

# 广州市海珠区“9·27”一般其他爆炸 事故调查报告

2020年09月27日14时许，广州市海珠区仑头路61号的广州市家乐制冷设备有限公司两名工人在维修格力空调压缩机期间发生闪爆，造成1人死亡，1人受伤。

事故发生后，依据《中华人民共和国安全生产法》《生产安全事故报告和调查处理条例》等有关法律法规的规定，区政府批准成立海珠区人民政府“9·27”一般其他爆炸事故调查组（以下简称：事故调查组），成员由区应急管理局、区科工商信局、区市场监管局、区公安分局、区监委、区人社局、区总工会以及官洲街道办事处组成，并邀请区检察院派人参加。

事故调查组坚持“科学严谨、依法依规、实事求是、注重实效”和“四不放过”原则，依据对事故现场的核查、事故当事人的问询取证和有关原始资料的调查分析，查明了事故基本情况和事故原因，认定了事故性质和责任，提出了对有关责任单位和责任人员的处理建议，以及事故防范和整改措施。

## 一、事故基本情况

### （一）格力空调售后服务基本情况

珠海格力电器股份有限公司与广州格匠机电工程有限公司（以下简称广州格匠公司）签订《格力电器产品售后服

务承揽合同》，约定由广州格匠公司承揽珠海格力电器股份有限公司家用空调、生活电器等产品售后服务。

广州市家乐制冷设备有限公司（以下简称广州家乐公司）与广州格匠公司签订《2020年格力电器产品售后服务合作协议书》，约定由广州家乐公司承揽广州市指定区域内家用空调、生活电器等产品售后服务项目。

## （二）相关单位及个人情况

1. 广州家乐制冷设备有限公司，类型：有限责任公司（自然人投资或控股），法定代表人：范召云，法定代表人范召云持有生产经营单位安全管理人员证，事发时有员工 11 名。

2. 广州格匠机电工程有限公司，类型：有限责任公司（自然人投资或控股），法定代表人：隗仕军，经营范围：机电设备安装服务；电气设备修理等。

3. 周洪（死者），男，28 岁，2020 年 7 月入职广州家乐公司，从事售后安装维修工作。

4. 全海平（伤者），男，34 岁，2020 年 5 月与广州家乐公司签订《格力电器产品安装维修承揽协议》。

## （三）事故发生经过

2020 年 9 月 22 日 14 时 34 分，客户方女士致电格力电器广州客户服务中心，报修反馈空调不制冷。系统生成维修工单（维修单号：38814107，空调型号：KF-26W/R05-3，编码为 GREE 3880450266660、空调器制冷剂为 R22 制冷剂），并派发至广州家乐公司。9 月 23 日上午，广州家乐公司安排周洪上门维修，周洪检测后判断为空调器冷媒不足，便与方女士商定于 9 月 24 日将空调器拆机运回广州家乐公司维修。

9月24日上午，周洪、全海平两人到方小姐家中做进一步检测，在补充制冷剂后空调器仍无法制冷，两人判断空调器存在漏液情况，遂将空调器内、外机拆下运回广州家乐公司维修。

9月26日上午11时44分，周洪、全海平、范召云进入海珠区仑头路61号广州家乐公司维修仓库并将水箱抬出。12时18分，范召云使用焊枪焊接空调器外机接头。13时06分，周洪、全海平将空调器外机抬进水箱，并向水箱注入自来水。13时08分，周洪将压力表连接至空调器外机并将外机内气体排出。13时09分，周洪、全海平将外机接管连接至仓库内的氧气储气瓶并打开阀门。13时20分，周洪、全海平将空调器外机抬出水箱。13时30分，周洪、全海平将空调器内机抬进水箱连接仓库内储气瓶，并打开阀门。13时34分，周洪、全海平将空调器内机抬出水箱。当天下午，全海平告知范召云需更换空调器压缩机，因仓库内无同型号压缩机，广州家乐公司向广州格匠公司申请压缩机及配件（型号：QX-B161C030A）。

9月27日13时45分，全海平到达广州家乐公司维修仓库整理空调器内机铜管。13时46分，周洪到达仓库。13时47分，周洪从仓库旁取出便携式焊枪，并拆除空调器外机挡板。13时50分，周洪引燃便携式焊枪，并使用焊枪灼烧压缩机接管接头部位。13时51分，周洪左手拨开接管后发生爆炸。

#### **（四）事故救援和应急处置情况**

事故发生后，广州家乐公司员工立即进行救援，并拨打

120。经 120 医护人员紧急处置后，周洪被送往中国人民解放军陆军第七十四集团军医院进行抢救，全海平被送往广东省第二人民医院救治。公安、应急、消防和官洲街道等部门接报后迅速到达事发现场，并按照职责开展应急处置工作。

2020 年 9 月 27 日 15 时许，周洪在医院抢救无效死亡，经医院诊断：直接死亡原因为呼吸心跳骤停，左前臂、右肩、右手有多处开放性伤口，头局部、前胸部及四肢多处烧伤。全海平为双侧爆震性耳聋、全身多处损伤，经治疗于 2020 年 10 月 11 日办理出院手续。

#### **（五）人员伤亡和财产损失情况**

经广州家乐公司统计、事故调查组核定，事故造成 1 人死亡、1 人受伤，直接经济损失约 129 万元。

#### **（六）事故善后工作**

事故发生后，在区委、区政府的领导下，属地街道全力做好善后处置工作并于 2020 年 9 月 30 日促成广州家乐公司与死者家属签订《补偿协议书》。

### **二、事故技术分析情况**

9 月 28 日，事故调查组委托三名专家组成的技术分析小组，对广州市海珠区“9·27”一般其他爆炸事故进行技术分析，技术分析小组经过勘查事故现场、调阅事故现场监控视频资料、调取事故相关单位资料、查阅事故调查组调查资料，于 11 月 20 日形成并提交了《海珠区“9·27”一般其他爆炸事故技术分析报告》。技术勘查及分析情况如下：

#### **（一）现场勘察情况**

1. 经勘察，事故现场室外机爆裂严重，铜管、压缩机壳

体碎片等散落四周，地面有大量冷凝器铝箱和铜管的碎片，壳体材料撕裂痕迹明显且不规则。从断口痕迹表明事故发生时爆炸产生的压力及爆炸能量远超正常状态下压缩机缸体所能承受的极限压力，爆炸产生的巨大压力使得压缩机缸体产生塑性形变并爆开。根据外围监控视频显示，案发时有明火、浓烟冲出，判断发生了化学爆炸。

2. 外机截止阀处小阀门阀芯打开，冷凝器至小阀门之间有一段 900mm（内径 1.63mm）的毛细管，大阀门处于接近关闭的状态，加注冷剂嘴气门芯完好。

3. 压缩机核查情况：压缩机定子表面存在可见腐蚀，主要由于该室外机使用已有较长时间，事发前一天维修人员将其浸入水槽进行捡漏所致，压缩机线圈表面局部存在高温结焦痕迹。

## （二）现场监控分析

根据维修仓库内部视频监控资料显示：2020年9月26日，全海平、周洪和范召云三人在广州家乐公司仓库对发生事故的空调器内、外机进行捡漏，期间采用填充瓶装高压氧气的方式进行检测。9月27日，全海平、周洪两人在仓库更换空调器压缩机，周洪使用焊枪持续灼烧压缩机接管接头部位后拔开接管，随后发生爆炸。

综合事故发生前室外机捡漏过程视频及事发后对现场氧气瓶的核实及相关人员笔录，技术分析专家组认为：

1. 两名空调维修人员在分体空调室外机捡漏过程中，违反《制冷系统与热泵 安全与环境要求第2部分：设计、建造、试验、标记与文件编制》的规定使用高压工业氧气进行

检漏，致使空调压缩机、汽液分离器、管路内充足了高压氧气，尤其是汽液分离器内存在的冷冻油与高压氧气混合达到过饱和状态。

2. 在后续更换压缩机进行火焰切割作业前，既未进行充氮置换，也未通过抽真空将室外机压缩机和管路系统中的冷冻油、冷剂、氧气等排空，在火焰切割拆解空调压缩机用尖嘴钳拔开接管的瞬间，局部烘烤接管的高热与明火引燃压缩机系统内冷冻油与氧气的混合气体，爆炸导致压缩机外壳有限容积瞬间升压，机壳与冷凝器几乎同时发生超压解体性破坏。

### （三）压缩机爆破压力估算

此次事故中人员为一死一重伤，故只考虑死亡半径和重伤半径的数学表达式，

死亡半径，重伤半径对应曲线表达式见式 4.1.1~4.1.2:

1) TNT 当量与死亡半径数学表达式:

$$R=13.601 \times q_{TNT}^{0.37} \quad (4.1.1)$$

式中: R—死亡半径, m;

$q_{TNT}$ —爆炸源的 TNT 当量, kg;

2) TNT 当量与重伤半径数学表达式:

$$R=38.51 \times q_{TNT}^{0.3331} \quad (4.1.2)$$

式中: R—重伤半径, m;

$q_{TNT}$ —爆炸源的 TNT 当量, kg;

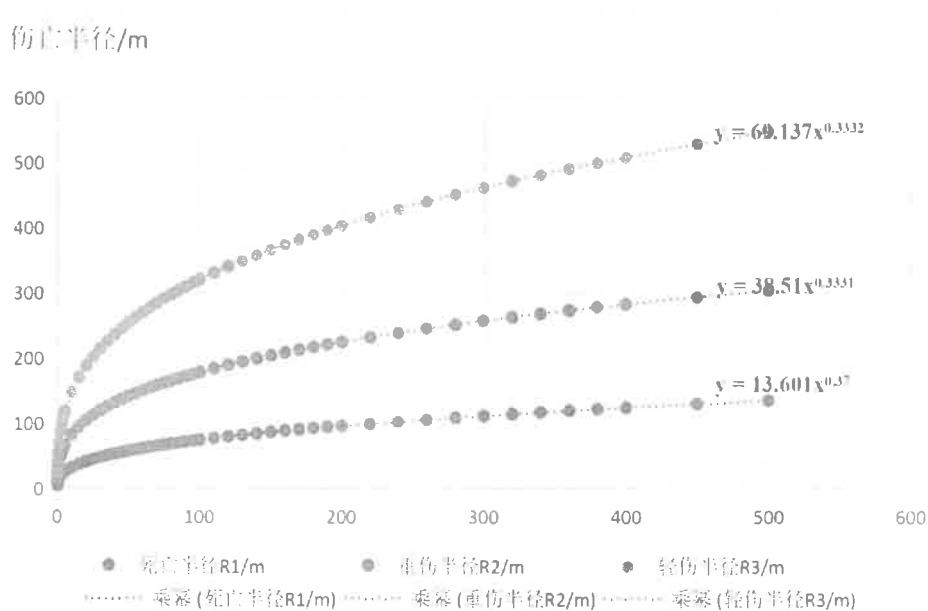


图 4-1 TNT 当量与伤亡半径关系拟合曲线图

47

根据图中拟合曲线表达式可以推出 TNT 当量关于伤亡半径的数学表达式，从而可以通过已知的伤亡半径计算出 TNT 当量，表达式如式 4.1.3~4.1.4 所示：

(1) 计算 TNT 当量

1) 死亡半径与 TNT 当量数学表达式：

$$q_{\text{TNT}} = \left( \frac{R}{13.601} \right)^{\frac{1}{0.37}} \quad (4.1.3)$$

式中：R—死亡半径，m；

$q_{\text{TNT}}$ —爆炸源的 TNT 当量，kg；

2) 重伤半径与 TNT 当量数学表达式：

$$q_{\text{TNT}} = \left( \frac{R}{38.51} \right)^{\frac{1}{0.3331}} \quad (4.1.4)$$

式中：R—重伤半径，m；

$q_{\text{TNT}}$ —爆炸源的 TNT 当量，kg；

根据更换压缩机的视频资料，死亡的维修人员在爆炸发生时正在进行烧焊拔管，因此，按照一臂长的距离计算其距离爆炸源的死亡半径，综合考虑取  $R=0.5\text{m}$ ，重伤的维修工根据笔录资料得出，爆炸发生时其距离死亡员工大概为  $1\text{m}$  左右，故取重伤半径  $R=1.5\text{m}$ ；将两个数据分别带入式 4.1.3~4.1.4，得出  $q_{\text{TNT}}$  的量分别为  $0.13\text{kg}$  和  $0.06\text{kg}$ 。

根据式 (4.1.3) 和 (4.1.4) 可计算出爆炸源的 TNT 当量  $q_{TNT}=0.13\text{kg}$  和  $q_{TNT}=0.06\text{kg}$ , 取  $q_{TNT}=0.13\text{kg}$  进行计算。根据式 (4.1.5) 可算出  $E=4500q_{TNT}=4500*0.13=585\text{kJ}$ 。根据式 (4.1.6) 可算出 1000kg TNT 炸药在空气中爆炸的破坏半径  $R_0=\frac{R}{\sqrt[3]{q/q_0}}=\frac{0.5}{\sqrt[3]{0.13/1000}}=9.87\text{m}$ 。用式 (4.1.8) 计算得  $\Delta P_0 = 45\text{kPa}$ ,

由等式关系  $\Delta p = \Delta p_0$  可推知爆炸超压  $\Delta p = 45\text{kPa}$ 。

依据压缩机冷冻机油的装量 700ml, 若其密度按照 0.90 计算, 机油的重量为 0.63kg, 一般油品的热值为 50MJ/kg, 冷冻机油完全参加反应的热量为 31.5MJ, 上述计算的 TNT 当量热量为 0.585MJ。

具了解, 压缩机材料属于 08 钢,  $\sigma_b = 325\text{MPa}$ ,  $\sigma_s = 195\text{MPa}$ 。压缩机外壳体壁厚 2.8mm, 内直径 112mm, 外直径 117.6mm。  $K=117.6/112=1.05$

1) 纯理论方法: 由中径公式导出。

$$P = 2\sigma \frac{K-1}{K+1} \quad 4.2.1$$

代入数据得到:  $P_s = 9.36\text{MPa}$ ,  $P_b = 15.6\text{MPa}$ 。

2) 基于理想弹-塑性材料, 按厚壁圆筒分析得出的公式

①用 Tresca 屈服准则

式中  $K=D_0/D_i$  (圆筒外、内径之比),  $\sigma_s$ 、 $\sigma_b$  分别为材料的屈服极限和抗拉极限。

②用 Mises 屈服准则:

$$P_s = \frac{2\sigma_s \ln K}{\sqrt{3}} = 10.99\text{MPa} \quad 4.2.2$$

$$P_b = \frac{2\sigma_b \ln K}{\sqrt{3}} = 18.31\text{MPa} \quad 4.2.3$$

3) 修正公式

福贝尔和史文森根据前述基于理想弹性材料推导出的  $P_b$  公式。考虑到材料的硬化或屈服比  $\sigma_s/\sigma_b$  对爆破压力  $P_b$  的影响, 分别提出修正公式:

$$P_b = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s \left(2 - \frac{\sigma_s}{\sigma_b}\right) \ln K = 15.38\text{MPa} \quad 4.2.4$$

4) 基于薄壁分析的公式

当容器壁厚相对较薄 ( $k < 1.2$ ) 时, 可按薄膜理论进行分析:

1) 用 Tresca 屈服准则

$$P_s = \frac{4S\sigma_s}{\sqrt{3}D_m} = 10.98\text{MPa} \quad 4.2.5$$

$$P_b = \frac{4S\sigma_b}{\sqrt{3}D_m} = 18.31\text{MPa} \quad 4.2.6$$



小结: 上述估算一方面依据现有弹性力学、爆炸力学的方法, 进行针对本事故的计算。计算结果对理解本事故的规模, 物理化学过程、事故损失及后果均有一定的参考作用。特别是解释反应物、生成物、TNT 当量、超压等均有针对性的参考意义。同时对认识本事故的复杂性、事故原因的多样性也有一定的参考作用。

#### (四) 事故原因分析

如图 5.1 所示, 空调系统由室内蒸发器、室外压缩机、室外冷凝器、过滤器、毛细管、管道、汽阀、液阀组成。

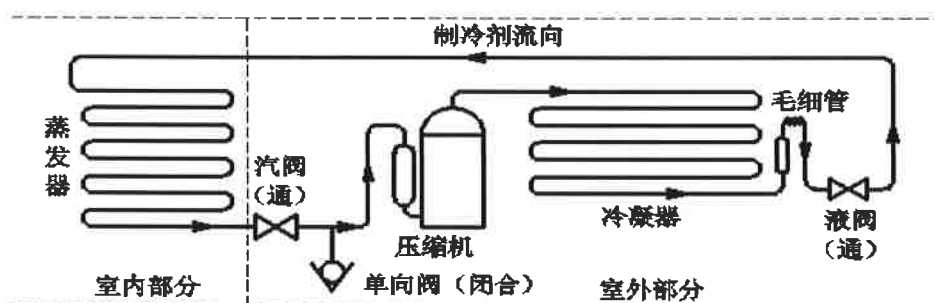


图 5.1 正常的制冷系统

正常制冷循环特征如下:

1) 制冷系统是密封闭合的, 铜管内的工质与铜管外的空气或氧气不接触。

2) 铜管内只有制冷剂, 含有一定量的冷冻机油, 不含氧气等助燃物成分, 且铜管内的压力远大于大气压, 空气一般进不了制冷循环系统。

3) 汽阀、液阀均处于打开状态, 单向阀在制冷剂压力

下处于关闭状态。

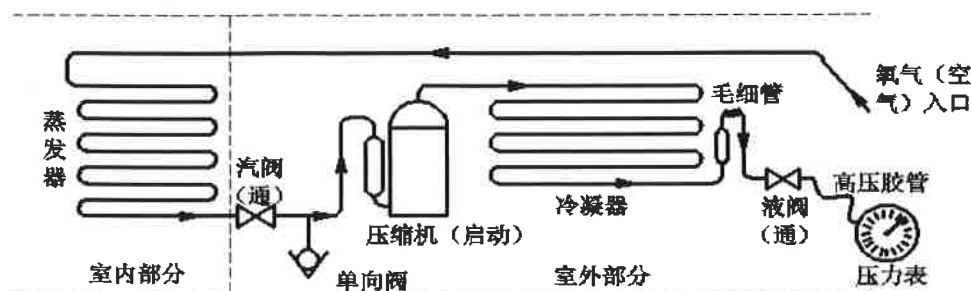


图 5.2 发生爆炸时的制冷系统状态

根据现场勘查结果，发现本次爆炸事故发生前制冷系统具有如下特点：

- (1) 制冷管道系统内曾通过加入高压氧气进行过检漏。
- (2) 汽阀、液阀均处于打开状态。
- (3) 铜管、压缩机、汽液分离器存在氧气。
- (4) 压缩机腔内存在油雾、氧气、冷剂的混合物，爆炸性在高压高温作用下瞬间发生化学爆炸，导致压缩机机壳内压力快速升高而发生物理爆炸。

#### (五) 技术原因分析

1. 空调维修人员在对空调压缩机进行检漏过程中，将压缩机放入水槽中，高压氧气加注到压缩机高压系统进行检漏，高压氧气与压缩机冷冻油形成易燃易爆混合物。

2. 在更换压缩机之前，未排干净压缩机系统的冷剂与冷冻油，对系统未抽真空，未用氮气或氩气等惰性气体置换。

3. 在烧焊过程中，未进行充氮保护，烧焊时的明火和高温表面导致压缩机内部发生了冷冻机油与氧气混合物发生燃爆，继而引起全封闭压缩机金属外壳发生物理爆炸，爆炸

产生的碎片和超压造成人员伤亡事故。

### **（六）技术分析结论**

综合现场勘查情况及大量监控视频的查看，确定此单事故原因为维修人员违规操作，使用氧气替代氮气充入系统中打压检漏。外机大阀门关闭，小阀门打开，小阀门端由于有较长节流毛细管，存在较大阻力，使得打入的氧气不易排出，在外机系统中形成了相对密闭的空间。助燃剂氧气进入压缩机并在此相对密闭空间中与冷冻油充分混合，在未使用氮气进行焊接保护的情况下，拔管后焊枪明火点燃系统内可燃混合气体引发爆炸事故。

### **三、事故原因和事故性质**

结合事故调查组各成员单位调查情况和专家组出具的《海珠区“9·27”一般其他爆炸事故技术分析报告》，事故调查组认定：

#### **（一）事故直接原因**

违反安全操作规程作业。周洪、全海平安全意识薄弱，使用氧气充入压缩机高压系统进行打压检漏，更换压缩机之前，未部分抽空制冷系统，未用氮气或氩气等惰性气体置换，周洪违规烧焊动火作业，作业过程中点燃可燃混合气体引发爆炸事故。

#### **（二）事故间接原因**

1. 作业现场安全管理缺失。广州家乐公司未采取技术、管理措施，及时发现并制止维修作业人员违规使用氧气进行空调器检漏、违规动火作业且未部分抽空制冷系统等事故隐患。

2. 安全操作规程缺失。广州家乐公司未制定危险物品（氧[压缩的或液化的]）和焊接与热切割动火作业的安全管理规章制度和安全操作规程。

3. 安全生产教育不足。全海平、周洪违规使用氧气进行检漏，对高压氧气注入空调压缩机的危险后果认识不足，缺乏安全知识。广州家乐公司未保证维修作业人员具备必要的安全生产知识，熟悉有关的安全生产规章制度和安全操作规程，掌握本岗位的安全操作技能。

4. 特种作业人员未持证上岗。广州家乐公司对焊接与热切割特种作业管理不严，安排未经专门的安全作业培训取得特种作业操作证的周洪从事焊接与热切割作业。

### **（三）事故性质认定**

经调查认定，这是一起违反安全操作规程作业、作业现场安全管理缺失、安全生产教育不足和特种作业人员未持证上岗等因素造成的一般生产安全责任事故。

## **四、属地街道监督检查情况**

根据《中华人民共和国安全生产法》第八条第三款的规定，官洲街道办事处对辖区内生产经营单位安全生产状况负有监督检查职责。经查，官洲街道办事处组织制定并依照《官洲街道 2020 年度安全生产监督检查计划》对辖区生产经营单位开展监督检查，截至 2020 年 9 月 27 日，监督检查情况符合年度监督检查计划要求。2019 年和 2020 年，官洲街道办事处对海珠区仑头路 61 号均有开展检查工作，针对检查发现的违法行为依法给予行政处罚并督促企业完成了隐患整改，落实了属地监管责任。

## 五、责任的认定以及对责任者的处理建议

根据《中华人民共和国安全生产法》《生产安全事故报告和调查处理条例》等相关法律法规，对相关责任单位和责任人员提出如下处理意见：

**（一）广州市家乐制冷设备有限公司**，作为格力电器产品售后服务合作单位，未制定本单位安全生产规章和操作规程，未保证从业人员具备必要的安全生产知识，特种作业人员未按照规定经专门的安全作业培训并取得相应格上岗作业，未采取技术、管理措施及时发现并消除事故隐患，违了《中华人民共和国安全生产法》第四条、第二十五条第一款、第二十七条第一款、第三十八条第一款，对事故发生负有主要责任，建议区应急管理局依据《中华人民共和国安全生产法》第一百零九条第一项的规定，依法对其给予行政处罚。

**（二）广州格匠机电工程有限公司**，作为格力电器产品售后服务管理单位，将空调安装售后服务分包给家乐公司，未要求广州家乐公司特种作业人员持证从事空调安装维修工作，未审核广州家乐公司上报备案的全海平等安装维修人员特种作业资格，未定期检查广州家乐公司的安装维修工作，未对广州家乐公司的安全生产工作统一协调、管理，违反了《中华人民共和国安全生产法》第四十六条第二款的规定，建议区应急管理局依据《中华人民共和国安全生产法》第一百条第二款的规定，依法对其给予行政处罚。

**（三）周洪**，作为广州家乐公司空调器安装维修人员，安全意识淡薄，未按照规定经专门的安全作业培训并取得相应资格上岗作业，未按照《制冷系统与热泵 安全与环境要

求第 2 部分：设计、建造、试验、标记与文件编制》第 6.3.4.1 项第一款的安全操作规程要求，使用氧气进行空调器泄露实验，未按照《制冷系统与热泵 安全与环境要求第 4 部分：操作、维护、检修与回收》第 4.3.5 项要求，在焊接作业前未部分抽空制冷系统，对事故发生负有直接责任。鉴于其本人已死亡，建议不再追究其责任。

**（四）全海平**，作为广州家乐公司空调器安装维修人员，安全意识淡薄，未按照规定经专门的安全作业培训并取得相应资格上岗作业，未按照《制冷系统与热泵 安全与环境要求第 2 部分：设计、建造、试验、标记与文件编制》第 6.3.4.1 项第一款的安全操作规程要求，使用氧气进行空调器泄露实验，对事故发生负有责任，鉴于其在事故中受伤，建议不再追究其责任。

## **六、事故防范和整改措施**

根据生产安全事故“四不放过”原则，为吸取本次事故的深刻教训，防止同类事故的发生。结合本次事故的实际情况，特提出以下意见：

### **（一）落实企业安全生产主体责任**

广州市家乐制冷设备有限公司应深刻吸取事故教训，落实三个必须，一是必须进行一次大反思大讨论的警示教育，及时开展一次安全生产“大学习、大讨论、大反思”活动，组织召开企业领导班子专题会议，深刻反思事故原因，组织全体员工进行安全生产警示宣传教育，设立事故警示牌，牢记事故教训；二是必须开展一次安全风险隐患大排查大整治，举一反三、全面深入开展风险隐患排查治理，落实安全

生产“一线三排”工作机制，针对事故原因，深入查找问题隐患，严格落实各项风险管控措施，认真对照安全生产有关法律法规，全面自查安全生产主体责任落实情况，及时改正存在的问题；三是必须主动向监管部门报告事故整改情况，事故发生后三个月内，将事故整改措施和落实情况书面向属地行业或业务监管部门报告，企业负责人根据事故大小、影响程度等实际情况主动上门汇报事故整改情况，接受属地行业或业务监管部门的约谈和监督检查。

广州格匠机电工程有限公司应严格落实安全生产责任制和安全生产管理制度，认真落实对售后服务承揽单位安装、维修工作的安全监管，强化从业人员特种作业资质审核，督促承揽单位严格履行持证上岗制度，确保安全。

## **（二）加强属地监管工作**

官洲街道办事处应吸取事故教训，举一反三，加强属地监管工作，进一步加大对辖内生产经营单位监督检查力度，及时发现并制止各类违法违规行爲，督促企业落实安全生产主体责任，加强事故防范措施，并将本次事故情况向辖区类似企业通报，加深企业对事故防控管理的认识，切实强化从业人员安全意识和安全技能，防止同类事故再次发生。

