

硅芯产业总降变电站设计难点分析

王伟

山西省安装集团股份有限公司

摘要:近年来,光伏产业原料-多晶硅的产能不断集中,中国企业占主导地位。中国多晶硅产能和产量在2010-2023年间保持稳步上升态势,2023年全球产量首次超过100万吨,全球占比提升至85%以上。硅芯产业蓬勃发展,对于此类用电大户,总降压站的设计十分重要。本文从硅芯产业总降变电站一次电力系统的设计原理出发,对变电站的特点和设计难点进行了深入地分析,并对其做出详细阐述。

关键词:硅芯产业;总降变电站;设计;分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.14.107

引言

硅芯材料是电子产业、新能源产业最根本的原料。该类产业近年来发展较快,且具有用电量、负荷等级高等特点,常坐落于电网发达,电力外送,用电有较大优惠的省市。此类省市将大力发展低碳硅芯产业作为该城市转型发展的突破口,依托独特的资源优势,因地制宜,作为实现优质转型发展的重要抓手。硅芯产业的发展,是一项符合国家产业发展实际的重大决策,是紧盯国家产业政策机遇,立足产业发展实际,瞄准高端产业发展需求而制定的。因此,硅芯产业发展对于减少对传统化石燃料的依赖,减少温室气体排放,改善全球环境质量,推动全球能源结构转型升级具有重要意义,其发展将有助于促进全球能源结构的转型升级。

关于变电站一次电力系统方面的研究,谢旭平^[1]针对110kV启动区变电站的电气主接线设计进行了要点分

析,明确了该站的站址和采用的接线方式,探讨了变电站短路电流的原因及危害,并分析了电气主接线设计的关键因素。张申珅^[2]进一步提升对变电站电气一次主接线设计的重视度,改变传统的设计模式,选择科学的主变压器、继电保护装置等。这样才能确保供电的稳定性和安全性。张馨兮^[3]阐述变电站一次系统电气主接线设计的原则,探讨变电站一次系统电气主接线设计 and 应用,包括单母线接线、单母线分段接线、桥形接线、电气主接线负荷计算、接线方案设计。

在硅芯产业总降变电站的设计中,通过合理选址、科学选型、精心布局,力求打造一座技术先进、管理智能、运行高效的变电站,为硅芯产业提供稳定可靠的电力支持。本文从以硅芯产业总降变电站设计为例,从一次电力系统的设计原理出发,对变电站的特点和设计难点进行了深入地分析。总降变电站作为硅芯产业电力供应的核心,其设计规划必须紧密结合产业特点,确保电力供应的稳定性和连续性,需求分析应包括但不限于硅芯生产线的电力负荷特性、峰值负荷预测、电能质量要求等方面。

一、硅芯产业项目用电特点

(一)用电负荷大

以典型的5GW光伏组件拉晶项目生产线为例,生产线有单晶炉,截断机,磨倒机,清洗机,开方机,冷冻泵站,冷却泵站,空压站,纯水站,废水处理站,以及配套的照明和通风设备,用电负荷在70~80MW。类比其他类型工艺生产线电耗也不相上下。

表1 典型5GW光伏组件拉晶项目负荷统计表

| 序号 | 设备名称 | 功率 | 数量 | 总容量 kW/kVA | 负荷等级 |
|----|-----------|------|----|---------------|------|
| | 硅能5GW拉晶项目 | | | | |
| 1 | 单晶炉 | 5200 | 16 | 104000 | 二级 |
| 2 | 真空泵/辅助泵 | 400 | 16 | 400 | 二级 |
| 3 | 反切机/工位截断机 | 120 | 1 | 120 | 二级 |
| 4 | 磨倒机 | 600 | 2 | 1200 | 二级 |
| 5 | 照明插座 | 260 | 1 | 260 | 三级 |
| 6 | 空调 | 515 | 2 | 1030 | 二级 |
| 7 | 弱电机房 | 100 | 1 | 100 | 二级 |
| 8 | 一层自动化 | 200 | 2 | 400 | 二级 |
| 9 | 冷冻水泵 | 270 | 2 | 540 | 二级 |
| 10 | 低温水机组 | 1014 | 2 | 2028 | 二级 |
| 11 | 定压补水 | 510 | 2 | 1020 | 二级 |
| 12 | 组空 | 360 | 2 | 720 | 二级 |
| 13 | 排风 | 300 | 2 | 300 | 二级 |

| | | | | | |
|----|-----------|------|---|---------|----|
| 14 | 除尘 | 70 | 1 | 70 | 二级 |
| 15 | 废水处理 | 300 | 1 | 300 | 二级 |
| 16 | 硅料清洗机 | 520 | 1 | 520 | 二级 |
| 17 | 空压站 | 450 | 1 | 450 | 二级 |
| 18 | 冷却循环水泵 | 1740 | 1 | 1740 | 二级 |
| 19 | 冷却塔 | 1740 | 1 | 1740 | 二级 |
| 20 | 空调冷却系统 | 240 | 1 | 240 | 二级 |
| 21 | 开方机 | 450 | 1 | 450 | 二级 |
| 22 | 龙门吊 | 70 | 1 | 70 | 三级 |
| 23 | 取晶车充电 | 200 | 1 | 200 | 二级 |
| 24 | 热交换间 | 60 | 1 | 60 | 二级 |
| 25 | 氩气回收站 | 600 | 1 | 600 | 二级 |
| 26 | 机加废水 | 386 | 1 | 386 | 二级 |
| 27 | 纯水机房 | 350 | 1 | 350 | 二级 |
| 总计 | | | | 104864 | |
| | 取同时系数 0.7 | | | 73404.8 | |
| | 选择变压器 | | | 100000 | |
| | 负荷率 | | | 73.40% | |

一般情况下，鉴于硅芯产业项目用电负荷大，5GW以上规模的项目总降变电站需采用220kV或者110kV等级进线电源供电。

（二）用电负荷等级高

根据《多晶硅工厂设计规范》GB51034的要求，供配电系统的设计应符合以下规定：

1) 应根据规模、发展规划、工厂的特点来规划设计；

2) 设计方案确定应考虑负荷性质、生产规模、电力消耗能力及电力供应条件等因素；

3) 应采用性能先进的电器产品，同时具备高效节能，环保，安全等特点。

负荷分级和供电要求应符合下列规定：还原炉电极、炉体及底盘冷却循环泵、冷氢化装置的洗塔循环泵、整理装置中的废气洗涤系统、工艺废气洗涤循环泵、消防系统等用电负荷在一级负荷中应属于特别重要的负荷；工艺采取其他措施时，可依据现行国家标准GB50052《供配电系统设计规范》确定负荷等级。其他负荷分级、电源要求也应符合国家相关规定标准。

硅芯产业项目断电后经济损失较大，因此，该类项目需从公共电网中引来双回路220kV或者110kV供电电源。若外部条件允许且负荷等级较高的情况下，建议从公共电网中引来双电源回路用来保障用电可靠。

（三）总降变电站电压级差大

选择电源电压和供电系统应符合下列条件：

1) 应根据当地公共电网的现状和发展规划、生产规模等确定供电电压；

2) 变、配电所位置应根据总图布置情况及负荷的容量靠近负荷中心，且总变电所宜靠近还原车间；

3) 装置一级配电电压宜选用10kV电压等级，低压

配电电压宜选用220V/380V电压等级；

4) 供配电系统应符合GB/T14549《电能质量公共电网谐波》现行国家标准，采用滤波等方式抑制高次谐波；

5) 低压系统接地形式宜采用TN-S接地形式，也可采用TN-C-S接地形式。

硅芯产业项目装置一级配电大部分采用10kV电压等级，35kV电压等级采用较少。总降变电站宜采用2台及以上的主变压器供电，电压等级为110/10kV或220/10kV。

二、设计难点分析

鉴于硅芯产业项目容量大、电压等级差大等特点，总降变电站采用的主变一般为非常规变压器，在设计过程中设备选型和计算时需考虑多种因素的影响。

（一）进线电源选择

总降变电站的进线电源选择需编制电力接入方案，并省电力相关部门取得批复文件后实施。接入系统设计的主要内容包括：研究建设的必要性、电力系统现况、电力电量平衡计算、出线电压等级、出线方向、回路数、导线截面、线路长度等，提出推荐方案，进行必要的电气计算和技术经济综合比较；对电气主接线及相关电气设备参数提出要求；提出系统保护、安全自动化装置、调度自动化等方案，并根据需要同步开展专题研究。该环节批复文件的取得标志着项目得到了电网公司的许可，可以按照批复文件开展设计施工。

（二）电气主接线

为了系统的可靠性，110kV或220kV高压侧往往采用双母线接线；10kV侧由于硅芯产业的额定电流往往超过了4000A，低压侧电流较大，10kV侧采用双分支单母线多分段环形接线方式。

110kV或220kV设备常规使用GIS组合电器；10kV采用KYN28开关柜常规布置在10kV预制舱内；室外主变布置在GIS和10kV预制舱之间。

（三）主变压器选择

主变选型原则主要包括确定变压器容量和台数的原则如下：

1) 根据负荷性质、用电容量、区域供电状况和运行方式等条件，对主变压器台数和容量进行综合考虑，确定主要变压器台数和容量；

2) 在有一、二级负荷的变电站内应安装两台主变压器。在技术经济相对合理的条件下，主变台数也可多台。若变电站可由中、低压侧电力网中取得足够能量的备用电源时，可以装设一台主变压器；

3) 装设两台及其以上主变压器的变电站中，当断开一台时，其余主变压器的容量应保证用户一级负荷和部分二级负荷；

4) 若通过主变压器各侧绕组的功率均达到主变压器容量的15%时，且有三种电压等级的变电所，主变压器宜采用三绕组变压器。

5) 变压器的选择应符合GB20052《电力变压器能效限定值及能效等级》现行国家标准。

（四）短路电流计算

短路电流的计算是为了限制短路的危害，使故障影响范围缩小。在变电所和供电系统的设计和运行中，基于下列用途必须进行短路电流计算：

1) 合理的主接线方案、运行方式和限流措施的确定；

2) 在最严重的短路状态下保护电力系统的电气设备不受损害，尽量将短路故障造成的危害降到最低。

3) 必须用短路电流校验其热稳定性和动稳定性，才能选择电气设备和载流导体。

4) 选用整定继电保护装置，以便对短路故障进行正确的切除处理。

短路电流计算可以为设备选型、制定运行模式、整定继电保护等环节提供依据。因此，在总降变电站的设计过程中，短路电流计算是设计的重要环节之一。

（五）无功补偿计算

硅芯产业项目的设备中拉晶炉、铸锭炉等采用较多的整流元器件，产生较多的无功功率以及谐波，应采用无功补偿、有源滤波等设备进行治理。在电力系统中，无功补偿的作用是提高供电系统和负荷的功率因数，改善电压质量，减少因输送无功电能而造成的变压器和线路的电能损耗。

（六）其他设计注意事项

1) 考虑到硅芯产业总降变电站的10kV出线全为电缆出线，具有较大的电容电流。当电容电流超过10A时，10kV侧接地方式需采用经消弧线圈接地方式。接地变二次侧可以兼做站用变使用；

2) 由于硅芯产业项目总降变电站低压侧出线回路为多条10kV电缆，在设计阶段应考虑沟道的宽度、深度

和走向等，便于电缆敷设；

3) 变电站内一般采用独立避雷针来防止直击雷的危害。设备接地采用60*6的镀锌扁钢，二次设备室接地采用铜排，站内采用防静电接地和保护接地措施。站内敷设以水平接地体为主，辅以垂直接地极的人工接地网，来保护站内设备及人身安全。站内主地网通常采用60*6的镀锌扁钢作为水平地网，垂直接地极则采用50*50*2500的镀锌角钢构成复合接地网。

4) 变电站的选址及电气布局是设计中的重点。选址需要考虑的因素众多，包括地质条件、交通便捷性、环境兼容性、安全距离等。如何在满足电力输送需求的同时，确保电气布局的安全、可靠、高效，是电气布局设计的难点。此外，设备选型也是一个重要环节，需要综合考虑设备性能、成本、维护便利性等因素。

5) 随着科技的发展，变电站的智能化和自动化水平越来越高。如何满足这些要求，实现变电站的高效、智能运行，是设计中的一大挑战。智能化和自动化要求的设计不仅涉及技术层面，还包括与现有系统的兼容性和未来扩展性。变电站作为电力系统的重要组成部分，其能效优化和节能降耗对于整个电力系统的可持续发展具有重要意义。如何在保证变电站正常运行的同时，通过合理的设计和技术手段实现节能和能效优化，是设计中的重要考虑因素。

6) 变电站的设计还需综合考虑经济性和投资回报。在满足技术要求和环保标准的前提下，如何通过优化设计降低成本、提高投资回报率，是设计中的一个重要目标。经济性分析需要考虑多个因素，包括建设成本、运维成本、市场需求等。

三、结语

硅芯产业总降变电站的设计规划应全面考虑产业需求、选址评估、规模设定、电气主接线设计、设备选型与配置、土建结构设计、自动化与智能化、安全防护与环保、施工与安装规划以及运行维护方案等多个方面，以确保变电站的高效、安全、稳定运行，为硅芯产业的持续发展提供坚实的电力保障。

综上所述，硅芯产业总降变电站的设计规划是一项复杂而重要的工程。设计方秉持“安全、高效、环保、智能”的设计理念，通过科学合理的规划和实施，为硅芯产业提供了一座技术先进、管理智能、运行高效的变电站。

参考文献

[1] 谢旭平 110kV变电站的电气主接线设计要点分析[J]. 今日自动化, 2023(9): 89-91.

[2] 张申珅 变电站电气一次主接线设计探讨[J]. 百科论坛电子杂志, 2019(11): 288-289.

[3] 张馨兮 变电站一次系统的电气主接线设计[J]. 集成电路应用, 2023, 40(8): 104-105.

作者简介: 王伟(1982-), 男, 汉族, 山西太原人, 高级工程师。研究方向: 电气设计及其管理工作。