

2023 年中国安全生产协会安全科技进步奖项目公示

项目类型：技术与开发类

编号：2023SSTPA-B8-104

项目名称	大跨度预应力拱形管桁架结构储煤场封闭应用开发		
主要完成人	李少荣，杨小军，王志杰，白霄，朱玥莉， 秦朝刚 ，高航宇，汪涛，高岩，郭立志，李腾，张乔林，刘永，高宇，林夏如		
主要完成单位	中煤西安设计工程有限责任公司，长安大学		
申报单位	中煤西安设计工程有限责任公司		
推荐单位	中国中煤能源集团有限公司（直接申报可不填写）		
所属领域	煤矿-综合安全	项目名称可否公布	是
计划（基金）名称和编号	中煤集团重点科技创新项目，GS-KJ-2019-006		
是否完成科技成果技术评价	是	科技成果技术评价组织单位	中国煤炭工业协会

项目简介

本项目属于建筑科学技术领域。主要应用领域为煤矿、电厂、码头等大型储煤场封闭项目。
主要内容、特点：

露天储煤场一般占地面积较大，尤其是跨度超过 120m 的储煤场，若采用常规的网架或者网壳结构需采用多跨，煤场中间需设置结构柱，影响煤炭堆放和机械作业，且机械易碰撞结构柱，影响储煤场的结构安全。预应力拱形管桁架作为一种成熟的大跨度钢结构体系，若应用于煤场封闭中，煤棚内部无混凝土柱，内部空间大，空间利用率高。

为了保证大跨度储煤棚的安全可靠，项目围绕大跨度预应力拱形管桁架结构的储煤场结构设计中的关键技术难题开展数值分析，主要解决预应力桁架结构设计方法，包括管桁架的截面设计、截面优化、预应力索设置、整体结构分析等内容。项目采用模拟风洞试验确定结构风效应，保证结构安全经济，并对结构做大震分析，保证结构在强震作用下的安全性；同时采用有限元分析软件对结构做整体稳定性分析及关键节点分析，保证结构整体及关键节点的安全性。

应用推广情况：

本项目中的“大跨度滑动主檩单元”科研成果应用于“榆神煤炭榆树湾煤矿有限公司地销煤场改建全封闭储煤场工程”，该项目为陕西省最大跨度煤棚。煤场封闭避免了大风导致的煤尘对大气环境的污染，并避免了煤氧化分解产生的温室气体及有害气体，为国家实现碳达峰、碳中和目标做出贡献。直接为业主节省建设费用约 180 万元，间接效益约 1100 万元，合计约 1280 万元。

项目支撑：中煤西安设计工程有限责任公司，大跨度预应力拱形管桁架结构的储煤场封闭应用开发数据分析处理技术服务。（合同编号：XMSHT*JS-K-GHJ-00-21-011）

技术内容：

项目对比分析了 140m、170m、200m 和 230m 大跨度预应力管桁架单榀与整体结构的受力性能。首先，明确了不同跨度的预应力管桁架结构矢跨比、垂跨比、拉索、撑杆、桁架高度及支座等设计参数的取值范围；大跨度预应力拱形管桁架结构三心圆轴线的确定方法；卸载杆件最多，增载杆件最少的布索原则；将变截面转化位置定位三心圆的交点处等；对比分析了恒载、活载和风荷载作用下 140m、170m、200m 和 230m 的三角形、矩形、倒梯形和变截面单榀预应力管桁架结构轴力与变形变化规律，并进行了管桁架结构截面优化设计；进一步对比分析了恒载和地震作用下不同截面形式对应的 140m、170m、200m 和 230m 预应力管桁架整体结构的动力特性和受力性能，主要结论如下所述。

1 单榀结构分析

1.1 受力性能

不同跨度单榀预应力管桁架结构在恒荷载、活荷载和风荷载作用下的内力变化规律基本一致。单榀预应力管桁架结构在倒梯形比倒三角形和变截面形式管桁架结构跨中轴力、支座反力较小；但是，倒梯形截面管桁架预应力拉索的轴力较大。

以 170m 跨度为例，各弦杆内力变化规律如图 7.2 和 7.3 所示。由图 7.1 和图 7.2 可看出，在恒荷载和全跨活荷载标准组合作用下，不同截面单榀预应力桁架结构的上弦杆内力基本分布规律：由支座至拱顶拉力先增大后减小，随后拉力变为压力逐渐增大。倒三角形截面的上弦杆内力分布相比另外两种方案更均匀；下弦杆内力基本分布规律为：由支座至拱顶压力弦

增大后减小，而后轴力由压力变为拉力逐渐增大，倒梯形截面的下弦杆内力分布更为均匀，其值与倒三角形截面相比下降了 50%。变截面的支座部分内力分布规律与倒梯形一致，中间部位与倒三角型截面分布一致。因此，对于 170m 跨度的单榀管桁架结构而言，在恒荷载与全跨活荷载标准组合作用下，倒梯形和变截面桁架结构的下弦杆内力幅值比倒三角形截面下降明显，且内力分布更为合理。从结构内力的变化情况看，倒梯形截面的方案较优。

1.2 变形性能

对比分析了不同跨度下跨中位移，对于 140m 跨度预应力管桁架结构，矩形截面的位移比三角形截面和变截面的位移小；但是，在风荷载作用下表现不同，如 195°风荷载作用下矩形截面的位移较大，三角形截面和变截面下的位移相差不大。对于 170m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面在恒荷载和活荷载的作用下的位移最小，在风荷载的作用下矩形截面的位移最小。对于 200m 跨度预应力管桁架结构，梯形截面的位移比三角形截面和变截面的位移小，三角形截面和变截面下的位移相差不大；除 135°风荷载和 195°风荷载作用下的位移向上，其它都是向下的位移。对于 230m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面在恒荷载和活荷载的作用下的位移最小，在风荷载的作用下梯形截面的位移最小，梯形截面和变截面位移相差不大但比三角形截面小。

1.3 用钢量分析

经不同跨度单榀预应力管桁架结构受力分析后，对其进行了杆件优化分析，确定了不同跨度单榀桁架的用钢量。对于 140m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面的构件数量最少，用钢量最少，变截面的用钢量次之，矩形截面的用钢量最大。索的用量三角形截面和变截面完全相同，矩形截面索的用量最大。对于 170m 跨度预应力管桁架结构，矩形截面的用钢量最少，三角截面和变截面的用钢量差别不大，而三角形截面的杆件数量最少。矩形截面下索的用量最大，三角形截面和矩形截面索的用量相等。对于 200m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面的构件数量最少，用钢量最小，三角截面和变截面的用钢量差别不大，梯形截面的用钢量最大。索的用量三角形截面和变截面完全相同，梯形截面索的用量最大。对于 230m 跨度预应力管桁架结构，梯形截面的用钢量最少，三角截面和变截面的用钢量差别不大，三角形截面的杆件数量最少。梯形截面下索的用量最大，三角形截面和梯形截面索的用量相等。不同跨度预应力管桁架结构用钢量的变化规律与单榀结构的变化规律一致。

2 整体结构分析

2.1 整体结构动力特性分析

对于 140m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面前三阶周期分别为 2.301s、1.345s 和 1.424s；矩形截面前三阶周期分别为 2.028s、1.183s 和 1.055s；变截面前三阶周期分别为 2.053s、1.342s 和 1.122s。对于 170m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面前三阶周期分别为 2.295s、1.316s 和 1.424s；矩形截面前三阶周期分别为 2.429s、1.295s 和 1.420s；变截面前三阶周期分别为 2.342s、1.181s 和 1.43s。对于 200m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面前三阶周期分别为 2.856s、1.667s 和 1.516s；梯形截面前三阶周期分别为 2.780s、1.805s 和 1.430s；变截面前三阶周期分别为 2.868s、1.879s 和 1.468s。对于 230m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面前三阶周期分别为 3.168s、2.034s 和 1.709s；矩形截面前三阶周期分别为 3.083s、2.056s 和 1.582s；变截面前三阶周期分别为 3.108s、2.036s 和 1.572s。

2.2 整体结构受力性能分析

对于 140m 跨度预应力管桁架结构，矩形截面的跨中轴力要小于三角形截面和变截面，三角形截面和变截面的跨中轴力、支座反力和索力相差不大，基本无变化；对于 170m 跨度预应力管桁架结构，梯形截面的跨中轴力最小，支座反力和索力最大。变截面的跨中轴力介于梯形截面和三角形截面之间，与梯形截面较接近。梯形截面的索力与三角形截面和变截面相比较较大，三角形截面和变截面的索力基本一致；对于 200m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面的跨中轴力最大，变截面次之，梯形截面最小，梯形截面的支座反力和索力略大于三角形截面和变截面；对于 230m 跨度预应力管桁架结构，内力分布规律与其它跨度相比基本一致。

2.3 整体结构变形性能分析

不同跨度下结构的变形性能如表 7-3 所示。对比分析在 1.0 恒荷载+1.0 全跨活荷载标准组合作用下的最大竖向位移，在 0° 风荷载作用下的最大 x 向位移，在 135° 风荷载作用下的 y 向位移。

对于 140m 跨度预应力管桁架结构，矩形截面的最大竖向位移较三角形截面和变截面下降明显，分别最大下降 14%，10%。从结构位移的角度来看，矩形截面为较优截面；对于 170m 跨度预应力管桁架结构，梯形截面的位移最大，三角形截面次之，变截面最小。变截面较梯形截面和三角形截面最大竖向位移分别下降了 32%，12%。三角形截面和变截面的最大 x 向位移较为接近，与梯形截面相比由明显下降；对于 200m 跨度预应力管桁架结构，梯形截面的最大竖向位移最小，三角形截面最大，梯形截面与三角形截面相比下降了 9%。对于 230m 跨度预应力管桁架结构，三角形截面的最大竖向位移较小，梯形截面和变截面较为接近。从结构位移的角度来看三角形截面为较优截面。