

鲁布革水电站外商承包合同工程 施工管理和施工技术简介

第 二 集

水利电力部鲁布革工程管理局

一九八五年四月

目 录

第二篇	调压井导井采用阿利马克爬罐施工·····	(1)
第三篇	2号施工支洞采用喷锚技术施工·····	(15)
第四篇	交通隧洞中F ₁₁₃ 断层处理·····	(17)
第五篇	调压井上池明挖施工简介·····	(23)

※本集由陶卫国、游峰、毛明光、林松斌、王音辉同志执笔编写。

第 二 篇

調压井导井采用阿利马克爬罐施工

魯布革水电站調压竖井布置在引水隧洞和压力钢管之间的分岔段。調压竖井中心桩号为9+381.937米。开挖直径14.3米，井身高度63米（即由高程1066.7至1129.7米）。

该处岩石为厚层状白云岩与白云质灰岩。岩层倾向右岸，倾角较平缓，约为15度。岩石中等坚硬，较完整，无构造破碎带，但陡倾角节理较发育。岩石饱和抗压强度为300~400公斤/平方厘米。

日本大成公司于1984年12月10日，首先利用5号支洞开挖完成了調压井渐变段、井下段和分岔段，两条分岔钢管均挖至距調压竖井中心30米处。随即进行調压竖井并身的开挖。大成公司对井身的开挖方法是：先由下向上利用阿利马克爬罐开挖一个断面为2×2米的导井，然后再由上向下进行正向扩挖成型，利用导井溜碴。其导井于1985年1月3日至1985年1月31日开挖完成。

由于采用阿利马克（ALIMAK）爬罐开挖导井，在国内水电施工中还是首次，所以引起许多水电建设者的关注。现将其施工情况简介如下。

一、导井位置和施工准备

1. 导井在調压井范围内的具体平面位置应考虑爬罐运行的方向、现场地质状况以及后期扩挖测量的方便等多种因素。大成公司所确定的导井平面位置如图1所示。

在爬罐安装前，预先利用三臂钻车挖好导井的开口，开口深度为4米。并对开口的围岩进行了锚杆支护与安全处理，以满足安装轨道的要求。

2. 根据现场实际情况，设置爬罐安装和停置场地是施工准备的重要环节。大成公司将爬罐停置场布置在已挖完的1号钢管分岔段内。为了上下爬罐方便，场地距洞的顶板高度确定为2米左右。为节省临时设施的材料，场地利用堆碴填筑。随即，在平整的场地左侧安设了照明和动力线；铺设了供风和供水管路；在里端设置了简易工作平台和

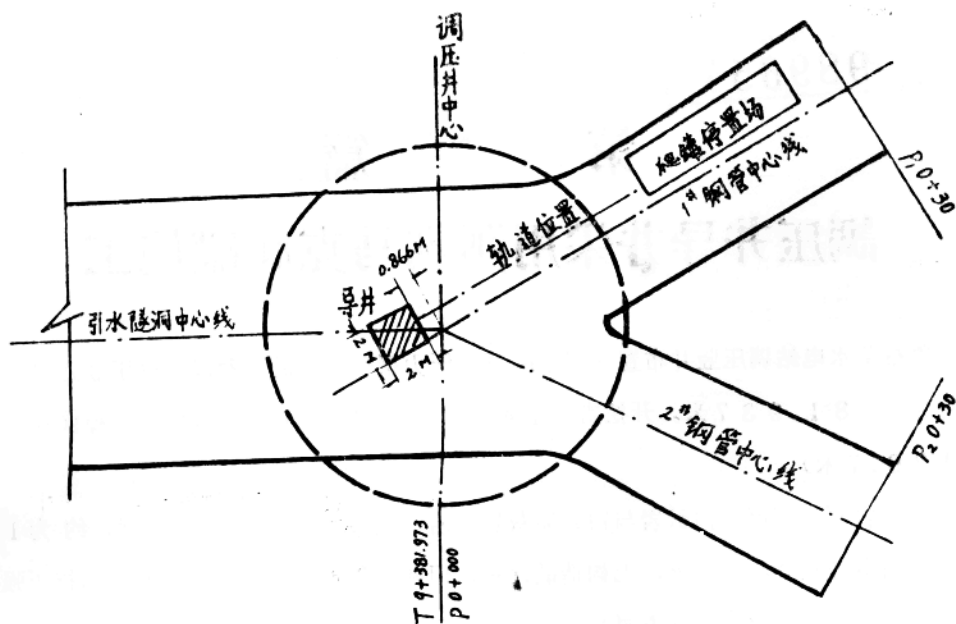


图1 导井平面位置

休息室；在场地右侧整齐地堆放爬罐备件及待安装的轨道等材料。

3. 安装轨道：施工前，大成公司将轨道由爬罐停置场一直安设到已开口的导井内，距开挖面0.5米处，全长约25米。

阿利马克（ALIMAK）爬罐的轨道为随设备的定型组合备件。有长度1米、2米直线节和各种角度的弧线节。安装时，将各节轨道组合而成。每节轨道上附有四根管道，节间加垫圈相联后，可分别用于供风、供水、敷设爆破母线。轨道通过连杆和刚性胀壳锚杆联接在洞顶岩石上。胀壳锚杆为全套管式，既可安于岩石内受力，又可拆除，周转使用。连杆为多节组合，可用以调整轨道与顶部岩石间的距离。轨道安装构造参见图2。

4. 安装爬罐：大成公司使用瑞典生产的STH—5E型阿利马克（ALIMAK）爬罐。其主要技术参数如下：

总重量	1975公斤
工作电压	400伏
乘爬罐最多人数	3人
最大承载重量	505公斤

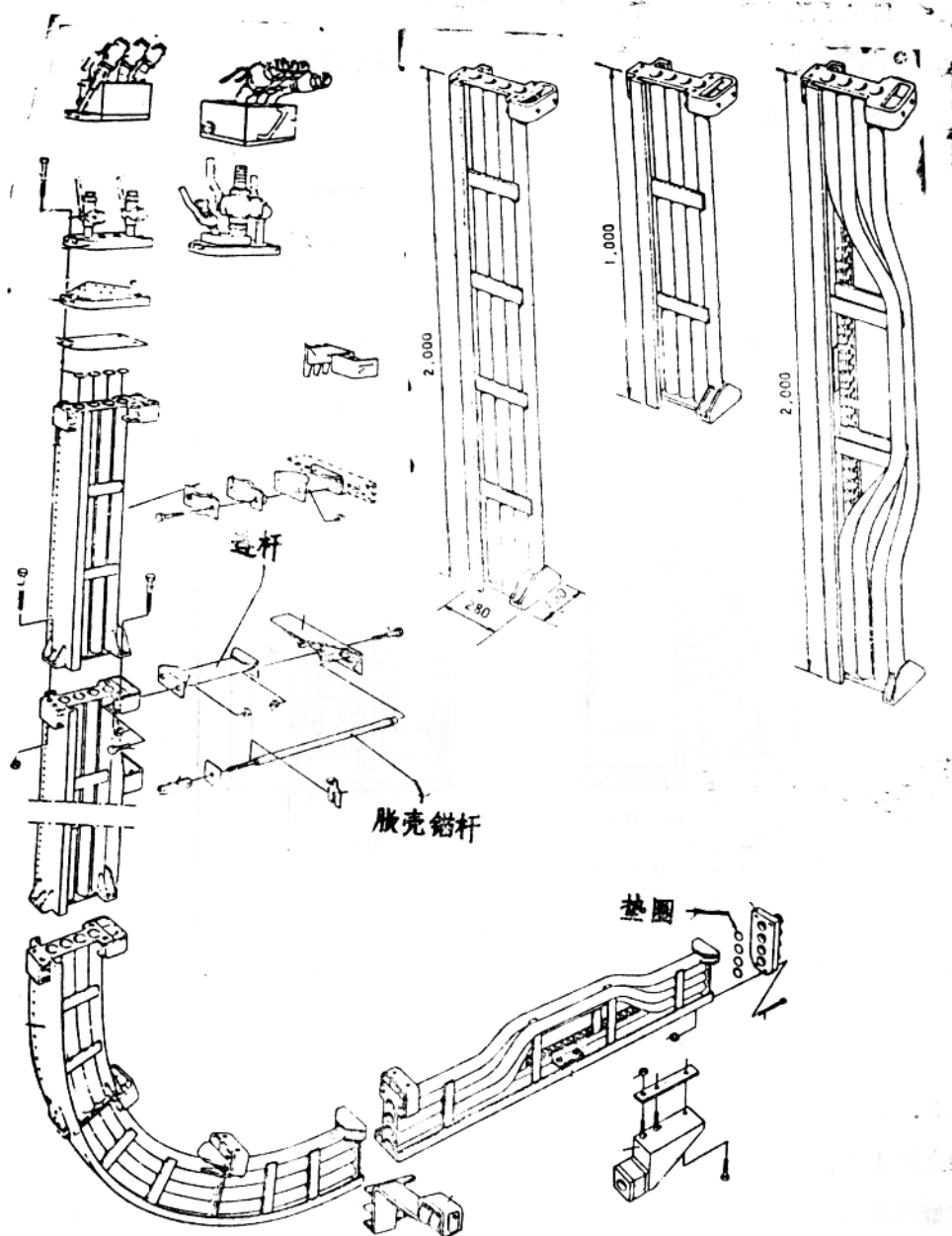


图 2 轨道安装构造图 (毫米)

上升速度 18米/分 (50HZ) , 21米/分 (60HZ)
 自重下降速度 <30米/分
 平台板尺寸 1.89 × 1.6平方米
 外型尺寸如图3

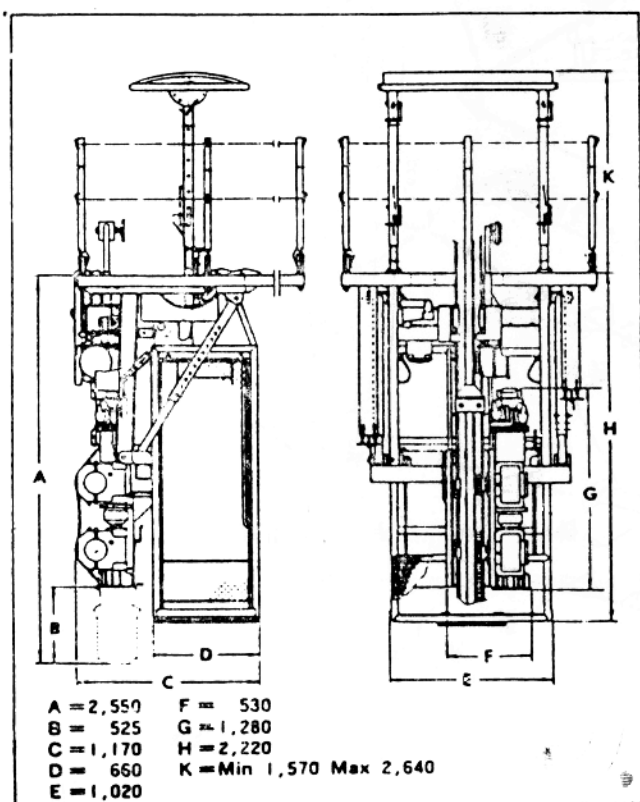


图3 阿利马克爬罐外形尺寸 (毫米)

5. 设置安全通道: 为了在导井开挖中, 确保下部人员通行安全, 大成公司将导井下约直径20米范围划为危险区, 设置围栏和标志, 禁止通行。同时, 在井下段左侧用工字型钢斜立洞壁, 加铺木板, 构筑了安全通道 (见图4), 以使人员、风水管路和电缆通过危险区。

上述各项施工准备工作, 大成公司由1984年12月11日至12月30日全部完成。同时, 对作业工人进行了安全教育和培训, 为爬罐法开挖导井的施工创造了可靠的条件。

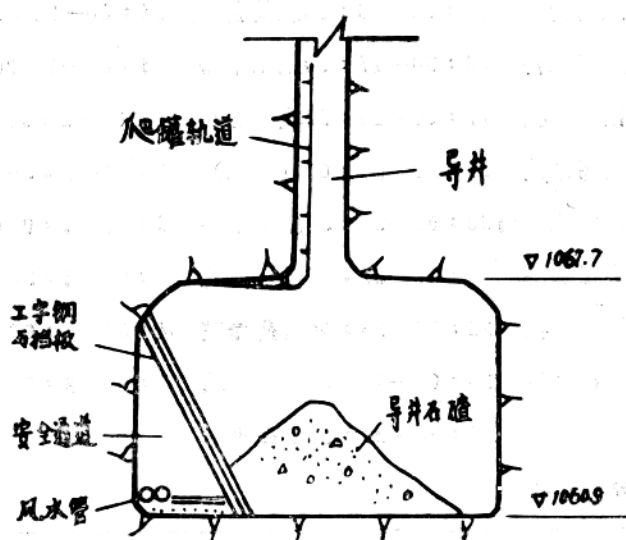


图4 安全通道位置图

二、爬罐法开挖导井的施工

1. 主要技术参数

导井开挖断面	4平方米
布孔数量	36孔
钻孔直径	∅36毫米
钻孔速度	0.5米/分
平均钻孔深度	1.35米
平均每炮进尺	1.2米
日最高进尺	4.2米
单位耗药量	3.95公斤/立方米
每日施工人数	9人
作业制度	白班、中班、夜班(三班制)
作业循环(计划安排)如下表:	

白 班	中 班	夜 班
8:00—8:30 班前会	16:00—16:30班前会	24:00—24:30班 前 会
8:30—9:00 施工准备	16:30—17:00施工准备	24:30—1:00 施工准备
9:00—10:30 钻 孔	17:00—19:30轨道延长	1:00—2:30 钻 孔
10:30—11:30装药爆破	19:30—20:00 (吃饭)	2:30—3:30 装药爆破
11:30—12:00通风(吃饭)	20:00—20:30施工准备	3:30—4:00通风 (吃饭)
12:00—12:30施工准备	20:30—22:00钻 孔	4:00—4:30 施工准备
12:30—14:00钻 孔	22:00—23:00装药爆破	4:30—7:00 轨道延长
14:00—15:00装药爆破	23:00—23:30通 风	7:00—8:00 整理维修
15:00—15:30通 风	23:30—24:00整理维修	
15:30—16:00整 理		

由此看出，各班开挖可达二个循环，又每二个开挖循环后，必须有轨道延长的一个循环。以此类推，循环往复。下面介绍各道工序的施工情况。

2. 钻孔

阿利马克爬罐进行钻孔作业时情况见图5。

大成公司采用日本生产的古河530D型单节气腿风钻（图6）。其主要技术参数如下：

卡管尺寸	108毫米
重 量	31.5公斤
气腿收缩后长度	1380毫米
气腿伸出后长度	1980毫米
气腿长度	600毫米
气缸直径	68毫米
冲 程	49毫米
每分钟冲击数	2400次
耗气量	2.9立方米/分
工作水压	30公斤/平方厘米

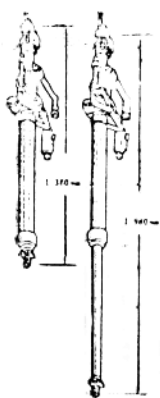


图6 单节气腿风钻

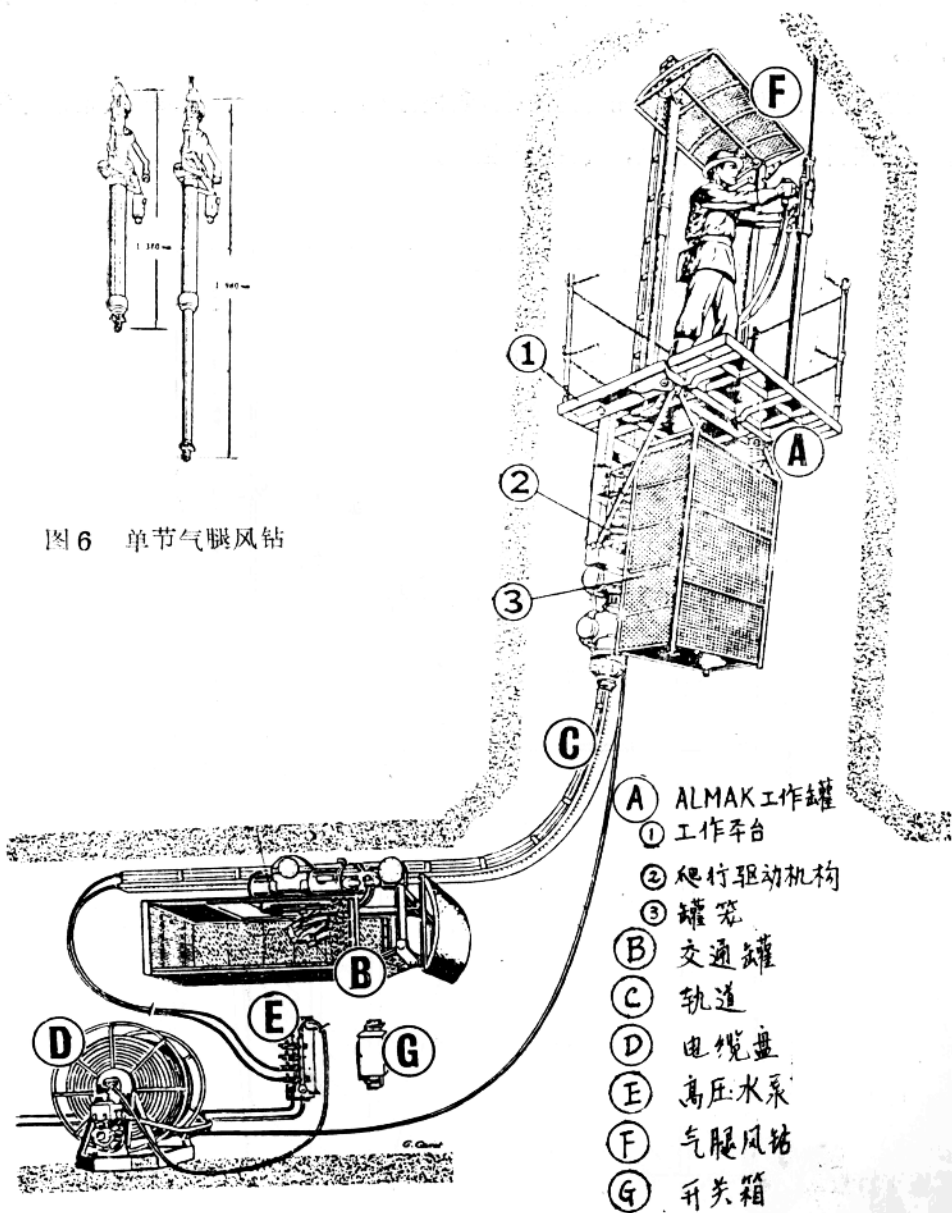


图5 阿利马克爬罐工作图

风钻数量三台，其中，正常工作二台，备用一台。

由于导井在调压井设计范围内，属于施工导井，故施工中无须测量放线。但是，为了保证轨道安装基本竖直，便于爬罐上、下顺利运行，钻孔中，要求安装轨道侧岩壁尽量平顺。

爬罐上升至工作面后，首先用撬棍对浮石进行处理。之后，用油漆按规定布孔图划孔。采用四斜孔拨心掏槽方式，其布孔如图7。

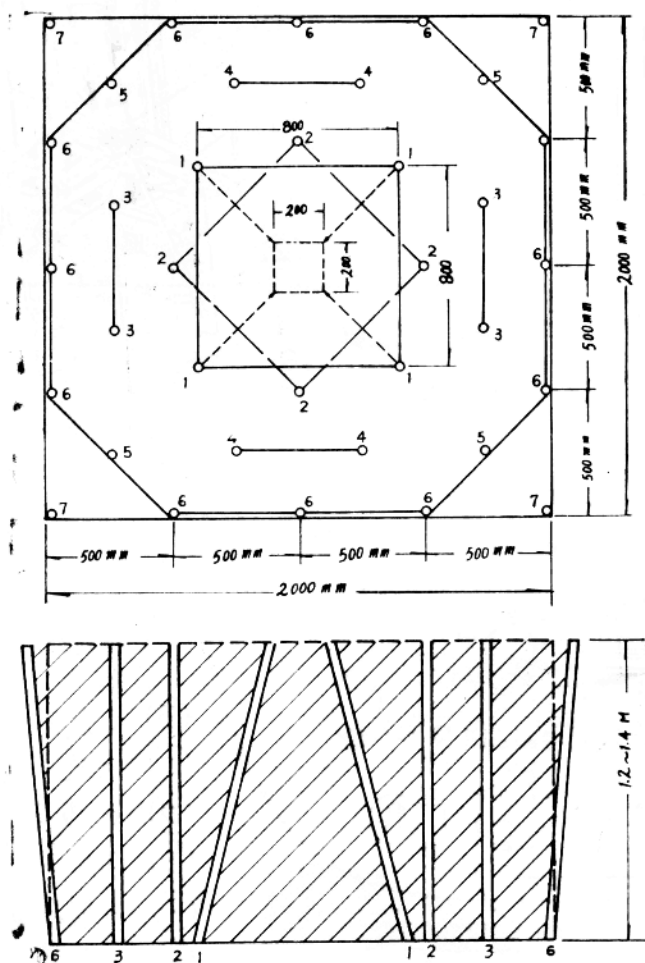


图7 调压导井炮孔布置图

断面的钻孔数共36孔，孔深1.2~1.4米。为了便于在爬罐平台上操作方便，采用配套钻杆（长度分别为0.9米，1.2米，1.4米）和配套钻头（直径分别为

Ø 36, Ø 34, Ø 32毫米)。其大直径钻头和短钻杆搭配,小直径钻头和长钻杆搭配。

钻孔中,拨心孔的质量必须严格控制,以免影响爆破效果。周边孔均向外倾斜 10° 角左右,以保证下次的钻孔间隙。因一律采用带水钻孔,故钻孔后,无须专门吹洗钻孔。

3. 装药、联线和爆破

装药、联线和爆破均由钻孔的开挖工人实施。采用同一种规格型号的国产RJ1型乳胶炸药。药卷规格为Ø 35毫米×200毫米,每卷重量200克。一律反向装药,孔口采用粘土炮泥堵塞,堵塞长度为孔深的 $1/4$ 左右。采用日本产电雷管,联线采用全串联网路。

装药、联线操作前,必须首先切断电源,使爬罐处于无电状况,并拆换头板,利用头灯照明。装药、联线完成后,用仪表检查是否网路畅通,最后将引爆线与母线相接;再松开刹车柄爬罐靠自重下滑,退至停置场的安全地点,进行爆破。一般爆破石碴较碎,自落时对导井内轨道无损害。爆破残孔仅为10厘米左右。

4. 排烟与除尘

由于导井在开挖过程中属于反向盲井,开挖断面又狭小,所以爆破后排烟与除尘较困难。

采用阿利马克爬罐施工中的排烟与除尘,是利用爬罐轨道上附设的管道进行的。爬罐轨道构造中附设有四根管道。轨道距工作面的顶端设有头板。头板有两种型式,即工作头板和通气头板。钻孔作业时安装工作头板,钻孔完成后,拆下工作头板,换上通气头板。更换头板时,应特别注意防止爆破母线沿管道坠落。爆破后,立即打开风伐和水伐,高压风和水即沿轨道管直喷射到工作面。由于通气头板上设有许多直径约Ø1厘米的喷射孔,所以,喷射水在风的作用下,形成雾状水滴,能很快将爆破烟雾和粉尘消除掉。同时,高压风、水也可将工作面附近的松动岩石冲除击落,见图8。

如果岩层中出现有毒气体,尚需再设置专门的吸气装置。

5. 危石处理

爆破后,利用高压风、水冲射工作面之后,虽然松动岩石冲除击落,但进行下道工序前,还需人工用撬棍作进一步处理。一般清撬危石工作在爆破后10~15分钟即可进行。清撬工具应随下道工序的材料一并携带到爬罐上。清撬工作面时,一定先撬顶部中央,依次撬四周,以保证作业人员自身安全,见图9。

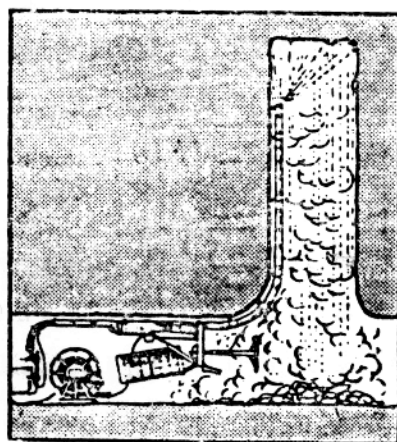


图 8

此外，在平时爬罐上升或下降的往复过程中，应随时检查已开挖完的岩壁，见有松动岩块，应及时停罐处理，以防止后患。

为保证人身安全，在爬罐升降过程中，操作人员必须在罐笼内。爬罐行至工作面，并停稳后，操作人员方可通过平台口进入工作平台。

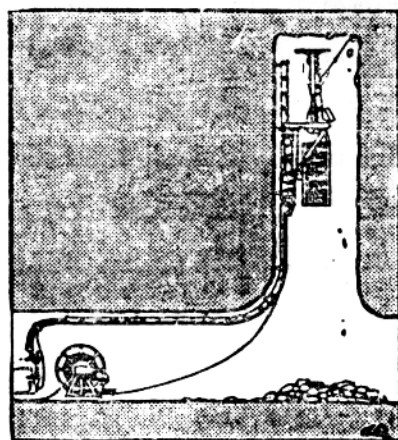


图 9

6. 轨道延长

轨道延长是爬罐法施工中的一道重要工序。定型的直线轨道有每节 1 米长度和 2 米长度两种。大成公司在本导井施工中，均采用每节 2 米长度的轨道。即两个爆破循环，

延长一节。

每当轨顶与开挖面距离大于2.3米时,就应延长安装一根轨道。安装按下述程序进行:

(1) 在爬罐停置场,把预先备好的一根2米轨道(重量100公斤)用轨道抓把卡住,一同抬起,将抓把柄插入爬罐工作平台上的抓把插孔中,安设稳固后,开动爬罐,将轨道带至工作面。

(2) 取下原轨顶端的头板,并注意防止爆破母线坠落。再使爬罐工作平台携带的待安装轨道底端高出原轨顶端。旋转抓把和待安装轨道,转180度,使联接处与原轨顶对齐。用铁丝将爆破母线从新安装的轨道顶部引出,并固定好。在轨道附设的风水管口处安上胶垫圈,涂黄油密封固定。之后,由工作平台上的安装人员指挥爬罐笼中操作人员缓慢退车,至两轨道接触为止,拧上螺栓连接。其中,退车对接轨道是关键。必须退车缓慢、适量,以免造成人身事故。

(3) 升起爬罐,钻设锚杆孔。孔深0.8~1.4米,根据井壁岩石情况而定。

(4) 安设胀壳锚杆,并通过连杆与轨道联接,从而使轨道固定于井壁岩石上。应注意调整连杆长度,尽量使延长的轨道与原轨道顺直。

至此,轨道延长完毕,可进行下道工序。

三、几点体会

1. 爬罐法开挖竖井、斜井的导井是一种速度快、安全可靠、技术先进的施工方法。特别是对于长斜井、高竖井,比国内惯用的普通法和吊罐法更有明显的优越性。是值得推广的。

2. ALIMAK爬罐是结构合理、质量好、方便施工的一种设备。已在国际上得以公认。在结构设计和制造工艺上都值得借鉴。例如:采用全套管式胀壳锚杆便于安装与拆卸,周转使用;多节组合的连杆,便于调整轨道与岩壁距离;爬罐轨道附设风、水、及爆破母线管道,方便了施工,同时又可利用通风排烟,多种用途;爬罐设有抓把,轨道设有电缆架;管接头密封仅靠胶垫对接,既不漏风,又不漏水,表明制作工艺水平高。显然,如果不深入了解竖井开挖的每一道工序,是不可能设计制造受施工欢迎的设备的。在施工设备为施工服务方面,ALIMAK爬罐为我国的水工机械设计制造专业人员提供了样板。

3. 日本大成公司利用爬罐开挖导井，月进尺60米，最高日进尺4.2米，并非高记录。在日本，曾达日进尺8米，月进尺120米。主要是因培训作业人员，由一班作业制过渡到三班制。属于试验性施工。然而，在此一个月的施工中，大成在施工技术和组织管理上，也有许多值得我们借鉴之处。例如：对爬罐开挖导井，大成公司曾多次强调：不要钻深孔，不追求每次多进尺，而要求多循环。这种指导思想是有利于经济效益的。爬罐施工工序多，场地狭窄，不安全因素多。但大成公司在施工中，组织管理有条不紊，快而不乱，富有节奏。现场文明施工与安全生产十分突出。

第 三 篇

2号施工支洞采用噴錨技术支护施工

鲁布革水电工程引水隧洞的2号施工支洞全长274米。其中心线相交于引水隧洞3+685.869米处,交角84度。开挖断面为宽7.5米,高6.5米的方圆形,是在原有地质探洞的基础上扩挖而成的。原探洞的断面为宽2.5米,高2.8米的方圆形。2号支洞口高程为1067.33米,与引水隧洞相交处高程为1079.102米。

2号施工支洞向上游,承担引水隧洞3666米的开挖、混凝土衬砌和灌浆。由于工程量大,施工期长,是控制日本大成公司承包的整个工程进度的关键工作面。2号施工支洞向下游,还承担引水隧洞2514米的开挖、混凝土衬砌和灌浆。因此,2号施工支洞是非常重要的施工通道。于1984年10月开始施工。

2号支洞最大埋深为200米左右。其围岩为中三迭统关岭组(T_{2g})白云岩、灰质白云岩夹少量石灰岩及角砾状白云岩。因处于岩溶地区,节理、裂隙相当发育。并通过较大断层 F_{205} ,与支洞近乎垂直,宽约6~8米。为此,整个2号支洞围岩完整性差。日本大成公司在扩挖中,采用了噴錨技术支护。

一、大成公司采用的支护理论

大成采用的支护理论是建立在铃木光用弹性波确定岩石强度方法的基础之上的。即根据弹性波的不同波速,将岩石分为四类:

I类(坚硬岩石)	波速	$V_p > 4000$ 米/秒
II类(普通岩石)		$V_p = 3000 \sim 4000$ 米/秒
III类(软弱岩石)		$V_p = 2000 \sim 3000$ 米/秒
IV类(土、砂)		$V_p < 2000$ 米/秒

对不同类的岩石,建议采用不同的支护形式。具体建议支护情况如下表(对2号支洞):

支护型式 分类	锚 杆	喷混凝土	H型钢支撑	备 注
I	—	5~10厘米	—	(1) 钢锚杆纵向间距为 1.5米
II	2米×12根	10~15厘米	—	
III	2米×12根	15~20厘米	H150	(2) 是否采用钢筋网根 据需要确定
IV	3米×18根	15~20厘米	H200	

在实际工作时，大成公司根据经验将岩石分类，参考支护理论并结合具体情况决定临时支护措施（2号支洞基本上都采用3米长度的锚杆）。

二、大成公司喷锚施工的特点

1. 锚杆

我国水工隧洞支护中，普遍采用灌浆锚杆或金属楔缝锚杆。灌浆锚杆是将孔内注入拌好的水泥砂浆，插入螺纹钢筋。砂浆凝固后，与钢筋之间产生握裹力，与孔壁产生粘接力，达到锚固岩石的作用。施工中，水泥砂浆要专门拌合，严格掌握配比，之后采用注浆罐注浆，不仅工序复杂，施工质量难于掌握，而且砂浆强度增长缓慢，安装后不容许扰动。一般至少需48小时后，方可受力，起到支撑作用。

金属楔缝锚杆一般用于临时支护。预先将圆形钢筋端部劈口，夹入铁楔；尾部经车床加工螺纹，配制相应垫板和螺帽，打入孔内后，钢筋端部，铁楔将劈口胀开，嵌入孔壁，尾部靠螺帽和垫板固定岩体，达到锚固作用，这种型式锚杆施工方便，但锚杆加工制作复杂，又因孔口岩壁凹凸不平，往往受力不好。加之，若孔内渗水对钢筋产生锈蚀作用，不宜长期使用。若岩石软弱，端部嵌入量少，易于滑动脱落。

日本大成公司在2号支洞支护中，采用早强水泥锚杆。即用日本产的早强水泥袋代替灌浆锚杆中的水泥砂浆。日本产的早强水泥袋直径3.5厘米，每袋长60厘米，内装早强水泥，并装速凝剂和一种具有专利的化学试剂。外用一层纸袋包装，最外层有硬塑料网套，其系列有超早强（3分钟），早强（60~90分），普通（120分），以及特超早强几种。本支洞使用的是早强水泥袋，安装后1~2小时，即可承受1吨拉力。

大成公司锚杆采用 $\varnothing 22$ 毫米螺纹钢。与国内不同的是，其螺纹呈螺旋状，配有相

应的螺母，螺母可直接拧在钢筋的螺纹上。无须再加工制作。锚杆具体的安装程序如下：

(1) 首先，将早强水泥袋浸入一个塑料袋的水中，摇动塑料袋，使其浸润均匀，大约3~5分钟，浸泡后水泥袋因外层有硬塑料网套裹着，仍可保持浸泡前的挺度，便于送入孔内。

(2) 拿出浸透的早强水泥袋，直接送入锚杆孔内，一般3米深的孔，装入早强水泥袋四个。

(3) 将锚杆用锤击或直接插入锚杆孔，必须穿破水泥袋，并使含在早强水泥中的速凝剂等与之混合。致使早强水泥迅速凝固，并紧密使锚杆与孔壁连接。

(4) 锚杆插到孔底后，在孔口安上铁垫板，并拧上螺帽，直至使垫板紧贴孔口岩壁为止。

显然，此类锚杆安装方法简单可靠，便于工人掌握。并且安装速度快，一根锚杆平均只需3~4分钟。节省了拌合砂浆工序和注浆罐等一系列设备及工具。质量好，充填饱满，能够较快增长强度，迅速起到支撑作用。所以，在我国水工隧洞支护中颇有推广的价值。

2. 喷混凝土

由于2号施工支洞许多段岩石破碎，稳定性差，又考虑到这条支洞将使用四年，而且是施工的重点通道。为确保安全，大成公司采用顶拱全部喷混凝土的措施。喷混凝土厚度为3~7厘米。大成的喷混凝土方法有干喷和湿喷两种，此洞是采取干法喷射的。喷混凝土的原材料水泥、砂、小骨料等为当地材料。速凝剂为日本产SIGUNIT，呈粉状，按所用水泥重量的4~5%加入。

喷混凝土设备较配套，均系日本制造。特别是采用机械手喷射，运转灵活，工人可离工作面较远处操作，作业条件改善，喷射效率高，其喷射速度为4~6立方米/小时，顶拱回弹约30%左右，此机械手也可用于水泥裹砂喷混凝土工艺（即SEC法），若采用SEC装置，则施工能力将比干喷法提高一倍，达6~12立方米/小时。

大成公司在2号支洞喷混凝土的工艺流程如图10所示。

三、通过断层和破碎带的两个实例

1. 1984年12月10日，2号支洞开挖至桩号68米至76米之间，出现一