

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.006

电解水制氢在电厂和氢能项目的设计应用

李鹏[✉], 肖建群

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 电解水制氢技术已普遍应用于燃煤电厂、燃气电厂和核电厂, 也将更多地应用于可再生能源发电厂配套的氢能项目, 有必要对制氢系统设计方案进行探讨。[方法] 以某燃煤电厂和风力发电及太阳能光伏发电厂配套氢能项目为例, 依据相关标准规范的设计规定, 阐述了相应的电解水制氢系统设计方案。[结果] 碱性电解水制氢技术成熟、安全可靠, 能为电厂氢冷发电机、加氢站和氢气用户持续提供满足纯度、湿度要求的氢气。[结论] 文章旨在为更多电厂和氢能项目电解水制氢系统的设计提供可参考的方案。

关键词: 碱性电解水制氢; 电厂和氢能项目; 系统设计方案

中图分类号: TM621; TK91

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)02-0041-05

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design and Application of Hydrogen Production by Electrolysing Water in Power Plants and Hydrogen Energy Projects

LI Peng[✉], XIAO Jianqun

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] Hydrogen production by electrolysing water has been widely used in coal-fired, gas and nuclear power plants, and will also be more widely used in hydrogen energy projects supporting renewable energy power plants. It is necessary to discuss the design scheme of hydrogen production system. [Method] In this paper, a coal-fired power plant, wind power generation plant and solar photovoltaic power plant supporting hydrogen energy project were taken as examples. According to the design regulation of relevant standards and codes, the design scheme of the hydrogen production system was elaborated. [Result] The technology of hydrogen production by alkaline electrolysing water is mature, safe and reliable, which can continuously provide hydrogen to meet the requirements of purity and humidity for hydrogen-cooled generators, hydrogen-filling stations and hydrogen users. [Conclusion] This paper aims to provide a reference system design scheme of hydrogen production by electrolysing water for more power plants and hydrogen energy projects.

Key words: hydrogen production by alkaline electrolysing water; power plants and hydrogen energy projects; system design scheme

电解水制氢是一种清洁、高效、可持续的制氢技术, 其制氢工艺简单, 氢气纯度可达99.999%, 产品纯度高。电解水制氢不受电厂周边有无可靠、合格外购氢气条件的限制, 设备寿命期内制氢成本低, 已普遍应用于燃煤电厂、燃气电厂和核电厂, 为这些电厂的氢冷发电机持续提供可靠且满足发电机纯度、湿度要求及用量的氢气。

为了缓解传统能源短缺和环境污染问题的加剧, 国内正在陆续建设一批规模化的风力发电厂、太阳能光伏发电厂和太阳能光热发电厂^[1]。这些可再生能源发电厂配套的氢能一体化项目规模大, 氢气纯度要求高, 电解水制氢技术在大规模制氢中是最具潜力, 也是最成熟的技术之一^[2]。

1 电解水制氢技术简介

电解水制氢技术是以除盐水为原料, 借助直流电的作用, 将水分解为氢气和氧气的电化学反应。

收稿日期: 2020-05-29 修回日期: 2020-06-05

基金项目: 中国能建广东院科技项目“国家能源局《能源技术创新“十四五”规划》氢能领域编制研究”(EV05561W)

根据电解槽种类的不同,电解水制氢主要分为碱性电解水制氢、PEM质子交换膜电解水制氢和固体氧化物电解水制氢三种技术。

由于PEM质子交换膜电解槽和固体氧化物电解槽造价相对较高,应用实例相对较少,加上碱性电解水制氢的槽体结构简单、易于操作、价格相对便宜且技术最成熟,目前在传统电厂应用最多的是碱性电解水制氢。碱性电解水制氢技术安全可靠、运行寿命长、经济性能好,也比较适合应用于可再生能源发电厂配套的大规模氢能项目^[2]。

因此,本文中的电解水制氢是指碱性电解水制氢技术。

2 电解水制氢设计相关规定

由于电解水制氢产生的氢气属于甲类可燃气体,制氢站的生产火灾危险性类别为甲类,制氢站的设计应严格执行下列标准、规范的相关规定:

1)《氢气站设计规范》(GB 50177—2005),该标准对氢站的总平面布置、工艺系统、设备选择、工艺布置、建筑结构、电气及仪表控制、防雷接地、给水排水及消防、采暖通风、氢气管道、阀门等相关设计都作了详细的规定,其中以黑体字标志的条文为强制性条文,在设计时必须严格执行^[3]。

2)《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)^[4],制氢站内有爆炸危险房间或区域的等级定义应符合该标准的规定,爆炸危险等级区域的划分应符合《氢气站设计规范》(GB 50177—2005)中附录A的规定。

3)《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014),制氢站内有爆炸危险房间应执行该标准的规定,设置泄压设施^[5]。

4)《石油化工企业设计防火规范》(GB 50160—2008)中关于输送可燃气体的压缩机设计的相关规定^[6]。

5)《氢气使用安全技术规程》(GB 4962—2008),该标准规定了氢气在使用、置换、储存、压缩与充(灌)装、排放过程以及消防与紧急情况处理、安全防护方面的安全技术要求^[7]。

6)《发电厂化学设计规范》(DL 5068—2014)中关于制氢站设计的相关规定^[8]。

7)《氢冷发电机氢气湿度技术要求》(DL/T 651—2017)中关于氢气湿度技术要求和氢气干燥器设计的相关规定^[9]。

8)《电力建设施工技术规范 第6部分:水处理及制氢设备和系统》(DL 5190.6—2012)中关于制氢设备的相关规定^[10]。

9)《电力建设施工质量验收及评价规程 第6部分:水处理及制氢设备和系统》(DL/T 5210.6—2009)中关于制氢设备的相关规定^[11]。

10)《氧气站设计规范》(GB 50030—2013)中关于氧气设计的相关规定^[12]。

3 电解水制氢在传统电厂中的设计

本文以某2×660 MW机组燃煤电厂为例,来阐述其电解水制氢系统设计方案。

3.1 基础数据

- 1) 发电机充氢容积: 120 Nm³。
- 2) 发电机漏氢量: ≤16 Nm³/24 h。
- 3) 发电机运行氢压: 0.5 MPa (g)。
- 4) 氢气供应出口压力: 0.8 MPa。
- 5) 补氢纯度: ≥99.9%。
- 6) 补氢湿度: 露点温度≤-50 ℃。

3.2 工艺系统方案

《发电厂化学设计规范》(DL 5068—2014)规定:制氢设备的总容量,宜按全部氢冷发电机的正常消耗量以及能在7天时间积累起最大一台氢冷发电机的一次启动充氢量之和设计。^[8]

根据此标准规定及基础数据,制氢设备出力计算如下:

2台发电机7天正常氢气消耗量: $16 \times 7 \times 2 = 224$ (Nm³)。

1台发电机置换氢气系统所需氢气体积: $120 \times 3 = 360$ (Nm³)。

1台发电机充氢至运行氢压所需氢气体积: $120 \times 5 = 600$ (Nm³)。

1台发电机一次启动的充氢量: $360 + 600 = 960$ (Nm³)。

2×660 MW机组制氢设备出力: $(224 + 960) \div 7 \div 24 = 7.1$ (Nm³/h)。

基于以上计算结果,该电厂电解水制氢站主要设备配置方案:

1) 配置1套10 Nm³/h的电解水制氢装置及附属设备,包括电解槽、氢分离器、氧分离器、氢洗涤器、氢冷却器、氢气水分离器、氢排水器、脱氧干燥/纯化器、碱液循环泵、碱液冷却器、碱液过滤器等。

2) 配置1套电解水制氢辅助设备,包括碱液箱、除盐水补水箱、补水泵等。

3) 配置1台流量为10 Nm³/h,出口压力为3.2 MPa的氢气压缩机;配置1台氢气缓冲罐。

4) 配置4台标准水容积为13.9 m³,充氢压力为3.2 MPa的氢气贮存罐。

5) 配置1套氢气分配盘,进口压力为3.2 MPa,出口压力为0.8 MPa。

6) 配置1台气动阀门用压缩空气贮存罐。

7) 配置1套氮气瓶组。

8) 配置在线分析仪器,包括氢气检漏仪、氢气露点仪、氢中氧分析仪和氧中氢分析仪;配置压力表、压力变送器、液位计和温度计等仪表。

9) 配置配电柜、整流柜、制氢控制柜和DCS控制柜等电控设备。

3.3 设备布置

电解水制氢站总占地约33 m×37 m,周围设有不低于2.5 m的实体围墙,围墙内分为电解水制氢车间和贮存罐区。电解水制氢车间与贮存罐区间隔16 m,满足规范所要求的安全距离。

电解水制氢车间包括电解间、辅助间、压缩间、配电间和控制间,电解水制氢装置及附属设备、氮气瓶组布置在电解间,电解水制氢辅助设备布置在辅助间,氢气压缩机、氢气缓冲罐和氢气分配盘布置在压缩间,配电柜和整流柜布置在配电间,制氢控制柜和DCS控制柜布置在控制间。

氢气贮存罐和压缩空气贮存罐布置在室外贮存罐区。

4 电解水制氢在氢能项目中的设计

本文以某300 MW风力发电及太阳光伏发电厂为例,来阐述其配套氢能一体化项目电解水制氢系统设计方案。

4.1 基础数据

1) 电解水制氢规模:30 MW。

2) 氢气贮存量:11 100 Nm³。

3) 氢气供应出口压力:20 MPa。

4) 氢气纯度:≥99.999%。

5) 氢气湿度:露点温度≤-50 ℃。

6) 氢气中氧含量:≤5 ppm(体积浓度)。

4.2 工艺系统方案

根据以上基础数据,该风电及光伏发电厂氢能项目电解水制氢站主要设备配置方案:

1) 配置6套1 000 Nm³/h的电解水制氢装置及附属设备,每套包括电解槽、氢分离器、氧分离器、氢洗涤器、氧洗涤器、氢冷却器、氧冷却器、氢气水分离器、氧气水分离器、氢排水器、氧排水器、脱氧干燥/纯化器、碱液循环泵、碱液冷却器、碱液过滤器等。

2) 配置3套电解水制氢辅助设备,每2套制氢装置共用1套辅助设备,每套辅助设备包括碱液箱、除盐水补水箱、补水泵等。

3) 配置7台流量为1 000 Nm³/h,出口压力为20 MPa的氢气压缩机,6用1备;配置2台氢气缓冲罐。

4) 配置15台标准水容积为37 m³,充氢压力为20 MPa的氢气鱼雷贮存罐,并配置3辆专用鱼雷贮存罐长管拖车,用于向各加氢站和氢气用户运输高压氢气。

5) 由于风电及光伏发电厂不设置除盐水制备系统,其配套的氢能项目需在制氢站内设置除盐水制备和贮存设备,向制氢设备提供电解用原料除盐水。除盐水制备系统的水源为市政自来水,采用全膜法处理工艺。

配置3套出力为4 t/h的除盐水制备装置,2用1备;并配置1台100 m³除盐水箱,满足制氢设备连续运行12 h除盐水用量。

6) 配置1套气动阀门用压缩空气制备和贮存装置,包括2台空压机,1套过滤净化装置和2台压缩空气贮存罐。

7) 配置3套氮气瓶组,每2套制氢装置共用1套氮气瓶组。

8) 配置在线分析仪器,包括氢气检漏仪、氢气露点仪、氢中氧分析仪和氧中氢分析仪;配置压力表、压力变送器、液位计和温度计等仪表。

9) 配置变压器、整流柜、制氢控制柜和DCS控制柜等电控设备。

4.3 设备布置

电解水制氢站总占地约129 m×103 m, 周围设有不低于2.5 m的实体围墙, 围墙内分为电解水制氢车间和长管拖车充装站。电解水制氢车间与长管拖车充装站间隔40 m, 满足规范所要求的安全距离。

电解水制氢车间包括电解间、辅助间、压缩间、氮气瓶间、除盐水制备间、空压机间、变压器间、整流柜间和控制间, 电解水制氢装置及附属设备布置在电解间, 电解水制氢辅助设备布置在辅助间, 氢气压缩机和氢气缓冲罐布置在压缩间, 氮气瓶组布置在氮气瓶间, 除盐水制备和贮存设备布置在除盐水制备间, 压缩空气制备和贮存装置布置在空压机间, 变压器布置在变压器间, 整流柜布置在整流柜间, 制氢控制柜和DCS控制柜布置在控制间。

氢气鱼雷贮存罐每5罐为1组, 按车位顺序依次停放在3个长管拖车充装站内, 长管拖车充装站为敞开式建筑, 上部设有顶棚。

5 结论

碱性电解水制氢技术的槽体结构简单、易于操作、价格便宜且技术成熟, 已普遍应用于燃煤电厂、燃气电厂和核电厂的氢冷发电机补氢。这些传统电厂设置的电解水制氢装置设计出力一般为10 Nm³/h, 配套设置相应贮氢容量的氢气贮存罐, 能为电厂氢冷发电机持续提供可靠且满足发电机纯度、湿度要求及用量的氢气。

碱性电解水制氢技术安全可靠、运行寿命长、经济性能好, 在大规模制氢中是最具潜力, 也是最成熟的技术之一, 比较适合应用于风力、太阳能光伏、太阳能光热等可再生能源发电厂配套的氢能一体化项目。这些大规模氢能项目设置的电解水制氢装置设计出力一般为1 000 Nm³/h, 配套设置相应贮氢容量的氢气鱼雷贮存罐和专用鱼雷贮存罐长管拖车, 能为各加氢站和氢气用户持续提供可靠且满足纯度、湿度要求及用量的氢气。

参考文献:

- [1] 刘助仁. 新能源:缓解能源短缺和环境污染的新希望[J]. 科技与经济, 2008, 21(1):35-37.
LIU Z R. New energy: a new hope to alleviate energy shortage and environmental pollution [J]. Science & Technology and Economy, 2008, 21(1):35-37.
- [2] 倪萌, LEUNG M K H, SUMATHY K. 电解水制氢技术进展[J]. 能源环境保护, 2004, 18(5):5-9.
NI M, LEUNG M K H, SUMATHY K. Progress of hydrogen production through water electrolysis [J]. Energy Environmental Protection, 2004, 18(5):5-9.
- [3] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 氢气站设计规范:GB 50177—2005 [S]. 北京:中国计划出版社, 2005.
Ministry of Construction of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Design code for hydrogen station: GB 50177—2005 [S]. Beijing: China Planning Press, 2005.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 爆炸危险环境电力装置设计规范:GB 50058—2014 [S]. 北京:中国计划出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of electrical installations in explosive atmospheres: GB 50058—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑设计防火规范:GB 50016—2014 [S]. 北京:中国计划出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for fire protection design of buildings: GB 50016—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 石油化工企业设计防火规范:GB 50160—2008 [S]. 北京:中国计划出版社, 2008.
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Standard for fire prevention design of petrochemical enterprises: GB 50160—2008 [S]. Beijing: China Planning Press, 2008.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 氢气使用安全技术规程:GB 4962—2008

- [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. Technical safety regulation for gaseous hydrogen use: GB 4962—2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [8] 国家能源局. 发电厂化学设计规范: DL 5068—2014 [S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- National Energy Administration. Code for design of chemistry of power plant: DL 5068—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [9] 国家能源局. 氢冷发电机氢气湿度技术要求: DL/T 651—2017 [S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- National Energy Administration. Requirements for hydrogen humidity of hydrogen-cooled generators: DL/T 651—2017 [S]. Beijing: China Planning Press, 2017.
- [10] 国家能源局. 电力建设施工技术规范 第6部分:水处理及制氢设备和系统: DL 5190.6—2012 [S]. 北京:中国电力出版社,2012.
- National Energy Administration. Technical specification for thermal power erection and construction part 6: water treatment and hydrogen generation equipment and system: DL 5190.6—2012 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2012.
- [11] 国家能源局. 电力建设施工质量验收及评价规程 第6部分:水处理及制氢设备和系统: DL/T 5210.6—2009 [S]. 北京:中国电力出版社,2009.
- National Energy Administration. Specification for construction quality acceptance and evaluation of electric power construct

part 6: the equipment and the system with the water treatment and hydrogen generation: DL/T 5210.6—2009 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.

- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国质量监督检验检疫总局. 氧气站设计规范: GB 50030—2013 [S]. 北京:中国计划出版社,2013.
- Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of oxygen station: GB 50030—2013 [S]. Beijing: China Planning Press, 2013.

作者简介:



李鹏

李鹏 (通信作者)

1979-, 男, 宁夏银川人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司院高级工程师, 武汉大学应用化学学士, 主要从事发电厂水化学控制、工业给水和污水处理、垃圾渗滤液处理、海水淡化处理技术研究及设计 (e-mail) lipeng2@gedi.com.cn。

肖建群

1977-, 女, 江西永新人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司高级工程师, 武汉水利电力大学环境工程学士, 主要从事发电厂水化学控制、工业给水和污水处理、垃圾渗滤液处理、海水淡化处理技术研究及设计 (e-mail) xiaojianqun@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)



电厂电解水制氢装置



氢气贮罐