

43m 跨度钢桁架栈桥的设计

杨 静

中煤科工集团北京华宇工程有限公司西安分公司, 陕西 西安 710000

[摘要]结合甘肃白岩子煤矿一大跨度钢桁架栈桥的设计,探讨钢桁架栈桥的建筑布置及结构设计,特别对结构设计中荷载确定、竖向受荷桁架、水平受荷桁架、端门刚、上下横梁等重要杆件及节点计算进行分析,提出栈桥设计的方法以及指出设计中的关键点,为后续的大跨栈桥设计提供一定的参考和依据。

[关键词]栈桥; 钢桁架; 大跨度; 节点计算

DOI: 10.33142/ec.v8i6.17244

中图分类号: TU318

文献标识码: A

Design of 43m Span Steel Truss Wharf

YANG Jing

Xi'an Branch of CCTEG Beijing Huayu Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: Based on the design of a large-span steel truss wharf in Baiyanzi Coal Mine, Gansu Province, this paper discusses the architectural layout and structural design of the steel truss wharf, especially analyzing the load determination, vertical load truss, horizontal load truss, end door stiffness, upper and lower crossbeam and other important members and nodes calculation in the structural design. The design method of the wharf is proposed and the key points in the design are pointed out, providing certain reference and basis for the subsequent design of large-span wharf.

Keywords: pier bridge; steel truss; large-span; node calculation

随着社会对能源需求的增长,煤炭作为主要能源发挥的作用不容小觑。煤炭从井下开采到地面运输、处理、转运、存储,整个过程中,栈桥输送扮演着重要得角色。

落实到对基础建设的需求,一般地下运输部分布置钢筋混凝土箱体结构的暗道,地面上高度不高的爬地部分布置底部钢筋混凝土框架结合上部门式刚架的栈桥,地上架空部分布置钢桁架的栈桥,配合两柱或四柱的支架交叉布置。架空钢桁架栈桥,由于他自重轻,跨度大,便于成品加工且施工工期短,而被广泛得应与于栈桥设计。本文以靖煤集团景泰煤业有限公司白岩子矿井及选煤厂的储运系统设计为背景,对架空栈桥的建筑布置及结构设计进行详细论述,分析设计中的重点难点,为后面类似的设计提供参考。

1 栈桥结构的主要体系

栈桥跨间结构采用钢桁架时,钢桁架可采用型钢板节点体系或钢管空心球体系,目前煤炭行业的输送栈桥桁架,主要采用型钢板节点体系,结构构件主要采用传统的角钢,钢桁架既能承重有能为外围护提供固定骨架,便于布置封闭式栈桥。

栈桥骨架体系分为三个部分,第一为竖向桁架,由上弦杆、下弦杆及斜腹杆组成;第二为水平上下弦桁架,抵抗栈桥侧向风荷载,由弦杆、横梁及水平支撑组成;第三为端门架,通过顶部横梁与竖向桁架两端的型钢竖杆组合竖向及水平桁架,将竖向及水平桁架的荷载最终传递至支

座中,在栈桥设计中发挥着不容小觑的作用。皮带输送机固定在桁架下弦平面上,这样栈桥结构体系实际上是一个由竖向两榀受力桁架和上、下水平弦桁架组成的空间桁架体系,由于在空间桁架内部有使用功能,不能布置支撑杆件,这个三维空间桁架体系非固定,在栈桥桁架的端部及支座位置设置封闭门式刚架,形成稳定体系,防止上、下弦水平桁架受风荷载的影响,产生不稳定。

2 工程概况

由于工艺的优化,单位时间运输效率的提升,场地利用率及布置的要求,栈桥设计的跨度及宽度也在不断的增大,规模与设计情况变的多样、复杂。本次设计根据使用要求与场地限制,需要设计一个架空运煤栈桥,如图一,栈桥总长度 147m,栈桥横跨长度 140m 长的储煤棚,位于储煤棚上方,储煤棚内与上部栈桥同方位位置布置有地下输煤暗道,上部栈桥以下部落煤筒为支腿,落煤筒与暗道位置重合,但不贯通,实现上部栈桥输送至落煤筒转存至储煤场及储煤场通过漏煤斗至地下暗道输送走的上下同时运输功能。栈桥支腿落煤筒的位置根据漏煤斗的位置以及栈桥的经济跨度,基于整体的储运布置,确定最大栈桥的跨度为 43m,栈桥底部紧贴储煤棚下部网架,栈桥楼板为实现转运功能部分位置预留洞口,通过溜槽将一部分煤直接落入下部煤储棚,栈桥从空间上没有条件设置下撑,不能布置带下撑的桁架,只能增加矢高。

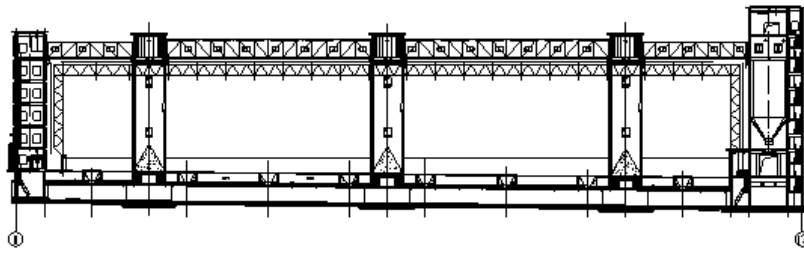


图1 栈桥立面布置图

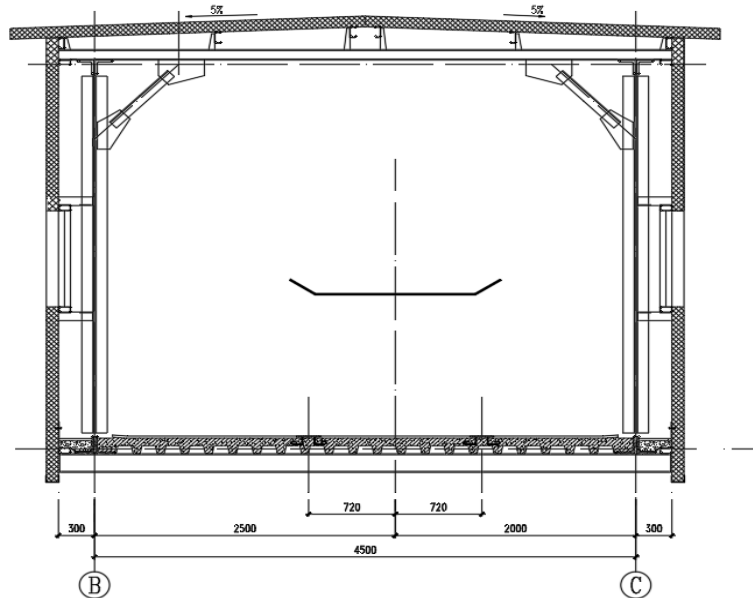


图2 栈桥截面布置图

3 建筑与结构设计

架空栈桥的结构形式多采用钢桁架结构,钢桁架栈桥具有重量轻、受力合理、制作简单以及运输与安装方便的特点,且适合在跨度、高度较大的构筑物之间。栈桥桁架的墙身和屋面通常采用双层压型金属板复合保温板围护,围护自重较小,栈桥的楼面为压型钢板组合楼板,楼板自重较大,楼面负荷输煤皮带机运行荷载。因此竖向桁架的布置通常为平面桁架,桁架腹杆处于受拉状态。竖向桁架的上下弦杆采用双角钢(超长且宽度较大时采用H型钢),腹杆及上下水平支撑杆件采用角钢,钢桁架的跨度一般在24m~36m,桁架的高度可取桁架跨度的1/12~1/8,并应满足工艺使用要求,桁架腹杆之间的间距通常取为2.0m~3.0m,桁架腹杆之间的间距应与桁架高度相协调,两者数值接近,最终保证斜腹杆与上下弦的夹角在 30° ~ 60° 之间,避免节点受力不合理,节点设计困难。

3.1 建筑设计

栈桥的跨度受外在条件影响较大,一般优先满足工艺布置以及使用要求,根据现场情况,最大栈桥跨度43m。根据机制提供资料,栈桥为单皮带,皮带宽度为1.0m,皮带埋件外两侧对应位置布置落煤口连接落煤溜槽,栈桥

宽度应考虑皮带使用以及人行、检修的空间,根据《煤矿工业建筑结构设计标准》(GB 50583—2020)要求栈桥人行通道宽度不小于1.0m,检修通道宽度不小于0.5m,综合栈桥的轴线宽度为4.5m;高度方向,考虑到工艺专业对栈桥的使用高度的要求,不小于2.8m的净空,以及结构方面,43m大跨度栈桥不能设置下撑的限制,对矢高的要求比一般的桁架大,按照各类因素考虑以及以往的经验设计,桁架高度暂按3.6m进行布置试算。如图2。

3.2 结构设计

a 栈桥结构布置

栈桥总长43m,宽度4.5m,桁架主要节间间距取3m,桁架高度3.6m,斜腹杆与上下弦的夹角在 50° 左右,属于合理角度范围,根据建筑布置条件,选择下承式桁架,竖向桁架布置如图3所示。



图3 竖向桁架布置图

b 确定栈桥荷载

白岩子矿井所在地区抗震设防烈度为8度,设计基本地震加速度0.20g,特征周期0.45s,设计地震分组为第三

组；场地类别为Ⅱ类，此地区属于高烈度区，但钢桁架自重小，地震作用下的惯性力也相应减小，大大减轻了地震作用的影响。地震作用不作为桁架设计的主要影响因素。

栈桥屋面恒载主要包括屋面夹芯板、檩条、支撑等，栈桥屋面活荷载按不上人屋面取 0.5kN/m^2 ；墙面恒载包括墙面夹芯板以及檩条自重；楼面恒载包括压型钢板组合楼板、下弦支撑等，根据《煤矿工业建筑结构设计标准》（GB 50583—2020），皮带宽 1.0m ，栈桥楼面活荷载标准值取 3.0kN/m^2 ，组合值系数为 0.9 。

根据《建筑结构荷载规范》附录 E 及《煤矿工业建筑结构设计标准》（GB 50583—2020）4.5.3 条，风荷载标准值为 0.4kN/m^2 （50 年重现期），风压高度变化系数取 1.31 ，栈桥风荷载体型系数 1.7 ，栈桥下表面风荷载体型系数 -1.0 （不利风荷载），栈桥上表面风荷载体型系数 -0.8 （有利风荷载）。

c 计算上下弦横梁

上弦横梁主要承受横梁节间范围内（ 3m 内）荷载，对上弦横梁进行分析，横梁受屋面传来的恒活均布荷载，以及 3t 的局部吊车点荷载，选取 $\text{HM}194\times150\times6\times9$ （Q345）型钢杆件按照简支梁计算，杆件平面内强度应力比 0.71 、稳定应力比 0.76 、杆件的挠度为 13.8mm ，杆件的平面外长细比为 63 。

下弦横梁主要承受横梁节间范围内（ 3m 内）楼面的恒活载。对下弦横梁进行分析，选取 $\text{HM}294\times200\times8\times12$ （Q345）型钢杆件按照简支梁计算，杆件平面内强度应力比 0.35 、稳定应力比 0.36 、杆件的挠度为 4.6mm ，杆件的平面外长细比为 48 。下弦横梁是楼面皮带栈桥荷载转移至竖向桁架的重要中转构件，且下弦横梁是倒挂在竖向桁架节点上，确保下弦横梁杆件以及节点设计的安全性，至关重要。

d 计算单榀竖向桁架

桁架的受力各杆单元均为轴向受拉或轴向受压构件，而没有弯矩和剪力，各杆件只在节点受力，杆件中部不承受外部荷载。

取单榀竖向桁架进行分析，上弦节点承受上弦横梁传来的点荷载、上弦横梁一半的自重以及一半的墙面荷载，下弦节点承受下弦横梁传来的点荷载、下弦横梁一半的自重以及另一半的墙面荷载。

上弦的节点恒荷载为：

$$\left[0.45\text{kN/m}^2 \times \left(\frac{4.5\text{m}}{2} + 0.7\right) + 0.3 \times \left(\frac{3.6\text{m}}{2} + 0.5\right)\right] \times 3 + 0.79 = 6.8\text{kN} \quad (1)$$

上弦的节点活荷载为：

$$0.5\text{kN/m}^2 \times \left(\frac{4.5\text{m}}{2} + 0.7\text{m}\right) \times 3 = 4.4\text{kN} \quad (2)$$

下弦的节点恒荷载为：

$$\left[3.4\text{kN/m}^2 \times \left(\frac{4.5\text{m}}{2} + 0.3\right) + 0.3 \times \left(\frac{3.6\text{m}}{2} + 0.5\text{m}\right)\right] \times 3 + 1.46 = 29.5\text{kN} \quad (3)$$

下弦的节点活荷载为：

$$3\text{kN/m}^2 \times \left(\frac{4.5\text{m}}{2} + 0.3\right) \times 3 = 23\text{kN} \quad (4)$$

建模型，计算竖向桁架，杆件选用双角钢，对杆件进行试算。杆件截面大小不足时，优先增加杆件截面长度，而非增加杆件厚度。桁架杆件主要计算杆件的应力比以及长细比。杆件截面长度增加对杆件回转半径值影响较大，单位钢材的增量对长细比有较大的改观，节约钢材，较为经济。

桁架上下弦杆为主受拉压杆件，截面最大；斜腹杆受力从两端向中间位置逐渐减少，杆件截面渐进取值。

由于跨度较大，桁架的上下弦杆在恒活荷载下有较大挠度，为减少桁架在初始恒活荷载下产生的变形对后续栈桥产生不利影响，桁架制作时可进行预起拱处理，但也要避免过度起拱，引起反向不利。

e 计算上下弦水平支撑

计算水平桁架的上下弦水平支撑，水平支撑体系仅仅承受桁架侧向墙体的风荷载，受荷面小，但桁架节间的间距以及桁架的总跨度对各杆件的应力值影响较大，特别是栈桥两侧约束支座附近支撑。上下弦水平支撑由于栈桥布置倾角的原因，一般两端节间大且处于不利位置，杆件型号比中间位置的大。

本次设计的下弦支撑杆件由于布置溜槽开洞，部分节间取消支撑杆件采用次梁铰接。上下弦支撑布置图如图 4~5 所示。

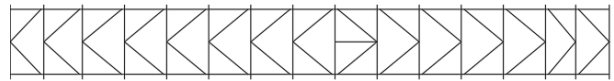


图 4 上弦支撑布置图

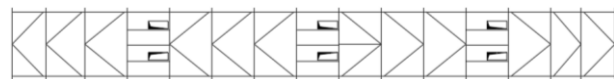


图 5 下弦支撑布置图

f 计算两端门刚

端门刚在建模时除承受竖向桁架传来的竖向力，在端门刚的上下端分别承受上下水平桁架的风荷载，端门刚一般采用工字型钢，门刚梁柱节点刚接，柱脚焊接在下部支座。

风荷载对门刚顶的位移影响较大，设计中重点控制门刚在风荷载作用水平向位移以及控制端门刚梁柱应力比。

g 栈桥的支座设计

栈桥由于竖向变形、温度变化、地震作用等其他偶然作用产生的栈桥桁架沿桁架长向伸缩变形时，应利用滑动支座释放该方向的水平力，减少对门刚柱带来额外的附加弯矩。所以栈桥桁架的两端支座不能设置为固定铰支座，设计为一端铰轴式支座（可转动，不可移动），一端辊轴支座（不可转动，可移动），如图六。这时，桁架对下部支承柱的平面外几乎不起约束作用，支承柱的平面外计算长度可按悬臂柱考虑。

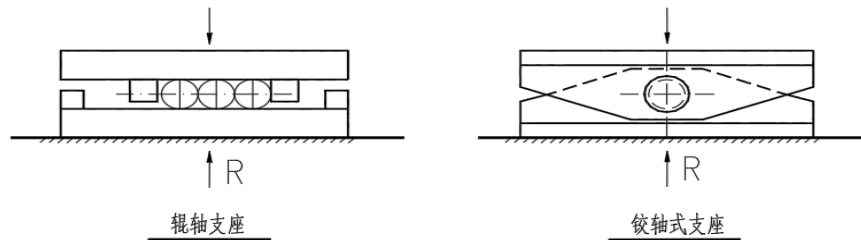


图6 支座结构示意图

栈桥支座除了释放桁架方向的水平力,还承受上部所有桁架、上下弦、支撑杆件自重以及皮带负荷恒、活荷载,辊轴支座的支座反力 R 应满足:

$$R \leq 40nd_1 f^2 / E \quad (5)$$

铰轴式支座的支座反力 R 应满足:

$$R \leq d l_2 f / 2 \quad (6)$$

其中 n 代表辊轴数目, l_1 为辊轴与平板的接触长度, l_2 为轴纵向接触面长度, d 为轴直径, $E=206 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$, f 为钢材的设计用强度指标。

4 结束语

大跨度长距离多皮带的的输送栈桥越来越多,在设计中我们应结合实际情况进行布置,正确的选择栈桥的结构形式,确定合理的几何尺寸,确保方案的最优化。在后续的结构设计中,钢结构的设计工作较混凝土结构来说有更多的节点、杆件等细节需要注意,设计人员需对上下弦、

腹板、横梁、水平支撑、端门刚、支座等各杆件的杆件型号进行确定,同时也对各杆件之间的焊接或螺栓连接进行细节的把控,特大超长型栈桥必要时还要用空间模型整体计算,对杆件的承载力、稳定性以及变形情况,力求做到最优化最安全的设计。

【参考文献】

- [1] 王佩.大跨度钢桁架栈桥的设计[J].山西建筑,2009,35(13):78-79.
- [2] 宋智斌.大跨度钢桁架带式输送机栈桥的设计要点简析[J].建筑钢结构,2013(2):102.
- [3] 王强.40m 大跨度钢桁架输煤栈桥设计[J].黑龙江科技信息,2016(12):271-271.

作者简介:杨静(1993.1—),女,西安建筑科技大学,结构工程,中煤科工集团北京华宇工程有限公司西安分公司,设计师,中级职称。