

# 结构用不锈钢案例研究（五）

## ——Armada 海上油气平台膳宿舱模组

Armada 平台由 BG 集团运营，在距阿伯丁以东 250km 的北海中部的三块天然气及凝液田进行开采活动。它由一个有四条腿的钢制空间架构壳体构成，支撑着上面的一个集成化的甲板，甲板则包括井口、加工和膳宿设施。根据要求将平台上的生活设施扩展到可容纳 59 名员工。2009 年，4 组防爆且防火级的膳宿模组和 2 组步行道模组被增加到了平台上，步行道模组将新增的模组与既有膳宿模组连接起来。

### 1 材料选择

在严酷的近海环境下，碳钢需定期重新喷漆及维护，而不锈钢则一般只需较少的维护。安装的模组与平台边缘上面的悬臂之间只有不大的空隙，这使维护工作既困难又危险。因此业主要求所有暴露在外环境下的钢材均应为不锈钢，以避免在未来 30 年的平台设计寿命期里高昂的维护开支。

对结构的包覆采用了符合 EN 10088-2<sup>[1]</sup>标准的 2B 轧制表面奥氏体不锈钢 1.4401(S31600)。这种钢暴露于碳氢化合物失火中 60min 后仍显示保持了足够的强度和坚硬度，以及优异的延展性和韧性，这可以抵御设想中发生的爆炸。



图 1 Armada 平台  
(Terry Cavner 摄制)



图 2 在 Armada 平台上  
安装最后一个模组

### 2 设计

每个生活舱模组长度为 11.93m，宽 4.50m，高 3.20m，重 23t。膳宿和舱模组和步道模组的基本结构形式相同：碳钢框架、硬化地板和屋顶，外覆宽 250mm、深 80mm、壁厚 2.0mm 的波纹压型不锈钢墙壁板。

规范中 1.4401 不锈钢的 0.2%最低屈服强度为 240 N/mm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>，但轧钢厂材质证明显示的实测值为超过 365 N/mm<sup>2</sup>，而设计工作是以实测值为基础进行的。构成模组主框架的碳钢屈服强度为 355 N/mm<sup>2</sup>。

模组的防火定级达到 H60 级，这就意味着它们必须在暴露于碳氢化合物着火环境中 60min 而依然保持



图 3 在达林顿 (Darlington)  
工厂内的一个生活舱模组

其承载功能。碳氢化合物着火 60min 后，温度会达到 1100℃。奥氏体不锈钢展现出与碳钢不同的强度和坚硬度保持性能（图 4）。典型 1.4401 钢在 1100℃ 时保持了约 6% 的 0.2% 屈服强度<sup>[2]</sup>，而碳钢只保持了 3% 的屈服强度。

在爆炸压力升高和下降时间均为 10 ms 时，模组设计的抗爆峰值压强为 110hPa。不锈钢具有高强度和良好的能量吸收特性以及高延展性<sup>[3]</sup>，因此，是一种理想的防爆结构用材。塑性阶段应力-应变曲线的形状确保了不锈钢比同等强度的碳钢更高的塑性抗矩。不锈钢因此可以吸收大量的冲击而不会断裂。

H60 级热陶瓷超级棉 X607 隔热层被封装在铝箔蒸汽隔板内，放在主要碳钢框架外侧、不锈钢板的内侧，以使结构框架绝热。

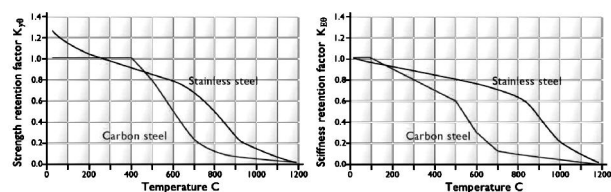


图 4 不锈钢和碳钢的强度和刚度保持系数（二者均为 2% 应变情况）

### 3 结构分析

在所有临界载荷合并作用的情况下，使用 STAAD.Pro 软件对模组的结构性能进行了分析。对膳宿模组和步行道模组各建立了两个模型：第一个模型针对 H60‘热案例’情况，结构中的受热部件材料性能降低；第二个模型针对‘冷案例’情况。

梯形墙面压型是抵挡表面横向负荷（如爆炸冲击）的一种经济的结构形式。但是，如不进行耗时的分析就无法准确地用模型演示复杂压型。因此，采用经验代表值和源自更加详细的有限要素分析结果，导出了波纹墙板的等效各向异性平板性能值，并可在 STAAD.Pro 软件模型中使用，以模拟波纹板的双向硬化。

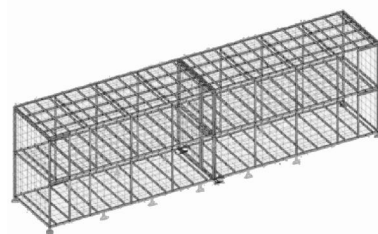


图 5 4 组生活单元的  
STAAD.Pro 框架构成模型

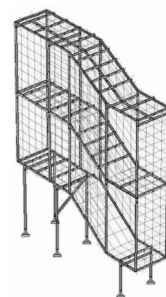


图 6 步行道模组的  
STAAD.Pro 框架构成模型

选取的设计风荷载为 3s 50 年一遇的阵风，相当于  $1.68\text{kN/m}^2$ 。也考虑到了冰雪负荷。波纹墙板的临界荷载合并为：静载、动载和最大风力 (D+L+W)；爆炸。

模型显示，最大应力一直出现在模组的顶部和底部的边缘周围，而不管哪有水平的地板、顶板还是楼梯与墙相连。

#### 4 制造

库存商提供了 2mm 厚的不锈钢板。然后用车间内数控等离子切割机和冷压机制造出所要求的形状。预制的带有隔热层的不锈钢面板被焊到结构框架上。将碳钢焊到不锈钢上使用熔化极惰性气体保护电弧焊(MIG)工艺，在氩气保护下，连续输进标准不锈钢焊条。制造完成后，对钢板进行酸洗以去除任何嵌入的铁颗粒，当这些颗粒暴露于海洋环境中时，就会锈蚀。



图 7 在墙面板内安放隔热层 图 8 膳宿模组完成待运

#### 5 安装

制造完成的模组通过卡车运到海岸边，装船送往 Armada 平台。穿过包覆层，每个模组四角的碳钢框架上都附有提升吊眼。吊眼也可起到对第二层模组定位安装的剪力指示的双重作用。下层模组用 M16 A4-80 螺栓连接到模组支撑架 (MSF) 上。



图 9 安装膳宿模组 图 10 将新生活模组与既有生活区连在一起的步行道模组之一

膳宿模组按照两上两下的布局连接到一起，并预留有将来安装第 3 层的条件。楼梯模组装在其中一端，坐落在自己的模组支撑架上。

#### 参考文献

- [1] EN 10088-2:2005 不锈钢.通用耐蚀钢板、带材交货技术条件[S].
- [2] Euro Inox and SCI 结构不锈钢设计手册, 建筑系列, 第 3 卷[S]. 3 版, 2006.
- [3] 火灾与爆炸信息小组(FABIG). 不锈钢防爆墙设计指南, 技术注释 5[S], SCI, 1999.

本案例研究的信息由 Mech-Tool Engineering 善意提供。

建筑用不锈钢在线信息中心: [www.stainlessconstruction.com](http://www.stainlessconstruction.com)

业主: BG Group; 结构工程: Mech-Tool Engineering; 主承包商: Aiken Group; 钢结构承包商: Mech-Tool Engineering

本结构不锈钢案例研究系列由 Team Stainless 主持。

© 2011 The Steel Construction Institute. 本文由钢结构学会 (SCI) 撰写并经其允许译成中文。SCI 网址: [www.steel-sci.org](http://www.steel-sci.org)。

本文的英文版可从 [www.stainlessconstruction.com](http://www.stainlessconstruction.com) 获得。

(上接第 20 页)



图 6 悬挂在压型板的照明和空调系统 图 7 压型板的角部细节



图 8 楼盖板内的水冷/热管道系统 图 9 建设钢铁结构框架

#### 4 制造与建设

不锈钢顶板用约 1.0mm 厚的板材制造。每张板有三条节距为 312mm 正弦曲线型的肋脊，这样，板宽为 936mm。顶板设计可在其 3.4m 的跨度内 (3.75~0.35m 的板宽) 无支撑的情况下，承载湿混凝土的重量和其他建筑负荷。顶板提供了足够的与混凝土的抗剪结合力，以便当混凝土达到强度

后，两种材料结合起来共同作用。梁与楼盖板之间的组合作用通过焊接在梁上的剪力连接件来实现。

顶板成捆提升，各张板则靠手工安装到位。单张板的重量小于 50kg，两个人可以轻松抬起。然后每张板被放在梁延展出的翼缘上。顶板的端部封死，以防止混凝土掉落。相邻板的连接部位在每张板第三条肋脊顶部，以使其容易固定。铺装顶板的速度是  $300\text{m}^2/\text{d}$ ，并随建设进程由人工清洁。

#### 参考文献

- [1] EN 10088-2:2005 不锈钢.通用耐蚀钢板、带材交货技术条件[S].
- [2] 商业建筑: 建筑师、设计师和承建人指南[S]. SCI, 2008.

本文照片由 ArcelorMittal 提供。

建筑用不锈钢在线信息中心: [www.stainlessconstruction.com](http://www.stainlessconstruction.com)

业主: 卢森堡商会; 建筑: Vasconi Architects; 结构: Schroeder N Green and A Hunt; 工程服务: RMC Consulting; 承包商: Hochtief; 顶板压型: PMA, Cérons, France

本结构不锈钢案例研究系列由 Team Stainless 支持。

© 2011 The Steel Construction Institute. 本文由钢结构学会 (SCI) 撰写，并经其允许译成中文。SCI 网址: [www.steel-sci.org](http://www.steel-sci.org)。

本文的英文版可从 [www.stainlessconstruction.com](http://www.stainlessconstruction.com) 获得。