

毛乌素沙漠南尾地区城市供水工程技术与施工

马沈岐, 刘凤琴, 代粉蕾

(煤炭科学研究总院西安研究院钻探技术研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要:陕西省横山县供水工程采用立体复合集约式供水系统, 在干旱与半干旱地区, 较好地解决了城镇在可持续发展中对洁净水的需求。对该供水系统工程的选址、四大工程的布设、施工与环境保护等工作作了详细的论述。

关键词:毛乌素沙漠; 城市供水; 水源“库”; 水源地; 环境保护

中图分类号: TU991.12 **文献标识码:** **文章编号:** 1672-7428(2007)S1-0133-03

陕西省横山县地处毛乌素沙漠南尾, 该县现有的库容式供水系统供水量已经不能满足经济发展的需要。这次改水项目的实施目的, 就是要解决未来 20 年县城总体发展需水 5000 t/d 的要求。

1 供水水源“库”的选择条件

1.1 供水水源“库”的地理条件

经过水文地质踏勘, 确定水源“库”选址在横山县的王圪堵村。在村北无定河北岸形成了开阔的河漫滩——大河湾。在其中部有一条由毛乌素沙漠中流出的季节性河流——水天沟, 与无定河形成 T 字形垂直交汇(见图 1), 如此水源“库”的地理条件是十分理想的。

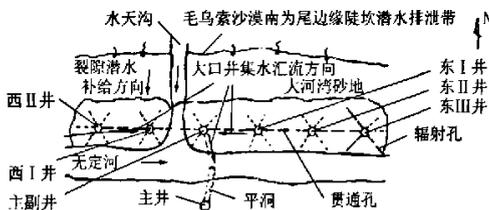


图 1 横山县改水工程平面示意图

1.2 供水水源“库”的水力补给条件

大河湾处的 T 字形河漫滩淤积沙地积水地理环境, 具备的水力补给条件有: (1) 无定河是一条常年径流河, 两岸的沙地常年接受无定河水的渗流补给, 保证了水源“库”水量的主体补给; (2) 在大河湾以北的毛乌素沙漠边缘陡坎底部, 形成沙漠潜水排泄带积水潭, 可以保持常年有水; (3) 水天沟是一条由沙漠腹地延伸至无定河的季节性河流, 旱季沿河床两侧陡坎底部有沙漠潜水排泄, 汇入河床沙层中,

补充一定的水量。

2 供水工程的总体设计方案

依据大河湾处的水利补给条件, 采用立体复合集约式渗流供水方案, 将主井、平洞、副井、辐射孔等各个相对独立的工程, 采用贯通孔相互连接起来系统供水。采用该设计方案, 可以扩大集水工程的汇水面积, 将供水水源“库”区的潜水资源富集起来集中供水, 确保县城供水的中长期需求。

2.1 供水工程的开采方案

利用大河湾供水水源“库”区水文地质和综合地理环境的自然条件, 采用大口井式立体复合集约渗流供水系统方案取水。建筑大口井, 从地表砂层、裂隙含水层、最终建在含水层之下较深的稳定基岩上。通过辐射孔联通基岩裂隙含水层, 利用辐射孔可以最大限度地截取地下水的垂直入渗量以及河岸的侧向径流量。集大口井、平洞、辐射孔、贯通孔等构成一个地下完整供水系统的开采方案。

2.2 供水工程的总体布设

供水工程是依无定河王圪堵村段沿河两岸而建, 大口井主井布设在无定河南岸, 南岸是靠向县城方向, 距简易公路较近, 便于安装铺设输水管路和减少跨河作业的难度, 南岸为基座阶地, 阶地前缘与河漫滩呈陡坎接触, 高差在 18 m 左右。大口井副井布设在无定河北岸——大河湾, 大河湾为开阔平坦的河漫滩冲击沙地, 是供水工程取水的主要水源补给地。

2.2.1 主、副竖井的设计

主井设计主要考虑: 建井选址、施工和地面泵房

收稿日期: 2007-05-30

作者简介: 马沈岐(1957-), 男(汉族), 山西长治人, 煤炭科学研究总院西安研究院钻探技术研究所工程师, 钻探工艺专业, 从事工程地质施工、瓦斯地质钻探工艺研究、煤矿瓦斯地质钻探工艺推广应用工作, 陕西省西安市雁塔路 52 号, mashenqi168@163.com。

的建设、下部附属平洞的施工、潜水泵组及控制系统的安装供水出口端各种管路的安装、以及日后主井与平洞的沉渣清理等。主井的功用是汇集全部副井的汲水量,并通过铺设的管路向县城水厂供水。为了加快副井水量通过贯通孔的水流速度,主井平洞与主副井的高差设计为6 m,贯通孔的角度为 -21° ,孔径为94 mm,数量3个。

主井筒的井底坐落在侏罗系安定组砂岩上,附属平洞在稳定的砂岩层中开掘。主井设计尺寸为:深度24 m,内径3 m,外壁采用钢筋混凝土圈梁浇筑而成,壁厚500 mm,配筋 $\varnothing 16$ 均布。平洞建在主井下20 m处,垂直无定河方向开掘,设计尺寸为:长度60 m,高度2 m,宽度为1.8 m,平洞的坡度为6‰,平洞外壁采用厚度为200 mm的素混凝土灌注成型。

副井设计主要考虑:建井选址、辐射孔和贯通孔的钻探施工,施工完成后的井盖密封,以及日后的淤沙清理方便。副井的功用是汲取辐射孔连通裂隙通道汇集的地表水。根据5000 t/d的供水要求和单个副井辐射孔汲水量的计算和钻探施工工艺的考虑,设计副井为6个,副井与副井之间的距离为60 m。

根据承压或自流的供水方式,将副井按不同降深级数来设计。根据横山县取水工程设计要求,副井与副井之间形成的水力坡降为6‰。主副井深度14 m,西Ⅰ井深度10 m,西Ⅱ井深度8 m;东Ⅰ井深度12 m,东Ⅱ井深度10 m,东Ⅲ井深度8 m。副井的内径均为3 m,混凝土圈梁,壁厚500 mm。副井井口要预制盖板密封,留出维护天窗和排气孔。

2.2.2 平洞的设计

平洞依附于主竖井,建在主竖井下部18 m处,二者构成一个整体。平洞的尺寸为60 m \times 2 m \times 2 m(长 \times 宽 \times 高)的拱形顶隧道,走向垂直于无定河,平洞的降水坡度为6‰,平洞的素混凝土壁厚度200 mm。平洞的主要用途是通过贯通孔连接主副井,将主副井所汇集到的全部水量,汇集到平洞中来,同时,自身也通过辐射孔截取水量。平洞起到的作用是汇集储存一定数量的水,稳定水流冲击,起到导水的作用。

2.2.3 辐射孔的设计

辐射孔的设计参数:孔径75 mm,孔深30 m左右,仰角 $8^\circ\sim 20^\circ$ 之间,每个副井中辐射孔的数量约为8~10个。辐射孔是在距主井、副井底部向上约1.4~1.7 m的高度布设的,布孔的要求是根据探采结合的施工方法,在来水方向上进行扇形布孔,并且

在副井与副井之间布孔时,要尽量减少辐射孔相互之间的取水干涉作用。为了截取较大的水量,辐射孔的终孔长度,在保证距风化层最低垂直距离 ≤ 1.5 m时,应适当延长孔深,尤其是在风化层中的孔深,这是截取水量的有效孔深。

2.2.4 贯通孔的布设

贯通孔的设计参数:孔径94 mm,贯通孔角度为 -2° 左右,孔深依据副井与副井之间的距离和钻孔坡降比计算而定。贯通孔的数量:平洞与主副井之间为3~4个,主副井与副井之间的贯通孔数量由近及远递减,近处为2个,远处为1个。通过抽水实验,副井之间的水位降深保持在4~6 m,是符合设计要求的。

3 供水工程施工技术

3.1 主竖井施工

在砂层中施工,采用预制钢筋混凝土圈梁,安放在设计的孔位上,在圈梁内用高压水冲击泥沙,将搅拌起的泥沙用砂石泵抽出地表,圈梁在自重作用下下沉,在圈梁下沉的过程中要保持好圈梁平稳下沉,发生偏斜要及时纠正。每一模下沉到位时,续下一模板,直至将钢筋混凝土预制圈梁沉降至稳定的基岩面上。基岩部分的施工则采用放炮工法施工:在放炮炸出的空间,连接上面的钢筋混凝土圈梁,安装固定好下一组钢模板,浇注素混凝土,一直施工到竖井的设计尺寸,底部修成圆锥形,便于以后的清沙工作。主井地面建泵房和控制系统等。

3.2 副竖井施工

在砂层中施工方法同上。在基岩中施工,若基岩是稳定的,则不需要打混凝土圈梁,使稳定的基岩处于裸露状态,便于岩石渗水。若遇到风化严重的泥岩、砂岩等地层,则需要对风化层进行混凝土圈梁封闭,防止泥沙涌入堵井。副井建成后,井口要加盖封闭,留出通气孔和工作人员进出口,然后用沙覆盖,覆盖层厚度要大于冻土层厚度。

3.3 平洞施工

平洞是依附于主井的工程,建在主竖井下部,距主井底部约4 m。当主竖井开掘至平洞位置时,先开掘平洞,目前采用炮采施工。平洞顶部距无定河底部的稳定基岩厚度为14 m,绝对保证施工的安全性。一般炮采尺寸略有放大,然后固定好钢模板,浇注素混凝土。在平洞建好后,清理出平洞地板,打好混凝土,并且保证平洞的坡降尺寸。

3.4 辐射井施工

辐射井的施工采用非平衡钻探工艺方法。施工设备:MK-3 型全液压坑道钻机,BW-250 型泥浆泵,以及潜水泵等配套设备。钻具采用 $\varnothing 50$ mm 外平钻杆,钻杆长度为 1.2 m, $\varnothing 42$ mm 水龙头, $\varnothing 75$ mm PDC 三翼内凹式全面钻头和 $\varnothing 75$ mm 三翼式硬质合金钻头。

根据水源地工勘水文地质资料分析,由于无定河河床的改道和地层表面的风化侵蚀作用,导致地下含水地层的岩层产生起伏变化,因此,含水层的厚度不是均匀的,在设计中要求施工辐射井时,采用探采结合的方法施工。以计算数据为参考,以实际钻探情况为基准,以最大截取水量为目的,并且保证钻孔在揭露风化基岩后的终孔位置必须在风化基岩中,实际情况是距地表含水砂层有 1~1.5 m 安全垂直距离,从而保证了上部的流沙不会顺着辐射孔灌入副井,保证流沙层的稳定性和渗水通道的畅通,也可以减少清洗井筒的工作量,确保施工的安全性和含水层位置控制的准确性。

采用非平衡钻探工艺施工的流程:在井口的位置搭建龙门架,安装绞车等起吊设备,安装钻机、组合钻具级配、挖泥浆池、安装泥浆泵及联接管路;健全制度,保证施工现场用电安全、施工安全,减少施工造成的污染,保护水源地的环境。

辐射井的钻进为全裸孔钻进,在钻进中所采用的安全钻进参数为:转速 10~150 r/min,钻压 3~10 MPa,泥浆泵的流量 90 L/min,钻速 1~3 m/h。

辐射井施工中应注意的事项:(1)根据工勘水文地质资料,大河湾是水源地的汇集水源的补给方向,布置辐射井方向是迎着潜水流向以扇形均匀布置的。在此基础上,留出富水通道加密孔的位置,同时还要预留出贯通孔的位置;(2)井下作业空间有限,下井的人员和设备都必须精简。我们使用的 MK-3 型钻机可分解成 3 大部分,施工时只需将操纵台和主机下井,动力机组放置在井口边,三者用高压胶管连接。泥浆泵将高压水通过管路送到井底,连接钻具对钻头进行冷却、排渣;(3)沙地含水层结构与无定河河床淤泥结构是完全不同的,在探采结合的施工过程中,确定无定河河床与基岩接触面上淤积了较厚的淤泥,河床的淤泥结构是良好的隔水层,因此,无定河水的垂直入渗被阻隔,不能通过河床直接补给含水层,必须经过反渗的方式才能补给沙层含水层。在施工中要掌握好钻孔方位角,尽量扩大扇面形的采水面积;(4)在副井与副井之间,辐射井所揭露的含水层具有交叉性,影响辐射井的取

水量,因此,在设计辐射井的参数时,要充分考虑含水层取水的交叉影响,相互避让。

3.5 贯通孔的施工

贯通孔实际上是主井与副井、副井与副井之间的定向钻进,使储水井之间相互连通,形成输水连通网络。贯通孔的施工工艺是采用非平衡钻探工艺方法进行定向钻进,钻具级配采用岩心管强制导向钻进,控制好钻进参数和泥浆泵泵压、泵量等参数,保证贯通孔的成孔质量。

4 供水系统正常维护应注意的几个问题

4.1 辐射井渗水防堵问题

裂隙含水层中,由于长期处于较为稳定的储水环境,自然条件下的潜水流速很慢,所以,泥沙充填较多。在初期揭露含水层时,渗流的潜水还没有充分地疏通过水通道,很容易被泥沙堵塞。若在蓄水初期使含水层水位静止时间过长,容易发生泥沙堵塞辐射井周围的裂隙通道,减缓过水时间,减少水量。因此,在供水系统建成之初,要充分抽水保持一段时间,使渗水裂隙形成较为稳定的畅通过水通道,达到稳定的供水状态。

4.2 主副井淤沙清理问题

在供水系统建成之初,由辐射井涌出的泥沙较多,对大口井造成的淤塞较为严重,因此,要经常观察大口井的淤塞情况,及时清理淤积的泥沙,确保辐射井正常排水,确保贯通孔顺利导水,使整个供水系统形成良性循环。

4.3 贯通孔防止淤塞问题

贯通孔防止淤塞的做法是:(1)对于稳定基岩的裸孔,可以下钻机透孔;(2)对于不稳定的基岩,在贯通孔中要下护壁管,做好封孔工作;(3)要经常保持供水系统在承压流动状态,以利于贯通孔的自动清渣;(4)及时清理淤渣,保持大口井的储水状态,使贯通孔疏水畅通。

4.4 水源“库”内水文地质环境的保护问题

水源“库”区内的局部水文地质环境,必须进行综合治理与保护,包括:水源“库”区内不宜种植大型树木,禁止挖沙取沙,禁止建设村庄和企业,对于农业化肥污染也要特别重视。同时,在水源“库”区外围要有计划地建设林带和优良植被,控制治理土地沙化和盐碱化对水源地的危害,保持水源“库”区的环境与周边环境处于长期良性循环的状态。

4.5 供水系统的维护工作

(下转第 138 页)

3.5 洗井方法

3.5.1 焦磷酸钠洗井

洗井前首先将固体焦磷酸钠溶解于水。质量比为:水:焦磷酸钠=100:(0.6~0.8)。

灌入井内量的确定:应根据含水层的厚度,计算出井筒空间体积(除去井管、砾料所占体积,砾料空隙率一般按30%计算),根据这一体积配制焦磷酸钠水溶液。待砾料填完后,用泥浆泵向井内灌入焦磷酸钠溶液,先管外后管内,最后向管外填入止水物和回填物至井口。静置5~6h,使护壁泥皮分解脱落。

3.5.2 水泵洗井

利用BW200/40型泥浆泵,用钻杆及喷嘴将清水压入井内不同深度,由高压水流冲洗钻进时形成的泥皮和泥浆,并排出井外。

3.5.3 活塞洗井

将钻机配备的专用洗井活塞用钻杆连接并下入井内不同深度,上下提拉。使井内上下形成压力差,破坏井壁泥皮及外渗的泥浆,以使井内的泥浆和泥皮排出井外。

3.5.4 压风机振荡洗井

将出水管及送风管下入井内,空压机向井内送风,造成瞬间压力差,使充填在含水层中的泥浆由出水管排出。在洗井过程中,中途提拔和加长风管,也提高了洗井的质量。

3.6 抽水试验

采用压风机抽水至水清砂净后,再换用深井泵做降水抽水。

4 结语

只有严格按成井工艺要求施工,才有可能保证成井质量。在粉细砂层成井,仅从滤网密度上考虑,而忽视含水层颗粒分析,盲目填入不合级配的滤料,是造成涌砂事故的主要原因。事实证明,用包网办法来控制井内涌砂是无效的,控制涌砂,关键在于选择砾料配比、粒径及适当的厚度,将地下水的入管速度控制在30mm/s以下,而双层填砾恰好能满足要求,再采用孔隙度大、透水性好、能稳定含水层主要颗粒的桥式滤水管,才能有效地防止水井涌砂,从而保证成井质量。

(上接第135页)

为保持供水系统的正常工作,在较长时间停止供水时,要保证在一定时间内,或者视大口井淤沙情况,对供水系统进行强制性的抽水,保证供水系统能正常工作,防止泥沙沉积堵塞裂隙通道,减少供水量。

5 在沙漠上铺设供水管路应注意的几个问题

输水管材采用聚氯乙烯管,对铺管线路要优选,开挖埋管沟槽深度一般为1m,管线降水坡度在2‰。

(1)在沙漠边缘的沙土地层中,开挖沟槽的底部要做好夯实处理,供水管路要埋在平稳固定的状态中。

(2)供水管路的连接必须可靠,确保其密闭性。

因为任何形式的漏水,都将逐渐冲毁沙土层,形成湿陷性沙坑,导致供水管路发生严重的弯曲变形以至损坏。

(3)供水管路的预埋深度要考虑冬季防冻的要求,有条件的地方埋深要在冻土层以下,不能深埋的管路,一定要做好管路的防冻防护工作。

6 结语

经枯水期抽水试验,横山县在毛乌素沙漠边缘地区建立的新型供水系统,基本解决了未来20年经济可持续发展中对洁净水的需求。同时,通过这项工程,对水源地区的环境保护、生态发展、沙漠灾害治理等环保工程也进行了综合治理,为今后水源地区形成良好的区域性小环境,打下了良好的基础。