

文章编号:1672-3961(2008)06-0001-06

# 物料化学爆炸引起尿塔塔体 爆破可能性分析

李梦丽<sup>1,2,3</sup>, 王威强<sup>1,2,3</sup>, 徐书根<sup>1,2,3</sup>, 宋明大<sup>1,2,3</sup>, 王功<sup>4</sup>, 苗光同<sup>5</sup>

- (1. 山东大学机械工程学院, 山东 济南 250061;
2. 山东省特种设备安全工程技术研究中心, 山东 济南 250061;
3. 山东大学特种设备安全保障与评价研究中心, 山东 济南 250061;
4. 淄博齐鲁第一化肥有限公司, 山东 淄博 255436;
5. 山东明水化工有限公司, 山东 济南 250200)

**摘要:**1995年和2005年,国内发生了两起尿素合成塔(以下简称“尿塔”)塔体严重爆破事故.作者就尿塔内物料发生化学爆炸的多种可能性做了具体分析和计算,并与实际尿塔爆破事故所产生的破坏程度进行了比较.结果表明,如果尿塔未存在严重缺陷,塔内物料发生化学爆炸所产生的能量不足以造成两起事故尿塔塔体的严重爆破和周边环境的巨大破坏.因此,作者认为尿塔塔体爆破的原因是:尿塔塔体存在严重制造缺陷或者是强度层板存在严重应力腐蚀开裂,产生塔体严重破裂引发的物料蒸汽爆炸.

**关键词:**尿素合成塔;化学爆炸;气相空间;爆炸能量

**中图分类号:**TQ052.4; TQ110.6 **文献标志码:**A

## Possibility analysis on chemical explosion of material causing urea reactor cylinder fracture

LI Meng-li<sup>1,2,3</sup>, WANG Wei-qiang<sup>1,2,3</sup>, XU Shu-gen<sup>1,2,3</sup>, SONG Ming-da<sup>1,2,3</sup>,  
WANG Gong<sup>4</sup>, MIAO Guang-tong<sup>5</sup>

- (1. School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;
2. Engineering and Technology Research Center for Special Equipment Safety of Shandong Province, Jinan 250061, China;
3. Research Center of Safety Guarantee and Assessment to Special Equipment, Shandong University, Jinan 250061, China;
4. First Chemical Fertilizer Co. Ltd. of Zibo Qilu, Zibo 255436, China;
5. Shandong Mingshui Chemical Engineering Co. Ltd., Jinan 250200, China)

**Abstract:** Two urea reactor cylinders seriously fractured in 1995 and 2005 in China. The possibility analysis of chemical explosion in the reactor and some concrete calculation were given, and then compared with the damage of the actual failure. It indicated that the energy generated from the chemical explosion of material in the reactor could not cause a serious fracture of the two urea reactors and great damage to the surroundings. Therefore, the cause of the urea reactor fracture was not a chemical explosion but boiling liquid expanding to vapor explosion.

**Key words:** urea reactor; chemical explosion; gas-phase space; explosion energy

收稿日期:2008-03-15

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA04Z417)

作者简介:李梦丽(1984-),女,山东青州人,博士研究生,研究方向为过程设备安全保障与失效分析技术.

E-mail: nevsaynev.com@qq.com

## 0 引言

自上世纪70年代以来,尿素合成塔(以下简称“尿塔”)塔体爆破的事故就不断发生.在世界范围内,公开报道的尿塔塔体爆破事故共有7起<sup>[1]</sup>,其中中国发生了2起,即1995年迁安尿塔塔体爆破和2005年平阴尿塔塔体爆破.迁安尿塔塔体爆破造成10人死亡、5人轻伤,直接经济损失743万元;平阴尿塔塔体爆破造成4人死亡,32人重伤,直接经济损失约2963万元<sup>[1]</sup>.国内发生过有据可查的尿塔内部气相空间化学爆炸的事故4起,这4起事故的影响和损失相对较小.尿塔塔体爆破严重危及人身安全,并能造成巨大的经济损失,影响面极广.

尿塔塔体爆破的原因非常复杂.河北迁安的事故原因没有公布,但据当时的分析报告,认为是爆裂筒节所处的环焊缝存在制造缺陷,尿塔运行中的压力波动造成缺陷快速开裂,而使塔内物料迅速泄漏引起“爆沸”;山东平阴的事故分析结论认为是检漏蒸汽泄漏至层板并浓缩导致层板应力腐蚀开裂,最终失稳扩展,而使塔内物料迅速泄漏引起“爆沸”.考察国外尿塔塔体爆破事故,也均是由于各种原因先引起塔体开裂,而导致塔内物料快速泄漏,最终引起塔内物料“爆沸”和塔体的爆破.尽管如此,目前国内专家对于尿塔塔体爆破的原因还没有形成统一的认识,很多专家认为化学爆炸是造成塔体严重爆破的先导原因.作者拟综合考虑尿素装置中各种异常工况下塔内可爆气体组合,通过分析计算与已发生的尿塔塔体爆破及对周边环境造成破坏所需能量的对比,分析塔内物料化学爆炸引起塔体爆破的可能性.

## 1 尿塔及尿素合成工艺简介

尿塔是尿素生产厂的核心设备之一,是二氧化碳和液氨反应生成氨基甲酸铵(以下简称“甲铵”)、甲铵脱水生成尿素的场所,专业管理属于三类容器.

水溶液全循环法尿塔结构如图1所示,塔内工作物料是氨液、二氧化碳气、尿素甲铵熔融物和为防腐所添加的少量空气.反应原料氨液、二氧化碳气和甲铵液分别从塔底a、b、c三个管口进入尿塔,反应后尿素、甲铵、水、氨和二氧化碳混合物由塔顶管口f引出.为防止尿塔超压,管口f插入塔内一部分,使塔内有气相空间起缓冲作用.塔顶和塔底有三个测温点,分别测量尿塔顶部、中部和底部物料的温度.

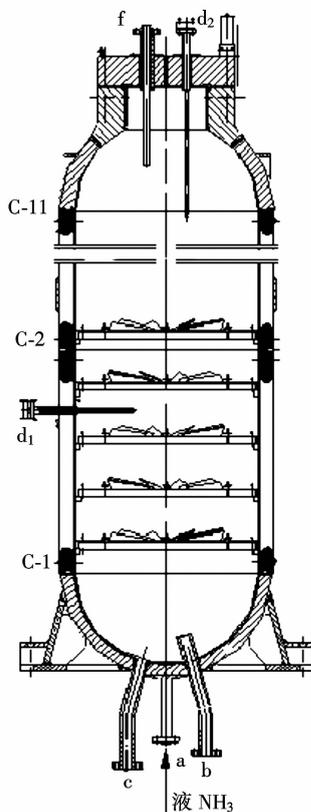
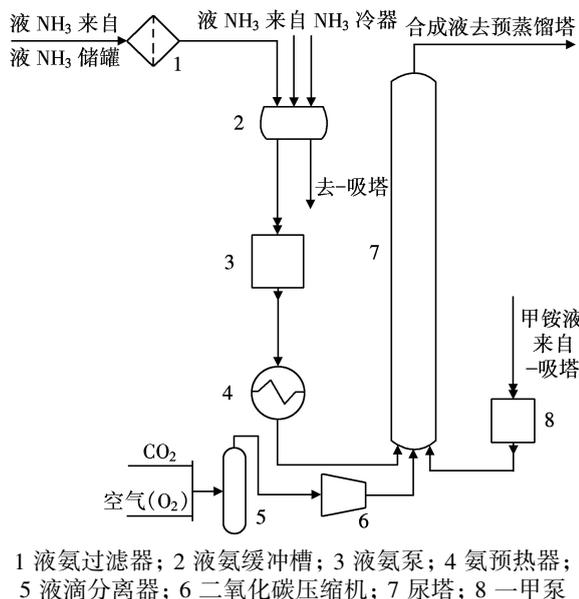


图1 尿塔简图  
Fig.1 Urea reactor diagram

尿素系统工艺流程如图2所示.二氧化碳气由脱碳装置送入,加入防腐空气后纯度为96.5%、氧的体积分数为0.4%~0.6%.经液滴分离器5后经过五段压缩,最终压力约20.69 MPa,送尿塔7.



1 液氨过滤器; 2 液氨缓冲槽; 3 液氨泵; 4 氨预热器;  
5 液滴分离器; 6 二氧化碳压缩机; 7 尿塔; 8 一甲泵

图2 尿素合成系统工艺流程简图

Fig.2 Technological process diagram of urea conversion system

原料氨液从合成氨车间氨库送出,经液氨过滤器1后,进液氨缓冲槽2与氨冷凝器冷凝的氨液一起经过3、4加压预热后进入尿塔7.

尿塔的反应液经一段、二段分解、闪蒸和一段循环后,从一吸塔底部得到一甲液,温度约 90 °C,经一甲泵 8 加压至 20.69 MPa,送入尿塔 7.

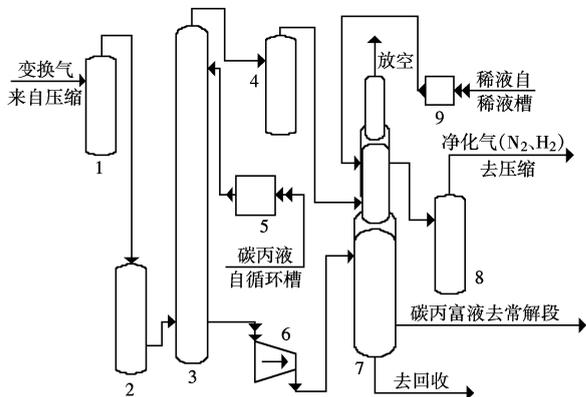
尿塔操作压力为 19.6 MPa,温度为 178 ~ 188 °C,进料 NH<sub>3</sub> 和 CO<sub>2</sub> 分子比为 4 左右,反应分两步进行.第一步,液氨与二氧化碳气体作用生成氨基甲酸铵,这一步速度快,在平衡状态下,二氧化碳转化成甲铵液的程度高.第二步,甲铵脱水转变成尿素,速度较慢,平衡状态下甲铵液也不能全部转化为尿素,一般转化率为 60% ~ 70%.

正常生产条件下的合成气,远离爆炸限,不会发生爆炸<sup>[2]</sup>.

## 2 异常工况分析

### 2.1 二氧化碳进料异常

氨合成工艺中,在脱碳工序中氮、氢与二氧化碳分离.碳酸丙烯酯法脱碳的工艺流程如图 3 所示.从氮氢气压缩机过来的 2.7 MPa 变换气经变换气分离器 1、活性炭脱硫槽 2 后由脱碳塔 3 下部导入,从循环槽来的碳丙(碳酸丙烯酯的简称,下同)液由脱碳泵 6 打入脱碳塔 3,自上而下与变换气逆流接触.脱除二氧化碳后的净化气经净化分离器 4 后进入闪蒸洗涤塔 7 中部净化气碳丙回收段,与稀液泵 9 来的稀液逆流接触,回收碳丙后经洗涤分离器 8 分离回收净化气中夹带的碳丙,净化气送往氮氢气压缩机.吸收二氧化碳后的碳丙富液从脱碳塔底出来,经自动调节阀减压后直接或经脱碳泵涡轮机回收能量后进入闪蒸洗涤塔 7 下部闪蒸段,在闪蒸段闪蒸出氢、氮和少量的二氧化碳等气体,闪蒸气经闪蒸洗涤塔



1 变换气分离器; 2 脱硫槽; 3 脱碳塔; 4 净化气分离器;  
5 脱碳泵; 6 涡轮机; 7 闪蒸洗涤塔;  
8 净化气分离器; 9 稀液泵

图 3 碳酸丙烯酯法脱碳工艺流程简图

Fig.3 Technological process diagram of decarbonization with the carbonic acid acrylic resin method

上部回收段回收碳丙后放空(或回到氮氢气压缩机一段入口).闪蒸后的富液在后续工段中解吸,碳丙液循环利用,二氧化碳送二氧化碳压缩工段.

传统的水溶液全循环法尿素合成气条件比图 4 中温度 150 °C,压力 17.5 MPa 稍高.因为目前尚缺少合成条件下的爆炸范围图,所以采用图 4 进行近似处理<sup>[2]</sup>.

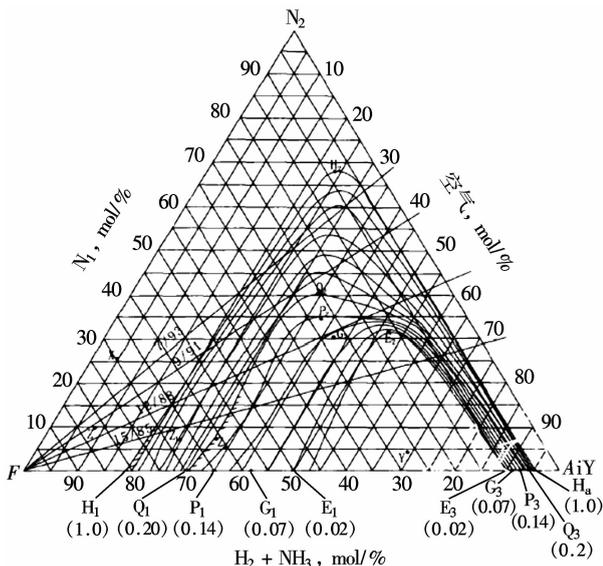


图 4 NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-空气在 150 °C 和 17.5 MPa 条件下的爆炸范围

Fig.4 Explosion scope of NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-air under the condition of 150 °C and 17.5 MPa

若发生以下异常:

(1) 脱碳溶液发生重大变化.脱碳溶液变化的只有浓度,浓度变化对氢溶解度的影响可忽略不计,而一氧化碳几乎不存在.所以,脱碳溶液变化不会影响氢和一氧化碳在二氧化碳原料气中的浓度.

(2) 脱碳液位下降.即使脱碳塔抽空氢气也不能进入二氧化碳.脱碳塔溶液到闪蒸塔,闪蒸塔中的溶液到再生塔,都有调节阀控制,只有两个调节阀同时卡住,两塔液位都抽空的情况下,氮氢气才有可能大量进入二氧化碳中,而这种可能性不存在,因为两塔都有低液位报警,闪蒸塔正常情况也应有压力报警,也必须同时失灵.

若脱碳溶液泵跳车,脱碳塔和闪蒸塔只出不进,这时低液位报警应发出信号,同时调节阀将自动关闭.而作为这个关键位置的调节,一旦停电和停仪表风,调节阀的动作都是自动关闭的,不可能打开.

只有下列情况可能发生串气,断仪表风或断电,这可能导致两阀同时卡住,断电 DCS 有 UPS 支持,常规仪表断电应全装置停车.

假若发生了串气,从脱碳塔到闪蒸塔之间可能

还要经过涡轮机,如果脱碳液中混入了氮、氢,涡轮机会强烈震动,整个系统会发生混乱,而且闪蒸塔为低压设备、常解塔为常压并有部分为真空设备,这样必然在脱碳工段出现超压事故,甚至爆炸。

(3) 变换气和脱碳液接触的设备发生泄漏,变换气窜入脱碳液,带至二氧化碳气。这种情况跟上述(2)的分析相同。

## 2.2 氨液进料异常

氨液进料异常通常是由于氨液储槽被抽空,液氨泵只能空转,而二氧化碳压缩机向尿塔中正常输送二氧化碳,尿塔内由于缺少氨液,大量进塔二氧化碳未发生反应,形成二氧化碳富集,致使塔内压力急剧升高,气相空间会增大,出料管可能会露出液相层。在二氧化碳进料管气体中空气体积分数为2.5%,由于二氧化碳基本没反应,空气所占比例变化不大,所以合成塔中气体远离爆炸限。

## 2.3 短停保温、保压

生产不正常时,如短期停车,在保温保压状态下,就有可能形成爆炸性气体。

情况一<sup>[2]</sup>: 尿素装置处于减负状态,二氧化碳减量,加氧不停,加氧量由0.5%增至1.0%,保压 $p = 20 \text{ MPa}$ ,保温 $t = 175 \text{ }^\circ\text{C}$ (448.15 K)。通过计算,合成气相组分及含量见表1<sup>[2]</sup>,将上述数据中氧转换为空气得表2<sup>[2]</sup>, $R = 0.14$ ( $R$ 值代表 $n(\text{H}_2)/n(\text{H}_2 + \text{NH}_3)$ ),其爆炸范围为 $\Delta P_1 P_2 P_3$ 。此时合成气组成点位于 $Z_1$ 点(见图4),虽该点位于爆炸范围之外,是非爆炸性气体,但已接近爆炸区域。此合成条件较之借用的爆炸图条件更苛刻,爆炸范围比图4<sup>[2]</sup>的更大,在真实的爆炸范围图下可能 $Z_1$ 点已经进入爆炸区了,是不安全点。

表3 气体的膨胀功和水的焓变

Table 3 The expansion work of gas and enthalpy change of water

物料名称	量		初态参数(温度 448.15 K)			终态参数(温度 298.15 K)			比功	总功	焓变	
	$n$	$m$	分压	比容	比焓	分压	比容	比焓				
	/kmol	/kg	$p_1$	$V_1$	$h_1$	$p_2$	$V_2$	$h_2$	$A^*/(k-1)$	$h_1 - h_2$	$W$	$\Delta H$
			/10 <sup>5</sup> Pa	/(m <sup>3</sup> ·kmol <sup>-1</sup> )	/(kJ·kg <sup>-1</sup> )	/10 <sup>5</sup> Pa	/(m <sup>3</sup> ·kmol <sup>-1</sup> )	/(kJ·kg <sup>-1</sup> )		/kJ	/kJ	
H <sub>2</sub>	0.121 5	—	18.7	0.183 8	—	0.093 5	24.45	—	287.75	—	34.95	—
O <sub>2</sub>	0.060 7	—	9.35	0.183 8	—	0.046 8	24.45	—	143.87	—	8.737	—
H <sub>2</sub> O	—	2.186	—	—	751.6	—	—	104.88	—	646.7	—	1 413.9

尿塔内物料化学爆炸产生的能量是: $Q_L + W_1 + W_2 - \Delta H = 28.20 \text{ MJ}$ 。

尿塔内物料所能产生的膨胀或沸腾总功4 538.85 MJ<sup>[3]</sup>。尿塔爆破的上部塔段抛射功、中部塔段平射功和中部塔段的撕裂功总和为:590.49 MJ,冲击波的破坏能量为3 824.64 MJ,尿塔爆破的总能

表1 合成气相组分及含量

Table 1 Components and content of syngas

气体组分	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	总量
体积分数	0.552	0.024	0.024	0.093 5	0.228	0.024 35	0.05.41	1

表2 将氧转换为空气时的合成塔气相组合及含量

Table 2 The syngas content after transferring oxygen to air

气体组分	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	air	总量
体积分数	0.552	0.024	0.024	0.093 5	0.024 5	0.024 4	0.257 6	1

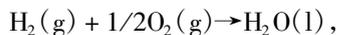
以平阴爆破尿塔为例, $\Phi 1 400$ 尿塔容积37.276 m<sup>3</sup>,若在上述工况下发生化学爆炸,则气相空间体积分数为0.647%,为242 L以下<sup>[1]</sup>。

设合成气都集中在气相空间。合成气的物质的量为:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{20 \times 10^6 \times 242 \times 10^{-3}}{8.314 \times 448.15} =$$

$$1.299 \times 10^3 \text{ mol} = 1.299 \text{ kmol}$$

标况下气相空间发生化学爆炸的反应式:



$$\Delta_r H_m^\ominus = -243.45 \text{ kJ/mol}, \quad (1)$$

H<sub>2</sub>爆炸产生的能量为

$$1.299 \times 0.093 5 \times 243.5 \text{ MJ} = 29.57 \text{ MJ}.$$

20 MPa、175 °C下的能量可以认为气体绝热膨胀到标况,燃烧生成水,水又变回到20 MPa、175 °C。

标况下H<sub>2</sub>爆炸产生的能力 $Q_L$ 为

$$1.299 \times 0.093 5 \times 243.5 \text{ MJ} = 29.57 \text{ MJ}.$$

气体的绝热膨胀功和水的焓变的计算见表3。其中,H<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的绝热指数 $k$ 为1.4; $A^* = p_1 V_1 - p_2 V_2$ ;为方便列表,水的初态和终态是倒置的,所以计算中取 $-\Delta H$ 。

量为二者之和4 415.13 MJ<sup>[3]</sup>。尿塔内物料产生的膨胀或沸腾总功与尿塔事故消耗能量相当。所以爆破尿塔内很有可能是发生了“爆沸”。

尿塔顶部气相段爆炸后若要引起塔体的爆炸,最小需要的能量64.79 MJ<sup>[1]</sup>。化学爆炸所产生的能量28.20 MJ小于64.79 MJ,更远小于事故消耗能量

4 415.13 MJ,考虑散热和发声等能量消耗,实际用于尿塔“爆沸”的能量还要小于 28.20 MJ.若是尿塔筒体完好,化学爆炸不可能引发“爆沸”导致尿塔爆破事故,更不可能单独由化学爆炸引发整个事故.在尿塔筒体已有裂纹的情况下,“爆沸”可能由化学爆炸引起,但综合尿塔气相空间段爆炸后特征,迁安和平阴事故中不是气相空间爆炸引发了“爆沸”导致了尿塔的爆破.

情况二<sup>[2]</sup>:减负状态,二氧化碳减量,加氧量与例 1 相同,加氧为 1.0%,保压  $p = 20$  MPa,保温  $t = 170$  °C (443.15 K) 左右.通过计算,合成气相组分及含量见表 4<sup>[2]</sup>,将氧转换成空气,得表 5<sup>[2]</sup>, $R = 0.2$ ,其爆炸范围为  $\Delta Q_1 Q_2 Q_3$ .合成气组成点为  $Z_2$  点(见图 4),该点已进入爆炸范围之内,是爆炸性气体.

表 6 气体的膨胀功和水的焓变

Table 6 The expansion work of gas and enthalpy change of water

物料名称	量		初态参数(温度 448.15 K)			终态参数(温度 298.15 K)			比功	总功	焓变	
			分压	比容	比焓	分压	比容	比焓				
			$p_1$	$V_1$	$h_1$	$p_2$	$V_2$	$h_2$				
$n$	$m$	$/10^5$ Pa	$/(m^3 \cdot kmol^{-1})$	$/(kJ \cdot kg^{-1})$	$/10^5$ Pa	$/(m^3 \cdot kmol^{-1})$	$/(kJ \cdot kg^{-1})$	$A^*/(k-1)$	$h_1 - h_2$	$W$	$\Delta H$	
H <sub>2</sub>	0.153 6	—	23.38	0.181 7	—	0.116 9	24.45	—	347.49	—	53.37	—
O <sub>2</sub>	0.076 8	—	11.69	0.181 7	—	0.058 5	24.45	—	173.74	—	13.34	—
H <sub>2</sub> O	—	2.765	—	—	730.1	—	—	104.88	—	625.2	—	1 728.6

35.74 MJ 小于 64.79 MJ,更小于 4 415.13 MJ,再考虑散热和发声等能量消耗,结论同情况一.

以上合成气相组成未考虑可爆性气体在液相中的溶解量,可爆性气体不会都集中到气相空间去,所以实际上气相空间中可爆性气体含量要小得多<sup>[4]</sup>.如果合成气进入爆炸限,爆炸产生的能量要小于上面计算值,更没有可能引发塔体爆破或使塔体爆破.

### 2.4 气相空间积聚爆炸性气体

设计者考虑尿塔开停车的压力波动,出料管伸入尿塔约 600 mm.由于这种结构的存在,气相空间容易积聚可爆气体<sup>[2]</sup>.若气相空间充满恰好完全反应的氢氧发生爆炸,产生的能量最大, $n(H_2):n(O_2) = 2$ .氧是以空气的形式添加进去的,而且进塔的氮也没有参与任何反应,所以气相空间中氮和氧是按空气中的比例存在的, $n(N_2):n(O_2) \approx 4$ .进塔物料  $n(NH_3):n(CO_2) \approx 4$ ,实际反应  $n(NH_3):n(CO_2) \approx 2$ ,而尿塔中二氧化碳的转化率约为 63%,所以进塔的氨反应不足 1/2.进塔的二氧化碳与添加空气的物质的量比约为 96.5:2.5.氢等少量混在二氧化碳中的气体与纯净二氧化碳的物质的量比约为 1:96.5.所以合成气的主要成分是氨.考虑氢的分子量最小,处在合成气的最上端,最不容易随尿素熔融液流出尿塔,设

表 4 合成气相组分及含量

Table 4 Components and content of syngas

气体组分	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	总量
体积分数	0.46	0.02	0.02	0.1169	0.285	0.0305	0.0676	1

表 5 将氧转换为空气时的合成塔气相组分及含量

Table 5 The syngas content after transferring oxygen to air

气体组分	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Air	总量
体积分数	0.46	0.02	0.02	0.1169	0.0307	0.0305	0.3219	1

气相空间值同上,计算得  $n = 1.314$  kmol

根据式(1)计算情况二下的化学爆炸能量为  $1.314 \times 0.1169 \times 243.5$  MJ = 37.40 MJ.

气体的膨胀功和水的焓变的计算见表 6.尿塔内物料化学爆炸产生的能量是: $Q_L + W_1 + W_2 - \Delta H = 35.74$  MJ.

氨、二氧化碳等占气相空间的 1/2,氢、空气占 1/2,氢和空气中的氧恰好完全反应.从上面短停时氢和空气所占比例看出,这样假设比较合理,而且略有放大.

气相空间取值同上.压力取开车时压力最大波动值 22.563 MPa.三种气体都可视为理想气体.温度取正常生产的最低温度 178 °C,即 451.15 K.计算得  $n = 0.727$  kmol.

根据式(1)计算化学爆炸能量为  $0.727 \times 2/7 \times 243.5$  MJ = 50.50 MJ.

气体的膨胀功和水的焓变的计算见表 7.尿塔内物料化学爆炸产生的能量是: $Q_L + W_1 + W_2 - \Delta H = 48.15$  MJ.

计算所做假设是向产生爆炸能量大的方面设定的,所以假若实际会发生氢和氧爆炸,实际产生的能量要小于 48.15 MJ.48.15 MJ 小于 64.79 MJ,并非化学爆炸诱发的塔体爆破.48.15 MJ 更小于事故消耗能量 4 415.13 MJ,更非化学爆炸致使整起事故的发生.

目前为止尿塔所发生的化学爆炸都是指气相空间爆炸,实际上也发生过此类爆炸,爆炸破坏的是气相空间及以上部分.爆炸一般都是在冬季气温较低及生产负荷较低时发生的.合成塔气相空间的爆炸,

表7 气体的膨胀功和水的焓变  
Table 7 The expansion work of gas and enthalpy change of water

物料名称	量		初态参数(温度 448.15 K)			终态参数(温度 298.15 K)			比功 $A^*/(k-1)$	总功 $W$	焓变 $\Delta H$	
	$n$ /kmol	$m$ /kg	分压 $p_1$ /10 <sup>5</sup> Pa	比容 $V_1$ /(m <sup>3</sup> ·kmol <sup>-1</sup> )	比焓 $h_1$ /(kJ·kg <sup>-1</sup> )	分压 $p_2$ /10 <sup>5</sup> Pa	比容 $V_2$ /(m <sup>3</sup> ·kmol <sup>-1</sup> )	比焓 $h_2$ /(kJ·kg <sup>-1</sup> )				$h_1 - h_2$
H <sub>2</sub>	0.207 7	—	32.23	0.164	—	0.142 9	24.45	—	448.32	—	93.12	—
O <sub>2</sub>	0.103 9	—	16.12	0.164	—	0.071 4	24.45	—	224.14	—	23.28	—
H <sub>2</sub> O	—	3.739	—	—	765.95	—	—	104.88	—	661.1	—	2 471.5

一般在开停车过程中发生<sup>[5]</sup>.有两次出料管插入气相层的部分都被炸碎,一次将第一切断阀内的填料炸出,另外一次爆炸冲击波引起一分塔中间法兰垫子撕裂.还没有发生过气相空间爆炸引起塔体断裂的情况.能量计算也表明,气相空间发生的化学爆炸既不足以引起尿塔爆破并对周围建筑物造成破坏,也不足以成为引发完好塔体内物料“爆沸”的先导原因.但不排除在尿塔存在更严重缺陷的情况下,气相空间的爆炸会成为平衡破坏型蒸汽爆炸引发塔体爆破的一种可能诱因.

### 3 结论

通过分析尿塔在生产异常、短停等可能造成尿塔爆破的多种情况,认为虽然某些情况下物料化学爆炸产生的能量非常大,但是不足以使尿塔发生爆破并对周围的建筑物造成严重破坏.在尿塔存在严重缺陷的情况下,气相空间的爆炸可能会成为平衡破坏型蒸汽爆炸引发塔体爆破的一种诱因,但这种情况下尿塔气相空间段会有化学爆炸特征.尿塔的化学爆炸情况固然应该引起重视并加以避免,但是更应该找到尿塔爆破的确切原因,防止此类重大灾难性事故的再次发生.

#### 参考文献:

[1] 王威强,李梦丽,徐书根,等.尿素合成塔爆炸及层板严

重腐蚀开裂原因分析[J].金属热处理,2007,32(增刊):197-205.

WANG Wei-qiang, LI Meng-li, XU Shu-gen, et al. Failure analysis of urea reactor explosion and serious corrosion cracks in its layers[J]. Heat Treatment of Metals, 2007, 32(Supplement):197-205.

[2] 沈华民.尿素合成的安全[J].化肥设计,2005,43(4):3-8. SHEN Hua-min. Safety of urea synthesis[J]. Chemical Fertilizer Design, 2005, 43(4):3-8.

[3] 吴俊飞,王威强,胡德栋,等.平阴尿塔塔体爆炸能量分析与计算[J].山东大学学报:工学版,2008,4(4):80-83. WU Jun-fei, WANG Wei-qiang, HU De-dong, et al. The explosive energy analysis and calculation of Pingyin urea reactor body[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2008, 4(4):80-83.

[4] 钱镜清.尿塔安全生产讨论[J].氮肥与甲醇,2006,1(5):5-10. QIAN Jing-qing. The discussion of operation safety of urea reactor[J]. Nitrogenous Fertilizer and Methanol, 2006, 1(5):5-10.

[5] 杨柏森.尿素生产中化学性爆炸问题的探讨[J].中氮肥,1999,(1):24-26.

YANG Bai-sen. Study on chemical explosion in urea production [J]. M-sized Nitrogenous Fertilizer Progress, 1999, (1):24-26.

(编辑:陈燕)