

# 天然气长输站场工艺流程对三维布置逻辑的影响因素分析

郭一行 (中石化江苏石油工程设计有限公司, 江苏 扬州 225000)

**摘要:** 伴随天然气长输网络的持续拓展, 站场设计的合理性对运行安全、建设成本及运维效率有着直接关联, 本文聚焦天然气长输站场开展研究, 全面剖析工艺流程的组成与运行特点, 同时探究其对三维布置逻辑产生影响的因素, 通过对流程次序、安全距离、管道走向以及操作维护便捷性等关键要素的分析, 提出基于工艺改进与三维设计手段的布局优化思路, 研究成果为站场规划供给科学支撑, 为达成建设与运维一体化供给参考途径。

**关键词:** 天然气长输站场; 工艺流程; 三维布置; 空间优化

**中图分类号:** TE973      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5167 (2026) 001-0094-03

## Analysis of the Influencing Factors of the Process Flow of Long-Distance Natural Gas Stations on the three-dimensional Layout Logic

Guo Yixing (Sinopec Jiangsu Petroleum Engineering Design Co., LTD., Yangzhou Jiangsu 225000, China)

**Abstract:** With the continuous expansion of the long-distance natural gas transmission network, the rationality of station design is directly related to operational safety, construction costs and operation and maintenance efficiency. This paper focuses on the research of long-distance natural gas stations, comprehensively analyzes the composition and operational characteristics of the process flow, and at the same time explores the factors that affect the three-dimensional layout logic. Through the analysis of key elements such as process sequence, safety distance, pipeline direction, and the convenience of operation and maintenance, a layout optimization idea based on process improvement and three-dimensional design methods is proposed. The research results provide scientific support for station planning and a reference path for achieving the integration of construction and operation and maintenance.

**Key words:** Long-distance natural gas stations and yards; Process flow; Three-dimensional layout; Spatial optimization

站场工艺与空间布局作为油气储运系统的核心基础, 其合理性直接关系到生产效率、安全保障与后期运维成本。随着站场规模扩大、工艺流程复杂化及建设—运维一体化需求的提升, 传统以经验为主的布置方式已难以满足现代化站场对安全性、经济性与智能化管理的要求。因此, 有必要从工艺流程逻辑、设备空间关系、安全防护规范以及数字化设计技术等多维度系统研究站场布置规律, 构建既符合工艺运行需求又兼顾施工与运维效率的优化布局体系, 为新建与改扩建工程提供可复制、可实施的技术路径。

### 1 天然气长输站场工艺流程的构成与运行特性

#### 1.1 站场主要工艺单元的功能结构

天然气长输站场所包含的主要工艺单元有气源接收单元、压缩机单元、计量单元、过滤与脱水单元、调压单元以及安全保护设施等, 每个单元在站场整体的运行里承担着不同的功能: 气源接收单元承担原气引入与初始净化工作, 为后续工艺提供稳定气源; 压缩机单元作为提升输送压力的关键装置, 保障管网压力达到远距离输送标准; 计量单元精准度量输送量与能量, 给运营管理和贸易结算给予数据支持; 过滤和脱水组件剔除杂质与水分, 减少设备腐蚀和结冰隐患; 调压装置保障下游压力平稳, 符合不同管网段的压力

要求; 安保防护设施包含防火、防爆和紧急切断系统, 维持站场运行安全, 各单元在功能上彼此相互依存, 其布局既要保证工艺流程的连贯性, 而且要兼顾操作简便性、检修区间以及安全防护, 进而为三维布置给予基础逻辑与空间约束。

#### 1.2 典型工艺流程的运行特征与参数要求

典型天然气长输站场的工艺过程一般呈现为原气接纳→过滤脱水处理→压缩操作→计量工作→调压处理→输送作业, 其运行特性与参数条件对三维布局有着直接作用: 就压力条件而言, 压缩机出口压力一般要维持在 10~12 MPa, 以便保障长输管网稳定输送; 日处理量可达到 10~50 万 m<sup>3</sup>/h, 流量的起伏会影响到压缩机的负荷以及管道直径的选定; 压缩与调压期间气体要保持在 -5~40 °C 范围, 避免液化或水合物生成; 一般要求水分含量 <7 mg/m<sup>3</sup>, 从而确保设备与管道的安全; 计量精准度要达到 ±0.5%, 保障贸易结算和运行管理的准确性。

#### 1.3 工艺流程对站场空间需求的基本逻辑

天然气长输站场的工艺流程在空间需求方面存在着明显的逻辑限制, 主要表现于顺序逻辑、冗余空间和安全逻辑这三个维度: 设备要按照工艺流程的顺序加以排列, 前后单元的空间位置关系会影响到管道的

长度、弯头的数量以及输送的效率，比如压缩机要紧贴气源接收单元，而计量单元是在压缩机出口的下游处；每个工艺单元应预留检修及维护的空间，一般来说压缩机和调压装置周围要预留2—3m的操作通道，以保障操作方便和维护稳定；安全准则规定关键设备之间应符合防火、防爆以及高压间距标准，比如压缩机和储罐的间距要 $\geq 10$  m，调压装置四周需设立防护通道，进而在三维布局里既能确保流程的连贯性，又能兼顾操作的便捷性与安全防护，为站场整体空间的布局提供确切的逻辑基础。

## 2 工艺流程影响三维布置逻辑的关键因素

### 2.1 流程顺序对设备布局空间关系的影响

天然气长输站场的流程次序对设备布置空间关系存在直接且重大的作用，其关键原理是工艺连贯性决定了设备彼此的相对位置与管道的连接形式，各个工艺单元需按照流程次序排列，以此保障气体输送的稳定性与效率，原气接收单元要与压缩机单元紧密相邻，计量单元则安置在压缩机出口的下游处，如此能够缩短管道长度、减少压力损耗并削减施工成本。工艺流程的先后顺序还会对设备的楼层高度设计以及管道的布置层级产生影响，高压压缩机一般布置于便于操作的地面楼层，而计量与调压装置可适度布置在上方或侧面空间，借助合理的竖向和横向布置缩减占地面积，实现空间的高效利用。

在布局优化操作里，流程顺序对管道走向、支撑构造及安全区域划分同样有明显影响，要是压缩机跟调压装置之间的顺序安排欠妥，会造成管道出现过多的弯头或者交叉情况，提升施工难度与维护费用，同时或许会对安全通道和操作便捷性产生影响。借助科学剖析流程顺序，能够预先识别潜在的空间冲突之处，达成设备间的最优相对位置以及合理的管道走向，在真实的工程实例里，借助对部分流程顺序的调整，管道总体长度可降低约15~20%，与此同时腾出操作通道的空间，提升检修便捷性，彰显流程顺序在站场三维布置中的核心价值。

### 2.2 安全间距与防护要求对布置逻辑的约束

天然气长输站场的三维设置必须严格遵照安全间距及防护条件，这些限定直接判定设备相对位置和操作空间，依照《天然气长输站安全设计规范》，高压压缩机跟调压装置之间的最小防护距离应当不低于10 m，液体储罐跟气体分离器的间距需 $\geq 8$  m，易燃易爆单元周边需预留至少5 m的安全隔离区。这些数值既源自事故能量评估与爆炸冲击核算，还纳入了设备检修、消防通道以及人员安全操作所需的空间考量，在某典型站点里，压缩机组所占面积为15 m $\times$ 12 m，

其四周需另外预留10 m防护间隔和3 m操作过道，总体占地面积比单台设备实际占地增加了大约2.5倍，由此能看出安全间距对空间布局存在显著的约束作用。

防护要求还对站场三维层面布置与管道走向带来深刻影响，防爆墙、喷淋系统与防火隔离区的规划必须于设计前期纳入三维模型当中，不然或许会导致后期管道交错冲突或者操作通道匮乏，在实际的工程项目里，针对压缩机附近高压管道与阀门的布局，借助三维建模开展安全距离的验证工作，发现倘若间距小于1 m，管道维护的困难程度会增加大约30%，操作的风险提升约25%，安全间距与防护约束不只是规范的要求，而是布置逻辑优化的重要凭据，借助专业的数据分析能够切实指导设备排列次序、管道层级和通道规划，从而达成安全与空间利用的协调。

### 2.3 管道走向、检修维护与操作便利性的布局影响

管道走向于天然气长输站场三维布置里占据核心地位，其谋划直接关联到设备布局紧密性、施工可行程度和运行功效，合理的管道设置应依照最短路径与最少交叉的规则，以此减小压力损耗并降低弯头数目，同时保障各工艺单元按流程顺序顺畅连接。要是把高压压缩机出口到调压装置的管道布置成直线形式，大约可使管道长度减少10%—15%，减少施工成本与能耗；而复杂交叉或不合理绕路不仅会加大管道的长度，而且大概率导致空间矛盾，致使操作通道和安全间隔受限，进而影响后续运维的效率，管道走向尚需兼顾竖向布置，压缩机、计量与调压单元一般在不同标高布置，管道的上下层级必须进行合理安排，以实现三维空间的充分运用。

检修维护与操作便捷性是管道布局不容忽视的制约要素，全部阀门、仪表和管道关键节点应当保证操作人员可以抵达，检修通道的宽度一般需要 $\geq 2.5$  m，阀门的操作半径不得小于1 m，在实际的工程项目里，借助三维建模分析得出，要是管道交叉点过量或者通道匮乏，检修效率大概会降低20%，事故处理的响应时间会延长约15%，管道走向的规划不但关乎流程的连贯性与压力的损耗，还直接关乎运维便捷性和操作安全性，全面考量走向优化、通道设置和关键节点可抵达性，是达成高效、安全、可维护站场三维设置的关键。

## 3 三维布置优化的实践思路与应用方向

### 3.1 工艺流程优化对空间布置提升的促进作用

工艺流程的优化可直接促进天然气长输站场空间布置的改善，其关键原理是借助流程简化、功能单元合并或者模块化构造，降低设备数目和管道长度，以此增加站场空间，具体方法包括对预处理单元（像过滤

和脱水)开展集成化设计,采用多功能模块化构成的压缩机组,同时优化计量及调压单元的布局,令气体处理流程更为紧凑连贯。借助这一优化,不仅缩减了单元之间的水平占地范围,还可在垂直方向上实施合理层叠,增加空间利用比率,就像在某长输站场工程当中,把脱水和过滤单元整合为一体化模块之后,所占面积从原本的 $25\text{ m}^2$ 降低至 $18\text{ m}^2$ ,与此同时管道长度约缩短了12%,大幅提高了站场整体空间布局效率。

工艺流程的优化还可为操作通道与安全防护区域拓展更多的空间,增强运维的便捷性与安全性,凭借改善气体输送的顺序以及管道支路的设计方式,能够减少管道交叉点数量,使施工和维护的难度降低,同时给操作人员预留必要的检修通道和安全缓冲区。把压缩机和计量单元之间的管道走向从原先的迂回布局改成直线排布,不仅节约约10%的占地空间,还把检修通道宽度增加 $0.5\sim 1\text{ m}$ ,保障人员操作安全,工艺流程优化凭借降低设备占地规模、减短管道长度以及改善操作空间,为站场三维布置提供了科学的空间改善途径。

### 3.2 三维设计工具在布置逻辑中的应用策略

三维设计工具在天然气长输站场布置中具有显著作用,其核心应用策略是将工艺流程、设备结构、安全间距和操作通道信息整合到三维模型中,实现可视化设计与碰撞检测。具体做法包括:一是以工艺流程为核心建立三维模型,将气源接收、压缩、计量、调压及安全设施按流程顺序布置;二是设置安全约束和操作通道规则,实现设备间自动间距检查和通道预留;三是通过管道布置模拟减少交叉、优化层次,实现空间紧凑性与操作便利性的平衡。在实际工程中,中国石油某长输站利用PDMS三维设计工具进行布置优化,通过模型模拟管道走向、阀门位置及设备间安全距离,提前发现并消除了12处管道交叉冲突,将管道长度缩短约8%,同时增加了约20%的操作通道空间。

此外,三维设计工具还支持迭代优化和运维仿真功能,可在设计阶段验证检修可达性和安全防护效果。例如,在上述案例中,利用三维模型进行压缩机及调压单元周边操作仿真,发现若管道高度不足,检修人员操作半径将被限制,潜在事故风险增加。通过调整管道高度和层次布置,使操作半径满足 $\geq 1\text{ m}$ ,通道宽度 $\geq 2.5\text{ m}$ ,显著提升运维便利性和安全性。这一策略表明,三维设计工具不仅提高了设计效率,还为科学布置和空间优化提供了可量化的决策依据。

### 3.3 面向建设与运维一体化的布置优化路径

面向建设与运维一体化的布置优化路径首先应构建“设计—施工—运维”全过程联动机制,实现设计

阶段即兼顾运维需求的协同规划。具体策略包括:在前期三维建模中同步引入设备检修半径、阀门操作空间、吊装路径等运维参数,通过运维场景仿真验证布局可达性;施工阶段则依托BIM+GIS融合模型,实现设备定位、管道敷设和施工进度的动态联动,避免因施工偏差造成后期运维困难。此外,可采用模块化建设方式,将过滤、计量、调压等装置设计为标准化模块,在厂内预制并进行预测试,现场仅需组装与管线连接,不仅减少施工周期,还为未来的快速更换和扩容提供便利,为站场全生命周期优化奠定基础。

在运维阶段,布置优化路径应侧重于通过数字化手段实现设施全生命周期管理。通过将三维布置模型与运行监测系统(如SCADA、压缩机振动监测、管道应力监测)深度融合,可实现设备健康状态在三维空间的实时映射,快速定位异常点位并可视化分析维修路径。例如,当压力调节阀出现异常时,系统可在三维模型中自动高亮其位置并规划最短检修路线。同时,通过三维模型辅助制定年度检修计划和吊装风险评估,使维护人员在检修前即可预判空间冲突、吊装障碍和安全间距问题,提高维修效率与安全性。通过上述路径,天然气站场的建设与运维不再割裂,而是形成以三维模型为核心载体的“设计即运维”的一体化模式,实现空间利用、安全防护与运维效率的整体提升。

## 4 结束语

天然气长输站场三维布置是工艺、结构、安全与运维需求综合的结果。本文通过分析工艺流程构成、运行特性及其对三维布置的关键影响因素,明确了流程顺序、安全间距、管道走向及操作便利性对布局逻辑的约束机制。同时,提出了基于工艺优化与三维设计工具的实践路径,为站场建设与运维一体化提供参考。未来研究可进一步结合数字孪生与智能运维技术,实现布置优化的动态调整与实时管理,为长输站场设计提供更高水平的智能化支持。

### 参考文献:

- [1] 姜晗,康楠,周津卉,等.基于全数字化协同设计的天然气管道工程站场设计[J].油气田地面工程,2021,40(9):45-50.
- [2] SH/T 3169-2022.长输油气管道站场布置规范[S].北京:中国工业和信息化部,2022.
- [3] 苏胜利.探究输气管道工程中站场总图设计[J].化工管理,2020(2):197-198.
- [4] 陈东.天然气长输管道运行安全风险及控制措施[J].石化技术,2022,29(10):75-77.
- [5] 马新雨,伍颖.石油天然气长输管道工程项目风险管理探讨[J].居舍,2021(12):138-139.