

煤层气 LNG 一体化项目全产业链开发方案优化设计

胡 一 (中国石化集团国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029)

摘 要: LNG 一体化项目具有全产业链综合发展的特点。为实现项目整体的提质增效, 开发方案的设计须通盘考虑各业务链条, 一体化进行优化设计。文章以澳大利亚某大型 LNG 项目为例, 在各业务链条优化基础上, 通过建立一体化优化设计模型, 有效集成各业务链条优化结果, 实现各业务链条数据互相勾稽、迭代优化。该模型优化下的开发方案能有效降低项目投资成本、提高现值回报率, 实现项目效益开发、高质量发展。

关键词: LNG; 业务链条一体化; 优化设计; 效益开发

1 引言

天然气作为一种较传统燃煤及石油更为清洁的能源, 在全球号召减缓气候变暖和节能减排的大背景下, 其市场需求在过去的几十年里迅速增长。然而全球天然气资源分布不平衡, 生产与消费区域分离, 液化天然气 (LNG) 则成为天然气跨区域贸易的关键桥梁。其中澳大利亚在 2021 年以 LNG 产能 8780 万吨/年位居全球第一。

为最大限度降低风险, 保证投资收益 国际油公司纷纷以上游加 LNG 短链为主, 构建全产业链综合发展模式, 从传统的上下游一体化向业务链一体化转变。即将天然气富集区布局为主产区, 注重生产端与消费端协同效应, 推进天然气与 LNG 业务一体化融合发展, 实施业务链一体化, 实现提质增效。

因此, 与常规油气开发方案设计相比, LNG 项目开发方案优化设计须从其整个价值链条出发, 一体化设计与优化。

然而目前关于开发方案优化设计的研究多集中在基于常规油气田建立模型, 将开发指标与油田产量相关联, 得到最优开发方案。充分考虑天然气销售市场行情, 基于 LNG 业务链条一体化的开发方案优化设计方法尚不成熟。澳大利亚作为世界上最大的 LNG 出口国之一, 其生产技术及设施处于领先地位。

本文以澳大利亚某煤层气 LNG 一体化项目为研究对象, 探索建立一体化开发方案优化设计方法及模型, 制定项目效益开发方案, 为 LNG 一体化项目开发方案设计提供借鉴。

2 项目概况

该项目为澳大利亚东部大型煤层气 LNG 生产商, 其上游天然气生产端位于博文 (Bowen) 和苏拉特 (Surat) 含煤盆地, 下游建设有 LNG 工厂。在天然气销售上, 该项目兼具 LNG 销售长期协定与天然气现

货销售模式。

上游主力产区位于 Bowen 盆地的二叠系 Bandanna 组及 Surat 盆地的中侏罗世 Walloon 亚组 (WCM)。其中 Bandanna 组煤层埋深 500–1000 米, 煤层累计平均厚度约 8m, 分布稳定, 横向连续性好。中侏罗世 Walloon 亚组 (WCM) 煤层, 埋深一般 100–1000m, 含煤层数多, 一般 10–25 层, 累计厚度平均约 20m。

煤层气藏孔隙结构复杂, 由煤化作用形成的割理和构造运动产生的天然裂缝构成。孔隙度为 1~5%, 基质孔隙渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 储层以低渗为主。区域煤层孔隙半径较小 (小于 $0.02 \mu\text{m}$), 毛管压力高, 水相渗透率小, 束缚水饱和度处在较高水平。

项目产区现有生产井 3000 余口, 井数体量庞大, 井型不一。早期开发采用较大井距直井开发为主。随着项目持续滚动开发, 开发井由煤层埋深较大区域逐渐向上倾方向和断层发育区域拓展, 开发方式上开始试验采用 HASH 井、SIS 井等多种井型优化开发。

项目项目现有十余个天然气处理厂, 近 20 条生产线, 4 个水处理厂, 建设有总长近 700Km 的集输管线连接各生产井和天然气处理设施。另外建设有逾 500Km 外输管线连接上游煤层气区块与下游 LNG 工厂。

3 开发方案优化设计方法

LNG 一体化开发方案优化设计模型搭建的总体原则是有效集成各业务链条优化结果。即在各业务链条进行独立优化的同时, 搭建一个一体化优化平台, 串联起各业务链条, 使其相互作用, 实时联动, 互相勾稽、迭代优化。

新井投产顺序及上线速率对项目井口总产气量起着决定性作用, 同时集输管网的运力及处理设施的处理能力将决定项目对天然气市场的供应量。最后, 市

场对天然气的需求又将从经济层面决定项目的最优天然气供应量。因此，一体化开发方案优化设计模型的建立主要以新井优化投产和集输管网优化为基础，针对天然气销售端的商务模式建立一体化优化设计模型。

3.1 新井投产优化

由于项目开发井体量庞大，井型不一，在开发方案设计时，依据气藏地质特征，将开发特征相似，同一井型的井组化为一个开发单元（DP）。基于层次分析法对新井投产进行优化。其中以经济效益为目标层，以单井产能、建设周期、建井成本、土地权限、碳排放指标为影响因素，构造矩阵，判断计算得到最优化新井投产顺序（如图1所示）。

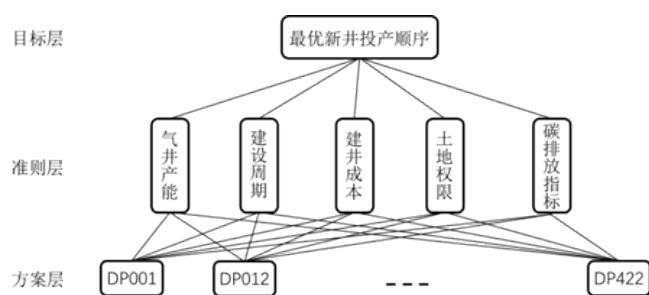


图1 新井投产优化方法示意图

3.2 集输管网优化

与常规油藏不同，气藏需要集输管网将天然气运送至集气站、处理厂及下游 LNG 加工厂。而集输管网的投资通常超过地面工程总投资的 60%，因此集输管网的布局优化对项目的经济效益极为重要。同时，管网压力与气井压力紧密相关，若压力与流量分配不当，将影响低压气井的生产。因此在开发方案设计中，集输管网的优化工作十分重要。

目前，该项目天然气处理设施及主要管网已建成。由于设施设计及建设于项目开发早期，随着对该气藏认识的不断深入，项目开发的不断进行，部分区块出现了气井产能与设施处理能力不匹配的情况。在项目实际管网布局中，天然气井向管网、管网向处理厂、集气站途中有多处截断点，使得气体流向可变，因此有必要对管网运行参数进行优化进而优化天然气流量分配，使得集气站不超压，气井产能充分发挥。同时对于最优化管网运行情况下天然气设施处理能力仍有剩余的区块，论证新建管线可行性，优化管网布局，最大限度利用天然气处理设施。

3.2.1 集输管网优化模型建立

模型将天然气井、水处理井、集气站、天然气处

理厂等地面设施依据其特征设置为模型元件。按照实际管网布局，在模型中设置各元件间连接方式。最后依据地面设施最大处理能力、压缩机功率、井间管网连接关系等对模型建立约束关系。

因管线实际的起伏状况、内壁粗糙度等与模型理想状况存在偏差，通过调整管输效率等不确定性参数将模型与实际气量及节点压力进行拟合，确保模型准确性。

3.2.2 集输管网运行参数优化

基于上述完成拟合的管网模型，输入开发方案中所有生产井的单井产量，处理厂进气压力等参数，模型进行计算预测。通过不断调整气体流向、流量、管网压力，计算求得最优化运行方案。如图2所示，在管网运行参数优化工作前，由于天然气流量分配不合理，在 2026 年 7 月至 2028 年 7 月间，R 区天然气处理设施并未得到充分利用，处理能力尚有较多冗余。通过管网运行参数的优化，气井天然气流将在最优时间改变流向，流量重新分配，天然气处理设施的利用率得以提高。除 2027 年 9 月至 2028 年 6 月，天然气处理设施基本实现充分利用。

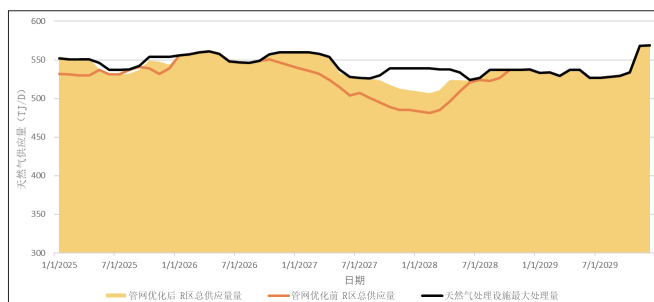


图2 集输管网优化前后天然气供应量对比图

3.2.3 集输管网布局优化

管网布局的优化与气田开发密切相关，由于项目已处于开发中期，为应对产能与天然气设施处理能力不匹配的问题，必要时需新增管线，且优化其布局，力求通过以最小的投资，最大限度释放产能，以实现效益最大化。

该项目 T 区块由于设备压缩能力有限且离天然气处理厂较远，使得管输压力较高（大于 400kPag）。较高的管输压力阻碍天然气井产能释放，影响产量。在方案优化工作中，基于现有管网系统的拓扑结构，以节点压力为关键控制点，以“集输能力最大化+集输符合均衡化”为优化理念，对新建管线进行选址优化并依据天然气产能进行运行参数优化。形成管网拓

扑结构与运行参数相结合的指标交互式优化模型。

通过优化,拟新建一条约 200 米长的分支管线,与主管线相连如图 3 所示。通过管网优化设计,该分支管线的建立预计将分流约 60 口井的产能,有效降低管输压力约 50kPag,产量提高 20%,投资回收期 18 个月。

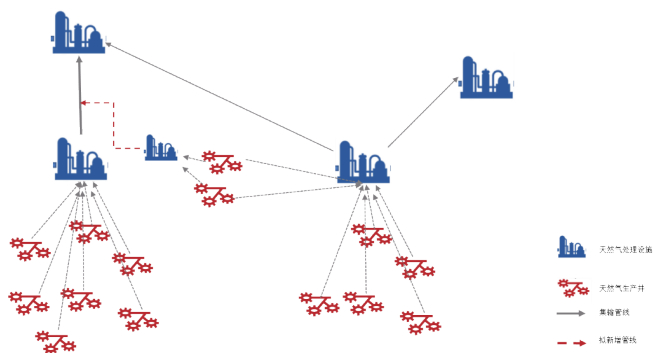


图 3 拟新建管线示意图

在该项目的管网优化工作中,管网运行参数的优化与布局优化是紧密结合的。为保证优化方案的实际可操作性及全面性,就新增管线或场站优化而言,须在优化选址后,根据气井生产情况和管网运行情况合理优化管网工艺参数。

3.3 一体化开发方案优化设计

该项目作为一个集上游开发生产、下游 LNG 处理及销售于一体的一体化项目,上游天然气产量将直接影响下游 LNG 销售,进而影响项目效益。因此开发方案优化设计须以上游生产方案优化为前提,基于当年天然气市场行情,与 LNG 销售策略紧密配合,一体化优化设计。

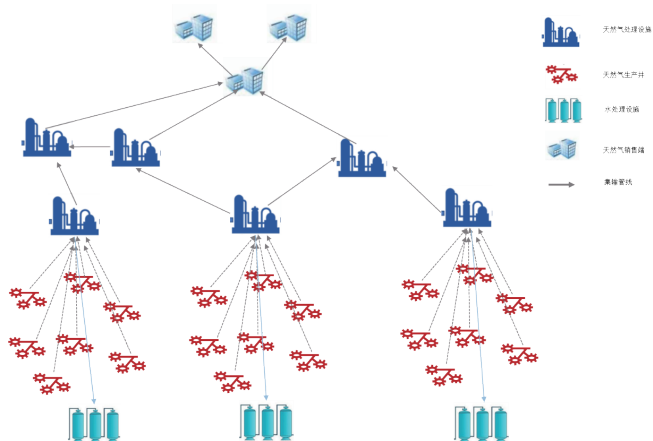


图 4 局部开发方案优化设计模型图

开发方案的优化设计模型(如图 4 所示)以准确的单井产量预测及新井最优投产顺序为基础,基于钻井数量及钻井速率,计算形成新井投产上线方案及该项目所有生产井井口产量。以该产量为基础,模型进行集输管网优化,形成该项目经过地面设施处理后能向天然气市场供应的总气量。该供应量为天然气销售策略制定的基础。综合对当年天然气市场行情及政府政策的研判,基于项目已有的天然气销售合同,制定当年最优天然气销售策略。在该策略下,进一步优化钻机安排,新井投产上线节奏,及集输管网运行方案,实现各业务链条交互式迭代优化,形成一体化开发方案优化设计。

通过该一体化模型运算得到的最优化开发方案,与仅优化上游形成的开发方案相比,5 年资本性支出(CAPEX)下降 18%,现值收益率(VIR)提高 25%。

4 结论

基于 LNG 一体化项目全产业链综合发展的特点,建立一体化开发方案优化设计模型,可以有效整合各业务链条优化成果,实现各业务链条相互互稽、实时联动、迭代优化,能够有效的对项目整体进行优化,提升项目开发质量。

参考文献:

- [1] 黄浩凯. 2021 年全球液化天然气市场特点及发展趋势 [J]. 国际石油经济, 2022, 30(4): 79-91.
- [2] 吴义平, 易成高, 刘亚茜. 能源转型形势下的国际油公司天然气发展战略及启示 [J]. 中国石油勘探, 2022, 27(6): 22.
- [3] 宿压西. 层次分析法在组织新井投产中的应用 [J]. 天然气技术与经济, 1996(3): 4.
- [4] 韩帅. 埕岛油田集输管网调整优化技术研究 [D]. 北京: 中国石油大学, 2010.
- [5] 张兴堂, 杨杰, 潘超华, 等. 气田集输管网优化探讨 [J]. 云南化工, 2023, 50(3): 144-146.
- [6] 付先惠, 姚麟昱, 王全等. 中江气田地面高效集输关键技术与应用 [J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2022, 44(03): 215-223.
- [7] 谢剑, 李小梅. 大型全容式 LNG 储罐优化设计综述 [Z]. 2013 年全国土木工程研究生学术会议, 2013.

作者简介:

胡一(1991-), 油藏工程师, 硕士, 主要从事北美非常规油气藏及澳大利亚煤层气开发研究工作。