

## 基岩地区大口径曝气污水处理井的钻探施工

单 兴 武

(冶金部武汉勘察研究院水文地质大队)

文中介绍了在基岩中施工直径1.6m、深106m的钻井工艺,较全面地总结了各工程环节的经验或教训,阐明了有关的技术参数计算及其实用意义。

**关键词:** 大口径曝气污水处理井;滚刀钻头;重量计算及浮力计算;管内外水位差



钻探技术

深井曝气活性污泥法,是一种快速、高效、节能、低耗的生物处理新工艺。1975年英国首次发表深井处理市区污水科研成果,西欧其他国家和北美随后也建成了一些深井曝气污水处理工程。1978年,我国开始引进这项技术,首由北京市政设计院与东北制药总厂合作,建成了深井曝气处理制药废水的生产试验工程,于1983年通过部级鉴定。目前,京、沪、沈阳等8城市已相继建立10余项这种处理污水的工程。

我国现有这些工程的深井曝气井,都是在第四纪松散沉积层中成井的。我院除在第四纪松散层打过直径2.2m的深井外,还在基岩中打了直径1.6m的深井。这就是1987年在景德镇完成的深106.13m的基岩曝气井。现将该井施工情况详述于下。

### 深井的设计要求

1. 设计院提出的设计图纸和厂方任务书的具体要求

- 井径不小于1.6m;
- 井深为109.3m(地面标高29.56m,深度标高-79.74m),允许误差-3%,即允许绝对井深不小于106m;
- 钻井垂直度偏差不大于井深的1%;
- 钻井完成后,下入两套井管,即内径为1.2m、壁厚12mm的上升管和内径为0.82m、壁厚10mm的下降管。

### 2. 地层条件

厂方提供了反映各孔段岩性的钻孔柱状图,12.4m以上为第四纪冲积层,有亚粘土、含卵石和粘性土的砾石;以下多为泥质砂岩(含砾)和角砾岩,在不同层位交替出现。在实际施工中,情况与该钻孔柱状图略有出入。

### 钻井设备安装

#### 1. 投入的设备

ZJ150-1型钻机1台(功率40kW、扭矩19600N·m);

钻架1套(六脚人字架, 额定负荷30t);

上型球齿滚刀钻头1个( $\phi 1.6\text{m}$ );

YV-6/8空气压缩机1台;

气焊设备1套;

电焊设备4台(BX<sub>3</sub>-500型弧焊机);

$1\frac{1}{2}$ PS型砂石泵2台;

CT-22型超声波探伤仪1台。

## 2. 钻探设备基础施工

基础施工有两种形式:

(1) 方木铺垫法 首先将4根 $0.2\times 0.2\times 5.2\text{m}$ 的方木横铺于地下 $0.5\text{m}$ 处,其上再纵铺4根 $0.2\times 0.2\times 6.4\text{m}$ 的方木,在钻塔基础部位上,两边各铺3根 $0.2\times 0.2\times 2.8\text{m}$ 的方木,然后用土填实与纵向方木平。

我们此次施工就是采用此法,其优点是省时、省事;其缺点是运输费用较高。

(2) 混凝土浇灌法 此法虽有就地取材之便,但因混凝土需有一定时间的养护期,使工期延长,故我们未采用这种方法。

## 3. 设备安装

在钻探设备安装之前,要将有关设备的底座装在基础上。首先要将钻机推入轨道,用钻机本身的液压千斤顶顶起,卸下轮胎换上轮箍,放松千斤顶,使钻机轮箍落到轨道上;对好井位(转盘中心对准钻孔中心),固定钻机,并将4个液压千斤顶顶牢。接着安装六脚钻塔及两根副脚,先把钻机主卷扬钢绳通过起架桅杆与天车和游动滑车穿好,利用主卷扬收拢钢绳将钻塔立起,然后固定其副脚和侧腿,尔后找中,即天车中心、游动滑车中心和转盘中心三点应在一条垂线上,找中的办法主要就是调整副脚前后和主脚左右的高低。

起下钻头和导正圈时,先放松液压千斤顶,卸下四角螺丝和地锚拉绳,将轮箍落到轨道上,用人力把钻机推向后方,让出井口,以便上下钻头和导正圈。

# 钻井工程

## 1. 开孔

由于 $12.7\text{m}$ 以上为第四纪冲积层,含有大量卵石,施钻困难较大,故在这个孔段采取人工沉管掘进的办法,掘进直径为 $1.8\text{m}$ ,至含砾泥质砂岩弱风化层(即 $13.2\text{m}$ 处),下入 $\phi 1.7\text{m}$ 、厚 $10\text{mm}$ 的井壁管。该管座正后,四周用黄泥球和砂捣实,或用混凝土灌牢。

下井壁管是整个工程的关键,主要是为下一步钻进打基础,故要求严格。一是决不能偏斜,所以下管时用两台经纬仪交会法测管的连接垂直度,景德镇工程就曾因井壁管偏移,被迫停钻校正上部井壁管,成为一大教训。二是必须把管下入完整的基岩内。

## 2. 基岩钻进

$13.2\sim 106.13\text{m}$ 为含砾泥质砂岩和角砾岩。据厂方提供的工程地质资料,可钻性为6级,而实际已达9级;关于角砾岩含石英岩的比例,厂方资料为10%,实际测算则为40%以上。为了适应地层实际情况,在钻探工具和工艺上我们及时作了调整。

(1) 钻头 将原来在井深 $17.73\text{m}$ 以上用的刮刀钻头和滚刀牙轮钻头,改为采用南京遵义机械厂生产的NC201.00正滚刀、边滚刀及NC204.00中心刀组成的钻头。刀盘及滚刀布置均由我院设计(图1)。滚刀布置按混合形式,目的在于使刀具受力均匀和排渣效果好。此钻头在钻进 $32\sim 106.13\text{m}$ 孔段过程中,除换过4把边刀和2把正刀、1把中心刀外,其他刀具未有损坏。

(2) 导正装置 为使钻孔圆直误差不超过1%的技术要求,在钻头加重块上部,又应用了导正装置(图2)。 $\phi 1.58\text{m}$ 的导正圈与 $\phi 146\text{mm}$ 的外管焊成一体,套在 $\phi 127\text{mm}$ 的钻杆上,其下部由两个法兰相接。钻进时导正圈不随钻杆转动,只起导正作用,它可以减少回转摩擦和钻进阻力。

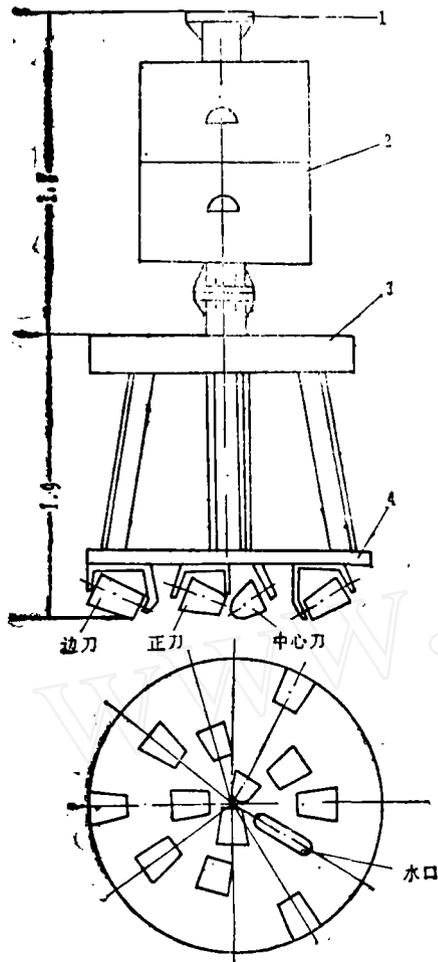


图 1  $\phi 1.6\text{m}$ 之滚刀钻头配置图

1—法兰（接导正圈）；2—加重块；3—滚刀架；  
4—滚刀座

(3) 钻杆 钻杆规格为127mm，钢级型号为DZ65，强度超过普通钢管。尽管如此，在这样大口径的钻进中，钻杆仍嫌细了，故出现了两个问题：①断杆事故屡有发生；②除了钻杆内孔截面积小以外， $\phi 3/4$ 英寸的风管还要占据一定面积，过水面积就更显小了，而 $3/4$ 英寸的风管送的风力也还不够，使气水混排的排出量小，孔底岩屑往往排不彻底，这两个问题都影响到效率。今后在同样的大口径钻井中，必须加以改革，笔者认为，解决上述问题的有效办法，是换用 $\phi \geq 140\text{mm}$ 的钻杆，风管也应换为 $\phi 1$ 英寸的

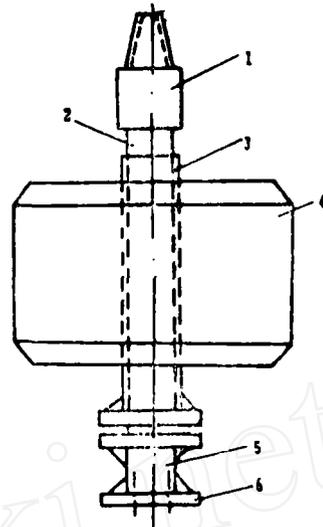


图 2 导正装置示意

1—钻杆接手；2— $\phi 127\text{mm}$ 钻杆；3— $\phi 146\text{mm}$ 的外管；4— $\phi 1.58\text{m}$ 的导正圈；5—钻杆；6—法兰（接加重块）

为好。

(4) 冲洗液的循环方式 在特大口径钻进中，冲洗液以气举反循环的方式比较理想。由于反循环冲洗液在钻杆内的上升速度高出正循环几十倍，排渣速度就快，减少了井底的岩屑重复破碎，从而能减少碎岩的功率消耗，提高钻进效率，降低成本。

所用的滚刀钻头，是在轴向压力下作回转运动的，滚刀锥面各点，都以一定的线速度运动着，当它们以一定的线速度接触岩石表面时，形成一种冲击力，由此产生对岩石的碾轧、挤压和剪切作用，在回转矩带动下，刀齿将岩石破碎。进入钻杆一定深度的压缩空气与循环液混合后，形成比重小于1的气水混合物，在钻杆外之环状间隙冲洗液的压力作用下，以较快速度向上流动，从而将孔底岩屑连续不断地经钻杆排出地面。

(5) 轴心压力参数 钻压是借助加重块、钻头、导正圈及钻杆等钻具的自重构成的。按每把滚刀额定压力2t计，整个轴心压力应为20~22t（滚刀共有11把）。由于钻

机扭矩和钻杆强度所限,轴心压力不能过大,故我们只控制在12~14t范围。为了控制压力,随着钻孔的加深,应逐渐减少加重块;另一方面也要保证足够的压力,否则压力不够又会影 响钻进效率。

(6) 钻头转数 确定钻头转数有两种方法:

①根据南京遵义机械厂提供的资料,8系列滚刀钻头最大边缘线速度不能超过1.3~1.4m/s,边缘滚刀自转数不能超过363~380r/min。如果线速度过快,边刀的自转速度也会加快,容易使其寿命缩短或损坏。按线速度1.4m/s确定转数的公式为:

$$n = \frac{V_{\max} \cdot 60}{\pi D} \quad (1)$$

式中  $n$  为钻头转数 (r/min);  $V_{\max}$  为线速度 (取1.4m/s);  $D$  为钻头直径 (1.58m)。代入得

$$n = \frac{1.4 \times 60}{3.1416 \times 1.58} = 16.9 \text{ r/min}$$

⑤按国外通常计算大口径钻头的合理转数的公式为:

$$n = \frac{120d}{D} \quad (2)$$

式中  $n$  为钻头合理转数 (r/min);  $d$  为滚刀外缘直径 (8系列锥齿滚刀外缘直径为215mm);  $D$  为钻头直径 (1.58m)。代入得

$$n = \frac{120 \times 215}{1580} = 16.23 \text{ r/min}$$

据以上两种计算方法,钻头所需的转数均未超过17r/min,故确定为16~17r/min。

我们在施工区的总工作时间为184天,其中人工沉管掘进13.2m,费时20天,基岩钻进费时117天,平均日进尺0.907m,最高日进尺2.77m,最低日进尺0.4m。

如果要使效率再提高一步,就需要作两项改进,即:①改进钻头,滚刀排列可改为螺旋状;②改用粗钻杆 ( $\phi \geq 140\text{mm}$ ) 和粗风管 (1英寸)。

## 下管工作

钻井完了即应及时下管,这也是整个工程的重要环节。

### 1. 准备工作

(1) 核实测量 按设计要求,应进行孔圆、孔直的井内实测,我们的实测结果均达设计标准,孔深也达到了要求。

(2) 对上升管 ( $\phi 1.224\text{m}$ ) 和下降管 ( $\phi 0.82\text{m}$ ) 的地面焊接 为使焊接质量达到JB1152-81的规定,首先在地面精心进行管子的组装。上升管及下降管 (每节均为1.8m),每三节为一组,在地面焊好,并经超声波探伤仪检查合格后,才能下入井内。上升和下降管的组数相等 (各23组),共92条焊缝。上升管总长106.44m,下降管总长106.76m。

(3) 上升管底部的焊接 根据设计图纸,结合下管情况,与厂方协商确定,下部底板为 $\phi 1270\text{mm}$ ,并设 $\phi 1330\text{mm}$ 的圆箍借以导向 (图3)。

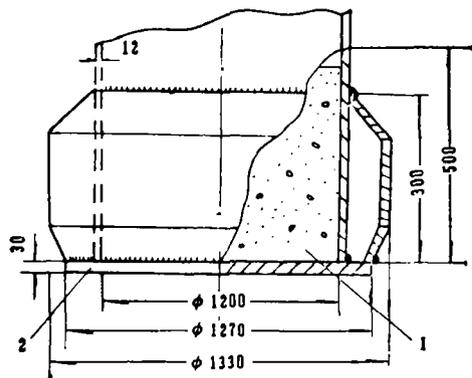


图3 导向圆箍结构示意图

1—水泥砂浆; 2—底板

(4) 上升管底部的充填 按图纸要求,在上升管底部应下入一层水泥砂浆 (即“素混凝土”) 作为充填物,其高度为500mm (图3)。

(5) 下降管其他部件的地面组装 根

据技术要求,在下降管下入上升管前,应将底板( $\phi 1086\text{mm}$ ,  $\delta=30\text{mm}$ )与支承板( $1270 \times 168\text{mm}$ ,  $\delta=30\text{mm}$ )焊接好,并经探伤仪检查无损方可下入上升管内,然后每隔5.5m焊4块(圆周均布) $300 \times 170\text{mm}$ 、 $\delta=12\text{mm}$ 的定位板(图4)。每组下降管管头处的两块对称的定位板,设置2个穿孔销,以便下管时穿千斤头用。

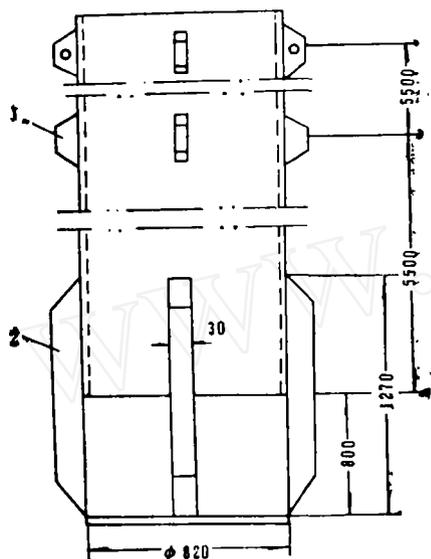


图4 支承板及定位板结构示意图

1—定位板; 2—支承板(4块, 均布)

(6) 在上升管外涂防腐涂料 先用沥青涂刷后,包上一层玻璃布,布外再刷一层沥青。每组管的接头处暂留500mm,待管子接头焊接完毕再以同样的工序(沥青—玻璃布—沥青)补好。

(7) 吊装和下管的井口设置 ①吊装设备为一吊装筒(图5)。②钢制吊钩。将吊钩焊在距上升管上端500mm处,在上下两组管焊接好以后,就将此吊钩用气焊枪卸下,以备下一组管再用。③井口装置。考虑到管的重量在30t以上,靠夹持难以应付,故采用了井字形(32号工字钢制成)的底座与井口板( $\delta=50\text{mm}$ 的钢板)相结合的方法装设井口,它可负荷70t以上。

## 2. 各个部件的重量计算和浮力计算

### (1) 各部件的重量计算

①上升管重:管之外径为1.224m,内径1.2m。计算公式为

$$Q = \frac{(D^2 - d^2)\pi \cdot h \cdot \gamma}{4} \quad (3)$$

式中 $Q$ 为重量(t); $D$ 为外径(m); $d$ 为内径(m); $h$ 为长度(m); $\gamma$ 为比重( $7.8\text{t/m}^3$ )。

代入(3)式得

$$Q = \frac{(1.224^2 - 1.2^2) \times \pi \times 106.44 \times 7.8}{4}$$

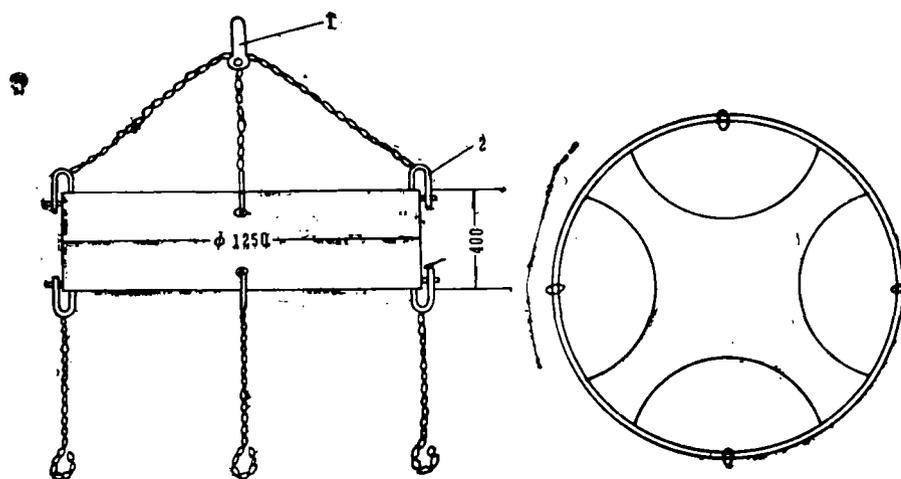


图5 吊装筒结构示意图

1—12t千斤头; 2—6t千斤头

=37.92t

②下降管重: 外径为0.82m, 内径为0.8m, 代入公式(3)得21.18t。

③支承板重: 板之规格为1.27×0.168m, δ=0.03m, 共4块, 得1.27×0.168×4×7.8=0.2t。

④定位板重: 板之规格为0.3×0.17m, δ=0.012m, 共有72块, 得0.3×0.17×0.012×72×7.8=0.344t。

⑤上升管底板重: 板之规格为φ=1.27m, δ=0.03m, 仅1块, 得1.27×π×0.03×7.8/4=0.296t。

⑥下降管底板重: 板之规格为φ=1.086m, δ=0.03m, 仅1块, 得1.086×π×0.03×7.8/4=0.217t。

⑦水泥砂浆重: 高0.47m, φ=1.2m, 比重取1.8t/m<sup>3</sup>, 得1.2<sup>2</sup>×0.47×1.8/4=0.956t。

总重即①~⑦各件重量相加, 等于61.11t。

(2) 浮力计算 根据阿基米德定律计算结果为: ①总浮力= $\frac{1.224^2 \times \pi}{4} \times 106.13 = 124.8t$ ;

②上升管每m浮力为1.176t。

(3) 管内注水重量 管内注水的每m重量为 $\frac{1.2^2}{4} \times \pi = 1.131t$ 。

### 3. 圆管所受外部水的临界压力计算

圆管在外力作用下, 引起压缩应力, 当圆管壁的压缩应力增大到材料屈服极限或强度极限时, 圆管的截面就失去原来的形状, 产生失稳现象。这是一种平衡突变。为了避免上升管失稳, 就要计算好它的临界压力。其计算公式为:

$$P_{cr} = 2.2E \left( \frac{S_0}{D} \right)^3 \text{ KPa} \quad (4)$$

式中 $P_{cr}$ 为临界压力;  $E$ 为设计温度的弹性模数, 取20℃时,  $1.922 \times 10^8 \text{ kPa}$  ( $1.96 \times$

$10^6 \text{ kgf/cm}^2$ );  $S_0$ 为圆筒计算壁厚, 取1.2cm,  $D$ 为圆筒中间面的直径, 取121.2cm, 代入(4)式得

$$P_{cr} = 2.2 \times 1.922 \times 10^8 \times \left( \frac{1.2}{121.2} \right)^3 \\ = 410 \text{ kPa} (4.185 \text{ kgf/cm}^2)$$

在实际工作中, 为了保证安全, 必须设有安全系数 $m$ 。从理论上一般设 $m=3$ , 这样, 安全压力应为 $410 \text{ kPa}/3=136.67 \text{ kPa}$ 。按10m水柱= $98.066 \text{ kPa}$  ( $\text{kgf/cm}^2$ ) 计算, 这就表明在下管时水位内外差不能超过14m, 否则就有管子变形而失稳的危险。

我国曾发生过多起大口径污水处理井, 因下管时水压超过临界值, 使上升管变形失稳而报废。所以, 必须尊重科学计算。

### 4. 下管

在确定浮力下管同时, 除考虑管的外压过大会造成失稳外, 还必须考虑现有设备工作能力, 两者均不可忽视, 否则会造成不可挽回的损失。根据条件采用的程序是, 先下入φ1.2m的上升管, 而后下入φ0.8m的下降管。

(1) 上升管重(包括水泥砂浆和底板)  
 $37.92 + 0.956 + 0.296 = 39.172t$ 。

(2) 在允许压力下的浮力  $14 \times 1.176 = 16.5t$ 。

(3) 管在入水部分的浮力 管入水部分为 $106 - 14 = 92m$ , 92m管的浮力应为 $\frac{(1.224^2 - 1.2^2) \times \pi}{4} \times 92 = 4.188t$ 。

(4) 管重与浮力之差 为卷扬机提升负荷或刹车负荷, 即 $39.172 - 16.5 - 4.188 = 18.48t$ , 刚好达到现有设备使用能力。上升管下完后, 下降管可直接下入, 因为它的重量减去管的自身浮力还余19.22t, 提升能力或刹车负荷均未超过设备所担负的能力。

(5) 下管安全措施 ①强调遵守操作规程; ②做好下管前的设备检查; ③孔口装置安装要绝对牢固; ④涂刷防腐剂时, 要采用

必需的防护用品,避免中毒;⑤现场存放的备用管材,应按编号排列;⑥测量水位要固定人员,使上升管内、外水位差,绝不能超过14m;⑦每个操作者都要思想集中,服从指挥,遇有异常现象,立即报告指挥人员,及时处理;⑧如出现异常响动预示事故发生时,人员应迅速撤离现场;⑨下管过程中,随时检查各种设备及工具的完好情况。

### 上升管与井壁间的环状间隙之灌浆工作

这是此项工程的最后一道工序。灌浆目的是为了固定井管并防腐防漏,因而至关重要。填灌材料基本为两种:一种是用于第四纪冲积层,压入水泥浆即可;另一种是用于基岩地层,要采用水泥砂浆。我们此次即是用的后者。按技术要求,水泥砂浆的配比为:

水:水泥:砂=0.6:1:4.5

在景德镇工程中,灌浆用了三种方法(分三段灌注),即砂石泵泵压法、水下导管灌注法和直接灌注法。

在上升管与井壁的环状间隙对角位置,下入两套 $\phi 89\text{mm}$ 导管(每根长2.5m),深度为105m左右。导管内放入堵塞,将两台砂石泵及搅拌机安装好并与导管连接。为避免环状间隙水头压力过大而阻止砂浆的下沉,先将环状间隙中的水抽出一部分(下深井泵80m,使水位降至60m左右)。将水泥砂浆作充足的搅拌,开动砂石泵,灌浆入井。边灌边起导管(起导管时,底部导管不能超过砂浆面)。当灌到60m时,卸掉砂石泵,采取导管水下灌注法(灌注前应将水位降至40m,程序与泵灌法同),灌到25m左右时起出全部导管,深井泵提起到24m左右,停1~2天使水泥砂浆固结。在灌注下段水泥砂浆前,应将环隙水抽干,而后采取直接灌入法,灌到井口为止。

## On Large Diameter Gas Exposure Sewage Disposal Hole

### Drilling in Bed Rock Region

Shan Xingwu

Techniques on drilling a sewage disposal hole with a diameter of 1.6 m and a depth of 106 m are described, and an overall summary of experiences and lessons drawn from links in the construction chain and technical parameters calculation methods are also given.