

西堍门大桥北塔位岩体深部裂隙发育特征的综合勘察技术

梁 龙¹, 潘永坚¹, 王武刚², 任建新¹

(1. 浙江省工程勘察院, 浙江宁波 315012; 2. 浙江省舟山连岛工程建设指挥部, 浙江舟山 316000)

[摘要] 在针对西堍门大桥北塔位(老虎山)岩体深部节理裂隙发育特征的勘察中,采用了钻探、孔内电视、声波 CT、压水试验等综合性勘察手段,为大桥北塔位的基础设计及施工提供了准确详细的地质依据,也为今后大型工程深部地基基础的综合勘察提供了宝贵经验。

[关键词] 西堍门大桥;岩体深部裂隙发育特征;综合勘察技术

[中图分类号] TV223 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)07-0028-05

1 前言

1.1 工程概况

西堍门大桥采用主跨 1 650 m 两跨连续钢箱梁

悬索桥,在同类桥型中居世界第一。大桥的北锚碇位于册子岛上,南锚碇位于金塘岛上,北塔位于海中的老虎山(礁)上,南塔位于金塘岛上。大桥的桥型布置见图 1。

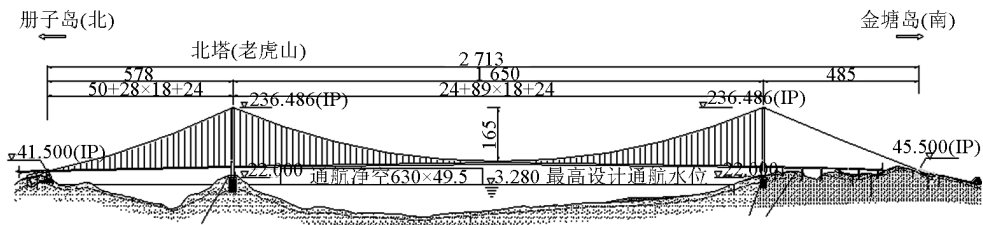


图 1 西堍门大桥桥型布置图(单位:m)

Fig. 1 Location of profile of Xihoumen Bridge (unit: m)

大桥北塔位(老虎山)地貌属海中孤立残丘,海拔高程最高 30 m,山坡坡度 30°~60°。山体顶部有少量坡残积层,四周边坡主要为裸露基岩,基岩岩性为晚侏罗世九里坪组流纹斑岩,整个山体略显单薄,且受数条断层及其他构造裂隙的影响,整体完整性较差。在断层及长大裂隙部位,受海浪冲刷,海蚀崖及海蚀沟(槽)等海蚀地貌较发育。靠近大桥塔基的南侧山体,缓倾角节理裂隙十分发育。老虎山四

面环水,东西两侧海底水深 75~95 m,水下岸坡较陡,受海水冲刷作用,水下无覆盖层,基岩直接裸露。

1.2 勘察的目的和意义

西堍门大桥北塔位于海中的老虎礁上,老虎礁山体单薄,断裂构造和海蚀洞穴发育,整个山体像漂浮在海中的一块巨石,老虎礁深部岩体特征对大桥塔基稳定性和设计、施工安全性至关重要,是大桥设计和建设者们极为关注的重点问题之一。因此,如

[收稿日期] 2010-05-03

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2008BAG07B01)

[作者简介] 梁 龙(1972-),男,江苏徐州市人,高级工程师,主要从事各类岩土工程勘察工作;E-mail:XZH106@126.com

何准确细致地揭示老虎山水下岩体深部节理裂隙发育特征,是大桥工程勘察的一个重点和难点。

1.3 综合勘察技术思路

通过研究认为,要想准确细致地揭示老虎山水

下岩体深部节理裂隙发育特征,必须走综合勘察的技术思路^[1]。贯彻“由表及里、由点到面及由浅入深的综合勘察”的原则。综合勘察技术方法及其目的和作用见表1。

表1 综合勘察技术思路

Table 1 Approach of composite technique for investigation

技术方法	主要目的和任务	对研究岩体深部节理裂隙发育特征所起的作用
资料搜集;水下地形测量;人工浅层地震探查	查明勘察场地所在区域的地形地貌、工程地质条件及不良地质问题等;研究区内地表及浅部地质构造及海蚀洞穴和缝隙等发育的基本状况;评价场地的区域稳定性、构造地质背景以及岛礁水下的地形特点	查明环境、帮助分析
地面调查;探槽和平硐勘查	进一步查明勘察场地工程地质条件及不良地质状况;重点研究区内浅表部地质构造(断裂),岩体浅表部节理裂隙发育特征,并进行详细的工程地质测绘	查明浅表部节理裂隙发育特征、找出重点、类比分析
岩体及节理裂隙现场工程力学试验	查明研究区内基岩的物理力学性质;提供岩体及节理裂隙的力学性质参数	查明岩体及节理裂隙的力学性质
工程地质钻探及取样室内试验	查明勘察场地深部岩体的工程地质条件。研究深部岩体的地质构造,基岩深部节理裂隙发育特征;进行详细的钻孔岩芯编录(节理裂隙发育状况、产状、RQD指标等);提供岩体及岩块的物理力学性质参数	查明深部节理裂隙发育特征、查明深部岩体及节理裂隙的力学性质
数字钻孔摄像	获得钻孔孔壁直观图像、进行钻孔裂隙统计分析、岩芯的对比分析,评价深部岩体节理裂隙和断裂构造的延伸特征等,定量描述节理裂隙的宽度和充填状况及破碎程度等;通过图像特征对孔内现象进行定性描述和定量分析,对地质构造(如破碎带)在钻孔群间的发育情况进行三维空间上的分析;为其他测试手段资料解释提供佐证	进一步查明深部节理裂隙发育特征、同其他手段进行对比分析
工程物探(单孔声波测井、跨孔声波CT探测)	利用岩体声波探测原理,较直观地再现深部岩体内部构造(节理裂隙发育状况)和岩体物理力学特性;了解深部岩体节理裂隙在二维和三维空间中的分布状况,对裂隙的空间分布趋势做出预测;求解波速场,通过波速场分布特征与地质推断的构造特征进行对比分析,以进一步查明深部岩体节理裂隙的发育特征	进一步查明深部岩体节理裂隙在二维和三维空间中的发育特征、同其他手段进行对比分析
钻孔压水试验	查明深部岩体节理裂隙的透水性特征,确定岩体的水文地质参数;对重大裂隙(断裂)或工程的重要部位进行专门性试验,以详细确定其透水特性;预测和确定基坑、矿井、隧道等涌水量	查明深部岩体节理裂隙的透水性特征、同其他手段进行对比分析

2 综合勘察技术方法及其运用

2.1 资料搜集、水下地形测量和人工浅层地震探查

针对西墩门大桥北塔(老虎山)的勘察研究,首先进行了大量的资料搜集工作,搜集的资料主要包括区域地质、场地临近的工程地质勘察资料、场地前期相关资料报告等。

水下地形测量主要针对老虎山周边海域,尤其是临近桥基一侧的南侧海域的水下地形,要求测至-80 m水深或海底明显平缓不可能产生滑坡处,地形测量精度1:2 000,采用GPS精确定位^[2]。

人工浅层地震探查主要针对老虎山山体和临近桥基一侧的老虎山南侧海域水下地层。主要采用地震测线,浅地层剖面测线等方法手段,探明了老虎山

及其南侧海域的第四系覆盖层分布范围、厚度及基岩面埋深、形态、断裂分布特征,给出了代表性断面的工程地质条件,并对该区不良地质现象作了初步分析。

2.2 地面调查、探槽和平硐勘查

在前期工作的基础上,突出重点,采用以测线为主,点面结合进行详细调查测量描述,重点段开挖了探槽探坑,针对F8断裂和南侧密集发育的缓倾角裂隙施工了平硐。通过该项工作对测区内所有的长大裂隙、陡崖、凹沟、平硐及海蚀缝穴进行了详细勘测。详细查明了勘察场地的地形地貌、浅表部节理裂隙等构造的发育特征及不良地质现象等。

2.3 岩体及节理裂隙的现场工程力学试验

岩体原位剪切试验在平硐内进行,采用平推法,

垂直向的反力施加利用洞顶,水平向的反力的施加利用平洞的侧壁。现场试验首先进行坑槽、平洞开挖和打锚杆孔等大量辅助工作,然后主要对缓倾角结构面、F8 断层带等进行直剪试验。

2.4 工程地质钻探及取样室内试验

钻探采用 XY-1 型回转钻机,残积碎石土采用跟管钻进,基岩采用金刚石钻头双管钻具钻进,采用清水钻进,全孔取芯,按回次编录^[3]。

室内试验:采取了大量岩样,主要进行岩矿鉴定,波速测试,岩石物理性质试验:比重、天然密度、吸水率、饱和吸水率、软化系数、风化系数;岩石力学性质试验:天然、干燥和饱和状态下单轴抗压强度试验、抗剪断强度、抗拉强度、天然状态下岩石的弹性模量、泊松比,三轴抗剪试验等;水质分析:取老虎山涨落潮海水作简分析+侵蚀 CO₂。

2.5 数字钻孔摄像

数字钻孔摄像其组件主要有光源、电源、摄像系统、深度计数系统、电缆和绞车等组成。数字钻孔摄像设备,采用锥面镜,将孔壁柱面反射变换成圆环(内圆为孔壁上端,外圆为下端),并叠加深度和罗盘指针,保存在磁带中,室内分析时从磁带中采集图像数据重建孔壁,生成分段或整孔的孔壁平面展开图和三维虚拟岩芯图。图 2 为数字钻孔摄像孔壁平面展开图。数字钻孔摄像可在孔内进行节理裂隙统计,精确划分岩体的完整性。该次老虎山共完成 5 只钻孔的数字钻孔摄像,累计孔深 259 m。

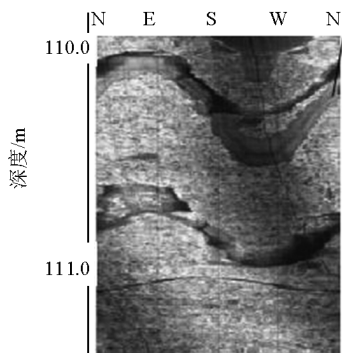


图 2 数字钻孔摄像孔壁平面展开图

Fig. 2 Plane map of the wall of hole getting by digital camera

2.6 工程物探

对于深部岩体及其节理裂隙特征的工程物探勘察方法,主要采用了单孔声波测井和跨孔声波 CT 两种方法。深部岩体裂隙声波探测技术的基本原理是用人工的方法激发一定频率的弹性波,这种弹性波以各种波形在岩石内部传播并由接收仪器接收,

由于岩石内结构面的存在,使得声波传播速度降低,平行于结构面时,声波传播速度相对较高,利用这一特点,进行岩石内声波测试时,通过改变测试方向,根据波速的变化情况,可以判断出结构面的延续方向。通过分析研究接收和记录下来波动信号,来分析并确定岩石内部节理裂隙的存在状况。跨孔声波 CT 是根据上述原理在一个孔内激发,在另一个或多个孔内接收,从而测定孔间岩体的波速分布状况,其探测系统见图 3。

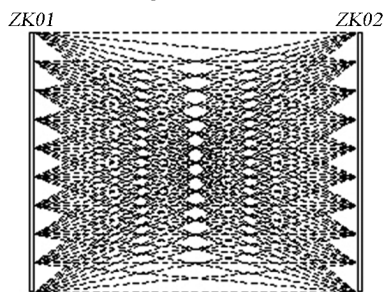


图 3 跨孔声波 CT 探测观测系统示意图

Fig. 3 Sketch map of probing and observing system of CT wave over the holes

该次单孔声波测井和跨孔声波 CT 采用了美国 EG & G 公司制造的 S12 型智能地震仪、RST-3A 大功率声波 CT 仪、RS-ST01C 智能声波仪、LDZ-10 大功率电火花发射仪(60 000 J)等。共进行了 6 只钻孔的声波测井,累计孔深为 225 m;进行了 4 组跨孔声波 CT 探测,共取得 6 546 条声波射线。

2.7 钻孔压水试验

常规压水试验又称 Lu 压水试验,是研究裂隙岩体渗透性的一种重要而又常用的水文地质原位试验方法。钻孔压水试验是将水压入用栓塞隔离的一定长度的孔段内,观测其压力与流量,以了解岩体透水性的一种野外渗透试验方法(见图 4)。

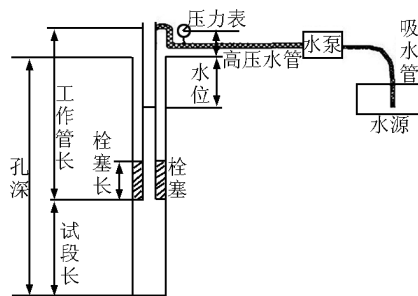


图 4 钻孔压水试验设备安装示意图

Fig. 4 Profile sketch of the equipment installation for packet test

针对深部岩体节理裂隙发育特征(透水性)研究的钻孔压水试验一般采用分段压水和综合压水,比较有代表性的是针对某一组单一节理裂隙进行的三段压水试验^[4],此处因篇幅关系,不再详述。总体是根据综合对比方法(岩芯编录、孔内摄像等)确定合理的试验(裂隙或断裂)位置,而进行针对性的压水试验。在老虎山该次进行了2只钻孔的全孔压水试验,并针对F8断裂进行了孔内专门压水试验。

3 多技术手段的整合分析

3.1 各勘察技术方法有各自的优缺点具互补性

岩体深部节理裂隙发育特征的综合勘察技术是建立在详细查明区域地质、场地工程地质条件和岩体浅部节理裂隙发育特征的基础上,对岩体深部节理裂隙发育特征采取综合的勘查技术手段,整合各种技术方法的优点,对各种技术方法的不足之处进行综合对比分析,取长补短,去粗存精,以达到准确精细勘察之目的。

传统的地下深部裂隙面勘查主要通过钻探手段,透过钻孔岩芯资料,统计裂隙分布及位置和状况,其虽然具有直接和直观的优点,但也存在许多限制,比如:a. 不易判断岩芯显示的裂隙面为原生或因为人为钻取导致;b. 不易透过岩芯检视裂隙产状、岩体空穴、裂面内宽,而且容易流失裂隙或断层的夹心等;c. 遇岩芯破碎或无法提取时,则无法了解该区段地下地质状况等。所以,有鉴于此,笔者等采用了水下数字钻孔摄像,来弥补上述不足,从而了解裂隙发育的真实情形。再如,单孔钻探及单孔孔内测,仅能查明钻孔及其临近岩体的节理裂隙发育状况,对相邻钻孔之间岩体节理裂隙发育状况的了解存在不足,而利用跨孔声波CT探测技术,则可进行弥补。另外,钻孔压水试验可以查明岩体深部节理裂隙的透水性特征,而上述其他手段则无法达此目的等。

3.2 进行技术成果的相互印证

勘察过程中各种技术手段基本同时进行,由于各种技术手段均有其特殊性和针对性,对同一地质体的解译成果可能不尽相同。但作为地质体,其真实状况不因勘察技术方法的不同而改变。为保证勘察成果的科学性,建立并应用了技术成果的相互印证机制^[1]。即:a. 各勘察技术方法必须根据规范规程,按照技术要求和勘察纲要进行工作,数据采集必须经技术负责人审查,做到准确可靠;b. 各方法的

初步成果报项目组审查和修改;c. 遇较大不一致问题时组织召开专题会议,让各技术手段的技术负责人对自己的初步勘察成果进行解释,做到对同一地质现象,要求不同技术尽可能得到同一解,从而确保勘察成果的一致性;d. 对个别地质现象无法达成完全一致的,最终成果由项目地质技术负责人在综合分析各方法的基础上给予统一,各方法也在充分反映各自技术勘测成果的基础上统一认识,形成一致结论。

3.3 勘察技术手段的整合分析

整合分析要求整合各勘察技术方法的优势成果,要求针对不同技术成果进行多次主题研究和讨论汇总,要求按照技术成果的相互印证机制进行各技术成果的相互印证。从而达到各勘察技术方法的整合,实现各勘察技术方法之间的融会贯通。

在对老虎山深部岩体的综合勘察过程中,笔者等采用了不同的技术手段,最终对老虎山岩体深部节理裂隙发育的规模和特点,断裂的空间展布情况,软弱夹层和破碎带的分布范围等地质现象整合不同勘察技术,形成了较为统一的认识。

如老虎山 SZK6, SZK7 钻孔岩体波速、RQD(岩石质量指标)、钻孔摄像及跨孔 CT 整合对比分析图(见图5)可见,钻孔岩芯、RQD、单孔波速及钻孔摄像存在较好的对应关系,且跨孔 CT 剖面为钻孔岩体及其节理裂隙发育特征提供了孔间延伸情况。

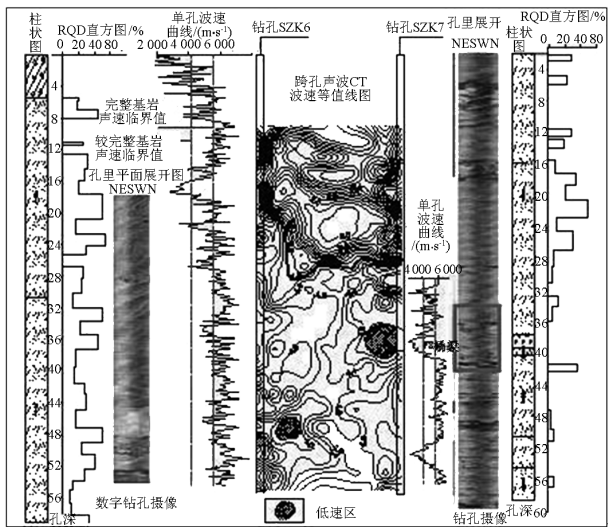


图5 老虎山 SZK6, SZK7 钻孔岩体波速、RQD、钻孔摄像及跨孔 CT 整合对比分析图

Fig. 5 Comparative and mixed analysis chart of the wave velocities of rock mass RQD videography in hole and CT wave from SZK6 and SZK7 in Tiger Mountain

4 结语

1) 文章在运用和整合各种勘察技术方法和成果的基础上,形成了岩体深部节理裂隙特征的综合勘察技术体系,获得了西堍门大桥北塔位水下岩体深部特征的综合勘察成果,在西堍门大桥北塔基的人工挖孔桩施工中得到了验证。

2) 综合勘察技术要求各技术方法严格按规范要求,且要经过多次专题研究和讨论汇总,要求通过技术成果的相互印证,经过各勘察技术方法的整合分析,最后实现各技术方法之间的融会贯通,以得到一致的解释成果。通过对大桥北塔位(老虎山)水下岩体深部节理裂隙的发育特征的综合勘察,取得了一致的解释成果,其勘察质量和最终技术成果达到了预期目的。

3) 采用综合勘察技术,可以使项目各承担单位在具体工作中做到相互协作、相互支持、相互补充、相互印证,从而有效地保证了勘察成果的质量,达到了预期目标。同时还为深部岩体工程地质综合勘察技术积累了可供借鉴的经验。

参考文献

- [1] 孙会元,彭运动,陈才琳,等. 坝陵河大桥综合勘察技术与成果评价方法的研究综述[J]. 公路,2007,(8):53-56
- [2] 潘永坚. 某跨海大桥主塔位工程边坡稳定性研究[J]. 工程地质学报,2004,12(4):380-384
- [3] 潘永坚,朱章通. 岛礁海域工程勘察施工难点和对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):11-14
- [4] 胡卸文. 无泥型软弱层带的强度参数[J]. 山地学报,1999,18(1):52-56

A integrated survey technology to rock mass's deep crevices grown features in Xihoumen Bridge northern tower

Liang Long¹, Pan Yongjian¹, Wang Wugang², Ren Jianxin¹

(1. Zhejiang Engineering Prospecting Institute, Ningbo, Zhejiang 315012, China;

2. Zhejiang Provincial Construction Headquarters of Zhoushan Islands Link Project, Zhoushan, Zhejiang 316000, China)

[Abstract] In the investigation of rock mass's deep joints and fissures' grown feature in Xihoumen Bridge northern tower, some integrated survey technologies like drilling, view in bore, CT, packer permeability test and so on were adopted, which offered the detailed and exact base of Xihoumen Bridge's designing and building, as well as a golden experience for the groundsill basis in major works in future.

[Key words] Xihoumen Bridge; rock mass deep crevice grown characteristic; integrated survey technology