

沿海地区异形立面及玻璃幕墙抗风性能分析

武慧芳 崔世强 刘程 张侃 刘灵功 肖传浩
中国葛洲坝集团第一工程有限公司 湖北 宜昌 443000

摘要：沿海地区因地理气候条件常受强风侵袭，异形立面及玻璃幕墙的抗风性能关乎建筑安全与功能。研究表明，合理设计异形立面可有效降低风荷载，优化幕墙结构与选材能显著提升抗风能力。本文深入剖析此类幕墙在沿海环境下的抗风特性，通过理论分析、数值模拟与实际案例研究，阐述异形立面的风荷载分布规律，探究防风玻璃幕墙的结构设计、材料选择及密封技术对抗风性能的影响，为沿海地区建筑幕墙的抗风设计提供理论依据与实践指导。

关键词：沿海地区；异形立面；防风玻璃幕墙；抗风性能

引言：随着建筑技术的发展与人们对建筑美学要求的提高，异形立面及玻璃幕墙在沿海地区的建筑中应用愈发广泛。沿海地区频发的台风等极端天气，使异形建筑立面的抗风安全问题日益凸显，严重威胁城市安全和居民生活。例如，2024年9月，超强台风“摩羯”导致海南省直接经济损失达600亿元，建筑立面出现大范围的严重破坏。异形立面因其独特的几何形状，改变了建筑表面的风场分布，使得风荷载的作用形式更为复杂，传统风荷载计算方法不再适用。作为建筑外围护结构，玻璃幕墙的抗风性能直接影响建筑安全及室内人员设备防护^[1]。

1 沿海地区风环境特性

沿海地区强风主要源于季风和台风。季风因海陆温差形成季节性风向变化，夏季海洋吹向陆地，冬季相反，常伴随强风。台风作为热带气旋，中心风力超12级，具有风速大、范围广、持续时间长的特点，如2024年9月超强台风“摩羯”17级风力登陆海南文昌，造成建筑严重损毁，玻璃幕墙破坏显著。

风荷载对建筑的影响主要表现在压力与吸力、脉动风效应及风致振动三方面。异形立面因形状不规则，风在不同部位流动状态各异，拐角、突出部分等区域风荷载分布不均，易使玻璃幕墙构件受损。脉动风的随机性与高频特性会引发建筑结构振动，加速幕墙连接件疲劳、密封材料老化，降低幕墙稳定性。

2 异形立面风荷载分布特性

异形立面建筑造型多样，包括曲线形、不规则多边形及含悬挑、扭转结构等类型，其打破常规几何形状，致使风在建筑表面绕流复杂，风荷载分布不均，为建筑设计与幕墙抗风带来挑战。

风洞试验和数值模拟是研究异形立面风荷载分布的重要手段。风洞试验通过模拟自然风场测量建筑模型风压，结果显示不同风向角下，异形立面迎风面中部正风

压大，拐角和顶部负压峰值高，背风面负压大且分布均匀，风速增加时风压绝对值与荷载不均匀性加剧^[2]。

3 防风玻璃幕墙结构设计与抗风性能

玻璃幕墙结构体系主要有框架式、单元式和点式。框架式安装灵活但整体性弱，强风下框架易变形影响玻璃稳定性；单元式整体性与防水气密性能好，抗风能力强，常用于高层建筑；点式幕墙通透性佳，但玻璃受力复杂，对支撑结构要求高，支撑结构不合理易致玻璃破裂。

幕墙结构设计的关键参数包括刚度、连接件强度与可靠性、玻璃面板尺寸与厚度。刚度与结构形式、构件尺寸和材料有关，需依风荷载调整；连接件要承受多种荷载，设计与安装需保证强度和可靠性；玻璃面板尺寸越大受力越大，需综合风荷载、美观和成本确定尺寸与厚度，沿海强风区常选厚钢化或夹层玻璃。

4 玻璃幕墙材料选择与抗风性能

4.1 玻璃材料特性与选择

玻璃作为玻璃幕墙的核心部分，其性能直接影响幕墙抗风能力。在沿海强风环境下，合理选材是保障幕墙安全的关键。

钢化玻璃。通过加热和快速冷却工艺，在表面形成压应力层，强度达到普通玻璃的3-5倍，抗冲击性能优异。破碎时形成小颗粒碎块，安全性高，在沿海地区高层建筑迎风面幕墙中广泛应用，常见厚度有6mm、8mm、10mm。

夹层玻璃。由多片玻璃与有机聚合物中间膜复合而成，强度高且抗冲击。即使破碎，中间膜也能粘合碎片，避免飞溅伤人，同时具备良好的隔音、隔热和防水性能。在台风频发区域，学校、医院等对安全要求高的建筑多采用此材料，常用规格如6mm+1.14PVB+6mm、8mm+1.52PVB+8mm。

4.2 框架材料特性与选择

框架材料是幕墙结构的支撑骨架，其性能决定幕墙整体抗风能力。

铝合金框架。以质量轻、强度较高、耐腐蚀性好的优势，成为幕墙框架常用材料。其截面形式多样，可定制化设计。在沿海地区，为应对强风，多采用高强度铝合金型材，并优化壁厚。高层建筑中，立柱壁厚可达3-5mm，横梁壁厚2-3mm，确保有效传递和承受风荷载。

钢框架。强度高、刚度大，适用于超高层或强风恶劣环境下的幕墙框架。可采用热轧型钢、冷弯薄壁型钢。热轧型钢力学性能稳定，冷弯薄壁型钢加工便捷。设计时需严格计算钢材强度与稳定性，并采取热浸镀锌、涂防腐漆等措施，增强在沿海潮湿环境下的耐久性。如某沿海超高层采用Q345B热轧工字钢作立柱，H型钢作横梁，经防腐处理后稳固支撑幕墙^[3]。

4.3 密封材料特性与作用

硅酮密封胶。具有优异的耐候、耐温及粘结性能，是幕墙常用密封材料。用于玻璃板块间、框架与玻璃缝隙密封，可形成有效屏障，阻止空气和雨水渗透，并适应构件微小变形。在沿海潮湿、强风环境下，需选用质量可靠、耐候性强的产品，施工时确保涂抹均匀、粘结牢固。

三元乙丙橡胶密封条。弹性、耐老化和密封性能良好，常用于幕墙开启扇边框、框架与主体结构连接部位。可在构件间形成紧密密封，缓冲相互作用力，减少振动变形导致的密封失效。如在开启扇边框安装该密封条，能提升密封性能，增强开启扇在风荷载下的稳定性^[4]。

5 玻璃幕墙密封技术与抗风性能

5.1 幕墙密封原理

幕墙密封通过设置密封材料，阻止空气和水分渗透，实现气密性和水密性，进而提升抗风性能。密封不良时，风进入幕墙内部形成内压，与外压相互作用，增加构件受力，降低抗风稳定性；良好密封可减少内压，维持幕墙稳定^[4]。

5.2 常见密封形式及抗风效果

胶条密封。通过在幕墙框架和玻璃边缘安装橡胶密封条实现密封，常用三元乙丙橡胶、氯丁橡胶等。安装简便、成本低，能一定程度阻止风渗透，但抗风效果受材质、压缩量和安装质量影响大。材质老化、安装不牢时，强风下易位移脱落。在中低层建筑应用较多，沿海高层建筑需与其他形式配合。

结构密封胶密封。用硅酮结构密封胶将玻璃粘结在框架上，兼具固定和密封功能。强度高、耐候性好，能有效承受风荷载，使玻璃与框架协同抗风，并填充微小

缝隙。但施工对环境要求高，需严格控制温湿度，且存在老化问题，需定期维护。在沿海重要建筑及隐框幕墙中应用广泛。

密封胶与胶条组合密封。结合两种密封形式的优势，先安装胶条初步密封，再打注密封胶二次密封。胶条缓冲变形，减少密封胶受力，密封胶填充微小缝隙，提高密封效果。在强风下能更好保持密封性能，广泛应用于沿海高层建筑幕墙^[5]。

5.3 密封失效原因及预防措施

在建筑、机械、管道等诸多领域，密封系统的可靠性直接关系到整体工程的安全性与耐久性。然而，密封失效问题却频繁出现，深入剖析其背后的原因，并制定有效的预防措施，成为行业亟需解决的重要课题。

材料老化是密封失效的常见根源之一。以建筑幕墙密封为例，密封材料长期暴露在自然环境中，紫外线、温湿度的变化会对其性能产生巨大影响。硅酮密封胶在紫外线的持续照射下，其高分子链会逐渐断裂，导致胶体变硬、开裂，失去原有的弹性和密封性能。

施工质量问题也是导致密封失效的关键因素。密封胶涂抹不均会使密封层厚度不一，在受力时薄的部位极易破损；厚度不足则无法提供足够的密封压力，导致密封不严。密封条安装不牢，在使用过程中可能会松动、移位，进而失去密封作用。此外，施工环境对密封胶的固化有着重要影响。若在湿度较大或温度过低的环境下施工，密封胶的固化速度和效果都会受到影响，无法形成理想的密封层，导致密封失效。幕墙变形同样会引发密封失效。

外力破坏也是不可忽视的因素。台风、暴雨等恶劣天气中的杂物，如树枝、广告牌等，在强风作用下会高速撞击密封材料，造成直接损坏。人为碰撞，如车辆刮擦、施工过程中的机械碰撞，以及维修过程中的不当操作，都可能破坏密封材料的完整性，导致密封功能丧失。

针对以上密封失效原因，可采取一系列科学有效的预防措施。在材料选择方面，应依据使用环境和需求，严格挑选优质密封材料。对于沿海地区的建筑幕墙，应选用具有优异耐候性和抗老化性能的密封胶，如添加了特殊抗紫外线助剂的硅酮密封胶，确保其在长期的阳光照射和高湿度环境下仍能保持良好的性能。

施工质量控制是预防密封失效的重要环节。要加强施工管理与监督，建立完善的质量管控体系。对施工人员进行专业培训，使其熟练掌握密封胶涂抹和密封条安装的技术要点，确保施工操作规范。

优化幕墙结构设计能有效减少因变形导致的密封失

效。在设计阶段,应合理规划幕墙结构,增强其强度和刚度,通过科学的力学计算,确保幕墙在各种荷载作用下的变形在合理范围内。

加强日常维护与检查是及时发现和解决密封失效问题的重要手段。建立完善的维护制度,定期对密封材料进行全面检查,观察其是否出现老化、开裂、变形等情況。在恶劣天气前后,更要进行重点检查,及时清理附着在密封材料上的杂物,防止其对密封材料造成磨损或腐蚀。一旦发现密封材料存在问题,应及时进行修复或更换,避免问题扩大化,确保密封系统始终处于良好的工作状态。

6 实际案例分析

6.1 案例一:某沿海高层建筑异形立面玻璃幕墙

项目概况。某沿海300米超高层建筑,异形扭曲立面,幕墙面积50000平方米,采用单元式幕墙结构。

风荷载分析与设计。风洞试验和数值模拟显示,建筑顶部拐角等部位风荷载系数超2.5。设计时在风荷载大的区域采用高强度铝合金框架,立柱200mm×100mm×5mm、横梁150mm×80mm×4mm,搭配12mm钢化玻璃与6mm+1.52PVB+6mm夹层玻璃组合的中空面板。

幕墙结构设计特点。单元板块通过不锈钢挂件与主体连接,板块间采用三元乙丙橡胶密封条、硅酮密封胶和耐候硅酮密封胶三道密封,设置横竖变形缝。

抗风性能实际表现。历经12级台风,仅个别密封胶开裂,修补后正常使用,整体结构稳定,验证了设计与选材的有效性。

6.2 案例二:某沿海商业综合体异形立面幕墙

项目概况。沿海商业综合体,多栋建筑异形曲面造型,主建筑幕墙面积30000平方米,采用框架式与点式结合的幕墙结构。

风荷载分析与设计。数值模拟和风洞试验确定异形曲面及建筑间风通道区域风荷载大。框架式幕墙在荷载大区域采用Q345B钢材,立柱180mm×120mm×6mm、横梁120mm×80mm×5mm,点式幕墙用高强度不锈钢索支

撑,不同区域选用10mm钢化玻璃、8mm+1.52PVB+8mm夹层玻璃等。

幕墙结构设计特点。框架式与点式结合处设特殊转接件,框架式优化布置增强整体性,点式玻璃连接点设弹性缓冲装置,幕墙表面设导流、扰流装置。

抗风性能实际表现。强风天气下,幕墙轻微晃动,结构和玻璃未实质损坏,但存在螺栓松动、导流板老化问题,经维护后确保长期安全。

7 结束语

本研究通过对沿海地区异形立面及防风玻璃幕墙抗风性能的深入分析,得出以下主要结论:

沿海地区独特的风环境,强风成因复杂,风荷载具有压力与吸力不均匀、脉动风效应明显以及易引发风致振动等特点,对异形立面及玻璃幕墙的抗风性能构成严重威胁。

异形立面由于其多样化的类型和不规则的形状,导致风荷载分布呈现出明显的不均匀性。风洞试验和数值模拟是研究异形立面风荷载分布特性的有效手段,迎风面中部正风压较大,拐角和顶部负压突出,背风面整体负压显著,特殊结构部位存在风荷载集中效应。

防风玻璃幕墙的结构设计对其抗风性能至关重要。不同结构体系各有优劣,框架式幕墙安装灵活但整体性较弱,单元式幕墙整体性好,点式幕墙通透性佳但对支撑结构要求高。

参考文献

- [1]王鑫.点支式玻璃幕墙抗风压设计方法[J].建筑技术开发,2022,49(09):20-22.
- [2]秦继红,徐立.双中空玻璃幕墙在中信大厦中的应用[J].施工技术,2021,50(14):19-22+36.
- [3]郗永军,张竟辉,沈小虎.不同异形格栅对建筑幕墙风压的影响[J].建筑技术开发,2019,46(01):24-25.
- [4]王斯岩.加劲肋对铝板幕墙抗风性能的影响研究[D].中原工学院,2022.