

暖气工程

(修訂本)

陆今鐘 著



商务印书馆

目 录

第一章 应用原理1

第一节 热及蒸汽的性质1

1. 热 2. 热的計量 3. 溫度的單位 4. 水銀溫度計的界限
5. 絕對溫度 6. 比热 7. 膨脹 8. 膨脹的压力系数 9. 热
力学的第一定律 10. 蒸汽的形成 11. 过热蒸汽 12. 飽和
蒸汽 13. 蒸汽的性质 14. 液体的热 15. 潜热

第二节 热的傳播9

16. 热傳播的方法 17. 輻射 18. 傳导 19. 对流

第三节 房屋的散热14

20. 牆的傳热 21. 各种建築材料的导热系数 22. 傳热系数

第二章 暖气設計32

第一节 一般步驟32

23. 一般步驟

第二节 每一步驟的設計33

24. 室外气候情况設計 25. 室內溫度設計 26. 溫度測量 27. 无
暖气地位的溫度 28. 气楼溫度 29. 地溫度 30. 地下層溫
度及失热量 31. 无地下層房屋的地板失热量 32. 各散热面的
失热量 33. 渗入空气的失热量 34. 空气調換次数計算法

第三章 燃燒及鍋爐70

第一节 燃料及燃燒70

35. 煤的分类 36. 燃燒的基本原理 37. 燃燒的热 38. 灰
与溶滓 39. 空气的需要 40. 过量空气 41. 人工加煤
42. 燒煤器具 43. 通風的需要 44. 烟灰

第二节 暖气鍋爐79

45. 构造 46. 暖气鍋爐的式样 47. 鑄鉄鍋爐 48. 鋼板鍋

爐	49. 爐膛設計	50. 受熱面	51. 傳熱率	52. 設計暖氣鍋爐房的規則	53. 鍋爐效率	54. 鍋爐額定率	55. 鍋爐的選擇	56. 選擇受熱面及爐篦面積的根據	57. 鍋爐房的地位	58. 鍋爐的裝置及配件	59. 鍋爐的障礙	60. 暖氣鍋爐生火法
第三節	煙囪及通風的計算.....99											
61. 通風的定義	62. 理論上的通風	63. 可用通風	64. 煙囪大小的計算法									
第四章	各種暖氣方法及用具.....109											
第一節	蒸汽暖氣法及管子的排列.....109											
65. 種類	66. 單管式	67. 雙管式	68. 鍋爐連接管	69. 滴水管								
第二節	蒸汽暖氣法及管子口徑的計算.....127											
70. 管子功用	71. 決定口徑的因素	72. 單管重力回水式與單管蒸汽式	73. 雙管高壓式	74. 雙管低壓式與雙管蒸汽式	75. 雙管真空式	76. 鍋爐連接管的口徑						
第三節	蒸汽暖氣的用具.....146											
77. 凝結水泵	78. 真空水泵	79. 阻汽具	80. 減壓閥	81. 伸縮節								
第四節	熱水暖氣法及其水管系統.....164											
82. 分類	83. 可用循環水頭	84. 摩擦損失	85. 水管系統設計	86. 脹水箱	87. 裝置綱目	88. 分區						
第五節	散熱器.....194											
89. 種類	90. 熱的發散量	91. 輻射器	92. 盤管	93. 對流器								
第六節	踢腳板暖氣法.....205											
94. 設備說明	95. 管理系統											
第七節	電風散熱器及其應用方法.....210											
96. 種類	97. 優點	98. 應用	99. 出口速度	100. 空氣溫度	101. 進口和出口	102. 噪聲單位	103. 阻力和容量的影響	104. 電風散熱器額定率	105. 電風散熱器排列方法	106. 電風散熱器的鑲接	107. 電風散熱器的鍋爐選擇	
附錄	241											

第一章 应用原理

第一节 热及蒸汽的性质

1. 热 热为一种分子运动或激动,是能量的一种形式。每一种物质都有热,如果说这物很冷,意义是这物含有比较少量的分子运动。热和很多其他形式的能量是可以互相转换的,例如在发电厂里,热能转换为电能,而电炉又由电能转换为热能。火车的行动是热能转换为机械能;轮轴由摩擦生热,则为机械能之又转为热能。

2. 热的计量 在计量热时,应知热量和温度有别。设有一锅,内容 40 公斤水,用温度表测得其温度为摄氏 80 度,热量则为 $40 \times 80 = 3200$ 大卡热单位(仟卡)。一块烧得通红的铁,它含有的热量或许比这锅水少,但这铁的温度一定比水高得多。

二块温度不同的物质放在一起,高温物质中的热会流到低温物质里去,直到二块物质温度相同为止。

3. 温度的单位 世界上度量衡制度大体上有二种:英美制和十进制。温度的单位前者用华氏,后者用摄氏。在华氏表中,水的冰点是 32 度,沸点是 212 度,冰点和沸点中间分成 180 度。摄氏为医学界尤其是苏联和欧洲各国采用,冰点是零度,沸点是 100 度,中间分为 100 度。此二种温度计之互相变算公式如下:

設 t_f 代华氏, t_c 代攝氏,

$$t_f = \frac{9}{5} t_c + 32 \dots\dots\dots (1)$$

$$t_c = \frac{5}{9} (t_f - 32) \dots\dots\dots (2)$$

測量温度的仪器最普通者为水銀溫度計。在 1700 年以前只有以气体作为膨脹之材料,到 1714 年华氏用水銀制成溫度計,此种分度法之零度,是以等量之氯化銨与雪屑調和时之温度,当时在實驗室中不能求得較此更低之温度。瑞典布薩拉地方之攝氏于 1742 年創造百度溫度計,通行十进制之欧洲各国均采用。

4. 水銀溫度計的界限 水銀至 -39°C 时,即凝为固体,故較此更低之温度,通常多用酒精溫度計,因酒精須至 -130°C 时始能凝固。酒精的沸点是 78°C ,所以不能測較高温度。但水銀之沸点为 360°C ,故水銀溫度計也不能測極高之温度。

5. 絕對温度 上述热的定义是一种分子运动,当物質的分子停止一切运动的温度,这温度叫做絕對零度,由此点起算之温度名叫絕對温度。理論上絕對零度是华氏表上水冰点下 491.64 度,或华氏零度下 459.64 度。攝氏表上是 -273.1 度。从华氏或攝氏化成絕對温度的公式如下:

$$T_f = t_f + 459.6 \dots\dots\dots (3)$$

$$T_c = t_c + 273.1 \dots\dots\dots (4)$$

6. 比热 每一單位重量物質,升降一度所收入或放出之热

量,称为此物質的比热。

水的比热为 1, 鋁 0.218, 熟鉄 0.113, 黄銅 0.094, 鉛 0.315, 銅 0.095, 水銀 0.0333, 玻璃 0.2, 鉑 0.032, 金 0.0316, 銀 0.568, 冰 0.504, 鋅 0.0935, 空气 0.2415。

7. 膨脹 大多数物質在热量增加时体积亦增大, 热量低落时体积縮小, 气体比較液体和固体更加明显。但在設計工程上必須都注意及之, 以后論及管子装置法时, 即須顧及当温度增加时, 以备管子膨脹之余地。

物体長度增减之公式等于:

$$e = CL(t_2 - t_1) \dots\dots\dots (5)$$

其中 C = 綫膨脹系数;

L = 原来長度;

$t_2 - t_1$ = 所增加之温度。

如 L 及 e 用英寸表示, C 为每增加温度 1 度每一英寸長度所增長之时数, 各种常用物質 $C \times 10,000$ 之数字列表如下:

鋁	0.128
鋁銅	0.104
鑄鉄	0.059
紫銅	0.003
鎳	0.071
銀	0.107
鋼	0.068
鋅	0.162

液体和固体一样, 加热后会膨脹, 冷却后会縮小, 本書热水

暖气法中即应用热水比重輕，冷水比重重之原理以使水循环。

8. 膨胀的压力系数 其定义：凡每升高一度所得增加之压力，对于零度之压力之比，名为膨胀之压力系数。查理謂一切气体之膨胀之压力系数皆相同。

反之，如使气体之压力不变，而升高其温度，以观察其容积之增加，即可得膨胀之容积系数，其定义如下：每升高1度所得增加之容积，对于零度时气体之全容积之比，名謂膨胀之容积系数。給呂薩克定律謂一切气体之膨胀之容积系数皆相同，且与压力系数相同，即 $\frac{1}{459.6}^{\circ}$ 。

由绝对温度之定义及查理定律，可知同一容积之一切气体，其压力皆与绝对温度为比例；即

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \dots\dots\dots (6)$$

由給呂薩克定律可知在常压下之一切气体，容积与绝对温度为比例；即

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \dots\dots\dots (7)$$

如压力、温度、容积可变动，則得

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2} \dots\dots\dots (8)$$

9. 热力学的第一定律 热产生机械能量后，有一定量之热用作每一單位之功，如消耗一定量之功，不論其消耗方法如何，必生同量之热。

一般机械之定律，有摩擦作用者亦包括在内。即作用力所成之功，等于貯蓄之动势二能量之和，加發生热之机械当量。

換言之，如对于机械用去若干之能量，必有等量之能量显出，或为热，或为有用之功。所謂有用之功，或为举至高处之物質所有之势能，如汲至貯水箱内之水；或为运动物質所有之动能，如射出之槍彈；或为因位置移动而得之势能，如彈簧之弯曲；或为經化学分析后之原子所有之势能，如化合物之电解。而所謂消耗之功，恒現于分子运动之增加，即热之增加。此概括原理，是叫能量常住原理。即能量可轉移，而不可創，亦不可灭。

10. 蒸汽的形成 有几种物質，在一定之温度及压力情况下，会有一种以上的状态。如水在 32°F 时会結冰，也会仍是水。在 212°F 时会变汽，也会仍是水。温度和压力是有連帶关系的。用火燒鍋爐中水，到相当温度时，水会蒸發成汽，这温度叫沸点。但这温度之高低还要看鍋爐上面的压力。初形成的蒸汽，正逗留水面上，保持原来的温度和压力，在这种情形之下，这蒸汽称之謂飽和蒸汽。再詳細解說，一半盛水之鍋爐，水燒成蒸汽时密閉鍋爐中，不能逸出鍋外，故時間愈長，水蒸汽亦必繼續增加，換言之，即鍋中水面上之蒸汽密度漸次增大，然亦有一定之限制，其限制因水之性質及温度而定，既达此極限密度后，蒸汽每秒間返入水内之数，恰与自水蒸出之数相等。此时之蒸汽，謂飽和蒸汽。

如鍋中容納蒸汽之地位增大，使其内之气体密度暂时减小，

則每秒間由液体逸出之分子数,多于由气体返入液体之分子数,直至密度依然达到原值为止。如将气体压缩,使其密度增高,則每秒間由气体返入液体之分子数,較由液体內逸出者为多,气体密度立即降至饱和值为止。由此可知液体饱和蒸汽之密度,由温度而定,与容积无关。

气体分子因与容器之壁运动或冲突,故对于器壁生相当之压力作用。在密闭容器內之蒸汽,亦复如是。然在一定温度的器壁內,蒸汽的饱和密度有一定的值,换言之,即每一單位容积中所含的分子数为一定数。所以在任何一温度之下,饱和蒸汽仅有一密度,亦即仅有一压力。此压力称为在某一温度的饱和蒸汽压力。

饱和蒸汽压力与密度,皆随温度而增,盖升高液体温度,不外增加其分子的平均速度,亦即增加每秒間能逸出液面的分子数。至于因温度增加而生的压力及密度的增加,究若何迅速,可自下表得之:

圖表 1 饱和水蒸气之常数表

$t^{\circ}\text{C}$	压力毫米 水銀柱長	密 度	$t^{\circ}\text{C}$	压力毫米 水銀柱長	密 度
-10	2.2	0.0000023	-4	3.4	0.0000037
-9	2.3	0.0000025	-3	3.7	0.0000040
-8	2.5	0.0000027	-2	3.9	0.0000042
-7	2.7	0.0000029	-1	4.2	0.0000045
-6	2.9	0.0000032	0	4.6	0.0000049
-5	3.2	0.0000034	1	4.9	0.0000052

t°C	压力毫米 水銀柱長	密 度	t°C	压力毫米 水銀柱長	密 度
2	5.3	0.000056	17	14.4	0.000144
3	5.7	0.000060	18	15.3	0.000152
4	6.1	0.000064	19	16.3	0.000162
5	6.5	0.000068	20	17.4	0.000172
6	7.0	0.000073	21	18.5	0.000182
7	7.5	0.000077	22	19.6	0.000193
8	8.0	0.000082	23	20.9	0.000204
9	8.5	0.000087	24	22.2	0.000216
10	9.1	0.000093	25	23.5	0.000229
11	9.8	0.000100	26	25.0	0.000242
12	10.4	0.000106	27	26.5	0.000256
13	11.1	0.000112	28	28.1	0.000270
14	11.9	0.000120	30	31.5	0.000301
15	12.7	0.000128	35	41.8	0.000398
16	13.5	0.000135	40	54.9	0.000509

如在真空鍋內蒸發，只需瞬息即达饱和状态。液体在充滿空气之空間內蒸發之量，与在真空中蒸發之量相等。空气除将蒸發之速度减小外別无影响。空气使蒸發速度变迟之理，可由分子运动說明之。在真空間蒸發之分子，自液面逸出后立即直达頂上，毫无阻碍。如有空气，則飞出之分子剛离液面，恐未及0.00001厘米之远，即与空气之分子冲突，須經无数冲突，方能达于頂上。故与液面最接近之空間，达于饱和状态虽很速，但上面頂端則須較長的时间，始能达同一之饱和状态。

11. 过热蒸汽 所謂过热蒸汽者，是在相当压力下比沸点温度更高之蒸汽。如水和过热蒸汽緊切混和，蒸汽中一部份之

热用作为蒸发与其混和之水，于是蒸汽之温度降低。如有充足量之水加入，则蒸汽之过热量将全部用作蒸发水用，而蒸汽又恢复饱和状态。

12. 饱和蒸汽 在相当压力下，蒸汽在沸点温度时，叫做饱和。如饱和蒸汽中不含游离漂浮之湿气，叫做干饱和蒸汽。换言之，干饱和蒸汽是不含水份而在沸点温度的蒸汽。如干饱和蒸汽不与水相混而继续加热，就叫做过热蒸汽。如从干饱和蒸汽中降低热，就变为湿蒸汽。普通暖气锅炉所产生的蒸汽是饱和蒸汽，同时大多含有水份，故用作暖气者是一种汽和水的混合物。蒸汽在和大气压力相同或稍高时普通就叫做蒸气。吾们必须分清楚，蒸汽、蒸气与水气之不同点仅仅在于压力，在状态上是完全相同的。

13. 蒸汽的性质 从摄氏0度水，在任何压力下，使成为1公斤过热蒸汽所需的热，可分成三部份：(1)液体之热，即从0度水升高至沸点所需之热；(2)蒸发之潜热，即从沸点温度之水变成同温度干饱和蒸汽所需之热；及(3)过热，即从沸点温度之蒸汽再热至目的温度所需之热。

14. 液体的热 各种沸点温度可以影响液体的热，可用下式表示之：

$$h_f = ct \dots\dots\dots (9)$$

其中 h_f = 液体的热；

t = 沸点温度；

c = 水之比热, 約等于 1。

在温度增加时, 水容积之变化不大, 可免于計算。

15. 潜热 蒸汽的潜热, 或称蒸發热, 其定义, 乃一單位重量水在沸点温度变成同温干飽和蒸汽所需的热量。其原理亦可用分子运动說明: 即無論何种液体的自由表面处的分子, 其速度时有增至足以脫出分子引力界外, 而逸入液体上面空間, 成为自由气体分子者。且液体分子中, 仅有速度最大者方可如此逸出液面外, 故所余分子的平均动能, 因失去較大速度的分子, 遂逐漸减少, 其結果使蒸發中的液体温度逐漸下降, 直至由外面热源所受的热适等于所失的热量时, 始行停止。液体分子自液面升起时, 須反抗液体引之向下的引力, 因此凡上升的分子, 其动能的一部, 即轉而为使分子分离的势能, 正如抛上的球, 其动能轉为使球与地球分离的势能。当球下降时又恢复以前此所失去的动能, 与此同理, 蒸汽分子再入液体內时, 亦必恢复前逸出液面时所失去的动能。因此每一單位重量的蒸汽凝結为液体时, 必發出与蒸發时所取得相等的热。蒸汽暖气法即本此理, 由鍋爐中加潜热于水以使变成蒸汽, 分布蒸汽至各房中的散热器, 在散热器中蒸汽凝結成水, 于是放射热量温暖室内。

第二节 热的傳播

16. 热傳播的方法 由一个較高温度的热, 傳播到另一个較低温度物体里去, 其傳播方法不外三种: 輻射、傳导、对

流。在实际上，热所用以傳播的方法，不仅仅只用上面的一种，很多是三种方法同时在进行。

17. 輻射 輻射的現象可用太阳傳至地面的热說明。热三种傳播方法中以輻射最快，像光一样快，即每秒可行 300,000 公里。热的輻射速度与光速相等之理論，实由于观测日蝕推得。即当光隐时，热亦同时与地面隔斷，故知两者之速度相等。

輻射的热常向直綫进行，如于热源及物体之間用一屏風隔住，即可遮斷輻射，正如遮斷光綫一样。輻射热所通过之媒質，可以不使其受热。虽在夏季，空气的上部仍冷；太阳热綫經過玻璃窗，可使室內温暖，而玻璃仍冷。

有三种因素影响輻射量：(1)表面温度，(2)輻射角度，(3)表面的物理性質。

輻射面的物理性質可用發散率表示，这是該表面的發散力和一塊黑体發散力的比率。各种表面發散率有很大不同，列表如下：

圖表 2 几种發散率的比較

表	面	溫 度 (攝 氏)	發 散 率
灯	煤	33	0.945
白	磁	23	0.906
鋁	漆(百分之十點)	100	0.52
光	紫 銅	80	0.018

在普通情況下，表面輻射热同时亦接受別处的热。依照斯蒂芬定律，从高温度的表面輻射到低温度的另一面的热量，可用

下列公式表明之：

$$Q_r = Ak(T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (10)$$

其中 Q_r 为从一面輻射至另一面的純热量， A 为其中一面的面积， T_1 与 T_2 是它們每个的絕對温度， k 是常数，估計由一面照到另一面的平均角度和这二面的發散率。本章主要目的为論及暖气工程有关之原理，当不贅述此外复杂的理論。

18. 傳导 在冬天虽金屬与木类温度相等，然以手触金屬，則覺其冷較木为甚。手覺其冷即謂热之傳导，金屬較木类为冷即為傳导率的高低。

比傳导率为一个物質單位面积單位厚度与該二面的單位温度相差所傳导的热量，可用下式說明：

k = 每度温度相差，每吋厚度，每方呎面积物質的比傳导率，用每小时英热單位表示；

t_1 = 較热一面的华氏温度；

t_2 = 較冷一面的华氏温度；

A = 面积方呎；

x = 厚度吋；

H_c = 每小时傳导热量，英热單位。

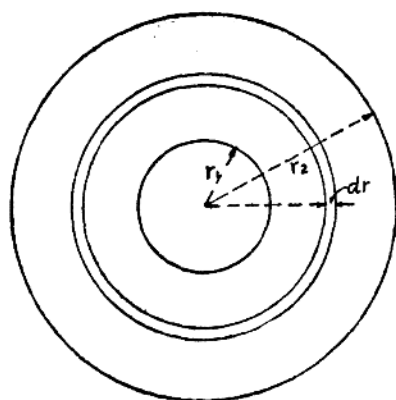
$$H_c = \frac{Ak(t_1 - t_2)}{x} \dots \dots \dots (11)$$

热徑(即傳热之路綫)傳导率等于 $\frac{Ak}{x}$ ，热徑阻率等于 $\frac{x}{Ak}$ 。

(例一) 設有一鍋爐鉄板，5 呎方， $\frac{1}{2}$ 吋厚，一面之温度华

氏 70 度，另一面为 200 度。假定該鉄板的比傳導率，每度溫度相差，每吋厚度，每方呎面積，每小時是 240 英熱單位，其全部傳導的热量，每小時等于：

$$H_c = \frac{25 \times 240 (200 - 70)}{0.5} = 1,560,000 \text{ 英熱單位}$$



圖表 3

公式中的 k 假定在鉄板全部厚度的傳導率為不變，實際上，大部份材料的 k 是因溫度高低而變化的，在溫度低落時有的情形 k 增加，有的情形 k 減少。吾們現在必須注意的是建築材料熱量傳播的情形，可是變化的範圍比較小，如吾們以 k 為原有溫

度的平均傳導率，則其誤差可小得不必加以計較。

又一情形時常要遇到的是在圓筒內的沿徑熱流，如在經絕緣蒸汽管內的气流。如圖表 3 以

$r = r_1$ 和 r_2 限度間可變半徑；

$dr =$ 半徑 r 極薄圓筒的厚度；

$dt = dr$ 圓筒層內外面的相差溫度；

$H_c =$ 每單位長度的熱流；

k = 比傳导率;

t_1 = 内面温度;

t_2 = 外面温度。

$$H_c = \frac{k 2\pi r dt}{12 dr}, \quad H_c = \frac{2\pi k (t_1 - t_2)}{12 \log_e \frac{r_2}{r_1}} \dots \dots \dots (12)$$

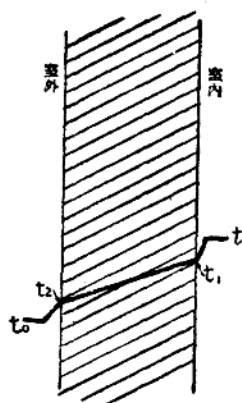
如 r_1 与 r_2 用时, H_c 为每呎長每小时英热單位, k 和公式(11)中相同。

19. 对流 热用輻射或傳导方法傳播时,該物并不發生运动。惟对流主要进行为由流体流过固体面,流体与固体面之間,于是發生热的傳播作用。該流体的流动,像因温度变化影响密度而起的流动,称之为**自然对流**。如該流体的流动用机械方法推动,称之为**强制对流**。惟在流体与固体面接触时所起热的傳播,是用傳导方法。对流的主要特征为不断地使接触固体面的流体連續流动,故热的傳播由对流方法者,視固体面的性質,流体經過該面时之速度而异。

風为大气中的对流,因太阳热,傳至地面不能均一所致,海濱住民恒習慣于海風,水的比热較陆地为大,故日間陆地較海易热,地面上的空气膨胀后为海面上冷空气所迫,自地升起,冷气即由海面流来填补。此即日間所吹之海風,每至黄昏时,風力轉烈。入夜則地面較海易冷,風向即因之而反。此种海風之影响,不能超出距海濱 25 哩之外。沿海各地,气候可由海洋調节,比較温和,称之为海洋气候。内地則驟冷酷热,称之为大陆气候。

第三节 房屋的散热

20. 牆的傳热 最簡單的牆,为單純一塊固体材料,先由室内空气用对流方法将热傳至內牆面,从牆面用傳导方法将热傳至牆里,于是从外牆面用对流和輻射方法将热傳播于外。上节已說明,热流之能从一面流至另一面,必須該二面有温度差。此温度差可由圖表 4 中的 $t-t_0$ 表明。温度降低之步驟如圖中之曲綫,先从 t 降至 t_1 , 再自 t_1 降至 t_2 , 再至 t_0 。



圖表 4

傳导热量公式已詳于公式 (11), 其每一方呎之傳热量等于:

$$H_c = \frac{k}{x} (t_1 - t_2) \dots\dots\dots (13)$$

k 为建筑材料之导热系数, x 为牆之厚度。从室内空气經過牆壁每小时每方呎牆面积的傳热量, 等于

$$H_1 = f_i (t - t_1) \dots\dots\dots (14)$$

其中 f_i 为一常数代表表面导热系数, 即空气与牆間每一度温度相差, 每一方呎所經的热流, 同样, 离开外牆面的热流, 每方呎每小时等于

$$H_2 = f_o (t_2 - t_0) \dots\dots\dots (15)$$

如果每小时的热流量不变, 因为

$$H = H_c = H_1 = H_2$$