

第一章 水井施工技术

第一节 概述

地下水与其他矿藏一样,是国民经济建设中不可缺少的一种宝贵资源。在农牧业、工业、国防、以及人民生活等方面有着广泛的用途。特别是在缺乏地表水的干旱、高寒地区,开发地下水有着更重要的意义。

随着水井施工技术装备、钻井工艺、成井工艺的不断发 展完善,已形成了具有自身特点的专门工艺技术,水井的概念也超出了供水范围,它与地下水的补给、污水的排放、城市地面沉降与回升以及作为地下热源开发的地热井工程联系起来。水井钻探的应用范围将越来越广。

一、水井井身结构设计

供水井是垂直安置在地下的取水建筑物。按地下水是否承压可分为承压水井和潜水水井。凡抽水前井中水位在含水层顶板以上的水井称为承压水井,承压水井一般都开凿在层间含水层中。为了充分利用承压水压强,抽水泵通常安装在含水层顶板之上。地下水能自动喷出地表的承压水井称为自流井,自流井不需抽水设备,可直接引用,非常方便。凡抽水前井中水位等于或低于地下水水位高度的水井称为潜水水井。潜水水井中的抽水泵通常安装在含水层的中下部。此外,供水井还可分为完整井与非完整井两种。完全钻穿含水层,井底在隔水层的水井称为完整井。没有钻穿整个含水层,井底仍在含水层内的水井称为非完整井。在同一地区和同一含水层中,完整井较深,进水面积大,水头压力大,出水量大,在地下水位降低时,也有水流入井内。同时,井底是稳定的隔水层,不会造成井底翻砂,井的寿命较长。非完整井则较浅,进水面积小,水头压力小,出水量少。当地下水位低于井底时,水井就干涸。因此,在含水层不厚的情况下,应尽量使水井成为完整井。

水井结构形式如图 1-1 所示。通常情况下,由于井壁不稳固,井孔内都需装置井管。井管包括井壁管、过滤管和沉砂管几部分。井壁管安装在非含水层或非开采含水层段。井壁管的作用是保护井壁或隔离非开采层(不良含水层)。过滤管(也称过滤器),安装在含水层段。地下水经过过滤管流入井内,再经抽水泵泵到地面。过滤管起滤水挡砂和保持含水层井壁稳定的双重作用。过滤管下端安装有沉砂管,沉砂管的作用是用来沉积水中泥砂。

在井管柱与井壁之间的环状间隙内,根据岩层情况填入充填物。即在含水层段过滤器与井壁之间,为保证水质和防止过滤器淤塞有时还要填入筛选的砾石,以增大出水量,并起过滤作用。在非含水层段或计划封闭的不良含水层段填入粘土或水泥等止水物,达到封闭和止水的目的,以防井水被污染。

在设计井身结构时,应根据钻井的目的、用途、地层条件和有关规范进行,并尽可能简化井身的结构。井身结构如过于复杂,使孔径扩大,不仅减慢施工速度,也会增加材料消耗,造成不必要的浪费。反之,若井身结构过于简化,减少了必须下入的套管,虽然缩小了井的直径,但可能造成井内钻进事故,反而增加了成本。更重要的是往往因此而使层间止水效果差,地下水互相串通,造成对地下水污染的严重后果。

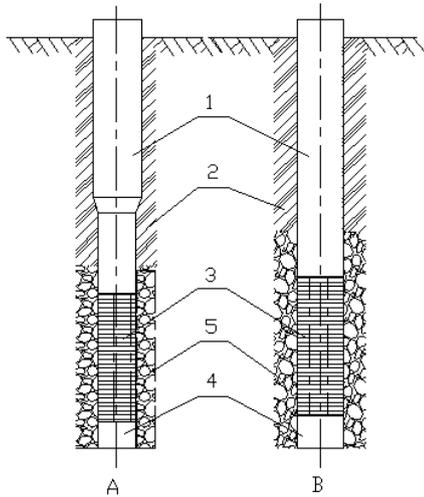


图 1-1 浅供水井结构
1—井管, 2—止水物, 3—过滤管, 4—沉砂管, 5—填砾

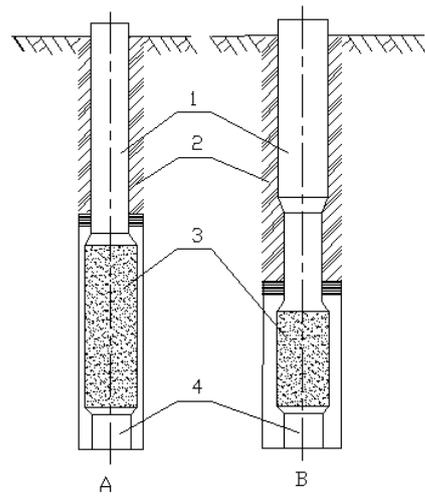


图 1-2 中深供水井的结构
1—井管, 2—止水物, 3—过滤管, 4—沉砂管

第二节 水井钻进方法

水井的钻凿方法很多。在对水井的钻凿方法进行科学的分类问题上, 各学者提出不少的分法, 但至今尚未得到一致意见。我国习惯上将水井的钻进方法分为: 冲击钻进, 回转钻进、反循环钻进, 空气钻进和潜孔锤钻进等。

一、钢绳冲击钻进

钢绳冲击钻进的基本原理是借助于一定重量的钻头, 在一定的高度内周期地冲击井底岩石, 使岩石破碎而获得进尺。在每次冲击之后, 钻头在钢丝绳带动下, 回转一定的角度, 从而使井(孔)得到规则的圆形断面。钢绳冲击钻进是一种无循环钻进方法, 它是靠地层渗入井内的水或者从井口注入井内的水来悬浮井底岩屑。随着井深的加深, 悬浮岩屑的浆液变稠, 冲击钻头下降加速度减小, 钻进效率降低, 此时需下入抽砂筒专门捞取井底沉渣后再继续钻进。

(一) 钢绳冲击钻机

在我国水井钻进中, 广泛使用的冲击钻机是仿苏 YKC 型的 CZ-20、CZ-22、CZ-30 型钻机以及我国自行设计的 CZF-30 型冲击反循环钻机。这些钻机都由动力机, 主轴, 冲击机构和桅杆等部件组成。

这些钻机的基本工作原理相同, 结构也大致相仿。现以 CZ-22 型为例, 说明冲击钻机的各部件组成及其结构原理。CZ-22 型钻机外貌如图 1-9 所示。

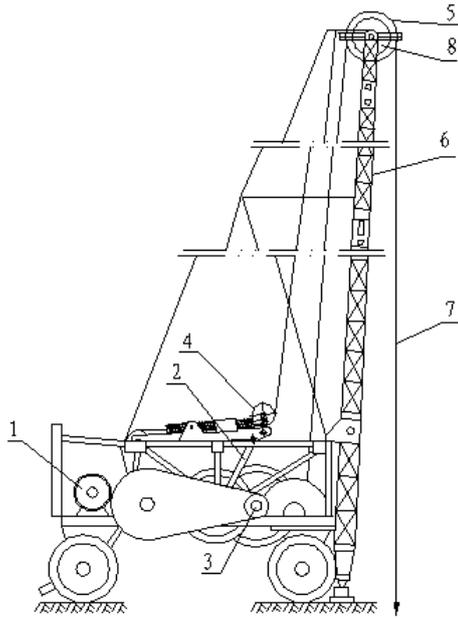


图 1—9 CZ—22 型钻机

1—电动机，2—冲击连杆，3—主轴，4—压轮，
5—钻具天车，6—桅杆，7 钢绳，8—抽筒天车



图 1—10 CZF—30 型冲击反循环钻机

(二) 钢绳冲击钻具

钢绳冲击钻具包括冲击钻头、冲击钻杆、钢丝绳接头、钢丝绳和抽筒等。

1. 冲击钻头

冲击钻头是直接破碎岩石的钻具。为了使冲击力能更集中的施加于岩石，冲击钻头具有带各种刃角的底部。要使钻头在运动中减少液体对它的阻力，从而加大冲击力，冲击钻头设有带流通岩粉浆沟槽的钻头体。钻头还要和上部加重钻杆连接，钻头头部以粗锥扣与钻杆连接。

冲击钻头的刃角大小取决于岩石的硬度。一般地层取 100° 左右，对软岩石可为 $65^\circ \sim 80^\circ$ ，中硬岩层 $90^\circ \sim 110^\circ$ ，硬岩取 $110^\circ \sim 120^\circ$ 。刃面角一般为 180° 的平线，若地层软时可作成小于 180° 的刃面角。为了使钻头在运动中减少与井壁的摩擦，钻头要有间隙角，间隙角一般为 $4^\circ \sim 8^\circ$ 。

当钻头掉落井内时，为了打捞方便在钻头头部加工有打捞丝扣。

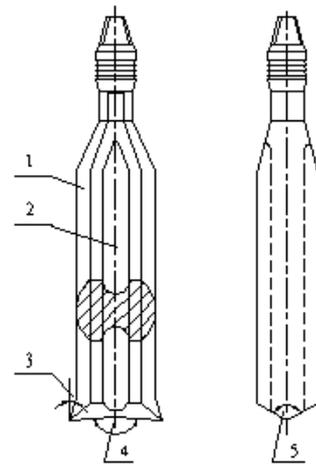


图 1—13 冲击钻头

1—钻头体，2—通水槽，3—间隙角，
4—刃面角，5—刃角

常见的冲击钻头有一字形钻头、十字形钻头、圆形钻头和抽筒钻头等。使用时根据地层的特点，在充分发挥冲击力作用的同时，兼顾井筒的圆整选用。抽筒钻头是将钻头与抽筒结合起来，既是抽筒又是钻头，用于松软散地层直接抽土成孔的高效钻头。钻头的各种型式如图 1—14 所示。

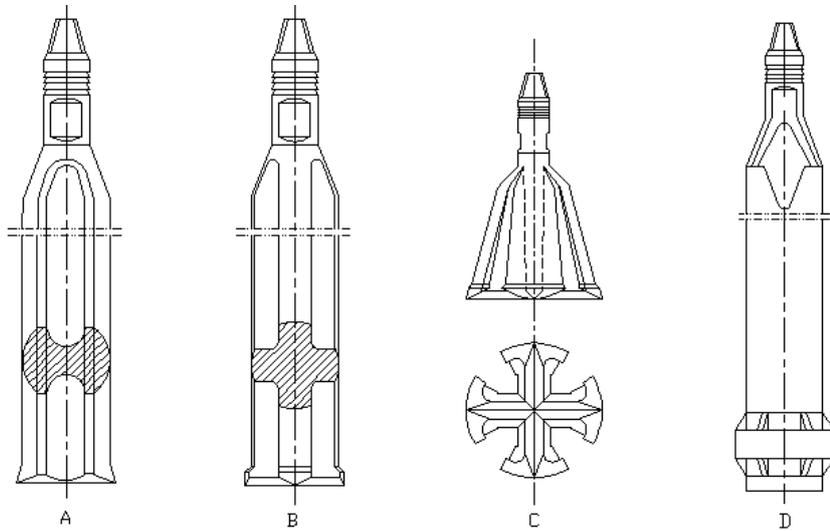


图 1—14 各种类型的冲击钻头

A—一字形钻头，B—十字形钻头，C—带副刃十字形钻头，D—抽筒钻头

2. 冲击钻杆

冲击钻杆是当井径受限制，钻头本身重量不足，在钻头上部接一粗大实心钻杆，从而保证钻具重量。如图 1—15 所示。冲击钻杆不能连接过长，以防其在井内折断。

3. 钢丝绳接头

钢丝绳接头又称绳卡，它的作用是联接钢丝绳与钻具，并使钻具在钢丝绳扭力作用下能在钻头冲击一次后自动地回转一角度。钢丝绳接头结构如图 1—16 所示。当钻具提升时，钢丝绳接头与钻具一起受钢丝绳拉伸而扭转一个角度。当钻具下放时，钢丝绳因不受钻具重力作用而恢复原来状态(扭紧)，接连钢丝绳的活套就在垫片的间隙内而滑动，使钢丝绳实现其扭紧而不带动钻头转动。这样就使钻头每冲击一次钻头回转一定的角度。当绳卡内的活套卡死时，钻头则提升转动，下放转回，其结果钻头不转动，钻刃就在一处冲击，不能形成圆井。因此应经常检查活套的灵活性，以保证钻头旋转。

4. 钢丝绳

钢丝绳的作用是提升钻具并扭转钻头，冲击钻进所用的钢丝绳受较大的变荷。当操作不正常时，这种负荷改变量尤其显著。因此，正确选用钢丝绳特别重要。

钢丝绳种类很多。通常由六股子绳绕着心绳捻成的。子绳又可由 7、19、37、61 根等不同根数的钢丝捻制而成。常用两个数字表示钢丝绳的规格，如 6x19，第一个数字表示股数，第二个数字表示每股子绳的钢丝数。6×19 即表示该钢丝绳的子绳由 19 根钢丝，共有 6 股子绳组成。钢丝绳的捻绕方向分为左向捻绕和右向捻绕，股和丝的捻绕方向又分同向捻，交

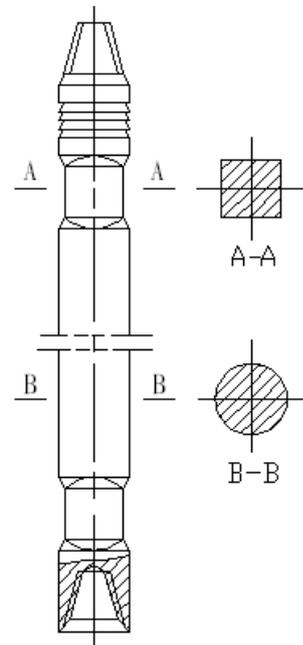


图 1—15 冲击钻杆

互捻和混合捻三种。钢丝绳的捻绕共有六种方式。

在选择钢丝绳时，若钻具为丝扣连接，则钢丝绳捻合方向应与钻具丝扣方向相反，工具卷筒上的钢丝绳，常用6×19 沥青麻芯左向交互捻的钢丝绳。

钢丝绳的规格应根据所承担的钻具重力而选取，一般按下述经验公式选择。

$$P \geq k_1 k_2 Q$$

式中：P——钢丝绳总拉力，kN；

k_1 ——考虑钻具的阻塞系数， $k_1=1.2\sim 1.5$ ；

k_2 ——静强度安全系数， $k_2=6$ ；

Q——钻具重量，kN。

应当注意：卷筒和滑轮的最小直径与钢丝绳直径之比，不应小于12~18，以防钢丝绳迅速磨损。

5. 抽筒

抽筒主要作用为捞取井内岩粉。肋骨抽筒也可以直接用来钻进松软散地层。因而它既是辅助工具，也是碎岩钻具。抽筒的阀门可以做成多种形式，例如，球阀、半球阀和平阀等。图1—17为平底阀抽筒。

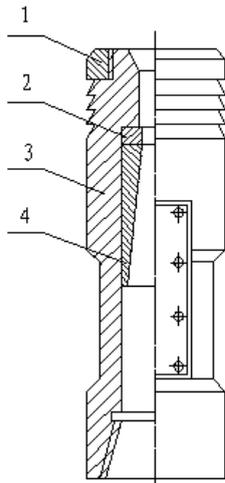


图1—16 钢丝绳接头结构图

1—保护箍，2—垫片，3—绳卡体，4—活套

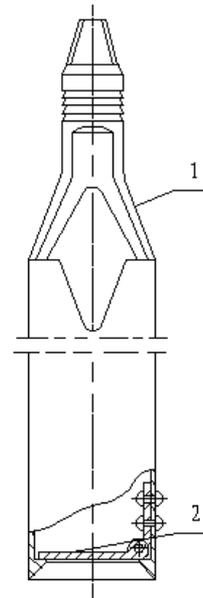


图1—17 平底阀抽筒

1—提梁，2—活阀

二、

大直

径回转钻进

回转钻进法是使用最广泛的常规钻探方法。在我国，无论是地质部门还是其它工业部门都是如此。在国外，同样也是用回转钻进法完成的钻探工作量居多。现在有很多较先进的钻探方法，如空气钻进、反循环钻进以及井下潜孔锤钻进等钻进方法，都是在常规的回转钻进方法基础上，利用回转钻进的某些特点而发展或演变而来的，取得了很好的效果。当然，用回转钻进法进行大直径水井钻探也存在需钻机输出扭矩大，设备庞大和钻进工艺不完善的问题。大直径回转钻进使用的钻机，一是用岩芯钻机进行改装，二是用水井专用钻机，水井专用钻机主要有SPJ—300型钻机和SPC系列钻机等。SPC—600型见图1—25。

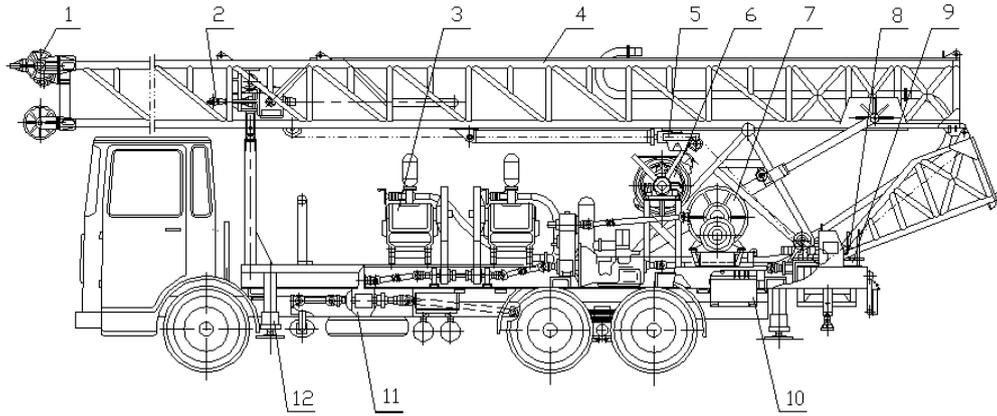


图 1-25 SPC-600R 型钻机

1—天车，2—钻具，3—泥浆泵，4—钻塔，5—导向加压机构，6—捞砂卷扬机，7—主卷扬机，8—孔口装置，9—转盘，10—操纵系统，11—分动箱，12—液压千斤顶

我国利用回转方式进行大直径水井钻进的基本方法有：取芯钻进、全面钻进和扩孔钻进三种。

(一) 取芯钻进

探采结合孔以及基岩中的供水井，为了减少破碎岩石的工作量，常采用取芯钻进。或者首先用常规口径的取芯钻进，然后扩孔成井。供水井钻探中的取芯钻进可以分成两种类型：软地层钻进和硬地层钻进。

1. 软地层取芯钻进

软地层取芯钻进主要问题易造成缩径、糊钻，埋钻，塌坍或孔径扩大等现象。在钻进软地层时，在钻进措施和钻具选择上应尽可能的与地层的特点相适应。

(1) 钻头

软地层取芯钻进用的钻头，一般为肋骨钻头，肋骨钻头是采取在钻头的外侧或内外侧加焊肋骨片，目的是增大钻头与孔壁间和钻头与岩芯间的环状间隙，以防止或减轻粘土类地层水化膨胀易造成缩径、糊钻问题。水井钻进中常用的肋骨钻头有三种类型，它们是不易糊钻的螺旋肋骨钻头和适于砂类，砂质粘土类以及页岩地层双管钻进的阶梯肋骨钻头以及具有减轻岩心堵塞防止岩芯滑落的内外镶肋骨钻头。使用时根据所钻地层的特点合理选用。

(2) 取芯钻具的连接方式

水井钻进由于口径大，所需的钻压、扭矩大。当钻孔较深时，为了防止钻孔发生井斜和断钻杆事故，粗径钻具之上，一般连接钻铤，以改善钻具在井内受力状态。在钻铤的上部接钻杆。同时在粗径钻具上部或钻铤的上部加入一段扶正器。扶正器的外径与粗径钻具相同。扶正器的外形可以作成棱状或螺旋形棱状。

水井钻探使用的钻杆，一般采用石油钻井的钻杆，以适应钻进时所遇的大扭矩。

(3) 软地层取芯钻进的技术措施

在粘土类地层钻进时，由于粘土类地层硬度小粘性大，切削具易于压入切削，当进尺过快时，井底岩粉多，一旦泵量不足，易发生憋泵、糊钻现象。应采用大泵量，勤活动钻具的操作方法。

2. 硬地层取芯钻进

水井钻进所钻遇的硬岩层，常为基岩的破碎带、带溶隙的石灰岩和河床上的漂卵砾石等地层。钻进这类地层，多采用潜孔锤取心钻进和反循环取心钻进等方法。这些钻进方法将在随后专门介绍。

大直径钻孔取心钻进时，由于岩芯的直径大、重量大、所需提升与拔断拉力大，若要直接拔断，常常超过了钻进设备负荷。因此，大直径基岩取心的原则是先截断岩芯，然后再采取岩芯。常用方法有以下几种。

(1) 自然断芯，投卡料取心法

当岩石层理、节理发育时，在回次终了可直接投入卡料卡取。

卡料可以是钢粒、卡石或铅丝。其直径规格视岩芯与钻头内径间隙而定。常用的卡石 $\phi 8\sim\phi 12\text{ mm}$ ，铁丝是用8#，2~3根，长200~300 mm拧成股使用。取心操作与小直径相同。

(2) 先楔断，后卡取法

当岩石坚硬、完整，没有节理时，可采用下一楔断器将岩心楔断后，再下粗径钻具将其卡住提出井外。楔断器可以用厚壁管一端制成偏心楔形，在楔断器上方施加以冲击力将岩心楔断。

(3) 先炸断，后钢绳套取

当岩石坚硬、完整，岩心直径特大时，首先进行孔内放炮将岩心自底部炸断，然后下入钢绳套将岩心提起。炸断岩心的办法可以在井壁与岩芯环状间隙中安放炸药包，也可以在井内岩芯柱中心钻一小孔安放炸药包。

(二) 扩孔钻进

扩孔钻进主要受设备能力限制不能一次成井而采用的特殊方法。即先用小直径取芯钻进后再加大孔径的方法称扩孔钻进。扩孔可以扩一次，也可以多次扩孔成井，根据设备能力确定。

扩孔钻进应力求快扩快结束，以减少泥浆对含水地层的污染和侵入，影响水质水量。

1. 扩孔钻头的选择

选择扩孔钻头类型时首先在钻头结构上应符合所钻地层的特点，同时又必须考虑由于设备能力限制不可能用大压力和高转速的情况。在粘土层扩孔时，钻头型式以防止泥包为主，砾石层扩孔时，考虑井壁稳定为主。

2. 扩孔钻进及操作注意事项

扩孔钻进规程应是“轻压、慢转，大泵量和优质泥浆”。

“轻压”是因为井径大，钻杆与井壁间环状间隙大，井壁对钻杆不起支撑扶正作用，压力大时钻杆弯曲过大，井易斜，同时钻杆易压弯而折断。

“慢转”是为了减小弯曲钻杆的离心力，从而避免钻杆对井壁的撞击，使井内扩孔钻具保持运转平稳和维持井壁稳定。

“大泵量”是因为扩孔钻进时井内岩粉多，岩粉粒径大，钻具与井壁环状间隙大的缘故，只有加大泵量才能使上返泥浆流速达到携带岩屑的要求。

“优质泥浆”是因为常用泥浆泵排量达不到携带岩屑的上返流速要求，需要加强泥浆的携带岩屑能力和护壁性能方能奏效。

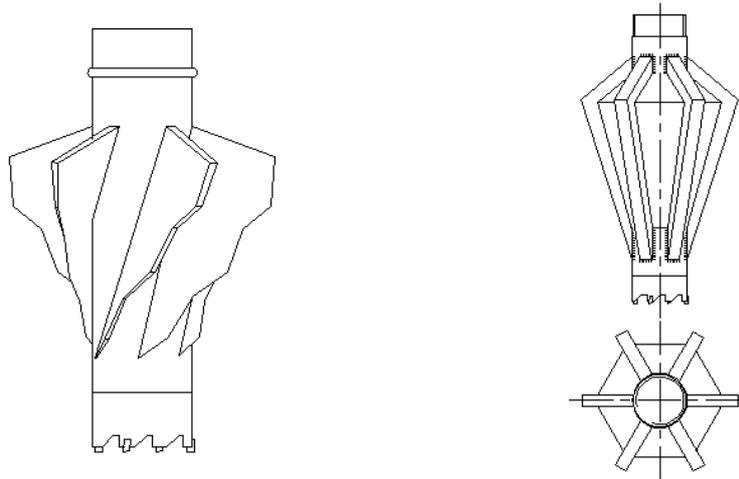


图 1-26 六翼螺旋肋骨钻头

3. 扩孔钻进优缺点

扩孔钻进可以减轻设备负荷，减少或避免了一些因超负荷而造成的机械或井内事故。可以实现用较小设备完成较大直径井施工。但操作次数频繁，相对效率较低，钻具及钻头加工较复杂，钻探成本较高。因此，只要设备允许尽量不用扩孔钻进。

(三) 全面钻进

全面钻进是指将井底岩石全断面破碎，即无岩芯钻进成井。由于不取芯，减少了起下钻，增长了纯钻进时间，提高了钻进效率。

1. 全面钻进钻头

(1) 翼片式全面钻进钻头

适于水井钻进的翼片式全面钻头有鱼尾钻头、三翼钻头、四翼钻头和六翼钻头，在夹有大卵石层中钻进时可选四翼钻头或多翼钻头。

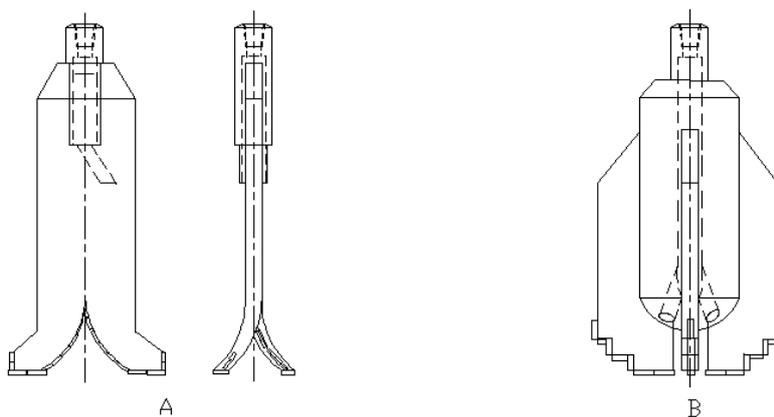


图 1-27 全面钻进钻头

A—鱼尾钻头

B—三翼钻头

鱼尾钻头是用两个翼片焊在粗径管或接头料上称鱼尾钻头或刮刀钻头。有时为了增强钻进平稳性也焊三个翼片，称三翼刮刀钻头。三翼钻头是将三个翼片焊在贯眼接头料上，三翼呈 120° 均匀分布在钻头体上。这种钻头稳定性好，用于粘土类或砂类砾石层钻进。

翼片式全面钻进钻头常用于钻进较软的地层。多翼钻头是为了防止井斜，在钻头体上焊接3~6个翼片的钻头。翼片在钻头体上布置多采用锥形或阶梯形。全面翼片钻具的结构类似于扩孔钻具。

(2) 牙轮钻头

牙轮钻头（图1—28）钻进适用范围比较广泛，从软地层到硬基岩均可采用。牙轮钻头是高效钻头，这在石油钻井实践中已被证实。尤其在深水井中效果更为显著。当前使用最广泛的是三牙轮钻头。在有条件的情况下应尽量采用牙轮钻进。有关牙轮钻头的结构及钻进参数，参考石油钻井。

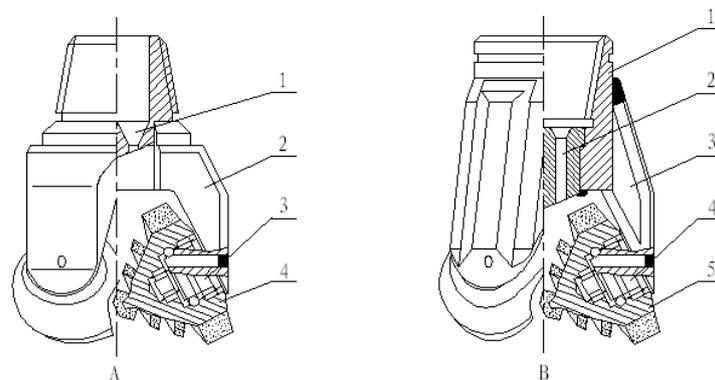


图1—28 三牙轮钻头

A—有体式钻头：1—水眼，2—轮掌，3—牙轮轴，4—牙轮

B—无体式钻头：1—钻头体，2—水眼，3—轮掌，4—牙轮轴，5—牙轮

2.

全

面钻进技术参数

水井钻探中全面钻进技术，主要有以下两个方面：

(1) 采用大钻压

当前水井钻探已逐步采用 $\phi 73\text{ mm}$ 、 $\phi 89\text{ mm}$ 、 $\phi 114\text{ mm}$ 钻杆，还装配相应的钻铤。这样就给三翼钻头、鱼尾钻头和三牙轮钻头采用强力规程提高钻进速度创造了条件。

(2) 采用大冲洗液量

近年来，水井钻探设备中的泥浆泵已从 200 L / min 提高到 1200 L / min ，且有更高的趋势。利用高能量泥浆泵的性能，在刮刀钻头和三牙轮钻头上安装高压喷嘴，使其发挥喷射碎岩作用（石油钻井工艺中称水马力碎岩），这种高效率钻头对软地层特别有效。可收到加快钻进速度，防止糊钻，提高排粉能力的显著效果。

三、空气钻进

以压缩空气代替冲洗液作为循环介质的一种钻进方法称为空气钻进。

空气钻进在水井钻探中，占据着特殊的地位。在缺水地区打井，使用冲洗液钻进时，钻进本身就需要水。有时必须从很远的地方运水，不但增加了钻探成本，而且常因运水跟不上而停钻。使用空气钻进的方法，对于解决缺水地区、严重漏失地层、以及其它不能使用冲洗

液循环的地方有着十分重要的意义。

空气钻进，已被多年来石油钻和水井钻所证明是一种高效率的钻进方法。空气钻进钻速高的主要原因有两点：一是使用泥浆钻进时，孔内的液柱压强大于地层孔隙内流体压强，两者之间存在着压差，这种压差称为正压差，孔内的液柱压力作用于井底岩石对钻进效率影响很大。当使用空气钻进时，由于孔底岩石去掉了钻孔内液柱的静压力，使钻头下的岩石在地层压力的“反压差”效应作用下，以最大限度释放残余应力，钻孔越深“反压差”作用越明显，当“反压差”大到一定程度后，井底岩屑呈“爆裂”的形式崩离岩体，从而提高了破碎岩石的钻进效率。二是由于空气本身的粘度极小，又以高流速吹过孔底，使孔底净化程度提高，几乎没有重复破碎。因此，对比试验得出，空气钻进要比泥浆钻进的效率高10倍左右。

空气钻进时，由于在钻头底部压缩空气压力突然降低，就吸收周围热量，不但减少了切削具被烧毁的可能性，而且改善了切削具的工作环境(有些资料上说，可达到结冰程度)，延长了钻头的使用寿命，减少起下钻的时间，缩短了施工周期。

空气钻进可以采用正循环方式，也可以采用反循环和局部循环等方式。

(一) 空气钻进的设备

空气钻进设备是在采用液体循环钻进设备的基础上，将原有的泥浆循环设备换为空气循环设备，即可进行空气钻进。除使用常规的设备(钻机)外，专用的设备有空压机、孔口装置、除尘设备等。图1-39为空气钻进正循环钻进示意图。空气自空压机1经放气阀门进入地面风管，然后到立管3，再经软管进入钻杆，经井底返回，由于井口装置4阻挡，空气到回气管5最后到达除尘器6。

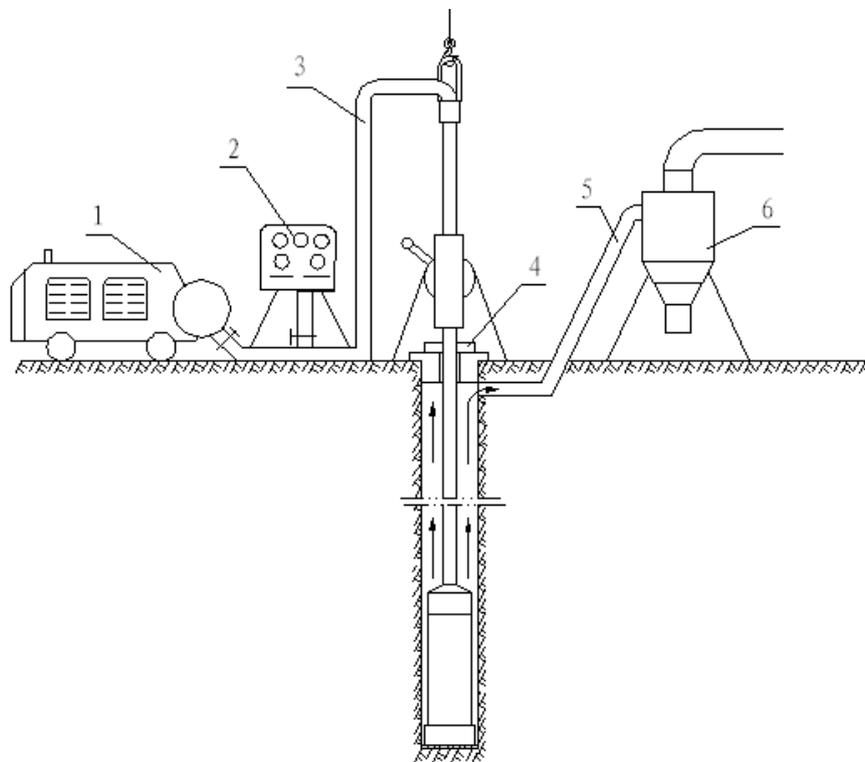


图1-39 空气钻进示意图

1—空压机，2—仪表盘，3—立管，4—井口装置，5—回气管，6—除尘器

1. 空压机

空气压缩机是空气钻进的最主要设备。空气钻进方法对空压机的基本要求是：风量大、风压相当，外形小，重量轻。

2. 井口装置

在空气钻进中，有大量岩粉成尘埃状(在干孔钻进中)或小泥球状(在有涌水地层钻进时)涌出孔口，为了保持环保和安全的要求，必须有专门的井口设备。井口装置一般要求是：有一定的密封性能，钻机附近不得有尘埃和粉团飞扬，钻杆通过和回转时要灵活自如，结构简单，安全方便，外形规格小巧，使用寿命长，在必要时能迅速换用其他钻进方法等。

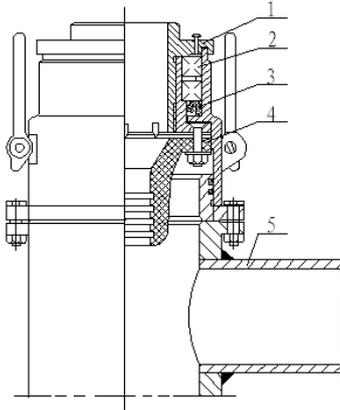


图 1-40 剩余压力井口密封器

1—顶盖，2—轴承，3—油封圈，
4—橡胶密封套，5—井口管

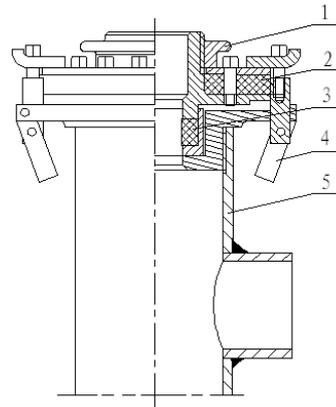


图 1-41 井口滑动密封器

1—压紧螺帽，2—橡胶缓冲盘，3—
—塞线，4—锁紧拉杆，5—井口管

3. 捕尘设备

空气钻进的捕尘方法有三种：干式捕尘、湿式捕尘和干湿结合捕尘。

(1) 干式捕尘

干式捕尘由鼓风机和旋风除尘器等设备组成。

鼓风机是在井口造成负压，不仅可以使井口密封装置简化，机场清洁，而且能够在空压机能力较小时起辅助作用。提高钻杆外环状空间的气流速度，有利于井底清洁。鼓风机的能力要适当，一般比所用的空压机的空气量大一倍左右，风压要求在 30~50 毫米水柱，风压太大对井壁稳定性不利。

旋风除尘器，安装在鼓风机之前，将大颗粒岩粉分离掉，主要起保护鼓风机作用。同时，被旋风除尘器分离出来的岩粉，也可以作分析取样用。旋风除尘器工作原理如图 1-42 所示。气流进入除尘器，在其筒体内形成大旋涡，沿锥体下降，在锥体的作用下又改向小旋涡上升，沿排气管进入鼓风机后，排往远处。大颗粒岩粉，在离心力的作用下，从大涡流中分离出来，经排粉管落到地面或岩粉收集箱中。为了避免在井口沉积，旋风除尘器入口处气流速度应为 20~25 米/秒。

(2) 湿式捕尘

湿式捕尘一般是在钻机立管处接一个高压水喷嘴水接头，如图 1-43 所示，向压缩空气管

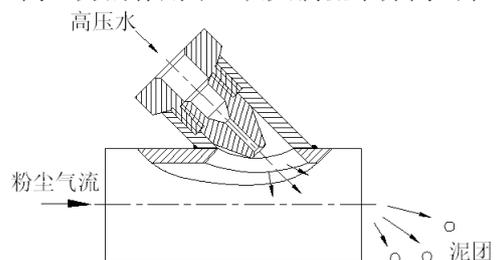


图 1-43 湿式捕尘装置

路中喷射高压水，形成气水混合，岩粉成小泥团颗粒返出井外。高压水喷嘴也可以安装在井口引流管上直接向引流管内喷出雾状水沫，这种水雾与粉尘结合形成小泥团而被排出引流管外。

高压水的压力要比空气压缩机的压力高 0.05Mpa。水量控制在 14~30L / min 左右。

湿式排尘设备简单，操作方便，机场处于完全无尘埃状态。卫生程度高。

(3) 干湿结合捕尘

干湿结合捕尘是在干式旋风捕尘器的排风管线上组合进湿式捕尘的风水接头或水沉降器，如图 1-44 所示。大颗粒岩粉由干式旋风捕尘器排除，细小粉尘由湿式捕尘捕捉，这样既发挥了干式旋风捕尘器效率高的优点，同时又弥补了干式旋风捕尘器难以将细小粉尘分离和湿式捕尘耗水量较大的不足。因此，干湿结合捕尘较好的解决了节约用水和粉尘二次飞扬问题。

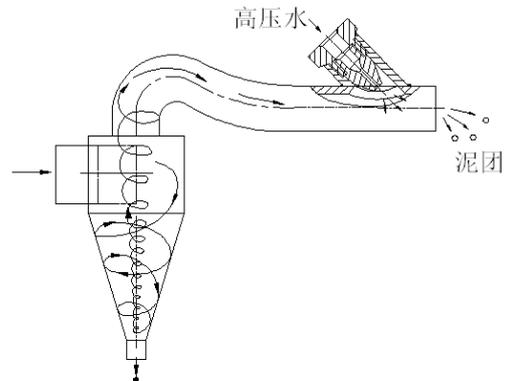


图 1-44 干湿结合捕尘装置示意图

(三) 空气钻进技术措施

干空气钻进存在的问题是粉尘大，润滑性差，钻具磨损大，对于操作工人的健康和周围环境的污染都很大。在潮湿的地层中钻进时，在粗径钻具上端易形成“泥环”造成中断气流，无法钻进。另外，当孔径扩大后由于要保持较大的上返速度，需要很大的风量，往往使空气压缩机供气量不能满足要求。为了发挥空气钻进的优点，克服存在的问题，钻进中需采取相应的技术措施以达到高钻进效率。

1. 燥化钻进

干空气钻进潮湿地层时经常发生在上返的气流中夹有小泥团，使流体比重增加。这种小泥团在粗径钻具以上的地方，因流速改变附贴在井壁和钻杆上，形成泥环，进而切断气流，中断循环，形成事故。为了消除这种现象，可以采取干空气吹孔 2~3h 使井壁达到干燥后再继续进行干空气钻进。一般用于潮湿层较薄的情况。

2. 雾化钻进

干空气钻进厚层潮湿地层时，在粗径钻具上方形成泥环的现象较为频繁。若采取燥化钻进将会严重影响钻进效率。此时，可向干空气中注入清水（因返上的气流呈白色细小的水雾状的混合流体，故称雾化钻进）将井壁和井内钻具进一步湿润，以降低气流中小泥团与井壁、钻具的黏附性，达到防止和消除泥环的效果。

3. 泡沫钻进

在涌水量较大的地层钻进时，由于井内岩粉不能吹出，井内岩粉浆愈打愈稠，液柱压强增大，钻进效率降低。在涌水量较大的地层采用泡沫钻进可很好的发挥空气钻进的优越性。泡沫钻进是通过专用的灌注系统，把泡沫剂溶液注入压缩空气的气流中。由于泡沫剂的存在，这种压缩空气遇到井下地下水（也可在泡沫剂注入的同时向压缩空气中注入水）即形成稳定的泡沫。这种泡沫具有一定的膜强度，可使空气、水及岩粉成为一种稳定的流动体系。此种混合流体，像刮胡膏一样以柱塞型的流型向上流动，从而大大地改善了悬浮、携带与捕集岩粉的效果。

采用泡沫钻进除去捕尘效果好外，由于泡沫比纯空气有较大的悬浮能力，因此，上返速度可以降低。只要有干空气的 1/10~1/15 的上返速度，就有较好的携带岩粉效果。因而与干空气钻进相比，能大大的降低所需的空气量，但由于泡沫较空气比重大，因而所需的空气压力要相应地增加。

泡沫钻进中的泡沫，当前还只是一次性的利用，即将泡沫排至集碴坑中或集积在地面上后不能再进入循环系统，需要进行消泡处理，导致了泡沫钻进成本增加，制约了泡沫钻进广泛应用。

4. 泡沫泥浆和充气泥浆钻进

泡沫泥浆，又称粘性泡沫。是在空气钻进中遇有坍塌漏失或孔壁很不稳定情况下采用的一种钻进方法。

向空气钻进的立管中注入泡沫剂的同时，注入一定量的经过处理的优质泥浆。泥浆与泡沫在下行过程中形成泡沫泥浆。这种流体兼有泡沫和泥浆的特性，即比重轻、悬浮能力强，又能在钻孔壁上形成薄而韧的泥皮，从而达到稳定钻孔壁和堵漏的作用。

充气泥浆是在液体循环系统中对泥浆混入一些泡沫剂使泥浆充气而形成的较泥浆比重低的一种流体。这种流体是为了减轻钻孔内泥浆柱对钻孔壁的压力，从而减轻漏失量的技术措施。这是空气钻进与泥浆钻进中间类型的钻进方法。

第三节 供水井成井工艺

安装地下取水建筑物的工作称为成井工艺。成井工艺的目的是保水质水量。主要表现在两个方面：一是将含水层(目的层)的水经过疏通而使能自由地流入井内，二是封闭或隔离非目的层，以防止地下含水层的水互相串通或污染含水层。这种有选择的疏通和封闭，是成井工艺要解决的主要问题。

成井工艺包括下管，填砾、止水，洗井等工序。这些工序通常是相互衔接的，有时是交叉进行的，各工序都有各自的工艺要点和规范要求。

一、滤水管

滤水管是安装在不稳定的但要求出水的含水层段，如砂卵砾石层，岩石碎裂的断层带。滤水管的作用既是保护不稳固含水层井壁的工具，防止井壁坍塌；同时又具有一定的渗透孔隙，使水自由而通畅地流入水井内的同时，阻止砂或碎岩随水流进入井内，起到滤水挡砂效果。大多数含水层的井壁是不稳定的。因此，多数水井需要安装滤水管。

目前常用滤水管的材质有钢管、玻璃钢管、塑料管、石棉水泥管等。常用过滤器有骨架式过滤器、缠丝过滤器、网状过滤器、砾石过滤器等。正确选择过滤器的类型和结构是保证水质水量的重要问题。

(一) 滤水管的类型和结构

1. 骨架式滤水管

骨架式滤水管是一种结构最简单的滤水管。它是直接在各种材料的井管上采用钻孔、模压、焊割、铣切等方法，加工出圆孔或条缝作为进水通道的滤水管。骨架式滤水管除可以在含水层砂砾、岩屑粒径较大时独立用作滤水管外，还常作为其它类型的滤水管的支撑骨架。根据所开的滤水孔的形状。

2. 缠丝滤水管

缠丝滤水管是在圆孔滤水管或筋条滤水管上缠绕金属丝或非金属丝制成，如图 1-52 所示。在圆孔滤水管上缠丝时，应先在管子的

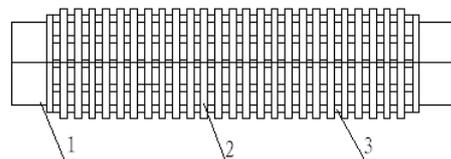


图 1-52 缠丝滤水管

1—骨架式过滤器，2—缠丝，3—垫条

外表面上焊直径为 6~10 毫米的垫条，垫条的圆周间距约 40~50 毫米。焊垫条的目的是为了使缠丝和管子之间有一定的间隙，以保证较大的滤水面积。若以筋条滤水管作骨架，则可直接缠绕在钢筋上。

通常采用的缠丝丝径为 2~4mm，缠丝间距为 0.5~5mm。缠丝应保证质量，力求丝距准确、均匀，缠绕牢固。以机械缠绕为佳。

缠丝滤水管的缠丝间距决定于含水层中的砂砾粒度。在不含砂的大卵砾石地层中，缠丝间距可达 3~5 毫米。

在侵蚀性地下水中，铅丝易被腐蚀，可采用不锈钢丝。近年来，多用抗腐蚀性强的尼龙丝和增强玻璃纤维丝，既延长了过滤器和水井的使用寿命，又节约了大量的金属，降低了成本，效果较好。

缠丝滤水管加工方便，透水性能良好，适用于粗砂，中砂和卵砾石含水层。在我国供水井中经常采用这种滤水管。

3. 网状滤水管

网状滤水管是在圆孔或条缝滤水管的外表面大间距（30~60mm）缠丝或沿母线加垫条，然后覆盖过滤网，即成网状滤水管，如图 1—53 所示。缠丝或垫条的作用在于增大过滤网的过滤面积，使水能比较畅通地流入井内。

通常使用的过滤网分金属丝网和非金属丝网两类。

在有侵蚀性的地下水中，特别是在供水井中长期使用时，最好采用耐腐蚀性好的塑料网和玻璃纤维网。塑料网用聚氯乙烯树脂制成，有模压成的圆孔网和由塑料丝编织的方格网，网眼直径规格多，可在 0.5~5mm 之间选择。玻璃纤维网多为玻璃布状，网眼直径在 0.1~1mm 之间，孔隙率一般可达 20~35%。

网状滤水管加工方便，安装也较简便，同时，网眼规格较多，可根据砂粒的不同粒度来合理选用。但网状过滤器的进水阻力较大，降低了供水井的出水量。网状滤水管不适用于极细的流砂层，因为网眼会迅速被堵塞。

4. 玻璃钢滤水管

玻璃钢滤水管是采用热固性树脂浸渍玻璃纤维机械缠绕一次成型。滤水孔是玻璃纤维架桥式结构，如图 1—54 所示。滤孔直径为 1.0~2.0mm，孔隙率为 16.8~18.0%。玻璃钢滤水管具耐腐蚀性强、机械强度高、重量轻。使用寿命长、成本低和适应面广等特点，是我国推荐的优质滤水管之一。

5. 塑料滤水管

近年来在国外采用塑料制成滤水管，发展很快。塑料滤水管形式很多，可以适应不同地层条件。塑料滤水管的进水通道多为平缺口，也可压制成桥式缺口。进水通道尺寸在 0.5~4.0mm 之间，有多种规格供选择。

塑料滤水管具有耐酸碱腐蚀性强、成本低、成型快和适应面广等特点。但塑料滤水管抗高温性差，不适于热水井使用。

6. 砾石滤水管

砾石滤水管是人们根据含水层颗粒情况，选取适合的砾石并充填于骨架管之间或者粘贴于骨架管外表面，使形成一个人工砾石过滤层，以增大水井的过滤半径。其骨架管常是骨架

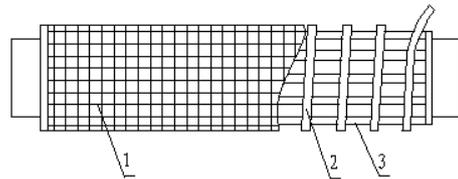


图 1—53 网状滤水管

1—骨架式过滤器，2—垫条，3—过滤网

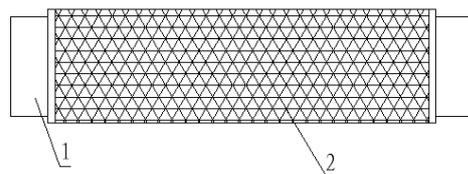


图 1—54 玻璃钢滤水管结构图

1—骨架管，2—玻璃纤维

滤水管、缠丝滤水管或特制的筐架。如图 1-55 (A) 所示。

双层骨架管砾石滤水管结构复杂，安装不便，只在特殊井中使用，一般皆被贴砾滤水管所代替。

贴砾滤水管 (图 1-55 (B))。这种滤水管是在骨架管外将砾料、粘合剂等物质，按一定比例在模具里加压、固化而成。贴砾滤水管具有透水性能好、挡砂可靠、使用方便，成本低、并可缩小井径，简化成井工艺等特点。因贴砾规格可以根据含水层的粒径选择，因而应用范围广泛。特别对于细颗粒含水层和难以投砾的深井更显示其优越性。因此，贴砾滤水管也是我国推荐的滤水管之一。

砾石滤水管可方便的实现双层过滤，进而保证了井的水质水量。但砾石滤水管要求的井径较大，也增加了钻井成本。

除上述的滤水管以外，我国还使用着很多种其它类型的滤水管。如石棉水泥滤水管，水泥砾石滤水管，炉渣水泥滤水管等等。这些滤水管的特点是加工制造较容易，成本低廉，但重量大，故多用于农田灌溉或深度较小的浅井。

二、井管的安装

(一) 下管方法

1. 升降机提吊下管法

此法适用于井管本身及其连接部分具有足够的抗拉强度，如无缝钢管，卷焊管和塑料管等井管。其下管长度决定于井管的抗拉强度和钻塔的负荷能力。下管前应对将要下入井内的全部井管进行重量计算和井管的抗拉强度校核。在井管抗拉强度和钻塔负荷能力允许的范围方内可采用提吊下管法。当钻机升降机的提升能力和钢绳的抗拉强度不足时，可增加滑车组数 (即增加工作绳数)，以提高升降机的提升能力，降低钢绳所受拉力，使之小于钢绳的安全抗拉强度。

2. 钻杆托盘下管法

在井管底部加装一个承托井管重量的托盘，钻杆与托盘连接，提吊钻杆将井管下入井内的方法，称钻杆托盘下管法。

此法一般用于下水泥井管或铸铁井管等抗拉强度或连接强度不高的井管。下管深度受钻杆抗拉强度和钻塔有效负荷的限制。

井管托盘 (图 1-58)，分木制托盘、混凝土托盘和金属托盘几种，一般多为金属托盘。为了在下管完毕后能顺利地退出钻杆，在托盘上焊接有左丝扣的钻杆接头 1，以保证井管下至井底后能顺利地退出钻杆柱。为了下管顺利，可在托盘下装一导向体 5，其下端呈圆锥形。另外，在托盘上还设有通水孔，下管完毕后，可通过钻杆送水，并经通水孔上返，以冲换井内泥浆，以减少洗井工作量。

3. 钢绳托盘下管法

如图 1-59 所示，此法用三根 (或四根) 吊重钢绳代替钻杆，承受全部井管的重量。

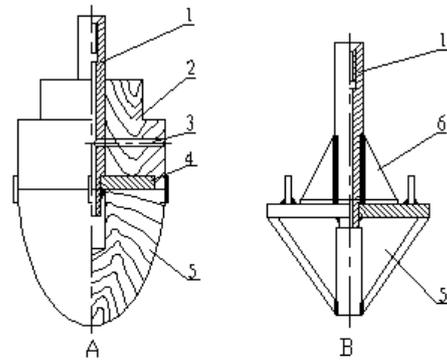


图 1-58 井管托盘

A- 木制托盘 B- 铁制托盘

1- 钻杆接头 (左丝扣), 2- 木质上托盘, 3- 一通水孔, 4- 铁托架, 5- 导向体, 6- 加强筋

吊重钢绳通过销钉和托盘锁接在一起，销钉上连有心绳。下管时，将井管置于托盘上，随着托盘的不断下降，井管一根接一根地下入井内。井管下完后，将心绳抽出，使吊重钢绳与托盘分开，然后抽出吊重钢绳。

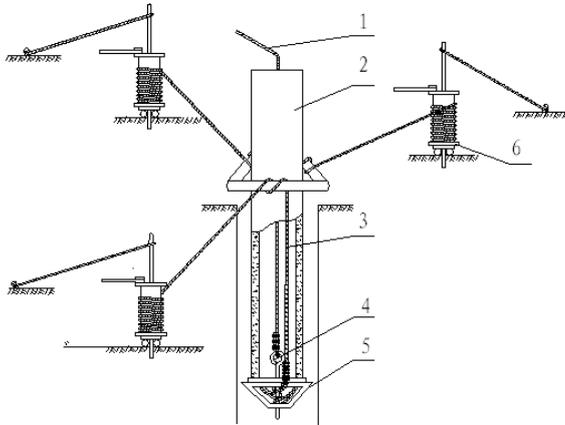


图 1-59 钢绳托盘下管法示意图
1—心绳，2—井管，3—吊重钢绳，4—销钉，5—井管托盘，6—绞车

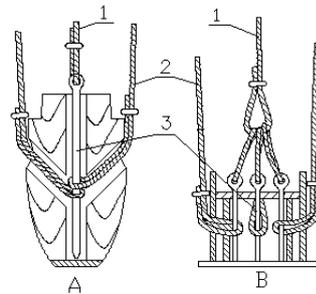


图 1-60 钢丝绳托盘下管法的托盘
A—木托盘 B—钢板托盘
1—心绳，2—兜底绳，3—销钉

钢绳托盘下管法，解决了钻塔有效负荷不足的问题，设备简单，适用范围广，可用于在浅井或深井中下各种材料的井管。其缺点是：当井较深时，各绞车放绳速度很难均匀一致，使各吊重钢绳受力不均，有可能造成吊重钢绳被拉断而导致伤人和破坏井管的事故。条件许可时，最好采用钻杆托盘下管法或其他下管方法。

4. 二次下管法

二次下管法就是把全部井管分为两次下入井内。此法在原有井管强度和钻塔有效负荷情况下能安装更深更长的井管。二次下管法有钻杆托盘二次下管法和提吊二次下管法两种，其基本方法与上述两种一次下管法相同。不同之处主要是井内两级管柱的接头处理，这是二次下管法的关键。

(1) 钻杆托盘二次下管法

此法适用于抗压强度高，抗拉强度和连接强度低的井管用于深井时的下管。钻杆托盘二次下管法的工艺过程如图 1-61 所示。

钻杆托盘二次下管法在安装第一级井管时，井管的上端要安设一个防砂罩，并用固定器将防砂罩限位。避免下管时井壁落物和砾料进入井管内。第一级井管安装到位后，先填砾，填砾高度应低于第一级井管口，以保持井管位于井孔中心。然后取出钻杆，再下入第二级井管与第一级井管对接。最后再填砾并完成全部成井工艺工作。

(2) 提吊二次下管法

此法适用于井管抗拉强度和连接强度高的深井下管。提吊二次下管法井内对接装置如图 1-62 所示。

井内对接采用接头短管连接，锥形接头短管与第一级井管连接，导向喇叭形短管与第二级井管连接。接头短管是一根长约 1m，短管加工有锥度，两根短管的锥度和长度要一致，以利结合。这个锥度变径段愈长，锥形接头短管与导向喇叭管接触段就愈长，结合愈牢固。

5. 浮力塞下管法

当井管总重量已超过钻机起重设备的额定负荷，或者超过井管本身的抗拉强度时，必须

采取措施保证安全安装。通常采用浮力塞来增加井内液体对井管的浮力，从而达到减少井管上端拉力的目的。

浮力塞是用来封闭井管下端，不使井内泥浆进入井管内。从而利用泥浆对井管产生的浮力，减少了整个井管柱的重力，以适应升降机和钻塔的较小起重能力。同时也降低了管柱上端由于自重产生的拉力。这样，使在原有设备和井管材料的基础上增加了成井深度。

浮力塞的使用仅仅是一种辅助措施，而不是一种独立的下管方法，但它的作用是非常显著的。安装前应计算浮力塞的强度，以防止下管过程中浮力塞被顶破而发生严重事故。

常用浮力塞有木浮板和钢浮板两种。

(1) 木浮板

木浮板要用坚韧的木料如枣木等制做。可用整块木板，也可用几块木板拼合粘结。它的优点是制造简单，易被捣开。缺点是强度低，易损坏。

木浮板安装于井管接箍中，如图 1—63A 所示。应拧紧井管以挤压木浮板。木浮板的压缩厚度以 3 毫米为宜，压缩量过小，可能漏水，过大则可能被压坏。

因木浮板强度低，可相邻安装两块。为此，需特备一根长约 0.5~1m 的短管，接入井壁管中，在它的上、下安装浮板，其中间注满泥浆或水，使两块浮板同时起作用，以加大木浮板的强度，不致因木浮板被破坏而造成严重事故。

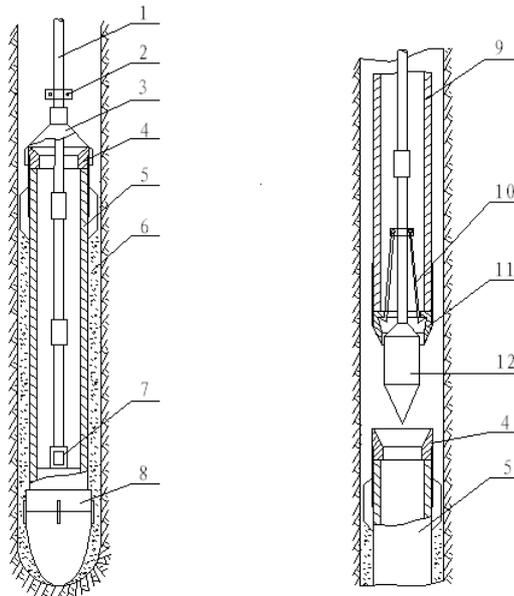


图 1—61 钻杆托盘二次下管法示意图

1—钻杆，2—固定器，3—防砂罩，4—下对口器，5—第一级井管，6—砾料，7—反丝钻杆接头，8—木质托盘，9—第二级井管，10—吊钩，11—上对口器，12—导正器

(2) 钢浮板

钢浮板由特制的接箍和有反丝公扣的圆形钢板组成。如图 1—63B 所示。特制接箍比一般接箍长 40~60mm，它的内径稍小于井管内径，车有反丝母扣与反丝浮板连接，在浮板中心焊有一个钻杆接头，用以连接钻杆。下管时，将装有钢浮板的特制接箍安装在井壁管下端。

下管完成后，再下入钻杆，反出钢浮板即可。

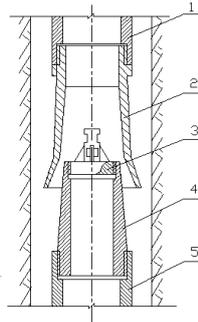


图 1-62 提吊二次下管法示意图

- 1—第二级井管, 2—喇叭形对接管,
3—反丝接头, 4—锥形对接管,
5—第一级井管

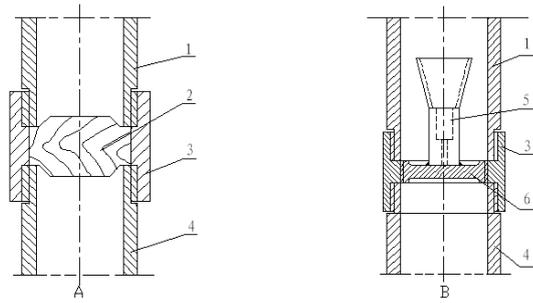


图 1-63 浮力塞结构示意图

- A—木浮板 B—钢浮板
1—井管, 2—木浮板, 3—管箍, 4—过滤管,
5—带导向钻杆接头, 6—反丝钢浮板

6. 综合下管方法

多种下管方法的联合使用称为综合下管法。在深井中下井管, 井管重量很大, 可同时采用两种或两种以上的下管方法。如在深井中下金属井管, 可采用提吊浮力塞法。在更深的井中下金属井管, 则可采用钢绳浮力塞下兜法。此法用钢绳托盘托底, 而用提吊法开始下管, 到一定深度后使用浮力塞继续下管, 待接近起重设备最大允许负荷时, 再使托盘吊重钢绳吃力, 用钢绳托盘继续下管。

总之, 选用井管安放方法时, 应根据具体条件灵活运用。

三、填砾

在滤水管与含水层井壁之间围填砾料, 称为填砾。填砾的目的是使其在滤水管周围形成一个人工过滤层, 以增大滤水管及其四周的有效孔隙率和透水性。同时, 还可起到滤水挡砂作用, 以防止含水层中的细小砂粒封堵滤水管进水孔隙。从而达到减少进水时水头损失和稳定过滤层结构, 增大水井的出水量和延长水井的使用年限。

(一) 砾料的选择

选择砾料时, 应选择质地坚硬, 不易发生化学反应, 颗粒圆度好且泥沙杂质含量少的砾料, 我国主要采用河滩硅化岩砾石。

1. 砾料的直径

砾料的规格直接影响人工过滤层的透水性和井水中的含砂量。如砾料粒度过大, 则孔隙增大, 挡砂作用减弱, 抽水时会大量涌砂, 砾石之间的孔隙也会被细砂充填, 影响透水性。如砾料粒度过小, 则孔隙小, 不仅透水性差, 且使填砾外围含水层中的细砂很少被抽出, 以致在含水层中不能很好地形成天然过滤层, 因而使水井的出水量减少。

砾料的规格应根据含水层砂样筛分后的粒径来确定, 即砾料的大小应与含水层的粒径相级配。世界各国在不同的条件下以不同的方法通过大量的试验, 得到了近乎相同的结论——砾料直径与天然含水层颗粒粒径之比, 其比值在 4~8 的范围, 以 6 为最佳。

天然含水层的砂样都是通过筛分, 来确定它的规格等级的。

我国水井成井中，当前仍沿用前苏联标准。以过筛颗粒累计重量占总重量的 50% 的筛孔直径，代表该砂样的标准直径，记作 d_{50} 。砾料也以同样方法规定，记作 D_{50} 。按下式确定砾料直径：

$$D_{50} = (4 \sim 10) d_{50}$$

2. 砾料的均匀度

砾料的均匀度是指用一种规格的砾料还是用多种规格砾料的混合体，即采用“均匀填砾”还是“混合填砾”的问题。当前未得到统一的看法。室内试验证明了均匀砾料渗透性好，填砾层孔隙度大，井的出水量大。混合填砾过滤性好，水中含砂量少。

选择砾石的均匀度应从增大地层渗透性、挡砂效果和经济性综合考虑。每一地层的砾料需要先确定一个标准直径，然后给定误差范围（推荐误差范围为 $\pm 8\%$ ），经两次过筛，即可获得所需的填砾规格。

3. 填砾厚度

国内外在试验室内都证明过这样的事实：只要砾石直径和砂样直径选择合适，填砾的最小厚度只要相当于砾料标准直径 2~3 倍就足能够挡砂。当然，填入井下的砾料，以此厚度能完全包围住滤水管并能经得起洗井抽水等搅动，却是不太可能的。但认为填砾厚度越大就越好，也是无科学根据的。

当前有些国家规定填砾厚度为 200mm，美国水井协会建议 3"~8"（76~203mm）。我国水文水井成井填砾厚度规定为 50~150mm。

4. 砾料量估算

砾料的数量应与需要填砾的井段的环状体积相等。但要考虑在钻进过程中，由于井壁坍塌或钻具摆动而使井径的扩大，含水层愈松散，井径扩大的愈严重，需要的砾料也愈多。同时要考虑洗井、抽水过程中，砾料在振动和水流扰动作用下重排下沉，填砾时的初始高度要超过滤水管上端一定高度。其超过量一般为理论填砾高度的 5~10%。砾料需用量可用下式估算：

$$Q = 0.785(D^2 - d^2)Lk$$

式中：Q—需要砾料数量，(m³)；

D—井径，(m)；

d—井内滤水管的外径，(m)；

L—填砾井段长度，(m)；

K—超径、下沉系数，一般取 $K = 1.2 \sim 1.5$ 。

(二) 填砾方法

1. 静水填砾法

填砾时，井孔中的冲洗液处于相对静止状态，故称静水填砾法，

向井管四周均匀地进行填砾时，开始时速度不宜太快，以防砾料中途堵塞而出现“搭桥”现象。当投入部分砾料后，由于砾料下沉，形成井管内外压力差，迫使井管内的水位上升外溢，当井管内出现返水后再适当加快填砾速度。返水随着滤水管四周被砾料堆积高度的增加，由大变小。当管口返水突然变小时，说明滤水管已被埋没，用测绳测量填砾高度，核算砾料数量，如无需补投时，即填砾工序完成。

如砾料中途堵塞，可将抽筒或活塞下入井管内缓慢地上下提动，也可在井管外下入钻杆送水将堵塞砾料冲开，再继续围填。在填砾过程中应经常用测棒测量填砾深度，以了解填入的砾料是否达到计划的位置。

静水填砾法工艺简单，但易产生砾料在中途架桥现象，因此，它只适用于填砾厚度较大

的浅井。

2. 抽水填砾法

抽水填砾是将抽水泵或者空气升液器下至滤水管底部以上 0.5m 处，进行反循环抽水，同时在井管外部进行投砾，砾料随着反循环水流而高速下降，沉落在滤水管周围。如图 1-64(A) 所示。这种方法充填的砾石比较密实，填砾速度快，不易架桥。并具有填砾到位报信功能。另外，抽水填砾法还可将井底大量的岩屑和稠泥浆吸入井管内，并被抽出井外，有利于冲孔洗井。适用于填砾量较大的中深井填砾。

抽水填砾时，由于水流向下流动，液柱压强小，必须由井口向井管与井壁之间的环状间隙内回灌稀优质泥浆，以防井壁坍塌。

3. 送水填砾法

送水填砾是在向井内注水（正循环）的同时向井管四周进行填砾，见图 1-64(B)。

将送水管下入井管内，然后密封管口开泵送水。冲洗液被压入井管内，并通过滤水管进入井管与井壁之间的环状间隙内，然后从井管外返回地面。从井口返出泥浆的粘度达 18s 左右时，即可边送水，边围填砾料。

若用钻杆托盘法下管时，则不需要封闭管口，可在钻杆反回之前进行填砾，直接利用下管钻杆与托盘上的通水眼，由井底返浆冲孔，与此同时进行填砾。

送水填砾法，由于砾料下沉方向与水流方向相反，填砾速度较慢、分选性较强，但有一定清洗砾料中杂质的效果。当送水泵泵压突然变大时，说明滤水管已被砾料埋没，具有填砾到位报信功能。

送水填砾法填砾不易架桥。适用于砾料圆度较好、填砾厚度较薄的中深井填砾。

4. 钻杆泵入法

钻杆泵入法是在井内下入钻杆柱，将砾料混入冲洗液中用泵自钻杆内泵送注入填砾层位的填砾方法。当在深井、超深井中填砾时，砾料在井管与井壁的环状间隙内下沉距离长，极易发生架桥堵塞或砾料粘附在非填砾段井壁上，不仅造成填砾质量差，浪费砾石，而且影响非填砾段的止水效果。

钻杆泵入法有两种方式：一是从井管与井壁的环状间隙内下入钻杆至滤水管上端，直接从钻杆内泵送砾料与轻泥浆的混合物。二是利用深井二次下管法，在下完一级井管后，然后下入一套特殊钻杆泵入填砾装置进行填砾。其特殊装置如图 1-64(C) 所示。它是在钻杆与井管顶端连接一个悬挂盘，封闭井管口，在悬挂盘上部连接一个特殊的“交叉接头”。在出料孔上部装有橡胶封隔器和返水孔。封隔器的作用是防止砾料返出井外。砾料和轻泥浆混合液从钻杆泵入，经出料孔排出后，受封隔器阻挡，砾料下降至井管外孔底，泥浆经滤水管的进水孔隙进入井管内，从封隔器上部的返水孔流出，进入封隔器以上井段并返出井外。当砾料填至滤水管顶部时，泵压也会上升，经校对填砾数量与计算相符后，即可结束填砾工作。

填砾装置中的悬挂盘是用左螺纹与滤水管连接在一起，填砾工作结束后，可将整套填砾装置从悬挂盘的左螺纹处返回。

四、止水

隔离封闭井孔中非开采目的层段的工作称为止水。

供水井止水的目的是隔离有害含水层和地表水，以保证井水不受污染。有时，为了合理利用地下水，需要分层开发，为防止各含水层之间互相串通，亦需进行止水工作。

(一) 止水方法

水泥止水方法，大多采用将水泥搅拌成水泥浆，利用泥浆泵泵入井管与孔壁之间。泵入的方法一般采用钻杆自井管内下入，经特殊接头使水泥浆流到井管外环状空间中去。也可直接用钻杆下入井管与井壁间环状间隙进行漏斗钻杆灌注法或钻杆泵入法灌注。

地热井或其它井要求长时期全部封闭上部含水层时，可用压力灌浆止水法(图 1—65)止水。该法是：先下入止水套管，用稀泥浆洗井，再泵入适量的清水，然后泵入必需数量的水泥浆。拧开异径接头，在止水套管内置一木活塞，继续泵入清水或泥浆，使木活塞受压下移，将止水套管内的水泥浆液压入套管与井壁之间的环状间隙内，直至井口返出水泥浆。停泵关闭封闭阀门，保持一定的压力值，直至水泥浆凝固。最后扫除木活塞继续钻进。

(二) 止水质量检查

止水工作完毕后，一定要进行质量检查，以保证所取得资料的准确性。

常用检查止水方法有：

1. 水位差检查法

当止水物发生效用后，管内外静止水位即发生变化，如图 1—66A 所示。如果相邻的含水层压力相差不大，可以采用向某一含水层抽水或注水，测量含水层的静水位有无变化来检查止水质量。

2. 泵压法检查止水效果

在抽水前不打开水管下部的挡板，而向止水物中间注水，如耗水量小于规定数量则认为止水有效。如 1—66B 所示。

3. 食盐扩散检查法

利用食盐溶液与淡水电阻率不同，人为地在某一含水层加入食盐。用电测法来测定两含水层的电阻率变化，判定止水质量。

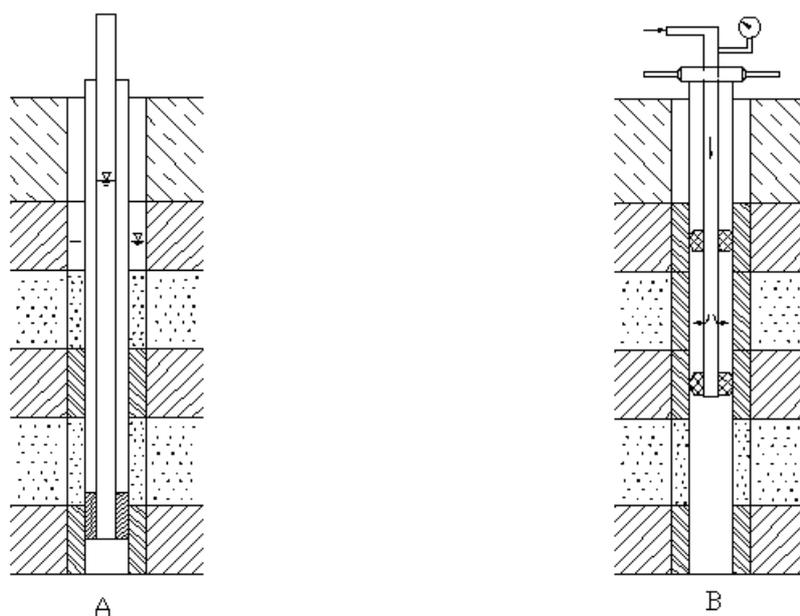


图 1—66 止水质量检查法示意图

A-水压差检查法

B-泵压检查法

五、洗井

清除井壁上的泥皮，并把深入到含水层中的泥浆抽吸出来，恢复含水层的孔隙，进而抽洗出含水层中一部分细粒颗粒，扩大含水层的孔隙而形成一个人工过滤层。这个高渗透率的人工过滤层的形成工作过程，叫做洗井。

(一) 洗井方法

常用洗井方法有以下几种：

1. 活塞洗井

活塞洗井时，活塞在重力作用下，迅速下降，冲击井水，使井水透出过滤器冲击含水层。然后猛然上提活塞，在活塞下面的井段内形成真空，含水层中的水迅速流入井内，破坏井壁泥皮，并携带出含水层中的泥、细砂和渗入的泥浆。如此反复上提下冲，就会在较短的时间内在井管外形成良好的天然滤水层。

活塞的结构形式很多，大致可分为木制活塞、抽筒活塞和铁制活塞几种。

木制活塞如图 1—67A 所示，它是由两块半圆木合抱于钻杆上制成。其外圆直径中间大两端小，在外圆最粗部位钉有胶皮带。为了减小浮力作用对活塞下降速度的影响，合抱于钻杆上的活塞需设有排水孔，孔的上口有带胶垫的活门。

抽筒活塞如图 1—67B，与木制活塞相仿，合抱在抽筒上的活塞可不设排水孔，借抽筒底的活阀可起相同的作用。

铁制活塞一般由安装在钻杆上的多组活塞组成，如图 1—67C 所示。为加速活塞下降，每组活塞上均设置有单向活门。若钻杆是空心钻杆，可在钻杆底部设置进水活阀，在活塞以上的钻杆上设排水孔。

活塞洗井是一种成本低，效率高的洗井方法，适用于中砂以上的含水层和丝扣连接的金属井管。在用泥浆钻进的水井中，用活塞洗井能迅速而有效地破坏井壁泥皮和清除渗入含水层中的泥浆。因此，活塞洗井在当前水井施工中被广泛采用。但在细砂以下的含水层中和弯曲度过大的井管中不宜采用此法，否则，易造成事故。

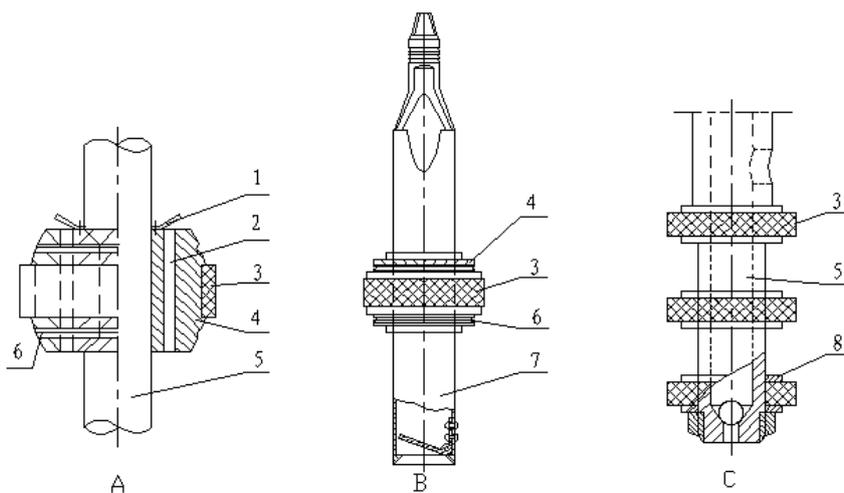


图 1—67 活塞结构示意图

A—木制活塞

B—抽筒活塞

C—铁制活塞

1—活门，2—排水孔，3—胶皮带，4—木塞，5—钻杆，6—铁丝，7—抽筒，8—法兰盘

2. 抽水洗井

抽水洗井时，由于井水不断地被抽出，井内水位下降，含水层中的水位也发生变化而形成漏斗状，称为“下降漏斗”，如图 1—68 所示。此下降漏斗增大了含水层向井内集水的压力，因而增强了水流冲破井壁泥皮的力量。在不断抽水的情况下，泥皮逐渐被破坏，含水层内的细小砂粒和渗入的泥浆便随水流一同进入井内而被排出井外，直至水清砂净。

采用抽水洗井时，应根据地下水位的深度和抽水时水位变化的幅度来选择合适的抽水设备。

抽水洗井具有方法简单，不需加工洗井工具，成本低，洗井效率与井内水位降和进水流速有关。不足之处在于抽水洗井时，水仅一个方向流动，不能有效的破坏“砂桥”，致使洗井不彻底，井出水量减小。

3. 空压机震荡洗井

震荡洗井法是将空压机产生的压缩空气用送风管间歇地输送到井内滤水管段，在风管出口处，由于含水层压强低于压缩空气压强，压缩空气产生体积膨胀，推动井管内水向填砾层、含水层流动，冲刷破坏井壁泥皮和岩粉对水路的堵塞。与此同时，井管内水在压缩空气

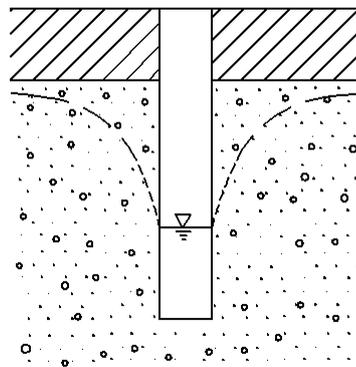


图 1—68 下降漏斗

上举作用下涌出井口，井内呈现短时反压差，含水层水携带着被破坏的泥皮和细小砂粒涌入井内。洗井时，可按同心式安装风管和扬水管。先将风管伸出扬水管外 1~2 米，然后猛开贮满高压空气气罐的气阀，使大量高压空气射入井内，将泥皮冲破，使泥浆和细砂随即涌入井内，经过数次停风送风，井内水位在间歇的高压空气的冲击下发生剧烈的震荡，直至达到洗井的目的。然后将风管提入扬水管内，继续向井内送入压缩空气，抽出井内的积砂和泥浆。

空压机震荡洗井具有水流来回流动，可有效的清除泥皮和破坏“砂桥”，洗井效果较好，洗井结束后，无需更换设备即可进行抽水试验。不足之处是洗井成本相对较高。

4. 液态二氧化碳洗井

液化二氧化碳洗井是指向井内注入液态二氧化碳，使其在井内产生强烈的物理效应，以冲击和扰动填砾层和含水层，迫使井内的水喷出地表，达到洗井目的。

这种洗井方法不仅用于浅井，而且也用于 2000m 以上的深井。

液态二氧化碳是在常温时将净化后二氧化碳气体，施加压力达 7MPa 后所变成的液态物质，它被装在专用钢瓶中。洗井时将钢瓶用高压管线连接在井内钻杆上，打开阀门将液态 CO₂ 输入井内后，由于压强降低，CO₂ 由液态变为气态，体积急剧膨胀，在井内水柱压强作用下，开始向滤水管四周水域迅速渗透，产生大范围的冲刷力，破坏井壁泥皮，疏散进水通道堵塞物，使已部分疏通的含水段范围迅速扩展，并将泥浆和细颗粒物排向井外较远的地方，起到了疏散的作用。与此同时，CO₂ 沿井管向上运动，推动管内水柱上行，当水柱升至管口时，管口便发生泉涌现象，随着管内水柱长度减少，当管内的 CO₂ 气柱压力足以抬起管内上部剩余水柱时，CO₂ 膨胀加快，便发生强大的井喷现象。与此同时，井内出现负压区，在外部压力差作用下，使被疏散开的泥皮及细小颗粒带入管内，在第二次井喷时，随水柱喷到地面，而使管外形成粗粒的滤水层。

由于初送气时，CO₂ 向滤水管四周冲刷、扩散，井喷后又产生回流，这样反复进行，使含水段受到强烈扰动，从而起到了一般洗井方法所不能达到的洗井效果。

当浅井洗井时，利用瓶内的压力即可将液态二氧化碳注入井内。其安装示意图如图 1—69 所示。

当井较深时，仅靠瓶装的压力不能将液态二氧化碳送入井下，须借助于水泵的压力将液态二氧化碳送入井内。在输入井内的管汇上串联上高压泵，利用水泵的增压作用将其压入井内。

5. 焦磷酸钠洗井

焦磷酸钠属于复杂的直链状多磷酸盐类无机化工产品。目前国内用于洗井的焦磷酸钠是无水焦磷酸钠($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)，无水焦磷酸钠呈白色粉末，易溶解，价格便宜，为工业常用，适宜于野外批量使用。其它磷酸盐类也可用做洗井剂，国外常用六偏磷酸钠($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{21}$)。六偏磷酸钠易溶于水，吸湿性很强，暴露于空气中能逐渐吸收水分而呈粘胶状物。它是一种良好的软化剂，并有扩散及反絮凝作用。

对于焦磷酸钠洗井的原理，观点尚未统一。综合起来有两种观点：

(1) 焦磷酸钠与井壁泥皮的粘土发生络合作用，形成水溶性络离子。其反应式为：



生成的络合离子为惰性离子，因此不发生可逆反应。络合离子本身不会聚结沉淀，也不再与别的离子化合沉淀，因此，它易于在洗井抽水过程中排出孔外。从而达到洗井目的。

(2) 磷酸根带有比其它无机离子较强的负电荷。它容易吸附在粘土晶体有 Al, Si 离子裸露的棱角部位。当磷酸根离子在粘土的棱角部位产生吸附时，就使这种粘土表面本来负电性不强的位置变强了，从而使粘土粒子之间排斥力增大了。与此同时，磷酸根离子产生吸附时又带进来较厚的水化膜，更增加了粘土颗粒的水化。因此，就产生了分散作用，使聚结在一起的泥皮，又呈泥浆状态，从而使井壁泥皮遭到破坏。

通常在注入焦磷酸钠溶液的同时，注入一些表面活性剂，如十二烷基苯磺酸钠等，以促使粘土颗粒在溶液中分散。

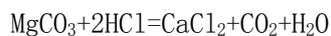
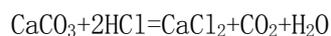
磷酸盐洗井用于井壁泥皮厚度较大或含水层存在粘土质的情况，通常能取得较好的洗井效果。

6. 盐酸洗井

利用盐酸来洗碳酸盐类岩层中的水井，或对旧井的增产处理，在我国使用较为广泛，亦取得较好的效果。所用的酸有：盐酸，磷酸，氨基磺酸等。

盐酸的作用是用来溶解含水层孔隙中的物质，从而疏通和扩大进水通道。因此，这种方法不仅适用于基岩，而且也适用于一般松散层孔隙被堵塞的各种情况。

当向井内注入盐酸后即与碳酸盐类岩石发生化学溶解，其化学反应式如下：



这些生成物皆溶于水，经抽水将其排出井外，从而裂隙进水通道被疏通和扩大。

洗井用盐酸一般使用工业浓度(18~35%)的盐酸。盐酸注入量应根据含水层段长度和井径而定，应使井下混合浓度达5~10%时效果最佳。

值得注意的是，用盐酸洗井而产生的 CO_2 ，往往会引起井喷，没有起作用的盐酸会被带到井上，使人员受到烧伤和设备遭受盐酸腐蚀，为防止酸对金属的腐蚀，可加入甲醛或碘化钾等防腐剂溶液。

7. 综合洗井

在同一井中采用两种或多种洗井方法称为综合洗井。

当前在我国洗井过程中，大多采用综合法洗井。通常是先注入焦磷酸钠使泥皮软化，然后使用活塞洗井或使用液态二氧化碳洗井。在使用空压机震荡洗井时，常常又结合活塞洗井，以增强井内压力激荡。在基岩中，可在使用液态二氧化碳洗井之前先注入盐酸以增大进水通道，增加井的出水量。

总之，根据实际情况灵活的综合运用各种洗井方法，以达到最佳的洗井效果。

六、抽水试验

供水井在洗井之后，必须进行抽水试验。通过抽水试验获得水井的实际出水量和水位下降与涌水量的变化关系，求得含水层的渗透系数，查明水质，水温和单孔影响半径等资料，为合理开发地下水提供可靠的依据。同时，通过抽水试验还可以进一步检查止水质量和洗井效果。

为了做到所取资料准确，抽水试验必须符合下述基本要求：

1. 抽水试验前，应测静止水位和丈量井孔深度。
2. 每一含水层的抽水试验应进行两个以上的落程，每个落程的稳定时间为 8h、24h。供水量大的井孔，每一含水层应抽三个落程，稳定时间分别为 8h、16h、24h。每个落程结束后，应观测其恢复水位。
3. 在松软岩层中进行抽水试验时，落程应由小到大，以避免含水层受到过大的扰动。在基岩中进行抽水试验时，落程则应由大到小。
4. 如水质受污染，应适当延长抽水时间，在水的化学成分稳定前不能停止抽水。
5. 抽水试验所使用的设备仪器都应满足试验要求。

(二) 抽水方法

1. 离心泵抽水

离心泵是叶片式泵的一种，它是依靠旋转的叶轮对液体的动力作用，把机械能连续传给液体，使液体的速度能和压力能增加，实现液体的输送。

离心泵抽水的优点是：结构简单，体积及重量小，安装方便，出水量大且均匀，成本低。缺点是：吸程受大气压限制，一般吸程为 6~7m，水位降深小；离心泵多用于地下水位埋藏较浅且出水量大的水井中，不能用于深水位，抽水起动前需灌水等。

2. 深井泵抽水

深井泵的研制发展很快，国内外当前正向高转数，大口径方向发展。有的转数已达 2900r/min 以上，扬程 200m、300m 个别产品达 450m，涌水量超过 1400t/h。

深井泵由三部分组成。动力机一般采用立式电动机传动，装在地表井口上部。中间部分是扬水管和长轴传动装置。最下部是泵体(叶轮和导水壳)和吸水部分，安装在动水位以下。

深井泵有 J 型和 JD 型两种。J 型深井泵是法兰盘连接。可用在直径较大的供水井抽水。JD 型为接箍连接，用在直径较小的水井中抽水。深井泵适用于直径大、动水位较深、水量较大的水井中抽水。一般流量为 10~150m³/h。

但该类泵须经较长的轴传递动力，故安装要求严格。当水中含有砂粒时，对泵影响较大，故一般用于永久性的开采井中。

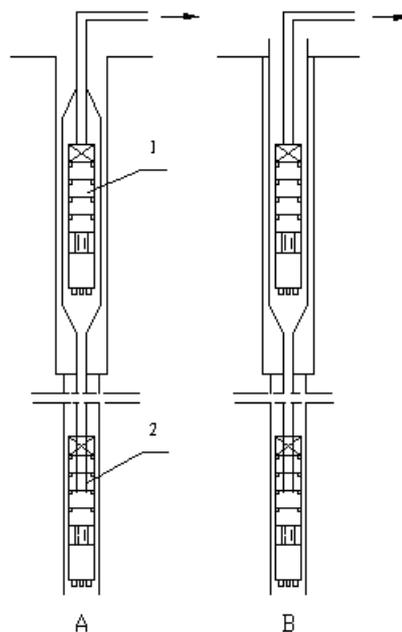


图 1-71 深井接力式抽水示意图

A—闭路式安装， B—开路式安装

1—二级泵， 2—一级泵

3. 潜水泵抽水

扬水高度 h (m)	<15	15~30	30~60	60~90	90~120
沉没系数 k	3~2.	2.5~2.2	2.2~2	2~1.75	1.75~1.65

潜水泵是将电动机和泵体一起放在水下进行抽水的水泵。与深井泵相比，潜水泵的优点是省掉了长的立轴，能更有效地发挥效率。但要求有较高的密封和绝缘措施。

国内生产的潜水泵分为：浅井潜水泵 (YQ, YOB, QBS 型) 和深井潜水泵 (JQ, NQ 型)。这种泵扬程较大，效率较高。当泵扬程不能满足深水井抽水要求时，可采用接力安装，以增加扬水高度，图 1-71 为深井泵接力式安装示意图。

4. 空气压缩机抽水

空气压缩机可作为洗井设备，同时也可作为抽水试验设备，实现一机多用，在我国广泛使用，已成为常规的抽水方法。

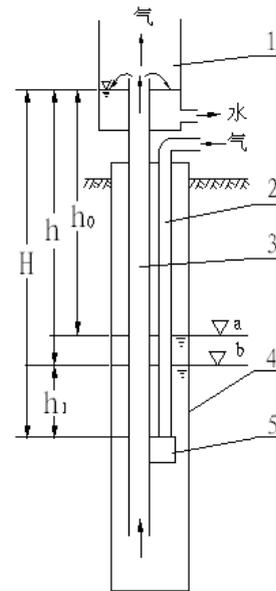
(1) 空气压缩机抽水的工作原理

空压机抽水的工作原理如图 1-72 所示，在井孔中装置两套管柱，一是送入压缩空气的风管，二是气水混合物上升的扬水管。风管下端与扬水管连接处有一造成气泡的装置，称为液气混合器，使水与空气混合。在扬水管的地面出口处有液气分离器，使水和空气分离。

液气混合器沉入动水位以下一定的深度 h_1 ，压缩空气经风管由混合器喷出，在扬水管中形成无数小气泡，气泡逐渐膨胀，并沿扬水管上升，产生“气举”作用。同时，扬水管外水的比重大，而扬水管内水气混合液比重小，按连通器原理，在扬水管外高度为 h_1 的比重大较大的水柱压力作用下，扬水管内水气混合液会上升至地面液气分离器中，气泡破裂，气体逸散，水则不断地流入量水容器中。

液气混合器下入井中的深度 H 是一个重要的参数，它不仅影响空气的消耗量和升液器的效率，同时，对升液器能否正常工作也是一个决定性的因素。如 H 太小，使混合器露出动水面，则不会出水。如使混合器处于动水面以下很浅的深度，则因水柱高度 h_1 太小，会产生间歇性抽水的现象。当液气混合器下入井中的深度 H 过深，则因水柱高度 h_1 过高，增大空压机的风压，一旦超过空压机额定风压时，压缩空气不能送入井内。

空压机抽水具有安装简单、运输方便，不受井管直径、水中含泥砂量以及井的出水量限制等优点。但空压机抽水效率较低，能耗量较大。



(三) 抽水时水位水量的测量

抽水开始后，进行水位和水量的观测工作。如采用三次降深，一般先做最大降深，一次降深结束后做第二次降深时，不能停止抽水，要用调节转速或空压机风量等方法减少抽水量，改变降深。

最后一次降深试验结束前应取水样进行水质分析和测水温、气温。抽水结束时，应立即测恢复水位，开始间隔时间很短，待水位恢复速度减缓后，适当延长观测的间隔时间，直至水位恢复到静止水位时为止。所有观测结果随时记录在表格上。

1. 水位测量

测量孔内水位，常用的有两种水位计。

(1) 带有温度计的测钟

这种水位计，下部为金属圆筒，上部有一细套筒，套筒内装有温度计，套筒上端接测绳。放入孔内，当金属圆筒与水面接触时，由于空气上冲作用，发出响声，这时可从测绳上读出水位的深度。测得水位后，再继续下放，使温度计没入水中，停留 5min 即可测得水温。

(2) 电测水位计

电测水位计由电极，带刻度的导线，微安电流表和干电池组成。测量时，一极接井管，另一极用带刻度的绝缘导线入井内。

当电极接触水面时，电路导通，电流表上的指针偏转，这时即可从带刻度的导线上读出水位的深度。电测水位计是一种常用的测水位的工具。

2. 水量测量

测量水量的工具有量水堰，水表等，在水文地质勘查工作中最常用的是量水堰。按堰口形状的不同，量水堰可分为三角堰、梯形堰和矩形堰三种，常用的是三角堰。三角堰箱的形状如图 1-74 所示，堰口顶角为 90°，堰口高 35 厘米，堰箱长 2 米，宽 1 米，高 0.8 米。堰箱内有挡水板，使水面平稳，堰口旁有带刻度的标尺，用以观测水流的高度。抽水时，井水注入堰箱，再经堰口流出，量出水流流经堰口时的高度 H，然后用下列公式计算出水量。

$$Q=0.014H^{5/2}$$

式中：Q——出水量，升 / 秒，

H——水历经堰口时的高度，厘米。

抽水试验资料的整理，可参考水文地质学或供水井手册有关部分。

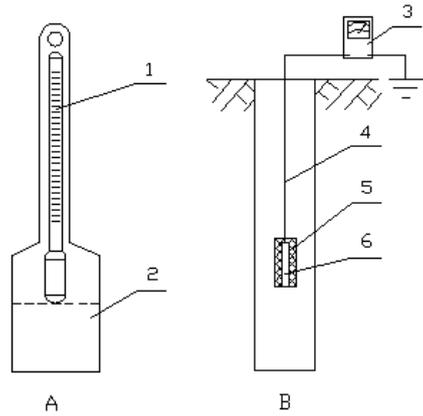


图 1-73 水位测量示意图

A—带温度计的测钟，B—电测水位计
1—温度计，2—测钟，3—万能表，
4—带测绳的绝缘导线，5—绝缘套，
6—电极金属棒

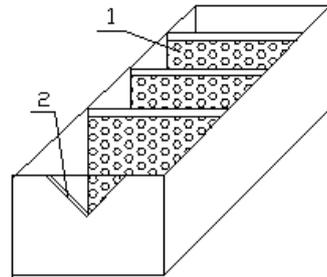


图 1-74 三角堰箱

1—滤水板，2—三角堰口

第四节 地热井钻进

作为一种能源的地下热能，具有分布广、成本低、可开采、可直接利用、无环境污染等优点。地热能蕴藏十分巨大，几乎取之不尽。如果使整个地球降低 1℃ 所放出的能量，以现在世界耗电量计算，就足能供给全世界 4000 万年的电力。如能充分利用地热，可节省大量的可做化工原料的煤、石油和天然气。这对改变能源布局，消除城市公害，都有着重要的意义，所以地热能也是重要的新能源。

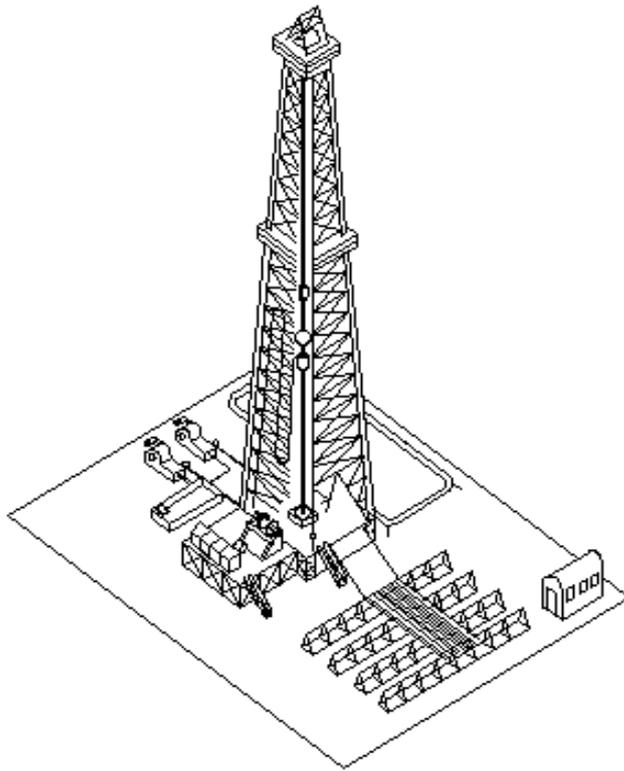


图 1-78 地热钻井井场布置示意图

一、地热井钻进工艺

地热钻进中遇到的特殊问题是温度高、深度大、成井要求严格。

1. 钻井设备

地热钻进所使用的设备，在国内，浅井仍然使用岩心钻进设备，深井则使用石油钻井的设备。国外虽然已有了专用的地热井钻井设备，但仍和石油钻井设备相仿。

(1) 大功率钻机

地热井钻进，因井深、井径大，要求钻机动力功率大，能力强，钻进效率高。在国外已有专用地热钻井设备。国内，浅热水井多采用岩心钻进设备，如 XY-5、XY-6、THJ-1500 等型岩心钻进设备钻进较浅的热水井。深热水井多采用

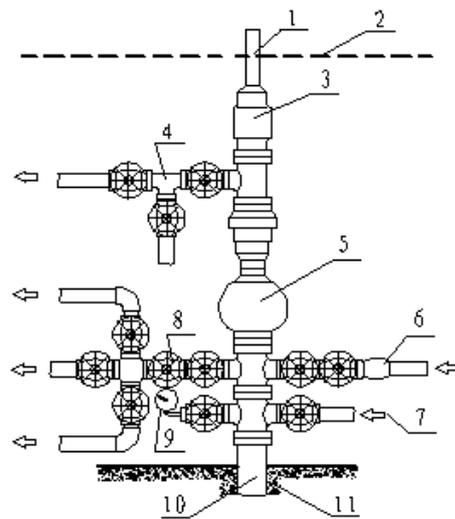


图 1-79 井口防喷装置

1—主动钻杆，2—平台，3—主动钻杆密封器，
4—循环回路，5—液压防喷器，6—泥浆注入
环路，7—灌浆管，8—放喷管，9—压力
表，10—套管，11—混凝土

石油钻井设备，如 T50B，2DH—75、F200、XP—2500 等型石油钻井设备钻进较深的热水井。

地热钻进是大口径钻探，所钻岩石多为坚硬、破碎、高温的岩石。钻头压力和回转力矩是钻进设备首先要考虑的因素。所以卷扬机应有足够提升能力。卷扬机提升能力一般在 50 吨以上。操纵省力，可靠，参数自动控制。

(2) 大排量泥浆泵

热水井钻进，井深大，直径也较大，且较多的采用全面钻进工艺，单位时间内产生的岩粉、岩屑量大，要求排量大的泥浆泵才能使井底保持干净。天津市地热钻井配用 ZPN—400 型泥浆泵(排量达 2180L / min)后，使钻进效率大幅度提高，施工周期也大幅度缩短。MR—7000 型钻机配备的泥浆泵排量达 2498L / min。

(3) 配备防喷装置

地热井钻进，井口防喷装置是一个很重要的设备。它一方面保证了安全生产，防止高温气流喷出，保护了设备，使钻进能正常进行，另外还保护了工作人员的人身安全。有了井口防喷装置，一旦发生井喷，使人们可以从容处理，不致破坏地热田。地热井钻进在钻高温地层时装有两个双防喷闸门，一个供放气用的管路和一个通泥浆的管路。通过循环泥浆可注入加重泥浆进行压井。这套设备安装在井台下面。井口防喷装置如图 1—79 所示。

(4) 配备内平套管

地热井钻进中，当井下有热气参入上返的空气时，两者以超高速在环形空间运行，上返气流流速达 30~50m/s 是正常的。若是蒸汽井，上返气流流速已接近声速。这种高温高速气流将套管内壁上的水膜全部移去。毫无保护的套管内壁被气流所携带的酸、硫化氢以及其他腐蚀气体所腐蚀。另外来自井底的砂粒象磨料一样对套管进行磨损。除此之外，套管还要承受振动等动力破坏。因此套管内结构如果不合适，这种综合作用使套管损坏很快，如图 1—80 所示。携带有岩屑的高流速气流在套管接头处形成破坏性的湍流。为了避免高速蒸汽在套管内形成湍流，减少管子内的局部磨损，将套管的连接改为内平式接头，也可在管内内衬钟形管端。使管内径不会出现突然的变化。同时在套管材料上加以选择，采用具有高强度、耐酸性的防酸套管。

2. 井身结构

地热井钻进要求在设计井身结构时，要特别慎重。井身结构合理与否，关系重大。目前大多数地热井采用三级井身结构。

三级井身结构：开孔钻进，下表层套管，固井；换径钻进，下技术套管、固井；再换径钻进至终孔，下滤水管或裸孔。

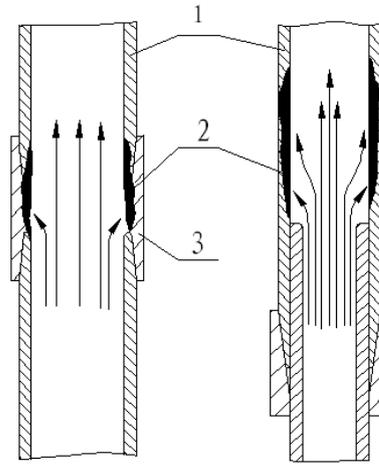


图 1—80 套管磨蚀示意图

1—套管，2—磨蚀部位，3—套管接头

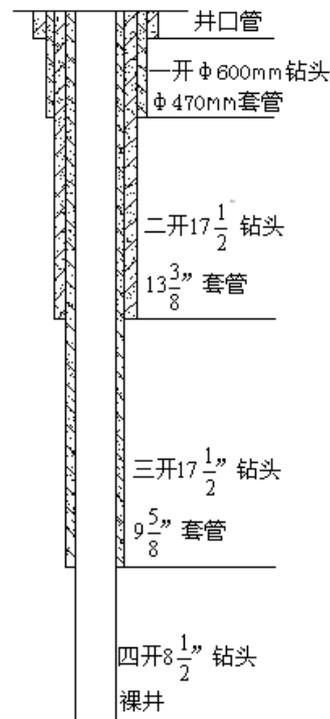


图 1—81 井身结构及套管程序

井身结构没有固定的模式应根据地层等条件进行设计。如地层等条件好,也可采用两级井身结构。当井深较大,地层复杂时,也可采用四级井身结构,如图 1—81 所示。

3. 钻进方法

回转钻进仍是地热井钻进的基本方法。根据井深、地层特点和施工地区的具体情况,可综合运用刮刀钻头、牙轮钻头、金刚石复合片钻头进行全面钻进、空气钻进、潜孔锤钻进等技术方法。通常地热钻井采用综合法。例如直井,首先采用泥浆开钻,下完表层套管(表层套管主要是隔表层裂隙冷水)后,改为空气钻进以提高效率,深部硬岩采用潜孔锤或使用金刚石全面钻头钻进。当在设备选择上受到限制时,亦可采用“小径打大径扩”的工艺方法。

4. 钻具组合

热水井钻进,所需钻压较大,为改善井内钻具受力和运转状况,通常采用钻铤加压,为增加钻具运转平稳性,保证环状空间冲洗液流有一定的上返流速,尽可能组合直径大一些的钻杆。

5. 泥浆

针对热水井钻进的特点,正确使用泥浆,管理泥浆,是热水井钻进的关键问题之一。由于热水井钻进时温度较高(特别是钻穿热储层时)。要求泥浆具有良好的热稳定性。为此,要选用能抗高温的泥浆处理剂,和维持较低的固相含量(不超过 5—6%)。

常用的抗高温处理剂有:铁铬木素磺酸盐、磺化酚醛树脂、磺化褐煤、腐植酸钾等。

在泥浆管理上,除按一般钻进泥浆要求进行外,更重要的是监测泥浆进、出口的温度变化情况及泥浆池内液面的变化。特别是在热储层中钻进时,如果泥浆进,出口温度差较大,就需采用专用冷却装置降温。

6. 起下钻具

高温钻进,起下钻具要比低温起下钻具时间长的多。由于井下温度高,钻具一次下不到井底,只能下放一段循环一段,泥浆,使井下温度与井口温度相差不要太多,否则会引起丝扣滑脱而发生事故。因此,更换一次钻头辅助时间消耗很多,为提高效率,就要求用高质量长寿命的钻头。

7. 固井

热水井对固井要求也是严格的。固井时水泥要能抗高温,水泥浆在高温条件下保持原有的流动性。还有一个在低温时常出现串水的问题,这在高温钻井时是绝对不允许的。串水段在高温下水汽化,串水囊会像个炸弹将套管炸碎,使井遭到破坏。

地热井要求在管外进行固井,以便可靠地封闭上部地层的冷水和地表水进入井筒的通道。如果地热水温度较高,可能导致普通硅酸盐水泥加速凝固,长期强度大幅度降低。因此应选用抗高温水泥固井,或在普通硅酸盐水泥中掺入 SiO_2 粉。 SiO_2 粉的掺入量为 30~40%。如地热水温度不是太高,亦可采用普通硅酸盐水泥,可视情况,适量的加缓凝剂处理。水泥固井时,应特别注意固井质量,防止在固井段可能出现的“水袋”,这会因热膨胀挤毁固井水泥或套管。

为保证良好的固井效果,在固井前应充分进行洗井,设置扶正器,套管鞋应座落在硬盘上。如果套管鞋下无强度较大的地层,则应进行管鞋底灌注水泥以加固套管鞋附近地层。