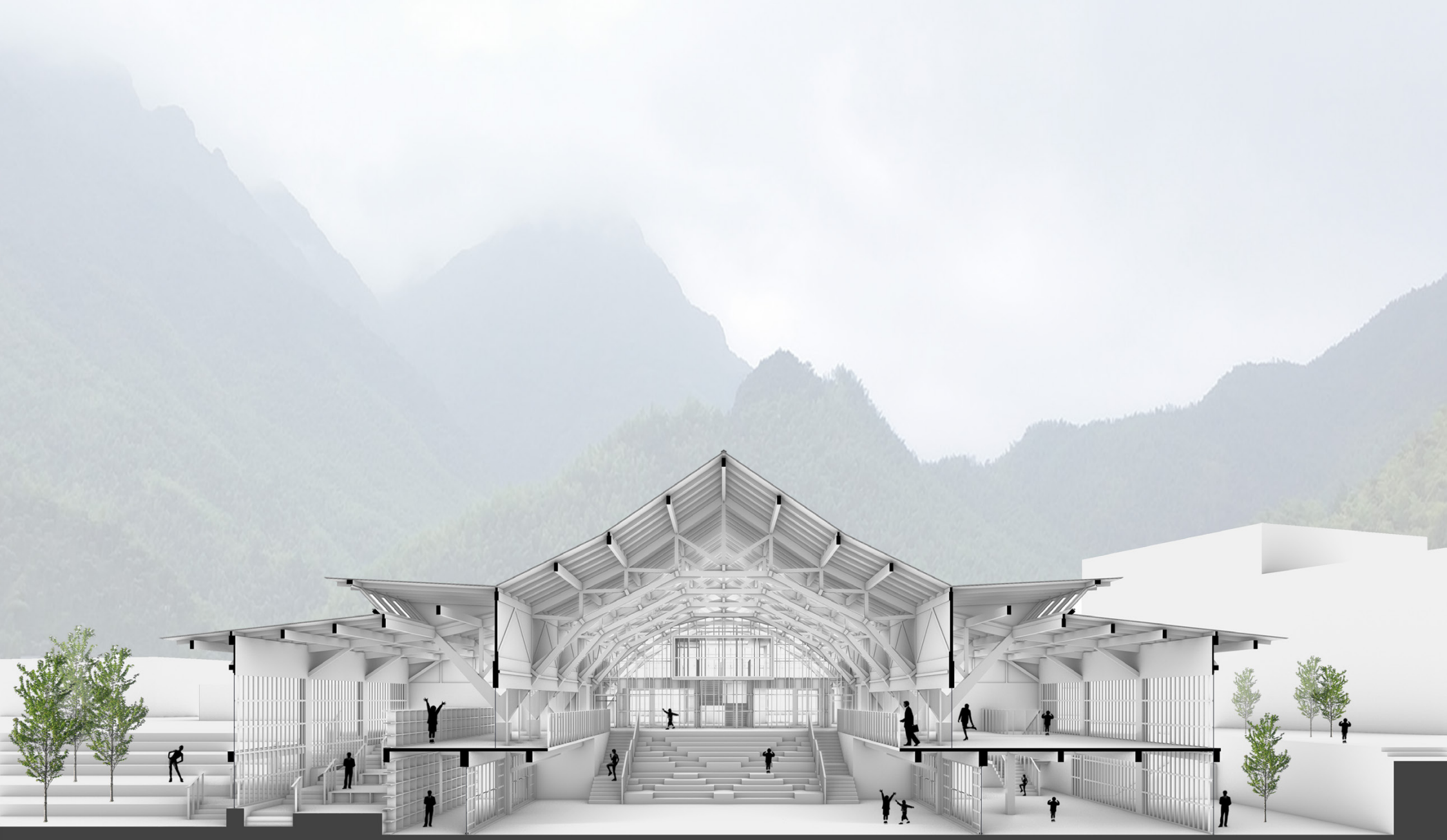


拱架新生 - 乡村文化礼堂设计

指导教师：淳庆、韩晓峰
参赛学生：金宇航、吴远德、杨金杰、王浩宇

目录
Table of Content

01
效果展示

P 01 鸟瞰效果图
P 02 室外效果图
P 03 剧场效果图

02
方案设计

P 04 区位分析
P 05 总平面图
P 06 建筑平面图
P 07 建筑立、剖面图
P 09 设计概念
P 11 结构优化与验证
P 14 结构体系分析
P 15 功能流线分析
P 16 构造设计
P 17 节点设计
P 18 绿色建筑设计
P 19 防火设计

03
结构设计图纸

P 21 设计总说明
P 22 结构施工图
P 30 节点大样图

04
结构计算书

P 33 结构体系模拟
P 37 主要节点模拟

01
效果展示


CHECK!
「Shinagawa Open Theater」
#品川シーズンテラス
Shinagawa

02

方案设计

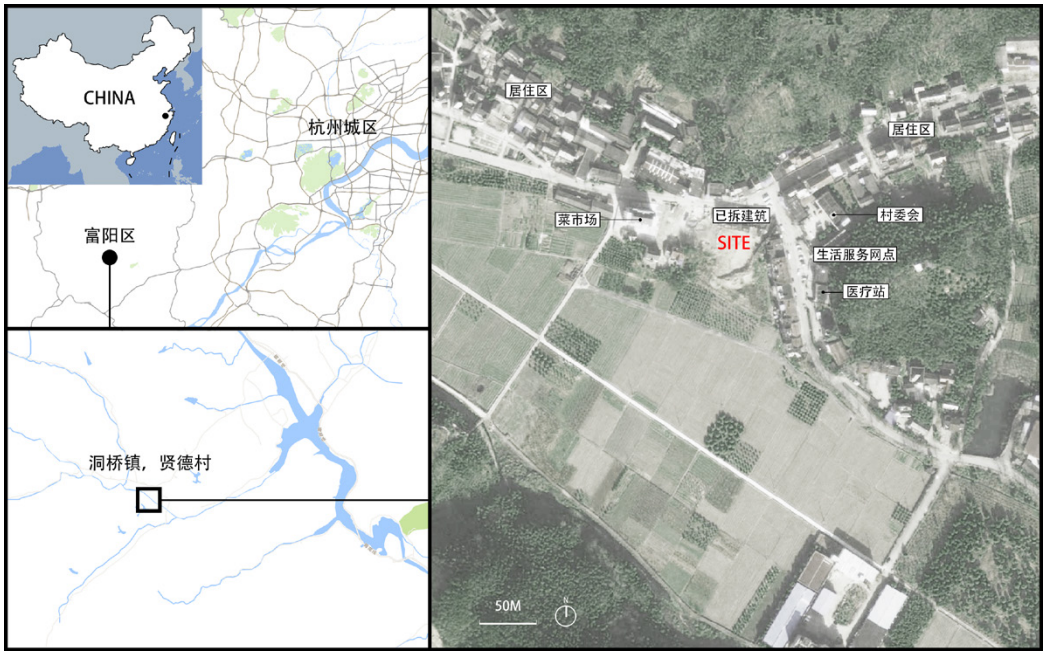
设计说明

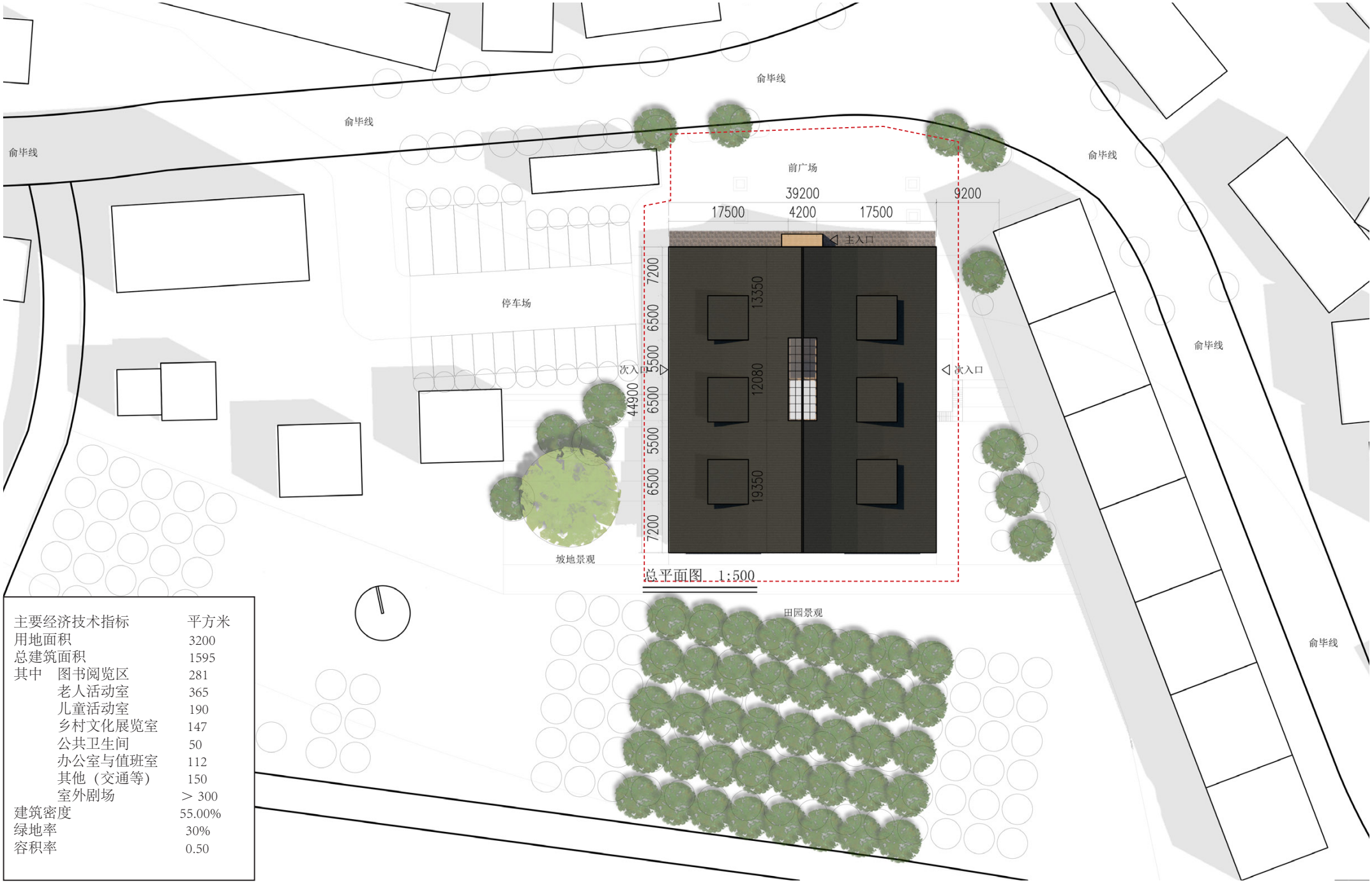
项目选址位于浙江省杭州市富阳区贤德村，功能为村民文化建筑。“拱架新生”既是对结构创新的体现，也寓意建筑将促进乡村振兴，使其焕发新的生机和活力。

设计立足乡村，在借鉴传统木拱桥技术的基础上创新一种“编木拱 + 桁架”的高性能结构形式。结构上“小材大用”，节省了大型木材的使用，方便运输、建造，也节约了造价。

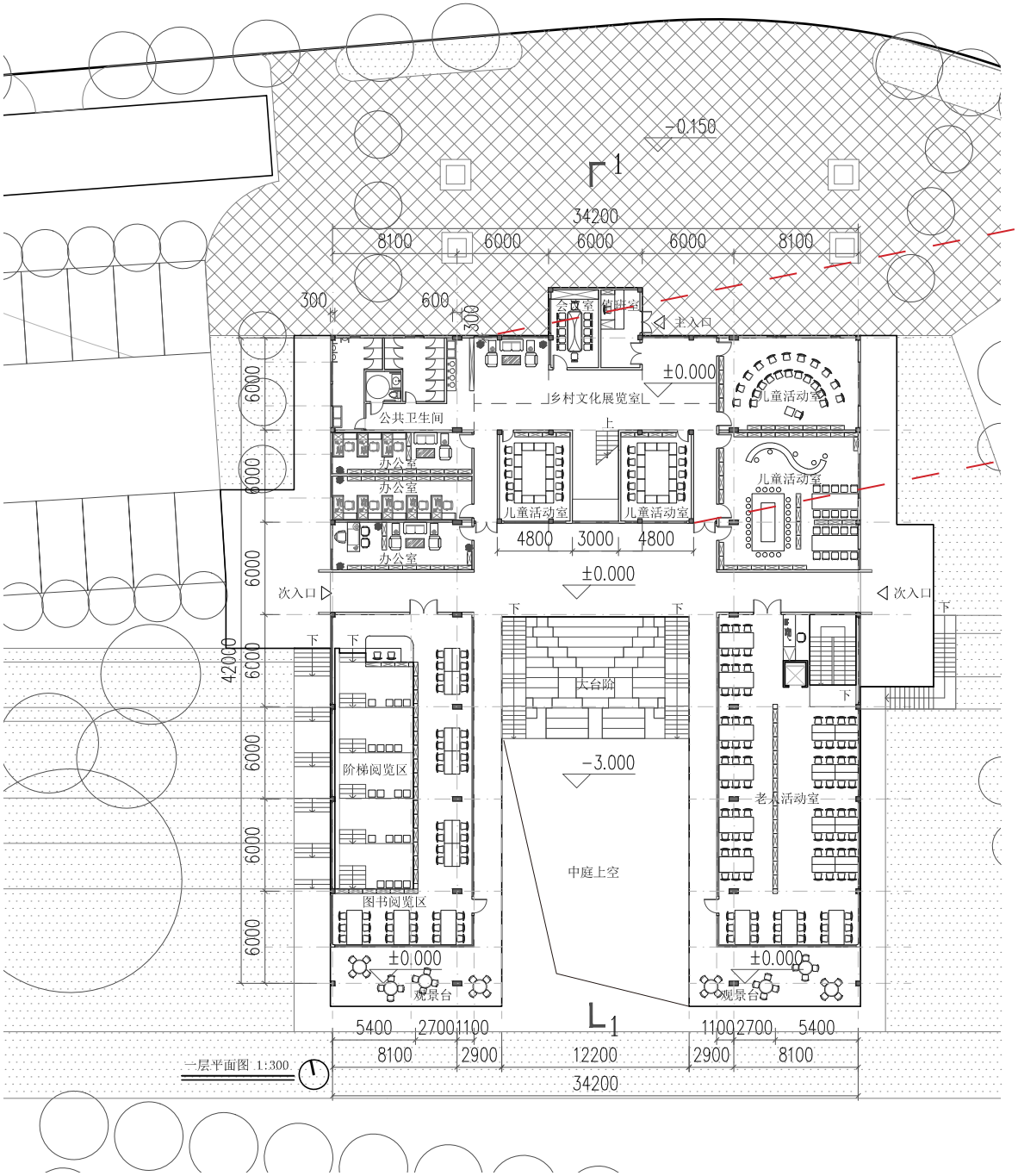
建筑整体形态采用曲折屋面，既使得建筑形态与周边建筑相协调，也有利雨水排放。

区位分析

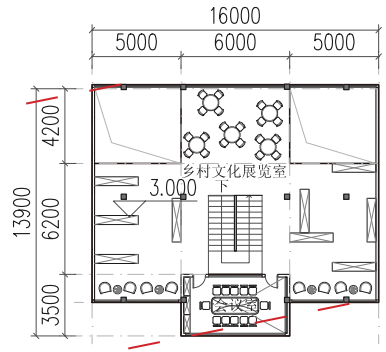




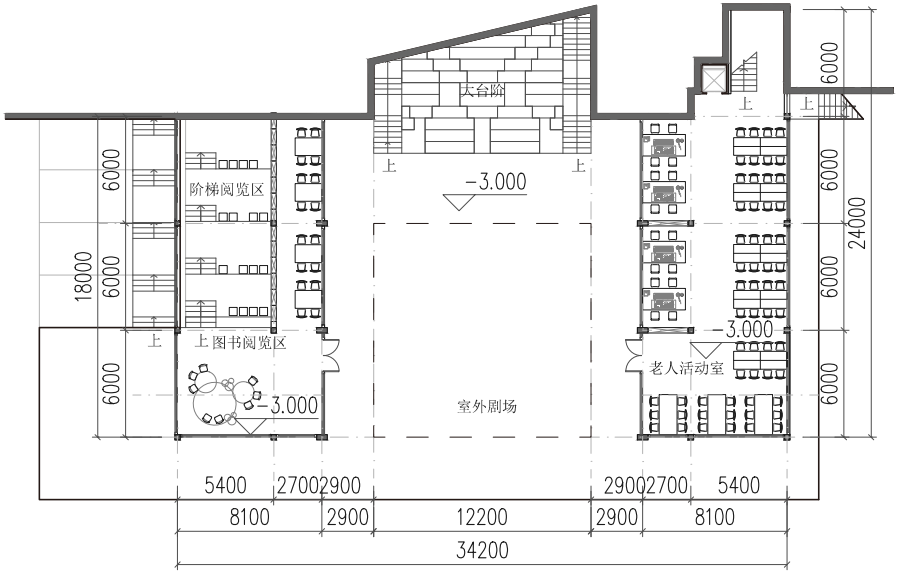
主要经济技术指标		平方米
用地面积		3200
总建筑面积		1595
其中	图书阅览区	281
	老人活动室	365
	儿童活动室	190
	乡村文化展览室	147
	公共卫生间	50
	办公室与值班室	112
	其他（交通等）	150
	室外剧场	＞ 300
建筑密度		55.00%
绿地率		30%
容积率		0.50



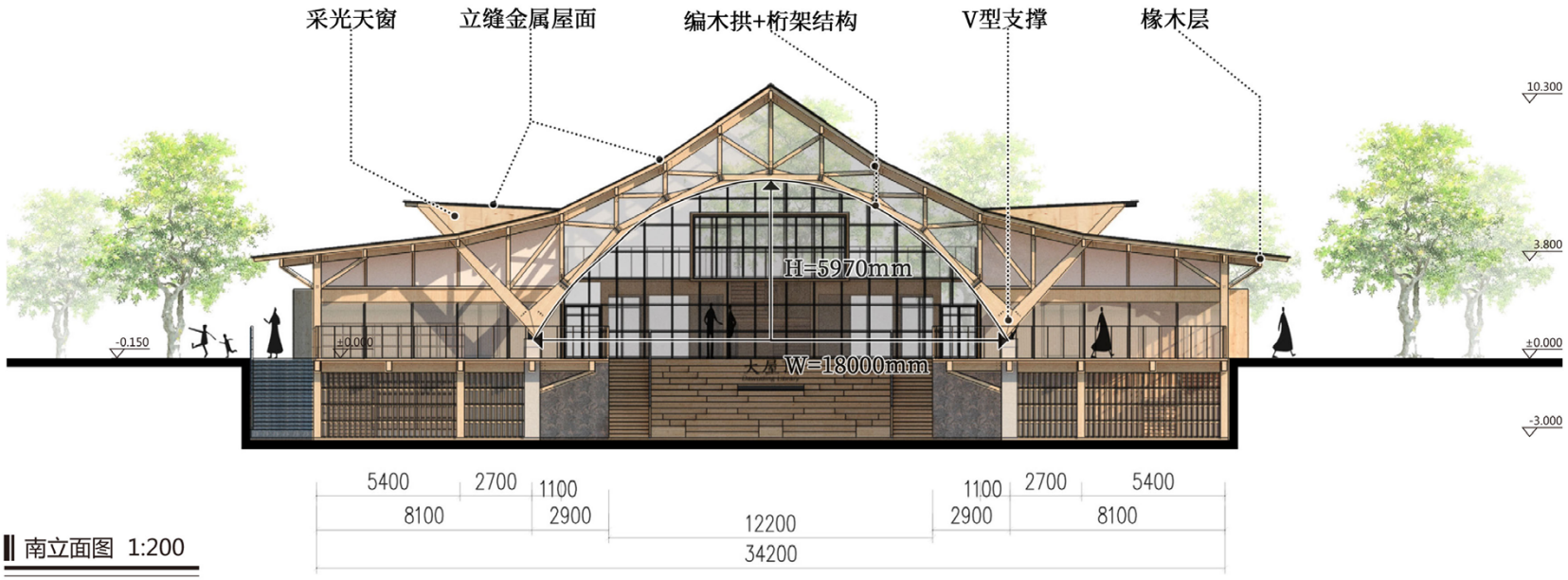
二层平面图 1:300



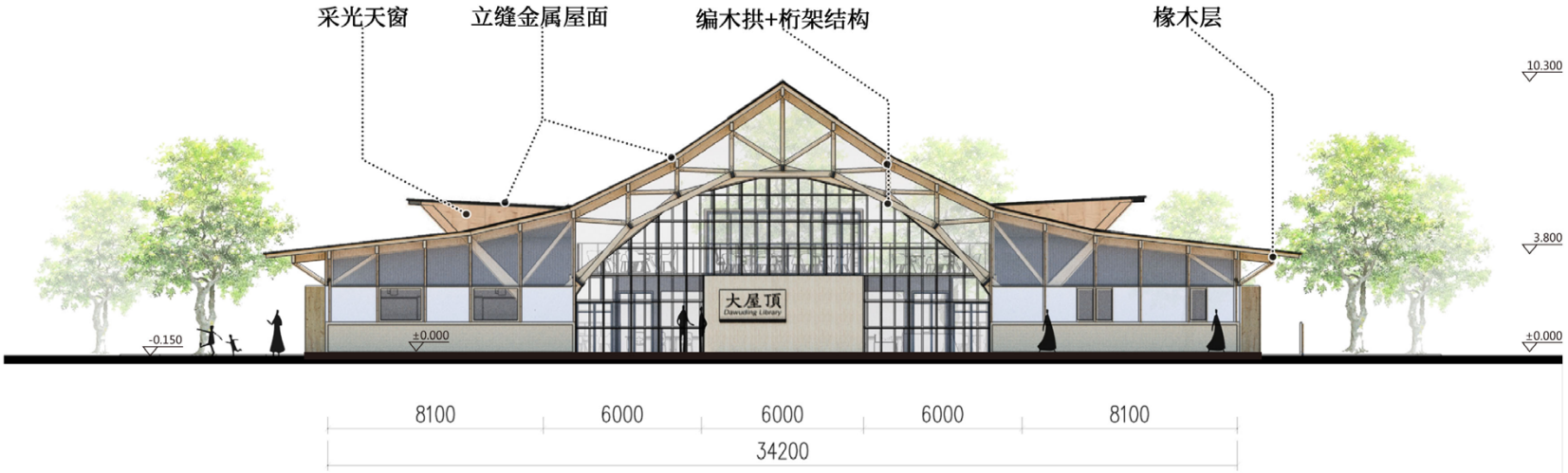
二层平面图 1:300



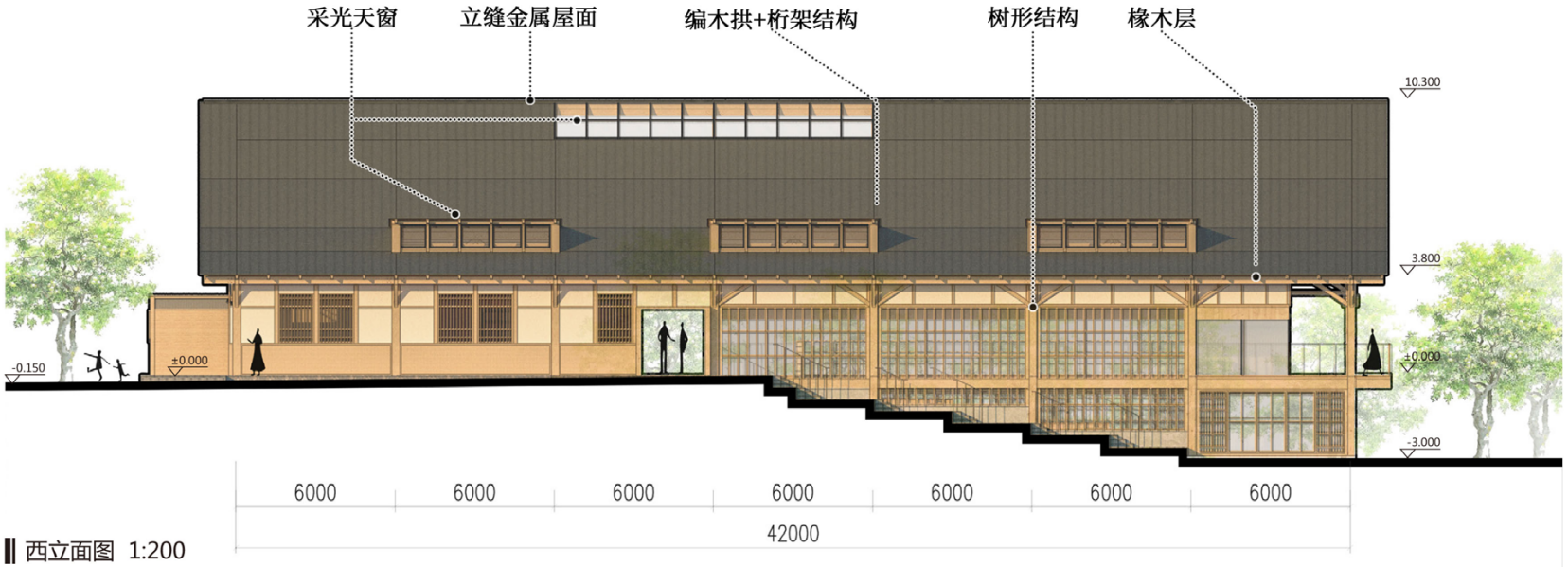
负1层平面图 1:300



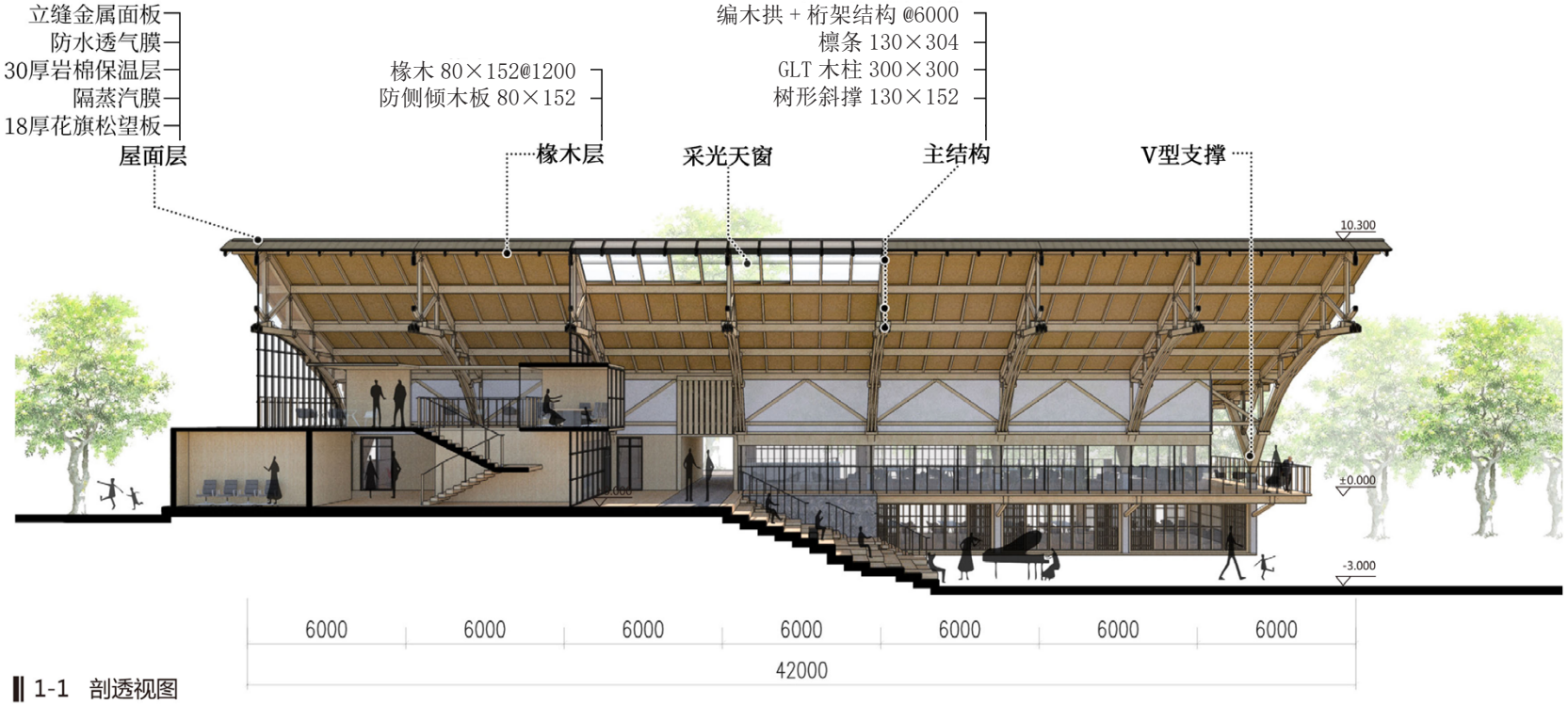
南立面图 1:200



北立面图 1:200

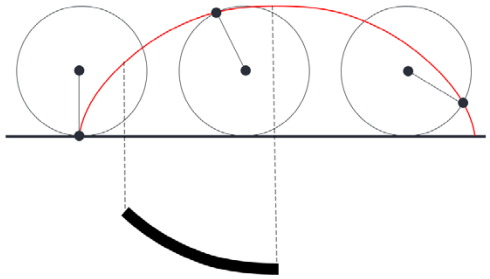


西立面图 1:200



1-1 剖透视图

建筑概念



+

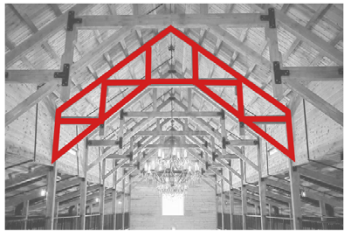
富阳山景　　最速降线

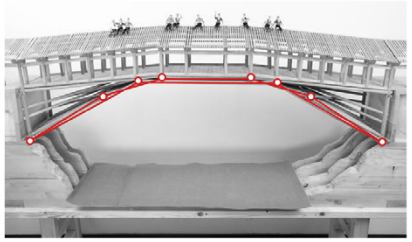
=

建筑外形

建筑形态设计考虑与周边建筑相协调，但是不拘泥于坡屋顶的形式。曲线屋顶与环境融合较好，最速降线的屋面设计有利于最短时间排走雨水、减小屋面载荷。

结构概念

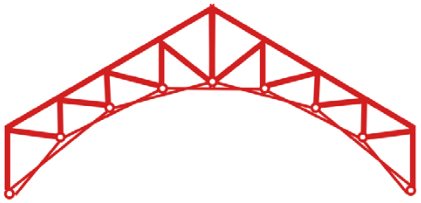




+

现代木桁架　　传统编木拱桥

=



结构方案

结构概念设计结合传统与现代，创新提出了“编木拱 + 桁架”的结构方案。考虑乡村运输难、资金紧张等现实问题，希望用高效的结构设计实现“小材大用”，方便建造与节约造价。

结构设计概念 —— 与古为新，由力生形

找形分析

方案前期，参数化设计被用于模拟逆吊法物理实验进行结构找形分析。在圣家族大教堂拱顶的设计中，西班牙建筑师高迪（Antoni Gaudi）就曾用同一原理，借助悬链拱模型来推演结构形式。

找形目标

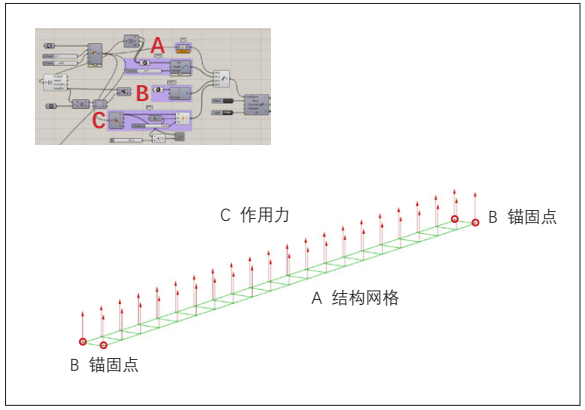
由力生形，找到高效的结构形式，充分发挥材料的特性，使木构件多受压，少受剪，这样能减少材料的使用和降低造价，同时体现结构之美。

找形工具

Kangaroo 是 Daniel Piker 开发出的基于 Grasshopper 参数化设计平台的动力学插件，它是一个为设计师设计的交互式物理约束解算器。该软件可以在计算机中模拟出逆吊法的过程，使设计师在设计的过程中不需要实际操作物理实验，用计算机模拟即可进行找形分析。

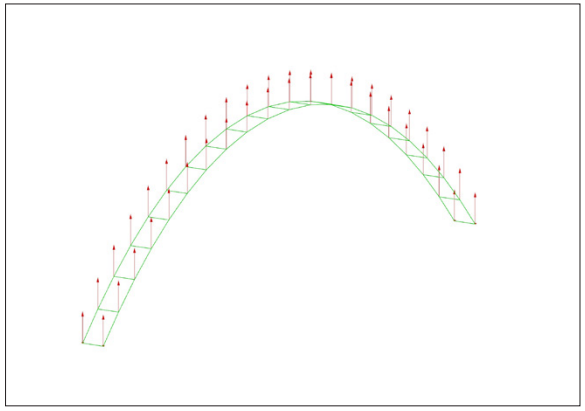
STEP 01　建立模型

根据设计跨度建立网格模型，并设定两端为锚固点，其余为具有一定弹性的可变弹簧线，与重力反向的模拟作用力施加在每个格点上。



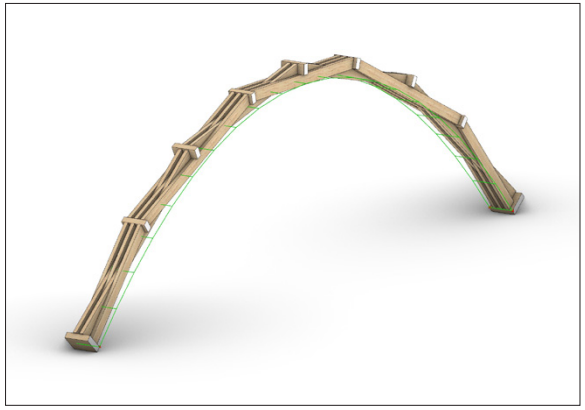
STEP 02　设定参数

综合考虑净高、结构的形态美，以及编木拱结构的构造特点，矢跨比设定为 1/4 左右。通过不断调整施加力的大小得到合理拱轴线的形状。



STEP 03　拟合结果

根据得到的合理拱轴线逐步构造编木拱，使整体结构的拟合模拟结果。由于编木拱具有“化曲为直”的特点，实现了用小型直线构件组成大型曲线结构的目标，节约了材料和造价。

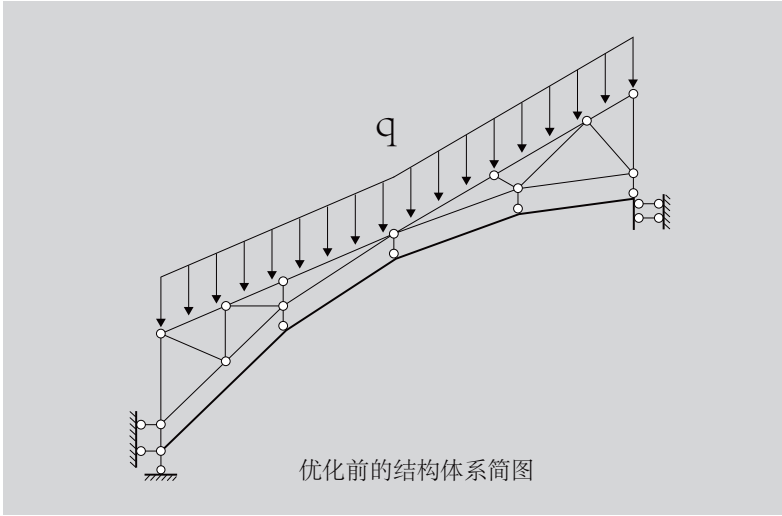


结构优化与验证

拱结构的外形难以适应建筑设计的造型需要，因此本方案在结构概念设计上做了一些尝试。初始方案是用轻型桁架做出曲折的屋面外形，编木拱作为主要的受力结构。利用对称性，把桁架简化为一次超静定结构再用力法进行求解，发现当前桁架的传力效率并不理想。

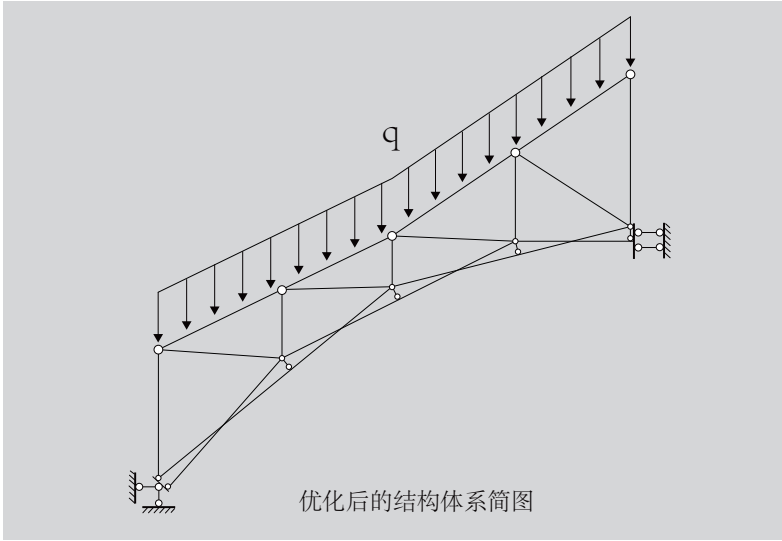
优化后的结构方案在之前的基础上删繁就简，让桁架与编木拱组成一个整体结构，协同受力。此时的结构体系比较复杂，依靠手算已经难以分析其整体的力学性能，所以我们采用了软件模拟的方法来评估设计效果。

优化前



优化前的结构体系简图

优化后



优化后的结构体系简图

构件参数

在材料方面，权衡原木锯材和胶合木的优缺点之后，我们选择了GLT胶合木材作为结构材料。为了节约材料和造价，绝大部分的木构件截面尺寸都选择了标准GLT尺寸，且截面的高度选择以38mm为模数。

Standard depths of glulam

Standard depths for glulam members range from 114 mm (4-1/2″) to 2128 mm (7′) or more in increments of 38 mm (1-1/2″) and 19 mm (3/4″).

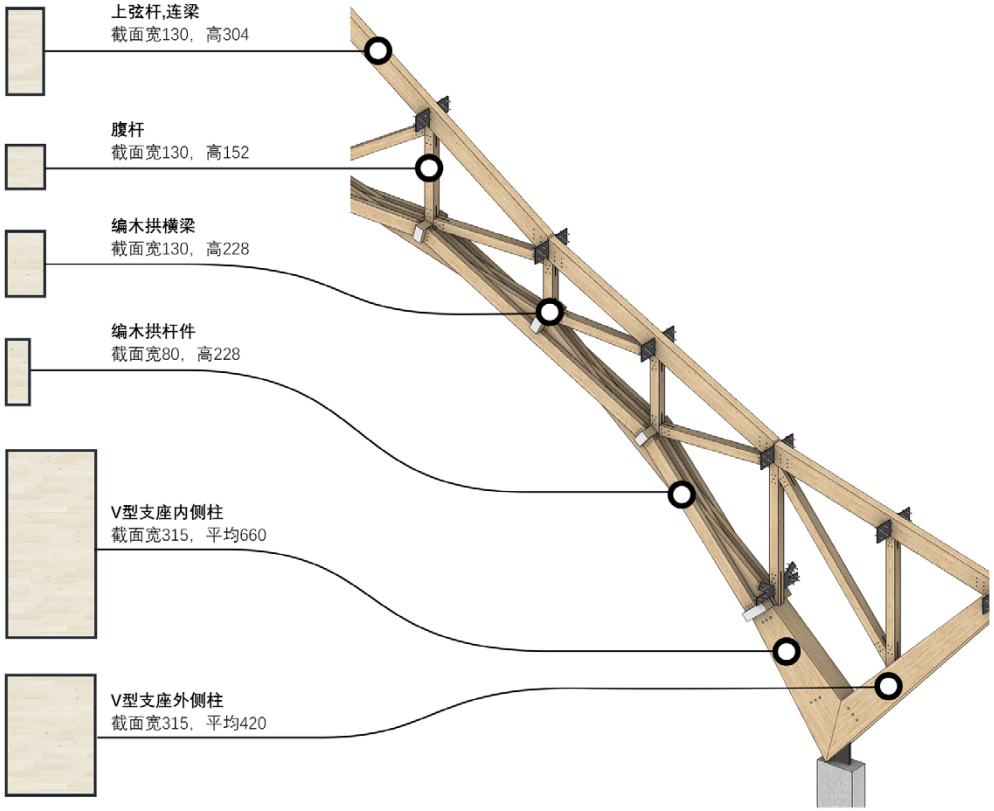
A member made from 38 mm (1-1/2″) laminations costs significantly less than an equivalent member made from 19 mm (3/4″) laminations. However, the 19 mm (3/4″) laminations allow for a greater amount of curvature than do the 38 mm (1-1/2″) laminations.

TABLE 6.7
Standard glulam sizes

Width mm	Width in.	Depth range[1] mm	Depth range[1] in.
80	3	114 to 570	4-1/2 to 22-1/2
130	5	152 to 950	6 to 37-1/2
175	6-7/8	190 to 1254	7-1/2 to 49-1/2
215	8-1/2	266 to 1596	10-1/2 to 62-3/4
265	10-1/4	342 to 1976	13-1/2 to 77-3/4
315	12-1/4	380 to 2128	15 to 83-3/4
365	14-1/4	380 to 2128	15 to 83-3/4

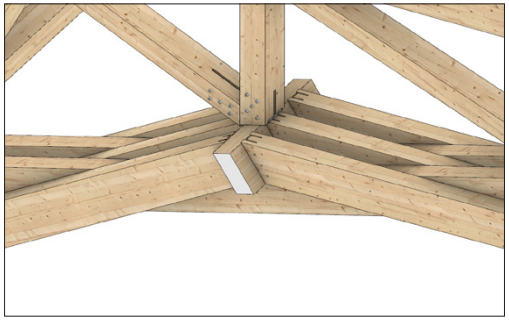
Note:
1. Intermediate depths are multiples of the lamination thickness, which is 38 mm (1-1/2″ nom.) except for some curved members that require 19 mm (3/4″ nom.) laminations.

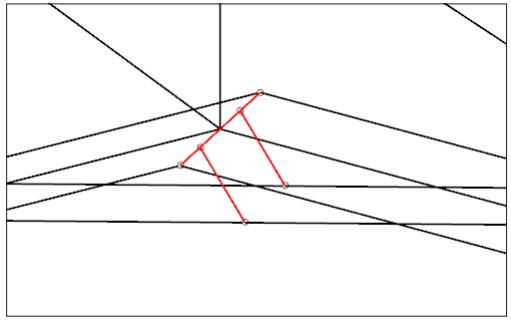
标准GLT尺寸表，来源：Canadian Wood Council

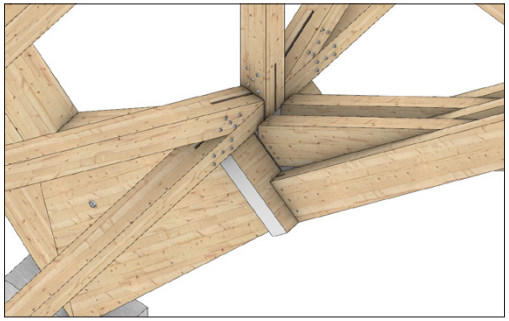


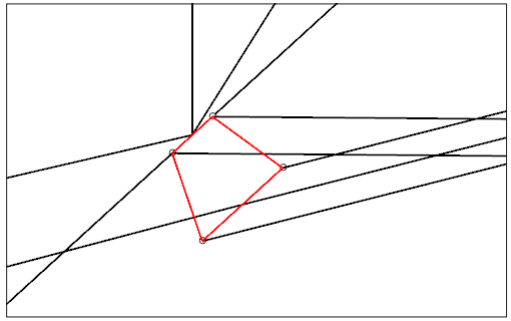
简化模型

对编木拱结构进行了合理的简化，简化后的线模型能导入大部分结构模拟软件，进而设定参数来模拟。


编木拱横梁处节点图


编木拱横梁处简化模型图


编木拱支座处节点图

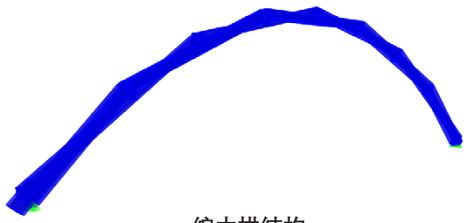

编木拱支座处简化模型图

模拟方法

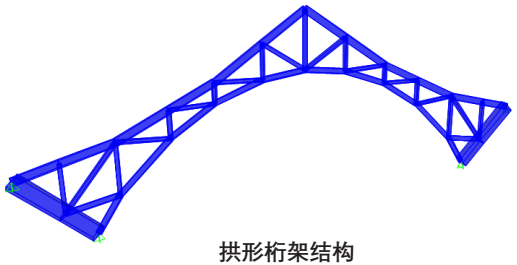
根据结构特点，选用SAP2000进行结构的静力承载力验算。SAP2000软件作为一种结构设计的计算软件，目前在国内得到了较多的应用，能够方便我们对这种不规则复杂结构进行内力求解与分析。

方案阶段，木构件的截面尺寸及规格初步确定之后，使用SAP2000软件建立模型，然后按照屋面荷载设计值进行静力分析，进而验证设计效果和确定最优结构类型。

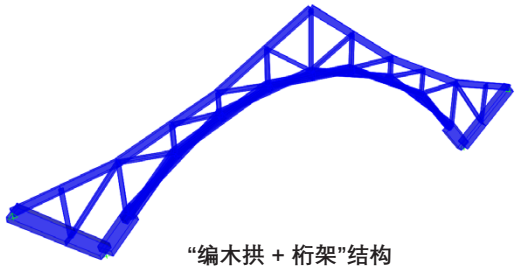
建立模型



编木拱结构

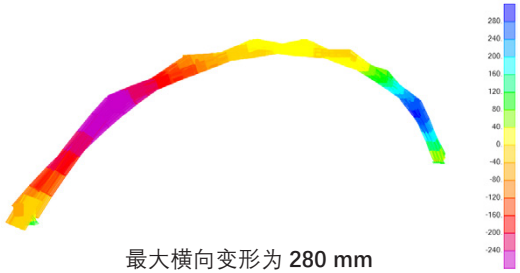


拱形桁架结构

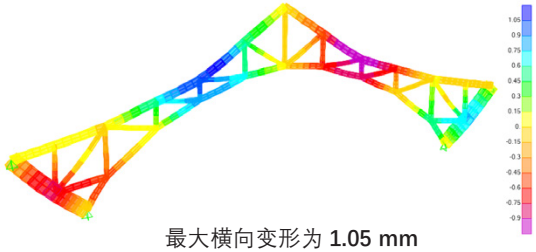


“编木拱 + 桁架”结构

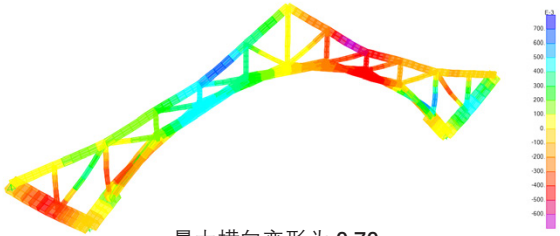
横向变形



最大横向变形为 280 mm

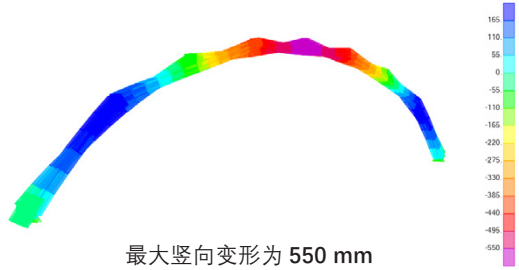


最大横向变形为 1.05 mm

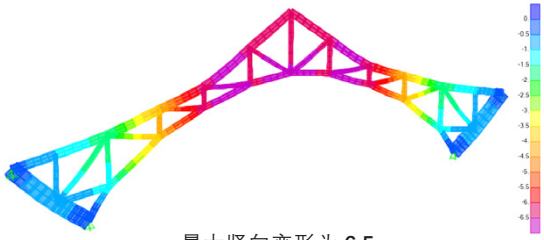


最大横向变形为 0.70 mm

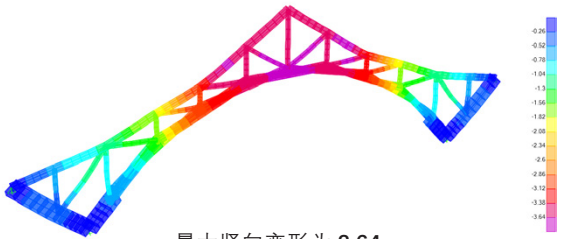
竖向变形



最大竖向变形为 550 mm



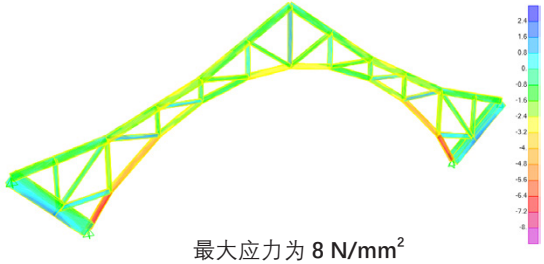
最大竖向变形为 6.5 mm



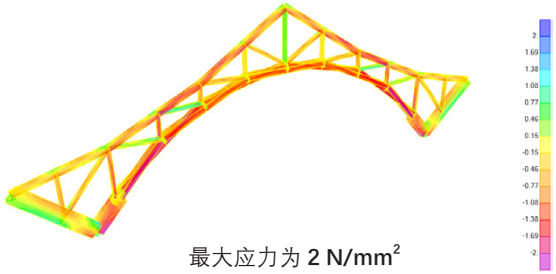
最大竖向变形为 3.64 mm

应力分析

最大应力为 320 N/mm^2



最大应力为 8 N/mm^2



最大应力为 2 N/mm^2

分 析

通过对比三种结构的受力情况，模拟结果表明：

1）单独考虑编木拱结构时，不管是横向变形、竖向变形还是应力方面的表现都差强人意；

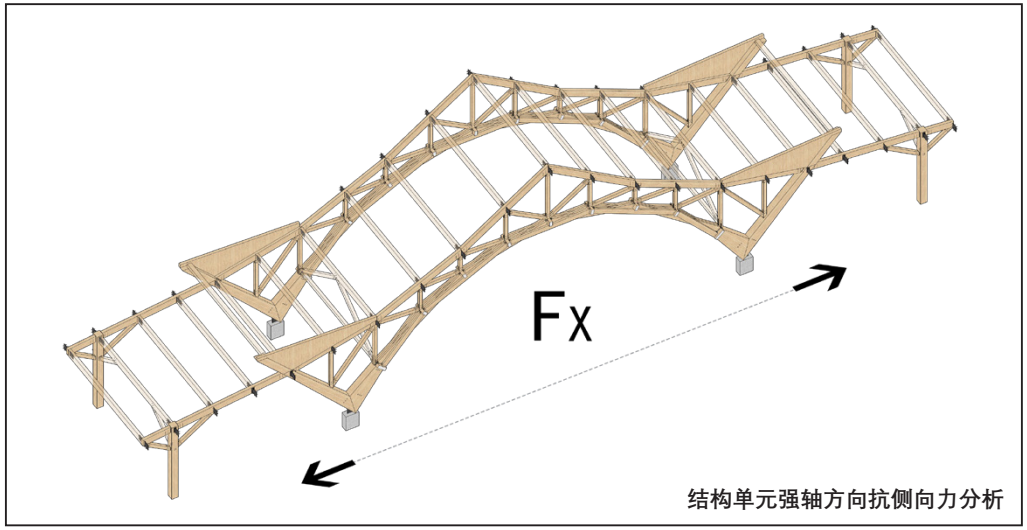
2）拱形桁架的力学性能比编木拱结构有明显的提高；

3）“编木拱 + 桁架”结构比单独的桁架结构、单独的编木拱结构都有显著的改进。

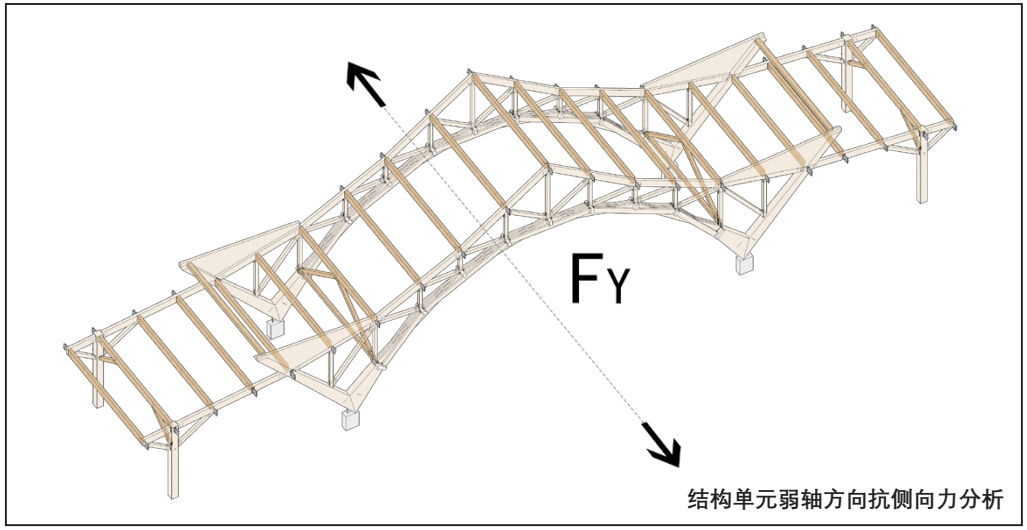
结 论

本方案结合了两种结构形式，**创新设计了一种“编木拱 + 桁架”的高性能结构，结构之间的协同作用实现了“一加一大于二”的效应**。

结构体系分析

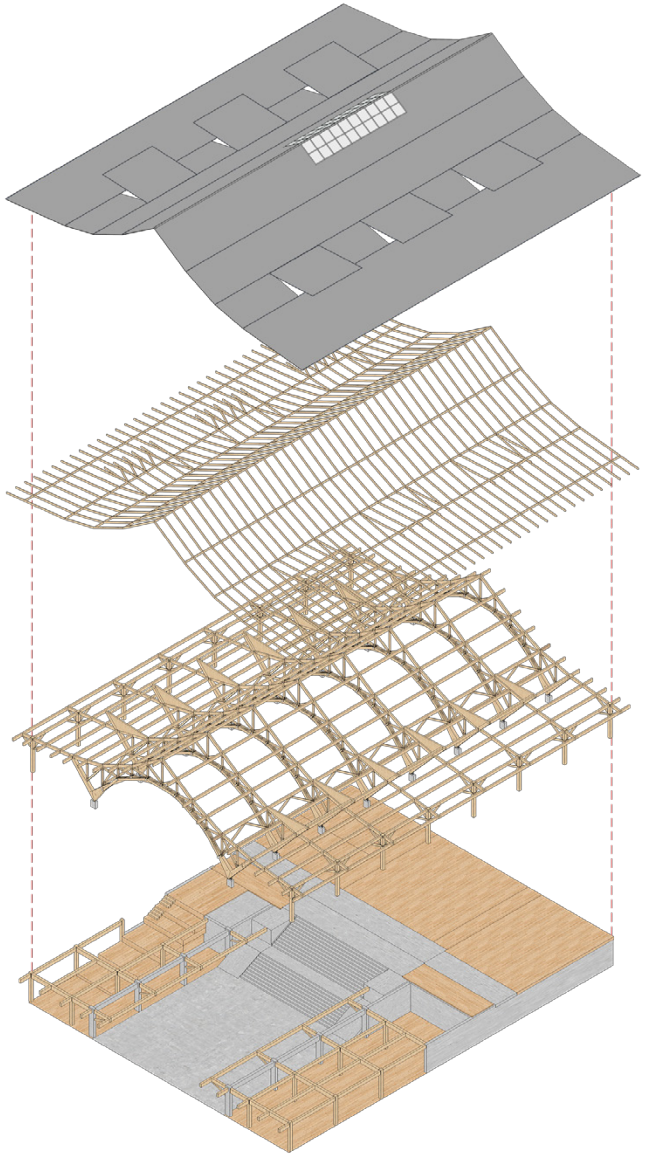


结构单元强轴方向抗侧向力分析



结构单元弱轴方向抗侧向力分析

在单榀结构的基础上，进一步设计了檩条、桁架，主要来加强建筑结构对来自各个方向的水平力的抵抗。局部的斜撑设计也起到了加固作用，提高了结构的稳定性和承载力。结构体系的力学模拟结果表明，该结构能够较好的抵抗地震作用等水平力。



01 屋面层

立缝金屋面板
防水透气膜
30 厚岩棉保温层
隔蒸汽膜
18 厚花旗松望板

02 椽木层

椽木 80×152
防侧倾木板 80×152

03 主结构

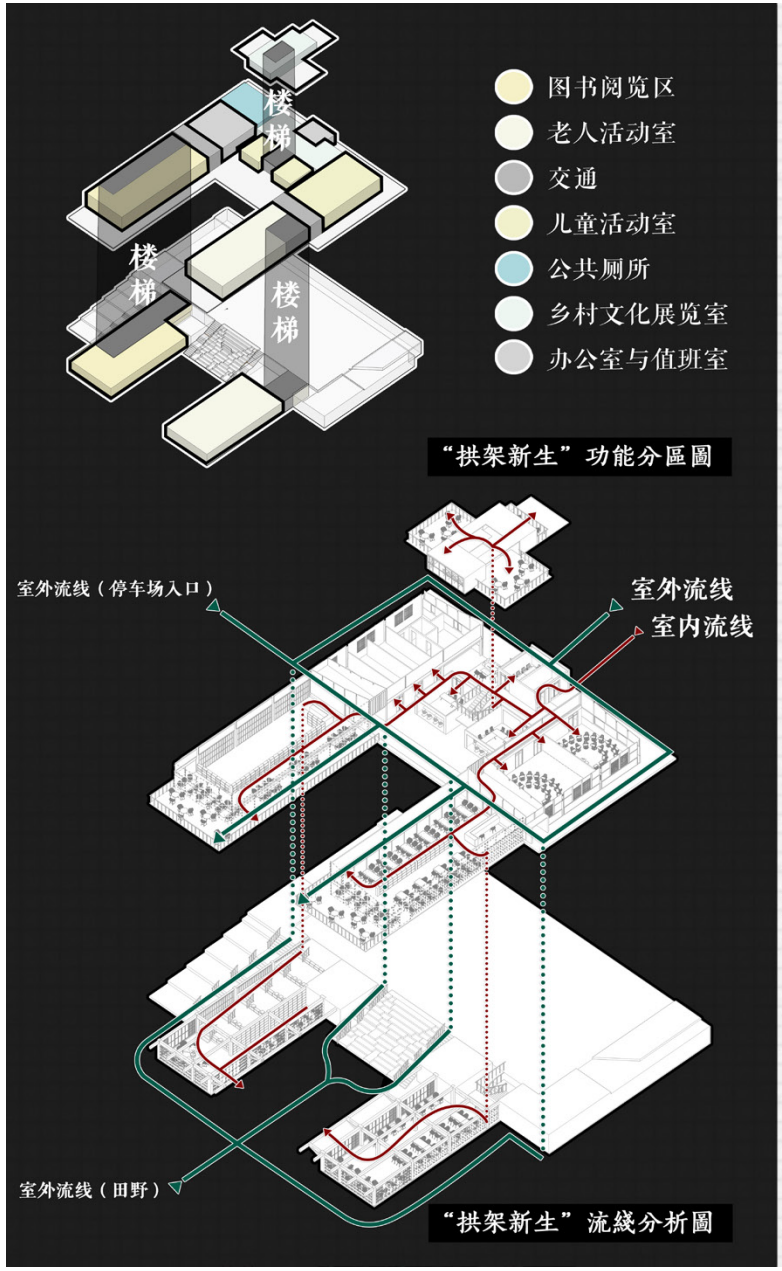
编木拱 + 桁架结构
檩条 130×304
GLT 木柱 300×300
树形斜撑 130×152

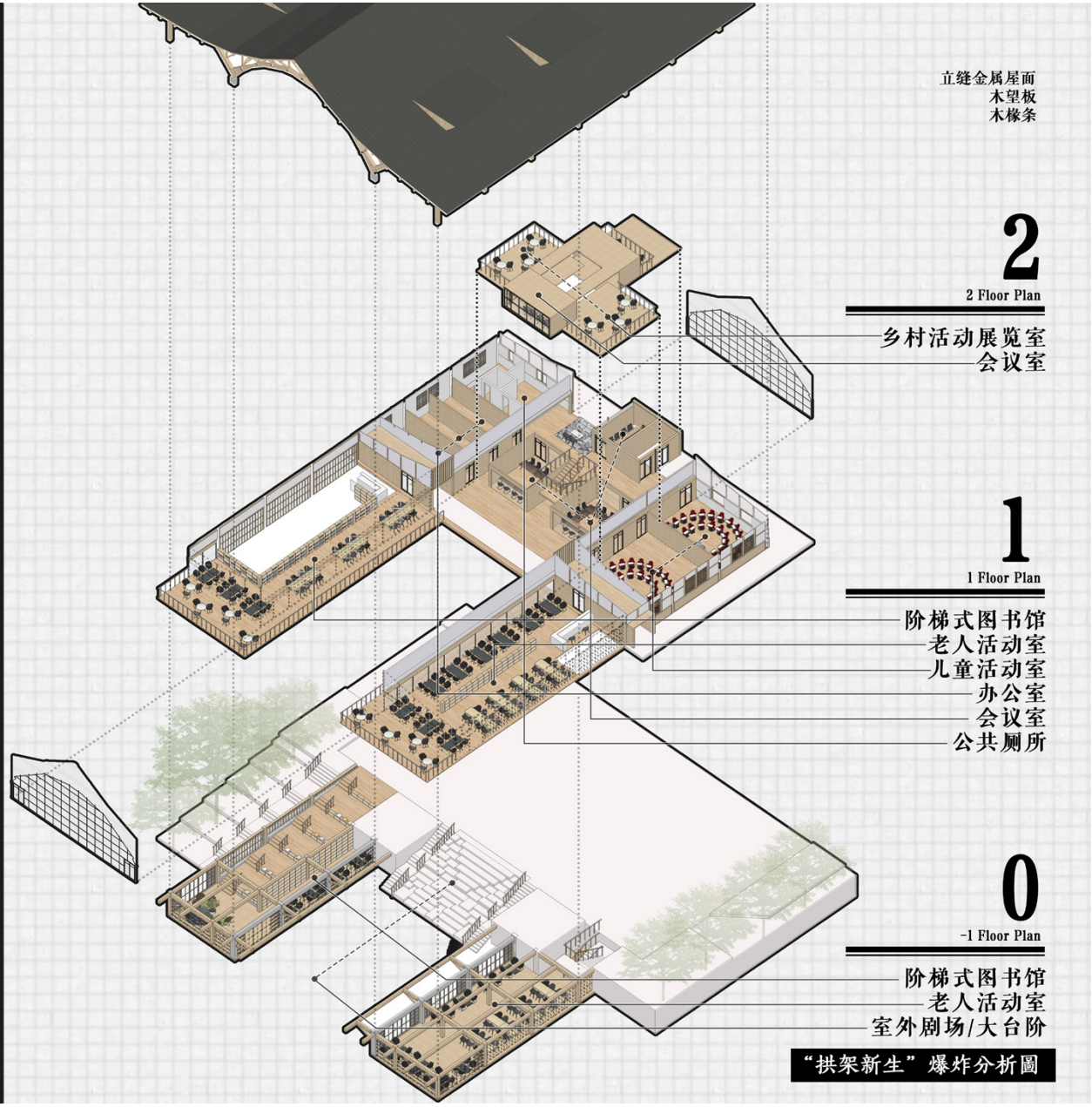
04 -1F 结构

20 厚楼板面层（隐藏）
80 厚 CLT 楼板（隐藏）
主木梁 265×418
次木梁 215×380
钢筋混凝土梁
300×500
钢筋混凝土柱
300×600

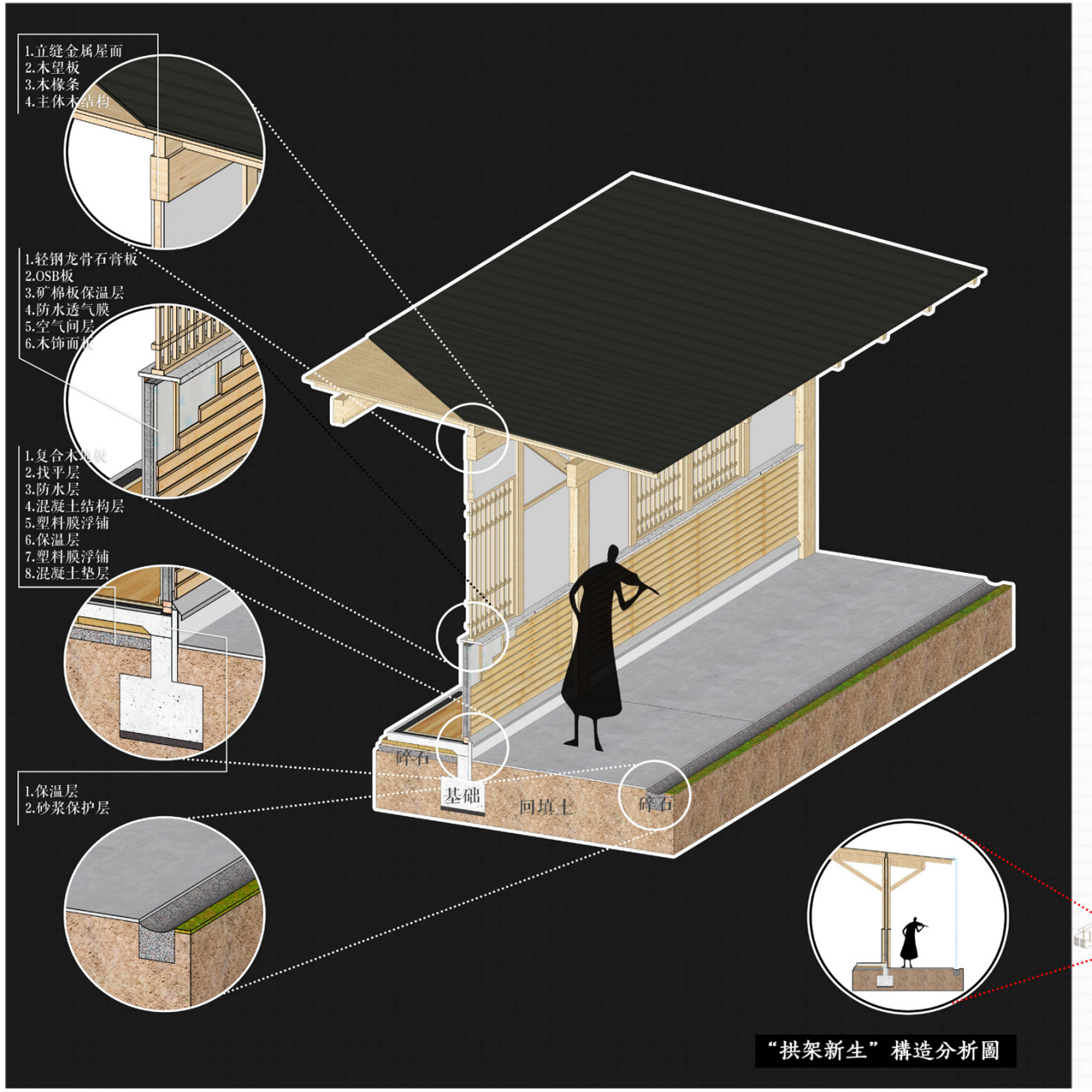
为了便于在乡村建造和使用，主要结构尽可能多地使用标准构件和预制装配式工法。如同中国传统木建筑一样，单榀结构可以在单榀结构的弱轴方向不断地拓展和衍生，既加强了整体结构的稳定性，也能满足功能需求。为适应地形起伏，增加了部分结构。

功能流线分析

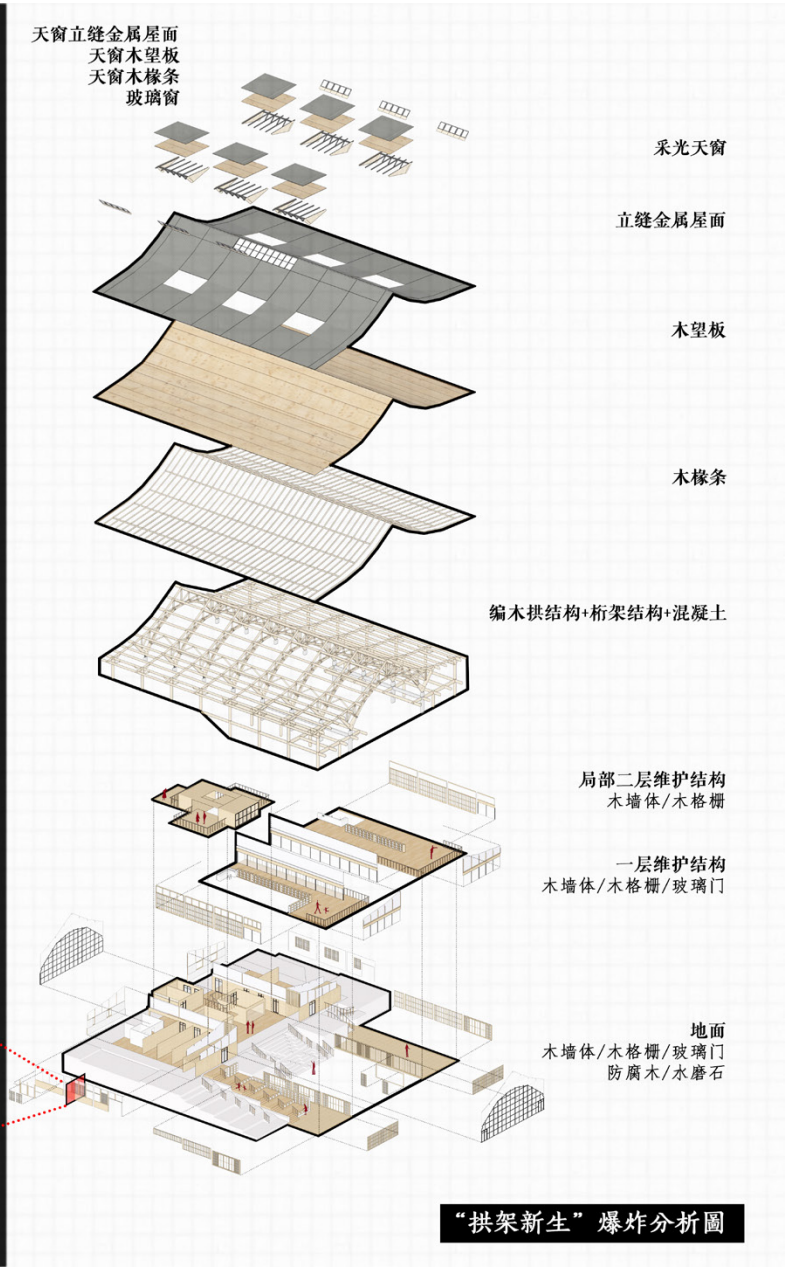

楼梯
楼梯
楼梯
图书阅览区
老人活动室
交通
儿童活动室
公共厕所
乡村文化展览室
办公室与值班室
“拱架新生”功能分區圖
室外流线（停车场入口）
室外流线
室内流线
室外流线（田野）
“拱架新生”流綫分析圖


立缝金属屋面
木望板
木椽条
2
2 Floor Plan
乡村活动展览室
会议室
1
1 Floor Plan
阶梯式图书馆
老人活动室
儿童活动室
办公室
会议室
公共厕所
0
-1 Floor Plan
阶梯式图书馆
老人活动室
室外剧场/大台阶
“拱架新生”爆炸分析圖

构造设计



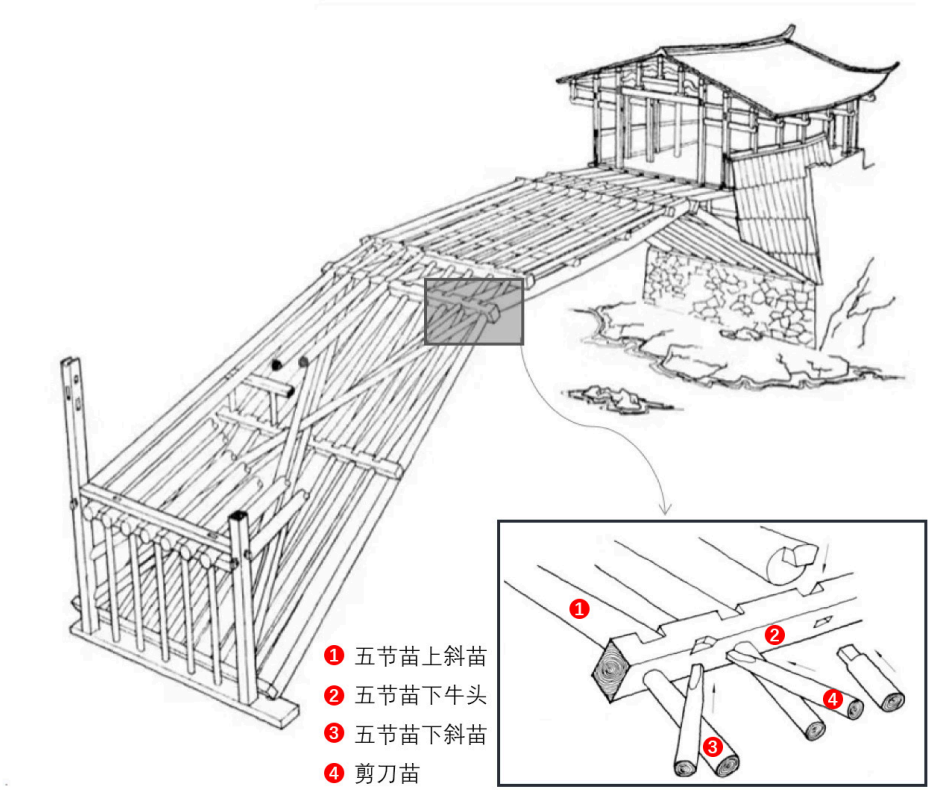
“拱架新生”構造分析圖



“拱架新生”爆炸分析圖

节点设计

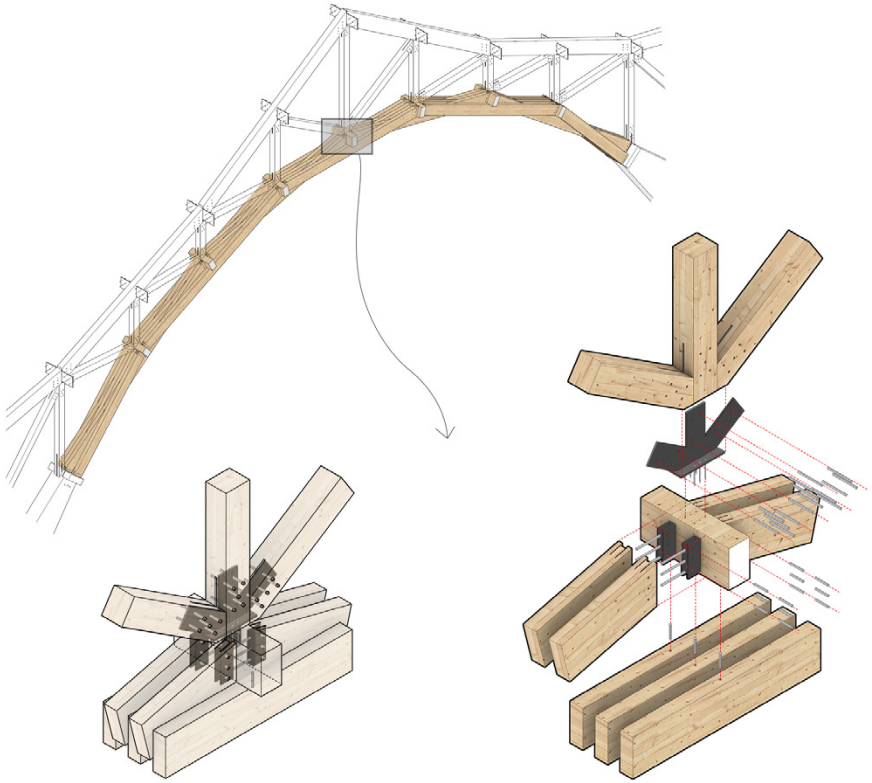
传统工法研究



传统编木拱桥的节点处采用榫卯连接。

这种节点的特点是抗压不抗拉。且未经处理的原木容易受温、湿度影响而产生较大的变形。节点的加工依赖于工匠的现场手工制作，费工费时。虽然损坏的木构件能够更换，但是耐久性差的缺点也造成了材料的低效使用和浪费。

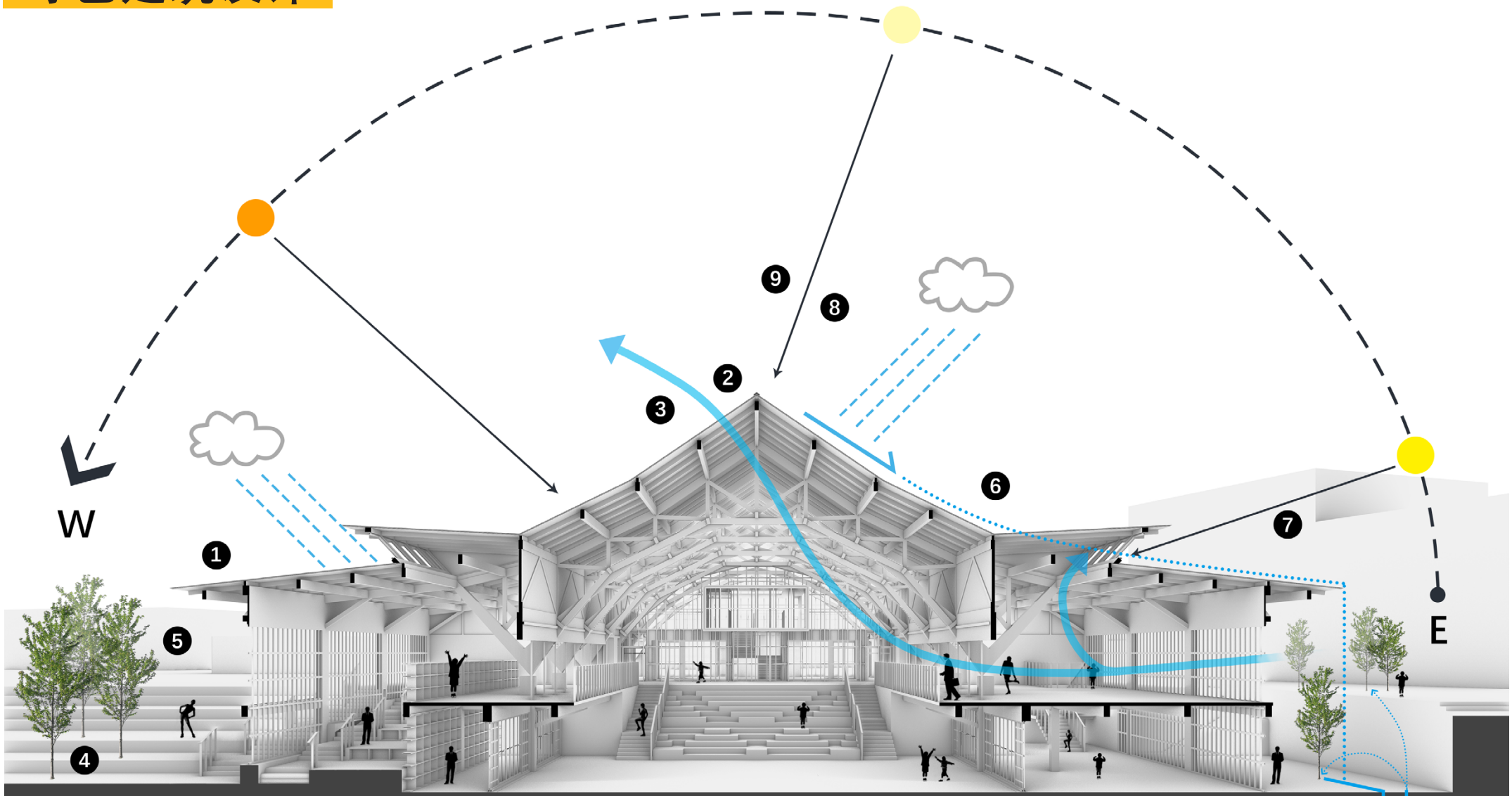
现代节点设计



节点连接分析图　　节点分解轴测图

现代木结构设计中，为了规避木节点的诸多缺陷，也便于结构计算，常常采用钢材节点进行连接。这样也提高了节点的预制和装配效率。考虑到钢材外露在外，容易发生氧化、存在防火问题等因素，本项目的节点设计经过优化，采用了钢板内置于木材之中的方式，让木材起到保护层的作用，同时让结构展现得更加简洁、美观。

绿色建筑设计



绿色建筑设计技术应用

1 建筑遮阳设计
2 加强自然采光
3 智能电动天窗，自然通风
4 自然声景利用
5 结合景观的防西晒设计
6 雨水利用
7 过渡季加强室内得热
8 冬季被动式太阳能利用设计
9 透光太阳能发电玻璃天窗

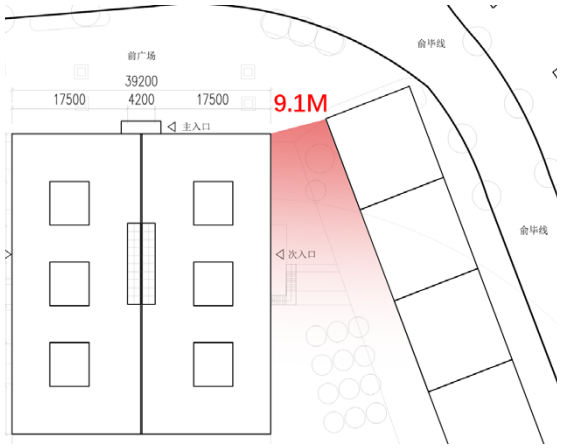
防火设计

《GB50016-2014（2018 年版）建筑设计防火规范》的第 5、11 章对木结构建筑的防火设计做了相应规定。根据要求，本项目的防火设计从建筑设计和结构设计两个层面展开。

建筑设计：
建筑耐火等级、防火间距、防火分区、安全疏散设计、建筑构件燃烧性能与耐火极限、材料构造设计等

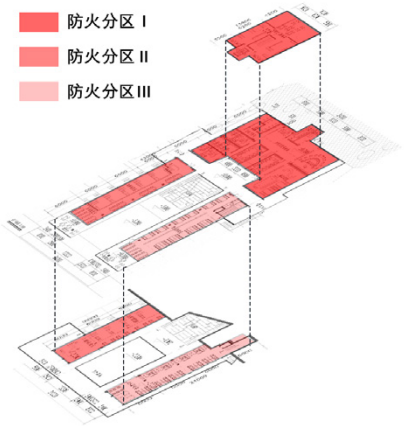
结构设计：
结构构件燃烧性能与耐火极限、结构构件耐火设计等

防火间距



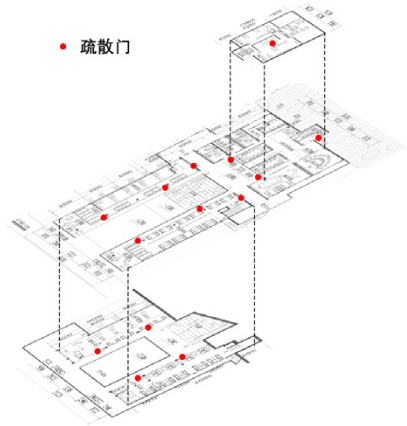
《GB50016-2014（2018 年版）建筑设计防火规范》11.0.10 条文中规定，木结构建筑与一二级民用建筑之间，防火间距为 8m。本设计项目外边与东面建筑间距为 9.1m。

防火分区



《GB50016-2014（2018 年版）建筑设计防火规范》 5.3.1 条文中规定，按照四级耐火等级的木结构建筑防火分区的最大允许建筑面积为 600m^2。在无喷淋设计的条件下，本设计项目满足要求。

安全疏散



《GB50016-2014（2018 年版）建筑设计防火规范》5.5.17 条文中规定，按照四级耐火等级的木结构建筑，展览建筑中疏散门到安全出口的直线距离为 30m。在无喷淋设计的条件下，本设计项目满足要求。

木结构防火设计计算

一、工程概况

本项目位于浙江省杭州市富阳区，建筑采用胶合木结构屋盖，结构形式为“编木拱+桁架”结构，结构高度 10 m，檐口高度 3.8 m，中间跨度 18 m。

二、参考规范

GB50005-2017 《木结构设计标准》
GB50016-2014（2018 年版）《建筑设计防火规范》

三、防火设计

按 GB50005-2017 《木结构设计标准》中规定：

（1）防火设计应采用下列设计表达式

$$S_k \le R_f \qquad (1)$$

式中：S_k——火灾发生后验算受损木构件的荷载偶然拼合的效应设计值，永久荷载和可变荷载均应采用标准值；

R_f——按耐火极限燃烧后参与木构件的承载力设计值。

（2）残余木构件的承载力设计值计算时，构件材料的强度和弹性模量应采用平均值。材料强度平均值应为材料强度标准值乘以规定的调整系数，胶合木的调整系数为：抗弯强度=抗拉强度=抗压强度=1.36。因此调整后的 GL30c 胶合木，抗弯强度为 $40.8N/mm^2$、顺纹抗压强度为 $34N/mm^2$、顺纹抗拉强度为 $27.2N/mm^2$。

（3）木构件燃烧 t 小时后，有效炭化层厚度按下式计算：

$$d_{ef} = 1.2\beta_n t^{0.813} \qquad (2)$$

式中：d_{ef}——有效炭化层厚度（mm）；

β_n——木材燃烧 1.00h 的名义线性炭化速率（mm/h）；

t——耐火极限（h）。

四、截面折减

屋顶构件（包括桁架和编木拱），耐火极限为 0.50h，格根据公式 （2）得到其有效炭化厚度为 26.0mm；梁柱构件（包括承重柱，V 型支座和楼板梁），耐火极限 1.00h，根据公式（2）得到其有效炭化厚度 45.6mm。

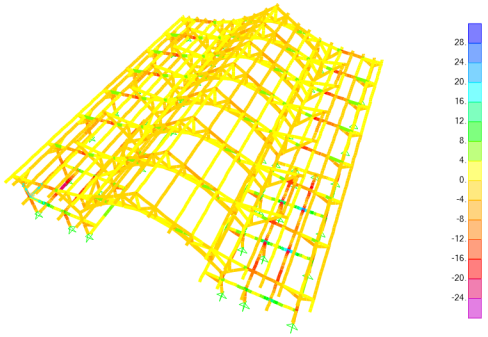
表 1 截面折减

构件	原截面		防火设计截面	
	宽（mm）	高（mm）	宽（mm）	高（mm）
上弦杆	130	304	78	278
腹杆	130	152	78	252
编木拱	80	228	删除侧边两根杆	
编木拱横梁	130	228	130	228
V 型支座内侧	315	660	224	569
V 型支座外侧	315	420	224	329
边柱	300	300	209	209
下部结构木主梁	265	456	174	410
下部结构木次梁	215	380	124	334

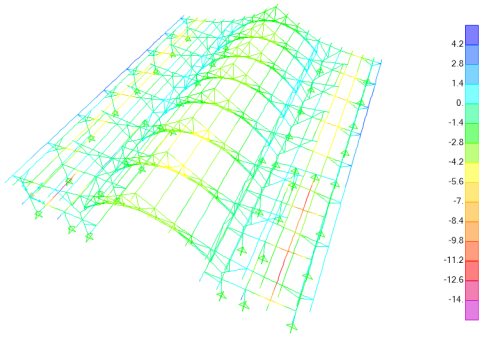
五、SAP2000 计算结果

（1）强度校核：最大拉应力为 28 N/mm^2 ≈ 27.2 N/mm^2，最大压应力为 24 N/mm^2 < 34 N/mm^2，满足要求。

（2）刚度校核：最大挠度为 14 mm，满足要求。



应力云图



挠度云图

03

结构设计图纸

说明

结构设计图纸主要包括以下两个部分：

第一部分 结构施工图
第二部分 节点大样图

结 构 设 计 总 说 明

一、工程概况
工程概况：本项目位于浙江省杭州市富阳区，建筑采用胶合木结构屋盖，结构形式为“榀木拱+桁架”结构，结构高度10m，檐口高度3.8m，中间跨度18m。
二、主要设计依据
《建筑结构制图标准》GB/T 50105-2010
《建筑结构荷载规范》GB50009-2012
《木结构设计规范》GB50005-2017
《胶合木结构技术规范》GB50708-2012
《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011
《建筑抗震设计规范》GB50011-2010
《建筑设计防火规范》GB50016-2014
《混凝土结构设计规范》 GB50010-2010
三、技术指标
1.功能定位：村民活动中心；
2.地震：场地设防烈度6度，设计基本地震加速度0.05g，建筑抗震设防类别为标准设防类(丙类)；
3.建筑结构安全等级：二级；工程重要性系数1.0。
4.场地类别：I类；
5.荷载取值：
(1)恒载D
屋顶为金属结构轻质屋面，计算取值为0.4kN/m2
(2)活载L
按照不上人屋面荷载，查询《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）取值为0.5kN/m2
四、主要结构材料及力学性能
1.木材材料性能：
(1) GL30c胶合木力学性能如下：

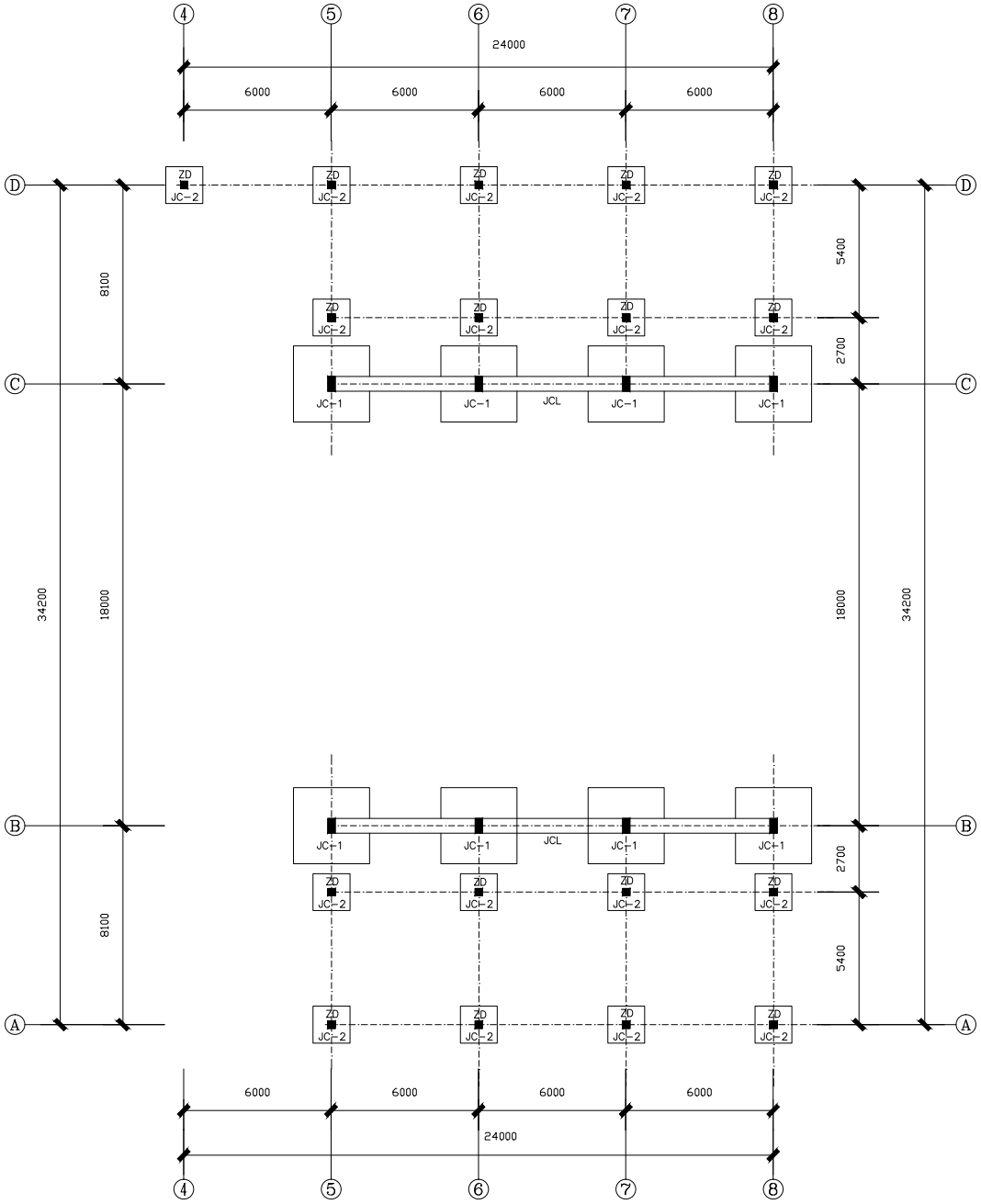
弹性模量	E=13000N/mm2
抗弯强度	Fm=30N/mm2
顺纹抗拉强度	Ft=20N/mm2
顺纹抗压强度	Fc=25N/mm2
顺纹抗剪强度	Fv=3.5N/mm2

上述木材外观等级为A，其强度详见《胶合木结构技术规程》(GB/T50708-2012)，木结构工质量满足《木结构工程施工质量验收规范》(GB50206-2012)。
2.钢材：
(1).本工程所用主要钢构件采用Q235所有室外暴露的金属连接件采用耐候钢，防护处理同室内做法，具体参照详图；
(2).木螺钉螺栓采用M10(热镀锌处理)；
(3).Q235钢符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700。
3.混凝土
(1).基础、连梁、柱均采用C30；钢筋 —HRB400，混凝土保护层厚度：基础:40mm；梁、柱:30mm。
六、钢连接板制作要求
1.图中所标注的尺寸均为体系温度(200°)时的尺寸，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接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；
5.各种板件的对接焊，采用坡口熔透，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。
6.焊接方法及材料：HPB300级钢筋、Q235B钢材采用E43型焊条。
7.柱脚连接件为钢板、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级检测，焊接质量检查分别按《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81，《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18要求。
8.钢构件防锈处理采用热浸镀锌工艺，除锌等级要求达到国标GBJ8923-88中的Sa2.5标准且表面厚度不小于85μm.表面处理后到涂底漆前，时间间隔不应超过6小时，在此期间表面应保持洁净，严禁沾

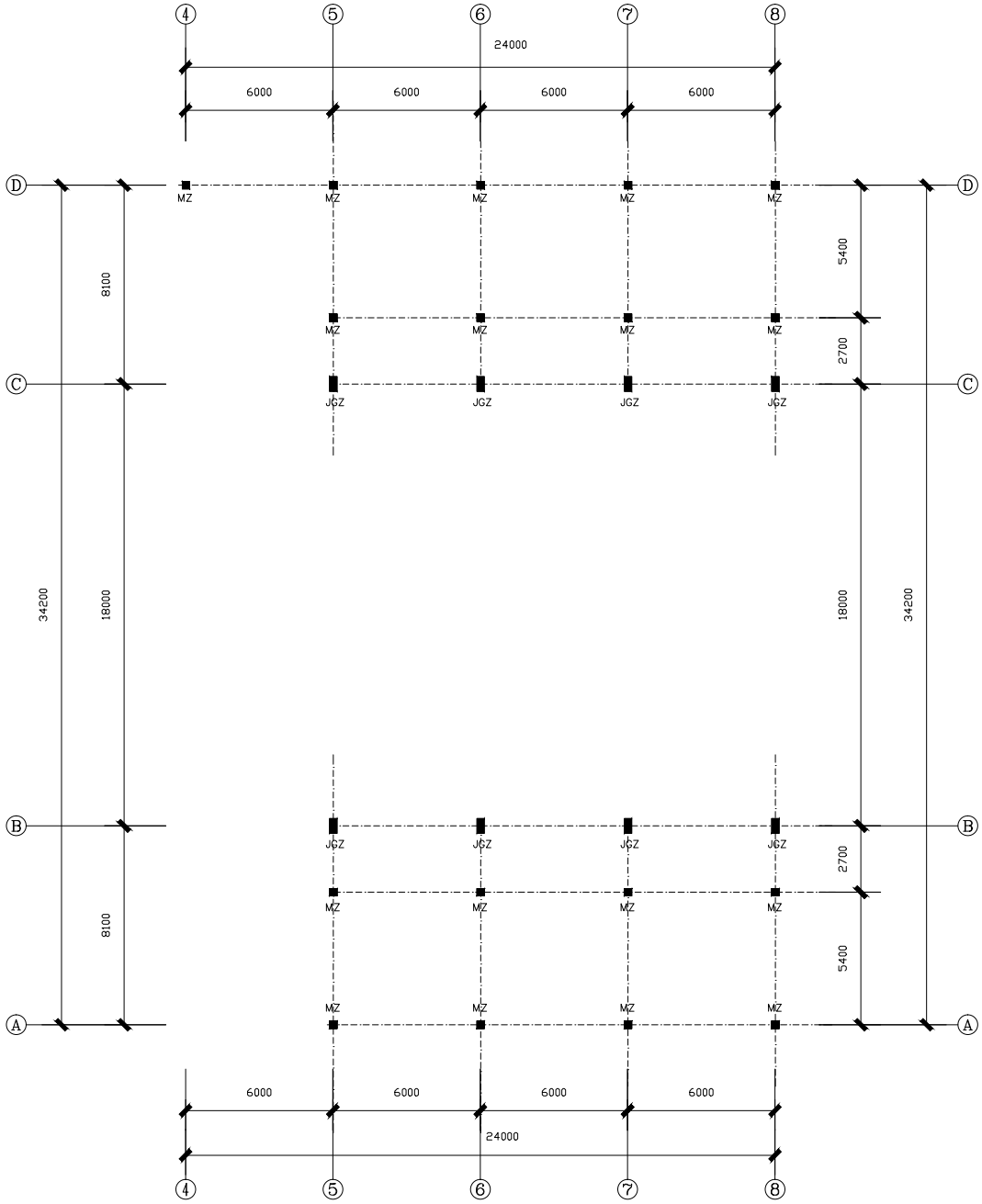
水、油污等。
9.其它有关制造要求，除设计图中特殊要求者外均按《钢结构设计规范》(GB50017-2003)和《木结构设计规范》(GB50005-2003)执行。
10.连接板焊接及表面处理均变形不能影响装配，钢板焊接变形误差应控制为+2mm；所有螺杆均为热镀锌。
11.热浸镀锌表面(除螺孔外)涂刷薄型防火涂料，须满足耐火极限1.25h要求，涂刷顺序底漆-逆，防火涂料，防锈面漆-逆。防火涂料不得与防锈底漆，面漆发生化学反应。当氟碳漆与防火涂料不发生反应时，采用氟碳漆作为底漆和面漆使用。
12.防火涂料须有国家检测机构对耐火性能认可的检测报告及生产许可证。涂料厚度按《钢结构防火涂料应用技术规程》CEC24规定计算获得。
13.钢板件表面氟碳漆颜色由建筑专业确定。
14.经防腐剂处理的木材不得造成连接件的锈蚀，且防腐剂应无毒、无味、无有害成分。

七、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，锌层厚度不小于85μm.
2.木结构防火采用结构抗火设计，需要满足现行标准《多层木结构建筑设计规程(试行)》(DB22/JT 160-2016)承重柱、 梁耐火极限1.5h的要求。
3.所有木结构方清漆露木纹，整体颜色为中轴线工程木方基准，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。
4.该工程所有胶合木构件及其开槽、切角等部位涂刷防火涂料2~3遍或者采用其他规范允许的措施，使胶合木构件耐火时间不低于1.5h。
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).胶合木构件使用的层板必须采取防虫处理(胶合前层板处理)；
(3).构件出厂前表面须采用专门的耐候防水漆涂饰,涂刷木饰油2~3遍，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均应采取相关措施,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、桦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,均不得使用未经检定合格的药剂。
(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。
八、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；主梁在制作时进行反拱处理,反拱高度为30m
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为6~12%，且相邻层板同含水率相差不应大于5%。
4.胶合木构件采用同等级坯工艺,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,构件表面应做刨槽处理。
5.木构件在未安装前必须防雨淋湿。
6.构件应存放在通风良好的仓库或棚棚内,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。
7.现场依编号,按图纸位置安装,严禁错号安装 ,严禁现场安装过程中进行二次扩孔。
8.木柱和木质墙体在安装过程中要做好临时支撑,以防结构失稳。
九、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,应特别注意保护，避免木结构构件被碰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.施工过程必须特别注意木柱、木梁、木质剪力墙板的临时支撑措施,待所在楼层结构件安装完毕后方可拆除支撑。施工单位临时支撑设计需要经设计部门确认后方可施工。
4.屋盖项板与檩条、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)，防止风吸力作用下掀起。
十、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、腐蚀等耐久性问题,应及时通知设计单位,做相应处理。
2.建议对所有胶合木构件定期维护,一般不超过5年,由具有专业施工资质的单位进行构件表面2- 3遍外涂刷,达到优良防水和耐候效果。

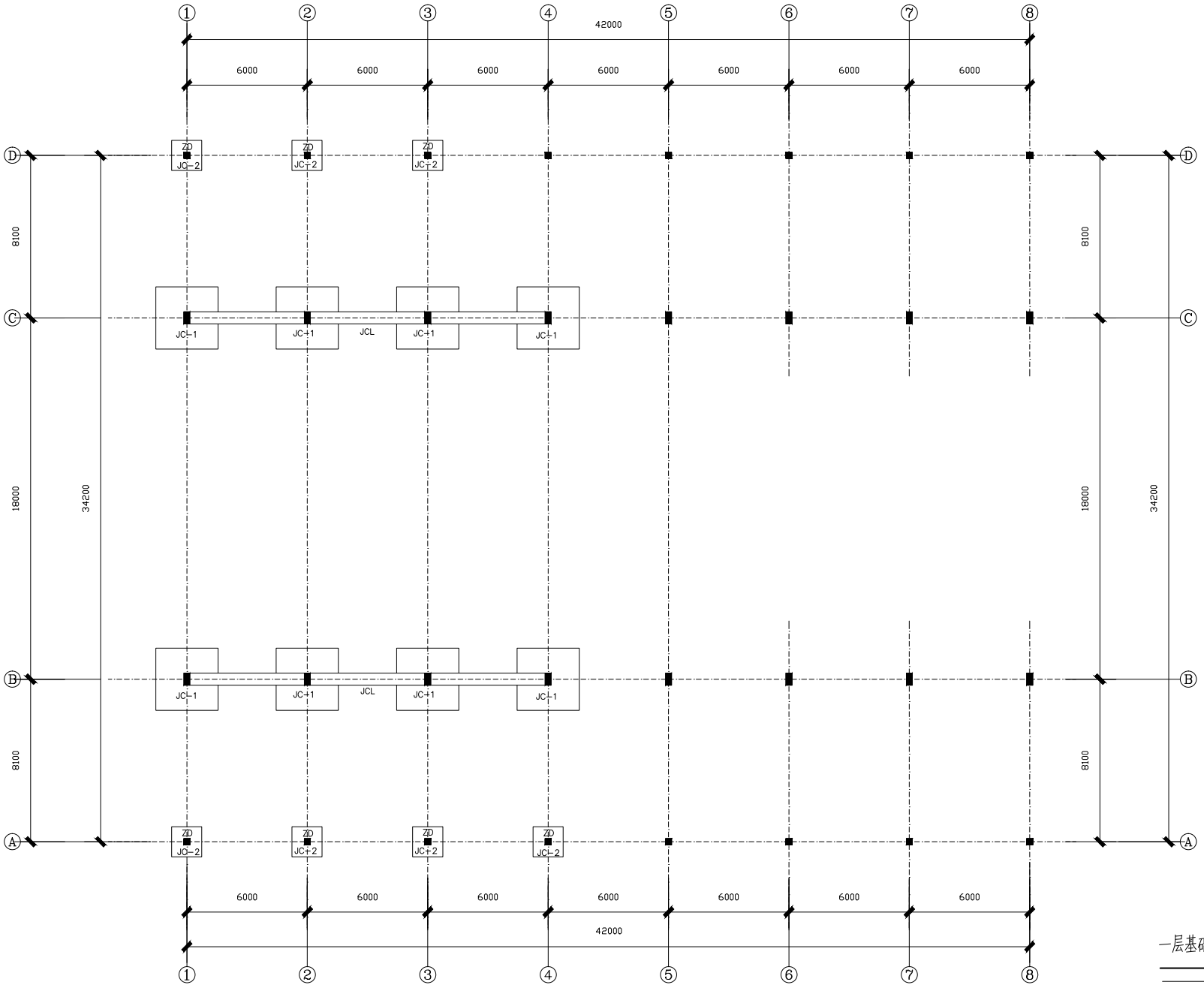
说明：
1.连接板所采用钢板采用Q235等级钢材,表面热浸清镀锌加氟碳漆处理;氟碳漆二遍,热浸镀锌的厚度不小于60um,螺栓采用M10强度等级5.8的螺栓,锚栓采用Q235钢锚栓。
2.除注明外,焊缝质量一级,满焊。
3.各种板件的对接焊,采用坡口熔透,焊缝的外观质量按照横向对接焊缝的相关标准控制,内部质量经超声波和射线探伤检验合格。
4.焊接坡口形式的选用应符合《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊接坡口的基本形式与尺寸》(GB985--88)和《埋弧焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》(GB986-88)中的要求。在正式加工前应按照有关规定的要求进行工艺试验评定。
5.木构件开槽宽度比对应钢板厚度大2mm,木构件、钢构件在螺栓处开孔孔径较螺栓直径大2mm,木构件在锚栓处开孔孔径较锚栓直径小1mm ,钢构件在锚栓处开孔孔径较锚栓直径大0.5mm.
6.图中所有标注、说明里单位均为毫米/mm.



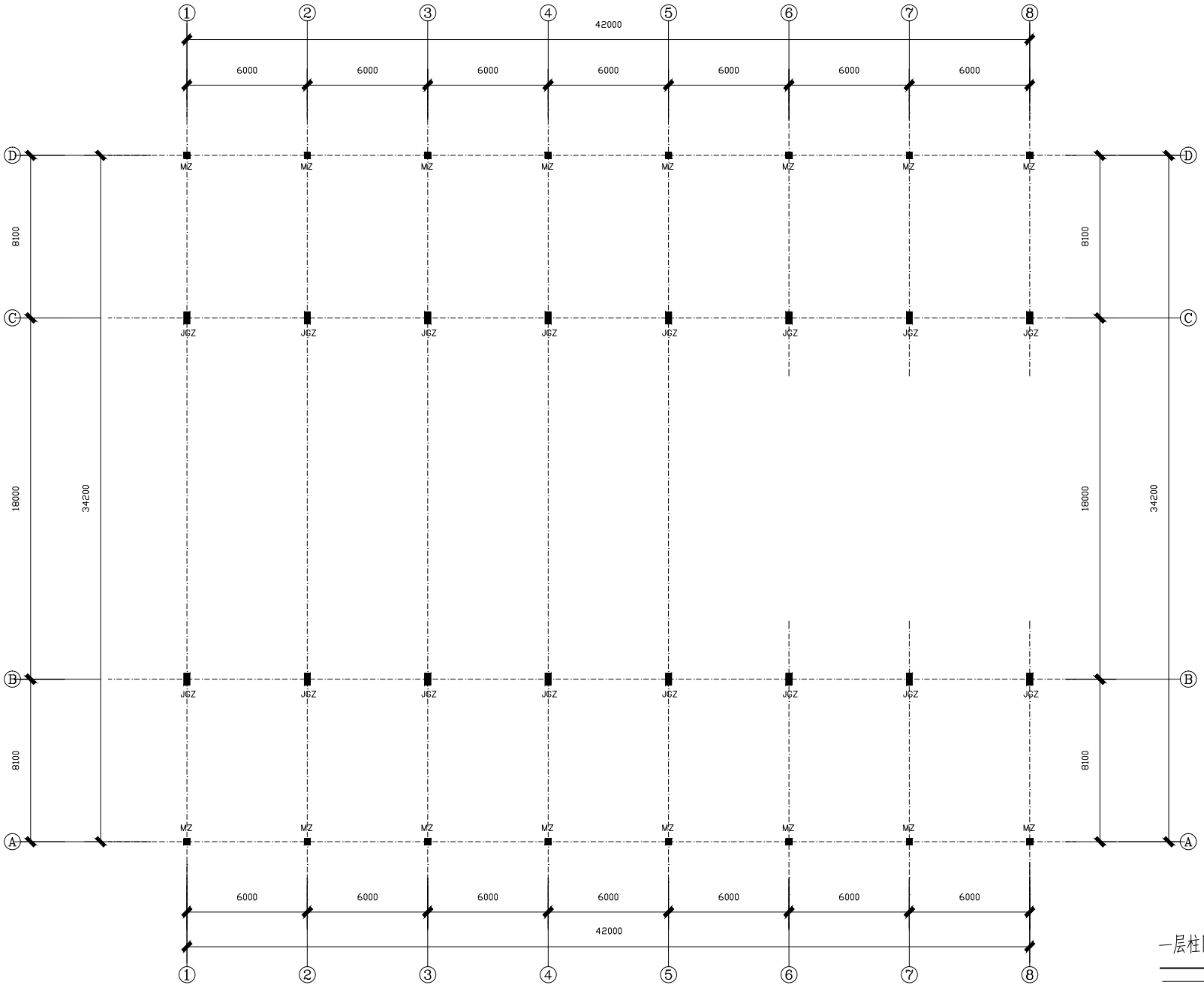
负一层基础布置图 1:200



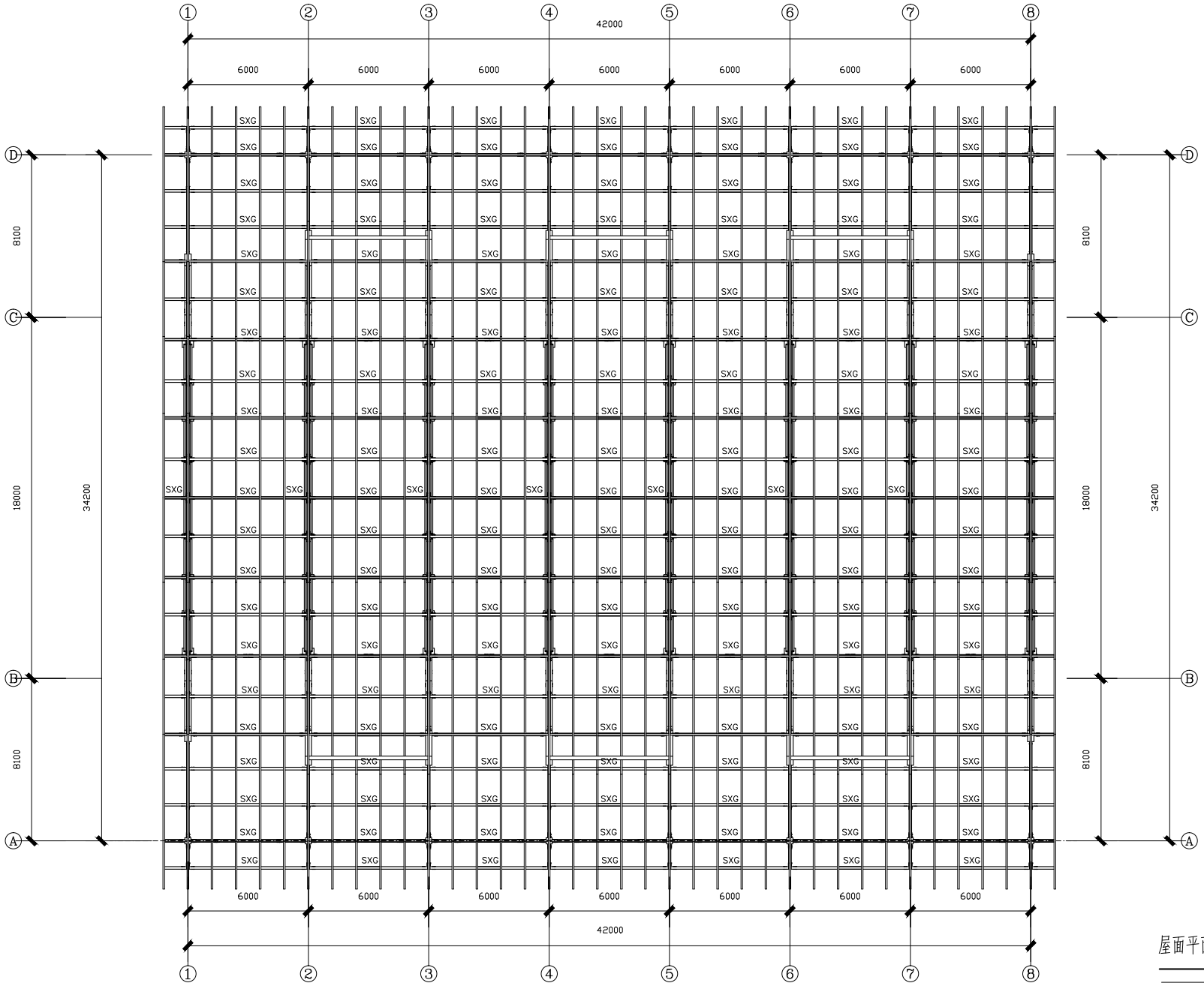
负一层柱网布置图 1:200



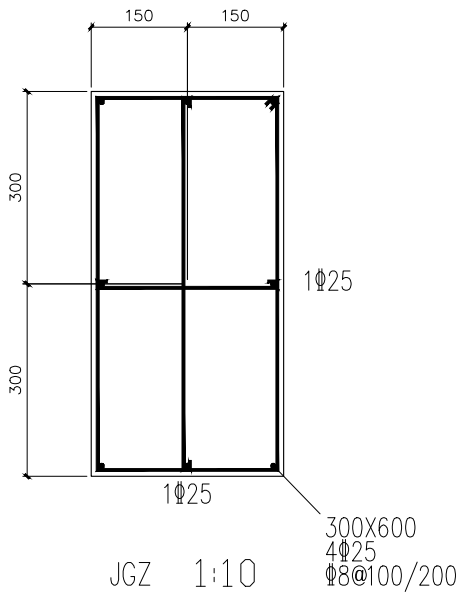
一层基础布置图 1:200



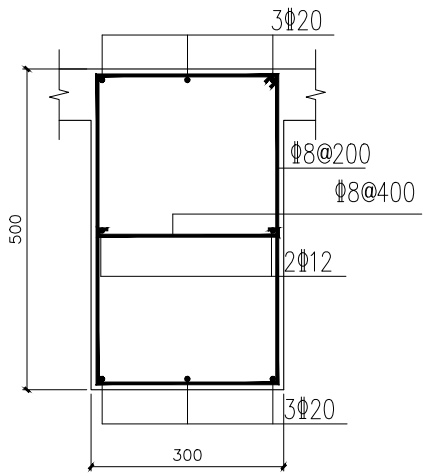
一层柱网布置图 1:200



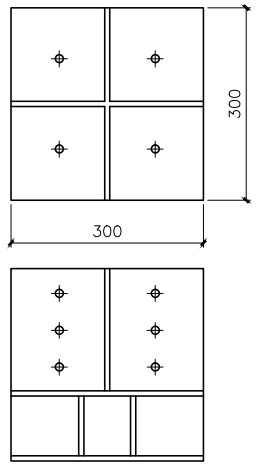
屋面平面布置图 1:200



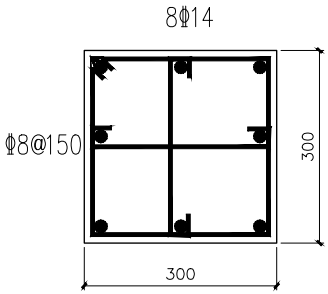
JGZ 1:10



JGL 1:10



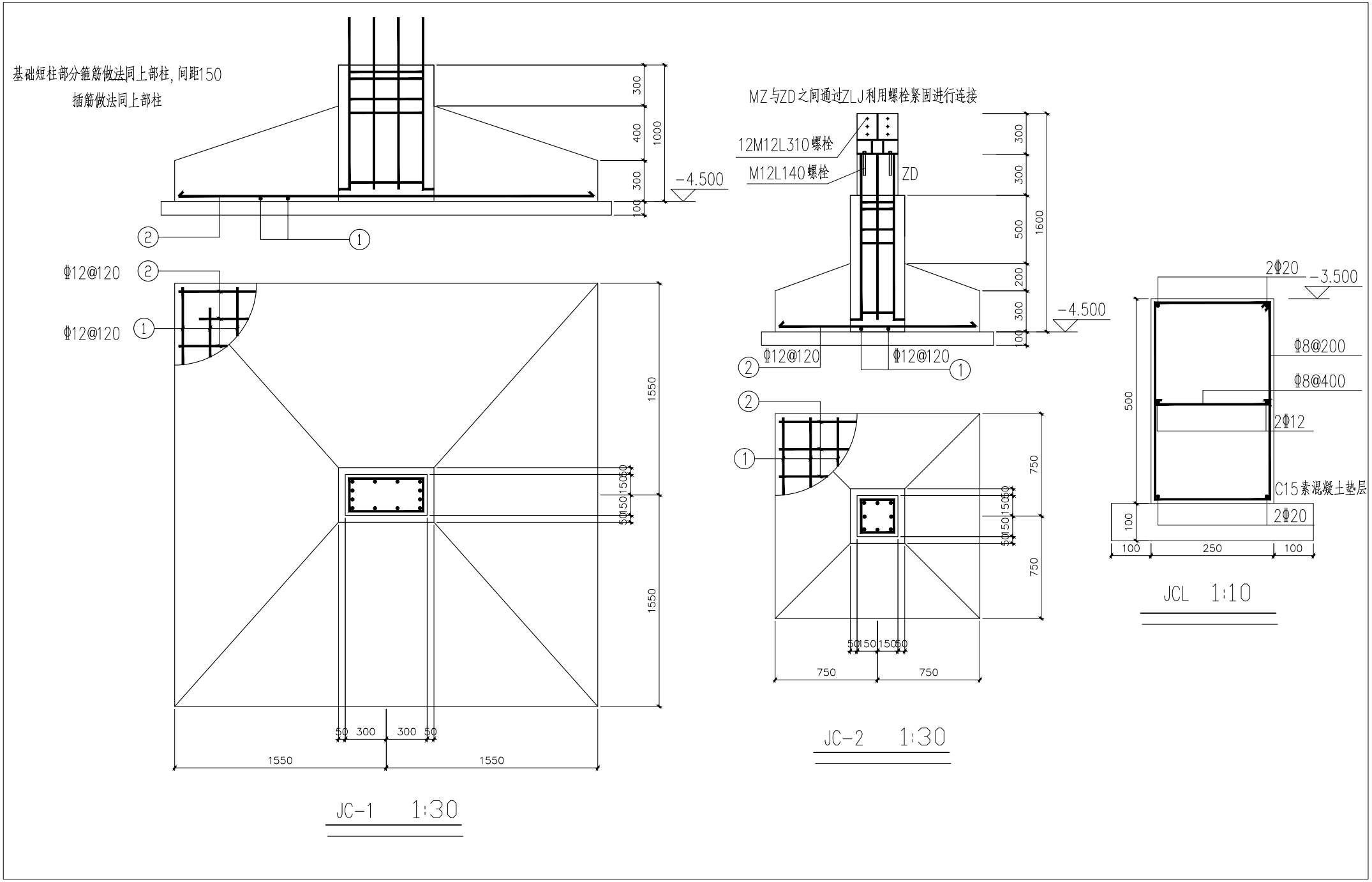
ZLJ 1:10

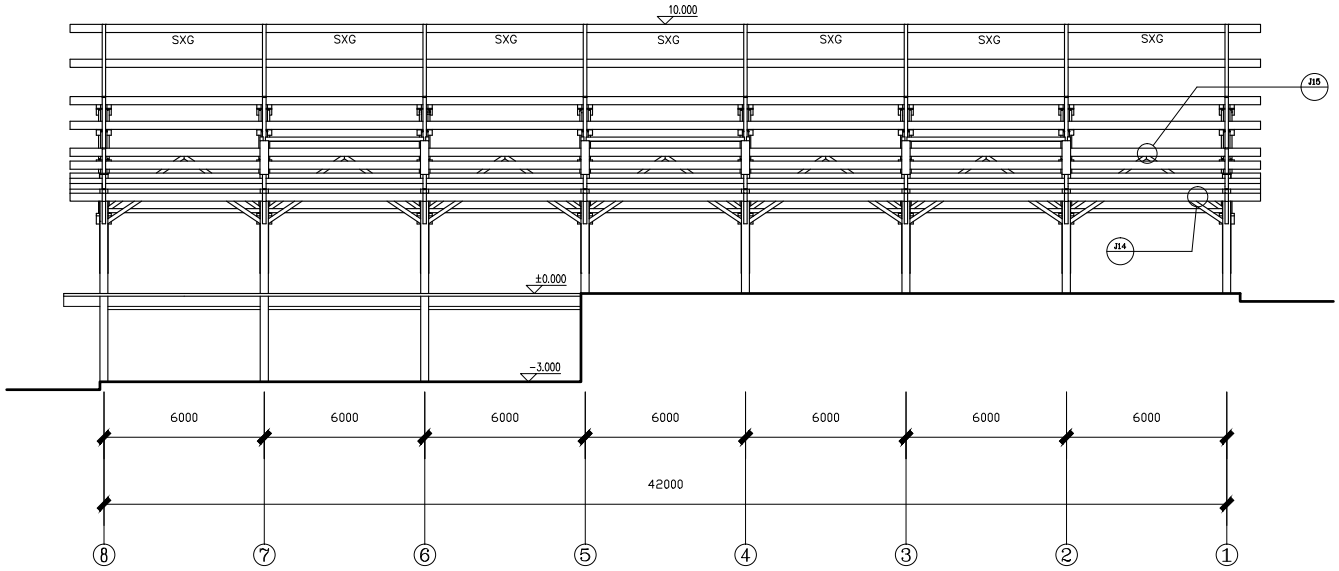


ZD 1:10

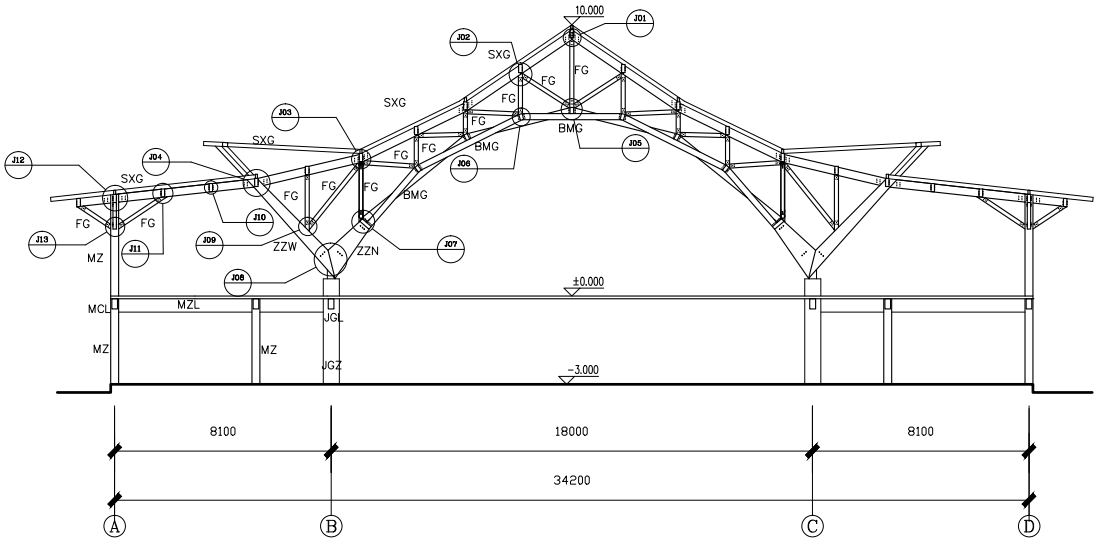
结构杆件明细表

杆件名称	材料	截面尺寸
SXG	GLT	130X304
FG	GLT	130X152
BMG	GLT	80X228
BMGJD	GLT	130X228
ZZN	GLT	315X660
ZZW	GLT	315X420
MZ	GLT	300X300
MZL	GLT	265X456
MCL	GLT	215X380
JGZ	C30	600X300
JGL	C30	500X300


基础短柱部分箍筋做法同上部柱，间距150
插筋做法同上部柱
300
400
300
100
1000
-4.500
②
①
Φ12@120
②
Φ12@120
①
1550
1550
50 150 150 50
50 300 300 50
1550
1550
JC-1 1:30
MZ与ZD之间通过ZLJ利用螺栓紧固进行连接
12M12L310螺栓
M12L140螺栓
ZD
300
300
500
200
300
100
1600
-4.500
Φ12@120
Φ12@120
②
①
②
①
750
750
50 150 150 50
750
750
JC-2 1:30
2Φ20
-3.500
Φ8@200
Φ8@400
2Φ12
C15素混凝土垫层
2Φ20
500
100
100
250
100
JCL 1:10

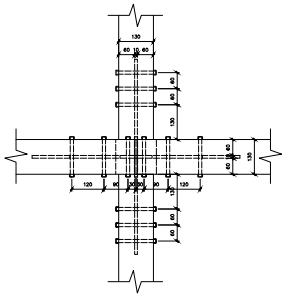


结构侧面及节点布置图 1:200

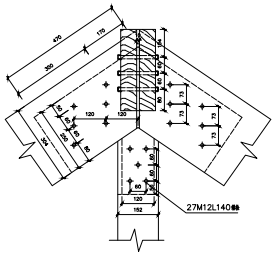


结构正面及节点布置图 1:200

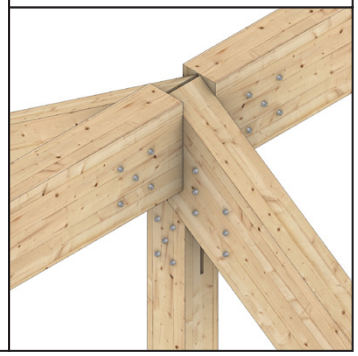
注：因设计成果篇幅有限，原绘制有 15 种木结构节点详图，现只展示 12 种节点详图。



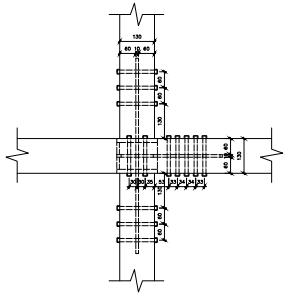
J01顶视图 1:10



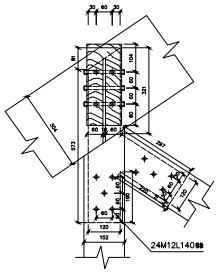
J01正视图 1:10



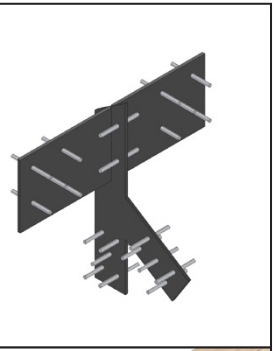
J01 节点大样图

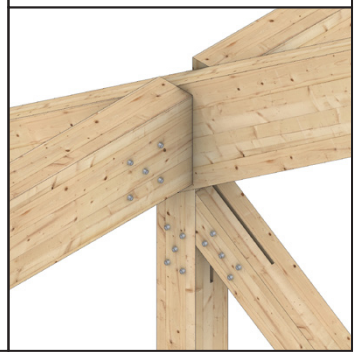


J02顶视图 1:10

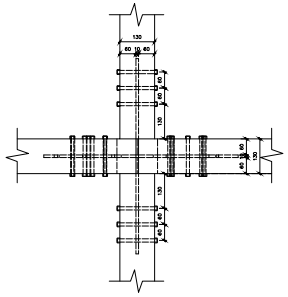


J02正视图 1:10

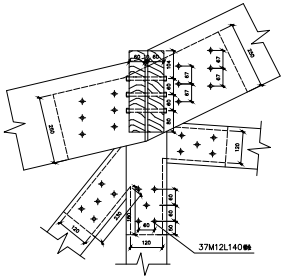




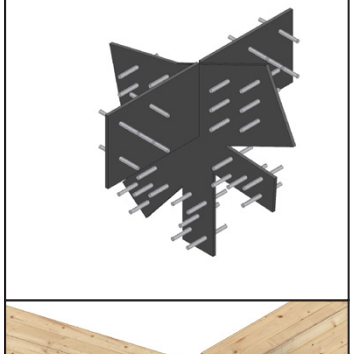
J02 节点大样图

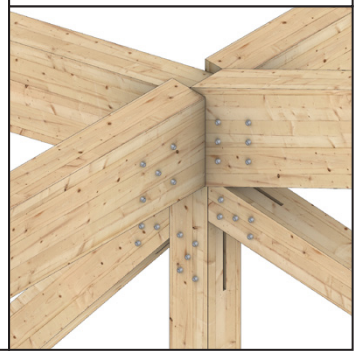


J03顶视图 1:10

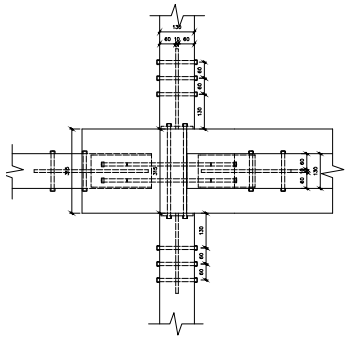


J03正视图 1:10

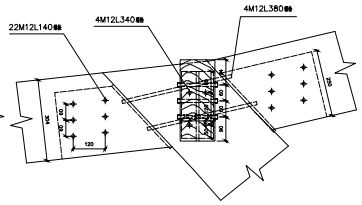




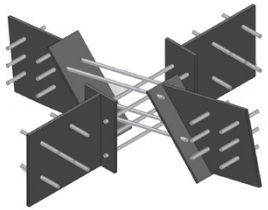
J03 节点大样图

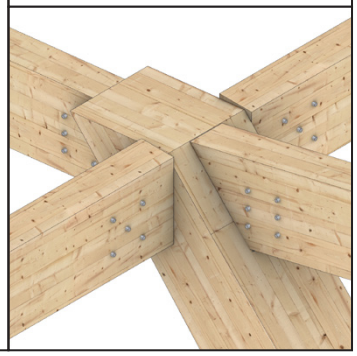


J04顶视图 1:10

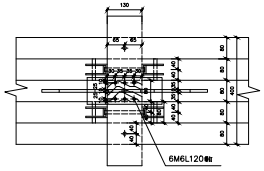


J04正视图 1:10

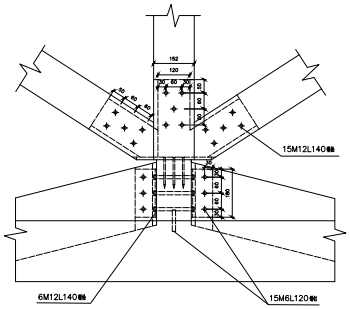




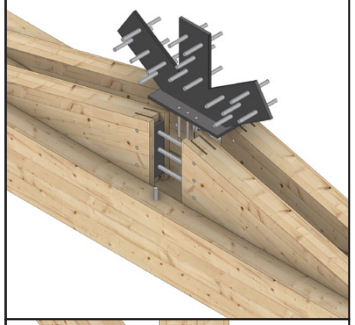
J04 节点大样图

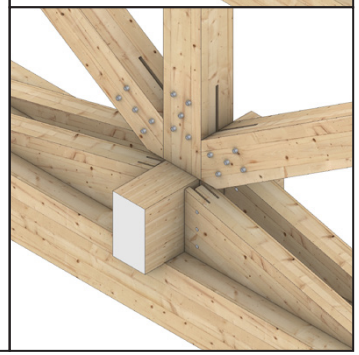


J05顶视图 1:10

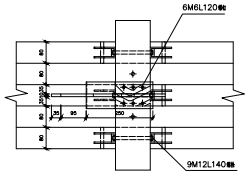


J05正视图 1:10

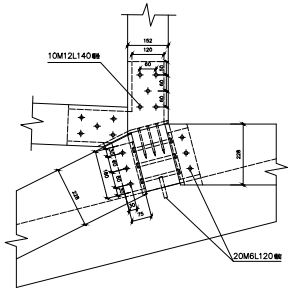




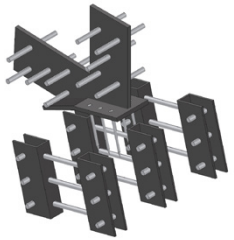
J05 节点大样图



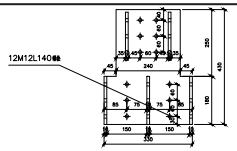
J06顶视图 1:10



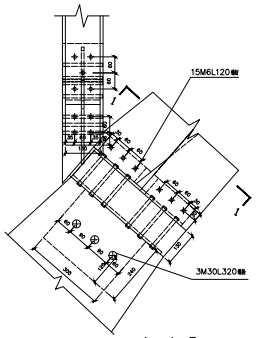
J06正视图 1:10



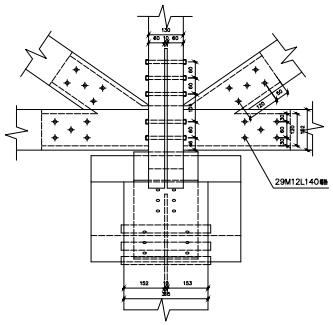
J06 节点大样图



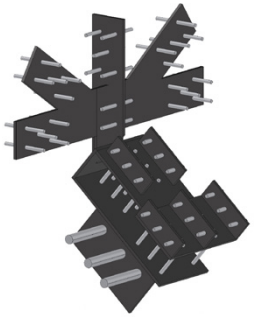
1-1剖面图 1:10

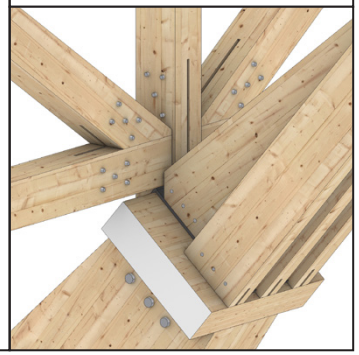


J07顶视图 1:10

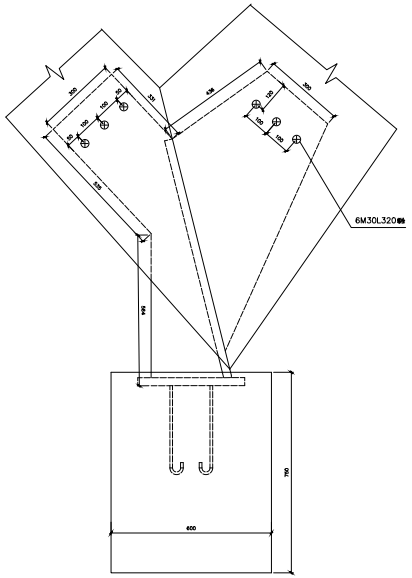


J07正视图 1:10

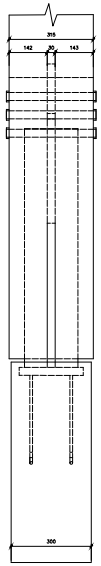




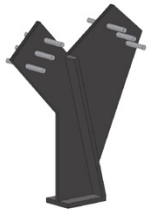
J07 节点大样图



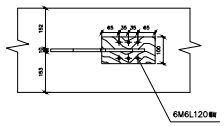
J08正视图 1:10



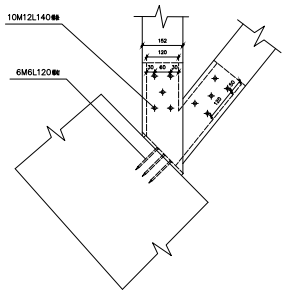
J08侧视图 1:10



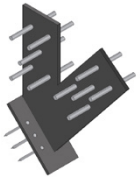
J08 节点大样图



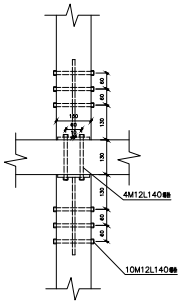
J09顶视图 1:10



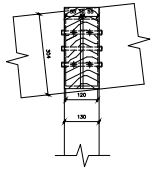
J09正视图 1:10



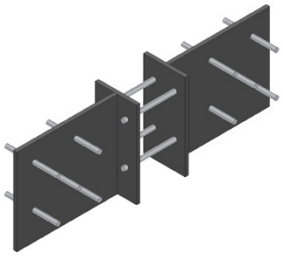
J09 节点大样图

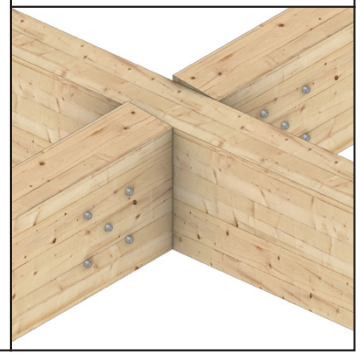


J10顶视图 1:10

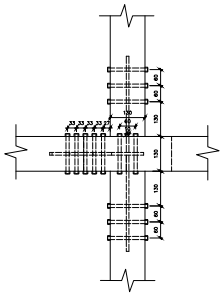


J10正视图 1:10

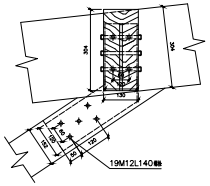




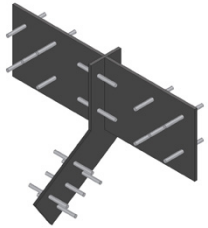
J10 节点大样图

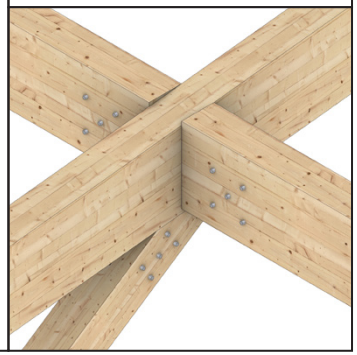


J11顶视图 1:10

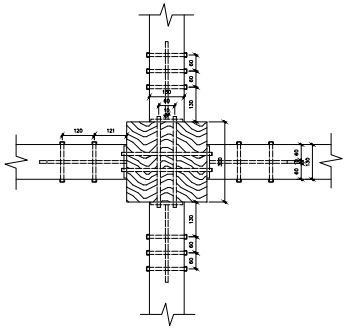


J11正视图 1:10

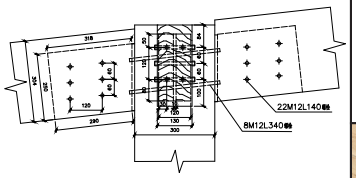




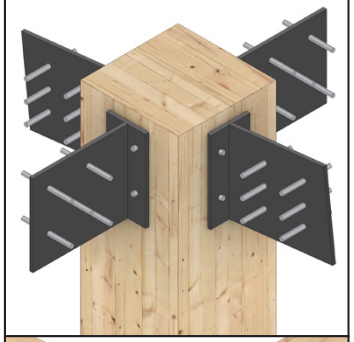
J11 节点大样图

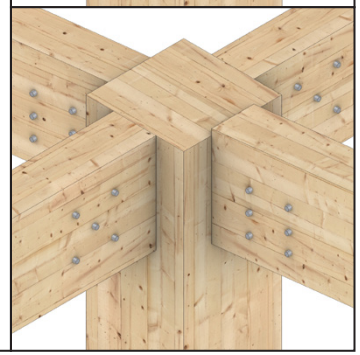


J12顶视图 1:10



J12正视图 1:10





J12 节点大样图

04

结构计算书

说明

本项目的结构设计较为全面地考虑了荷载组合、抗震设计等因素，结构构件及重要结构节点均经过计算校核。

结构计算书主要包括以下两部分：

第一部分 结构体系模拟
第二部分 主要节点模拟

结构体系模拟

模拟软件 SAP2000

设计说明 建筑地区为杭州市富阳区
抗震设防烈度6度，场地分组为第一组，Ⅱ类，设计地震基本加速度值为0.05g
屋面恒荷载结合屋面做法查询规范，取0.4 kN/m^2
屋面活荷载查询规范按照100年遇，取0.5 kN/m^2

模型参数

表1 荷载组合工况

组合工况	组合方式
工况1	1.3恒荷载+1.5活荷载
工况2	1.0恒荷载+1.0活荷载
工况3	1.0恒荷载+1.3x方向地震荷载
工况4	1.0恒荷载+1.3y方向地震荷载
工况5	1.0恒荷载+1.3(x方向地震荷载+y方向地震荷载)（x:y=1:0.85）
工况6	1.0恒荷载+0.5活荷载+1.3x方向地震荷载
工况7	1.0恒荷载+0.5活荷载+1.3y方向地震荷载
工况8	1.0恒荷载+0.5活荷载+1.3(x方向地震荷载+y方向地震荷载)（x:y=1:0.85）

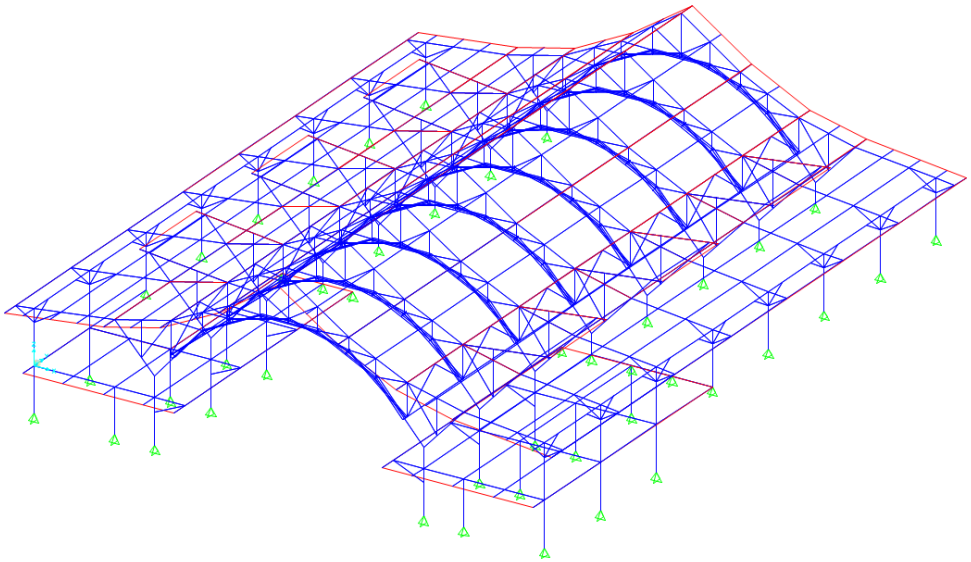
表2 材料特性

名称	重度 (kN/m³)	密度(10E3 kg/m³)	弹性模量 (kN/m²)	剪切模量 (kN/m²)	泊松比	热膨胀系数(1E-5/C)
C30	25.00	2.55	3.00E+007	1.25E+007	0.20	1.00
GL30c	3.90	0.40	1.30E+007	5.00E+006	0.30	1.17
HPB300	77.00	7.85	2.10E+008	/	/	1.17

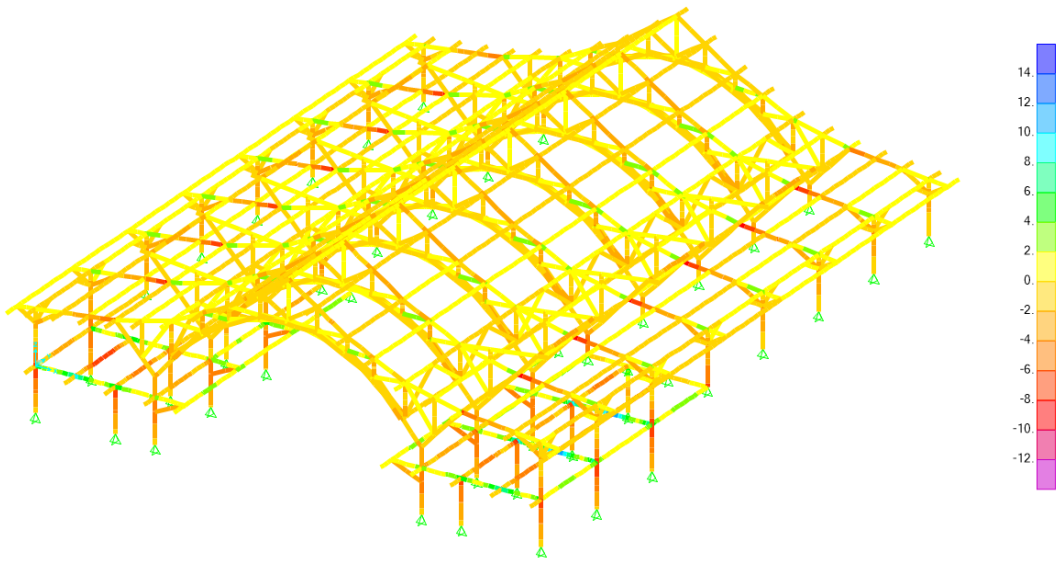
表3 框架截面

名称	材料	形状	t3 (mm)	t2 (mm)	tf (mm)	tw (mm)	t2b (mm)	tfb (mm)
304 130	GL30c	矩形	304.00	130.00	/	/	/	/
152 130	GL30c	矩形	152.00	130.00	/	/	/	/
228 80	GL30c	矩形	228.00	80.00	/	/	/	/
228 130	GL30c	矩形	228.00	130.00	/	/	/	/
660 315	GL30c	矩形	660.00	315.00	/	/	/	/
420 315	GL30c	矩形	420.00	315.00	/	/	/	/
300 300	GL30c	矩形	300.00	300.00	/	/	/	/
300 150	GL30c	矩形	300.00	150.00	/	/	/	/
380 215	GL30c	矩形	380.00	215.00	/	/	/	/
C500 300	C30	矩形	500.00	300.00	/	/	/	/
C600 300	C30	矩形	600.00	300.00	/	/	/	/
494 215	GL30c	矩形	494.00	215.00	/	/	/	/

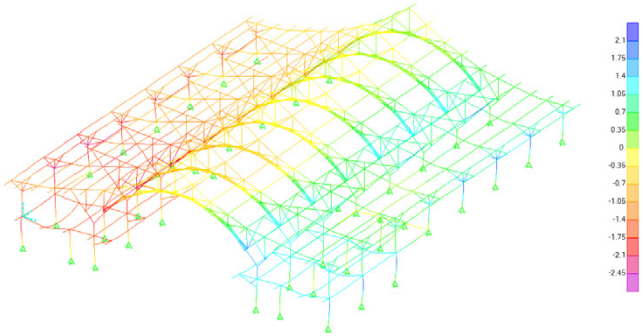
计算结果



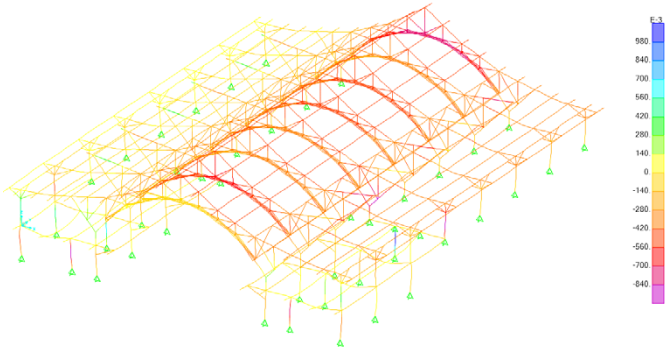
模型图



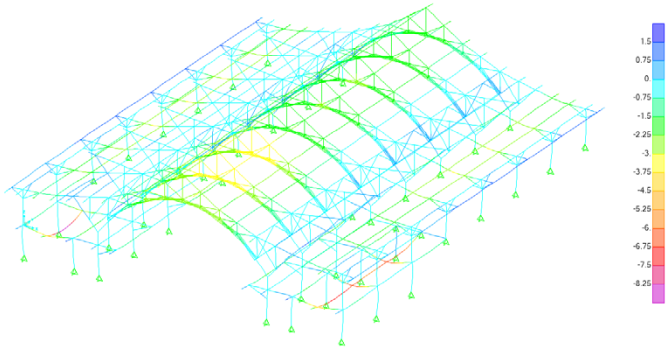
应力云图（N/mm^2）



X 轴位移云图（mm）



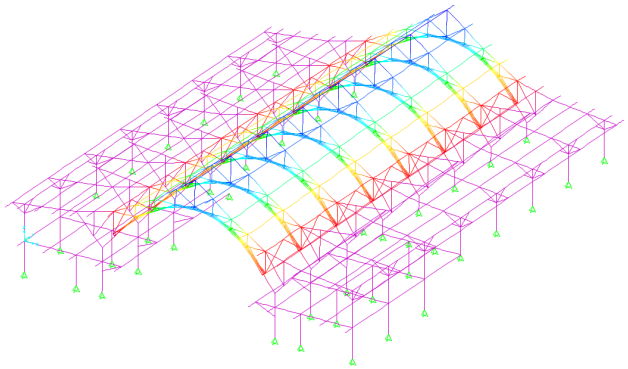
Y 轴位移云图（mm）



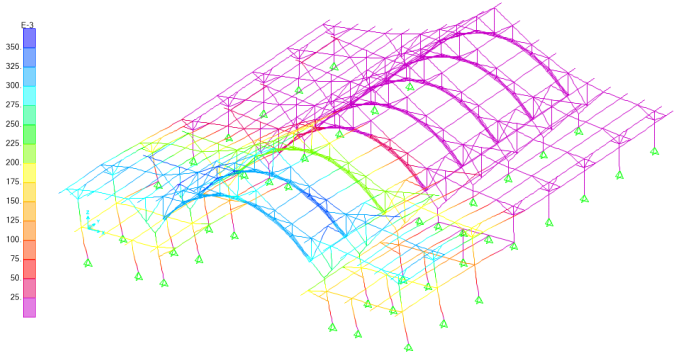
Z 轴位移云图（mm）

结论 如图所示，木结构整体变形状况良好，各杆件承载力、挠度变形均满足规范要求。

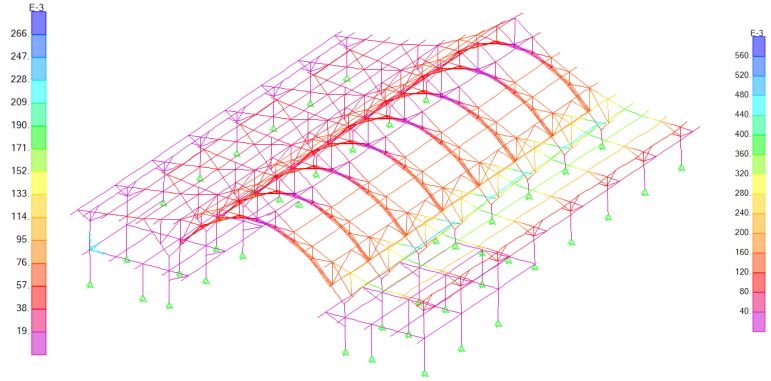
振型分析



一阶振型
Y 轴平动，周期 0.40s，频率 2.50Hz



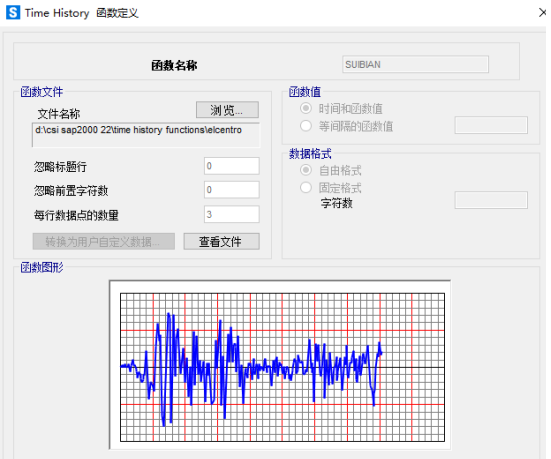
二阶振型
X 轴平动，周期 0.24s，频率 4.17H

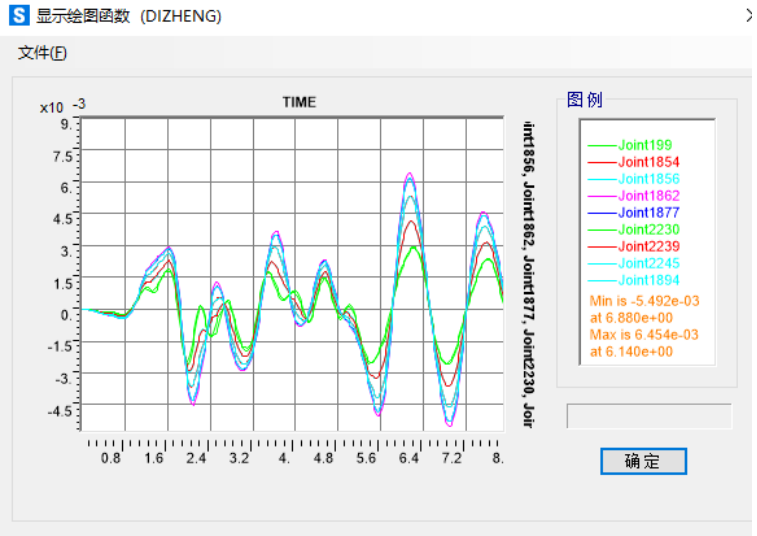


三阶振型
Y 轴扭转，周期 0.20s，频率 5.00Hz

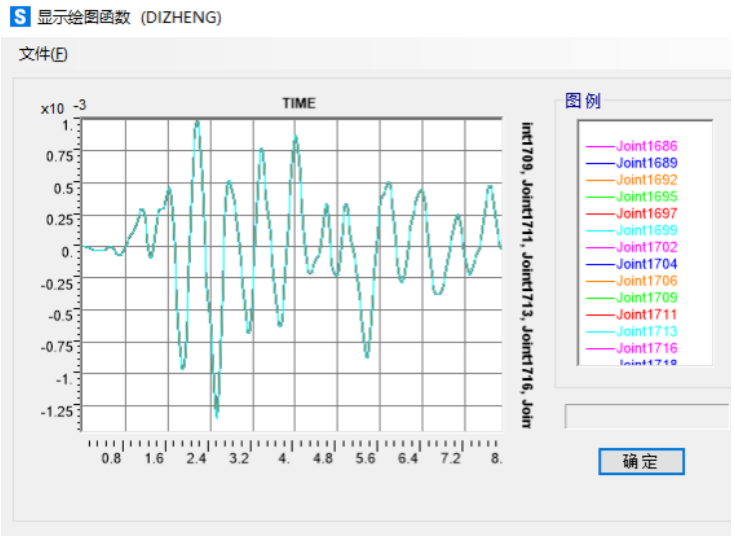
时程分析

取罕遇地震下的加速度时程最大值：125 cm/s^2
X 方向地震加速度 :Y 方向地震加速度 = 1：0.85
地震波为 elcentro
横坐标为时间单位 s，纵坐标为位移单位 m





位移时程曲线
弦杆位移最大处 9 个节点



位移时程曲线
柱子顶部位移最大处 16 个节点

结论 模拟结果表明，所有弦杆位移、柱子顶部位移均满足要求。

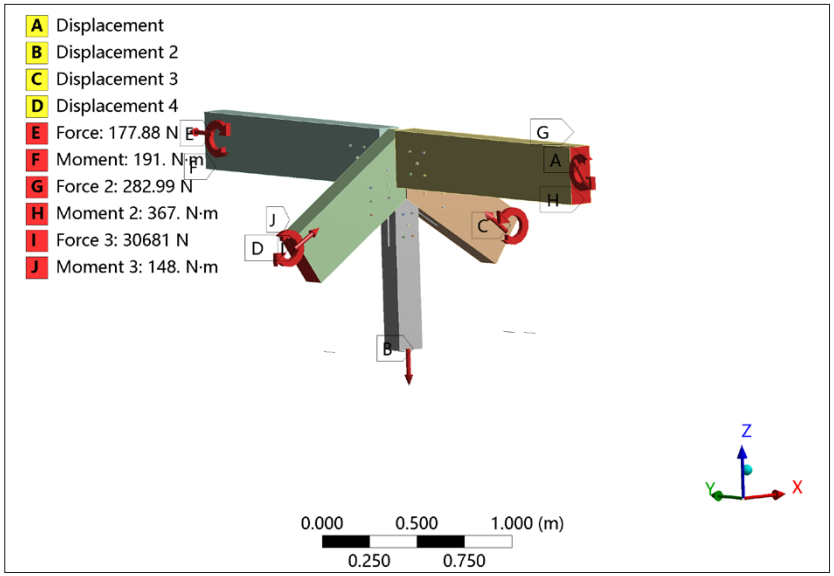
主要节点模拟

模拟方法 主要受力构件复核及主要节点复核方面，由于构件的种类和数量较多，而且节点处钢板的形状较复杂，采用公式法进行验算费时费力，过多的简化可能会影响最终的结果。因此，本项目采用了软件模拟的方法，局部采用公式法进行验算。

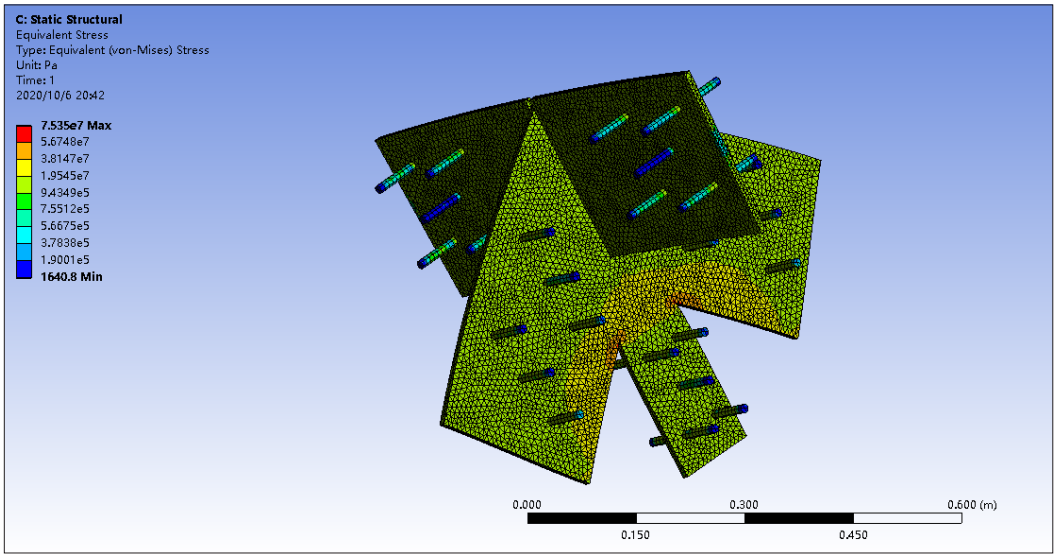
模拟软件 Ansys Workbench

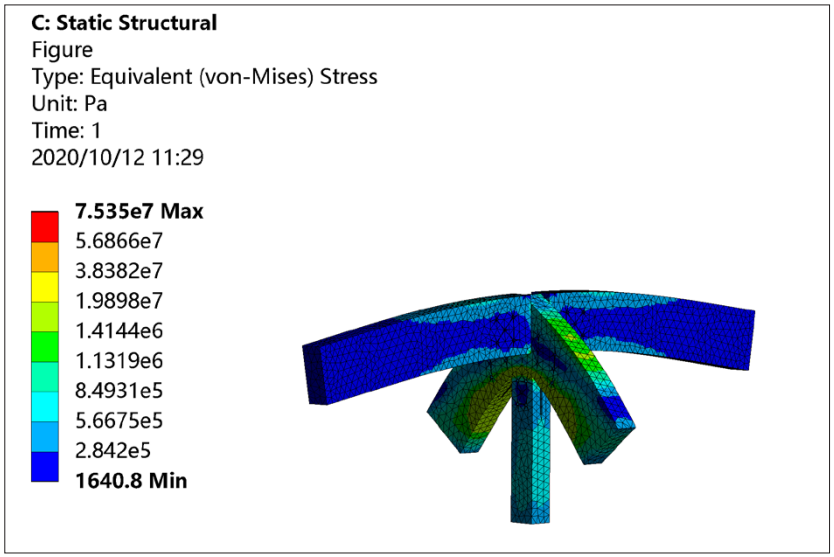
材料参数 钢板采用 Q235B 钢，名义屈服强度为 235 N/mm^2，抗拉、抗压、抗弯强度为 215 N/mm^2，抗剪强度为 125 N/mm^2
木材采用胶合木，抗弯强度为 30 N/mm^2、顺纹抗压强度为 25 N/mm^2、顺纹抗拉强度为 20 N/mm^2

边界条件 先用 SAP2000 软件模拟整体结构性能，再从中提取出杆件截断处的位移与节点荷载，施加在木材各个截断面上（如右图所示）。

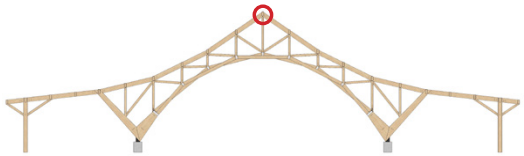


结果示例





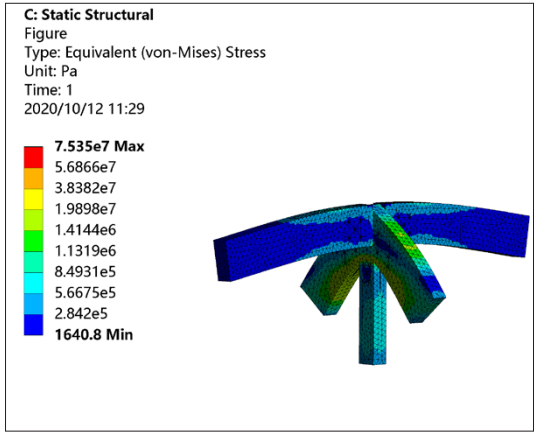
模拟结果 选取了 6 种典型节点进行模拟验算，详见下页内容。
模拟结果表明，构件设计都满足了各个材料的力学性能要求。

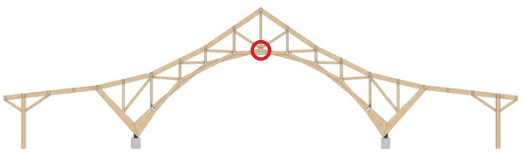


J01 节点

分析

跨中上弦杆与腹杆交接处
木材最大应力 5.47 N/mm^2 < 25 N/mm^2
钢板最大应力 75.35 N/mm^2 < 215 N/mm^2
螺栓最大剪应力 3.21 N/mm^2 < 129 N/mm^2

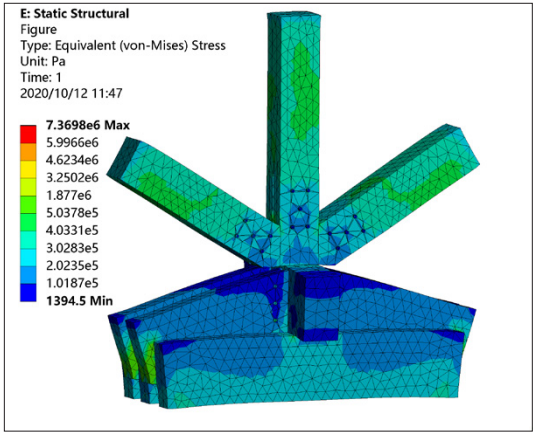




J05 节点

分析

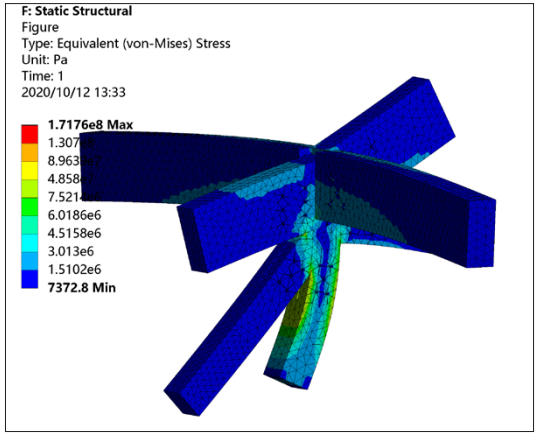
跨中下弦杆与腹杆交接处
木材最大应力 0.95 N/mm^2 < 25 N/mm^2
钢板最大应力 7.37 N/mm^2 < 215 N/mm^2
螺栓最大剪应力 5.97 N/mm^2 < 129 N/mm^2



J03 节点

分析

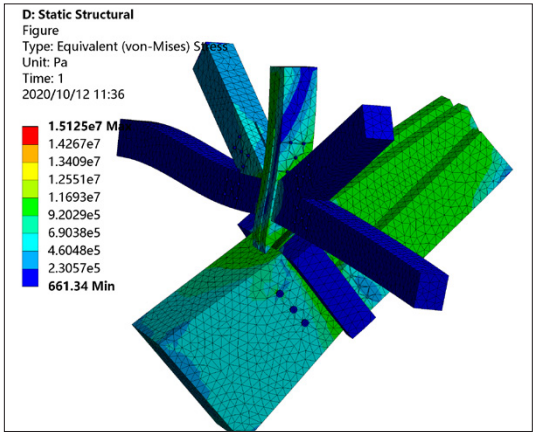
V 型支座内侧上弦杆与腹杆交接处
木材最大应力 13.44 N/mm^2 < 25 N/mm^2
钢板最大应力 171.76 N/mm^2 < 215 N/mm^2
螺栓最大剪应力 4.84 N/mm^2 < 129 N/mm^2



J07 节点

分析

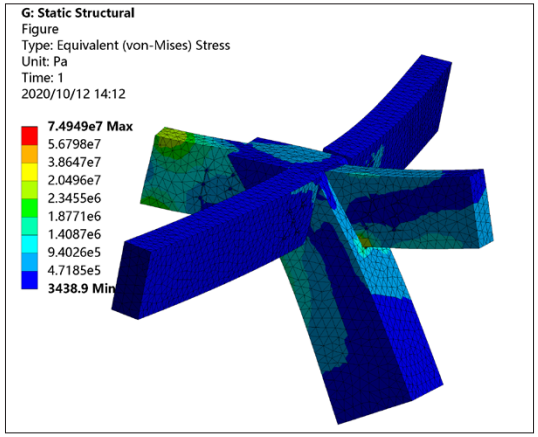
V 型支座内侧下弦杆与腹杆交接处
木材最大应力 3.89 N/mm^2 < 25 N/mm^2
钢板最大应力 15.13 N/mm^2 < 215 N/mm^2
螺栓最大剪应力 3.05 N/mm^2 < 129 N/mm^2



J04 节点

分析

上弦杆与 V 型支座交接处
木材最大应力 18.76 N/mm^2 < 25 N/mm^2
钢板最大应力 74.95 N/mm^2 < 215 N/mm^2
螺栓最大剪应力 2.08 N/mm^2 < 129 N/mm^2



J08 节点

分析

V 型支座处
木材最大应力 1.32 N/mm^2 < 25 N/mm^2
钢板最大应力 22.34 N/mm^2 < 215 N/mm^2
螺栓最大剪应力 0.99 N/mm^2 < 129 N/mm^2