

# 空气潜孔锤与风冷牙轮组合钻进在穿采空区 大直径抽水孔中的应用

陈平安, 李源汇

(河南省煤田地质局四队, 河南 平顶山 467000)

**摘要:**在穿多层采空区大直径抽水孔施工中,通过引入空气潜孔锤与风冷牙轮组合钻进工艺,解决了常规泥浆回转钻进钻遇多层采空区因孔内漏失无法成孔、空气潜孔锤钻进成孔孔径受限的问题。采用该工艺完成的 2 个  $\text{Ø}550$  mm 抽水井工程均穿越 4 层采空区, $\text{Ø}350$  mm 潜孔锤冲击钻进平均钻速 3.31 m/h, $\text{Ø}550$  mm 风冷牙轮扩孔钻进平均钻速 2.27 m/h,在复杂地层中保持了较高的钻进效率,取得了明显的应用效果。介绍了该工艺在大同矿区  $\text{Ø}550$  mm 大直径抽水井工程中的应用实例,经过实践验证了工艺的可行性,可为类似钻孔的施工提供参考。

**关键词:**空气潜孔锤;多层采空区;风冷牙轮;大直径抽水孔

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)09-0061-05

**Application of DTH Hammer and Air-cooled Roller Bit Combined Drilling Technology in Large Diameter Pumping Well Crossing Goaf/CHEN Ping-an, LI Yuan-hui** (The 4th Team, Coalfield Geology Bureau of Henan Province, Pingdingshan Henan 467000, China)

**Abstract:** During the construction of large diameter pumping well crossing multi-layer goaf, the leakage problem of conventional mud rotary drilling and the aperture limited problem of DTH hammer drilling were solved by introducing the DTH hammer and air-cooled roller bit combined drilling technology. The application of this technology in 2  $\text{Ø}550$ mm pumping wells crossing four-layer goaf indicates that the average drilling speeds of  $\text{Ø}350$ mm DTH percussive drilling and  $\text{Ø}550$ mm air-cooled roller bit reaming are 3.31m/h and 2.27m/h respectively. High drilling efficiency was kept in complex formation with obvious application effects. The paper introduces the application cases of  $\text{Ø}550$ mm large diameter pumping well project in Datong mining area, the practice proves the feasibility of this technology, which can be provided for similar drilling construction.

**Key words:** air DTH hammer; multi-layer goaf; air-cooled roller bit; large diameter pumping well

## 0 引言

大同煤田为侏罗系煤层与石炭、二叠系煤层重叠赋存的双纪煤田,经过多年开采,煤田范围内侏罗系 3、9、11、14 号煤层存在着大量的采空区,由于采空区积水不断增多,对下覆煤层安全开采构成严重隐患。为了对采空区积水进行探放处理,采取先探明积水位置及水位,再在地面施工大口径抽水钻孔,通过下入深井泵抽取并排放采空区内积水。由于地面抽水孔要穿越多层采空区,且终孔孔径大,单纯使用常规回转钻进与空气钻进均不能完成,经过论证引入空气潜孔锤与风冷牙轮组合钻进的工艺,成功穿越了 4 层采空区,圆满完成施工任务。本文以煤峪口矿 406 盘区  $\text{Ø}550$  mm 抽水井为例,介绍了空气潜孔锤与风冷牙轮组合钻进工艺在施工中的具体应用。

## 1 地质条件

### 1.1 地层

煤峪口矿 406 盘区抽水孔主要涉及岩性为第四系马兰期黄土及松散风化岩,云冈组、大同组岩性多为砂岩、砾岩,碳质泥岩和部分煌斑岩,标志层 K22、K21;侏罗系 3、9、11、14 号煤层为采空区,施工区域为向斜轴部,断层发育,构造复杂,采空区区域岩层破碎。

### 1.2 采空区煤层开采情况

煤峪口矿根据生产衔接即将开拓 14-2 号层 406 盘区,其上覆 3、9、11 号层和 14 号层开采已结束多年。3 号层煤层厚度 2.5 m 左右,地面至 3 号层层间距平均 195 m,20 世纪 50—60 年代开采;9 号层 406 盘区煤层厚度 0.9~1.45 m,距 3 号层平均

收稿日期:2016-01-12;修回日期:2016-06-15

作者简介:陈平安,男,汉族,1965 年生,工程师,资源勘查工程专业,长期从事大直径钻井与煤层气钻井技术及管理工,河南省平顶山市矿工中路 185 号,cpa1965@126.com。

85 m,于20世纪50—60年代开采;11号层406盘区煤层厚度3.4~5.96 m,与9号层层间距16.71~60.21 m,平均32.29 m,于20世纪70年代后期开采;14号层406盘区已于20世纪70—80年代开采,煤层厚度1.58~3.35 m,与11号层层间距8.55~65.93 m,平均30.39 m;14号层与即将回采的14-2号层406盘区层间距10.13~15.19 m,平均11.68 m。

### 1.3 采空区积水情况

煤峪口矿406盘区上覆采空区内积水的主要来源是地表水、第四系冲洪积层水、侏罗系云冈组与大同组砂岩裂隙水、构造裂隙水、灭采空火区的灌浆水及井下生产用水,在14-2号层的可采边界内上覆各层积水情况如表1所示。

表1 14-2号层406盘区上覆可采边界内各层采空区积水情况表

| 层号   | 层厚/m       | 平均层间距/m        | 积水量/<br>万 m <sup>3</sup> | 积水面积/<br>万 m <sup>2</sup> |
|------|------------|----------------|--------------------------|---------------------------|
| 3    | 2.5        | 地面~3层 195      | 28.8                     | 25.7                      |
| 9    | 0.9~1.45   | 3~9层 85        | 3.7                      | 4.7                       |
| 11   | 3.4~5.96   | 9~11层 32.29    | 49.3                     | 32.8                      |
| 14   | 8.55~65.93 | 11~14层 30.39   | 66.6                     | 47.5                      |
| 14-2 |            | 14~14-2层 11.68 |                          |                           |

### 1.4 探水孔情况

为更大限度地抽取采空区内积水,并确定地面大直径抽水孔的具体地点,先在该盘区地面布置了5个探水孔以查明积水情况,其中1号探水孔揭露14号层采空区底板标高933.59 m,层厚4.49 m;经电测分析14号层积水高度23.34 m,积水标高910.25 m。结合钻孔探水情况及矿方提供的突水点观测资料显示,14号层积水区位于14-2号层可采范围内的面积居多,且其积水量较大,最终确定在距1号探水孔5 m处地面标高+1240 m布置一个大直径抽水孔,终孔为14号层采空区底板以下15 m。

## 2 钻孔结构

### 2.1 钻孔结构

为满足大扬程多级深井泵的尺寸及抽水管路的下入要求,结合地层情况,钻孔一开孔径750 mm,下入 $\Phi 630$  mm $\times$ 10 mm护壁管10 m,用以封隔上部表土层;二开终孔孔径550 mm,终孔位置在14号层采空区底板以下15 m,孔深368.09 m,全孔下入 $\Phi 426$  mm $\times$ 12 mm无缝管368.59 m(露出地面0.5 m,含过滤管),钻孔结构如图1所示。

### 2.2 抽水过滤管结构

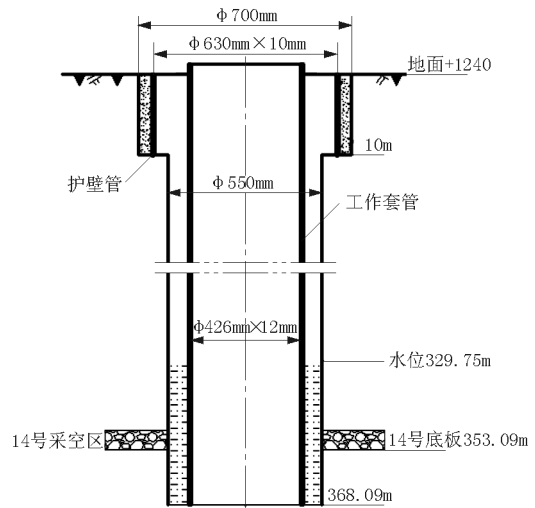


图1 钻孔结构图

由于钻孔要抽取14号层采空区积水,应事先在第一根下入孔底的套管尾管上加工制作成过滤管,如图2所示,且过滤管下入位置必须能够满足抽水的需求。



图2 现场加工抽水过滤管

根据孔内水位高度及14号层采空区的深度,设计制作的尾管单根长15 m,其下部3.3 m为导正,中间10.7 m制作成抽水过滤管,余留1 m接上部套管,抽水过滤管下入位置及水眼布置如图3、图4所示。

## 3 钻探设备及主要机具

(1) 钻机:结合抽水井的结构与地层情况,选用河北永明地质工程机械公司生产的GZ-2600型钻机一台,配套JJ110-29A型钻塔,高2.1 m底盘。

(2) 空压机:由于本工程钻孔直径较大,配备2台空压机,根据实际情况选用阿特拉斯XRVS476型空压机与XRVS976型空压机各一台,主要参数:单台额定排气量27.6 m<sup>3</sup>/min,排气压力2.5 MPa,驱动功率328 kW。

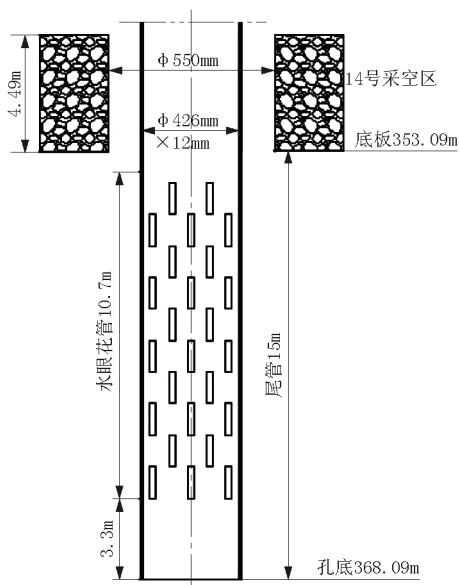


图3 抽水孔过滤管下入位置图

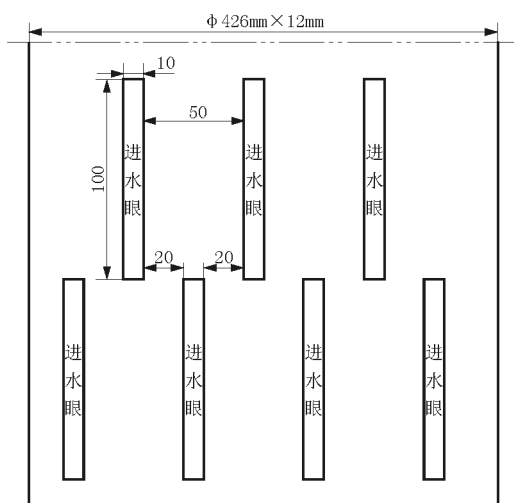


图4 过滤管水眼布置图

(3) 潜孔锤冲击器: 选用通化苏普曼公司生产的 SPM380 型冲击器。该冲击器主要技术参数如下: 工作气压 0.8 ~ 2.1 MPa, 耗风量 12 ~ 31 m<sup>3</sup>/min, 冲击功 1560 J, 冲击次数 850 ~ 1510 次/min, 长度 1551 mm, 外径 181 mm, 质量 277 kg, 可配直径为 203 ~ 350 mm 范围的适用潜孔钻头。

(4) 钻杆: 根据地层情况、钻孔直径、钻孔深度与配套钻机、潜孔锤工作性能, 投入  $\Phi 127$  mm 钻杆 25 根、 $\Phi 159$  mm 钻铤 5 根、 $\Phi 178$  mm 钻铤 5 根, 无磁钻铤 1 根。

(5) 潜孔锤钻头: 选用通化苏普曼公司的 SPM380-350 型潜孔钻头, 该钻头的主要技术参数如下: 排气孔数量 4 个, 直径 350 ~ 353 mm, 单重 80

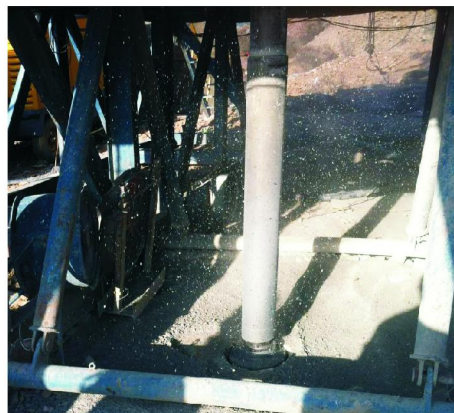
kg, 边齿  $\Phi 18$  mm  $\times$  32, 中齿  $\Phi 16$  mm  $\times$  23, 配有 SPM380 型冲击器。

(6) 风冷牙轮钻头:  $\Phi 550$  mm 组合牙轮钻头, 双阶梯带  $\Phi 311$  mm 导向, 风眼 10 个,  $\Phi 550$  mm 阶梯布置 6 个, 导向布置 4 个, 均匀对称分布, 风眼直径 4.6 mm。

## 4 施工工艺

### 4.1 施工工序

开孔采用正循环空气潜孔锤钻进工艺施工  $\Phi 350$  mm 钻孔(见图 5), 钻进 10 m 后更换  $\Phi 550$ 、700 mm 孔径钻头采用常规泥浆正循环钻进依次进行一级、二级扩孔, 扩孔结束下入  $\Phi 630$  mm  $\times$  10 mm 护壁管并固管。

图5  $\Phi 350$  mm 潜孔锤开孔钻进

二开先采用正循环空气潜孔锤钻进工艺施工  $\Phi 350$  mm 孔径钻孔至 14 号采空区积水水位深度 329.75 m, 进水后更换  $\Phi 350$  mm 牙轮钻头清水钻进至终孔; 二开扩孔采用  $\Phi 550$  mm 风冷牙轮钻头进行回转扩孔施工至终孔, 扩孔结束全孔下入  $\Phi 426$  mm  $\times$  12 mm 无缝管(含过滤管)。

钻孔施工工序见表 2。

### 4.2 潜孔锤钻进参数

潜孔锤穿越多层采空区钻进时, 主要技术参数选择关系到钻进效率与成孔质量。

#### 4.2.1 风量

风量需满足潜孔锤的正常工作条件, 并能顺利排出孔底沉渣, 其参数大小由空压机的类型、潜孔锤的性能与钻孔的结构决定, 在钻遇第一层采空区(3 号层采空深度 178.40 ~ 180.76 m) 前, 施工过程中将 2 台阿特拉斯 XRVS476 与 XRVS976 型空压机并

联使用(见图6),正常情况下风速为 $12 \sim 13 \text{ m}^3/\text{min}$ ,最大时达 $15 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

表2 钻孔施工工序表

| 施工顺序   | 孔径/mm | 套管类型 | 钻进孔段/m        | 套管规格/mm                 | 套管下深/m | 备注          |
|--------|-------|------|---------------|-------------------------|--------|-------------|
| 一<br>开 | 350   |      | 0~10          |                         |        | 空气潜孔锤冲击钻进   |
|        | 550   |      | 0~10          |                         |        | 一级扩孔        |
|        | 700   | 护壁管  | 0~10          | $\text{Ø}630 \times 10$ | 10     | 下入护壁管固井     |
| 二<br>开 | 350   |      | 10~329.75     |                         |        | 空气潜孔锤冲击钻进   |
|        | 350   |      | 329.75~368.09 |                         |        | 牙轮钻头清水钻进    |
|        | 550   |      | 10~368.09     |                         |        | 风冷牙轮扩孔钻进    |
|        |       | 无缝管  |               | $\text{Ø}426 \times 12$ | 368.09 | 下入无缝管(含过滤管) |



图6 2台空压机并联使用

#### 4.2.2 风压

潜孔锤的冲击频率和冲击功与风压有着密切关系。进入采空区施工前,随着钻进深度的增加,SPM380型潜孔锤工作时钻孔内空气压力不断增大,本工程施工时风压维持在 $0.8 \sim 1.5 \text{ MPa}$ ,最大时达 $2 \text{ MPa}$ 。

#### 4.2.3 钻压

为保证钻头齿能与岩石紧密接触,克服冲击器及钻具的反弹力,有效地传递来自冲击器的冲击功,本工程施工时钻压控制在 $8 \sim 20 \text{ kN}$ 。

#### 4.2.4 转速

合理的钻具转速能使潜孔锤的冲击功率有效地传到孔底,其参数大小由潜孔锤的冲击频率与岩石的可钻性确定。本工程施工时采用钻机一档钻进,

转速控制在 $10 \sim 20 \text{ r/min}$ 。

#### 4.2.5 钻进参数的调整

钻孔深度与地层条件变化时应及时调整潜孔锤工作参数,注意风量与风压的控制。特别是钻孔在穿过3、9、11号层采空区后,下部孔底岩粉将被吹进上层采空区,不能返出孔口,当岩粉在钻孔附近的采空区内积累过多影响继续排渣时,应及时下入风管在采空区处进行吹风,以确保岩粉或岩屑被及时吹走。

#### 4.3 风冷牙轮扩孔钻进参数

由于抽水孔穿过多层采空区,常规泥浆回转扩孔钻进不能实现;钻孔终孔孔径达到 $550 \text{ mm}$ ,孔深 $368.09 \text{ m}$ ,目前国内现有的空气潜孔锤钻进机具均不能满足扩孔施工要求,抽水孔二开扩孔选择采用风冷牙轮钻进,其选择参数如表3所示。

(1)风压:风冷组合牙轮钻进中,风量使用量很大,工作风压一般保持在 $0.3 \sim 0.6 \text{ MPa}$ ,如果风压突然上升,有可能是钻头周围岩渣过多,造成先导孔堵塞,要及时起钻进行捞渣透孔。

(2)钻压:风冷组合牙轮钻进,压力要根据地层、转速等数据有效地结合起来定,一般控制在 $50 \text{ kN}$ 左右。

(3)转速:根据不同地层,转速适当增减,一般控制在 $40 \sim 60 \text{ r/min}$ 。

表3 风冷牙轮扩孔钻进参数

| 岩层      | 给进压力/kN | 转速/( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | 风压/MPa |
|---------|---------|---|--------|
| 不含水坚硬岩层 | 50      | 60                                      | 0.6    |
| 不含水普通岩层 | 40      | 40                                      | 0.6    |
| 含水坚硬岩层  | 50      | 50                                      | 0.6    |
| 含水普通岩层  | 40      | 40                                      | 0.6    |

#### 4.4 钻具组合

$\text{Ø}350 \text{ mm}$ 潜孔锤冲击钻进:主动钻杆+ $\text{Ø}127 \text{ mm}$ 钻杆+ $\text{Ø}178 \text{ mm}$ 钻铤2根+ $\text{Ø}159 \text{ mm}$ 钻铤2根+SPMS80冲击器+SPM380-350型潜孔钻头(过采空区施工时应在冲击器上部加 $\text{Ø}350 \text{ mm}$ 扶正器一个)。

$\text{Ø}550 \text{ mm}$ 风冷牙轮扩孔钻进:主动钻杆+ $\text{Ø}127 \text{ mm}$ 钻杆+ $\text{Ø}159 \text{ mm}$ 钻铤4根+ $\text{Ø}178 \text{ mm}$ 钻铤2根+ $\text{Ø}550 \text{ mm}$ 风冷牙轮钻头。

#### 5 潜孔锤钻进关键技术措施

(1)由于钻孔直径大,进入采空区施工前,即使



2台空压机并联使用,风量也不能满足全部排渣需要时,为减少岩屑堆积,在潜孔锤上部安装长8m的 $\varnothing 273$  mm沉渣管一根,施工时孔底部分岩屑能够上返到沉渣管内,确保了孔底清洁。

(2)过采空区扩孔施工,压风机风量损失严重,孔底岩屑已无法顺利经环状间隙上返至地面,可能会在风力作用下被吹入采空区内;钻孔周围采空区位置堆积岩粉过多时,将影响岩粉继续被吹入采空区内的效果,需下入花眼风管在采空区位置进行专门吹孔,开空压机吹送岩粉至距离钻孔更远的采空区内,为下部钻进孔底岩屑上返至采空区内提供空间,提高孔底岩粉继续被冲入采空区的效果。

(3)在采空区钻进时,由于钻头压力点失去了支撑层,钻具在采空区内会产生落空,或在冒落带内因重力垂落,应从钻速、岩屑、地质资料等方面综合分析,提前判断采空区的位置,并做好记录。如发现掉钻且返气量锐减、进尺缓慢,并与探水孔揭露采空区位置对比一致,说明钻遇采空区,应及时调整钻进参数,以较低钻压通过该区。

(4)钻进过程中要派专人观察气压表,发现压力异常时应立即提钻查明故障原因;潜孔锤工作时其冲击频率变低或不稳定,应根据冲击响声判断可能出现异常,需立即起钻查看潜孔锤的状态。回次结束后应上提钻具0.3~0.5 m进行吹孔,待孔口不返岩屑时,才可停风加接钻杆。

(5)潜孔锤钻进穿越9、11号层采空区时遇到积水孔内潮湿,为防止岩屑与水粘结成团在钻头形成泥包及钻杆上产生环形泥饼,造成岩屑排除困难及钻头、钻杆泥包问题,施工现场通过泡沫泵向空气中加入浓度0.2%左右的泡沫剂,将其转换成雾化钻井,有效地提高了岩粉的携带能力,使其顺利上返进入上层采空区。

(6)施工至孔深329.75 m见14号层采空区积水后,由于向下钻进孔内水位不断增加,水的背压也逐步升高,至设计的终孔深度水位高度达38.34 m,潜孔锤钻进已不再适用。施工现场转换施工工艺,采用牙轮钻头清水钻进穿过14号层采空区直至终孔,每回次钻进结束后下入 $\varnothing 273$  mm捞渣管清除孔底沉渣。

## 6 施工效果

煤峪口矿406盘区抽水孔施工,一开第四系地

层 $\varnothing 350$  mm潜孔锤冲击钻进10 m,纯钻时间40 min,平均钻速15 m/h。

二开井段 $\varnothing 350$  mm潜孔锤冲击钻进319.75 m,累计纯钻时间96.5 h,平均钻速3.31 m/h,最高钻速30 m/h; $\varnothing 350$  mm牙轮贸易中心头清水钻进38.34 m,累计纯钻时间24.25 h,平均钻速1.58 m/h。二开 $\varnothing 550$  mm风冷牙轮扩孔钻进进尺358.09 m,累计纯钻时间158 h,平均钻速2.27 m/h。

## 7 结论

(1)空气潜孔锤与风冷牙轮扩孔组合钻进施工工艺,解决了常规泥浆回转钻进钻遇多层采空区全孔漏失无法成孔与潜孔锤机具不能施工超大直径钻孔的技术难题,采用此工艺在大同地区已完成煤峪口矿406盘区与同家梁矿南二盘区2个 $\varnothing 550$  mm抽水井,前者已累计抽水近30万 $\text{m}^3$ ,经过实践验证,该工艺施工抽水孔是可行的。

(2)本工程钻孔涉及地层破碎,又需要穿越多层采空区,潜孔锤冲击钻进相对于在较完整的基岩地层中钻进效率较低,风冷牙轮扩孔施工时需经常下钻透孔、下捞渣管除渣,一定程度上增加了辅助时间与劳动强度。

(3)采用此工艺施工,需要进一步深入研究如何解决钻孔护壁与穿采空区钻孔上下轴线一致的问题,才能充分发挥这项技术的优势。

## 参考文献:

- [1] 张祖培,殷琨,蒋荣庆,等.岩土钻掘工程新技术[M].北京:地质出版社,2003.
- [2] 鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].中国地质大学出版社,2001.
- [3] 马光长,杜良民.空气钻井技术及其应用[J].钻采工艺,2004,27(3):4-8.
- [4] 黄彦彬,余立明,靳双喜.河南省空气潜孔锤钻进技术的应用与发展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):37-39,43.
- [5] 米晓波,高宇平.大同煤田采空区积水探放技术综合应用与研究[J].山西煤炭,2014,34(2):73-74,80.
- [6] 苏尚文,张喜峰.空气潜孔锤钻进工艺在大同煤田勘探项目的应用[J].西部探矿工程,2003(9):123,126.
- [7] 张秋冬,吴青松,孟江,等.潜孔锤在大口径深井钻探中的应用[J].地质装备,2013,14(1):29-32.
- [8] 黄薛,何瑞,郑雪飞,等.气动潜孔锤钻探技术在浅层采空区勘查中的应用[J].西部探矿工程,2011,(2):112-113.
- [9] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.