

CNG常规加气站 主要工艺设备容量的匹配确定

□ 中裕(河南)能源控股有限公司(450000) 石丹阳 李建华 黄飏 马悦 张贺鑫 赵永军

1 引言

CNG常规加气站的主要工艺设备,包括生产设备(压缩机)、储存设备(即储气设施,多采用储气井与储气瓶组)、加气设备(加气机)等^[1]。设备容量,即设备台数及单机容量,决定了加气站的对外加气能力与设备造价,是建设方案的重点内容。大量工程建设与运行实践表明,常规加气站设备容量的确定,不能只考虑单个设备本身容量,而忽视与其他相关设备之间的紧密关联。正确的工艺设备容量确定,应以整体系统的观点来看待,以工艺设备容量之间的相互匹配作为其基本原则与评价标准。原因在于:

(1) 工艺设备之间通过管道相互连接,天然气以可压缩流体形态经管道逐次通过调压、脱水、压缩、储存、加气等设备,最终充入车载气瓶,整体工艺系统不可分割;

(2) 不同设备在运行中的流量、压力等状态参数之间,以及加气规律、压缩机启停、储气设施充放等运行操作参数之间,都是相互影响的;

(3) 在运行周期内压缩机生产量、储气设施储气量、加气机加气量之间,遵循固有的供应—储存—需求平衡关系^[2],不同设备的容量匹配,影响工艺系统的整体运行效果。

本文对常见的设计能力2.0万 m^3/d 的常规加气站主要工艺设备的容量匹配情况及存在问题进行了分析总结。并根据工程建设及运行经验,结合理论计算分析,对如何按容量匹配的原则确定主要设备容量,提

出了相应方法与建议。

2 常规加气站设备容量匹配情况统计与存在问题分析

2.1 设备容量匹配情况统计

在对大量加气站调研的基础上,本文选取部分具有代表性的加气站,对其主要设备容量的配置情况进行了统计,见表1。表中加气站设计能力皆为2.0万 m^3/d ;表中为简明表达设备容量之间的相互匹配,仅列出加气机额定最大流量与压缩机额定压力下排量,略去设备型号;储气设施除新密溱水路站为储气瓶组外,其他加气站皆为储气井;表中符号含义及计算公式见表注。

2.2 设备容量匹配存在的问题

由表1可见各加气站实际日加气规模相差较大(0.29万 m^3/d ~1.92万 m^3/d 之间),且日加气量较大的加气站,高峰小时加气量相应较大;单个或某种设备的容量配置差异较大;同时,设备容量之间的相互匹配差异很大,不合理的设备容量匹配,对设备造价、利用率、维护成本、服务质量、客户满意度等,皆存在一定的负面影响。举例说明如下:

2.2.1 加气设备容量远大于生产设备容量

新密溱密路加气站,配置6台加气机,额定最大加气能力为200 m^3/min 。但压缩机配置为2台730 m^3/h 压缩机,额定最大生产能力为1 460 m^3/h ,远小于加气能力配置。加之压缩机进气压力设置不当,实际进口

表1 部分加气站主要工艺设备容量配置(按压缩机总容量排序)

加气站名称及现状加气规模				加气机容量配置		压缩机容量配置		储气设施容量配置			
序号	加气站	Q_{xz}	q_g	J_z	$J_d \times$ 台数	Y_z	$Y_d \times$ 台数	V及 $v_n/v_m/v_d$	P_0 及 $P_n/P_m/P_d$	f_v	Q^{max}
1	新密荥密路站	0.29	340	200	40×2 30×4;	1 460	730×2	8 1.6/2.6/3.8	23 19/18/16	25.0	460
2	焦作解放东路站	1.02	1 153	120	30×4	1 700	850×2	12 3.5/3.5/5	23 20/18/17	21.0	580
3	三门峡站东路站	1.5	1 206	140	40×2; 30×2	1 830	610×3	18 4.5/4.5/9	23 20/18/16	23.9	990
4	漯河金江路站	1.92	1 410	120	30×4	1 830	610×3	24 2/4/6	12 19/18/10	40.9	1 180
5	三门峡工业园站	0.31	676	160	40×4	2 200	1 110×2	18 4.5/4.5/9	23 20/18/15	26.1	1 080
6	济源北环路站	1.1	857	120	30×4	2 440	620×2; 1 200×1	18 5/5/8	24 21/19/15	25.9	1 120
7	新密溱水路站	0.56	1 058	120	30×4	2 500	1 250×2	12 3/3/6	23 18/18/18	21.7	600
8	济源西环路站	0.3	530	120	30×4	3 600	1 200×3	18 5/5/8	24 21/19/15	25.9	1 120
9	济源南环路站	1.0	801	200	40×2 30×4;	3 600	1 200×3	18 5/5/8	24 21/19/15	25.9	1 120

注1:表中符号: Q_{xz} —加气站现状加气规模, $万m^3/d$; q_g —高峰小时加气量, m^3/h ; J_z —加气机总计额定最大加气能力, m^3/min ; J_d —单台加气机额定最大加气能力, m^3/min ; Y_z —压缩机总计额定生产能力, m^3/h ; Y_d —单台压缩机额定生产能力, m^3/h ; V —储气设施容积, m^3 ; v_n 、 v_m 、 v_d —储气设施高、中、低压各级水容积, m^3 ; P_0 —储气设施最高工作压力, MPa; P_n 、 P_m 、 P_d —储气设施高、中、低压各组最低压力, MPa; f_v —总容积利用率, %; Q^{max} —最大可用储气量, m^3 ; ΔP_i —第*i*级储气设施工作压力差, MPa; P_i —第*i*级储气设施最低工作压力, MPa; v_i —第*i*级储气设施容积, m^3 ;

注2:表中储气设施容积利用率及最大可用储气量,采用简化的计算方法: $f_v = \frac{1}{P_0 V} \sum (\Delta P_i v_i)$; $\Delta P_i = P_0 - P_i$;
 $Q^{max} = f_v \times V \times \frac{P_0}{0.1}$ 。

压力为1.0MPa,与额定进气压力1.4MPa相差较大,实测单机排量在400 m^3/h 、双机排量在800 m^3/h 左右,偏离额定排量较大,进一步加剧了加气能力过度与生产能力不足之间的矛盾。该站建成初期日加气量较大(1.0 $万m^3/d$ 左右),但由于设备容量配置及运行参数设置的不合理,在加气高峰时段,6台加气机同时进行加气时,加气速率缓慢,加气时间延长,且车用气瓶不能加满,最终压力只能达到17MPa左右,客户满意度严重下降。

2.2.2 生产设备容量远大于加气设备容量

济源西环路站,配置4台加气机,额定最大加气能力为120 m^3/min ,现状高峰加气量为530 m^3/h 。但压

缩机配置为3台1 200 m^3/h 压缩机,远大于实际加气规模。根据对众多加气站的调研分析,日加气量在2.0 $万m^3/d$ 左右的加气站,最大小时加气量基本上不会超过1 400 m^3/h 左右。该站生产能力相对于实际加气规模过大,其结果是压缩机只能单机运行,3台轮流开机,设备利用率较低,设备投资浪费较大。

2.2.3 储气设施容量远小于生产设备容量

新密溱水路站,其储气设施由于未进行合理的压力分级,实际储气能力较低,仅为600 m^3 左右,而压缩机生产能力配置(2×1 250 m^3/h)相对较高。该站在加气量较小的时段,压缩机单台运行时长仅为30min~40min。压缩机频繁启停,机械与电气损耗

增加^[3]，设备运行成本与故障几率上升。

3 加气设备（加气机）的容量确定方法

加气站主要设备容量的匹配确定，应遵循以下步骤与原则：首先根据众多加气站的运行数据，分析加气站的加气规律，合理确定加气机的容量配置；其次根据加气规律，按照与加气机容量相匹配的原则，结合运行要素确定压缩机容量配置；最后，储气设施容量应与加气规律、运行要素相结合，并与加气机、压缩机容量相匹配。

加气机容量的确定，一是确定台数，二是标准型（一般流量范围 $2\text{m}^3/\text{min} \sim 30\text{m}^3/\text{min}$ ）与大流量型（一般流量范围为 $2\text{m}^3/\text{min} \sim 40\text{m}^3/\text{min}$ ）的选择。同时，作为向车用气瓶充气的终端设备，对加气机的运行数据进行统计分析，能够得出一些规律性参数，可为加气、压缩、储气设备容量的确定提供基础参考依据。

3.1 加气机台数确定

日加气能力 $2.0\text{万m}^3/\text{d}$ 的加气站，采用4台双枪加气机，实践证明是完全能够满足加气需求的。加气机台数增加，可以在高峰时段减少排队时间，但对加气站系统整体影响有：为与加气能力相匹配，压缩机等设备容量应相应增加，以避免加气速度减缓、加不满气等现象；加气区占地面积及罩棚等设施造价相应增加。故应结合实际加气规模、加气规律、工程造价等因素确定是否有必要增加加气机台数。

3.2 加气规律与加气机运行数据统计分析

表1中漯河金江路站与三门峡站东路段等加气站，历史最高加气规模都曾达到 $2.0\text{万m}^3/\text{d}$ 左右，最大高峰小时加气量 $1\ 400\text{m}^3/\text{h}$ 左右；随着当地加气站增多，单个CNG加气站加气规模会有所下降。对多个加气站加气机主要运行数据进行统计，规律性数据见表2。

(1) 平均车次加气量。每车次加气量主要是由车用气瓶容积及初始压力所决定。出租车与私家车采用单

瓶且气瓶较小，多为 $70\text{L} \sim 100\text{L}$ 之间，平均每车次加气量（ $12.5\text{m}^3 \sim 13.5\text{m}^3$ ）变化幅度相对不大；公交车的气瓶数量不一且总容积较大，如三门峡站东路段的公交车辆气瓶总容积在 $300\text{L} \sim 900\text{L}$ 之间，型号较多。公交车一般1天加1次气，不进行中途补气，加气量较大，且由于气瓶容积不同，加气量大小差异明显。

(2) 平均加气速率（加气流量）。加气机多采用三级取气制度，加气流量具有明显的三阶段、每一阶段流量由大到小的特征^[4]。加气流量大小，主要是由不同级别的储气设施压力与储气量、直充时压缩机排气压力与压缩机排量、工艺管道压力损失、车用气瓶的初始压力与容积大小、加气机各压力级截止流量参数设定（参数可设置）等诸多因素共同决定的。从表2可见，在其他情况相同时，平均加气速率变化不大，且与加气机标定的流量范围（ $2\text{m}^3/\text{min} \sim 30\text{m}^3/\text{min}$ 、 $2\text{m}^3/\text{min} \sim 40\text{m}^3/\text{min}$ ）相比，处于较低的流量状态。

(3) 加气时间。加气时间包括净加气时间及加气前后安检、插拔枪等辅助时间。辅助时间基本上为 $1.5\text{min} \sim 2.0\text{min}$ 。净加气时间主要根据加气量与加气速率决定，由于加气速率基本上变化不大，则其主要与加气量有关。表2中公交车的加气时间明显大于出租车等小型车辆的加气时间。

3.3 标准型与大流量型加气机的选定

标准型与大流量型加气机标定的流量上限相差 $10\text{m}^3/\text{min}$ ，但实际影响加气流量的因素较多，不能单以加气机的最大额定流量来判定加气机的实际加气能力。济源南环路站具有标准型与大流量型加气机同时运行，对该站的加气机单枪平均加气速率进行统计，具有一定的比照意义，见表3。

表3 标准型与大流量型加气机单枪平均加气速率对比

加气站	标准型加气机加气枪流量 (m^3/min)	大流量型加气机加气枪流量 (m^3/min)
济源南环路站	5.46	5.63

表2 加气机运行数据统计

加气车辆	平均车次加气量 (m^3)	单枪加气平均流量 (m^3/min)	平均车次净加气时间 (min)	平均车次辅助加气时间 (min)	车用气瓶总容积 (L)	备注
小型车	12.5~13.5	5.0~5.4	2.5	1.5~2.0	70~100	出租车与私家车
公交车	74	5.45	13.5	1.5~2.0	300~900	三门峡站东路段

由表3可见二者实际上相差并不大。本文建议,结合造价因素,若单纯为公交车等加气量较大车辆加气的加气机,可采用大流量型以缩短加气时间,以小型车辆为主的加气站无必要采用大流量型加气机。

4 生产设备(压缩机)容量的匹配确定

压缩机容量确定,主要包含确定压缩机总计最大容量、单台容量、台数、是否需要设置备机等内容,应结合加气规律与运行因素,做到与加气设备容量相匹配。

4.1 实际所需压缩机总计容量

实际所需压缩机总计容量,应能满足加气站高峰小时加气量要求,并有一定富余容量。以下由统计情况与理论计算分述高峰小时加气量大小。

统计表明,日加气量 $1.5\text{万m}^3\sim 2.0\text{万m}^3$ 的加气站,高峰小时加气量一般不超过 $1\ 400\text{m}^3/\text{h}$ 左右;日加气量 1.5万m^3 以下的加气站,高峰小时加气量一般不超过 $1\ 200\text{m}^3/\text{h}$ 左右;

选取比较有规律性的出租车等小型车加气规律进行理论计算。设计能力 $2\text{万m}^3/\text{d}$ 的加气站,4台双枪加气机,计算出理论最大小时加气量:

$$Q_i^{\max} = \frac{60}{t_{pj}} \times m \times Q_{pj}$$

式中, Q_i^{\max} —理论最大小时加气量, m^3/h ; t_{pj} —平均每车次加气时间(净加气时间+辅助加气时间), min ; m —加气枪数量,8; Q_{pj} —平均每车次加气量, m^3 ;

理论计算结果最大小时加气量为 $1\ 440\text{m}^3/\text{h}\sim 1\ 500\text{m}^3/\text{h}$,略高于实际最大小时加气量($1\ 400\text{m}^3/\text{h}$ 左右)。

因此本文建议,设计能力 $2\text{万m}^3/\text{d}$ 的加气站,当地加气规律高峰小时加气量较高,压缩机配置能力宜为 $1\ 400\text{m}^3/\text{h}\sim 1\ 600\text{m}^3/\text{h}$;当地加气规律高峰小时加气量相对不高,则加压缩机配置能力宜为 $1\ 200\text{m}^3/\text{h}\sim 1\ 400\text{m}^3/\text{h}$,且压缩机总计容量配置不宜过大。

4.2 压缩机单台容量、台数及备机问题

(1) 压缩机宜选用同一型号、同一容量^[5]。相对于不同型号压缩机混装,选用同一型号压缩机,更利于运行管理、维修和配件供应。若压缩机采用排量相差较大的不同型号,则不同排量的压缩机只能在相对固定的时间段运行,降低了设备的相互替换性。压

缩机的选择切忌混装不同型号,尤其是不同制造厂家的压缩机。

(2) 压缩机台数及单台容量确定。加气站的小时加气量具有较大的波动,压缩机生产宜随加气负荷变化具有一定的调度可能性,单台压缩机生产调度性较差,故不宜采用单台大流量加气机。采用2台生产能力相等的压缩机是较合理的选择,加气高峰时段2台同时开启,其他时段则轮流单台运行。因此,设计能力 $2\text{万m}^3/\text{d}$ 的加气站,宜配置2台相同排量压缩机,单机排量宜选择 $600\text{m}^3/\text{h}\sim 700\text{m}^3/\text{h}$ 或 $700\text{m}^3/\text{h}\sim 800\text{m}^3/\text{h}$ 。

(3) 合理看待“备机”。备机是为避免生产中断而采取保险措施。习惯中将3台压缩机中的1台称之为“备机”,但备机也参与运行,3台轮流交替开机,但运行中一般并没有3台同时运行的情况。结合运行经验,2台压缩机即可满足加气需求。在某台压缩机检修时,另外一台压缩机正常运行即可保证不中断对外加气,同时可提前开启压缩机将储气设施充满,在高峰时段采用压缩机与储气设施共同供气的方式,以缓解压缩机排量不足。因此,一般情况下加气站不需要额外配置备机,2台即可满足运行需要。

5 储存设备(储气设施)容量的匹配确定

确定储气设施容积应必须考虑的运行要素,主要有:

(1) 应明确储气设施设置的目的,首要是为避免压缩机频繁启停,延长单次运行时间^[3];其次是补充加气高峰时段压缩机生产能力不足,以及节省一定电费。

(2) 应考虑加气站运行特点:小时加气量具有2次~3次日高峰的周期性规律;压缩机周期性启停,储气设施周期性充放;储气设施充放次数应与加气周期性高峰、压缩机的运行相结合,宜为2次/d~3次/d。

(3) 应结合储气设施运行具体要求。以储气井为例,根据《高压气地下储气井》(SY/T6535-2002),储气井判废使用年限为25年,储循环疲劳次数不低于25 000次。基于判废年限内合理利用设备,并避免疲劳次数过大,储气井合理的单日充放次数: $n=25\ 000/(25 \times 365)=2.74$,即2次/d~3次/d,与(2)中加气站运行特点相吻合。

储气设施容量，主要是确定储气设施的设置参数与总容积，应与加气规律、运行要素相结合，并与加气机、压缩机容量相匹配。

其一，储气设施分组与各级压力参数设定。兼顾储气设施的容积利用率与快充加气的要求，合理的三级储气最高运行压力宜设置为24MPa~25MPa，各组最低压力与几何容积比值^[2]见表4：

表4 三级储气分级常用参数

项目	低压组	中压组	高压组
最低运行压力 (MPa)	12.0	18.0	22.0
几何容积比值	2.5~3.0	1.5~2.0	1.0

其二，储气设施总容积的确定。以运行模拟计算为基础，以压缩机开机次数、储气设施充放次数、设备造价等方面比选为依据，综合确定储气设施总容积的方法，并以漯河新建设计能力2.0万m³/d的常规加气站为例，12m³、14m³、15m³、18m³、24m³不同规格的储气井进行运行模拟计算，结果如下：

表5 漯河新建加气站不同储气井方案参数对比

	12m ³	14m ³	15m ³	18m ³	24m ³
压缩机开机台次	9	7	6	6	6
储气井充放次数	5	4	3	3	3
储气井造价 (万元)	72	84	90	108	144
最大可用储气量	1 110	1 295	1 387.5	1 665	2 220

可见储气设施方案小于15m³时，压缩机开机次数与储气井疲劳次数均增加明显；储气设施方案大于15m³时，压缩机开机台次、储气井疲劳次数均无明显变化；但储气井方案过大则成本上升较多。根据不同方案对比，结合造价因素并取一定的余量，推荐采用16m³~18m³的储气井方案。

作者对不同实际加气规模的加气站进行生产模拟计算，得出一般性结论：设计能力2.0万m³/d、配置4台双枪加气机的加气站，当压缩机总排量1 400m³/h~1 600m³/h时，宜采用16m³~18m³的储气设施容积；压缩机总排量1 200m³/h~1 400m³/h时，宜采用12m³左右的储气设施容积；当计算基础资料不够完善时，此结论可供参考。

6 结论与建议

设计能力2.0万m³/d的加气站，一般较合理的主要工艺设备容量配置可参考表6。专为公交车加气的加气机可选择大流量型，储气设施分组及参数设置可参考表4。

表6 设计能力2.0万m³/d的加气站
主要工艺设备容量配置参考

项目	加气机容量配置 (m ³ /min × 台)	压缩机容量配置 (m ³ /h × 台)	储气设施总容积 (m ³)
高峰小时加气量较高	30 × 4	600~700 × 2	12
高峰小时加气量一般	30 × 4	700~800 × 2	16~18

当实际情况与本文描述情况相差较大时，可结合具体工程特点，按照设备容量相互匹配的原则，根据实际条件，合理、灵活的确定主要设备的容量。

参考文献

- 1 中国石化工程建设公司. GB 50156—2012 (2014年版) 汽车加油加气站设计与施工规范[S]. 2014年版, 北京: 中国计划出版社, 2014: 4-5
- 2 严铭卿等. 燃气工程设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 520-521
- 3 高其烈. 关于CNG压缩机与关联装备之浅见[J]. 通用机械, 2005; 4(23): 23-25
- 4 郁永章等. 天然气汽车加气站设备与运行[M]. 北京: 北京中国石化出版社, 2006: 40
- 5 高其烈. CNG压缩机的选型与设计导则20条[J]. 压缩机技术, 2000; 1(159): 3-11

主办：中国城市燃气协会信息委 咨询电话：010-62032933



燃气
资讯

为促进会员单位信息的交流和发展服务