

隧道全断面开挖經驗

中国人民解放军铁道兵司令部編

人民铁道出版社

本書介紹鐵道兵在內昆綫威榕段的部份隧道施工中，採用全断面开挖的經驗。內容包括：施工組織及技術操作，炮眼設計及爆破經驗，作業循環計劃的編制及分析，全断面开挖月進成洞的估計，以及一些施工問題的措施和意見。

本書可供隧道及地下鐵道施工人員參考。



隧道全断面开挖經驗

中國人民解放軍鐵道兵司令部編

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

書號1670 開本787×1092 1/32 印張1 1/4 字數35千

1960年4月第1版

1960年4月第1版第1次印刷

印數0,001—5,000冊

統一書號：15043·1202 定價：7) 0.15元

目 录

前 言.....	2
I、施工組織及技术操作.....	4
(一) 工地布置.....	4
(二) 劳动組織.....	7
(三) 施工技术操作.....	9
II、炮眼設計及爆破經驗.....	20
(一) 导坑施工.....	20
(二) 台阶施工.....	25
(三) 炮眼設計.....	32
III、作业循环計劃的編制及分析.....	37
(一) 作业循环計劃的編制.....	37
(二) 作业循环計劃的实施.....	40
IV、对于全断面开挖方法月进成洞的估計.....	43
(一) 月进度的估計.....	43
(二) 完成月进 150 米的技术措施.....	44
V、存在問題.....	46
(一) 如何提高出碴速度.....	46
(二) 通过地質不良地段的施工方法及安全措施.....	47
結束語.....	48

前 言

在祖国各项建设一日千里发展的同时，铁路建设也飞速的在向前发展着。过去无铁路或铁路很少的边远和高原地区，如云贵高原，也正在大力的兴建铁路。在这些地区兴建铁路的特点之一就是隧道多而且长。如内昆铁路威裕段，在137.8公里的范围内，就有隧道71座，总延长达37公里，其中一公里以上的隧道就有八座，隧道穿过的岩层，一般地坚实系数 f 在2~8之间。如果仍采用上下导坑开挖，不仅工序拉得长，相互干扰大，管线路路可能经常遭到爆破的破坏；同时因两个导坑，需分小块爆破，需要的劳动力和爆破器材也较多。因而，是采用上下导坑，或选用其他更合适更先进的方法施工，就成为威裕段隧道工程中，必须首先解决的问题。

在党的社会主义建设总路线的光辉照耀下，全体军民，鼓足干劲，力争上游，破除了迷信，解放了思想，大胆采用了多层推进的全断面开挖法。这种方法在我国新建铁路上使用不多，缺乏经验，能找到的指导施工的資料也很少。有些干部存在着思想顾虑，不愿采用，怕不安全，怕出事故，怕控制中线水平困难。针对部份干部的这种错误思想，领导上除进行说服教育外，并首先决定选定石质较好的丁家邨和狮子口隧道做为研究试点，经过群众的积极钻研，摸索出了一些经验。我们认为在适宜的地质条件下，全断面开挖方法的优越性是显著的，有了相应的安全措施，安全也是可以保证的，进度也可以提高。

这个方法，在岩层结构良好，不須支撑的地质条件， $f \geq 5$ 的次坚石及坚石隧道，使用时比上下导坑更为适宜。它具有下列优越性：

(1) 开挖面积大，易于通风排烟；在特殊情况下如因设备一时供应不及，在掘进150~200米时利用自然通风，在气候条件良好时半小时内即可进行工作；

(2) 洞口准备工作完后，自开挖工作面至边墙和打拱的距离可以控制在50米以内，施工地点集中，可以减少干扰，易于管理；

(3) 管线路布置简单，一次安设不須拆移，也可消除因扩大及挖边墙而砸坏管线的情况；

(4) 施工方法简单，工序少，打眼出碴的平行作业时间长，采用正规操作方法，施工进度快而且易于稳定；

(5) 全断面开挖不用漏斗棚架，可以省工省料，因临空面多，类似明堑开挖，可以节省炸药和单位炮眼消耗；

(6) 全断面开挖净空大，便于使用大型机械操作，为今后机械化施工创造了条件。

但要特别注意以下两点：

(1) 测量要精确，如有欠挖，全断面推进后补炮困难，且工作面与衬砌相距很近，如测量有了误差，难以补救；

(2) 出碴速度是全断面开挖进度的关键，爆破后，石碴布满全断面，必须快速扒碴出碴，才能使风枪便于打眼进行平行作业。

兹就施工组织及技术操作，炮眼设计及爆破实施，作业循环计划的编制，月成洞的估计，存在的问题等六个方面分述如下。

工、施工組織及技術操作

(一) 工地布置

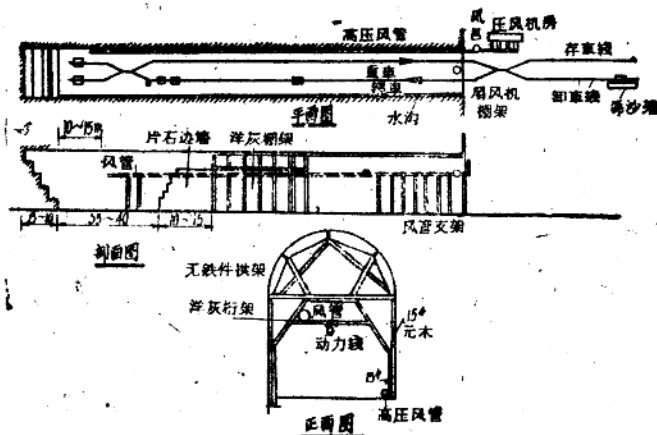


图1 工地布置

(1) 將上下导坑改为全断面开挖的施工方法

全断面开挖的施工方法，必須在 $f \geq 5$ 的次堅石及堅石隧道，才能使用。在隧道洞門附近，因有复盖层，多采用上下导坑方法。当进洞至一段距离进入次堅石地段后，再改为全断面开挖。如獅子口进口系砂粘土，夹有稜角的玄武岩碎石，坡面松散。待进25米以后，为玄武岩 $f = 6 \sim 8$ ，拟将上下导坑改为全断面开挖。当时上导坑开挖至25米，下导坑进了約40米，因缺乏施工經驗即将下导坑逐漸向上开挖至隧道拱頂，成为全断面，然后向洞門方向与上导坑挖通，在啣接处形成一个1.5米見方的小口，且在拱頂部分有30米长一

段发生欠挖，最大处为3米（如图2），以后在大断面掘进时，通风不利，爆破后浓烟遇到缩小断面的阻挡，即又折回不易排出，决定打去欠挖部分，为了不妨碍轨道出碴，搭起钢轨棚架，给施工上增加了不少困难。其它隧道接受此教训，在上下导坑改为全断面开挖时，先停止下导坑前进，赶挖上导坑，使上导坑超前下导坑约10米左右，在下导坑末端打一漏斗孔与上导坑相通，再扩大漏斗截成全断面。

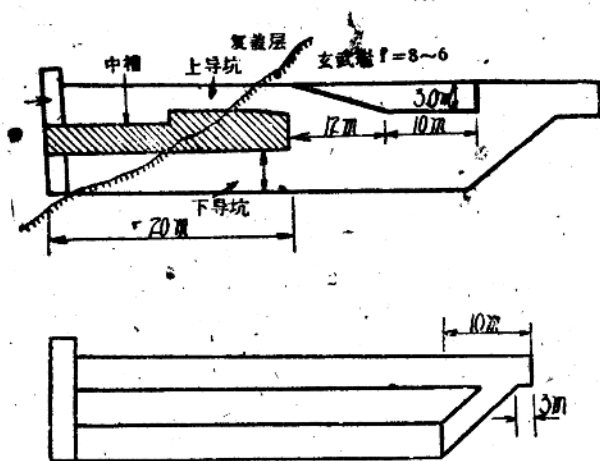


图 3

此后，一方面进行全断面开挖，同时必须将前面一段上下导坑部分，打拱、挖中槽、挖马口、砌边墙，全部做成成洞，待成洞完成，再铺双轨、移装管电线路，正式开展全断面开挖。因为全部洞口附近做成成洞后，既可减少洞口的可能坍方，便于通风，也可以减少全断面开挖出碴的干扰。

（2）边墙与爆破工作面的安全距离

为了保证安全，防止毛洞岩石的风化下落，应尽量使边

牆接近全断面的开挖工作面。但距离太近，边牆砌筑与出碴相互干扰，而且由于爆破的影响，可能破坏边牆的质量，因在全断面药包爆破时，即产生高压的空气冲击波，同时爆破点附近的土壤，发生震动波，都能够破坏附近的建筑物。地震波的影响较小，主要是空气冲击波，空气冲击波对建筑物的安全距离可按下列式计算：

$$r = k \sqrt{q}$$

r = 安全距离，以米计；

k = 由爆破条件所决定的比例系数，自阿索諾夫“爆破工程”第16表中查得 $k = 5$ ；

q = 药包重量。

导坑和台阶全部药包重量，一般在45公斤左右，爆破时间约为3~8秒，计算时应取药包的总重量为 $q = 45$ 公斤。

$$r = 5 \sqrt{45} = 33.5 \text{ (米)}$$

所以，边牆与工作面的安全距离应采用35~40米。如使用引綫燃爆，就不应按一次爆破的药包总重量计算，这样距离还可缩短。

(3) 通风管位置

当时使用的通风机为电动离心式，风压为150mm水柱，14瓩，风量为14900 m^3 /时，送风管内径为 $\phi 630$ 之铁管或自制的竹管，每节长2.0米，风管之位置应平直，尽量减少曲折，不得妨碍出碴运转和边牆砌筑，又要节省支架木料。一般多将送风管用木排架架起，高2.0~2.5米，间距为2.0~4.0米，管路不能太高，因为防石棚架，必须高于风管之高度，如风管太高，即须更高的防石棚架，需要的大木料即太多；排架

間距也不应太远，以免风管下沉。因接头处容易漏风，如用鉄管最好是每节管子一个排架，扇风机設于洞口排架上，与风管排架高度相等，将排风管口伸出于洞外，以免排出的污濁空气流回洞內。这样，既可减少风管弯头，也可节省建筑房屋。风管位置如設在排架中心，在利用測量平台时，妨碍視綫，測量靠近边牆則又妨碍砌边牆。因此应将风管放于中綫与边牆之間，同时不得妨碍水泥棚架斜撑之位置。电灯及电綫悬挂于隧道中心綫，也可作測量中綫視綫之参考（如图4）。

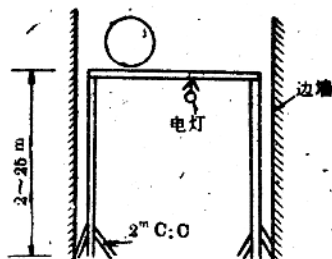


图 4

此法因鉄管較輕，接长管路可用扒杆起吊，排架可用 $\phi 10$ 小木料制作，利用排架安装动力綫，也可以省去电杆，但是缺点是需用木料多，延长管路费时，宜再作进一步改进。

今后如使用大型机械开挖，应根据机械規格尺寸，另行移装。

（二） 劳 动 組 織

劳动力之多少，应根据設計进展的要求、机械設备等条件决定。因工作面較小，工作人数多，工种多，要求每个工作人員，互相协作，密切配合，因而就需要有更严密的組織。应以主要工序为主，将与工序有关的輔助工种組成一个混合工作队，在集中领导下，明确分工灵活調动，防止拥挤高工現象，达到快速均衡的进度。关于打拱砌边牆的工班，应配合全断面的进展需要組織人力，加工方法与一般隧道同，不另介紹。

茲將全断面开挖工班組織列表如下：

开 挖 工 班 組 織 表

(一个工班)

工 种 别	獅子口隧道	丁家村隧道	附 注
风 枪 工	18~20	15~18	包括组长 1 人运送钎子 1 人
爆 破 工	3~4	2~3	包括作炮泥工
洗 风 枪 工	2	1	
出 碴 工	50~60	30~50	人数多者系組織两班輪流出碴
推 車 工	12~20	10~12	包括倒空車人数在內，上坡 4 人推一車，下坡 2 人推一車
安 全 員	1	1	
管 子 工	2	1	有时集中工作
电 工	2	1	”
养 路 工	2	1~2	”
板 道 工	2	2	
铁 工	3~4	3~4	
合 計	97~110	67~95	有时每日分两班工作

附注：1. 以上工班人数根据进度情况，在施工中可作必要的調整。

2. 因病及出公差，计划人数經常不足。

要 求：

1. 固定工班組織——工班組織除根据工作面进度需要，做少数人的調整外，要固定工班組織，每个人每个工种都有具体的分工和工作崗位。这样不但可以提高操作技术，同时因每个人明确了自己的工作任务和要求，工作就能积极主动，并且产生高度的責任感，不使自己所担負的工序落后，以致影响全班的成績。

4. 实行共产主义大协作——全断面开挖是一个各工序相互平行作业紧密配合的整体工作，一个工作人員不按正規操作就会破坏正規的断面，一个工序落后就会打乱整个工序的均衡。风枪手要打好补炮和扫底炮，出碴工要及时扒碴清完底碴，每个工作人員都要树立全部工作一盘棋的共产主义思想，不仅完成本班的任务，同时还要为下一班創造有利条

件。协作好了，才能保證均衡生产。

3. 加强輔助工种的配合——輔助工种是快速掘进的保証工种，如风管漏风，风压降低，即会降低鑽眼速度；风枪經常有故障，就会增长打眼時間；电綫接头不合（太松），电灯时明时暗，即会影响整个工班的操作；軌道維修不良，就容易掉道。施工的前一阶段因这些技术工种多是新手，操作不够熟練；一些零星材料，如风管接头、风枪配件等又不齐全，致个别工点时生故障。經過在工作中加强技术学习，以老师傅带徒弟，熟手带新手的方法边作边学，經過实际鍛炼，不少新战士和民工基本上已能掌握这些技术，同时也充分的发挥了羣众的主观能动性，克服了材料不足的困难。

(三) 施 工 技 术 操 作

(1) 开 挖

开挖时风枪使用 OM—506 型凿岩机，先用五支风枪打导坑炮眼，其它风枪同时打台阶炮眼，待导坑炮眼打完依次撤入台阶工作，岩石硬度 $f = 8$ 以上者用十字形合金鑽花，硬度在 8 以下者用普通鑽花，鑽花直径为 41、44、48 毫米等尺寸，鑽杆用 $\phi 22$ 空心六角鋼，压风机风压一般在 $4 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ 。风枪手約半数是民工，过去根本没有进过隧道，操作生疏；軍工也大多数是新战士。在党的教育下，都有冲天的干劲，积极鑽研业务，互相观摩学习，經過数月来的实践，战士们总结了一个全断面开挖的要訣：“拱部不大不小，两边挖得正好，底部宁多勿少，导坑太长不巧”。因为羣众掌握了开挖的技术要求，所以在施工中逐步提高了打眼速度，并能够掌握爆破效果。其原則是：

(甲) 固定崗位分区包干：要减少风枪移动位置的次数，防止互相干扰，按风枪移动最省力的炮眼順序，如先打

頂眼依次向下移动。分区和打眼順序如图 5。

此法的优点是分区包干便于竞赛，每个人經常打掏心炮或帮炮，也可以更熟練的掌握炮眼位置、方向和深度，使打眼工作容易走向正規。

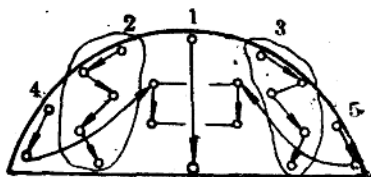


图 5

(乙) 风管安設于工作面兩側，減少它和出碴的干扰。皮管与鉄管接头处，至导坑工作面的距离，最短在 15 米以上。有时因台阶斜坡长，皮管长度常达 30 米。皮管数量多距离又长，互相交錯，如风枪或皮管有毛病，难于辨别；大批皮管散布于全断面的台阶斜坡上，不惟妨碍扒碴，而且扒下的有稜角的大石块，也易将皮管打破或打断。为此应采取以下措施：

1. 在皮管两头編上号碼，便于識別，同时要固定使用。

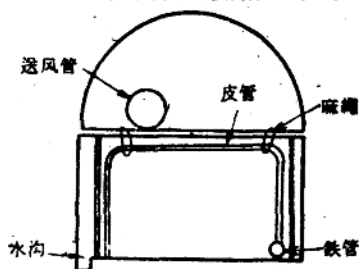


图 6

2. 如鉄管系兩道，应将鉄管鋪設于工作面兩側（如獅子口进口）；如系一道鉄管，則应将半数的皮管挂在送风管的支架上跨过軌道，分設于工作面的兩側（如图 6）。

3. 在台阶之兩側边牆上用风枪打一排淺眼，其深約 2~3 分米，插入木棍，将皮管挂在木棍上。

(丙) 打立眼的方法：台阶上的炮眼一般都是打立眼，所有立眼彼此都要平行，并都和一个自由面平行。因风枪自重即 30 公斤，所以打立眼很省力而且快。根据調查，对不同

石質打立眼速度為11.4~16.6分鐘/米，打平眼速度16.3~19.4分鐘/米，所以打立眼比打平眼要快10~30%。但必須：

1. 撬去松石，掃清碎礮：在扒礮工扒出石礮後，每一風槍組抽出一人，用撬棍撬去松石，並將四周碎石塊全部掃清。當炮位低凹時，在炮眼四周堆以石塊，防止小石滾入炮眼，如有小石塊滾入炮眼，鑽杆即被卡住難以拔出。

2. 要勤吹風，吹風後，鑽杆應輕輕放下防止粉尘堵塞鑽孔。

3. 鑽杆要掌正，使鑽杆在炮眼中心轉動，防止鑽杆觸及眼壁致碎石落入眼底。風槍手所站的位置不要移動，炮眼才不會打斜。

4. 開門釵子用大號鑽花，鑽杆長0.8~1.0米；第二次換1.5~1.6米，鑽杆用中號鑽花；再換用2.0米以上鑽杆，用小號鑽花。

5. 塊石帶打立眼不會夾釵子；松石帶易夾釵子；開門炮眼長0.4米以內，容易夾釵子，再深了不常夾釵子；遇到垂直方向的石縫，即應打斜眼。

(丁) 打台阶眼注意事項：打導坑眼與一般隧道施工方法相同，不另介紹，打台阶炮眼應注意以下事項：

1. 沿每層台阶拉一橫綫，沿綫划定炮位，炮眼深度以達到台阶底部為止，台阶面雖有不平，但眼底要打平。打中部炮眼，風槍手要面向洞門，大家所站方向一致，打出來的炮眼才能都與自由面平行。

2. 打靠近邊牆炮眼，要斜站，半向洞門、半向邊牆。岩石破碎時，眼底可不打到設計綫，岩石硬度大而又完整時，眼底可打到設計綫，甚致稍超出設計綫。

3. 打掃底炮要面向洞門，禁止打立眼，眼深要超過設計綫0.3~0.4米，寧可超挖，不得欠挖。

4. 水沟及避人洞，要随着全断面一次挖好，在边墙及起拱线处如有欠挖，应立即补炮。

过去认为台阶只能构成一个斜坡，不易保持台阶形状。经过多次观察，在岩石节理发达地段，如能够掌握正规打眼，可以炸成规则的台阶。如狮子口进口在七月分经常打成比较规则的台阶，如图7。

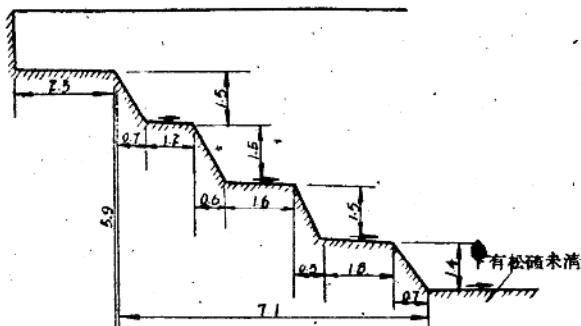


图 7

(2) 爆破

爆破用的炸药是硝铵二号和七号，大部都是纸卷，少数是粉装。硝铵七号炸药，药卷直径为35毫米，长200毫米，重0.2Kg；二号药卷直径为32毫米，长190毫米，重0.15Kg；导坑装药卷，下填粉药长为10厘米，台阶装药粉，用8号雷管引爆。起爆药包大部都是放在自炮眼底部向上数的第二个，如放在炮眼顶部，容易发生半爆现象。导火线燃速为每米122~126秒，点炮时用导火线或用香火，照明一般都是用电灯。

(甲) 分区包干点炮：弧形导坑常在两底角处发生欠挖，因此按图8引线长度和点炮顺序尽量为角炮造成临空

面，以起到底炮翻碴作用。点台阶炮时先点中间后点边眼，先点第一层再逐层下点。一般点炮为6人，3人点导坑眼，3人点台阶眼，每人点炮7~10个。导坑炮先点，台阶爆破手等导坑爆破手通知后才开始点炮，一定要上下密切配合，以保安全。

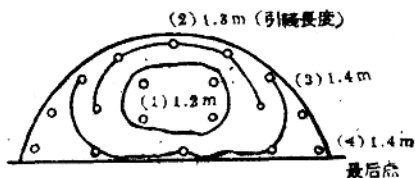


图 8

(乙) 装药要密实：炮眼直径多在42毫米以上，而药卷直径为32~35毫米，如将药卷装入炮眼，不加压实，则装药密度太小，容易发生炮根，降低爆破效果。因此，装药时应用小刀将药包纸划成螺旋形切口，并将药卷下口的包纸拆破，然后装入炮眼，用木棍压紧，使炸药充满炮眼的整个断面，则爆破效果可大大提高；但有雷管的起爆药包，只能轻轻挤压，不得冲击捣实。

(丙) 装药时间问题：装药速度——导坑每炮眼需时5~6分钟，3人装药需时15分钟；台阶每个炮眼需时3~4分钟，3人装药需时30分钟。共需一小时又30分钟。为了缩短一个循环作业时间，当导坑及第一台阶打完后，即划为禁区开始导坑装药，装好后派人看守，任何人不得进入禁区，待台阶眼打完，再装台阶炮眼，如此有半个小时即可全部装完。这样的装药方法违犯了安全规则，但可以延长平行作业时间。目前正在试用风动的填砂器来堵塞，初步试验只用10~15秒，即可堵好一个炮眼，减少了堵塞时间，将来使用吹砂器后，装药时间问题即可解决。

(丁) 高陡台阶应使用电爆破：导火线的长度应根据台阶高度、炮眼数目，以及爆破工的熟练程度而定。台阶高了

爆破工須从梯子上爬下来，容易发生危險；爆破工不熟練，引綫短了(一般用1.2~1.4米)容易惊慌，易于漏点炮；有电灯照明时，因爆破時間很短，如自导坑上收綫，撤退也很緊張，电工可以站在台阶中部，手持竹杆，上挂电灯，既便于导坑照明也便于撤出。今后采用深眼爆破，台阶更高，必須采用电爆破。現自制的毫秒爆破器，經初步試驗，尚属成功，既可解决爆破的安全問題，也可增大爆破的效果，計劃繼續試驗。

(戊)瞎炮处理：全断面开挖必須尽量設法消灭瞎炮，如有瞎炮不惟炸不成正規断面，而且严重的影响安全。为預防瞎炮的生产，应先檢查雷管引綫有无毛病，引綫的位置在平眼时应放在下边，在立眼时应靠一边。堵塞用的炮泥不应掺入大粒粗砂，以免搗实时割断引綫的炸药。尤其当台阶底层經常有水时，打完眼后应将水吹出，装入涂过瀝青的防水药包，然后堵砂。水炮一定最后装药，使侵入水中的時間縮短，經采用以上措施后，瞎炮数量大为減少。如发生瞎炮处理方法如下：

1. 在瞎炮旁边50厘米处，打一輔助眼，与瞎炮炮眼相平行，为了确定这个炮眼的方向，可从瞎炮炮眼口中掏出炮泥深約10厘米即可。

2. 如炮眼深度較浅，可将上部炮泥掏出一部份，另外装药和雷管，重新爆破。处理瞎炮时，禁止使用鉄勺掏药。

(3) 出 碴

出碴是控制全断面开挖的关键，要提高速度，首先要研究出碴的措施。目前，还大都是采用人工出碴，其工序分扒碴、装筐、傳碴上車、推車四个工序，分两班进行，一班工作，一班休息，每一小时輪換一次。由扳道員統計出碴車

数，除在黑板上公布成績外，并随时告訴出碴人現在已推了几車，比另一班的車数还差多少，同时领导深入工地給休息工班一块研究改进工作方法，通过这一系列的組織措施，創造了一个工班推車161次的記錄。

(甲) 扒碴：自导坑工作面开始，务必将底部石碴扒淨，以便风枪打眼，并将各部松石撬去以免打眼夹釘。扒碴应从第一台阶逐級下扒，先将面上的大石块撬掉，然后再扒碎碴。扒碴人員应排成一条橫綫，注意防止石块滾下伤人。

(乙) 爆破后立即扫除軌道上石碴，推进平車，先将大石块运出。装碎碴时，将石碴坡脚挖成陡坎，使石碴容易落入筐中。要多备空筐，以免等待送回空筐就誤時間。傳筐的第一人和最后一人，应选体力特强者，使土筐很快拿起和装車，装車的快慢，主要控制在首尾两人。

(丙) 装筐傳筐人数，根据軌道至工作面远近随时予以調整，应尽量設法減短傳运距离。減短的方法如下：

1. 短軌法，即将鋼軌鋸成1、1.5、2、3米等不同长度的短軌，随着工作面的延伸，鋪上相当长度的短軌。前一阶段使用此法，以后即改用串軌法。

2. 串軌法：系用二根长軌倒置，扣于軌道之外側（如图9）。当工作面向前移进，就用大錘打击倒軌的尾端，使临时軌道向前展长，并立即用碎石填塞扣軌底部，暂时固定軌距，待装碴完了再填枕木，扣軌全部串完即換鋪正式軌道。

此法优点可不用鋸短軌，節約材料，不必挖枕木槽，以免影响装碴，向前伸展快，而且簡易。在使用装碴机装碴时，因机重三吨，易将扣軌压翻，可用石碴将扣軌下部埋实，加釘木軌撑，同样可以使用。

(丁) 装車方法：装車方法有两种，一种是同时只装一