

Martin Meywerk

CAE-Methoden in der Fahrzeugtechnik

Mit 239 Abbildungen und 10 Tabellen

 Springer

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Rechnergestützte Methoden	7
2.1	CAX-Methoden	7
2.2	Computer	14
3	Modellbildung	17
3.1	Physikalische Modellbildung	17
3.2	Geometrische Modellbildung	23
3.2.1	Geometrische Aufbereitung	23
3.2.2	Physikalische Modifikation	26
3.3	Mathematische Modellbildung	28
4	Partielle Differentialgleichungen und Diskretisierungsmethoden	33
4.1	Klassifikation partieller Differentialgleichungen	33
4.2	Diskretisierungsprinzip	37
4.2.1	Schwache Formen	37
4.2.2	Methode der gewichteten Residuen	39
4.2.3	Finite-Differenzen-Methode	40
4.2.4	Finite-Volumen-Methode	41
4.2.5	Begriffe	44
4.2.6	Smoothed-Particle-Hydrodynamic-Methode	46
4.2.7	Moving-Least-Square-Approximation	48
4.2.8	Äußere Approximation (Trefftz-FEM)	48
4.2.9	Randelemente-Methode	50
5	Wärmeleitung, Temperaturstrahlung, Konvektion, Diffusion	55
5.1	Wärmeleitung	57
5.2	Temperaturstrahlung	63
5.3	Konvektion	66

5.4	Diffusion	67	10	Akustik	
5.5	Plausibilitätsbetrachtungen	68	10.1	Einführung	
6	Dynamik starrer Körper	71	10.2	Berechnungsmethoden	
6.1	Kinetik des starren Körpers	73	10.2.1	Theoretische Grundlagen	
6.2	Kinetische Energie des starren Körpers	76	10.2.2	Rayleighsche Methode	
6.3	Elemente von Starrkörperprogrammen	81	10.2.3	Boundary-Elemente	
6.4	Orientierung starrer Körper	82	10.2.4	Finite-Elemente	
6.5	Aufstellen und Lösen der Gleichungen	88	10.2.5	Statistische Erprobung	
6.5.1	Aufstellen der Bewegungsgleichungen	88	10.2.6	Ray-Tracing-Methoden	
6.5.2	Lösen der Gleichungen	89	10.3	Praktische Hinweise	
7	Statik und Dynamik	93	11	Statik, Dynamik, Betriebe	
7.1	Grundlagen der Elastizitätstheorie	93	11.1	Statik von Rohkarossen	
7.1.1	Der dreiaxiale Spannungszustand	94	11.2	Dynamik von Rohkarossen	
7.1.2	Der ebene Spannungszustand	101	11.3	Vorhersage der Lebensdauer	
7.1.3	Kinematik des verformbaren Körpers	103	12	Strömungssimulation	
7.1.4	Hauptachsen und Invarianten	107	12.1	Motoren	
7.1.5	Kompatibilitätsbedingungen	108	12.2	Außen aerodynamik	
7.1.6	Stoffgesetz	109	12.3	Klimatisierung	
7.1.7	Formänderungsenergie	113	12.4	Ladungswechselberechnung	
7.2	Elemente und Elementmatrizen	115	13	MKS-Modelle	
7.3	Beispiele	117	13.1	Ventilsteuerung und Ventile	
7.3.1	Spannungsberechnung	118	13.2	Fahrdynamik	
7.3.2	Eigenschwingungen	121	14	Fahrbahn-Fahrzeug-Interaktion	
8	Finite-Elemente-Vernetzungen	123	14.1	Reifenmodelle	
8.1	Finite-Elemente-Typen	123	14.2	Nachgiebige Fahrbahn	
8.2	Numerische Integration (Quadratur)	126	15	Nichtlineare Optimierung	
8.3	Spannungsberechnung	130	15.1	Grundlagen	
8.4	Elementqualität	130	15.2	Suchstrategien	
8.5	Beispiele	130	15.2.1	Jacob-Suchverfahren	
8.6	Abschätzungen	136	15.2.2	Simplex-Verfahren	
9	Crashberechnung und Insassensimulation	141	15.2.3	Monte-Carlo-Verfahren	
9.1	Einführung	141	15.3	Newton- und Gradientenverfahren	
9.2	Elasto-Plastizität	145	15.4	Verfahren der zulässigen Richtungen	
9.3	Kontaktalgorithmen	151	15.5	Evolutionäre Algorithmen	
9.4	Weitere Aspekte	153	15.6	Ganzzahlige Optimierung	
9.4.1	Hourglass-Moden	153	15.7	DOE und RSM	
9.4.2	Zeitschritt	155	15.8	Neuronale Netze	
9.4.3	Crashprogramme	156	15.9	Multikriterielle Optimierung	
9.5	Insassensimulation	157	15.10	Beispiele	
9.6	Beispiele	160	15.10.1	Crashberechnung	
9.7	Praktische Hinweise	165			

10 Akustik	169
10.1 Einführung	169
10.2 Berechnungsmethoden	172
10.2.1 Theoretische Grundlagen	172
10.2.2 Rayleighsche Integralmethode	176
10.2.3 Boundary-Element-Methode	180
10.2.4 Finite-Elemente-Methode	185
10.2.5 Statistische Energie-Analyse	187
10.2.6 Ray-Tracing-Methode	199
10.3 Praktische Hinweise	201
11 Statik, Dynamik, Betriebsfestigkeit von Rohkarosserien	203
11.1 Statik von Rohkarosserien	204
11.2 Dynamik von Rohkarosserien	208
11.3 Vorhersage der Lebensdauer	211
12 Strömungssimulation	213
12.1 Motoren	213
12.2 Außenaerodynamik	216
12.3 Klimatisierung	217
12.4 Ladungswechselberechnung	218
13 MKS-Modelle	235
13.1 Ventilsteuerung und Antriebsstrang	235
13.2 Fahrdynamik	237
14 Fahrbahn-Fahrzeug-Interaktion	245
14.1 Reifenmodelle	245
14.2 Nachgiebige Fahrbahn	257
15 Nichtlineare Optimierung	265
15.1 Grundlagen	265
15.2 Suchstrategien	277
15.2.1 Jacob-Suchverfahren	277
15.2.2 Simplex-Verfahren	279
15.2.3 Monte-Carlo-Verfahren	281
15.3 Newton- und Gradienten-Verfahren	282
15.4 Verfahren der zulässigen Richtungen und SQP-Verfahren	285
15.5 Evolutionäre Algorithmen	285
15.6 Ganzzahlige Optimierung	289
15.7 DOE und RSM	291
15.8 Neuronale Netze	302
15.9 Multikriterielle Optimierung	304
15.10 Beispiele	308
15.10.1 Crashberechnung	308

15.10.2Parameteridentifizierung	310
15.10.3Rückhaltesysteme	311
15.10.4Sicken- und Topologieoptimierung	313
16 Phänomene nichtlinearer dynamischer Systeme	319
16.1 Singuläre Punkte und invariante Mannigfaltigkeiten	320
16.2 Bifurkationen	328
16.3 Super- und subharmonische Schwingungen	337
16.4 Attraktoren und deterministisches Chaos	340
Literaturverzeichnis	347
Sachverzeichnis	353

Einleitung

Der steigende Wettbewerbsdruck und die kürzenden Innovationszykluszeiten zwingen die Automobilhersteller, sich neue Methoden zur Berechnung von Fahrzeugverhalten zu verschaffen. Diese Methoden betreffen sowohl die Karosserie- als auch die Chassisentwicklung. Neben den Komfortaspekten und den Sicherheitsanforderungen spielen auch die Kosten eine wichtige Rolle. Beim Einsatz der CAE-Methoden (Computer Aided Engineering) vor der Herstellung eines Prototyps (vor ein Prototyp erstellt wird) ist ein virtueller Prototyp zu erstellen, um Fehler zu erkennen und zu vermeiden, bevor sie im CAD-Modell umzusetzen. In der Entwicklung laufen dabei die Berechnungen parallel zur Festlegung der äußeren Form; CAE-Methoden ersetzen das physische Mock-Up, Zusammenbau aller Komponenten und die Prüfung der Eigenschaften (CAE: Berechnung der Eigenschaften) parallel ab. Im CAE-Umfeld gibt es viele Möglichkeiten, die Berechnungen zu unterstützen. In den Tabellen 1.1 bis 1.3 sind die Möglichkeiten aufgelistet. Die Güte und die Vorhersagegenauigkeit sind in den Tabellen B und C mit folgender Bedeutung angegeben: A: sehr genau; B: genau; C: ungenau; D: sehr ungenau. In den Tabellen sind zusätzlich die Abkürzungen der verschiedenen CAE-Methoden angegeben: ME: Mechanik starrer Körper; DK: Dynamik; HM: Hydromechanik; FL: Fluiddynamik. Zusätzlich ist in der Spalte F die für die Berechnung benötigten Teilbereiche der Physik angegeben.

Die Abkürzungen wurden leistungsgemäß gewählt und besitzen keine allgemeine Bedeutung.