

高强度钢表现 出色

马德里富有传奇色彩的伯纳乌体育场进行了一次大规模的翻新改造，以扩展其赛事活动范围（不局限于足球赛事）。两根巨型含钼钢桁架（每根长度近180 米）为全新的可伸缩屋顶提供支撑。钼在体育场熠熠生辉的不锈钢外立面中也发挥了重要作用。



© iStock.com/9parushnikov

摘自《钼世界》2025年第2期

圣地亚哥·伯纳乌体育场作为皇家马德里足球俱乐部的主场，长期以来一直是足球界最负盛名的场馆之一。该体育场以俱乐部颇具影响力的前球员、教练和长期任职的主席圣地亚哥·伯纳乌命名，自1947年开放以来，一直是西班牙和欧洲顶级足球赛事的固定举办地。对于皇家马德里的全球球迷而言，这座球场是足球圣地。对于客队来说，这里则是令人望而生畏的“魔鬼主场”，“白衣军团”曾在这里上演过无数次最后时刻的绝境翻盘，尤其是在欧冠联赛中。正如俗语所说：“在伯纳乌的90分钟，每一秒都充满了无限可能……”

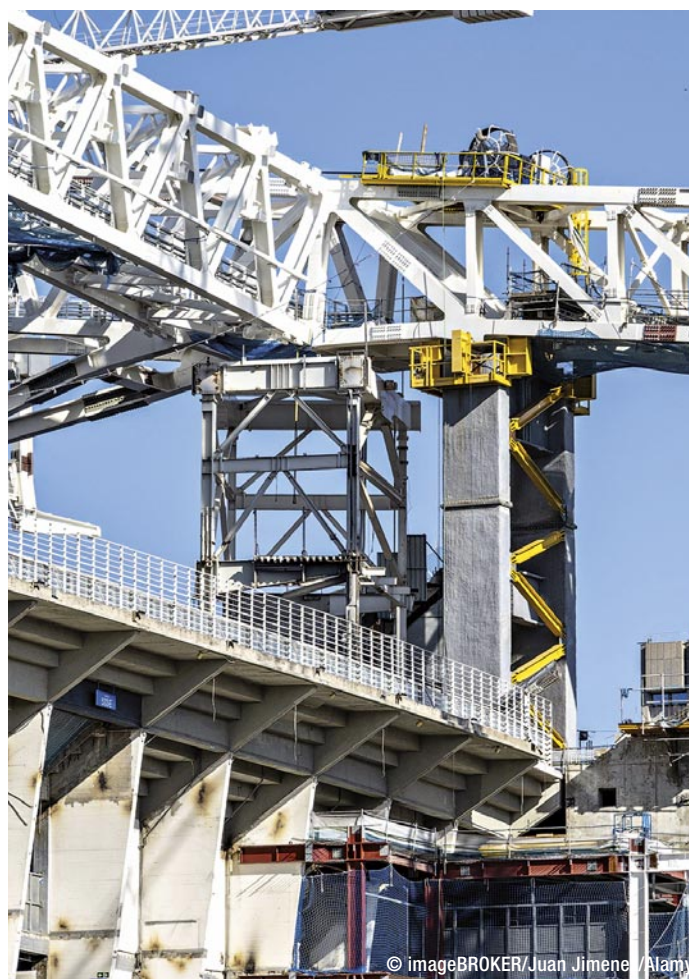
从足球场扩展到多功能场馆

然而，在现代足球时代，仅凭传奇声誉已不足以确保俱乐部的顶尖地位不动摇。尽管皇马在赛场上的辉煌从未褪色，球迷的支持也始终如一，但传统门票销售的收入存在现实局限，尤其当体育场每月可能仅举办几场比赛时。随着球员薪资水涨船高，加之欧足联新规要求俱乐部实行自负盈亏，如今的成功取决于能否产生可持续的收入。为了能在新时代蓬勃发展，俱乐部不仅需要最大化比赛日的收入，更需要拓展球队休赛期间新的收入来源。皇家马德里的高管层计划将体育场改造成一个全年都能吸引观众的多功能娱乐场所。

这一改造的核心是消除举办非足球赛事的两大障碍：一是场馆暴露于自然环境中，二是天然草坪需始终保持完美状态。翻新改造工程中最复杂、最昂贵的两大工程系统——可伸缩屋顶和可移动草坪，使球场能够举办各种活动如音乐会、会议、展会乃至其他体育赛事而不会影响足球比赛场地的质量。

可转换屋顶

可伸缩屋顶是此次改造最引人注目的亮点，其设计旨在实现对体育场内部环境的全面掌控。体育场主体结构依赖两个巨型钢制箱形桁架，每个桁架高6米、宽6米，跨度达176米，支撑着整个屋顶系统。这一解决方案依靠的是高强度钢材——含钼合金钢S690QL1。桁架采用厚度10至120毫米的钢板制造，钢中钼含量高达0.6%，不仅确保了钢材的高强度，还对钢的焊接性和韧性起到了关键作用，特别是对于厚钢板的应用十分重要。与广泛使用的无钼钢材S355相比，S690QL1的应用实现了40%的减重效果。S690QL1的强度几乎是S355钢的两倍，这一事实对于最终的施工流程至关重要。



6 x 6 米主梁的预组装部分使用履带式起重机吊装到位

比，S690QL1的应用实现了40%的减重效果。S690QL1的强度几乎是S355钢的两倍，这一事实对于最终的施工流程至关重要。

为规避高空组装带来的重大安全风险及临时支撑结构的使用，这两根重达1500吨的桁架先在地面分段预组装，然后用重型起重机吊装到位。采用高强度钢材减轻了重量，使桁架各部分重量控制在起重机的额定负载范围内，实现了原本不可行的安装方案。

屋顶由两部分组成：覆盖看台的固定部分，采用直立锁边铝板包覆；覆盖球场的可移动部分，由大型充气垫组成。充气垫采用一种轻质、半透明的技术织物——膨体聚四氟乙烯（ePTFE）制成。它可以在大约15分钟内完成开启或闭合，将球场从露天场馆转变为全封闭、气候可控的竞技场。这一功能确保赛事不受突发暴雨影响，即便在马德里酷暑难耐的夏季或寒意十足的冬季，各类活动也能照常进行。



© Ruben Albarran/ZUMA Press Wire

屋顶由四根巨型格构梁支撑，呈现出悬浮于体育场上方的视觉效果。两根主桁梁完全采用 S690QL1 钢材制造——高强度钢材的应用不仅实现了减重目标，更强化了屋顶轻盈通透的外观质感。

可隐藏草坪

第二项重大改进是可移动草坪系统，它可以将整个比赛场地移至地下，以便举办音乐会和其他活动。其他体育场的类似系统多采用横向滑动方式，将草坪移至相邻的外部区域存放，但伯纳乌体育场位于城市核心密集区，这一方案无法实施。唯一可用的储存空间是体育场正下方，这一限制要求采用更为复杂的垂直储存解决方案。天然草皮被划分为 6 块巨大的纵向托盘，它们一个

接一个地通过轨道水平移动到球场的西侧边缘，再由液压升降系统将每块重达 1500 吨的托盘降至地下存储空间。

这个深达30米的存储室被称为“地下温室”，它采用多层温室设计，目的是在草坪存储期间保持天然草皮的最佳状态。每个草坪托盘都安置在独立的层级上，配备全套农艺系统，包括气候控制系统、自动灌溉和施肥系统，以及能够模拟自然日光的大功率LED植物生长灯，使草坪在地下存储期间仍能保持世界级比赛的标准。

银屏外立面

翻新工程的最后一项元素是引人注目的新外观，它覆盖了体育场原有的粗野主义混凝土结构。设计采用数千块 V 形不锈钢条组成的单一连续围护结构包覆旧体育场，意在用一种未来主义的建筑表达形式实现场馆外观的统一。外立面选用含钼2% 的316 不锈钢，既有现代美学质感，又具备卓越的耐腐蚀性能。除了视觉冲击力，外立面还提供了实用技术功能。通过精确计算不锈钢板条的曲率、间距与角度，可根据内部不同空间的需求调节自然光射入量与通风效果。采用参数化设计系统加工制造了13000多个独特的构件（部分构件长度达 8.5 米），实现了数字化建模与高效生产。白天，外立面随光线与动态变化巧妙地映射周边环境；夜晚，集成式 LED 系统为体育场披上多彩光影，使其成为熠熠生辉的地标建筑。

伯纳乌球场的转型，由雄心勃勃的财务规划驱动，并借助工程智慧和高性能材料得以实现，已广受赞誉。自 2024 年竣工以来，这里已成功举办欧冠夺冠



弧形不锈钢板条形状与间距各不相同，可实现定制化的采光与通风效果，精准适配外立面后方的空间需求。

庆典、泰勒·斯威夫特演唱会，甚至西班牙首场国家橄榄球联盟（NFL）赛事。这其中大量的工程技术都依赖含钼合金钢，没有它们，翻新改造项目无法实现。（Max Cooper）

流畅舒展的不锈钢外立面将这座历经数十年分阶段扩建的体育场融为和谐的整体，使圣地亚哥·伯纳乌体育场蜕变为马德里一座“熠熠生辉”的城市地标。

