

相国寺储气库钻采 工艺技术

XIANGGUOSI CHUQIKU ZUANCAI GONGYI JISHU

李杰 杨健 马辉运 郭建华 等编著



石油工业出版社

相国寺储气库钻采工艺技术

李 杰 杨 健 马辉运 郭建华 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以相国寺储气库钻采工程设计为主线,重点阐述了相国寺储气库钻井、完井、注采、动态监测、老井评价与封堵工程,介绍了设计重点、技术路线、技术要求、应用技术和现场效果等内容,是国内第一本储气库钻采工艺方面的技术专著。

本书可供从事储气库工作的管理人员、工程技术人员,以及相关院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

相国寺储气库钻采工艺技术/李杰等编著. —北京:
石油工业出版社,2018.4

ISBN 978-7-5183-2462-0

I. ①相… II. ①李… III. ①地下储气库-天然气开
采-华莹 IV. ①TE822

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 017385 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www. petropub. com

编辑部:(010)64523537 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:10.25

字数:260 千字

定价:88.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《相国寺储气库钻采工艺技术》

编 委 会

主 编：李 杰

副主编：杨 健 马辉运 郭建华

成 员：谢南星 刘文忠 毛川勤 马 勇 胡锡辉
唐 庚 杨华建 苏 强 何轶果 孙风景
罗 伟 钟海峰 熊 伟 濮 强 徐 立
张凤琼 黎洪珍 梁 兵 曹 权 夏连彬
付 志 沈欣宇 周代生 刘 媛 张玉婷
王 斌 熊 杰

前 言

随着国民经济的持续快速发展,目前,我国已经成为世界第二大石油消费国,也是世界第二大石油进口国。相关预测分析资料表明,到2020年,我国石油供需缺口将达到 $2.7 \times 10^8 \text{ t}$,天然气供需缺口超过 $800 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。天然气的安全供气不仅关系到国家能源安全和社会经济发展,还关系到国民的家庭日常生活。建立我国地下油气储备体系,对于保障油气资源安全,调峰保供,确保经济高效发展和保持社会生活正常秩序具有重要意义。

四川盆地已经建成了以南、北环线相连的环形输气管网系统,但这一环形管线的东部运行压力明显高于南部及西北部。川渝地区天然气主产区在盆地东部和东北部,天然气基本上是通过南、北环线输往主要消费地区南部和西北部,或通过忠县—武汉天然气管道(忠武线)输送到两湖地区。中卫—贵阳天然气管道(中贵线)是一条将我国三大气区连通的输气联络线管道,它把国内多条东西走向的干线管道相互联网,形成全国和区域不同层次的大型环状管网,对于提高管网调配灵活性,保障供气安全有重要作用。相国寺石炭系气藏位于四川盆地东部,具有优越的地理位置。将相国寺石炭系气藏改建为相国寺储气库主要解决川渝市场的季节调峰,同时具备向中卫—贵阳管线提供季节调峰的能力。

相国寺储气库建设工程自2010年启动,2011年10月相国寺储气库建设工程正式开工,2013年6月首次试注成功后,实现“五注三采”。截至2017年8月,相国寺储气库累计注入气量 $59.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、调峰采气 $24.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。中国石油西南油气田分公司全程组织相国寺储气库钻采工程建设的设计、咨询以及实施工作,积累了丰富的经验。随着西气东输管道、陕京管道、中俄管道、中缅管道等长距离输气管道的陆续建设投运,对地下储气库工程的需求日益紧迫。为适应储气库建设发展的需要,推广储气库建设经验,中国石油西南油气田分公司的科研设计人员对相国寺储气库钻采工艺技术进行了系统总结。

全书由李杰、杨健、马辉运、郭建华统稿。第一章由郭建华、张凤琼、夏连彬编写,李杰审定。第二章由郭建华、张凤琼、沈欣宇、张玉婷编写,杨健审定。第三章由杨华建、郭建华、苏强、付志、周代生编写,李杰、刘文忠、胡锡辉审定。第四章由何铁果、王斌、濮强、曹权编写,唐庚、马勇审定。第五章由孙风景、梁兵、黎洪珍、熊杰编写,马辉运、谢南星审定。第六章由罗伟、熊伟、徐立编写,唐庚、毛川勤审定。第七章由郭建华、钟海峰、孙风景、刘媛编写,马辉运审定。全书初稿完成后,许可方、杨健对全书进行了统一修改。

本书以相国寺储气库钻采工程设计工作为纽带,以相国寺储气库现场实施效果为例证,重点阐述了相国寺储气库钻井、完井、注采、动态监测、老井评价与封堵工程,介绍了设计重点、技术路线、技术要求、应用技术和现场效果等,可供从事地下储气库工作的管理和领导人员、科研人员、工程技术人员,以及相关院校师生参考。希望本书的出版对国内储气库发展起到一定的示范和指导作用。

由于笔者水平有限,书中难免有疏漏或值得探讨之处,敬请批评指正。

目 录

第一章 储气库的发展历程和作用	(1)
第一节 国内外地下储气库发展历程	(1)
第二节 地下储气库的类型与作用	(1)
第二章 相国寺储气库概述	(3)
第一节 相国寺石炭系气藏改建储气库条件	(4)
第二节 相国寺储气库工程概况	(5)
第三章 相国寺储气库钻井工艺技术	(7)
第一节 钻井工程难点	(7)
第二节 钻井方式及平台(井场)设计	(7)
第三节 井身结构及井眼轨迹设计	(10)
第四节 钻井工艺技术	(28)
第五节 钻井液工艺技术	(35)
第六节 固井工艺技术	(39)
第四章 相国寺储气库完井工艺技术	(47)
第一节 完井工艺设计原则	(47)
第二节 完井方式优选及设计	(47)
第三节 完井管柱设计技术	(57)
第四节 井下防腐工艺技术	(77)
第五节 井口装置及安全控制技术	(81)
第五章 相国寺储气库注采工艺技术	(84)
第一节 注采工艺设计原则	(84)
第二节 注采能力设计	(86)
第三节 注采能力测试技术	(99)
第四节 注采运行评价技术	(106)
第六章 相国寺储气库老井评价与封堵技术	(108)
第一节 老井处理的基本原则与井筒评价	(108)
第二节 老井封堵工艺	(115)
第三节 老井封堵施工及参数优化	(125)
第四节 老井封堵后监测与评估	(128)
第七章 相国寺储气库动态监测工艺技术	(132)
第一节 动态监测方案	(132)

第二节 永置式压力温度监测工艺技术 (133)

第三节 绳索作业监测工艺技术 (142)

第四节 其他监测工艺技术 (147)

参考文献 (157)

第一章 储气库的发展历程和作用

天然气地下储备在欧美发达国家已经有近一个世纪的历史,已经成了天然气工业体系中不可或缺的重要组成部分,而我国地下储气库才经历十多年的发展历程。目前世界上的主要地下储气库类型包括:枯竭油气藏储气库、含水层储气库、盐穴储气库、废弃矿坑储气库等,数量达到 715 座左右。地下储气库是将从气田采出的天然气或管道天然气异地重新注入地下空间而形成的一种人工气藏。随着国家对空气质量和环境保护的日益重视,天然气作为一种清洁能源得到越来越广泛的应用。20 世纪初,随着天然气管线运输的发展,天然气消费需求日益扩大,同时区域性和季节性用气不均衡矛盾日渐突出,地下储气库建设的必要性也日渐突显。

第一节 国内外地下储气库发展历程

1915 年,加拿大安大略省利用枯竭气藏建成了世界上第一座储气库。1916 年,美国在纽约州建成了世界上的第二座储气库,容积为 $6200 \times 10^4 \text{ m}^3$,这个储气库一直运行至今。1919 年、1929 年美国在肯塔基州建成了第三、第四座储气库。1946 年,美国在肯塔基州和印第安纳州交界处建成了世界上第一座含水层储气库,地层为埋深 170m 的石灰岩储层。1953 年在芝加哥附近建成了赫舍尔水层储气库。1959 年苏联建成了第一座盐穴储气库,其后法国、德国、英国和丹麦等相继建成了盐穴储气库。截至 2009 年,共建成 74 座盐穴储气库。

20 世纪 90 年代,我国开始对储气库开展研究工作,建库的主要目的是调节冬夏用气的不均衡性。2000 年在天津大港利用大张坨凝析气藏建成了国内第一座大型油气藏型地下储气库,为京津冀地区用气“调峰”发挥了“第二气源”的作用。2001 年,以江苏金坛地下盐穴作为国内首个盐穴储气库的建库目标,启动了可行性研究项目。随着天然气工业的快速发展,2010 年以来,我国的储气库建设进入了快速发展阶段,在大港、华北、江苏、辽河、新疆、西南、中原、大庆、吉林、胜利等油田开展了油气藏型储气库的研究和建设;在湖北、河南、江苏、云南、湖南等地展开了盐穴储气库的研究和建设;在大港油田、华北油田开展了含水层储气库的筛选研究工作。

第二节 地下储气库的类型与作用

天然气是一种优质、高效、清洁的能源,自 20 世纪 90 年代以来,天然气在能源消费中的比重持续高速增长。世界石油和天然气储运领域出现了两个主要变化:一是世界天然气管道的总长度首次超过原油管道总长度;二是地下储气库的建设有了明显发展。天然气的生产、运输和消费是一个独立的体系。一般情况下,气田生产的天然气是通过长输管道送往用户集中的

地区,然后通过地区分销网络送至终端用户。天然气存储和运输是联系产地与用户的纽带和中间环节,其工作状态受生产和消费的调控。天然气在其生产、运输和销售过程中,存在着用气需求的不均衡性和存储的特殊性。解决好管道运输能力与下游用户峰谷用气不均衡之间的矛盾,是保障天然气上、中、下游协调发展,提高行业总体经济效益的核心问题。

目前,地下储气库储气容量已占世界总储气容量的 90% 以上。建造地下储气库主要可起到如下作用:一是解决调峰问题,调节天然气生产相对平稳和用户需求不平衡之间的矛盾是地下储气库的基本功能。二是解决应急安全供气问题,当输气管道突发事故或自然灾害造成供气中断或检修需停止供气时,地下储气库可作为应急备用气源保持安全连续地向用户供气。三是,优化管道的运行,地下储气库可使上游气田生产系统的操作和管道系统的运行不受市场消费量变化的影响,利用储气设施实现均衡生产和输气,提高上游气田和管道的运行效率,降低运行成本。四是用于战略储备。五是用于商业运作,提高经济效益,利用储气库从天然气季节性差价或月差价中获取利润。

从 1915 年加拿大首次在 Welland 气田开展储气试验到现在,全球已建成 715 座地下储气库,共计 23007 口注采井,总工作气量为 $3930 \times 10^8 \text{ m}^3$, 平均每小时产出 $2.35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气。这些运营的储气库中以枯竭油气藏型储气库为主,其余分别为含水层型、盐穴型、岩洞型、废弃矿坑型储气库。

建在地下天然多孔储层中的储气库包括利用枯竭油气藏建造的储气库和利用含水地层建造的储气库。在地下天然多孔储层中建造储气库与气藏开发有许多共同点,更有本质的差别。一是储气库要在更大开采强度状态下运行,一个运行周期内储气库内要采出占储量 40% ~ 60% 的气体,在同样时间间隔内,气藏的采出率还不超过 3% ~ 5%。二是储气库是按照运行期无限长来计算的,有注有采,不会完全枯竭,在储气库中每年仍有占总体积的 30% ~ 40% 的气体残留在其中,而气藏的开采期为 20 ~ 30 年,并且要从其中采出尽可能多的天然气。三是储气库按照工况交替状态进行运行,气体时而注入,时而采出,相应的工艺特性也要周期性改变。

建在地下空腔中的储气库包括:建在现有的矿井、隧道等人工坑道内的储气库和建在专门建造的洞穴内的储气库。在盐层中建造储气库与在枯竭油气藏或含水层中建造储气库相比,其费用昂贵得多,投资可相差 3 ~ 4 倍。

第二章 相国寺储气库概述

相国寺储气库是我国西南地区的首个储气库,设计库容 $42.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 垫底气量 $19.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 工作气量 $22.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 设计最大日注气量 $1380 \times 10^4 \text{ m}^3$, 季节调峰最大日采气量 $1393 \times 10^4 \text{ m}^3$, 应急调峰最大日采气量 $2855 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。相国寺储气库于 2011 年 10 月 18 日正式开工建设, 2013 年 6 月 29 日开始注气; 2014 年 7 月, 实现日注气 $1000 \times 10^4 \text{ m}^3$, 2014 年 12 月 1 日开始试采, 最大日采气量 $1832 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

相国寺储气库包含注采站 7 座、注采井 13 口、监测井 6 口、封堵井 21 口, 集输场站 2 座 (铜梁站、旱土站), 集注站 1 座, 注气干线 19.52km、采气干线 13.66km, 铜相线 84.2km (铜梁站—相国寺, $\phi 813 \text{ mm} \times 14.2 \text{ mm}$)、相旱线 35.5km (相国寺—旱土站, $\phi 813 \text{ mm} \times 11 \text{ mm}$)、旱白线 4.2km (旱土站—白果树, $\phi 610 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$)。

相国寺储气库具有以下功能:

- (1) 调峰。缓解用户对天然气需求量的不同和负荷变化而带来的供气不均衡性。
- (2) 提供应急供气服务。天然气市场需求增长迅猛, 对管网的安全、平稳运行要求越来越高, 安全、平稳的供气对促进区域经济发展至关重要, 一旦管网出现事故, 对经济和社会的影响都将是非常重大的。同时, 可对临时用户或长期用户临时增加的用气量提供应急供气服务。
- (3) 天然气战略储备。当气田生产中断不足时, 地下储气库可作为补充气源, 保证供气的连续性和提高供气的可靠性。
- (4) 提高输气效率。地下储气库可使天然气生产系统的操作和输气管网的运行不受天然气消费不均衡性的影响, 有助于实现均衡性生产和作业; 有助于充分利用输气设施的能力, 提高管网的利用系数和输气效率, 降低输气成本。

相国寺储气库与中贵线和川渝环形管网连接, 进而接入全国天然气管网。中贵线是一条将我国三大气区连通的重要天然气管道, 它把国内多条东西走向的干线管道相互联网, 形成全国和区域不同层次的大型环状管网, 提高了管网调配灵活性, 并可保障供气安全的输气联络线畅通。川渝环形管网将川渝地区五大油气产区的区域性管网串连连通, 形成了川渝地区管网构架, 担负着川渝地区、云贵部分地区及两湖地区的天然气输送任务。相国寺储气库地理位置与川渝管网关系见图 2-1。

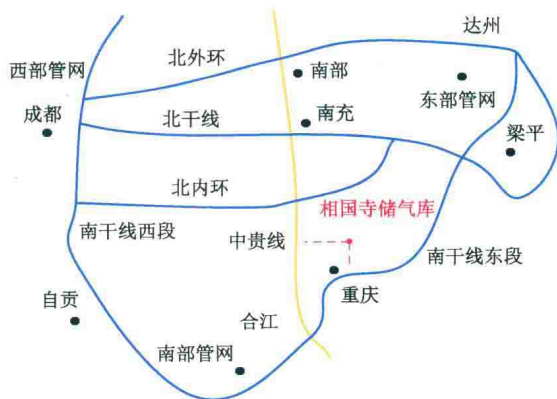


图 2-1 相国寺储气库与川渝环形管网示意图

第一节 相国寺石炭系气藏改建储气库条件

一、勘探情况

相国寺地下构造发现于1942年,1960年开始钻探X1井,同年12月发现茅口组气藏。1977年10月,构造高点X18井在石炭系钻获高产气层,发现石炭系气藏,至2009年底共完钻井37口,获气井19口,探明长兴组、茅口组、石炭系三个气藏,茅口组和石炭系为主要气藏。三个气藏天然气探明储量共计 $76.44 \times 10^8 \text{ m}^3$,技术可采储量为 $60.67 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。石炭系气藏已探明地质储量 $41.48 \times 10^8 \text{ m}^3$,技术可采储量 $41.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

二、开发情况

相国寺石炭系气藏开发始于1977年11月14日相18井的投产,1980年完成开发方案设计并实施,在开采规模 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 下,稳产至1987年12月,随后开始递减。截至2009年12月底,累计采气 $40.07 \times 10^8 \text{ m}^3$,剩余地质储量 $1.41 \times 10^8 \text{ m}^3$,剩余可采储量 $1.1 \times 10^8 \text{ m}^3$,地质储量采出程度96.6%,累计产凝析水 1780 m^3 ,产地层水 110 m^3 。

三、改建前气藏生产井井况

至2009年12月底,气藏共有生产井5口,日产气量已降至 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右,生产套压 $1.23 \sim 1.66 \text{ MPa}$ 。生产油压 $1.23 \sim 1.65 \text{ MPa}$,这些井都是在1977年至1979年之间建成的,已有30多年的生产史,油套管腐蚀和井筒状况都存在一些不确定性。

四、气藏保存条件及密封性分析

(一) 盖层密封性分析

相国寺石炭系气藏上与二叠系、下与志留系均呈假整合接触。二叠系底部梁山组有广泛分布的、厚度约9m的致密泥页岩及茅口组的致密石灰岩为盖层,下伏志留系页岩层为底部隔层,形成了良好的封闭条件。相国寺石炭系气藏与茅口组气藏地层压力、流体性质相差大,说明相国寺石炭系气藏与茅口组气藏不连通,也说明盖层的密封性良好。

(二) 断层密封性分析

相国寺石炭系气藏主断层都发育在构造翼部低处的转折部位,派生断层一般紧邻其上。多数断层断点都在圈闭线以下,远低于断层溢出点,控制相国寺构造的主断层并未破坏石炭系气藏的完整性。相国寺石炭系气藏具备原始的良好保存条件。自1977年钻获石炭系气藏生产至今,在区域内,未发生过剧烈的破坏性构造运动,气藏的保存条件没有经受过任何的破坏性构造作用。

五、气藏储渗性能分析

(一) 有效储层分类

相国寺石炭系因沉积后遭风化剥蚀作用造成地层厚度较薄,各井钻厚差异不大,最厚 26.5m,最薄 7.5m,绝大部分是石炭系钻厚都在 10m 左右,整体上储层连续分布,厚度相对稳定。由于成岩期后的强烈次生作用造成储集层孔隙度较高,平均孔隙度 7.47%。

(二) 储层渗流能力分析

1989 年与 2010 年试井资料解释表明,相国寺石炭系储层渗流能力强,在长期的生产过程中储层渗流能力没有发生明显的变化。

六、气藏连通性分析

各井完井测试地层压力对比显示,气藏后期完井的气井受到早期气井生产的影响,形成了先期压降,表明气藏各井井间连通性好。

七、枯竭条件下应力敏感效应影响程度分析

储层应力敏感性就是在岩石受到的有效应力增加时,孔隙度、渗透率等物性参数出现下降的趋势。对于同一个气藏,随着气藏的开采,气藏压力亦随之不断下降,储层孔隙将产生一系列的变化,这主要是由岩石和流体压缩引起的。根据川东石炭系岩样分析及相国寺石炭系气藏渗流能力分析证明相国寺石炭系气藏应力敏感性不强。

八、边水活跃性分析

相国寺石炭系气藏边水具有封闭有限、水体较小,能量不大且具有均匀进入的特点,因此在气藏多年的开采中边水向气藏的推进不大。在气藏压降储量图上累计采气量与视地层压力的关系基本上为一条直线,后期段无明显上翘,说明边水对气藏的开采无明显影响。

九、含油气特征分析

天然气为主,CH₄ 体积含量为 97% 以上,C₂H₆ 含量 1%,重烃含量微,H₂S 含量 0.002 ~ 0.007g/m³之间。天然气相对密度 0.567,为干气气藏。单井原始无阻流量在 145 × 10⁴ m³/d 以上,气井产能高。

第二节 相国寺储气库工程概况

一、关键运行参数

储气库运行压力:11.7 ~ 28MPa;原始地层压力为 28.73MPa,储气库上限压力取 28MPa,根据气藏压降方程,对应的库容为 40.5 × 10⁸ m³。

根据对川渝管网调峰需求分析,满足川渝管网调峰要求的井口最低压力为 7.0MPa,因此相国寺储气库下限压力以井口压力 7.0MPa、最小合理采气量 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 对应的地层压力为 11.7MPa,确定储气库下限压力为 11.7MPa。利用气藏压降方程,计算对应的垫底气量为 $17.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,对应的工作气量为 $22.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

二、注采周期

储气库的主要作用就是调节季节性用气峰谷差,或者在发生意外时能保证供气的连续性。结合川渝地区供气特点综合分析,相国寺地下储气库的运行周期确定为:

- 采气期:11 月 15 日—3 月 14 日,共 120 天;
 - 注气期:3 月 26 日—10 月 30 日,共 220 天;
 - 平衡期:3 月 15 日—3 月 25 日,11 月 1 日—11 月 14 日,共 25 天。
- 平衡期主要用于气库设施检修、气藏压力平衡、资料录取等。

三、建设规模

相国寺储气库正常生产最大注气量为 $1253 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,最大采气量为 $1390 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。储气库战略应急最大采气量为 $2855 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,战略应急采空后一个注气周期注满储气库的最大注气量为 $1383 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据储气库运行方案,注气系统设计规模为 $1400 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采气系统设计规模为 $2800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,铜相线设计规模为 $2100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,相旱线设计规模为 $1700 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,旱白线设计规模为 $830 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

四、储气库建设的主要工程内容

相国寺储气库主要工作量:封堵或修复利用与储气库相关的老井 21 口,新钻注采井 13 口(XC1、XC2、XC3、XC4、XC6、XC7、XC8、XC10、XC11、XC15、XC16、XC19、XC22 井)和监测井 5 口(XJ1、XJ2、XJXJ3、XJ4、XJ5 井),新建注采井场 7 个点号 2、点号 4、点号 5、点号 6、点号 7、点号 9、点号 11,集注站 1 座,注采管线 5 条,输气管线 3 条等(表 2-1)。

表 2-1 相国寺储气库注采井井场及井组表

井场点号	井数(口)	井名		备注
		定向井	水平井	
2	2	XC15 井、XC16 井		XQ1 井老井场
4	2	XC10 井	XC8 井	X7 井老井场
5	2	XC7 井	XC1 井	新建井场
6	2	XC4 井、XC6 井		X5 井老井场
7	1	XC3 井		X30 井老井场
9	2	XC2 井、XC11 井		新建井场
11	2	XC19 井、XC22 井		新建井场

第三章 相国寺储气库钻井工艺技术

第一节 钻井工程难点

相国寺储气库以枯竭型气藏为建库原形,出露地层老、地层高陡等特点,因此相国寺储气库钻井具有以下难点。

(1)石炭系、茅口组和长兴组储层已进入开发后期,储层压力系数极低(0.1~0.2),液体钻井液钻进极易井漏,压差卡钻风险极高。尤其是储气库目的层石炭系不仅钻井过程中易井漏、压差卡钻风险高,且钻完井过程中储层保护难度大。

(2)出露地层老,嘉陵江组及以上地层井漏严重,以及多个开发后期的低压层,固井质量难以保证。

(3)气显示层多,构造上的长兴组、茅口组裂缝发育,属异常高压层,若钻遇未开发的裂缝原始压力,可能出现漏喷同层。

(4)库区内煤矿等矿业较多,增大了安全钻井和矿场保护的难度。

(5)龙潭组、梁山组地层极易垮塌且与低压漏失井段同存,提高钻井液密度抑制垮塌受限,易出现垮塌与压差卡钻,若油层套管($\phi 177.8\text{mm}$)未能封过梁山组地层,极易导致下一开($\phi 152.4\text{mm}$)钻井过程中梁山组底部层段垮塌的风险,会导致水平井钻进复杂。

(6)石炭系储层薄,地层倾角及变化趋势难以准确掌握,会导致使储层水平井段钻进中难以达到始终在薄储层中穿行的储层完整性要求。

(7)井漏、垮塌、卡钻等风险极大地增加了保障每口注采井的井眼完整性的难度。

第二节 钻井方式及平台(井场)设计

一、钻井方式

枯竭气藏型储气库的改建都需要新钻注采井。为了有利于后期建设和管理,需要对钻井方式进行合理选择。一般根据应构造位置特点、气藏工程、注采能力设计,并结合工程建设难点,综合论证确定需要新钻注采井数与钻井方式,从均衡注采的角度确定直井、定向井(丛式井)的布置。

(一)直井钻井方式优缺点

1. 优点

(1)钻井工艺简单易操作,不易出现施工复杂和事故,风险小。

(2) 钻井井深最短,单井钻井周期最短,钻井工程投资最低。

(3) 直井作用于井壁的摩擦力小,有利于各种管柱的下入。

(4) 直井相对于定向井更易于提高固井质量。

2. 缺点

(1) 新钻每口井都需要新建或维修井场及通往井场的公路,占地面积庞大,征地费用高,新建钻井井场(平台)费用高。

(2) 由于井场(平台)数量多,涉及避让水塘、鱼池、工厂、民房、高压线等建筑设施多,保护生态和地面其他矿场开发的补偿谈判增多且费用昂贵,安全管理点增多且难度增大。

(3) 地面建设需要铺设的高压注采管线相对较多,增加地面投资,井口分散不便于运行后对井口的安全防护和日常生产管理。

(二) 定向井(丛式井)钻井方式优缺点

1. 优点

(1) 可以克服受地面条件限制、在不利于井场(平台)建设的构造部位实施均衡注采。

(2) 相对于直井大幅度减少土地占用面积,并且减少地面管线、道路、井场的建设作业量,降低建设投资,也减少了建设中的安全管理问题,有利于生态保护与其他矿场开发保护。

(3) 井口相对集中,有利于投入运行后对井口的安全防护和日常管理。

2. 缺点

(1) 由于丛式钻井的特殊性,井眼之间距离较近,增加了钻井工程的设计和防碰施工难度,井深较直井深,钻井周期会增加。

(2) 采用丛式定向钻井不可避免会有大位移定向井,造成井斜角增大,对井眼轨迹控制要求高,增加了管柱与井壁之间的摩擦阻力,易发生钻井复杂情况,增加套管及完井管柱以及后续生产动态监测仪器下的下入难度,不便于后期的修井维护。

(三) 钻井方式选择

通过比较可以看出,储气库注采井采用直井钻井施工简单,但地面工程建设征地面积大,费用高,且不利于运行管理;而采用丛式井的钻井方式,可减少征地面积,减少修建井场、铺垫道路和铺设注采管线的工程量,节约了地面建设费用、地面注采管线网费用及钻机搬安费等相关费用,并且便于建成后的运行管理,具有良好的综合经济效益。

因此,根据相国寺储气库的规模、油气藏构造特征、单井注采能力和注采生产运行方式,采用在构造合适位置上选择钻井平台(井场),采用丛式定向井的钻井方式来完成储气库注采井钻井。经过优化设计,确定新钻注采井数 13 口(定向井 11 口、大尺寸水平井 2 口),备用观察井 2 口。

二、平台(井场)设计

丛式井平台(井场)设计包括:① 平台(井场)个数;② 平台(井场)位置;③ 地面井口的排列方式;④ 丛式井组各井井口与目标点间的井眼轨迹形状。

(一) 设计原则

平台(井场)数量与平台(井场)丛式井数量需要从气藏工程、注采能力、安全和经济等角度进行优化,而不是建造的平台(井场)越少,每个平台(井场)钻的井越多越好。平台(井场)数量少,虽然能减少平台(井场)建设、钻机搬运安装等费用,但同时会增加井深和水平位移,增大井斜角,从而增加钻井、测井、注采完井的施工难度,也加大了钻井和完井等投资成本。

丛式井平台(井场)设计总的原则是:满足储气库建设整体部署要求,有利于安全、快速、经济地完成钻井、试采和集注等系统工程的建设,降低储气库建设总费用,提高整体投资效益。

(二) 设计内容

1. 平台(井场)数量

首先应根据构造特征、注采能力目标井网与井数、目的层深度、地面条件、钻井工艺技术水平以及储气库工程质量与完整性要求,综合考虑每个建井过程中各阶段、各单项工程的难度、投入与质量保证进行经济技术综合论证。本着降低风险和降低施工难度的原则测算出每一个平台(井场)能够控制的井数,然后对所有目标点优化组合,经过反复计算和论证,达到理想的分组效果。当然,还需要结合地面条件最终确定平台(井场)数,若地面条件受限,则只能适当减少平台(井场)数。储气库注采井是一级风险管控井,因此在选择平台(井场)时一定要满足井控安全标准对周围环境的要求。对于部分水平位移较大的井应该采取多平台(井场)的钻井方式,以缩短水平位移,降低钻井施工难度和风险,缩短钻井周期和建设周期。

2. 平台(井场)位置

平台(井场)位置要按照平台(井场)内总进尺最少、水平位移最小等原则进行优选。根据注采井网布置、地面条件、拟定的平台(井场)个数、地层特点、定向井施工技术措施、工期以及成本等反复进行计算,直到选出最佳平台(井场)位置。

(1) 平台(井场)位置选择。

充分利用老井井场和构造位置的自然环境、地理地形条件,尽量减少钻前施工的工作量;平台(井场)宜选在各井总位移(之和)最小的位置;综合考虑钻井能力和井眼轨迹控制能力;尽量降低定向施工和井眼轨迹控制的难度。

(2) 平台(井场)布置。

井场大门方向宜与钻机移动方向一致;大门前方不应摆放妨碍钻机移动的固定设施;若储气层中含硫化氢,应考虑使大门方向朝向季节风的上风向;设备布置遵循设备移动尽可能少的原则。

3. 平台(井场)井口布局

根据每一个丛式井平台(井场)上井数,选择平台(井场)内地面井口的排列方式。根据平台(井场)内各井目标点与平台(井场)位置的关系,确定各井的布局。排列方式应有利于简化搬迁工序使全部钻完井组的时间最短。新钻注采井井间距应根据井场面积、布井数量、安全生产以及后期作业等因素统筹考虑,原则上不小于5m。

平台(井场)井口分布要有利于井与井之间的防碰,做到布局合理,尽量避免出现井眼轨迹交叉,减少防碰设计与施工井眼轨迹控制的难度。如果分布不恰当,会产生防碰绕障现象,

极大地增加钻井难度,甚至会影响后续注采井的钻井以及井眼密封完整性相互干扰。

丛式井平台(井场)内井口的常用排列方式如下。

(1)“一”字形单排排列。适合于平台(井场)内井数较少的丛式井,有利于钻机及钻井设备移动。

(2)双排或多排排列。适合于一个丛式井平台(井场)上打多口井,为了加快建井速度和缩短投产时间,可同时动用多台钻机钻井。两排井口之间的距离一般为30~50m。

(3)环状排列和方形排列。这两种井口排列方式适用于钻井数较多的平台(井场),但在储气库钻井中尚未应用。

由于相国寺储气库属狭长高陡复杂构造,地处深丘山坡地带,因此,确定采用“一”字形单排排列丛式井布井方式,充分利用老井井场进行丛式井平台(井场)建设。

第三节 井身结构及井眼轨迹设计

一、井身结构设计

井身结构包括套管层次和下入深度以及井眼尺寸(钻头尺寸)与套管尺寸的配合。井身结构设计是钻井工程设计的基础,合理的井身结构是保证安全快速钻井的重要保障。储气库注采井与开发井不同,它不仅肩负着应急时快速采出天然气,或承担着把天然气安全注入储层的使命,属反复强采强注,且使用周期长,因此储气库注采井井身结构应有别于开发井井身结构。

(一)设计原则

(1)注采井井身结构应满足储气库长期周期性高强度注采安全生产的需要。

(2)各层套管下入深度应结合建库时实际地层压力、坍塌压力、破裂压力资料进行设计。钻下部高压地层时所用的较高密度钻井液产生的液柱压力,不致压裂上一层套管鞋下部的裸露地层。下入套管过程中,井内钻井液柱压力和地层压力之间的压差,不致产生压差卡阻套管事故。

(3)应避免把“漏、喷、塌、卡”等多种复杂情况放在同一裸眼井段,为全井安全顺利钻进、减少事故或复杂、缩短钻井周期创造条件。

(4)储气库对固井质量以及井筒完整性要求极高,应尽量减少多个低压漏失井段与多个高压层同在一个裸眼井段,为每层套管固井前堵漏承压和保证固井质量创造条件,这是储气库井身结构设计中非常重要的原则。在条件满足的情况下,尽可能采用储层专打,减少对储层的伤害。

(二)设计原理

1. 基本概念

(1)静液柱压力。

静液柱压力是由液柱重力引起的压力。它的大小与液柱的密度及垂直高度有关,而与液