

普通高等教育机电类规划教材

# 起重运输机 金属结构设计

太原重型机械学院 徐格宁 主编

机械工业出版社

普通高等教育机电类规划教材

# 起重运输机金属结构设计

主编 徐格宁  
参编 束志明  
徐克晋  
主审 王殿臣



机械工业出版社



本书是高等工业学校起重运输与工程机械专业教学指导委员会1992年5月制订的“八五”教材出版规划的教材。本书共分十章，分别阐述金属结构课程设计的目的、要求、方法和步骤，金属结构设计原理和应用；介绍受拉、压、弯、扭构件及其连接的计算，起重运输机金属结构的典型构造，桥架、门架、臂架和塔架的设计方法以及计算机辅助设计等。书中列出许多设计、计算公式和图表，在有关章节中给出一些设计题目，供选用和练习；最后给出若干设计实例供参考。

本书理论联系实际，侧重于设计方法的应用，是一本指导师生进行“金属结构设计”课程教学的实践性教材，也可作为《金属结构》(第2版)的替代教材使用。

此外，本书还可供有关专业学生进行毕业设计和工程技术人员工作中参考。

### 起重运输机金属结构设计

● 主编 徐格宁

参编 束志明

徐克晋

主审 王殿臣

\*

责任编辑：赵爱宁 版式设计：王颖

封面设计：郭景云 责任校对：姚培新

责任印制：王国光

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码：100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

\*

开本787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张14.75·字数357千字

1997年5月第1版第1次印刷

印数 00 001—3 000 定价：17.00元

\*

ISBN 7-111-05240-4/TG·1090(课)

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

ISBN 7-111-05240-4



9 787111 052401 >

## 前 言

本书是根据高等工业学校起重运输与工程机械专业教学指导委员会于1992年5月调整制订的“八五”教材出版规划和该专业金属结构设计课程教学要求而编写的。

本书共分十章，分别阐述金属结构课程设计的目的、要求、方法及步骤，金属结构设计原理和应用，起重运输机金属结构的典型构造和设计方法，以及计算机辅助设计等；为了设计时使用方便，书中提供许多有关结构分析与设计的实用公式和计算图表、数据，最后给出若干设计实例供参考。考虑到各校对金属结构设计课程的不同要求，在有关章节中给出一些内容不同的设计题目供选用。附录中给出了金属结构设计所需的钢材规格资料。

本书采用行业新标准和我国法定计量单位，符合工程设计要求。

本书编写时引用了《金属结构》(第2版，徐克晋主编，机械工业出版社，1993)的有关内容，并作了适当修改和补充。本书特点是理论联系实际，侧重设计方法的应用和实践，内容简练易学，使用方便。它是一本用于指导师生进行“金属结构设计”课程教学的实践性教材，既可与《金属结构》(第2版)配合使用，也可作为《金属结构》(第2版)的替代教材独立使用。学生通过学习和设计实践能较好地掌握金属结构设计原理和方法，培养工程师的基本技能和设计能力。此外，本书还可供有关专业学生进行毕业设计和工程技术人员工作时参考。

本书由太原重型机械学院徐格宁主编，承担编写第一、二、三、五、六、九、十章，对全书进行了统稿和校正；徐克晋编写第七章和第八章部分内容以及附录，对书稿提出一些有益的建议；徐州工程机械制造厂束志明编写第四章和第八章，并提供了有关资料。

上海交通大学机械系王殿臣担任主审，对书稿进行了认真细致的审阅，提出一些宝贵意见和建议；太原重型机械学院陆凤仪协助抄写部分书稿、整理和绘制部分插图，在此对他们认真负责的精神和付出的辛劳表示衷心的感谢。

限于编者的水平，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

1995年10月

# 目 录

## 前言

第一章 概论 .....	1
第一节 起重运输机金属结构课程 设计的目的 .....	1
第二节 起重运输机金属结构课程 设计任务书 .....	1
第三节 金属结构课程设计的一般 方法和步骤 .....	4
第四节 对金属结构课程设计的 基本要求 .....	5
第五节 课程设计的指导与答辩 .....	5
第二章 金属结构的载荷与材料 .....	7
第一节 载荷的计算 .....	7
第二节 载荷的计算组合 .....	18
第三节 金属结构的材料 .....	19
第三章 金属结构基本构件计算 原理 .....	23
第一节 结构的工作级别 .....	23
第二节 结构的强度和刚度标准 .....	24
第三节 轴心受力构件的计算 .....	29
第四节 偏心受力构件的计算 .....	32
第五节 横向弯曲构件的计算 .....	36
第六节 受扭构件的计算 .....	47
第四章 金属结构的连接 .....	50
第一节 焊缝连接 .....	50
第二节 螺栓连接 .....	56
第五章 桥(梁)式起重机桥架结构 设计 .....	63
第一节 梁式起重机的桥架和主要 参数 .....	63
第二节 单梁桥架设计计算 .....	65
第三节 桥式起重机的桥架和主要 参数 .....	72
第四节 双梁桥架设计计算 .....	73
第五节 起重机的轨道 .....	91
第六节 桥(梁)式起重机桥架设计 题目 .....	93

第六章 门式起重机门架结构 设计 .....	95
第一节 葫芦单梁门式起重机的门架 和主要参数 .....	96
第二节 单梁门架设计计算 .....	98
第三节 葫芦单梁门式起重机门架 设计题目 .....	122
第七章 起重运输机臂架结构 设计 .....	123
第一节 起重运输机的臂架和主要 参数 .....	124
第二节 起重臂架和输送臂架设计 计算 .....	125
第三节 起重臂架和输送臂架设计 题目 .....	139
第八章 塔式起重机塔架结构 设计 .....	141
第一节 塔架的结构与主要参数 .....	141
第二节 塔式起重机塔架的设计 计算 .....	144
第三节 塔式起重机塔架设计题目 .....	157
第九章 葫芦单梁门式起重机门架 结构计算机辅助设计 .....	159
第一节 葫芦单梁门式起重机结构 优化设计软件编制 .....	159
第二节 葫芦单梁门式起重机结构 优化设计软件(OPGC)使用 说明 .....	164
第十章 设计例题 .....	170
第一节 梁式起重机单梁桥架结构 设计 .....	170
第二节 桥式起重机偏轨箱形双梁 桥架结构设计 .....	179
第三节 轮式起重机桁架式臂架结构 设计 .....	202
附录 型钢表 .....	211
参考文献 .....	229

# 第一章 概 论

## 第一节 起重运输机金属结构课程设计的目的

金属结构是起重运输机械的三大组成部分（机构、结构和电气设备）之一，金属结构课程设计是专业教学计划中规定的专业设计，是重要的实践性教学环节，是培养学生工程设计能力的有效措施，其目的是：

- 1) 培养学生理论联系实际的设计思想，综合运用金属结构和有关先修课程的理论，结合生产实际去分析和解决金属结构设计问题，并使所学知识得到进一步的巩固、加深和发展。
- 2) 学生通过设计实践，学习和掌握起重运输机金属结构设计的一般方法和过程，合理选定结构类型和材料，正确分析和计算，既考虑使用要求，更重视制造工艺，以提高分析和解决实际问题的能力。
- 3) 对学生进行设计技能的训练，如对计算、绘图、运用和查阅设计资料（标准、规范、手册和产品样本）、计算机的应用以及经济估算等能力的培训。

## 第二节 起重运输机金属结构课程设计任务书

课程设计任务书主要是对学生提出设计的根据和要求。完善的设计任务书一般应包括以下内容：

- 1) 起重机（运输机）的用途和应用范围。
- 2) 起重机（运输机）的类型、结构特征。
- 3) 外形与构造简图。
- 4) 起重机（运输机）的主要参数，如起重量（生产能力）、跨度、幅度、机架长度、起升高度、工作速度等。
- 5) 设备的生产率。
- 6) 动力。
- 7) 技术经济指标、预算成本和设计制造期限等。
- 8) 特殊要求，如通过与国内外同类产品进行比较，对工作环境和空间限制等提出要求。

一般的设计任务书不必包括上述全部内容，只提出设备的使用场合和设计要求即可。课程设计任务书的格式见示样一，课程设计说明书的封面见示二。

下面按不同类型的金属结构来介绍设计任务书的编制问题。

×××××学校

课程设计任务书

学生姓名(组) \_\_\_\_\_

设计题目: \_\_\_\_\_

原始数据: \_\_\_\_\_

工作内容:

1. 设计计算说明书的内容及分量 \_\_\_\_\_

2. 绘制的设计图及张数 \_\_\_\_\_

完成日期: \_\_\_\_年\_\_月\_\_日

发任务书日期: \_\_\_\_年\_\_月\_\_日

设计指导教师 \_\_\_\_\_

学生(设计人) \_\_\_\_\_

教研室主任 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

注: 设计任务书由教师发给学生后附入设计说明书前面。

×××××学校

系 \_\_\_\_\_ 专业 \_\_\_\_\_ 级

课程设计说明书

计: 说明书 \_\_\_\_ 页

表格 \_\_\_\_ 表

插图 \_\_\_\_ 个

附 设计图 \_\_\_\_ 张

\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

教研室主任 \_\_\_\_\_

设计指导人 \_\_\_\_\_

设计答疑人 \_\_\_\_\_

设计人 \_\_\_\_\_

起重机和运输机金属结构设计任务书应给出的原始条件为：起重机（运输机）金属结构的主要设计参数、工作条件和其它要求。

起重机金属结构的主要参数：起重量 $\ominus m_0$  (t)，跨度 $L$ 或 $S$  (m)，悬臂长度 $l$  (m)，幅度 $R$  (m)，起升高度 $H$  (m)，起升速度 $v_q$  (m/min)，大、小车运行速度 $v_d$ 、 $v_z$  (m/min)和工作级别等。

运输机（输送机）金属结构的主要参数：生产能力 $Q$  (t/h)，带宽 $B$  (m)，带速 $v$  (m/s)，输送距离 $L$  (m)，机架俯仰角度 $\theta$  (°)等。

起重运输机的工作条件：有无电源、工作地点（室内或室外）、最大行程以及工作环境（温度、湿度、有害气体）等。

其它要求：起重运输机结构受空间的限制、司机室类型和位置、司机室的高度和操纵方式（手动、电动、遥控）等。

起重运输机的结构类型和机构传动方式依用途而定，在设计任务书中可以规定也可由设计者自定。

编制课程设计任务书时应注意：

1) 额定起重量应符合国家标准 (GB783—87)，对于较大起重量的起重机，为满足吊运不同物品的要求，可设置主、副两套起升机构，副钩起重量约为主钩起重量的 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{4}$ ，亦应符合准备。

常用的起重量 (t) 系列为：1, 2, 3.2, 4, 5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500。

抓斗和电磁吸盘起重机的额定起重量包括物料质量和取物装置质量。

梁式起重机的起重量为 2~16 t。

2) 桥式类型起重机的跨度和起升高度应符合国家和行业标准 (GB/T14405—93)。桥(梁)式起重机的跨度 (m) 系列为：10.5, 13.5, 16.5, 19.5, 22.5, 25.5, 28.5, 31.5。起重机承载梁设有走台安全通道者，上述跨度可减小 0.5m。

梁式起重机的常用跨度 (m) 系列是：7.5, 10.5, 13.5, 16.5, 19.5, 22.5。

门式起重机的跨度 (m) 系列 (GB/T14406—93) 为：10, 14, 18, 22, 26, 30, 35, 40, 50。

葫芦单梁门式起重机的跨度常用 10~22m。

门式起重机的悬臂长度根据需要选定，最佳伸臂长约为跨度的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 。

轮式和塔式起重机的幅度 (m) 按使用要求决定，它与起重物重量的乘积构成起重力矩 (或称起重矩)，作为该类起重机的主要技术性能指标。通常最大幅度 $R$ 在 12~50m 范围内，而相应的总起重量 $m$  (包含吊具) 一般不超过 10t。

桥式起重机的起升高度一般为 12~30m。梁式起重机的起升高度 (m) 常取 6, 9, 12, 18；桥式起重机的起升高度 (m) 常取 8, 10, 12, 16, 20, 22。特殊用途者例外，门式起重机的起升高度常用 8~16m；葫芦单梁门式起重机的起升高度 (m) 常用 6, 9, 12。塔式起重机的起升高度由用途决定，一般均大于 15m。自升塔机起升高度可达 100m 以上。

⊖ 根据起重机行业标准 GB783—87 起重机械 最大起重量系列，起重量作为专用名词表示起重物的质量。



3) 起重机的起升速度一般在  $1 \sim 60\text{m}/\text{min}$  之间, 工作级别高的起重机取大值, 大起重量的起重机取较小值, 安装用桥式或塔式起重机的起升速度较低, 一般为  $1 \sim 4\text{m}/\text{min}$ , 个别可取  $6\text{m}/\text{min}$ 。起重机回转速度为  $0.2 \sim 3\text{r}/\text{min}$ 。轮式起重机变幅速度为  $15\text{m}/\text{min}$ 。

4) 起重机(大车)的运行速度, 对桥式(梁式)起重机, 常取  $20 \sim 100\text{m}/\text{min}$ ; 对门式起重机, 常取  $20 \sim 60\text{m}/\text{min}$ ; 塔式起重机的运行速度较小, 一般不大于  $20\text{m}/\text{min}$ 。

5) 起重机小车(葫芦小车)运行速度一般在  $10 \sim 50\text{m}/\text{min}$  之间, 集装箱门式起重机和装卸桥的小车运行速度较高, 可达  $180\text{m}/\text{min}$  以上。塔机小车运行速度为  $10 \sim 30\text{m}/\text{min}$ 。

6) 起重机结构的工作级别与起重机的工作级别相同。一般用途起重机结构的工作级别为 A5, A6, A7。葫芦单梁和门式起重机结构的工作级别常为 A2~A5。塔式起重机结构的工作级别为 A4~A6。

7) 输送机的生产能力即输送量, 以  $\text{t}/\text{h}$  计, 依输送机的规格和带速而定。带宽( $\text{mm}$ )有: 650, 800, 1000, 1200, 1400。带速( $\text{m}/\text{s}$ )有: 1, 1.5(1.6), 2.0, 2.5。输送机臂架长度为  $10 \sim 30\text{m}$ , 由用途决定, 臂架俯仰角  $\theta = \alpha \pm 20^\circ$ 。

8) 课程设计任务书中应附有工厂车间的界限尺寸和桥(梁)式起重机轨道位置简图。一般规定: 桥式(梁式)起重机最高点与车间屋顶的距离不小于  $100\text{mm}$ , 端梁外侧与墙壁(柱子)的距离不小于  $60\text{mm}$ , 司机室外侧与起重机轨道轴线的水平距离不小于  $1\text{m}$ 。吊钩的极限位置按实际需要确定。高位悬挂的吊钩与司机室的间距不小于  $0.4\text{m}$ 。

对门式、塔式起重机, 应提出使用场地的地形及周围固定设施或建筑物、车辆位置的简图, 起重机突出部分与它们的间距不小于  $0.5\text{m}$ 。

9) 司机室位置根据视野开阔度和操作方便而定。一般将它安装在桥架或门架的一端, 大跨度起重机也可设在跨中; 按工艺要求, 司机室亦可装在小车上, 同小车一起移动。这些均要在设计任务书中加以说明。

10) 必要时, 在设计任务书中还应提出起重运输机的运输问题, 超长、超高的结构件要受到铁路(公路)运输条件的限制, 需考虑其受力和组装工艺等因素, 合理地确定结构件的接头位置。

11) 在设计任务书中, 可给出起重机总图供学生参考, 但学生不画总图, 仅画结构总装配图和零部件图。

上述注意事项, 由指导教师根据实际情况决定是否全部给出。

根据不同专业的要求, 课程设计工作量可有区别, 一般按课程设计时间而定, 有 2 周、3 周和 4 周三种。对 3~4 周者, 要求完成:

1) 设计装配图 1~2 张。

2) 零件图 2~3 张。

3) 设计计算说明书一份, 包括若干结构布置图和计算简图, 一般应有 20~40 页。

对 2 周时间者, 其工作量酌减。

### 第三节 金属结构课程设计的一般方法和步骤

金属结构课程设计的主要内容应着重于金属结构的技术设计, 其方法是根据要求设计主要结构件的截面尺寸、编制设计计算说明书、绘制结构装配图和部件(构件)图。设计中应

注意采用合理的结构,尽量选用标准规格的材料和标准件来确定整体结构和各部件的构造。

设计零部件时,应尽量选用标准零部件。对非标准部件,应进行分析计算,绘出部件的装配图;如时间许可,应绘制1~2个零件图。

起重运输机金属结构课程设计的步骤如下:

1) 根据设计题目的要求和给定的参数,规划并绘制整体结构布置图,先进行载荷计算和主要结构内力分析,接着选择构件截面尺寸和进行验算,有时计算和绘图交替进行,注意随时修正直到满意为止。

2) 绘制结构总装配图(总图)和部件图。

3) 绘制零件图(形状不规则的结构加工件)。

4) 整理设计计算说明书。

#### 第四节 对金属结构课程设计的基本要求

课程设计是培养工程师基本能力的重要教学环节,学生要像承担正式工程设计任务那样去完成设计,要严肃认真、一丝不苟,以认真、负责、踏实、开拓的精神进行设计;要充分发挥自己的主观能动性,通过设计实践树立正确的设计思想和良好的工作作风。

课程设计中,要努力学习和深入研究现有资料和典型结构,充分利用和遵守国家标准与规范,既不盲目抄袭,也不脱离实际,在学习和继承现有技术资料及调查研究的基础上,对现有结构进行改造和大胆创新。

设计时,应注意所选零部件工艺性好,拆装、检修容易,操作方便,构件坚固,使用安全;要努力减少材料消耗,降低整机质量和成本,节省投资。

课程设计应分阶段进行,要抓紧时间,力争按期完成各个阶段的设计任务,保证在规定时间内完成整个设计。

编写设计说明书及进行图样设计时,做到设计计算与绘图正确,字体(仿宋体)端正和图面整洁。

#### 第五节 课程设计的指导与答辩

起重运输机金属结构课程设计,在教学计划中设有2~4周(约100~120学时)的教学专用时间,应独立进行教学,各校可自行安排。

(1) 课程设计的指导 指导教师确定学生名单后,一般按以下程序进行设计指导(也可编制课程设计指导书):

1) 指导教师根据课程要求向学生布置课程设计任务,发给设计任务书,提出应完成的内容和进度要求(见课程设计计划进度表)。

2) 教师可对设计内容中的难点和重点向学生交底,做适当讲解和辅导。

3) 教师可发给学生一些设计参考资料,但不能与设计题目的内容完全相同,要强调独立思考并独立完成设计,避免抄袭。

4) 教师要经常观察了解学生设计情况,掌握进度,加强督促检查,及时解决学生设计中出现的问题。

5) 课程设计任务书是学生完成设计的依据,学生可以参照课程设计计划进度表规划自己的设计时间,并在教师指导下按期完成设计任务。在设计过程中,学生可随时求教于教师,力求及时解决问题,尽量防止返工;设计图应按国家标准规定的比例绘制,图面整洁,撰写设计说明书的字迹工整,其中应有设计对象的总图、主要参数、设计重点、计算模型图、依据的标准、设计计算和结论等,设计任务书应附在设计说明书前面。

课程设计计划进度表

设计阶段	工 作 内 容	时数(参考)
第一阶段: 总体设计	布置设计任务,初步确定金属结构总体方案,确定主参数,进行载荷计算	15~18
第二阶段: 结构设计	金属结构(桥架、门架、臂架、塔架)内力分析,选定主要尺寸和构件截面,验算并绘制草图,合理配置结构各部分尺寸(主、副结构件相关尺寸),提出计算初稿	20~30
第三阶段: 施工设计	检查、修改设计,绘制结构装配图及零件图	40~50
第四阶段: 技术总结	整理图样和设计计算说明书,准备答辩提纲	~20
第五阶段: 课程设计答辩	对学生完成的设计内容提问和评分	~2

(2) 课程设计答辩与评分 课程设计答辩之前,教师要逐一审阅学生完成的设计,指出其存在的问题,令其改正后方可允许答辩。答辩是考核学生完成课程设计的质量的一个重要环节,必须认真对待。

课程设计答辩按以下程序进行:

1) 学生必须在答辩之前完成全部设计内容,整理好作业并装订成册入袋后,交指导教师审阅。

2) 教师对学生完成的设计作全面检查审阅后,认为绝大部分学生的作业达到设计任务书的要求,方可进行答辩,否则应提出补救措施。

3) 课程设计答辩小组一般由三人组成,设组长一人兼作主答辩,并事先安排好答辩顺序。

4) 答辩逐个进行,学生可先扼要介绍自己设计的重点和特色以及解决技术问题的方法和效果,时间不超过15min;教师对学生的设计和结论提出质疑,学生作答,时间不超过20min。答辩过程中允许教师启发,但不能代答。

5) 每位学生答辩时,教师要作记录。答辩结束后,答辩小组开会研讨学生答辩的好差和设计质量的优劣,据此予以评分,确定成绩。

6) 课程设计的成绩根据学生完成设计任务的情况(数量和质量)和答辩情况(是否正确回答问题以及对设计理论掌握和运用的情况等)来确定,通常分为优、良、中、及格和不及格五级。具体评分等级由各校自定并掌握。

答辩成绩经答辩小组组长和系主任签字后上交学校教务处,并通知学生本人。对答辩不及格者,按学校教学管理条例处理。

## 第二章 金属结构的载荷与材料

金属结构是承载结构，根据用途不同，它承受的外载荷也不相同。合理地确定载荷值，正确地进行结构分析与设计，是保证机器结构具有可靠的承载能力和良好的使用性能的重要条件。

### 第一节 载荷的计算

金属结构承受的外载荷，按其作用性质分为基本（主要）载荷、附加载荷和特殊载荷三类。

基本载荷是始终和经常作用在结构上的载荷，如自重载荷、起升载荷、输送物料载荷、垂直和水平的冲击、惯性载荷等。

附加载荷是机器在正常工作状态下结构所受到的非经常作用的载荷，如工作状态风载荷，起重机偏斜运行侧向力以及温度、冰雪和工艺性载荷等。

特殊载荷是机器处于非工作状态时结构受到的最大载荷，如非工作状态风载荷，试验载荷，安装、地震以及碰撞载荷等。

只对结构产生静力作用的载荷，如自重载荷和起升载荷的静力作用，称为静载荷；对结构产生动力作用的载荷，如由于机器不稳定运动，各种质量产生的惯性力和机器工作时产生的碰撞、冲击作用等，称为动载荷。

下面分别介绍各种载荷的确定方法。

#### 一、自重载荷

自重载荷 $P_0$ 是起重运输机金属结构、机械、电气设备等的重量。结构自重载荷占机器总重量的很大比例，应给予正确估计，通常可参照类似结构来确定，或利用设计手册中的统计数据或公式来计算。

计算梁和刚架实体结构的自重载荷，可视为均布载荷 $F_q$ ，按下式确定（图2-1a）

$$F_q = \frac{P_0}{L} \quad (2-1)$$

式中  $L$ ——梁或刚架的长度（跨度）。

对桁架结构，结构的自重载荷视为节点载荷 $P$ （图2-1b），设桁架节点数为 $n$ ，则节点载荷为

$$P = \frac{P_0}{n-1} \quad (2-2)$$

机电设备的自重载荷可由产品规格表查找，用 $P_{0j}$ 、 $P_{0e}$ 表示，作用在相应部位上。

**二、起升载荷与输送载荷**  
起重机械的额定起重量是

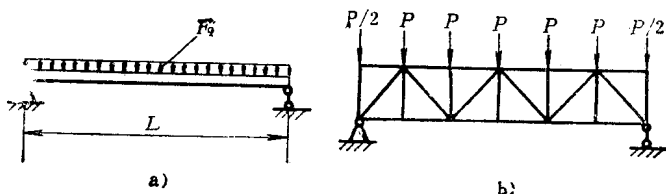


图2-1 结构自重载荷的作用方式

指起重机允许吊起的物品连同可分吊具（或属具，总吊梁、电磁吸盘、容器等）的质量总和，以 $m_0$ 表示；如无可分吊具，则 $m_0$ 即为吊起物品的质量；固定吊具如不可分的吊钩滑轮组、起重横梁、抓斗等）及起升高度大于50m的起升钢丝绳的质量，以 $m_0$ 表示；单位均为kg或t。对于变幅起重机，根据幅度规定起重机的额定（总）起重量 $m_0(m)$ 。

起重机的起升质量（总起重量） $m_q(m)$ 为上述质量的总和，即 $m_q = m = m_0 + m_0$ 。

起重机的起升载荷 $P_0$ 则是全部起升质量的重量，即 $P_0 = (m_0 + m_0)g$ ，单位为N或kN， $g$ 为重力加速度。

桥式类型起重机和小车变幅塔式起重机的起升载荷与小车的自重载荷，常以小车移动的轮压形式作用于桥架和水平臂架上。用变幅绳或变幅液压缸变幅的臂架式起重机，其起升载荷则视为作用于动臂端部的集中载荷。

输送载荷是运输机输送物料的重量，在机架结构上可视为均布载荷，单位为N/m或kN/m。

### 三、冲击动力载荷

#### （一）起升冲击系数

起重机变速升降质量（ $m_0 + m_0$ ）时，金属结构受到垂直方向的冲击作用，使结构重量发生变化，通常用一个起升冲击系数 $\varphi_1$ 乘以自重载荷来表示，而 $0.9 \leq \varphi_1 \leq 1.1$ 。

#### （二）起升载荷动载系数

当起重机变速升降质量时，金属结构将产生冲击振动，从而增大了起升载荷的静力值，计算时常用一个大于1的动载系数 $\varphi_2$ 乘以起升载荷静值来表示。起重机的动载系数可由理论和试验研究获得，它与起升速度、操作情况、结构质量和刚度、起升质量和起升钢丝绳的弹性有关，通常按物品离地起升的工况来确定动载（动力）系数 $\varphi_2$ 值。根据动态理论分析，起重机结构在物品悬挂点的动载系数按下式决定

$$\varphi_2 = \frac{\delta_d}{\delta_0} = 1 + cv \sqrt{\frac{1 + \beta}{g\delta_0}} \quad (2-3)$$

式中  $v$ ——额定起升速度（m/s）；

$c$ ——操作系数， $c = v_0/v$  [ $v_0$ 为起升物品离地瞬间的起升速度（m/s）]，安装起重机， $c$ 取0.25，一般起重机， $c$ 取0.5，装卸、抓斗、电磁起重机， $c$ 取0.75；

$g$ ——重力加速度， $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ；

$\delta_0$ ——物品离地时起升载荷对结构的物品悬挂点和起升钢丝绳滑轮组产生的静位移之和（ $\delta_0 = y_0 + \lambda_0$ ）（m）。对桥式起重机，近似计算时可取 $y_0 = \left(\frac{1}{700} \sim \frac{1}{1000}\right)L$ ，

$L$ 为跨度（m）；对臂架起重机，近似取 $y_0 = \frac{R}{200}$ ， $R$ 为最大幅度（m）； $\lambda_0 \approx 0.0029H$ ， $H$ 为起升钢丝绳滑轮组最大悬挂长度（m），这里不需考虑钢丝绳滑轮组的分支总数。

$\delta_d$ ——结构计算点的动位移（m）；

$\beta$ ——结构质量影响系数，按下式计算

$$\beta = \frac{m_1}{m_2} \left( \frac{y_0}{y_0 + \lambda_0} \right)^2 \quad (2-4)$$

其中  $m_1$ ——结构在物品悬挂点的换算质量，有小车时，包括小车的重量（不含吊具质量 $m_0$ ）；

$m_2$ ——起升质量， $m_2 = m_0 + m_0$ 。



吊钩处的动载系数按动力平衡条件求得

$$\varphi_2 = 1 + cv \sqrt{\frac{1}{g\delta_0(1+\beta)}} \quad (2-5)$$

它比结构上的动载系数要小。

若不考虑结构换算质量的影响, 则  $\beta = 0$ , 得

$$\varphi_2 = 1 + cv \sqrt{\frac{1}{g\delta_0}} \quad (2-6)$$

刚性吊具起重机结构的动载系数为

$$\varphi_2 = 1 + cv \sqrt{\frac{1+\beta}{g\gamma_0}} \quad (2-7)$$

这时,  $\beta = m_1/m_2$ 。

臂架起重机的动载系数简化公式为

$$\varphi_2 = 1 + a_0 v \sqrt{\frac{1}{g\gamma_0}} \quad (2-8)$$

式中  $v$  —— 额定起升速度 (m/s);

$a_0$  —— 与起升高度的关系,  $a_0 = 0.35 \sim 0.5$ ;

$\frac{1}{\sqrt{g\gamma_0}}$  —— 与臂架类型有关的因数 (s/m), 水平臂架为 1.1s/m, 俯仰臂架为 1.6s/m。

由于司机操作情况不同,  $\varphi_2$  值也不同, 离地起升比下降制动要大些, 突然离地起升和点动升降的动载系数更大, 因此在设计中应予以重视, 一般取  $\varphi_2 \leq 2$ 。对桥式类型起重机, 通常取简化式  $\varphi_2 = 1 + 0.7v$  [ $v$  为起升速度 (m/s)]。

运输机的动力系数主要由驱动机构引起的振动所致, 一般可取为 1.1~1.2。

### (三) 突然卸载冲击系数

当抓斗、电磁盘起重机的起升质量部分突然卸载时对结构产生的减载冲击作用, 用冲击系数  $\varphi_3$  乘以起升载荷来计算,  $\varphi_3$  为

$$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m_2} (1 + \beta_3) \quad (2-9)$$

式中  $\Delta m$  —— 突然卸掉的质量;

$m_2$  —— 起升质量;

$\beta_3$  —— 卸载系数, 对抓斗起重机, 取 0.5; 对电磁起重机, 取 1.0。

$\varphi_3$  值恒小于 1。

### (四) 运行冲击系数

起重机沿轨道或道路运行时, 由于路面不平或轨道接头的影响, 将对结构产生垂直方向的冲击作用, 这时用运行冲击系数  $\varphi_4$  乘以自重载荷来计算。

对轨道起重机,  $\varphi_4$  为

$$\varphi_4 = 1.1 + 0.058v \sqrt{h} \quad (2-10)$$

式中  $h$  —— 轨道接头的高低差, 对小车轨道  $h \leq 1\text{mm}$ , 对桥(梁)式起重机的大车轨道  $h \leq 1\text{mm}$ , 对门式起重机及装卸桥的大车轨道  $h \leq 2\text{mm}$ ;

$v$ ——运行速度 (m/s)。

通常,  $\varphi_4$  可根据运行速度按表2-1查取。

无轨运行起重机的冲击系数由表2-2查取。

表2-1 有轨运行起重机的冲击系数

运行速度(m/s)	<1.0	1.0~1.5	1.6~3	>3
$\varphi_4$	1.0	1.1	1.2	1.3

表2-2 无轨运行起重机的冲击系数

汽车和轮胎起重机运行速度(km/h)		20~50
$\varphi_4$	沥青路	1.5
	石子路	2.0

注: 起重机均有弹簧支承装置。

#### 四、惯性载荷

起重机的惯性载荷主要是由运行、回转和变幅运动时产生的水平惯性力 $P_H$ 。

##### (一) 运行水平惯性力

起重机在运行起、制动时产生的水平惯性力按下式计算

$$P_H = 1.5(m_G + m_2)a \quad (2-11)$$

式中  $m_G$ ——起重机(含小车)的质量(kg);

$m_2$ ——起升质量(kg);

$a$ ——运行平均加速度 ( $m/s^2$ ),  $a = \frac{v}{t}$ ;

$v$ ——运行速度 (m/s);

$t$ ——起重机运行起(制)动时间 (s);

1.5——动力效应系数。

起重机运行惯性力不超过主动轮与轨道之间的粘着力 $P_H$

$$P_H \leq \mu P_z \quad (2-12)$$

式中  $P_z$ ——起重机主动车轮静轮压之和 (kN);

$\mu$ ——滑动摩擦因数,  $\mu = 0.14 \approx \frac{1}{7}$ 。

起重机运行惯性力作用在相应的质量中心上。

小车运行惯性力的求法同上。

##### (二) 回转和变幅运动时的水平力

臂架起重机回转和变幅运动时, 由起升质量及取物装置质量产生的水平力(含风力、切向惯性力等), 统一按物品起升绳相对于铅垂线的摆动角所引起的水平分力计算(图2-2)。

根据经验, 臂架的物品起升绳最大偏摆角 $\alpha_H$ 取为:

汽车及轮胎起重机  $\alpha_H = 3^\circ \sim 6^\circ$

塔式起重机  $\alpha_H = 4^\circ \sim 6^\circ$

装卸用门座起重机  $\alpha_H = 10^\circ \sim 14^\circ$

起重机由地面斜拉起吊物品时, 起升绳的最大偏斜角不应超过 $6^\circ$ , 但原则上不允许起重机斜吊物品工作。

$\alpha_H$ 用于计算机构和结构的强度和抗倾覆稳定

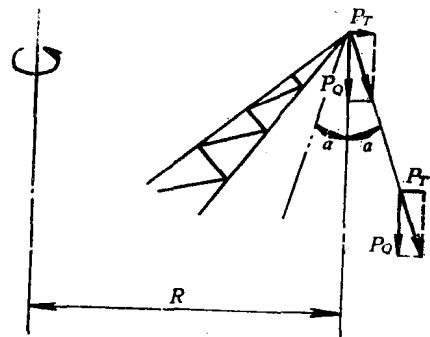


图2-2 起重机回转、变幅时起升绳的偏摆角

性。计算电动机功率和机械零件的疲劳强度时，可取用 $\alpha_1 = 0.3\alpha_{II}$ 。

起升载荷在臂架端点产生的水平力 $P_T$ 按下式计算

$$P_T = P_Q \operatorname{tg} \alpha_i \quad (2-13)$$

式中  $\alpha_i$ ——物品起升绳的偏摆角， $\alpha_I$ 或 $\alpha_{II}$ 。

物品可能在任意平面内摆动，对结构则取最不利的方向计算 $P_T$ ；当用物品斜向摆动进行组合时，可同时各取臂架平面内和平面外的最大偏摆角的0.7倍来计算。

起重机回转时，在臂架重心处的质量产生的切向惯性力为

$$P_{bc} = 1.5 m_b \frac{\omega}{t} r \quad (2-14)$$

式中  $m_b$ ——臂架质量 (kg)；

$\omega$ ——起重机回转角速度 (rad/s)， $\omega = \frac{\pi n_c}{30}$ ；

$n_c$ ——起重机回转速度 (r/min)；

$t$ ——回转起、制动时间 (s)；

$r$ ——臂架质量中心至回转中心的水平距离 (m)；

1.5——动力效应系数。

起重机回转、变幅时，臂架质量产生离心力对臂架的减载不予计算，但臂架所受风力应单独计算，其方向与物品风力一致。

### 五、起重机偏斜运行时的水平侧向力

桥式类型起重机在大车运行过程中，由于轨道不直、跨度不准、车轮安装不正以及两边运行阻力不同等因素，使一侧超前而造成起重机偏斜运行，从而产生垂直于轨道的水平侧向力 $P_s$ ，它作用于同侧轨道的车轮轮缘上或水平导轮上，它们在桥架水平面内形成力偶 $P_s B_0$  (图2-3)，并与超前牵引力偶 $P_w L$ 相平衡 (超前牵引力 $P_w$ 是两侧驱动力的差值)。

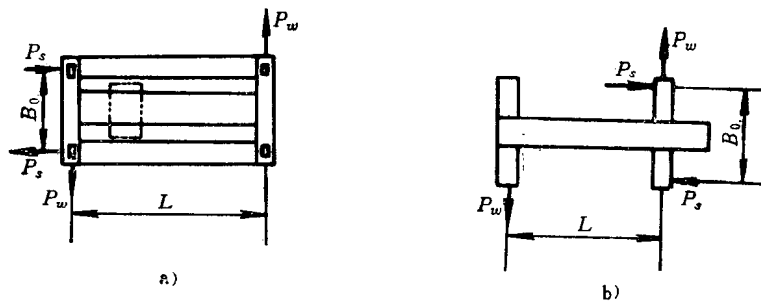


图2-3 起重机偏斜运行侧向力

根据研究，侧向力大小与起重机的轮压、跨度和有效轴距之比值 $L/B_0$ 有关，可按下列公式计算

$$P_s = \frac{1}{2} \Sigma P \lambda \quad (2-15)$$

式中  $\Sigma P$ ——起重机发生侧向力的一侧端梁 (下横梁) 上与有效轴距有关的相应车轮的静轮压之和 (按最不利的工况确定小车位置) (kN)；

$\lambda$ ——侧向力系数，按 $L/B_0$ 之比值由图2-4查取；

$L$ ——起重机的跨度 (m);

$B_0$ ——起重机的有效轴距 (m)。

有效轴距 (与轮距不完全相同)  $B_0$ 、相应车轮的轮压和侧向力在车轮组中的分布, 按图 2-5 确定。图中多车轮台车是采用耳板与水平轴连接的构造。

用水平导轮时, 有效轴距为向导轮的间距, 侧向力按紧靠导轮的一对车轮静轮压之和计算。采用止推枢轴或球铰与结构相铰接的多车轮均衡台车时, 有效轴距为两铰链铰点的间距, 侧向力按两边铰链传递的相应车轮静轮压之和计算。这里未提供有水平导轮和球铰的下横梁(端梁)构造图, 需要时可查阅有关资料。

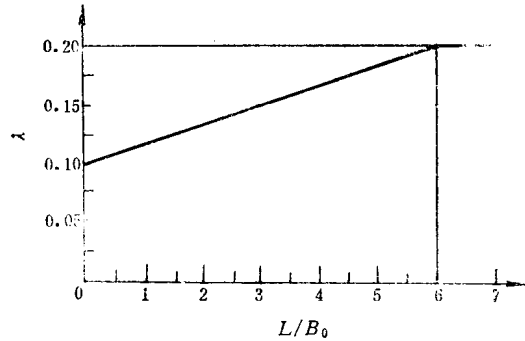


图2-4 侧向力系数

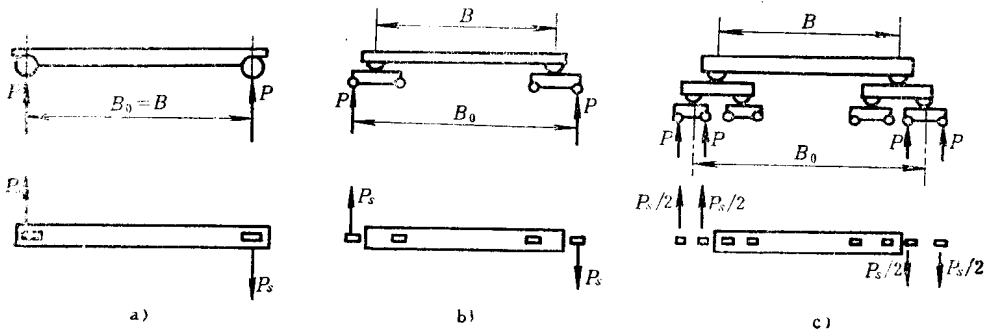


图2-5 有效轴距、相应轮压和侧向力的作用位置

## 六、碰撞载荷

起重机(或小车)与缓冲器碰撞将产生碰撞载荷 $P_0$ , 它取决于碰撞质量和碰撞速度, 按缓冲器所吸收的动能计算。缓冲器分弹簧、橡胶和液压缓冲器三种。为减小碰撞速度, 常在缓冲器前面适当位置装设限位开关, 以切断电流。计算碰撞载荷时, 通常可忽略起重机(或小车)运行阻力的影响。

起重机(小车)碰撞时的动能为

$$E_k = \frac{1}{2} (m_a + \beta_2 m_2) v_1^2$$

碰撞使缓冲器作功

$$W = \Phi P_0 s$$

根据能量相等原理,  $W = E_k$ , 则得碰撞载荷为

$$P_0 = \frac{(m_a + \beta_2 m_2) v_1^2}{2 \Phi s} \quad (2-16)$$

式中  $m_a$ ——起重机(或小车)质量 (kg);

$m_2$ ——起升质量 (kg);