

GAOZHANLIU QICANG
ANQUAN GAOXIAO KAIFA SHIJIAN

—ZHONGBA LEISAN GAOZHANLIU NINGXI QICANG KAIFA JISHI

高含硫气藏安全高效开发实践

——中坝雷三高含硫凝析气藏开发纪实

黄 桢 李 鸿 邓 波 孙素芬 等◎编著



重庆大学出版社

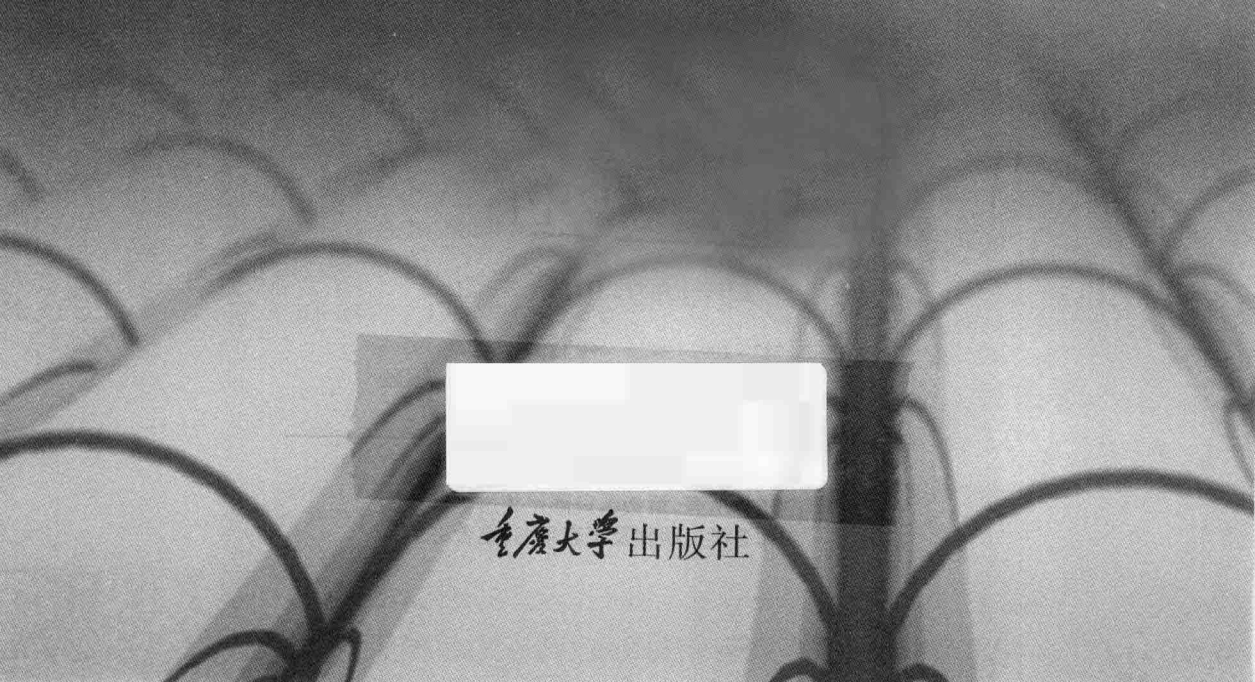
<http://www.cqup.com.cn>



高含硫气藏安全高效开发实践

——中坝雷三高含硫凝析气藏开发纪实

黄 桢 李 鸿 邓 波 孙素芬 等◎编著



重庆大学出版社

内容提要

本书从气藏工程、采气工程、开发地质、天然气集输与处理工艺、计量与仪表、腐蚀与防腐、天然气增压开采工艺、安全操作和生产技术管理等方面,对中坝气田雷三气藏含硫化氢天然气 30 年安全高效的开采历程进行了回顾与总结,中坝雷三气藏被称为“城市中的高含硫气藏”,对这一过程所使用的各项技术的具体做法和应用中与气藏开发实际情况相适应要求做了比较全面的叙述,对含硫天然气的开采具有较强的理论指导和实际应用价值。

本书适用于从事油气田开发、研究的科技人员,高等院校的研究人员、学生等使用。

图书在版编目(CIP)数据

高含硫气藏安全高效开发实践:中坝雷三高含硫凝析气藏开发纪实/黄桢等编著. —重庆:重庆大学出版社,2013. 11

ISBN 978-7-5624-7850-8

I. ①高… II. ①黄… III. ①含硫气体—气田开发 IV. ①TE375

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 274581 号

高含硫气藏安全高效开发实践 ——中坝雷三高含硫凝析气藏开发纪实

黄 桢 李 鸿 邓 波 孙素芬 等 编著

策划编辑:曾显跃

责任编辑:李定群 陈 力 版式设计:曾显跃

责任校对:任卓惠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:13.25 字数:193 千

2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5624-7850-8 定价:48.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

序

含硫化氢天然气是石油天然气资源的重要组成部分,世界上已发现了 400 余个具有商业价值的含硫化氢气田,自 1958 年我国首次在四川盆地发现含硫化氢天然气以来,已先后在渤海湾盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和准噶尔盆地等含油气盆地中发现了含硫化氢天然气。我国天然气中硫化氢含量大于 1% 的天然气储量占全国天然气储量的 1/4,其中高硫化氢气田(藏)(硫化氢含量大于 2% 或浓度大于 30 g/m^3)主要分布在四川盆地,目前开发的高含硫气田(藏)有威远气田、卧龙河气田嘉陵江组气藏和江油中坝气田雷口坡组气藏等,因此认识和开发含硫化氢天然气具有重要的现实和战略意义。

随着油气田勘探开发的不断发展和深入,越来越多的高含硫或特高含硫气田或气藏的天然气将投入开发利用,特别是近几年在川东北三叠系飞仙关组高含硫化氢天然气气田(硫化氢含量平均高达 10%)的大规模发现开发利用,为川渝地区东输供气工程的加快部署带来了资源保证。尽管硫化氢极强的毒性和高腐蚀性、给含硫化氢天然气气田的开发带来了极大的困难和挑战,但人类对油气资源的强烈依赖与有限资源之间的矛盾,又使人们不得不去勘探开发利用这部分天然气资源。安全勘探开发高硫化氢天然气是个系统工程,涵盖了天然气地质和地球化学、钻井、集输、安全防务系统诸方面。尤其是在罗家 16H 井井喷事故后,许多理论认识和技术规范问题凸现或者滞后,相应的研究深度和广度不够,为了能高效、安全地开发高含硫气藏,亟须更加深入系统地研究高含硫气藏的勘探开发以及安全生产的配套技术系列。中坝雷三气藏是 20 世纪 70 年代投入开发的高含硫气藏之

一,国内尚无开发、设计、建设、管理、应急处理高含硫化氢天然气的系统成熟经验,加之应对的是富含凝析油的边水气藏,给仪表、材料、设备选择带来极大困难,被称为“城市中的高含硫气藏”,其开发难度可想而知。面对雷三气藏的特殊性,为适应含硫化氢天然气的开发,几代川西北石油人围绕气藏地质特征、气藏动态、含硫化氢天然气开发工程、地面集输与处理工艺、腐蚀与防腐工艺、安全生产技术管理制度等方面进行了不懈的努力、不断地探索创新,不断地开拓进取,在高含硫天然气开采以及低温分离工艺技术,井下、地面集输工艺方面控腐、防腐、腐蚀监测等综合技术措施方面,以及安全操作和管理体系创建等方面进行了艰苦卓绝的努力和表现,值得称赞和借鉴。此外该气藏的开采促进了许多新工艺、新技术的开发研究和应用,其成果也将给后来高含硫凝析气藏的开发以及安全生产提供重要的技术支持和借鉴作用。同时形成了一套完善的高含硫气藏开发技术:一是及时开展了资料补充井的钻探及凝析油低温分离工艺论证,完善了动态监测系统,为气藏的高效开发奠定了基础。二是提高采速的开发调整取得了明显的开发效果和经济效益。三是针对气藏生产中存在的问题适时调整开发方案及地面工艺,保障了气藏高效开发。四是开展地面集输工艺改造及腐蚀机理研究,积极开展井下、地面集输工艺综合防腐和防护工作,以取得独到的认识和见解确保气藏气井的平稳安全生产。五是摸索制订出一套科学的安全操作和管理体系,为雷三气藏安全、高效开发起到了保驾护航作用。历经 30 年的生产应用,验证了这一套高含硫气藏开发技术和生产管理体系,安全、切实可行,树立了一块从安全操作和科学管理中获得最大效益的样板。同时,中坝高含硫化氢天然气的安全、高效开采,证实了高含硫凝析气藏开发的完全可控。即中坝低温集气站,自 1982 年投产以来,累计生产 78.26 亿 m^3 含硫化氢

天然气未发生重大安全环保事故,在 30 年的开发生产时间里,取得了稀井高产(开发井总数 10 口,持续生产气井 8 口),气藏速度高(3.16%~4.30%),生产规模大 $[(80 \sim 120) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}]$,稳产年限长(18 年),实现了采出程度超过 90% 的最高目标,造就了“零事故、零污染、零伤亡”的最佳业绩,三次获得集团公司“高效开发老气田”的荣誉称号。

因此,本书是一次完美的实践和认真的总结,不仅展示了成就和进步,也给我们开辟了一条通往探索和成功的道路,本书的编写实现了这一愿望;同时,编著者来自生产第一线,具有很强的实践性,在经验和方法上强调了科学,具有实用性和可操作性的特点,并有相当部分实例可供借鉴;本书信息量大、内容充实、涉及面广、有一定的认识深度和技术专著。尽管还有一些差距和不足,但可贵,可喜,可贺,却是难得。希望该书的出版,能为高含硫天然气的开采打开更新的局面,提供更有益的帮助。

黄 桢
2013 年 8 月

前言

含硫化氢气藏为一类重要而特殊的气藏,在我国天然气资源中占有相当大的比例。目前已在四川、渤海湾、鄂尔多斯、塔里木和准噶尔等地发现了含硫化氢天然气的气藏和气田。近几年在开江以北的川东地区三叠系先后发现的渡口河、铁山坡、罗家寨等大、中型飞仙关组鲕滩气藏硫化氢含量多数在 5% 以上,部分可达 15% ~ 17%, 平均为 10% 以上,是四川盆地目前发现的高含硫化氢气藏最集中的地区。

中坝气田雷三气藏是国内已投入开采且开采多年的气藏中硫化氢含量高的气藏之一(中坝气田 H_2S 含量为 6.75% ~ 13.3%),是富含凝析油的边水气藏。气藏历经 3 次开发方案调整,气藏的开采规模从试采期间的 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、正式开发期间的 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、调整到 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 开采,至气藏开采后期的增压开采,逐步制订出了较为合理的开发技术方案及开采工艺措施来保证气藏的安全平稳生产。

本书从气藏工程、采气工程、开发地质、天然气集输与处理工艺、计量与仪表、腐蚀与防腐、天然气增压开采工艺、安全操作和生产技术管理等方面,对中坝气田雷三气藏含硫化氢天然气 30 年安全高效的开采历程进行了回顾与总结,对这一过程所使用的各项技术的具体做法和应用中与气藏开发实际情况相适应要求作了比较全面的叙述,力图让读者有所收获。编写工作得到了中国石油西南油气田分公司、川西北气

矿地质勘探开发研究所、开发科等单位领导和专家的
指导、支持和帮助,在此表示衷心感谢。

各章主要编写人员如下:

第1章·····	黄 楨	孙素芬	
第2章·····	孙素芬	邓 波	
第3章·····	黄 楨	孙素芬	邓 波
第4章·····	黄 楨	李 鸿	杨文凭
第5章·····	李 鸿	杨兴林	
第6章·····	黄 楨	李 鸿	杨文凭
第7章·····	黄 楨	李 鸿	杨文凭
第8章·····	李 鸿	刘晓明	孙素芬
第9章·····	黄 楨	李 鸿	孙素芬
		杨文凭	
第10章·····	黄 楨	李 鸿	孙素芬

由于编者水平有限,书中难免存在缺漏及不当之
处,敬请读者批评指正,特此表示衷心感谢。

编著者

2013 年 8 月

目 录

第1章 中坝雷三气藏概况	1
第2章 气藏地质特征	4
2.1 气藏构造特征	4
2.2 储层及地层特征	6
2.3 雷三高含硫气藏形成机理	11
2.4 气藏的地质储量及凝析油储量	17
第3章 气藏工程	19
3.1 气藏开发概况及生产特征	19
3.2 雷三气藏的动储量核实	24
3.3 水体能量及水侵规律	45
3.4 气井产能研究	56
3.5 各个阶段的开发方案与效果	62
第4章 天然气集输与处理工艺	86
4.1 试采阶段暨全面开发生产阶段的集输工艺	86
4.2 提高采速阶段的集输工艺	89
4.3 递减生产阶段的集输工艺	90
4.4 集输设备在运行过程中遇到的问题及解决措施	92
4.5 雷三气藏成功试运的新工艺	98
第5章 计量与仪表	100
5.1 量传系统(标准器具)	100
5.2 对测控仪表不断实施革新和改造	101

5.3 计量仪表在雷三气藏使用过程中遇到的问题	107
第6章 腐蚀与防腐	112
6.1 气井井口及井下	112
6.2 地面集输与处理工艺装置部分	114
第7章 采气工程	138
7.1 井下防腐与泡排工艺技术同时实施	138
7.2 修井	140
7.3 防硫插管完井工艺	143
7.4 雷三气藏地层水回注	145
第8章 天然气增压开采工艺	148
8.1 雷三天然气增压机组的结构配置与技术参数	149
8.2 增压机组投运中的主要故障及原因分析与处理	152
第9章 雷三气藏开采效果的影响因素	162
9.1 雷三气藏具有优越的地质条件	163
9.2 雷三气藏的高效开发离不开对气藏的正确认识	163
9.3 雷三气藏的井位部署	166
9.4 雷三气藏的生产管理	166
9.5 雷三气藏的安全管理	169
9.6 根据气藏实际情况采取增产措施	183
第10章 结论与建议	186
10.1 结论	186
10.2 问题及建议	189
参考文献	199

第 1 章

中坝雷三气藏概况

中坝气田位于四川省江油市,中坝雷三气藏是该气田的主产气藏之一。该气藏发现于 1972 年,1969 年 7 月地矿部开始在中坝构造钻探川 19 井,1972 年 5 月对川 19 井雷三下亚段井深 3 351.05 ~ 3 355.00 m 进行测试时发生强烈井喷,从而发现了雷三气藏。随后展开了对中坝雷三气藏的钻探工作,迄今为止,中坝气田钻遇和钻达雷口坡组三段的各类井共 19 口,获工业气井 10 口(中 18、21、23、24、40、42、46、80、81、川 19 井),气水同产井 2 口(中 3、8 井),水井 2 口(中 6、7 井)。

中坝气田雷三气藏是受一狭长背斜控制的、具边水的高含硫气藏,气藏埋藏深度为 3 140 ~ 3 510 m,原始地层压力为 35.34 MPa,地层温度为 86 ℃。天然气具高含硫化氢、二氧化碳,低含凝析油的特点,硫化氢含量一般为 6.55% ~ 7.29%,二氧化碳含量一般为 4.72% ~ 5.14%,凝析油含量为 60 g/m³,是国内已开发气藏中硫化氢含量较高的气藏之一。气藏地层水为 CaCl₂ 水型,其中 Cl⁻ 含量在 60 000 mg/L 以上,矿化度在 110 g/L 以上。

由于雷三气藏所产流体具强腐蚀性,雷三气藏开采过程中地面设备、管线腐蚀严重,经常发生穿孔事故,且气藏处于人口密集的城镇区域,气藏单井、集气站及集

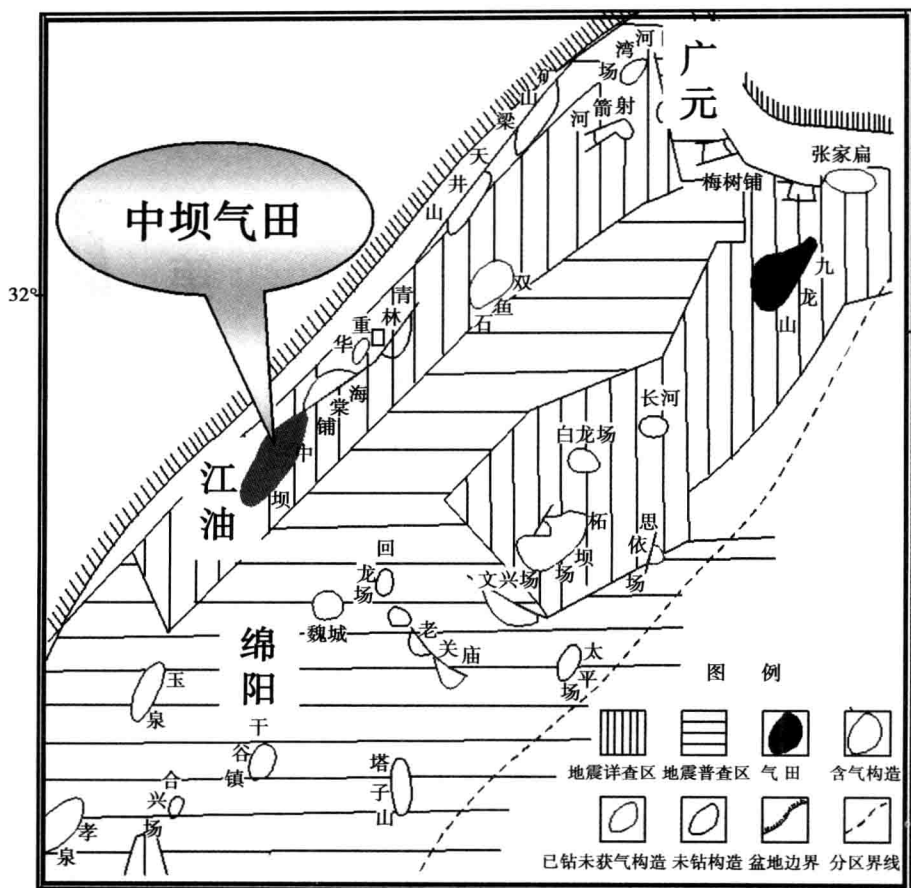


图 1.1 中坝气田地理位置图

输管网与城镇居民、建筑、工矿企业、学校、武引水利设施及宝成线、长钢专用铁路网等交错分布,为“城市中的高含硫气藏”,距井口仅 500 m 的范围内常住居民 4 666 人,厂房 14 座,学校 3 所,给安全生产带来了极大的挑战。

面对恶劣的开采条件,川西北气矿(原为川西北矿区)不断深化对高含硫气田的认识,逐步制订出了较为合理的开发技术方案及开采措施来保证气藏的安全平稳生产。一是及时开展了资料补充井的钻探及凝析油低温分离工艺论证,完善了动态监测系统,为气藏高效安全开发奠定了基础。二是提高采速的开发调整取得了明显的开发效果和经济效益。三是针对气藏生产中存在的问题适时调整开发方案及地面

工艺,保障了气藏高效安全开发。四是开展地面集输工艺改造及腐蚀机理研究,积极开展综合防腐和防护工作,确保气藏的安全生产。五是摸索制订出一套科学的安全操作和管理体系,为雷三气藏安全、高效开发起到了保驾护航的作用。

气藏开采 30 年来,实现了安全、高效、经济、清洁、合理开发,未发生过重大安全环保事故,三次获得总公司“高效开发老气田”的荣誉称号。截至 2012 年 6 月,累产气 $78.26 \times 10^8 \text{ m}^3$,累产凝析油 $38.75 \times 10^4 \text{ t}$,累产水 $13.14 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。按公报储量 $86.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 计算,采出程度达 90.68%,目前仍以 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 产量生产,预计最终采收率在 95% 左右。目前气藏的 10 口生产气井中已有 8 口出地层水,气藏的地层压力也由气藏原始地层压力的 35.34 MPa 下降至 2011 年 10 月的 4.78 MPa。

第 2 章

气藏地质特征

2.1 气藏构造特征

2.1.1 构造特征

雷三气藏为受一狭长背斜构造控制的层状边水气藏,呈北东南西轴向,如图 2.1 所示。构造北端为双河断层与海棠铺构造所分隔,南端呈平缓倾伏延伸至翼部。东西两翼东陡西缓,两翼倾角分别为 34° 和 26° 左右,并且分别被彰明和江油两大断层所切割。这两条断层断距大,延伸长,最大垂直落差大于 400 m,断层沿轴线方向延伸达 20 km,控制了雷三气藏东西两翼的分布范围,背斜南北两端呈平缓倾没。

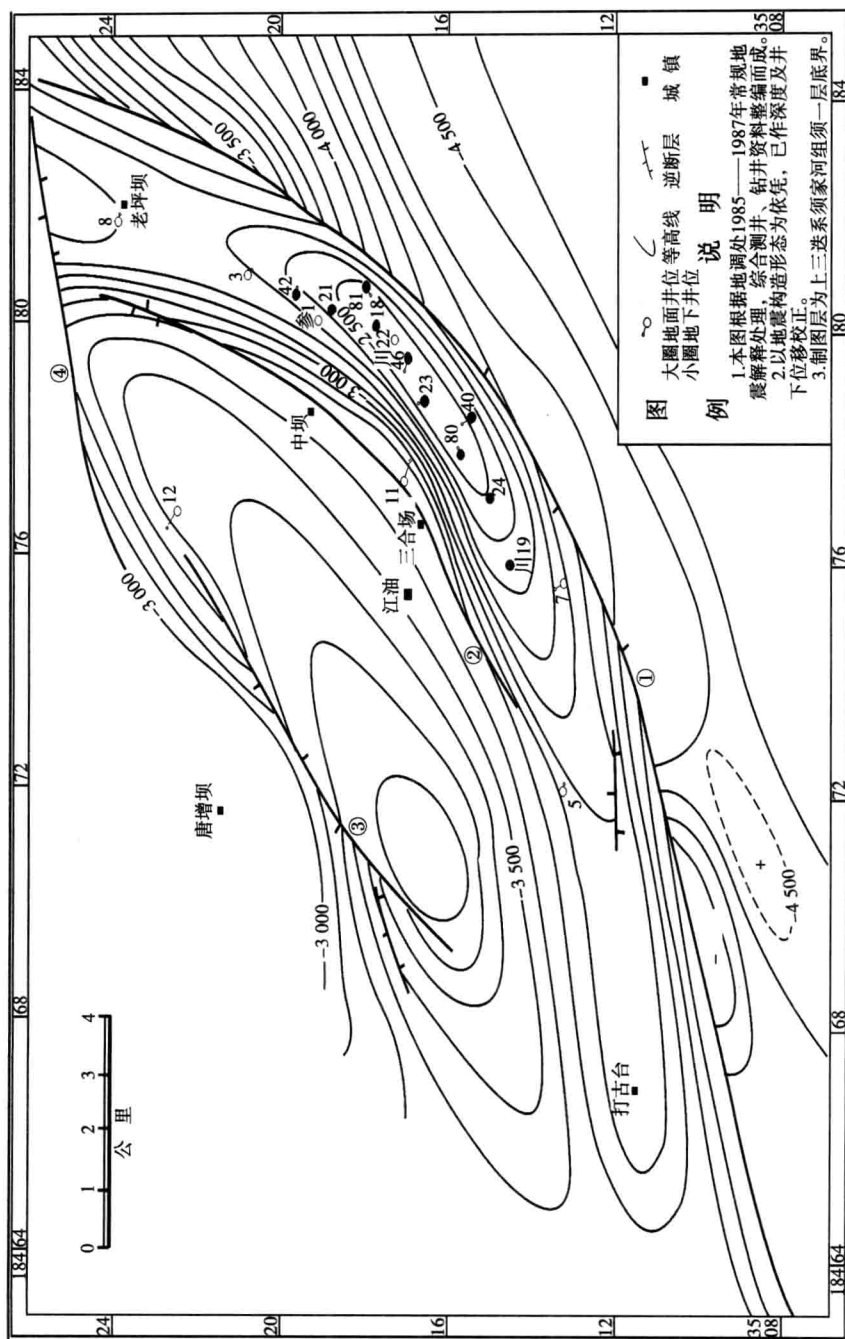


图2.1 雷三气藏构造图

2.1.2 圈闭特征

雷三气藏按断层遮挡所形成的构造闭合面积为 47.47 km^2 , 闭合高度 710 m ; 按气藏北端气水井中 3 井确定的气水界面为海拔为 $-2\ 871 \text{ m}$, 所圈定的含气面积为 13.4 km^2 , 闭合度为 372 m ; 气水界面内圈所确定的最小含气圈闭面积则为 7.98 km^2 , 相应的含气闭合高度为 306 m 。按此, 构造长轴为 8.5 km , 短轴 1.2 km , 长短轴之比为 7.08 , 气藏在形态上属长轴背斜构造。

2.2 储层及地层特征

2.2.1 雷三段的地层特征

雷三气藏产层为三叠系中统雷口坡组的下亚段(简称雷三下亚段)。雷三下亚段总体看来是一套储层, 但根据纵向上物性、电性和储层结构的差别, 又可分为三个储产层段, 如图 2.2 所示, 即上、中、下储层段, 它们之间有可连接的超低孔低渗 IV 类非储层岩相隔。

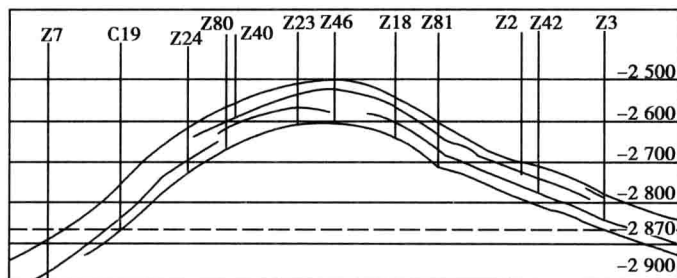


图 2.2 雷三气藏生产井分层对比图

第一层, 钻厚 21.5 ~ 30.0 m, 平均厚度 27.6 m。该层针孔发育相对较差, 分布不均, 但裂缝较发育, IV类储集岩占的比例较大, 6口取心井统计, IV类储集岩占该层的 42.6%, I、II类占 20.1%、III类占 37.3%。

第二层, 钻厚 45.0 ~ 56.8 m, 平均厚度 48 m。该层针孔发育和裂缝都较为发育, I、II类好的储集岩占该层的 45.4%, III类储集岩 34.2%, IV类只占 20.4%, 是气藏的主要储产层。

第三层, 钻厚 24.1 ~ 34.0 m, 平均厚度 29.2 m。孔隙类型以溶孔为主, 发育不均, 岩心裂缝不如第一层发育, I、II类好的储集岩占该层的 39.2%, III类占 37%, IV类占 23.8%, 中 80、81 井生产测井, 证实该层为主力产层。

虽然在层间有可连接的IV类非储集岩(夹层), 但由于整个储层都有小裂缝和微裂缝发育, 在IV类致密岩中也有裂缝存在, 所以夹层并不完全是隔层。

2.2.2 储集岩种类及孔隙特征

雷三下亚段厚 100 ~ 120 m, 由一套白云岩组成。其中有物性较好的亮晶砂屑白云岩、亮晶凝块石白云岩和鲕粒白云岩及物性较差的(残余)砂屑白云岩、(示底孔)凝块石白云岩、藻团块或团粒白云岩、粉晶白云岩, 也有非储集岩的泥晶白云岩和膏质白云岩。

雷三下亚段各类白云岩在纵向上的分布无明显规律, 对比性差, 多为间互分布。

在横向上岩石结构分布也有差异, 气藏中部中 24 井至中 42 井间各类白云岩主要为粉晶及亮晶结构, 含凝块石、团粒、藻团块和砂屑、粒屑较多, 局部含细晶及泥晶; 北端的中 3 井、中 8 井和南端的中 7 井、中 6 井泥晶结构增多, 泥质含量增多, 粒屑减少, 泥晶白云岩及泥晶泥质白云岩增多。