

第13章 乙炔的性质与设备



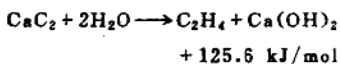
乙炔在常温常压下为无色气体。用电石制取的工业乙炔因含有磷化氢、硫化氢等杂质而具有特殊的臭味。在机械工业中，乙炔用来进行金属的焊接、切割和火焰加工等。由于溶解乙炔较移动式发生器具有节省能源，减少污染，安全可靠，使用方便等优点，近年来，在国内获得了巨大的发展。本章主要是介绍生产溶解乙炔的流程和设备。

第1节 乙炔的基本性质

(一) 乙炔的发生

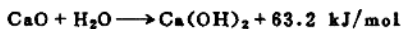
1. 生产乙炔的方法

工业生产乙炔的方法很多，有电石法、甲烷裂解法、烃类裂解法等。在溶解乙炔生产中常用电石法。该方法用电石与水作用，生成乙炔和熟石灰，其化学反应式如下：



理论上分解 1 kg 纯电石，需耗水 0.562 kg，生成 0.406 kg 乙炔和 1.156 kg 氢氧化钙，同时放出 1987.5 kJ 热量。

工业电石由于含有大量的氧化钙，在与水作用时，生成氢氧化钙，其化学反应式如下：



理论上分解 1 kg 氧化钙，需耗水 0.322 kg，生成 1.32 kg 氢氧化钙，并发出 1129.7 kJ 热量。

在实际生产中，生产 1 m³ 乙炔约耗电石 4.5 kg，水 45 kg，排渣量 9.9 kg。

2. 溶解乙炔的质量标准

溶解乙炔的质量应符合表 13-1-1 的规定。

3. 乙炔中的杂质

表 13-1-1 溶解乙炔质量标准

(GB6819—86)

指标名称	指 标
乙炔纯度(体积%)	≥98.0
磷化氢, 硫化氢	硝酸银试纸不变色或呈淡黄色

工业乙炔由于电石中的杂质含量和使用的发生器种类等因素不同，因此所含杂质也不同。工业乙炔中的杂质含量及来源示于表 13-1-2。

表 13-1-2 工业乙炔中的杂质

杂质名称	化学式	含 量 (体积%)	杂 质 来 源
磷化氢	PH ₃	0.03~1.8	磷化钙和磷化碳水解
硫化氢	H ₂ S	0.08~1.5	硫化铝和硫化钙水解
氨	NH ₃	0.02~2.9	亚硝酸钙、亚硝酸铝和氨氯化钙水解
硅化氢	H ₄ Si	0.8~2.1	硅酸钙水解
一氧化碳	CO	1.48~2.3	乙炔与水蒸气在高温下反应生成
氢	H ₂	0.07~0.27	乙炔与水蒸气在高温下反应生成
磷化氢	H ₃ As	<0.002	磷化物被水分解时生成
甲烷	CH ₄	0.03~0.5	碳化物被水分解时生成
空气		0.5~1.5	装电石时渗入和水中溶解时带入
二氧化碳	CO ₂	0.02~0.03	水中溶解时带入
水蒸气①	H ₂ O	相对湿度 80~90%	发生乙炔时被乙炔气饱和

① 乙炔气体中的水蒸气含量，随着温度的不同而变化，乙炔中饱和水蒸气含量与温度的关系见表 13-1-3。

表13-1-3 乙炔中饱和水蒸气含量与温度的关系

温度 (°C)	水蒸气含量		温度 (°C)	水蒸气含量	
	体积%	g/m ³		体积%	g/m ³
5	0.86	6.8	45	9.4	65.0
10	1.21	9.4	50	12.1	82.3
15	1.67	12.8	55	14.5	103.6
20	2.29	17.2	60	19.6	129.3
25	3.10	22.9	65	24.5	160.0
30	4.15	30.1	70	30.7	196.6
35	5.50	39.3	75	38.0	240.0
40	7.22	50.8	80	47.1	290.7

(二) 乙炔的性质

1. 乙炔的物理性质

(1) 一般性质

分子式	C ₂ H ₂
分子量	26.038
比气体常数	32.56kg·m/(kg·K)
密度	1.1767kg/m ³
临界温度	308.35K
临界密度	0.23kg/m ³
临界压力	6.25MPa
熔点	191.65K
凝固点	189.55K
比潜热	828.4kJ/kg (0.1013MPa)
定压比热容	1.683kJ/kg(273.15K、 0.1013MPa)
定容比热容	1.352kJ/kg(273.15K、 0.1013MPa)
热导率(导热系数)	0.0183W/m·K (273.15K、0.1013MPa)
动力粘度	9.172Pa·s(273.15K、 0.1013MPa)

(2) 溶解度

1) 乙炔对某些液体的溶解度

乙炔对某些液体的溶解度示于表13-1-4。

2) 乙炔在水中的溶解度

乙炔在水中的溶解度列于表13-1-5。

3) 乙炔在丙酮中的溶解度

在0.1013MPa下乙炔在丙酮中的溶解度列于表

表13-1-4 乙炔对某些液体的溶解度

液体名称	溶解度 (L/L溶剂)	液体名称	溶解度 (L/L溶剂)
氯化钠饱和液	0.6	汽油	5.70
氢氧化钙饱和液	0.75	酒精	6.00
水	1.15	醋酸	6.00
四氯化碳	2.00	工业醋酸甲酯	14.80
苯	4.0	丙酮	23.00
		二甲基甲酰胺(DMF)	49.5

注：本表所列为在288.15K、0.1013MPa条件下的溶解度。

表13-1-5 乙炔在水中的溶解度

温度 (°C)	溶解度 (L乙炔/L水)	温度 (°C)	溶解度 (L乙炔/L水)	温度 (°C)	溶解度 (L乙炔/L水)
0	1.73	10	1.31	26	0.91
1	1.68	12	1.24	28	0.87
2	1.63	14	1.18	30	0.84
3	1.58	15	1.15	40	0.65
4	1.53	16	1.13	50	0.50
5	1.49	18	1.08	60	0.37
6	1.45	20	1.03	70	0.25
7	1.41	22	0.99	80	0.15
8	1.37	24	0.95	90	0.05
9	1.34	25	0.93		

注：本表所列均换算成273.15K和0.1013MPa下体积。

表13-1-6 乙炔在丙酮中的溶解度
(0.1013MPa)

温度 (°C)	溶解度 (L乙炔/L丙酮)	温度 (°C)	溶解度 (L乙炔/L丙酮)	温度 (°C)	溶解度 (L乙炔/L丙酮)
-20	52	5	29	30	16
-15	47	10	26	35	14.5
-10	42	15	23	40	13
-5	37	20	20		
0	33	25	18		

表13-1-7 乙炔在丙酮中的溶解度 (g/kg)

温度 (°C)	总 压 (×0.1013MPa) (绝对压)								
	1	2	3	5	10	15	20	25	30
0	58.0	109.5	158	241	526	912			
5	48.7	95.3	137	208	447	754	1157		
10	41.1	83.0	122	182	384	636	958		
15	34.0	72.0	107.2	161	335	546	811	1146	
20	27.9	62.4	94.2	142.3	293	472	689	960	1297
25	22.4	53.5	82.2	126.6	259	413	597	822	1099
30	17.9	45.7	72.1	113.0	230	364	521	710	940
40	10.4	33.0	54.0	92.5	185	289	408	546	709
50		22.7	41.2	75.2	150.5	234	327	432	554

注：表列数值为1kg丙酮溶解乙炔的重量(g)。

乙炔在不同压力和温度下在丙酮中的溶解度列于表13-1-7和表13-1-8。

表13-1-8 乙炔在丙酮中的溶解度 (g/L)

温度 (°C)	丙酮 (g/mL)	总压 ($\times 0.1013\text{MPa}$) (绝对压)																			
		1	2	3	5	10	15	20	22	22	30										
0	0.8130	44.3	78.3	105.6	146	238	308														
5	(0.8073)	37.3	68.7	93.7	129	215	282	334													
10	(0.8016)	31.5	60.1	83.7	115.4	194	257	308													
15	0.7958	26.0	52.3	74.2	103.7	176	235	284	327												
20	(0.7899)	21.4	45.6	65.6	92.7	159	214	260	306	340											
25	0.7840	17.1	39.2	57.6	83.4	144	195	239	277	310											
30	(0.7782)	13.7	33.6	50.8	75.2	132	180	221	259	291											
40	0.7665	7.9	24.2	38.4	62.1	110	152	190	224	255											
50	0.7555		16.6	29.3	50.9	92	129	162	193	221											

注：表列数值为 1L 丙酮溶解乙炔的重量 (g)。

4) 乙炔在DMF中的溶解度

二甲基甲酰胺 (DMF) 是一种有机物，在常温常压下是液体。乙炔在DMF中的溶解度列于表13-1-9。

表13-1-9 乙炔在DMF中的溶解度 (g/kg)

c t	p	0.1	0.2	0.5	1	5	10	15	20	25	30
		-60	106	164	281	444					
-40	49	84	153	238							
-20	22	40	83	138							
0	9.4	18.7	43.2	77.3	258	521	736				
5	7.9	15.6	36.4	66.6	224	447	649				
10	6.5	12.9	30.9	57.3	196	391	582	728			
15	5.5	10.9	26.9	49.5	173	341	509	653	742		
20	4.7	9.2	22.4	42.7	154	301	452	593	702		
25	4.0	7.8	19.2	37.2	138	269	404	536	654	739	
30	3.3	6.6	16.5	32.3	125	241	362	485	602	701	
40	5.2	5.0	12.3	24.4	103	197	295	398	504	607	
50	1.9	3.8	9.5	18.8	86	164	245	331	42	514	
60					74	138	208	281	359	442	

注：表列数值为 1kg DMF 溶解乙炔的重量 (g)。

p—乙炔分压 ($\times 0.1013\text{MPa}$)；c—溶解度；

t—温度 (°C)。

(3) 密度 乙炔的密度随温度和压力的不同而变化。表13-1-10是乙炔气体在不同压力和不同温度下的密度。

表13-1-10 乙炔气体的密度 (kg/m^3)

温度 (°C)	压力 ($\times 0.1013\text{MPa}$)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
0	0.583	1.171	1.765	2.363
10	0.562	1.129	1.700	2.275
15	0.552	1.108	1.669	2.233
20	0.542	1.089	1.639	2.191
30	0.525	1.052	1.583	2.118
40	0.508	1.018	1.531	2.047

(4) 重度 乙炔的重度和温度的关系列于表13-1-11。

表13-1-11 乙炔重度和温度的关系

温度 (°C)	重 度 (10N/m^3)	温度 (°C)	重 度 (10N/m^3)
-20	1.263	15	1.110
-15	1.239	20	1.091
-10	1.215	25	1.073
-5	1.193	30	1.055
0	1.171	35	1.039
5	1.150	40	1.022
10	1.131		

注：表列为在 0.1013MPa 条件下的数值。

(5) 乙炔产生水合晶体的条件 乙炔和水接触时，在温度较低条件下，能够生成固态雪片状水合物 ($\text{C}_2\text{H}_2 \cdot 5.75\text{H}_2\text{O}$)。该水合物有时能够堵塞管道，其平衡态由温度和压力所决定，其平衡关系列于表13-1-12。

表13-1-12 乙炔水合晶体在平衡状态时的温度和压力关系

温度 (°C)	0	4.7	7	10	15	16以上
压力 ($\times 0.1013\text{MPa}$)	4.75	8.4	11	15.4	32.0	不生成晶体

(6) 乙炔液化的平衡条件 乙炔气、液平衡的条件列于表13-1-13。

表13-1-13 乙炔气、液平衡条件

温度 (°C)	-81.7	-70	-60	-50	-40	-30	-20
压力 (MPa)	0.118	0.216	0.341	0.520	0.755	1.069	1.462
温度 (°C)	-10	0	10	20	30	40	
压力 (MPa)	1.962	2.580	3.326	4.228	5.307	6.043	

表13-1-14 乙炔定压摩尔热容

(J/mol·K)

温 度 (K)	压 力 (×0.1013MPa)							
	0.1	0.5	1	2	5	10	20	40
180	35.12	35.88	36.85					
200	36.86	37.39	38.10	38.60				
220	38.39	38.82	39.36	40.40	44.42			
240	39.86	40.20	42.61	41.36	44.13	50.83		
260	41.28	41.58	41.83	42.41	44.47	48.86	68.25	
273.15	42.20	42.46	42.62	43.13	44.59	48.40	60.13	
280	42.67	42.87	43.28	43.54	45.09	48.28	57.91	
290	43.34	43.54	43.71	44.13	45.51	48.19	56.02	
300	43.96	44.17	44.34	44.72	45.93	48.28	54.60	
310	44.59	44.80	44.97	45.30	46.39	48.49	53.80	71.57
320	45.22	45.43	45.60	45.89	46.06	48.74	53.17	69.76

表13-1-15 乙炔定容摩尔热容

(J/mol·K)

温 度 (K)	压 力 (×0.1013MPa)								
	0.1	0.5	1.0	2.0	5.0	10	20	40	100
180	27.13	27.34	27.63						
200	28.63	28.80	29.02	29.48					
220	30.15	30.23	30.40	30.73	31.82				
240	31.57	31.65	31.78	32.03	32.83	34.38			
260	32.99	33.08	33.16	33.37	34.00	35.09	37.93		
273.15	33.96	34.04	34.08	34.25	34.79	35.72	37.93		
280	34.42	34.46	34.54	34.71	35.21	36.05	38.06		
290	35.13	35.17	35.25	35.38	35.84	36.59	38.31	43.71	
300	35.84	35.88	35.92	36.05	36.47	37.14	38.65	42.75	
310	36.55	36.59	36.64	36.76	37.10	38.11	39.02	42.41	42.12
320	37.22	37.26	37.35	37.43	37.72	38.31	39.48	42.33	61.93

(7) 热容 在一定压力或一定容积下,使温度上升1°C所需要的热量显著不同。表13-1-14与表13-1-15分别列出了乙炔定压摩尔热容和定容摩尔热容。

(8) 乙炔热导率 在0.1013MPa压力下,乙炔的热导率与温度的关系列于表13-1-16。

表13-1-16 乙炔热导率与温度的关系

温度(K)	200	220	240	260	273.15	280
热导率 (10 ³ W/m·K)	11.77	13.44	15.16	16.99	18.37	19.08
温度(K)	290	300	320	340	360	380
热导率 (10 ³ W/m·K)	20.17	21.25	23.43	26.18	28.18	30.69

2. 乙炔的化学性质

(1) 乙炔属于不饱和碳氢化合物(C₂H_{2n-2}),其结构式为H—C≡C—H,是吸热化合物。

(2) 乙炔具有弱酸性,它的酸性主要表现在两价氢原子能被金属所置换。

(3) 乙炔在70~80°C并加入催化剂时,能与水化合成乙醛。

(4) 乙炔与氯化氢在温度200°C时,在催化剂的作用下,会生成氯化乙烯。

(5) 乙炔与水蒸气在430~450°C温度下,按1:10的比例混合后,在催化剂的作用下,将生成丙酮。

(6) 乙炔在高温状态下加入催化剂,能与氢反应生成乙烯。

(7) 乙炔与醋酸作用时,可生成醋酸乙烯。

(8) 乙炔内掺入氯化铜和氯化氨,在温度

50℃时，将会生成乙烯乙炔。

(9) 乙炔与酒精在碱溶液中相互作用时，将会生成乙烯醚。

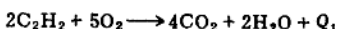
(10) 乙炔经高温分解后，可制得乙炔碳黑以及氢。

3. 乙炔的爆炸性质

乙炔的爆炸性质，是由于它的物理化学性质所决定的。乙炔爆炸有氧化、分解、化合三种原因。

(1) 氧化爆炸

1) 乙炔与空气或氧气混合达到一定容积比例，可形成爆炸性混合气体。遇明火或静电火花，会产生氧化爆炸。其反应方程式为



Q_1 在定压燃烧下：1m³乙炔约为58158kJ

1kg乙炔约为50208kJ

2) 乙炔在空气或氧气中的爆炸范围

混合气体中的乙炔含量，将会影响气体的爆炸性。乙炔在空气或氧气中的爆炸范围列表于13-17。

表13-1-17 乙炔在空气或氧气中的爆炸范围

项 目	单 位	在空气中	在氧气中
爆炸范围	体积%	2.3~100 (80.7)	2.8~100 (93)
最易爆炸范围	体积%	7~13	~30
着火温度	℃	305~470	297~306

注：()内数字系过去常用值。

3) 氧化爆炸时的焰波传播速度

随着混合气体的比例和爆炸初期压力的不同，其焰波传播速度发生变化，其关系分别列于表13-1-18和表13-1-19。

表13-1-18 混合气体比例与传播速度的关系

混合气体比例	传播速度 (m/s)	混合气体比例	传播速度 (m/s)
C ₂ H ₂ + 10O ₂	1850	2C ₂ H ₂ + O ₂	2160
C ₂ H ₂ + 6O ₂	1950	C ₂ H ₂ + 6N ₂ O	2400
C ₂ H ₂ + 4O ₂	2190	C ₂ H ₂ + 2N ₂ O	2580
C ₂ H ₂ + 3O ₂	2220	C ₂ H ₂ + 4NO	2800
C ₂ H ₂ + O ₂	2920	C ₂ H ₂ + 2NO	2850
3C ₂ H ₂ + 2O ₂	2510		

注：表列数据系在1m长，内径3.5mm管内实验所得。

表13-1-19 混合气体爆炸初期压力与传播速度的关系

初期压力 (0.1013MPa)	5	10	12	15	20	30
传播速度 (m/s)	1050	1100	1280	1320	1500	1600

4) 氧化爆炸压力与乙炔浓度的关系

氧化爆炸达到的压力与乙炔浓度有关，现将其关系列表于表13-1-20。

表13-1-20 氧化爆炸压力与乙炔浓度的关系

乙炔浓度 (体积%)	5	7	8	10	12	13
最高压力 0.1013MPa	5.6	8.5	9.4	10.1	10.4	10.5

乙炔浓度 (体积%)	14	15	16	20	25
最高压力 0.1013MPa	10.3	10.1	9.7	7.9	7.0

注：表列数据系在10L密闭容器内测得。

氧化爆炸所产生的最大爆炸压力约为初始的绝对压力的11~13倍。

5) 发火源及最小发火能量值

产生爆炸必须具有发火源及发火能量。

① 发火源的种类和强弱不同，爆炸也不尽相同，发火源的种类及其外部表现形式列表于表13-1-21。

表13-1-21 各种发火源

能的形式	发火源种类
机械能	撞击，摩擦，绝热压缩，冲击波
热能	表面加热，火焰，高温气体，辐射热
电能	电火花，电弧，电晕放电，静电
光学能	紫外线，红外线
化学能	触媒，本身发热（分解、氧化、聚合）

② 最小发火能

各种爆炸混合物都有一个最小的发火能，或谓最低引爆能。表13-1-22列出了部分气体的最小发火能。

从表13-1-22中可以看出，乙炔的最小发火能约为一般易燃气体的十分之一。按最小发火能可分

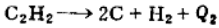
表13-1-22 部分气体氧化爆炸的最小发火能

名称	浓度 (%)	最小发火能 (mJ)	名称	浓度 (%)	最小发火能 (mJ)
二硫化碳	6.52	0.015	甲醇	12.24	0.215
氢	29.2	0.019	甲烷	8.5	0.28
乙炔	7.73	0.0013*	丙烯	4.44	0.282
		0.02	乙烷	4.02	0.031
乙烯	6.52	0.0003*	苯	2.71	0.031*
		0.016			0.55
		0.001			
环氧乙烷	7.72	0.105	氨	21.8	0.77
丁二烷		0.17	丙酮	4.87	1.15

注：带*者为可燃气体蒸汽与氧气混合时的最低发火能，其余为空气混合物的最低发火能。

为四级，乙炔为四级，是最易发火爆炸的。

(2) 分解爆炸 分解爆炸的反应式



Q_2 在定压燃烧下： $1m^3$ 乙炔为10041kJ；

1kg乙炔为8577kJ。

乙炔的分解爆炸首先取决于它在瞬间的压力和温度。同时，也取决于它所含有的杂质、水分、有无触媒剂、发火源的种类、形状、散热条件等。

1) 乙炔温度对分解爆炸的影响

当温度在400℃，或当有催化剂存在，温度在200~300℃时，乙炔开始聚合，聚合过程是放热过程，会进一步促进乙炔的聚合，从而使过程增强和加快，当温度达到乙炔分解爆炸的温度时，尚未聚合的乙炔会发生分解爆炸。图13-1-1示出乙炔聚合

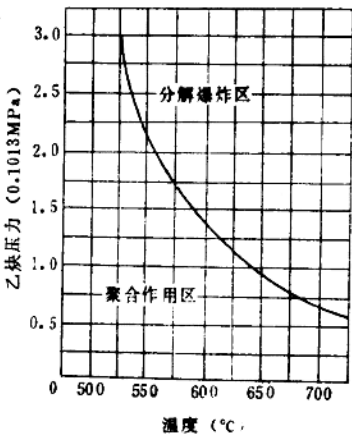


图13-1-1 乙炔聚合、分解爆炸的温度与压力的关系

作用和分解爆炸的范围。乙炔温度对分解爆炸的影响列于表13-1-23。

表13-1-23 乙炔温度对分解爆炸的影响

温度 (°C)	乙炔的爆炸最低压力 ($\times 0.1013MPa$)	
	I	II
15	1.4	1.60 (1.45)
50	—	1.48 (1.40)
100	1.25	1.33
140	—	1.10
150	1.13	—
160	1.06	—

注：I项为Boesber测定；II项为Rimarski测定。

2) 乙炔内含水对分解爆炸的影响

乙炔分解爆炸的能力，随着乙炔内含水量（湿度）的增高而降低，且乙炔爆炸的最低压力，随着湿度的增高而提高，因此当水蒸气和乙炔的体积比达到1:1.15时，就不会引起爆炸了。但其中若含有氧化铜之类的物质，起触媒作用，加速反应过程，反而容易促使乙炔产生爆炸。乙炔同水混合时，乙炔最低分解压力和温度的关系见图13-1-2。

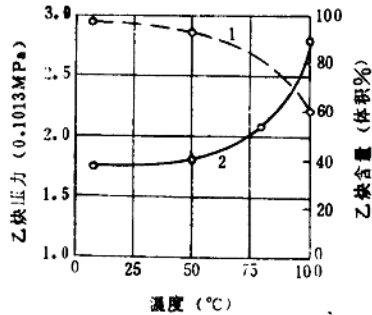


图13-1-2 同水混合时乙炔最低分解压力与温度的关系

1—乙炔含量 2—最低分解压力

3) 容器的形状对分解爆炸的影响

乙炔容器的形状也影响其分解爆炸，Rimarski曾在30m长的管内，以水平放置的三根0.15mm的铂丝，通过15A的电流点火，测得的管径对分解爆炸的影响列于表13-1-24。

4) 各种催化剂对乙炔分解爆炸的影响

当压力为3.92MPa，流速为4.3L/min，乙炔与发热的小铁管表面接触，不同催化剂对乙炔分解爆炸的影响见表13-1-25。

表13-1-24 管径对乙炔分解爆炸的影响

管径(mm)	有 无 爆 炸
50	乙炔压力在202.63kPa压力下时, 没有爆炸 乙炔压力处于141.85~162.12kPa时, 产生爆炸
100	
200	
300	
400	
430	乙炔压力在131.72kPa时, 没有爆炸
450	

表13-1-25 不同催化剂对乙炔分解爆炸的影响

触媒剂名称	乙炔初温(°C)	可能分解爆炸的最低温度(°C)
铁屑	12	520
黄铜屑	17	500~520
电石	15	500
氧化铝	20	490
铜屑	15	460
活性炭	20	400
铁锈(氢氧化铁)	12	280~300
氧化铁	5	280
氧化铜	17	240

5) 乙炔中掺入与它不起反应的气体对爆炸的影响。

在乙炔中掺入与它不起反应的气体, 如氮气、二氧化碳等, 能降低乙炔的爆炸性, 且降低爆炸所产生的压力, 防止着火。表13-1-26列出了用氮气稀释乙炔的爆炸最高压力。

表13-1-26 在5.88MPa时乙炔掺入氮气对爆炸的影响

氮气混合比(%)	最高压力(表压) (0.098MPa)
0	63
10	62
20	59
30	54
47	50
48	44
49	不产生分解爆炸

6) 乙炔分解爆炸初压与诱导距离的关系

当管径一定时, 分解爆炸的诱导距离仅与压力有关。压力越高, 诱导距离越短。表13-1-27列出了初压与诱导距离的关系。

表13-1-27 乙炔在直径2.5mm管中爆炸诱导距离

初 压 (0.098MPa)	3.5	3.8	5.0	20.0
距离(m)	9.1	6.7	3.7	0.9~1.0

7) 乙炔分解爆炸产生的压力

乙炔分解爆炸时, 产生的热量是0.226kJ/mol, 假定没有热损失, 温度可达到3100°C, 分解爆炸产生的压力为初压的9~10倍。

8) 乙炔分解爆炸的最小发火能

乙炔分解爆炸的最小发火能, 随初压的增高而急剧减少。纯乙炔分解爆炸压力与最小发火能的关系列表13-1-28。

表13-1-28 乙炔压力与最小发火能的关系

压力(0.098MPa)	最小发火能(mJ)
5	17
10	2.9
15	0.5
25	0.2

(3) 化合爆炸

1) 乙炔与铜、银、汞等金属长期接触, 能生成爆炸性的金属乙炔化合物。

2) 乙炔与铜盐、银盐及汞盐的水溶液相互作用时, 能生成各种具有爆炸性的金属乙炔沉淀物。

3) 乙炔与氯混合时, 在日光作用下, 就能爆炸, 并发出强烈的光亮。

4) 乙炔与苛性钠反应后, 也能形成爆炸性物质。

5) 乙炔与次氯酸盐化合也会发生燃烧和爆炸。

第2节 乙炔站常用的原材料

(一) 电石

(1) 电石是一种碳和钙的化合物, 化学名称为碳化钙, 商品名为电石。分子式为 CaC_2 , 结构式为 $\text{Ca} \begin{array}{c} \text{C} \\ ||| \\ \text{C} \end{array}$, 分子量为64.1。

(2) 纯净的碳化钙是无色的透明晶体。工业

用碳化钙按其纯度不同，外观呈灰色、紫色、淡褐色及兰黑色。

(3) 工业电石的重量与碳化钙含量的关系列于表13-2-1。

表13-2-1 工业电石的重量

碳化钙 (%)	100	90	80	75	70	65	60	55
重量 (10 ⁴ N/m ³)	2.16	2.24	2.32	2.37	2.41	2.45	2.49	2.53

(4) 电石中除主要成分碳化钙以外，其余均为杂质。工业电石的成分列于表13-2-2。

表13-2-2 工业电石的成分

成分	化学符号	含量 (%)	
碳化钙	CaC ₂	85.3	77.84
氧化钙	CaO	9.5	16.92
二氧化硅	SiO ₂	2.10	2.65
氧化铁和氧化铝	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	1.45	2.00
氧化镁	MgO	0.35	0.06
碳	C	1.20	0.43
硫	S	微量	0.08
磷	P	微量	0.02

注：工业电石中尚含有Ca₃P₂、Ca(CN)₂、CaS、FeSi等。

(5) 电石的质量标准列于表13-2-3。

表13-2-3 电石的质量标准
(HG2-737-75)

指标名称	一级品	二级品	三级品	四级品
发气量 (L/kg) ≥	300	285	26E	235
乙炔中磷化氢 (PH ₃) 含量 (体积%) ≤	0.08	0.08	0.08	0.08
乙炔中硫化氢 (H ₂ S) 含量 (体积%) ≤	0.15	0.15	0.15	0.15

注：发气量指 1kg电石与水作用，在20℃和0.098MPa压力下所产生的干乙炔体积。

(6) 电石粒度列于表13-2-4。

表13-2-4 电石粒度分类

粒度 (mm)	限度内粒度 (%)	1毫米筛下物 (%)
50以下	95以上	≤7
50~120	85以上	≤3
200以下	100	≤3

(7) 电石粒度与分解时间的关系列于表13-2-5。

表13-2-5 电石粒度与分解时间的关系

电石粒度 (mm)	发气量 (L/kg)	电石:水 (kg/kg*)	分解时间 (min)				
			15℃	27.5℃	40℃	60℃	80℃
2~8	232.6	1:10	6.5	5.5	2.5	2	—
		1:8	5.5	5	2	—	—
8~15	247	1:10	10	6.5	3.5	2.5~3	2
		1:8	7.5	5.5	3	2.5	2
		1:6	4.5	4	2.5	2	2
15~25	251	1:10	14.5	8	4.5	3~3.5	2~2.2
		1:8	12	6.5	4.5	3.5	2
		1:6	6	4.5	3.5	3	2
25~50	258.4	1:10	20	10	5.5	4~4.5	3
		1:8	12	8	4.5	3.5	2
		1:6	6.5	5.5	4	3	2
50~90	268.4	1:10	32	13	7.5	6	4.5
		1:8	24	10.5	6.5	5	4

(8) 电石中碳化钙含量与发气量之间的关系列于表13-2-6和表13-2-7。

表13-2-6 电石中碳化钙含量与发气量关系

发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)	发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)
220	57.73	243	63.77
221	57.99	244	64.03
222	58.25	245	64.29
223	58.52	246	64.55
224	58.78	247	64.82
225	59.04	248	65.09
226	59.30	249	65.34
227	59.59	250	65.50
228	59.83	251	65.87
229	60.09	252	66.13
230	60.35	253	66.39
231	60.62	254	66.65
232	60.88	255	66.92
233	61.11	256	67.18
234	61.40	257	67.44
235	61.62	258	67.70
236	61.93	259	67.97
237	62.19	260	68.22
238	62.45	261	68.40
239	62.72	262	68.75
240	62.98	263	69.02
241	63.24	264	69.28
242	63.50	265	69.54

(续)

发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)	发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)
266	69.80	314	82.40
267	70.07	315	82.66
268	70.73	316	82.93
269	70.59	317	83.19
270	70.85	318	83.45
271	71.12	319	83.71
272	71.33	320	83.98
273	71.64	321	84.24
274	71.90	322	84.50
275	72.17	323	84.76
276	72.43	324	85.03
277	72.69	325	85.29
278	72.95	326	85.55
279	73.22	327	85.81
280	73.48	328	86.08
281	73.74	329	86.34
282	74.00	330	86.60
283	74.27	331	86.86
284	74.53	332	87.13
285	74.79	333	87.39
286	75.05	334	87.69
287	75.32	335	87.91
288	75.28	336	88.18
289	75.84	337	88.44
290	76.10	338	88.70
291	76.37	339	88.96
292	76.63	340	89.23
293	76.69	341	89.49
294	77.15	342	89.75
295	77.42	343	90.01
296	77.68	344	90.28
297	77.94	345	90.54
298	78.20	346	90.80
299	78.46	347	91.09
300	78.73	348	91.33
301	78.99	349	91.59
302	79.25	350	91.74
303	79.51	351	92.11
304	79.78	352	92.38
305	80.04	353	92.64
306	80.30	354	92.90
307	80.56	355	93.16
308	80.83	356	93.43
309	81.09	357	93.68
310	81.35	358	93.95
311	81.61	359	94.21
312	81.88	360	94.48
313	82.14	361	94.74

(续)

发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)	发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)
362	95.00	372	97.63
363	95.26	373	97.90
364	95.53	374	98.16
365	95.79	375	98.42
366	96.05	376	98.68
367	96.31	377	98.95
368	96.58	378	99.21
369	96.84	379	99.47
370	97.11	380	99.83
371	97.37	381	100.00

注：在0.103MPa、20℃并计算水蒸气压力时。

表13-2-7 电石中碳化钙含量与发气量关系

发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)	发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)
220	59.11	251	67.44
221	59.38	252	67.71
222	59.65	253	67.98
223	59.92	254	68.25
224	60.18	255	68.52
225	60.45	256	68.79
226	60.72	257	69.06
227	60.99	258	69.33
228	61.25	259	69.60
229	61.52	260	69.86
230	61.79	261	70.12
231	62.06	262	70.39
232	62.33	263	70.66
233	62.60	264	70.93
234	62.87	265	71.20
235	63.14	266	71.46
236	63.40	267	71.73
237	63.67	268	72.00
238	63.94	269	72.27
239	64.21	270	72.54
240	64.48	271	72.81
241	64.75	272	73.08
242	65.02	273	73.35
243	65.29	274	73.62
244	65.56	275	73.89
245	65.83	276	74.15
246	66.10	277	74.42
247	66.37	278	74.69
248	66.64	279	74.96
249	66.91	280	75.23
250	67.17	281	75.50

(续)

发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)	发气量 (L/kg)	CaC ₂ (%)
282	75.77	328	88.12
283	76.03	329	88.39
284	76.30	330	88.66
285	76.57	331	88.93
286	76.84	332	89.20
287	77.11	333	89.47
288	77.37	334	89.74
289	77.64	335	90.00
290	77.91	336	90.27
291	78.18	337	90.54
292	78.45	338	90.81
293	78.72	339	91.18
294	78.98	340	91.35
295	79.25	341	91.62
296	79.52	342	91.89
297	79.79	343	92.15
298	80.06	344	92.42
299	80.33	345	92.69
300	80.60	346	92.96
301	80.87	347	93.23
302	81.14	348	93.49
303	81.41	349	93.76
304	81.68	350	94.03
305	81.95	351	94.30
306	82.21	352	94.57
307	82.48	353	94.84
308	82.75	354	95.11
309	83.02	355	95.38
310	83.29	356	95.64
311	83.56	357	95.91
312	83.83	358	96.18
313	84.01	359	96.45
314	84.37	360	96.72
315	84.63	361	96.99
316	84.90	362	97.26
317	85.17	363	97.52
318	85.44	364	97.79
319	85.71	365	98.06
320	85.97	366	98.33
321	86.24	367	98.60
322	86.51	368	98.87
323	86.78	369	99.14
324	87.05	370	99.41
325	87.32	371	99.68
326	87.58	372	99.94
327	87.85	372.1	100.00

注：在0.101MPa、20℃，不计算水蒸气压力时。

(二) 无水氯化钙

无水氯化钙分子式：CaCl₂；分子量110.99；
重度21.5N/L。常温常压下为白色或灰白色多孔
块状固体，易溶于水，在乙炔站，多用作低压或高
压干燥剂，由于其吸水后，成糊状，极难清理，有
些厂已不使用。其质量标准列于表13-2-8。

表13-2-8 无水氯化钙质量标准

名 称	指 标
CaCl ₂ % ≥	96
水 % ≤	3
镁及碱金属以 (Mg) 计 % ≤	1
铁 % ≤	0.004
水不溶物 % ≤	0.5

(三) 分子筛

分子筛是一种立方晶格的硅铝酸多水化物，具
有均匀的微孔结构，是良好的固体吸附剂。被其吸
附的气体分子，在一定条件下，可以解吸，故分子
筛可再生，反复使用。分子筛比表面积大(约800~
1000m²/g)，热稳定性好，700℃以下晶格不会被破
坏，且无味、无嗅、无毒、不腐蚀、不溶于水和有
机溶剂，但可溶于强碱。

工业上常用的分子筛有A型、Y型和X型等。
A型分子筛的规格列于表13-2-9。

表13-2-9 A型分子筛规格 (企业标准)

指标名称	4 A型		5 A型		
	粉末	球状 条状	粉末	球状 条状	球状 条状
粒 度 (mm)		φ 2-4 4-9		φ 2-4 4-9	φ 2-4 4-9
pH <	10.5	10.5	9.5	9.5	9.5
机械强度 (%)		80		80	
		90		90	
吸水	240	210	240	210	
指标名称	3 A	F-10型 (变色) 球状 条状	6 A型 球状 条状		
	球状 条状				
粒 度 (mm)	φ 2-4 4-9	φ 2-4 4-9		φ 2-4 4-9	
pH <					
机械强度 (%)	80				
	90				
吸水	170	200		200	

表13-2-11 氢氧化钠的质量标准
(GB209—63)

名 称	固 碱		液 碱	
	一级品	二级品	一级品	二级品
NaOH (%) ≥	96	95	42	30
Na ₂ CO ₃ (%) ≤	1.5	1.8	1	1
NaCl (%) ≤	2.8	3.3	2	5
Fe ₂ O ₃ (%) ≤	0.01	0.02	0.03	0.01
外 观	主体白色 可带浅色光泽			

(四) 硅胶

硅胶分子式为SiO₂·nH₂O，是一种透明或半透明、无光泽的、具有多微孔结构的颗粒，对水蒸气有强烈的吸附作用，是一种较为广泛应用的干燥剂。

(五) 无水三氯化铁

三氯化铁的分子式FeCl₃，重度28.98N/L，是一种带有绿色闪光紫黑色结晶，吸湿性较强，水溶液呈酸性，易腐蚀，是强氧化剂。在溶解乙炔生产中，多以硅藻土为载体，用来作为固体净化剂。

(六) 丙酮

分子式为C₃H₆O，分子量为58.08。外观为无色液体，有刺激性，有类似醚味和薄荷味。其质量标准见表13-2-10。

表13-2-10 丙酮质量标准 (工业用)
(GB6026—85)

指 标 名 称	指 标		
	一级品	二级品	三级品
色泽 (铂-钴) ≤	5	5	10
馏程：在标准状态下 (0°C, 0.1013MPa)，温度范围 (包括 56.1°C) (°C) ≤	0.7	1.3	2.0
蒸馏量 mL ≥	98		
外 观	透明液体		
蒸发后干燥残渣 (%) ≤	0.002	0.003	0.005
酸度 (以乙酸计) (%) ≤	0.002	0.003	0.005
高锰酸钾退色时间 25°C (min) ≥	60	30	15
含醇量 (%) ≤	0.30	0.40	0.60
含水量 ≤	0.30	0.40	0.60

(七) 氢氧化钠

分子式NaOH，分子量40.0，又名火碱、烧碱、苛性钠。纯品为无色透明晶体。重度21.3N/L熔点318.4°C，沸点1390°C。工业碱中，含少量NaCl和Na₂CO₃，吸水性强，易溶于水并放出热量，NaOH水溶液呈强碱性。易溶于乙醇和甘油中，但不溶于丙酮。腐蚀性强。氢氧化钠的质量标准列于表13-2-11。

(八) 硫酸

分子式H₂SO₄，分子量98.08。硫酸是一种无色透明的油状液体，室温下相对密度为1.82~1.84，沸点270°C，冰点10.4°C。可与水以任何比例混合，腐蚀性强，是强氧化剂。有强烈的吸水性，是良好的气体干燥剂。表13-2-12是硫酸的质量标准。

表13-2-12 硫酸的质量标准

H ₂ SO ₄ (%) ≥	92.5或98.0
烧灼残渣 (%) ≤	0.03
Fe (%) ≤	0.010
As (%) ≤	0.005
透明度 (mm) ≥	50
色度 (mL) ≤	2.0

(九) 次氯酸钠

分子式NaClO，分子量74.47，又称漂白粉。呈白色粉末，不稳定，工业品是微黄色液体。碱度2%~3%的溶液可储存10~15天。有腐蚀性，是强氧化剂。在溶解乙炔生产中被用作净化剂。

第3节 乙炔站的主要设备

(一) 乙炔生产工艺流程

机械工厂中多用电石法生产乙炔。按工艺流程，大致可以分为气态乙炔站、溶解乙炔站和混合乙炔站三种。按乙炔发生器生产的压力可以分为中压乙炔站和低压乙炔站。

1. 中压、气态乙炔站生产工艺流程

乙炔用量较大而用户又集中的工厂，通常采用中压固定式乙炔发生器生产气态乙炔，通过管道，将乙炔直接送到用户。它的工艺流程见图13-3-1。

流程特点：中压操作，中压贮存，没有机械设

备, 占地面积小, 多用于近用户, 维护简便。

2. 气态和溶解乙炔生产工艺流程

乙炔用量较大, 同时又有分散、较多的小用户的工厂, 一般采用混合乙炔站, 其工艺流程见图 13-3-2。

3. 几种典型的溶解乙炔生产工艺流程

(1) 低压发生、干法净化工艺流程 图13-3-3为中国空分设备公司RYQ-40成套溶解乙炔设备工艺流程图。该流程采用湿法发生干法净化, 具有高、低干燥器, 高、低压阻火器, 废油、水集中处理。

(2) 低压发生、湿法净化工艺流程

1) 低压发生、次氯酸钠净化工艺流程

图13-3-4为低压发生、次氯酸钠净化工艺流程

图, 生产规模为 $100\text{m}^3/\text{h}$ 。该流程采用水封式乙炔发生器, 次氯酸钠 (NaOCl) 净化, 三塔串联, 连续操作, 分子筛干燥, 无热再生, 三级阻火, 废油、水集中处理。

2) 低压发生、硫酸净化工艺流程

图13-3-5为低压发生、硫酸净化工艺流程图, 生产规模为 $20\sim 180\text{m}^3/\text{h}$ 。乙炔发生器分主、副发生器, 硫酸净化, 高压干燥采用分子筛变压吸附, 无热再生, 充灌过程丙酮自动补加, 冷冻快速充装, 电石渣加絮凝剂快速分层等。

(3) 中压发生、固体净化工艺流程 图13-3-6是中压发生、固体净化工艺流程图, 生产规模为 $200\text{m}^3/\text{h}$ 。该流程采用中压发生器, 干式固体净化, 具有设备紧凑, 占地面积小, 自动化程度高等特点。

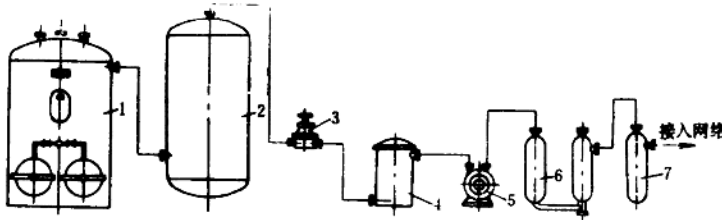


图13-3-1 中压乙炔生产工艺流程

1—中压乙炔发生器 2—贮气罐 3—压力调节器 4—固体净化器 5—气体流量计 6—水封 7—水分离器

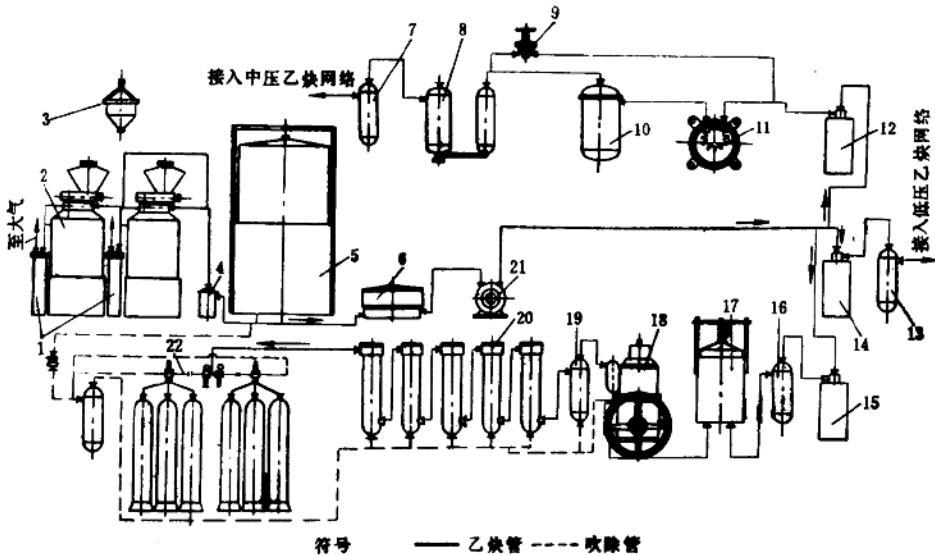


图13-3-2 生产气态和溶解乙炔的工艺流程

1—水封 2—乙炔发生器 3—电石斗 4—洗涤器 5—贮气罐 6—固体器 7、16—水分离器 8—中压水封 9—转换开关 10—冷却器 11—乙炔推送机 12、14、15—低压水封 13—水分离器 17—平衡器 18—乙炔压缩机 19—高压油水分离器 20—组式干燥器 21—流量计 22—汇流排和气瓶

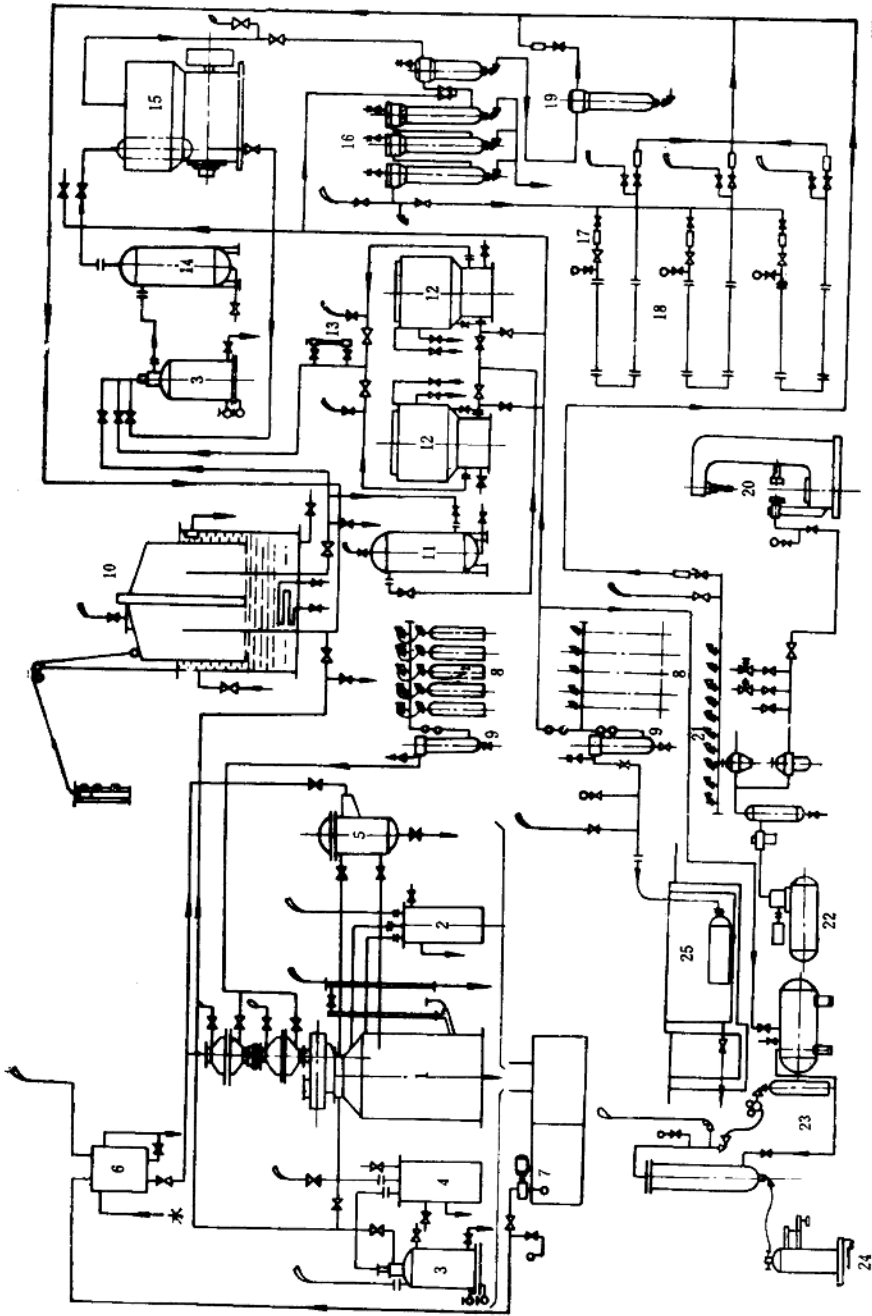


图13-3-3 RYQ-40溶解乙炔设备工艺流程图

1—乙炔发生器 2—安全水封 3—水封器 4—洗涤器 5—加水桶 6—水箱 7—自吸式旋涡泵 8—氮气汇流排 9—氮气干燥器 10—贮气罐 11—低压器干燥器 12—净化器 13—磷化氢测定器 14—水分分离器 15—乙炔压缩机 16—高压干燥器油水分离器 17—阻火器 18—乙炔灌气台 19—气、液分离器 20—乙炔瓶上阀 21—乙炔汇流排 22—空压机 23—丙酮灌充器 24—磅秤 25—乙炔瓶试压槽

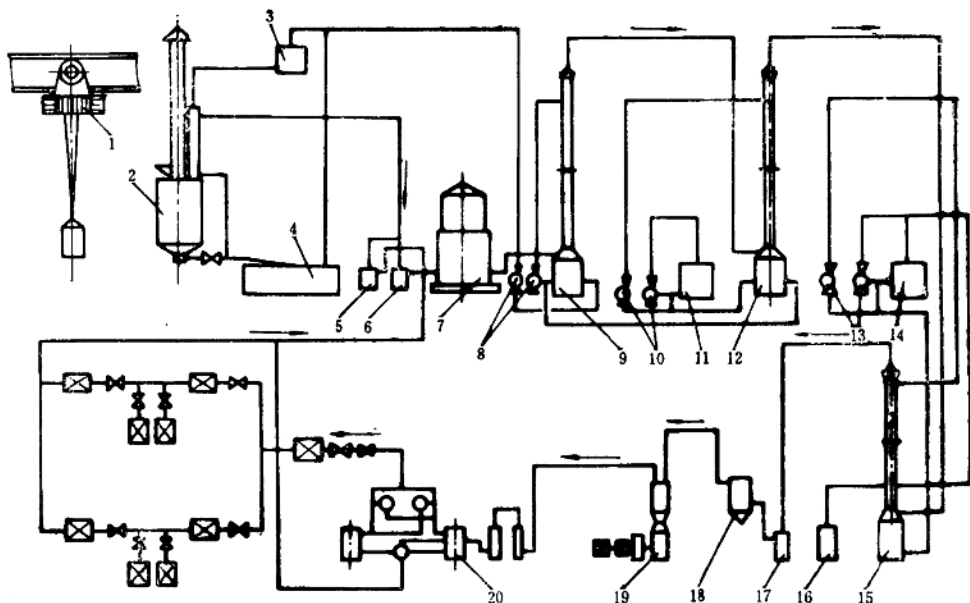


图13-3-4 低压发生、次氯酸钠净化工艺流程

1—电动葫芦 2—乙炔发生器 3—安全水箱 4—渣池 5—逆水封 6—正水封 7—气罐 8—稀NaOCl泵
 9—清塔 10—浓NaOCl 11—NaOCl配置槽 12—二清塔 13—碱液泵 14—配碱槽 15—中和塔 16—污水
 中和槽 17—低压安全水封 18—气水分离器 19—乙炔压缩机 20—乙炔干燥器

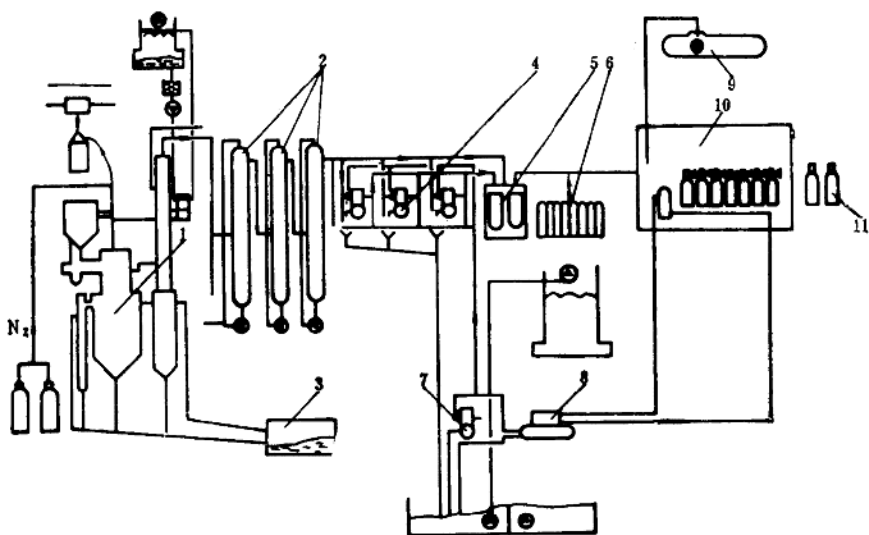


图13-3-5 低压发生、硫酸净化工艺流程

1—乙炔发生器 2—液体净化塔 3—渣池 4—乙炔压缩机 5—高压干燥塔 6—缓冲器 7—空压机 8—冷冻机
 9—丙酮贮罐 10—乙炔充灌台 11—乙炔气瓶

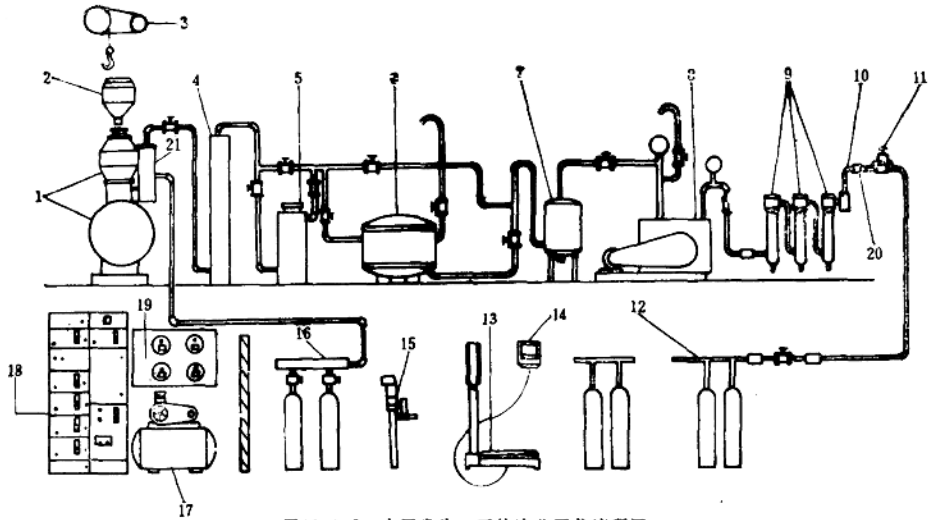


图13-3-6 中压发生、固体净化工艺流程图

1—乙炔发生器 2—电石料斗 3—吊车 4—冷却冷凝器 5—中压干燥器 6—乙炔净化器 7—洗涤器 8—乙炔压缩机 9—高压干燥器 10—高压过滤器 11—背压阀 12—充瓶支管 13—磅秤 14—瓶底监测器 15—丙酮泵 16—回流支管 17—空压机 18—主控电器箱 19—水银开关控制箱 20—阻火器 21—回火防止器

(二) 乙炔发生器

乙炔发生器是采用电石与水接触，制取气态乙炔的设备。按乙炔发生器的压力分低压乙炔发生器（压力不大于7kPa），中压乙炔发生器（压力为7~

150kPa）和高压乙炔发生器（压力为150kPa以上）。本节只介绍前两种乙炔发生器。

1. 中压乙炔发生器

(1) Q3-0.5型、Q3-1型与Q3-3A型中压发生器见图13-3-7、13-3-8和13-3-9。

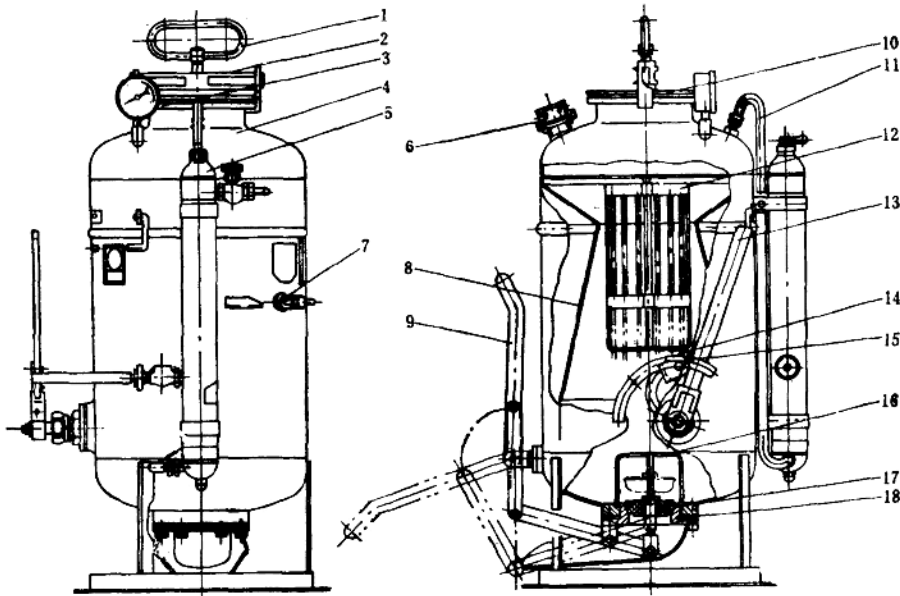


图13-3-7 Q3-0.5型中压乙炔发生器

1—开关手柄环 2—压板 3—乙炔表 4—上封头 5—水封回火防止器 6—安全膜 7—水位阀 8—内层锥形罩 9—放污开关杆 10—上盖 11—软管 12—电石盘 13—移位调节杆 14—升降滑轮 15—定位梯 16—轴 17—橡皮塞 18—出液口

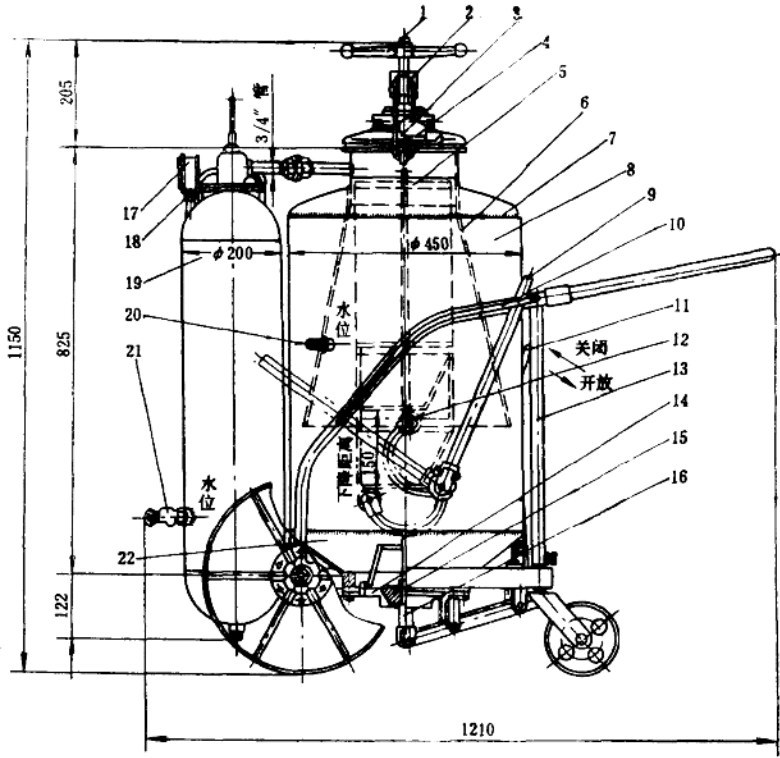


图13-3-8 Q3-1型中压乙炔发生器

- 1—开盖手柄 2—压板环 3—盖 4—安全膜 5—电石篮 6—内层锥形罩 7—上盖 8—外壳 9—移位调节杆
 10—定位棒 11—放污开关杆 12—升降滑轮 13—小车 14—出渣口 15—橡皮塞 16—轴 17—乙炔表
 18—回火防止器 19—贮气桶 20—溢水阀 21—水位阀 22—底

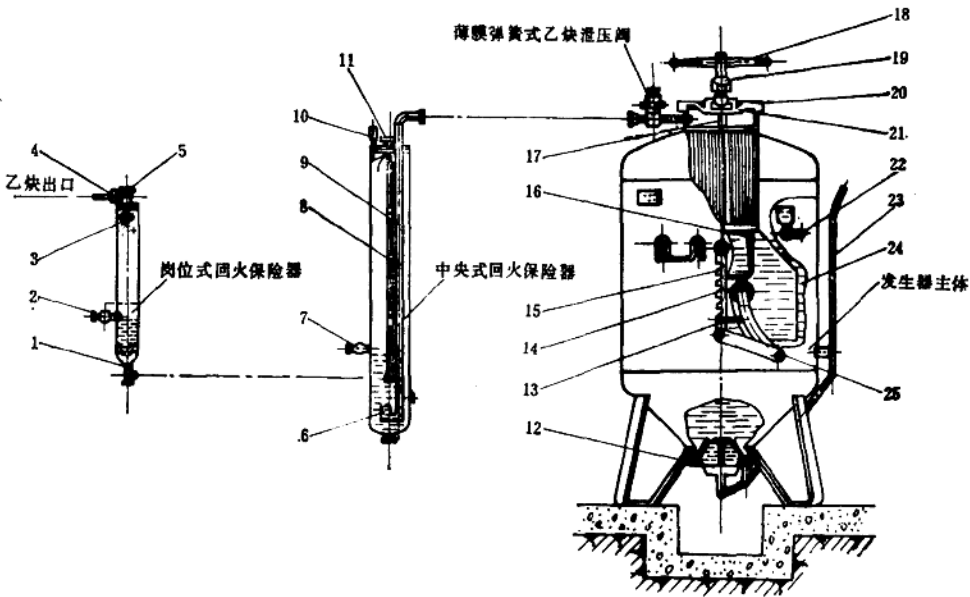
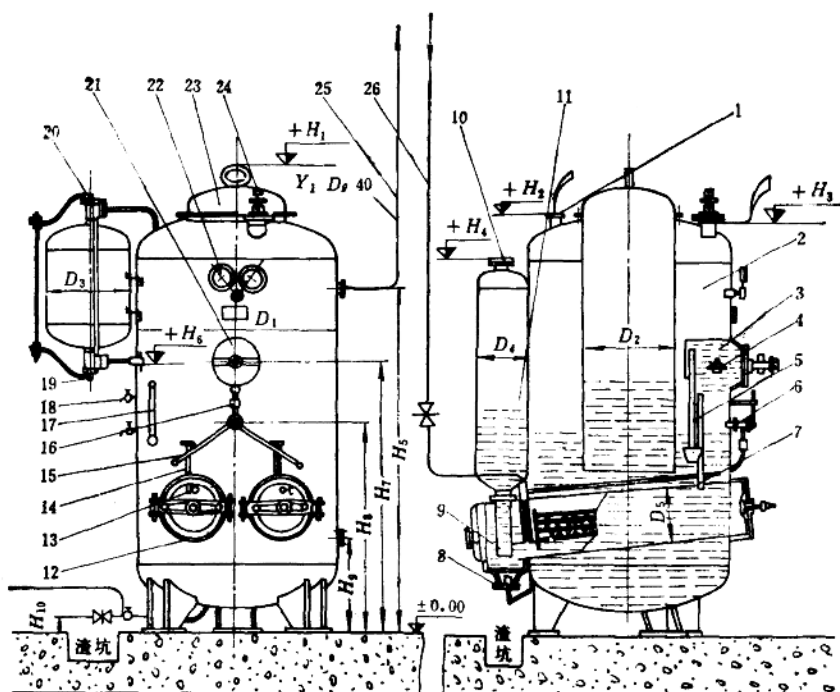


图13-3-9 Q3-3A型中压乙炔发生器

- 1—逆止阀 2—水位阀 3—玻璃丝过滤网 4—出气阀 5—爆破片 6—逆止阀 7—水位阀 8—输出导管 9—输入导管
 10—压力表 11—爆破片 12—排渣阀 13—定位棒 14—升降滑轮 15—升降调节板 16—电石篮
 17—导轨 18—手柄 19—压板 20—上盖 21—爆破片 22—排水阀 23—排渣扳手 24—内夹具 25—压紧螺母



发生器 型号	外形尺寸 (mm)														
	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}
Q4-5A	908	360	406	266	268	2342	2201	2177	1757	1740	1455	1385	980	530	50
Q4-10A	1210	554	506	336	340	2770	2531	2475	2170	2050	1744	1625	1165	610	50

图13-3-10 Q4-5A和Q4-10A型乙炔发生器设备简图

1—爆破片 2—发生器主体 3—清洗室 4—逆止阀 5—排气管锥形罩 6—进水调节阀 7—乙炔导管 8—排渣阀 9—发气室 10—爆破片 11—发气压挤室 12—发气室盖 13—吹泥阀 14—温度计 15—进水调节阀玻璃管 16—进水调节阀手柄 17—主体水位指示器 18—排水阀 19—加水桶下阀 20—加水桶上阀 21—清洗室盖 22—乙炔压力表 23—贮气压挤室 24—薄膜弹簧式乙炔减压阀 25—乙炔出口管 26—氮气管

(2) Q4-5A、Q4-10A型中压乙炔发生器图 3-12。

见图13-3-10。

(3) Rexarc 36型中压乙炔发生器见图13-

3-11。

2. 低压乙炔发生器

(1) 苏联ГНД-35型低压乙炔发生器见图13-

(2) 40m³/h低压乙炔发生器见图13-3-13。

(3) 80m³/h低压乙炔发生器见图13-3-14。

(4) 无料斗低压乙炔发生器见图13-3-15。

3. 乙炔发生器的特性

(1) 中压乙炔发生器的特性列于表13-3-1。