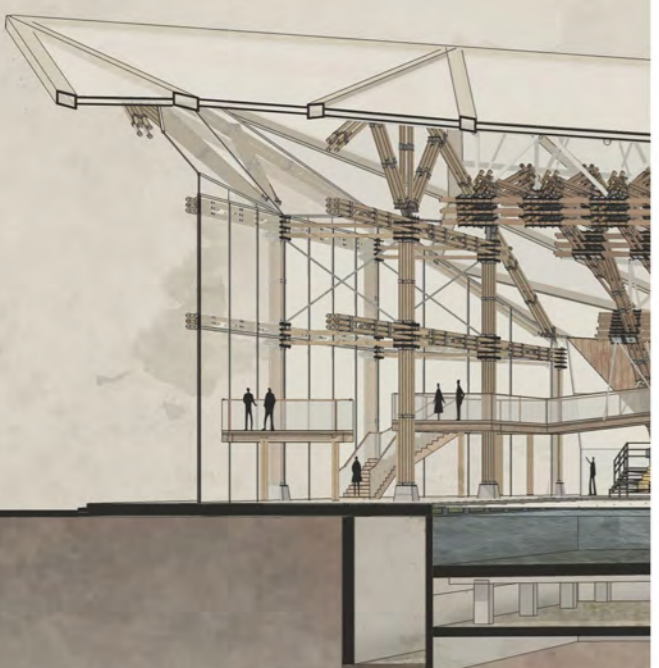




小口径·桥

Design of wood structure natatorium of college, Nanjing
高校木结构游泳馆设计



小口径·桥——高校木结构游泳馆设计

Small-diameter · Bridge——Design of wood structure
natatorium of college, Nanjing

目录 | CONTENTS

01. 方案设计	01
02. 建筑图纸	24
03. 结构图纸	30

方案设计

小口径·桥——高校木结构游泳馆设计

Small-diameter · Bridge——Design of wood structure natatorium of college, Nanjing



南京

南京是中国四大古都、首批国家历史文化名城，是中华文明的重要发祥地，历史上曾数次庇佑华夏之正朔，长期是中国南方的政治、经济、文化中心。南京地貌特征属宁镇扬丘陵地区，以低山缓岗为主，且属北亚热带湿润气候，四季分明，雨水充沛。



高校

南京的高校数不胜数，无论是教育还是科研都是能够以另全国的先进城市。而高校又是各行各业先进思想的发源地。木建筑在高校内率先发展，是推广木建筑的有效途径，因为高校具有引领最新建筑趋势的能力。



游泳馆

游泳馆与木结构建筑的结合，是水与木的结合，无论从文化底蕴方面，还是使用者的角度，这个结合都是具有领先意义的。水与木都属自然元素，水木元素的搭配将赋予游泳馆新的意义。

○ Q1:如何应对木材资源匮乏的现状？

○ Q2:如何传承木构建筑？

A:我们的设计。。。



受益于可持续发展观念的普及，木构建筑以现代形式再次回到大众视野。传统木构建筑的传承与发展成为现代木建筑无法避开的话题，一方面，传统木构建筑极高的审美价值和丰富的技术内涵启发了现代木建筑，另一方面，木材加工技术的发展、森林资源短缺的现实以及审美取向的转变都影响着木构建筑设计方法。传统大木作逐渐演变为构件尺寸更小、效率更高的现代木建筑、

问题 1 如何应对木材资源匮乏的现状？

随着全球森林面积的日益减少，天然次生林和集化的人工林，特别是速生人工林的比例迅速增长，未来的林木直径将普遍降低，工业用原木将主要由径级小于24厘米的小径原木构成。因此，国际上对小径原木的开发与利用都非常重视。我国拥有丰富的速生林资源，在木材资源短缺的现实背景下，小径木作为速生林的间伐产物，产量丰富，其利用方式及利用价值仍具有很大的开发空间。



问题 2 如何传承与发展木建筑？

江浙、福建一带历史上有通过小尺度木材巧妙搭接实现大跨度的木拱技术，称之为贯木拱桥技术。贯木拱技术得到了桥梁界的关注，当代建筑师亦从中得到启发，运用到自己的建筑实践中。

风行于北宋的木拱廊桥

贯木拱桥梁具有极高的传统美学价值

以小尺度木方实现木构架大屋顶

轻质而速成的临时居住单元

比起众多仿古建筑对中国古建大屋顶“形”的仿摹，这种对古代营造技术的继承和发展，是更加本质的哲学层面的血脉联系，让古代技术在现代有了新的生命力。

木拱廊桥
以梁木穿插别压形成拱桥，足支撑在两岸的岩石上，底座由数十根粗大圆木纵横拼接对拱而成“八字结构”，不用钉铆，完全靠它自己本身的强度、摩擦力和直径的大小、所成的角度、水平的距离等巧妙搭接，结构简单，却坚固异常。据了解，已经81岁的唐寰澄是中国现代最早对木拱廊桥进行研究并指出其结构原理的人，他发现《清明上河图》中的汴水虹桥实际上曾在北宋流行过的木拱桥梁的桥式。

廊桥实为桥与屋紧密结合的建筑，正如古体的象形会意字“桥”，材料以木开始，上立之人与桥紧密融合，桥上的廊屋既可以保护桥体的木结构不受侵蚀，又可为路人提供避风遮雨、避暑纳凉、歇脚停担之所，甚至成为人们交流信息、易换物资的肆市，它的交通功能和人文情怀已经密不可分地结合在一起。





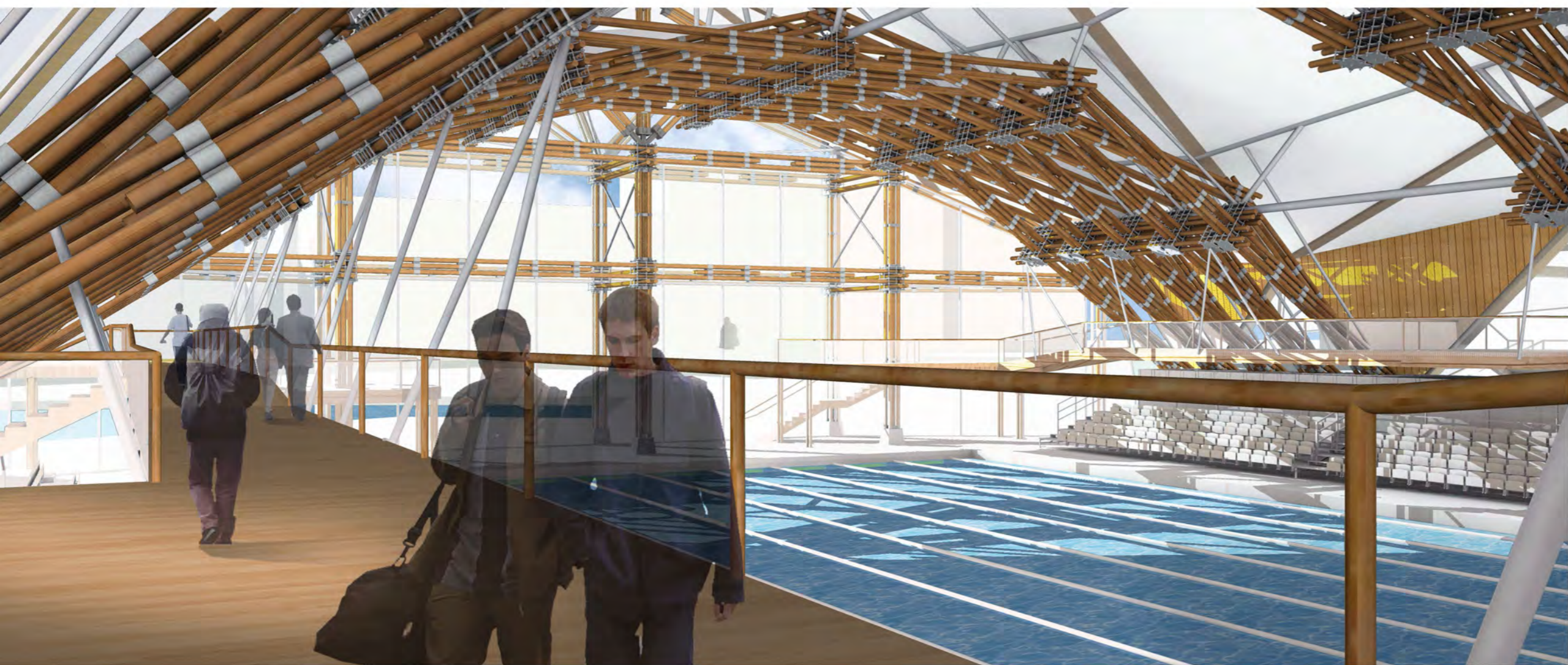




泳池



二层平台



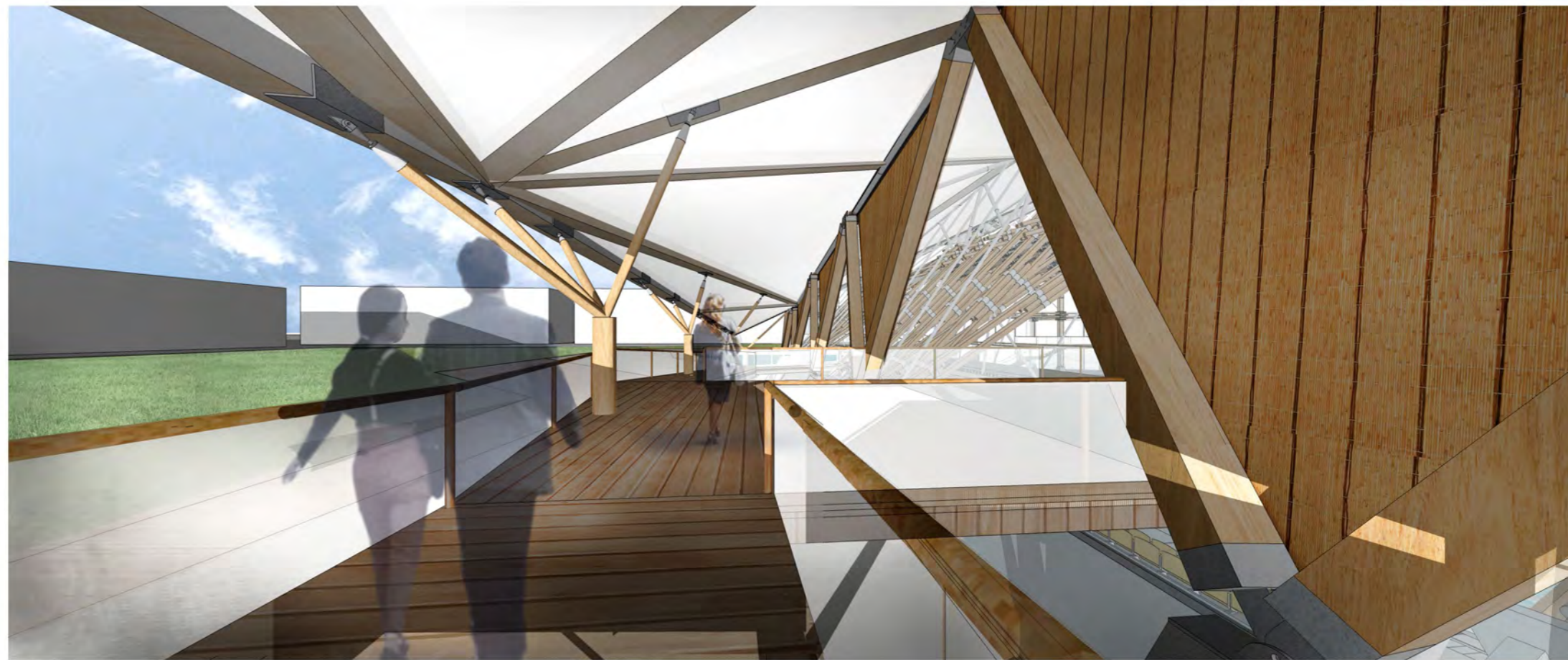
二层廊道



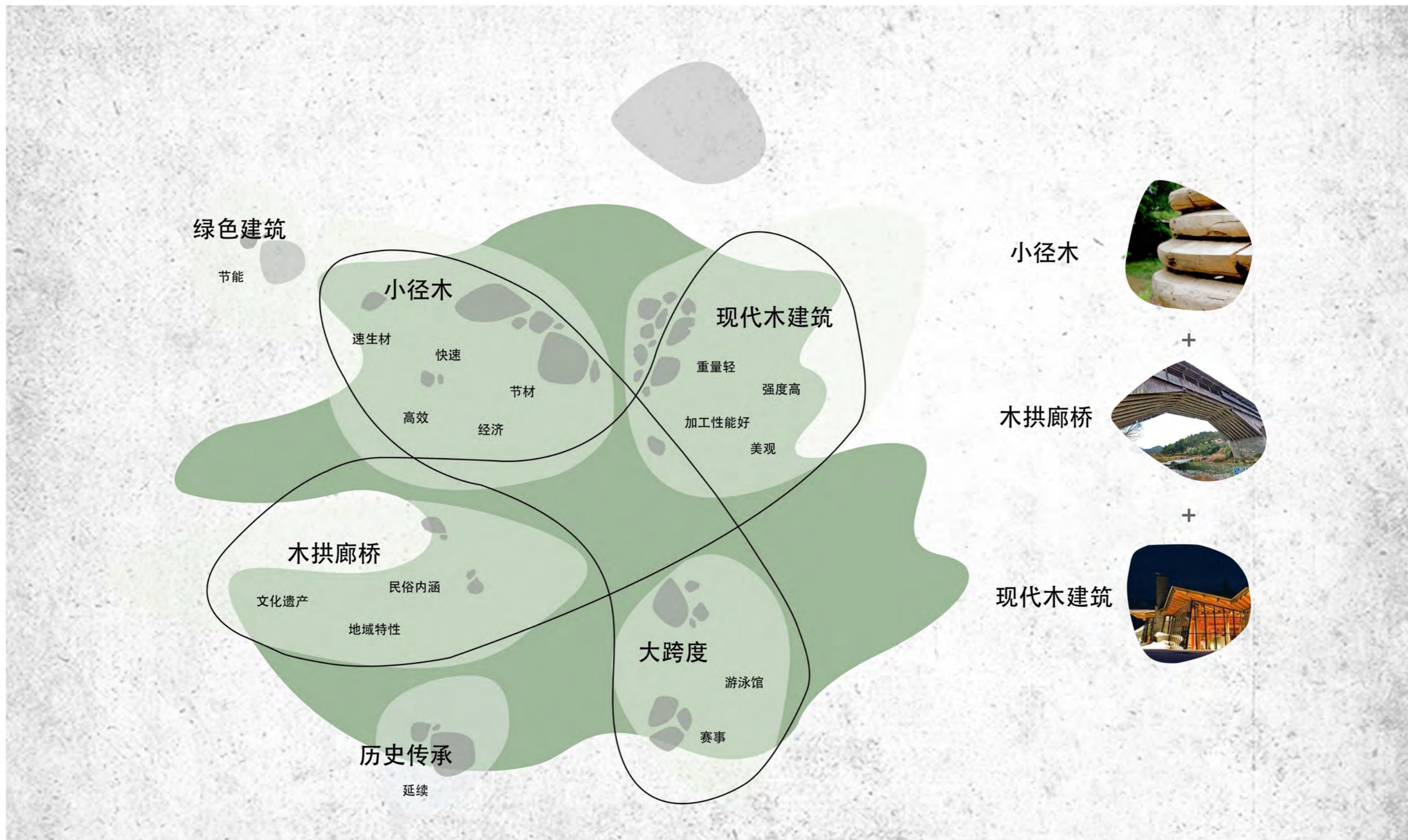
观众区



室外廊道



室外廊道





南京市山水城林融为一体，江河湖泉相得益彰。长江穿城而过。南京属亚热带季风气候，雨量充沛，四季分明



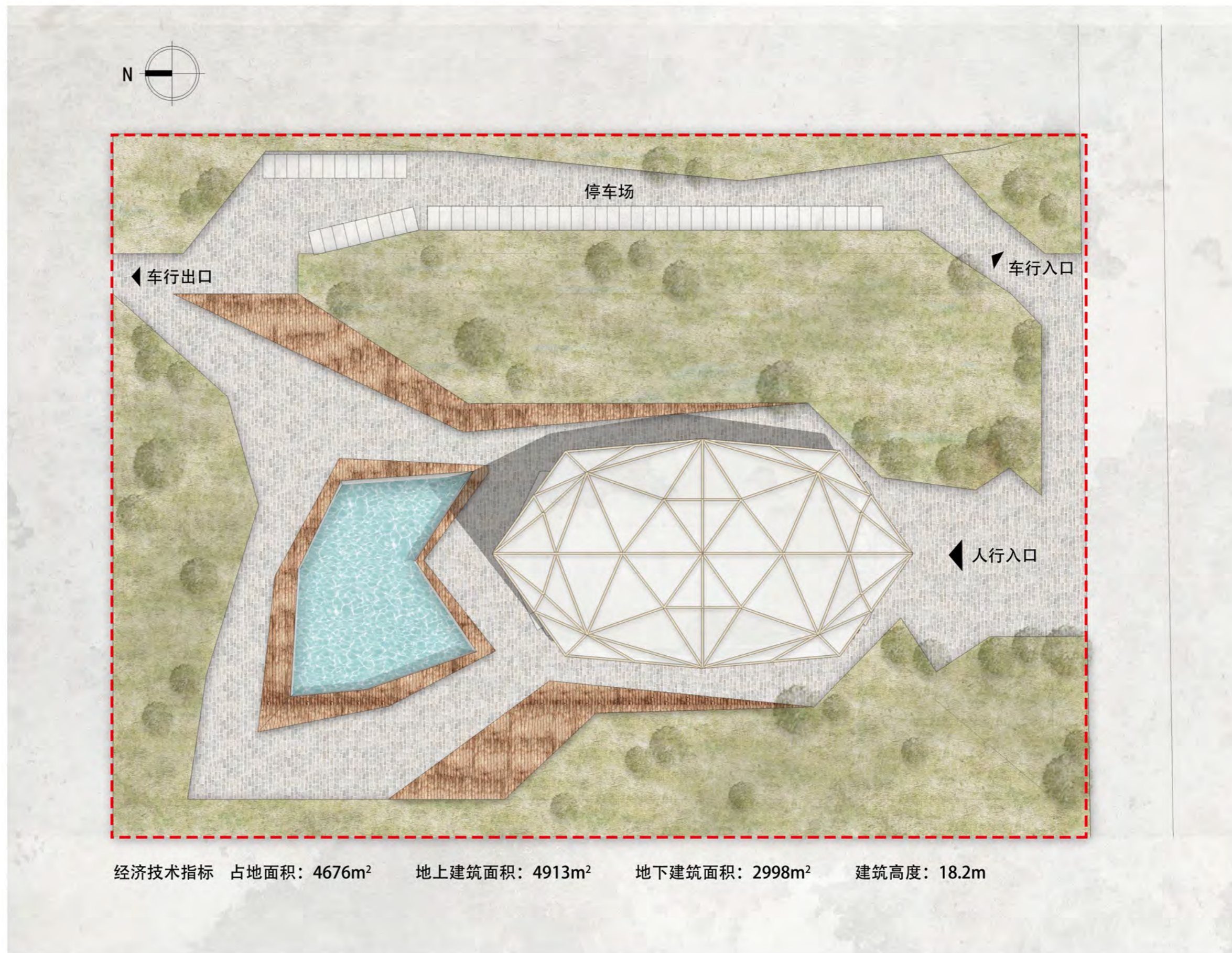
南京市高校分布紧密，高校应当引领发展，应具有一定的前沿性



南京师范大学历史悠久、声誉卓著、集教学和研究于一体的，学校风景优美，建筑规模宏大，科研设施先进



基地选址位于南京师范大学



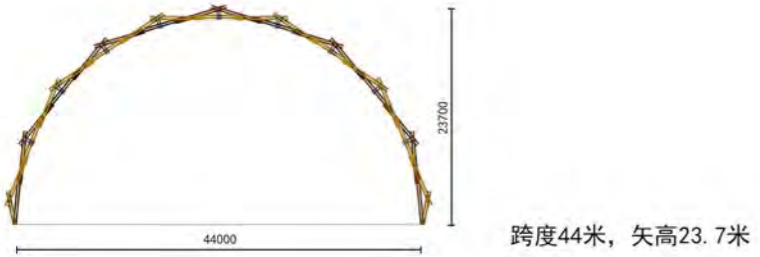
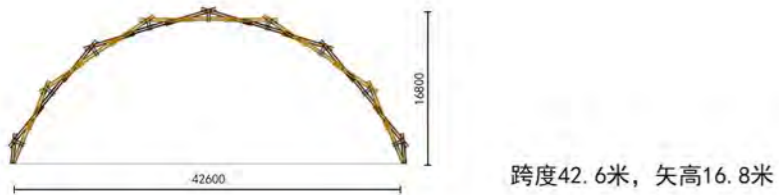
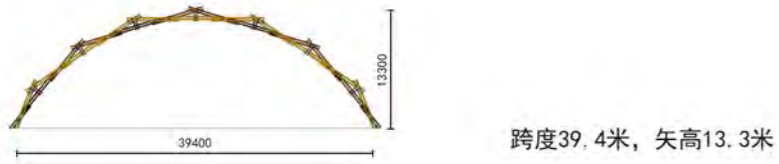
经济技术指标 占地面积：4676m² 地上建筑面积：4913m² 地下建筑面积：2998m² 建筑高度：18.2m

A 结构生成

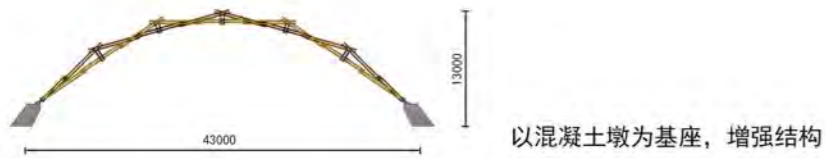
■ 提取结构原型



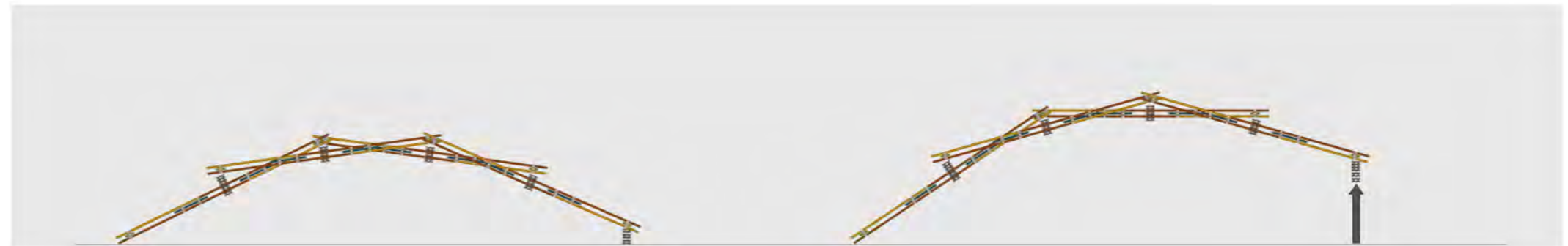
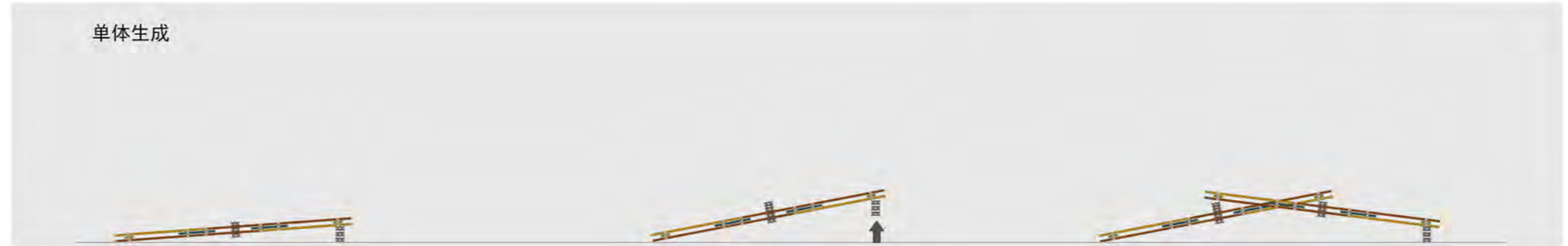
■ 结构方案比较

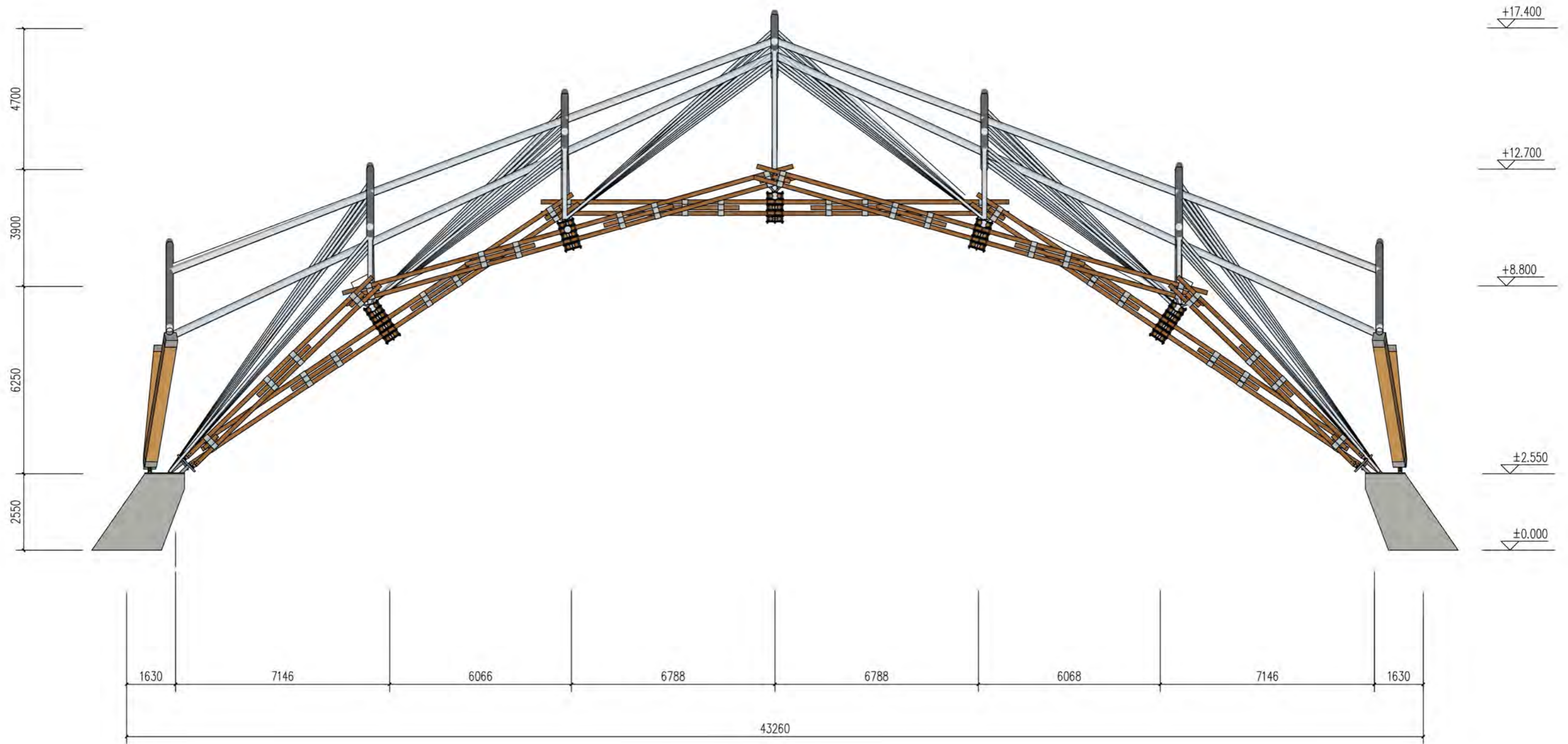


■ 增加结构稳定性



■ 确定结构形式

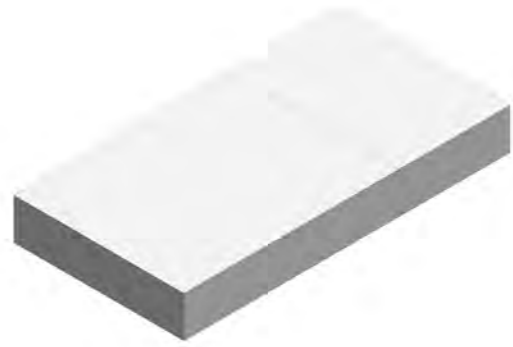




小径木拱正视图

B 空间生成

■ 区分功能体块



根据功能需求划分建筑体块

■ 置入贯木拱结构



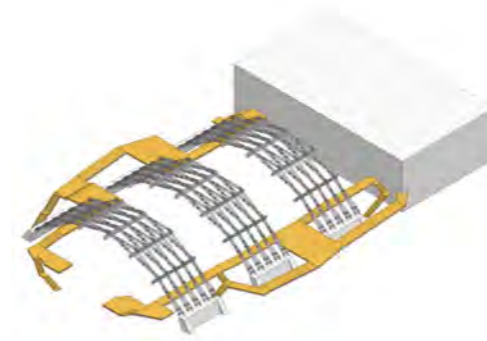
泳池空间采用贯木拱结构，通过小径木材搭接巧妙地实现大跨度空间

■ 突出“拱桥”意象



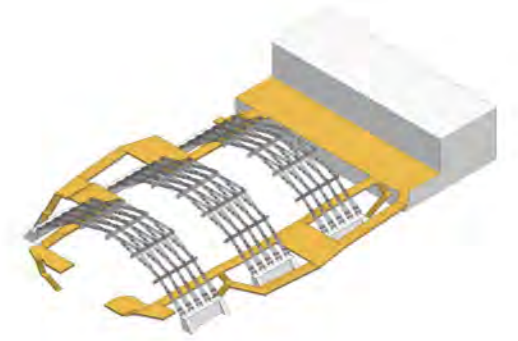
凸显“拱桥”之美

■ 引入二层平台



通过二层平台创造趣味性路径

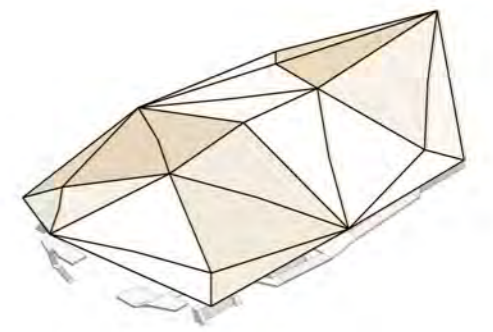
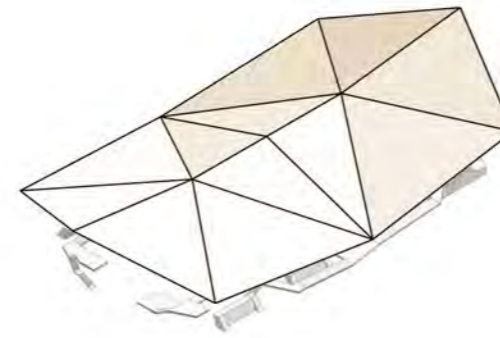
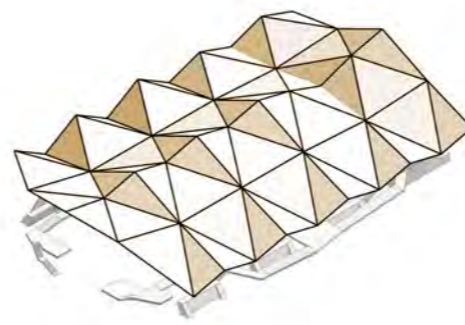
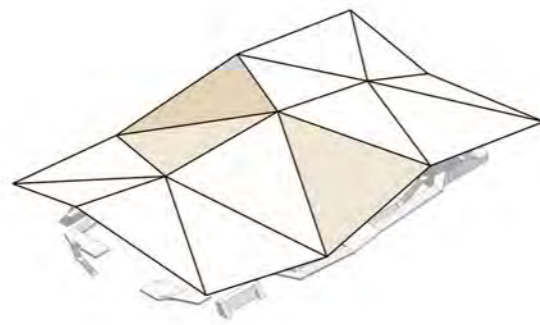
■ 形成交流空间

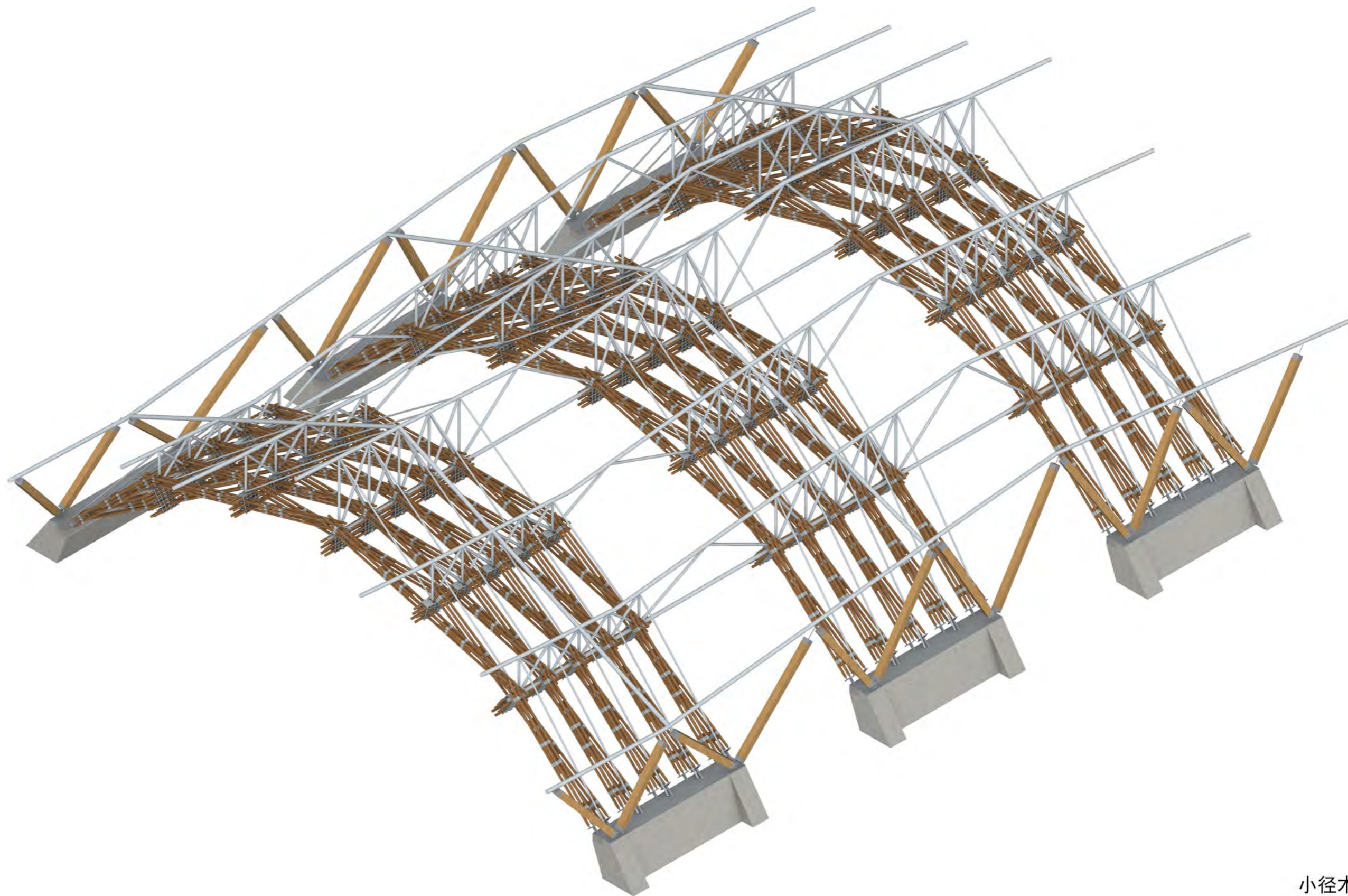


开放二层空间与平台形成洄游空间，作为不同人群的共享空间

C 形象生成

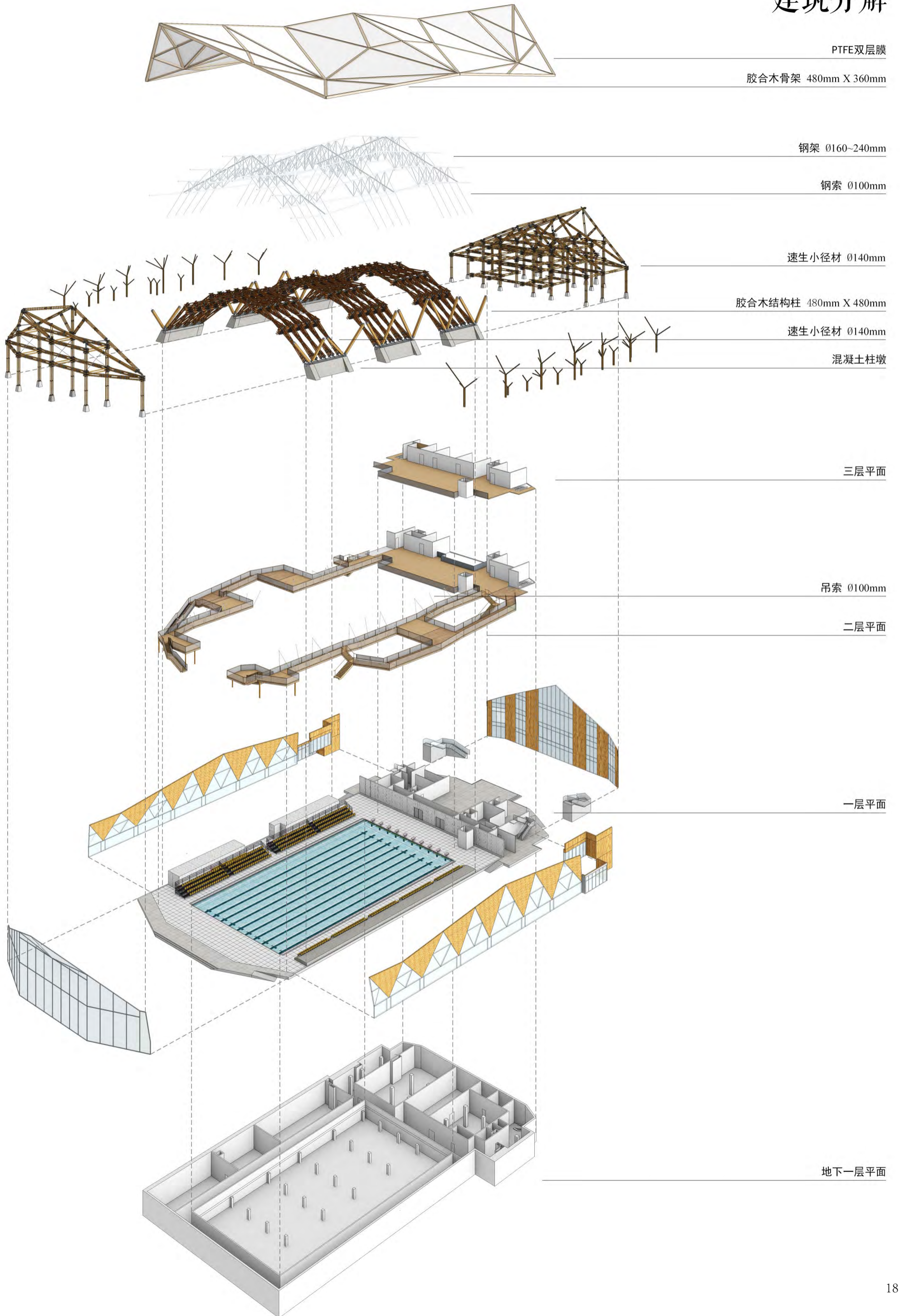
■ 方案比较

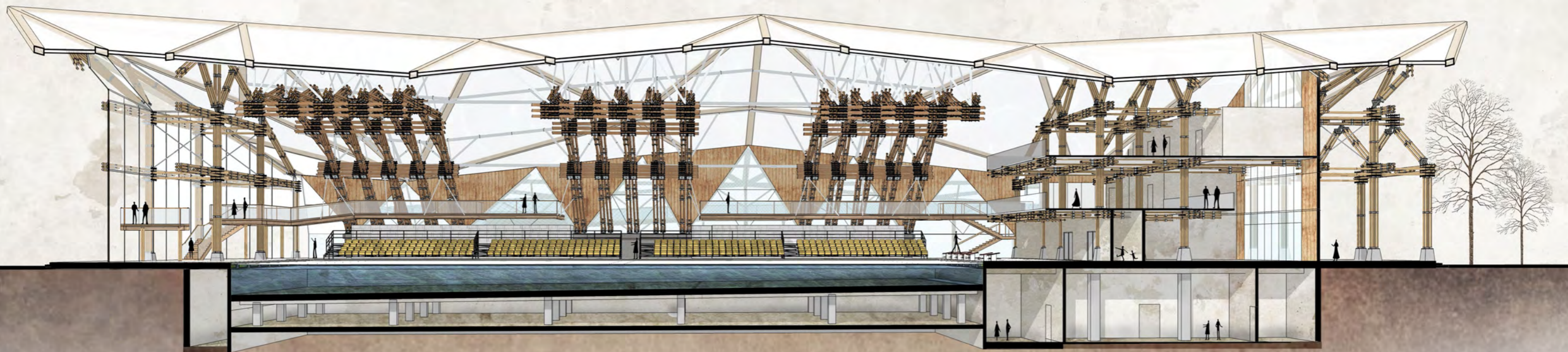


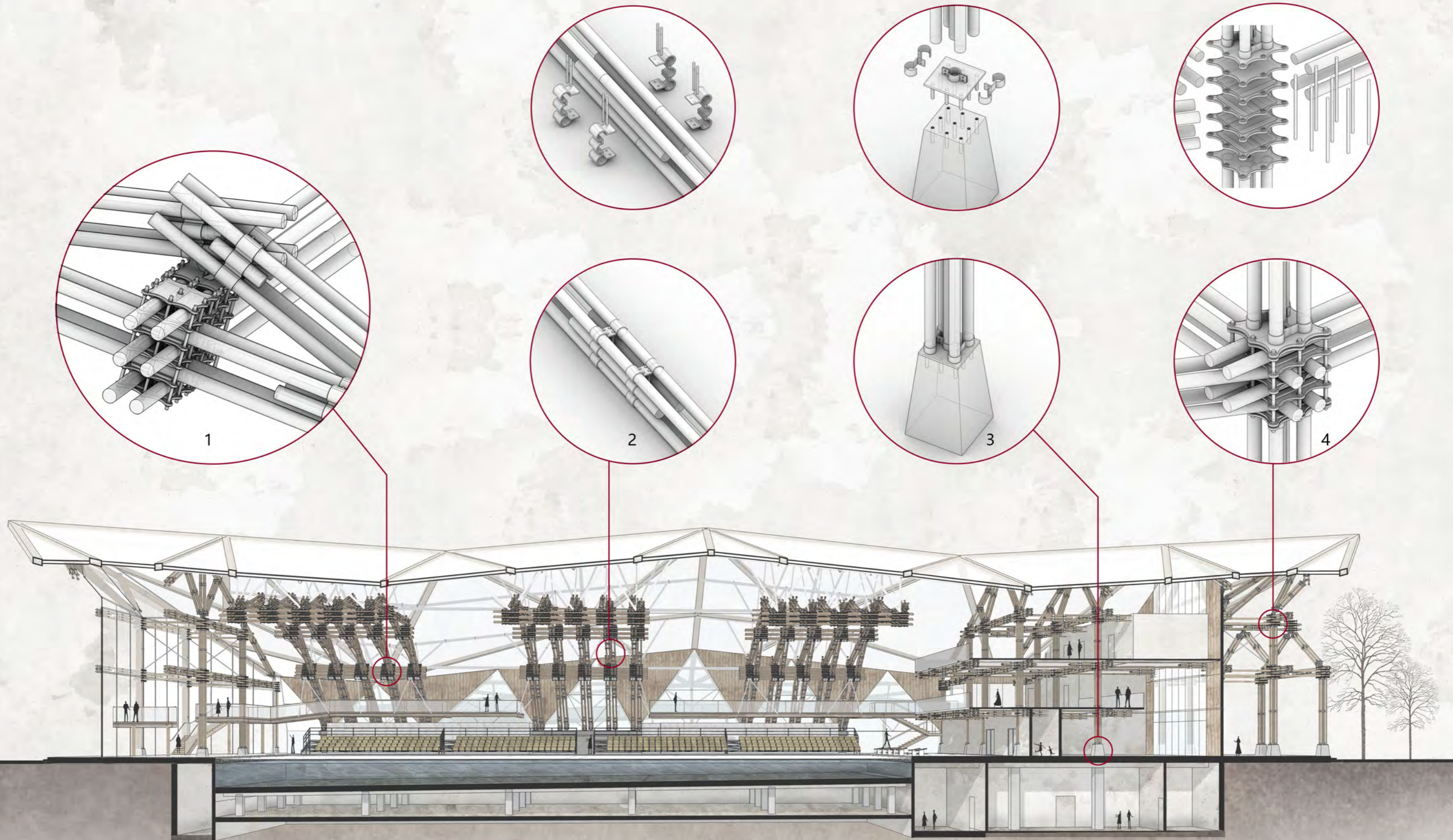


小径木拱轴测图

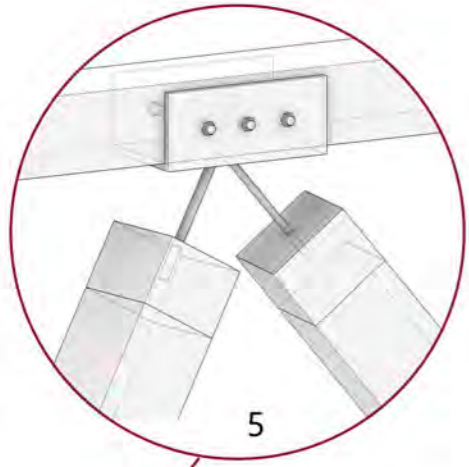
建筑分解



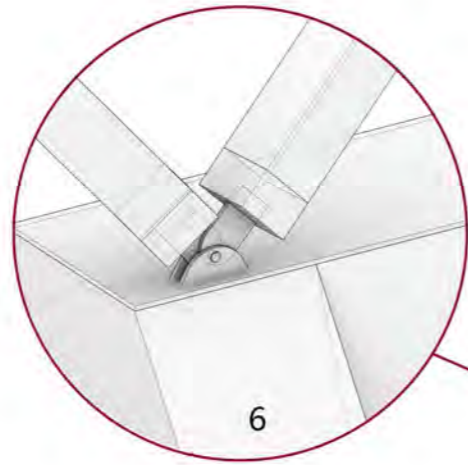




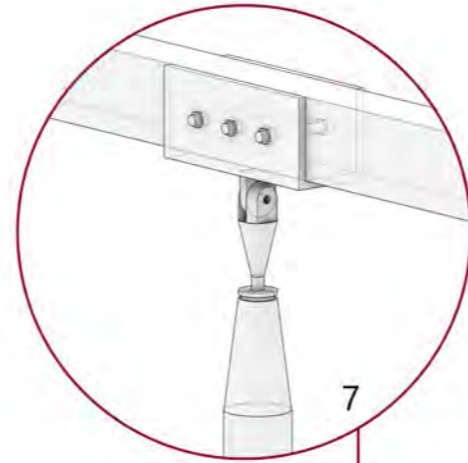
节点设计



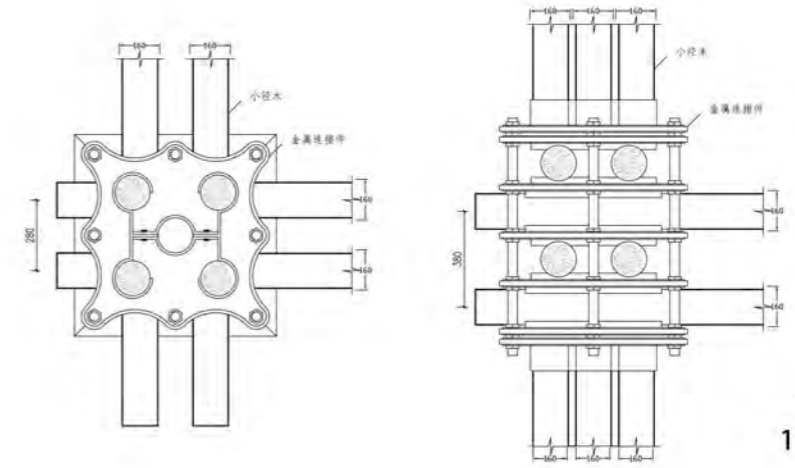
5



6



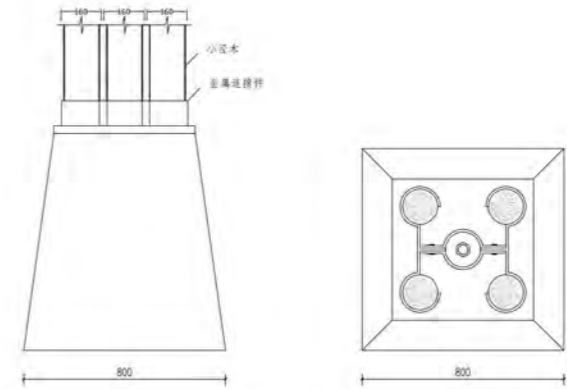
7



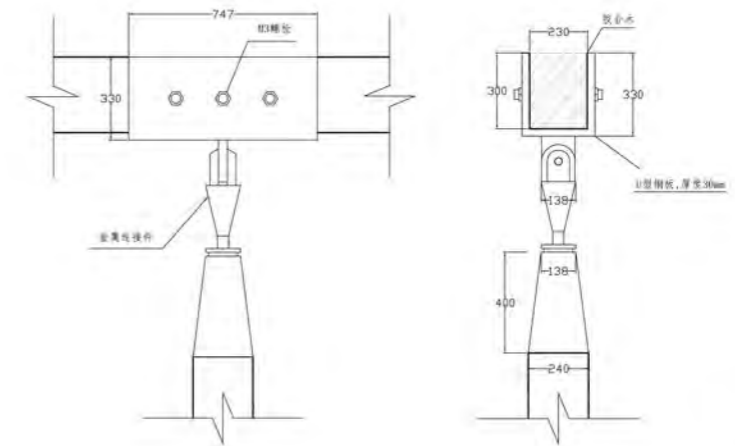
1 小径木搭接节点



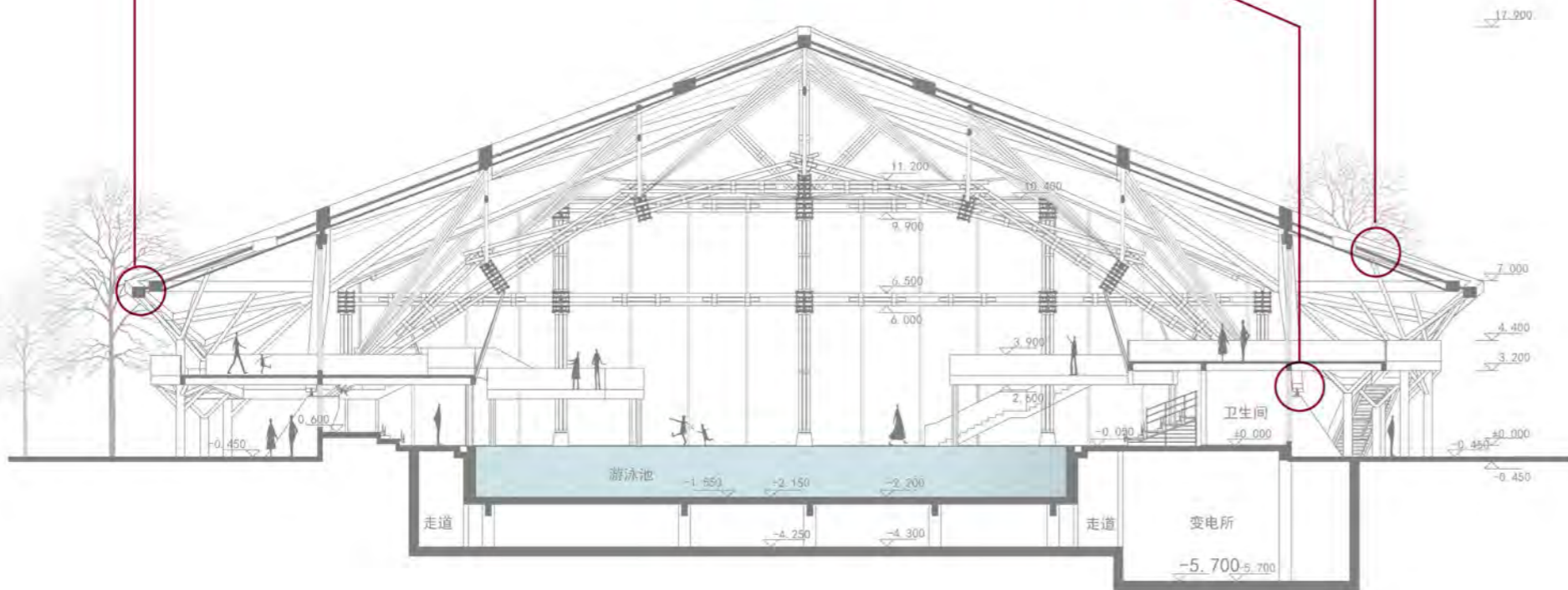
2 小径木接长节点



3 小径木基础节点

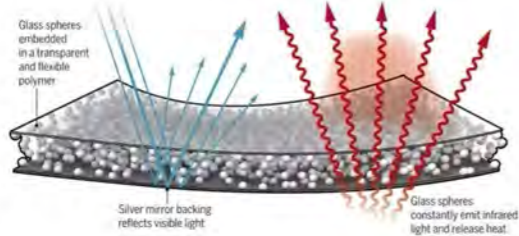


7 小径木梁柱节点

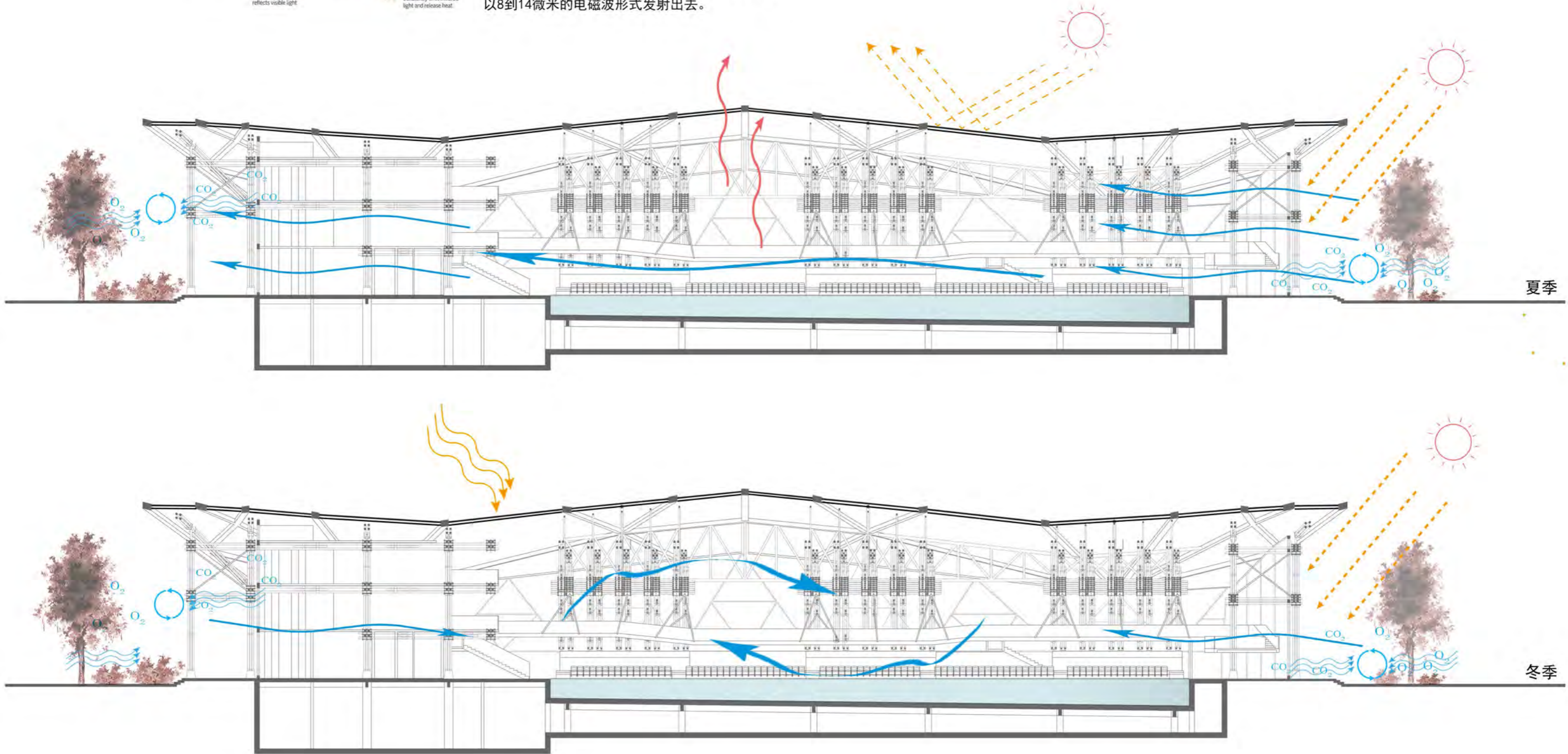


A flexible route to coolness

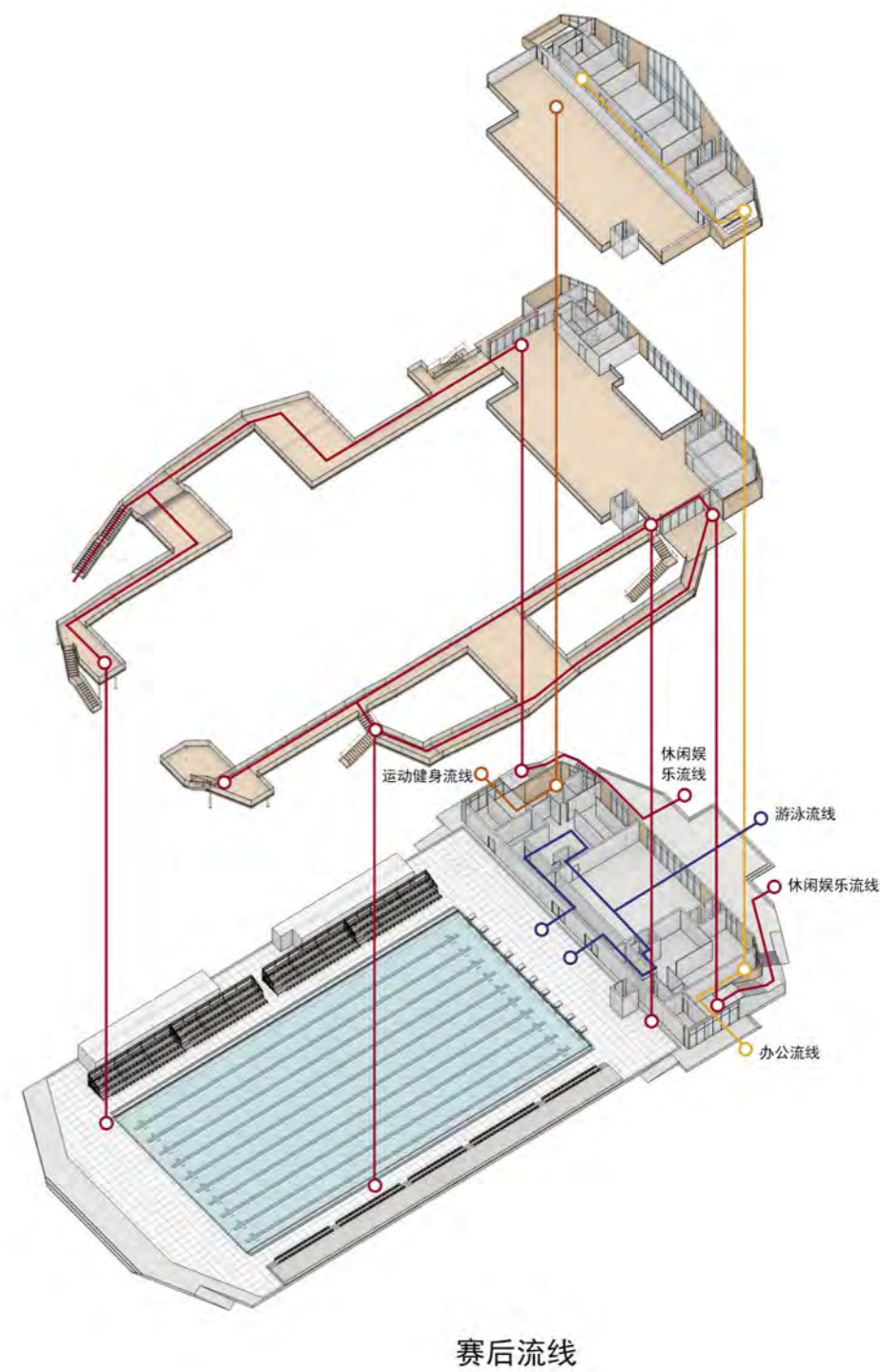
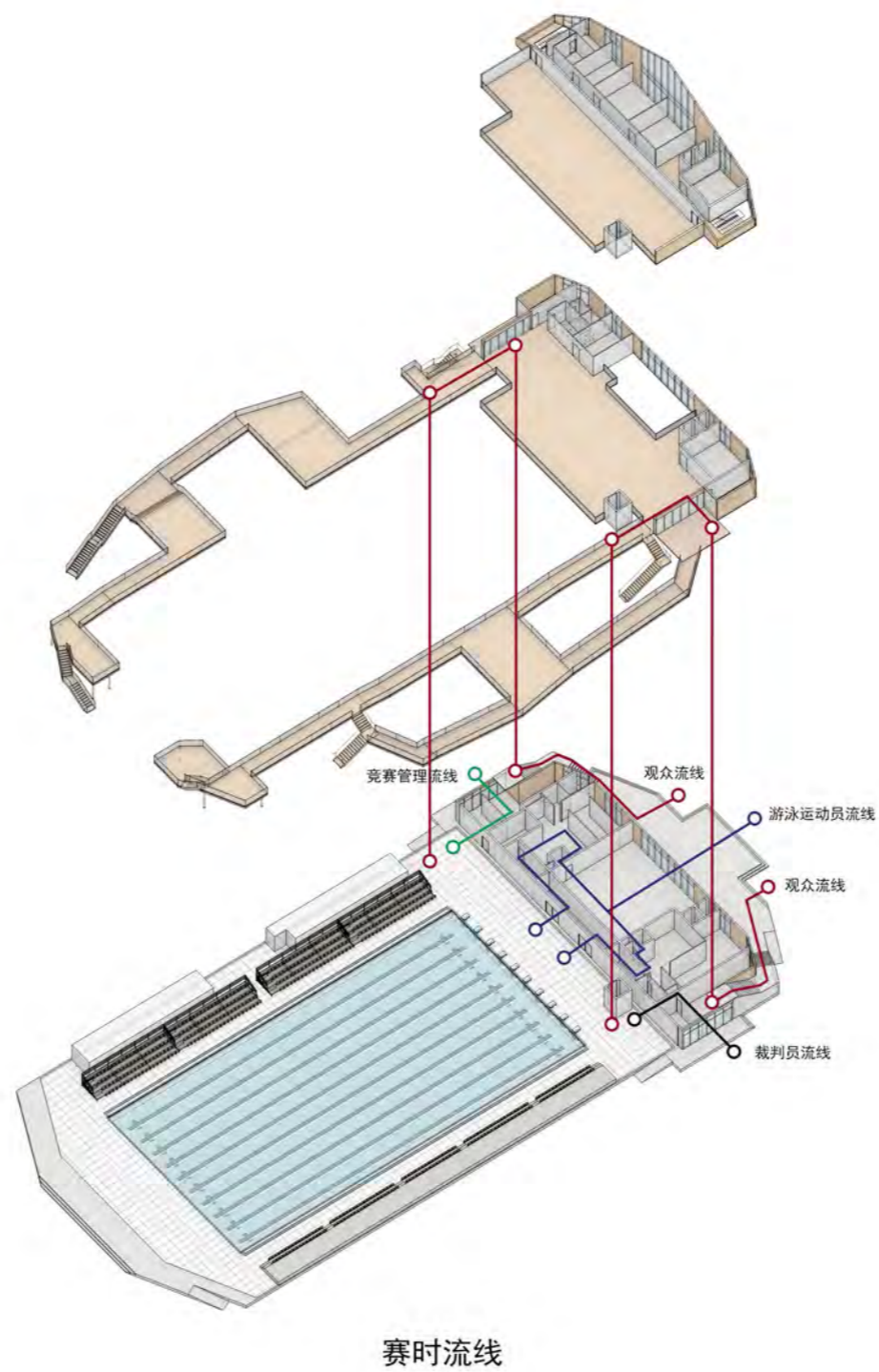
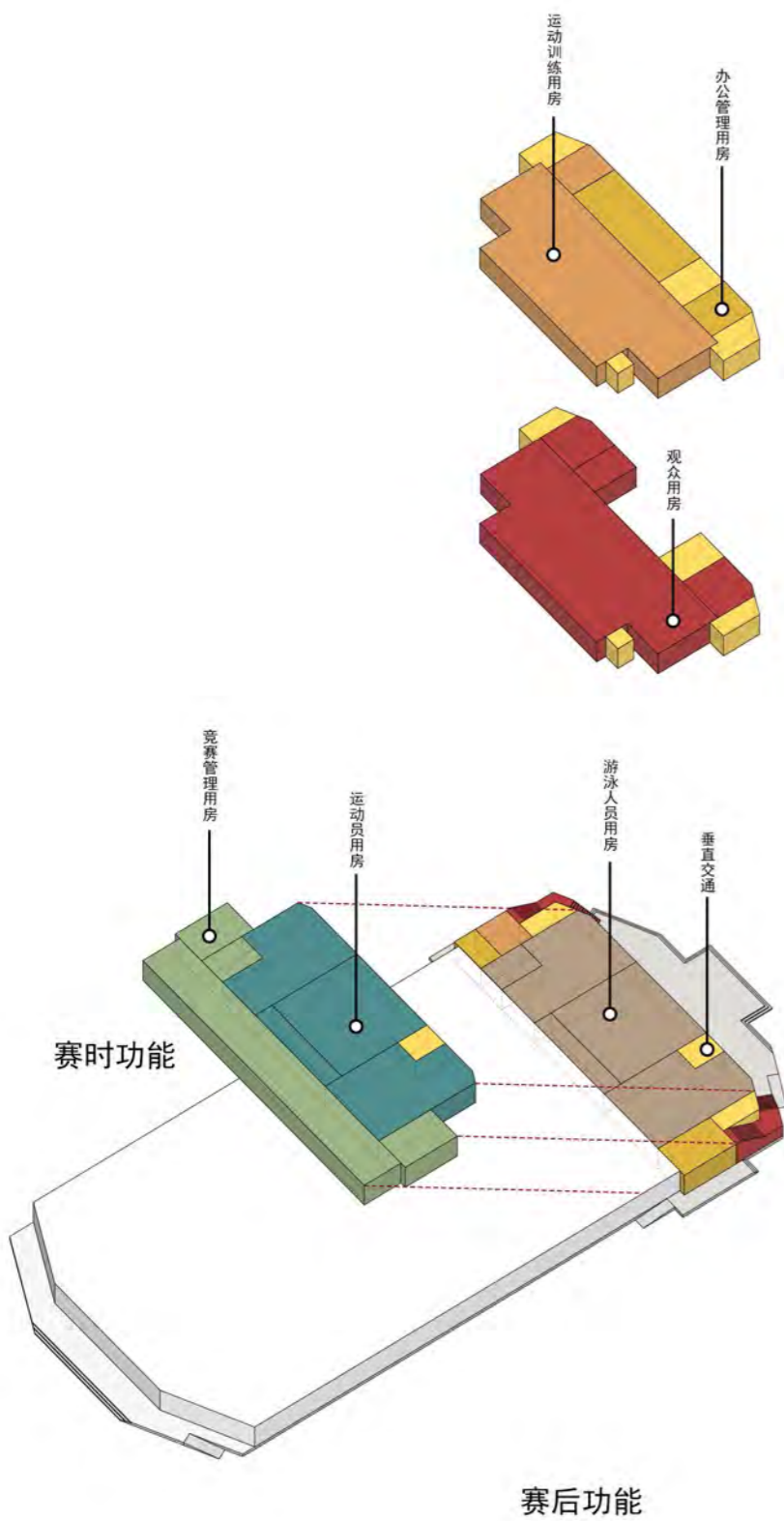
In previous approaches, intricate crystalline nanostructures emitted thermal infrared light. Zhai et al. use larger glass spheres (~10 μm diameter) in a flexible polymer to create a scalable, thin-film cooling material.



内层膜采用TPX塑料薄膜
以“辐射冷却”为降温原理，可以把接收的热量
以8到14微米的电磁波形式发射出去。



功能流线

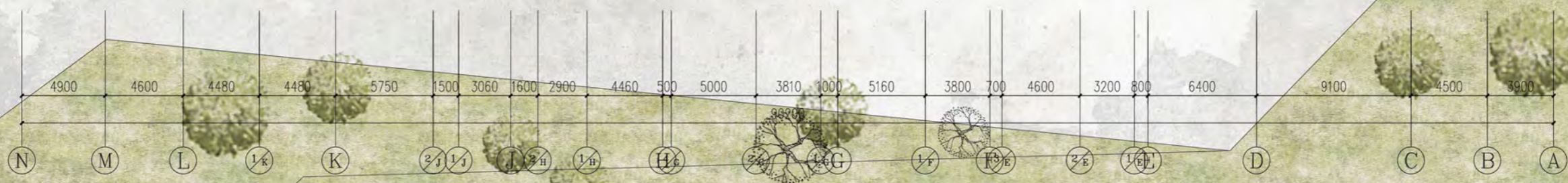
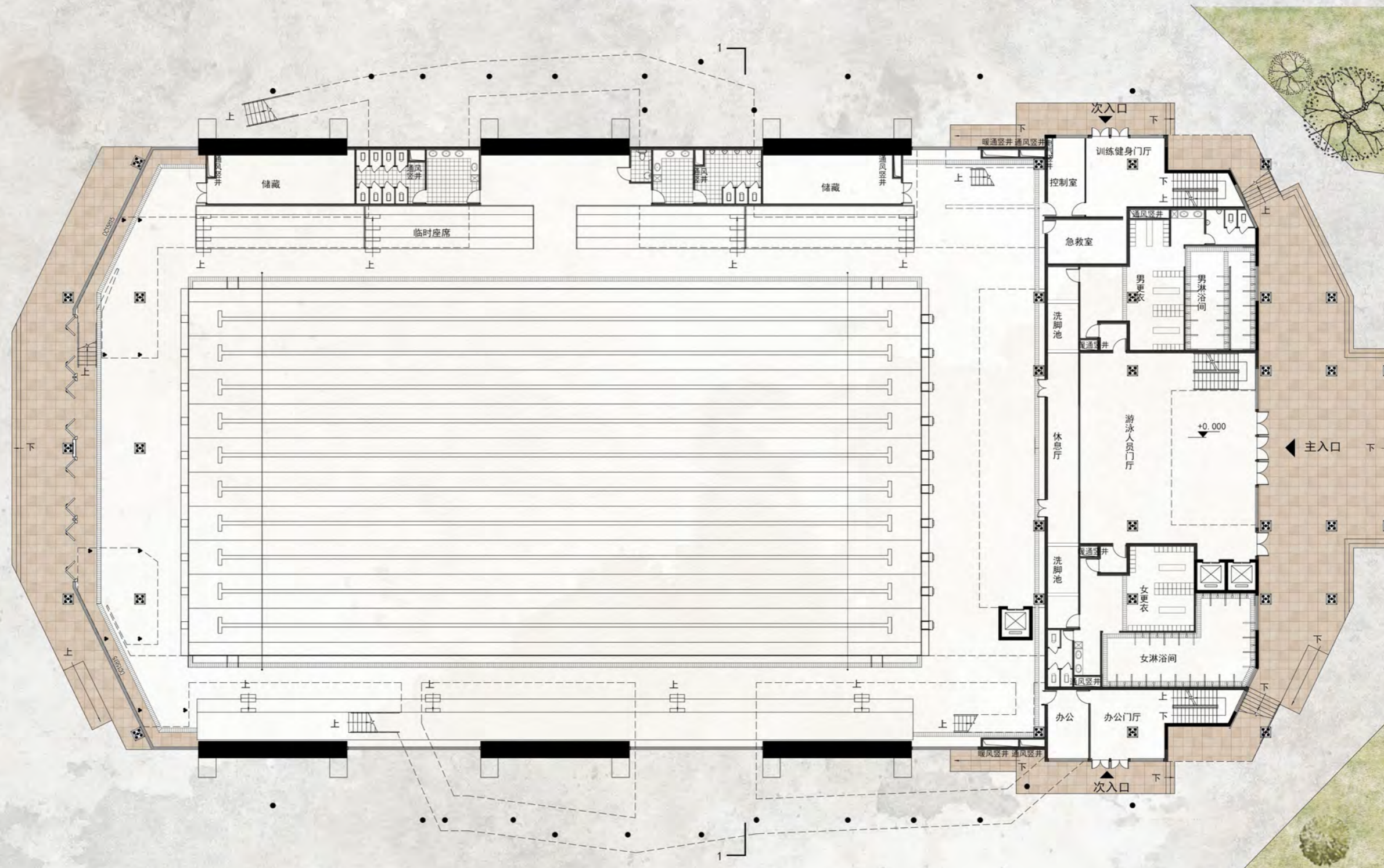
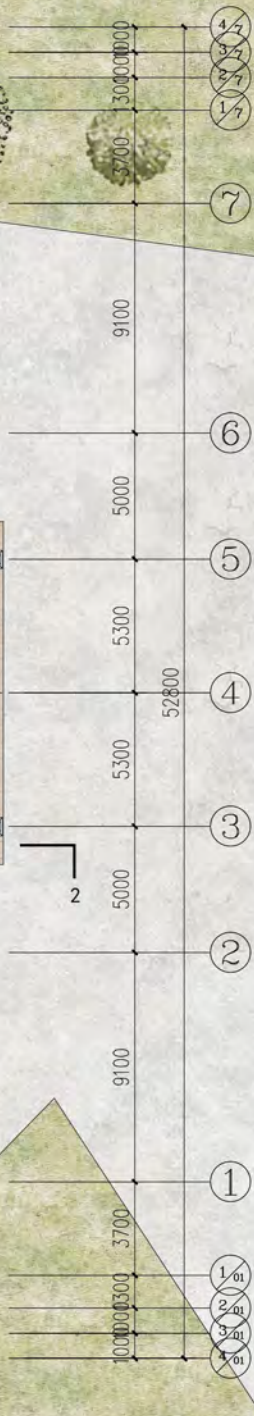
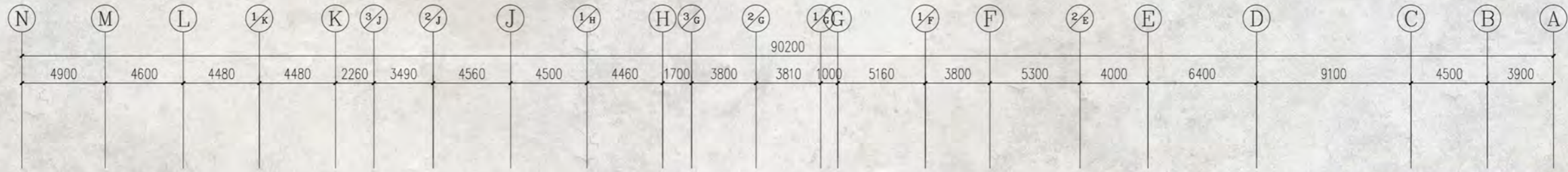
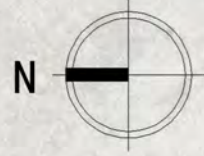


建筑图纸

小口径·桥——高校木结构游泳馆设计

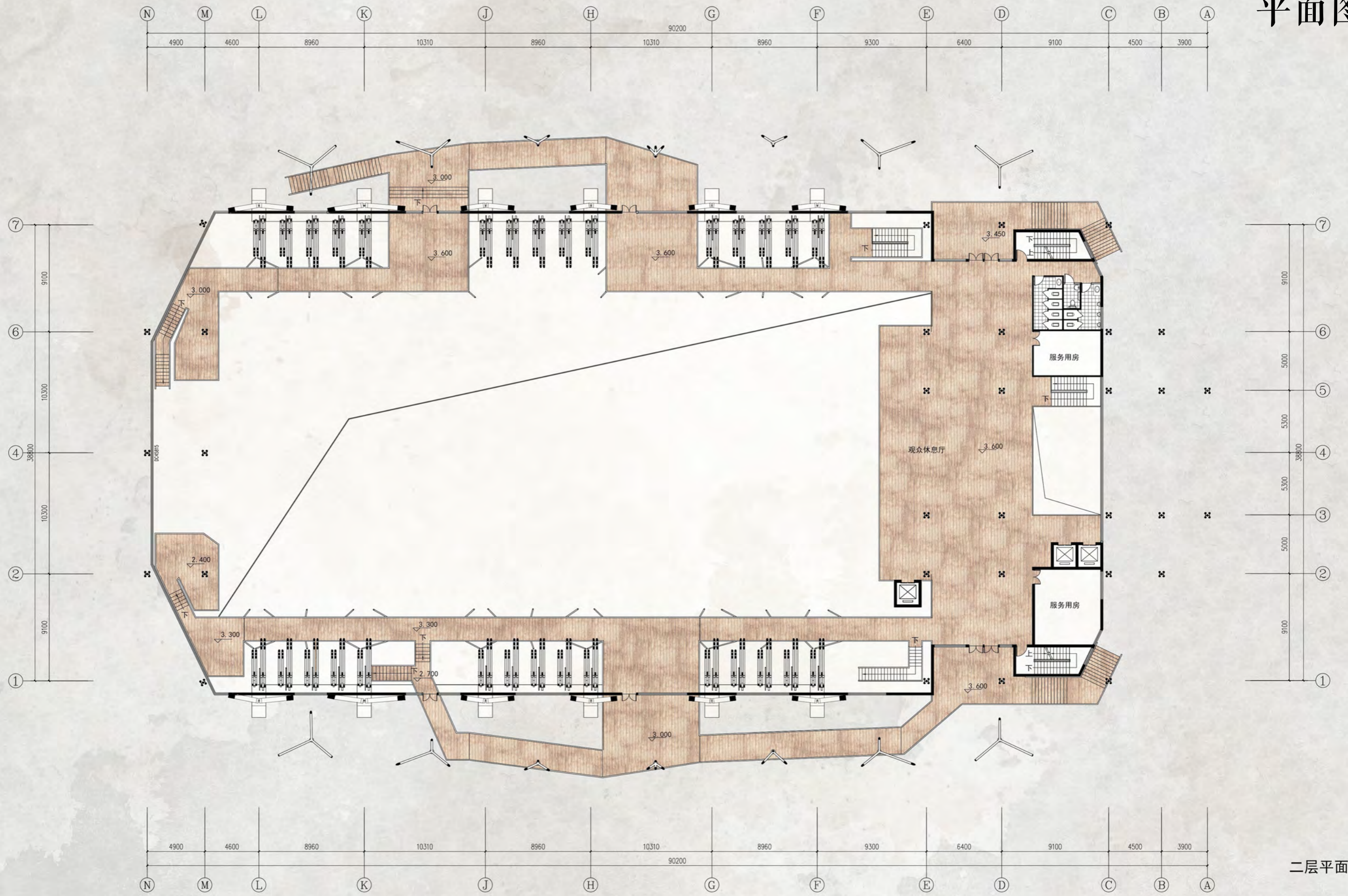
Small-diameter · Bridge——Design of wood structure natatorium of college, Nanjing

平面图



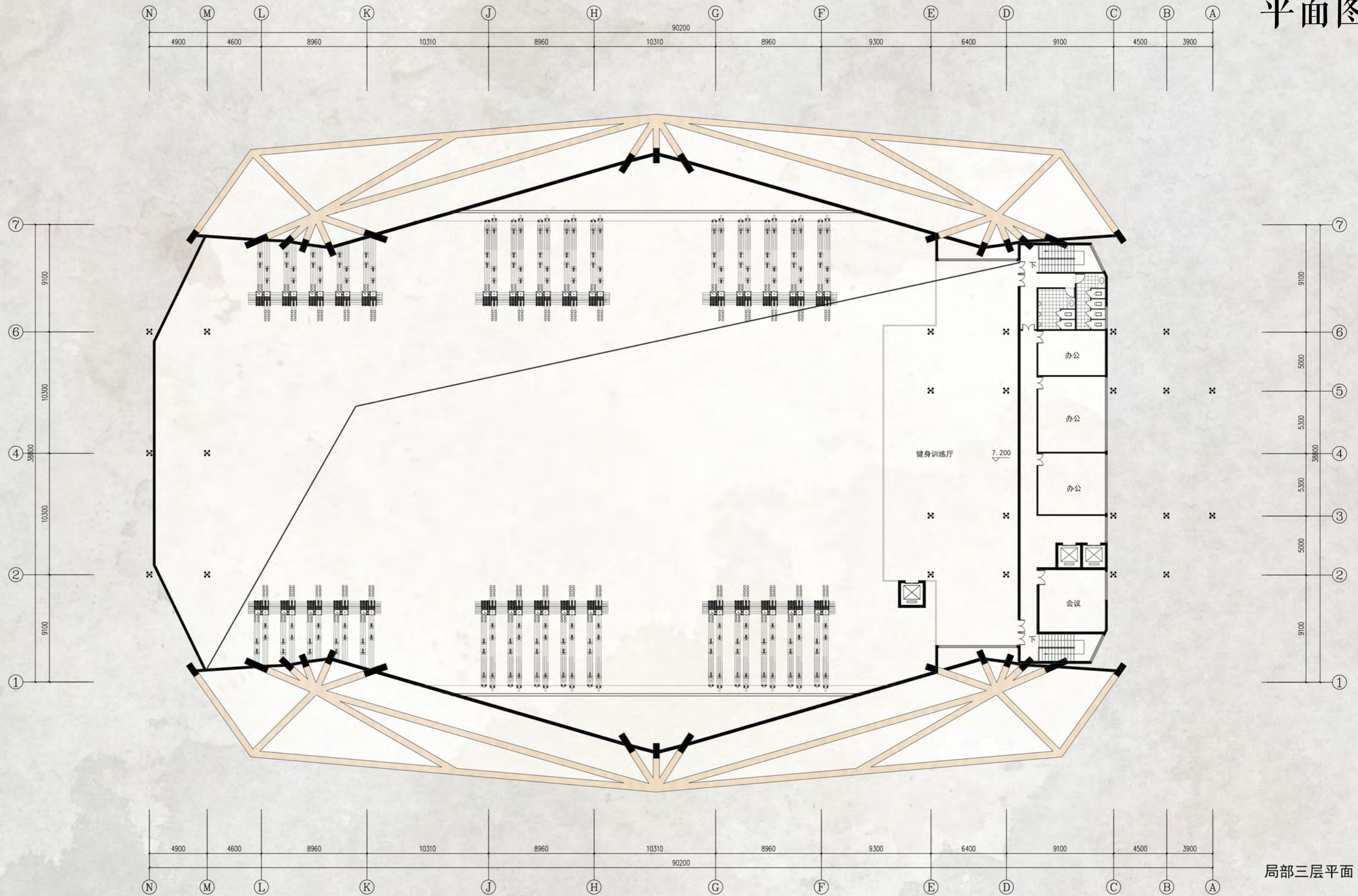
一层平面

平面图



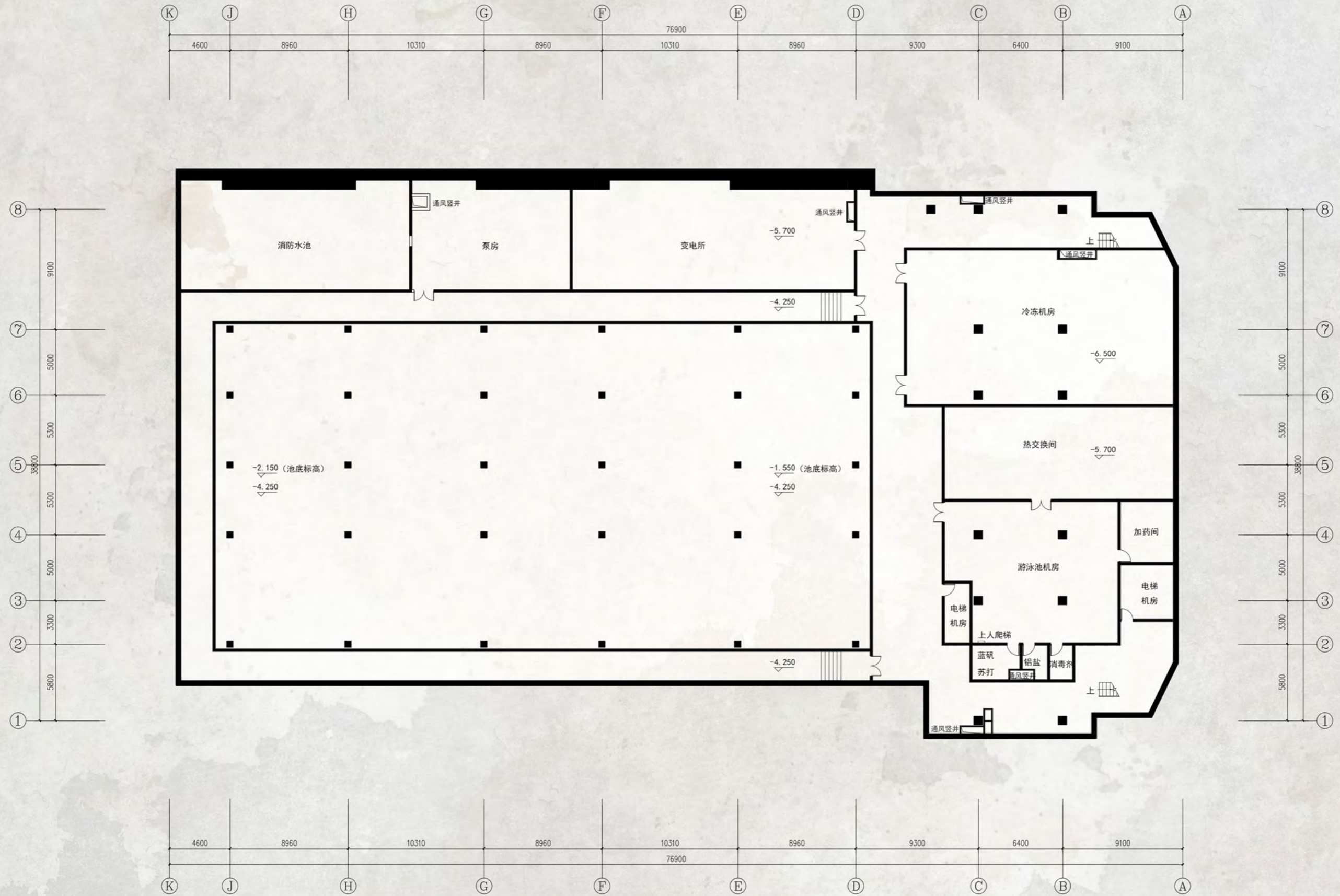
二层平面

平面图



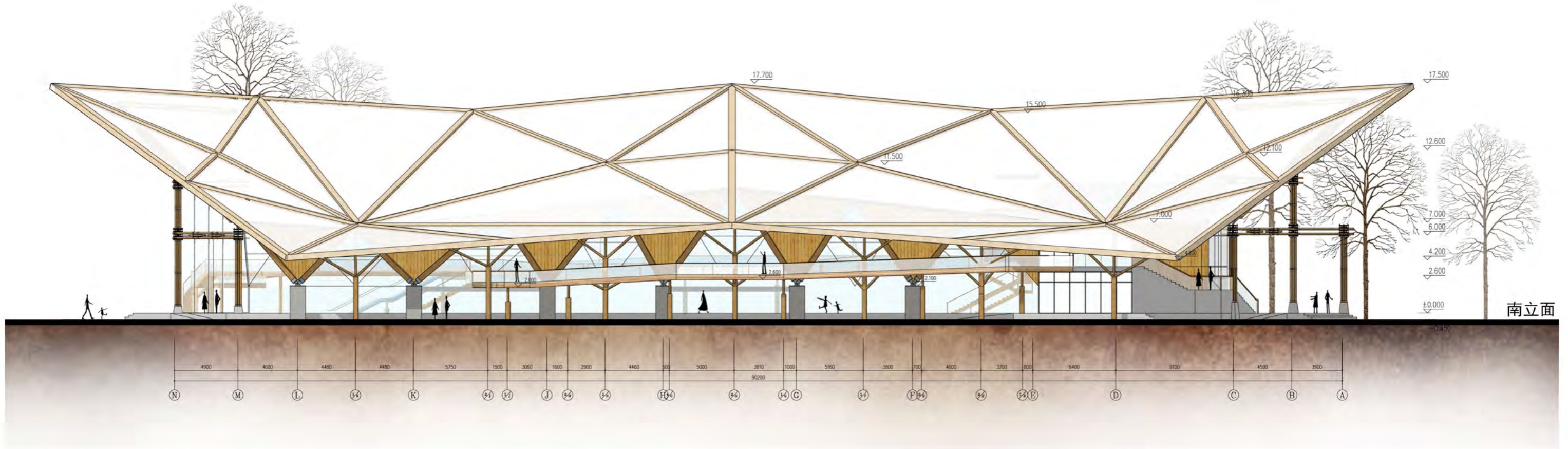
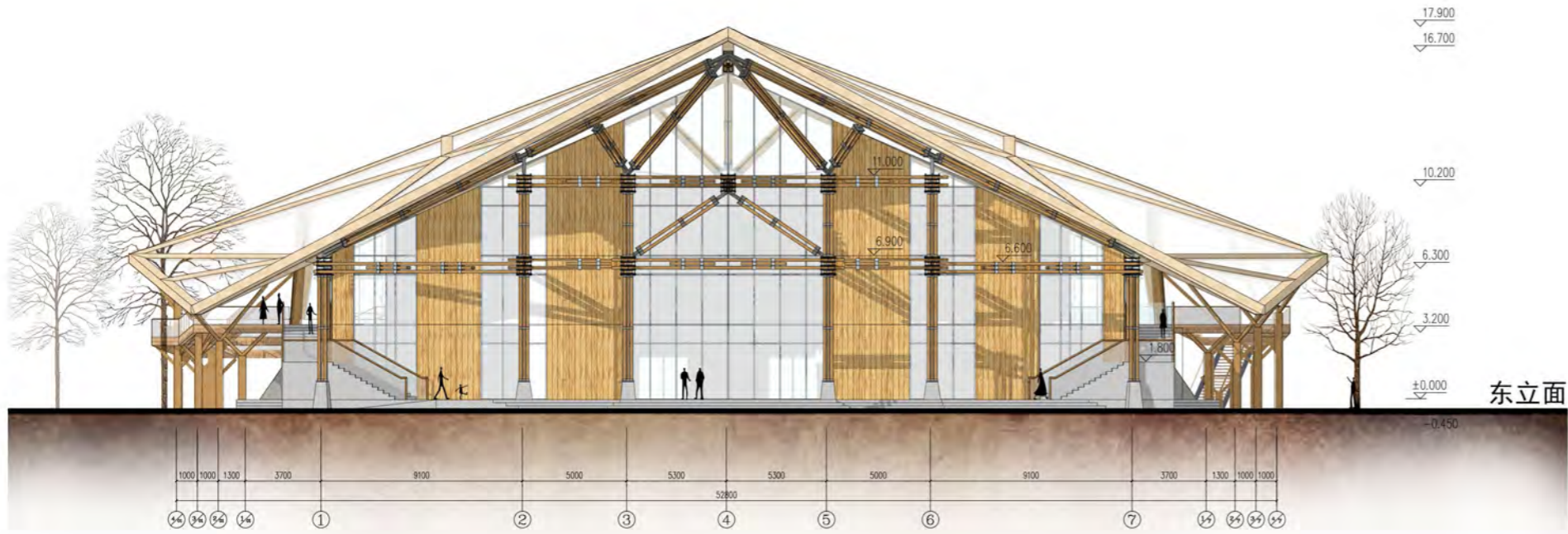
局部三层平面

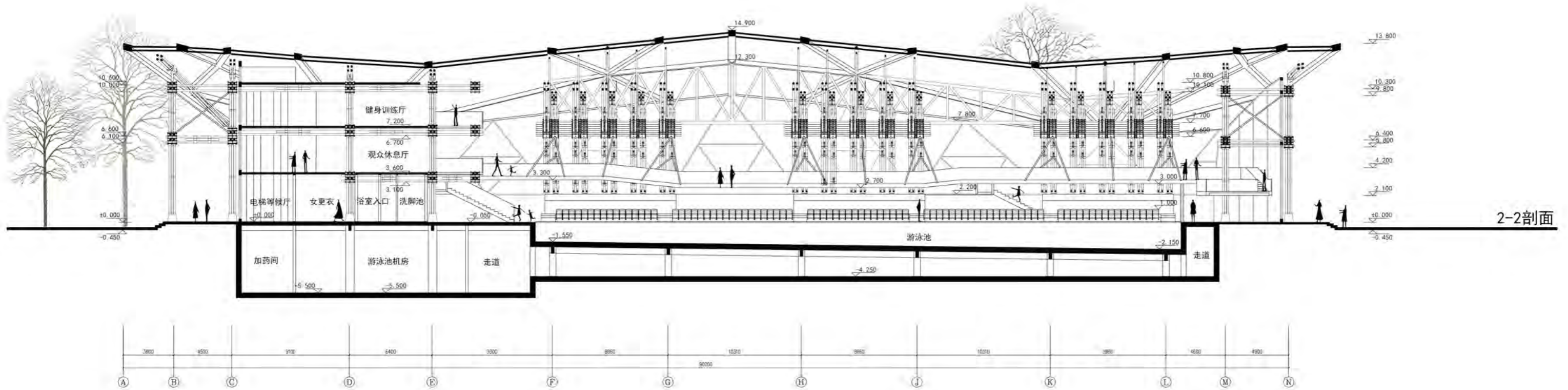
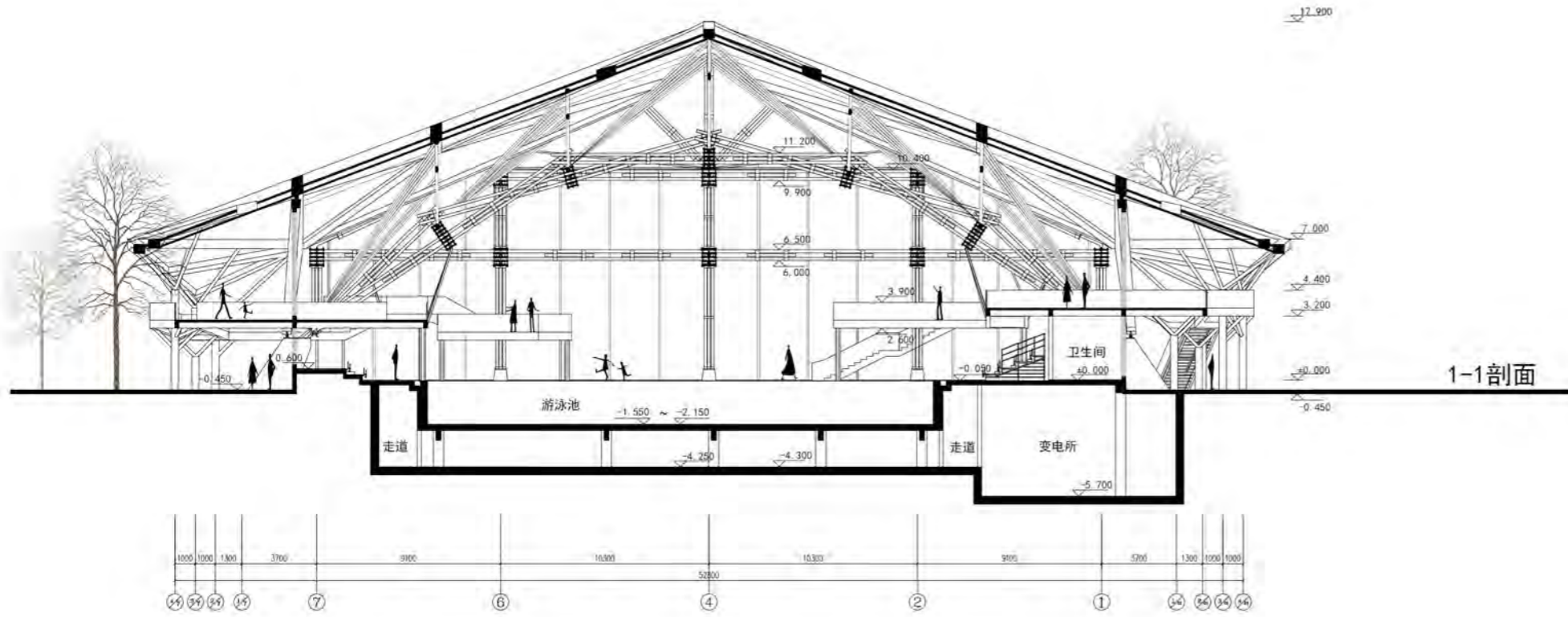
平面图



地下一层平面

立面图





结构图纸

小口径·桥——高校木结构游泳馆设计

Small-diameter · Bridge——Design of wood structure natatorium of college, Nanjing

高校第二届结构设计邀请赛——南京游泳馆设计 图纸目录

结构类型 木结构

项目名称 南京游泳馆

设计阶段 结构施工图

序号	图号	图纸名称	图幅	备注
1	00	结构设计说明图	A3	
2	01	屋盖节点坐标	A3	
3	02	柱位及框架布置图	A3	
4	03	框架柱北立面图	A3	
5	04	框架柱南立面图	A3	
6	05	小径木拱结构图	A3	
7	06	钢管桁架结构图	A3	
8	07	小径木接长节点图	A3	
9	09	小径木梁柱节点详图	A3	
10	10	基础详图	A3	

设计负责人		评审教师签字盖章	
-------	--	----------	--

学生签字

结构设计总说明

一、主要设计依据

1 设计规范及规程:

- 1.1 《建筑结构可靠度设计统一标准》 [GB 50068-2001]
- 1.2 《建筑工程抗震设防分类标准》 [GB 50223-2008]
- 1.3 《建筑抗震设计规范》 [GB 50011-2010]
- 1.4 《建筑结构荷载规范》 [GB50009-2012]
- 1.5 《钢结构设计规范》 [GB50017-2003]
- 1.6 《混凝土结构设计规范》 [GB 50010-2010]
- 1.7 《木结构设计规范》(2005年版) [GB 50005-2003]
- 1.8 《胶合木结构技术规范》 [GB/T 50708-2012]
- 1.9 《钢结构工程施工质量验收规范》 [GB50205-2001]
- 1.10 《混凝土结构工程施工质量验收规范》(2011年版) [GB 50204-2002]
- 1.11 《木结构工程施工质量验收规范》 [GB 50206-2012]

二、工程概况、荷载设计标准与抗风、抗震设计标准

- 2.1 工程概况: 屋顶采用膜结构, 屋顶支撑在两侧小径木架和中部小径木拱上。
- 2.2 结构安全等级为二级, 结构正常维护下使用年限50年。
- 2.3 活荷载标准值: 非上人屋面0.5kN/m², 积雪荷载0.3kN/m²。
- 2.4 雪荷载: 南京市50年基本雪压0.65kN/m²
- 2.5 抗风设计标准:
基本风压W₀=0.4kN/m², 地面粗糙度为B类; 风振系数β=1.0、风荷载体型系数μ_s迎风面为0.475、背风面为-0.5, 风压高度变化系数μ_z为1.284
- 2.6 抗震设计标准及措施:
抗震设防类别为乙类, 抗震设防烈度为7度, 设计地震分组为第一组, 设计基本地震加速度为0.10g, 场地类别为III类, 场地特征周期为0.45s。

三、一般要求

- 3.1 本工程所注尺寸以毫米为单位, 标高以米为单位。所有几何尺寸均以图上标注为准, 不得从图面上按比例丈量。
- 3.2 物业管理部门在本工程结构使用期间应进行正常维护, 未经技术鉴定或设计认可, 不得改变结构用途和使用环境。
- 3.3 本项目各主要分项工程(如: 结构施工、钢构件加工安装、木构件加工安装等)应由具有相应资质及技术经验的专业单位施工, 并根据施工图、环境特点、地质情况、设备安装性能等资料及当地有关政府部门规定编制施工组织设计。
- 3.4 施工单位编制的施工组织设计和质量控制标准应满足现行国家、地方施工验收规范、规程、标准及当地有关政府部门要求。不得擅自盲目施工和任意修改设计施工图。任何修改必须征得设计单位的许可。
- 3.5 结构设计分析中未考虑冬、夏季或雨季施工措施; 也未考虑特殊施工荷载。施工单位应在施工、保修期间做好结构构件维护保养工作。对临时的特殊施工荷载应作结构复核计算并满足相应的结构设计规范。施工过程中应确保已施工的结构已经形成稳定的结构体系后方可进入下一步施工或安装, 必要时应采用临时支撑或揽风对已施工的结构进行支撑。
- 3.7 结构设计施工图应与相关建筑、设备施工图同时阅图, 如有矛盾应及时提交设计单位复核; 施工图中各节点放样均应经设计单位确认后下方可进行下料加工。
- 3.6 施工单位选用的材料、添加剂必须满足国家规范及国标《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325-2001的有关规定。

四、主要结构材料

- 4.1 混凝土: 所有拌制混凝土的水泥, 粗细骨料, 水及其它外加剂必须进行严格验收, 验收标准应符合GB50204-2002。
- 4.2 钢管连接节点:
 - 4.2.1 主管的外部尺寸不应小于支管的外部尺寸, 主管的壁厚不应小于支管的壁厚, 在支管与主管的连接处不得将支管插入主管内;
 - 4.2.2 主管与支管或支管轴线间的夹角不宜小于30度; 支管与主管的连接节点处, 应尽可能避免偏心; 支管端部应使用自动切管机切割, 支管壁厚小于6mm时可不切坡口;
 - 4.2.3 非加劲的直接焊接节点, 钢管管材的屈服比不宜大于0.8; 与受拉构件焊接连接的钢管, 当管壁厚度大于25mm且沿厚度方向受较大拉应力作用时, 应采取措施防止层状撕裂。支管与主管的连接节点处, 应尽可能避免偏心; 支管端部应使用自动切管机切割, 支管壁厚小于6mm时可不切坡口;
- 4.3 钢材:
 - 4.3.1 本工程中钢结构材料所采用的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量、碳含量的合格保证, 同时应具有冷弯试验的合格保证。
 - 4.3.2 柱脚锚栓: Q235B。
 - 4.3.3 抗震要求:
 - 1) 钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于0.85;
 - 2) 钢材应有明显的屈服台阶, 且伸长率应大于20%;
 - 3) 钢材应有良好的可焊性及合格的冲击韧性。
- 4.4 木结构:
 - 4.4.1 木结构材料: 同等组合胶合木TCT24、小头直径在100mm-130mm的东北落叶松小径木。
 - 4.4.2 本工程中所有工程木产品若因原始截面较小, 则应采用胶合的方法增大截面, 同时按梁柱构件图布置拼合螺栓; 用胶必须满足结合部位的强度和耐久性的要求, 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。胶连接的防水性和耐久性应满足结构的使用条件和设计使用年限的要求, 并应符合环境保护的要求。
 - 4.4.3 胶合工艺应符合《木结构设计规范》(2005年版)中的附录F、《胶合木结构技术规范》中第9章以及《结构用集成材》的相关要求。
 - 4.4.4 节点连接件: Q235B连接件。

全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院		
制 图	王笑婷、胡津阳	签 名		结构设计总说明	图 别	结 施
审 图		签 名			图 号	00

屋盖节点坐标:

O(0,0,17440)

X1(20250,0,15440) Y1(0,12648.7592,12673.4149)

X2(36450,0,16440) Y2(0,28500,6700)

X3(52650,,17440)

A1(10195.9892,14150.0893,11100.6393)

A2(27375,20250,6820)

A3(18252.0656,,26912.8639,5377.3866)

A4(40012.5,10125,12130)

A5(34500,25500,4178.0610)

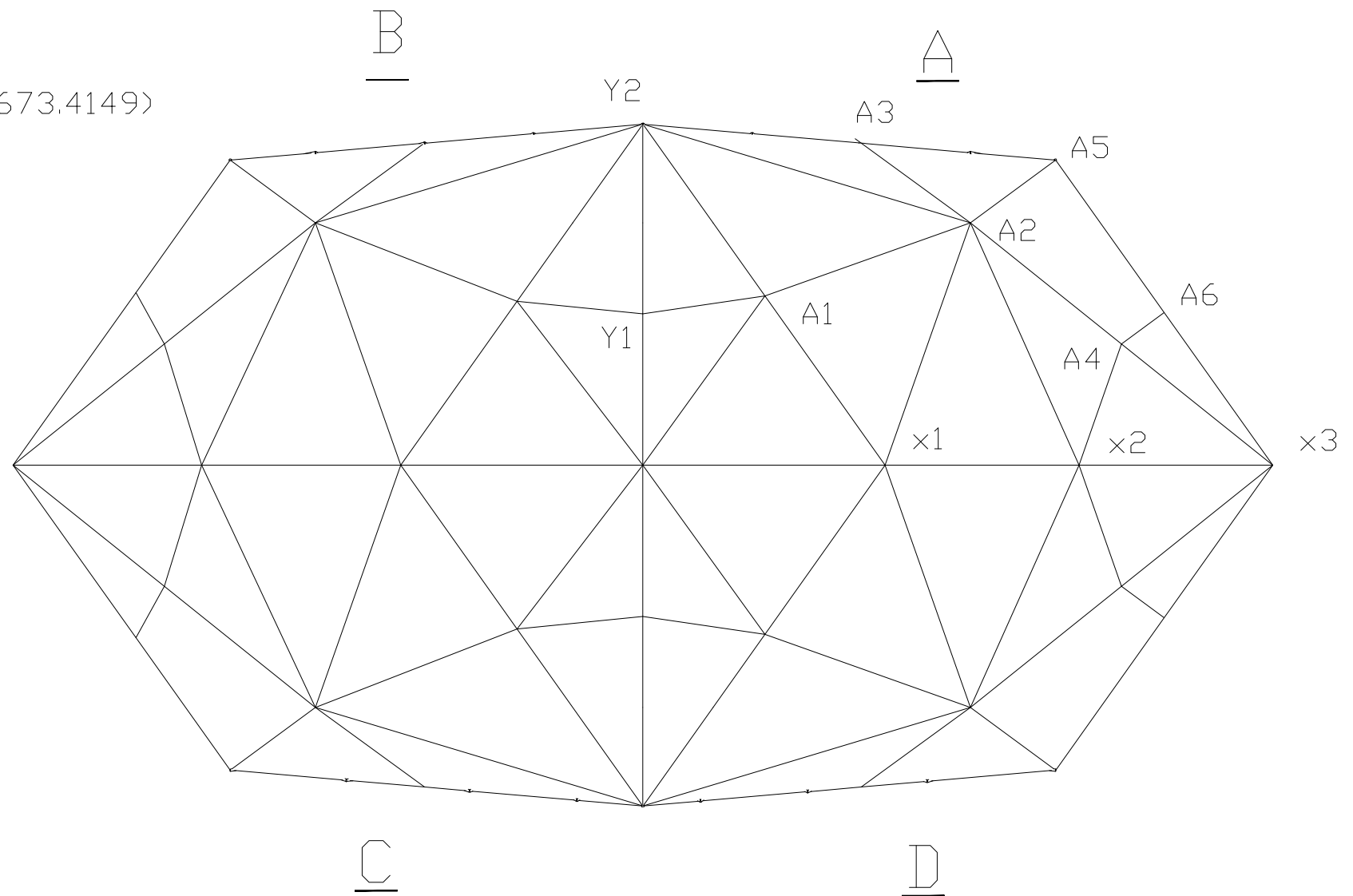
A6(43575,12750,10820)

注:

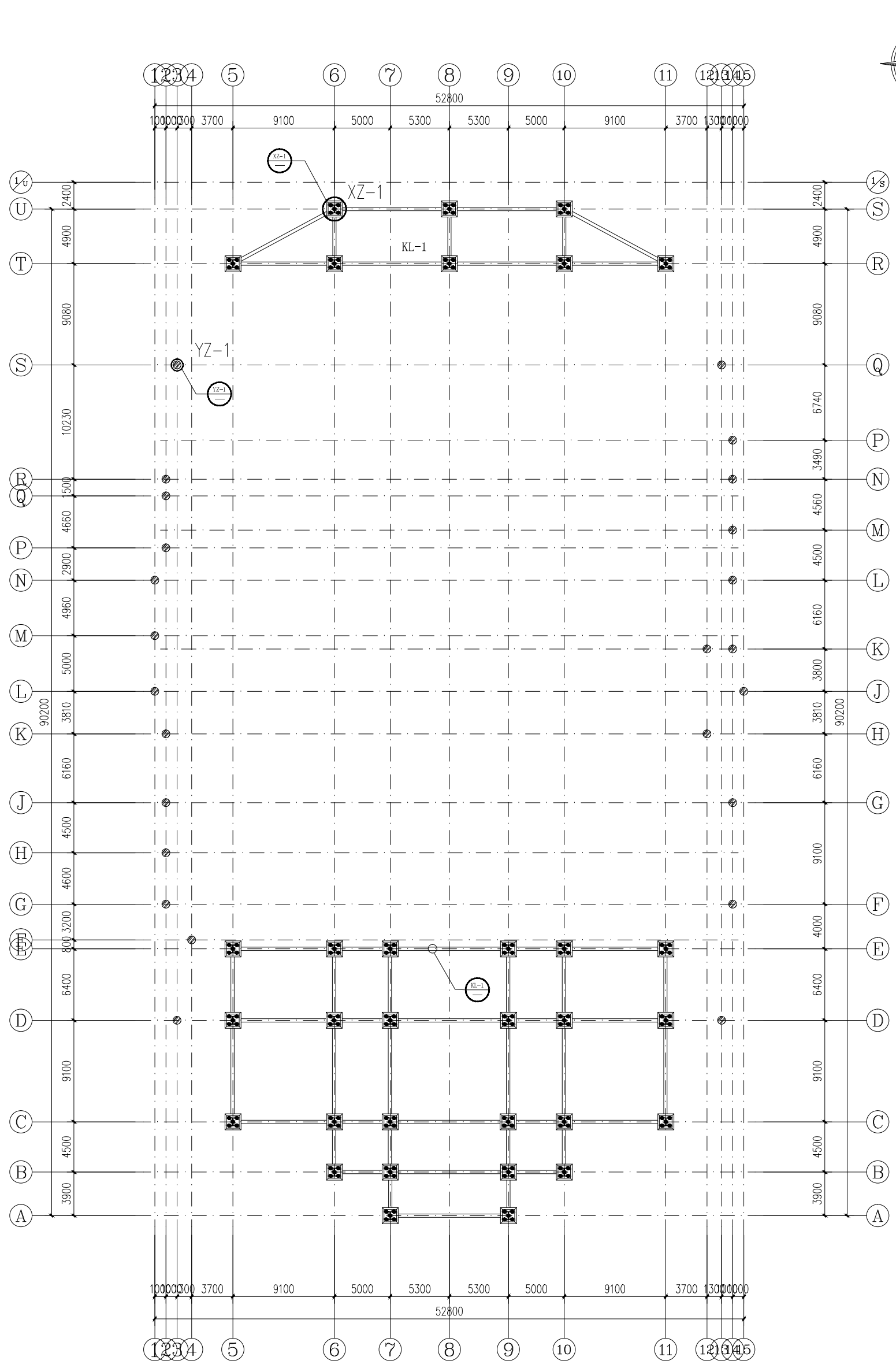
1、单位: mm

2、从左至右坐标依次为x, y, z;

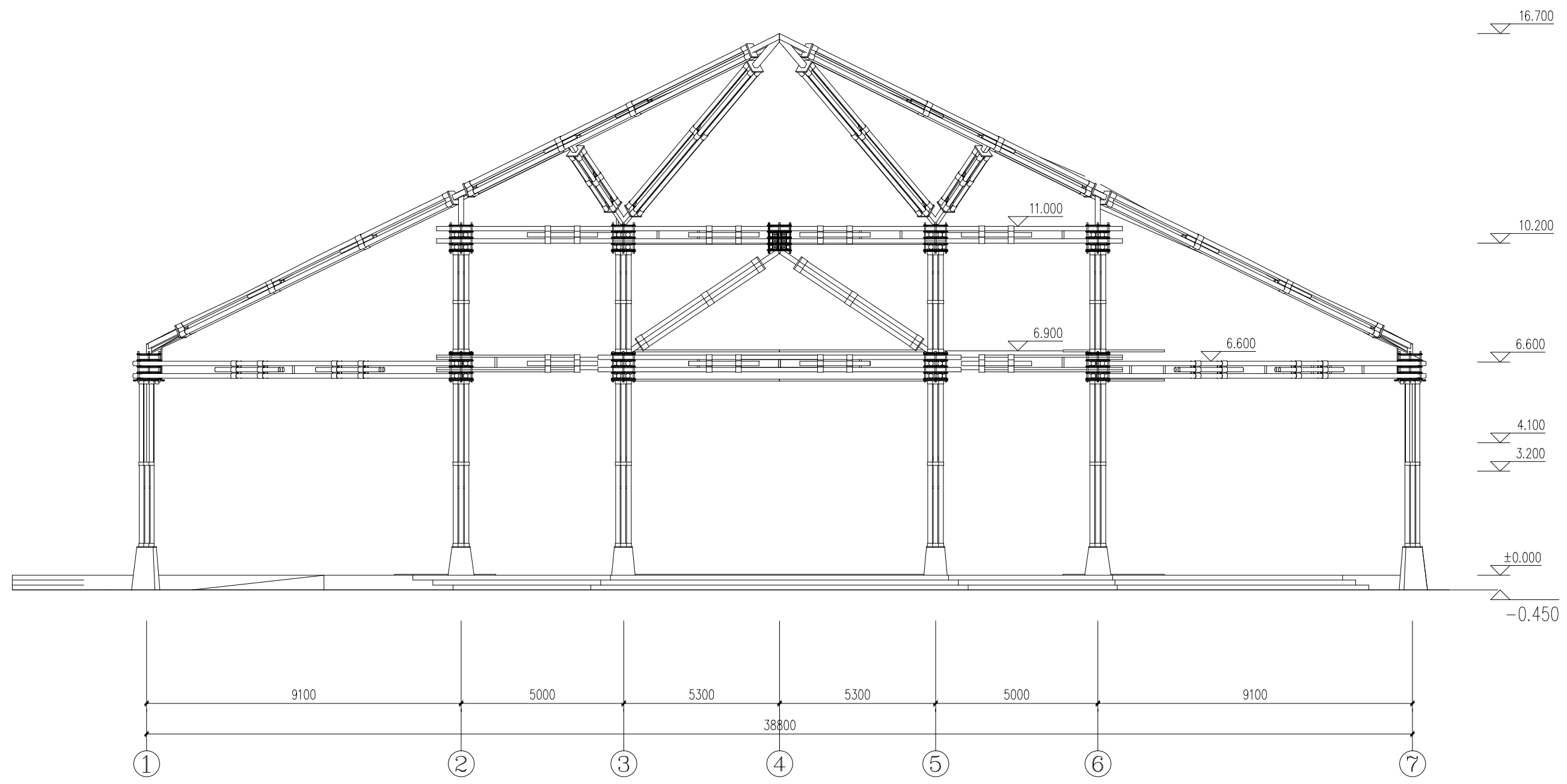
3、A、B、C、D互相对称, 且只列出了A区域坐标。



全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院		
制图	王笑婷、胡津阳	签名		屋盖节点坐标	图别	结施
审图		签名			图号	01

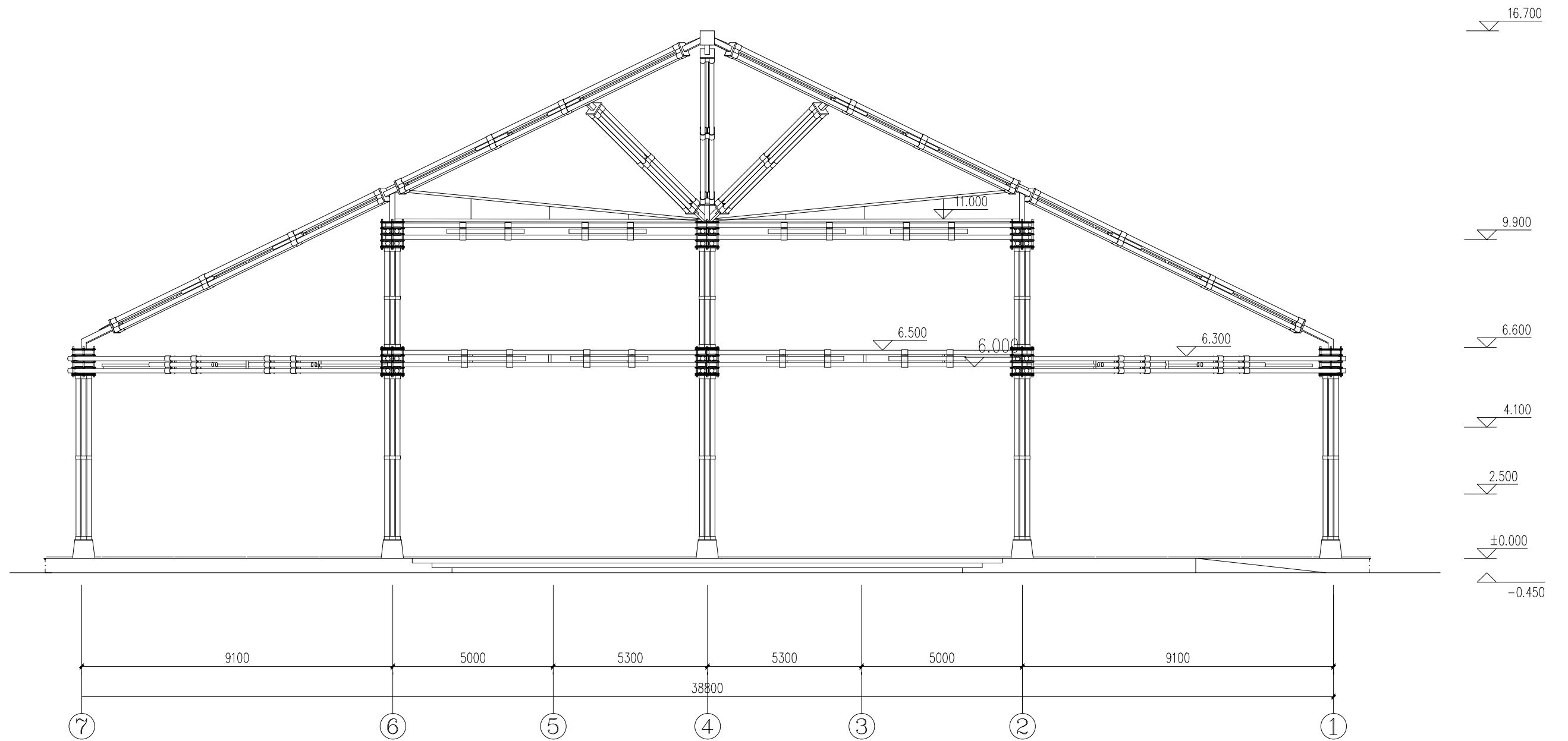


柱位及框架布置图 1:100



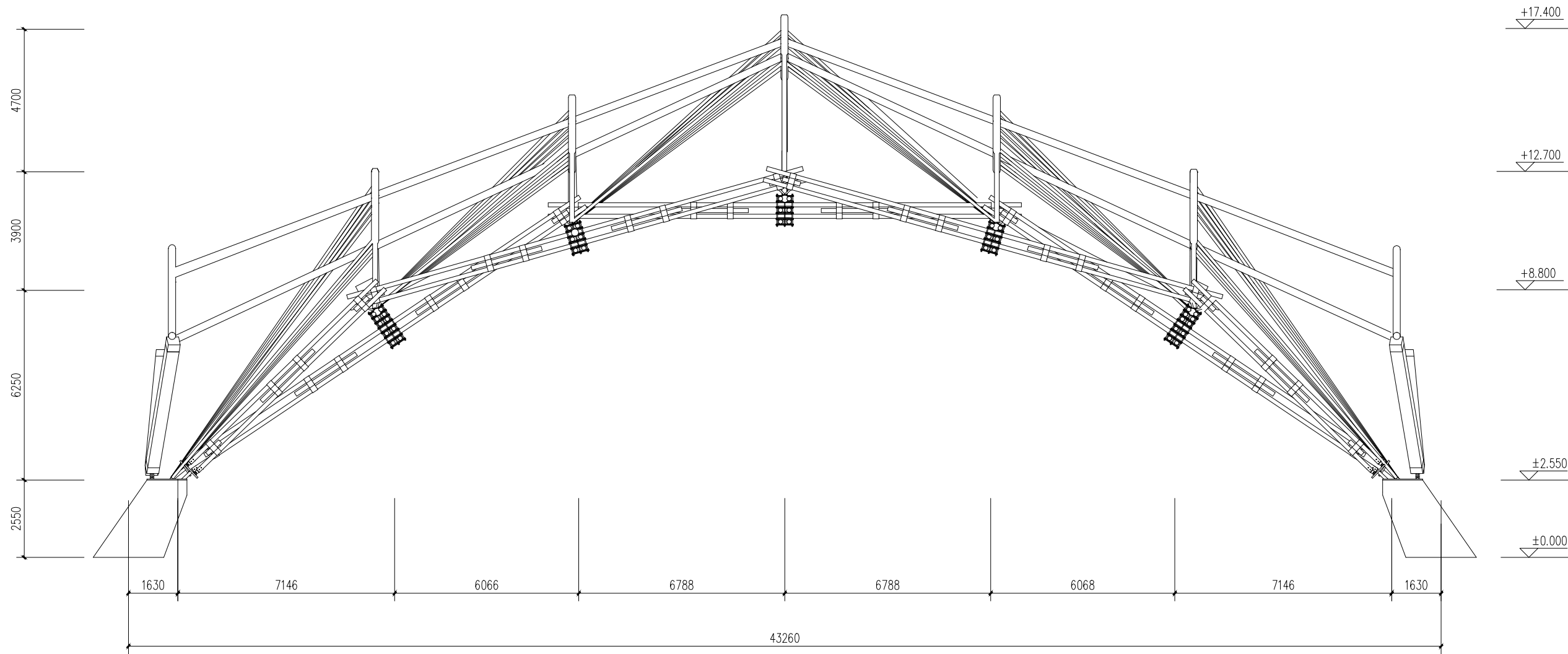
框架柱北立面图 1:100

全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院	
制 图	王笑婷、胡津阳	签 名		图 别	结 施
审 图		签 名			
框架柱北立面图				图 号	03



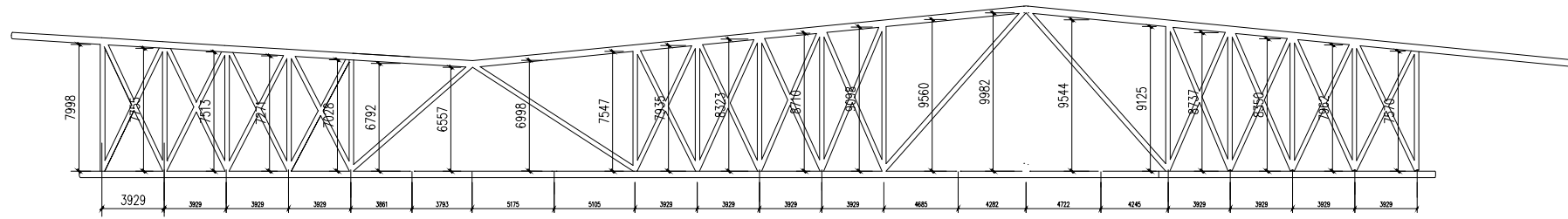
框架柱南立面图 1:100

全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院	
制图	王笑婷、胡津阳	签名		图别	结施
审图		签名			
框架柱南立面图				图号	04

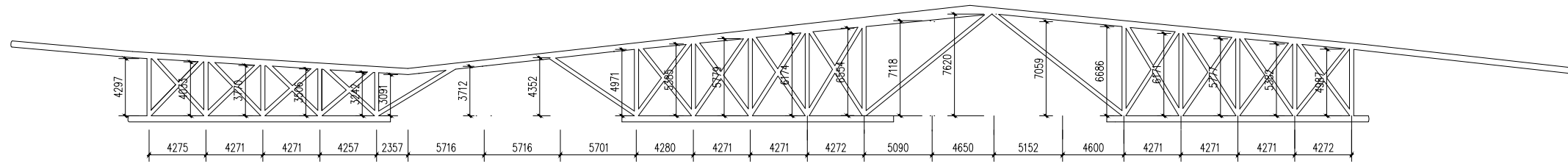


小径木拱正视图 1:100

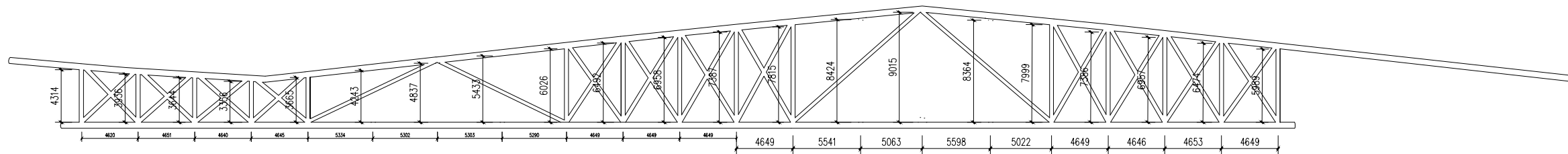
全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院	
制图	王笑婷、胡津阳	签名		图别	结施
审图		签名		图号	05
柱位及框架布置图					



① 1:20



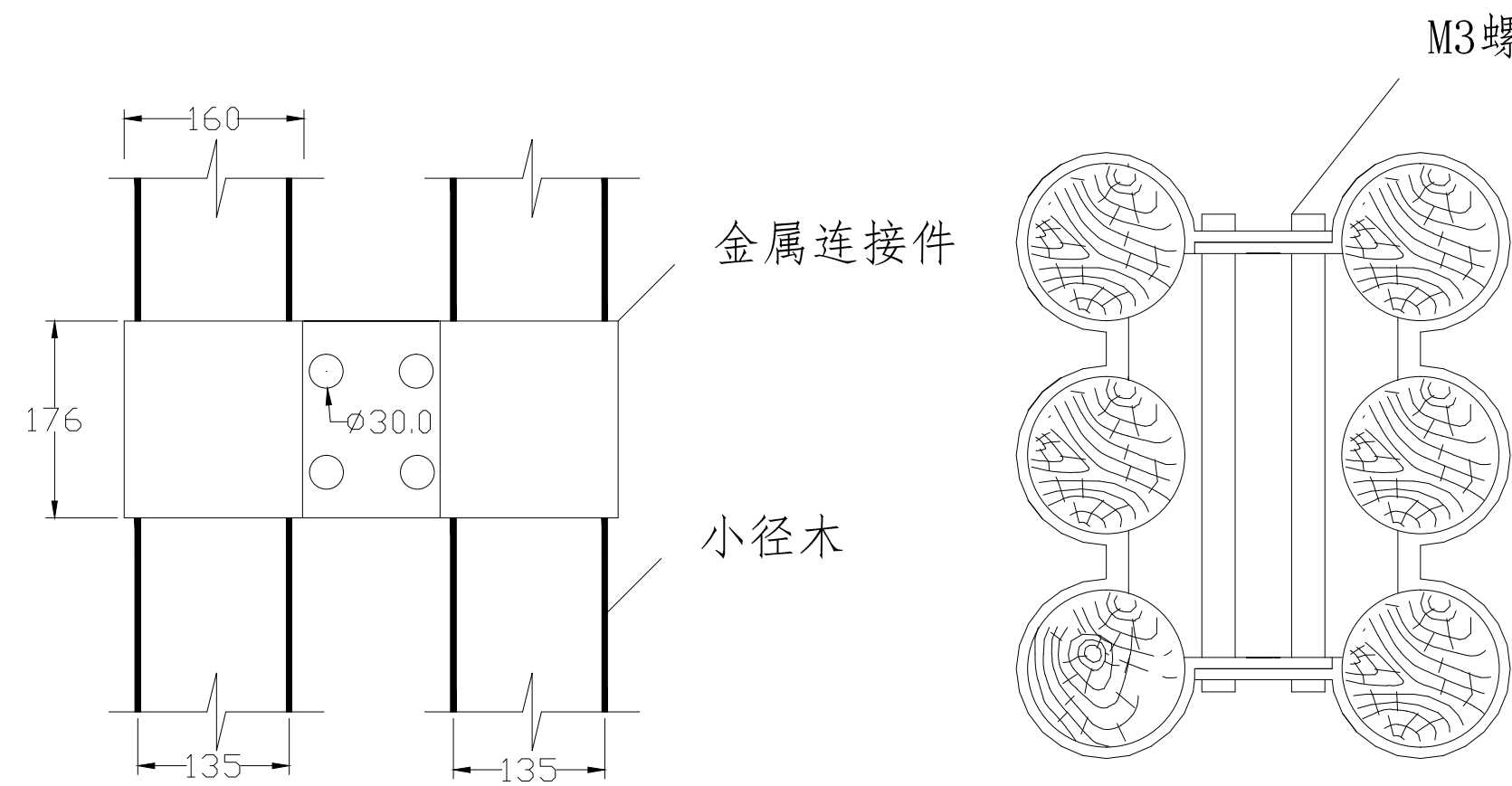
② 1:20



③ 1:20

钢管桁架结构图 1:100

全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院	
制 图	王笑婷、胡津阳	登 名		图 别	结 施
审 图		登 名			
钢管桁架结构图				图 号	06

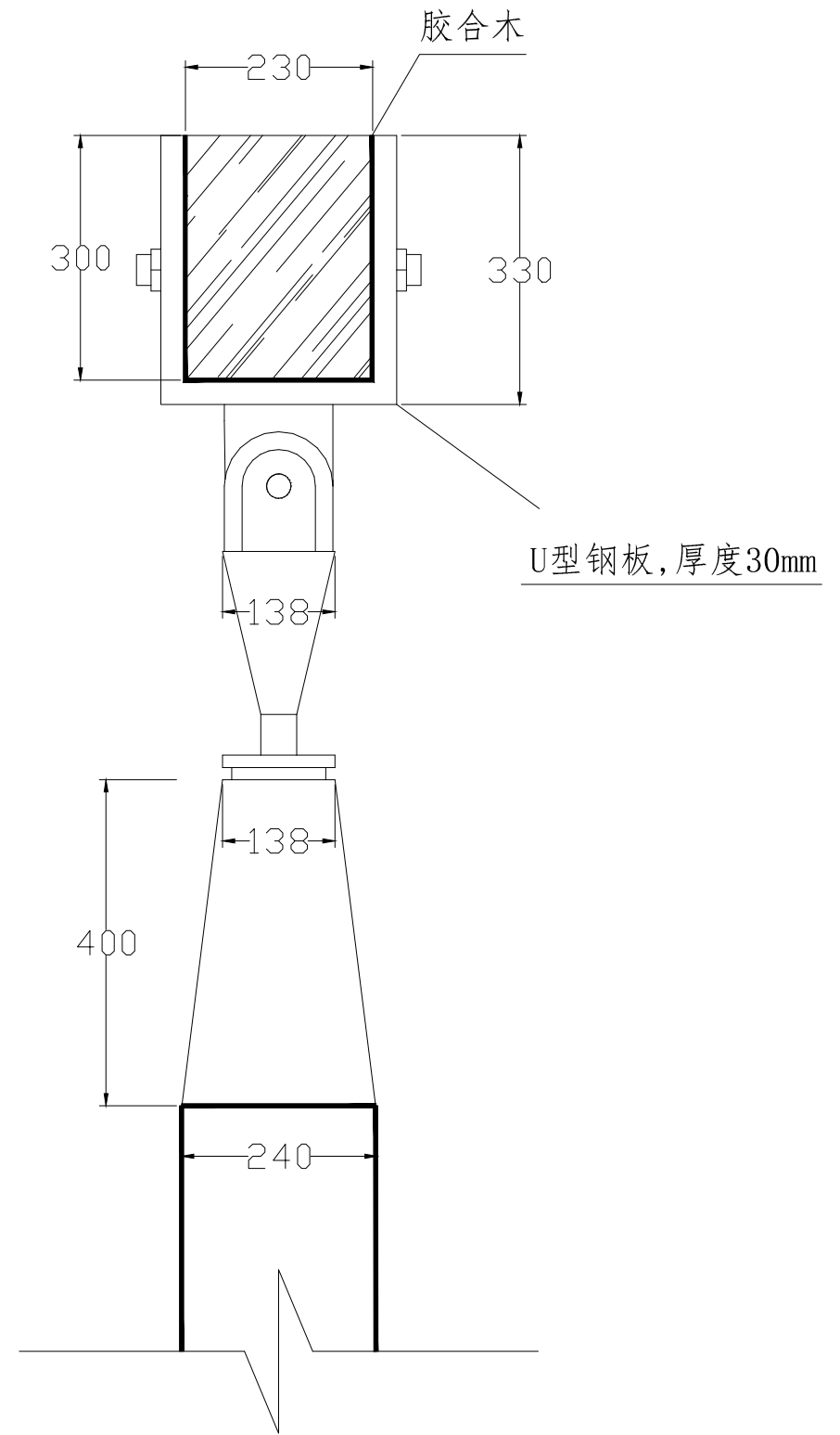
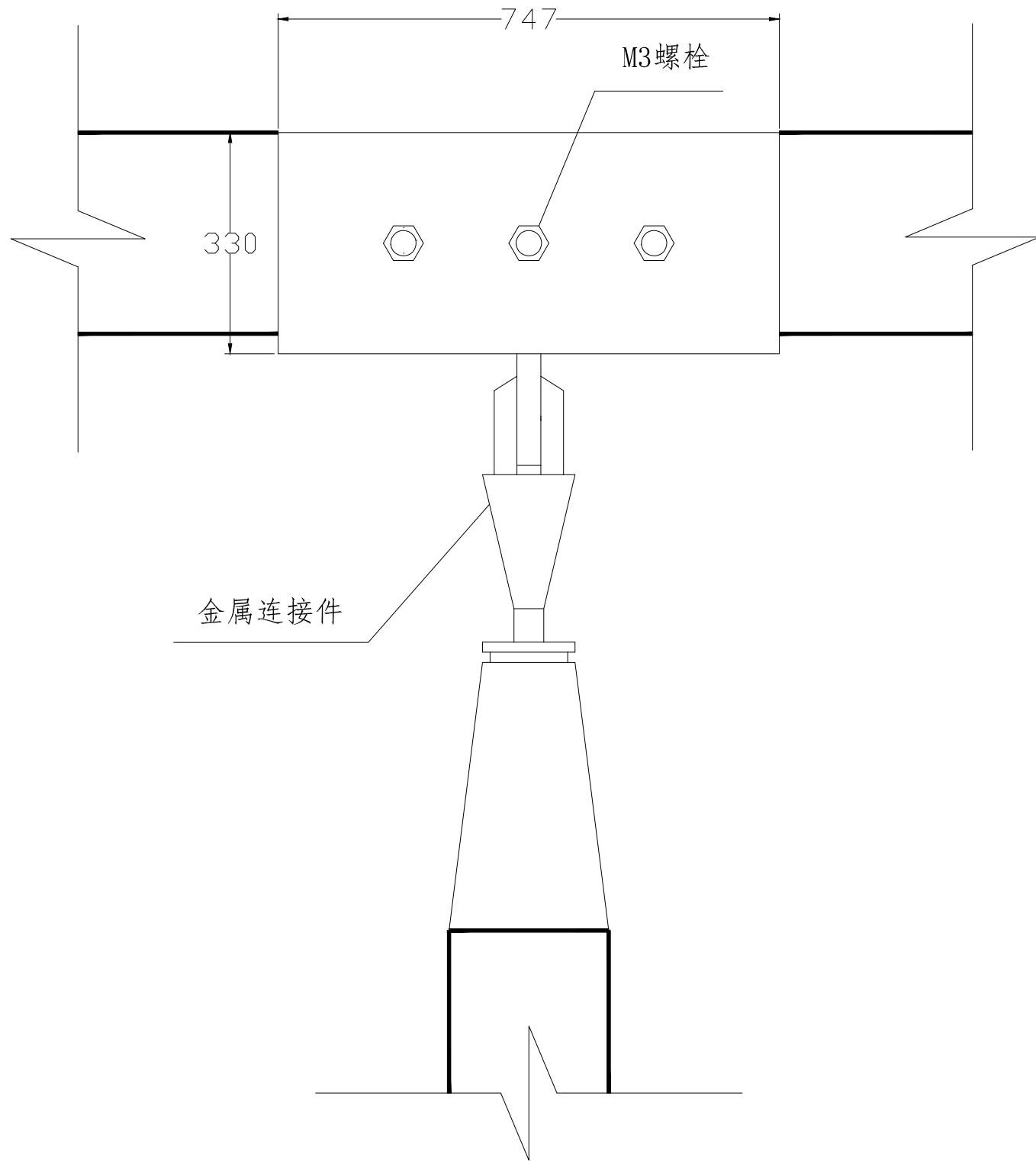


注：1、M3螺栓为普通粗牙螺纹，螺纹外径为3cm。

2、金属套管内径为70mm，外径为80mm，壁厚为10mm。

小径木接长节点图

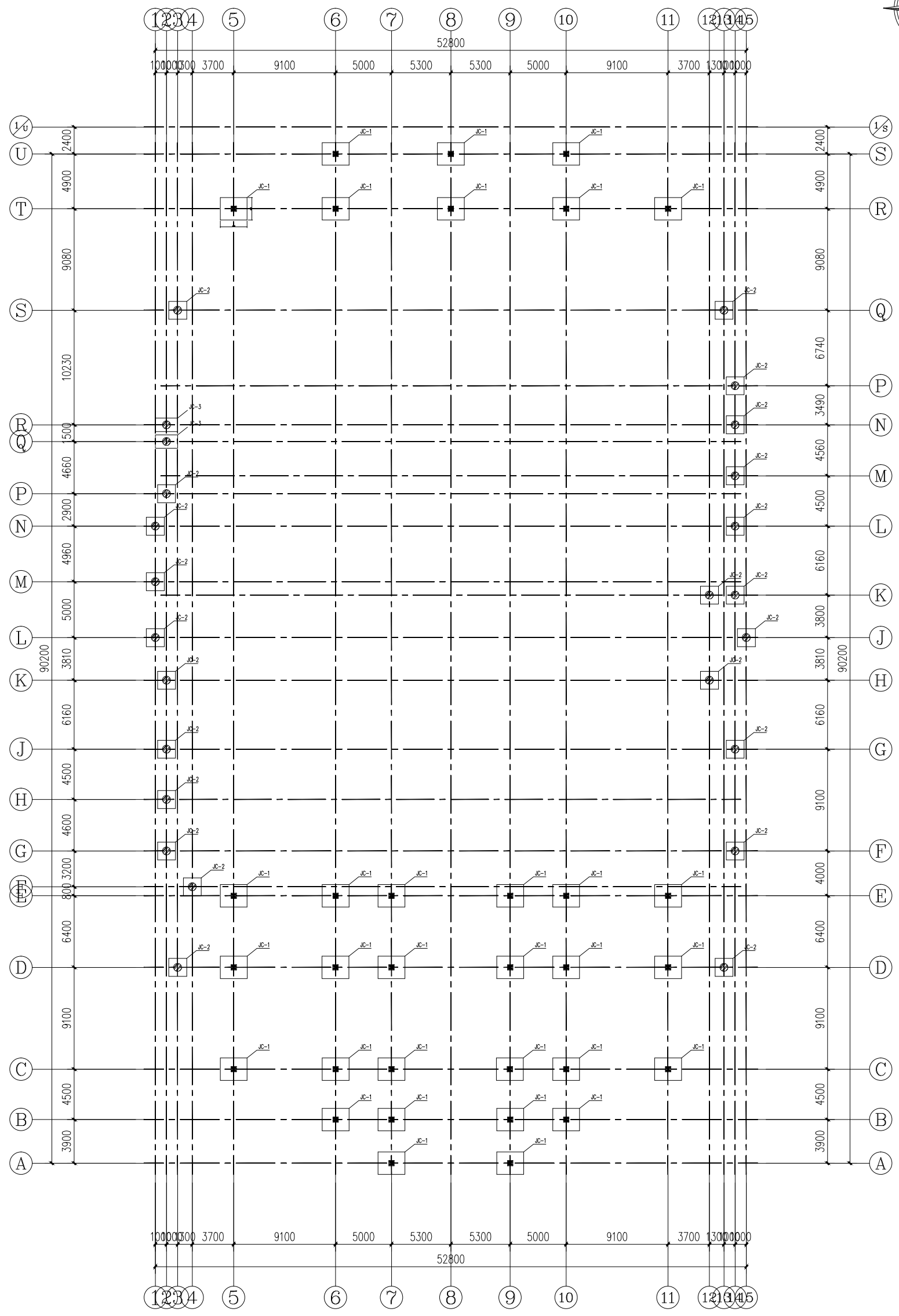
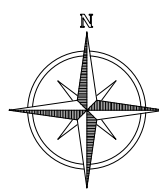
全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院		
制 图	王笑婷、胡津阳	签 名		小径木接长节点图	图 别	结 施
审 图		签 名			图 号	07



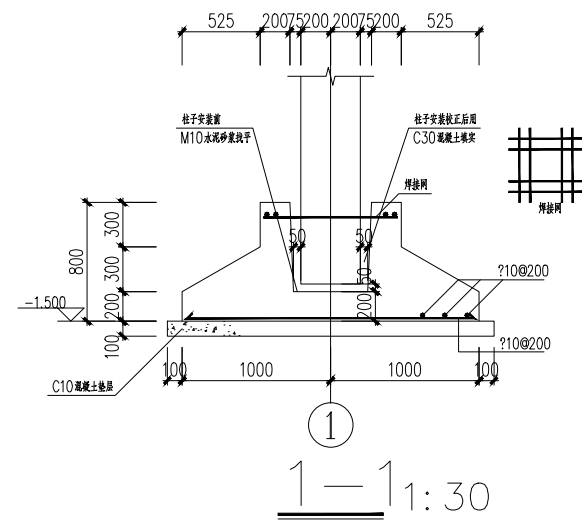
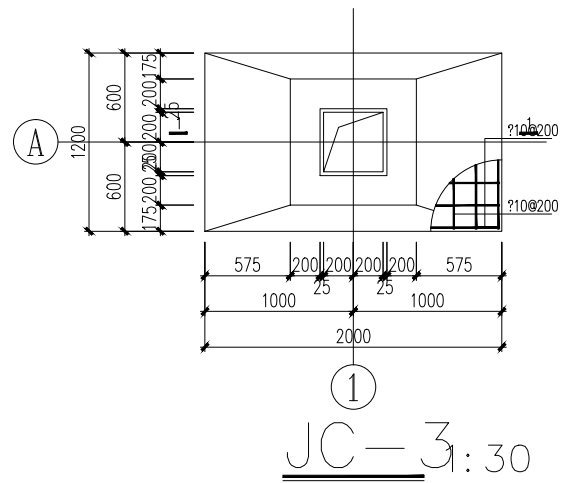
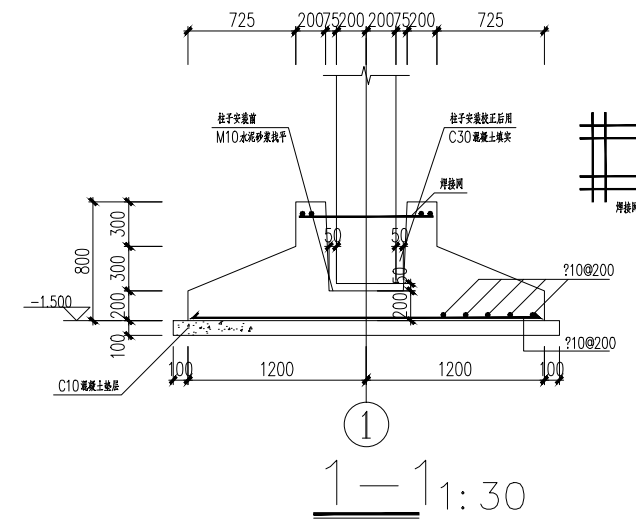
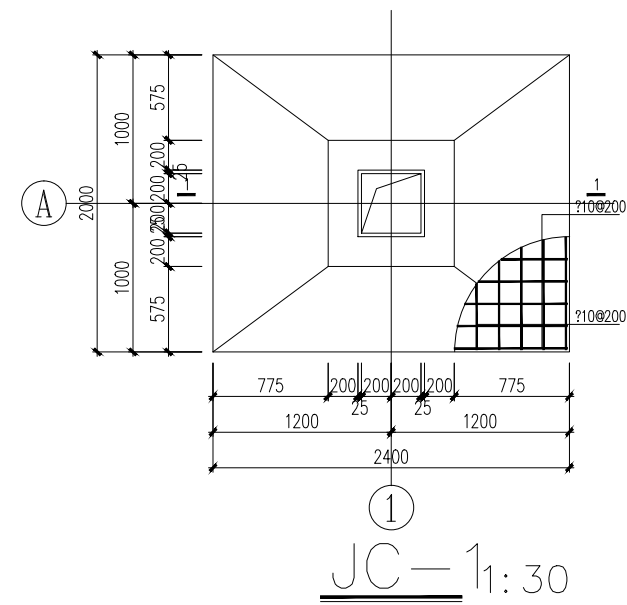
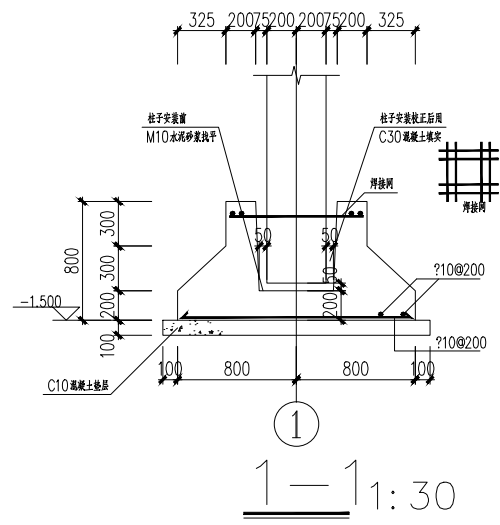
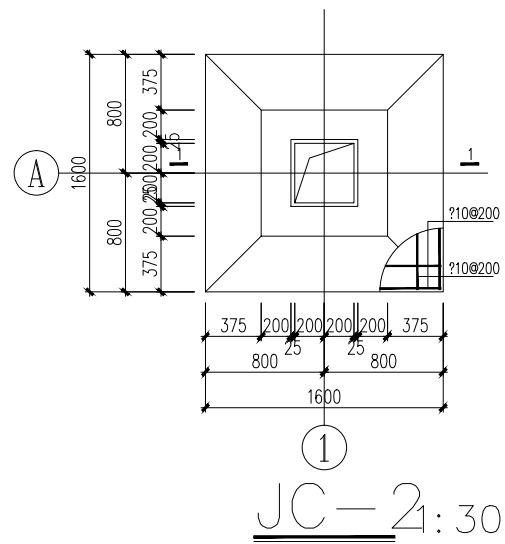
小径木梁柱节点详图

全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院		
制图	王笑婷、胡津阳	签名		小径木梁柱节点详图	图别	结施
审图		签名			图号	08

全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院	
制图	王笑婷、胡津阳	签名		图别	结施
审图		签名		图号	09
				基础平面布置图	



基础平面布置图 1:100



框架柱基础详图

胶合木基础详图

全国木结构设计竞赛		南京市游泳馆		哈尔滨 土木工程学院 土木工程学院	
制 图	王笑婷、胡津阳	签 名		图 别	结 施
审 图		签 名			
基础详图				图 号	10

第二届高校木结构设计邀请赛
木结构游泳馆
计算书

工程名称: 小口径·桥

学 校: _____

组 长: _____

成 员: _____

指导教师: _____

目录

第一章 结构基本介绍.....	5
1. 项目基本情况.....	5
2. 主要计算依据.....	5
3. 结构类型与结构简化.....	5
第二章 荷载组合与材料参数.....	5
3.2 恒荷载.....	5
3.3 活荷载.....	6
3.4 风荷载.....	6
3.5 雪荷载.....	7
3.6 地震作用.....	7
3.7 荷载组合.....	7
3.7.1 荷载基本组合.....	7
3.7.2 荷载标准组合.....	8
3.8 材料.....	8
3.8.1 小径木.....	8
3.8.2 胶合木.....	8
3.8.3 钢材.....	10
3.8.4 膜材.....	11
第三章 结构分析与计算.....	11

1. SAP2000 分析计算.....	11
1.1 荷载模式和荷载组合.....	11
1.2 截面尺寸.....	12
1.2.1 小径木拱和框架截面尺寸.....	12
1.2.2 胶合木柱截面尺寸.....	13
1.2.3 支撑桁架截面尺寸.....	14
1.3 模型建立.....	14
2. 小径木拱截面验算.....	15
2.1 手算验算小径木拱受力情况.....	17
2.1.1 荷载选取.....	17
2.1.2 模型计算.....	17
3. 胶合木柱截面验算.....	19
4. 支撑桁架截面验算.....	21
4.1 桁架验算.....	21
4.2 斜杆验算.....	21
5. 钢筋混凝土短柱设计.....	22
5.1 计算参数.....	22
5.1.1 几何参数.....	22
5.1.2 材料信息.....	22
5.1.3 设计参数.....	22
5.1.4 荷载信息.....	22
5.2 钢筋混凝土短柱受压钢筋计算.....	22
5.2.1 确定稳定系数 Φ	22
5.2.2 计算纵筋面积 A'_s	25
5.3 钢筋混凝土短柱正截面受弯承载力验算.....	27
5.3.1 计算内力臂长度 ($l_0 \geq h$).....	27
5.3.2 计算纵向受拉钢筋.....	27

5.3.3 验算配筋率.....	27
5.4 钢筋混凝土短柱斜截面受剪承载力验算.....	27
5.4.1 确定受剪面是否符合条件.....	27
5.4.2 确定是否需按构造配筋.....	27
6. 节点设计.....	22
6.1 螺栓排布.....	22
6.2 验算螺栓受力性能.....	22
第四章 基础设计.....	28

木结构设计计算书

第一章 结构基本介绍

1. 项目基本情况

2. 主要计算依据

- 木结构设计规范 (GB5005-2003)
- 钢结构设计规范 (GB50017-2003)
- 建筑地基基础设计规范 (GB 50007-2011)
- 建筑结构荷载规范 (GB 50009-2012)
- 建筑抗震设计规范 (GB 50011-2010)
- 建筑工程抗震设防分类标准 (GB50223-2008)
- 膜结构技术规程 (CECS158-2015)

3. 结构类型与结构简化

结构主体部分由小径木拱和小径木框架组成，主要由小径木拱上布置的桁架支撑屋盖体系。采用有限元软件 SAP2000 (V15) 对结构进行计算，将结构拆分成小径木拱、小径木框架、桁架支撑体系与其它部分进行设计。

第二章 荷载组合与材料参数

3.2 恒荷载

恒荷载按照结构自重计算。

ETFE 薄膜:	0.175kN/m ³
小径木:	5.94kN/m ³

胶合木:	75kN/m ³
钢支撑:	78.5kN/m ³

3.3 活荷载

非上人屋面	0.5kN/m ²
积灰荷载	0.3kN/m ²

3.4 风荷载

南京市 50 年基本风压为 0.4kN/m²，荷载组合系数为 0.6。场区地面粗糙度类别为 B 类（未知），风振系数 β_z ，风载体型系数 μ_s 、风压高度系数 μ_z 按照《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012) 选取。

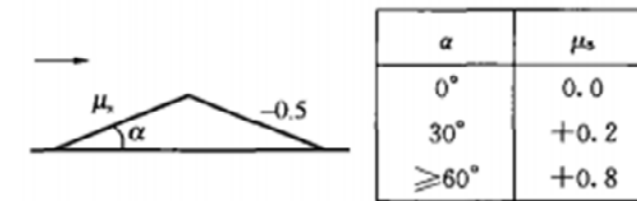


图 1 风荷载体型系数

风荷载标准值:

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0$$

式中:

- w_k ——风荷载的标准值 (kN/m²);
- β_z ——高度 z 处的风振系数, 此处: $\beta_z=1$;
- μ_s ——风荷载体型系数, $\mu_s=0.475$ (迎风面), $\mu_s=-0.5$ (背风面);
- μ_z ——风压高度变化系数, $\mu_z=1.284$;
- w_0 ——基本风压, $w_0=0.4\text{kN/m}^2$ 。

计算可得风荷载标准值为:

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 = 0.244\text{kN/m}^2 \text{ (迎风面)}$$

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 = -0.257\text{kN/m}^2 \text{ (背风面)}$$

3.5 雪荷载

《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012), 设计使用年限为 50 年时, 南京市基本雪压取 0.65 kN/m^2 , 荷载组合系数为 0.7, 雪荷载分布为均匀分布。对于大跨屋面, 积雪分布系数按图所示取值, 雪荷载标准值则可分别取为 0.52 kN/m^2 和 0.78 kN/m^2 。

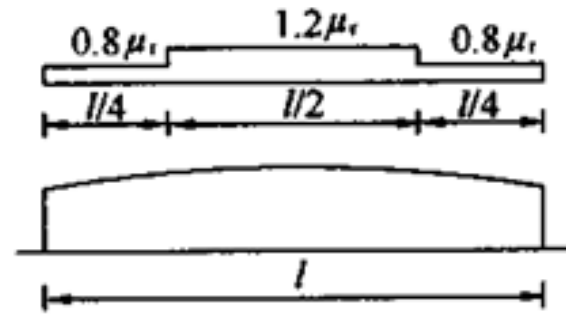


图 2 大跨屋面积雪分布系数

3.6 地震作用

根据《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223-2008) 6.0.3 条, 体育建筑中, 规模分级为特大型的体育场, 大型、观众席容量很多的中型体育场和体育馆(含游泳馆), 抗震设防类别应划为重点设防类(乙类)。

该场地位于南京市, 根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010) 抗震设防烈度为 7 度, 设计基本地震加速度为 $0.10g$, 设计地震分组为第一组; 场地类别为 III 类, 场地特征周期为 $0.45s$ (未知); 水平地震影响系数最大值多遇地震时选 0.08 , 罕遇地震时取 0.50 。

3.7 荷载组合

3.7.1 荷载基本组合

基本组合 DL: $1.2 \cdot \text{恒} + 1.4 \cdot \text{活}$

基本组合 DLWX: $1.2 \cdot \text{恒} + 1.4 \cdot \text{活} + 1.4 \cdot 0.6 \cdot \text{风}$

基本组合 DLSD: $1.2 \cdot \text{恒} + 1.4 \cdot \text{活} + 1.4 \cdot 0.7 \cdot \text{雪} + 1.4 \cdot 0.9 \cdot \text{积灰}$

基本组合 DWLSD: $1.2 \cdot \text{恒} + 1.4 \cdot \text{风} + 1.4 \cdot 0.7 \cdot (\text{活} + \text{雪}) + 1.4 \cdot 0.9 \cdot \text{积灰}$

基本组合 DLWSD: $1.35 \cdot \text{恒} + 1.4 \cdot (0.7 \cdot \text{活} + 0.6 \cdot \text{风} + 0.7 \cdot \text{雪} + 0.9 \cdot \text{积灰})$

3.7.2 荷载标准组合

标准组合 DLW: $1.0 \cdot \text{恒} + 1.0 \cdot \text{活} + 1.0 \cdot 0.6 \cdot \text{风}$

标准组合 DWL: $1.0 \cdot \text{恒载} + 1.0 \cdot 0.7 \cdot \text{活} + 1.0 \cdot \text{风}$

3.8 材料

3.8.1 小径木

1) 用材

选用东北落叶松小径木。

2) 基本力学性能

根据东北落叶松小径木材性试验, 确定了其东北落叶松小径木强度及弹性模量设计值。

表 1 东北落叶松小径木强度设计值、弹性模量 (N/mm^2) 和密度 (Kg/m^3)

抗弯强度 f_m	12.3
轴心抗压 f_c	13.3
顺纹抗拉 f_t	5.0
顺纹抗剪 f_v	2.8
弹性模量 E	10765
密度 ρ	594

3.8.2 胶合木

1) 用材

选用同等组坯胶合木 TC_T24 (含水率不大于 15%)。

2) 基本力学性能

表 2 胶合木强度设计值和弹性模量 (N/mm^2)

强度等级	TC _T 24
------	--------------------

抗弯强度 f_m		24
轴心抗压 f_c		22
顺纹抗拉 f_t		17
顺纹抗剪 f_v		2.2
横纹承压 $f_{c,90}$	全表面	3.0
	构件局部中间	7.5
	构件局部端部	6.0
弹性模量 E		9500

3) 力学性能调整

表 3 不同使用条件下胶合木强度设计值和弹性模量的调整系数

使用条件	调整系数	
	强度设计值	弹性模量
使用中胶合木构件含水率大于 15%时	0.8	0.8
长期生产性高温环境，木材表面温度达 40℃~50℃	0.8	0.8
按恒载验算时	0.65	0.35
用于木构筑物时	0.9	1.0
施工和维修时的短暂情况	1.2	1.0

注：

① 当仅有恒荷载或恒荷载产生的内力超过全部荷载所产生的内力的 80%时，应单独以恒荷载进行验算；

② 当若干条件同时出现时，表列各系数应连乘。

表 4 设计使用年限调整系数

设计使用年限	调整系数	
	强度设计值	弹性模量
50 年	1.0	1.0

构件截面高度大于 300mm，荷载作用方向平行于层板截面宽度方向时，抗弯强度设计值应乘以截面高度调整系数 k_h ， k_h 按下式计算：

$$k_h = \left(\frac{300}{h} \right)^{\frac{1}{9}}$$

构件截面高度大于 300mm，荷载作用方向垂直于层板截面宽度方向时，抗弯强度设计值应乘以截面体积调整系数 k_v ， k_v 按下式计算：

$$k_v = \left[\left(\frac{130}{b} \right) \left(\frac{305}{h} \right) \left(\frac{6400}{L} \right) \right]^{\frac{1}{c}}$$

式中：

b ——构件的截面宽度 (mm)；

h ——构件的截面高度 (mm)；

L ——构件在零弯矩点之间的距离 (mm)；

c ——树种系数，一般取 $c=10$ 。

3.8.3 钢材

1) 用材

结构支撑体系的钢材选用 Q235。

2) 力学性质

表 5 Q345 钢的强度设计值 (N/mm²)

厚度或直径 (mm)	抗拉、抗压和抗弯 f	抗剪 f_v
≤16	215	125
>16~35 _t	205	120
>35~50	200	115
>50~100	190	110

表 6 钢材的物理性能指标

弹性模量 E (N/mm ²)	剪变模量 G (N/mm ²)	线膨胀系数 α	质量密度 ρ
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850

3.8.4 膜材

1) 用材

膜采用由乙烯和四氟乙烯共聚物制成的 ETFE 薄膜。

2) 力学性质

表 7 ETFE 膜材密度、弹性模量和泊松比

密度 (g/cm ³)	弹性模量 (N/mm ²)	泊松比
1.75	650	0.42

第三章 结构分析与计算

1. SAP2000 分析计算

1.1 荷载模式和荷载组合

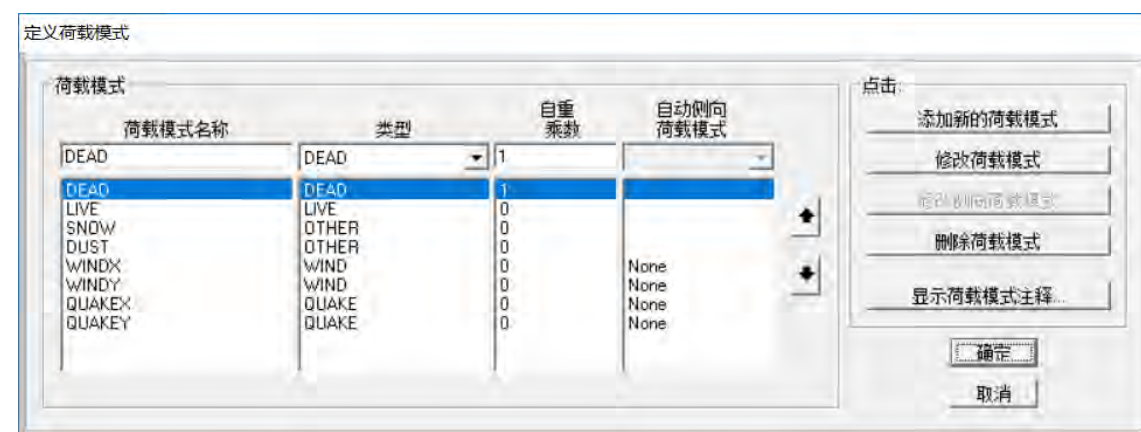


图 3 荷载模式



图 4 荷载组合

1.2 截面尺寸

1.2.1 小径木拱截面尺寸

取 4 根半径为 70mm 的小径木组合。

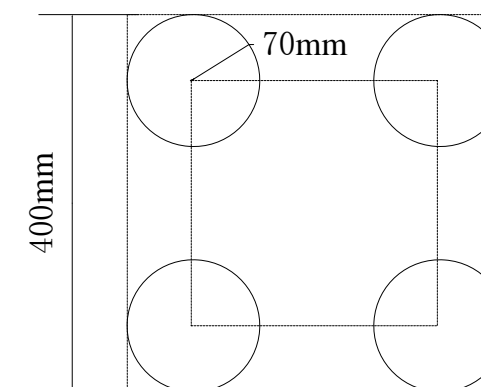


图 5 小径木构件截面

$$\text{截面面积 } A = 615.73\text{cm}^2 = 615.73 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\text{截面惯性矩: } I_x = I_y = 111600.99\text{cm}^4 = 111600.99 \times 10^{-8} \text{m}^4$$

$$\text{截面抵抗矩: } W_x = W_y = 5580.10\text{cm}^3 = 5580.1 \times 10^{-6} \text{m}^3$$

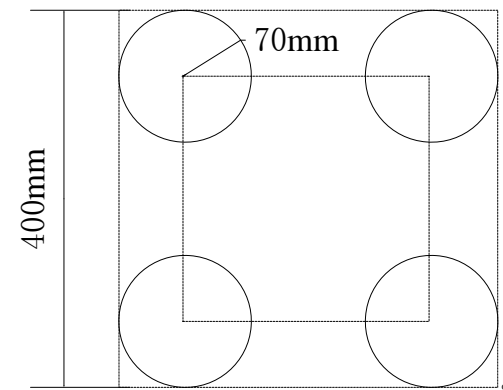
1.2.2 小径木框架截面尺寸

1) 柱:

取 4 根半径为 70mm 的小径木和 1 根半径为 70mm 的钢管组合

2) 梁:

取 4 根半径为 70mm 的小径木组合



截面面积 $A = 769.69\text{cm}^2 = 769.69 \times 10^{-4} \text{m}^2$

截面惯性矩: $I_x = I_y = 178000.48\text{cm}^4 = 178000.48 \times 10^{-8} \text{m}^4$

截面抵抗矩: $W_x = W_y = 7416.69\text{cm}^3 = 7416.69 \times 10^{-6} \text{m}^3$

1.2.3 胶合木柱截面尺寸

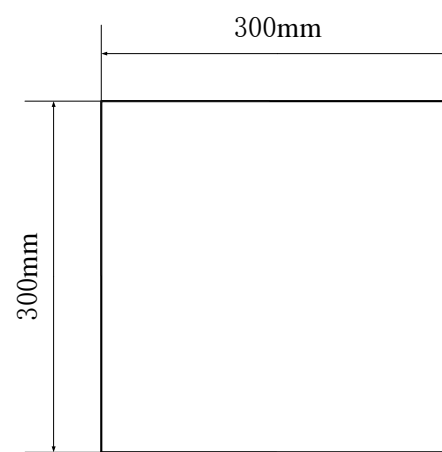


图 6 胶合木柱截面

截面面积 $A = 900\text{cm}^2 = 9 \times 10^{-2} \text{m}^2$

截面惯性矩: $I_x = I_y = 67500\text{cm}^4 = 6.75 \times 10^{-4} \text{m}^4$

截面抵抗矩: $W_x = W_y = 4500\text{cm}^3 = 4.5 \times 10^{-3} \text{m}^3$

1.2.4 支撑桁架截面尺寸

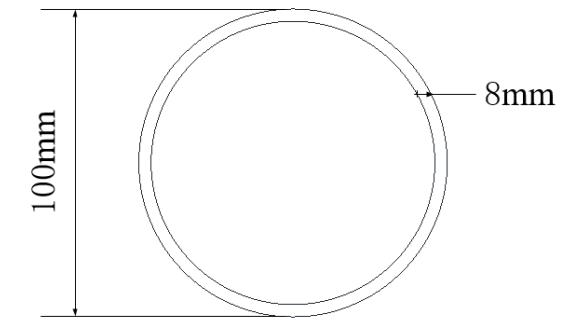


图 7 桁架截面尺寸

截面面积 $A = 12.06\text{cm}^2 = 12.06 \times 10^{-4} \text{m}^2$

截面惯性矩: $I_x = I_y = 139.21\text{cm}^4 = 139.21 \times 10^{-8} \text{m}^4$

截面抵抗矩: $W_x = W_y = 27.84\text{cm}^3 = 27.84 \times 10^{-6} \text{m}^3$

1.3 模型建立

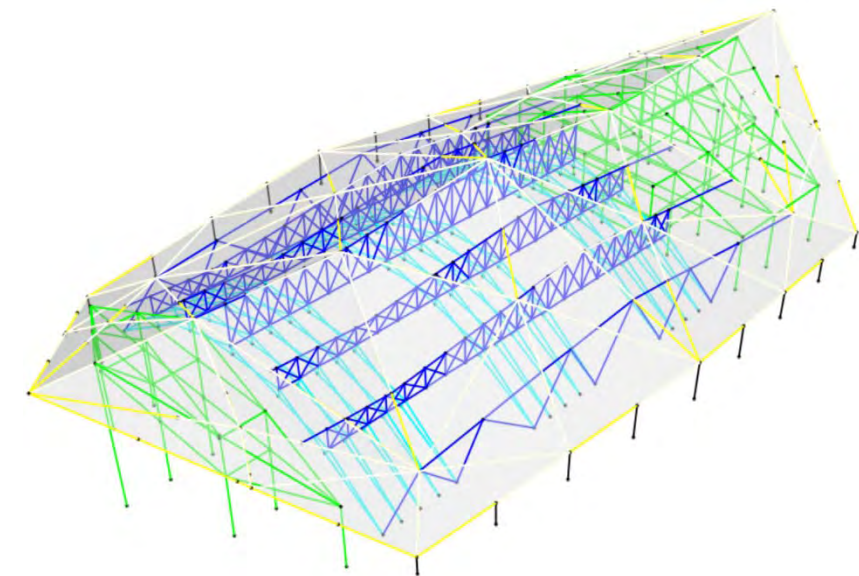


图 8 整体模型

2. 小径木拱截面验算

分析计算得到由小径木搭建成的木拱以承受轴力为主，剪力和弯矩相比之下很小，因此只考虑轴力，剪力和弯矩忽略不计。

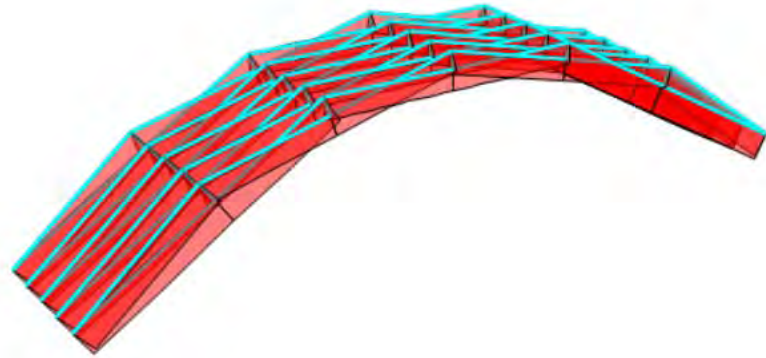


图 9 小径木拱轴力图

1) 边部构件

杆长: $l = 8725.79\text{mm}$

轴力: $F_N = N = 249474\text{N} \approx 250\text{kN}$

截面面积: $A = 615.73\text{cm}^2 = 615.73 \times 10^{-4}\text{m}^2$

截面惯性矩: $I_x = I_y = 111600.99\text{cm}^4 = 111600.99 \times 10^{-8}\text{m}^4$

按强度验算:

$$\frac{N}{A} = \frac{250 \times 10^3}{615.73 \times 10^2} = 4.06 \text{N/mm}^2 \leq f_c = 13.3 \text{N/mm}^2, \text{ 满足强度要求。}$$

按稳定验算:

$$a_c = 0.92$$

$$b_c = 1.96$$

$$c_c = 4.13$$

$$\beta = 1.03$$

$$\frac{E_k}{f_{ck}} = 330$$

$$\lambda_c = c_c \sqrt{\frac{E_k}{f_{ck}}} = 4.13 \times \sqrt{330} = 75$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{111600.99 \times 10^{-8}}{615.73 \times 10^{-4}}} \times 10^3 = 134.63\text{mm}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{k_l l}{i} = \frac{1.0 \times 8725.79}{134.63} = 64.81$$

当 $\lambda \leq \lambda_c$ 时

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{\lambda^2 f_{ck}}{b_c \pi^2 \beta E_k}} = \frac{1}{1 + \frac{64.81^2}{1.96 \times \pi^2 \times 1.03 \times 330}} = 0.61$$

$$\frac{N}{\varphi A} = \frac{250 \times 10^3}{0.61 \times 615.73 \times 10^2} = 6.66 \text{N/mm}^2 \leq f_c = 13.3 \text{N/mm}^2, \text{ 满足稳定要求。}$$

2) 中部构件 (取最不利构件验算)

杆长: $l = 8654.05\text{mm}$

轴力: $F_N = N = 280992.94\text{N} \approx 281\text{kN}$

截面面积: $A = 615.73\text{cm}^2 = 615.73 \times 10^{-4}\text{m}^2$

截面惯性矩: $I_x = I_y = 111600.99\text{cm}^4 = 111600.99 \times 10^{-8}\text{m}^4$

按强度验算:

$$\frac{N}{A} = \frac{281 \times 10^3}{615.73 \times 10^2} = 4.55 \text{N/mm}^2 \leq f_c = 13.3 \text{N/mm}^2, \text{ 满足强度要求。}$$

按稳定验算:

$$a_c = 0.92$$

$$b_c = 1.96$$

$$c_c = 4.13$$

$$\beta = 1.03$$

$$\frac{E_k}{f_{ck}} = 330$$

$$\lambda_c = c_c \sqrt{\frac{E_k}{f_{ck}}} = 4.13 \times \sqrt{330} = 75$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{111600.99 \times 10^{-8}}{615.73 \times 10^{-4}}} \times 10^3 = 134.63 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{k_l l}{i} = \frac{1.0 \times 8654.05}{134.63} = 64.28$$

当 $\lambda \leq \lambda_c$ 时

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{\lambda^2 f_{ck}}{b_c \pi^2 \beta E_k}} = \frac{1}{1 + \frac{64.28^2}{1.96 \times \pi^2 \times 1.03 \times 330}} = 0.61$$

$$\frac{N}{\varphi A} = \frac{281 \times 10^3}{0.61 \times 615.73 \times 10^2} = 7.43 \text{ N/mm}^2 \leq f_c = 13.3 \text{ N/mm}^2, \text{ 满足稳定要求。}$$

2.1 手算验算小径木拱受力情况

2.1.1 荷载选取

对于受力最大的单个拱，截取支撑处受力，对拱施加相应荷载。

2.1.2 模型计算

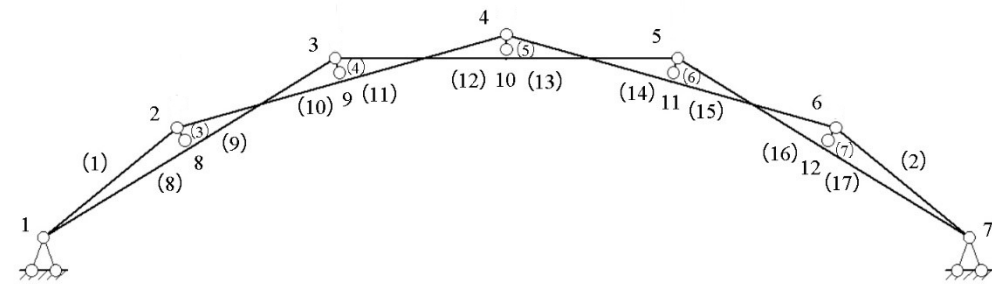


图 10 模型简图

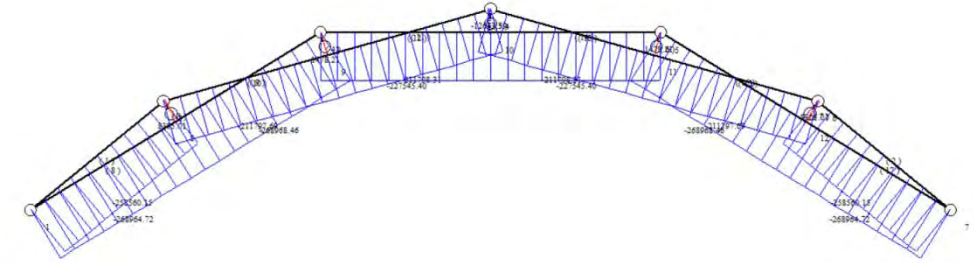


图 11 轴力图 (N)

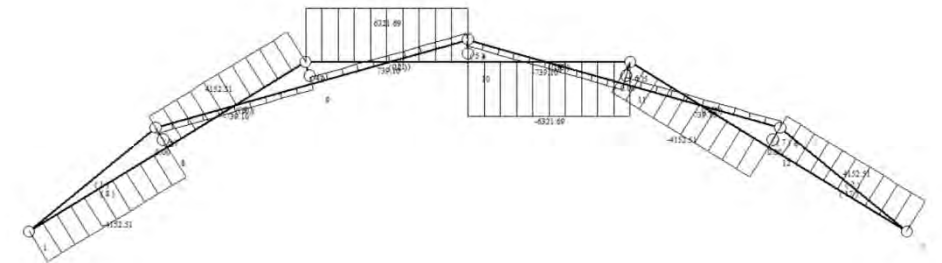


图 12 剪力图 (N)

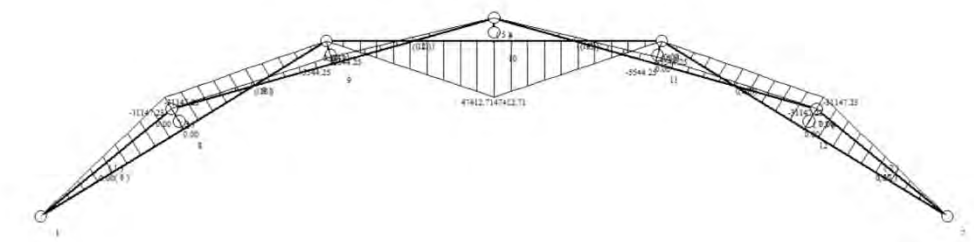


图 13 弯矩图 (N·mm)

表 8 内力合计 (KN·m)

	杆端 1	杆端 2
--	------	------

单元码	轴力	剪力	弯矩	轴力	剪力	弯矩
1	-258.560	0	0	-258.560	0	0
2	-258.560	0	0	-258.560	0	0
3	8.305	0	0	8.305	0	0
4	1.478	0	0	1.478	0	0
5	-12.643	0	0	-12.643	0	0
6	1.478	0	0	1.478	0	0
7	8.305	0	0	8.305	0	0
8	-268.965	-4.152	0	-268.965	-4.152	-0.031
9	-268.968	4.152	-0.031	-268.968	4.152	0
10	-211.798	-0.739	0	-211.798	-0.739	-0.005
11	-211.798	0.739	-0.005	-211.798	0.739	0
12	-227.545	6.321	0	-227.545	6.321	0.047
13	-227.545	-6.321	0.047	-227.545	-6.321	0
14	-211.798	-0.739	0	-211.798	-0.739	-0.006
15	-211.798	0.739	-0.006	-211.798	0.739	0
16	-268.968	-4.152	0	-268.968	-4.152	-0.003
17	-268.965	4.152	-0.003	-268.965	4.152	0

可见，受力最大杆的误差在 10% 以内，拱的有限元建模具有一定可信度。

3. 胶合木柱截面验算

取初始偏心距 $e_0 = 0.05h = 0.05 \times 300 = 15\text{mm}$

$N = 270.2\text{kN}$

$M_0 = 21.69\text{kN} \cdot \text{m}$

净截面面积: $A_n = 90000\text{mm}^2$

截面惯性矩: $I_x = 6.75 \times 10^8 \text{mm}^4$

全截面抵抗矩: $W_x = \frac{I_x}{h/2} = 4.5 \times 10^6 \text{mm}^3$

轴心抗压强度: $f_c = 22\text{N/mm}^2$

抗弯强度: $f_m = 24\text{N/mm}^2$

回转半径: $i = \sqrt{\frac{I_x}{A_n}} = \sqrt{\frac{6.75 \times 10^8}{90000}} = 86.6\text{mm}$

(1) 按强度验算

$$\frac{N}{A_n f_c} + \frac{M_0 + Ne_0}{W_n f_m} = \frac{270200}{90000 \times 22} + \frac{2.169 \times 10^7 + 270200 \times 15}{4.5 \times 10^6 \times 24} = 0.375 \leq 1$$

强度满足要求。

(2) 按稳定验算

1) 计算轴向力和初始弯矩共同作用的折减系数 φ_m

$$k = \frac{Ne_0 + M_0}{W f_m (1 + \sqrt{\frac{N}{A f_c}})} = \frac{270200 \times 15 + 2.169 \times 10^7}{4.5 \times 10^6 \times 24 (1 + \sqrt{\frac{270200}{90000 \times 22}})} = 0.174$$

$$k_0 = \frac{Ne_0}{W f_m (1 + \sqrt{\frac{N}{A f_c}})} = \frac{270200 \times 15}{4.5 \times 10^6 \times 24 (1 + \sqrt{\frac{270200}{90000 \times 22}})} = 0.027$$

$$\varphi_m = (1 - k)^2 (1 - k_0) = (1 - 0.174)^2 (1 - 0.027) = 0.664$$

2) 计算轴心受压构件的稳定系数

$$c_c = 3.45 \quad b_c = 3.69$$

$$\lambda_c = c_c \sqrt{\frac{\beta E_k}{f_{ck}}} = 3.45 \times \sqrt{\frac{1.05 \times 5400}{21}} = 56.7$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{0.8 \times 4950}{86.6} = 45.7 \leq \lambda_c$$

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{\lambda^2 f_{ck}}{b_c \pi^2 \beta E_k}} = \frac{1}{1 + \frac{45.7^2 \times 21}{3.69 \times \pi^2 \times \beta \times 5400}} = 0.825$$

$$\frac{N}{\varphi_m A_0} = \frac{270200}{0.825 \times 0.664 \times 90000} = 5.48\text{N/mm}^2 \leq 24\text{N/mm}^2$$

稳定满足要求。

4. 支撑桁架截面验算

4.1 桁架验算

采用 Q235 钢轧制圆钢管，直径 100mm，内壁厚度 8mm，所验算杆长 $l=3050\text{mm}$ 。

净截面面积： $A_n = 2513.27\text{mm}^2$

截面惯性矩： $I_x = 2464818.2\text{mm}^4$

全截面抵抗矩： $W_x = 39986.2\text{mm}^3$

回转半径： $i = \sqrt{\frac{I_x}{A_n}} = 31.3\text{mm}$

1) 强度验算：

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{78000}{2513.27} = 31.03\text{N/mm}^2 \leq 215\text{N/mm}^2$$

满足要求。

2) 稳定验算：

轧制圆钢管的截面类型为 a 类， $\lambda = \frac{\mu l}{i} = \frac{3050}{31.3} = 97.44$ ， $\lambda \sqrt{\frac{f_y}{235}} = 97.44$ ，查表线性内

插得轴心受压构件的稳定系数为 $\varphi=0.719$ 。

$$\frac{N}{\varphi A} = \frac{78000}{0.719 \times 2531.27} = 42.86\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

4.2 斜杆受拉验算

采用 Q235 钢轧制圆钢管，直径 100mm，内壁厚度 8mm，所验算杆长 $l=9161\text{mm}$ 。

净截面面积： $A_n = 2513.27\text{mm}^2$

截面惯性矩： $I_x = 2464818.2\text{mm}^4$

全截面抵抗矩： $W_x = 39986.2\text{mm}^3$

回转半径： $i = \sqrt{\frac{I_x}{A_n}} = 31.3\text{mm}$

强度验算：

$$\sigma = \frac{P}{A_n} = \frac{22716}{2513.27} = 9.04\text{N/mm}^2 \leq 215\text{N/mm}^2, \text{ 满足要求。}$$

5. 钢筋混凝土短柱设计

5.1 计算参数

5.1.1 几何参数

截面形状：矩形

截面宽度： $b=1400\text{mm}$

截面高度： $h=1500\text{mm}$

构件的计算长度： $l_0=2600\text{mm}$

5.1.2 材料信息

混凝土强度等级：C50 $f_c=23.1\text{N/mm}^2$ $f_t=2.31\text{N/mm}^2$

纵筋类型：HRB400 $f_y=360\text{N/mm}^2$

箍筋类型：HRB400 $f_y=360\text{N/mm}^2$

5.1.3 设计参数

纵筋最小配筋率： $\rho_{\min}=0.600\%$

纵筋合力点至近边距离： $a_s=50\text{mm}$

水平分布钢筋最小配筋率： $\rho_{\text{sh},\min}=0.200\%$

截面有效高度和腹板高度： $h_0=h_w=h-a_s=1500-300=1200\text{mm}$

5.1.4 荷载信息

轴向力设计值： $N=317.000\text{kN}$

剪力设计值： $V=420.000\text{kN}$

弯矩设计值： $M=1092.000\text{kN}\cdot\text{m}$

5.2 钢筋混凝土短柱正截面纵筋配筋计算

构件截面特性计算

$$i_x = h / (12^{0.5}) = 433.01\text{mm}$$

$$i_y = b / (12^{0.5}) = 404.15\text{mm}$$

$$\alpha_1 = 1.00$$

$$\beta_1 = 0.80$$

由混凝土规范公式(6.2.1-5)可知混凝土极限压应变

$$\varepsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu} - 50) \times 10^{-5} = 0.0035$$

由混凝土规范表 4.2.5 可得钢筋弹性模量

$$E_s = 200000.00\text{MPa}$$

由混凝土规范公式(6.2.7-1)可知相对界限受压区高度

$$\begin{aligned} \xi_b &= \beta_1 / (1 + f_y / (E_s \cdot \varepsilon_{cu})) \\ &= 0.80 / (1 + 360.00 / (200000.00 \times 0.0035)) \\ &= 0.53 \end{aligned}$$

截面面积: $A = b \cdot h = 1400.00 \times 1500.00 = 2100000.00\text{mm}^2$

查混凝土规范表 6.2.20-2 可知柱的计算长度

$$\begin{aligned} l_0 &= 1.00H_y \\ &= 1.00 \times 2600.00 \\ &= 2600.00 \text{ mm} \end{aligned}$$

截面有效高度

$$\begin{aligned} b_0 &= b - a_s = 1400.00 - 50.00 = 1350.00 \text{ mm} \\ h_0 &= h - a_s = 1500.00 - 50.00 = 1450.00 \text{ mm} \end{aligned}$$

查混凝土规范表 6.3.6 可知轴压比

$$\begin{aligned} \omega &= N / (f_c \cdot A) \\ &= (317.00 \times 1000) / (23.10 \times 2100000.00) \\ &= 0.0065 < 0.85 \quad \text{满足轴压比要求。} \end{aligned}$$

查混凝土规范表 6.2.15 可知长细比

$$l_0 / b = 1.86 < 50.00 \quad \text{满足长细比要求。}$$

$$M_x = M_2 = 1092.00 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

根据混凝土规范 6.2.5 条可知附加偏心距

$$e_a = 50.00 \text{ mm}$$

偏心距

$$e_0 = M_x / N = (1092.00 \times 10^6) / (317.00 \times 10^3) = 3444.79 \text{ mm}$$

初始偏心距

$$\begin{aligned} e_i &= e_0 + e_a \\ &= 3444.79 + 50.00 \\ &= 3494.79 \text{ mm} \end{aligned}$$

轴向压力作用点至受拉钢筋合力点的距离

$$\begin{aligned} e &= e_i + 0.5h - a_s \\ &= 3494.79 + 0.5 \times 1500.00 - 50.00 \\ &= 0.00 \text{ mm} \end{aligned}$$

截面受压区高度

$$\begin{aligned} X &= \gamma_0 N / (\alpha_1 f_c b) \\ &= 1.00 \times 317.00 / (1.00 \times 23.10 \times 1400.00) \\ &= 9.80 \text{ mm} \end{aligned}$$

$X < \xi_b h_0$, 截面为大偏心受压。

$X >= 2a_s$, 根据混凝土规范 6.2.17-2 可得单侧钢筋面积

$$\begin{aligned} A_s &= A'_s = [Ne - \alpha_1 f_c b X (h_0 - X / 2)] / (f_y (h_0 - a_s)) \\ &= [317.00 \times 0.00 - 1.00 \times 23.10 \times 1400.00 \times 9.80 \times (1450.00 - 9.80 / 2)] / (360.00 \times (1450.00 - 50.00)) \\ &= 1711.72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

根据混凝土规范表 8.5.1 取全截面纵向钢筋最小配筋率

$$\rho'_{\text{min}} = 0.55\%$$

全截面纵向钢筋最小配筋面积

$$\begin{aligned} A'_{\text{min}} &= \rho'_{\text{min}} \cdot A \\ &= 0.55 / 100 \times 2100000.00 \\ &= 11550.00 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

根据混凝土规范表 8.5.1 一侧纵向钢筋配筋率

$$\rho'_{sl} = 0.2\%$$

一侧纵向钢筋最小配筋面积

$$\begin{aligned} A_{sl} &= \rho'_{sl} \times A \\ &= 0.2/100 \times 2100000.00 \\ &= 4200.00 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

即 $A_s < A'_{smin}/2$, $A_s < A_{sl}$, 取单侧钢筋面积

$$A_s = 4200.00 \text{ mm}^2$$

选择配置 16 根直径 32mm 的纵向钢筋。

5.3 钢筋混凝土短柱斜截面纵筋配筋计算

剪跨比

$$\begin{aligned} \lambda_y &= M/(V_y h_0) \\ &= (1092 \times 1000000)/(420.00 \times 1000 \times 1450.00) \\ &= 1.79 \end{aligned}$$

$h_0/b = 1.05 < 4$, 根据混凝土规范 6.3.1 条

$$V_{y\max} = 0.25\beta_c f_c b h_0 = 0.25 \times 1.00 \times 23.10 \times 1400.00 \times 1450.00 = 11844.53 \text{ KN}$$

剪力 $V < V_{y\max}$, 截面尺寸满足条件。

根据混凝土规范 6.3.13 条

$$\begin{aligned} &1.75 f_t b h_0 / (\lambda_y + 1) + 0.07 N \\ &= 1.75 \times 1.89 \times 1400.00 \times 1450.00 / (1.79 + 1) + 0.07 \times 317.00 \times 1000 \\ &= 2466.99 \text{ KN} > V \text{ 满足} \end{aligned}$$

按构造配箍即可。

选择直径为 10mm 的箍筋, 箍筋间距 $S=100\text{mm}$, 短边、长边方向分别取 4 肢箍。

6. 节点设计

胶合木柱脚节点设计:

$$N=270.2\text{KN}$$

$$M=21.69\text{kN} \cdot \text{m}$$

采用钢夹板连接。

取 $t=22\text{mm}$, $d=22\text{mm}$, 根据欧洲规范 EC 5, $t/d \geq 1$, 可视为厚钢板。

每剪面承载力标准值由下式计算:

$$R_k = K_{a,\min} a d f_{ha}$$

$$K_{a,\min} = \min\{K_{aI}, K_{aIII}, K_{aIV}\}$$

每销每剪面的承载力设计值:

$$K_{ad-\min} = \min\left\{\frac{K_{aI}}{\gamma_I}, \frac{K_{aIII}}{\gamma_{III}}, \frac{K_{aIV}}{\gamma_{IV}}\right\}$$

销槽承压有效长度系数:

$$K_{aI} = 1.0 \text{ (单剪连接)}$$

$$K_{aI} = 0.5 \text{ (钢夹板对称双剪连接)}$$

$$K_{aIII} = \sqrt{2 + \frac{0.55 k_{ep} f_{yk}}{\eta^2 f_{ha}} - 1}$$

$$K_{aIV} = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{0.55 k_{ep} f_{yk}}{f_{ha}}} \text{ (钢夹板对称双剪 } K_{aIV} \leq 0.5)$$

式中:

a 是被连接木构件的厚度;

f_{ha} 是被连接木构件的销槽承压强度;

f_{yk} 是销的屈服强度标准值;

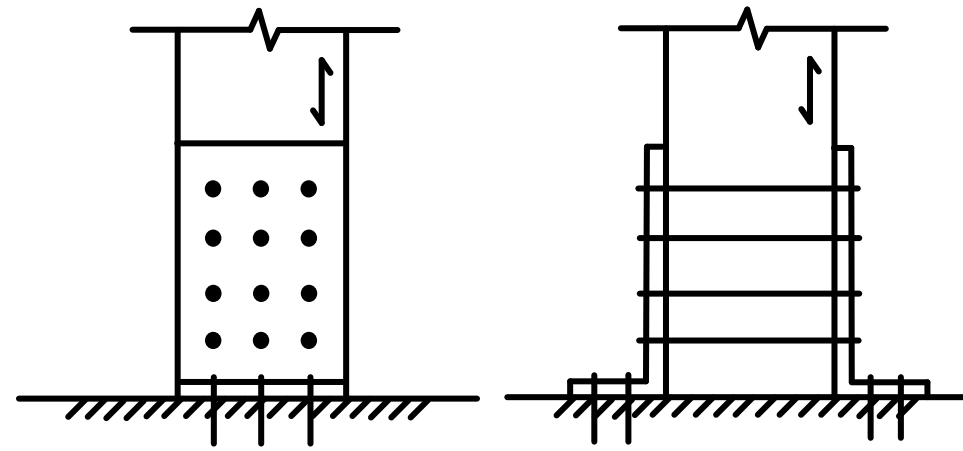
f_{ha} 是木构件的销槽承压强度;

η 为销径比, 是木构件的厚度与销直径的比值。

k_{ep} 为弹塑性系数, 针对我国的低碳钢, 应取 $k_{ep}=1.0$ 。

k_w 是销的塑性抗弯截面模量与弹性抗弯截面模量的比值, 取 $k_w=1.4$ 。

6.1 螺栓排布



距离名称	顺纹荷载作用时	
	最小端距 e_1	受拉构件
	受压构件	$4d$
最小边距 e_2	当 $l/d \leq 6$	$1.5d$
	当 $l/d > 6$	取 $1.5d$ 与 $r/2$ 两者较大值
最小间距 s	$4d$	
最小行距 r	$2d$	

根据规范要求,取 $e_1=100\text{mm} > 4d$, $s=100\text{mm} > 4d$, $r=100\text{mm} > 2d$, $e_2=50\text{mm} > \min(r/2$,

$1.5d)=33\text{mm}$ 。

6.2 验算螺栓受力性能

螺栓 编号	螺栓受力 F_{\max}	斜纹销槽 承压强度 f_{haa}	销槽承压有效长度系数				单个螺栓的承载能力		单个螺栓 所受荷载 F_{\max}
			K_{aI}	K_{aIIIs}	K_{aIV}	minK	R	$2R/\gamma$	
1	19139.39	25.99	0.50	0.42	0.16	0.16	28051.34	29841.85	19139.39
2	14127.51	37.53	0.50	0.42	0.14	0.14	33710.00	35861.71	14127.51
3	14127.51	37.53	0.50	0.42	0.14	0.14	33710.00	35861.71	14127.51
4	19139.39	25.99	0.50	0.42	0.16	0.16	28051.34	29841.85	19139.39
5	26340.48	31.79	0.50	0.42	0.15	0.15	31022.22	33002.36	26340.48

6	22958.47	40.39	0.50	0.42	0.13	0.13	34968.71	37200.75	22958.47
7	22958.47	40.39	0.50	0.42	0.13	0.13	34968.71	37200.75	22958.47
8	26340.48	31.79	0.50	0.42	0.15	0.15	31022.22	33002.36	26340.48
9	34468.18	35.47	0.50	0.42	0.14	0.14	32769.14	34860.79	34468.18
10	31958.19	41.31	0.50	0.42	0.13	0.13	35367.68	37625.19	31958.19
11	31958.19	41.31	0.50	0.42	0.13	0.13	35367.68	37625.19	31958.19
12	34468.18	35.47	0.50	0.42	0.14	0.14	32769.14	34860.79	34468.18

第四章 基础设计

1、小径木框架柱基础

(1) 几何参数

矩形柱宽: $bc=400\text{mm}$, 矩形柱高: $hc=400\text{mm}$

基础端部高度: $h1=200\text{mm}$

基础根部高度: $h2=300\text{mm}$

基础杯口高度: $h3=300\text{mm}$

基础杯底厚度: $a1=200\text{mm}$

基础长度: $B1=1200\text{mm}$, $B2=1200\text{mm}$

基础宽度: $A1=1000\text{mm}$, $A2=1000\text{mm}$

杯壁厚: $t=200\text{mm}$

(2) 材料信息

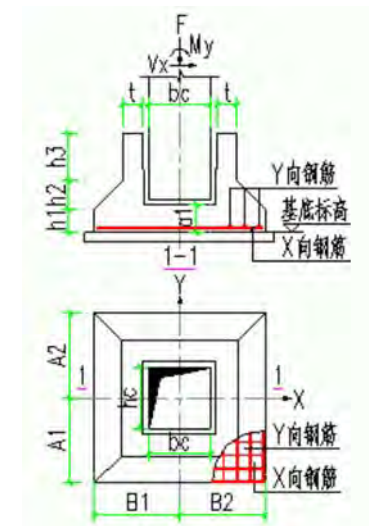
基础混凝土等级: C50, $f_{tb} = 1.89\text{N/mm}^2$, $f_{cb} = 23.1\text{N/mm}^2$

小径木组合柱: $f_t = 5.0\text{N/mm}^2$, $f_c = 13.3\text{N/mm}^2$, $f_m = 12.3\text{N/mm}^2$

钢筋级别: HRB500, $f_y = 435\text{N/mm}^2$

(3) 计算信息

结构重要性系数: $\gamma_0 = 1.0$



基础埋深: $d_h = 1.500m$

纵筋合力点至近边距离: $a_s = 40mm$

基础及其上覆土的平均容重: $\gamma = 20.000kN/m^3$

最小配筋率: $\rho_{min} = 0.150\%$

$M_{xk} = 145kN \cdot m$ $M_{yk} = 0.00kN \cdot m$

$V_{xk} = 50kN$ $V_{yk} = 50kN$

$F_{Nk} = 198kN$

(4) 计算参数

1) 基础总长: $B_x = B_1 + B_2 = 1.200 + 1.200 = 2.400m$

2) 基础总宽: $B_y = A_1 + A_2 = 1.000 + 1.000 = 2.000m$

3) 基础总高: $H = h_1 + h_2 = 0.200 + 0.300 = 0.500m$

4) 底板配筋计算高度: $h_o = h_1 + h_2 - a_s = 0.200 + 0.300 - 0.040 = 0.460m$

5) 基础底面积 $A = B_x \times B_y = 2.400 \times 2.000 = 4.800m^2$

6) $G_k = \gamma \times B_x \times B_y \times d_h = 20.000 \times 2.400 \times 2.000 \times 1.500 = 144.000kN$

$G = 1.35 \times G_k = 1.35 \times 144.000 = 194.400kN$

(5) 计算作用在基础底部弯矩值

1) 验算轴心荷载作用下地基承载力

$p_k = (F_k + G_k) / A = (198.000 + 144.000) / 4.800 = 71.250kPa$

因 $\gamma_o * p_k = 1.0 \times 71.250 = 71.250kPa \leq f_a = 150.000kPa$

轴心荷载作用下地基承载力满足要求。

2) 验算偏心荷载作用下的地基承载力

$e_{xk} = M_{dyk} / (F_k + G_k) = 25.000 / (198.000 + 144.000) = 0.073m$ 因

$|e_{xk}| \leq B_x / 6 = 0.400m$ x 方向小偏心,

$P_{kmax_x} = (F_k + G_k) / A + 6 \times M_{dyk} / (B_x^2 \times B_y)$
 $= (198.000 + 144.000) / 4.800 + 6 \times 25.000 / (2.400^2 \times 2.000)$
 $= 84.271kPa$

$P_{kmin_x} = (F_k + G_k) / A - 6 \times M_{dyk} / (B_x^2 \times B_y)$
 $= (198.000 + 144.000) / 4.800 - 6 \times 25.000 / (2.400^2 \times 2.000)$
 $= 58.229kPa$

$e_{yk} = M_{dxk} / (F_k + G_k) = 145.000 / (198.000 + 144.000) = 0.424m$

因 $|e_{yk}| > B_y / 6 = 0.333m$, y 方向大偏心,

$a_{yk} = B_y / 2 - |e_{yk}| = 2.000 / 2 - 0.424 = 0.576m$

$P_{kmax_y} = 2 \times (F_k + G_k) / (3 \times B_x \times a_{yk})$
 $= 2 \times (198.000 + 144.000) / (3 \times 2.400 \times 0.576)$
 $= 164.924kPa$

$P_{kmin_y} = (F_k + G_k) / A - 6 \times M_{dxk} / (B_y^2 \times B_x)$
 $= (198.000 + 144.000) / 4.800 - 6 \times 145.000 / (2.000^2 \times 2.400)$
 $= -19.375kPa$

3) 确定基础底面反力设计值

$P_{kmax} = (P_{kmax_x} - p_k) + (P_{kmax_y} - p_k) + p_k$
 $= (84.271 - 71.250) + (164.924 - 71.250) + 71.250$
 $= 177.945kPa$

$\gamma_o \times P_{kmax} = 1.0 \times 177.945 = 177.945kPa \leq 1.2 \times f_a = 1.2 \times 150.000 = 180.000kPa$

(6) 基础冲切验算

1) 计算基础底面反力设计值

① 计算 x 方向基础底面反力设计值

$e_x = M_{dy} / (F + G) = 33.750 / (267.300 + 194.400) = 0.073m$

因 $e_x \leq B_x / 6.0 = 0.400m$ x 方向小偏心

$P_{max_x} = (F + G) / A + 6 \times M_{dy} / (B_x^2 \times B_y)$
 $= (267.300 + 194.400) / 4.800 + 6 \times 33.750 / (2.400^2 \times 2.000)$
 $= 113.766kPa$

$P_{min_x} = (F + G) / A - 6 \times M_{dy} / (B_x^2 \times B_y)$
 $= (267.300 + 194.400) / 4.800 - 6 \times 33.750 / (2.400^2 \times 2.000)$
 $= 78.609kPa$

② 计算 y 方向基础底面反力设计值

$e_y = M_{dx} / (F + G) = 195.750 / (267.300 + 194.400) = 0.424m$

因 $e_y \geq B_y/6 = 0.333$ y 方向大偏心

$$a_y = B_y/2 - |e_y| = 2.000/2 - 0.424 = 0.576m$$

$$\begin{aligned} P_{\max_y} &= 2 \times (F+G) / (3 \times B_x \times a_y) \\ &= 2 \times (267.300 + 194.400) / (3 \times 2.400 \times 0.576) \\ &= 222.647kPa \end{aligned}$$

$$P_{\min_y} = 0$$

③ 因 $M_{dx} \neq 0$, $M_{dy} \neq 0$

$$\begin{aligned} P_{\max} &= P_{\max_x} + P_{\max_y} - (F+G)/A \\ &= 113.766 + 222.647 - (267.300 + 194.400) / 4.800 \\ &= 240.225kPa \end{aligned}$$

④ 计算地基净反力极值

$$\begin{aligned} P_{j\max} &= P_{\max} - G/A = 240.225 - 194.400/4.800 = 199.725kPa \\ P_{j\max_x} &= P_{\max_x} - G/A = 113.766 - 194.400/4.800 = 73.266kPa \\ P_{j\max_y} &= P_{\max_y} - G/A = 222.647 - 194.400/4.800 = 182.147kPa \end{aligned}$$

2) 柱对基础的冲切验算

① 因 $(H \leq 800) \beta_{hp} = 1.0$

② 方向柱对基础的冲切验算

$$\begin{aligned} b &= b_c + 2 \times t + 2 \times 0.075 = 0.400 + 2 \times 0.200 + 2 \times 0.075 = 0.950m \\ h &= h_c + 2 \times t + 2 \times 0.075 = 0.400 + 2 \times 0.200 + 2 \times 0.075 = 0.950m \end{aligned}$$

x 冲切面积

$$\begin{aligned} Al_x &= \max((A_1 - h/2 - h_o) \times (b + 2 \times h_o) - (A_1 - h/2 - h_o)^2, (A_2 - h/2 - h_o) \times (b + 2 \times h_o) - (A_2 - h/2 - h_o)^2) \\ &= \max((1.000 - 0.950/2 - 0.460) \times (0.950 + 2 \times 0.460) - (1.000 - 0.950/2 - 0.460)^2, (1.000 - 0.950 - 0.460) \times (0.950 + 2 \times 0.460) - (1.000 - 0.950/2 - 0.460)^2) \\ &= \max(0.117, 0.117) \\ &= 0.117m^2 \end{aligned}$$

x 冲切截面上的地基净反力设计值

$$F_{lx} = A_{lx} \times P_{j\max} = 0.117 \times 199.725 = 23.433kN$$

$$\gamma_o \times F_{lx} = 1.0 \times 23.433 = 23.43kN$$

$$\begin{aligned} \gamma_o \times F_{lx} &\leq 0.7 \times \beta_{hp} \times f_{t,b} \times b_m \times h_o \quad (6.5.5-1) \\ &= 0.7 \times 1.000 \times 1.89 \times 1.410 \times 0.460 \\ &= 858.10kN \end{aligned}$$

x 方向柱对基础的冲切满足规范要求

2.3 验算 y 方向柱对基础的冲切验算

y 冲切面积

$$\begin{aligned} A_{ly} &= \max((B_1 - b/2 - h_o) \times (A_1 + A_2) - (A_1 - h/2 - h_o)^2/2 - (A_2 - h/2 - h_o)^2/2, (B_2 - b/2 - h_o) \times (A_1 + A_2) - (A_1 - h/2 - h_o)^2/2 - (A_2 - h/2 - h_o)^2/2) \\ &= \max((1.200 - 0.950/2 - 0.460) \times (1.000 + 1.000) - (1.000 - 0.950 - 0.460)^2/2 - (1.000 - 0.950 - 0.460)^2/2, (1.200 - 0.950/2 - 0.460) \times (1.000 + 1.000) - (1.000 - 0.950 - 0.460)^2/2 - (1.000 - 0.950 - 0.460)^2/2) \\ &= \max(0.526, 0.526) \\ &= 0.526m^2 \end{aligned}$$

y 冲切截面上的地基净反力设计值 $F_{ly} = A_{ly} \times P_{j\max} = 0.526 \times 199.725 = 105.011kN$

$$\gamma_o \times F_{ly} = 1.0 \times 105.011 = 105.01kN$$

$$\begin{aligned} \gamma_o \times F_{ly} &\leq 0.7 \times \beta_{hp} \times f_{t,b} \times a_m \times h_o \quad (6.5.5-1) \\ &= 0.7 \times 1.000 \times 1.89 \times 1.410 \times 0.460 \\ &= 858.10kN \end{aligned}$$

y 方向柱对基础的冲切满足规范要求。

(7) 计算配筋

1. 计算基础底板 x 方向钢筋

$$\begin{aligned} A_{sx} &= \gamma_o \times M / (0.9 \times h_o \times f_y) \\ &= 1.0 \times 30.99 \times 106 / (0.9 \times 0.460 \times 435) \\ &= 172.1mm^2 \end{aligned}$$

$$A_{sx1} = A_{sx} / B_y = 172.1 / 2.000 = 86mm^2/m$$

$$\begin{aligned} A_{sx1} &= \max(A_{sx,m}, \rho_{\min} \times a_1 \times 1000) \\ &= \max(86, 0.150\% \times 200 \times 1000) \\ &= 300mm^2/m \end{aligned}$$

选择钢筋 10@200, 实配面积为 393mm²/m。

2. 计算基础底板 y 方向钢筋

$$\begin{aligned} A_{sy} &= \gamma_o \times M / (0.9 \times h_o \times f_y) \\ &= 1.0 \times 44.97 \times 106 / (0.9 \times 0.460 \times 435) \\ &= 249.7mm^2 \end{aligned}$$

$$A_{sy1} = A_{sy} / B_x = 249.7 / 2.400 = 104mm^2/m$$

$$\begin{aligned} A_{s_y1} &= \max(A_{s_y-m}, \rho_{\min} \times a_1 \times 1000) \\ &= \max(104, 0.150\% \times 200 \times 1000) \\ &= 300\text{mm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

选择钢筋 10@200, 实配面积为 393mm²/m。