

蒸气热泵及低压蒸气补焓增压利用的方法

发明专利的特点、优势及应用、产业化

由四川大学申请的发明专利：“蒸气热泵及低压蒸气补焓增压利用的方法”，专利号：ZL 2016 1 1103728.2 已于 2019 年 06 月 18 日获国家知识产权局专利授权，授权公告号：CN 106765049 B（见最后附件）。经核查本发明专利是世界上没有的，具有自主创新、原创性、独创性专利；并已收到欧洲专利授权办登的通知，现正在进行办登事宜。

本发明专利不仅打破了国外机械蒸气再压缩 MVR (mechanical vapor recompression) 热泵的技术垄断，而且还打破现有机械压缩机绝热压缩不足 20%用于增压，80%用于增温（过热）的定律，同时也打破蒸汽喷射热泵同样的定律。不但能耗极低，增压比高，而且还便宜。将为节能减排，绿色低碳和循环经济，早日实现国家对巴黎协定碳达峰、碳中和的承诺，打赢蓝天保卫战，确保绿水青山，人民生活更加美好，掀起一场新世纪碳中和为目标的工业革命。现就发明专利的原理、特点、优势及应用、产业化作如下阐述：

一、专利的基本原理：

1、无论什么物质（包括无机物、有机物、单质等）不同压力或不同饱和蒸气温度的焓差都非常小，以水蒸气为例，干度 $X=1.00$ ，过热度为 0 的干饱和水蒸气（通常叫饱和水蒸气或饱和蒸汽）具有温度、压力、和热焓一一对应的特点。换句话说，给定热焓值后，饱和水蒸气的压力和温度就确定了。现将饱和水蒸气及饱和线上的水（凝液）的状态参数摘录如附表 4；

以水蒸气为例， 100°C 与 120°C 饱和水蒸气的焓差仅为 $2706-2677=29\text{kJ/kg}$ ，通过本发明所述的龙卷蒸汽热泵 TVHP (tornado vapor heat pump) 装置系统。只需对 100°C 低压蒸汽或二次蒸汽补焓 29kJ/kg ，并将其增压变为 120°C 饱和状态即可实现其利用。饱和温升 20°C ，压缩比 1.96，这就超过 MVR 压缩机 2 台串联的总饱和温升和压缩比，此时热泵（能量品位提升装置）的理论热效率 η ，即热泵回用热量和补充热量的差与回用的热量之百分比：

$$\eta = ((2706-29) / 2706) \times 100\% = 98.93\%$$

此时热泵的性能系数 COP，即热泵输出的能量与其所消耗的能量之比：

$$\text{COP} = (2677+29) / 29 = 2706 / 29 = 93.31$$

热泵这样的理论热效率 η 和性能系数 COP 是不可想像的。

2、补焓方式：是对低压蒸气或二次蒸气进行加热过热，使变为过热蒸气而补焓，以水蒸气为例，其原理公式如下：

$$\begin{aligned} i''_2 &= i'' + q \\ &= i'' + C_{pm} \Delta t \\ &= i'' + C_{pm} (t_2 - t) \end{aligned}$$

式中： i''_2 - 过热蒸汽焓， i'' - 低压蒸汽或二次蒸汽饱和焓， q - 使 1kg 饱和蒸汽加热成一定过热度所补充的热量， C_{pm} - 过热蒸汽的平均比热， Δt - 过热度， t_2 - 过热蒸汽温度， t - 低压蒸汽或二次蒸汽温度。

从原理公式可知：过热蒸汽的焓随补充的热量、过热度或过热蒸汽温度的增加而增加，这就是过热补焓的方式和原理；另从公式可知过热蒸汽补焓但却不能增压。

3、本发明的热泵增压或压缩，无需电动机、汽轮机或燃气轮机驱动；而是采用饱和蒸气加热物料时相变，体积急剧缩小，以 60°C ，压力 20.58kPa ，1kg 饱和水蒸气冷凝为例，体积急剧缩小达 $7.678 / 0.001017 = 7550$ 倍之多，产生强大吸力为动力。

4、借鉴自然界龙卷风强大的吸力，1956年9月24日上海曾发生过一次龙卷风，它轻而易举地把一个22万斤重的大储油桶“举”到15米高的高空，再甩到120米以外的地方。2013年8月31日中午13时左右，珠海三灶附近海面现罕见龙卷风，整个过程持续近20分钟左右。龙吸水”高达200多米，其位能接近20大气压。

因此，借鉴自然界龙卷风形成的原理和强大的吸力；本发明应用人造龙卷风方法在相关设备形成人造龙卷风，更进一步增强因蒸汽冷凝体积急剧缩小产生的强大的吸力，这也就是本发明增压或压缩，无需电动机、汽轮机或燃气轮机驱动的强大动力。这有如日常生活中的吸管效应。

5、本发明采用的喷液增压，这既不同于绝热压缩，其最终必然为过热状态，其中80%以上的能量消耗于增温（过热），不足20%的能量用于增压；也不同于等温压缩，其虽然能耗比绝热压缩低，但等温压缩气体有个需要向外界放热过程，即需要用冷却水或空气把压缩热带走，所以代表能量的焓值有降低，其实质单级压缩还是绝热压缩。喷液增压的特点是，增压或压缩后为增压的饱和蒸气，而不是过热蒸气，同时，也不向外界放热使焓值降低；而是外界向系统供热，就是喷液的热量，所喷液吸收高于增压的饱和蒸气温度的这部分焓，变成增量的饱和蒸气。总言之，喷液增压就是把过热蒸气变为增压增量的饱和蒸气。因不同温度的饱和蒸气的焓差很小，补焓热量小，喷液增压高，不仅比多效蒸发、蒸气喷射热泵的能耗低，甚至比机械蒸气再压缩技术，简称MVR的能耗还低2倍以上，或者说少于MVR的能耗的1/2，具有显著的科技突破，有别于常规技术绝热压缩及等温压缩。

二、本发明的的技术特点：

蒸气热泵以及低压蒸气补焓增压利用的方法特别是效率更高的龙卷蒸气热泵TVHP（tornado vapor heat pump）与现有技术相比，具有以下特点：

1、本发明所述的龙卷蒸气热泵系统，利用高温位热能的蒸气冷凝，体积急剧缩小，产生强大的吸力并用人造龙卷风的方式使吸力得到进一步加强（日常生活中的吸管效应），用人造龙卷风结构独特的龙卷过热器、龙卷喷液增压器；或龙卷过热喷液增压器，对低压蒸气或二次蒸气进行加热过热补焓、喷液增压实现低压蒸气或二次蒸的利用；因不同温度的饱和蒸气的焓差很小，补焓热量小，不仅比多效蒸发、蒸气喷射热泵的能耗低，甚至比机械蒸气再压缩技术，简称MVR的能耗还低2倍以上，龙卷蒸气热泵理论热效率高达90%以上，用低碳技术，造就成了绿色能源；除开车启动外，整个过程中无需生蒸气；在配有真空装置的情况下，甚至开车启动也无需生蒸气。无需生蒸气这就意味着节约了生产生蒸气的能源，如煤、石油等，也就不产生能源燃烧生成二氧化碳及其有害气体的排放，同时也就没有废渣、废液的排放；这将为解决当今绿色低碳经济、碳达峰、碳中和及循环经济的重大课题，发挥绝佳的作用。

2、本发明所述的龙卷蒸气热泵系统，结构简单、材料要求低，同时便于制造，制造成本低，因此投资不仅比机械蒸气再压缩技术，简称MVR低，甚至比多效蒸发更低。建设周期不仅比MVR短，甚至比多效蒸发还短。

3、本发明所述的龙卷蒸气热泵TVHP系统，依靠增压的饱和蒸气加热物料自身冷凝，没有多效蒸发中排出系统的二次蒸气，因此不需要大量的循环水将二次蒸气冷凝。

4、本发明所述的龙卷蒸气热泵TVHP系统，没有转动部件，因此无噪声，对环境无污染。

5、本发明所述的蒸气热泵以及低压蒸气补焓增压利用的方法、特别的龙卷蒸气热泵TVHP中蒸气就是物质蒸气，其不仅包括水蒸汽，而且更包括广袤的单质、有机溶剂蒸气等，应用领域极其广泛。

三、蒸气热泵的节能减排：

蒸气热泵节能减排，以已经成熟，各行各业向往和正在努力追赶应用的机械蒸汽再压缩热泵，简称 MVR (mechanical vapor recompression) 为例说明：

MVR 是重新利用蒸发产生的二次蒸汽的能量，从而减少对外界能源的需求的一项节能技术，其工作过程是将低品位的蒸汽（二次蒸汽）经压缩机压缩，温度、压力提高，热焓增加，然后进入蒸发器放出潜热自身冷凝，加热蒸发液进行蒸发，以充分利用二次蒸汽的潜热。除开车启动外，整个蒸发过程中无需生蒸汽；这样，原来要废弃的二次蒸汽就得到了充分的利用，回收了潜热，又提高了热效率，其经济性相当于 20 效多效蒸发。

重庆市映天辉氯碱化工有限公司 15 万吨/年离子膜烧碱，采用 MVR 工艺对淡盐水进行浓缩，实现全卤制碱，是氯碱行业第一个吃螃蟹的企业，实施 MVR 工艺的优点：

(1) 显著的经济效益。采用 MVR 对淡工艺盐水进行浓缩，实现全卤制碱，与用固体精制盐相比，在目前的生产规模下每年可以节约成本 2150 万元，而且随着能源价格和精制盐价格的上涨，节约成本的量将会更大，经济效益很可观。

(2) 节约能源。

目前用能情况：现有工艺是用固体盐去饱和淡盐水，而固体盐是卤水通过真空制盐工艺制得，制 1 吨固体盐的能源和原料消耗为（5 效真空制盐）1.08 吨蒸汽，54 度电，4~5 方卤水。加固体盐将 108 万立方淡盐水（配套 15 万吨离子膜烧碱，掺卤 25% 情况下）饱和需要 16 万吨折百固体盐，卤水制盐的耗能量为 17.28 万吨蒸汽，864 万度电，折合标煤 2.33 万吨。使用 MVR 后用能情况：采用 MVR 工艺浓缩淡盐水后，可以直接使用卤水作为制碱原料，能源消耗就只有淡盐水浓缩的消耗。108 万立方淡盐水浓缩至饱和的能源消耗为 1752 万度电，折合标煤 0.22 万吨。

能源消耗对比：折合标煤相差 2.11 万吨，节能效果十分明显。

（摘自闫成林等著“机械蒸汽再压缩（MVR）技术在全卤制碱工艺中的应用”-《中国氯碱》第 10 期 2011 年 10 月。）

如果用三效蒸发浓缩淡盐水，或固盐制精制盐水，能耗更高。

2018 年国内离子膜烧碱产能 4245 万吨，如果都采用 MVR 工艺对淡盐水进行浓缩，则节约标准煤：

$(4245/15) \times 2.11 = 600$ 万吨/年

按工业锅炉每燃烧 1 吨标准煤产生 CO_2 : 2620 kg , SO_2 : 8.5 kg , 氮氧化物: 7.4 kg 计则可减排：

CO_2 : $2.62 \times 600 = 1572$ 万吨/年

SO_2 : $0.0085 \times 600 = 5.1$ 万吨/年

氮氧化物 : $0.0074 \times 600 = 4.44$ 万吨/年

另外还减排废液、废固。对环境保护十分有利。

又如制盐工业井矿盐，传统四效蒸发制盐蒸发能耗为 155kg 标准煤/t 盐，而 MVR 制盐蒸发能耗为 59kg 标准煤/t 盐，能耗差为 155-59=96kg 标准煤/t 盐。

（摘自宋茜茜等著“MVR 热泵技术及其在国内制盐工业上的应用”-《盐业与化工》2014, 43(1)。）

2017 年国内井矿盐产能 5083 万吨，如果都采用 MVR 制盐蒸发，则节约标准煤：

$0.096 \times 5083 = 488$ 万吨/年

按工业锅炉每燃烧 1 吨标准煤产生 CO_2 : 2620 kg , SO_2 : 8.5 kg , 氮氧化物: 7.4 kg 计则可减排：

CO_2 : $2.62 \times 488 = 1278.56$ 万吨/年

SO_2 : $0.0085 \times 488 = 4.15$ 万吨/年

氮氧化物: $0.0074 \times 488 = 3.61$ 万吨/年

另外也减排废液、废固。对环境保护十分有利。

从上可知，仅 2 个行业的单个项目采用 MVR 技术就如此可观的效果，如果相关的各行各业均采用 MVR 技术或蒸气热泵节能减排就更为可观，有如蒸发、蒸馏、精馏是石油化工、化工能耗最高的单元操作，其能耗约为石油化工、化工生产的 40-70%，采用蒸气热泵节能减排大有可为，再放眼世界，大家齐努力，解决温室效应，取得蓝天保卫战的胜利就大有希望。

四、本发明专利特别是 TVHP 与 MVR 比较的优势：

1、TVHP 是自主创新的专利技术，不会受制于人，被卡脖子；不像 MVR 技术一直为国外垄断，封锁，国内不掌握核心技术，基本靠进口，而价格非常昂贵，以重庆市映天辉氯碱化工有限公司 15 万吨/年离子膜烧碱，采用 MVR 工艺对淡盐水进行浓缩为例，总投资 4000 万元，而蒸汽再压缩机（2 台）就达 2000 万元，相当于多效蒸发的总投资。国内搞开发多年，进展不大，而且成本高；，相关各行各业，争想采用 MVR 技术进行节能减排的企业或单位，绝大多数都望而却步，想节能减排，可力不从心。

2、TVHP 结构不复杂，材料要求低，同时便于制造，制造成本低，生产周期短，而因 MVR 压缩机设备特殊，不但价格昂贵，生产周期较长，建设周期为多效蒸发的 3 倍之多。

3、TVHP 采用喷液增压打破现有机械压缩机绝热压缩不足 20%用于增压，80%用于增温（过热）的定律，能耗低、压缩比大。而 MVR 仍遵循机械压缩机绝热压缩的定律，能耗比较高，经核算 MVR 单级压缩机最高饱和温升 8℃，压缩比约 1.32，已是现有机械压缩设计的理想点，此时正好 20%用于增压，80%用于增温（过热）。TVHP 比 MVR 的能耗还低 2 倍以上，或者说少于 MVR 的能耗的 1/2。

4、TVHP 能耗低、压缩比大，可用于蒸发、蒸馏等沸点升值高的物料，而 MVR 由于最高饱和温升和压缩比的限制，MVR 一般不适合蒸发、蒸馏等沸点升值超过 8℃的物料。如 50 烧碱、钾碱的蒸发就一般不采用。使用范围受限。以重庆市映天辉氯碱化工有限公司 15 万吨/年离子膜烧碱，采用 MVR 工艺对淡盐水进行浓缩为例，因电解用 310g/l 饱和盐水沸点升高为 7.8℃，而一台机械蒸气再压缩机（MVR）最高能提高到的温度为 8℃，所以选择 2 台压缩机（MVR）串联，蒸发有效温差才 8℃。实际上就是将 100℃，104.69kPa 的二次蒸汽，经 1 台 MVR 压缩后变成增压比为 $138.36/104.69=1.32$ ，压力为 138.36kPa，约 127℃的过热蒸汽，此时正好 20%用于增压，80%用于增温（过热），再经喷蒸汽冷凝液变 127℃的过热蒸汽为 108℃饱和水蒸汽，这就是一台机械蒸气再压缩机（MVR）最高能提高到的温度为 8℃的原由所在（设计的理想点）；再经另 1 台 MVR 压缩后喷蒸汽冷凝液变过热蒸汽为 116℃，180.46 kPa 的饱和水蒸汽，总压缩比为 $180.46/104.69=1.72$ ，进入蒸发器加热室对淡盐水进行加热蒸发（蒸汽参数参见表 4）。而 50%烧碱沸点升高达 43℃，50%钾碱沸点升高达 45℃，这就要选择 6 台以上压缩机（MVR）串联，若提高每台的压缩比，从而减少台数，但又显著增加能耗，显然不合理，也不经济。

5、TVHP 在真空状态特别是高真空状态下，因蒸气的比容大，加热物料自身冷凝，体积急剧缩小倍数就越大，产生的吸力就越大，利于提高增压比。而 MVR 因蒸气的比容大，例如真空 40℃蒸汽比容比 100℃蒸汽比容就大 $19.55/1.673=11.7$ 倍之多，即密度小，不太适合，因压缩机会变得庞大、费用高、效率低。而食品、乳液、制糖、医药等加工生产，在这些行业加工生产，往往温度高会变性、变质、变色、变味，采用 TVHP 在低温、真空下加工生产，有独特的优势。

6、为了防止二次蒸汽夹带少量的腐蚀性物质对 MVR 压缩机的叶轮和过流部件产生腐蚀，还必须建二次蒸汽洗涤设施。如淡盐水蒸发就要求二次蒸汽的含盐量小于 15PPM/m³，才可进入压缩机，例如张家坝制盐化工厂引进的我国第一套 MVR 制盐装置就曾出现过二次蒸汽洗涤不好造成 MVR 腐蚀结垢问题。TVHP 由于采用了特殊设计的蒸发室（不同于国内外的设计），

由于汽液分离效果极佳，二次蒸汽凝液含溶质在 10PPM/m³ 以下，换算为二次蒸汽的含量则更低，这就是无须如 MVR 那样要建二次蒸汽洗涤设施的原由所在，也是海水淡化能大大提高淡化饮用水质（小于世界卫生组织推荐饮用水标准，盐度 < 200PPM，TDS）的原由所在。并已得到工程证明。

7，MVR 压缩机均由电动机、汽轮机或燃气轮机驱动，加上本身均为转动设备，产生的噪声污染较大，一般在 100 分贝以上，须专门隔音厂房或隔音设施。TVHP 不需要这样的驱动，也就不存在这种噪声污染。

五、工程应用：

综上，本发明专利：蒸气热泵及低压蒸气补焓增压利用的方法，特别是龙卷蒸气热泵 TVHP (tornado vapor heat pump) 与 MVR 比较，不仅能耗少于 MVR 的能耗的 1/2，而且更重要是克服了 MVR 短板，如真空、物料沸点升值超过 8℃ 的应用领域和噪声污染。最要紧的是具有自主知识产权，无须进口；一次性投资不仅比 MVR 便宜得多，甚至比多效蒸发还便宜；各行各业买得起，用得起，换句话说便于普及、遍地开花。

鉴于本发明专利：蒸气热泵及低压蒸气补焓增压利用的方法，特别是龙卷蒸气热泵 TVHP 的特点，蒸气是广义的蒸气（包括无机物、有机物、单质等），也包括水蒸汽；应用范围极其广泛。

1、蒸发、蒸馏、精馏是石油化工、化工能耗最高的单元操作，其能耗约为石油化工、化工生产的 40-70%，采用 TVHP 节能减排大有可为，蒸发不用蒸汽；而蒸馏、精馏塔顶或塔中的易挥发组分或蒸气可用 TVHP 压缩进入再沸器，自身冷凝放出潜热而加热再沸液，使蒸馏、精馏连续不断进行，组分或溶剂得到分离；不仅节省了蒸汽同时节省了冷凝器和冷却水。把叫人敬畏石油化工、化工变成令人喜欢的绿色石油化工、绿色化工。

2、污水处理，金属冶炼、电镀、造纸、石油化工、化工等生产都会产生大量废水（污水），对环境造成污染。采用 TVHP 处理污水，以很低的能源代价浓缩污水，提取对环境有害物质，使污水达到严格的排放标准，并变废为宝，把对环境有害的提取重新利用；或以浓缩后少量的污水再进行生化等无害处理。

3、海水淡化，采用 TVHP 在低温、真空下进行海水淡化，不但水质能达到生活饮用水的标准，而且成本更低。将解决中国和世界的缺水问题。上规模后还可引水沙漠，让沙漠变绿洲。

4、冷冻及制冷制热，凡冷冻范围在 -100℃ 以内的，称为冷冻。如果冷冻机采用 TVHP 替代著名的卡诺循环中机械压缩机，热效率更高，运行成本更低。冷冻剂也可选择对大气臭氧不产生破坏的，以保护臭氧层。另外根据卡诺循环，采用 TVHP 在低温蒸发时制冷冻水，在增压、增温后冷凝制热水，分别用于夏季和冬季价格便宜的空调。

5、干燥，固体干燥过程产生大量的水蒸汽，也携带了大量的潜热，采用 TVHP 回收利用或循环利用，也能节能减排。

6、食品、乳液、制糖、医药等加工生产，在这些行业加工生产，往往温度高会变性、变质、变色、变味，采用 TVHP 在低温、真空下加工生产，有独特的优势。

7、制盐和芒硝工业，如前所述制盐工业井矿盐的生产，采用 MVR 能达到可观的节能减排，采用能耗更低的 TVHP，当然更好。同样也适用芒硝工业。

还广泛用于很多行业，就不一一列出了。

第一工业革命产生于 18 世纪 60 年代-19 世纪 40 年代，是以蒸汽时代为特点，以蒸汽机的广泛使用为主要标志，极大提高生产能力。而本世纪为了节能减排，绿色低碳和循环经济，早日实现国家对巴黎协定碳达峰、碳中和的承诺，保卫蓝天，确保绿水青山，人民生活

更加美好，则应以不使用或极少使用锅炉蒸汽时代为特点，以蒸汽热泵特别是 TVHP 的广泛使用为主要标志，掀起一场新世纪碳中和为目标的工业革命。

六、TVHP 样机调试装置及产业化：

由四川大学申请的发明专利：“蒸气热泵及低压蒸气补焓增压利用的方法”，专利号：ZL 2016 1 1103728.2 已于 2019 年 06 月 18 日获国家知识产权局专利授权，授权公告号：CN 106765049 B（见最后附件）。经核查本发明专利是世界上没有的，具有自主创新、原创型、独创性专利，并已收到欧洲专利授权办登的通知，现正在进行办登事宜。

现仍面临专利技术转化、产业化以及广泛推广使用的重大课题，投资建一个，2 万吨/年蒸汽龙卷蒸气热泵（TVHP）样机调试装置，分别进行真空状态和压力状态的调试，目的就是专利技术转化为可应用推广的技术，技术经济指标全面超越 MVR（mechanical vapor recompression）；使达到最佳状态。树立样机标杆，让各行各业了解 TVHP 的性能、功效、作用，以激发应用信心。同时为放大、产业化提供依据。这是势在必行，必须要迈出的一步。

1、规模及技术指标

1.1 TVHP 样机调试装置规模

2 万吨/年蒸汽 TVHP 样机调试装置（即将 2 万吨/年二次蒸汽（低压蒸汽或低品位蒸汽）压缩为高温位热能的饱和蒸汽（较高品位的饱和蒸汽）利用），或者，装置规模为 2500 kg/h 蒸汽（二次蒸汽）

年操作时间：8000 小时（设计计算为 2 万吨/年蒸汽）

1.2 技术指标

2500 kg/h 二次蒸汽（低压蒸汽或低品位蒸汽）压缩为高温位热能的饱和蒸汽（较高品位的饱和蒸汽）利用 要达到的技术指标：

压缩比：1.96（超过 MVR 压缩机 2 台串联的总饱和压缩比 1.72）

饱和蒸汽温升 $^{\circ}\text{C}$ ：20（超过 MVR 压缩机 2 台串联的总饱和温升 16°C ）

规模（kg/h 蒸汽）：2500

2500 kg/h 二次蒸汽（低压蒸汽或低品位蒸汽）压缩为高温位热能的饱和蒸汽（较高品位的饱和蒸汽）利用，努力期望达到的技术指标：

压缩比： > 1.96 （直至可能的最大压缩比）

饱和蒸汽温升 $^{\circ}\text{C}$ ： > 20 （直至可能的最大饱和温升）

电耗（KW/1000kg 蒸汽）： ≤ 20 （直至可能的最小电耗）

规模（kg/h 蒸汽）： > 2500 （现有装置直至可能的最大规模）

说明：须更新或重新设计制造部分设备（L802、L806、L804、L805），以及相应的管道、仪表；并发挥 H801、L803、L807 的潜力来实现。

2 万吨/年蒸汽 TVHP 样机调试装置，分为 TVHP 样机真空调试装置和 TVHP 样机压力调试装置；其实 TVHP 样机压力调试装置就是在 TVHP 样机真空调试装置的基础上撤去 L806、L807 换为 L802，并更换部分管道、仪表而成，也就是二次蒸汽为大气压、 100°C 的增压、能力调试，并不是新建。专用于没有锅炉蒸汽（有锅炉蒸汽则可取消电热水器 H802）场合的调试。建议先对 TVHP 样机真空调试装置进行调试，然后改为对 TVHP 样机压力调试装置进行调试；反之，若有锅炉蒸汽，则建议先对 TVHP 样机压力调试装置进行调试，然后改为对 TVHP 样机真空调试装置进行调试。

1.3 公用工程规格

1.3.1 补充水

压力：0.3MPa（G）

温度：环境温度

1.3.2 动力电

电压： 380/220V ± 10% （待定）

频率： 50 ± 1Hz

相位： 三相/二相（待定）

2、TVHP 样机真空调试装置工艺流程(PFD)、设备表、设备概略布置图见后面的附图：

TVHP 样机真空调试装置工艺流程(PFD)见：TVHP-1-40-0820-01

TVHP 样机真空调试装置设备表见：TVHP-1-40-0830-01

TVHP 样机真空调试装置设备概略布置图见：TVHP-1-42-0820-01

3、投资估计：约 350-1000 万元。有设备加工能力、有地、有人才等投资少，反之就大。

4、投资申请和 TVHP 科技创新平台的建设：

《轻工业“十二五”发展规划》（工信部规[2011]号）明确提出：“井矿盐加强 MVR 制盐工艺开发，推广卤水净化和五效蒸发技术”作为制盐行业十二五发展的重点项目。...

由中国盐业总公司牵头的《大型 MVR 热泵制盐系统关键技术与示范应用》国家科技支撑计划已立项，该项目将通过自主研究并掌握机械蒸汽再压缩技术，打破国内只能依赖进口的局面...

（摘自宋茜茜等著“MVR 热泵技术及其在国内制盐工业上的应用”-《盐业与化工》2014, 43(1)。）

现已从“十二五”经过“十三五”到达“十四五”的开局之年，项目、计划进展如何且不论，无论如何这只能是跟跑、最多是并跑、绝不能达到领跑的境界；正如前面所述，单台机械蒸汽再压缩，蒸汽饱和温升 8℃、压缩比 1.32 已是机械绝热压缩机设计的最高境界了，此时正好是 20%用于增压，80%用于增温（过热），能耗最低。也就是说这是机械绝热压缩不可超越的红线；要超越并领跑，必须另辟蹊径，本发明采用的喷液增压，就突破了这条红线或定律，这正是建 TVHP 样机调试装置原由所在，分别进行真空状态和压力状态的调试，目的就是专利将专利技术转化为可应用推广的技术，技术经济指标全面超越 MVR；使成为领跑的地位；

申请政府支持并投资，以产学研结合的方式，在成都合适的地方建设 TVHP 样机调试装置并进行调试，使达到最佳状态。树立样机标杆，让各行各业了解 TVHP 的性能、功效、作用，以激发应用信心。为放大、产业化提供依据，同时便于进行教学和研究，进而在本调试装置的基础上发展或扩建，广纳各行各业优秀人才，扩大调试研究各行各业的应用范围，建设成为一个 TVHP 创新研究基地或碳中和科技创新高端平台，强化碳中和战略性、前沿性科技创新指引，推进创新链与产业链的深度融合。

5: 产业化:

5.1、在 TVHP 样机调试装置调试的基础上，获得了工程设计的依据，就可结合各行各业的技术实际，研究开发符合各行各业实际的 TVHP 应用及专利，并将其规模化、系列化全面推广；也就可以进行成套设备供货、总承包，售后服务等商业活动。为了促进绿色低碳的发展，争取国家给应用的企业和单位有如退耕还林还草一样的优惠政策，从而调动应用的积极性。与此同时就可将成都或成渝地区打造成绿色低碳及碳中和的高端制造，产业链集群、推动高质量发展，实现国内国际双循环、解决更多的就业岗位，提供绝佳的机遇和平台。

5.2、对各行各业在已有的如蒸发、蒸馏、精馏等装置及设施的基础上，实施应用 TVHP 节能减排技术改造。同时为了促进企业和单位绿色低碳转型升级，也要争取国家必要时，给一定投入和免税优惠，使企业不仅达到节能减排，更重要的是降低了成本，增加收益，提高了企业在市场和国际上的竞争力，也提升其各行业应用和改造的愿望。

总之，努力进行 TVHP 在中国进行应用与推广，以迅速达节能减排、早日实现国家对巴黎协定碳达峰、碳中和的承诺，也为世界树立标杆与榜样。

5.3、蓝天保卫战，达到碳中和光靠中国显然是不可完成的任务，必须让 TVHP 走向世界，以优惠低廉的条件和各国共建共享，共同努力，保卫蓝天达到碳中和才有希望。

七、市场预估：

目前对低压蒸气（低品位蒸气）或二次蒸气进行利用的主流技术，主要包括多效蒸发，MVR 等，其中 MVR 性能优于多效蒸发，是现在各行各业主要实施绿色低碳或转型发展和向往的方向；2019 年中国 MVR 系统行业市场规模就达到约 200 亿元，还有大量各行各业向往 MVR 的企业或单位，想节能减排，绿色低碳，可力不从心、都望而却步，正由于本发明的 TVHP 技术指标明显优于 MVR，且投资远低于 MVR，市场规模大得多，十分可观。还有蒸馏、精馏等市场待开发，特别 MVR 存在短板的市场占领，更是前景无限！

本发明专利，虽是具有自主创新、原创型、独创性专利，但作为发明者并非为了追求发明利益，只要能为节能减排，绿色低碳和循环经济，早日实现国家对巴黎协定碳达峰、碳中和的承诺，打赢蓝天保卫战，确保绿水青山，人民生活更加美好做贡献就好。

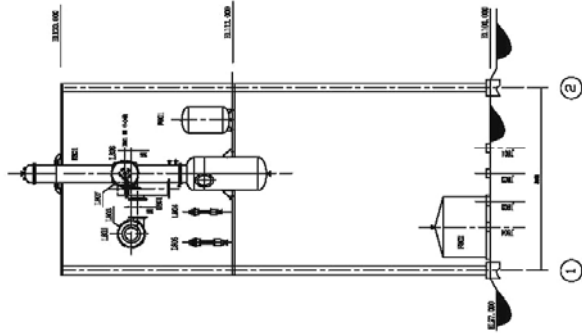
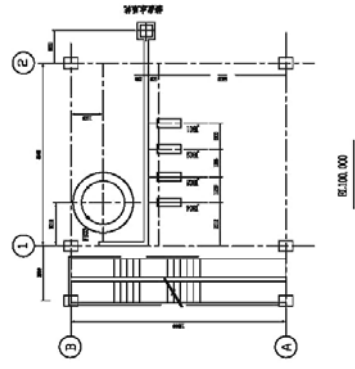
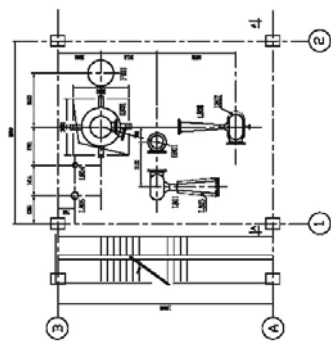
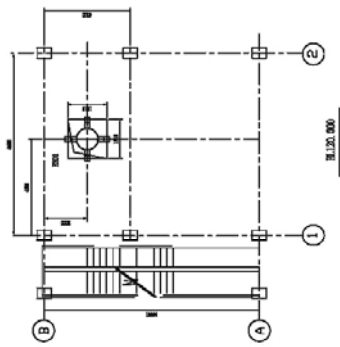
四川大学：

专利发明人：李赛 傅皓 傅朝清

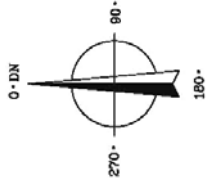
二〇二一年一月十二日

附表 4 不同温度下饱和水蒸汽及水（凝液）的参数

饱和水蒸汽					水（凝液）	
温度 t °C	压力 P kPa A	焓 i" kJ/kg	潜热 r kJ/kg	比容 v" m ³ /kg	比容 v' m ³ /kg	焓 I' kJ/kg
200	1606.79	2793	1941	0.1272	0.001156	852
190	1297.02	2786	1978	0.1564	0.001141	808
180	1036.10	2778	2015	0.1939	0.001127	763
170	818.34	2769	2050	0.2426	0.001114	719
160	638.58	2758	2083	0.3068	0.001102	675
150	491.86	2747	2115	0.3926	0.001090	632
140	373.40	2734	2145	0.5087	0.001079	589
130	279.10	2721	2175	0.6683	0.001069	546
125	239.81	2714	2189	0.7704	0.001064	525
120	205.14	2706	2202	0.8917	0.001060	504
116	180.46	2701	2214	1.005	0.001056	487
110	148.03	2691	2230	1.210	0.001051	461
108	138.36	2688	2235	1.289	0.001049	453
100	104.69	2677	2257	1.673	0.001043	419
95	87.34	2668	2270	1.982	0.001039	398
90	72.44	2660	2283	2.361	0.001035	377
85	59.72	2652	2296	2.828	0.001032	356
80	48.93	2643	2308	3.409	0.001029	335
75	39.83	2635	2321	4.133	0.001025	314
70	32.19	2627	2334	5.045	0.001022	293
65	25.84	2618	2346	6.201	0.001019	272
60	20.58	2609	2358	7.678	0.001017	251
55	16.26	2601	2371	9.578	0.001014	230
50	12.75	2592	2383	12.05	0.001012	209
45	9.90	2583	2395	15.28	0.001009	188
40	7.62	2574	2406	19.55	0.001007	168
35	5.81	2565	2418	25.25	0.001006	147
30	4.38	2556	2430	32.93	0.001004	126
25	3.27	2547	2442	43.40	0.001003	105
20	2.41	2537	2453	57.84	0.001001	84
15	1.76	2529	2466	77.97	0.001001	63
10	1.27	2519	2477	106.42	0.001000	42
5	0.90	2510	2489	147.2	0.001000	21



A-A 剖视图



- 说明:
1. 整机外形尺寸为 E=1113.000 整体外形高度为 E=1087.000;
 2. 整机可拆卸成箱体和底座两部分;
 3. 图中所有尺寸均为公称尺寸;
 4. 所有标注尺寸均符合 GB/T 1800.1 标准;
 5. 整机重量为 100kg, 底座重量为 100kg;
 6. 整机外形尺寸为 E=1113.000, 底座重量为 100kg;
 7. 整机外形尺寸为 E=1113.000, 底座重量为 100kg;
 8. 整机外形尺寸为 E=1113.000, 底座重量为 100kg;

1. 整机外形尺寸为 E=1113.000	2. 整机可拆卸成箱体和底座两部分	3. 图中所有尺寸均为公称尺寸	4. 所有标注尺寸均符合 GB/T 1800.1 标准	5. 整机重量为 100kg, 底座重量为 100kg	6. 整机外形尺寸为 E=1113.000, 底座重量为 100kg	7. 整机外形尺寸为 E=1113.000, 底座重量为 100kg	8. 整机外形尺寸为 E=1113.000, 底座重量为 100kg
-----------------------	-------------------	-----------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

整机重量	100kg
底座重量	100kg

整机外形尺寸	E=1113.000
底座外形尺寸	E=1087.000

整机外形尺寸	E=1113.000
底座外形尺寸	E=1087.000

整机外形尺寸	E=1113.000
底座外形尺寸	E=1087.000

整机外形尺寸	E=1113.000
底座外形尺寸	E=1087.000

整机外形尺寸	E=1113.000
底座外形尺寸	E=1087.000

整机外形尺寸	E=1113.000
底座外形尺寸	E=1087.000

整机外形尺寸	E=1113.000
底座外形尺寸	E=1087.000

整机外形尺寸	E=1113.000
底座外形尺寸	E=1087.000

证书号第 3420730 号



发明专利证书

发明名称：蒸气热泵及低压蒸气补焓增压利用的方法

发明人：李赛;傅皓;傅朝清

专利号：ZL 2016 1 1103728.2

专利申请日：2016 年 12 月 05 日

专利权人：四川大学

地址：610065 四川省成都市武侯区一环路南一段 24 号

授权公告日：2019 年 06 月 18 日 授权公告号：CN 106765049 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见背面