

本版内容源自《工程新闻记录》杂志(ENR)提供,《建筑时报》编译。版权所有,未经ENR的书面同意,不得以任何形式整体或部分出版或转载。

精心设计:让“众声塔”发声

作者: Tom Sawyer

美国93号航班国家纪念馆的最后一个组成部分——“众声塔”可能最终会在今年秋天进行调整。

今年10月,CAD和施工管理荣誉退休教授诺德·恩布罗登,两次陆地游艇航行速度的世界纪录保持者,预计将在宾夕法尼亚州尚克斯维尔附近的93号航班国家纪念馆登塔,为了最终调整40个铝帆的索具。他设计了一个可以让塔楼“说话”的装置。

“众声塔”是这项耗资5600万美元建设纪念馆的三期工程的最后一部分。位于洛杉矶的保罗·默多克建筑师事务所在2005年的设计竞赛中胜出,该设计方案包括一座93英尺高(约28.35米)的塔楼,可容纳40个5到10英尺(1.524~3.048米)长、直径8英寸(约0.20米)的管状风铃。

风铃的随机旋律是纯粹和谐的音符,有时有不和谐的共振,意在唤起乘客和机组人员在2001年9月11日在与劫机者搏斗的最后时刻的声音,驾驶舱的录音和留给亲人的电话信息显示,劫机者显然决意使用飞机袭击华盛顿特区。“声音”主题贯穿了纪念馆广阔的景观、游客中心和签名塔。

但在2018年,随着塔楼结构工程完工,9月份的落成仪式到来,设计公司创始人、总裁兼项目负责人保罗·默多克及其顾问和工程师团队仍在努力让风铃“说话”。

让风铃“说话”是献给2018年9月8日举行的“断音”仪式的礼物,当时只有八个风铃。默多克说,虽然声音很美,但风很轻,而且利用这种声音的机制,未能提供让风铃“交谈”所需的整洁、频繁、有力的打击。金属帆本来是用来乘风摆动、震荡发声,效果却不理想。于是采用了备用方案,在仪式上用绳子手动敲响铃声。

默多克说,一开始看似相对简单的工程任务,结果却是一个“极其困难”的问题。他逐渐意识到,考虑到项目中已经存在的结构和性能限制,最初的风帆设计是行不通的。他说:“我们有一个



93号航班国家纪念馆

过于强大的组件,它经久耐用,承受了很大的力,但它的浮力不够,无法在风中发挥作用。从那时起,我意识到我们需要找一个能够调和这两个极端的人。”

2019年3月,当站在领奖台上接受ENR年度新闻人物奖时,默多克回忆说:“如果观众中有人知道如何制作风铃,我们愿意接受他。”他补充说,“我认为他们没有把我当回事。但我是认真的。”

迭代

问题在于,帆没有产生足够的动力来克服不锈钢组件不断增长的重量和复杂性,包括吊杆和柔性连接件用于悬挂吊杆和下面的帆,以及限制帆的航行的控制器,以避免在拥挤的塔内发生碰撞。

每一个部分都必须承受高重复的压力,在年复一年、十年又十年不断运动的恶劣环境中生存下来。每个元件的额定值必须能够经受400年一遇的风暴和4.73KPs(4730lbs)的载荷。

默多克说,设计和施工过程是高度迭代的,每一步都要对建模、实物模型和原型序列进行评估,以进行设计调整。它始于2016年11月的风铃管,随后是悬挂系统、撞击杆和帆。

默多克说,设计师与美国国家公园管理局签订合同确认,这将是一个分阶段的过程,涉及一系列具体范围和一次性费用。“每一次谨慎的迭代都将为下一阶段的需求提供更清晰的信息。设计团队和业主共担风险,我们尽可能地协调这些风险。”

众声塔项目曾两次被搁置数月,一次是2018年10月至2019年4月,原因是政府将项目停了,另一次是国家公园管理局在投入使用后的第二年数月。默多克说:“国家公园管理局想退后一步,评估如何将项目继续下去。”

约束条件

默多克组建了一支不同寻常的专家团队,帮助解决设计过程中出现的许多难题。除了来自奥雅纳的结构、动力、机械和声学工程师等更传统的资源外,他还聘请了一位音乐家和调音理论家、



“众声塔”效果图

风铃艺术家和风力顾问来开发风铃管,并找出它们应该演奏的音符。

最初的一项测试是为了证明,将风铃的不锈钢撞击杆及其冲击力隐藏在直径为8英寸(约0.20米)的每一个圆柱形铝管内的想法是否正确。默多克的愿景是给每个风铃“内在的声音”。他说,“从象征意义上讲,我们觉得这更符合我们所追求的纪念活动。”

但风铃的管壁是半英寸(1.27厘米)厚,撞击杆直径3英寸(7.62厘米)占据中心,撞击杆间歌加速敲击管子,使其发出音符。

默多克表示,他的风铃艺术家顾问格雷格·佩恩认为内部撞击杆行不通,但2017年8月的现场测试证明行得通。洛杉矶奥雅纳声音实验室的声学工程师们采集了七种长度的风铃声的全谱三维录音,用不同的撞击和阻尼材料分析其共振的质量和振幅。

默多克说,在测试过程中,在第一天缆绳失效后,用不锈钢缆绳将风帆悬挂在撞击杆身上的想法被粉碎了。这导致了新一轮的修改和在撞击杆、帆和控制杆之间使用不锈钢棒、钩环和球接头新连接的模型。

2018年,位于伊利诺伊州莫顿市的鼓和打击乐器制造商福盖特在一座塔楼上对新组件进行了多次测试,但每次修改都增加了机械的质量和复杂性,并进一步抑制了风的响应。

默多克承认,他曾“多次”对他们可能无法让这些声音发挥作用而感到失望。“面对所有的挑战,非常困难,但这三个挑战尤其突出:塔楼的边界、风铃管的结构、在风中运行并经得起磨损,这些挑战已经足够强大,但归根结底,这取决于每个组合的设计,以及理解它们作为一个组件的行为……最终的设计比任何人预期的都更具挑战性。”默多克说。

当默多克努力利用风力时,他开始与水手们讨论这个问题,“因为他们熟悉

如何解读风力并利用风力进行运动。”但是,他发现,即使他们对风的行为有很好的理解,他们为适应帆船装备而提出的所有建议都无法经受数十年的考验和极端条件。然后,在2019年4月,一名水手建议他与诺德·恩布罗登谈谈,据说他知道如何设计和制造高性能的机翼和非刚性、轻便、风力驱动的机器。

恩布罗登是加利福尼亚州维克多维尔市维克多山谷学院的名誉教授,已经70岁了。他在那里开发并教授建筑和建造、绘图和工程、施工和制造技术等课程,并于20世纪80年代初在那里开设了美国首批CAD课程之一。他的父亲是一名航海工程师。恩布罗登说,他从小就开始建造陆地帆船。20年来,他一直保持着陆地游艇速度的两项世界纪录之一,目前担任诺德设计公司首席设计师、首席工程师和首席执行官,经营着陆地游艇设计和制造业务。

恩布罗登回忆道,“这应该是一个相当快的项目。”他说:“我们检查了所有的组件,我记得保罗说,‘我们拥有所有这些部件,我们希望你们尽一切可能使用它们。’”“我不得不尽量珍惜一系列的成品——几乎每一件都是定制的,却是很少使用。它经过了精心设计,最终无法使用。”

难题

恩布罗登解释说:“这是一个棘手的问题,因为我们需要满足建筑工程方面非常高的标准,但是让帆达到全速的运动量只有三四英寸。它必须从零到最高速度,敲响风铃,然后自行重置。这是一个相当大的难题。”

默多克表示,他们于2019年4月开始在奥雅纳举办为期两天的研讨会,向恩布罗登介绍该项目。“到10月,我们能够测试一些成功产生风力打击的帆。”首批帆是三种设计的胶合板模型,随后由伊利诺伊州的福盖特公司用铝制造并测试。每一种都有不同的行为

历,有些令人惊讶,有些平常。我仍然觉得我必须证明自己。有些人试图帮助我,因为他们认为我做不到这项工作。有些人仍然不愿意和女人一起工作,幸运的是这只是少数人。

最近,在一份工作中,我是唯一一个无法达到最高限额的团队。我是团队中唯一的女人,身高5英尺3英寸(约1.60米),是最矮的人。一个队友给我做了一个脚凳来增加额外需的几英寸。他愿意和我一起工作,这样我才能证明我的能力。这真的意义重大。我现在把那个脚凳带到每一份工作中。

在仍在拟议中的基础设施立法中加入这一措辞将是一种进步,女性需要证明她们能够以高水平的表现进入行业并完成所需的工作。因此,她们可以获得报酬丰厚、福利优厚的工作,致力于行业职业生涯,并培养向某人展示已完成项目的自豪感,因为她们知道“我创造了这个”。

当我听到卡特总统总务长兼秘书长汤姆·弗林也敦促国会通过修正案条款,将其作为“私营部门使用的行之有效的战略”。他与锅炉制造商、砖匠和钢铁工人工会的领导人一起,以及代表组织的劳工、建筑公司、企业、性别和种族正义组织以及工人权利团体的200名其他人支持修正案。

我家里有一块牌子,上面写着:“最好的日子都会在脏衣服里结束。”三年前,我从没想过会成为一名三年级的木工学徒,或者为这个牌子现在所代表的东西感到骄傲。

特征,但它们都起作用,证明了概念的正确性。

默多克回忆道,国家公园管理局选择了三种设计中最具活力的一种,但随后关了该项目六个月,同时评估如何最好地推进,并确定了从概念原型到完整制造和安装所需的资源。在下一阶段,它将福盖特公司替换为位于纽约州布劳维尔 ARCH 设计公司。ARCH 最终制造了40个风铃,并于2020年9月安装。

当国家公园管理局最终为恢复工作开绿灯时,团队又开始工作,并集中精力重新分析整个风铃组件,以寻找减轻和简化风铃的方法。

恩布罗登在谈到减轻组件时说,他想更换的一个部件是下杆和球节,以限制帆的运动范围。他建议用绳子代替。默多克说,他很早就提出了使用绳子,但由于对绳子的强度和耐久性的怀疑,工程师们拒绝了。就在那时,恩布罗登在荷兰推出了一种超高分子聚乙烯绳索,DSM 以迪尼玛(聚乙烯纤维)的名义在市场上销售。它被誉为世界上最强的纤维。根据文献,超级油轮和拖船因其强度高、重量轻和寿命长而将其用于系泊和拖曳。DSM 声明,用它制成的绳索比同样尺寸的钢丝绳强度稍高,重量减轻7到10倍。

恩布罗登说:“这是一条非常好的绳子,而且很牢固。”默多克说,工程师们仍然持怀疑态度,但诺德在绳索方面的丰富经验可能影响了他们。默多克说:“另一件事是看到这种昂贵的金属构件是多么的有限,而且这种机制不太可能起作用。”他补充道,该项目“在我们重新投入的过程中开始了新的篇章”。

高功率的帆是关键

恩布罗登的高功率帆是关键。由于其配置为对、平行、垂直的帆翼,其中一个帆翼的前缘稍微靠后,又在另一个帆翼的内侧,因此它们会快速加速并产生坚实的冲击力。比成对箔片末端宽的平板“气坝”垂直设置,以覆盖其顶部和底部。“气坝”防止了能量消耗的湍流,并保持气流与帆翼平行。

恩布罗登解释说,物理学要求穿过箔材内部和外部的分子在后缘重新结合

在一起,就像它们分开之前围绕帆旋转一样。这会导致流经较长外曲线的分子扩散,以跟上穿过较短内路径的分子,从而在较长侧产生相对于内曲线或提升曲线压力的压降。帆的曲线形状使前端的升力更大,从而推动帆向前运动,该运动的速度与风速相加,从而增加帆前缘的视风速。

恩布罗登解释说:“我们是在风中工作的。功率上升非常迅速,这增加了帆的前进速度,又增加了视风速,循环继续。”另外,重叠箔起到了放大器的作用。根据这些原理,恩布罗登的陆地游艇“银弹”的速度比实际风速快7倍。

恩布罗登还指定了一种制造和组装工艺,强调通过避免微小障碍物来保持气流清洁。帆帆可以从上到下翻转,以进行右侧或左侧安装,具体取决于风况。他还设计了两端带有可选择连接点的旋转支架,允许帆以微小的前倾角度悬挂。当缆绳在航行结束时将帆猛拉到停止位置时,支架转动以减轻结构上的张力。

恩布罗登根据塔中每个位置的风力特性,指定了不同的连接点,用于设置特定风铃声的拴绳。他还建议改用来自犹他州奇石有限责任公司的攀岩者使用的轻型转环,且一旦减轻绳索的重量。

当系绳正确设置且帆的角度恰好正确时,帆会迎风向前奔跑,但在撞击时,系绳会使帆收缩。旋转底部支架处稍微偏离中心的系带连接突然停止会导致帆的前缘在风中扭曲,或发生变形,从而使帆失去动力,并使其落下并重新启动。

要让“众声塔”经常“对话”和强烈地“讲话”,关键取决于帆的性能。恩布罗登希望在今年10月有机会调整制造商去年安装的帆,优化帆的性能。他说,“扩大塔的可操作范围将导致风铃在轻风中产生‘更多的对话’。”

计算部件的重量以应对疲劳载荷和日常力的过程时,仍然能够对风做出反应。默多克说,“这是一个很难解决的技术问题。”但最终,塔楼会“说话”,默多克希望在恩布罗登10月份进行调整后,塔楼会“说得更多”。他说:“这真是一个非常漂亮和辉煌的设计。”

墨西哥城地铁坍塌原因查明:结构焊缝存在缺陷

作者: Jim Parsons

挪威风险管理公司DNV于9月7日发布的一份报告称,5月3日墨西哥城地铁12号线高架段发生致命坍塌,原因是结构焊缝存在缺陷。

经过五个月的调查发现,存在许多结构螺栓焊接不良、位置不当或完全缺失的情况。DNV的报告得出结论,高架钢结构和混凝土轨床充当“独立平行梁”,并经历“未经设计的荷载条件”。这反过来导致结构出现疲劳裂纹,影响其承重能力。

DNV的报告补充说,横梁和框架设计的缺陷也可能是导致坍塌的原因。坍塌发生时,一条四节地铁车厢正靠近一个郊区车站,导致两节车厢坠入约16英尺(约4.88米)深的下方大道的中央分隔带,造成26人死亡。

调查结果证实了DNV于6月中旬发布的初步调查结果。最新报告原定于8月23日发布,应该公司的要求推迟了两周,以便另一组国际专家能够对DNV所称的“崩塌分析中的最复杂阶段”进行“内部审查”。

除了DNV的调查外,墨西哥城总检察长和墨西哥土木工程学会(墨西哥土木工程专业协会)也在对坍塌

进行研究。

这座12.6英里(约20.28公里)长的地铁线耗资13亿美元,自2012年开始运营以来,就一直饱受争议,被指控成本超支、设计缺陷和政府腐败。2014年至2015年,因轨道和结构维修部分关闭了18个月,引发了一场调查,发现了许多有缺陷的建筑材料和有问题的项目监管,导致数名高级项目官员受到刑事起诉。

墨西哥总统安德烈斯·曼努埃尔·洛佩斯·奥布拉多表示,地铁12号线高架路段将在2022年初重新开放,所有重建工作将由亿万富翁卡洛斯·斯利姆——卡索基础设施和建筑公司的老板支付,该公司是该地铁线路最初建设的财团之一。

上个月,墨西哥城咨询技术委员会建议,重建工作应包括重新调整高架路段的标高,并确保焊接检查和横梁维修符合美国焊接协会标准。该小组还建议在混凝土支柱上安装碳纤维护套,以增加结构承载力。

DNV的最新报告发布几小时后,墨西哥城被里氏7.1级地震撼动,震中距阿卡普尔科约230英里(约370.15公里)。在城市地铁系统短暂关闭后,所有线路于第二天早上恢复运营。



图片来源:墨西哥当地媒体报道

行业需要一项基础设施法案来促进工人的生产

作者: Lisa Guzman

在一家美国大型跨国公司担任销售经理长达17年后,我的部门于2012年被裁员。前一天,我还在被雇佣,有福利,有前途,但第二天,我一无所有。

我很难找到一份薪水和原来公司销售职位一样高的工作。如果没有大学学位,几乎没有人会雇佣我从类似的工作。那些人甚至会认为我希望接受一份我已经做了将近20年工作的初级工资。

我的选择是要么上大学获得学位,要么找到其他方式来代替我的工作收入。那时,大学教育和巨额大学债务似乎遥不可及。

多年来,木工的工作一直吸引着我,所以我决定是时候追寻这个梦想了。我不知道从哪里开始。女人可以成为木匠吗?我如何获得所需的培训并找到工作?有没有人会雇佣没有经验的我?

芝加哥妇女职业学徒培训计划提供了一个路线图,教授基本的现场工作技能,如工具处理,帮助我进入工作状态所需的身形锻炼,并提供重要的性别功效学培训,以避免受伤。该计划向我展示了如何踏入木匠大门并获得学徒资格。最重要的是,它把我介绍给了其他商人,这样我就可以把自己看成是一个木匠,让我的梦想成真。

成熟的建筑行业为许多妇女提供了一个替代低收入工作的选择。然而,联邦统计数据显示,女性在这些高薪工作中的比例仍然严重不足。到2020年,女

编者按:丽莎·古兹曼转行从事建筑业,她是芝加哥木匠工会的三年级学徒,活跃于芝加哥妇女行业(CWIT)。她还是女商人委员会的木匠代表,并为芝加哥木匠姐妹会领导委员会服务。以下为丽莎·古兹曼的口述。

性在美国手工艺工人中所占比例不到4%。

现在不仅是处在应对建筑劳动力老龄化、流动性降低、新冠疫情影响的时候,而且是在行业就业需求迅速扩大、重点市场复苏并有望实现大幅增长的时候。

美国国会目前正在审议的联邦基础设施立法提供了一个机会,可以大幅增加行业中显然需要填补现在和未来空白的妇女人数。

美国参议院批准了价值1万亿美元跨党派基础设施法案,但没有包括拟议修正案中的措辞,该修正案可能通过为女性设定建筑行业劳动力目标来改变数千人的生活,而其他长期以来代表性不足。

该修正案由参议员基尔斯滕·吉利布兰德(D-NY)倡导,共有11名共同提案人,将提供有效的公平措施,旨在增加建筑行业的多样性和包容性,并确保工作场所不受骚扰。

参议院两党法案修正案已经到期,但立法者仍然可以而且必须确保这么多有能力但代表性不足的人在基础设施建

设团队中占有一席之地。

我和我在芝加哥的姐妹们一起,敦促国会和拜登政府在任何有待批准的预算和解立法中加入有效措施,增加进入技术行业和成功从事建筑职业的机会。这些措施包括:

- ★学徒参与率达到15%的目标;
- ★创建和维护尊重他人的工作场所(包括骚扰预防培训);
- ★为辅助服务提供有保障的资金,如招聘和职业教育、学徒前培训、儿童和受抚养人护理以及交通;
- ★学徒制和非传统职业计划中的妇女人数大幅增加;
- ★将联邦现行工资规定和其他劳工标准扩展到所有涵盖的工作;

经验表明,仅仅为招聘设定参与目标是不够的。正如我所做的那样,女性肯定可以从学徒计划中受益,也可以从额外的交通和儿童保育财政支持中受益。修正案中的参与目标将是从事基础设施项目的预期妇女人数的三倍多,使她们能够平等地受益于大规模立法将产生的成果。作为一名学徒,我在工作中的经