

Niobium N₂



高强度钢——工业建筑精益设计的一个解决方案

CBMM 脱硫 II 工厂的案例研究

含铌的微合金高强度钢已经被广泛应用于各种结构中。它们同时提高了强度和韧性，以及框架组的延伸率和焊接性。一个位于巴西阿拉萨，CBMM 的脱硫 II 工厂就是一个例子，该工厂利用这些性能使用了 ASTM A572 Gr.50，即相当于中国标准 GB / T 1591- 2018 中的 Q355。与使用了 ASTM A36（相当于中国标准 GB / T 700-2006 中的 Q235）相比，结果显示原材料的消耗减少了 22%。

这本宣传小册旨在说明使用 ASTM A572 Gr.50 代替 ASTM A36，以及从而使用 Q355 代替 Q235 带来的优点。文中给出了在弯曲状态下的单根梁和在压缩状态下的单根柱子等主要计算方法，这些方法已被认为是应用和使用高强度钢概念的例子。选定的梁位于建筑中的各个操作楼层之一。所选的柱子位于楼层之间，为了简化计算，柱子的两端已被固定，且没有任何横向荷载。这本宣传小册中考虑的梁和柱都要承受与建筑相同的预测荷载。

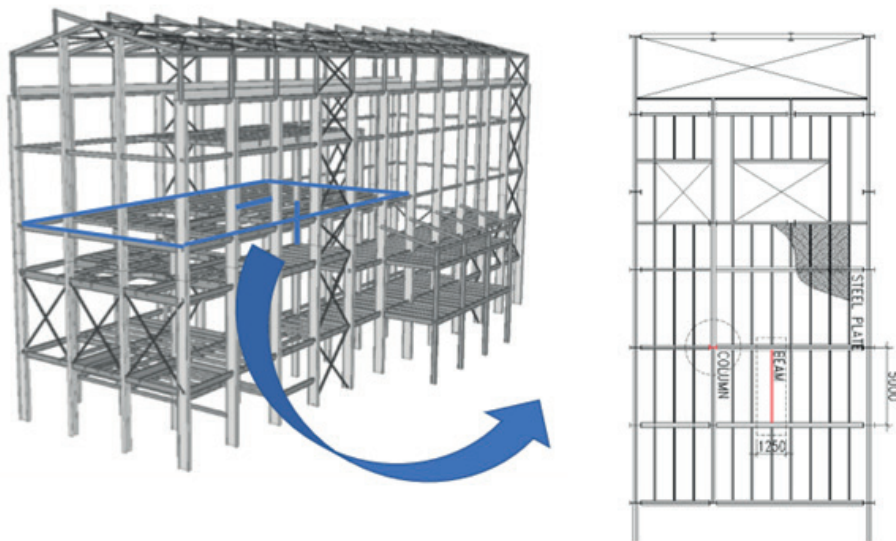


图 1：位于阿拉萨的 CBMM 的脱硫 II 工厂。根据各自的力学强度，在结构重量计算中已考虑了梁和柱的标示。 .

荷载的条件和组合

表 1: 应用于脱硫 II 工厂中建筑构件的荷载。所有计算都考虑了 EN1993-1-1 以及相关的标准。

恒荷载 (永久)	
自重梁	0.20 千牛/米
自重柱	0.86 千牛/米
楼板上的钢板	0.82 千牛/米
活荷载(变量)	
最小设计的活荷载	12.5 千牛/平方米
恒荷载和活荷载的组合	
恒荷载的部分系数	1.35
可变荷载的部分系数	1.50
设计荷载 梁	
分布荷载	$0.28 + 0.82 \times 1.25 = 1.38$ 千牛/米
活荷载	$12.5 \times 1.25 = 15.6$ 千牛/米
综合荷载	$1.35 \times 1.31 + 1.50 \times 15.6 = 25.2$ 千牛/米
设计荷载 柱子	
永久荷载	$0.86 \times 5.3 + 0.82 \times (6.5 \times 7.5) = 44.5$ 千牛
活荷载	$12.5 \times (6.5 \times 7.5) = 609.4$ 千牛
组合荷载	$1.35 \times 44.5 + 1.50 \times 609.4 = 976$ 千牛

使用 ASTM A572 GR.50 代替 ASTM A36 钢,梁的重量和成本降低了

所需的弯矩和剪力

在工业建筑中，梁通常是楼板系统中的主要结构构件。根据尺寸大小，这些梁可以是热轧的，以及对于尺寸较大的梁，可以使用预制的型材。脱硫 II 工厂设有多个平台层，以支持人员、操作流程和设备，用于降低铌铁合金中的硫含量这一重要操作。支撑系统中的角钢采用了 ASTM A36 钢 ($f_y=250$ MPa) 相当于中国 Q235，而所有其他结构构件，包括楼板系统的钢梁和支柱，采用了 ASTM A572 Gr.50 钢 ($f_y=345$ MPa) 相当于中国的 Q355。由于是楼板系统，梁具有完全的横向约束，因此不会发生横向扭转失稳

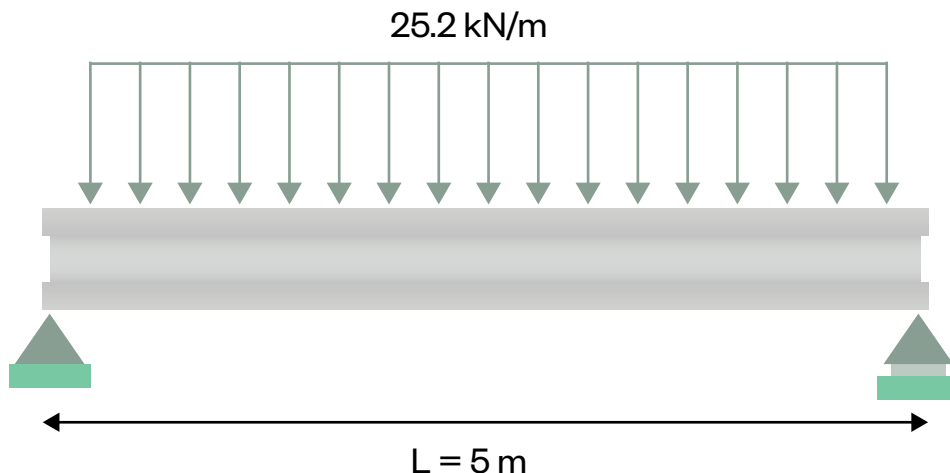
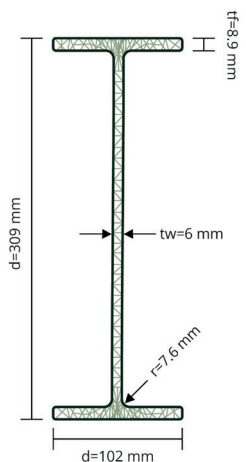
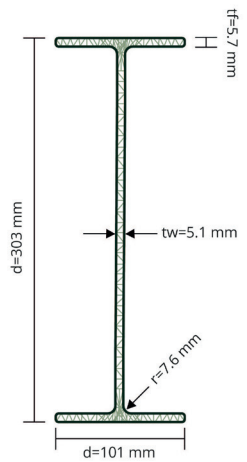


图 2：分布设计荷载应用于脱硫 II 工厂中的梁。

建筑楼板系统中重要梁的几何特征和设计验证基于 EN 1993-1-1 (欧洲规范 3)。普遍认为最好使用两种不同的钢种，计算出支撑荷载所需的梁的尺寸和重量。最终的重量节省和设计参数如表 2 所示。

当使用高强度钢时，重量减轻了 26%，相当于该部件减少了 7.3 千克/米。

表 2:在相同荷载情况下但使用不同钢种 (ASTM A36 和 ASTM A572 Gr.50 设计的梁的挠度和线重比较。

ATSM 36 (W310x28.3)	ATSM A572 Gr. 50 (W310x21)
线重 28.3 千克/米	线重 21.0 千克/米
当使用 ASTM A572 Gr.50 钢时，重量减轻了 26%	
	
$I_y = 5,500 \text{ cm}^4$; $W_{pl,y} = 399.6 \text{ cm}^3$; $A = 36.5 \text{ cm}^2$	$I_y = 3,376 \text{ cm}^4$; $W_{pl,y} = 279.6 \text{ cm}^3$; $A = 27.2 \text{ cm}^2$

<p>断面分类</p> $\varepsilon = 235/250 = 0.97$ <ul style="list-style-type: none"> • 对于翼缘 $c_f/t_f = 4.1$ $9\varepsilon = 8.7 > 4.1 \therefore 1 \text{ 级 (塑料)}$ <ul style="list-style-type: none"> • 对于腹板 $c_w/t_w = 61.6$ $72\varepsilon = 69.8 > 61.6 \therefore 1 \text{ 级 (塑料)}$	<p>断面分类</p> $\varepsilon = 235/345 = 0.83$ <ul style="list-style-type: none"> • 对于翼缘 $c_f/t_f = 6.3$ $9\varepsilon = 7.5 > 6.3 \therefore 1 \text{ 级 (塑料)}$ <ul style="list-style-type: none"> • 对于腹板 $c_w/t_w = 52.4$ $72\varepsilon = 59.8 > 52.4 \therefore 1 \text{ 级 (塑料)}$
<p>抗弯曲性</p> $M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{Y_{MO}} = \frac{399627 \times 250}{1.0} = 99.9 \text{ kNm}$	<p>抗弯曲性</p> $M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{Y_{MO}} = \frac{279570 \times 345}{1.0} = 96.5 \text{ kNm}$
<p>剪切阻力</p> <ul style="list-style-type: none"> • 剪切面积 $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r) t_f$ $= 3650 - 2 \times 102 \times 8.9 + (6.0 + 2.12) \times 8.9$ $= 2,101.4 \text{ mm}^2 \cong 21.0 \text{ cm}^2$ <ul style="list-style-type: none"> • 抗剪强度 $V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y / 3}{Y_{MO}} \cong \frac{2,100 \times \frac{250}{3}}{1.0}$ $\cong 303.1 \text{ kN}$ <p>挠度验证</p> $max_{,midspan} = \frac{5}{384} \times \frac{F_{Ed} \times L^4}{EI_y}$ $= \frac{5}{384} \times \frac{12.5 \times 5000^4}{210000 \times 5500.10^4}$ $max_{,midspan} = 8.8 \text{ mm} < 13.9 \text{ mm}$ $= span/360$	<p>剪切阻力</p> <ul style="list-style-type: none"> • 剪切面积 $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r) t_f$ $= 2720 - 2 \times 101 \times 5.7 + (5.1 + 2 \times 12) \times 5.7$ $= 1,734.5 \text{ mm}^2 \cong 17.3 \text{ cm}^2$ <ul style="list-style-type: none"> • 抗剪强度 $V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y / 3}{Y_{MO}} \cong \frac{1,735 \times \frac{345}{3}}{1.0}$ $\cong 345.6 \text{ kN}$ <p>挠度验证</p> $max_{,midspan} = \frac{5}{384} \times \frac{F_{Ed} \times L^4}{EI_y}$ $= \frac{5}{384} \times \frac{12.5 \times 5000^4}{210000 \times 3776.10^4}$ $max_{,midspan} = 12.8 \text{ mm} < 13.9 \text{ mm}$ $= span/360$

使用 ASTM A572 GR.50 代替 ASTM A36 钢，柱子的重量和成本降低了

柱子的两端已被固定，没有任何横向移动。

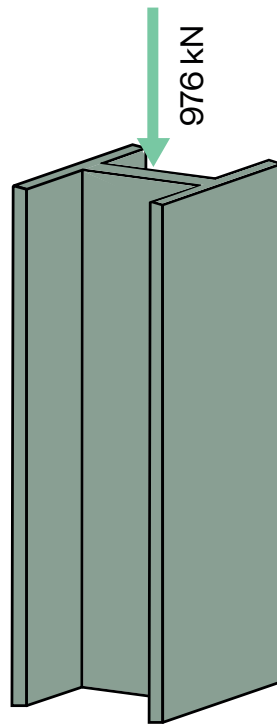
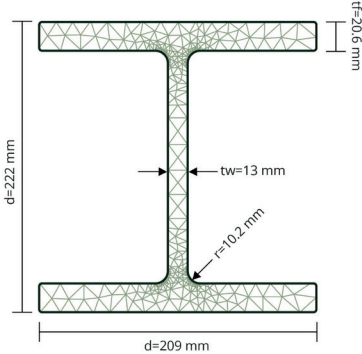
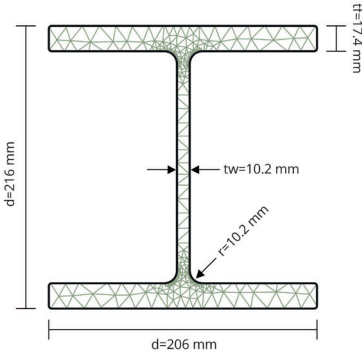


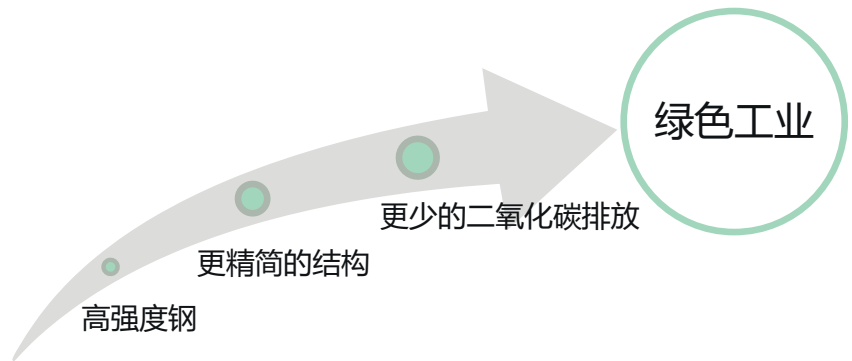
图 3：施加于脱硫 II 工厂相应柱子上的集中设计荷载。

对于柱子，当使用高强度钢时，重量减少了 17%，相当于该部件减少了 15 公斤/米。

表 3：在相同荷载情况下但使用不同钢种（ASTM A36 和 ASTM A572 Gr.50 设计的柱子的屈曲和线重比较。

ASTM A36 (W200 x 86 H)	ASTM A572 Gr. 50 (W200 x 71 H)
线重 86 千克/米	线重 71 千克/米
当使用 ASTM A572 Gr. 50 时，重量减少了 17%。	
	
<p>$A = 110.9 \text{ cm}^2$ $I_z = 3139 \text{ cm}^4; i_z = 5.32 \text{ cm}$ 面积惯性矩: 回转半径</p>	<p>$A = 91.0 \text{ cm}^2$ $I_z = 2537 \text{ cm}^4; i_z = 5.28 \text{ cm}$ 面积惯性矩: 回转半径</p>
<p>横截面的阻力 (压缩)。</p> $N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11090 \times 250}{1.0} \cong 2,772.5 \text{ kN}$	<p>横截面的阻力 (压缩)。</p> $N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9100 \times 345}{1.0} \cong 3,139.5 \text{ kN}$
<p>弯曲的屈曲阻力</p> $N_{b,z,Rd} = X_z \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0.80 \frac{11090 \times 250}{1.0} \cong 2,772.5 \text{ kN}$	<p>弯曲的屈曲阻力</p> $N_{b,z,Rd} = X_z \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0.87 \frac{9100 \times 345}{1.0} \cong 2,731 \text{ kN}$

通过使用高强度钢减少结构的成本



就 CBMM 脱硫 II 工厂的整个结构而言，当采用了 ASTM A36 钢设计时，其重量约为 36.2 吨，但当采用了 ASTM A572 Gr.50 钢时，总重量减少了 22%。这些材料的价格会根据市场情况而波动，但目前，由于有众多优质供应商，价格几乎可以说是相同的，只是 ASTM A572 Gr.50 的价格稍高一点。在本例中，使用高强度钢的成本节约与结构重量减少成正比，这代表建筑结构成本减少了 17%。此外，这种重量减轻也有助于减少地基、焊接耗材和交通运输的成本。由于使用较少的钢材，二氧化碳排放量减少了约 140 吨，占钢结构总排放量的 22%。这种二氧化碳排放量的减少完全符合非物质化的要求，而且这是一个非常重要的概念，用于建筑业以达到碳中和的目标

荷载对柱子屈曲长度的影响

使用高强度钢的另一个优点是有机会有采用更实用的项目设计。当安装和正确操作工业设备必须要有大跨度范围和高层建筑时，采用高强度钢可以是一种解决方案，如图 4 中的例子。一旦这个建筑的每层楼之间的高度高于 5 米，与 ASTM A36 相比，使用 ASTM A572 Gr.50 钢时，对临界屈曲荷载明显有利。

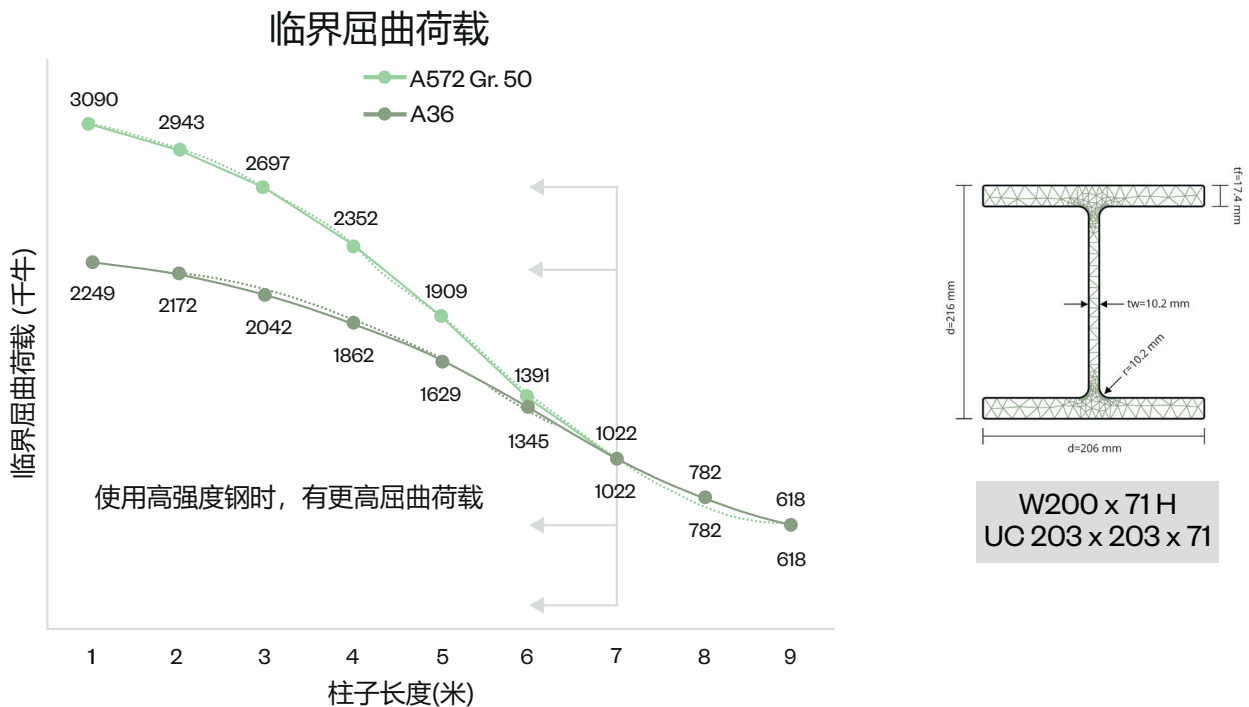


图 4: 用 ASTM A36 和 ASTM A572 Gr. 50 钢制成的柱子的极限荷载

如需了解更多信息，请您联系 CBMM 技术专家，他们可以就如何使用高强度钢梁和柱子帮助您降低整体施工成本和减少项目的环境足迹提供建议。使用高强度钢可以让您的项目采用更精简和更安全的结构。



作为铌产品生产和商业化领域的全球领先企业，CBMM的客户遍布了40多个国家。公司总部设在巴西，并在中国、荷兰、新加坡、瑞士和美国设有办事处和子公司，为基础设施、交通、航空航天和能源领域提供产品和尖端技术。CBMM于1955年成立于米纳斯吉拉斯州的阿拉沙市，并依靠一个强大的技术项目增加铌的应用，从而使这一市场不断发展和多元化。



更多信息请访问
www.niobium.tech

v06.2021 Copyright © 2021 CBMM