地下水资源与水井牙轮钻探技术

许刘万[1] 史兵言[1] 曹福德[2]
（1 中国地质科学院勘探技术研究所 河北廊坊 065000）
（2 东北煤田地质局 103 勘探队 辽宁辽阳 111000）

摘 要：本文就我国地下水资源形势严峻性，以及国家关于水资源问题的基本国策，如何采用牙轮钻探技术进行高效钻进，通过多年来科研工作生产实践，进行了综述，以利于水井施工单位借鉴。

关键词：水资源 水井 牙轮钻探

1 地下水资源现状

随着国民经济建设的发展，地下水的开发利用愈来愈深，加之人们生活水平的不断提高，节约能源和保护环境，开发利用地下水资源已越来越引起国内外的高度重视。21 世纪面临人口、资源、环境协调的问题，其规模和难度都将是空前的。水资源是重要的矿产资源，国家“十一五”计划纲要强调水资源的可持续利用和开源节流并重，要求合理利用地下水资源。国土资源战略中亦要把地下水资源的勘查、开发和有效利用放在突出位置，尤其要把“加强西北重要工业、农牧业开发区、重要城市、黄土高原等缺水地区和地方病重灾区，防病改水及地下水勘查”，“优化地下水资源利用布局”特别列入国土资源部“十一五”计划纲要中。

据不完全统计，我国西北、华北地区的缺水面积相当于国土面积的 50%，全国 600 多个城市，有 400 多个供水不足，其中严重缺水的城市有 100 多个，月缺水量达 1500 万吨。因为缺水，全国工业产值平均每年减少 2000 多亿元。由于大量集中开采浅层地下水资源，造成一系列生态环境问题，包括地下水污染，河道常年断流，城市地面沉降，沿海海水入侵，地下水咸化，农田盐碱化，洼地干枯萎缩。造成原因主要是开采地下水的深度位置过浅，而且被过分集中超采导致浅层地下水（即地表水）天然补给速度低于过分开采速度等。中国城市水资源缺乏原因是大中城市流动人口剧增，生活污水相应增多，供需关系紧张。水资源时空分布极不平衡，每年夏季由于天气酷热，自然造成用水高峰期，一旦久旱无雨，使得可供水资源进一步减少。供水设施建设与经济发展不成比例，造成城市供水量严重不足，所以按照国际通用标准，中国已经成为一个贫水国。然而经济发展的事实有力地说明，缺水不仅严重影响人民群众的基本生存，而且是造成长期贫困的主要原因。

2 如何解决好地下水资源问题

为了解决好我国严重缺水问题，许多专家积极献计献策，共同为开采地下水“把脉会诊”，提高全社会对地下水循环规律的认识，遵循地表水与地下水多次相互转化、相互调剂的关系，提高水资源总利用率；开展深层地下水井及地热井钻井新技术研究，积极促进科技成果转化，包括研制不同类型的深水井钻机和与之配套的新技术工艺方法，加强已有成果的综合深入研究，坚持科研与生产单位之间的密切结合，集中优势技术力量，尽快研究解决目前我国深层地下水井和地热井钻井技术难题，优质高效地开发深部地下水资源对促进干旱缺水地区经济社会发展具有非常重要的意义。

3 目前我国地下水资源钻探技术

3.1 钢丝绳冲击和冲击反循环钻探

钢丝绳冲击钻探是最古老的一种方法。近年来经过不断革新已发展成为冲击反循环钻探技术，受到了广大用户的好评。但此种钻进主要用于卵砾石、致密性基岩效果好，但对钻进其它地层速度慢。这种钻探方式突出的优点是：钻探设备少，操作简单，易于搬迁，用水量小，钻开含水层时不易堵塞和污染含水层；不需要泥浆。缺点是在一般地层钻探效率较低，故除卵砾石和漂石层外，不常采用。

3.2 回转钻探

在钻进方法上又分为冲洗液钻进（即正循环钻进）、空气钻进和反循环钻进。

（1）冲洗液钻进

又分为清水钻进和泥浆钻进。清水钻进用于稳定地层，泥浆钻进用于次稳定或不稳定地层。在我国冲洗液泥浆钻进目前使用最为普遍，可是国外则要求采用多种钻进工艺，并能快速完成钻井。

（2）空气钻进

又分为：纯空气钻进，用于稳定地层；雾化清水钻进，用于湿润地层；雾化泥浆钻进，用于不稳定地层；粘性泡沫钻进，用于大直径钻孔；充气泥浆钻进，用于漏失地层。

目前除了油、气井、露天采矿上普遍采用空气钻进法外，在水井钻探方面用得不多。但在国外如美国、加拿大等国，空气钻进已成为采用最多的钻井方法之一。

（3）反循环钻进

按冲洗介质的类型不同，反循环钻进可分为充气（包括泡沫、雾气等）反循环与冲洗液反循环；以返水原理来分又可分为单管、双管和三管反循环等。在水井和地热井钻探中以气举反循环钻进用得最多。

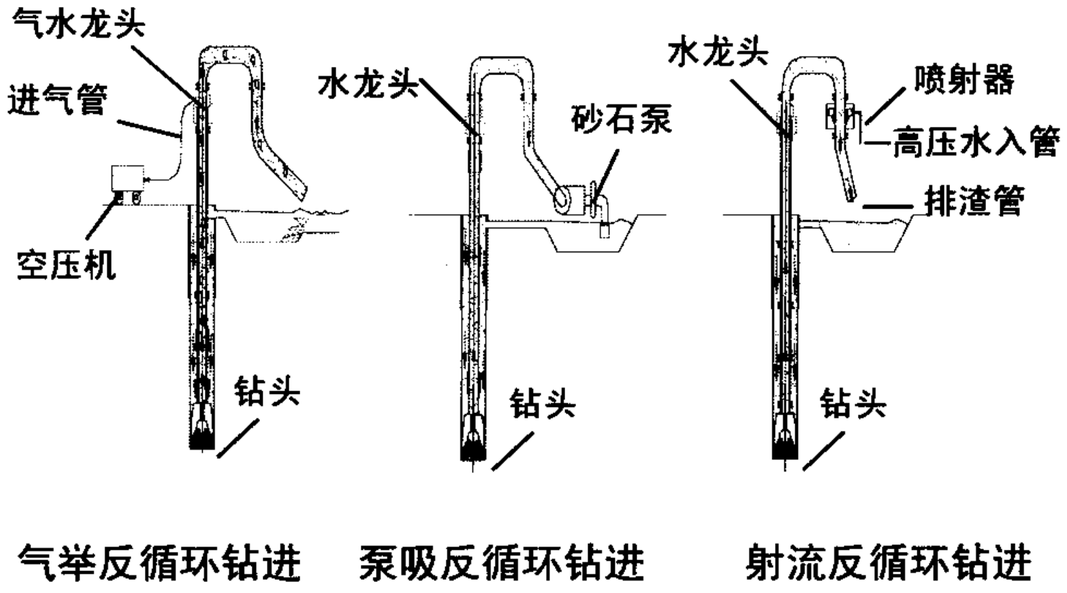


图 反循环钻进示意图

在实际工作中，孔深在50m以内多采用泵吸反循环或喷射反循环，孔深大于50m后，多采用气举反循环钻进，因为它是随着孔深的增加钻进效率不断提高。由于反循环钻进具有钻进效率高、钻头寿命长、成井质量好、在复杂地层中钻进安全可靠、并能实现连续取样（心）钻进，节省辅助时间和减轻劳动强度等特点，颇受使用单位的认可与欢迎。尤其在“十一五”期间国家关于加强地下水资源合理勘探开发利用的大好时机，深水井和城市地热井开发市场前景广阔，而且海内外投资者愈来愈多，商业化地热发展也推动了全国范围内地热勘探开发工作的热潮。特别是气举反循环钻进技术的广泛应用，为我国地下水资源开源勘寻，建立重点水源地提供了技术保证，有利于推进地热产业化，加强国际地热科技合作与交流，推动地热科学发展。

3.3 冲击回转钻探

又分为液动潜孔锤和气动潜孔锤，主要优越性为：钻进效率高，钻头寿命长，回转速度低，扭矩和钻压小，并有防斜作用。

液动潜孔锤耗用功率较大，目前仅应用于小口径岩心钻探。气动潜孔锤我国已有好几个厂家生产，国产用的最多的是浙江嘉兴嘉冶矿山钻具有限公司的。更好一些的则选用（原美国英格索兰公司）阿特拉斯·科普柯集团与我国宣化合作生产的各种型号的气动潜孔锤。这种方法有利于在干旱、缺水和寒冷地区及永冻地层凿孔。

根据以上介绍的几种地下水资源钻探技术，广大用户只有根据不同的地质、地理和技术条件选用不同的钻进方法，才能提高水井钻进的经济效益。

4 牙轮钻探技术

牙轮钻头钻进，适用范围比较广泛，从软地层到硬基岩层均可采用。由于它具有独特的破岩作用，从20世纪初开始使用，到现在已有一百多年的历史，经过在油气钻井方面长期使用考验而证实效果很好。随着水井钻探技术和设备的不断发展，在地下水资源开采深度不断增加、竞争与机遇并存，困难与希望同在的形势下，挖掘技术潜力，用速度快、投资省的钻进技术方法进行施工，这是广大用户的共同心愿。所以牙轮钻探技术已作为一项重要技术措施逐步推广采用。为了完善这项钻探技术的应用，以给从事水井钻探的工程技术人员提供技术食粮，若能在施工中发挥点指导作用，笔者将无比欣慰。

4.1 牙轮钻头的结构类型

按牙轮的数量分为：单牙轮、双牙轮、三牙轮、四牙轮及多牙轮钻头；

按破碎岩石的方法分为：取心牙轮钻头、全面钻进牙轮钻头；

按钻进工作性质分为：直接钻进与扩孔用两类：

按牙轮的牙齿和结构分为：镶齿、钢齿、锥形及盘型轮等。

常用的三牙轮钻头体分为有体式与无体式两种。无体式是以装有牙轮的三个轮掌，直接用电焊组装在一起，而有体式则用一个躯体来衔接。轮掌轴上装有牙轮，牙轮借滚柱及钢球实现灵活转动，钢球

并起到轴向锁紧作用。为了保持轴承润滑，轮掌背上设有储油补偿系统，密封一般为径向“O”形圈和金属密封环两种。完整的三牙轮钻头都有喷嘴，以利于冲洗液的射流效果，加速钻进的目的。

4.2 牙轮钻头的工作原理及破岩机理

牙轮钻头在钻杆和钻铤轴心压力的驱动下，牙轮钻头在井底以钻头公转、牙轮本身的自转，产生上下往复运动（纵向振动）和静压以压碎、冲击和剪切作用来破碎井底岩石。纵向振动是牙轮在滚动过程中，双齿单齿交替着岩，而形成整个钻头的纵向振动，构成了轮齿对岩石的动压入作用。

由于牙轮钻头采用牙轮超顶、复锥和移轴的结构，使得在井底滚动的同时产生轮齿对岩石的滑动来实现剪切作用，以提高破碎效果。破碎的坑穴扩大，加上水力作用，冲蚀并扩大破碎体积，这就形成牙轮钻头对岩石的压入，冲击和剪切的综合破碎机理。

4.3 牙轮钻头选型的方法

牙轮钻头选型是否合理与钻井成本的关系很大。所以，根据施工情况合理地选择钻头是非常关键的。目前在地质和水井钻探方面使用的牙轮钻头均为石油钻井规格范围，其中三牙轮钻头用的最为普遍，但特殊钻孔施工时只能采用自制的组焊式牙轮钻头。从我们多年来科研开发生产实践来看，用户往往由于钻头选型不当，使得钻井速度慢，成本高。正确地选择钻头，一方面要对现有钻头的工作原理与结构性能特点有清楚的了解；另一方面还应对所钻地层的岩石物理机械性能有充分的认识，如：岩石的硬度、塑脆性、研磨性、可钻性等。为了帮助用户掌握好牙轮钻头选型，现就有关问题叙述如下：

（1）研磨性地层的选型

研磨性地层会使牙齿过快磨损，机械钻速降低很快，钻头进尺少，特别会磨损钻头的规径齿以及牙轮背锥与爪尖，使钻头直径磨小，轴承外露，加速钻头损坏，这时最好选用镶齿钻头。

（2）软硬交错地层的选型

一般应选择镶齿钻头中加高楔形齿或加高锥球形齿，这样既在较软地层中有较高的机械钻速，也能保证对付硬地层，但在钻进时的钻压及转速上应有区别，钻进软地层时可提高转速降低钻压，在硬地层井段应提高钻压降低转速，以达到更好的经济效果。

（3）容易井斜地层的选型

地层倾角较大是产生井斜的主要原因，而下部钻柱的弯曲与钻头类型选择不当，是造成井斜的技术因素。通过生产试验得出，移轴类型的钻头，在倾斜地层钻进时易造成井斜，所以应选用不移轴或移轴量很小的钻头，同时，保证移轴小的前提下，还应选比地层岩石性能较软类型的钻头，这样就可在较低的钻压下提高机械钻速。

（4）浅井段与深井段的选型

为了达到最好的经济效果，在浅井段应选用机械钻速较高类型的钻头，深井段应考虑使用寿命长的钻头，这样既经济又安全。

总的来说牙轮钻头选型，应根据岩性和钻头的磨损情况选择钻头的型号（软硬）。预算钻头的钻进成本选择钻头的类别（厂家），用钢齿钻头还是用镶齿钻头的合理性，应在选择的过程中尽量选择软型号的钻头。选择钻头的原则是如何把钻进成本降到最低。钻进成本可用下列公式计算：

$$C=[C_b+C_r\ (T_t+T)]/R/T\ (元/m)$$

式中：C_b——钻头成本；

C_r——钻机作业费；

T_t——起下钻时间；

T——纯钻时间或钻头寿命；

R——平均钻速。

从公式看出，要降低成本就要提高钻速和寿命，但钻速比寿命显得更为重要。不过随着孔深的增加，起下钻时间 T_t 增加，这个重要程度会降低，但钻速总是比寿命重要。从优选钻井参数的角度来考虑，钻速与寿命是相矛盾的，即钻速增加寿命缩短，尤其是镶齿钻头，因为同厂同期产的同一轴承类型钻头的轴承寿命差不多，而且牙齿的磨损程度对钻速的影响不大。因此钻头的初步选型软硬主要从获得最高的钻速出发。

一般越软型号的钻头越能获得高的机械钻速，因为牙齿长、移轴超顶大，刮削作用大，但牙齿容易被磨损、憋断。因此要根据岩性和钻头磨损情况尽量选择软型号钻头。

4.4 牙轮钻头钻进的优越性及适应条件

据我们多年来给用户的配套，不论在国内还是去国外承包水井钻探工程，采用牙轮钻头钻进的可以说占了80%以上，尤其深水井、地热井施工占的比例最大。从近年来牙轮钻头使用的领域来看，已扩展到桩基施工、非开挖工程施工、煤矿瓦斯排放

井施工等，应用范围不断扩大，产生的社会和经济效益非常显著。

实践证明，牙轮钻头钻进对地层及地下水情况无特殊要求，其适应范围是很宽阔的。同一般筒钻取心钻进、钢粒钻进相比效率要高出1倍以上，钻头寿命也高，一只三牙轮钻头在5～6级中硬岩石中钻进数10～100m不成问题，成本低，一次性投资也不大。钻进过程中增加了纯钻进时间也缩短了辅助时间，有时几个班才提一次钻。所钻井壁圆滑、完整、垂直度高。但这只是讲的正循环钻进所具有的优越性。如若采用气举反循环钻进用牙轮钻头的话，产生的优越性比正循环钻进更为突出，主要表现在以下几个方面：

（1）进尺快，效率高，成井周期短。比牙轮正循环钻进节省时间一半以上。

（2）井孔质量好。据调查，凡是采用牙轮钻头气举反循环钻进的供水井，孔斜率均为零度，优质孔达100%。

（3）牙轮钻头寿命长。由于气举反循环钻进冲洗液上返速度高，孔底干净，能使钻头始终在新鲜的岩面上工作，不产生重复破碎，钻头磨损少，大大延长了钻头寿命，这样钻进中不需频繁的更换钻头，所以工人劳动强度也低。生产实践证明牙轮钻头气举反循环钻进寿命比正循环钻进寿命提高2倍以上。

（4）事故少，成本低。水井钻探一般口径较大，钻进时线速度高，阻力大。正循环钻进时因泵量的关系和漏失岩溶地层，常出现埋钻事故，给用户造成的损失往往很大。若采用牙轮钻头气举反循环钻进，这些事故完全可以避免。钻进成本可以比正循环降低一半。由此可见牙轮钻头气举反循环钻进在深水井中、地热井中施工最为合算。特别对付难以钻进的复杂地层更有其独特的优点。大力推广此项技术是当前水井和地热井钻探及煤矿瓦斯排放井等工程钻探工作的方向。

4.5 牙轮钻头钻进注意事项

使用牙轮钻头前，应对孔内情况进行分析，对于先用筒钻、钢粒钻进的井或井内掉进铁的物品时，若改用牙轮钻头钻进，必须先把井内落物处理干净。井眼偏小时不充许用牙轮钻头扫孔。为了保证牙轮钻头下钻后取得较高的钻速，应注意以下几点：

（1）正循环钻进时必须配备大泵量的泥浆泵，另外也可用两台泵并联使用（建议尽可能采用气举反循环钻进）。

（2）钻压是牙轮钻头钻进的主要参数之一，钻压的大小直接影响着钻进效率的高低和钻头的使用寿命。所以必须配备足够重量的钻铤，按照石油推荐的压力值每吋1.5～2t，要想达到这个要求值确实是有困难，但只有在钻头上造成一种压力，使之超过地层的极限抗压强度才能使牙轮齿有效地吃入地层，达到体积破碎的效果，这样才能取得高的钻速和较多的进尺。

（3）转速不宜太高，因为太高的转速会使载荷作用于岩石的时间短，达不到体积破碎的效果，而只停留在表面或疲劳破碎阶段。这样破碎岩石的过程由剔碎岩石变为研磨岩石，并使牙轮齿很快磨损，轴承受到破坏。加之转速高后钻机负荷加大，震动大，不利于安全生产，故一般情况采用40～80r/min为佳。

（4）牙轮钻头使用时间的确定，正常情况下，钻头的使用时间一是轴承磨损以至不能使用；二是牙齿磨钝，钻速明显下降。

具体判断方法为，轴承磨损失效后，扭矩明显增大，转盘跳动加剧，同正常平稳钻进截然不同。当所钻地层岩性没有明显变化时，随着钻头的不断钻进，牙齿逐渐磨损，机械钻速不断下降。在这种情况下应提钻更换钻头。

5 结语

地下水资源问题，党中央、国务院非常重视，只有解决了水的问题，我国中西部地方必定能够更快更大的发展，并对于增进民族团结、巩固边防具有十分重大的意义。

现在我们只有认真总结地下水钻探取得的成功经验，进一步依靠科技进步和创新，提高地下水资源钻探开发利用水平，充分发挥牙轮钻探技术，尤其是气举反循环钻进牙轮钻探技术在地下水资源开采中的作用。根据地下水资源的分布与补给规律，科学开发利用地下水，始终贯彻“节约资源、保护环境”的基本国策，坚持在“保护中开发，在开发中保护”的总原则，坚持开源和节流并举、节约优先、治污为本、高效利用的总方针，加强用水的统筹规划与管理。

（收稿日期：2006年10月9日）