

水文水井钻探技术现状及钻探新技术的应用

¹张金昌 孟庆鸿

(中国地质科学院勘探技术研究所 河北廊坊 065000)

摘要：本文对我国目前水文水井钻探技术现状进行了分析，对优质高效钻探新技术进行了综述，特别是多工艺空气钻探技术、多介质反循环钻探技术、绳索取心钻探技术、液动锤钻探技术、受控定向分枝孔钻探技术等，并对其应用情况进行了归纳总结，分析展望了上述新技术在地下水勘查与开发中广阔的应用前景。

关键词：水文水井 空气钻探 反循环钻探 液动锤 定向分枝孔

我国人均水资源量仅为世界平均水平的 1/4。目前，全国 660 多个建制市中，有 330 个不同程度的缺水，其中严重缺水的 108 个，32 个百万人以上的大城市中，有 30 个长期受缺水的困扰。可见，我国是水资源贫乏的国家，不仅在许多地区已成为经济发展的“瓶颈”，而且成为直接威胁人类生存的大问题。因此，合理勘探开发地下水资源具有十分重要的经济意义和深远的社会意义。

1 水文水井钻探技术的现状

水文地质钻探是勘探开发地下水的一个重要技术手段，其任务就是在地面水文地质调查的基础上，进一步查明地下水的埋藏条件、运动规律和含水层的水质、水量以及水温等水文地质规律，为合理的开发利用、保护或补给地下水提供所需的资料。

建国以来，我国的水文水井钻探技术经历了 50 多年的发展，有了长足的进步，现从工艺与设备两个方面对其发展现状作一简要分析。

1.1 钻探工艺

水文水井钻探工艺技术经历了无循环静液柱护壁钢丝绳冲击钻进、清水或普通泥浆正循环回转钻进、低固相优质泥浆正循环回转钻进、泵吸反循环和气举反循环回转钻进、多工艺空气钻进以及多介质反循环钻进等阶段。目前我国水文水井钻探工艺呈现如下特点。

1.1.1 循环介质

水基、气基介质并存，可共选择余地大。对水源比较充足地区以水基介质为主，对干旱缺水地区则以气基介质为主。根据勘探区不同地层条件可共选择的主要介质如下：

水基钻井液：清水，普通泥浆，加重泥浆，无固相泥浆，饱和盐水，各种乳胶液以及润滑钻井液等。

气基钻井液：空气（压缩空气），雾状气（气水混合），稳定泡沫，胶质泡沫及充气泥浆（泡沫泥浆）等。

作者简介：张金昌，男（1959-），硕士，中国地质科学院勘探技术研究所副所长，教授级高工，探矿工程专业，从事水文水井钻探设备与工艺的研究及科技管理工作；

冲洗液在孔内循环方式有三种：正循环钻进，反循环钻进（气举、双壁管），正反循环（混合）钻进等。

1.1.2 碎岩方法及碎岩工具

碎岩方法经历了钢丝绳冲击钻进，钻粒、硬质合金回转钻进、牙轮钻头回转钻进到球齿钻头气动或液动冲击回转钻进等。目前，冲击钻进、回转取心钻进、回转全面钻进、冲击回转钻进等钻进方法都有应用。在卵砾石地层水井钻凿工程中，钢丝绳冲击钻进仍是一种有效的方法。而在水文地质普查孔、水文地质勘探孔钻探过程中多用回转取心钻进和冲击回转钻进方法。在探采结合孔和水井钻探过程中多用回转全面钻进、冲击回转钻进方法。

1.2 钻探设备

早期的水文水井钻探设备多借用岩心钻探设备，由于钻进能力不能满足要求，一般采用小口径钻进取心（样），大口径分级扩孔成井方法。水井钻探多采用钢丝绳冲击钻进，静水压护壁，捞砂筒排渣的工艺方法。目前使用的水文水井钻探设备多为专用设备。常用的钻机除了 20 世纪 50~70 年代研制的 DPP-100 型、SPJ-300 型、SPJT-300 型、SPS-400 型 SPS-600 型和红星-400 型外，多采用新型车装 SPC 系列钻机（钻深 100-600m）、散装 TSJ 系列钻机（钻深 600-2000m）。20 世纪 80~90 年代研制的 SDY-600 型、FD-300 型全液动力头车装钻机对提高我国的水文水井勘探技术水平及钻探新工艺的推广应用起到了极大的推动作用。除此之外有关部门还引进了美国的 T4W、T3W，德国的 B3A，法国的 R28 等型号的车装全液压水文水井钻机。据不完全统计上述钻机中应用最多的机型是 SPJ-300、SPC-300 和 TSJ-1000 型。“九五”期间，由勘探所与济南探矿厂联合开发成功 SJ-1500 型、SJ-2000 型转盘水井钻机，其最大特点是主卷扬机配备有水刹车及油马达平衡给进系统，适于钻进 1500-2000m 的水文地质孔和 800-1500m 的水井及地热井。张家口探矿厂研制成功了 SPS2000 型水井钻机，用于 1500m 深层地下水及浅层地热的开采。

钻探用泥浆泵主要有 衡阳探矿机械厂生产的 BW 系列、石家庄煤探机械厂生产的 TBW 系列。为了适合深孔泡沫钻进的需要，吉林大学研制成功了 BWZ-250、BWZ-1100 型水泵泡沫增压装置；为了满足深孔气举反循环钻进的需要，勘探所与蚌埠空压机总厂联合研制成功了 WF-5/60C 型压缩机，可满足 3000m 以内的气举反循环钻进的需要。

1.3 成井管材

过去多用水泥管、铸铁管和厚钢管，这些管材笨重、易腐蚀、易结垢，影响水井寿命。现在常用塑料管、桥式镀锌滤水管、贴砾滤水管、玻璃钢管代替。

2、钻探新技术的应用概况

在西部大开发、国土资源地质大调查中，党中央及国土资源部已把水资源的勘查与开发

列为重中之重。全国地下水资源调查评价是地质大调查中的一项重要工作内容,要想按时按质的完成任务和达到预定的目标,除采用先进的地质理论和地质技术外,还必须采用先进的取心取样钻探新技术。若采用常规的钻探技术进行施工,有很多地区存在着不少技术难题,如勘探速度慢、效率低、成本高;孔内卡、埋钻事故频繁;易堵塞生产层裂隙、泥皮粘糊孔壁等,缺水地区还存在着大量的生产用水难以解决,不可避免的影响对水资源的勘查与评价。这一系列因素,要求我们改变原有的观念,进行技术革新,选择适合一定地区的、先进的钻探技术,提高钻探效率、降低成本、保质保量的完成任务,从而带动钻探新技术的推广应用。

“六五”~“八五”期间,钻探技术进步显著,以绳索取心为主体的金刚石钻探技术有了很大发展,带动了钻探技术工艺方法和技术装备等全面变革,受控定向钻探技术已经达到了国际先进水平,冲击回转钻探技术成为拥有我国自主知识产权的一项特色技术,达到国际先进水平;多工艺空气钻探技术和反循环钻探技术趋于成熟;钻探机械和仪器发展了适应多工艺方法的系列产品,技术装备基本成龙配套,在地质勘查中发挥了积极作用。

2.1 多工艺空气钻探技术

空气钻进是指用压缩空气或含有压缩空气的气液混合物作为钻进时的循环冲洗介质,或者既用其作为破岩机具的动力,又兼作冲洗介质的一种钻进工艺方法。近几年来发展很快,技术成熟,逐渐形成包括循环介质、循环方式、碎岩方法和应用领域的多工艺空气钻进技术体系。

其主要特点如下:低密度介质有利于提高碎岩速度;能有效冷却钻头、清除岩屑和快速判层;能在不稳定地层中保护孔壁和少污染环境;有利于保护含水层和低压油气层并提高产出率;特别有利于在干旱缺水地区和严寒、冻结层施工;亦利于忌用液体循环的抗滑锚固孔和露天矿爆破孔施工;空气潜孔锤钻进能大幅度提高硬岩钻孔速度;气举反循环钻进能实现2~3m以上大直径井孔和超过2000m深井施工。

多工艺空气钻探被视为当今应用最广和最有发展前景的钻探技术之一,通过“七五”、“八五”期间的攻关研究与完善,已形成较为成熟的现代快速综合钻探技术,“多工艺空气钻探技术推广应用”已被国家科委遴选编入“国家科技成果重点推广计划项目创产值超亿元100例”。勘探所结合各领域不同用途、各地区不同地质条件等进行了多工艺空气钻探技术研究,以及在实践中不断的完善,先后开发了SHB114/70、127/70、140/100、CSR73/33、CSR73/39等多种双壁钻具与配套器具。还开发了多种型号的钻机,如SPC系列水井钻机、全液压动力头式FD-300型钻机等,及可用于复杂地层的ADF型系列泡沫剂等。

多工艺空气钻进技术的应用,成功解决了长期存在的若干技术难题,如干旱缺水地区、永冻层及漏失层钻探施工;用其它循环介质无法保证安全钻进的地区施工;用其他钻探方法无法保证钻探质量的地区施工;用其他钻探方法在若干岩层钻进效率甚低等。

该技术的推广应用,大大提高了水文水井钻进速度与成井质量,用空气潜孔锤和气举反循环钻进比常规回转钻进一般可成倍乃至十几倍提高钻进速度;已产生了巨大的经济效益

和社会效益，据不完全统计，多工艺空气钻进自推广以来，完成钻进工作量 130 余万米，仅 20 个单位至 1998 年的统计，累计创产值 6.4 亿余元，新增利税 0.9 亿元；已为我国晋北、豫西、陕甘宁和内蒙古、广西岩溶地区、京郊山区等，打了许多丰产井，解决了数以百万计的人畜与生产用水困难，为扶贫致富发挥了重要作用。

2.2 多介质反循环钻探技术

所谓反循环钻进就是指钻探过程中循环介质同常规钻探方法的循环方向相反，反循环钻进一般采用双壁钻具，循环介质主要分为压缩空气和液体两种。钻进过程中，循环介质经过双壁气水龙头、双壁主动钻杆、双壁钻杆内外管环隙到达孔底，驱动孔底破岩器具破碎岩石，并携带岩心及岩屑经钻杆的中心通道到达地表的岩心或岩样的收集装置。

由于反循环钻进具有独特的双壁钻具结构，无需提出孔内钻具就能获取所需的地质样品，决定了该方法具有如下优点：时间利用率高，钻进效率高，劳动强度低，洗井效果好；孔底清洁，钻头寿命长，实现了钻进、取样同时进行，达到了优质、高效的目的。

根据循环介质的不同，反循环钻探技术主要分为空气反循环和水力反循环。

2.2.1 空气反循环连续取样钻探 具有多种钻具结合方式(见图1),能够适应多种地层

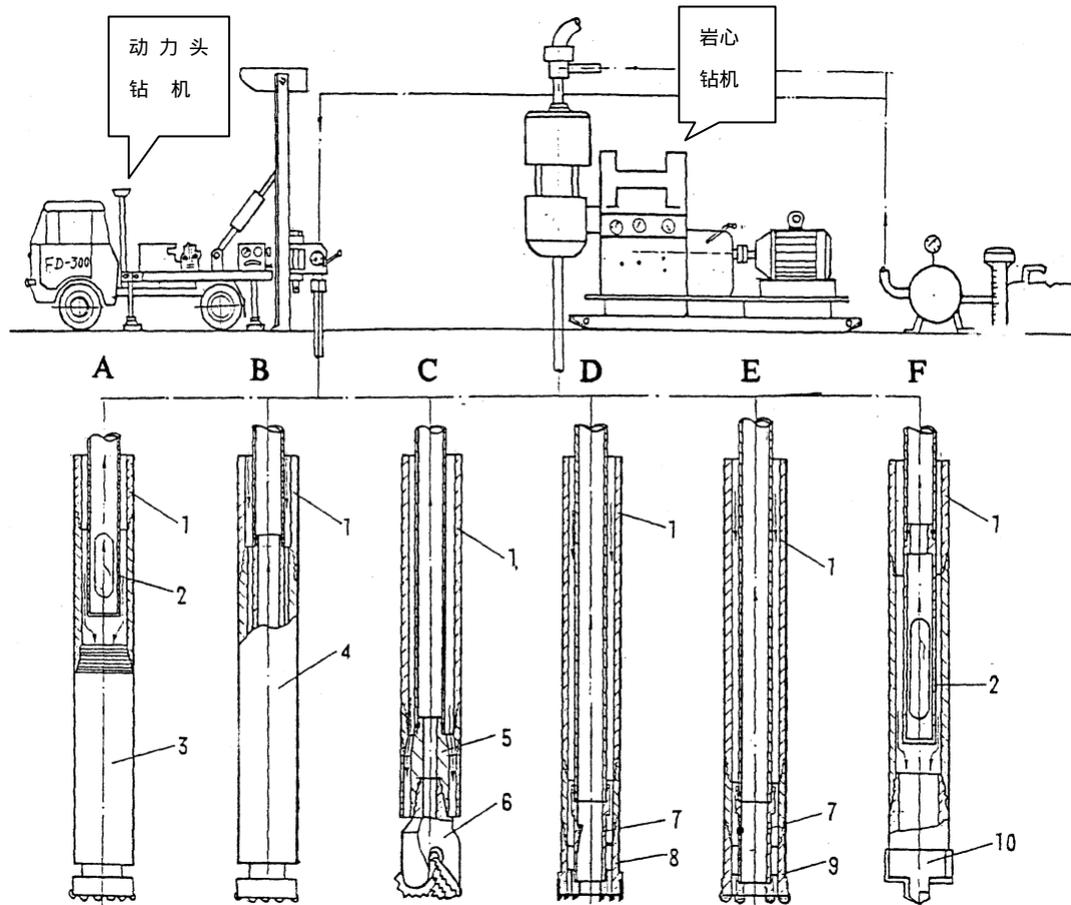


图1 空气反循环钻探钻具组合示意图

- 1—双壁钻杆 2—转换接头 3—普通潜孔锤 4—贯通式潜孔锤
 5—牙轮钻具配气接头 6—牙轮钻头 7—岩心卡断器 8—合金钻头
 9—复合片钻头 10—刮刀钻头
 A—普通潜孔锤钻具组合 B—贯通式潜孔锤钻具组合 C—牙轮钻具组合
 D—合金钻具组合 E—复合片钻具组合 F—刮刀钻具组合

条件(见表1),进行取心或取样连续钻进,能够满足地质上对岩心的要求;尤其适合干旱缺水地区水文地质勘查孔钻探施工等特点。由于循环介质为空气,不会堵塞水通道、对水质无污染,且不会打丢含水层;钻进过程中即可根据岩样上返潮湿程度判断是否进入含水层;随着含水层钻进深度的增加,孔口返水量逐渐增大,穿过含水层后,返水量趋于稳定,从而可以大致地判断含水层的位置,定性判断水量的大小。如宁夏二人山—金场子矿区原定为贫水区($5\text{m}^3/24\text{h}$),用空气反循环钻探20余孔,不仅孔孔见水,且涌水量达 $20\sim 30\text{m}^3/\text{h}$ 。又如,在周口店探工所院内用常规方法钻进数百米深未找到地下水,用本方法却发现了较丰富的达饮用水标准的地下水。

2.2.2 水力反循环连续取心钻探技术以液体作为循环介质,利用双壁钻具实现岩心的连续上返。该钻探技术以硬质合金和金刚石钻头为碎岩工具,以回转磨削取心的方式钻进。主

要用于 2~4 级覆盖地层、煤系地层以及较完整的中硬岩层中钻进。实践证明，水力反循环连续取心钻探技术用于水文地质勘查、地质填图、地球化学勘探、煤田取心钻探及环境保护等钻探施工中，具有较高的钻探效率和较好的地质效果。在山东烟台 300 多米钻探施工中，综合台月效率达 1300 多米，时间利用率达 75%。

表 1 钻具组合与适应地层情况

2.3 绳索取心钻探技术

绳索取心钻探技术是一种应用较广泛的地质取心钻探技术，该技术对地层适应性广。勘探所 1973 年首次研制成功用于岩心钻探的绳索取心钻具，后续逐步开发出多种系列产品：水文水井绳索取心钻具系列，坚硬“打滑”地层用绳索取心钻具系列，用于深孔的重型绳索取心钻具，松软破碎地层及煤系地层的绳索取心半

钻具组合	地 层 条 件					
	坚硬	中硬	软	松软	破碎	涌水
1 普通式潜孔锤				×		
2 贯通式潜孔锤				×		
3 牙轮钻具						
4 合金钻具	×					
5 复合片钻具						
6 刮刀钻具	×	×				
注：完全适合 基本适合 × 不适合						

合管钻具系列和绳索取心塑料三层管和超前管钻具等，与此同时，还开发了与其配套使用的钻头、扩孔器等，大大提高了我国金刚石钻探的技术水平。

应用绳索取心钻探技术可以减少升降钻具次数，增加纯钻进时间，减少岩心磨蚀和中途脱落机会，岩心采取率达 90~100%；能延长钻头寿命等；被誉为“四高、三低、两好”，即工程质量高，时间利用率高，钻进效率高，钻头寿命高；事故率低、劳动强度低、设备材料消耗低；地质效果好、经济效益好。

为了满足新一轮地质大调查地质钻探需要和进一步提高我国地质钻探综合水平而采用的一种新型钻探技术—组合钻探技术应运而生，将空气反循环连续取样、水力反循环连续取心及绳索取心钻探技术有机结合起来，采用一套钻杆和辅助器具就能完成，达到了因地施钻，满足了地质要求，提高了钻探效率，降低了钻探成本。该项技术可较好地用于水文地质孔勘查与固体矿产勘探；同时我们还在继续开发复杂地层中深孔使用的绳索取心配套钻具等。

2.4 液动冲击回转钻探技术

液动潜孔锤钻探技术是在回转钻进的基础上增加一个利用洗井液驱动的液动潜孔锤，它可产生具有一定冲击能量和频率的载荷，从而可大幅度提高 5 级以上地层钻探效率，克服金刚石钻进“打滑”问题，在岩心易堵塞的破碎岩层中延长回次进尺。勘探所先后开发出六个系列 30 多个规格的液动潜孔锤，如正作用系列、双作用系列、绳索取心系列、水文水井钻系列、液气两用系列，目前仍在开发深井用液动锤及喷反系列液动锤等。

中国大陆科学钻探是国家重点工程项目，它的实施从钻探技术的角度来看将是全面检验

和提高我国钻探技术水平的一个极好的机会，其 2000m 先导孔及主孔施工采用了具有中国特色的先进技术：螺杆马达/液动锤/金刚石取心钻进工艺方法。勘探所研发的 YZX127 液动锤已成为 CCSD 主孔不可缺少的钻探器具，目前正在 3000 多米的主孔中发挥着主导作用。

综上所述，我所从 1958 年起率先开始液动潜孔锤技术研究，经过几代人不懈努力，在理论和技术上有新的突破的同时，积极进行科技成果的转化与应用，使其应用领域进一步拓展。近年来液动冲击回转钻探技术已应用于地下水勘查、水井与地热、油气井、地质岩心钻探、水下爆破及工程地质勘察等领域，且在推广应用中能取得良好的效益。

2.5 受控定向分枝孔钻探技术

受控定向钻探技术就是采用孔底马达和必要的弯接头或弯外壳控制方向沿设计的轨迹进行钻进，来达到预定的靶区内，该钻探技术可在一个主孔的不同深度、不同方向钻出多个分枝孔，可大大提高钻探效率，节约成本，提高钻孔的综合利用率。

目前，受控定向分枝孔钻探技术已成功地在固体矿产勘探中得到应用，定向钻探对接井技术也广泛用于盐矿、地下煤层气化等领域，可在一个主孔内钻出 6-9 条分枝孔，可实现两井相距 500m 的钻孔在地下 3000m 的对接，勘探所已成功使用该技术完成对接井三十多对，2002 年勘探所在湖北完成了深达 2787m 的对接，创国内对接井之最。该技术的成功应用已为社会及生产单位带来了很好的社会效益和经济效益。

受控定向多分枝孔钻探技术用于开发地热及水文水井钻探等方面，能较好的扩大地热井及水井的采集面积，丰富水源的水量；在涉临枯竭的水井中，可以在同一主井实施放射状水平井，以提高水井的采取率及延长使用寿命，使枯井起死回生；对接连通井技术可将地下干热岩转换成地热，以充分发挥地下能源的有效作用，为民造福。

3 钻探新技术在地下水勘查与开发中的应用前景与展望

经过多年的研究开发，上述钻探新技术在生产实践中不断的完善与发展，已在众多领域得以成功应用，已成为成熟的钻探技术。目前，正是全国地下水资源调查评价工作的重要历史阶段，钻探新技术在地下水勘查与开发方面，更能显示出其广阔的应用前景。

3.1 随着我国经济建设的发展，浅层地下水资源已远远不能满足工农业及人民生活用水的需要。有些地区浅层地下水的过度开采已造成浅层地下水资源枯竭，甚至大面积地面沉降（比如，我国华北就是一个大漏斗），有的地区浅层地下水受海水倒灌及工业污染不能开采利用。因此目前已逐步扩大了对深层地下水资源的调查与开发。这就要求浅层与深层地下水按比例合理开发利用。实施分层取水方法，有利于控制地面沉降，缓解部分地区漏斗扩大趋势，要有计划地勘探开发深层地下水，上述高效钻探新技术在深水井及地热井中的应用更能显示其优越性。因而具有广阔的应用前景，比如在深井基岩水文地质孔、水井中采用冲击回转、绳索取心钻探新技术可成倍提高钻探效率。

3.2 西部大开发过程中,许多干旱缺水地区水文地质孔、水井钻探施工,为有效解决当地用水紧张的矛盾,空气钻进、空气泡沫钻进在地下水勘探开发过程中有不可替代的作用。

3.3 西南岩溶(karst)石山地区找水钻探施工中,由于岩层多溶洞、漏失严重,常规水基钻井液循环钻进将无法正常进行,多工艺空气钻进技术将大有用武之地。

3.4 随着我国可持续发展战略的实施,水井钻探已超出了供水范围,它与地下水的补偿、污水的排除、城市地面沉降与回升等工程联系起来,水井钻探应用面的扩展,表明其相应钻井技术应用领域在不断扩宽。

3.5 城市大型工程项目的实施,地下空间的开发利用,都需要大量的降排水工程,这也为钻探新技术的应用领域开辟了新的天地。

3.6 随着钻探新技术的进一步发展,岩土钻掘工程应用的又一新领域—地源热泵技术,在国内已开始启动,该技术是利用地下岩石、土壤、地下水和地表水作为低温热源的热泵系统,冬季可以取暖,夏季可以制冷,具有环保和节能的双重效益,国际上将地下蓄能技术和高效热泵同时列入 21 世纪最有发展前途的 50 项新技术之中。

4 结 语

近几年来,钻探新技术已在许多应用领域取得了较为突出的社会效益和经济效益。这些技术的推广应用,改变了我国钻探技术方法单一、技术水平发展缓慢的落后局面;使我国整体钻探技术水平有了较大幅度的提高,并以其独特的优越性,解决了目前常规钻探技术难以解决的技术难题,从而加速了地下水、固体矿产等资源的勘查与开发利用速度。

我们的体会是 理论的创新推动技术的进步,技术的进步引发科技成果产品性能的提升,科技成果产品性能的提升促进市场竞争力的增强,市场竞争力的增强更有利于科技成果的转化与推广。随着上述各项钻探新技术进一步完善,其应用领域会越来越广,在全国地下水勘探开发进程中有广阔的应用前景,从而为我国经济建设的可持续发展发挥更大的作用。

参考文献:

- 1 耿瑞伦 陈星庆主编,《多工艺空气钻探》地质出版社 1994 年出版
- 2 张晓西,中心取样钻探技术成果与开发前景 《探矿工程》1999 年增刊
- 3 向军文等,定向对接连通井技术的发展及其展望 《探矿工程》2003 第 1 期
- 4 苏长寿,液动潜孔锤技术现状及其展望 《探矿工程》2003 第 1 期
- 5 张永勤等,水力反循环连续取心钻探技术的发展与前瞻 《探矿工程》99 年增刊
- 6 孙友宏等,岩土钻掘工程应用的又一新领域—地源热泵技术 《探矿工程》2002 增刊