

LPG 储配站典型工艺设备选型计算

柴长海（海油燃气（廊坊）有限公司，河北 廊坊 065299）

摘要：液化石油气，简称LPG，凭借传输方式灵活、作业量少、难度较低等特点，在当前的能源供应方面占据重要地位。但是当前我国LPG储配站建设工程量不断减少，这使得很多设计工作人员对于储配站设计，尤其是典型工艺设备选型计算较为生疏，从而直接影响到储配站运行效率和质量。鉴于此，文章重点从储罐、屏蔽泵、压缩机以及管道四个方面，分析了LPG储配站典型工艺设备选型计算，以供参考和借鉴。

关键词：LPG 储配站；典型工艺；设备选型；计算

0 引言

液化石油气是一种优质、高效的清洁能源，广泛用于民用燃料、商用燃料等领域，对优化能源结构、改善环境质量、提高人民生活水平发挥着重要作用。但液化石油气具有易燃、易爆、中毒、冻伤的危险性，违法经营现象较为严重，事故总量较大，因此需要重点对液化石油气储配站典型工艺设备进行选型和计算，尽可能的降低安全事故风险隐患出现的概率。

1 LPG 储配站典型工艺设备选型计算必要性分析

随着我国经济结构和社会环境变化，对液化石油气的需求逐年增加。国家统计局网站显示，2013年—2022年的10年间，我国液化石油气消费量从2823万t增至6835万t，年均增速10.3%。其中，以作为燃料为主，用户达5600万户、用气人口10180万人，属于城镇燃气管理范畴。与此同时，液化石油气事故总量居高不下，如2022年全国燃气事故802起、伤亡553人，其中液化石油气事故450起、伤亡339人，分别占比56.1%、61.3%。可见，液化石油气市场规模巨大，而且是燃气事故的主要类型，在生产、储存、运输和使用过程中，处置不当极易发生事故，造成人员伤亡和财产损失，加之储配站建设工程量逐年减少，设计人员对LPG储配站的设计过程越来越生疏，这些都是引发安全事故的关键因素，所以需要重点对LPG储配站的典型工艺设备实施选型和计算分析，为确保LPG储配站安全高效运行提供技术保障。

2 LPG 储配站典型工艺设备选型计算

2.1 储罐

对于LPG储配站中储罐设备选型，特别是设备容量计算，需要考虑多方面因素，包括液化石油气来源、生产地距离、供应范围、需求量以及运输条件等等。按照相关规范标准来定，储罐容量需按一周左右月平均供应量实施计算，详细见公式1所示。

$$V_s = \frac{G}{K\rho\eta} \quad (1)$$

在公式(1)中， V_s 表示的是液化石油气容量设计值； G 表示的是液化石油气的年需求量； ρ 表示的是液化石油气密度参数； K 表示的是液化石油气的周转系数，按 $K=51$ 计算； η 表示的是液化石油气储罐储存系数。除此之外，对于储罐容量的计算还需要考虑到以下几方面要素：

2.1.1 储罐型式

通常来说，液化石油气储罐包括球形和卧式两种，其中卧式储罐大都是工厂加工制造而成，具备加工、安装便捷等优势，但是由于结构占地面积比较大，所以仅适用于小型的液化石油气储配站当中；球形储罐与卧式储罐相反，在占地面积方面具备显著优势，但是由于该设备需要实施现场的拼装以及焊接等步骤，所以整体安装作业量比较大。在实际进行储罐容量计算中，需要结合其类型开展规范操作。

2.1.2 储罐材料选择

储罐材料的选择也在一定程度上影响到容量计算结果，一般来说在进行储罐材料选择中，要严格确保其具备足够高的强度、刚度以及韧性等，特别是储罐成型过程还需要材料具备一定的塑性，同时满足焊接相关要求。不仅如此，储罐材料选择对于储罐容量计算的影响，还体现在材料检验、焊接工艺评定、热处理等环节，对于储罐材料的选择要综合考虑多方面因素，只有材料选择足够规范和合理，才能确保后续运用足够安全可靠，并且达到解决成本的实质性目的。就目前来说，我国液化石油气储配站大多使用的储罐材料为Q345R，这类材料实际强度级别较低，加之板材厚度的不断增加，强度还会出现明显降低趋势，所以难以满足液化石油气球形储罐设计要求。按照相关标准而定，在储罐容量为 1000m^3 以下时，可以直接

采用 Q345R 这类设计材料；而当容量设计超出这一标准时，最好的选择是 Q370R，如果在设计过程中环境温度较低（-20℃以下），此时需要选择使用低温钢进行设计加工。

2.1.3 安全阀计算

按照相关规范标准，对于液化石油气储罐安全阀的设置需要满足以下几方面要求：第一，安全阀整定压力参数不可超出储罐设计压力参数；第二，对于储罐容量设计超出 100m³ 时，需要确保安全阀的数量在 2 个以上；第三，在储罐与安全阀二者之间，需要设置一个阀门，在储罐运行时候需要保持该阀门完全开启；第四，在设置 2 个以上安全阀时，需要保持 1 个阀门整定压力在储罐设计压力以下，其与的阀门可以结合实际情况适当的增加整定压力，但是不可超出储罐设计压力的 1.05 倍。安全阀的计算详细如下：

2.1.3.1 安全泄放量

在无绝热保温层的情况下，液化石油气储罐安全阀安全泄放量计算公式如下所示：

$$W_s = \frac{2.55 \times 10^5 F \cdot A_r^{0.82}}{q} \quad (2)$$

在公式（2）中，W_s 表示的液化石油气储罐安全阀安全泄放量参数；F 表示的是系数，其中容器在地面上时数值取 1；q 表示的是泄放压力下液体气化潜热。

2.1.3.2 安全阀排放面积

安全阀所处环境达到临界条件时，详细如下：

$$\frac{P_0}{P_d} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (3)$$

此时，液化石油气储罐安全阀排放面积计算如下：

$$A \geq \frac{W_s}{7.6 \times 10^{-2} C K P_d \sqrt{M/ZT}} \quad (4)$$

在公式（3）（4）中，A 表示的是安全阀最小泄放面积参数；k 表示的是气体绝热指数；C 表示的是气体特性系数；K 表示的是排放系数；P₀ 表示的是安全阀出口侧绝对压力；P_d 表示的是安全阀泄放绝对压力；M 表示的是气体摩尔质量；Z 表示的是气体的压缩系数；T 表示的是泄放装置出口侧气体温度。

2.2 屏蔽泵

对于液化石油气储配站屏蔽泵装置来说，其由于没有转轴密封，所以通常可达到绝对无泄漏的情况，这使其在液化石油气储配站中应用越来越广泛。但是对于大多数屏蔽泵结构来说，其设计过程中需要重点解决设备气蚀问题。一般来说，屏蔽泵结构在自润滑

的作用下，润滑轴承和冷却电机当中的液体会在电机热量的影响下出现气化现象，这部分气体一旦返回到屏蔽泵的入口位置，会导致叶轮处的气化现象愈发明显而生成气泡，最终带到轴承室位置处。在上述的反应过程中，会造成屏蔽泵轴承润滑出现不良情况，扬程和流量也会在此影响下出现降低趋势，最终对液化石油气的输送造成一定干扰。由此可见，对于屏蔽泵装置气蚀问题的处理十分关键，本次研究中设计了一种屏蔽泵结构，该结构中润滑轴承和冷却电机位置处液体气化后不会反回到屏蔽泵的入口位置，如此可以从根本上避免气蚀现象的出现。在液化石油气进行管道输送过程中，屏蔽泵扬程参数设计需要大于下式计算结果，详细如下：

$$H_j = \Delta P_z + \Delta P_y + \Delta H \quad (5)$$

在公式（5）中，H_j 表示的是屏蔽泵扬程计算参数；ΔP_z 表示的是管道总阻力损失参数；ΔP_y 表示的是管道终点进罐余压参数；ΔH 表示的是管道终点与起点高程差产生的压力。

2.3 压缩机

就当前来说，我国大多数液化石油气储配站的压缩机以烃泵——压缩机联合生产工艺为主，即在液化石油气压缩机抽吸以及增加作用之下，高效完成液化石油气卸车工作。相对比传统的卸车作业，基于压缩机作用下的液化石油气卸车更加高效快捷，通常可以实现多辆槽车同时卸车操作，大幅提升了加工生产效率。不仅如此，在槽车液化石油气卸完之后，工作人员可以通过对相关阀门的调整操作，并在压缩机装置抽吸的作用下，实现槽车内部气相 LPG 的有效回收利用，同时还可以大幅降低槽车内部的气相压力，为后续的液化石油气装车工作的高效开展奠定坚实基础。以下重点对液化石油气储配站压缩机设备选型计算进行分析：

2.3.1 压缩机选型

现阶段，诸多的压缩机设备型号中，活塞式压缩机结构的整体稳定性和可靠性更高，在液化石油气储配站中应用较为广泛。通常对于压缩机的选型，需要优先选择自动化进液保护的型号。对于压缩机卸车以及储罐相互倒灌操作，这一系列的过程属于热力学过程，即先实现储罐与槽车之间的有效连接，包括气相连接与液相连接，接着压缩机将储罐内的气体抽出并注入到槽车当中，让槽车内液体密度、温度以及压力等参数显著提升，然后结合储罐和槽车之间的压力差，

实现液化石油气完全压入储罐当中。在明确压缩机卸车原理和流程以后,需要按照相关规范标准,对压缩机所需排气量参数进行计算,详细如下所示:

$$L_m = a(5-4y)Q_L^b(100/T)^c \quad (6)$$

在公式(6)中, L_m 表示的是液化石油气压缩机活塞排气量参数; y 表示的是环境温度下液化石油气气相 C_2 和 C_3 体积百分组成; Q_L 表示的是液化石油气卸车强度参数; T 表示的是环境温度。此外,式中 a 、 b 、 c 作为条件系数,其取值如表1所示。

表1 LPG压缩机卸车条件系数

槽车容积 (m^3)	a	b	c
61.9	11.88×10^3	1.19	10.17
51.7	11.03×10^3	1.19	10.20
22.4	18.18×10^3	1.22	10.14
11.9	13.37×10^3	1.17	10.17

通常来讲,对于液化石油气储配站压缩机装置来说,在不同的环境温度条件下,同型号的压缩机装置卸车量以及速度等都存在很大的差异,因此在进行设备选型过程中,还需要综合考量当地的环境气候情况,因地制宜的进行设备选型,通常对于压缩机的卸车强度参数要控制在一定范围内,不可过大,目前压缩机排气量为 $0.95m^3/min$ 的型号效果最为显著,应用范围较为广泛。

2.3.2 气相阀门组

对于当前我国大中型液化石油气储配站来说,为了便于操作以及管理,通常会将气相管道当中的操作阀门集中处理形成气相阀门组,并将其设置在压缩机设备当中,详细情况如图1所示。

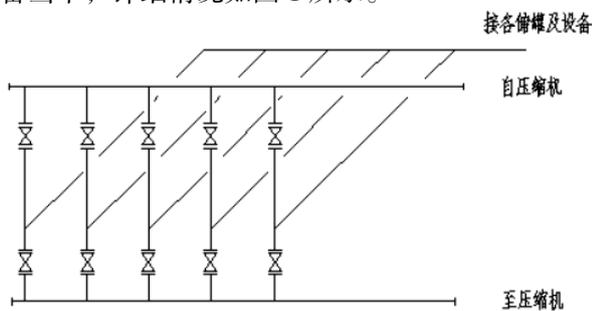


图1 气相阀门组结构示意图

在对气相阀门组的布置与安装过程中,需要综合考虑多方面因素,包括气液分离器、油气分离器等连接便捷情况,在满足连接便捷的情况下,还需要确保后续操作足够方便快捷。

2.4 管道

2.4.1 液相管径

在对液化石油气传输管道液相管径设计过程中,

需要以管道设计流量参数为依据,同时对于液化石油气流速参数的设定也需要控制在规范以内。按照相关规范标准而定,对于液化石油气管道流速平均值的设定范围为 $0.8-1.4m/s$ 之间,在特殊情况下需要调整增加流速时,不可将其设计高出 $3m/s$ 以上,主要目的是避免液化石油气流速过快产生静电而埋下安全风险隐患,确保其安全高效传输。

2.4.2 气相管径

与上述相类似,对于液化石油气气相管径的设计同样需要以管径设计流量为依据,同时结合实际情况合理控制液化石油气的管内流速,其中气相管径内平均流速相对比液相管径流速较高一些,控制范围为 $5-10m/s$,如此方可确保气态传输的稳定进行。

2.4.3 管道设计压力

按照相关规范标准,对于液化石油气管道设计压力的计算,需要确保其高于管道系统起点位置的最高压力参数 P_q ,详细计算如下所示:

$$P_q = H + (P_s - P_a) \quad (7)$$

在公式(7)中, P_q 表示的是液化石油气管道系统起点的最高压力值; H 表示的是泵的扬程; P_s 表示的是始端储罐最高温度下饱和蒸气压; P_a 表示的是管道系统起点大气压力参数。

3 结语

综上所述,液化石油气储配站安全风险隐患较高,为了确保液化石油气安全高效的传输,需要强化典型工艺设备的选型以及计算,本次研究中通过对液化石油气储罐、屏蔽泵、压缩机以及管道等设备选型计算进行分析,明确了液化石油气设备选型的条件以及参数选择,为液化石油气高效安全传输提供了强有力的技术保障。

参考文献:

- [1] 孙碧玉. 某小型液化石油气储配站的水系统设计[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(02): 10-12+158.
- [2] 沈旭峰. 雨淋系统在液化石油气灌装间的应用分析[J]. 城市燃气, 2022(11): 31-36.
- [3] 聂思皓, 凌俊, 陈忠等. 浅谈武汉市液化石油气储配站压力管道的定期检验[J]. 石化技术, 2022, 29(01): 113-114.
- [4] 林峰, 王健, 徐虹等. 城镇LPG供应的若干思考[J]. 城市燃气, 2020(06): 22-26.
- [5] 张云阳. LNG气化站、调压站及LPG储配站合建站分析[J]. 城市燃气, 2020(04): 15-18.