

Conteúdo

1 Introdução e Comentários Preliminares, 21

- 1.1 O Sistema Termodinâmico e o Volume de Controle, 23
- 1.2 Pontos de Vista Macroscópico e Microscópico, 24
- 1.3 Estado e Propriedades de uma Substância, 25
- 1.4 Processos e Ciclos, 26
- 1.5 Unidades de Massa, Comprimento, Tempo e Força, 26
- 1.6 Volume Específico e Massa Específica, 29
- 1.7 Pressão, 31
- 1.8 Energia, 34
- 1.9 Igualdade de Temperatura, 37
- 1.10 A Lei Zero da Termodinâmica, 37
- 1.11 Escalas de Temperatura, 38
- 1.12 Aplicações na Engenharia, 39
- Resumo, 41
- Problemas, 43

2 Propriedades de uma Substância Pura, 53

- 2.1 A Substância Pura, 54
- 2.2 As Fronteiras das Fases, 54
- 2.3 A superfície P - v - T , 57
- 2.4 Tabelas de Propriedades Termodinâmicas, 60
- 2.5 Os Estados Bifásicos, 61
- 2.6 Os Estados Líquido e Sólido, 62
- 2.7 Os Estados de Vapor Superaquecido, 63
- 2.8 Os Estados de Gás Ideal, 65
- 2.9 O Fator de Compressibilidade, 69
- 2.10 Equações de Estado, 72
- 2.11 Tabelas Computadorizadas, 72
- 2.12 Aplicações na Engenharia, 73
- Resumo, 75
- Problemas, 76

3 A Primeira Lei da Termodinâmica e Equação da Energia, 89

- 3.1 A Equação da Energia, 90
 - 3.2 A Primeira Lei da Termodinâmica, 92
 - 3.3 A Definição de Trabalho, 92
 - 3.4 Trabalho Realizado na Fronteira Móvel de um Sistema Compressível Simples, 96
 - 3.5 Definição de Calor, 102
 - 3.6 Modos de Transferência de Calor, 103
 - 3.7 Energia Interna – Uma Propriedade Termodinâmica, 105
 - 3.8 Análise de Problemas e Técnica de Solução, 106
 - 3.9 A Propriedade Termodinâmica Entalpia, 111
 - 3.10 Calores Específicos a Volume e a Pressão Constantes, 114
 - 3.11 A Energia Interna, Entalpia e Calor Específico de Gases Ideais, 115
 - 3.12 Sistemas Gerais que Envolvem Trabalho, 121
 - 3.13 Conservação de Massa, 122
 - 3.14 Aplicações na Engenharia, 124
- Resumo, 129
Problemas, 132

4 Análise Energética para um Volume de Controle, 157

- 4.1 Conservação de Massa e o Volume de Controle, 157
 - 4.2 A Equação da Energia para um Volume de Controle, 159
 - 4.3 O Processo em Regime Permanente, 161
 - 4.4 Exemplos de Processos em Regime Permanente, 163
 - 4.5 Dispositivos com Múltiplos Fluxos, 172
 - 4.6 O Processo em Regime Transiente, 173
 - 4.7 Aplicações na Engenharia, 177
- Resumo, 181
Problemas, 183

5 A Segunda Lei da Termodinâmica, 203

- 5.1 Motores Térmicos e Refrigeradores, 204
 - 5.2 A Segunda Lei da Termodinâmica, 208
 - 5.3 O Processo Reversível, 211
 - 5.4 Fatores que Tornam um Processo Irreversível, 212
 - 5.5 O Ciclo de Carnot, 214
 - 5.6 Dois Teoremas Relativos ao Rendimento Térmico do Ciclo de Carnot, 216
 - 5.7 A Escala Termodinâmica de Temperatura, 217
 - 5.8 A Escala de Temperatura de Gás Ideal, 217
 - 5.9 Máquinas Reais e Ideais, 220
 - 5.10 Aplicações na Engenharia, 223
- Resumo, 225
Problemas, 227

6 Entropia, 241

- 6.1 Desigualdade de Clausius, 242
- 6.2 Entropia – Uma Propriedade do Sistema, 244
- 6.3 A Entropia para uma Substância Pura, 245

- 6.4 Variação de Entropia em Processos Reversíveis, 247
- 6.5 Duas Relações Termodinâmicas Importantes, 251
- 6.6 Variação de Entropia em um Sólido ou Líquido, 251
- 6.7 Variação de Entropia em um Gás Ideal, 252
- 6.8 Processo Politrópico Reversível para um Gás Ideal, 255
- 6.9 Variação de Entropia do Sistema Durante um Processo Irreversível, 258
- 6.10 Geração de Entropia e Equação da Entropia, 259
- 6.11 Princípio de Aumento de Entropia, 261
- 6.12 Equação da Taxa de Variação de Entropia, 263
- 6.13 Comentários Gerais sobre Entropia e Caos, 267
- Resumo, 268
- Problemas, 270

7 Segunda Lei da Termodinâmica Aplicada a Volumes de Controle, 291

- 7.1 A Segunda Lei da Termodinâmica para um Volume de Controle, 291
- 7.2 O Processo em Regime Permanente e o Processo em Regime Transiente, 293
- 7.3 O Processo Reversível em Regime Permanente para Escoamento Simples, 299
- 7.4 Princípio do Aumento da Entropia para um Volume de Controle, 302
- 7.5 Aplicações na Engenharia – Eficiência, 304
- 7.6 Resumo da Análise de Volume de Controle, 309
- Resumo, 310
- Problemas, 312

8 Exergia, 335

- 8.1 Exergia, Trabalho Reversível e Irreversibilidade, 335
- 8.2 Exergia e Eficiência Baseada na Segunda Lei da Termodinâmica, 344
- 8.3 Equação do Balanço de Exergia, 350
- 8.4 Aplicações na Engenharia, 353
- Resumo, 354
- Problemas, 356

9 Sistemas de Potência e Refrigeração – com Mudança de Fase, 369

- 9.1 Introdução aos Ciclos de Potência, 370
- 9.2 O Ciclo Rankine, 371
- 9.3 Efeitos da Pressão e da Temperatura no Ciclo Rankine, 374
- 9.4 O Ciclo com Reaquecimento, 377
- 9.5 O Ciclo Regenerativo e Aquecedores de Água de Alimentação, 378
- 9.6 Afastamento dos Ciclos Reais em Relação aos Ciclos Ideais, 384
- 9.7 Cogeração e outras Configurações, 386
- 9.8 Introdução aos Sistemas de Refrigeração, 389
- 9.9 Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor, 389
- 9.10 Fluidos de Trabalho para Sistemas de Refrigeração por Compressão de Vapor, 391
- 9.11 Afastamento do Ciclo de Refrigeração Real de Compressão de Vapor em Relação ao Ciclo Ideal, 393
- 9.12 Configurações de Ciclos de Refrigeração, 394
- 9.13 O Ciclo de Refrigeração por Absorção, 396
- Resumo, 397
- Problemas, 399

10 Sistemas de Potência e Refrigeração – Fluidos de Trabalhos Gasosos, 419

- 10.1 Ciclos Padrão a Ar, 419
- 10.2 O Ciclo Brayton, 420
- 10.3 O Ciclo Simples de Turbina a Gás com Regenerador, 425
- 10.4 Configurações do Ciclo de Turbina a Gás para Centrais de Potência, 427
- 10.5 O Ciclo Padrão a Ar para Propulsão a Jato, 430
- 10.6 O Ciclo Padrão de Refrigeração a Ar, 433
- 10.7 Ciclos de Potência dos Motores com Pistão, 435
- 10.8 O Ciclo Otto, 436
- 10.9 O Ciclo Diesel, 440
- 10.10 O Ciclo Stirling, 442
- 10.11 Os Ciclos Atkinson e Miller, 442
- 10.12 Ciclos Combinados de Potência e Refrigeração, 444
- Resumo, 446
- Problemas, 448

11 Mistura de Gases, 463

- 11.1 Considerações Gerais e Misturas de Gases Ideais, 463
- 11.2 Um Modelo Simplificado para Misturas de Gás-Vapor, 469
- 11.3 A Primeira Lei Aplicada a Misturas de Gás-Vapor, 472
- 11.4 O Processo de Saturação Adiabática, 474
- 11.5 Aplicações na Engenharia – Temperaturas de Bulbo Úmido e de Bulbo Seco e a Carta Psicrométrica, 475
- Resumo, 479
- Problemas, 481

12 Relações Termodinâmicas, 499

- 12.1 A Equação de Clapeyron, 500
- 12.2 Relações Matemáticas para Fase Homogênea, 502
- 12.3 As Relações de Maxwell, 503
- 12.4 Algumas Relações Termodinâmicas Envolvendo Entalpia, Energia Interna e Entropia, 505
- 12.5 Expansividade Volumétrica e Compressibilidades Isotérmica e Adiabática, 509
- 12.6 O Comportamento dos Gases Reais e as Equações de Estado, 510
- 12.7 O Diagrama Generalizado para Variações de Entalpia a Temperatura Constante, 514
- 12.8 O Diagrama Generalizado para Variações de Entropia a Temperatura Constante, 516
- 12.9 Relações de Propriedades para Misturas, 518
- 12.10 Modelos de Substâncias Pseudopuras para Misturas Gasosas Reais, 521
- 12.11 Aplicações na Engenharia – Tabelas de Propriedades Termodinâmicas, 524
- Resumo, 527
- Problemas, 529

13 Reações Químicas, 543

- 13.1 Combustíveis, 543
- 13.2 O Processo de Combustão, 546
- 13.3 Entalpia de Formação, 553
- 13.4 Aplicação da Primeira Lei em Sistemas Reagentes, 554
- 13.5 Entalpia, Energia Interna de Combustão e Calor de Reação, 558

- 13.6 Temperatura Adiabática de Chama, 559
- 13.7 Terceira Lei da Termodinâmica e Entropia Absoluta, 564
- 13.8 Aplicação da Segunda Lei em Sistemas Reagentes, 565
- 13.9 Células de Combustível, 568
- 13.10 Aplicações na Engenharia, 571
- Resumo, 575
- Problemas, 577

14 Introdução ao Equilíbrio de Fases e ao Equilíbrio Químico, 593

- 14.1 Condições para o Equilíbrio, 593
- 14.2 Equilíbrio entre Duas Fases de uma Substância Pura, 595
- 14.3 Equilíbrio Metaestável, 597
- 14.4 Equilíbrio Químico, 598
- 14.5 Reações Simultâneas, 605
- 14.6 Gaseificação de Carvão, 608
- 14.7 Ionização, 608
- 14.8 Aplicações na Engenharia, 610
- Resumo, 612
- Problemas, 613

15 escoamento Compressível, 623

- 15.1 Propriedades de Estagnação, 624
- 15.2 A Equação da Conservação de Quantidade de Movimento para um Volume de Controle, 625
- 15.3 Forças que Atuam sobre uma Superfície de Controle, 627
- 15.4 escoamento Unidimensional, Adiabático e em Regime Permanente de um Fluido Incompressível em um Bocal, 628
- 15.5 Velocidade do Som em um Gás Ideal, 630
- 15.6 escoamento Unidimensional, em Regime Permanente, Adiabático e Reversível de um Gás Ideal em Bocais, 632
- 15.7 Descarga de um Gás Ideal em um Bocal Isotrópico, 634
- 15.8 Choque Normal no escoamento de um Gás Ideal em um Bocal, 637
- 15.9 Coeficientes do Bocal e do Difusor, 641
- 15.10 Bocais e Orifícios como Medidores de Vazão, 643
- Resumo, 646
- Problemas, 651

Apêndice A – Propriedades Gerais, 659

Apêndice B – Propriedades Termodinâmicas, 675

Apêndice C – Calor Específico de Gás Ideal, 708

Apêndice D – Equações de Estado, 710

Apêndice E – Figuras, 715

[Respostas para Problemas Seleccionados, 719](#)

[Índice Remissivo, 725](#)