

模块化设计在绿氢装置中的应用

刘金泳

中国石化工程建设有限公司, 北京 100101

摘要: 氢能作为一种高效且清洁的二次能源, 现阶段有着非常广泛的应用, 绿氢装置因其制备氢气的过程中完全没有二氧化碳气体的排放, 是未来实现碳中和目标的重要手段之一^[1]。模块化设计因为高集成度, 节省成本及缩短工期等优势, 在工程设计领域的应用日益增多。本文以完整的绿氢项目为背景, 简单介绍绿氢装置的组成, 模块化设计的特点, 详细阐述在绿氢装置中模块化设计的应用及优缺点。

关键词: 绿氢装置; 模块化; 电解水制氢; 加氢站

1. 引言

随着世界各国对全球气候变化的重视程度的增加, 对可再生能源以及清洁技术的需求日益增长, 氢能作为一种高效且清洁的可再生能源形势, 对节能减排可起到决定性的作用。

传统的氢能制备技术大多还需依赖化石燃料(例如石油、天然气、煤炭等)燃烧产生的氢气, 在其生产过程中无法避免二氧化碳等气体排放。在国家大力发展氢能产业的大背景下, 电解水制氢作为制氢技术中的重要一环, 受到了广泛关注。绿氢是指利用可再生能源(例如太阳能、风能、核能等)分解水得到的氢气能源, 在生产过程中, 实现了二氧化碳零排放, 是纯正的清洁能源^[1]。

模块化设计是指在工程设计阶段根据工艺流程条件, 将相关连的设备高效集成布置, 对各个模块单独设计, 形成具有独立功能的撬块, 在施工阶段将不同功能的模块根据设备平面布置图现场组合, 最大限度的减少现场安装工程量^[3]。

2. 绿氢装置简介

绿氢装置是实现可持续发展和减少对化石燃料依赖的关键技术之一。绿氢的制备主要是通过电解水的方式进行, 利用可再生能源如太阳能、风能等驱动电解系统, 从而产生绿色氢气。常规的绿氢装置中主要包含风力或光伏发电设施, 电解水制氢装置以及配套的下游加氢站等。风力或者光伏发电属于绿氢装置最前端, 一般由电力设计院完成, 产生的电力为下游的电解水制氢装置提供电能。目前绿氢装置使用的电解水制氢技术主要分为碱性电解水制氢(AWE)和质子交换膜电解水制氢(PEM), 电解水制氢装置主要由电解槽, 气液分离设施, 纯化设施以及配套的公用工程设施等部分组成, 下游的加氢站主要由氢压缩机及其配套冷却机组, 储氢瓶组, 顺序控制盘等设施组成设备区。

2.1. 电解水制氢装置工艺流程及平面布置

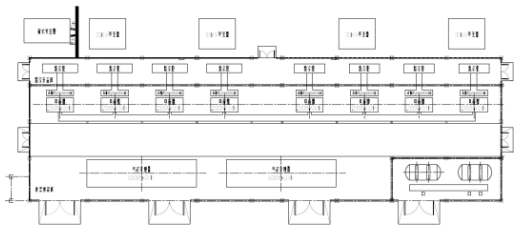
根据国内某新建绿氢项目, 该项目使用了碱性电解水制氢(AWE)和质子交换膜电解水制氢(PEM)两种不同的电解水制氢技术。

碱性电解水制氢(AWE)是以 KOH 碱性水溶液为电解质, 在直流电的作用下, 将水电解, 经过气液分离设施生成氢气和氧气。产出的气体需要进行纯化处

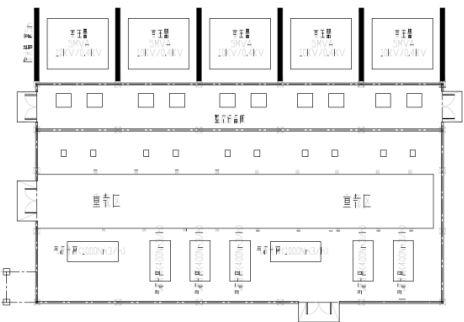
理。该技术是最早发展起来的电解水制氢技术, 也是到目前为止技术最为成熟、成本最为低廉的电解水制氢技术^[2]。

PEM 电解技术以质子交换膜传导质子, 并隔绝电极两侧的气体, 这就避免了碱性液体电解质电解槽使用强碱性液体电解质所带来的腐蚀穿透缺点。电解槽由于采用质子交换膜, 只对氢离子有单向导通作用, 从根本上避免了氢氧通过隔膜混合, 安全性好、气体纯度高。同时电解质薄的特点, 缩小了电极间隔, 使装置结构紧凑, 降低了电解池的欧姆电阻, 大幅提高了电解池的整体性能。PEM 电解槽具有效率高、气体纯度高、绿色环保、能耗低、无碱液、体积小、安全可靠、可实现更高的产气压力等优点, 被公认为制氢领域极具发展前景的电解制氢技术之一^[2]。

本项目碱性电解水制氢(AWE)根据目前国内厂家提供的电解槽数据, 选用 8 台 1500 Nm³/h 规模的碱性电解槽布置在一个厂房内, 厂房内布置 2 套气液处理、1 套补水注碱设施;



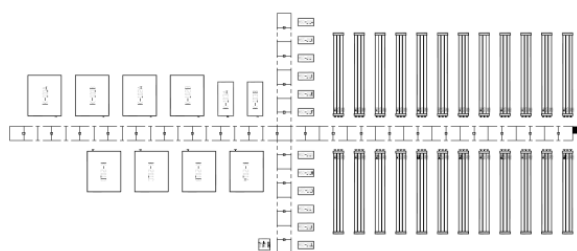
本项目质子交换膜电解水制氢(PEM)根据目前国内厂家提供的电解槽数据, 选用 10 套 200 Nm³/h 规模的 PEM 电解槽布置在同一厂房内, 厂房内布置 5 套氧气分离设施、2 套氢气分离设施、1 套补水设施。



本项目制氢站按照一个制氢厂房对应一套纯化设施的方案考虑, 设置一套 12000 Nm³/h 规模碱性纯化设施、一套 2000 Nm³/h 规模 PEM 气液分离设施, 均布置在厂房外。

2.2. 加氢站工艺流程及平面布置

本项目加氢站原料氢气主要来自制氢站, 均为电解制氢所得。加氢站中布置压缩机、储氢瓶组以及顺序控制盘等设备, 原料氢气通过压缩机增压储存在储氢瓶组中, 为了提高气瓶中氢气的取气效率, 将每两组储氢瓶组中的气瓶配置为高压、中压和低压储氢瓶组, 即三级加注和取气模式。加注氢气通过加氢机与氢燃料电池汽车车载储氢瓶连通加注。



3. 模块化设计简介

3.1. 模块化设计定义

模块化设计的定义可以总结为将产品的某种要素组合在一起, 构成一个具有特定功能的子系统, 将这个子系统作为通用性的模块与其他产品要素进行多种组合, 构成新的系统, 产生多种不同功能或相同功能、不同性能的系列产品^[3]。

3.2. 模块化设计在石油化工装置的应用

模块化设计的优势日益显著, 逐渐被应用于使用石油化工设计中, 石油化工装置模块化设计是指通过高度的协同和集成设计, 将石油化工装置按不同的区域划分成部分可在相关制造厂或者项目建设现场内进行建造的模块, 由现场完成各个模块的连接和组装, 确保最大限度地减少项目建设现场安装工程量的设计过程^[3]。

石油化工领域的模块化设计可分为以下几种典型模块, 钢结构模块化设计, 变电所模块化设计, 建筑物模块化设计, 撬装设备模块化设计等, 本文主要探讨撬装设备模块化设计, 即根据工艺流程等特点, 将化工装置分为不同的单元, 同一单元内的相关设备集成布置在一个底座, 构架或是集装箱内, 设备间的管道, 阀门, 仪表, 电气等相关连接均在制造厂内完成, 整体运至项目现场, 完成组装。

4. 模块化设计在绿氢装置中的应用

4.1. 模块化设计在电解水制氢装置中的应用

碱性电解水制氢 (AWE) 装置和子交换膜电解水制氢 (PEM) 装置通常将电解槽, 气液分离设施以及公用工程辅助设施布置在同一厂房, 出于安全因素考虑, 纯化设施单独布置在厂房外。

气液分离设施主要用于将电解槽电解之后的氢气

和氧气从电解液中分离, 形成氢气和氧气产品, 电解液经冷却降温后再回到电解槽进行电解, 气液分离部分的工艺流程相对成熟, 用到的氢侧分离器, 氧侧分离器等设备尺寸较小, 整个气液分离单元可契合模块化设计的原则, 因此将此部分进行模块化设计。

气液分离单元模块化设计为减小占地, 根据设备台位数将气液分离模块分为 2 层构架, 根据工艺流程要求, 各个设备紧凑布置, 氢氧分离器根据工艺液位要求一般布置在构架上层高于电解槽最高液位的位置, 其配套的分液罐, 反应器, 干燥器, 冷却器以及泵等设备布置在地面层, 为了优化空间, 各种储罐尽量采用立式形式, 换热器采用板换形式, 部分配套设备可采用支耳支撑形式以便节省地面空间。整个气液分离模块利用钢结构框架整体布置在一块底板上, 模块内部预留检修通道, 操作面布置在外侧。根据工艺流程预留模块接口, 多采用可拆卸的法兰接口, 方便后续现场施工安装。



氢气氧气纯化设施主要用于将气液分离后的氢气和氧气进一步提纯, 以便得到高纯度的氢气和氧气产品。纯化单元主要有氢气纯化分液罐, 氧气纯化分液罐和其配套的反应器电加热器及冷却器等设备组成, 因其工艺流程相对独立, 整个氢氧纯化单元可以按照氢气纯化模块和氧气纯化模块进行模块化设计。

与气液分离模块形式相似, 氢气纯化模块化设计选用 2 层构架, 相关设备分层布置, 氧气纯化模块因其设备数量较少, 可使用单层模块化设计, 将设备集中在底板上形成撬装模块。每个模块均预留相关通道, 操作面布置在外侧, 预留相关法兰接口, 方便现场组装。但是从安全的角度考虑, 一般将氢氧纯化模块布置在室外, 因此氢氧纯化模块化的设计除了满足基本的模块化设计布置要求外, 还要更多的考虑到环境因素的影响, 如选用相对坚固的钢结构构架, 设备和管道需要做好保温措施等, 以避免恶劣天气影响模块的性能。

4.2. 模块化设计在加氢站中的应用

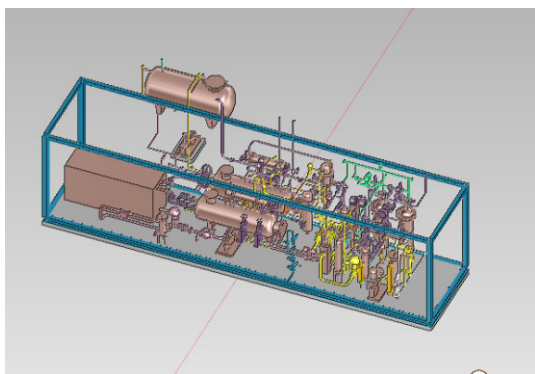
加氢站设备区主要由压缩机, 储氢瓶组和顺序控制盘组成, 压缩机和其配套的冷却机组可形成相关模块进行模块化平面布置设计, 储氢瓶组之间也可形成相关模块进行模块化平板布置设计, 与上述绿氢装置中的气液分离单元和氢氧纯化单元的模块化设计略有不同, 加氢站的模块化设计更多的是平面布置的模块化设计, 根据项目提供占地, 不同设备布置模块在满足相关规范的安全间距前提下进行“组装”, 满足装置建设的需求。

4.3. 模块化设计在绿氢装置中应用的优点

绿氢装置中气液分离单元, 纯化单元以及下游加氢站设备区均采用模块化设计, 使得每个模块都具有一个完整的工艺功能, 在满足相关防火规范的前提下, 每个模块内的设备布置集中且紧凑, 各个设备可共用通道, 无需在每台设备周边单独预留相关的通道, 大大减小了装置占地。模块的预制均在各个制造厂内完成, 管件的焊接质量很容易得到保证, 同时还可以多个模块同步建造, 与项目现场前期施工同步进行, 缩短整个项目周期; 项目建设阶段, 将已经预制好的各种模块运抵项目施工现场, 根据已有的平面布置将各个模块按照预定位置安装在相对应的基础上, 现场连接各个模块, 最后形成整个绿氢装置, 极大的减少了现场施工量。

加氢站多为绿氢装置最末端, 使用上游制氢装置产生的氢气直接作为原料供氢燃料电池的汽车使用, 根据项目投资和占地确定是否增加加氢站设施, 因每个绿氢装置的占地不尽相同, 部分装置中预留的占地为不规则形状, 加氢站平面布置的模块化设计可应对这种情况, 可以最大限度利用占地, 节省成本。

本项目相关的模块化设计充分利了用现有的三维设计软件, 如 SP3D 和 E3D, 将平面布置与立面布置的模块化以三维模型的形式完整呈现, 一是可以更加直观的观察模块中各种设备的布置是否合理, 设备间的管道连接是否满足工艺要求, 操作检修是否方便; 二是根据模型中已建立的材料数据库可规范材料编码体系, 对后续材料采购和管控起到积极的作用; 三是可加强各专业之间的协同, 如电气仪表等专业均可以在此基础上统筹考虑, 减少后续不必要的碰撞; 四是项目后续的模块化预制, 运输以及现场吊装等方案的设计提前提供了便利的条件。



4.4. 模块化设计在绿氢装置中应用的难点

模块化设计的前提是标准化设计, 针对石油化工装置, 标准化设计体现在满足相关安全规范的前提下, 拥有一套成熟的工艺流程, 标准化的设备选型, 标准化的材料等级, 统一的设计标准和完整的三维模型数据库。绿氢装置在我国目前现在还处于起步阶段, 工艺流程, 设备选型以及材料选用均在摸索阶段, 有部分工艺流程设计较复杂, 各设备间连接设置多道切断阀, 或是受上游风光发电不稳定因素影响, 设备选型

会出现尺寸增大, 余量较多的情况, 使用的三维模型设计软件数据库尚未完整收入相关材料信息等。与此同时, 根据每个项目占地及业主或者当地职能部门要求, 各个单元均有不同的变动, 暂时很难形成具有统一标准的模块化设计。

绿氢装置大多建立在风能和太阳能较充裕的地区, 这些地区相邻港口较少, 大多靠公路运输相关模块, 因不同规模的绿氢装置气液分离模块和氢氧纯化模块使用的设备尺寸差异, 很难保证单个模块的最大尺寸满足公路运输要求, 从而导致运输过程中有很多不确定因素会影响模块的到货时间以及模块质量, 因此可能会增加部分物流成本。

同时, 模块化设计在石油化工行业起步较晚, 尚未形成针对石油化工行业模块化设计的政策和法规以及相关的行业标准, 有部分现行标准或者地方管理规定与模块化设计相冲突, 极大的制约了模块化设计在绿氢项目中的发展。

4.5. 模块化设计在绿氢装置中应用前景

根据目前国家大力发展氢能的各种政策和方针, 绿氢的制备技术得到了进一步的提升和完善, 随着更多的技术人员以及厂家投入到绿氢行业中, 从工艺流程的优化, 设备选型, 材料标准等方面会尽快形成相关行业标准及规范, 对后续的绿氢项目起到一定的指导作用。在这种有利条件的前提下, 模块化设计在绿氢装置中的应用也会得到更加广泛的应用。

5. 总结

随着我国大力支持氢能产业的发展, 绿氢的制备技术得到了进一步的提升和完善, 未来会有更多不同规模不同技术方案的绿氢装置在全国各地建设, 由于绿氢与传统的常规石油化工装置在占地、工艺流程、设备选型及设计理念上存在很多差异, 因此在绿氢装置设计中, 需要更多的考虑使用模块化设计, 以便充分发挥各个模块的作用。绿氢装置采用模块化设计, 可以将电解水制氢装置和加氢站的主要设施进行模块化设计, 从而达到简化设计, 优化占地, 降低成本的目的。本文以一个完整的绿氢设计项目为背景, 介绍了绿氢项目的电解水制氢装置中气液分离单元模块设计, 氢氧纯化单元的模块设计, 下游加氢站设备区模块化设计的各种应用以及特点, 分析了模块化设计在绿氢装置中需要考虑的主要问题。在绿氢装置中采用模块化设计方案是一个比较有前景、有意义的方向。

参考文献:

- [1] 《中国石化炼化企业绿色发展技术路线》, 《中国石化炼化工程》, 2019 年第 7 期。
- [2] 水电解制氢技术发展前景 吝子东; 白松; 张晓辉; -《舰船防化》- 2014-06-15.
- [3] 丘平. 浅谈石油化工装置的模块化设计 [J]. 石油化工设计, 2020, 37(3): 1-3.
- [4] 模块化设计技术在核电厂仪控设计平台开发中的应用研究夏祖国; 江国进; 黄伟军; 任立永; -《核科学与工程》-2011-12-15.