

# 拉索预应力下索拱架结构自平衡分析

◆郑欣豪 戴睿熙

(陆军勤务学院 重庆 401331)

**摘要:** 本文对某索拱架式移动机库的承力结构、质量荷载和边界条件进行了简化,提取单榀索拱架结构进行建模分析。研究了不同拉索预应力下索拱架结构的初始平衡状态,分析得到了使得拉索等强的合理拉索预应力值。对预应力大小进行了分级,为拉索预应力参数分析做铺垫。

**关键词:** 索拱结构;拉索预应力;初始平衡状态

## 0 引言

预应力索拱架式结构受力合理,是大跨度空间结构中常采用的结构体系,在工程结构中应用广泛<sup>[1-3]</sup>。但是体系复杂,受力情况影响因素较多,初始平衡态受拉索预应力影响较大,主要表现在:拉索预应力不同,结构平衡状态就不同;当拉索较多时,各拉索之间相互影响,一条拉索预紧同时,其它拉索可能发生松弛<sup>[4,5]</sup>。为了研究索拱结构在拉索预应力下平衡问题,本文首先基于ANSYS 对某实际工程进行结构简化并建立有限元模型,而后对平衡状态进行拉索预应力参数分析,以研究拉索预应力对结构平衡状态影响。

## 1 工况概况和结构简化及有限元建模

某索拱架式机库由8榀索拱架等距并排组成,索拱架之间通过刚性系杆和十字支撑连接。由于各榀索拱架的受力相近,并且单榀索拱架能够反映并影响整体结构的力学性质,因此对单榀索拱架进行分析,做以下三点简化以提取单榀索拱架力学模型:(1)承力结构简化:移动机库的承力结构为弧杆和拉索;(2)质量荷载等效:将膜材和其它附属结构按照附加质量考虑其结构的影响,并将质量贡献换算为杆件的附加线质量;(3)边界条件确定:支座简化为铰接,拉索和弧杆的连接节点视为铰接。通过简化,提取单榀索拱架力学模型并建立有限元模型如图1所示。

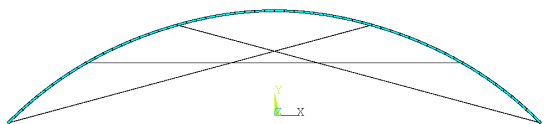


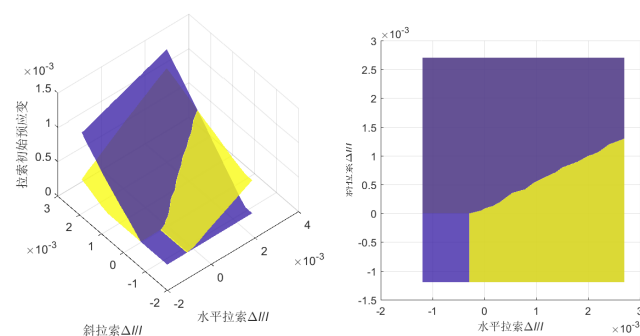
图1 单榀索拱架结构

## 2 拉索预应力下索拱架结构自平衡分析

本文有限元分析中,拉索预应力大小通过(拉索原长和降温后拉索自然长度差值与原长的比值)来定义;索拱架在预应力施加完毕后的自平衡状态称为初始预应力状态,相应的拉索应力(应变)称为初始预应力(初始预应变),是预应力施加效果的

重要指标,也是本文对拉索预应力分级的重要依据。

为了分析索拱架应力重分布,确定自平衡前后拉索的应力大小,本文进行单榀索拱架自平衡分析:对拉索降温等效施加应变 $\Delta l/l$ ,由于是对称结构,两条斜拉索施加同一大小应变 $\varepsilon_{\text{斜拉索}} = \Delta l_{\text{斜拉索}} / l_{\text{斜拉索}}$ ,两条水平拉索施加同一大小应变 $\varepsilon_{\text{平拉索}} = \Delta l_{\text{平拉索}} / l_{\text{平拉索}}$ ,以此作为参数进行结构静力分析,提取自平衡状态下拉索初始预应变 $\varepsilon_{\text{平衡}}$ 。得到拉索初始预应变 $\varepsilon_{\text{平衡}}$ 与 $\Delta l/l$ 关系如图2。图中x坐标轴代表水平拉索初应变,y轴代表斜拉索初应变,z轴是结构自平衡后拉索初始预应变值,其中黄色代表水平拉索,蓝色代表斜拉索。由图可见:(1)拉索初应变增大,拉索初始预应变也总体增大;(2)两个平面交线为直线,沿着这条直线设置初应变,可以保证自平衡状态下拉索应变相同。通过参数计算可得:零区间为: $\varepsilon_{\text{平拉索}} \leq 0.00029$ 且 $\varepsilon_{\text{斜拉索}} \leq 0.0$ ;拉索等强度应变关系为: $\varepsilon_{\text{斜拉索}} = 0.45 \cdot \varepsilon_{\text{平拉索}} + 0.00013 \approx 0.45 \cdot \varepsilon_{\text{平拉索}}$ ;相应初应变和初始预应变关系为: $\varepsilon_{\text{平衡}} = 0.274 \cdot \varepsilon_{\text{平拉索}} + 8.2 \times 10^{-5} \approx 0.274 \cdot \varepsilon_{\text{平拉索}}$ 。



(a)侧视图

(b)俯视图

图2 拉索平衡应力与初应变关系

据此确定后续拉索预应力参数分析时预应力等级如表1所示,同时将结构不加拉索的情况记为0级,该分级有利于后续分析。

表1 拉索施加预应力等级

| 预应力等级        | 1级   | 2级      | 3级      | 4级      | 5级      | 6级      |
|--------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\Delta l/l$ | 0.0% | 0.1%    | 0.2%    | 0.3%    | 0.4%    | 0.5%    |
| 初始预应变        | 0.0% | 0.0274% | 0.0548% | 0.0822% | 0.1096% | 0.1370% |
| 初始预应力(MPa)   | 0.00 | 56.44   | 112.89  | 169.33  | 225.78  | 282.22  |

## 3 结论

本文通过有限元分析,对某移动机库单榀索拱架结构初始平衡状态进行了拉索预应力参数分析,结果表明且时,结构在平衡状态下,拉索轴应力为零,处于松弛状态;当时,结构在平衡状态下,水平拉索和斜拉索的轴应力处于同一水平,能够充分发挥拉索性能。

## 参考文献:

- [1]秦杰,沈世钊.预应力索拱结构施工技术与试验研究[J].工业建筑,2006,36(05):96-9.
- [2]盛平,柯长华,甄伟,et al.一种新型预应力索拱结构设计及工程应用[J].建筑结构,2008,1):117-20.
- [3]张宇峰,舒赣平,吕志涛.预应力索拱结构选型及其受力特性分析[J].建筑结构,2002,2):51-3.
- [4]杜敬利,保宏,崔传贞.索网结构初始平衡状态的优化

设计[J].华南理工大学学报(自然科学版),2011,39(6):142-7.

[5]王晓明,贺耀北,石雪飞,et al.空间索形自锚式悬索桥初始平衡状态分析[J].同济大学学报(自然科学版),2010,38(5):625-31.

