

全预混燃烧空燃比的调控方法探讨

广东百威电子有限公司

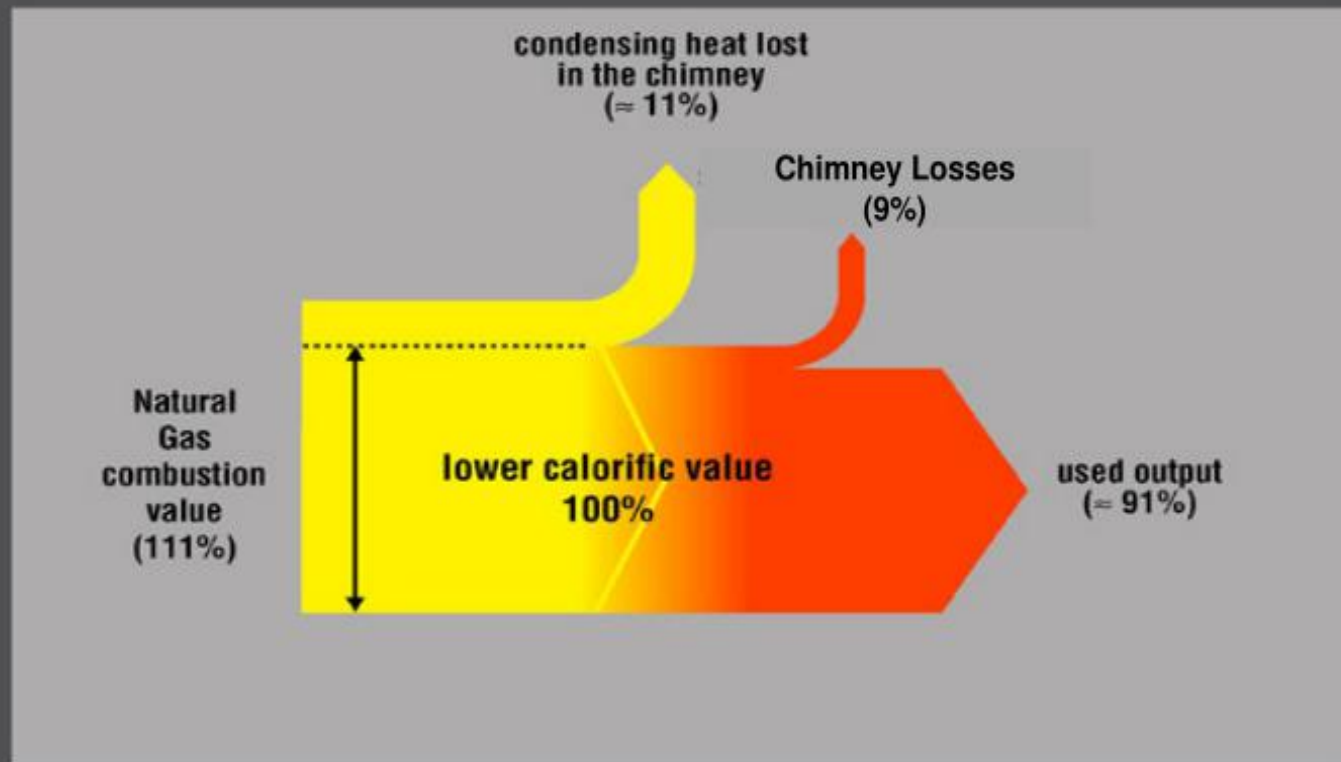
2021-10-5

内容概要

- 关于全预混燃烧和空燃比
- 关于用压力伺服阀调节空燃比
- 关于用火焰离子电流识别燃烧工况

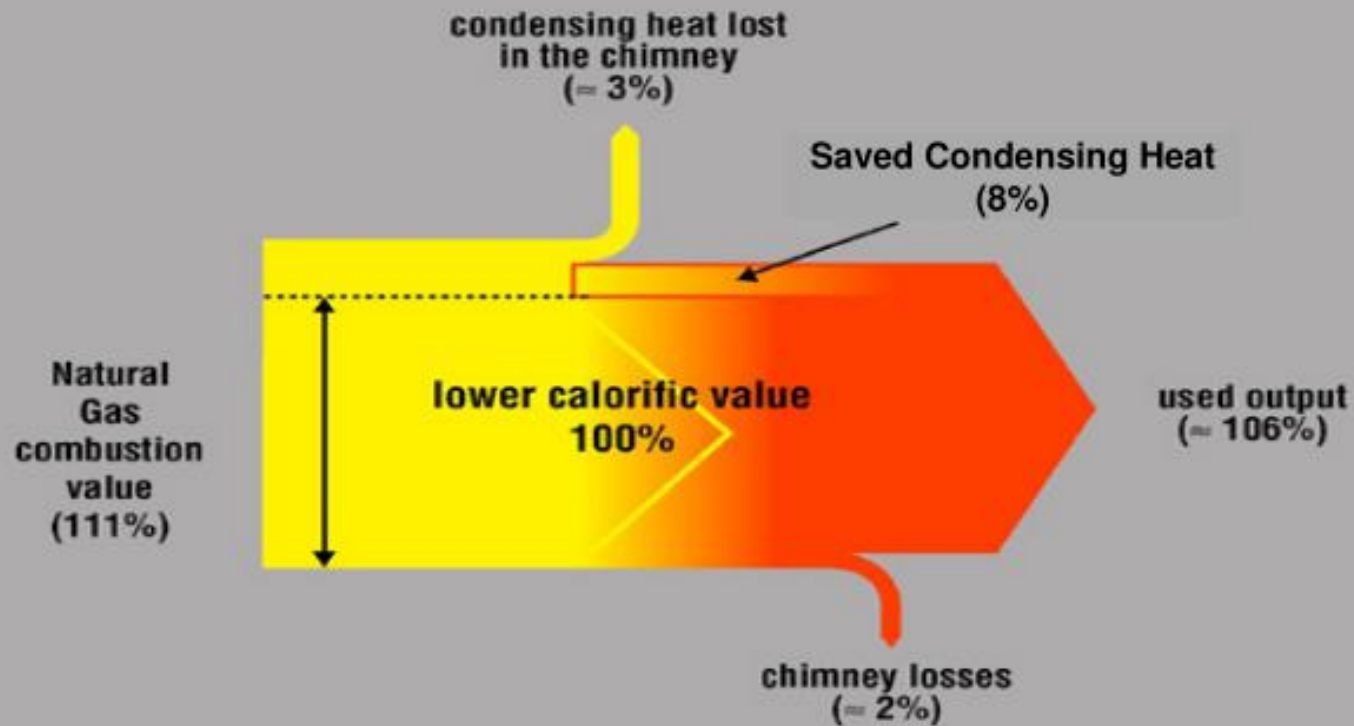
燃气的燃烧——高热值和低热值

Standard boiler efficiency



全预混冷凝锅炉的热效率

Condensing boiler efficiency

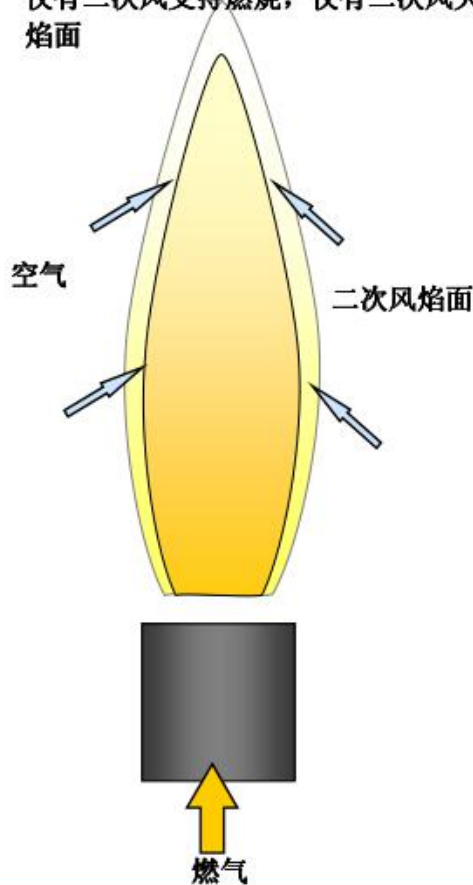


火焰类型

无预混

$$i = 0\%$$

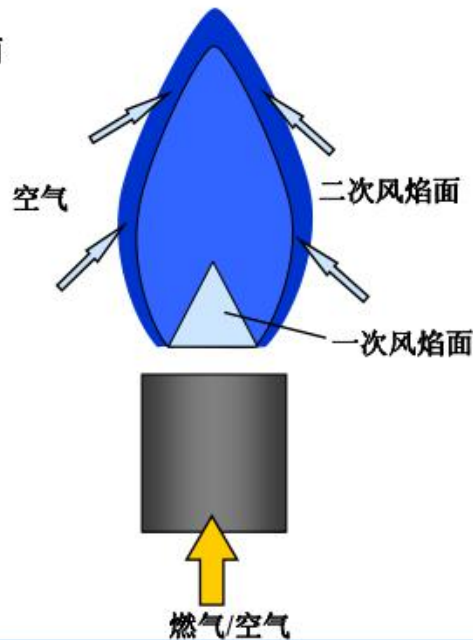
火焰长，黄色，弱
仅有二次风支持燃烧，仅有二次风火焰面



部分预混火焰

$$i = 40-70\%$$

大多数采用这种燃烧 (传统型) 大气式燃烧
一次风火焰面 => 淡蓝色
二次风火焰面 => 深蓝色



$$i = V_{\text{Air}} / V_A$$

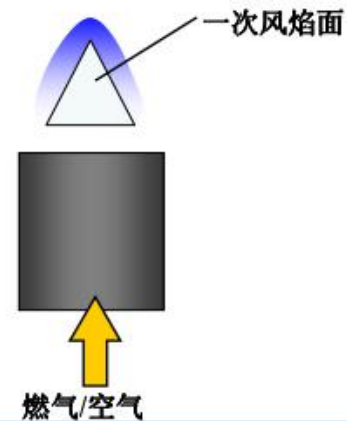
V_{Air} = 预混的空气量

V_A = 理论需要的空气量

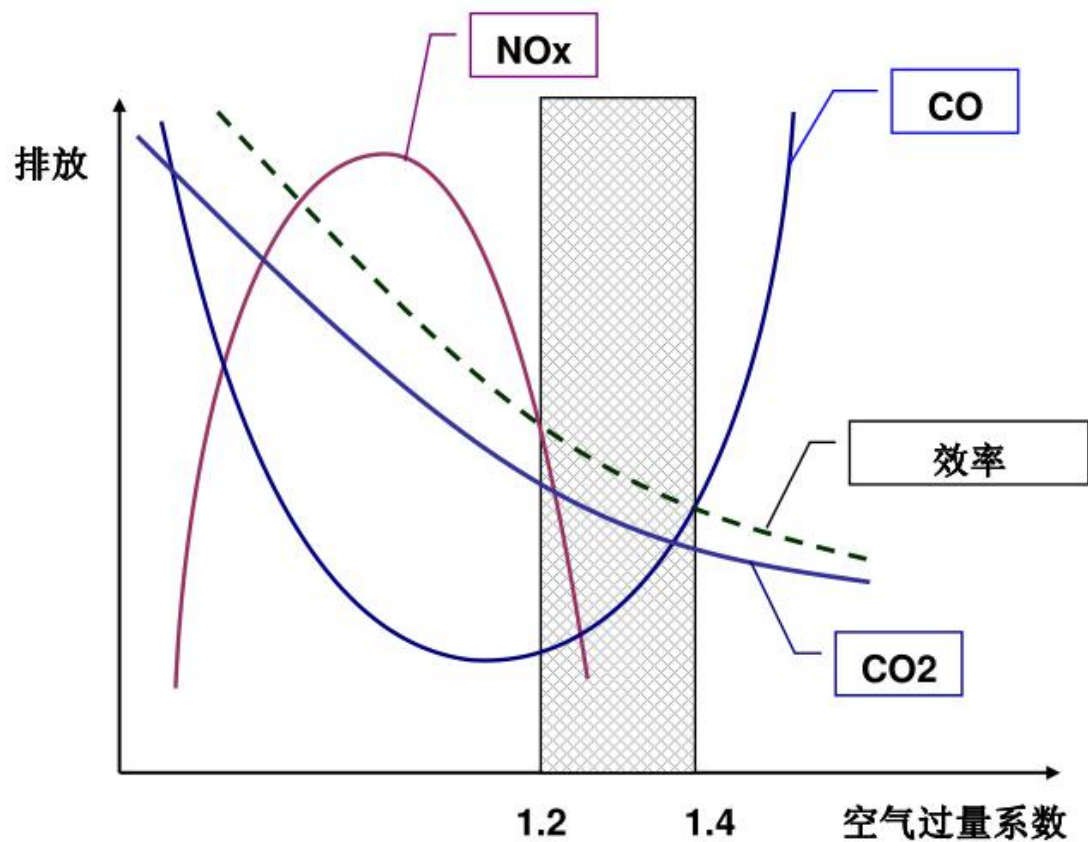
全预混火焰

$$i = 100\%$$

应用于全预混燃烧器
火焰短，仅有一次风支持燃烧，
一次风火焰面 => 蓝色

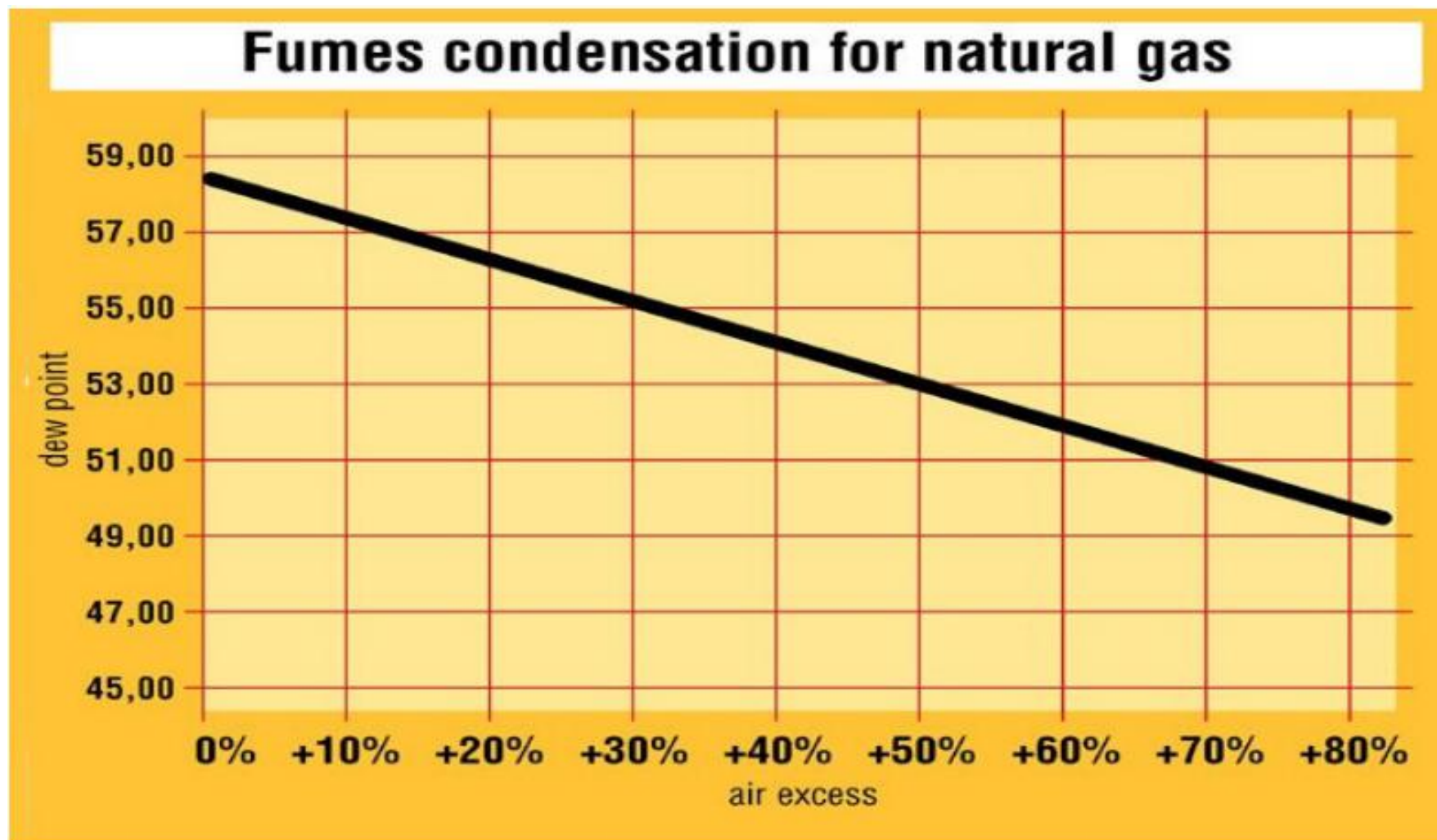


燃气燃烧的排放特性



在空气过量系数在 1.2-1.4 (空气过量 20-40%)，NOx, CO和CO2 排放最低

烟气露点和过剩空气的关系



关于全预混冷凝两用炉

- 冷凝的条件：

1. 烟气温度低于露点； 2. 烟气遇到温度低的表面。

- 全预混冷凝两用炉的设计应在安全、环保、节能、舒适、可靠性诸多方面找到平衡点，不能因为片面追求高能效而牺牲其它性能。
- 全预混燃烧控制的要点之一是空燃比。
- 大气压力不仅影响燃气的燃烧工况，而且影响燃气具的热负荷的大小。大气压主要受海拔高度的影响，其次，温度和湿度的变化也影响大气压力。同一地点一天之内的大气压力也在发生变化。
- 通常所说的空气中的氧含量是**20.9%**，这是一个体积百分数，而不是质量百分数，在高海拔地区用烟气分析仪测得的氧含量也是**20.9%**。

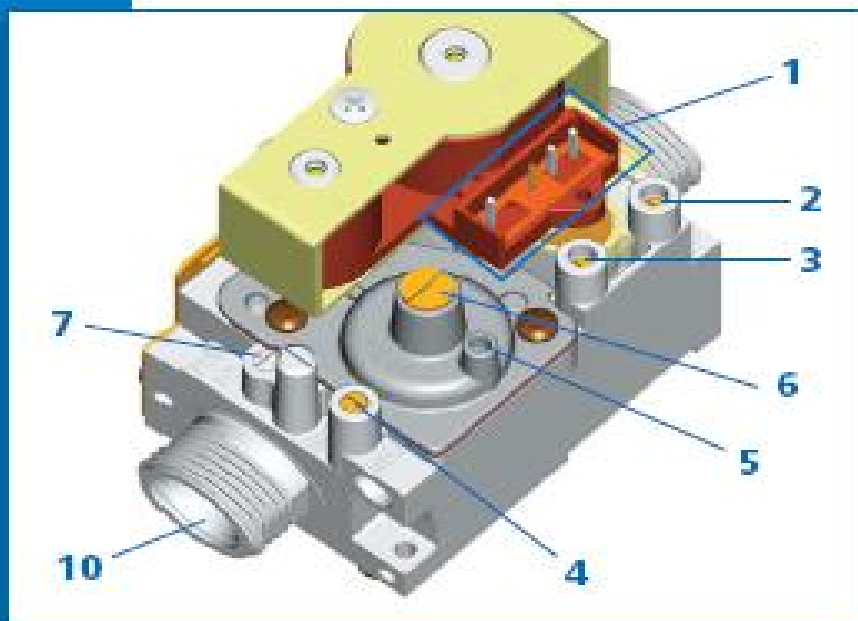
陕北天然气烟气的露点为59.3℃

1Nm³天然气完全燃烧产生的烟气排烟温度的显热和潜热回收分析表

• 排烟温度 (°C)	20	25	30	35	40	50
• 显热回收 (kJ)	2450	2388	2324	2256	2184	2105
• 潜热回收 (kJ)	3655	3506	3301	3034	2688	1649
• 总回收热 (kJ)	6115	5895	5625	5291	4872	3655
• 冷凝液量 (kg)	1.52	1.46	1.38	1.27	1.13	0.7
• 排烟温度 (°C)	60	100	140			
• 显热回收 (kJ)	1802	1210	609			
• 潜热回收 (kJ)	0	0	0			
• 总回收热 (kJ)	1802	1210	609			
• 冷凝液量 (kg)	0	0	0			

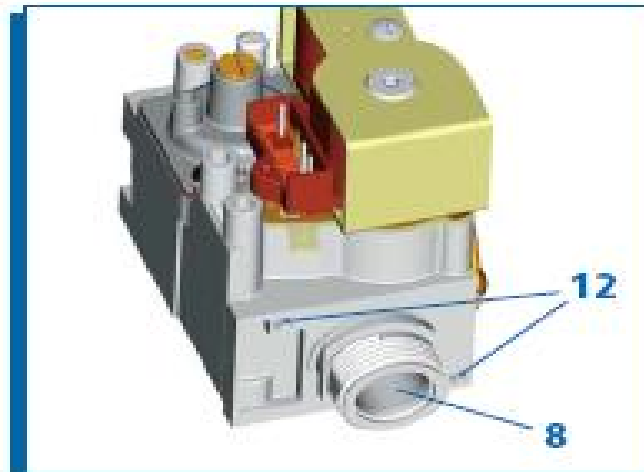
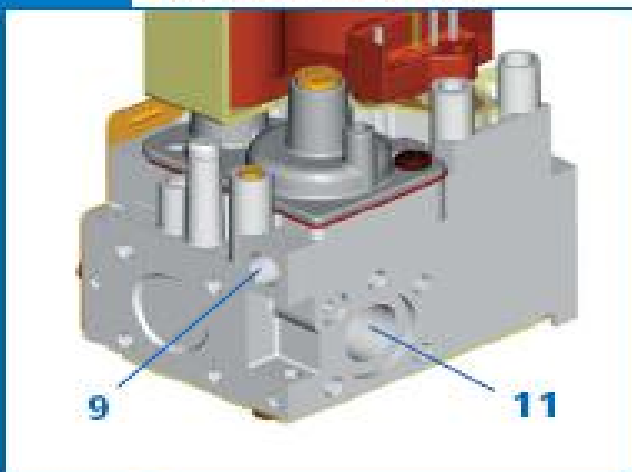
压力伺服阀调节空燃比

- 压力伺服阀的工作原理：燃气的流量受控于空气压力，无论空气压力如何变化，燃气和空气的比例 Q_g/Q_a 保持恒定。
- 燃气的出气压力=空气压力+OFFEST，而零点OFFSET和空燃比既可以在生产线上预调，也可在使用现场调试跟据使用环境做微调。
- 可根据机器所处的海拔高度、燃气的热值（或华白数）将机器调试到最佳工作状态。当空气的温度和湿度发生变化时，空气的压力会发生变化，而燃气出口压力同空气的压力成固定的关系，所以空燃比不会发生变化。
- 用压力伺服阀的燃气采暖热水炉，其燃烧工况不依赖电子控制器，电子控制器不用关注空气和燃气的配比。



- 1** On-Off solenoid valves EV1 and EV2 terminals
- 2** Inlet pressure test point
- 3** Outlet pressure test point P_{WT}
- 4** Additional outlet pressure test point P_{out} (version with gas/air adjuster)
- 5** Air signal connection
- 6** Zero adjustment (offset)
- 7** Gas/air ratio adjuster (optional)
- 8** Gas inlet
- 9** Pilot outlet (optional)
- 10** Main gas outlet
- 11** Side outlet (optional)
- 12** Mounting holes

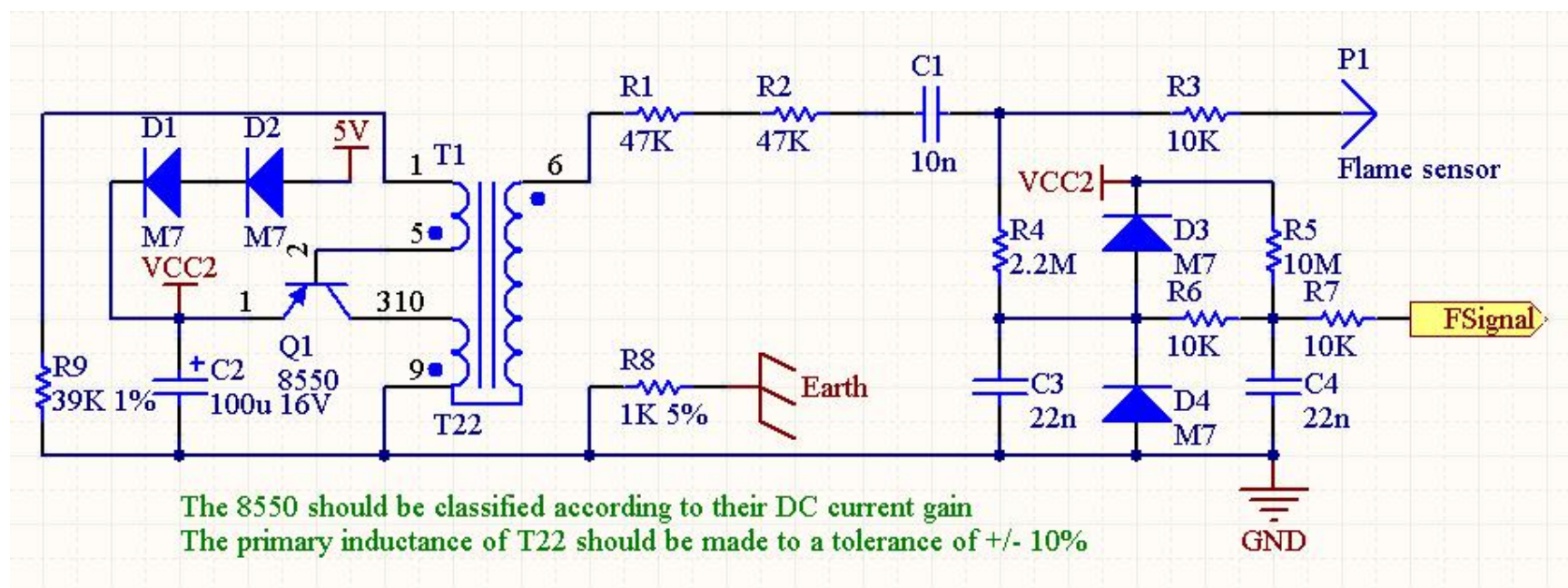
Version with side outlet



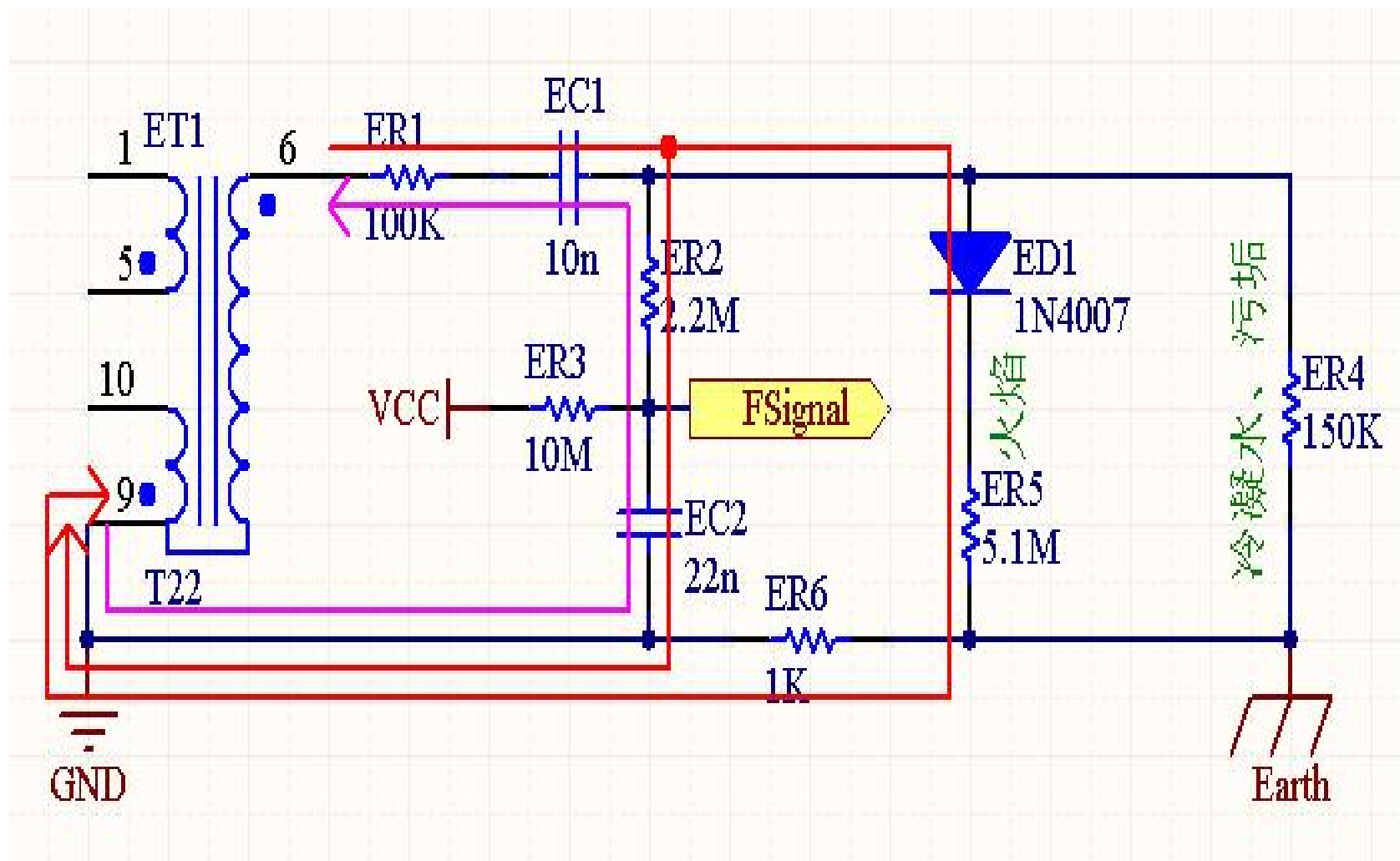
用火焰离子电流识别有火和无火

- 火焰离子：燃气燃烧时，产生特殊性质的离子羟基（OH），它是带电离子，在电场的作用下作定向移动，形成离子电流。我们在火焰探针和燃烧器壳体之间加上交流电场后，当燃气着火燃烧时火焰探针和壳体之间有电流流过。
- 在大多数情况下，我们用火焰离子电流法检测“有火”和“无火”。
- 火焰检测的灵敏度：火焰检测应当灵敏，当火焰内阻为 $5.1\text{M}\Omega$ 时，应能检测到火；但灵敏度不能太高，当火焰内阻为 $20\text{M}\Omega$ 时，应检测不到火。

一个典型的火焰检测电路



火焰检测电路的工作原理



火焰检测电路的工作原理

- 火焰尚未建立时，通过ER2充进EC2的电荷跟释放出来的基本一致，由于弱上拉ER3的存在，会使得EC2额外获得少量的正电荷，所以Fsignal信号动态平衡为正压。
- 火焰成功建立后，ET1次级正半波的输出经过ER1、EC1后部分电流被分流到ED1、ER5通道，这使得通过ER2充进EC2的电荷比放出来的少，于是FSignal信号动态平衡后会翻转为负压。
- ER2的取值比较关键，取值大了元件（包括PCB）的漏电对火焰信号的影响会加大，而且相关走线也更容易受干扰，取值小了源于ET1次级的电荷就更喜欢走ER2、EC2通道，使火焰信号较难反映燃烧情况。EC2的取值要跟ER2的取值和ET1的振荡频率相匹配，注意点火期间振荡频率会大幅降低。

用火焰离子电流判断燃烧工况

- 燃气燃烧是一个强烈的氧化反应，碳氢化合物（如 CH_4 ）和氧气发生化学反应时产生带电离子（ OH^- ），带电离子在**外加电场**作用下定向移动形成电流。
- 火焰离子电流的大小可以等效为火焰内阻，影响火焰内阻的因素有电场强度（ E ）、燃气组分、燃烧工况、火力大小。内焰和外焰的火焰内阻也不同。
- 电场的场强 E 决定于振荡电压、火焰探针和燃烧器之间的距离， $E=U/d$ 。
- **AGC--建立燃烧工况数据库：**1）在燃烧器和火焰探针不变的条件下，调试并记录最佳燃烧工况时燃气二次压力（ P_2 ）和配风压力（ H ）、燃烧产物的 CO 、 CO_2 、 O_2 、 NO_x 、排烟温度。2）设定一个二次压力，然后改变配风，记录不同配风时燃烧产物的 CO 、 CO_2 、 O_2 、 NO_x 、排烟温度。
- 分析数据并建立数学模型。
- 控制器实时监测燃气二次压力和空气压力的变化，并且及时调整。

关于用火焰离子电流实现燃气燃烧自适应

- ◆ 大约2019年，西特的凌娟女士介绍火焰离子电流的燃烧自适应控制。
- ◆ 在2021年3月青戈尔资讯在美的广场组织的年会上，西特的张励介绍了 **Elektra_CMS** 智能燃烧系统，他介绍了“欧洲智能燃烧系统（燃气自适应）的发展趋势”。欧洲2020年大约在100万套左右，他预计2022年可达到170万套左右，年增速25%以上。他们还介绍：**Elektra_CMS** 采用创新的火焰分析系统——等离子脉冲，通过给等离子体一个外部刺激，精心营造了一个检火针周围的电场，实现对空燃比和热负荷的预估。据他介绍**SIT**公司的这套系统给整机厂配套专门的工具软件，用于实时调试和监测，目的在于缩短新产品上市时间。
- ◆ 在2021年4月湛江壁挂炉行业年会上，卡路里的盛总介绍了他们的自适应控制系统。
- ◆ 广东百威电子一直在持续研究采用火焰离子电流技术的自适应控制。