

燃料电池氢气循环设计方案探讨

马秋玉

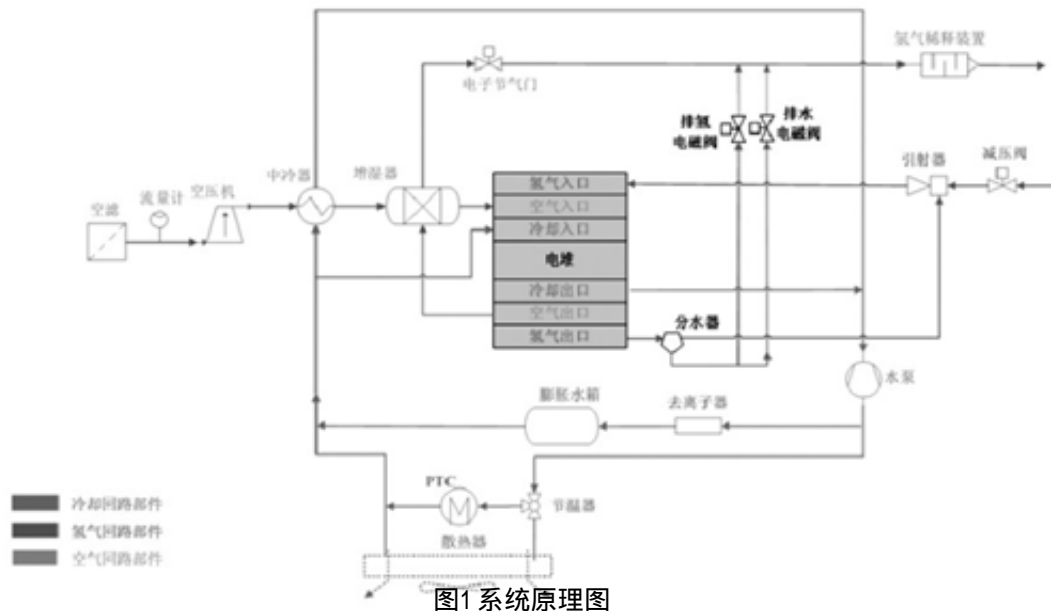
一汽集团

1 前言

随着环境和能源问题的日益突出，各个国家纷纷公布传统内燃机汽车的禁售时间，新能源汽车成为世界各大汽车厂商及研发机构的研究热点，其中燃料电池汽车以其高效率 and 零排放的特点被认为具有广阔的发展前景。

燃料电池系统方案设计是燃料电池汽车的核心技术，决定了燃料电池汽车的性能和寿命，也是各国大型车企的研发热点。

燃料电池系统主要包含空气供应子系统、氢气循环子系统和水热管理子系统，共3大系统。其中，氢气循环子系统向电堆连续提供一定压力和流量的高纯度氢气，保证燃料电池电堆中的电化学反应的正常进行。氢气循环系统通过大量氢气循环利用，保证燃料电池内的水平衡，并提高系统的经济性。图1为燃料电池系统方案。



氢气循环系统对整个系统的动力性、经济性，以及电堆内部水平衡以及膜电极寿命起到至关重要的作用。本文主要对氢气循环子系统的方案进行论证分析。

2 氢气循环回路设计

燃料电池在工作过程中，会有明显的反应不完全的情况，即有很多氢气不会参加反应，如果将未反应的氢气直接排放到大气中，既是一种污染，也会导致氢气浪费。为了解决这一问题，目前有以下几种解决方案：

2.1 直排无循环模式

系统将未反应的氢气直接排放到大气中，这一方案虽然结构简单，不涉及用到循环部件，但氢气排放到大气中，不仅造成燃料的浪费，影响经济性与续航里程，还将对大气造成一定污染，如果此时空间不畅通，还极其危险，故而不被整车厂以及科研院所采用。

2.2 死端模式

密歇根大学的JixinChen等人提出了死端模式，死端模式是将燃料电池系统的至少一个出口封住。由于气体出口被封住，因此氢气会在电堆中停留更长时间，从而提高氢气利用率。死端模式虽然简化了系统部件，且一定程度上减少了氢气的浪费，但是一定条件下只能提供电堆反应所需的氢气量，不能实现过量的氢气计量比，从而导致反应效率下降，且由于将出口端封死，容易积聚反应水，所以需要定期清除残留水，这一操作使得燃料电池的性能下降，难以满足系统经济性和耐久性要求。阳极死端模式见图2。

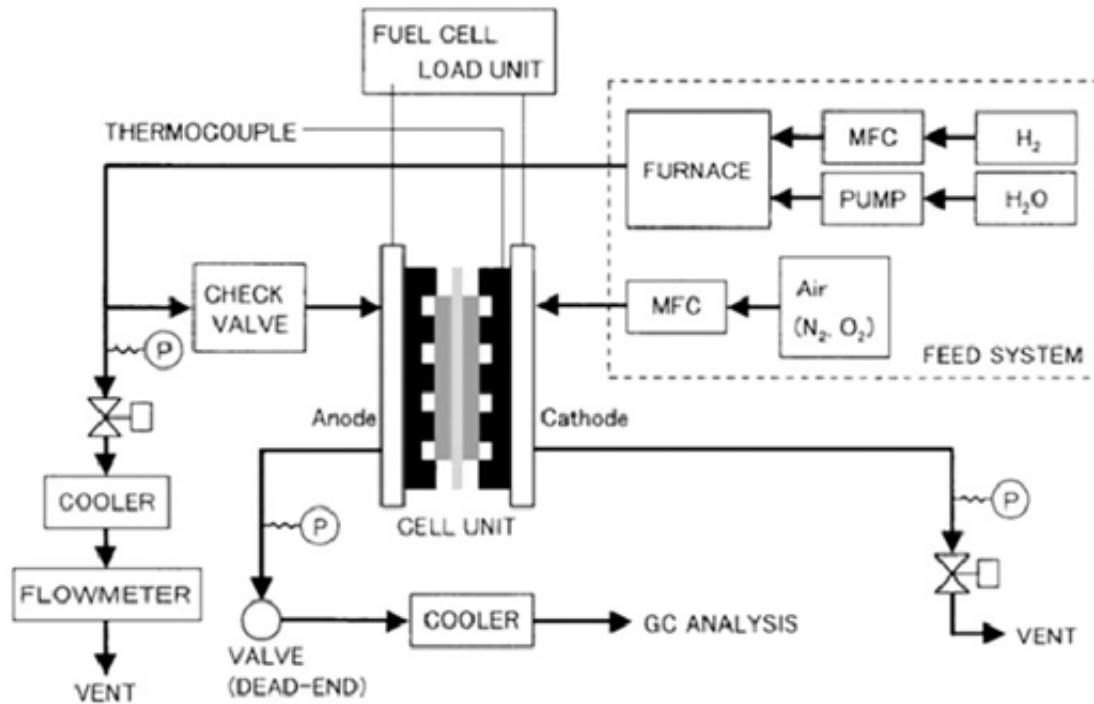


图2 阳极死端模式

2.3 建立再循环系统

再循环系统是将未反应的反应物输送回输入端，从而使反应物的浪费最小化。与死端模式相比，再循环系统不需要定期进行清除积水操作，从而可以更加稳定和持久地运行。按照实现方式和再循环系统的设备，又可以分为几种不同形式，见表1。

表1再循环系统设备和实现方式

系统类型	技术手段	方案代表
无泵系统	利用反应物供应和消耗产生的压力升降	日本航空航天研究所
机械泵系统	使用机械泵将未反应的气体输送到输入端	丰田、重塑、现代、本田
双引射器系统	分别使用低压、高压引射器针对电堆不同工况实现氢气回收利用	美国DTI公司
单引射器系统	使用引射器将未反应的气体输送到输入端	AVL、西安交通大学
引射器与氢气循环泵并联系统	引射器工作范围内使用引射器将未反应的气体输送到输入端；引射器不工作的低功率区通过氢气循环泵实现氢气循环。	美国 Argonne 实验室
引射器加旁路喷射器系统	通过旁路喷射器对清扫过程氢气缺失进行补气	本田

2.3.1 无泵系统

日本宇宙航天研究机构的MasatoshiUno等人提出了一种利用反应物供应和消耗产生的压力升降实现未反应氢气的再循环。其原理图见图3。在具体操作过程中包括模式A和模式B两种模式。在模式A下，对燃料电池供气，并且供给量大于氢气的消耗量，如此，未反应的氢气会通过检测阀1，进入检测阀1和阀2之间。同时由于此处的气压小于氢气供应端的气压，检测阀2并不会开启，见图4。

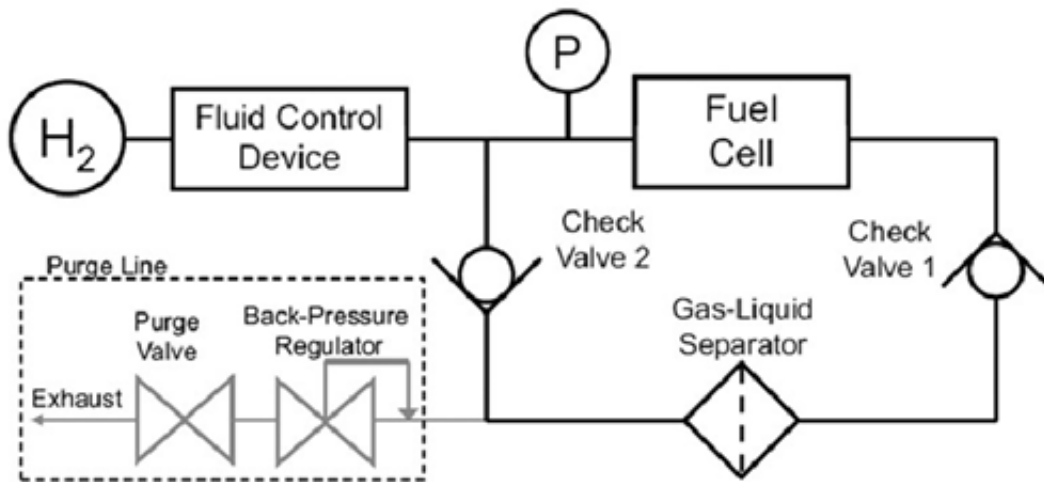


图3无泵系统方案原理

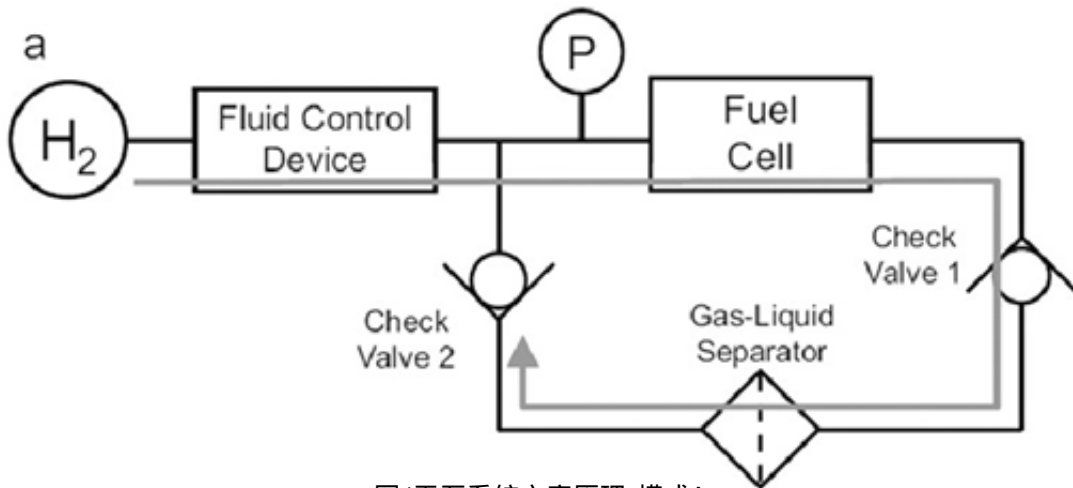


图4无泵系统方案原理-模式A

当压力达到一定值时，减少氢气供应端的氢气供应量，此时燃料电池仍会进一步消耗电堆中的氢气，使得压力下降，直到检测阀2由于压力差而开启。积累在检测阀1和阀2之间的未反应氢气就会被抽吸到燃料电池电堆中参与反应，实现无泵循环，见图5。

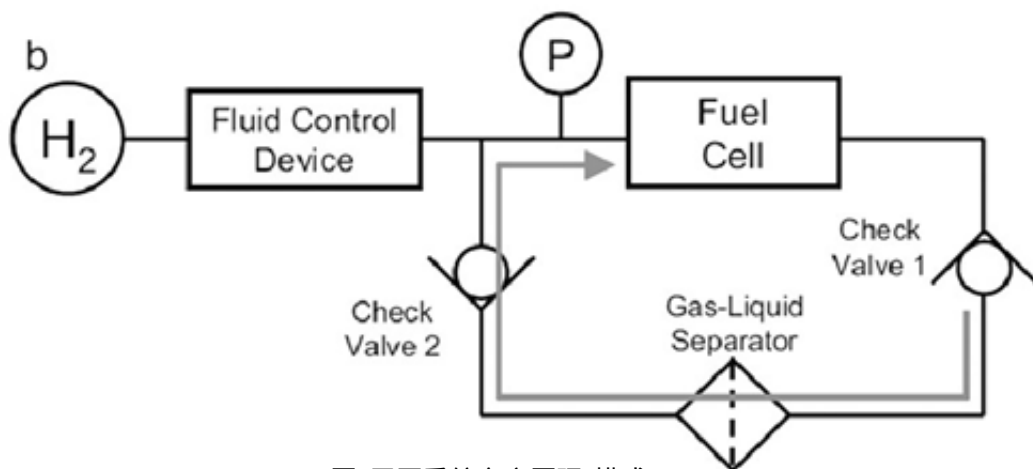


图5无泵系统方案原理-模式B

2.3.2 机械泵系统

机械泵系统属于再循环系统中的传统设计方式，优点在于能够轻松控制，从而实现电堆阳极出口处的氢气回收利用，且不存在工作范围限制；但其主要缺点在于机械泵的使用会产生额外的能耗、噪音、振动等问题，并且增加系统重量和体积，不利于进行发动机的布置和结构紧凑性设计，见图6。

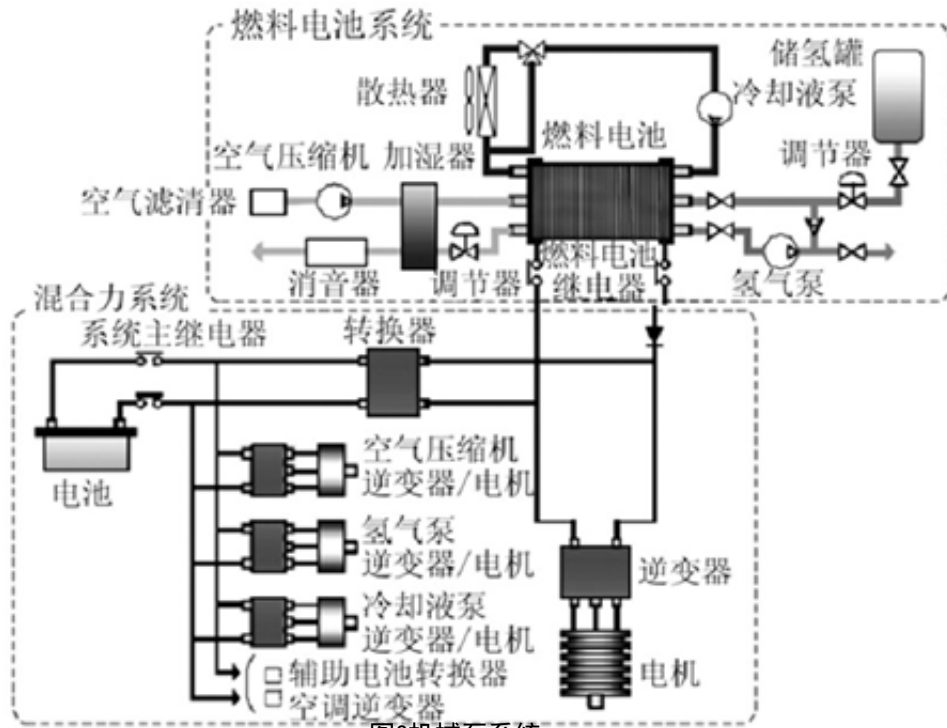


图6机械泵系统

2.3.3 双引射器系统 (Dual-Ejector)

引射器通过变径，降低氢瓶端输入的高压氢气压力并提高流速，从而形成与电堆阳极出口端的压差，进而实现对电堆阳极出口处氢气的回流引射。引射器具有不产生寄生功率、体积小、开发设计简单、资源广泛等优点。因此，合理的引射器设计能有效改善燃料电池性能。喷射器系统与机械泵系统的功能原理相似，都用于回收电堆阳极出口未反应的氢气，二者主要区别在于喷射器中没有移动部件，因此机械稳定性更好。并且在体积和重量上具有机械泵无可比拟的优势，见图7。

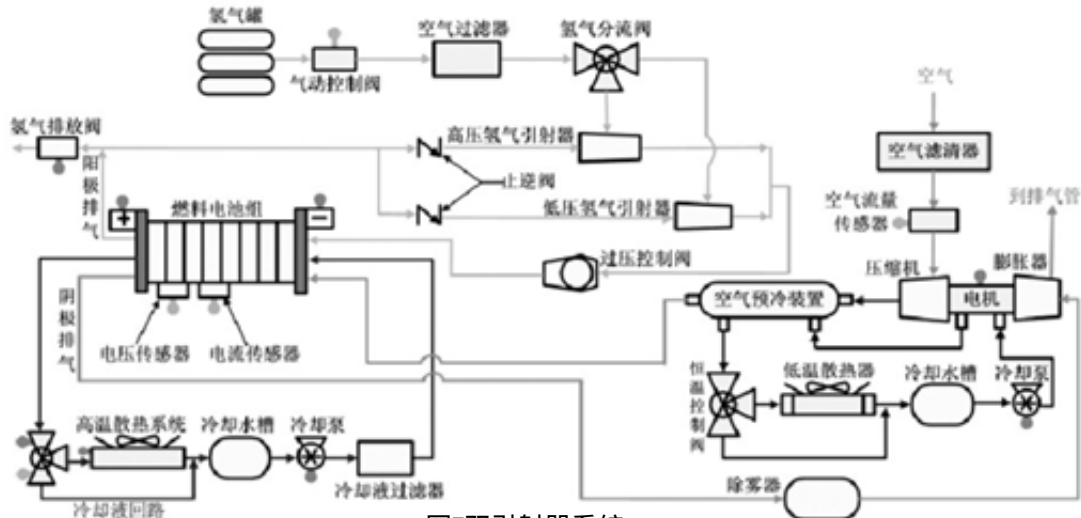


图7双引射器系统

美国技术咨询公司DTI于2010年提出了双引射器的燃料电池系统设计方案。该系统方案利用高低压两个氢气引射器

替代氢气循环泵来实现氢气循环功能，其中引射器分为低压氢气引射器和高压氢气引射器，分别针对不同电堆功率情况下实现回氢功能。引射器一般为固定喷嘴式引射器与可变喷嘴式引射器。

2.3.4 单引射器系统

随着引射器技术的不断进步与发展，已经出现脉冲式单引射器，可以取代双引射器方案，实现系统结构与体积的进一步优化。但是适合于燃料电池环境的喷射器还不是特别成熟，尤其在低功率区存在工作范围局限性，而且由于引射器本身受工况影响很大，在燃料电池启停、负载变化时，其工作稳定性很难保证，见图8。

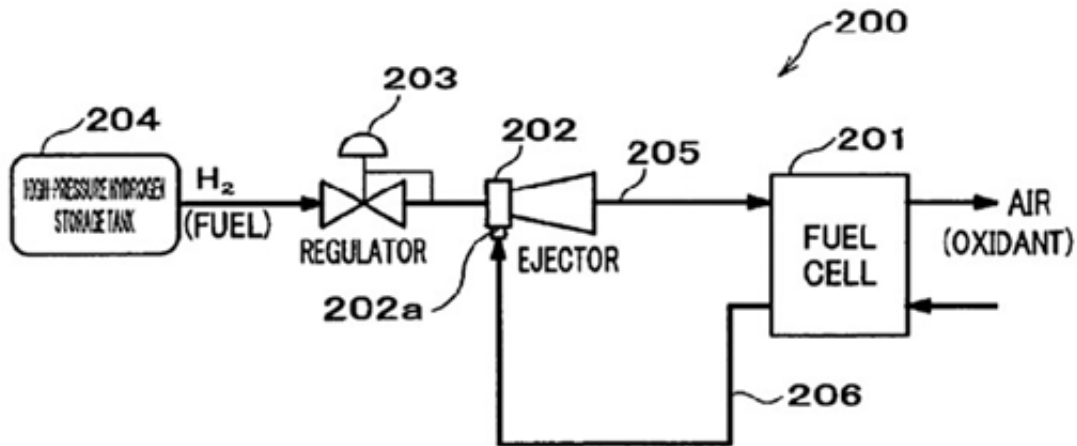


图8单引射器系统原理图

2.3.5 引射器与氢气循环泵并联系统

在引射器工作范围内使用喷射器将未反应的气体输送到输入端，在引射器不工作的低功率区通过氢气循环泵实现氢气循环。引射器与氢气循环泵协同工作，实现氢气的循环利用，该方案不仅规避了引射器工作范围局限性的缺点，对氢气循环泵的功率也没有很高的要求，但对引射器与氢气循环泵的匹配和控制提出更高要求，见图9。

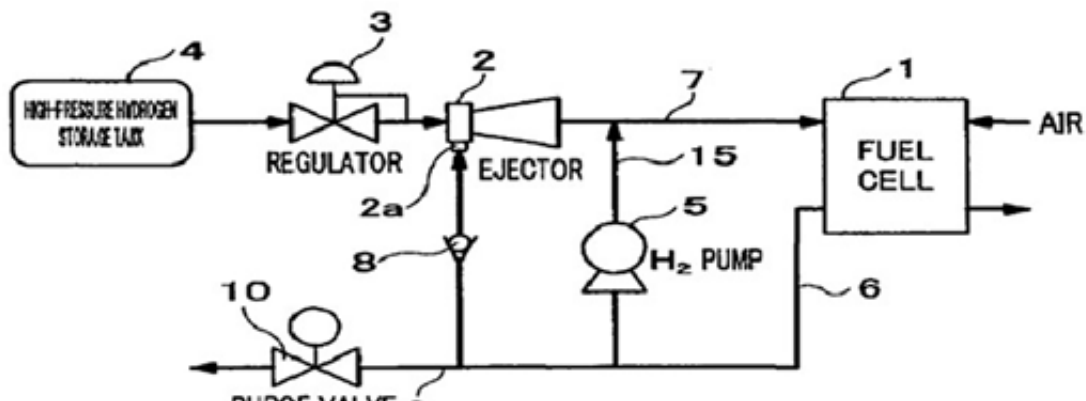


图9引射器与氢气循环泵并联系统原理图

2.3.6 引射器加旁路喷射器系统

单一引射器，不论是脉冲式引射器还是其他类型引射器，无法在低功率下去除电堆中产生的液态水。另外，电堆工作过程中，氮气会通过质子交换膜从电堆阴极渗透到电堆阳极，并在阳极逐渐积聚，导致氢气浓度降低，影响电堆的极化性能，因此需要定时对电堆阳极进行吹扫以保证阳极氢气浓度，进而保证电堆单体电压，但在吹扫过程中，需要大量的氢气注入电堆以保证压力的稳定，因此需要旁路喷射器来为吹扫过程提供额外的氢气。但是脉冲式引射器在氮气浓度高于15%时进行定期吹扫过程，而系统要求在氮气浓度高于20%时才进行净化吹扫过程，这就导致氢气的浪费损失，影响经济性指标与续航里程，见图10。

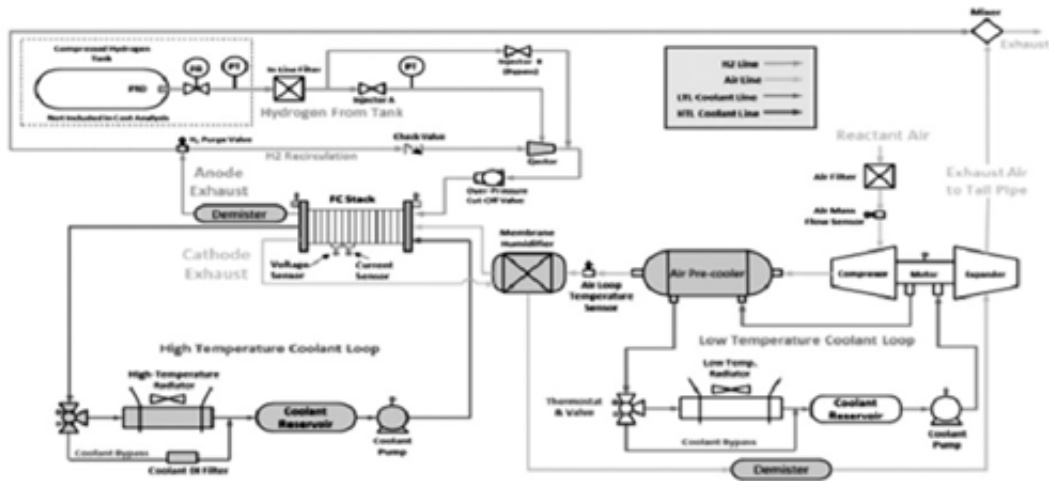


图10引射器与旁路喷射系统原理图

3结论及启示

氢气供给子系统的作用是储藏氢气燃料和向电堆连续提供一定压力和流量的高纯度氢气，保证燃料电池电堆中的电化学反应的连续进行。以上是供氢系统方案对比分析，从为数不多的国内外市场产品的技术应用上可以看出，不同厂家会根据燃料电池系统的功率大小、技术方案、应用车型等，从效率、成本、技术成熟度、资源可及性等方面进行供氢系统原理方案的设计，系统方案设计是综合考量的结果。

氢气循环泵与引射器分别具有各自的优缺点，首先，循环泵具有容易控制，工作范围广泛，电堆内部反应均匀等优点；而引射器在小功率范围无法工作，控制困难，电堆内部反应不均匀，回氢量小，怠速工况下水不断积聚，导致吹扫频繁，从而导致氢气利用率降低等缺点；但未来引射器的设计要求其在怠速到全功率范围内实现工作，并且不存在寄生功率消耗，以此弥补引射器的上述缺点；另外，引射器还具有成本低、设计简单、质量体积小等优点；在资源方面，氢气循环泵目前资源主要集中在小功率级别，大功率级别氢气循环泵资源稀缺。

综上所述，从成本、资源可及性、效率、技术成熟度等方面综合考量，引射器将成为未来发展的热点。实际上各大整车厂也将设计研发的重点放在全功率范围工作的引射器上，未来系统还推荐加入旁路喷射器来辅助吹扫过程，优化系统合理性以及提高寿命等。

引射器已经逐步成为燃料电池行业发展的热点，对未来燃料电池产业化的推进至关重要。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/155847.html>