

水利水电钻探技术进展及发展趋势

肖冬顺, 马明, 项洋

(长江岩土工程总公司(武汉), 湖北 武汉 430015)

摘要: 钻探是工程地质勘察的重要手段, 通过钻探方式获取的工程地质资料是水利水电工程规划、设计和施工的重要依据。近年来, 钻探技术和装备、仪器等在水利水电工程实践中不断地创新和发展。本文中水利水电钻探技术进展主要包括: 随钻压水试验技术, 自振法抽水试验技术, 砂层、软土层和卵砾石层钻进及取样技术, 大顶角斜孔钻进技术, 声波钻进技术, 全液压动力头式钻机, 浅海钻探技术以及水利水电帷幕灌浆自动记录仪等。合理选择和应用这些钻探技术和设备对于优化水利水电工程勘察具有重要的意义。本文还对水利水电工程钻探技术的发展趋势进行了分析和展望。

关键词: 水利水电钻探; 工程勘察; 压水试验; 抽水试验; 钻进取样; 声波钻探; 浅海钻探; 帷幕灌浆

中图分类号: P634; TV54 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)01-0103-09

Progress and development trend of water conservancy and hydropower drilling technology

XIAO Dongshun, MA Ming, XIANG Yang

(Changjiang Geotechnical Engineering Corporation, Wuhan Hubei 430015, China)

Abstract: Drilling is an important technical means of engineering geological investigation. The engineering geological data obtained by drilling is an important basis for the planning, design and construction of water conservancy and hydropower projects. In recent years, drilling technology and related equipment has been continuously innovated and developed with implementation of water conservancy and hydropower projects. The main contents of this paper include: water pressure while drilling test technology, self-vibration pumping test technology, drilling and sampling technology for sand layers, soft soil layers and gravel layers, large angle inclined hole drilling technology, sonic drilling technology, full hydraulic power head drilling machines, shallow water drilling technology and water conservancy and hydropower curtain grouting automatic recorders. Proper selection and usage of the technology and equipment will produce great social and economic benefits for optimization of these water conservancy projects. This paper also analyzes and envisions the development trend of drilling technology for water conservancy and hydropower projects.

Key words: water conservancy and hydropower drilling; engineering investigation; water pressure test; pumping test; drilling and sampling; sonic drilling; shallow water drilling; curtain grouting

1 概述

2020年10月29日通过的国家“十四五”规划明确提出:“实施川藏铁路、西部陆海新通道、国家水网、雅鲁藏布江下游水电开发、星际探测、北斗产业化等重大工程,推进重大科研设施、重大生态系统

保护修复、公共卫生应急保障、重大引调水、防洪减灾、送电输气、沿边沿江沿海交通等一批强基础、增功能、利长远的重大项目建设”。水利水电钻探是水利水电工程地质勘察的重要手段之一,通过钻探,可以为水利水电工程收集翔实可靠的工程地质

收稿日期:2020-12-15 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.01.014

作者简介:肖冬顺,男,汉族,1969年生,正高级工程师,一级注册建造师,主要从事水利水电工程勘探及水利水电施工建设管理工作,湖北省武汉市江岸区解放大道1863号,171546354@qq.com。

引用格式:肖冬顺,马明,项洋.水利水电钻探技术进展及发展趋势[J].钻探工程,2021,48(1):103-111.

XIAO Dongshun, MA Ming, XIANG Yang. Progress and development trend of water conservancy and hydropower drilling technology [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(1): 103-111.

资料,为工程规划、设计和施工提供科学的依据,从而保证工程的安全运行。由于水电工程多在深山峡谷、在河床上钻进,地层破碎,覆盖层深厚,砂砾石多,钻孔深度一般在50~300 m不等,水利水电钻探具有一定的特殊性,一方面,水利水电钻探注重采取岩心的原状样,钻孔取心率要求较高;另一方面也更注重水文地质试验和采取岩心的原状样,如抽水试验、压水试验、注水试验等水文地质试验^[1-2]及标准贯入试验、动力触探试验、钻孔原状取样、声波、录像、弹性模量测试、有害气体检测等孔内原位试验^[3-4]等。因此,在各种复杂的环境中合理选择和应用钻探技术对于优化水利水电工程勘察具有重要的意义。

2 水利水电钻探技术进展

水电工程钻探的技术在改革开放后发展迅猛,同时还取得了很多创新成果。小口径金刚石岩心钻探普遍应用,并发展了多种钻探工艺;绳索取心技术使生产效率大幅度提高;套钻定向取心技术,提高了软弱夹层和破碎地层的岩心采取率和近似原状样的钻取;SM植物胶冲洗液的应用和SD型金刚石钻具的成功研制,使得在砂砾石层中提高钻探效率和钻取原位不扰动岩心成为可能,该技术尚处于世界领先水平;大口径竖井钻进技术可部分代替竖井勘探;研制成功一系列压水、抽水等钻孔水文地质测试设备和技术等。其他如高精度垂线孔钻

进、单动回转取砂器、轻型浅海钻探平台等新型设备也研制成功并投入了使用,架空层钻探取心技术、水平孔地质勘查钻探取心技术也取得进展。

2.1 轻便式气囊随钻压水试验技术

目前水利水电工程钻孔越来越深,100 m以深钻孔多,甚至几百米,采用常规钻探+常规压水试验时,所需辅助时间过多,工作效率很低,目前单台钻机每月工程量很少超过150 m。例如,在钻孔过程每1~3 m就要提钻一次,累计5 m还要洗孔、提钻、压水试验,几百米的钻孔,总共需要起下钻几百次(平均1 m左右需起下一次钻具或试验器),费时费力。在日趋激烈的勘察市场竞争中,其单价越来越低,工期、安全要求越来越严,成本不断攀升的情况下,经济效益越来越差,加上其它各种各样的不利因素,钻探工作如何挖潜创新、提高效率成为生存的关键。

轻便式气囊随钻压水试验器^[5-7]就是结合绳索取心钻探工艺,研制的一种不提钻(试验段钻具还是要上提)即可进行孔内压水的试验器具及配套装置。该技术可以减少钻探作业辅助工作时间,降低劳动强度,降低成本、提高效率,并保证钻探压水试验成果质量。轻便式气囊随钻压水试验器结构及原理如图1~2所示。其结构由6个部分组成,包括2个气囊、3个接头、1根导水管,从上往下依次为:上接头总成、导水管、上气囊总成、中间定位接头、下气囊总成、下接头。具体见图3。

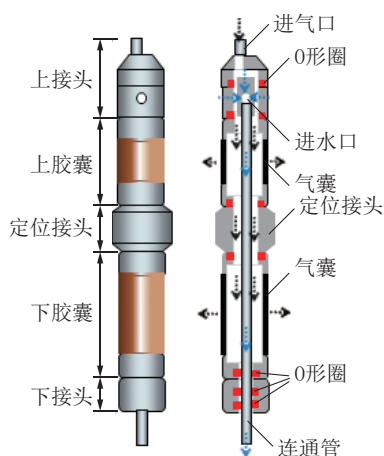


图1 轻便式随钻压水试验器结构

Fig.1 Structure of the portable water pressure test-while-drilling tool

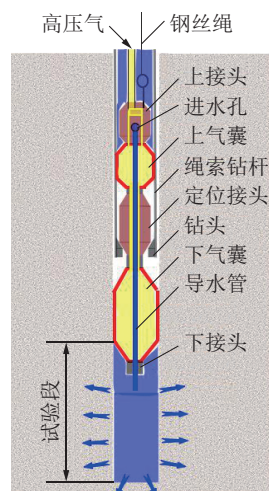


图2 轻便式随钻压水试验原理

Fig.2 Schematic diagram of portable water pressure test-while-drilling



图3 轻便式气囊隔离随钻压水试验器的实物结构

Fig.3 Structure of the portable water pressure test-while-drilling tool with air bag isolation

2.2 自振法抽水试验技术

自振法抽水试验技术,是利用含水层中水体自由振荡时的阻尼特性来测定岩土体渗透系数^[8]。该方法假定含水层中水体振荡时的阻尼特性和含水层的渗透特性,两者具有等效性,并在此基础上推导和建立了振荡方程。该方法基于水在钻孔一含水层系统中的可流性与渗透性的基础上,在这个系统中构成一个振荡运动,当钻孔中水体失去平衡后,水体开始产生振荡,利用含水层中水体自由振荡时的阻尼特性来研究和测定岩土体渗透系数。国外研究始于20世纪60年代,我国20世纪90年代在水利系统推广应用,成都勘测设计研究院自振法抽水试验在锦屏、桐子林、白鹤滩水电站等多个工地应用,并获电力部科技进步二等奖,原长江委综勘局在南水北调中线工程勘察中,引进了一套ZS-1000型水文地质综合测试仪,其由主机(ZS-1000型综合测试仪)、压力传感器、激发水位控制器、孔口密封器等组成。与常规抽水试验的对比研究表明,该方法所测得的渗透系数与常规抽水试验所测数值有很好的相关性,从16组对比试验可以看出,其相关系数达0.9774。而在砂卵石层中常规抽水试验渗透系数数值较自振法大,分析认为其主要是常规抽水试验带出了部分细小颗粒,改变含水层的结构和颗粒组成所致。通过对比试验,这种误差是可以控制的。该试验所用设备轻巧,试验周期短,成本低,自动化程度高;解决了常规抽水试验工艺复杂,

耗资较大、工期较长的弊端,是具有广阔推广应用前景的快速勘察技术。自振法试验是水文地质勘察迈向高科技的手段之一,相比较常规抽水试验对造孔及边界条件的苛刻要求,自振法在很大程度上避免了人为因素对试验成果的影响,具有推广应用价值。

2.3 砂层和软土层钻进及取样技术

本技术主要指在砂层、软粘土、淤泥等特殊地层中的钻进与取样^[9-10]。如长江委原综合勘测局研发的“深埋砂层取原状样技术”,该技术由结构新颖的取样工具、先进的钻进工艺和合理的取样方法三部分组成。成果的创造性、先进性是:

(1)设计独创的双滑动机构及隐式护样机构:它能完成薄壁管靴超前压入砂层并随地层密度而自动调节超前量,由于限位功能,管靴始终保持超出钻头唇底10 mm,防止冲刷砂样,而护样机构完成托样、护样功能,保证100%的回收率和100%成功率。

(2)构思新颖的双钢球机构:完成冲洗液的分流,隔离钻孔静水柱对原状样的水柱压力并排除背压,还兼有取样前的清洗孔底功能,使清孔与取样工序合二为一。

(3)半合管环刀机构:在深层钻孔内完成环刀压样过程,极大地减少由于退样后再压样的反复扰动工序。

(4)防污染装置:完成半合管的密封功能,防止

泥浆和水的渗入、渗出半合管环刀砂样内,避免改变天然含水量和含泥量。

(5)特殊水力学结构的钻头与特制植物胶:螺旋肋骨钻头与加长的三角形水口及斜底喷孔结构,冲洗液能在管靴压入砂层的上方降低压力、降低流速并改变流向,避免冲溃管靴下部砂层,植物胶具有护样、护壁,高悬浮钻碴的功能,保证100%砂样回收率。深埋砂层原状取样器实物配件如图4所示。

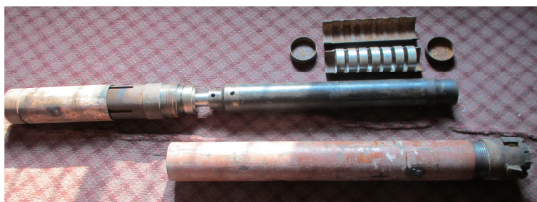


图4 深埋砂层原状取样器实物配件

Fig.4 Accessories of the undisturbed sampler for deep buried sand layers

深埋砂层取原状样技术在“穿黄”工程中发挥重要作用。“穿黄”工程是南水北调中线工程的关键工程。河床覆盖层厚达50 m左右,两岸漫滩达100 m,上部为粉细砂,中深部为中粗砂,特点是粉细砂含水饱和易振动液化,无法采取原状试样。这种深埋砂层取原状样是国内外都未能很好解决的技术难题,采用深埋砂层取原状样技术在“穿黄”工程勘察中采取了305组原状样,弄清了黄河粉细砂、中粗砂的物理力学性质,为设计部门提供了可靠的地质资料,为南水北调中线的早日上马提供了决策依据。

2.4 砂卵石层钻进及取样技术

为适应各种松散覆盖层、砂卵石地层的钻探要求^[11-12],研究和应用了一种“SD”系列单动双管系列金刚石钻具配合“SM”植物胶冲洗液钻进的新技术。该技术也是目前在这类地层中钻进取心比较先进和有效的方法。“SD”系列金刚石单动双管钻具,它不仅适用于各种松散覆盖层、砂卵石地层金刚石钻进和取样,而且适用于基岩复杂地层金刚石钻进和提高岩心采取率。“SD”系列钻具结构特点:

(1)导正除砂机构。为了保证粗径钻具长度,防止钻孔弯曲,在单动接头上,设有一个一定长度的同级外管(即导正管),以保证粗径钻具必要的

长度。

在导正管内安装一个隔砂管,与上阀座相连。由于“SM”植物胶冲洗液粘度较高,钻进时岩粉或砂子较多,进入内外管之间易堵塞并影响单动性能。装上隔砂管后,进入导正管中的浆液随钻具高速旋转,产生离心力作用,岩粉和砂子粘附在导正管壁上或沉淀于导正管下端,可定期清除。从而起到离心除砂作用。

(2)单向阀机构。在钻进中,有时孔底岩粉较多。下钻时,钻具接近孔底,由于孔底冲洗液携带大量岩粉,从钻具内外管间隙高速射入钻杆内,常常在内外管间隙和下部钻杆中,堵塞水道,造成憋泵或影响单动性能。因此,在单动接头上部安装单向阀,冲洗液只能正循环而不能反向上返。

(3)双级单动机构。普通单动双管钻具只有一级单动机构,在孔内复杂条件下长期高速回转,难以保证良好的单动性能。同时,高速回转产生的高温会导致轴承和密封圈的过度磨损,从而影响单动机构的可靠性,设置双级单动机构,可确保单动机构的可靠性,延长其使用寿命。

(4)内管机构。由内管、定中环、卡簧座及卡簧等组成。内管有两种,可互换使用。一种为普通整体式磨光内管,一种是磨光半合管。其共同特点:一是内管内壁磨光,使得岩心顺利进入内管,减少岩心堵塞,增加回次进尺,保证松散破碎岩心原状结构;二是短节管和内管为一整体,可减少岩心堵塞,提高取心质量。内管与卡簧连接处,安装定中环,起导正作用。

(5)外管机构。由外管、连接管和钻头等组成。其特点是长度较短,一般不超过2 m。

在砂卵石层钻进中,使用金刚石扩孔器寿命低、成本高,为避免卡钻风险,因而不设置扩孔器。

一般使用孕镶金刚石钻头,不应使用电镀钻头。由于冲洗液粘度高,为减少钻具的抽吸作用,钻头均设计较大的外出刃,以增大钻具与孔壁的环状间隙。在砂卵石层钻进中,金刚石钻头应具有较高的抗冲击强度和抗磨损性能。

“SD”系列金刚石单动双管钻具系采用两级单动的双层岩心管钻具。其规格有:SD108型、SD94型、SD77型等普通高光洁度内管钻具和半合管钻具,以及SD108-S型、SD94-S型、SD77-S型取砂钻具,共三级口径9个品种;普通内管钻具和半合管钻

具只是内管不同,可以互换使用。

“SD”系列金刚石单动双管钻具,在砂卵石层、基岩破碎带、硬、脆、碎等复杂地层钻进中,不仅能大幅度提高岩心采取率,而且可以取出松散破碎地层原状岩心(样),厚砂层可以取出原状砂样,为查清河床深厚砂砾层的情况提供有力的技术支持。

2.5 水利水电工程大顶角斜孔钻进技术

主要用于查清工程基础下各类软弱(泥化)夹层、断层构造带、陡倾角结构面、风化卸荷带、强透水带等的位置、厚度、产状、特性等情况。在缅甸水电项目其培电站,由于地质需要,必须打大倾角过

江斜孔。穿江斜孔钻探是在复杂地层(陡倾角、断层破碎带、泥化带等)下,一般垂直孔钻探无法解决地质问题时使用的特殊钻探手段,它的难度在于既要保证成功穿越复杂地层,又要获得足够的岩心,还要保证钻孔对穿并重叠一定长度,同时还要保证钻孔的测斜精度(包括钻孔方位角及倾角)。钻探技术人员通过改进钻进设备和工艺,采用信息化管理,不断完善钻进工艺技术,在缅甸水电勘探项目中完成多个大倾角对穿钻孔,最大深度 250 多米,使许多悬而不决的地质疑问迎刃而解^[13-15]。钻孔示意图如图 5 所示。

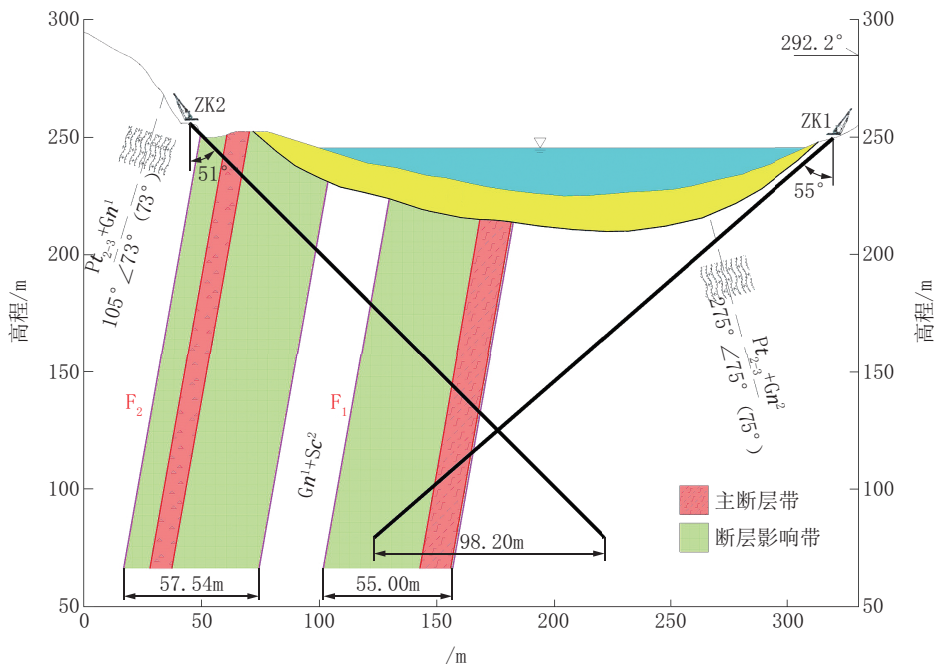


图 5 某水电站双向成对跨江超深斜孔示意

Fig.5 Schematic diagram of two-way paired ultra deep inclined holes across the river for a hydropower station

2.6 声波钻进技术

声波钻进的主要设备是振动回转动力头,动力头能够产生可以调节的高频振动和低速回转作用,通过围绕平衡点进行重复摆动而形成振动,能量在钻杆中积累,当达到其固有频率时,引起共振而得到释放、传递。能量通过钻杆的高效传递,使钻杆和钻头不断向岩土中钻进。振动波能量垂直传递到钻柱上,频率一般可达到 4000~10000 次/min,瞬时冲击力可达到 20~300 kN。由于属于较低的机械波振动范围,频率在人的听觉区,所以习惯上称为声波钻进。

声波钻进被誉为钻进深厚的覆盖层和砂砾石复杂地层的最好方法,钻进过程中甚至会引起周围岩土颗粒砂土液化,使得钻进过程更容易。钻柱的低速回转保证能量和磨损平均分配到钻头的工作面上。当振动与钻杆的自然谐振频率叠合时,就会产生共振。此时钻杆的作用就像飞轮或弹簧一样,把极大的能量直接传递给钻头。高频振动作用使钻头的切屑刀刃,以切削、剪切、断裂的方式排开其钻进路径上的岩土,甚至还会引起周围岩土粒液化,让钻进变得非常容易。在岩层钻进时,高频振动力使岩石内部分子产生被迫振动而产生疲劳破

坏,并降低强度,再加上轴向静压和回转,因而提高了碎岩效率。另外,振动作用还把土粒从钻具的侧面移开,降低钻具与孔壁的摩擦阻力,也大大提高了钻进速度,在许多地层中钻速高达20~30 m/h。

中国水电顾问集团中南勘测设计研究院在向家坝工地,采用无锡金帆钻凿设备股份有限公司生产的YGL-S100型声波钻机^[16],在向家坝电站污水厂进行了不取样快速成孔钻进,在云南水富县育才路安置小区内进行了取样钻进,钻孔速度快。在填石层(大灰岩块,卵石)平均小时进尺3~4 m;砂砾石层、粘土层、淤泥层或不含较大孤石的覆盖层钻进时,成孔速度快,平均实效可达20 m。基岩平均时效4~5 m。在深厚砂砾石层中取样钻进速度快、取样率高,可获取原状样,在覆盖层取样率可达95%以上。

2.7 全液压力头式钻机

全液压力头式钻机具有以下特点:

(1)动力头可沿桅杆移动,导向性较好且实现了长行程给进,不仅大幅度增加了纯钻进时间,还

由于钻进过程连续,可大幅度减少孔内事故发生的概率并提高岩心采取率。

(2)钻进角度调整及钻机移动搬迁方便,一般不需单独配置钻塔,减少了辅助作业时间。

(3)动力头与孔口夹持器配合可实现拧卸管,此种结构简化了钻机的结构及配套装置。

(4)钻机工作过程中的所有动作均由液压系统中的液压元件完成,减轻了操作者的劳动强度及操作人员数量。

(5)钻机过载保护性能好,回转及给进可实现无级调速,钻压可精确控制,可根据地层条件、机具情况优选钻进参数,较好地满足钻探工艺要求。

(6)传动系统简单,便于布局,质量相对较轻,易于安装和拆卸。

(7)与机械传动钻机相比,消耗功率较大,传动效率较低,造价高,维护保养要求较高。

中国电建昆明勘测设计研究院有限公司使用EP200G型便携式全液压钻机,在相同地层条件下,时效是传统岩心钻机的2~3倍,如表1所示。

表1 EP200G型钻机与XY-2型钻机实际效果对比

Table 1 Comparison of actual drilling results between EP200G rig and XY-2 rig

钻机型号	项目名称	钻孔编号	设计孔深/m	终孔孔深/m	有效台班/个	台班进尺/m	备注
XY-2	景洪陆拉锡矿	ZK201	180	183.58	40	4.59	
XY-2		ZK202	210	212.96	40	5.32	
EP200G		ZK301	130	130.54	10	13.05	复合片钻探
EP200G		ZK302	130	137.92	10	13.79	绳索取心
EP200G	滇中引水工程	ZK03	140	147.00	11	13.36	复合片钻探
EP200G		ZK04	150	150.59	22	6.85	绳索取心
XY-2		ZK07	100	104.00	13	8.00	
XY-2		ZK08	100	100.64	12	8.39	
EP200G	渝昆线云南省高县至昭通段试验项目	IZ-酸枣树-01	60	60.00	3	20.00	
		IZ-酸枣树-02	98	98.30	5	19.66	白云质灰岩
		IZ-酸枣树-03	95	95.70	6	15.95	

长江岩土工程总公司(武汉)使用EP600型钻机,在引江补汉勘察项目完成钻深605.8 m的钻孔,台班进尺达25 m。

2.8 近海钻探技术

近海钻探^[17-18]是在海上对水下地层进行钻探,以取得水下工程地质勘察资料、水下基础处理和固体矿产勘查资料的钻探工程。可用于工程地质勘

察、矿产资源勘探、基础工程施工、水下矿产开采及科学考察等方面。近年来随着风电、潮汐电站、跨海大桥、海底隧道等基础设施建设的大力发展,近海钻探技术得以迅速发展。

受施工水域的水深、离岸距、风浪、潮汐等自然条件影响,近海钻探增加了设备和工艺的复杂性。首先要有一套固定或浮动于水面的平台或船只作

施工场地,还需设置从钻机到水底孔口的特殊井口装置作为钻具入孔与泥浆循环的隔水通道,并防止水流和水位波动对钻探工作的影响。在施工过程中,还要相应采用孔位量测、锚泊定位、升沉补偿等一系列特殊工艺措施。

近海钻探平台分为漂浮式平台和固定式平台,为保障钻探作业安全,按海域水深、地形、潮汐、风浪等水文情况来确定钻探平台形式和大小。水域勘探作业船舶或勘探平台的载重安全系数应大于5,对水深 $>20\text{ m}$ 的内海勘探,在不使用专用勘探作业船舶时,需采用自航式、船体宽度 $>6\text{ m}$ 、载重安全系数 >10 的单体船舶;自升式平台适用水深由桩腿入泥深度、水深、潮差、浪高、平台型深、平台底部离水面的安全距离($<1.0\text{ m}$)等来决定。

针对海上有原位测试要求的钻孔,由于漂浮式钻探平台受海浪的影响较大,将影响试验成果,因此,当对原位测试有要求的钻孔,需要选择在固定式平台上进行。

中国电建华东勘测设计院建造的自升式勘探平台“华东院1号”勘探平台于2014年10月中旬在江苏响水燕尾港正式下水投入使用,主要适用于 15 m 水深的近岸和浅水区。2018年3月投入运营的“华东院2号”在浙江东部沿海经历了8号台风(摩羯)、10号台风(安比)、12号台风(云雀、14号台风(玛莉亚))等多个台风考验,经受住了最高12级台风袭击和在舟山海域桩腿入泥超过 10 m 以上深度的考验,适用于水深 35 m 。

2.9 水利水电帷幕灌浆自动记录仪

利用智能灌浆自动记录仪进行水利水电帷幕灌浆,1台设备可同时采集、存储和处理1~2个灌浆管路的压力、流量、浆液密度等数据。可广泛应用于小循环、大循环、纯压等灌浆方式,能够监测和处理普通法灌浆、GIN法灌浆、三参数灌浆、四参数灌浆、五点法压水、单点法压水等过程中的各项数据,可输出中、英文施工报表和工程曲线。

目前国内的惠通(HT)、捷通(JT)系列智能灌浆自动记录仪严格按照国家标准研发制作,是目前国内操作最简便、记录最精确、功能最完善、工作最稳定的记录仪。系统的主要特点包括:

(1)计量精准。硬件核心技术完全自主开发,标称精度 $G0.5$,实际检测精度达到 $G0.3$ 。

(2)传输稳定。数据传输V282通信协议,能够

在强电、强磁干扰下稳定、迅速、准确地传输数据。实验证明,在强电磁干扰下稳定传输 1 Mbit 数据,误码率为零。全通道使用时,不串数据。

(3)适应环境能力好。针对灌浆工地潮湿、灰尘大、电压波动大、电磁干扰大、震动强烈等恶劣环境,仪器主要元器件均采用进口元件,寿命比同类器件长10倍以上。采用多重防尘、防震、防潮、防电磁干扰设计,内置稳压电源。体积小(长 $40\text{ cm}\times$ 宽 $40\text{ cm}\times$ 高 15 cm),质量轻(JT系列 8 kg 、HT系列 4 kg)。

(4)保护完善。除通常的熔丝保护之外,增设电源的过压、过流以及过热保护,输入信号的过载保护,有利于保护采集卡等精密器件以及外部传感器。

(5)资料输出。针对工地恶劣的施工环境,对数据进行实时存储,确保在突然断电以及各种突发状况下,绝对不会丢失数据。采用A4纸打印资料,方便资料的整理和存储。

(6)软件设计。运行稳定,界面直观,操作便捷;可自动生成《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL 62—2014和DL/T 5148—2012)上要求的所有成果资料和工程图纸。

(7)长距离信号传输:信号传输距离可达 1000 m 。

3 水利水电钻探技术的发展趋势

目前,科技发展日新月异,水利水电勘探行业的竞争日趋激烈,近景范围内,水利水电工作将根据国家“十四五”规划,围绕和依托重点工程,朝着高质高效,绿色环保方向发展;而在远景范围内,水利水电钻探技术将在市场化的大趋势下与其他行业进一步融合,具体在钻探业务范围方面、钻探管理及专业技术人才方面、勘探技术方面、取心技术方面、钻探设备方面等5个方面有着相应的发展趋势:

(1)在钻探业务范围方面,水利水电工程是能源结构调整中的风向标,钻探业务的范围也将不局限于传统的水利发电枢纽,趋向于深海风电资源、潮汐发电资源、高原水电资源方向发展;并且,基于服务“一带一路”战略要求,有能力的勘测单位将不断拓展海外市场,适应国际化需要;而在新理念与新技术的概念定义方面,行业内将引入更多的钻孔

技术新理念,如中南院在三板溪水电站环保生态项目的应用。

(2)在钻探管理及专业技术人才方面,高层次技术人员进入水利水电钻探管理岗位并带动行业技术水平整体发展,由劳动力密集型转向智能化钻探发展,一线职工的工作条件大幅改善并大幅降低劳动强度,人均产出与收入显著提升,从而进一步形成行业引力的良性循环。

(3)在勘探技术方面,趋向于绿色勘查技术发展,减少钻探工作量,降本增信息。如更多采用先进工艺和机具来实现钻孔多信息和大效益。设计和实施定向孔,斜孔或水平孔替代多个直孔,通过孔内测试,观测和孔内物探获取更多信息。近年来水平定向钻机+小口径螺杆马达取心技术+孔内原位测试就是一个趋势。而且钻探行业技术融合更加紧密,如引入煤炭行业成熟的定向钻进技术、石油地质行业先进的的钻井液技术、钻完井技术。

(4)在取心技术方面,将趋向于多层保真取心、岩心定向取心发展,随着材料科学与技术、机械加工与制造技术的进步,在钻孔取心工艺和钻孔取心钻具上有了长足进步,有密闭取心、保压取心、保形取心、定向取心、长钻程同径取心钻具、半合式内管、三层岩心管单动双管取心钻具、大口径绳索取心钻具、多合一(工艺组合、工具组合)取心技术及钻杆、钻头的优化与优选技术。

(5)在钻探设备方面,趋向于绿色环保、智能模块化、全液压钻机、行业领域精细划分等方向发展。

4 结语

改革开放以来,我国水利水电工程建设突飞猛进,水利水电工程钻探工作也取得了诸多重大的技术成果,为全国水利建设提供了有力的技术支撑。但进入新时代,围绕国家“十四五”规划的具体要求,水利水电工程钻探的范围、领域得到不断的拓展与深化,水利水电勘测单位的钻探技术水平对于工程总体建设质量、进度、安全、成本等方面的影响巨大,因此,掌握本行业已有的技术并能在准确判断行业发展趋势的前提下形成自身的核心技术竞争优势对水利水电勘测单位自身的发展至关重要。与此同时,合理选择和应用各项钻探技术方法对于优化水利水电工程建设也有着重要的意义。

参考文献(References):

- [1] SL 31—2003, 水利水电工程钻孔压水试验规程[S].
SL 31—2003, Code of in-hole water pressure test for water conservancy and hydropower works[S].
- [2] 周彩贵,毛会斌,林峰,等. 钻孔高压压水试验在抽水蓄能电站的应用及探讨[J]. 西北水电, 2016(4):78-81.
ZHOU Caigui, MAO Huibin, LIN Feng, et al. Application and study on pressure water tests with high pressure in boreholes of pumped storage power plant[J]. Northwest Water Power, 2016(4):78-81.
- [3] 马明,童静波,刘良平,等. 水利水电勘探及岩土工程发展与实践[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2019.
MA Ming, TONG Jingbo, LIU Liangping, et al. Development and practice of water conservancy and hydropower investigation and geotechnical engineering[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2019.
- [4] 赵海滨,翦波,王思敏,等. 坝基破碎岩体高压渗透变形原位试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(11):95-100.
ZHAO Haibin, JIAN Bo, WANG Simin, et al. In-situ test of fractured rock mass with high pressure seepage in dam foundation[J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(11): 95-100.
- [5] 易学文,周晓,李守圣,等. 水利水电工程钻探绳索取心钻进中压水试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S1): 88-90.
YI Xuewen, ZHOU Xiao, LI Shousheng, et al. Research on wire-line core drilling combination with water pressure test in water conservancy and hydropower engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(S1): 88-90.
- [6] 郭明,李守圣,易学文,等. 绳索取心钻进在水利水电勘探中存在的问题及解决思路[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(3):24-27.
GUO Ming, LI Shousheng, YI Xuewen, et al. The problems and solving thoughts of wire-line coring drilling in water conservancy and hydropower exploration[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(3):24-27.
- [7] 马明,范子福,等. 水利水电工程钻探与工程施工治理技术[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2009.
MA Ming, FAN Zifu, et al. Water conservancy and hydropower drilling and geo-technical treatment technology[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2009.
- [8] 崔中涛,徐海洋,郭劲松. 自由振荡法试验在地层渗透性评价中的应用与探讨[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(4):78-81.
CUI Zhongtao, XU Haiyang, GUO Jinsong. Discussion on the application of free oscillation test in stratum permeability evaluation[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(4):78-81.
- [9] JGJ/T 87—2012, 建筑工程地质勘探与取样技术规程[S].

- JGJ/T 87—2012, Technical specification for engineering geological prospecting and sampling of construction[S].
- [10] 卢春华,肖冬顺,曾立新,等.工程钻探与取样技术[M].武汉:中国地质大学出版社,2019.
- LU Chunhua, XIAO Dongshun, ZENG Lixin, et al. Geo-technical drilling and coring technology[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2019.
- [11] 马明,刘良平,孙志峰,等.全国水利水电勘探及岩土工程技术实践与创新[M].武汉:中国地质大学出版社,2015.
- MA Ming, LIU Liangping, SUN Zhifeng, et al. Practice and innovation in water conservancy and hydropower survey and geotechnical engineering technology in China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2015.
- [12] 长江水利委员会三峡勘察研究院.水利水电工程勘探与岩土工程施工技术[M].北京:中国水利水电出版社,2002.
- The Three Gorges Survey and Research Institute of the Yangtze River Water Resources Commission. Water conservancy and hydropower survey and geotechnical construction technology [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2002.
- [13] 侯德峰,康善修.中深孔直斜两用轻便钻塔的研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(6):8-10.
- HOU Defeng, KAN Shanxiu. Development and application of portable dual-use drilling tower for medium-deep vertical and inclined holes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(6):8-10.
- [14] 王军,李紫光.大顶角斜孔钻探施工设备配套及工艺的研究与应用[J].工程建设与设计,2014(12):108-110.
- WANG Jun, LI Ziguang. Research and application of large angle oblique hole drilling construction equipment and technology [J]. Construction & Design for Engineering, 2014 (12): 108-110.
- [15] 孙云志,卢春华,肖冬顺,等.水利水电工程大顶角超深斜孔钻探技术与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2018.
- SUN Yunzhi, LU Chunhua, XIAO Dongshun, et al. Drilling technology for large angle and super deep inclined holes and its application in water conservancy and hydropower projects [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2018.
- [16] 王达,何远信,等.地质钻探手册[M].长沙:中南大学出版社,2014.
- WANG Da, HE Yuanxin, et al. Geological drilling handbook [M]. Changsha: Central South University Press, 2014.
- [17] 任良治.汛期江上工程钻探施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9):58-60.
- REN Liangzhi. Construction practice of river drilling in flood season[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(9):58-60.
- [18] 赵尔信,蔡家品,贾美玲,等.我国海洋钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):43-48,70.
- ZHAO Erxin, CAI Jiabin, JIA Meiling, et al. Marine drilling technique in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(9):43-48,70.

(编辑 韩丽丽)