

DOI: 10.7672/sgjs2026070163

超高陡曲海草屋面施工技术改进与应用*

孙晓阳^{1,2}, 赵彬^{1,2}, 王晨松^{1,2}, 樊修柯^{1,2}, 王然^{1,2}

(1. 中国建筑第八工程局有限公司, 上海 200112;

2. 中建八局文旅博览投资发展有限公司, 江苏 南京 211100)

[摘要] 随着我国对非物质文化遗产保护和利用的重视不断提升,传统乡土民居也愈发受到关注。海草房作为胶东地区传统非遗特色民居,具有防虫防腐、冬暖夏凉、百年不毁等优点,是当地居民因地制宜、就地取材形成的独特地理建筑,烟台崆峒仙境仙区酒店通过改进传统工艺,应用环保材料,开发出将传统海草房制作工艺与现代施工工艺相结合的新型施工体系,克服了在海草屋面保护与推广过程中所面临的技术难题,整理出了一套适用于超高陡曲大体现代海草屋面的施工工艺。结果表明,采用该工艺不仅在成本和施工效率上具有显著优势,还在耐久性和防护性能上表现出色,满足了绿色、环保、适用、经济、美观的总体要求。

[关键词] 绿色建筑;传统民居;海草房;屋面;施工技术;数值模拟

[中图分类号] TU761.1

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)07-0163-08

Improvement and Application of Construction Technology for Ultra-high, Steep and Curved Seagrass Roofs

SUN Xiaoyang^{1,2}, ZHAO Bin^{1,2}, WANG Chensong^{1,2}, FAN Xiuke^{1,2}, WANG Ran^{1,2}

(1. China Construction Eighth Engineering Division Co., Ltd., Shanghai 200122, China;

2. China Construction Eighth Bureau Cultural and Tourism Expo Investment Development Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 211100, China)

Abstract: With the increasing attention paid to the protection and utilization of intangible cultural heritage in China, the traditional vernacular dwellings have also attracted more and more attention. As a traditional intangible cultural heritage residential building in Jiaodong area, seaweed house has the advantages of insect prevention and corrosion prevention, warm in winter and cool in summer, and can not be destroyed for a hundred years. It is a unique geographical building formed by local residents taking local materials according to local conditions. By improving the traditional technology, applying environmental protection materials, Yantai Kongtong Shengjing Xianqu hotel has developed a new construction system that combines the traditional seaweed house production technology with modern construction technology, overcoming the technical problems faced in the process of seaweed roof protection and promotion, and sorting out a set of construction technology suitable for ultra-high, steep and large volume modern seaweed roof. The results show that the technology not only has significant advantages in cost and construction efficiency, but also performs well in durability and protection performance. It meets the overall requirements of green, environmental protection, applicability, economy and beauty.

Keywords: green building; traditional dwellings; seaweed house; roof; construction; simulation

0 引言

海草房作为山东省胶东半岛沿海地区特有的

民居形式,因其屋顶覆盖着天然海草(大叶藻)而得名,其建造技艺可追溯至新石器时代,已经成为承载地方历史记忆的重要符号。2006年,海草房的苫盖技艺被正式纳入山东省省级非物质文化遗产名录。如今,现存的海草房主要分布在威海荣成地区的若干村镇,如图1,2所示,其中东楮岛、烟墩角和

* 2024年度江苏省土木建筑学会科研课题:大型海岛文旅建筑群生态建设关键技术研究及应用(JSTJXH24105)

[作者简介] 孙晓阳,正高级工程师,E-mail:25728791@qq.com

[收稿日期] 2025-11-20

大庄许家村已经相继被列入中国传统村落名录^[1]。



图1 海草房群落风貌

Fig. 1 Community features of seaweed houses



图2 东楮岛海草民居与烟墩角海草民居

Fig. 2 Seagrass dwellings in Dongchu island and Yandunjiao

海草屋面具有优异的保温隔热性能,冬季吸热防散热,夏季阻隔热辐射并加速散热,室内温差仅为普通砖瓦房的一半。其双坡或垒垛形设计增加雨水排泄速率,防止渗漏和积雪,防水效果优秀,蓬松多孔的屋面结构和粗糙质感在叠压工艺下可增强抗风性能。海草含有卤质、胶质和矿物元素,防腐防霉且不易燃烧,结合麦秆、高粱杆等材料,有助于减少修缮次数,延长使用寿命,质量良好的海草房屋顶通常可维持40~50年,在维护得当的情况下部分海草房整体寿命可超过百年(见图3)。海草屋面体现了因地制宜、顺应自然的生态意识,使用成本低且可循环利用,腐败后可作为肥料返田,绿色低碳,减少环境影响。



图3 海草原材料与海草房屋面苫造过程

Fig. 3 Seaweed materials and roofing process

1 新型海草屋面设计概况

1.1 项目概况

崆峒胜境项目坐落于烟台市芝罘区东北部海域的崆峒岛,距离海岸线仅9.5km,是烟台市区周边最近的海岛,如图4所示。该项目致力于打造一个

以东方神话为背景的沉浸式文化主题旅游度假区,是国内首创的仙幻文化主题旅游度假岛。



图4 全岛鸟瞰

Fig. 4 Aerial view of the entire island

1.2 新型海草屋面设计概况

其中,崆峒岛仙区酒店位于岛屿东北侧的山谷中,建筑设计将海草房传统元素与现代工艺相结合,实现建筑与自然的有机融合,如图5,6所示。酒店用地面积为20394m²,规划总建筑面积为23284m²,占地面积为13850m²,容积率为1.14,建筑密度为67.91%,绿地率为8.40%。项目涉及海草屋面共计26座,最大屋面结构高度35m,最大坡度70°,总投影面积7700m²,将打造成为集体闲度假、商务宴请、会议召开、观光娱乐等多种服务于一体的高端度假文化主题精品酒店。



图5 项目设计概念

Fig. 5 Conceptual of project design

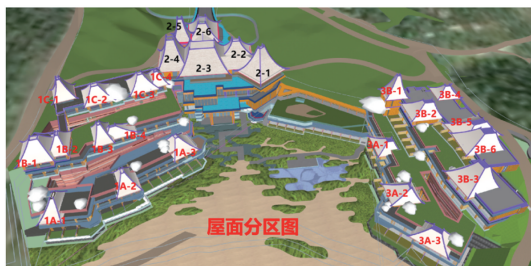


图6 海草屋面分布模型

Fig. 6 Distribution model of seaweed roof

崆峒岛仙区酒店的建筑特色在于其采用了海草作为屋面材料,并且相较于传统海草房进行了重新设计、在保留海草屋基本做法特点的前提下,结合传统木结构建筑中盪顶建筑的外观造型,如图7所示,对高度、屋脊、屋檐造型进行优化设计,增大屋面体量,满足现代大型酒店的空间造型要求,如图8所示,这不仅使其成为国内覆盖面积最大、高度最高、数量最多的群体海草屋面建筑,而且还面临着复杂的排布设计、繁琐的安装工艺、更大的施工

难度以及质量控制标准不统一等技术挑战。

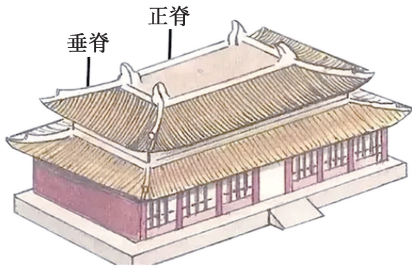


图7 盪顶屋面样式

Fig. 7 Roof style

用,显著增强了传统海草房屋面结构的使用寿命。

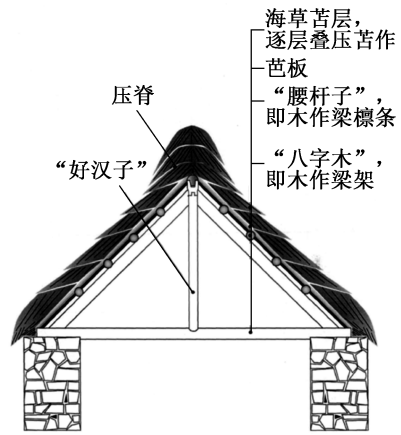


图9 屋面做法

Fig. 9 Roof construction

苫造屋顶是海草房民居营建中的一项独特技艺,由专门的工种“苫匠”执行。其核心目的是将海草覆盖在木结构的屋面上,形成建筑的屋面层,以满足防水、阻风、御寒的居住需求。具体步骤包括:首先架设施工用的脚手架,确保施工安全;接着由苫匠计算海草的用量与层数,确保苫盖的严密性;然后制作檐头,确保屋檐的美观和功能性;接下来苫造房坡和顶部压脊,确保屋顶整体结构和美观;最后除去杂草、修剪整齐,确保屋顶整洁和耐用。

2.2 传统做法存在的问题

2.2.1 维护难度高

海草屋面虽然具有良好的生态效益,但其维护难度较大。海草屋面上的植物生长、贝类附着和鸟类筑巢等现象,虽然赋予了屋顶生命力,但也增加了维护的复杂性。

2.2.2 施工复杂、成本较高

海草屋面的施工过程需要严格按照工艺要求进行,远比一般房屋复杂。苫盖海草屋面需要经过多道工序,包括用秸秆和泥浆制作芭板、架设脚手架、计算海草用量与层数、制作檐头、苫造房坡和顶部压脊等。此外,由于海草资源的减少,以1栋三开间房子为例,全铺海草的成本至少需要2~3万元且需耗时约1周,超出了普通村民的承受范围。

2.2.3 苫匠凋零、技艺失传

苫盖海草屋面是一项技术含量很高的传统技艺,主要依赖于苫匠的手工操作和经验。然而,随着海草房的逐渐淘汰,熟练掌握此项技艺的苫匠也日渐老去,面临后继无人的困境,导致传统乡土营造技艺面临失传的风险。这些问题不仅影响了海草屋面的实际应用,也对传统文化的保护和传承提

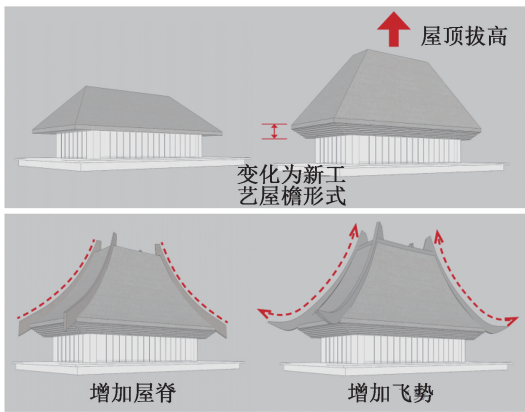


图8 新型海草屋面设计思路

Fig. 8 Design ideas of new seaweed roof

传统的海草房建造技术由于施工过程繁复、耗时长以及缺乏专业苫匠等因素,在保护和推广方面遭遇了诸多挑战。目前的研究尚未充分结合传统工艺与现代施工技术,缺乏针对海草屋面的具体、可行的施工方案^[2],以满足实用性、经济性和美观性的综合要求。

针对以上难题,本研究在保持海草房传统特色的同时,提高其适用性。通过进行工艺改进,采用新型材料,开发了一种适应现代建筑施工体系的海草屋面施工方法。这将为海草房的保护、传承以及开发和利用提供有力支持。

2 海草屋面传统工艺及其现存问题

2.1 海草屋面的传统做法

苫盖海草屋面是一项技术含量极高的传统技艺,涵盖了众多步骤和细节^[3]。如图9所示,首先需要制作芭板,这是海草苫层下的1层托板,通常由高粱秆或其他植物茎秆制成。在海草房屋面结构体系中,芭板扮演着承上启下的关键角色。制作芭板的过程包括清理高粱秆表面,将其浸入调和好的泥浆中,然后迅速拉出并放置在檩条上。高粱秆需紧密排列,利用泥浆固定它们之间的缝隙。一旦芭板晒干,其特性变得与现代纤维板相似,坚硬且耐

出了严峻挑战。因此,从传统制作工艺与现代施工工艺相结合的角度出发,提出有针对性和可操作性的施工方法显得尤为重要。

3 新型海草屋面改进工艺要点

本新型海草屋面从基层、固定方式、面层做法、排水方式 4 个方面进行设计改进,并使用 BIM 建立屋面结构分解爆炸图来直观展示构造(见图 10)。

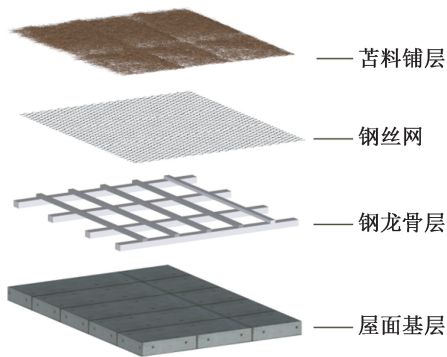


图 10 屋面结构爆炸图

Fig. 10 Explosion diagram of the roof structure

3.1 基层工艺改进

针对以上问题,在本项目中,海草屋面施工采用冲压钢网片代替传统芭板,展现出显著的优势。首先,冲压钢网片具有优越的通风性能,能够在屋顶上方与龙骨基层之间形成有效的对流通风,可降低海草屋面与冲压钢网片表面湿度。这种通风机制不仅延长了海草屋面的使用寿命,还有效预防了鸟类在屋顶上筑巢的问题。

其次,冲压钢网片的使用简化了苫料基层的铺设过程,免去了传统芭片繁琐的制作工艺,提高使用寿命,增大荷载承受能力,同时更好地契合新型屋面造型的基层骨架塑形。由于本项目屋顶面积较大且坡度较陡,海草的固定存在一定难度,传统的叠压浆糊式海草固定方法因自身重力易导致海草脱离、基层解体等问题。选用冲压钢网片作为基层(见图 11),并配合电化铝 PET 膜混合绳的捆扎工艺,可以显著提升苫造屋面的稳定性和质量。

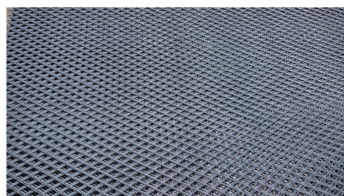


图 11 冲压钢网片材料

Fig. 11 Stamping steel mesh material

具体而言,钢丝网与聚乙烯绳的结合使得海草在铺设过程中更加牢固,减少了因风力或其他外力

导致的移位和损坏。

3.2 固定工艺改进

在本项目中,采用电化铝 PET 膜混合绳代替了传统的草绳。电化铝 PET 膜混合绳因其多为金黄色俗称黄金绳,由多种废弃塑料再生料复合而成,具体如下。

1) 废电化铝:印刷行业烫金工艺产生的废料,提供金属光泽和金色外观。

2) 废烫金纸:烫印后残留的薄膜(如 PET 单膜),增强韧性和色泽。

3) 再生塑料:以聚丙烯(PP)或聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)为主,来源于工业废料(如塑料卷膜、包装废料),降低成本并保证强度。

4) 其他辅助材料:少量添加杂色塑料或再生料以调节颜色。

将上述废料按比例混合,通过熔融挤出工艺制成绳坯,再经编织或拉伸成型。

电化铝 PET 膜混合绳具有材料再生、节能环保、成本低廉、生产方便等特点。这种材料不仅可以节约成本,还能提升强度和工作效率。电化铝 PET 膜混合绳的使用使得海草在铺设过程中更加牢固,减少了因风力或其他外力导致的移位和损坏,还具有耐腐蚀、耐磨损的优点,进一步提升了海草屋面的整体耐久性。相比传统草绳,电化铝 PET 膜混合绳在长期使用过程中不易发生老化和断裂,降低了后期维护的频率和成本。

3.3 面层工艺改进

在苫料铺设厚度方面,传统海草房的海草层由于缺乏固定及保温措施,古代匠人对海草层进行加厚,平均厚度约为 2m,最厚处可达 4m(如屋脊部分),建造 1 座标准 4 间海草房需消耗海草 5t 以上,对屋面荷载带来巨大压力。本项目新型海草屋面中利用新型技术,规避传统海草屋面的难点,将海草屋面厚度进行削薄,采用上沿 20~30cm,下檐 15~20cm 的厚度。这种设计便于维护,同时节约成本,减少海草备料压力,同时方便塑形,保证了最终造型的美观。通过合理的厚度设计,海草屋面不仅具备良好的防水性能,还能在美观性和实用性之间取得平衡。此外,结合冲压钢网片的应用,这种改进工艺不仅提高了施工效率,还增强了屋面的整体稳定性和安全性,如图 12 所示。

综上所述,采用电化铝 PET 膜混合绳和冲压钢网片的组合工艺,不仅在成本和施工效率上具有显著优势,还在耐久性和防护性能上表现出色,保证最终造型美观。

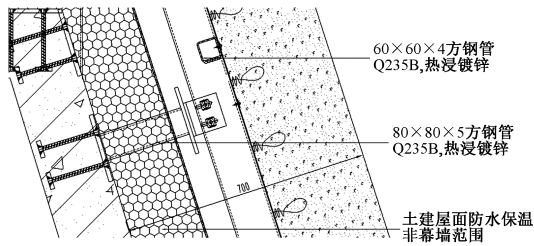


图 12 屋面结构

Fig. 12 Roof structure

3.4 排水工艺改进

传统海草房多采用自然排水,由于海草作为天然材料在太阳照射及干湿交替下会自然褪色,色素及卤质溶解于雨水中随雨水排出,对地面铺装造成染色污染及碱卤反应,因此项目采用内沿有组织排水^[4],排水节点如图 13 所示。通过有效收集雨水,避免屋面雨水对地面污染,解决传统屋面自然排水对建筑的影响问题,同时可提升檐口的寿命,减少屋面维护成本。

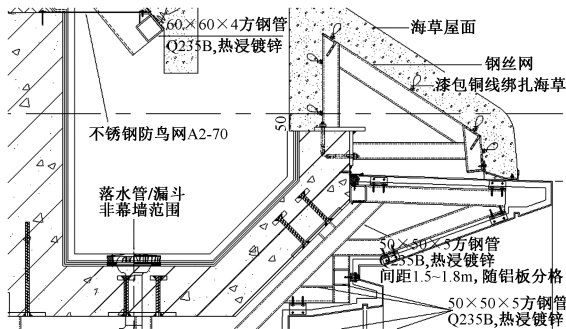


图 13 排水节点

Fig. 13 Drainage node

4 海草屋面施工工序分解

4.1 屋面基层处理

在屋面基层施工中,使用混凝土砌筑屋顶预埋件固定钢龙骨的工艺,是确保结构稳定性和耐久性的关键步骤^[5]。首先在混凝土屋顶上安装预埋件与钢制转接件,以确保钢龙骨的稳固安装。在本施工方案中,预埋件采用 M24 化学螺栓及 Q235B 热浸镀锌转接件,钢龙骨焊接处喷涂防腐镀锌黄漆,厚度 $\geq 180\mu\text{m}$ 。

接下来先进行铝合金造型屋脊的安装。安装过程中,应确保铝合金屋脊与钢龙骨的紧密连接,连接处应使用不锈钢螺栓固定,螺栓间距不应大于 300mm,以确保结构的整体稳定性(见图 14)。

在完成基础施工后,应进行冲压钢网片的焊接作业。冲压钢网片的安装应遵循自上而下的顺序,并依据设计图纸所规定的平滑弧度进行铺设,确保其紧贴于铝合金屋脊的下缘。钢板网的边缘应与

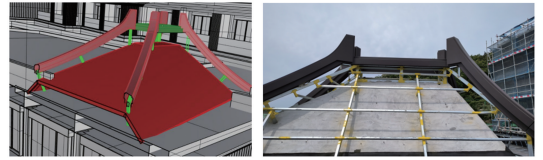


图 14 屋脊节点

Fig. 14 Roof ridge node

铝合金下檐口保持齐平,以保证铺设的平整度和外观的美观。钢板网与水平龙骨焊接完成后,应对冲压钢网片进行镀锌漆喷涂处理,确保漆膜厚度达到设计规定的 $180\mu\text{m}$,从而提升其防腐性能。只有在整体质量检验合格后,方可进行海草屋面的铺设。

4.2 预制苦料

在预制苦料的施工过程中,所使用的海草主要分为 3 类:宽海草、二叶子和丝海草,如表 1 所示。

表 1 苦料选材

Table 1 Sample material selection

| 学名 | 大叶藻 | 矮大叶藻 | 黑须根虾形藻 |
|----|---------------|------------------|------------------|
| 俗称 | 宽海草 | 二叶子 | 丝海草 |
| 图示 | | | |
| 特点 | 片长且宽,但晒干后质薄易碎 | 晒干后比较平顺,产量大,价格便宜 | 晒干后柔韧结实,产量少,价格较贵 |
| 位置 | 适用于填充苦层,尽量少使用 | 大面积苦房坡 | 房檐、山墙等比较重要的位置 |

依据苦匠丰富的实践经验,选择优质海草的标准是其表面呈现褐色且处于干燥状态,并附有灰白色盐碱状晶体。在干燥状态下,海草在明火移除后不继续燃烧,即符合(类 B1 级)标准。在挑选过程中,应选择长条顺直、双手无法轻易折断的海草,以确保其质量和耐用性。

本方案建立在苦匠的实践经验之上,预制苦料采用海草与麦草以十分之一的比例混合填充。麦草的质地较海草更为坚硬,能够起到充筋的作用,使得苦料更易于成型。具体操作步骤如下:首先,使用长木柄钢叉将松散的海草扬起,使其蓬松,以便于后续的捋顺工作。接着,用水均匀地湿润海草,以便于苦块的制作和成型。

4.3 苦块制作

苦匠以一只手紧握苦料,如图 15 所示,另一只手则将预先制作好的苦料组合成长度为 40~50cm、

厚度为 8~10cm 的海草捆。这些海草捆需整齐排列,以确保每束的尺寸一致。经过 6~8 次的水平堆叠,形成矩形结构,随后使用直径大约 5mm 的机器缠绕聚乙烯绳,并采用特定的结绳技巧制作成活结以确保牢固。



图 15 绳结绑扎

Fig. 15 Knot binding

在捆扎过程中,海草不宜过于干燥,以免缺乏必要的韧性,难以整理。海草捆在蓬松状态下,其长度约为 50cm,捆扎部位的宽度约为 25cm,厚度约为 10cm。若上下翻转后呈现类圆角方形且草顺直不脱落,则视为合格,如图 16 所示。经过此番处理的苫块,在屋面苫造的运输和施工过程中将更为稳定和牢固,便于后续施工的铺设和固定。



图 16 苫块示意

Fig. 16 Tomakai block

4.4 苫造屋面

苫造屋面的工序中,苫匠首先使用竹竿端头绑扎 1 根长约 10cm 的细钢筋头的自制扎子,将苫块甩向屋檐,抛给站在脚手架上的苫匠,苫匠半坐在坡屋面上,接住助手甩上来的苫块进行苫造屋面。

固定苫块的初步工序如图 17 所示,首先进行绑绳作业,苫匠将双挂钩安全带固定于钢板网上。在坡屋面上,特别是在陡峭的坡面层,苫匠通过系挂安全带,利用自制的 L50×3 T 形带倒钩攀爬蹬脚工具,进行聚乙烯绳的绑扎。首先,将聚乙烯绳的一端固定于钢丝网上,通过聚乙烯绳扎扣连成一线,确保勒紧,水平间距控制在 20~30cm,穿过 2 道,而

竖向间距大约为 40cm,具体间距由苫匠根据经验判断。接着,将苫块抵在预先绑扎的聚乙烯绳上,确保苫块位于聚乙烯绳的上下位置中线,然后解开苫块,均匀铺设在钢丝网上。随后,使用另一根绳子将苫块绑在钢板网上,绑扎点与水平绳相交叉,缠绕海草并穿过水平绳勒紧。



图 17 苫造流程

Fig. 17 Manufacturing process decomposition

苫匠通过手劲将海草束横向归并、挤压,确保每根海草受力均匀,既不过松也不过紧。当地苫匠将此动作称为“坯”。每“坯”要求均匀整齐,外软内实,需要经过 2 次编扎才能完成。完成 1 束海草的“坯”后,苫匠接着在屋面上按照从屋檐至屋脊、从一侧至另一侧的顺序进行下一束“坯”的绑扎作业,以此横向完成 1 行海草的铺设。

每块苫层的长度大约为 50cm,当进行第 2 层苫盖绑扎时,需确保第 1 层被覆盖约 30~40cm,仅保留 10~20cm 的边缘露出。随着苫盖层数的增加,海草层的厚度逐渐增加,屋面的倾斜度也随之增大,这有利于雨水的排放。此工序是确保海草屋面具具备抗风、防雨以及美观的关键步骤。

4.5 完成面处理

在铺设屋面海草时,每铺设约 1m 宽的海草段落,必须使用自制的细钢筋梳子对海草进行梳理,确保其平滑且不翘曲。完成整个海草铺设后,应从上至下再次进行梳理。若发现海草干燥并卷曲,应适当喷水后再次梳理。

总体而言,铺设的原则是确保海草的弧度平滑,外观美观。由于靠近屋脊处的海草铺设厚度较大,屋面压实后与铝合金屋脊的折边无法紧密贴合,只能尽

量保持间距均匀。整理完毕的屋顶需要淋水,然后从上至下梳理海草层,去除多余的海草,并使用拍板将房坡拍平,将房檐的海草修剪整齐。屋顶整理工作完成后,还需对整体效果进行检查,确保每个细节均符合标准。如此,整个屋顶的铺设工作才算圆满完成,设计效果与完成后效果对比如图 18 所示。

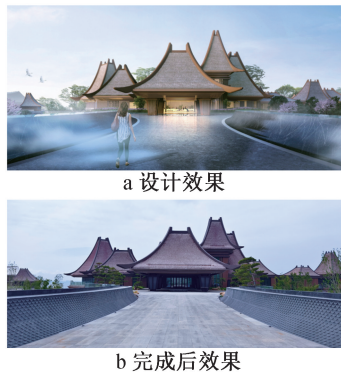


图 18 设计效果与完成对比

Fig. 18 Comparison of design effect and completion

5 性能测试

为研究该工法的性能及适用性,本研究采用了多因素交叉对照分析策略^[6],结合季节性对照与重复测量的方法^[7],分析屋面材料类型与测量位点对环境性能的影响。数据采集于夏季和冬季,记录温度、湿度和风速。试验在崆峒岛选取典型气象日进行,夏季测量周期定于 8 月中旬,冬季为 2 月中旬,均实施连续 24 小时监测,确保晴朗天气。

采用 Testo 410-2 型风速仪、Testo 608-H1 型温湿度记录仪及 Testo 830-T1 型红外线测温仪^[8],数据间隔为 2h。监测位点包括普通与改进式海草屋面室内外及室外开阔场地。数据处理采用 Testo ComSoft Basic, Origin 和 Excel 软件。

试验结果如图 19 所示,表明夏季改进式海草屋面室内温度变化 $\leq 2^{\circ}\text{C}$,湿度变化 $\leq 10\%$;冬季温度变化 $\leq 6^{\circ}\text{C}$,湿度变化 $\leq 15\%$,优于其他组别。改进式海草屋面在保温隔热、防水抗风、耐腐蚀燃等方面性能更优,还在耐久性、防护性和舒适度上具有显著优势。

6 结语

1) 仙区酒店的海草屋面采用改进工艺,不仅增强了海草屋面的强度和耐久性,还提升了整体质量。这些改进措施有效降低了施工和维护成本,使得海草屋面在现代建筑中的应用更加经济可行。

2) 通过优化施工工序,解决了传统海草屋面施工繁杂的问题。规范化的施工流程不仅提高了施工效率,还确保了施工质量的一致性。这些改进使

得海草屋面的施工更加高效和可控。

3) 在保护和传承传统技艺的基础上,结合现代施工工艺,解决了海草屋面在保护与推广方面遇到的技术挑战。该方法不仅实现了海草屋面的适用性和美观性,为海草房的保护与推广提供了可行的解决方案。

4) 通过传统绿色建材的应用,施工工艺的优化,大规模采用可降解可回收的绿色环保材料,提高了海岛滨海特殊环境下的建筑耐候性能,降低了施工阶段及全运营周期的能源、材料的消耗,节约了后期的维护成本,契合我国绿色环保建筑的建筑设计理念。

参考文献:

- [1] 王雪菲,雷振东.传统海草房营造技艺的图解记录[J].新建筑,2018(4):142-146.
WANG X F, LEI Z D. Diagrams and records of the traditional seaweed house construction technology [J]. New architecture, 2018(4):142-146.
- [2] 宋晋,周觅,徐晓黎,等.海草房屋面材料与保护更新策略研究[J].建筑技艺,2023,29(5):102-105.
SONG J, ZHOU M, XU X L, et al. Research on the renewal strategy of seaweed house surface materials and protection [J]. Architecture technique, 2023, 29(5):102-105.
- [3] 黄永健.东楮岛村海草房营造工艺研究[D].济南:山东大学,2014.
HUANG Y J. Research on construction technology of seaweed house Dongchu island [D]. Jinan: Shandong University, 2014.
- [4] 廖利,祖峰,梅阳,等.寒冷地区平屋面防渗漏系统试验研究[J].施工技术(中英文),2023,52(15):79-83.
LIAO L, ZU F, MEI Y, et al. Experimental study on flat roof leakage prevention system in cold regions [J]. Construction technology, 2023, 52(15):79-83.
- [5] 孙晓阳.大型现代宗教文旅项目特点及项目管理实践与探索[J].施工技术,2016,45(6):114-117,121.
SUN X Y. Project management practice and exploration of large modern religious architecture and its characteristic [J]. Construction technology, 2016, 45(6):114-117, 121.
- [6] 周广良,孙晓阳.现代佛教建筑复杂高浮雕造型艺术石材幕墙施工技术[J].施工技术,2019,48(12):110-114.
ZHOU G L, SUN X Y. Modern Buddhism complex high relief art stone curtain wall construction [J]. Construction technology, 2019, 48(12):110-114.
- [7] 侯德松,黄海静,李佩遥,等.秦皇岛地区满族乡村住宅室内热舒适现状研究[J].城市建筑空间,2025,32(1):96-101.
HOU D S, HUANG H J, LI P Y, et al. Current situation of indoor thermal comfort in Manchu rural residence in Qinhuangdao area [J]. Urban architecture space, 2025, 32(1):96-101.
- [8] 刘鹏,毛瑞勇,胡澄,等.光催化空气净化器对室内建材 VOCs 散发特性影响分析[J].施工技术,2018,47(S2):89-92.
LIU P, MAO R Y, HU C, et al. Research on VOCs emission characteristics of building materials with PCO air purifier [J]. Construction technology, 2018, 47(S2):89-92.

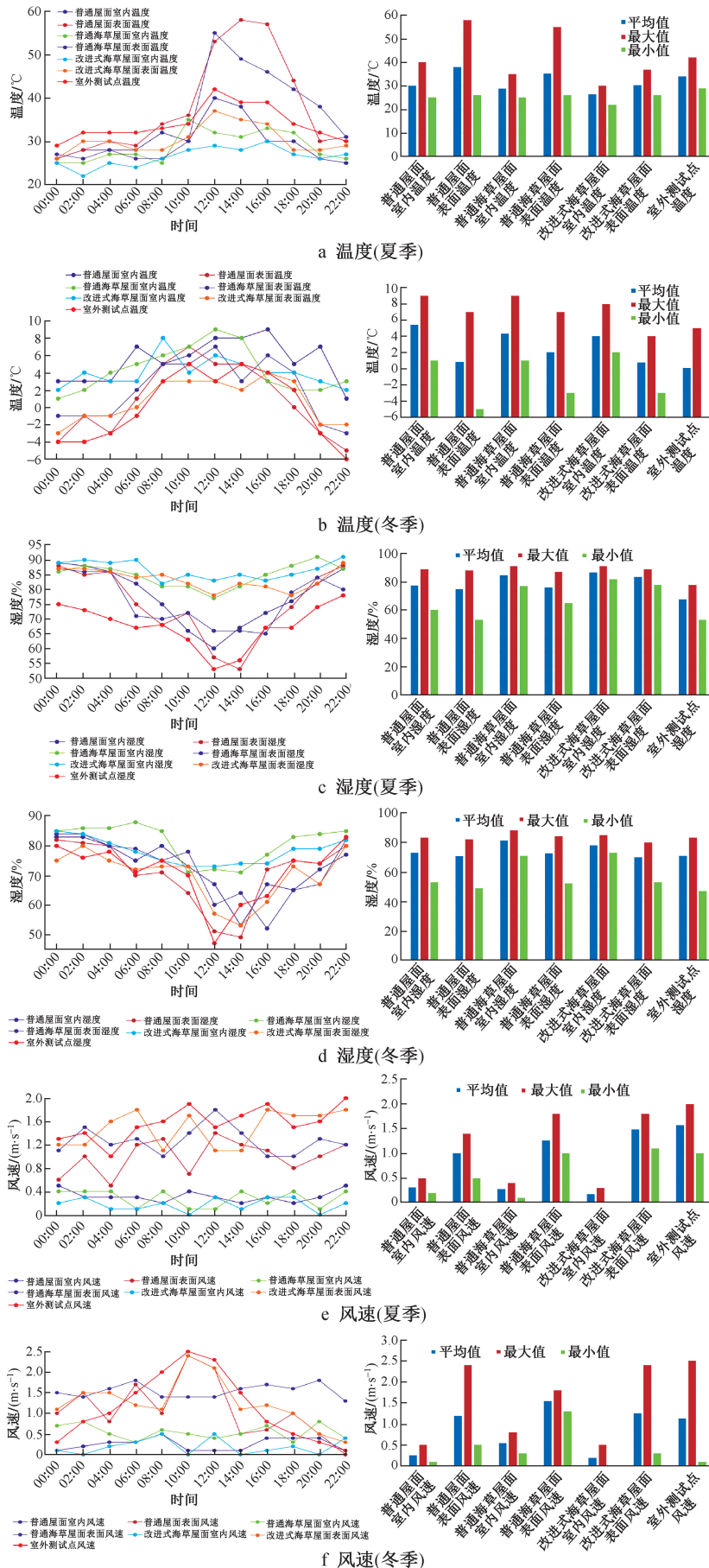


图 19 温度、湿度、风速试验
 Fig. 19 Tests of temperature, humidity and wind speed