
Contenido

Prefacio	xi
Reconocimientos	xv

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Por qué se aplican las turbinas de vapor de transmisión mecánica	1
1.2 Panorama general de los fundamentos de las turbinas de vapor	2
1.2.1 Las etapas de las turbinas de vapor pueden variar	5
1.2.2 Diseño moderno de acción	5
1.2.3 Construcción de una sola válvula contra válvulas múltiples	5
1.2.4 Consideraciones sobre el balance de vapor	9
1.3 Panorama general de los tipos de turbinas de vapor y de sus controles	9
1.3.1 Recta sin condensación	14
1.3.2 Sin condensación con extracción automática	15
1.3.3 De condensación con extracción automática	15
1.3.4 Consideraciones básicas sobre el control del vapor	18
1.3.5 Controles para las de condensación con extracción automática	21
1.3.6 De transmisión con engranes y de accionamiento directo	21
1.3.7 Conceptos sobre diseño modular	23
Capítulo 2. Carcasas de las turbinas y componentes estacionarios importantes	29
2.1 Diseño de la carcasa	29
2.2 Secciones de admisión del vapor	33
2.3 Diafragmas y empaquetadura de laberinto de las turbinas de vapor	36
Capítulo 3. Cojinetes para las turbinas de transmisión mecánica	49
3.1 Chumaceras para la turbomaquinaria industrial	49
3.2 Parámetros claves de diseño	55
3.3 Cojinetes de empuje para turbomaquinaria	56
3.4 Cojinetes magnéticos activos	63
Capítulo 4. Rotores para las turbinas de acción	67
4.1 Experiencia de operación de largo plazo	67
4.2 Diámetro de paso y velocidad	68

viii Contenido

4.3	Temperatura del vapor	69
4.4	Construcción ensamblada	70
4.5	Construcción maciza	75
4.6	Extremos de las flechas	76
4.7	Métodos de balanceo del rotor de las turbinas	77
4.8	Tolerancia del balanceo	78
Capítulo 5. Rotores para las turbinas de reacción		81
5.1	Rotores macizos	81
5.2	Materiales para los rotores macizos	85
5.3	Diseño de rotor soldado	86
5.4	Materiales para rotores soldados	91
Capítulo 6. Panorama general sobre el diseño de los álabes de las turbinas		95
6.1	Materiales para los álabes	97
6.2	Raíces de sujeción de los álabes	97
6.3	Tipos de superficies aerodinámicas y capacidades de los álabes	99
6.4	Álabes de guía para las turbinas de reacción	100
6.5	Empaquetado de la etapa final de baja presión	106
Capítulo 7. Auxiliares de las turbinas		111
7.1	Sistemas de lubricación	111
7.2	Mecanismos para el arranque o de giro lento	114
7.3	Válvulas de estrangulación y disparo o principales de paro	115
7.4	Dispositivos de disparo por sobrevelocidad	118
7.5	Sistemas de sello de caja estancadora	121
7.6	Purificadores del aceite lubricante	121
Capítulo 8. Reguladores y sistemas de control		123
8.1	Generalidades	123
8.2	Terminología de los sistemas reguladores	126
8.2.1	Regulación de velocidad	126
8.2.2	Variación de velocidad	127
8.2.3	Banda muerta	127
8.2.4	Estabilidad	127
8.2.5	Aumento de velocidad	127
8.3	Clasificaciones de la NEMA	129
8.4	Válvulas	130
8.4.1	Turbinas de una sola válvula	130
8.4.2	Turbinas de válvulas múltiples	131
8.5	Reguladores PG	131
8.6	Reguladores electrónicos	134
8.7	Sistemas reguladores	136
8.7.1	Generalidades	136
8.7.2	Control de la extracción	136

Capítulo 9. Acoplamientos y consideraciones sobre el acoplamiento	143
9.1 Transmisión de potencia	143
9.2 Alineamiento de las flechas	146
9.3 Mantenimiento	148
9.4 Influencia sobre las velocidades críticas	148
9.5 Expansiones diferenciales	148
9.6 Empujes axiales	149
9.7 Límites de aplicación	149
Capítulo 10. Tecnología de la dinámica del rotor	151
10.1 Modelo del rotor	151
10.2 Rigidez dinámica	152
10.3 Efectos del amortiguamiento sobre la predicción de la velocidad crítica	155
10.4 Avances relacionados con los cojinetes	156
10.5 Refinamientos	158
10.6 Consideraciones acerca de los soportes de los cojinetes	159
10.7 Cimentaciones	160
10.8 Impedancia	160
10.9 Fuerzas de arco parcial	164
10.10 Procedimiento de diseño	165
10.11 Respuesta del rotor	166
10.12 Mecanismos de inestabilidad	166
10.13 Vibración subsíncrona	166
10.14 Ejemplos de servicio	168
10.15 Fuerzas de los sellos de laberinto y de la cubierta	171
10.16 Criterios de estabilidad del rotor	173
10.17 Verificación experimental	173
Capítulo 11. Diagramas de Campbell, Goodman y SAFE para los álabes de las turbinas de vapor	175
11.1 Diagrama de Goodman	175
11.2 Diagrama de Goodman-Soderberg	176
11.3 Diagrama de Campbell	177
11.3.1 Frecuencias excitadoras	181
11.4 Diagrama SAFE: herramienta de evaluación del conjunto de disco con álabes en paquete	183
11.4.1 Definición de resonancia	184
11.4.2 Forma del modo	184
11.4.3 Fuerzas fluctuantes	186
11.5 Diagrama SAFE para el conjunto de discos con álabes	189
11.6 Formas de los modos de un disco con álabes en paquete	195
11.7 Diagrama de interferencias más allá del límite $N/2$	197
11.8 Datos explicativos publicados por el uso del diagrama SAFE de Dresser-Rand	200
11.9 Resumen	203

Capítulo 12. Comparación de las turbinas de vapor de reacción contra las de acción	205
12.1 Introducción	205
12.2 Comparación de las turbinas de acción y de reacción	206
12.3 Eficiencia	206
12.4 Diseño	209
12.4.1 Rotor	209
12.4.2 Empaletado	210
12.5 Erosión	216
12.6 Empuje axial	218
12.7 Mantenimiento	219
12.8 Características de diseño de las turbinas modernas de reacción	219
12.9 Formación de depósitos y lavado de la turbina con agua	221
Capítulo 13. Elementos de transmisión para la turbomaquinaria de alta velocidad	229
13.1 Unidades de engranes rectos	229
13.2 Engranes epicíclicos	231
13.3 Embragues	232
13.4 Transmisiones hidrovíscosas	239
13.5 Convertidores hidrodinámicos y turboacoplamientos con engranes de velocidad variable	243
13.5.1 Función del acoplamiento de etapas múltiples con velocidad variable	247
13.5.2 Detalles de diseño y de operación	247
13.5.3 Circuitos del aceite de trabajo y del aceite de lubricación	250
13.5.4 Sistema de lubricación	250
Capítulo 14. Métodos gráficos abreviados para la selección de turbinas	251
14.1 Instrucciones acerca de la carta de Moillier	251
14.2 Estimación de los gastos de vapor	255
14.3 Información de consulta rápida para estimar los gastos de vapor de las turbinas de vapor de etapas múltiples y de válvulas múltiples	287
Capítulo 15. Método abreviado de selección de Elliott para las turbinas de vapor de etapas múltiples y de válvulas múltiples	293
15.1 Gastos aproximados de vapor	293
15.2 Determinación del rendimiento de las etapas	297
15.3 Rendimiento de la turbina con extracción	304
Apéndice A	313
Bibliografía y lista de colaboradores	333
Índice	341