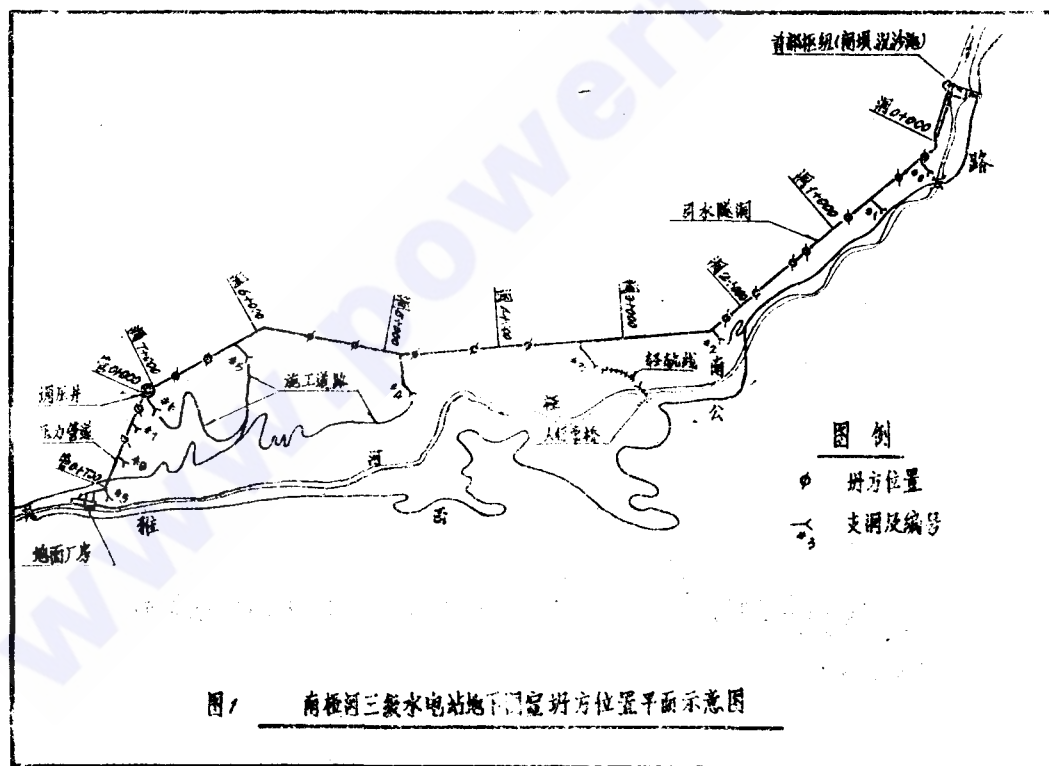


南桠河三级水电站地下洞室的塌方处理

水电部第七水电工程局南桠河分局 樊增祥 林椿 魏大智

南桷河三级水电站的地下洞室，包括引水隧洞、调压井、斜井式压力管道和施工支洞，全长约十公里。开挖直径一般为5.5至6.5米（调压井为17.5米）。洞室埋深在山脊部分多大至400米，冲沟切割处仅27.5至64.0米。沿线均属早震旦系花岗岩体。由于水电站位于“川滇南北向构造带”上，又介于区域大断裂——南北向楂罗断裂和北西向石棉断裂之间。围岩因构造变动的影响受到强烈的破坏，断裂纵横交错，岩脉穿插繁杂，致使岩体完整性较差。在洞室开挖过程中，主体工程上仅大规模坍方就有十六处之多（见图1）。客观上因围岩整体



性差,施工高潮正值“十年动乱”期间,一些行之有效的规章制度遭到废弃,主观上某些施工技术措施也欠妥当,更使围岩的稳定性恶化。处理坍方,不仅耗费资财延误工期,而且直

接威胁施工人员的安全。粉碎“四人帮”后，分局党委重视坍方处理，充分发扬技术民主，因地制宜地采取有效措施，较顺利地突破了这些成为施工“障碍”的坍方区，取得了经验，加快了电站建设的步伐。

影响洞室围岩稳定的因素较多，较为复杂。在不利的地质条件下如何防止坍方的出现和扩展，以及如何有效地进行处理，这些问题对安全施工，缩短工期和降低造价将起很大的影响。本文拟针对坍方处理作初步探讨。

一、坍方的成因与实例

主体工程中的十六处坍方多与断裂有关，表1列出的典型坍方特征即明显说明了这一点。但并不是说“迁断必坍”。当岩体结构松散并存在着不利的结构面组合，地下水沿断层面渗透以及地质预报不够及时或施工处理不当时，就会出现“迁断多坍”的情况。本工程出现的大坍方既有内在的地质因素，又有特定的客观条件。概略可归纳为如下几点：

（一）不利的结构面组合

从表1所列举的坍方实例中可以看出，不少坍方都发生在几条断层相互切割交汇处；地下水往往沿断层破碎带活动，加剧了破碎物质的软化和泥化，在挖空结构形成后，自承能力很差，常造成坍方。有的虽仅一条断层而又与洞轴正交（如洞1+330至1+345段），因其结构松散，风化破碎，在2×2米导洞开挖过程中即发生高达20余米的坍顶。当断层走向与隧洞洞轴斜交，其交角小于30度时，则形成很大的偏压。如洞4+710至4+720段，在全断面开挖过程中，首先是外侧偏坍，随之洞顶失稳坍落，两者相互交替出现，迫使支护的钢排架变形。洞5+821至5+850段偏压致使钢排架变形，焊缝撕裂。

（二）强烈的地下水活动

坍方与地下水活动关系密切。特别是在岩石破碎，节理密集、断层交错地带，可以说这是造成坍方的主要因素。如洞6+761至6+790段，因地处冲沟底部，沿F₆₋₆渗入的地下水补给充分，长期的水流渗透，断层带破碎物质泥化，开挖时造成坍方。洞1+405和管0+205等处沿断层上盘地下水富集，当开挖接近断层带时，在较高的地下水渗透压力的作用下，掘进面顿时成为排泄通道，地下水挟带大量的泥石涌入洞内，来势凶猛。如在洞1+405处迂F₂₋₃断层时，涌出的夹泥水流将装岩机推出17米远。诸如以上实例，若地质预报及时，事先采取排水减压等措施，对防止大量坍方会有所帮助。

（三）支护方法不适宜

限于当时的主客观条件，隧洞按设计断面开挖后进行了临时性的支护，后续的混凝土衬砌工作迟迟没有进行，致使临时支护时间过长，不良的围岩受渗水、卸荷和震动等长期作用而充分松弛。衬砌前拆除钢排架时引起大坍方。例如洞5+821至5+850段钢排架支护达5年之久，拆除过程中即出现坍方，坍拱高达12米。洞5+216至5+224段在开挖时即有小块坠

表1

奥 型 塌 方 特 性 表

部 位	地 质 条 件 及 结 构 体 类 型	塌落拱高(米)	地下水情况	塌 方 形 成 过 程
洞0+092 至 洞0+105	$F_{0.10}$ SN, $E \angle 65^\circ - 70^\circ$ 鳞片状, 片岩含断层泥厚1.5米。 $F_{0.14}$ (N16°E, NW $\angle 87^\circ$, 断层泥厚约0.2米)。 $F_{0.16}$ (SN, W $\angle 40^\circ - 65^\circ$, 糜棱岩, 厚约0.3米)。三条断层构成破碎的三棱体。	7	雨季有零星滴水	1973年5月上旬, 在0+094处, 岩体受到开挖卸荷的松动, 三棱锥体的底面脱空, 发生塌方。
洞0+240 至 洞0+270	F_{127} (N0°—6°W, NE $\angle 70^\circ - 80^\circ$) 破碎带宽约2.0—2.5米, 洞内仅见 F_{127} 下盘, 并由 F_{120} 断层交汇, 裂隙切割, 岩体破碎, 劈理密集, 风化强烈。	10	有地下水活动	1973年9月挑顶扩挖, 沿 F_{127} 断层长9米, 宽4米一段发生塌方, 高约2米。该段钢排架支撑后, 岩体继续发生变形, 又发生塌方, 但支撑未压坏。 1978年5月拆除0+268—0+264钢支撑时顶拱即有掉石, 裂隙扩大发生方塌。
洞0+630 至 洞0+880	该段岩脉成群, 断层交错, 裂隙密集, 岩体完整性极差。 F_{120} (N10°—20°W, NE $\angle 80^\circ - 85^\circ$) 宽约0.5—0.8米, 凡与它交汇的断层裂隙都被错开。	7		1974年3月发生塌方。
洞1+330 至 洞1+345	F_{180} (N65°W, SW $\angle 65^\circ$), 可见糜棱岩和角岩砾岩两带, 均为几厘米碎块乃至散沙状, 破碎带宽约6—7米, 风化强烈。	>20	有地下水渗流	1976年元月开挖下导洞 (2×2米), 断层带虽与洞轴线成正交, 由于岩体结构松散, 自承能力很差, 当时便坍方, 主洞贯通后, 山压来势快, 边出碰边坍落。
洞1+385 至 洞1+405	F_{241} (N80°W, NE $\angle 64^\circ$) 宽约0.8~1.0米, F_{239} (N65°W, SW $\angle 46^\circ$) 宽约0.2—0.3米, 两条断层斜切的三角地带。	23	涌水量约450—500公升/分, 稳定后约30—40公升/分。	1975年5月打穿后, F_{239} 断层破碎带随着开挖爆破的震动, 引起水夹泥石流倾泻而出, 掌子面推移约17米; 当第二次出碰到掌子面时, 又发生一次更大的涌水, 由于地下水活动剧烈, 加剧了不稳定岩体塌落。

表1 (续1)

部位	地质条件及结构类型	塌落拱高(米)	地下水情况	塌方形成过程
洞2+044至洞2+061	F_{200-1} (N25°W, NE∠40°) 宽2厘米, 扭张性。 F_{200-2} (EW, N∠65°) 宽1.8米, 扭张性。 F_{200-3} (N80°E, NW∠55°), 宽50厘米。 F_{200-4} (N50°W, NE∠10°), 宽10厘米。四条断层横切洞轴, 并和多条岩脉穿插, 切割岩体。	>7		1973年10月全断面开挖中, 用19付钢排架支撑, 后发现钢排架变形, 采用加密加固处理, 1980年隧洞衬砌拆除钢排架时, 发现坍塌高7米余, 顺洞轴塌长17米的大空腔。
洞3+770至洞3+850	F_{334} (N25°—30°W, NE∠65°—80°), 宽约0.7—1.1米。 F_{350} (N20°—40°E, SE∠65°—80°), 宽约0.5—2.0米。 F_{300} (N40°—45°E, NW60°—85°), 宽约1.0—1.5米。三条断层平行组合的断层带斜交洞轴, 延伸方向N35°—40°E, 长度约12—19米。	2—4	集中出水段为3+825断层带含水至3+385	成洞后短期回落2—4米, 3+825—3+830右墙暴露出 F_{300} 断层带时, 便发生鼓突塌方。
洞4+207至洞4+223	F_{420} (N72°E, SE∠71°, 宽0.3米)。 F_{430-2} (N73°W, NE∠71°, 鳞片状岩组成, 宽0.2米)。 F_{430} (N40°WSW∠54°, 宽1.0—1.5米, 由断泥, 鳞片岩及角砾岩组成)。 F_{432} (N50°—70°E NW∠60°—70°) 三组断层互相交切。	3	地下水渗透如注。	1974年下半年洞室开挖中, 用密排钢排架支护1979年底拆钢排架时, 采用边拆边浇, 尽量压缩浇筑段长度, 使临空面缩短, 避免了再次发生塌方。
洞4+701至洞4+726	F_{405} 断层上复岩体厚度较薄, 仅33米, 断层带由压碎岩和断层泥组成, 宽10—15米, 风化较强烈, 破裂理密集, 小断层繁多。	6, 4米 (侧帮深3米)。		1973年11月采用全断面掘进, 钢排架支护开挖成洞。由于断层斜交洞轴, 先由外侧偏帮引起洞顶塌方, 交替扩展, 因塌方体重量过大, 钢支撑发生变形经三次加密加固, 三年后才趋稳定。后拆除钢排架, 采用喷混凝土支护, 顺利通过。

表 1 (续 2)

部 位	地 质 条 件 及 结 构 体 类 型	塌落拱高 (米)	地下水情况	塌 方 形 成 过 程
洞5 + 216 至 洞5 + 224	F_{424} (SN, W $\angle$ 85°) 与洞轴线正交, 破碎带宽, 3.5至4米, 其中岩脉受断层挤压后成鳞片状, 块径5—20厘米, 表面粘附有叶腊石薄膜, 极滑腻。遇水后膨胀, 易塌方。	16	有地下水渗透。	1974年4月成洞, 因断层倾角近于直立, 又有地下水渗透, 稳定性较差。虽有钢支撑支护, 山岩压力仍继续发展, 以致在两年以后将钢支撑压毁, 酿成塌方。
洞5 + 821 至 洞5 + 850	F_{517} (EW, N $\angle$ 50°) 与洞轴交角30°, 斜切洞线, 断层宽3米, 由断层泥、鳞片岩及压碎岩组成。断层面上盘裂隙较发育, 计有三组: 1. N80°W, SW $\angle$ 5°—10°, 多张开有泥充填。2. N50°—60°W, SW $\angle$ 45°—55°3. SN, E $\angle$ 50°三组裂隙在洞顶交切, 组成人字形。	12	有地下水滴流。	1974年上半年洞室开挖后, 发现断层掉块、钢排架有明显偏压, 裂缝脱裂。经补焊并加斜撑, 在五年间未再发生变形。1979年拆除钢排架准备浇筑, 断层带沿界面滑落, 将钢排架压毁堵死洞室。塌高12米, 暂趋稳定。
洞6 + 443 至 洞6 + 462	塌方发生在 F_{522} 断层带及上盘影响带。 F_{522} (N20°W, NE $\angle$ 86°), 可分两带, 下部断层泥厚1.0—1.2米, 上部鳞片状岩带厚1.8—2.0米, 总厚约2.8—3.0米。	> 18	6 + 462处有三股集中滴水。	1975年4月穿过断层破碎带4米左右, 便发生掉块, 立即架四付钢支撑。由于山岩压力过大, 又有地下水, 岩体继续发生变形。1975年12月又发生塌方, 将钢支撑压毁, 堵死洞室。
洞6 + 761.5 至 洞6 + 790	F_{608} (N45°—55°W, NE $\angle$ 42°—45°), 宽约1—1.2米, 断层面上盘影响带与裂隙 (N30°—65°W, NE $\angle$ 35°—60°) 组合, 且裂隙面平整, 相互平行的裂隙形成厚约0.3—0.8米, 层状岩块, 重迭于破碎带上, 兼以季节性地下水渗透的影响, 加剧了岩体的塌落。	20	开挖时有股状地下水流出, 随季节变化。	在1.5×2米的导洞开挖时, 已发现有掉块, 扩挖后破碎岩体顺断层下盘滑落, 塌高达20米, 纵深影响为26米。

表 1 (续 3)

部 位	地 质 条 件 及 结 构 体 类 型	塌落拱高 (米)	地下 水 情 况	塌 方 形 成 过 程
管 0 + 088 至 管 0 + 110	F_6 (N35°—45°W, NE/70°) F_7 (N40°—50°W, NE/80°—90°) 两断层近似平行, 断层各宽3—5米。	>10	有 渗 水	1978年7月开挖下导坑时遇 F_6 断层, 用钢排架支护通过, 后又遇 F_7 断层, 用喷混凝土支护通过。由于山压仍继续发展, 1979年6月20日压毁时支护, 堵死下导坑。
管 0 + 490 至 管 0 + 590	F_{11} (N25°—50°W, NE/50°—70°, 破碎带由断层的泥、片状岩、角砾岩组成, 宽约3米。)呈波状顺洞延伸, 断层带组成物不紧密, 加之 F_{10} 、 F_{12} 、 F_7 与之交切, 受地下水作用, 在斜井起坡点及其上下连续塌方。	7.4		断层与洞轴线 (N24°W) 近于平行, 破碎带分布在洞顶的左侧, 虽有钢排架支护, 因侧压力过大, 加之爆破震动影响, 造成塌方。
管 0 + 205 至 管 0 + 215	由 F_0 及其上盘与 F_3 、 F_1 、 F_2 之间断层交汇带的挤压破碎体, 在地下水强烈作用下形成的塌方。 F_0 (N40°—45°W, NE/70°—75°, 由断层的泥、片状岩组成, 宽约5米。) F_1 (N40°—70°W, SW/30°—40°, 宽6—10米。) F_2 (N30°—40°W, NE/65°—80°, 厚0.5—4米) F_3 断层与 F_7 、 F_{11} 组成速瓦状断层带, 与 F_0 、 F_1 、 F_2 断层交汇组成“倒锥体”, 地下水活动强烈。	>15	放 炮 后 最 大 涌水量约 0.5 米 ³ /秒, 一天 后实测, 约为 200—300公升 /秒, 稳定后实 测为 4—5公升 秒。	当开挖到管0+205处时, 打穿 F_0 。后断层破碎带突然发生涌水。因地下水活动性强烈, 加剧围岩失稳变形, 造成塌方。

落，两年后始出现坍方压毁钢排架。洞室开挖采用钢排架支护时，一般多属山压过大且不稳定的围岩，拆除殊多风险，如果开挖时钢排架能设置在设计断面以外，浇筑混凝土时可不拆除，以免导致大坍方的不良后果。

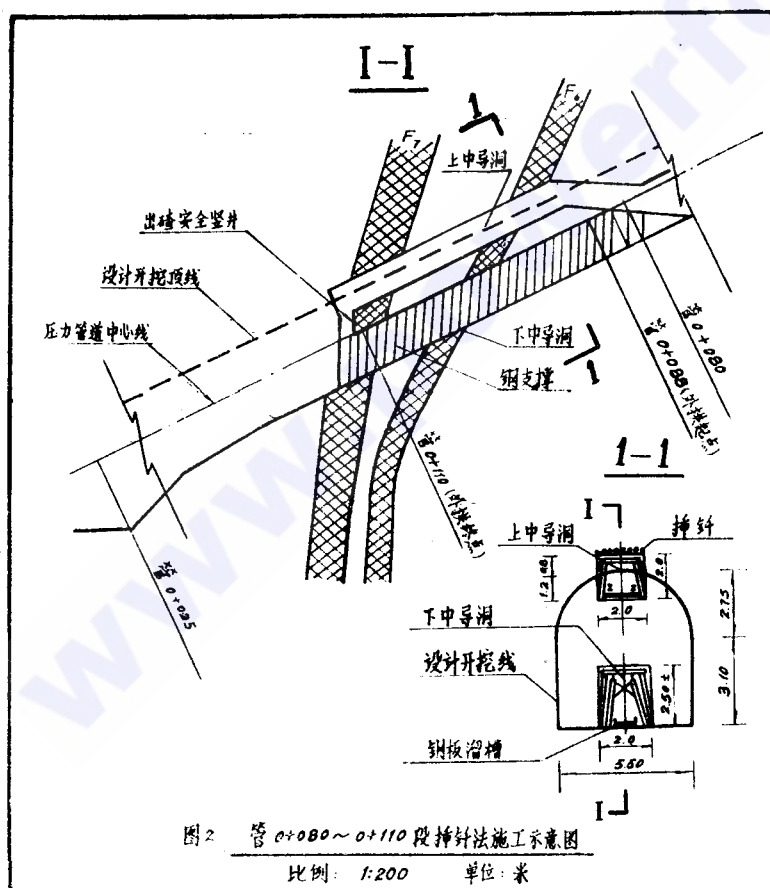
(四) 处理措施失当

坍方发生后，一般情况下不宜急于出碴。如洞6+443至6+462段、管0+088至0+110段、洞0+205至0+215段等处，大量地无休止地出碴促使围岩连续卸荷，恶化了坍方段的围岩稳定，增加了处理上的困难。若坍方规模小，断层虽呈碎裂状态，但尚有一定的嵌合能力；在地下水较少时则可采用边清碴边喷锚的支护方法。所谓“小坍清，大坍穿”即此道理。

二、处理坍方的几种方法

(一) 插钎法（以压力管道0+088至0+110段为例）

1. 施工简况



压力钢管道斜井轴向 $N 11^{\circ} 33' W$ ，倾角 30° 。开挖断面如图2所示。1978年7月以 2×2.5 米下中导洞开挖到管0+088处先迁 F_1 断层 ($N 35^{\circ} \sim 45^{\circ} W, NE \angle 70^{\circ}$ ，宽3米)，发生坍方采用钢排架通过后，继续开挖至管0+100处又迁 F_2 断层 ($N 40^{\circ} \sim 50^{\circ} W, NE \angle 80^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，宽约5米)，再次坍方，采用喷混凝土支护通过。1979年6月20日在上述两断层间再行坍方，钢排架和喷混凝土支护被毁，导洞堵塞。当时拟先清碴再喷锚后打通下中导洞，在出碴约300立方米后发现岩块仍不减少，估计两断层间的岩体已经坍落，围岩稳定性严重恶化，被迫停

止清碴。经研究改用插钎法后始顺利通过。

2. 施工要点:

根据坍方情况,我们认为必须首先解决顶拱止坍的问题,决定采用在顶拱设计断面以外先行浇筑钢筋混凝土的拱圈(俗称戴帽外拱),然后再扩挖下部的办法。为浇筑外拱,即用插钎法先行开挖上中导洞;并用同法开挖横洞形成肋条,逐段开挖衬砌。下部开挖时采用“马口法”浇筑边墙以支承外拱。

(1)首先要维持坍方段的相对稳定,这是本法施工的基本条件。我们的具体做法是:在管0+125处筑临时挡墙,防止坍落物沿斜井流动伤人。插钎过程中还有漏碴(钎间隙或钎端漏碴)时应立即停止,由安全员用小块钢板或填塞木堵塞,不得稍有疏忽。

(2)施工过程中不得已时才允许放小炮、放火炮,防止扰动坍方体的相对稳定。经验表明单个火炮对坍方体无明显影响。

(3)使用混凝土泵灌注外拱时,为不妨碍泵管插入,上部导洞可略高于外拱顶面。导洞钢排架的间距应考虑外拱钢筋的布置,以利安装和焊接。

3. 施工步骤

(1)做好四项准备工作:①在管0+125处修筑临时挡碴墙。②上提出碴打通下中导洞并同时敷设钢板溜槽(导洞底部用 $\phi 25$ 插筋架立20号工字钢组成的纵横梁,上铺2~3毫米钢板),作为今后插钎导洞出碴通道。③对下中导洞原有钢排架进行整体性加固(焊接顺梁和剪刀撑),以抗侧向山压。④选择较完整地段作为上中导洞洞脸。

(2)开挖上中导洞,其施工顺序为:①先在洞脸平台上按导洞开挖断面架立2至3根钢排架,排距约0.3米。必要时可将钢排架做成整体框形结构,以防不均匀沉陷。②在钢排架顶部和两侧虚碴中插钎($\phi 25 \sim \phi 30$,钢筋长1.5~3.0米,一端尖削,用锤击或风镐击入),两钎间距10厘米左右,以不漏碴为准。③清碴用人工装斗车,卷扬机牵引上提,卸入上段下中导洞溜槽内。一次清碴深度为钎深的 $1/2 \sim 1/3$,如出现钎端漏碴应立即堵塞。④及时支立钢排架,其间距一般不超过60厘米。上述插钎、出碴和支排架三道工序循环作业,直至导洞全部挖成。本段开挖平均日进尺为1.8米。

(3)开挖横洞:在上中导洞挖通后,将钢排架整体加固,并在准备开挖横洞的部位,用过梁更换排架支腿,以免影响横洞施工。首先选择围岩差的部位开挖横洞(仍用插钎法),借岩柱支托形成较薄的肋;待回填混凝土后,再开挖相邻岩墙(施工顺序详见图3)。此法工序繁琐,相互牵制,但安全性较好。横洞断面尺寸,按混凝土外拱结构尺寸确定为2.5米宽、2米高。横洞开挖共分八段,由低往高顺序施工。开挖到第②段右侧横洞时,钢排架变形,焊缝拉裂,经多次加固后方能安全施工。横洞出碴较困难,曾在管0+110处挖 1×1 米深4米的出碴安全竖井贯通上下导洞,将上提改为下溜出碴。

(4)浇筑外拱混凝土:外拱为变截面无铰拱,按坍高15米的松散体的荷载设计。最小厚度为0.8米,原布置 $\phi 20$ 单筋间距20厘米。考虑实际情况与计算假定出入较大,拱座又在松动岩体或堆碴之上,实际多数采用双筋布置,如图4所示。混凝土标号为 $R_{28}250$ 号。模板采用多角形内接拱线散板现场拼装。处理本段坍方自1980年2月2日至3月19日完成,历时47天,速度还是较快的。

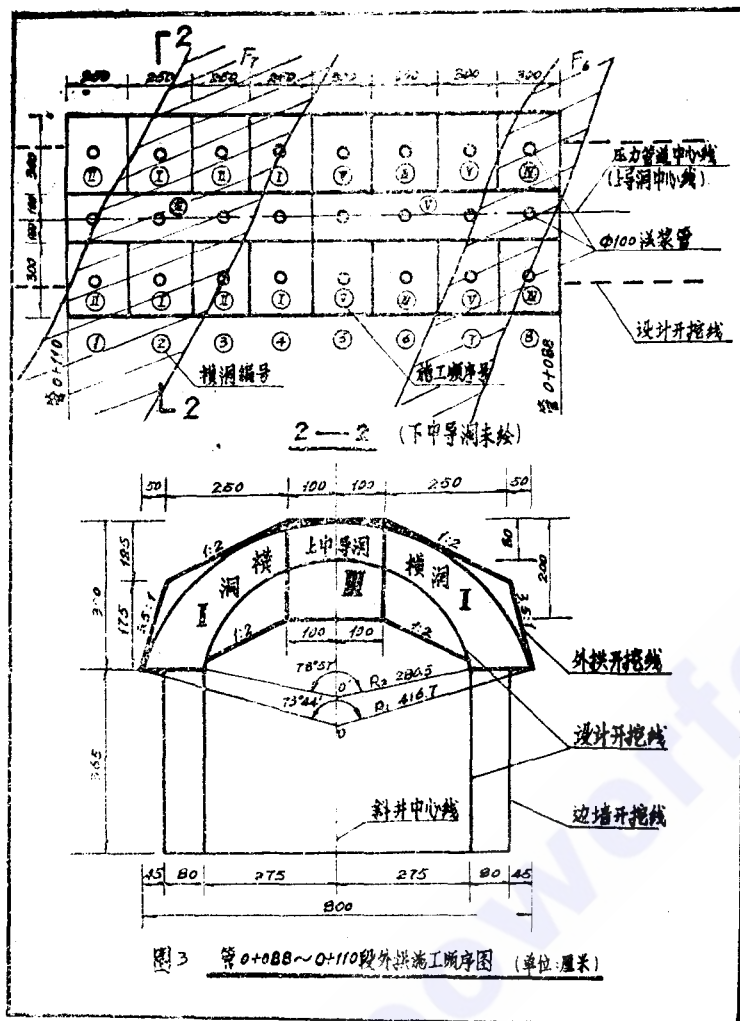


图3 管0+088~0+110段外拱施工顺序图 (单位:厘米)

(二) 喷锚法 (以压力管道0+530块方段为例)

1. 施工简况

本段为压力钢管道起坡段, 由于设计系渐变断面以及出碴的需要, 按 8×8 米的直墙单心圆拱断面开挖。坍方前采用下导洞浅孔小炮, 电雷管起爆, 而后扩挖成洞。临时支护采用20号工字钢组成的装配式钢排架, 其间距1米, 纵向用横杆加固, 钢筋笼、角钢等塞顶。围岩受构造应力的强烈挤压, 坍方时压毁五榀钢排架, 历时五个月仍有掉块与小坍方。

2. 喷锚支护结构设计

由于坍方区轮廓极不规则, 有关的岩石物理力学指标无实测资料, 加上当时在附近进行喷锚试验加荷的影响, 支护应力很难准确计

算, 故主要凭经验确定, 理论计算仅供参考。

对于坍落部位小拱, 假定其粘聚力 $C = 1 \text{ kg/cm}^2$, 内摩擦角 $\phi = 24^\circ$, 容重 $\gamma = 2.5 \text{ T/M}^3$, 洞跨4米, 侧压系数 $N = 1$ 。分别采用泰沙基松散体地压计算方法和芬涅尔弹塑性极限平衡理论所导出之公式, 地应力假定为 25 kg/cm^2 , 计算所得支护应力分别为 2.5 kg/cm^2 和 1.8 kg/cm^2 。取算术均值为 2.13 kg/cm^2 , 对于未坍落部位其物理力学指

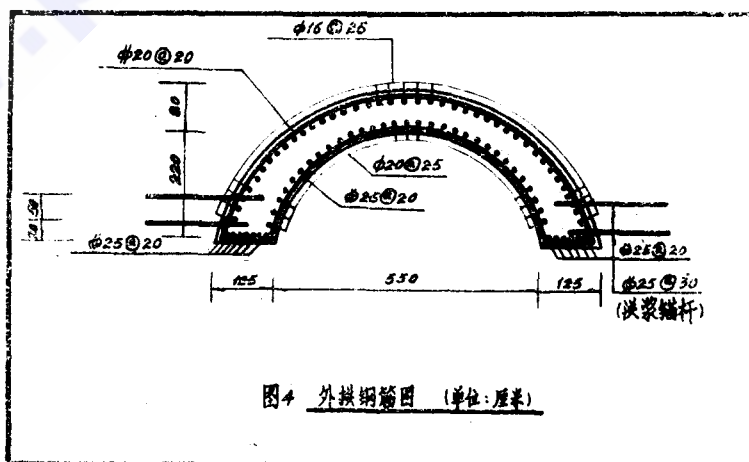


图4 外拱钢筋图 (单位:厘米)

标高于上述数值, 从安全因素考虑支护应力亦取同一数值。

选用直径30毫米楔缝式砂浆锚杆, 纵横间距1米, 喷混凝土厚10厘米。钢筋网则采用直径10毫米的钢筋, 间距20厘米。锚杆深度按塑性区岩层厚2.8米计, 其孔深为3米。对于“大悬吊体”凭经验确定, 一般情况下顶拱2~3米, 边墙3~4米。

3. 喷锚施工

首先拆除临时钢排架支撑上塞顶的钢筋笼等, 并用灌浆锚杆处理顶拱和右侧墙。由于围岩破碎, 不时有小掉块发生。再次从下游侧坍方一端开始, 边人工撬石边喷混凝土(厚5厘米左右), 由此向坍方段顶部延伸。三天后另行设置锚杆, 绑扎钢筋网后第二次喷5厘米厚混凝土。

4. 几点认识

由于喷锚支护结构能密贴围岩, 并具有一定的柔性变形特征, 其喷射物嵌入破碎岩体和裂缝能加强其岩石的整体性, 提高了围岩的自承能力。此种结构和方法用于处理坍方是可行的。

在软弱面发育又有地下水渗透的围岩中, 为防止进一步坍方, 应采用边开挖、边钻孔排水减压、边喷锚的办法。如洞3+770至3+850段有 F_{354} 、 F_{355} 、 F_{356} 等三条断层平行隧洞, 围岩破碎松散。当时局部坍高2—4米(见图5), 地下水渗透压力曾使洞3+825至3+830处左帮鼓翘坍落。我们采取钻排水孔减压, 集中疏导渗入地下水; 喷混凝土后设锚杆挂钢筋网, 再喷混凝土, 得以顺利通过。

(三) 顶拱戴帽法 (以洞5+216至5+224段为例)

1. 施工简况

本段1975年4月全断面开挖成洞, 以九根钢排架支护, 两年后大坍方将排架压毁。

2. 处理方法

坍方段纵横剖面如图6。考虑坍方段断层系似层状的碎裂结构, 清除坍方体后, 断层两侧岩石还有一定的自承能力。利用暂时相对稳定时间, 在设计开挖断面以外, 架立六根6.3米高的城门洞型钢排架, 并在顶部置轻轨和2毫米钢板作为底模, 灌注R₂₈200号混凝土(应将断层上下盘口门封闭)。为防止钢排架负荷过大, 分两次灌注, 每次层厚为1.5米。设计提出断层带内边墙和底拱应力状态欠佳, 需扩帮并增设地梁, 此项工作均在戴帽完成后逐步进行。

(四) 分区处理法 (以洞6+761.5至6+790段为例)

1. 施工简况

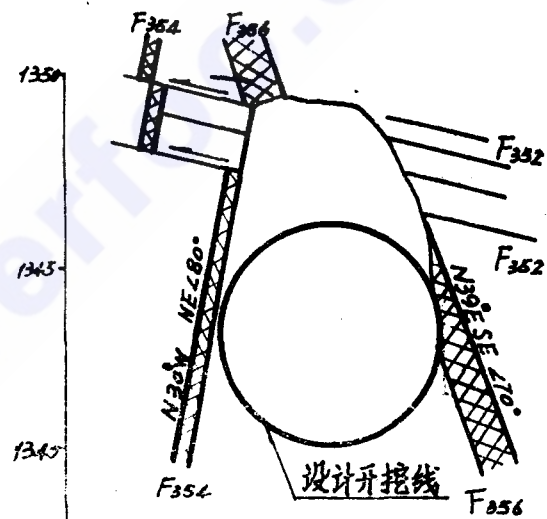
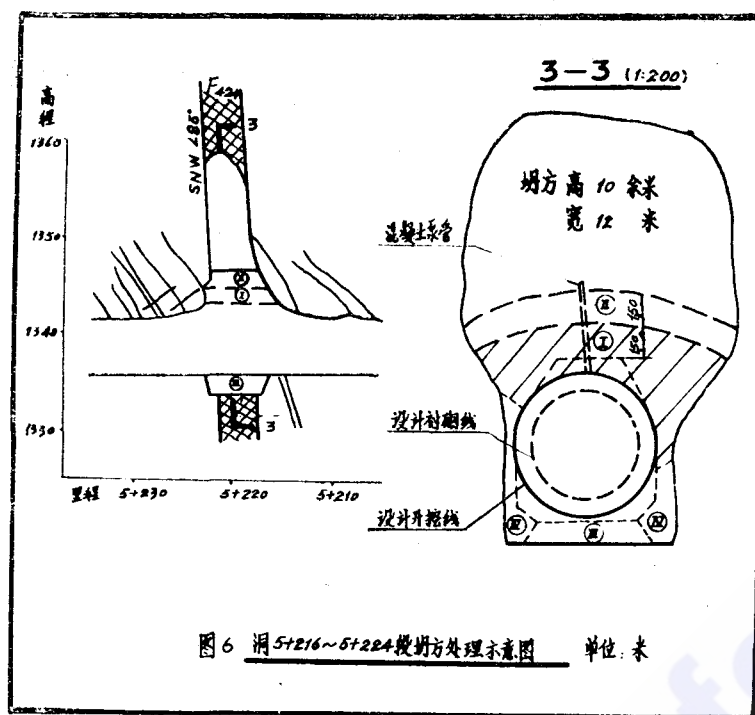


图5 洞3+770~3+850坍方段里程洞3+784横剖面



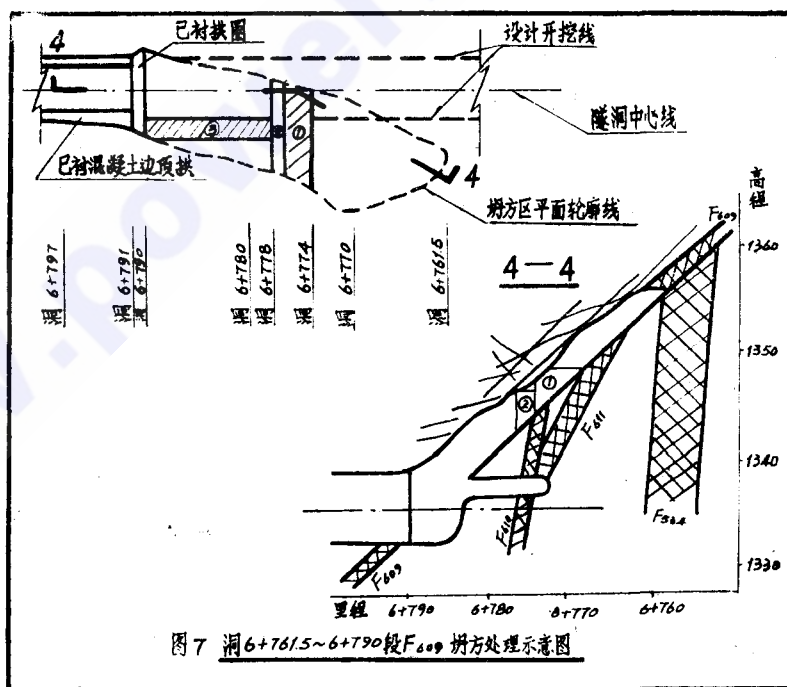
的虚碴上先浇筑一道混凝土挡墙,既能支承断层上盘失稳岩体减少脱空面积,又能防止坍方体继续落碴。②位于虚碴上的第一道只能暂做支挡,应随之开挖第二道挡墙基础,增设基础抗剪插筋后迅即浇筑。对挡墙以下空腔侧壁、顶部用喷锚支护。③在左侧再浇一道顺轴线的混凝土墙,其一端接已衬砌的混凝土拱圈,另一端顶住第二道挡墙以增加其稳定性(上盘脱空面积进一步缩小)。

坍方段经挡墙分隔后,即可采用边挖边衬的方法。为予防断层下盘在扩中坍方,严格控制装药量在炮孔深度的0.15~0.2之间,火雷管引爆。衬砌完毕后,对坍方空腔进行了回填灌浆。灌浆压力为 2 kg/cm^2 ,耗水泥120吨、细砂100吨,估计可以填满。

本段自下游用 1.5×2 米上导洞贯通,然后全断面扩挖至洞6+780处迁 F_{600} 断层,产生大坍方(见图7与表1)。

2. 处理方法

实地观察坍方体的软塑破坏物质,沿断层下盘表面滑落。坍后的断层上盘岩体张裂,并不时发生小块坍落。因断层上盘脱空面积近190平方米,又有张裂现象,若用锚杆加固,耽心钻孔时危岩坠落威胁施工人员安全;又因地下水渗出,喷混凝土效果尚难肯定,故决定:①在洞6+774至6+776.5处



(五) 综合法 (以管0+205至0+215段为例)

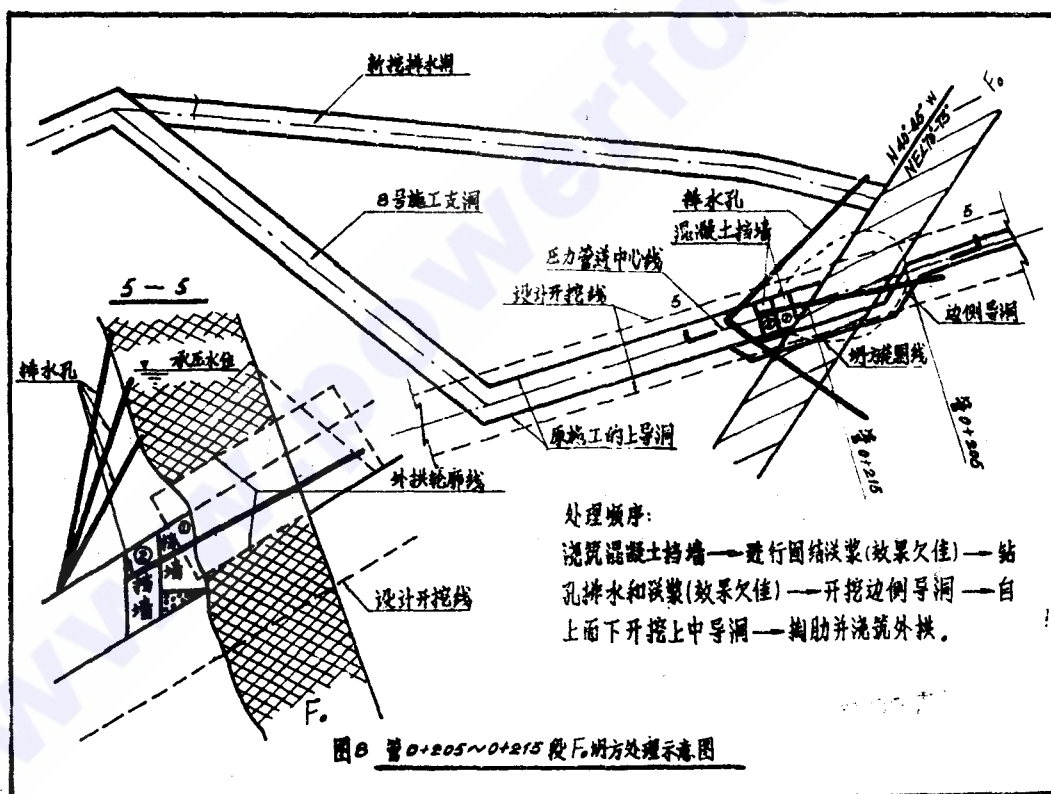
1. 施工简况

综合法即对坍方段采取封堵灌浆、疏导地下水、插钎法分块开挖浇筑外拱等方法联合处理。

坍方前由下向上开挖 3×3 米的上导洞，至管0+215处迁大量涌水（见表1所列），随即发生大坍方。泥石流翻滚，倾泻而下。当时决定全部清除坍碴后再作处理。经一年之久的清除仍不能清尽。后决定另开支洞排水，当开挖到距主洞十余米时又迁同一断层，亦大量涌水跨坍。经地质人员进一步查明，该段构造复杂，断层交错形成的楔形体汇集丰富的地下水，加之岩体风化强烈，挤压破碎甚剧。通过研究比较后，仍认为以从原主洞穿过坍方区较为有利。

2. 处理方法

(1) 先在坍方的虚碴上修筑第一道素混凝土挡墙（平均厚1.5米），然后建第二道挡墙于基岩上。插筋使之与基岩接触牢固，墙厚1.2米，并考虑它能承受 2 kg/cm^2 的灌浆压力。两墙均设灌浆管和排水管。详见图8。



(2) 用固结灌浆方法注入水泥砂浆。第一次灌后排水管堵塞，坍方体内地下水位被迫抬高呈承压状。此后在主洞不同高度和挡墙上钻孔七个（孔深8至24.5米不等），分别做为排水和灌浆之用。由于灌浆效果较差，故又决定紧贴挡墙的一侧，沿设计开挖线挖 2×2

米边侧导洞通过坍方区。此导洞与7号施工支洞自上而下开挖的导井贯通，从而解决了安全通道和通风排水问题。

(3) 使用插钎法自上而下通过断层带挖通上中导洞，自导洞内向两侧掏肋和浇筑混凝土外拱。为确保下部扩挖时的安全，外拱拱座伸出设计开挖边线以外1.25米，并用纵横灌浆锚筋加固。

在钢筋混凝土外拱的保护下扩挖中下部时，是采取逐层下挖，边挖边锚（喷）的方法，只在个别地段作挂钢筋网处理。

三、结 语

(一) 硐室开挖过程中围岩大型垮塌，采用插钎法处理是一种较好的方法。在已经坍落的虚碴中构筑钢筋混凝土外拱时，必须十分谨慎。首先要保证坍方体的相对稳定，防止漏碴，还要减少放炮震动，排除地下水对坍方体的影响。较大坍方段插钎导洞较多，应逐次开挖并对支护钢排架进行整体加固，因前者处理好坏将影响后者的成败与施工者的安全。施工时还应予防偏压造成的导洞垮塌。

(二) 采用喷锚方法处理坍方段的不良围岩，实践证明是有效的。如果在开挖过程中能及时地对破碎岩体喷锚，使之与围岩形成一整体性较好的承载结构，这样可以防止岩体风化与过度变形松弛，有效地提高围岩的自承能力。对较大跨度的拱顶部分应以锚为主，或对不完整岩体采用锚与挂钢筋网喷混凝土相结合的方法，以防止锚杆间岩块掉落。对更差的岩体可先喷后锚，再挂网复喷。

(三) 坍方段地质条件未摸清以前不要急于出碴，盲目出碴将更恶化围岩的稳定性。要对围岩失稳的原因进行深入调查研究，若地下水较多时，疏导排泄渗入水流对改善坍方段失稳岩体的稳定性是不可缺少的。

(四) 加强与设计、地质部门各方面的密切合作，充分研究地质预测资料，及时提出防范措施是顺利、安全、有效施工的保证。

(五) 通过南桧河三级水电站的施工实践，笔者认为，确保安全（还有质量）诚然是加快进度的一个重要因素；而安全施工的关键又首先是弄清地质情况。只要情况明、措施当，虽在不良的岩石地段施工，也可做到不坍；即使坍了，也能圆满而安全地完成处理任务。