

Application of Energy-Saving Technology in China-Kazakhstan Line C Project

Zi'ao Li¹, Guibin Li²

¹Fast Track Construction Management Co. Ltd., Beijing

²PetroChina International Pipeline (Northwest Pipeline Company), Beijing

Email: 781744080@qq.com, 409044726@qq.com

Received: Oct. 1st, 2020; accepted: Nov. 17th, 2020; published: Dec. 15th, 2020

Abstract

Long-distance natural gas pipelines are a cost-effective transportation method for natural gas transportation. With the increase in domestic natural gas demand, the construction of long-distance natural gas pipelines has been rapidly developed. Since natural gas long-distance pipelines consume a lot of energy in the transportation process, the energy-saving problem of natural gas pipelines has always been a key issue to be solved in the development of the pipeline industry. China-Kazakhstan line C has adopted internal coating measures, optimized pipe diameter and station site, applied new energy-saving skill in valve station to connect pipelines, made good use of waste heat in the waste heat boiler, set out proper station temperature and fixed conversion motor for air compressor. The application of a series of energy-saving measures helps pipelines save energy effectively which promotes the development of energy-saving work for natural gas pipelines, reduces the operating costs of pipelines and improves the economic benefits of enterprises.

Keywords

Energy Saving, Gas Station, Long-Distance Pipeline, Natural Gas

节能工艺在中哈C线项目的应用

李子傲¹, 李贵宾²

¹快轨建设管理有限公司, 北京

²中油国际管道公司(西北管道项目), 北京

Email: 781744080@qq.com, 409044726@qq.com

收稿日期: 2020年10月1日; 录用日期: 2020年11月17日; 发布日期: 2020年12月15日

摘要

长输天然气管道作为天然气运输的经济高效的运输方式, 随着国内天然气需求的增加, 天然气长输管道建设得到快速的发展。由于天然气长输管道在输送过程中要消耗大量能源, 天然气管道节能问题一直是管道行业发展中需要重点解决的问题。中哈C线项目通过采取管道内涂层措施、合理优化管径和站址、线路截断阀室应用新节能工艺方案、余热锅炉利用燃气余热、合理设置出站温度、空压机采用变频电机等一系列措施, 有效地节约管道能耗, 不但促进各项节能技术在输气管道工程的应用, 推动天然气管道节能工作的发展, 而且节约了管道运行成本, 提高了企业经济效益。

关键词

节能, 压气站, 长输管道, 天然气

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着近年来天然气在市场发展下和实际需求量的不断提高, 输气量不断增加, 通常以管道为主要输送方式, 实际运输所需要的各种设备较多, 设备工作消耗的能量较大, 导致生产成本增加, 这是国际上共同面临研究解决的问题, 经过研究分析管道行业一方面要积极采用国内外先进的输气工艺和节能技术, 引进先进的管理系统, 另一方面提高员工的节能意识和国际接轨, 来提高完善我国天然气长输管道节能工作。

为节约能源实现经济环境可持续发展, 国家先后通过了《中华人民共和国节约能源法》(中华人民共和国主席令第七十七号)、《国务院关于加强节能工作的决定》(国发(2006) 28 号)等法律法规。天然气长输管道虽然是输送天然气的一种经济高效的输送方式, 尤其是大输量和长距离输送其经济性更为显著, 但采用天然气长输管道输送天然气的同时也消耗大量能源。为满足国家节能法规要求, 提高企业的经济效益, 在长输管道建设中采取节能措施, 尤其像中哈 C 线工程这样拥有 8 座压气站, 1300 多公里的大口径输气管道工程更显得尤为重要。在中哈 C 线工程积极地应用各项节能技术, 以推动天然气管道节能工作的发展。

2. 中哈 C 线工程概况

中亚-中国天然气管道 C 线工程(哈国段)起点位于哈乌边境,沿 A/B 线并行敷设至中国境内的霍尔果斯。线路全长 1302.75 km,全线管线采用 X80 材质、直径 1219 mm 的钢管,管道外防腐采用 3PE,内涂层采用双组份液态环氧树脂,设计压力 9.81 MPa。其中哈乌边境~阿克布拉克段长度 309.5 km,设计输量 $200 \times 10^8 \text{ Nm}^3/\text{a}$;阿克布拉克~霍尔果斯段长度 993.25 km,设计输量 $250 \times 10^8 \text{ Nm}^3/\text{a}$ 。中哈 C 线工程共设置压气站 8 座,计量站 2 座(分别设在 CCS1 压气站和霍尔果斯计量站),清管站 8 座、线路截断阀室 64 座,其中 RTU 阀室 43 座。中哈 C 线与 AB 线跨接 8 处,下气点 11 处。压气站可实现气体除尘(除液)、增压、压力越站、全越站、工艺气冷却、站循环、燃料气(自用气)供应、气质分析、放空和排污等功能要求。

3. 中哈 C 线管道耗能分析

利用管道输送天然气须消耗大量能源,天然气长输管道的能耗可分为直接能耗和间接能耗。直接能耗是指压缩机组能耗、燃料气消耗以及管道阻力损失等在天然气输送过程中产生的能耗。这类能耗可以通过采用新工艺、新技术、新设备予以降低,但不能消除。间接能耗是指天然气放空、泄漏等所导致的直接损失,这类能耗在理论上可以消除[1][2]。中哈 C 线工程通过减少管道摩阻,优化管道工艺,采用压降小的设备、节能压缩机组及采用减少放空工艺、压缩机余热利用等节能措施,来减少管道的直接能耗和间接能耗,达到节能效果。中哈 C 线工程站场主要耗能设备包括压缩机组、空气压缩机、燃气发电机、空冷器、燃气锅炉等。

4. 节能措施

1) 优化输送工艺

① 站场设置和管径的选取

相同管径下,设计压力越高,综合能耗越低[3][4];在相同设计压力下,管径越大,综合能耗越低。设计压力越高、管径越大,综合能耗越低[5][6]。但在相同设计压力下,管径的选取通过项目投资、综合耗能、运行成本等经济技术比选来最终确定。项目设计压力为 9.81 Mpa,其乌哈边境~阿克布拉克段长度 309.5 km,设计输量为 $200 \times 10^8 \text{ Nm}^3/\text{a}$;阿克布拉克~霍尔果斯段长度 993.25 km,设计输量 $250 \times 10^8 \text{ Nm}^3/\text{a}$ 。对各管径方案进行经济比选,结果如表 1 所示。

Table 1. Basic technical and economic indicators

表 1. 基本技术经济指标

方案	方案 1		方案 2		方案 3		方案 4	
管段	乌哈边境~阿拉布拉克	阿拉布拉克~霍尔果斯	乌哈边境~阿拉布拉克	阿拉布拉克~霍尔果斯	乌哈边境~阿拉布拉克	阿拉布拉克~霍尔果斯	乌哈边境~阿拉布拉克	阿拉布拉克~霍尔果斯
管径(mm)	1219	1219	1067	1067	1422	1422	1219	1422
管段长度(km)	309.5	993.25	309.5	993.25	309.5	993.25	309.5	993.25
站数	8 座		15 座		4 座		4 座	
总自耗气量, 10 亿方/年	0.75		1.29		0.38		0.52	
总计算功率, MW	262.87		562.55		133.49		187.07	
年费用现值估算额, 亿美元	72.22		91.61		74.95		75.21	

通过经济技术比选结果可知, 方案 1 费用现值最低, 总自耗气量适中。项目采取了方案 1, 即设置 8 座压气站, 设计压力为 9.81 MPa、管径为 1219 mm。

压气站具体分布情况见表 2。

Table 2. Setting table of compressor stations in Kazakhstan

表 2. 哈萨克斯坦境内压气站设置表

序号	站场名称	里程 (km)	高程 (m)	机组类型	台数
1	CCS1 压气站	110.5	230.8	燃驱 30	2 + 1
2	CCS2 压气站	309.5	760.3	燃驱 30	2 + 1
3	CCS3 压气站	448.3	695.4	燃驱 30	2 + 1
4	CCS4 压气站	591.0	710	燃驱 30	2 + 1
5	CCS5 压气站	719.5	475	燃驱 25	2 + 1
6	CCS6 压气站	871.4	675	燃驱 30	2 + 1
7	CCS7 压气站	1037.8	594	燃驱 30	2 + 1
8	CCS8 压气站	1182.6	504	燃驱 25	2 + 1

② 空冷系统

输气温度过高将导致输气效率下降。降低管道的输送温度, 可以提高管道的平均运行压力, 减少管道的沿程摩阻, 降低压缩机组的能耗。为降低管道的输送温度, 空冷器的投资和耗电均需增加。如果管道因降低输送温度所节约的燃料气消耗费用, 比增设空冷器所增加投资和空冷器耗电所增加的费用之和, 则管道降温输送是经济节能的[5]。

中亚 C 线哈国段压气站出站温度根据哈萨克斯坦的环境气象参数及当地规范, 按照气体的最佳年平均冷却温度应比室外年平均计算气温高 10℃~15℃的原则, 经过多方案比选论证, 50℃出站方案经济性最好, 技术可行, 最终推荐采用 50℃出站温度。其它项目也证实 50℃出站温度最经济、更节能[5]。

根据各工况计算结果, 进行空冷器设计选型, 空冷器数量需满足最大换热负荷工况需求。各压气站最大换热负荷工况下空冷器设置见表 3。

中哈 C 线空冷器区工艺气空冷系统主要由电机驱动的风扇和冷却器构成, 并设置旁通管路, 当压缩机出口温度低于设定值或检修时, 天然气由旁通管路越过空冷器, 当压缩机出口温度高于设定值时, 空冷器系统进口阀门打开, 旁通管路阀门关闭, 同时自动启动空冷器电机, 对天然气进行冷却降温。空冷器每架由 2 台电机驱动风扇, 电机采用变频电机, 各电机单独控制, 可根据天然气温度选择全开或开一台电机的运行方式。为方便检修维护, 1 个空冷器构架设为 1 组, 每组空冷器的进口汇管设置电动球阀。为方便空冷器检修时放空, 减少检修气体放空损耗, 每组空冷器设置独立的放空管路, 并接至站内放空系统。

50℃出站温度的选取、旁通管路的设计、变频电机的选取及每台单独控制启停等措施的应用, 都很好的起到节能的作用。

③ 站场自用气管道节点的选取

根据规范 SY/T 6567-2010 天然气输送管道系统经济运行规范的要求, 压气站自用气应采用进站供气, 减少节流损失[7]。C 线站场自用气主要为燃料气, 一路燃料气起源引自清管站, 另一路引致站内管道。引自清管站的燃料气起源为进站管道, 作为备用气源。站内燃料气气源为过滤分离以后的天然气, 确保了燃料气的洁净, 也在压缩机进口管道上, 减少节流损失, 符合 SY/T 6567-2010 所规定节能的要求。

Table 3. Air cooler setting table for each compressor station
表 3. 各压气站空冷器设置表

序号	站场名称	高程 m	流量 $\times 10^4$ Nm ³ /h	空冷器进口 温度(°C)	空气侧设计 温度(°C)	空冷器出口需 求温度(°C)	构架数量	电机功率 Kw/台
1	CCS1	230.8	277.47	61.7	37	50	10	30
2	CCS2	760.3	301.88	61.8	36	50	9	30
3	CCS3	695.4	300.82	58.4	36	50	9	22
4	CCS4	710	299.74	57.8	35	50	6	37
5	CCS5	475	298.86	55.8	35	50	6	30
6	CCS6	675	297.63	60.4	35	50	8	30
7	CCS7	594	296.45	59.3	34	50	7	22
8	CCS8	504	295.60	57.4	34	50	6	22

④ 与 AB 线联合运行工艺

C 线与 AB 线设计 8 条跨接线，管径 914 mm，跨接工艺的设计，不但提到了整个管廊带三条管道运行的可靠性，提高安全运行系数，而且当管道较低数量工况运行时，三条管道联合运行，将节约运行能耗，节省能源。

2) 选择节能设备

① 压缩机的选取

由于中亚地区电力供应系统相对紧张，可靠性较差，因此从可靠性上考虑，确定全线所有压气站采用燃气轮机驱动压缩机组。机组备用是天然气长输管道上最普遍的一种备用方式，即在各压气站设置一套备用的燃压机组及其相应的辅助设施，其主要优点是压气站的运行可靠性最高。C 线全线压气站采用机组备用的方案，每座压气站设一台备用机组。不仅保证在设计输量下燃气压机组始终能在较高效率区域工作，中间输量下供气的可靠性。而且当站内机组因维修停机或失效停机时，启动备用机组，保证了输气可靠性。

在压缩机的选择上，选择了 ROLLS-ROYCE 的 RB211-G62 DLE 压缩机组和 GE 的 PGT25+DLE 压缩机组，压缩机效率在 88% 以上，燃机 ISO 效率 40% 以上(ROLLS-ROYCE 为 40.1%，GE 为 41.1%)，压缩机效率均处于国际领先水平，有利于节能降耗。

② 空冷器、旋风分离器和过滤分离器

在空冷器、旋风分离器和过滤分离器等具有压力损失的设备选型上，在满足工艺要求的前提下，尽可能选择天然气通过压降小的设备，中哈 C 线站场选用的空冷器在额定工况下正常操作的压降不大于 0.7 MPa、旋风分离器在额定工况下正常操作的压降不大于 0.05 MPa、过滤分离器在额定工况下正常操作的压降不大于 0.01 MPa。

③ 对于空压机的选型，通过对站场仪表风用气进行计算，并要求 GE 厂家提供具有耐高温性能的 UCP1，并把 UCP1 放置于仪表间，避免了 AB 线需要增加仪表风对 UCP1 进行冷却的问题，大大节省了仪表风压缩空气的用量，使得站场压缩空气用量降到 1000 m³/h 以下，电机由初设的 165 KW 变为 132 KW，电机采用变频电机，有效的节约了站场电能消耗。

3) 减少管道摩擦阻力

输气管道采用内涂层，可以使管道内表面光滑、降低粗糙度、减小水力摩阻系数，从而达到提高管道输气量[8] [9]；在相同输气量条件下，可以降低压缩机需用功率，既能减少机组建设的投资费用，又能减少投运后压缩机的能耗费用和维护费用[10]。

为节约能源, 中哈 C 线管道采取了内涂层采用双组份液态环氧树脂。压缩机组与管道组成的水力系统中, 压缩机组提供的压力能等于管道所消耗的能量, 而管道消耗的能量主要是管道沿程摩阻所消耗的能量, 管道采用减阻内涂层后, 可减小管道内壁粗糙度, 从而减少因管道沿程摩阻消耗的能量。管道设内涂层, 输送压降小, 提高管道的输送能力, 减少压缩机组输送功率, 随着管道长度的增加, 压气站配置数量的递增, 管道设内涂层, 燃料气消耗减少更明显, 从而进一步提高输气量[5]。

国内某工程对采取内涂层和不采用内涂层进行了经济技术比选, 比选结果如表 4:

Table 4. Energy saving and economic comparison of inner coating

表 4. 内涂层节能经济比选

序号	项目	单位	加内涂层	不加内涂层
1	内涂层面积	104 m ²	936	
2	耗气量	104 m ³	59,300	62,185
3	工程建设投资	104 元	31,557	/
4	年运行成本	104 元	101,403	106,336

由表 4 可知, 采取上述节能措施需要增加工程建设投资 31,557 万元。但是每年可以节省天然气消耗量约 $2885 \times 10^4 \text{ m}^3$, 同时每年可以节省运行费用约 4933 万元。以上充分证明了管道内涂层具有显著的节能作用。管道内涂层不但具有减少气阻, 节约能源的作用, 还具有防腐的功能, 从而延长管道的使用年限。

4) 减少管道放空

输气工艺设计应减少天然气放空[11] [12]。中哈 C 线采取措施及新工艺, 以降低管道放空带来的间接能耗损失。在压气站及清管站, 凡检修或事故停工时需要通过放空降压或吹扫的设备都设置放空阀; 需不停输检修调试的设备和阀门, 其放空管应末端设置隔断阀。在系统截断阀之间的管道或设备上设置放空阀; 有效减少检修时天然气放空损耗。

清管站采取密闭清管工艺, 在清管操作时, 避免清管过程中天然气的大量放空, 减少清管过程中的天然气放空损耗。

采取新的阀室节能工艺, 节约了长输管道在改线和停输检修事故时大量放空造成的经济损失, 及放空过程中对环境的污染, 阀室传统工艺流程见图 1, 长输管道放空天然气转运节能技术典型工艺流程见图 2。通过在线路截断阀旁通管线上设置移动压缩机预留管线及操作阀门, 并设置移动压缩机组, 通过多台机组有效组合运行, 实现天然气从事故管段向相邻上游或者下游的安全管段转运。实现一般线路段常规检修及事故检修工况下天然气有效回收, 具有可观的经济效益及环境效益, 同时提升管道整体安全性。

以某计划检修管段为例, 其干线管径为 1219 mm, 管段长度为 30 km, 管内天然气起始压力为 7 MPa。采用 4 台 750 kw 车载移动压缩机进行作业。经计算, 本系统可在 30 小时内将管段压力抽到 0.6 MPa, 节省天然气约 150 万方。

在大中型河流 2 侧、清管站上下游及线路上按规范规定的长度设置线路截断阀, 以减少事故状态下天然气的放空。

5) 余热利用

对压缩机燃气轮机余热的利用主要为余热发电和余热锅炉, 其中余热锅炉应用较为成熟。中哈 C 线在每个站场安装了 2 台余热锅炉, 对燃气轮机余热进行利用, 当机组正常运行时, 替代站内燃气锅炉, 为站内提供生活用水及对站内燃料气进行加热, 节约燃气约 $19.3 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{a}$ 。

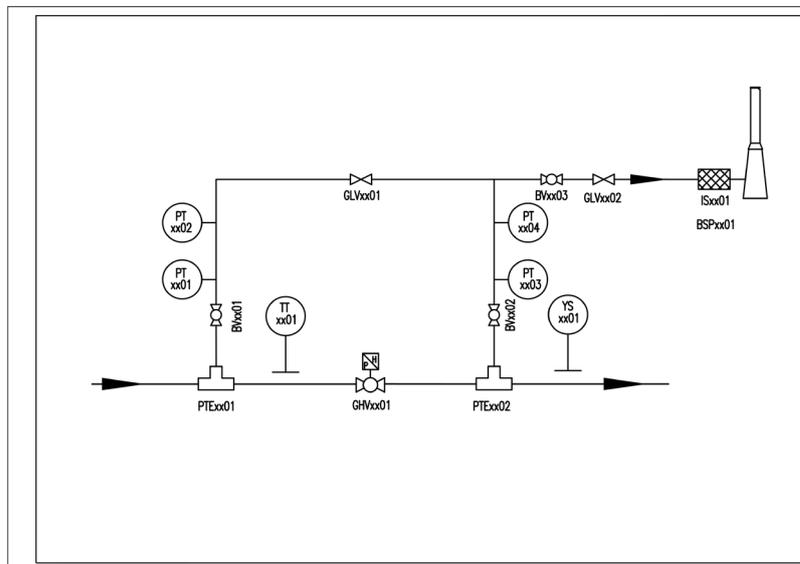


Figure 1. Traditional technology process of valve station

图 1. 阀室传统工艺流程图

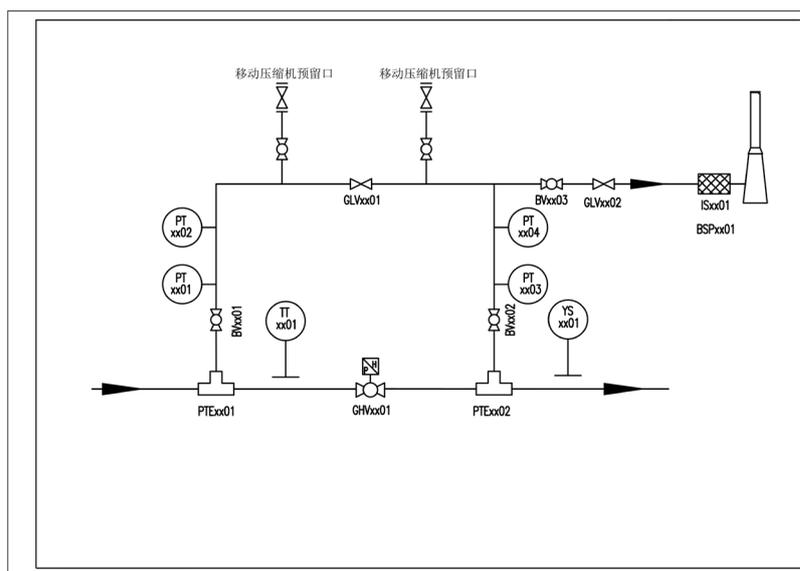


Figure 2. Typical energy saving technology of venting natural gas transportation in long distance pipeline

图 2. 长输管道放空天然气转运节能技术典型工艺流程图

5. 结论

项目采取的节能技术措施和节能工艺不但满足输送工艺的要求,又有利于降低各耗能设备的能耗量,减少天然气损耗,提高能源的利用效率。节能亮点主要体现在以下几个方面:

1) 该工程选定的压缩机效率可达 88%; 燃驱压气站燃机 ISO 效率可达 40%以上,设备节能效率处于国际领先水平。

2) 设置余热利用装置,利用压缩机组余热,为燃料气加热及生活供热等提供能源,减少电力、燃气消耗。

- 3) 压缩机组后空冷器采用 50℃ 出站温度, 有效节约管道运行能源。
- 4) 采用减阻内涂层技术, 节省管道运行天然气消耗量。
- 5) 优化管径方案, 采用 D1219, 9.81 MPa, 不但节约了管道自耗气, 还使得整个系统更为经济。
- 6) 采用新节能阀室工艺和密闭清管工艺, 减少管道运行期间管道放空带来的天然气损失。

中哈 C 线节能、降耗措施的应用, 有力地推动天然气管道节能工作的发展, 对提高企业经济效益, 实现经济、社会和环境的可持续发展都具有重要意义。

参考文献

- [1] 刘银春, 杨光, 常志波, 等. 天然气长输管道的节能降耗[J]. 天然气技术, 2007, 1(6): 57-59.
- [2] 陈林, 杨雯. 论天然气长输管道的节能降耗措施[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(20): 257.
- [3] 范明威. 天然气长输管道的节能环保设计[J]. 石化技术, 2018, 25(8): 246.
- [4] 李慧. 天然气长输管道的节能降耗技术[J]. 化学工程与装备, 2017(4): 91-92.
- [5] 孙骥姝, 朱英如, 孙春良, 等. 天然气长输管道设计中的节能分析[J]. 石油规划设计, 2012, 23(5): 26-29.
- [6] 高维友, 时丽溢. 天然气长输管道设计中的节能研究[J]. 石化技术, 2020(9): 209, 212.
- [7] 国家能源局. SY/T 6567-2010 天然气输送管道系统经济运行规范[S]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [8] 李凯, 栾军. 天然气长输管道的节能降耗措施[J]. 化工设计通讯, 2019, 45(3): 25.
- [9] 陈华. 天然气长输管道设计节能有效措施[J]. 化工管理, 2019(34): 142.
- [10] 张旭东. 天然气长输管道的节能措施分析[J]. 石油石化节能, 2013(11): 10-11.
- [11] 国家能源局. SY/T6638-2012 天然气长输管道和地下储气库工程设计节能技术[S]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- [12] 马子新. 天然气长输管道的节能降耗技术措施[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(9): 172, 178.