

金沙江龙蟠变形体隐伏构造 CSAMT 探测与解译

谭儒蛟¹, 胡瑞林¹, 徐文杰¹, 梁辉², 曾如意², 龚飞¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国水电顾问集团中南勘测设计研究院, 长沙 410083)

摘要 龙蟠变形(岩)体位于金沙江宽谷河段右岸, 规模巨大. 此处区域主构造线为近 SN 向的中甸—龙蟠—乔后断裂带, 地质构造背景极其复杂. 为查清变形体内的隐伏构造, 本次运用 V6A 多功能系统展开了 CSAMT 法探测研究. 通过对 CSAMT 反演电阻率断面和钻孔、平洞等所获取的工程地质信息的综合解译分析, 检验了 CSAMT(V6A 系统)法在高山峡谷区隐伏构造探测中的有效性和可靠性, 解译成果全面清晰地揭示了冲江河断裂等在金沙江宽谷河段的展布格局, 同时为龙蟠变形体稳定性评价提供了关键性地质资料.

关键词 龙蟠变形体, 隐伏构造, 大地声频电磁法, 金沙江

中图分类号 O 319

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2007)01-0283-06

CSAMT exploration and geological interpretation of perdue tectonic structures of Longpan deformation slope in Jinsha River

TAN Ru-jiao¹, HU Rui-lin¹, XU Wen-jie¹, LIANG Hui², ZENG Ru-yi², GONG Fei¹

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. Central-south Hydroelectric Investigation, Design and Research Institute of State Power Corporation, Changsha 410083, China)

Abstract Longpan deformation slope lies at the right bank of the strath in Jinsha River. The areal geology tectonics here belongs to the Zhongdian—Longpan—Qiaohou faults belt region, the tectonic structures in this area are complicated and blurry. In order to get to the bottom of the tectonics, multifunctional V6A system in CSAMT method is applied. Case studies in this area show that CSAMT method with V6A system is an effective approach to explore perdue faults under quaternary stratum in high mountains and steep gorge area. By interpretation the CSAMT and engineering—geology exploration information synthetically, the tectonic pattern of Longpan area is put forward for the first time in this paper, and the conclusion is the base of analyzing the stability of Longpan deformation slope.

Keywords Longpan deformation slope, perdue tectonics, CSAMT, Jinsha River

0 引言

龙蟠变形体位于金沙江宽谷河段右岸, 规模巨大. 因第四系覆盖层深厚, 其地质构造复杂不清, 本次采用 CSAMT 法来开展高山峡谷区斜坡深部隐伏构造的探测工作. CSAMT (Controlled Source Audio-frequency Magnetotelluric) 即可控源音频大地电磁法, 是 20 世纪八十年代兴起的一种电磁勘探技术, 广泛应用于矿产、水资源和地热等领域的勘查, 并取得了较好的应用效果^[1~4]. 本次实践表明, V6A 多功能系统的 CSAMT 法也是探测复杂条件

下隐伏构造的可靠方法, 本文还结合钻孔、平洞资料等工程地质信息对 CSAMT 反演电阻率断面进行了地质解译.

1 研究区基本概况

1.1 地形地貌

龙蟠变形体位于云南省迪庆州中甸县与丽江县交界处宽谷右岸, 距著名的长江第一湾——石鼓大拐弯下游约 26 km. 此处河流流向为 NW350°, 枯水季节水位为 1 807 m, 水面宽 164 m, 水流平稳, 主流线略偏右岸, 两岸均有狭长的 II 级阶地分布, 阶面高

程 1 830 m. 两岸山体高出河面 600~800 m, 左岸坡度 30°~32°, 右岸地形坡度 28°~30°, 第四系崩坡积覆盖层厚 5~40 m 左右, 植被发育^[5,6].

1.2 区域地质

研究区的大地构造属性是扬子地台西缘的被动大陆边缘性质, 区内深大断裂发育, 主要有近 SN 向、NE 向和 NW 向三组重要构造带, 其中近 SN 向的中甸—龙蟠—乔后断裂带构成了研究区的主构造线. 在此宽谷河段地区, 自西向东发育有小羊场—五头上断裂(F₁)、冲江河断裂(F₂)、白汉场断裂(F₃)和哈巴雪山—西龙断裂(F₄)等区域性断裂(见图 1). 区内新构造活动强烈, 以大面积整体间歇性急速抬升和以大断裂为边界的断块之间的差异升降运动¹⁾为特征.

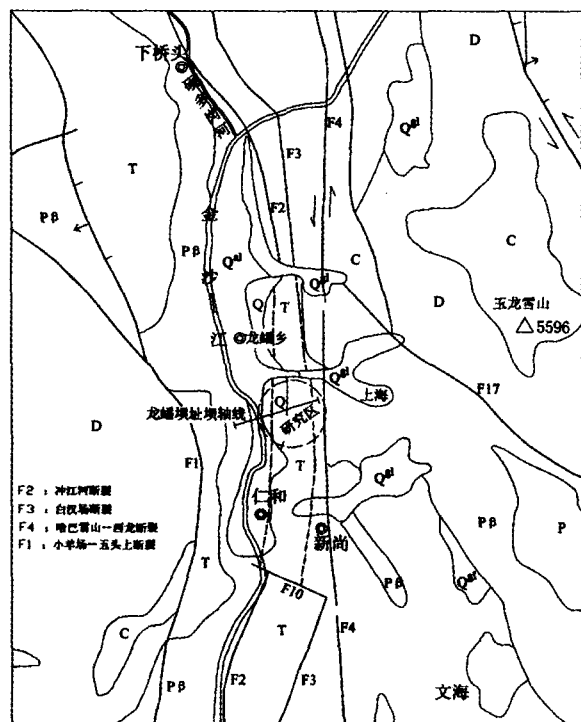


图 1 金沙江宽谷段区域地质构造纲要图

Fig. 1 Map of geological tectonic in the strath

1.3 问题的由来

因第四系残坡积覆盖层深厚和植被发育, 近 SN 向的冲江河断裂(F₂)和白汉场断裂(F₃)两大区域性断裂(见图 1)在宽谷区未追溯到出露证据, 且在已有的相关资料和图件上, F₂ 和 F₃ 均未见明示.

然而 F₂ 和 F₃ 如何穿越宽谷河段及其活动性特征问题是值得探索的问题. 此外, 龙蟠右岸地形向河谷方向宽缘突出, 形成“鼓肚”地貌, 在约 2 100 m 高程左右的斜坡后缘出现零星台地, 同时经钻孔、平洞揭露右岸岩体呈深层破碎状态, 产状变化较大, 小断层、泥化夹层和拉张裂缝等不良地质现象十分发育, 称其为龙蟠变形体. 因此查清宽谷区的构造格局, 探索隐伏断裂构造与龙蟠变形岩体成因机制间的相互关系, 对库岸稳定性分析具有重大意义. 本次运用 V6A 多功能系统展开了隐伏构造的 CSAMT 法探测研究, 并结合相关工程地质信息进行了隐伏构造的地质—地球物理联合解译.

2 CSAMT 法探测

2.1 CSAMT 法的理论基础

CSAMT 法^[7~11]是基于电磁波传播理论和麦克斯韦方程组, 导出了电场(E_x), 磁场(H_y)与视电阻率(ρ_s)的关系式

$$\rho_s = \frac{1}{5f} \frac{|E_x|^2}{|H_y|^2}, \quad (1)$$

式中 f 代表频率. 由(1)式可见, 只要在地面上能观测到两个正交的水平电磁场(E_x, H_y)就可获得地下的视电阻率 ρ_s .

又根据电磁波的趋肤效应理论, 导出了趋肤深度公式

$$H \approx 256 \sqrt{\frac{\rho}{f}}, \quad (2)$$

式中 H 代表探测深度, ρ 代表电阻率, f 代表频率.

从(2)式可见当地表电阻率固定时, 电磁波的传播深度(或探测深度)与频率平方根成反比, 高频时, 探测深度浅, 低频时, 探测深度深. 人们可以通过改变发射频率来改变探测深度, 达到频率测深的目的.

CSAMT 法的优点是可控制的人工场源, 信号强度比天然场要大得多; 比值测量可减少外来的随机干扰, 并减少地形的影响; 基于电磁波的趋肤深度原理, 利用改变频率进行不同深度的电测深, 大大提高了工作效率; 横向分辨率高, 可灵敏地发现断层; 由于接收机在接收电场的同时还要接收磁场, 因此高阻屏蔽作用小, 可穿透高阻层. 同时也存在一些缺点, 比如静态效应(地表电性不均匀会影响到深部的测量结果), 以及近场效应等.

1) 中国地震局地质研究所. 金沙江虎跳峡水电站工程场地地震安全评价和水库诱发地震评价报告. 2004, 05.

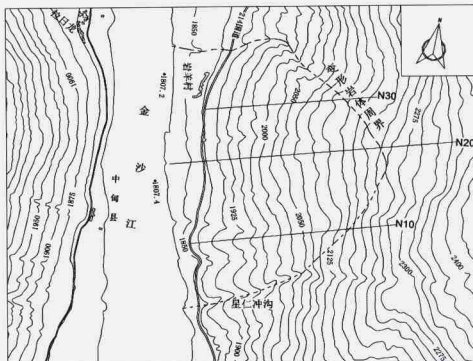


图 2 CSAMT 测线布设平面示意图

Fig. 2 Plan of CSAMT exploration lines

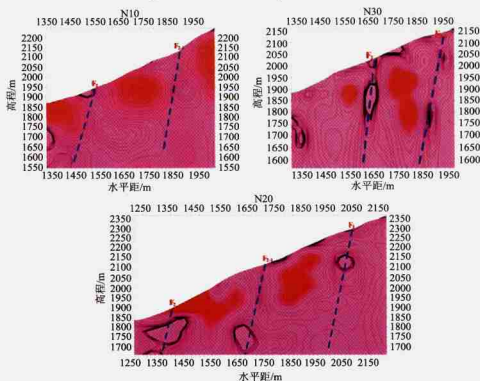


图 3 N10、N20 与 N30 测线解译断面图

Fig. 3 The interpretation profiles of line N10, N20 and N30

2.2 探测方案设计

本次 CSAMT 探测仪器为 V6A 系统,它是目前 CSAMT 法最先进的仪器之一,具有频点加密、分辨率高、发射机与接收机采用精密 GPS 时钟同步、相位误差小、自动化程度高等特点.探测区主构造线方向为近 SN 向,因此探测隐伏构造的 3 条主测线方向布置为 EW 向,如图 2 所示,由南往北依次为 N10、N20 和 N30.根据探测目的和野外地形等实际条件,并经方法实验,确定发射和接收的频率采用高频段 213~23 Hz,收发距 R 为 4 000 m,测点距为 20 m,供电偶极距为 1 000 m,供电电流为 10 A 以上. EW 向发射偶极位置位于研究区南侧(金沙江上游方向),平行 EW 向测线, AB 偶极的中心位置在测线的中垂线上.

2.3 CSAMT 法探测反演断面

对野外采集数据通过剔野值、去噪、滤波及近场校正处理,然后进行一维反演处理,得到每个测点不同深度的电阻率值,电阻率数据的大小用分等级色彩显示,颜色由浅到深代表电阻率由低到高的变化,这样得到如图 3 所示的 EW 向 N10、N20 和 N30 三条主测线的反演电阻率断面图.在电阻率断面图上,均表现出明显的电性差异,并且高阻带和低阻带的分布具有明显规律性.

3 CSAMT 反演断面的地质解释

在电阻率断面图上,高阻带与低阻带的分布具有明显的规律性.在三条测线上表层低阻是第四系崩坡积松散堆积体的反映,成分为风化粘土夹碎石,

厚度 5~40 m 不等.深色高阻体呈片状分区出现,且低阻区的分布在三条测线上具有空间上的一致性和对应性,地表高程分别在 1850 m、2 100 m 和 2 300 m 左右的位置,其中 N10 和 N30 测线未延伸到 2 300 m 高程位置.在 N20 测线对应的工程地质剖面图(见图 4)上,斜坡在 2 000 m 高程以上山体均为薄层砂质板岩和中厚层状砂岩互层,地层岩性没有明显差异,据此推断电阻率断面图上所反映的电性差异并不是地层岩性差异造成的.

N20 测线中近岸低阻带可由钻孔等资料来加以解释,如图 4, ZK40 和 ZK4 的孔口高程分别为 1 860 m 和 1 890 m, ZK40 孔深 211 m,揭露的地层是上部 0~21 m 为坡积灰色至黄褐色砂质粘土夹碎块石,碎块石多为棱角状,成分主要为板岩及少量灰岩;21~197 m 为古湖相沉积,主要为黄褐色粉细砂及卵砾石层,卵砾石磨圆~次磨圆,局部夹有薄层黄褐色砂质粘土及碎块石;197 m 以下为下三叠统黑色炭质板岩,陡倾节理较为发育,岩芯破碎.而 ZK4 孔深 100 m, 0~16 m 为坡积物,16~100 m 为板岩、砂岩和灰岩碎块,夹黄色粘泥,成分混杂,岩芯采取率极低,揭露的是一典型构造破碎带.同时在 N20、N10 和 N30 测线的电阻率断面图中均出现了近岸异常低阻带.上述钻孔资料和 CSAMT 证据说明近岸发育有深部断裂,造成古湖相地层与右岸斜坡岩体呈断层接触,且通过此处的断裂活动与龙蟠古湖解体与宽谷河段贯通等河谷演化史相关,结合区域地质构造格局,可以确定其为冲江河断裂(F2).

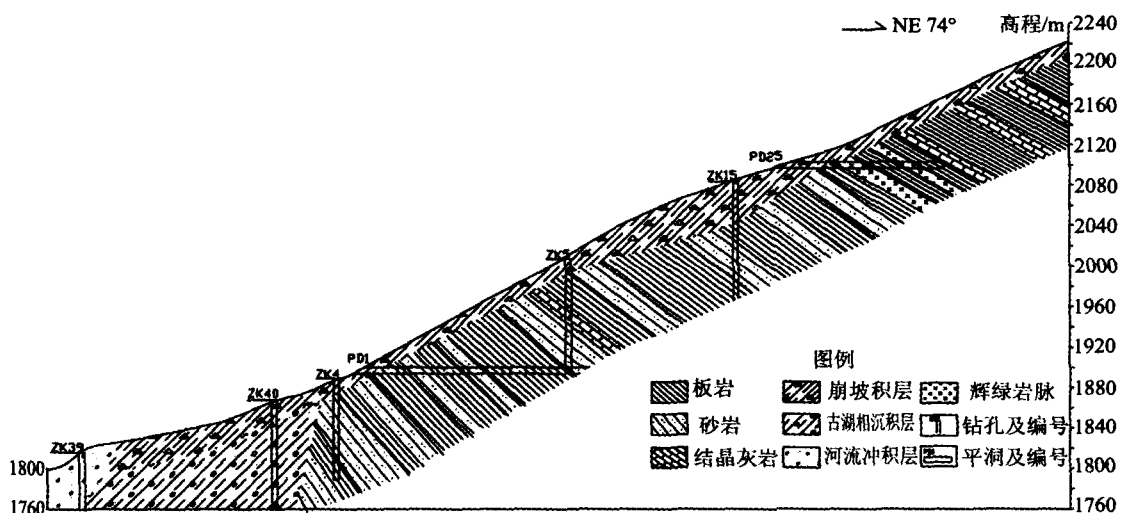


图 4. 龙蟠变形体工程地质剖面示意图

Fig. 4 The geology section of Longpan deformation slope

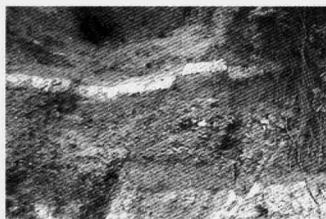


图5 三家村吊桥东侧阶地中断层照片

Fig. 5 Picture of faults in terraced stratum

此外,在三家村开发区吊桥东的Ⅱ级阶地堆积物中发育有的系列小断层(如图5),其中倾向NW的小断层切错古土壤层、砂砾层和倾向SE的小断层等,并根据断层产状判断此处系列小断层不是重力作用下滑塌之地质迹象,而是与F2断裂晚期活动相伴生的次生小断层露头。同时在松园大桥右端开挖剖面上,也揭露了古龙蟠谷地填充粘土碎石层中的一系列小型正断层以及填充有河流相粉砂的宽10~30cm不等的裂缝,并且发育有表征古地震的快速堆积体及其扩散物质组成的崩积楔^[1](见图6),结合区域地质地形背景可推断F2断裂从附近通过。在图6中可见所有断层均未达到上部腐植土层,据此判断F2断层属晚更新世以来没有活动性。

地貌上在右岸2100m高程处存在零星小平台和陡坎,在N20测线上2080m高程有250m深的钻孔ZK15,在孔深70~78m揭露的是夹泥的砂岩碎块和板岩碎屑混杂而成的软弱层,并可见少量糜棱岩和角砾状石英等,而且ZK15全孔岩体破碎,

其岩芯采取率不到10%。在CSAMT法三条测线上的2100m地表高程下均反映了电阻率低值带,综合地貌、钻孔和CSAMT勘探资料可以推测断层F2-1(见图3),视为冲江河断裂的伴生次级断层。

在电阻率断面图上,N20测线上地表2300m高程下方坡体内也出现了异常低阻带,推测存在断层F₃,事实上,在龙蟠坝址区北部,区域性的白汉场断裂自上海西北,经龙蟠、新尚等地向南延伸,上海西北见断层堙口地貌,在横切断层陡崖和槽地的探槽实测剖面1)(图7)中可见二叠系玄武岩中有小断层和破碎带,晚更新世以来的沼泽相地层覆于中更新世粘土层之上;剖面东侧边界断层(图7中F₅)明显控制切错中更新世粘土层,而未见错断上覆晚更新世以来的坡积腐植土,剖面西侧沼泽相及下伏粘土层向西超覆于二叠系玄武岩层之上,因此断裂最新活动主要发生在中更新世末期,此外,往南在新尚村北2250m高程左右则可见如图8所示的典型古断裂三角面,由此判断CSAMT法N20测线2300m地貌高程下的低阻异常为白汉场断裂(F₅)(或其分支)在龙蟠的出露位置。

上述CSAMT探测反演断面和工程地质信息联合解译分析结果揭示了宽谷段的构造格局(参见图1中虚线标记):冲江河断裂(F₂)从龙蟠坝址右岸坡脚切过,往南经仁和附近延伸至松园大桥东,它是宽谷段河谷形成演化和龙蟠右岸深厚古湖相沉积层的控制性构造因素。白汉场断裂(F₅)(或其分支)在研究区北部自上海西北经龙蟠右岸坡2300m高程位置通过,再由新尚而往南延伸,F₂与F₅近平行切过金沙江宽谷右岸,在松园桥南被NW向断裂F10切错。

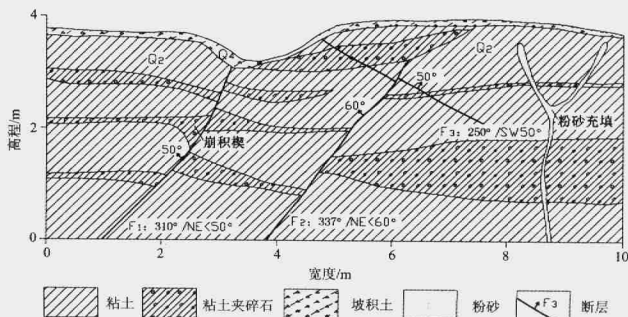


图6 松园桥东侧断层素描

Fig. 6 Fault sketch at the east side of Songyuan Bridge

