

一体化集成装置对超低渗透油田地面工程造价控制的影响

孙盛达

(中国石油长庆油田公司)

摘 要：基于一体化集成装置在超低渗透油田开发建产中的作用，总结了一体化集成装置从发替代中小型站场和替代复杂工艺单元、采用多套一体化装置组合替代油气田大中型站场到油气田站场的一体化集成装置立体模块化建设，目前一体化集成装置站场覆盖率达到 100%，因此一体化集成装置发展引起了油田地面工程的造价系统相关费用变化。一体化集成装置成本的控制的重要性日益凸显，可从三维设计、集中采购、模块制造等方面进行成本控制。

关键词：一体化集成装置；工程造价；成本

油气田设备、设施作为油气生产的重要工具，体现了油气生产单位的现代化水平，同时对油气平稳生产具有十分重要的作用。随着时代的发展、科技的进步，油气田的工艺和油气田开发与建设的范围更加广泛，为了适应这种发展趋势，油气田的工艺和技术、生产方式、功能和构成以及管理体系等均有所改变。

20 世纪初，中国石油提出“各油气田公司要结合自身实际，采取直接引进、联合研制、独立研发等多种方式，全面推广一体化集成装置”的工作要求，拉开了一体化集成装置研制的序幕，经过 20 多年的发展，油气田开发的地面工程一体化集成集成装置取得了长足发展。

超低渗透开发模式长庆油田，因急需破解超低渗透油藏开发成本高，规模化建设和滚动调整的矛盾，研制多种一体化集成装置，广泛用于油气集输、注水、采出水处理、伴生气回收、天然气处理、供配电和供热等主体及配套工程，优化了生产工艺、地面设施及管理模式，减少了场站层级、现场用工和能耗，极大地适应了超低渗透油田开发“低成本、高质量”要求。

1 一体化集成装置概念与特点

1.1 概念

一体化是将两个或两个以上的互不相同、互不协调的事项，采取适当的方式、方法，将其有机地融合为一个整体，形成协同效力，以实现组织策划目标的一项措施。目前对于一体化设备或装置多以称为撬装设备，其定义为“在工厂将单体设备和工艺管道等组装”到钢质底座上，整体拉运到现场、直接安全在基础上的成套设备”^[1]或将机泵和工艺管道等在工厂组装到钢质底座，整体拉运至现场、直接安装在基础的成套设备^[2]，也有称为撬装设备，但没有标准支撑。

一体化集成装置的名词自提出后，被广泛认可并使用。但至今没有规范对其进行定义。被大家接受的定义，其为油气田地面建设一体化集成装置是指应用于油气田地面生产的一类设施，结合工艺流程的优化简化，通过将机械技术、电子技术、自控技术、信息技术等有机融合，根据功能目标将各功能单元设备进行合理配置、集中整合为一体，自成系统，在多功能、高质量、高可靠性、低

能耗的基础上，独立完成多个生产单元共同完成的生产目标”^[3]。因而，一体化集成装置并非简单的设备撬装化或简单的设备拼装，而是多个不同功能设备的有机整合，其功能或结构优于撬装设备，要求有效提升装备性能，提高运行效率，缩减设备规模，简化管理操作。多功能、高集成度、自动化应是一体化集成装置研制遵循的显著特征。

1.2 特点

多功能体现在，一是机械功能。机械功能是一体化集成装置的主体和实现装置功能的基础，包括机、泵等动设备，容器、罐等静设备。如果油气田生产压力较高，以不包含主要动设备；二是动力功能，依据装置的生产要求，为装置提供能量和动力，以使装置正常运行，包括电、液、气等动力源，在有条件时，尽量依托现有的动力源；三是热力功能，根据站场的性质和生产要求，能够满足油气加热的功能；四是数据采集和测量功能。为装置提供运行控制所需的各种信息，一般由测量仪器或仪表来实现；五是数据处理和控制功能。根据装置的功能和性能要求，对运行数据进行处理，以实现对装置运行的合理控制，主要由计算机软硬件和相应的接口组成。

高集成度，一体化多个原来相互独立的功能实体通过一定方式结合成为一个单一实体，与一体化集成前对比，能够大幅度减少占地面积，并且具有结构紧凑、布置灵活、安装方便等特点。对于较大型的一体化集成装置，为便于预制和运输，可以拆分成几个单体撬装模块，现场组装。

自动化，装置的正常生产运行无需人工操作，便能自动完成生产信息采集、测量、控制、保护和监测等功能，并可根据需要实现在线分析、实时自动控制、智能调节等高级功能。对于大型站场内部的一体化集成装置，可以结合整个站场的自控要求和自控系统统一设计。

1.3 应用效果

一体化集成装置的规模化应用，从以下成本降低、质量控制、油气田生产运维面提高了油田开发效益，平均缩短建设周期约 50%，降低投资约 20%，同时在老油气田改造、安全隐患治理、伴生气综合利用等工程也见到了良好效果。

表 1 一体化集成装置应用效果

	优点	缺点
人工成本	(1) 大量安装、检测、出厂前调试等工序在制造厂完成后，减少了油气站站场施工现场对劳动力的需求； (2) 克服了油田站场所处欠发达地区时，技术工人数量不足的难题； (3) 油气站场施工量大幅减少，可有效降低对当地居民生产、生活的影响； (4) 当施工地人力成本比制造厂高时，可有效降低人力成本。	(1) 一体化集成装置的用钢量的一般情况下增加 10%~15%，将增加建设成本； (2) 因道路运输的限制，一体化集成装置的撬块大小和质量的限制给设计带来不便。 (3) 增加了运输成本、物流规划工作量。
固定成本	(1) 减少油田站场建设的临时生活设施、存料场地或库房、施工机具等使用。	
质量控制	(1) 一体化集成装置工厂化制造管理流程规范、设施先进、技术人员相对固定，质量更受控制，劳动效率高，而缩短周期； (2) 一体化集成装置工厂化制造作业条件好，可降低恶劣天气及其他不可控因素对项目工期的影响；	

油气田生产运维	(1) 优化简化了地面工艺。优化布站灵活机动，井站合一，多站合建，集中管理； (2) 提高了工程建设质量。模块集成，设计优化，工厂制造，工艺先进，检测完备，质量可控； (3) 加工了工程建设进度。设计周期短，现场作业少，规模化采购，批量化生产，流水化作业； (4) 节约了地面建设成本。简化工艺，减少占地，节省材料，控制用工，提高时率； (5) 提高了生产管理效率。电子执勤代替人工值守，电子报表代替人工报表，智能操作代替人工操作； (6) 提高了安全管理效率。提高了防护预警能力，降低了运行操作风险，增加了维修应急能力； (7) 减少了劳动用工数量。无人值守集中监控，扁平化管理。	
---------	--	--

2 一体化集成装置对油气站场替代率

长庆油田的一体化集成装置研发可分为三个阶段：第一个阶段主要是研发替代中小型站场和替代复杂工艺单元的一体化集成装置，这个阶段主要以各专业自行研发功能独立的装置为主。第二个阶段是以工艺专业牵头，各专业协同设计，统筹规划，采用多套一体化装置组合替代油气田大中型站场。第三阶段随着中央 18 亿亩耕地红线与“绿水青山就是金山银山”政策的提出，油田征地难、地形差的问题更加突出，油气田站场的一体化集成装置立体模块化建设。

2.1 研发替代小型站场和替代复杂工艺单元的一体化集成装置

遵循“小型化、集约化、立体化、智能化”原则，研发了覆盖油田集输处理、气田集输处理、水处理及供注水、辅助工程四大系统 91 类 321 个规格集成装置，规模应用 3500 多台（套）。

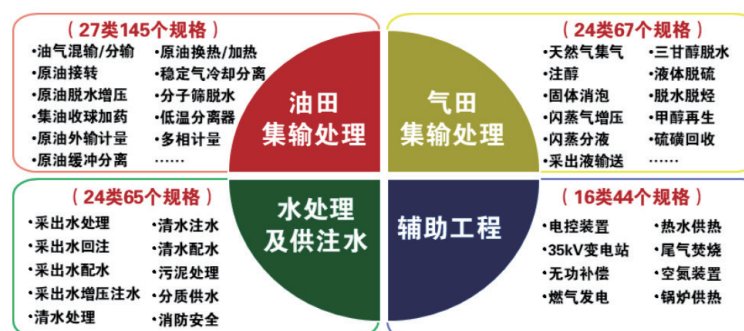


图 1 一体化集成装置替代小型站场和复杂工艺单元的种类

2.2 研发替代组合替代油气田大中型站场

遵循“循序渐进、持续改进、稳步推进、规模应用”的原则，从单套装置替代站内复杂工艺单元开始，逐渐扩大到采用组合装置替代大中型站场。采用一体化集成装置替代中小型站场、大型站场主要生产单元，实现了从采油井口到联合站、采气井口到处理厂全橇装化、模块化建设。减少占地 60%，缩短建设周期 50%，降低建设投资 10% 以上，呈现出了研发领域更加全面、推广力度逐年加大、应用效果越来越好的良好态势。

在油田大中型场站建设方面，自 2015 年开始，共建成 6 座联合站（庄三联、庆四联、岭二联、靖五联、庆五联、镇五联），每个联合站节省占地面积 35%，缩短建设周期 50%，降低投资 10%。



庄三联合站：2015 年投产



庆四联合站：2016 年投产



镇五联合站：2020 年投产



庆五联合站：2021 年投产

图 2 一体化集成装置替代油田联合站设备

在气田大中型场站建设方面，以流程优化、设备集成研发、工艺创新为基础和出发点，经过模块化集成，将常规处理厂 16 类单元装置区划分为 9 类模块化装置，建成了国内首座一体化处理站—佳县集中处理站，完善形成了覆盖井场→集气站→处理厂的集输处理全流程模块化设计和建设技术，其中占地减少 49.14 亩，定员减少 23 人，施工周期缩短 2 个月，降低投资 600 多万元，节约运行费用 240 多万元 / 年。

2.3 油气田站场立体模块化建设

为解决站场征地难、周期长、地形差等问题，将油、气、水合一布置研发立体布置油气水处理一体化集成装置（ $240\text{m}^3/\text{d}$ 、 $120\text{m}^3/\text{d}$ ），以立体模块化方式在采油一厂王二十六脱、王二十七脱建成投产，实现在原有井场零征地扩建脱水站，立体模块化布置是脱水站场从平面常规布置到平面橇装化布置转变后又一次在站场布置方式与建设模式上的创新与升级，实现了建设模式从平面橇装化到立体模块化的技术跨越，开创地面工程建设新局面。研制立体布置 150 万方 / 天三甘醇脱水装置，在庆 -2 集气站应用 2 套，青 -1 集气站、宜 -1 集气站各应用 1 套。研发立体布置天然气处理装置，在佳县处理站建成投产。研发设计立体化橇装注水站，实现井站合建（镇 51 注、山四转、庄十注）。



图 3 立体布置的脱水站（王二十六、王二十七站）

到 2022 年，以超低渗透开发模式的长庆油田，一体化集成装置在油田地面建设年应用量稳定在 400 台左右，油田大中型站场的覆盖率达到 100%。

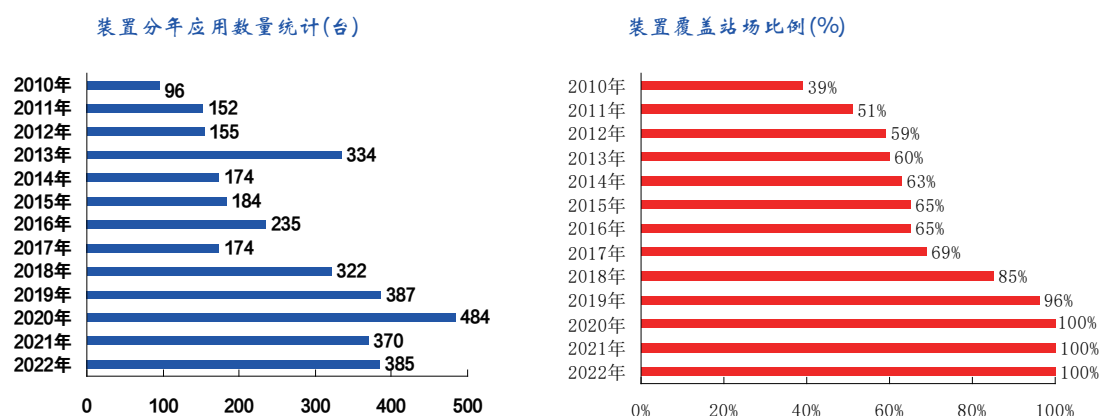


图 4 长庆油田一体化集成装置应用及站场覆盖率

3 一体化集成装置对油田地面工程造价变革

一体化集成装置在超低渗透油气田地面建设的大规模应用，解决了单井配产低且建设成本高、油区分散且点多面广、滚动建产且规模不易确定、自然条件恶劣且社会环境复杂、开发层系多且系统配套难等低渗透油田地面工艺存在的诸多难点问题。同时一体化集成装置大规模应用，也将引起油田地面工程造价模式变革。

传统油田地面工程造价控制是以国家及有关部门规定、行业规定、地方规定、企业定额或指标、某地区的材价信息等为指导，以传统建设模型的组织模式为基础进行编制造价成本。传统建设模式是将工程建设物资全部运到项目现场后，在现场开展安装工作的建设模式，建设流程为先完成土建施工，然后完成钢结构管廊、设备、管道、电气、仪表、保温等施工，最后完成后进行站场项目调试和投产运行。

以一体化集成装置为核心地面工程造价控制，主要以一体化集成装置的采购价、运输吊装、油气站场的安装费用等为指导，编制造价成本。其建设模式为项目的某个建构物或工艺装置作为一个标准化设计、工厂化预制的产品，根据不同地面工程的特点和功能要求，将整个工程分割成若干个一体化集成装置或模块进行制造，一体化集成装置或模块经预组装及初步调试，在通过公路运输到项目进行安装、调试并投产运行。

因此以一体化集成装置为核心油田地面工程的建设，通过特定大小的钢制平台将设备、管道、保温、电仪等设施集中布置并整体吊装、运输和装配，其作用是把工作从不具备条件的施工现场转移到条件良好的制造厂^[4]。其建设的模式推动的油田地面工程造价模式的转变：

(1) 项目工程费用中的建筑工程费、安装工程费、设备购置费的比例构成发生变化；一体化集成装置作为设备购置费出现而比例增加，安装工工程费因一体化集成装置在工厂化预制而比例减

少。

(2) 工程建设其他费用中的建设管理费与特种设备安全监督检验费比例构成发生变化。一体化集成装置在工厂化预制，作为特种设备其监督检验费将增加；因现场施工工作量的减少，其建设管理费或监理费将减少，而对应的一体化集成装置监督检验费将增加。

(3) 新增特种设备的道路运费，以及施工站场二次组装及吊装费。一体化集成装置高度集成，工厂制造完成后，其外型和质量相比常规设备增加，相应的运输和吊装费用将增加。

(4) 土地使用费用和其他补偿费用减少。一体化集成装置高度集成并且向立体化方向发展，充分利用三维空间，使设备布置紧凑，其占地面积也仅为现场安装固定设备所占面积的 40%~60%^[5]，将减少站场的建设用地占用。

4 一体化集成装置成本控制方法

一体化集成装置在油田地面工程造价占用举足轻重的作用，尤其对大中型站场项目投资的控制精准度影响较大，因此一体化集成装置成本的控制的重要性日益凸显。可从以下几个方面进行成本控制：

4.1 三维模型设计，提升知识重用度

在一体化集成装置研发与设计阶段，深度利用基于装备制造的三维设计软件进行一体化集成装置模型搭建，基于模型对一体化集成装置进行共享知识资源，为装置从设计、制造、运维、拆除等全生命周期中的所有决策提供可靠过程；在项目实施的不同阶段，不同利益方或参与方通过在三维模型插入、提取、更新和修改信息，支持和反映其各自职责的协同作业，将规划、设计、建造、运营等各阶段的数据，全部累积在三维模型中^[5]，让各阶段的项目人员于一体化集成装置的整个生命周期内，都能获取或共享完整的数据，提升知识的重用度。

4.2 集中采购，降低采购成本

一体化集成装置的工厂化制造，以制造工厂为核心，可实现多个项目的一体化集成装置用设备和材料的集中采购，在此基础上发挥规模优势，增加物资商之间的竞争程度，提高与物资供应商的谈价话语权而获得优势价格。此外，物资大规模集中采购将采购人员固定在一项专业化的工作上，提升采购人员专业水平，提高采购工作效率，节约人员资源投入，降低项目实施成本^[6]。

4.3 模块化制造，提升生产效率

模块化制造其价值体现带来一体化集成装置由原来的串行生产组织改为并行制造生产组织，且在并行制造过程中实现了工序的搭接与批量化作业，制造周期的缩短、劳动强度的降低和制造成本

的下降。集成装置模块化制造是先分解后组合。结合工艺流程图及三维仿模型，根据厂区物流、无损检测、吊装条件等，划分功能模块后，在此基础上绘制工艺安装单线图与焊接工艺单线图，使钢管下料、坡口加工、管段组对、管道焊接、组合件组装等形成并行批量作业，功能模块完成后，完成整体组撬、试压、电仪、保温等工序^[7]。

5 结 论

(1) 一体化集成装置的研发与应用，破解了超低渗透油气田发展的难题，实现了超低渗透油田开发“低成本、高质量”要求，并对其他油气藏的开发具有很好的借鉴作用。

(2) 一体化集成装置在油田地面工程的大规模应用，而传统的油田造价系统不能满足现有工程应用，需要结合一体化集成装置的特点和工程实际，对油田地面概预算体系进行调整和补充。

(3) 一体化集成装置工厂化设计与制造的成本控制，将是油田地面工程概预算控制的重点，通过三维建模、集中化采购、模块化制造等措施将降低一体化集成装置的制造成本。

参考文献

- [1] GB50540-2009 (2012)，石油天然气站内工艺管道工程施工规范 [S].
- [2] GB/T 34275-2017，压力管道规范 长输管道 [S].
- [3] 林罡，郭亚红，孙银娟，等．油气田地面工程一体化集成装置．北京：石油工业出版社，2014.
- [4] 石油天然气装置模块化设计关键概念解析
- [5] 张春丽，周继阳，徐泽宇．油气田地面工程标准化管理有序发展的探讨．标准实践．
- [6] 孙晶，刘阳，韩群等．油气田地面工程模块化建设成本优势及推广应用．天然气技术与经济，2019，第 13 卷，第 4 期．
- [7] 李国明，杨光，李茂等．模块化技术在油气田一体化集成装置研制中的应用．石油工程建设，2023, 12/Vol. 49.