基于功能分区的天然气处理厂设施布局优化研究

秦慧艳[1] 陈一水[1] 李 龙[2] 赵卫伟[3]

1. 国家管网集团工程技术创新有限公司， 天津 300450；
2. 中国石油工程建设有限公司西南分公司， 四川 成都 610041；
3. 北京东方华智石油工程有限公司， 天津 300450

摘 要：随着天然气行业的快速发展，天然气处理厂建设的规模和复杂性不断提升，传统设计方法常出现设计反复、效率低下等问题，影响工程进度和质量。为优化设计效果、提升设计效率，以某天然气处理厂为例，研究了项目在初步设计阶段中若干次总图设计方案，提出了基于功能分区的天然气处理厂设施布局优化方法。首先确保输入资料准确，并采用“先整体、后局部”的布局顺序，一次性完成功能分区的整体布局，避免大规模修改；随后在各分区内进行微调，完善布置方案。研究表明，基于功能分区的天然气处理厂设施布局优化方法优化了设计流程，在提高设计与管理水平的同时也提升了安全性、实用性、经济性、合理性和美观性。研究结果可为天然气处理厂总图设计提供参考。

关键词：天然气处理厂；功能分区；布局优化

DOI：10.3969/j.issn.1006-5539.2026.04.012

Research on optimization of facility layout of natural gas processing plant based on functional zoning

Qin Huiyan[1], Chen Yishui[1], Li Long[2], Zhao Weiwei[3]

1. PipeChina Engineering Technology & Innovation Co., Ltd., Tianjin, 300450, China;
2. CPECC Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China;
3. Beijing Dongfang Huazhi Petroleum Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300450, China

Abstract: With the rapid development of the natural gas industry, the scale and complexity of natural gas processing plant construction continue to increase. Traditional design methods often suffer from repeated revisions and low efficiency, which adversely affect project schedule and quality. To optimize design effectiveness and improve design efficiency, this study takes a natural gas processing plant as a case study and examines several plot plan schemes developed across preliminary design phase. A facility layout method of natural gas processing plant based on functional zoning is proposed. This method first ensures the accuracy of input data and adopts a layout sequence of “overall first, then local”: the overall layout of functional zones is completed in one iteration to avoid large-scale modifications, followed by fine-tuning within each zone to refine the layout scheme. The research shows that this method optimizes the design process while enhancing safety, practicality, economy, rationality, and aesthetics. The research has provided references for plot plan design of natural gas processing plants.

Keywords: Natural gas processing plant; Functional zoning; Layout optimization

收稿日期：2025-12-24

基金项目：中国石油工程建设有限公司西南分公司项目“冀东油田神木气田佳县区块南区产能建设地面工程”（S2021135D）

作者简介：秦慧艳（1983-），男，高级工程师，学士，主要从事天然气储运研究与设计。E-mail：313149684@qq.com

0　前言

天然气处理厂是油气田开发体系中的关键环节，厂区设施布局设计作为天然气处理厂工程建设的前置核心环节，其方案优劣不仅影响工艺流程的衔接顺畅度与生产运行效率，更直接关系到厂区安全防护、环境保护及远期扩建的可行性[1-2]。

在当前工程实践中，厂区布局多依赖设计人员的个人经验判断，方案质量受人员能力影响波动较大，易出现厂区空间利用效率不足、功能分区间协同性欠佳、工艺流程折返冗余等问题，甚至埋下潜在的安全与环保隐患。与此同时，总图方案颠覆性修改是行业普遍痛点，牵动全专业同步返工，严重拖累设计进度、产生大量无效工作量，也影响设计成果质量与设计单位声誉[3]。此外，当前天然气处理厂布局设计仍缺乏成体系的定量化优化方法，多数成果停留在经验总结与规范符合性设计层面。现有研究多侧重分区内单体设施的细部优化，对功能分区的宏观整体布局关注不足，无法从源头规避方案颠覆性调整；且对设计全流程的方案稳定性考量不足，未适配资料频繁变动、专业诉求差异等实际工程场景，难以解决前期决策草率、后期反复修改的行业通病[4-6]。

针对上述工程痛点与方法短板，本文以天然气处理厂设施布局优化为核心，提出“先整体、后局部”的布局顺序，将功能分区作为方案管控的核心层。该方法既补充了总图设计全流程优化的方法体系，弥补现有研究重局部、轻整体的不足；也可通过前置系统分析锁定整体方案，从根源减少后期颠覆性调整，降低专业协同成本与无效工作量，兼顾布局的经济性、合理性与美观性，可为同类工程设计提供参考借鉴。

1　天然气处理厂总图设计

1.1　输入条件收集

输入条件是总图方案布置的前提基础，设计输入资料的完整性与准确性直接决定总图功能分区布局的科学合理性[7]。输入条件收集范围包含：1）地方政府行政批复文件，如安全预评价及批复、环境预评价及批复、地质灾害评价及批复、防洪评价及批复、文物评价及批复、建设项目选址意见书、规划设计条件通知书、周边规划文件、拆（搬）迁协议、道路规划路由、油气管线规划路由、外电规划路由、给排水规划路由或接口等；2）工程资料，如设计委托、测绘图、勘察报告、批复和可行性研究报告、相关专业的资料、业主或政府其他特殊要求。

1.2　输入条件分析

为确定总图布置原则[8]，须结合工程实际情况，确定输入条件的权重等级，将输入条件划分为应满足的条件和宜满足的条件。应满足的条件包含：法律、法规、标准要求，如现行国家法律，部门条例，国家、地方、行业标准规范；各项预评价，如安全、环保、消防、防洪等预评价，第三方专项报告；地方政府行政要求，如涉及土地、规划、拆（搬）迁、路由、接口等；业主委托要求，如设计委托；其他特殊要求[9]。宜满足的条件包含：涉及经济性、实用性、美观性的要求。

1.3　总图布置主要原则确定

通过分析输入条件，将应满足的输入条件作为总图布置的主要原则，将宜满足的输入条件作为总图布置的次要原则。

1.4　功能分区布置方案设计

功能分区的目的首先是方便管理，将功能相同和相近的设施集中布置，便于集中管理[10]；其次是节约用地，同类型设施之间防火间距小，且与不同类型设施之间可共享防火间距，有利于节约用地[11-12]；再者是便于布置，将不同大小的零散设施归类合并后，变成若干个成片功能分区，便于从宏观上对各功能分区进行规划布置，各功能分区的布置一定要响应总图布置的原则，确保总图方案宏观上布置合理[13]。各功能分区的布置应有对比方案，且应有相对优势明显的推荐方案[14]。

总平面布置中的功能分区布置调整通常涉及重大方案变更，这是因为功能分区布置是核心框架，决定了设施的整体布局与空间配置。功能分区的划分需要综合考虑土地利用、生产流程、安全间距、交通组织以及环境保护等多方面要求。分区布置发生变更将对方案产生重大影响，甚至需要重新进行总体规划，不仅增加了设计工作量，还可能影响设计进度和整体协调性，不利于项目推进。此外，由于总图设计的调整涉及多专业协同工作，变更也可能引发资源调配的混乱和额外投入。因此初步设计阶段前期应首先确定较优的总图功能分区布置[15]。

1.5　功能分区内部布局优化

功能分区内部布局的优化属局部微调范畴，是对总平面布置方案细节部分的进一步优化。在保持功能分区整体布局稳定的前提下，合理的局部优化能够显著提升设计的实用性、经济性与美观性[13]。因此，应允许并鼓励在总平面布置过程中不断优化局部细节，以更好地满足工程需求和实际条件的变化。

2　案例分析

以某天然气处理厂总图设计的初步设计阶段为例，通过功能分区的方法完成该厂的总图设计方案。

2.1　输入条件收集

该案例关键输入条件包括用地红线图、规划用地图、地形图、工程地质、风向资料、原料气来向、外电来向、人流来向及货流走向等[16-20]。这些条件不仅决定了总图设计的初始布局框架，也直接影响后续优化调整的方

向与精度。其中,用地红线和规划用地图是确定项目边界和布局范围的基础依据[21-22],见图 1。

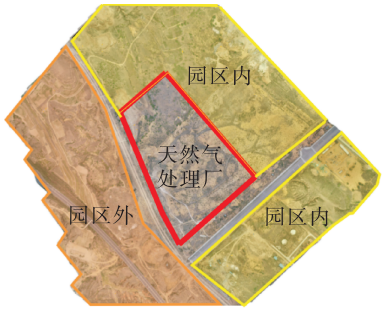

图 1 用地红线及规划用地图

Fig. 1 Boundary line of land and planned land use

周边路网规划走向、规划标高(H)图见图 2。原料气、外电和人流来向及货流走向规划见图 3。

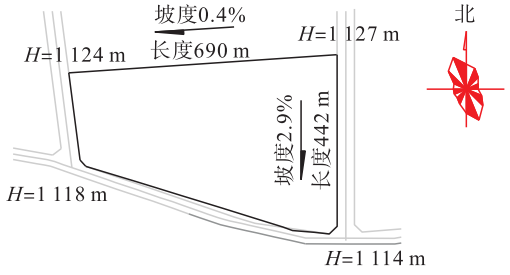

图 2 路网规划走向、规划标高图

Fig. 2 Orientation road network planning and plan elevation

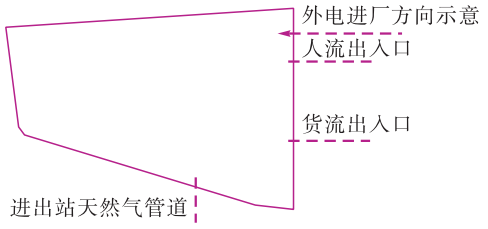

图 3 原料气、外电和人流来向及货流走向图

Fig. 3 Raw gas inflow, external power supply, personnel flow, and cargo flow directions

2.2 输入条件分析

风向条件:厂址最大频率风向为西北风,最小频率风向为西南风。

地形条件:按地势起伏可分为南北与东西两部分,北侧场地整体高于南侧(高差 6 ~ 13 m),东侧场地整体高于西侧(高差 3 ~ 4 m);场地西部地势起伏较大,有冲沟分布,局部因开挖形成的取土坑以及残留的黄土丘陵处,多形成陡坡、陡坎等地形特征。

工艺流程:原料气进厂后经集气外输区处理,形成产品天然气外输至站外;副产品混烃在生产区加工为乙烷、液化石油气(Liquefied Petroleum Gas, LPG)及稳定轻烃,输送至储存区后经装车区外运。

周界条件:处理厂址位于某园区华创路与环城南路交叉口西北角,该土地性质为工业用地,规划类型为石油天然气能源产业;南侧为园区环城南路,园区南边界;厂址为华创路,路东侧为清洁能源产业基地;北侧为装备制造业基地,西侧为半导体材料产业基地。

交通条件:厂址东南两侧均有已建经开区道路,南侧道路路面尚未硬化。

综合分析输入条件可知:风向条件明确,可确定生产区与辅助区应按照南北方向放置;地形条件上,东部地势平缓,为主要设施建设提供了良好基础,西部地势起伏较大,可作为二期工程预留用地;周界条件明确,场地南侧为园区外土地,目前为空地,可将生产区放置于南侧,东西两侧与相邻企业用地均有园区道路隔离,具备良好的安全条件;交通条件具备基础,东侧和南侧现有道路支持一期工程建设。然而,场地也存在局部地形复杂的问题,西北部的冲沟、陡坡和取土坑增加了施工难度;南侧道路未硬化、限制了交通组织的灵活性。

2.3 总图布置主要原则确定

充分分析输入条件后,将风向条件、地形条件、工艺流程、周界条件、交通条件等应满足的输入条件作为总图布置的主要原则,见表 1。

表 1 总图布置主要原则表

Tab. 1 Key principles for general layout design

输入条件	布置原则
风向条件	甲、乙类油气设施应和辅助设施、人员集中场所分置于南北两侧
地形条件	集气外输区、生产区、储存区、装车区布置在南侧,辅助生产区布置于北侧。同时污水设施、储罐区布置在低处;西侧作为二期工程预留地
工艺流程	储罐区、集气外输区、气田水区应布置在最南侧;生产区和装车区布置在中部,装车区应靠近东侧道路布置
周界条件	储罐区布置在南侧;东西两侧可布置甲乙类油气设施;北侧尽量布置安全间距要求小的辅助设施
交通条件	主要的人流出入口设置在东侧,货流出入口设置在东侧或南侧;南侧作为消防应急道路和次要出入口;西侧布置为远期规划用地

2.4 功能分区布置方案确定

天然气处理厂总平面布置根据各区块的功能分为集气外输区、生产区、储存区、装车区、辅助生产区、二期预留区,见图 4。

集气外输区:集气装置(清管接收装置和气液分离器橇)、外输装置(产品气外输压缩机厂房、计量、清管发球装置)。

生产区:原料气脱水装置、乙烷回收装置、乙烷脱碳装置及乙烷脱水装置。

储存区:20 000 m^3 乙烷储罐 1 座、3 000 m^3 LPG 球罐 2 座、1 000 m^3 稳定轻烃储罐 2 座、100 m^3 丙烷储罐 1 座、乙烷、LPG、稳定轻烃、丙烷泵棚。

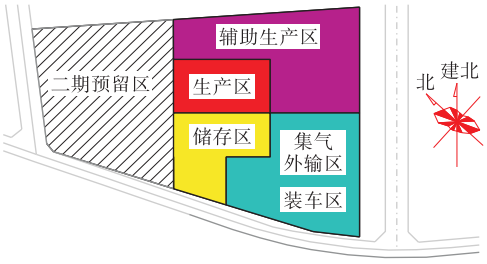

图 4　各功能分区布置图

Fig. 4　Functional zoning layout

装车区：乙烷、LPG、稳定轻烃、丙烷装车棚、装车辅助用房、地磅。

辅助生产区：火炬放空系统（放空区和放空分液罐）、空氮站、分析化验室、110 kV 变配电、变频设备间、10 kV 变配电、导热油装置、给水及消防系统、循环水装置、污水装置、控制室和门卫。

二期预留区：预留液化天然气液化装置、液化天然气储罐等。

2.5　功能分区内部布局优化

功能分区内部布局优化属于局部微调范畴，其核心要义是在维持功能分区的宏观框架与边界稳定性前提下，结合设计深化进程、工艺需求迭代及审查意见反馈，开展细节层面的精准优化。全流程调整严格遵循“不突破分区整体规划、不改变核心功能定位”的原则[23]。

2.5.1　核心流程优化

初步设计 A 版、B 版总图聚焦 110 kV 总变电站、装车区等关键设施布局，综合平衡安全间距合规性、能源供给效率与二期预留需求，确定安全与效率协同最优的基础布局，见图 5～6。

C 版设计阶段，针对项目处理规模翻倍的需求，在坚守“分区边界不变、功能属性不变”原则的前提下，通过优化分区内设施间距、将预留空间从集中式调整为分散式，同时将地面火炬改为高架火炬并布置于围墙外，实现设施规模与用地空间的精准匹配，保障安全合规性的同时维持了分区空间完整性，见图 7。

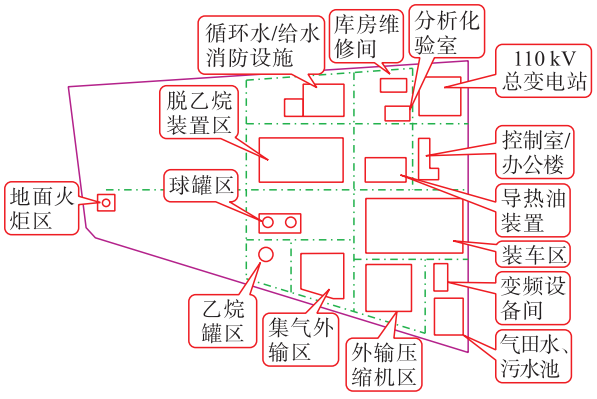

图 5　初步设计 A 版总图布置推荐方案图

Fig. 5　Recommended general layout plan for preliminary design version A

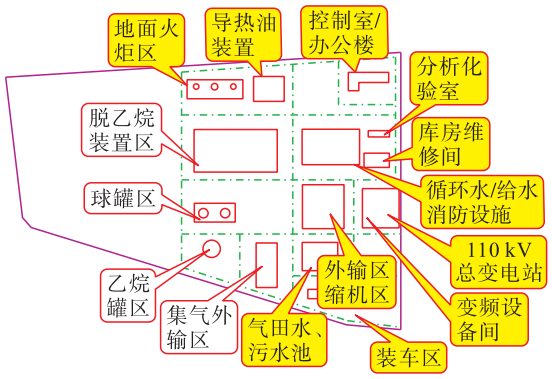

图 6　初步设计 B 版总图布置推荐方案图

Fig. 6　Recommended general layout plan for preliminary design version B

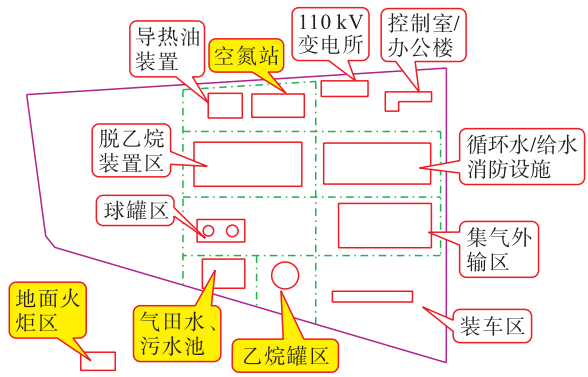

图 7　初步设计 C 版总图布置规模变化后推荐方案图

Fig. 7　Recommended general layout plan for the preliminary design of version C after the scale change

设计深化过程中，围绕美观性诉求开展多目标协同调整：否决可能扩大安全风险的装置平行布置方案，坚守“安全优先”原则；采纳装置“一字型”布置的美观建议，通过改造控制室为抗爆结构并远离装置区的配套措施实现安全与美观协同；采纳储罐区集中对齐布置建议，提升转运效率与视觉规整性，0 版方案见图 8～9。

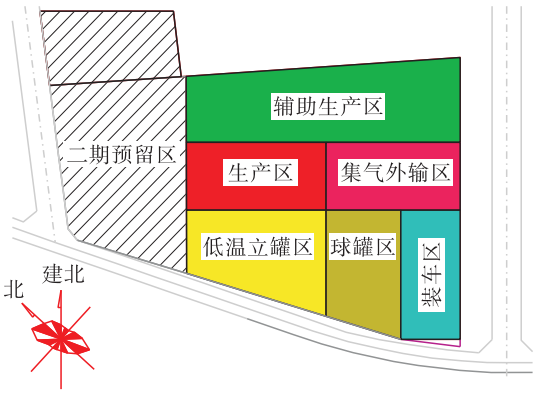

图 8　局部调整后的功能分区布置图

Fig. 8　Functional zoning layout after partial adjustment

图 9　初步设计 0 版总图布置推荐方案效果图

Fig. 9　The rendering of recommended general layout plan for preliminary design version zero

2.5.2　工程实践总结与可复用设计经验

2.5.2.1　功能分区的刚性约束与调整范围管控

前期经系统论证确立的功能分区框架是总图设计的刚性技术基准，具有明确的约束边界，后续无论面临工艺规模扩大、设施布局优化还是多元需求变更，所有调整均应严格限定在分区内部，坚持“不突破分区整体规划、不改变核心功能定位”的原则。本项目处理规模翻倍、火炬系统形式调整等重大技术变更均通过分区内空间资源的优化配置实现适配，未引发方案颠覆性修改，有效降低了设计返工风险，提升了跨专业协同效率，验证了该原则的工程实践价值。

2.5.2.2　安全优先导向下的多目标协同决策

总图设计优化需统筹平衡安全、美观、经济、效率等多重目标，其中安全是不可突破的底线。坚决否决可能扩大安全风险范围的优化建议；对于美观、效率等非核心目标诉求，需通过技术创新、配套措施完善实现协同适配。

2.5.2.3　规模适配导向的集约型空间调整路径

当项目面临工艺规模调整时，应优先采用“内部挖潜”的优化路径，通过分区内设施间距精细化调整、设备排列密度优化、功能设施整合等技术手段适配需求，避免盲目扩大分区范围或改变分区格局；公用工程设施布局应坚持“就近预留、负荷适配”原则，缩短服务半径，降低后期施工衔接成本与运营能耗，最大化实现用地集约与运营高效的双重目标。

2.5.2.4　高频优化场景的精准应对机制构建

后续项目可提前梳理功能分区内部高频优化场景（关键设施位置比选、工艺规模适配、安全与美观平衡、公用工程预留布局等），建立针对性应对策略库。例如，在前期设计阶段预留弹性空间以应对潜在规模调整，明确安全与非安全目标的优先级判定标准，制定设施整合与局部微调的技术指引，确保优化过程有的放矢、高效有序，避免无序调整导致的设计效率下降与质量风险。

3　结论

为提升天然气处理厂设计的效率和质量，研究提出了基于功能分区的天然气处理厂设施布局优化方法。该方法要求为规避总图方案频繁出现颠覆性修改，需保障设计输入资料的完整性与准确性，同时严格遵循“先整体、后局部”的总图布局顺序。此外，采用功能分区整体布局一次到位、避免重大调整，功能分区内部布局允许精细化微调、追求品质提升的设计策略，能够有效减少跨专业反复协调与无效工作，显著提升设计与管理水平，是总图设计实践中兼具科学性与实操性的有效方法。某天然气处理厂的案例分析表明，采用该方法完成的总图设计实现了工艺流程顺畅、安全合规、实用高效、经济合理且视觉协调的总平面布置效果。各阶段优化均未突破前期确立的框架，未发生颠覆性修改，充分证实初步设计早期确定功能分区布置方案，进而规避后期重大变更的技术路径具备可行性。

参考文献：

[1] 董　建，韩　霞. 工业企业总图设计中的成本优化[J]. 工程建设与设计，2018(11)：170-172.
Dong Jian, Han Xia. Cost optimization in the design of general layout of industrial enterprises [J]. Construction & Design for Project, 2018 (11): 170-172.

[2] 朱文祥. 化工企业总图设计对项目管理的影响[J]. 有色金属设计，2022，49(4)：133-136.
Zhu Wenxiang. Effect of general layout design of chemical company on project management [J]. Nonferrous Metals Design, 2022, 49 (4): 133-136.

[3] 曹军峰. 总图设计与规划中路网的优化研究[J]. 工程建设与设计，2018(20)：154-155.
Cao Junfeng. Research on the optimization of road network in the design and planning of general drawing [J]. Construction & Design for Engineering Project, 2018 (20): 154-155.

[4] 刘　康. 工业企业总图运输设计要点及优化研究[J]. 设备管理与维修，2020(4)：147-148.
Liu Kang. Research on key points and optimization of general layout and transportation design of industrial enterprises [J]. Plant Maintenance Engineering, 2020 (4): 147-148.

[5] 杨惜童. 可燃液体储罐区的总图布置优化[J]. 新疆石油天然气，2015，11(2)：94-96.
Yang Xitong. Flammable liquid storage tanks in general layout optimization [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2015, 11 (2): 94-96.

[6] 李　燕. 危险化学品仓库改造总图优化设计[J]. 石化技术，2016，23(6)：18.
Li Yan. Hazardous chemical warehouse integrated renovation

general layout optimal design [J]. Petrochemical Industry Technology, 2016, 23 (6): 18.

[7] 王瑞琪. 基于经济—安全权衡的过程工业总图布局智能优化方法研究[D]. 北京:中国石油大学(北京),2021.
Wang Ruiqi. Research on intelligent optimization methods for chemical process layout design considering the trade-off between economy and safety [D]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2021.

[8] 杜　厦. 煤矿企业总图运输方案评价[D]. 西安:西安建筑科技大学,2017.
Du Xia. Evaluation of the transportation scheme of coal mine industry [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2017.

[9] GB 50187—2012　工业企业总平面设计规范[S].
GB 50187—2012　Code for design of general layout of industrial enterprises [S].

[10] 宋筱楠. 城市功能分区视角下生态质量影响因素探究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2023.
Song Xiaonan. Research on influencing factors of ecological quality from the perspective of urban functional zoning [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2023.

[11] GB 50183—2004　石油天然气工程设计防火规范[S].
GB 50183—2004　Code for fire protection design of petroleum and natural gas engineering [S].

[12] GB 50160—2008　石油化工企业设计防火标准(2018 年版)[S].
GB 50160—2008　Standard for fire prevention design of petrochemical enterprises(2018 edition) [S].

[13] 孙伟杰. 基于工业总图运输设计与节约用地研究[J]. 山东工业技术,2018(14):227.
Sun Weijie. Study on transportation design and land conservation base on industrial master plan [J]. Journal of Shandong Industrial Technology, 2018 (14): 227.

[14] 李　婷,王秋平,左精力. 基于离差最大化的总图设计方案灰关联投影评价模型[J]. 兰州理工大学学报,2017,43(4):146-149.
Li Ting, Wang Qiuping, Zuo Jingli. Evaluation model of grey-relative projection for general layout design scheme based on maximization of deviation [J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2017, 43 (4): 146-149.

[15] 米艳芳. 总图在建筑设计中的重要性[J]. 中国设备工程,2019(5):138-139.
Mi Yanfang. Importance of general plan in architectural design [J]. China Plant Engineering, 2019 (5): 138-139.

[16] 张艺凡. 总图设计方法及要点分析[J]. 工程建设与设计,2022(19):149-151.
Zhang Yifan. Method and point analysis of general layout design [J]. Construction & Design for Engineering, 2022 (19): 149-151.

[17] 席　磊. 改进海拉尔油田电子总图管理的方法[J]. 石油规划设计,2019(3):46-50.
Xi Lei. Improvement of electronic general layout drawings management in Hailaer Oilfield [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2019 (3): 46-50.

[18] 王　元. 基于影响范围全要素分析法的煤炭企业总图方案评价研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2019.
Wang Yuan. Research on general plan evaluation of coal enterprises based on the method of all ranged impact factor analysis [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2019.

[19] 胡小芳. 浅谈总图新规范对电厂总平面布置的影响[J]. 武汉大学学报(工学版),2020,53(增刊 1):352-355.
Hu Xiaofang. Discussion on the influence of new regulations related to general layout on the general layout of power plant [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2020, 53 (S1): 352-355.

[20] 周叶富,侯亚博,朱　艳,等. 大型油气站场总图设计方案的模糊综合评价[J]. 石油规划设计,2018,29(4):51-54.
Zhou Yefu, Hou Yabo, Zhu Yan, et al. Fuzzy comprehensive evaluation on design scheme of general plan for large oil and gas station [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2018, 29 (4): 51-54.

[21] 秦慧艳,刘家洪,余　翔,等. 液化天然气工厂厂址选择和总图设计要点[J]. 天然气与石油,2013,31(6):83-86.
Qin Huiyan, Liu Jiahong, Yu Xiang, et al. Site selection and plot plan design essentials of liquefied natural gas (LNG) plant [J]. Natural Gas and Oil, 2013, 31 (6): 83-86.

[22] 朱艳芬. 浅析石油化工企业总图运输设计[J]. 化工管理,2017(24):22.
Zhu Yanfen. Brief analysis on general plot transportation design of petrochemical enterprises [J]. Chemical Enterprise Management, 2017 (24): 22.

[23] 郭　姣,汪　坤,唐　丹. Civil 3D 曲面模型导入 PDMS 方法研究[J]. 天然气与石油,2017,35(6):43-47.
Guo Jiao, Wang Kun, Tang Dan. Research on the method of importing civil 3D surface model into PDMS [J]. Natural Gas and Oil, 2017, 35 (6): 43-47.