

# 金属屋面在中国园林博物馆项目中的应用

张晓瑞

北京市玉渊潭公园 北京海淀 100142

**摘要:** 在中国园林博物馆(以下简称园博馆)项目建设中采用了铝镁锰板直立锁边金属屋面,该屋面体系集结构层和功能层于一体,具有许多优点。但由于屋面曲率半径小变化多,通长面板侧向变形较大等因素,增加了其施工难度。通过详细深化,改进加工工艺,制定合理施工方案等,保证了屋面安装的顺利完成,为园博馆的正常运营提供了保证。

**关键词:** 金属屋面; 铝镁锰板; 直立锁边; 防水

## 一、项目概况

园博馆坐落于北京丰台鹰山脚下永定河畔,占地65000平米,主展馆建筑面积43950平米。作为首座国家级园林博物馆,园博馆借鉴了我国古典园林崇尚自然的理念,运用传统造园的处理手法,采用组群建筑的布局方式,并结合现代建筑抽象构成设计手法,将主展馆区和室内、外园展区通过空间组合有机地交织在一起,展现出如诗画一般的意境美。

## 二、屋面系统分析

园博馆主展馆由9个高低跨度各不相同的人字形双坡屋面组成,其深远的出挑,反宇的檐口,搭配轻盈的铝板装饰面层,使建筑整体即具有传统园林建筑的特点,又显得简洁而飘逸。中央大厅上方的金色屋顶更彰显出皇家园林的庄重与大气(见图1)。



图1 园博馆全景照片

金属屋面总计约9000平米,其最外层覆盖氟碳喷涂铝单板及装饰铝管,向内依次为0.9mm厚锤纹本色铝镁锰板、0.5mm厚防水透气膜、100厚岩棉保温层、铝箔隔汽层、24kg/m<sup>3</sup>玻璃棉吸音层、无纺布、0.6mm厚820型镀锌钢承板(腹板穿孔率不大于25%),各功能层之间用龙骨及转接件相连,整个屋面体系支撑于主体钢管桁架结构之上(见图2),该体系在以下几个方面具有优越的性能<sup>[1]</sup>。

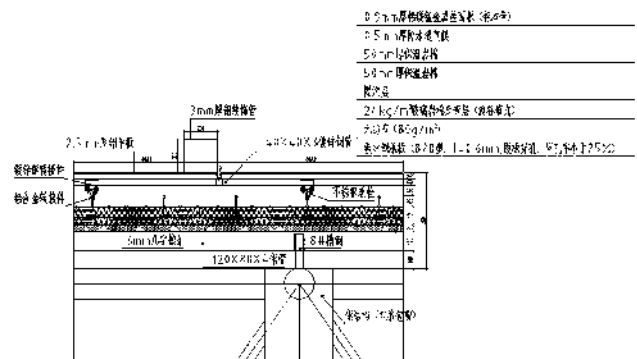


图2 金属屋面标准构造做法

### 2.1 良好的防水性能

屋面采用430/65型铝镁锰合金防水板,有效排水断面大,并配合铝合金ST固定支座及檩条固定。面板安装时,将板肋压入固定座的梅花头上,并用锁边咬合紧固,整个安装过程中没有螺钉外露,面板连成整体,从工艺上杜绝了渗漏的隐患。并且板端肋部都设计了反毛细的凹槽,使板的大小肋之间存在一个空腔,减小了水的表面张力,有效阻止了毛细水的渗入。

### 2.2 抗风性能好

由于屋面采用人字形反弧造型,且最外层装饰铝板为开缝形式,因此在檐口、屋脊等部位均会承受较大风压,并传递到下方的铝镁锰板上,因此屋面的抗风性能非常关键。相比一般金属压型板用螺钉固定的连接方式,直立锁边通过板端的大小肋与T码固定座机械咬合连接,没有外露的螺钉,因而避免了钉孔固定处因长期受力产生应力集中和疲劳破坏的现象,不会导致面板的撕裂,从工艺上克服了风荷载对金属屋面造成的影响和破坏。

### 2.3 抗腐蚀性能好,适应温度变形的能力强

作为屋面使用材料,铝镁锰板的防腐、耐久性能非常重要。北京地区夏季高温冬季寒冷,最大温差可达

80℃, 因此面板在温度应力作用下产生的热胀冷缩也是不可忽视的影响因素。本工程采用牌号3004的铝镁锰合金板, 其主要化学成分铝的含量在96%以上, 具有良好的延伸率, 同时材料中还含有一定比例的镁、锰, 使合金板具有一定的强度和刚度, 适合板的压型和卷边。铝在和大气接触时会在其表面产生一层氧化铝薄膜, 这层氧化膜可以保护铝板不被腐蚀。在工艺上, T码固定支座与板肋咬合后, 只限制了板在垂直方向和水平横向的运动, 并不限制板在纵向上的伸缩, 形成滑动支座。面板因温度应力产生的热胀冷缩被同步分配, 不会造成板的挤压变形和拉裂, 从而使屋面产生的温度应力得以舒缓, 因此该屋面体系在材料和工艺上均有效解决了温度变形的问题。

#### 2.4 良好的吸声隔音和减震功能

为满足功能需求, 屋面选用0.6mm厚穿孔率不大于25%的820型镀锌钢承板及容重为 $24\text{kg/m}^3$ 的离心玻璃棉作为吸音材料。离心玻璃棉除具有阻燃、无毒、耐腐蚀、容重小和保温隔热的优点外, 对中低频和各种震动噪声均有良好的吸收效果, 运用在建筑内部的吸声、降噪处理上效果非常好。施工中用无纺布包裹住玻璃棉填充在钢承板的波谷处, 能够有效发挥玻璃棉的吸音性能, 取得了良好的隔音效果。同时由于填充了两层50mm厚的岩棉保温层, 岩棉层具有一定的弹性, 相当于在屋面下方增加了一层减震装置, 可以有效的降低因屋面振动而传来的噪声影响。

#### 2.5 防潮、透气性能好

由于屋面围护结构内外侧存在较大温差, 在长期使用过程中, 借助外部空气渗入板下的汽相水和液相水会降低屋面保温材料的热功效和围护结构的耐久性。为防止结露霉变现象发生, 在铝镁锰板和岩棉保温层之间铺设了一层0.5mm厚的防水透气膜。防水透气膜采用热压复合技术生产, 具有透气性好、耐高温、抗老化等优点。当水汽冷凝变成水珠后颗粒变大, 由于其表面张力的作用, 水分子无法从膜布的微孔顺利通过, 但又不妨碍水汽的排出, 不会将潮气闷在板下, 保证了屋面的保温性能。同时在保温层下方加贴了一道隔汽防潮、耐老化的铝箔隔汽层, 有效阻止了室内潮气进入岩棉层。铝箔与防水透气膜的配合使用, 保证了屋面的气密性和水密性, 达到了节能降耗目的<sup>[2]</sup>。

### 三、屋面施工技术措施

#### 3.1 屋面系统安装工艺流程

测量放线→檩托安装→钢檩条安装→穿孔镀锌压型钢承板安装→天沟水槽骨架及屋脊骨架安装→铺设无纺

布→安装支撑件→填充玻璃棉→安装固定支座→铺设隔汽层和岩棉保温层→敷设防水透气膜→安装铝镁锰板→安装夹具及转接件→安装面板龙骨→安装水槽→安装铝单板面层及铝装饰管→安装夜景照明设施。

#### 3.2 屋面支撑结构的测量定位

##### 1) 复测及深化设计

根据设计图纸对屋面排版深化设计, 并绘制檩条、固定座布置图。进场后按平面控制网和原始高程点, 在控制网点上架设全站仪, 对屋面桁架结构的三维精度进行复核, 经角度、距离校测符合点位限差要求后方可进行屋面系统的施工。

##### 2) 檩托、檩条的定位与安装

檩托的定位关系到上部支撑体系的安装, 工作量大、精度要求高。根据双坡反弧屋面的造型特点, 首先选取屋面的两个边跨作为测量定位的基准线。按深化图纸计算出檩托底面中心的坐标、高程, 将其引测到钢桁架上。然后在基准线间拉通线返点, 经复测无误后方可焊接檩托、檩条, 在安装过程中应尽量保持檩条顶面与屋面板的长边保持垂直。

##### 3) 穿孔钢承板、几字檩条的定位与安装

穿孔钢承板铺设在主檩条上, 用自攻钉固定。沿钢承板长向的波谷处码放断面为 $30 \times 20 \times 3$ 的镀锌短方钢, 沿方钢顶面与其垂直方向布置3mm厚的几字檩条。短方钢和几字檩条的测量与钢承板的安装需同步进行。钢承板安装后, 应自板边返出几字檩条顶面中心位置并标记, 经复测无误后依次安装方钢和几字檩条。

##### 4) 固定支座的定位与安装

几字檩条安装后, 沿中心线先标记出一条边跨面板上的各T码固定座底边中心位置, 并沿屋面纵向拉通线, 纵、横两条基准线相交处即是固定支座底面中心位置。再按430mm的板宽度沿几字檩条依次返出各固定支座位置, 经复测无误后安装。为避免产生冷桥, 每个固定支座的底部都带有防冷凝隔热垫, 固定支座沿板长向的距离不大于1500mm, 以保证面板具有足够的抗风掀能力。

#### 3.3 铝镁锰板的加工与安装

##### 1) 板的加工

园博馆金属屋面为双坡反弧曲面造型, 各屋面高度、跨度均不相同。屋面下方为钢管桁架结构支撑体系, 屋面至檐口最大高差为16m, 最大跨度达到42m, 屋面曲率半径小变化多。该屋面板型采用430/65高直立锁边板肋, 板厚0.9mm, 单板最大长度达到39m, 屋面随支撑桁架三段成弧(见图3)。

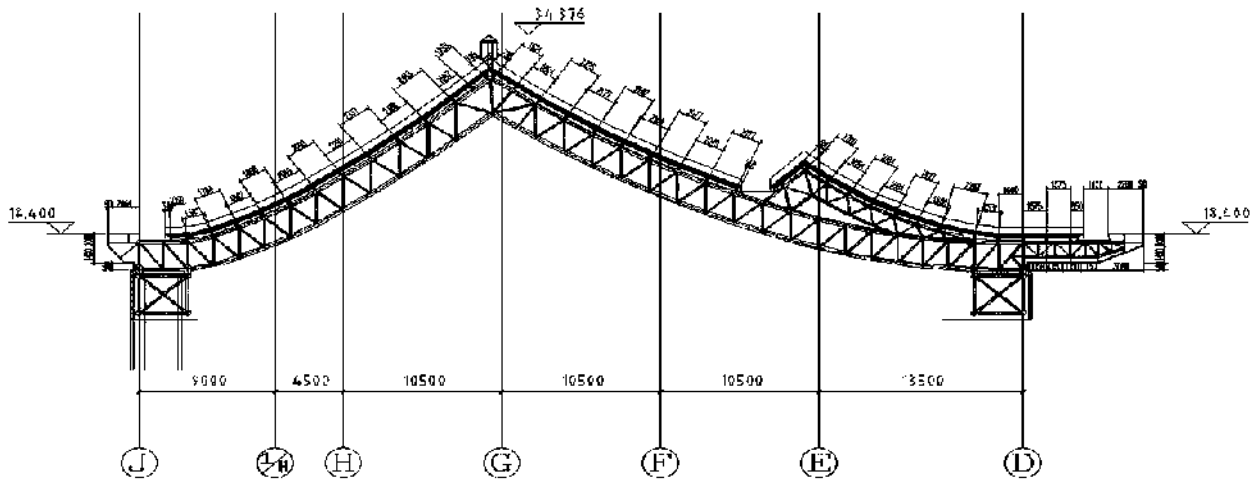


图3 中央大厅屋面剖面图

板的加工主要由压型和滚弧两个步骤组成，为了保证防水质量和建筑整体效果，我们采取从坡顶到坡脚整板辊压成型的加工方法，并按照不同的板型进行试压。由于采用纵向通长的面板，每块板不但多弧对接，而且在靠近

檐口处西坡（短坡）屋面板的曲率半径很小（1#、3#、5#屋面曲率分析报告见表1）。大弧度的曲面若采用一次滚弧成型的工艺很难实现面板在弧度变化处形成连续、流畅的曲线，因此我们制定了一系列有针对性的措施来加以应对。

表1 1#、3#、5#屋面弧长、半径统计表

屋面	位置	上弧		中弧		下弧		总长
		弧长	半径	弧长	半径	弧长	半径	
1#屋面	西坡	弧长	16158	弧长	6687	弧长	2697	25542
		半径	86018	半径	29955	半径	6378	
	东坡左右两侧	弧长	24660	弧长	12166	弧长	2090	38917
		半径	73881	半径	38268	半径	0	
	东坡小屋面西侧中部	弧长		弧长	2912	弧长		2912
		半径		半径	33876	半径		
	东坡小屋面东侧中部	弧长	10797	弧长	3170	弧长	5421	19751
		半径	28737	半径	14126	半径	0	
	东坡小屋面上部	弧长	73881	弧长		弧长		19090
		半径	19090	半径		半径		
3#屋面	东坡	弧长	11899	弧长	5793	弧长	1390	19082
		半径	35573	半径	18223	半径	0	
	西坡	弧长	4976	弧长	3107	弧长	1343	9426
		半径	41496	半径	14172	半径	2686	
5#屋面	东坡	弧长	8848	弧长	4127	弧长	1182	14157
		半径	25766	半径	12982	半径	0	
	西坡	弧长	3143	弧长	2185	弧长	611	5939
		半径	30112	半径	9978	半径	1690	

a. 调整压型设备的参数，确保压出的面板平整、光滑、尺寸准确。

b. 根据本工程屋面特点，有针对性的采用了三次滚弧成型的加工工艺，充分利用铝锰延伸率、抗拉强度好的特点，实现多弧对接处面板的顺滑。

c. 加强自检，杜绝硬性或强行过度滚弧的情况发生，保证板在加工过程中不出现裂痕或变形。

经实践证明，三次滚弧技术的采用，使屋面板很好的实现了多曲率的对接，保证了屋面的整体效果。

### 2) 板的安装

根据屋面造型特点，面板安装从边跨往中间顺序进行。在锁边时，采用先手动固定，后机械锁紧的方式。面板在安装过程中有以下几点需要注意。

a. 考虑到天气变化等自然因素，当日在屋面上就位

的面板应立即进行人工手动锁边固定，人工操作时要尽量保持锁边力度一致，避免人为操作的破坏。

b.在已铺好的板面上施工作业时应先搭设绳梯，严禁作业人员直接踩踏板面，防止面板因踩踏造成破坏。

c.电动锁边机锁边应连续进行，咬合边要平整。锁边操作人员需将待锁部位前方的板肋卡紧，尤其在板的弯弧处既要保证将板肋锁紧，又要防止板肋受力不均而开裂。

d.面板锁边完成后，在面板上部靠近屋脊处的固定支座位置，用不锈钢螺栓将板肋对穿固定。这样做既可防止铝镁锰板自由滑动，又不妨碍在温度应力作用下面板的单向伸缩，为装饰铝板面层的安装提供了保证。

### 3.4 玻璃采光窗处的防水措施

玻璃采光窗均设置于各屋面西坡靠近屋脊处，采光窗下方即为铝镁锰板。由于构造不同，二者在平面位置上不处于同一高度，故该部位使用折型披水钢板来保证屋面的防水效果。披水钢板一端置于铝镁锰板的顶面，同板端配套的铝合金脊部密封收口板固定，另一端伸入到玻璃面板底部与龙骨固定，板缝部位作打胶收边处理。考虑到玻璃面板下边缘与披水板的根部板缝处易产生积水，会直接影响到密封胶的使用寿命，因此于该部位附加了一道通长的1.5mm厚铝箔覆面的丁基橡胶防水密封带，利用铝箔良好的隔汽性和丁基橡胶优越的抗老化性能，来保证该部位的防水功能（见图4）。

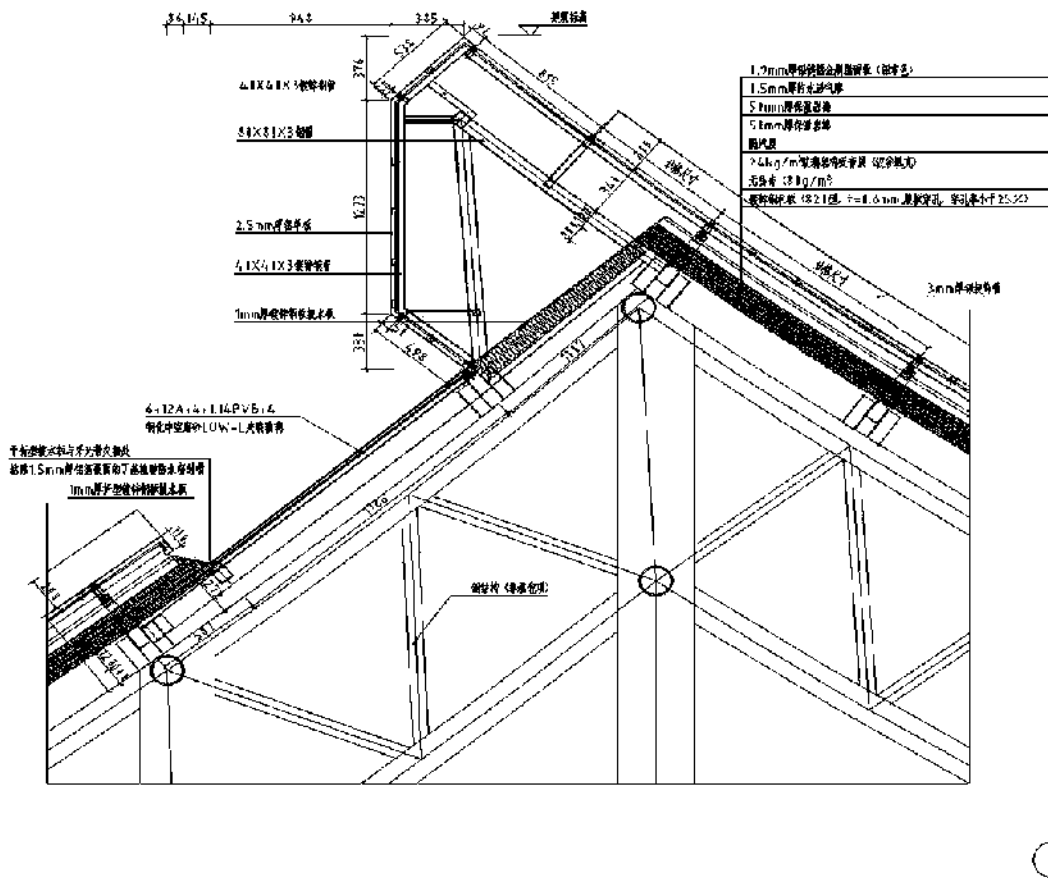


图4 玻璃采光窗节点构造

### 四、结束语

在园博馆金属屋面的施工中，我们通过详细的深化设计、复测定位以及采取合理的施工技术措施，降低了造价，缩短了工期，达到了设计效果，保证了园博馆的正常运营。实践证明金属屋面在造型新颖、独特的园林建筑中也同样适用。

### 参考文献：

[1] GB 50345-2012 屋面工程技术规范. 中国建筑工业出版社, 2012.

[2] JGJ 255-2012 采光顶与金属屋面技术规程. 中国建筑工业出版社, 2012.

[3] 《钢结构与金属屋面新技术应用》 中国建筑工业出版社, 2015.