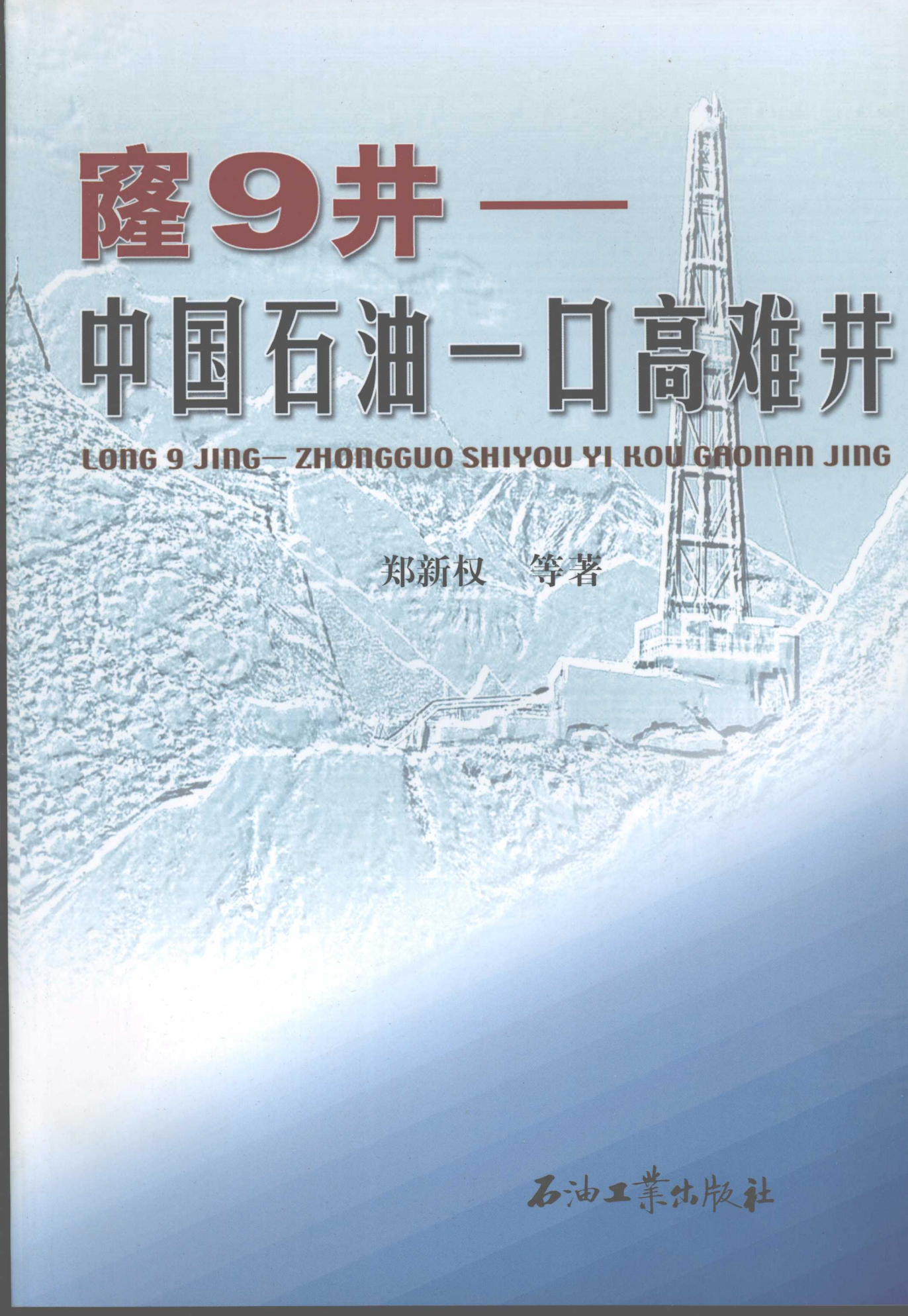


The background of the cover is a black and white photograph of an oil drilling rig situated on a high, rugged mountain peak. The rig's derrick extends vertically, and its base is integrated into the mountain's structure. The surrounding terrain is steep and rocky, with some sparse vegetation. The overall scene conveys a sense of industrial achievement in a challenging environment.

# 隆9井——

# 中国石油一口高难井

LONG 9 JING—ZHONGGUO SHIYOU YI KOU GAONAN JING

郑新权 等著

石油工业出版社

# 隆 9 井

## ——中国石油一口高难井

郑新权 等著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书详细介绍了中国石油少见的一口高难度井——隆9井的成功钻探过程及其中积累的各种数据、资料，以作为复杂深井钻井的参考与借鉴。

本书可作为从事钻井工程技术的人员和在校大学生、研究生的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

隆9井——中国石油一口高难井 / 郑新权等著 .

北京: 石油工业出版社, 2005.11

ISBN 7-5021-5229-6

I. 隆…

II. 郑…

III. 深井-油气钻井-中国

IV. TE245

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 108885 号

---

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: [www.petropub.cn](http://www.petropub.cn)

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

---

2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14.75

字数: 370 千字 印数: 1—800 册

---

定价: 98.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

# 《隆 9 井——中国石油一口高难井》

## 编 委 会

主 任：胡文瑞

副主任：吴 奇 孙 宁 陈建军 秦永和

委 员：郑新权 范铭涛 余金海 孙梦慈 邹来方 熊腊生、胡世杰

## 编 写 组

组 长：郑新权

副组长：范铭涛 余金海 孙梦慈 熊腊生

成 员：沈全意 毛蕴才 张 军 李佳军 于文华 徐显广 陈志学  
张太年 王宝成 黄达全 寇明富 殷洋溢 段保平 何 明

## 序

玉门石油人依靠技术进步和若干年艰苦卓绝的努力，在酒泉盆地酒西坳陷青西凹陷的勘探工作取得了突破性进展，已初步具备亿吨级储量规模。青西油田的发现结束了玉门10年没有新增储量的历史，为老油田焕发青春、再造辉煌打下了坚实的基础。截止到2004年底，除柳1、隆2、西探1井及老井加深和侧钻井外，青西油田已完钻各类井67口，初产或经改造后日产量超过100t以上的井有18口，已形成 $30 \times 10^4$ t的年生产能力。

继隆8井在祁连山逆掩推覆体之下获得重大发现后，为进一步认识青西凹陷逆冲断裂地质构造，扩大青西油田的含油面积，2002年初在窟窿山构造南翼甩开部署了隆9井。由于该井钻遇了致密、坚硬的巨厚逆掩推覆体老地层，给井身质量控制和提高钻井速度带来了严峻的挑战，防斜打快难度大，岩石可钻性差，钻头选型和使用困难，钻井过程中跳钻和钻具磨损严重，机械钻速和单只钻头进尺指标低，全井共使用钻头118只，平均机械钻速只有0.58m/h，平均单只钻头进尺仅38m。由于钻速慢，地层浸泡时间长，加之深部地层异常地应力对井壁稳定的影响，导致井身质量差，为完井卡套管理下了事故隐患。隆9井全井钻井周期长达709d，是近几年钻井周期最长的一口井，引起了中国石油天然气集团公司和中国石油天然气股份有限公司各级领导的关注。

隆9井是中国石油近年来遭遇最复杂的一口井，在钻井施工中也暴露出了一些突出的问题，如防斜打快问题、高硬度高研磨性地层的钻井问题，特别是传统的防斜打快技术还难以满足山前高陡构造和逆掩推覆体地层快速钻井的技术需求。突然遭遇复杂的地层条件，缺乏针对性的技术手段，也反映出中国石油钻井技术储备不足，钻井技术水平还不能满足复杂地质条件的挑战。

面对隆9井这一高难度井，玉门油田公司、大港钻井集团公司和有关科研院所工程技术人员齐心协力，勇于挑战钻井施工中出现的各种技术难题，积极探索、应用各种新工艺、新技术，尝试了液压旋冲钻井，首次开展空气钻井用来解决研磨性地层的钻进问题，最终艰难地完成了该井的钻探。通过对巨厚逆掩推覆体地层钻井的摸索和尝试，也为我国

西部前陆盆地高陡构造地层快速钻井提供了宝贵的经验。

随着中国石油勘探开发向“低、深、隐、难”领域的发展，钻井工程难度会越来越大，也希望从隆9井钻井中受到启发，强化钻井新技术的研发，强化新技术的应用，解决制约复杂地区勘探开发的瓶颈问题，强化成熟技术的推广，提高复杂深井钻井速度，加快勘探开发节奏。为了更好地开展复杂深井的钻井工作，勘探与生产分公司组织编写了这本书，作为复杂深井钻井的参考与借鉴。

印文瑞

# 目 录

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 第一章 青西油田勘探开发现状        | (1)  |
| 第一节 玉门油田油气分布简况        | (1)  |
| 第二节 青西油田勘探开发概况        | (2)  |
| 第三节 青西油田地层基本情况        | (4)  |
| 第四节 青西油田储集层基本特征       | (5)  |
| 第二章 钻井工程概况            | (7)  |
| 第一节 钻井地质概况            | (7)  |
| 一、设计与实际地层分层           | (7)  |
| 二、油气层发现               | (12) |
| 三、地质认识                | (15) |
| 第二节 钻井工程简况            | (18) |
| 一、钻井工程设计要点            | (18) |
| 二、钻井工程基本情况            | (21) |
| 第三章 钻井工程难点            | (28) |
| 第一节 巨厚逆掩推覆体地层对钻井技术的挑战 | (28) |
| 一、地层倾角大,井斜难以控制        | (28) |
| 二、地层研磨性强,可钻性差,机械钻速低   | (31) |
| 三、地层坚硬,跳钻频繁,钻具损坏严重    | (34) |
| 第二节 深部白垩系地层地应力异常,垮塌严重 | (35) |
| 第四章 钻井工程技术应用          | (36) |
| 第一节 井斜控制              | (36) |
| 一、钟摆钻具的使用             | (36) |
| 二、强刚性满眼钻具的使用          | (36) |
| 三、偏轴钻具的使用             | (38) |
| 四、导向螺杆纠斜钻具的使用         | (39) |
| 第二节 气体钻井              | (40) |
| 一、前期论证                | (40) |
| 二、施工设计                | (40) |
| 三、施工前准备               | (45) |
| 四、现场施工与技术措施           | (47) |
| 五、试验效果与评价             | (53) |
| 第三节 地层岩石可钻性与钻头使用      | (58) |
| 一、地层岩石可钻性             | (58) |

|                                                               |       |
|---------------------------------------------------------------|-------|
| 二、试验新型钻头提高青西地区钻井速度 .....                                      | (64)  |
| 三、隆 9 井钻头使用情况分析 .....                                         | (67)  |
| 第四节 钻井液 .....                                                 | (72)  |
| 一、青西油田钻井液简况 .....                                             | (72)  |
| 二、钻井液体系及处理剂的评价与优选 .....                                       | (73)  |
| 三、隆 9 井钻井液设计 .....                                            | (84)  |
| 四、各井段钻井液使用与维护 .....                                           | (85)  |
| 第五节 固井 .....                                                  | (90)  |
| 一、固井基本数据 .....                                                | (90)  |
| 二、 $\phi 508\text{mm}$ 表层套管固井 .....                           | (92)  |
| 三、 $\phi 339.7\text{mm}$ 与 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管固井 ..... | (92)  |
| 四、 $\phi 177.8\text{mm}$ 尾管固井 .....                           | (92)  |
| 五、 $\phi 101.6\text{mm}$ 尾管固井 .....                           | (93)  |
| 六、 $\phi 177.8\text{mm}$ 套管回接及固井 .....                        | (95)  |
| 第六节 井下事故与复杂情况 .....                                           | (96)  |
| 一、井下事故及处理 .....                                               | (96)  |
| 二、井下复杂情况及处理 .....                                             | (107) |
| 第五章 认识与启示 .....                                               | (110) |
| 第一节 几点认识 .....                                                | (111) |
| 第二节 几点启示 .....                                                | (113) |
| 附录 .....                                                      | (118) |
| 附表 1 隆 9 井电测井斜数据表 .....                                       | (118) |
| 附表 2 隆 9 井实测井径数据表 .....                                       | (120) |
| 附表 3 隆 9 井钻进过程中钻具组合使用情况统计表 .....                              | (121) |
| 附表 4 隆 9 井钻进阶段钻头使用情况统计表 .....                                 | (126) |
| 附表 5 隆 9 井完井划眼钻头使用情况统计表 .....                                 | (132) |
| 附表 6 隆 9 井钻井液性能数据表 .....                                      | (134) |
| 附表 7 隆 9 井井下事故情况统计表 .....                                     | (135) |
| 附表 8 隆 9 井井下复杂情况统计表 .....                                     | (137) |
| 附表 9 隆 9 井 $D_c$ 指数法地层孔隙压力检测数据表 .....                         | (140) |
| 附表 10 隆 9 井测井资料法检测地层压力数据表 .....                               | (151) |
| 附表 11 隆 9 井钻井工程日志 .....                                       | (154) |
| 附表 12 隆 9 井钻井工程大事记 .....                                      | (195) |
| 附图 1 隆 9 井工程录井曲线 .....                                        | (220) |
| 鸣谢 .....                                                      | (225) |



# 第一章 青西油田勘探开发现状

## 第一节 玉门油田油气分布简况

玉门油田位于甘肃西部的玉门市，是中国的第一个石油工业基地，已有 60 多年的勘探开发历史。目前勘探领域有酒泉、昌马、民乐、潮水、雅布赖、银—额、武威等 7 个盆地（图 1-1）。

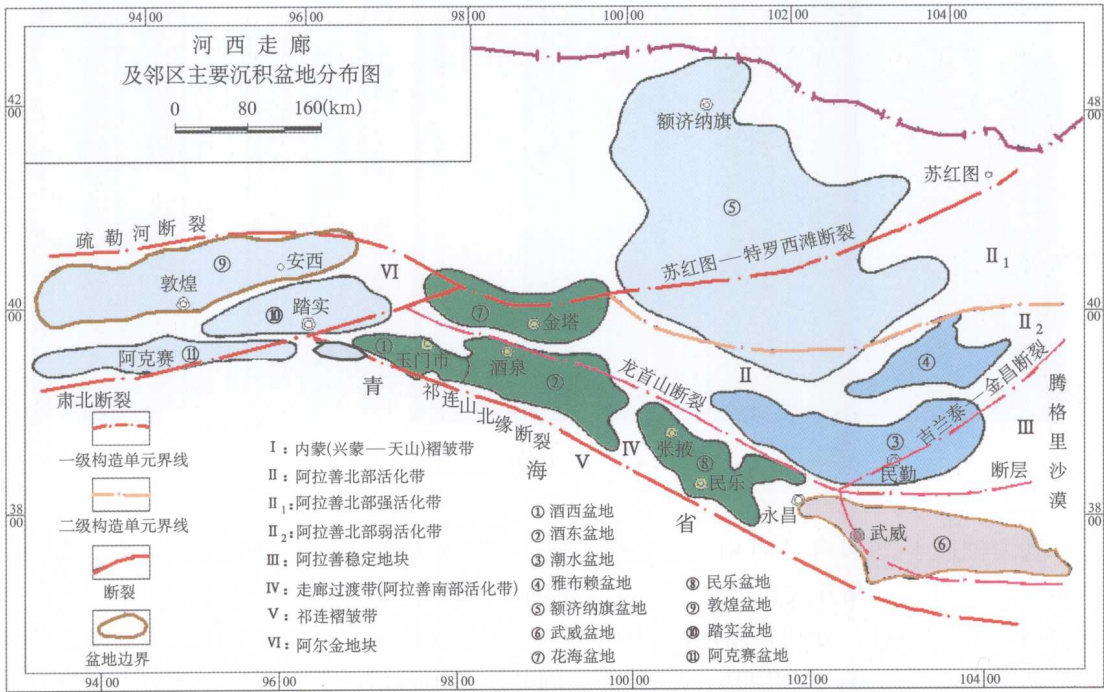


图 1-1 玉门油田勘探领域分布图

酒泉盆地西部位于甘肃省酒泉市，有较大的勘探潜力和丰富的勘探目标，东起文殊山，西至红柳峡，北达宽台山、黑山，南抵祁连山北麓。盆地面积 13000km<sup>2</sup>，自西向东分为酒西坳陷、嘉峪关隆起、酒东坳陷。

酒西坳陷位于酒泉盆地的西部，其南北边界分别为北祁连山北缘逆冲断裂带和阿尔金走滑断裂带（分支），现今面积约 2700km<sup>2</sup>。由于祁连山持续向北推覆，酒西坳陷南缘部分已掩伏于祁连山下。酒西坳陷自西向东依次分为青西凹陷、鸭北凸起、南部凸起、石大凹陷，主要沉积凹陷为青西、石大凹陷。

青西凹陷面积约 640km<sup>2</sup>，自东向西分为青南次凹（215km<sup>2</sup>）、青西低凸起（170km<sup>2</sup>）和红南次凹（255km<sup>2</sup>）。

截止到目前，在面积 2700km<sup>2</sup> 的酒西坳陷已发现 5 个油田，探明含油面积 56km<sup>2</sup>，

探明石油地质储量  $1.26 \times 10^8 \text{t}$ 。

## 第二节 青西油田勘探开发概况

青西油田位于酒西坳陷青西凹陷的南部,有专用公路穿过青西油田,交通便利。油田地表平均海拔 2500m,地面为陡峭的山区,油田北部为丘陵及戈壁,自然地理条件差(图 1-2)。油田所在区域属大陆性气候,冬季寒冷,长达 5 ~ 6 个月,夏季凉爽,春秋多季风,最大风力可达 9 级。年温差大,最高气温  $32^{\circ}\text{C}$ ,最低气温  $-26.7^{\circ}\text{C}$ ,日平均温差  $10 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 。年平均降雨量 157.2mm。



图 1-2 青西油田地表情况

青西油田于 1984 年 3 月由西参 1 井发现。西参 1 井完钻井深 4570m,完钻层位为下白垩统下沟组,完井方式为带眼管完井,试油日产油  $4.15\text{m}^3$ 、日产水  $49.51\text{m}^3$ 。之后于 1985 年 4 月和 7 月,分别在窟窿山和柳沟庄构造完钻了窿 2 井和柳 1 井,其中窿 2 井录井见到良好油气显示,由于油层污染严重,固井质量不合格,套管磨损,试油不彻底(得出了水层的错误结论)。柳 1 井于 1985 年 7 月采用带眼管完井,试油日产油  $5.8\text{m}^3$ 、日产水  $1.4\text{m}^3$ 。1987 年 9 月,经土酸处理后,日产油量上升到  $35\text{m}^3$ 。截止到 1989 年底,青西油田累计钻井 8 口,仅有 3 口井获得工业油流。随后由于勘探队伍参加吐哈油田勘探开发会战,暂时中断了青西地区的石油勘探工作。

1997 年 5 月在理顺吐哈与玉门管理体制后,玉门石油人经过认真研究评价,再一次把勘探的目标瞄准了青西地区。1998 年 7 月在柳沟庄构造钻探的柳 102 井获得突破,在泥云岩储集层中试油,获得初产日产油  $50\text{m}^3$ ,酸化压裂后日产油达到  $126\text{m}^3$ ,从此揭开了青西油田勘探开发的序幕。同年在窟窿山构造钻探的窿 101 井,再次在泥云岩储集层获得突破。为开拓该区油气勘探的新领域,使青西油田的评价勘探取得更加实质性进展,玉门石油科技工作者针对青西油藏特征及油气分布特点,广泛运用三维地震勘探技术,积极评价研究储集层分布特征和油藏内部结构,寻找油气富集区块,应用成像测井技术识别裂缝性储集层和评价油气层,注重油气层保护,完善试油工艺,采用酸化压裂等油



层改造增产措施，建立了适合该区裂缝性油藏勘探的技术系列。依靠这些技术，1999 年 隆 102、隆 4 等井相继获得高产油流，其中隆 102 井在泥云岩地层获日产油  $64.7\text{m}^3$ 、日产天然气  $7250.4\text{m}^3$ 。甩开部署钻探的隆 4 井，在砂砾岩储集层获得了重要突破，试油获日产油  $107\text{m}^3$ 、日产天然气  $10787\text{m}^3$ 。

2000 年，为解决“地震滞后、研究滞后”问题，制定了“多做地震多研究”的工作思路。通过与多家科研单位合作，引入逆掩推覆带勘探理论，采用三维地震等一系列勘探新技术，对青西凹陷石油地质特征进行精细的综合评价，发现了窟窿山逆冲构造带，弄清了构造、岩性及裂缝对油气分布的控制作用。经优选，在祁连山逆掩推覆带和北缘逆冲断裂带等主要勘探领域进行了针对性部署。

地质认识的突破有力地带动了勘探的突破，在“向南推进，两翼展开”的勘探战略的指导下，2000 年向南部署钻探隆 5 井、隆 6 井，并在三维地震覆盖面积以外，大胆向南甩开部署钻探隆 8 井。2000 年 12 月，隆 5 井喷出了高产油气流。2001 年，隆 6 井获得了日产  $120\text{m}^3$  的高产油流。同时，Q2-2 井、Q2-4 井、Q2-9 井等一批滚动开发井相继获得日产  $100\text{m}^3$  以上的高产油流。2002 年 4 月，隆 8 井第 4 测试层（井段 4056.9 ~ 4148.3m），经酸化压裂后，采用 5.5mm 油嘴试采，获得日产油  $201\text{m}^3$ 、日产天然气  $32000\text{m}^3$  的高产油气流（图 1-3）。至此，青西油田的勘探工作取得了巨大成功，窟窿山



图 1-3 隆 8 井获得高产油气流

构造油气规模基本得到控制，青西油田的规模进一步扩大，已初步具备亿吨级储量规模的勘探场面。到 2004 年 10 月，青西油田已完钻各类井 67 口，初产或经改造后日产油量超过 100t 以上的井有 18 口。到 2002 年 10 月，累计产油  $62.71 \times 10^4\text{t}$ ，已形成  $30 \times 10^4\text{t}$  的年生产能力。

青西油田的发现，结束了玉门油田 10 年没有新增储量的历史，为老油田焕发青春、再造辉煌打下了坚实的物质基础。2000 年度柳沟庄地区上报石油探明地质储量  $654 \times 10^4\text{t}$ ，石油可采储量  $104.7 \times 10^4\text{t}$ ，探明含油面积  $4.5\text{km}^2$ 。2001 年度窟窿山隆 101 区块上交探明石油地质储量  $1255 \times 10^4\text{t}$ ，探明含油面积  $8.7\text{km}^2$ 。2002 年度窟窿山隆 6 区块上交

探明石油地质储量  $1643 \times 10^4 \text{t}$ ，探明含油面积  $4.9 \text{ km}^2$ 。截止到 2002 年底，青西油田已累计探明石油地质储量  $3552 \times 10^4 \text{t}$ ，可采储量  $593.5 \times 10^4 \text{t}$ ，探明含油面积  $18.1 \text{ km}^2$ ，控制石油地质储量  $3853 \times 10^4 \text{t}$ ，控制含油面积  $17.9 \text{ km}^2$ 。

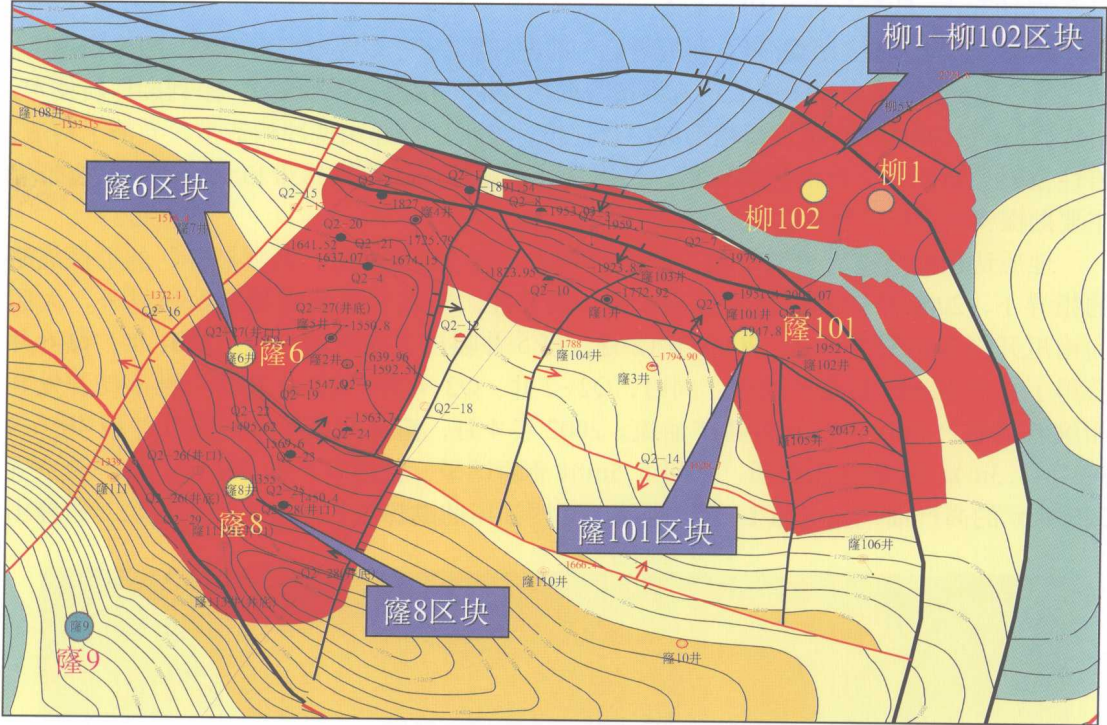


图 1-4 青西油田储量分布图

隆 8 井获得重大发现后，逆掩推覆带勘探技术攻关研究与应用不断取得进步。根据前陆盆地冲断带理论和模式，重新划分了二级构造带，逆冲断裂带成为盆地主要勘探领域。之后，窟窿山逆冲构造带勘探继续取得进展，基本明确窟窿山逆冲构造带整体构造面貌为一个北西西向展布的背斜带。经过认真研究，精心部署，2002 年决定向南甩开部署钻探隆 9 井，东西两翼展开部署钻探隆 110 井、隆 111 井和隆 10 井、隆 11 井，以继续扩展窟窿山砂砾岩油藏规模。2003 年三级储量规模达到  $7620 \times 10^4 \text{t}$ ，其中探明储量达到  $4691 \times 10^4 \text{t}$ 。青西油田储量分布见图 1-4。

### 第三节 青西油田地层基本情况

青西油田构造位置位于酒泉盆地酒西坳陷青西凹陷青南次凹南部的窟窿山逆掩推覆体中部。钻遇地层自上而下依次为第四系、第三系、下白垩统，部分井顶部钻遇推覆体志留系、白垩系。钻遇地层综述如下：

(1) 推覆体志留系 (S)：

早峡组 ( $S_3h$ )：为一套红色粗碎屑岩层，岩性主要为紫红色粗砂岩、粉砂岩、砂岩。

泉脑沟组 ( $S_2q$ )：上部为紫红色、黄褐色、灰绿色等杂色砂质页岩夹石灰岩，下部为灰绿色砂质页岩、钙质砂岩，夹硅质灰岩与生物碎屑灰岩。



肮脏沟组 ( $S_1a$ ): 以灰色、深灰色、浅灰色变质砂岩为主, 局部夹绿灰色板岩。

(2) 第四系 (Q): 杂色砾石层。

(3) 第三系 (R):

牛牯套—胥塘沟组 ( $N_2n+N_1t$ ): 岩性为棕黄色含砾泥岩、灰黄色泥岩、粉砂质泥岩与薄层杂色细砾岩、灰白色粉砂岩、泥质粉砂岩互层。

弓形山组 ( $N_1g$ ): 岩性为棕红色含砾泥岩、红色泥岩、粉砂质泥岩与红色细砂岩、灰白色粉砂岩、泥质粉砂岩互层。

白杨河组 ( $E_3b$ ): 岩性为红色泥岩及红色、棕黄色、灰黄色、紫色粉砂质泥岩、含砾泥岩与灰白色、浅红色细砂岩及灰白色泥质粉砂岩互层, 间夹白色粉砂岩。

柳沟庄组 ( $E_2l$ ): 上段岩性为紫色膏质泥岩, 下段岩性为棕褐色膏质泥岩。

(4) 下白垩统:

中沟组 ( $K_1z$ ): 岩性为深灰色泥岩及灰色、深灰色、浅灰色白云质泥岩与浅灰色白云质粉砂岩互层, 夹紫色泥岩。

下沟组  $K_1g_3$  段: 岩性为灰色、浅灰色、深灰色白云质泥岩与浅灰色白云质粉砂岩互层, 底部为一厚层浅灰色泥质白云岩。

下沟组  $K_1g_2$  段: 岩性为深灰色白云质泥岩、泥岩与浅灰色白云质粉砂岩呈不等厚互层。

下沟组  $K_1g_1$  段: 上部岩性为深灰色白云质泥岩、泥岩与浅灰色白云质细砂岩、灰色细砂岩呈不等厚互层; 中、下部岩性为深灰色白云质泥岩、泥岩与浅灰色含砾细砂岩、灰色泥质白云岩、浅灰色白云岩呈不等厚互层; 底部为一套杂色细砂岩。

下沟组  $K_1g_0$  段(未穿): 中上部岩性为深灰色泥岩与灰色细砾岩、灰色泥质白云岩互层, 下部岩性为深灰色泥岩与灰色含砾不等粒砂岩互层。

## 第四节 青西油田储集层基本特征

青西油田的储集层主要在下白垩统下沟组, 岩性以白云岩、泥质白云岩及砾岩为主。按岩性可分为碎屑岩、湖相碳酸盐岩、变质岩储集层三大类。按储集层孔隙类型及组合特征, 可分为三种类型的储集层: 孔隙型储集层、裂缝型储集层以及孔隙、裂缝、溶孔混合型储集层。总体上, 储集层主要有以下 3 个特点:

(1) 以陆源碎屑岩储集层为主, 岩性多为中砂岩和细砂岩。

(2) 储层沉积相类型以辫状河流相、冲积扇相和扇三角洲相占主导地位。储集条件良好的大型砂体主要分布在第三系内。下白垩统内砂体数量较多, 但规模一般相对较小, 储集条件较差。

(3) 孔隙型储集层主要分布在第三系, 以高孔隙度、高渗透率为特点。下白垩统为孔隙、裂缝、溶孔混合型储集层, 储集条件不及第三系。志留系为裂缝型变质岩储集层。

青西油田烃源岩层为下白垩统赤金堡组 ( $K_1c$ ) 上部—下沟组 ( $K_1g$ ) 下部地层。油气主要来源于暗色泥岩, 同时也来源于深灰色白云质泥岩及泥质白云岩。油气沿断裂运移至下沟组的中、上部聚集成藏。

青西油田盖层为下沟组顶部厚层状泥岩段(地层对比标志层, 厚 50 ~ 60m) 和中、下沟组内部的非渗透层以及第三系的柳沟庄组、白杨河组石油沟段。

构造是形成油气藏的背景。窟窿山构造油气并不整体富集, 油气分布于窟窿山构造

的局部圈闭内,局部圈闭控制了油气的富集。断裂系统对油气富集具有重要的控制作用。裂缝是主要储集空间和渗流通道。

青西油田的储集空间有孔隙和裂缝两种。孔隙包括粒间孔、溶蚀孔洞和微孔隙。溶蚀孔洞分为粒间溶孔、粒内溶孔、晶间溶孔及溶洞。裂缝包括构造缝、构造—溶蚀缝、成岩缝等。裂缝主要发育在构造轴部、断层附近、断层消失端、断层交汇处或褶皱转折部位。在地应力变化比较大的部位,如高倾角薄互层内、层间褶皱或地层发生褶曲部位裂缝也较发育。碎屑岩储集层有效孔隙度集中分布在 3% ~ 6% 范围内,渗透率主要分布在  $(2.94 \sim 31.12) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间。碳酸盐岩储集层有效孔隙度集中分布在 2% ~ 5% 范围内,渗透率主要分布在  $(1 \sim 24.37) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间。

对于裂缝型砂砾岩储集层来说,裂缝对储集层有着重要的改造作用,从而大幅度地提高了地层的渗透性。孔隙(次生)和裂缝两者的有机结合是这类裂缝型碎屑岩储集层高产的必备条件。对于白云岩储集层来说,裂缝一方面是重要的储集空间 and 最主要的渗流通道,对提高储集层渗透性起着关键性作用。同时还能促进溶蚀孔洞的形成,控制了白云岩储集层内油气的富集程度及单井产能的高低。下白垩统下沟组的产层均位于裂缝发育段内,构造缝、构造—溶蚀缝、微裂缝在储集层内交织成网,并沟通各类孔隙和次生孔隙(如溶蚀孔洞等),裂缝决定了产层的渗透性,只有当裂缝发育时,才可能成为经济上可供开采的储集层。商业油流井分布在裂缝发育区内。裂缝发育程度成为下白垩统下沟组储集层评价及油气层评价的主要指标。

近年来,青西油田勘探开发重心转向了窟窿山构造南部的逆掩推覆带,给勘探开发工作带来了极大的困难。主要表现在:

(1) 受山地地形的限制,需采用定向井钻井工艺技术。

(2) 窟窿山构造逆掩推覆带地层倾角陡,部分井区存在断层发育、岩石破碎、地应力严重不均衡等难题,造成所钻井井斜难以控制,井壁垮塌严重,井眼扩径明显,“狗腿”井段频繁出现等井下复杂情况。

(3) 推覆体老地层多为大块状硬地层,测井资料处理得出的岩石可钻性在 7 ~ 9 级,岩石密度为  $2.7 \sim 3.0\text{g}/\text{cm}^3$ ,部分井段岩石密度超过  $3.2\text{g}/\text{cm}^3$ ,与花岗岩相似,且层理欠发育,可钻性极差。

这些困难大大增加了钻探施工作业的风险,严重影响了录井、测井资料的质量和使用效果,增加了油气层评价的多解性,对油气层判别的准确性带来了不利的影响。

## 第二章 钻井工程概况

### 第一节 钻井地质概况

窿9井位于甘肃省玉门市青西油田窿8井西南1716.31m处，是酒泉盆地青西凹陷窟窿山逆冲断裂带窟窿山构造南翼上的一口预探井。钻探目的主要为：(1)取全取准上部地层的各项资料，进一步认识逆冲断裂带地质情况；(2)了解窟窿山、妖魔山冲断片的含油气性，扩大油田含油面积。钻探主要目的层为下白垩统下沟组  $K_1g_{2+3}$ 、 $K_1g_1$ 、 $K_1g_0$  段。设计井深4500m，设计完钻层位为下白垩统下沟组  $K_1g_0$  段。实际完钻井深4500m，实际完钻层位为下白垩统下沟组  $K_1g_0$  段（未穿）。

#### 一、设计与实际地层分层

##### 1. 设计地层分层

窿9井初期钻井地质设计主要根据地震资料和邻井实钻结果所建立的窿9井地质模型来设计钻遇地层剖面（表2-1）。

表 2-1 窿9井设计地层及主要岩性

| 地层         | 组、段             | 底界深度<br>(m) | 厚度<br>(m) | 主要岩性描述                                                                                                        |
|------------|-----------------|-------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第四系        |                 | 40          | 40        | 杂色砾岩                                                                                                          |
| 志留系<br>(S) | 旱峡组 ( $S_3h$ )  | 510         | 470       | 大套紫红色、暗紫红色白云质粉砂岩、粉砂质泥岩，底部为灰色灰质白云岩                                                                             |
|            | 泉脑沟组 ( $S_2q$ ) | 1160        | 650       | 上段以灰色、灰绿色、绿灰色凝灰岩为主，夹白云质粉砂岩及白云质泥岩；下段以绿灰色闪长岩、深灰色凝灰岩为主，夹灰色凝灰质泥岩                                                  |
|            | 肮脏沟组 ( $S_1a$ ) | 2025        | 865       | 大套灰黑色、深灰色千枚岩、板岩和绿灰色白云质砂岩，夹灰色凝灰岩与浅灰色、绿灰色白云岩                                                                    |
| 白垩系        |                 | 2070        | 45        | 棕红色、灰黄色、灰色、深灰色含砾泥岩、白云质泥岩、泥灰岩与白云质砂岩、砾状砂岩、含砾砂岩呈等厚互层                                                             |
| 第三系<br>(R) | 弓形山组 ( $N_1g$ ) | 2460        | 390       | 以灰黄色、棕色泥质粉砂岩、泥质砂岩为主，夹灰黄色、棕红色、棕色粉砂质泥岩；底部为棕色含砾泥质粉砂岩夹棕红色粉砂质泥岩                                                    |
|            | 白杨河组 ( $E_3b$ ) | 2880        | 420       | 上部为棕红色、棕色泥岩与棕色砂质泥岩互层，局部夹灰白色泥膏岩；中部以棕红色泥岩为主，局部夹薄层泥质粉砂岩；下部为棕褐色、灰色泥质砂岩、粉砂岩与棕褐色、棕红色泥岩、砂质泥岩互层，底部夹石膏条带               |
|            | 柳沟庄组 ( $E_2l$ ) | 2920        | 40        | 以棕色、绿灰色泥膏岩为主，夹绿色石膏质泥岩                                                                                         |
| 白垩系<br>(K) | 中沟组 ( $K_1z$ )  | 3120        | 200       | 上部以深灰色、灰黑色白云质泥岩与灰白色白云质粉砂岩为主；下部为深灰色、灰黑色白云质泥岩、钙质泥岩、泥岩与浅灰色、灰白色白云质粉砂岩、细砂岩不等厚互层                                    |
|            | 下沟组 ( $K_1g$ )  | 4500        | 1380      | 中上部为深灰色、灰黑色白云质泥岩、钙质泥岩、泥岩与浅灰色、灰白色泥质白云岩、粉砂岩、细砂岩互层，含黄铁矿；下部为深灰色、灰黑色白云质泥岩、钙质泥岩、浅灰色泥质白云岩与浅灰色、灰白色钙质粉砂岩、细砂岩、含砾岩呈不等厚互层 |



2. 实际地层分层

隆 9 井在钻至井深 2950m 时仍未钻遇原设计中预测的井深 2025m 的逆掩推覆体地质界面。针对逆掩推覆体地层厚度较原设计明显增加和钻井难度明显加大等新情况，在钻井过程中适时开展了 VSP 测井（如图 2-1、图 2-2 所示）。通过 VSP 综合井眼地震采集处理系统井场快速处理，得到了隆 9 井志留系推覆体地震速度高达 6000m/s，大大高于隆 8 井对应地层 4000m/s 的地震速度。这种横向速度的剧烈变化导致了隆 9 井实钻推覆体深度（3594m）远大于原地质设计深度（2025m）（见图 2-1），同时被声波测井资料所佐证。实际钻遇地层剖面见表 2-2。

表 2-2 隆 9 井实际地层分层与岩性描述

| 地层名称       |                            | 底界深度<br>(m) | 视厚度<br>(m) | 主 要 岩 性 综 述                                                                                                                               |
|------------|----------------------------|-------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 石炭系 (C)    |                            | 132.00      | 116.00     | 顶部岩性为杂色砾岩；中下部岩性以灰黑色碳质泥岩与黑色煤呈不等厚互层为主，夹深灰色白云质大理岩与深灰色、黄色变质砂岩                                                                                 |
| 志留系<br>(S) | 早峡组<br>(S <sub>3h</sub> )  | 378.00      | 246.00     | 岩性为黄色、杂色、灰色、灰白色、肉红色变质砂岩与紫红色板岩呈不等厚互层                                                                                                       |
|            | 泉脑沟组<br>(S <sub>2q</sub> ) | 1516.00     | 1138.00    | 上部岩性为深灰色、灰色、灰绿色变质砂岩与深灰色板岩；中部岩性以深灰色、灰色、灰绿色变质砂岩及深灰色、棕红色、灰色板岩为主，夹灰绿色变质闪长岩、千枚岩、变质安山岩；下部岩性以灰色、灰绿色闪长岩为主，夹灰绿色板岩、千枚岩及灰白色花岗岩、灰色、灰白色石英岩与灰绿色糜棱岩      |
|            | 肮脏沟组<br>(S <sub>1a</sub> ) | 3223.00     | 1707.00    | 上部岩性以深灰色、灰色千枚岩与灰色变质闪长岩为主，夹灰色变质砂岩和灰白色石英岩；中部岩性以灰色千枚岩、糜棱岩为主，夹灰白色石英岩；下部岩性为深灰色、灰色千枚岩与灰色糜棱岩呈不等厚互层                                               |
| 白垩系<br>(K) | 推覆体<br>(K)                 | 3594.00     | 371.00     | 顶部岩性为杂色砾岩；中下部岩性以灰黑色、深灰色白云质泥岩为主，夹灰色白云质粉砂岩                                                                                                  |
|            | 中沟组<br>(K <sub>1z</sub> )  | 3715.00     | 121.00     | 岩性以深灰色、灰色白云质泥岩为主，夹灰色白云质粉砂岩                                                                                                                |
|            | 下沟组<br>(K <sub>1g</sub> )  | 4500.00     | 785.00     | 上部岩性以深灰色白云质泥岩为主，夹灰色泥质白云岩；中部岩性以深灰色白云质泥岩与灰色白云质粉砂岩呈不等厚互层为主，夹灰色泥质白云岩；下部岩性以深灰色白云质泥岩与灰色白云质粉砂岩呈不等厚互层为主，夹灰色白云质细砂岩、粗砂岩和灰色泥质白云岩、砂质白云岩、砂砾岩及灰色含砾不等粒砂岩 |

该井自上而下钻遇的地层为：推覆体古生界石炭系 (C)、推覆体志留系早峡组 (S<sub>3h</sub>)、泉脑沟组 (S<sub>2q</sub>)、肮脏沟组 (S<sub>1a</sub>)、推覆体白垩系、下白垩统下沟组 K<sub>1g</sub>。实际钻遇地层情况综述如下：

1) 推覆体古生界石炭系 (C)

录井井段 16.00 ~ 132.00m，录井视厚度 116.00m。上部岩性为杂色砾岩、灰黑色碳质泥岩及煤呈不等厚互层；中部岩性以灰黑色碳质泥岩为主，夹薄层煤；下部岩性为深灰色白云质大理岩、灰黑色碳质泥岩、煤及深灰色变质砂岩呈不等厚互层。

接触关系：上覆地层石炭系与下伏地层早峡组呈不整合接触。



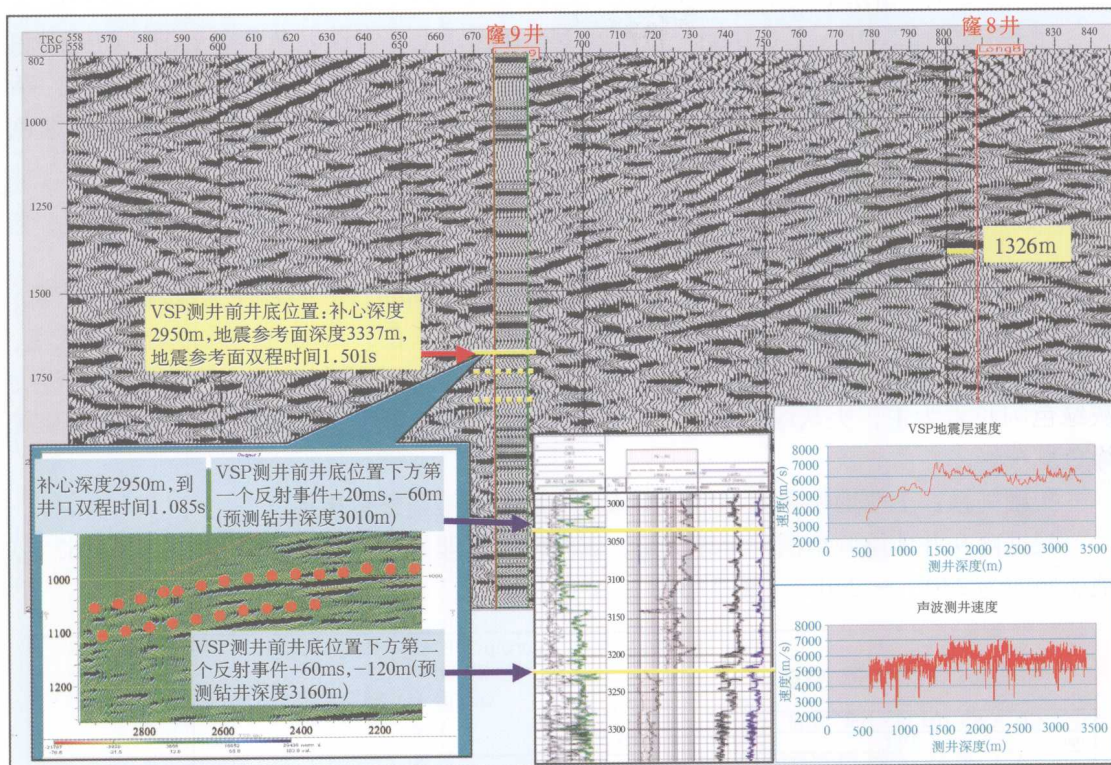


图 2-1 隆 9 井 VSP 测井井场实时数据处理成果图

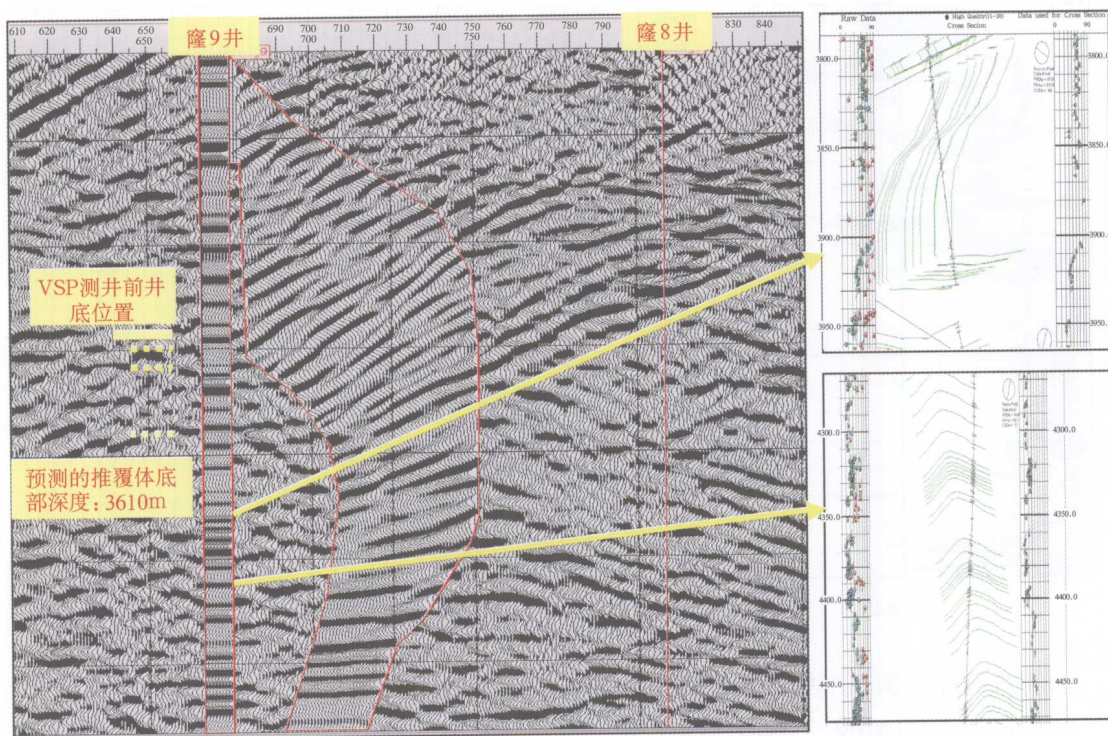


图 2-2 隆 9 井 VSP 综合室内数据处理成果图