

# 多靶点长距离水平对接连通井施工工艺

隆 东<sup>1</sup>, 林修阔<sup>1</sup>, 王 升<sup>2</sup>, 胡汉月<sup>1</sup>, 刘志强<sup>1</sup>, 岳 刚<sup>3</sup>

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 东北煤田地质局一〇三勘探队, 辽宁 辽阳 111000; 3. 东北煤田地质局一五五勘探队, 辽宁 锦州 121000)

**摘要:** H050 井是土耳其 Beypazari 天然碱矿四期工程施工的一口水平井, 按照原有施工设计, H050 井需要与另外一口垂直井 V050 对接连通, 形成一个溶采单元。由于此井组处于矿区边缘, 为了保证溶采通道落在主矿层里, 对施工设计进行修改, 在 H050 井和 V050 井之间增设 3 个靶井。然而中间 3 个靶井的设计井位处于悬崖边和老井边, 因此将设计井位挪至便于施工的位置, 施工时采用定向钻进, 使靶井的井底靶区回到指定区域, 最终, H050 成功连通 4 个靶井, 并实现长距离水平钻进。本文结合施工实践, 总结了几点多靶井连通施工的技术关键, 为类似钻井施工提供借鉴和参考。

**关键词:** 多靶点; 长距离; 水平对接连通井; 精确连通; 定向钻进

**中图分类号:** P634.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2016)09-0056-05

**Multi-target and Long Distance Horizontal Intersected Wells Construction Technology/LONG Dong<sup>1</sup>, LIN Xiu-kuo<sup>1</sup>, WANG Sheng<sup>2</sup>, HU Han-yue<sup>1</sup>, LIU Zhi-qiang<sup>1</sup>, YUE Gang<sup>3</sup>** (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. Northeast Coalfield Geological Bureau No. 103 Exploration Team, Liaoyang Liaoning 111000, China; 3. Northeast Coalfield Geological Bureau No. 155 Exploration Team, Jinzhou Liaoning 121000, China)

**Abstract:** H050 is one of the horizontal wells in the phase IV of Turkey Beypazari trona solution mining project, which should be connected to another vertical well V050 to form a solution mining unit according to the original construction design. For this well unit is placed at the edge of the mining area, the original construction design is modified by setting additional 3 controlling target wells between H050 and V050 to ensure the leaching passage in the trona layer. The designed locations of these 3 wells are at edge of cliff or near the old production well, 2 wells were moved several meters away for convenient construction. By directional drilling, the bottom target area of one borehole went back to the required location. Finally, H050 is connected with 4 target wells to realize long horizontal drilling. Combined with the construction practice, this paper summarizes some crucial construction techniques of multi-target wells intersection to provide reference to similar drilling construction.

**Key words:** multi-target; long distance; horizontal intersected wells; accurate intersection; directional drilling

## 1 工程概况

土耳其四期工程仍在 Beypazari 矿区施工, Beypazari 矿区地层依次为札维依 (Zaviy)、卡基鲁巴 (Cakiloba)、沙里亚吉尔 (Saragil)、卡拉杜鲁克 (Karadoruk)、河卡 (Hirka) 和玻亚利 (Boyali) 地层, 依次简称为 Tz, Tc, Ts, Tk, Th。

碱矿层位于主要由粘土层和含沥青的页岩组成的河卡地层中, 埋深在 250 ~ 430 m。在纵向上碱矿层分为两个矿组, 每个矿组含 6 ~ 7 个主矿层, 上部矿组划分为 U1 ~ U6 共 6 个单层, 累计矿层厚度为 11 ~ 21 m; 下部矿组划分为 L1、L2-1、L2-2、L3、L4、L5、L6 共 7 个单层, 累计矿层厚度为 6 ~ 16 m, 共 13 个单层。矿组之间为厚度 20 ~ 25 m 含粘

土的淡化层<sup>[1]</sup>。

土耳其四期工程总计施工 17 组井, 共计 24 口直井, 10 口水平井。水平井 H050 需连通 4 个靶井 V050A, V050B, V050C 和 V050, 完井井深达 960.41 m, 是土耳其四期工程中靶点最多, 钻进井深最深, 水平段长度最长的一口水平井。施工过程中除第一靶点 V050A 由于主矿层处于矿区边缘无碱且未循环建腔未连通外, 其余 3 口靶井均被精确连通。

施工坐标:

H050: X(北) = 451326.482, Y(东) = 403056.042,  
Z = 946.517;

V050A: X(北) = 451087.772, Y(东) = 403115.549,  
Z = 942.120;

收稿日期: 2016-04-30; 修回日期: 2016-06-21

作者简介: 隆东, 男, 汉族, 1984 年生, 工程师, 勘查技术与工程专业, 从事受控定向钻进连通井施工与管理及相应科研项目研究工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, ldyiet@qq.com。

V050B:  $X(\text{北}) = 450957.943, Y(\text{东}) = 403146.443,$   
 $Z = 924.389;$

V050C:  $X(\text{北}) = 450879.681, Y(\text{东}) = 403190.22,$   
 $Z = 900.770;$

V050:  $X(\text{北}) = 450796.614, Y(\text{东}) = 403197.872,$   
 $Z = 877.927.$

## 2 施工难点

此井组平井 H050 位于矿区边缘,原设计只有一个靶井 V050,拟采用典型的 U 形连通形式,建立长距离溶采通道开采地下天然碱。由于边缘矿区矿层出现尖灭及有断层存在,首次二开钻进中发现碱层抬高近 100 m,如果继续采用一个靶点的 U 形通道,无法保证溶采通道均在碱层。为了保证溶采通道处于矿层中,需要在 H050 与 V050 之间增加控制井,以便了解矿层的走向,进而保证水平井钻进形成的通道处于主矿层中。

根据 H050 与 V050 的连线以及连线距离,需要增加 3 个直井。设计增加的直井都布于 H050 与 V050 连线上。其中 V050A 布于落平点位置;由于地形原因,V050B 设计井位位于悬崖边,井场面积有限,转盘钻机无法安放,只能使用占地面积较小的车载钻机施工,而且井位必须向西南方向移动井位至少 10 m。V050C 设计井位距离二期生产井仅 5 m 距离,为了不影响老井生产,井场无法继续扩大,同时为了转盘钻机能够顺利起塔,井位必须向东北方向移动至少 13 m。这样就造成 V050B 和 V050C 分别位于 H050 与 V050 连线的两侧,并且两井偏离 47 m,两井之间距离 89.68 m。如果这两口井采用常规直井钻进成井,那么 H050 根本无法同时连通两个靶井。这是此井组施工的第一个难点。

直井施工完成后发现主矿层起伏较大,H050 设计井深 961 m,三开水平段长达 307 m,水平钻进时钻具因自重而使钻具处于钻孔下方,加上矿层起伏大,钻具与井壁将产生较大摩阻并影响正常钻进,成为施工的第二个难点。

## 3 靶井施工

### 3.1 靶井施工工序

靶井均为二开次施工垂直井,施工工序如下。

(1) 导孔施工和导管下入(0 ~ 至少 6 m)。采用  $\varnothing 444.5$  mm 钢齿牙轮钻头钻进至少 6 m 并下入

$\varnothing 406.4$  mm - J55 - 65PPF - BTC - R2 型导管并使用 G 级水泥配置密度  $< 1.75$  g/cm<sup>3</sup> 的水泥浆固井,候凝 12 h。

(2) 一开施工和表层套管下入。采用  $\varnothing 346$  mm 钻头钻进至设计深度,至少钻过第二个含水层 20 m,根据岩屑判断并电测井决定表层套管下入深度。根据电测井结果,下入  $\varnothing 273$  mm - J55 - 32.75 ppf - BTC - R2/R1 表层套管并使用 G 级水泥配置密度  $< 1.75$  g/cm<sup>3</sup> 的水泥浆固井,候凝 36 h 后扫开水泥塞进行水泥凝固质量测量(CBL 测井)。

(3) 二开施工和技术套管下入。采用  $\varnothing 241$  mm 钻头钻进至设计深度后,电测井决定首采碱层顶底板深度和技术套管下入深度。根据电测井结果,下入  $\varnothing 177.8$  mm - J55 (20 lbs/ft) + P110 (29 lbs/ft) - BTC - R2/R1 技术套管并使用 G 级水泥配置密度  $< 1.75$  g/cm<sup>3</sup> 的水泥浆固井,候凝 36 h 后扫开水泥塞进行水泥凝固质量测量(CBL 测井)。

(4) 下入  $\varnothing 101.6$  mm - J55 - R2 油管并安装井口装置完井。

### 3.2 靶井井身结构

导孔: $\varnothing 444.5$  mm 钻孔 +  $\varnothing 406.4$  mm - J55 - 65PPF - BTC - R2 导管。

一开: $\varnothing 346$  mm 钻孔 +  $\varnothing 273$  mm - J55 - 32.75 ppf - BTC - R2/R1 表层套管。

二开: $\varnothing 241$  mm 钻孔 +  $\varnothing 177.8$  mm - J55 (20 lbs/ft) + P110 (29 lbs/ft) - BTC - R2/R1 技术套管。

油管: $\varnothing 101.6$  mm - J55 - R2 油管。

井身结构如图 1 所示。

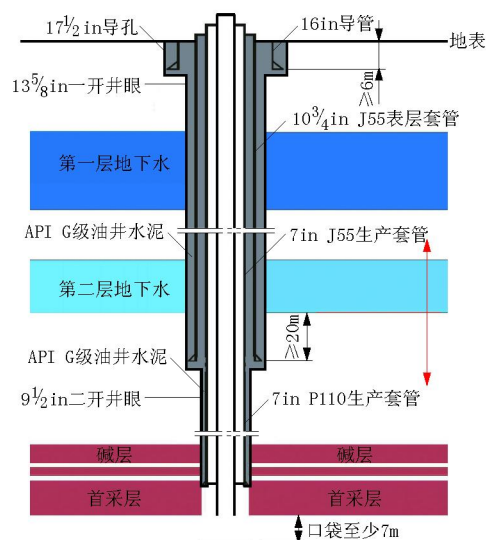


图 1 靶井垂直井井身结构图

### 3.3 靶井施工工艺

通过分析及计算, V050A 井与 V050B 井由于井场面积有限, 均采用占地面积较小的车载钻机施工, V050C 井二开采用定向钻进施工, 使 V050C 井底靶

区与 V050B 井底靶区位于 H050 井与 V050 井连线的同侧, 并尽量减小两个靶区之间的距离, 以便于 H050 井连通各个靶点。各靶井施工概况如表 1 所示。

表 1 各靶井施工概况

井名	施工钻机	钻进方式	一开井径/mm	二开井径/mm	成井要求
V050A	SDC1500 型车载钻机	二开次直井钻进	346	241	全孔平均井斜 < 1°
V050B	SDC1500 型车载钻机	二开次直井钻进	346	241	全孔平均井斜 < 1°
V050C	TSJ2000A 型转盘钻机	一开直井钻进、二开定向钻进	346	241	孔底回归原设计靶区(见图 2)
V050	TSJ2000A 型转盘钻机	二开次直井钻进	346	241	全孔平均井斜 < 1°

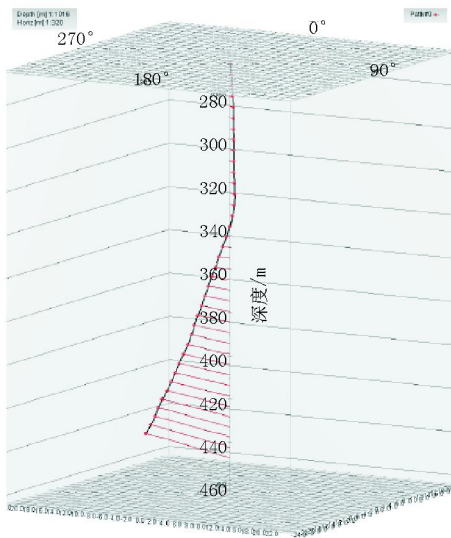


图 2 V050C 钻孔轨迹图

通过各个靶点之间的距离及标高关系来确定各个靶井间的位置关系及设计水平井的钻进轨迹, 各靶井间的距离及标高关系如表 2 所示。

表 2 各靶井间的距离及标高关系

	m
V050A 井与 V050B 井距离	133.45
V050A 井比 V050B 井的 U6 标高低	7.02
V050B 井与 V050C 井距离	89.68
V050B 井比 V050C 井的 U6 标高高	4.96
V050C 井与 V050 井距离	83.42
V050C 井比 V050 井的 U6 标高低	0.02

其中, V050A 井是增设于落平点处的直井, 也是此井组第一个靶井, 用于控制水平井轨迹进入主矿层的姿态, 以保证水平井轨迹准确落入主矿层, 并确保轨迹在主矿层中行进, 为井组开采建立可靠的溶采通道。V050A 井采用中国地质科学院勘探技术研究所研发的 SDC1500 型车载钻机施工成井。

V050B 井是增设的第二个靶井, 距离第一靶井 V050A 井 133.45 m。鉴于 H050 井开采碱层抬高近

100 m 的情况, 增设 V050B 井是为了保证水平井钻进轨迹在 V050A 井与 V050B 井之间在主矿层里行进。V050B 井设计井位三面都是悬崖, 由于地形原因及井场面积小, 转盘钻机无法安置, 且设计井位向西南方向移动 10 m(见图 3), V050B 井采用车载钻机施工成井。

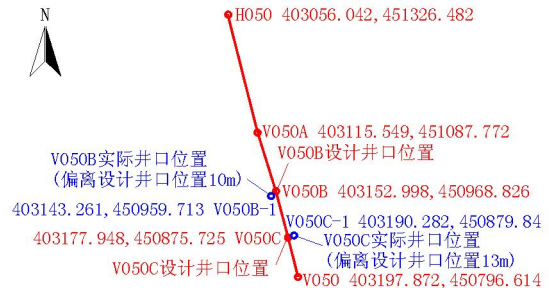


图 3 Uni050 井组各靶井设计井位与实际井位位置图

V050C 井是增设的第三个靶井。旨在确定 V050B 井与 V050 井之间的主矿层倾向, 确保水平井钻进轨迹在主矿层里行进。V050C 井设计井位位于距离二期生产井仅 5 m, 为防止影响老井生产和便于钻机施工, 井位向东北方向移动 13 m(见图 3)。由于 V050B 井位向西南方向移动 10 m, 偏离了 H050 井与 V050 井的连线, 为了使 H050 井水平钻进过程中成功连通靶井 V050C 和 V050, 需要将 V050B 和 V050C 井底靶区位置调整至 H050 与 V050 连线的同侧。如果 2 个靶井的井底靶区位置处在连线的两侧, 那么在连通 V050B 井后需要向相反方向调整轨迹方位以连通 V050C 井, 连通 V050C 井后又需要向相反方向调整 2 倍的方位才能连通 V050 井<sup>[2-3]</sup>, 由于 2 个靶点之间距离有限, 螺杆的造斜能力有限, 这样的连通方式不可取。施工实践时, 在 V050C 井二开采用定向钻进施工, 成功地将在 V050C 井孔底靶区与 V050B 井孔底靶区调整至

H050 井与 V050 井连线的同侧(见图 4),大大减小了水平井施工的难度,保证了井组的成功连通。V050C 井钻孔轨迹如图 1 所示。



图 4 Unit050 井组各靶井地面井位与完井 U6 底板位置图

V050 井是最先施工的靶井,也是最后对接的一个靶井,采用常规的二开次直井钻进方式成井。

4 个靶井钻进完成后,通过电测井确定了此井组 U6 矿层的垂直剖面图,如图 5 所示。

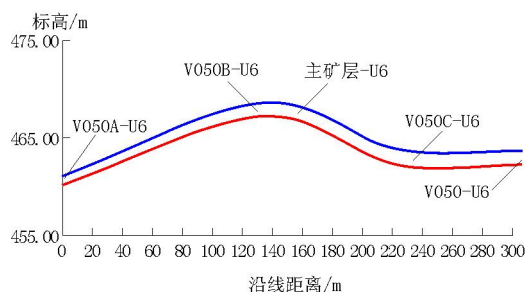


图 5 Unit050 井组 U6 矿层垂直剖面图

## 4 H050 井水平井施工工艺

### 4.1 H050 井水平井施工工序

H050 井采用三开次钻进施工,施工工序如下。

(1) 导孔施工和导管下入(0~至少 6 m)。

采用  $\varnothing 444.5$  mm 钢齿牙轮钻头钻进至少 6 m 并下入  $\varnothing 406.4$  mm - J55 - 65PPF - BTC - R2 型导管并使用 G 级水泥配置密度  $< 1.75$  g/cm<sup>3</sup> 的水泥浆固井,候凝 12 h。

(2) 一开施工和表层套管下入。

采用  $\varnothing 346$  mm 钻头钻进至设计深度,至少钻过第二个含水层 20 m,根据岩屑判断并电测井决定表层套管下入深度。根据电测井结果,下入  $\varnothing 273$  mm - J55 - 32.75 ppf - BTC - R2/R1 表层套管并使用 G 级水泥配置密度  $< 1.75$  g/cm<sup>3</sup> 的水泥浆固井,候凝 36 h 后扫开水泥塞进行水泥凝固质量测量(CBL 测井)。

(3) 二开造斜钻进施工和技术套管下入。

采用  $\varnothing 241$  mm 钻头 +  $\varnothing 172$  mm PDM 造斜钻进,并通过电测 U4 顶板深度预判首采矿层 U6 走向使得钻进轨迹以恰当姿态进入首采层 U6<sup>[4]</sup>,并继续钻进至设计深度后,电测井决定首采层顶板深度和技术套管下入深度。根据电测井结果,下入  $\varnothing 177.8$  mm - J55 (20 lbs/ft) + P110 (29 lbs/ft) - BTC - R2/R1 技术套管并使用 G 级水泥配置密度  $< 1.75$  g/cm<sup>3</sup> 的水泥浆固井,候凝 36 h 后扫开水泥塞进行水泥凝固质量测量(CBL 测井)。

(4) 三开水平钻进施工。

采用  $\varnothing 152$  mm 钻头 +  $\varnothing 120$  mm PDM 水平钻进,通过随钻测斜仪器(LWD)测量实时顶角和方位数据,通过勘探技术研究所自主编制的 EXCEL 轨迹控制程序,在考虑磁偏角和子午线收敛角的基础上精确处理钻进数据<sup>[2,5-6]</sup>,控制施工轨迹始终在主矿层中进行<sup>[7]</sup>,并在距离靶井 70 m 开始使用慧磁中靶仪器(SmartMag)引导钻进并连通靶点井<sup>[8]</sup>。

V050A 井由于主矿层处于矿区边缘,碱层太薄,且未循环建槽,未能直接连通,后采用井底压裂法实现了连通。V050B 井和 V050C 井完井后均未建槽,也为无溶腔靶井。在连通 V050B 井时,使用慧磁中靶仪器(SmartMag)引导钻头直接打中技术套管边缘实现了精确连通<sup>[9-11]</sup>。H050 井直接钻入 V050C 井和 V050 井靶区实现连通。水平段连通 V050C 井之后的钻进由于摩阻原因进尺缓慢,向泥浆中加入柴油,有效地减小了摩阻,缩短了施工工期。

(5) 下入  $\varnothing 101.6$  mm - J55 - R2 油管并安装井口装置完井。

### 4.2 水平井 H050 井完井井身结构

导孔: $\varnothing 444.5$  mm 钻孔 +  $\varnothing 406.4$  mm - J55 - 65PPF - BTC - R2 导管;

一开: $\varnothing 346$  mm 钻孔 +  $\varnothing 273$  mm - J55 - 32.75 ppf - BTC - R2/R1 表层套管;

二开: $\varnothing 241$  mm 钻孔 +  $\varnothing 177.8$  mm - J55 (20 lbs/ft) + P110 (29 lbs/ft) - BTC - R2/R1 技术套管;

三开: $\varnothing 152$  mm 钻孔连通靶井后下入  $\varnothing 101.6$  mm - J55 - R2 油管完井。

## 5 多靶点长距离水平对接连通井施工关键技术

通过 H050 井与多个靶井成功对接的施工实

践,总结出多靶点长距离水平对接连通井施工的关键技术。

(1)做好前期的分析计算与总体设计,纠正由于地形原因造成的井位偏移沿线的问题,设计各个靶井的孔底靶区处于易于连通的位置及水平井施工轨迹<sup>[12-14]</sup>。

(2)施工过程中利用随钻仪器,轨迹控制软件和电测井结果使钻进轨迹准确落入主矿层。

(3)水平段钻进过程中,利用随钻仪器及轨迹控制软件控制钻进轨迹始终处于主矿层中。

(4)靶点与靶点之间的距离有限,整体控制各个靶点的孔底靶区位置,使得各个靶区进入易于连通的位置。在施工之前准确把握各个井的地面井位、矿区地层自然造斜情况以及控制直井施工的井斜。通过计算和定向钻进等方法使得各个靶井的孔底靶区进入易于连通的位置。

(5)各个靶点之间的距离有限,靶区位置固定,在连通前一个靶点时调整好连通姿态,以易于下一个靶点的连通。精确控制连通时的顶角和方位,通过随钻测斜仪,慧磁中靶仪及不同弯度的螺杆钻具的综合应用,精确控制连通姿态,使得在连通前一靶点的同时,为下一靶点的连通做好铺垫,从而保证多个靶点精确中靶。

## 6 结语

由于水平井处于矿区边缘,矿层走向异常,使得水平井与靶井之间的矿层走向无法判断,为了保证溶采通道处于矿层中,在水平井与最后一个靶点之间增加了3个控制井,明确了矿层的走向,给水平井的施工提供了轨迹控制的依据<sup>[15]</sup>。其中的V050B井由于地形及井场面积原因,采用了占地面积较小的车载钻机施工成井,这也体现了车载钻机的一项优势。V050C井由于设计井位临近老井,移动井位后采用定向钻进成功使井底靶区回到设计位置,为水平井成功对接此井奠定了基础。每个靶点的对接

都采用中国地质科学院勘探技术研究所自主研发的慧磁中靶仪(SmartMag)的引导,实现了精确对接。H050井不但井深较深,同时水平段亦较长,水平段施工后期,在泥浆中加入柴油有效地降低了摩阻,提高了施工效率。总之,多靶点长距离水平对接连通井的施工关键技术在于钻前的总体设计和钻进过程中利用各种仪器及方法精确控制钻进轨迹,从而使得多个靶点实现一次精确连通。

## 参考文献:

- [1] 向军文,胡汉月,刘志强.土耳其天然碱矿30对对接井钻井工程[J].中国井矿盐,2007,38(5):25-28.
- [2] 向军文,刘志强.子午线收敛角对定向钻进精度的影响[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):11-13.
- [3] 向军文.定向钻进控制预测技术[J].地质与勘探,2010,46(6):1123-1126.
- [4] 隆东,张新刚,岳刚,等.H024U井施工工艺及精确中靶技术措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):5-8,12.
- [5] 向军文.关于定向井数据的精确处理问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):37-38.
- [6] 韩志勇.关于子午线收敛角校正问题[J].石油钻探技术,2006,34(4):1-4.
- [7] 刘海翔,向军文,刘志强.基于EXCEL的定向钻井应用程序及其工程应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(2):14-16.
- [8] 陈剑奎,胡汉月.SmartMag定向钻进高精度中靶系统及其应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):10-12.
- [9] 商敬秋,武程亮,刘汪威,等.无建槽直井的定向中靶作业[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):13-16.
- [10] 胡汉月.对接井中靶利器——浅谈近靶点测量技术的发展与应用[J].中国井矿盐,2007,38(4):27-31.
- [11] 向军文,胡汉月.国产定向对接井精确中靶技术在盐矿中的应用[J].中国井矿盐,2010,41(5):16-18.
- [12] 赵建亚,向军文,盛彦钧.采卤对接井钻井技术的研究[J].探矿工程,1995,(1):6-10,17.
- [13] 向军文.最小二乘法在定向钻进中的数据拟合[J].石油钻采工艺,2010,(6):16-18,27.
- [14] 向军文.对接连通井及定向钻井轨迹设计[J].科技创新导报,2010,(27):88,90.
- [15] 刘汪威,林修阔,张新刚.特殊地质条件下定向对接复杂井组的工艺设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):13-16.