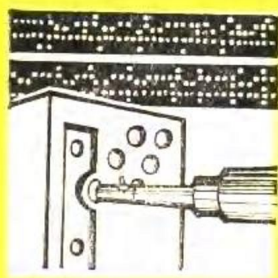


高等学校试用教材



连续运输机

上海交通大学 洪致育 林良明 主编



机械工业出版社

连续运输机

上海交通大学 洪致育 主编
林良明

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $21 \frac{1}{4}$ · 字数 516 千字

1982 年 12 月北京第一版·1982 年 12 月北京第一次印刷

印数 0,001—5,500 · 定价 2.20 元

*

统一书号: 15033 · 5143

前 言

本书是根据 1978 年 4 月在天津召开的“高等学校一机部对口专业座谈会”的精神和同年 6 月在太原召开的教材会议制订的《连续运输机》教材编写大纲编写的。

全书连同绪论共十五章。主要叙述具有挠性牵引构件的输送机、不具挠性牵引构件的输送机和辅助装置以及斗轮堆取料机等的理论分析、设计计算及构造原理。为方便应用，本书还列举了若干数字例题。

根据编写大纲精神，将具有挠性牵引构件输送机的共性部分列入专门章节编写，同时适当加入散体力学的内容。鉴于“连续运输机”是国民经济各部门流水作业运输的主要组成设备，用途很广，因而本书将各种型式的输送机均列专章编写，以反映其不同的特性。在内容安排方面，根据大纲要求，适当加深了理论分析，而对结构部分的介绍则适当减少。考虑到当前各校教学的实际情况，为使本教材具有较大的灵活性和适用性，本书编写内容较多，以便使用单位根据专业要求和学时数决定取舍。

本书可作为高等学校“起重运输机械”、“工程机械”、“矿山机械”及“石油矿场机械”等专业的试用教材。也可供从事这方面工作的工程技术人员参考。

本书由上海交通大学洪致育同志编写绪论、第一、二、四、六章；林良明同志编写第十、十二、十三章。太原重型机械学院黄松元同志编写第五、八章；王鹰同志编写第七、九章。东北工学院李玉娟同志编写第三章；闻邦椿同志编写第十一章。武汉水运工程学院彭友椿同志编写第十四章。主编由上海交通大学洪致育及林良明两同志担任；主审由太原重型机械学院黄松元同志担任；责任编辑一机部教材编辑室贡克勤同志。

许多单位和同志对本书的编写和审稿工作都给予了大力支持和帮助，并提供了资料。参加编写院校的起重运输机教研室的许多同志也都做了很多具体工作。编者在此一并表示衷心感谢。

限于水平和时间，本书一定会有很多不妥或错误之处，敬请同志们批评指正。

1981 年 10 月

目 录

绪论	1	选择	41
§ 0-1 连续输送机在国民经济中所起的作用和意义	1	一、牵引构件张力的图解法	41
§ 0-2 连续运输机的历史发展及分类	2	二、驱动装置最有利位置的选择	43
§ 0-3 连续输送机生产率确定	5	三、驱动功率的确定	44
一、使用国际单位制的换算	5	§ 2-4 摩擦驱动	45
二、生产率的计算	5	一、摩擦驱动的应用情况	45
§ 0-4 散体力学简述	7	二、摩擦驱动理论	45
一、理想的散粒物料	7	三、单滚筒驱动	46
二、内摩擦系数及外摩擦系数	10	四、双滚筒驱动	47
三、在底面倾角增大时堆积角的减小	11	§ 2-5 啮合驱动	52
四、考虑离心力时的物料堆积表面	14	一、概述	52
五、在竖直壁上的侧壁压力的确定	14	二、链条的运动学	52
六、倾斜壁上的侧壁压力及切向应力	17	三、链条上的动力载荷	55
七、细长容器中的侧壁压力	18	第三章 带式输送机	61
§ 0-5 被运物料的物理性质	18	§ 3-1 概述	61
一、粒度	18	§ 3-2 通用带式输送机	62
二、堆积密度及堆积重度	19	一、带式输送机的构件	62
三、堆积角	19	二、带式输送机基本参数的确定	68
第一章 具有挠性牵引构件输送机的主要零部件	20	三、线路设计	73
§ 1-1 挠性牵引构件	20	§ 3-3 钢绳芯带式输送机	75
一、输送带	20	一、钢绳芯带式输送机的主要组成部分、应用范围及优缺点	75
二、链条	24	二、多滚筒驱动	78
§ 1-2 张紧装置	28	三、输送机起动和制动的验算	80
§ 1-3 驱动装置	31	§ 3-4 钢绳牵引带式输送机	87
第二章 张力计算及驱动原理	33	一、组成部分、工作原理及结构特点	87
§ 2-1 阻力计算	33	二、主要参数的决定	90
一、直线区段阻力计算式	33	§ 3-5 带式抛料机	96
二、运动阻力系数的确定	34	一、概述	96
三、曲线区段运动阻力的计算	36	二、物料抛出的行程和速度的计算	96
§ 2-2 计算牵引构件张力的逐点法	38	三、电动机功率的计算	98
一、第一种情况	38	§ 3-6 多级驱动的带式输送机	98
二、第二种情况	39	一、直线摩擦驱动形式	99
三、第三种情况	40	二、充气轮胎驱动形式	99
§ 2-3 图解法和驱动装置有利位置的选择	41	第四章 斗式提升机	100
		§ 4-1 概述	100

§ 4-2 斗式提升机的构造	101	三、牵引构件张力的精确计算	138
§ 4-3 三种卸载方式	103	四、驱动功率的计算	140
§ 4-4 料斗在不同位置时物料的瞬间 装载量	105	五、以图解法选择驱动装置的最有利 位置	143
一、料斗的瞬间装载量	105	第六章 自动扶梯及自动人行道	147
二、对数螺线	106	§ 6-1 概述	147
三、对数螺线的应用	107	§ 6-2 自动扶梯梯路运动学	148
§ 4-5 滑移速度的计算式	108	一、结构特点	148
一、滑移速度的计算公式	108	二、自动扶梯上分支主、辅轮中心轨迹	149
二、 l_0 、 r_0 和 φ_0 的确定	109	三、上、下分支曲线区段的相对位置 关系	150
§ 4-6 物料从料斗内离开点的确定及 料斗卸空的校验	110	四、梯级踢板半径及两梯级间的间隙	151
一、颗粒离开的几种可能情况	110	五、梯路设计中的若干结构参数	152
二、用线图确定 ωt 值	111	§ 6-3 自动扶梯的结构	154
三、料斗中物料颗粒卸空的校验	111	一、梯级	154
§ 4-7 抛料曲线及机首罩壳的绘制	113	二、牵引链条	156
§ 4-8 挖取阻力	114	三、梯路导轨系统	156
一、挖取阻力的试验研究	114	四、驱动装置及张紧装置	158
二、挖取阻力的实用算法	116	五、扶手装置	160
§ 4-9 运送成件物品的提升机	117	六、金属结构	161
一、托架提升机	117	七、安全装置	162
二、摇架提升机	118	§ 6-4 自动扶梯主要参数的确定	162
三、袋式提升机	119	一、提升高度	163
第五章 悬挂输送机	120	二、生产率	163
§ 5-1 概述	120	三、运行速度	163
§ 5-2 普通(提式)悬挂输送机的组 成部分	122	四、梯级宽度	163
一、牵引链条	122	五、倾斜角	163
二、滑架	123	§ 6-5 自动扶梯的牵引计算	164
三、吊具	123	一、梯路牵引计算	164
四、架空轨道	124	二、扶手牵引计算	165
五、转向装置	125	三、功率计算	167
六、张紧装置	126	§ 6-6 多级驱动的自动扶梯	169
七、驱动装置	127	一、结构形式	169
八、安全装置	128	二、多驱动自动扶梯的特点及应用	170
§ 5-3 推式悬挂输送机	129	§ 6-7 自动人行道	170
一、推式悬挂输送机的特点	129	一、概述	170
二、推式悬挂输送机的主要构件	130	二、三种结构的自动人行道	171
三、货物的自动寄送系统	134	第七章 刮板输送机	173
§ 5-4 悬挂输送机的计算	135	§ 7-1 通用刮板输送机	173
一、基本参数的确定	135	一、概述	173
二、最大张力的近似计算	137	二、刮板输送机的构件	175
		三、刮板输送机的计算	176

§ 7-2 埋刮板输送机的概述	178	§ 8-7 驱动功率计算	214
§ 7-3 埋刮板输送机的工作原理	183	一、正常运行(第一种情况)时电动机功率计算	215
§ 7-4 埋刮板输送机生产率的计算及主要参数的确定	184	二、不利运行(第二种或第三种情况)时电动机功率计算	215
一、生产率的计算	184	三、不利运行(第二种或第三种情况)时启动或制动时电动机功率计算	216
二、牵引构件(链条)速度的选择	184	§ 8-8 客运索道简介	217
三、输送长度	185	一、概述	217
四、刮板间距的确定	185	二、结构形式	217
五、刮板与料槽间间距的确定	185	第九章 螺旋输送机	219
六、确定刮板形状的依据	185	§ 9-1 概述	219
§ 7-5 埋刮板输送机原动机功率的确定	186	§ 9-2 螺旋输送机的构件	220
一、功率的估算法	186	§ 9-3 螺旋输送机的理论计算	223
二、用逐点计算法求张力及功率	187	一、物料的运动分析	223
第八章 架空索道	190	二、输送机的基本计算	227
§ 8-1 概述	190	§ 9-4 垂直螺旋输送机	231
§ 8-2 货运索道	191	§ 9-5 可弯曲的螺旋输送机	235
一、货运索道的分类	191	一、可弯曲螺旋输送机的构造	235
二、货运索道的总体布置	191	二、可弯曲螺旋输送机的特点	236
三、货运索道主要参数的选择	192	三、转数、生产率及功率之间的关系	239
四、索道线路的侧形	193	§ 9-6 螺旋管输送机	239
§ 8-3 货运索道的组成部分	194	一、概述	239
一、支承装置与张紧装置	194	二、螺旋管输送机的构造	240
二、货车与抱索器	197	三、输送速度、生产率及驱动功率的计算	241
三、驱动装置	201	§ 9-7 成件物品螺旋输送机	241
四、端站及区间站	202	第十章 滚柱输送机	244
§ 8-4 线路计算	203	§ 10-1 概述	244
一、线路计算的内容及目的	203	§ 10-2 无驱动的滚柱输送机	245
二、承载索倾角计算	204	一、输送机的构件	245
三、承载索在支架鞍座上的弦折角及总倾角的计算	205	二、输送机的基本计算	246
四、承载索作用在支架鞍座上的载荷	205	§ 10-3 有驱动的滚柱输送机	249
五、挠度计算	205	一、输送机的构件	249
§ 8-5 承载索的选择与计算	206	二、驱动功率的计算	250
一、承载索计算	206	第十一章 振动输送机	253
二、最大张力和最小张力	207	§ 11-1 振动输送的原理及振动输送机的主要参数	253
三、张紧重锤的行程	209	一、振动输送的特征	253
§ 8-6 牵引索的选择与计算	210	二、物料实现抛掷运动的条件及抛掷指数	253
一、牵引阻力	210		
二、牵引索张力计算	212		
三、张紧重锤的确定	213		
四、牵引索强度计算	213		
五、传动区段的长度	214		

三、抛掷指数的选取及振动次数与振幅的计算	255	二、气力输送机的设计计算步骤	297
四、物料输送速度的计算	257	§ 12-5 推动输送及空气输送槽	302
五、振动输送机的运动学参数与性能参数	259	一、推动输送	302
§ 11-2 水平振动输送机的构造及动力学参数	260	二、空气输送槽	303
一、主要形式与构造	260	第十三章 辅助装置	306
二、振动输送机的振动分析	264	§ 13-1 存仓装置	306
三、振动输送机的功率计算	270	一、概述	306
§ 11-3 垂直振动输送机	271	二、物料由存仓卸出的物理过程	306
一、主要形式和结构特点	271	三、物料作用于存仓壁上的压力计算	308
二、所需激振力的计算及频率比的选择	272	四、物料在存仓排料孔上的成拱及其消除措施	310
第十二章 气力输送	277	五、存仓的设计计算	311
§ 12-1 气力输送概述	277	§ 13-2 存仓闭锁器	311
一、气力输送及其分类	277	一、料槽式闭锁器	312
二、气力输送的特点及其应用	278	二、平面式闭锁器	312
§ 12-2 气力输送的基本理论	280	三、扇式闭锁器	312
一、气流状态及其对物料颗粒的作用	280	四、存仓闭锁器的计算	313
二、悬浮速度	281	§ 13-3 供料器	314
三、气力输送物料的管道压力损失	284	一、有挠性牵引构件的供料器	314
§ 12-3 气力输送机的基本构件	287	二、转动的供料器	315
一、供料器	287	三、振动的供料器	316
二、输料管	291	§ 13-4 称量装置	317
三、物料分离器	291	第十四章 斗轮堆取料机	319
四、空气除尘器	293	§ 14-1 概述	319
五、卸料器、卸灰器及风管	294	§ 14-2 斗轮	323
六、鼓风机	295	一、斗轮的结构形式和卸载方式	323
§ 12-4 气力输送机的设计计算	296	二、斗轮基本参数的决定	324
一、气力输送机参数的选择	296	§ 14-3 挖取阻力和斗轮驱动功率的计算	326
		一、斗轮挖取阻力的计算	326
		二、斗轮驱动功率计算	328

绪 论

在绪论中，我们讨论有关连续运输机的几个基本问题，即连续运输机在国民经济中所起的作用、历史发展与分类、生产率的计算、散体力学中的几个问题和材料的物理性质等。通过对这几个问题的讨论，既可以对连续运输机有轮廓的了解，也可以掌握设计连续运输机的若干基本知识。散体力学是一门边缘学科，其中若干内容是设计连续运输机必须掌握的，故这里也作了简要的介绍。

§ 0-1 连续运输机在国民经济中所起的作用和意义

连续运输机是固定式或运移式起重运输设备的一大类。应用它可以将物料在一定的输送路线上，从装载地点到卸载地点以恒定的或变化的速度进行输送。应用连续运输机可以形成连续的物流或脉动性的物流。

在一定的范围内，按照运输的技术要求，从最初的供料到最终的卸料间可以形成一种物料的输送流程。为满足该项要求，既可以全部采用连续运输机，也可以部分采用连续运输机。

在现代化的各种工业企业中，连续运输机是生产过程中组成有节奏的流水作业运输线所不可缺少的组成部分。使用这些设备时，除去进行纯粹的物料输送外，还可以与各工业企业的生产流程中的工艺过程的要求相配合；既可以进行成件物品的输送，也可进行散粒物料的输送。这类连续运输机既对工业企业内部运输起重要作用，又对工业企业的外部运输起重要作用。

近年来，由于连续运输机单机长度日益增加，由多台单机组成长一百公里以上的连续运输装置，可以进行长距离的物料运输，特别是原材料的运输。在一定的场合中，可取代某些其他形式的运输（例如铁道运输等）。

连续运输机与间歇动作的起重机比较，具有下列优点：

① 连续运输机可以不停地在同一个方向内运输物料，装卸无需停车，可以高速度进行输送，因而具有很高的生产率。而这样高的生产率是远非间歇式的起重机所能比拟的。由于这个原因，在设备的重量和成本相同时，起重机的生产率小于连续运输机的生产率。

② 由于对连续运输机的供料均匀和它的运行速度稳定，因而，它在工作过程中所消耗的功率变化不大；而间歇工作的起重机的功率消耗变化甚大。因此，连续运输机的计算功率和驱动装置在重量和成本上大多低于间歇工作的起重机。

③ 由于同样原因，连续运输机的最大载荷与平均载荷的差别一般比较小，而起重机的载荷差别非常显著。所以，前者的计算载荷多半小于后者。

但是，连续运输机也有一些缺点：

① 每一类型的连续运输机只适合运输一定种类的物料。

② 连续运输机必须布置在整个的运输线路上，这在线路复杂和运输距离很长时会使设备庞大，成本增加。

③ 大多数的连续运输机不能直接从料堆中取料，因而需要辅助装置。

④ 连续运输机不适用于运输重量很大的单件物品包括集装物品。

在我们对一个企业的成件物品运输进行总体规划和设计时，常常遇到选择连续运输机或地面运输车辆的问题。该时，连续运输机的生产率与运输路程的长短、地势的高低等都有关系。在满足运输要求的条件下，可以选用比较小的设备，以使连续运输机获得使用经济性。对于散粒物料的运输，采用连续运输机几乎是不受限制的。采用起重机输送散粒物料只能在一定的条件下才有理由进行。

在所有的运输设备中，机械式的连续运输机获得极为广泛的应用。它可以是固定式的，也可以装在运行式的设备上，如装在门座起重机上、露天矿用设备上或装载机上。在各该设备上大多是装带式输送机。在露天场所装置固定式连续运输机时应能适应线路的地形。

水力及气力输送装置同样获得了广泛的应用。

连续运输机也可算作连续工作的装卸机。

§ 0-2 连续运输机的历史发展及分类

在远古时代，连续运输机就在建筑业、农业、给水、矿业及其他经济部门中得到了广泛的应用。

公元 186 至 189 年间，我国有翻车（图 0-1）的发明。据《农书》记载，翻车是我国汉朝华岚设计制造的。翻车是一种取水和排水用的连续运输机，它和现代的刮板输送机极为相似，这是我国劳动人民的创造。

继翻车之后，又有高转筒车（图 0-2）的创造。这种机械是现代斗式提升机的雏形，它的汲水高度可达 10 丈以上。发明时期约在公元 600 年以前。

元朝年间，翻车有很大改进，广泛使用畜力和自然力驱动来代替人力驱动。图 0-3 所示为用水力驱动的翻车。

以后，在蒸汽磨粉厂采用过螺旋输送机。

最初的带式输送机在爱望斯著的《面粉业指南》一书中曾描述过。该输送机采用薄皮革或棉织物缝成无端输送带，绕在两端的两个滚筒上。

其他型式的输送机出现得更晚些，它们都是随着工、农业中的起重运输工作的发展而生产出来的。

解放后，我国的起重运输制造业获得了巨大的发展。

今天，随着现代化工业的不断发展，连续运输机已经成为国民经济各部门生产过程中重

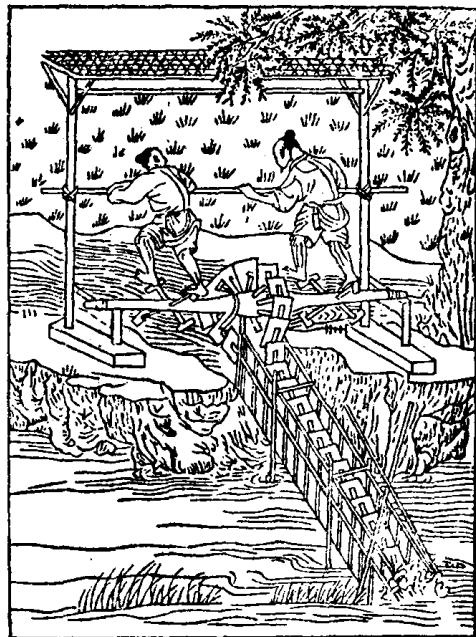


图0-1 翻车

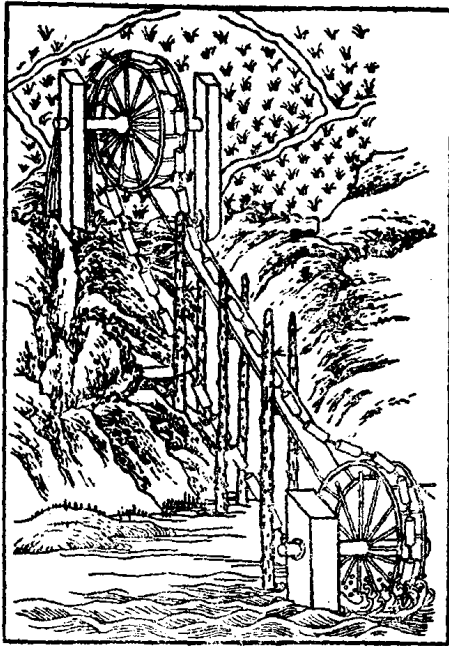


图0-2 高转筒车



图0-3 水力驱动的翻车

要的组成部分了。

由于连续运输机在作用原理、结构特点、输送物料的方法和方向以及其他一系列特性上各有不同，因此种类特别繁多，要对它们作出一般性的分类是困难的。

在广泛使用连续运输机于流水作业线的企业里，连续运输机与主要工艺过程的装备紧密地联系着。由于生产特点不同，这些机器便具有自己的特性，例如专供装配用的输送机（或称推杆输送机）、铸造用输送机（或称行车式输送机）。这些连续运输机在本书中将不进行讨论。与上述输送机不同，有专供装卸用的连续运输机。

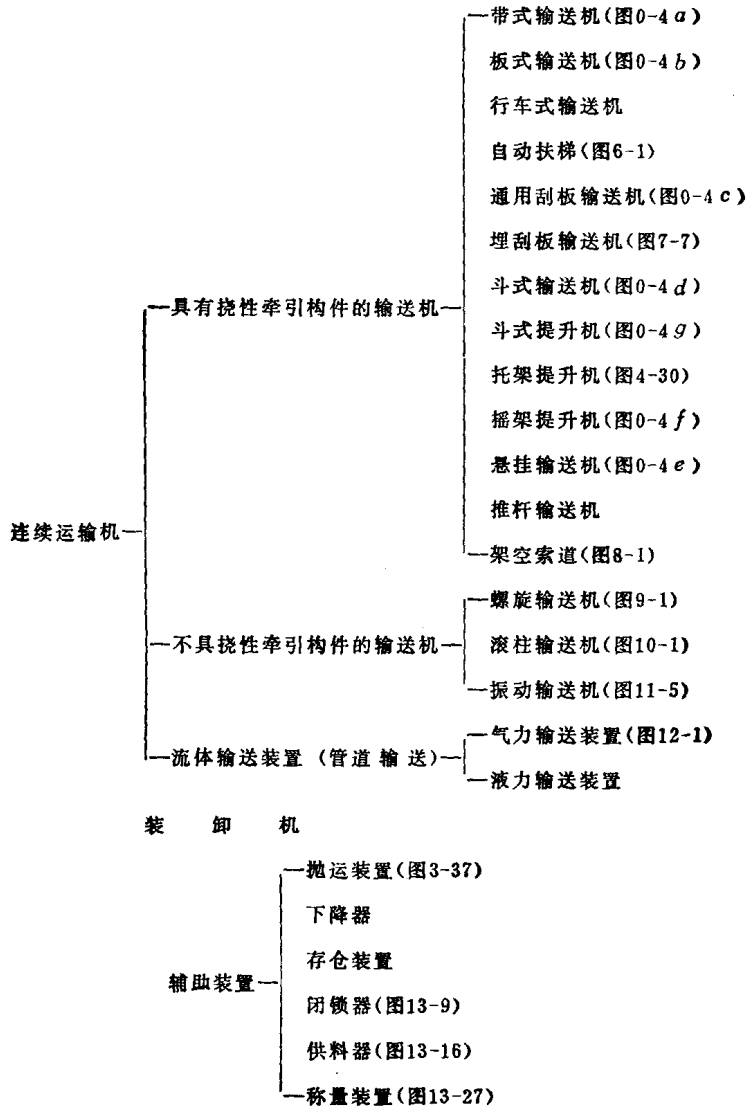
连续运输机也可按被运物料的种类进行分类：只用于输送散粒物料的输送机；只用于输送成件物品的输送机；两者兼可运输的输送机（但其结构需略作改变）。

在本书中，采用按照结构形式的分类方法分为两大类：即具有挠性牵引构件的和不具有挠性牵引构件的连续运输机。表 0-1 所示为按这种方法进行分类的分类表。

具有挠性牵引构件输送机的特点是：被运物品放在牵引构件上或工作构件内，利用牵引构件的连续运动使物品往一定方向进行运送。图 0-4 示出几种具有挠性牵引构件输送机的结构型式。图中 1 为承载构件（在图 a 中为输送带，这一构件也是挠性牵引构件；图 b 中为具有侧边的板片；在图 c 中为刮板；在图 d 中为可摆动的料斗；在图 e 中为滑架；在图 f 中为摇架；在图 g 中为料斗）；2 为挠性牵引构件，在带式输送机中为输送带，其余各输送机图中所示皆为链条；3 为支承装置，在带式输送机中为托辊，在链条为牵引构件的输送机中采用滚子或具有轮缘的车轮；4 为驱动装置；5 为张紧装置；6 为支架、导轨或罩壳（在图 a、b、c 中为支架；在图 d、e 中为导轨；在图 g 中为罩壳）。在这些主要零部件中，挠性牵引构件、支承装置、驱动装置和张紧装置是具有共性的。

不具挠性牵引构件的输送机的特点是：利用工作构件的旋转运动或往复运动，使物料向前运送。它们间具有共性的部件较少。

表0-1 连续运输机分类表



流体输送装置也是不具挠性牵引构件输送机的一种。它是利用流体动力在管道中输送物料的输送装置。本书只讨论气力输送装置。

装卸机是指连续动作的装卸机械，本书只讨论斗轮堆取料机。

辅助装置不能完全独立地作为运送物料的工具，但它是各种连续运输机组成机械化运输系统的重要组成部分。

大多数输送机能够进行水平和微斜的输送。垂直输送一般采用斗式提升机、摇架输送机、埋刮板输送机、螺旋输送机、具有压带的带式输送机及管道输送等。目前带式输送机可以达到很高的速度和很大的生产率。巨大生产率的垂直输送可采用两台相互衔接的倾斜带式输送机来解决。普通悬挂输送机、滚柱输送机、行车式输送机及管道输送等可以进行空间输送。

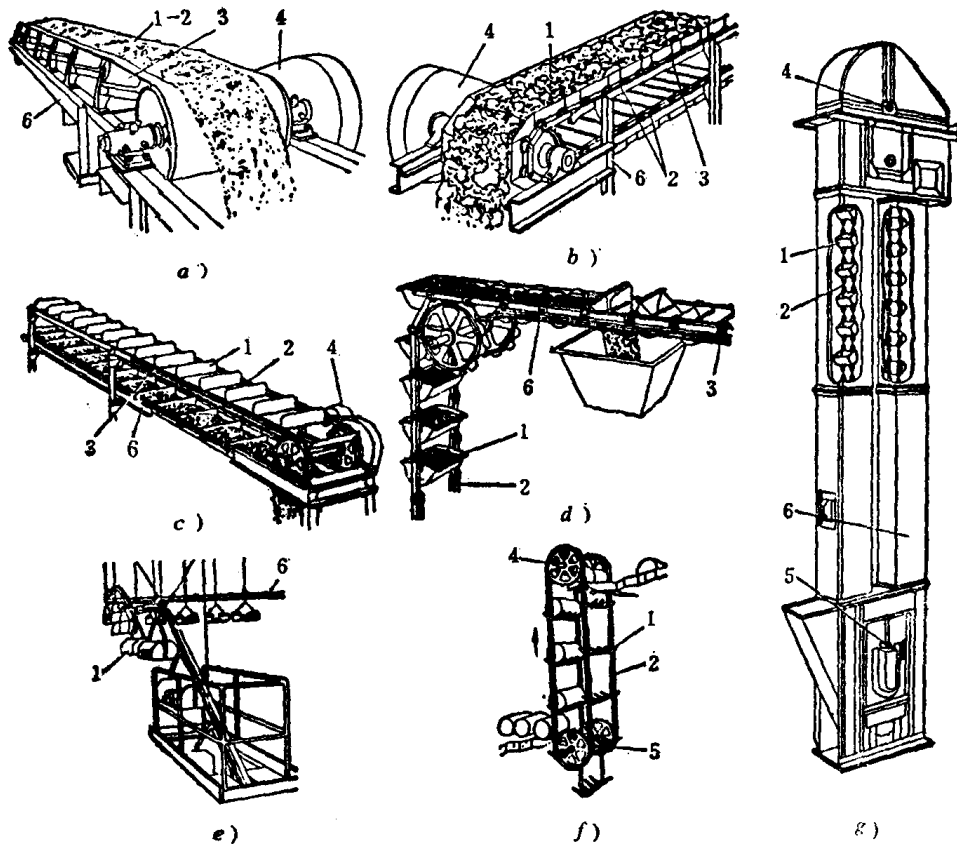


图0-4 几种具有挠性牵引构件的输送机

a) 带式输送机 b) 板式输送机 c) 通用刮板输送机 d) 斗式输送机 e) 悬挂输送机
f) 摇架输送机 g) 斗式提升机

§ 0-3 连续输送机生产率的确定

一、使用国际单位制的换算

由于国际单位制已经使用，现将国际单位制与工程单位制的换算关系列表说明于后（表0-2），以供参考。

二、生产率的计算

在一般情况下，连续输送机可以计算质量生产率[t/h]，也可以计算容积生产率[m³/h]。连续运输机的质量生产率按下式确定：

$$Q = \frac{3600}{10000} q_{\text{物}} v = 0.36 q_{\text{物}} v \quad [\text{t/h}] \quad (0-1)$$

式中 $q_{\text{物}}$ ——物料线载荷 [N/m]；
 v ——工作速度 [m/s]。

如果连续输送机输送的散粒物料堆放在牵引构件上（图0-5），并设 F 为物料堆积的断面面积[m²]； $\rho_{\text{堆}}$ 为物料的堆积密度[t/m³、kg/dm³]； γ 为物料的堆积重度[kN/m³、N/dm³]，于是物料线载荷

$$q_{\text{物}} = 1000 F \gamma = 10000 F \rho_{\text{堆}} \quad [\text{N/m}] \quad (0-2)$$

表0-2 本书常用单位的国际单位制与工程单位制换算关系表

物理量	工程单位制 基本单位 长度[米, m], 力[公斤力, kgf], 时间[秒, s]	国际单位制 基本单位 长度[米, m], 质量[公斤, kg], 时间[秒, s]	换 算 关 系	
			工程单位制换算为 国际单位制	国际单位制换算为 工程单位制
力 F	kgf (基本单位)	$N \left[1N = 1 \frac{kgm}{s^2} \right]$ (导出单位)	$1 kgf = 9.81N$	$1N = 0.102kgf$
质量 M	$\frac{kgfs^2}{m}$ (导出单位)	kg (基本单位)	$1 \frac{kgfs^2}{m} = 9.81kg$	$1kg = 0.102 \frac{kgfs^2}{m}$
堆积密度 $\rho_{堆}$	$\frac{kgfs^2}{m^4}$	$\frac{kg}{m^3}$	$1 \frac{kgfs^2}{m^4} = 9.81 \frac{kg}{m^3}$	$1 \frac{kg}{m^3} = 0.102 \frac{kgfs^2}{m^4}$
堆积重度 γ	$\frac{kgf}{m^3}$	$\frac{N}{m^3}$	$1 \frac{kgf}{m^3} = 9.81 \frac{N}{m^3}$	$1 \frac{N}{m^3} = 0.102 \frac{kgf}{m^3}$
应力 σ	$\frac{kgf}{mm^2}$	$\frac{N}{mm^2}$	$1 \frac{kgf}{mm^2} = 9.81 \frac{N}{mm^2}$	$1 \frac{N}{mm^2} = 0.102 \frac{kgf}{mm^2}$
功率 N	$\frac{kgfm}{s}$ [PS] $1 \frac{kgfm}{s} = 1.333 \times 10^{-2} PS$ $1 PS = 75 \frac{kgfm}{s}$	W [kW] $1 W = 1 \frac{Nm}{s} = 1 \frac{J}{s}$	$1 \frac{kgfm}{s} = 9.81W$ $1 PS = 735.5W$	$1W = 0.102 \frac{kgfm}{s}$ $= 1.36 \times 10^{-3} PS$

注：由于过去对重量是质量还是力说法不一，所以在本书中仍把重量定为重力，没有定为质量；重量单位取为[N]或[kN]，而不是取为[kg]或[t]。

如果物料在堆积断面为 F_0 的料槽（图0-6）进行运送，料槽的充填系数为 φ ，而 $F = F_0\varphi$ ，则

$$q_{物} = 1000F_0\varphi\gamma = 10000F_0\varphi\rho_{堆} \quad [N/m] \quad (0-3)$$

于是，质量生产率为：

$$Q = 360Fv\gamma = 3600Fv\rho_{堆} = 3600F_0v\rho_{堆}\varphi \quad [t/h] \quad (0-4)$$

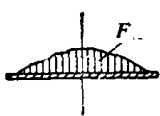


图0-5 物料堆放在牵引构件上的断面图

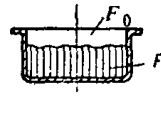
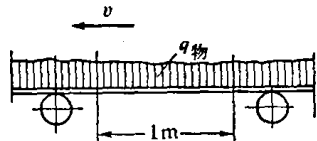


图0-6 物料堆放在槽中的断面图

如果物料装在容积为 i_0 [升] 的工作构件（如料斗，见图0-7）内运送时，每一工作构件所装的量为 i [升]，其中 $i = i_0\varphi$ ，工作构件间的距离为 a [m]，则线载荷

$$q_{物} = \frac{i}{a} \gamma = \frac{i_0}{a} \gamma \varphi = \frac{i_0}{a} 10\rho_{堆} \varphi \quad [N/m] \quad (0-5)$$

于是，质量生产率为：

$$Q = 0.36 \frac{i}{a} v\gamma = 0.36 \frac{i_0}{a} v\gamma\varphi = 3.6 \frac{i_0}{a} v\rho_{堆}\varphi \quad [t/h] \quad (0-6)$$

如果运送成件物品时（图0-8），设每件物品重量为 G [N]，则物料线载荷

$$q_{\text{物}} = \frac{G}{a} \quad [\text{N/m}] \quad (0-7)$$

于是质量生产率为:

$$Q = 0.36 \frac{G}{a} v \quad [\text{t/h}] \quad (0-8)$$

连续运输机容积生产率按下列方法确定。由于:

$$Q = V \rho_{\text{堆}} \quad [\text{t/h}] \quad (0-9)$$

式中 V 表示容积生产率 [m^3/h]。于是输送散粒物料的容积生产率为:

$$V = 3600 F v = 3600 F_0 v \varphi \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (0-10)$$

装在容器中的散粒物料的容积生产率为:

$$V = 3.6 \frac{i_0}{a} v \varphi \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (0-11)$$

连续运输成件物品的生产率也可以按每小时件数确定, 设物品与物品间的时间间隔为:

$$t_1 = \frac{a}{v}$$

则以件数计的生产率为:

$$Z = \frac{3600}{t_1} = \frac{3600 v}{a} \quad [\text{件/小时}] \quad (0-12)$$

由上列各公式可知: 在运送散粒物料时, 物料堆积的断面面积愈大, 或工作构件的容积愈大, 或充填系数愈大及工作速度愈高, 则生产率都愈高。对于成件物品, 生产率随物品重量增大或工作速度增高而加大; 也随物品间距减小而增大。以上这些分析提供了加大生产率的考虑依据。

在生产率给定时, 利用上列公式, 可以求得输送机主要工作构件的尺寸, 如输送带宽度、料斗容积等等。

由上述各个计算公式所求得连续运输机的生产率称为计算生产率。它等于或大于平均的实际小时生产率 $Q_{\text{平均}}$ 。计算生产率与平均的实际小时生产率之间差一物料供应不均匀系数 K' , 即:

$$Q = K' Q_{\text{平均}}$$

§ 0-4 散体力学简述

一、理想的散粒物料

散粒物料的特性包括: 堆积重度 γ 、粒度 (块度)、内摩擦、与侧壁或底面的摩擦、粘度 (内聚性) 等等。对于粒度大小相差十分悬殊的物料, 不仅要了解颗粒的最大边长, 而且要了解在总容积中, 这部分颗粒所占的比例。有关散粒物料的静力学和动力学的理论研究只



图0-7 物料装在容器中的断面图

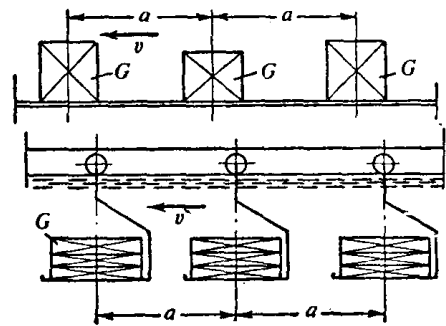


图0-8 成件物品

有在若干简化的基础上才有可能。各种物料颗粒各有它的不同大小和不同形状, 比重和其他性质也不相同。某些物料还有内聚力把它们凝聚在一起。鉴于这种情况, 需要把物料性质理想化才能进行研究。为此假定: 一种理想的物料是由均匀的微小质粒所组成的, 在它们中间只存在着内摩擦。对于有内聚性的物料, 不可以用理想的物料来代替。事实上, 物料的颗粒与颗粒间存在着间隙, 这样与之相邻的颗粒就有可能嵌入其间。这种颗粒间的相互嵌入作用, 将导致能自由下滑的颗粒表面形成一个倾斜的坡度。因而使物料颗粒表面相对于水平面出现一较大的斜度, 物料颗粒在该表面上处于平衡状态。这一斜度就是所谓的物料静堆积角 ρ , 物料的静摩擦力就决定于这种物料颗粒间相互嵌入的作用。

在一底面上堆放物料, 当振动该底面时, 通过动力影响使物料的静摩擦减少, 从而使物料的静堆积角按振动频率的增加而减少。该时的堆积角称动堆积角 ρ_d 。

如果堆放物料的底面为运动的输送带或其他运动的板片等, 这种现象也会同样出现。

在理想物料中, 由于颗粒与颗粒间的相互嵌入, 因而导致内摩擦系数 μ 的提高, 这时可设想为颗粒面粗糙度的增大。除了颗粒与颗粒间的内摩擦增大外, 在形成堆积面时, 物料颗粒和它的底面之间或侧壁之间的摩擦也起重要作用 (外摩擦系数 μ_w)。所以, 在进行一种理想物料的理论研究时, 是以下列三个参数值为特征来进行的:

- ① 堆积重度 γ ;
- ② 内摩擦系数 μ ;
- ③ 底面或侧壁的摩擦系数 (外摩擦系数) μ_w , 这一系数随底面或侧壁的光滑程度而异。

在求解有关散体力学的平面问题时, 常应用莫尔应力圆作为重要的辅助工具。在平面状态中, 在散粒物料堆中某一点的任意方向内, 只能出现压应力及切应力, 而不可能出现拉应力。散粒物料堆中的每一点有它自己的应力圆。经过该点的每根不同斜度的直线 (平面) 在莫尔应力圆上所表示的应力大小和方向也各不相同。由一个单元体的力的平衡关系 (图 0-9) 可知: 在主应力平面内两直角边上只有法向应力 σ_1 及 σ_2 , 而没有切应力 ($\tau_1 = \tau_2 = 0$)。因而可得到在角度为 ψ 的斜边上的应力为:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\psi &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2} \cos 2\psi \\ \tau_\psi &= \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2} \sin 2\psi \end{aligned} \right\} \quad (0-13)$$

式中 σ_1 、 σ_2 ——主应力。

如图所示, 莫尔应力圆的中心角 2ψ 是两个实际平面夹角 ψ 的两倍, 这缺乏直观感。因此, 采用以极坐标表示压应力和切应力分布情况, 可以直观地表示出两者间的角度关系 (图 0-10)。由该图可以清楚地看出: 如何由已知的莫尔应力圆绘出以极坐标表示的压应力与切应力分布图。试观察物料堆中某点, 在与主平面相差 ψ 角的 A 平面上的压应力为 σ_ψ , 切应力为 τ_ψ , 示于图 0-10 中的莫尔应力圆上, 其中心角是两个平面实际夹角 ψ 的两倍, 即 2ψ 。现在以 O 为圆心, 以 σ_ψ 线段为半径作圆弧, 使其与水平中心线间的夹角为 ψ , 得点 A' ; 与此同时, 在 OA' 的垂直线段上量取长度为 τ_ψ 的线段得 OA'' 。 OA' 与 OA'' 线段即为与主平面相差角 ψ 的平面 A 上的压应力 σ_ψ 与切应力 τ_ψ , 它们间相差 90° 。由于 σ_ψ 与水平中心线的夹角的 ψ , 与两平面的夹角 ψ 相等, 因而表达比较直观。此外, 该点的两主应力各为 σ_1 及 σ_2 , 而

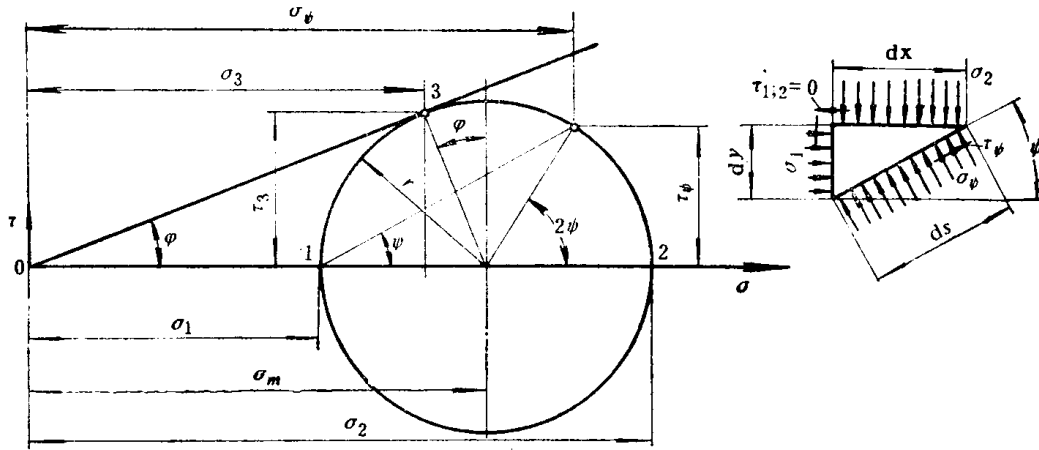


图0-9 无内聚性的散粒物料在一个单元角柱体上的莫尔应力圆上的应力

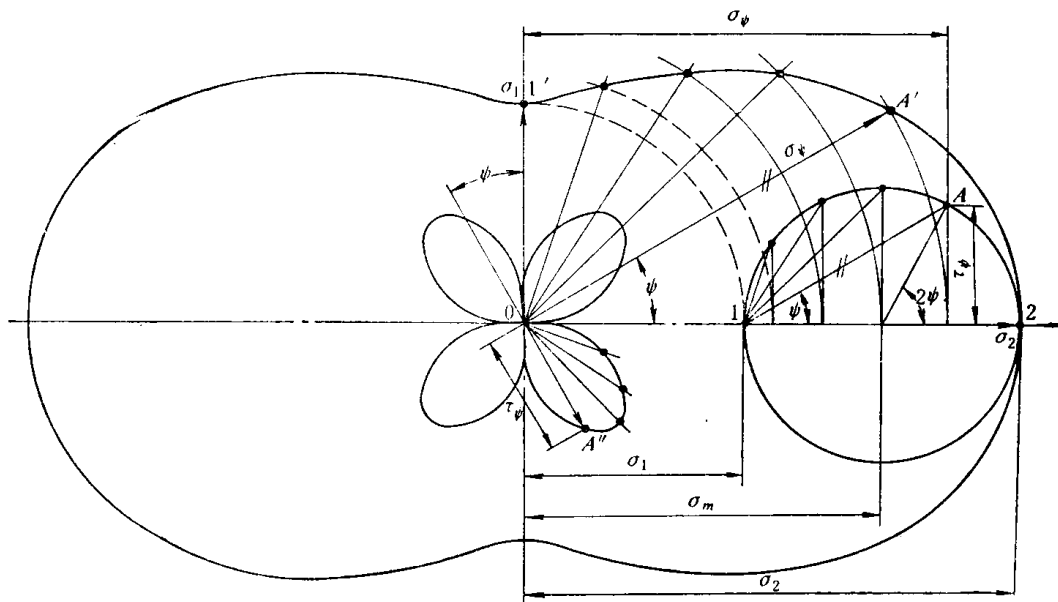


图0-10 莫尔应力圆与直观表示角度关系的极坐标应力图上的正应力和切应力的分布图

切应力 $\tau_1 = \tau_2 = 0$ ，它们间相差 90° 。以 0 点的圆心，将 σ_1 线段旋转 90° 得 $1'$ 点，同时， σ_2 仍以 02 线段表示，于是，02 及 $01'$ 即为极坐标应力图上所表示的两主应力值。以后，依据上述方法再作若干点，连接这些点即得以极坐标表示的压应力与切应力分布图（图 0-10）。

在一个散粒物料的莫尔应力圆上，切应力 τ 与压应力 σ 的最大比值可达物料的内摩擦系数数值，即：

$$\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_{\max} = \operatorname{tg} \varphi = \mu \quad (0-14)$$

事实上，这一比值存在于经过散粒物料堆中若干点所形成的平面之内。从几何意义可理解为所有在该平面的各点的莫尔应力圆具有一条经过坐标原点的、倾角为 φ 的公切线（图 0-16）。在物料堆积表面上的颗粒，由于没有应力，因而在该点上所属的莫尔圆变成坐标原点。而在该点表面以下各深度处的颗粒压力却增加了，其所相应的莫尔圆也加大了。

对于具有内聚性的物料其表达式为：

$$\tau_s = c + \sigma_s \operatorname{tg} \varphi \quad (0-15)$$

式中 $c = \tau_0 [N/m^2]$ 示内聚力，即为该点的切应力，该处同样不出现压应力。因此，各个莫尔应力圆的公切线将不交于 0 点，而与 τ 轴相交于纵坐标值为 c 处（图 0-11）。

二、内摩擦系数及外摩擦系数

在大多数情况下，物料的静堆积角 ρ 等于物料的内摩擦角 φ ，这是首先应该加以证明的。确定物料堆积角 ρ 必须满足的条件是：一个在倾斜面上自由堆积的物料颗粒仍能保持静止，但只要倾斜度略微有些增大则颗粒就立即开始滑动。如果将颗粒自重分解为平行和垂直于堆积表面的两个分量时，可以看出第一分量常常较小，最多等于由第二分量所形成的静摩擦力（图 0-12）。

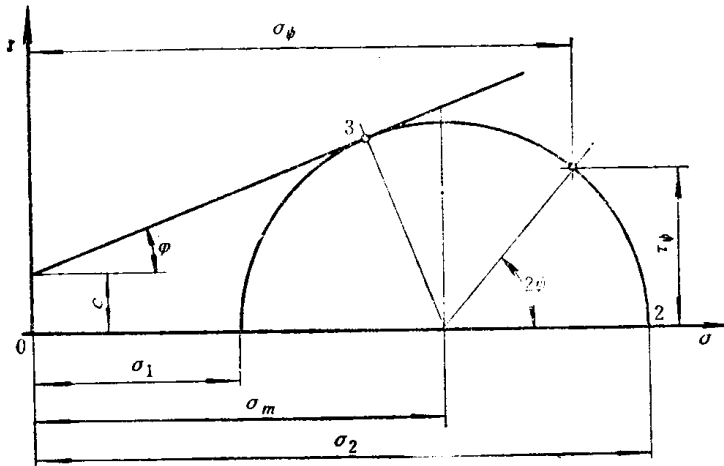


图0-11 对于有内聚性的散粒物料的莫尔应力圆

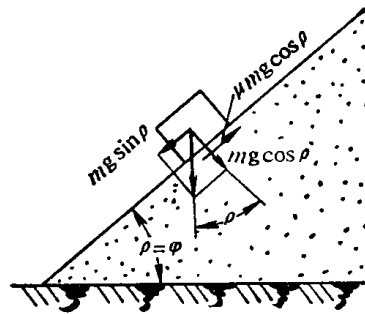


图0-12 物料堆积角的确定

$$\left. \begin{aligned} mg \sin \rho &\leq \mu mg \cos \rho \\ \operatorname{tg} \rho &\leq \mu = \operatorname{tg} \varphi \\ \rho &\leq \varphi \end{aligned} \right\} \quad (0-16)$$

因此可知：堆积角 ρ 最大能达到物料内摩擦角 φ 的数值。

但是，这一规律只限在物料颗粒与其下水平底面的外摩擦系数足够大的情况。因而需要我们确定在 $\rho = \varphi$ 时的底面或侧壁最小外摩擦系数 $\mu_w = \operatorname{tg} \varphi_w$ 。

按公式 (0-14) 及 (0-16) 所确定的最大应力比 $(\tau / \sigma)_{\max}$ 在物料堆积表面上以及在不同深度而与该堆积表面相平行的各平面上是同样存在的。在上述各平面上相应各点的各莫尔应力圆上接触点 3 处具一条斜角为 φ 和应力比为 $\tau_s / \sigma_s = \operatorname{tg} \varphi$ 的公切线。上述关系同样存在于物料堆下的水平底面上的任一点 M_i 处，我们同样可以作出该 M_i 点的莫尔应力圆（图 0-13）和在该莫尔圆上点 3 处与上述各莫尔圆的公切线。

我们经常需要确定莫尔应力圆上某一特征点所表示的方向。如图 0-13 所示的莫尔圆上的 3 点所表示的方向与平面的夹角为 φ 。而在莫尔圆上与点 3 处于对称位置的，其间相差 2φ 角的 0 点所表示的方向就与点 3 的方向相差 φ 角。因而可知莫尔应力圆上 0 点所表示的方向就是与水平面相平行的方向。或者说在研究水平面上的某物料颗粒 M_i 点时，莫尔圆上的这一点所表示的方向就是水平的方向。

现在取水平底面的物料某颗粒点 M_i （图 0-13），作出它的莫尔应力圆，取其特征点 0。为使该颗粒点不产生运动，必须满足 $\mu_w = \operatorname{tg} \varphi_w \geq \tau_0 / \sigma_0$ 的条件。 τ_0 及 σ_0 的大小如图 0-13 所