

# 三峡链子崖危岩体锚固工程的施工技术

胡时友

## 一、工程概况

链子崖危岩体是由58条宽大裂缝群所切割的崩滑变形体,位于长江兵书宝剑峡出口处的南岸,地属湖北省秭归县屈原镇,上距秭归老县城14公里,下距宜昌市73公里,总体积288.9万立方米。危岩体分布在南北向长条形山体斜坡上,东侧和北侧临空,均为近百米高的陡壁,实属世界罕见。历史上曾多次发生崩滑造成阻江断航,监测资料表明该危岩体每年都在缓慢变形,一旦在地震、暴雨、久雨等外界影响下,可能造成崩滑入江,将严重危害长江航运、上下游经济建设和附近居民生命财产安全。

由于危岩体上部以坚硬的巨厚层灰岩为主体,底部由煤系地层形成倾斜的软弱基座,这一不利的岩层组合,加上构造断裂的切割和临空卸荷的地质作用是危岩体变形的地质基础,已经勘查证实底部大面积采空区是形成链子崖大规模山体开裂的直接原因。因此,对链子崖崩滑体采取了综合防治手段,主要有煤层采空区承重阻滑工程、“五万方”和“七千方”两处危岩体锚固工程、雷劈石滑坡地表排水工程以及猴子岭斜坡防冲拦石坝工程。此外,为了了解施工期间和施工后危岩体的变形情况,还采取了以变形监测为主体的多种监测手段。链子崖危岩体防治工程是我国迄今为止正在治理的规模和技术难度最大的地质灾害防治项目。1994年,业主单位地矿部链黄工程指挥部采用了国际惯用的公开招标发包方式。我所与地矿部四川江油九零九勘察施工公司联合中标,承担了“五万方”危岩体锚固工程的施工任务。

## 二、锚固施工的难题

“五万方”危岩体是整个防治工程的重点,  
胡时友 地矿部探矿工艺研究所副所长、高级工程师

采用预应力锚索和锚喷网技术方法进行加固处理。施工场地相对高差为70~100m,平均倾角为85°左右,局部为负坡的悬崖陡壁。因此,该项工程面临的第一道难题是绝壁施工方法问题,即选用什么装置来满足锚固施工时对人员通行和物料提升的要求。第二个难题是“五万方”危岩体共设计了1000kN、2000kN和3000kN级预应力锚索183根,锚孔直径分别为 $\phi 125$ 、 $\phi 150$ 和 $\phi 175$ ,平均孔深35m,最深达63m,锚索要穿过两条以上的裂缝或破碎带,要求内锚固段过 $T_{11}$ 裂缝2m,锚孔孔斜小于2%,缓倾斜锚孔防斜保直、钻进排渣与钻具防卡、裂缝位置和形态的准确判定以及注浆堵漏等等,为锚孔钻进提出了十分复杂的技术难题。

## 三、超大型碗扣式排架的设计与施工

### 1、排架方案

从广泛调研得知,目前国内外建筑业和锚固施工所采用的施工平台主要有栈道式平台、扣件式钢管脚手架、悬挂式平台、爬升式脚手架和碗扣式脚手架等几种类型。栈道式平台的全部载荷作用在危岩体上,对危岩体稳定极为不利,且为一次性使用,成本很高;悬挂式平台和爬升式脚手架的承载能力不能满足多钻同时施工的使用要求;碗扣式架管与扣件式架管相比,碗扣式具有轴心受力、承载能力强、整体稳定性好、拼拆快速省力和杆件模数化、标准化、系列化等优点。通过计算表明,在相同施工条件下,搭设范围为架高60m,长39.6m,宽4.5m,若用扣件架管需要151t管材,若采用碗扣架管则需94t,其中碗扣管78t,扣件管16t。因此,无论从材料消耗还是使用性能来看,选用碗扣型架管为主材,扣件式架管为辅材,两者结合组架,以多立杆脚手架顺坡搭设的方案最为安全可靠和经济合理。

2、排架设计

施工排架作为“五万方”锚固工程的施工设施，必须服务于锚固主体工程的需要。“一万方”危岩体的锚喷施工是从上至下进行，而锚索施工顺序则是从下至上。另外，从节约一次性购买架管的投资上考虑，将排架分成“五万方东”和“一万方”两个区域分次搭设，提升部分设置在两区交接处，以同时满足两个片区运输的需要。排架的纵距、横距和步距主要是从稳定性和施工方便两个因素来考虑确定的，排架平面布置如图1所示。

排架的整体稳定主要靠连壁锚杆和纵、横两个方向的大剪刀撑。对于双排外脚手架，国内外都已有现成的设计验算标准，而对这种多排的外脚手架，属超静定结构，尚无现成的设计规范。我们在设计时请教了建筑脚手架设计方面的权威和专家，参考了最新有限元计算成果。在计算荷载方面主要考虑了架上人员、设备、机具、材料

等的静载和施工动载、风荷载，其中风荷载是根据秭归县气象局提供的资料，按九级大风的标准来验算的。在稳定性计算方面进行了局部稳定性和整体稳定性两个方面的验算。

80余米高的垂直提升方法有建筑塔吊、建筑客货两用梯（罐笼）可供选择，但这些方案的一次性投资很大。我们经过仔细推算，最后大胆采用了以碗扣型架管来构成井字形提升系统的方案，如图2所示。

链子崖是高雷击区，在排架最高处设置了避雷针，设计了供施工人员上下和紧急情况快速疏散的安全通道，并根据高空作业规范设计了随作业层移动的平网、作业平台外的防护栏和挑网，在提升井架上设计了卸荷钢丝绳和增加整体稳定性的缆风绳。另外，对排架搭拆和使用都做出了严格详细的规定。这些安全措施，既考虑了高空作业的一般要求，又结合了链子崖危岩体锚固施工的特殊性。

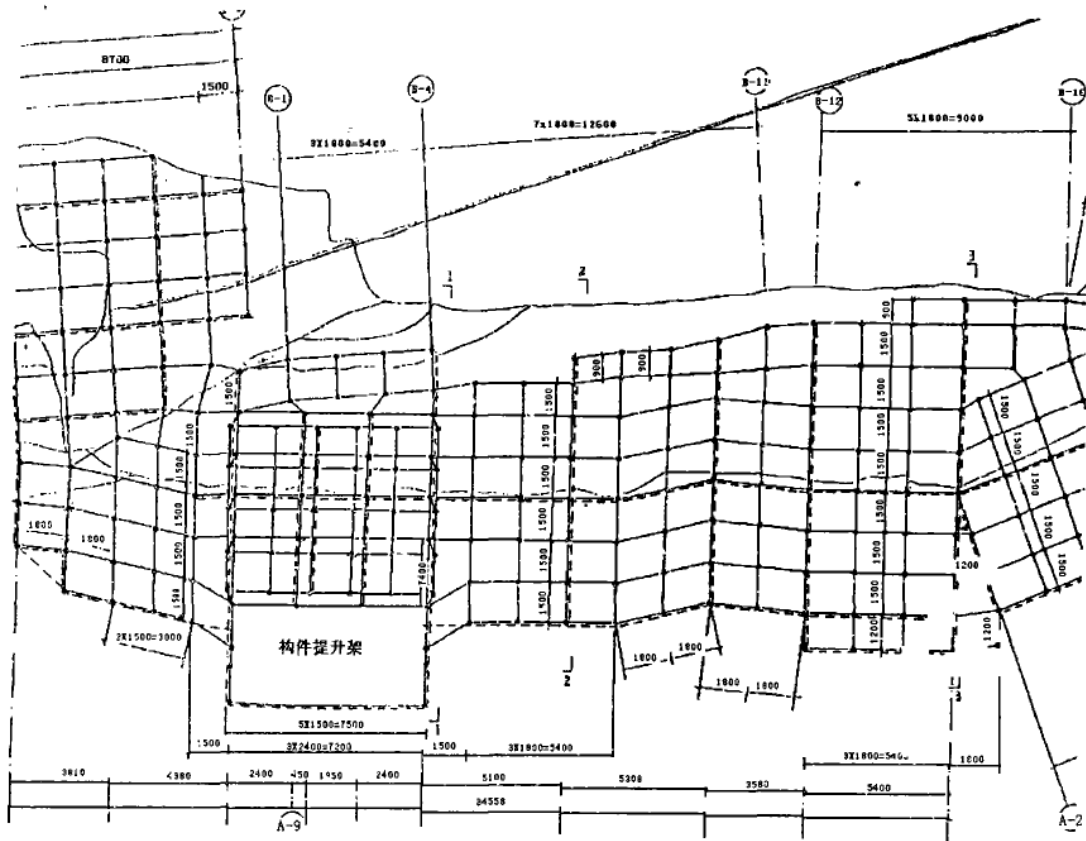


图1 排架平面图(部分)

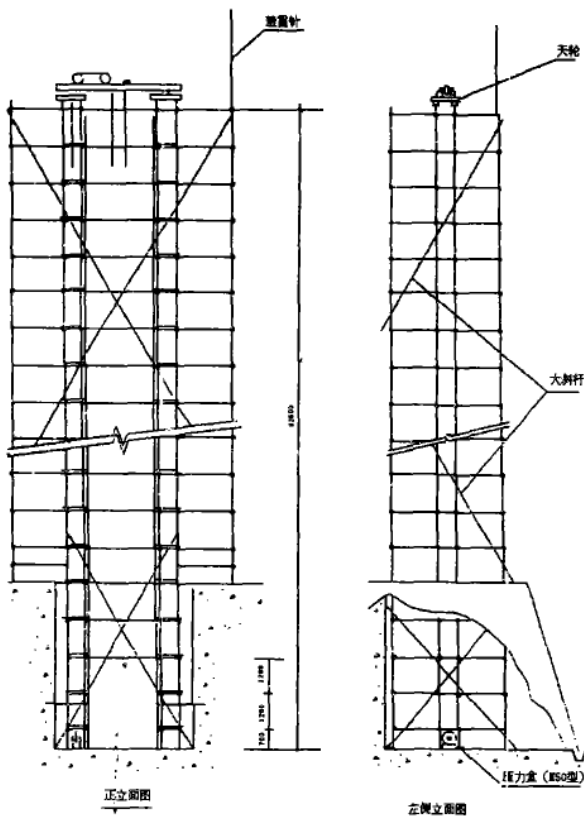


图2 提升井字架

### 3、地基处理

“五万方”危岩体崖脚为坡角 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 的崩塌堆积体，根据排架搭设和施工需要，必须开挖整平出长约70m、宽度在7m以上的多级平台。排架基础的稳固是保证整体稳定的前提，根据地形图设计了高程分别为117.3m、113.8m、112.5m和109m四级平台，后因实际地形情况，调整为107m和112m两级平台。为了排架搭设方便，平台与平台之间挡土墙采用墙胸垂直的重力式结构，其余挡土墙考虑到挖方与填方大致相等和节省圬工的原则，选用了仰斜式结构。根据槽探地质资料，地基分为三层：第一层为耕植土，厚约20cm左右；第二层为较松散的碎石夹亚砂土，间有巨块石，厚约40~60cm；第三层为较密实的亚砂土夹碎石，亚砂土含量为45~60%，其余为园砾和角砾石。据资料介绍，第三层承载能力视密度不同在200~700kPa之间。因此，排架和挡土墙基础都必须座落于第三层较致密的亚砂碎石土

上。挡土墙施工就地取材，用浆砌块石砌筑，各型挡土墙的验算结果见表1所示。为了防止排架地基区域不均匀沉降，先用10cm厚C10混凝土铺底，之后再浇筑20cm厚的C20钢筋混凝土。

表1 挡土墙验算结果

挡土墙类型	安全系数		基底应力 (kPa)
	$K_s$	$K_t$	$c_{max}$
A	1.60	2.72	250
B	1.34	2.25	200
C	1.33	2.34	172
D	1.50	3.02	72.4
E	1.30	2.12	187.1

### 4、排架搭设质量与使用效果

从1996年3月至1997年7月，共完成了五万余平方米的排架搭设工作，在排架架设后进行了加载试验，重载试验时提升重量达到20kN，提升系统设计的额定提升能力为15kN，增重33%。锚喷排架设计的额定承载能力为 $3\text{kN}/\text{m}^2$ ，试验时通过了 $4.8\text{kN}/\text{m}^2$ 。锚索排架的额定承载能力为 $6\text{kN}/\text{m}^2$ ，排架最高为82.6m，最高点的东西向偏移为48mm，南北向偏移为72mm，偏移量在千分之一以内，远小于规范要求的标准。对地基沉降和排架倾斜进行了十天一次的长期监测，监测结果表明排架未发生变形和移位。排架上共有四台钻机，一般保持着两台钻机同时施工。从试验、监测和使用情况来看，排架在“五万方”危岩体锚固施工中达到了预期效果。

链子崖锚固工程首次将碗扣式脚手架应用于重大地质灾害的防治施工，并创下了国内外碗扣式排架在重载下的搭设高度和提升能力的最高纪录，第三十届国际地质大会的代表和许多施工单位到现场参观后对排架都给予了很高的评价。

## 四、预应力锚固工程

### 1、锚固试验

按照国家有关标准要求，在加固工程锚索施工以前，必须进行锚索的基本试验。为此，我们

在现场进行了三种类型共五组锚索试验,从试验中,测得链子崖的完整灰岩中,岩石与锚固体砂浆之间的粘结强度标准值不低于2.5MPa,直径 $\Phi 15.24$ 的钢绞线与砂浆的粘结强度为250kN/m。通过试验,修改了最初设计,内锚固段缩短了2~3m,同时对砂浆的配合比、锚墩配筋、注浆管材质、施工方法等方面提出了很多建议,从而完善了施工工艺,降低了工程造价。

2、施工工艺与主要技术对策

(1) 链子崖危岩体地质灾害防治工程严格限制施工用水,因此,造孔采取了气动潜孔锤冲击钻进工艺,空压机为英格索兰公司的高风压和中风压空压机各一台,锚杆钻机分别为MGJ-50和MD-50两种,冲击器以嘉兴冶金机械厂生产的高风压冲击器为主。

(2) 在钻具组合上,采用了扶正器和满眼钻具来增加刚度以防止钻孔倾斜和顺利穿过大

缝,扶正器与钻杆之间视情况加一防卡钻具或投球式反吹排渣装置。防卡钻具在破碎地层可有效防止探头石卡钻,而反吹排渣装置对防止埋钻、清洁孔壁和提高钻进时效作用明显,钻具组合如图3所示。

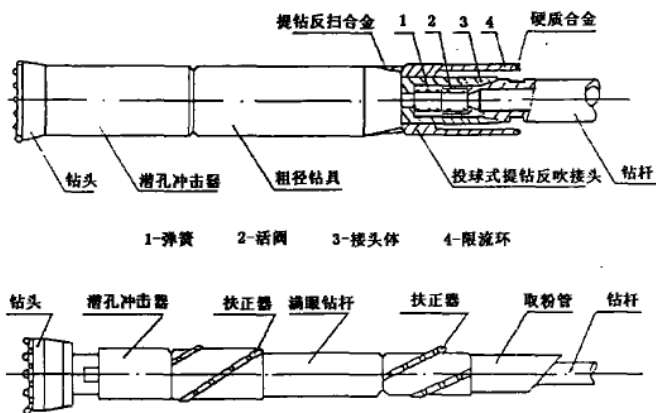


图3 钻具组合示意图

(3) 在准确判定裂缝位置和形态方面,采用了钻孔电视和孔内声波测试两种手段。钻孔电视方便直观,声波测试结果数量化,便于分析研究与管理。

(4) 在堵漏方面,破碎带主要以速凝水泥砂浆固结为主,小裂缝以投水泥球为主,大裂缝则采用下飞管和柔性袋注浆的方法,锚索外锚固段上套一个布袋也可以防止二次注浆的漏失。

(5) 在测斜方面,采用了单点磁球测斜仪和光电连续测斜仪,后者的测试速度要快得多。

(6) 锚具方面,选用柳州欧维姆建筑机械有限公司研制的锚固系统和张拉设备。

3、锚固工程质量与加固效果

该项锚固工程已经竣工两年,锚固工程中每一道工序和每项隐蔽工程都通过了监理工程师的验收,质量全部合格。监测表明,危岩体的位移得到了有效的控制,说明加固工程已经发挥了作用。图4显示“五千方”危岩体 $T_{14}$ 、 $T_{16}$ 两条裂缝在张拉锁定后逐渐闭合的变化。

注:参加三峡链子崖危岩体锚固工程设计施工的有地矿部探矿工艺研究所胡时友、吴和政、程温鸣、姜绍群、石胜伟、汪彦枢、郭启律、肖云鹤、吴胜等。

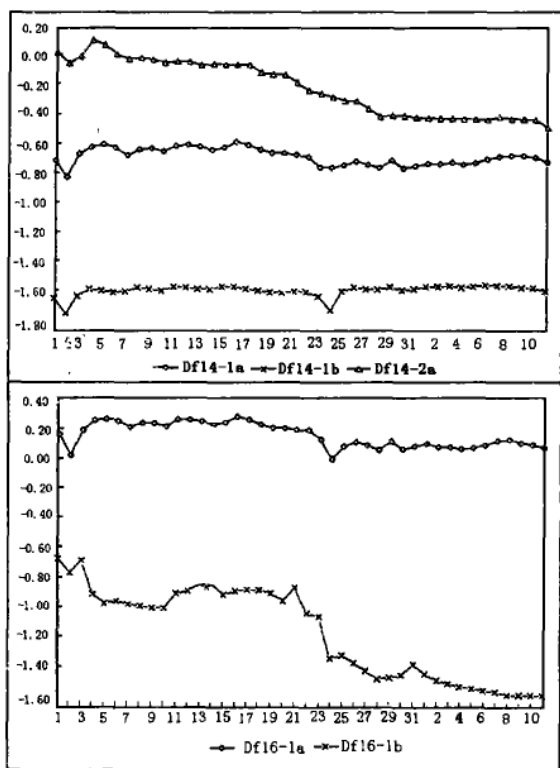


图4 裂缝位移监测曲线图