

电解水制氢项目电气设计思路及专业配合分析

王 统

(洛阳瑞泽石化工程有限公司, 河南 洛阳 471000)

摘 要 本文以提升电解水制氢项目设计质量为目标, 系统研究电气设计关键技术与跨专业协同模式。通过分析制氢原理与系统构成, 明确电气系统设计要点、核心控制环节及专业配合要点, 构建“技术要点+协同逻辑”的整体设计框架。研究成果旨在为项目设计优化、施工组织及运维管理提供支撑, 有助于推动绿氢项目安全、高效、标准化实施, 可为电解水制氢项目的规范化落地提供技术参考。

关键词 电解水制氢; 电气设计; 专业配合; 电解槽; 整流器

中图分类号: TQ151

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.12.040

0 引言

在全球清洁能源需求持续攀升的大背景下, 电解水制氢凭借清洁低碳的突出优势, 已成为行业重点关注的制氢技术路线。在电解水制氢项目中, 电气设计是关键环节之一, 涉及供电系统的稳定性、电气设备的选型与布置、安全保护措施等多个方面。同时, 电气专业需要与工艺、仪表、储运、总图、土建、配管等专业密切配合, 从而保障项目整体建设与运行工作有序开展、高效落地。因此, 深入剖析电解水制氢项目电气设计要点、厘清跨专业协同逻辑, 对于解决当前部分项目中存在的电气设计针对性不足、专业配合衔接不畅等问题, 提升项目整体设计质量与实施效率意义重大, 能够为电解水制氢技术的标准化建设与规模化应用提供理论参考。

1 电解水制氢的原理和基本制氢办法以及电解水制氢项目前景

1.1 电解水制氢的原理

电解水制氢的基本工作原理是: 在直流电能作用下, 水分子在电解槽中被分解成氢气和氧气。当外部电压作用于两个浸入水中的电极时, 在阳极区域, 水分子通过失去电子完成氧化过程, 生成氧气与质子; 在阴极一侧, 质子则获得电子发生还原反应, 最终形成氢气^[1]。

1.2 基本制氢办法

常见电解水制氢技术主要有: (1) 碱性电解水制氢; (2) 质子交换膜电解水制氢; (3) 固体氧化物电解水制氢^[2]。

1.3 电解水制氢项目前景

在“双碳”战略的大背景下, 电解水制氢凭借清洁、高效等优势, 成为极具发展潜力的制氢技术, 电解水制氢将在能源、交通、工业等多个领域得到广泛应用, 对推动碳达峰、碳中和目标落地具有重要支撑作用^[3]。

2 电解水制氢项目设计中电气专业设计要点

2.1 供电系统主要设计

1. 电源选择: 制氢加氢一体站的供电原则, 按照国家现行规范《供配电系统设计规范》(GB 50052-2009)所确定的负荷等级划分要求, 除中断加氢将造成较大损失者外, 宜为三级负荷。电解水制氢项目需要大量的电能, 因此供电系统的可靠性、稳定性和经济性至关重要。应优先选择可再生能源如风能、太阳能等, 以降低碳排放, 实现绿色制氢。

2. 变配电设备配置: 根据项目的规模和用电需求, 合理配置变压器、开关柜、配电柜等变配电设备。

3. 电气主设备的间距设计: 除《氢气站设计规范》(GB 50177-2005)规定的电解槽等设备的间距要求外, 电气专业应对整流变压器、整流柜按照规范进行布置, 满足安全间距要求的同时应能节省占地。

2.2 电解槽选型要点

电解槽是实现电解水制氢过程的核心装备, 其选型应根据项目的规模、技术路线和运行要求等因素确定。电解槽功率大小是电气设计应关注的问题, 需要根据工艺需求计算电解槽功率等基本设计参数, 才能根据工艺需求制氢规模匹配合适的电解槽^[4]。例如: 一台 1 000 Nm³/h 的碱性电解槽。电流密度取 3 000 A/m²,

作者简介: 王统(1984-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 石化和新能源行业工厂供配电、电信设计。

有效电解面积假定为 2.567 m^2 ，则电解槽电流为： $I = 3\ 000 \text{ A/m}^2 \times 2.567 \text{ m}^2 \approx 7\ 700 \text{ A}$ ，制取 1 Nm^3 氢气需要的电量为 $2\ 380 \text{ A} \cdot \text{h/Nm}^3 \text{H}_2$ ；单个小室的产氢量为： $V_1 = 7\ 700 \text{ A} / 2\ 380 \text{ A} \cdot \text{h/Nm}^3 \approx 3.24 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ；小室数为： $N = 1\ 000 \text{ Nm}^3/\text{h} / 3.24 \text{ Nm}^3/\text{h} \approx 308.6$ ，实际设计中，小室数取 340 个左右。小室电压取 1.85 V ，采用“中间正，两边负”的接线方式，相当于 170 个小室串联，则总电压为： $E_{\text{总}} = 170 \times 1.9 = 314.5 \text{ V}$ ；总电流为： $I_{\text{总}} = 7\ 700 \times 2 = 15\ 400 \text{ A}$ ；电解槽总功率为： $P_{\text{总}} = 314.5 \text{ V} \times 15\ 400 \text{ A} = 4\ 843.3 \times 10^3 \text{ kW}$ 。电解槽功率的计算有助于在项目中准确选型电解槽以及确定优化电解槽内结构形式，并在整流器及配套整流变压器容量的选型上提供参考，以保证既定目标产能，优化配电设计。

2.3 安全保护设计

1. 电气安全保护：设置完善的电气安全保护措施，如接地系统、漏电保护装置、过电压保护装置等。

2. 氢气安全防护：由于氢气具有易燃易爆的特性，因此在制氢厂房、氢气储存区等场所应做好爆炸危险区域划分，安装氢气泄漏检测报警装置，并配备相应的通风设备和灭火器材。

3. 爆炸危险环境划分设计：做好爆炸危险区域的严密划分，提供给工艺、仪表等专业，方便对工艺设备合理布置，为仪表布置可燃有毒气体探测器提供准确范围。制氢厂房应设置完善的功能分区，独立分区房间的设计可以控制爆炸危险区域，从而在设计中可以将设备布置得更加合理，减少防爆设备的数量，降低项目实施成本^[5]。

3 电解水制氢项目中电气专业与相关专业的配合设计要点

3.1 与工艺专业的配合

1. 用电负荷精准核算与适配：电气专业需开展精细化负荷测算，据此优化供电设备、配电线路的选型与配置。同时充分考量工艺设备启停模式对供电网络的扰动，通过加装变频控制器、软启动器等设备，弱化设备启动阶段对电网的冲击，维持供电系统稳定性。

2. 自控系统联动集成：构建制氢全流程集中监控、协同调度的管控体系，依托仪表专业提供的 PLC 控制单元，对电解槽运行电流、槽体电压、反应温度等核心参数进行全天候实时追踪与智能调控，完成机泵启停、转速调节等功能的接口开发，保障制氢工艺连续平稳运行。

3.2 与仪表专业的配合

1. 仪表供电与信号链路规划：仪表专业负责氢气浓度检测仪、压力变送器、温度传感器等检测设备的

选型与布局设计，电气专业则结合各类仪表的供电参数，配备专用稳压供电回路，保障仪表供电精度与稳定性。电气专业需统筹规划仪表信号传输方式、电缆敷设路径，采取屏蔽、隔离等抗干扰措施，降低外界环境对信号传输的干扰。

2. 自控接口互联互通设计：搭建电气控制系统与仪表检测设备的稳定通信链路，实现工艺运行参数的实时采集、高速传输。两大专业需联合敲定接口信号制式、通信协议、传输速率等技术标准，确保数据交互过程无延迟、无丢包，具备优异的兼容性与可靠性。

3. 安全联锁报警机制构建：构建仪表检测与电气控制的安全联动体系，当仪表监测到氢气泄漏、浓度超标等安全风险时，检测信号会实时上传至电气控制系统，触发安全联锁与声光报警动作。例如：现场氢气体积浓度超出 0.4% 阈值时，电气系统可自动切断危险区域供电、启动强制通风设备，全方位守护现场人员与设备安全。

3.3 与储运专业的配合

1. 氢气储运设施电气配套设计：电气专业结合氢气储存、转运设施的实际用电负荷与运行要求，定制化设计供电方案、配电点位及电气设备布局，严守氢气储运场景电气安全规范，保障储运全流程供电可靠、运行安全^[6]。

2. 装卸作业环节电气安全管控：氢气装卸作业期间，电气与储运专业需联动落实防爆安全要求，在装卸作业区统一布设防爆型电气设备，加装专用防静电接地夹、静电泄放装置，从源头杜绝电气火花、静电积聚引发的燃爆风险。

3.4 与总图专业的配合

1. 厂区总体布局：电气需综合考量电气设施的占地面积、与周边建筑物及道路的间距、风向等各类影响因素，同时明确配电室或变电站建筑所需车行铺砌的具体方位，进而保障厂区布局的合理性、安全性与经济性。

2. 运输道路与电气布线：在厂区交通运输线路的规划过程中，总图专业需与电气专业做好协调对接，防止运输线路与地下电气管线、架空电气线路等电气设施发生位置冲突。

3. 绿化与电气设施防护：避免在爆炸危险区域内，电气设施周围种植高大树木等可能影响电气设备运行和安全的植物。

3.5 与土建专业的配合

1. 建筑物设计与电气设备安装：土建专业负责设计和建造各种建筑物，如制氢厂房、变电站、配电室等。在制氢厂房设计中，除对土建的基本委托外，电气应

根据土建建筑方案门窗的布置,按照规范做爆炸危险区域划分,这时可以对照爆炸危险区域对其它功能分区的影响,对门窗的位置适时调整,可以将爆炸危险区域对其它功能分区的影响降到最低,进而降低成本。

2. 电缆桥架与管线敷设的土建支持:电气专业的电缆桥架等需要在建筑物内或室外进行敷设,土建专业应为其提供相应的支持结构和预留孔洞。在设计阶段,电气专业应详细委托电缆桥架的敷设路径、支架间距等参数。

3. 防雷接地系统的土建配合:在建筑物施工阶段,电气专业需与土建专业配合在建筑物基础施工过程中预留接地极,在屋顶女儿墙等关键部位预埋接闪带支架,以此保障防雷接地系统能够发挥可靠的防护作用。

3.6 与配管专业的配合

1. 管道布置与电气线路敷设的协调:配管专业承担氢气管道、冷却水管、仪表空气管线等各类管线的布置工作,电气专业需与配管专业开展密切协同配合,确保管道布置与电气线路敷设相互适配、协调统一,杜绝出现相互干扰及位置冲突的情况。

2. 氢气管道安全防护管控:针对氢气管道固有的安全隐患,电气专业需联合配管专业共同研讨、编制专项安全防护预案。结合现场布设情况,在氢气管道沿线及周边区域,合理布设防爆类电气设备、氢气泄漏监测报警装置等安防设施,全方位筑牢管道运行安全防线,保障氢气输送环节平稳可控。

4 电解水制氢项目电气设计要点与相关专业密切配合的意义

4.1 确保项目的顺利实施

电解水制氢工程项目具备多专业交叉融合的突出特点,各参与专业在设计策划、现场施工全阶段均存在密切的协同关联。电气设计作为项目核心设计板块,必须与工艺、仪表、储运等上下游专业建立高效联动机制,通过全方位密切配合实现全流程设计管控一体化,最大限度规避专业间设计矛盾、施工衔接障碍,确保项目稳步推进、按期竣工交付。

4.2 提高项目的运行效率和稳定性

依托电气专业与各协作专业的深度融合与联动设计,能够在项目前期精准识别并消解各类设计冲突,同时对施工阶段的工序衔接进行统筹部署,最终实现各系统的优化整合与高效集成。该协作模式不仅能从源头降低项目投产后的运维成本与安全风险,还可通过优化能源配置提升利用效率,从而全面提高项目整体的运行稳定性与长期生产的可靠性。

4.3 保障项目的安全运行

电解水制氢工程项目涵盖氢气制备、储运、使用全流程,作业环节潜藏各类安全管控风险。电气专业联动各相关专业开展一体化安全设计,可全面摸排潜在安全隐患、统筹兼顾各类安全管控要素,针对性制定高效防护举措。具体涵盖氢气泄漏监测报警系统布设、电气设备防爆选型与设计、安全连锁控制回路搭建等内容,同时为后续编制制氢系统整流设备安全作业规范提供详实依据,全方位筑牢项目安全运行防线,实现现场作业人员与核心设备的双重防护,保障项目全周期平稳可靠运转。

4.4 降低项目的建设成本和运行成本

科学完善的电气设计与多专业协同配合,可从源头优化项目总体布局与设备选型,减少冗余投资与资源浪费,有效降低工程建设成本。项目投运后,通过各系统协同运行与节能优化控制,能够显著降低能耗及设备运维费用,提升项目整体经济效益与市场竞争力,为工程长期安全、高效、稳定运行提供有力支撑。

5 结束语

电解水制氢凭借绿色清洁、转化高效的技术特征,以及与可再生能源的良好适配性,在未来能源结构转型与“双碳”目标实现过程中具备广阔的应用前景。在电解水制氢工程中,电气设计既是保障系统稳定供电、提升能源利用效率的核心内容,也是确保项目高效落地与安全运行的重要基础。通过对电气设计要点开展系统性研究,并强化与工艺、仪表、储运、总图、土建及配管等多专业的协同配合,可有效规避设计矛盾、控制工程成本,保障项目顺利建设、安全运维与高效产出,进而为氢能产业的持续健康发展提供坚实的技术支撑与实践保障。

参考文献:

- [1] 姚寿文,刘军瑞,李欣欣.电解水制氢理论[M].北京:北京理工大学出版社,2024.
- [2] 杨高强.电解水制氢原理与技术[M].北京:机械工业出版社,2025.
- [3] 杨少辰,李建明,王雨晴.电解水制氢技术研究进展与发展趋势[J].化工进展,2024,43(08):3456-3467.
- [4] 王建国,陈秀丽,刘军.碱性电解水制氢的极化特性分析[J].电化学,2021,27(03):215-223.
- [5] 张一凡,林晓静,赵伟.质子交换膜电解水制氢的原理与关键材料[J].电源技术,2023,47(10):1245-1252.
- [6] 毛宗强,王诚,余皓,等.绿色制氢技术全景式展现[M].北京:化学工业出版社,2024.