

瑞典埃斯基尔斯蒂纳
STIGA 体育竞技场

Niobium Nb

结构钢
案例研究：P425





图 1 埃斯基尔斯蒂纳STIGA 体育竞技场
图片来源：由IamTimEre 提供，经CC BY-SA 4.0 授权。

概述

STIGA 体育竞技场园区位于斯德哥尔摩以西约110 公里的埃斯基尔斯蒂纳市 Munktellstad区，于 2017 年启用。体育竞技场园区用于体育活动、音乐会、大型会议与展览。主竞技场拥有用于体育活动的 3700 个座位和用于音乐会的约 5000 个座位。园区共有三个独立的体育馆。

基于其工程、审美、经济与环保属性，钢材在一定范围内是室内竞技场最常选用的材料。STIGA体育竞技场的大跨度钢桁架屋盖为观众提供了对无障碍视觉要求的宽阔平面净空间。

桁架是由杆件组成的骨架，载荷主要以轴向力的方式由各单个杆件承受，在大跨度结构方面相对传统工字钢结构而言通常更具备经济优势。相对使用传统结构钢，在桁架的非不稳定机构杆件中有选择地使用高强钢可提供显著的结构轻量化解决方案。

竞技场设计的关键方面包括空间使用灵活性、声学、节能与可持续性考量，此外还考虑了建筑配套服务设施的优化方案。因其采用了低环境影响建筑材料及其使用寿命周期的低能耗，本园区获得了瑞典绿色建筑委员会的金质证书。

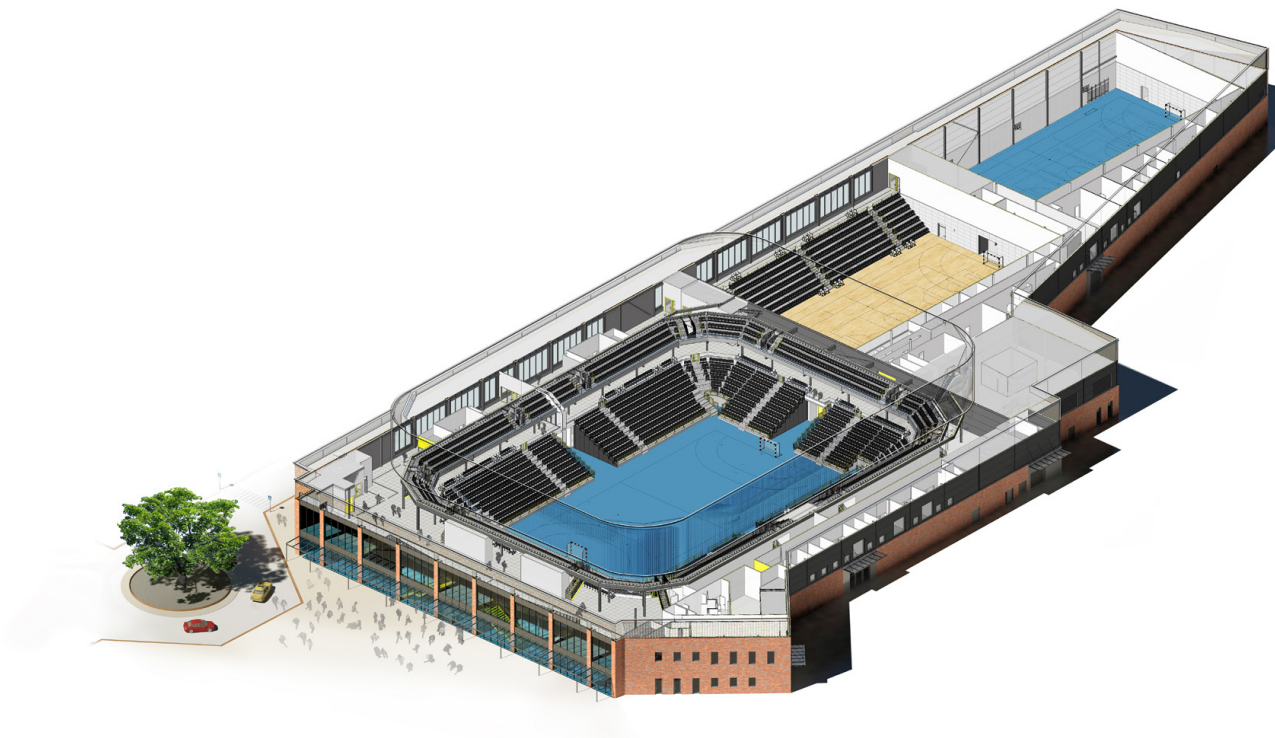


图 2 STIGA 体育竞技场园区简图
图片来源：由瑞典埃斯基尔斯蒂纳市政府提供



图 3 主场地屋盖桁架
图片来源：由Svante LundbäckSE 提供

材料选择

主场地屋盖桁架采用了冷成型长方和方形空心型钢。空心型钢因其结构效率与优美外形通常被用于超大跨度桁架。为了优化屋盖桁架设计，使用了三个不同钢号：S355、S420 与 S700。表1展示了其机械性能。

S355 和 S420 是瑞典钢-铁SSAB生产的Domex® Tube Double Grade 钢种，可满足并超过EN 10219:2006 标准对S355J3H与S420MH钢号的要求。

这两个钢号的材质证书已被提供给客户EN 10219 标准目前只覆盖最高S460 级别的钢种。桁架使用的S700 钢 (SSAB Strenx® Tube S700MC) 是按EN 10419-2 标准提供的；此标准覆盖滚压成型型材用钢。此标准覆盖S 315至S960 强度的控温轧制钢材。EN 10219 的未来修订版本也将覆盖高至S960 的强度，这显示了对高强度结构型钢不断增长的需求。

需要提示的是新型高强度钢是典型的低碳微合金化产品，含有高至0.070% (重量) 的铌，主要用来细化晶粒度，这取决于对最终强度的要求。这种组合使强度与韧性的要求能很容易地同时被满足，冷成型性也被提高。此外，因为其碳当量较低，此钢种有着突出的可焊性，不需或可大幅度地降低焊接前预热。

| 钢号名称 | SSAB Domex® Tube Double Grade | | SSAB Strenx® Tube |
|-------------------------------|-------------------------------|---------|-------------------|
| | S355J2H | S420MH | S700MC |
| 最小屈服强度 (MPa) | 355 | 420 | 700 |
| 最小抗拉强度 (MPa) | 470-630 | 500-660 | 750-950 |
| 最小延伸率A5 (min %) | 20 | 19 | 12 |
| -40° C 最小冲击韧性 (10x10mm试样) (J) | 40 | 40 | 27 |
| 最高碳当量 (%) | 0.39 | 0.39 | 0.39 |

Notes

J2 = -20° C 冲击性能 | H = 空心型钢 | M = 控温轧制 | C = 适用于冷成型

表1. 各钢号的机械性能

设计

STIGA 体育竞技场园区由三个不同的体育馆组成，即主竞技场和两个小竞技场。主竞技场有约 52 x 70 m 的平面面积，容纳比赛场地和观众席。尽管其它两个竞技场较小，但也要求较宽敞净平面面积。园区部分地区为办公室和餐饮区。办公室与餐饮区所在的中间楼层是一个空心楼板，在结构上起到刚性隔墙的作用。

钢结构骨架由钢柱、桁架、钢梁与支撑构件组成。屋盖及竖墙的支撑提供了稳定性，可抗横向风荷载并把荷载分布到地基。屋盖采用镀层型钢，墙体采用彩钢夹芯板。桁架与支撑的柱子之间进行铰接所以不能承受弯曲力矩。柱基也使用铰接。

主竞技场的每一个桁架柱间跨度为 52m，中跨的深度约 4m。桁架间距为 7 至 9m。柱子足够高以便为竞技场提供至少 15 m 的净空。桁架、柱子及支撑构件使用的型材为方形空心型钢（SHS）和长方形空心型钢（RHS）。

为了优化骨架的结构效率，在为钢结构的每个部件选用钢种时进行了细致的考量。针对结构部件的载荷模式采用更高强度的钢号可使用较小截面的型材。这造就了较轻的结构，减少了钢材使用量，节约了钢材成本、运输费用与制造成本并提高了建筑的环保性。



图 4 主竞技场柱子和屋盖桁架
图片来源：由Svante Lundbäck SE提供

桁架的主要重量依附于弦杆。使用高强钢制造弦杆可以有效地降低重量并节约成本。另一方面，尽管切割和焊接斜杆的费用为制造成本的主要部分，斜杆在结构总重量中所占比重较低。一个优化分析显示 STIGA 主竞技场的最节约方案为在支撑件上使用常规强度 S355 钢号。S700 钢号用来制造下弦杆，因为此部位多承受张力所以高强钢的优势得以全面发挥。上弦杆主要承受压缩，所以不能完全利用高强钢的优势；在此使用 S420 钢号足以提供所需性能。桁架总重量为 100 吨，远轻于使用常规强度钢材的方案。表 2 展示了主竞技场使用的型材尺寸。

两个小竞技场桁架的斜杆使用了 S355 钢号，上弦杆和下弦杆使用了 S420 钢号。

| 构件 | 钢号 | 型材尺寸 |
|-----------|------|---|
| 桁架：上弦杆 | S420 | 典型尺寸 300 x 300 x 10 mm (RHS) |
| 桁架：斜杆 | S355 | 140 x 80 x 5 mm RHS, 140 x 140 x 5 mm SHS and 160 x 160 x 10 mm SHS |
| 桁架：下弦杆 | S700 | 200 x 200 x 10 mm RHS |
| 柱子 | S355 | 300 x 300 x 12.5 mm SHS |
| 支撑件（墙与屋盖） | S355 | 150 x 150 x 5 mm SHS |

注：RHS = 长方形空心型钢 | SHS = 方形空心型钢

表2. 竞技场钢结构部件型钢尺寸

制造与安装

安装作业始于 2015 年5月，并于2017 年4月完成。主钢结构与屋盖的安装耗时约三个月（图 5）。

骨架钢结构部件、夹芯板与镀层型钢由位于芬兰和波兰的罗奇建筑- Ruukki Construction Oy 生产。建筑骨架结构的安装由罗奇- Ruukki 负责。

为了使钢结构的制造与运输更便捷，每个长桁架都分为两段制造。分别运至施工现场后两段桁架通过螺栓接头组合在一起，接头位于跨中上下弦杆处。

为了补偿桁架自身重量导致的弯曲变形，桁架弦杆在制造时预设一定弧度，组装后即看不出有任何下垂。



图5. 安装到位的主竞技场跨度52 m 的桁架。
图片来源：由Ruukki 提供



图6. 在主竞技场举行的一场手球比赛
图片来源：由IamTimEre 提供，经CC BY-SA 4.0 授权

参考文献

- EN 10219-1:2006 非合金钢和细晶结构钢冷成型焊接空心型材。交货技术要求。
EN 10149-2:2013 冷成型用高屈服强度钢热轧板材。控温轧制产品交货技术要求。

参与方

客户
总承包商
结构钢设计
钢结构建筑
钢材生产

斯基尔斯蒂纳市政府
Peab Sverige AB
Ruukki Construction, Design
Service Ruukki Construction
SSAB



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。

结构钢案例研究 (P425) 由以下机构代表CBMM 准备:

The Steel Construction Institute (SCI)

Silwood Park, Buckhurst Road, Ascot, Berkshire. SL5 7QN



更多铌科技领域前沿资讯请搜索

www.niobium.tech/structural

请关注铌科技微信公众号

v7.2021 Copyright © 2021 CBMM