工程技术实用速算图册

李希里 编著

化学工业出版社

GONG CHENG JI SHU
SHI YONG SU SUAN TU CE

工程技术实用速算图册

李希里　编著

化学工业出版社
·北　京·

（京）新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

工程技术实用速算图册/李希里编著 .—北京：化学工业出版社，2000.1
ISBN 7-5025-2617-X

Ⅰ.工… Ⅱ.李… Ⅲ.工程计算 Ⅳ.TB115

中国版本图书馆 CIP 数据核字（1999）第 34083 号

工程技术实用速算图册
李希里 编著
责任编辑：郎红旗
责任校对：蒋 宇
封面设计：蒋艳君
*
化学工业出版社出版发行
（北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029）
http://www.cip.com.cn
*
新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印刷
三河市延风装订厂装订
开本 787×1092 毫米 1/16 印张 11½ 字数 261 千字
2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷
印 数：1—4000
ISBN 7-5025-2617-X/TP·245
定 价：23.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

前　言

在工程规划、设计、生产、建设以及技术改造中，经常会遇到各种工程技术的计算问题，如单位换算，材料计算，物料体积计算，设备的容积、面积和重量计算，保温计算，管路计算，搅拌计算以及电工计算等。作者积30多年从事工程技术的实践经验，系统地整理归纳了以上各方面的计算公式，从实用的角度精心设计绘制出算图近百幅，并精选了常见的工程技术计算例题近150例。例题除示范算图的使用方法外，也便于读者有针对性地“对号”解决实际工作中的工程计算问题。因此，本图册的实用性较强，是一本难得的、便捷实用的计算工具书，可供化工、炼油、制药、冶金等行业从事工程规划、设计、建设、维护的工程技术人员使用。

算图由于具有使用简单、求解迅速、适用性广、携带方便等优点，早已得到广泛应用。但系统地归纳、专门论述工程技术的实用计算问题，并绘制成精度较高的整页横排大幅算图，则是本速算图册的一次有益的探索。它不但能使许多工程计算难题迎刃而解，还将人们从烦琐、枯燥、易错的计算工作中解放出来，即使是在工程计算电算化日益普及的今天，它也不失为一种简捷、高效的计算工具，可以为电算化提供符合精度的初值，可以为现场的工程技术人员迅速直观地提供计算结果；而且，读者还可以利用算图非常方便地调整各种参数变量，使其达到合理的范围，从而提高计算和设计的水平。

本速算图册还具有以下两个特点。(1) 计算精度较高，完全可以满足生产工艺、工程建设和技术改造的需要。如果需要更精确的数值，还可以套用系统整理的计算公式，用工程计算器作精确计算。(2) 本图册采用法定计量单位，同时考虑到新旧单位的过渡，以及年长读者对旧制单位的熟悉和习惯，尽量做到新旧单位兼顾，以便于不同年龄层次的读者使用本图册。

本图册成稿后，经北京石油化工工程公司韩学铨高级工程师认真审阅，指出了书稿中的疏漏和错误，并提出建设性的意见和中肯的评价，在此表示由衷的感谢。

由于作者水平有限，图册中的疏漏和错误还在所难免，诚恳期待读者的批评指正。

作　者

1999年7月于兰州

内 容 提 要

本图册收录了作者系统整理的近100幅工程算图，精选了常见的工程技术计算例题近150例，内容涉及单位换算，材料计算，物料体积计算，设备的容积、面积和重量计算，保温计算，管路计算，搅拌计算，电工计算等许多实际工程技术的计算问题。使用快捷方便，计算精度较高，是一本实用性较强的工程计算工具书。

本图册适合于化工、炼油、制药、冶金等行业从事于工程项目的规划、设计和建设，以及从事于生产维护和技术改造的工程技术人员使用。

目　　录

算图用法说明 …… 1
1. 单位换算 …… 2
1.1 长度单位换算 …… 2
1.2 面积单位换算 …… 2
1.3 体积单位换算 …… 4
1.4 力和重量单位换算 …… 4
1.5 压强单位换算 …… 6
1.6 流量单位换算 …… 6
1.7 功、热和能量单位换算 …… 8
1.8 功率单位换算 …… 8
1.9 导热系数单位换算 …… 10
1.10 传热系数单位换算 …… 10
1.11 比热容单位换算 …… 12
1.12 质量焓（潜热）单位换算 …… 12
1.13 动力粘度单位换算 …… 14
1.14 摄氏温度与华氏温度换算 …… 14
2. 材料重量或数量计算 …… 16
2.1 水管、煤气管重量计算 …… 16
2.2 无缝钢管及其他管材重量计算 …… 18
2.3 铁（铜、铝）丝重量计算 …… 20
2.4 圆（方、六角）钢重量计算 …… 22
2.5 钢（铜、铝）板重量计算（一） …… 24
2.6 钢（铜、铝）板重量计算（二） …… 26
2.7 钢（铜、铝）带重量计算 …… 28
2.8 角钢重量计算 …… 30
2.9 槽钢重量计算 …… 32
2.10 工字钢重量计算 …… 34
2.11 六角螺杆及螺母重量计算 …… 36
2.12 法兰重量计算 …… 38
2.13 圆木材量方计算 …… 40
2.14 各类木材重量计算 …… 42
3. 设备容积计算 …… 44
3.1 圆筒贮罐容积计算 …… 44
3.2 各种封头容积计算 …… 46
3.3 圆锥形贮罐容积计算 …… 48
3.4 锥形顶圆筒贮罐容积计算 …… 50
3.5 长方形贮槽、梯形贮槽容积计算 …… 52
3.6 椭圆形贮槽、半圆形贮槽、槽罐容积计算 …… 54
4. 液位标示和物料体积计算 …… 56
4.1 立式圆形贮罐、长方形贮槽物料体积计算 …… 56
4.2 圆锥形贮罐物料体积计算 …… 58
4.3 梯形贮槽物料体积计算 …… 60
4.4 球形贮罐容积及物料体积计算 …… 62
4.5 卧式平头圆形贮罐物料体积计算 …… 64

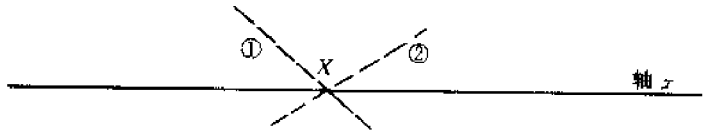
4.6 各种封头当量长度和凸高计算 …… 66
5. 设备表面积计算 …… 68
5.1 圆筒形贮罐侧面积计算 …… 68
5.2 各种封头表面积计算 …… 70
5.3 圆锥、锥台、球缺侧面积计算 …… 72
5.4 各种几何图形面积计算 …… 74
5.5 椭圆及圆的面积计算 …… 76
5.6 管壳式换热器面积计算 …… 78
6. 设备重量计算 …… 80
6.1 由设备表面积计算重量 …… 80
6.2 圆筒形贮罐筒体重量计算 …… 82
6.3 各种封头重量计算 …… 84
6.4 球形贮罐表面积及重量计算 …… 86
6.5 圆锥、锥台、球缺侧面重量计算 …… 88
7. 保温计算 …… 90
7.1 由热损失求保温厚度 …… 90
7.2 圆壁保温厚度计算 …… 93
7.3 经济保温厚度计算 …… 96
7.4 经济保温费用 K 值计算 …… 98
7.5 投资年分摊利率 N 值计算 …… 100
7.6 保冷防露保温厚度计算 …… 102
7.7 圆壁保温材料体积计算 …… 104
7.8 圆壁保温层表面积计算 …… 106
7.9 各种封头保温层体积和表面积计算 …… 108
7.10 球罐保温层体积和表面积计算 …… 110
8. 管路计算 …… 112
8.1 管系总压降和米降计算 …… 112
8.2 常态水管米降计算 …… 114
8.3 常态流体米降换算 …… 116
8.4 质量流量和体积流量换算 …… 118
8.5 湍流流体米降计算 …… 120
8.6 雷诺数和摩擦阻力系数计算 …… 122
8.7 各种糙度管的摩擦阻力系数计算 …… 124
8.8 测定液体粘度 …… 126
8.9 气体密度计算 …… 128
8.10 气体粘度计算 …… 128
8.11 局部阻力当量长度计算 …… 130
8.12 矩形风管当量直径计算 …… 134
8.13 速度压降和位差压降计算 …… 136
8.14 气体长管路米降计算 …… 138
8.15 泵或风机功率计算 …… 140
8.16 经济管径的计算 …… 142
(一) 年分摊工程费 S 值的计算 …… 142
(二) 费用数群 K 值的计算 …… 144
(三) 经济管径计算 …… 144
9. 机械搅拌功率计算 …… 148
9.1 搅拌轴功率计算 …… 148
9.2 搅拌雷诺数 Re_M 的计算 …… 150
9.3 实际搅拌功率计算 …… 152
(一) 桨式、锚式搅拌器特征系数计算 …… 152
(二) 旋桨式、蜗轮式搅拌器特征系数计算 …… 154
10. 电工计算 …… 156
10.1 电流、电压、电阻换算 …… 156
10.2 并联总电阻计算 …… 158

10.3 电流、电压和电功率计算 …… 160
10.4 交流电功率计算 …… 162
10.5 电热器功率和热量计算 …… 164
10.6 导线允许负载电流的计算（一） …… 166
10.7 导线允许负载电流的计算（二） …… 168
10.8 绞线和单线截面计算 …… 170
10.9 保险丝额定电流计算 …… 172
10.10 电能的计算 …… 174
参考文献 …… 176

算图用法说明

（1）为保持图面清洁，请不要在图面上划线。

如下图示，图中虚线示意直尺比放求值位置（虚线表示直尺边线），一条虚线为比放一次，两条虚线为比放两次，三条虚线为比放三次，余类推。分别以①、②等标明顺序。比放两次以上者，有的需在转换轴 x 上用铅笔记一点，第二次比放时直尺边线应通过此点 X。



（2）用法标示说明。

以图 2.1 为例，其用法标示为：$L—d→W$

短线“—”表示比放直尺位置（通过 L 轴和 d 轴上已知数值的对应点放直尺）。箭头“→”表示直尺与 W 轴的交点为求得的 W 值。

（3）部分算图在求值超出算图标度范围时，可相应以 10 的倍率扩大或缩小。具体倍率应参照绘制算图所依照的函数关系确定。

如图 2.1，依据式 $W=f(d)L$ 而绘制，表明水管重量 W 和管长 L 成线性关系，在求得 L 12—d4→$W=130$kg 后，可相应地推知 L 120—d4→$W=1300$kg。

又如图 4.2，依据下式而绘制：$V=0.2618f^2h^3$，表明物料体积 V 与 h^3（h 代表液位）成线性关系，所以在用法说明中标注：$h\times10^{-1}$时，$V\times10^{-3}$，以表示 h 缩小至 10^{-1}时，V 相应需缩小至 10^{-3}。

（4）算图可灵活使用，由对应关系可求算任一未知数。

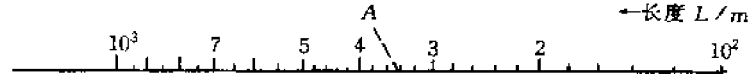
如图 2.1，用法标示为：$L—d→W$

可由管长、管径求重量：L 12—d4→$W=130$kg

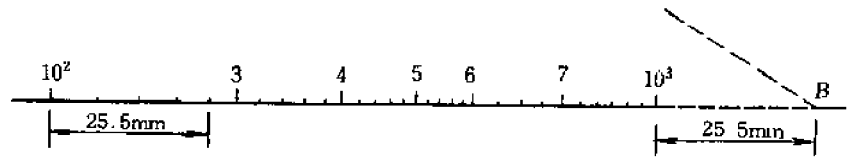
也可由重量、管径求管长：W 130—d4→$L=12$m

还可由管长、重量求管径：L 12—W 130→$d=4$in（英寸）

（5）读取数值时，应注意标度中 10 的幂次和数尺的增长方向。对于自右向左增长的逆向数尺，在图上用左箭头符号“←”标明。如下示 A 点，应读为 $3.5\times10^2=350$（m）。



（6）受算图的幅面所限，若求值点超出标度范围，可在数尺延长线上用铅笔标记交点，量取距离后，平移至下一数量级的标度内读数并乘以相应倍率。如下示 B 点，平移读数后，应记为 1.8×10^3。



（7）对于部分工程计算，若需要进一步求精确算值，则可利用算图设计所依据的公式，将已知参数代入公式并求值。本图册中列举的例题大部分进行了图算和公式计算的对照，读者可予以参考比照。

1. 单位换算

单位换算在生产和工程上是经常遇到的问题。尤其自改革开放后，国际交流日益广泛，法定计量单位制与我国旧单位制交替并用，单位换算更为重要。

本速算图册用到的主要计量单位的符号及其名称如表 1.1。

表 1.1 单位符号及名称

符号	单位名称	符号	单位名称	符号	单位名称
m	米	cm	厘米	mm	毫米
g	克	kg	千克（公斤）	t	吨
L	升	m^3	立方米	gal	加仑
J	焦耳	kJ	千焦耳	W	瓦
kW	千瓦	hp	（英）马力	hm^2	公顷
kgf/cm^2	千克力/平方厘米	Pa	帕	MPa	兆帕
cP	厘泊	Pa·s	帕·秒	mPa·s	毫帕·秒
cal	卡	kcal	千卡	Btu	英热单位
℃	摄氏度	°F	华氏度	lb	磅
ft	英尺	s	秒	h	小时

1.1 长度单位换算

图 1.1 是依据下列数据设计绘制：

10m · 30 尺 ≈ 10.94yd（码）＝32.81ft

使用方法：将直尺垂直数轴摆放，可读出相应数值。如图虚线所示，虚线表示直尺边线（请不要在图面划线，以保持图面清洁）。

【例 1.1】 9.2yd 长的管路是几米，合多少英尺？

解：用图 1.1 9.2yd→8.4m→27.5ft（如图 1.1 虚线所示）

【例 1.2】 840m 长的管路是多少码？多少英尺？

解：用图 1.1 8.4m→9.2yd→27.5ft（如图 1.1 虚线所示）

即 840m→920yd→2750ft

若需精确数值，可用算图右端所标数据用计算器算出。如：

$$840\times10.94/10=918.96(\text{yd})$$

$$840\times32.81/10=2756.04(\text{ft})$$

1.2 面积单位换算

图 1.2 是依据下列数据设计绘制：

$$10^4\text{m}^2=1\text{hm}^2=15\text{ 亩}=107640\text{ft}^2$$

【例 1.3】 8 亩地是多少平方米，多少公顷？

解：用图 1.2 8 亩→5320m^2→0.532hm^2（如图 1.2 虚线所示）

精确数值可用计算器算出为：

$$8\times10^4/15=5333\text{m}^2=0.5333\text{hm}^2$$

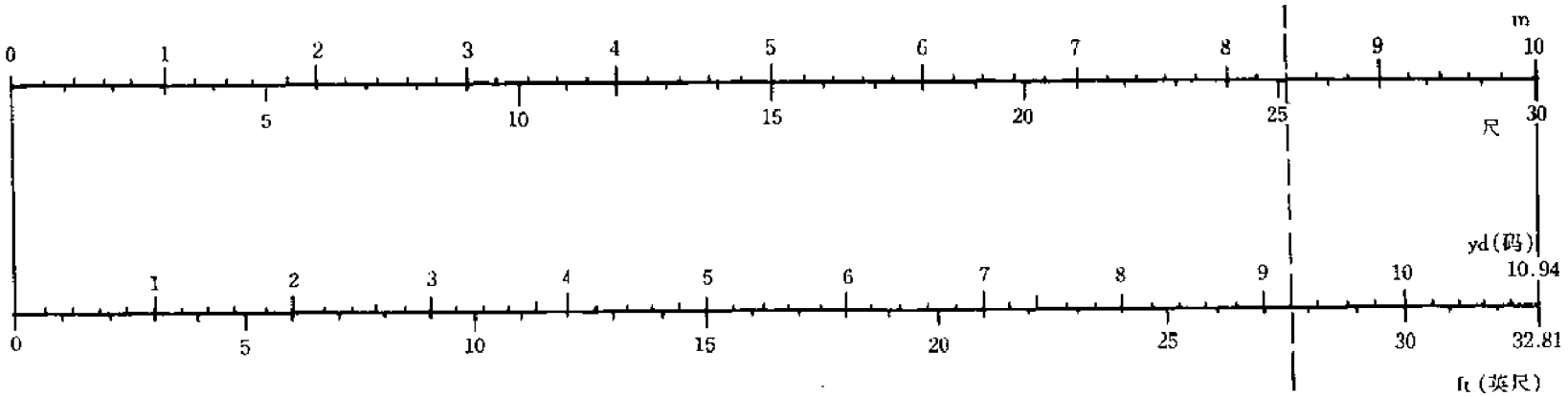


图 1.1　长度单位换算图

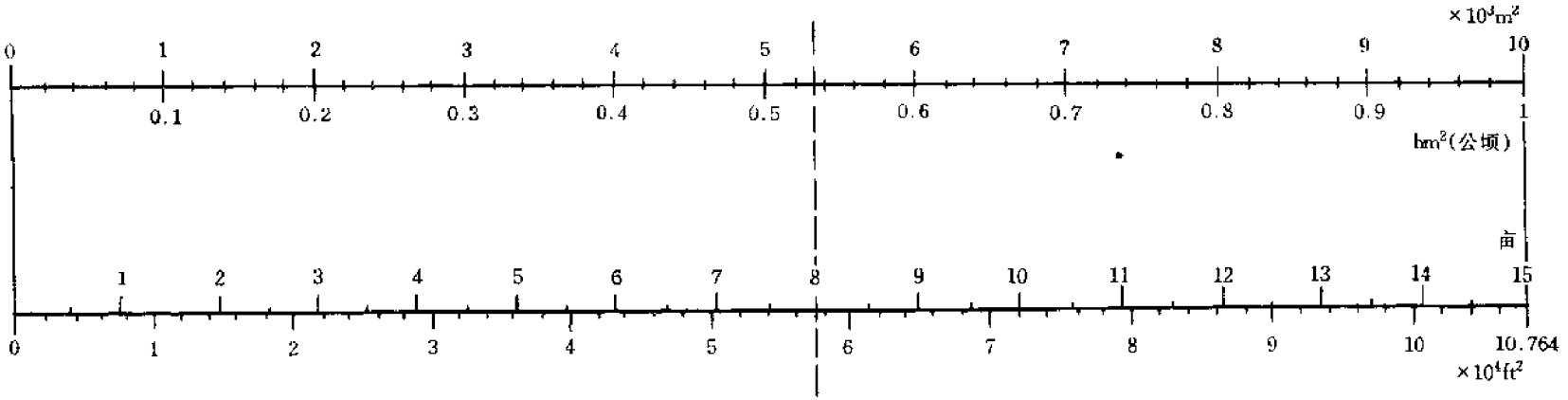


图 1.2　面积单位换算图

1.3 体积单位换算

图 1.3 依据下列数据设计绘制：

$$1000L = 1m^3 = 35.135ft^3 = 264.17gal\ (美)$$

【例 1.4】 50 桶油是多少升，多少立方米？

解：1 桶（石油）＝42gal（美）

则 50 桶石油是 $42 \times 50 = 2100$ [gal（美）]

用图 1.3 210gal（美）→795L→$0.795m^3$（如图 1.3 虚线所示）

即 2100gal（美）→7950L→$7.95m^3$

注：1 桶（石油）＝42 美加仑＝34.972 英加仑＝158.987 升

1.4 力和重量单位换算

图 1.4 依据下列数据设计绘制：

$$10^3kg = 9.8 \times 10^8dyn = 2204.6lb = 1.1023\ 美吨$$

【例 1.5】 15lb 等于多少千克？几美吨？

解：用图 1.4 由 1500lb→680kg→0.75 美吨（如图 1.4 虚线所示）

则 15lb→6.8kg→0.0075 美吨

精确算值：$15 \times 10^3 / 2204.6 = 6.804$（kg）

$15 \times 1.1023 / 2204.6 = 0.0075$（美吨）

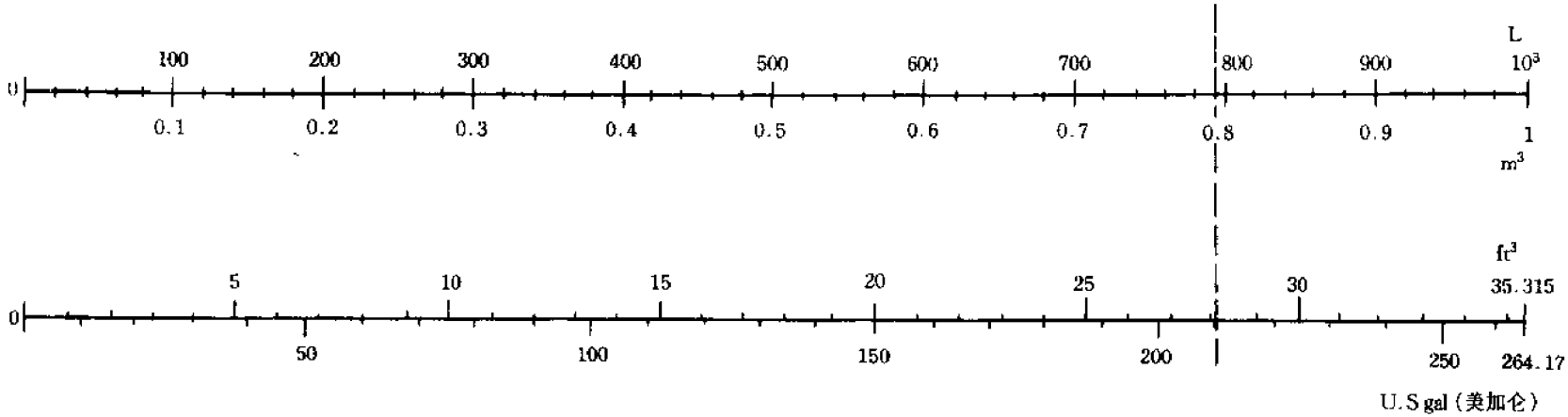


图 1.3　体积单位换算图

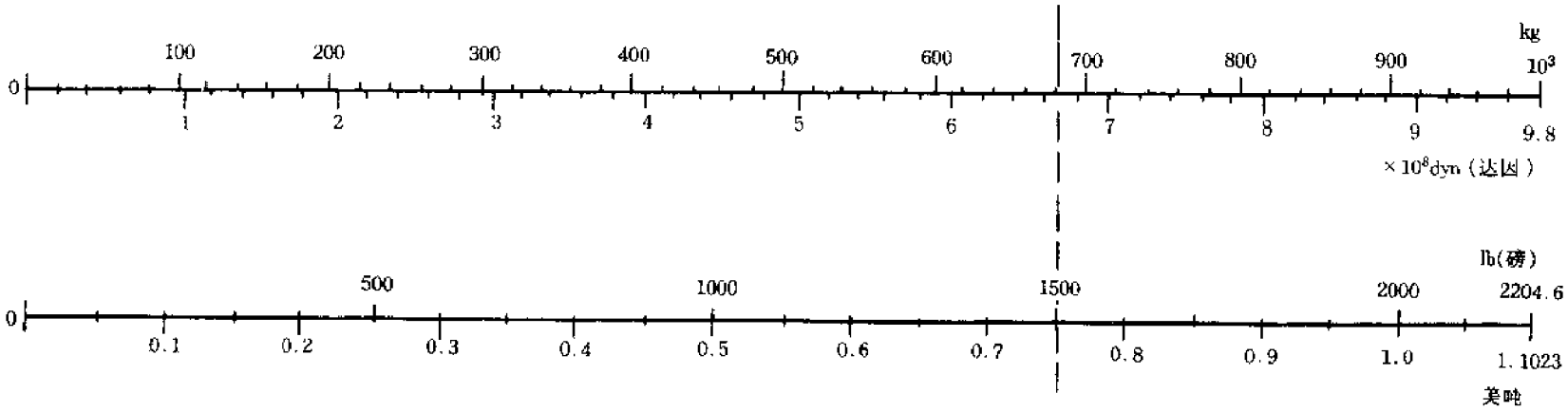


图 1.4　力和重量单位换算图

1.5 压强单位换算

图 1.5 是依据下列数据设计绘制：

$10kgf/cm^2 = 0.9807MPa = 142.2lbf/in^2 = 7355mmHg$

【例 1.6】 $5kgf/cm^2$ 的蒸汽压等于多少兆帕，多少 lbf/in^2？

解：用图 1.5 $5kgf/cm^2 \rightarrow 0.49MPa \rightarrow 71lbf/in^2$（如图 1.5 虚线所示）

精确算值： $5 \times 0.9807/10 = 0.49035$（MPa）

$5 \times 142.2/10 = 71.1$（lbf/in^2）

1.6 流量单位换算

图 1.6 依据下列数据设计绘制：

$10L/s = 36m^3/h = 0.353ft^3/s$

【例 1.7】 流量 8L/s 合多少 m^3/h，多少 ft^3/s？

解：用图 1.6 $8L/s \rightarrow 28.8m^3/h \rightarrow 0.282ft^3/s$（如图 1.6 虚线所示）

精确算值： $8 \times 36/10 = 28.8$（m^3/h）

$8 \times 0.353/10 = 0.2824(ft^3/s)$

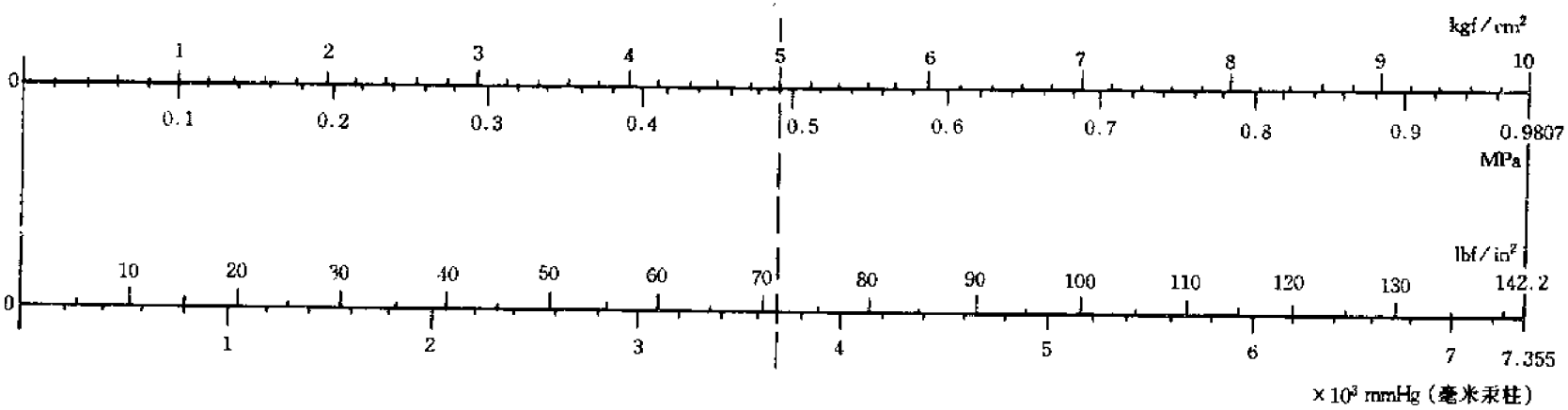


图 1.5　压强单位换算图

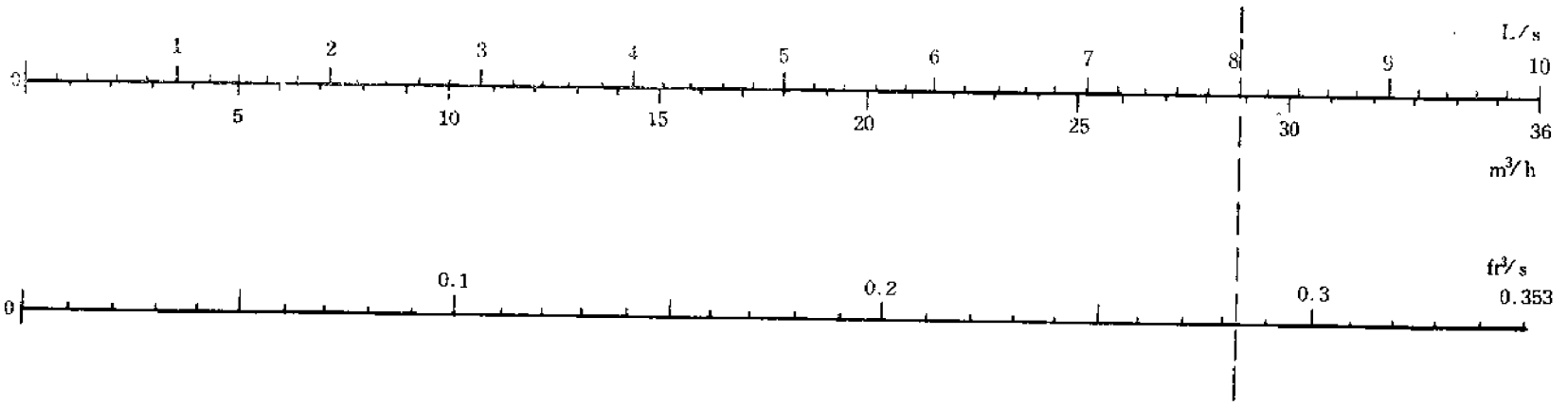


图 1.6　流量单位换算图

1.7 功、热和能量单位换算

图 1.7 依据下列数据设计绘制：

$10\text{kcal} = 39.68\text{Btu} = 41.86\text{kJ} = 11.62 \times 10^{-3}\text{kW·h}$

【例 1.8】 35Btu 合多少 kcal？多少 kJ？

解：用图 1.7 35Btu→8.82kcal→36.9kJ（如图 1.7 虚线所示）

精确算值： $35 \times 10/39.68 = 8.821$（kcal）

$35 \times 41.86/39.68 = 36.923$（kJ）

1.8 功率单位换算

图 1.8 依据下列数据设计绘制：

$10\text{kW} = 13.596$ 米制马力 $= 7355.6\text{ft·lbf/s} = 2.399\text{kcal/s}$

【例 1.9】 $6.4 \times 10^3\text{ft·lbf/s}$ 合多少米制马力，多少 kW？

解：用图 1.8 6400ft·lbf/s→11.8 米制马力→8.7kW（如图 1.8 虚线所示）

精确算值：$6400 \times 13.596/7355.6 = 11.83$（米制马力）

$6400 \times 10/7355.6 = 8.701$（kW）

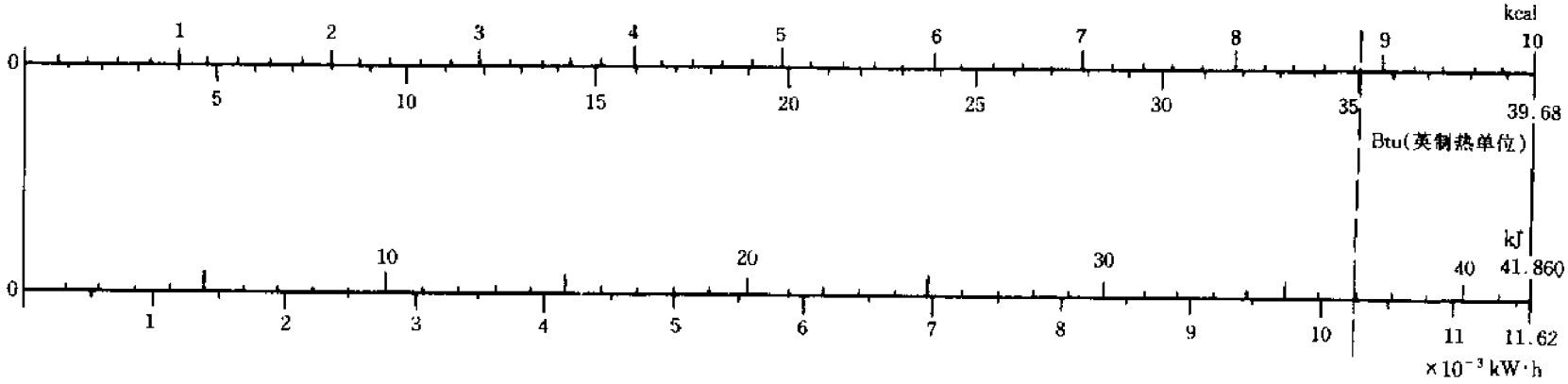


图 1.7　功、热和能量单位换算图

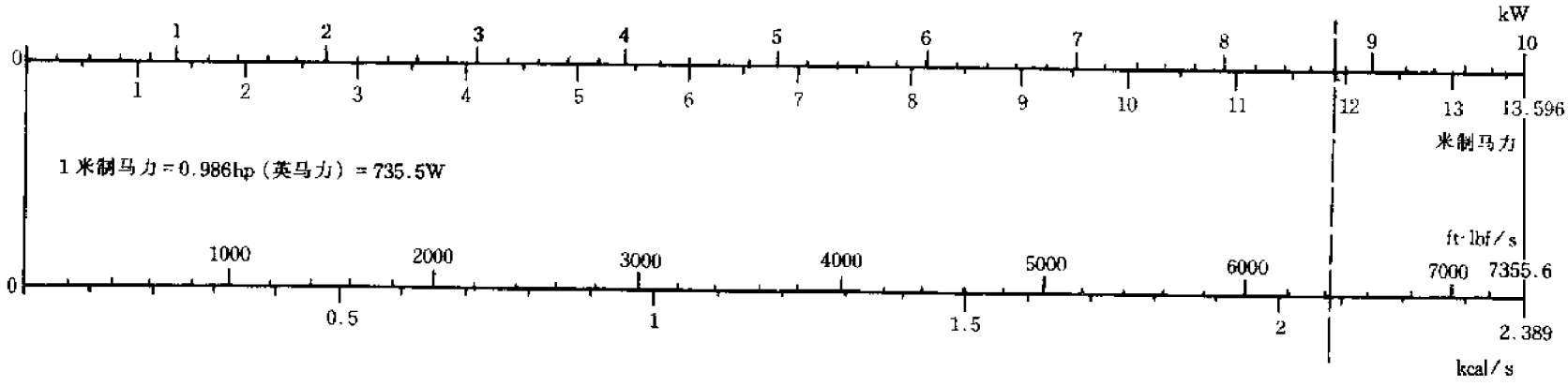


图 1.8　功率单位换算图

1.9 导热系数单位换算

图 1.9 依据下列数据设计绘制：

$$10\text{kcal/(m·h·℃)} = 11.63\text{W/(m·℃)}$$

$$= 6.72\text{Btu/(ft·h·℉)}$$

$$= 0.02778\text{cal/(cm·s·℃)}$$

【例 1.10】 4.2Btu/(ft·h·℉)合多少 W/(m·℃)?

解：用图 1.9 4.2Btu/(ft·h·℉)→7.3W/(m·℃)(如图 1.9 虚线所示)

精确算值：$4.2 \times 11.63/6.72 = 7.269$[W/(m·℃)]

1.10 传热系数单位换算

图 1.10 依据下列数据设计绘制：

$$10\text{kcal/(m}^2\text{·h·℃)} = 11.63\text{W/(m}^2\text{·℃)} = 2.048\text{Btu/(ft}^2\text{·h·℉)}$$

$$= 2.778 \times 10^{-4}\text{cal/(cm}^2\text{·s·℃)}$$

【例 1.11】 13.5Btu/(ft²·h·℉)合多少 W/(m²·℃)?

解：用图 1.10 由1.35Btu/(ft²·h·℉)→7.65W/(m²·℃)

则 13.5Btu/(ft²·h·℉)→76.5W/(m²·℃)

因 13.5 已超出算图数值范围，故用 1.35 求值后扩大 10 倍，得出最终结果，如图 1.10 虚线所示。

精确算值：$13.5 \times 11.63/2.048 = 76.66$[W/(m²·℃)]

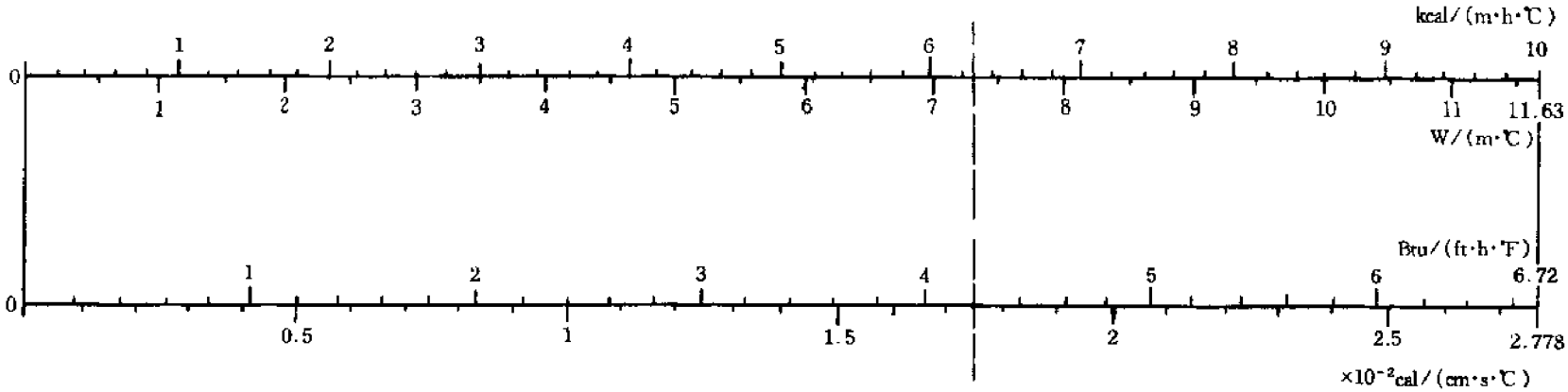


图 1.9　导热系数单位换算图

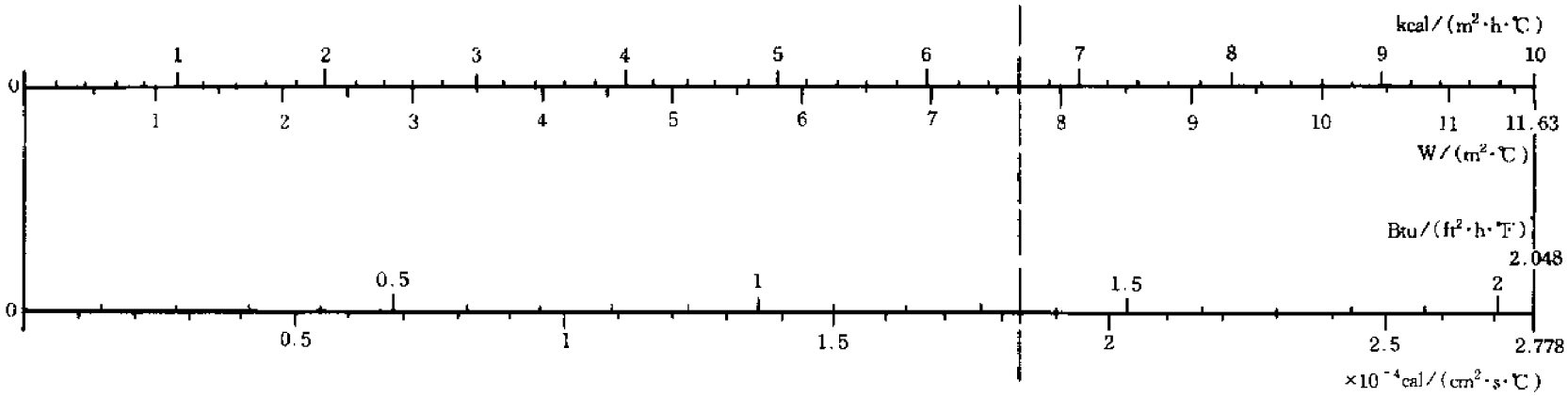


图 1.10　传热系数单位换算图

1.11 比热容单位换算

图 1.11 依据下列数据设计绘制：

10kcal/(kg·℃) = 10Btu/(lb·℉) = 41.86kJ(kg·℃)

【例 1.12】 5.4Btu/(lb·℉)合多少 kcal/(kg·℃)？合多少kJ/(kg·℃)？

解： 用图 1.11 5.4Btu/(lb·℉)→5.4kcal/(kg·℃)→22.6kJ/(kg·℃)(如图 1.11 虚线所示)

1.12 质量焓（潜热）单位换算

图 1.12 依据下列数据设计绘制：

10kcal/kg = 18Btu/lb = 41.86kJ/kg

【例 1.13】 12Btu/lb 合多少 kcal/kg？多少 kJ/kg？

解： 用图 1.12 12Btu/lb→6.67kcal/kg→27.9kJ/kg（如图 1.12 虚线所示）

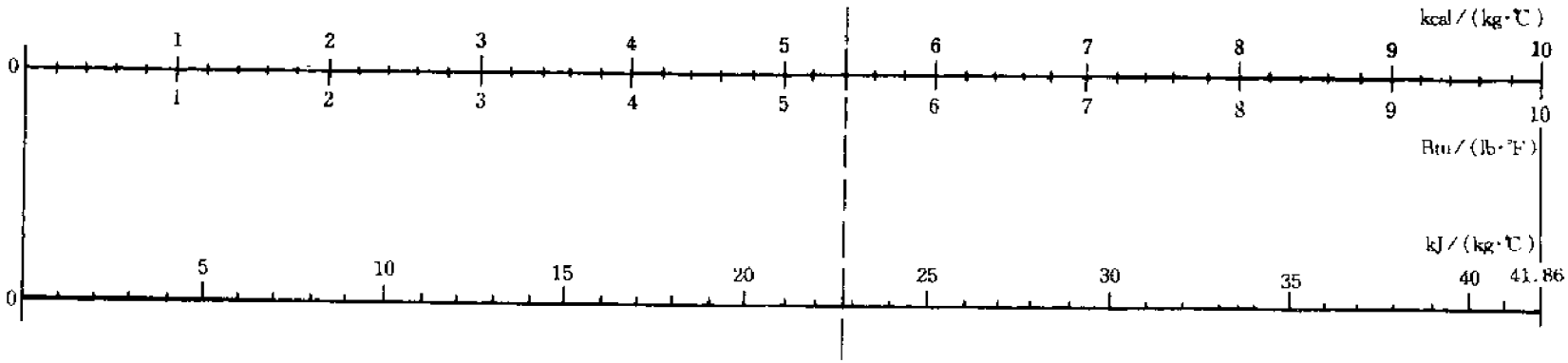


图 1.11　比热容单位换算图

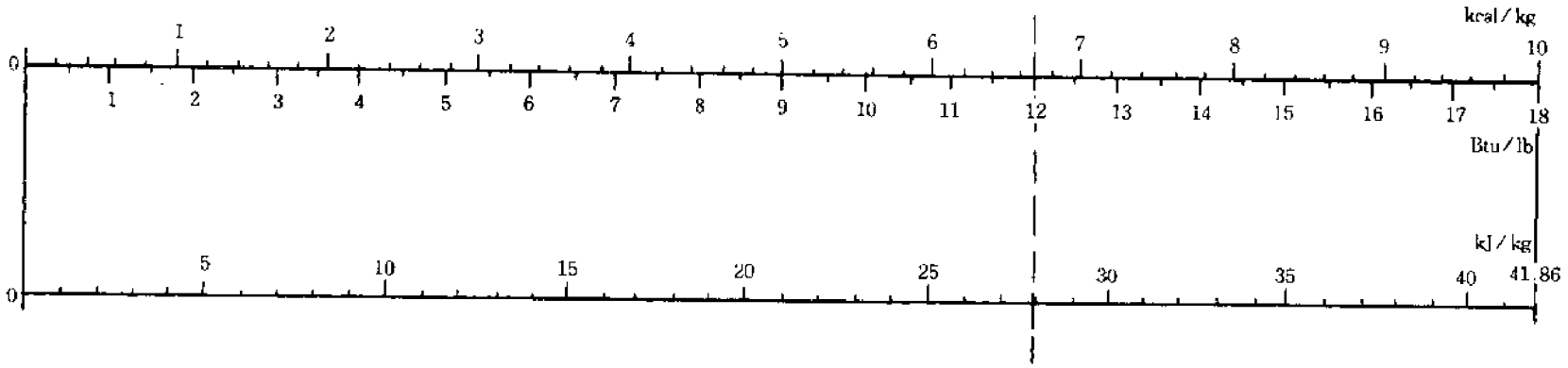


图 1.12　质量焓（潜热）单位换算图

1.13 动力粘度单位换算

图 1.13 依据下列数据设计绘制：

$$10\text{cP} = 10\times10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s} = 10.2\times10^{-4}\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{m}^2$$

$$= 6.72\times10^{-3}\text{lbf}/(\text{ft}\cdot\text{s})$$

【例 1.14】 4.2×10^{-3}lbf/(ft·s)合多少厘泊，多少 Pa·s?

解：用图 1.13 4.2×10^{-3}lbf/ft·s→6.25cP→6.25×10^{-3}Pa·s

(如图 1.13 虚线所示)

精确算值：$4.2\times10^{-3}\times10/(6.72\times10^{-3}) = 6.25(\text{cP})$

$4.2\times10^{-3}\times10\times10^{-3}/(6.72\times10^{-3}) = 6.25\times10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$

1.14 摄氏温度与华氏温度换算

图 1.14 依据下式设计绘制：

$$t/℃ = (t_F/℉ - 32)/1.8$$

【例 1.15】 160℉和 620℉各相当于多少℃？

解：用图 1.14 160℉→71.2℃ (如图 1.14 虚线①所示)

620℉→327℃ (如图 1.14 虚线②所示)

精确算值：160℉ = (160 − 32)/1.8 = 71.1(℃)

620℉ = (620 − 32)/1.8 = 326.7(℃)

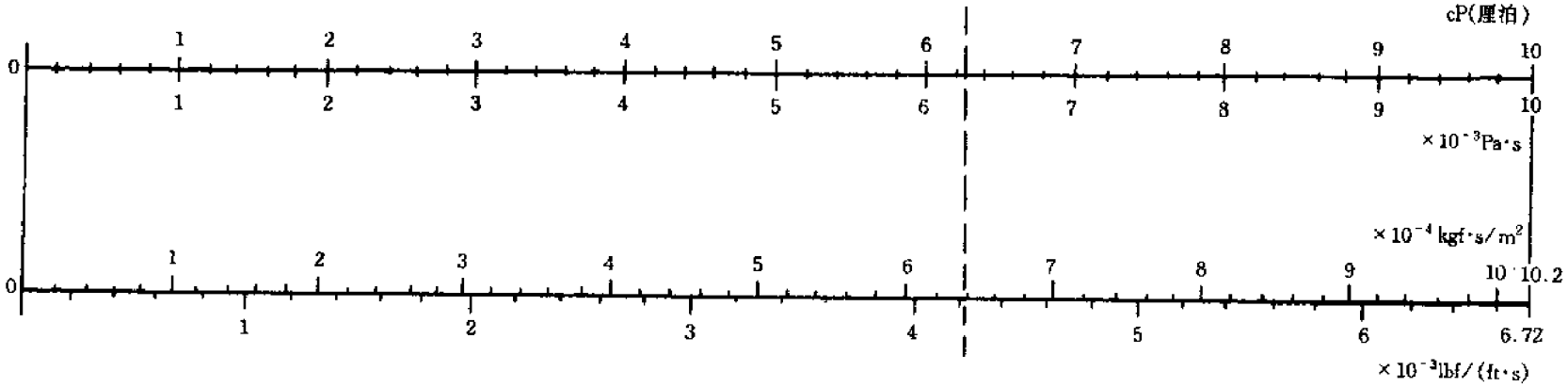


图 1.13　动力粘度单位换算图

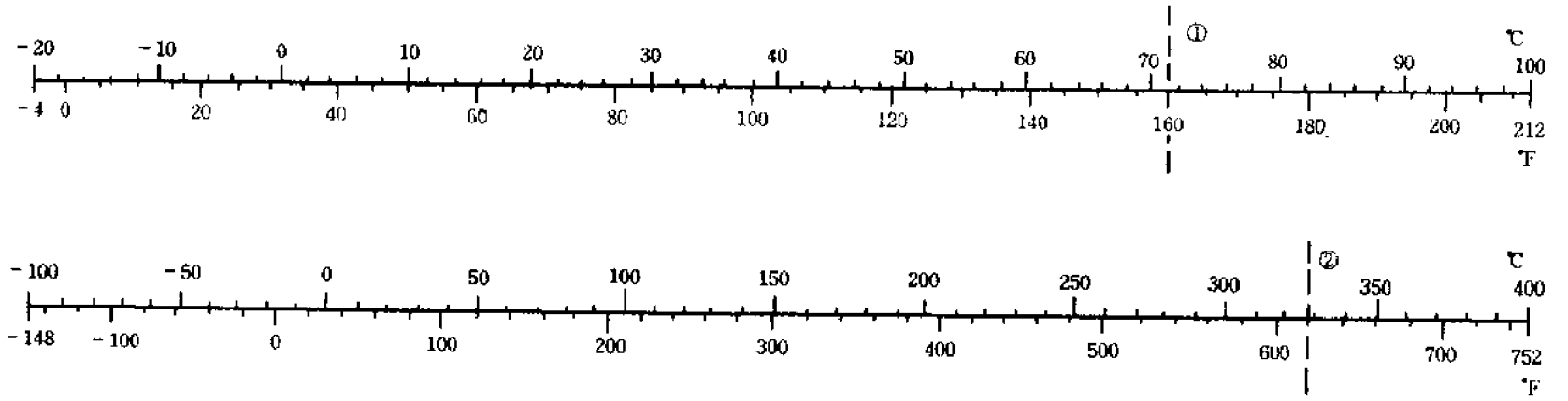


图 1.14　摄氏温度与华氏温度换算图

2. 材料重量或数量计算

在生产过程及工程项目中常用的材料，如管材、线材、型钢、板材等，常需进行材料数量和重量的换算。材料速算图即为此目的而设计绘制，其准确度完全可满足生产和工程上的需要。利用这些算图除可迅速算出材料重量外，反过来也可由材料的重量算出材料的数量。

2.1 水管、煤气管重量计算

图 2.1 依据下式设计绘制：

$$W = f(d)L$$

式中 $f(d)$——不同管径的重量函数，可由有关手册查得；

L——管长，m。

用法：在 L 尺、d 尺上找到相应点，用直尺边线通过该两点并与 W 尺相交，交点值为所求重量。用法可标记为：$L—d→W$

注：L 尺为逆向尺，按箭头方向读数。

由图 2.1 求出普通水管、煤气管重量后，乘以修正系数 f，即可算出镀锌管或加厚管的重量。

【例 2.1】 12m 长、公称直径 4in 的镀锌管的重量是多少？

解： 用图 2.1 L 12—d4→W = 130kg（如图 2.1 虚线所示）

乘以修正系数 f = 1.05，则换算为镀锌管重量：

$$130 \times 1.05 = 136.5 \text{（kg）}$$

精确算值：$W = f(d)L = 10.85 \times 12 = 130.2$（kg）

则镀锌管重量：$130.2 \times 1.05 = 136.71$（kg）

【例 2.2】 现有加厚 4in 水管重 610kg，管子长度是多少？

解： 先换算成普通管重（该加厚管的修正系数 f = 1.24）

$610 \div 1.24 \doteq 492$（kg）

用图 2.1 W492—d4→L = 45m

即该加厚管长度约为 45m。

用法：$L—d→W$

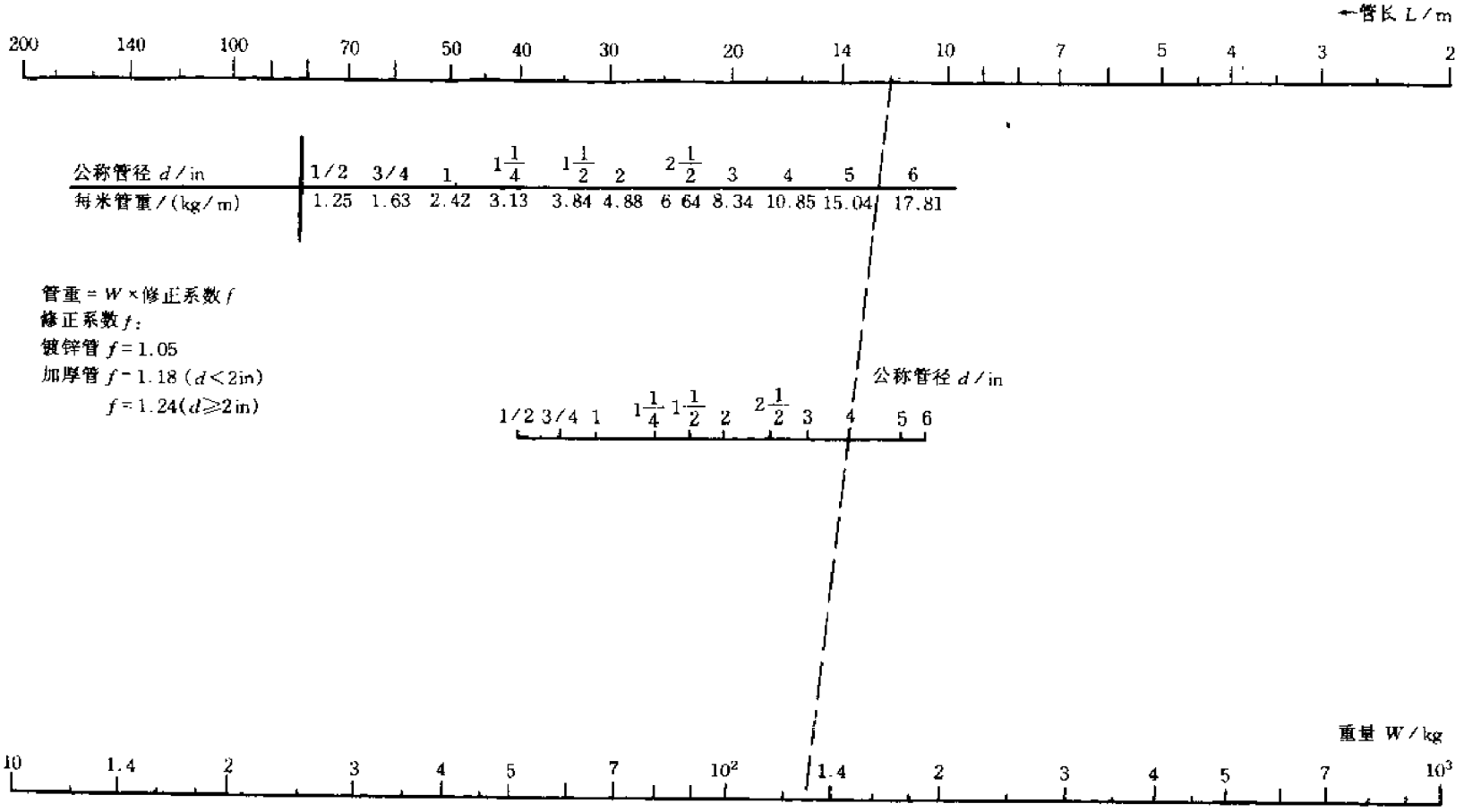


图 2.1　水管、煤气管重量算图

2.2 无缝钢管及其他管材重量计算

图 2.2 依据下式设计绘制：

$$W = \alpha\rho\pi\phi bL$$

式中 α——修正系数，对于无缝钢管取 0.94；

ρ——密度，对于钢材 $\rho = 7.85\times10^3 kg/m^3$；

ϕ——管外径，m；

b——管壁厚，m；

L——管长，m。

用法：通过 ϕ 尺、b 尺相应点，用直尺在 x 轴上找一交点 X，然后通过 L 尺上的相应点和 X 点放置直尺，在 W 尺上的交点的对应数值即为管重。

即用法可示意为 $\phi—b→X$，$L—X→W$

求出无缝钢管重量后，乘以材质系数 f，就可算出相同尺寸不同材质的各种管材的重量。

材质系数 f 是不同材质密度与钢材密度的比值。除算图所列 f 值外，还可通过表 2.1 查得各种材料的 f 值。

【例 2.3】 现有 ϕ60mm×5mm 无缝钢管 75m，重量是多少？

解：用图 2.2 $\phi60—b5→X$（用铅笔在 x 轴上记一点 X）

$L75—X→W = 520kg$（如图 2.2 虚线①、②所示）

精确算值：$W = \alpha\rho\pi\phi bL$

$= 0.94\times7.85\times10^3\times3.14\times0.06\times0.005\times75$

$= 521.3$（kg）

【例 2.4】 如上例同样规格和长度的铜管、铝管、铅管、聚氯乙烯管，重量各为多少？

解：各以上例求得的 $W = 520kg$ 乘以材质系数 f，即

铜管 $520\times1.134 = 590$（kg）

铝管 $520\times0.357 = 186$（kg）

铅管 $520\times1.448 = 753$（kg）

聚氯乙烯管 $520\times0.178 = 92.6$（kg）

表 2.1 不同材质的密度和材质系数

材 质	密度 ρ/(10^3kg·m^{-3})	材质系数 f	材 质	密度 ρ/(10^3kg·m^{-3})	材质系数 f
钢材	7.85	1	锌铝合金	6.3～6.9	0.803～0.879
不锈钢	7.75～7.9	0.987～1.006	工业钛	4.51	0.575
镍铬合金	8.72	1.111	银	10.5	1.388
工业镍	8.9	1.134	铬	7.19	0.916
钨或金	19.3	2.46	钙	1.55	0.198
钨钢	8.3～8.7	1.057～1.108	钠	0.97	0.124
灰口铸铁	6.6～7.4	0.84～0.94	钾	0.86	0.11
白口铸铁	7.4～7.7	0.94～0.98	石墨	2	0.255
紫铜	8.9	1.134	石膏	2.4	0.306
锡青铜	8.8	1.12	大理石	2.7	0.343
铝青铜	7.5～8.2	0.955～1.045	陶瓷	2.4	0.306
白铜	8.6～8.9	1.096～1.134	玻璃	2.5	0.318
锡黄铜	8.45～8.8	1.076～1.12	橡胶	1.7	0.217
铅黄铜	8.2～8.6	1.045～1.096	电木	1.4	0.178
硬铝	2.73～2.84	0.348～0.362	聚氯乙烯	1.4	0.178
铝合金	2.55～2.95	0.325～0.376	聚乙烯	0.94	0.12
铅板	11.37	1.448	铸石	3	0.382
纯锡	7.3	0.93	有机玻璃	1.18	0.15
锌板	7.2	0.917	泡沫塑料	0.2	0.026
铸锌	6.86	0.874	环氧玻璃钢	1.66	0.21

【例 2.5】 一根 6m 长 ϕ220mm×10mm 的铸铁管，重量是多少？

解：用图 2.2 $\phi220—b10→X$

$L6—X→W = 305kg$

换算为铸铁管重量 $305\times0.917 = 280$（kg）

【例 2.6】 有 ϕ40mm×2.5mm 聚乙烯管 1.6 吨，求其总长。

解：由表 2.1 查得聚乙烯材质系数 $f = 0.12$，折算为无缝钢管重 $1600\div0.12 = 13333$（kg）

用图 2.2 $\phi40—b2.5→X$（记下点 X）

$W133.33—X→L = 62\times100 = 6200m$

由于 13333kg 超出算图数值范围，故用 W133.33 求值后，再乘以 100 即可。

用法：ϕ—b→X

L—X→W

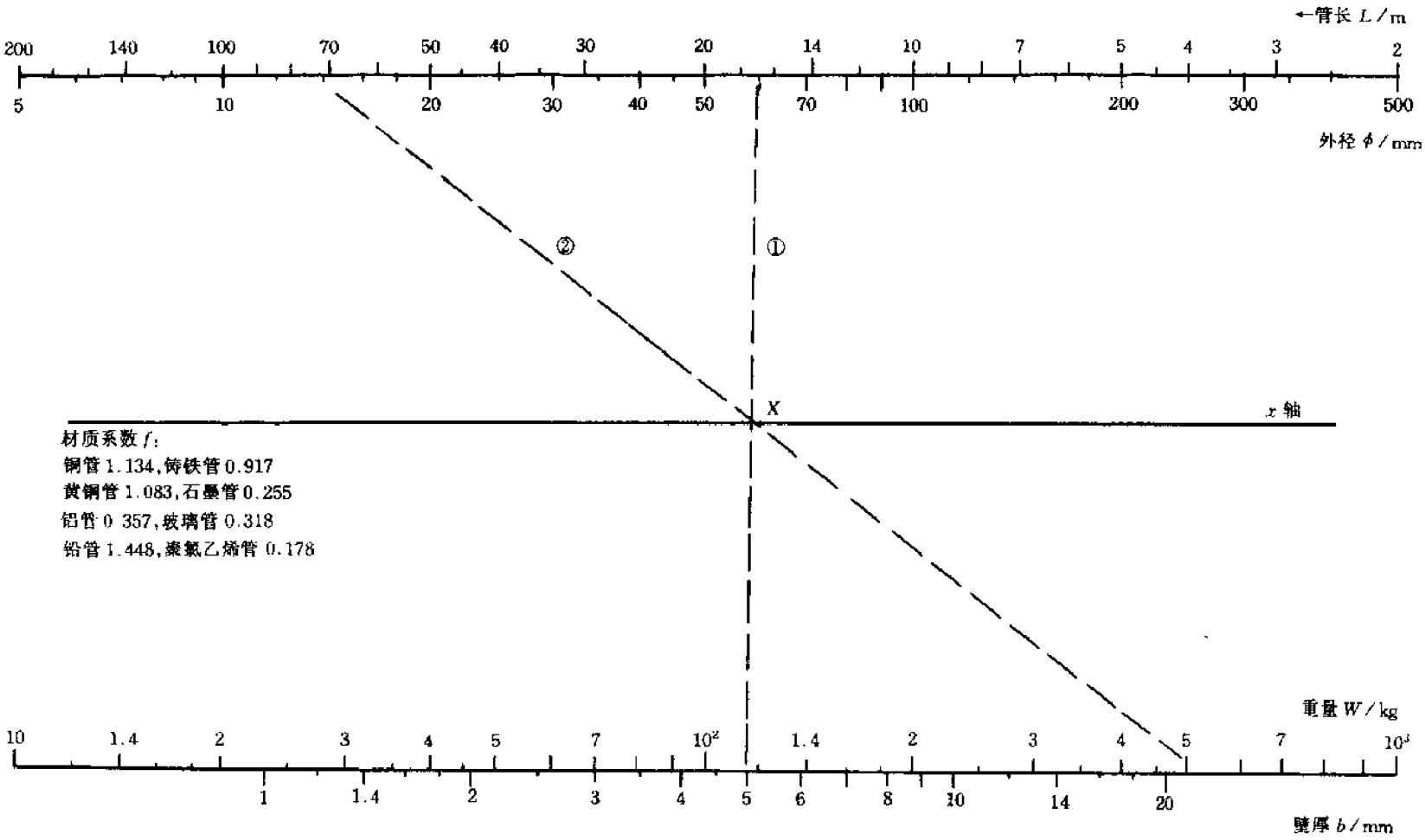


图 2.2　无缝钢管及其他管材重量算图

2.3 铁（铜、铝）丝重量计算

图 2.3 依据下式设计绘制：

$$W = \rho \frac{\pi}{4} d^2 L$$

式中 ρ——密度，钢取 $7.85\times10^3 kg/m^3$；

d——直径，m；

L——铁丝长，m。

由图 2.3 求出铁丝重量，乘以材质系数 f，就可算出各种材质的金属丝的重量来。图 2.3 中还标明了铁丝规格号与直径的对照。

【例 2.7】 $14^{\#}$镀锌铁丝 50kg 一捆，求其长度。若是黄铜丝长度应是多少？

解：用图 2.3 求出镀锌铁丝长度

$W50—d14^{\#}→1.68km$（如图 2.3 虚线所示）

折算为黄铜丝长 $1.68\div1.083=1.55$（km）

精确算值：镀锌铁丝长

$$L = W\Big/\left(\rho \frac{\pi}{4} d^2\right) = 50/(7.85\times10^3\times0.785\times0.0022^2)$$

$$= 1676.4(m)$$

折算为黄铜丝长 $1676.4\div1.083=1547.9$（m）

【例 2.8】 直径 3mm 的钢丝 550m 有多重？若是铝丝又应有多重？

解：用图 2.3 求钢丝重 $L5.5\times10^{1}—d3→W=30kg$

折算成铝丝重 $30\times0.357=10.7$（kg）

注：直径 d 可取铁丝直径（毫米），也可直接取铁丝规格号，同样由图 2.3 来算铁丝重量。

用法：$L—d→W$

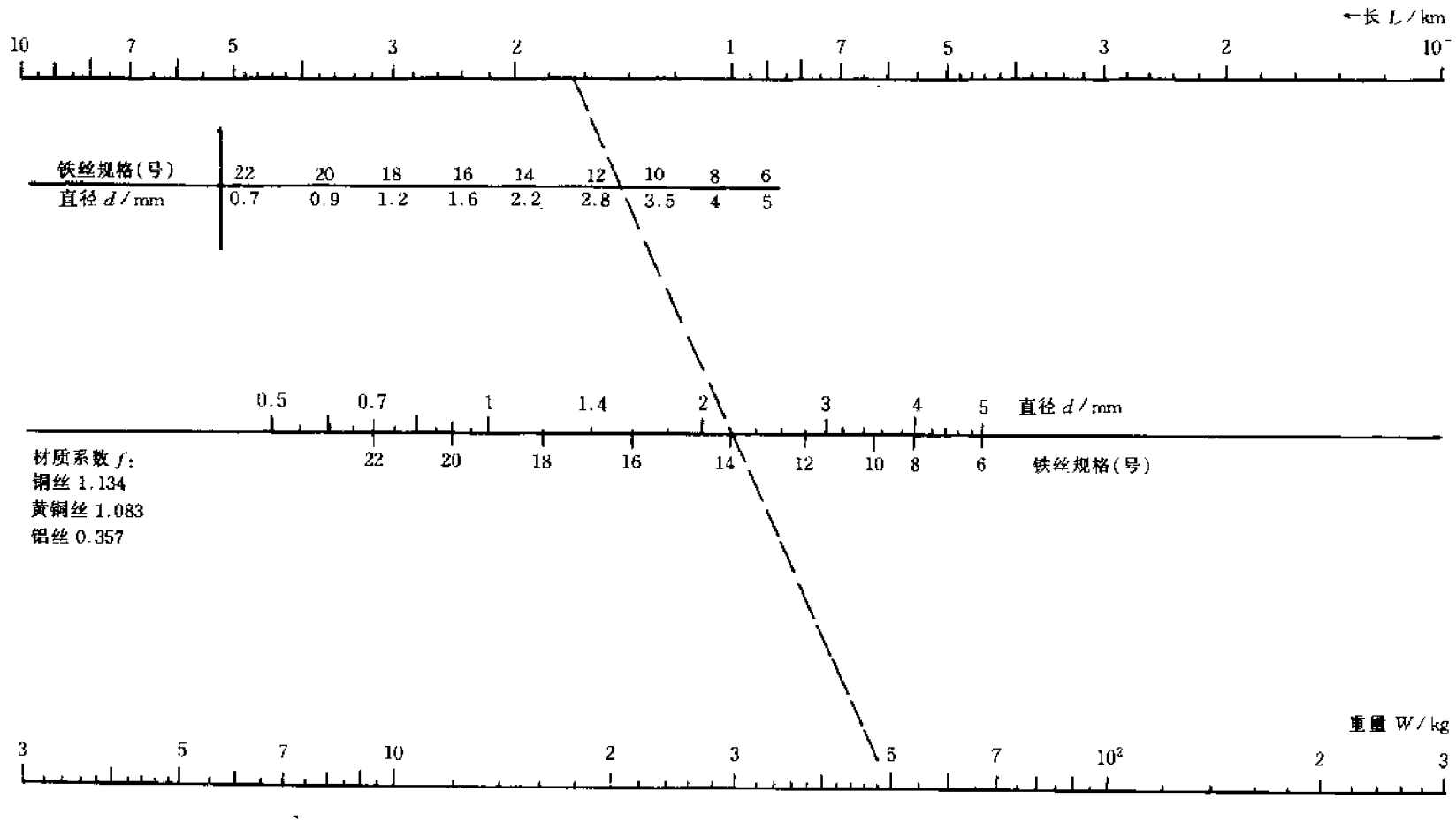


图 2.3 铁（铜、铝）丝重量算图

2.4 圆（方、六角）钢重量计算

图 3.4 依据下式设计绘制：

$$W = \rho \frac{\pi}{4} d^2 L$$

式中 ρ——密度，钢取 $7.85 \times 10^3 kg/m^3$；

L——长度，m；

d——圆钢直径或方钢、六角钢宽，m。

算出圆钢重量后，乘以图中所标外形系数，即为方钢、六角钢的重量；将各相应值乘以材质系数 f，即为其他材质的圆棒、方棒或六角棒的重量。

【例 2.9】 长 9.5m 的 d 16mm 圆钢有多重？同样长度的宽 16mm 方钢或六角钢又有多重？

解： 用图 2.4 $L9.5—d16 \rightarrow W = 15kg$（如图 2.4 虚线所示）乘以外形系数，则

方钢重 $15 \times 1.273 = 19.1$（kg）

六角钢重 $15 \times 1.103 = 16.6$（kg）

【例 2.10】 长 9.5m 的 d16mm 圆铜棒有多重？同样长度宽 16mm 的方铜棒有多重？

解： 上例已算出同样规格和长度的圆钢重为 15kg，乘以材质系数 f 和外形系数，即得

圆铜棒重 $15 \times 1.134 = 17.01$（kg）

方铜棒重 $15 \times 1.134 \times 1.273 = 21.65$（kg）

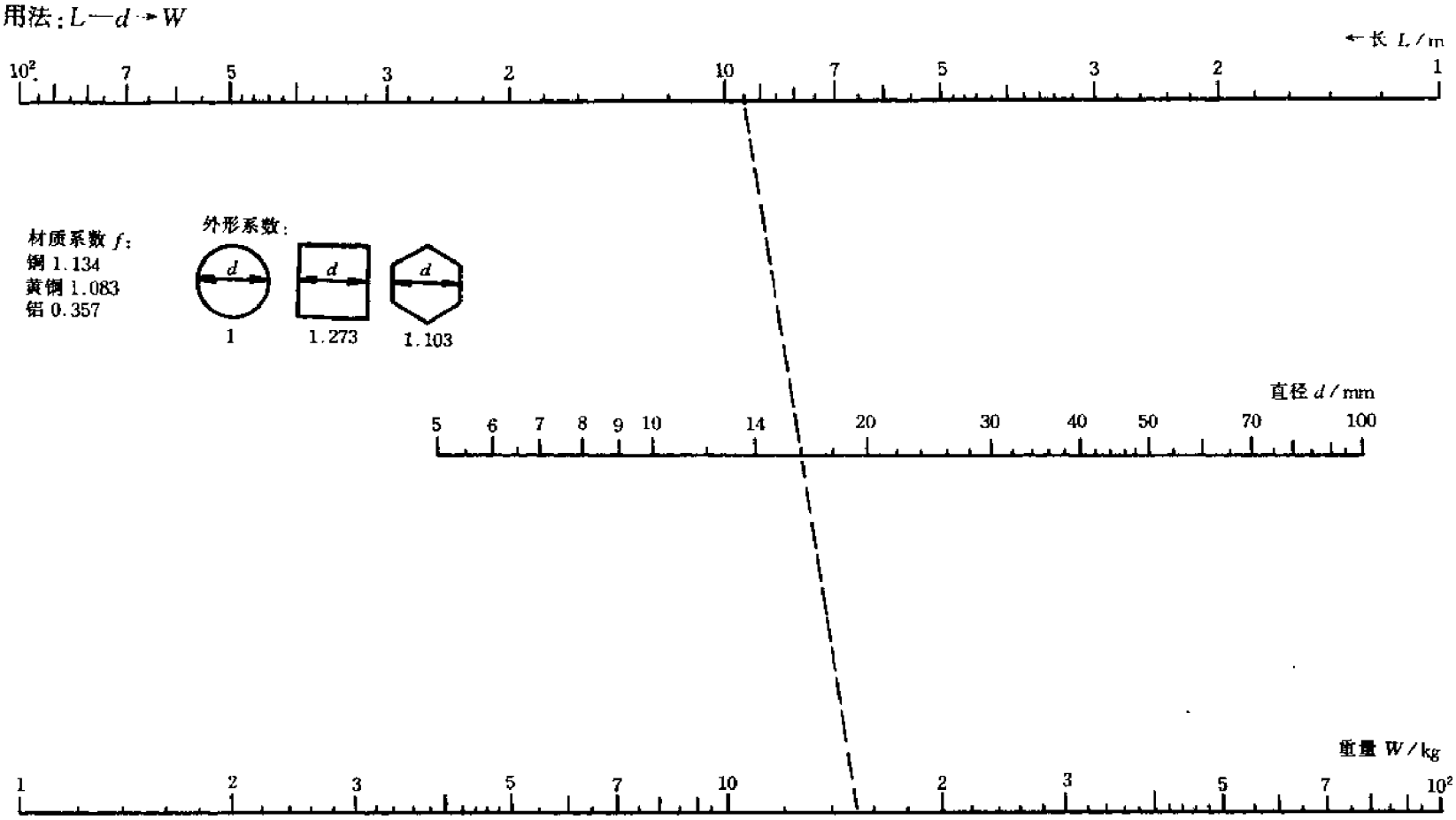


图 2.4　圆（方、六角）钢重量算图

2.5 钢（铜、铝）板重量计算（一）

图 2.5 依据下式设计绘制：

$$W = \rho A b$$

式中 ρ——密度，钢取 $7.85\times10^3 kg/m^3$；

A——板面积，m^2；

b——板厚，m。

先算出钢板重，再乘以材质系数 f，即可算出同规格的其他材质板重。

【例 2.11】 厚度为 0.5mm 的薄钢板 240kg，面积有多少平方米？

解：用图 2.5，由于 240kg 对应的面积 A 值已超出算图数值范围，故改用

$W24—b0.5→A = 6.1\times10 = 61m^2$（如图 2.5 虚线所示）

精确算值：

$$A = W/\rho b = 240\times(7.85\times10^3\times0.5\times10^{-3})^{-1}$$

$$= 61.15(m^2)$$

【例 2.12】 厚度为 0.5mm 的铝板 $6.1m^2$，有多重？

解：用图 2.5 先求出钢板重

$A6.1—b0.5→W = 24kg$（如图 2.5 虚线所示）

再乘材质系数 f，则铝板重 $24kg\times0.357 = 8.57kg$

【例 2.13】 4mm 厚的橡胶板 120kg，问面积有多少平方米？

解：用图 2.5，求得同样规格和重量的钢板面积

$W120 - b4→A = 3.8m^2$

由表 2.1 查得橡胶材质系数 $f = 0.217$

所得数值除以系数 f，则胶板面积为

$$3.8/0.217 = 17.5\ (m^2)$$

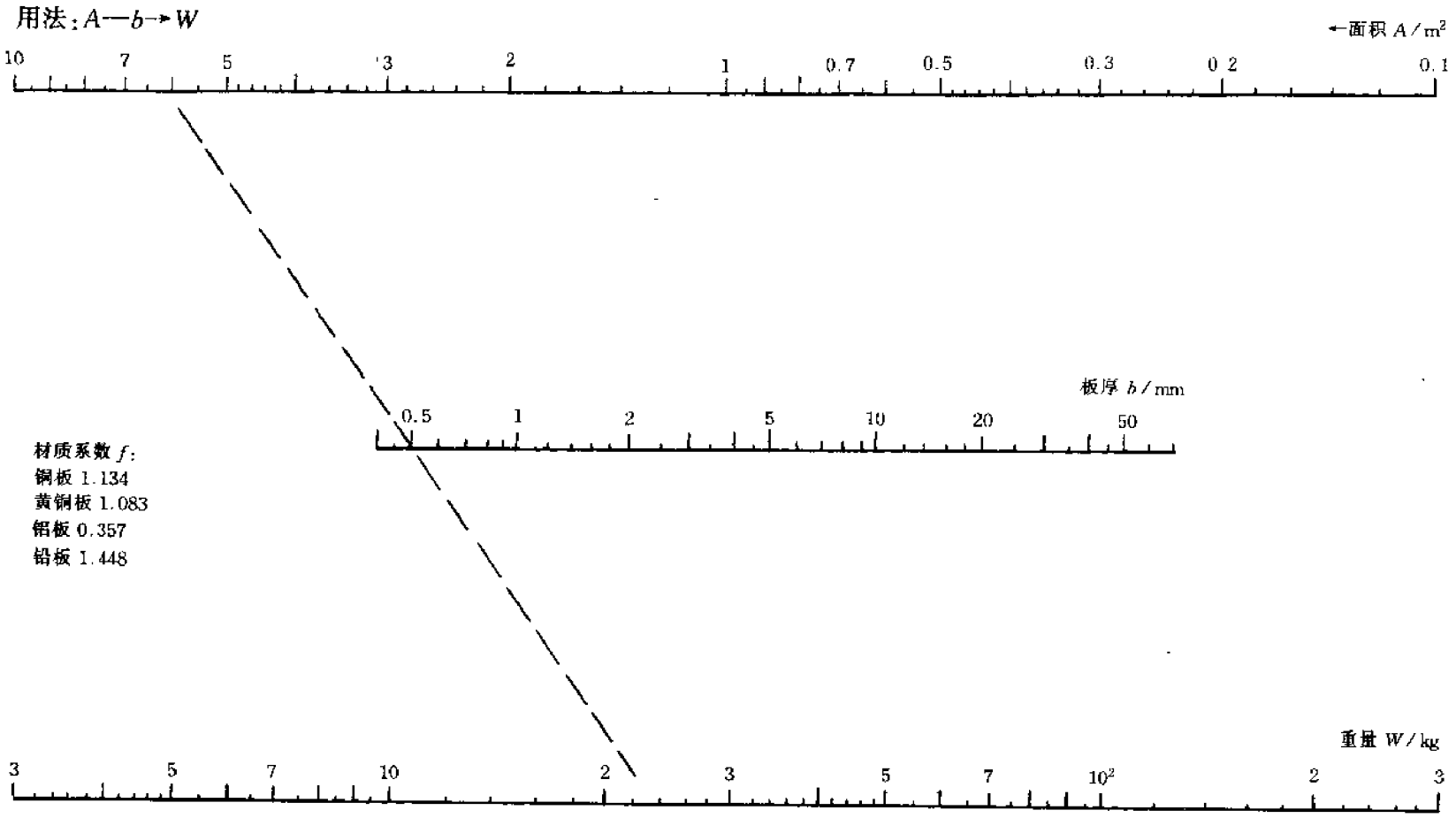


图 2.5 钢（铜、铝）板重量算图（一）

2.6 钢（铜、铝）板重量计算（二）

图 2.6 依据下式设计绘制

$$W = \rho abL$$

式中 ρ——钢密度，$7.85\times10^3 kg/m^3$；

a——板宽，m；

b——板厚，m；

L——板长，m。

算出钢板重量后，乘以材质系数 f，可算出其他材质板重。

【例 2.14】 1200mm×1600mm×6mm 的钢板有多重？

解： 用图 2.6 $a1.2—b6\rightarrow X$（用铅笔记下点 X）

$L1.6—X\rightarrow W$，由于超出算图数值范围，故改用 $L\ 16—X\rightarrow W = 900\times10^{-1}kg = 90kg$（如图 2.6 虚线所示）

精确算值：

钢板重 $W = \rho abL = 7.85\times10^3\times1.2\times1.6\times0.006$

$= 90.43$（kg）

【例 2.15】 1200mm×1600mm×6mm 的铅板、聚氯乙烯板各有多重？

解： 由表 2.1 查得铅、聚氯乙烯的材质系数 f 分别为 1.448 和 0.178。由上例已算出相同规格的钢板重为 90kg，乘以材质系数 f，则：

铅板重 $90kg\times1.448 = 130.3kg$

聚氯乙烯板重 $90kg\times0.178 = 16.02kg$

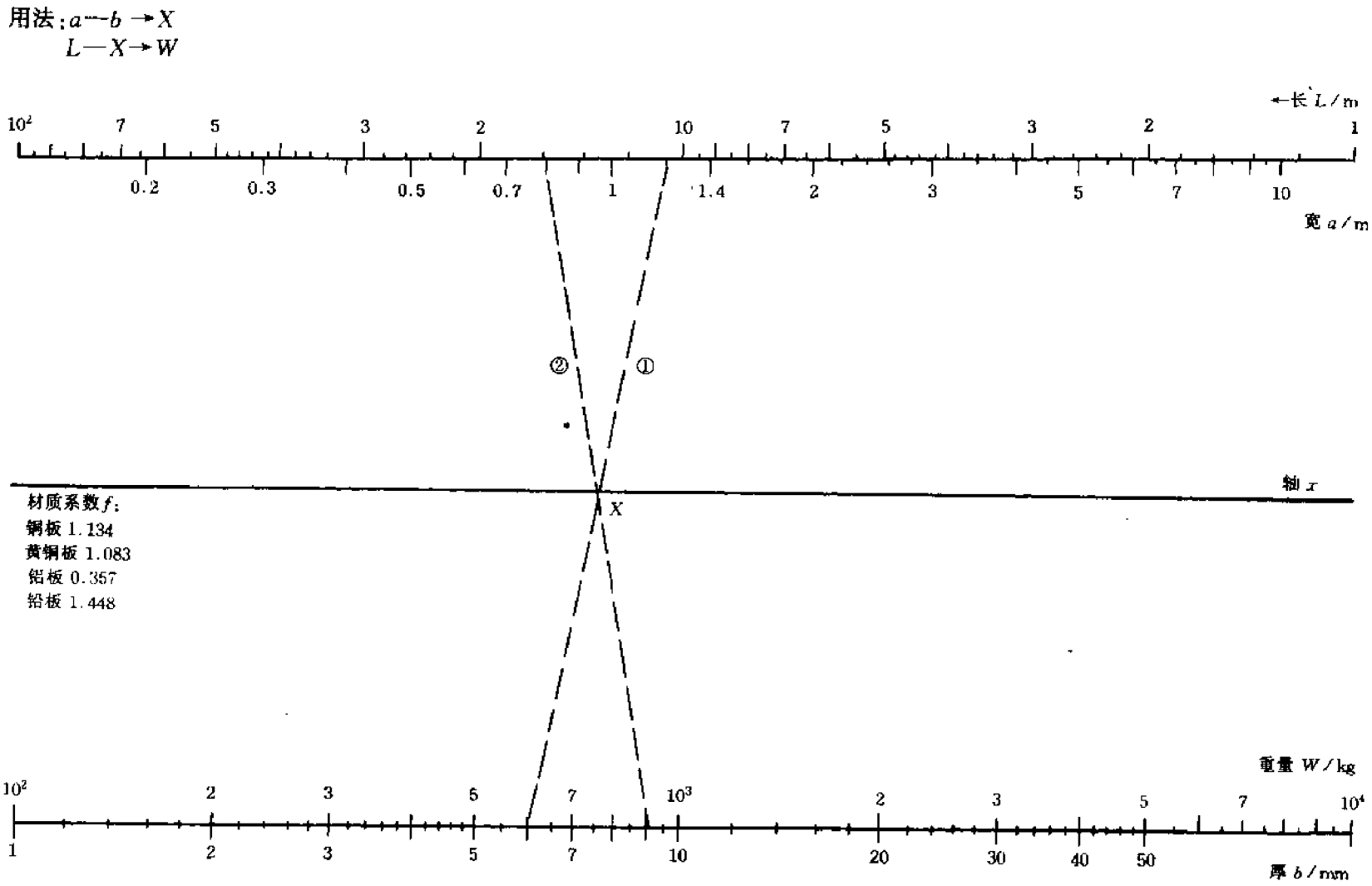


图 2.6 钢（铜、铝）板重量算图（二）

2.7 钢（铜、铝）带重量计算

图 2.7 依据下式设计绘制：

$$W = \rho abL$$

式中 ρ——钢密度，$7.85\times10^3 kg/m^3$；

a——带宽，m；

b——带厚，m；

L——带长，m。

算出钢带重量后，乘以材质系数 f，可算出其他材质带重。

【例 2.16】 50mm×4mm 的钢带长 32m，有多重？

解： 用图 2.7 $a50—b4 \rightarrow X$（用铅笔记下点 X）

$L32—X \rightarrow W = 50kg$（如图 2.7 虚线所示）

精确算值：$W = \rho abL = 7.85\times10^3\times0.05\times0.004\times32$

$= 50.24$（kg）

【例 2.17】 50mm×4mm 的铝带长 320m，有多重？

解： 由于 320m 超出 100m 的算尺数值范围，故改用 $L = 32m$ 来计算，再相应放大。32m 长的钢带重已算出为 50kg（见前例），故 320m 钢带重为 500kg。将此值乘以铝材系数 f，则铝带重

$500kg\times0.357 = 178.5kg$

用法：$a—b→X$

$L—X→W$

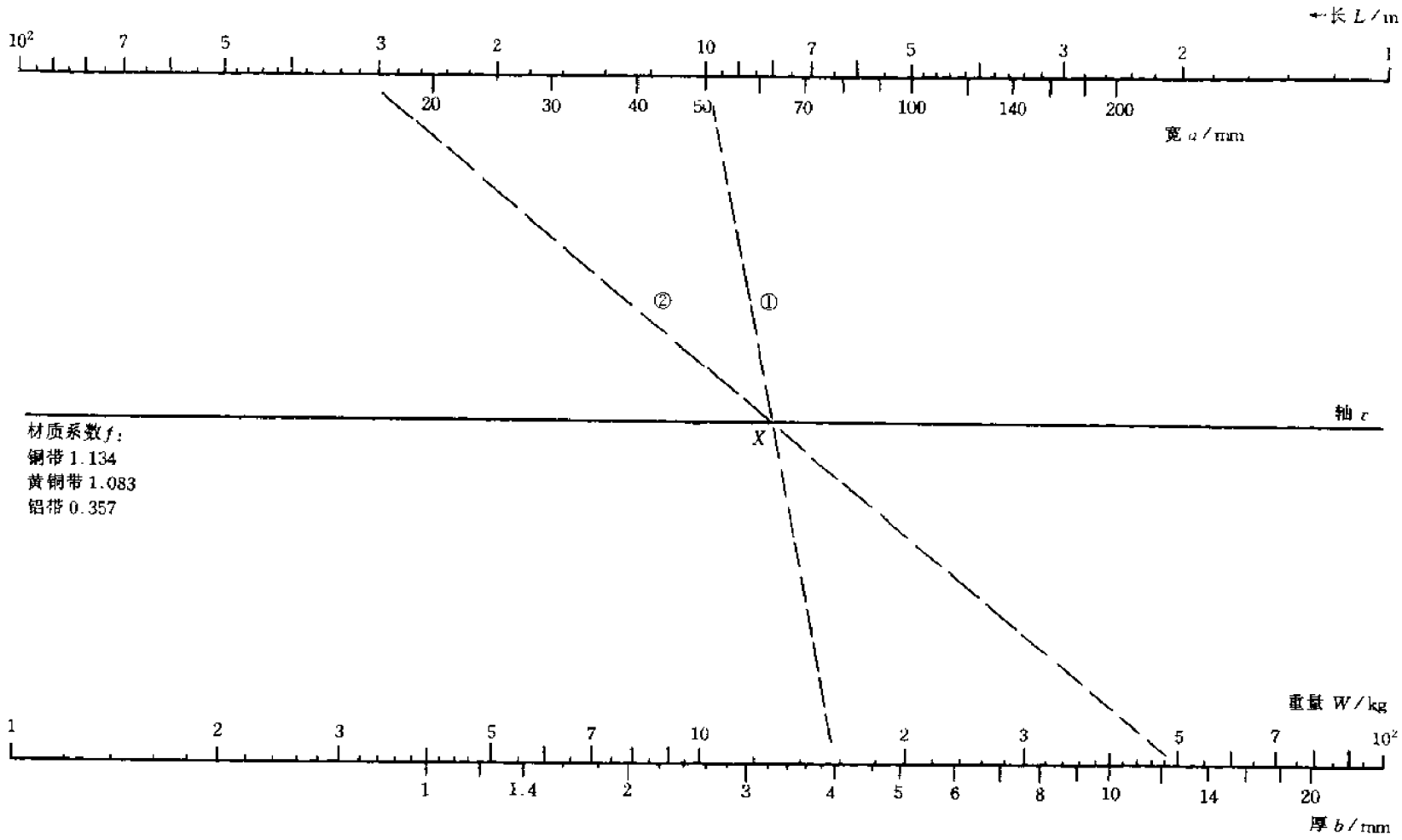


图 2.7　钢（铜、铝）带重量算图

2.8 角钢重量计算

图 2.8 依据下式设计绘制：

$$W = 2f_0\rho abL$$

式中 f_0——修正系数，取 0.96；

ρ——钢密度，7.85×10^3kg/m^3；

a——角钢边宽，m；

b——角钢边厚，m；

L——角钢长，m。

不等边角钢的重量修正系数为 0.8，即长边为 a 的不等边角钢是 a 等边角钢重量的 0.8 倍。

【例 2.18】 63mm×6mm 的角钢长 42m，重量是多少？

解： 用图 2.8 $a63—b6\rightarrow X$（用铅笔记一点 X，如图 2.8 虚线①所示）

$L42—X\rightarrow W=240$kg（如图 2.8 虚线②所示）

精确算值：$W = 2f_0\rho abL$

$=2\times0.96\times7.85\times10^3\times0.063\times0.006\times42$

$=239.28$（kg）

【例 2.19】 长度为 42m 的 60mm×40mm×6mm 的不等边角钢有多重？

解： 长边为 63mm 的不等边角钢是 63mm 等边角钢重量的 0.8 倍。前例已算出 63mm 同规格等边角钢重 240kg，故长 42m 的 63mm×40mm×6mm 不等边角钢重量 240kg×0.8=192kg

用法：$a—b \rightarrow X$

$L—X \rightarrow W$

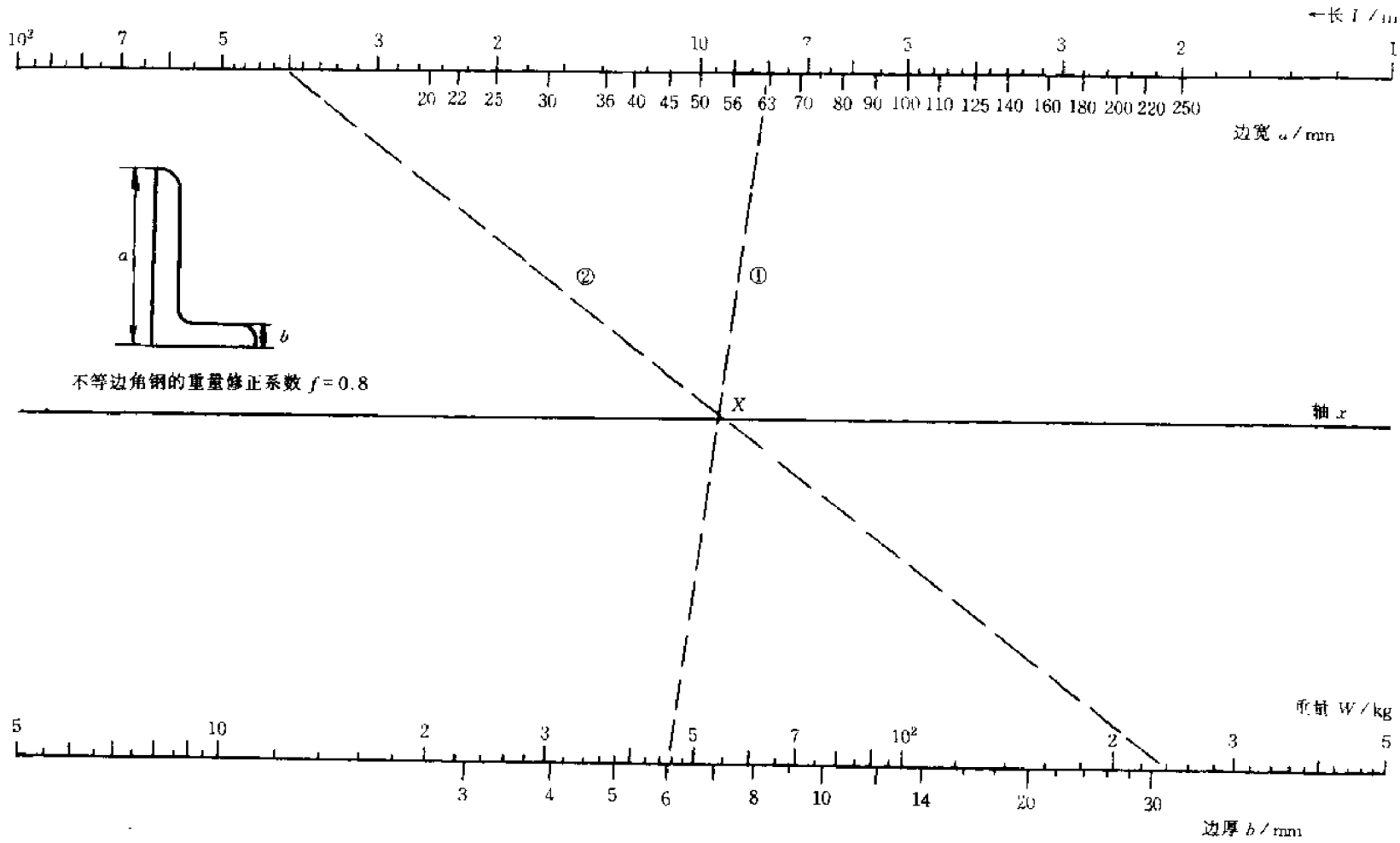


图 2.8　角钢重量算图

2.9 槽钢重量计算

图 2.9 依据下式设计绘制：

$$W = f(N)L$$

式中 $f(N)$——a 型槽钢单位长度重量函数，由有关手册查得；

L——槽钢长度，m。

算出的 a 型槽钢重量乘以算图所标修正系数，即可算出同规格的轻型、b 型、c 型槽钢的重量。

注：1. 为便于求精确值，将 a 型槽钢单位长度重量函数列表如下：

型号 N	5	6.3	8	10	12.6	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
$f(N)$/(kg/m)	5.4	6.6	8	10	12.4	14.5	17.2	20.2	22.6	25	27.5	31.4	38.2	47.8	58.9

2 a 型槽钢为 GB 707—88 常用规格。b 型槽钢腿宽、腰厚较 a 型略宽、厚，c 型槽钢则更宽、厚一些。具体尺寸可查有关手册。

【例 2.20】 25# a 型槽钢长 28m，重多少？若为轻型、b 型、c 型槽钢又各重多少？

解：用图 2.9 $N25—L28 \rightarrow W = 770\text{kg}$（如图 2.9 虚线所示）则 25# a 型槽钢 28m 重 770kg。乘以相应系数 f 后，则得同规格其他型号槽钢的重量。

轻型槽钢 $770\text{kg} \times 0.82 = 631\text{kg}$

b 型槽钢 $770\text{kg} \times 1.14 = 878\text{kg}$

c 型槽钢 $770\text{kg} \times 1.28 = 986\text{kg}$

精确算值：a 型槽钢重 $W = f(N)L = 27.5 \times 28 = 770(\text{kg})$

用法：$L—N→W$

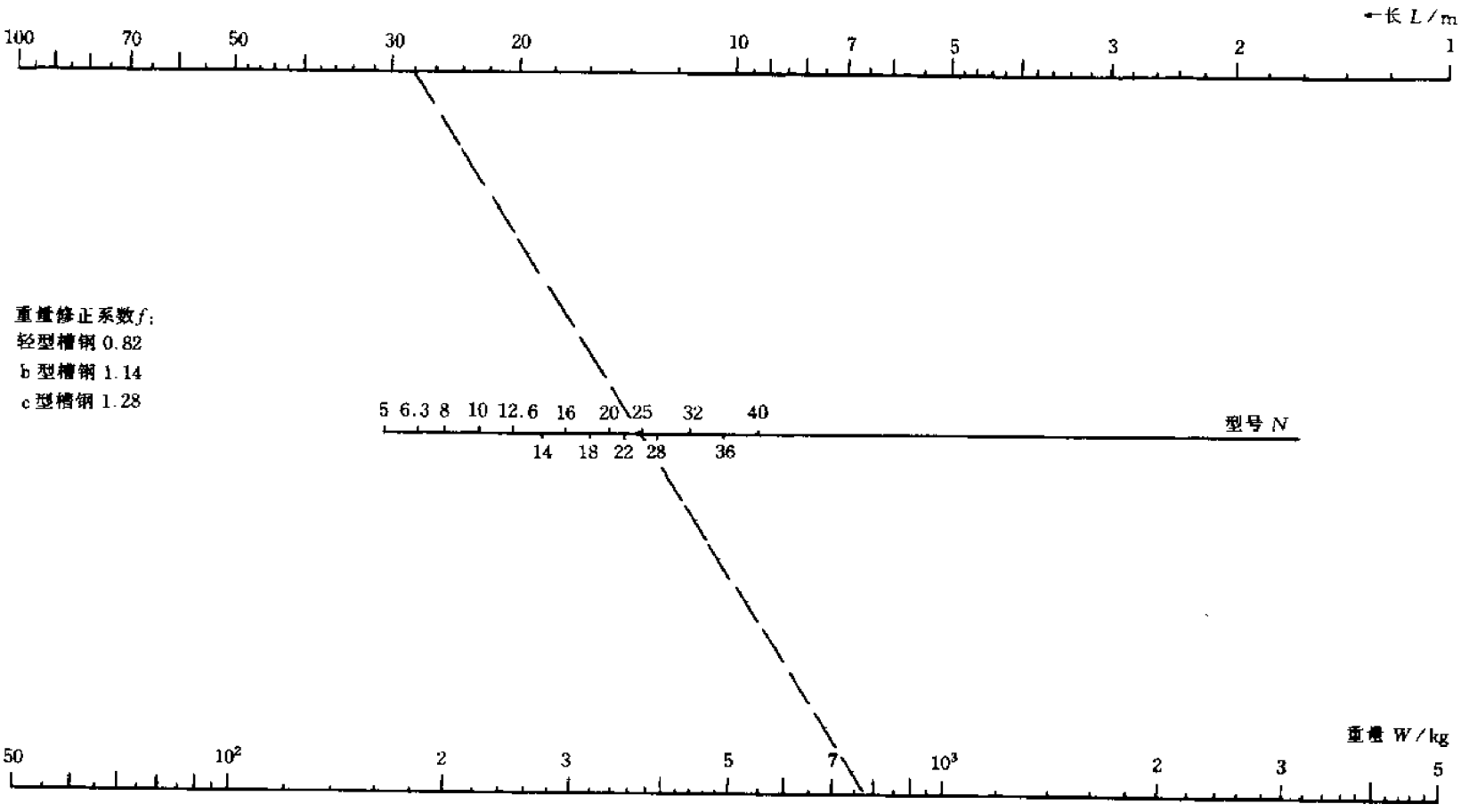


图 2.9　槽钢重量算图

2.10 工字钢重量计算

图 2.10 依据下式设计绘制：

$$W = f(N)L$$

式中 $f(N)$——a 型工字钢单位长度重量函数，可由有关手册查得；

L——工字钢长度，m。

算出 a 型工字钢重量后，再乘以算图所标系数，即可算出同规格的 b 型、c 型工字钢重量。

注：1. 为便于求取精确值，将 a 型工字钢单位长度重量函数列表如下：

型号 N	10	12.6	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50
$f(N)$/(kg/m)	11.2	14.2	16.9	20.5	24.1	27.9	33	38.1	43.4	52.7	59.9	67.6	80.4	93.6

2. a 型工字钢为 GB 706—88 常用规格，b 型工字钢较 a 型工字钢宽、厚些，c 型工字钢则更为宽、厚。具体尺寸可查有关手册。

【例 2.21】 32# a 型工字钢长 180m，重多少？若是 b 型、c 型工字钢，又应重多少？

解：由于 180m 超出 L 尺数值范围，故改用 18m 来算。用图 2.10 $L18—N32 \rightarrow W = 940 \times 10 = 9400$（kg）$= 9.4$（t）（如图 2.10 虚线所示）

将此值乘以相应系数，则得同规格 b 型、c 型工字钢重量：

b 型工字钢重 $9.4t \times 1.1 = 10.3t$

c 型工字钢重 $9.4t \times 1.18 = 11.1t$

精确算值：a 型工字钢重 $W = f(N)L = 52.7 \times 180 = 9486$（kg）

用法：$L—N—W$

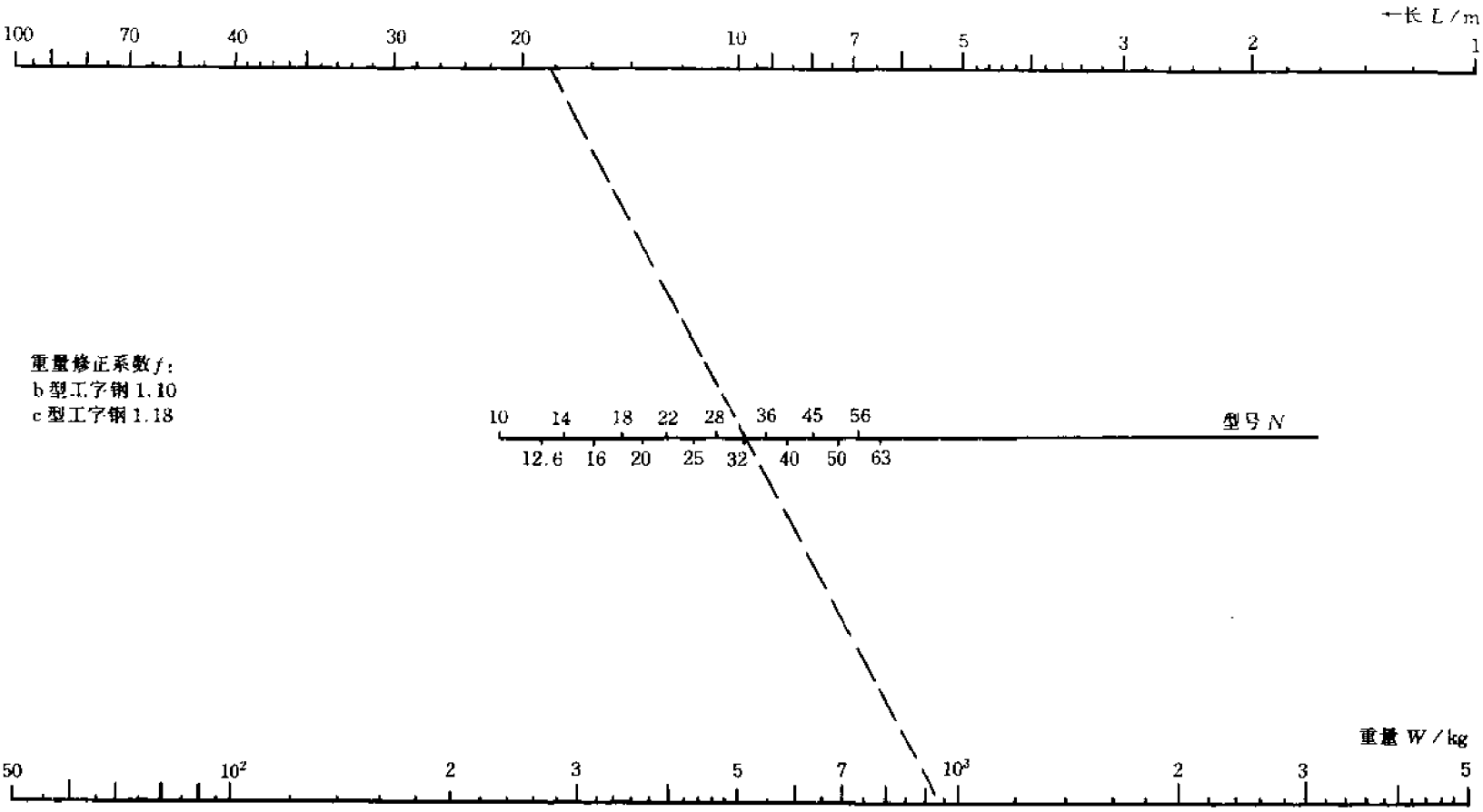


图 2.10　工字钢重量算图

2.11 六角螺杆及螺母重量计算

图 2.11 依据下式设计绘制：

$$W = W_1 + W_2 = \rho \frac{\pi}{4} d^2 L + W_2$$

式中 W_1——螺杆重（不含螺头），kg；

W_2——螺头重量修正值，kg；

ρ——钢密度，$7.85 \times 10^3 kg/m^3$；

d——螺杆直径，m；

L——螺杆长（不含螺头），m。

螺母重 W_3 由有关手册查得，图中标在杆径 d 尺下方。螺头重量修正值 W_2 与杆径对应，另设标尺在 d 尺上方。双头螺柱（不含双螺母）重量为 $W_1 \times 0.84$。

注：图中所标 W_1、W_2、W_3 均指每千件螺杆、螺头、螺母的重量。

【例 2.22】 125 套 M16mm×85mm 六角螺栓有多重？

解： 用图 2.11 $L85—d16 \rightarrow W_1 = 135kg/千件$

$d16 \rightarrow W_2 = 27kg/千件$（如图 2.11 虚线①、②所示）

则千件螺杆重 $135 + 27 = 162$（kg）

精确算值（以千件为单位）：

$$W = \rho \frac{\pi}{4} d^2 L + W_2$$

$$= 7.85 \times 10^3 \times 0.785 \times 0.016^2 \times 0.085 \times 10^3 + 27$$

$$= 134.1 + 27 = 161.1 \text{（kg）}$$

另外，由图 2.11 求得千件螺母重 $d16—W_3 = 34.1kg/千件$

所以，125 套螺栓重 $(162 + 34.1) \times 0.125 = 24.5$（kg）

【例 2.23】 56 套 M16mm×280mm 双头螺栓有多重？

解： 用图 2.11，求千件螺杆重 $L280—d16 \rightarrow W_1 = 440kg$

千件螺母重 $d16—W_3 = 34.1kg$

则千套双头螺栓重 $440 \times 0.84 + 34.1 \times 2 = 437.8$（kg）（每套含两个螺母）

所以，56 套双头螺栓重 $437.8kg \times 0.056 = 24.5kg$

用法：$L—d→W_1$

$d→W_2, d—W_3$

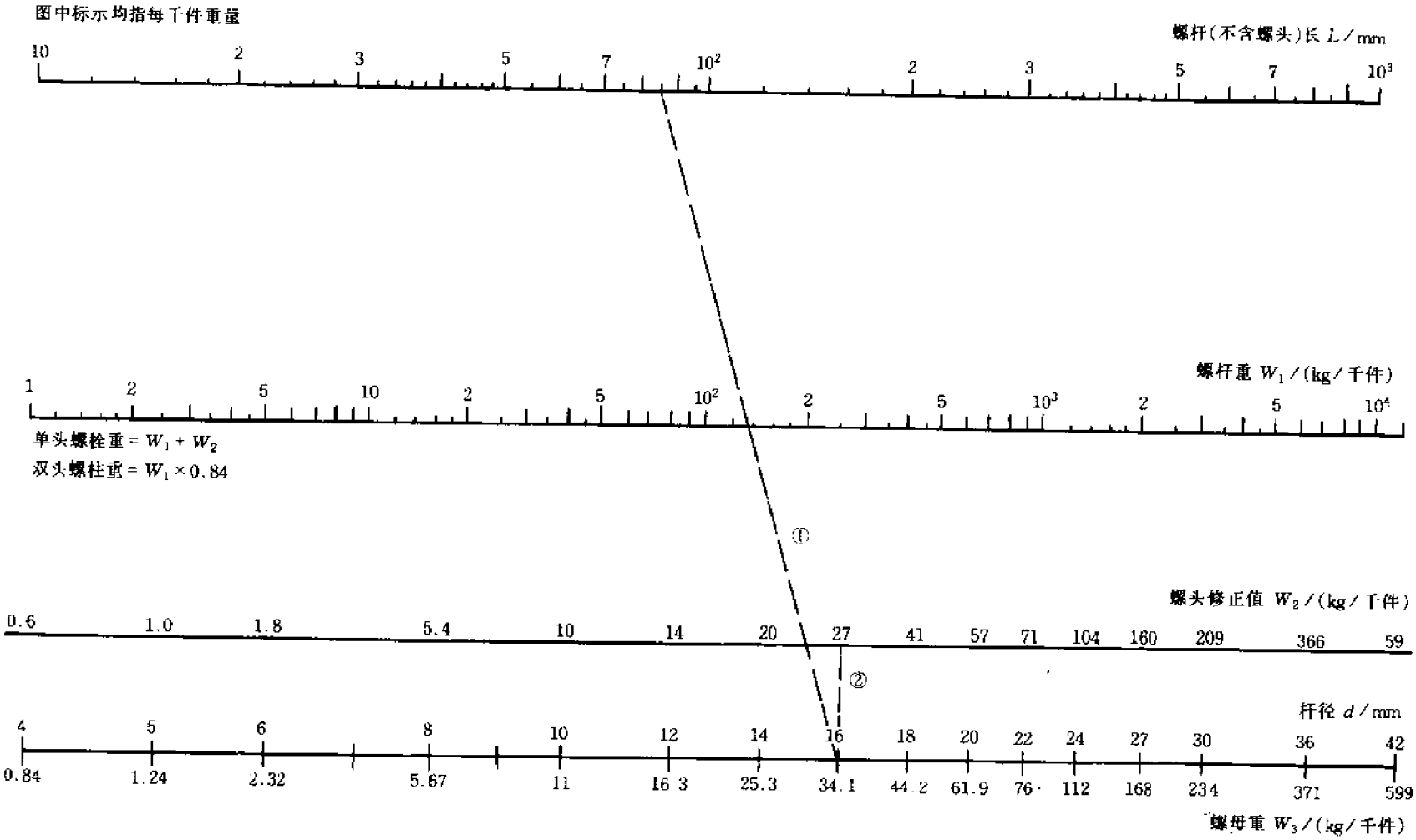


图 2.11　六角螺杆及螺母重量算图

2.12 法兰重量计算

图 2.12 依据下式设计绘制：

$$W = f_0 \rho \pi D a b$$

式中 f_0——修正系数，取 0.84；

ρ——钢密度，$7.85 \times 10^3 kg/m^3$；

D——平均直径（法兰内外径平均值），m；

a——法兰边宽，m；

b——法兰总厚，m。

【例 2.24】 内外径分别为 108mm 和 205mm，总厚 14mm 的法兰，重量为多少？

解：由图 2.12，边宽 $a = (205 - 108)/2 = 48.5$（mm）

平均直径 $D = (205 + 108)/2 = 156.5$（mm）

用图 2.12 $D156.5$—$a48.5$→X（用铅笔记一点 X，如图 2.12 虚线①所示）

$b14$—X→$W = 2.15kg$（如图 2.12 虚线②所示）

【例 2.25】 内径 ϕ1020mm，边宽 78mm，总厚 30mm 的罐法兰有多重？

解：平均直径 $D = 1020 + 78 = 1098$（mm）

用图 2.12 $D1098$—$a78$→X—$b30$→$W = 54kg$

则此罐法兰一个重 54kg，一对重 108kg（不含螺栓重）。

用法：$D—a→X$
$b—X→W$

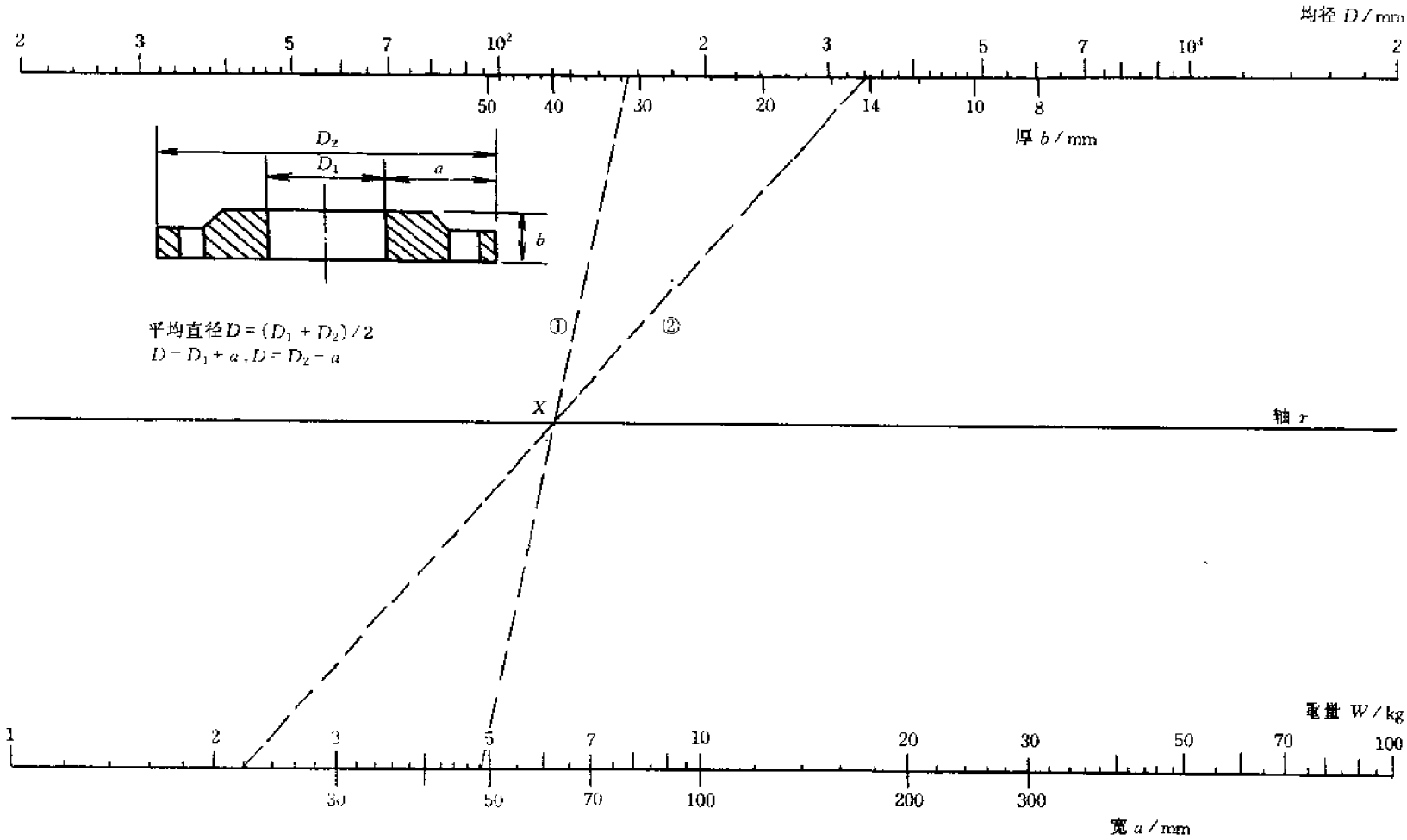


图 2.12　法兰重量算图

2.13 圆木材量方计算

图 2.13 依据下式设计绘制：

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

式中 D——平均直径（圆木大小头直径平均值），m；

L——圆木长，m。

【例 2.26】 大小头直径分别为 ϕ460mm 和 ϕ320mm 的圆木，长 12m，有多少立方米？

解：平均直径 $D = (460 + 320)/2 = 390$（mm）$= 0.39$（m）

用图 2.13 $D0.39—L1.2 \rightarrow V = 0.142 \times 10 = 1.42 m^3$

因 12m 已超出算图范围，故用 1.2m 计算后再乘 10 即可，如图 2.13 虚线所示。

精确算值：$V = \frac{\pi}{4} D^2 L = 0.785 \times 0.39^2 \times 12 = 1.433$（$m^3$）

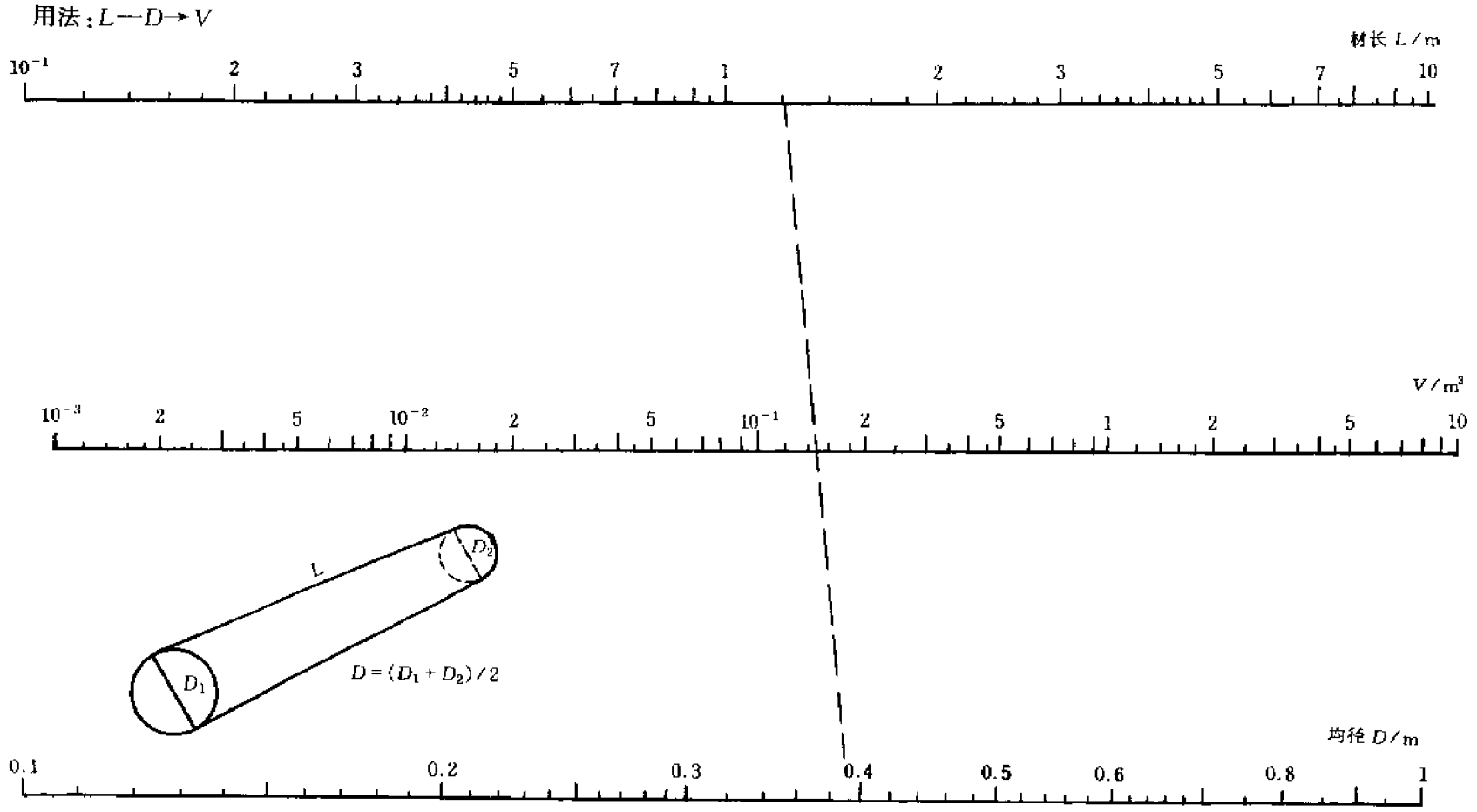


图 2.13　圆木材量方算图

2.14 各类木材重量计算

图 2.14 依据下式设计绘制：

$$W = \rho V$$

式中 ρ——各类木材密度，可由有关手册查得，kg/m^3；

V——木材体积，m^3。

【例 2.27】 现有红松 950kg，其体积为多少立方米？

解：在算图中查出红松编号 $N = 3$，则

用图 2.14 $N3—W950 \rightarrow V = 2.16m^3$（如图 2.14 虚线所示）

用法：$N—V→W$

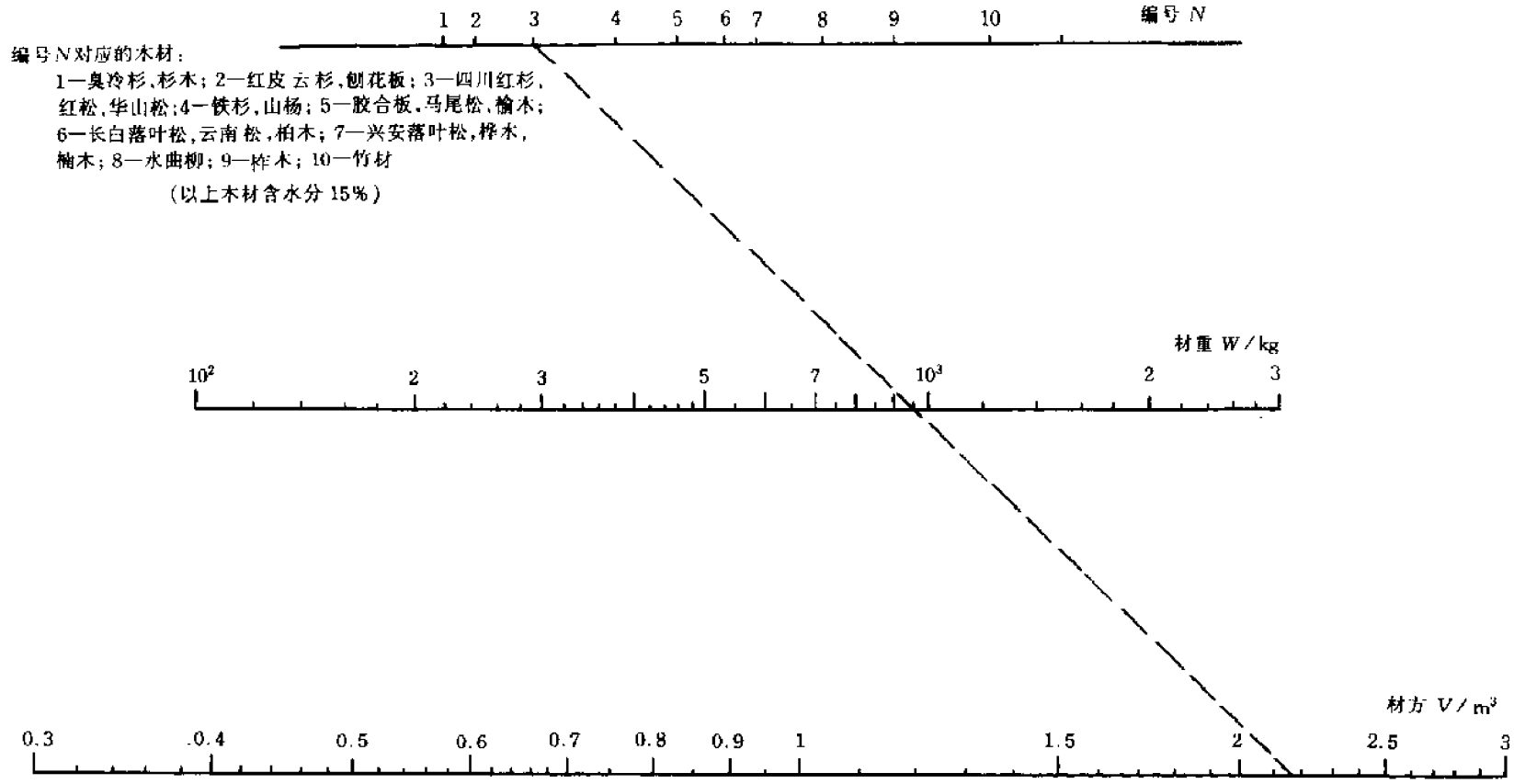


图 2.14　各类木材重量算图

3. 设备容积计算

在化工、制药、炼油、冶金等各类工厂中，常使用圆形、圆锥形、长方形、球形、椭圆形等各种几何形状的设备和贮罐。计算这些设备的容积，是了解设备贮存能力及生产能力的重要依据。

设计设备时，利用设备容积算图来确定设备的直径、高、宽、长等几何参数也很方便。

3.1 圆筒贮罐容积计算

图 3.1 依据下式设计绘制：

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h \qquad (\pi/4 = 0.7854)$$

式中 D——圆筒内径，m；

h——圆筒高，m。

斜底圆筒贮罐的筒高为长高和短高的平均值。

【例 3.1】 设计高为 1.2m，容积为 600L 的圆筒贮罐，其内径应为多少？

解：用图 3.1 $h1.2$—$V0.6$→$D = 0.8$m（如图 3.1 虚线所示）

精确算值：$D = (V/0.7854h)^{0.5} = [0.6/(0.7854 \times 1.2)]^{0.5}$

$= 0.637^{0.5} = 0.798(\text{m})$

【例 3.2】 直径为 0.8m 的斜底平盖圆贮罐，其短高 1m，长高 1.4m，求斜底圆贮罐容积是多少？

解：贮罐平均高$h = (1 + 1.4)/2 = 1.2$m

用图 3.1 $h1.2$—$D0.8$→$V = 0.6\text{m}^3$（如图 3.1 虚线所示）

用法：$h—D→V$

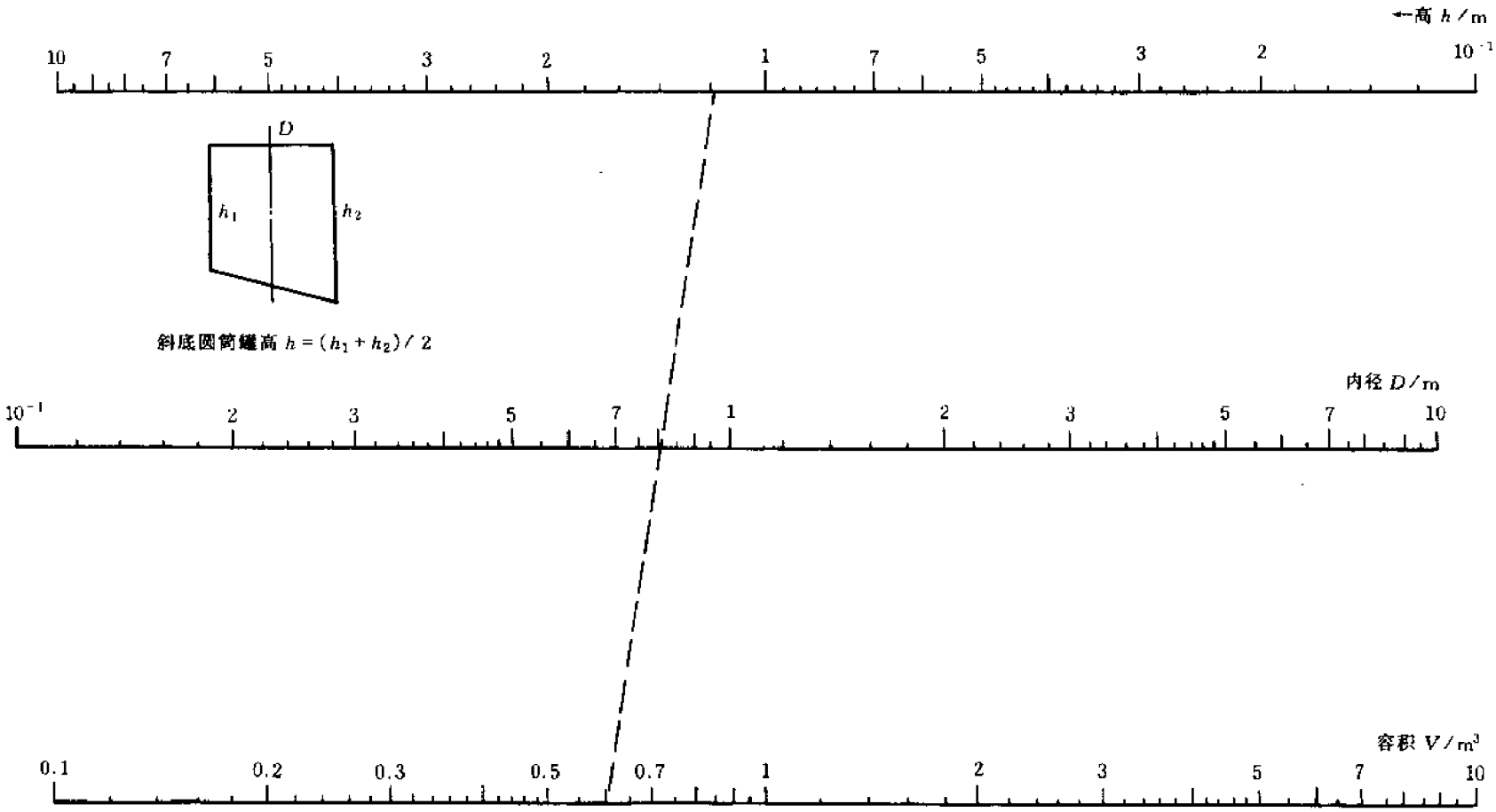


图 3.1　圆筒贮罐容积算图

3.2 各种封头容积计算

图 3.2 依据下列各式设计绘制：

半球形封头　　$V_1=0.2618D^3$

60°锥形封头　　$V_2=0.2267D^3$

90°锥形封头　　$V_3=0.1309D^3$

椭圆形封头　　$V_4=0.131D^3$

碟形封头　　$V_5=0.122D^3$

球面封头　　$V_6=0.0539D^3$

式中　D——封头内径，m。

注：1. 各种封头均不含直边容积。直边长度加在筒高内，可用图 3.1 算在筒体容积内。

2. 椭圆形封头与碟形封头外形相似，为便于读者区别，可量其凸高 h 和直径 D，若 $h/D\geq 1/4$ 者为椭圆形封头，$h/D<1/4$ 者为碟形封头。

【例 3.3】　直径为 0.8m，盆形（椭圆形）底盖、筒体高 1.2m（含封头直边高）的贮罐，容积为多大？

解：用图 3.2　$N4—D0.8\rightarrow V=0.066\text{m}^3$（如图 3.2 虚线所示）

精确算值：$V_4=0.131D^3=0.131\times 0.8^3=0.0671\ (\text{m}^3)$

用图 3.1 算筒体容积　$h1.2—D0.8\rightarrow V=0.6\text{m}^3$

则设备全容积：　$0.6+0.066\times 2=0.732\ (\text{m}^3)$

【例 3.4】　现有直径 1.2m，筒高 0.85m，碟形封盖、60°锥形底的贮罐，求全容积是多少？

解：用图 3.1 求筒体容积　$h0.85—D1.2\rightarrow V=0.96\text{m}^3$

用图 3.2 求锥底容积　$N2—D1.2\rightarrow V=0.39\text{m}^3$

用图 3.2 求碟盖容积　$N5—D1.2\rightarrow V=0.21\text{m}^3$

则设备全容积　$0.96+0.39+0.21=1.56\text{m}^3$

注：本题筒高 0.85m 中包含上下封头的直边高，所以筒体高不是两端封头的焊缝间距离，测量设备时应注意。

用法：$N—D→V$

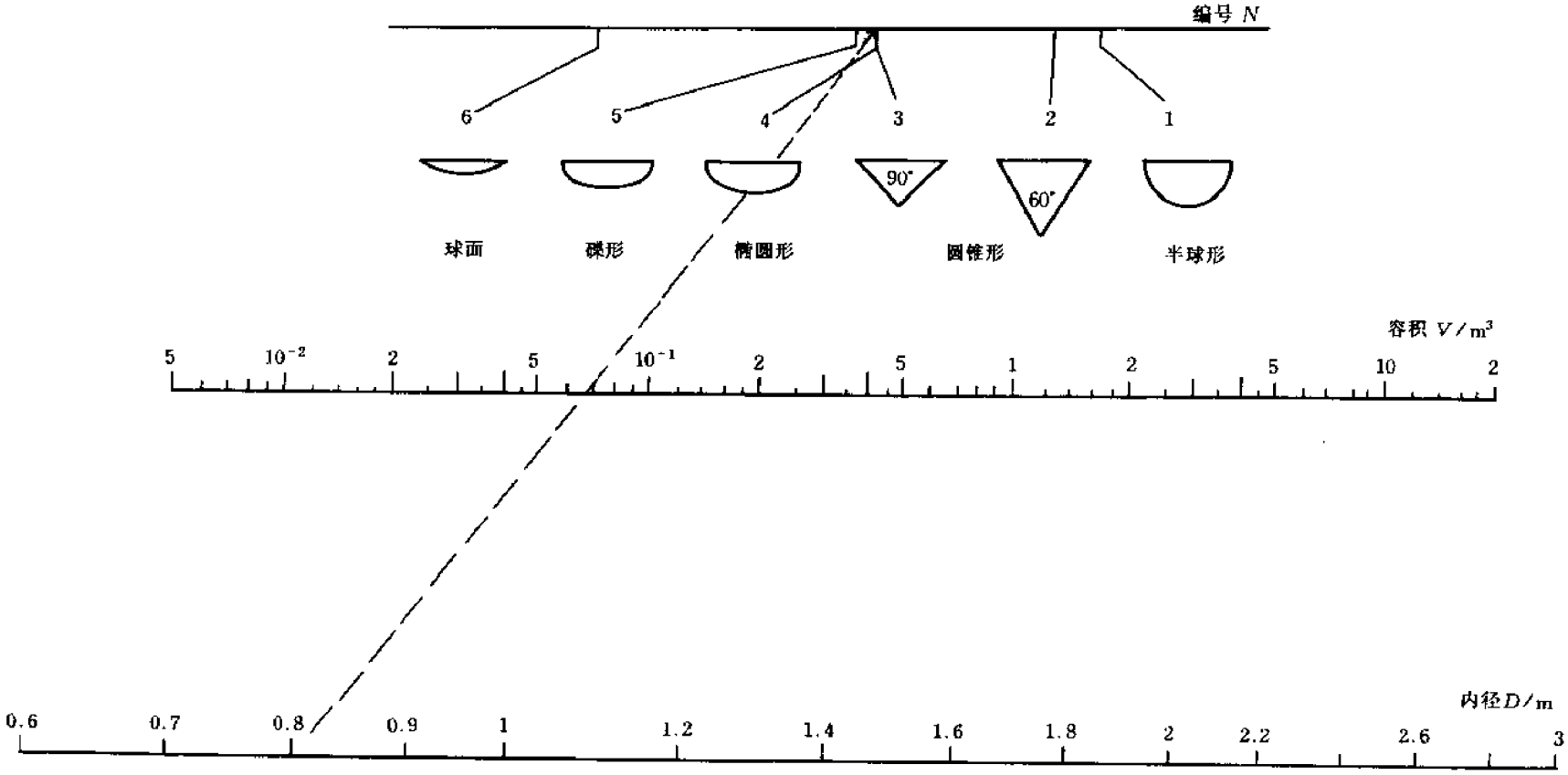


图 3.2　各种封头容积算图

3.3 圆锥形贮罐容积计算

图 3.3 依据下式设计绘制：

$$V = \frac{\pi}{12} D^2 h \quad (\pi/12 = 0.2618)$$

式中 D——锥罐顶内径，m；

h——锥罐高，m。

【例 3.5】 直径 2m，高 3m 的圆锥形贮罐容积有多大？

解：用图 3.3 $h3—D2 \rightarrow V = 3.15\text{m}^3$（如图 3.3 虚线所示）

精确算值：$V = 0.2618D^2h = 0.2618 \times 2^2 \times 3 = 3.142\ (\text{m}^3)$

用法 $h—D→V$

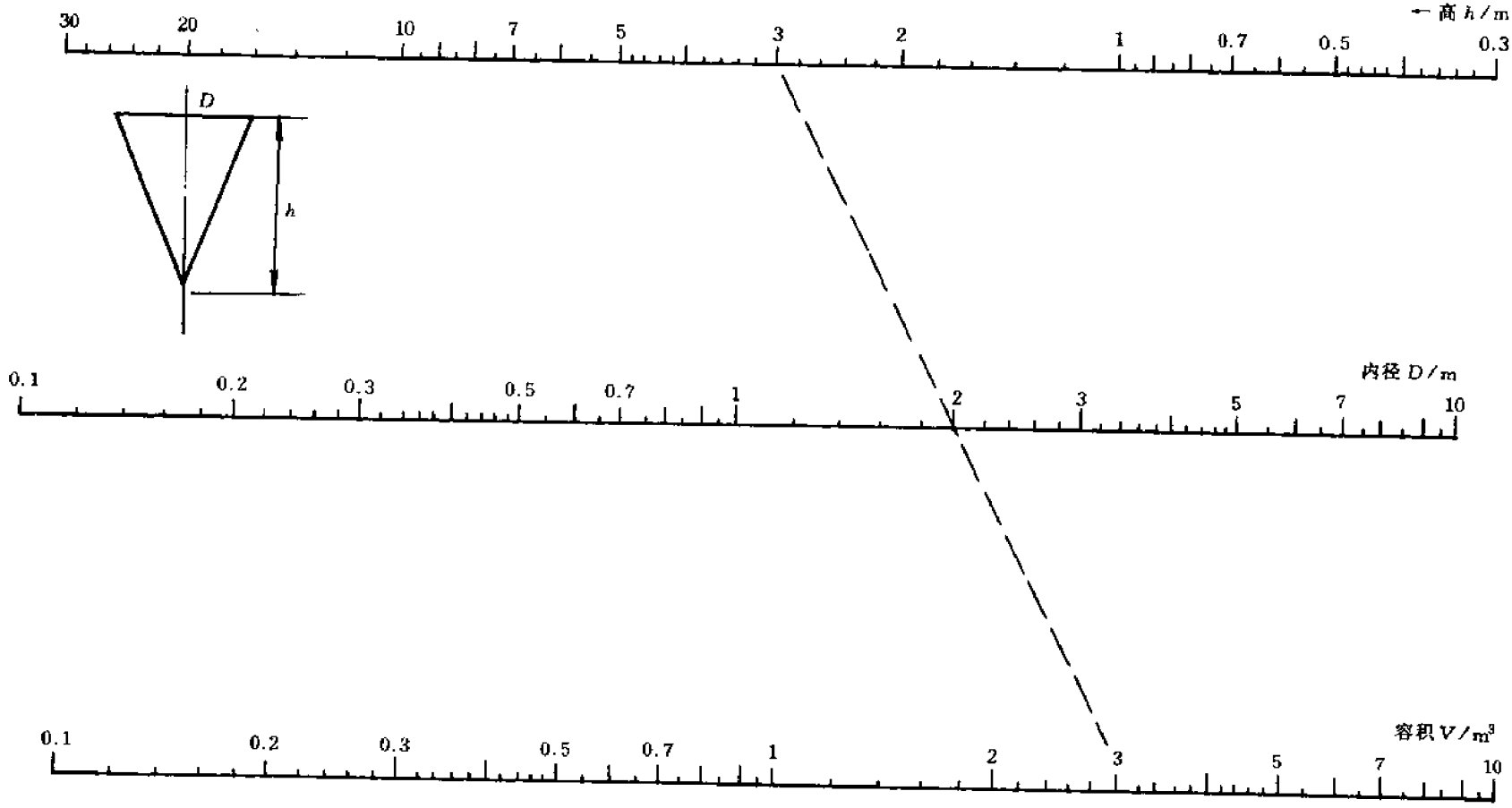


图 3.3　圆锥形贮罐容积算图

3.4 锥形顶圆筒贮罐容积计算

图 3.4 依据下式设计绘制：

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h$$

式中 D——贮罐内径，m；

h——贮罐计算高（筒体高加上锥顶高的 1/3），m。

【例 3.6】 锥形顶圆筒贮罐直径 8m，筒体高 h_1 为 6m，锥顶高 h_2 为 1.5m，求该贮罐的筒体容积和全容积各为多少？

解：求贮罐计算高 $h = h_1 + h_2/3 = 6 + 1.5/3 = 6.5$（m）

用图 3.4，筒体容积 $h6—D8 \rightarrow V = 302\text{m}^3$

全容积 $h6.5—D8 \rightarrow V = 325\text{m}^3$（如图 3.4 虚线所示）

精确算值：$V = \frac{\pi}{4} \times 8^2 \times 6.5 = 326.7$（$\text{m}^3$）

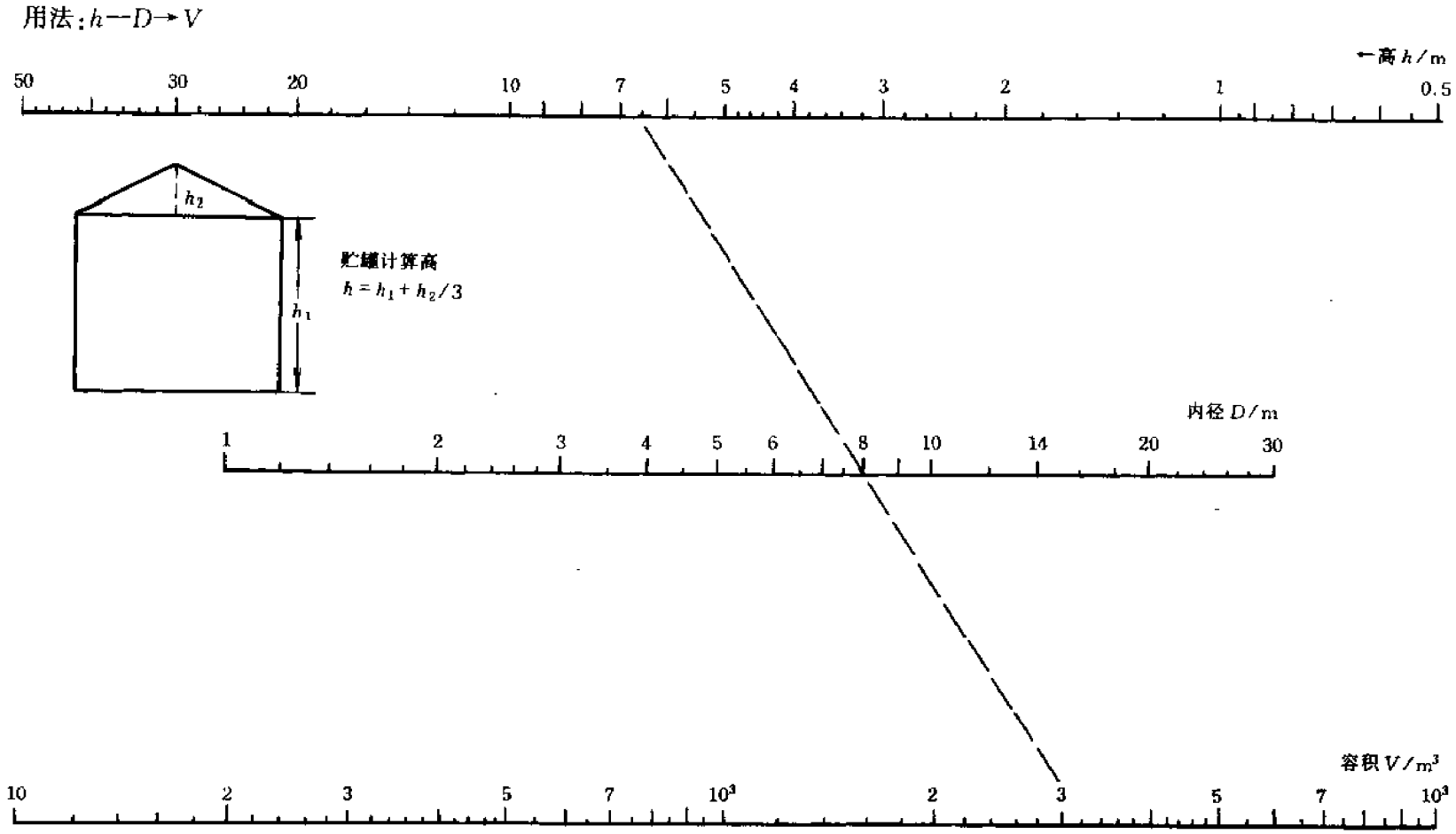


图 3.4　锥形顶圆筒贮罐容积算图

3.5 长方形贮槽、梯形贮槽容积计算

图 3.5 依据下式设计绘制：

$$V = ahL$$

式中 a——贮槽宽(对于梯形贮槽则为上、下槽宽的平均值)，m；

h——贮槽高，m；

L——贮槽长，m。

【例 3.7】 长方形贮槽宽 1.6m，长 3.2m，高 1.2m，容积为多少？

解：用图 3.5 $a1.6—L3.2→X$（在 x 轴上记一点 X）

$h1.2—X→V=6.2\text{m}^3$（如图 3.5 虚线①、②所示）

精确算值： $V=1.6\times3.2\times1.2=6.144\ (\text{m}^3)$

【例 3.8】 长方梯形贮槽上宽 2m，下宽 1.2m，长 3.2m，高 1.2m，求其全容积。

解：梯形贮槽平均槽宽 $a=(2+1.2)/2=1.6(\text{m})$

用图 3.5，与前例长方形贮槽容积一样，求得容积亦为 6.2m^3。

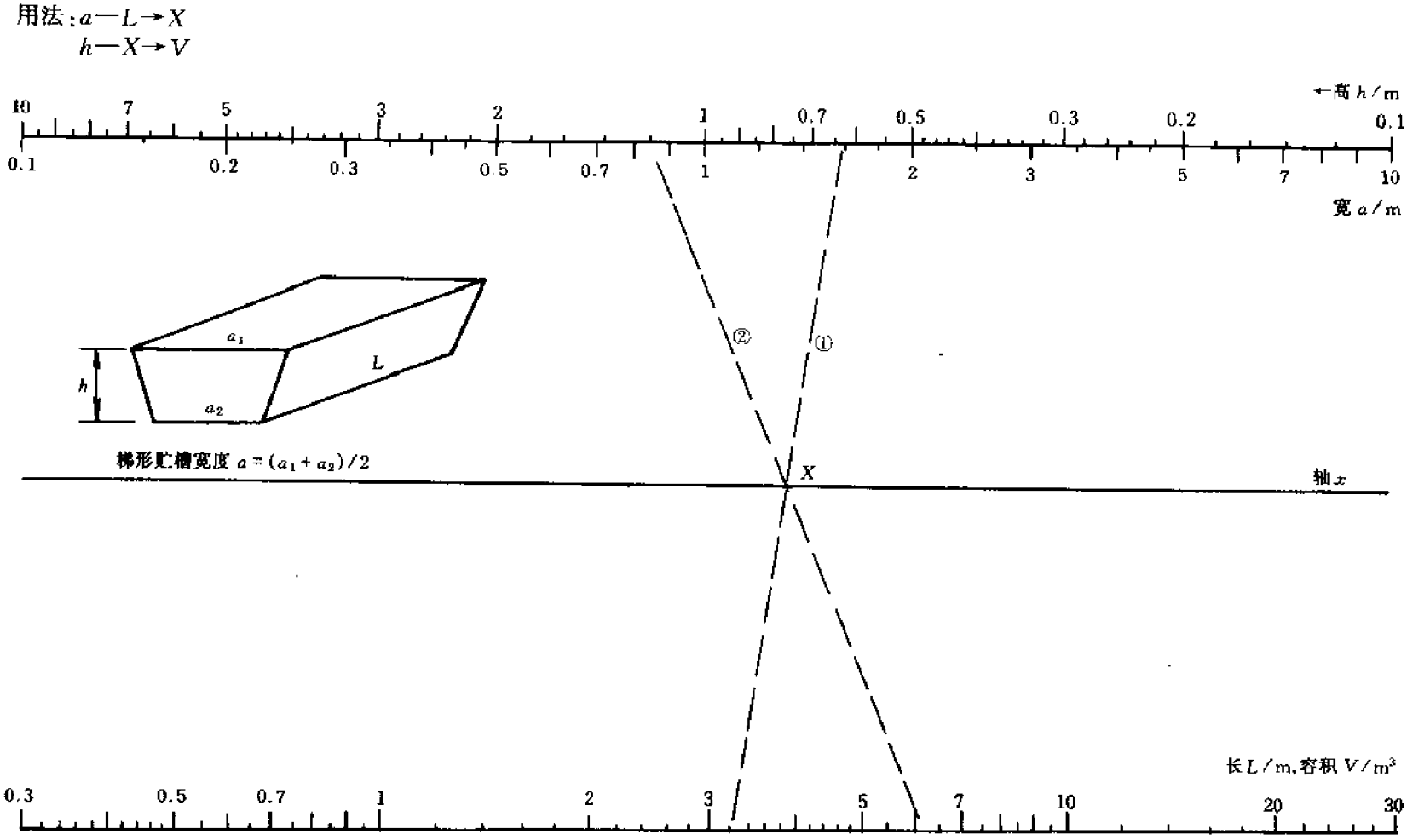


图 3.5　长方形贮槽、梯形贮槽容积算图

3.6 椭圆形贮槽、半圆形贮槽、槽罐容积计算

图 3.6 依据下式设计绘制：

$$V=\frac{\pi}{4}ahL$$

式中 a——椭圆形贮槽宽，m；

h——椭圆形贮槽高，m；

L——椭圆形贮槽长，m。

当 $a=2h$ 时，椭圆形贮槽成为半圆形贮槽。对槽罐来说，当 $a=h$ 时，椭圆形槽罐成为圆形槽罐（参看图 3.6 所示图例）。

【例 3.9】 有一椭圆形贮槽，宽 0.8m，高 0.6m，长 1.8m，求槽的全容积。

解： 用图 3.6 $a0.8—L1.8→X$（在 x 轴上记一点 X，如图 3.6 虚线①所示）

$h0.6—X→V=0.68m^3$（如图 3.6 虚线②所示）

精确算值：$V=\frac{\pi}{4}\times0.8\times0.6\times1.8=0.6786\ (m^3)$

【例 3.10】 有一椭圆形汽车油罐，宽 1.2m，宽 0.8m，长 2.6m，求槽罐全容积是多少？

解： 用图 3.6 $a1.2—L2.6→X$

$L0.8—X→V=1.95m^3$

精确算值：$V=\frac{\pi}{4}\times1.2\times0.8\times2.6=1.96\ (m^3)$

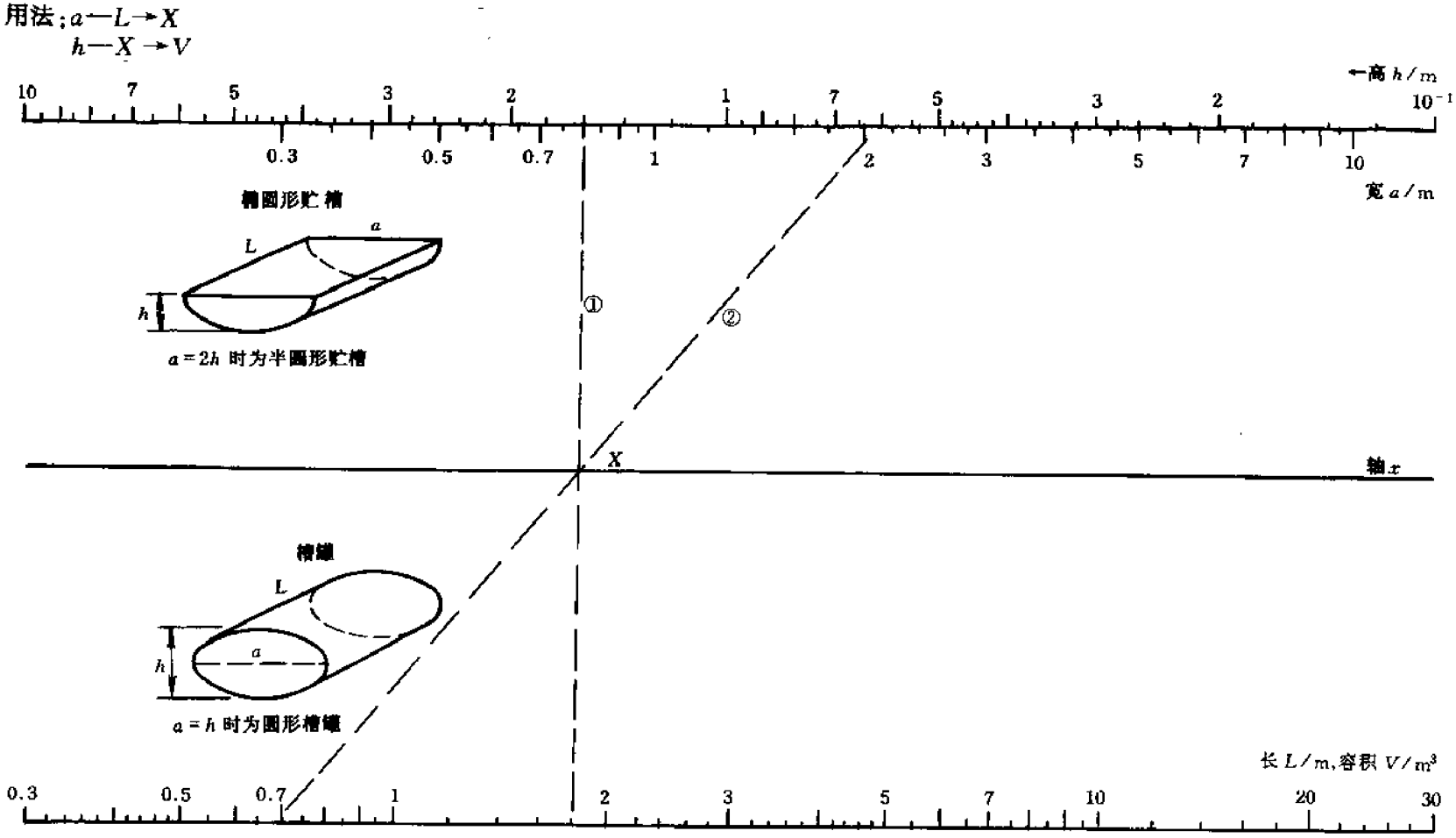


图 3.6　椭圆形贮槽、半圆形贮槽、槽罐容积算图

4. 液位标示和物料体积计算

在化工、制药、炼油、冶金等各类工厂内，各种设备和贮罐内的物料重量，往往是通过物料体积乘以物料密度来计算的，而物料体积通常用液位来标示。

4.1 立式圆形贮罐、长方形贮槽物料体积计算

对于立式圆形贮罐、长方形贮槽等几何尺寸比较简单的设备来说，设备内物料横断面不随液面高低而变化，物料体积 V 只与液位 h 成简单的正比函数关系。图 4.1 即是依据下式设计绘制：

$$V = fh$$

式中 f——设备常数（不随液体高低而变化），m^2；

对立式圆形贮罐 $f = \frac{\pi}{4}D^2$；

对长方形贮槽 $f = aL$；

h——物料液位高，m。

注：对具体设备而言，其直径 D、宽 a、长 L 都是固定不变的，所以设备常数 f 也是固定不变的，在算图上是一个固定点，物料体积 V 只随液位高度 h 变化。

【例 4.1】 有一长方形贮槽宽 1.2m，长 1.8m，求液位为 0.6m 时贮槽内水的体积？

解：设备常数 $f = aL = 1.2 \times 1.8 = 2.16$（$m^2$）

用图 4.1 $h0.6$—$f2.16$→ $V = 13 \times 10^{-1} = 1.3m^3$

因取 $h0.6$，故所得体积值应为 $V \times 10^{-1}$（见算图中的用法说明）。

【例 4.2】 锥顶立式圆形贮罐内径 8m，求液位为 5.2m 时的物料体积是多少？若贮罐筒体高为 7m，如何标算 7m 的标尺？

解：设备常数 $f = \frac{\pi}{4}D^2 = 0.7854 \times 8^2 = 50.27$（$m^2$）

用图 4.1 $h5.2$—$f5.03$→ $V = 26 \times 10 = 260m^3$（如图 4.1 虚线所示）

因 f 取值为实际值的 1/10，故对应容积值应乘以 10 为实际结果。

标算标尺可分以下两步进行：

(1) 先算出代表 $100m^3$ 的标高为 $h = V/f = 100/50.27 = 1.989$(m)，则在 7m 标尺上按 1.989m 长度代表 $100m^3$ 进行大分度。

(2) 然后在大分度内按所需精度（如 $0.1m^3$，$1m^3$，$10m^3$ 等）进行小分度。如 $h = 1/50.27 = 0.0199$（m），则按 0.0199m 代表 $1m^3$，进行小分度。

【例 4.3】 椭圆形封头的立式圆形贮罐，内径 0.8m，求液位在直筒部分为 0.52m 时的物料体积是多少？

解：设备常数 $f = \frac{\pi}{4} \times 0.8^2 = 0.503$（$m^2$）

用图 4.1 $h5.2$—$f5.03$→ $V = 26 \times 10^{-2} = 0.26m^3$（如图 4.1 虚线所示，因 $h5.2$ 和 $f5.03$ 均取大 10 倍，故图算值应乘以 10^{-2}）

用图 3.2 算椭圆形封头容积 $N4$—$D0.8$→ $V = 0.066m^3$

则总物料体积为 $0.26 + 0.066 = 0.326$（m^3）$= 326$（L）

注：封头内液位变化复杂，工厂里只能采取水量法实测。即将水加满封头部分，每放出一定量的水（如 1kg，5kg，10kg 等），用磅秤称量水重，并在标尺上划线来作标度。

用法：h—f→V（$h\times10^{-1}$时，$V\times10^{-1}$）

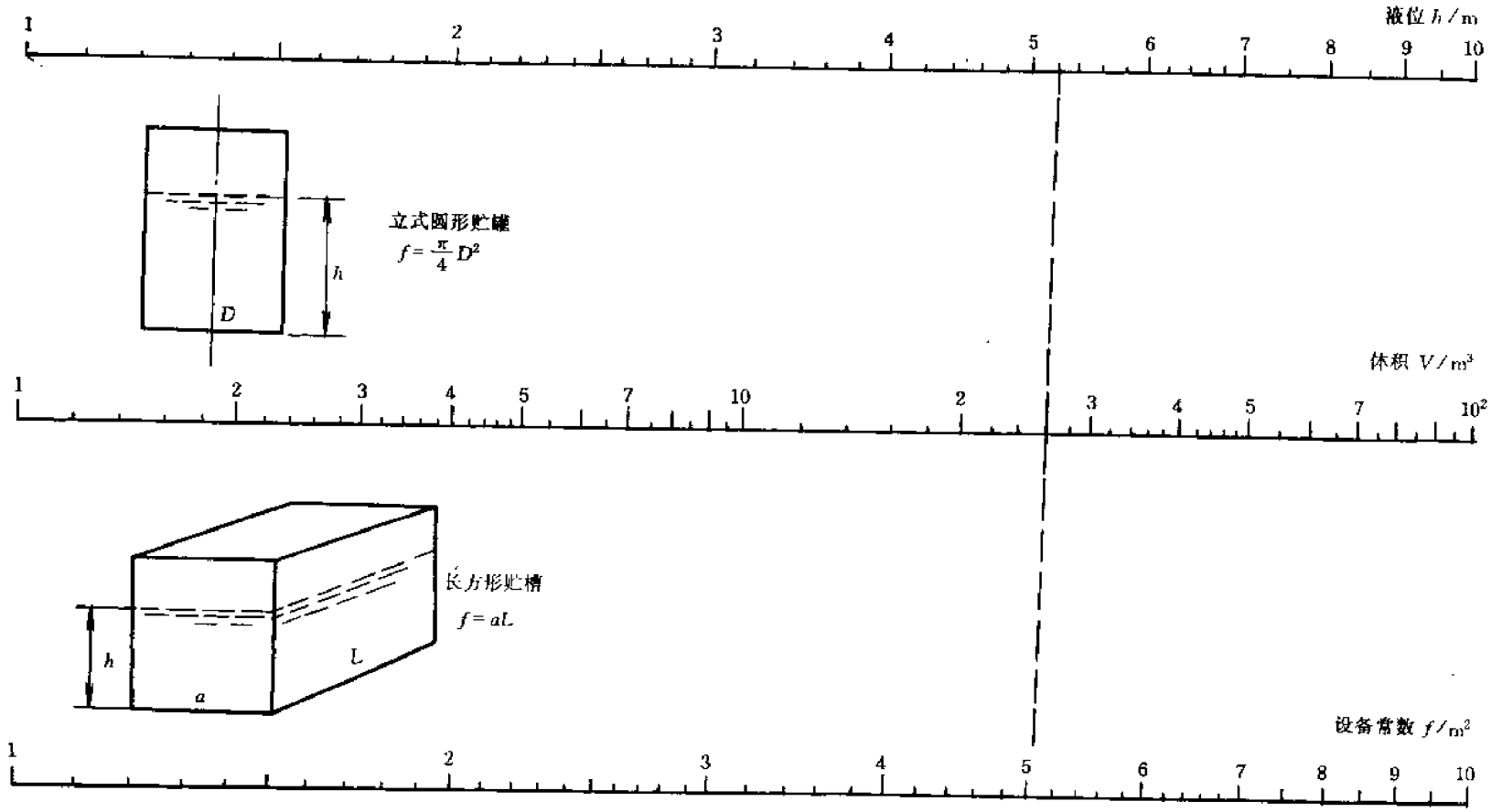


图 4.1　立式圆形贮罐、长方形贮槽物料体积算图

4.2 圆锥形贮罐物料体积计算

圆锥形贮罐内液位的变化，会引起物料横断面的变化。液位 h 与物料断面直径 D 之间存在如下关系：

$$D = (D_0/h_0)\ h = fh$$

将此式代入圆锥体积公式，得

$$V = 0.2618D^2h = 0.2618f^2h^3$$

式中 f——设备常数，$f = D_0/h_0$；

D_0——锥形贮罐顶部直径，m；

h_0——锥形贮罐高，m；

h——液位高，m。

图 4.2 即依据上式设计绘制。

【例 4.4】 圆锥形贮罐顶部直径 3m，罐高 4m，求液位分别为 3.4m、0.8m 时，罐内液体体积分别是多少？

解： 设备常数 $f = D_0/h_0 = 3/4 = 0.75$

用图 4.2 $h3.4$—$f0.75$ ▸ $V = 5.8\text{m}^3$（如图 4.2 虚线①所示）

$h0.8$—$f0.75$ ▸ $V = 75 \times 10^{-3} = 0.075\text{m}^3$（如图 4.2 虚线②所示，当 $h0.8$ 时，实际体积应为 $V \times 10^{-3}$，见算图的用法说明。）

【例 4.5】 圆锥形贮罐顶部直径 1.5m，罐高 2m，如何制作液位标尺？

解： 由 $V = 0.2618f^2h^3 = 0.2618\ (1.5/2)^2h^3 = 0.1473h^3$

则 $$h = (0.1473)^{-1/3}V^{1/3} = 1.894V^{1/3}$$

算出贮罐全体积 $V = 0.1473 \times 2^3 = 1.179\ (\text{m}^3)$

利用 $h = 1.894V^{1/3}$ 可算出容积分别为 1m^3，0.9m^3，0.8m^3……时相应的标高 h 的值，并在 2m 标尺上分度划线。分度是下疏上密不均匀的，计算时应使用工程计算器计算，精确到毫米。

用法：h—f→V（$h\times10^{-1}$时，$V\times10^{-3}$）

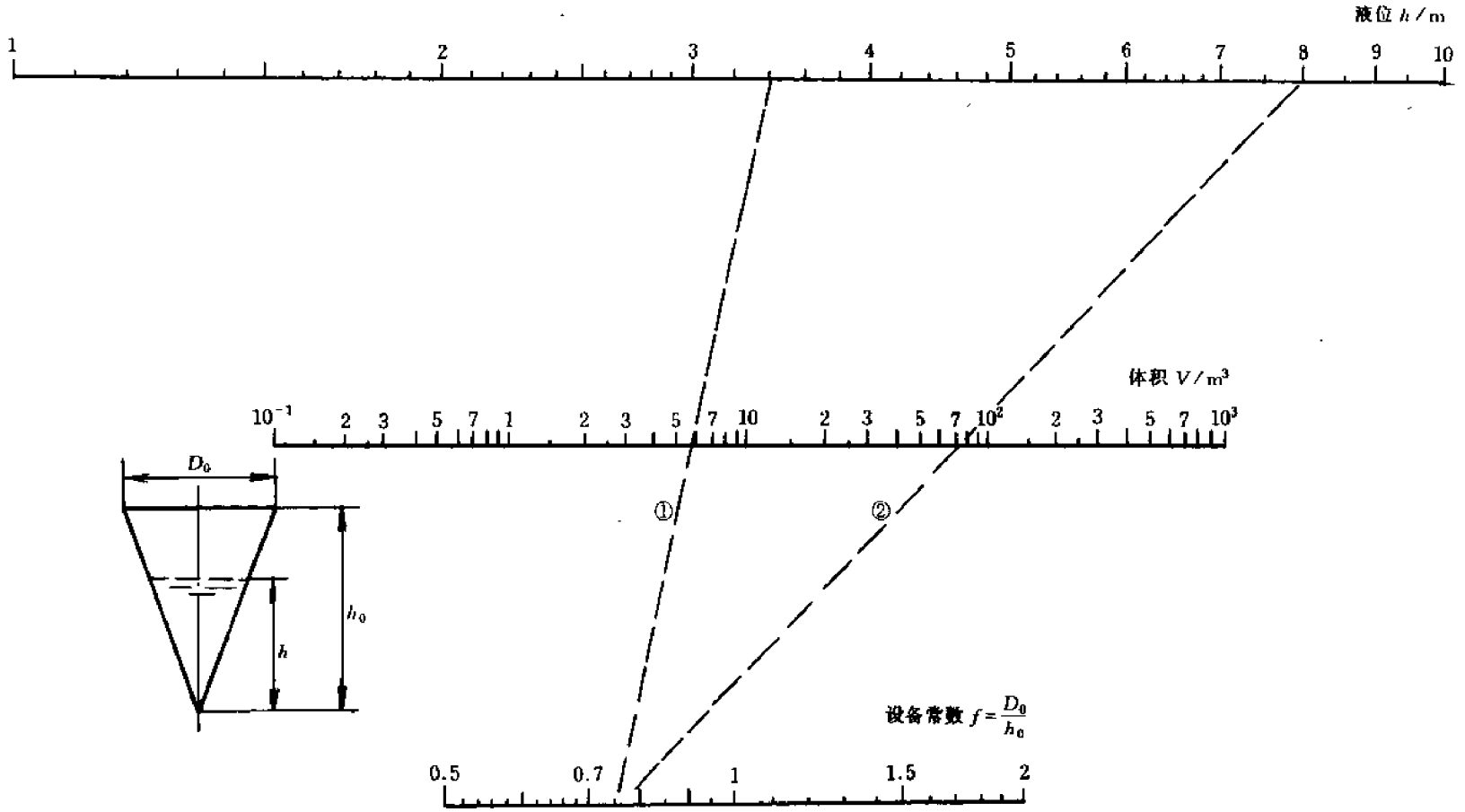


图 4.2　圆锥形贮罐物料体积算图

4.3 梯形贮槽物料体积计算

梯形贮槽液位的变化会影响物料横断面宽度的变化，液位 h 与物料横断面上宽 a 有如下关系：

$$a = a_1 + h(a_2 - a_1)/h_0$$

代入物料体积算式并化简，得：

$$V = (a + a_1)\ Lh/2 = a_1 Lh + h^2 L\ (a_2 - a_1)\ /2h_0$$

$$= f_1 h + f_2 h^2 = V_1 + V_2$$

式中 a_1——梯形贮槽下宽，m；

a_2——梯形贮槽上宽，m；

h_0——梯形贮槽高，m；

L——梯形贮槽长，m；

h——贮槽内物料液位高，m；

f_1，f_2——设备常数，其中 $f_1 = a_1 L$，$f_2 = L(a_2 - a_1)/2h_0$，

f_1，f_2 均是有因次的量。

图 4.3 即依据上式设计绘制。

注：因 $V_1 = f_1 h$，则 V_1 与 h 成正比例关系；因 $V_2 = f_2 h^2$，则 h 取 10^{-1} 倍率时，V_2 相应取 10^{-2} 倍率。

【例 4.6】 梯形贮槽上宽 1.6m，下宽 1m，高 2m，贮槽长 3m，求液位分别为 1.5m、0.6m 时的物料体积是多少？

解：设备常数 $f_1 = a_1 L = 1 \times 3 = 3$

$$f_2 = L(a_2 - a_1)2h_0 = 3 \times (1.6 - 1)/(2 \times 2) = 0.45$$

当液位为 1.5m 时，用图 4.3

$h1.5 — f_1 3 \rightarrow V_1 = 4.5\text{m}^3$（如图 4.3 虚线①所示）

$h1.5 — f_2 0.45 \rightarrow V_2 = 1\text{m}^3$（如图 4.3 虚线②所示）

则物料体积为 $V = V_1 + V_2 = 4.5 + 1 = 5.5\ (\text{m}^3)$

当液位为 0.6m 时，用图 4.3

$h0.6 — f_1 3 \rightarrow V_1 = 18 \times 10^{-1} = 1.8\text{m}^3$

$h0.6 — f_2 0.45 \rightarrow V_2 = 16 \times 10^{-2} = 0.16\text{m}^3$

物料体积为 $V = V_1 + V_2 = 1.8 + 0.16 = 1.96\ (\text{m}^3)$

用法：$h—f_1→V_1$（$h\times10^{-1}$时，$V_1\times10^{-1}$）

$h—f_2→V_2$（$h\times10^{-1}$时，$V_2\times10^{-2}$）

$V=V_1+V_2$

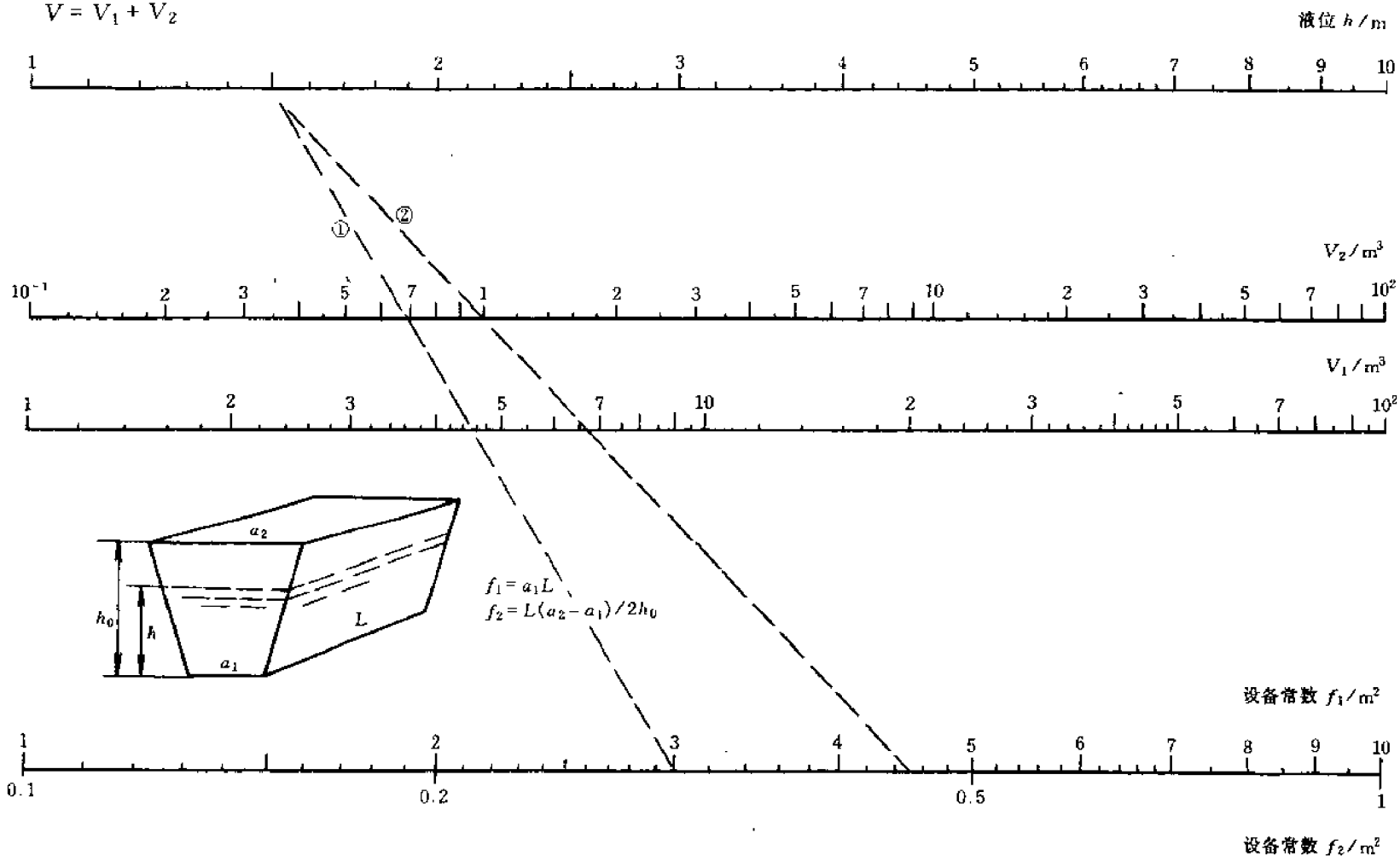


图 4.3　梯形贮槽物料体积算图

4.4 球形贮罐容积及物料体积计算

球形贮罐内物料体积可按球缺体积公式计算，球缺高等于液位高 h，即：

$$V=\frac{\pi}{6}h^2(3D-2h)=1.571Dh^2-1.047h^3=V_1-V_2$$

式中 D——球形贮罐直径，m；

h——球形贮罐内物料液位高，m。

球形贮罐全容积 $V=\frac{\pi}{6}D^3$ （$\pi/6=0.5236$）

图 4.4 即依据上述两式设计绘制。

【例 4.7】 球形贮罐直径 6m，求其全容积是多少？当液位分别为 4.2m、0.42m 时，求其物料体积分别是多少？

解：可直接从图 4.4 中读出 $D=6$m 时贮罐全容积为 $115m^3$。

精确算值：$V=0.5236\times6^3=113.1$（m^3）

计算物料体积时，用图 4.4

$h_1$4.2—D6→$V_1=165m^3$（如图 4.4 虚线①所示）

$h_2$4.2→$V_2=76m^3$（如图 4.4 虚线②所示）

则液位为 4.2m 时物料体积 $V=V_1-V_2=165-76=89$（m^3）

同样用图 4.4 $h_1$0.42—D6→$V_1=165\times10^{-3}=1.65m^3$

$h_2$0.42→$V_2=76\times10^{-3}=0.076m^3$

（注意图中 V_1、V_2 读法说明）

即液位为 0.42m 时物料体积 $V=1.65-0.076=1.574$（m^3）

精确算值：$V=1.571Dh^2-1.047h^3$

$=1.571\times6\times0.42^2-1.047\times0.42^3$

$=1.6628-0.0776=1.5852$（m^3）

用法：h_1—D→V_1($h\times10^{-1}$时，$V_1\times10^{-2}$)

h_2→V_2($h_2\times10^{-1}$时，$V_2\times10^{-3}$)

$V=V_1-V_2$

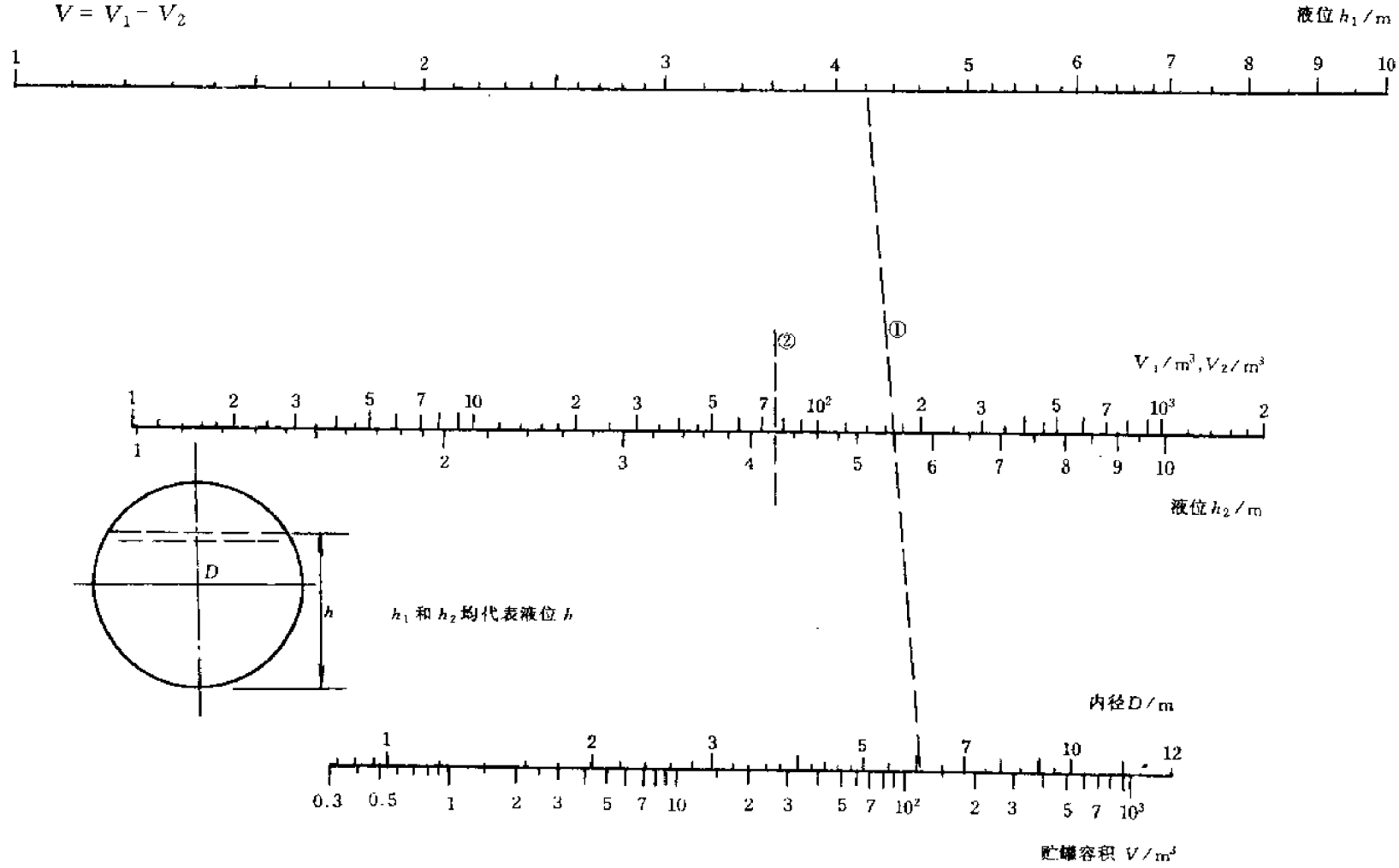
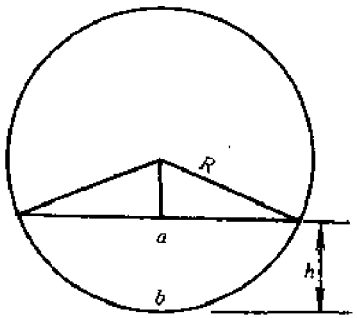


图 4.4　球形贮罐容积及物料体积算图

4.5 卧式平头圆形贮罐物料体积计算

卧式平封头圆形贮罐液位变化较复杂。先从推导弓形面积入手，如图，弓形面积 A 等于扇形面积减去三角形面积：



$$A = 0.5Rb - 0.5(R-h)a$$

弦长 $a = 2[(2R-h)h]^{1/2}$

弧长

$b = 2\pi R \arccos(1-h/R)/180°$

引入参数液位比，令液位比 $P_h = h/D$，即 P_h 是液位与贮罐直径的比值。可得 $h = P_h D$（$D = 2R$）

代入上两式化简后得 $a = 2[(1-P_h)P_h]^{1/2}D$

$$b = \pi D \arccos(1-2P_h)/180°$$

将 a、b 值代入弓形面积公式，化简后得：

$$A = \{\pi \arccos(1-2P_h)/720° - (0.5-P_h)[(1-P_h)P_h]^{1/2}\}D^2$$
$$= PD^2$$

由液位比 P_h 组成大数团 P，$P = A/D^2$，其数学意义是弓形面积与以直径 D 为边长的正方形面积的比值。可用工程计算器算出 P_h 0～1 之间的一系列 P 值，列于表 4.1 中，以便查用计算。

卧式平头圆形贮罐物料体积为：

$$V = AL = PD^2L$$

式中 P——弓形面积比，由液位比 P_h 值查表 4.1 可得；

D——卧式圆形贮罐直径，m；

L——卧式圆形贮罐长，m。

图 4.5 依据上式及 P 值表设计绘制。

【例 4.8】 平头卧式圆形贮罐直径 3.2m，长 6.4m，求液位 2.8m 及 0.28m 时的物料体积。

解：设备常数 $f = D^2L = 3.2^2 \times 6.4 = 65.5$（$m^3$）

液位比 $P_h = h/D = 2.8/3.2 = 0.875$

及 $0.28/3.2 = 0.0875$

用图 4.5 $P_h 0.875 — f65.5 \rightarrow V = 47.5m^3$（如图 4.5 虚线①所示）

$P_h 0.0875 — f65.5 \rightarrow V = 22 \times 10^{-1} = 2.2m^3$（如图 4.5 虚线②所示）

为提高计算精度，凡 $P_h > 0.5$ 者，可用反扣法计算。以液位 2.8m 时为例：

先算全容积 $P_h 1 — f65.5 \rightarrow V = 51.5m^3$

再算空间液位比 $P_h = (D - h)/D = (3.2 - 2.8)/3.2 = 0.125$

算出空间体积 $P_h 0.125 — f65.5 \rightarrow V = 37 \times 10^{-1} = 3.7m^3$

反扣空间体积后，物料体积为 $51.5m^3 - 3.7m^3 = 47.8m^3$

这比直接用 $P_h 0.875$ 算出的 $47.5m^3$ 要精确些。

表 4.1 卧式平头圆形贮罐 P 值

P_h	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0	0.0014	0.0038	0.0068	0.0106	0.0147	0.0192	0.0242	0.0295	0.0351
0.1	0.0409	0.0470	0.0534	0.0600	0.0669	0.0739	0.0811	0.0885	0.0962	0.1039
0.2	0.1118	0.1199	0.1281	0.1365	0.1450	0.1536	0.1622	0.1711	0.1800	0.1890
0.3	0.1982	0.2074	0.2166	0.2261	0.2355	0.2450	0.2546	0.2641	0.2739	0.2837
0.4	0.2934	0.3032	0.3131	0.3230	0.3329	0.3428	0.3528	0.3628	0.3727	0.3827
0.5	0.3927	0.4027	0.4127	0.4226	0.4326	0.4426	0.4525	0.4624	0.4723	0.4822
0.6	0.4920	0.5017	0.5115	0.5213	0.5308	0.5404	0.5499	0.5593	0.5688	0.5780
0.7	0.5872	0.5964	0.6054	0.6143	0.6232	0.6318	0.6404	0.6489	0.6573	0.6655
0.8	0.6736	0.6815	0.6892	0.6969	0.7043	0.7115	0.7185	0.7254	0.7320	0.7384
0.9	0.7445	0.7503	0.7559	0.7612	0.7662	0.7707	0.7748	0.7786	0.7816	0.7840
1.0	0.7854									

如果用表 4.1 查出的 P 值来计算，精度更高些：

查 P 值表 $P_h 0.875$ 的 P 值在 0.7254～0.7320 之间，采用内插法取平均值 0.729，则液位 2.8m 时的物料体积为：

$$65.5 \times 0.729 = 47.75\ (m^3)$$

$P_h = 0.0875$ 的 P 值在 0.0295～0.0351 之间，取 0.034，则液位 0.28m 时的物料体积为：

$$65.5 \times 0.034 = 2.227\ (m^3)$$

用法：P_h —f→ V（P_h<0.19 时，$V\times10^{-1}$）

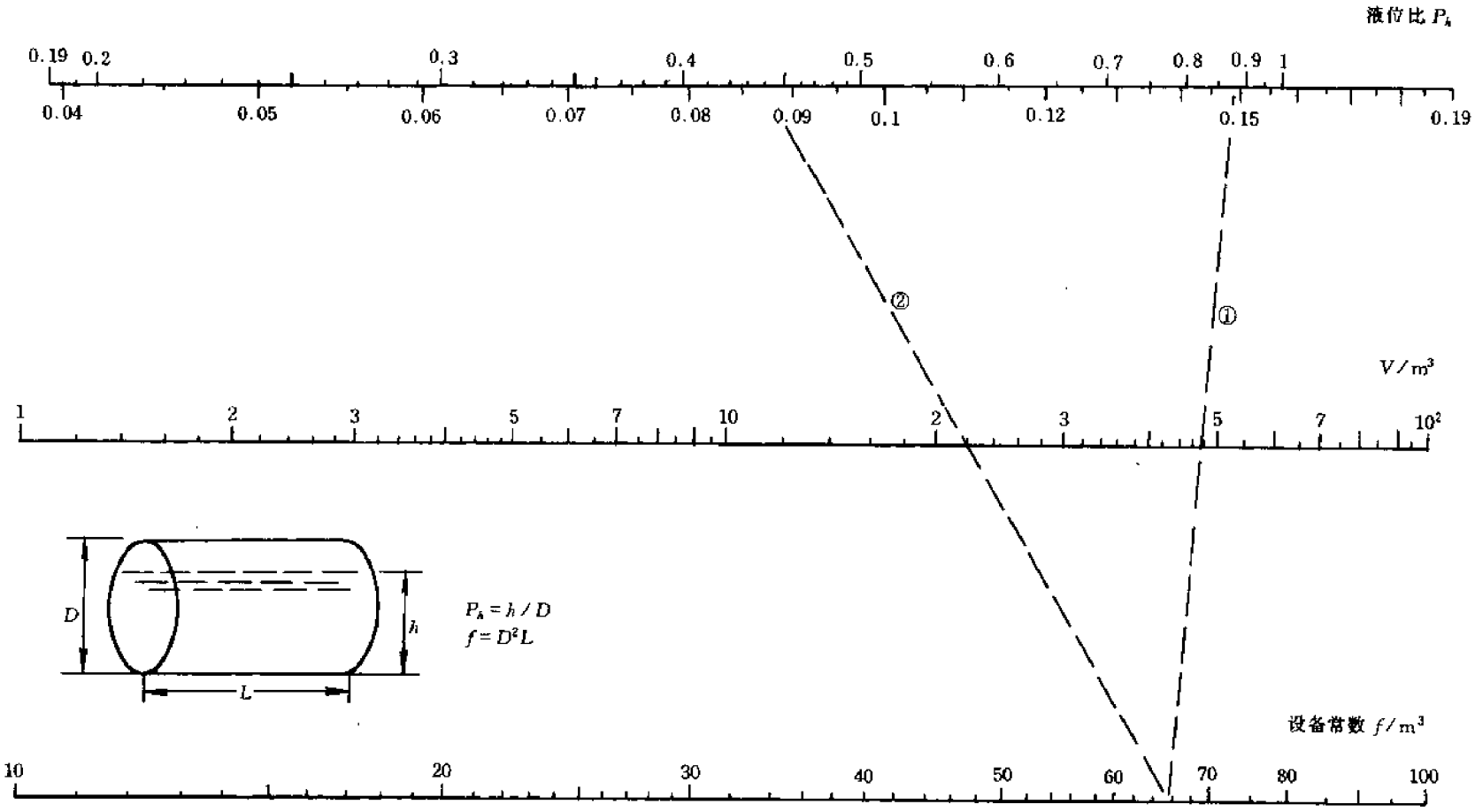


图 4.5　卧式平头圆形贮罐物料体积算图

4.6 各种封头当量长度和凸高计算

在化工、制药、炼油、冶金等各类工厂中，大量使用具有椭圆形、碟形或球面封头的卧式圆形贮罐，这些卧式贮罐的液位与物料体积间的关系更为复杂，目前还没有准确的计算方法。在工厂里往往用水实测的办法来标定液位，即在贮罐内注满水，视贮罐大小放出一定量的水（10kg，50kg，100kg，200kg等），并用磅秤准确称量。每次液位的下降均可由液位玻璃管看出，在标尺上划线即可进行标定。

如果将这些卧式贮罐均看作平封头的，用图4.5来算物料体积或作液位标尺，基本上也是准确的。

为了能利用图4.5进行计算，需求出各种封头的当量长度，即换算为等容积平封头筒体的长度。由前面的容积计算中已经知道，椭圆形、碟形、球面封头的容积公式分别为：$V=0.131D^3$，$V=0.123D^3$，$V=0.054D^3$。而筒体容积公式为 $V=0.785D^2L$。令其相等，就可推导出不同封头的当量长度来。

如计算椭圆形封头的当量长度，令 $0.785D^2L_1=0.131D^3$

则椭圆形封头当量长度 $L_1=(0.131/0.785)D=0.167D$

同样，碟形封头当量长度 $L_2=(0.123/0.785)D=0.157D$

球面封头当量长度 $L_3=(0.054/0.785)D=0.069D$

为了便于丈量设备，椭圆形、碟形、球面封头的凸高也是重要尺寸。这些封头凸高 h 的计算式为：

椭圆形封头凸高 $h_1=0.25D$

碟形封头凸高 $h_2=0.225D$

球面封头凸高 $h_3=0.134D$

以上各式中，D 代表贮罐的内径，m。

注：封头当量长度和凸高均不含直边长。

图4.6即依据上述各式设计绘制。

【例4.9】 有直径为3.2m的椭圆形、碟形和球面封头，求它们的当量长度和凸高分别是多少？

解： 用图4.6，分别求出当量长度和凸高

椭圆形封头 L_1—$D3.2$→$L=54$cm，h_1—$D3.2$→$h=80$cm（如图4.6虚线①、②所示）

碟形封头 L_2—$D3.2$→$L=51$cm，h_2—$D3.2$→$h=73$cm

球面封头 L_3—$D3.2$→$L=22$cm，h_3—$D3.2$→$h=43$cm

【例4.10】 量得卧式盆形（椭圆形）封头贮罐的内径为3.2m，总长6.92m，求液位为2.8m时的物料体积。

解： 上例已求得内径为3.2m的椭圆形封头凸高为0.8m

则贮罐筒体长度为 $6.92-0.8\times2=5.32$（m）

上例已求出椭圆形封头的当量长度为0.54m，则该贮罐若看作平封头卧式贮罐，则总长为：$L=5.32+0.54\times2=6.4$（m）

看作平头贮罐时，其设备常数和液位为2.8m时的液位比分别为：

$f=D^2L=3.2^2\times6.4=65.5$ $P_h=h/D=2.8/3.2=0.875$

用图4.5 $P_h0.875$—$f65.5$→$V=47.5\text{m}^3$

【例4.11】 如何标度上例的卧式贮罐的液位标尺？

解： 用图4.5算卧式贮罐全容积 P_h 1—f 65.5→$V=51.5\text{m}^3$

则取标尺最大整数值为50m³，由 $P=V/65.5$ 可算出下列各值：

V/m^3	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
P	0.7634	0.687	0.6107	0.5344	0.4588	0.3817	0.305	0.229	0.1527	0.0763

用 P 值表4.1可在相邻两数间送一个对应的 P_h 值，如 $P=0.7643$ 在表中的0.7612～0.7662之间，此两数对应的 P_h 值在0.93～0.94间，因0.7634居中偏前，故选 P_h 值为0.934，可算出对应的标高为 $h=P_hD=0.934\times3.2=2.989$m，这就是容积50m³的标位。用同样方法可依次算出容积，为45m³、40m³、……10m³、5m³的一系列标位来，结果列表如下：

V/m^3	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
P_h	0.934	0.818	0.725	0.644	0.566	0.489	0.412	0.333	0.249	0.153
h/m	2.989	2.618	2.320	2.061	1.811	1.565	1.318	1.066	0.797	0.490

选一稍长于3m的标尺，按上表的 h 尺寸划线作标码，即可对该卧式贮罐的液位进行标度。

用法：D—N→L 或 h（$D\times10^{-1}$时，$L\times10^{-1}$或 $h\times10^{-1}$）

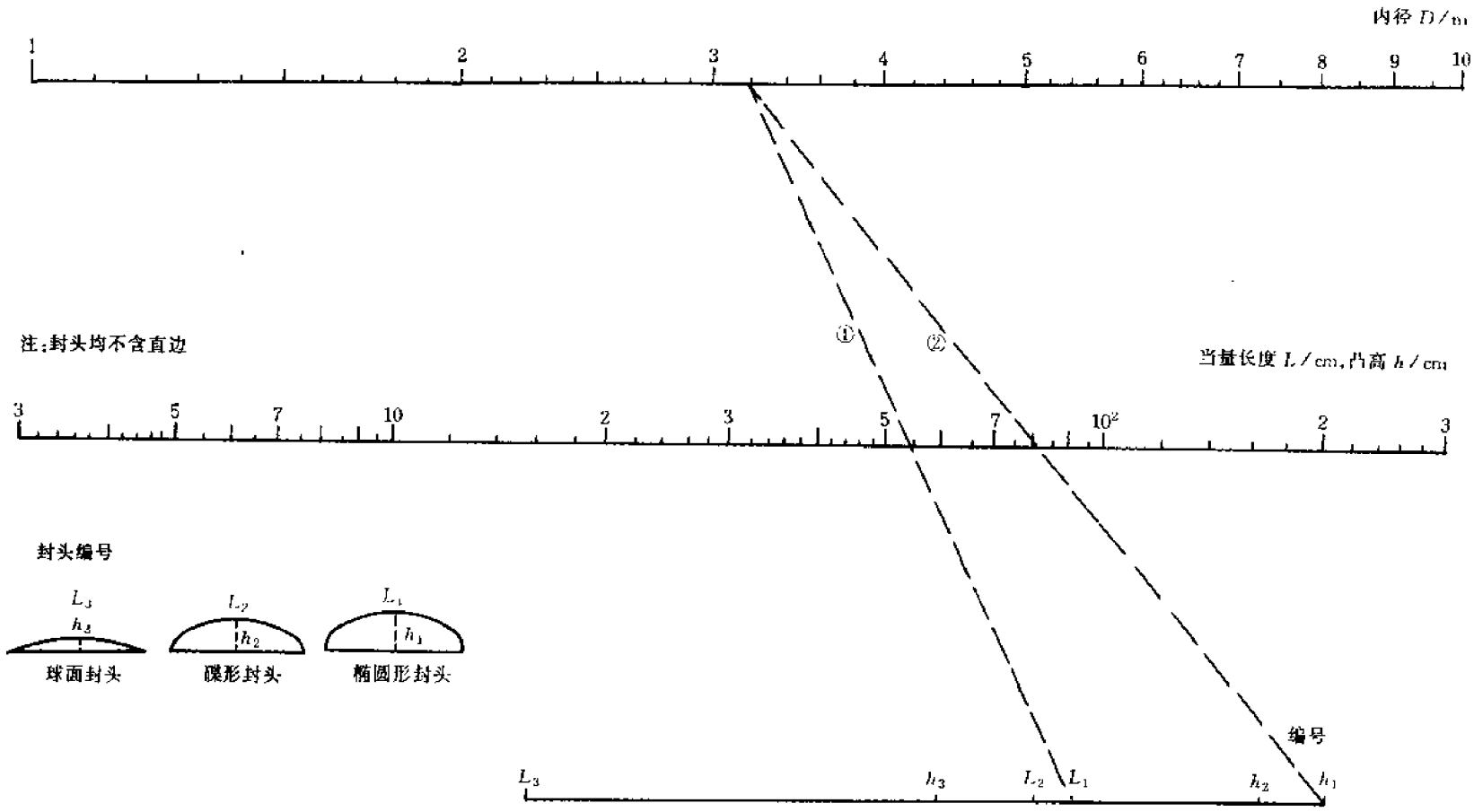


图 4.6　各种封头的当量长度和凸高算图

5. 设备表面积计算

为了解设备的传热面、保温面以及设备制造材料的尺寸或重量，需对设备进行表面积的计算。

5.1 圆筒形贮罐侧面积计算

图 5.1 依据下式设计绘制

$$A = \pi Dh$$

式中 D——圆筒直径，m；

h——圆筒高，m。

【例 5.1】 有一直径 1.6m、筒高 2.2m 的圆筒形贮罐，求其侧面积？

解：用图 5.1 $h2.2—D1.6 \rightarrow A = 11m^2$（如图 5.1 虚线所示）

精确算值：$A = 3.142 \times 1.6 \times 2.2 = 11.06$（$m^2$）

用法：h—D→A

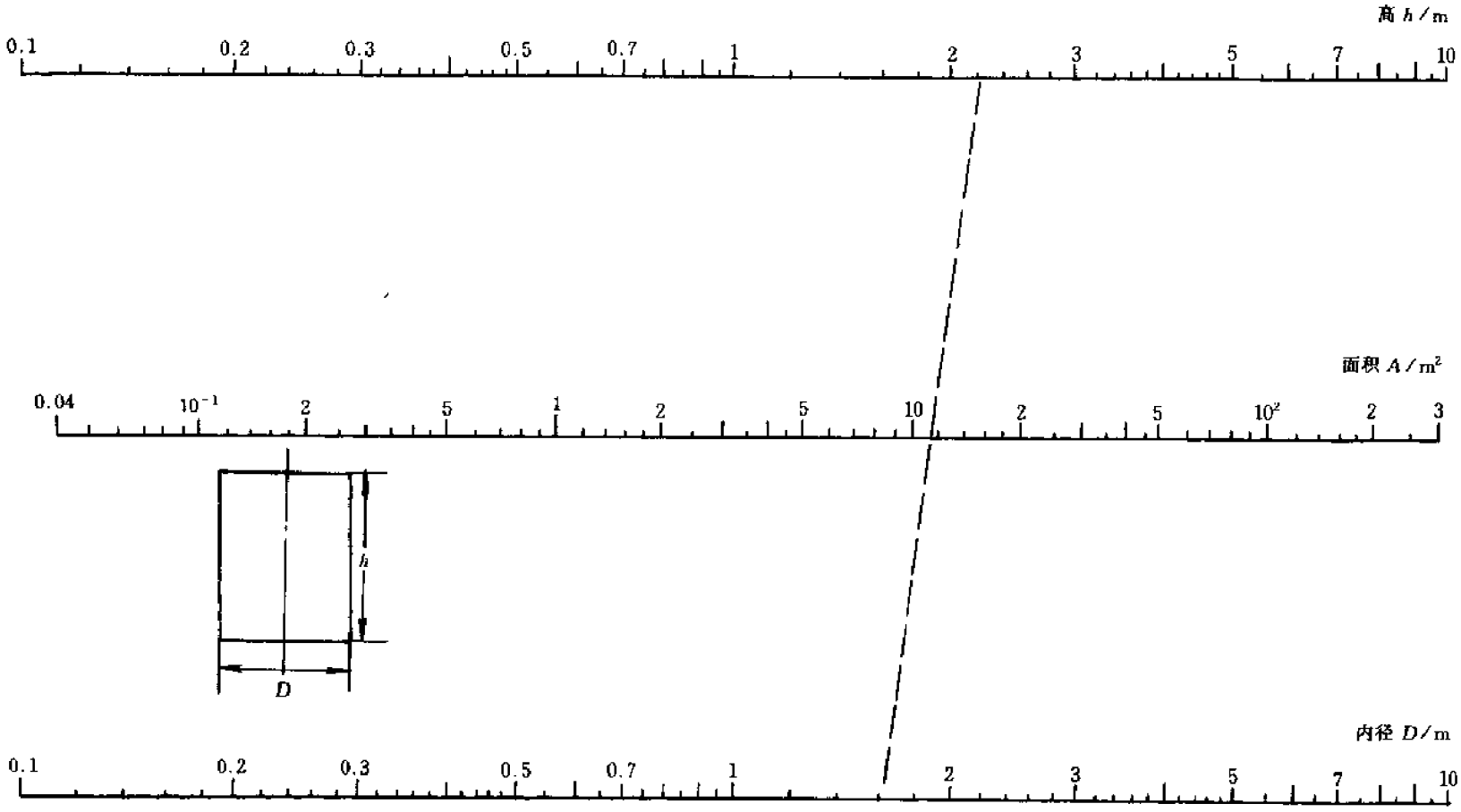


图 5.1　圆筒形贮罐侧面积算图

5.2 各种封头表面积计算

图 5.2 依据下列各式设计绘制：

$N1$—半球形封头　　$A=1.571D^2$

$N2$—60°锥形封头　　$A=1.571D^2$

$N3$—90°锥形封头　　$A=1.111D^2$

$N4$—椭圆形封头　　$A=1.083D^2$

$N5$—碟形封头　　$A=1.063D^2$

$N6$—球面封头　　$A=0.842D^2$

$N7$—平圆形封头　　$A=0.785D^2$

式中　$N1\sim N7$——封头编号，参见图 5.2；

D——封头直径，m。

注：1. 封头均不含直边。

2. 区别椭圆形封头和碟形封头的方法见 3.2 节注。

【例 5.2】　直径 1.2m 的 60°圆锥形封头和碟形封头表面积各为多少？

解：用图 5.2　$N2—D1.2\rightarrow A=2.25m^2$（如图 5.2 虚线①所示）

$N5—D1.2\rightarrow A=1.55m^2$（如图 5.2 虚线②所示）

精确算值：60°锥形封头 $A=1.571\times1.2^2-2.26$（m^2）

碟形封头 $A=1.063\times1.2^2=1.53$（m^2）

【例 5.3】　直径为 2.8m 的椭圆形封头及球面封头的表面积各为多少？

解：用图 5.2　$N4—D2.8\rightarrow A=8.4m^2$

$N6—D2.8\rightarrow A=6.6m^2$

用法：$N—D→A$

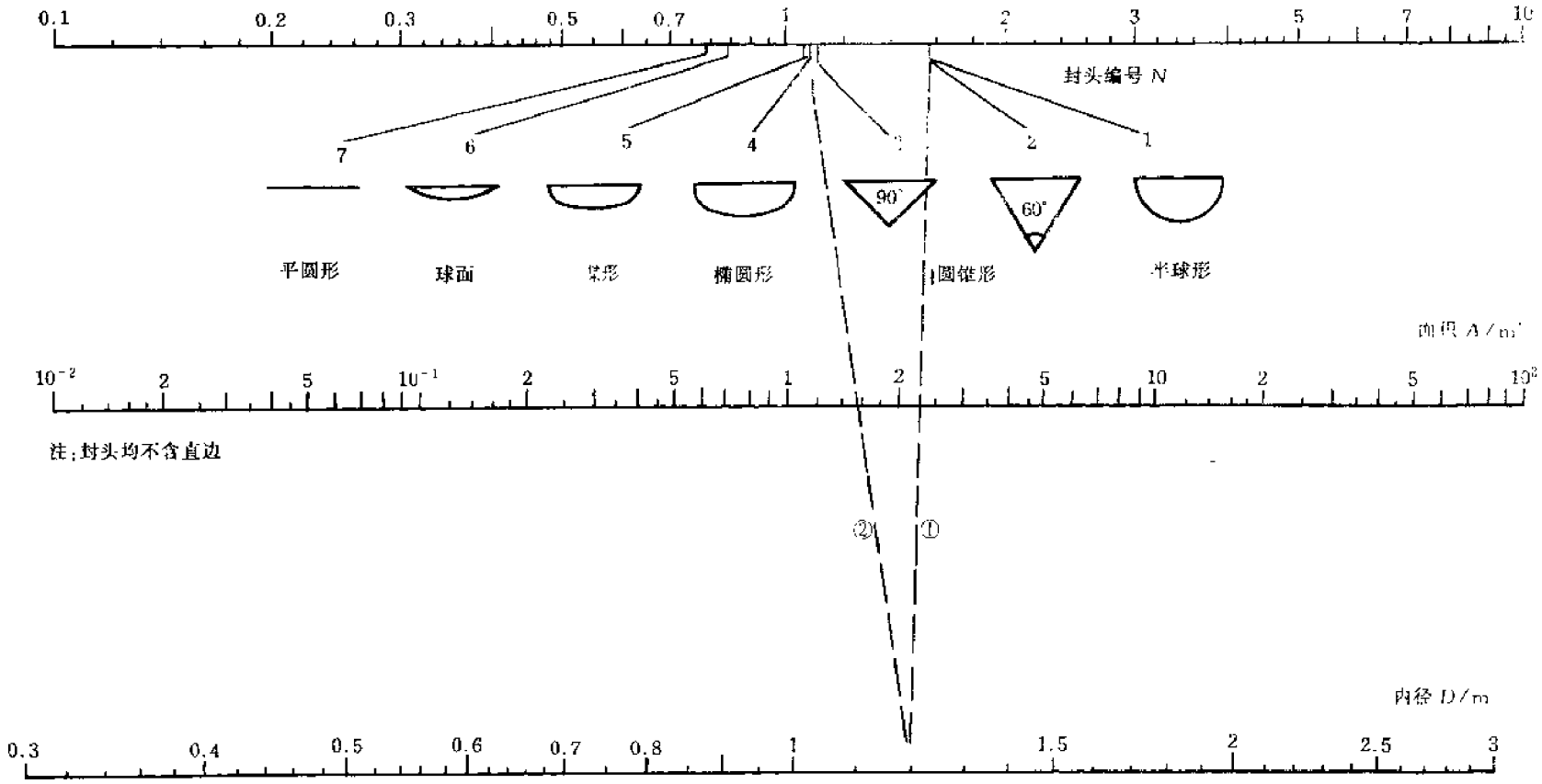


图 5.2　各种封头表面积算图

5.3 圆锥、锥台、球缺侧面积计算

图 5.3 依据下式设计绘制：

$$A=\frac{\pi}{2}DL\quad(\pi/2=1.571)$$

式中 D——圆锥顶直径，锥台上、下两直径和，球缺直径，m；

L——圆锥斜边长，锥台斜边长，球缺 2 倍高，m。

【例 5.4】 圆锥形贮罐顶直径 1.6m，斜边长 2.4m，求其侧面积是多少？

解： 用图 5.3 $L2.4—D1.6\rightarrow A=6m^2$（如图 5.3 虚线所示）

精确算值：$A=1.571\times1.6\times2.4=6.03\ (m^2)$

【例 5.5】 圆锥台形贮罐上圆直径 1m，下圆直径 0.6m，斜边长 2.4m，求侧面积是多少？

解： 锥台计算直径 $D=D_1+D_2=1+0.6=1.6\ (m)$

用图 5.3 $L2.4—D1.6\rightarrow A=6m^2$

【例 5.6】 球缺直径 1.6m，球缺高 1.2m，求其侧面积是多少？

解： 计算球缺 L 值 $L=2h=1.2\times2=2.4\ (m)$

用图 5.3 $L2.4—D1.6\rightarrow A=6m^2$

球的表面积可以按球缺高等于其直径的球缺侧面积来计算。如求直径 1.6m 的球表面积是多少，可按下述计算：

球的 L 值 $L=2h=1.6\times2=3.2\ (m)$

用图 5.3 $L3.2—D1.6\rightarrow A=8m^2$

精确算值：$A=\frac{\pi}{2}DL=1.571\times1.6\times3.2=8.04\ (m^2)$

或 $A=\pi D^2=3.142\times1.6^2=8.04\ (m^2)$

用法：L—D→A

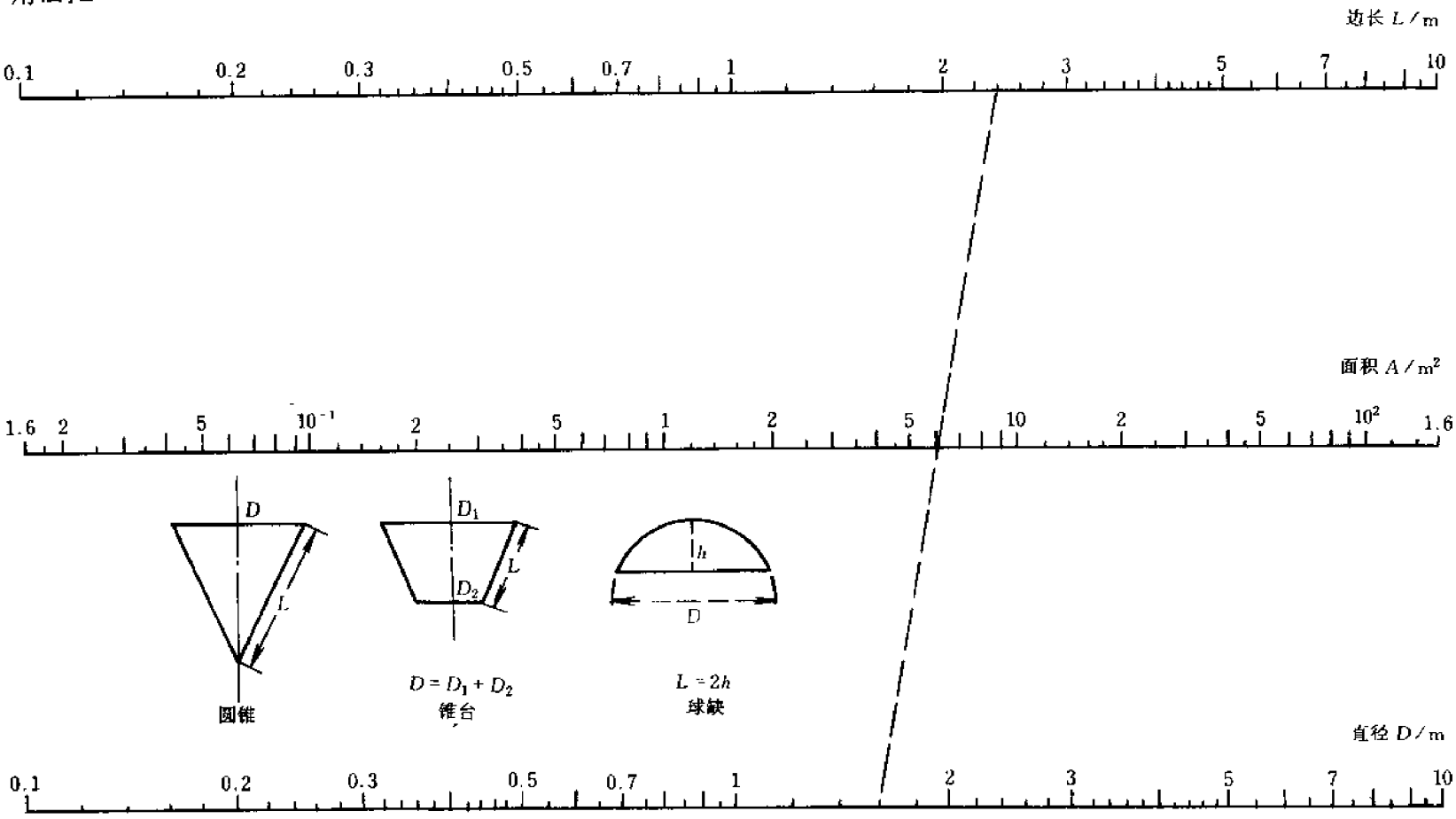


图 5.3　圆锥、锥台、球缺侧面积算图

5.4 各种几何图形面积计算

图 5.4 依据下式设计绘制：

$$A = ah$$

式中 a——平行四边形底长，梯形平均底长，三角形半底长，扇形半弧长，m；

h——平行四边形高，梯形高，三角形高，扇形半径，m。

【例 5.7】 梯形上、下底分别为 1.8m 和 2.4m，高为 1.2m 求其面积。

解：梯形平均底长 $a = (1.8 + 2.4)/2 = 2.1(\text{m})$

用图 5.4 $h1.2 - D2.1 \rightarrow A = 2.5\text{m}^2$（如图 5.4 虚线所示）

精确算值：$A = ah = 2.1 \times 1.2 = 2.52\ (\text{m}^2)$

【例 5.8】 三角形底长 0.8m，高 0.6m；扇形弧长 0.8m，半径 0.6m，分别求三角形和扇形的面积。

解：三角形半底长 $a = b/2 = 0.8/2 = 0.4\ (\text{m})$

扇形半弧长 $a = L/2 = 0.8/2 = 0.4\ (\text{m})$

用图 5.4 $a0.4 — h0.6 \rightarrow A = 0.24\text{m}^2$

此三角形与扇形面积相等，均为 0.24m^2。

用法：$a—h→A$

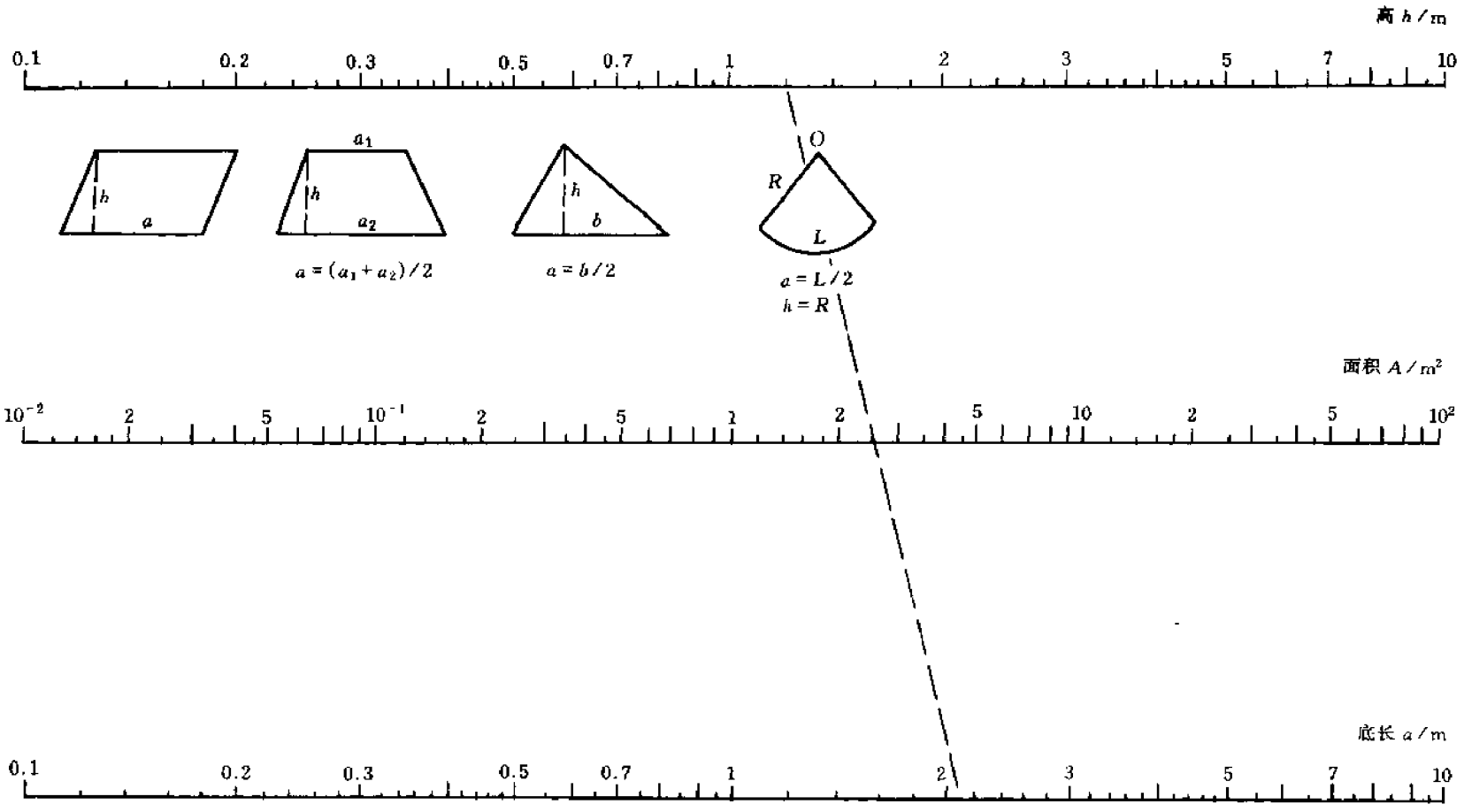


图 5.4　各种几何图形面积算图

5.5 椭圆及圆的面积计算

图 5.5 依据下式设计绘制：

$$A \doteq \frac{\pi}{4}ah \quad (\pi/4 = 0.7854)$$

式中 a——椭圆宽（长径），m；

h——椭圆高（短径），m。

当 $a = h$ 时椭圆成为圆。

【例 5.9】 分别求出直径为 0.8m 的圆，以及宽 0.8m、高 0.6m 的椭圆，其面积各为多少？

解：用图 5.5，圆 $h0.8—a0.8 \rightarrow A = 0.5m^2$

椭圆 $h0.6—a0.8 \rightarrow A = 0.37m^2$（如图 5.5 虚线所示）

精确算值：圆 $A = 0.7854 \times 0.8^2 \doteq 0.5027$（$m^2$）

椭圆 $A = 0.7854 \times 0.8 \times 0.6 = 0.377$（$m^2$）

用法：h—a ▸A

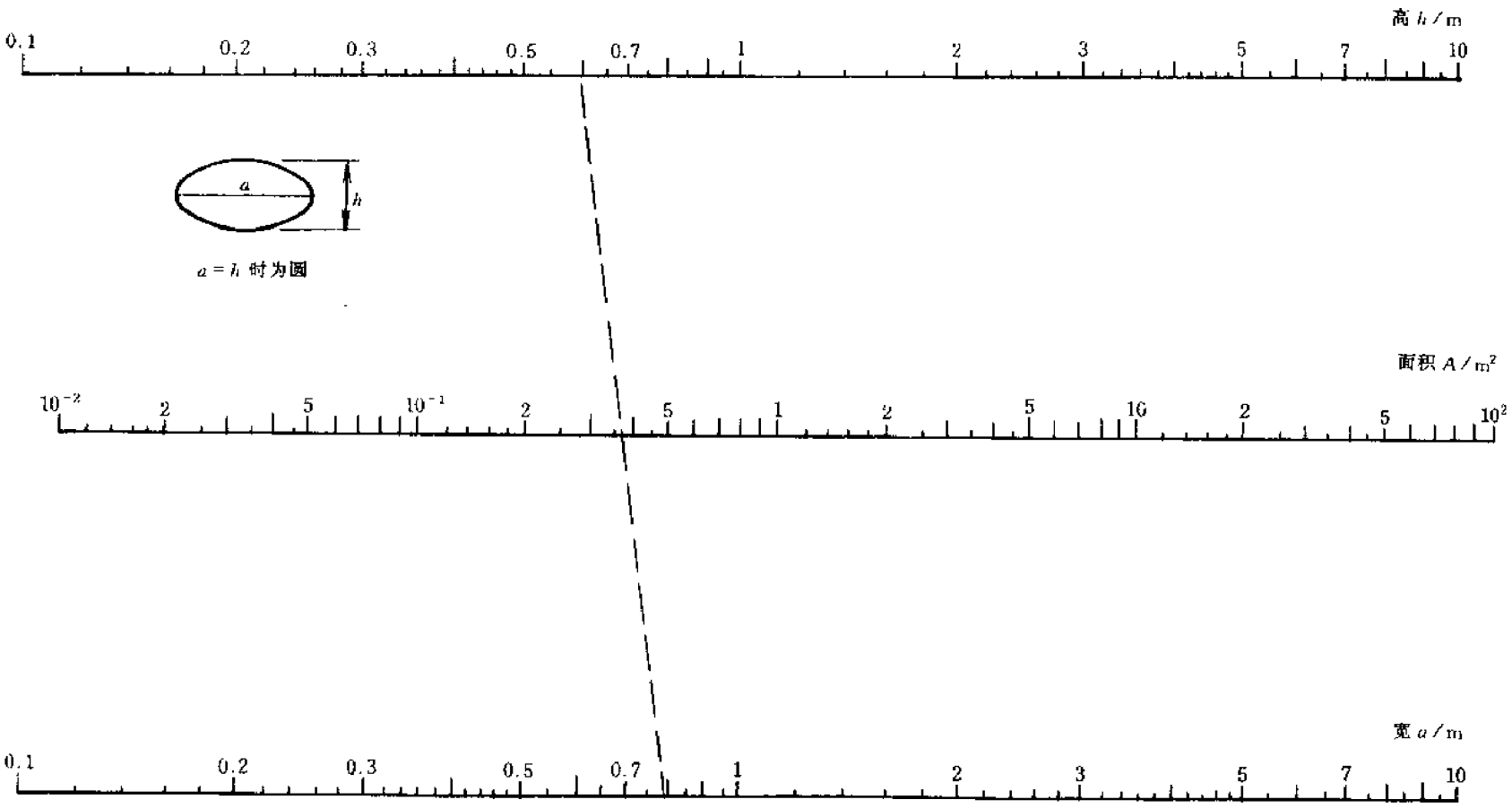


图 5.5　椭圆及圆的面积算图

5.6 管壳式换热器面积计算

图 5.6 依据下式设计绘制：

$$A = \pi f \phi L n$$

式中 f——修正系数，取 0.96；

ϕ——换热管外径，m；

L——换热管长，m；

n——换热管根数。

【例 5.10】 有一管壳式换热器，换热管外径 ϕ25mm，管长 1.4m（有效管长），共有 38 根，求该换热器的换热面积。

解： 用图 5.6 ϕ25—L1.4→X（用铅笔记下点 X，如图 5.6 虚线①所示）

n38—X→$A = 4\text{m}^2$（如图 5.6 虚线②所示）

精确算值：$A = 3.142 \times 0.96 \times 0.025 \times 1.4 \times 38 = 4.01\ (\text{m}^2)$

注：算图中的换热管长 L 为有效管长，其值等于实际管长减去 0.1m。

用法：ϕ—L→X
n—X→A

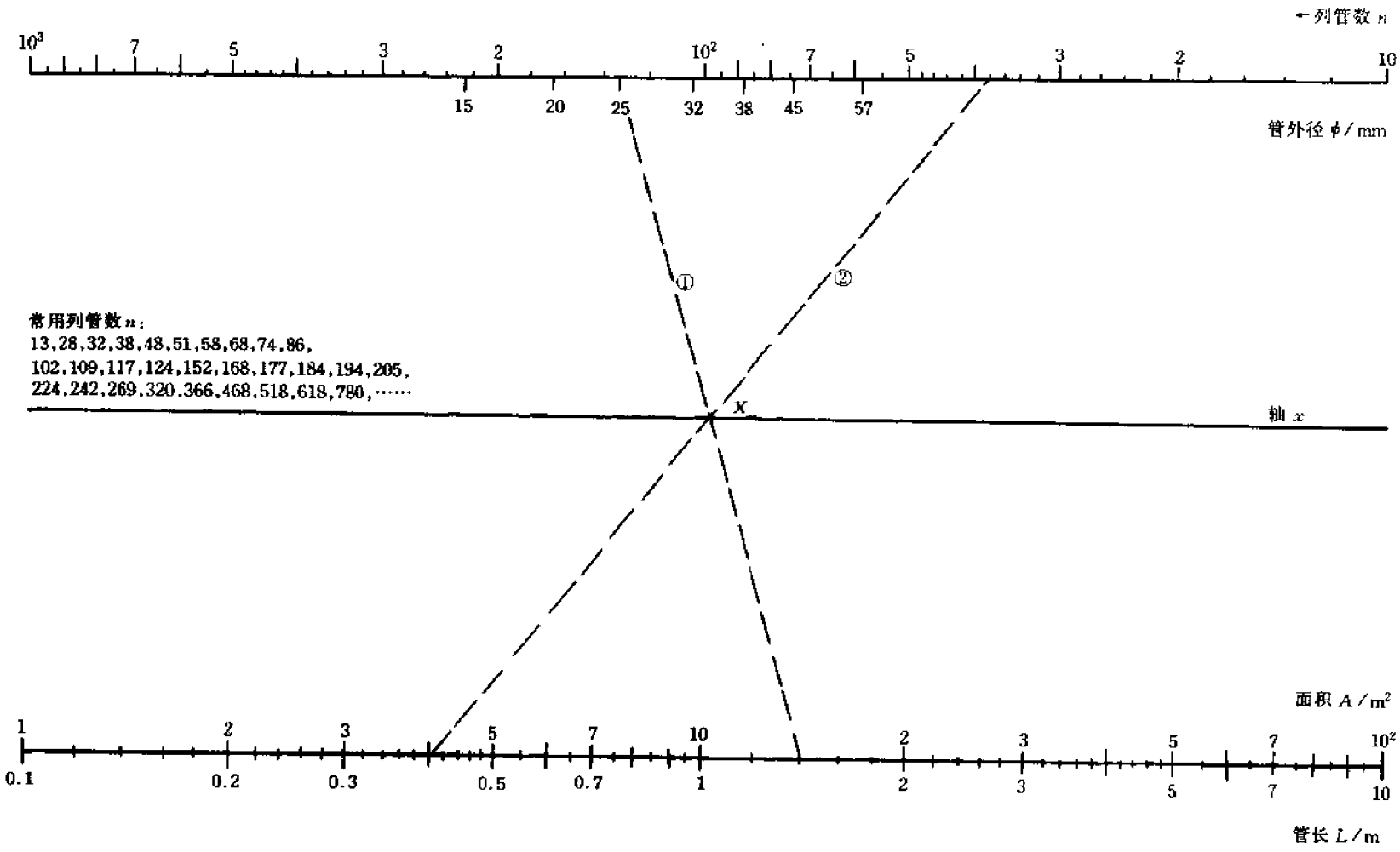


图 5.6 管壳式换热器面积算图

6. 设备重量计算

设备运输、吊装、安装过程中，作设备支架及基础、进行设备加工材料的预算，以及作设备投资预算等工作时，均需计算设备重量。

6.1 由设备表面积计算重量

图 6.1 依据下式设计绘制：

$$W = \rho A b$$

式中 ρ——材质密度，钢取 $7.85\times10^3 kg/m^3$，其他材质密度需乘以材质系数 f（见表 2.1）；

A——设备材料总面积，m^2；

b——设备板材厚度，m。

【例 6.1】 如【例 5.6】所算球缺形的容器，面积为 $6m^2$，若用 8mm 白铜板加工制作，求设备重量。

解：用图 6.1，先算出钢设备重量

$b8—A6 \rightarrow W = 375kg$（如图 6.1 虚线所示）

查表 2.1，白铜的材质系数 $f = 1.12$

则 同尺寸的白铜球缺设备重 $375\times1.12 = 420$（kg）

精确算值：$W = \rho A b f = 7.85\times10^3\times6\times0.008\times1.12 = 422$（kg）

用法：b—A→W

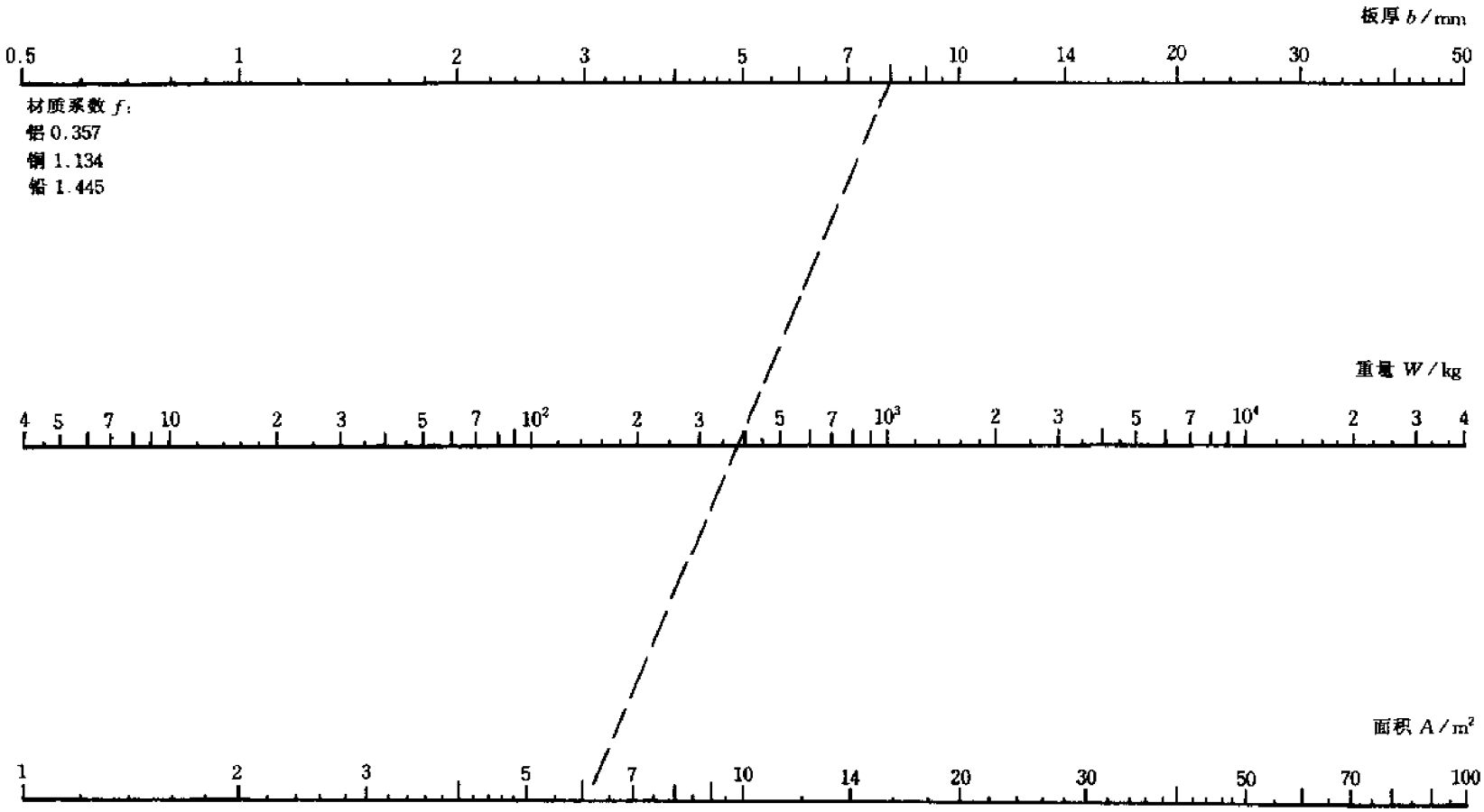


图 6.1　由设备表面积计算重量算图

6.2 圆筒形贮罐筒体重量计算

图 6.2 依据下式设计绘制：

$$W = \pi\rho Dhb$$

式中 ρ——钢密度，$7.85\times10^3 kg/m^3$；

D——筒体直径，m；

h——筒体高，m；

b——筒体壁厚，m。

【例 6.2】 钢制圆筒形贮罐的筒体直径 1.2m，筒高 1.6m，壁厚 8mm，求其重量是多少？

解：用图 6.2 $h1.6—D1.2\rightarrow X$（用铅笔记一点 X，如图 6.2 虚线①所示）

$b8—X\rightarrow W = 380kg$（如图 6.2 虚线②所示）

精确算值：$W = 3.142\rho Dhb$

$$= 3.142\times7.85\times10^3\times1.2\times1.6\times0.008$$

$$= 378.8\ (kg)$$

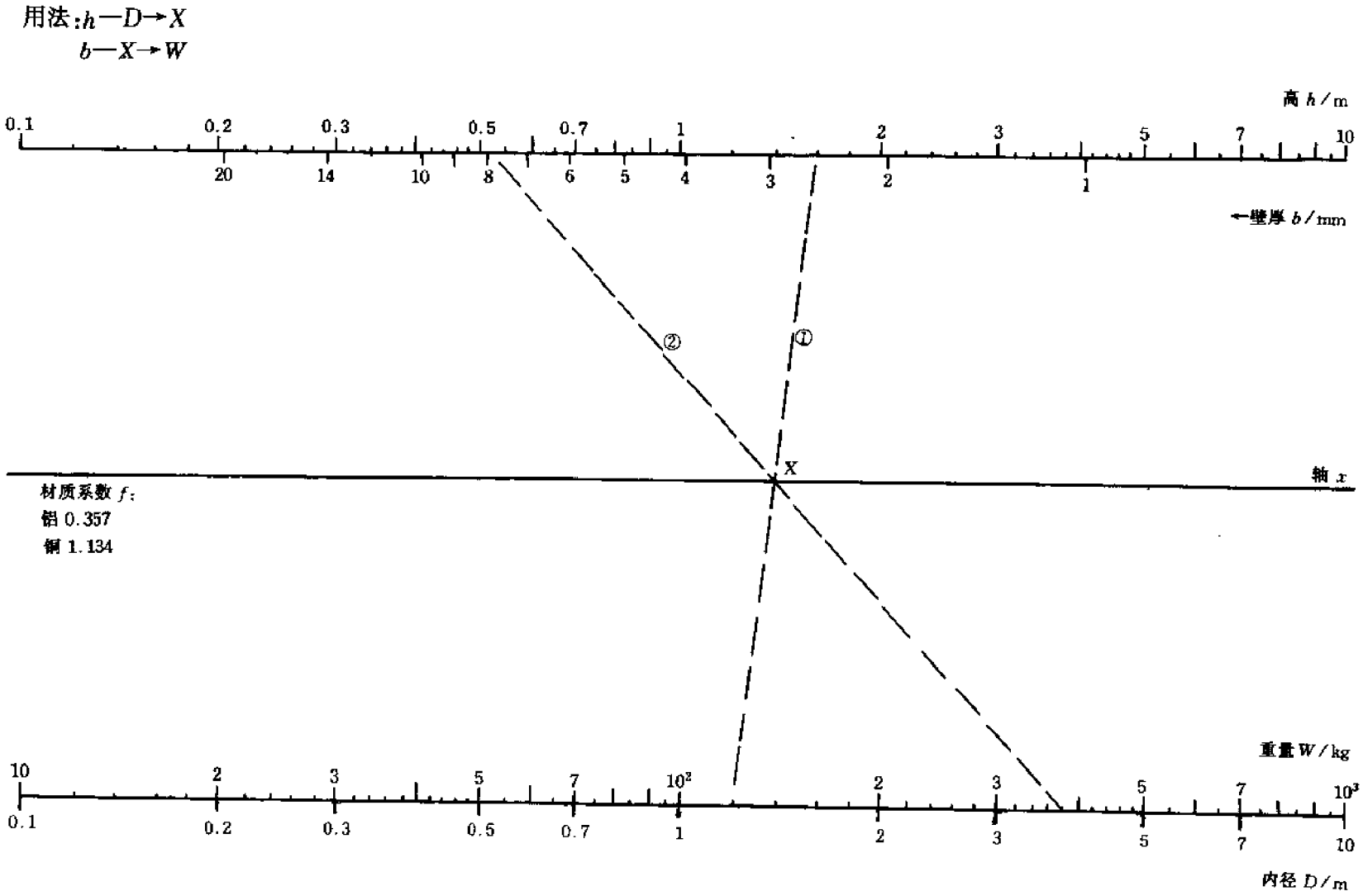


图 6.2　圆筒形贮罐筒体重量算图

6.3 各种封头重量计算

图 6.3 依据下式设计绘制：

$$W = f_N \rho D^2 b$$

式中 ρ——钢密度，$7.85\times10^3 kg/m^3$；

D——封头直径，m；

b——封头板厚，m；

f_N——封头修正系数，其中 N 表示封头编号：半球形封头 f_1= 1.571，60°锥形封头 f_2 = 1.571，90°锥形封头 f_3 = 1.111，椭圆形封头 f_4 = 1.083，碟形封头 f_5 = 1.063，球面封头 f_6 = 0.842，平圆形封头 f_7 = 0.7854。

注：1. 封头重量均不含直边重，直边加在筒体上一起算。

2. 区别椭圆形封头和碟形封头的方法见 3.2 节注。

【例 6.3】 筒体尺寸同【例 6.2】，罐顶为椭圆封头，罐底为 60°锥形封头，封头直边均已算在筒体长度内，求此设备重量。

解：用图 6.3，求罐底重量 $N2—D1.2\rightarrow X—b8\rightarrow W$ = 144kg（如图 6.3 虚线①、②所示）

同样计算罐顶椭圆形封头的重量 $N4—D1.2\rightarrow X—b8\rightarrow W$ = 100kg

在【例 6.2】中已算出筒体重 380kg，现又算出锥形封头和椭圆形封头重分别为 144kg 和 100kg，故此设备共重 380 + 144 + 100 = 624（kg）

精确算值：

罐底重 $W_2 = f_2\rho D^2 b = 1.571\times7.85\times10^3\times1.2^2\times0.008$

$= 142.07$（kg）

罐顶重 $W_4 = f_4\rho D^2 b = 1.083\times7.85\times10^3\times1.2^2\times0.008$

$= 97.94$（kg）

设备总重 $378.8 + 142.07 + 97.94 = 618.81$（kg）

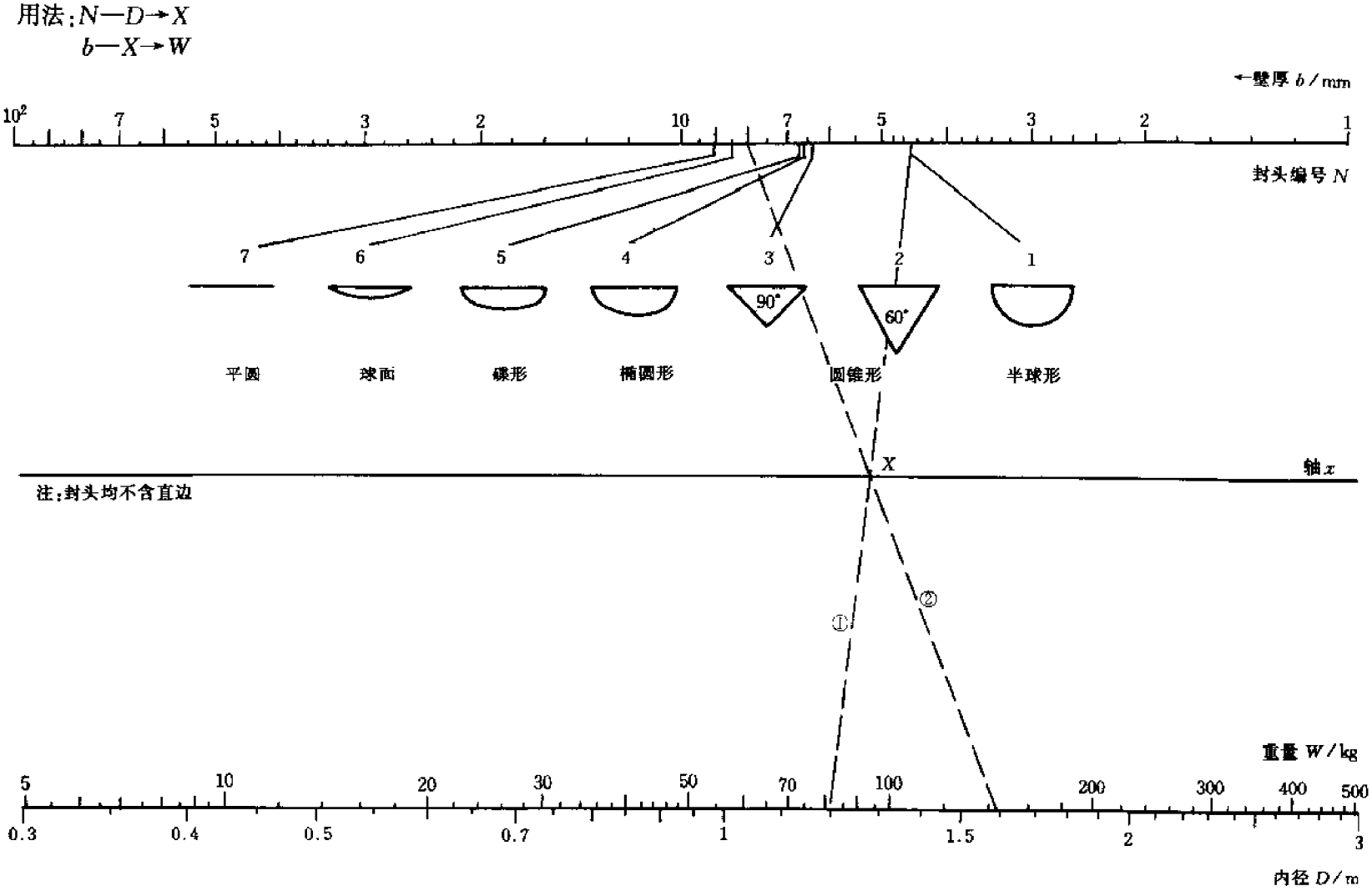


图 6.3　各种封头重量算图

6.4 球形贮罐表面积及重量计算

图 6.4 依据下列两式设计绘制：

$$A = \pi D^2$$

$$W = \rho A b = \pi \rho D^2 b$$

式中 ρ——钢密度，7.85t/m^3；

A——球形贮罐表面积，m^2；

D——球形贮罐直径，m；

b——球形贮罐壁厚，m。

【例 6.4】 球形贮罐直径 3.6m，壁厚 12mm，求其表面积及重量各为多少？

解： 用图 6.4 $D3.6 \rightarrow A = 41\text{m}^2$（如图 6.4 虚线①所示）

$D3.6—b12 \rightarrow W = 3.8\text{t}$（如图 6.4 虚线②所示）

精确算值：$A = \pi D^2 = 3.142 \times 3.6^2 = 40.72$（m^2）

$W = \rho A b = 7.85 \times 40.72 \times 0.012 = 3.836$（t）

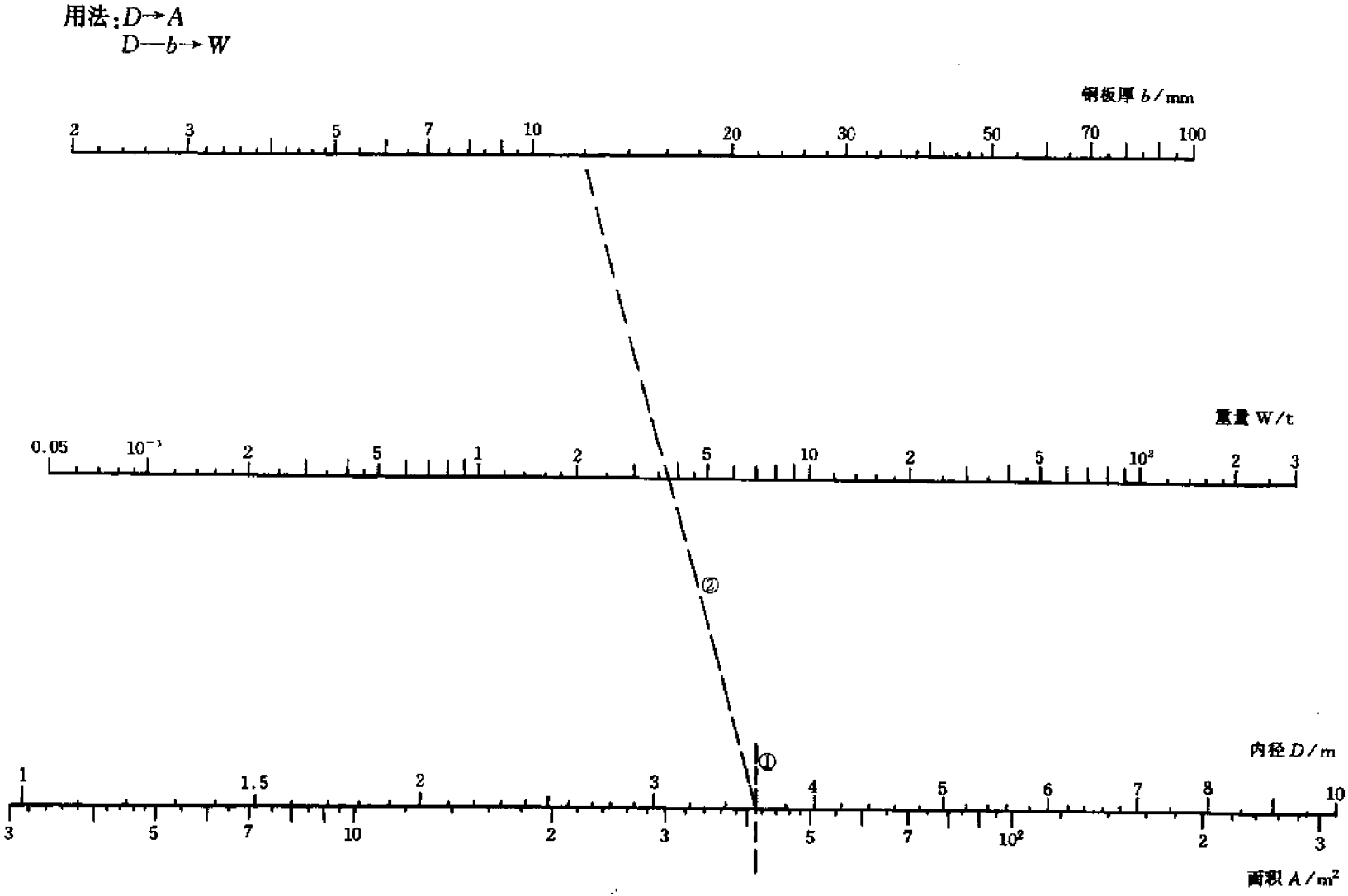


图 6.4　球形贮罐表面积及重量算图

6.5 圆锥、锥台、球缺侧面重量计算

图 6.5 系依据下式设计绘制：

$$W=\frac{\pi}{2}\rho DLb$$

式中 ρ——钢密度，$7.85\times10^{3}kg/m^{3}$；

D——圆锥顶直径，锥台两径和，球缺直径，m；

L——圆锥斜边长，锥台斜边长，球缺 2 倍高，m；

b——材料板厚，m。

【例 6.5】 圆锥形贮罐直径 1.6m，斜边长 2.4m，壁厚 10mm，求其侧面重量是多少？

解：用图 6.5 $L2.4—D1.6\rightarrow X—b10\rightarrow W=470kg$（如图 6.5 虚线①、②所示）

精确算值：$W=\frac{\pi}{2}\rho DLb=1.571\times7.85\times10^{3}\times1.6\times2.4\times0.01$

$=473.6$（kg）

【例 6.6】 作一夹套封盖（锥台形），上圆直径 1.22m，下圆直径 1.34m，斜边长 0.08m，壁厚 10mm，求此封盖重量。

解：锥台上下径之和 $1.22+1.34=2.56$（m）

用图 6.5，因 $L0.08$ 超出数轴范围，故用 $L0.8$ 求数后再乘以 10^{-1} 即可。

$$L0.8—D2.56\rightarrow X—b10\rightarrow W=252\times10^{-1}=25.2kg$$

精确算值：$W=1.571\times7.85\times10^{3}\times2.56\times0.08\times0.01$ 25.26(kg)

【例 6.7】 球缺的球直径 2m，球缺高 0.2m，板厚 12mm，求其侧面重量。

解：计算球缺 L 值 $L=2h=0.2\times2=0.4$（m）

用图 6.5 $L0.4—D2\rightarrow X—b12\rightarrow W=120kg$

精确算值：$W=1.571\times7.85\times10^{3}\times2\times0.4\times0.012=118.4$（kg）

下面举两个结构较复杂的设备为例，说明其总重量的计算方法。

【例 6.8】 有一台带夹套和罐法兰的反应罐，罐直径 1.2m，夹套直径 1.32m，夹套和罐底都是椭圆封头，罐筒体和夹套筒体高分别为 1m 和 0.9m（包含了封头直边）。罐体、夹套及封头均用 10mm 厚钢板制成，夹套封盖尺寸如例 6.6，罐法兰内径 1.22m，边宽 10cm，厚 3cm，该法兰共用 36 套 M16mm×90mm 罐法兰螺栓，求此反应罐总重。

解：（1）用图 6.2 求夹套筒体和罐的筒体重

$h0.9—D1.32\rightarrow X—b10\rightarrow W=300kg$（夹套筒体重量）

$h1—D1.2\rightarrow X—b10\rightarrow W=300kg$（罐筒体重量）

（2）用图 6.3 求夹套封头和罐底盖封头重

$N4—D1.32\rightarrow X—b10\rightarrow W=150kg$（夹套底封头重量）

$N4—D1.2\rightarrow X—b10\rightarrow W=122kg$（单个罐封头重量）

（3）用图 2.12 求罐法兰重，均径为 $1.22+0.1=1.32$（m）

$D1320—a100\rightarrow X—b30—W=82kg$（单个罐法兰重量）

（4）用图 2.11，求螺栓重

$L90—d16\rightarrow W_1=142kg/$千件

$d16\rightarrow W_2=27kg/$千件，$d16\rightarrow W_3=34.1kg/$千件

36 套螺栓共重$(142+27+34.1)\times36\times10^{-3}=7.3$（kg）

（5）【例 6.6】已算出夹套封盖重 25.2kg

（6）因罐封头盖、底共两个，用一对罐法兰，故设备总重：

$300+122\times2+82\times2+7.3+300+150+25.2=1190.5$（kg）

【例 6.9】 有一座填料塔，直径为 0.6m，筒体总长 12m，筒壁厚 8mm，共分 6 节，用 7 对法兰连接。法兰边宽 8cm、厚 2cm，每对法兰用 M16mm×70mm 的螺栓 16 套固定。塔顶和底部有一对球面盖、底，塔内装有 6 块筛板，筛板与盖、底的厚度均为 6mm，求塔总重。

解：（1）用图 6.2，求塔筒体重（因 $L12$ 超出数轴范围，故用 $L1.2$ 求数后乘以 10）

$h1.2—D0.6\rightarrow X—b8\rightarrow W=142\times10=1420kg$

（2）用图 2.12，求塔节法兰重，法兰内径应为 620mm 加上法兰边宽 80mm，平均直径为 700mm，则每块法兰重 $D700—a80\rightarrow X—b20\rightarrow W=23.2kg$ 共 14 块法兰总重 $23.2\times14=324.8$（kg）

（3）用图 2.11，求 $16\times7=112$ 套螺栓重

$L70—d16\rightarrow W_1=110kg/$千件，

$d16\rightarrow W_2=27kg/$千件，$d16\rightarrow W_3=34.1kg/$千件

则 112 套螺栓总重

$(110+27+34.1)\times112\times10^{-3}=19.2$（kg）

（4）用图 6.3，求封头和筛板重，筛板看作半圆板。

$N6—D0.6\rightarrow X—b6\rightarrow W=14.2kg$（单个封头重量）

$N7—D0.6\rightarrow X—b6\rightarrow W=13.2kg$（单块筛板重量）

则 2 个封头重 $14.2\times2=28.4$（kg）

6 块筛板重 $13.2\times6=79.2$（kg）

（5）塔总重：$1420+324.8+19.2+28.4+79.2=1871.6$（kg）

用法：$L—D→X$
$b—X→W$

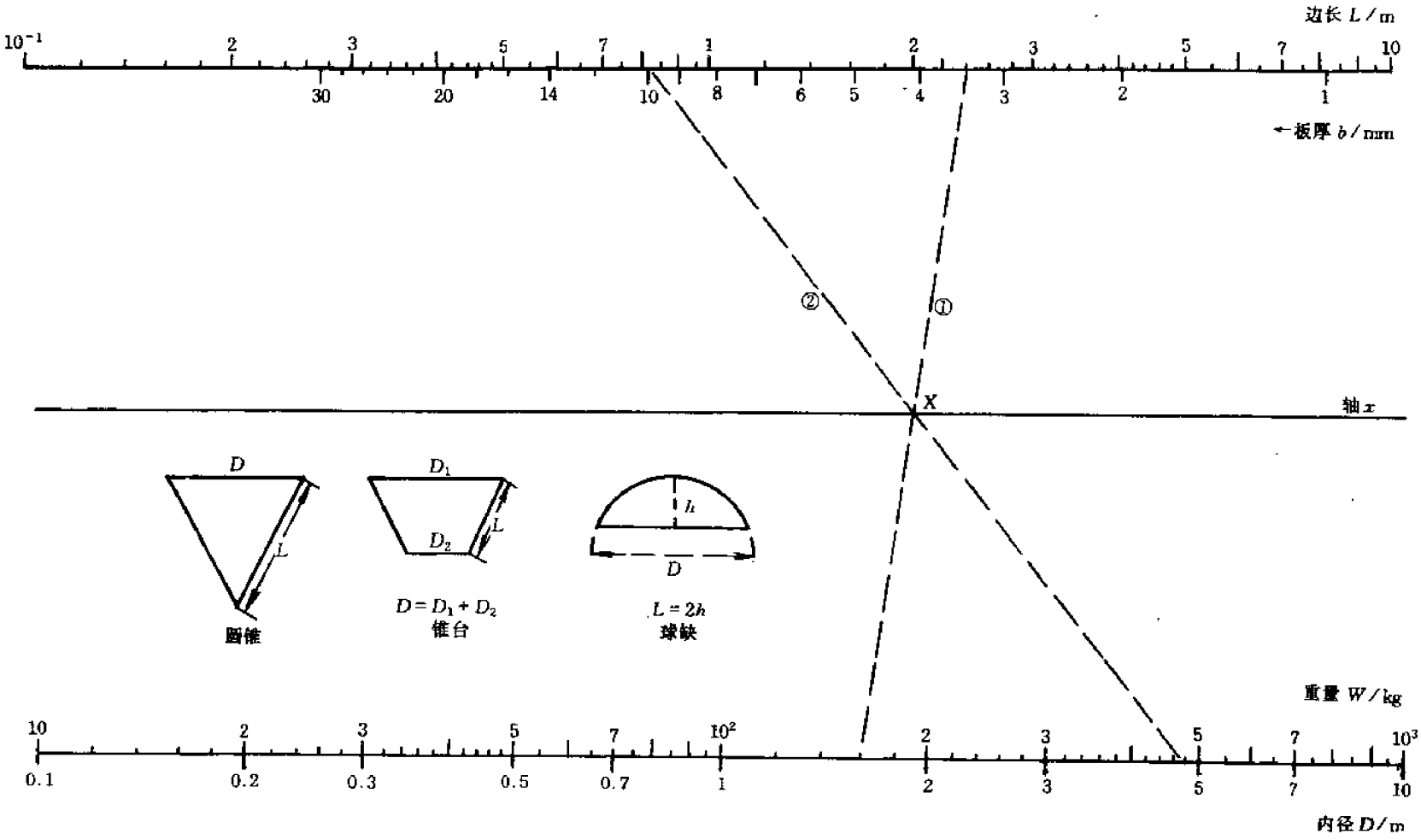


图 6.5　圆锥、锥台、球缺侧面重量算图

7. 保温计算

保温是为防止设备和管路散发（或吸收）热量而进行的绝热措施。在化工、炼油、制药、冶金、电力、轻纺、建材等行业都有应用，已成为生产和建设不可缺少的节能工程项目。

保温除节能、减少热量损失外，还可防止烫伤，改善劳动条件；防止冷设备、管路表面结露，冬季防止管路结堵；提高防火等级和提高生产能力等。所以，必要的保温计算是不可缺少的。

7.1 由热损失求保温厚度

限定热损失计算保温厚度，是保温工程的基本计算内容。

外径＞1m 的管道、圆筒形设备及平壁设备的保温厚度计算公式为：

$$\delta = f\lambda T q^{-1} \qquad (7.1)$$

式中 f——修正系数，取 0.96；

λ——保温材料导热系数，kcal/(m·h·℃)换算关系为 1kcal/(m·h·℃)=1.163W/(m·℃)；

T——温差，$T=t_1-t_2$，℃；

t_1——保温体温度，℃；

t_2——空气平均温度，℃；

q——允许最大热损失，kcal/(m²·h)或 W/m²，可由图 7.2 求得。为方便读者，图 7.2 标有两种单位，换算关系为 1kcal/(m²·h)=1.163W/m²。

图 7.1 由热损失求保温厚度算图是依据式（7.1）设计绘制。常用保温材料的热学性能和密度列于表 7.1，可供计算时参阅。

注：利用图 7.1 也可由保温厚度来计算热量损失。

【例 7.1】 外径大于 1m 的 200℃蒸汽设备，用沥青岩石棉毡保温，周围空气平均温度为 15℃，求常年运行所需保温厚度。

解： 由表 7.1 查得沥青岩石棉毡的导热系数 $\lambda=0.045$kcal/(m·h·℃)。

由图 7.2 求得 200℃保温体常年允许热损失为 120kcal/(m²·h)（如图 7.2 虚线所示）

计算温差 $T=t_1-t_2=200-15=185$℃

用图 7.1 $\lambda 0.045—T185→X—q120→\delta=67$mm（如图 7.1 虚线①、②所示）

精确算值：$\delta=f\lambda Tq^{-1}=0.96\times0.045\times185\times120^{-1}=0.0667$（m）

【例 7.2】 如上例条件，若保温厚度为 50mm，求热损失。

解： 用图 7.1 $\lambda 0.045—T185→X—\delta50→q=160$kcal/(m²·h)

精确算值：$q=f\lambda T\delta^{-1}=0.96\times0.045\times185\times0.05^{-1}=159.84$ [kcal/(m²·h)]

保温材料的导热系数可由有关手册查得。在表 7.1 常用保温材料性能表中，列有部分保温材料的 λ 值计算式，也可供读者查取。计算式中的 t_J（平均计算温度）可由图 7.3 的材料热导计算温度 t_J 求得。

表 7.1 常用保温材料的性能

保温材料	导热系数 λ/(kcal·m⁻¹·h⁻¹·℃⁻¹)	密度 ρ/(kg·m⁻³)	最高允许温度 T/℃
玻璃棉原棉	$0.033+0.00015t_J$	80～100	300
沥青玻璃棉毡	$0.037+0.00015t_J$	80～100	250
超细玻璃棉管壳	$0.027+0.00013t_J$	64	400
中级玻璃纤维管壳	$0.029+0.00021t_J$	86	250
无碱超细玻璃棉	$0.028+0.0002t_J$	40～60	650
矿渣棉原棉	$0.043+0.00017t_J$	100～150	800
酚醛矿渣棉管壳	0.04～0.045	150～200	300
沥青岩石棉毡	≤0.045	105～135	250
水玻璃岩石棉板、管壳	≤0.1	300～450	400
石棉绒	$0.075+0.0002t_J$	300～400	500
泡沫石棉毡	$0.033+0.0002t_J$	70～95	500
硅酸铝耐火纤维	0.12～0.25	140～200	1250
耐火水泥珍珠岩制品	$0.069+0.00012t_J$	429	800～1000
水泥泡沫混凝土制品	$0.078+0.00016t_J$	400	250
煤灰泡沫混凝土制品	$0.085+0.00017t_J$	500	300～350
泡沫玻璃制品	$0.043+0.0002t_J$	50～170	500
聚氨酯泡沫塑料制品	0.0229	41.7	130
胶黏软木	0.057		150
微孔硅酸钙制品	$0.035+0.0001t_J$	200～250	650
水泥珍珠岩管壳	$0.05+0.0002t_J$	250～400	600

【例 7.3】 中级玻璃纤维管壳用来保温，保温体温度 t_1 为 200℃，周围空气温度 t_2 为 15℃，求其导热系数 λ 值。

解： 用图 7.3，当 $t_1=200$℃，$t_2=15$℃时

求得 $t_J=120$℃（如图 7.3 虚线所示）

由表 7.1，查得中级玻璃纤维管壳导热系数算式，代入计算：

$$\lambda=0.029+0.00021t_J=0.029+0.00021\times120$$
$$=0.0542\ [\text{kcal/(m·h·℃)}]$$

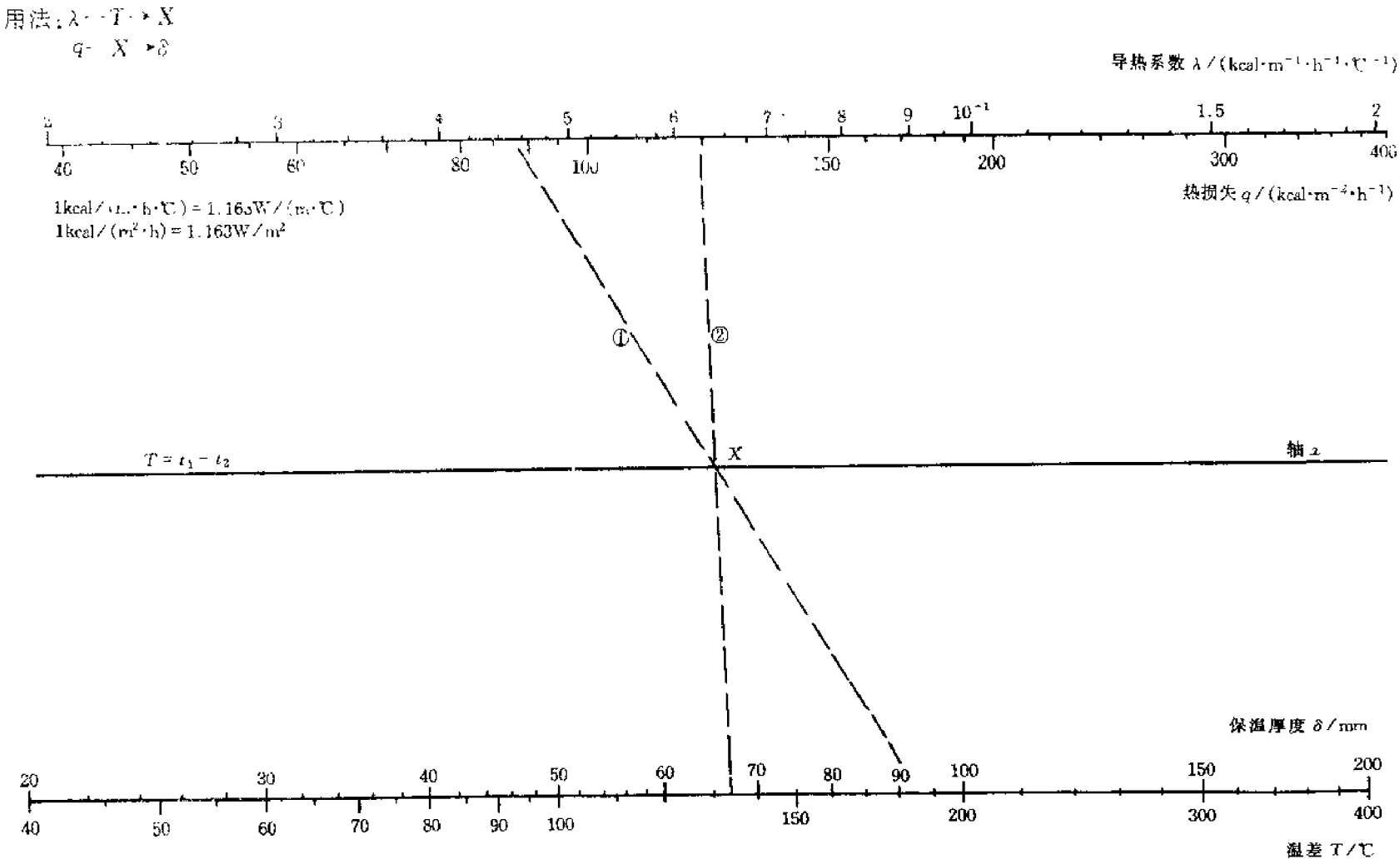


图 7.1　由热损失求保温厚度算图

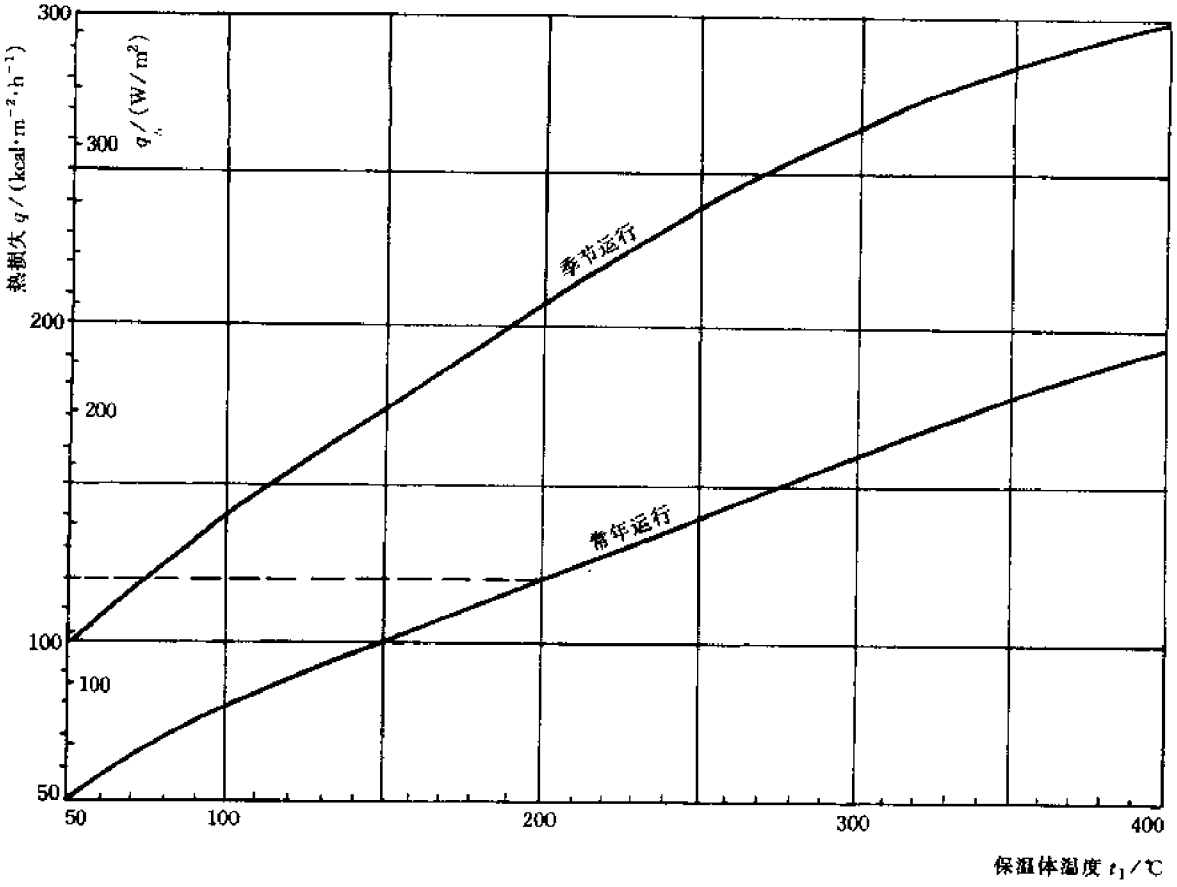


图 7.2　允许最大热损失

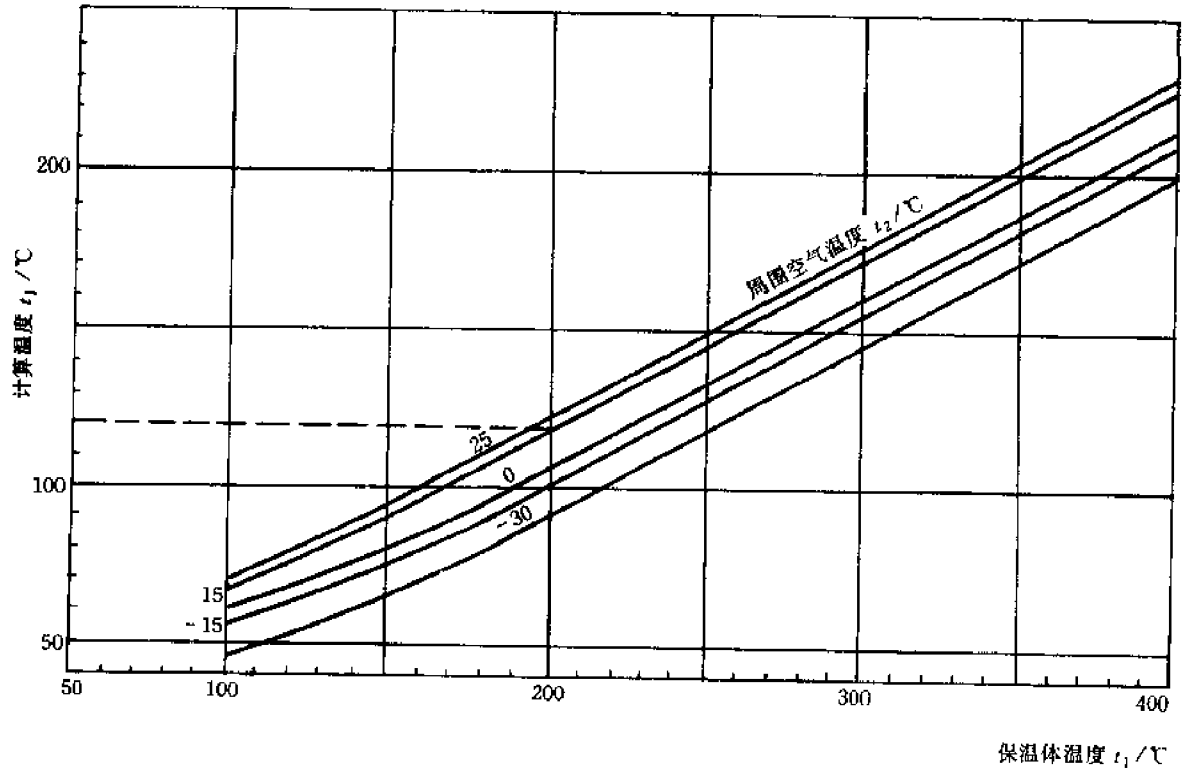


图 7.3　材料热导计算温度 t_J

7.2 圆壁保温厚度计算

对外径≤1m的管道或圆筒形设备，其保温厚度可先按平壁设备计算出保温厚度后，再依据不同外径将平壁保温厚度转换成圆壁保温厚度。

平壁、圆壁保温厚度的转换计算公式如下

$$2\delta/d_0 = Y = X\ln X \tag{7.2}$$

$$\delta_0 = 0.5\ (X - 1)\ d_0 \tag{7.3}$$

式中 δ——平壁保温厚度，mm；

δ_0——圆壁保温厚度，mm；

d_0——管道或圆设备外径，mm；

d——保温层外径，mm；

Y——2倍平壁保温厚度与管外径比，即 $Y = 2\delta/d_0$；

X——保温层外径与管外径比，即 $X = d/d_0$。

图7.4平壁、圆壁保温厚度转换算图依据式（7.2）设计绘制。

图7.5圆壁保温厚度算图依据式（7.3）设计绘制。

图7.4用法说明：先以 d_0—δ→Y，求得 Y 值后（如图7.4虚线①与 y 轴交点），以 Y 值为中心点转动直尺，使 X 值与 $\ln X$ 中的 X 值相等，此时所对应的 X 值就为所求 X 值。用法标示记作 X←Y→$\ln X$（如图7.4虚线②所示）。

注：算图中 $\ln X$ 尺的标值为 X 的数值。

【例7.4】 ϕ108mm蒸汽管，蒸汽温度200℃，常年平均气温15℃，用中级玻璃纤维管壳保温，求保温厚度。

解：在【例7.3】中已求得该保温材料的导热系数 $\lambda = 0.0542$kcal/(m·h·℃)，温差 $T = t_1 - t_2 = 200 - 15 = 185$（℃）

用图7.2，当 $t_1 = 200$℃，常年运行允许热损失 $q = 120$kcal/(m²·h)

用图7.1，求出平壁保温厚度

$$\lambda 0.0542 — T185 \rightarrow X \leftarrow q120 \rightarrow \delta = 81\text{mm}$$

用图7.4，求圆壁保温层外径与设备的外径比 X

d_0108—$\delta 81$→ $Y = 1.5$，$X = 2.06$← $Y1.5$→$\ln 2.06$ 即求得 $X = 2.06$（如图7.4虚线①、②所示）

用图7.5，求圆壁保温厚度

$$d_0108 — X2.06 \rightarrow \delta = 58\text{mm}$$（如图7.5虚线所示）

【例7.5】 外径 $d_0 = 600$mm的设备，已求出平壁保温厚度为110mm，求圆壁保温厚度。

解：用图7.4，$\delta 110$—$d_0 60$→ $Y = 3.7 \times 10^{-1} = 0.37$

因 d_0 600已超出算图的数值范围，故用 $d_0 60$ 求值后乘 10^{-1} 倍。将直尺的中心点移到 $Y = 0.37$ 处转动：$X = 1.32$← $Y = 0.37$ →$\ln 1.32$（即求得 $X = 1.32$）

用图7.5，$d_0 600$—$X1.32$→$\delta_0 = 96$mm（此为所求圆壁保温厚度）

精确算值：

$$Y = 2\delta/d_0 = 2 \times 110/600 = 0.3667$$

$$Y = X\ln X = \ln X^X = 0.3667$$

即

$$X^X = e^{0.3667} = 1.443$$

用工程函数计算器，采用估数试算法可求得

$$1.32^{1.32} = 1.443 \quad \text{即 } X = 1.32$$

据此计算圆壁保温厚度

$$\delta_0 = 0.5(X-1)d_0 = 0.5(1.32-1) \times 600 = 96\ (\text{mm})$$

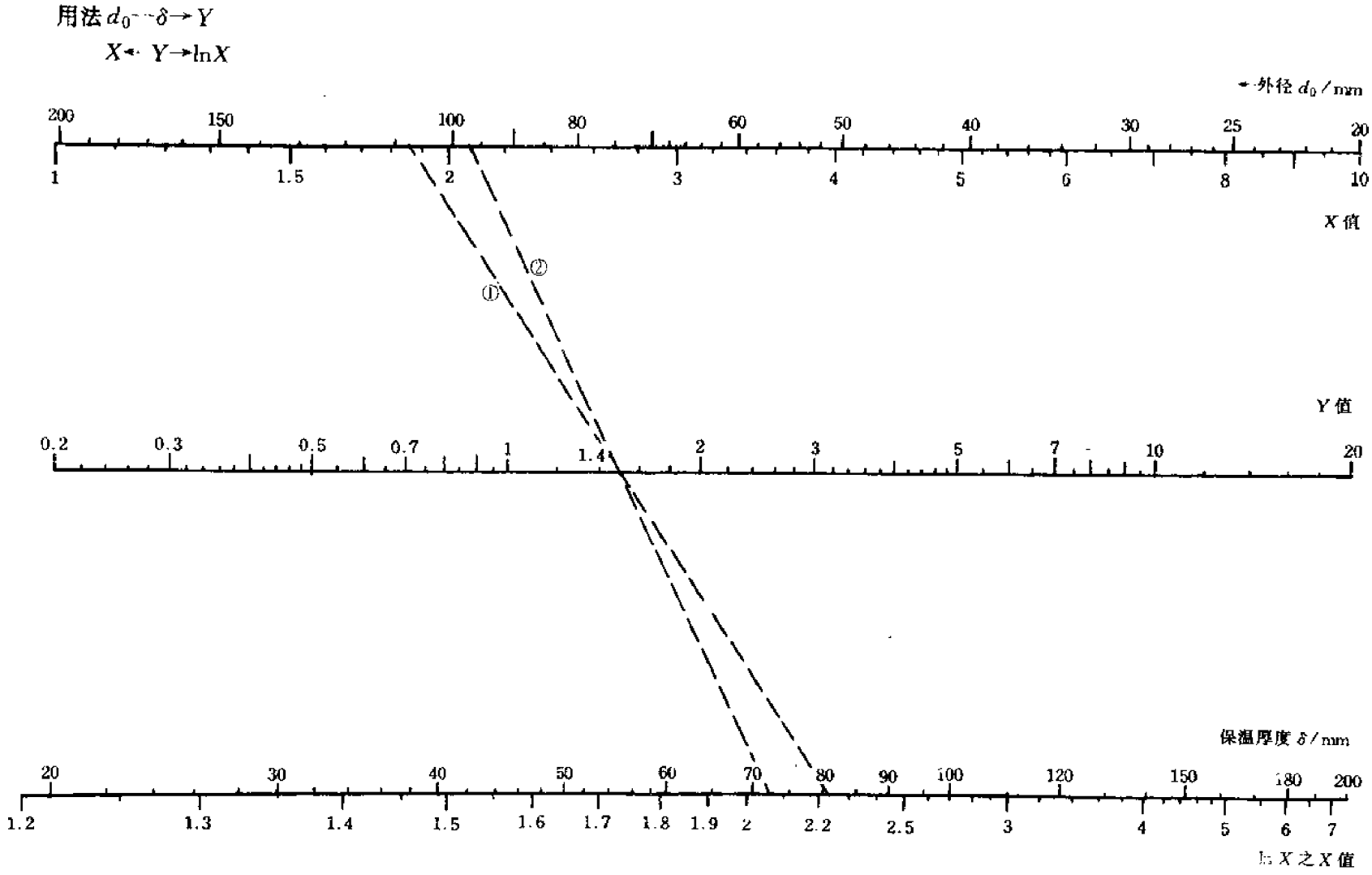


图 7.4　半壁、圆壁保温厚度转换算图

用法：d_0—X→δ_0

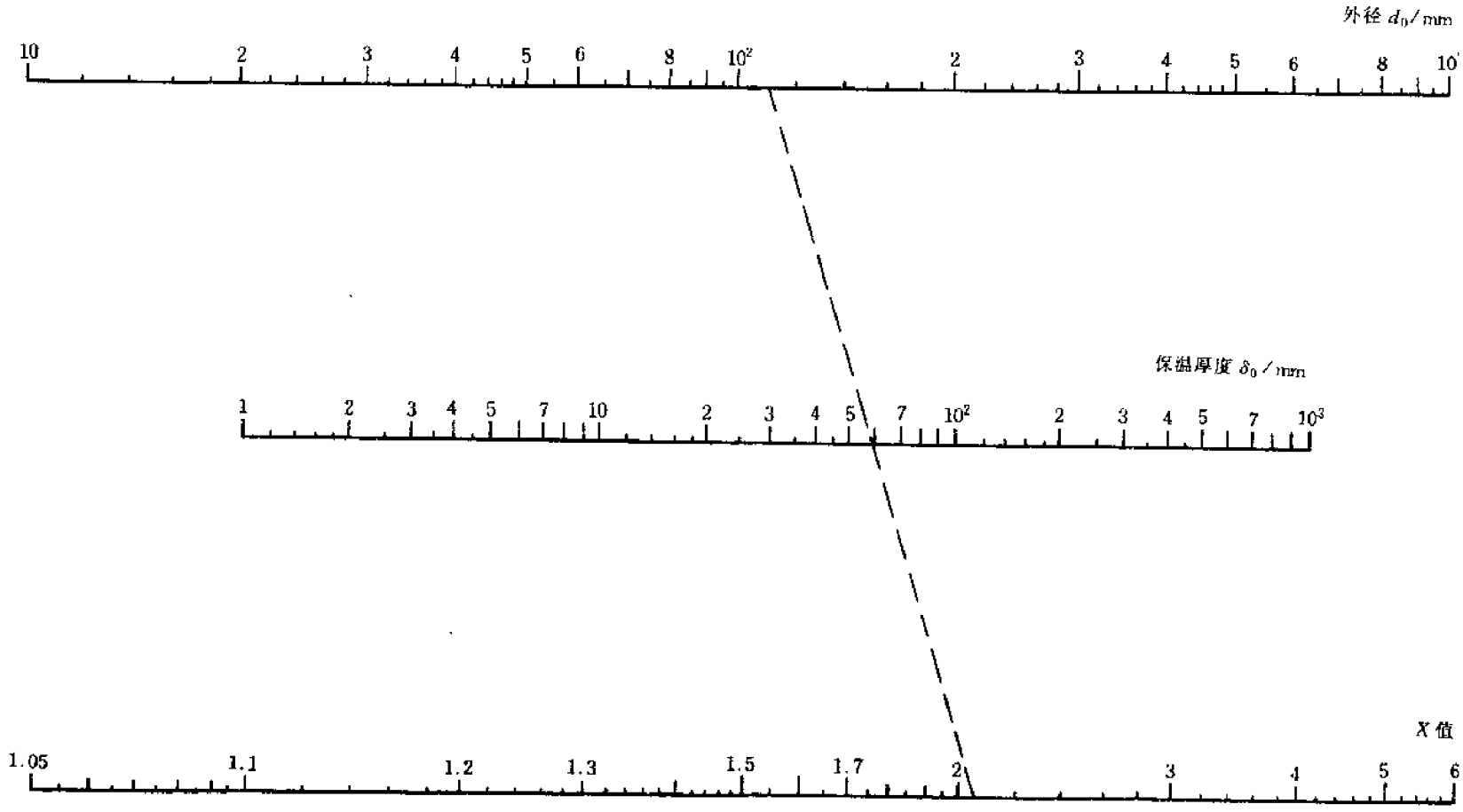


图 7.5　圆壁保温厚度算图

7.3 经济保温厚度计算

设备或管道保温后，年热损失价值与保温工程投资年分摊价值之和为最小时的保温厚度，称为经济保温厚度。

外径＞1m的管道、圆筒设备或平壁设备，其经济保温厚度的计算式为：

$$\delta = fK\lambda^{0.5}T^{0.5} \qquad (7.4)$$

式中 f——修正系数，取0.98（即$0.96^{0.5}$）；

K——经济保温费用值，可由图7.7求取；

T——温差，$T = t_1 - t_2$，℃；

t_1，t_2，λ 的意义和单位同7.1节。

图7.6为平壁经济保温厚度算图，依据式（7.4）设计绘制。

注：外径≤1m的管道、圆筒设备，可先按平壁设备计算出经济保温厚度后，再用图7.4进行平壁与圆壁保温厚度的转换。

【例7.6】 ϕ108mm蒸汽管温度为200℃，空气平均温度取15℃，用中级玻璃纤维管壳保温，已知K值为29.2，求经济保温厚度。

解：在【例7.3】中已求得：$\lambda = 0.0542$kcal/(m·h·℃)

温差 $T = 200 - 15 = 185$（℃）

用图7.6 $T185$—$\lambda 0.0542$→X—$K29.2$→$\delta = 91$mm（如图7.6虚线①、②所示）

然后转换成圆壁保温厚度

用图7.4 d_0108—$\delta 91$—$Y = 1.66$，$X = 2.16$←$Y1.66$→ln2.16

用图7.5 d_0108—$X2.16$→$\delta_0 = 64$mm（即为所求之经济保温厚度）

精确算值：$\delta = fK\lambda^{0.5}T^{0.5} = 0.98 \times 29.2 \times 0.0542^{0.5} \times 185^{0.5}$

$$= 28.6 \times 0.2328 \times 13.6 = 90.6 \text{（mm）}$$

$$Y = 2\delta/d_0 = 2 \times 90.6/108 = 1.678 = X\ln X = \ln X^X$$

即 $$X^X = e^{1.678} = 5.355$$

用工程计算器，采取估数试算法求得

$$2.168^{2.168} = 5.353 \quad \text{即 } X = 2.168$$

则所求圆壁经济保温厚度

$$\delta_0 = 0.5(X-1)d_0 = 0.5 \times (2.168 - 1) \times 108 = 63.07 \text{（mm）}$$

用法：T—λ→X—K→δ

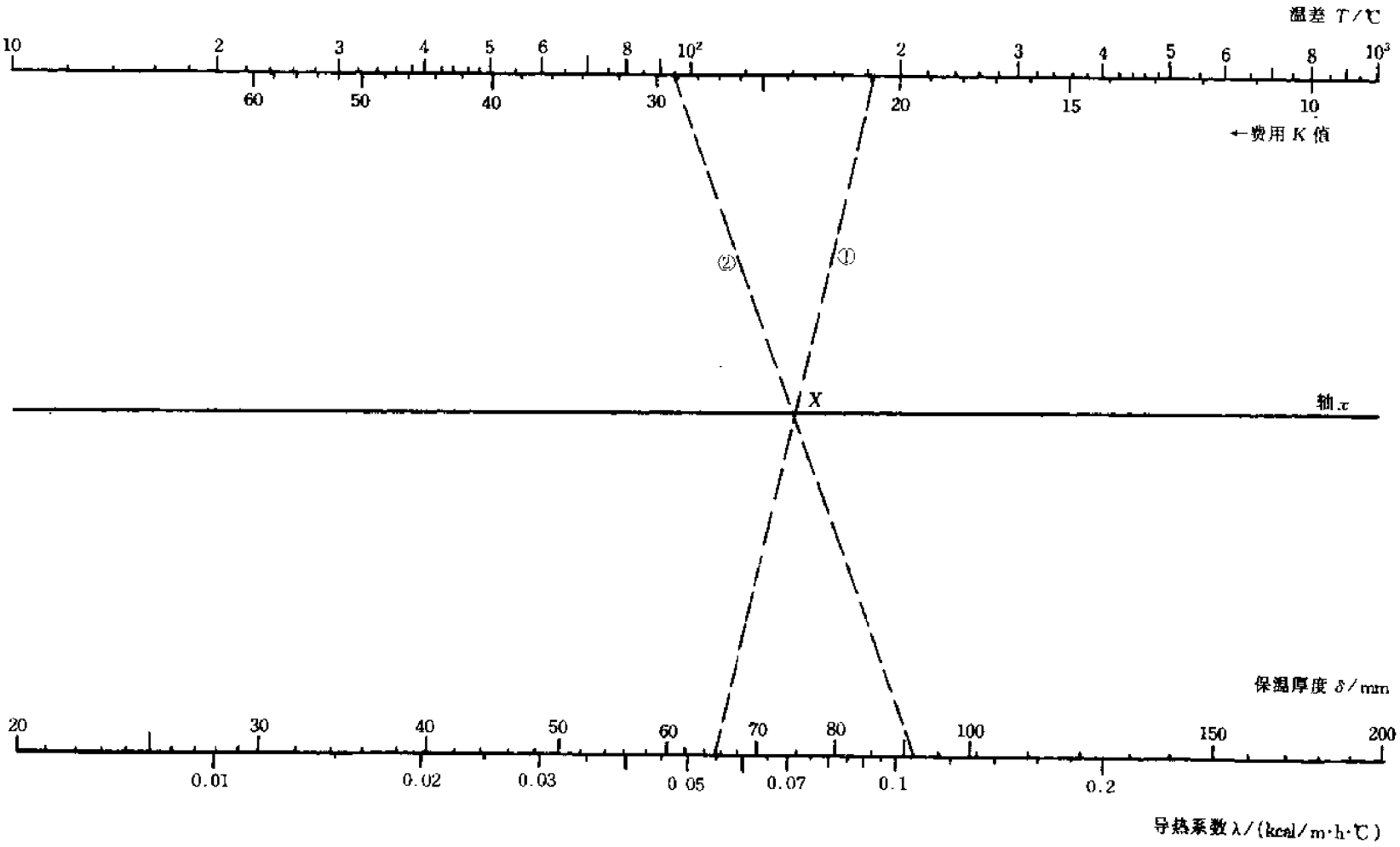


图 7.6　平壁经济保温厚度算图

7.4 经济保温费用 K 值计算

经济保温费用 K 值是依下式来确定的：

$$K = 89.4B^{0.5}A^{-0.5}N^{-0.5} \qquad (7.5)$$

式中 B——热能价格，元/10^6cal；

A——含工程费的材料综合价，元/m^3；

N——投资年分摊利率，可由图 7.8 求取。

图 7.7 即依据式（7.5）设计绘制。

（1）此算式是按年运行时间 8000h 推导的，若时间出入较大时，应乘以时间修正系数 $(t/8000)^{0.5}$。

（2）含工程费的材料综合价 A，可从有关概算指标估算。

（3）热能价格 B 的参考估算式如下：

$$B = 0.28fJ \quad (元/10^6cal)$$

此式是按每吨煤产生 3.6×10^6cal 蒸汽热值推导的。

式中 J——煤价，元/t；

f——含运费、人工费和设备费等的附加倍率，可取 1.3～1.5。

例如：某地煤价为 130 元/t 则：

$$B = 0.28fJ = 0.28\times1.4\times130 = 51 \quad (元/10^6cal)$$

【例 7.7】 某地热能价格为 51 元/10^6cal，含工程费的保温材料综合价为 1800 元/m^3，投资年分摊利率 $N = 0.264$，求保温费用 K 值。

解： 用图 7.7 $B51—N0.264\rightarrow X—A1800\rightarrow K = 29.2$（如图 7.7 虚线①、②所示）

精确算值： $K \quad 89.4\times51^{-0.5}\times1800^{-0.5}\times0.264^{-0.5}$

$$= 89.4\times7.14\times0.0236\times1.946 \quad 29.32$$

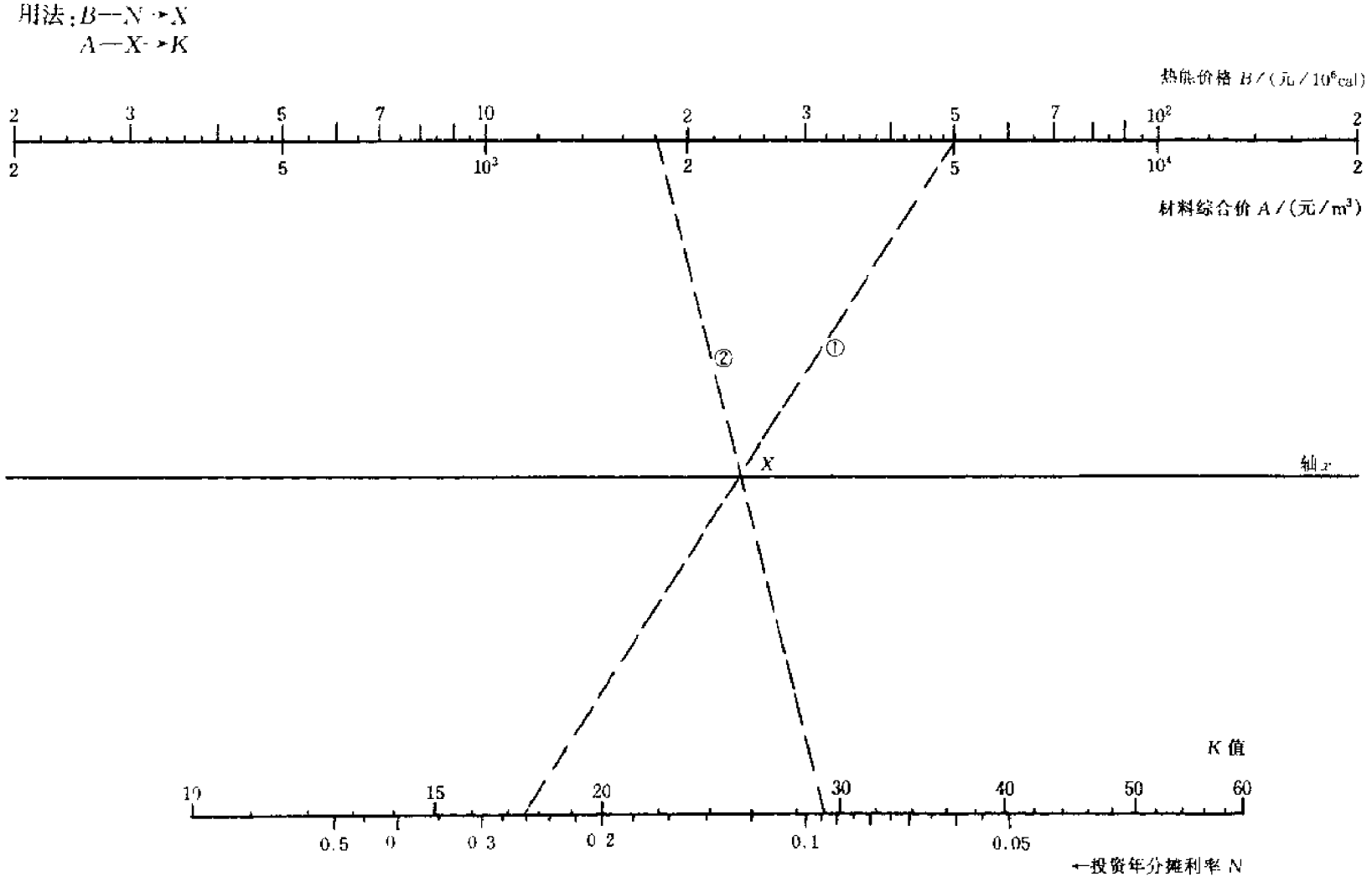


图 7.7 经济保温费用 K 值算图

7.5 投资年分摊利率 N 值计算

投资年分摊利率计算公式如下：

$$N = n(1+n)^m/[(1+n)^m - 1] \qquad (7.6)$$

式中 n——贷款年复利率；

m——贷款计息年限。

图 7.8 系依据式（7.6）设计绘制。

【例 7.8】 某地投资贷款年利率为 10%（计复利），5 年内还清贷款本息，求年分摊利率为多少？

解：用图 7.8 $(1+n)1.1—m5→(1+n)^m = 1.61$（如图 7.8 虚线①所示）

$(1+n)^m 1.61—n0.1→X$（如图 7.8 虚线②所示）

$Y0.61—X→N = 0.264$（如图 7.8 虚线③所示）

精确算值：$N = 0.1 \times 1.1^5/(1.1^5 - 1)$

$= 0.1 \times 1.6105/0.6105 = 0.2638$

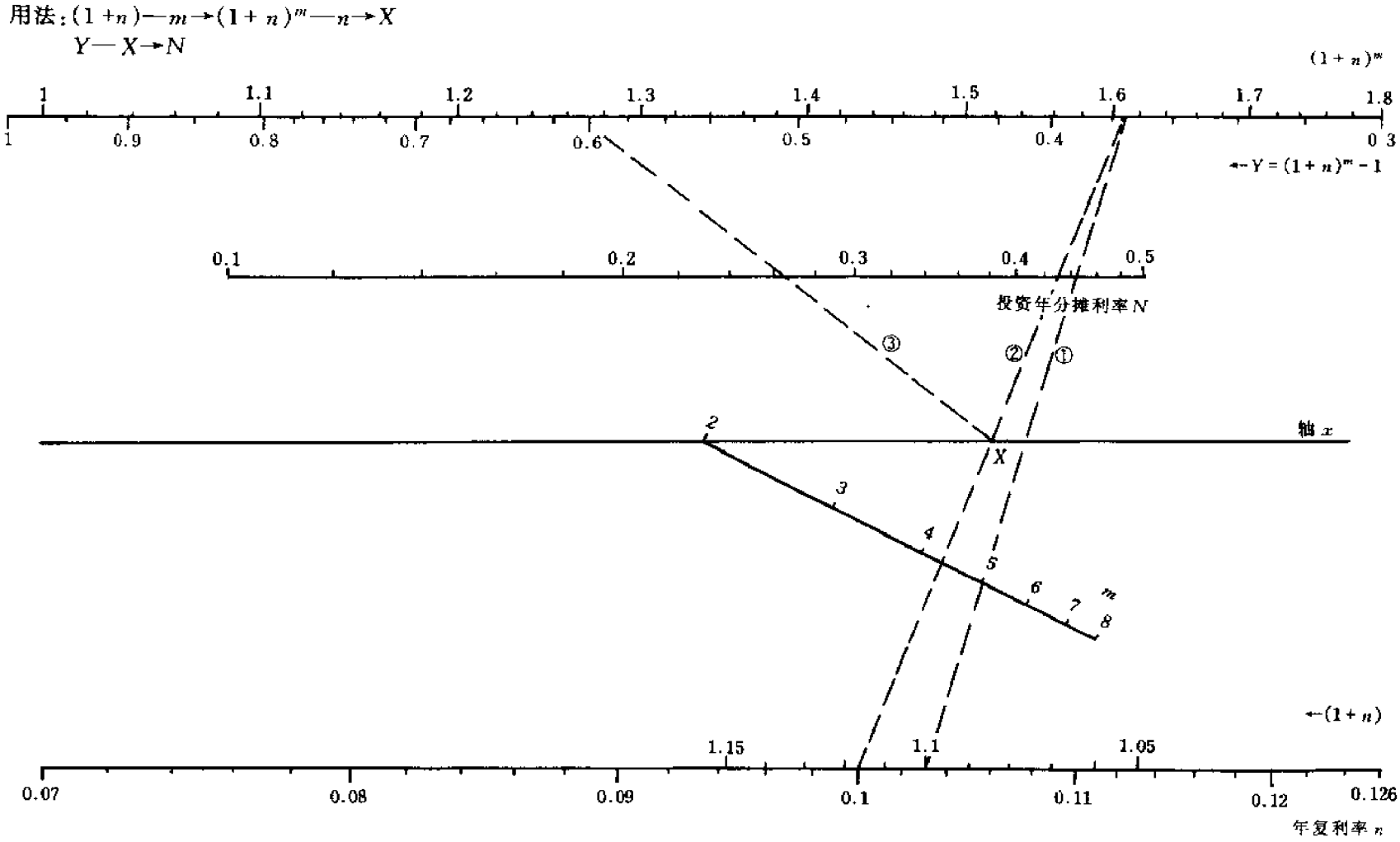


图 7.8　投资年分摊利率 N 值算图

7.6 保冷防露保温厚度计算

保冷除可节能防止热量损失外，更主要的是为了防止管路表面结露。保冷防露保温厚度计算的基点，就是使保温层表面温度不低于空气露点温度。

外径＞1m的管路、圆筒设备或平壁设备保冷防露保温厚度计算式为：

$$\delta = 0.143\lambda T_1 / T_2 \qquad (7.7)$$

式中 λ——保温材料导热系数，可由表7.1查得；

T_1——综合低温差，℃，$T_1 = 2.1t_e - t_1 - t_2$；

T_2——高温差，℃，$T_2 = t_2 - 1.05t_e$；

t_e——空气露点温度，由表7.2查取；

t_J——保温层平均温度，$t_J = (t_1 + 1.05t_e)/2$；

t_1，t_2——分别为保温体温度和空气平均温度，℃。

图7.9平壁保冷防露保温厚度算图即依据式（7.7）设计绘制。空气露点温度如表7.2所列，可供计算时查阅。

注：1. 本算式是按室内总给热系数为7kcal/(m²·h·℃)推导的。

2. 求出平壁保冷防露保温厚度后，通过转换就可求出圆壁保温厚度。

【例7.9】 ϕ108mm冷盐水管，冷盐水 $t_1 = 2$℃，夏天车间平均气温 $t_2 = 27$℃，相对湿度80%，用水泥珍珠岩管壳保温，求保冷防露厚度。

解： 查表7.2，在室温27℃、相对湿度80%时

露点 $t_e = (24 + 22.1)/2 = 23.1$（℃）（采用内插法计算）

综合低温差 $T_1 = 2.1t_e - t_1 - t_2 = 2.1 \times 23.1 - 2 - 27 = 19.5$（℃）

高温差 $T_2 = t_2 - 1.05t_e = 27 - 1.05 \times 23.1 = 2.75$（℃）

保温层平均温度 $t_J = (2 + 1.05 \times 23.1)/2 = 13$（℃）

查表7.1，水泥珍珠岩管壳保温材料的导热系数

$$\lambda = 0.05 + 0.0002t_J = 0.05 + 0.0002 \times 13$$
$$= 0.0526\ [\text{kcal/(m·h·℃)}]$$

用图7.9，求保冷防露平壁厚度

$T_1$19.5—λ0.0526→X—$T_2$2.75→δ = 54mm（如图7.9虚线①、②所示）

精确算值：
$$\delta = 0.143\lambda T_1 / T_2$$
$$= 0.143 \times 0.0526 \times 19.5/2.75$$
$$= 0.0533\ (\text{m})$$

然后将平壁保温厚度转换成圆壁保温厚度：

用图7.4 $d_0$108—δ 54→Y = 1

X = 1.76←Y1·→ln1.76

用图7.5 $d_0$108—X1.76→δ_0 = 42mm

此即为保温防露的圆壁保温厚度。

表7.2 空气露点温度 t_e

空气露点温度 t_e/℃	相对湿度/%								
	60	65	70	75	80	85	90	95	100
30	20.9	22.3	23.6	24.8	25.9	27.0	28.1	29.1	30.0
28	19.0	20.4	21.7	22.9	24.0	25.1	26.1	27.1	28.0
26	17.2	18.5	19.8	21.0	22.1	23.1	24.1	25.1	26.0
24	15.3	16.6	17.8	19.0	20.1	21.1	22.1	23.1	24.0
22	13.4	14.7	15.9	17.0	18.1	19.1	20.1	21.1	22.0
20	11.5	12.8	14.0	15.1	16.2	17.2	18.2	19.1	20.0
18	9.9	10.9	12.1	13.2	14.2	15.2	16.2	17.1	18.0
16	7.7	9.0	10.2	11.3	12.3	13.3	14.3	15.2	16.0
14	5.8	7.0	8.2	9.3	10.3	11.3	12.3	13.2	14.0
12	3.9	5.1	6.3	7.4	8.4	9.4	10.3	11.2	12.0
10	2.1	3.3	4.4	5.4	6.4	7.4	8.3	9.2	10.0
8	0.3	1.4	2.5	3.5	4.5	5.4	6.3	7.2	8.0
6	-1.5	-0.4	0.7	1.7	2.7	3.6	4.4	5.2	6.0
4	-3.2	-2.1	-1.1	-0.2	0.7	1.6	2.5	3.3	4.0
2	-4.9	-3.9	-3.0	-2.1	-1.2	-0.3	0.5	1.3	2.0
0	-6.5	-5.5	-4.6	-3.7	-2.9	-2.1	-1.3	-0.6	±0.0
-2	-8.4	-7.4	-6.4	-5.6	-4.8	-4.0	-3.3	-2.6	-2.0
-4	-10.3	-9.3	-8.3	-7.5	-6.7	-6.0	-5.3	-4.6	-4.0
-6	-12.1	-11.2	-10.3	-9.5	-8.7	-8.0	-7.3	-6.6	6.0
-8	-13.9	-13.9	-12.2	-11.4	-10.7	-10.0	-9.3	-8.6	-8.0
-10	-15.4	-14.8	-14.1	13.3	-12.6	-11.9	-11.2	-10.6	10.0
-12	-17.7	-16.7	-15.9	-15.1	-14.4	-13.8	-13.2	-12.6	-12.0
-14	-19.8	-18.8	-17.9	-17.1	-16.4	-15.8	-15.2	-14.6	-14.0
-16	-21.9	-20.9	-20.0	-19.2	-18.5	-17.8	-17.1	-16.5	-16.0
-18	-24.1	-23.0	-22.2	-21.4	-20.9	-19.8	-19.1	-18.5	-18.0
-20	-26.2	-25.2	-24.2	-23.4	22.6	-21.8	-21.1	20.5	-20.0

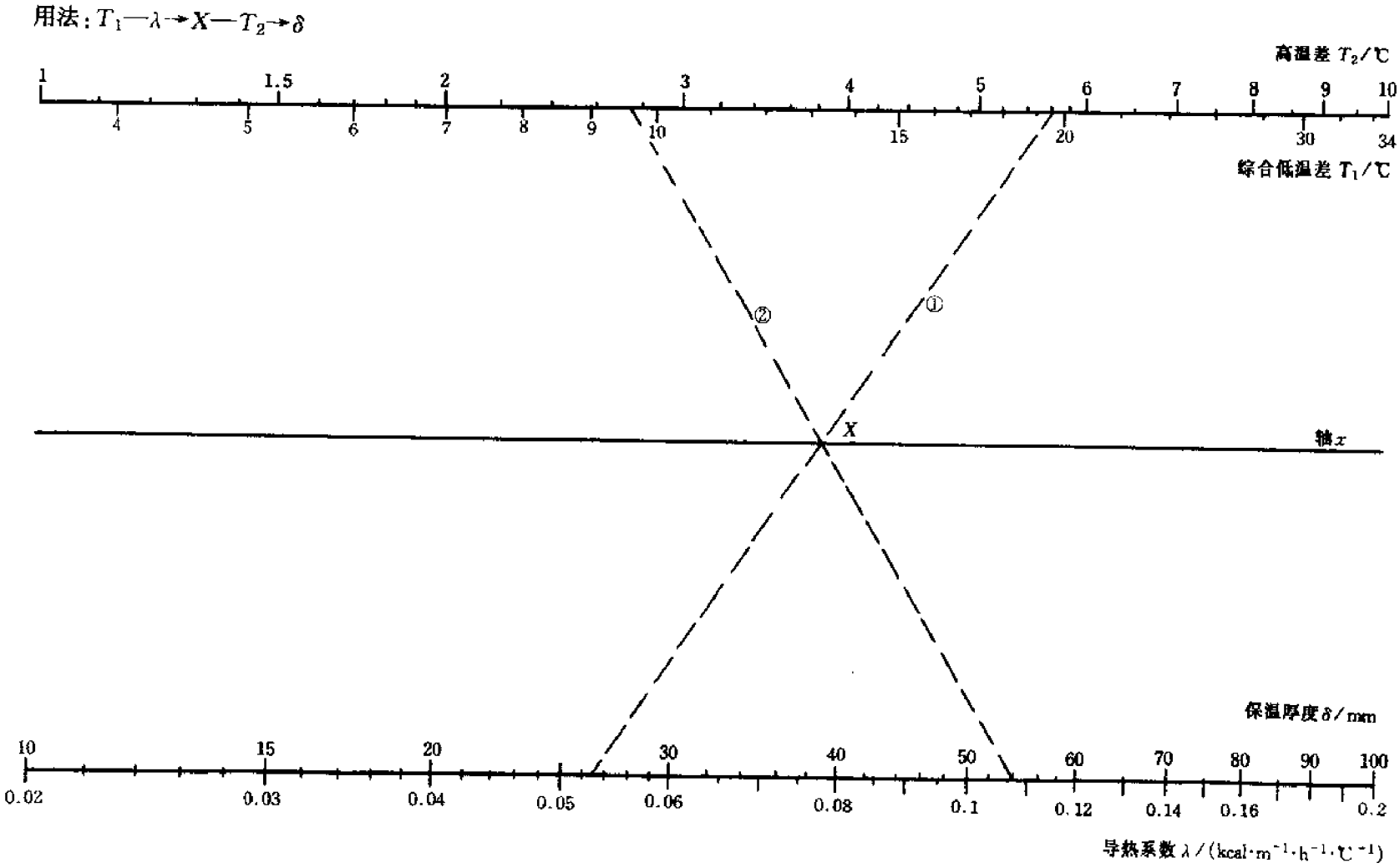


图 7.9　平壁保冷防露保温厚度算图

7.7 圆壁保温材料体积计算

当求得保温工程的主要数据保温厚度后，就可依据管道及设备外径、长度等尺寸，计算保温工程的主材料体积以及辅助材料的用量。这对保温工程设计、建设投资及材料预算来说，都是不可缺少的计算。

圆壁保温材料体积的计算公式为：

$$V = \pi D \delta L \tag{7.8}$$

式中 D——平均直径（内外直径平均值），m；

对于保温层 $D = D_0 + \delta$

对于保护层 $D = D_0 + 2\delta + \delta_1$

式中 D_0——圆壁或管外径，m；

δ——保温层厚度，m；

δ_1——保护层厚度，m；

L——保温长度，m。

图 7.10 即依据式（7.8）设计绘制。

注：计算值为实际工程用量，备料时应在此基础上加 5% 富余量。

【例 7.10】 直径 1.6m 的设备，保温层厚 $\delta = 120$mm，筒体长 1.5m，求主保温材料体积是多少？

解： 平均直径 $D = D_0 + \delta = 1600 + 120 = 1720$（mm）

用图 7.10 $D1720—\delta120→X—L1.5→V = 1m^3$（如图 7.10 虚线①、②所示）

则备料量 $1 \times 1.05 = 1.05$（m^3）

精确算值： $V = 3.142 \times 1.72 \times 0.12 \times 1.5 = 0.973$（$m^3$）

【例 7.11】 保温层厚为 80mm 的 ϕ219mm 管长 210mm，求保温材料体积？

解： 平均直径 $D = 219 + 80 = 299$（mm）

用图 7.10 $D299—\delta80→X—L21→V = 1.58 \times 10 = 15.8m^3$

因 $L210$ 超出数轴范围，故用 $L21$ 求得数后乘 10。

则备料量 $15.8 \times 1.05 = 16.6$（m^3）

如用石棉水泥作保护层时，也需计算保护层材料体积。用图 7.10 也可计算保护层体积。

【例 7.12】 在上例保温层外加 15mm 厚的石棉水泥保护层，求保护层的体积。

解： 保护层平均直径 $D = D_0 + 2\delta + \delta_1 = 219 + 80 \times 2 + 15 = 394$（mm）

用图 7.10 $D394—\delta150→X—L21—V = 3.9m^3$

因 $\delta15$ 超出数轴范围，故用 $\delta150$，对应值应缩小 10 倍，但因 $L21$ 代替 $L210$ 后又需放大 10 倍，故值不变。

精确算值： $V = \pi D \delta L = 3.142 \times 0.394 \times 0.015 \times 210 = 3.90$（$m^3$）

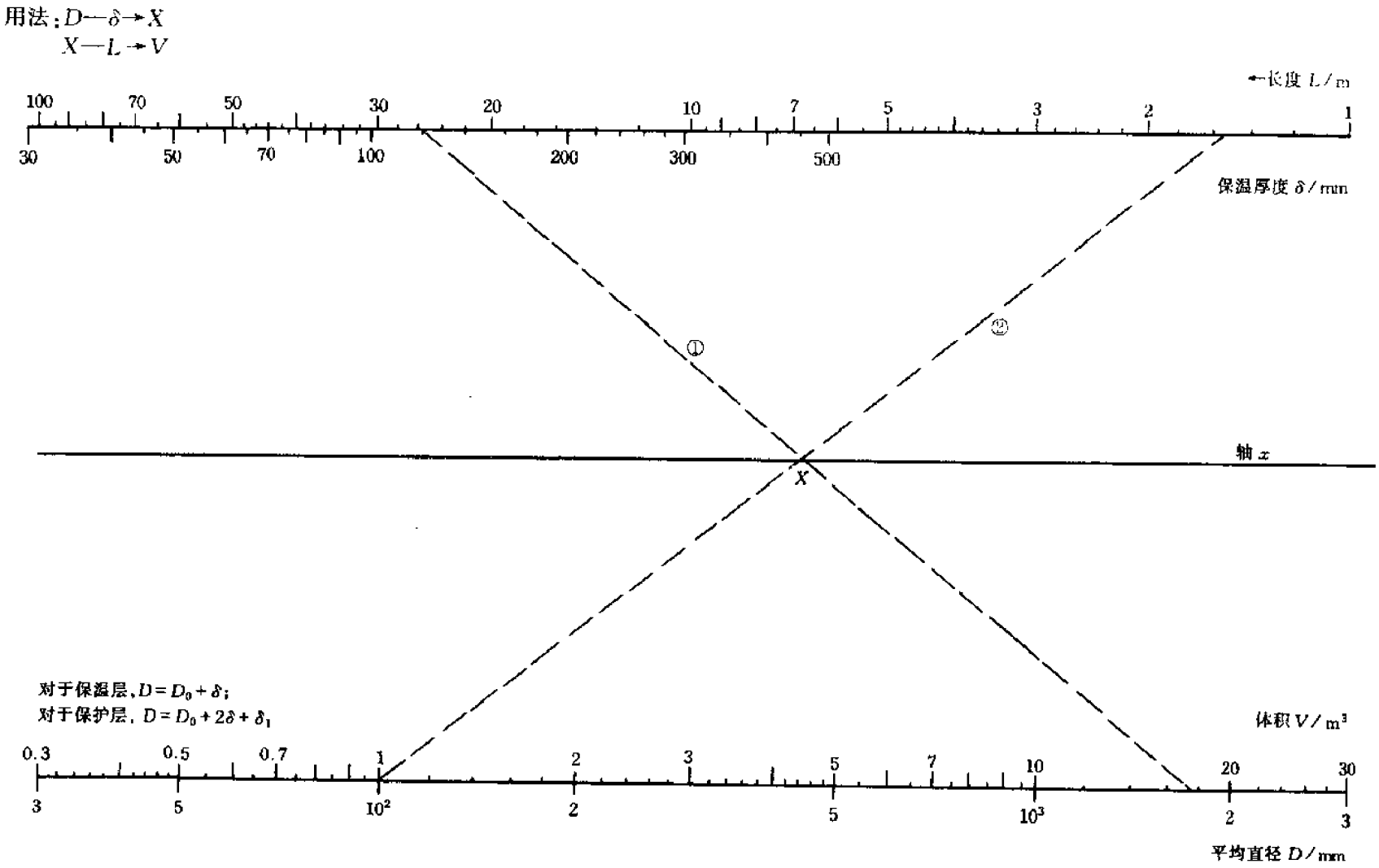


图 7.10　圆壁保温材料体积算图

7.8 圆壁保温层表面积计算

计算出保温层表面积，就可利用表 7.3 保温辅助材料用量表，来计算辅助材料的用量。

圆壁保温层表面积计算式为：

$$A = \pi DL \tag{7.9}$$

式中 D——保温层外径，$D = D_0 + 2\delta$，m；

D_0——圆壁或管外径，m；

δ——保温层厚度，m；

L——保温长度，m。

图 7.11 即依据式（7.9）设计绘制。

【例 7.13】 ϕ219mm 管长 210m，保温厚度 80mm，求保温层表面积。

解：外径 $D = 219 + 80 \times 2 = 379$（mm）

用图 7.11 $L21 - D379 \rightarrow A = 25 \times 10 = 250$（$m^2$）

因 $L210$ 超出数轴范围，故用 $L21$ 求值后乘以 10，如图 7.11 虚线所示。

精确算值： $A = \pi DL = 3.142 \times 0.379 \times 210$

$= 250.04$（m^2）

则备料量 $250 \times 1.05 = 263$（m^2）

【例 7.14】 前两例已算出保温层表面积工程量为 250m^2，保温层体积工程量为 15.8m^3，用表 7.3 计算保温辅助材料的用量。

解：查表 7.3，单位用料量乘以保温层的表面积或体积工程量，得到辅助材料用量如下：

沥青油毡 $1.2 \times 250 = 300$（m^2）

玻璃布 $1.4 \times 250 = 350$（m^2）

铁皮 $1.2 \times 250 = 300$（m^2）

螺钉 $0.72 \times 210/100 = 1.51$（kg）

六角铁丝网 $1.1 \times 250 = 275$（m^2）

扎保温瓦 15.8m^3（保温层体积），管径为 ϕ219mm 时，选用 16# 铁丝，则 16# 铁丝用量：

$$2.5 \times 15.8 = 39.5 \text{（kg）}$$

以上均是工程用量，备料量还应乘 1.05。

表 7.3 保温辅助材料用量

辅助材料	规 格	用 量①	备 注
沥青油毡	粉毡 350#	1.2m^2	
玻璃布	中碱布-120C，130A	1.4m^2	
铁皮（或镀锌）	0.3～0.5mm	1.2m^2	
三次螺钉	ϕ4mm×10mm	0.72kg	每百米管长用料量
六角铁丝网	孔 ϕ25mm，d0.6mm	1.1m^2	
钢带	15×0.4	0.54kg	
镀锌铁丝	18#（$D \leqslant 100$mm）	0.05kg	
	16#（D175～400mm）	0.08kg	
调和漆		0.24kg	刷二遍
红丹漆	（黑铁皮内外刷）	0.71kg	
汽油		0.24kg	
沥青	4 号	1kg	
扎保温瓦（棉毡）		每立方米用料量	
镀锌铁丝	18#（$D \leqslant 100$mm）	1.5kg	(2kg)②
	16#（D125～600mm）	2.5kg	(3.3kg)
	14#（$D > 600$mm）	4.5kg	(6kg)

① 为每平方米保温表面积用料量。

② 括号内为扎棉毡时的用料量。

用法：$L—D→A$

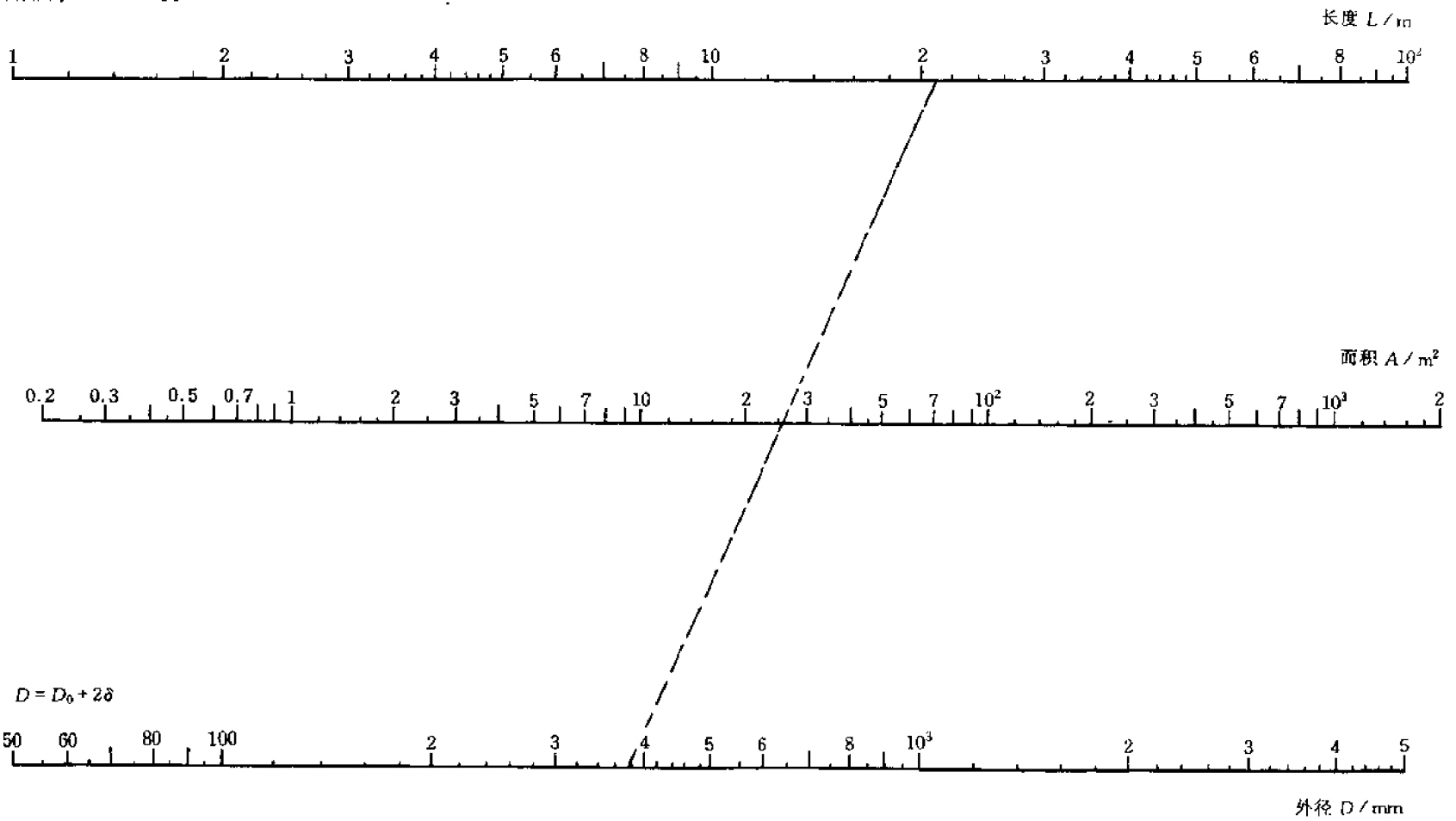


图 7.11　圆壁保温层表面积算图

7.9 各种封头保温层体积和表面积计算

先算出椭圆封头保温层体积和表面积，乘以相应修正系数，就可算出各种封头保温层体积和表面积，从而计算出主保温材料和辅助保温材料的用量。相应的修正系数如下：

半球形封头 1.45　　60°锥形封头 1.45

90°锥形封头 1.023　　碟形封头 0.98

球面形封头 0.78　　平圆形封头 0.73

椭圆形封头保温层体积和表面积算式分别为：

$$V = 1.1D^2\delta \tag{7.10}$$

$$A = 1.1D^2 \tag{7.11}$$

式中 D——平均直径，m，算保温层体积时 $D = D_0 + \delta$，算保温层表面积时 $D = D_0 + 2\delta$，算保护层体积时 $D = D_0 + 2\delta + \delta_1$；

D_0——椭圆形封头外径，m；

δ——保温层厚度，m；

δ_1——保护层厚度，m。

图 7.12 即依据式（7.10）和式（7.11）设计绘制。

注：封头不含直边，直边加在筒体长度内计算。

【例 7.15】 直径为 1.6m 的椭圆形封头，保温厚度 120mm，保护层厚度 15mm。求封头保温层、保护层材料体积及保温层表面积各为多少？

解： 保温层均径 $D = D_0 + \delta = 1.6 + 0.12 = 1.72$（m）

保护层均径 $D = D_0 + 2\delta + \delta_1 = 1.6 + 0.12 \times 2 + 0.015$

$= 1855$（m）

用图 7.12，求保温层体积 $\delta 120$—$D1.72$→$V = 0.4\text{m}^3$（如图 7.12 虚线①所示）

求保护层体积 $\delta 15$—$D1.855$→$V = 0.056\text{m}^3$

保温层外径 $D = D_0 + 2\delta = 1.6 + 0.12 \times 2 = 1.84$（m）

用图 7.12，求保温层表面积 $D1.84$→$A = 3.7\text{m}^2$（如图 7.12 虚线②所示）

精确算值：保温层体积 $V = 1.1 \times 1.72^2 \times 0.12 = 0.39$（$\text{m}^3$）

保护层体积 $V = 1.1 \times 1.855^2 \times 0.015 = 0.057$（$\text{m}^3$）

保温层表面积 $A = 1.1 \times 1.84^2 - 3.72$（$\text{m}^2$）

备料量均应加 5% 富余量。

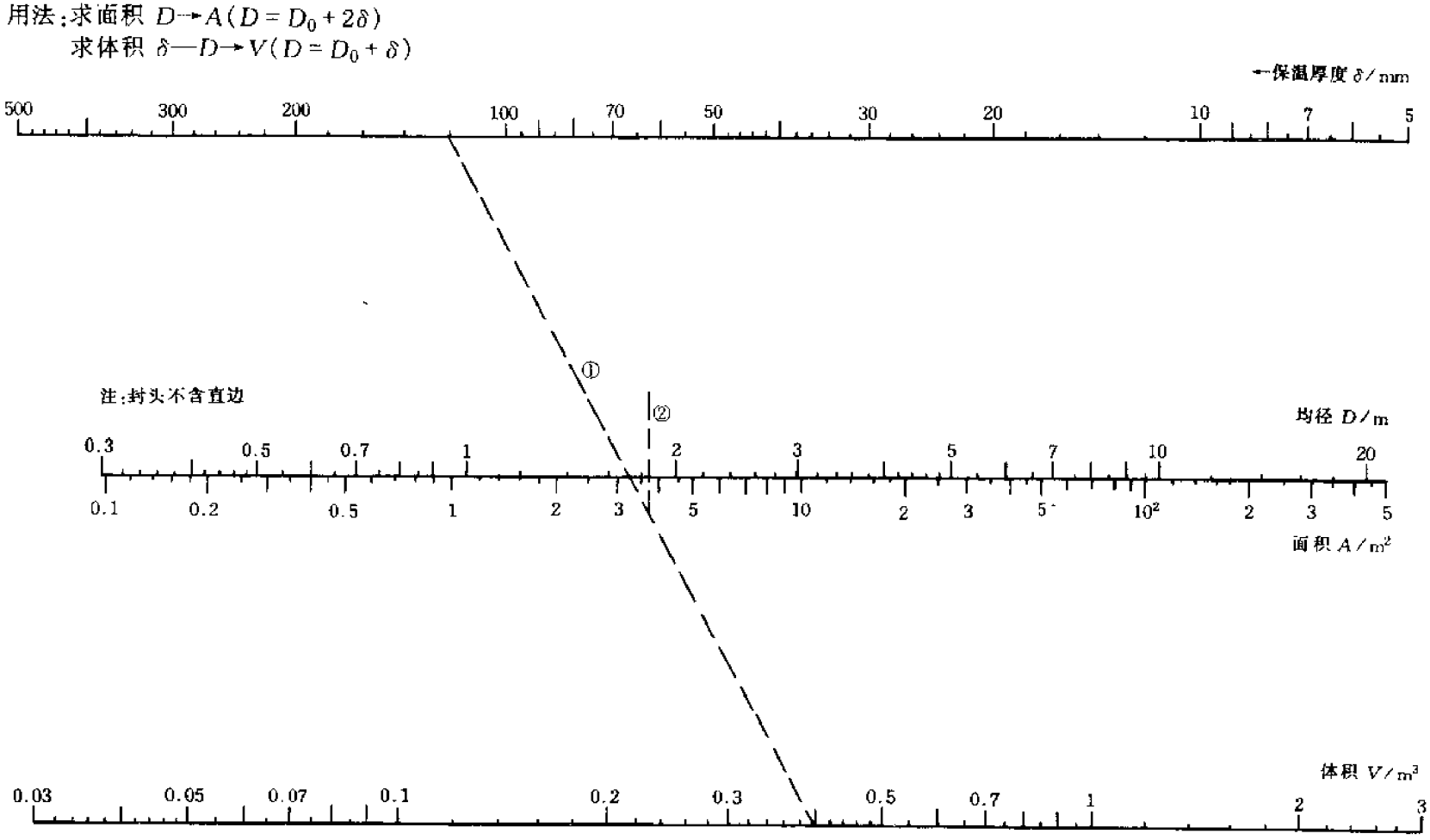


图 7.12　椭圆封头保温层体积和表面积算图

7.10 球罐保温层体积和表面积计算

球罐保温层体积和表面积计算式分别为：

$$V = \pi D^2 \delta \tag{7.12}$$

$$A = \pi D^2 \tag{7.13}$$

式中 D——平均球径，算保温层体积时 $D = D_0 + \delta$，算保护层体积时 $D = D_0 + 2\delta + \delta_1$，算保温层表面积时 $D = D_0 + 2\delta$；

D_0——球罐外径，m；

δ——保温层厚度，m；

δ_1——保护层厚度，m。

计算值为工程用量，备料量应乘以 1.05。

图 7.13 即依据式（7.12）和式（7.13）设计绘制。

【例 7.16】 直径 4.2m 的球罐，保温层厚 140mm，保护层厚 20mm，求球罐保温层、保护层材料体积，保温层表面积以及辅料用量。

解：保温层均径 $D = 4.2 + 0.14 = 4.34$（m）

保护层均径 $D = 4.2 + 0.28 + 0.02 = 4.5$（m）

用图 7.13，求保温层体积 $\delta 140$—$D4.34$→$V = 8.3m^3$（如图 7.13 虚线①所示）

求保护层体积 $\delta 200$—$D4.5$→$V = 1.28m^3$（因 $\delta 20$ 超出数轴范围，故用 $\delta 200$ 交 V 尺延长线，量得距离 21mm，平移至数格内读出其量度为 $1.28m^3$。）

保温层外径 $D = 4.2 + 0.14 \times 2 = 4.48$（m）

用图 7.13 求保温层表面积 $D4.48$→$A = 64m^2$（如图 7.13 虚线②所示）

查表 7.3，按【例 7.14】的步骤，可算出辅料用量（从略）。

用法：求表面积 $D \rightarrow A$ $(D = D_0 + 2\delta)$

求体积 $\delta — D \rightarrow V$ $(D = D_0 + \delta)$

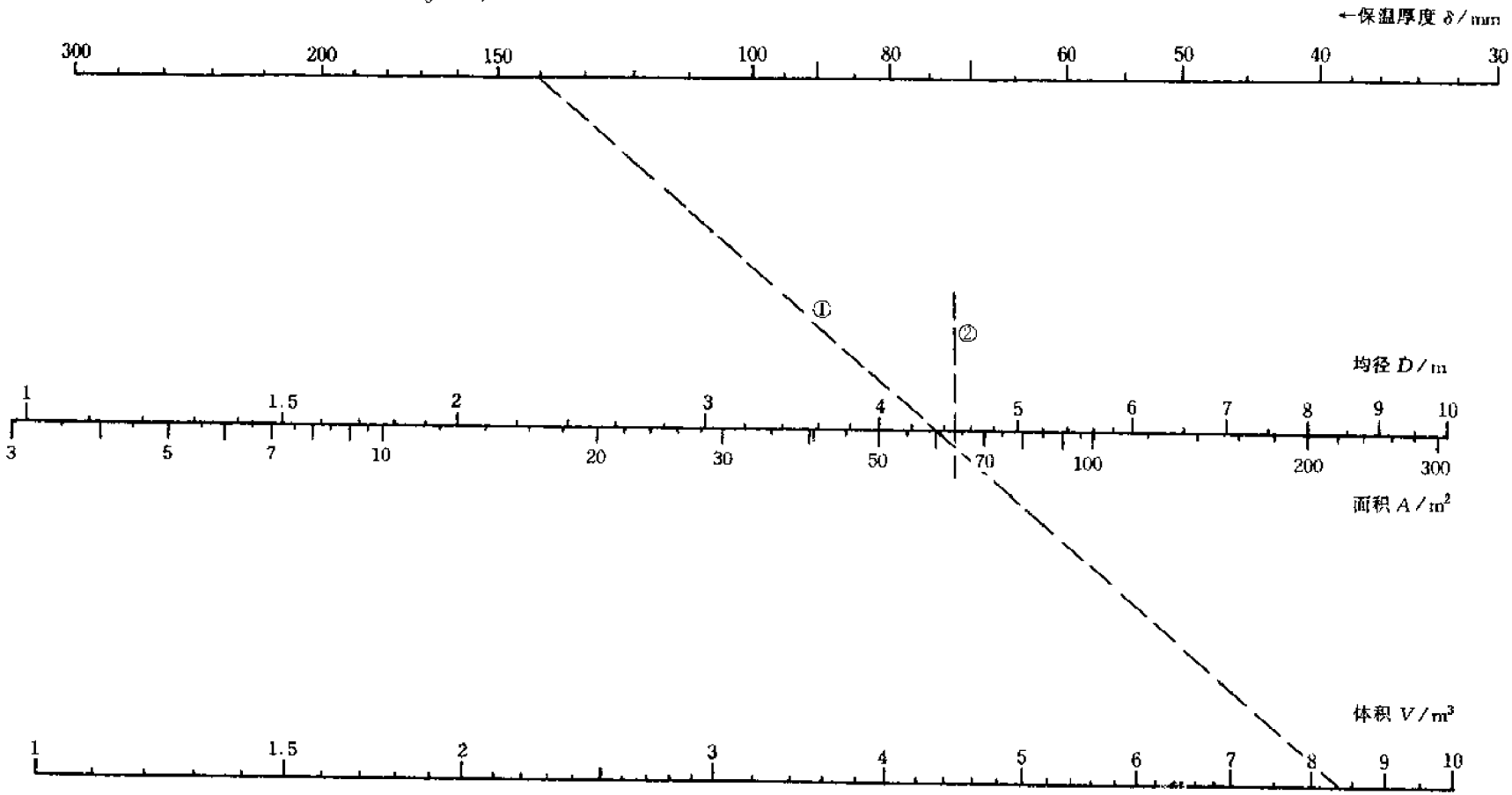


图 7.13　球罐保温层体积和表面积算图

8. 管路计算

管路计算的主要任务是设计合理的管径和压力降。管径过大会增加建设投资和维修费用，过小则会限制生产能力并增大长期的动力费用。因此，必要的管路计算是不可少的。管路的输送能力和多种参数有关，如：管径，输送压力，流体状态（液体还是气体），流体粘度、密度，管路材质的粗糙度等，致使管路计算较为复杂，往往费时较多。若将各种影响流量的有关参数按其函数关系设计绘制成算图，不但可使计算过程大大简化，并可加快计算速度。算图还可将各种参数变化关系形象具体地呈现出来，便于读者或设计者进行调整，使其达到合理的数值范围，提高设计工作的质量。

这些算图除可用于化工、炼油、制备、冶金、电力等工厂管路计算外，也适用于各种流体（气体或液体）输送管路的计算，如自来水管、蒸汽管、真空管、压缩气管以及通风管路的计算。

8.1 管系总压降和米降计算

流体（气体或液体）在管路中静止不动时，前后压力相等没有压差；一旦流动，前后将出现压力差，即产生沿程压力降，流动愈快，压降愈大。管系总压降除以管系总长度，就得每米管路阻力压降，简称米降。流速愈快流量愈大，则米降愈大。

米降计算公式为：

$$i = p/L \tag{8.1}$$

式中 p——管系总压降，Pa 或 kPa；

L——管系总长，m。

图 8.1 即依据式（8.1）设计绘制。

【例 8.1】 管系总长 450m，总压降 p = 100kPa，求米降？

解：用图 8.1 $L450—p100 \rightarrow i$ = 220Pa/m（如图 8.1 虚线所示）

精确算值：$i = p/L = 100 \times 10^3/450 = 222$（Pa/m）

注：当知道其他两参数时，也可用此图求算总压降 p 或总管长 L。

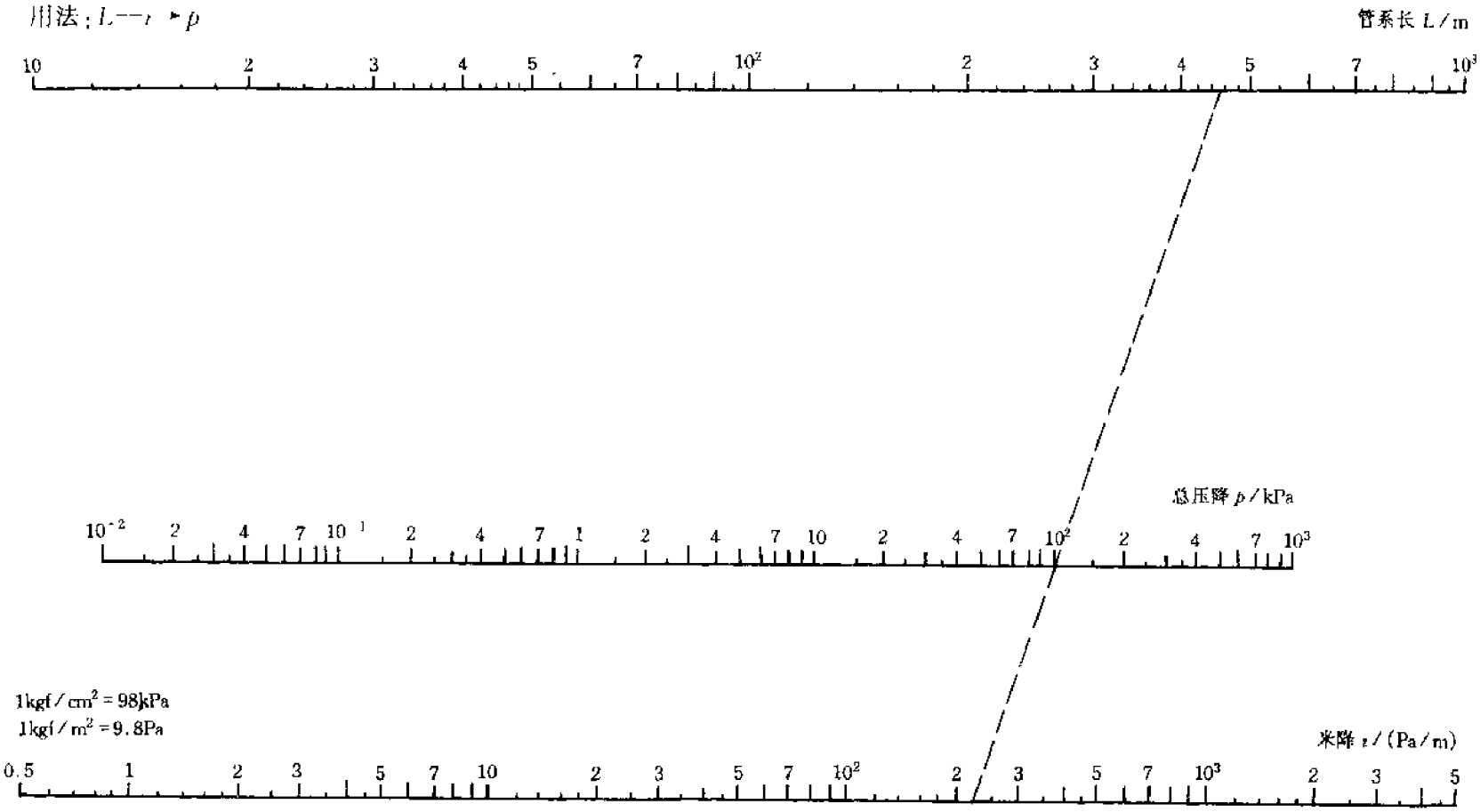


图 8.1 管系总压降和米降算图

8.2 常态水管米降计算

当管路足够长，流速不过大，流体通过两端无位差之管路时，管路阻力等于管两端输送压力差。管路阻力也称沿程压力损失，米降也可由下式计算：

$$i = 0.5\lambda\rho v^2 d^{-1} \tag{8.2}$$

式中 λ——管路摩擦阻力系数，无因次；

ρ——流体密度，kg/m^3；

v——平均流速，m/s；

d——管内径，m。

注：$1Pa = 1N/m^2 \quad 0.102kgf/m^2 = 1.02\times10^{-5}kgf/cm^2$

圆管内每小时体积流量的算式为：

$$q_V = 3600\times\frac{\pi}{4}d^2 v \approx 2828 d^2 v \quad (m^3/h) \tag{8.3}$$

可推出 $$v = 3.54\times10^{-4} q_V d^{-2}$$

代入式（8.2）整理后得

$$i = 6.27\times10^{-8}\lambda\rho q_V d^{-5} \quad (Pa/m) \tag{8.4}$$

工厂里常见流体（气体或液体）的雷诺数 Re 的范围为 $5\times10^3 \sim 3\times10^5$，称之为常态流体。常态流体对自然粗糙度的钢管和铸铁管，其摩擦阻力系数 λ 和雷诺数 Re 在对数坐标图上基本成直线函数关系，即：

$$\lambda = 0.22/Re^{0.2}$$

流体雷诺数 $Re = 10^3 dv\rho\eta^{-1} = 0.354\rho q_V \eta^{-1} d^{-1}$

代入上式整理后 $\lambda = 0.27\eta^{0.2}\rho^{-0.2} q_V^{-0.2} d^{0.2}$

将摩擦阻力系数 λ 代入式（8.4）整理后得

$$i = 1.69\times10^{-8}\eta^{0.2}\rho^{0.8} q_V^{1.8} d^{-4.8} \quad (Pa/m) \tag{8.5}$$

式中 η——流体动力粘度，mPa·s。

对20℃水，$\eta = 1mPa\cdot s \quad \rho = 1000kg/m^3$

则 $$\eta^{0.2}\rho^{0.8} = 1^{0.2}\times1000^{0.8} = 251$$

代入式（8.5）整理后得

$$i_{水} = 4.24\times10^{-6} q_V^{1.8} d^{-4.8} \tag{8.6}$$

上面各式中参数意义和单位如下：

i——流体米降，Pa/m；

$i_{水}$——水管米降，Pa/m；

η——流体动力粘度，mPa·s；

Re——雷诺数，无因次；

q_V——流体体积流量，m^3/h。

图8.2常态水管算图系依据式（8.3）和式（8.6）设计绘制。算图8.2中 $i_{水}$，v，q_V，d 四个参数尺设计绘制所依据的函数关系是统一的，知道其中任两个参数值，即可由图中读出另两个参数值来。

【例8.2】 d150mm铸铁水管，米降 $i_{水}$ 为220Pa/m，求流量和流速各为多少？

解：用图8.2 $d150 — i_{水}\ 220 \rightarrow q_V = 120m^3/h \rightarrow v = 1.9m/s$（如图8.2虚线所示）

精确算值：将各数值代入式（8.6）

$$220 = 4.24\times10^{-6} q_V^{1.8} 0.15^{-4.8} = 3.82\times10^{-2} q_V^{1.8}$$

则 $q_V^{1.8} = 5.76\times10^3$，得 $q_V = 122.8\ (m^3/h)$

将数值代入式（8.3）

$$122.8 = 2828\times0.15^2 v = 63.63v$$

则 $$v = 1.93\ (m/s)$$

【例8.3】 管系总长620m，输水量为$30m^3/h$，要求总压降<0.1MPa，应选多大管径的钢管？

解：用图8.1 $L620 — p100 \rightarrow i = 160Pa/m$

用图8.2 $i_{水}\ 160 — q_V 30 \rightarrow d = 96mm$

因此可选管径大于96mm的管，如4in水管或 ϕ108mm无缝钢管。

精确算值：$i = 100\times10^3/620 = 161.2Pa/m$

代入式（8.6） $161.2 = 4.24\times10^{-6}\times30^{1.8} d^{-4.8}$

$$= 1.95\times10^{-3} d^{-4.8}$$

则 $$d^{4.8} = 1.207\times10^{-5}$$

求得 $$d = 94.5mm$$

用法：$i_{水}$—d→q_v →v，或 d—q_v →$i_{水}$→v，或 q_v →v，……

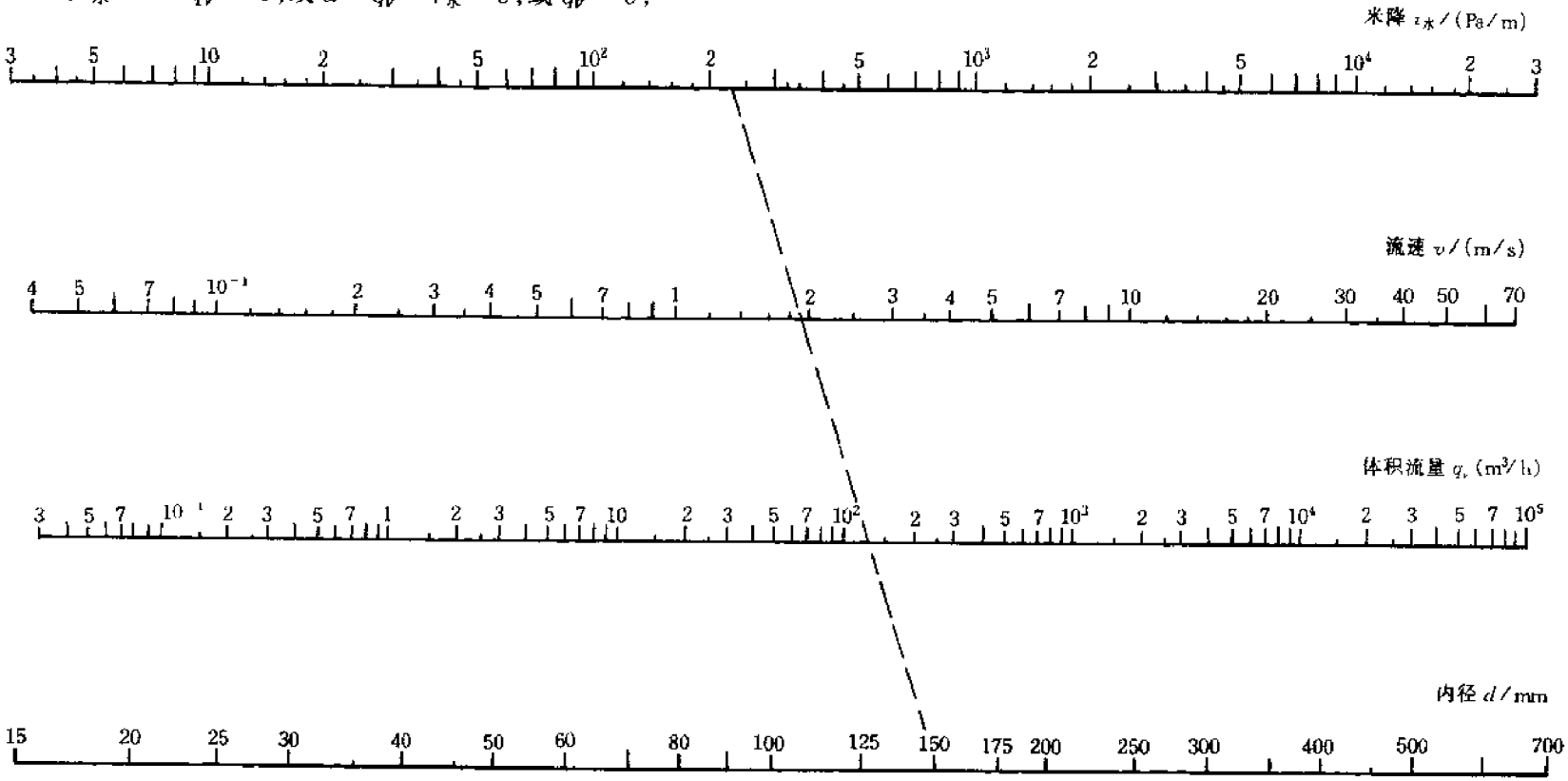


图 8.2　常态水管米降算图

8.3 常态流体米降换算

从式（8.5）和式（8.6）可推导出

$$i/i_{水}=\eta^{0.2}\rho^{0.8}/251$$

$$i=3.98\times10^{-3}\eta^{0.2}\rho^{0.8}i_{水} \qquad (8.7)$$

式中参数意义和单位同前。

这样，对任何流体都可以将其先看成水，用图 8.2 算出水管米降 $i_{水}$，再用流体的动力粘度和密度换算成该流体的常态米降 i 值。

图 8.3 即依据式（8.7）设计绘制而成。

在表 8.1 中列出流体的常见流速范围，所列流速基本在流体雷诺数 Re 为 $5\times10^3\sim3\times10^5$ 之间的常态范围。可先从表中查出流速，用图 8.2 常态水管算图算出管径、流量或米降 $i_{水}$，再用图 8.3 换算成常态流体的米降 i 值。注意图 8.3 中的 $i_{水}$ 是逆向尺，按箭头方向读数。

表 8.1 管内流体常见流速范围

序号	流体及条件	流速 $v/(m\cdot s^{-1})$	序号	流体及条件	流速 $v/(m\cdot s^{-1})$
1	自来水，0.3MPa 主管	1.5～3.5	21	饱和蒸汽　主管	30～40
2	支管	1～1.5	22	支管	20～30
3	工业供水，<0.8MPa	1.5～3.5	23	低压蒸汽　<1MPa	15～20
4	压力回水	0.5～2	24	中压蒸汽　1～4MPa	20～40
5	自流回水	0.2～0.5	25	高压蒸汽　4～12MPa	40～60
6	蒸汽凝水	0.5～1.5	26	一般气体(常压)	10～20
7	水和碱液，<0.6MPa	1.5～2.5	27	压缩气体　0.1～0.6MPa	10～20
8	换热器管内水	0.2～1.5	28	0.6～1MPa	10～15
9	蛇管冷却水	<1	29	1～2MPa	8～10
10	易燃易爆液体	<1	30	2～3MPa	3～6
11	粘度与水相仿的化工液体	与水同	31	3～25MPa	0.5～3
12	油及粘度大的液体	0.5～2	32	真空	5～10
13	粘度较大液体(盐溶液)	0.5～1	33	煤气	2.5～3
14	粘度约 0.1Pa·s 液体	0.3～1	34	氧气　<0.6MPa	5～8
15	泥浆	0.5～0.7	35	>0.6MPa	3～6
16	制冷设备盐水	0.6～0.8	36	换气通风　主管	4～15
17	离心泵　吸入口	1～2	37	支管	2～8
18	排出口	1.5～2.5	38	风管　距风机最远处	1～4
19	往复泵　吸入口	0.7～1	39	距风机最近处	8～12
20	排出口	1～2	40	工业烟囱	3～4

【例 8.4】 蒸汽管内径 d175mm，从表 8.1 中选 1.5MPa（表）蒸汽流速为 40m/s，求其质量流量和米降？（蒸汽 $\eta=0.018$mPa·s，$\rho=5.8$kg/m³）

解：用图 8.2　$d175—v40\rightarrow q_V=3400$m³/h $\rightarrow i_{水}=4.4\times10^4$Pa/m（交点在延长线上，量距离后移入下格读数）

则蒸汽质量流量 q_m 为　$3400\times5.8=19720$（kg/h）

用图 8.3　$\rho5.8—\eta0.018\rightarrow X$（用铅笔在 x 轴上记一点 X，如图 8.3 虚线①所示）

$i_{水}$ $4.4\times10^4—X\rightarrow i$　3.2×10^2Pa/m

因 $i_{水}$ 4.4×10^4 超出算图范围，在延长线上量出一点放尺读数，如图 8.3 虚线②所示。

精确算值：将 d，v 值代入式（8.3）

$$q_V=2828\times0.175^2\times40=3464.3\ (m^3/h)$$

将 q_V 值代入式（8.6）

$$i_{水}\quad4.24\times10^{-6}\times3464.3^{1.8}\times0.175^{-4.8}=4.3\times10^4\ (Pa/m)$$

将 $i_{水}$ 值代入式（8.7）得

$$i=3.98\times10^{-3}\times0.018^{0.2}\times5.8^{0.8}\times4.3\times10^4=312.7\ (Pa/m)$$

【例 8.5】 风管内径 d300mm，从表 8.1 选流速 8m/s，求其流量和米降。（空气 $\eta=0.0126$mPa·s，$\rho=1.2$kg/m³）

解：用图 8.2　$d300—v8\rightarrow q_V=2100$m³/h $\rightarrow i_{水}=1.3\times10^3$Pa/m

用图 8.3　$\rho1.2—\eta0.0126\rightarrow X—i_{水}1.3\times10^3\rightarrow i=2.5$Pa/m

精确算值：将 d，v 值代入式（8.3）

$$q_V=2828\times0.3^2\times8=2036.2\ (m^3/h)$$

将 q_V 值代入式（8.6）　$i_{水}=4.24\times10^{-6}\times2036.2^{1.8}\times0.3^{-4.8}=1.24\times10^3$（Pa/m）

将 $i_{水}$ 值代入式（8.7）　$i=3.98\times10^{-3}\times0.0126^{0.2}\times1.2^{0.8}\times1.24\times10^3=2.33$（Pa/m）

【例 8.6】 反应器中生成的乙烯体积流量为 800m³/h，输送管系总长 75m，工艺要求总压降不大于 40kPa，求管径大小。（乙烯 $\eta=0.01$mPa·s，$\rho=2$kg/m³）

解：用图 8.1　$L75—p40\rightarrow i=530$Pa/m

用图 8.3　$\eta0.01—\rho2\rightarrow X—i53\rightarrow i_{水}=1.9\times10^4\times10=1.9\times10^5$（Pa/m）因用 i530 放尺读数超出范围，故用 i53 读数后乘以 10。

用图 8.2　$i_{水}$ $1.9\times10^5—q_V800\rightarrow d=194mm\rightarrow v=7.4$m/s

即应选择管径为 194mm 左右。

精确算值：$i=40\times10^3/75$　533.3（Pa/m）

将 i 值代入式（8.7）

$$533.3=3.98\times10^{-3}\times0.01^{0.2}\times2^{0.8}i_{水}=2.76\times10^{-3}i_{水}$$

得　$i_{水}=1.93\times10^5$（Pa/m）

将 $i_{水}$ 值代入式（8.6）

$$1.93\times10^{5}=4.24\times10^{-6}\times800^{1.8}d^{-4.8}=0.713d^{-4.8}$$

即 $$d^{4.8}=3.69\times10^{-4}$$

从而得 $$d=0.1927\ (\mathrm{m})=192.7\ (\mathrm{mm})$$

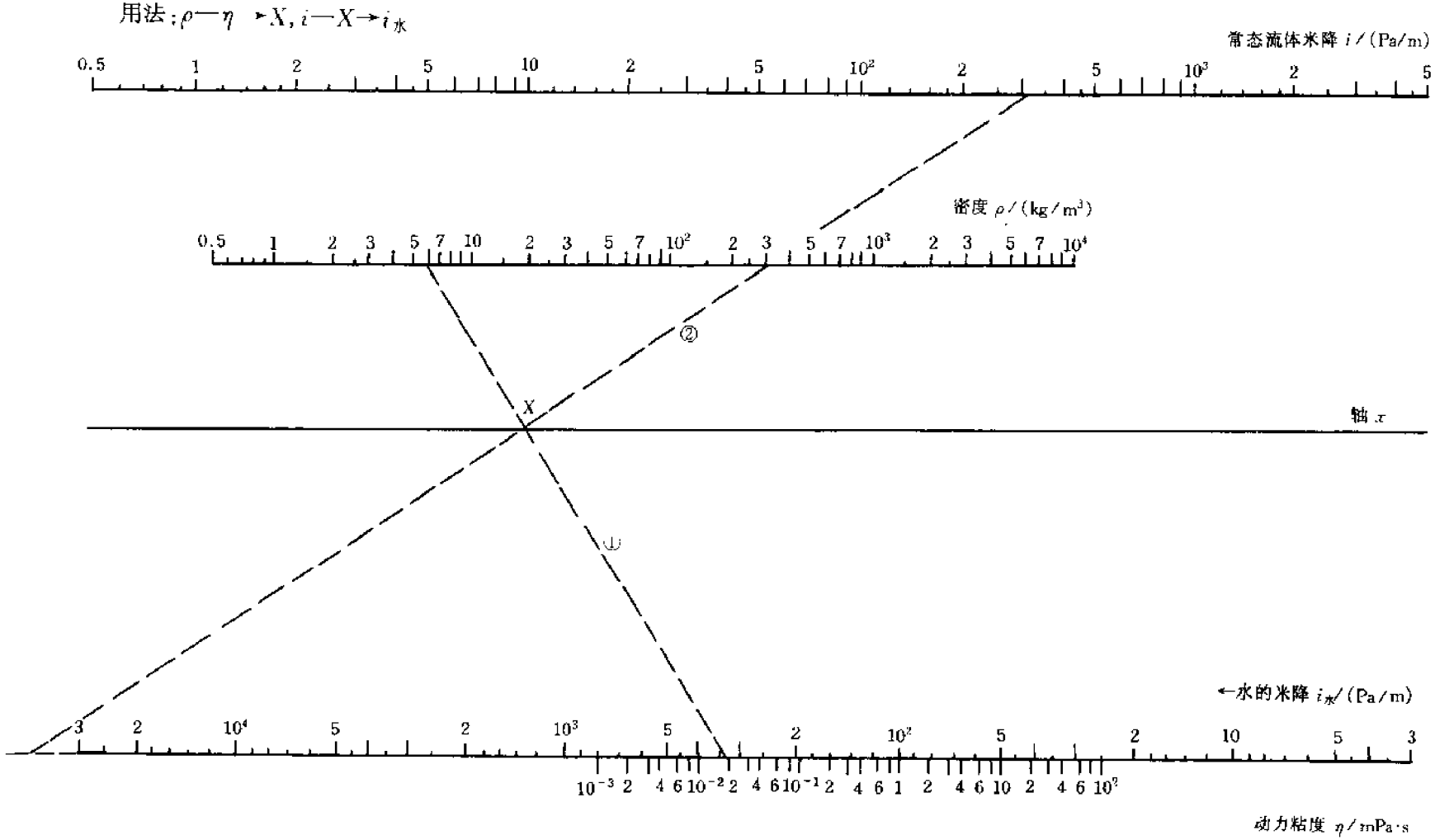


图 8.3 常态流体米降换算图

8.4 质量流量和体积流量换算

对于气体采用质量流量较为方便，这是因为气体具有可压缩性，体积流量会随压力改变而变化，质量流量则不随压力改变而变化。质量流量和体积流量的换算式为：

$$q_m = \rho q_V \tag{8.8}$$

式中 q_m——质量流量，kg/h；

q_V——体积流量，m^3/h；

ρ——流体密度，kg/m^3。

图 8.4 的换算图依据式（8.8）设计绘制而成，具体使用方法见图 8.4 说明，综合示例见后文【例 8.7】。

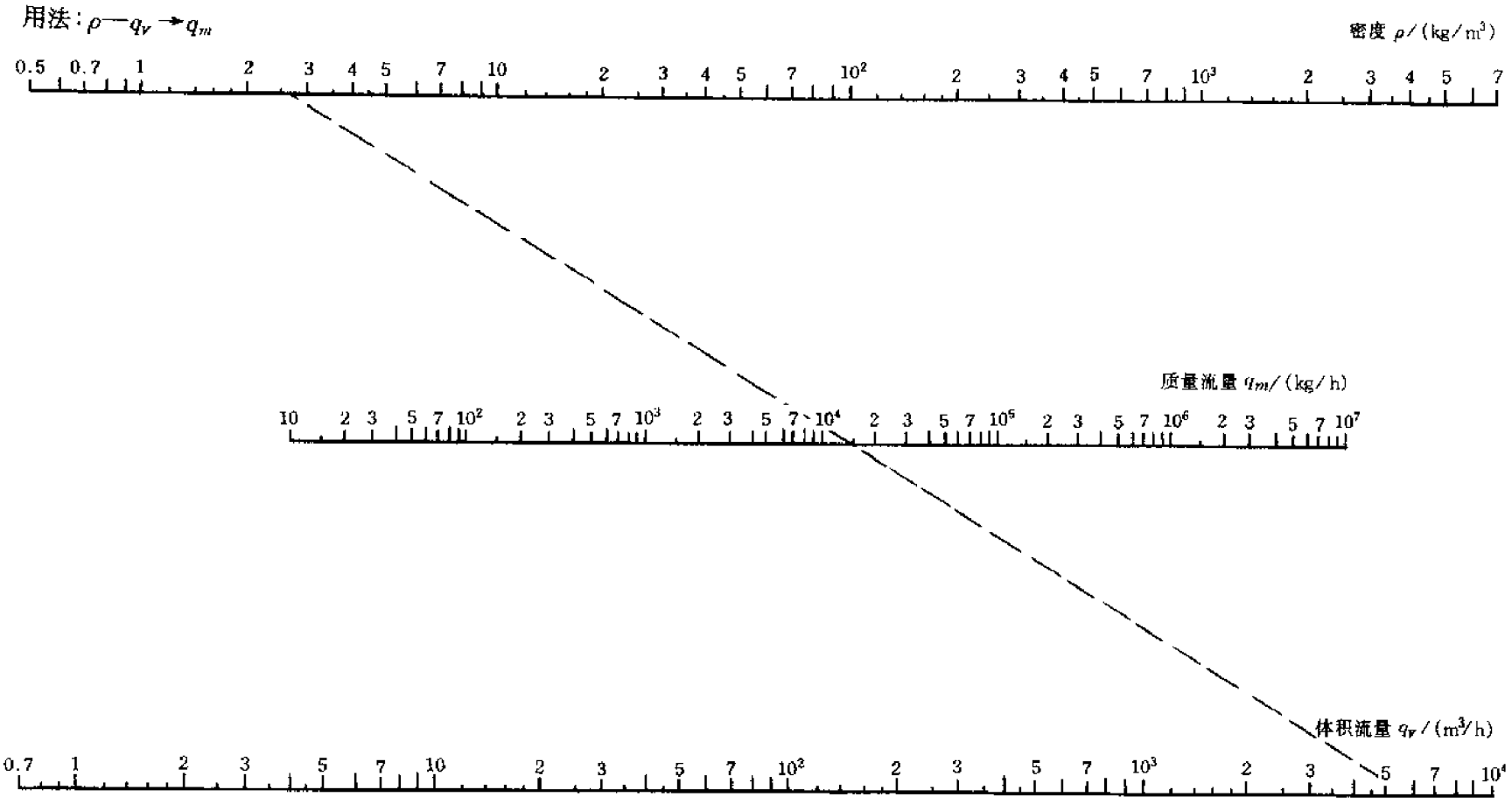


图 8.4　质量流量和体积流量换算图

8.5 湍流流体米降计算

由前面导出的米降基本计算公式（8.4）

$$i = 6.27\times 10^{8}\lambda\rho q_V^2 d^{-5}$$

将式（8.8）代入上式后得

$$i = 6.27\times 10^{-8}\lambda\rho q_m^2 d^{-5} \qquad (8.9)$$

式(8.9)适用于湍流范围($Re > 3000$)的普遍情况，即适用于常态或非常态流体米降 i 值的计算，更方便于气体米降 i 值的计算。

式中参数意义和单位同前。

图 8.5 湍流流体算图依据式（8.9）设计绘制。用法见图 8.5 说明。求得米降 i 值后，即可用图 8.1 求管系总压降。综合示例见后文【例 8.7】。

用法：1. 求 d(或 q_m) i—ρ→(d')—λ→(ρ')—q_m→d，或(ρ')—d→q_m

2. 求 i q_m—d→(ρ')—λ→(d')—ρ→i

注：(d')、(ρ')等为过渡点。

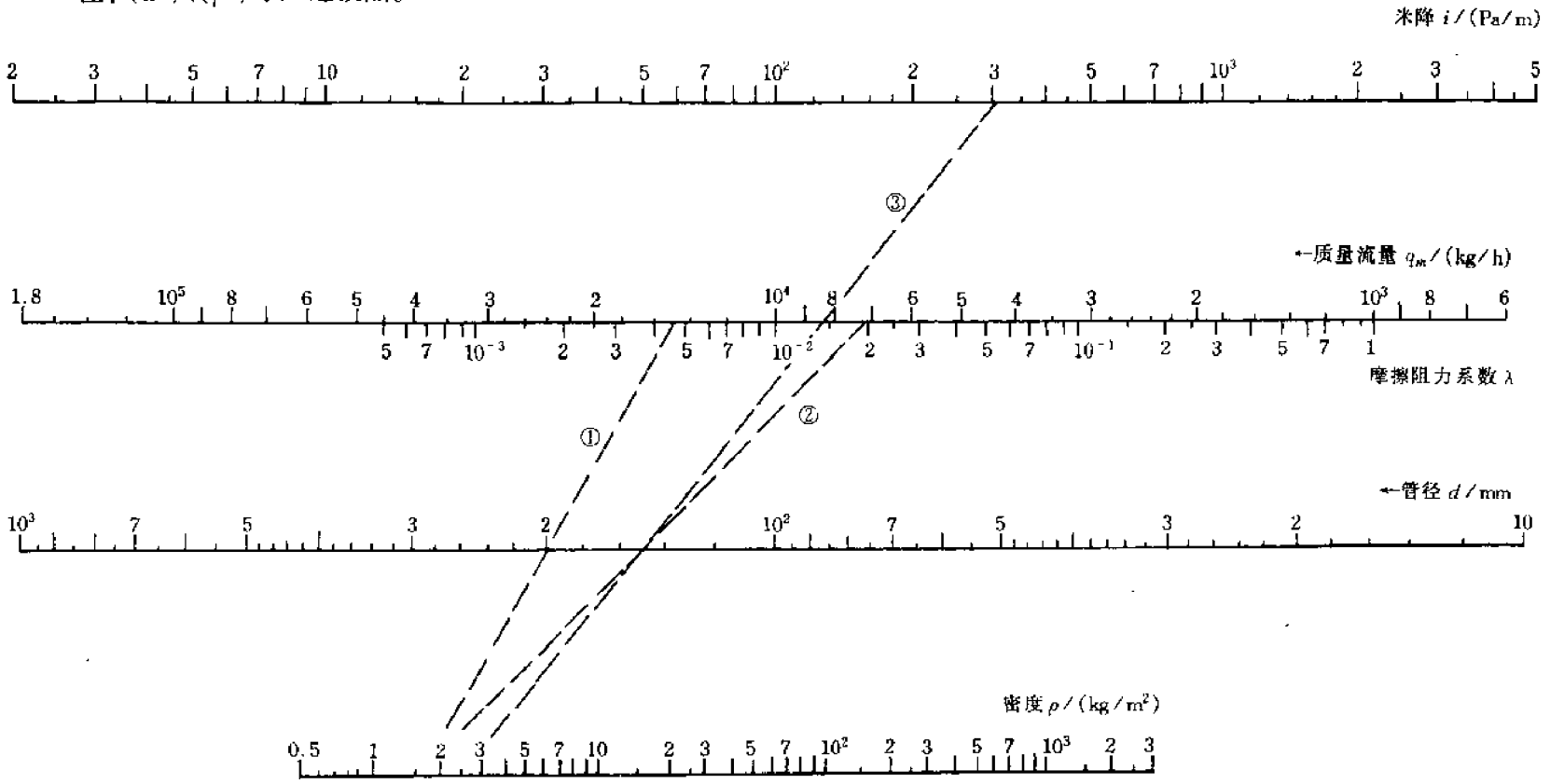


图 8.5　湍流流体米降算图

8.6 雷诺数和摩擦阻力系数计算

管道阻力米降 i 基本计算公式中的摩擦阻力系数 λ 可依据下述两种情况来选取。

雷诺数 $Re>3000$ 的光滑管和普通粗糙度的钢管，其摩阻系数 λ 只与雷诺数 Re 有关，分别用以下两式计算：

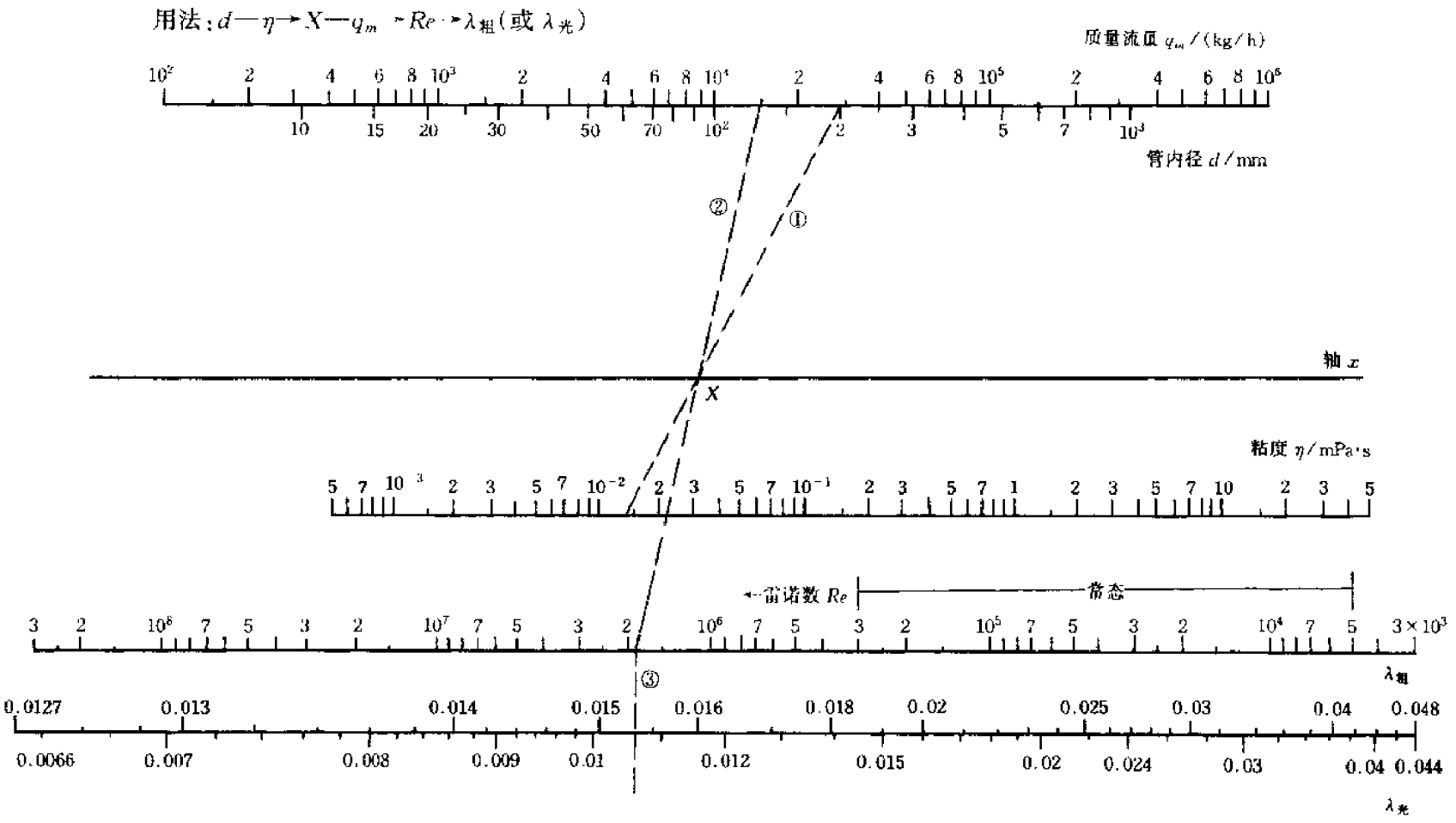
$$\lambda_{光}=0.0056+0.5Re^{-0.32} \tag{8.10}$$

$$\lambda_{粗}=0.01227+0.7543Re^{-0.38} \tag{8.11}$$

式中

$$Re=0.354\rho q_V\eta^{-1}d^{-1}=0.354q_m\eta^{-1}d^{-1} \tag{8.12}$$

$\lambda_{光}$ 适用于无缝钢管、不锈钢管、铜管、铝管、玻璃管等光滑管，$\lambda_{粗}$ 适用于自然粗糙度的钢管和铸铁管。图 8.6 是依据式 (8.10)、式 (8.11) 和式 (8.12) 设计绘制，用法见图 8.6 说明，综合示例见后文【例 8.7】。



注：$\lambda_{粗}$——自然糙度钢管、铸铁管。$\lambda_{光}$——无缝钢管、铜、铝、不锈钢、玻璃等光滑管。

图 8.6　雷诺数 Re 和摩擦阻力系数 λ 算图

8.7 各种糙度管的摩擦阻力系数计算

对不同材料和粗糙度的管路，摩阻系数 λ 可依据下式计算：

$$\lambda = [1.74 + 2\lg(d/2e)]^{-2} \qquad (8.13)$$

式中 e——管材绝对糙度，mm，可用算图 8.7 选取；

$d/2e$——相对光滑度，无因次；

d——管内径，mm。

图 8.7 是依据式（8.13）设计绘制。

对于自然粗糙度的钢管，用图 8.6 计算雷诺数 Re 的范围在常态 $5\times10^3\sim3\times10^5$ 之间时，则可用常态算图 8.2 计算 $i_{水}$ 后用图 8.3 换算求 i 值比较方便；Re 超出常态范围者，在图 8.6 上取 $\lambda_{粗}$ 值，用湍流流体算图 8.5 计算。

对于上列光滑管路应用图 8.6 求 $\lambda_{光}$ 值后，用算图 8.5 计算较为准确。

对于已腐蚀的旧钢管、铸铁管，因其粗糙度大，可应用图 8.7 求取 λ 值，用算图 8.5 计算。也可分别用图 8.6、图 8.7 求取 λ 值，然后取其较大者。

【例 8.7】 d200mm 钢管，糙度 $e=0.2$，通过 0.5MPa（绝）饱和蒸汽 15t/h，求米降？若管系总长为 150m，总压降为多少？（蒸汽 $\rho=2.6\text{kg/m}^3$，$\eta=0.014\text{mPa·s}$）

解： 用图 8.6 $d200—\eta1.4\times10^{-2}\rightarrow X$（如图虚线①所示）

$q_m1.5\times10^4—X\rightarrow Re=1.9\times10^6\rightarrow\lambda_{粗}=0.0153$（如图 8.6 虚线②、③所示）

用图 8.7 $d200—e0.2\rightarrow\lambda=0.0196$（如图 8.7 虚线所示）

选取较大者 $\lambda=0.0196$。由于 $Re>$常态值，由常态算图计算结果误差会大些。故用图 8.5 求米降 i 值：

$q_m1.5\times10^4—d200\rightarrow$（$\rho'1.6$）（如图 8.5 虚线①所示）

$\lambda0.0196—$（$\rho'1.6$）$\rightarrow$（$d'150$）（如图 8.5 虚线②所示）

$\rho2.6—$（$d'150$）$\rightarrow i=320\text{Pa/m}$（如图 8.5 虚线③所示）

注：（$\rho'1.6$）和（$d'150$）加括号表示为计算过程中的过渡点，不是所求的值，也不是题中的流体或设备的实际参数值。

用图 8.1 求取总压降 $L150—i320\rightarrow p=48\text{kPa}$

如果用常态算图计算，则：

用图 8.4 $q_m1.5\times10^4—\rho2.6\rightarrow q_V=5.8\times10^3\text{m}^3/\text{h}$

用图 8.2 $q_V5.8\times10^3—d200\rightarrow i_{水}=5.5\times10^4\text{Pa/m}$（交延长线，量取距离后，平移至算图范围内读数）

用图 8.3 $\rho2.6—\eta1.4\times10^{-2}\rightarrow X—i_{水}5.5\times10^4\rightarrow i=210\text{Pa/m}$

用图 8.1 $L150—i210\rightarrow p=32\text{kPa}$

与上面用图 8.5 求出的结果 48kPa 相比，该值明显偏低。

精确算值：

利用式(8.12) $Re=0.354\times1.5\times10^4\times1.4^{-1}\times10^2\times0.2^{-1}=1.896\times10^6$

Re 值代入式(8.11) $\lambda_{粗}=0.01227+0.7543\times(1.896\times10^6)^{-0.38}=0.01537$

利用式(8.13) $\lambda=[1.74+2\lg(200/0.4)]^{-2}=(1.74+2\times2.699)^{-2}=0.0196$

选较大 λ 值 0.0196 代入式(8.9)

$$i=6.27\times10^{-8}\times1.96\times10^{-2}\times(1.5\times10^4)^2\times2.6^{-1}\times0.2^{-5}$$
$$=6.27\times1.96\times2.25\times0.385\times3.125\times10=332.7(\text{Pa/m})$$

则管路总压降为 $p=332.7\times150=49.9(\text{kPa})$

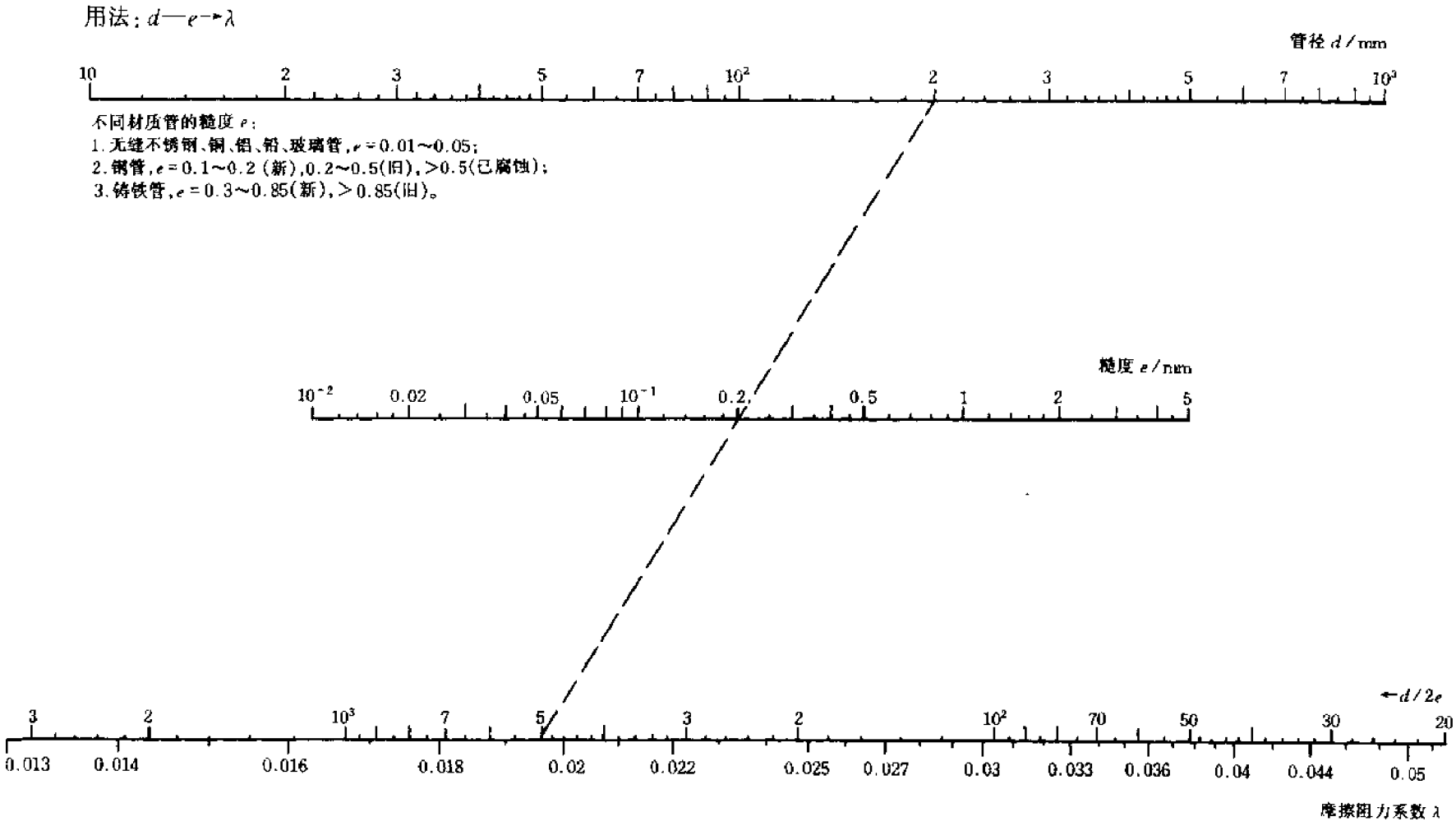


图 8.7　各种糙度管的摩擦阻力系数 λ 算图

8.8 测定液体粘度

液体的密度和粘度是管路计算中必不可少的物化数据。对于各种石油化工流体的密度和粘度，在有关书籍和手册上大部分均可查到。

若有成分较复杂的液体或混合液，在手册中查不到相应密度数值时，可用工厂常备比重计直接测量，没有比重计时，也可用量筒测量液体体积后，用天平称其重量来计算。如某混合液准确量取100ml，称其重量为126.3g，则此混合液密度为1.263kg/L。

对于成分复杂的液体或混合液，用手册查不到相应粘度数值时，则可采用工厂常用的简易实验方法测得。介绍如下。

体积相等的两种液体，在本身重力作用下流过同一毛细管时（流过调节适当的玻璃旋塞也可），所需时间设为 t_1 和 t_2，并设其密度分别为 ρ_1 和 ρ_2，则此两种液体粘度之比为：

$$\eta_1 : \eta_2 = t_1\rho_1 : t_2\rho_2$$

若以水作参照液体，已知其粘度为1mPa·s，密度为1kg/L。设水流过时间为 $t_{水}$，则被测定液体的粘度为：

$$\eta = \rho t / t_{水} \tag{8.14}$$

式中 t——被测定液体流过时间，s；

ρ——被测定液体密度，kg/L。

图8.8即是依据式（8.14）设计绘制而成。

【例8.8】 某混合液被测密度为1.263kg/L，流过调节适当的旋塞滴定管的时间为234s，同体积参照水流过时间为74s，求混合液粘度。

解：用图8.8

$t234$—$\rho1.263$→X（如图8.8虚线①所示）

$t_{水}74$—X→$\eta=4$ mPa·s（如图8.8虚线②所示）

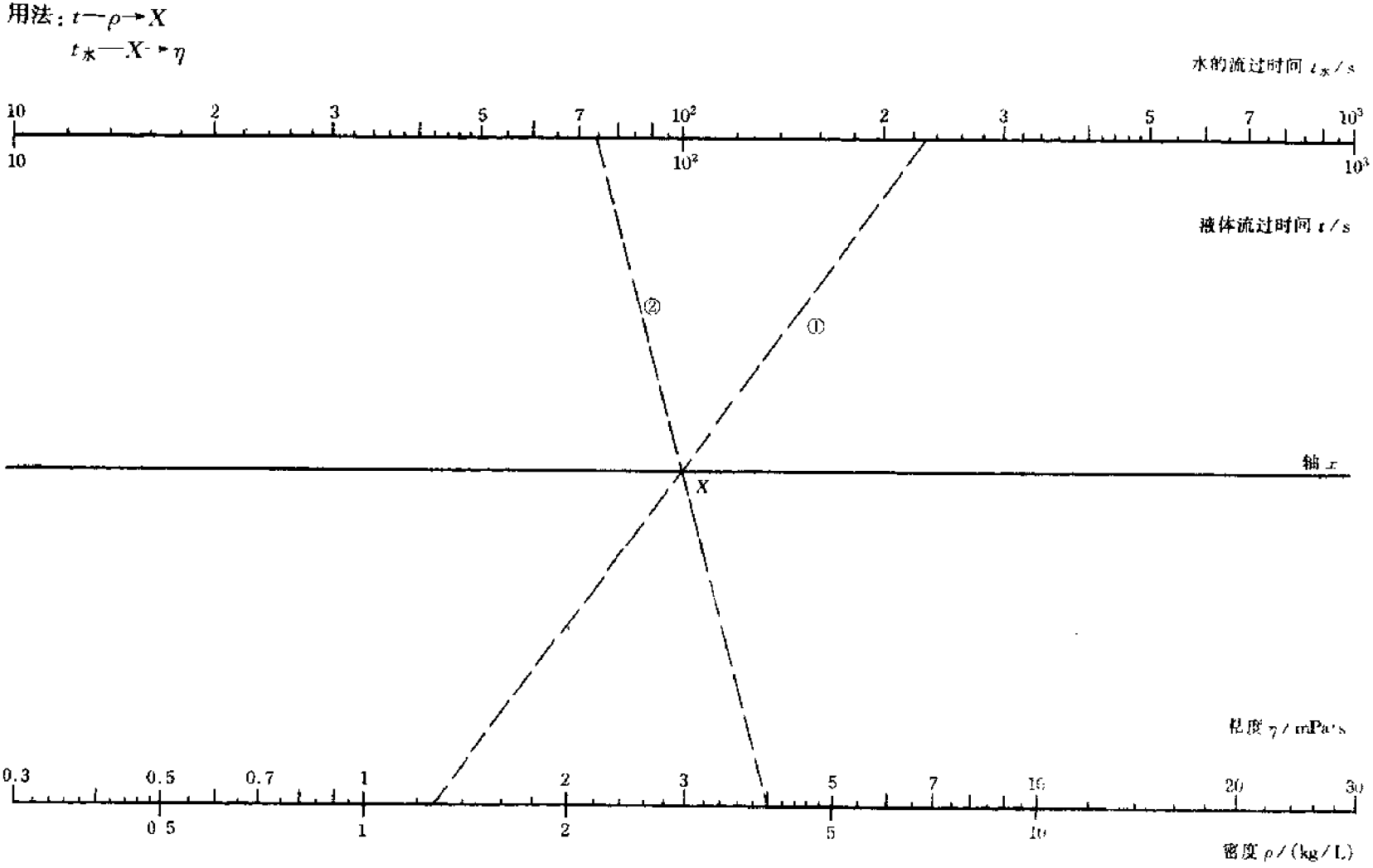


图 8.8　测定液体粘度算图

8.9 气体密度计算

气体密度虽不好测定，在手册上查不到时，可由下式计算：

$$\rho = 130.8MpT^{-1} \tag{8.15}$$

式中 M——气体分子量；

p——操作平均压力（绝），MPa；

T——操作平均温度，K。

图 8.9 是依据式（8.15）设计绘制。用法见图 8.9 说明，综合示例见后文【例 8.9】。

8.10 气体粘度计算

气体粘度也不好测定，在手册上查不到时可由下式计算：

$$\eta = 6.11 \times 10^{-4} M^{0.5} p_c^{0.67} T_c^{-1} T = KT \tag{8.16}$$

式中 M——气体分子量；

p_c——气体临界压力（绝），MPa；

T_c——气体临界温度，K；

K——气体粘度常数，$K = 6.11 \times 10^{-4} M^{0.5} p_c^{0.67} T_c^{-1}$，是理化常数群。

图 8.10 是依据式（8.16）设计绘制。

在操作压力小于 3MPa 的情况下，由式（8.15）、式（8.16）两式算得的密度和粘度值，对大多数气体的管路工程计算是足够准确的。对平常状态的液体其蒸气密度和粘度也可用此两式计算，误差也不很大，如水、甲醇、乙醇的蒸气。

气体（或蒸气）的理化常数 M，p_c，T_c 可由有关书籍和手册查得，表 8.2 中所列为常见气体的理化常数，可供查用。

【例 8.9】 求 CO 气体在常温 20℃，表压 0.2MPa 时的密度和粘度。

解：由表 8.2 查得 CO 分子量为 2.8，T_c = 133K，p_c = 3.5MPa，操作绝对压力为 0.2 + 0.1 = 0.3（MPa），温度为 273 + 20 = 293（K）

用图 8.9，求密度 $p0.3—M28 \rightarrow X—T293 \rightarrow \rho = 3.8 kg/m^3$（如图 8.9 虚线所示）

用图 8.10，求粘度 $p_c3.5—M28 \rightarrow (\eta 7.1 \times 10^{-3}) —T_c133 \rightarrow K = 5.5 \times 10^{-5}$（如图 8.10 虚线①、②所示）

$K5.5 \times 10^{-5}—T293 \rightarrow \eta = 0.016 mPa \cdot s$（如图 8.10 虚线③所示）

用法：$p—M—X$

$T—X\rightarrow\rho$

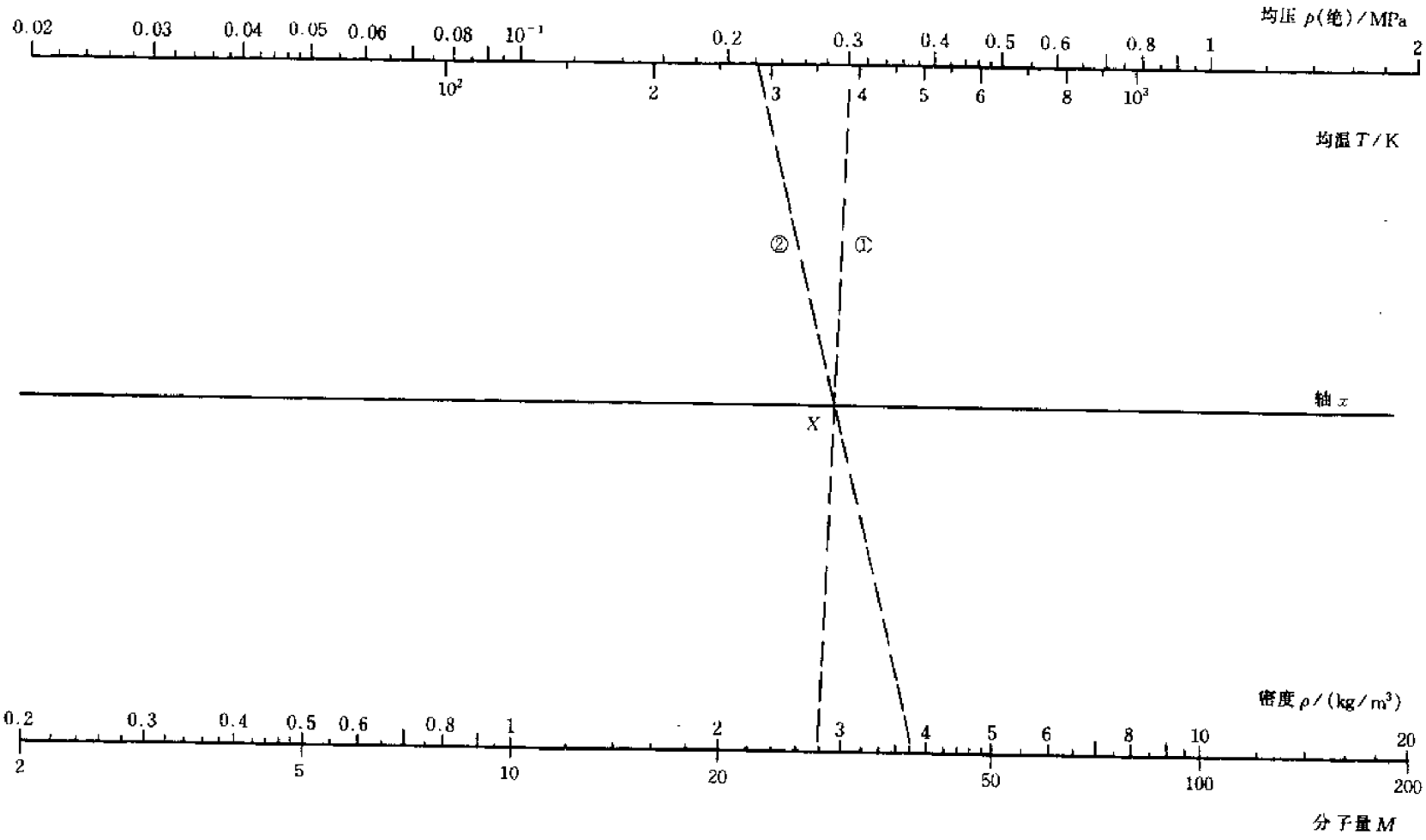


图 8.9　气体密度算图

表 8.2 气体和蒸气理化常数

气　体	分子式	相对分子质量	p_c/MPa	T_c/K	常数 K
空气	混合物	29	3.76	132	5.9×10^{-5}
氧气	O_2	32	5.04	154	6.4×10^{-5}
氢气	H_2	2	1.3	33	3.1×10^{-5}
氨气	NH_3	17	11.3	405	3.1×10^{-5}
氯气	Cl_2	71	7.71	417	4.7×10^{-5}
一氧化碳	CO	28	3.5	133	5.6×10^{-5}
二氧化碳	CO_2	44	7.39	304	4.9×10^{-5}
甲烷	CH_4	16	4.62	191	3.5×10^{-5}
乙烷	C_2H_6	30	4.95	305	3.1×10^{-5}
乙烯	C_2H_4	28	5.14	383	3.3×10^{-5}
甲醇蒸气	CH_3OH	32	8.1	513	2.6×10^{-5}
乙醇蒸气	C_2H_5OH	46	6.4	507	2.8×10^{-5}
水蒸气	H_2O	18	21.9	647	3.1×10^{-5}
苯蒸气	C_6H_6	78	4.8	562	2.7×10^{-5}
二氧化硫	SO_2	64	7.8	431	5×10^{-5}

【例 8.10】 求乙醇蒸气在操作温度 127℃，操作压力 0.15MPa（绝）时的密度和粘度。

解：由表 8.2 查得乙醇分子量 46，常数 $K=2.8\times10^{-5}$，计算操作温度为 $T=273+127=400$（K）

用图 8.9 $p0.15—M46\rightarrow X—T400\rightarrow\rho=2.2\text{kg/m}^3$

用图 8.10 $K2.8\times10^{-5}—T400\rightarrow\eta=0.011\text{mPa·s}$

【例 8.11】 风管风压 0.1MPa（绝），气温按 40℃计，求空气的密度和粘度。

解：由表 8.2 查得空气 $M=29$，$p_c=3.76\text{MPa}$，$T_c=132\text{K}$，已知操作温度为 $T=273+40=313$（K）

用图 8.10 求粘度 $p_c3.76—M29\rightarrow(\eta')—T_c132\rightarrow K=5.9\times10^{-4}$

$K5.9\times10^{-4}—T313\rightarrow\eta=0.018\text{mPa·s}$

用图 8.9 求密度 $p0.1—M29\rightarrow X—T313\rightarrow\rho=1.24\text{kg/m}^3$

8.11 局部阻力当量长度计算

管系总长不是管路总长，它还包含由弯头仪表、阀门及各种管件引起的局部阻力折算的当量直管长度，也就是说，管系总长 L 是管长及当量长度的和，应按此管系总长度来计算管阻总压降。

各种局部阻力的当量长度是和管径成正比的，如下式所示：

$$L_e=nd \tag{8.17}$$

式中 L_e——局部阻力当量长度，m；

d——管件直径，m；

n——当量系数，可由表 8.3 查得。

图 8.11 依据式（8.17）设计绘制。

由表 8.3 查得各种管件的当量系数 n 值后，先算出 n 值总和，然后利用图 8.11 一次算出总当量长度，再加上直管总长就得管系总长。

【例 8.12】 现有 d150mm 的管路，直管总长为 215m，管路上有三个 90°弯头，二个截止阀，一个单向阀，二个设备出口，求管系总长 L？

解：由表 8.3 查得：$n_2=40$，$n_7=100$，$n_9=25$，$n_{10}=20$，则

$$n_{\text{总}}=40\times3+100\times2+25+20\times2=385$$

用图 8.11 $n385—d150\rightarrow L_e=58\text{m}$（如图 8.11 虚线所示）

则管系总长 $L=215+58=273$（m）

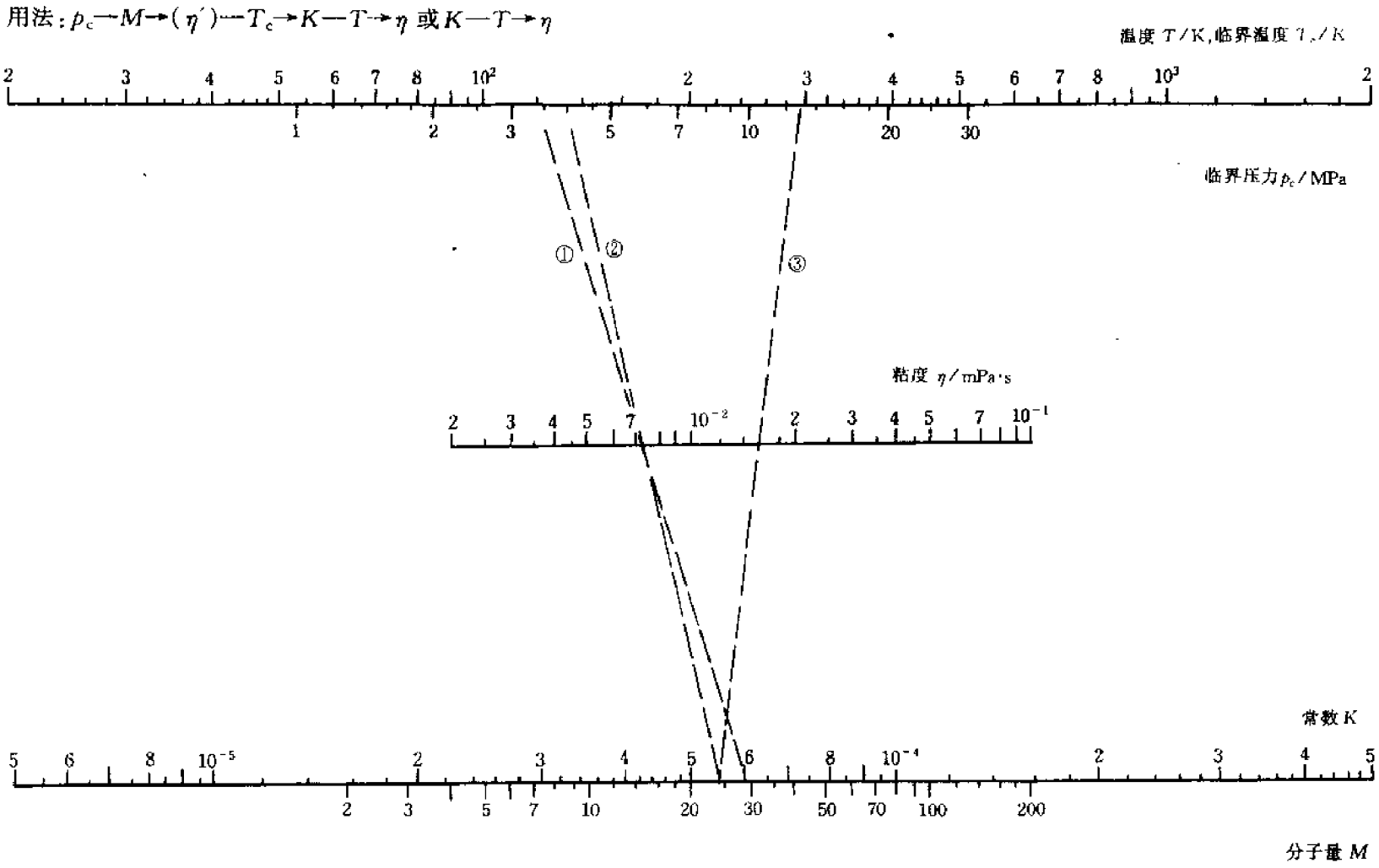
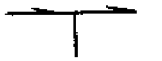
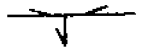

用法：p_c—M→(η')—T_c→K—T→η 或 K—T→η
温度 T/K,临界温度 T_c/K
临界压力 p_c/MPa
①
②
③
粘度 η/mPa·s
常数 K
分子量 M

图 8.10　气体粘度算图

表 8.3　局部阻力当量系数

代号	名称及规格	当量系数 n	备　注
n_1	弯头 45°	15	
n_2	90°	30～50	随管径选较大值
n_3	（回头弯）180°	50～75	随管径选较大值
n_4	三通 	10	
n_5		60	
n_6	三通 	90	
n_7	球阀	100	
n_8	闸阀	10	半开时 $n>100$
n_9	单向阀	25	
n_{10}	容器管口	20	
n_{11}	管径突然变大	5～40	随突变比选较大值
n_{12}	管径突然变小	5～20	随突变比选较大值
n_{13}	转子流量计	200～300	随管径选较大值
n_{14}	盘式流量计	400	
n_{15}	文氏流量计	12	

【例 8.13】　对某反应器提供 0.4MPa（绝）的压缩空气 400m³/h，现有 d100mm 管路长 120m，管路上有四个 90°弯头、二个截止阀、二个设备出入口，求其总压降是多少？操作温度按 20℃计。

解：由表 8.3 查得 $n_2=40$，$n_7=100$，$n_{10}=20$

则　　$n_{总}=40\times4+100\times2+20\times2=400$

用图 8.11　　$n400$—$d100$—$L_e=40$m

管系总长　　$L=120+40=160$（m）

由表 8.2 查得空气的 $M=29$，$K=5.9\times10^{-5}$

操作温度为　　$T=273+20=293$K

用图 8.9 求密度　$p0.4$—$M29$→X—$T293$→$\rho=5.2$kg/m³

用图 8.10 求粘度　$K5.9\times10^{-4}$—$T293$→$\eta=0.017$mPa·s

用图 8.4 求质量流量　q_V400—$\rho5.2$→$q_m=2100$kg/m³

用图 8.6 求 Re 和 $\lambda_{粗}$

$d100$—$\eta0.017$→X—q_m2100→$Re=4.3\times10^5$→$\lambda_{粗}=0.0176$

因雷诺数超出常态值（$>3\times10^5$），故用图 8.5 求米降：

q_m2100—$d100$—($\rho'1$)—$\lambda0.0176$→($d'166$)—$\rho5.2$→$i=94$Pa/m

用图 8.1 求取总压降　$L160$—$i94$→$p=15$kPa

精确算值：

用式（8.15）　$\rho=130.8\times29\times0.4\times293^{-1}=5.178$kg/m³

用式（8.16）　$\eta=5.9\times10^{-5}\times293=0.01729$mPa·s

η 值代入式（8.12）

$Re=0.354\times2.1\times10^3\times1.729^{-1}\times10^2\times0.1^{-1}=4.29\times10^5$

Re 值代入式（8.11）　$\lambda_{粗}=0.01227+0.7543\times(4.29\times10^5)^{-0.38}$

$=0.01227+0.7543\times7.24\times10^{-3}=0.01773$

$\lambda_{粗}$ 代入式(8.9)　$i=6.27\times10^{-8}\times1.773\times10^{-2}\times(2.1\times10^3)^2\times5.178^{-1}\times0.1^{-5}=6.27\times1.773\times4.41\times5.178^{-1}\times10=94.68$Pa/m

则管系总压降为　$p=94.68\times160=15.15$kPa

用法：n—d→L_e

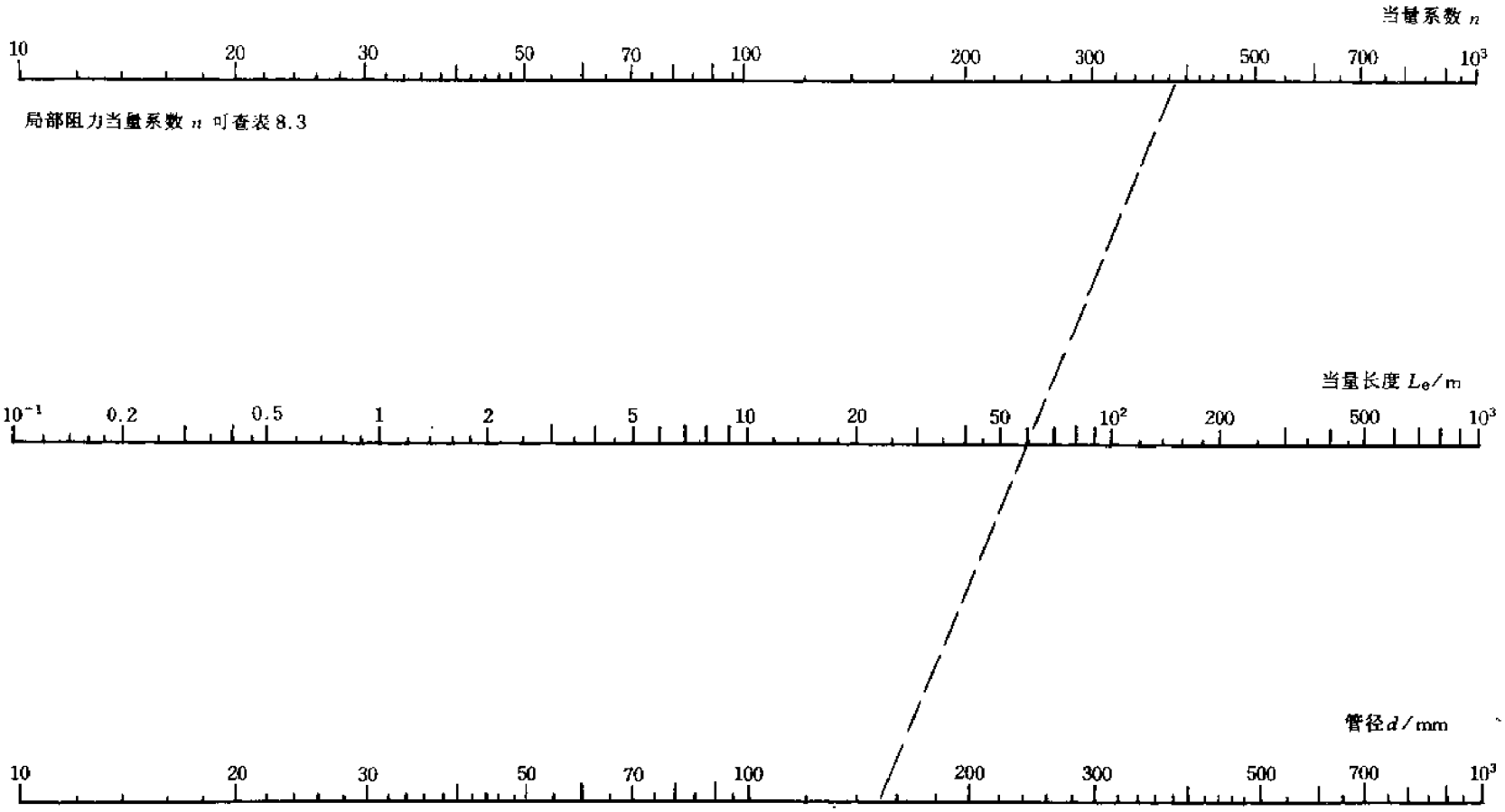


图 8.11　局部阻力当量长度算图

8.12 矩形风管当量直径计算

对于矩形风管，则应将其折算成圆管的当量直径，才可使用前述算图按圆管的计算方法来进行流体计算。

矩形风管当量直径计算公式如下：

$$d_e = 2ah\ (a+h)^{-1} \tag{8.18}$$

式中 a——风管宽，mm；

h——风管高，mm。

图 8.12 系依据式（8.18）设计绘制。

【例 8.14】 矩形风管宽 400mm，高 250mm，求其当量直径。

解： 计算 $a+h=400\text{mm}+250\text{mm}=650\text{mm}$

用图 8.12

$a400$—$h250$→X—（$a+h$）650→$d_e=310\text{mm}$（如图 8.17 虚线①、②所示）

【例 8.15】 如上题尺寸的矩形空调风管，求通风量为 $5800\text{m}^3/\text{h}$ 的米降是多少？（空气的 $\rho=1.24\text{kg/m}^3$，$\eta=0.018\text{mPa}\cdot\text{s}$）

解： 上例已求出 $d_e=310\text{mm}$

用图 8.4

$$q_V 5.8\times10^3 \text{—} \rho 1.24 \rightarrow q_m = 7.2\times10^3 \text{kg/h}$$

用图 8.6

$$d310 \text{—} \eta 1.8\times10^{-2} \rightarrow X \text{—} q_m 7.2\times10^3 \rightarrow R = 4.8\times10^5 \rightarrow$$

$$\lambda_{相} = 0.0175$$

用图 8.5

$$q_m 7.2\times10^3 \text{—} d310 \rightarrow (\rho' \text{延点}) \text{—} \lambda 1.75\times10^{-2} \rightarrow (d'290) \text{—}$$

$$\rho 1.24 \rightarrow i = 22\text{Pa/m}$$

用法：$a—h→X—(a+h)→d_e$

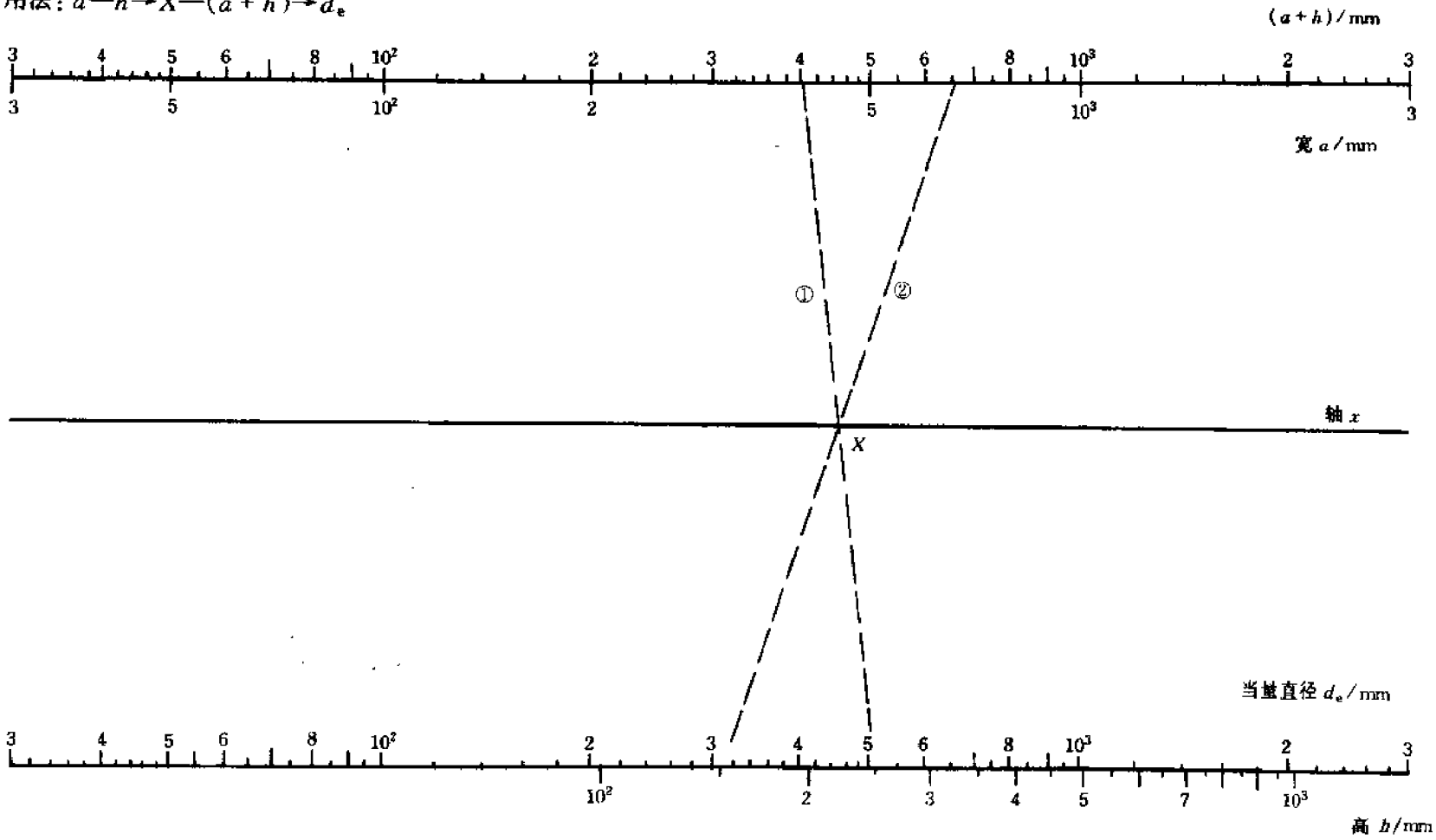


图 8.12　矩形风管当量直径算图

8.13 速度压降和位差压降计算

由管路两端仪表指示的压强降（或称输送压差），除包含管路阻力压降计，还包含转变成流体速度的压降及管路两端位差产生的位差压降。

速度压降也称动能压降，其值与流体流速和密度有关。尤其是在管路不长、阻力压降不大，而流速又较高的情况下，速度压降不可忽略。

位差压降也称升扬压降，其值与流体位差和密度有关。要注意位差压降对总压降值影响的正负关系，管末端高则为正、反之为负。

速度压降和位差压降的计算公式如下：

$$p_v = \rho v^2/2g = 0.5\rho v^2 \tag{8.19}$$

$$p_H = \rho g H = 9.81\rho H \tag{8.20}$$

式中 ρ——流体密度，kg/m^3；

v——流体平均流速，m/s；

H——管两端高度差，m；

g——重力加速度，取 $9.81m/s^2$。

图 8.13 即依据式（8.19）和式（8.20）设计绘制。

从算图 8.13 可看出，在管子足够长的情况下（如管长超过千倍管径时），因气体密度小，当位差小于 100m，流速小于 50m/s 时，对总压降影响在 1kPa 左右，可忽略不计。对液体来说，当位差小于 1m，流速小于 5m/s，对总压降影响在 10kPa 之内，也可酌情不计。

【例 8.16】 在水压为 0.32MPa 的大管径地下上水干管上，接有 d25mm、长 8.5m 的水管。水管有 90°弯头和截止阀各一个，地下水管比出水口低 2m，问开足阀门时水的流量为多少？

解：查表 8.3，$n_2=40$，$n_7=100$，则 $n_{总}=40+100=140$

用图 8.11　　$n140$—$d25$→$L_e=3.5m$

则管系总长　　$L=8.5+3.5=12m$

用图 8.13　$\rho1000$—$H2$→位差压降 $p_H=20kPa$（如图 8.13 虚线①所示）

由于干管管径大，开足阀门不会引起干管压力降低，但应减去位差压降。若暂不计速度压降，则总压降 $p=320-20=300$（kPa）

用图 8.1　　$L12$—$p300$→$i=2.5\times10^4Pa/m$

用图 8.2　$i2.5\times10^4$—$d25$→$q_V=14m^3/h$→$v=8m/s$

用图 8.13　$v8$—$\rho1000$→速度压降 $p_v=32kPa$（如图 8.13 虚线②所示）

所以真正的管阻压降为　$p=300-32=268$（kPa）

照此校正后的总压降重新计算

用图 8.1　　$L12$—$p268$→$i=2.2\times10^4kPa/m$

用图 8.2　$i2.2\times10^4$—$d25$→$q_V=13m^3/h$→$v=7m/s$

即每小时可流出 13t 水。严格说此数偏小些，因为此时流速不是 8m/s 而是 7m/s，速度压降减得多了些。

最后可以检验一下计算的可行性：

用图 8.6　$d25$—$\eta1$→X—$q_m1.3\times10^4$→$Re=1.9\times10^5<3\times10^5$

因雷诺数 Re 在常态范围，故用图 8.2 计算是可以的。

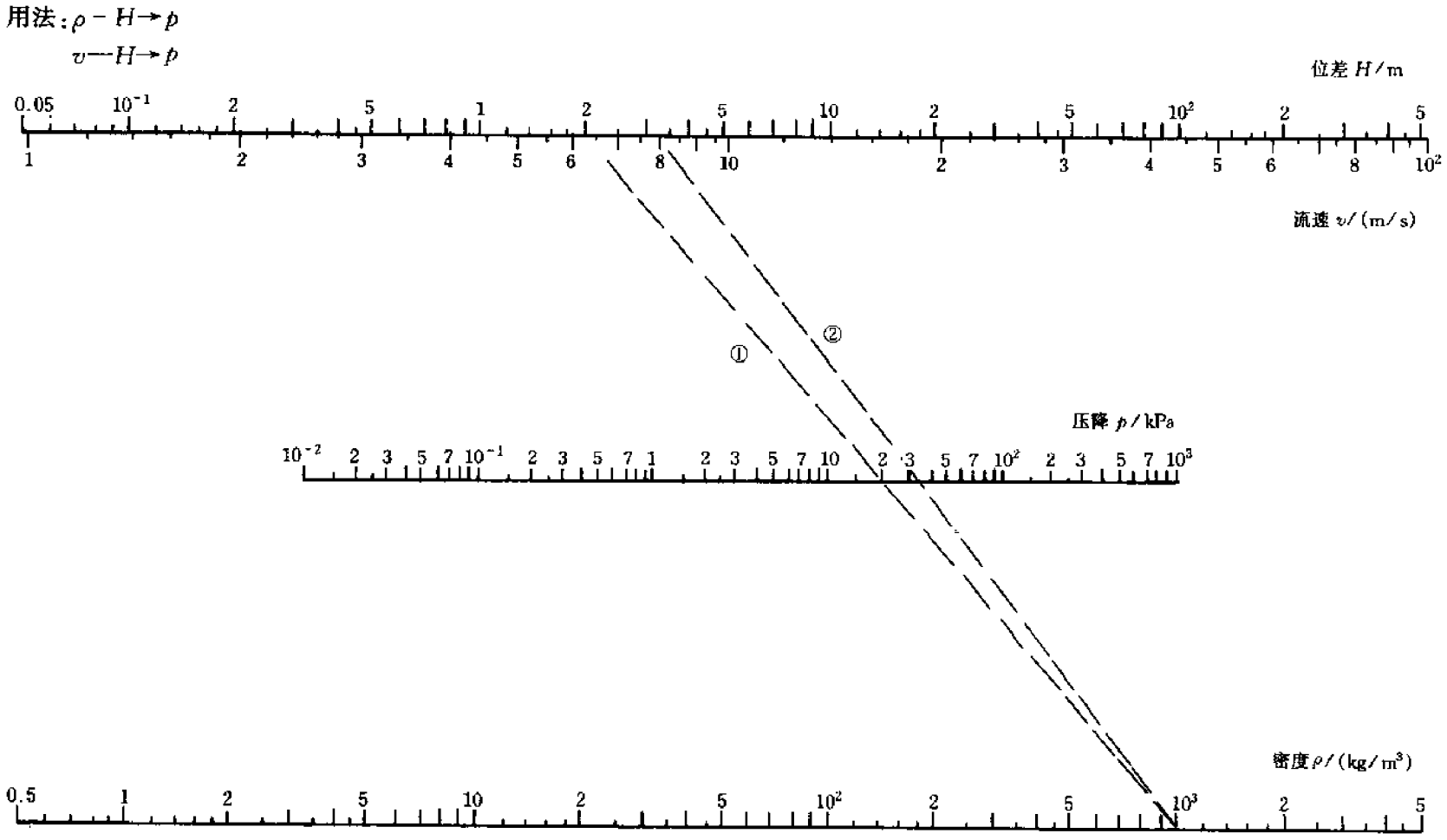


图 8.13　速度压降和位差压降算图

8.14 气体长管路米降计算

当输送液体的压力变化时，液体体积基本不变，其密度与压降无关。而气体由于具有可压缩性，因此当输送压力不断降低时，其密度随之变小。从式（8.9）可见，当分母值变小时，管道阻力要随之增大，即：　$i=6.27\times10^{-8}\lambda q_m^2/(\rho d^5)$

在管路较短、压降不大的情况下，以平均操作压力由图 8.9 求得气体的平均密度；该计算误差不大，但当管长 $>10^4 d$ 时，总压降大于 50kPa，此时则应以上式的微分式积分后来算：

$$-\mathrm{d}p=i\mathrm{d}L=6.27\times10^{-8}\lambda q_m^2\rho^{-1}d^{-5}\mathrm{d}L$$

负号表示压降随管长而降低。温度变化时对密度影响不大，在平均温度 T 时，密度只是压强的函数：$\rho=\frac{p}{p_0}\rho_0$

式中　ρ_0——T 温度下绝对压力 1 标准大气压时的气体密度，kg/m^3，可由图 8.9 求得；

p——操作压力，MPa；

p_0——1 标准大气压，为 0.1013MPa，取近似值 0.1MPa，以便计算。则：

$$\rho=\frac{p}{p_0}\rho_0=\frac{p}{0.1}\rho_0=10p\rho_0$$

代入上述微分式整理后得：

$$-10p\mathrm{d}p=6.27\times10^{-8}\lambda q_m^2\rho_0^{-1}d^{-5}\mathrm{d}L$$

由图 8.5 以 ρ_0 可求得米降 i_0：

$i_0=6.27\times10^{-8}\lambda q_m^2\rho_0^{-1}d^{-5}$，代入上式并积分：

$$-10\int_{p_1}^{p_2}p\mathrm{d}p=\int_0^L i_0\mathrm{d}L$$

积分后得

$$5(p_1^2-p_2^2)=i_0L \tag{8.21}$$

式中　p_1——管首气体压力，MPa；

p_2——管尾气体压力，MPa；

L——管长，m。

图 8.14 即依据式（8.21）设计绘制而成。

【例 8.17】　某天然气井的压力为 0.8MPa（绝），产量 50t/h，若要将气输送至 65km 处之工厂内，最终压力要求为 0.2MPa（绝），应设计多大管径？设管材糙度 $e=0.2$mm。

解：设局部阻力为 10%，则管系总长

$$L=65\times1.1=71.5\ (\mathrm{km})$$

为简化问题，将天然气全部按甲烷气计算，并设全年最高平均操作温度为 20℃（因气体随温升阻力增大），则 $T=273+20=293$（K）。查表 8.2，甲烷 $M=16$，粘度常数 $K=3.5\times10^{-5}$。

用图 8.9，求常压下甲烷密度

$$p0.1—M16\rightarrow X—T293\rightarrow\rho_0=0.72\mathrm{kg/m^3}$$

用图 8.10，求常压下气体粘度　$K3.5\times10^{-5}—T293\rightarrow\eta=0.01\mathrm{mPa\cdot s}$

用图 8.14　$p_1 0.8—p_2 0.2\rightarrow X_1=30$（如图 8.14 虚线①所示）

$$X_2 30—L71.5\rightarrow i_0=42\mathrm{Pa/m}$$

用图 8.7，暂设管径为 600mm，则　$d600—e0.2\rightarrow\lambda=0.0152$

用图 8.5　$i_0 42—\rho_0 0.72\rightarrow(d'290)—\lambda1.52\times10^{-2}\rightarrow(\rho')—q_m5\times10^4\rightarrow d=600\mathrm{mm}$

用图 8.6 核算 λ 值　$d600—\eta0.01\rightarrow X—q_m5\times10^4\rightarrow Re=2.8\times10^6\rightarrow\lambda_{粗}=0.0149<0.0152$

因雷诺数超出常态值，故只能用湍流算图，计算过程中 λ 值取 0.0152 适当，计算管径 600mm 与估计管径相合，因此不再重算 λ 值。

精确算值：

利用式（8.15）　$\rho=130.8\times16\times0.1\times293^{-1}=0.714\mathrm{kg/m^3}$

ρ 值代入式（8.16）

$$\eta=6.11\times10^{-4}\times16^{0.5}\times4.6^{0.67}\times191^{-1}\times293$$
$$=3.54\times10^{-5}\times293=0.0104\mathrm{mPa\cdot s}$$

利用式（8.21）　$5(0.8^2-0.2^2)=i_0\times71.5\times10^3$

$i_0=5\times0.6\times(71.5\times10^3)^{-1}=41.9\times10^{-6}(\mathrm{MPa/m})=41.9(\mathrm{Pa/m})$

利用式（8.13）

$\lambda=[1.74+2\lg(600/0.4)]^{-2}=(1.74+2\times3.176)^{-2}=0.0153$

将 ρ、i、λ 值代入式（8.9）

$$41.9=6.27\times10^{-8}\times1.53\times10^{-2}\times(5\times10^4)^2\times0.174^{-1}d^{-5}$$
$$=6.27\times1.53\times25\times0.174^{-1}\times10^{-2}d^{-5}=3.359d^{-5}$$

则得　$d=(3.337/41.9)^{1/5}=0.6036\ (\mathrm{m})=603.6\ (\mathrm{mm})$

【例 8.18】　用 $d600$mm 管输送 0.8MPa（绝）压力的天然气，最大输送能力是多少？如果要求管尾压力为 0.4MPa，输送能力又是多少？输送长度与前例相同。

解：按题意，若 0.8MPa 的压力全用以输送天然气，则管尾为常压 0.1MPa（绝）。

先分别求出两种情况下的压力米降 i_0

用图 8.14

$p_1 0.8—p_2 0.1\rightarrow X_1 31.5$，$X_2 31.5—L71.5\rightarrow i_0=44\mathrm{Pa/m}$

$p_1 0.8—p_2 0.4\rightarrow X_1 24$，$X_2 24—L71.5\rightarrow i_0=34\mathrm{Pa/m}$

再分别求出各自的输送能力。用图 8.5

$i44$—$\rho 0.72$→（$d'285$）—$\lambda 1.52\times10^{-2}$→（$\rho'$，延长线交点）
—$d600$→$q_m=5.1\times10^4$kg/h=51t/h

$i34$—$\rho 0.72$→（$d'304$）—$\lambda 1.52\times10^{-2}$→（$\rho'$，延长线交点）
—$d600$→$q_m=4.4\times10^4$kg/h=44t/h

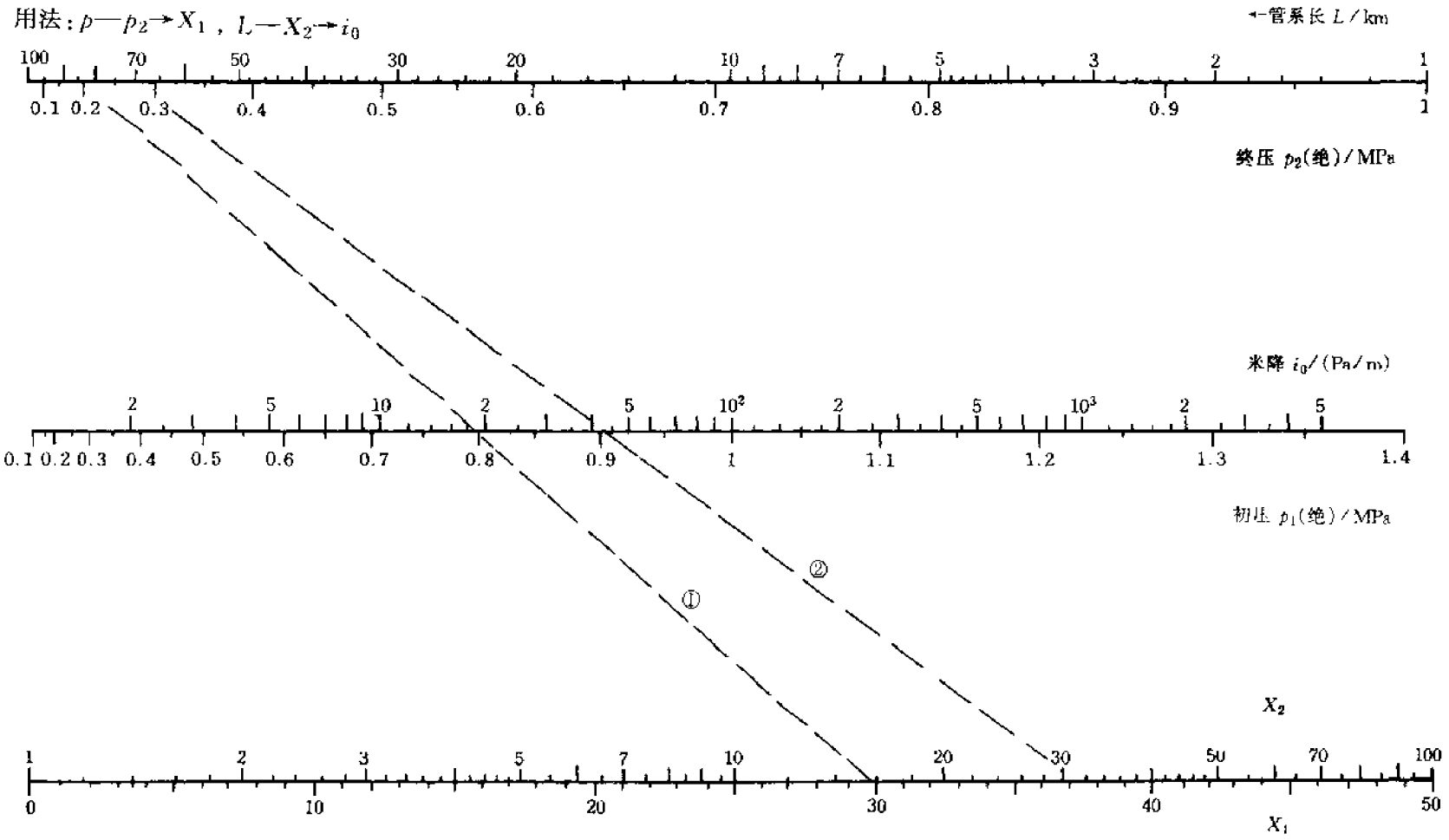


图 8.14　气体长管路米降算图

8.15 泵或风机功率计算

管路计算的目的不只是子群管路实际输送能力，选择合理的管径等，最终是了解输送能量的消耗，计算输送泵或风机的合理功率。泵或风机功率可用下式计算：

$$P = 2.78 \times 10^{-7} q_V p \eta^{-1} \quad (\text{kW}) \qquad (8.22)$$

式中 p——泵或风机产生的压升，Pa；

q_V——输送流量，m^3/h；

η——总效率，见算图列值。

图 8.15 系依据式（8.22）设计绘制。

【例 8.19】 通风量 $5800m^3/h$，风压 1.8kPa，求风机功率。

解： 风机总效率按算图选取 $\eta = 65\%$

用图 8.15 $q_V 5.8 \times 10^3$—$p 1.8 \times 10^3$→X—$\eta 65$→$P = 4.5$kW（如图 8.15 虚线①、②所示）

【例 8.20】 d200mm 输油管，管系长 $L = 1.5$km，两端基本无位差，输油泵压力 0.5MPa（表），该油品 $\rho = 850 kg/m^3$，粘度为 6mPa·s，泵效率取 0.75，求此输油管系最大输油能力和输油功率？

解： 按最大压降 0.5MPa 来算最大输油能力。

用图 8.1 $L1500$—$p500$→$i = 330$Pa/m

用图 8.3 $\rho 850$—$\mu 6$→X—$i 330$→$i_{水} = 280$Pa/m

（注意这里以 μ 表示粘度，以和下面用到的泵效率 η 相区别，在应用图 8.3、图 8.6 时应予注意）。

用图 8.2 $d200$—$i_{水}$ 280→$q_V = 280 m^3/h$

用图 8.4 $q_V 280$—$\rho 850$→$q_m = 240$t/h

用图 8.6 验算 Re $d200$—$\mu 6$→X—$q_m 2.4 \times 10^3$→$Re = 6.8 \times 10^4 < 3 \times 10^5$，故用常态算图是适当的。

即最大输油能力可达 $280m^3/h$，合质量流量为 240t/h。

用图 8.15 求油泵功率

q_V 280—$p500$→X—$\eta 65$→$p = 49$kW

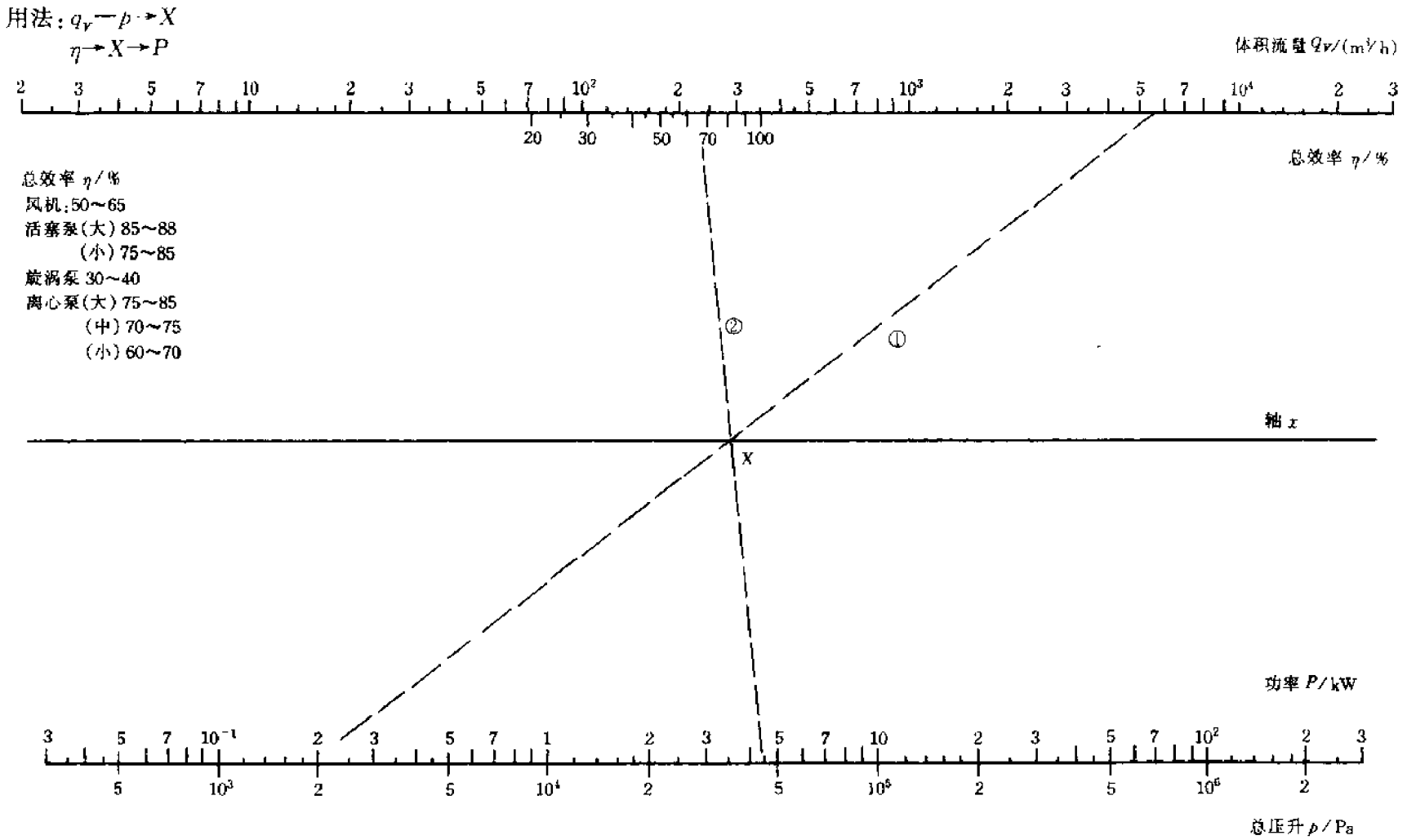


图 8.15　泵或风机功率算图

8.16 经济管径的计算

对于直径较大（$d>75$mm）、较长的管路，因工程费用较大，并有长时间的动力消耗，要进行管径的经济核算。

管径的大小，从不同方面影响着动力费用和工程费用的消长，最经济合理的管径，就是由年动力费用 A 与年分摊工程费（含维修费）B 之和为最小值。

现推导年动力费用 A 的计算式。

设泵（或风机）年运转时间为 n 小时，电费为 a 元/kW·h，其中 1kW·h=1 度电，则年动力费用为：

$$A=Pna$$

式中 P——功率，kW，由式（8.22），$P=2.78\times10^{-7}q_V\rho\eta^{-1}$；

p——压降，Pa，$p=iL=6.27\times10^{-8}\lambda\rho q_V^2d^{-5}yl$；

y——管道局部阻力系数，可取 1.1～1.3；

l——管道实际长度，则管系总长 $L=yl$；

其他参数 λ、ρ、q_V、d、n 意义同前。

将各值代入动力费用公式得

$$A=Pna=1.74\times10^{-14}yna\eta^{-1}\lambda\rho q_V^3ld^{-5}$$

为化简上式，将与管道尺寸无关的参数设为 X，且令

$$X=1.74\times10^{-14}yna\eta^{-1}\lambda\rho q_V^3$$

则得

$$A=Xld^{-5}$$

再推导年分摊工程费 B 的计算式。

年分摊工程费 B 直接与管长和管径成正比，算式表示为

$$B=Sld$$

式中 S——管长、管径各为 1m 的年分摊工程费，元/(m²·年)。

这样，每年全部费用总和为

$$M=A+B=Xld^{-5}+Sld\quad(\text{元/年})$$

使费用 M 为最小值的必要条件是使其微分式为零，即：

$$\frac{dM}{dd}=\frac{d(Xld^{-5}+Sld)}{dd}=0$$

微分后 $$-5Xld^{-6}+Sl=0$$

则 $$d^{-6}=S/5X$$

将 X 值代入得

$$d^6=5XS^{-1}=8.66\times10^{14}yna\eta^{-1}S^{-1}\lambda\rho q_V^3$$

此式是经济管径的计算公式。其中需进一步讨论年分摊工程费 S 值的计算式和费用数群 $K=yna\eta^{-1}S^{-1}$ 的计算。

（1）年分摊工程费 S 值的计算

已知管径 d、壁厚 b、管长 l、材质密度为 ρ 的管材重量为 $W=\rho\pi dbl$

设某管材价格为 J 元/t，年分摊工程费率为 f，则年分摊工程费 B 也可用下式计算

$$B=fJW=fJ\rho\pi dbl$$

已知 $B=Sdl$，则 $Sdl=fJ\rho\pi dbl$

公式化简，得 $$S=fJ\rho\pi b$$

钢管密度 ρ 取 7.85t/m³，则

$$S=24.7fJb\qquad(8.23)$$

式中 f——年工程费分摊率；

J——管材价格，元/t；

b——管壁厚，m。

图 8.16 即依据式（8.23）设计绘制。

注：各种管材年分摊率 f 参见图 8.16。

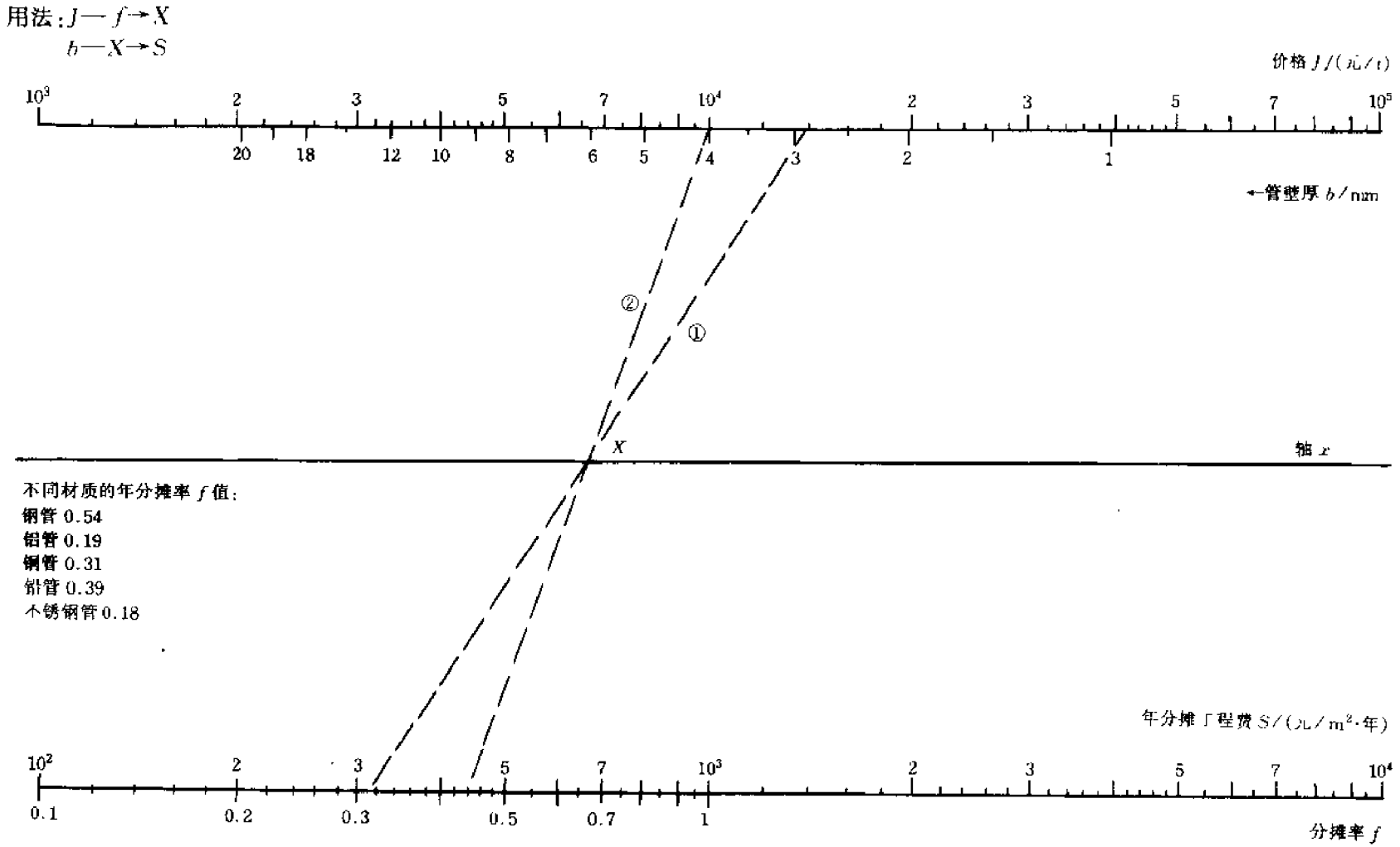


图 8.16　年分摊工程费 S 值算图

值是用下式计算的

$$f = f_1 f_2 f_3 n^{-1}$$

式中 f_1——建设费率，取 1.8；

f_2——维修费率，取 1.5；

f_3——材质系数，可查表 2.1，其中常用材质钢和不锈钢的材质系数为 1，铝的材质系数为 0.357，铜的材质系数为 1.134，铅的材质系数为 1.445；

n——使用年限，钢、铝管取 5 年，铜、铅管取 10 年，不锈钢管取 15 年。

根据以上取值算出的年分摊率分别为：钢管 $f=0.54$，铝管 $f=0.19$，铜管 $f=0.31$，铅管 $f=0.39$，不锈钢管 $f=0.18$。若以上设定的取值与实际情况出入较大时，读者可重新取值计算 f 值。

【例 8.21】 某地各种规格铜管的平均价为 14000 元/t，铝管为 8000 元/t，分别求管厚 4mm 的两种管材的年工程费分摊 S 值。

解：用图 8.16

铜管 $J1.4\times10^4$—$f0.31$→X—$b4$→S = 440 元/(m^2·年)（如图 8.16 虚线①、②所示）

铝管 $J8\times10^3$—$f0.19$→X—$b4$→S = 150 元/(m^2·年)

精确算值：

铜管 $S=24.7\times0.31\times0.004\times14000=428.8$[元/($m^2$·年)]

铝管 $S=24.7\times0.19\times0.004\times8000=150.2$[元/($m^2$·年)]

（二）费用数群 K 值的计算

对于费用数群 K，如局部阻力系数 y 取 1.2，总效率 η 取 0.75，可化简为

$$K = yna\eta^{-1}S^{-1} = 1.6naS^{-1} \qquad (8.24)$$

式中 n——运行时间，h；

a——电费，元/kW·h。

图 8.17 即依据式（8.24）设计绘制。

【例 8.22】 某地工业电价为 0.56 元/度，设泵年运转时间为 5400h，分别求管壁厚 4mm 的铜管和铝管的费用 K 值。

解：用图 8.17，年分摊工程费 S 值依【例 8.21】的计算结果

铜管 $n5.4\times10^3$—$a0.56$→X—$S440$→$K=11.2$（如图 8.17 虚线①、②所示）

铝管 $n5.4\times10^3$—$a0.56$→X—$S150$→$K=32$

精确算值：

铜管 $K=1.6\times5.4\times10^3\times0.56\times428.8^{-1}=11.2$

铝管 $K=1.6\times5.4\times10^3\times0.56\times150.2^{-1}=32.2$

（三）经济管径计算

求得数群 K 值后，经济管径计算式可化简为：

$$d^6 = 8.66\times10^{-14}yna\eta^{-1}S^{-1}\lambda\rho q_V^3 = 8.66\times10^{-14}K\lambda\rho q_V^3 \qquad (8.25)$$

图 8.18 即依据式（8.25）设计绘制。

注：求取 λ 值时，须先由表 8.1 选一流速，然后用图 8.2 先估算一管径后，方可用算图求 λ 值。若最后算出的经济管径与估算管径的误差不大于 25%，则不必重算。

【例 8.23】 某化工气体（$\rho=2.6$kg/m^3，粘度为 0.018 mPa·s），可用光滑铜管或铝管输送，输送量为 12t/h，求铜管、铝管的经济管径。管壁按 4mm 考虑，K 值如上例所求。

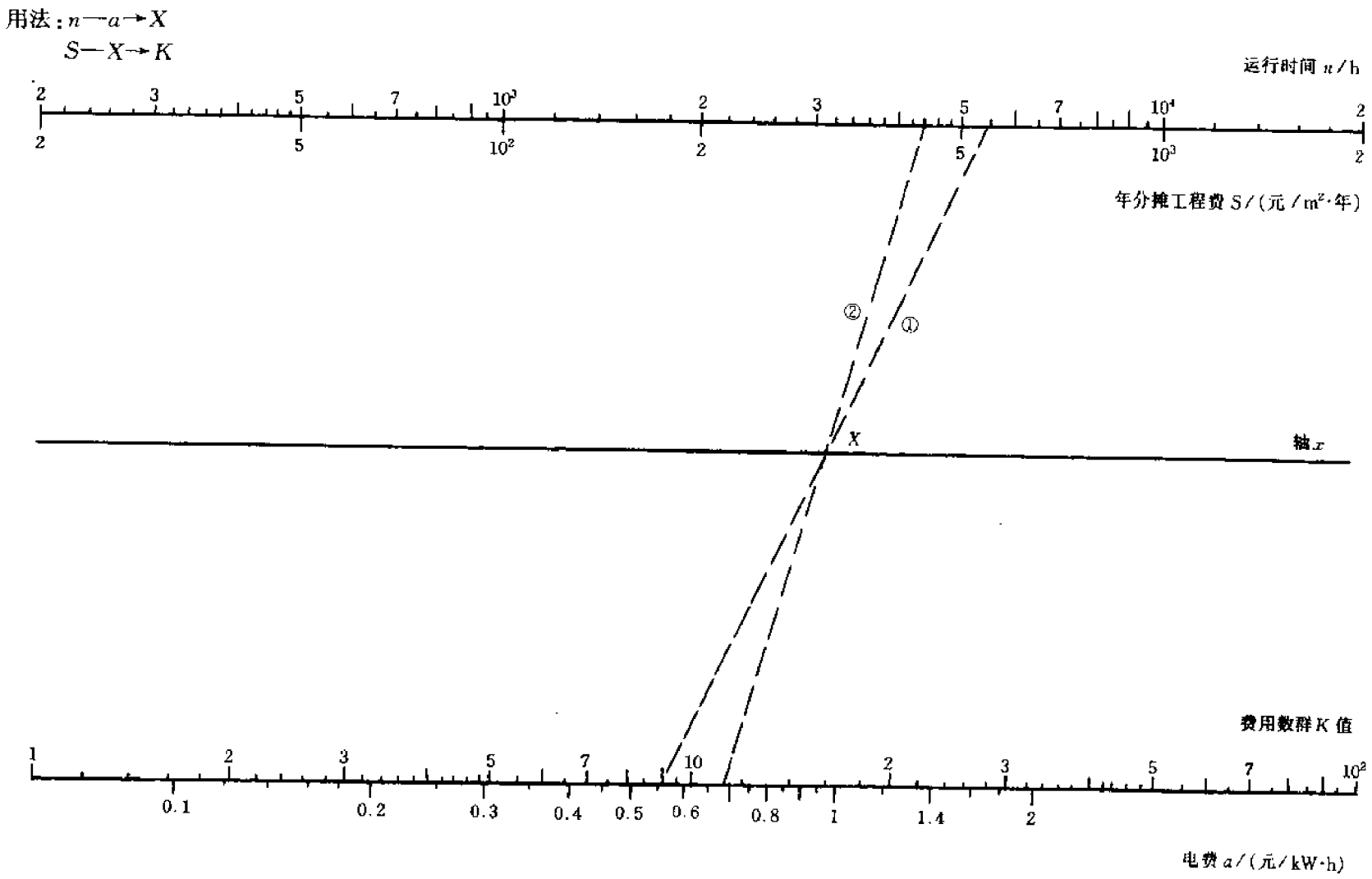


图 8.17　费用数群 K 值算图

解：由图 8.18 可看出，求经济管径须知下列参数值：K，λ，ρ，q_V。

用图 8.4　$q_m 1.2\times10^4$—$\rho 2.6$→$q_V - 4.6\times10^3 m^3/h$

查表 8.1，低压气体适宜流速为 10～20m/s，选取 10m/s

用图 8.2　$q_V 4.6\times10^3$—$v10$ →$d=400mm$

用图 8.7，光滑铜、铝管取 $e=0.05$

$d400$—$e0.05$→$\lambda=0.012$（λ 在延长线交点）

前例已知铜管 $K=12$，铝管 $K=32$

用图 8.18　铜管 $K12$—$\lambda0.012$→X—$\rho2.6$→（$K'8.7$）（如图 8.18 虚线①、②所示，K'为过渡点，下同）

（$K'8.7$）—$q_V4.6\times10^3$→$d=380mm$（如图 8.18 虚线③所示）

铝管　$K32$—$\lambda0.012$→X—$\rho2.6$→（$K'10.5$）—$q_V4.6\times10^3$ →$d=450mm$

与估算管径 $d400$ 相比，误差均小于 25%，故不必重算。

精确算值：

铜管　$d^6=8.66\times10^{-14}K\lambda\rho q_V^3$

$=8.66\times10^{-14}\times12\times0.012\times2.6\times4.6^3\times10^{-5}$

$=8.66\times1.2\times1.2\times2.6\times9.7\times10^{-5}=3.15\times10^{-3}$

$d=0.383$（m）$=383$（mm）

铝管　$d^6=8.66\times10^{-14}K\lambda\rho q_V^3$

$=8.66\times3.2\times1.2\times2.6\times9.7\times10^{-5}=8.39\times10^{-3}$

$d=0.451$（m）$=451$（mm）

【例 8.24】　输送某弱酸性化工液体（$\rho=1200kg/m^3$），工艺要求 $q_V=150m^3/h$，求无缝钢管（$e=0.2$）或不锈钢管（$e=0.05$）的经济管径各是多少？该地区不同规格钢管平均价 3000 元/t，不锈钢管平均价 25000 元/t，工业电价 0.5 元/度。

解：用图 8.16，按管壁厚 6mm 求 S 值

钢管　$J3000$—$f0.54$→X—$b6$→$S\sim240$ 元/(m^2·年)

不锈钢管　$J25000$—$f0.18$→X—$b6$→$S-670$ 元/(m^2·年)

用图 8.17，按泵年运行 6000h 求 K 值

钢管　$h6000$—$a0.5$→X—$S240$ →$K-20$

不锈钢管　$h6000$—$a0.5$→X—$S670$→$K=7.2$

从表 8.1 选液体流速 $v=1.5m/s$，用图 8.2 估算管径

$v1.5$—q_V150 →$d=200mm$

用图 8.7 求 λ　钢管 $d200$—$e0.2$→$\lambda-0.0196$

不锈钢管　$d200$—$e0.05$→$\lambda=0.0142$

用图 8.18 求经济管径，钢管　$K20$—$\lambda0.0196$→X—ρ_01200→(K' 28)—q_V150→$d=230mm$

不锈钢管　$K7.2$—$\lambda0.0142$→X—$\rho1200$→（$K'22$）—q_V150 →$d=180mm$

与估算管径 $d200$ 比，误差均小于 25%，不必重算。

精确算值：

钢管

$d^6=8.66\times10^{-14}K\lambda\rho q_V^3=8.66\times20\times0.0196\times1200\times150^3\times10^{-14}$

$=8.66\times2\times1.96\times1.2\times3.38\times10^{-6}=1.38\times10^{-4}$

$d=0.2273$（m）$=227.3$（mm）

不锈钢管

$d^6=8.66\times7.2\times1.42\times1.2\times3.38\times10^{-7}=3.59\times10^{-5}$

得　$d=0.1816$（m）$=181.6$（mm）

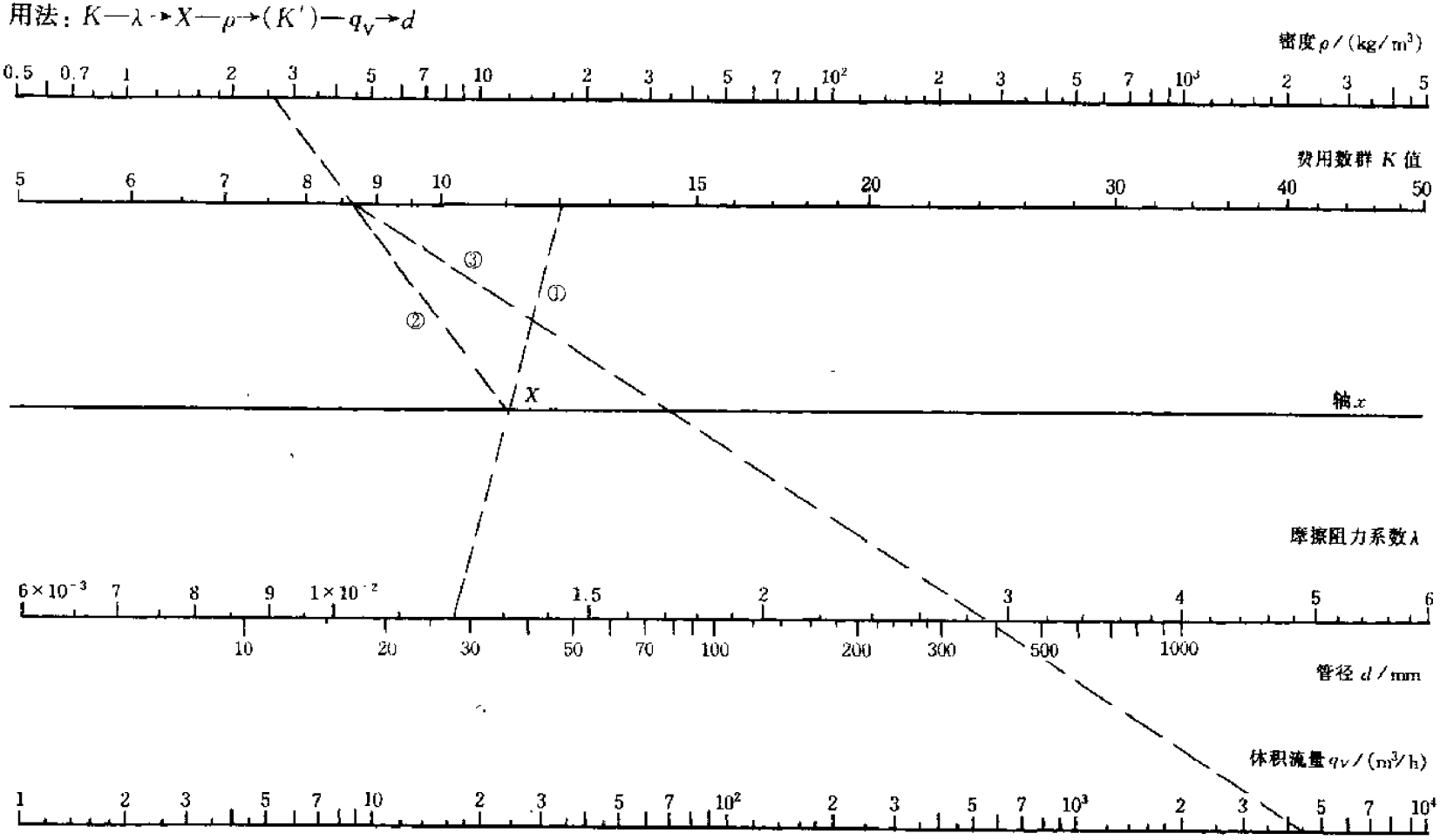

用法：$K—\lambda\rightarrow X—\rho\rightarrow(K')—q_v\rightarrow d$
密度 ρ /(kg/m³)
0.5 0.7 1 2 3 5 7 10 2 3 5 7 10² 2 3 5 7 10³ 2 3 5
费用数群 K 值
5 6 7 8 9 10 15 20 30 40 50
①
②
③
X
轴 x
摩擦阻力系数 λ
6×10⁻³ 7 8 9 1×10⁻² 1.5 2 3 4 5 6
10 20 30 50 70 100 200 300 500 1000
管径 d / mm
体积流量 q_V /(m³/h)
1 2 3 5 7 10 2 3 5 7 10² 2 3 5 7 10³ 2 3 5 7 10⁴

图 8.18　经济管径算图

9. 机械搅拌功率计算

化工、炼油、制药、冶金等生产过程中，为了加速传热、传质及化学反应，有时也为了获取多种物料的混合体(悬浮液、乳浊液等)，普遍采用各种型式的机械搅拌，如桨式、旋桨式、锚式及涡轮式等。对这些搅拌的功率计算，不仅是为了选配功率适当的电机，重要的是这些功率的计算往往是搅拌的结构强度及传动机械设计的依据。但由于影响搅拌功率的参数很多，如搅拌型式、直径、转数、物料密度和粘度等，此外有关的几何特征、设备内的附加装置、材料的粗糙度等，也均对功率有较大影响，致使搅拌功率的计算较为复杂，往往费时较多。为了简化和加速这些计算，设计绘制成算图，完全可满足工程设计的需求。

算图不仅计算方便，并能便捷地调整算图中任一参数值，这对修改现有搅拌或调整某一参数尤为方便。此外，算图还可将各参数的函数关系清楚地表现出来，也便于搅拌设计或模拟放大时照顾到各参数的合理性。

9.1 搅拌轴功率计算

搅拌轴运转功率计算方法如下。

搅拌正常运转时，消耗的能量主要用于克服液体的阻力，因此搅拌轴功率可由下式计算：

$$P=\varepsilon_M d^5 n^3 \rho \quad (\mathrm{kg\cdot m/s}) \tag{9.1}$$

式中 d——搅拌器直径，m；

n——搅拌器转速，r/s；

ρ——液体密度，$\mathrm{kg\cdot s^2/m^4}$；

ε_M——阻力系数，无因次。

根据实验数据，阻力系数 ε_M 和搅拌雷诺数 Re_M $(=d^2 n\rho\eta^{-1})$ 在双对数坐标上成直线函数关系，可表达如下：

$$\varepsilon_M = A/Re_M^m = A/\ (d^2 n\rho\eta^{-1})^m = Ad^{-2m}n^{-m}\rho^{-m}\eta^m$$

式中 η——粘度，$\mathrm{kg\cdot s/m^2}$。

代入式 (9.1) 后 $P=Ad^{5-2m}n^{3-m}\rho^{1-m}\eta^m$

将上式计算单位换成常用单位，即：

功率 P——kW，$1\mathrm{kg\cdot m/s}=9.81\times10^{-3}\mathrm{kW}$；

转速 n——r/min，1r/s = 60r/min；

密度 ρ——$\mathrm{kg/m^3}$，$1\mathrm{kg\cdot s^2/m^4}=9.81\mathrm{kg/m^3}$；

粘度 η——mPa·s，$1\mathrm{kg\cdot s/m^2}=9810\mathrm{mPa\cdot s}$。

则
$$P=9.81\times10^{-3}Ad^{5\ 2m}(n/60)^{3-m}(\rho/9.81)^{1-m}(\eta/9810)^m \quad (\mathrm{kW}) \tag{9.2}$$

图 9.1 搅拌轴功率算图即依据式 (9.2) 设计绘制。

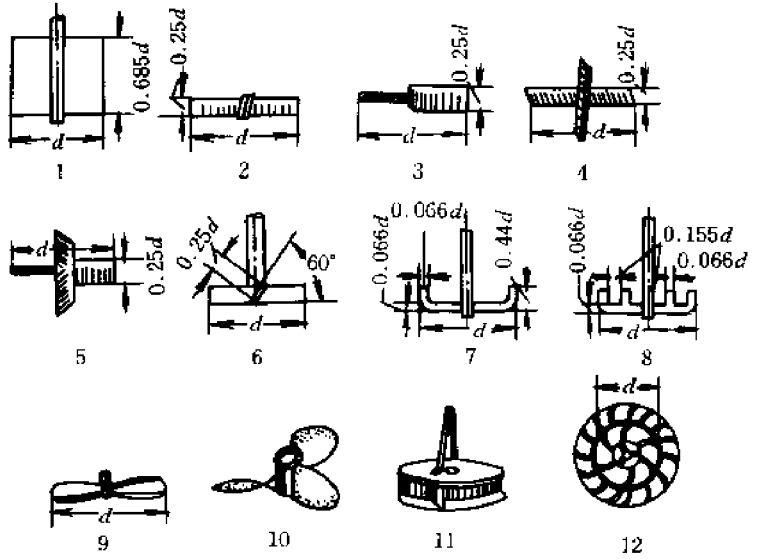
注：式中 A 和 m 为不同型式的搅拌常数，在一定几何特征情况下，由实验求得。

表 9.1 已列出几种常见搅拌器的 A 和 m 值，可供计算时查取。表 9.1 中注明了部分情况的 Re_M 值适用范围。因 $Re_M\approx50$ 为搅拌雷诺数的临界值，大则为湍流，小则为层流。Re_M 值可由图 9.2 简捷求得。

表 9.1 各种搅拌器的常数 A 和 m 值

编号	搅拌器类型	几何特征			常数		备注
		H/d	D/d	S/d	A	m	
1	双宽桨式	2	2	0.36	14.36	0.31	Re_M100～5×10^4
2	双桨式	3	3	0.33	6.8	0.2	
3		3	3	0.33	4.05	0.2	桨叶 45°
4	四桨式	3	3	0.33	8.52	0.2	
5		3	3	0.33	5.05	0.2	上斜桨叶 45°
		3	3	0.33	4.42	0.2	下斜桨叶 45°
6		3	3	0.5	6.3	0.18	上斜桨叶 60°
7	双桨锚式	1.11	1.11	0.11	6.2	0.25	
8	四桨锚式	1.11	1.11	0.11	6.0	0.25	
9	双旋桨式	3	3	0.33	0.98	0.15	旋桨 22.5°
10	三旋桨式	3.5	3.8	1	4.63	0.35	Re_M30～3000
					1.19	0.15	Re_M>3000
11	三桨涡轮式	3	3	0.33	3.9	0.2	
12	六桨涡轮式	1.8	2.4	0.25	5.98	0.15	有导轮

注：H—液体深度；D—容器直径；S—搅拌器距底距离；d—搅拌器直径。



搅拌器结构及编号

用法：

$d—m_d→(n')$

$n—m_n→(d')$

$\rho—m_\rho→(\eta')$

$\eta—m_\eta→(\rho')$

$(d')—(n')→(A')$

$(\eta')—(\rho')→X$

$(A')—X→(n'')$

$A—(n'')→P$

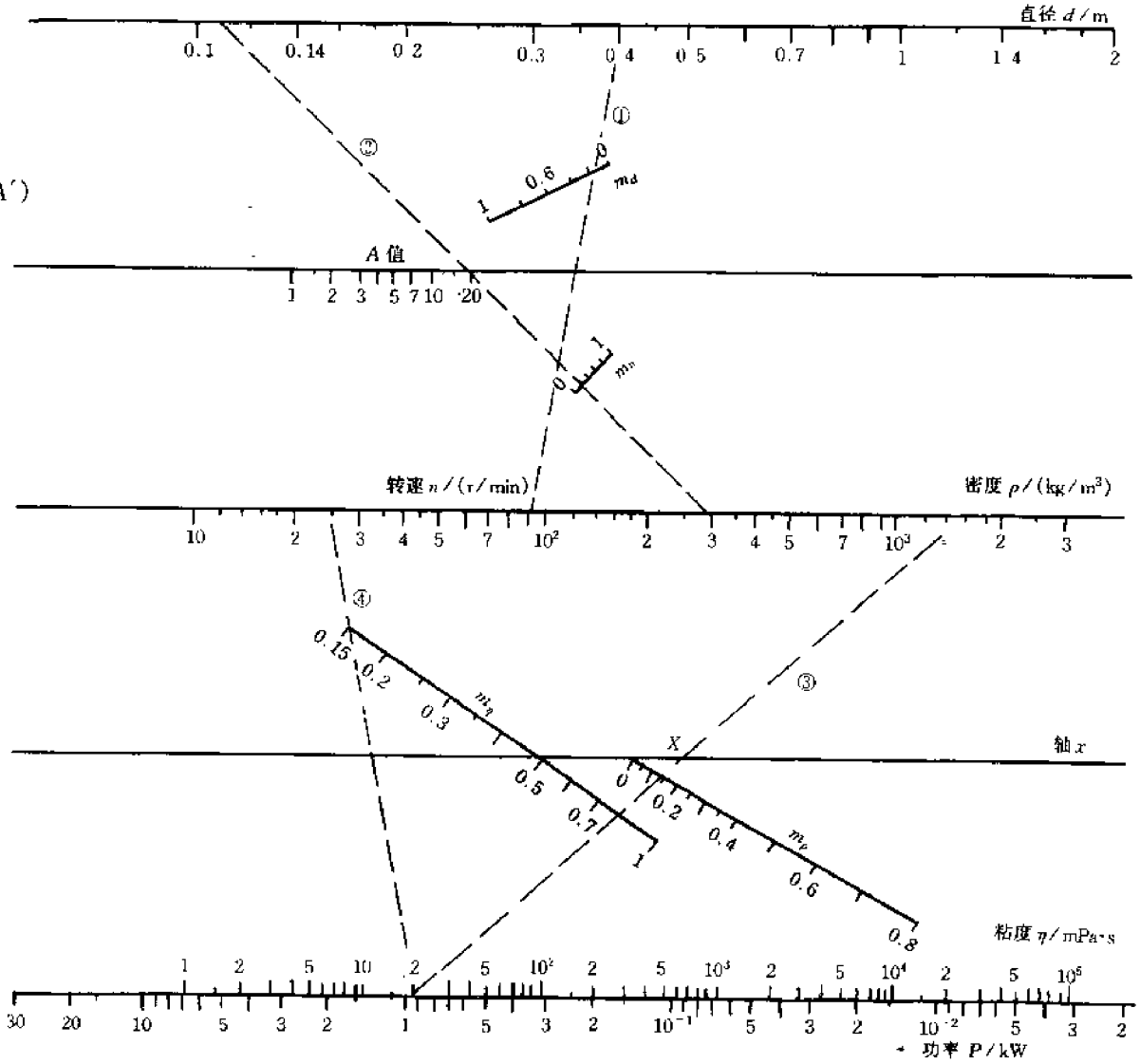


图 9.1　搅拌功率算图

9.2 搅拌雷诺数 Re_M 的计算

图 9.2 依据下式设计绘制：

$$Re_M = 16.67 d^2 n\rho\eta^{-1} \tag{9.3}$$

式中 d——搅拌器直径，m；

n——搅拌器转速，r/min；

ρ——液体密度，kg/m³；

η——液体粘度，mPa·s。

液体的密度 ρ 可用工厂常备仪器比重计测得，也可由有关手册查得，还可用量筒和天平测量。液体的粘度 η 可由有关手册查得，也可用简易粘度测定法，由图 8.8 测定液体粘度算图求得。有关内容见“管路计算”部分。

注：图 9.1 中为便于对照，分别将 m 标注为 m_d、m_n、m_η、m_ρ，以表示 m 与 d、n、η、ρ 等不同参数的搭配计算，其实其取值应是一致的。

【例 9.1】 直径 d400mm 之三旋桨式搅拌器（表 9.1 编号 10），转速 n = 300r/min，设与表 9.1 所示几何特征一致，求运转时轴功率和搅拌雷诺数 Re_M 各为多少？已知液体 ρ 1600kg/m³，η = 20mPa·s。

解：由表 9.1 查 10 号搅拌常数，由于转速高，估计 Re_M 较大，故取 A = 1.19，m = 0.15

用图 9.1 $d0.4$—$m_d0.15$→（$n'90$）（如图 9.1 虚线①所示）

$n300$—$m_n0.15$→（$d'0.11$）（如图 9.1 虚线②所示）

$\rho1600$—$m_\rho0.15$→（$\eta'18$）（如图 9.1 虚线③所示）

$\eta20$—$m_\eta0.15$→（$\rho'25$）（如图 9.1 虚线④所示）

如此继续演算，为保持图面清洁，以下各点无虚线标示，请读者用直尺演示。演算过程中加括号数据表示交点位置，为过渡值不是所求的值。

（$d'0.11$）—（$n'90$）→（$A'3.7$），（$\eta'18$）—（$\rho'25$）→X（在 x 轴上用铅笔记点 X）

（$A'3.7$）—X→（$n''31$），$A1.9$—（$n''31$）→P = 0.45kW

用图 9.2 $n300$—$d0.4$→（$Re'_M8.3\times10^3$）—$\eta20$→（$d'1.6$）（如图 9.2 虚线①、②所示）

（$d'1.6$）—$\rho1600$→$Re_M = 6.5\times10^4$

因 $Re_M = 6.5\times10^4 > 3000$，故 A 和 m 选值适当。

则求得轴功率为 0.45kW，搅拌雷诺数 $Re_M = 6.5\times10^4$。

精确算值：

用式（9.2）

$$P = 9.81\times10^{-3}\times1.19\times0.4^{4.7}(300/60)^{2.85}$$
$$(1600/9.81)^{0.85}(20/9810)^{0.15}$$
$$= 11.7\times0.0135\times98\times76\times0.394\times10^{-3} = 0.461\ (\text{kW})$$

用式（9.3）

$$Re_M = 16.67 d^2 n\rho\eta^{-1} = 16.67\times0.4^2\times300\times1600/20$$
$$= 1.667\times1.6\times3\times1.6\times0.5\times10^4 = 6.4\times10^4$$

利用图 9.1 不但可计算搅拌轴功率，也可在改造原有搅拌器时，将有关参数调整到合理范围内，如下例。

【例 9.2】 若上例其他条件不变，轴功率也不变，只将搅拌器直径 0.4m 改为 0.3m，则转速可由 300r/min 提高到多少？

解：若上例其他条件不变，则算图中的（$A'3.7$）点应不变。

用图 9.1 $d0.3$—$m_d0.15$→（$n'400$）

（$n'400$）—（$A'3.7$）→（d'点）（用铅笔在 d 轴上记点）

（d'点）—$m_n0.15$→n = 480r/min

用法：$n—d\rightarrow(Re'_M)—\eta\rightarrow(d')—\rho\rightarrow Re_M$

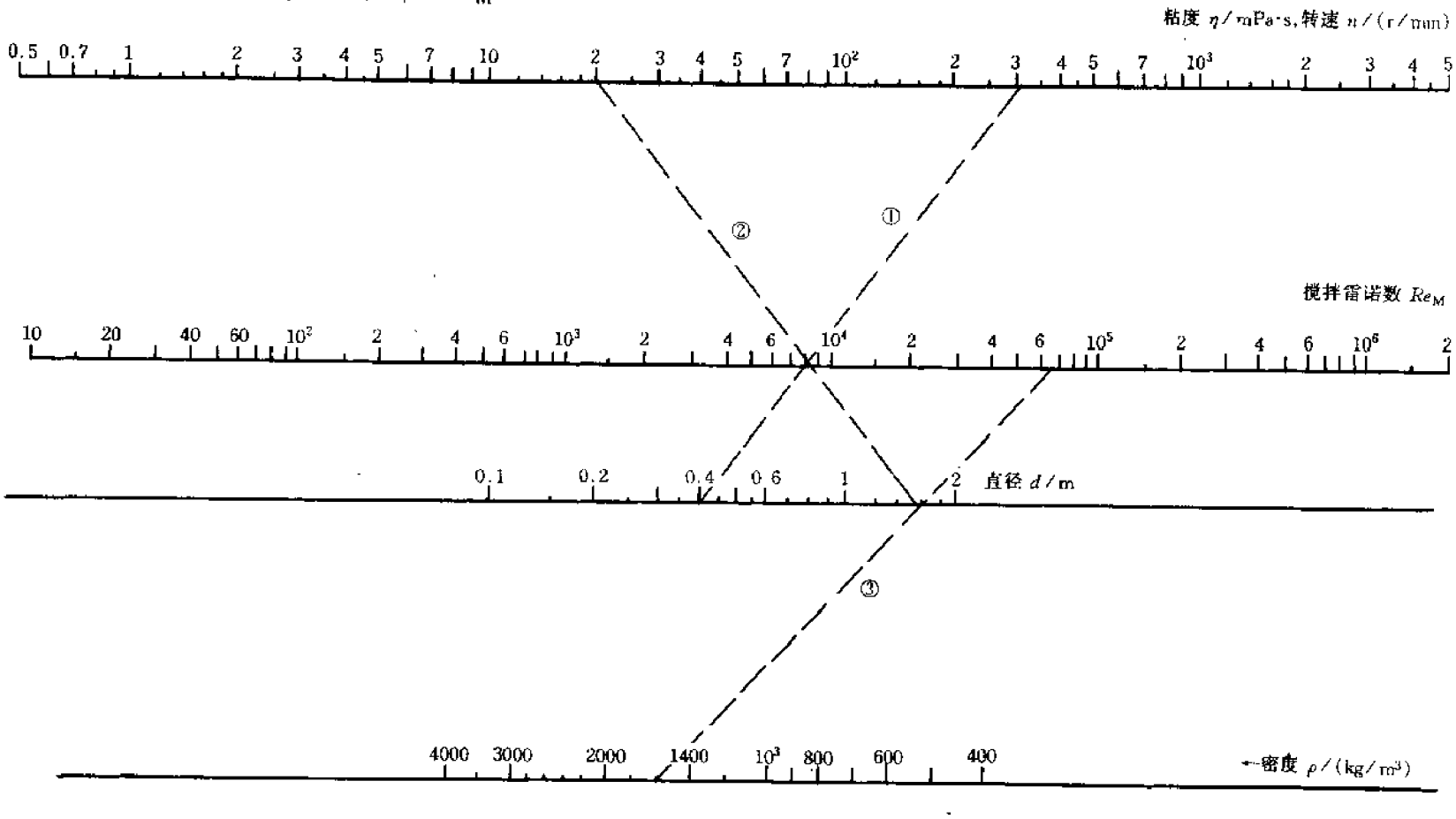


图 9.2　搅拌雷诺数 Re_M 算图

9.3 实际搅拌功率计算

由于实际情况远比理论研究的特定条件复杂，如几何特征的差异、设备内附加装置的不同，材料及桨叶形状的影响等，致使实际消耗功率往往与特定条件下计算结果差异较大，目前只有采取乘以一系列校正系数的方法来计算。计算表达式为：

$$P_{实} = Pf_1f_2f_3\cdots\cdots \tag{9.4}$$

表 9.2 为功率校正系数表，可供读者按实际情况选取，以修正实际消耗功率。

表 9.2 搅拌功率校正系数

序号	实际情况	校正系数 f	备注
f_1	几何特征系数		见图 9.3，图 9.4
f_2	桨叶变为两对	1.5	
f_3	容器与搅拌粗糙	1.1～1.2	
f_4	有温度计管	1.1～1.2	或插入管
f_5	装有挡板	2～3	耗能不合理
f_6	盘管装置	～2	
f_7	平桨叶	1	
	椭圆桨叶	0.65	
	圆桨叶	0.45	
	凹凸桨叶	0.85	
f_8	传动机械效率	1.2～2	
f_9	安全系数	1.2～1.5	

注：若有轴封，摩擦功率的校正系数 f_{10} 1.1，且不小于 0.4kW

【例 9.3】 如【例 9.1】条件，若搅拌器几何特征不变，桨叶变为上下两对，容器与搅拌器较粗糙，还有温度计插入管。求实际搅拌功率？

解：由表 9.2 查得有关修正系数

$$f_2 = 1.5,\ f_3 = 1.1,\ f_4 = 1.2,\ f_8 = 1.5,\ f_9 = 1.4$$

【例 9.1】已求得理论搅拌功率为 0.45kW，由式（9.4），则

$$P_{实} \quad 0.45\times1.5\times1.1\times1.2\times1.5\times1.4 = 1.87\ (\text{kW})$$

（一）桨式、锚式搅拌器特征系数计算

搅拌器几何特征与表 9.1 所列几何特征差异甚大时，应按下列公式求几何特征校正系数 f_1。

桨式搅拌器，在 $D/d = 2.5\sim4$，$H/D = 0.6\sim1.6$，$h/d = 0.2\sim0.33$ 时

$$f_{桨} \quad (D/3d)^{1.1}(H/D)^{0.6}(4h/3d)^{0.3}$$

$$= 0.453D^{0.5}H^{0.6}h^{0.3}d^{-1.4} \tag{9.5}$$

锚式搅拌器，在 $h/d = 0.067$ 左右时

$$f_{锚} = (D/1.1d)^{1.1}(H/D)^{0.6}(15h/d)^{0.3}$$

$$= 2.01D^{0.5}H^{0.6}h^{0.3}d^{-1.4} \tag{9.6}$$

式（9.5），式（9.6）中 D——容器直径，m；

d——搅拌器直径，m；

H——液体深度，m；

h——桨叶高度（是指在垂直运动方向的投影高度），m。

对各种搅拌器，在 $S/D = 0.2\sim0.5$ 时，S（搅拌器距容器底距离）对 f_1 影响不大，可予忽略。

图 9.3 系依据式（9.5），式（9.6）设计绘制。

用法：D—H →(d')—h→(H')—d→$f_{桨}$（或 $f_{锚}$）

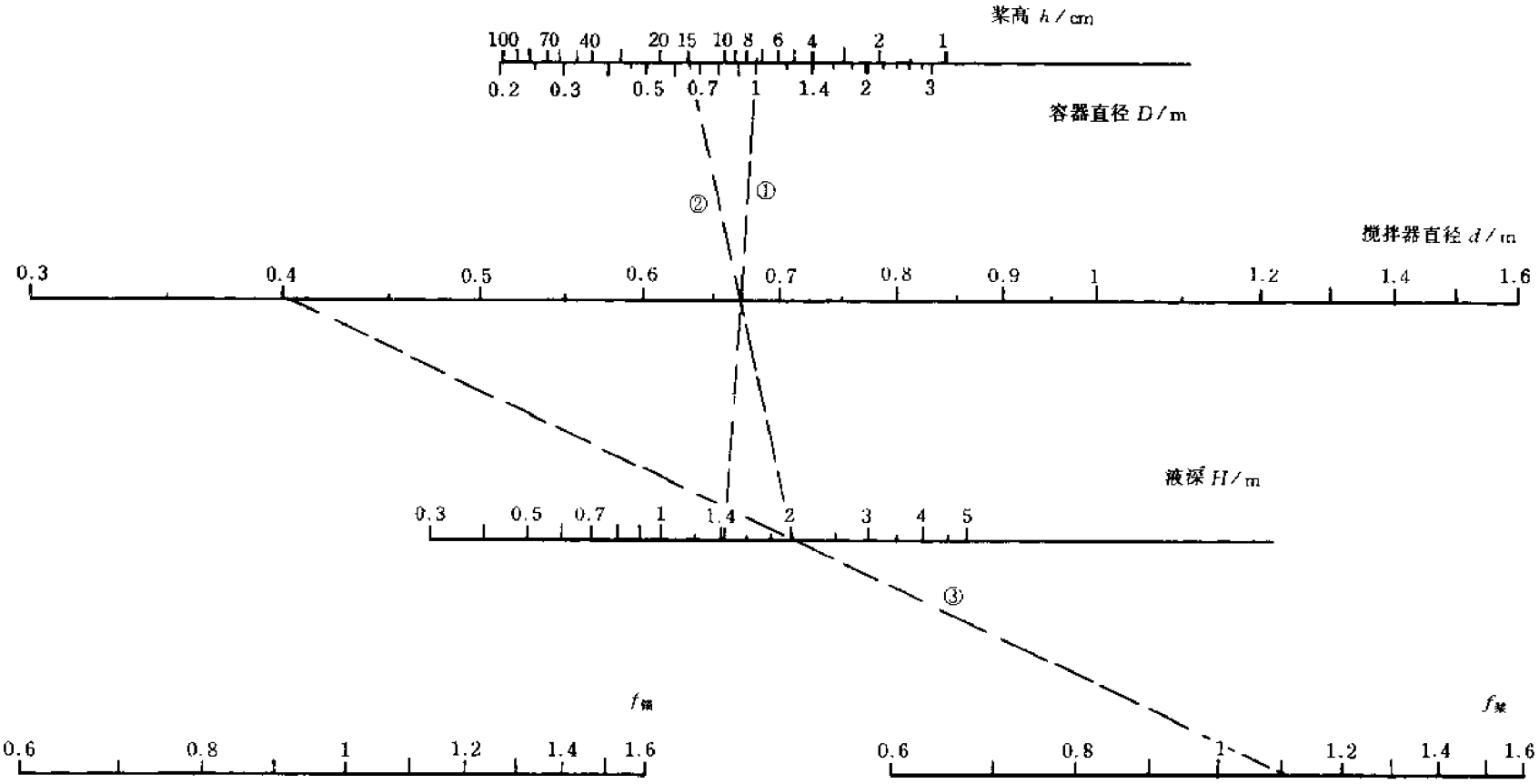


图 9.3　桨式、锚式搅拌器特征系数 f_1 算图

（二）旋桨式、蜗轮式搅拌器特征系数计算

图 9.4 依据下式设计绘制：

$$f_1=(D/3d)^{0.93}(H/D)^{0.6}$$
$$=0.36D^{0.33}H^{0.6}d^{-0.93} \quad (9.7)$$

【例 9.4】 如【例 9.1】，但搅拌器几何特征与表 9.1 不相似，即设备 $D=1$m，液深 $H=1.2$m，求几何特征系数 f_1 和实际功率。

解： 已知旋桨搅拌器直径 $d=0.4$m

用图 9.4 $D1—H1.2\rightarrow X—d0.4—f_1=0.93$（如图虚线①、②所示）

在【例 9.3】中已算出实际功率为 1.9kW，现进一步按 f_1 修正如下：

由式（9.4） $P_{实}=1.9\times0.93=1.767$（kW）

精确算值：

利用式（9.7）

$$f_1=0.36D^{0.33}H^{0.6}d^{-0.93}=0.36\times1^{0.33}\times1.2^{0.6}\times0.4^{-0.93}$$
$$=0.36\times1.116\times2.35=0.94$$

在【例 9.3】中已得出 $P_{实}$ 的精确算值为 1.87kW，故计入 f_1 作进一步修正：

$$P_{实}=1.87\times0.94=1.76\ (\text{kW})$$

【例 9.5】 如【例 9.1】，但搅拌器换为 d400mm 四桨式，且几何特征与表 9.1 不相似，即桨叶高 $h=0.15$m，设备直径 $D=1$m，液深 $H=1.4$m。在实际轴功率 0.45kW 不变的情况下，求搅拌转速变为多少？

解： 用图 9.3 求几何特征系数 f_1

$D1—H1.4\rightarrow(d'=0.67)—h15\rightarrow(H'=2)—d0.4\rightarrow f_{桨}=1.12$（如图 9.3 虚线①、②、③所示）

由式(9.4)，已知实际轴功率 $P_{实}=0.45$kW，反过来计算理论功率

$$P=P_{实}/f_1=0.45/1.12=0.4\ (\text{kW})$$

由表 9.1 查得四桨式搅拌器常数 $A=8.52$，$m=0.2$

用图 9.1 $P0.4—A8.52\rightarrow(n''56)$

$\rho1600—m_\rho0.2\rightarrow(\eta'30)$，$\eta20—m_\eta0.2\rightarrow(\rho'33)$

$(\rho'33)—(\eta'30)\rightarrow X$ 点，$(n''56)—X\rightarrow(A')$

$d0.4—m_d0.2\rightarrow(n'85)$，$(n'85)—(A')\rightarrow(d'0.24)$

$(d'0.24)—m_n0.2\rightarrow n=170$r/min

精确算值：将有关值代入式（9.2）

$$0.4=9.81\times10^{3}\times8.52\times0.4^{4.6}\times(n/60)^{2.8}\times(1600/9.81)^{0.8}\times(20/9810)^{0.2}$$
$$=9.81\times8.52\times1.48\times5.89\times2.9\times10^{-5}\times60^{-2.8}n^{2.8}$$
$$=2.11\times10^{-2}\times1.05\times10^{5}n^{2.8}=2.22\times10^{-7}n^{2.8}$$
$$n=(0.4/2.22\times10^{7})^{1/2.8}=(1.8\times10^{6})^{0.357}=171\ (\text{r/min})$$

将有关值代入式（9.5）

$$f_{桨}=0.453D^{0.5}H^{0.6}h^{0.3}d^{-1.4}$$
$$=0.453\times1^{0.5}\times1.4^{0.6}\times0.15^{0.3}\times0.4^{-1.4}$$
$$=0.453\times1.224\times0.566\times3.6=1.13$$

用法：$D—H→X—d→f_1$

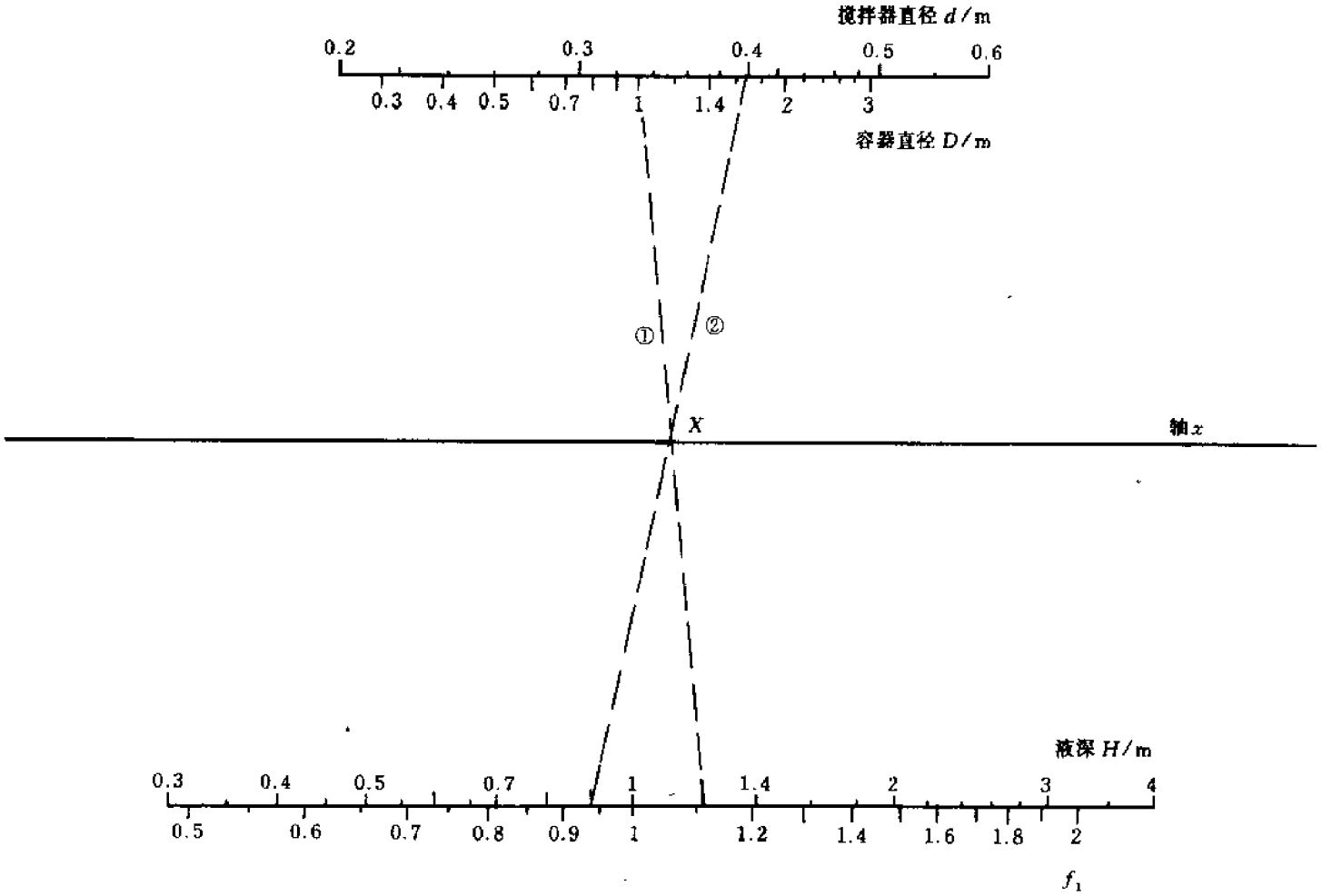


图 9.4　旋桨式、蜗轮式搅拌器特征系数 f_1 算图

10. 电 工 计 算

水、电、汽工程是化工、炼油、制药、纺织等各类工厂不可或缺的公用工程，尤其电气工程往往是某些工厂的主要动力来源。电气也与人们生活息息相关，电工计算是普遍受到重视的。

10.1 电流、电压、电阻换算

在电路中，电流与电路的电压成正比，与电路的电阻成反比。这就是欧姆定律，其表达式为：

$$I = U/R \qquad (10.1)$$

式中 U——电路两端电压，V（伏特）；

R——电路总电阻，Ω（欧姆）；

I——电流强度，A（安培）。

图 10.1 即依据式（10.1）设计绘制。

只要知道任何两个参数，用此算图就可方便地算出电流强度、电压或电阻值。

【例 10.1】 电炉丝电阻 60Ω，接在 220V 电源上，求通过电炉丝的电流是多少？

解： 用图 10.1 $R60—U220→I = 3.6A$（如图 10.1 虚线所示）

【例 10.2】 有一灯泡量得其电阻为 4Ω，通过电流 9A，求灯泡两端的电压是多少？

解： 用图 10.1 $R4—I9→U = 36V$

【例 10.3】 已知 220V 灯泡，通过电流 0.28A，求灯泡电阻多大？

解： 用图 10.1 $I2.8—U220→R = 78.6 \times 10 = 786\Omega$

因 I 0.28 超出算图范围，故用 $I2.8$ 求值后再扩大 10 倍。

用法：$I—R→U$，$I—U→R$ 或 $U—R→I$

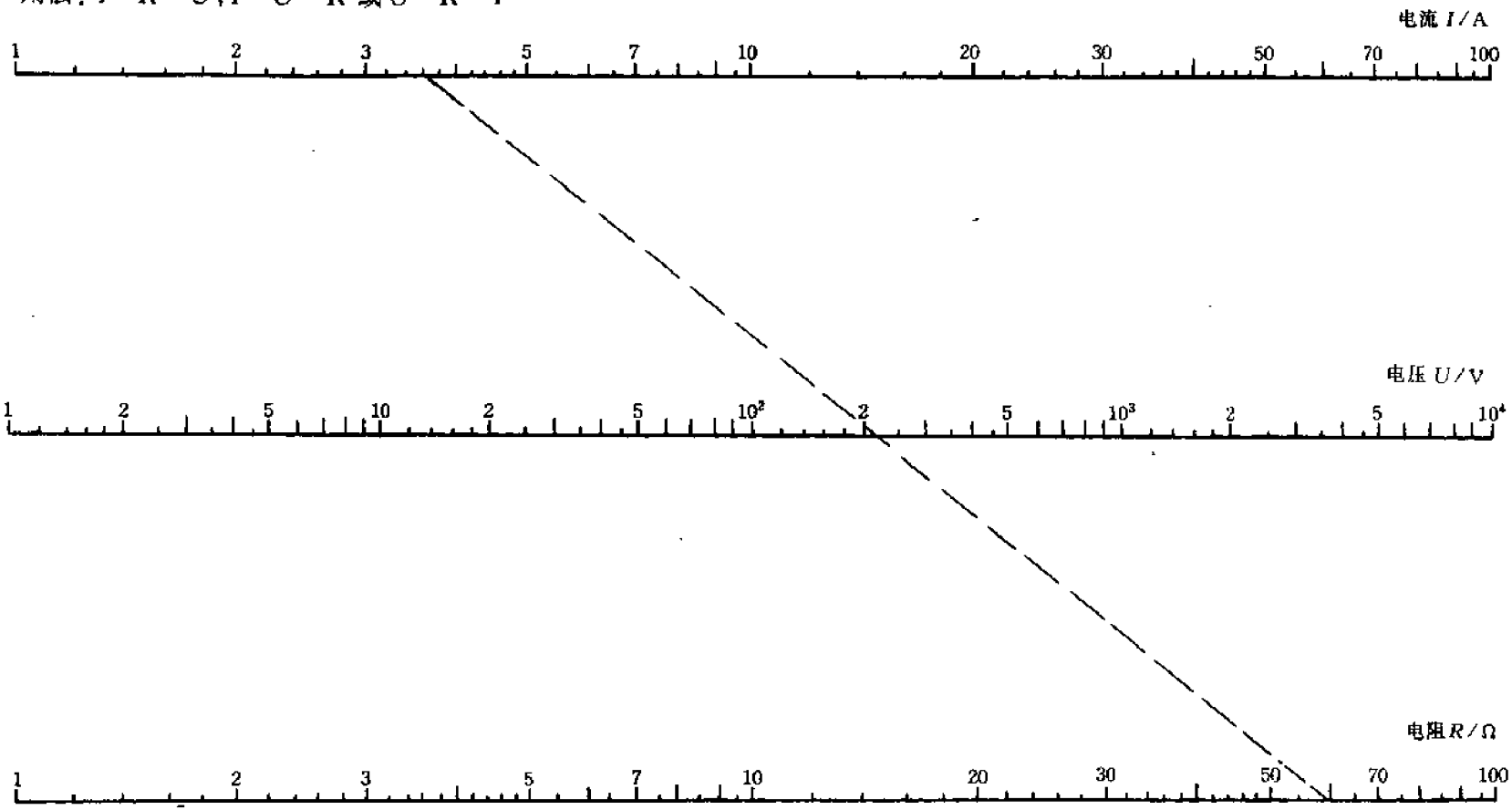


图 10.1　电流、电压、电阻换算图

10.2 并联总电阻计算

电阻串联时的总电阻等于串联的各电阻值相加，电阻并联时的总电阻的倒数等于各个并联电阻值的倒数相加，如下列计算式：

串联电阻　　$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots\cdots$

并联电阻　　$R^{-1} = R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1} + \cdots\cdots$　　(10.2)

式中　　R——总电阻值，Ω；

R_1、R_2、R_3——各分电阻值，Ω。

图 10.2 即依据式（10.2）设计绘制。

用法说明：R_1 和 R_3 的相应值连线与 R_2 轴的交点值，为 R_1 和 R_3 并联电阻值，记作 R_1—R_3→R_2；交点 R_2 和 R_4 的相应值连线与 R_3 轴的交点值，为 R_1，R_3，R_4 电阻的并联电阻值，记作 R_2—R_4→R_3。这样来回连续作下去，可求出多个电阻并联的总电阻值来。电阻单位可按 10 的倍率灵活掌握。

【例 10.4】　电阻分别为 97Ω、60Ω、48Ω 的电炉丝，并联在电路上，其总电阻为多少 Ω?

解：用图 10.2　$R_1$97—$R_3$60→R_2 = 37Ω—$R_4$48→R_3 = 21Ω（如图 10.2 虚线①、②所示）

即三电炉并联后总电阻为 21Ω。

精确算值：$R_2 = (97^{-1} + 60^{-1})^{-1} = (0.0103 + 0.0167)^{-1}$

$= 37.07(\Omega)$

$R_3 = (37.07^{-1} + 48^{-1})^{-1} = (0.027 + 0.0208)^{-1}$

$= 20.92(\Omega)$

用法：R_1—R_3→R_2—R_4→R_3，……

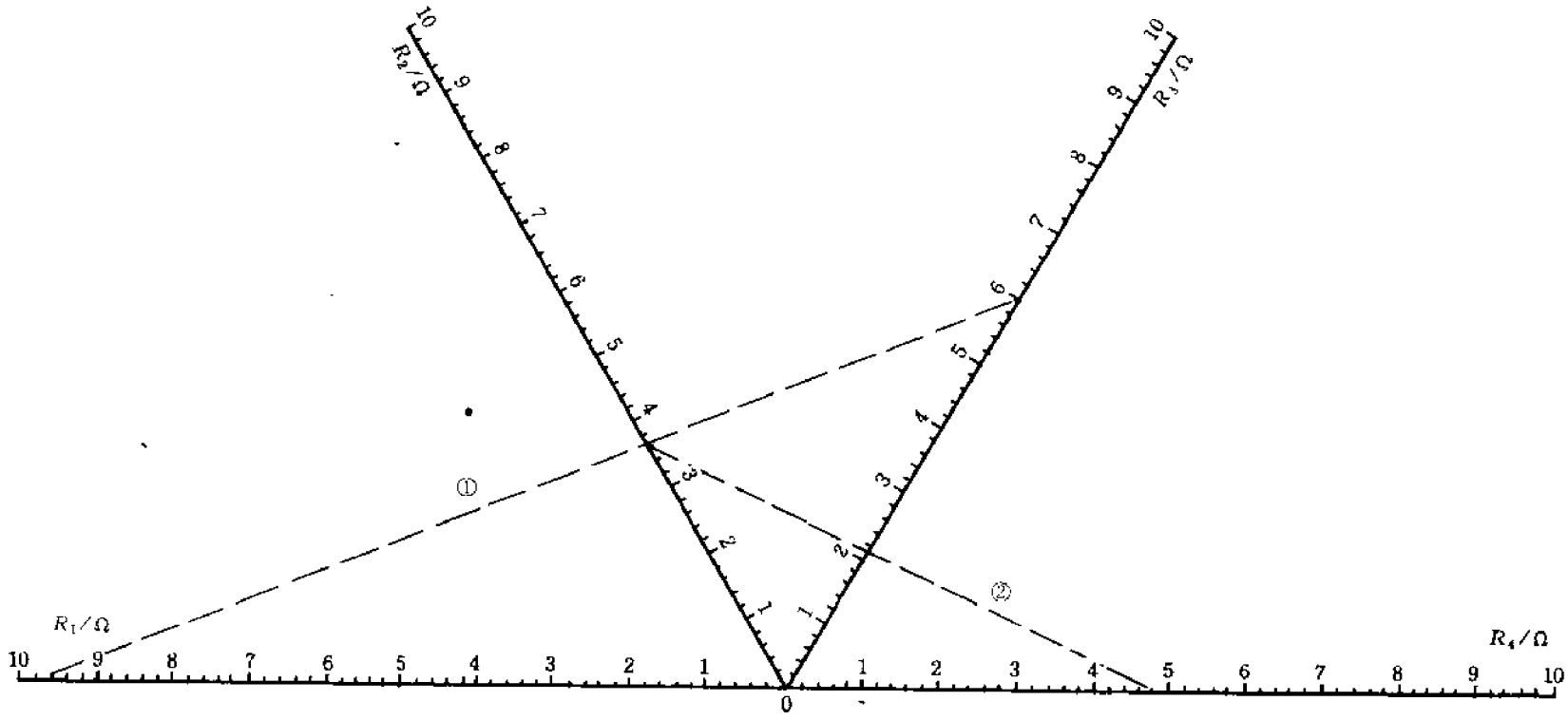


图 10.2　并联总电阻算图

10.3 电流、电压和电功率计算

电功率与电路两端电压及电路中的电流强度成正比，电功率的计算式为：

$$P = 10^{-3}UI \quad (\text{kW}) \qquad (10.3)$$

式中 U——电路两端的电压，V；

I——电流强度，A。

图 10.3 即依据式（10.3）设计绘制。

【例 10.5】 将前例三根电炉丝接在 220V 电源上，求每根电炉丝的电功率。

解：用图 10.1，求通过各电炉丝的电流

$R97$—$U220$→$I = 2.27$A

$R60$—$U220$→$I = 3.67$A

$R48$—$U220$→$I = 4.58$A

用图 10.3，求各电炉丝的功率

$I2.27$—$U220$→$P = 0.5$kW（如图 10.3 虚线所示）

$I3.67$—$U220$→$P = 0.8$kW

$I4.58$—$U220$→$P = 1$kW

【例 10.6】 将前例三根电炉丝串联或并联在 220V 电路上，求其串联或并联后的总功率。

解：串联总电阻 $R = 97 + 60 + 48 = 205$（Ω）

并联总电阻在【例 10.4】中已算出为 21Ω。

用图 10.1，求通过电流

串联 $R20.5$—$U220$→$I = 10.7 \times 10^{-1} = 1.07$（A）

并联 $R21$—$U220$→$I = 10.4$A

用图 10.3 求三根电炉丝总功率

串联 $I1.07$—$U220$→$P = 0.235$kW

并联 $I10.4$—$U220$→$P = 2.3$kW

由例可见，并联电炉丝功率等于三个电炉丝单独功率之和。

即： $0.5 + 0.8 + 1 = 2.3$（kW） （见【例 10.5】）

用法：$I—U→P$

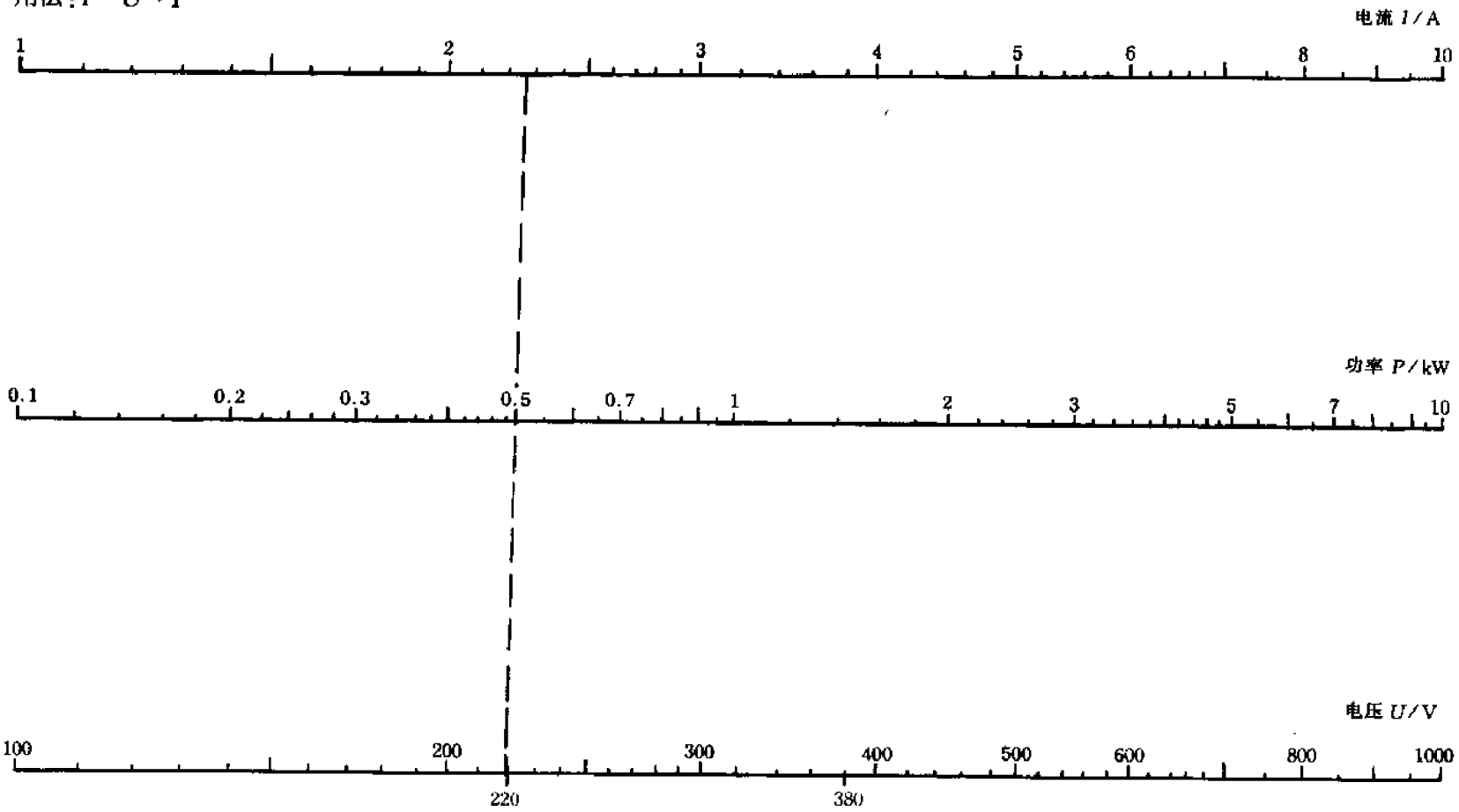


图 10.3　电流、电压和电功率算图

10.4 交流电功率计算

交流电功率计算式为：

单相　　$P = UI\cos\varphi = 0.22I\cos\varphi$　（kW）　　（10.4）

三相　　$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi = 0.66I\cos\varphi$　（kW）　　（10.5）

式中　U——电压，单相为220V，三相为380V；

I——电流强度，A；

$\cos\varphi$——功率因数，电动机为0.8左右，白炽灯和电炉丝为1。

注：式中交流电功率值为消耗（或输入）功率。计算交流电动机额定（或输出）功率时，应乘以电动机效率的80%－90%。

图10.4即依据式（10.4）、式（10.5）设计绘制。

【例10.7】　5A的单相电表，额定电压220V，求电表的额定功率是多少？若装60W灯泡，可装多少只？

解：用图10.4　$I_1$5—$\cos\varphi$1→P=1.1kW

可装60W灯泡数$1.1\times10^3/60=18$（只）

【例10.8】　三相交流电动机，装在380V电源上，电流为44A，查得电动机功率因数（$\cos\varphi$）为0.85，其效率为89%，求电动机消耗功率和额定功率？

解：用图10.4

消耗功率　$I_3$44—$\cos\varphi$0.85→P=24.7kW（如图10.4虚线所示）

额定功率　　$24.7\times0.89=22$（kW）

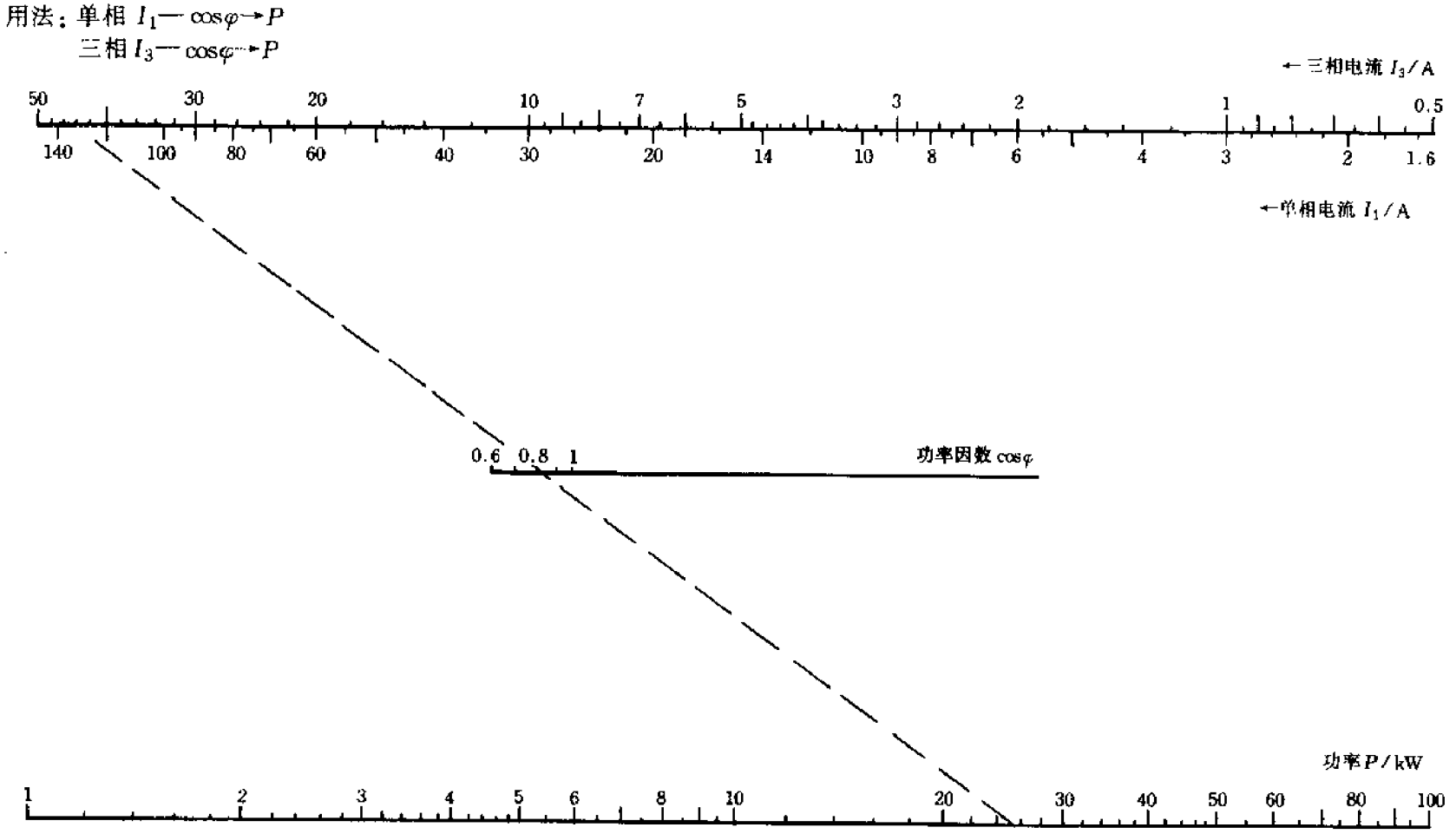


图 10.4　交流电功率算图

10.5 电热器功率和热量计算

电流通过导体产生的热量，与电流强度的平方、导体的电阻及通电时间成正比，这就是焦耳定律。电热量计算公式为：

$$Q = I^2Rt \quad (J)$$

利用电流热效应，可制造各种电热器用于产生热量，同时也限定了电气设备的额定值。根据欧姆定律和功热当量可将上式化为：

$$Q = 0.239U^2R^{-1}t \quad (cal)$$

对于220V单相电热器，还可化简为：

$$Q = 0.239Pt = 11.57R^{-1}t \quad (kcal) \qquad (10.6)$$

式中 P——电功率，$P = 10^{-3}U^2R^{-1} = 48.4R^{-1}$，kW；

R——电热器电阻，Ω；

t——通电时间，s；

Q——电热量，kcal或kJ（1kcal=4.186kJ）。

图10.5系依据式（10.6）设计绘制。

【例10.9】 220V电热棒，量出其电阻为16.2Ω，求电热棒的功率是多少？每小时可产生多少热量？

解：用图10.5 $R16.2 \rightarrow P = 3kW$（如图10.5虚线①所示）

$P3—t1 \rightarrow Q = 1.08 \times 10^4 kJ = 2.58 \times 10^3 kcal$（如图10.5虚线②所示）

精确算值：$P = 48.4R^{-1} = 48.4 \times 16.2^{-1} = 2.99$（kW）

$$Q = 11.57R^{-1}t = 11.57 \times 16.2^{-1} \times 3600$$

$$= 2571 \text{（kcal）} = 10763 \text{（kJ）}$$

【例10.10】 有机热载体120kg，平均比热容为0.52 kcal/kg·℃用总功率36kW，热效率80%的电加热器将热载体从20℃加热至200℃，需多长时间？

解：计算所需热量

$$120 \times 0.52 \times (200 - 20)/0.8 = 1.4 \times 10^4 (kcal)$$

用图10.5 $P36—Q1.4 \times 10^4$（kcal）$\rightarrow t = 1630s = 0.45h$

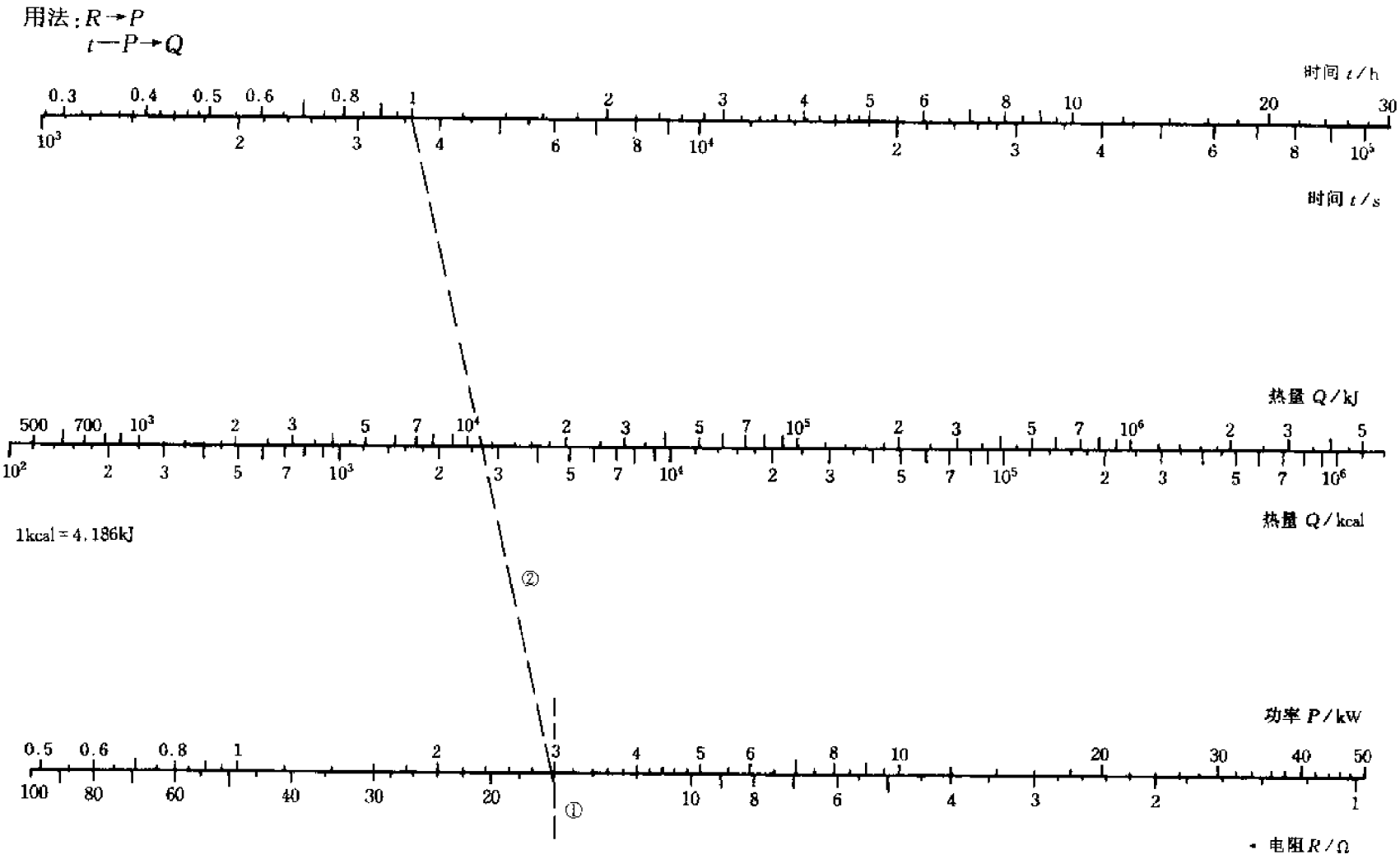


图 10.5　电热器功率和热量算图

10.6 导线允许负载电流的计算（一）

小截面（1～10mm²）导线允许负载电流的近似算式：

$$I = fA \tag{10.7}$$

式中 f——材质负载系数，铝芯线 $f_1=4.8$，铜芯线 $f_2=6$；

A——线芯截面积，mm²。

图 10.6 即依据式（10.7）设计绘制，图中 f_1，f_2 为固定的两点。

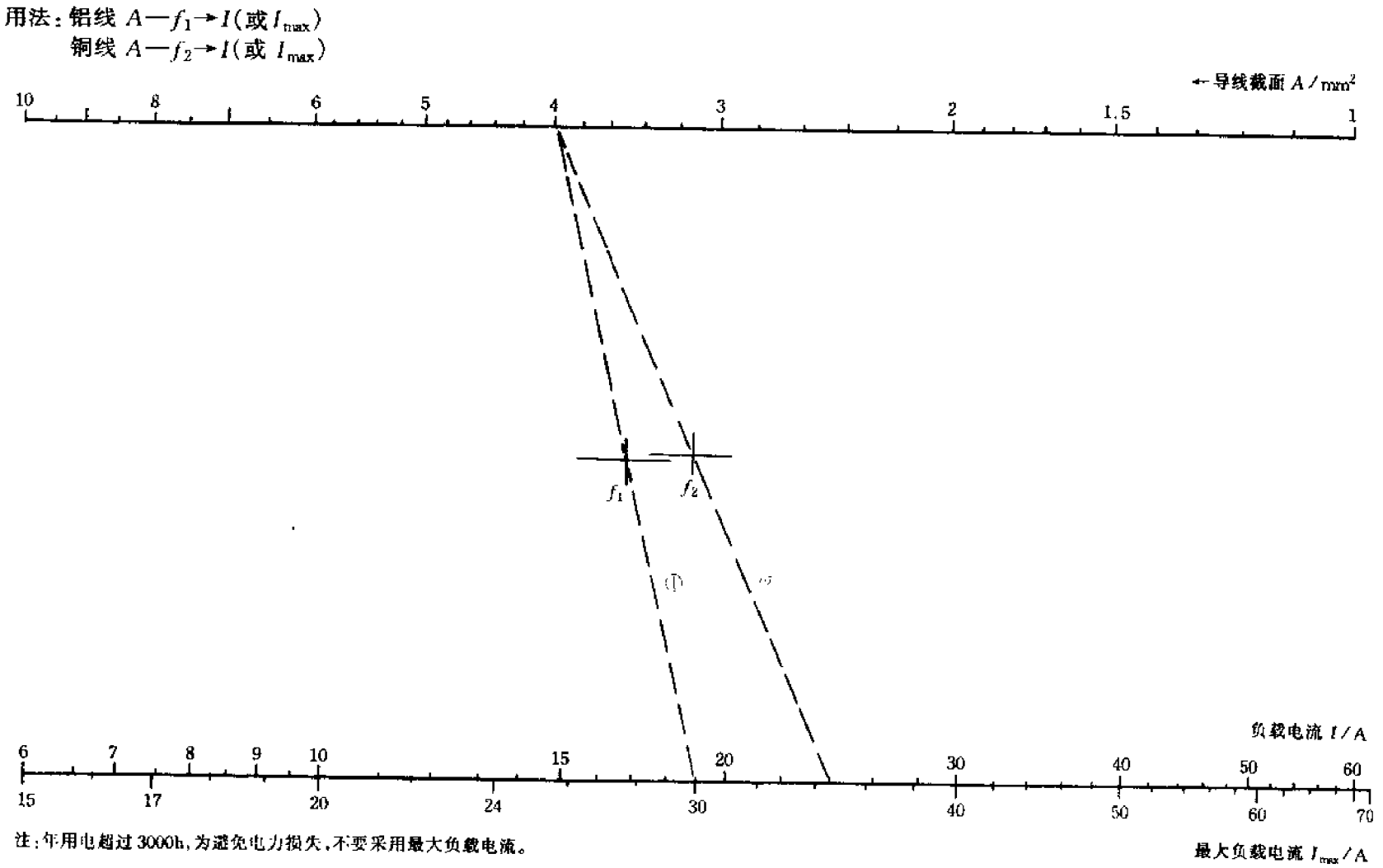
【例 10.11】 求截面各为 4mm² 的铝、铜导线允许负载电流分别是多少？当电压为 220V 时，求允许输送功率。

解： 用图 10.6 $A4$—f_1→$I=19A$，最大负载 $I_{max}=30A$（如图 10.6 虚线①所示）

$A4$—f_2→$I=24A$，最大负载 $I_{max}=35A$（如图 10.6 虚线②所示）

用图 10.3 $I19$—$U220$→$P=4.2kW$

$I24$—$U220$→$P=5.2kW$



注：年用电超过 3000h，为避免电力损失，不要采用最大负载电流。

图 10.6　导线允许负载电流算图（一）

10.7 导线允许负载电流的计算（二）

大截面（10～100mm²）导线允许负载电流的近似算式：

$$I = 0.2fA^{0.7} \qquad (10.8)$$

式中 f——材质负载系数，铝芯线 $f_1 = 48$，铜芯线 $f_2 = 60$；

A——线芯截面积，mm²。

图 10.7 即依据式（10.8）设计绘制，图中 f_1、f_2 为固定的两点。

【例 10.12】 输送三相 380V 的电功率 80kW，选铝线或铜线的截面积分别是多少为宜？

解：用图 10.4，求导线通过电流

$P8$—$\cos\varphi 1$→$I_3 = 12 \times 10 = 120$A（因 $P80$ 超出算图范围，故用 $P8$ 得值后扩大 10 倍）

用图 10.7，求导线截面积

铝线 $I120$—f_1→$A = 38$mm²（如图 10.7 虚线①所示）

铜线 $I120$—f_2→$A = 27$mm²（如图 10.7 虚线②所示）

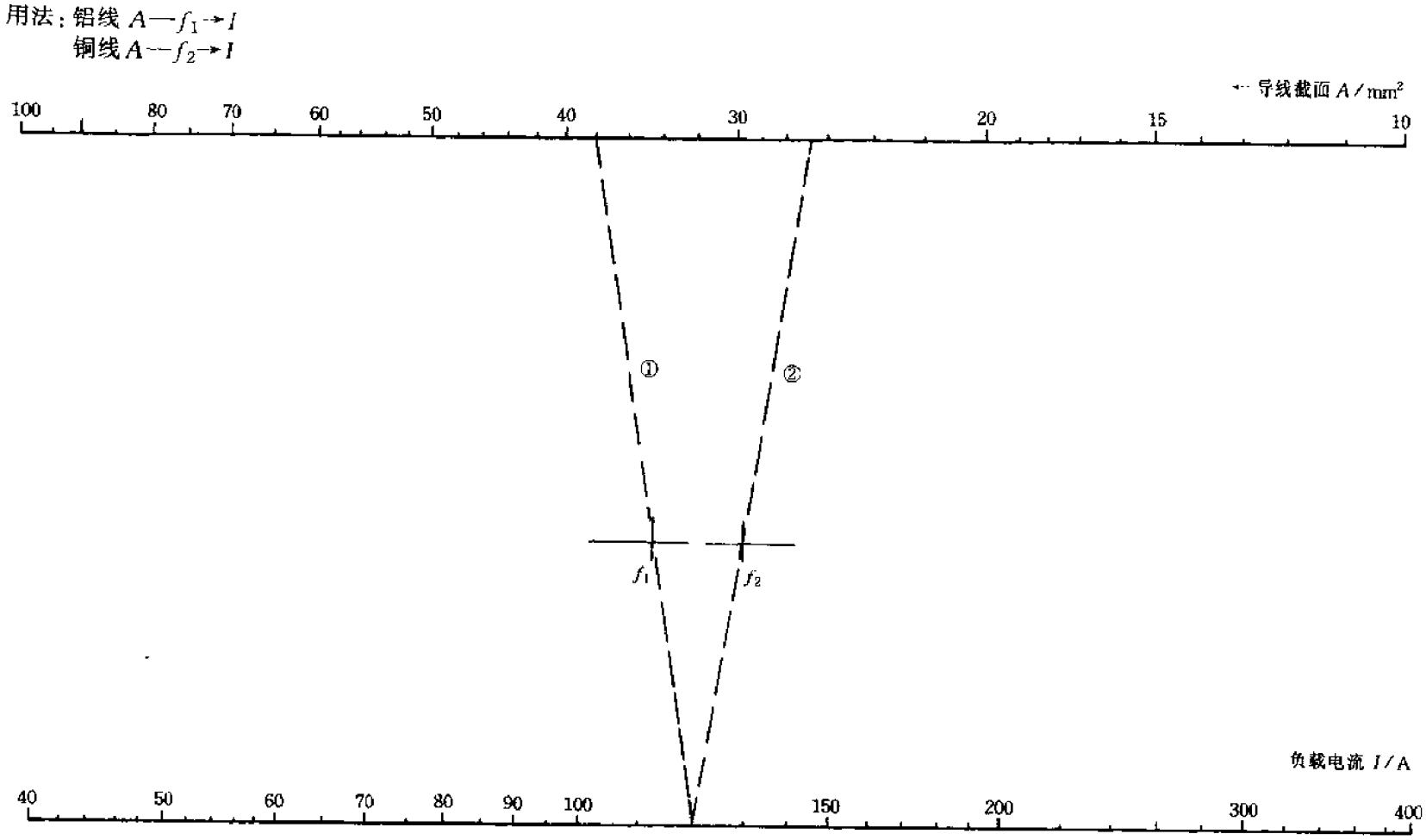


图 10.7　导线允许负载电流算图（二）

10.8 绞线和单线截面计算

导线截面的计算式为：

单线 $$A_1=\frac{\pi}{4}d^2 \tag{10.9}$$

绞线 $$A_n=\frac{\pi}{4}d^2n \tag{10.10}$$

式中 d——单线直径，mm；

n——绞线根数，一般为 7、19、37、61 根，也可见 5、6、12、16、24、28、32、49、84、98、133、189 等根数。

图 10.8 系依据式（10.9）、式（10.10）设计绘制。

【例 10.13】 有一单线直径为 2.24mm，求其截面积是多少？

解： 用图 10.8 $d2.24\rightarrow A_1=4\text{mm}^2$

【例 10.14】 有一股 37 根的绞线，已知单根导线的直线 $d=1.8$mm，求单线和绞线的截面。

解： 用图 10.8 $d1.8—A_1=2.52\text{mm}^2$（如图 10.8 虚线所示）

$d1.8—n37\rightarrow A_n=94\text{mm}^2$（如图 10.8 虚线所示）

精确算值：$A_1=\frac{\pi}{4}\times1.8^2=2.55\ (\text{mm}^2)$

$A_n=2.55\times37=94.15\ (\text{mm}^2)$

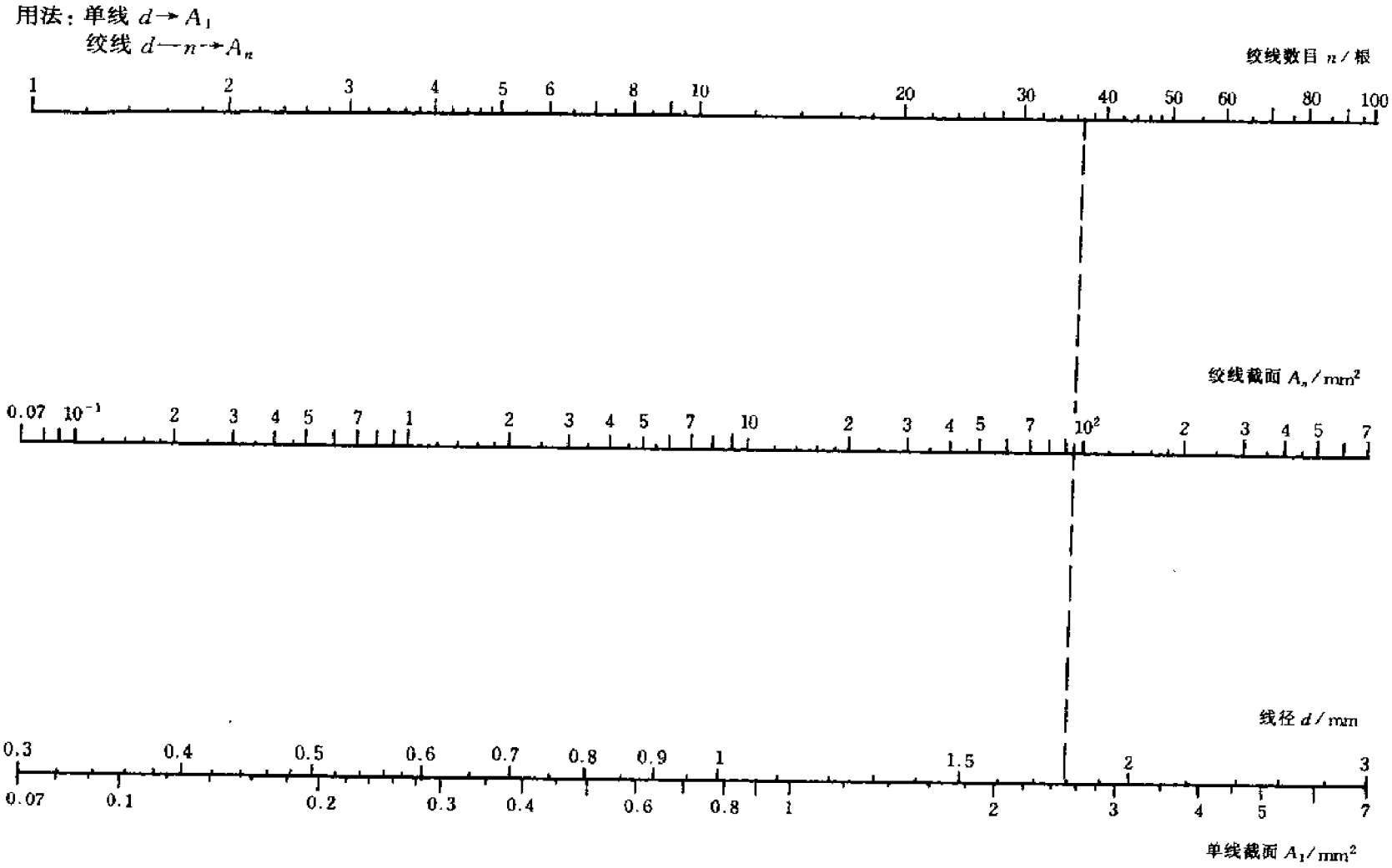


图 10.8　绞线和单线截面算图

10.9 保险丝额定电流计算

常用低压保险丝额定电流近似算式为：

$$I = fd^{1.5} \qquad (10.11)$$

式中 f——材质系数，铅锡保险丝 $f_1 = 5.2$，铜保险丝 $f_2 = 38$；

d——保险丝直径，mm。

图 10.9 即依据式（10.11）设计绘制，图中 f_1、f_2 为固定的两点，分别代表铅锡保险丝和铜保险丝。选择保险丝应注意：

(1) 保险丝的额定电流应大于全部电器的工作电流，并不应大于电表的额定电流。

(2) 电动机起动电流较大，保险丝额定电流应选到 1.5～2.5 倍。

(3) 铅锡保险丝的熔断电流为 $1.5I$，铜保险丝的熔断电流为 $2I$。

【例 10.15】 额定电流 5A 的单相电表，应选多大直径的铅锡保险丝？

解：选保险丝额定电流为 4.3A（<5A）

用图 10.9 $I4.3—f_1—d = 0.81$mm

则选铅锡保险丝的直径 0.81mm。

【例 10.16】 工作电压 380V、额定功率 7kW 的电动机，应选多大直径的保险丝？

解：计算电机额定电流，取功率因数 $\cos\varphi = 0.8$，效率 0.9，则电机输入功率为 $7/0.9 = 7.8$（kW）

用图 10.4 $P7.8—\cos\varphi 0.8 \rightarrow I = 14.4$A

保险丝额定电流以 2 倍计算，即 $14.4 \times 2 = 28.8$（A）

用图 10.9，如用铅锡保险丝 $I28.8—f_1—d = 3.2$mm（如图 10.9 虚线①所示）

如用铜保险丝 $I28.8—f_2—d = 0.83$mm（如图 10.9 虚线②所示）

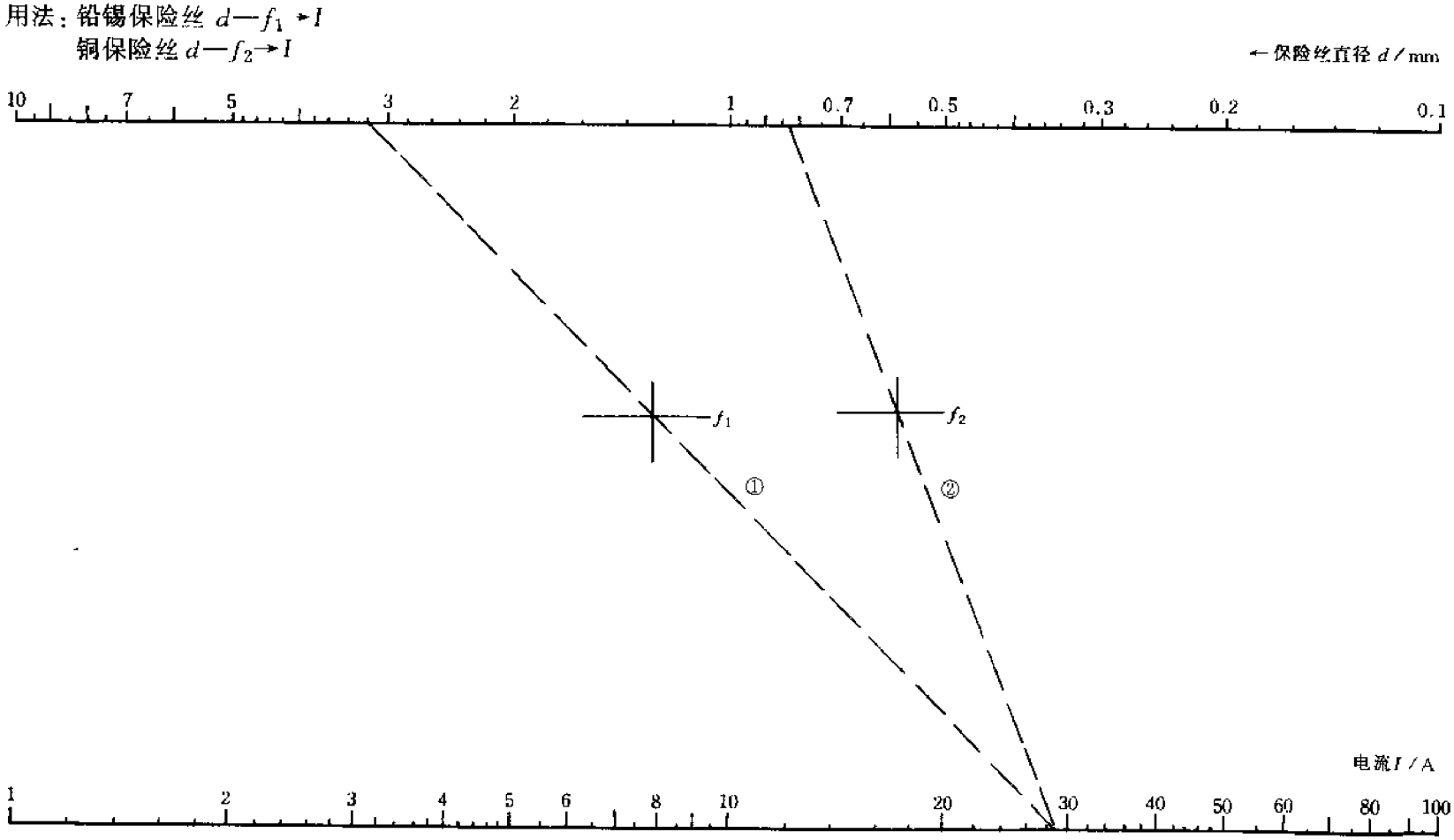


图 10.9　保险丝额定电流算图

10.10 电能的计算

一度电的意义是功率 1kW 电器用电一小时所消耗的电能，也就是 1 千瓦·小时（1kW·h）。电度的计算式为：

$$W = Pt \quad (\text{kW·h}) \tag{10.12}$$

式中 P——电器输入功率，kW；

t——电器用电时间，h。

图 10.10 即依据式（10.12）设计绘制。

【例 10.17】 25W 电灯泡，每天用电 3 小时，问一个月用多少度电？

解：总用电时间为 $3\times30=90$（h）

用图 10.10 $t90$—$P25$→$W=2.25\times10^{3}\times10^{-3}$kW·h=2.25 度

因 $P25$kW 比 $P25$W 大 10^{3} 倍，故所求得的数 $\times10^{-3}$ 即得答案。

【例 10.18】 功率 40kW 的电机，效率为 0.9，满载时一昼夜 24h 用多少电？

解：电机消耗功率为 40/0.9=44.4（kW）

用图 10.10 $t24$—$P44.4$→$W=1070$ 度（如图 10.10 虚线所示）

精确算值：$W=Pt=44.4\times24=1065.6$kW·h（度）

用法：$t—P→W$

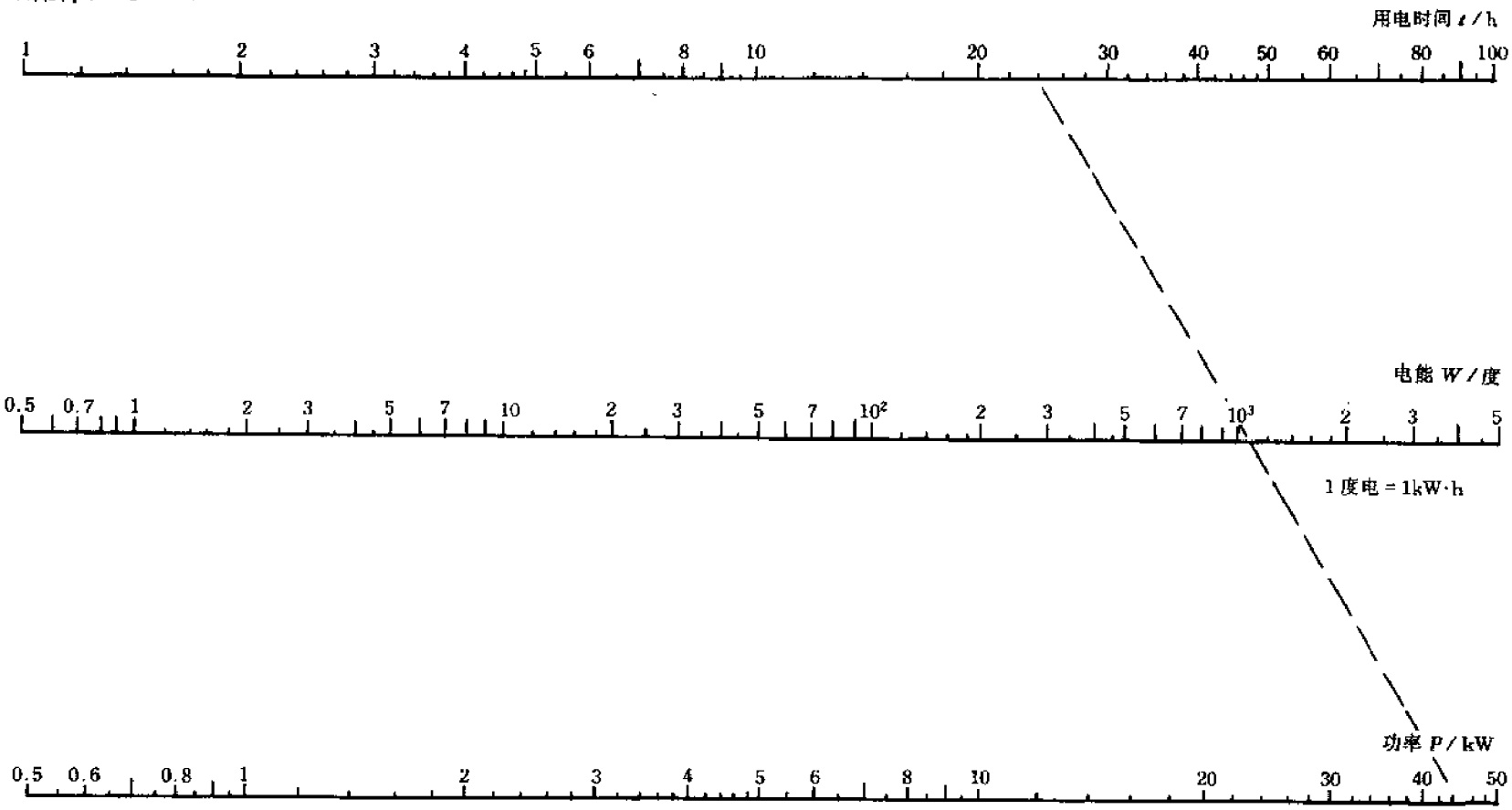


图 10.10　电能算图

参 考 文 献

1 上海医药设计院编．化工工艺设计手册（上、下册）．北京：化学工业出版社，1986

2 上海医药设计院编．化工设备设计手册·材料与零部件（上）．上海：上海人民出版社，1973

3 A.Γ. 卡萨特金著．化工过程及设备（上册）．北京：化学工业出版社，1958

4 A.Γ. 卡萨特金著．化工过程及设备习题和例题．北京：化学工业出版社，1958

5 医药设计情报中心站．医药设计，1981，5

6 医药设计情报中心站．医药农药工业设计，1978，6

7 上海五金采购供应站编．实用五金手册．上海：上海科学技术出版社，1967

8 金鸿章编．基本建设材料手册．北京：国防工业出版社，1964

9 周文森等编．简明电工手册．北京：机械工业出版社，1981

10 罗河著．图算原理．上海：中国科学图书仪器公司出版，1953

11 潘文涛编著．实用算图法．北京：冶金工业出版社，1985