

变革之风

屋顶薄如纸片的建筑如何能够抵御台风的袭击？中国青岛的一个新机场向世界展示了它是如何做到的：采用钼合金化不锈钢。青岛以其著名的啤酒而闻名，同时也是一个重要的工业和金融中心。它希望凭借新的基础设施，吸引更多的航空旅客。这座星形的机场拥有世界上最大的连续焊接不锈钢屋面，厚度只有0.5毫米。

© Cheunghyo/Moment Unreleased via Getty Images

直立锁边金属屋面在大型建筑工程中比较常见，它在大风、暴雨等恶劣天气条件下容易发生破坏。一种称为连续焊接的技术将金属屋顶的适应性提高到了一个新的水平。青岛新机场——胶东国际机场的铁素体不锈钢屋面采用了这种灵活的焊接方法。2021年建成后，胶东机场将成为山东省最大的机场。

全天候迎接旅客

青岛是中国东部的主要海港，海军基地和工业中心。青岛在20世纪初曾被德国人占领，拥有高耸的哥特式教堂以及2200年历史的古镇。这些古色古香的建筑与包括新机场在内的现代建筑融为一体。胶东机场将成为中国最先进的商业机场之一，面积是伦敦希思罗机场的两倍。该机场年吞吐量将达到3500万，每73秒便有航班起降，是中国最繁忙的机场之一。该机场有两条跑道，每条跑道长3600米，一座面积达450,000平方米的航站楼。它还被设计成能够收集、存储和回收雨水，供日后使用。

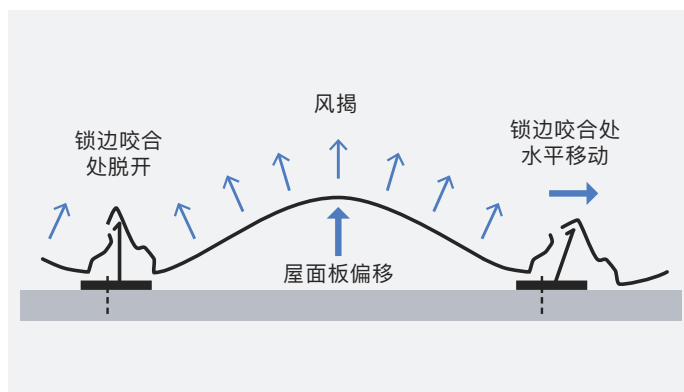
新机场将取代现有的青岛流亭国际机场。流亭机场建在城市人口稠密区域，已没有扩建的空间来容纳每年不断增长的旅客数量。胶东机场距离市中心约60公里，但它距离黄海仅25公里，离小岔湾更近，暴露在高浓度的腐蚀性盐环境中。该地区还会有季节性强降雨、大风和中等强度的台风。为了能够应对各种环境和气候条件的挑战，机场航站楼的屋面全部采用了具有优异的延展性、耐腐蚀性和屈服强度的不锈钢材料。

从错误中学习

几十年来，金属屋面一直是大型建筑结构如机场、体育场、会议中心以及商业和工业建筑屋面的首选。金属屋面重量轻，组装方便高效，外表美观有吸引力，生命周期成本低，对于大型场馆建设至关重要。在各类金属屋面中，“直立锁边”屋面的衍生方式——由互锁金属板组成的屋面系统最受欢迎。然而，由于需要一个最小的坡度来保证有效地排放雨水，该系统不适用于平屋面或坡度非常低的屋顶。

直立锁边屋面系统的特点是金属卷材经滚压成型，成形为所需长度的U形面板，随后沿着金属板材长度方向将垂直板肋连接起来。根据构造方式的不同，板肋被折叠、卷边、卡扣或夹紧在一起。金属面板通常用隐形夹具（固定在底座上）固定在屋面板上，没有任何可见的螺钉穿过屋面板。

但是，在像青岛这样有台风和其他极端天气的地区，大型屋顶容易被风掀起，造成漏水。面板之间的长接缝尤其薄弱。咬合连接在大多数情况下工作良好，但是在非常大的风力条件下，屋面板上方较低的压力会产生提拉作用，像飞机机翼一样。施加在金属板上的力使接头（仅靠机械方式连接固定）松动、分离甚至脱开。这种损坏通常会导致渗漏，在极端情况下，金属屋盖会被掀掉。除了屋顶维修或更换的直接费用外，对机场进行任何计划外的施工都会引起较大的混乱，不仅耽误使用，还会产生交通流量增加、周边地区拥堵、影响客运和货运等连锁反应。幸运的是，对于连接处损伤造成的漏水和大风造成的屋顶掀开，连续焊接不锈钢屋顶提供了一个较好的解决方案。

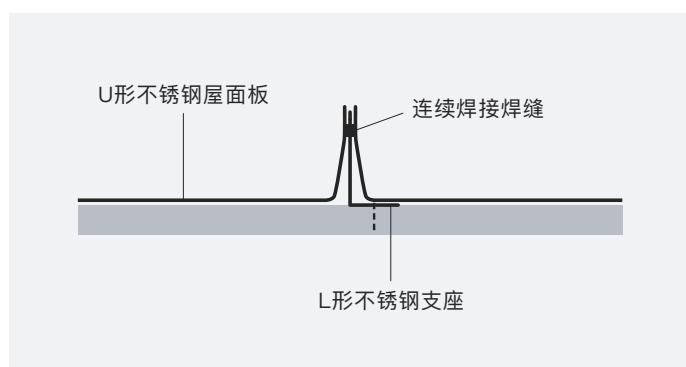


➤ 传统直立锁边金属屋面仅靠咬合固定，强风会造成屋面漏水甚至将屋顶掀翻。

更好的解决方案

不锈钢直立锁边屋面的连续焊接技术发源于20世纪60年代的北欧，但该方法在欧洲仍然是一种小众技术，它主要用于无法使用其他金属屋面系统的平屋面。在日本，由于对耐腐蚀、抗风和防水建筑的需求不断涌现，这种金属屋面系统越来越引人注目。20世纪80年代引进的连续焊接技术如今在日本及韩国已经是一项成熟技术，在日本和其他地方，不锈钢屋面焊接系统被正式纳入“钢屋面建造标准”。对于铝板和镀锌板金属屋面占主导地位的中国来说，不锈钢屋面代表了一种模式的转变。

不锈钢由于其优异的耐腐蚀性和强度，能够承受更多样复杂的环境，可以设计出超薄的屋面板。材料用量少不仅成本效益高，而且对环境友好。不锈钢外表美观有吸引力，为建筑师提供了从简约到壮观的无限设计可能性。不锈钢不需要任何涂层，维护成本相对较低，节省了运营成本。不锈钢100%可回收再利用，其反射性最大限度地降低了热量吸收，减少了对空调的需求。这些特点加上其较长的使用寿命，使不锈钢成为可持续屋面的一个较好的选择。



➤ 采用全自动焊机焊接不锈钢面板，固定在屋面下部结构的支座同时也被焊接在一起。

工作原理

在连续焊接不锈钢屋面技术中，将金属板沿其90°向上折弯的板肋连续焊接在一起。为了防止它们被掀起，以一定的间距将L形支座或夹板固定在下部结构上，其布置密度取决于预期的风荷载。将U形面板在支座之间放置到位，采用手持式点焊机将它们点焊在一起，以防止它们在最终焊接过程中移动，然后就在定位焊缝的下方，采用连续焊接工艺将相邻的板肋和支座焊接在一起，接头和拐角处使用自行式自动电阻焊机或手持式焊机。这种高效的方法可以完全密封屋顶表皮，大大提高屋顶的抗风揭能力。

直立锁边焊缝容易接近，检查和维修方便，确保完美的密封。接缝可以用折边机将其折叠起来，也可以安装不锈钢盖帽，保护接缝，同时使其既安全又美观。

因为不锈钢板只有0.5毫米厚，采用屋顶手动工具即可轻松切割和弯曲，并在必要时焊接，以适应天窗、

通风管道、屋顶连接处和其他几何形状的特殊部位。而良好的施工工艺包括经验丰富的工人对于确保高品质的屋顶是至关重要的。

胶东机场采用了这个工艺

青岛新机场——胶东机场屋面工程是连续焊接不锈钢屋面系统在国内的首次亮相。机场位置靠近海洋，环境腐蚀性强，有季节性暴雨和台风。中国建筑西南设计研究院有限公司（CSWADI）和北京启夏建筑科技有限公司事先进行了全面的研究，包括风洞试验，耐腐蚀性能、热膨胀性能和机械性能的研究，开发了个性化解决方案。不仅对屋顶，而且对屋面下部结构进行了广泛的分析和优化。

最终选择了太钢集团生产的厚度为0.5mm的超纯铁素体不锈钢445J2，这比大多数用于屋顶覆盖层的金属板要薄得多。U形面板的宽度为400mm。445J2不锈钢含有2%的钼和21%的铬，它比其他常规屋面金属材料的耐腐蚀性能高很多，甚至优于316不锈钢。这意味着屋面使用寿命大大延长，维护成本显著降低。与奥氏体不锈钢相比，铁素体不锈钢强度较高，热膨胀系数较低，其价格具有吸引力，是受欢迎的屋面材料。其较低的热膨胀系数类似于碳钢，减少了由于日光照射受热膨胀导致的面板变形。

设计师选择了一种浅浮雕花纹的不锈钢表面，可以减少反光和眩光，这对于飞行安全非常重要。压花表面通过改善防滑性能和强化面板，使屋面更坚固更安全。浮雕压花表面还吸收了部分温度变化引起的热胀冷缩，减少了屋面板的变形和视觉上的凹凸不平感。

机场航站楼的不锈钢屋顶面积为22万平方米，相当于31个标准足球场，其安装工作于2019年底完成。该屋

面已经证明了其卓越性能，经受住了暴雨和台风袭击的考验。从那时起，中国的其他三个大型屋面工程项目也使用了相同牌号的不锈钢，包括福建平潭海洋国际会展中心、广东汕头的一个体育场和计划于2022年开放的新湛江机场。连续焊接不锈钢屋面技术的蓬勃发展，标志着这种不锈钢作为高成本效益的屋面金属材料，正获得越来越广泛的认可。

不锈钢屋面的独特性能极大地扩展了新项目设计和选址的可能性。与传统的直立锁边屋面不同，连续焊接的不锈钢屋面是完全防水的，它们甚至可适用于平屋面、低坡度屋面和起伏的屋面。屋面牢固地固定在下部结构上，可以承受大风暴级别的风力。如果选择了合适的含钼不锈钢，即使在青岛这样的海洋环境中，它们也能很好地抗腐蚀。不锈钢屋面的超薄和柔韧性让曾经被认为无法实施的设计得以实现。对于胶东机场等采用了不锈钢连续焊接屋面的建筑而言，天空才是真正的极限！（Gaetano Ronchi, Martina Helzel）

➤ 采用不锈钢屋面系统，很容易将天窗、通风管道、天沟或排水管的接缝焊接在一起完全密封。





© Zhou Yong, Taiyuan Iron and Steel Group Co., Ltd (TISCO)

➤ 青岛新机场巨大的屋顶可抵御数十年的台风和暴雨袭击