

# 瑞典斯德哥尔摩 Ropsten 海水源热泵供热站设计

瑞典皇家工学院能源技术系 王刚

提要 本文详细介绍了瑞典斯德哥尔摩 Ropsten 海水源热泵站的概况，然后分析了该供热站的工作原理，最后总结了该工程的一些关键技术的应用。

关键词 区域供热供冷 海水源热泵 瑞典

## 引言

笔者于 2005 年 3 月 11 日至 15 日到瑞典斯德哥尔摩采访了两家海水源热泵工程设计公司并参观了多个大型区域供冷供热项目，本文是其中的一个项目。笔者希望通过对这一工程设计思想的介绍可以开扩我们暖通工程师的设计思路，为我国暖通事业的健康发展进一份微薄之力。

## 1. 项目简介

Ropsten 海水源热泵站



Ropsten 海水源热泵站有 3 个子站，Ropsten 1 号站建于 1985 年，内有 3 台双级串联压缩的离心式热泵机组，三台热泵机组分别为 VP21，VP22 和 VP23，制冷剂冲注量均为 20 吨，制冷剂均为 R22，每台热泵机组供热能力均为 28MW，但是 VP21 机组在 2003 年将制冷剂换为 R134a 后供热能力降为 23MW。

Ropsten 2 号站建于 1986 年，内有 3 台热泵机组，分别为 VP24，VP25 和 VP26，制冷剂冲注量为 20 吨，制冷剂均为 R22，每台热泵机组供热能力均为 28MW。以上 6 台热泵机组在 2003 年以前每台的年供热量均为 145GWh，其中 VP21 更换制冷剂后供热能力有所下降。

王刚，男，1979 年 10 月生，硕士研究生，地址：北京市朝阳区西坝河西里英特公寓 B 座 17A，邮政编码：100028，电话：(010) 64476091-292，传真：(010) 64476091-289，E-mail：wanggang1005@yahoo.com.cn

Ropsten 1, 2 号站取水塔



Ropsten 1 号站和 2 号站建在一起，见上图右边白色热泵站，白色小建筑为海水泵站。Ropsten 1, 2 号站的海水取水塔有两个取水口，一个在海面下约 3~4 米，另一个在海面下约 15 米，6 条巨大的输海水管道(每根管道有两台泵)将海水引向热泵机组的蒸发器。该海水热泵站至今仅用于区域供热，除 VP21 以外的其他 5 台机组还要在近期进行制冷剂的替换工作，替换制冷剂后，每台热泵机组的供热能力也会下降到 23MW 左右。热泵站内有可靠的制冷剂泄漏探测系统，随时详细地记录制冷剂在水中和在空气中的密集情况。1 和 2 号站的变电站建造在室内，这样可以大大减少占地面积，变电由 220kv 变为 10kv(热泵机组的电力接入)。

Ropsten1,2 号站海水泵站引入热泵站的 6 条海水引入管道中的 3 条



Ropsten 1, 2 号取水泵站内的输水泵



变电站内巨大的电缆



因为海水盐度低(该地区是瑞典第三大淡水湖 Malaren 注入波罗的海的入海口), 海水的引入管道(从取水塔到海水泵站)为瑞典松树. 取水管道直径长达 3 米, 1 号和 2 号站的取水管道长 170 米, 于 1985.4 建成.

木质海水引入管道(1985 年)



双级压缩制冷机



制冷剂泄漏检测系统



Ropsten 3 号站建于 1986 年，共 4 台热泵机组，制冷剂冲注量均为 20 吨，且目前制冷剂均已被替换为 R134a，热泵机组编号分别为 VP91，VP92，VP93 和 VP94。开始服役的时候这些热泵机组冲注的也是 R22，但是 VP91 在 1994 ~ 1995 年，VP92 在 1996 年，VP93 和 94 在 1997 年分别完成了制冷剂的替换工作。替换制冷剂后，每台热泵机组的供热能力约为 25MW，4 台热泵机组的年供热能力均为 135GWh。起初这 4 台热泵机组仅被用于供热，但是 1995 年以后也开始被用来为区域供冷管网提供冷量。该热泵站建造在海面上。海水取水塔也有两个取水口，类似 Ropsten 1 和 2 号站。和 1, 2 号站不同的是海水泵采用的是潜水泵在海面下。

## 2. Ropsten 海水源热泵站的工作原理

Ropsten 海水源热泵站 1 号，2 号和 3 号站为串联工作，而每个热泵站内的热泵机组又是并联工作，见下面示意图。在 Ropsten 3 号站于 1995 年改造开始进行区域供冷前，和 1 号，2 号站一样也是有两个取水口，在冬天热负荷较大的时候采用水面下 15 米深处的取水口，在夏天热负荷较低的时候采用较浅的取水口。但是在改造以后仅采用较深的取水口。而 1, 2 号站还保留了这种工作模式。



## 2.1 区域供热原理

海水泵从距离海水泵站 170 米处的取水塔提取海水，将海水直接传输到 1 号站的 3 台机组的开式蒸发器，其结构为开放式的不锈钢材质的板式换热器，其结构比较特殊，可以充分利用海水的能量，排出海水温度可以达到  $0.5^{\circ}\text{C}$ ，见下图。热泵机组从海水中得到热量后通过冷凝器将热量传递给区域供热的回水，使其温度升高约  $7\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。2 号站的工作原理与 1 号站相同，只是其 3 台机组分别与 1 号站的 3 台机组形成串联工作，将加热的区域供热回水的温度进一步提升  $7\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。之后，被提升两次温度的区域供热回水进入 3 号站。3 号站的供热原理同 1, 2 号站相似，将水温进行第三次提升，提升大约  $7\sim 8^{\circ}\text{C}$  后，区域供热水进入附近的一个燃煤(增压循环流化床)燃油(调峰)热电厂进行最后的第四次升温，热水被加热到  $100\sim 110^{\circ}\text{C}$  后作为供水进入区域供热管网。被提取能量后的海水在海水泵站下被排入波罗的海。

从 1, 2 号热泵站的海水泵站排出的海水



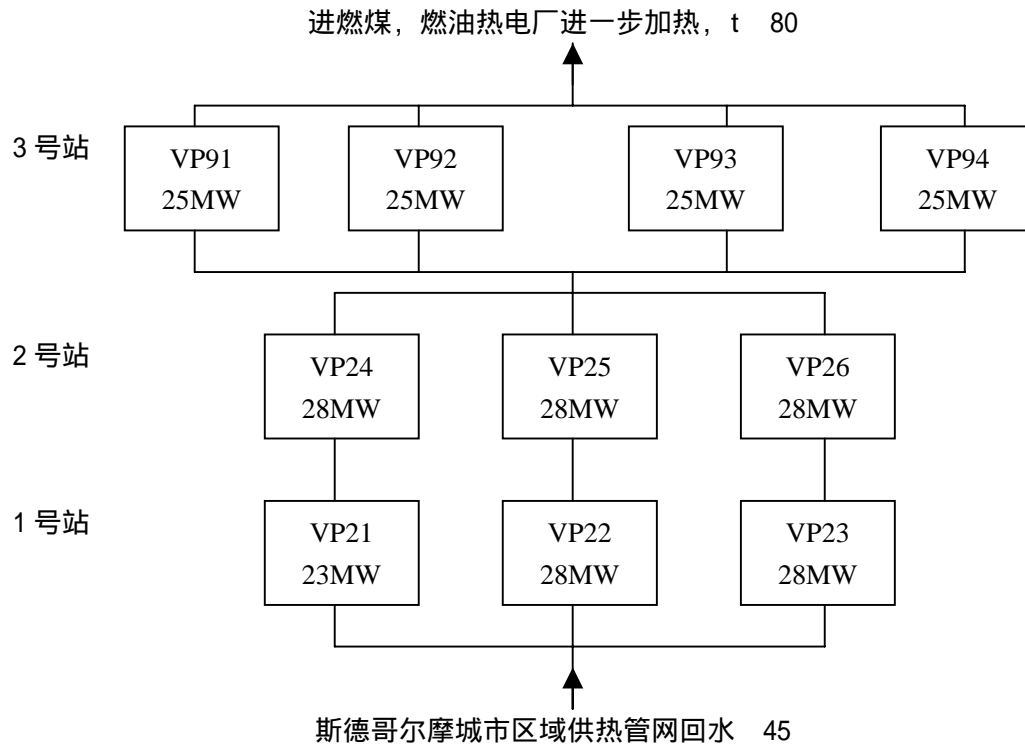
表面严重结冰的不锈钢开放式板式换热器



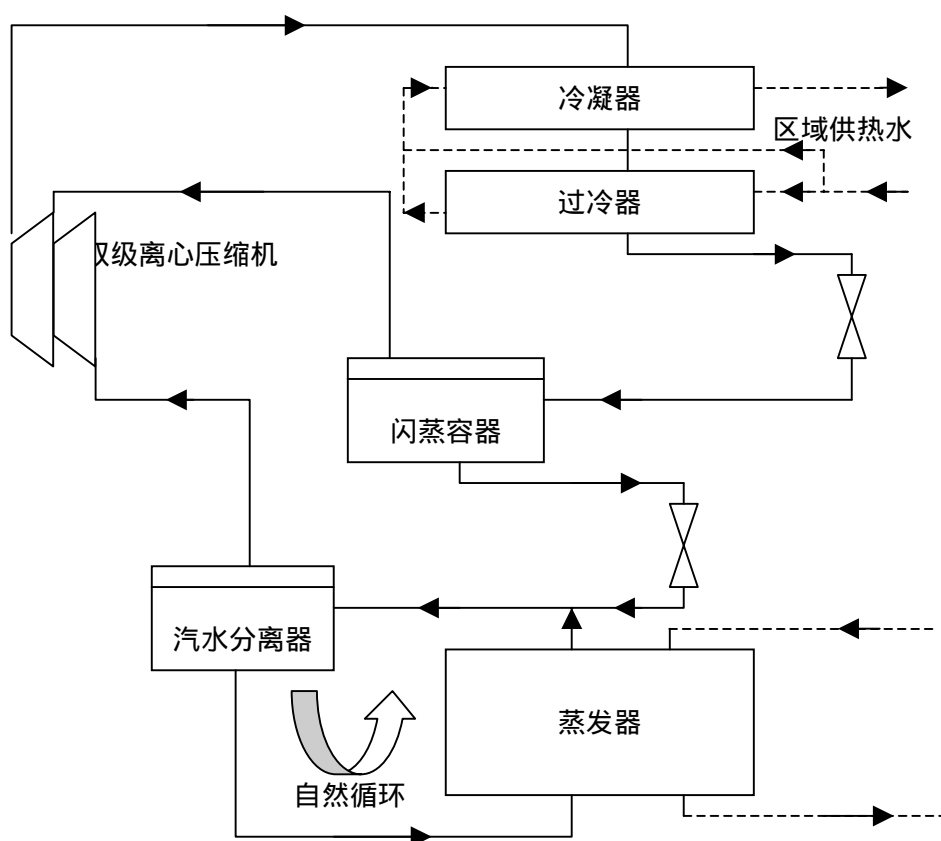
## 2.2 区域供冷的改造

3号站在1995年进行改造后开始进行区域供冷，改造只是在海水排放到大海前加了一个板式换热器对其冷量进行回收。区域供冷回水先通过板式换热器得到冷量后进入斯德哥尔摩区域供冷管网进行供冷。另外区域供冷系统还有自己的制冷机组，一旦海水冷量不够可以进行补足，制冷机与海水板式换热器为并联工作模式，不走同一管道，制冷机采用海水冷却，没有冷却塔。

Ropsten 海水源热泵站工作原理



热泵机组的工作图



### 3. 总结

该项目设计构思巧妙，3个海水热泵站形成串联工作将区域供热回水分别提升7~8后送入燃煤(增压循环流化床)燃油(调峰)锅炉房进行最后加热到100~110后送入区域供热管网。

Ropsten 1, 2, 3号站每年总共可以为斯德哥尔摩区域供热管网提供热能约1410GWh，整体的供热COP约在3左右，但是因为3号站引入了区域供冷后，可以每年向区域供冷管网提供约60MW的供冷能力，而每年75%的供冷量来自通过加入的板式换热器回收的廉价海水冷量，其他由制冷机提供，而海水还充当了这些制冷机的冷却水。

该项目的关键技术在于热泵机组和开放式的板式换热器，我们这里仅提及换热器部分：热泵机组利用水源热泵的能力受限于供热模式的排水温度，一般机组需要保证排出温度在4以上，而一些很好的机组可以将这一极限降低到2。这是因为水到0的时候有结冰的危险，如果蒸发器是管壳式换热器，一般管壳的内径在10~15mm之间，保证4的排水温度可以确保换热效果好，否则排水温度过低的话，一旦局部结冰会导致管径变小，从而流量减小，换热效果大大减小，制冷剂的冷量不能被水体及时带走会产生更多的冰，结果阻塞换热管。可以看出这是一个正反馈的作用。

为了避免这种局限，我们也可以采用开放式的板式换热器，即采用喷淋的散热方式，因为这是一种负反馈方式：一旦开放式的板式换热器结冰，因为冰的外部形成了隔离层使得热量不能从蒸发器的制冷剂内传递到冷水中，从而导致冰层紧挨换热器的一面不断吸收散发

不出去的热量，从而最终导致冰的融化剥落。如果结冰问题严重，我们可以通过减小热量输出甚至停机来使制冷剂在蒸发器与汽液分离器的循环内形成自然循环，通过其释放的热量来慢慢融解在换热器表面凝结的冰块。

因为海水具有腐蚀性，该项目采用了不锈钢材质的板式换热器，这也是考虑到了该处海水的盐度很低，腐蚀性不是非常强，如果盐度很高的话需要考虑镀钛材质的换热器。

除了换热器的独特设计外，热泵机组的性能也是项目设计成功的关键，但是这又是另外一个很长的话题，笔者会在其他文章中对这一题目进行详细的阐述。

### 最后

笔者衷心的感谢 AF 公司的能源部门主管 Gunnar Bark 先生安排了该项目详细的讲解以及参观，同时感谢 AF Process 项目经理 Erik Skoglund 先生的参观讲解以及海水热泵专家 Paul Ingvarsson 先生对该项目的详细介绍。

### 采访人员

1. AF 公司的能源部门主管 Gunnar Bark 先生
2. AF Process Ropsten 海水热泵供热站项目经理 Erik Skoglund 先生
3. AF Process 海水热泵专家 Paul Ingvarsson 先生

## Sweden Stockholm Ropsten Seawater-source Heat Pump Heating Station Design

Royal Institute of Technology Energy Technology Department Wang Gang

**Abstract** This article gives a detailed introduction of Sweden Stockholm Ropsten Seawater-source Heat Pump Heating Station. By the analysis of design idea, the author summarizes some key technical solutions involved in this project.

**Keyword** District Heating and Cooling, Seawater-source heat pump, Sweden