

新疆某高效光伏组件生产线项目冷热源系统设计

文 / 卞 捷 江苏省建筑设计研究院股份有限公司

摘要: 介绍了新疆某高效光伏组件生产线项目的冷热源系统设计。系统采用水源热泵冷热水机组,充分利用的生产工艺的余热做为,冬季蒸发侧的热源。同时多种热源搭配耦合使用,加大了系统的可靠性。同时对实际运行所出现的问题进行了分析。

关键词: 寒冷地区; 水源热泵系统; 余热回收; 多热源耦合

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.078

引言

2020年全国建筑运行能耗为10.6亿t标准煤,产生碳排放21.6亿t二氧化碳,其中直接碳排放5.5亿t;排放总量大,而且仍呈增长趋势。《2030年前碳达峰行动方案》提出要加快优化建筑用能结构,积极推动严寒、寒冷地区清洁取暖,引导夏热冬冷地区科学取暖,深化可再生能源建筑应用。水源热泵作为一种应用简便的可再生能源利用方式,具有热源获取便捷、运行维护方便、无直接碳排放等优势,在我国建筑中具有广泛的应用前景。

本文以新疆某高效光伏组件生产线项目为例,根据其末端负荷需求的不同,结合当地气候特点与工艺流程的特点,提出多个热回收方案做为水源热泵系统的蒸发侧热源的冷热源系统方案,为工程应用提供参考。

一、工程概况

本高效光伏组件生产线项目,建设地点位于新疆·霍尔果斯市。总项建筑面积89344.13平方米。其中,1栋电池车间与1栋组件车间为生产车间共计75809.76平方米,其余为生产、生活配套用房。

本项目生产过程中产生有大量余热,项目地点无集中供暖,短期内无市政燃气供应。本项目采用水源热泵冷热水机组,夏季使用冷却塔放热生产冷冻水,做为空调系统的冷源;冬季利用工艺生产产生的余热,并配以辅助热源做为水源热泵蒸发侧热源,水源热泵机组生产热水,做为空调系统的热源。并且根据项目生产要求,设置中温冷却水系统为生产工艺系统降温。

二、系统冷热负荷构成

(一) 空调负荷构成详见下表

区域	面积 (m ²)	总冷负荷 (kW)	夏季高温水 (20/25℃) 负担冷负荷 (kW)	夏季低温水 (10/15℃) 负担冷负荷 (kW)	单位面积冷指标 (W/m ²)
1 栋电池车间	11601.0	3038.0	452.3	2585.7	261.9
1 栋组件车间	23360.0	3184.0	982.0	2202.0	136.3
1 栋其他办公楼等	13168.0	539.0	250.0	289.0	40.9
2 栋库房	6621.0	-	-	-	-
3 栋库房	13085.0	-	-	-	-
4 栋综合楼西	935.0	107.0	-	107.0	114.4
4 栋综合楼中	1973.0	142.0	-	142.0	72.0
4 栋宿舍	4885.8	-	-	-	-
5 栋特气站	16.06	-	-	-	-
6 栋硅烷站	30.0	-	-	-	-
8 栋三氟化氮站	30.0	-	-	-	-
9 栋化学品库	105.0	-	-	-	-
10 栋动力站	1026.0	-	-	-	-
汇总	76985.8	7010.0	1684.3	5325.7	137.4

区域	面积 (m ²)	冬季低温水 (25/20℃) 负担 热负荷 (kW)	冬季高温水 (60/45℃) 负担 热负荷 (kW)	冬季冷冻水 (10/15℃) 负担 热负荷 (kW)	冬季室内 散热设备 (kW)	单位面积 热指标 (W/m ²)
1 栋电池车间	11601.0	2007.4	2091.6	-568.2	-1361.8	187.0
1 栋组件车间	23360.0	-1297.0	-	-	-	-55.5
1 栋其他办公楼等	13168.0	-	420.0	-	-	32.7
2 栋库房	6621.0	-	195.0	-	-	29.5
3 栋库房	13085.0	-	252.0	-	-	19.3
4 栋综合楼西	935.0	-	84.5	-	-	90.4
4 栋综合楼中	1973.0	-	190.0	-	-	96.3
4 栋宿舍	4885.8	-	223.0	-	-	45.6
5 栋特气站	16.06	-	15.6	-	-	93.8
6 栋硅烷站	30.0	-	4.9	-	-	161.7
8 栋三氟化氮站	30.0	-	4.2	-	-	140
9 栋化学品库	105.0	-	8.2	-	-	78.1
10 栋动力站	1026.0	-	74.6	-	-	72.7
汇总	76985.8	710.4	3466.1	-568.2	-1361.8	30.6

(二) 其它负荷构成

1. 根据 PCW 循环水量 880m³/h, 进水温度 28 度, 出水温度 23 度计算, PCW 系统总需冷却量为 5036.0kW。
2. 根据加热纯水原水进水温度 5 度, 出水温度 25 度, 纯水流量: 60m³/h 计算, PCW 系统超纯水升温超 PCW 系统冷却量为 1372.0kW。
3. PCW 系统需其它冷源冷却量为: 5036.0-1372.0=3664.0kW。
4. PCW 系统冷却与新风预冷量: 3664.0kW+2194.8kW=5858.8kW
5. PCW 系统冬季热回收量: 3664.0kW-1858.5kW=1805.5kW
6. 空气压缩机组热回收量: 900.0kW (此值由空压系统供应商提供)
7. 冬季水源热泵机组源侧需补热量: 4385.7kW (水

源热机组需热量)-1805.5kW-900.0kW-469.7*2kW (备用热源的热量)=743.1kW

三、空调冷热源系统

(一) 中央压缩式制冷(热)设备系统

1. 中温冷源系统

为合理利用能源提高机组效率, 为 PCW 循环系统冷却以及新风系统预冷。综合考虑稳定可靠兼顾节能单独设置一套冷源生产中温冷冻水。考虑生产投产的顺序与输配系统的能耗。制冷设备采用自然冷却风冷螺杆冷水机组。采用 6 台自由冷却风冷螺杆冷水机组 (380V 供电)。额定工况供冷量为: 1450kW; 设计工况供冷量为: 1564kW; 自然冷却工况供冷量为 1564kW。自然冷却风冷螺杆冷水机组采用冷凝器与自然冷却盘管双盘管, 并配有防冻液中间换热器。可全年全天候稳定输出 10 ~ 22° C 冷冻水。

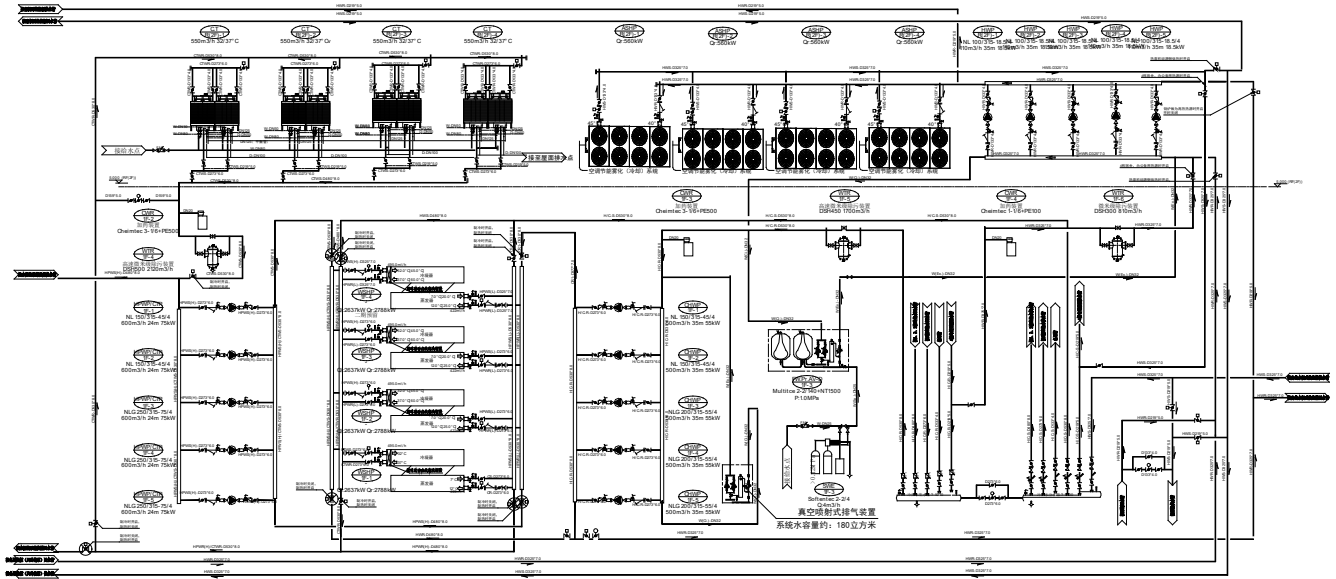
为充分利用新疆地区室外干燥气候，同时结合自然冷却风冷螺杆冷水机组的工作原理。在空调主机的冷凝器上加装空调节节能雾化（冷却）系统。

2. 低温冷源系统

为合理利用能源提高机组效率，1 栋电池车间与 1 栋组车间空调系统。单独设置一套冷源生产低温冷冻水。考虑生产负荷的特点与输配系统的能耗。制冷设备采用

4 台双级压缩离心式冷水（热泵）机组并远期预留 1 台双级压缩离心式冷水（热泵）机组供二期厂房使用。双级压缩水冷离心式冷水机组(380V 供电), 额定供冷量为：2461kW，共计 4 台。

3. 双级压缩离心式冷水（热泵）机组冬季转换为供热工况，做为空调系统热源使用



(二) 备用中央压缩式制热设备系统

1. 为满足冬季不生产时的宿舍与办公的供热需求，以及双级压缩离心式冷水（热泵）在运行时的蒸发侧热源用热要求，设置一套备用热源系统。

2. 备用热源在双级压缩离心式冷水（热泵）机组供冷工况下，机组可做为净化机组的再热热源。

3. 制热设备采用非逆向融霜型低温强热空气源热泵机组。用 4 台机组（380V 供电）。额定工况供热量为：560kW。低温工况供热量不小于 340kW。非逆向融霜型低温强热空气源热泵机组，最低制热环境温度可达 -25° C。

4. 在双级压缩离心式冷水（热泵）机组不产热，宿舍与办公需要供热时，通过管路阀门切换，生产出的热水输送空调冷热水分水器处，接至供热管网。经循环后经空调冷热水集水器，合并后由空调热水循环泵组泵至动力站屋面非逆向融霜型低温强热空气源热泵机组循环。

5. 在双级压缩离心式冷水（热泵）初期投入使用时，PCW 工艺冷却系统不开启，空气压缩机不开启，无热回收时，通过管路阀门切换，生产出的热水输送到热中继水箱一侧放热循环后由空调热水循环泵组泵至动力

站屋面非逆向融霜型低温强热空气源热泵机组循环。

(三) 冷却塔换热系统

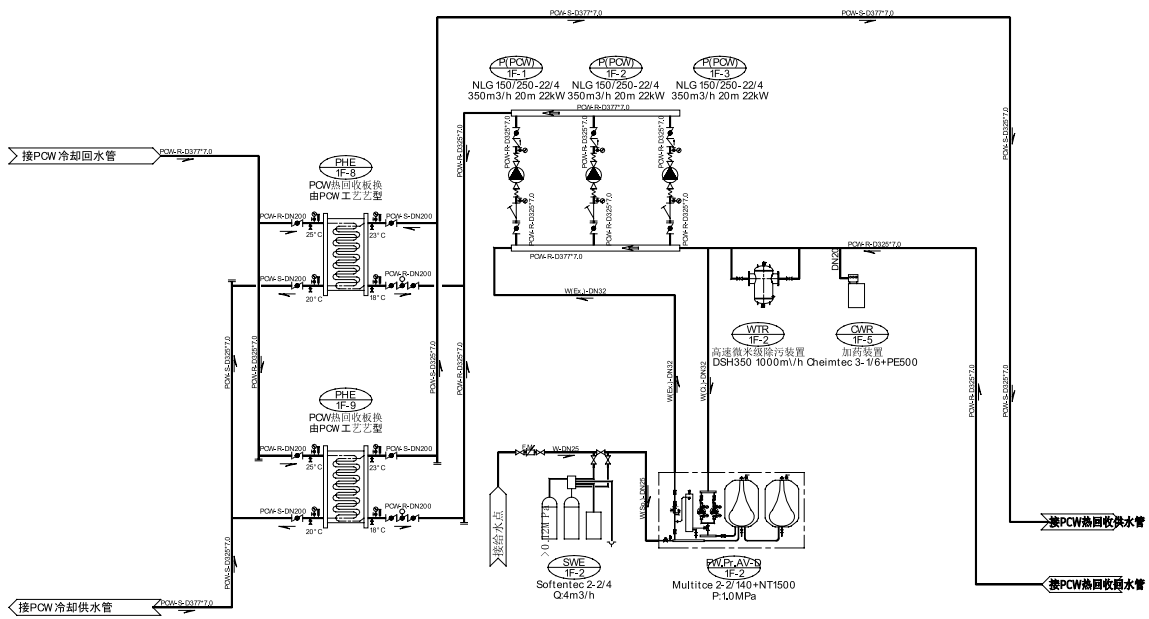
1. 冷却塔采用共用集管并联运行，各塔之间设平衡管联通或共用集水槽。冷却塔按当地室外计算湿球温度提高 1° C（且 ≥ 26° C）选型。

2. 冷却塔选择深水盘型开式逆流冷却塔，单台冷却塔循环量 500CMH，共计 4 台。集水盘有效容积满足：湿润冷却塔填料等零部件所需水量，一般按冷却塔小时循环水量的 1-2% 考虑；停泵时靠重力流入的管道水容量。

3. 冷却水循环泵各机组一一对应，均为一用一备配置。双级压缩离心式冷水（热泵）机组冷却水循环泵兼做水源热泵源侧循环泵。

(四) 双级压缩离心式冷水（热泵）机冬季蒸发侧热源系统

1. 为保证双级压缩离心式冷水（热泵）机组冬季正常供热，需有稳定的热量供机组冷却使用。PCW 工艺冷却系统为全年稳定热源，在双级压缩离心式冷水（热泵）机组供热时，PCW 的工艺冷却水系统一部分能量接入双级压缩离心式冷水（热泵）的蒸发侧，做为双级压缩离心式冷水（热泵）机组冬季制热的源侧使用。



2. 为保证双级压缩离心式冷水（热泵）稳定制热运行，并提高机组效率，同时回收使用动力站内空气压缩机的热量。

为充分有效利用能源，空压机热量在双级压缩离心式冷水（热泵）机组制热时，回收做为热泵系统源侧热源使用。在水源热泵机组蒸发侧热源系统，设置一套换热机组，一次侧供回水管引至空压机系统，二次侧接入水源热泵机组蒸发侧热源系统。

3. 为保证机组在生产启动阶段，无稳定源侧热源的情况下可以正常启动。同时接入备用热源系统，做为双级压缩离心式冷水（热泵）冬季制热的源侧热源使用。

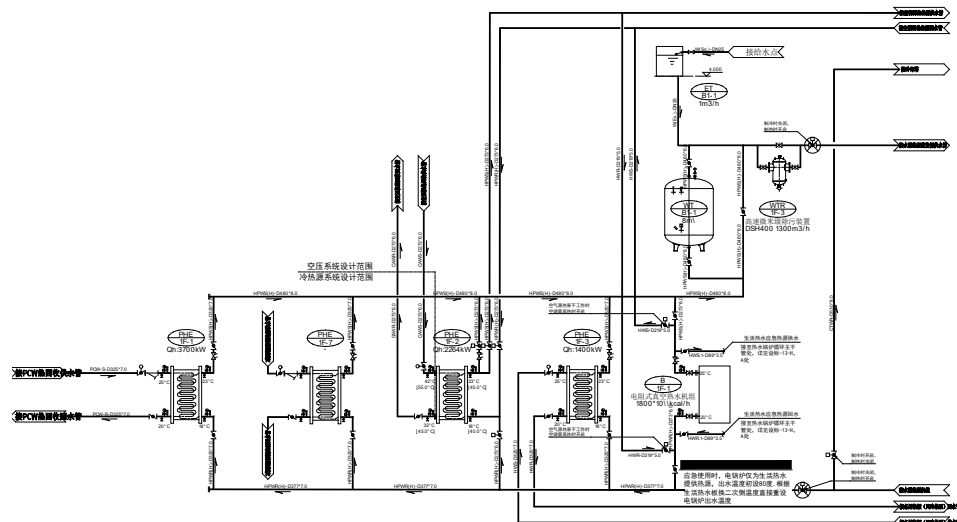
4. 电阻式真空热水机组补热系统

为保证工程制热的可靠性，在冬季极端情况下PCW

热回收、空压机热回收以及备用中央压缩式制热设备系统，所提供的热量不满足水源热泵系统源侧吸热要求的情况下，采用电能进行直接补热。

选用电阻式真空热水机组两台。380V 供电，单台供热量 $180 \times 104 \text{ kcal/h}$ 。设计供回水温度 25/20 度。

5. 由于多种热源做为双级压缩离心式冷水（热泵）冬季制热的源侧热源使用，双级压缩离心式冷水（热泵）冬季制热的源侧循环采用 3 套板式换热器。PCW 工艺冷却热回收、空气压缩机热回收、备用热源系统各设 1 套；板式换热器二次侧经过冷却水循环泵兼做水源热泵源侧循环泵在双级压缩离心式冷水（热泵）蒸发器侧循环。预留 1 套板式换热器供 2 期使用。



(五) 中央热源及辅助设备（辅助热源）

1. 结合本项目的实际情况，本次设计做为远期的规划与运行费用的考量设置中央热源设备。

2. 热源采用真空燃气热水锅炉（室外安装型）。额定供热量 1050kW，7 台。

3. 真空燃气锅炉设计供回水温度：95/70° C。

4. 锅炉配有炉前循环泵，锅炉一次热水循环采用二级泵循环系统。

5. 配套换热系统

依据末端使用功能设置 3 套空调热水换热系统。

换热器采用板式换热器，共 3 台；单台换热量为热负荷的 33.3%（换热面积附加 20%）。一次水进水温度 95/70℃，二次侧进出水温 45/60℃。

6. 燃气热水锅炉与水源热泵热水机组，制热量耦合运行。水源热泵机组优先运行。

四、实际运行情况分析

本项目于 2022 年开始设计，2024 年夏季项目施工安装完成，并开始与生产工艺同步开展试运行运行。夏季系统运行行为典型的水冷冷水机组运行方式，运行情况良好。中温系统冷源运行情况良好。新风预冷与 PCW 工艺冷却系统均正常运行，达到了设计要求。根据业主实际要求，预留的二期机组并没能实际安装，只在机房内预留的机位。

2024 年至 2025 年冬季系统开始制热运行，系统设计时的所预想的几种运行方式均可实现，系统可正常供热。

系统虽可正常运行，但在实际运行过程中还是发生一些问题，值得总结与改进。

(1) 空调系统的再热热源，原设计是计划采用风冷热泵系统做为洁净空调系统的再热热源，但是在实际运行中发现，现场采购的设备制热运行的最高室外温度条件是不大于 20 度。在室外环境温度大于 20 度时，设备不能制热。但本项目热源足够多，问题发生时，首先启用电热锅炉，直接接一路旁接管接入，再热热源系统，紧急使用。同时在空压机的余热回收板换后再接一路支管接入再热热源系统，空压机的余热做为空调系统的再热热源，以节约运行费用，电热锅炉只做为空调再热的备用热源。为了保证系统的可靠性同时把备用热源的燃气热水锅炉，接出一路支管进入空调再热热源系统。

(2) 水源热泵机组，制热工况蒸发侧热源的可靠性与稳定性。

本项目蒸发侧的热源有多种来源，首选选择工艺生产系统的余热。有 PCW 纯水系统的冷却热，但是由于系统的复杂度问题，PCW 的纯水系统并没有热回收，仍然使用中温冷源系统进行冷却；生产工艺配套使用的压缩空气生产余热。同时考虑热源可靠性，设置了一台电阻式热水锅炉，做为备用与辅助。为了充分利用热源设备，做为备用热源的风冷热泵冷热水机组，也接入水源热泵的蒸发侧热源系统，与水源热泵冷热水机组形成叠式热泵系统。

2024 年冬季制热运行时，发现 PCW 热回收与空压机的热回收量都不是太可靠，因为这两类余热都与生产线

的生产量直接相关。实际运行时的热回收量都达不到设计要求。但是空调热负荷与生产线的生产量是不是完全的比例关系，主要够成是新风负荷与围护结构负荷。与生产线的生产量关系不大，空调系统的需热量并没有减少多少。实际运行时，风冷热泵需要开启补热，电锅炉在最冷的时候也是开启运行的。

(3) 系统可靠性需要考虑多方面的考虑。项目在实际运行的时候，由于是第一个供热季节使用，在实际使用中出现三台机组，有两台出现故障的情况。此时系统只有一台机组可以正常工作，在室外温度极低的情况下，系统供热量极有可能不够。为了保证系统可以正常运行，业主紧急调配了。燃气槽罐运输车，启用了燃气锅炉供热。

但此时，一台机组的供热蒸发侧热源来自空压机余热与部分风冷热泵的供热。系统所设置的备用电阻式热水锅炉并没有启用。后期将在电锅炉的主管接一路支管接入，二期预留的机位的供回水管上，与水源热泵热水机组并联运行。进一步增强系统的可靠性。

(4) 可以进一步改进的措施。项目地点所处寒冷地区，热负荷主要为新风负荷。新风负荷采用热水盘管直接加热，但是实际运行时，有大量的工艺排风。此部分热量没有充分利用，后期改造时可以充分利用此部分热量，以进一步降低空调负荷，减少运行费用。同时，生产工艺的 PCW 工艺纯水系统，全年产热。冬季也有大量的余热产生，现采用自由冷却的冷水机组降温，虽然在冬季，自由冷却冷水机组基本不耗电，但经过测算，此部分 PCW 余热可以用来给冬季新风预热，后期此部分也将会进行节能改造。

结语

本项目位于新疆霍尔果斯地区，属于寒冷地区，气候干燥。生产工艺需要全年控制室内温湿度，空调系统冷热源需要稳定可靠。项目地点，无市政热网，无燃气供应管网，但电力供应充足，并且价格较低。根据以上特点，空调冷热源采用水源热泵系统。并且根据气候特点与生产工艺的特点，对新风进行预冷采用中温冷源。同时，充分利用生产工艺的余热，做为系统制热时的蒸发侧的热源。系统经过实际检验，前期预想的各种工况，均经过实际验证。系统运行正常，有着良好的节能效果。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范 GB50736-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社 2012: 10.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范 GB50019-2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社 2016: 02.

[3] 中国冶金建设协会. 工业建筑节能设计统一标准 GB51245-2017[S]. 北京: 中国计划出版社 2018: 01.