

转 · 折
zhuàn zhé

—— 基于大跨木结构的游泳馆建筑装配设计

目录

CONTENTS

效果图一
效果图二
效果图三

一、前期分析

- 1.1 区位分析
- 1.2 基地分析
- 1.3 前期调研
- 1.4 设计策略
- 1.5 形制引入
- 1.6 案例分析
- 1.7 形体生成

二、建筑设计

- 2.0 设计说明
- 2.1 总平面图
- 2.2 一层平面图
- 2.3 二层平面图
- 2.4 功能分区

2.5 流线分析

2.6 立面图

2.7 材料分析

2.8 剖视图

2.9 视线分析

2.10 光线分析

2.11 开合分析

2.12 结构分解

2.13 建筑装配

三、结构设计

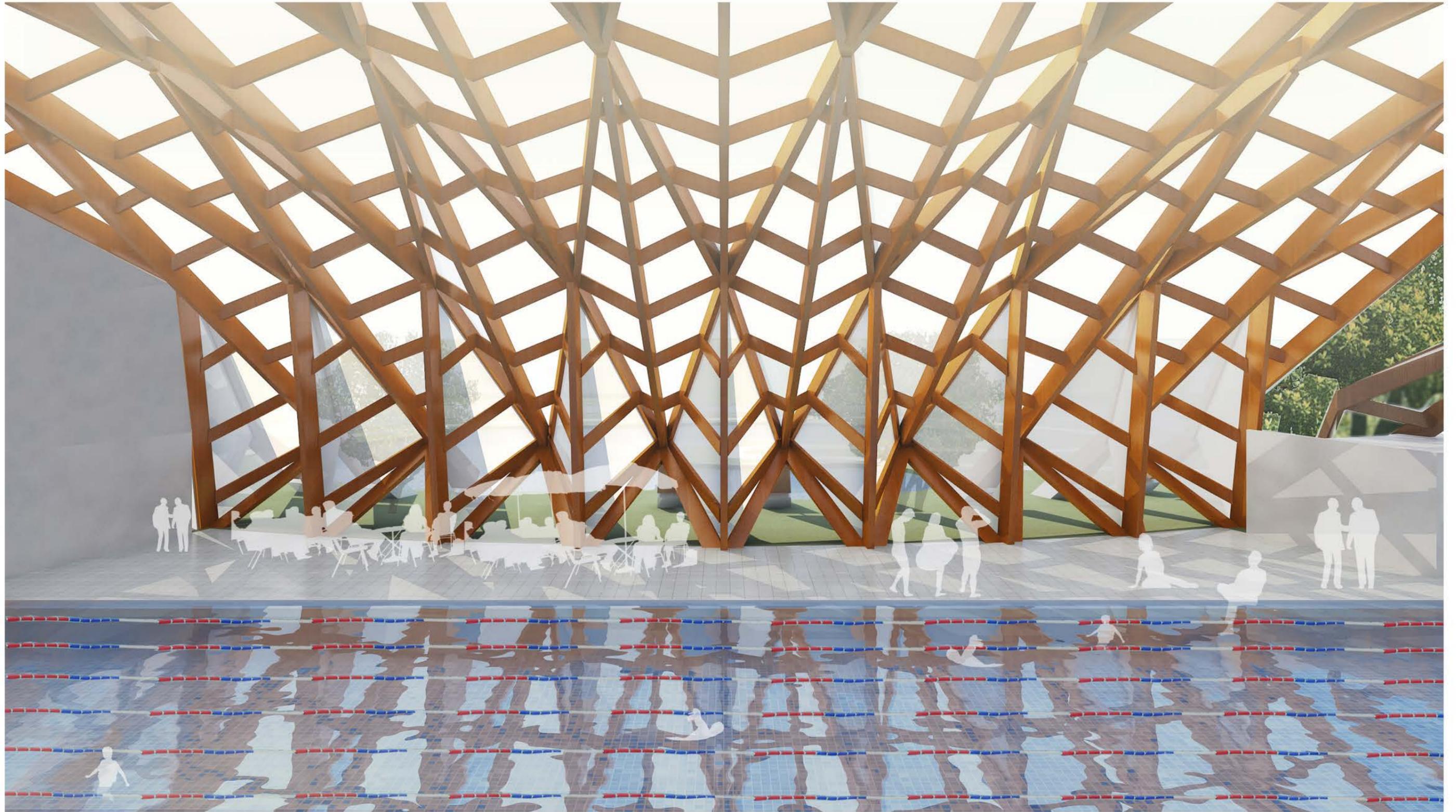
设计说明

结构有限元分析计算

节点详图







一、前期分析

- 1.1 区位分析
- 1.2 基地分析
- 1.3 前期调研
- 1.4 设计策略
- 1.5 形制引入
- 1.6 案例分析
- 1.7 形体生成

1.1、区位分析 LOCATION ANALYSIS

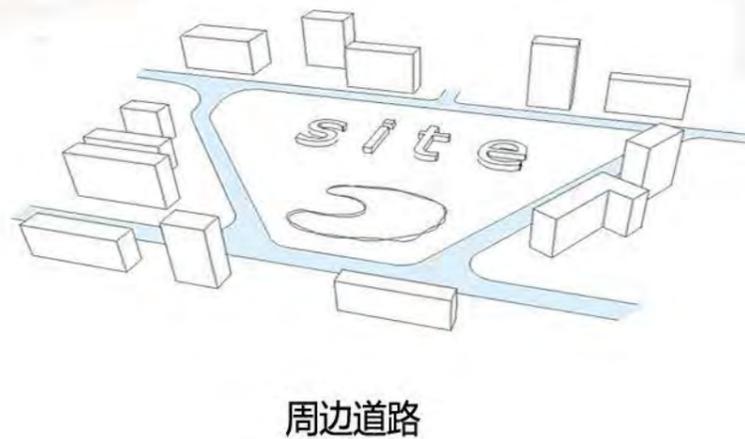


基地位于江苏省南京市某高校内，基地北对教学区，南面大学生活动中心，西临学生宿舍区，东连教学区，南北两侧环绕校内主要干道，东西相邻校内次干道，**交通便捷，人流密集**；基地内部**地势平整，绿化丰富**，南有朗月湖，景观极佳。

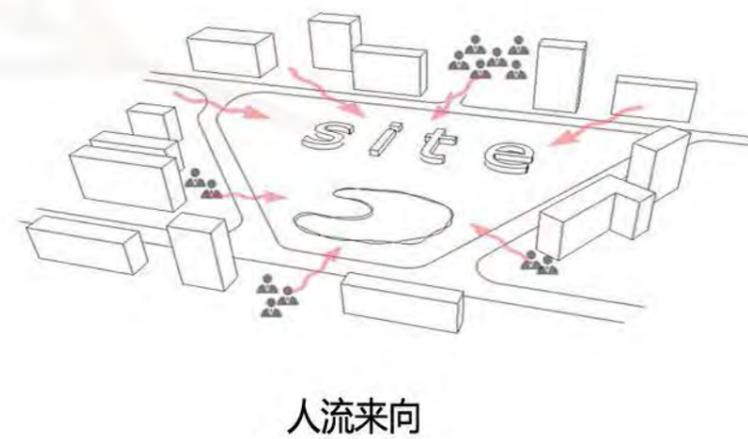
1.2、基地分析 SITE ANALYSIS



周边功能



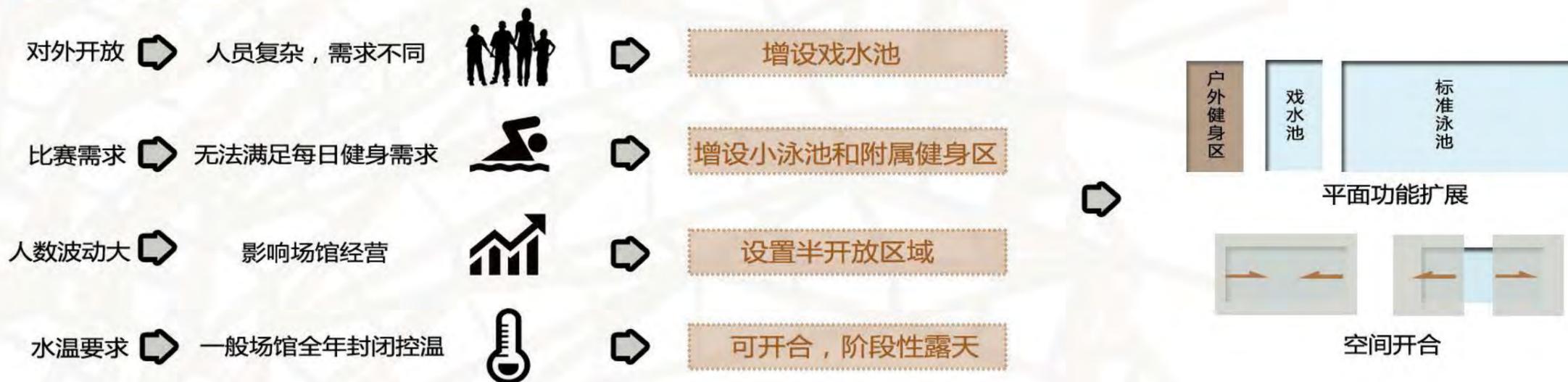
周边道路



人流来向

1.4、设计策略 DESIGN STRATEGY

问题与策略：



1.5、形制引入 FORM GENERATION

折纸形制

①



②



③



④



.....

⑤



⑥



⑦



⑧



折纸选型

空间变化丰富

可动性

模块化

折板结构

1.6、案例分析 CASES ANALYSIS

①
青岛地
铁13号
线建筑
方案



①采用折板形屋盖与船帆形立面结合的形式，为方便自然通风、采光设计屋顶天窗；

②为满足折板形式，在上下两层表面的中间增加类似于瓦楞板次一级结构的杆件来传递力量；

③三角形单元组件在场地外预制好，然后通过隐藏大部分接头原件的方式组装在一起；

④位于法国斯特拉斯堡，结构选用自支撑钢架圆顶，加入两个弧形滑动板，夏天打开，朝向太阳，如同向日葵一般。



②
横滨国际港码头

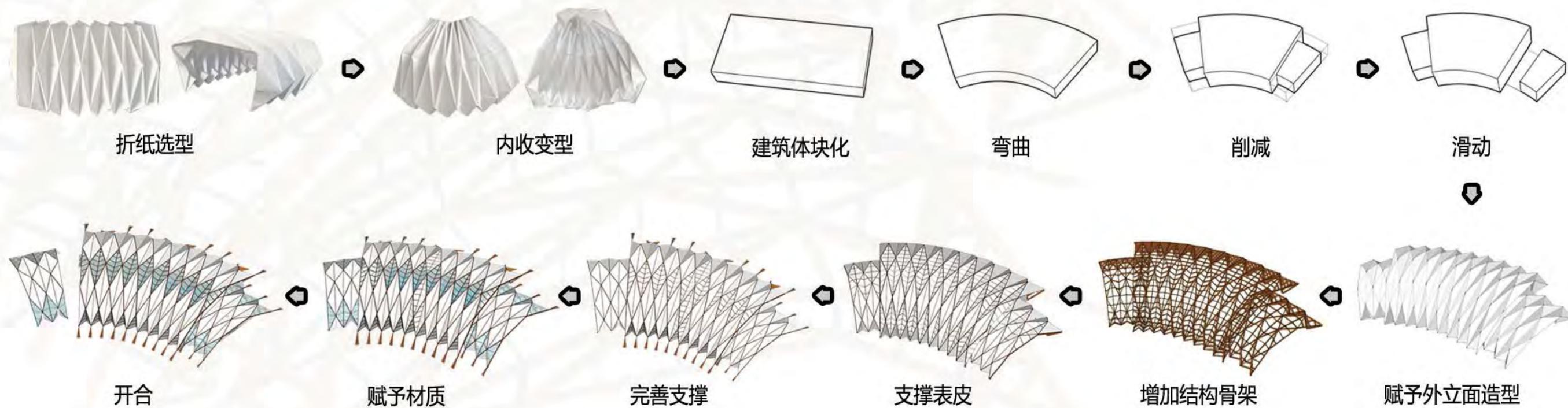


③
奥尔弗里斯
顿学校游泳
馆



④
法国Tournefort游泳馆

1.7、形体生成 SCULPT GENERATION



二、建筑设计

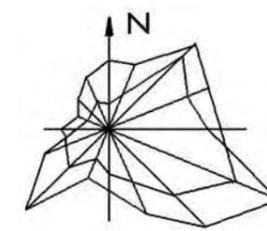
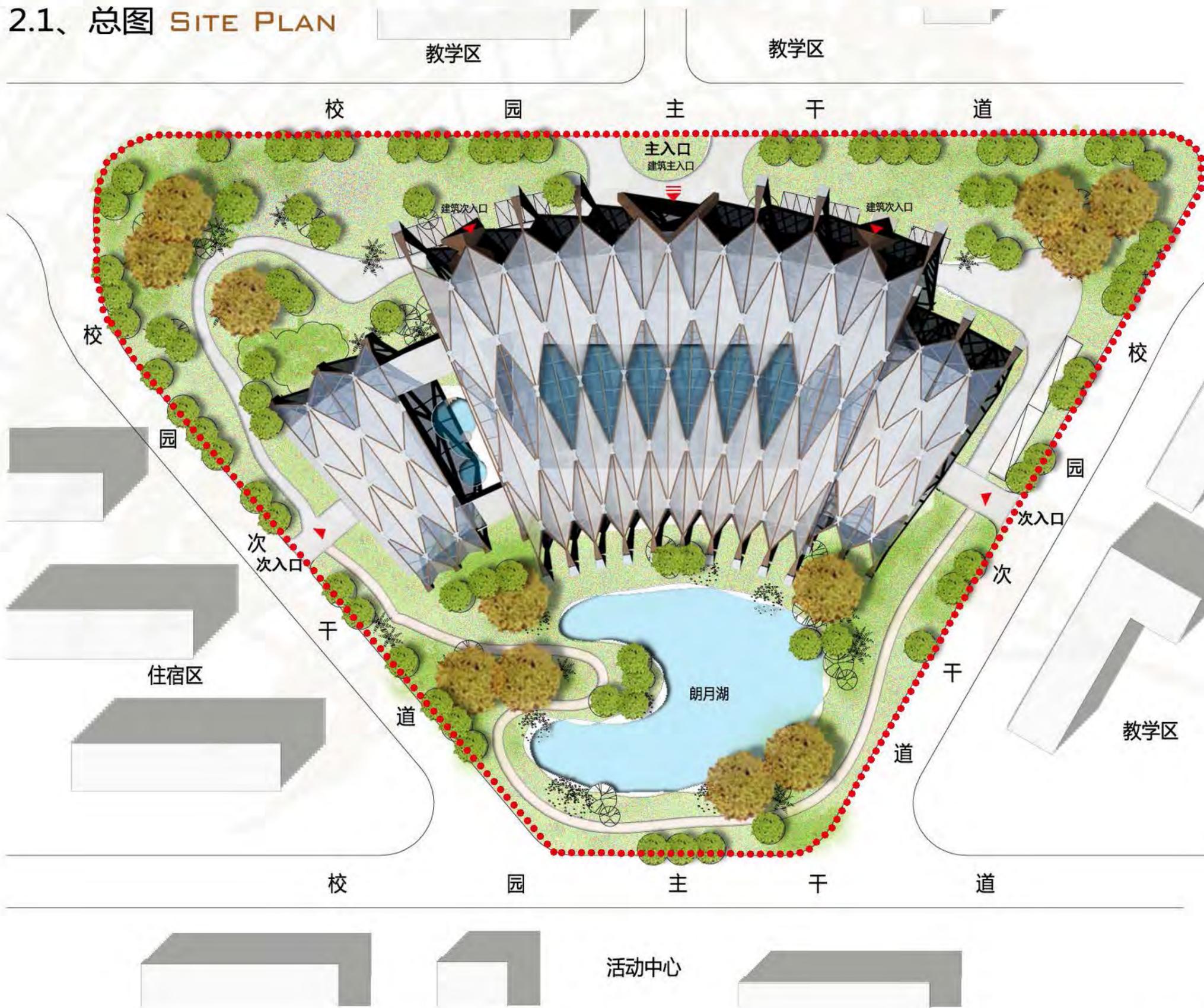
- 2.0 设计说明
- 2.1 总平面图
- 2.2 一层平面图
- 2.3 二层平面图
- 2.4 功能分区
- 2.5 交通流线
- 2.6 立面图
- 2.7 材料分析
- 2.8 剖透视
- 2.9 视线分析
- 2.10 光线分析
- 2.11 开合分析
- 2.12 结构分解
- 2.13 建筑装配

2.0、设计说明 DESIGN DESCRIPTION

本案选址于江苏省南京市某高校内，以“转·折”为设计主题。“转”——将游泳馆动态化，根据天气气候选择性的开合，既可为游泳者提供良好的游泳环境，又有利于建筑通风节能；“折”——以折纸为建筑原型，以折板结构为结构原型，通过一定变型和优化，致力于打造木构、动态、节能的新式游泳馆。

本案还对大跨木结构建筑装配进行一定探索，助力木结构建筑工业化适用性更加广泛。

2.1、总图 SITE PLAN

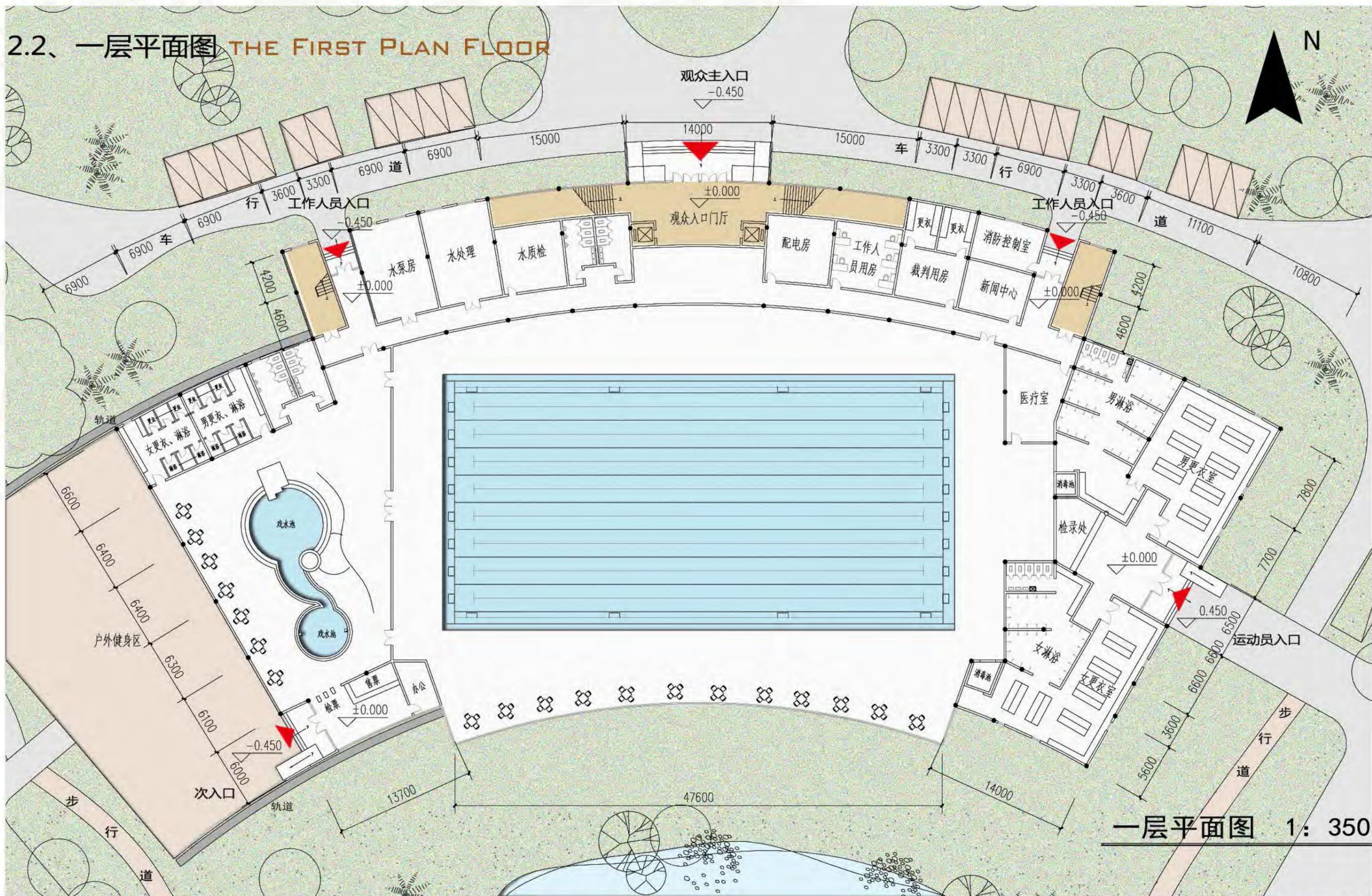


经济技术指标：

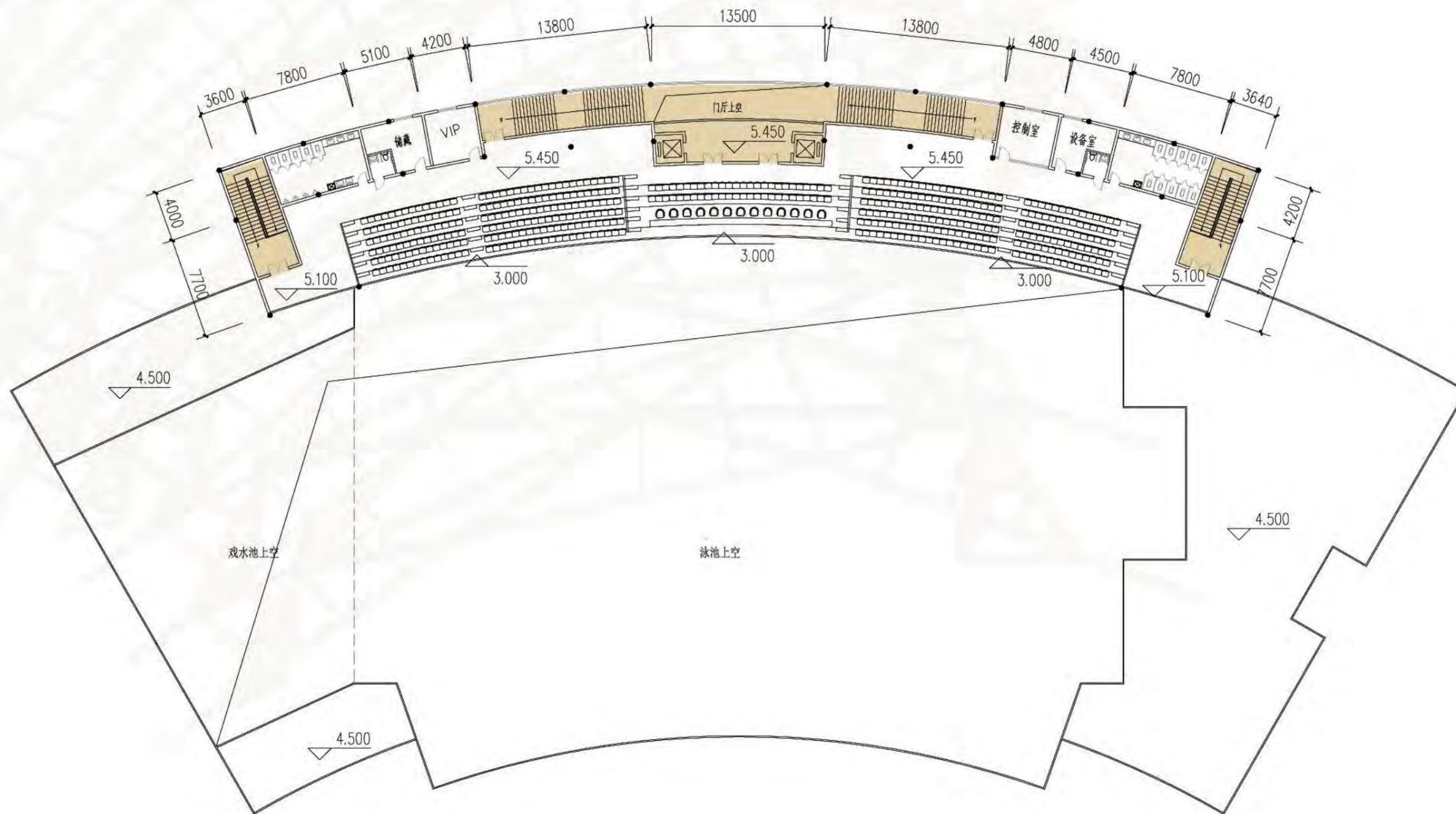
- 基地面积：19402.3m²
- 建筑占地面积：4952.7m²
- 总建筑面积：5620.4m²
- 建筑密度：0.26
- 绿地率：59%
- 小轿车停车位：21个
- 大巴车停车位：2个

总平面图 1: 800

2.2、一层平面图 THE FIRST PLAN FLOOR

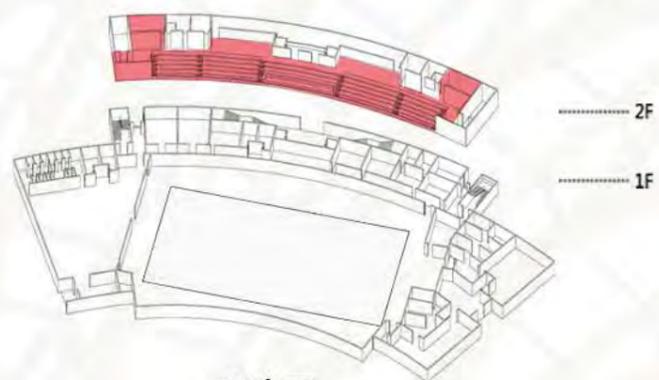


2.3、二层平面图 THE SECOND PLAN FLOOR

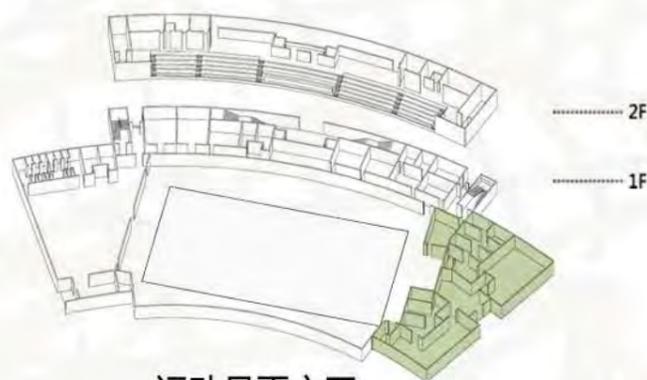


二层平面图 1: 350

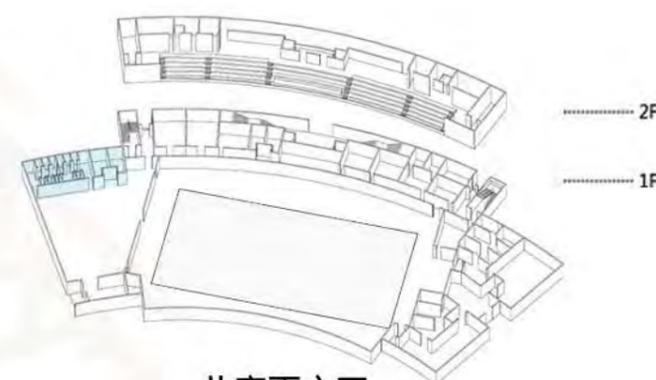
2.4、功能分区 FUNCTION DIVISION



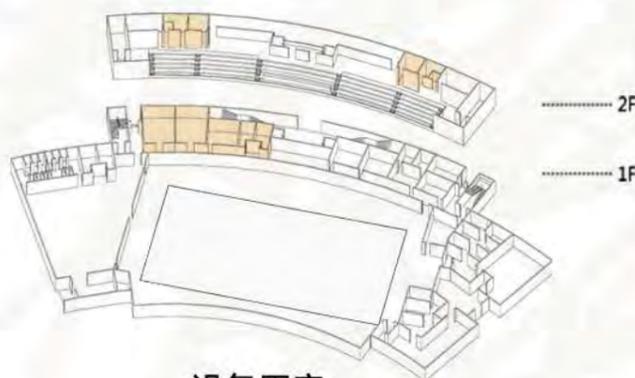
观众区



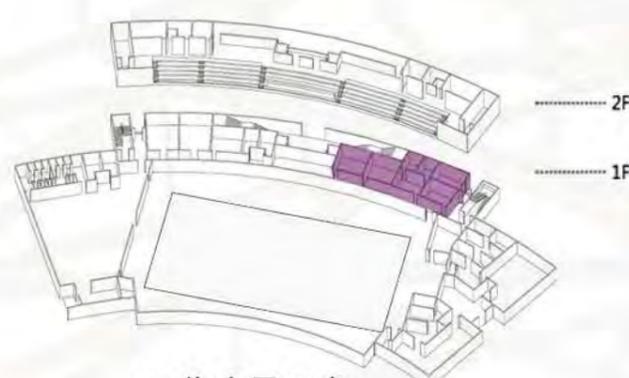
运动员更衣区



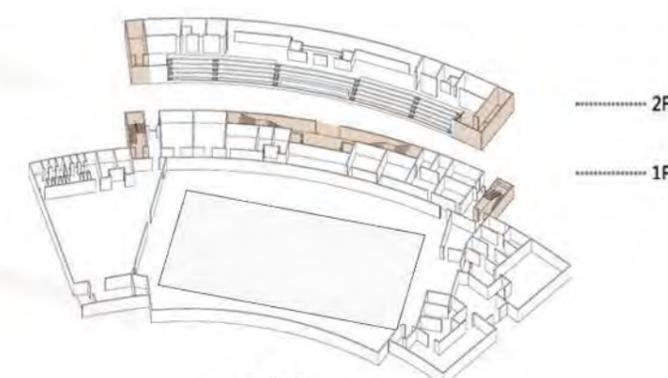
儿童更衣区



设备用房

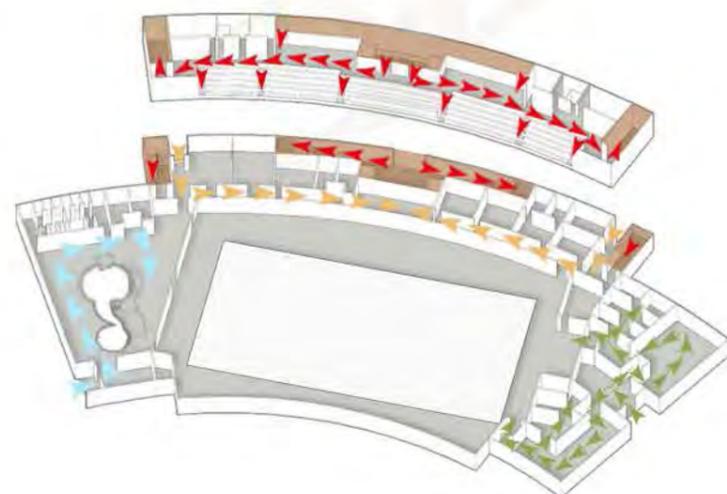


工作人员用房



交通

2.5、交通流线 TRAFFIC STREAMLINE



观众流线 

运动员流线 

儿童流线 

工作人员流线 

2.6、立面图 ELEVATIONS



北立面图 1: 350



东立面图 1: 350

2.7、材料分析 MATERIAL ANALYSIS

CLT板——屋面

可提供高强度的结构,相比传统建材,材质轻,防火、抗震性能优异。



GLT——木梁

尺寸自由度大,可作大跨度弯曲梁,广泛用于体育馆、大型公共建筑。



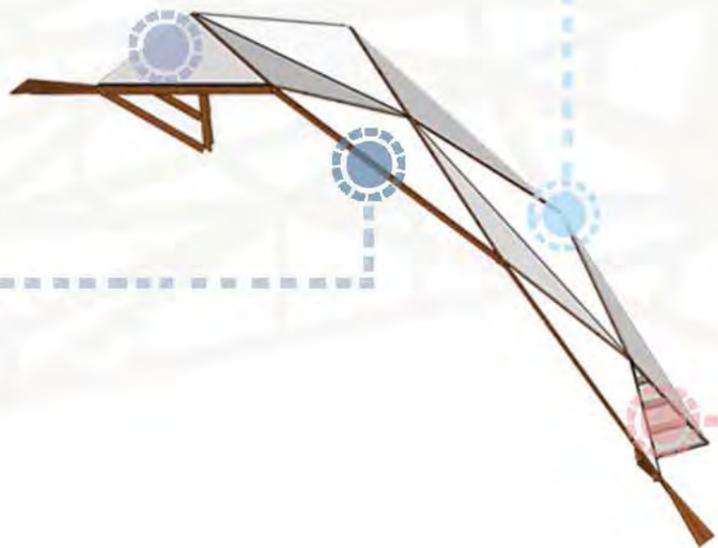
钢——节点连接

自身强度高、塑性韧性好、且材质均匀、质量轻、制造简便。

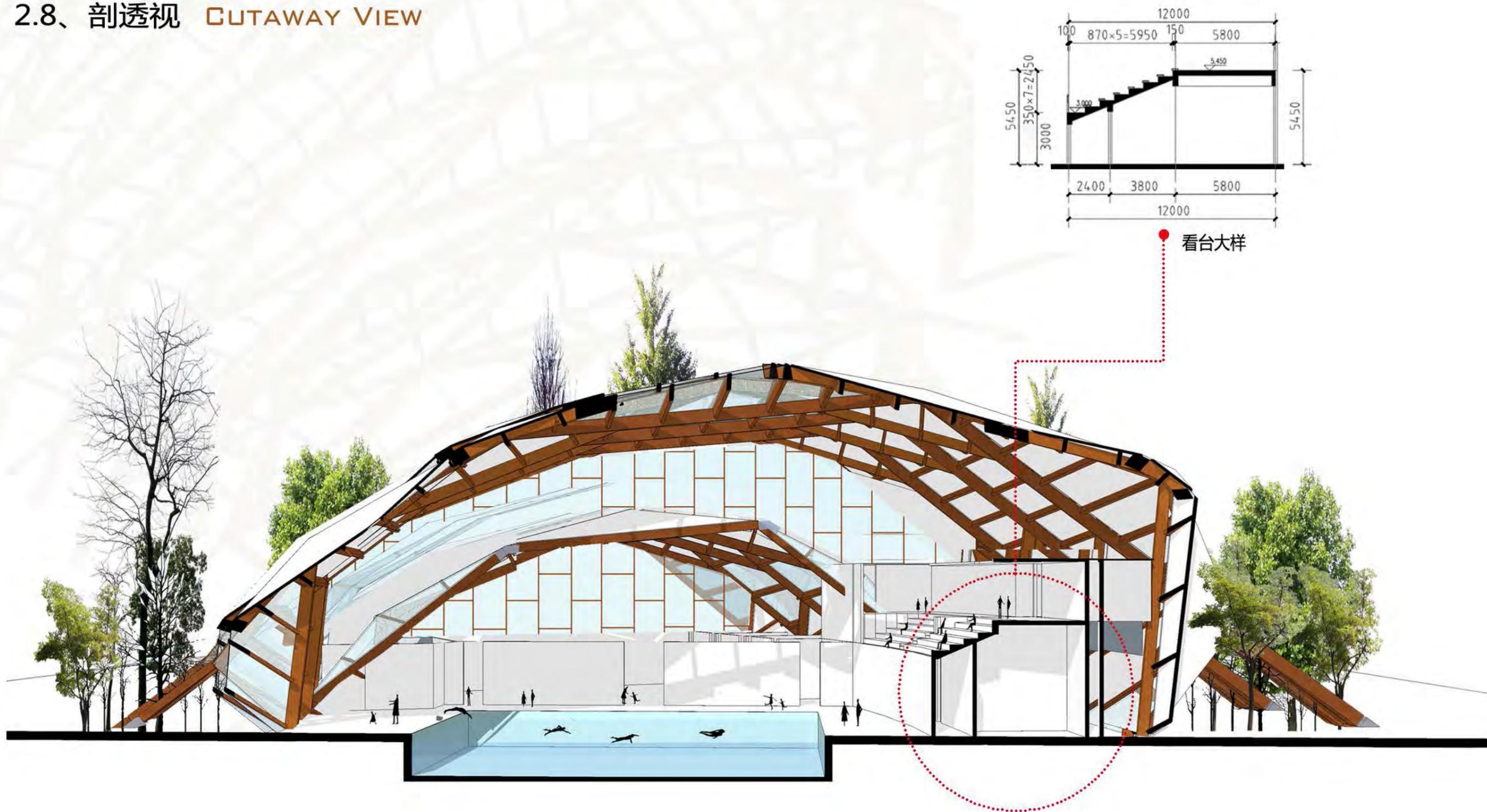


Low-e玻璃——窗

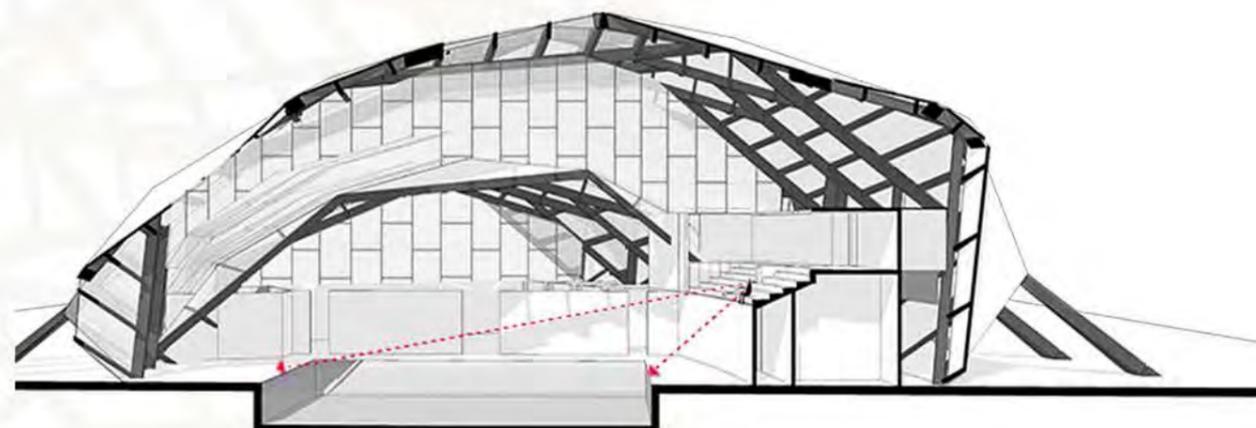
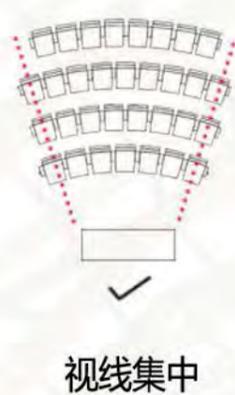
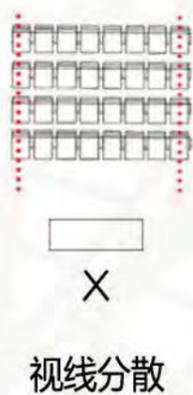
对可见光高透过及对中远红外线高反射,隔热效果和透光性良好。



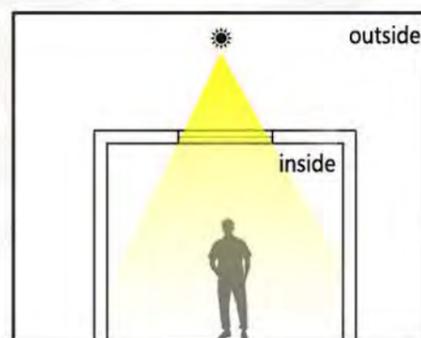
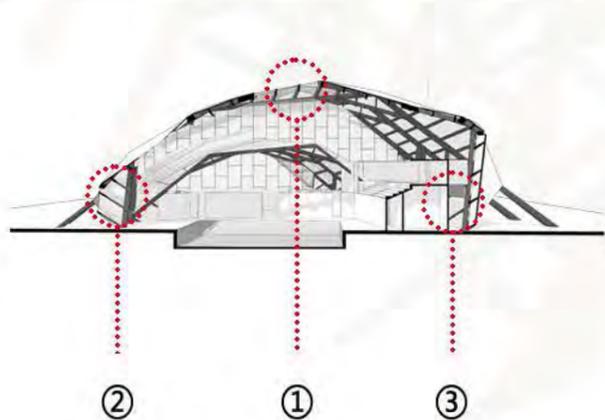
2.8、剖透视 CUTAWAY VIEW



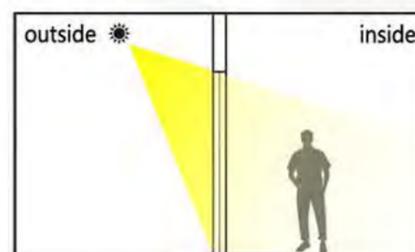
2.9、视线分析 SIGHT LINE ANALYSIS



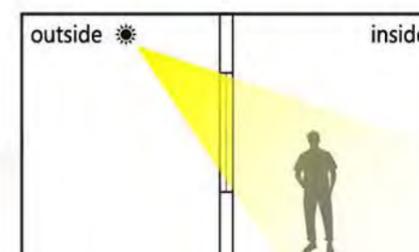
2.10、采光分析 DAYLIGHT ANALYSIS



① 天窗
……
高采光率



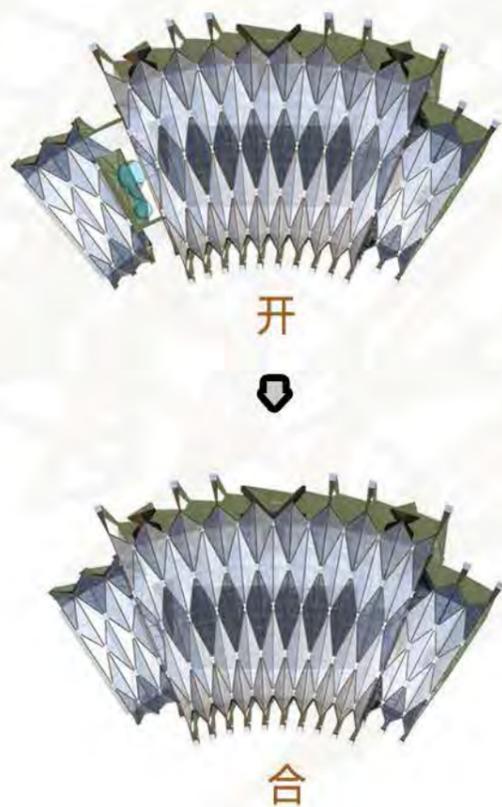
② 落地窗
……
观景+采光



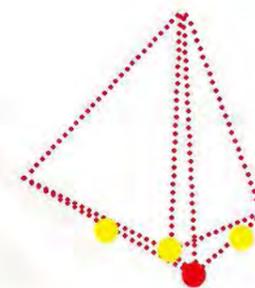
③ 侧窗
……
采光

2.11、开合分析 OPEN-CLOSE ANALYSIS

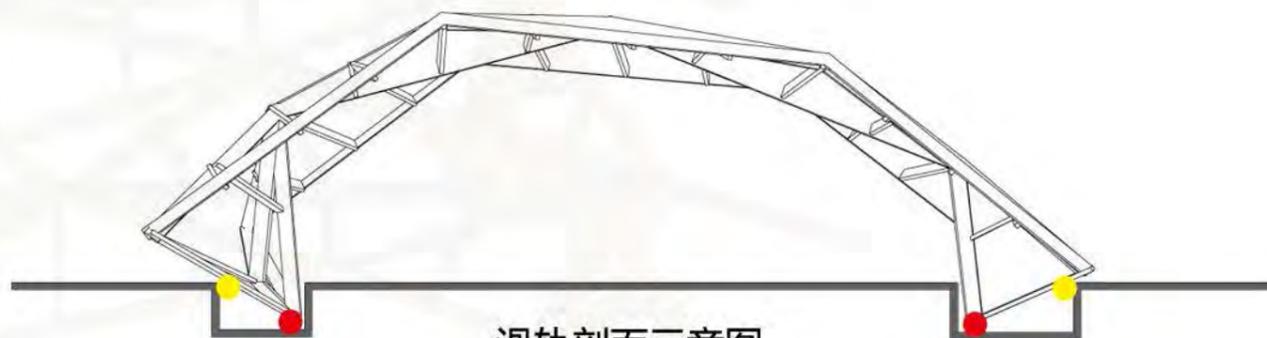
戏水池上空选择可开合屋架，在气候适宜时通过机械装置将屋架打开，使室内与室外恒温，节省通风和温度控制消耗，同时又提升了游泳体验。



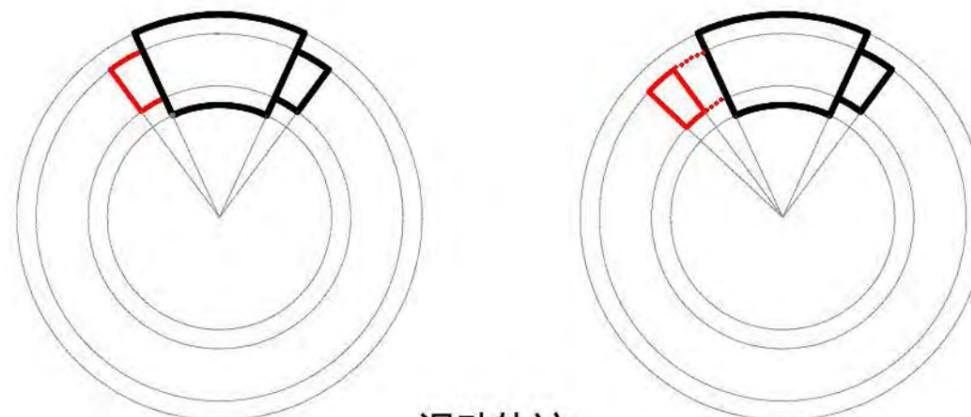
支撑杆件形式



滑轮位置



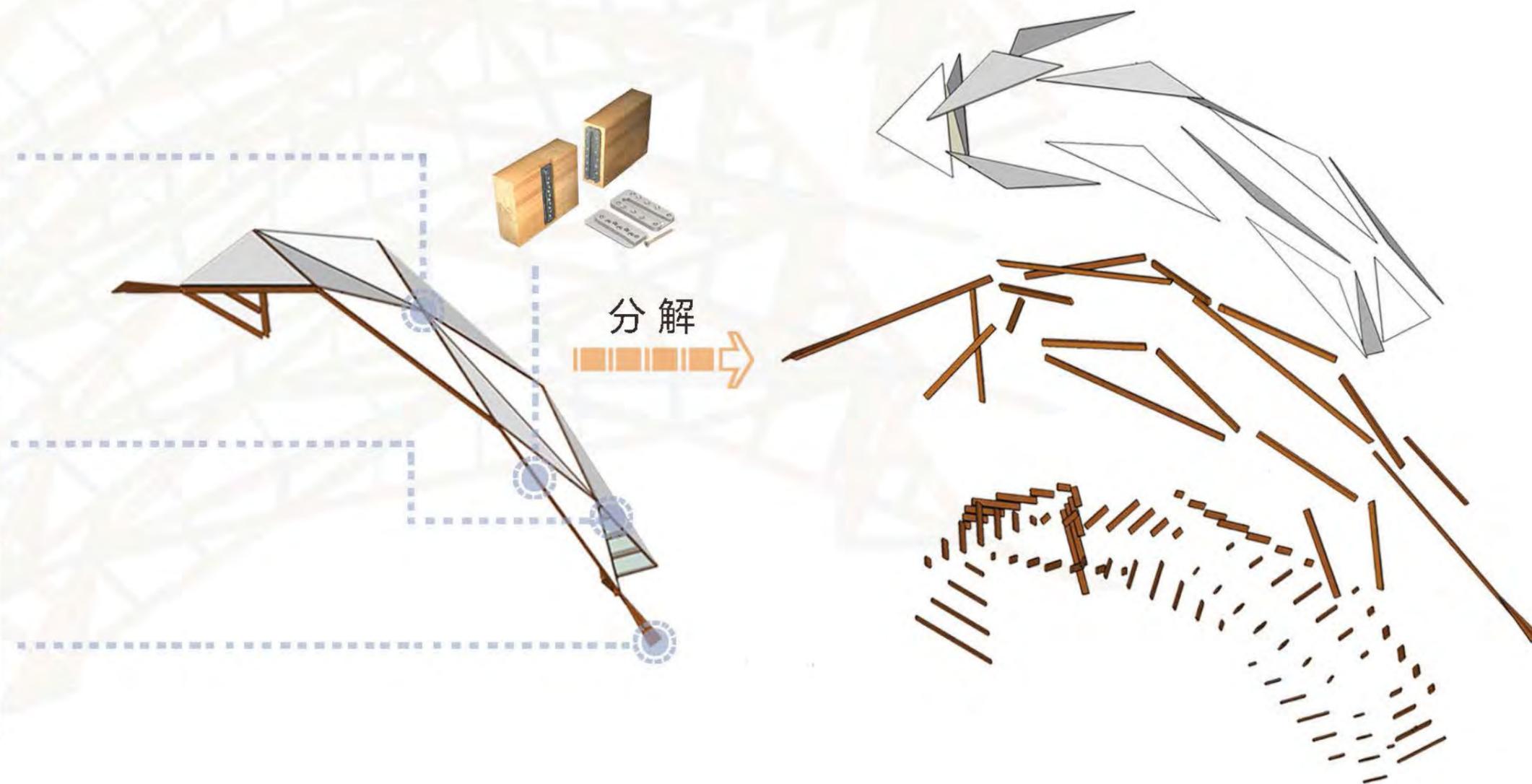
滑轨剖面示意图



滑动轨迹

2.12、结构分解 STRUCTURE DIAGRAM

单体分解图



2.13、建筑装配 BUILDING ASSEMBLY

优点



易于建造



便于运输



循环使用

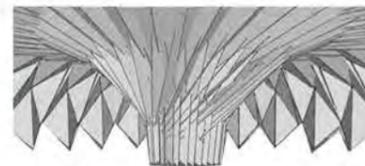


耐久性强

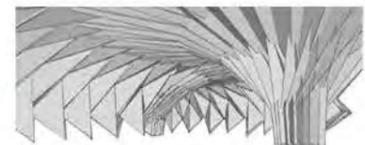
可变模式



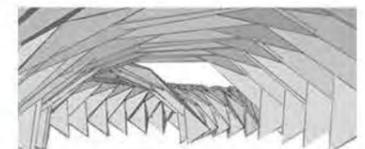
Pattern 1



Pattern 2



Pattern 3



适应性分析



体育馆



影剧院



展览馆



航空港



高铁站

三、结构设计

- ┆ 设计说明
- ∞ 结构有限元分析计算
- ω 节点详图

第1章 设计说明

1.1 工程概述

本游泳馆位于江苏省南京市某高校内，本工程采用折板结构建筑而成，建筑占地面积 4952.7 平方米，总建筑面积 5920.4 平方米。游泳馆内设正式比赛池一个，大小为 25×50 米，戏水池一个；500 座看台及相应的主席台、运动员、裁判员、教练、观众及贵宾、办公管理等人员的服务设施。考虑了比赛赛结合使用的相关设施，以及现代多媒体显示系统，游泳池水恒温系统，空调恒温系统及配电房等。建筑设计使用年限为 50 年，建筑结构安全等级为二级，抗震设防烈度为 7 度，为抗震设防区，场地土的类型为软弱土，设计基本地震加速度值为 0.05g，设计地震分组为第一组，建筑场地类别为 IV 类。

1.2 设计依据及规范

1、《2017 全国高校木结构设计邀请赛赛题》

2、主要设计规范：

- 1) 《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223-2008)；
- 2) 《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068-2001)；
- 3) 《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2012)
- 4) 《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010 (2016 版))
- 5) 《木结构设计规范》(GB 50005-2003) (2005 版)
- 6) 《胶合木结构技术规范》(GB/T 50708-2012)

3、相关参考规范：

- 1) 《欧洲规范 5：木结构设计》(BS EN 1995-2: 2004)
- 2) 《美国木结构设计规范》(NDS-2005)
- 3) 其他有关参考标准、规范、手册等

1.3 技术标准及要求

1、功能定位：游泳馆；

2、地震：

工程地处江苏省南京市，抗震设防烈度为 7 度；

3、建筑结构安全等级：二级；

4、设计使用年限：50 年；

5、结构重要性系数：1.1；

6、材料：

1) 木材：

木材：防腐性能优异、优质针叶材；

木材等级：结构一级、外观一级。

依据《胶合木结构技术规范》(GB/T50708-2012) 第 4.2.2 条，胶合木强度设计值及弹性模量取值见表 3.1。

受弯构件、压弯构件及轴心受力构件采用同等组合

表 3.1 胶合木 (TC₁24) 强度设计值及弹性模量取值 (N/mm²)

强度等级	抗弯 f_m	抗压 f_c	抗拉 f_t	抗剪 f_v	弹性模量 E
TC _T 24	24	22	17	2.2	9500

2) 螺栓:

8.8 级螺栓 M16、M20、M22 等。

3) 钢材:

本工程所用主要钢构件采用 Q235B、Q345D 等。

1.4 材料耐久性措施

- 1、所有的钢构件及螺栓均在工厂内完成热浸镀锌表面处理（热浸镀锌的厚度不小于 80 微米），并且用氟碳漆刷 2~3 道，颜色由甲方定；
- 2、所有木结构为清漆露木纹，整体颜色为中轴线工程木为基准，不同的木材面应相应的套色处理，保证表面的颜色差异，达到清漆面层整体效果；
- 3、木材耐久性措施：

- 1) 防腐、防虫，耐候构件易积水处如节点板处或孔槽处等部位，进行拼装前在胶合木表面或孔槽处须进行专门的防水涂饰；
- 2) 构件出厂前表面须采用专门的耐候防水漆涂饰，必要时采取其他构造措施防止构件积水；
- 3) 胶合木构件端部和孔槽及切口处均应采取相关措施，防止木材开裂。

4、防火、使用透明防火涂料，即防火清漆，为保证防火涂料的长效性，在基表层再罩一层透明清漆，透明防火涂料必须符合国家现行《建筑设计防火规范》(GB50016) 标准，阻燃等级达到耐火等级四级的要求。

1.5 木结构制作、安装要求

- 1、胶合木构件 (GLULAM) 全部机械设备刨光、开榫、粘接、切割、叠层胶合，除最终表面修饰外不允许人工刨光、开榫、粘接的工艺做法。
- 2、弯曲的木构件必须在设备上依图纸在胶合固化前的弯曲定位。不允许胶粘剂固化后的强制弯曲。
- 3、木结构所选用木材要求烘干脱脂处理，胶合木构件制作时，层板在胶合前含水率不应大于 15%，且相邻层板间含水率相差不应大于 5%。
- 4、胶合木构件采用同等组坯工艺，并且构件截面一次加压成型，不允许二次加压。截面宽度大于 200mm 时，构件表面应做刻槽处理。
- 5、木构件吊装全部使用至少 50mm 宽布吊带或其他柔性材料，不允许使用圆绳或钢绳直接吊装，必要时在捆绑吊点处应设垫板，防止构件局部损伤。
- 6、木构件在未安装前必须防雨淋湿。
- 7、构件应存放在通风良好的仓库或敞棚内，应分层分隔堆放，各层垫条厚度应相等，上、下各层垫条应在同一垂线上，防止构件变形和翘曲。
- 8、现场依编号、按图纸位置安装，严禁错号安装。

1.6 刚连接板制作要求

- 1、图中标注的尺寸均为体系温度 (20℃) 时的尺寸，工厂下料时均要考虑温差，工地施工用尺应在施工前与工厂用尺互相校对。
- 2、工厂制造时，每节段各组成板件的接料应避免出现十字形焊缝，相邻的两条 T 形焊缝的间距不少于 200mm。
- 3、各种板件的对接焊，必须坡口熔透，焊缝的外观质量按照横向对接焊缝的相关标准控制，内部质量经超声波和射线探伤检验合格。
- 4、焊接坡口形式的选用应符合《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》(GB 985) 和《埋弧焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》(GB 986) 中的要求，在正式加工前应按照有关规定的要求进行工艺试验评定。

1.7 维修养护

- 1、木结构构造上的防腐、防虫措施，除应在设计图纸中加以说明外，尚应要求在施工的有关工序交接时，检查其施工质量，如有发现问题应立即纠正。

2、下列情况，除从结构上采取通风防潮措施外，尚应进行药剂处理：

- 1) 露天结构；
- 2) 内排水桁架的支座节点处；
- 3) 檩条、搁栅、柱等木构件直接与砌体、混凝土接触部位；
- 4) 白蚁容易繁殖的潮湿环境中使用的木构件；
- 5) 承重结构中使用马尾松、云南松、湿地松、桦木以及新利用树种中易腐朽或遭虫害的木材。

3、以防腐、防虫药剂处理木构件时，应按设计指定的药剂成分、配方及处理方法采用。受条件限制而需改变药剂或处理方法时，应征得设计单位同意。在任何情况下，均不得使用未经检定合格的药剂。

4、木构件（包括胶合木构件）的机械加工应在药剂处理前进行。木构件经防腐防虫处理后，应避免重新切割或钻孔。由于技术上的原因，确有必要作局部修整时，必须对木材暴露的表面，涂刷足够的同品牌药剂。

5、木结构的防腐、防虫采用药剂加压处理时，该药剂在木材中的保持量和透入度应达到设计文件规定的要求。设计未作规定时，则应符合现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206 规定的最低要求。

第二章 结构有限元计算分析

2.1 设计荷载

1、恒载 D

屋面采用轻质屋面做法，屋面荷载计算取值为 0.85kN/m^2 ，木材自重系数取 1.1。顶部玻璃区荷载采用面荷载分配，以线荷载的方式施加到周边的木梁上。

2、活载 L

按照不上人屋面荷载，取值为 0.7kN/m^2 。

3、雪载 S

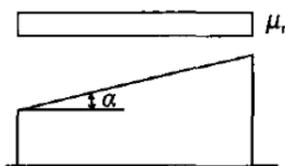
根据《建筑结构荷载规范》（GB 50009-2012）的规定，屋面水平投影面上的雪荷载标准值应按下列公式计算：

$$S_k = \mu_r S_0 \quad (2.1.1)$$

式中： S_k ——雪荷载标准值（ kN/m^2 ）；
 μ_r ——屋面积雪分布系数；
 S_0 ——基本雪压（ kN/m^2 ）。

本工程位于江苏省南京市地区，根据计算取屋面积雪分布系数为 0.7，取 50 年一遇基本雪压为 0.65kN/m^2 。

雪载组合值系数取 0.7。



α	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°	45°	50°	55°	$\geq 60^\circ$
μ_r	1.0	0.85	0.7	0.55	0.4	0.25	0.1	0

图 2.1 单跨单坡屋面雪荷载分布系数

4、风载 W

根据《建筑结构荷载规范》（GB 50009-2012）的规定，垂直于建筑物表面上的风荷载标准值，应按下列规定确定（计算主要受力结构）：

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (2.1.2)$$

式中： w_k ——风荷载标准值（kN/m²）；

μ_z ——高度 z 处的风振系数；

μ_s ——风荷载体型系数；

β_z ——风压高度变化系数；

w_0 ——基本风压（kN/m²）。

风振系数取 1.0，风荷载体型系数按照封闭式双坡屋面取值，迎风面体型系数取值 +0.8，背风面体型系数取值 -0.5，风压高度变化系数取 1.25，本工程位于江苏省南京市地区，取 100 年一遇基本风压为 0.40kN/m²。

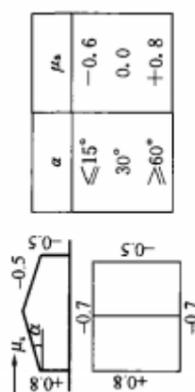


图 2.2 封闭式双坡屋面屋面风荷载体型系数

计算后得风荷载值如表 2.1 所示：

表 2.1 风荷载一览表 (kN/m²)

位置	风荷载取值 (kN/m ²)
迎风面 (W _s)	-0.4
迎风面 (W _s)	-0.4
背风面 (W)	0.25

5、地震荷载 E

根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)的规定,本工程位于江苏省南京市地区,抗震设防烈度为7度,设计基本地震加速度值为0.10g,设计地震分组为第一组,建筑场地类别为IV类,结构阻尼比取值0.05。

2.2 荷载组合

荷载组合方式见表 2.2。

表 2.2 荷载组合

承载能力极限状态	1.35D+0.98L
	1.2D+1.4L
	1.2D+0.84W(x, y)+1.4L
	1.2D+1.4W(x, y)+0.98L
	0.8D+1.4W(x, y)
正常使用极限状态	1.2D+0.6L+1.3E(x, y)
	D+L
	D+0.7W(x, y)+L
	D+W(x, y)
	D+0.5L+E(x, y)

2.3 模型建立

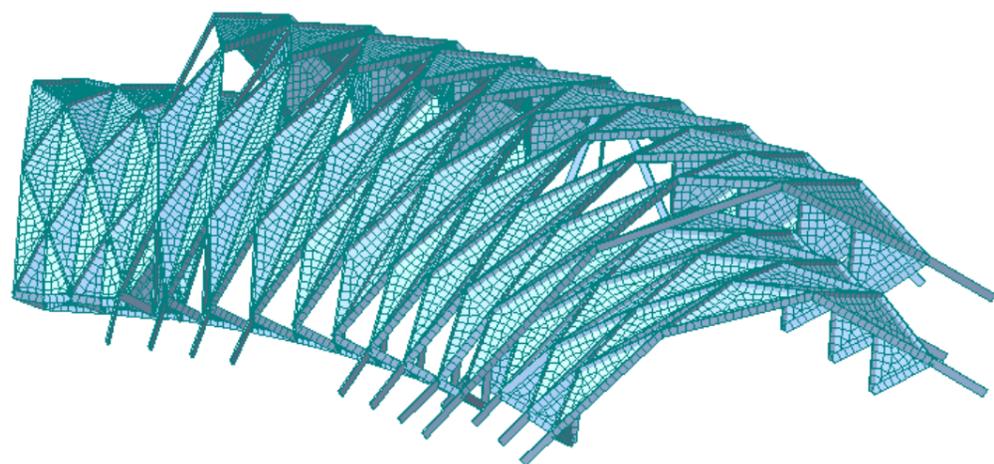


图 2.3 有限元模型建立图

折板结构整体采用有限元软件 Midas gen 进行建模计算。所有木构件采用梁单元模拟, CLT 板材采用厚板单元模拟。板材和梁单元之间选择刚接,木构件节点刚度 R_y 取值为刚接的 0.1 倍。

2.4 承载能力极限状态计算

2.4.1 结构典型工况下内力图及应力状态

1. 35D+0.98L

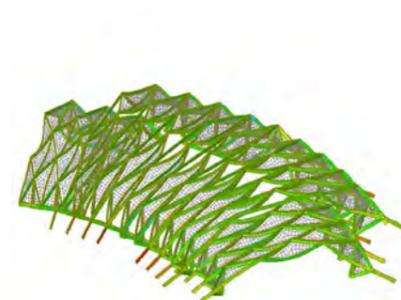


图 2.4.1 轴力图

(最大值: 1.096×10³kN, 位置: 侧向支撑柱)



图 2.4.2 弯矩图

(最大值: 552.4kN·m, 位置: 主梁跨中)

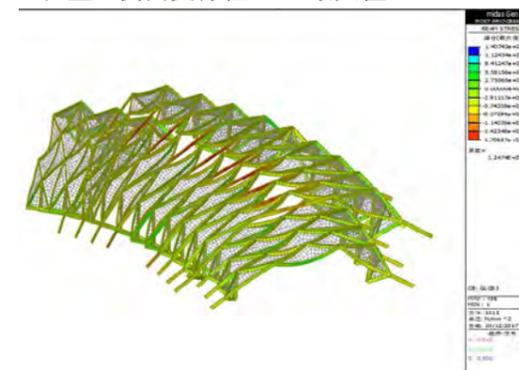


图 2.4.3 木构件应力图

(最大值: 17.07MPa, 位置: 主梁跨中以及侧向支撑柱)

1. 2D+1. 4L

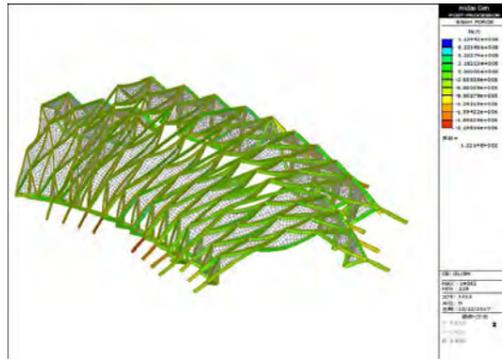


图 2.4.4 轴力图

(最大值: $2.198 \times 10^3 \text{kN}$, 位置: 侧向支撑柱)



图 2.4.5 弯矩图

(最大值: $577.6 \text{kN}\cdot\text{m}$, 位置: 主梁跨中)

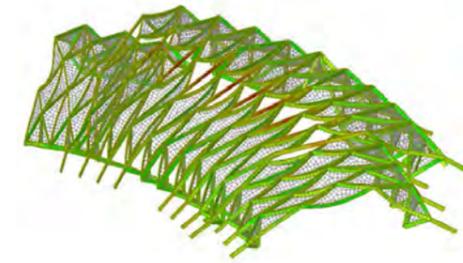


图 2.4.9 木构件应力图

(最大值: 20.88MPa , 位置: 主梁跨中)



图 2.4.6 木构件应力图

(最大值: 17.81MPa , 位置: 主梁跨中)

1. 2D+0. 84Wy+1. 4L

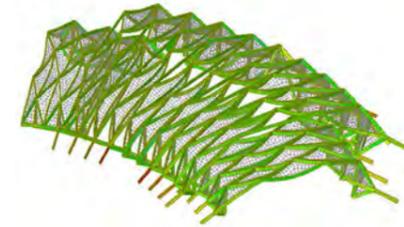


图 2.4.10 轴力图

(最大值: $2.32 \times 10^3 \text{kN}$, 位置: 侧向支撑柱)

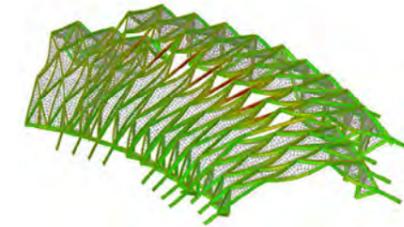


图 2.4.11 弯矩图

(最大值: $661.8 \text{kN}\cdot\text{m}$, 位置: 主梁跨中)

1. 2D+0. 84Wx+1. 4L

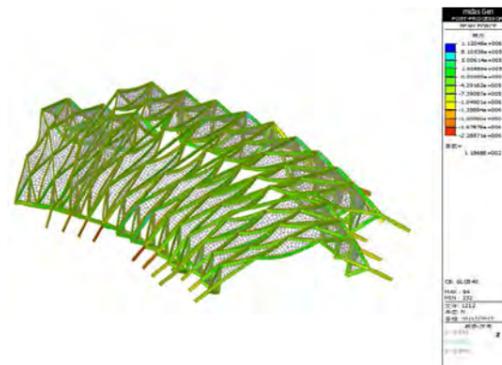


图 2.4.7 轴力图

(最大值: $2.29 \times 10^3 \text{kN}$, 位置: 侧向支撑柱)



图 2.4.8 弯矩图

(最大值: $557.4 \text{kN}\cdot\text{m}$, 位置: 主梁跨中)

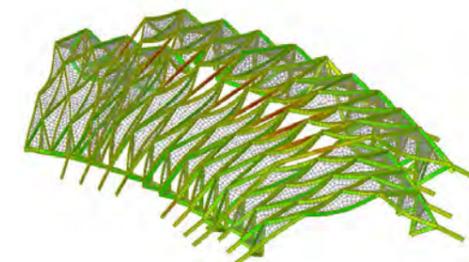


图 2.4.12 木构件应力图

(最大值: 20.44MPa , 位置: 主梁跨中)

1. 2D+0.98L+1.4Wx

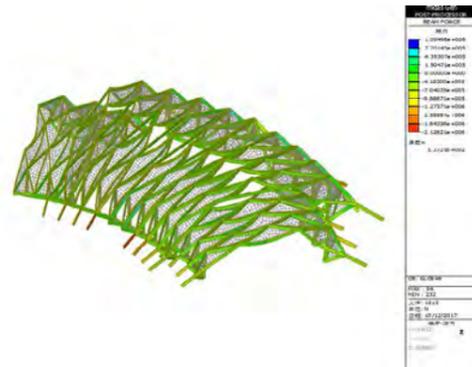


图 2.4.13 轴力图

(最大值: $2.13 \times 10^3 \text{kN}$, 位置: 侧向支撑柱)



图 2.4.14 弯矩图

(最大值: $475.3 \text{kN}\cdot\text{m}$, 位置: 主梁跨中)

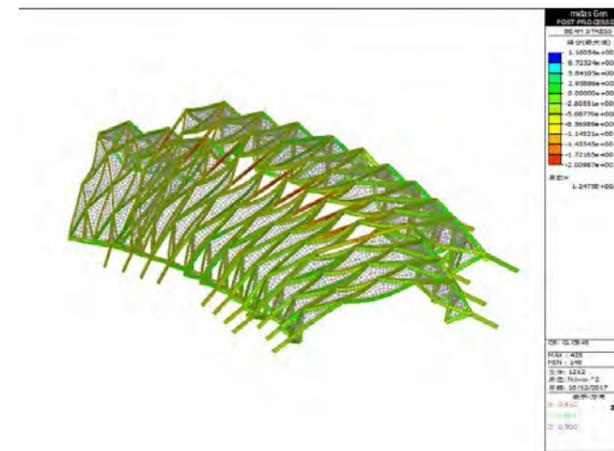


图 2.4.18 木构件应力图

(最大值: 20.10MPa , 位置: 主梁跨中)

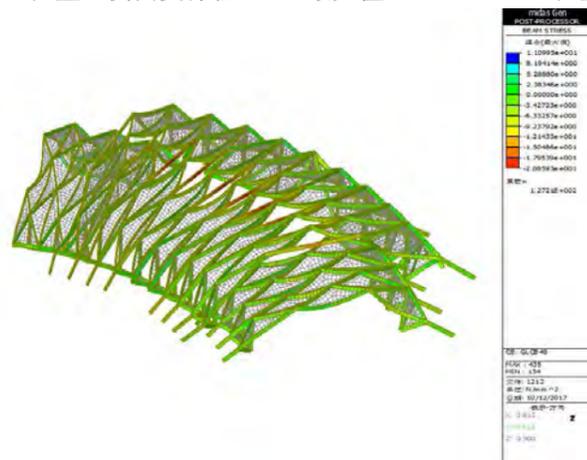


图 2.4.15 木构件应力图

(最大值: 20.86MPa , 位置: 主梁跨中)

0.8D+1.4Wx

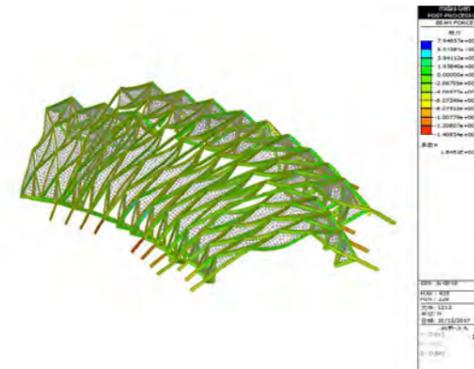


图 2.4.19 轴力图

(最大值: $1.41 \times 10^3 \text{kN}$, 位置: 侧向支撑柱)



图 2.4.20 弯矩图

(最大值: $372.6 \text{kN}\cdot\text{m}$, 位置: 主梁跨中)

1. 2D+0.98L+1.4Wy

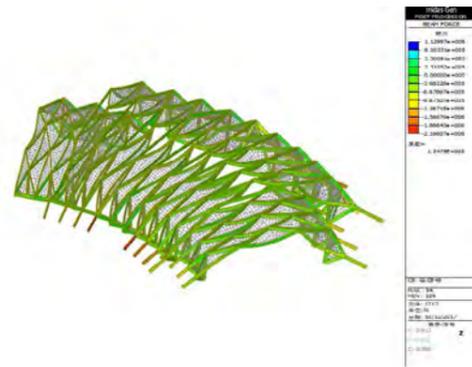


图 2.4.16 轴力图

(最大值: $2.17 \times 10^3 \text{kN}$, 位置: 侧向支撑柱)



图 2.4.17 弯矩图

(最大值: $649.2 \text{kN}\cdot\text{m}$, 位置: 主梁跨中)

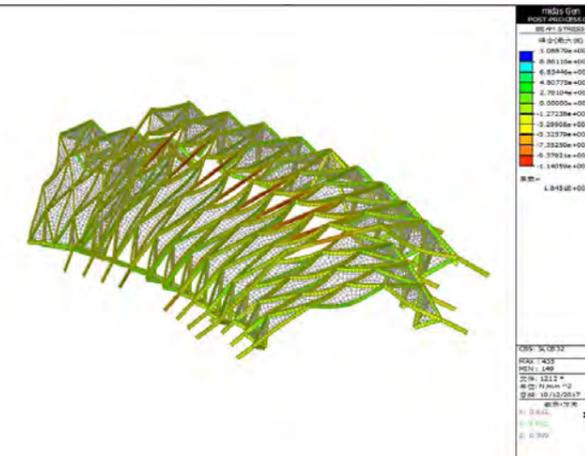


图 2.4.21 木构件应力图

(最大值: 11.41MPa , 位置: 主梁跨中)

0.8D+1.4Wy

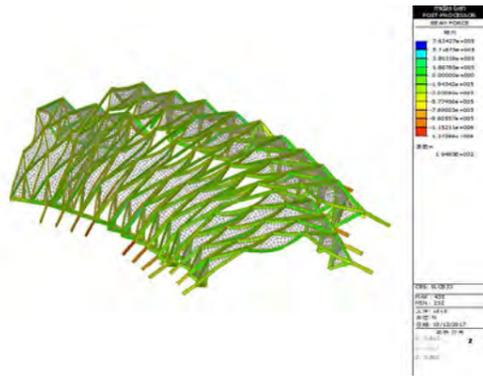


图 2.4.22 轴力图

(最大值: $1.34 \times 10^3 \text{kN}$, 位置: 侧向支撑柱)

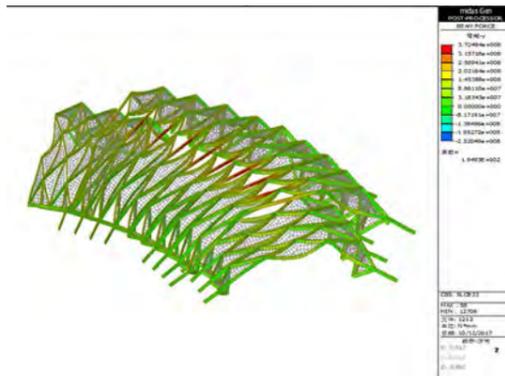


图 2.4.23 弯矩图

(最大值: $372.5 \text{kN}\cdot\text{m}$, 位置: 主梁跨中)

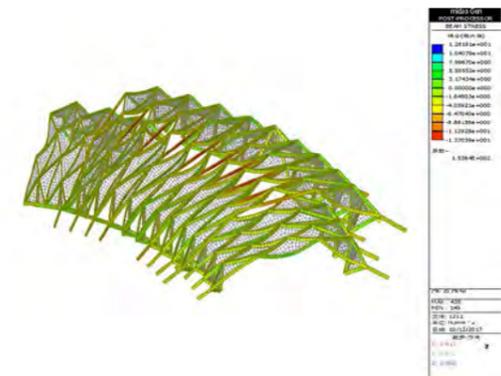


图 2.4.27 木构件应力图

(最大值: 13.70MPa , 位置: 主梁跨中)

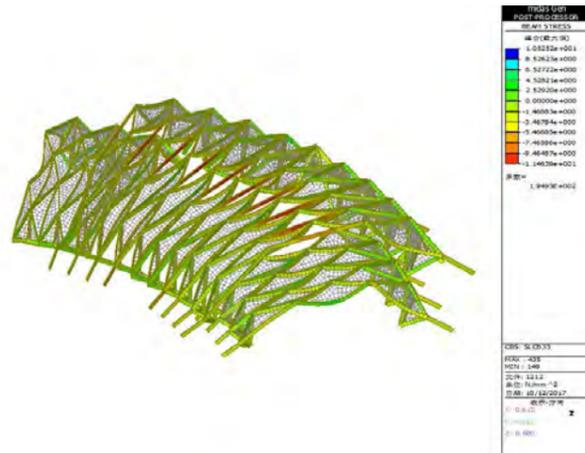


图 2.4.24 木构件应力图

(最大值: 11.46MPa , 位置: 主梁跨中)

01.2D+0.6L+ 1.3Ey

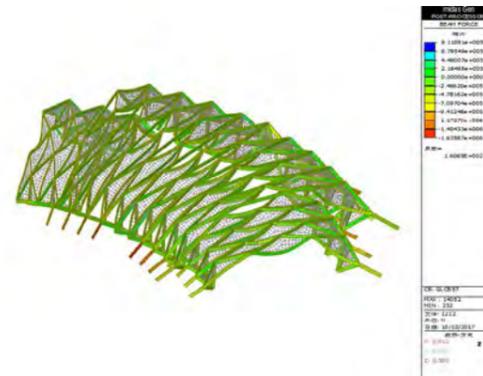


图 2.4.25 轴力图

(最大值: $1.64 \times 10^3 \text{kN}$, 位置: 侧向支撑柱)

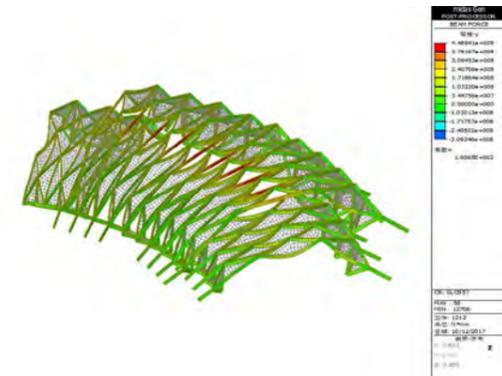


图 2.4.26 弯矩图

(最大值: $446.9 \text{kN}\cdot\text{m}$, 位置: 主梁跨中)

1.2D+0.6L+ 1.3Ex

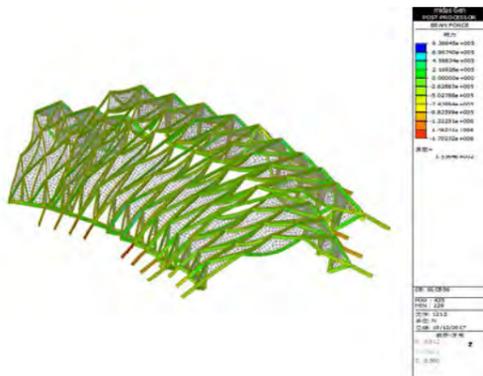


图 2.4.25 轴力图

(最大值: $1.70 \times 10^3 \text{kN}$, 位置: 侧向支撑柱)

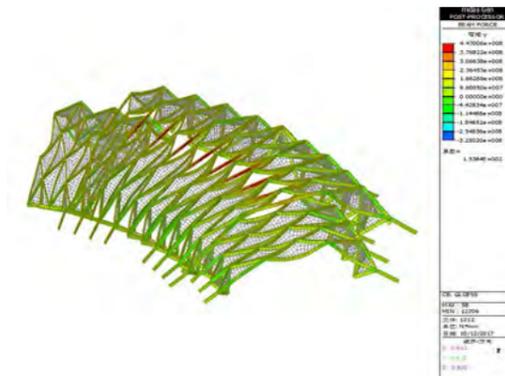


图 2.4.26 弯矩图

(最大值: $447.0 \text{kN}\cdot\text{m}$, 位置: 主梁跨中)

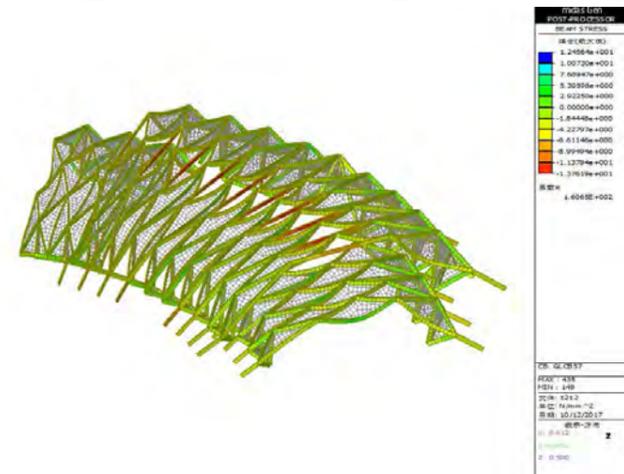


图 2.4.27 木构件应力图

(最大值: 13.76MPa , 位置: 主梁跨中)

计算结果表明：

(1) 对结构在各个不利荷载工况的结构应力进行计算，主梁跨中截面最大应力为 20.88MPa（节点），选用胶合木材料容许应力值为 24MPa，应力比为 0.87，满足设计要求。

(2) 侧向支撑柱内力最大为 2.32×10^3 kN，最大截面应力为 10.74MPa 远小于材料容许应力值。

2.5 正常使用极限状态结构位移、变形

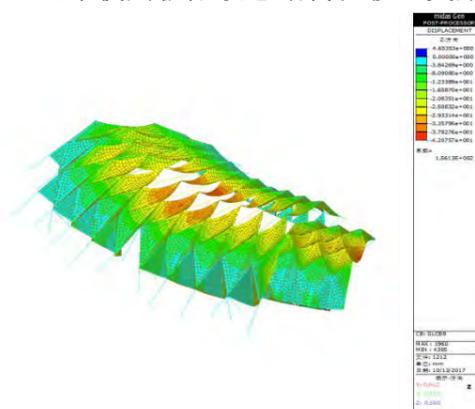


图 2.5.1 D+L 竖向挠度图
跨中最大值 42.1mm

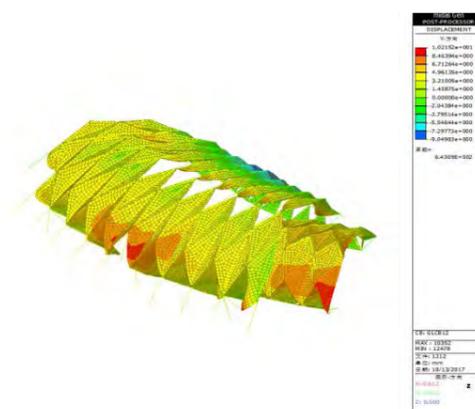


图 2.5.2 D+Wy Y 方向侧移图
可移动结构外框排架最大值 10.22mm

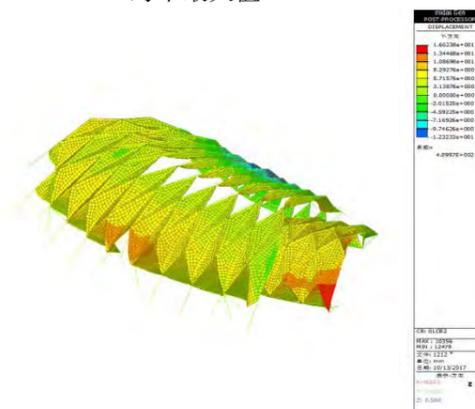


图 2.5.3 D+L+0.6Wy Y 方向侧移图
可移动结构外框排架最大值：16.02mm

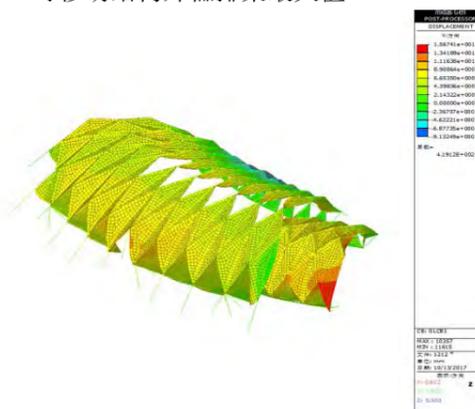


图 2.5.4 D+0.5L+Ey Y 方向侧移图
可移动结构外框排架最大值：15.67mm

对正常使用状态时，主梁结构竖向挠度及水平向侧移进行计算见 2.5.1-2.5.4。主梁结构平动侧移较小，竖向最大挠度 $42.1\text{mm} < L/300 = 216\text{mm}$ ($L=65\text{m}$)，参考《胶合木结构技术规范》(GB/T50708-2012) 中 4.2.5 条规定。

2.6 动力特性分析

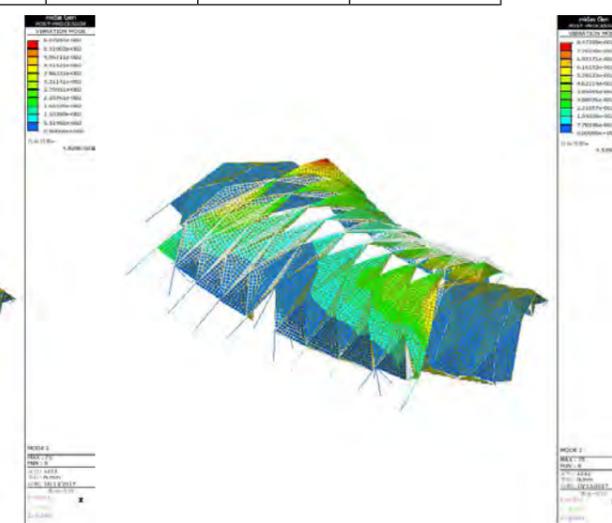
采用特征值分析方法对结构的动力特性进行有限元分析，对屋面体系的整体刚度进行控制。前十阶振型对应的周期及频率见表 2.6。

表 2.6 结构前十阶周期及频率

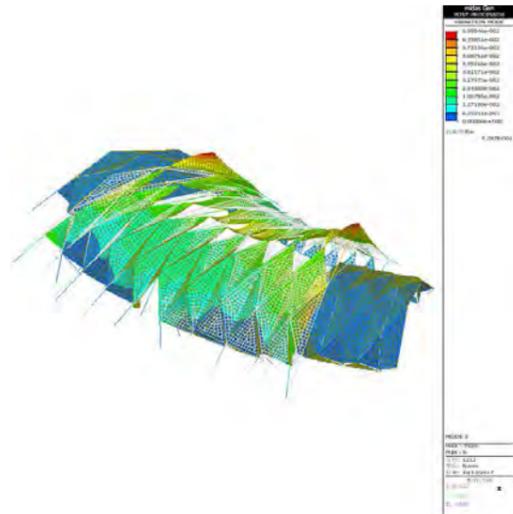
振型	周期 (s)	频率 (Hz)	振型方向因子		
			TRAN - X (value)	TRAN - Y (value)	ROT N - Z (value)
1	0.4820	2.0748	0.1477	86.4608	0.1833
2	0.4535	2.2050	66.2825	1.0472	32.3264
3	0.4287	2.3327	2.0503	46.9756	91.0772
4	0.4253	2.3512	8.2833	28.2066	44.2747
5	0.3953	2.5296	6.6815	31.8733	50.7921
6	0.3897	2.5659	85.0213	0.0102	13.4222
7	0.3416	2.9278	0.0001	3.0696	0.0952
8	0.3241	3.0852	79.5732	0.0540	10.8668
9	0.3234	3.0922	50.2806	18.8051	6.4968
10	0.3167	3.1575	7.6837	0.3507	1.4102



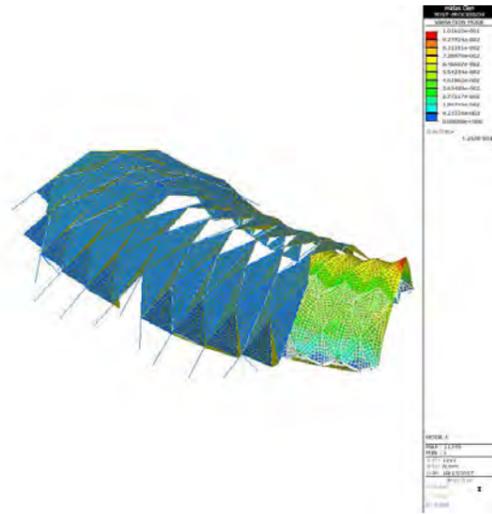
第一振型 (X 方向平动)



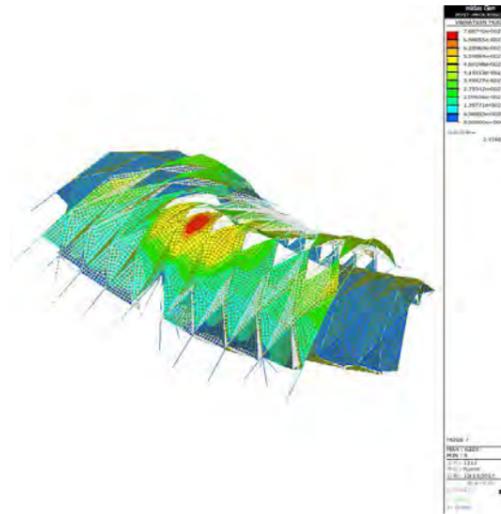
第二振型 (Y 方向平动)



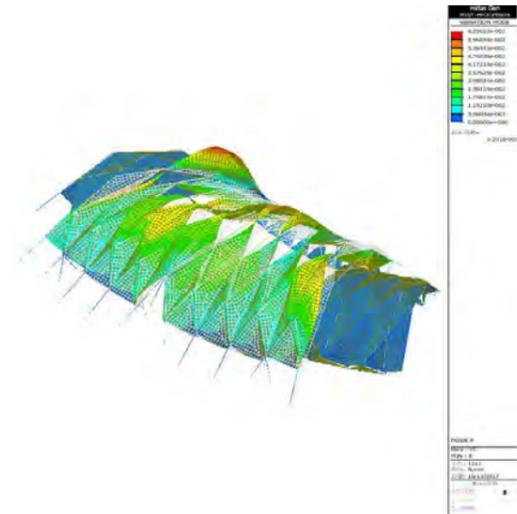
第三振型（扭转）



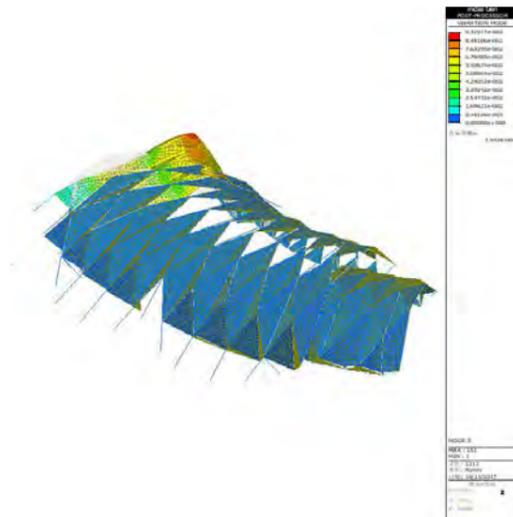
第四振型



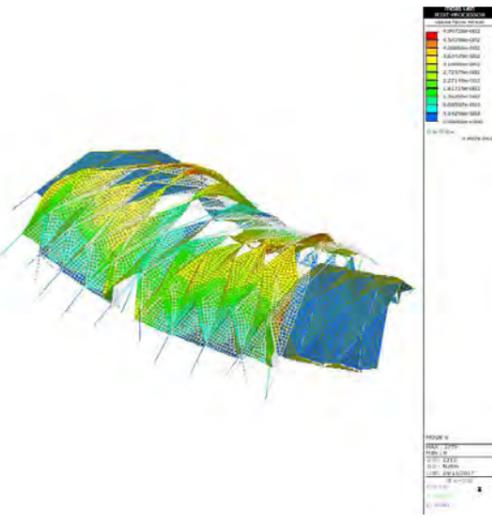
第七振型



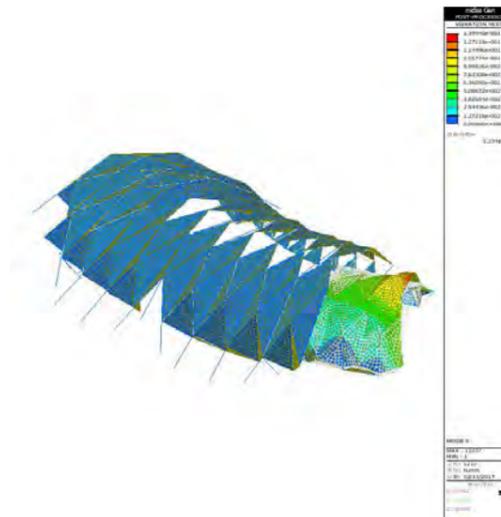
第八振型



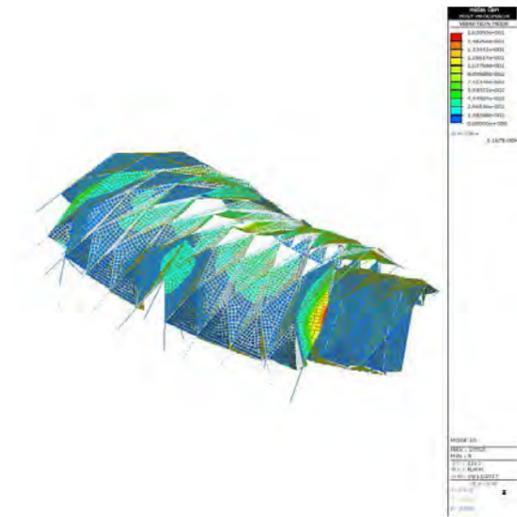
第五振型



第六振型



第九振型



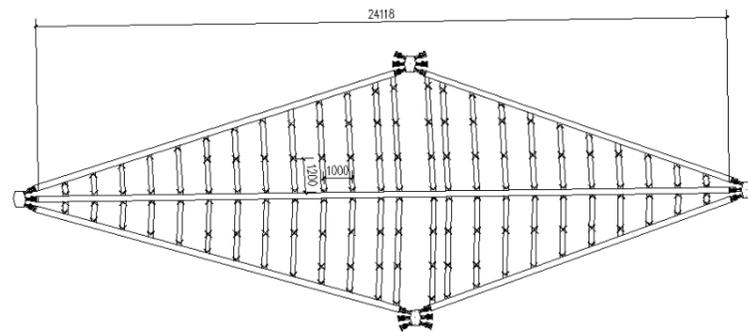
第十振型

结构动力分析发现：

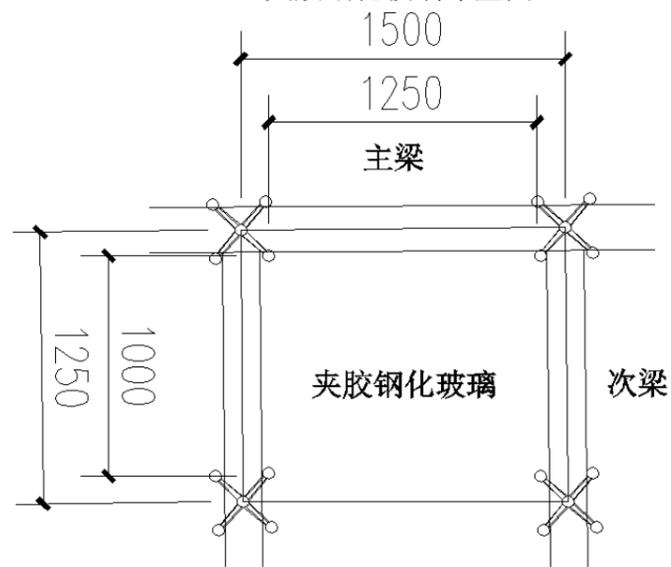
结构整体前两阶振型为平动，周期相近，平面基本规则。扭转周期与一阶平动周期比值为 0.88，结构具有良好的扭转刚度。

2.7 屋面钢化玻璃验算

该项目工程采用钢化夹胶玻璃，上下两层玻璃厚度为 6mm，中间夹胶层厚度 0.76mm。玻璃采用四点支承的方式支撑在次梁之间，其最大跨度为 1000mm×1250mm。



2.7.1 夹胶钢化玻璃布置图



2.7.2 夹胶钢化玻璃详图

按《建筑玻璃应用技术规程》（JGJ 113-2015）规定：

四点支承地板玻璃的单片玻璃最大应力可用有限元方法计算，也可按下式计算

$$\sigma_i = \frac{6mq_i b^2}{t_i^2}$$

其中： $t_i \sigma_i$ ——第 i 片玻璃的最大应力， N/mm^2

q_i ——作用于第 i 片地板玻璃的荷载基本组合设计值， N/mm^2

b ——支撑点间玻璃面板长边边长， mm

t_i ——玻璃的厚度， mm

m ——弯矩系数，可根据支撑点间玻璃板短边与长边的长度之比按照表 9.3.1

取值

在垂直于玻璃平面的荷载作用下，单片玻璃跨中挠度可用有限元方法计算，也可采用下列公式：

$$d_f = \frac{\mu q^4}{D}$$

$$D = \frac{E^3}{2(1-\nu^2)}$$

其中： d_f ——在垂直于该片地板玻璃的荷载标准值作用下的挠度最大值， mm

q ——垂直于该片地板玻璃的荷载基本组合设计值， N/mm^2

b ——支撑点间玻璃面板长边边长， mm

μ ——挠度系数，根据玻璃板短边与长边的长度之比按照表 9.3.3 取值

D ——玻璃刚度， $N*mm$

E ——玻璃的弹性模量

ν ——泊松比

长期荷载作用下，平板玻璃、半钢化玻璃和钢化玻璃强度设计值可按表 4.1.10

取值

表 4.1.10 长期荷载作用下玻璃强度设计值 f_g (N/mm²)

种类	厚度 (mm)	中部强度	边缘强度	端面强度
平板玻璃	4~12	9	7	6
	15~19	7	6	5
	≥20	6	5	4
半钢化玻璃	4~12	28	22	20
	15~19	24	19	17
	≥20	20	16	14
钢化玻璃	4~12	42	34	30
	15~19	36	29	26
	≥20	30	24	21

对于建筑玻璃正常使用极限状态的设计，目前世界各国大多采用最大挠度限值为跨度的 1/60，本规程也采用这一限值。

$$t_1 = 6\text{mm}, t_2 = 6\text{mm}, t_v = 0.76\text{mm}$$

$$t_s = 0.5(t_1 + t_2) + t_v = 0.5(6 + 6) + 0.76 = 6.76\text{mm}$$

$$t_{s1} = \frac{t_s t_1}{t_1 + t_2} = \frac{6.76 * 6}{6 + 6} = 3.38\text{mm}$$

$$t_{s2} = \frac{t_s t_2}{t_1 + t_2} = \frac{6.76 * 6}{6 + 6} = 3.38\text{mm}$$

$$I_s = t_1 t_{s2}^2 + t_2 t_{s1}^2 = 6 * 3.38^2 + 6 * 3.38^2 = 137.09\text{mm}^3$$

剪力传递系数

$$\Gamma = \frac{1}{1 + 9.6 \frac{EI_s t_v}{G t_s^2 b^2}} = \frac{1}{1 + 9.6 * \frac{7.2 * 10^4 * 137.09 * 0.76}{0.29 * 6.76^2 * 1420^2}} = 0.27$$

挠度计算等效厚度

$$t_{ef} = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3 + 12\Gamma I_s} = \sqrt[3]{6^3 + 6^3 + 12 * 0.27 * 137.09} = 9.57$$

强度计算等效厚度

$$t_{1ef} = \sqrt{\frac{t_{ef}^3}{t_1 + 2\Gamma h_{s2}}} = \sqrt{\frac{9.57^3}{6 + 2 * 0.27 * 3.38}} = 10.58$$

$$t_{2ef} = \sqrt{\frac{t_{ef}^3}{t_2 + 2\Gamma h_{s1}}} = \sqrt{\frac{9.57^3}{6 + 2 * 0.27 * 3.38}} = 10.58$$

查表可得

$$m = 0.134$$

荷载计算

$$\sigma = \frac{6mq_i b^2}{t_i^2} = \frac{6 * 0.134 * 1.13 * 10^{-3} * 1250^2}{10.58^2} = 12.68\text{MPa} \leq 42\text{MPa}$$

挠度计算

查表可知

$$\mu = 0.015$$

$$D = \frac{Et_i^3}{12(1-\nu^2)} = \frac{7.2 * 10^4 * 9.57^3}{12(1-0.2^2)} = 5.48 * 10^6$$

$$d_f = \frac{\mu q b^4}{D} = \frac{0.015 * 1.13 * 10^{-3} * 1250^4}{5.48 * 10^6} = 7.55\text{mm} \leq \frac{1 * 1250}{60} = 20.83\text{mm}$$

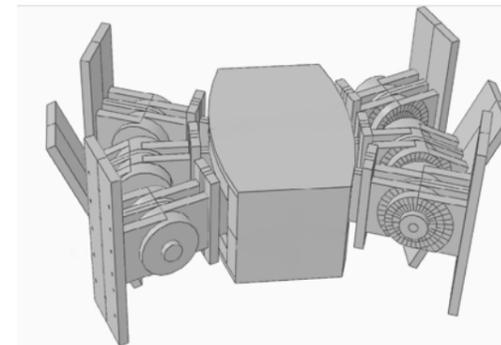
计算结果表明：

采用 6mm+0.76mm+6mm 的夹胶钢化玻璃，强度以及挠度均能满足设计要求。

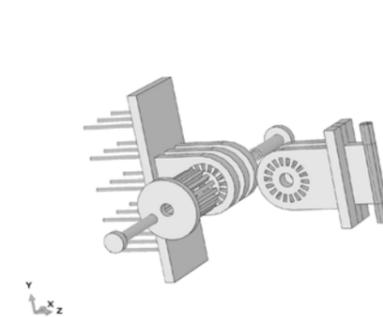
2.8 关键节点强度验算

为适应多根梁多角度的连接，本工程采用统一的装配式节点，节点装配图如图 2.7.1-2 所示。

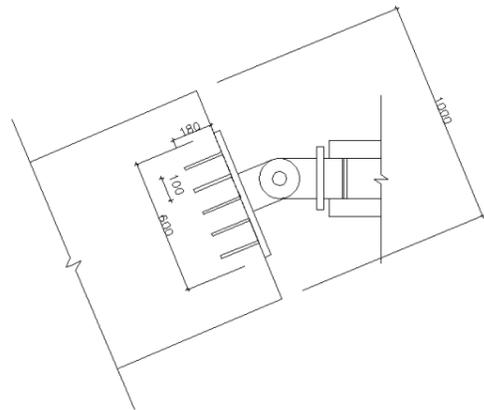
采用植筋的方式将金属连接键和梁连接起来。将带肋钢筋用酚醛间苯二酚和环氧树脂胶结剂植入木材上预钻的孔中，以通过钢筋传递构件间的拉力和剪力。采用直径 12mm 的带肋钢筋进行植筋，为避免植筋拔出破坏，植筋深度按 15D 取值，植筋边距 40mm，端距 100mm，间距 100mm，满足植筋构造要求。植筋按 5 排 3 列排布，详细布置图见 2.7.3-4。



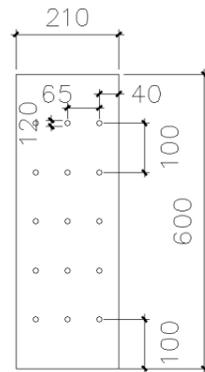
2.8.1 节点大样



2.8.2 节点装配图

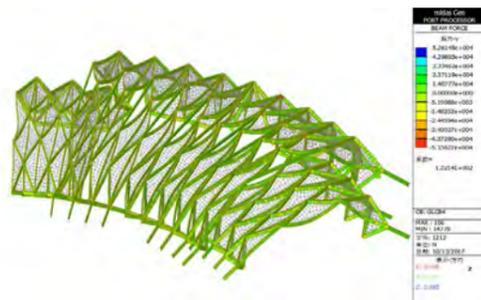


2.8.3 节点植筋图 a

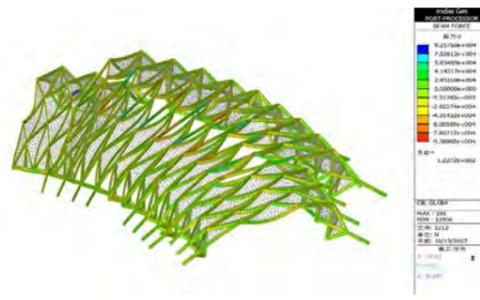


2.8.4 节点植筋图 b

采用 Midas Gen 对结构分析结果表明，主梁端节点轴力 $1.9 \times 10^5 \text{N}$ ，Y、Z 方向剪力的最大值均集中在主梁的节点处，Y 方面剪力最大值为 $5.34 \times 10^4 \text{N}$ ，Z 方向剪力最大值为 $9.39 \times 10^4 \text{N}$ 。结构剪力分布详见 2.7.5-6。



2.7.5 Y 方向剪力



2.7.6 Z 方向剪力

植筋试验证实，植筋的抗拉压承载力基本相同。植筋轴向抗拉压承载力按下式计算：

$$R_{axk} = f_{ws} \rho_k d \sqrt{l_g}$$

式中： f_{ws} ——为植筋较浅时的强度参数，对于上述两类胶分别取 0.37 和 0.46；

ρ_k ——为木材气干密度标准值 (kg / m^3)；

d ——为钢筋直径；

l_g ——为钢筋的植筋深度。

因此， $R_{axk} = 15 \times 0.37 \times 560 \times 12 \times \sqrt{180} = 6.22 \times 10^5 \text{N}$ 。

通过计算可知，该节点轴向抗拉压承载力 R_{axk} 为 $6.22 \times 10^5 \text{N} > 1.9 \times 10^5 \text{N}$ ，满足抗压拔承载力要求。

对于平行于木纹的植筋，在侧向荷载（剪力）作用下，每根钢筋的侧向承载力标准值：

$$V_k = \left[\sqrt{e^2 + \frac{2 M_{yk}}{d f_h}} - e \right] d f_h$$

式中： e ——为侧向力距木构件表面的距离；

M_y ——钢筋的屈服弯矩标准值；

f_h ——为强度参数，可取为 $f_h = (0.0023 + 0.75d1.5) \rho_k$ ；

ρ_k ——为气干密度标准值。

因此，

$$V_k = 15 \times \sqrt{\frac{2 \times 56802.6}{12 \times 17460.4}} \times 12 \times 17460.4 = 2.31 \times 10^6 \text{N}$$

通过计算可知，该节点轴向抗剪承载力 V_k 为 $2.31 \times 10^6 \text{N} > 1.08 \times 10^5 \text{N}$ ，满足抗剪承载力要求。

2.9 结构防火设计

根据《建筑设计防火规范》和《木结构设计规范》，并考虑本工程的特殊情况。取胶合木构件耐火极限为 1 小时，防火设计时不考虑防火漆耐火极限，只考虑木构件自身的耐火极限。

(1) 有效炭化率和炭化层厚计算

胶合木构件燃烧 t 小时后，有效炭化速度应根据下式计算：

$$\beta e = \frac{1.2 \beta n}{t^{0.187}}$$

$\beta e \beta e$ ——根据耐火极限 t 的要求确定的有效炭化速度

$\beta n \beta n$ ——木材燃烧 1h 的名义线炭化速率

t ——耐火极限

通过计算或查《胶合木结构技术规程》GB/T50708-2012 表 7.1.4 可知 1h 耐火极限的有效炭化层厚度 $T=46\text{mm}$ ， $\beta e \beta e = 45.7\text{mm/h}$ 。

《胶合木结构技术规程》规定矩形截面在三面曝火和四面曝火情况下，构件燃烧后的几何特征。其截面计算简图如图所示，

主梁 (ZL1) 燃烧后的截面尺寸 $b_0 = b - 2\beta_e t = 118.6m$, $h_0 = h - 2\beta_e t = 1108.6m$ 。

主梁 (ZL2) 燃烧后的截面尺寸 $b_0 = b - 2\beta_e t = 118.6m$, $h_0 = h - 2\beta_e t = 908.6m$ 其中: b , h 分别为燃烧前构件截面宽度和高度

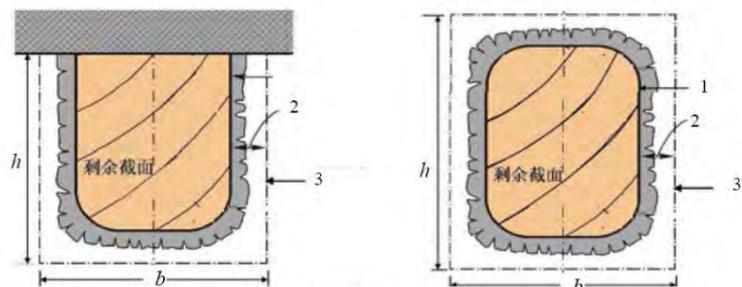


图 7.1.6 三面曝火和四面曝火构件截面简图

1——构件燃烧后剩余截面边缘; 2——有效炭化厚度 T; 3——构件燃烧前截面边缘

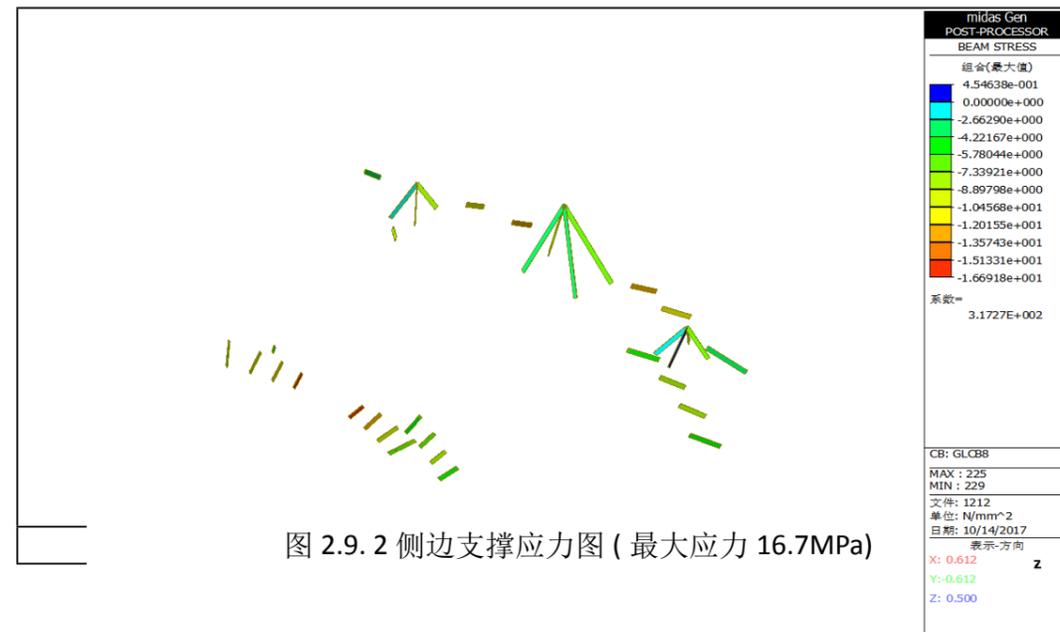


图 2.9.2 侧边支撑应力图 (最大应力 16.7MPa)

(2) 材料强度调整

根据《胶合木结构技术规程》GB/T50708-2012 第 7.1.5 条对胶合木构件的各强度值进行调整。

调整后的材料强度值见表 4.1

表 4.1 防火设计胶合木材料强度调整值 (MPa)

强度等级	抗弯 f_m	抗压 f_c	抗拉 f_t	抗剪 f_v	弹性模量 E
TC ₇ 24	32.64	29.92	23.12	2.99	12920

对截面削弱后的胶合木构件进行验算, 偶然组合作用 (D+L+W), 对主要构件应力进行计算。

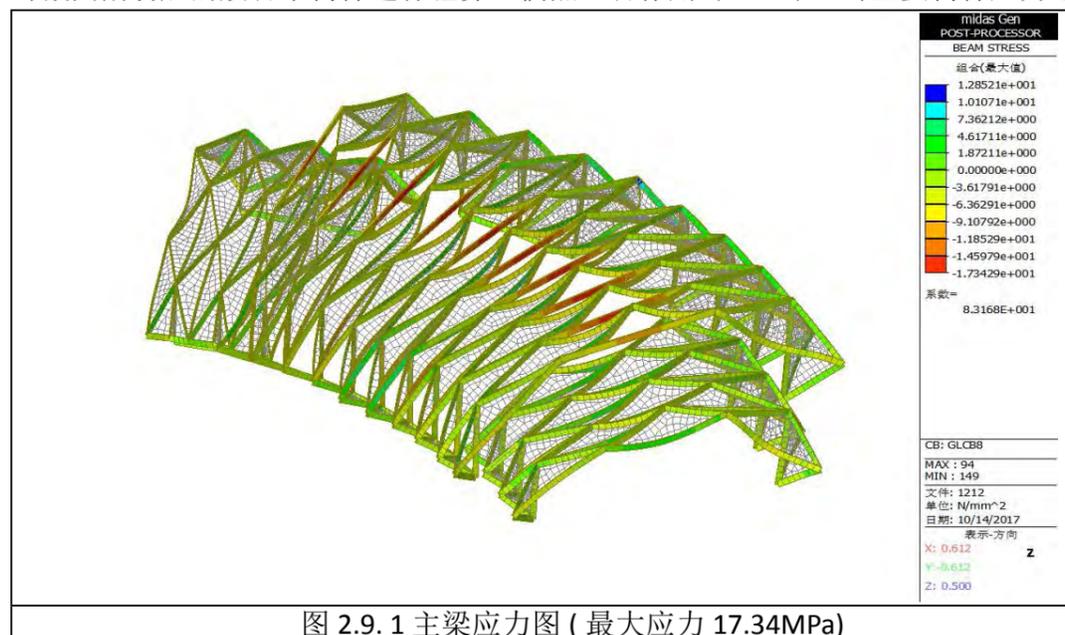


图 2.9.1 主梁应力图 (最大应力 17.34MPa)



图 2.9.3 与轨道相接的梁 (最大应力 26.5MPa)

经验算, 防火设计削弱后截面应力值满足设计要求。

结构设计总说明

一、工程概况

本项目是南京市木结构游泳馆,整个建筑采用折板结构建成,游泳馆内设正式比赛池一个,大小为25X50米,戏水池一个;500人座位的看台及相应的主席台、运动员、裁判员、教练、观众及贵宾、办公管理等人员的服务设施,同时必须考虑平、赛结合使用的相关设施,以及现代多媒体显示系统,游泳池水恒温系统,空调恒温系统及配电房等。建筑设计使用年限为50年。建筑结构安全等级为二级,抗震设防烈度为7度,为抗震设防区,新地土的类型为软弱土,设计基本地震加速度值为0.05g,设计地震分组为第一组,建筑场地类别为IV类。

二、主要设计依据

- (1) 《木结构设计规范》(GB50005-2003);
- (2) 《胶合木结构技术规范》(GB/T50708-2012);
- (3) 《木结构工程施工质量验收规范》(GB50206-2012);
- (4) 《木结构试验方法标准》(GB/T50329-2012);
- (5) 《低合金高强度结构钢》(GB/T1591-2008);
- (6) 《钢结构设计规范》(GB50017-2003);
- (7) 《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010);
- (8) 《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012);
- (9) 《建筑工程抗震设防标准》(GB50223-2008);
- (10) 《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068-2001);
- (11) 《六角头螺栓》(GB/T5782-2000);
- (12) 《建筑设计防火规范》(GB50016-2014);
- (13) 其他有关参考标准、规范、手册等。

三、技术指标

- 1、功能定位:室内游泳馆;木结构设计使用年限为50年;
- 2、地震:场地设防烈度7度,为抗震设防区;
- 3、建筑结构安全等级:一级;工程重要性系数1.1;
- 4、场地类别:IV类;
- 5、荷载取值:

(1) 恒载 D

根据屋面建筑做法,计算取值为0.85kN/m²

(2) 活载 L

按照不上人屋面荷载,取值为0.7 kN/ m²

(3) 雪载 S

6、设计软件版本: Midas gen V8.0

该建筑所处江苏南京市,按《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2012),取100年一遇基本雪压为0.65N/ m²?

计算时考虑雪荷载不利布置,同时考虑屋面面积系数。

(4) 风荷载W

该建筑所处江苏南京市,按《建筑结构荷载规范》(GB5009-2012),取100年一遇基本风压为0.40kN/ m²?

四、主要结构材料及力学性能

1.木材材料性能:

(1) TCT24胶合木力学性能如下:

弹性模量	E=9500N/mm ²	抗弯强度	F _m =24N/mm ²
顺纹抗压强度	F _t =17N/mm ²	顺纹抗压强度	F _c =22N/mm ²
顺纹抗剪强度	F _v =2.2N/mm ²	横纹抗压强度	F _{c,90°} =3.0N/mm ²

2. 钢材:

(1) 本工程所用主要钢构件采用Q345D、Q235B。

(2) 木结构抽芯采用M12,8.8级螺栓;

(3) 木螺钉、螺栓采用普通8.8级(热镀锌处理);圆钢锚采用304不锈钢;钢板采用镀锌KTH350-10玛钢;

螺栓直径小于24mm和螺栓公称长度L小于150采用A级,其他采用B级;

(4) 胶合木主拱柱脚以及主拱(BL)连接钢板采用Q345D(热镀锌处理),PART1-3镀锌采用符合ZB20-62标准规定的45号优质炭素钢,锻造后须作正火处理,HB~200。

(5) Q235B钢,符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700; Q345B钢,符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591。

六、钢连接板制作要求

1. 图中所标注的尺寸均为体系温度(20℃)时的尺寸,工厂下料时均要考虑温差,工地施工用尺应在施工前与工厂用尺互相校对;
2. 工厂制造时,每节段各组成板件的接料应避免出现十字形焊缝,相邻的两条T形焊缝的间距不少于200mm;
3. 各种板件的对接焊,必须坡口喷透,焊缝的外观质量按照相应对接焊缝的相关标准控制,内部质量经超声波和射线探伤检验合格;
4. 连接板焊后应除渣;
5. 焊接坡口形式的选用应符合《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》(GB 985)和《埋弧焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》(GB 986)中的要求,在正式加工前应按照有关规定的要求进行工艺试验评定;
6. 连接板焊缝及表面处理的变形不能影响装配;
7. 焊接方法及材料:HPB235级钢筋、Q235B钢材采用E43XX型焊条,HRB335级钢筋、HRB400级钢筋、Q345B钢材

采用E50XX型焊条。

8. 柱脚连接件为I级,内部质量需经超声波和射线探伤检验合格外,其余角焊缝质量等级均按照II级控制。

焊接质量检查分别按《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81、《钢结构焊接及验收规程》JGJ 18要求。

9. 涂装要求:凡外露构(理)件,采用手工及动力工具除锈方法,除锈等级为ST2,采用两道底漆。

两道面漆做法,漆膜总厚度≥120μm,并注意经常维护。

10. 其它有关制造要求,除设计中特殊要求者外均按《钢结构设计规范》(GB 50017-2003)和

《木结构设计规范》(GB 50005-2003)执行。

六、材料防护要求:

- 1.所有的钢构件及螺栓均在工厂内完成热镀锌表面处理,锌层厚度满足275g/m²,表面厚度不小于70微米。
- 2.木结构防火采用结果防火设计,需要满足《建筑设计防火规范》(GBJ50016)耐火极限1h的要求。
- 3.所有木结构为清漆露木纹,整体颜色为中轴线工程木为基准,不同的木材面应相应的变色处理,保证表面的颜色差异,达到清漆面层整体效果;
- 4、木结构中的下列部位应采取防潮和通风措施:
 - 4.1 在桁架和大梁的支座下应设置防潮层;
 - 4.2 大梁的支座节点或其他承重木构件不得封闭在墙、保温层或通风不良的环境中;
 - 4.3 处于房屋隐蔽部分木结构,应设通风孔洞;
 - 4.4 露天结构在构造上应避免任何部分有积水的可能,并应在构件之间留有空隙(连接部位除外);
 - 4.5 当室内外温差很大时,房屋的围护结构(包括保温吊顶),应采取有效的保温和排气措施。
- 5.木材耐久性措施:

(1).防腐、防虫,耐候构件易积水处如节点板处或孔槽等处部位,进行涂装前在胶合木表面或孔槽处须进行专门的防水涂饰;

(2).胶合木构件使用的层板必须采取防虫处理;

(3).构件出厂前表面须采用专门的耐候防水涂饰,必要时采取其他构造措施防止构件积水;

(4).胶合木构件端部和孔槽及切口处应采取相关措施,防止木材开裂;

(5).下列情况,除从结构上采取通风防潮措施外,尚应进行药剂处理:白蚁容易繁殖的潮湿环境中使用的木构件;承重结构中使用马尾松、云南松、湿地松、榉木以及新利用树种中易腐朽或遭虫害的木材;周边环境存在弱酸性或弱碱性物质,结构出现局部化学腐蚀。

(6).以防腐、防虫药剂处理木构件时,应按设计指定的药剂成分、配方及处理方法采用,受条件限制而需改变药剂或处理方法时,

应征得设计单位同意。在任何情况下,均不得使用未经鉴定合格的药剂。

(7).木构件(包括胶合木构件)的机械加工应在药剂处理前进行,木构件经防虫处理后,应避免重新切割或钻孔,由于技术上的原因,

确有必要作局部修整时,必须对木材暴露的表面,涂刷足够的同品牌药剂。

(8).木结构的防虫采用药剂加压处理时,该药剂在木材中的保持量和透入度应达到设计文件规定的要求,设计未明确规定时,

则应符合现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》(GB 50206)规定的最低要求。

七、木结构制作、安装要求

1. 胶合木构件(GLULAM)全部机械设备刨光、开榫、粘接、切割、叠层胶合,除最终表面修饰外不允许人工刨光、开榫、粘接的工艺做法;
2. 弯曲的木构件必须在设备上依图纸在胶合固化前的弯曲定位,不允许胶粘剂固化后的强制弯曲;应与结构的用途和使用年限相适应,并应符合环境保护的要求;
3. 木结构所选用木材要求烘干脱脂处理,胶合木构件制作时,层板在胶合前含水率不应大于15%,且相邻层板间含水率相差不应大于5%;
4. 胶合木构件采用同等组坯工艺,并且构件截面一次加压成型,不允许二次加压,截面宽度大于200mm时,构件表面应做封蜡处理;
5. 木构件在未安装前必须防雨淋湿;
6. 承重结构用胶,应保证其胶合强度不低于木材顺纹抗剪和横纹抗拉的强度。胶连接的耐久性和耐久性;
7. 构件应存放在通风良好的仓库或棚内,应分层分隔堆放,各层垫条厚度应相等,上、下各层垫条应在同一垂线上,防止构件变形和翘曲;
8. 现场编号,按图纸位置安装,严禁错号安装。

八、施工注意事项

1. 由于节段重量大、尺寸大,在运输及吊装就位过程中,应特别过保护,避免木结构构件被磕伤或防腐涂层被刮落;
2. 构件运输和施工安装过程中坚持“轻拿轻放”的原则,严禁野蛮施工,对受损的构件,未经设计同意严禁安装就位;
3. 施工过程中应特别注意木柱的临时支撑措施,待屋面建筑安装完毕后拆除支撑,施工单位临时支撑设计需要经设计部门确认后方的施工;
4. 屋面木结构主拱建议在屋面拼装后,再进行整体吊装,也可采用满堂架设脚手架,主拱分段拼装。
5. 屋盖下部如电梯间框架柱、玻璃幕墙等结构件不得与木屋盖结构涉及到的设计构件刚性连接,以免发生相对变形而破坏。

玻璃幕墙的连接需要经过计算,计算过程及构造须经设计单位认可。

6. 屋盖顶板与檩条、檩条连接应按计算结果,采取可靠连接(连接的计算书及构造须经设计单位认可后方可施工)。

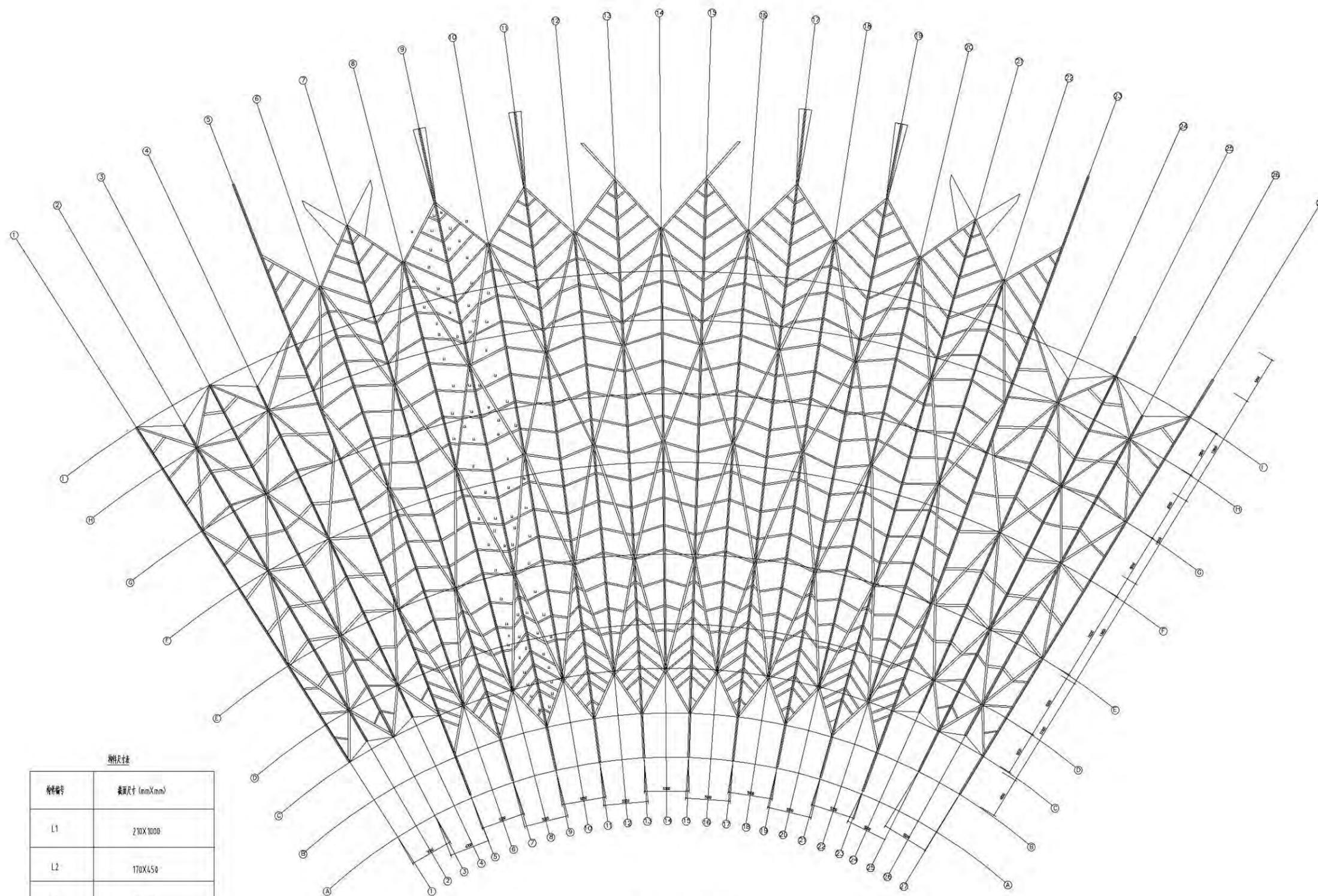
防止风力作用下掀起。

九、维修养护

1.结构在使用工程中,每年对结构进行检查,检查维护中确保柱脚及其他容易积水的位置无积水现象,一旦发现霉变、腐蚀现象,应及时处理并在设计单位指导下进行维护。

2.每2年维护一次,对所有的胶合木构件涂刷专用木饰油,木材表面2-3遍,达到优良防水和耐候效果,

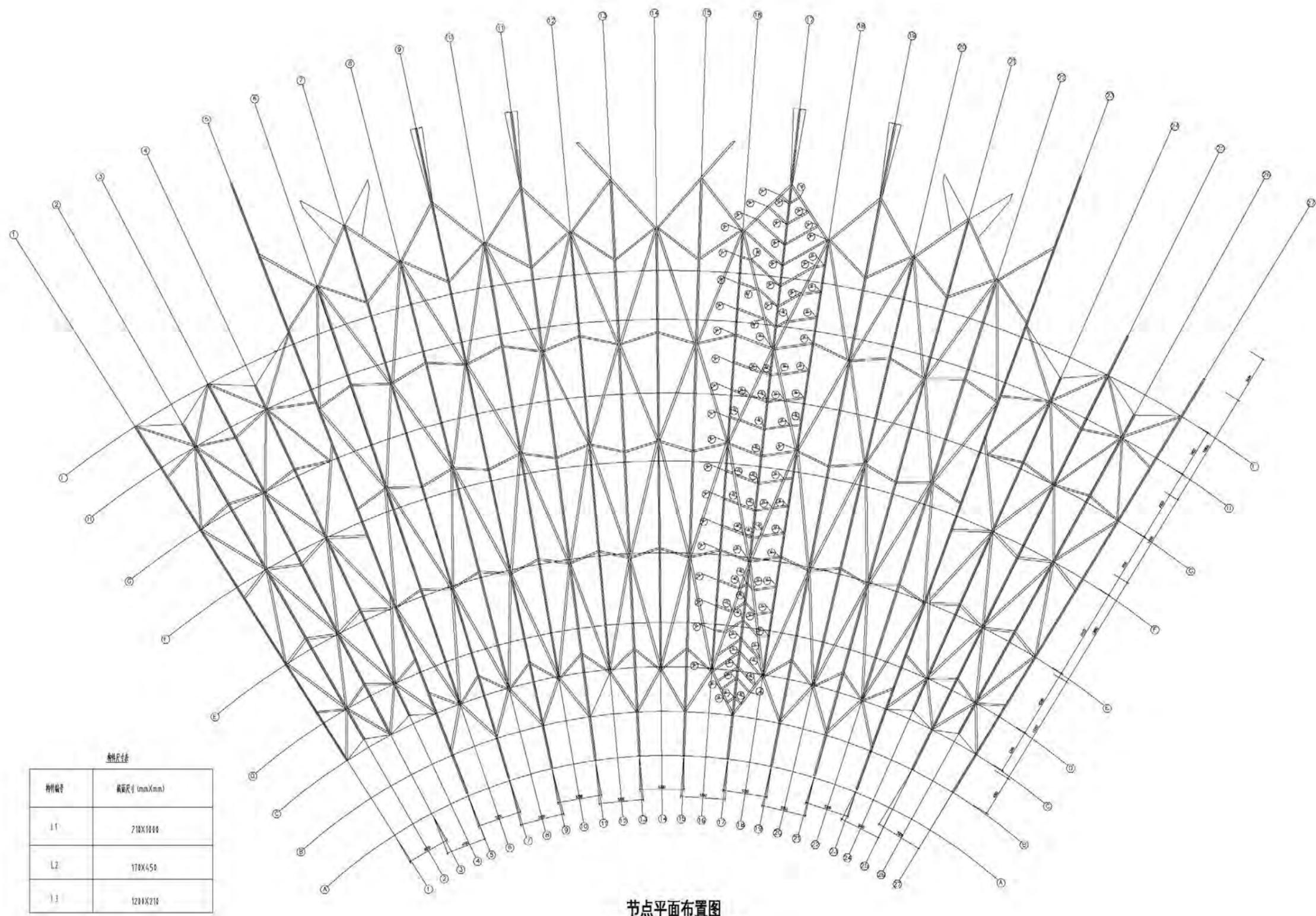
保证使用年限内的木材的耐久性要求。



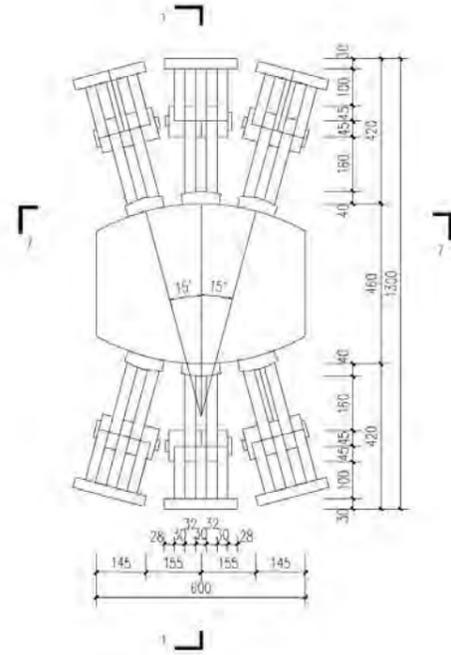
材料尺寸表

构件编号	截面尺寸 (mmXmm)
L1	210X1000
L2	170X650
L3	1200X210

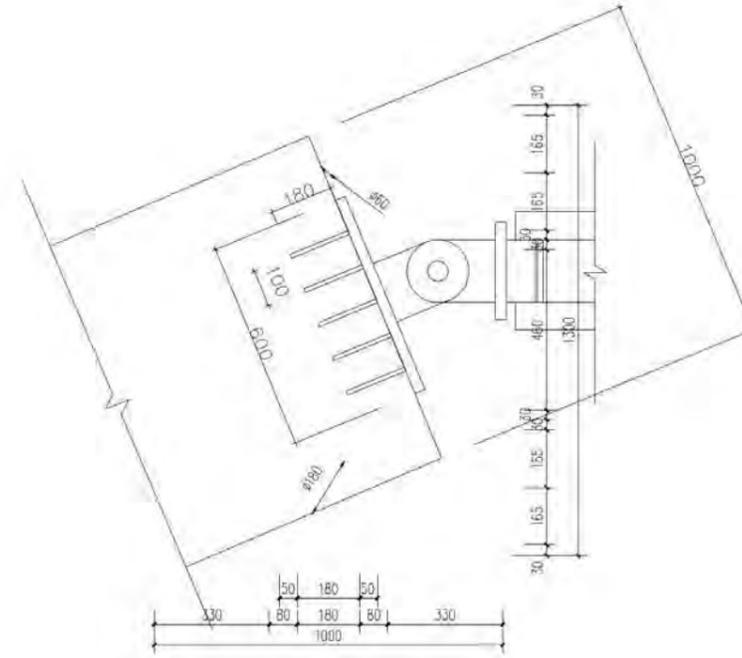
屋盖平面布置图



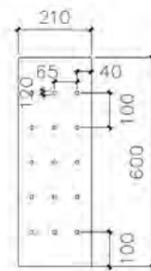
节点平面布置图



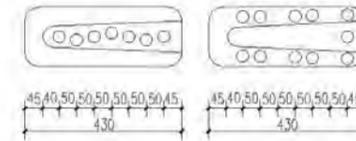
S1节点详图 1:10



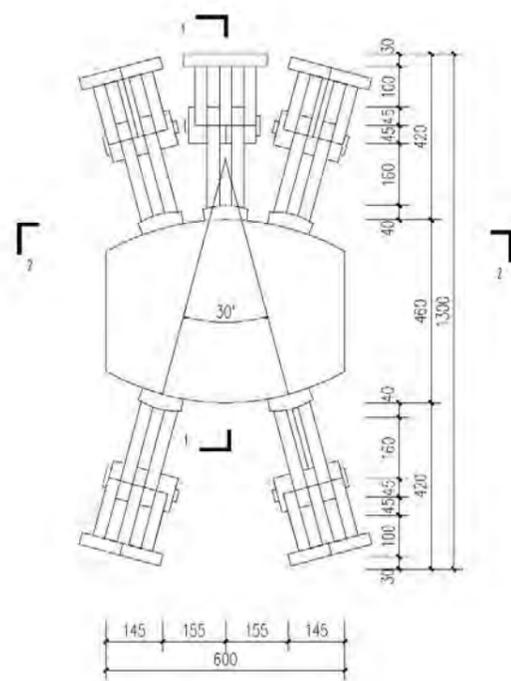
1-1 1:10



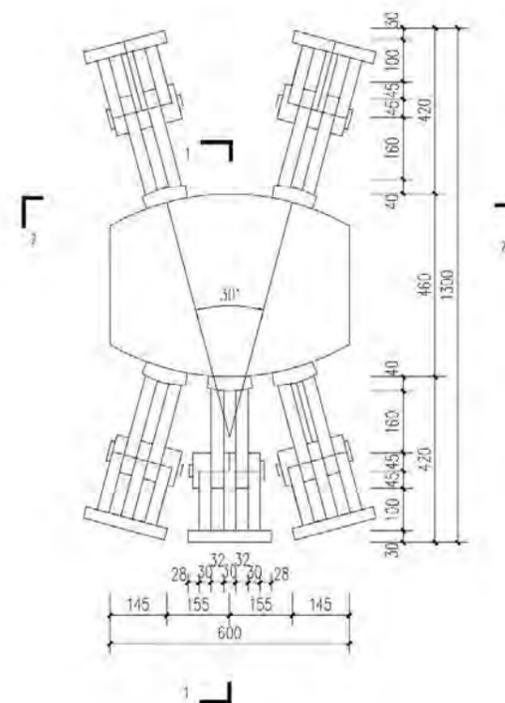
2-2 1:10



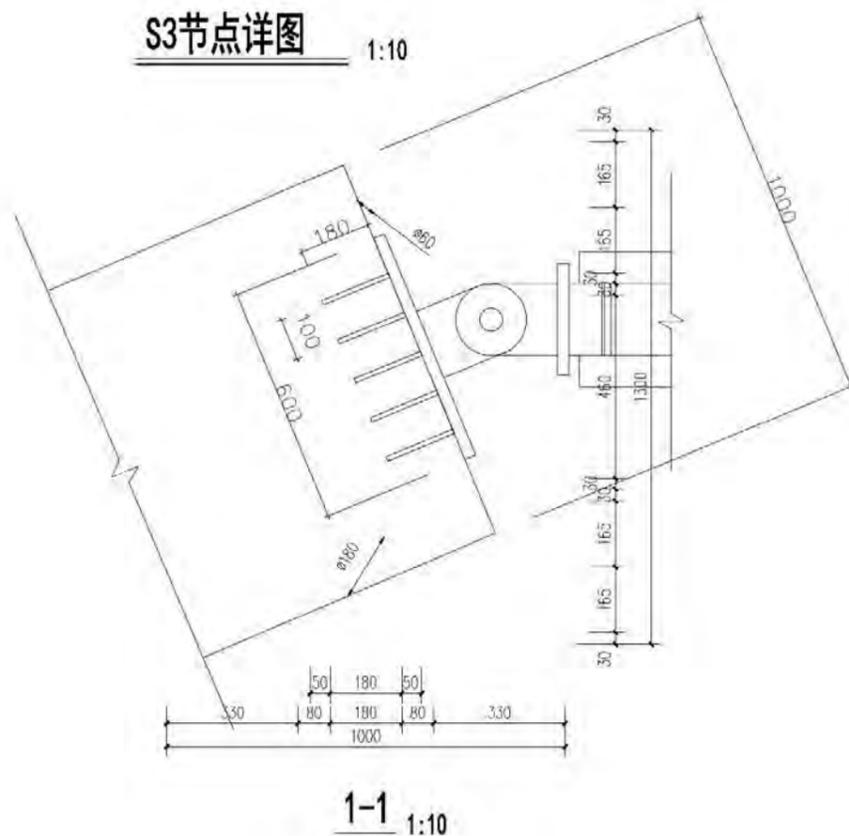
S2节点详图 1:10



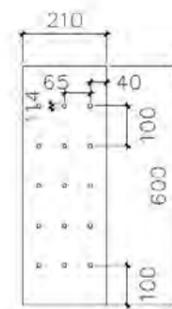
S3节点详图 1:10



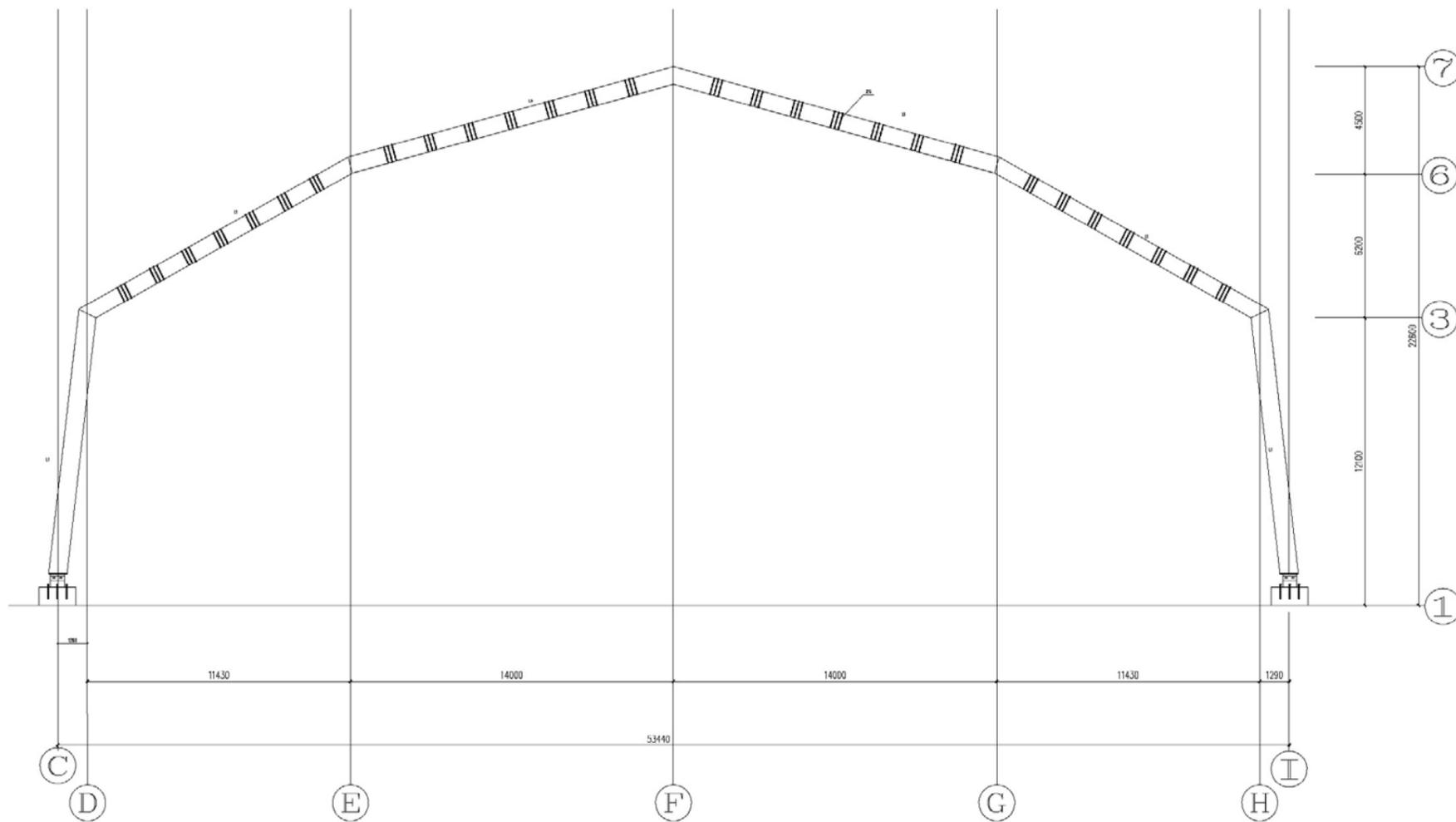
S4节点详图 1:10



1-1 1:10



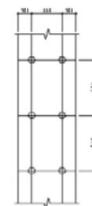
2-2 1:10



胶合木构件布置立面图1

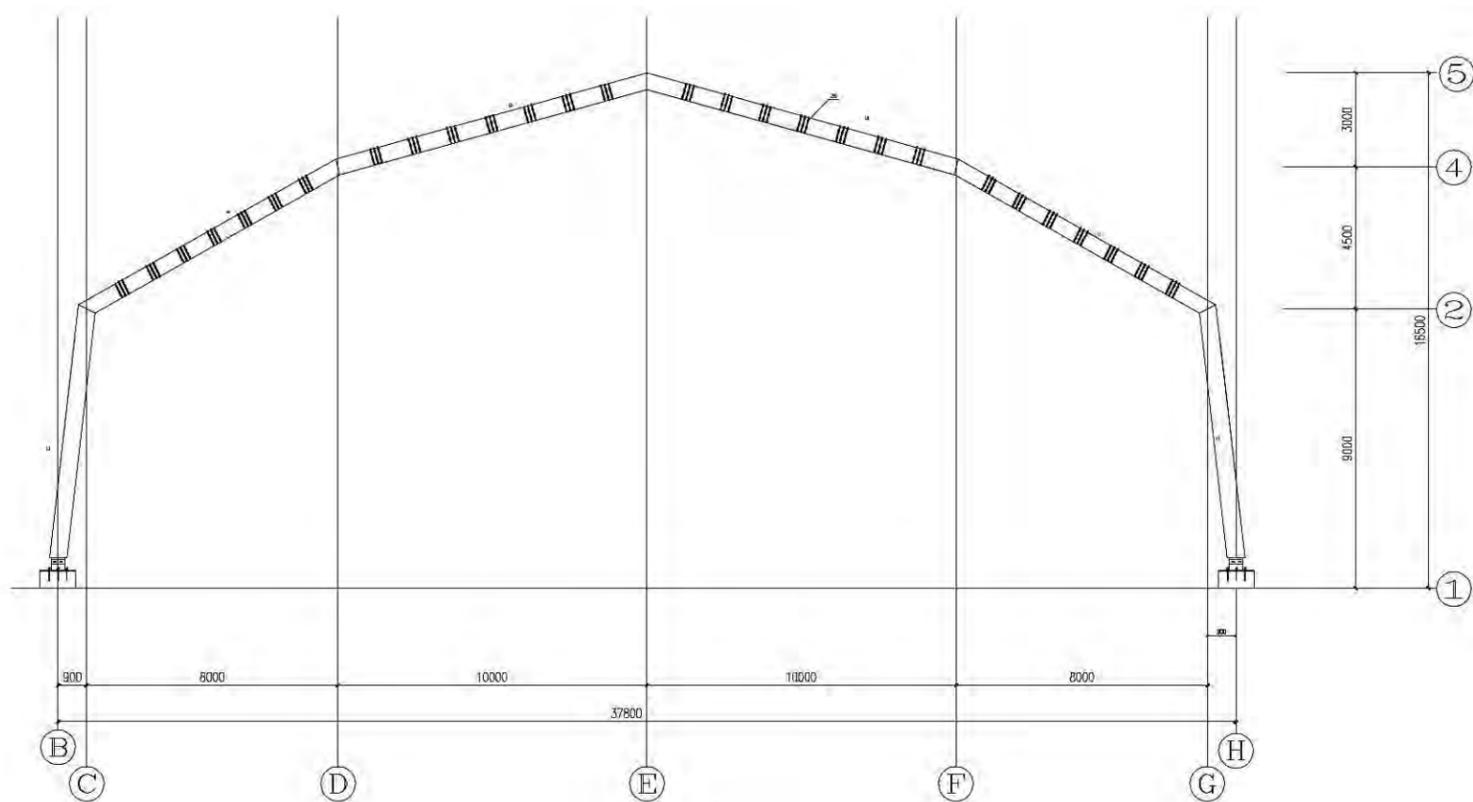
构件列表

构件编号	截面尺寸 (mmXmm)
L1	210X1800
L2	170X450
L3	1200X210



ZG横纹自攻螺钉增强构造示意

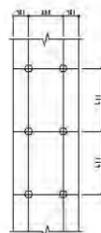
注: ZG为ZG横纹自攻螺钉, 规格为ZG4.8X12, 间距为120mm, 垂直于木材纹理方向。ZG为ZG横纹自攻螺钉, 规格为ZG4.8X12, 间距为120mm, 垂直于木材纹理方向。



胶合木构件布置立面图2

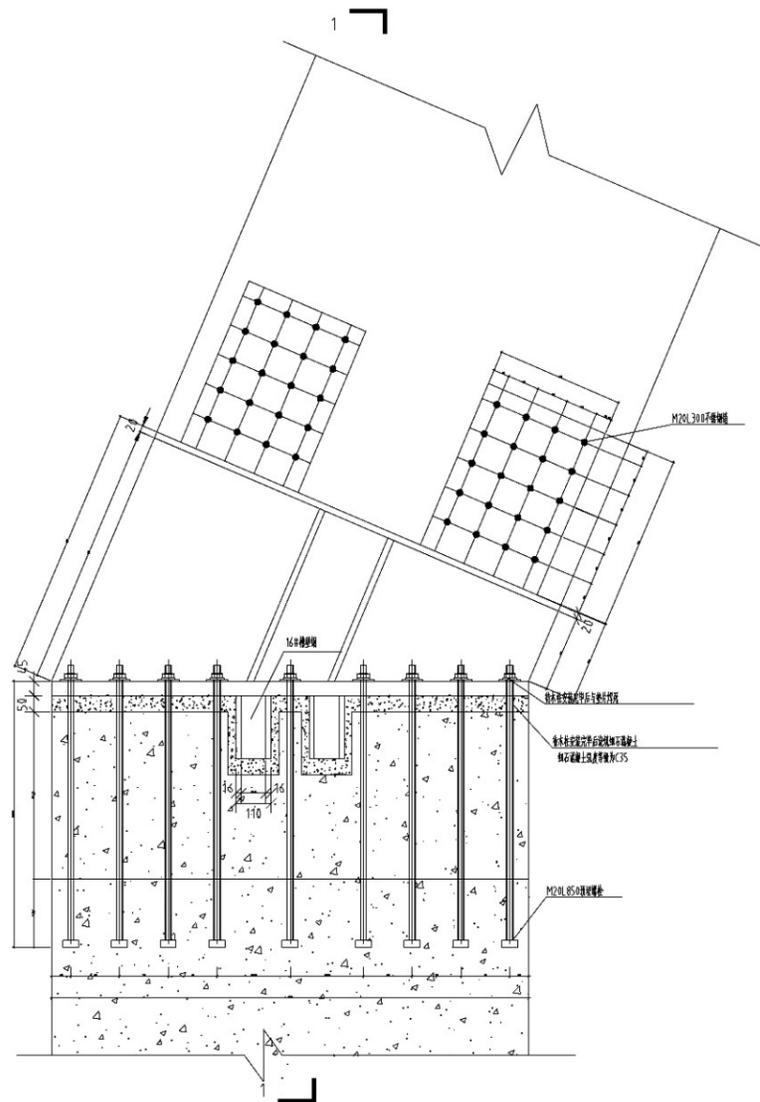
构件尺寸表

构件编号	截面尺寸 (mmXmm)
L1	218X1080
L2	178X450
L3	128X218

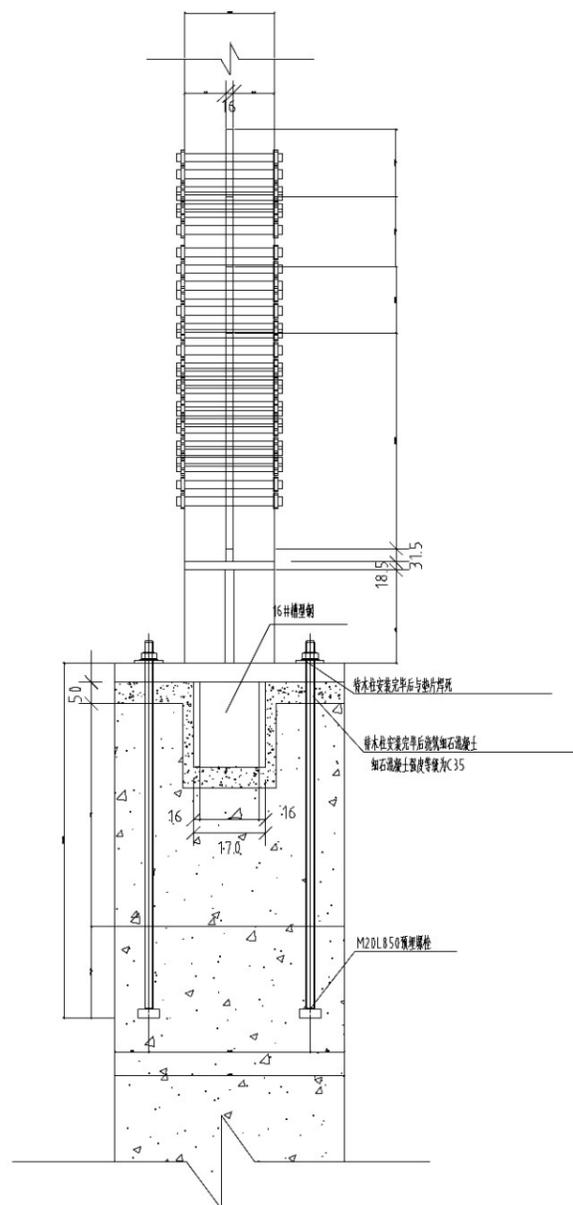


ZG横纹自攻螺钉增强构造示意

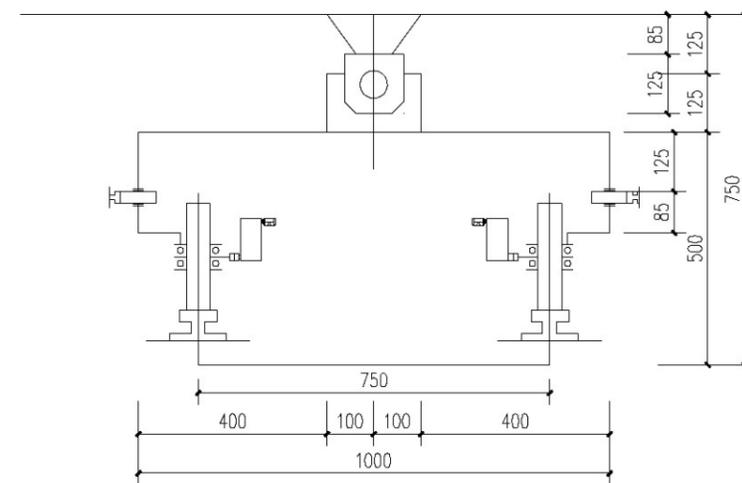
注: ZG为ZG横纹自攻螺钉, 其中ZG7为横纹自攻螺钉, 截面尺寸为200mm, 间距为200mm; ZG6为横纹自攻螺钉, 截面尺寸为120mm, 间距为200mm; ZG5为横纹自攻螺钉, 截面尺寸为100mm, 间距为200mm。



支座详图1 1:10



1-1 1:10



轨道装置图 1:10