

桥式起重机 设计计算

(日) 坂本种芳 著
长谷川政弘

•02

中国铁道出版社

内 容 简 介

本书按日本起重机规范，叙述了桥式起重机的设计计算方法。书中介绍的计算方法简单实用，对板梁结构屈曲、箱形梁腹板稳定性的计算和隔板的力学分析有独到之处；并介绍了起重机新技术的发展动向。

本书可供从事起重、装卸机械研究、设计的科技人员和有关大专院校师生参考。

天井クレーンの計画と設計

(日) 坂本種芳 共著
长谷川政弘

理工図書株式会社 1982

桥式起重机设计计算

(日) 坂本种芳 著
长谷川政弘
池成渊 译
傅东明 校

中国铁道出版社出版

责任编辑 陈晓东 王健 封面设计 翟达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

河北邮电印刷厂印

开本：787×1092毫米1/32 印张：10.375 插页：2 字数：224千

1987年11月第1版 第1次印刷

印数：0001—3,500册 定价：2.05元

推 荐 说 明

工业正创造时代和改变时代，是它构筑、支持和培育着社会。现在，主导各文明国家人民的理想正从高度工业化的社会转向梦幻般的21世纪，但若离开了工业就不能期望人类的进步，而在使人类产生新的需求的同时，提供满足该需求的各种手段的，还是工业。

起重机，曾使诗人赞叹为“画在天空中的弧”、“力与美”、“巨人之臂”。

当前，各产业部门所用的起重机仍以桥式起重机和龙门起重机为主。在土木建筑领域内，龙门起重机的应用也日趋增加，成为不可缺少的装卸设备。

近年来，起重机已由过去的桁架结构变为单腹结构或箱形结构，外形也更美观了，其性能和功能都有很大的发展。

为了进一步改善起重机的结构和性能，在设计计算上和总体规划上都需要进行种种新的考虑。

本书从设计技术人员的立场出发，对起重机的设计计算和总体规划进行了现代的说明，也对桥式起重机与龙门起重机的共同问题，特别是对板的屈曲的计算步骤、箱形截面的各种基本问题进行了尝试性解释。这些内容是其它书籍上见不到的。

著者坂本种芳，是工程师协会的一位老前辈，在物料搬运机械行业中是无人不识的。共著者长谷川是坂本组的一员，在咨询的第一线工作，同时他还加入了早稻田大学大学

院理工学研究科，正在探索“技术和理论的相关性”，是一位诚实的科研后起之秀。

因此，我确信本书一定能够成为大学和工专学生实地设计练习用的最好的入门向导，一定能够成为起重机行业设计工作者必备的参考书。

早稻田大学教授 工学博士 平嶋政治

目 录

1. 概论	(1)
1.1 起重机的起源	(1)
1.2 起重机的名称	(1)
1.3 桥式起重机的特点	(2)
1.4 桥式起重机的一般构造	(2)
1.4.1 悬挂式桥式起重机	(4)
1.4.2 手动式桥式起重机	(4)
1.4.3 特殊形式的桥式起重机	(5)
2. 有关法规和参数的选定	(6)
2.1 日本的法规和标准	(6)
2.1.1 起重机等的安全规则 (劳动省)	(6)
2.1.2 起重机构造规范 (劳动省)	(7)
2.1.3 起重机钢结构部分的计算标准 (JIS B 8821)	(7)
2.1.4 日本起重机协会规范	(7)
2.2 外国规范	(8)
2.3 规划设计和参数的确定	(8)
3. 材料和外购件	(14)
3.1 材料和用途	(14)
3.2 钢丝绳	(16)
3.3 轨道	(17)
3.3.1 轨道的形状	(19)
3.3.2 轨道安装	(19)
3.4 滚动轴承	(21)
3.5 联轴器	(21)

3.5.1	剖分式联轴器	(21)
3.5.2	法兰盘联轴器	(22)
3.5.3	法兰盘弹性联轴器	(24)
3.5.4	链条联轴器	(31)
3.5.5	齿轮联轴器	(31)
3.5.6	其它弹性联轴器	(31)
3.6	螺栓、螺母	(32)
3.6.1	六角螺栓	(32)
3.6.2	精制螺栓	(32)
3.6.3	高强度螺栓	(32)
4.	基本设计和计算标准	(34)
4.1	载荷种类	(34)
4.1.1	额定载荷	(34)
4.1.2	起重载荷	(34)
4.1.3	试验载荷	(34)
4.1.4	自 重	(34)
4.1.5	水平载荷	(34)
4.1.6	自然外力	(34)
4.1.7	温度载荷	(35)
4.2	载荷系数	(35)
4.3	许用应力	(36)
4.4	应力及其计算公式	(40)
4.5	电动机功率	(42)
4.5.1	起升功率	(42)
4.5.2	小车运行功率	(43)
4.5.3	大车运行功率	(43)
4.5.4	起重机电动机的负载时间系数	(47)
4.5.5	考虑起动频率的功率	(49)

5. 机械部分的设计	(53)
5.1 机械部分的许用应力	(53)
5.2 效 率	(53)
5.2.1 效率的组合	(53)
5.2.2 滑轮组的效率	(54)
5.3 车轮	(58)
5.3.1 车轮和轴承	(58)
5.3.2 轮压的计算	(59)
5.3.3 车轮直径的计算	(59)
5.3.4 大车运行阻力	(61)
5.4 钢丝绳	(63)
5.4.1 安全系数	(63)
5.4.2 强度和寿命	(67)
5.4.3 钢丝绳固定器	(69)
5.5 起升卷筒	(71)
5.5.1 卷筒的构造	(71)
5.5.2 卷筒直径的选定	(71)
5.5.3 强度计算	(75)
5.6 滑 轮	(82)
5.6.1 外形和材质	(82)
5.6.2 偏角的计算	(82)
5.7 平衡梁与吊钩	(83)
5.7.1 平 衡 梁	(83)
5.7.2 吊 钩	(84)
5.8 正齿轮的强度	(85)
5.8.1 齿形和大小	(85)
5.8.2 齿的弯曲强度	(85)
5.8.3 齿的耐磨强度	(91)

5.9	轴的强度	(93)
5.9.1	轴的材质和尺寸	(93)
5.9.2	纯弯曲轴	(94)
5.9.3	纯扭转轴	(94)
5.9.4	同时受弯曲和扭转的轴	(95)
5.9.5	键槽阶梯轴	(96)
5.10	键	(97)
5.10.1	键的强度	(97)
5.10.2	轴端挡板	(98)
5.11	轴 承	(102)
5.11.1	滚动轴承	(102)
5.11.2	滑动轴承	(106)
5.12	螺 栓	(109)
5.12.1	六角螺栓	(109)
5.12.2	精制螺栓	(110)
5.12.3	高强度螺栓	(113)
5.13	机械部分的配合	(115)
6.	桥架结构的设计	(117)
6.1	起重机主梁的形式	(117)
6.1.1	桁架主梁	(117)
6.1.2	单腹板梁	(118)
6.1.3	箱形梁	(119)
6.1.4	型钢组合梁	(119)
6.2	载荷种类	(119)
6.2.1	垂直载荷	(119)
6.2.2	水平动载荷	(120)
6.2.3	风 载	(122)
6.2.4	地震载荷	(124)

6.2.5	冲击载荷	(125)
6.3	载荷的组合及增值系数	(125)
6.4	钢结构部分的许用应力	(126)
6.4.1	焊接处的许用应力	(126)
6.4.2	疲劳许用应力	(127)
6.5	板的屈曲计算	(129)
6.5.1	局部区域屈曲	(130)
6.5.2	加强筋的刚度	(135)
6.5.3	整个板面的屈曲	(136)
6.5.4	对整个板面屈曲的说明	(137)
6.6	焊缝	(147)
6.6.1	焊缝的计算	(147)
6.6.2	焊缝的详细设计	(148)
6.7	单腹板主梁的计算	(152)
6.7.1	截面的选定	(152)
6.7.2	单腹板主梁的弯矩	(155)
6.7.3	单腹板主梁的剪力	(160)
6.7.4	单腹板梁截面	(162)
6.7.5	单腹板主梁的应力	(164)
6.7.6	单腹板主梁的挠度	(166)
6.8	箱形主梁的计算	(172)
6.8.1	截面的选定	(173)
6.8.2	箱形主梁的弯矩	(174)
6.8.3	箱形主梁的剪力	(175)
6.8.4	箱形主梁的截面	(176)
6.8.5	箱形主梁的应力	(177)
6.8.6	箱形主梁的挠度	(179)
6.8.7	隔板	(183)

6.8.8	箱形主梁的扭曲应力	(184)
6.9	型钢组合梁	(192)
6.9.1	用途和选型	(192)
6.9.2	截面的计算	(193)
6.9.3	各部分应力	(195)
6.10	端梁的计算	(204)
6.10.1	端梁的外形	(204)
6.10.2	最大轮压和弯曲应力	(206)
6.11	桥架的接头	(210)
6.11.1	主梁的接头	(210)
6.11.2	主梁和端梁的接头	(216)
7.	辅助设备	(219)
7.1	走台和阶梯	(219)
7.2	集电装置	(221)
7.3	缓冲器和车轮挡块	(222)
7.3.1	缓冲器和冲击载荷	(222)
7.3.2	缓冲器的计算	(223)
7.3.3	车轮挡块的设计	(225)
7.3.4	缓冲器选取的理论探讨	(226)
7.3.5	缓冲器的种类	(230)
8.	电气设备	(232)
8.1	电气装置和电源	(232)
8.2	电动机	(232)
8.2.1	直流电动机	(232)
8.2.2	起重机用交流电动机	(233)
8.2.3	鼠笼式电动机	(236)
8.3	制动器	(238)
8.3.1	制动器的种类	(238)

8.3.2	制动力矩	(238)
8.3.3	制 动 能	(239)
8.4	速度控制	(240)
8.4.1	直 流 式	(241)
8.4.2	交 流 式	(242)
8.5	控制装置	(248)
8.5.1	主控制器	(248)
8.5.2	变阻器	(248)
8.5.3	限位开关	(248)
8.5.4	电磁控制盘	(249)
8.5.5	其它装置	(249)
8.6	自动操纵系统	(249)
8.6.1	联机系统和脱机系统	(249)
8.6.2	信号传递	(250)
附录	(251)
附录 1	桥式起重机 (JIS B 8801)	(251)
附录 2	设计资料 (各种样本)	(266)
附录 3	附图 3.1~3.4	(插页)

1. 概 论

1.1 起重机的起源

在上古时期，人类还没有创造出所谓的工具，只能靠自己的力量去搬运捕获物。单靠个人的力量搬不动的重物，在很长的一个时期只能靠几个人一起来搬运。对于无论把个人的力量怎样合起来都无法搬动的重物，人们终于发明了撬杠、绳索、滚子、滑轮等工具。

到了今天，利用滚子特性的搬运装置有输送带，而在滑轮、绳索、卷筒发展的基础上出现了起重机。

1.2 起重机的名称

人类开动脑筋制造工具，积累知识和经验去搬运重物，建造物也变得愈重愈高，到仅靠简单工具已无法搬动大件物品时，人们就想出了一种结构，把上述工具（绳索、吊钩、滑轮等）装在长臂（臂架）的端部，然后安装在一个门架上。这就是初期的起重机。英文名“Crane”想必是取自起重机的外形与仙鹤形状相似之处。在日本，自幕府末至明治时期从欧洲引进起重机以来，“Crane”被译成“起重机”，这个名称得到了普及，到了本世纪60年代，随着《起重机的安全规则》的制定才正式改称为“クレーン”^{*}。

产业革命后，制造厂开始应用起重机，与其它装卸设备相配合高速处理大量物资，促进了生产率的提高，减轻了体力劳动，使起重机有了今天的繁荣和普及。起重机是与人类

^{*} 译者注：日文的“起重機”和“クレーン”是同意词，都译作“起重机”。

关系最密切的机械之一，也是当今最具有通用功能的机械。

1.3 桥式起重机的特点

随着时代的发展，制造工厂和装卸作业场所开始转向室内，使桥式起重机占据了主导地位。

桥式起重机的特点在于：它不占据建筑物内的主要地面，却能以较少的物资材料和极为稳定的形态把建筑物内各处都当作可能的作业范围，进行高速、高效的服务。

此外，桥式起重机容易以廉价实现借助控制盘和操纵盘进行自动操纵、或半自动操纵、内装电脑的程序操纵。

设置在室内的起重机中，桥式起重机约占90%。

1.4 桥式起重机的一般构造

桥式起重机的构造：沿建筑物较长方向的两壁设置高的承轨梁，在梁上铺设大车运行轨道，将装有4个车轮（载荷大时装有6个或8个车轮）的桥架跨在轨道上；装有起升机构和运行机构的电动小车(cab)在桥架上运行。

大车轨道中心间的距离称为跨度（*Span*），在该轨道上运行的动作称为大车运行。在桥架的中心或两端装有大车运行电动机，从电动机的水平轴引出动力，驱动半数的车轮。

起升、小车运行及大车运行的速度，按工况和起重量的大小适当选定。一般来说，在起重量小和使用频繁时，速度较高。

小车运行速度同大车运行速度相比低得多。原因是小车运行距离接近建筑物的宽度，它不会太长，一般小于40m，而大车沿建筑物长度方向运行，所以多数运行距离都是相当长的。

小型和低速的起重机，多数在地面上用按钮进行操纵，

而大型的高速的起重机，几乎都坐在驾驶室内进行操作。

起重量5t以下的起重机，多半用带有电动运行机构的电葫芦代替电动小车。最近已有30t级的电葫芦作为标准产品在市场上销售。

当起重量超过20t时，一般起升速度比较低，只用单一的起升机构长时间处理小件货物效率很低。因此，在这种起重机上，一般并设一个副起升机构。副起升也设在该小车上，但不用主起升电动机，而用独立的电动机进行驱动，工作速度比较高。

起重量较小的起重机主梁，用工字钢或宽翼缘工字钢作为主要构件，而大型起重机的主梁，多数都采用单腹板梁、箱形梁等焊接结构。

在主梁两侧设有轻型水平梁，称为副梁。它通过水平构件同主梁一起构成一个水平框架，这对因主梁在大车运行时产生的惯性力所引起的水平载荷，是一个十分坚固的结构。

此外，主副梁之间布置大车运行驱动电动机，与其相联的减速机构、传动轴、轴承等。在它们的上方铺设走台板，设立栏杆，以便检修人员行走。

对箱形结构或壳体结构的主梁来说，因为其水平抗弯刚度大，所以多数都不带副梁。

小车是用型钢和钢板制成一个构架，在上面设有主副起升电动机、支持货物用制动器及和它们相联的减速齿轮机构，通过该机构驱动卷筒旋转。必要时，在该机构上还设速度制动器，供调节下降速度用。在小车外侧设有运行电动机，它经过齿轮减速降低速度并驱动车轮旋转，使小车运行。

从各个卷筒各引出两条钢丝绳，挂上吊钩滑轮组（吊钩和滑轮成一体），带动货物进行升降。

乘座驾驶式起重机，在主梁的一侧设有箱形驾驶室，其中装设配电盘、控制器等，司机坐在室内进行操作。

JIS最早对桥式起重机作了规定，按其用途，起重量和跨度的大小（给出标准参数）制定出与之相应的标准尺寸。不言而喻，有了这些规定之后，不仅使制造厂能进行计划生产，能把较为廉价的产品送到市场，而且避免了用户在建筑设计施工时为了相关尺寸三番五次地同起重机制造厂打交道，使双方都得到方便。

以上介绍了JIS B 8301标准中规定的标准起重机。此外还有利用电葫芦或链滑车的悬挂式起重机等其它类型的起重机。

1.4.1 悬挂式桥式起重机

悬挂式起重机是从桥式起重机演变而来的一种机型。当建筑物的跨度大，而起重量较小时，采用这种起重机。其形式是：用安装在建筑物桁架下的两条平行工字钢（用作大车轨道）代替设在建筑物两侧上部的专用承轨梁和轨道。在工字钢下翼缘上挂四个台车，将起重机总体（自重+吊重）悬挂在该四个台车上〔参见图1.1(b)〕。

悬挂式桥式起重机的桥架，由简单的工字钢主梁和它的两个端梁构成一体。在多数情况下，这种起重机在地面上用按钮进行操作。

1.4.2 手动式桥式起重机

对不太频繁的轻量的装卸，有时往往采用全手动或部分手动的起重机。简单的手动起重机，就在工字钢下翼缘上装上带小滑车的链滑车，用来进行起升和小车运行。载荷大就采用小车式起重机。图1.1(c)，是手动起重机的一例，所有动作都在地面上用链条进行操作。

因为手动中消耗体力最多的就是起升，所以只把起升作

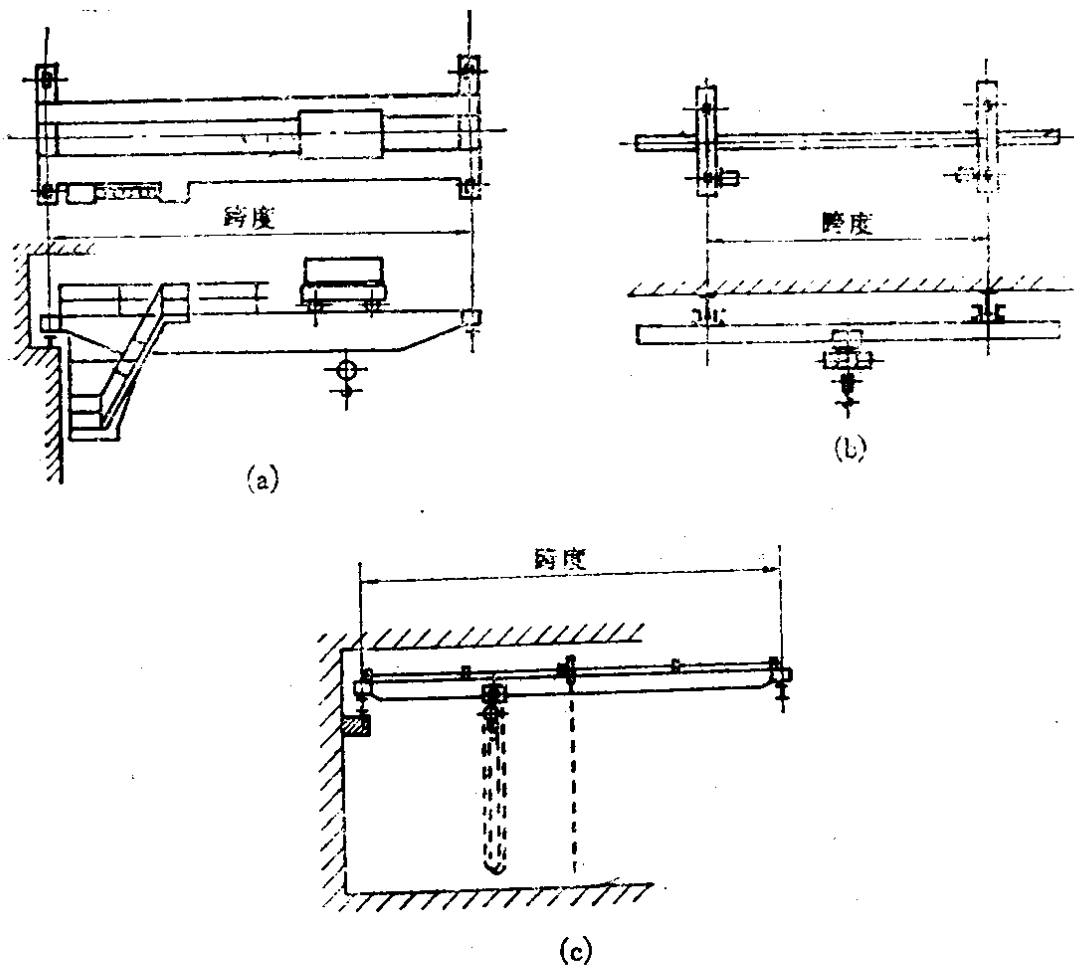


图 1.1 各种桥式起重机

成电动，而把小车和大车的运行作成手动，这就是所谓的部分手动。

此外，因为起升为手动的情形不符合《起重机等的安全规则》中的起重机定义^{*}，所以它不受法规的制约。

1.4.3 特殊形式的桥式起重机

桥式起重机，根据其特殊用途，有吊运铁水包或钢水包的铸造起重机，专用于锻造作业的锻造起重机，在炼钢厂用来向转炉、电炉等炼钢炉内加料的加料起重机等，这些都是从桥式起重机演变而来的。

^{*} 在《起重机等的安全规则》中规定，所谓的起重机就是“以靠动力吊货并将其水平搬运为目的的机械设备。”

2. 有关法规和参数的选定

2.1 日本的法规和标准

2.1.1 起重机等的安全规则（劳动省）

根据《起重机等的安全规则》第1条的规定(参看表2.1)，起

起重机的定义

表2.1

(定义)

第1条 根据省颁命令，下列各项中所用用语的含义，均按各该项中的规定解释。

1. 移动式起重机，是指劳动安全卫生法施行令（昭和47年政令第318项。下称“令”）第1条第8项的移动式起重机。

2. 工程用升降机，是指令第1条第10项的工程用升降机。

3. 简易升降机，是指令第1条第9项的简易升降机。

4. 起升载荷，是指令第10条的起升载荷。

5. 载重量，是指令第12条，第6项的载重量。

6. 额定载荷，对无臂架起重机（移动式起重机除外，下同）或无悬臂起重机来说，是指起升载荷减去相当于吊钩、抓斗等吊具的重量的载荷而得的值；对带有臂架的起重机（下称臂架起重机）、移动式起重机或带有悬臂的转臂起重机来说，是指相应于其结构、材料及悬臂或臂架的倾斜角和长度或悬臂上的小车位置的所能承受的最大载荷，减去相当于吊钩、抓斗等吊具重量的载荷所得到的值。

7. 额定速度，对桥式起重机、移动式起重机或转臂起重机来说，是指在它们吊起与额定载荷相当的重量的货物进行起升、大车运行、旋转、小车运行等动作时的最大速度；对升降机、工程用升降机或简易升降机来说，是指在它们装上与载重量相当的重量的货物进行上升运动时的最高速度。

注：摘自《起重机等的安全规则》（劳动省会第34项，昭和47年9月30日）。