

Regent's Place 楼盘装饰亭

这座装饰亭是 Regent's Place 楼盘新建西部入口的标志建筑。该楼盘是一座位于伦敦核心区的占地 13 英亩的地产项目。该项目设计了各种零售、休闲和公共活动空间。这座建筑完全采用了不锈钢建造,由一片立柱林支撑着高出街面 8 米的挑高顶蓬。装饰亭平面占地 20 米乘 5 米,由 258 根高挑纤长的中空柱支撑着一个顶蓬平板。它昼间反射阳光,夜间反射内嵌在道路铺面内的投射灯所投射的灯光。这座建筑于 2009 年向公众开放,并荣获了英国皇家建筑师协会(RIBA)的 2010 年度卓越建筑奖。

材料选择

此建筑物规定了 50 年的设计使用寿命。最初考虑采用涂漆或镀锌的碳钢材料,可是,由于不锈钢材料提供了卓越的耐久度并结合了魅力十足的外观,所以设计方案偏向于采用不锈钢材料。

最初,整个建筑物都选择了钢号为 1.4352(S32304)的双相不锈钢。这一等级的不锈钢将高强度(约 450 N/mm^2)与卓越的耐腐蚀性集于一身。但是,立柱截面尺寸较小而柱壁相对较厚,意味着这种材料无法按所要求的截面尺寸外包制作。因此,后来考虑采用奥氏体不锈钢并最终选中了钢号为 1.4404(S31603)的不锈钢。这种钢在暴露在大气中时具有与 1.4362 钢种近似的耐腐蚀性,只是强度较低(约 220 N/mm^2)。这种低强度导致这座建筑物的总重量增加了 15%。

为了具体确定支柱和屋顶所需要的表面光洁度规格,在 1:1 等尺寸模型上实施了照明试验;所选中的光洁度为一种 320 目的光洁度。这种光洁度在轧钢厂轧制完成,这就意味着无需由第三方专业人员进行表面抛光操作,从而节约了成本。

设计

这个装饰亭全部采用不锈钢制作,其中包含了 258 根支柱,这些支柱由 3mm 厚的坚硬屋顶板连接在一起。这些支柱的高度为 7.8 米,50 mm 见方,壁厚为 4 mm。这些支柱的结构完整性由整体纵向弯曲性能所决定。这些支柱在排列设计中实现了相互遮挡,减少受风力影响的程度,降低了整体风载荷,减轻了柱体所承载荷,提供了更好的对纵向弯曲失效的整体耐受度。

对于这种异乎寻常的既高挑又纤长的柱体特性,只能采用一种在一些首要原则基础上发展而来的设计方法来达成,其中涉及了确定项目具体载荷、变形和加速度标准。



图 1: 处于照亮状态下的 Regent's Place 楼盘装饰亭

结构分析

作用在支柱上的直接风压和风速传递到屋顶板并分配给所有部件,这些部件共同构成了一个侧摆框架构造。这种结构对侧摆敏感(低临界负荷系数)并因此需要执行非线性 P- Δ 分析。此项分析得出的作用力随后与那些和主要纵向弯曲模式相关的作用力合成,合成作用力要确保不会超过截面承载能力。

与碳钢不同的是,不锈钢展现出非线性的应力应变特性,没有可清晰定义的屈服点。这种在应力接近设计强度(0.2%屋顶强度)时刚性的降低现象已经确知会放大与几何非线性相关的作用力,并且已经在本项设计方案当中得到了明确无误的考虑。

以下所述的物理试验表明,这座建筑物的固有阻尼水平非常之低(约为临界值的 0.2%)。方案中设计了阻尼器以控制此构筑物的动态响应,从而使其疲劳寿命(按标准 BS 7608^[1]计算)超过了 50 年设计使用寿命。

一家独立学术机构审查了此项由设计团队编制的计算书,并按照标准 EN 1993-1-4^[2]当中的设计推荐意见评估了可能的结构性能。

风力响应和阻尼

从设计早期开始,对单一支柱的空气弹性变形不稳定性就是一项主要的忧虑点,因此设计团队执行了风洞试验来研究立柱的响应。这些试验研究了来自驰振、涡旋脱落和互动涡旋脱落的激励因素。试验发现,在缺乏辅助阻尼措施的情况下,这些立柱会在 8 米/秒的风速下开始驰振并发生共振。(共振是一种类似于导致 1940 年 Tacoma Narrows 大桥事故的空气弹性变形效应。)由于此风速是所在场地的可信风速,因此通过执行进一步的试验,确定了所需要采用了辅助性阻尼措施的数量水平,使在出现超过现场可能出现的风速时仍将共振响应限制住。试验发现,引入 2%的辅助性阻尼就会将临界风速提升至 80 米/秒。

经提议采用了冲击型阻尼型,其形式是悬挂在每根立柱内部的带塑料涂层的碳钢杆。当立柱开始振动时,这些吊杆就会与立柱的内表面发生碰撞,从而吸收足够的能量,控制好立柱的响应。

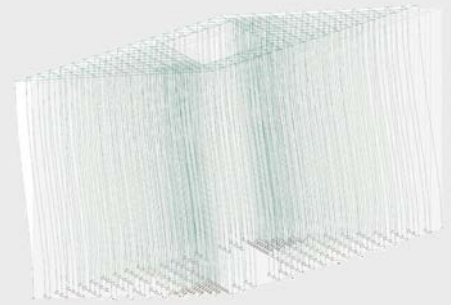


图 2: 模态纵向弯曲分析



图 3: 屋顶连接部分的等尺寸模型



图 4: 屋顶底侧视图



图 5: 在 BRE 建造的装饰亭部件等尺寸模型



图 6: 混凝土浇筑前的螺栓笼

试 验

在 Building Research Establishment 公司位于英国 Watford 的试验设施中,建造了一座 1:1 的等尺寸模型,主要用于测试这座构筑物的动态响应,包括了增加和不增加冲击阻尼器的情况。在这座模型上也进行了一些静态试验,对有限元模型进行了校准。动态试验包括了一个固定在立柱中等高度处的摇动器。根据这些试验估算,这座焊制构筑物的固有阻尼低至 0.2%,明显低于标准 BS 6399-2[3]对于焊制钢框架的规定值(典型情况下采用 0.4% 的值)。这些试验还验证了这座构筑物对故意破坏行为载荷场景下的耐受能力,试验了所提议的构建方法,并确定了光洁度和照明方案。

制 作

使用了 1500 个不锈钢地脚螺栓将立柱以非常严密的公差 ($\pm 1.5\text{mm}$)进行了定位。这一效果通过采用“螺栓笼”达成(一种由碳钢角钢和平板条构成的结构网),这个螺栓笼浇筑在地基板之内,起到了加强钢筋的作用,并在混凝土浇筑后将这些不锈钢螺栓固定住(图 6)。

不锈钢非常容易受焊缝变形的影响。为了避免部件尺寸超出公差范围所导致的问题,整个上层建筑均配对制作,并在每一个焊接工序之后都将不锈钢件拉直。为了让大量部件更容易管理,在发运到现场之前,首先用(用于固定阻尼器和立柱的)插口端部件制作成屋顶格架。

立柱内的冲击型阻尼器用于将刮风引发的共振现象控制在约 4 mm 左右;而立柱也会表现出低于此幅值的一些风力引发运动。因此在基部焊缝处和顶部小部件处会发生一些循环加载现象并有可能出现疲劳损伤。因此执行了额外的试验以确保焊缝质量达到了疲劳分析计算中所假设的等级。试验采用了超声波和染料渗透检验方法以确保全过程的焊缝质量。

建造

用于建造这座装饰亭的场地非常狭小,要求采取经过精心计划的作业程序,遵循非常特别的施工工序和起重机运用方法。针对这座装饰亭的建造工作,设计团队与制作商联合编制了方法说明书,并制作了三维可视化影像,用于向设计团队和客户展示建造程序。

沿立柱长度方向施涂了一种胶状塑料保护层以便在运输和建筑过程中保护好立柱[4]。在施工结束后,在远处可以明显看到立柱表面有一些划痕。这时采用了一台抛光机,这台抛光机能够自动沿立柱高度方向上下运行,消除掉所有明显的缺陷。这台专门制造的抛光机获得了“沿排水管爬上爬下的老鼠”的绰号,确保了这些纤长优雅立柱的美丽无瑕。



图 8: 正在建造中的装饰亭

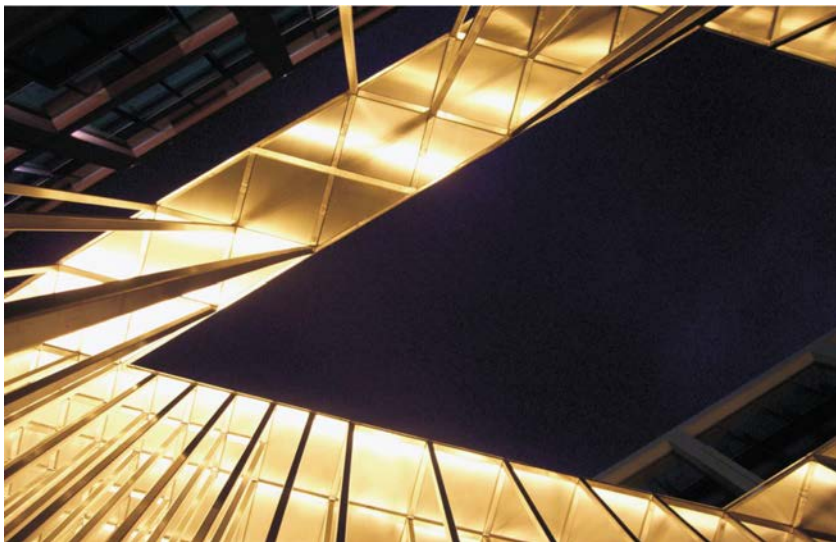


图 7: 屋顶底侧被照亮时的外观



图 9: 现场抛光机(绰号“沿排水管爬上爬下的老鼠”)

本案例信息由 Arup 友情提供

参考文献 和书目

- [1] BS 7608:1993 Code of practice for fatigue design and assessment of steel structures
- [2] EN 1993-1-4:2006 Eurocode 3.Design of steel structures.General rules. Supplementary rules for stainless steels
- [3] BS 6399-2:1997 Loading for buildings.Code of practice for wind loads
- [4] Erection and installation of stainless steel components, Euro Inox, 2006

结构用不锈钢网上信息中心:
www.stainlessconstruction.com

采购详情

客户:	British Land
项目经理:	M3C Consulting
建筑师:	Carmody Groarke
结构工程师:	Arup
主承包商:	Bovis
钢结构承包商:	Sheetfabs

本系列结构用不锈钢案例研究由 Team Stainless 赞助

