

# 预应力锚索应用于桥梁地基加固

勾振铎

**【提要】** 预应力锚索在处理滑坡、坍塌、落石、坝基加固等工程中,得到了广泛地应用。此项技术加固桥梁地基,尚不多见。本文介绍的就是这方面的工程实例。工程位于三峡工程对外交通专用公路,下牢溪大桥宜昌端桥墩下。

## 一、工点处自然及地质概况

下牢溪大桥位于长江北岸的低山丘陵与构造剥蚀侵蚀山地过渡带,地形起伏,沟谷深切,岸坡高陡,相对高差达150~200m,下牢溪自北向南流入长江,河谷呈U型,水面宽20~40m。除沟床有第四系覆盖物外,两岸基岩裸露,为寒武系上统三游洞组灰质白云岩,层厚0.2~0.6m,产状 $N32^{\circ}E/5^{\circ}S$ ,向左岸坡内及下游倾斜。发育有两组高倾角的节理。桥址处右岸岸坡下部 $50^{\circ}$ ,上部 $20^{\circ}$ 相对平缓,左岸为修宜莲公路时开挖得人工边坡,坡度大部较陡,达 $75^{\circ}$ 以上,局部还为负坡,形成70余m高的岩石陡壁。陡壁顶裂隙已张开,系由节理发育而成,陡壁上部多处见有不连续的较光滑的面壁,系岩体沿节理面崩落后所留。陡壁多见溶沟、溶槽、小型溶洞等溶蚀现象,有裂隙水沿坡面下渗。陡壁岩体结构较紧密,无新近崩落痕迹,宜莲公路在陡壁脚下通过,桥墩所处岸坡大致由三段折线坡组成。第一段:从沟底至宜莲公路路面,高约30m,坡度 $34^{\circ}$ ,坡面基本为第四系堆积物,岸坡稳定。第二段:从公路至陡壁顶,坡高约72m,坡度约 $78^{\circ}$ ,大桥的桥墩即设在此坡段的坡顶内。第三段:从陡壁顶至山顶,坡高63m,坡度约 $60^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ,岸坡较稳定。第二、三坡段全部裸露基岩,为中厚层灰质白云岩,夹少量薄层灰岩,岩层倾向山内约 $5^{\circ}$ 左右,对边坡稳定稍有利;风化颇重至轻微;向河倾的高倾角微张卸荷节理较发育,间距大多在0.4~0.8m之间,对边坡稳定不利。桥墩基础埋置深度约为10m,挖基量约3000 $m^3$ ,基础以上中心挖高达27m,刷方量约15000 $m^3$ 。开挖中发现,岩体新鲜、完整,未见溶蚀现象。

## 二、桥墩下岩石陡壁稳定性分析

要做好宜昌拱座侧岩石岸坡的加固,首先应做好对该陡壁的稳定性评价,并建立起破坏时的

力学模型。通常,对于那些高度较低,有明显破坏面或顺层的岩石边坡,其力学模型易于考虑,而对象该陡壁这样高、陡,又切层的岩坡,其力学模型则较难建立,若将岸坡稳定坡角确定得过小,势必加大工程,造成浪费,若选择的过大,则又可能给大桥留下不安全的隐患,经我院工程技术人员及有关专家大量地工作,同时分析借鉴成昆、贵昆、孝柳、丰沙等既有铁路,类似高边坡资料,认为:该陡壁在桥荷载作用下的稳定坡角应在 $65^{\circ}\sim 68^{\circ}$ 之间。

为了科学地分析桥梁(墩、台自重及活载)荷载对陡壁稳定性的影响,合理地确定陡壁稳定坡角,给加固方案提供可靠依据,我院委托西南交通大学进行了该陡壁破坏模式的计算机模拟和应力、变形、强度等分析,经他们采用离散元法,有限元计算分析,提出了如下结论性意见。

### 1. 通过破坏模拟分析认为:

在岸坡陡壁顶修建拱座后,陡壁的变形主体是壁顶拱座影响范围内的岩体。该范围岩体的变形是一个统一而连续的过程,主要表现为:沿着垂直层理面的节理面的向下剪出。模拟结果还表明:如果采用增大岩体的块度(即完整性)的加固方法,陡壁岩体的稳定性可得到明显提高。

不同时段陡壁坡面不同壁高处岩块的位移增量曲线,同样表明位移变化最大亦为壁顶,从壁顶向下,其位移逐渐减小,在近坡脚处达到最小,而后因坡脚处是应力集中的区域,位移又有逐渐上升的趋势。位移增量曲线为岸坡加固范围及位置提供了依据。

2. 假设天然应力状态和桥荷载作用状态两种情况,以现有自然边坡 $78^{\circ}$ 坡角为参照系,分别就 $75^{\circ}$ 、 $66^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 坡角采用应力分析、变形分析和强度分析三种手段对岩体进行的数值模型模拟分析计算显示:

① 自然状态下,在 $78^{\circ}$ 、 $75^{\circ}$ 、 $66^{\circ}$ 坡角

的边坡岩体内没有明显的强度破坏区。但是,坡角的变化对应力场和变形场的影响表现出明显的界线,78°和75°坡角边坡岩体特征基本相同,坡角小于66°,尤其小于60°后,岩体内应力场和变形场状态有显著改善。

② 桥荷载作用下,四种坡角边坡岩体除表现出上述应力场和变形场特征外,强度特征也表现出明显界线。78°和75°坡角岩体的强度特征基本相同,在拱座下方和陡壁脚处岩体内出现较大面积的剪切应力区和张拉应力区。坡角66°时坡角处剪切应力区和张拉应力区明显减小。60°坡角时,坡角处剪切应力区和张拉应力区消失,拱座下方剪切应力和拉张应力区明显减小。据此认为,在桥荷载作用下,下牢溪大桥宜昌端桥墩下岩石陡壁采用的稳定坡角应小于66°。

三、岩石陡壁的加固处理

1. 加固采用力学模型及加固范围的选定

根据前述各项,综合陡壁的地质条件、外荷作用特点以及工程的重要程度,综合确定该陡壁的稳定坡角采用65°。

经多方案的设计比较,决定采用增大岩体块度的预应力锚索加固陡壁的方法。

锚索长度以锚住稳定坡角65°外岩体为度。

加固竖向高度为自公路路面至桥墩基底,高63m,但根据破坏模型分析,桥墩基础下1/3坡高及坡脚上1/3坡高范围内,应力集中,可能变形较大,是加固的重点坡段,对陡壁的中间范围坡高可仅适当加固,以减少工程投资。

横向加固宽度:自中心向路两侧各12.5m,共25m宽。

2. 加固措施

根据上述力学模型,设计按65°稳定坡角进行各项力学检算,经多方案比选,并报业主审定,决定采用重、轻加固相结合的工程措施(详见图1)。

对公路以上16m高的边坡设预应力锚索加固,锚索的水平间距及竖向间距均为5.0m,按不等边梅花形分布,每束锚索的最大张拉吨位是101.2t,永存吨位是65.8t,不再进行补张拉,以加快施工进度。

对桥墩之下21m的边坡设预应力锚索,锚索

的水平间距及竖向间距分别为3.5m及3.0m,按不等边梅花形分布,每束锚索的最大张拉吨位等与上述相同。

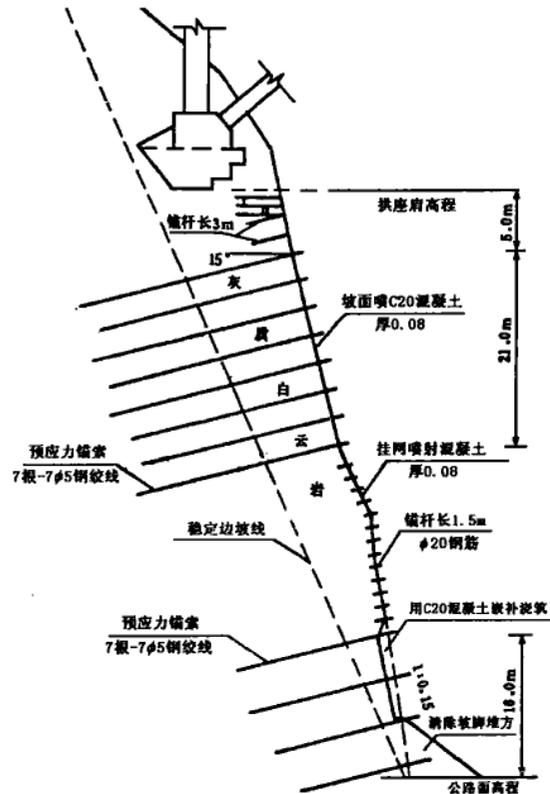


图1 锚索及锚杆布置示意

对中部其余边坡挂网喷射混凝土,挂网锚杆采用Φ20钢筋。

对边坡坡脚(公路路面以上)呈负坡的范围,用C20混凝土嵌补成与现有坡面同坡度的边坡,以防坡脚失稳。

在边坡加固的范围内,除坡脚浇筑C20混凝土,中部挂网喷射混凝土区外,为防止坡面风化、剥落,其余坡面全部采用C20混凝土喷射防护,喷射混凝土厚度为8cm。

预应力锚索的钻孔直径为Φ130mm,其成孔深度比钢绞线的有效长度加自由长度多0.5m,锚孔方向与线路方向一致,并与水平线向下成15°的倾角。

锚索的材料选用强度级别是1570N/mm<sup>2</sup>,公称直径为15mm的7Φ5钢绞线,每束(孔)锚索由7根7Φ5钢绞线组成。参考国内外大量已成工程实例,钢绞线的设计强度采用其材料保证强度

(下转第13页)

注浆、分序级张拉等来优控预锚参数实现；预压应力除地表层加压之外，一定深度的滑面上会同达到错动挤压，压力注浆体的抗剪能力加大，注浆锚索体的抗剪阻滑刚度加大三种效果，实质上是增加了岩体分散单元的抗卸荷能力，相当于C、 $\phi$ 值的提高。模型试验滑面上加压时的振颤挤压错动现象，达到压应变量加大的结论，在现场同样出现张拉时锚墩的振颤现象。见图5。

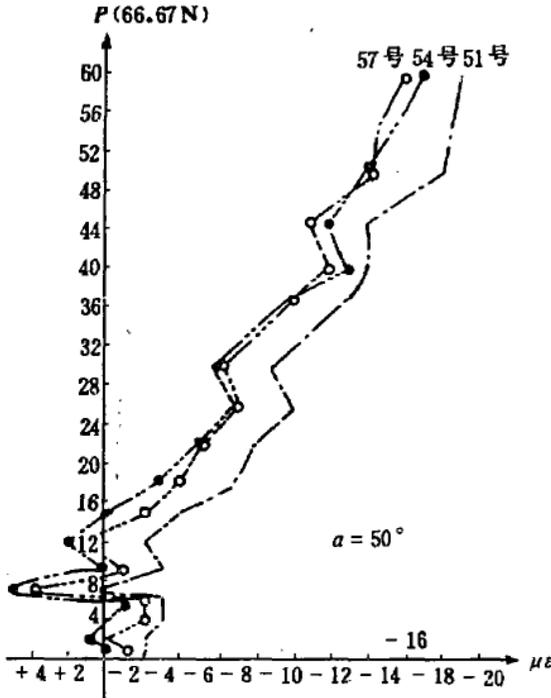


图5 层面挤压过程中准法向应变的振颤现象

滑面上的压密压紧的啮合过程，是预应力耗能过程，产生了滑面几何变形后摩擦能力提高，相应抗剪能力提高。为了取得最佳压缩效果，进锚方向参数取值宜选择与坡面成 $70^{\circ}$ ~ $90^{\circ}$ 之间布置。同时欲达到岩体整体力学性能的改善，必须采用群锚设计理论和方法，用单锚或少数锚索的经验推演群锚都忽略了变形体、动态时效和安全度不同而区别布锚等优控原则。

### 三、结语

群锚岩体已由原脆性松弛岩体预应力锚索的加入调整变柔韧，弹性能力大大提高，已成为一种新型复合材料，其受力传力与增稳机理从动态施工现场测试和模型验证中的地表变形、内部变形和压变效应等多侧面得到合乎机理的规律，这

些研究成果已从机理角度解释了群锚比，刚体锚的稳定性高的问题，同时从变形体的设计理论和方法中指出了群锚工程的系统论控制法，刚体法加固的简化力的平衡理论应结合变形体理论加以丰富完善，弥补上施工中对应应力损耗而造成的安全度降低，从施工中增加效应获得经济效益大有可为。群锚加固岩体的实质为功能转换，已为理论研究者重视并开发出可喜成果，对群锚机理的综合研究必将推进我国预锚技术的发展。

### 参考文献

1. 黄福德 李家峡水电站层状岩质高边坡现场大型预应力群锚加固机理试验研究，《西北水电》，1995.4.
2. 黄福德 层状岩质高边坡预应力群锚加固机理研究，《水力发电》1996.8.

(上接第35页)

的75%，锚索有效锚固长度的安全系数为3.0。

### 四、工程的实施情况及效果

本项加固工程于1995年8月份开工，同年年底竣工。截至目前，已经过近三年的考验，从现场返回的信息显示：工程效果良好，无边坡变形及预应力松弛等现象，通过本项工程的设计，笔者有如下体会：

1 预应力锚固技术，不但能处理象滑坡、坍塌、落石等工程，而且能解决桥梁、房屋等地基的加固问题。

2 对于较完整的岩体，预应力施工中的超张拉问题，笔者不主张用补张拉的办法，而主张将超张拉的吨位计入设计吨位，进行一次张拉到位，从而，减少施工中的循环，加快施工进度。