

柱形天线结构设计与分析

2014.3.10

主要技术指标：

机械性能：

(1) 天线口径：15m x 40m

(2) 反射面：抛物柱面

(3) 表面精度：1cm

(4) 谐振频率：5Hz

环境适应性：

(1) 工作温度：-30℃~+65℃

(2) 抗风载荷能力：7级风保精度，12级风不破坏

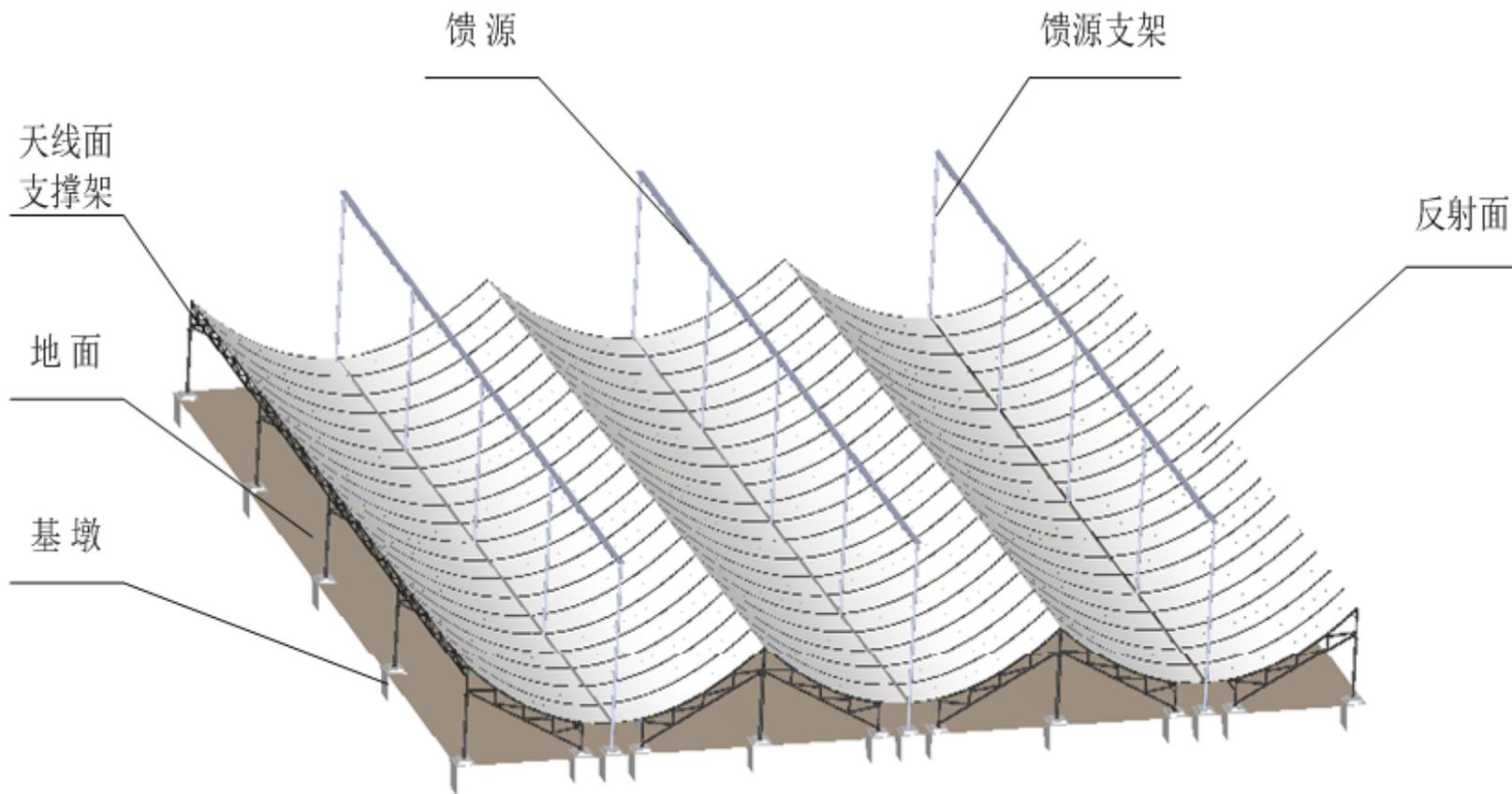
(3) 降雪： $\geq 30\text{mm}$

(4) 抗地震：抗7级烈度

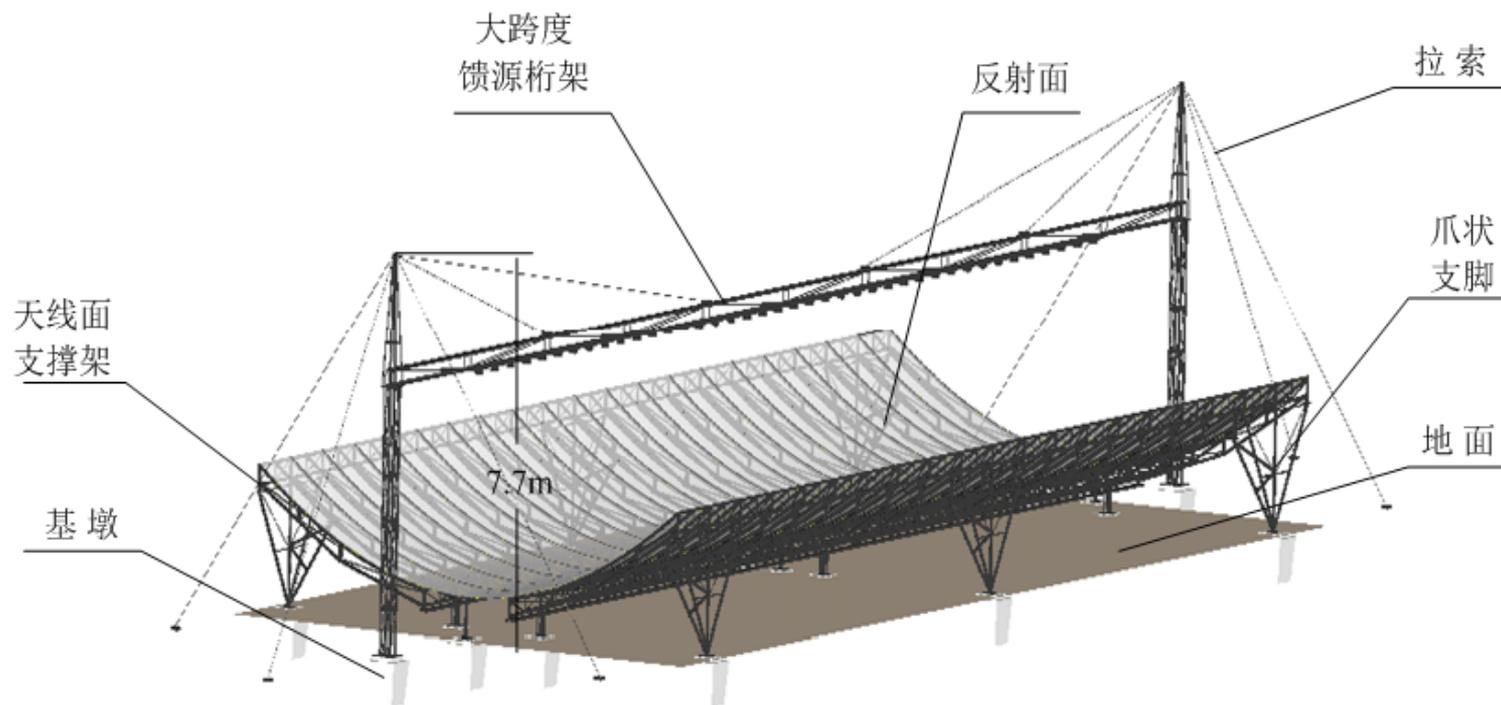
天线结构总体方案

天线结构主要由反射面、馈源、天线面支撑架和馈源支架组成。

方案一：

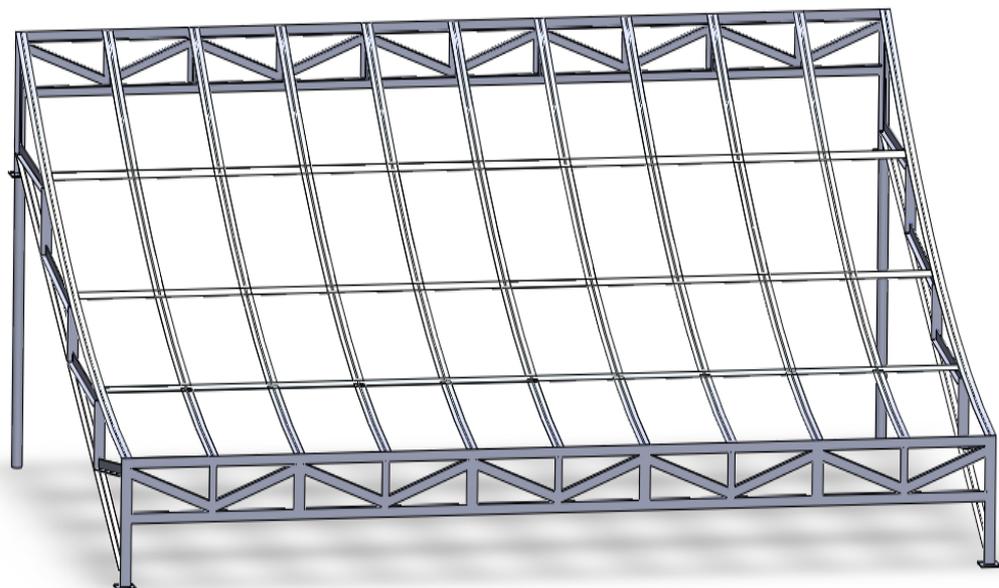
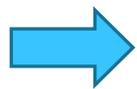
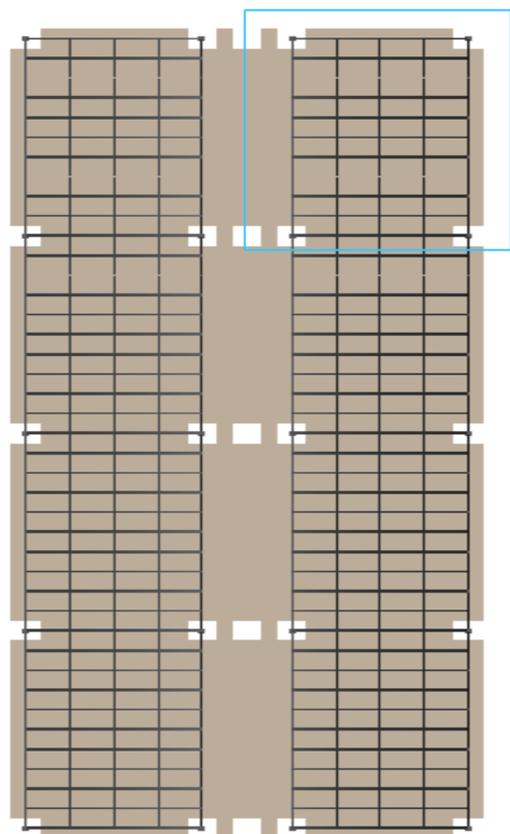


方案二：



天线面支架的支撑脚，采用爪型结构；
馈源支架，采用大跨度梁的结构和拉索的方案。

原始方案



天线面支撑架的十米单元模型

杆件选择:

支撑主杆角钢采用100*100*10mm;

背架主杆采用80*80*8mm角钢;

背架轴向杆以及桁架间竖杆采用60*60*6mm角钢;

桁架斜杆杆件用40*40*4mm的角钢;

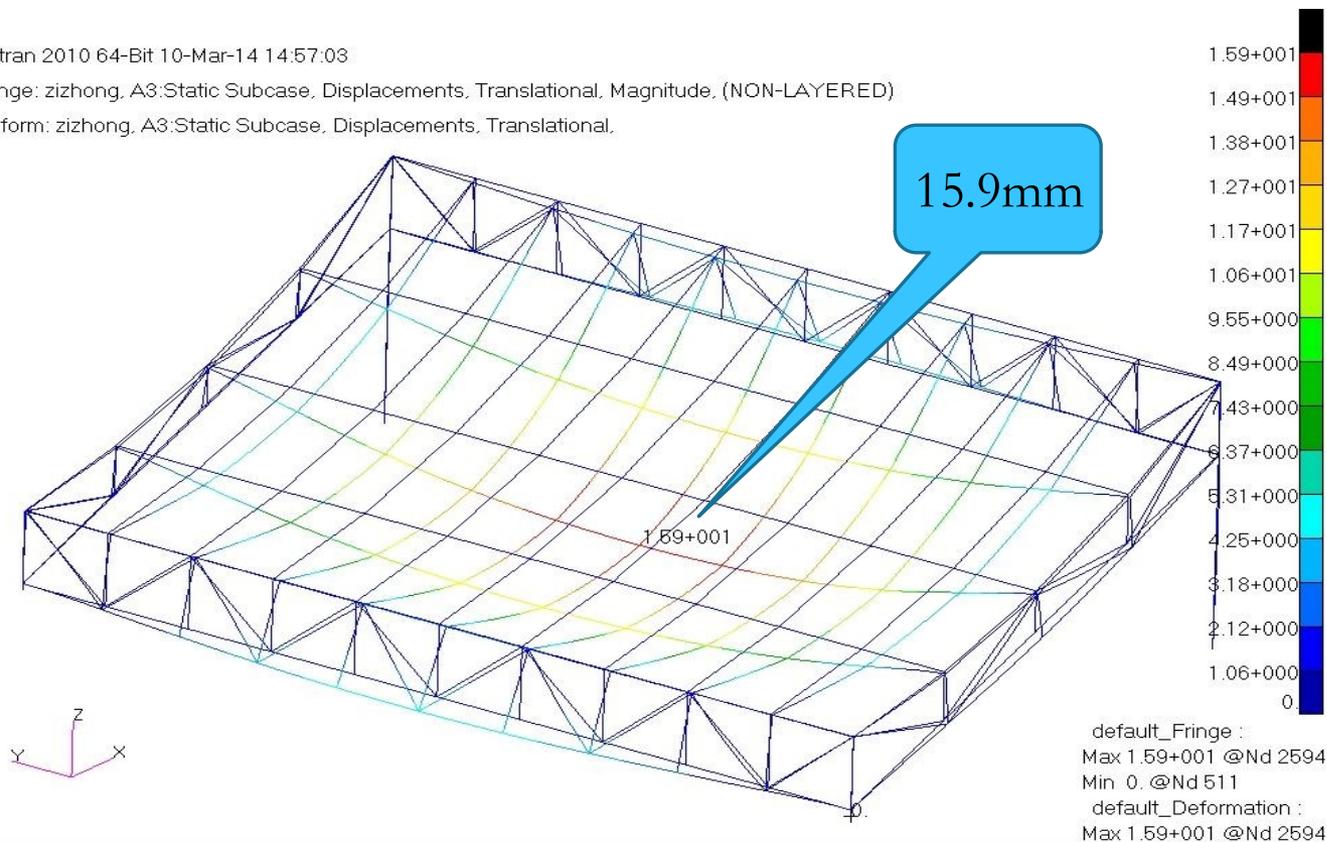
高侧支撑圆管直径127mm。

单元模型的仿真分析：

Patran 2010 64-Bit 10-Mar-14 14:57:03

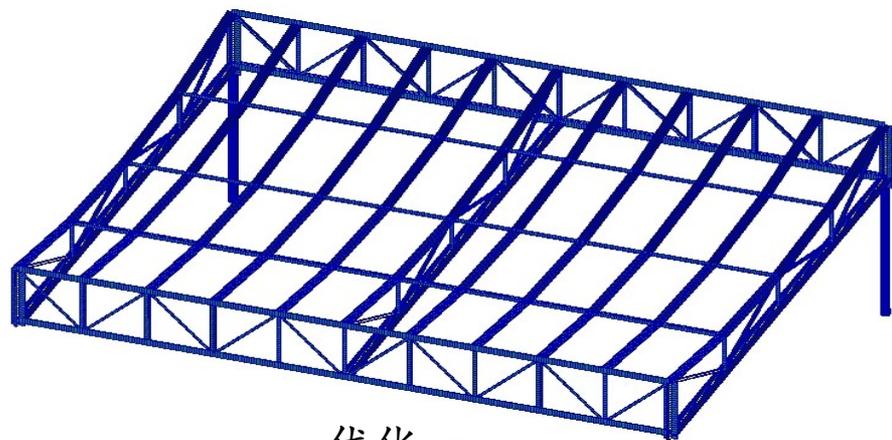
Fringe: zizhong, A3:Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: zizhong, A3:Static Subcase, Displacements, Translational.

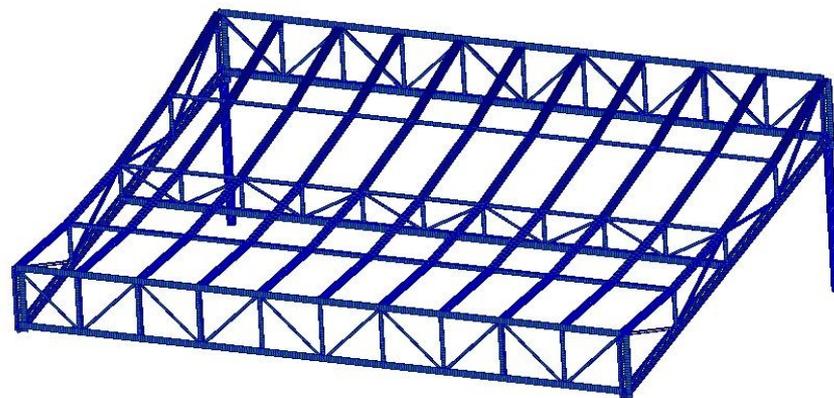


最大变形量发生在单元中央

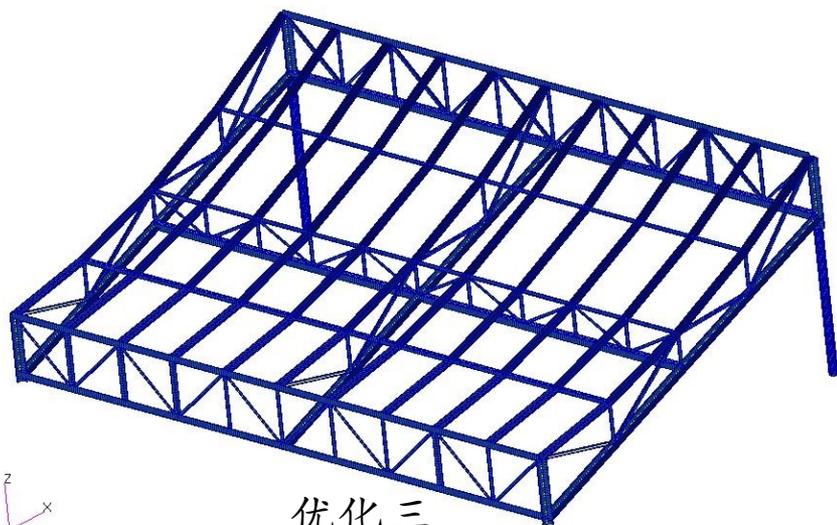
结构优化:



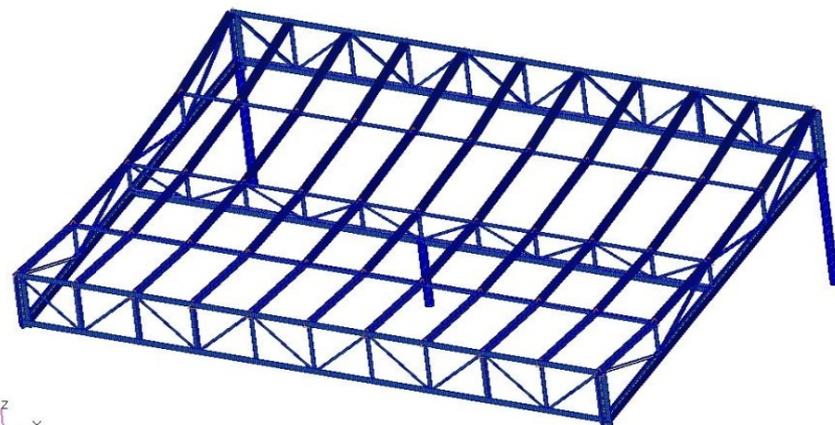
优化一



优化二

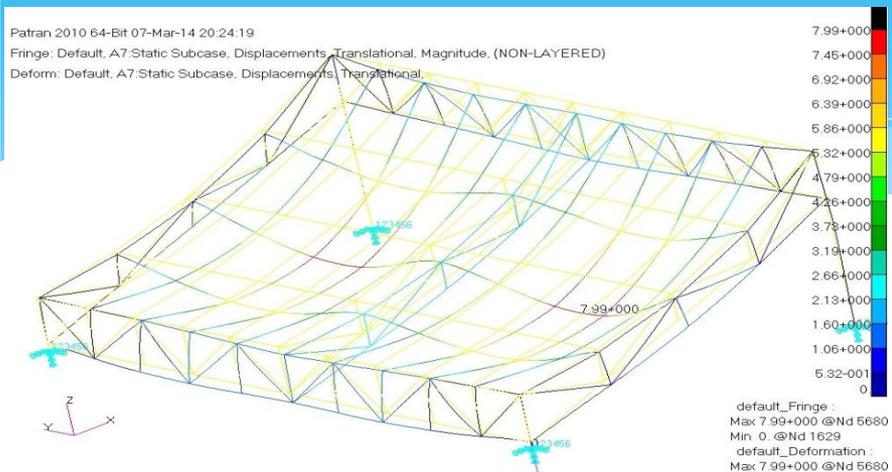


优化三

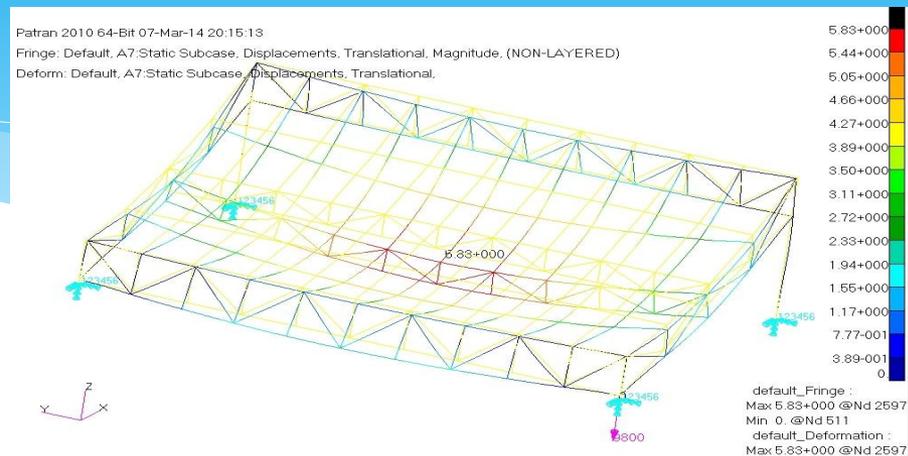


优化四

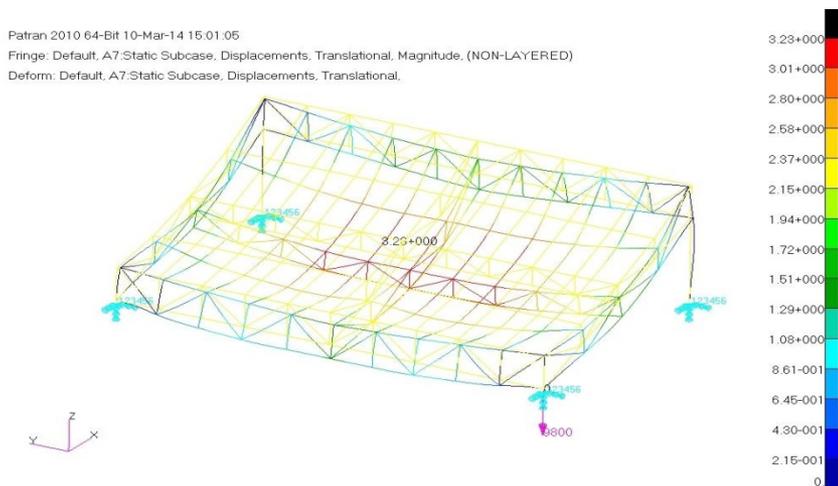
4个方案的仿真结果



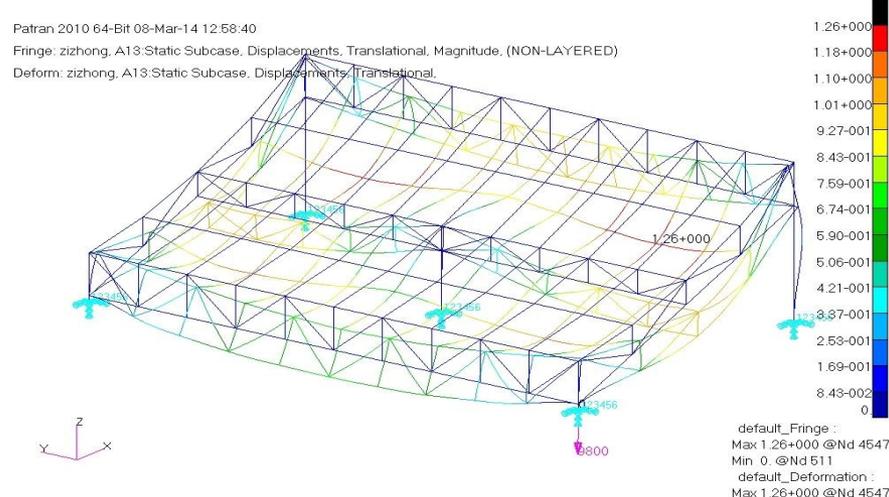
方案一：自重时，最大变形量：7.99mm



方案二：自重时，最大变形量：5.83mm



方案三：自重时，最大变形量：3.23mm



方案四：自重时，最大变形量：2.17mm

风、雪载荷参数：

新疆地区冬季有较大降雪，网面积雪一般可达30cm左右，我们选择积雪厚度为30cm计算。雪松软状态的密度为0.04~0.1g/cm³。

新疆地区常年有级风，设计的指标是7级风变形较小，12级风不破坏。

查质料得：7级风，风压=12.08~18.28N/m²。

12级风，风压=66.42~85.1N/m²。

计算时取大值作为计算参数：

雪载参数：积雪厚30cm，密度：0.1g/mm³

风载参数：7级风，风压=18.28N/m²。

12级风，风压=85.1N/m²。

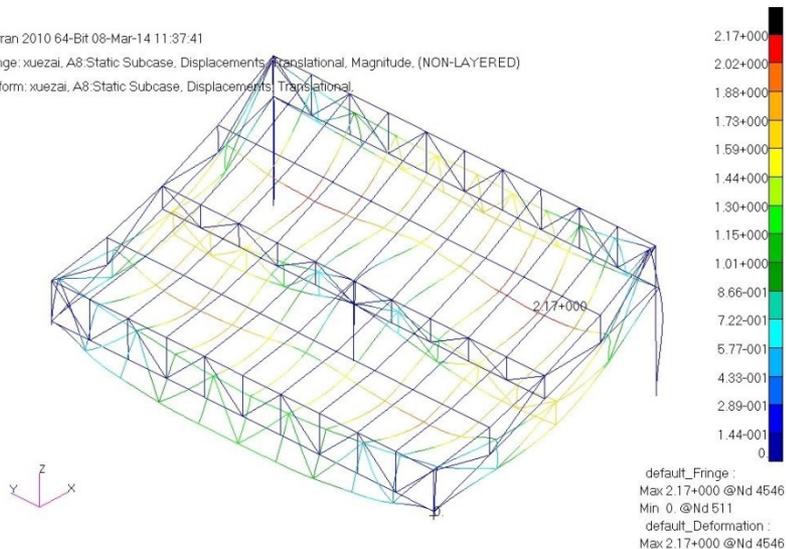
方案四加载计算：

雪载荷，最大形变量：2.17mm

风载荷，最大形变量：3.19mm

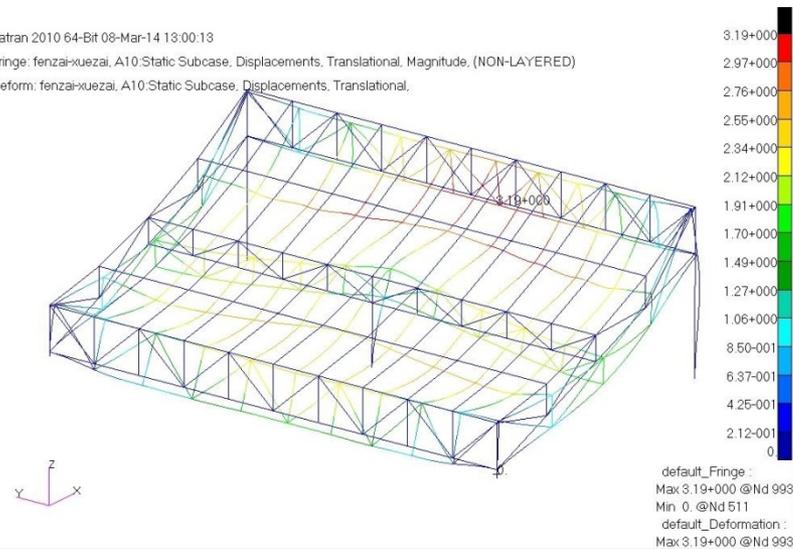
Patran 2010 64-Bit 08-Mar-14 11:37:41

Fringe: xuezai, A8.Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)
Deform: xuezai, A8.Static Subcase, Displacements, Translational



Patran 2010 64-Bit 08-Mar-14 13:00:13

Fringe: fenzai-xuezai, A10.Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)
Deform: fenzai-xuezai, A10.Static Subcase, Displacements, Translational

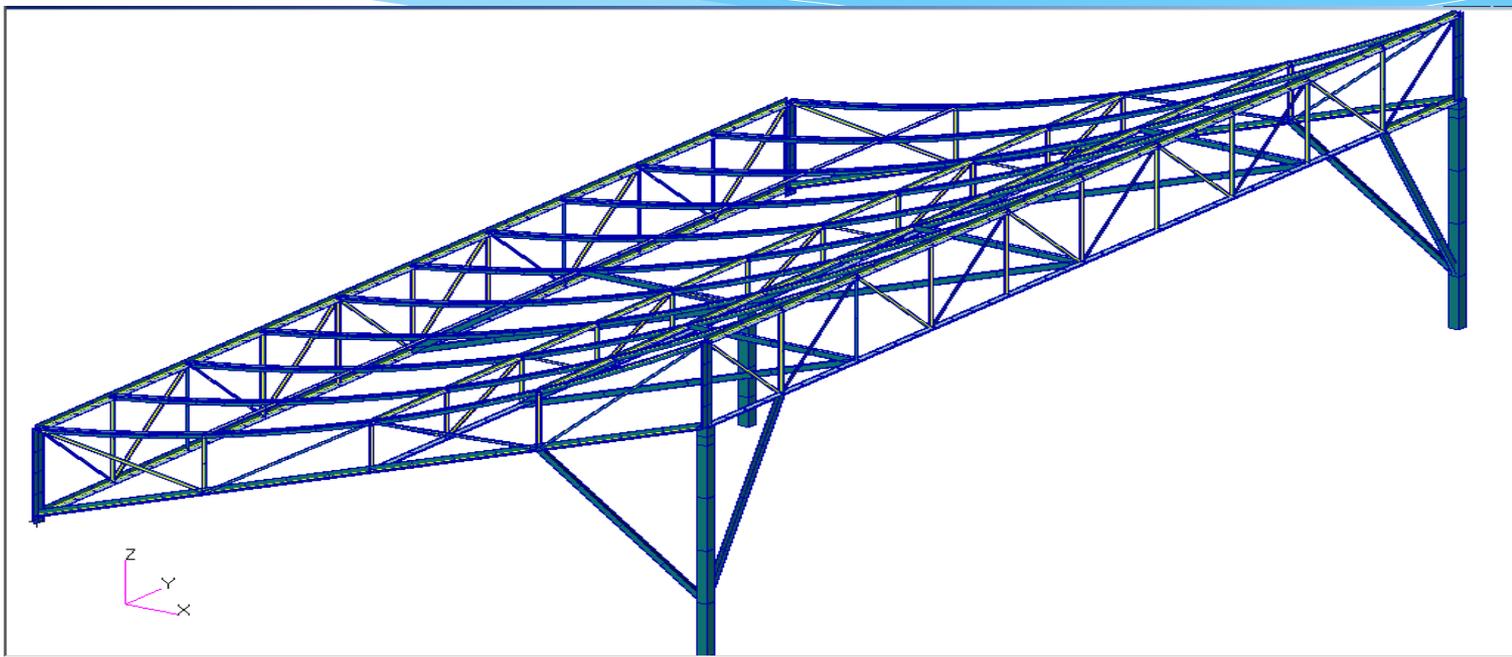


方案不足：

单元重量达3.17吨；谐振频率一阶为4.9245Hz

方案四结构优化：

优化模型：

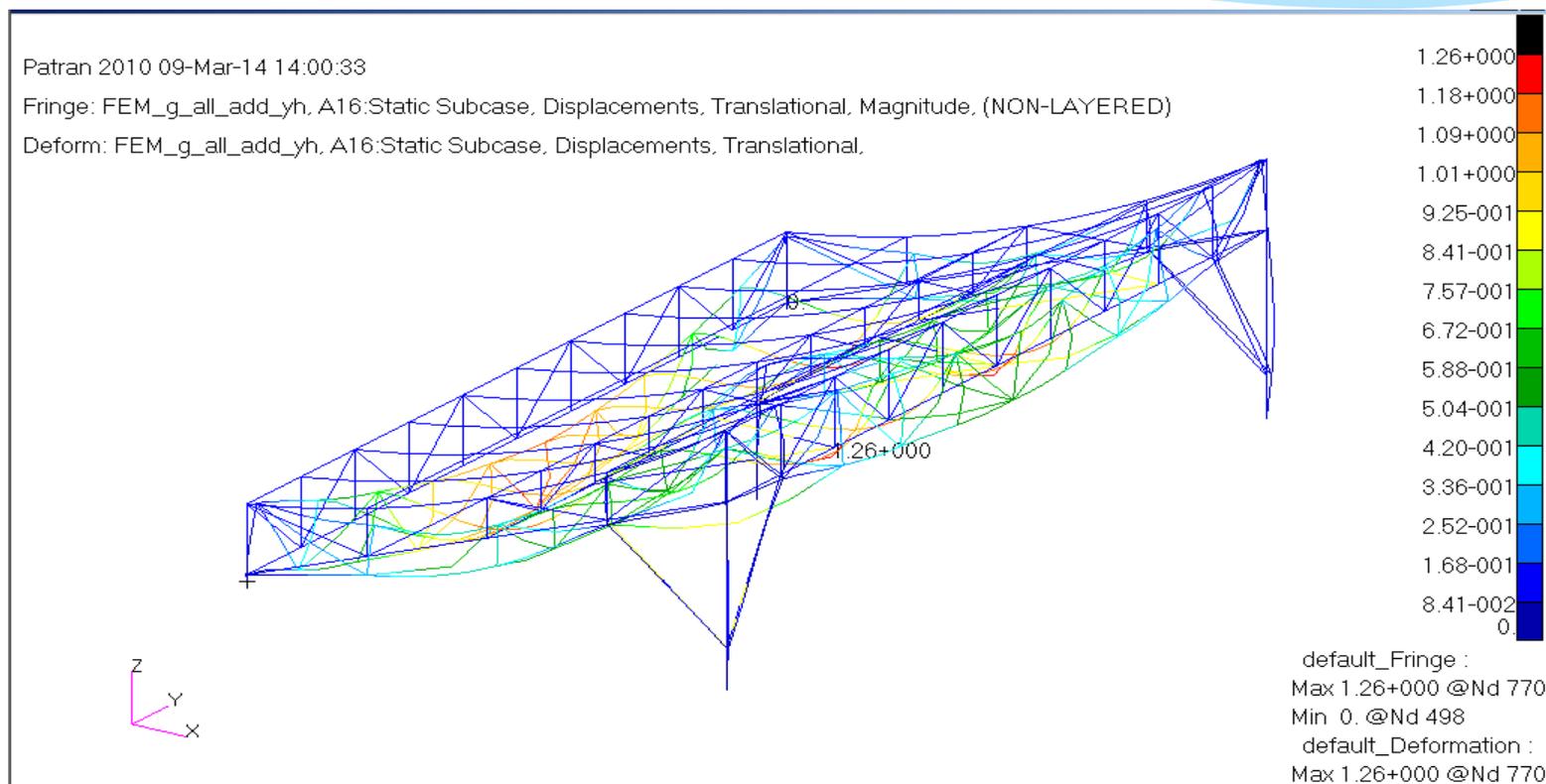


杆件优化：

- (1) 支撑主杆角钢采用60*60*6mm；
- (2) 背架主杆采用50*50*5mm角钢；背架轴向杆采用40*40*4mm角钢
- (3) 桁架间竖杆和斜杆采用25*25*3mm角钢；
- (4) 中央支杆和高端的支撑圆管改为100*100*6的矩形管；
- (5) 背架间和高端支脚处附加的斜拉杆采用60*40*3的矩形管。

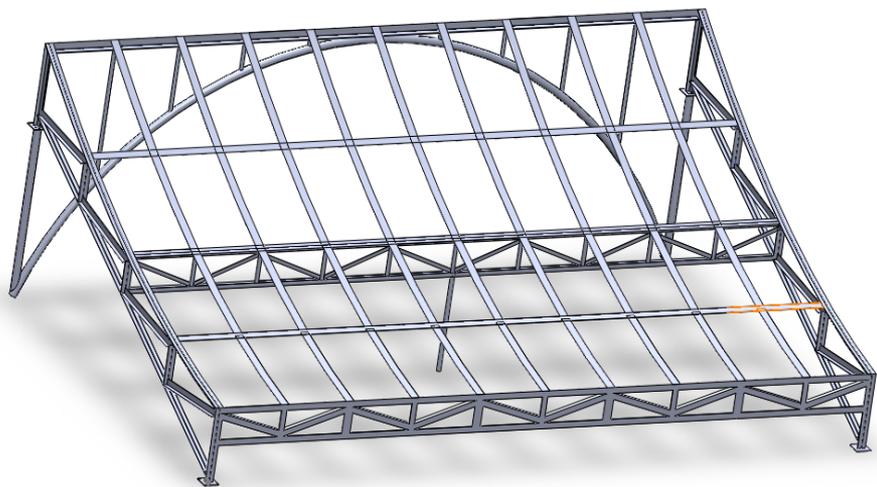
优化模型仿真分析：

优化后单元质量：1.37吨

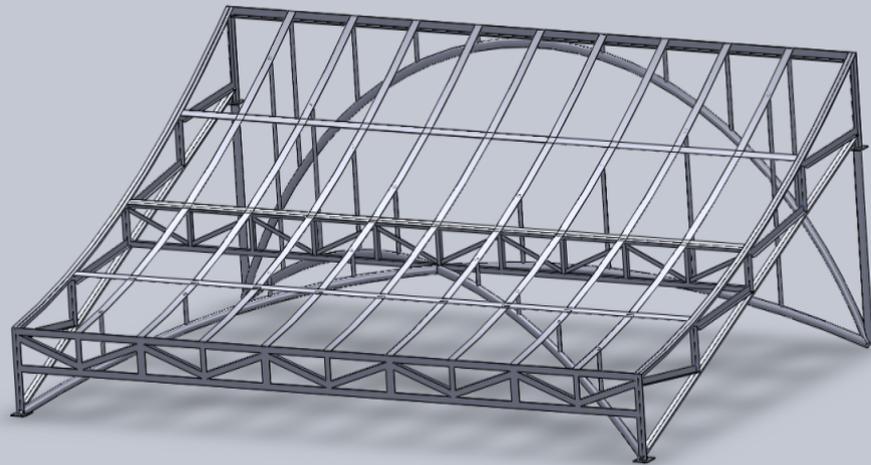


自重时，最大形变量：1.26mm

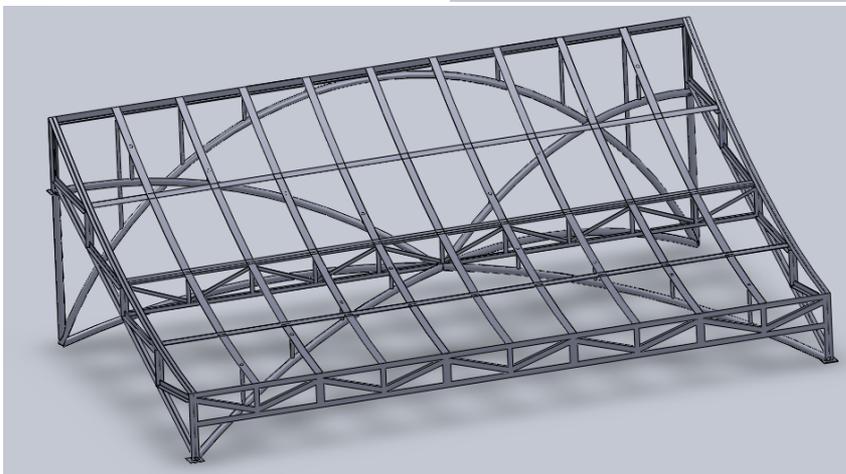
拱形方案设计



方案一



方案二

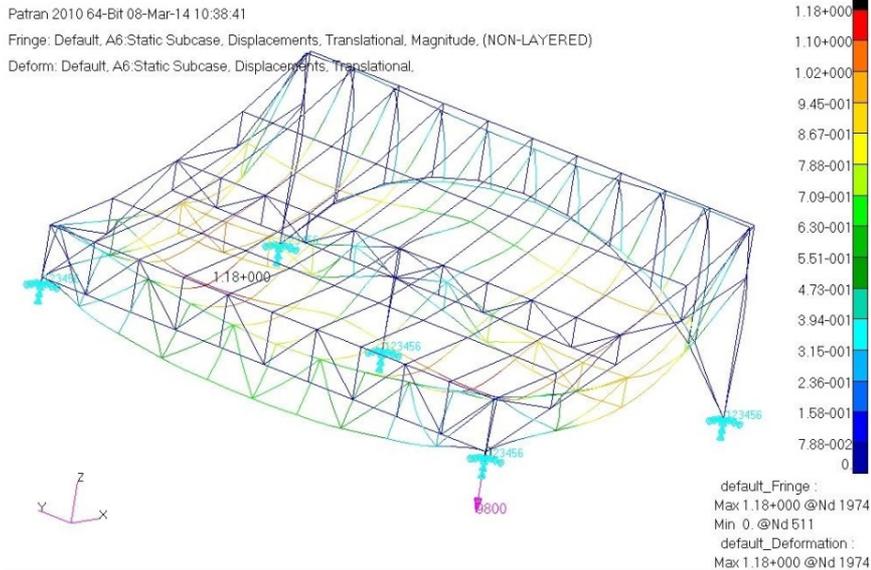


方案三

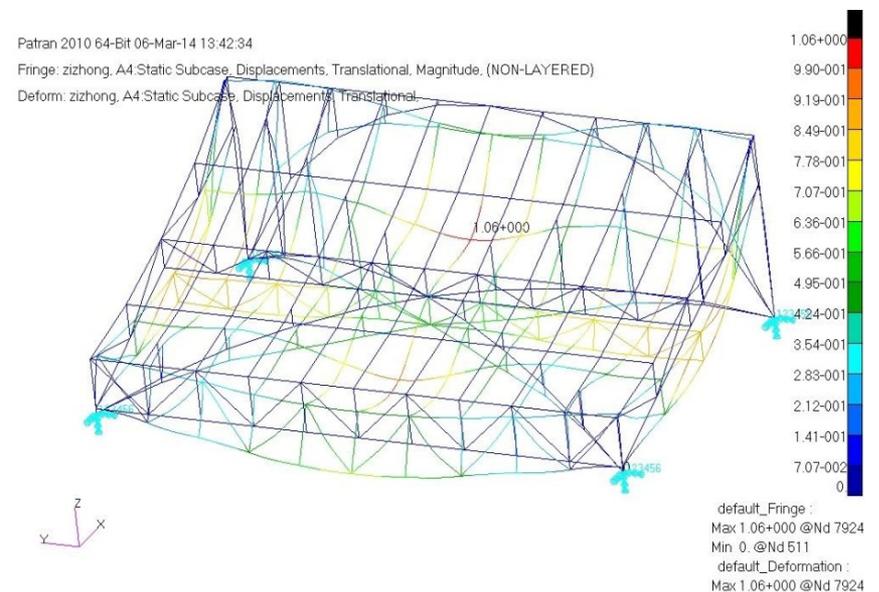
拱形方案仿真分析

自重情况下:

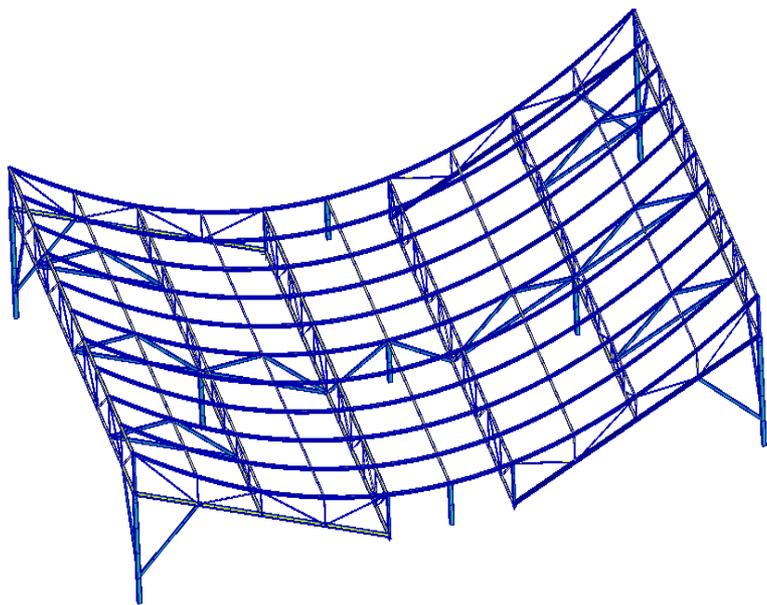
最大变形量: 1.18mm



最大变形量: 1.06mm



最优方案一



三维模型

总质量为3.055吨

杆件选择:

- (1) 支撑主杆角钢采用60*60*6mm;
- (2) 背架主杆采用50*50*5mm角钢;
- (3) 背架轴向杆采用40*40*4mm角钢;
- (4) 桁架间竖杆和斜杆采用25*25*3mm;
- (5) 单元支脚采用100*100*6的矩形管;
- (6) 附加的斜拉杆采用60*40*3的矩形管。

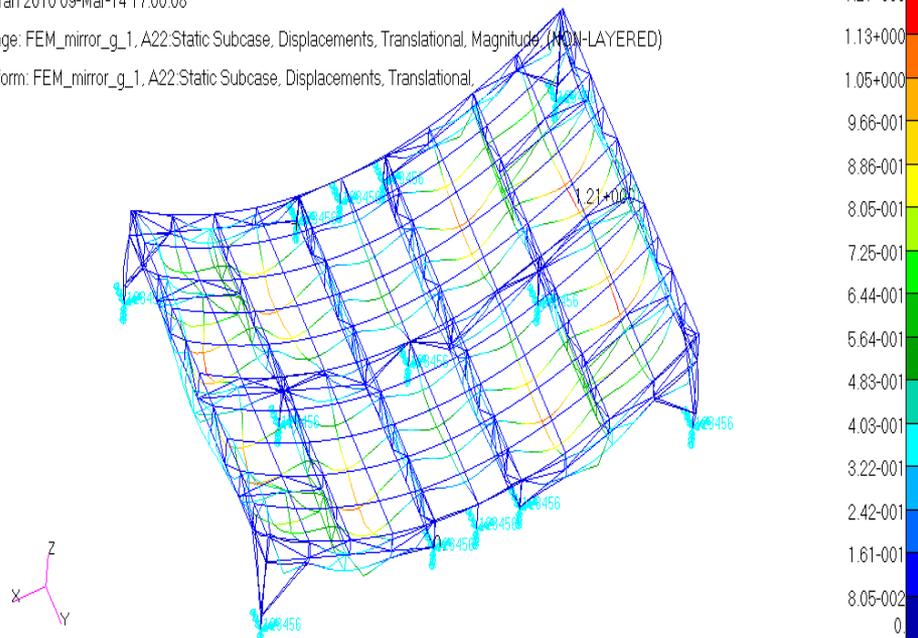
最优方案一仿真分析

自重情况:

Patran 2010 09-Mar-14 17:00:08

Fringe: FEM_mirror_g_1, A22:Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: FEM_mirror_g_1, A22:Static Subcase, Displacements, Translational



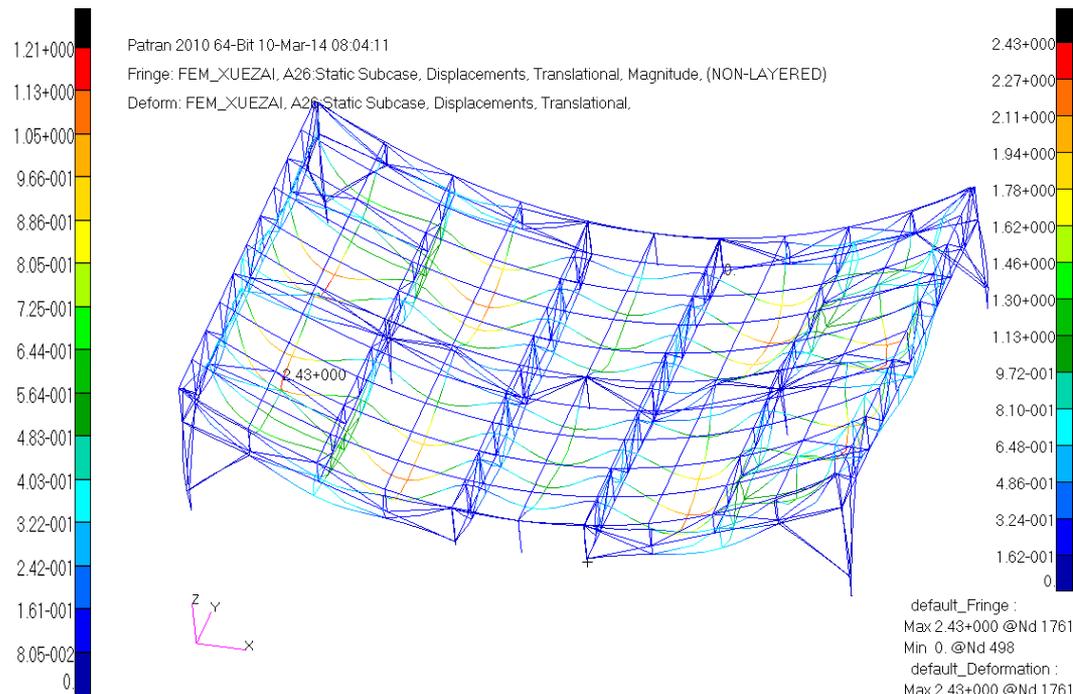
最大变形量: 1.21mm

雪载情况:

Patran 2010 64-Bit 10-Mar-14 08:04:11

Fringe: FEM_XUEZAI, A26:Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

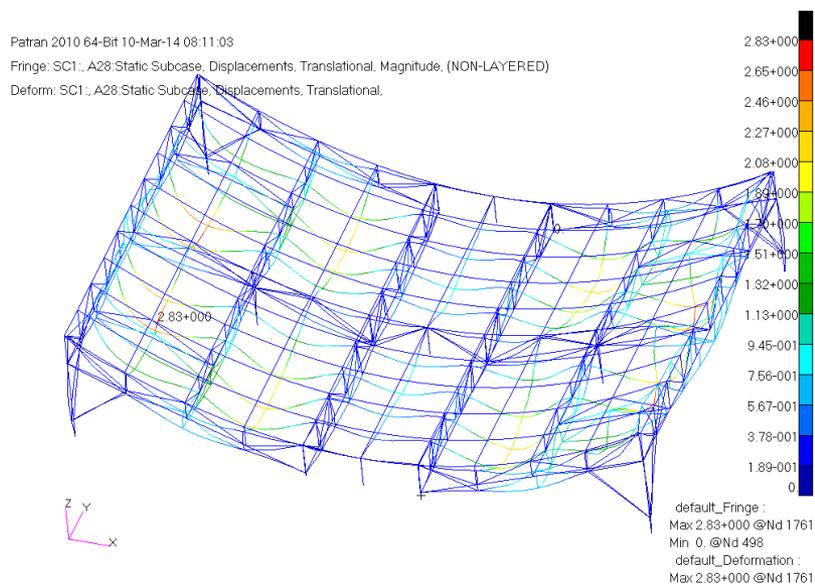
Deform: FEM_XUEZAI, A26:Static Subcase, Displacements, Translational



最大变形量: 2.43

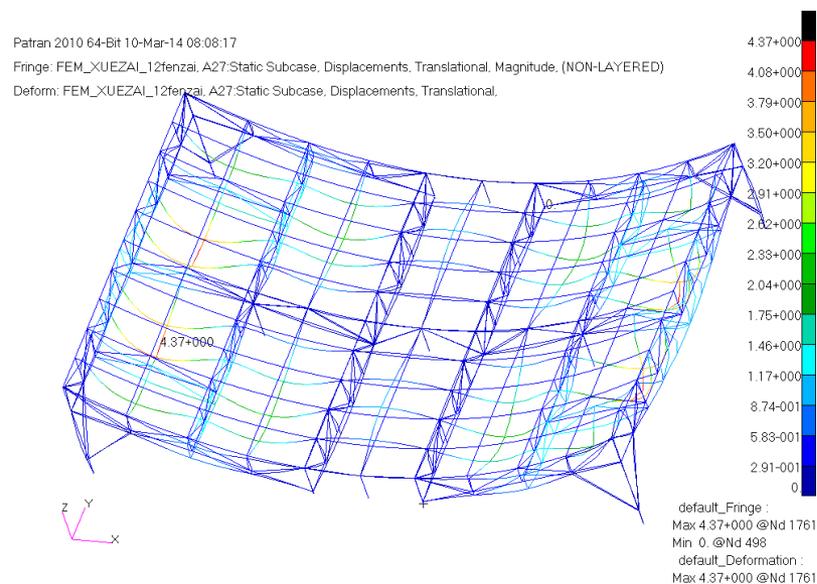
最优方案一仿真分析

雪载+7级风情况下:



最大变形量: 2.83mm

雪载+12级风情况下:

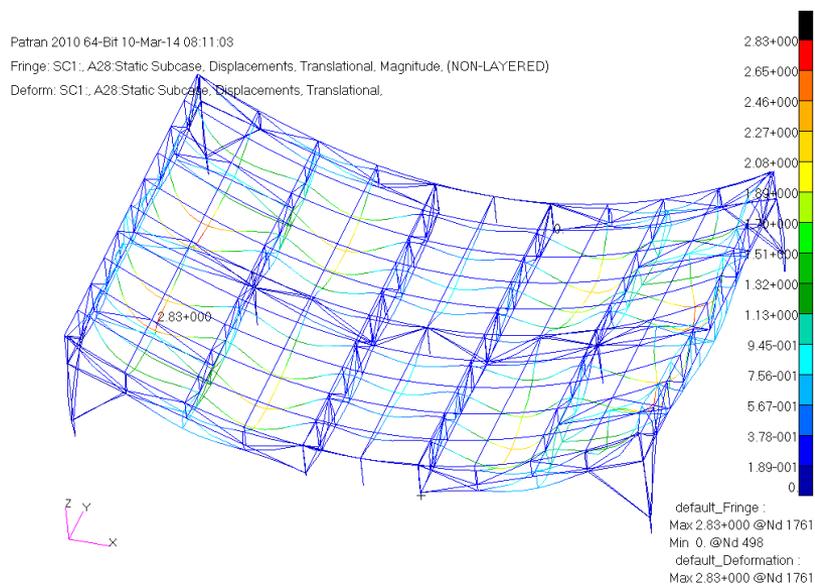


最大变形量: 4.37mm

30cm厚雪载+12级风情况下: (最大轴向应力: 7.65MPa, 在许用范围内)

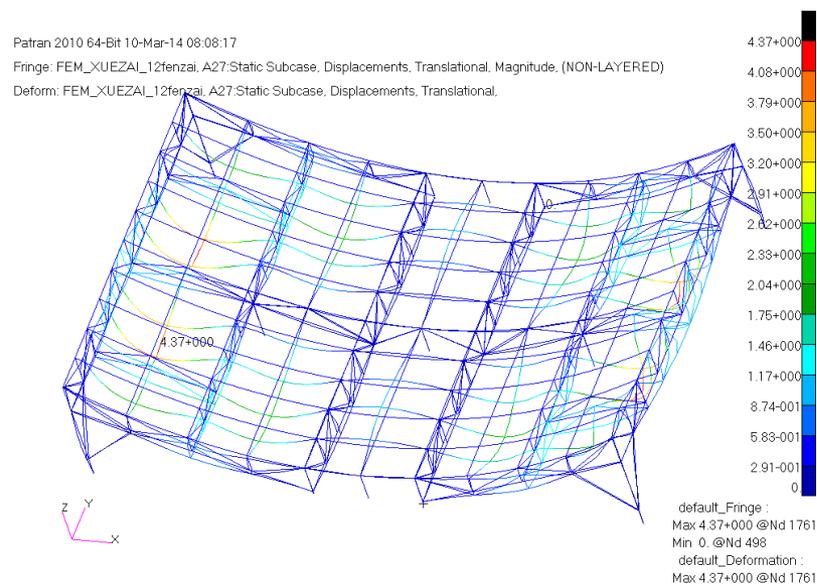
最优方案一仿真分析

雪载+7级风情况下:



最大变形量: 2.83mm

雪载+12级风情况下:



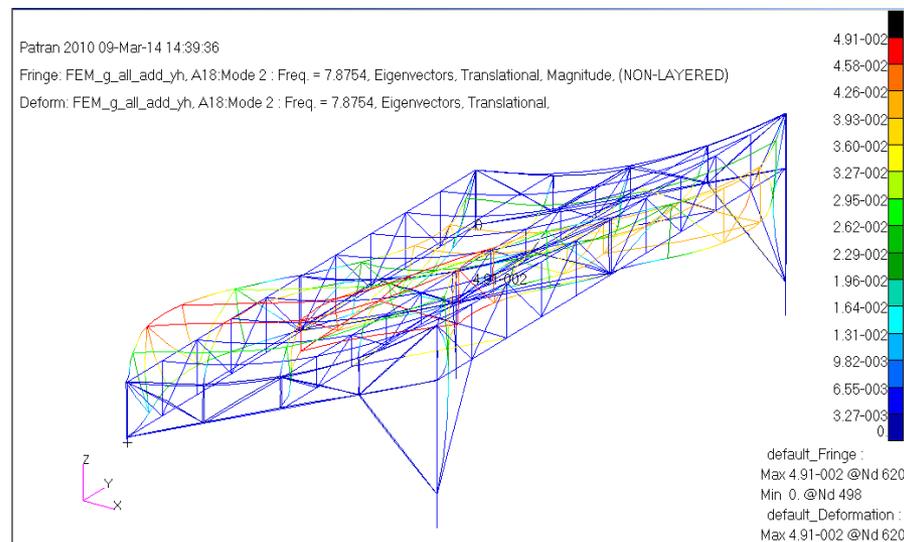
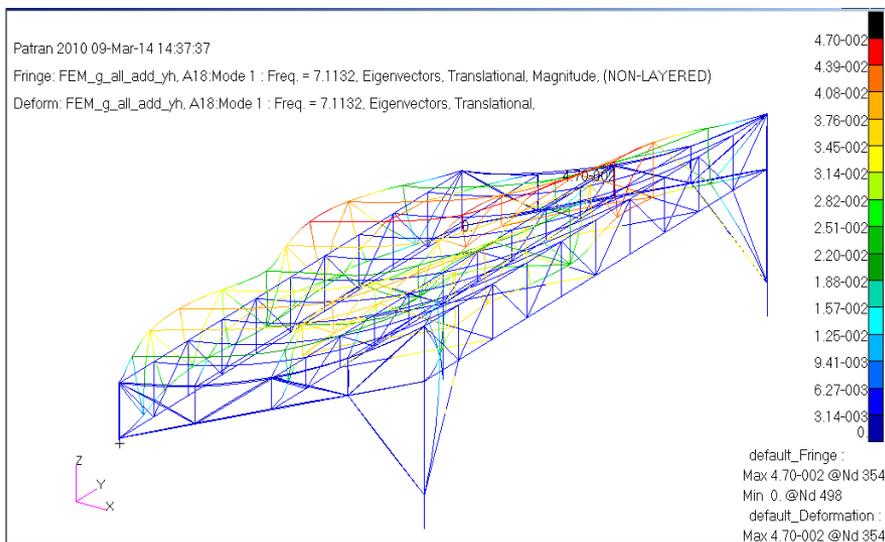
最大变形量: 4.37mm

30cm厚雪载+12级风情况下: (最大轴向应力: 7.65MPa, 在许用范围内)

最优方案一低阶模态

一阶：7.1132Hz

二阶：7.8764Hz



方案一的低阶模态（谐振频率）高于5Hz，满足设计要求。

最优方案一变形均方差

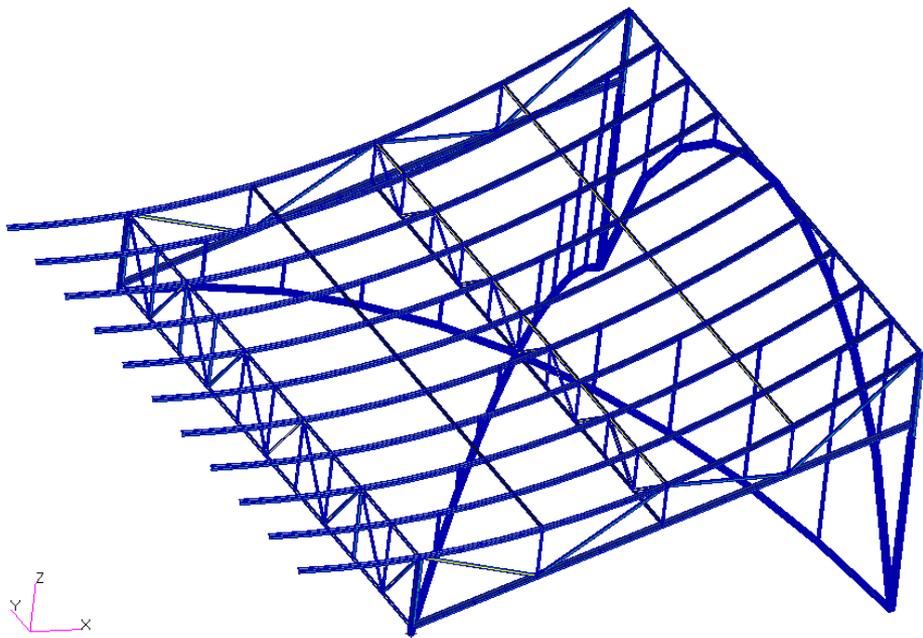
提取天线抛物面上671个节点的变形，计算他们的均方差得：

自重变形下RMS=0.28;

30cm雪载下RMS=0.58;

30cm雪载加7级风下RMS=1.10;

最优方案二



三维模型

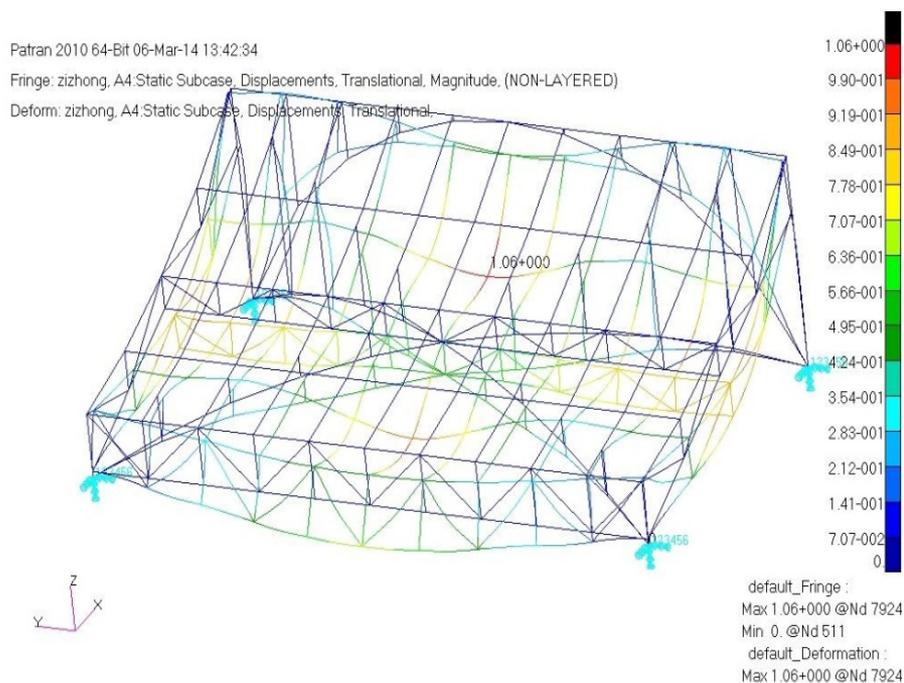
总质量为 $1.616 \times 2 = 3.232$ 吨

杆件选择:

- (1) 支撑主杆角钢采用60*60*6mm;
- (2) 背架主杆采用50*50*5mm角钢;
- (3) 背架轴向杆采用40*40*4mm角钢;
- (4) 桁架间竖杆和斜杆采用30*30*3mm
- (5) 交叉拱用直径83x5圆管;
- (6) 高端处大拱用直径95mmx5mm圆管;
- (7) 拱上支撑杆用直径40x5mm圆管。

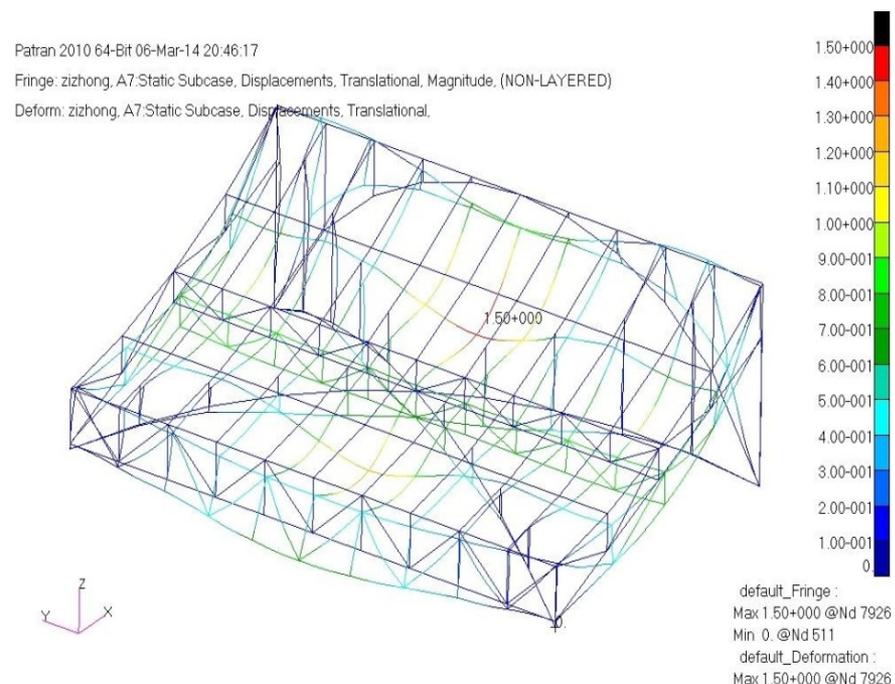
最优方案二仿真分析

自重情况:



最大变形量: 1.06mm

雪载情况:



最大变形量: 1.50

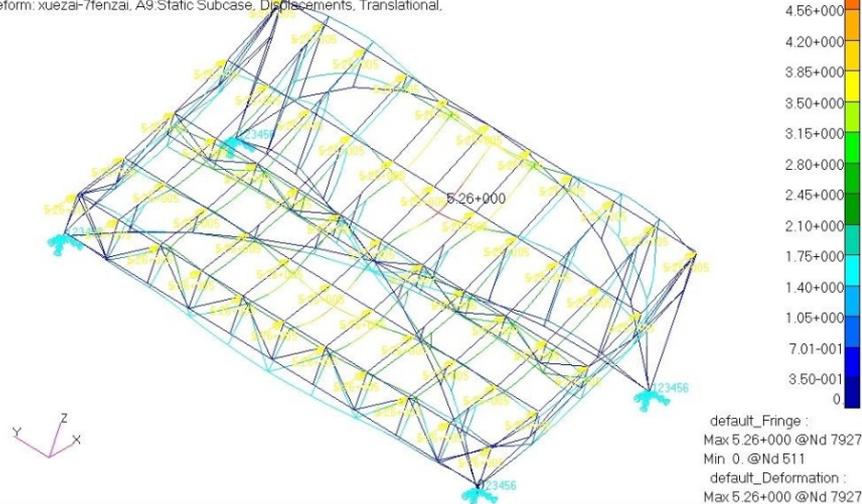
最优方案二仿真分析

雪载+7级风情况下:

Patran 2010 64-Bit 06-Mar-14 20:48:33

Fringe: xuezhai-7fenzai, A9:Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: xuezhai-7fenzai, A9:Static Subcase, Displacements, Translational.



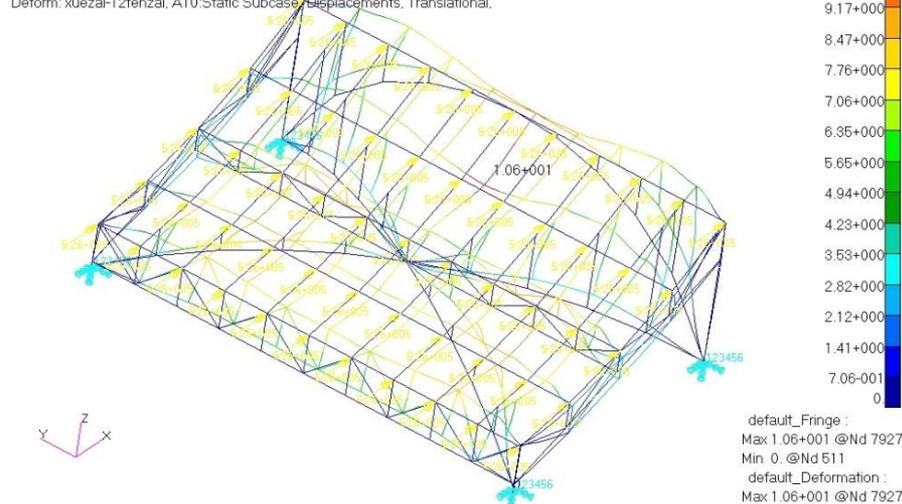
最大变形量: 5.26mm

雪载+12级风情况下:

Patran 2010 64-Bit 06-Mar-14 20:49:16

Fringe: xuezhai-12fenzai, A10:Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: xuezhai-12fenzai, A10:Static Subcase, Displacements, Translational.



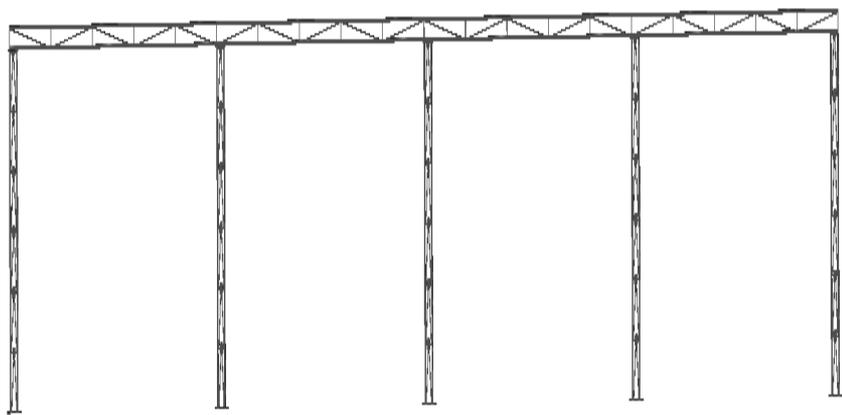
最大变形量: 10.6mm

30cm厚雪载+12级风情况下: (最大轴向应力: 15.6MPa, 在许用范围内)

馈源支架结构设计

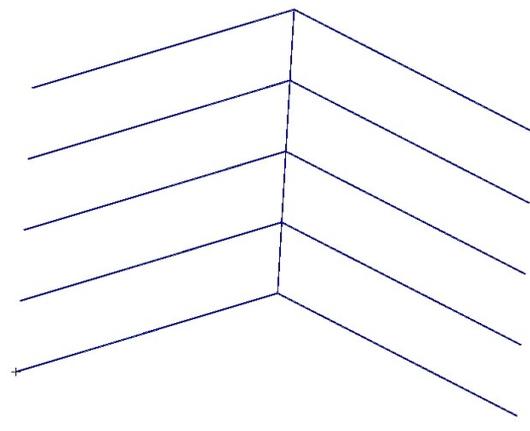
方案一：

采用镂空桁架结构



方案二：

采用二撑杆结构



杆件选择：

- (1) 顶部的桁架用80*80*8角钢；
- (2) 支脚的4根主杆用60*60*6角钢；
- (3) 其余用30*30*3角钢。

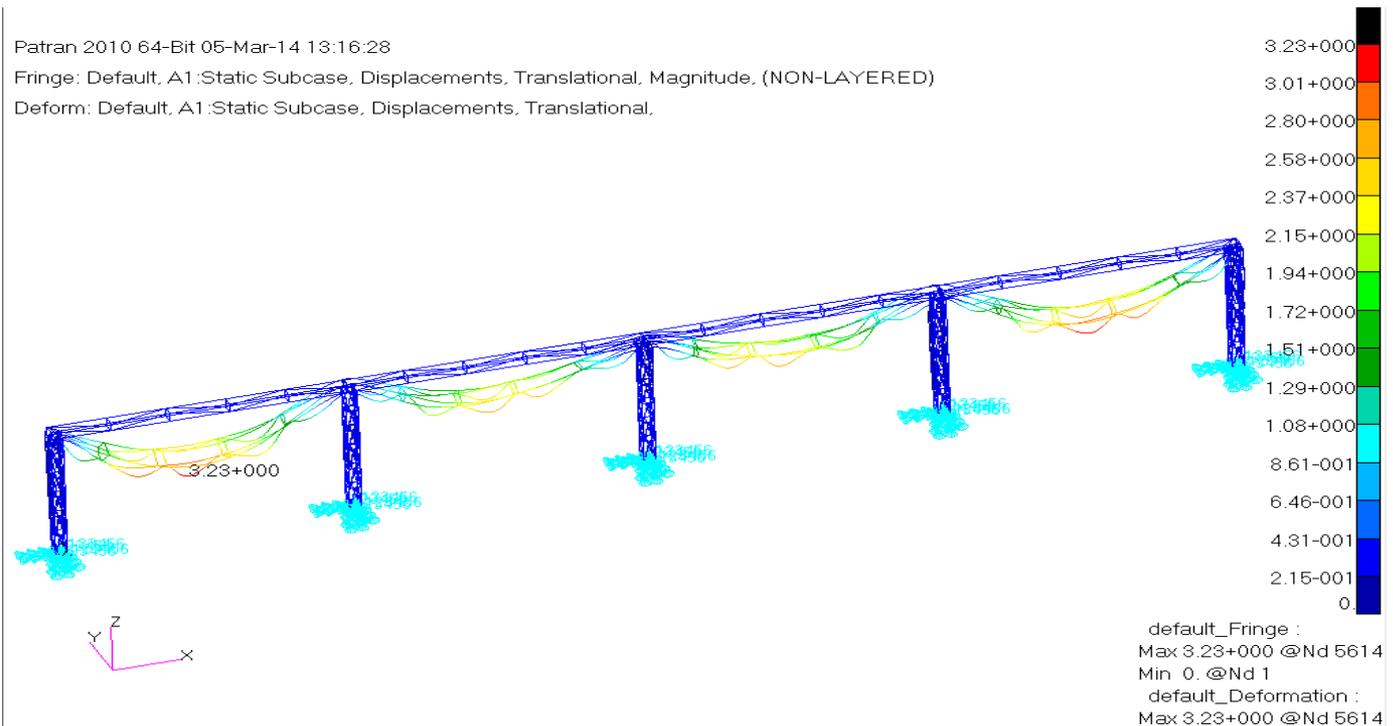
桁架质量：(2.782吨)

杆件选择：

- (1) 材料采用30×60×4mm薄壁矩形管；
- (2) 直径为50mm壁厚为5mm圆管。

馈源支架方案一

自重情况下，最大变形量：3.23mm



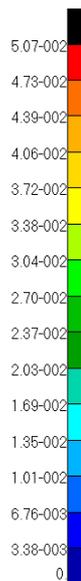
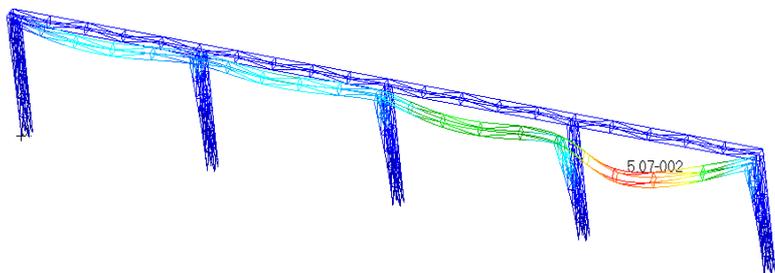
馈源支架方案一

一阶：2.9195Hz

Patran 2010 64-Bit 06-Mar-14 09:52:12

Fringe: motaifexxi, A2:Mode 1 : Freq. = 2.9195, Eigenvectors, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: motaifexxi, A2:Mode 1 : Freq. = 2.9195, Eigenvectors, Translational,



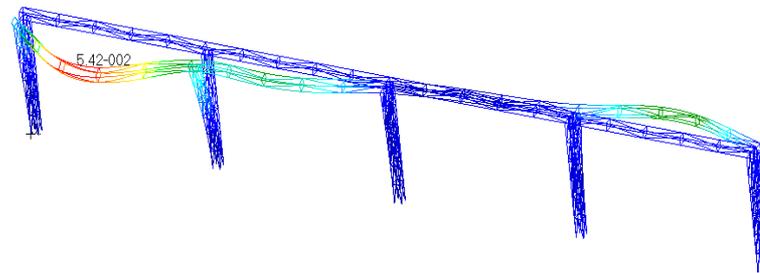
default_Fringe :
Max 5.07-002 @Nd 4673
Min 0. @Nd 1
default_Deformation :
Max 5.07-002 @Nd 4673

二阶：2.9264Hz

Patran 2010 64-Bit 06-Mar-14 09:54:04

Fringe: motaifexxi, A2:Mode 2 : Freq. = 2.9264, Eigenvectors, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: motaifexxi, A2:Mode 2 : Freq. = 2.9264, Eigenvectors, Translational,



default_Fringe :
Max 5.42-002 @Nd 4061
Min 0. @Nd 1
default_Deformation :
Max 5.42-002 @Nd 4061

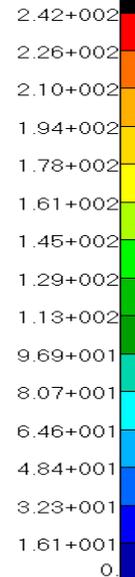
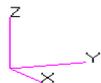
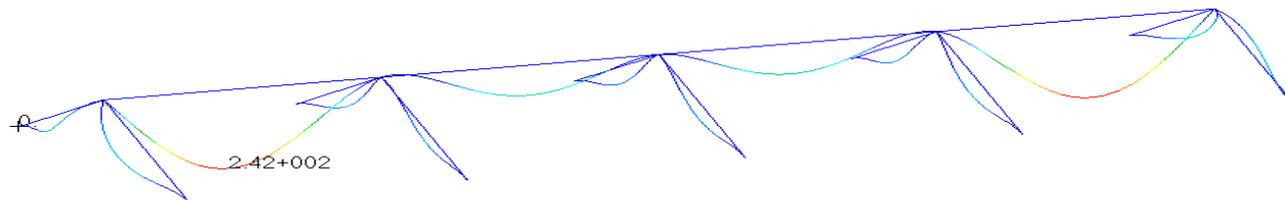
馈源支架方案一

自重情况下，最大变形量：242mm

Patran 2010 64-Bit 05-Mar-14 13:19:12

Fringe: Default, A1:Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: Default, A1:Static Subcase, Displacements, Translational,



default_Fringe :
Max 2.42+002 @Nd 1750
Min 0. @Nd 1
default_Deformation :
Max 2.42+002 @Nd 1750

馈源支架方案一

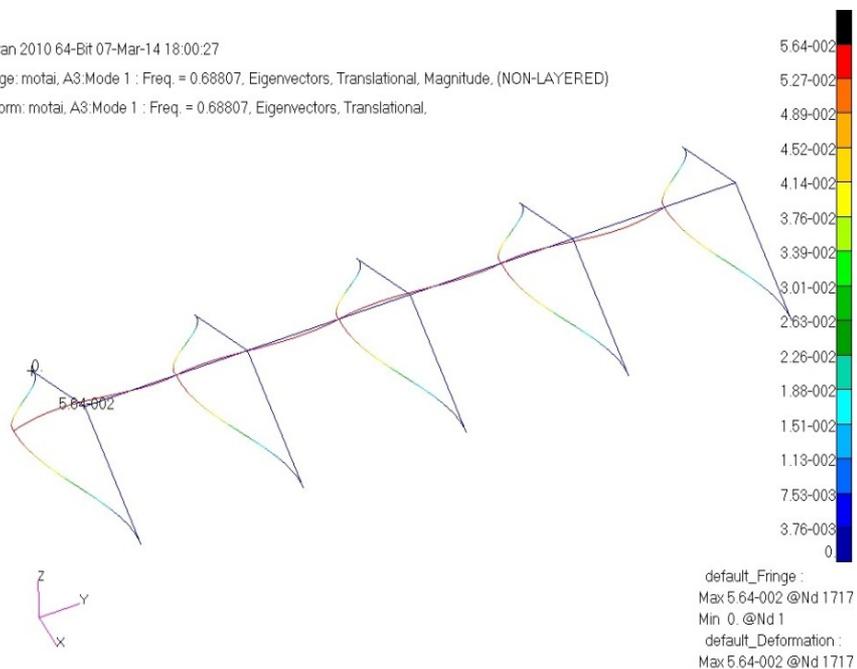
一阶：0.68807Hz

二阶：1.6414Hz

Patran 2010 64-Bit 07-Mar-14 18:00:27

Fringe: motai, A3, Mode 1 : Freq. = 0.68807, Eigenvectors, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

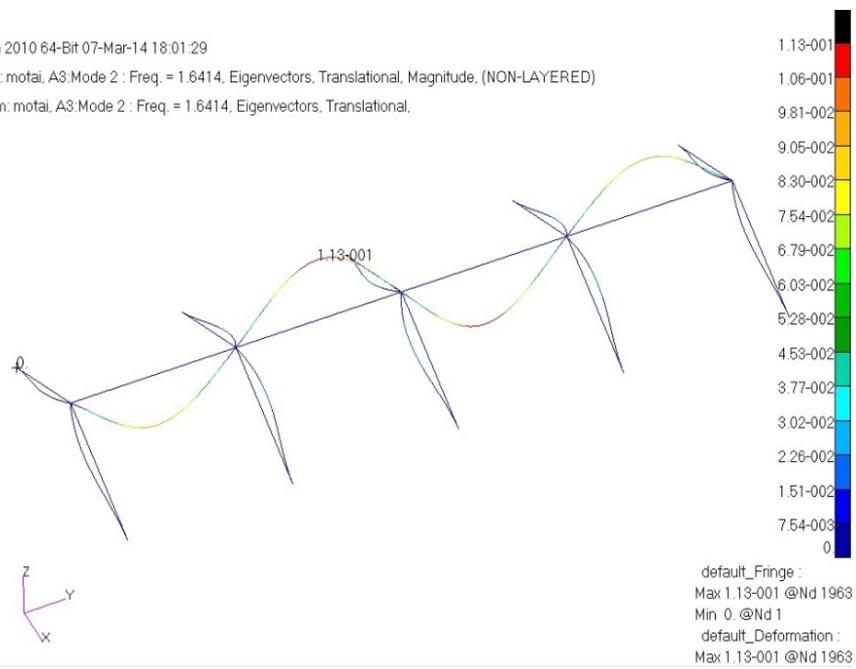
Deform: motai, A3, Mode 1 : Freq. = 0.68807, Eigenvectors, Translational.



Patran 2010 64-Bit 07-Mar-14 18:01:29

Fringe: motai, A3, Mode 2 : Freq. = 1.6414, Eigenvectors, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: motai, A3, Mode 2 : Freq. = 1.6414, Eigenvectors, Translational.



谢谢!