

# 软弱围岩深大竖井机械化快速施工工法

(TGJGF-03·04-41)

中铁隧道集团有限公司

## 一、前言

竖井作为长大隧道和洞室的配套工程与平巷及斜井相比,其施工方法复杂、工程难度大。中铁隧道集团在大瑶山隧道班古坳竖井施工中积累了不少这方面的经验,后来在乌鞘岭隧道大台竖井的施工中得到进一步发展和完善。施工中,强化了全方位的组织管理,开展科研攻关,战胜了涌水和软弱破碎岩层,确保了竖井工期,工程安全 and 质量也得到了全面保证。在此基础上,总结形成了深大竖井机械化快速施工工法。

## 二、工法特点

1. 注重机械设备和料具的选型,主要机械、机具配套合理,效率高。
2. 严格控制影响竖井提升这一作业工序主线的各种因素,循环作业时间短。

## 三、适用范围

适用于井筒直径在 5.0~7.0m、各种软硬围岩(特别是软弱岩层)、井筒涌水量小于  $15\text{m}^3/\text{h}$  的竖井工程,亦可用于矿山、辅助坑道和隧道永久通风等用途的竖井工程。

## 四、工艺原理

针对竖井施工在多数情况下单工序作业的特殊性,围绕竖井提升这一工序主线,分别对钻眼爆破、装渣、出渣、支护、清底、衬砌等工序进行管理,认真设计和安排每项工序,将它们对工序主线的各种控制、影响因素进行排查,使其不利作用降到最低限度乃至消除,达到充分压缩整个循环时间的目的。

## 五、施工工艺

(一)施工工艺流程(见图 1)

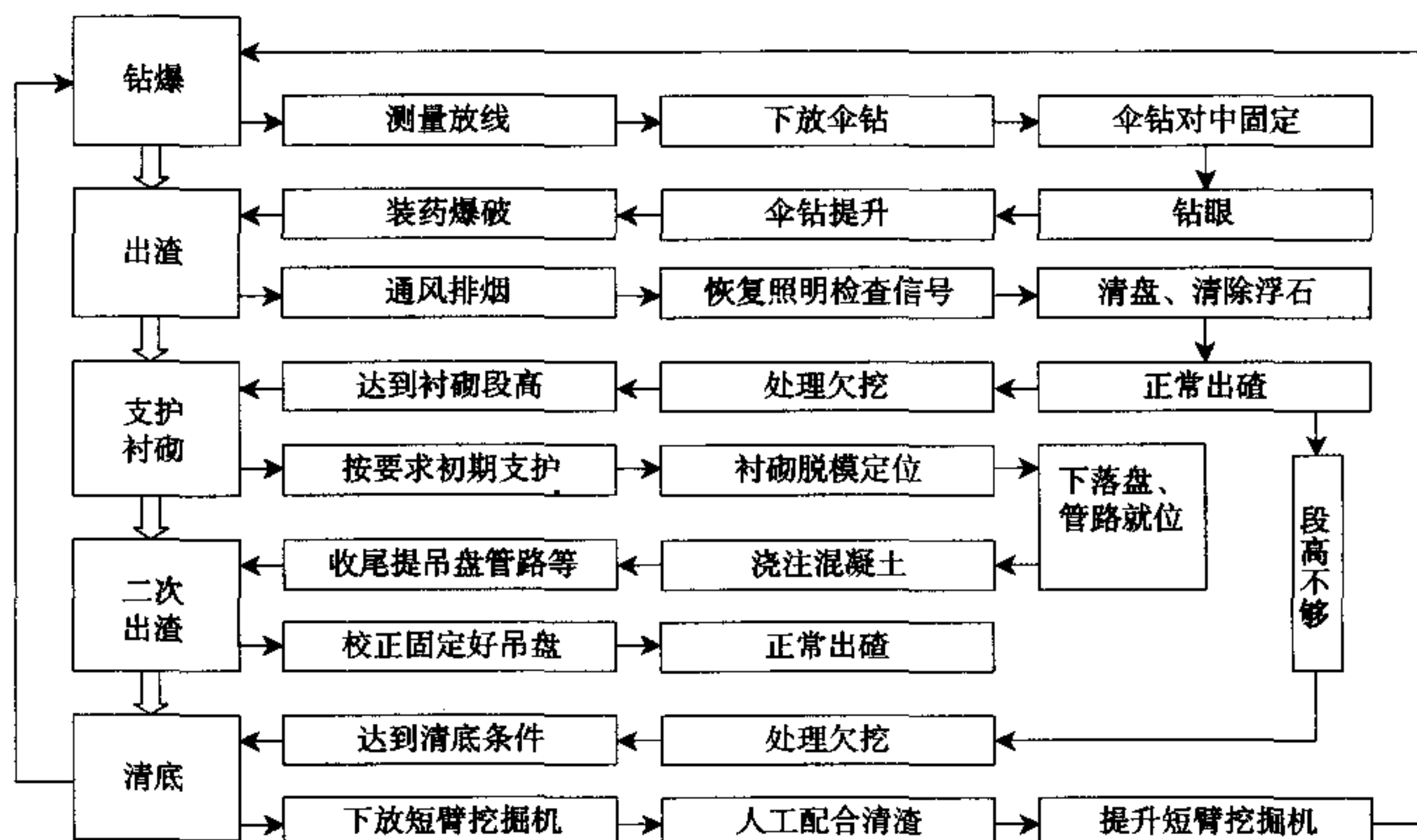


图 1 竖井施工工艺流程

竖井施工的关键在于伞形钻机钻眼爆破,中心回转抓岩机井底抓岩,主副绞车提升出渣,初期支护及滑动模板衬砌,短臂小回转半径挖掘机清底等作业机械配套和工序衔接的合理性。

## (二)操作要点

### 1. 施工准备

#### (1)主要机械设备选配

机械设备主要围绕伞形钻机钻眼爆破、中心回转抓岩机出渣、滑动模板衬砌和挖掘机清底四个主要工序进行选配。竖井提升系统主要考虑井架形式和系统的提升能力。悬吊系统主要是考虑悬吊吨位和位置的合理性,即悬吊每样设施的稳车吨位要足够,各种管路在井筒内的布局要合理。要保证整个提升、悬吊系统的机械设备配套合理、运转正常。

- 伞形钻机选择 根据井架底层或二层的高度和井筒直径确定钻机的高度和最大炮眼圈径。
- 出渣设备选择 选择出渣速度快,效率高的中心回转式抓岩机。
- 支护衬砌设备选择 采用设置喷射混凝土和模筑混凝土双溜系统,衬砌采用整体滑动模板,采用稳车悬吊。
- 清底设备选择 选用具有性能稳定、操作灵活等特点的短臂小回转半径挖掘机。
- 排水设备选择 排水方式有吊桶提排、吊泵排水和吊盘卧泵排水等。为防止突水,与井筒深度匹配的吊泵或卧泵是必须准备到位的。

#### (2)施工前期应达到的条件

竖井在形成提升悬吊系统前应达到的深度一般不少于25m。在进行临建和“三通一平”的同时抓紧设备的进场,并及时对到场设备进行检修。在掘进井口段25m的同时,抓紧进行主副绞车基础、各个稳车基础、井架基础的施工,及时进行主副绞车安装调试、绞车房施工和稳车安装缠绳等。竖井深度达到要求后即封闭井口,安装井架和天轮,施工二层平台和溜渣翻渣台,安装调试井筒悬吊系统(包括吊盘、滑模等),施工井口封口盘,提升系统穿绳挂吊桶试车,正常后投产。

#### (3)竖井施工设施布置

主副提升机绞车采用两侧对应布置,主提升机为双滚筒绞车,以便进入平导施工、井筒改装后形成双罐笼提升系统;吊盘用4台稳车悬吊;模注混凝土溜灰管和高压风水管各用1台稳车悬吊;吊泵及其排水管和喷射混凝土溜灰管各用1台稳车悬吊;滑模用3台稳车悬吊;主副吊桶除了各用一根吊盘稳绳作稳绳外,还各用1台稳车张拉一根钢丝绳于吊盘上作伞帽的另一根稳绳;在中心回转抓岩机的位置用1台稳车悬吊一根钢丝绳,出渣时用作悬吊和稳定中心回转,伞形钻机打眼时用之悬吊和稳定伞钻,前期在没有上中心回转时可用作长绳悬吊出渣;其它各通讯、信号、照明和动力电缆等都附于各根相应或合适的稳绳上,跟随各稳绳向下延伸,放炮电缆单独用1台安全梯稳车进行悬吊。具体布置见图2。

### 2. 井口段施工

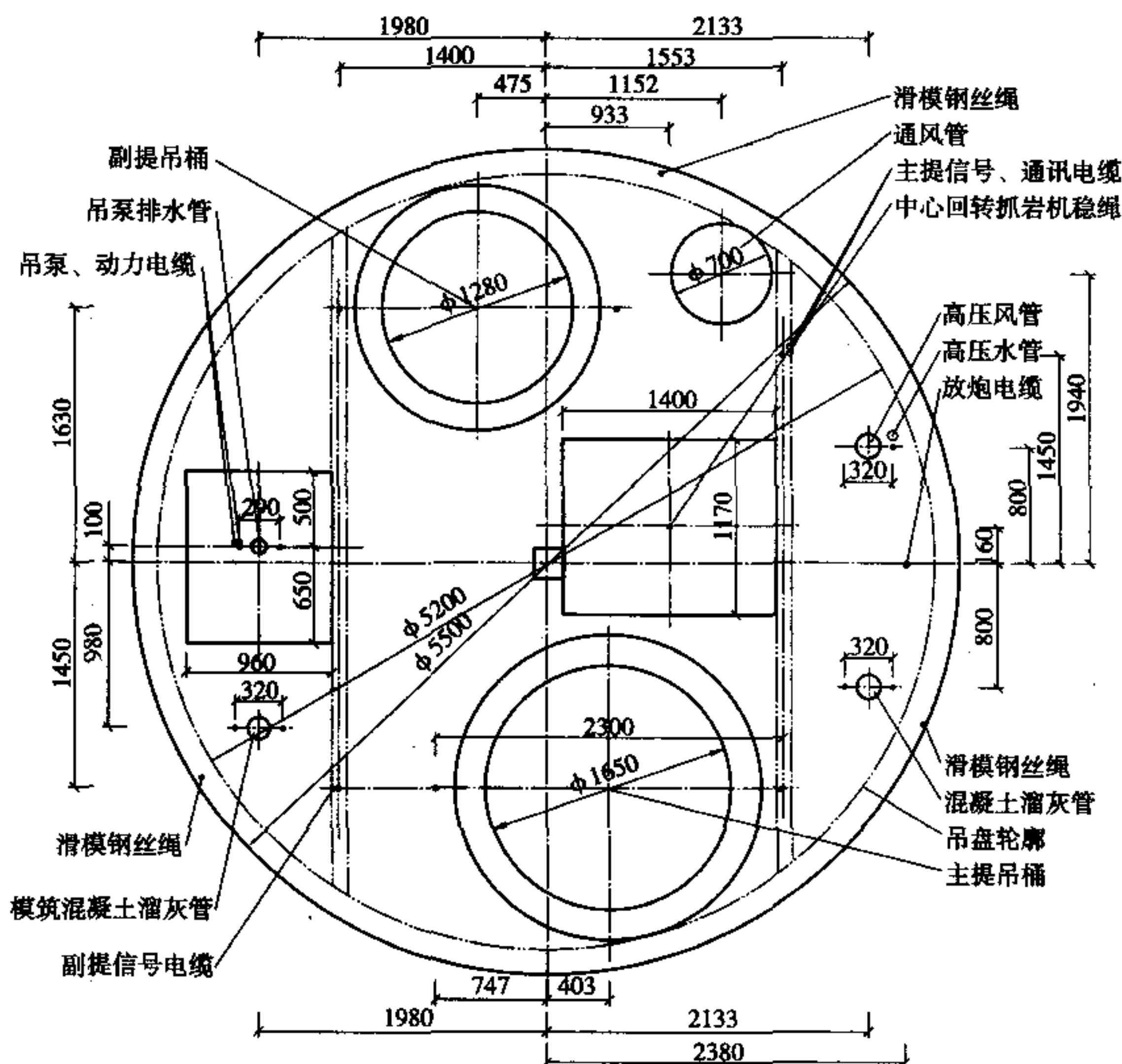


图2 竖井井筒平面布置(单位:mm)



井口段施工采用手持风钻钻孔爆破(如果地表岩层较软,则无须爆破),用短臂小回转半径挖掘机装渣至 $3.0\text{m}^3$ 吊桶中,250kN吊车提升出碴,初期支护后用组合小模板衬砌。井口设临时拌合站和临时模注混凝土溜灰管,喷浆管直接用软管接长。

### 3. 竖井施工

#### (1) 开挖爆破

a. 爆破设计 爆破设计参数见表1。

b. 炸药选用 竖井爆破装药吹孔困难、装药易被卡死,炸药宜选择高性能的乳胶炸药,最大限度地提高装药率。其性能应达到:外包装柔韧光滑,不怕水浸、水泡、弯曲、挤压,且爆破威力较大。

c. 钻爆作业 清底快完成时由测量组放线测量,下放伞钻并对中固定,检查无误后进行钻眼,钻眼深度、间距严格按钻爆设计进行控制;钻眼、装药时要始终保持抽水,以保证不影响正常的钻眼和装药;装药完毕,把导爆管和电雷管连成起爆网路,人员和井底设备撤出井后,在井口通过起爆电缆引爆。

表1 直眼掏槽爆破参数

圈别	名称	眼深/m	眼数	圈径/cm	装药量				起爆顺序	备注
					每眼药卷数	每眼 kg	每圈药卷数	每圈 kg		
1	掏槽眼	4.2	8	160	8	4.8	64	38.4	I	预计进尺3.2m
2	掏槽眼	4.2	8	220	8	4.8	64	38.4	II	
3	掘进眼	4.0	14	340	6	3.6	84	50.4	III	炸药单耗 $2.7\text{kg}/\text{m}^3$
4	掘进眼	4.0	19	480	6	3.6	114	68.4	IV	
5	周边眼	4.0	29	600	7	2.1	203	60.9	V	
合计			78					256.5		

#### (2) 出渣

装药时出渣人员就要下井连接好高压风管,检查中心回转抓岩机的状况。出渣前必须先把吊盘上、中心回转抓岩机上及衬砌接头处的所有危石清理干净。根据井壁自稳情况,决定是否进行初期支护。出渣过程中井底人员要指挥好抓岩机,以提高中心回转抓岩机的出渣速度。并要注意及时处理欠挖。

#### (3) 初期支护

竖井施工,喷混凝土支护时管路较长,要从各方面采取措施防止堵管,如喷浆料级配要合理、不能有大块,高压风压力要稳定、风压不宜太高,喷浆机上料、出料要均匀,等等。为防止以后井壁混凝土掉块,可在混凝土中加塑料纤维。施工中,提前做好下放喷混凝土溜灰管、喷浆机检查、管路连接、支护材料等准备工作和相应的安全防护工作。

#### (4) 衬砌

滑模下放时尽量一次到位,避免上提模板。衬砌测量定位工作在力求精确的情况下,尽量缩短时间。井底人员在定位前做好底渣平整工作,定位后做好模板堵塞工作。

模筑衬砌时混凝土要严格按配合比配料、拌制,控制好坍落度,输料时不得让大块进入溜灰管,以免管路堵塞;吊盘上人员要做好分料工作,使模筑衬砌快速、顺利进行。

灌完混凝土后,一定要按规定把吊盘和管路提升到位,把吊盘校正好后固牢,保证灌完混凝土后出座底渣时混凝土不漏空。

#### (5) 清底

以短臂小回转半径挖掘机作业为主,人工配合为辅,充分保证清底效果,达到伞钻打眼和装药能顺利进行,为每循环钻爆出现良好的效果创造有利条件。

#### (6) 排水

施工过程中的排水是非常关键的工作之一,在水量小于 $15\text{m}^3/\text{h}$ 的情况下,用性能良好的低扬程风动抽水机抽至吊桶中直接提排,但在各个工序中要始终保持抽水工作的顺畅进行,不能有长时间的耽误而造成积水危害。

### 六、设备配套及管理

竖井机械化快速施工,必须有一整套配套齐全、合理的机械设备,并有严格的设备管理措施来保证各

种设备的正常运转。

(一)设备配套

竖井施工的主要设备配套见表2。

表2 竖井施工的主要设备

序号	设备名称	规格、技术参数	数量	功率	备注
1	井架	IV型钢管	1		根据所用设备和井筒直径选型,净高21m
2	主提绞车	2JK-3.5/20	1	780kW	静张力115kN
3	主提绞车	JK-2/20	1	380kW	静张力55kN
4	稳车	2JZ-16/800	3	55kW	吊泵、风水管、模筑混凝土溜灰管稳车
5	稳车	2JZ-10/600	1	40kW	喷射混凝土溜灰管稳车
6	稳车	JZ-10/600	5	22kW	吊盘、中心回转抓岩机稳车
7	稳车	JZ-10/600A	3	22kW	滑模稳车
8	稳车	JZA-5/1000	1	17.5kW	安全梯稳车
9	稳车	55型50kN	2	22kW	主、副提稳绳稳车
10	提升天轮	φ2.5m	1		主提升机天轮
11	提升天轮	φ2.0m	1		副提升机天轮
12	悬吊天轮	φ1.0m双槽	7		吊泵、风水管、溜灰管等双绳悬吊天轮
13	悬吊天轮	φ0.6m单槽	17		吊盘、抓岩机、滑模、安全梯等悬吊天轮
14	伞型钻机	SJZ-6.7	1		适用井筒直径6~7m
15	中心回转	HZ-6	1		适用井筒直径5~7m
16	抓斗	DTQ-0.6	2		与中心回转配套
17	抓斗	DTQ-0.4	1		与中心回转配套
18	吊桶	3.0m <sup>3</sup>	3		主提吊桶,一般用两个,一个备用
19	吊桶	1.5m <sup>3</sup>	2		副提吊桶,使用一个,一个备用
20	滑动模板	MJY-5.5	1		有效段高3.6m
21	脱模液压泵	BYQ型	2		使用一个,一个备用
22	挖掘机	Bobcat-331	2	36.4kW	主要用于清底,使用一台,一台备用
23	吊泵	80DGL-75×8	1	250kW	水量小时备用,水量大时用
24	风动抽水机	QBY-50	5		要多备用几台
25	轴流通风机		2	15kW	使用一台,备用一台

(二)设备管理措施

1. 实行定人定机责任制管理,把各种关键机械设备和管理责任落实到个人。
2. 实行强制性保养与穿插检修相结合的计划维修组织方式,按规定时间和不影响正常生产的施工间隙对机械设备进行强制保养和日常检修。
3. 实行预防维修和状态维修相结合的工作制度,通过定期的检查,判断机械设备的故障发展趋势,制定出有效的维修方案,从而将隐患消除在故障发生之前。

七、劳动组织(见表3)

表3 劳动组织

序号	班组设置	人数	主要职责
1	绞车班	12	绞车提升
2	信号把钩班	23	信号和把钩
3	机钳班	18	施工用风、水、电、信号保障,机械设备维护
4	内钳班	10	
5	电工班	8	
6	钻爆班	22	井筒施工生产,竖井开挖、出渣、支护衬砌等
7	出渣班	18	
8	支护班	20	
9	清底班	9	
合计		140	

八、质量控制

本工法除遵循施工设计图纸等文件的技术要求和现行的各种设计、施工、验收规范及规程外,还着重从以下几点加强对施工质量的控制。



1. 对员工进行质量教育,增强质量意识,牢固树立“绝对服从业主、充分尊重设计、积极配合监理”的施工理念,树立“精品工程来自对每一道工序的执著”的质量意识,坚持“以质量保安全、以质量促进度、以质量求效益”的施工指导思想。

2. 严格施工纪律,把好工序质量关,上道工序不合格不能进行下道工序的施工,把质量工作置于一切工作的首位,严格执行质量一票否决制和质量终身责任制。

3. 每个新的分项工程,施工前必须编制作业指导书、质量控制要点和验收评定标准,施工过程中提前作好技术交底。

4. 严把材料进场关,所有材料必须三证齐全(出厂证、合格证、检验证),材料进场后按规定进行进场检验,合格后使用,不合格、来历不明、过期变质的材料不准使用。

## 九、安全措施

竖井施工安全是第一大事。施工过程中存在的不安全因素和危险源非常多。要分系统、有针对性地制定严密的安全措施,谨防安全事故的发生。除执行国家、部门和设计文件相关的安全标准外,还应采取以下几点安全措施。

1. 对现场作业人员进行全面的安全操作规程培训,确保作业人员能熟练地操作各种机械设备。

2. 分系统、有针对性地制订各项安全防范措施,保证每一样作业都有详实的作业标准、操作规程和防范要点。

3. 绝对执行强检和预防维修制度(如绳检,钩头检查,井筒检查,悬吊管线检查,提升机、稳车及天轮等的预防维修),保证各种机械设备运转在可控状态。

4. 从各个方面加强措施,谨防井架上和井筒内发生高空坠物。

5. 设专职工程技术人员做好地质描述、超前地质预报和超前探水工作,防止突泥、涌水。根据监控量测结果,及时反馈信息,指导施工,调整支护参数,确保施工人员、设备的安全。

## 十、效益分析

1. 本工法比较合理地配备了竖井机械化施工的一整套机械设备,为竖井的快速施工创造了必要条件。

2. 科学的施工管理、严密的安全防范措施和严格的设备管理制度,使竖井的机械化快速施工成为现实。

3. 本工法的成功应用,提高了竖井施工技术,大大缩短了施工工期,有一定的社会效益和经济效益。

## 十一、工程实例

乌鞘岭隧道大台竖井深515.66m,净径5.5m,开挖直径6.44~6.16m,围岩级别IV~VI级,设计有锚喷支护和复合式衬砌两种形式。井筒所穿地层为志留纪下统板岩夹千枚岩,灰绿色,千枚岩所占比例较大,岩层总体产状:N70°~80°W/75°~85°N。板岩较硬,千枚岩松软,遇水软化,岩层中等富水,井筒中深部平均涌水量280m<sup>3</sup>/d。井筒岩层直立,岩体受地质构造影响严重,围岩整体性差,岩体破碎,井壁围岩自稳能力非常差。

大台竖井2003年3月开工,11月底掘进到底,其中井架及设备安装调试用时近一个半月,实际竖井井身施工7个半月,井口段施工用时一个半月,井筒段施工月平均进尺78m,9、10、11月份连续三个月实现稳产高产。7月份井筒施工22d,采用锚喷支护形式,共完成井筒开挖支护61m,日最高进尺4.43m。10月份井筒施工30d,采用复合衬砌支护形式,共完成井筒开挖支护90.7m,日最高进尺4.2m,是进度最好的一个月。伞钻打眼进尺4.2m,爆破最好进尺4.0m,后期一般保持在3.5m以上。

大台竖井的整体进度未达到理想效果,主要是因为前期存在很多失误,有管理方面的,有设备配备方面的,也有施工组织方面的,致使大台竖井施工走了很多弯路,但为以后的竖井工程施工提供了宝贵的经验教训,今后的竖井机械化施工将会远远超过这个速度。

执笔:杜闯东 吴海之 李剑雄 康向湘 瞿学东