Cirrus SR20飞机环境控制系统运行原理探究

**前言**

Cirrus SR20飞机采用了较为先进的蒸发循环制冷系统，但其维护手册中对该系统工作原理描述不详，造成了维修人员对该系统运行原理无法整体掌控和详入分析研究，笔者通过参考大量文献后结合实际上级实验和测试以及现有的手册和运行数据，对该型号飞机的空调系统的制冷制热通风机制和电路原理进行了深入分析，以期作为将来维修人员对该系统的深度维修和故障诊断能力建设的铺垫性材料。

**关键字：**SR20 环境控制系统 空调

在典型的通用飞机设计中，只有简单的座舱通风系统系统，通过飞行中的冲压空气动力或通风风扇及其二者结合，来将大气空气引入座舱来通风散热。飞行学院引进的SR20飞机为增加飞行人员高温天气训练的舒适度，进一步保障飞行安全，选装了空调系统。

SR20飞机座舱环境控制系统中的制冷部分由选装的空调系统完成，而制热部分通过右侧发动机排气管上的热交换器，将空气加热并通过冲压空气活门，混合部分冲压空气进入座舱进行制热。其系统总图见图1。

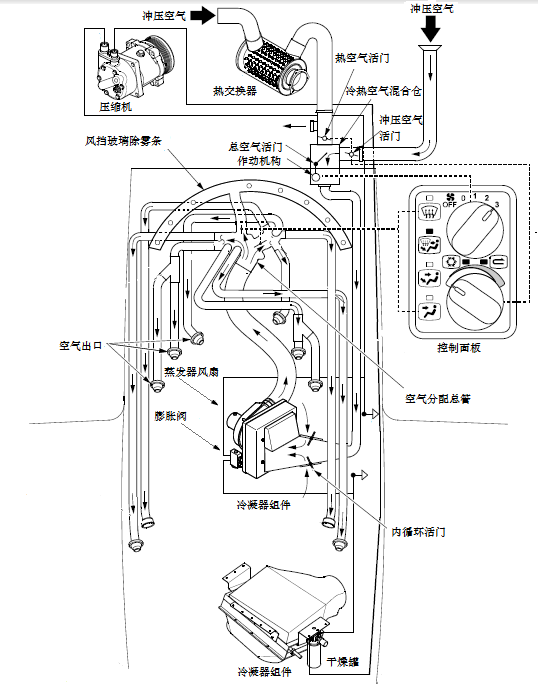


图1

整个座舱环境系统由压缩机及其电磁阀，热交换器，热空气活门和冲压空气活门及作动电机，空气总开关及其作动电机，集膨胀阀、结冰开关、内循环活门及其作动机构和通风风扇于一体的蒸发器组件，带储液干燥罐、压力开关的冷凝器组件，制冷剂(R134a四氟乙烷)流通管路及其接头，空气分配管路及风挡、面部、腿部通风活门及其作动机构，环境系统控制面板，ECS环境控制系统集成组件构成。

该系统的制热部分主要由热交换器、冷热空气活门及其作动机构、蒸发器风扇及系统空气管路构成。制热部分的使用需要发动机启动，热交换器内筒内流过发动机1、3、5号缸的发动机高温废气，对外筒的冲压空气加热，并混合另一路的温度较低的冲压空气后，经过总空气活门进入座舱内，对座舱进行制热。如需使用该系统的制热功能，需要将控制面板上的冷热位置开关置于偏热(最右边为最热位置)的位置上，风扇开关置于非OFF位，这时空气总活门开启，在利用螺旋桨对空气的推力及空气动力(飞行中)并结合蒸发器风扇的抽吸力(若开启)将冷热混合空气从总空气活门压入或吸入座舱。风扇位置开关控制空气总活门的开启与关闭，以及蒸发器风扇的工作状态，当开关置于OFF位置，空气总活门关闭并且风扇停止工作，大于等于0位时总空气活门被开启(若内循环开启，总空气活门将被关闭)，1或2或3位时风扇风分别工作在低中高转状态。冷热控制开关一方面控制冷热空气两个活门的开度，两个活门的开度控制相反，另一方面，在制冷模式下，开关处于1/4全冷位置时，激活系统的内循环模式，最大化制冷。

该系统的制冷部分采用经典的蒸汽循环制冷系统设计，其工作介质为氟利昂R134a，标准大气压条件下其沸点为-26.1摄氏度，因此常温下以气态形式存在，该种氟利昂对臭氧层无破坏作用，微量吸入无毒，但过量吸入可能发生窒息。

整个系统的蒸发制冷循环过程从冷凝器的储液干燥罐开始，从冷凝器出来的高压中温的氟利昂液体经过储液体干燥罐，会将液态氟利昂中的杂质和水蒸气过滤，一方面防止水蒸气进入蒸发器后，因低温结冰而堵塞管路，另外一方面防止水份与氟利昂结合形成酸性物质，腐蚀管路。一部分液态氟利昂储存在干燥罐中，当系统管路中氟利昂流量不足时作为续流和补充，剩余的氟利昂流入膨胀阀入口。

该系统采用H型膨胀阀，见图2，从冷凝器的干燥罐流来的液态氟利昂经过膨胀阀的定流孔定流作用后，变为低压中温的氟利昂喷雾，因压力降低后，氟利昂的沸点降低，使其经过蒸发器时更容易被汽化。膨胀阀的主要作用是调节进入蒸发器的氟利昂喷雾流量，使其在蒸发器中流至散热片回路最末端之前，刚好全部被汽化，一方面充分利用蒸发器的散热片面积，令最多的雾状氟利昂汽化，最大化吸热和冷却座舱空气，另一方面，避免液态氟利昂进入压缩机，因压缩机被设计为只压缩气态的氟利昂，液态氟利昂进入其中后，会对压缩机的活塞形成“液击”，损坏压缩机，因此灌充氟利昂时，应保证系统中总氟利昂量为手册规定的1.8磅。进入蒸发器的氟利昂流量由膨胀阀内氟利昂进出回路的温度差控制，通过调节内部的顶部感温包、顶杆、膜片、弹簧和弹簧座的运动，来改变流入蒸发器回路开度，调整流入蒸发器流量。

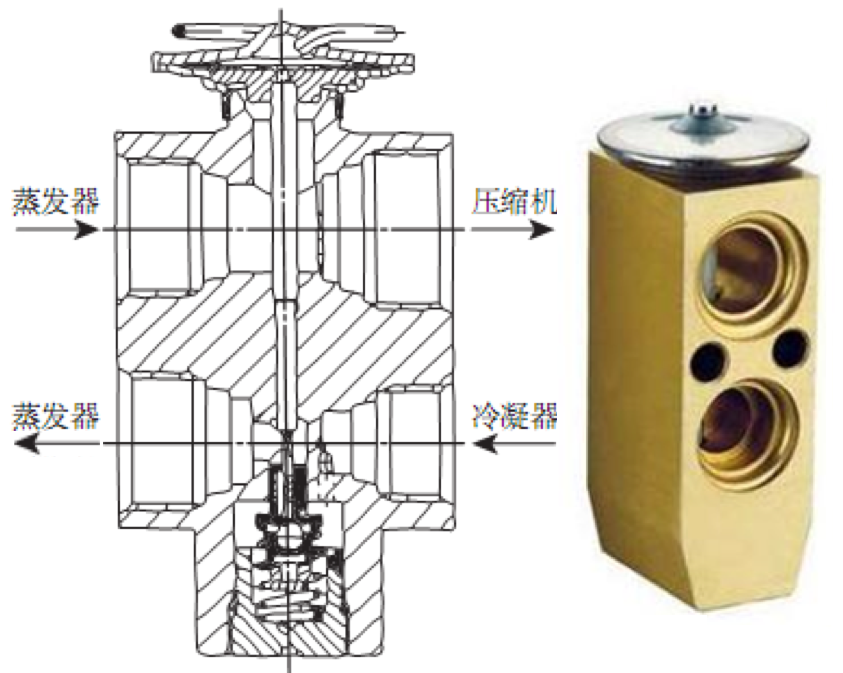


图2

低压中温的雾状氟利昂流经蒸发器的散热片时，因沸点降低，加上蒸发器风扇通风作用，更容易吸收座舱中空气的热量汽化，冷却流经散热片的空气，实现制冷，此时中温低压雾态的氟利昂变为中温低压的氟利昂蒸汽。经膨胀阀出口进入压缩机内。若控制面板上的制冷按钮和内循环按钮开启(当冷热位置开关置于1/4最冷位置时，内循环自动开启)，且风扇位开关超过0位时，系统计入内循环模式，总空气活门关闭，蒸发器上的内循环活门开启，系统将关断外来空气入口，不断循环冷却座舱内空气，实现最快最大化制冷。

当中温低压的氟利昂蒸汽进入压缩机后，压缩机的活塞运动过程会将其压缩为高于外界空气温度(否则在冷凝器中无法将热量传递给周围空气，实现液化，也就无法在蒸发器中实现汽化吸热制冷)的高温高压氟利昂蒸汽，其沸点也同时升高，使其更容易液化。

当高温高压的氟利昂蒸汽被压入冷凝器后，经过其自带的电动风扇将外界空气吸入冷凝器，强制对管路中的氟利昂蒸汽散热，令其液化后进入储液干燥罐。至此，完整的蒸汽循环完成。若系统中氟利昂灌充过多，超过了冷凝器处理能力，则会有气态的氟利昂进入干燥罐，将会在干燥罐中形成泡沫。在干燥罐顶部的透明窗内可看到气泡存在。

SR20飞机的座舱环境系统的电路控制图见图3，

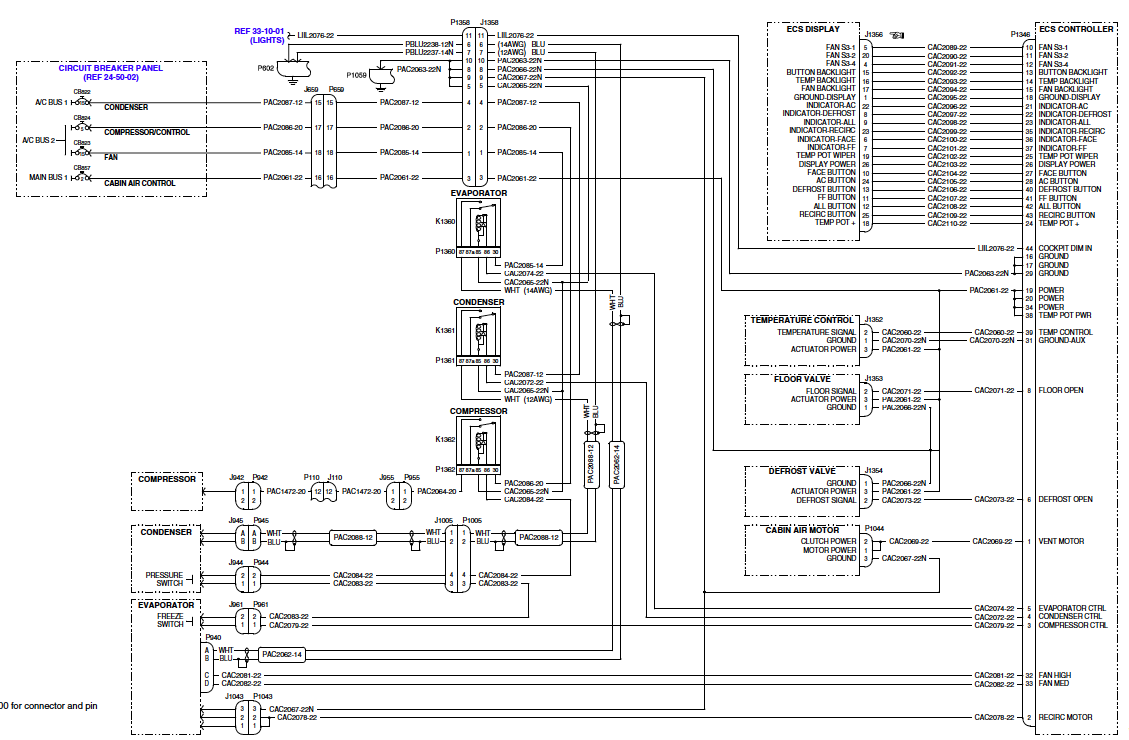


图3

图中ESC Controller为SR20飞机座舱环境控制系统的主控计算机，ESC Display为空调控制面板，Temperature Control为冷热空气混合活门的作动电机，Floor Valve为座舱的空气分配总管的活门作动电机，DeFrost Valve为除雾活门作动电机，Cabin Air Motor为总空气活门的作动电机，图3中部有三个继电器，从上至下分别为Evaporator蒸发器风扇电机的继电器，Condenser冷凝器内部散热风扇电机继电器，Condenser压缩机上电磁离合器继电器。图3左下侧分别为Compressor压缩机，Condenser冷凝器组件。

该组件上带有测量氟利昂回路压力的Pressure Switch压力开关，见图4干燥罐顶部的开关，为常断型开关(未连接至管路时，开关断开)，其线路串接在压缩机电磁离合器继电器的控制回路中，当管路中氟利昂压力在设计范围内时，开关闭合，压缩机才有空可能工作。左下角Evaporator为蒸发器组件，P940插头左边所连接的即是蒸发器风扇电机，该电机为三速电机。

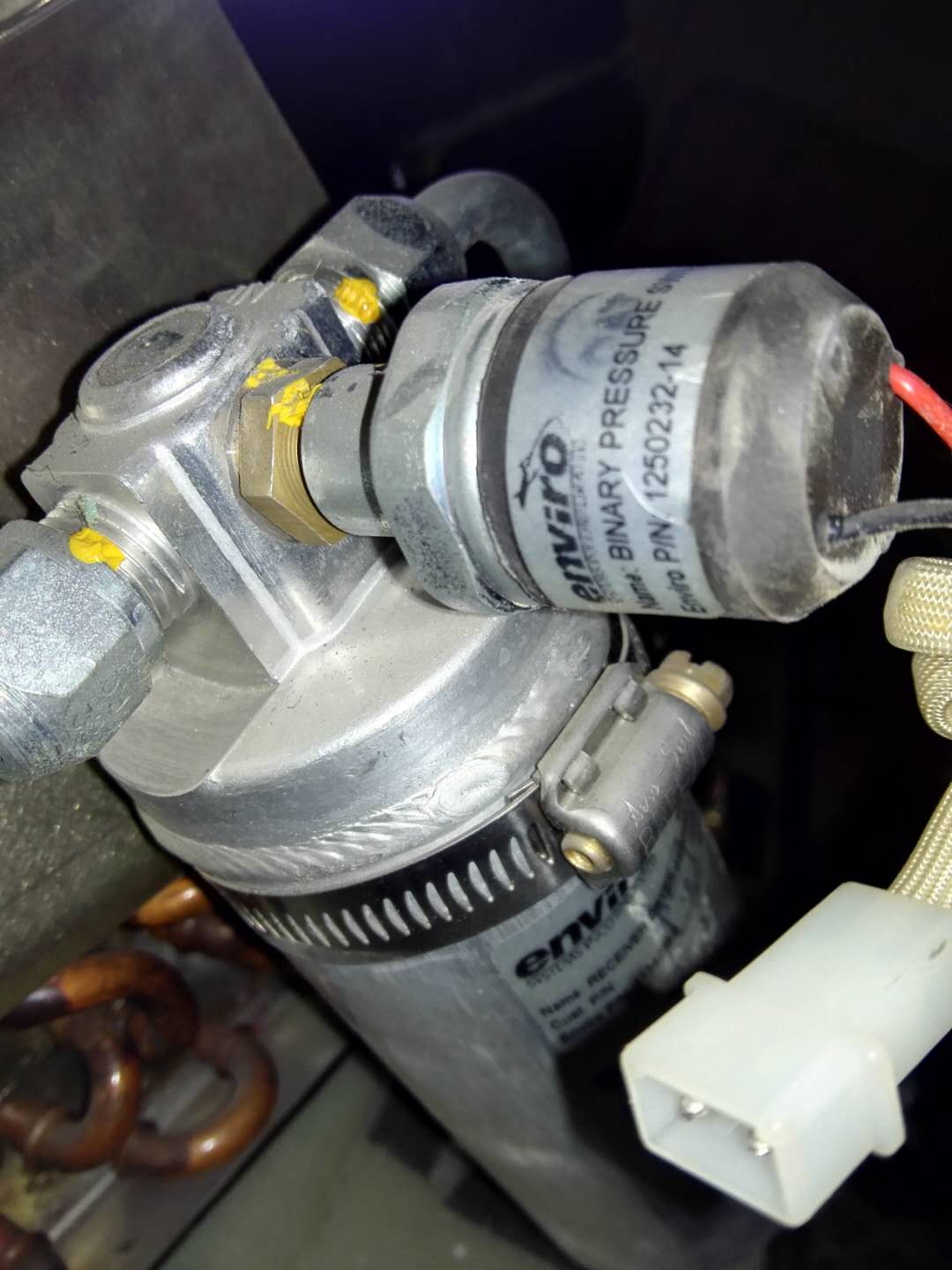


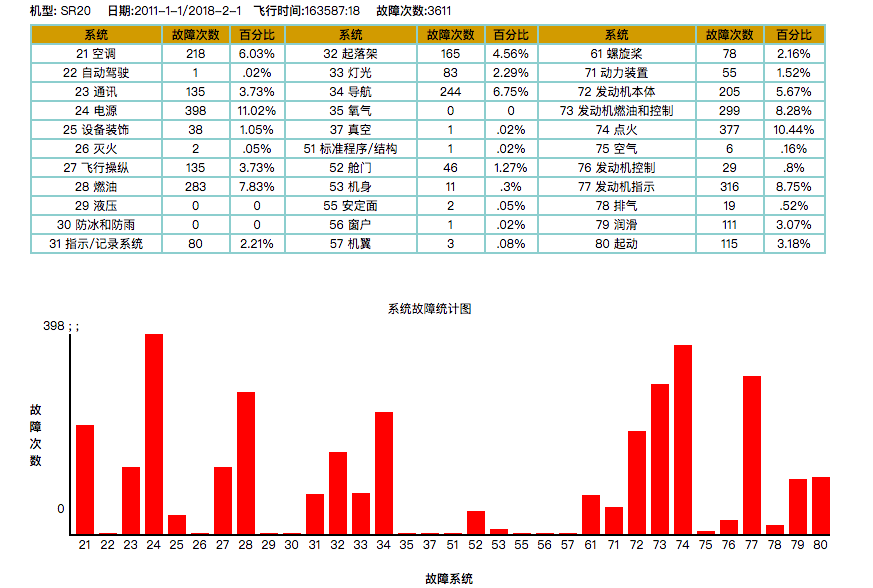
图4

当控制面板上风扇位置开关处于大于0的位置时，ESC Controller的1号针通过P1044插头向Cabin Air Motor发送Vent Motor信号(风扇位置开关大于等于0位，都会发送)总空气活门开启，ESC Controller的5号钉上出现低电平，Evaporator继电器吸合，由A/C BUS 2汇流条通过CB823断路器，经过Evaporator继电器向插头P940的A脚供电，若风扇位置开关处于1或2位时，ESC Controller的33号插针FAN MED(中速信号)或32号插针FAN HIGH(高速信号)向P940的C脚或D脚发送调速信号，风扇电机以中速或高速运行，若位置开关置于1位，则ESC Controller不发送中速和高速信号，电机以低速状态运行，系统处于风扇通风状态。

调整控制面板上冷热位置开关的位置，ESC Controller会通过39号针向Temperature Control发送TEMP Control信号，电机由该控制信号推拉作动条，调整冷热活门的位置，由冷热混合空气来对座舱通风或制热。

若按下控制面板上的“雪花按钮”,管路氟利昂压力符合设计范围时，冷凝器上的Pressure Switch压力开关闭合，且蒸发器未结冰时，蒸发器上的Freeze Switch开关闭合，ESC Controller由3号针通过Free Switch与Pressure Switch开关向Compressor压缩机继电器控制线圈发送高电平信号，压缩机继电器吸合，压缩机电磁离合器由A/C BUS 2经过Compressor压缩机继电器供电吸合，开始真正压缩氟利昂。同时ESC Controller的4号针发送高电平的Condenser Ctrl信号，令Condenser继电器吸合，冷凝器上的散热风扇开始工作，氟利昂蒸发制冷循环开始，系统开启了外循环制冷模式。

若在制冷模式下，按下控制面板上的内循环按钮或将冷热位置开关置于1/4最冷位置时，ESC Controller的1号钉发送一个关闭总空气活门的信号给Cabin Air Motor，令总空气活门关闭，关闭外界空气来路，同时，ESC Controller的2号钉向蒸发器的J1043所连接的内循环活门作动机构发送内循环活门开启信号，蒸发器上内部空气进口打开，蒸发器将对座舱内空气循环制冷，开启了内循环制冷模式，实现快速制冷。注意，当风扇位置开关处于0位或者OFF位时，外循环或内循环制冷模式均无法开启。



可见SR20飞机自2011年至今的空调故障一共218起，绝大多数为空调不制冷或者制冷效果差以及空调压缩机接耳裂纹，至今很少发现空调系统的线路故障。不制冷的主要因素有空调压缩机皮带磨损或者皮带张力不够、压缩机内部故障、利昂不足、冷凝器滤网脏(因其在排气管尾气覆盖区，工作条件恶劣)和其内部散热风扇电机不工作等，而空调压缩机接耳裂纹故障，经西锐厂家与我院共同对压缩机的安装方式改进后，该故障未再出现过。

SR20飞机的空调系统设计良好，使用简单方便，制冷效果良好，若在其设计批准所限定的维修范围正确维修，可以很好的保持其原有型号设计，使系统稳定的运行，是一款良好的通用飞机空调系统。

参考文献

[1] FAA,Aviation Maintenance Technician Handbook Airframe FAA-H-8080-31,2012

[2] Cirrus,Airplane Maintenance Manual,2017

[3] Cirrus,Airplane Wiring Manual,2017

[4] CAAC,CCAR-145R3,2005

[5] CAAC,CCAR-21R4,2017