

# 综合勘探在武汉军山长江大桥勘察中的应用

杨志波,刘玉山,杨银湖,姚元梅

(湖北省交通规划设计院,湖北武汉 430051)

**摘要:**单一的勘探手段很难适应高速公路基本建设对勘察设计的高水平、高质量和高效率的要求。将钻探、地震勘探、重力勘探、磁法勘探、电视测井、声波测井等勘探手段综合运用于武汉军山大桥地质勘察中,不但精确探明了桥墩处地层岩性的风化程度、裂隙的位置、产状、规模、岩石完整性等,准确提供了岩石的力学参数,而且缩短了勘察周期,降低了成本。

**关键词:**单一勘探手段;综合勘探模式;军山长江大桥。

中图分类号: P642 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0336-04

**作者简介:**杨志波(1963—),男,高级工程师,主要从事公路工程地质专业方面的生产和研究工作。

武汉军山长江公路大桥是京珠、沪蓉两条国道主干线及武汉市外环高速公路跨越长江的枢纽工程。大桥为双塔双索钢箱梁斜拉桥,主桥长 988 m,孔跨布置为 60+204+460+204+60 m 五连续钢箱梁斜拉桥;引桥长 1 567 m,其中两岸过渡孔桥和引桥均采用预应力混凝土连续箱梁方案,两岸引道长 2 034 m,桥面宽度 33.5 m,引道路面宽度 35 m。双向 6 车道,设计时速 120 km/h,总投资 13.05 亿元,按计划必须于 1998 年底开工,于 2002 年 4 月完工。

初勘外业于 1998 年 4 月 1 日才开始,而 5 月 10 日为法定汛期,必须终止一切外业勘察工作,所以必须在 40 d 内完成初勘工作。由于长江水深浪大流急,工作难度大,因此,本阶段我们采用以物探为先导、物探指导钻探、钻探印证物探、多种手段并举的方针,应用了地震勘探、微重力勘探、磁法勘探、钻孔 14 个(水上钻孔 7 个),达到了初勘的目的。发现了 2 条顺江断层( $F_1$ 、 $F_2$ ),并对其性质作出了分析;于北岸发现磁异常,推断为岩浆岩侵入所致;对大桥基础类型及持力层的选择作出了评价。对桥位区地层稳定性、桥位区工程地质条件及岩土的物理力学性质作了较全面的阐述。

1998 年 9 月底开始详勘,11 月初结束。因江面上浪大流急,钻机随船体波动增加了对岩心的破坏作用,单凭岩心破碎程度不能判明桥基岩体的完整

性,因此,本阶段以钻探为主、物探为辅,重点应用孔中电视测井、声波测井查明主桥墩处持力层岩体的稳定性、完整性,还用钻探手段,进一步查清了顺江断层( $F_1$ 、 $F_2$ )的位置、性质、规模、产状及其对大桥的影响,验证了磁异常地质体的性质,进一步查清了各桥墩处地层的工程地质性质,为大桥施工图设计提供了翔实的基础资料,为确保大桥年内开工赢得了时间。

## 1 桥址区地质背景和地球物理条件

### 1.1 地貌条件

桥址附近地貌总体属南高北低的构造剥蚀低山丘陵与垄岗平原区。大军山为桥位区内最高点,海拔 196.7 m。山顶基岩裸露。山麓存在残坡积层,由含碎石粘性土组成,构成长江三级阶地,标高 40.0~60.0 m。垄岗平原地带则由冲洪积成因的粘性土组成,构成长江二级阶地,标高 23.0~40.0 m。近长江两岸平坦农田地带由冲洪积成因的粘性土、砂性土组成( $Q_1^{pal}$ ),构成长江一级阶地及河漫滩,标高 20.0~24.0 m。

长江自西向东呈北东 30°流经桥址区,桥位处河道较为顺直,江面宽约 1 000 m。洪水时江面宽 1 200 余 m。桥位处河流主航线靠近北岸,江底较为平坦,最低点标高 -5.43 m。两岸为高约 8.00 m 的人工堤防,堤

顶标高为 29.0~30.0 m,河床断面呈“U”型。

## 1.2 区域地质条件

桥位区位于扬子断块区的江汉块陷与下扬子隆陷带的交接部位。

下扬子隆陷带地处江汉块陷东侧,北以襄广断裂、南以路口断裂为界,呈三角形分布。桥址近场区,经印支运动、特别是受燕山运动南北向水平挤压作用,导致前三叠纪地层产生褶皱和断裂,由此形成近东西向的紧密线状褶皱和与之相配套的近东西向压扭性断裂。区域内褶皱相当发育,表现为背斜宽、向斜窄的紧密线状褶皱状态,个别背斜呈扇形褶曲,背斜核部由志留纪地层组成,向斜轴部为较新的二叠纪—三叠纪地层。如黄陵矾背斜、大军山向斜等。

区内北东—北北东向断裂最为发育,其规模较大,且切割古老的北西西向褶皱及断裂。桥址处存在的主要断裂即为武汉—洪湖断裂。它是江汉及洞庭块陷东缘的一支控制性断裂,表现为 2~3 条平行断层。该断裂走向北东 20°~25°,倾向西,喜山运动期活动明显,差异活动旺盛期止于中、晚更新世,全新世以来断裂带差异活动集中于断裂南(洪湖)北(武汉东)两端,表现为断裂东侧上升,西侧下降,桥位处于该断裂中段,两侧阶地基本对应,两侧第四系厚度大体相当,表明差异活动已趋微弱。

测区下扬子隆陷带内古生代志留纪以来沉积了一套较完整的陆海相地层,基岩大面积出露,或隐伏于第四系之下,主要地层为中志留统坟头组,上泥盆统五通组、上石炭统黄龙—船山组、下二叠统孤峰组及第四系。

## 2 综合勘察

### 2.1 初勘方法选择及测线布置

初勘的重点和难点是主桥部分水上勘探,其目的是探明沿江断裂的位置、性质、规模、产状及持力层的工程地质特征。在桥址区采用地震勘探、高精度磁法勘探和微重力勘探手段确定断层的平面位置和产状,再结合钻探资料进行验证。

地震勘探采用 GeoPen 系列 24 道浅层地震仪,采用炸药震源,陆上部分用 24 道单边放炮三次覆盖观测系统,水上部分用水上勘测船 12 道双边放炮单次覆盖观测、全站仪测量定位系统。在桥轴线上及平行于桥轴线的上、下游各 80 m 的位置布置了 3 条水上地震测线,在顺江向布置了 2 条水上地震测线,另

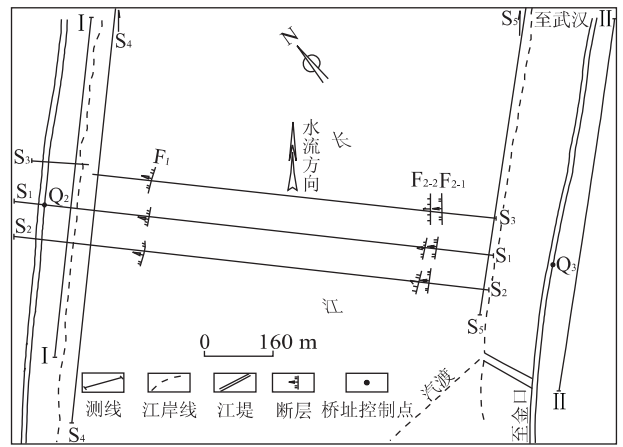


图1 武汉军山长江大桥物探工作布置

Fig. 1 Geophysical exploration plan in Junshan Yangtze bridge

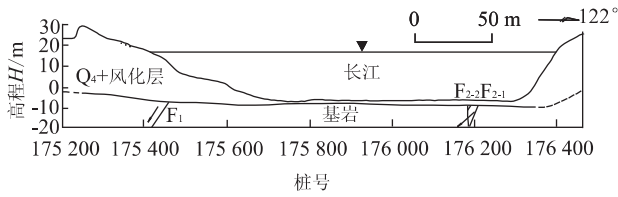
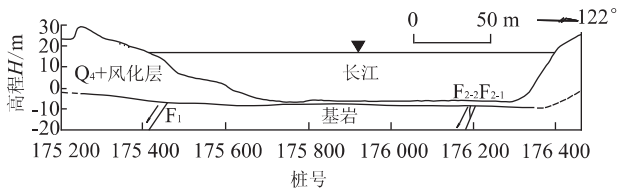
外,在南北两岸上布置了 2 条测线(I 线和 II 线),北岸测线(I 线)位于江堤迎水面,方位角 NE32°,南岸测线(II 线)位于江堤背水面,方位角 NE35°,每条测线都进行了微重力勘探和磁法勘探。用综合物探成果指导钻探并及时调整孔位。并在拟选桥位周围 2 km×4 km 的范围内作了地质调绘和地质填图。

### 2.2 物探成果

**2.2.1 地震勘探** 通过地震勘探在与大桥轴线平行的 3 条测线剖面上发现 2 条断裂带(图 1)。其中, F<sub>1</sub> 断裂位于 K175+470 处,该断裂与测线垂直(沿江走向),即走向约北东 30°,倾向西北,倾角约 60°,推测为正断层,规模较大,平面宽度 15~20 m,破碎较为严重。F<sub>2</sub> 断裂位于 K176+130 至 K176+200 处,即走向约北东 28°,倾向西北,倾角很大,约 60°~80°,推测为正断层,规模较大,破碎较为严重。地震测线成果解释见图 2,3。S<sub>4</sub>、S<sub>5</sub> 2 条测线剖面上,未发现沿桥轴线方向发育较大规模的断层。

**2.2.2 高精度磁法勘探** 本次完成磁测剖面 2 条,总长度 2 km,实测磁力物理点 402 个,磁测均方误差达到高精度磁测标准,从图 4 中可知,测线 I 存在 2 处磁异常。

I 线磁异常解释:从剖面磁异常图看,磁测基点处的磁场值偏低约 30 nT。位于剖面中点(450 m 处)的局部异常形态规整,强度和分布范围均较大;位于 700 m 处的局部异常梯度大,呈尖峰状态分布。剖面磁异常的反演结果见图 4。图 4 中 5 个模型体的磁性取值分别为  $100 \times 10^{-3}$ ,  $800 \times 10^{-3}$ ,  $250 \times 10^{-3}$ ,  $1200 \times 10^{-3}$ ,  $350 \times 10^{-3}$  A/m,有效磁化强度

图 2 浅层地震 S<sub>2</sub> 测线地质解释成果Fig. 2 Geological explanation for seismic geophysical exploration line S<sub>2</sub>图 3 浅层地震 S<sub>3</sub> 测线地质解释成果Fig. 3 Geological explanation for seismic geophysical exploration line S<sub>3</sub>

的方向为 54.5°。从区域地质和地震区划等资料来看,武汉至洪湖断裂在洪湖、嘉鱼一带有火成岩分布,而且该断裂并没有形成重力梯度带,这对于张性深大断裂来说是很少见的,因此不排除该断裂中段较深部有岩浆侵位,因此,模型 2 磁性异常推断为充填在断裂存在破碎带之中的侵入岩脉或热液变质作用的产物所形成的;模型 4 是埋深和延深均较小但磁性较强的磁性体,推测为埋设于第四系中的过江电缆;模型 1,3,5 为基岩,其磁性分布不均匀可能和岩性的变化或蚀变作用有关。

II 线磁异常解释:总体看,剖面内  $\Delta T$  异常以 1000 m 处为界分为 2 部分,北东强度较大而南西强度较小;700 m 处的负值又将强度较小的异常分成两部分。为了解释方便,对  $\Delta T$  异常做了化极处理。化极后的异常呈现出两侧高而中特低,在高低异常的结合部位(700 m, 1020 m 附近),磁场的梯度大,存在着磁性的分界面,参见图 5。磁性变化的原因可能为不同岩性地层的接触带所造成。

2.2.3 微重力勘察成果 (1)测线布置与重力、水准测量。根据测区地形特征,北岸测线(I 线)位于江堤以内,方位角为 NE32°,南岸测线(II 线)位于江堤以外,方位角为 NE35°。重力、水准测量均以设计桥址中轴线与两条测线交汇点为中心和起算点(200 号点),向北递增,点距为 10 m,实际观测点数 201 个。由于 II 线西南段要穿过军山汽渡渡口,为避免干

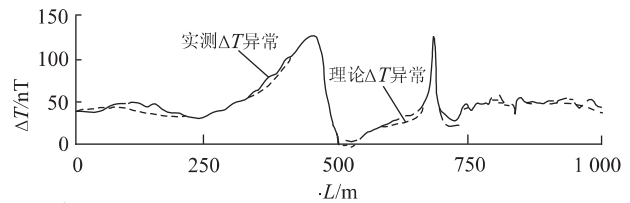


图 4 I 测线磁异常剖面及解释成果

Fig. 4 Magnetic anomaly and explanation for exploration line I

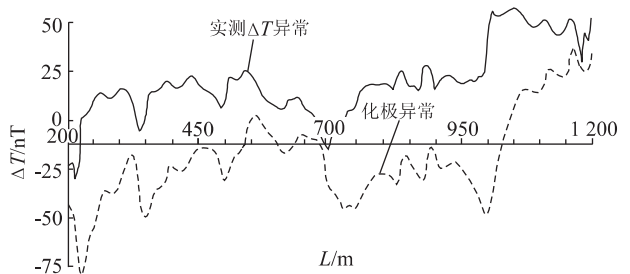


图 5 II 测线磁异常剖面

Fig. 5 Magnetic anomaly for exploration line II

扰,测线中止于 140 号点,而东北段延伸至 338 号点;(2)重力测量精度。两条测线共布设了 11 个检查点,占总点数的 5.5%,统计出的观测精度  $\epsilon_{\text{obs}} \leq \pm 14 \times 10^{-6} \text{ cm/s}^2$ 。经计算,布格校正精度  $\epsilon_b \leq \pm 8 \times 10^{-6} \text{ cm/s}^2$ ,纬度校正精度  $\epsilon_\varphi \leq \pm 2 \times 10^{-6} \text{ cm/s}^2$ ;(3)重力异常资料解释。图 6a, b 分别表示 I 线和 II 线的重力异常及反演解释结果。从异常的幅值和宽度来分析,场源的深度和规模都不大,故推测为第四系覆盖层之下的基岩面起伏所致。I 线重力异常也可能与充填在断裂破碎带之中的侵入岩脉或热液变质作用的产物有关,以  $0.3 \text{ g/cm}^3$  的密度差做界面深度反演,其结果示于异常曲线下方。

## 2.3 物探结论

(1)桥址区地质构造较复杂,尽管基岩起伏较小,但本次物探工作证实,沿江发育 2 条规模大小不等的正断层;(2)武汉—洪湖断裂在桥址区靠近南岸,与测区 F<sub>2</sub> 断层对应,该断层为正断层,向北倾,倾角约在 60°~80°左右,走向北东 28°~30°左右,经钻探证实,该断裂规模较大,破碎较为严重,平面宽度约在 30~50m;(3)在靠近北岸处有一断层 F<sub>1</sub>,该

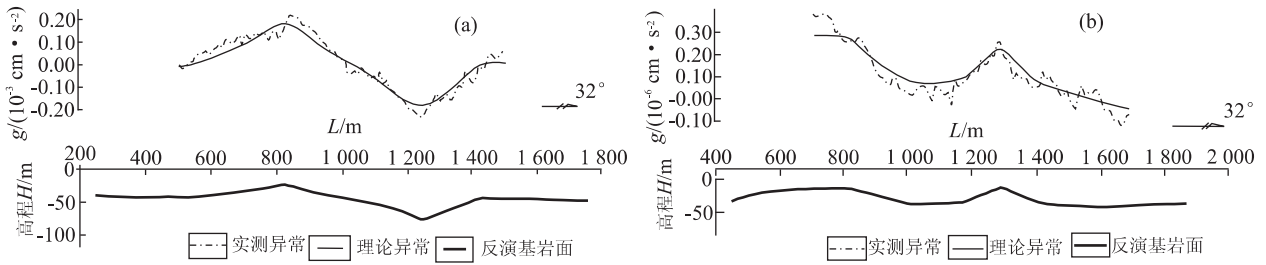


图 6 I 测线(a)和 II 测线(b)的重力异常及解释剖面

Fig. 6 Gravity abnormality and explanation for exploration lines I and II

断层为正断层,倾向北西,倾角很陡,60°左右,走向北东 30°左右;从钻孔取心来看,剪切作用的痕迹明显,该断层经物探推测规模相对较大;(4) I 测线在剖面中部(500 m 处)有明显的磁性异常存在,推断为充填在断裂破碎带之中的侵入岩脉或热液变质作用的产物,需要进一步工作方能证实。

### 3 结语

在初勘阶段使用了地震勘探、高精度磁法勘探、

微重力勘探、地调填图等综合勘察手段,大大地减少了钻探工作量,发现了 2 条顺江断层(F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>),并探明了其位置、产状、规模,并对其性质作出了分析,为主桥墩位置的选择、持力层的选择提供了翔实的地质资料。在详勘阶段,有的放矢布置钻孔,验证了北岸磁异常乃侵入岩体——辉绿玢岩所致。另外,重点采用声波测井和井中电视等综合物探手段,精确探明了桥墩处地层岩性的风化程度,裂隙的位置、产状、规模,岩石完整性等,准确地提供了岩石的力学参数。

## COMPREHENSIVE GEOLOGICAL EXPLORATION METHOD APPLIED IN JUNSHAN YANGTZE BRIDGE, WUHAN

Yang Zhibo, Liu Yushan, Yang Yinhu, Yao Yuanmei

(Communication Layout & Design Academy of Hubei Province, Wuhan 430051, China)

**Abstract:** A single prospecting method cannot satisfy the requirement of high level, high quality and high efficiency in a survey. While the application of the comprehensive geological methods; drilling, seismic, gravity and magnetic explorations, TV logging and sound logging, in Junshan Yangtze bridge, Wuhan not only resulted in an accurate prospecting of the weathering of the rocks, the positions of the fissures, their occurrences and scale, etc, which provided the mechanical parameters of the rocks, but also shorted the period of the exploration and thus reduced the cost of the project.

**Key words:** single prospecting method; comprehensive exploration model; Junshan Yangtze bridge.