

进气歧管数值仿真及其优化设计技术报告

编制人：王建奇

北京光华荣昌汽车部件有限公司

2022年7月23日

目录

【摘要】	3
1、写作背景	3
1.1 意义	3
2. 结果分析	5
2.1 进气总管的流体分析	5
2.2 稳压腔与进气歧管的流场优化	6
2.3 进气歧管缩放口优化	7
3.结论	8

【摘要】：本人在北京光华荣昌汽车部件有限公司，担任项目经理部一职，进气歧管是研究四缸机进气均匀性的一个重要方面。本文以 CBR600 发动机为研究对象，通过 CATIA 建立了进气歧管模型，采用 FLUENT 对进气歧管内部流场进行了数值仿真，分析了不同长度和结构的进气歧管对发动机动力性的影响。结果表明：限流阀上锥角为 15° 时入口质量流量最大，下锥角为 7° 时出口质量流量最大。进气歧管缩放口的设计可以使发动机有最大的进气量，而不等长进气歧管的补偿设计可以使发动机各缸有一个更均匀的动力输出。计算结果为进气歧管设计提供了理论依据。

关键词：进气歧管； Fluent； 数值仿真； 优化设计

1、写作背景

1.1 意义

通过提高进气缸的空气量和改善气缸内混合气体的流动与燃烧可以有效提高发动机动力性 [1] 。进入气缸内的空气量由进排气系统的结构尺寸决定。进排气系统在加装限流阀以后，其结构对发动机动力性能有着更显著的影响。因此，对进排气系统结构优化设计的研究对于提高发动机性能有着重要的意义。目前，国内外学者对与发动机进排气系统的优化设计一般通过实验和数值模拟两种方法。其中，相较于传统的实验方法，软件模拟快捷方便且成本低，更适用于 FSC 的优化及设计。代文庆 [2] 通过对可变进气歧管在赛车上的优化设计来提高发动机在各转速下的最佳性能。柳威 [3] 等人通过赛车限流阀的优化仿真来提高发动机在限制进气量下的充气效率研究。谭正平等人 [4] 通过对进气系统参数的优化来提升发动机的动力性。洪汉池等人 [5] 通过对发动机谐振进气的研究来提升发动机进气的可持续性。彭才望等人 [6-8] 对 FSAE 发动机进气性能的研究使赛车发动机获得了更强的动力输出。本文以 CBR600 发动机为研究对象，通过加装 20 mm 限流阀，分析了不同进气结构参数对发动机动力输出的影响；研究了不同限流阀角度尺寸对进气流量的影响；对比了各类型进气歧管设计对发动机各缸进气均匀性的影响；探讨了不同回路排气类型对排气动力损失以及噪声的影响。

2 模型建立

中间进气是四缸机使用率最高的进气方式。相较于侧面进气，中间进气可以更好地实现四缸均匀进气。因此，CIT5.0 采用中间进气方式，并在此进气方式的基础上对进气歧管进行了结构优化，从而更好地实现各缸的进气均匀性以提高发动机的充气效率。进气歧管与进气总管呈 130° ，这样可以使进气系统全部处于车架的保护之中，增加了赛车的安全性，又可以为节气

门体和空气滤清器的布置保留足够的空间。确定的进气模型如图 1 所示

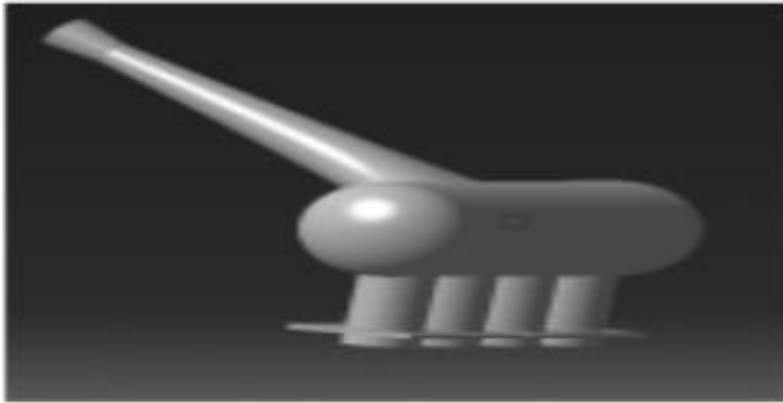


图 1 进气模型

网格划分及边界条件 将进气系统数模图以 stp 格式保存，导入 Fluent，进行非结构化网格划分。分别 设立一个进气口和 4 个出气口，内流场内的区域四面体网格类型，因为进气系统结 构比较复杂，并且需 要对稳压腔以及进气歧管内气体流动进行分析，所以对这一部 分网格进行加密，以此提高网格质量，增加仿真的可靠性。为了获取更好的 网格质量，进气口面网格大小设置为 0.02 mm，出气口网格设置为 0.02 mm。确 保网格总质量大于 0.01 的最低标准，然后对网格进行下一步操作。进气系 统网格划分如图 2 所示

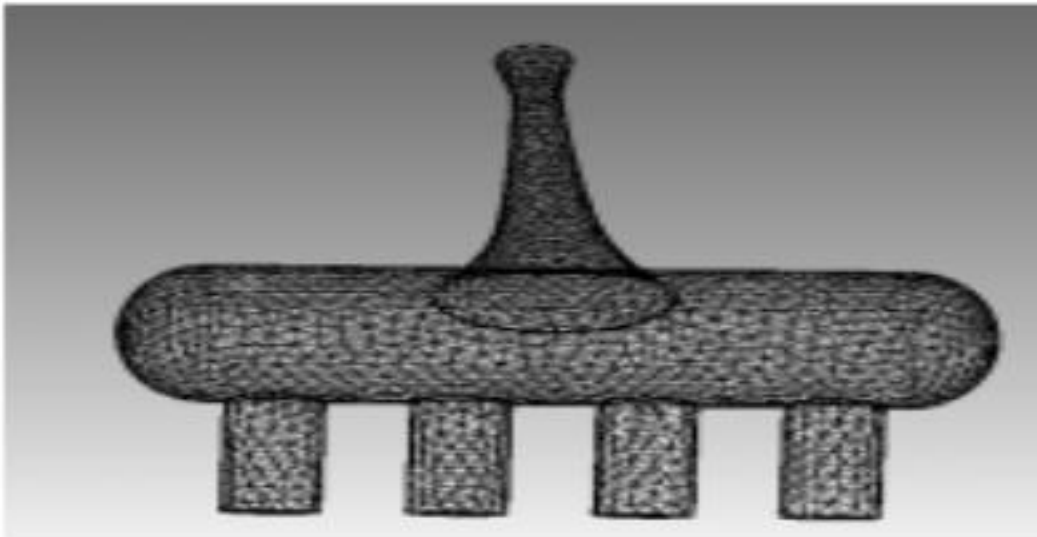


图 2 进气系统网格划分

网格划分及边界条件 将进气系统数模图以 stp 格式保存，导入 Fluent，进行非结构化网格划分。分别 设立一个进气口和 4 个出气口，内流场内的区域四面体网格类型，因为进气系统结 构比较复杂，并且需 要对稳压腔以及进气歧管内气体流动进行分析，所以对这一部 分网格进行加密，以此提高网格质量，增加仿真的可靠性。为了获取更好的 网格质量，进气口面网格大小设置为 0.02 mm，出气口网格设 置为 0.02 mm。确保网格总质量大于 0.01 的最低标准，然后对网进行

下一步操作. 进气系 统网格划分如图 2 所示

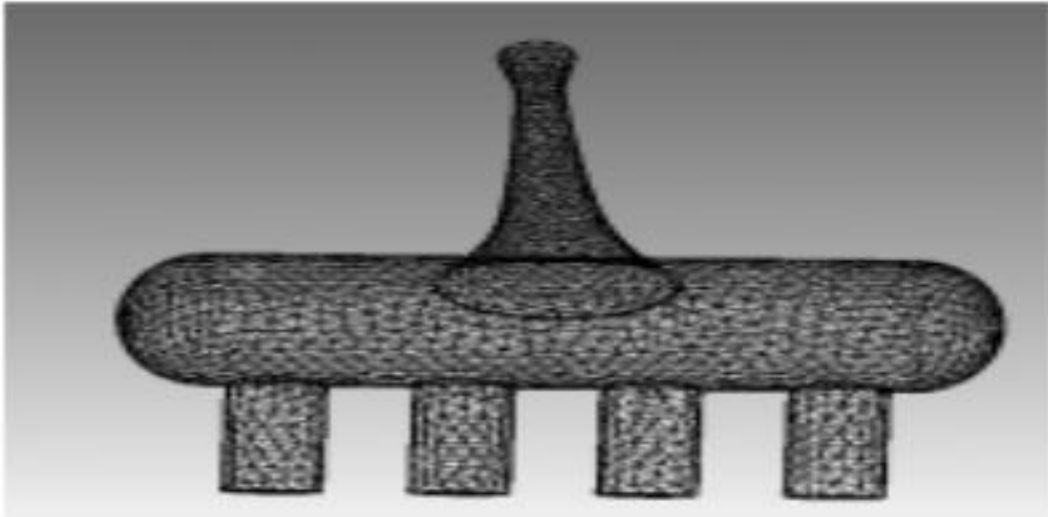


图 2 进气系统网格划分

2. 结果分析

2.1 进气总管的流体分析

2.1.1 限流阀上锥角流体分析

20 mm 限流阀对发动机功率和扭矩的限制是巨大的, 但是通过合理的设计限流阀的上下口锥角, 可以将限流阀的影响减至最小. 限流阀上锥口连接节气门体, 气流通过节气门, 在限流阀处突然收缩, 合理设计的限流阀前锥角能起到组织气流的作用, 从而减少进气口的紊流, 降低进气过程中的空气阻力, 增加空气流量. 因此限流阀上锥角的设计很重要, 通过实际使用情况初步选定上锥角为 17° , 再将锥角进行上下微调分析, 取 13° 、 15° 、 17° 时限流阀入口端的质量流量对比分析, 如图 3、4、5 所示. 分析结果显示限流阀上锥角取 17° 时, 限流阀入口质量流量为 1.4492 kg/s ; 锥角取 13° 时, 限流阀入口质量流量为 1.4103 kg/s ; 锥角取 15° 时, 限流阀入口质量流量为 1.5122 kg/s . 所以限流阀上锥角最优角度为 15° .

4.1.2 限流阀下锥角流体分析

空气在通过限流阀的收缩之后流速变快, 所以限流阀在整个进气系统中是流速最快的部位. 依据伯努利定律, 限流阀也是进气系统中压力最低的部分. 限流阀下锥口将高流速空气的流速逐渐减小, 并且气流压

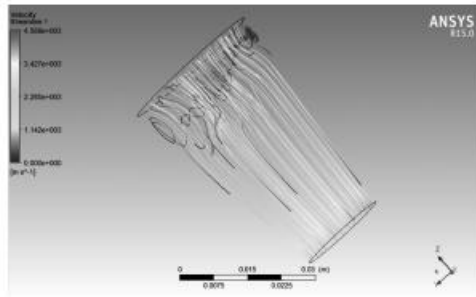


图4 15°上锥角

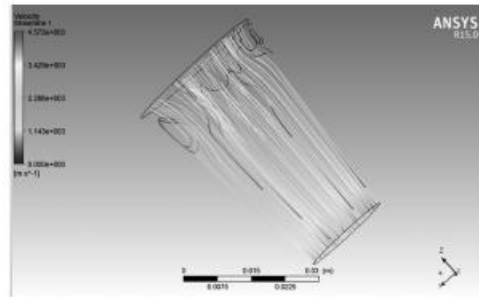


图5 17°上锥角

力逐渐恢复，引导气流逐渐平顺地进入稳压腔体，将气流均匀地分布在稳压腔中，并使气流在进入稳压腔入口时有足够的流速，使出口端的质量流量达到最大。通过实际使用情况初步选定下锥角为 7° 。再将锥角进行上下微调分析，取 7° 、 5° 、 9° 时限流阀出口端即稳压腔入口处的质量流量对比分析，如图6、7、8所示。分析结果显示当下锥角为 5° 时，出口质量流量为 0.7501 kg/s ；限流阀下锥角为 9° 时，出口质量流量为 0.6933 kg/s ；限流阀下锥角为 7° 时，出口质量流量为 0.7732 kg/s ，所以限流阀下锥角最佳角度为 7° 。

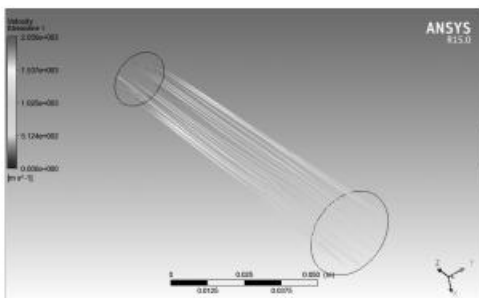


图6 5°锥角

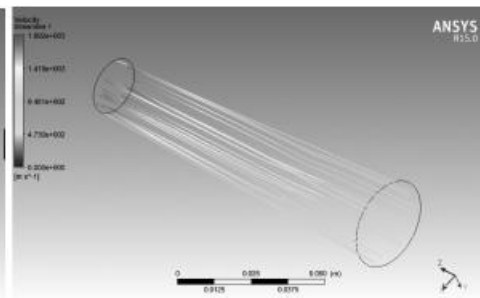


图7 7°锥角

2.2 稳压腔与进气歧管的流场优化

稳压腔在整个进气系统中起到了整合气流的作用。稳压腔入口连接着限流阀导流出口，下端连接进气歧管，气体从空气滤清器中流入，通过限流阀，进入稳压腔，在进气歧管分流后，进入发动机各缸。所以稳压腔的设计直接影响到进气的分流。但如果稳压腔过大，在进气过程中有一定的延时，影响到油门的响应；稳压腔过小，进气系统中气体储存量过少，又会影响进气的容积效率。因此稳压腔的容积设计要合理。根据发动机的实际使用情况，我们选用发动机排量的5倍，也就是 3 L 的稳压腔容积。稳压腔内空气的运动主要与稳压腔的形状有很大的关系，可以通过调节稳压腔的形状来调节稳压腔内部的气流。在稳压腔的设计中，通过限流阀出口端与稳压腔接合的形状来控制气流在稳压腔中的扩散。根据实际使用经验，将稳压腔设计为圆柱与椭球体相结合的形状，可以避免因为有棱角而在稳压腔内部产生紊流，并且可以均匀稳压腔内部的气流。在这里针对进气道扩散器的形状做出两种稳压腔内部设计方案：一是采用高速扩散的进气道方案，增加进气流量；二是采用逐步扩散的进气

道方案来调节进气的均匀性. 根据两套方案做出三维模型, 然后用Fluent软件进行流体分析, 分析结果如图 9 所示. 通过图 9 分析结果可知, 虽然进气道高速扩散器可以相对增加进气量, 但是逐步扩散的进气道更有利于发动机的进气均匀, 平衡各缸动力输出. 因此选用逐步扩散为进气道的设计方

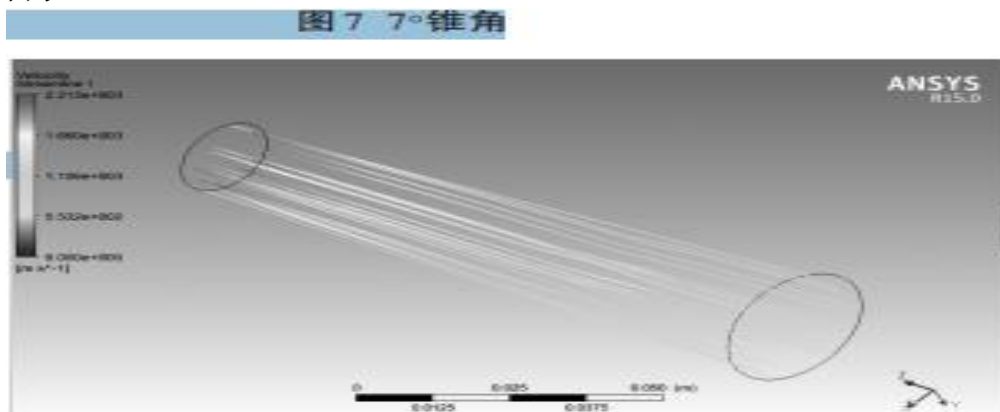


图 7 7°锥角

案.

图 8 9°锥角

2.3 进气歧管缩放口优化

进气歧管是进气气流分流的起始点. 进气歧管的设计是否合理直接影响到各缸进气的均匀性. 如果某缸进气量相对其他缸进气量过少, 可以通过调节进气歧管的缩放口的结构尺寸以及高度进行进气补偿. 在进气系统的初始模型中, 每根进气歧管的结构尺寸以及高度均相同. 进气缩放口采用 30-14-20 的缩放设计来增加进气量, 可以将进气流量提升至最大 (如图 10 所示).



图 10 进气喇叭口设计



图 11 不等长进气歧管优化

进气歧管设计完成后, 还需对进气歧管缩放口进行进气的补偿优化. 气流在经过稳压腔进入进气歧管分流时, 由于从进气道进来的气流的惯性作用, 2-3 缸的进气量必然要比 1-4 缸的进气量更多. 针对这种情况, 采用不等长进气歧管来平衡各缸进气压力. 通过降低 2-3 缸进气歧管的高度, 使进气稳压腔的气流更早接触 1-4 缸的进气歧管, 以达到对 1-4 缸的进气量补偿. 如图 11 所示, 2-3 缸的进气喇叭口入口比 1-4 缸入口低 10 mm,

用来平衡 1-4 缸的进气流量. 在针对进气歧管进行结构上的优化之后, 还需对 优化设计的结果进行流体分析, 以此来达到仿真验证 的目的. 分析结果如图 12 所示. 经过 Fluent 优化分析后, 可以看出, 不等长进气歧管的优化设计对于进气系统有着明显的改善, 已经达 到进气系统设计的最初目的. 最后根据所设计的进气系统做出实物, 如图 13 所示

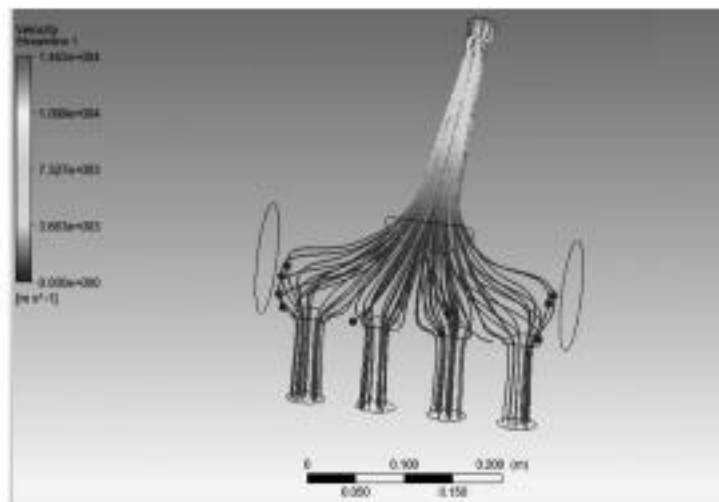


图 12 进气歧管缩放口流场分析



图 13 进气成品

3.结论

本文以 CBR600 发动机为研究对象, 通过 CATIA 建立了进气歧管三维模型; 采用 FLUENT 对进气歧管内部流场进行了数值仿真并对其进行了优化设计; 分析了不同长度和结构的进气歧管对发动机动力性的影响. 结果表明: 限流阀上锥角为 15° 时入口质量流量最大, 下锥角为 7° 时出口质量流量最大. 进气歧管缩放口的设计可以使发动机有最大的进气量, 而不等长进气歧管的补偿设计可以使发动机各缸有一个更均匀的动力输出. 计算结果为进气歧管设计提供了理论依据。