

大功率瓦斯气发动机进气系统研究及仿真

钟声 王丹

四川省机械研究设计院(集团)有限公司

DOI:10.12238/etd.v5i5.9134

[摘要] 我国现有的燃气发电机组对瓦斯浓度的应用范围多控制在8%以上。据相关统计,浓度3%~8%的低浓度瓦斯占煤矿瓦斯资源总量的36%左右,目前没有成熟的直接利用技术,通常采用间接的方法,即与高浓度瓦斯掺混至浓度大于9%后用于发电机组发电,但受制于高浓度瓦斯源,没有得到大面积推广,浓度3%~8%的低浓度瓦斯被大量排放,浪费了宝贵的资源,由于甲烷的温室效应危害是二氧化碳的21.5倍,污染了大气,加剧了大气的温室效应。本文以G1016L型天然气发动机作为原型机,通过对该原型机的进气系统的改进优化,使其满足6%以上浓度瓦斯的使用要求。

[关键词] 大功率瓦斯气发动机; 流场建模; 有限元仿真

中图分类号: TK44 **文献标识码:** A

Research and simulation of intake system for high-power gas engine

Sheng Zhong Dan Wang

Sichuan Machinery Research and Design Institute (Group) Co., Ltd

[Abstract] The application range of gas concentration for existing gas-fired power generation units in China is mostly controlled above 8%. According to relevant statistics, low concentration gas with a concentration of 3% to 8% accounts for about 36% of the total gas resources in coal mines. Currently, there is no mature direct utilization technology, and indirect methods are usually used, that is, mixing with high concentration gas to a concentration greater than 9% and using it for power generation units. However, due to the high concentration gas source, it has not been widely promoted. Low concentration gas with a concentration of 3% to 8% is emitted in large quantities, wasting valuable resources. Due to the greenhouse effect of methane being 21.5 times more harmful than carbon dioxide, it pollutes the atmosphere and exacerbates the greenhouse effect of the atmosphere. This article takes the G1016L natural gas engine as the prototype, and improves and optimizes the intake system of the prototype to meet the requirement of using gas with a concentration of over 6%.

[Key words] high-power gas engine; Flow field modeling; Finite element simulation

引言

瓦斯是一种非常好的清洁能源,不仅价格低而且储存量巨大。我国是世界上的产煤大国,埋深不到2000米的煤层中瓦斯含量高达35万亿立方米。甲烷是一种温室气体,也具有一定破坏性,其温室效应危害是二氧化碳的21.5倍。对低浓度瓦斯的有效利用是变废为宝的重要举措。进气系统是发动机的重要组成部分,直接影响发动机的性能和效率,通过对进气系统的特性和模型建立,优化进气系统的设计,提高进气效果。满足5%以上甲烷浓度的瓦斯的使用要求。可以实现燃料的充分燃烧,减少能耗损失和废气排放,提高效率,降低对环境的负影响。提高燃气供应的安全性。

1 机械系统整体设计方案

在原型机G1016L型燃气发动机的基础上,对燃料气系统进

行调整。主要考虑低浓度瓦斯与天然气在应用上的差异。天然气的主要成分为甲烷,热值和压力高,采用空气增压后与燃气混合的方式。低浓度瓦斯的主要成分也为甲烷,但由于浓度低,热值也低,同等输出功率下需要的燃气流量远大于天然气,且低浓度瓦斯的压力很低,约为3~20kPa,采用低浓度瓦斯与空气混合后增压的方式。低浓度瓦斯发动机的进气流程图见图1-1所示。

原型机G1016L当采用低浓度瓦斯作为燃料时,结构调整如下:首先,混合器的位置由原型机布置在增压器、中冷器之后改为布置在增压器前,混合器的数量由1个改为2个,并对外形结构重新进行了设计;其次,由于低浓度瓦斯的热值远小于天然气,同等负荷下新方案的低浓度瓦斯流量远大于天然气,对应的,新方案的空气流量远小于原型机的空气流量,这就需要重新设计

燃气及空气的管径;再次,由于空气量的需求降低,对空气流量的控制要求提高,增加空气流量控制阀;最后,基于低浓度瓦斯的特殊性能,管道上布置过滤、除尘及防爆等设备部件。

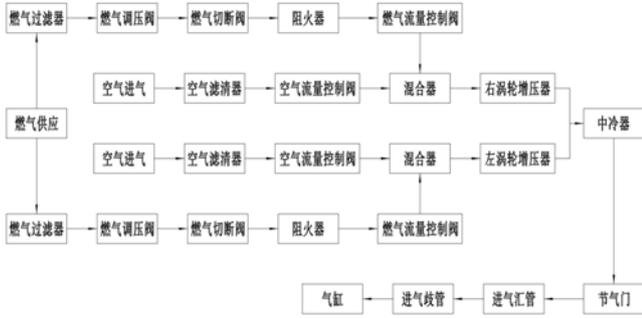


图1-1 低浓度瓦斯发动机进气流程图

2 有限元仿真分析

瓦斯气发动机不同于传统的天然气发动机,传统的天然气发动机在使用天然气燃料时,因为天然气的浓度和稳定性远大于低浓度瓦斯,使用更加方便和安全。对于以低浓度煤矿瓦斯作为燃料的发动机,在使用时,必须要对低浓度煤矿瓦斯进行气预处理,将进气系统中将适量煤矿瓦斯与空气充分混合,形成可燃混合气体,达到最佳燃烧比例。

混合器由外部混合器腔体和文丘里喉管组成,喉管内侧走空气,瓦斯通过喉管四周的圆孔与空气混合。一台机组设置左右两套混合器,我们只对一侧进行仿真分析。

2.1 分析目的

有限元分析可以检测和识别进气系统中的问题,如突变或不规则的流动结构、气流涡轮、压力波动等。在虚拟环境中对进气系统进行多次优化和测试,降低实际实验的成本和时间。通过模拟不同设计方案的性能和情况,可以在实际实验之前发现和解决问题,减少后期的修正和改动,提高开发和生产效率。本次有限元仿真目的是通过对混合器系统(图3-1)中空气进气管和瓦斯进气管在不同输入条件下的混合情况、压力分布等结果进行分析计算。

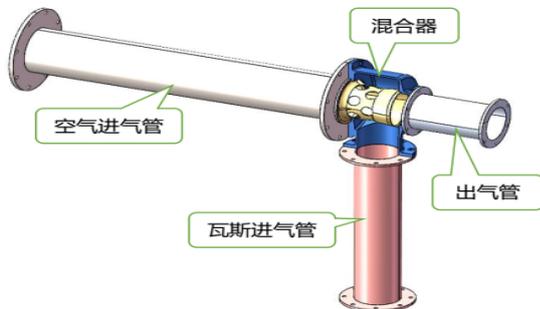


图3-1 混合器系统示意图

2.2 流场建模

通过三维建模软件建立进气系统各部件整体结构,使用布尔运算得到管道内的流场水力模型,如图所示。

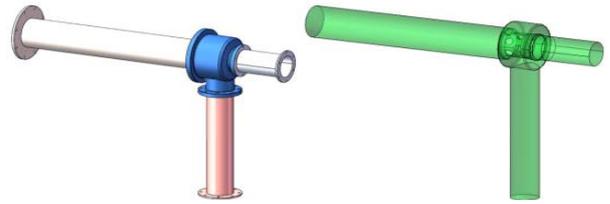


图3-2 流场水力模型

2.3 网格划分

在有限元分析中,网格划分是非常关键的步骤之一,它决定了数值模拟的准确性和计算效率。根据不同的问题和结构特点,可以选择不同类型来进行划分。常见的网格类型包括结构化网格、非结构化网格和自适应网格等。将水力模型导入有限元流场分析模块中对整体结构进行网格划分,本次分析对进气系统同时采用四面体网格与六面体网格划分的方式,为了保证有限元分析计算精度,对混合器进行了单独的精细化网格划分,三维实体单元总数548030个,节点总数101320个。如图3-3所示。

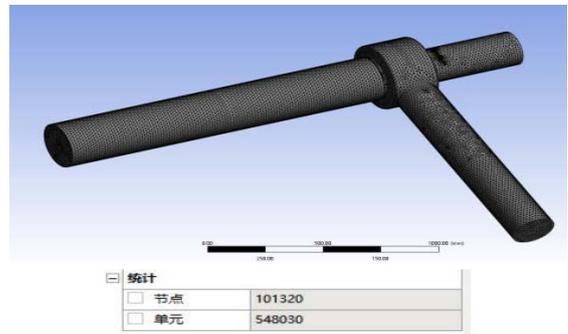


图3-3 网格划分图

2.4 边界条件

边界条件是指在求解过程中对计算域边界上的约束条件进行设定,以模拟实际物理情况。正确设置边界条件对于获得精准的数值是至关重要的。本次分析中,瓦斯进气管中的瓦斯含量范围为6%~15%,空气进气管的流量范围为1871m³/h~7574m³/h,具体参数见表3-1所示。

表3-1 空气进气管流量具体参数表

瓦斯成分 (%)	瓦斯流量	空气流量	混合气	混合气流量	混合气流量
CH ₄	m ³ /h	m ³ /h	CH ₄ %	m ³ /h	kg/h
6.00%	4655.5	935.5	5.00%	5591	7229.5
8.00%	3491.5	2071.5	5.02%	5563.5	7193.5
9.00%	3103.5	2482.8	5.00%	5586.3	7223.4
10.00%	2793.5	2807	4.99%	5600	7241
15.00%	1862	3735	4.99%	5597	7237

2.5 计算结果

2.5.1 流速的影响

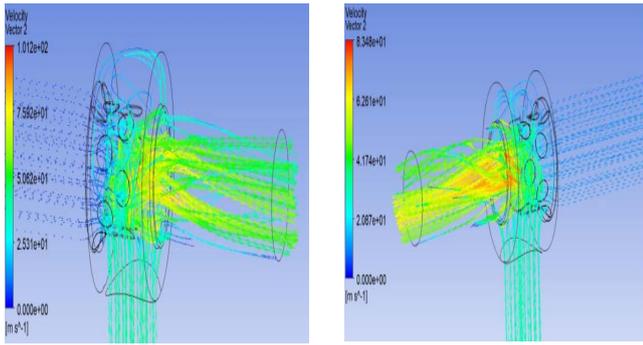


图3-4 瓦斯含量6%系统流速分布图 图3-5 瓦斯含量8%系统流速分布图

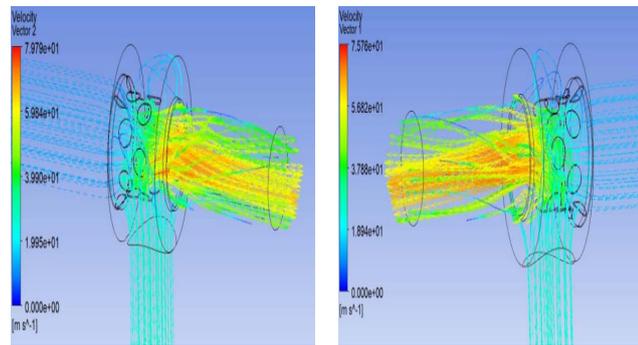


图3-6 瓦斯含量9%系统流速分布图 图3-7 瓦斯含量10%系统流速分布图

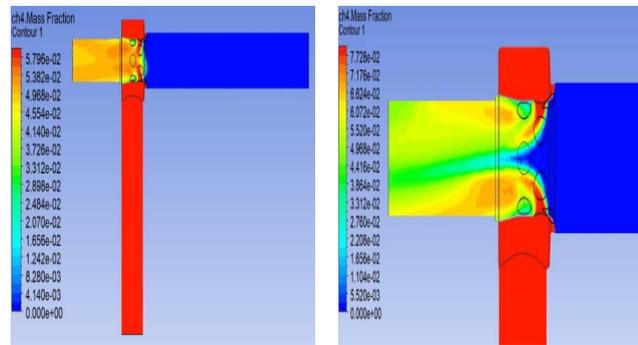


图3-8 瓦斯含量6% 图3-9 瓦斯含量8%

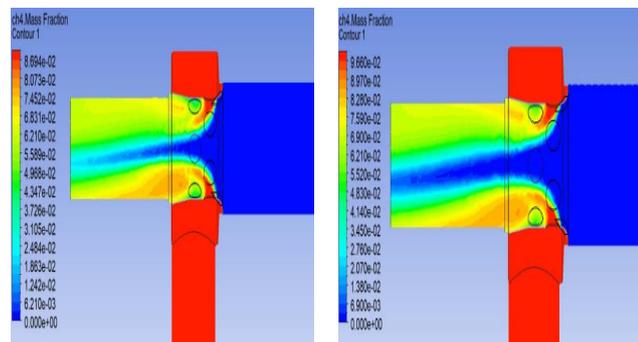


图3-10 瓦斯含量9% 图3-11 瓦斯含量10%

通过对6%~10%瓦斯含量的进气流速的仿真,可以看出随着瓦斯含量的增加,瓦斯流量减少,空气流量增加,进入进气系统的混合气流速增加。但是气体流速都在安全范围内,进气管内气流未形成明显的湍流和涡流。

2.5.2 发动机进气系统瓦斯含量的影响图3-8~图3-11

2.5.3 系统流场压力分布见图3-12~图3-15所示。

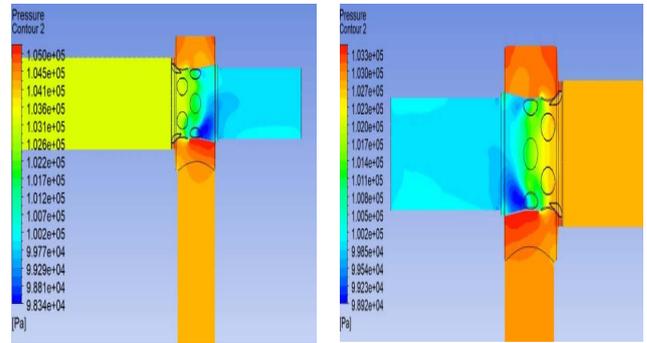


图3-12 瓦斯含量6%时压力分布图 图3-13 瓦斯含量8%时压力分布图

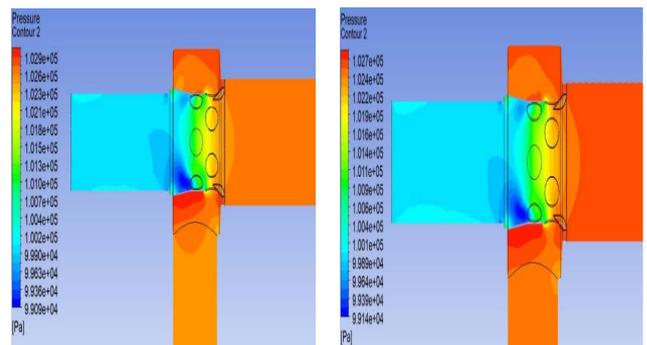


图3-14 瓦斯含量9%时压力分布图 图3-15 瓦斯含量10%时压力分布图

2.5.4 流场出口瓦斯含量分布见图3-16~图3-19所示。

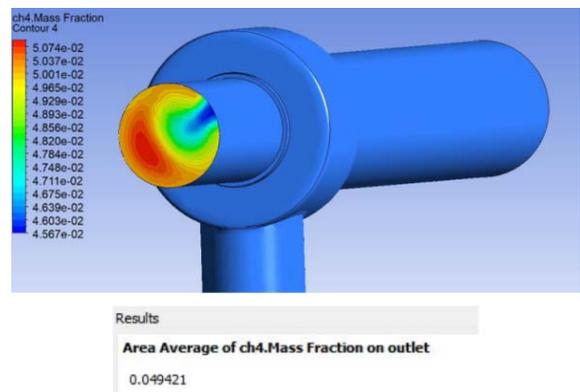


图3-16 6%~8%时入口瓦斯含量

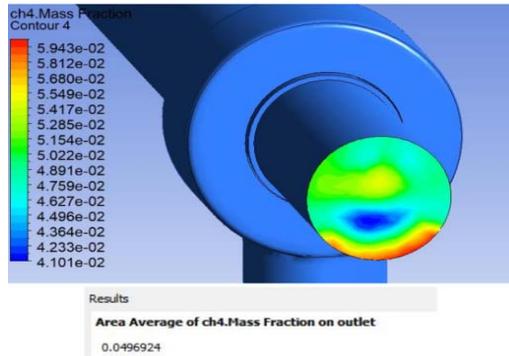


图3-17 6%-8%时出口瓦斯含量

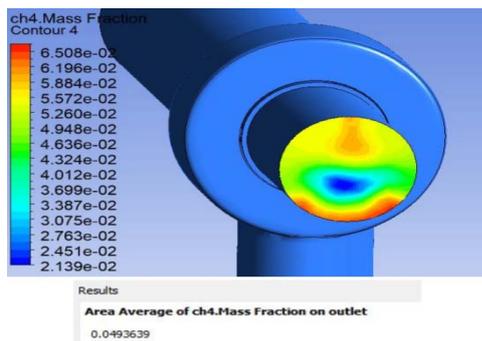


图3-18 9%-10%时入口瓦斯含量

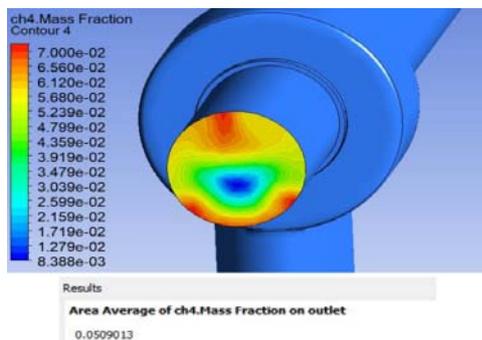


图3-19 9%-10%时出口瓦斯含量

3 结论

通过有限元分析之后,获得了混合器系统的各种参数和指标,其中流量、压力分布和速度分布等结果都在正常的范围之内。经过计算和模拟,进气管内气流湍流和涡流等情况得到了有效的控制。可以作为该瓦斯气发动机能够正常工作的有效依据。

[参考文献]

[1]周克,王霄,胡周达,等.瓦斯发电系统建模与仿真[J].计算机仿真,2021,38(06):67-71.

[2]王鹏飞,马功社.二号煤矿瓦斯发电技术设计及应用[J].陕西煤炭,2021,40(03):151-154.

[3]程志远.分布式低浓度瓦斯发电技术运用实践——以中国首座分布式低浓度瓦斯电站为例[J].天然气与石油,2021,39(02):113-117+128.

[4]闫亮.煤矿矿井地面瓦斯抽采技术及综合利用技术研究应用[J].山西冶金,2021,44(01):74-75+82.

[5]张群.低浓度瓦斯发电站关键技术分析[J].能源与环保,2019,41(08):100-104.

[6]范斌.低浓度瓦斯发电机进气预处理技术分析[J].当代化工研究,2019(07):79-80.

作者简介:

钟声(1974--),男,汉族,四川自贡人,本科,职称:高级工程师,研究方向:油气田地面工程。

王丹(1986--),女,汉族,四川成都人,硕士研究生,职称:工程师,研究方向:燃气工程。