

大直径岩溶水井施工技术

谢常茂

(广西水文地质工程地质勘察院,广西柳州 545006)

摘要:通过广西河池市九圩镇水厂大直径供水井的施工实例,详细介绍了岩溶复杂地层大直径、大涌水钻孔的空气潜孔锤钻进技术、扩孔技术、钻孔护壁技术及施工工艺。

关键词:大直径;水井;岩溶发育;空气潜孔锤钻进;人工造壁

中图分类号:TU991.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)07-0021-04

Construction Technology of Large Diameter Karst Water Well/XIE Chang-mao (Guangxi Investigation Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Liuzhou Guangxi 545006, China)

Abstract: By the construction case of a large diameter water supply well in a water plant of Guangxi, the paper detailed air downhole hammer drilling, hole reaming, borehole wall protection and construction technology in borehole with large diameter and serious water flow in complicated karst formation.

Key words: large diameter; water well; karst development; air downhole hammer drilling; artificial borehole wall

0 前言

广西河池市近20万居民、500多个行政和企事业单位的日常生活生产用水由河池市自来水有限责任公司提供,河池市九圩镇水厂是该公司四个水厂中的一个。该水厂位于该市西面一条溪沟旁,依靠筑坝蓄集溪水向用户供水,该溪沟由发育于上游约7 km、流量约100 L/s的岩溶大泉和降雨补给,丰水期水量充足,能满足水厂生产需要,枯水季节由于降雨量和泉水流量减少,水量补给不足,每天只能向用户供水2~3 h,为解决枯水期供水问题,该公司曾在其储水水域内筑岛钻井,水井含水层为岩溶管道,水量丰富,但因井内故障废弃多年。随着城市的发展,即使修复该井仍不能满足供水需要,决定重新施工一眼供水能力为10000 m³/d以上的供水井。

1 水文地质条件

为确保新井命中地下岩溶管道,采用井下电视技术确定新井位置,新井与旧井中心距为2 m。根据旧井揭露获得的信息,其水文地质条件如下。

(1)0~5 m上部为人工筑岛浆砌石,下部为人工堆积粘土和砾砂,结构松散。

(2)5~31 m为灰岩,强岩溶发育。其中8~20 m发育二层溶洞,洞高分别为1.1 m和3.9 m,第一层溶洞为充填溶洞,第二层溶洞为半充填溶洞,充填

物为泥质夹砾砂,20~31 m裂隙、溶隙、溶孔极度发育。该地段岩溶发育在浅层,而且裂(溶)隙呈密集型网格状,与地表沟槽相通,地表水与地下水混合,地下水位埋深1.2 m。

(3)31~90 m为完整灰岩,少量裂隙发育。

(4)90~98 m为空洞(岩溶管道),洞高8 m,为承压含水层,水量丰富,揭露后地下水向上涌流。

2 井眼结构和井管程序

根据水文地质条件和单井开采量的要求,设计井眼结构和井管程序如图1所示。

3 钻井技术难点分析

(1)钻孔直径大,钻进困难。该井眼开孔直径为580 mm,终孔直径为280 mm,人工回填浆砌石以下松散无胶结层和强岩溶发育层取心钻进只能采用干钻堵塞法,钻孔直径越大取心越困难,微风化灰岩可钻性等级为5~7级,采取常规取心钻进不仅效率低,而且岩心难以扭断或提断,全断面钻进效率更低,且功耗大,采用空气潜孔锤全断面钻进虽然效率较高,但需要配置大功效大风量空压机,经济上不可取。根据技术先进、经济可行的原则,需采取分级钻进和扩孔。

(2)钻孔护壁难度大。人工回填层浆砌石以下

收稿日期:2009-05-05

作者简介:谢常茂(1963-),男(汉族),广西贵港人,广西水文地质工程地质勘察院副总工程师、高级工程师,钻探工程专业,从事锚固与注浆工程、岩土工程勘察与施工、地基与基础工程、地质灾害防治工程勘察与施工等技术、质量管理及施工管理工作,广西柳州市东环路12号,xcms01@126.com。

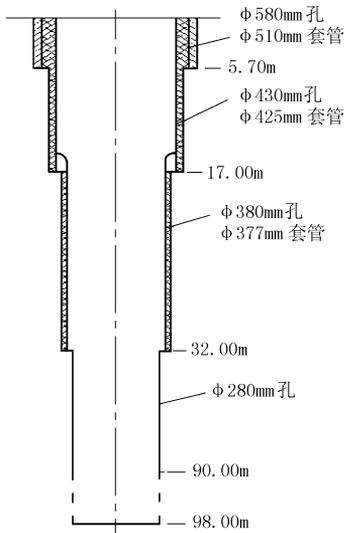


图1 井眼结构及井管程序示意图

mm,裸眼钻进。扩孔成井前钻孔结构和套管程序如图2所示。

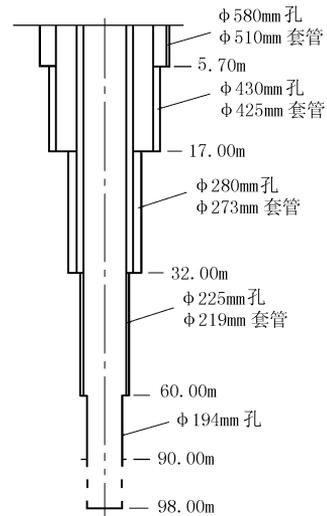


图2 护孔前钻孔结构与套管程序示意图

结构松散、岩溶强发育段孔隙、裂隙充填物为泥质夹砾砂,均为遇水不稳定和力学不稳定地层。采用水或水基泥浆或空气介质循环钻进,钻进过程中在力学不稳定因素、遇水不稳定因素、孔内液动力和钻具敲打等作用下,极易发生掉块、坍塌、超径和冲洗介质漏失等现象,严重威胁钻孔安全和生产效率。浅层岩溶极度发育且与地表沟槽相通,泥浆护壁堵漏很难达到效果。旧井终孔直径为220 mm,采用了5层套管护壁,护壁难度可见一斑。

(3) 钻孔垂直度要求高。虽然地层促斜能力不强,但新井距旧井中心距只有2.0 m,钻孔稍有偏斜就有可能引起新旧井串通,甚至引起井内事故;另一方面根据岩溶水的特征,要求找准岩溶管道或裂隙,否则钻孔有偏离含水层的可能。因此,钻孔垂直度要求较高。

(4) 钻屑排泄困难。由于钻孔直径大,一方面单位时间产生的钻渣量大,不稳定地层的涌、漏泥(砂)严重,另一方面钻孔环状空间大,取心钻进或全断面钻进排屑困难。

4 钻井技术方案

4.1 钻孔结构和套管程序

由于大直径取心十分困难,大直径全断面钻进能耗大,采取分级钻进和扩孔技术。一开直径580 mm,采用人工挖掘和清除回填块石、钻具修孔,钻、扩穿过人工回填层后下入 $\varnothing 510$ mm套管,二开直径430 mm,钻、扩穿过二层溶洞后下入 $\varnothing 425$ mm套管,三开直径280 mm,进入完整岩层后下入 $\varnothing 273$ mm套管,四开直径225 mm,裸眼钻进,五开直径194

4.2 扩孔成井程序

钻进到设计深度后,按井眼设计直径扩孔。首先,将 $\varnothing 194$ mm扩孔到 $\varnothing 225$ mm;其次,在 $\varnothing 225$ mm上部架桥投水泥球封堵钻孔(封堵长度约1.0 m),待水泥凝固后起拔 $\varnothing 273$ mm套管,将 $\varnothing 280$ mm扩孔到 $\varnothing 380$ mm,下入 $\varnothing 377$ mm套管;第三,钻穿封堵水泥,将 $\varnothing 225$ mm扩孔到 $\varnothing 280$ mm。

4.3 分层钻进技术

4.3.1 回填层钻进和孔口管填设

上部回填浆砌石采取人工挖掘,下部回填土采取筒状无泵钻具无循环取心钻进和捞渣筒排渣;为保证孔口管埋设垂直,钻孔直径为 $\varnothing 580$ mm,下入 $\varnothing 510$ mm套管时用钻机卷扬上提呈铅垂状态,用粘土回填四周。

4.3.2 强岩溶发育层钻进方法

5~31 m强岩溶发育层,裂隙和溶隙呈密集型网格状,岩心呈碎块状,混合大量泥砂,可钻性好,但裂隙、溶洞、溶孔(隙)充填物在钻进过程特别是提钻后容易涌入孔内,孔壁不稳定。为避免循环介质对孔壁的破坏,采用硬质合金无循环取心钻进,对孔壁塌落和溶洞涌出的泥砾,采用钻具干钻捞取和气举反循环排渣法清除。钻进过程,对不稳定地段实施人工造壁,钻进一段护壁一段,同径钻进到设计深度后下入护壁套管。

4.3.3 完整硬岩钻进技术

31~90 m为完整灰岩,设计井径为280 mm,需要重点解决的技术问题是钻进效率问题,采用空气

潜孔锤冲击回转钻进是最适宜的。

4.3.4 扩孔技术

硬岩中采用空气潜孔锤冲击回转扩孔,有利于提高扩孔效率,但在孔内涌水量大的条件下,存在潜孔锤单次冲击功减少,甚至无法启动工作的技术问题;采用硬质合金钻头扩孔,效率相对较低,但不受钻孔涌水的影响。因此,扩孔方法视实际情况而定。

4.4 钻孔护壁方法

在岩溶发育复杂地层中钻孔因受地层特性的制约,采用钻井液护壁堵漏往往收效不大,尽管近年来有关科研所在钻孔护壁堵漏方法和材料研究上取得了不少新成果,但生产实践中,企业出于对生产便利性、护壁可靠性和生产成本等因素的考虑,采用最多的护壁堵漏方法仍然是以套管隔离法为主。

套管护壁因其工艺技术简单及其可靠性,在浅层复杂地层中使用,其优越性是显而易见的,但在钻孔较深、直径较大,且复杂地层厚度大或呈多层出现时,其缺点也是不容忽视的。一是钻孔结构和套管程序比较复杂,往往需要多次换径,下入多层套管;二是在工艺技术上实施难度大,采用的工艺通常是遇到不稳定和漏失层时,下入护壁套管,然后用小一级钻具在套管内向下钻进一段锤击跟进一段,随着钻孔深度和钻孔直径的增大,实施难度随之增大,甚至无法实施;三是在不宜过早变换孔径又无法同径跟进时,需要多次进行起拔套管扩孔和下入套管的重复工作,随着下入深度的增大,套管起拔和下入都会很困难,并容易引发孔内套管事故;四是设计孔径较大时,需要较大的开孔直径,否则无法保证钻孔直径。

本钻孔强岩溶发育层设计直径达到430和380 mm,要同径跟进30 m大直径套管将十分困难,为保证钻孔直径,又不宜下入多层套管,因此,完井前采用套管护壁是不适宜的。

本钻孔采用投水泥球或尿醛-水泥球进行人工造壁。该方法是指钻进过程对塌孔段投入水泥球进行人工造壁,待凝固后同径继续钻进,直至钻穿复杂层。

5 施工工艺

5.1 施工设备和主要钻具

钻机:SPJ-300型水井钻机,转速20、35、64 r/min;提升能力30 kN(单绳),最大力矩3510 N·m。

空压机:英格索兰XHP750空压机,风量21 m³/min、压力20.70 bar(2.07 MPa);

潜孔锤:J200C普通式潜孔锤,工作气压0.63 MPa、单次冲击能620 J,冲击频率15.8 Hz,耗气量0.4 m³/s;

主要钻具:双壁主动钻杆;气、水双通龙头;双壁钻杆(Ø127 mm/Ø85 mm);普通球齿硬质合金钻头(Ø225、Ø194 mm);Ø550、430、380、330、280、220 mm硬质合金取心钻具;扩孔钻头等。

5.2 主要施工工艺

5.2.1 常规潜孔锤CSR反循环中心取样钻进工艺

5.2.1.1 钻具组合

常规潜孔锤CSR反循环钻具由球齿硬质合金钻头、冲击器、反循环隔离器(交叉接头)、双壁钻杆、双壁主动钻杆和气、水双通龙头等组成。其钻具组合与工作原理如图3所示。

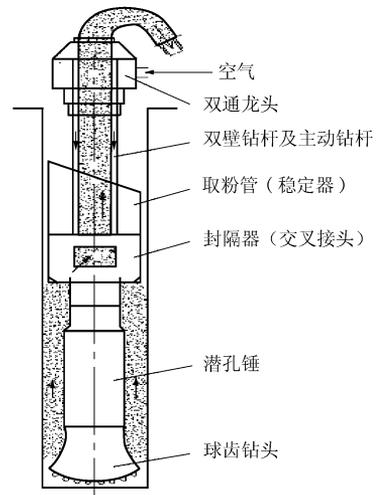


图3 常规潜孔锤CSR钻具组合与工作原理示意图

5.2.1.2 钻进规程

(1)轴向压力:1.0~1.3 kN。

(2)转速:合理的转速主要根据最优冲击间隔来确定,可按下式估算:

$$n = 60f\delta / (\pi D)$$

式中: n ——转速,r/min; f ——冲击器冲击频率; δ ——最优冲击间隔; D ——钻头直径。

转速一般在15~30 r/min范围内较为合理。本井采用转速为20~30 r/min。

(3)供风量:风动潜孔锤钻进中,压缩空气具有两方面的作用,一是提供冲击器工作能量,一是携带岩屑和冷却钻头。所需风量应满足这两方面的要求。最低风量应根据冲击器工作所需的耗风量和满足携带岩屑上返速度(15~25 m/s)所需风量来确定,并应根据孔深和孔内涌水量备有一定的富余量。本次使用的空压机供风能力为21 m³/min,在孔内

涌水量大时稍显不足,需要采取有效的技术措施。

(4)风压:潜孔锤钻进的效率与风压密切相关。生产实践中,主要根据所用潜孔锤的工作压力、孔深、地下水情况、钻具结构和工艺要求估算所需的最大风压,据此选择具备足够能力的空压机。本钻孔配备的英格索兰 XHP750 空压机,额定压力 20.70 bar,是可行的。

5.2.1.3 孔内大涌水条件下的钻进技术措施

本钻孔涌水量大,孔内水位高(地下水位埋深只有 1.2 m),要求供风量增大,同时涌水使孔内保持高水位,随钻孔深度的增加,水柱压力增大,导致空压机供风压力增大,供风量减少,空气被压缩,在空压机输出功率不变的条件下,导致冲击器单次冲击功降低,甚至停止工作。施工中 $\varnothing 225$ mm 钻深达 60.0 m 时,冲击器虽然仍在工作,但冲击功明显减小,破岩效率低。为此,下入 $\varnothing 219$ mm 技术套管,减少钻孔涌水量,降低孔内水柱高度,换 $\varnothing 194$ mm 钻进,冲击器工作特性未受影响,破岩高效率得到恢复,终孔后拔出了技术套管。

5.2.2 人工造壁工艺

(1)水泥球的制作和投放。采用 425 普通硅酸盐水泥,每 50 kg 水泥添加食盐 1000 g(早强作用),加水搅拌均匀,使水泥呈塑性状,手搓成球状,水泥球直径视钻孔直径而定,一般不大于钻孔直径的 0.5 倍。水泥球面干后投入孔内,投球时一个接一个依次投入,并控制投放速度,避免孔内架桥,水泥球填埋高度高出塌孔段以上 1.5 ~ 2.0 m。随着钻孔加深,为保证水泥球不被水破坏,采用了尿醛-水泥球造壁,即在加水搅拌均匀的水泥中加入尿醛,搅拌均匀后制作成球。

(2)孔内操作工艺。投球结束后,使用专用钻具自上而下反复多次搅拌使水泥球分散成水泥浓浆,用钻具自上而下反复多次挤压水泥浆(类似活塞运动),迫使水泥浆充填孔壁裂隙、溶隙(孔)和坍塌空间,并挤压密实孔壁。操作完成后,钻具最好停留于孔内,待水泥浆初凝后提出钻具,期间多次转动钻具,避免钻具被胶结,待凝固 36 ~ 48 h 后即可重新钻进。本钻孔岩溶发育段钻进和扩孔多次采用该方法进行护壁。

5.2.3 扩孔工艺

由于孔内涌水量大,原计划采用潜孔锤扩孔方案无法实施,后改用硬质合金钻头扩孔。扩孔需要考虑的技术问题主要有两方面:一是扩孔分级问题,分级过细,虽然扩孔效率高,但扩孔次数增加,加工钻头数量增加,综合效率和效益不高;分级过粗,一次扩孔效率下降。二是扩孔钻头结构设计问题,根据地层特性,采用短管超前领眼、筒状硬质合金钻头。扩孔分级为硬岩 $\varnothing 194$ mm 扩至 $\varnothing 225$ mm, $\varnothing 225$ mm 扩至 $\varnothing 280$ mm,强岩溶发育层 $\varnothing 280$ mm 直接扩到 $\varnothing 380$ mm。强岩溶发育段扩孔,起拔 $\varnothing 273$ mm 护壁套管前在其下部孔段采用水泥封孔,避免起拔套管后下部钻孔被填埋,扩孔过程仍采用人工造壁,扩孔完成后下入 $\varnothing 377$ mm 井管。扩孔钻头结构见图 4、图 5。

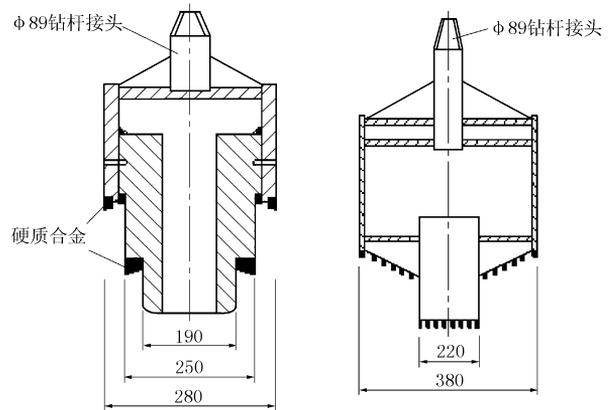


图4 硬岩扩孔钻头

图5 强岩溶发育层扩孔钻头

6 结语

该井经抽水试验确定可开采量为 $10800 \text{ m}^3/\text{d}$,其井径和水量之大,可谓广西岩溶地区第一井。在岩溶十分发育的复杂地层中实施施工在技术上具有较大的难度,采用分级钻进和扩孔技术、空气潜孔锤冲击回转钻进技术和人工造壁技术,顺利地完成了施工,取得了良好的技术经济指标,这些施工技术和工艺的应用为今后钻凿类似钻孔(井)提供了技术支持,也将在今后改善居民生产生活用水条件和实施饮水安全工程方面具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 耿瑞伦,陈星庆.多工艺空气钻探[M].北京:地质出版社,1995.