

· 土 建 ·



设备振动荷载对转运站结构设计的影响

胥为捷

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 港口工程中的转运站内设置有各种工艺设备, 这些工艺设备荷载较大, 设备运行所产生的振动荷载会对结构产生较大的影响。若结构整体布置、构件断面设计不合理, 将会影响结构的使用性能, 甚至会对结构安全造成影响。设备振动荷载对结构设计的影响分为3部分: 对荷载取值的影响、对构件设计的影响、对结构整体设计的影响。转运站的振动控制应主要控制水平振动位移。提出转运站考虑设备振动荷载影响的设计原则与计算方法, 并针对减小设备振动对结构受力、使用性能的影响提出建议。

关键词: 转运站; 振动荷载; 结构设计; 动力特性; 振动控制

中图分类号: U 653.93

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0169-04

Influence of equipment vibration load on structural design of transfer station

XU Wei-jie

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: In port engineering, transfer station is generally provided with a variety of processing equipment, which is with high vibrating load and thus has apparent effect on the structure. If the arrangements of the structure and member section are unreasonable, it will affect the structure performance, even the safety of the structure. The influence of equipment vibration load on the structural design is divided into three parts: effecting on load, component design, structure overall design. Transfer station vibration control should be mainly controlling the horizontal vibration displacement. Design principles and calculation methods of transfer station considering the equipment vibration load effect is provided. Rational suggestions about the influence of reducing device vibration on behaviors of structure performance are proposed.

Key words: transfer station; vibration load; structure design; dynamic characteristics; vibration control

港口工程中的转运站内设置有各种工艺设备, 这些工艺设备通常荷载较大, 设备运行所产生的振动荷载会对结构产生较大的影响。转运站一般为多层框架结构, 若结构的整体布置、构件断面设计不合理, 将会影响结构的使用性能, 甚至会对结构安全造成影响。通过查阅相关规范, 结合现有研究成果, 本文将设备振动荷载对结构设计的影响分为3部分: 首先是对荷载取值的影响, 如静力、动力计算中的各种系数; 其次是对构件的影响, 如梁、柱构件自振频率、最大振动位移

对构件内力的影响; 最后是对结构整体设计的影响, 如计算模型的选取、结构的整体布置等。通过总结与分析, 本文提出了转运站结构考虑设备振动荷载影响的设计原则与计算方法, 并针对减小设备振动对结构受力性能与使用性能的影响提出了合理的建议, 最后对未来的研究方向进行了展望。

1 设备振动对结构使用性能的影响

转运站设有带式输送机, 其驱动电机、减速机、传动滚筒等旋转式动力设备在运行过程中

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 胥为捷(1982—), 男, 硕士, 工程师, 从事土木工程结构设计工作。

会对结构产生较大的离心扰力。筛分楼是一种特殊的转运站，除带式输送机外，还设置有筛分设备，振动筛在运行过程中均会产生水平和垂直振动。在动力荷载作用下，结构常会随之发生异常振动，其主要原因有2种：1) 由于激振力频率与

结构构件固有频率接近或一致，发生共振现象；2) 由于结构构件自身刚度不足，致使结构在受迫振动时振幅较大，超过结构安全和正常使用所要求的允许振动标准。图1给出了激振源、振动类型对结构的影响^[1]。

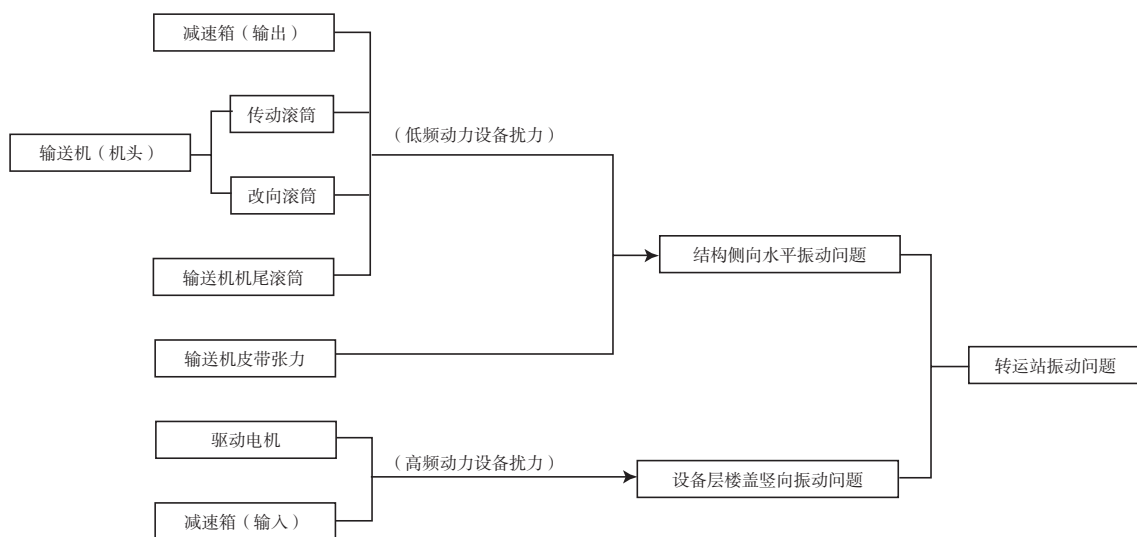


图1 激振源与振动类型的关系

设备的振动会使结构自身产生振动，从而对结构的使用性能产生如下影响：

- 1) 使处在其中的工作人员产生不良感觉，进而对人体产生较大的心理、生理影响，危害人体健康；
- 2) 对处在结构上的仪器设备等也会造成不良的影响，影响仪器的正常运行，降低了仪器的精度减少仪器设备的使用寿命；
- 3) 影响结构本身的性能，会使结构产生过大的位移或振动，若结构的固有频率与机器产生的干扰频率相近时会引起共振，造成结构的某些性能下降，严重的甚至会引起破坏。

因此，转运站在结构设计时必须考虑设备振动荷载的影响，以保证结构的正常使用。

2 设备振动对结构设计的影响

GB 50583—2010《选煤厂建筑结构设计规范》指出：“带式输送机中的输出减速箱和各种滚筒的振动频率为低频；带式输送机中转速在400~2 000 r/min的电动机、筛分设备中的振动筛的振动频率均为中频；转速大于2 000 r/min的电动

机、减速箱的振动频率为高频^[2]。”经验表明，影响楼面垂直振动的是中频设备，影响楼面水平振动的是低频设备^[2]。承受动荷载的结构应进行振动计算，进行振动计算的结构构件，应以静力、动力的不同组合验算其承载力和变形^[2]。

2.1 对荷载取值的影响

1) 静力计算。

相关规范规定：有充分依据时，结构承载力计算可将设备、物料的荷载乘以动力系数后，按静力计算^[2]。因此可根据相关规范，并结合动力设备的特性，对设备荷载乘以1.3~2.0的动力系数^[3]。

2) 动力计算。

在动力计算中，计算振幅时应采用标准扰力，标准扰力 F 一般已由设备厂商给出。计算动内力时，计算扰力 F_d 为设备标准扰力 F 乘以设备动力超载系数 K_d ^[2]。其中，筛分机的 $K_d=1.3$ ，带式输送机的电动机、滚筒的 $K_d=4.0$ 。多组的动力荷载必须考虑机器的同时作用效应，在实际计算中以引入专门的同相系数 λ 来考虑多组动力及结构计算参数的随机变化^[5]。

在确定动力荷载后，文献[2]的6.3.5条给出了结构动力计算的后续步骤。

2.2 对构件设计的影响

结构的自振频率若低于设备的强迫振动频率，则有发生高频共振的可能性；若结构的自振频率高于设备的强迫振动频率，则不可能发生共振。根据文献[2]第6.3.16条：对承受动力荷载的结构，当构件满足下列条件之一时，可不进行内力计算（但应采取动力系数法对结构进行静力计算）：1）梁第一频率密集区内最低自振频率计算值大于设备的扰力频率；2）梁与柱的最大振动位移扣除支座位移后不超过自身长度的1/40 000。

在具体设计中，只需对直接承受动力荷载的梁作避振计算，也就是对梁的自振频率进行设计与调整。作为直接振动梁支座的间接振动梁，则一般不再考虑避振。但作静力计算时，由直接振动梁传来的集中荷载要考虑动力系数，而柱子计算时动力系数不必考虑。

梁的第一频率密集区内最低自振频率计算公式如下^[2]：

$$f_{l1} = \varphi_{l1} \sqrt{\frac{B}{\bar{m}l_0^3}} \quad (1)$$

式中： \bar{m} 为梁上单位长度的均布质量（kg/m），当有集中质量时，可将集中质量换算成均布质量，算法见文献[2]式6.3.13； l_0 为梁计算跨度； φ_{l1} 为结构第一频率密集区的自振频率系数，见文献[2]附录A。

与梁整浇的设备基座对梁的刚度有一定影响，可以用折算刚度的办法将基座的刚度考虑进去。在梁的自振频率计算时，荷载的取值宜考虑2种情况：1）只考虑结构自重和长期作用的设备重；2）除考虑上述质量外，再加上使用时的一些临时荷载。

研究表明，设备的频率一般在16 Hz左右，将受振动梁的自振频率控制在23 Hz以上，通常便不会发生共振，该梁也不必进行内力计算，只需考虑设备的动力系数后作一般的静力计算即可^[4]。初设时可以采用上述方法选择构件断面尺寸。

2.3 对结构整体设计的影响

转运站一般为多层框架结构，其水平振动的

基本自振频率在1.5 ~ 4.5 Hz。现有研究表明：当动力设备转速较低时，结构水平振动出现的共振属低频共振，振幅较大；当动力设备转速较高时，结构水平振动出现的共振属高频共振，振幅较小^[5]。低频共振是危害性最大的共振状态。因此，当振动设备转速较低时（2.5 ~ 3.5 Hz），必须考虑结构侧向水平振动问题；当设备转速较高时（10 Hz以上），一般只考虑楼盖的竖向振动问题^[5]。

对于有钢廊道与之相连的转运站结构，研究指出^[1]：1）在计算模型中应考虑钢廊道对转运站的水平支撑作用，可将钢廊道简化为水平弹簧支座；2）与转运站相邻的第一跨廊道应做成刚性固定支架，确保其沿廊道纵向有足够的抗侧刚度；3）可适当减小第一跨廊道的跨度，以提高其自身的纵向刚度；4）在转运站框架柱间均匀增设支撑或剪力墙，可有效提高结构的整体刚度，减小结构水平位移；5）对没有设楼板的楼层，可沿框架梁设“回”字形钢筋混凝土板，提高结构的整体性。

合理的结构布置能显著减小结构振动，具体布置时可按如下原则进行^[4]：1）动力设备应设置在梁上，且不应设置于悬臂梁上；2）振动梁宜布置成单跨；3）垂直扰力较大的设备宜布置在梁的支座附近；4）水平扰力较大的设备宜布置在梁的跨中部位，并使扰力方向与梁的轴线方向一致；5）设备的扰力方向宜与楼盖刚度较大的方向一致；6）开孔不宜跨轴线，以免切断框架梁；7）物料的振动方向宜朝向结构刚度大的方向，以避免低频共振。

3 结论与展望

3.1 结论

1）结构整体设计可遵循以下原则：设备应设置在梁上，且不应设置于悬臂梁上；受振动的梁宜布置成单跨；垂直力大的设备宜布置在梁的支座，水平力大的设备宜布置在梁的跨中，并使外力方向与梁的轴线方向一致；外力方向宜与楼盖刚度较大的方向一致；开孔不宜切断框架梁。

2) 结构计算可采取以下步骤: 设置动力设备的梁应选取合理的截面, 使第一频率密集区内最低自振频率计算值(可控制在23 Hz以上)大于设备的扰力频率, 则可不进行动力计算; 直接考虑设备的动力系数后作为静力荷载计算即可。对于有钢廊道相连的转运站结构, 计算模型可将钢廊道简化为水平弹簧支座考虑。

若梁自振频率与设备扰力频率接近, 则需要对结构进行动力计算。首先需要确定动力荷载, 然后按照文献[2]的6.3.5条相关步骤进行结构动力计算。

3.2 展望

1) 输送机的起动对转运站来讲是典型的冲击激励, 应在工艺设计阶段为输送机选择一种合理的起动方式, 从而降低结构所受的冲击作用和加速度响应。

2) 建议对工作状态中廊道的纵向动力响应进

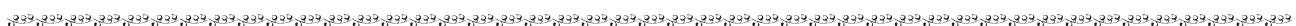
行测试, 进一步分析廊道刚度对转运站主体结构的影响。

3) 已建成建筑, 若设备振动已明显影响了结构的正常使用, 则应对结构进行加固, 加固方案的合理选择与设计值得研究。

参考文献:

- [1] 闫春生. 转运站结构的动力特性分析及振动控制研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
- [2] GB 50583—2010 选煤厂建筑结构设计规范[S].
- [3] GB 50009—2012 建筑结构荷载规范[S].
- [4] 高红珍. 选煤厂主厂房结构设计中的振动荷载问题[J]. 煤炭工程, 2003(5): 26-27.
- [5] 杜吉克. 承受机器动荷载的建筑结构振动分析及控制[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.

(本文编辑 郭雪珍)



(上接第168页)

2) 适用于港口使用的以LED作为光源的灯具已逐渐在市场占有一席之地。特别是集装箱港区这类机械化程度较高的港区已开始在空箱堆场区域试点安装使用LED光源的投光灯, 如达到预期效果, 将会在重箱堆场等区域进一步推广。

3) LED是十分有潜力的新光源, 积极开展其在港口照明领域的应用是十分必要的。但短短几年, 几千家企业一哄而上地挤入LED照明, 造成该行业缺乏平稳有序的发展态势。有一些企业在模仿中制作, 低水平重复, 靠夸大节能效果, 误

导使用单位。因此, 必须建立一套完整的技术标准和客观的评价体制以及实事求是的舆论导向, 引导其健康发展。

参考文献:

- [1] 北京照明学会照明设计专业委员会. 照明设计手册 [M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [2] 交通运输部第一航务工程勘察设计院. 海港工程设计手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

(本文编辑 郭雪珍)