

理性土力学与热力学

刘 艳 赵成刚 蔡国庆 © 著



科学出版社

理性土力学与热力学

刘 艳 赵成刚 蔡国庆 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

土力学经过几十年的研究,虽然取得了丰硕的成果,但与其他力学学科相比,还没有建立起一套坚实的理论基础,各种概念和方法之间缺少有机的联系。热力学是从研究热和力等现象的关系中发展起来的宏观唯象学理论,和自然科学的其他学科相比,它具有一个非常显著的特点即普适性。土是一种复杂的多相多组分材料,用热力学方法研究土力学,能够提供更加普遍的、范围更大的用于建立本构方程的定理和方法。以热力学为基础,基于多相孔隙介质理论对非饱和土进行研究是一个具有挑战性的研究方向。本书从新的角度来解读土力学理论,为广大读者展现了最前沿的研究内容,对土力学的工作者具有重要的参考价值,同时也为相关专业的研究生深入学习和了解土力学理论提供了桥梁,有助于土力学理论的不断发展和完善。

图书在版编目(CIP)数据

理性土力学与热力学/刘艳,赵成刚,蔡国庆著. —北京:科学出版社, 2016.5

ISBN 978-7-03-048282-2

I. ①理… II. ①刘… ②赵… ③蔡… III. ①土力学 ②热力学 IV. ①TU4 ②O414

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第103573号

责任编辑:余 丁 闫 悦 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 伟 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年5月第 一 版 开本:720×1 000 B5

2016年5月第一次印刷 印张:15 3/4

字数:300 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

《理性土力学与热力学》一书是在本书第二作者赵成刚 2005 年为研究生授课讲义的基础上, 由刘艳副教授经补充、扩展并执笔完成本书的绝大部分内容, 蔡国庆副教授执笔完成第 8 章。2005 年的讲义占本书不到四分之一的篇幅。

通常在一门学科中, 工程经验作用和科学理论的作用是成反比关系的; 科学所起的作用和占有的比重越大, 工程经验和技艺的作用就越小。土木工程的实践表明, 土力学诞生之前, 岩土工程是完全依靠经验和技艺的。土力学诞生之后, 随着学科不断发展, 科学理论所起的作用也越来越大。面对这种状况, 一方面, 应用时要积累更多的经验, 培养和提高处理工程问题的技艺和水平; 另一方面, 也要促使土力学和岩土工程学科的理论不断向前发展, 最后和其他学科一样达到成熟的水平, 即仅利用科学理论就能够较为准确地预测土体的行为, 这也是土力学研究者所追求的目标。

土力学是岩土工程师根据工程力学的理论, 基于直觉和宏观现象学的认识, 即通过实验得到的经验公式或者在工程经验的基础上, 经归纳、总结而建立的一门半理论半经验性的学科。土力学的理论基础到目前为止并不十分科学和严密。例如, 为何把土这样一种松散和黏结力很弱的矿物颗粒的多相堆积物, 用连续的力学理论进行描述和分析, 而这样做的理由和适用条件是什么? 就是这样一个基础性的问题, 查遍土力学的著作, 几乎找不到对它的论述。另外, 土力学中经验公式很多也是该理论不成熟的标志。针对土力学这样一种半理论半经验的状况, 把致力于使土力学的理论建立在严密和科学的基础之上, 即用严密、统一和完备的科学理论, 如热力学理论或多相孔隙介质理论, 来研究和描述土的性质的理论称为理性土力学。理性土力学并不是什么全新的概念, 它是参照力学学科中理性力学在其中的作用和地位而在土力学中定位的。本书的主要目的就是作者的观点, 简明地介绍理性土力学的一些基本内容。

土力学的研究主要是按由特殊到一般的研究方法进行的, 也就是说, 由实验或特殊工程得到一些特殊的经验公式和工程经验, 经过抽象和提炼, 提升为一种具有普遍性的公式或理论, 这种研究方式无疑是正确和有效的。

但如果与之相反, 即按一种由一般到特殊的研究方式 (这是很多物理学领域的研究者所采用的研究方式), 反而使很多土力学研究者不习惯, 有时甚至持怀疑和反对的态度。例如, 一篇基于热力学的理论论证非饱和土这一特殊物质到达稳态条件的论文, 在讨论其必要条件时, 采用基于一般性理论, 经一定的假定和推导, 得到最后到达稳定的必要条件。通常这种由一般到特殊的推演, 只要热力学理论本身正确, 假定和推导过程又无误, 由一般逻辑推演过程就可以判明其对错, 如在几何和代数的推导过程中就采用这样的方式。当然对于最后结论的适用性还要进行讨论和论证, 例如, 复数

是一种抽象数学推演的结果,它能否用于描述某一种物理现象还是要进行适用性的讨论和论证的。但该论文的一位审稿者竟然无视这种由一般到特殊的研究方式和论证方法,他要求给出从特殊到一般性的论证。由此可以看出:他不了解热力学的基本原理不可能通过由特殊到一般的论证过程给予证明,它只能通过特殊反例去证伪,或是通过特例去讨论它能否用于描述某种物理现象的适用性,但不能用由特殊到一般的方式从正面直接给予证明。通过这一个例子,说明这种由一般到特殊的研究方式在土力学的研究中是很陌生的。但这种研究方式在更具一般性的数学和物理领域却发挥着巨大的作用。因此它在土力学中无疑也应该具有重要的意义。本书就试图介绍这种由一般到特殊的方法。

通常在经典理论框架下所进行的研究难以突破该理论所具有的束缚,因此对经典理论的不足和局限性也很难有全面和深入的认识。只有跳出经典理论的框架,摆脱其影响,以更加宽广的视角重新审视经典理论,才会对其不足和局限性有全面和深入的理解和认识。尤其是目前热力学和孔隙介质理论已经融合在一起,形成了一门新的、较为严密和科学的多相多孔介质理论,在该理论的基础上可以自然地建立起岩土介质多个过程(有时也称为多场)耦合理论。以多个过程耦合的观点重新审视现有的土力学理论,会激发出更多的想法和思路,而不仅仅是由特殊到一般这样一种研究思路。

目前土力学理论是基于宏观现象建立起来的,但这种方法具有很大的局限性,例如,它不能考虑其内部的物理-化学作用以及细观尺度中颗粒、孔隙和孔隙水分布的不同对土体强度和变形的影响等。仅从宏观的尺度研究土力学的理论问题是难以深入到更深和本质的层次。要想深入地探讨和研究决定土力学性质的本质和深层原因,就需要进入到细观或微观的尺度中去,并在这一尺度中研究各种因素的影响和关系,最后才能建立综合考虑细观或微观对土体宏观性质影响的理论模型。在这方面我们所做的工作不多,本书也论述不够,但这却是土力学今后发展的一个重要方向。

本书是我们课题组近十多年来在理性土力学方面学习和研究的一个总结,在附录中还给出了课题组发表的相关期刊论文。本书与目前土力学的教材或专著相比具有明显的不同,它强调的是土力学理论的基础和这一基础的科学性、严密性和完备性。当然全面理解和掌握这些内容对于普通工程师来说可能不是一件很容易的事。但我们希望本书对于从事土力学基础理论研究的人有一些参考价值,并希望本书的出版能够促进土力学理论本身的健康发展。

本书上篇由赵成刚撰写初稿,刘艳最后完稿;下篇由刘艳撰写,其中的第8章由蔡国庆撰写。全书最后由刘艳统稿、审校。

由于是第一次尝试撰写土力学理论方面的书,另外作者自身理论水平也具有局限性,疏漏之处在所难免,恳请读者批评、指正。

赵成刚

2015年12月于北京交通大学

前 言

土力学经过几十年的研究,取得了丰硕的成果,但与其他学科相比,仍有一些不足。其主要原因在于各种概念和方法之间缺少有机的联系和统一的理论基础,经验主义和经验公式还居于重要的地位。热力学是从研究热和力现象两者之间的关系中发展起来的宏观唯象学的理论,它的一个非常显著的特点是它的普适性,在少数几个定律和假设的基础上,热力学的结论就可以用于不同的物质组成的体系,其应用范围远远超出了物理学,而用于化学、生物学、各种工程科学、宇宙学,甚至社会科学领域。因此将热力学方法应用于土力学中,能够获得更加普遍的、范围更大的土力学理论,还可用于建立本构方程和多场耦合理论;同时可以很自然地得到岩土材料在真实应力空间中必然具有不相关流动的性质,消除了传统方法中许多假设。由此可以构建一些具有竞争力的理论模型,并可以较为容易地对它们进行比较、分析,并且建模过程中各部分之间具有更加直接和紧凑的联系,为土力学的理论发展提供依据。

本书将深入探讨热力学方法在土力学理论发展中的重要作用,详细介绍如何在土力学中,通过使用热力学方法来研究和描述土体的基本特性,其内容分为上下两篇,共 10 个章节。

第 1 章为导言。该部分主要介绍国内外研究现状,包括热力学理论发展和土力学理论现状,说明采用热力学建模对土力学的重要性。

上篇为热力学基础,包含 4 章内容。

第 2 章为平衡态热力学基础。该部分主要介绍热力学的基础理论知识,主要是指平衡态热力学的基本理论,包括系统的状态与状态变量,热力学的三大普适定律,热力学状态函数等,给出在平衡状态时的热力学基本方程,为随后的应用提供理论支持。

第 3 章为非平衡态热力学基础。该部分介绍非平衡态热力学的基础知识。非平衡态热力学研究的是非平衡态下系统的热力学行为,它是经典热力学的继承和延伸,提供了对不可逆过程宏观描述的一般纲要。

第 4 章为内变量热力学理论建立本构模型的基本思想。该部分介绍内变量理论基础及其相关的弹塑性理论基础,结合热力学理论来介绍建模的基本原理,包括基本的本构原理与假设,流动势与塑性势,耗散势与 Ziegler 正交假设,屈服函数与流动准则、硬化法则、临界状态等,为下一步建模提供理论依据。

第 5 章为多孔介质理论基础。该部分介绍如何通过平均化方法,把土这样一种松散和黏结力很弱的矿物颗粒的堆积物,用连续的力学理论进行描述和分析,将前文介绍的热力学基础理论应用到土力学中。

下篇为热力学在土力学中的应用, 包含 5 章内容。

第 6 章为土的基本方程。该部分介绍利用热力学基本定律, 建立土体的基本方程, 包括质量、动量和能量守恒方程, 通过合理的假设, 利用热力学第二定律给出熵增表达式, 给出适合描述土体的耗散不等式。

第 7 章为土力学理论的热力学基础。该部分介绍从热力学的角度对土体的基本理论, 如有效应力原理、弹塑性理论、临界状态理论以及土水特征曲线进行解释。

第 8 章为非饱和土多场耦合过程的数学模型。该部分利用热力学和多孔介质理论建立土体在变形-渗流-传热耦合多场耦合作用的数学模型。

第 9 章为土体本构模型的框架。该部分介绍基于热力学理论建立土力学本构方程的一般性理论框架。这一方法利用两个势函数即自由能势函数和耗散势函数(或屈服函数)以及固定的过程和框架, 用于建立土的本构方程。

第 10 章为非饱和土本构模型。该部分以热力学方法建立土体模型举例, 从热力学两个基本定律出发, 针对不同问题, 给出具体化的非饱和土本构模型, 主要介绍水力-力学耦合模型的构建及数值计算方法, 以此为基础介绍了建立固液气三相耦合模型、热-水-力耦合本构模型的方法。

本书是我们团队十几年来研究工作中的一部分成果, 它的出版离不开团队每一位成员的辛勤工作, 在此首先要对他们表示感谢! 此外本书的出版还受到国家重点基础研究发展计划(973)项目(编号: 2015CB0578000)、北京交通大学土建学院出版基金的资助, 在此也表示感谢!

刘 艳

2016 年 1 月于北京交通大学

目 录

序

前言

第 1 章	导言	1
1.1	热力学的发展	1
1.2	热力学在土力学中的应用	2

上篇 热力学基础理论

第 2 章	平衡态热力学基础	7
2.1	热力学系统与过程	7
2.1.1	系统与环境	7
2.1.2	系统的描述	9
2.1.3	准静态过程	9
2.1.4	可逆过程与不可逆过程	11
2.2	温度与热力学第零定律	12
2.3	能量守恒与热力学第一定律	13
2.3.1	功与热	13
2.3.2	内能	14
2.3.3	热力学第一定律	14
2.4	热力学第二定律与熵	15
2.4.1	热力学第二定律	15
2.4.2	熵	16
2.5	热力学的状态函数	17
2.5.1	焓	17
2.5.2	Helmholtz 自由能	18
2.5.3	Gibbs 自由能	18
2.5.4	Legendre 变换	19
2.6	运动学基础	21
2.6.1	两种描述方法	21
2.6.2	速度	22

2.6.3	物质导数	23
2.7	平衡方程	23
2.7.1	一般方程	23
2.7.2	质量守恒方程	24
2.7.3	动量守恒方程	25
2.7.4	能量守恒方程	26
2.7.5	熵的守恒方程	27
2.8	本章小结	28
第3章	非平衡态热力学基础	29
3.1	热力学发展的三个阶段	29
3.2	线性非平衡态热力学理论	30
3.2.1	局部平衡假设	31
3.2.2	基本方程和熵增表达式	31
3.2.3	唯象定律	34
3.2.4	线性非平衡态热力学的应用	37
3.3	经典非平衡态热力学的发展	39
3.3.1	广延非平衡态热力学	39
3.3.2	理性热力学	40
3.3.3	内变量热力学	41
3.3.4	非线性非平衡态热力学与耗散结构	42
3.4	最大耗散率原理	43
3.4.1	耗散函数和耗散势	43
3.4.2	热力学极值定理	45
3.4.3	正交条件	49
3.5	本章小结	50
第4章	内变量热力学理论建立本构方程的基本思想	51
4.1	内变量热力学理论简介	51
4.1.1	内变量	51
4.1.2	局部伴随状态	54
4.1.3	热力学第二定律对本构方程的限制	55
4.2	弹性本构理论	56
4.3	屈服面的确定	58
4.3.1	广义耗散应力	58
4.3.2	耗散空间中的屈服面	59
4.3.3	真实应力空间中的屈服面	59

4.4	本构方程	60
4.5	内变量理论建立材料方程举例	62
4.5.1	算例 1	62
4.5.2	算例 2	63
4.6	本章小结	64
第 5 章	多孔介质理论	65
5.1	混合物理论	66
5.1.1	混合物理论的发展	66
5.1.2	复合混合物理论	69
5.2	平均化方法	71
5.2.1	表征体元	72
5.2.2	平均体积和平均面积	73
5.2.3	平均化算子	75
5.2.4	平均化定理	76
5.2.5	宏观量的获取	77
5.2.6	一般方程的平均化	77
5.3	多孔介质的宏观平衡方程	80
5.3.1	质量平衡方程	80
5.3.2	动量平衡方程	80
5.3.3	能量平衡方程	81
5.3.4	熵平衡方程	83
5.4	本章小结	84

下篇 理性土力学

第 6 章	土的基本方程	87
6.1	平衡方程	87
6.1.1	质量平衡方程	88
6.1.2	线动量平衡方程	89
6.1.3	能量平衡方程	89
6.1.4	熵平衡方程	90
6.2	本构假定	92
6.3	热动力学第二定律约束	94
6.4	平衡状态的限制	97
6.5	近平衡态过程	99

6.5.1	耦合理论框架的建立	99
6.5.2	线性假设	100
6.5.3	非线性关系	101
6.6	本章小结	103
第7章	土力学理论的热力学基础	104
7.1	非饱和土变形功的表达式	104
7.2	有效应力原理	108
7.2.1	饱和土的有效应力原理	108
7.2.2	非饱和土有效应力的发展	111
7.2.3	从功的表达式确定有效应力	115
7.2.4	平均土骨架应力的推导	117
7.2.5	非饱和土有效应力原理的讨论	124
7.3	土体弹塑性理论的热力学基础	127
7.3.1	土体的变形特性	128
7.3.2	经典塑性理论	128
7.3.3	土的弹性模型	132
7.3.4	应变增量与背应力	135
7.3.5	耗散势与屈服函数	137
7.3.6	硬化法则	140
7.3.7	流动法则与一致性条件	143
7.3.8	临界状态理论	146
7.4	土水特征曲线	150
7.4.1	土水特征曲线简介	150
7.4.2	热力学描述	152
7.4.3	土水特征曲线的边界面模型	153
7.5	本章小结	155
第8章	非饱和土多场耦合过程的数学模型	157
8.1	自由能函数和耗散函数的选取	157
8.1.1	自由能函数的选取	157
8.1.2	耗散函数的选取	160
8.2	考虑变形-渗流-传热耦合的非饱和土本构关系	163
8.2.1	描述变形的本构方程	163
8.2.2	描述系统熵变化的本构方程	164
8.2.3	描述渗流的本构方程	165
8.2.4	描述热传导的本构方程	166

8.2.5	描述流-固界面动力相容条件的本构方程	166
8.3	闭合的场方程系统	166
8.3.1	质量守恒方程	166
8.3.2	动量守恒方程——固相力学平衡方程	168
8.3.3	能量守恒方程——热传导方程	168
8.4	本章小结	169
第 9 章	土体本构模型的框架	170
9.1	热力学方法建模的基本思想	170
9.2	应力状态变量的选择	171
9.3	弹性增量关系	172
9.3.1	固相	172
9.3.2	液相	173
9.3.3	气相	173
9.3.4	弹性方程	174
9.4	耗散势与屈服面	174
9.4.1	耗散势函数	174
9.4.2	屈服面方程	175
9.4.3	线性化	176
9.5	本构方程	177
9.5.1	固相的本构方程	177
9.5.2	液相的本构方程	179
9.5.3	气相的本构方程	181
9.6	非饱和土增量本构方程	182
9.7	本章小结	183
第 10 章	非饱和土本构模型	185
10.1	非饱和土本构模型发展	185
10.1.1	基于净应力和基质吸力建立的弹塑性模型	185
10.1.2	基于 Bishop 应力和基质吸力建立的弹塑性模型	186
10.1.3	热力学和多孔介质理论在本构建模中的应用	188
10.2	水力-力学耦合弹塑性模型	189
10.2.1	本构模型建立	189
10.2.2	土水特征曲线的改进	195
10.2.3	数值求解	197
10.3	高饱和度非饱和土模型	205
10.3.1	高饱和度土体变形特性	206

10.3.2	硬化方程	208
10.3.3	增量本构方程	209
10.3.4	高饱和度模型预测	210
10.4	热-水-力耦合弹塑性本构模型	212
10.4.1	弹性增量关系	213
10.4.2	屈服面与硬化方程	214
10.4.3	增量本构方程	215
10.5	本章小结	217
参考文献		218
附录 1 符号表		230
附录 2 代表性研究成果		235

第 1 章 导 言

1.1 热力学的发展

第二次世界大战以后,连续介质力学的理论以 Rivlin 和 Truesdell 的开创性工作为基础,得到了迅速的发展,并取得了引人瞩目的成果。但 1960 年以后,连续介质热力学才开始得到人们的重视并开展了深入的研究,场论也被引入到了连续介质热力学中。

连续介质力学用于处理变形体的问题,早期它仅限于处理一些简单的特殊理想变形体和一些同温或没有热能交换的变形体。然而基于更加普遍的情况,连续介质力学必须考虑能量交换和耗散以及能量平衡,这就必然要涉及连续介质热力学理论。有些人认为:连续介质热力学只不过是把热和与温度有关的因素在连续介质力学中加以考虑,但如果工程允许忽略温度的影响,则连续介质热力学对变形体的研究意义不大。但他们没有认识到,连续介质热力学不仅要研究热和温度的影响,还要研究变形体的能量交换和耗散以及平衡。而变形体,尤其是混合物、多孔介质等物体,其内部不同组元之间的相互作用是可以通过它们之间的能量交换和平衡来描述的。另外,材料的塑性变形和徐变要涉及系统内的能量耗散,因此,连续介质热力学对各种变形体的力学描述来说,意义重大。

基于上述观点,连续介质力学与连续介质热力学是不可分的,因此需要对它们用场的理论进行统一的分析与处理。这也就是 1960 年以来,连续介质热力学越来越得到研究者重视的重要原因。对连续介质力学和连续介质热力学进行统一处理需要一个共同的语言或分析工具,这就是用场的理论和方法作为共同的分析工具。在连续介质力学中用场的理论进行分析是一件很自然的事,其应力和应变依赖于其空间位置和时间。

热力学的发展按传统分类方法大致可以分为三个阶段(王季陶, 2010),第一个阶段是从 19 世纪中叶到 20 世纪初建立起来的经典平衡态热力学。平衡态热力学研究的是系统在平衡态或可逆过程中的宏观性质,即相当于研究热力学力和热力学流均为零的状态。经典热力学(平衡态热力学)中,在热力学两个基本定律的基础上,可以演绎出一系列各种定量的关系,平衡热力学的各种推论或结论也可以通过各种实验与观察来进行检验。在有限的空间内其状态和温度被假定为不变的,但这种假设在通常的意义上与热力学第一定律并不一致。按照热力学第一定律,热流至少是通过物体表面流入的;当这一过程开始时,物体内部的温度不同于其表面的温度,由此物体的状态是不均匀的。这就存在一种两难的情况:一方面经典热力学要求系统处于均匀或平

衡状态, 另一方面又要求能够描述能量的交换与流动(而不均匀才能产生这种交换与流动)。处理这种两难的情况通常有两种方式。

(1) 假设系统的过程变化非常缓慢(这是经典热力学的处理方法), 并考虑它为平衡状态的结果, 通常这种过程是可逆的。然而工程师在制造热机时, 并没有把自己限制在热机必须遵照上述非常缓慢变化的过程原理中, 他们并不在意上述原理的限制。实际上塑性变形, 即使变形很缓慢, 但也是一个不可逆热力学过程。因此, 经典热力学对于这些问题的描述遇到了困难。为了克服这些困难, 现代连续介质热力学理论得到了发展。

(2) 局部状态原理的处理方法(这是现代连续介质热力学的处理方法), 即把系统划分为无数个微小的代表性单元, 不同单元之间的温度与状态是不同的, 但微单元内部可以近似地认为处于平衡状态, 可以用状态量和温度来近似地描述(就像在连续介质力学的代表性单元中的应力与应变一样)。

局部状态原理的出现, 使得热力学可以用于描述不可逆过程, 热力学也因此进入发展的第二个阶段, 即线性非平衡热力学阶段。在这一阶段, 出现了两个著名科学家 Onsager 和 Prigogine, 他们先后提出 Onsager 定理和推论, 为线性非平衡热力学的发展奠定了基础。局部状态原理在连续介质热力学中被引入后, 就可以利用场论的方法对热力学的状态变量及其函数进行分析和处理。这样就使连续介质力学与连续介质热力学得到了统一。实际上, 连续介质力学可以作为连续介质热力学的特殊情况处理。线性非平衡热力学的前提就是局部平衡假设, 而局部平衡假设只在各热力学变量的空间变化的梯度不变大, 即接近平衡态时才能成立, 这种局限性也使得线性平衡态热力学的应用范围也局限在靠近平衡态这样一个小范围内。

从 20 世纪 60 年代开始, 热力学在连续介质力学中的重要作用已经逐渐显露出来, 并为学界认识。为了使热力学原理可以处理更复杂的非线性问题, 在对非平衡态连续介质热力学进行的过程中, 出现了不同的学派, 在 Onsager 和 Prigogine 理论之后, 以 Casas-Vazques、Lebon、Jou 等为代表发展了广延非平衡热力学, 以 Coleman、Noll、Truesdell 和 Muller 等为代表提出了理性热力学, 此外还有介于经典非平衡态热力学与理性热力学之间发展起来的内变量热力学。随着这些理论不断发展, 热力学也在更多的领域内发挥着它的威力。

1.2 热力学在土力学中的应用

以 Terzaghi 为代表的经典土力学经过近百年的发展, 取得了巨大的进步, 其应用范围也在不断扩大。但土力学的理论基础仍然不够完善, 例如, 多数假定渗流与变形和强度无直接联系, 渗流与变形的理论分别是根据不同的假定而建立的, 土力学各章节之间缺少有机的和统一的理论基础; 经验公式和方法随处可见; 经验、工程判断、艺术和技巧还继续发挥重要的作用。虽然现代土力学的发展, 尤其是临界状态土力学

和土的本构模型的发展,使土的变形与强度建立了联系,进一步完善了土力学的理论基础。但这种发展与变化仍然没有从根本上改变上述状况,土力学统一和完备的理论基础仍有待于研究和发展。

岩土材料的应力、应变和强度关系是岩土工程中最基本的关系,因此吸引了许多优秀的岩土工程方面的学者和一些力学学者的关注,建立了数以百计的岩土本构模型。传统方法建立岩土本构模型通常是采用经典塑性力学的方法,即根据实验观测结果,建立宏观、唯象的能反映岩土材料特性的弹性方程、屈服面和塑性势面、硬化函数以及塑性流动法则。它们的选择或多或少地都具有一定的独立性和经验性(例如,不同的人根据他们自己的认识,提出了很多各具特色的屈服方程、硬化函数和塑性流动法则等),由此得到相应的本构方程。这样得到的本构方程是半经验性的,对不同的材料其本构方程是各异的;这些不同的本构方程不能通过更加普遍的原理建立起相互之间的联系,有些本构方程还违背热力学的基本定律。

土体在应力、渗流、温度和化学等场的共同作用下,土骨架的变形、孔隙水的渗流、组分物质或污染物的迁移与扩散、化学反应(溶解、沉淀)、相变等多过程或多场的耦合问题,是目前国内外研究中的一个迫切需要解决而又十分困难的问题。该问题的解决将为有效地解决许多工程问题,如土木工程的建设、地质灾害防治、环境保护(如污染物的扩散与运移等)、新能源(如煤层气、天然气水合物等)高效开采等,提供必需的理论基础和前提条件。而传统的理论绝大多数都是基于直觉的、经验的、宏观现象学的认识,缺少严格和科学的理论基础。由此所建立的理论适用范围有限,也未能严格和有效地描述多场作用下土体中多场和多过程耦合的现象。因此,无法满足解决上述实际工程问题的需要。土体在多种环境作用下多场耦合的统一和完备的理论基础有待于研究和发展。

热力学是从研究热现象和力现象两者之间的关系中发展起来的宏观唯象学的理论,和自然科学的其他学科相比,热力学的一个非常显著的特点是它的普适性。在少数几个定律和假设的基础上,热力学的结论可以用于完全不同的物质组成的体系,其应用范畴远远超出了物理学,而用于化学、生物学、各种工程科学、宇宙学,甚至社会科学领域(Nicolis et al., 1992)。由于热力学的普适性,一旦岩土的本构方程违背了热力学的基本定律,它们在使用中就会具有局限性,那么就不会放心和有把握地使用它们。另外,应该看到,满足热力学定律的本构方程也不一定就能够保证它的正确性和实用性。满足热力学定律的要求仅仅是充分性的要求,而非充分、必要条件。本构方程的正确性和实用性还需要经过实践的考验和验证,并且经过实践检验后最终还要被科学家和工程师接受。

按经典塑性力学的方法建立的本构方程通常是满足各种稳定性假设的(如 Drucker 公设和 Iliushin 公设),但通常都没有严格讨论过是否满足热力学定律。Drucker 公设是传统塑性力学的基础,但它并不与热力学第二定律等价。虽然大多数岩土工程问题可认为是等温过程,但岩土材料的变形与失效都涉及能量的平衡与耗散以及熵的改变,

也就是说可以用热力学第一与第二定律来描述。基于热力学的塑性理论研究开始主要集中在金属材料方面。近二十年在其他材料方面（特别是岩土材料）也出现了一些基于热力学理论的弹塑性本构关系的研究（Ziegler, 1983），并建立了针对这些材料本构方程的一般性理论框架（Houlsby et al., 2007）。这些研究致力于建立一种适用于更广泛材料类型的理论以及更加严密和协调一致的方法，用于构建本构方程。用这种方法建立的本构方程有时也称为超塑性本构方程，它具有以下优点（赵成刚等，2006）。

（1）自动满足热力学定律。

（2）能够提供更加普遍的、范围更大的用于建立本构方程的定理和方法。可以很自然地得到摩擦性材料（如岩土材料、混凝土材料等）在真实应力空间中必然具有不相关流动的性质，消除了传统方法中许多人为的任意假设（如假定岩土材料为相关联流动）。

（3）可以构建一些具有竞争力的本构模型，并可以较为容易地对它们进行比较、分析；并且建模过程中各部分之间具有更加直接和紧凑的数字联系。

土本身和周围赋存的环境所涉及的范围及其变化是非常广泛和巨大的，因此导致经典土力学的范围也在不断地拓展和变化，以满足现代社会发展的需要。另外人类社会的发展和进步已经到了需要考虑多种环境的作用和影响的时代，而经典土力学理论面对这样多种环境作用的问题时，就更加需要拓展其范围，以适应现实环境和工程问题的需要。