

九石阿二级公路南盘江特大桥 边坡综合治理对策研究

桂树强¹ 殷坤龙¹ 任 飞² 帅少军² 张万平²

(¹ 中国地质大学工程学院 武汉 430074) (² 湖北省交通规划设计研究院 武汉 430051)

摘要 建设中的九石阿二级公路南盘江特大桥位于云南省昆明市宜良县境内的峡谷地带,主墩所在的南盘江两岸山势陡峻,由白云岩构成的岩体被节理、裂隙切割成大小不等的岩块,有的甚至成为危岩体。由此所形成的边坡一旦失稳,将直接威胁大桥桥墩、桥台的安全,尤其是桥址区位于强地震带和强降雨地区。根据场地边坡工程地质条件,本项目综合采用了预应力锚索+联系梁、预应力钢索网、喷锚网防护、桩板式碎石挡墙、排水沟工程、喷播植草工程等工程措施对桥墩、桥台边坡进行治理。提出了预应力钢索网的概念,并对其设计与施工方法进行了阐述。同时,还对预应力锚索+联系梁技术进行了详细阐述。目前,治理工程正在施工之中。

关键词 工程地质,南盘江特大桥,边坡治理,预应力钢索网,预应力锚索,联系梁

分类号 P 642.22

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2004)08-1375-05

STUDY ON REMEDIATION STRATEGY FOR SLOPES OF NANPANJIANG BRIDGE ON JIUXIANG-SHILIN-ALUGUDONG SECOND-GRADE ROAD

Gui Shuqiang¹, Yin Kunlong¹, Ren Fei², Shuai Shaojun², Zhang Wanping²

(¹ Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074 China)

(² Transportation Design and Research Institute of Hubei Province, Wuhan 430051 China)

Abstract Nanpanjiang Bridge, a huge bridge under construction on the Jiuxiang-Shilin-Alugudong second-grade road, is located on the gorge terrain in Yiliang County of Kunming City, Yunnan Province, China. The two sides of the Nanpan River where the main piers are located are consisted of cliffs of dolomite rock matrix. The rock masses are decomposed into rock blocks of different sizes with lot of joints and fissures, and some of them have become dangerous ones. Having taken the engineering geological conditions of the slopes of the bridge into sufficient considerations, many kinds of measures are used in the remediation works, such as pre-stressed anchored cables with connection beam, pre-stressed cables net, combined bolting and shotcrete, combined piles and sheeting crushed-stone-retaining wall, drain trench, seeding works, etc. Pre-stressed cable net is used to control the dangerous rock mass in this project, and the concept, design and construction methods of it are creatively presented. This technique can be used effectively in the remediation works for dangerous rock mass, especially when size of the rocks is big enough and strength of them is high as well. Meanwhile the design method of pre-stressed anchored cables with connection beam is also introduced in details. The slopes remediation works are now under construction.

Key words engineering geology, Nanpanjiang Bridge, slope remediation works, pre-stressed cable net, pre-stressed anchored cable, connection beam

2002 年 12 月 25 日收到初稿, 2003 年 2 月 27 日收到修改稿。

作者 桂树强 简介: 男, 29 岁, 工程师, 现为中国地质大学(武汉)工程学院博士研究生, 主要从事地质灾害预防与治理研究工作。E-mail: guishuqiang@sohu.com.

1 引言

建设中的九(乡)石(林)阿(泸古洞)二级公路南盘江特大桥桥位西距云南省昆明市宜良县城 36 km, 东距南盘江柴石滩水库约 1 公里。南盘江特大桥设计桥长 635.80 m, 主桥墩跨距为 220 m, 结构型式为预应力钢筋混凝土连续刚构桥。大桥的主立面示意图如图 1 所示^[1], 图中, 0 ~ 为桥墩、桥台编号。

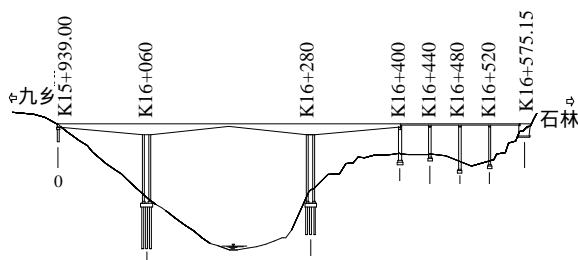


图 1 南盘江特大桥立面示意图

Fig.1 Sketch map of Nanpanjiang bridge profile

大桥位于南盘江峡谷地段, 沿大桥轴线河谷两岸地形变化较大。左岸 号桥墩所在陡崖段坡度角在 70° 以上, 右岸平均坡度角在 40° 左右, 是由震旦系灯影组白云岩构成的岩质边坡^[2]。两岸边坡坡高都在 80 m 以上, 广泛发育的节理、裂隙及岩层层面等不连续面把岩体切割成大小不等的岩块, 有的甚至成为危岩体。桥位处破碎的岩体将直接威胁桥墩、桥台的安全。根据地震安全性评价报告^[3], 该工程场地位于小江强地震带东侧近旁, 地震带历史强震对场地的最大影响达 8 度, 属高地震烈度区, 因而强地震对边坡稳定性的影响不容忽视。另外, 各桥墩、台在开挖基槽的过程中形成的一些人工边坡也是着重治理的对象。

本次边坡治理工程中, 综合采用了预应力锚索 + 联系梁、预应力钢索网、喷锚网防护、桩板式碎石挡墙、排水沟工程、喷播植草工程等工程措施^[4]。其中, 用于治理危岩体的预应力钢索网技术具有首创性。本文创造性地提出了预应力钢索网的概念, 并对其设计与施工方法进行了阐述。

2 边坡工程地质问题

本项目所涉及边坡除由弃渣形成的为土质边坡外, 其余均为岩质边坡。边坡岩性以硅质白云岩为主, 其间夹有变质石英板岩、石英岩及生物碎屑白

云岩。岩层走向与桥轴线呈小角度相交。区内主要发育有滑坡、崩塌、岩溶等不良地质现象, 以崩塌和岩溶为主。场区地下水以岩溶水为主, 亦存在季节性孔隙水及裂隙水。

由于白云岩属相对坚硬的岩石, 尽管被节理、卸荷裂隙、风化裂隙以及岩层层面切割成大小不等的岩块, 但岩体总体自稳性较好。根据地质报告揭示的情况看, 桥位区发生大规模滑坡的可能性不大, 但有发生危岩崩塌的可能性, 尤其是在未来暴雨或强地震以及其组合条件作用下。危岩崩塌体对桥墩桥台的主要危害体现在 2 个方面: (1) 南盘江两岸山势陡峻, 发生危岩崩塌时将有可能砸坏位于临河侧的桥墩, 主要指 号桥墩和 号桥墩。(2) 号墩临江侧边坡十分陡峭, 其坡度角在 70° 以上, 其西北侧存在一大型危岩体, 一旦崩塌, 将直接危及桥墩的安全。形成这一危岩体的原因主要在于该岩体的上方存在一平行于岩层走向(与桥轴线近垂直)的小断层, 断层的一盘也即危岩体所在位置在重力作用下向临江侧卸荷, 形成大量卸荷裂隙以及风化裂隙, 由于前述岩石较坚硬的缘故而未发生整体崩塌。在暴雨或地震营力的作用下, 该处有发生局部崩塌的可能性。因而需要采取措施对其进行治理。

各桥墩、桥台在开挖基槽的过程中形成一些人工边坡, 需采取一定的措施防止其风化剥蚀。 号桥墩下边坡表面堆积一定数量的松散岩土体, 是由弃渣形成, 需采取措施防止其形成泥石流。 号桥台西侧边坡由于开挖爆破, 在坡顶后缘出现一些裂缝, 也要采取措施对其进行治理。

3 边坡治理工程措施

号桥墩边坡是本项目的重点治理对象。对 号墩墩身所在岩体临江侧边坡采用了预应力锚索 + 联系梁的方法, 将墩身所在岩体锚固在其后坚硬的微风化岩体上。 号桥墩西北侧的危岩体采用预应力钢索网技术对其进行围护, 防止其在暴雨或地震等营力作用下发生崩塌。 号桥墩的上方设置桩板式碎石挡墙一道和截水明沟一条, 防止山坡上的滚石撞击桥墩以及地表水对桥墩的冲刷。开挖 号桥墩形成的人工边坡将与其他桥墩、桥台一样采取喷锚网的形式对其进行防护。 号桥台西侧边坡采用长锚杆进行锚固, 同时, 坡面采用喷射混凝土予以防护。 号桥墩下边坡表面堆积的松散岩土体首先进行清理, 然后铺设一层土工格栅, 并用短钢筋进行固定, 在此基础上, 采用喷播植草技术种植草皮,

同时，在坡顶设置截水明沟一道，以防止日后形成泥石流而阻塞河道。主墩边坡综合治理措施详见图 2。

下文将重点介绍本项目采用的预应力钢索网技术和预应力锚索 + 联系梁技术的设计方法与施工要点。

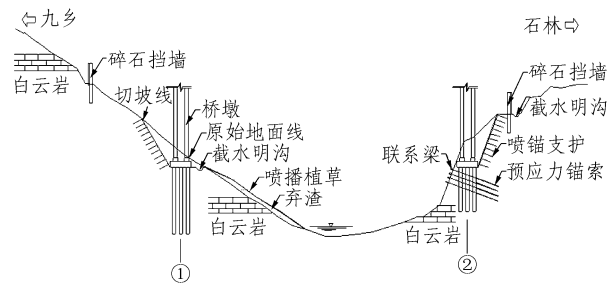


图 2 主墩边坡综合治理断面图

Fig.2 Profile of remediation works for the main pier slopes

4 预应力钢索网技术

在铁路边常常可以见到用铁丝网挂在岩质边坡的外面以防止坡上的滚石直接滚落到路基上，从而避免对行车安全造成危害。在前苏联也有工程用到铁丝编织的网状拦截结构对泥石流进行治理^[5]。目前，工程中大量采用的喷锚网技术同样也是一种网状围护结构^[6]。预应力钢索网技术是从这些工程措施中得到一些有益的启发，在本项目的应用具有首创性。其基本定义是：用于治理危岩体的一种网状柔性围护结构，一般由钢绞线束在水平和竖直方向按一定间距排列布设在危岩体表面，钢绞线束的两端锚固在山体中，并在钢绞线束中施加一定的预应力，在钢绞线围护力的作用下限制危岩体向临空方向的位移。相对于刚性围护结构而言，在水平地震力作用下，柔性围护结构能与危岩体一起作微小位移，同时，又限制了危岩体向临空方向的崩塌，而不会像刚性结构那样发生脆性破坏。这种围护结构适用的前提条件是危岩体本身的自稳性较好，组成岩体的岩块强度高，且岩块的几何尺寸较大并成块状，这样方能达到预期的围护效果。

预应力钢索网围护结构的另一优势是工程造价低。建设中的大桥桥址所在地向上游约 1 km 就是已建成的柴石滩水库，该水库右岸边坡采用普通预应力锚索对其进行加固，据说工程造价达 5 000 万元，而且施工十分困难。本项目采用这种方式从技术上是可行的，虽然从工程造价角度，尽管目前没有详细计算，估计业主也很难接受。但预应力钢索网围

护结构使用材料少，施工难度相对较低，用工也较少，因而工程造价是比较低的。

预应力钢索网围护结构的设计与施工技术难点包括：(1) 围护段钢绞线束的防锈蚀问题。(2) 围护段钢绞线束预应力值的确定。(3) 围护段钢绞线束预应力的施加与检测以及预应力损失问题。(4) 钢索网网格尺寸大小问题。本项目通过在围护段钢绞线束外包橡胶管并向管内冲填黄油来解决其锈蚀问题。在围护段钢绞束中施加预应力是为了使钢绞线束与危岩体更加紧密地接触，预应力值一般根据围护段钢绞束的长度按经验给定一个值，长度越大取值越高，本项目取值为 100 kN。围护段钢绞线束一端锚固在危岩体一端的稳定岩体中，另一端越过危岩体后在其另一端稳定岩体表面锚固在由 2 根预应力锚索进行固定的梁式桥墩中，并在此处施加预应力，详见图 3(图中，锚索 2 为围护段钢绞线束，锚索 3 为固定梁式桥墩的钢绞线束)。通过在初次张拉结束后进行周期性的补偿张拉来解决预应力的损失问题。钢索网网格大小根据岩体被节理、裂隙切割后形成的岩块的几何尺寸来确定，一般不应大于 3 m。

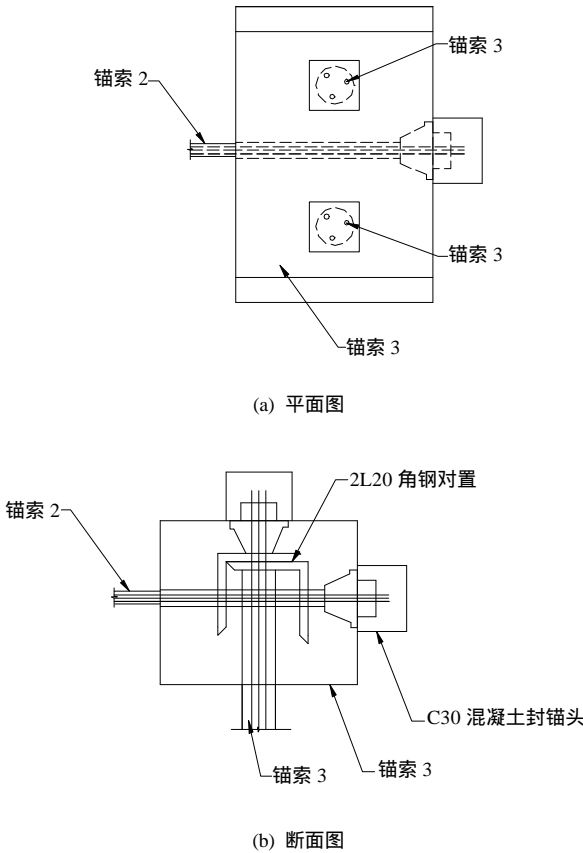


图 3 锚索 2 与锚索 3 连接详图

Fig.3 Detail drawing of the joint of anchor 2 with anchor 3

本项目采用预应力钢索网对 2 号桥墩西北侧边坡进行围护, 如图 4 所示。

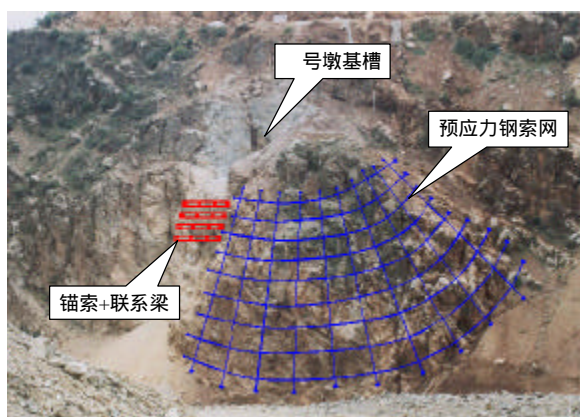


图 4 预应力钢索网加固 2 号桥墩西北侧边坡示意图

Fig.4 Sketch of remediation works for the northwestern slope of pier 2 by pre-stressed cables

5 预应力锚索 + 联系梁技术

预应力锚索 + 联系梁技术被证明是一种行之有效的边坡加固工程措施, 在许多工程中得到应用^[7~9]。2 号桥墩所在岩体临江侧边坡十分陡峭, 而且墩身桩基础离边坡很近, 应采取有效措施对其进行加固。本项目采用预应力锚索+联系梁的方法将墩身桩基础所在岩体锚固到其后坚硬的微风化岩体上。其平面布置与断面示意图 5 和 2 所示。

这一技术的力学模型按弹性地基连续梁^[10, 11]考虑, 锚索锚固点视为弹性铰支座, 其支座反力等于对锚索所施加的预应力。考虑到工程所在地边坡岩体强度很高, 可将其视为完全弹性介质, 且从简化计算角度, 不计预应力施加后在岩体表面引起的应力重分布, 从而将岩体的弹性抗力视为均布荷载, 如图 6 所示。利用力矩分配法计算悬臂部分均布力引起的弯矩, 而用弯矩系数法计算中间(A~D 范围)部分均布力引起的弯矩, 然后利用叠加原理计算出总的弯矩。根据弯矩计算结果, 利用静力平衡原理可计算出剪力分布^[11, 12]。由计算出的弯矩和剪力分布即可进行联系梁的配筋计算。本项目联系梁长 16 m, 锚索预加应力为 800 kN, 所计算出的弯矩和剪力分布如图 7 和 8 所示。

6 结 语

本文结合建设中的九石阿二级公路南盘江特大桥桥址区边坡工程地质条件, 分析了自然边坡和因

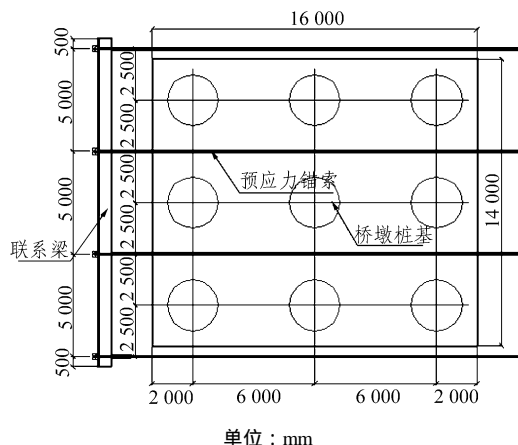


图 5 预应力锚索+联系梁加固 2 号桥墩墩身岩体示意图

Fig.5 Sketch of remediation works for the rock mass of main body of pier 2 by pre-stressed anchor cable with connection beam

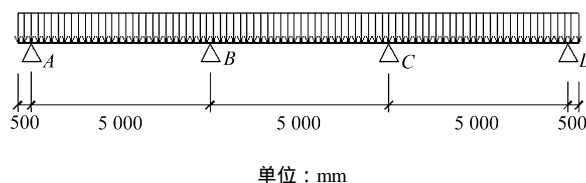


图 6 预应力锚索+联系梁加固体系力学模型

Fig.6 Mechanics model of the reinforcement system of pre-stressed anchor cable with connection beam

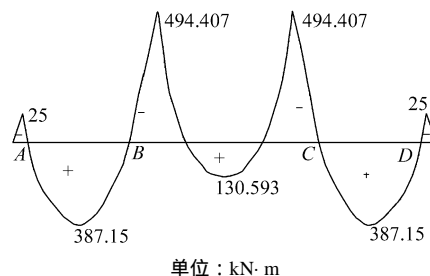


图 7 联系梁弯矩分布图

Fig.7 Bending moment diagram of connection beam

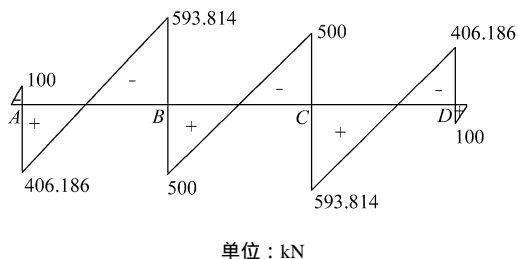


图 8 联系梁剪力分布图

Fig.8 Shear diagram of connection beam

开挖基槽而形成的人工边坡所带来的工程地质问题。文中介绍了预应力锚索 + 联系梁、预应力钢索网、喷锚网防护、桩板式碎石挡墙、排水沟工程、喷播植草工程等工程措施在本项目边坡治理工程中

的综合应用。本文重点介绍了预应力钢索网和预应力锚索+联系梁的设计方法。其中,预应力钢索网在本项目的应用具有首创性,文中,对其概念做了界定,并对其设计与施工技术难点以及解决方法进行了阐述。目前,南盘江特大桥边坡治理工程正在施工之中,其工程效果有待进一步进行评估。

致谢 本文承蒙中国科学院武汉岩土力学研究所黄理兴研究员指导,特此致谢!

参 考 文 献

- 1 张万平,任 飞. 九石-石林二级公路南盘江特大桥施工图设计[R]. 武汉:湖北省交通规划设计研究院,2001
- 2 邓绪云. 九石-石林二级公路(K15+940-K16+560 段)南盘江特大桥工程地质勘察报告[R]. 昆明:中国有色金属工业昆明勘察设计院,2001
- 3 王 彬. 九石阿二级公路南盘江特大桥地震安全性评价报告[R]. 昆明:云南省地震工程研究院,2001
- 4 桂树强,任 飞,张万平. 九石阿二级公路南盘江特大桥边坡工程专题施工图设计[R]. 武汉:湖北省交通规划设计研究院,2002
- 5 Popov N. Debris flows and their control in Alma-Ata, Kazakh SSR, USSR[J]. Landslide News, 1990, (4): 25~27
- 6 陈建平,唐辉明,李学东. 岩质边坡喷锚加固应用中的几个问题[J]. 地球科学,2001,26(4):357~360
- 7 彭先孚,李玉生. 万县市豆芽棚滑坡的特征及治理[J]. 中国地质灾害与防治学报,1995,6(1):68~73
- 8 陈静曦,章 光,袁从华等. 顺层滑移路堑边坡的分析与治理[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(1):48~51
- 9 夏 雄,周德培. 预应力锚索地梁在边坡加固中的应用实例[J]. 岩土力学,2002,23(2):242~245
- 10 宋从军,周德培,肖世国. 预应力锚索地梁的内力计算[J]. 西南交通大学学报,2001,36(5):486~490
- 11 陈仲颐,叶书麟. 基础工程学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995
- 12 龙驭球,包世华. 结构力学教程(上册)[M]. 北京:高等教育出版社,1991

973 项目《灾害环境下重大工程安全性的基础研究》启动大会在北京召开

根据首席科学家决定,973 项目《灾害环境下重大工程安全性的基础研究》启动大会于 2003 年 8 月 8~9 日在北京京民大厦隆重如开。来自中国科学院武汉岩土力学研究所、中国矿业大学、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院力学研究所、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国地震局地球物理研究所、清华大学、河海大学、上海交通大学、大连理工大学、同济大学、黄河水利委员会勘测设计研究院等单位的 70 余名代表参加了会议。

应首席科学家邀请,项目建议人与项目专家组成员郑哲敏院士、王思敬院士,项目专家组成员何满潮教授专程参加会议;项目依托部门领导:中国科学院资环局固体地球科学处张敬东处长、教育部科技司基础研究处高润生处长、中科院高技术局能源与化工处王玉兰处长也专程参加了会议。

在项目学术与管理报告会上,谢和平院士向与会人员介绍了本项目立项依据、拟解决的科学问题、课题设置情况、总体研究目标以及本项目的组织管理方式和思路。冯夏庭教授介绍了关于项目实施进展、管理办法及项目经费管理办法。9 个课题负责人分别做了课题研究目标和进展报告。会上,大家积极提问,热烈讨论,形成了良好的学术氛围,研究人员不但明确了本课题的研究内容与目标,而且了解了其他课题的研究内容与目标,为今后本项目研究与交流奠定了良好基础。

在课题分组讨论会上,各课题就项目与课题的研究内容、目标与管理模式开展了热烈讨论。通过讨论,进一步细化和明确了研究成员的研究目标与任务,并对项目和课题的管理提出了许多建设性意见。

在大会闭幕式上,首席科学家谢和平院士作了总结讲话,强调大家应该珍惜国家给我们做 973 项目的机会,认真对待 973 项目,将 973 项目的研究作为科研工作的主要任务。大家应该真正做点东西,我们虽然需要 SCI, EI 论文,但是我们更需要理论上有一些创新。他希望各个课题组成员每半年交流一次,认真完成科研目标,要求项目办公室加强与各个课题成员之间的交流,将项目简报发到每个课题成员的手中,并办好 973 项目网站。首席科学家冯夏庭教授强调了项目的管理问题,因为本项目管理涉及到 9 个课题,不同地区、不同系统的多个单位,管理上难度较大,希望大家多多配合,按要求的时间内向项目办公室提供有关资料与报告,以保证项目研究简报的按期发布,网站及时更新,研究成果及时上报,树立项目的良好形象。

(中国科学院武汉岩土力学研究所 973 项目办公室 盛 谦 曾 静供稿)