主要为粉砂岩、含砾砂岩、砾岩,局部夹泥岩。围岩类别为Ⅲ类或Ⅳ类围岩。水文地质条件:测区内水文地质条件比较简单,地下水均为第四系孔隙水和基岩裂隙水,水量贫乏。本隧道工程地质条件复杂,节理裂隙发育很发育,岩性产紊乱,并有 8 条断层破碎带,最大一条达 22m 宽。隧道顶上方 3m 处有一防空洞,地下水丰富且分布不均。采用新奥法设

计施工。

2. 改进断面型式的不足及海游联体隧道设计改进措施

海游隧道原设计采用传统的断面形式(图 14-1-47),此结构形式对隧洞建设期间围岩受力和中隔墙侧拱脚处渗漏水情况很难处理,预埋竖向软式透水管与纵向软式透水管相接后不易固定,且易堵塞,施工难度较大。鉴于海游隧道的施工进度和实际施工情况,如采用图 14-1-49 所示改进断面型式施工步骤多、工艺复杂、不便施工。根据海游联体隧道的施工实践,省公路管理局、台州市交通勘察设计院及施工、监理等单位共同研究,决定对中隔墙排防水采用如图 14-1-50 所示的海游联体隧道设计和施工断面示意图。

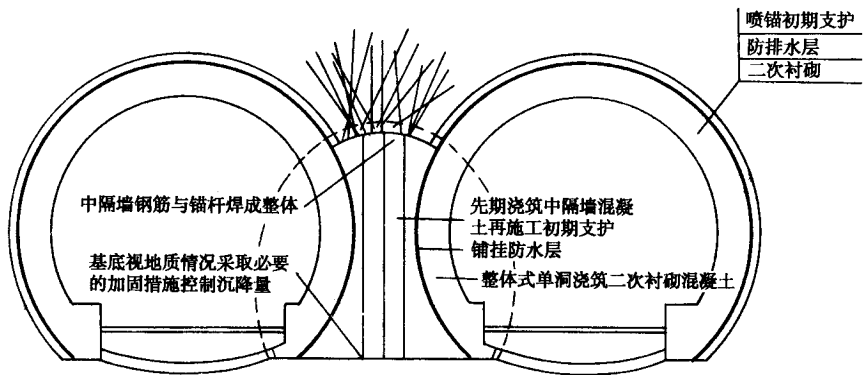


图 14-1-49 改进的断面示意图

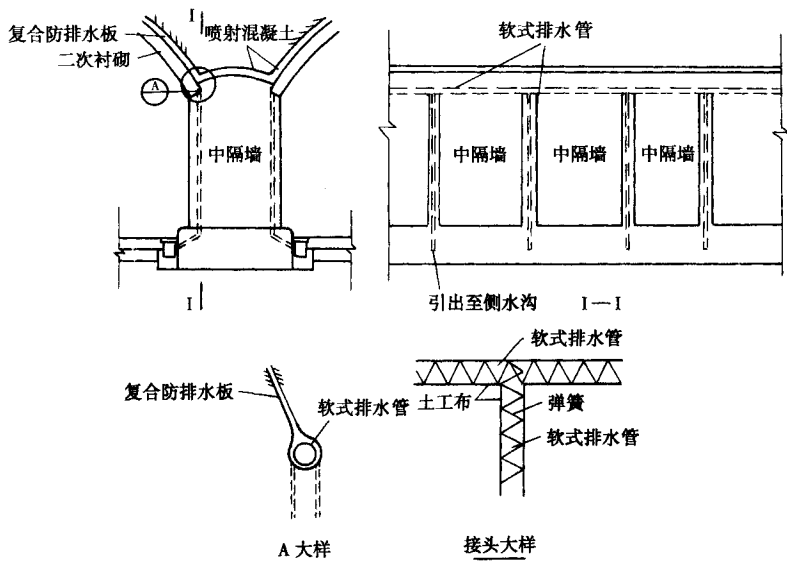


图 14-1-50 海游联体隧道中隔墙结构及排防水示意图

改进后的断面仍采用传统的先墙后拱法施工,此施工方法目前已较为成熟,同时把在中隔墙内预埋竖向透水管改为先在中隔墙边预留直槽,待模筑混凝土浇筑完工后增设竖向透水管,能有效地解决原预埋管在施工时易堵塞的问题,减少了施工难度,又有效地解决了中隔墙拱脚处渗漏水的问题。

(四) 施工方案及实施情况

根据设计要求、工程地质及施工条件,结合多年隧道施工经验,我们及时确定了对各分项工程施工方案:

1. 明洞开挖

本工程位于三门县城区,进出口紧靠居民住宅区,人员密集,要求爆破施工防护严密可靠,施工难度大。

由于本工程离居民区太近(最近的民房仅 10m),为确保安全,综合比较后选定台阶法少药量微差控制定向爆破进行明洞开挖,此法能有效减少爆破飞石、震动、噪声等对周围的影响,但较之药壶爆破工效低、进度慢、成本高。采用的主要防护是单孔装药量,按松动爆破设计,炮孔及爆破方向背离居民区,用砂袋压炮孔,并搭设挂脚手片的钢管架作为防护墙,定时起爆(杜绝晚间施工),实施效果较好。

2. 中导洞开挖及初期支护

是否取消中导坑?即主洞开挖时(同时开挖中导洞的一半)采用正台阶法,中隔墙分左右对半衬砌施工。认为进度上可以加速,但安全性差,故取消此方案。

鉴于本隧道暗洞只有 343m 长,决定进出口同时相向全断面开挖。原施工图中中导坑比中隔墙肩部高出约 60cm,由于未充分考虑中隔衬砌模板支撑及安设工字钢预埋件和排水管的所需空间,开挖时减窄减低原设计断面,虽在开挖和后期的衬砌中起到减少成本作用。但对前期施工产生不利。总结认为中导坑比中隔墙肩部高出 30cm 是至关重要的。

3. 中隔墙衬砌施工方案

考虑采用整体钢模后钢模架笨重,中导坑操作空间又小,加之各围岩段中隔墙基础断面不同,认为中隔墙分基础和墙身两部分浇筑较合理,两部分之间用钢筋插筋及凿毛处理,基础超前墙身进行。原计划中隔墙从进出口两头向中间推进,按跳立模的方式利用两个工作面交叉进行,在实施一段时间后,认为完全有条件不跳模,顺序浇灌(在两幅模板且人员充足时可达到每天 2 模,共 18m),从两头向中间推进。中隔墙墙身采用整体钢模(6m 厚钢板,14 槽钢架支撑),使得进度快,平整度及光洁度好;基础衬砌模板由 14 槽钢架和标准建筑钢模组合而成。

(五) 主洞开挖及初期支护

主洞进洞口循环控制进尺 $0.8 \sim 1.0\text{m}$,施工程序为 :工作面放样→搭设工作台→钻机安设→钻孔→安设钢管及注水泥浆→下断面开挖→预留光爆层扩挖→初喷→架设钢拱→锚杆→第二次喷混凝土→下一循环。

主洞开挖滞后中隔墙衬砌 50m ,这样主洞开挖和支护与中隔墙衬砌工作同时进行。主洞开挖采用台阶法施工还是中侧导洞法 ,或者是全断面法施工 ,经过比选 ,我们认为原设计采用的侧壁导坑法施工工序复杂、进度慢、成本高 ,但较安全 ,而全断面法适合 VI、VII 围岩条件。根据中导洞揭露的地质条件 ,决定采用正台阶法施工(现右洞已顺利完成开挖和初期支护)。在围岩节理发育、地质条件不良地段采用预留光爆层施工。爆破参数的确定 :洞口地段(围岩为 II 类)炮眼取 1.0m ,III、IV 类围岩段取 $2.2 \sim 3.2\text{m}$,采用导爆管分段起爆。破碎地段采用预留光爆层(顶拱部位) ,正常速度单头日进尺 5m 。

主洞下台阶施工方案确定 :下台阶开挖后 ,上台阶支护的工字钢腿部支撑将悬空 ,加之工字钢腿部多次爆破超挖量不易控制 ,工字钢也易被炸坏 ,决定施工时离工字钢腿部预留 1m 光爆层滞后下台阶 5m 开挖 ,下台阶炮眼深取 3.5m (如图 14-1-51 所示)。

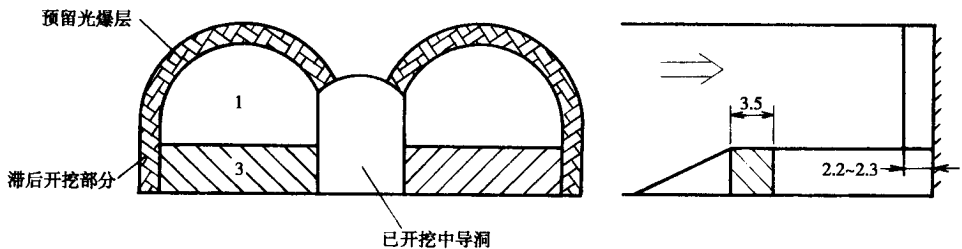


图 14-1-51 海游联体隧道开挖和支护顺序图

附注 :若采用中侧导洞适度超前全断面法施工就可克服下台阶开挖后上台阶支护悬空和不稳等缺点。

(六) 主洞衬砌施工方案

1. 明洞仰供衬砌方案

分半幅施工(留一半用来通车)还是全幅施工 ? 最后定为全幅施工。每 9m 一模 ,侧墙侧施工缝放在排水沟盖板下 ,以此保持美观。推进方向由进口明洞向暗洞、暗洞向出口明洞方向推进。仰拱浇灌完后回填至强电缆槽底部同高 ,同时预留侧水沟位置。这样拱圈衬砌台车就可以架设在此基面。

2. 拱圈衬砌方案

拱圈衬砌采用整体钢模台车两台 ,分段长 9m 。混凝土浇灌分层对称 ,两侧同时或交

替进行。浇灌至拱部时,改为沿隧道纵向浇灌,边浇灌边封口,并进行捣固,保证混凝土表面光洁平整、无蜂窝、麻面。

(七)海游联体隧道施工中出现的通病防治措施

混凝土的硬化热、干燥收缩和温差收缩引起的应变,受喷混凝土的制约是产生裂缝的主要原因,因此结构自防水是防排水的关键。本隧道设计采用 C25(抗渗标号为 S_8)泵送自防水混凝土衬砌,掺入 UEA 膨胀剂的混凝土,产生适度膨胀,在钢筋和邻位的约束下,在混凝土结构中建立 $0.2 \sim 0.7 \text{ MPa}$ 预压力,这一预压应力可大致抵消混凝土在硬化进程中产生的收缩应力,从而防止或减少收缩开裂,并使混凝土致密化,提高混凝土结构的抗渗能力。

混凝土衬砌施工中由于客观条件所限,衬砌与围岩间可能要留下或多或少的空隙。与围岩不密合的衬砌,在弯距和偏土压力作用下,较小的荷载也会引起裂缝。尤其中隔墙与拱结构间存在纵向通缝,对结构受力不利是渗漏水的薄弱环节。由于喷混凝土回弹料多不易处理,后决定采用浇灌加膨胀剂自防水混凝土后压注水泥浆液处理(必须在衬砌前完成,否则会堵塞排系统)。

施工中塌方(或超挖部分)回填易出现回填不实而出现塌空,造成隧道结构失稳和后期的隧道渗漏水隐患。采用压注水泥浆液回填处理,在隧道周边打孔,以高压的水泥浆液注入围岩裂隙,确保隧道围岩的完整性,改善结构受力。注浆孔按梅花型布置排列,孔距取 2 m ,径向孔深进入岩层 0.5 m ,压浆初压 0.5 MPa ,检查压力为 $0.8 \sim 1.0 \text{ MPa}$ 。

隧道衬砌渗漏易发生在施工的各种接缝处(施工缝、伸缩缝、沉降缝),而中隔墙肩部施工缝部分不但是联体结构受力的重点,更是整个隧道防排水处理的关键。因此,施工中我们主要采取了以下措施:采取喷混凝土施工时覆盖编织袋来保护施工缝及排水管不受破损;在施工缝部位采用钢筋插筋处理,以改善结构受力;纵向施工缝设置遇水膨胀型水条($2 \times 1.5 \text{ cm}$);后期衬砌时施工缝清洗干净并经凿毛处理,衬砌时铺设一层同标号自防水水泥砂浆(或涂抹建筑胶水)以保证接缝致密,可靠预防施工缝部位渗漏水。

由于联体隧道中隔墙肩部与拱圈结合部、仰拱与衬砌的结合部往往是结构上的受力弱点,出现拱脚开裂,两侧拱部受力不平衡,中隔墙易出现衬砌开裂。采用方案为中隔墙钢筋与中导坑顶部锚杆焊成整体,以达到减跨作用。钢拱架拱脚处易超挖且落脚处支撑面不够稳固,彩用与起拱处锚杆整体连接,以加固拱架,防止内敛。

(八)工期控制及得失

本工程确定的关键路线是:明洞开挖及洞口坡面防护→管棚及超前锚杆等支护→中导洞→中隔墙→上台阶→明洞仰衬砌→下台阶→洞内衬砌→边沟、路面→装修,到目前

为止,除因业主原因影响工期近 2 个月外,基本按计划进度进行。

此外,因春节前出口端中导洞支护未及时,春节后出现塌方,影响开挖如期进行;开挖、支护、出渣等各工序衔接不畅,中导坑打通后 1 个月才开始中隔墙衬砌,右侧主洞上台阶打 1 个月后才能准备进口明洞仰拱衬砌;因对联体隧道施工多工序同时作业时的电力供应问题考虑不足,致使开挖和衬砌无法同时工作(后期不得已增设变压器);前期中隔墙模架数量不足(后期补)及现场备料等也影响进度。中隔墙衬砌和主洞开挖同时作业,多工序交叉,现场管理难度大。另外,在中隔墙浇灌施工期间,主洞只能三头施工,待中隔墙浇灌完毕,安设混凝土泵管线一侧才可施工。

(九)安全

因为中导坑开挖完,继而中隔墙衬砌后主洞开挖,在中隔墙肩部(起拱部位)受开挖多次扰动,围岩松弛变形,加之中隔墙肩部很难在衬砌前期就做到回填密实,因而此部位易形成塌方和掉块,危及作业人员安全(尤其是中卫星墙肩部回填人员施工时)。

做好地质预报工作,充分利用中导坑已揭晓的地质条件指导主洞施工。切不可忽视围岩条件较好地段(如Ⅳ类)的支护,特别是断层带。本隧道左洞上台阶施工(围岩为Ⅲ类)时,支护面离开挖面不足 3m(安全规程为不超 4m),离开挖面 1.5m 处,落下约 1m^3 石块,右洞(围岩为Ⅳ类)也落下 2m^3 大石,十分危险。

遵循“短进尺、弱爆破、紧支护、勤量测”原则,严格按新奥法施工。本隧道中导坑春节期间出现小范围塌方,与未紧支护有关。

中隔墙衬砌高温控制:因洞内散热空间受限,而中隔墙大方量混凝土散发热量导致洞内温度高达 40°C 以上,因而对衬砌施工和附近段开挖支护造成困难,危及作业人员安全并影响进度。我们采用对工作面引水、增加局扇通风量来保证正常施工。

总之,针对浙江省内联体隧道设计和施工经验及实施效果,参考中交一院联体隧道结构优化设计,并结合海游联体隧道设计和施工实践提出改进措施,预期达到解决联体隧道结构的合理受力和整体性以及消除病害等目的。主要强调联体隧道结构和施工过程的受力合理性,且符合工程力学原理和防护排水处理效果好等特点。

第二章 掘进机法

第一节 概 述

一、国内外应用概述

隧道掘进机施工法是用隧道掘进机切削破岩 ,开凿岩石隧道的施工方法 ,始于本世纪 30 年代。随着掘进机技术的迅速发展和机械性能的日益完善 ,隧道掘进机施工得到了很快发展。掘进机施工有着钻爆法施工不可比拟的优点。在世界科技飞速发展的今天 ,更使掘进机有了广阔的使用条件。虽然钻爆法仍是当前山岭隧道施工的最普遍的方法 ,而且掘进机也不能取代钻爆法施工 ,但用掘进机施工的隧道数量不断上升。据不完全统计 ,世界上采用掘进机施工的隧道已有 1000 余座 ,总长度在 4000km 左右。特别是在欧美国家 ,由于劳动力昂贵 ,掘进机施工已成为进行施工方案比选时必需考虑的一种方案。近年来 ,用掘进机完成的大型隧道如英法海峡铁路隧道 ,三座平行的各长约 50km 的隧道 ,使用了 11 台掘进机 ,用三年多一点时间 ,即修建完成。另外如长度 19km 的瑞士费尔艾那隧道 ,其中有约 9.5km 用掘进机施工 ,已于 1997 年 4 月贯通。瑞士拟议建设穿越阿尔卑斯山的新圣哥达(Gotthard)铁路隧道 ,长约 57km ,也将采用掘进机施工。在美国 ,芝加哥 TARP 工程是一项庞大的污水排放和引水地下工程 ,有排水隧道大约 40 多公里 ,全部采用掘进机施工。在我国 ,铁路隧道采用掘进机施工始于 70 年代 ,但由于机械性能很差 ,得不到发展。改革开放以来 ,在一些水利工程上引入了外商承包 ,他们采用了

掘进机施工,如意大利 CMC 公司曾在甘肃引大入秦和山西万家寨引水工程中用掘进机施工引水隧道获得成功。1997 年底,我国西安至安康铁路秦岭特长隧道首次引入德国维尔特(WIRTH)公司 TB880E 型隧道掘进机。该铁路隧道长 18.5km,开挖直径 8.8m,可望于 2000 年初贯通。可以预言,随着科技发展进步的步伐加快,随着掘进机技术本身的不断发展完善,今后会有很多数量的隧道采用掘进机法施工。

二、施工特点

与钻爆法开挖隧道施工过程相比,使用掘进机开挖隧道的特点在于施工过程是连续的,具有隧道工程‘工厂化’的特点。

经过近一个世纪的努力,随着现代技术的发展,特别是近几十年来,掘进机不仅能在岩石整体性及磨蚀性强的条件下工作,也能在稳定条件差的地层中施工,从而被许多隧道作为主要施工方案进行比选。

钻爆法施工和掘进机施工有着不同的适用范围和优劣。钻爆法施工适用范围广,不受隧道断面尺寸和形状的限制,对各类围岩均能适用,当地质条件变化时,施工工艺可机动灵活随之变化,施工设备的组装和工地之间的转移简单方便,重复利用率高;多年来已积累了丰富宝贵的施工经验,形成了科学完整的工艺,这些是人们普遍认同的优势。但它同时也存在施工工序多,施工过程中各工序干扰大,开挖速度低、超(欠)挖严重,爆破时对地层扰动大,施工安全性差,作业场所环境恶劣、工人劳动强度大等难以克服的缺点,此外由于开挖速度低,在较长隧道施工时,往往需要采用辅助坑道来增加开挖工作面,从而增加了工程造价。

采用掘进机施工具有快速、连续作业、机械化程度高、安全、劳动强度小、对地层扰动小、衬砌支护质量好、通风条件好、减少辅助工程等优点。但它也有对地质条件的依赖性大,设备的型号一旦决定,开挖断面尺寸不可改变;一次性投资大等劣势。

三、掘进机类型

山岭隧道掘进机分为全断面和悬臂式两大类。全断面掘进机(Tunnel Boring Machine 简称 TBM)又分开敞式和护盾式两类。护盾型又分单护盾和双护盾。目前使用的主要是全断面掘进机,悬臂式尚处在发展的初期阶段。

一般而言,开敞式掘进机要适合于硬岩隧道的开挖。开敞式和护盾式掘进机的区别在于开敞式掘进机在开挖中依靠撑于岩壁上的水平支撑提供设备推力和扭矩的支撑反力,开挖后的围岩暴露于机械四周。而护盾掘进机则可在掘进中利用尾部已安装的衬砌

管片作为推进的支撑,围岩由于有护盾防护,在护盾长度的范围内,不暴露。因此护盾掘进机更适用于软岩。

单护盾掘进机适用于软岩地层以及自稳时间相对较短的地质条件较差的地层(图 14-2-1)。例如在瑞士巴塞尔市的 ADLER 隧道,使用一台直径 12.58m 的单护盾掘进机完成了 5km 的软岩开挖。单护盾掘进机在掘进和安装衬砌管片时是依次顺序进行的,即不能同时作业。掘进中,它依靠后部的推进千斤顶推已安装好的衬砌管片(图 14-2-2)得以向前掘进,掘进停止后,利用管片安装器将分成若干块的一环管片安装到隧道上。

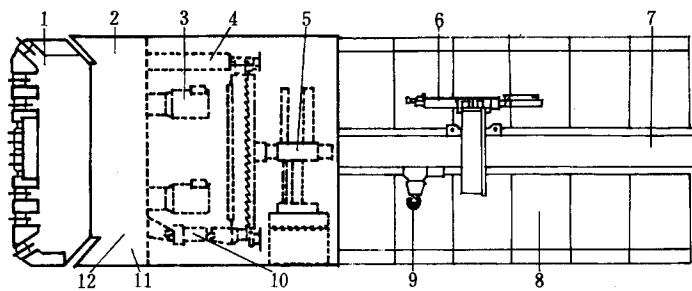


图 14-2-1 单护盾掘进机示意图

- 1—刀盘 2—护盾 3—驱动组件 4—推进千斤顶 5—管片安装器；
6—超前钻机 7—出渣输送机 8—拼装好的管片 9—提升机；
10—铰接千斤顶 11—主轴承、大齿图 12—刀盘支撑

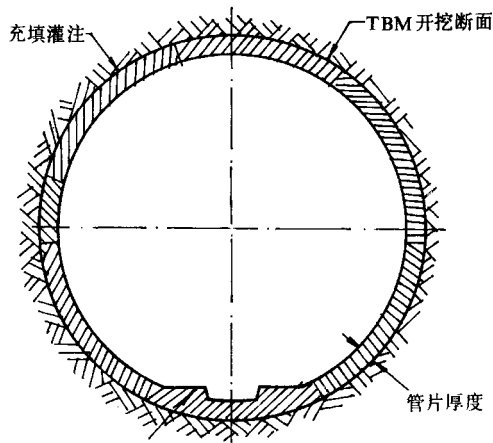


图 14-2-2 全周预制钢筋混凝土管片衬砌示意图

双护盾掘进机(图 14-2-3)在软岩及硬岩中都可以使用。当它在自稳条件不良的

地层中施工时,其优越性更突出。它与单护盾掘进机的区别在于增加了一个护盾。在硬岩中施工时利用水平支撑,支撑洞壁传递反力,所以它既可利用尾部的推力千斤顶顶推尾部安装好的衬砌管片推进,也可以在利用水平支撑进行开挖时,同时安装衬砌管片,因此双护盾掘进机使开挖和安装衬砌管片的停机换步时间大大缩短。在我国甘肃引大入秦工程中的 30A 号水工隧道使用一台直径 5.5m 双护盾掘进机完成了 11.6km 的开挖,最高月开挖突破了 1000m。

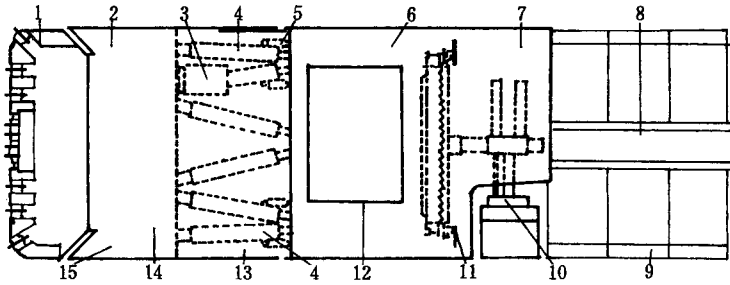


图 14-2-3 双护盾掘进机示意图

- 1—刀盘 2—前护盾 3—驱动组 4—推进油缸 5—铰接油缸；
 6—撑靴护盾 7—尾护盾 8—出渣输送机 9—拼装好的管片；
 10—管片安装机 11—辅助推进靴 12—撑靴 13—伸缩护盾；
 14—主轴承大齿圈 15—刀盘支撑

第二节 凿岩台车

凿岩台车是支撑凿岩机并能完成凿岩作业所需的推进、移位等运动的移动式凿岩机械。为了提高隧道开挖效率,将数把凿岩机支架安装在同一台车上,可以同时进行多个钻眼工序。图 14-2-4 是一凿岩台车的侧视图。

凿岩台车一般用于地质条件较好,基本不要临时支护的大断面(开挖面积 17m^2 以上)的隧道施工。但是,近年来也在岩质较差的隧道施工中试用,收效良好。凿岩台车也可作为其它工序的工作台,如凿顶、支撑、装药和设备材料临时存放等。

凿岩台车的开挖施工工序为:台车就位、多台凿岩机同时钻眼、利用台车架进行装药、台车退出掌子面、爆破、排烟凿顶、支护(视地质情况而定)、装渣机就位、装渣运输,同

时也可进行上部钻眼、如此循环进行作业。

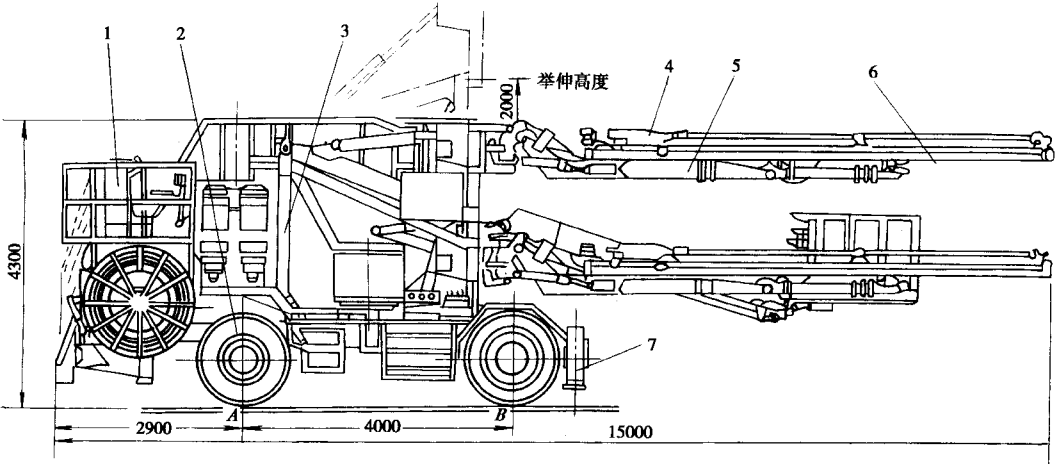


图 14-2-4 凿岩台车

1—动力系统 2—底盘 3—台车架 4—凿岩机 5—钻臂 6—推进器 7—稳车机构

由于在坚固的钻臂上安装凿岩机和支架 ,因此可装备中型、重型大功率的凿岩机 ,并且冲击频率可以提高 ,凿岩机推进力得到了保证。所以 ,采用凿岩台车的凿岩效率高 ,钻进速度快 ,能适应各类岩层 ,在同等开挖断面下 ,可减少凿岩机台数。一般来讲 ,采用凿岩台车建筑隧道日进尺在 10m 左右 ,月进尺可达 200 ~ 300m 左右。

一、分类

按所能开挖隧道断面的不同 ,凿岩台车可分为全断面台车、半断面台车及导坑台车 ;按车架形式可分为门架式和框架式 ,按行走装置可分为轨行式、轮胎式及履带式 ,按钻臂可分为液压钻臂式和梯架式。

二、总体结构及工作原理

凿岩台车由钻臂、推进器、底盘、台车架、稳车机构、风水系统、液压系统、操纵系统等部分组成 ,如图 14-2-4 所示。

工作时 ,台车驶入掘进工作面 ,由稳车机构使台车定位 ,操纵钻臂和推进器 ,使推进器的顶尖按要求的孔位顶紧工作面 ,开动凿岩机钻孔。钻完全部炮孔后 ,台车退出工作面。

第三节 喷锚机械

在隧道施工中,工作面开挖后应立即进行必要的支护,以约束围岩的松弛和变形。喷射混凝土配以锚杆的支护方法,可以主动加固围岩、控制围岩变形、防止围岩的松动破坏和坍落,使喷锚在与围岩共同变形的过程中保持围岩的稳定性,是隧道施工中初期支护的主要手段。锚杆支护可将表面可能坍落的岩块悬吊在稳定的岩层上。在分层岩体上打入锚杆后,可提高岩层的整体抗弯能力。与构件支撑、灌筑混凝土衬砌或其它衬砌结构比较,喷锚结构是一种变“被动”为“主动”的支护形式,在节省劳动力和材料、缩短工期、降低造价方面都有显著的优越性。

采用喷锚支护的施工程序一般为先喷混凝土后打锚杆,锚杆杆体露出岩面的长度应小于喷层厚度。喷锚机械包括锚杆台车、混凝土喷射机和悬臂式喷嘴遥控操作器等。

一、锚杆台车

锚杆台车是在隧道施工中用于围岩支护的专用设备。在需要锚杆支护的地方用锚杆台车完成钻孔、注浆、插入锚杆等全套工序。如图 14-2-5 所示为锚杆台车外貌图。

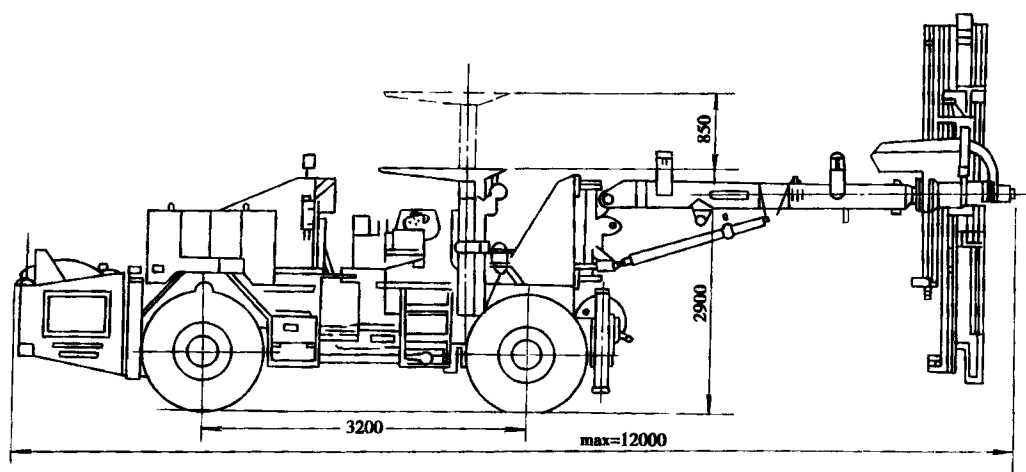


图 14-2-5 锚杆台车外貌图

锚杆台车由台车底盘、大臂、锚杆机头等组成。

二、混凝土喷射机

喷射混凝土有干喷和湿喷两种方式。干喷是先用搅拌机将骨料和水泥干拌均匀,投入喷射机料斗,同时加入速凝剂,用压缩空气将混合料输送到喷头,在喷头处加水喷向岩面。湿喷是水加在搅拌机里,投入喷射机的是已拌好的成品混凝土,速凝剂在喷头处加入。喷射机是喷混凝土的关键设备,分干式喷射机和湿式喷射机两种。

(一)干式喷射机

1. 转子式喷射机

转子式喷射机是英国阿利瓦公司的产品,集干喷、湿喷为一体,能很方便地实现干喷与湿喷的转换,在世界各地得到较好的应用。应当指出的是,在使用过程中,约90%是用于湿喷。该机结构简单、体积小、出料连续、输送距离远、操作维修方便。

(1)工作原理

转子式喷射机工作原理如图14-2-6所示。其上部是料斗,下面是转子体,转子上均布着若干料孔,转子体下面是下座,其上固定有出料弯头。转子转动时,有的料孔对准了料孔的卸料口,即向料孔内加料;有的料孔对准了出料弯头,则把拌和料压送出去。

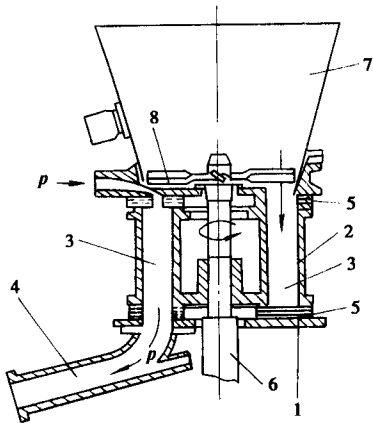


图 14-2-6 转子式喷射机工作原理

- 1—齿轮箱盖板 2—转子 3—料孔 4—出料弯头 5—橡胶密封板 6—驱动轴;
7—料斗 8—搅拌叶片

(2)转子式喷射机的结构

转子式喷射机如图 14-2-7 所示,由动力传动系统、气路系统、给输料机构、电器系统、行走底盘等组成。

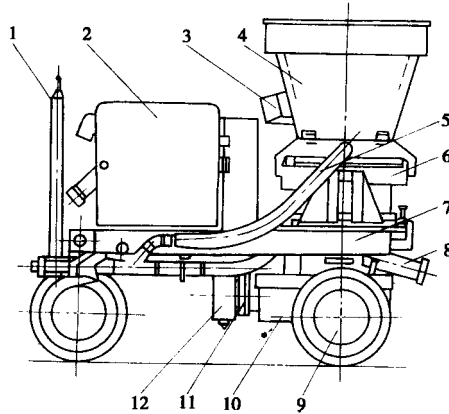


图 14-2-7 干式转子喷射机

- 1—牵引杆 2—动力装置 3—振动器 4—料斗 5、11—风管；
6—给输料机构 7—车架 8—出料弯头 9—轮胎；
10—减速器 12—皮带传动

2. 螺旋式喷射机

螺旋式喷射机结构简单、质量轻、操作方便,有立式、卧式两种。

卧式螺旋喷射机(图 14-2-8)以螺旋轴作为送料器,螺旋轴中空孔为压气通道。螺旋轴在带动拌和料前移的同时,也将拌和料挤实,起密封压缩空气的作用。压缩空气在螺旋轴前端的锥形腔室吹送拌和料。

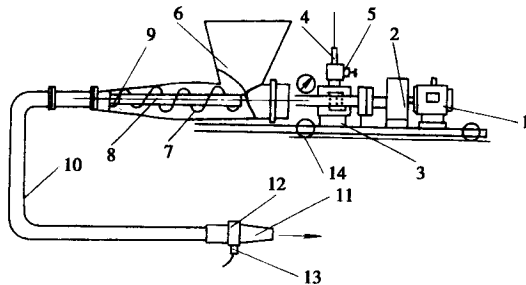


图 14-2-8 LHP710 型喷射机

- 1—电动机 2—减速器 3—轴承座 4—压风管；
5—风门 6—料斗 7—螺旋 8—螺旋轴 9—锥形壳体；
10—橡胶软管 11—喷嘴 12—混合室 13—水阀 14—车轮

卧式喷射机的上料高度低,但输送距离较短。螺旋轴及壳体易磨损,要求输料管径

较大。输送距离超过 30m 特别是有堵管时易产生反风现象,因此使用不多。

3. 鼓轮式喷射机

鼓轮式喷射机如图 14-2-9 所示。鼓轮外表面上均布着 8 个 V 型槽,作为配料器,并将吹送室与储料室隔离,鼓轮回转时,在上面的三槽受料并密封,转至下方时落料,被压缩空气吹送出去。

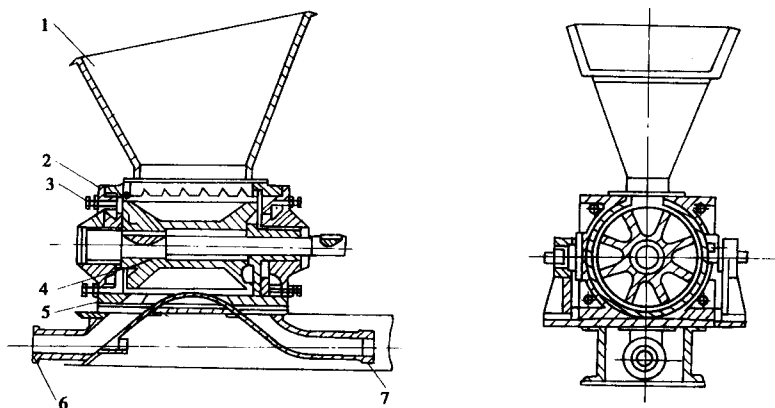


图 14-2-9 鼓轮式喷射机

1—料斗 2—端盖 3—调节螺钉 4—鼓轮 5—轴承座 6—卸料弯头 7—进风弯头

该机实质上是转子式喷射机的变形,其结构简单、体积小、质量轻、移动方便、上料高度低、操作简单。但因密封能力差,易反风,故输送距离不能大于 100m,且密封板易磨损。

(二)湿式喷射机

湿式喷射机是目前正在努力推广的机型。它可以减少喷射回弹率,使粉尘浓度下降,且水化作用好、混凝土塑性好,故强度也有提高。湿式喷射机为防止混凝土凝结,常与搅拌装置(如螺旋输送机)联装在一起,联装后结构稍复杂,耗风量增大 20%~50%,输送距离亦较短。湿式喷射机目前约有 40 多个机型,但得到一致公认而广泛应用的机型极少。湿式喷射机大致可分成泵送式湿喷机和气送式湿喷机两类。柱塞式、螺杆式、挤压软管式等属泵送式,转子式、罐式属气送式。

1. 双罐式湿喷机

双罐式湿喷机如图 14-2-10 所示,两罐交替供料,以保证喷射连续。由交换器交替接通输料管。

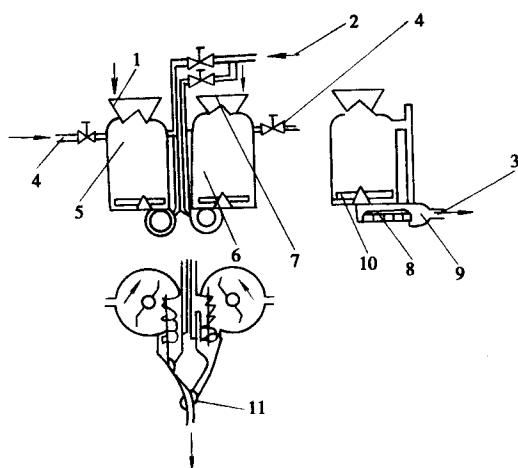


图 14-2-10 并列双罐式湿喷机

- 1—湿拌料 2—压气 3—出料口 4—排气口 5—第一工作罐；
6—第二工作罐 7—钟型阀 8—螺旋输送机 9—环形风管；
10—搅拌叶片 11—交换器

该机型喷料均匀,喷射质量好,可喷大骨料($\phi 30\text{mm}$)低坍落度的混凝土。但加料较麻烦,喷射时略有脉冲。该机型由于是双罐,因此体积、质量均较大。

2. 螺旋式湿喷机

螺旋式湿喷机如图 14-2-11 所示。螺旋轴起搅拌、送料和密封等作用。在出料口增设了旋流加速器,改善了管道内的输送状态,使脉冲减小。

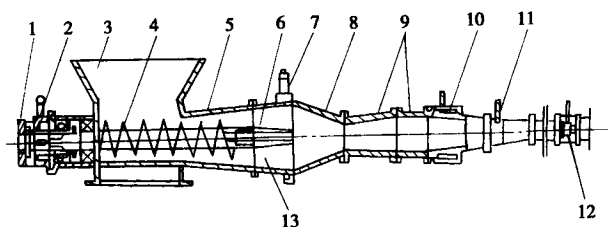


图 14-2-11 螺旋式湿喷机

- 1—齿轮 2—进风压盖 3—料斗 4—螺旋 5—螺旋锥管 6—中心风嘴；
7—螺旋喷嘴 8—转接套 9—引射器 10—旋风助吹；
11—加水器 12—旋流加速器 13—混合料

该机型结构简单、体积小、质量轻、上料高度低、生产能力大、易于操作。但叶片和筒体易磨损,风量和功率消耗大,输送距离短,要求的水灰比较严格。

3. 挤压软管泵式湿喷机

这种湿喷机的工作原理、主机结构与挤压式混凝土输送泵相同 ,不同的是在喷嘴处加入了压缩空气 ,以提高喷速。其工作机构如图 14 - 2 - 12 所示。

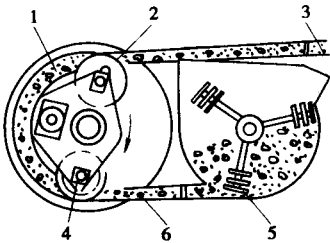


图 14 - 2 - 12 挤压软管泵式湿喷机

- 1—泵内真空部分 2—旋转滚轮 3—输料管 ;
4—行星齿轮传动 5—旋转叶片 6—泵送软管

美国查林杰公司产品是该机型较有代表性的产品。它配用圆柱形速凝剂添加机组 ,用刮削刀片刮下速凝剂粉屑混入压缩空气 ,在喷嘴处与湿拌料混合。

该机型可输送最大集料直径为 25mm 和具有较好的和易性和较大坍落度(9 ~ 10cm) 的混凝土。该机工作时粉尘小 ,但体积较大 ,不适于小断面隧道。

4. 活塞泵式湿喷机

活塞泵式湿喷机工作原理、主机结构与活塞式混凝土输送泵相同 ,可分为双活塞泵式和带随动缸的单活塞泵式两种 ,分配阀多用蝶形和球形。如图 14 - 2 - 13 所示为双活塞泵式、蝶形分配阀湿喷机的结构形式。其工作机构分别由三个马达驱动混凝土泵、水泥螺旋输送器和搅拌机。搅拌机为单卧轴强制式 ,出料斗容量为一次搅拌容量的 1.5 倍 ,以实现间断搅拌、连续喷射。出料斗内的两根搅拌轴起二次搅拌作用。活塞的往复运动控制了球阀的启闭 ,无需另设球阀启闭控制装置。在喷头处分别通入液体速凝剂和压缩空气。

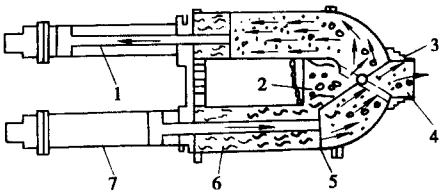


图 14 - 2 - 13 双活塞泵式湿喷机

- 1—活塞杆 2—入料口 3—换向阀 4—出料口 ;
5—活塞 6—润滑液 7—液压缸

活塞泵式湿喷机结构合理,工作稳定,可输送低坍落度混凝土,生产能力较高,是一种较实用的机型。但结构复杂,使用及维护有较高的要求。

5. 离心式湿喷机

离心式湿喷机是日本新机型,其主要工作机构是一个旋转叶轮,靠离心力将混凝土甩至受喷面。叶轮又作往复移动,形成连续的喷射带。

该机可任意调节喷射方向,节省能源。它是以线的形式喷敷(使用喷嘴的喷射机均是以点的形式喷敷),故喷敷层光滑平整。但回弹率较高,喷射距离较近。

第四节 衬砌模板设备

保证隧道衬砌的质量,必须做到衬砌结构密实,坚固耐久,外表平整,中线、水平、断面和净空符合规定。隧道衬砌时,模板决定着隧道断面的形状及外表平整性等,因而衬砌模板设备是隧道施工中的重要设备。衬砌模板台车已普遍被采用,近年来国外已开发出高性能的全液压衬砌模板台车。

一、简易衬砌台车

简易衬砌台车一般分为上、下两层,下层平台应有一定的净空高度,以便各种运输车辆的通行,台车置于两根轨道上;台车上两层作业平台应保证灌注混凝土操作方便。有的简易衬砌台车上设置混凝土搅拌机和浇注机,可以在台车上进行联合作业,减少每个衬砌环节施工时频繁地搭拆脚手架的工作。

二、衬砌模板台车

隧道衬砌模板台车由一部台车和数套钢模板组成。模板以型钢为骨架,上铺钢板形成外壳,并设有收拢结构,通过安装在台车上的电动液压装置,进行立模与拆模作业。模板与台车各自为独立系统,每段衬砌灌注混凝土完毕后,台车可与模板脱离,衬砌混凝土由模板结构支撑。台车将后面另一段已灌混凝土可以拆模的模板收拢后,由电平车牵引,穿过安装好的模板后,到达前方预计灌注段进行立模作业。这种钢模台车适用于曲线半径大于等于 400m、衬砌厚度小于等于 45cm、使用先墙后拱法进行衬砌施工的单线铁路隧道。该台车衬砌作业快速、高效、优质、安全,并节省人力、钢材、木料,减轻劳动强度。

衬砌模板台车由钢模板、台车和液压系统三大部分组成,如图 14-2-14 所示是衬砌模板台车示意图。

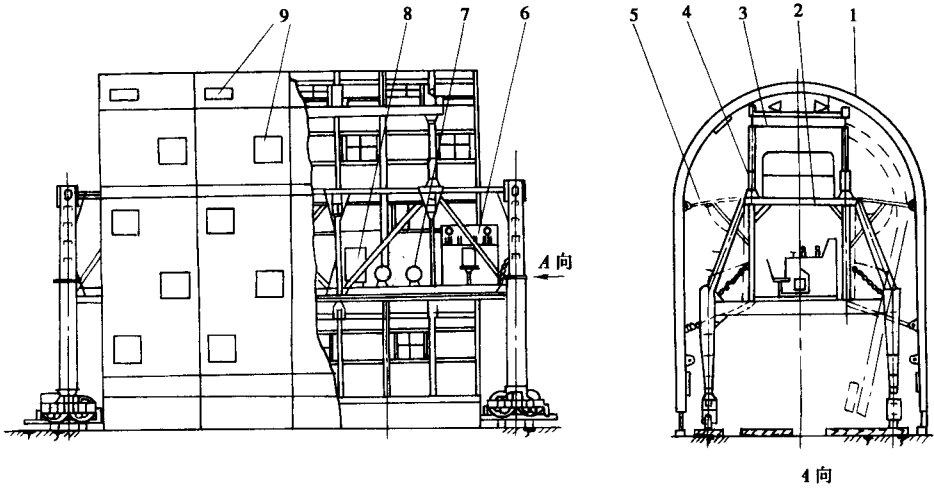


图 14-2-14 钢模台车示意图

1—模板 2—台车 3—托架 4—垂直油缸 5—侧向油缸;
6—液压操纵台 7—电动机 8—油箱 9—作业窗

(一)模板部分

每套模板长 8m,由四个 2m 长的拼接段组成。其中分基脚模板、折叠模板、边墙模板、拱脚模板、拱腰模板和加宽块等 11 块,以及基脚千斤顶、基脚斜撑、堵头块、收拢铰、连接铰等配件。各模板块间均用螺栓对接。钢拱架用 18 号工字钢和槽钢弯制而成,表面铺焊 6mm 厚钢板。每套模板设有作业窗 40 个,以便利灌注和捣实混凝土。在每套模板前端有堵头挡板,作灌注时分节用。

曲线加宽块模板最大的加宽值为 80cm。使用时根据隧道曲线设计的加宽断面要求,只需换装相应加宽值的加宽块即可。但在曲线外侧,每 8m 长的衬砌灌注段由于内外弧长之差,在相邻灌注段的模板接头处,须增加楔形辅助弯头模块。

(二)台车部分

台车体为桁架结构,立柱和横梁采用箱形截面结构,其它部件为型钢组合构造。台车分为上、下两层平台,平台两侧均设有可翻转的脚手平台,便于衬砌施工作业。

台车行走装置为轮轨式,设有顶机装置,可用电平车或机车顶推牵引,还设有制动器 and 卡轨器,使台车停止和固定时能安全稳妥。轨道应专门铺设。

(三) 液压系统

由油泵、油缸及操纵系统等组成。上部垂直油缸控制拱顶模板,侧向油缸控制侧模板。油泵由电机驱动,一般设置两套供油系统,以保证作业的绝对可靠性。

台车的作业程序如图 14-2-15 所示。

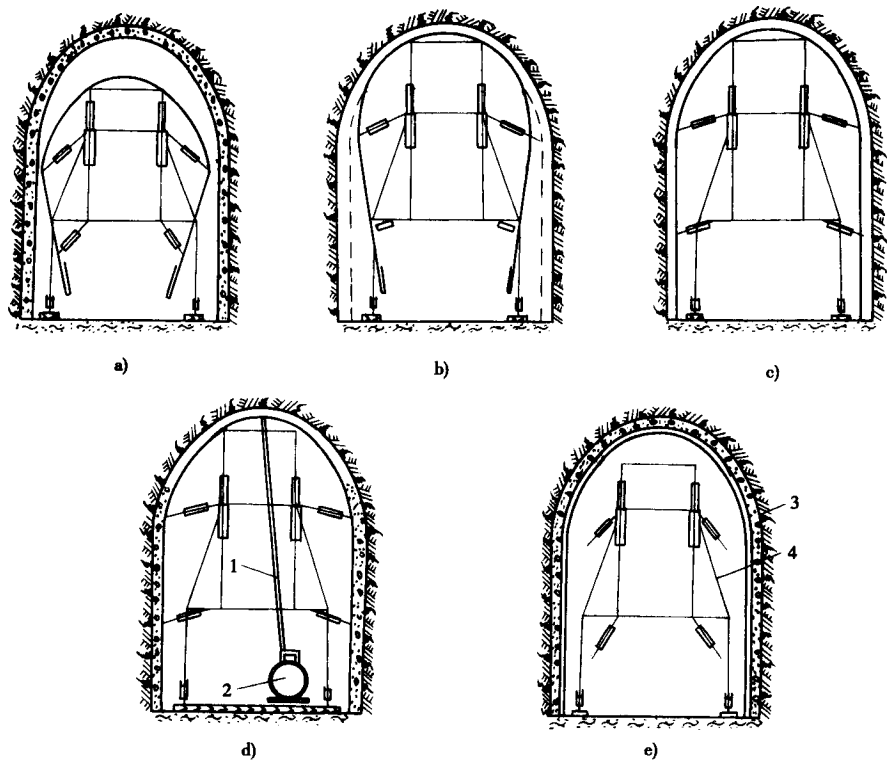


图 14-2-15 作业程序图

- a) 模板收拢,移动空行 b) 垂直油缸顶升,拱模就位 c) 侧向油缸撑开,边模就位 d) 浇灌混凝土 e) 台车脱离模板
1—混凝土导管 2—搅拌输送机 3—钢模 4—台车

三、全液压衬砌模板台车

隧道施工的及时衬砌是十分重要的,可防止挖掘面的劣化、风化,减少抛掘面的临时支护、喷锚等,并缩短作业循环时间。国外已开发出全液压衬砌模板台车,如图 14-2-16 所示。该车由基础车、臂架、拱架、模板、控制系统、混凝土浇注系统等组成。台车转移运输时,将模板拱架收拢,以便运行。施工实例已表明该台车大大改善了一次衬砌的作

业环境 ,减少了支护 ,缩短了作业周期。

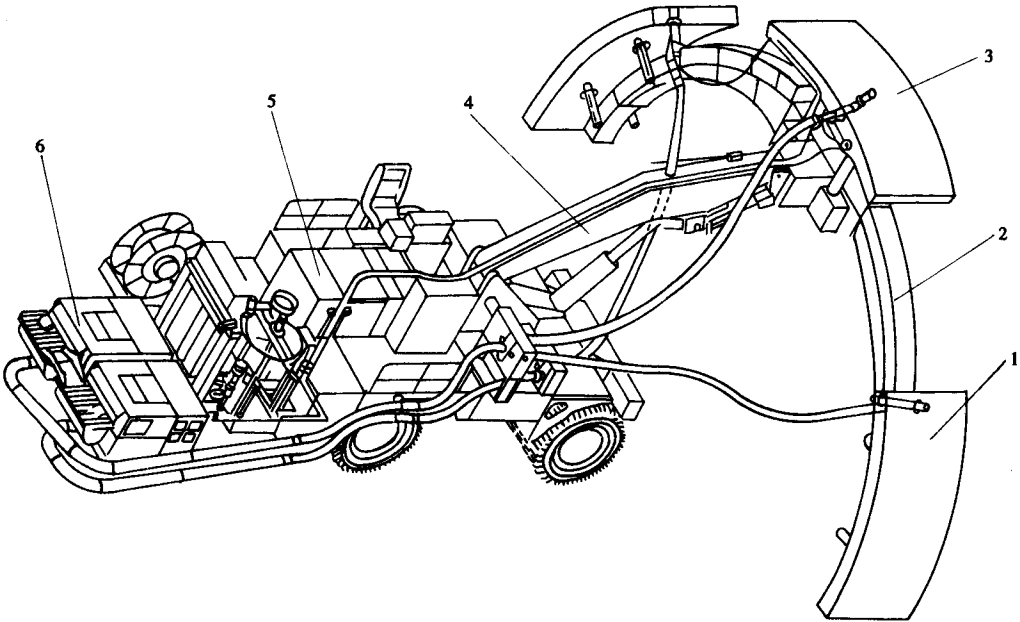


图 14-2-16 全液压衬砌模板台车组成示意图

1—侧模板 2—拱架 3—顶模板 4—臂架 5—基础车 6—混凝土泵车

第五节 全断面隧道掘进机

全断面隧道掘进机是一种在岩层中挖掘隧道的机械。其特点是用机械法破碎切削岩石(刀头直径与开挖隧道的直径大小一致,故称全断面开挖),挖掘与出渣同时进行。掘进机的直径一般为 2~11m,最大可达 15m。可挖掘的岩石硬度为岩石单轴抗压强度 20~200MPa,最大近 300MPa。

全断面隧道掘进机适用于公路工程、铁路工程、水电工程、排污工程、军事工程及其它地下工程中开挖岩石隧道。因此,在公路山岭隧道和海底隧道工程中被广泛采用。

一、分类、特点及适用范围

(一)按破碎岩石方式分

(1)切削式:刀盘上安装割刀,像金属切削割刀一样将工作物切割下来,适用于软岩、

土质等抗压强度小于 42MPa 的地质。

(2) 铣削式 : 切削过程靠滚刀的旋转和推进及铣刀的自转完成 , 如铣削金属的铣床一样 , 适用于软岩地质。

(3) 挤压剪切式 : 用圆盘形滚刀使岩石受挤压和剪切而破碎 (以剪切为主) 。刀具有硬质合金的刀圈或中碳合金钢堆焊碳化钨、钴等 , 适用于中硬岩石 , 如抗压强度 $42 \sim 175\text{MPa}$ 的岩石。

(4) 滚压式 : 是以挤碎岩石来切削 , 刀具为圆盘式、牙轮式和锥形带小球状刀具。用于硬岩 , 即抗压强度大于 175MPa 的岩石。

(二) 按切削头回转方式分

1. 单轴回转式 : 切削头的回转轴只有一根。由于在大直径的切削头上 , 不同半径上的刀具线速度不同 , 实际上不是真正的同轴回转 , 因此 , 它只用于小直径的掘进机。

2. 多轴回转式 : 切削盘上有几个小切削轮 , 小切削轮各自有回转轴可独自旋转。

(三) 按掘进方式分

按掘进方式的不同 , 可分为推进式和牵引式二种。推进式又分为抓爪式和支撑反力式。

(四) 按排渣方式分

按排渣方式的不同 , 可分为铲斗式、旋转刮板式和泥浆输送式等。常用的是前两种。

(五) 按外形特征分

(1) 敞开式掘进机 : 结构简单 , 靠撑踏装置支持机身 , 适用于岩层比较稳定的隧道。

(2) 护盾式掘进机 : 有单护盾和双护盾之分。单护盾掘进机前部用护盾掩护 , 双护盾掘进机机体被前后二节护盾掩护着 , 适用于易破碎的硬岩或软岩及地质条件较复杂的岩层。

二、主要结构及工作原理

全断面隧道掘进机一般由切削头工作机构、切削头驱动机构、推进及支撑装置、排渣装置、液压系统、除尘装置以及电气和操纵等装置组成。

图 14-2-17 是开挖直径为 3m 的 LJ-30 型掘进机的结构图。切削头工作机构 1 的上下导框套在机架大梁 8 上 , 靠四个推进油缸可以移动 750mm 。切削头前端有刀盘 , 靠两个 85kW 的电动机经减速箱和驱动小齿轮带动齿圈而旋转 , 齿圈和刀盘刚性连接。切削下来的岩渣经刀盘上均布的三个铲斗收集并提升到皮带输送机 3 上 , 向后排。切削头还有四个前支撑靴 2 , 在换位时支撑靴的油缸外伸 , 使靴板紧顶洞壁 , 以便推进油缸回缩将后部前移。

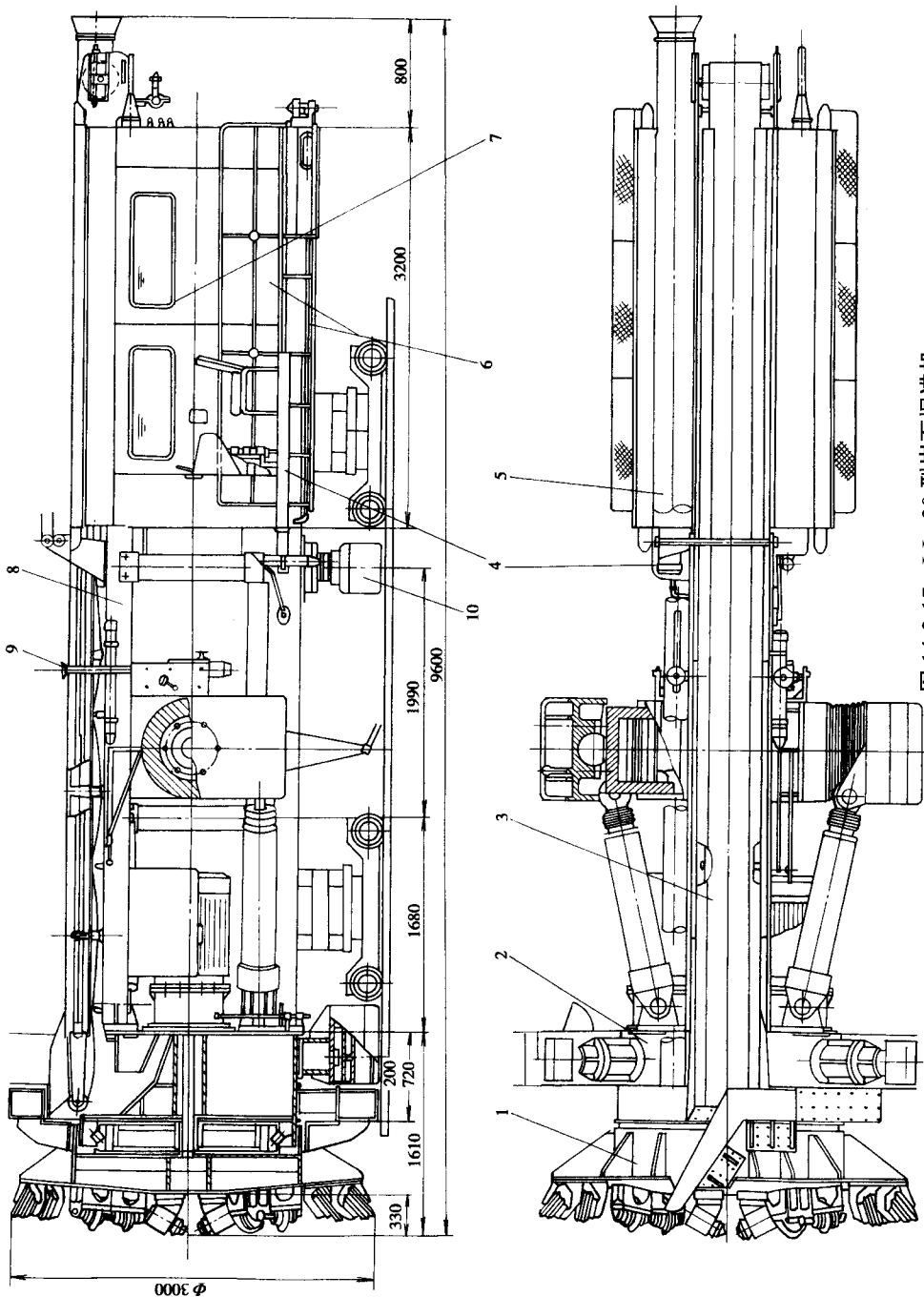


图 14-2-17 LJ-30 型岩石掘进机
1- 切削头工作机构; 2- 前支撑靴; 3- 排渣皮带机; 4- 液压系统泵; 5- 灭尘风管;
6- 机架及驾驶室; 7- 配电室; 8- 机架大梁; 9- 电钻; 10- 后支撑座

在机架大梁 8 上装有左右水平方向的水平支撑靴,在切削推进时,支撑靴由油缸紧顶洞壁。大梁最后连接着驾驶室 6,内设操纵台、配电盘、液压泵 4 等动力装置。大梁上面有吸尘风管 5,可将切削时的岩粉吸出,保证掌子面空气清洁。

为防止隧洞顶部塌方,多采用锚杆临时支护,因此在大梁中部两侧安装有两支向上打眼的电钻 9。大梁后下方有后支撑座 10。

掘进机开挖隧道的工作原理参看图 14-2-18。将水平支撑靴 10、11 顶紧洞壁,前后支撑靴 9、12 缩回,开动切削头旋转,后推进油缸 6 收缩,前推进油缸 5 施压,开动排渣用的输送机,如图 a)所示;当切削头掘进一定深度时(一般为推进油缸的一次行程),如图 b)所示;将前后支撑靴 9、12 顶紧洞壁,水平支撑靴缩回,后推进油缸伸出、前推进油缸缩回,如图 c)所示;这样掘进机外机架前移一段距离,如图 d)所示。按上述程序机器不断旋转掘进,不断换位前移,完成隧道开挖工作。

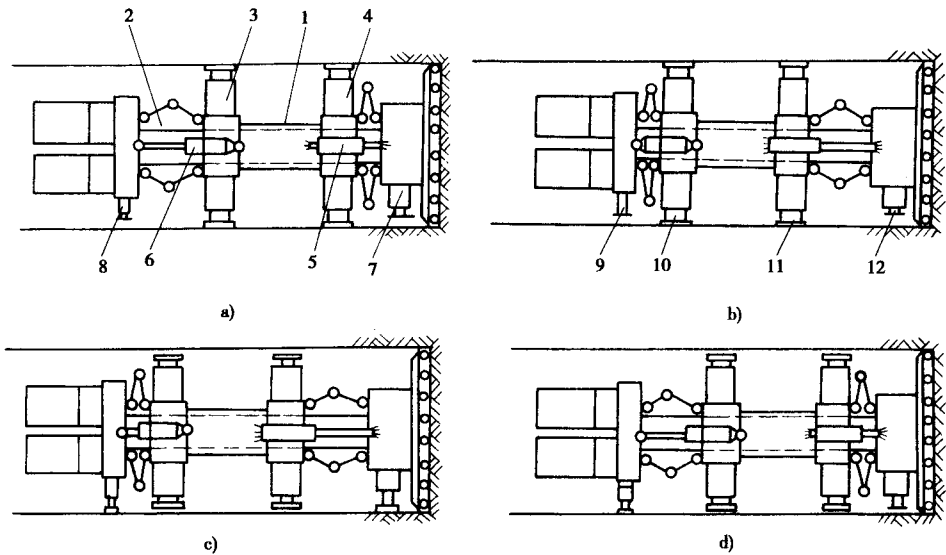


图 14-2-18 推进工作原理

- 1—外机架 2—内机架 3—后支撑缸 4—前支撑油缸;
5—前推进油缸 6—后推进油缸 7、8—前、后支撑油缸;
9、12—后、前支撑靴;10、11—水平支撑靴

第六节 臂式隧道掘进机

臂式隧道掘进机也可称为悬臂掘进机,是一种有效的开挖机械。它集开挖、装卸功能于一体,广泛应用于采矿、公路隧道、铁路隧道、矿用巷道、水利涵洞及其它地下工程的开挖。近几年随着新奥法的普及,臂式隧道掘进机已受到工程界的欢迎。

使用经验表明 这种掘进机对开挖泥质岩、凝灰岩、砂岩等岩层有极好的性能。与钻爆法相比 机械开挖的最大优势是 :不扰动围岩 ,隧道的掌子面非常平坦 ,几乎没有钻爆法产生的凹凸不平和龟裂 ,容易达到新奥法的要求 ,断面超挖量少 ,经济性好 ;另一特点是施工时减少了噪音和振动 ,符合环境保护的要求。

与全断面开挖的隧道掘进机相比 ,臂式掘进机体积小、质量轻、易于搬运。

臂式掘进机通常由切割装置、装载装置、输送机构、行走机构、液压系统和电力系统 等几部分组成 ,如图 14 - 2 - 19 所示。

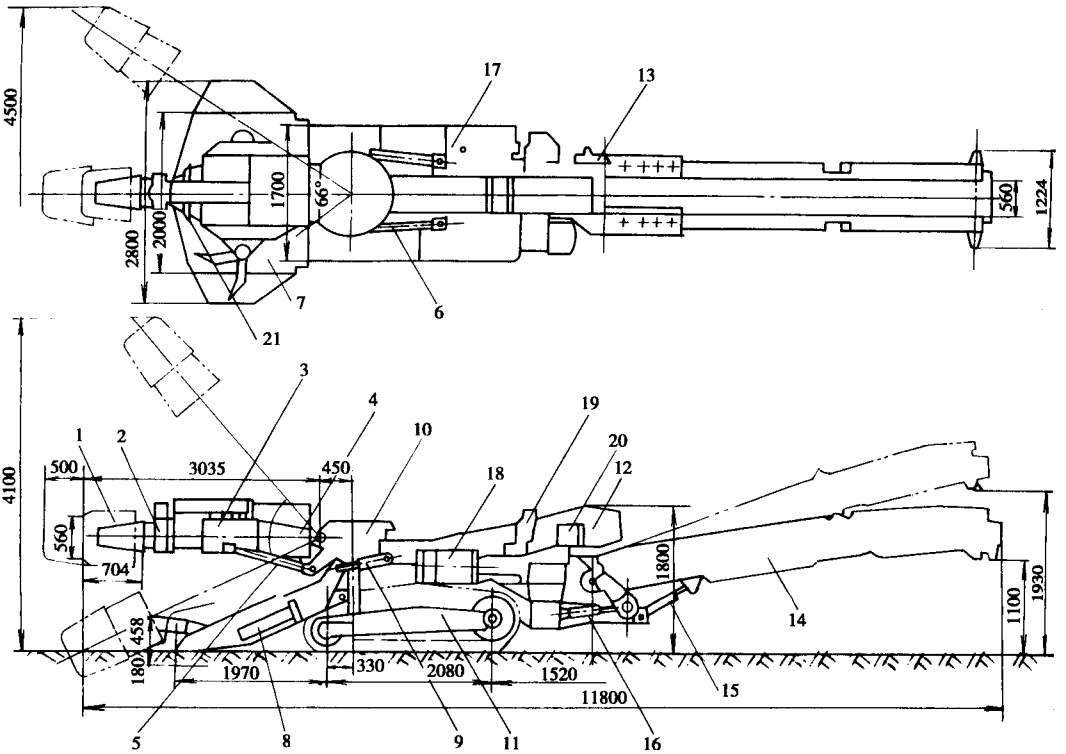


图 14 - 2 - 19 臂式隧道掘进机示意图

- 1—切割头 2—伸缩臂 3—切割减速器 4—切割马达 5—切割装置升降油缸 ;
6—切割装置摆动油缸 7—装载铲 8—集料减速器 9—装载装置升降油缸 ;
10—主车体 11—行走装置 12—一级输送机 13—一级输送机减速器 ;
14—二级输送机 15—二级输送机升降油缸 16—二级输送机回转油缸 ;
17—液压油缸 18—液压系统驱动马达 19—控制开关柜 ;
20—驾驶座位 21—水喷头

臂式隧道掘进机的作业工序是 :机械驶入工位 ,切割头切入作业面 ,再按作业程序向两边及由下而上进行切割。切割臂有伸缩、左右摆动和升降功能 ,因而机体小 ,质量轻 ,

无需占领整个掌子面,其余空间可供其它装备使用,有利于提高作业效率。

第七节 盾构机构

盾构是一种集开挖、支护、衬砌等多种作业于一体的大型隧道施工机械,是用钢板作成圆筒形的结构物,在开挖隧道时,作为临时支护,并在筒形结构内安装开挖、运渣、拼装隧道衬砌的机械手及动力站等装置,以便安全地作业。它主要用于软弱、复杂等地层的铁路隧道、公路隧道、城市地下铁道、上下水道等隧道的施工。

使用盾构机械来建筑隧道的方法称为盾构施工法。其施工程序是:在盾构前部盾壳下挖土(机械挖土或人工挖土),一面挖土,一面用千斤顶向前顶进盾体,顶至一定长度后(一般为一片衬砌圈宽度),再在盾尾拼装预制好的衬砌块,并以此作为下次顶进的基础,继续挖土顶进。在挖土的同时,将土屑运出盾构。如此不断循环直至修完隧道为止。

盾构施工法的采用,要根据地质条件、覆盖土层深度、断面大小、电源问题、离主要建筑物的距离、水源、施工段长度等多种因素加以综合考虑。

一、分类、特点及适用范围

(一)分类

盾构的形式很多,可按盾构的断面形状、构造及开挖方式进行分类。按盾构断面形状的不同,可将盾构分为圆形、拱形、矩形和马蹄形四种;按开挖方式的不同,可分为手工挖掘式、半机械化挖掘式、机械化挖掘式三种;按盾构前部构造的不同,可分为全部开口形、部分开口形、密封形三种。在盾构法使用初期,人工挖掘式盾构占很大的比例。但发展的趋势是机械化盾构越来越多。从断面形式来看,应用最广泛的是圆形盾构。因此,本节将以机械挖掘的圆形盾构为主,介绍其结构原理。

(二)机械化盾构的特点

1. 机械化盾构施工的优点

(1)提高工效,缩短工期。一般日挖进能力在砂质土壤为人工的两倍,砂和亚粘土为人工的3~5倍,粘性土为人工的5~8倍。

(2)减少塌方,生产安全。无论哪一种盾构都具有防止工作面塌方、平衡地下水压及减少塌方的优点。而且施工人员无需直接在掌子面操作,安全性高。

(3) 由于工期能缩短,节省劳力,因而可降低施工成本,经济性高。

(4) 施工环境好,施工人员无需在气压下工作,改善了恶劣的施工条件。

(5) 随着土层地质的变化,能变化挖进方法及进度。

2. 机械化盾构施工的缺点

(1) 机械造价高、质量大,较普通盾构质量大 1.5~2.0 倍,适用于长距离施工。由于质量大,因此在特软地层施工时容易发生沉陷。

(2) 任何一部分机械出故障,都必须全部停工检修。机械检修和准备作业时间长,机械利用率低。

(3) 设计、加工制造时间长。

(4) 掌子面局部塌方(盾构顶部),如发现不及时而继续掘进,会引起沉陷、局部超挖和加固操作困难。

(5) 更换磨损刀具困难。

(三) 几种盾构施工法简介

盾构种类较多,其施工方法也各有不同,现现就圆形机械开挖的切削轮式、气压式、泥水加压式、土压平衡式盾构施工法介绍如下。

1. 切削轮式盾构

切削轮式开挖的盾构是用主轴旋转驱动切削轮挖土,随切削轮旋转的周边铲斗将挖下的土屑倾落于皮带输送机上,由运输机运到盾构后部的运土斗车里,再用牵引车(电瓶车或小内燃机车)运往洞外。与此同时,推进千斤顶不断推进。当推进一个衬砌管片宽度时,立即逐片地由拼装器拼装管片(一般一圈分为六片、八片,视断面大小而异)。逐片拼装时只回收拼装片范围内的几个千斤顶。整圈衬砌拼装完后,再开始一面顶进一面挖土。如此循环前进。施工布置如图 14-2-20 所示。

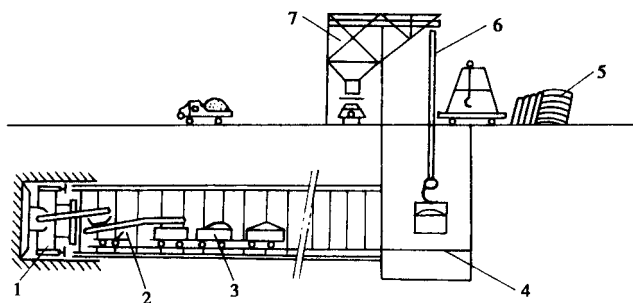


图 14-2-20 盾构施工法示意图

1—盾构 2—管片台车 3—土斗车 4—轨道 5—材料场 6—起重机 7—弃土仓

用切削轮施工的地质条件要求是:掌子面土壁能直立,土层颗粒均匀,如粘性土类。易于坍塌的砂、砾土层、敏感性高的粘土,非常软且接近液化的粘土都不利于使用机械开挖。

2. 气压盾构

气压盾构适用于在地下水位以下易于坍塌的土壤中施工,如图 14-2-21 所示。为了防止掌子面坍塌,将工作面密封在一定气压下,阻止地下水外流,以利于挖土。这时挖土可能是人工,也可以用机械开挖。由于注入的压气可能会从掌子面渗漏到地层中去,这样既不能保证工作面上气压的稳定,还消耗大量压缩空气。因此,使用气压盾构的土壤的渗透系数应适当(一般约为 $K = 10^{-4} \text{cm/s}$ 左右),在较大的砂砾层地质中使用气压是无效的。

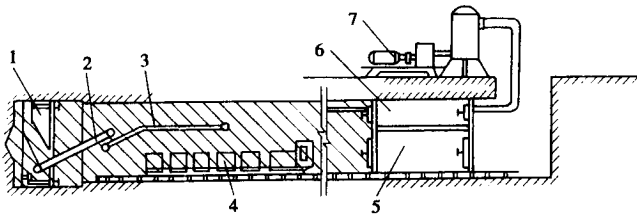


图 14-2-21 气压式盾构施工

1—盾构卸土器 2、3—皮带机 4—运土车；
5—气压工作区 6—气闸 7—压气机

使用气压盾构,是在距开挖面一定距离内设立双层气闸,其中充满压缩空气。操作人员出入和材料、土屑的运输都要经过气闸。由于人在气压下工作,为保证人员的健康,使用的气压不能过大,一般在 50kPa 左右,最高不大于 0.3MPa 。正由于这种施工条件困难,现在很少使用这种方法。

3. 局部气压式盾构

施工人员在气压下操作,不仅工效低,而且易于产生职业病。为解决这一问题而发展出一种局部气压式盾构。这种方法只在盾构的局部范围内加以密封、注入压气,施工人员在密封室外的常压下工作。因此,可采用正常开挖或局部气压开挖,且只需在盾构上预装气压设备和气闸室,随地层情况而启用。

气压盾构和局部气压盾构,除了具有密封设备、压气设备外,其余与机械开挖盾构或人工开挖盾构相同。

4. 泥水加压式盾构

泥水加压即在盾构前部设置一个密封区,注入一定压力的泥浆水,以平衡地下水压

力、阻止地下水流出、防止塌方。在密封区里有切削轮或者其它切削机具,还有泥浆搅拌机(将切割下来的土块搅碎,同时防止泥浆沉淀)以及泥浆泵的吸头,如图 14-2-22 所示。

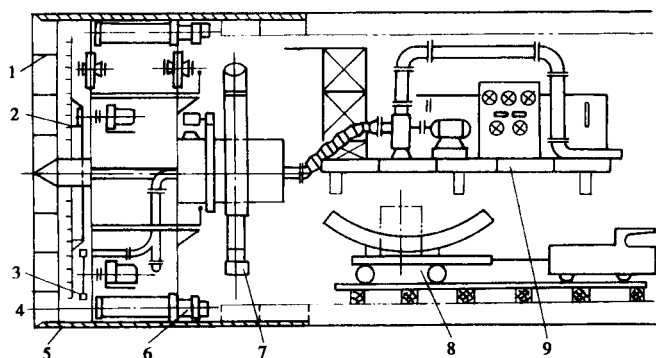


图 14-2-22 泥水加压式盾构

1—网格 2—切削轮 3—搅拌机 4—泥水腔 5—盾壳 6—盾构千斤顶；
7—拼装器 8—管片台车 9—后工作平台

其施工程序是：将压力泥水灌入掌子面，用油压千斤顶把盾体向前推进，由切削轮旋转切碎进入盾构内的土壤。切削下来的泥土与灌入的压力泥水由搅拌机搅拌成泥浆，经排泥管道输送至地面。一面切削，一面用千斤顶向前顶进盾体，顶至一定长度后（一般为一个衬砌管片的宽度），再由盾尾的拼装器安装预制好的衬砌块，并以此作为下次顶进的支承座，继续顶进切土，如此不断循环直至修完隧道。

泥水加压式盾构适用于软弱的地层或地下水位高、带水砂层、亚粘土、砂质亚粘土及流动性高的土质，尤以冲积层、洪积层使用泥水加压稳定掌子面效果最显著。

5. 土压平衡式盾构

土压平衡式盾构是在气压式、水压式和泥水式盾构的基础上发展起来的。气压式要求土壤的渗透系数适当，水压和泥水式在透水性高的砂质土、砂砾土或者地下水位过高的地层下施工困难。而土压平衡式所适应的地质范围比较广，因为它无需考虑更多的土壤物理性能。

土压平衡型“土压式”盾构（如图 14-2-23 所示）是在螺旋输送机和切削轮架内充满着土砂，利用螺旋的回转力压缩土壤，形成具有一定压力的连续防水壁，以抵抗地下水压力、阻止流水和塌方。但是它也只适用于亚粘土和粘性土地层。对砂土、砂砾土地层等渗水性大的土层，在螺旋输送机内仍不大可能形成有效的防水壁。这种情况下，可在螺旋输送机卸料口处加装一个具有分离砾石的卸土调整槽，并向槽内注入压力水以平衡

地层水压,这就形成了土压平衡型“加水式盾构”,进一步扩大了对地层的适应范围。同时,两种方法可根据地质情况交替使用。因此土压平衡式盾构的适用范围较广。

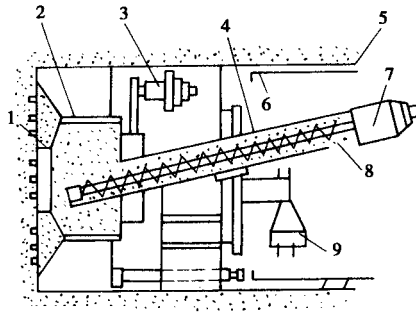


图 14-2-23 土压平衡式盾构

- 1—切削轮 2—切削轮机架 3—驱动马达 4—螺旋输送机;
5—盾尾密封 6—衬砌管片 7—输送机马达;
8—土屑出口 9—拼装器

二、机械化盾构的主要结构及工作原理

(一) 机械化盾构简介

机械化盾构有多种形式,按切削机构区分有切削轮式、挖掘式、铣削臂式;按切削方式区分有旋转切削式和网格切割式等。

1. 刀盘式盾构

这是一种圆形机械化盾构,使用比较普遍。其特点是切削轮上装有割刀,旋转方向与盾构轴线垂直。附加上气压、水压、泥水加压、土压等平衡掌子面土压和地下水压后,形成各种各样的盾构。旋转动力有液压马达驱动和电动机驱动两种。由于旋转转矩大,为便于布置,都采用多马达同步驱动。为了防止盾构由于切削反作用力而发生转动,现代多采用可双向旋转的切削轮。因此,切削轮的刀臂布置成两个反向的刀齿,或者切削轮布置成内外圈,相对旋转以平衡反作用转矩。这种盾构适用于除岩石以外的各种土层施工。

2. 行星轮式盾构

(1) 固定中心式

其形式就是在刀盘的刀臂上再装上几个小型刀盘,由于切削轨迹形成摆线型,分散了刀齿上所受的阻力,同时也能抵消回转转矩,防止盾构转动,以适应硬土层的切削。

(2) 移动中心式

在切削横臂上有两个小切削轮,可径向移动。横臂安装在伸缩油缸端部,油缸装在主臂的空心圆筒里。切削横臂一面旋转,两切削轮一面向背地向外切削。当小切削轮径向移动到最外侧直径时,横臂停止旋转,小切削轮向内移动,这样完成一个循环。这种盾构主要用于凝灰岩和片麻岩。

3. 铲斗式盾构

在盾壳里安装一个能在盾构断面范围内任意位置挖掘的铲斗,当铲斗装满后,可以缩回盾壳里,用斗底开门方式将土屑卸入排料装置。适用于软弱地质条件下开挖上下水道和各种导坑,也可用于地下铁道的开挖工程。其主要特点是能适用于任意断面的隧道开挖。

4. 钳爪式盾构

在盾壳前端装有两个半圆形钳爪,后者由铸钢或 50mm 的钢板焊成。每侧钳爪由油缸推动,两个钳爪可同时相对运动,也可单独动作。挖掘油缸支点在盾壳上,钳爪枢轴分上下铰接在盾壳里的承载环上。

5. 铣削臂式盾构

图 14-2-24 所示为 20 世纪 70 年代中期发展起来的铣削臂式盾构,适用于砂土、软岩、中硬岩的隧道开挖,尤其适用于断层地质条件。土、岩的抗压强度在 10 ~ 50MPa 以内均可开挖。

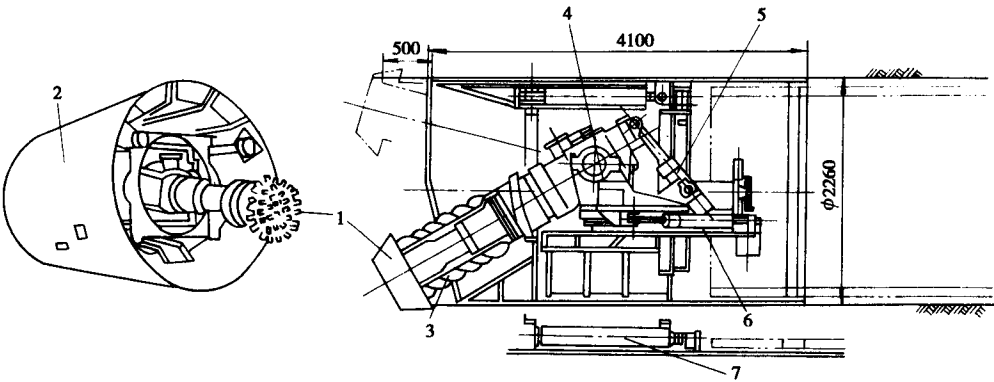


图 14-2-24 铣削臂式盾构

1—切削头 2—盾壳 3—螺旋收集器 4—支架；

5—上下摆动油缸 6—左右摆动油缸 7—前后滑动油缸

铣削臂式盾构的圆形切削臂端部有切削头 1,可逆时针旋转(从前面看)的切削臂铰接在盾壳里的支架 4 上。切削臂可以自由地切削任意部位。切削头外径为 900mm,旋转

速度 43r/min ,装有四把中心刀头和 40 把周圈刀头。刀头为组合式 ,容易更换。

整个切削臂组装在一个滑台上 ,有两个油缸操纵滑台前台移动。在螺旋收集器 3 下方有皮带输送机将土屑运出盾构。

6. 网格切割式盾构

如图 14-2-25 所示 ,这种盾构适用于特别软弱的地层 ,一般都配备气压、泥水加压等措施 ,以稳定掌子面、平衡土压和地下水压。网格本身也起到挡土作用。

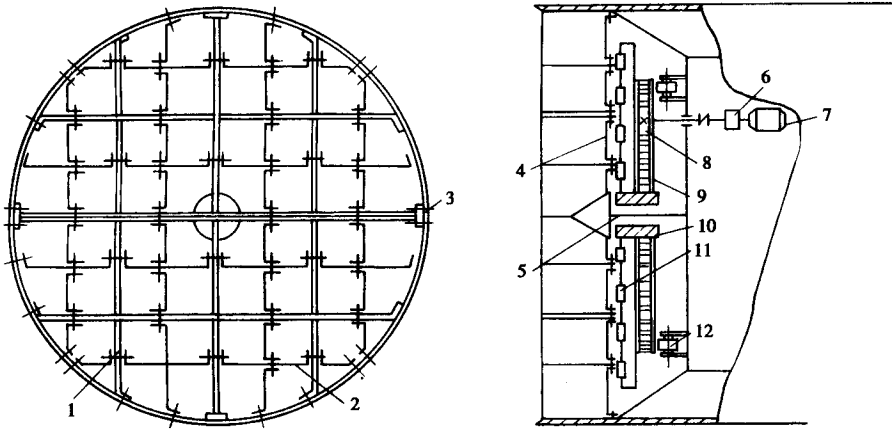


图 14-2-25 网格切割式盾构

- 1—主网格梁 2—次网格梁 3—拼装焊接面 4—挡土板 5—中心轴 ;
6—针轮减速器 ;7—电机 8—摆线齿轮 9—针柱圈 ;
10—轮鼓 ;11—刀架 ;12—支撑滚轮

依靠推进千斤顶使盾构插入地层 ,掌子面上土壤从网格中空被挤出。如遇到流动性大的土质或流沙等 ,可在网格中装上挡土板。是局部安装还是全部安装挡土板 ,视地质情况而异。全部装上挡土板即为密闭式盾构 ,采取闭胸挺进。

图 14-2-25 为网格配以泥水加压式盾构。网格后的泥水腔内设有刀盘 ,是为了将挤进来的土块切碎 ,便于搅拌器搅碎成泥浆 ,依靠吸泥泵将泥浆抽出到地面处理。

这种盾构适用于除岩石以外的一切土壤的开挖 ,无论有无地下水均能使用 ,但多适用于特别不稳定的软弱地层或地下水位高、带水砂层及粘土层和流动性大的土质 ,尤以冲积层和洪积层使用网格泥水加压式固定掌子面效果最好。

(二) 机械化盾构的总体结构

上述几种机械化盾构 ,尽管其作用原理有所不同 ,但都由下列几个主要部分组成 ,即切削机构、盾构、动力装置、拼装机、推进装置、出料装置和控制设备等。图 14-2-26 所

示为切削轮式机械化盾构的结构简图。

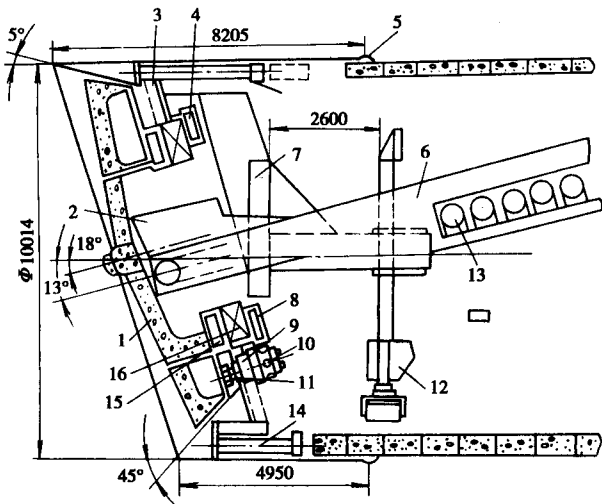


图 14-2-26 切削轮式盾构

- 1—切削轮 2—卸土斗 3—隔墙 4—轴承座 5—盾尾密封 6—主输送机；
7—油箱 8—轴承座 9—减速器 10—油马达 11—滚针轮 12—拼装器；
13—油泵站 14—盾构千斤顶 15—大齿圈 16—主轴承

(三) 切削部分

1. 切削刀

切削刀有三角形、螺旋形、片式、楔形、水力切削等几种形式。三角形刀刃通常安装在切割轮的中心,起旋转定位的作用;螺旋形刀刃也是一种中心刀,适用于较硬的土壤,但由于制造成本高,一般较少采用;片式和楔形刀刃均用作周边刀,片式刀用于较软土壤的切削,楔形刀用于砂砾土或较硬的粘土;水利切割式刀是将 10MPa 的水通过喷嘴射入土壤,边旋转边喷割,适用于硬土或土层稳定性较好的地质。刀齿的形式一定要适应土壤的性质,特软的土壤无需用机械化盾构施工,若用机械化盾构,就必须预先加固土壤,如注药、冷冻或用网格切割式盾构等稳定掌子面;中硬土采用楔形、片式刀刃及组合式刀刃;在硬土中多采用行星式、鏟式刀齿。

刀刃工作条件恶劣,承受的载荷复杂,要承受极大的推压力、冲击力(遇土层中的石料时)和摩擦力等。因此,要求刀刃具有高强度、高韧性、耐磨性。刀刃材料有:工具钢、整体合金钢(如碳化钨合金钢)或者在其它合金钢刀体上堆焊碳化钨耐磨材料。

2. 切削面的形式

(1) 软地层时,盾构的切削面

软地层中由于掌子面土壤不能直立,所以要在刀盘面各刀刃之间的空档安装挡土板,以防土砂流入。挡土板应有工作孔,当发现土层中有漂石、木材头时,能及时取出。

切削面形式有两种:伞形和直线形。伞形能保持一定的切削中心,挺进时不易产生方向上的偏差。直线形结构则相反,而且切削阻力约增加 10%~20%左右。

(2) 硬地层时,盾构的切削面

在硬地层开挖的盾构,一般前面无需挡板,只用带刀臂的切削轮。为使盾构适应地层变化,通常盾构的切削面做成挡板可拆卸式。遇软地层时,装上挡板;遇硬地层时,卸下挡板,便于观察掌子面。

(3) 切削面倾斜

随着盾壳前端形式的不同,切削面也随之变化。如图 14-2-26 所示,切削轮轴线与盾构轴线下倾,刀盘也向下倾,这是由于后壳的切口环上部向外伸出,可使掌子面稳定,减少坍塌。

3. 切削轮支承机构

切削轮的支承机构支承切削轮的旋转和承受切削的反作用力。此外,为了提高作业效率,在拼装衬砌时,切削轮可继续切削,这样在切削轮的支承机构上有单独的顶进机构,因此,支承机构还要承受顶进时的反力。这三种载荷都使支承机构承受一定的轴向和径向力。

(1) 支承装置的形式

常用的切削轮支承方式有以下三种,如图 14-2-27 所示。

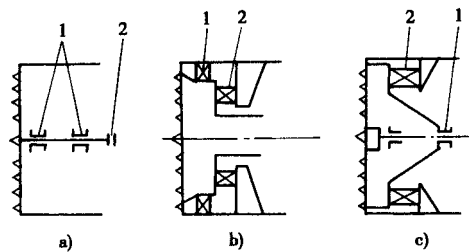


图 14-2-27 切削轮的支承方式

a) 中心支承式 b) 圆周分散支承式 c) 混合支承式

1—径向轴承 2—止推轴承

①中心支承式:切削轮中心轴是心轴又是传动轴。在轴上有径向轴承 1,轴端有轴向止推轴承 2。这种支承方式的特点是支承简单,驱动方式也简单,易于维修和保养。但是占据了盾构中心部分,导致作业空间减小,安装排渣装置困难。中心支承式以采用泥水

加压式盾构为宜,适用于中小直径的盾构。

②圆周分散支承方式:切削轮不是用主轴驱动,而是切削轮内侧与圆筒连接,在圆筒周围和后端面装有径向轴承 1 和止推的轴向轴承 2。由于直径大,也有采用支承滚子代替一般的滚动轴承的。在滚子或轴承处设有密封装置,防止土砂流入。

这种支承方式的特点是:径向、轴向载荷分散,盾构中心部分空间大,可保持一定的作业空间。但其缺点是:由于支承部分与盾壳靠近,对轴承的保养、维修困难。

③混合支承方式:它是中心支承和圆周分散支承二者兼用的形式,因此兼有二者的优点。这种方式,径向载荷由中心轴承支承,轴向载荷则由圆周滚子轴承支承。中心轴承多采用滑动轴承和滚珠轴承,圆周轴承采用滚子和滚柱轴承。为防止泥砂侵入轴承,都需要采用密封装置。

(2)切削轮顶进机构

切削轮一面切削,一面需要顶进。顶进方式有两种,一种是随盾构的推进而前进,另一种具有独立的顶进机构,也就是盾构的推进与切削轮的顶进分开。

①随盾构推进而顶进:这种方式是机械化盾构上最普遍的一种形式。随着盾构推进千斤顶的推进,旋转轮进行旋转切削,因此,当在拼装衬砌管片时,停止推进,从而切削轮也就停止了顶进。掘进工效受到拼装衬砌及运输工序的影响。就切削机理而言,切削轮顶进力要克服刀刃切削阻力和切削轮的摩擦阻力。当提高切削速度(旋转速度)时,可以减小切削阻力,但会增加顶进阻力。但这一阻力在大直径盾构上一般仅为 5kN/m^2 ,在小直径盾构上也较小。而盾构的推进阻力一般在 $500 \sim 1000\text{kN/m}^2$ 之间。由此可见,切削轮的顶进阻力仅为盾构推进阻力的 $1/10 \sim 1/20$ 。所以,这种方式无需另外占用功率,也无需单独设计切削轮的顶进机构。

②独立的切削轮顶进机构:由于安装了独立的顶进机构,在安装衬砌管片、盾构停止推进时,可由独立顶推机构顶进,使切削轮仍可连续作业,从而提高了掘进工效。采用这种方式时,切削轮的顶进行程为一环衬砌管片的 $1/2$ 宽度,也就是拼装一次衬砌管片,切削轮顶进两次。独立的顶进装置,是在中心轴后端设置顶进千斤顶,或者在切削轮后圆筒上设置顶进千斤顶。这样的机构既要在切削轮后圆筒上安装支撑和止推轴承,又要装置顶进千斤顶,使结构复杂化。但其很大的优点是,在启动切削轮时,可将切削轮后退,减小切削轮的启动转矩。同时在切削中遇有大石、木桩等障碍物时,能退回切削轮,排除障碍后再顶进。

4. 切削轮的驱动机构

(1)切削轮驱动方式

①中心轴驱动式 有减速型和直联型两种。减速型是切削轮固定于中心轴上后端,既是心轴又是转轴。油马达或电动机驱动小齿轮,再由小齿轮带动固定在切削轮上的大齿轮,使切削轮旋转。直联式是油马达直接驱动切削轮轴,使切削轮旋转。这种驱动方式适用于 4m 以下的小直径盾构,其优点是结构简单、维修方便,但盾构中心部分作业空间小,与出渣装置有干扰。

②切削轮驱动式 这种驱动方式有外齿轮驱动、内齿轮驱动和内齿圈驱动三种型式。这种驱动方式是在切削轮后连接有外齿轮、内齿轮和内齿圈,用油马达或者电动机直接驱动。随切削转矩大小来确定马达台数,但是要求均匀分配转矩。这种驱动方式适用于大直径的盾构。大直径切削轮的转速不能过高,一般在 $0.55 \sim 1.5 \text{ r/min}$ 之内,最低的为 0.25 r/min 。由于转矩较大,大多数采用多台马达同步驱动。为了适应地层情况变化,多采用无级变速传动方式。随着液压技术的发展和油马达技术的日趋成熟,绝大部分盾构,都采用油马达作动力。

③行星驱动方式 这种形式有 2 个或 4 个小切削轮,小切削轮除自转外,还随大切削轮旋转,所以小切削轮是作行星运动。由于切削轮旋转方向相对运行,可抵消盾构转动力矩,另外还有结构体积小的优点,适用于切削硬土以至岩石。

④油缸直接驱动方式 是切削轮驱动的一种特殊形式。通过油缸和棘轮机构实现转动,当油缸伸长时切削轮就旋转,缩短时,油缸活塞杆头的滚子滑过棘轮齿,此时另一个油缸正处伸长位置使棘轮转动。依次,连续操纵不同位置的油缸,使棘轮连续旋转。通过供油量大小及供油压力调节转速和转矩,以适应不同的地质状态。这种方式结构简单、维修容易、制造成本低,但切削轮会产生跳动。

(2) 切削轮的转速

盾构切削轮的转速,要视刀盘的直径大小而定。一般来说,刀盘直径大,转速就低;刀盘直径小,转速就高。其原因是,刀具切削土壤时,线速度要求低于 20 m/min 。如果线速度超过此限值,切削阻力急剧增加,刀具磨损加剧,造成不断地更换刀具;另一方面,切削速度增加,还引起刀盘旋转扭矩增加、后方出土量增大及设备的增加,从而造成极不经济的效果。

一般开挖直径在 $3.0 \sim 7.0 \text{ m}$ 时,切削轮转速以小于 4.0 r/min 为宜。

(四) 动力装置

盾构机械的动力主要是电力和液压力,目前大多数盾构机械是采用电液混合动力源。随着液压技术的发展,采用全液压为动力的盾构将会越来越多。无论采用单一动力还是混合动力,都是设在一个动力站里。动力站可设置在盾构的支承环下部两内侧,也

可设置在一个轨行式小台车上 ,小台车紧跟在盾构的后方。

采用电力的动力站由变压器、配电盘、控制台、推进机构用的高压油泵站、油箱等设备组成。电源是从隧道外高压变电所输入的高压电 ,如果隧道较长 ,使洞外输入电压降增大时 ,盾构的动力站就需要设有变压器 ,将洞外输入的高压电变换成 380V 的动力用电、36V 的照明用低压电以及操纵用的直流低压电等。

采用全液压的动力站 ,除了具有上述电力的动力站所有的电器元件外 ,还要设置多台高压油泵机组。目前盾构所用的液压泵 ,多采用变量油泵 ,液压压力高达 30 ~ 70MPa。从油泵输出的液压油经油管输送到盾构支承环内腔的液压操纵台上。

一台盾构机械所消耗的电能很大 ,包括动力站、输送机、水泵、充电机、起重机和拼装机等设备 ,所需要的功率将近 300kW。

此外 ,掌子面不稳定、需要采用平衡土压和水压施工方法时 ,其采用的设备需要消耗近 1100kW 的功率。而且气压法施工是不能停电的 ,需要有一定的预备电源。

(五)盾壳

盾壳的作用主要是 :承受地层压力 ,起临时支护作用 ,保护设备及操作人员的安全 ;承受千斤顶水平推力 ,使盾构在土层中顶进 ;同时 ,它也是盾构各机构的骨架和基础。盾壳由切口环、支承环及钢板束通过铆接与螺栓连接而成。其结构如图 14 - 2 - 28 所示。

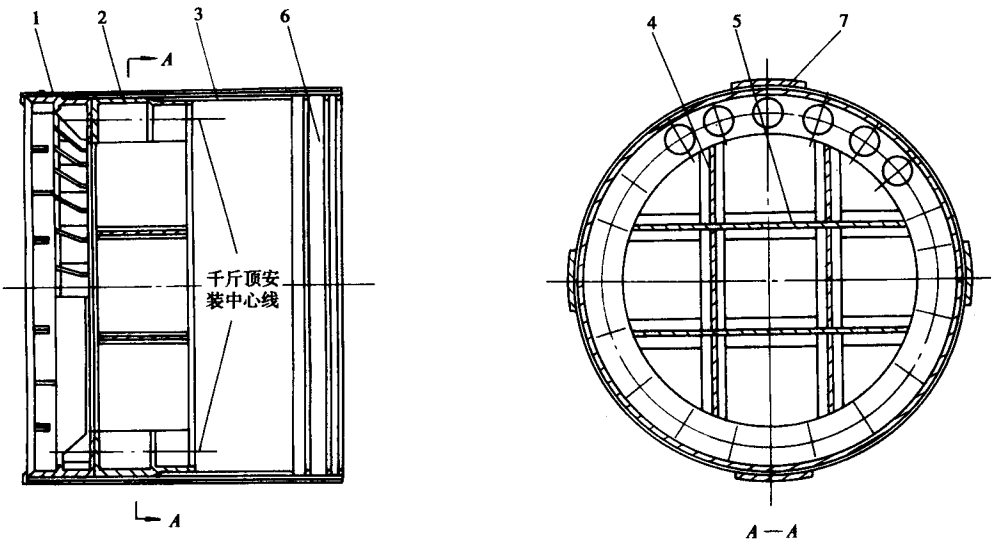


图 14 - 2 - 28 盾壳结构简图

1—切口环 2—支承环 3—钢板束 4—立柱 5—横梁 6—盾尾密封 7—盖板

1. 切口环结构

切口环为盾构最前面的一个具有足够刚度和强度的铸钢或焊接环。为便于制造、运输和拆卸,根据盾构外径尺寸的大小,一般将切口环分成几块铸造,结合面一般选在盾壳受力为反弯点附近,组装时用螺栓连接。但由于铸件质量较大,制造时变形也大,成品率较低,焊接性差。所以,目前国内多采用钢板焊接切口环。切口环前端常切成锐角,便于切入地层,减少顶进阻力。在切口环上,对应于每一个千斤顶的中心线处有三角形肋板,通过这些三角形肋板,将千斤顶水平推力传至包在它上面的钢壳上。

2. 支承环结构

支承环与切口环相似,也是具有一定厚度的铸钢件,内有环形肋板和纵向加强筋,其上开有安装盾构千斤顶的圆孔。支承环与切口环间用螺栓连接,是主要承载部件。同样按盾构外径大小分成几块,块数较切口环多些,各块之间用螺栓连接。盾构支承环的长度视千斤顶长度而定,一般取一块衬砌块的宽度再加上适当余量。支承环的每两条纵向加强筋之间是盾构千斤顶的安装位置。千斤顶的水平推力通过支承环传递至切口环。

3. 钢板束

由两层 16Mn 钢板铆接而成,依盾构直径大小分块,包在支承环与切口环外面。钢板束连接缝必须与支承环各块间连接缝错开。钢板束较支承环长,伸出部分构成盾尾。钢板束在包裹时,亦必须将支承环与切口环之间的连接缝包住。长度略小于盾构全长,它与支承环、切口环间用铆钉连接。在钢板束各块间的接缝处包有盖板。

4. 立柱

在支承环内设有两根垂直立柱,它沿盾构轴向的宽度等于支承环长度,断面为工字形。其作用是支承盾体结构、提高盾构壳体的承压能力,并作为盾构内安装设备的支柱。立柱与支承环纵向加强筋间用螺栓连接。

5. 横梁

水平方向有两条水平横梁与立柱垂直相交。通过强度计算可知横梁受力比立柱大,而且横梁受拉、立柱受压,所以一般将横梁设计为两条直通梁,立柱在相交处断开,这样受力比较合理,提高了盾构强度。它与支承环的连接方式与立柱相同。

6. 盾尾

盾尾在盾壳的尾部,由环状外壳与安装在内侧的密封装置构成。其作用是支承坑道周边,防止地下水与注浆材料被挤入盾构隧道内。同时盾尾也是进行衬砌组装的地方。盾尾的环状外壳大都用高强度的薄形钢板制作,以减少盾构向前推进后留下的环状间隙。盾尾的长度取决于衬砌形式。

为防止泥水和水泥砂浆从盾构外流入盾构内和盾构内压气向地层中漏泄,在盾尾内壁与衬砌之间设有密封装置。对泥水盾构,盾尾密封装置尤为重要。因为盾构外壁充满压力泥水,一旦密封装置损坏或密封不良,压力泥水便会从盾尾内与衬砌环结合处大量涌进盾构内,使盾构无法操作。由于盾构不断顶进,盾尾内壁与衬砌环外圈间摩擦力很大,极易将密封损坏。目前国内外在泥水盾构的密封上都采取了各种措施,试验了各种结构,已基本解决了渗漏问题。如在盾构密封装置中采用具有独特弹性的高强度合成橡胶或尼龙材料并在两边加装护板、用螺钉装在盾尾内壁上的技术。盾尾密封形式很多,图 14-2-29 所示是几种常见的端部密封装置。

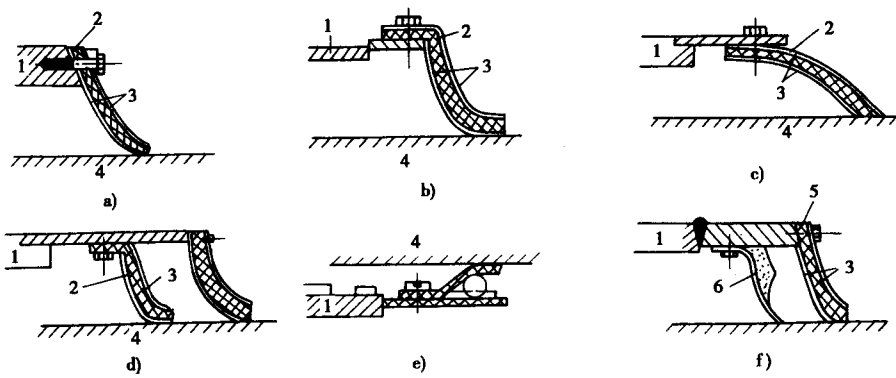


图 14-2-29 几种常见的端部密封装置

1—盾壳 2—合成橡胶 3—护板 4—衬砌环外壁;
5—氯丁橡胶 6—胺基配乙酯泡沫

由于地下水及水泥砂浆压力较大,仅一层密封有时还不能获得满意的效果,而且端部密封损坏后不易更换,现已开始采用多层密封形式。

7. 盾壳头部形状

盾壳头部形状和尺寸必须适应地层条件,如保证掌子面稳定、作业空间的安全等。一般情况都将盾壳前部上顶做成前突状,有前沿阶梯形和倾斜形两种,上顶前突出的目的是为了防止塌方、保护作业空间。

盾壳前突长度一般在 100~300mm。过长会增加盾构推进阻力,使盾构失去平衡、导致盾构发生蛇行。

(六)推进装置及调向原理

盾构在土层中掘进时,是靠安装在支承环内的液压千斤顶(衬砌环为支承座)推动盾体向前顶进的。由于盾构内部空间狭窄、安装条件恶劣以及盾构的工作情况与其它机械不同,所以对于液压千斤顶有其独特的要求,即结构简单、体积小、质量轻、便于安装和布

置,各千斤顶之间同步性能要好,有必要的防护装置,避免灰尘、泥水、砂浆混入液压油或千斤顶内。

1. 液压千斤顶在盾构内的布置

盾构千斤顶的布置一定要使圆周上受力均匀。千斤顶行程是一环衬砌环宽度加上适当余量。千斤顶在盾构内的布置需满足以下几点:①千斤顶轴线与盾构中心线要平行;②布置在靠近盾壳的内圆周圈上,尽量少占盾构空间,等距分布并尽可能缩小千斤顶轴心线与砌块中心的偏心距;③安装台数一般是双数。

常用的配置方法有等分布置法、不等分布置法和斜面布置法等,如图 14-2-30 所示。

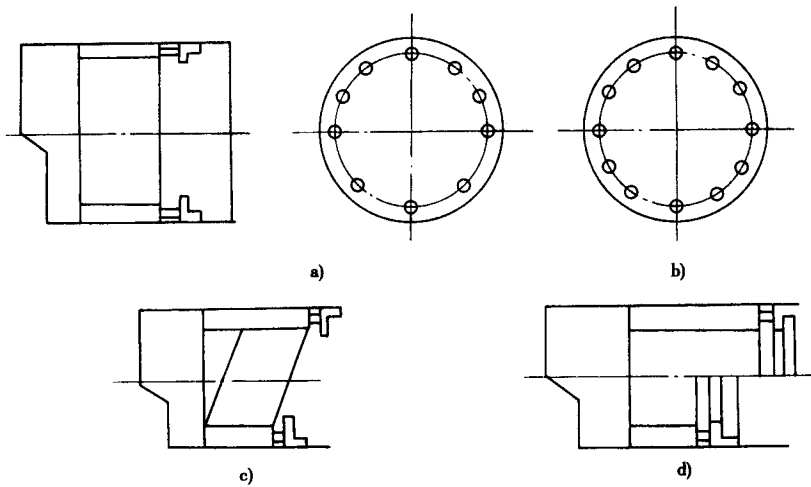


图 14-2-30 千斤顶在盾构内的布置方法

a) 非等分布置 b) 等分布置 c) 斜面布置 d) 上下面不对称布置

(1) 非等分布置:此布置法是一般常用的方法。按盾构横断面垂直轴左右对称布置,千斤顶台数按顶力大小布置,如水平轴线下部顶力小,布置的千斤顶台数就少。

(2) 斜面布置法:为了提高盾构掘进速度,一定要提高衬砌环的安装效率。采用斜面布置法可在两处同时安装衬砌环,一部分千斤顶在安装中心线以下一半,另一部分千斤顶则在已安装好的下环上安装上半部衬砌块,于是实现了两组同时作业,提高了安装效率。但缺点是使盾构长度增加,不太经济。

(3) 上下不对称布置法:以盾构横断面水平线为界,下半部正常布置千斤顶,上半部滞后一衬砌环宽度布置千斤顶,可分别安装衬砌块,上下互不干扰。因此,可提高安装效率,加快盾构掘进速度,但这种方法实际中应用较少。

2. 盾构调向原理

如图 14-2-31 所示,在盾壳支承环部装有四组八个推进油缸。如果四个缸组同时动作,即获得盾构的直线前进,如按表 14-2-1 分别动作,则获得盾构的调向运动。

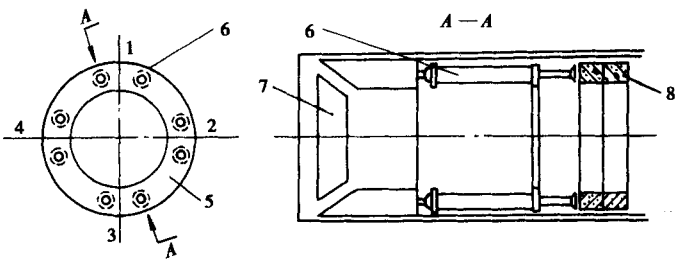


图 14-2-31 盾构的推进装置

1、2、3、4—四位推进油缸组 5—盾壳 6—推进油缸 7—切削轮 8—衬砌环

表 14-2-1 盾构调向作业表

油缸组	直线	左转	右转	上倾	下斜	油缸组	直线	左转	右转	上倾	下斜
1	工作	工作	工作	—	工作	3	工作	工作	工作	工作	—
2	工作	—	工作	工作	工作	4	工作	工作	—	工作	工作

(七) 拼装机构

1. 拼装机构的作用

随着盾构的向前推进,隧道的永久支护需要同时进行拼装。用盾构施工法时,隧道的永久支护通常是在地面预制好的钢筋混凝土管片,运输到盾构尾部,然后用盾构拼装机构(即机械手)逐片进行拼装。

隧道的永久支护多为圆环形(简称为管片),是由若干个弧形拱片组成,如图 14-2-32 所示。为此,拼装机需具备以下三个动作,即提升管片、沿盾构轴向平行移动和绕盾构轴线回转。相应的拼装机构有起升装置,平移装置和回转装置。

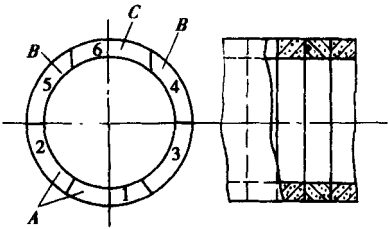


图 14-2-32 拱片拼装图

1、2、3、4、5、6—拼装顺序 A—标准块 B—邻接块 C—封顶块

拼装机按支承方式的不同,有两种型式。一种是圆周支承,这种型式适用于较小直径的盾构,可充分利用盾构中心空间;另一种是中心筒式支承,它又分为单臂式和双臂门架式两种,主要用于较大直径的盾构,利用中心筒安装刮板(或皮带)输送机或管道设备。

2. 中心筒式双臂拼装机

如图 14-2-33 所示为中心筒式双臂拼装机,用于直径 10m 的盾构。由三个部分组成起升、平移和回转三个动作。其结构特点是:三个主要运动部件(即起升机构、平移机构和回转机构)都采用液压马达驱动。为满足安装管片时被吊装管片的微动要求,在举重钳架上有纵向摆动、轴向摆动及环向摆动机构。这三个动作均以手动蜗杆操纵。

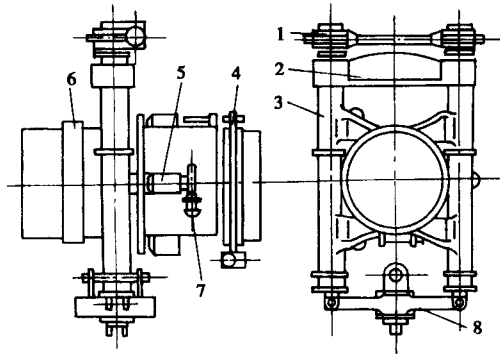


图 14-2-33 中心筒式双臂拼装机

- 1—起升驱动和减速装置 2—平衡箱 3—起升柱；
4—平移机构 5—回转机构 6—移动管柱；
7—回转液压马达 8—举重钳

拼装机安装在盾构支承环后侧的中心支承架上,用螺栓连接。出渣的输送装置装在中心筒中。

(1) 起升机构

起升机构由液压马达驱动,经蜗轮蜗杆减速后,驱动螺杆转动。和起升臂连接在一起的螺母套构,在螺杆上,因此,当螺杆旋转(但不能轴向移动),而螺母与起升臂就作轴向升降。采用同步连接轴与四个齿数相同的齿轮来保证使左右起升同步。

(2) 平移机构

平移机构如图 14-2-34 所示,液压马达 1 驱动蜗杆蜗轮,在蜗轮轴上的小齿轮 4 驱动大齿圈 5,大齿圈圆周均布有三个小齿轮 6,后者的轮轴带有螺纹,螺母 7 与移动管柱(见图 14-2-33 的件 6)刚性连接。因此,当小齿轮 6 旋转时,螺杆也旋转,螺母 7 带动整个拼装机作轴向移动。

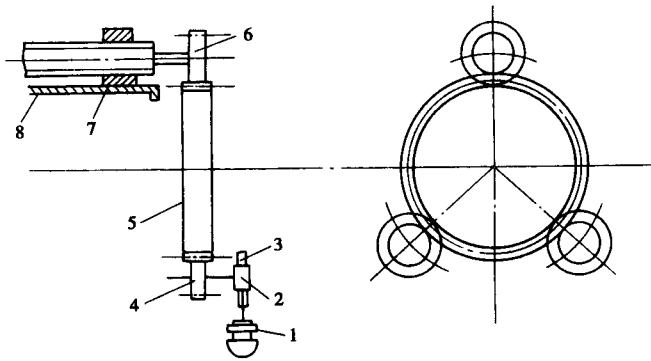


图 14-2-34 平移机构传动图

1—液压马达 2—蜗杆 3—蜗轮 4—驱动小齿轮 5—齿圈；
6—平移小齿轮 7—螺母 8—移动管柱

(3)回转机构

移动管上安装有大齿圈 ,其周围均布有三套液压马达、减速装置和驱动小齿轮。回转液压马达经谐波减速器驱动小齿轮 ,从而带动大齿圈旋转。

(八)盾构施工的导向装置

盾构施工的导向装置的作用是随时指出盾构的顶进方向 ,使司机能控制机器按预定的设计线路顶进。盾构在掘进中 ,由于地层阻力、刀盘切削反作用力及推进千斤顶作用力等的不均匀 ,使盾构偏离既定的中心 ,这在施工中是不允许的。因此 ,导向装置是一个很重要的部分。

随着科学技术的发展 ,激光导向技术已开始用于隧道掘进工程中。其原理就是利用有良好直线性光束的激光 ,投射到盾构里 ,使操纵者及时地了解盾构的偏离、偏转情况 ,并随时纠正顶进方向 ,保证施工质量 ,提高施工速度。下面简单地介绍激光导向的工作原理和激光导向装置。

1. 激光导向的工作原理

将激光发生器固定在已成洞的洞壁 ,利用激光发生器发射出来的直线光束 ,投射到盾构里的靶板上 ,再用某种支持系统 ,以一种简单易见的形式指出盾构顶进的方向 ,如图 14-2-35 所示。激光测量线是一束容易看见的明亮的红光束 ,投射到盾构内的塑料靶板上是一个红光点 ,用激光管的光学系统使激光束直径保持在 0.94cm。司机根据激光投射的光点与靶上预先设计好的隧道中心线位置是否相符来调整盾构上、下、左、右的位置。

2. 激光导向装置的组成

激光导向系统由激光发射装置、检查和转换装置及控制装置等组成。

(1) 激光发射装置

激光发射装置包括两个部分,即激光器和光学仪器。

(2) 检查和转换装置

检查和转换装置由在盾构支承环后端隔板上的接收靶 6、接收器 7、放大器 8 和测量倾斜的摇摆倾斜计 9 等组成(如图 14-2-35)。

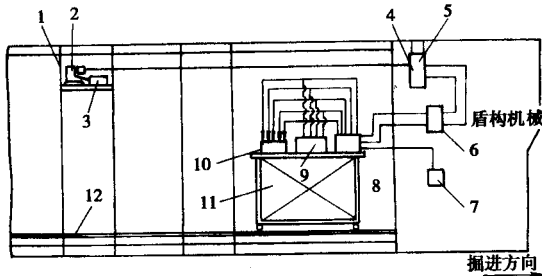


图 14-2-35 激光导向装置示意图

1—吊架 2—经纬仪和棱镜 3—激光器 4—衬砌管片 5—激光束；

6—接受靶板 7—接收器 8—放大器 9—摇摆倾斜计；

10—变换器 11—显示器 12—打印机

接受激光的靶板有两种：一种仅在靶板上绘有掘进设计中心图线，以观察激光点与该设计中心线的差距，供司机调整盾构方向；另一种则是具有光电转换功能的靶板。第二种靶板又有以下二种：一种是带有 X 轴和 Y 轴伺服随动机构——光电板，当激光光点射到光电板上时，通过光敏元件转换成电量，经过放大器输入变换器。如果再接入电子计算机，就能形成全自动控制的导向、调向系统。另一种是激光靶板的受光板分为 A、B 和 C、D 四个区域，A、B 和 C、D 的受光面积和电量的输出成比例。受光板靠伺服马达在水平、垂直两个方向移动，伺服马达用齿轮与同步马达啮合。伺服马达的移动量就是同步马达移动量，同步马达的输出作为电信号输出，来显示偏差，并控制调向装置。

转换方式为差动转换式，它可调整盾构倾斜的位置。是依靠摇摆倾斜计的摆角信号输入变换器中，转换成角度来显示的。

(3) 显示和控制装置

如图中所示，在盾构后方紧跟着一台轨行式小台车 13。台车上装有变换器 10、显示器 11、打印机 12，彼此以电路连接。从接收器传来的 Y 轴、 X 轴和倾斜计的信号(电量)，经变换器转换成数字显示在显示器上。 X 、 Y 是以毫米(mm)表示，倾斜角度以度、分表示。

(九)出渣装置

盾构掘进的同时需将挖掘下来的土及时地输送出盾构及盾构作业区。无论是哪一种形式的盾构,都必须设置出渣装置。

出渣装置的形式取决于所用盾构的施工方法。一般多用皮带输送机,也有采用刮板输送机的。泥水加压式盾构则只能采用真空管道输送出渣。20 世纪 70 年代以来,出现了利用水力管道运输的方法,这种出渣方法便于设备在洞内的布置,且可与其他材料的运输互不干扰。

第八节 掘 进

一、破岩机理

掘进机切削破碎岩石的机理是它在掘进时盘形刀沿岩石开挖面滚动,同时通过大刀盘均匀地在每个盘形刀上对岩面施加压力,形成滚动挤压切削而实现破岩。大刀盘每转动一圈,将贯入岩面一定深度,在盘形刀刀刃与岩石接触处,岩石被挤压成粉末,从这个区域开始,裂缝向相邻的切割槽扩展,进而形成片状石渣。图 14-2-36 显示了掘进机切削岩石的机理。

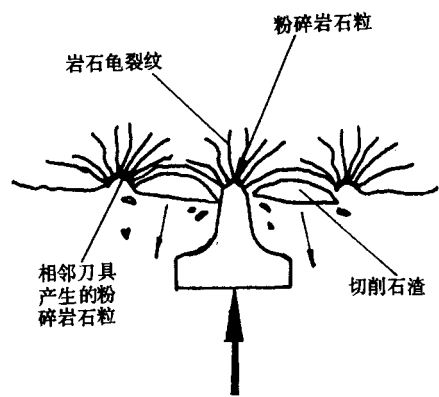


图 14-2-36 掘进机切削岩石机理示意图

不同的岩石需要不同的盘形刀压入岩石的最低压强值,才能达到较理想的贯入深度。而贯入深度,在坚硬的和裂隙很少的岩石中,一般为 2.5mm/转~3.5mm/转,在中等

坚硬和裂隙较多的岩石中 ,一般为 5mm/转 ~ 9mm/转。

如前所述盘形刀的刀间距问题。如果刀间距太大 ,一把盘形刀产生的压力达不到与相临盘形刀的影响范围相接 ,必定开挖不出片状石渣 ,从而使开挖效率降低。反之如果刀间距太小 ,则会使石渣块太小 ,从而浪费了设备的功率。

单个盘形刀(图 14-2-37)的使用寿命 ,与轴承使用寿命、刀圈材质和加工质量、以及它在大刀盘上的位置有关。目前刀圈的形状已趋于常断面型 ,它的优点是刀圈尖端宽度在磨损后仍保持不变 ,因此确保了既使它承受的荷载有变化 ,也将是具有良好的贯入速度 ,从而提高了切割速度并降低刀具的消耗。

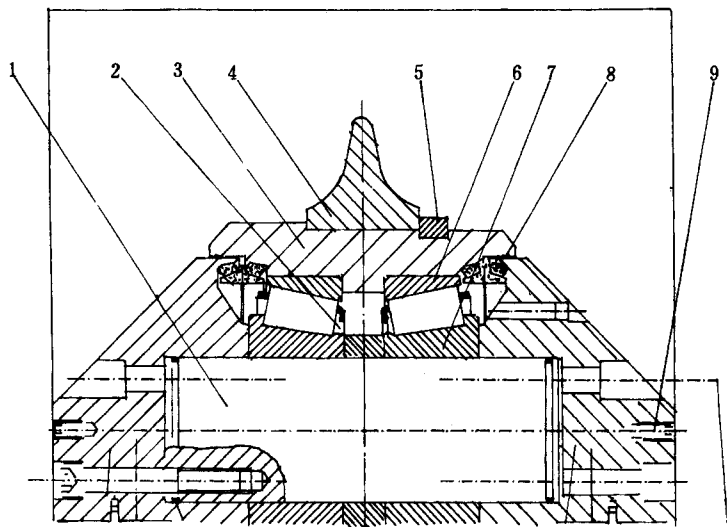


图 14-2-37 正滚刀示意图

1—刀轴 2—隔圈 3—刀体 4—刀圈 5—挡圈 6—轴承外圈 ;
7—轴承内圈及滚柱 8—滑动密封 9—紧固螺钉

应该强调指出 ,对掘进机施工不仅要注意岩石的抗压强度 ,还应注意岩石的磨蚀性以及岩体的裂隙程度 ,当岩体节理裂隙面间距越大时 ,切割也就越困难。表 14-2-2 是通用于世界的裂隙分级标准。关于裂隙度与盘形刀的磨损规律 ,我国还无研究成果 ,通过秦岭隧道的施工 ,将会总结出一些规律。

表 14-2-2 UNIT 裂隙分级参考资料

裂隙分级(节理频率/裂隙标准)	0	0~Ⅰ	Ⅰ~	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
软弱面的间距(cm)	—	160	80	40	20	10	5

注 :参考资料为挪威工业大学—UNIT 硬岩掘进机

二、施工管理

采用掘进机开挖隧道 ,实现了隧道施工的工厂化 ,这是一个大的管理系统工程。提高施工现场管理和设备管理水平 ,是提高掘进机施工效率和效益的基础。

从图 14 - 2 - 38 可知 ,使用同一型号的掘进机 ,在相同地质条件下 ,由于管理的原因而造成不同的纯掘进时间。例如材料供应不及时 ,就有可能造成仰拱块不能及时铺设 ,延误轨道的延伸 ,进而影响到掘进机下一个循环的进行。任何设备的故障都会直接影响到掘进机的运行。

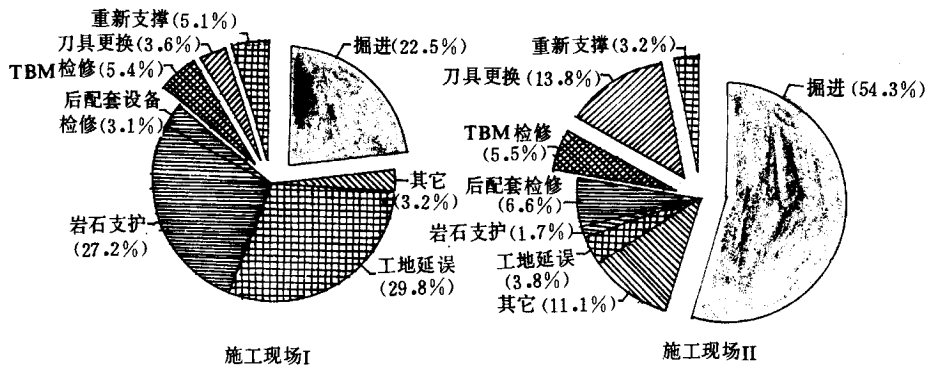


图 14 - 2 - 38 时间/利用率—分析图

把整个有效的作业时间作为纯掘进时间是不可能的。因为停机不掘进时间包括换步更换支撑时间、检查和更换刀具时间、维修保养时间、对围岩进行支护时间、作业造成的停机以及供料、出渣原因造成的停机和工地组织造成的停机等都在每日工作时间内。据国外统计 ,在一般地质条件下 ,掘进机净掘进时间在 40% ~ 50% 左右是较为理想的。

提高设备完好率是保证提高净掘进时间的基础。强化维修保养 ,每班、每日、每周都必须进行预防性维修和某些部件的修理是必须的 ,只有坚持做好预防性维修才能保证掘进机利用率。

加强掘进机的管理 ,必须注意对刀具的管理 ,这是因为刀具消耗占据隧道开挖成本的很大部分。从图 14 - 2 - 39 可知 ,如不适当地提高推力 ,虽可提高净开挖速度 ,但刀具费用会急剧增长。因此选择合理的掘进系数可以节省刀具费用的支出。此外 ,除进行定时刀具检查外 ,有经验的司机会掌握刀具的磨损规律 ,及时进行更换和调换。如果只换上一把新刀 ,而它周围的刀具磨损已超过限度 ,则新刀就会更多的承担刀盘传给它的推力 ,使其磨损加快。图 14 - 2 - 40 显示了刀具磨损及更换条件。

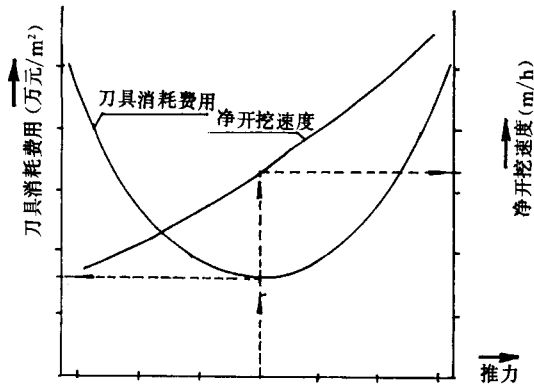


图 14-2-39 刀费用与推进力、开挖速度关系曲线

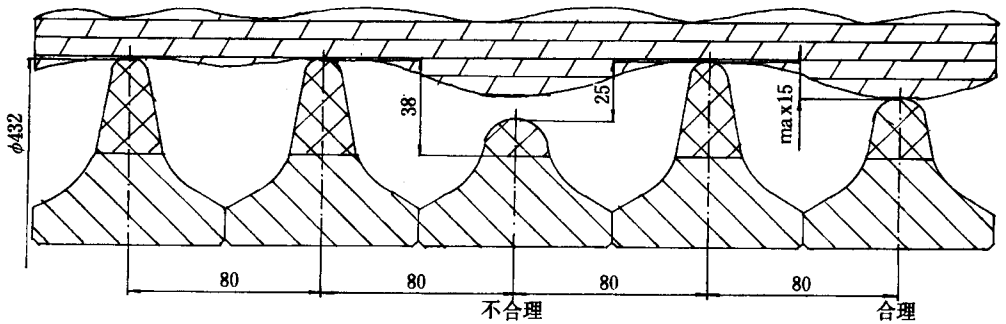


图 14-2-40 刀具磨耗更换示意图

由于设备类型不同,使用的刀具不同,隧道围岩变化多样,因而掘进选用的操作参数也不同。因此很难确切提出刀具消耗定量标准(在当前物价条件下每开挖 1m^3 岩石,刀具消耗费在 $1 \sim 10$ 美元,可供参考)。

配件供应是一大问题。为此必须弄清掘进机的易损件和故障较多配件的名称和更换周期,确定一个合理的配件储备量,避免临时急用时无配件或造成配件仓库积压。

工作人员与钻爆法相比有大量减少。国外一般每作业班只配 $13 \sim 16$ 人左右(我国也许要略多)。工作人员必须明确岗位及岗位工作内容和职责。按标准化作业规程进行施工操作。工作人员一般要有高中以上或大专以上的技术水平。工作班之间的交接制度要严格执行。不把上一班存在的问题遗留到下一班,如有遗留,必须相互交接清楚。

对地质施工描述应加强,按地质变化随机应变。特别要作好不同围岩情况下的初期支护或临时支护,不允许冒险作业。地质超前预报工作要加强。可用超前钻机、地震波反射法及地质雷达法等物探方法,在洞内对掌子面前方大约 $30\text{m} \sim 50\text{m}$ 范围内的地质条

件作出预报 ,以提前安排作业措施(这一点要比钻爆法重要得多)。

对隧道的控制测量和施工测量要提高精度等级要求 ,因为圆形断面一旦形成 ,很难再调整中线和标高。

对电力供应的要求要比钻爆法要高得多 ,因此必须建立专门的电力供应机构 ,确保供电质量。多次停电 ,电压不稳 ,电压降太大等 ,都会影响工作。

掘进机施工的施工准备工作 ,特别是洞口平纵面条件 ,作业场地条件 ,大型临时工程等 ,都比钻爆法复杂 ,而这些准备工作有任何一环节不完成 ,就不能正式开挖作业 ,因此必须统筹安排 ,具体设计 ,组织施工 ,在正式开挖前全部作到位。

第九节 衬砌施工

用掘进机施工的隧道 ,其衬砌结构一般是由临时或初期支护和二次衬砌组成。初期或临时支护是隧道开挖中保证掘进期围岩稳定和掘进机顺利掘进所不可缺少的。

采用掘进机施工 ,由于开挖工作面被掘进机主体充塞 ,对围岩很难进行直接观察和判断 ,而且造成进行支护的位置相对开挖面滞后一段距离。因此不同型式的掘进机 ,也要求采用不同的支护型式。一般在充分进行地质勘探后 ,在隧道设计时 ,就应确定基本支护型式。例如引水隧道 ,为保证输水的可靠性 ,要求支护对围岩有密封性 ,所以大都采用护盾式掘进机进行管片衬砌的结构型式 ,而对于一般公路、铁路隧道 ,除进行临时支护外 ,视地质情况采用二次喷射混凝土或二次模筑混凝土做为永久衬砌。

一、管片式衬砌

使用护盾掘进机时 ,一般采用圆形全周管片式衬砌。其优点是 :适合软弱围岩 ,特别是当围岩允许承载力很低 ,撑靴不能支撑岩面时 ,可利用尾部推力千斤顶 ,顶推已安装的管片获得推进反力 ;当撑靴可以支撑岩面时 ,双护盾掘进机可以使掘进和换步同时进行 ,提高了循环速度 ;利用管片安装机安装管片速度快、支护效果好 ,安全性强 ,但是它的造价高。为了防水的需要 ,每块之间要安装止水条 ,并需在管片外圆和洞壁间隙需压入豆石和注浆。

为了预制管片 ,需要在工地建设混凝土制品工厂。

二、二次模筑混凝土

使用开敞式掘进机,一般是随开挖先施作临时支护,然后进行二次模筑混凝土永久性衬砌(图 14-2-41)这是为了保证掘进机的高速度掘进,而不可能使开挖作业与模筑混凝土衬砌作业同时进行。此外,在机械上部进行衬砌作业,会给掘进机设备带来严重的混凝土污染,因此只在刀盘后部只进行必要的临时支护如锚杆、喷射混凝土、架钢拱架。

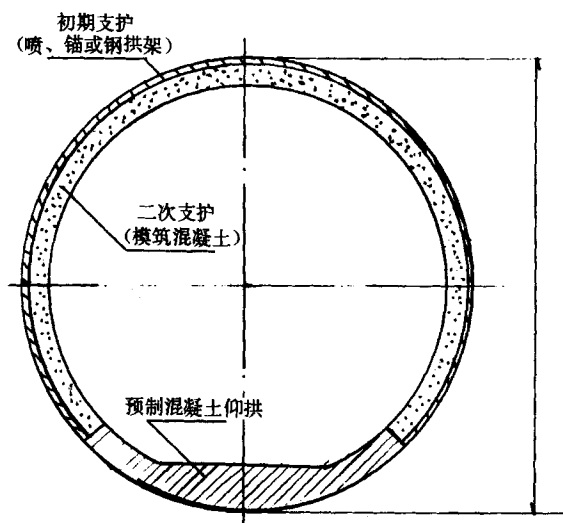


图 14-2-41 模筑混凝土衬砌

二次混凝土衬砌,根据地质条件也有用喷射混凝土做为永久衬砌的,如瑞士弗尔艾那铁路单线隧道,就是采用二次喷射混凝土为永久衬砌的,在喷射混凝土中安装了钢网,加入了钢纤维。多数隧道往往采取二次模筑混凝土衬砌,使用穿行式模板台车,进行永久衬砌的灌注。根据设计的断面形状,制造模板台车,这与钻爆法施工一致。值得注意的是二次衬砌完成后,掘进机在完成掘进任务后,不可能从原路退出,只有在完成开挖位置进行扩大洞室,在隧道内进行拆卸掘进机部分机件(如大刀盘的解体),才有可能退出。如果用一台掘进机从进口一直掘进到出口时,则不会发生洞内拆卸问题。

二次模筑混凝土的拌合工厂、输送车、混凝土泵等与钻爆法施工一样。

第十节 不良地质地段施工

一般而言,掘进机特别是开敞式掘进机施工,最好用于地质条件较好的隧道。如果地质条件太差,需要过多的辅助作业来保证掘进机施工,就不能发挥掘进机速度快、效率高的优势。同时,辅助作业的施作也受掘进机的充塞影响而困难,造成费用过高、延长工期,因而也就没有必要使用掘进机施工了。

但任何一座隧道,不可能不出现一些局部地质较差地段,因此掘进机必须具备通过不良地质的能力。

为了满足不良地质的要求,掘进机可以安装一些辅助设备进行特殊功能作业。

加装的地质超前钻机安装在主机顶部,大刀盘后部的平台上,它在主机停机时进行掌子面前 30m 的超前钻孔,以预报前方地质情况,为掘进提供可靠消息。超前钻机还具备注浆和安装管棚的功能,以对围岩进行预先加固,使掘进机具备自我加固前方不良地质地段的能力和自我通过能力(图 14-2-42)。

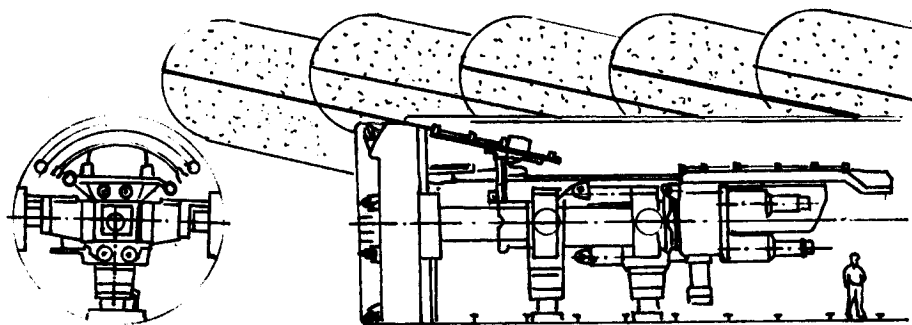


图 14-2-42 从 TBM 机内进行的超前支护示意图

紧靠刀盘的后部安装有钢拱环安装器,利用工字钢拱环形成支护结构,这种方法的优点是材料便宜,加工容易,安装速度快,支护效果及时。钢拱环的间距要与掘进机的行程距离一致或成倍数关系,在预制仰拱块上要留有安放拱环的沟槽。

掘进机上有前后两排共 4 台锚杆钻机,以满足对围岩进行锚杆支护作业的需要。拱顶部分的锚杆作业是非常必要的,在掘进的同时,锚杆作业应能同时进行。

在掘进机施工中也会发生一些意外的较大事故。如开挖面大规模坍方造成机件被

埋,洞壁围岩变形卡住机体,突发的大量涌水淹没机体和工作面挤出迫使机体后移等。造成这些事故的主要原因是事先地质勘察不明,施工地质预报不及时。因此而停工处理的时间和费用都很大,要引起特别注意和避免。处理方法主要是将掘进机后退,人工到掌子面用不同方法进行加固处理,以便让掘进机步进通过。最根本的,仍然是作好地质勘察和施工地质超前预报工作。

在国外,曾有掘进机通过堆积大块砂卵石层地层时,施工失败的报道。在国内,贵州天生桥电站水工隧洞因突然发现大型溶洞而使掘进机无法工作。因此相当多的人认为,在大块卵石层和溶洞群这种特殊地质情况下,不宜用掘进机施工。遇有膨胀性很高的膨胀岩土时,由于围岩变形值很大,必须采取有效措施,才能保证顺利施工。在瓦斯地层中修建隧道,钻爆法已有了一套较为安全成熟的规则,但在掘进机施工中,则报道不多。

第十一节 成功实例分析

一、雁门关隧道

雁门关隧道作为我国第一座 5km 以上长大公路隧道,实现了 19 个月综合成洞 5220m,创造了特殊地质条件下我国长大公路隧道快速施工最高记录。总结施工中取得的一点经验,我们对施工横通道灵活运用在快速掘进中发挥了不可忽视的作用。

(一)工程概况

雁门关隧道横穿恒山山脉,是大运高速公路的重难点工程,工程艰巨,工期紧,地质条件复杂,Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类围岩交替分布。存在断层、软岩、岩溶、涌水、高地应力等特殊及不良地质现象。隧道设计为上、下分离式双车道公路隧道,左线 5160m,右线 5235m,最大开挖宽度 13.08m,净宽 10.5m,复合式衬砌结构,按新奥法原理施工。

(二)增设斜井

施工中,当我们意识到由于地质情况与原设计不符,围岩变差数量较大,按照原施工方案单口掘进很难保证工期要求时,及时果断地调整了施工方案。在距隧道进口 1400m 处,增设 700m 长的斜井(图 14-2-43),将原来的 2 个掌子面变成了 6 个掌子面,实现规模生产,大大加快了施工进度。而且,由于增设斜井增加了交通路径,减少了后续施工中各种机械进出的干扰,提高了机械的使用效率。

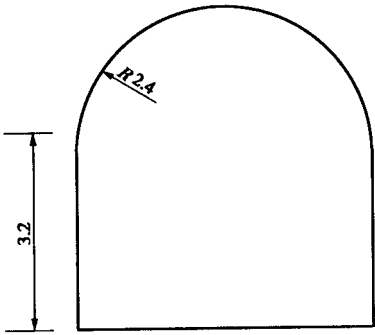


图 14-2-43 斜井及横通道断面图(单位 :m)

(三) 增设车行横通道

从斜井掘进到主洞位置后 ,增加了一条横通道 A(图 14-2-45)与右线连接。这样左右线都可以应用斜井 ,向进、出口方向施工 ,增加了四个工作面。施工到 ZK109+540 , YK109+460 后 ,为了加快施工速度 ,及早贯通 ,施工方案调整为小导洞预留光爆层法(图 14-2-44) ,然后扩挖。在小导洞掘进 180m 后(此时掌子面里程为 ZK109+720) ,在 ZK109+703 处增设一条横通道 B ,通过通道 ,右线向出口方向施工。左线施工到 ZK110+020 时 ,由于地质条件恶劣 ,掘进速度变慢 ,而右线地质相对较好 ,于是在 YK110+058 处再增设横通道 C。通过通道 ,左线向进、出口方向施工 ,顺利实现了小导洞的贯通(图 14-2-45 中箭头所示为小导洞开挖方向)。

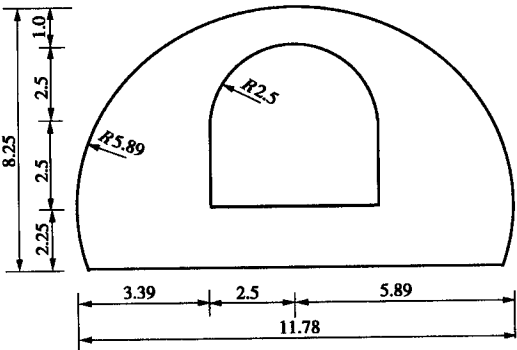


图 14-2-44 小导洞预留光爆层开挖与正洞关系图(单位 :m)

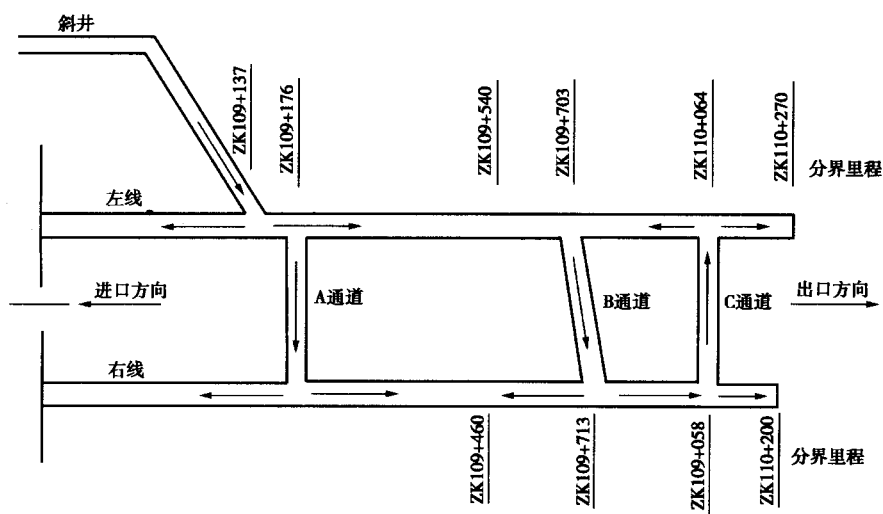


图 14-2-45 施工横通道平面示意图

斜井和三条横通道,从左线进右线,又从右线进左线,从进口向出口,又从出口向进口。这四条通道的灵活应用,为施工中避重就轻、扬长避短创造了必要条件。

(四) 扩挖

小导洞尚未贯通时,即开始做扩挖的准备工作。主要从三方面考虑:一是从哪里开始扩才能尽量多工作面同时作业;二是三管(进风管、进水管、通风管)两线(照明线、动力线)如何布置,因为扩挖时爆破作业,管线就不能再从小导洞通过;三是衬砌施工同样很快,要为仰拱施作和衬砌台车创造工作空间。

1. 方案选择

(1) 方案一

左右线都从小导洞开始里程向出口方向扩挖,优点是有益于扩挖过程中的通风,还可以节约小导洞部分的照明电力。

(2) 方案二

右线从小导洞开始里程向出口方向扩挖,左线从 B 或 C 通道向出口方向扩挖,管线从 B 或 C 通道接入右线,右线再向进、出口扩挖,工作面达到四个。

(3) 方案三

左线从小导洞开始里程向出口方向扩挖,右线从 B 通道向出口方向扩挖,管线从 B 通道接入左线,左线再向进、出口扩挖,工作面达到 4 个。

综合比较,方案一只能两个工作面作业,横通道没有发挥作用,机械得不到充分利

用,而且 YK109+460 到 B 通道段围岩较差,一旦出现问题,只能单方向处理,容易形成“瓶颈”,影响施工速度。方案二也是容易形成“瓶颈”。方案三相对来说既充分利用机械,又暂时避开右线软弱围岩段,这段可以在形成双向作业条件后再扩挖。但拆装管线工作量会很大。

2. 施工方案

施工中采用方案三。左线从小导洞开始里程向出口方向扩挖,右线从 B 通道向出口方向扩挖,管线从 B 通道接入左线,左线再向进、出口扩挖。ZK109+540~703 段扩完后,管线从左线接入,通过 B 通道接入右线,左线单口作业,右线此时 3 个工作面。YK109+713~110+058 段扩完后,管线从 B 通道接入右线,再从 C 通道接入左线,此时左右线各有 3 个工作面。然后根据施工进度调整下阶段施工步骤。

(五)机械的合理选配

机械是施工生产的中心,机械少了影响施工速度,多了又闲置增加投资成本,所以机械的选配是施工能否实现预期目标的一个关键环节。本项目最多时有 6 个工作面,但同时包含左右线最软弱围岩段,通过横道图可看出相当于最多只有 5 个,机械选配可按正常情况下 4 个工作面考虑。同时结合出渣运距及相邻标段机械使用情况,做如下配置。

表 14-2-3 主要施工机械配备表

机械名称	型 号	数 量	规 格	备 注
挖掘机	CAT320C	2	1.4m ³	
挖掘机	CAT320B	1	1.2m ³	
挖装机	ITC312	1		
挖装机	SHARP	1		
装载机	KOMATSU320	1		
装载机	WA380-3	1		
装载机	WA470-3	1		
自卸汽车	A25c6×6	8	10m ³	VOLVO
自卸汽车	奔驰	8	8m ³	
通风机	SDFC-NO-12-5	2	220KW	

二、秦岭终南山特长公路隧道

随着我国基建规模的扩大,高速公路、尤其是公路隧道随着施工技术的发展,科学技术的进步,大型机械设备的引进得到了迅猛发展。长大隧道越来越多,就我集团公司在建项目中,新七道梁隧道长 4.2km,雁门关隧道长 5.2km,秦岭终南山隧道长 18.02km,

位居亚洲第一,世界第二。长大隧道的施工进度往往制约着整条公路的建设工期。因此,隧道快速施工深受大家的关注,也成为衡量一个施工企业隧道施工能力的重要标志。我指在上场初期就致力于隧道工程掘进机械、弃渣运输方式、维护工程进度等一条龙的掘进方法与手段的探索,也总结出一些经验。

(一)工程概况

西康高速公路项目位于陕西省境内,是陕西省重点工程项目之一。秦岭终南山特长公路隧道是重中之重,它位于陕西省长安与柞水两县之间的秦岭山区,秦岭铁路Ⅱ线隧道右侧,全长 18020m,洞内路面设人字坡,变坡点为 $K79+370$,隧道最大埋深 1640m。

秦岭终南山特长公路隧道东线出口段,位于柞水县营盘镇小峪口村太峪河右岸,起止里程 $K82+816 \sim K79+816$,长 3000m,除洞口 2.335m 设于 $R=250m$ 的缓和曲线外,其余均为直线,设 3‰ 的上坡,独头掘进,出口为惟一的施工通道,无轨运输。隧道穿越地段岩性以含绿色矿物混合花岗岩为主,间夹蚀变闪长岩,霏细岩及花岗伟晶岩脉,地质结构复杂。隧道穿越大小断层 8 条,围岩类别变化频繁,其中Ⅱ类围岩 200m,分 4 段;Ⅲ类围岩 501m,分 7 段;Ⅳ类围岩 2299m,分 9 段。地下水为构造裂隙水,呈网状、脉状分布。主要接受大气降水及地表沟水补给,受季节影响较大。水的化学类型以 $HCO_3 \cdot SO_4 - Ca$ 为主,无侵蚀性,局部为 $SO_4 - Ca$ 型水,具弱~中等硫酸盐侵蚀。贯通工期 13 个月。

(二)全断面快速掘进技术

隧道按新奥法原理组织施工。在施工中认真探索隧道新技术、新方法,投入先进的装渣、运输、测量、量测、试验设备。形成挖、装、运、锚、衬等多条机械化作业线。无轨运输,混凝土衬砌采用全断面液压钢模衬砌台车和泵送混凝土作业,施工中进行围岩沉降、收敛量测,采用激光断面仪进行断面量测,地质雷达进行超前地质预报,初期支护和二衬质量无损检测等新技术。通过数据的分析和处理及时反馈信息,指导施工。

Ⅲ、Ⅳ类围岩采用全断面光爆法开挖,出渣采用 CAT320C 挖掘机配合 BROYT D600W 铲装机装运,MOXY 铰接式自卸车运输。洞外倒运采用 CAT320BL 挖掘机装运,东风康明斯运输。通风采用 $2 \times 110kw$ 大功率变频轴流通风机,大直径软管,长距离压入式通风。

秦岭隧道自 2 月 12 日开工到 5 月 25 日,共完成掘进 850m。其中Ⅱ类围岩 109m,Ⅲ类围岩 96m,分为 3 段;Ⅳ类围岩 645m,分 4 段。Ⅱ类围岩日平均掘进 8m,Ⅲ类围岩日平均掘进 11m,Ⅳ类围岩日掘进记录 15m。在Ⅲ、Ⅳ类围岩施工中,主要采取了如下措施。

1. 自制多功能简易钻孔台架代替钻孔台车

开工之初,对钻孔台车钻孔和简易钻孔台架钻孔所需时间做了一番比较,钻孔台车

按 2 台 3 臂考虑 ,简易钻孔台架按 26 台风枪同时司钻考虑 ,结果见表 14 - 2 - 4。

表 14 - 2 - 4 钻孔台车与简易钻孔台架钻孔占用时间比较表

序号	项目名称	单位 钻孔台车	简易钻孔台架	备 注
1	同时钻孔数	个 6	26	
2	钻孔深度	m 5	4	
3	循环进尺	m 4.5	3.8	
4	单孔钻孔时间	min 10	26	包括准备时间
5	单循环钻孔时间	min $10/6 \times 150 = 250$	$26/26 \times 150 = 150$	按 150 个孔计
6	平均每米钻孔时间	min $250/4.5 = 56$	$150/3.8 = 39$	

从表中可以看出 ,简易钻孔台架占用时间更少。另外 ,从经济方面考虑 ,钻孔台车还需高压进洞 ,钻头、钻杆等耗材费用也相当昂贵。于是 ,决定采用简易钻孔台架。在施工中 ,简易钻孔台架还有如下优点 :a. 行走方便、快速 ,用装载机推动 ,台架从 100m 远处移到掌子面并就位 ,仅需 5min。b. 钻孔和支护可在台架上同步进行。这一点 ,对Ⅲ类围岩全断面开挖支护必需紧跟很方便。以往施工中 ,只能开挖——支护——再开挖 ,现在 ,开挖——支护、再开挖 ,节约了支护时间。c. 测量放样与钻孔准备同时进行。台架就位后 ,钻爆人员做准备的同时 ,测量班施工放样 ,互不干扰。施钻时 ,放样已结束 ,放样不单独占用时间。d. 台架上安装高压风、高压水主管道 ,分风、分水器以及照明设施。e. 台架中间预留空间大 ,出渣时 ,不用采取任何措施 ,即可实现装载机、汽车等在台车内穿行。钻孔台架见图 14 - 2 - 43。

2. 大断面锥形掏槽

与钻孔台架相配套 ,自行设计出了大断面锥形掏槽 ,掏槽眼 24 个 ,掏槽面积 20m² ,掏槽眼倾角 30° ,深 3.8m ,掏槽体积 60m³ 左右 ,掏槽效果良好 ,成功率高。其优点是 :减少炮孔数量(Ⅳ类围岩开挖断面 87.02m² ,炮孔在 147 个左右)和雷管、炸药数量(炸药单耗 0.7kg/m³ 左右) ,掏槽眼分布较散 ,可多台风枪同时司钻 ,不会因掏槽眼过密 ,不能多台风枪同时司钻而延长钻爆时间。爆破后的块度也比较适中 ,适合装运。掏槽眼布置见图 14 - 2 - 46。

3. Ⅲ类围岩全断面开挖

利用钻孔台架可以钻孔和支护同时进行这一便利条件 ,结合隧道地质条件 ,将Ⅲ类围岩以往正台阶开挖改为全断面开挖 ,锚网喷支护紧跟。施工程序是 :开挖——支护、再开挖 ,节省了支护时间 ,加快了施工进度。Ⅲ类围岩日掘进 3 个循环 ,日平均掘进 8m。

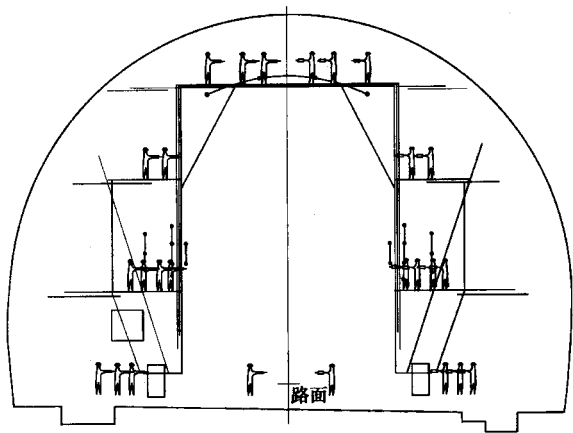


图 14-2-46 简易钻孔台架和掏槽眼布置示意图

4. 设备合理配套

本着“开挖能力大于施组要求能力,装渣能力大于钻爆能力,运输能力大于装渣能力”的原则,配备了合理、先进的装渣、运输设备。

机械设备配套情况为:新型螺杆式空压机做为动力设备,自制钻孔台架上可以实现 26 台风枪同时司钻,放炮后,在小松装载机收渣,CAT320C 挖掘机排险、扒渣的配合下,博伊特 D600W 铲装机装渣(小松 320 装载机、CAT320C 挖掘机做为备用装渣设备);洞内出渣采用挪威生产、排污经过三道水净化处理的低污染车 MOXY。随着掘进深度的增加,洞内运输车辆也需增加。出渣结束后由 CAT320C 和小松 PC200 挖掘机各 1 台,进行掌子面附近道路整平。洞外由 CAT320C 装,东风康明斯运输,进行二次倒运。出渣工艺流程见图 14-2-47。主要机械、仪器配备见表 14-2-5。

表 14-2-5 主要机械、仪器配备表

	机械名称	型号、规格能力	单 位	数 量	备 注
钻爆	螺杆式空压机	21m ³ /min	台	6	轮胎式 钻孔
	钻孔台架		台	1	
	风枪	YT-28	台	40	
	挖掘机	CAT320C 1m ³	台	1	排险、扒渣,出渣后整平道路,以便台架就位
		PC200 0.8m ³	台	1	
装渣运输	装载机	WA320-3 2.1-3.21m ³	台	1	放炮后收渣、拖台车
	推土机	T140-1	台	1	弃渣场平整
	铲装机	D600W 600t/h	台	1	装渣
	铰接自卸车	MT26 26t	台	4~11	洞内出渣
	挖掘机	CAT320C 1m ³	台	1	洞外倒渣
	康明斯自卸车		台	5	

	机械名称	型号、规格能力	单 位	数 量	备 注
检测	激光断面仪	BSJD-2	台	1	
	坑道收敛计		台	1	
	地质雷达		台	1	
通风机		110KW	台	2	

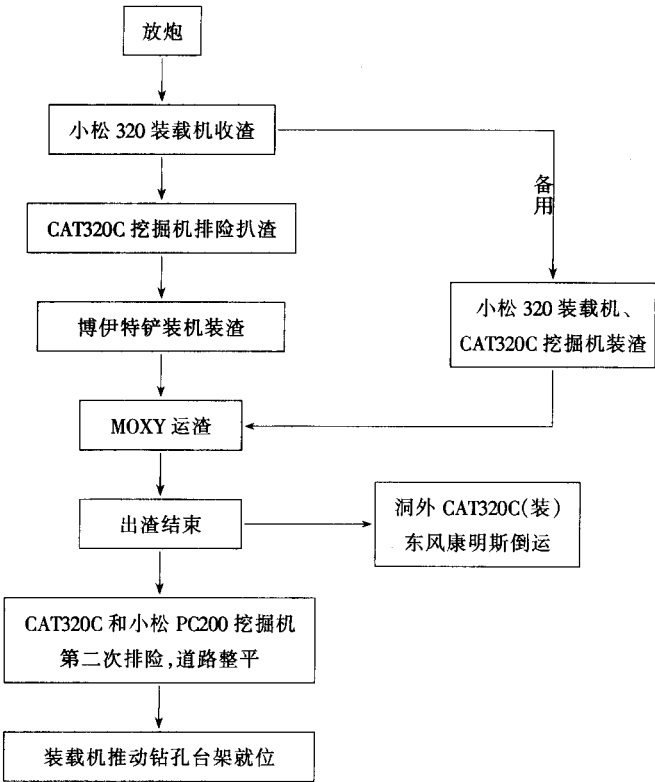


图 14-2-47 出渣工艺流程图

需要提出的是 ,博伊特铲装机与挖掘机相比 ,斗容大 ,即使与相同斗容装载机相比 ,铲装机转出转回时间与装载机进、退时间相比 ,所耗时间更少 ,铲装机前面轮为钢轮 ,装渣有力 ,速度快。不同装渣方式占用时间比较见表 14-2-6。另外采用经过三道水净化处理的低污染车 ,对于长大隧道施工很有必要 ,因为降低污染 ,减少通风排烟时间 ,相当于加快施工进度。

表 14-2-6 不同装渣方式占用时间比较表

序 号	项目名称	单 位	BORTYD600W 铲装机	CAT973 装载机	CAT320C 挖掘机
1	斗容	m ³	3.4		1.0
2	装渣过程		装-转-卸-转-装	装-退-卸-进-装	装-转-卸-转-装
3	装渣时间	min	3/4	2	3

5. 加强施工组织管理

组织管理虽然不属于技术范畴,但是从施工进度这一角度来看,其重要性不亚于施工方案。施工方案再好,组织管理不到位,职工不按时上班,工序衔接不上,进度也不可能上去。开工之初,我指就精心组织、严格管理、合理安排,职工素质得到了很大的提高,上下一条心,为了工期目标的实现,春节没有一人请假,职工都自愿放弃休假权利,积极投入生产。各个部室晚上几乎没有不加班的,技术干部、主管 24h 轮流进洞值班,进行技术指导。机械队队长、副队长、设备部长 24h 轮流进洞值班,进行机械调度。施工人员跑步进场,上道工序结束前,下道工序准备工作提前做好,施工人员、机械设备提前到位,克服了以往工序衔接脱节的弊病。Ⅲ、Ⅳ类围岩开挖施工中,将所有工序压缩为钻爆、出渣两道工序,其余工序全部平行作业。

(三)施工通风

该隧道段 3000m 独头通风,无轨运输,日掘进在 3~ 个循环,每天有 800kg 左右炸药爆炸产生废气及爆破产生灰尘;1 台铲装机、1 台装载机、2 台挖掘机,洞内出渣车辆高峰期达 11 台,混凝土输送车、混凝土输送泵等大功率内燃设备耗氧、排出废气、热量;喷混凝土产生灰尘,洞内作业人员耗氧以及其他电力设备产生热量等给本隧道的排烟、除尘、降温等带来了很大的难题。为此,我们经过反复调查研究,设计出了如下方案:根据掘进深度的不同,采用集中串联、间隔串联两种压入式通风方式。通风机选用 SDF(C)-NO12.5 型变级多速轴流风机(风量 1550~2912m³/min,风压 1378~5355Pa,电机功率 110×2kW),通风管采用 Φ1500mm 高强软管。掘进深度在 2000m 以内时,采用两台 110kW 风机在洞外集中串联;2000m 以上时,采用间隔串联,经计算得知,洞外安装 1 台,洞内 1800m 处安装另一台效果最佳。目前,掘进深度 850m,通风除尘效果较为理想,放炮 20min 后,掌子面工作环境良好。通风机布置分别见图 14-2-48、图 14-2-49。

另外,在铲装机上安装洒水器,与高压水管相接,出渣过程中自动洒水降尘。这样不仅改善了工作环境,更重的是保护了机械设备。按 13 个月工期计算,如不进行洒水降尘,1 台铲装机和 6 台 MOXY 工程车(洞内平均出渣车按 6 台计考虑)需 10 天更换一次

滤清器,1个滤清器1500元,共需滤清器更换费用 $13 \times 3 \times (6+1) \times 1500 = 409500$ 元。洒水降尘后,滤清器只需1个月更换一次即可,其费用为 $13 \times (6+1) \times 1500 = 136500$ 元,如抽水费用忽略不计,可节约费用273000元。

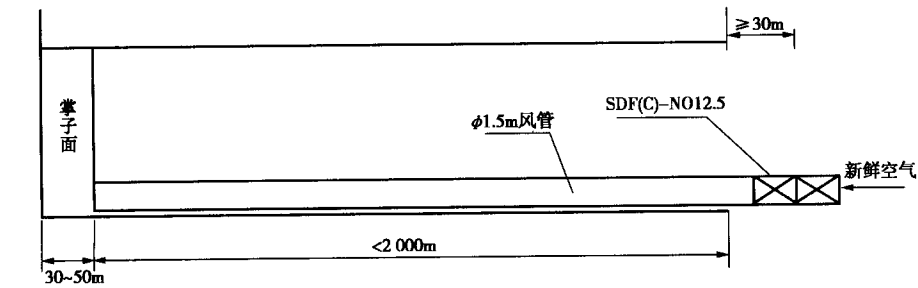


图 14-2-48 2000m 以内通风图

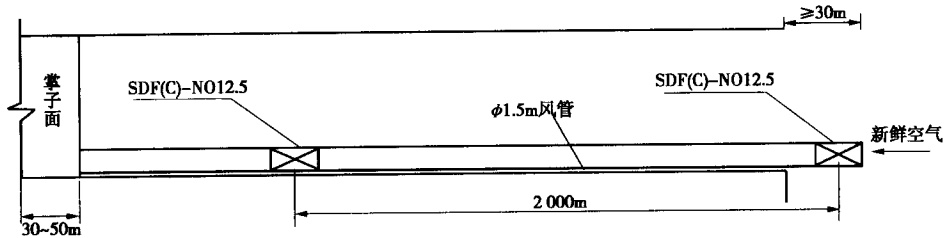


图 14-2-49 2000m 以上通风图

(四)运用先进检测技术指导施工

施工中采用坑道收敛计进行围岩量测。根据量测信息反馈,确定初期支护、二次衬砌参数及最佳施作时机,确保施工安全,在保证工程质量的前提下,降低工程成本。采用激光断面仪进行断面检测,发现超欠挖及时处理,避免了以往二衬施工时,因欠挖过大而衬砌台车无法就位,严重影响施工进度。更重要的是可以指导下一步开挖施工,有效地控制了超欠挖。另外,采用地质雷达进行超前地质预报,如发现围岩会变差,就减少装药量,缩短进尺,并提前做好加强支护准备,防患于未然。另一方面,通过地质雷达对已支护或衬砌地段质量无损检测,可以加强质量监控。

(五)安全第一、预防为主

始终坚持“安全第一、预防为主”的原则。不管何时何事,只要与安全有冲突,就无条件让步。比如四月下旬开始,日掘进连续高产,几乎每天可达4个循环,进尺在14m以上。可是到了24日,围岩变差,提前进入设计Ⅱ类地段。考虑到施工安全,立即停止掘进,进行钢支撑支护,直至围岩变好。正因为把安全真正放在首要位置,截止目前已掘进

850m,Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类围岩交替出现,实际围岩类别变化已达12次,没有发生过一起塌方事故。真正做到了安全施工。

另外,火工品管理方面,将炸药、雷管分库存放;火工品的采购、运输由专人管理,专车运输。施工队领用雷管、炸药,先经技术干部根据现场实际需求填写火工品审批单,经行政领导签字审批后物资部才开票发料。当日的火工品使用及剩余经技术干部确认后,填写火工品使用回执单,随剩余雷管、炸药一同上交到炸药库。通过一段时间的实践,这一做法值得推广。

(六)文明施工、重视环保

秦岭终南山属自然保护区,在施工中,不破坏森林,不造成水土流失,不捕杀野生动物。洞内左侧墙脚部位设置了排水沟,洞内排水通畅、无积水;洞外修建了沉淀池,洞内污水经过沉淀,达到排放标准后才排入河道。洞内采用防烟雾力强、防水防爆的高压钠灯照明,能见度大大提高。洞内施工道路用河卵石铺填、平整、碾压,真正实现了“小轿车开进洞,穿皮鞋走进洞”。洞外弃渣道路、弃渣场定期洒水,避免了灰尘污染,创造了良好的施工环境。

(七)施工后经验总结

科学的施工方案是快速掘进的基础。开工前,一定要精读图纸、实地详细调查,结合工期、质量、经济要求,制订切实可行的施工方案,施工过程中坚持“岩变我变”的原则。

科学地组织,严格地管理是进度的根本保证。组织包括人员的组织、分工和施工组织。人员的分工要坚持公平公正的原则,职工才不会有思想情绪,才会积极主动;了解职工的缺点和长处,才能人尽其才,各显其能。施工组织是动态的,组织者必须随时掌握施工动态,相应地做出调整。只有严格的管理,人员的组织、分工,施工组织才能落实。

设备的合理配套是进度保证的关键。设备配置应遵守“开挖能力大于施组要求能力,装渣能力大于钻爆能力,运输能力大于装渣能力”这一原则,适当的“大马拉小车”。要大力引进先进设备,如本隧道博伊特铲装机替代装载机、挖掘机等常规装渣方式,就大大缩短了装渣时间。当然,讲究配套的合理性,并不是一味地采用进口设备,简易钻孔台架替代钻孔台车就是力证。另外,设备配置要与施工方案相结合,适应工程特点。对于长大隧道,采用高质量,故障率低,排烟经过净化处理的工程车就很有必要。