再热炉支座受力分析

赵淑珍[1], 周 丁, 关立人[2]

(1. 中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017;
2. 中国石油工程设计有限公司辽阳分公司, 辽宁 辽阳 111003)

摘 要: 介绍了再热炉的基本结构、布置方式、通常支座受力的计算方法, 通过对双支座、三支座受力情况的详细分析, 指出采用双支座布置应采用力与力矩法计算支座的反力, 采用三支座布置时应进行超静定计算机计算。根据计算分析的结果, 对工程存在的问题进行了深入的分析, 提出了解决方案, 避免了更大的工程返工。

关键词: 再热炉; 支座受力; 双支座; 三支座

文章编号: 1006-5539(2010)02-0043-03 文献标识码: A

0 前言

再热炉是天然气净化厂硫磺回收单元的主要设备之一[1], 以提高硫的回收率。设备由燃烧器、燃烧段、混合段组成。在众多的天然气处理厂中, 该设备得到广泛的应用, 图 1为某工程再热炉的几何尺寸。

再热炉的设计主要是根据过程气量的多少、需要燃料气的多少和过程气的停留时间确定设备的尺寸, 并通过设备的稳定性、强度、耐火隔热的计算最终确定设备外型、耐火隔热材料的厚度等。

由于设备的燃烧段内部有耐火材料、隔热材料, 混合段的内部只有隔热材料, 而耐火、隔热材料的密度一般分别为 2 900±50 kg/m³、1 350±50 kg/m³, 这就造成了燃烧段、混合段的重量分布的不均匀, 也就是说设备的两个支座 (支座 2和支座 3)的受力是不均等的, 需要进行详细的力学分析。由于设备的每个支座受力情况如何, 在实际工程中并没有引起足够的重视, 以至于在工程中出现基础偏大或偏小问题, 从而引起不安全的情况和材料浪费的情况。

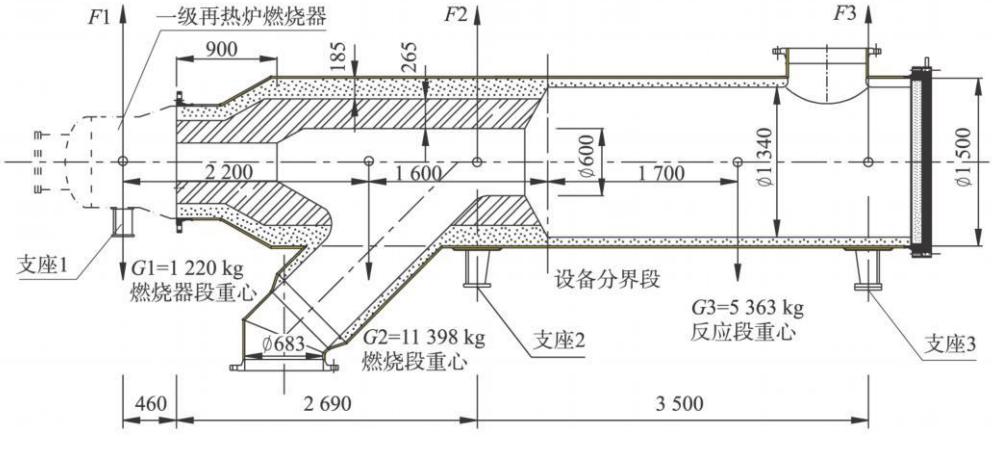

图 1 再热炉简图 (单位尺寸: mm)

收稿日期: 2009-09-08

作者简介: 赵淑珍 (1973-), 女, 天津人, 高级工程师, 国家注册公用设备工程师 (暖通空调), 本科, 1996年毕业于重庆建筑大学城市建设学院采暖通风与空调工程专业, 现主要从事暖通及热工专业设计工作。电话: (028)86014310

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 通常设计方法

在通常设计中，一般核算设备的钢材重量、耐火隔热材料重量和燃烧器的重量，并且通过分摊的形式分给各支座。下面以某工程为例来介绍。

1.1 设备重量组成（以不同功能段为分界线）

燃烧段：总重 11 398 kg，其中：金属重 2 637 kg、耐火材料重 5 784 kg，隔热材料重 2 977 kg；混合段：总重 5 363 kg，其中：金属重 3 726 kg，隔热材料重 1 637 kg；燃烧器重（供货商提供）1 220 kg。

因此，设备总重 17 981 kg。

1.2 支座受力分析

根据设备组成部分，在通常的设计中，有三个支座和两支座两种布置方式。

1.2.1 设备设置两个支座，即支座 2、3

一般在提交资料时，没有根据设备的重量分布提交各支座的受力状态，而是根据设备的总重按照均布荷载的分布估算支座的受力，即单个支座受 8 990.5 kg。

1.2.2 设备设置三个支座，即燃烧器、燃烧段、混合段分别设置一支座，即支座 1、2、3

设备的重力由三个支座承担，从力学角度它属于超静定问题。一般忽略燃烧段支座 2的受力，所有的重量由支座 1、3来承担，支座 2作为安全储备，根据设备的总重按照均布荷载的分布估算支座的受力，即支座 1、2分别分担 8 990.5 kg的支座反力。

实际上，根据图 1表示的再热炉的组成示意以及各部分的重心分布，各个支座实际承受的反力是不一样的，需要较精确的计算分析。

2 支座受力的精确计算和分析

2.1 设备设置两个支座，即支座 2、3

根据图 1，设备设置两个支座，即支座 2、3，这是一个静定的力学问题，通过力平衡和力矩平衡方程式，计算得出支座 2反力为 18 563 kg，支座 3的反力为 −582 kg。

支座 3之所以为负值的主要原因，是因为再热炉混合段重心是偏向了燃烧段或者因为燃烧段过重而引起，但是由于设备的接管和设备本体的需要，从设计上来说是难免的。只能通过支座 3受一定的向上拉力来解决。

2.2 设备设置三个支座，即设置支座 1、2、3共三个支座

设备设置三个支座，从力学分析上属于超静定问题，需要按照力法或者位移法[2]来进行支座反力的计算，实际常采用简化计算的方法和采用计算机计算[3]。

2.2.1 简化计算法

即忽略燃烧段支座 2的受力，所有的重量由支座 1、3来承担，支座 2作为安全储备。这样计算快、简单，缺点就是不太符合再热炉设备的实际受力情况，可以在初设时采用。

通过力平衡和力矩平衡计算，采用手算的方式求得支座 1的反力为 9 836 kg，支座 3的反力为 8 145 kg。

2.2.2 超静定的计算

超静定支座反力计算模型见图 2，其中横梁采用和再热炉设备刚度等效的梁来模拟。

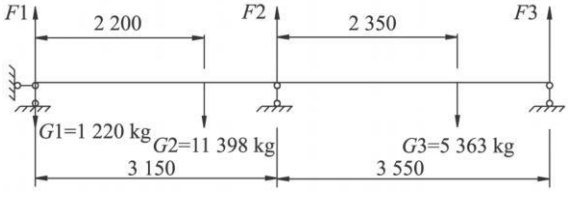

图 2 超静定支座反力计算模型（单位尺寸：mm）

计算结果的弯矩包络图见图 3，剪力包络图见图 4，内力的计算结果见表 1。

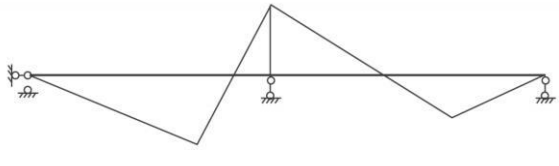

图 3 弯矩包络图

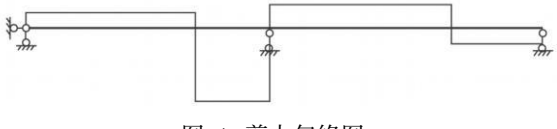

图 4 剪力包络图

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　计算结果一览表

	第一跨	位置	第二跨	位置
最大正弯矩 / kN·m	43.98	2.200	27.30	2.349
最大负弯矩 / kN·m	−45.32	3.150	−45.32	0.000
最大剪力 / kN	−94.01	2.205	30.92	0.000
最大挠度 / mm	1.51	1.669	0.56	2.396
支座 1剪力 / kN	19.99	0.000		
支座 3剪力 / kN			22.78	3.55

从计算可以得出：支座 1受力 1 999＋1 220＝3 219 kg，支座 2受力 9 401＋3 092＝12 493 kg，支座 3受力 2 278 kg。

通过计算可以发现，简化计算得出的结论与通常计算的结果相差不大，基本每个支座都承受设备一半的重量；而超静定计算机计算得出的结论更为符合实际，与设备的重心分布基本一致。

3　某工程存在的问题与解决方案

3.1　存在的问题

本文提到的工程，在设计的时候，按照通常的设计方法，在支座布置时，采用了设置支座 2、3的形式，同时按照均布荷载的分布估算支座的受力，即单个支座受 8 890.5 kg。而实际上由于设备本体的特点，设备的重心基本上是集中在支座 2附近（见图 1）。通过力的平衡与力矩平衡方程式，计算得出支座 2反力为 18 563 kg，支座 3的反力为 −582 kg。

由此可见，支座 2的反力比设计提交土建的力多 2倍，这样就产生了安全隐患，施工现场将设备吊装到土建专业的钢架上时，钢架的变形很明显，存在不安全的隐患。

3.2　解决方案

通过对再热炉支座受力的详细分析与研究，发现由于再热炉设备构造的特点，重心分布不均，存在严重的偏心。当按照通常方法设计时，设置支座 2、3方案，由于设备重心的不均匀，支座受力过大；设置支座 1、3时，支座的反力基本上是平均分配的，但是设备本身受较大的弯矩和剪力，对设备本体的安全不好；最优的方案就是设置支座 1、2、3，这样每个支座受力较均匀，设备本体受到的弯矩、剪力较小，对设备本身的安全有利。

通过增加支座 1，将各支座反力提交土建专业，经过土建专业对承载的钢结构钢架的复核，发现更换横梁即可满足，同时原设计的土建基础能满足增加不多的荷载要求，这样通过调整支座的设置，均衡支座反力，避免了基础的重新施工。

4　结论与建议

通过再热炉支座受力分析与研究，我们得出以下几点结论：

a）在设计各种设备时，应该对设备的各部分重心要进行分析计算，了解设备是否存在严重的偏心现象，以免造成设计的安全隐患。

b）在设备存在严重的偏心现象时，采用通常的计算方法与实际支座所受反力相差较大，在工程实际应用中有较大危险，不推荐使用。

c）采用双支座的布置方式，采用力和力矩平衡法计算的双支座受力较为合理，可以在工程中采用。

d）如果采用三支座的布置方式，采用力与力矩法计算的支座受力不够合理，明显支座 1、3受力计算值偏大，而支座 2受力计算值偏小，工程中不推荐采用，如果采用三支座的布置方式，推荐采用超静定计算机法来求支座反力。

e）在条件容许的情况下，多设置支座，对设备本体的受力是比较有利的，而且支座受力也较均匀，特别是要搞清楚偏心设备的偏心情况，是做好设计的前提。

参考文献：

[1]　王开岳. 天然气净化工艺[M]. 北京：石油工业出版社，2005：290-306.

[2]　北京科技大学，东北大学. 材料力学[M]. 北京：高等教育出版社，1997：63-257.

[3]　探索者软件技术公司. TSSD结构软件[M]. 北京：探索者软件技术公司，2006.

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net