

输气管道压缩机厂房设置优选方案

董平省¹ 刘少山¹ 安云朋¹ 吴凤荣¹ 黄蕾²

1. 中国石油天然气管道工程有限公司 2. 中国石油天然气股份有限公司管道长春输油气分公司

摘 要 输气管道压缩机组厂房有独立厂房和联合厂房两种主要形式,前者安全性、灵活性较好,但占地多、投资高,后者占地少、投资低,但安全性、灵活性较差,面对不断提升的安全环保要求以及用地日益紧张的局面,新建输气管道压缩机厂房的设置形式备受关注,也存在着较大的争议。为此,系统地研究了北美、苏联、欧洲、国内等标准规范中压缩机厂房设置的要求,调研了国内外多个著名管道工程的实际做法,并结合实际工程,利用专业软件对独立厂房和联合厂房两种方案开展了量化风险分析和经济评价。研究表明:①国内外主要设计规范均未对压缩机厂房设置形式提出明确要求;②加拿大和苏联地区,独立厂房最为常用,在美国以及欧洲,独立厂房和联合厂房设置兼而有之,而在国内,基本采用联合厂房的方案;③从站场安全及输气管道系统安全的角度考虑,独立厂房优于联合厂房方案,从经济角度考虑联合厂房方案较优;④从征地角度考虑,以4台机组为例,独立厂房方案较联合厂房方案多征用地3600平方米左右,联合厂房方案优势明显。结论认为,长输管道压气站建设过程中,若项目征地较容易,建议设置独立厂房方案。

关键词 压气站场 压缩机厂房 联合厂房 独立厂房 风险评价 失效 火灾 ESD 系统

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2019.10.013

Setting optimization schemes of a gas pipeline compressor plant

Dong Pingsheng¹, Liu Shaoshan¹, An Yunpeng¹, Wu Fengrong¹ & Huang Lei²

(1. China Petroleum Pipeline Engineering Corporation, Langfang, Hebei 065000, China; 2. Changchun Oil & Gas Transportation Sub-Company, PetroChina Pipeline Co., Ltd., Changchun, Jilin 130000, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 39, ISSUE 10, pp.103-109, 10/25/2019. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Gas pipeline compressor plants are set mainly in two forms, i.e., independent plants and joint plants. The former is safe and flexible, but covers a large area and needs high investment, while the latter covers a small area and requires low investment, but its safety and flexibility is poor. Facing the ever-increasing safety and environmental protection requirements and increasingly shortage of land, the setting form of a newly built gas pipeline compressor plant has attracted much attention and controversy. In this paper, the setting requirements of compressor plants stipulated in the standards and specifications of North America, the former Soviet Union, Europe, and China were studied systematically, and the actual setting approaches adopted in several domestic and foreign famous pipeline projects were investigated. Then, based on the actual engineering, quantitative risk analysis and economic evaluation were carried out on the two schemes of independent plants and joint plants by means of a specialized software. And the following research results were obtained. First, there is no clear requirements on the setting form of compressor plants in domestic and foreign main design specifications. Second, in Canada and the former Soviet Union, independent plants are widely applied. In the United States and Europe, both independent and joint plants are commonly applied. And in domestic market, joint plants are usually applied. Third, from the safety perspective of stations and gas pipeline systems, independent plants are superior to joint plants. From the economic perspective, joint plants are much better. Fourth, if both schemes are compared from the aspect of land acquisition, taking 4 compressor sets as an example, an independent plant scheme requires about 3600 m² more land, in this way a joint plant scheme seems more dominate. However, if in the construction of gas compressor stations of long-distance pipeline with much more land easier to occupy, an independent plant scheme should be recommended.

Keywords: Gas compressor station; Compressor plant; Joint plant; Independent plant; Risk assessment; Failure; Fire; ESD system

作者简介: 董平省, 1980年生, 高级工程师, 硕士; 2005年毕业于中国石油大学(华东)并获得硕士学位; 主要从事油气长输管道的设计工作。地址: (065000) 河北省廊坊市和平路146号中石油管道设计大厦。电话: (0316) 2075150, 13463627008。ORCID: 0000-0002-2547-5817。E-mail: dongpingsheng@cnpcc.com.cn

0 引言

压缩机厂房是天然气管道站场重要的建筑单体,用于保护压缩机组免受外界自然环境的影响,为运行维护人员提供合适的工作场所以及减少压缩机组对周边环境的噪声影响。常见的压缩机厂房设置方案包括联合厂房方案(多台压缩机组布置在同一座压缩机厂房内)和独立厂房方案(各压缩机组分别设置在独立的压缩机厂房内)。前者占地较少、共用设施较多、经济投资较小,但厂房内若有报警或其他紧急工况,厂房内所有的压缩机组都需停车,压缩机组之间相互影响较多;后者虽然占地较多,各种仪表系统、照明系统、通风系统、桁吊等都需要单独设置,经济投资较高,但厂房及压缩机组之间相互影响较小、安全可靠较高、运行较灵活。究竟选择何种方案来设置压缩机厂房,在以往的设计文件中鲜有提及。近年来,随着我国天然气管道建设的快速发展,天然气场站用地大小与日益紧张的土地资源之间的矛盾越来越突出,同时,对于场站运行的安全性、灵活性同样也不容忽视。对于设计阶段到底选取何种压缩机厂房设置方案有必要进行深入研究。为此,结合国内外相关规范和工程实践^[1-2],对上述两种布置方案的影响因素进行了分析,给出了确定压缩机厂房设置方案的分析方法^[3-9],以供相关设计人员参考。

1 国内外标准规范及相关规定

1.1 美国标准、法规

1) ASME B31.8—2018《气体输送和分配管道系统》^[10]。本规范并未明确提出压气站场中压缩机厂房采用独立厂房方案或联合厂房方案,仅在843压气站中,843.1.1提出压缩机厂房与周边非同一公司管辖的设施留有一定的间距,以降低周边建筑物失火造成对压缩机厂房的灾害影响,压缩机厂房周边留有足够的空地,以便消防设备能够自由进出。

2) 49CFR 192.163《美国联邦法典第49部—运输中第192部分—管道输送天然气和其他气体》^[11]。压缩机站设计和施工中未对压缩机厂房布置方案进行规定。

1.2 苏联规范

1) 苏联天然气工业部 OHTII 51-1—1985《干线输气管道工艺设计规范》^[12]。本规范并未明确提出

压气站场中压缩机厂房采用独立厂房方案或联合厂房方案,在规范3.2.1中明确了压气站场压缩机厂房布置方案应根据车间内输气机组的结构特点,输气机组应当安装在共用建筑物、单独建筑物或集装箱内。

2) 哈萨克斯坦规范(以下简称为哈国规范)CT PK 1916—2009《干线输气管道工艺设计要求》^[13]。在规范7.3.2中规定,压缩机组可以安装在独立的易于组装的厂房内、橇装设计或公共建筑物内。

1.3 欧洲标准

1) 欧洲标准 EN12186—2014《燃气设施:输配用调压站 功能要求》^[14]。本规范并未明确提出压气站场中压缩机厂房采用独立厂房方案或联合厂房方案,仅在7.2中对厂房各部分的材质、防火以及通风要求进行了说明。

2) 英国标准 IGEM/TD/1 Editon 5《英国燃气协会高压天然气管道安装与输送》^[15]。本规范并未明确提出压气站场中压缩机厂房采用独立厂房方案或联合厂房方案,仅在9.2中规定了站场选址要求以及站内各设备的布置要保证安全和维修通道要求。

1.4 ISO 标准

1) ISO 13623:2017《石油和天然气工业:管道输送系统》^[16]。本规范并未明确提出压气站场中压缩机厂房采用独立厂房方案或联合厂房方案,仅在7.2中布局中规定了场站各设备布局要尽可能地减少火灾影响。

1.5 国内标准

1) GB 50251—2015《输气管道工程设计规范》^[17]。该规范第6.3节压缩机组的布置和厂房设计中对压缩机组是露天安装还是室内安装、全封闭厂房和半敞开式厂房以及机组的布置间距和防火要求进行了说明。该规范未就独立厂房和联合厂房设置进行说明。

2) GB 50183—2004《石油天然气工程设计防火规范》^[18]。GB50183—2004没有对压缩机厂房是设置独立厂房还是联合厂房做出要求。

3) GB 50016—2014《建筑设计防火规范》^[19]。该规范对不同类型厂房的耐火等级和防火分区的最大允许建筑面积进行了规定,未针对压缩机组厂房设置方案进行说明。

综上可知,各国标准均对压缩机组厂房设置未做要求。

2 国内外典型工程

2.1 北美典型管道

2.1.1 Alliance 管道

Alliance 管道设计输气量为 $(37.5 \sim 45.3) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ 。全线共设 14 座压气站, 加拿大和美国各 7 座, 干线全长 2 988 km, 加拿大境内集气干线管径为 1 016 mm, 管长为 339 km, 输气干线管径为 9 146 mm, 管长为 2 649 km, 全线 14 个压气站仅首末站设置多台机组, 其余站场 1 站 1 机。通过查询相关资料, Alliance 管道压气站场压缩机厂房采用独立厂房方式。

2.1.2 Kern River 天然气管道

Kern River 天然气管道隶属于美国科恩河输气公司。管道起始于怀俄明州的气田, 终于加利福尼亚州的贝克斯菲尔德 (Bakersfield), 管道全长 2 688 km, 管径介于 914.4 ~ 1 066.8 mm, 管道埋深介于 0.9 ~ 1.5 m。管道输送能力为 $4 800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 共有 11 个增压站, 采用美国索拉公司的燃气轮机驱动离心式压缩机组 19 台, 增压站总功率为 213 270 kW。压气站场压缩机厂房采用联合厂房方式。

2.1.3 落基快线天然气管道 (Rockies Express Pipeline, REX)

落基快线起于美国西部的科罗拉多州最后达到东部的俄亥俄州, 通过 8 个州, 全长 2 702 km, 其中 2 483 km 管径为 1 067 mm, 设计压力为 10.2 MPa, 设计输气量为 $180 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。自 2006 年开始分段分期建设, 全线于 2009 年 11 月 12 日投产。压气站场压缩机厂房采用联合厂房方式。

2.1.4 TransCanada 输气管道

横贯加拿大输气管道全长 8 500 km, 管径介于 500 ~ 1 000 mm, 拥有 46 座压气站、2 座移动式压气机组和 145 座调压计量站。管道输气量达 $300 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。压气站场压缩机厂房采用独立厂房方式。

2.2 苏联地区管道

2.2.1 俄罗斯奥伦堡—乌日戈罗德输气管道

管道长 2 790 km, 管径为 1 420 mm, 工作压力为 7.45 MPa。共 22 座压气站, 站间距离 106 ~ 170 km。管道建设过程中采用模块化建设, 压缩机组设

置在独立厂房内。

2.2.2 俄罗斯共青城—车列亚宾克输气管道

管道单线, 管径为 1 420 mm, 操作压力 7.45 MPa。管道长 1 547 km, 计划建造 13 座压气站。为了安全运行和维护, 每台压缩机设置在单独的建筑物内, 由控制中心和电力设施间提供控制。

2.2.3 中亚输气管道

中亚 A/B/C 线管道, 采用独立厂房布置方案, 压缩机厂房布置过程中除了考虑厂房间的维检修通道外, 还按照中亚地区规范要求, 各压气站场需设置独立的避雷针, 压缩机厂房应设置在避雷针的保护范围内, 故各厂房间距基本相等, 约 20 m。

2.3 泰国压气站

泰国压气站设计压力为 9.8 MPa, 最大运行压力为 8.72 MPa, 站内设置 4 台压缩机组, 采用 2 座独立厂房, 每座厂房设置 2 台压缩机组。两座厂房间距仅考虑维修、检修通道。

2.4 国内典型工程

2.4.1 西气东输管道

西气东输管道系统是我国从西北向东部输送塔里木气田来气及中亚 A/B/C 线来气的重要能源通道, 压气站中主要采用联合压缩机厂房 (西一线安全改造工程部分站场增加单独厂房)。厂房布置过程中, 考虑与周边建构筑物的防火间距。厂房内部考虑压缩机维修、检修通道。

2.4.2 陕京系统输气管道

陕京输气管道系统 (陕京一线、二线、三线等) 压气站中也采用联合压缩机厂房。厂房布置过程中, 考虑与周边建构筑物的防火间距。厂房内部考虑压缩机维修、检修通道。

2.4.3 中缅输气管道

中缅输气管道系统压气站中采用联合压缩机厂房。厂房布置过程中, 考虑与周边建构筑物的防火间距。厂房内部考虑压缩机维修、检修通道。

通过对国外典型工程和国内典型工程调研分析得知, 北美管道中加拿大境内以独立厂房为主, 美国管道压缩机设置独立厂房方案或联合厂房方案都有, 苏联地区压缩机厂房大部分为独立厂房方案, 国内输气管道目前主要为联合厂房方案。

3 压气站场安全风险分析

3.1 压缩机厂房防火、抗爆设计原则分析

3.1.1 防火设计原则分析

结合国内外工程和相关规范分析，当压缩机组联合布置位于一座厂房内时即联合厂房方案，各压缩机组之间仅考虑操作及运行维修、检修要求，不考虑防火间距。当压缩机布置在独立厂房内时，各压缩机厂房之间仅执行 GB 50016—2014《建筑设计防火规范》，考虑建筑防火间距。

3.1.2 抗爆设计原则分析

压气站场区内的建筑单体，对于哪些需要进行抗爆设计，没有相应的规范、标准给出明确的规定。但是抗爆建筑的设置原则是，当发生爆炸事故时，必须确保建筑物内的操作人员生命安全及关键设备正常工作，以防止系统中断而引发次生灾害或扩大事故后果。因此，控制室作为全场生产装置操作、控制的中心，一般需要进行抗爆设计。在国际项目中，也有业主认为供配电系统也是在发生爆炸事故时保证关键设备正常运行的重要保障，因此，也要求发配电间（变电所）进行抗爆设计。例如泰国压气站项目，发配电间就是抗爆建筑。

3.2 压缩机厂房火灾、爆炸安全风险分析

压缩机组在运行过程中，不仅输送的高压天然

气是重要火灾危险源，为维护机组运行，压缩机组中含有大量的润滑油，同样也是危险源（以国产 18 MW 高速直联电驱机组为例，含有约 11 330 L 润滑油。当机组或与机组连接的管道、管件发生天然气泄漏引起火灾或润滑油意外点燃，均可能引起天然气和润滑油同时燃烧，进而可能造成机组、润滑油罐爆炸等风险。为了更进一步对不同厂房方案进行安全风险对比分析，笔者对压缩机组发生的火灾爆炸进行了定量计算分析。

参照国内外有关标准规范作为评价标准，火焰热辐射强度和爆炸冲击波对建筑物的影响依据 AQ/T 3046 和挪威船级社（Det Norske Veritas, DNV）《A guide to QRA for Offshore Installation》，泄漏气体点火后热辐射强度的影响标准，采用挪威船级社开发的 DNV PHAST 软件计算不同泄漏场景及后果。

压缩机单元管道破裂时发生喷射火时下风向的影响范围分别见表 1 和图 1。

设计压力为 12 MPa 压缩机单元管道破裂时发生爆炸时下风向的影响范围在 30 m 内爆炸冲击波为 1.97 MPa，持续时间约为 0.1 s（图 2、3）。

压缩机厂房为有爆炸危险的甲类厂房，耐火极限为二级。根据上述定量计算，得出如下结论。

1) 当机组发生火灾不考虑爆炸工况（独立厂房，厂房间距为 12 m）。压缩机厂房的燃烧持续时间介于 4 ~ 49 min。考虑尽量避免独立厂房之间燃烧的影响，将独立厂房相邻外墙（山墙）的耐火时间提高

表 1 压缩机单元管道泄漏喷射火影响最远距离表

压缩机进口管道直径 / mm	压力 / MPa	泄漏场景	火焰长度 / m	不同热通量下的影响距离 / m		
				4.73 kW/m ²	25 kW/m ²	37.5 kW/m ²
914	10	大孔泄漏	60.9	105.7	21.05	—
813	10	小孔泄漏	368.6	600.6	137.60	58.46
914	12	大孔泄漏	66.62	116.6	24.20	—
813	12	小孔泄漏	402.5	653.6	151.10	67.01

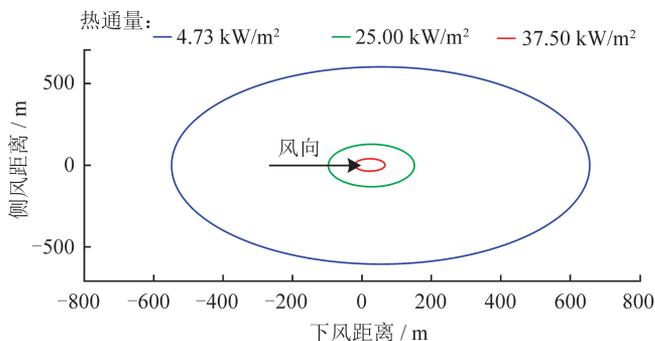


图 1 风速 8 m/s、设计压力 12 MPa 条件下压缩机单元管道泄漏喷射火热辐射影响距离图

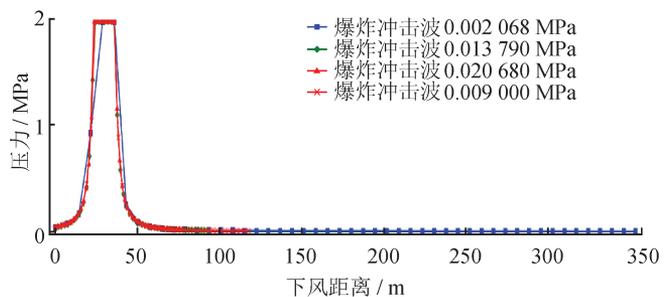


图 2 风速 8 m/s、设计压力 12 MPa 条件下压缩机单元管道泄漏单一爆炸冲击波随距离变化图

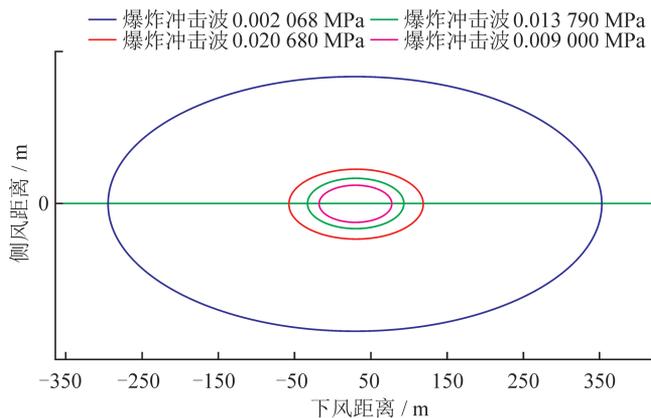


图 3 风速 8 m/s、设计压力 12 MPa 条件下压缩机单元管道泄漏爆炸冲击波随距离变化图

到 48 ~ 60 min，可起到一定的阻燃作用，未发生火灾的厂房，机组可能不被波及，独立厂房方案优于联合厂房方案。

2) 当压缩机组发生爆炸工况。压缩机组发生火灾后，有可能引起爆炸，压缩机单元管道破裂时发生爆炸时下风向的影响范围在 30 m 内爆炸冲击波为 1.97 MPa，厂区范围内的所有建筑物等可能被摧毁。无论是联合厂房方案还是独立厂房方案，后果基本一致^[20-22]。

4 管道系统供气安全分析

对于单条管线的压气站场，紧急停车系统 (Emergency Shutdown Device, ESD) 通常分为 3 级，即单机组 ESD、压缩机厂房 ESD 和全站 ESD。对于多条管道组成的联合站场，ESD 往往分为 4 级，即单机组 ESD、压缩机厂房 ESD、单条管线 ESD 和全站 ESD^[23-25]。

采用独立厂房方案，若压缩机厂房可燃气体浓度超限 (厂房内有 2 个或 2 个以上的可燃气体浓度探测仪检测到可燃气体浓度超过最低爆炸下限的 40%)，则会直接触发站场第二级 ESD (压缩机厂房 ESD) 间接触发站场第一级 ESD (单机组 ESD)，造成这座独立厂房内的压缩机组停运。

采用联合厂房方案，若厂房内可燃气体浓度探测仪探测到可燃气体浓度超过 40% 爆炸下限，则会直接触发站场第二级 ESD (压缩机厂房 ESD) 间接触发站场第一级 ESD (所有机组 ESD)，造成联合厂房内所有压缩机组停运。

当站场发生火灾工况，无论是独立厂房方案，还是联合厂房方案，都将执行第三级全站 ESD，所

有机组停运。

某输气管道设计输气量为 $1.1316 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ ，管径为 1 422 mm，设计压力为 12 MPa，管线长度为 870 km。分别以该输气管线首站和中间压气站和末端压气站为例，进行输气管道系统失效降量分析 (表 2)。

表 2 某输气管道压缩机组停车输气管道系统降量表

站场	设计输气量 / ($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	机组设置	1 台失效	2 ~ 3 台失效 (站场失效)
首站	1.131 6	20MW, 3+1	5.0%	20.5%
中间站		20MW, 3+1	2.4%	12.0%
末站		20MW, 3+1	4.2%	16.8%

根据上述分析，独立厂房方案较联合厂房方案在发生厂房 ESD 时，处置较灵活，造成整站停车的可能性较联合厂房小。当 1 台机组发生事故造成机组停车时，采用独立压缩机厂房方案，输气管道系统基本无降量，采用联合厂房方案对管道整体输气量有一定的影响。当 2 台及多台机组发生事故造成机组停车时，场站压缩机组整体失效，独立压缩机厂房方案与联合厂房方案影响相同^[26]。

5 不同布置方案下经济对比

独立压缩机厂房方案与联合压缩机厂房方案在经济上主要体现在征地费用、土建工程费用、安装费用、压缩机厂房配套设备 (吊车、各种仪表探头、照明、消防设备、暖通设施等)、厂房内各设备运行费用等^[3-9]。笔者以我国北方某管线为例，对站场设置 4 台压缩机组、3 台压缩机组、2 台压缩机组分别布置在独立厂房和联合厂房两个方案进行经济对比分析，结果如表 3 ~ 5 所示。

表 3 4 台压缩机组不同厂房设置方案费用现值表

费用项目	厂房设置方案	
	联合厂房	独立厂房 (相距 12 m)
方案投资 / 万元	3 889	4 746
年运行费用 / 万元	143	169
费用现值 / 万元	5 089	6 153

注：1) 维护与修理费按照项目投资 2.5% 计取；2) 电费按 0.7 元 / (kW · h) 计；3) 运行维护费用折现按照 30 年考虑，下表同

表 4 3 台压缩机组不同厂房设置方案费用现值表

费用项目	厂房设置方案	
	联合厂房	独立厂房 (相距 12 m)
方案投资 / 万元	2 966	3 590
年运行费用 / 万元	105	128
费用现值 / 万元	3 845	4 658

表 5 2 台压缩机组不同厂房设置方案费用现值表

费用项目	厂房设置方案	
	联合厂房	独立厂房 (相距 12 m)
方案投资 / 万元	2 043	2 384
年运行费用 / 万元	74	85
费用现值 / 万元	2 662	3 091

根据上述对比,当压气站场设置 4 台压缩机组时,压气站采用联合厂房方案,费用现值最低,与独立压缩机厂房方案相差约 1 064 万元,减少幅度约 17.3%;当压气站场设置 3 台压缩机组时,压气站采用联合厂房方案与独立压缩机厂房方案相差约 813 万元,减少幅度约 17.5%;当压气站场设置 2 台压缩机组时,压气站采用联合厂房方案与独立压缩机厂房方案相差约 429 万元,减少幅度约 13.9%。

6 结论

1) 从站场安全角度考虑,站场若只发生火灾工况,独立厂房有一定的控制火灾作用,有一定的优势,但考虑到压缩机输送的高压天然气及机组自身的润滑油储罐发生火灾引起爆炸,产生爆炸对于独立厂房和联合厂房的后果基本一致。

2) 从供气安全角度考虑,由于仪表探头等原因引起的机组失效,独立厂房方案对于输气管道系统降量恢复更快,若管道上游气源有补提能力,则无论采用独立厂房方案还是联合厂房方案基本上都能满足全年的管输要求。

3) 从经济角度考虑,以 4 台机组为例,独立厂房方案较联合厂房方案费用现值高出约 1 064 万元,增加幅度约 17.3%,联合厂房方案经济性有优势。

4) 从运行维护角度考虑,独立厂房方案在厂内检修设备较方便。联合厂房方案在设备检修时,需要在机组间设置围挡。但独立厂房方案所配备的各

种电气、仪表设备增加,造成维护工作量增加,运行成本维护工作量增加,联合厂房方案略有优势。

5) 从征地角度考虑,近年来国家对土地征用审批更加严格,基本农田更是企业征地不可逾越的红线。以 4 台机组为例,独立厂房方案较联合厂房方案多征用地 5.4 亩,联合厂房方案优势明显。

综合考虑,视征地情况、机组多少而定,相对于机组较多的站场,若征地容易,建议设置独立厂房方案。

参 考 文 献

- [1] 阎光灿. 世界长输天然气管道综述[J]. 天然气与石油, 2000, 18(3): 9-19.
Yan Guangcan. Summerization of long-distance gas transmission pipeline in the world[J]. Natural Gas and Oil, 2000, 18(3): 9-19.
- [2] 王善珂, 张文伟, 陶平, 郝先国. 西气东输工程压气站工艺流程设计[J]. 油气储运, 2004, 23(2): 10-11.
Wang Shanke, Zhang Wenwei, Tao Ping & Hao Xianguo. Technological process design of gas compressor station in west-to-east gas pipeline project[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2004, 23(2): 10-11.
- [3] Mohitpour M, Golshan H & Murray A. 管道设计与施工实用方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
Mohitpour M, Golshan H & Murray A. Pipeline design&construction: A practical approach[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [4] 陈逢刚, 吴笑菊. 天然气压气站设计及运行研究[J]. 石油与天然气化工, 2016, 45(5): 35-42.
Chen Fenggang & Wu Xiaojie. Design and operation of natural gas compressor station[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2016, 45(5): 35-42.
- [5] 毛德海. 某天然气压气站压缩机厂房的通风设计[J]. 当代化工, 2014, 43(11): 2393-2394.
Mao Dehai. Centilation design of compressor room in a natural gas compressor station[J]. Contemporary Chemical Industry, 2014, 43(11): 2393-2394.
- [6] 赵立前, 李京, 刘跃. 输气管道压缩机厂房通风设计研究[J]. 天然气与石油, 2017, 35(5): 93-98.
Zhao Liqian, Li Jing & Liu Yue. The study on ventilation design of compressor plant for gas pipeline[J]. Natural Gas and Oil, 2017, 35(5): 93-98.
- [7] 张丽芳, 侯文胜. 某输气管道增输工程职业病危害控制效果评价分析[J]. 实用预防医学, 2013, 20(11): 1339-1340.
Zhang Lifang & Hou Wensheng. Evaluation on control effect of occupational hazards on a gas pipeline increase[J]. Practical Preventive Medicine, 2013, 20(11): 1339-1340.
- [8] 相宇. 天然气压缩机厂房降噪的设计措施[J]. 油气田地面工程, 2017, 36(6): 39-42.
Xiang Yu. Noise reduction design of the natural gas compressor workshop[J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2017, 36(6):

- 39-42.
- [9] 方纲. 压缩机厂房桥式起重机选型浅析 [J]. 化肥设计, 2008, 46(6): 22-24.
Fang Gang. Briefly analyzing the type selection of bridge crane in compressor building[J]. Chemical Fertilizer Design, 2008, 46(6): 22-24.
- [10] The American Society of Mechanical Engineers. Gas transmission and distribution piping systems: ASME B31.8[S]. New York: ASME, 2018.
- [11] The US DOT Pipeline and Hazardous Materials Administration. Transportation of natural and other gas by pipeline: Minimum federal safety standards - 192.163 compressor stations: Design and construction: 49CFR192.163[S]. US, 2018.
- [12] Ministry of Natural Gas Industry of USSR. Design code for trunk line gas pipeline: OHTII 51-1-85[S]. Beijing: National Library of Standards, 1985.
- [13] Ministry of Petroleum and Natural Gas Industry of Kazakhstan. Main gas pipeline process design requirements: CT PK 1916[S]. Nur Sultan: Kazakhstan, 2009.
- [14] European Committee on Standardization. Gas infrastructure—Gas pressure regulating stations for transmission and distribution Functional requirements: EN12186[S]. Brussels: EN, 2014.
- [15] The Institution of Gas Engineers and Managers. Steel pipelines and associated installations for high pressure gas transmission: IGEM/TD/1 Edition 5[S]. London: IGEM, 2008.
- [16] International Organization for Standardization. Petroleum and natural gas industries—pipeline transportation systems: ISO 13623[S]. Zurich: ISO, 2017.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 输气管道工程设计规范: GB 50251—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the PRC & State Administration for Market Regulation. Code for design of gas transmission pipeline engineering: GB 50251-2015[S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [18] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 石油天然气工程设计防火规范: GB 50183—2004[S]. 北京: 中国计划出版社, 2004.
Ministry of Construction of the PRC & State Administration for Market Regulation. Code for fire protection design of petroleum and natural gas engineering: GB 50183-2004[S]. Beijing: China Planning Press, 2004.
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑设计防火规范: GB 50016—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the PRC & State Administration for Market Regulation. Code for fire protection design of buildings: GB 50016-2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [20] 蒋宏业, 姚安林, 毛建, 朱珊珊. 输气管道压气站事故人为因素研究 [J]. 石油矿场机械, 2011, 40(3): 17-19.
Jiang Hongye, Yao Anlin, Mao Jian & Zhu Shanshan. Research on human factors to accidents of gas compressing stations in transmission line[J]. Oil Field Equipment, 2011, 40(3): 17-19.
- [21] 范勇, 荣蕾, 李胜利, 李麟, 孙德静, 田涛. 压缩机厂房可燃气体泄漏扩散的数值模拟 [J]. 石油与天然气化工, 2018, 47(1): 115-120.
Fan Yong, Rong Lei, Li Shengli, Li Lin, Sun Dejing & Tian Tao. Numerical simulation of combustible gas leakage and diffusion in compressor workshop[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2018, 47(1): 115-120.
- [22] 王海清, 石维民, 赖澎. 个人定量风险准则分解方法及其在天然气压气站的应用 [J]. 天然气工业, 2016, 36(5): 163-167.
Wang Haiqing, Shi Weimin & Lai Peng. Decomposition of quantitative individual risk tolerable criteria and its application to natural gas compression stations[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(5): 163-167.
- [23] 潘虹. 天然气管道压气站安全仪表系统的应用探究 [J]. 石化技术, 2009(5): 182.
Pan Hong. Research on the application of safety instrument system in natural gas pipeline compressor station[J]. Petrochemical Industry Technology, 2009(5): 182.
- [24] 王建国. ESD 系统在天然气输气管道的应用 [J]. 自动化博览, 2008(7): 36-38.
Wang Jianguo. Application of ESD system in natural gas pipeline[J]. Automation Panorama, 2008(7): 36-38.
- [25] 谢青青. 输气干线系统失效模式研究 [J]. 当代化工, 2015, 44(7): 1711-1714.
Xie Qingqing. Research on the failure mode of transmission system[J]. Contemporary Chemical Industry, 2015, 44(7): 1711-1714.
- [26] 李欣泽. 利用 SPS 模拟川气东送管道压气站失效问题 [J]. 管道技术与设备, 2017(3): 11-13.
Li Xinze. Failure problems of compressor stations in Sichuan-East gas pipeline based on SPS simulation[J]. Pipeline Technique and Equipment, 2017(3): 11-13.

(修改回稿日期 2019-08-05 编辑 何明)