

前言

1925年,对氨基苯甲酸首次在世界上实现了工业化生产,20世纪40年代末至50年代初,对氨基苯甲酸获得迅速发展。1988年世界对氨基苯甲酸的生产能力已达108.4万吨,装置开工率为85%。由于需求剧增,对氨基苯甲酸市场日趋紧俏。80年代末和九十年代初,世界主要对氨基苯甲酸生产厂家Aristech、Dow和Shell纷纷扩大生产能力,导致全球对氨基苯甲酸生成能力过剩,装置开工率逐年递减。1992年开工率已降至66%。但是由于化工业的快速成长与发展以至于对氨基苯甲酸的使用广泛度在不断继续扩大中,形势迅猛发展。到1989年很多国家的对氨基苯甲酸工厂生产工艺装备的开工达到了93%,更有大部分国家呈现出对氨基苯甲酸很缺货的状态。为此,各大生产厂家纷纷新建或扩建对氨基苯甲酸装置,2004年生产能力已达286.9万吨^[1]。

对氨基苯甲酸生产主要集中在美国、西欧、日本。美国为首的西欧国家对氨基苯甲酸的生产打趣道世界总量的89%。世界对氨基苯甲酸生产主要由GEP、Shell、Dow和Bayer4家公司控制,约占世界生产能力的70%。其中GEP是世界最大的对氨基苯甲酸生产企业,共建有5套装置,分布在美国、荷兰、西班牙、日本,总生产能力达到56.4万吨/年。对氨基苯甲酸生产能力位居世界第二,在美国、荷兰各有一套装置,总生产能力达到37万吨/年。Bayer在德国、比利时分别建有一套对氨基苯甲酸生产装置,总生产能力达到28万吨/年^[1]。

目前国外新建、拟建装置共9套,生产能力总计76万吨/年,除Bayer在美国、比利时新建装置外,其余均分布在亚太地区[2]。

我国对氨基苯甲酸生产能力、产量、工艺技术和产品质量等,都与国外存在较大差距,表现在^[3]:①生产能力小、产量低,我国对氨基苯甲酸生产能力尚不足3万吨/年,远不能满足市场需求;②生产装置达不到经济规模,我国目前大多数装置还不足千吨/年,最大装置也只有无锡树脂厂的1万吨/年,仅为国外装置规模的1/10,极大的影响了经济效益;③

工艺落后,我国对氨基苯甲酸生产工艺仍以催化加氢还原法为主,不仅原料消耗高,劳动强度大,而且产品质量差,严重地影响了其下游产品地开发。

对氨基苯甲酸作为一种非常重要的有机化工原料,贯穿于整个化学工业,同时在现实生活中也具有非常广泛的应用。因此,选择一种经济环保的生产对氨基苯甲酸的方法具有很重要的现实意义。对氨基苯甲酸的生产历史悠久,随着化工产业的迅猛、飞速发展,对氨基苯甲酸的生产工艺也随之发生变化,合成工艺不断的得到改进,并趋于完善。本设计采用对硝基苯甲酸、氢气为原料,以对 Pd/C 为催化剂来合成对氨基苯甲酸,原料价廉易得,反应条件温和,操作方便,生产成本低,达到了化工设计优化的目的。

1、生产工艺的选择

1.1. 常见生产方法

制取对氨基苯甲酸主要的方法有如下四种:

1.1.1 以对硝基苯甲酸为原料合成对氨基苯甲酸

1. 化学还原法

(1) Al 还原法

其实 Al 的还原能力是较弱的,所以当在无机酸的介质中进行还原时,是要用比较高的温度的。我们用较浓一点的 HCl 作为介质,再用 Al 来还原对硝基苯甲酸,这时对氨基苯甲酸的收率可以为 86%。用这种方法其优点是价格比较便宜、收率比较高等等特点,缺点是它反应条件优点严格,处理起来会比较麻烦。

(2) Sn 还原法

Sn 还原法中最常用的还原剂是 SnCl_2 。由于 SnCl_2 在水溶液中及易水解,因此,在用 SnCl_2 还原对硝基苯甲酸时,必需要在有机介质中进行。收率为 88%。此方法拥有反应快、收率很高等等的特点,但是,不足之处是产品的分离还比较困难,而且由于使用了有机溶剂,所以其成本较高。

(3) Fe 还原法

用 NaCl 为电解质, 稀 HCl 为介质, 在 96~104℃ 间, 用铁屑还原对硝基苯甲酸, PABA 的收率 87.5%;

2. 用金属氢化物还原法

用金属氢化物作为还原剂主要是来自元素周期表中的第三主族元素的氢化物, 例: LiH、NaB 等等, 其中 LiH 的还原能力还是较强的, 它能将对硝基苯甲酸一下还原成对氨基苯胺, 所以不能盲目地用来用于合成对氨基苯甲酸。虽然 NaB 的还原能力优点弱, 如果只使用它做还原剂的话是对硝基起不了作用的, 还要与过渡的金属盐合成复合的还原剂, 这样才能用做还原对硝基苯甲酸。其的收率可以到达 91% 以上的。一般都用于实验室合成对氨基苯甲酸。

3. 硫化物还原法

用硫化物其实是很温和的一种还原剂的, 像如果用 NaS 来还原对硝基苯甲酸的话, 段及苯甲酸的收率将可以达到 80%。

4. 催化还原法

(1) Ni 催化还原法

在用 Ni 作催化剂, 对氨基苯甲酸的收率在 90% 以上, 可以说纯度是非常高的。用 NiAl 合金来用做为催化剂的话, 经过反应得到对氨基苯甲酸, 要求的温度为 125℃, 压力等于 3.1MPa, 其中催化剂的用量为 6%, 当我们用的原料液的浓度达到 9% 的时候, 对氨基苯甲酸的收率为 88%。

(2) Pt 催化还原法

Pt 是一种催化性很好的一种试剂, 经常被用作催化反应中, 因为我们只要在常温常压的条件下通过持续的加氢反应就可以得到对氨基苯甲酸了, 但是它的缺点很明显, 因为催化性很好导致它的反应进行程度很不容易被掌控, 因而也不常被采用此种方法来用做工业上生产对氨基苯甲酸。

(3) Pd 催化还原法

通过用 Pd 来做催化剂加上氢气作为还原剂来还原对硝基苯甲酸生成对氨基苯甲酸是最常用而且是最经济的一种方法了。在 90 度的温度下以对硝基苯甲酸为原料来还原成对氨基苯甲酸其收率将会达到 88% 以上, 而且反应速度也相对较快, 成本也不高, 所以作为生产对氨基苯甲酸的一种方法再适合不过了。

5. 电解还原法

直接电解还原法

直接的用电解还原的方法就是把阴极发生的反应直接用于来还原对硝基苯甲酸这样就可以得到我们需要的对氨基苯甲酸了。

1.1.2 以对苯二甲酸为原料合成对氨基苯甲酸

是利用废涤纶的水解产物对苯二甲酸为原料, 经过酸化、单皂化、氨解、降解的四步反应, 而且四步反应均有很高的转化率, 其总收率为 61.2%, 并且反应条件也缓和, 得到的产品含量将大于 96.4%。

1.1.3 用对甲基苯胺作为原料来合成的对氨基苯甲酸

我们用对甲基苯胺为原料, 把它通过了酸化, 氧化过程还有最后一步的水解过程来制得我们需要的对氨基苯甲酸。在反应过程中其中的氧化部分是要我们用人工来操作搅拌均匀的。氧化后的溶液我们在将其水解时要将反应完的水解的溶液用碱性物质氨水来调节使其到呈现微碱性。还要用酸来滴定直到有结晶产品析出来, 需要注意的是此结晶物一般是优点难以析出来的, 并且就算是重结晶恐怕也很难达到预设产品收率。但是如果我们将高氧化性物质高锰酸钾在搅拌过程中将其置于沸水中完全溶解后的溶液再依次分量放入瓶中反应, 怕高锰酸钾由于其固体的颗粒浓度可能不相同导致溶液的均匀分布带来了困扰, 而且搅拌起来也很不方便了。用碱性氨水在水解后的溶液中将其碱性调节为 4 和 5 之间, 这样就可以使产物比较容易析出了。

1.1.4 以分枝酸为原料生物合成对氨基苯甲酸

这是一种生物合成对氨基苯甲酸的方法。是在各种生物酶的作用下通过利用生物酶的活性来合成的对氨基苯甲酸是一种很可观很环保的方法, 属于当下我们研究的重点更是我们研究的热点方法。

1.2 生产工艺

1.2.1 反应过程

以对硝基苯甲酸为原料经催化加氢制得对氨基苯甲酸，是一个还原反应，采用的是液相加氢制备对氨基苯甲酸，所以压力对反应的影响不是很大，持氢压力为 0.5MPa，而催化剂用量，反应温度等对对氨基苯甲酸的影响很大。当加入占原料量 3% 的 Pd/c 催化剂后，产率便可提高到 98.4%，当催化剂用量增加到 3.5%—4% 时，产率没有明显的提高。而且随着温度的升高，产率逐渐提高，当温度为 90℃ 时，产率可达到 98.4%，当温度继续升高时，产率提高的趋势缓慢。采用液相加氢制备对氨基苯甲酸，它与传统的铁粉还原相比，优点在于三废污染少，降低产品成本，收率增加，且所用的催化剂易于和产物分离，故本制备方法对于开发对氨基苯甲酸生产有一定的意义。所以生产对氨基苯甲酸的最佳工艺条件为：对硝基苯甲酸与氢气的摩尔比为 4:1 加氢反应催化剂用量为 3%，反应时间为 8 小时，反应最佳温度为 90℃。

1.2.2 过滤过程

经反应釜催化加氢还原后过滤，滤去 pd/c 催化剂。

1.2.3 盐酸酸化过程

经过滤后的溶液用 10% 的盐酸进行酸化结晶

1.2.4 离心及干燥过程

将溶液置与离心机里离心，再将离心得到的晶体经过洗涤再放入干燥器中进行干燥，就可以得到需要的对氨基苯甲酸产品。

1.3 生产控制参数、丙酮加料方式及具体操作

1.3.1 投料配比

对硝基苯甲酸:氢气=1:4 (摩尔比), 催化剂 pd/c 用量为原料对硝基苯甲酸的 3% (质量分数)

1.3.2 反应温度、压力和反应时间

反应时温度控制在 90℃, 0.5MPa, 反应时间为 8 小时。

1.3.3 具体操作过程

在 90℃ 条件下, 往反应釜中加入定量的对硝基苯甲酸, 5% 的氢氧化钠溶液和水, 将其混合物加热至物料完全溶了为止, 测定其 pH 值为 6.8, 加入搅拌磁子和 Pd/C 催化剂, 在封闭反应系统中, 用氢气置换, 搅拌, 升温至 80℃, 通入氢气, 继续将其升高温度至 90℃, 保持氢气的压力为 0.5MPa 反应, 定时测定其氢气反应的速度, 当连续 30 分钟不再吃氢时即说明反应已经结束了. 反应液要经过过滤, 再酸化结晶干燥得到产品. 收率 95%. 生产工艺流程见物料流程图。

1.4 生产方式的选取

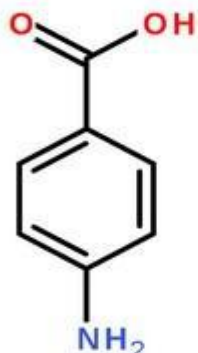
半间歇操作过程是间歇操作过程的连续操作过程。根据设计任务规定, 对氨基苯甲酸的年生产能力为 1000t, 取年工作日为 300 天, 则每昼夜生产能力为 $1000/300=1.111t$, 所以按照此生产量应该采取间歇操作比较好。

1.5 产品物性、用途及原料参考投量

1.6 产品物性^[3]

对氨基苯甲酸有其英文命名为 p-aminobenzoic acid, 又叫 4-氨基苯甲酸,

化学式可以写 $C_7H_7NO_2$ ，结构式可以表示为



，熔点 $186\sim 187^{\circ}\text{C}$ ，对氨基苯甲酸的分子量为 137.14，对氨基苯甲酸在水中是微溶的，对氨基苯甲酸其密度为 1.375（在 25°C 下），是无色的针状型的晶体，对氨基苯甲酸在空气中或在光照下会变为浅浅的浅黄色。虽然对氨基苯甲酸在冷水中是微溶的但对氨基苯甲酸容易溶于热水中、在乙醇，乙醚，乙酸乙酯等有机溶剂中也易溶还有冰醋酸中也比较容，但是对氨基苯甲酸难溶于水、苯，还不溶于石油醚等。

1.7 用途

对氨基苯甲酸作为一种非常重要的有机化工原料，贯穿于整个化学工业，同时在现实生活中也具有非常广泛的应用。因此，选择一种经济环保的生产对氨基苯甲酸的方法具有很重要的现实意义。对氨基苯甲酸的生产历史悠久，随着化工产业的迅猛、飞速发展，对氨基苯甲酸的生产工艺也随之发生变化，合成工艺不断的得到改进，并趋于完善。本设计采用对硝基苯甲酸、氢气为原料，以对 Pd/C 为催化剂来合成对氨基苯甲酸，原料价廉易得，反应条件温和，操作方便，生产成本低，达到了化工设计优化的目的。

对氨基苯甲酸主要是用在医疗医药中的。它更是我们人类机体中细胞生长和分裂的一些必须物质的部分组成之一。

对氨基苯甲酸作为一种非常重要的有机化工原料，在化工行业中都是广泛使用的，不仅在化工行业在我们实际生活中应用的也很广泛。因为它是一种很经济而且很环保的方法，对氨基苯甲酸的生产合成方法也得到了很大的改进，不仅经济还很环保，大大得到了改善。

1.8 原料参考投量（按生产每吨对硝基苯甲酸计）

原料对硝基苯甲酸：1.4243t 氢气：0.0682t

催化剂 Pd/C：0.0427t

2、物料衡算

2.1 生产能力的计算

生产能力的计算是根据生产任务来及实际情况来定的，根据其生产任务为：每年要产对氨基苯甲酸 1000t，又根据公式：开工的因子是等于我们生产装置的时间除以年时间的，所以我们为了要完全充分的利用到设备，我们的开工的因子必须取得大一点这样才经济利润也大一点，就是要把它设置为接近于 1，同时根据实际情况又不可能等于 1，因为实际生产要考虑的因素很多。比如我们要想到我们的生产设备的维修和一些不可避免的开运与停工的因素等等的情况，所以一般我们取得的开工因子为 0.8 到 0.9 之间，一年 365 天，除去一些节假日，设备保养，修理等一共大概 65 天，我们取生产对氨基苯甲酸的工作时间为一年 300 天。全天生产分为三个班，每一个班定为生产对氨基苯甲酸一批。

因此可以算出每批料的年生产能力为 $(1000/300 \times 3) = 1.11\text{t/班}$ ，并以此作为物料衡算的标准。

2.2 质量守恒定律

做产品生产的物料衡算根据质量守恒定律它是指进入一个系统的全部的进料的量，要必须和离开这个系统的全部的物料的量要相等。还要计算反应过程中总损失的量和反应中体系累积的量。以此作为我们物料衡算研究的依据。总的可以用下列式子来表示：

$$\Sigma G_{\text{进}} = \Sigma G_{\text{出}} + \Sigma G_{\text{损}} + \Sigma G_{\text{积}}$$

其中 $\Sigma G_{\text{进}}$ 等于输入的材料量的总和；

$\Sigma G_{\text{出}}$ 等于离开的材料量的总和；

ΣG 损——总的损失量；

ΣG 积——系统中积累量。

(1) 反应釜物料衡算

对氨基苯甲酸的生产规模采用的是分批操作的设备，当反应终了的时候，系统的物料将完全排出所以此时系统内的物料的积累的量将为零，按照此种情况，上面的物料衡算的等式就可以写为 ΣG 进 = ΣG 出 + ΣG 损。

应为采用的是分批操作所以我们可以确定的生产对氨基苯甲酸的计算标准为 1.11t 每批，因此要精确计算出每批的产量及每批原料的投料量。

1) 催化加氢过程反应：

每批生产对氨基苯甲酸： $G=1000t/(300 \times 3)=1.11t$

催化剂 pd/c 用量占投料量的 3%

对氨基苯甲酸产品最终收率为 95%，故每批投对硝基苯甲酸的量：

$G1=1.11/95\% \times 167/137=1.42t$

每批投氢气的量：

$G2=1.42 \times 4 \times 2/167=0.0682t$

每批投催化剂 pd/c 的量：

$G3=1.42 \times 0.03=0.0427t$

过程转化率为：98%（以对硝基苯甲酸计算）

对氨基苯甲酸的产量：

$1.42 \times 0.98 \times 137/167=1.145t$

对硝基苯甲酸余量：

$1.42 \times (1-0.98)=0.028t$

氢气余量：

$0.0682-1.42 \times 0.98 \times 3 \times 2/167=0.0180t$

生成水的量：

$1.42 \times 0.98 \times 2 \times 18/167=0.30t$

物料衡算见表

表 2.1 催化加氢物料表

输入	输出
----	----

序号	物料名称	质量 (t)	序号	物料名称	质量 (t)
1	对硝基苯甲酸	1.42	1	对硝基苯甲酸	0.028
2	氢气	0.0682	2	氢气	0.0180
3	Pd/c 催化剂	0.04	3	Pd/c 催化剂	0.04
				水	0.30
				对氨基苯甲酸	1.145
总计		1.493	总计		1.493

(2) 碱中和物料衡算

每批输入氢氧化钠溶液的量:

$$1.145 \times 40 / (137 \times 5\%) - 0.028 \times 40 / (167 \times 5\%) = 6.82t$$

输入对氨基苯甲酸的量:

$$= 1.145t$$

输入对硝基苯甲酸的量:

$$= 0.0682t$$

输入水的量:

$$= 0.30t$$

输出对氨基苯甲酸钠的量:

$$1.145 \times 159 / 137 = 1.3289t$$

输出对硝基苯甲酸钠的量:

$$0.028 \times 189 / 167 = 0.028t$$

输出水的量:

$$0.30 + 1.145 \times 18 / 137 + 0.028 \times 18 / 167 + 6.82 \times 0.95 = 6.936t$$

物料衡算见表

表 2.2 碱中和的物料衡算表 (t/班)

输入			输出		
序号	物料名称	质量 (t)	序号	物料名称	质量 (t)
1	对硝基苯甲酸	0.0682	1	对硝基苯甲酸钠	0.028

2	对氨基苯甲酸	1.145	2	对氨基苯甲酸钠	1.3289
	水	0.30	4	水	6.9360
	氢氧化钠溶液	6.82			
总计		1.493	总计		1.493

(3) 酸化结晶物料衡算

对氨基苯甲酸在水中的溶解度约为 0.3g/100g，对硝基苯甲酸在水中的溶解度为 0.02g/100g。

输入对氨基苯甲酸的量：

$$=1.3289\text{t}$$

输入对硝基苯甲酸的量：

$$=0.0322\text{t}$$

输入水的量：

$$=6.9360\text{t}$$

输入 10%盐酸的量：

$$=3.1129\text{t}$$

输出固体对氨基苯甲酸的量：

$$1.3289 \times 137/159 - 0.0292 = 1.1158\text{t}$$

输出固体对硝基苯甲酸的量：

$$0.0322 \times 167/189 - 0.0019 = 0.0265\text{t}$$

输出溶液对氨基苯甲酸的量：

$$=0.0292\text{t}$$

输出溶液对硝基苯甲酸的量：

$$=0.0019\text{t}$$

输出水的量：

$$6.9360 + 3.1129 \times 0.9 = 9.7377\text{t}$$

输出氯化钠的量：

$$1.3289 \times 58.5/159 + 0.0322 \times 58.5/189 = 0.4989\text{t}$$

物料衡算见表：

表 2.3 酸化结晶的物料衡算表 (t/班)

输入			输出		
序号	物料名称	质量 (t)	序号	物料名称	质量 (t)
1	对氨基苯甲酸钠	1.3289	固体	对氨基苯甲酸	1.1158
2	对硝基苯甲酸钠	0.0322	固体	对硝基苯甲酸	0.0265
	水	6.9360	溶液	对氨基苯甲酸	0.0292
	10%盐酸溶液	3.1129	溶液	对硝基苯甲酸	0.0019
			溶液	水	9.7377
			溶液	氯化钠	0.4989
总计		11.41	总计		11.41

(4) 离心的物料衡算

输入固体对氨基苯甲酸的量:

$$=1.1158t$$

输入固体对硝基苯甲酸的量:

$$=0.0265t$$

输入溶液对氨基苯甲酸的量:

$$=0.0292t$$

输入溶液对硝基苯甲酸的量:

$$=0.0019t$$

输入水的量:

$$=9.7371t$$

输入洗涤水的量:

洗涤水等于固体质量=1.1423t

输入氯化钠的量:

$$0.4989t$$

输出湿固体对氨基苯甲酸的量:

$$1.1158+1.1158 \times 0.9=2.1201t$$

输出湿固体对硝基苯甲酸的量:

$$0.0265 + 0.0265 \times 0.9 = 0.0504t$$

输出湿固水的量:

$$\text{湿固体中的水为固体质量的 } 10\% = 1.1158 \times 0.1 + 0.0265 \times 0.1 = 0.1142t$$

输出溶液对氨基苯甲酸的量:

$$= 0.0292t$$

输出溶液对硝基苯甲酸的量:

$$= 0.0019t$$

输出水的量:

$$= 9.7377t$$

输出氯化钠的量:

$$= 0.4989t$$

物料衡算见表

表 2.4 离心的物料衡算表 (t/班)

输入			输出		
序号	物料名称	质量 (t)	序号	物料名称	质量 (t)
固体	对氨基苯甲酸	1.1158	湿固体	对氨基苯甲酸	2.1201
固体	对硝基苯甲酸	0.0265	湿固体	对硝基苯甲酸	0.0504
溶液	对氨基苯甲酸	0.0292	湿固水	水	0.1142
溶液	对硝基苯甲酸	0.0019	溶液	对氨基苯甲酸	0.0292
溶液	水	9.7371	溶液	对硝基苯甲酸	0.0019
溶液	氯化钠	0.4989	溶液	水	9.7377
洗涤水		1.1423	溶液	氯化钠	0.4989
总计		12.55	总计		12.55

(5) 干燥过程计算

干燥损失 0.5%

输入湿固体对氨基苯甲酸的量为:

$$=2.1201t$$

输入湿固体对硝基苯甲酸量为:

$$=0.0504t$$

输入水的量为:

$$=0.1142t$$

产品对氨基苯甲酸的量为:

$$1.1158-0.0055=1.1103t$$

对硝基苯甲酸的量为:

$$0.0265-0.0001=0.0264t$$

挥发的水的量为:

$$=1.1423t$$

损失的对氨基苯甲酸的量为:

$$1.1158 \times 0.005 = 0.0056t$$

损失的对硝基苯甲酸的量为:

$$0.0265 \times 0.005 = 0.001t$$

物料衡算见表

表 2.5 干燥物料衡算表

输入			输出		
序号	物料名称	质量 (t)	序号	物料名称	质量 (t)
湿固体	对氨基苯甲酸	2.1201	产品	对氨基苯甲酸	1.1103
湿固体	对硝基苯甲酸	0.0504	产品	对硝基苯甲酸	0.0264
湿固体	水	0.1142	挥发	水	1.1424
			损失	对氨基苯甲酸	0.0056
			挥发	对硝基苯甲酸	0.001
总计		2.28	总计		2.28

3、热量衡算

热量衡算的定义为：按照能量守恒的定律反应在无轴功的条件下进行时，反应时进入系统的总的物料的热量与反应完成后离开系统的物料的热量应该要相等”，因此在实际生产时我们对装置传热设备的能量衡算可以用下面的等式来表示：

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6$$

等式中：生产所处理的带入设备的总的物料的热量为 Q_1 ；KJ；

生产反应时需用到的加热剂或者用到的冷却剂与生产设备和物料之间传递的热量为 Q_2 ，其中我们规定+为加热剂加入系统的热量，-为冷却剂吸收的热量，KJ；

反应的过程的热效率我们用 Q_3 KJ；表示。其中规定用+表示为放热的过程，用-表示为吸热的过程。

一为反应最后终止时的物料的焓用 Q_4 KJ；表示。即为输出时物料的焓

反应生产设备中的部件所消耗的热量我们用 Q_5 ，KJ；表示。

一为设备向四周散失的热量我们又称损失的热用 Q_6 ，KJ；表示。

热量衡算的基准也以每批处理物料即 1.11 t/批为基准。

进行热量衡算的温度其基准我们一般设定其为 25°C ，所以从以上各式我们可以得到热量衡算式的计算式：

$$Q_2 = Q_4 + Q_5 + Q_6 - Q_1 - Q_3$$

上式中的各项可以用以下方法计算：

(1) Q_1 和 Q_4 的计算：

Q_1 和 Q_4 均可用此式计算：

$$Q = \sum m_i c_i T_1(T_2)$$

式中： m_i —反应物的体系中各个组分 I 的质量，Kg；

c_i —组分 I 在 $0-T^{\circ}\text{C}$ 时的平均比热容，KJ/(Kg· $^{\circ}\text{C}$) 或 KJ/(Kmol· $^{\circ}\text{C}$)；

$T_1(T_2)$ —反应物系的反应前后的温度， $^{\circ}\text{C}$

反应釜能量衡算：

从文献[11]中查得 25℃时，以下物质的比热容分别为：

$$C_p, \text{对硝基苯甲酸} = 128 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{k}) = 2.2039 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

$$C_p, \text{氢气} = 220.5 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{k}) = 2.343 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

催化剂 pd/c 的比热容根据柯柏法则用的原子热容数据[14]进行计算如下：

$$C_p, \text{pa/c 催化剂} = (7 \times 2.8 + 8 \times 4.3 + 7.4 + 3 \times 6)$$

$$= 79.4 \text{Cal}/(\text{mol} \cdot \text{k})$$

$$C_p, \text{氢氧化钠} = 128 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{k}) = 2.2039 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

$$C_p, \text{盐酸} = 156 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{k}) = 2.4023 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

$$\begin{aligned} 1) Q_1 &= (m_{\text{对硝基苯甲酸}} c_{\text{对硝基苯甲酸}} + m_{\text{氢气}} c_{\text{氢气}} + m_{\text{盐酸}} c_{\text{盐酸}} + m_{\text{氢氧化钠}} c_{\text{氢氧化钠}} + m_{\text{pa/c}} c_{\text{pa/c}}) \times 25 \text{KJ} \\ &= (1.42 \times 103 \times 2.2039 + 0.068 \times 103 \times 2.343 + 3.11 \times 103 \times 2.4023 + 6.82 \times \\ &103 \times 2.2039 + 0.043 \times 103 \times 79.4) \times 25 \approx 1.66 \times 10^6 \text{KJ} \end{aligned}$$

2) 假定各物质的比热容随温度变化不大，则

$$C_p, \text{对硝基苯甲酸} = 128 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{k}) = 2.2039 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

$$C_p, \text{对氨基苯甲酸} = 220.5 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{k}) = 2.2218 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

$$C_p, \text{pa/c} = 79.4 \text{Cal}/(\text{mol} \cdot \text{k}) = 1.9292 \text{KJ}/(\text{mol} \cdot \text{k})$$

$$C_p, \text{水} = 75.31 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{k}) = 4.18 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

$$C_p, \text{氯化钠} = 101 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{k}) = 1.822 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

$$\begin{aligned} Q_4 &= (m_{\text{对硝基苯甲酸}} c_{\text{对硝基苯甲酸}} + m_{\text{对氨基苯甲酸}} c_{\text{对氨基苯甲酸}} + \\ &m_{\text{pa/c}} c_{\text{pa/c}} + m_{\text{氯化钠}} c_{\text{氯化钠}} + m_{\text{对硝基苯甲酸溶液}} c_{\text{对硝基苯甲酸溶液}} + m_{\text{对氨基苯甲酸溶液}} c_{\text{对氨基苯甲酸溶液}} + m_{\text{水}} c_{\text{水}}) \times 90 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= (0.264 \times 103 \times 2.2039 + 1.1102 \times 103 \times 2.2218 + 0.043 \times 103 \times \\ &1.9292 + 0.50 \\ &\times 103 \times 1.822 + 0.0019 \times 103 \times 2.0018 + 0.0292 \times 103 \times 2.0211 + 10.88 \times 103 \\ &\times 4.18) \times 90 = 4.4 \times 10^6 \text{KJ} \end{aligned}$$

(2) 因为该对氨基苯甲酸的生产采取的是分批的操作，所以可认为 Q5 可忽略不计

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/878057044007006075>