

增设连接法兰对通信单管塔结构安全性的影响

陈倍青

上海邮电设计咨询研究院有限公司，上海，200092；

摘要：本文研究了增设连接法兰对通信单管塔结构安全性的影响。通过分析法兰连接的设计规范、施工要求，探讨了法信单管塔结构增设连接法兰关键技术。研究表明，合理的法兰连接设计能够有效提高单管塔的结构安全性，但需严格控制法兰板关键参数，方可避免潜在结构隐患，提高通信单管塔结构安全性。

关键词：增设；连接法兰；通信单管塔结构；安全性

DOI：10.69979/3041-0673.25.11.018

引言

增设连接法兰对通信单管塔结构安全性具有显著性的影响，可以有效提高结构稳定性、抗震性能，提高抗风能力。而法兰连接方式也可以有效提高施工效率。但是在实际的应用要重点分析法兰连接的细节，强化质量控制，方可有效保障法兰连接的安全性、增强结构的可靠性。

1 增设连接法兰对通信单管塔结构安全性的影响

1.1 结构稳定性

单管塔属于高耸结构，在应用中主要受到塔身刚度以及连接强度的影响。法兰连接是常见的单管塔连接方式，利用法兰盘以及相关螺栓设备进行连接，则可以实现对塔身内力的有效传递，充分保障塔段刚度以及整体结构的稳定性。但是如果增设连接法兰则会增加结构的复杂程度，如果连接设计不足，螺栓数量不足、法兰厚度不足等等，则会严重降低连接的强度，影响结构的稳定性。

1.2 抗震性能

单管塔在地震作用下会出现 $P-\Delta$ 效应，也就是其轴向压力与侧向位移之间会出现相互作用，进而导致塔体失稳等问题的出现。法兰连接引入要保障连接为中刚度匹配性，避免刚度突变等问题出现而出现应力集中等问题。

相关研究表明，法兰连接主要就是通过高强度等级普通类的螺栓进行处理，通过双螺母的方式进行处理，则可以提高抗震性能。同时，法兰连接要根据实际状况

合理设置，保障其满足设计的基础要求。

1.3 风荷载影响

单管塔在风荷载作用之下会出现一定的侧向位移等问题，而法兰连接设计会对塔体抗风性能产生一定的影响。相关研究表明，法兰连接必须要保障其 75% 的贴合性，同时其边缘间隙不得高于 2mm，这样则可以有效减少因为受力不均匀而出现的局部破坏性问题。

2 通信单管塔结构增设连接法兰关键技术

2.1 结构设计优化

法兰主要包括外法兰、内法兰两种类型。其中外法兰便于安装维护，但其具有风荷载敏感、美观性不足的特征，主要就是在运输受限、需频繁调整的场景中应用。而内法兰则具有气动性能优、防腐性好的是特征，但是在安装中必须要做好精度控制，适当增加壁厚。主要在高风速区、城市景观等诸多区域中应用。

2.1.1 法兰几何形状优化

第一，流线型设计

通过圆弧过渡或者通过梯形法兰边缘的方式进行，减少风阻系数，通过分析可以发现利用此种方式可以降低 10%~15% 风荷载。

第二，镂空减重

在设计中通过在法兰非承力区域设置蜂窝状、环形的开孔结构，在减轻自重的同时可以降低应力集中等问题。

2.1.2 局部加强措施

通信单管塔结构增设连接法兰中，法兰的刚度与尺寸必须要符合塔体结构，如果法兰刚度不足出现过薄或过窄等问题，则会导致其出现局部的屈曲以及变形等

问题,会在一定程度上降低了其抗风以及抗震能力。增设法兰会在一定程度上对塔体结构的长细以及刚度分布状态产生影响,必须要对整体稳定性进行系统分析。

第一,加强筋布置

可以通过在法兰与塔体连接处增设环形加劲肋,其中保障宽度大于等于 100mm,其厚度要符合塔壁参数,方可提高整体性能。

第二,过渡段设计

法兰上下延伸到过渡区长度要大于等于 1.5 倍塔径,使其可以平滑应力梯度。

2.1.3 法兰间隔设置原则

单管段长度一般在 12 米以内,主要受到标准集装箱尺寸限制因素的影响。在安装中,一般为 8-12m 左右,其中高风压区缩短到 6-8 米左右,而超高层塔则主要应用变间距的方式对其进行处理,保障底部密、顶部疏。为了保障管体结构的稳定性,要保障法兰间距符合欧拉临界载荷公式:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{kL^2}$$

其中, k 表示法兰约束系数,其中外法兰参数为 0.7-0.9,内法兰为 0.5-0.7。 L 表示无支撑段的长度。

2.2 抗震性能优化

2.2.1 保障材质符合要求

法兰材料必须要符合原有塔钢材的强度、韧性以及热膨胀系数,要基于实际状况进行标准化分析,如果出现较为显著的材质差异,则会对导致塔身在应用中出现电化学腐蚀或者温度应力等诸多问题。

因此,法兰要应用与塔体相同的钢材,其中抗拉强度必须要大于等于 470MPa,其延伸率则要大于等于 21%。同时,螺栓主要应用 8.8 级或者 10.9 级的高强度螺栓,其中预紧力控制要为螺栓屈服强度参数的 70%~80%左右。

同时,在设计中重点做好防腐处理,其中热浸镀锌层厚度要大于等于 85 μm ;而焊缝区域根据实际状况增设环氧富锌底漆,其中膜厚度大于等于 60 μm 。腐蚀是影响法兰连接耐久性的重要因素之一。对此,可以通过腐蚀模拟预测分析法兰连接位置是否受到不同介质的影响,了解其具体的腐蚀速率,综合数值确定优化防护措施。例如,可以通过热镀锌处理、防腐层涂刷等方式进行处理。同时,法兰连接位置要做好密封性处理,增加防腐垫片,方可提高整体的抗震性能。

2.2.2 强化焊接工艺控制

通过气体保护焊或者埋弧焊的方式进行焊接处理,全熔透焊缝作业。焊接之后要基于技术标准进行检测分析,通过超声波探伤,根据 GB/T11345-2013B 级对其进行验收分析;其中磁粉探伤技术焊缝表面裂纹检出率大于等于 99%。焊接之后要根据技术要求对其打磨,保障粗糙度 $Ra \leq 12.5 \mu\text{m}$,这样则可以有效消除应力集中等问题。

2.2.3 螺栓连接

通过液压扭矩扳手进行处理,其中保障扭矩误差小于等于 $\pm 5\%$;同时,8.8 级 M24 螺栓预紧力必须要控制在 225~250kN 左右。根据实际状况合理双螺母+弹簧垫片,也可以通过涂抹螺纹锁固胶的方式进行处理。

同时必须要保障法兰连续位置螺栓布置均匀性。法兰连接中,保障法兰实现平行处理,其中法兰平行偏差不得高于外径参数的 1.5%,其中最大不得高于 2mm。而法兰断面的平行度偏差则必须要控制在外径 1.5%以内,方可有效保障法兰结构的稳定性,避免法兰不平行而出现的安装隐患问题。

螺栓孔中心偏差要保障控制在孔径 5%的范围以内,保障螺栓可以自由进入。同时在法兰连接中,螺栓孔的直径要大于螺栓直径 2~3mm,有效减少摩擦,保障整体安全性。在进行螺栓紧固作业中,基于对称顺序对其进行分批次、均匀的拧紧,避免受力不均匀而出现法兰变形、局部应力过大等诸多问题。通过对角线顺序进行处理,依次拧紧螺栓,通过扭力扳手对其进行交叉紧固处理。法兰连接螺栓要应用相同规格的螺栓结构,保障安装方向相同,确保受力均匀性。根据实际状况合理应用垫圈以及润滑剂。

2.3 振动抑制技术

根据实际状况合理设置阻尼器,同时在法兰上方塔体高度 2/3 处,设置 TMD。在设置中要保障阻尼器行程为 $\pm 50\text{mm}$,这样则可以有效满足塔顶最大振幅的应用需求。同时,可以通过电动式主动阻尼器进行处理,其响应时间小于等于 0.1s。

3 增设连接法兰对通信单管塔结构安全性施工与验收标准

法兰连接直接对通信单管塔的长期耐久性产生影响

响, 综合技术要求对其进行综合评估, 方可有效提高整体安全性。其主要验收指标如表 1 所示。

表 2 关键验收指标

项目	标准	检测方法
法兰焊缝质量	无未熔合、气孔, UT 合格率 100%	超声波探伤 (UT)
螺栓预紧力	8.8 级 M24 螺栓: $225 \pm 10\text{kN}$	液压扭矩扳手+压力传感器
防腐层厚度	镀锌层 $\geq 85 \mu\text{m}$, 涂层 $\geq 120 \mu\text{m}$	磁性测厚仪
塔体垂直度	$\leq H/1500$ (H 为塔高)	全站仪测量

3.1 法兰连接设计与施工要求

基于《钢结构单管通信塔技术规程》(CECS236: 2008) 以及相关技术标准, 法兰连接属于单管塔的重要组成部分, 其设计与施工质量直接影响整体耐久性, 对此, 必须要保障其符合质量要求标准。

其中, 法兰实际接触面与设计接触面之间的比例必须要不得小于 75%, 单法兰盘中的最大间隙要控制在 1.2mm 以内, 同时组合法兰盘最大间隙则要控制在 3.0mm 的范围以内。法兰连接位置必须要应用防腐蚀性的垫片结构, 保障法兰连接紧密贴合, 其中间隙高于 1mm, 则必须要基于技术标准进行防腐处理。连接螺栓要保障其对称紧固, 螺栓连接必须要保障穿孔率为 100%, 双螺母锁紧, 其中单螺母则必须要加锁紧垫片。法兰水平度必须要小于等于 1/1000, 也就是 10m 高度误差要控制在 10mm 以内; 同时保障螺栓孔对齐, 其错孔率小于等于 0.5mm。

3.2 力学分析与疲劳评估

法兰连接长期耐久性评估必须要通过力学、疲劳等多种方式对其进行分析。通过对连接系统进行计算, 了解承受内部压力、外部力以及其力矩等相关荷载的应力以及变形, 这样则可以有效确定其在运行阶段是否稳定。

同时, 可以通过循环荷载模拟分析的方式, 了解其疲劳寿命, 进而充分保障连接系统不会因为疲劳破坏而出现失效等诸多问题。

3.3 现场检测与验收

对于增设连接法兰进行长期性的耐久性评估, 必须要基于现场检测的结果对其进行综合分析。例如, 通过检查分析法兰实际接触面与设计接触面的比例是否符合既定要求。通过 0.3mm 的塞尺检查分析法兰间隙是否不足 0.8mm, 同时, 如果出现间隙过大等问题, 则要通

过填充垫片的方式进行处理, 根据技术要求对其进行防腐性处理。对于螺栓连接位置要重点分析其紧固状态, 保障螺栓符合规范要求。

3.4 智能监测系统

通过在法兰上下等相关位置上分别设置 4 个应变片, 这样则可以对应力变化进行动态检测分析。根据实际状况进在塔顶安装三轴传感器, 其中采样频率大于等于 100Hz。如果系统安全隐患问题, 在应力大于等于 200MPa 或者振幅大于等于 5mm 的时候则会自动出发预警。

4 结束语

通过增设连接法兰, 单管塔的结构安全性得到了保障, 同时满足了现代通信设备安装的需求。在设计中要强化工艺控制以及技术管理, 通过智能化检测系统进行动态监控, 则可以优化整体性能, 继而为通信铁塔的改造与升级提供更全面的技术支持。

参考文献

- [1] 汤伟方, 陈太平. 通信单管塔预应力拼装基础设计[J]. 江苏建筑, 2024, (04): 77-80.
- [2] 陈博洋, 张力, 陈才. 通信单管塔新型加固装置的分析与应用[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(08): 35-37.
- [3] 王文, 巩沙, 康元甲, 等. 基于有限元模拟的法兰连接系统高温工况下温度场分析[J]. 新技术新工艺, 2025, (03): 67-71.
- [4] 段红燕, 石岩, 刘俭辉, 等. 螺栓法兰连接剩余预紧力分析[J/OL]. 润滑与密封, 1-11.

作者简介: 陈倍青 (1974.10-), 男, 汉族, 江苏启东人, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑结构设计。