

中石油武汉西气东输项目长江江底隧道抢险

抽水排砂方案

编制日期：2008 年 10 月 25 日

编制地点：湖北武汉

目录

第一部分	工程现状.....	3
第二部分	施工准备.....	3
	1、时刻观测地下水位状况.....	3
	2、安全门安装和应急演练.....	4
	3、重点设备准备和整修.....	4
第三部分	抽水排砂方案.....	4
	（一）竖井内抽水.....	5
	1、竖井总水量计算.....	5
	2、竖井排水.....	5
	（二）下行隧道内排水.....	6
	1、隧道排水量计算.....	6
	2、隧道排水.....	6
	3、可同步进行的工作.....	7
	4、拆除第一个中继平台泥浆泵.....	8
	（三）下行隧道排砂.....	8
	1、隧道内总砂量.....	8
	2、排砂方案.....	8
	3、拆除第二个中继平台泥浆泵.....	9
	（四）上行隧道排砂.....	9
	1、排砂方案.....	9
	2、最低点排水.....	10
第四部分	抽水排砂工期.....	10
	1、主要工序所需时间.....	10
	2、总工期.....	11
第四部分	人员组织机构.....	11
第五部分	材料设备投入.....	11
第六部分	风险识别.....	12
	1、突发性涌水涌砂.....	12
	2、触电风险.....	13
	3、上行隧道排砂塌方.....	13

第一部分 工程现状

盾构隧道原长 1900m，出发井位于长江北岸，长 13m，宽 8m，深 15m。2008 年 9 月 19 日突发地质灾害，隧道内涌水涌砂，造成达到井前约 100m 长的隧道损坏，隧道内涌进大量粉细砂。现在距出发井井壁 1800m 的位置冻结冰塞，冰塞冻结后在出发井一侧进行抽水排砂施工。根据地面塌方量粗略估算，冰塞点至出发井内，有淤砂约 8000m^3 ，积水 6000 m^3 ，出发井深度 15m，水深 9m。

隧道内壁现有管路 7 根，可以作为抽水排砂用，具体如图 1 所示。

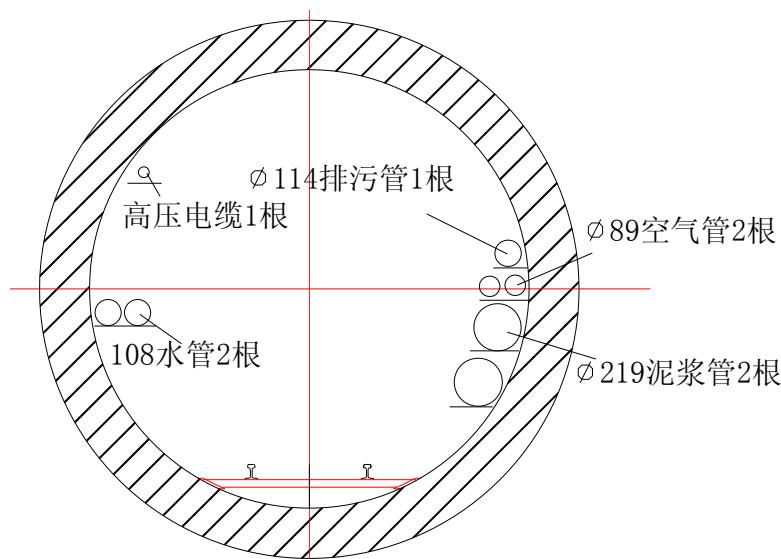


图 4 隧道内管路示意图

隧道内还有中继泵平台 2 个，分别在 500m 和 1200m 位置。

第二部分 施工准备

冰塞冻结完成后，即可进行抽水排砂施工。抽水排砂可分四个区域进行，分别是（一）竖井内抽水；（二）下行隧道内排水；（三）下行隧道排砂；（四）上行隧道排砂。为了确保施工安全，应首先考虑以下几个方面后，再进行抽水排砂施工：

1、时刻观测地下水位状况

在冰塞两侧各埋设 2 个孔隙水压传感器，在进行抽水前，先行观测一天，并做好记录，掌握未抽水前地下水活动规律。开始抽水时，先将竖井内水位抽下 5 米后静置 1 天，严格监测①竖井水位变化和②冰塞两侧孔隙水压变化，充分结合隧道内

正常渗流和抽水前地下水活动规律，科学推断冰塞的封水效果。确认冰塞封水效果完好后，开始进行抽水排砂施工。

孔隙水压传感器现在就可安装埋设。

2、安全门安装和应急演练

进行隧道内抽水排砂施工时，有发生再次涌水涌砂的可能，为了保证人员和大堤安全，应在隧道口位置安装安全门，确保险情发生时，能够通过安全门关闭后进行空气加压，阻止、延缓隧道塌陷和涌水涌砂，确保大堤安全。关于人员撤离，应进行多次应急演练，使施工人员熟悉撤离通道和撤离程序，确保人员安全。

安全门安装可以在竖井内抽水完成后进行，必须提前预制好，以缩短安装时间。设计制作工作可以马上开始。

3、重点设备准备和整修

无论采用什么方案，都必须使用的施工设备为①泥水分离器②龙门吊③电机车及充电器④隧道内台车⑤供电设施⑥装载机⑦固定式空压机⑧大型移动式空压机⑨潜水泵。

以上各个设备，需保持有良好的状态，随时可以投入到施工中，有充分的备品备件准备，有设备维修和操作人员。

隧道内电器设备总功率约 300kw，电压 380v。随着抽水距离的延长，如果低压送电，电压损失过大无法满足施工要求，隧道内应安装变压器，必须采用高压供电，为施工提供 380v 电源。抽水排砂所需设备，需地面预制好，在具备条件时直接投入使用，具体内容在第三部分详细说明。

为了确保施工进度和施工安全，需马上开始设备检修和备件储备。

第三部分 抽水排砂方案

本方案抽水排砂竖井和隧道内使用的抽排设备分别是①盾构排泥泵（400kw）②盾构供泥泵（160kw）③2 台潜水泵（90kw）④2 台潜水泵（37kw）⑤7.5kw 潜水泵若干，抽水排砂设备分布见图 2。

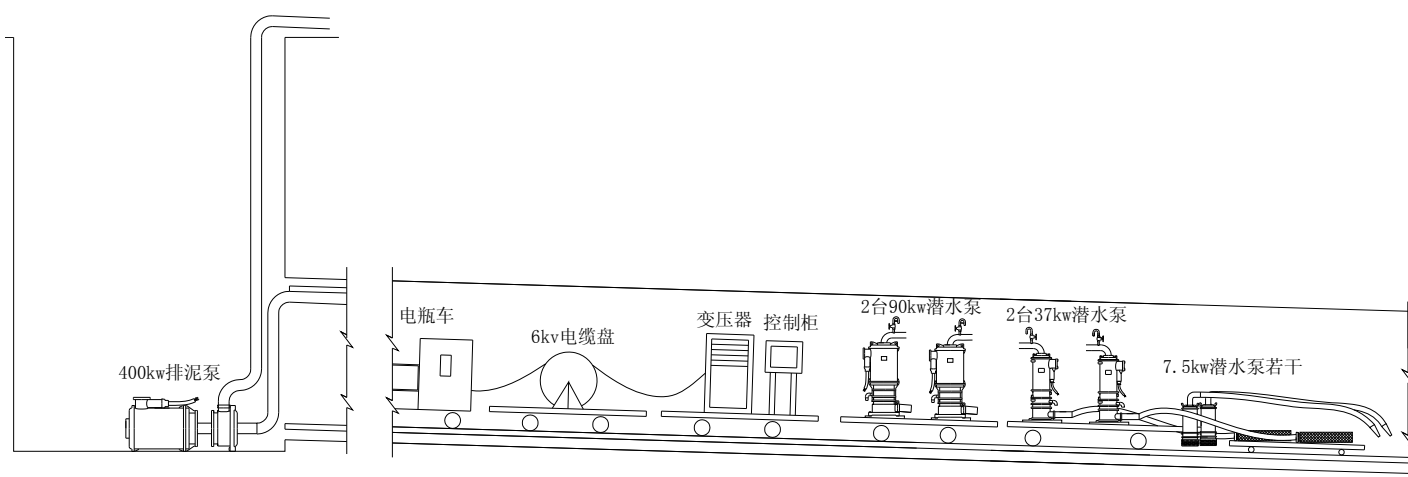


图 2 抽水排砂设备分布图

(一) 竖井内抽水

1、竖井总水量计算

从安全角度考虑，首先抽水使水位降低 5 米，静止观察 24 小时，确认安全后，继续抽水至水位与竖井底部相平。

竖井内净空为 $13\text{m} \times 8\text{m}$ ，深 15m，水位高 9m，隧道下行坡度 3%，每延米隧道内水量 $7.45\text{m}^3/\text{m}$ ，则竖井内抽水量为：

$$\text{竖井内：} S_{\text{竖井截面积}} \times H_{\text{竖井水位}} = 13\text{m} \times 8\text{m} \times 9\text{m} = 936\text{m}^3$$

$$\text{隧道内：} 100\text{m} \times 7.45\text{m}^3/\text{m} \times 0.5 = 372.5\text{m}^3。$$

$$\text{竖井总水量：} 936\text{m}^3 + 372.5\text{m}^3 = 1308.5\text{m}^3。$$

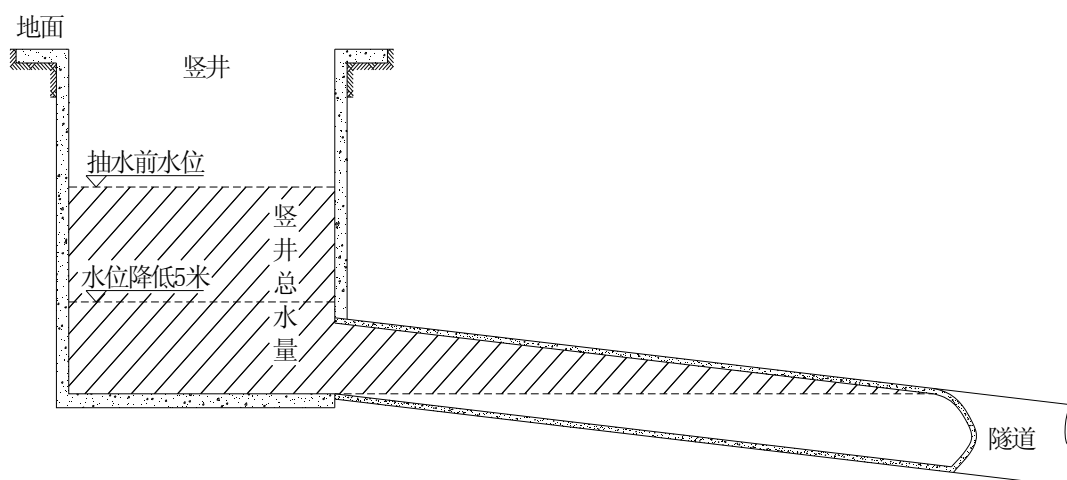


图 3 竖井排水量示意图

2、竖井排水

采用 2 台 90KW 潜水泵和 2 台 37KW 潜水泵同时抽水，单泵排量均为 100m³/h。竖井底部现无淤砂，采用 Φ 150mm 钢管在地面上按照竖井深度，将潜水泵连接好，直接吊装放入竖井底部，地面上每两根管汇入一根 Φ 219mm 管路将水排出，具体如图 4 所示。

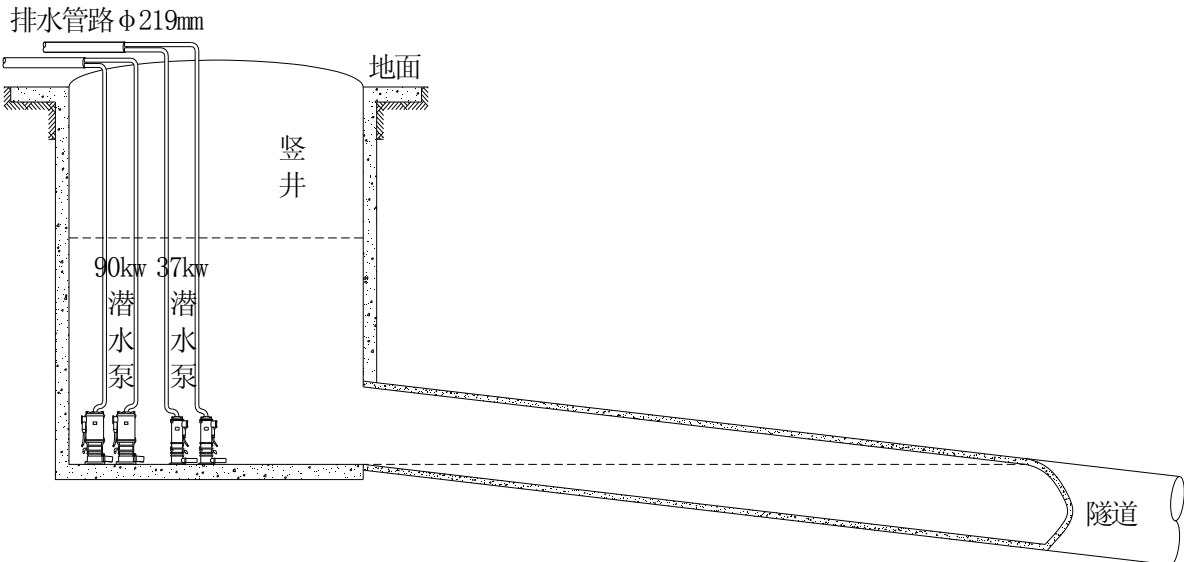


图 4 竖井排水示意图

时间预计：竖井内水全部抽完，理论应为 2 天。

(二) 下行隧道内排水

1、隧道排水量计算

通过地面塌方量粗略估算，隧道内淤砂量约 8000 m³，据此估算隧道内满淤段长约 1000m，则积水段隧道长约 800m，且全部为下行段，总水量为：

$$S_{\text{隧道截面积}} \times 800\text{m} = 7.45\text{m}^3/\text{m} \times 800\text{m} = 5960\text{m}^3。$$

2、隧道排水

采用潜水泵按照如图所示布置好，单泵排量为 100m³/h。第一台平板车放置 2 台 37kw 潜水泵，扬程 50m，平板车后安装可拆装式挡板（关于挡板作用在隧道排砂时说明），后面的平板车放置 2 台 90kw 潜水泵，扬程 100m，与第一台平板车之间采用钢丝绳连接，钢丝绳长 50m。最后的台上车放置变压器（6kv 变 380v）、控制箱和电缆滚筒。

抽水时，将前面的 2 台 37kw 潜水泵通过 15m 长软管并联接入隧道壁 Φ 219mm

管路排水。随着水位的降低向前移动，每 24m 重新接一次管，如图 5 所示。

施工中也可延长潜水泵吸水管，以延长接管距离。

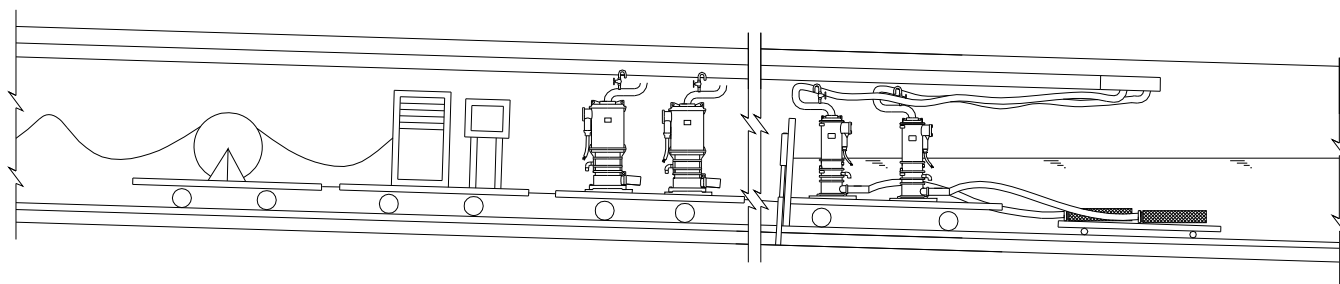


图 5 隧道排水示意图

时间预计：隧道内水全部抽完，理论应为 5 天。

1) 抽水设备安装调试：8h

2) 抽水时间： $5960\text{m}^3 \div 160\text{m}^3/\text{h} \div (15/24) = 61\text{h}$ （按 80%功效，每小时 160m^3 ，每天 15 小时有效工作时间）

3) 接管时间：每 24m 移泵一次，移动次数： $800\text{m} \div 24\text{m} = 33$ 次。

移泵一次 1.5h，总移泵时间： $1.5\text{h} \times 33 \text{ 次} = 50\text{h}$ 。

4) 抽水后静置观测：24h。

下行隧道排水时间： $8\text{h} + 61\text{h} + 50\text{h} + 24\text{h} = 143\text{h}$ 约合 6 天

3、可同步进行的工作

在抽水的同时，可以进行隧道口安全门门座的焊接，使之具备随时关闭安全门的条件，预计在 5 天之内可以完成。安全门的结构形象图如下：

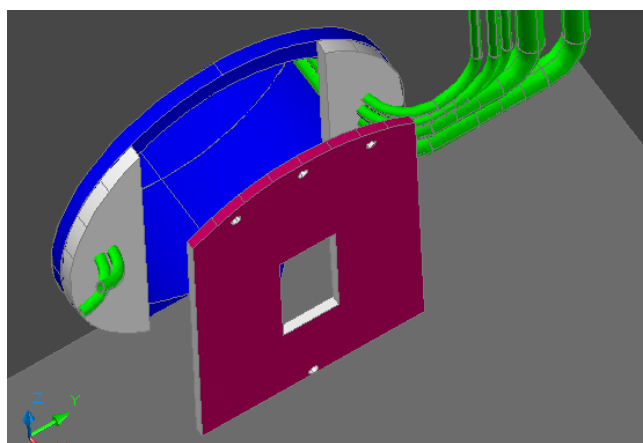


图 6 安全门结构形象图

同时在竖井内排水管路旁边安装好 400m^3 排泥泵（原盾构用），用于隧道排砂时

竖井中接力使用，泵和变频控制部分安装好后，暂时不断管安装。

4、拆除第一个中继平台泥浆泵

隧道 500m 处有一个中继平台，泥浆泵控制系统已经被水浸泡，泥浆泵两段全是完管，在排砂管路上，需要把泵拆下来，换上直管，以便于排砂。预计拆泵换管时间需 1 天。但可以同时做上面提到的竖井内接排泥泵管路工作。

（三）下行隧道排砂

1、隧道内总砂量

隧道内总砂量约 8000 m³，淤砂隧道长度 1000m，其中下行隧道段 400m，上行隧道段约 600 米。

2、排砂方案

当隧道内水全部排出后，开始做排砂准备。将前两台平板车之间的钢丝绳去掉，改成刚性连接，缩短连接距离。将第一台平板车停在合适位置，放下台车后挡板活动部分，使之正好卡在轨枕后面，与管片接触不严部分用绵纱塞满，如图 7 所示。

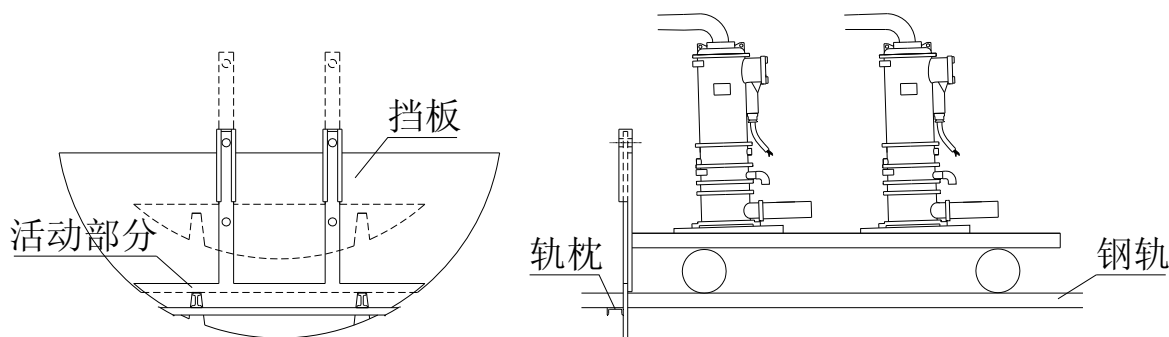


图 7 平板车后挡板示意图

开启地面供泥泵，向抽砂点供水使砂被冲散，通过放在前断的 7.5kw 潜水泵的吸砂和排放，使挡板前的砂悬浮，开启 37kw 水泵，砂被泵送到竖井，经由 400kw 排泥泵送到泥水分离设备上，进行分离。砂被分离出来，水循环进入隧道。随着淤砂表面的后移，供水管接管使冲刷面前移，24m 移泵一次，如图 8 所示。

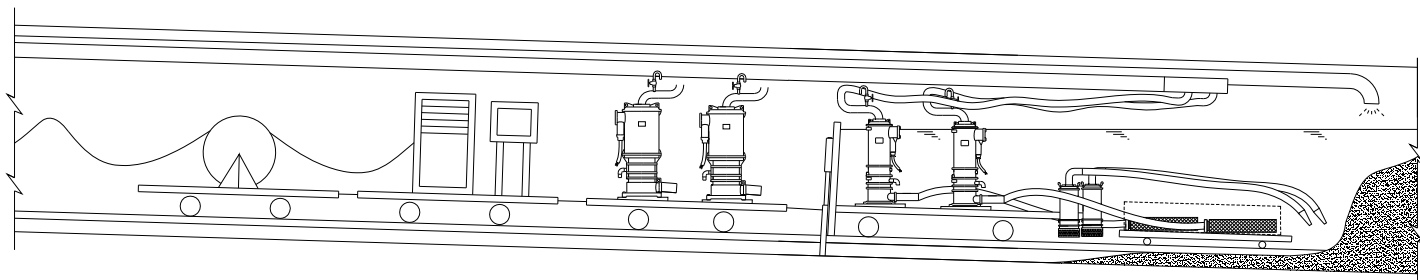


图 8 下行隧道排砂示意图

随着隧道的增长，如果 37kw 潜水泵扬程损失较大，不足以将砂从隧道中泵送到竖井内的排泥泵里，则采用图 9 所示方式，与 90kw 水泵串联。

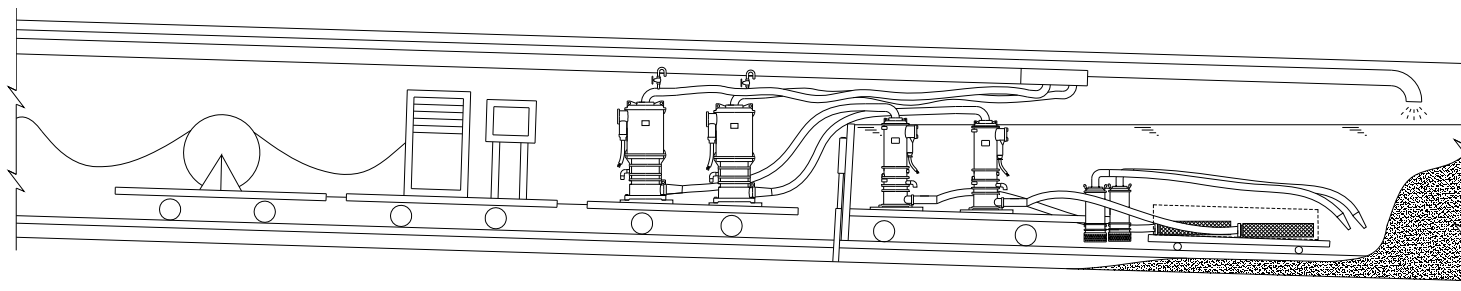


图 9 下行隧道串联排砂示意图

时间预计：隧道内砂全部排完，理论应为 8 天。

1) 抽水时间： $400 \times 7.5\text{m}^3 \div (160\text{m}^3/\text{h} \times 20\%) \div 15/24 = 150\text{h}$ （按 80% 功效、20% 携砂，每天 15 小时有效工作时间）

2) 接管时间：每 24m 移泵一次，移动次数： $400\text{m} \div 24\text{m} = 17$ 次。

移泵一次 1.5h，总移泵时间： $1.5\text{h} \times 17 \text{ 次} = 24\text{h}$ 。

3) 抽水后静置观测：24h。

下行隧道排砂时间： $150\text{h} + 24\text{h} + 24\text{h} = 120\text{h}$ 约合 8 天

3、拆除第二个中继平台泥浆泵

隧道 1200m 处有一个中继平台，情况如第一个平台，但平台上有两台泥浆泵预计拆泵换管时间需 1 天。

（四）上行隧道排砂

1、排砂方案

当排砂至隧道最低点后，开始抽排上行隧道内淤砂，同样采用挡板，使之落下固定好，通过供泥管供水使砂被冲散后，流向集水处，集中抽出。根据砂的抽出情

况，不断前移供泥管开口，预计可以做到 96m 移泵一次。

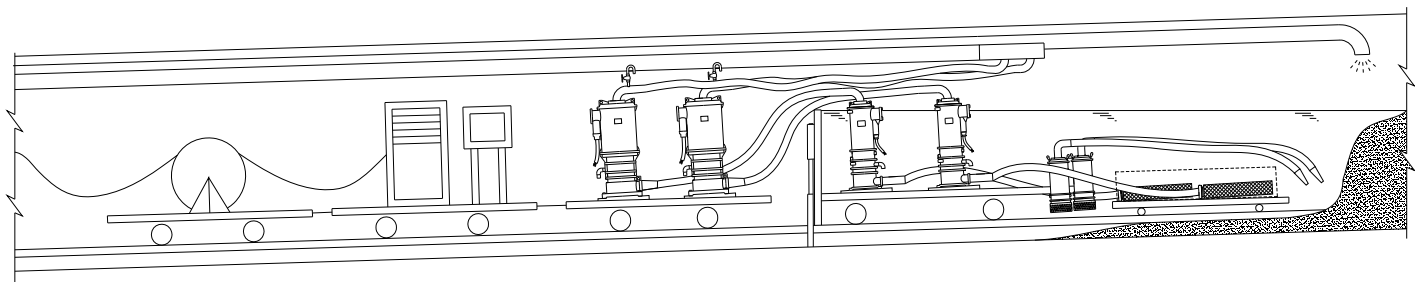


图 10 上行隧道排砂示意图

2、最低点排水

台车上的挡板，无法完全的密封水流，会有积水从上行隧道流到隧道最低点。故隧道最低点需要增加排水泵进行排水。

时间预计：上行隧道内砂全部排完，理论应为 11 天。

1) 抽砂时间： $600 \times 7.5\text{m}^3 \div (160\text{m}^3/\text{h} \times 20\%) \div (15/24) = 225\text{h}$ （按 80%功效、20%携砂，每天 15 小时有效工作时间）

2) 接管时间：每 24m 移泵一次，移动次数： $600\text{m} \div 24\text{m} = 25$ 次。

移泵一次 1.5h，总移泵时间： $1.5\text{h} \times 25 \text{ 次} = 38\text{h}$ 。

上行隧道排砂时间： $225\text{h} + 38\text{h} = 263\text{h}$ 约合 11 天。

第四部分 抽水排砂工期

1、主要工序所需时间

序号	施工阶段	工序名称	所需时间	小计	备注
1	前期准备	安装设备	0.5 天	2 天	
2	竖井抽水	前 5m 抽水	0.25 天		
3		静止观察	1 天		
4		继续抽水	0.25 天		
5	下行隧道抽水	安装设备	0.5 天	6 天	
6		隧道抽水	2.5 天		
7		移泵	2 天		
8		静止观察	1 天		
9		拆中继泵换管	1 天	1 天	

10	下行隧道排砂	抽砂时间	6 天	8 天	
11		移泵	1 天		
12		静止观察	1 天		
13		拆中继泵换管	1 天	1 天	
14	上行隧道排砂	抽砂时间	9.5 天	11 天	
15		移泵	1.5 天		
累计时间				29 天	

2、总工期

抽水排砂主要工序时间为 29 天。上行隧道内砂清到最后，底部会有少量残留，需要进一步清理，需要至少 3 天时间进行清理。因排砂系统涉及设备较多，均为制约工期主要因素，实际施工中，设备维修、维护、电力故障等各种因素均可能出现，影响施工进度，且抽砂方法目前仅限于理论可行，施工人员没有经验，工况不断变化，工期应考虑至少 3 天机动时间。

综上，总工期约为 35 天。但本方案未包含隧道壁管路等设备设施拆除时间，此部分工作至少为 15 天。

第四部分 人员组织机构（未完善部分）

（未完善部分）

第五部分 材料设备投入（未完善部分）

序号	材料设备名称	数量	作 用
1	供浆泵	1 套	向水、砂搅拦箱里泵入清水（盾构附属设备）
2	排浆泵	2 套	将水、砂混合流体泵送至地面（盾构附属设备）
3	排浆泵变频器	2 套	隧道内高压输送和排浆泵各 1 套（盾构附属设备）
4	泥水处理设备	1 套	分离井下抽出的泥砂，清水循环
5	电瓶车	2 套	推动排砂系统，一部使用，一部备用
6	电瓶车充电器	1 套	电瓶车充电

7	龙门吊	1 套	吊装各类设备设施
8	箱式变电站	1 套	现场供电
9	装载机	1 套	现场装渣
10	叉车	1 套	现场倒运材料设备
11	移动式空压机	1 套	井下供气
12	固定式空压机	2 套	井下供气
13	大型空压机	1 套	126m ³ /h，用于隧道安全门启用后抢险
14	潜水泵	3 台	90kw，排量 100m ³ ，扬程 100m，两用 1 备
15	潜水泵	3 台	37kw，排量 100m ³ ，扬程 50m，两用 1 备
16	潜水泵	6 台	7.5kw，排量 50m ³ ，扬程 22m，4 用 2 备
17	高压电缆盘	1 套	隧道内 6kv 高压电缆接续
18	气动隔膜泵	2 套	隧道抽水
19	平板台车	6 套	用于安装抽水设备
20	球阀	24 个	Φ89mm、Φ108mm、Φ114mm 球阀各 8 个。
21	15 米长软管	6 根	排水
22	球阀	20 个	软硬管连接时防止管道跑水、砂

第六部分 风险识别（未完善部分）

1、突发性涌水涌砂

风险：如果冰塞的封水效果不好或在该段隧道内仍有破损处，当隧道内进行排水作业时，由于大量水排出后隧道内静水压力小于破损管片处水土压力，地层内水砂可能会因压差涌入隧道，造成涌水涌砂。

风险消减措施：严密监测预埋的孔隙水压传感器的反馈数据，并保持地面与井下通讯畅通，一旦发现隧道有漏水迹象，立即将人员撤出并通过启动应急预案，关

闭安全门，充填气压以平衡地层水土压力。

2、触电风险

风险：①、潜水泵电缆绝缘层破损；②、管路接续时，牵引机车蓄电池、水泵配电箱遇水短路；③、电缆接头因外力作用断开。

风险消减措施：①、每台水泵单独安装漏电保护开关，使用前，必须对线路和水泵等设备进行绝缘检测；②、管路接续时，快接（法兰）或阀门开口应设在牵引机车前方。机车停留区域水位不得高于机车底盘；③、牵引机车低速行驶，与电缆盘转速对应同步。

3、上行隧道排砂塌方

风险：抽砂到隧道最低点时，上行隧道有 600m 全断面淤砂，具有突发性塌方的风险，一旦出现，人员将被淤砂埋住。

风险消减措施：抽砂到最低点时，需要加强观察，并注水浸泡 1 天。