

高等學校教學用書

熱傳導理論

A. B. ЛЫКОВ 著
裘烈鈞 丁履德譯

高等教育出版社

高等學校教學用書



熱 傳 導 理 論

A. B. 雷柯夫 著
裘烈鈞 丁履德 譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立技術理論書籍出版社 (Государственное издательство технико-теоретической литературы) 出版的雷柯夫 (А. В. Лыков) 著“熱傳導理論”(Теория теплопроводности) 1952 版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等工業學校熱工專業教學參考書。

本書亦可供熱工工作者們計算和設計熱交換器時之參考。

本書專門講述熱傳導方式之傳熱過程，較一般傳熱學深入而有嚴格的系統性。首先闡述熱傳導基本概念、定義及熱傳導係數之分析和測定方法，其後根據一般熱傳導方程式運用經典方法和運算方法討論各型基本物體之熱傳導基本問題之解，並由基本物體導出複雜形物體之解，同時介紹了現代解熱傳導問題的相似原理及相似準數概念，最後敘述了應用於熱傳導的運算微積學。

本書由山東工學院內燃機教研組袁烈鈞及丁履德同志翻譯並由丁履德同志校訂。

熱 傳 導 理 論

書號368(課341)

雷 柯 夫 著

袁 烈 鈞 丁 履 德 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 珠 璃 廠 一 七 〇 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 印 刷 廠 印 刷

上 海 天 通 海 路 一 九 〇 號

開本 850×1168 1/32 印張 15 8/16 字數 381,000

一九五五年八月上海第一版 印數 1-2,000

一九五五年八月上海第一次印刷 定價(8) 2.20

原 序

熱傳導的分析理論，現時在解決各種工程問題中獲得了廣泛的應用。在不穩定傳熱狀態下操作的熱交換器的計算，在可變傳熱作用情況下絕熱構件（建築物、窯爐、導管等的熱絕緣）抗熱性的計算、機器和電纜的發熱、橋樑的溫度應力以及許多其他問題，都與解不穩定狀態熱傳導的計算有關。吸收作用、解吸作用、乾燥作用、化學反應等分子運動過程的研究，都是屬於上述這類問題的，因為不穩定狀態擴散問題和熱傳導問題是相似的。除此以外，各種材料的熱學方面的物理性質的研究，特別是近代的測定熱係數的快速方法，是以不穩定狀態溫度場的規律性為基礎的。

雖然熱傳導理論的重要性非常大，但是有系統的說明這個問題的專業書籍卻極端缺乏。

在 1941 年曾經發表過作者的論文“熱傳導與擴散”，這篇論文介紹了用運算方法解決不穩定狀態熱傳導的基本問題。

在這篇論文中，也曾經給出了一系列新問題的解答，此後經過 6—7 年的時間卡斯勞和捷格爾又重新解答了這些問題，並且發表在他們的論文中 (Carslaw and Jäger, *Conduction of Heat in Solids*, London, 1948)。在 1948 年，作者曾經發表了論文（“不穩定過程的熱傳導”），其中應用了拉普拉斯轉變法來解決熱傳導的基本問題。

最近，建築在熱相似原理上的熱過程的模型方法，在理論熱力學方面得到了普遍的推廣。這個方法是由 M. B. 基爾比切夫建立起來的，並且他的學派正在成功地加以發展。這個方法把傳熱過程的實驗研究和作為研究熱物理學基本方法之原則的數理理論的敘述緊密地聯系起來。

本書和前面所提到的作者的二篇論文是有顯著區別的，本書內詳細的討論了用經典方法和運算方法求熱傳導基本問題的解答。這些問題的解答是以準數的形式給出的，並且得到了許多新的熱相似準數。它們是以傑出的蘇聯熱物理學家的姓氏命名的（重要準數的擇錄載在附錄中）。

每一個解答都附帶有分析，以闡明過程的物理意義，並儘可能地用具體計算例題來說明。

本書內包含有大量的基本解答的和參數係數的原始表格，並且還有專門計算用的圖解圖和圖表。所有這些，使得我們有可能迅速地進行必要的工程計算。無疑的它將會促進解答在實際工程中的運用。

作者在莫斯科莫洛托夫動力學院中教授熱傳導理論專業課程的經驗證明：必須用基本推演方式和計算來演述解答的詳密步驟，並按難易程度配置問題，使後者即為前者的發展。因此在前頭幾章（第四至第六章）對適當的例題給出了詳細解答，並且問題本身是根據物體和周圍介質的相互作用的原則來分類，而不是按所研究物體的幾何形狀的原則來分類的，從教學法的觀點來看，這種分類法是比較正確的。

本書引述了相似理論的基本知識，它是解熱傳導的近似方法，是由蘇聯熱物理學家研究出來的，並引述了測定絕熱物質熱係數的現代方法。解熱傳導問題的運算方法和用於力學及電工學的相當的方法有些不同。因此本書中劃定專門章節（第十四章），來討論應用於解熱傳導問題的運算微積學基礎。

作者必須對自己的學生，A. И. 維尼克和 M. Д. 格洛夫珂，表示謝意，他們在我編寫本書中個別章節時給我以幫助。

如果本書能保證學生們有更好地學習熱交換課程的可能，幫助熱工工程師們在生產上完成熱交換器的動力計算，以使這些器械得到最優越的操作狀況，那末作者認為自己的目的是達到了。

緒 論

熱交換理論是普通熱學的一部分，它的基礎是由偉大的俄國學者 M. B. 羅蒙諾索夫所建立的。M. B. 羅蒙諾索夫的熱運動理論已包含了現代理論的所有基本要素，即質量和能量不滅定律，熱的概念就是與物體的基本質點（分子、原子）的運動有關的運動形態。

和羅蒙諾索夫同時研究熱學問題的 Г. B. 黎赫曼，他頭一個進行了物體冷却和水蒸發的試驗的研究。

由 M. B. 羅蒙諾索夫和 Г. B. 黎赫曼所開端的測溫學的研究，在俄國研究院中沒有停止過，並且一直保證了俄國科學在這一技術領域內的領導作用。

我們可以在 A. Г. 斯朶立朶夫教授 [67] ① 在 1881—1882 年所教授的講義中看到光輝的原始的熱傳導理論的敘述，這本講義是很優秀的，它是第一個把熱傳導理論與熱力學理論完全合併在一起來闡明的，因此 A. Г. 斯朶立朶夫應該是熱學教程的第一個創立者。

測定各種金屬的熱係數的試驗法，是俄國的學者所首先研究和創立的。物理—化學學會的物理組主席 Ф. Ф. 彼得魯舍夫斯基教授 [60] 及其學生們，研究出熱傳導係數的原始測定法。

П. Я. 楞次教授（院士 Я. X. 楞次的兒子），第一個用試驗證明了金屬傳熱率與導電率之比率是常數。П. Я. 楞次 [46] 克服了當時進行原始試驗中的許多困難。這些試驗中的困難，是曾發表過有關這一比率

① 編者註：此類數字（即外加方括弧的數字）係指參考書目中所列參考書的序號。

成常數的假設的唯達曼和其他西歐學者所不能克服的。

現在熱交換過程的研究已經獲得了特別巨大的規模。偉大的十月革命消滅了我們國家中科學發展道路上的一切障礙。蘇聯的熱學和所有一切的蘇聯的科學一樣，是在真正的科學的馬克思-列寧主義世界觀的基礎上發展起來的，同時緊密地連系着實際的，這樣就保證了它在現時代的迅速勝利。

我們在序言中已經提過到關於 M. B. 基爾比切夫所建立的蘇聯的理論熱力學學派 (M. A. 米海耶夫, A. A. 庫赫曼等)，這個學派創立了自己的研究熱交換過程中物理本質的新的方向。A. C. 普列德伏吉捷列夫 [63—64] 光輝的著作，揭露了在液體和固體中的熱傳導的物理機理，並且 A. H. 基赫諾夫 [70—71] 的巨大著作熱傳導理論，給我們有可能去解決最複雜的邊值問題。

蘇聯的學者們 (Г. М. 康達拉節夫、A. A. 潑密朗且夫、Л. Л. 基摩羅特、B. C. 魯克揚諾夫、A. И. 維尼克等)，創立了各種金屬的熱物理性質的獨創的快速測定法，獲得了不穩定狀態溫度場的新的規律性，遠遠的超過了外國研究者們的工作。

這裏所提到的遠不是所有值得注意的著作，因為我們沒有任務對熱傳導的基本著作，給以任何全面的評論。但是只從上面這些簡短的提示中，可以看到熱學的基本問題是在我們的國家中所提出的，和解決的，而且無疑的在現代熱交換學說的創立中，領導作用是屬於蘇聯的學者。

熱傳導分析理論是熱交換中的基本學說，它給了我們做到詳細分析熱傳遞過程的可能，以及在物體和周圍介質相互作用情況改變時，決定物體或物系性狀的可能。沒有任何半經驗性質的近似方法能夠代替分析方法，因此理論熱力學的今後發展，無疑的將連系到物系和周圍介質溫度場的研究。

因此，為了使工程熱力計算獲得有效的解答，研究熱傳導邊值問題快速而準確的解法是熱學中的重要而迫切的任務。

目 錄

原序	7
緒論	9
第一章 熱傳遞的物理基礎	11
§ 1. 溫度場	11
§ 2. 熱傳導的基本定律	13
§ 3. 氣體中的傳熱機理	16
§ 4. 液體和固體中的傳熱機理	18
§ 5. 熱傳導微分方程式	24
§ 6. 邊值條件	27
§ 7. 熱量消耗的計算方法	32
第二章 相似論的基本原理	35
§ 8. 引論	35
§ 9. 相似的實質	39
§ 10. 相似準數	42
§ 11. 實驗數據的綜合方法	52
第三章 邊值問題解答的基本方法	55
§ 12. 熱傳導微分方程式的分析	55
§ 13. 求方程式解的經典方法	56
§ 14. 運算法對於解邊值問題的應用	63
§ 15. 解熱傳導問題的圖解分析法	68
§ 16. 水力學相當法解熱傳導問題的應用	75
第四章 無熱源不穩定溫度場, 第一類邊界條件	83
§ 17. 無限大物體	83
§ 18. 半無限大物體	87
§ 19. 無限大平板	95
§ 20. 球(對稱問題)	117
§ 21. 無限長圓柱體	129
§ 22. 平行六面體	144
§ 23. 有限尺寸的圓柱體	147

§ 24. 加熱的問題	149
第五章 無熱源的溫度場, 第二類邊界條件	151
§ 25. 半無限大物體	152
§ 26. 無限大平板	155
§ 27. 球(對稱問題)	163
§ 28. 無限長圓柱體	170
§ 29. 稜柱體	175
第六章 無熱源溫度場, 第三類邊界條件	177
§ 30. 半無限大物體	178
§ 31. 側表面無熱絕緣的半無限長桿	183
§ 32. 無限大平板	189
§ 33. 側表面無熱絕緣的有限長桿	211
§ 34. 球(對稱問題)	217
§ 35. 無限長圓柱體	235
§ 36. 有限長圓柱體	251
§ 37. 有限尺寸的平板	254
§ 38. 複雜形狀的物體	256
§ 39. 綜合解的分析(熱交換的正規狀況)	271
§ 40. 近似式的評價	276
第七章 無熱源溫度場, 第三類邊界條件, 周圍介質溫度是時間的 函數	281
§ 41. 無限大平板, 介質溫度——時間的線性函數	281
§ 42. 球, 介質溫度——時間的線性函數	286
§ 43. 無限長圓柱體, 介質溫度——時間的線性函數	290
§ 44. 無限大平板、球和無限長圓柱體, 介質溫度——時間的指數函數	293
§ 45. 潮濕物體的加熱(無限大平板、球和無限長圓柱體)	297
§ 46. 熱波, 無限大平板、球和無限長圓柱體, 介質溫度——時間的簡諧函數	306
§ 47. 半無限大物體, 介質溫度——時間的函數	318
§ 48. 物體在溫度為時間的已知函數的介質中加熱, 廣義解, 裴密李定理	320
§ 49. 平行六面體, 介質溫度——時間的線性函數	324
第八章 熱源連續作用的溫度場, 第一類和第三類邊界條件	326
§ 50. 半無限大物體	326
§ 51. 無限大平板	331

§ 52. 球(對稱問題)	335
§ 53. 無限長圓柱體	337
第九章 具有瞬息熱源的温度場,第一類和第二類邊界條件	340
§ 54. 半無限大物體	343
§ 55. 無限大平板	346
§ 56. 球(對稱問題)	350
§ 57. 無限長圓柱體	353
第十章 有熱源和無熱源的温度場,第四類邊界條件	357
§ 58. 兩個物體系統(兩個半無限長桿)	357
§ 59. 兩個物體系統(有限長和半無限長桿)	360
§ 60. 兩個物體系統(兩個無限大平板)	364
§ 61. 兩個球形物體系統(球裏面的球)	366
§ 62. 無限大平板,熱源	368
§ 63. 球(對稱問題)	376
§ 64. 無限長圓柱體	378
第十一章 物體物態變化时的温度場	381
§ 65. 潮濕土壤的凍結	381
§ 66. 半無限大物體、無限大平板、球和無限長圓柱體的凝結問題之近似解	389
§ 67. 用 B. C. 魯克揚諾夫儀器解兩向度問題	394
第十二章 幾個特殊問題	397
§ 68. 半無限大物體,熱傳導係數——座標的函數	397
§ 69. 半無限大物體,熱係數是温度的函數	399
§ 70. 拉氏變換應用於兩向度問題(半無限大平板、半無限長圓柱體)	405
第十三章 絕熱體熱係數的測定方法	411
§ 71. 穩定熱流法的要點	411
§ 72. 正規狀況方法	412
§ 73. 等速加熱比較法	419
§ 74. 無限標準物體法	422
§ 75. 瞬息熱源法	424
第十四章 運算微積的基礎及其解熱傳導問題的應用	428
§ 76. 引論	428
§ 77. 基本概念	431

§ 78. 拉氏變換的性質	433
§ 79. 簡單微分方程式的解法	439
§ 80. 拉氏變換的進一步的性質	442
§ 81. 解常係數線性微分方程式的運算法	447
§ 82. 展開定理	448
§ 83. 幾個變係數微分方程式的解	455
§ 84. 積分變換和運算方法	457
§ 85. 按函數影像求原函數	462
附錄	467
I. 幾個參考公式	467
II. 解的唯一性定理	473
III. 表示成不同座標系的熱傳導微分方程式	474
IV. 拉氏變換的基本規律和定理	475
V. 熱相似準數	476
VI. 幾個函數的影像	477
VII. 函數 $i^n \operatorname{erfc} x$ 的值	485
VIII. 熱係數	487
參考書目	488
俄中名詞對照表	492

高等學校教學用書



熱 傳 導 理 論

A. B. 雷柯夫 著
裘烈鈞 丁履德 譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立技術理論書籍出版社 (Государственное издательство технико-теоретической литературы) 出版的雷柯夫 (А. В. Лыков) 著“熱傳導理論”(Теория теплопроводности) 1952 版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等工業學校熱工專業教學參考書。

本書亦可供熱工工作者們計算和設計熱交換器時之參考。

本書專門講述熱傳導方式之傳熱過程，較一般傳熱學深入而有嚴格的系統性。首先闡述熱傳導基本概念、定義及熱傳導係數之分析和測定方法，其後根據一般熱傳導方程式運用經典方法和運算方法討論各型基本物體之熱傳導基本問題之解，並由基本物體導出複雜形物體之解，同時介紹了現代解熱傳導問題的相似原理及相似準數概念，最後敘述了應用於熱傳導的運算微積學。

本書由山東工學院內燃機教研組袁烈鈞及丁履德同志翻譯並由丁履德同志校訂。

熱 傳 導 理 論

書號368(課341)

雷 柯 夫 著

袁 烈 鈞 丁 履 德 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 珠 璃 廠 一 七 〇 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 印 刷 廠 印 刷

上 海 天 通 海 路 一 九 〇 號

開本 850×1168 1/32 印張 15 8/16 字數 381,000

一九五五年八月上海第一版 印數 1-2,000

一九五五年八月上海第一次印刷 定價(8) 2.20

目 錄

原序	7
緒論	9
第一章 熱傳遞的物理基礎	11
§ 1. 溫度場	11
§ 2. 熱傳導的基本定律	13
§ 3. 氣體中的傳熱機理	16
§ 4. 液體和固體中的傳熱機理	18
§ 5. 熱傳導微分方程式	24
§ 6. 邊值條件	27
§ 7. 熱量消耗的計算方法	32
第二章 相似論的基本原理	35
§ 8. 引論	35
§ 9. 相似的實質	39
§ 10. 相似準數	42
§ 11. 實驗數據的綜合方法	52
第三章 邊值問題解答的基本方法	55
§ 12. 熱傳導微分方程式的分析	55
§ 13. 求方程式解的經典方法	56
§ 14. 運算法對於解邊值問題的應用	63
§ 15. 解熱傳導問題的圖解分析法	68
§ 16. 水力學相當法解熱傳導問題的應用	75
第四章 無熱源不穩定溫度場, 第一類邊界條件	83
§ 17. 無限大物體	83
§ 18. 半無限大物體	87
§ 19. 無限大平板	95
§ 20. 球(對稱問題)	117
§ 21. 無限長圓柱體	129
§ 22. 平行六面體	144
§ 23. 有限尺寸的圓柱體	147

§ 24. 加熱的問題	149
第五章 無熱源的溫度場, 第二類邊界條件	151
§ 25. 半無限大物體	152
§ 26. 無限大平板	155
§ 27. 球(對稱問題)	163
§ 28. 無限長圓柱體	170
§ 29. 稜柱體	175
第六章 無熱源溫度場, 第三類邊界條件	177
§ 30. 半無限大物體	178
§ 31. 側表面無熱絕緣的半無限長桿	183
§ 32. 無限大平板	189
§ 33. 側表面無熱絕緣的有限長桿	211
§ 34. 球(對稱問題)	217
§ 35. 無限長圓柱體	235
§ 36. 有限長圓柱體	251
§ 37. 有限尺寸的平板	254
§ 38. 複雜形狀的物體	256
§ 39. 綜合解的分析(熱交換的正規狀況)	271
§ 40. 近似式的評價	276
第七章 無熱源溫度場, 第三類邊界條件, 周圍介質溫度是時間的 函數	281
§ 41. 無限大平板, 介質溫度——時間的線性函數	281
§ 42. 球, 介質溫度——時間的線性函數	286
§ 43. 無限長圓柱體, 介質溫度——時間的線性函數	290
§ 44. 無限大平板、球和無限長圓柱體, 介質溫度——時間的指數函數	293
§ 45. 潮濕物體的加熱(無限大平板、球和無限長圓柱體)	297
§ 46. 熱波, 無限大平板、球和無限長圓柱體, 介質溫度——時間的簡諧函數	306
§ 47. 半無限大物體, 介質溫度——時間的函數	318
§ 48. 物體在溫度為時間的已知函數的介質中加熱, 廣義解, 裴密李定理	320
§ 49. 平行六面體, 介質溫度——時間的線性函數	324
第八章 熱源連續作用的溫度場, 第一類和第三類邊界條件	326
§ 50. 半無限大物體	326
§ 51. 無限大平板	331

§ 52. 球(對稱問題)	335
§ 53. 無限長圓柱體	337
第九章 具有瞬息熱源的温度場,第一類和第二類邊界條件	340
§ 54. 半無限大物體	343
§ 55. 無限大平板	346
§ 56. 球(對稱問題)	350
§ 57. 無限長圓柱體	353
第十章 有熱源和無熱源的温度場,第四類邊界條件	357
§ 58. 兩個物體系統(兩個半無限長桿)	357
§ 59. 兩個物體系統(有限長和半無限長桿)	360
§ 60. 兩個物體系統(兩個無限大平板)	364
§ 61. 兩個球形物體系統(球裏面的球)	366
§ 62. 無限大平板,熱源	368
§ 63. 球(對稱問題)	376
§ 64. 無限長圓柱體	378
第十一章 物體物態變化时的温度場	381
§ 65. 潮濕土壤的凍結	381
§ 66. 半無限大物體、無限大平板、球和無限長圓柱體的凝結問題之近似解	389
§ 67. 用 B. C. 魯克揚諾夫儀器解兩向度問題	394
第十二章 幾個特殊問題	397
§ 68. 半無限大物體,熱傳導係數——座標的函數	397
§ 69. 半無限大物體,熱係數是温度的函數	399
§ 70. 拉氏變換應用於兩向度問題(半無限大平板、半無限長圓柱體)	405
第十三章 絕熱體熱係數的測定方法	411
§ 71. 穩定熱流法的要點	411
§ 72. 正規狀況方法	412
§ 73. 等速加熱比較法	419
§ 74. 無限標準物體法	422
§ 75. 瞬息熱源法	424
第十四章 運算微積的基礎及其解熱傳導問題的應用	428
§ 76. 引論	428
§ 77. 基本概念	431

§ 78. 拉氏變換的性質	433
§ 79. 簡單微分方程式的解法	439
§ 80. 拉氏變換的進一步的性質	442
§ 81. 解常係數線性微分方程式的運算法	447
§ 82. 展開定理	448
§ 83. 幾個變係數微分方程式的解	455
§ 84. 積分變換和運算方法	457
§ 85. 按函數影像求原函數	462
附錄	467
I. 幾個參考公式	467
II. 解的唯一性定理	473
III. 表示成不同座標系的熱傳導微分方程式	474
IV. 拉氏變換的基本規律和定理	475
V. 熱相似準數	476
VI. 幾個函數的影像	477
VII. 函數 $i^n \operatorname{erfc} x$ 的值	485
VIII. 熱係數	487
參考書目	488
俄中名詞對照表	492