

基本書籍藏

266172

段家嶺隧道施工經驗

太原鐵路局隧道工程處編



1 78
367

人民鐵道出版社

段家嶺隧道是我國目前的特長隧道之一，全隧道採用上下導坑先拱後牆法施工。本書對於上下導坑先拱後牆方法中的主要問題，如導坑開挖、擴大、襯砌、通風、運輸等方面，進行了比較詳細的探討，並提出了不少改進措施；對施工中創造的先進經驗，也作了簡單的介紹。

本書可以作為隧道設計和施工人員，以及隧道專業學生的參考用書。

段家嶺隧道施工經驗

太原鐵路局隧道工程處編

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

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

書號1599 開本787×1092 合印張2卷字數57千

1960年2月第1版

1960年2月第1版第1次印刷

印數0,001—1,200冊

統一書號：15043·1138 定價(7) 0.20元

目 录

施工概况	1
隧道施工程序的选择	2
隧道快速施工方法的体会	8
导坑开挖的经验	11
一、爬眼掏槽	12
二、浅眼掏槽和深眼掏槽	13
三、试用大直径药包爆破结果分析	14
四、机械装碴	15
导坑支撑的改进	16
扩大开挖方法的改进	20
一、拱部扩大开挖	20
二、隔层开挖	21
三、边墙马口开挖	21
隧道衬砌的经验	22
一、拱脚部份的混凝土固填	22
二、衬砌背后回填采用分段封闭	25
三、混凝土拱底浆砌洞碴	27
四、隧道压浆的经验	27
五、股水处理方法的探讨	29
隧道通风	30
一、上下导坑法的隧道通风	30
二、斜井正洞的通风	31
三、开凿通风孔的问题	31
隧道施工运输的经验	33
一、洞内外运输布置	33

二、運輸組織措施	38
三、提高裝卸效率的意見	39
機械使用經驗	41
一、平衡用電的經驗	41
二、蒸汽渦輪機的水質處理	42
三、對今後隧道施工機具配備的意見	46
施工經驗拾錦	48
一、短鉚接長使用	48
二、減少超挖的措施	49
三、導坑出碴的幾點經驗	50
四、漏斗翻板出碴	51
五、架立襯砌模架的經驗	52
六、使用軸流式通風機的經驗	53
七、火力通風	53
八、就地灌注混凝土拱的短板塞尖	54
九、灌注混凝土拱的操作方法	54
斜井施工經驗	55
一、斜井位置的選擇	55
二、斜井設計的體會	58
三、斜井施工測量的經驗	66
四、斜井施工工作	69
結語	74
附錄：段家嶺隧道集中發電後主要機具配備表	76

施工概況

段家嶺隧道位于晋北高原中部，是目前施工中的特長隧道之一。隧道經三角測量校正后的全長为 3348.89 米。隧道进出口皆位于山坡，頂部溝谷縱橫，冲刷甚劇。隧道进出口百尺标为 (改) PK1719+03~APK1752+36.26 (中有断鏈)。在平面佈置上除进口 41.62 米落在緩和曲綫上外，其余 3307.27 米均在直綫上。峒內坡度除进口一段 99.12 米为 3.6% 上坡外，自 APK 1720+00~1752+00 一段为 7% 下坡；自 1752+00 至出口为 16% 下坡。在隧道中段 APK 1729+30 及 1740+80 处右側均設有長达二百余米的南北斜井各一座，作为施工时增加施工工作面之用。隧道通过的岩層多为平層的砂岩夾有頁岩互層。有少量裂隙水及断層水，部分岩層遇水極易崩解剝落。全隧道須通过大小断層約十余处，特別在隧道中段及出口一段是断層的集中地帶，滲水較大；有三处大断層岩石疏松如泥，綿延均达八、九十米，使工程进度遭受很大影响。

本隧道于 1957 年春季开始作施工准备工作及开挖洞外土石方，于 1957 年二季度各洞口陸續先后开工。施工時間如下表：

	斜井开工	斜井到底	下导坑开工	下导坑打通
北 口			1957年6月18日	1958年3月22日
北斜井	1957年4月1日	1957年9月9日	1957年9月10日	1958年6月9日
南斜井	1957年5月2日	1957年10月9日	1957年10月10日	
南 口			1957年5月26日	1958年5月13日

在施工初期，因各項准备工作尚未完畢，特別是大中型

机械尚未安装就绪，因此各洞口使用动力均受有限制，工程进度亦不正常。但各项备料工作均已大量展开，这就为以后的快速施工提供了极为有利的条件。自1957年12月6日蒸汽发电机正式投入生产后，各洞口工程逐渐转为正常。

自觉的社会主义建设总路线公布以后，在总路线的光辉照耀下，在全国工、农业生产大跃进形势的鼓舞下，段家岭隧道亦进入了大跃进的施工高潮，工程进度日日上升，并且摸索了一套比较成功的隧道快速施工方法。

在这两年的施工过程中，我们对上下导坑先拱后墙的施工方法和斜井施工方法有较长时间的实践，取得了一些经验和教训，本书侧重于我们体会到的一些教训的记述；对于一般施工经过和施工方法谈的很简单。我们的体会仍很粗浅、片面，在若干问题上还没有得出正确的结论，必须在今后的施工中继续加以研究和探讨。

隧道施工程序的选择

在施工前，我们对隧道的地质情况和岩石性质不够了解，因而在施工中抱着尽量谨慎的态度，采用了上下导坑先拱后墙的施工方法，并选用了如图1的施工程序。我们在当时选择此种施工程序的理由是：

本隧道系采用电气机车断面，开挖断面高达7.9~8.1米，宽达5.8~6.5米。因此：①为了不使上导坑支撑横梁因山体的下沉或拆除时侵入掘净空，将上导坑顶部预先抬高三分米；②为避免鑽眼时因上导坑高度过大搭立脚手费事及考虑到便于开挖出渣漏斗计，故在上导坑与隔层间增加一落底工序；③为避免隔层过厚，并为尽量配合支撑木料尺寸，故将下导坑高度提高至2.80米，宽度定为4.0米。

实践证明，在易崩解剥落并需要支撑的砂岩地层中，采

用先拱后牆的施工方法是完全正确的。其主要的优点是：安全、省料、省工，特别是配合上下导坑开挖法，则更能进行兩層作業和增辟工作面，能加速进度。其缺点则在于砌拱和砌牆的兩道工序的距离必須拉長，距离达 200~300 米，因而也相对地影响了工期。

在施工过程中使我們認識到：隧道工序的划分对工期有很大影响，工序过多过細，常易招致各工序間的互相等待和干扰。特别是需要支撐的隧道，每多一道开挖工序便多一道

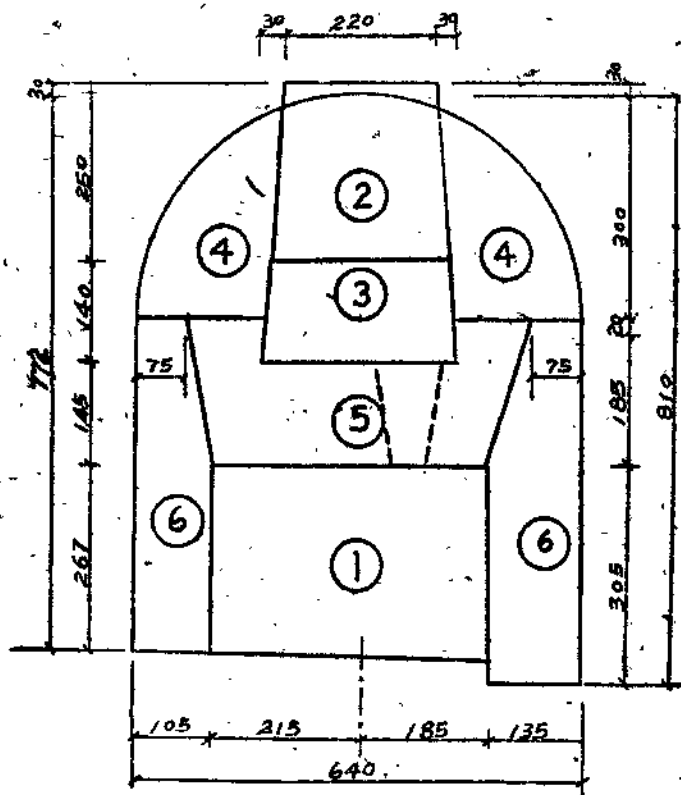


圖 1 隧道开挖程序圖 $f=2$

支撐手續，多費一次人工和增加一次材料消耗，同時在時間上則多一次延誤。我們在施工初期，原採取 6 道開挖工序（見圖 1）。通過實踐，證明第 3 道開挖工序（上導坑落底工序）是不必要的。其惟一的優點只是便於開挖出渣漏斗，但卻增加了上導坑支撐的抽換手續，並且推遲了擴大和砌拱的時間。以後即在上導坑開挖工作中取消了這一工序，改作圖 2 程序，也有很多缺點：

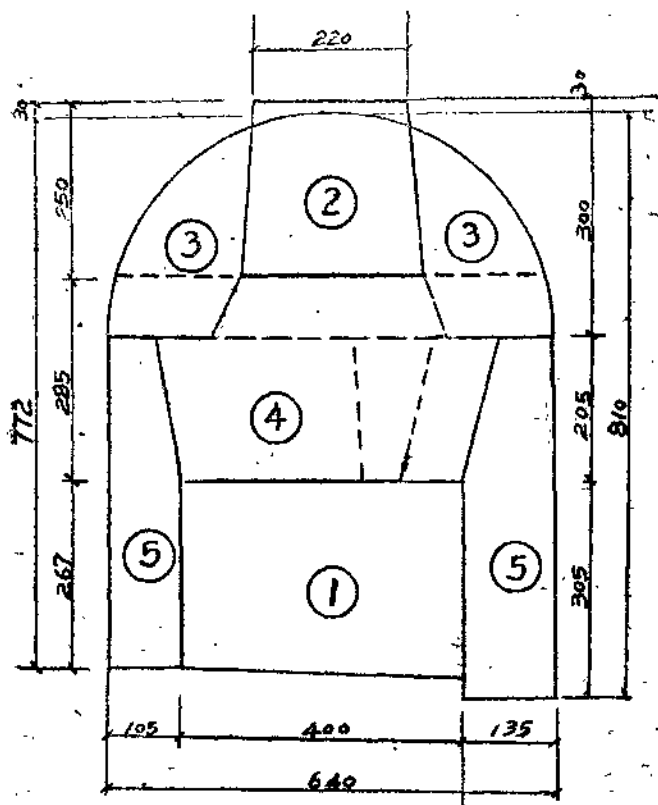
1. 3 部份拱腳處開挖費事，工效不高；
2. 4 部隔層太厚，開挖時極易將下導坑支撐震塌；
3. 開挖漏斗費事，並將上導坑的通路炸得高低不平，給行人及運輸帶來不便；
4. 砌拱時工作場地過窄，拱架距上導坑底部太低，影響混凝土拌合效率。

為此又改成圖 3 的程序，其優點在於：

1. 取消了上導坑落底工序，簡化了施工手續，加快了上導坑進度；
2. 通路平坦、工作場地寬敞，有堆存材料及拌合混凝土的地方。

但在取消了上導坑落底工序後，隔層厚度達 2.05 米，開挖出渣漏斗很費事，並且在開挖漏斗時還經常堵塞下導坑通道和打壞下導坑支撐。我們採用了兩步走的方法解決了這一問題，其方法是：在開挖下導坑時，預先在下導坑頂部打三個槽眼，放一次炮；當上導坑到達地點後，又自上導坑在該漏斗處打幾個炮眼將漏斗挖通，漏斗直徑為 1.5 米。採用這種方式解決了出渣運輸的干擾，避免了下導坑支撐的崩壞，縮短了挖漏斗的時間，因而有可能多打隔層漏斗（每隔 6 米一個），提高了上導坑和拱部擴大的出渣速度和開挖進度。

這種施工程序（圖 3），成為段家嶺隧道的定型程序。在

圖 2 隧道开挖程序圖 $f=2$

施工高潮时期，曾有人鉴于上导坑拱部扩大和砌拱这三道工序关系非常密切，为加速施工进度，简化施工手续和提高爆破效果，建议将上导坑和拱部扩大併成一道工序（如图4）。其所持的理由是：根据山体压力增长和时间成正比的规律，如开挖后能立即进行砌砌，则山体压力增长甚小；反之，山体经过上导坑的破坏以后，隔相当时日再经拱部扩大开挖的

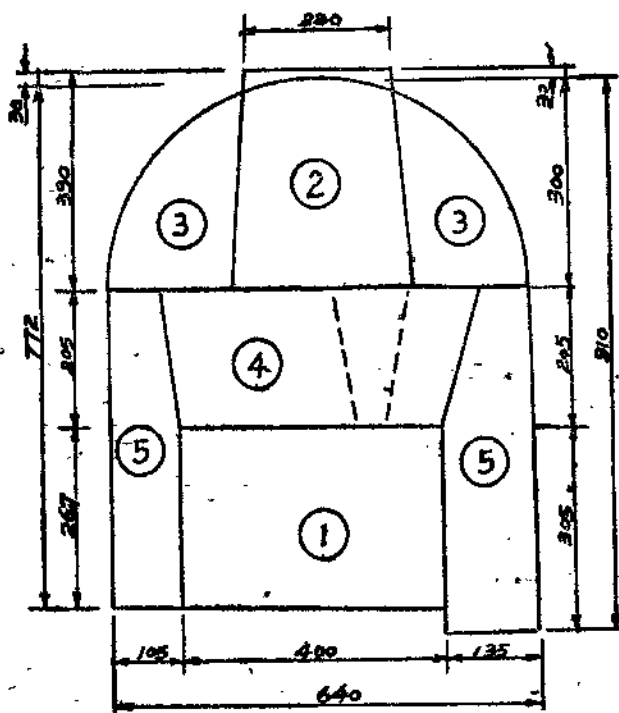
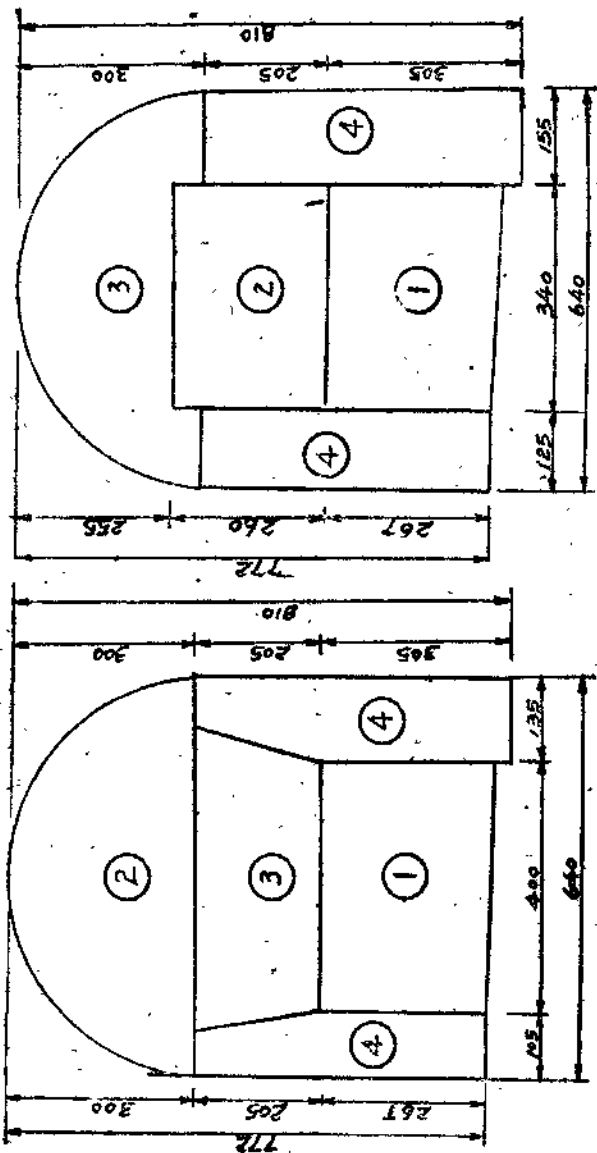


圖 3 简化后开挖程序圖 $f=2$

破坏，山体压力的增长必然较一次开挖为甚。同时在爆破效果上，由于开挖断面的加大，岩石的挟制性相对地降低，因而能尽量利用炮眼深度和發揮爆破效果，炮眼和炸药消耗也因而能相应减少。

但这种简化的施工程序最好能有环式的型钢拱架支撑来配合。段家嶺隧道没有这类设备，所以也未能采用。但可以肯定，这种简化程序比正在使用的程序更合理。随着隧道施工机具的不断改进和发展，隧道的施工方法亦必然逐步提高和简化。



建築开挖程序(乙式) $f=2$

建築开挖程序(甲式) $f=2$

隧道快速施工方法的体会

1957年初，隧道公司总结了1956年施工经验，提出了均衡生产，循序前进的施工原则。段家岭隧道在开工时的施工组织设计基本上也是根据公司的指示原则而编制的。但当时为考虑到便于勘探岩层情况，便于能及时变更施工方法以及为便于排水及通风计，将下导坑的开挖速度稍加提高，以正洞为例：南北口下导坑的进度定为70米/月~80米/月，其它工序则以均等速度，在导坑打通前为50~60米/月，导坑打通后为70~80米/月进行编排。在施工过程中，使我们认识到：由于各工序的施工程序有先后，难易有不同，劳动量亦不同，进度极难均等，某一工序的赶前错后均能与其他工序发生干扰。如强使各工序以一律的速度前进，必然招致各工序间的互相等待，而使进度不能有所提高。为避免干扰，加速进度，则必须拉开各工序间的问题，首先应使导坑速度加快。及至1958年3月，由于全国大跃进形势的鼓舞，段家岭隧道也必须加速进行，并须争取于1958年10月竣工。因而采用多头扩大衬砌的方法，使下导坑的进度更加提高。通过三月份以来的施工跃进，各洞口的导坑进度均有显著提高（例如北口在三月份中以2天完成了140米的下导坑），从而加快了以后工序的进度，也使我们对加速导坑突进有了一致的认识，体会到：在分次进行开挖时，隧道的施工速度主要取决于导坑速度；只有导坑进度成倍地提高，才有可能为后来的工序创造更多的工作面，才能使以后工序以相等的进度向前推进。同时认识到在整个施工过程中，应根据不同的施工阶段，有不同的施工重点。快速施工必须采用“突破重点带动一般”的方法，以求得不断地出现施工高潮。这是我们对于有节奏的施工的新理解。我们认为只要地质情况许

可，在施工初期应以导坑为綱，集中主要力量去突进导坑，其他工序亦应尽可能跟上，但遇有干扰时，則必須讓路，以保証导坑的正常进展。打通部分或全部导坑后，可以視具体情况轉移重点，分兵或轉移兵力去搞次一重点工序。这样波浪式的推进，其优点在于：①能集中力量减少干扰；②能充分利用時間去做下一步的准备工作；③能为后一工序提供更多的工作面来加速进度，而不受隧道空間的限制。在地質不良地段，求安全亦即是求快，兩者應該統一起来。

段家嶺隧道系采用上下导坑先拱后牆法施工，我們將全部工序分为三个主要环节：1. 下导坑为第一环节；2. 上导坑，拱部扩大和砌拱为第二环节，并应以砌拱为重点；上导坑及拱部扩大的进度应以砌拱速度为依归，以免距离越拉越远，增加支撑倒用材料，或距离愈来愈近，影响砌拱速度；3. 挖隔層馬口和砌牆为第三环节，其中以砌牆为重点（砌水溝及鋪底等不影响工期，可列于收尾工作中）。首先应集中力量开挖导坑，待突进相当距离后，則可选择适当地点增辟扩大工作面，进行第二环节的多头开挖和砌拱工作。在一般情况下，跳躍开挖的距离約在300米左右。如間距过小，則对向开挖的工期过短而增辟工作面费时很多，因而并不經濟。地質不良地段应使之置于跳躍开挖的中段，則在处理上既安全又迅速，而不宜置于跳躍开挖的开始地段。在砌拱完一成300米后，則可开始第三环节的施工。挖隔層和馬口均可采用預打炮眼的方法，不受任何运输的干扰。放炮則根据砌牆的需要依次进行之，不仅能避免运输道路的阻塞，且对安全亦有保障。砌牆速度主要取决于材料的供应，其施工范围較砌拱更为广泛；但大量的砌牆工作应在导坑貫通后开始，以避免运输干扰。茲將本隧道各洞口躍进前后的平均进度和最高进度擇要比較如下表：

廠家橫隧道施工躍進前后進度比較表

表 1

項 目	單 位	北 口	北斜井	南斜井	南 口	全隧道
躍進前平均砌拱進度	米/月	70.7	53.1	46.9	52.9	223.6
躍進后平均砌拱進度	"	114.7	76.1	84.1	96.4	171.3
躍進后進度增長	%	+ 62.2	+ 43.4	+ 79.3	+ 82.3	+ 66.1
躍進后最高砌拱進度	米/月	170.9	103.5	100	104.5	447.5
增長百分比	%	+141.7	+ 94.9	+113.2	+ 97.4	+ 100
躍進前平均成洞進度	米/月	49.4	36.6	38.7	40.9	165.6
躍進后平均成洞進度	"	88.5	64.6	65.7	80.1	298.9
躍進后進度增長	%	+ 79.2	+ 76.5	+ 69.8	+ 95.8	+ 80.5
躍進后最高成洞進度	米/月	107.9	70.1	81.4	101	331.8
增長百分比	%	+118.4	+ 91.5	+110.3	+146.9	+ 100

註：躍進前進度以 1958 年 1~2 月平均進度計算

躍進后進度以 1958 年 3~7 月平均進度計算

全隧道最高月進度為 1958 年 6 月份進度

採用這種“突破重點帶動一般”的施工方法，就我們的體會，其总的優點在於具有充分的靈活性、主動性，可以因時因地制宜，在任何施工方法中應用，可以根據各洞口機械設備能力靈活掌握，也並不違背均衡生產循序前進的原則。我們認為，在隧道工程中影響各工序的進度因素很多，必須根據客觀具體條件和各工序相互間先後輕重關係來靈活掌握各工序進度。所謂“突破重點帶動一般”，在方式方法上亦可以多樣化。如：可以抓先進帶落后；也可以抓落后，趕先進；可以抓重點；亦可以抓薄弱環節；應視具體條件和施工階段的不同來靈活運用。因此，我們所爭取的應該是大均衡，而不是小均衡；應該是活均衡，而不是死均衡。只有這樣，才能使我們的施工工作永遠處於主動。各環節的進度最好作如下安

排，則在工期上可以最短，在材料倒用上可以最省。

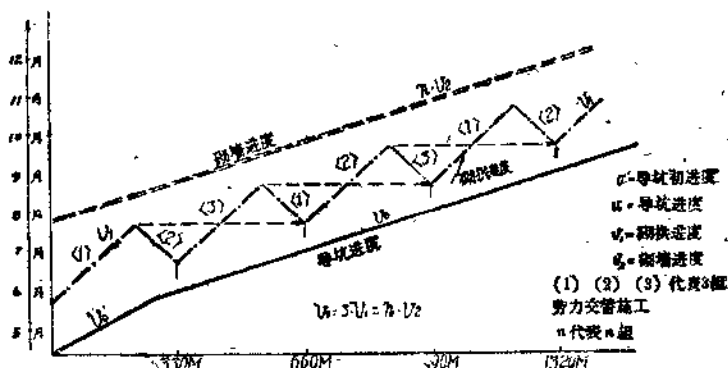


圖 5 快速施工理想的进度安排

导坑开挖的经验

为便于在导坑内铺设双股轨道和减少上下导坑间隔层的厚度，配合支撑木料尺寸，尽可能避免浪费材料，故规定本隧道的下导坑宽为4.0米，高2.8米。通过实际施工证明，采用这种尺寸的导坑断面是恰当的。在施工过程中，我们曾在个别地段将导坑宽度减少到2.5~3.5米，但得到的结果是3.5米与4.0米宽的导坑在炮眼数和炸药消耗量上几乎完全相等，但4.0米宽的导坑在使用上却方便多了；并且有可能增加风钻台数同时进行钻眼，则更能加速进度。2.5米宽的导坑在炮眼数上虽可减少3~4个，但每立方米岩石的炸药消耗量却增加很多，同时在导坑内只能铺设单股轨道；且在开挖马口和隔层时干扰很大，搬砌时无堆存集料地点；在整段的施工进度上亦非常不利。

在导坑开挖过程中，我们有以下几点体会：

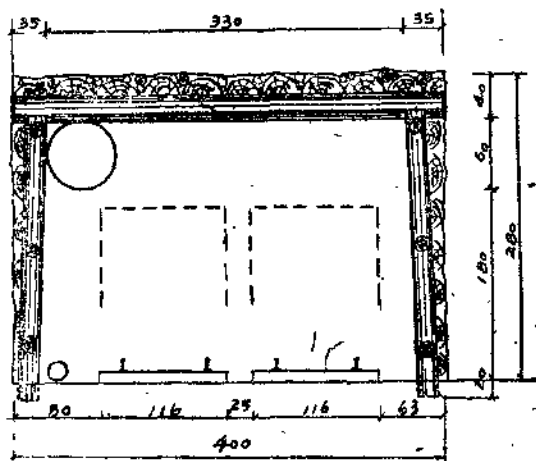


圖 6 下导坑断面圖

一、爬眼掏槽

不論是人工打眼或机械鑽眼，絕大多數的开挖工人所最乐用的是爬眼。因为这种炮眼在鑽鑿时最省力，并能利用岩層的層理和节理作临空面，在爆破效果上也容易掌握。段家嶺隧道的岩層系平層的砂岩，因此使用爬眼亦最为相宜。但爬眼亦有其缺点：在岩層發生变化或变换方向时，炮眼佈置亦必須根据岩層情况变化，因此必須有熟練的开挖工才能够掌握。我們現在采用的炮眼佈置方法基本上如圖 7，实践証明，这种佈置方法是比较适宜于中硬的成層岩的。

这种佈置方法，集中了楔形和扇形掏槽炮眼的优点，容易取得爆破效果，而在鑽眼上又很省力，能用两个爆破工来同时点炮，打眼时不必搭脚手架，出渣亦不干扰；缺点是炮眼

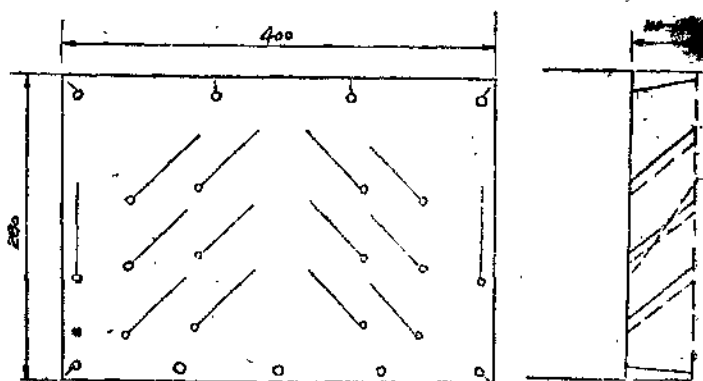


圖 7 導坑炮眼佈置圖

利用系数差，平均一米炮眼只能进6~8分米，即60~80%。

在施工过程中，我們得到一种較為成功的快速鑽眼流水作業法，即：每次鑽眼开始前，先由兩名熟練开挖工各掌握一台風鑽，專打所有的開門眼。每个開門眼打到一定深度后，即拔出釘子又換至別处另打开門眼。打好的開門眼則由其余兩台風鑽另用長鑽釘繼續鑽眼直至規定的深度为止。采用这种流水作業方法，炮眼位置方向都固定了，同时也减少了風鑽換釘的非生产時間，因而能保證炮眼質量和提高鑽眼的效率。如風鑽有余，還可在掌子面前另备兩台風鑽，作好鑽眼准备，需要时即可替换，則更能节省時間提高效率，这个方法是值得推广的。

二、淺眼掏槽和深眼掏槽

本隧道下導坑的开挖面积达 11.20 米²，每一次的爆破深度应达到 1.8 米，最低限度亦应达到 1.5 米。但目前除个别情况能达到 1.2 米外，通常只能达到 1 米左右。我們也曾試用过較深的炮眼掏槽，但發生拒爆的情况較多。其原因是因我們