



工程环境控制论



黄杰民 编著

清华大学出版社



工程环境控制论

黄杰民 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

工程环境控制论是一门跨于传统工程学、环境学、自动控制理论之间的横向交叉学科,属于技术基础学科范畴,应用范围宽广。其基本目标是控制广义工程系统的局部环境输入-输出效应。可应用于结构抗震(振)、防灾、安全、防污、节能(广义太阳能利用)、舒适热环境、交通物流(信息流)等技术或非技术性功能的过程自动控制或参数控制。由于篇幅所限,本书仅重点论述了结构功能控制的应用模式,涉及高层建筑、桥梁、汽车/飞机等结构振动控制问题。书中特别提出:结构反共振控制理论、结构抗震液压蓄能-伺服控制技术、鲁棒控制与 H_∞ 优化理论的应用原理、参数控制原理与方法等。

本书适用于下列人员参考或选修:广义工程系统环境效应控制的工程(技术)主体及其交叉应用领域的设计研究者,基本建设工程项目的决策/管理者。有关广义专业主要是土木建筑工程类、环境保护/节能类、自动控制设施类等相应工程技术专业的高校师生。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工程环境控制论/黄杰民编著. --北京:清华大学出版社,2010.4
ISBN 978-7-302-21490-8

I. ①工… II. ①黄… III. ①工程控制论 IV. ①TB114.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 214372 号

责任编辑:徐培忠

责任校对:刘玉霞

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:24.25

字数:587千字

版 次:2010年4月第1版

印次:2010年4月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:59.00元

产品编号:007092-01

前 言

工程环境控制论是一门跨于工程学、环境学与自动控制理论之间的横向交叉学科,属于技术基础学科范畴,应用范围宽广,不仅适用于传统的技术性工程领域,而且可拓展到高新技术或非技术性领域。

本书从各种工程中客观存在的实际问题和理论上的需要出发,归纳提出所谓“工程环境”概念,用交叉学科的方法建立工程环境控制学的理论体系。工程环境控制论不同于现有的以“人-环境”二元系统为对象的研究宏观生态环境的传统环境科学,而是以“工程-人-环境”基本三元系统为对象,结合不同领域的具体工程技术特点,从它们本身的功能需要出发,根据外部环境的变化,研究广义的局部(微观)工程环境效应的控制原理和方式方法,以满足不同工程系统在结构性、抗灾性,以及环保、节能、舒适性或智能性等方面的要求。

书中重点研究结构性功能控制的应用模式,以高层结构抗震、桥梁抗风、汽车构架动力振动等减振降荷控制为主要研究目标,并特别提出:结构反共振控制理论体系;液压蓄能-伺服抗震控制机制;参数控制原理与方法;鲁棒控制与 H_{∞}/H_2 优化理论的应用原理等。因受篇幅所限,其他功能类型控制的应用模式,尚需另文论述。

本理论可供广泛的工程技术设计研究人员与环境类专业师生参考。除了适用于上述有关领域以外,对于开辟与扩充传统自动控制技术理论的应用范围,以及那些关心环境产业,但又不知何去何从的读者,还有那些认为环境问题与本专业无关的工科专业高年级本科生或研究生和科技工作者,也许可以通过本书较全面地了解工程环境领域如何与各自专业相结合,从中得到一些启发。对工程环境管理与工程项目决策,亦有参考价值。

作为一本内容涉及范围如此广泛的学术理论兼有应用价值的著作,难免有不当和失误的地方,还望读者指正与讨论。

笔者对下列知名专家、学者和基金给予本书出版的直接或间接支持和帮助,表示深切的感谢:广东省建筑设计研究院原总工程师容柏生(中国工程院院士)、华南理工大学教授韩大建(博导)、广州大学周福霖教授(中国工程院院士);国家自然科学基金、国家教委博士点基金、清华大学出版社学术专著出版基金。此外,对关心和鼓励笔者完成本著作的老同学、校友和朋友衷心感谢;并对多年来寄来某些有关环境信息的(美国)“高层建筑与城市环境协会”(CTBUH)谨表谢意。

黄杰民

2009年4月于华南理工大学·中国广州

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工程环境问题的提出	1
1.1.1 实际工程的需要.....	1
1.1.2 理论上的需要.....	3
1.1.3 工科大学交叉学科建设的需要.....	6
1.2 工程环境概念与工程生态观	7
1.2.1 工程环境外部因素.....	8
1.2.2 工程环境的基本概念与特性.....	8
1.2.3 工程生态观	10
1.3 实际工程控制技术典型实例.....	13
1.3.1 高层建筑抗震抗风自动控制	13
1.3.2 斜拉桥与悬吊桥抗风控制装置	14
1.3.3 可开合式空间结构	15
1.3.4 水利工程控制技术	16
1.3.5 太阳能建筑新技术	18
1.3.6 智能建筑与环境系统技术	19
1.4 工程环境效应控制技术的应用前景.....	21
主要参考文献	27
第 2 章 工程环境控制理论基础	28
2.1 工程环境观测技术与分析方法.....	28
2.1.1 环境作用的基本性质与类型	29
2.1.2 观测试验技术	31
2.1.3 数据关系与分析方法的提示	33
2.2 功能分析与三元系统模型.....	38
2.2.1 功能分析与系统思路	38
2.2.2 三元系统模型	41
2.2.3 工程系统的四个基本要素	42
2.3 有控制作用时的可靠性分析方法.....	45
2.3.1 功能函数与可靠指标	45
2.3.2 有控制作用时的可靠指标计算公式	47
2.3.3 控制作用对可靠性的影响分析	49
2.3.4 有控制作用的结构功能设计问题	52
2.3.5 数字例	53

本节提示	55
2.4 广义环境容量定理与环境评估准则	56
2.4.1 广义环境承载能力	56
2.4.2 广义环境容量定理	59
2.4.3 环境与功能的关系	61
2.4.4 环境影响的评价准则	64
2.4.5 热环境舒适性功能评估准则	68
本节结语	70
2.5 广义工程环境控制动力学基本原理	70
2.5.1 动态平衡方程	70
2.5.2 基本控制方程	75
2.5.3 控制系统的综合问题	78
本节结语	79
2.6 “土柱”振动模型与基土振动控制原理	79
2.6.1 两类振源	79
2.6.2 “土柱”的振动方程	79
2.6.3 浅埋式大型地道的弯曲振动控制	82
本节结语	87
本章结语	87
主要参考文献	87
第3章 工程环境自动控制应用原理与控制算法	89
3.1 工程环境作用下的基本控制原理与特点	89
3.1.1 经典控制算法的应用原理	90
3.1.2 典型环境作用的描述方法	92
3.1.3 环境效应的叠加或迭加原理	94
3.1.4 复合控制原理	96
本节注记	99
3.2 补偿控制、虚拟反馈及被动控制	99
3.2.1 环境作用下控制的偏差/误差	99
3.2.2 闭环系统补偿控制	102
3.2.3 开环系统补偿控制	103
3.2.4 虚拟反馈的提出	105
3.2.5 被动控制或混合控制的新理念——节能控制	106
本节结语	108
3.3 参数控制原理与方法	109
3.3.1 参数控制的基本概念与控制模式	109
3.3.2 参数控制模式	112
3.3.3 期望参数与参数控制函数的建立	115

3.3.4	留数定理与留数法的应用	117
3.3.5	根轨迹法的应用	122
	本节注记	124
3.4	频率法分析与综合	124
3.4.1	广义频率特性提示	125
3.4.2	频率传递函数与波德图	127
3.4.3	期望频率特性综合法	129
	本节注记	133
3.5	数值仿真技术的应用	133
3.5.1	按环节离散化仿真模型	133
3.5.2	按状态空间方程离散化仿真模型	135
3.5.3	工程结构抗震控制离散化仿真	137
3.5.4	在线控制原理与在线算法	141
3.5.5	关于计算机应用的“环境”问题	144
	本节注记	146
3.6	参数辨识与估计的方法	146
3.6.1	ID 技术在工程环境控制领域的特点与意义	147
3.6.2	线性与非线性辨识模型	149
3.6.3	卡尔曼滤波估计方法	151
	本节注记	154
	本章结语	154
	主要参考文献	154
第 4 章	结构控制动力学基础	156
4.1	复模态分析与模态识辨理论基础	156
4.1.1	传统实振型分析法	157
4.1.2	近代阻抗法	158
4.1.3	控制动力学——共轭极点方法	159
4.1.4	模态识辨的理论基础	160
4.1.5	综合述评	162
4.2	多自由度体系反共振控制原理	164
4.2.1	反共振方程与矩阵解法	164
4.2.2	修正反共频率与广义零点的关系	170
4.2.3	带 TMD/STMD 多自由度系统的修正反共振频率	178
4.2.4	反共振控制的共轭零点校正与设计准则	191
	本节小结与讨论	195
4.3	极点配置与模态控制算法	196
4.3.1	桥梁在移动荷载下的竖向振动控制方程	196
4.3.2	极点配置的设计方法	200

4.3.3	带观测器时的反馈控制设计	205
4.3.4	复模态控制的基本原理	211
4.3.5	关于模态综合-控制方法的讨论	216
4.4	主动性反共振控制算法	219
4.4.1	等效极点配置的闭环输出控制算法	219
4.4.2	开环模态控制算法	220
4.4.3	开环补偿控制算法	225
4.4.4	地震作用的卓越频率估计与分析	226
4.4.5	带 TMD 主动性开环模态控制数字例	229
	本节提示	231
	本章结语	232
	主要参考文献	232
第 5 章	鲁棒性控制与 H_∞/H_2 优化理论的应用原理	234
5.1	鲁棒性与鲁棒控制概论	234
5.1.1	关于范数与摄动的基本知识	235
5.1.2	鲁棒稳定性的概念与分析	239
5.1.3	多变量系统鲁棒性的奇异值判定法	244
5.1.4	鲁棒性的应用研究意义	247
5.2	H_∞ 优化控制理论的应用原理与方法	248
5.2.1	H_∞ 优化方法的理论基础	249
5.2.2	综合灵敏度的表示方法	253
5.2.3	参数摄动的灵敏度校正方法	260
	本节注记	265
5.3	MDOF 系统极点配置的鲁棒设计方法	265
5.3.1	问题的提出	265
5.3.2	MDOF 系统的摄动界限与鲁棒性判据	266
5.3.3	闭环极点配置的鲁棒设计方法	271
	本节注记	273
5.4	开环模态控制的摄动机制与鲁棒设计	274
5.4.1	剩余模态引起的摄动机制	274
5.4.2	摄动矩阵分析与综合的方法	275
5.4.3	频率摄动及其鲁棒设计准则	285
	本节的初步结论	292
5.5	反共振控制的频率摄动及其鲁棒设计准则	293
5.5.1	参数摄动对反共振频率的影响	293
5.5.2	反共振频率与同阶共振频率的最小间隔准则	294
5.5.3	反共振控制设计频率的鲁棒性准则	296
5.5.4	STMD/TMD 的频率设计	299

本节注记	303
5.6 数字例验证与讨论	304
5.6.1 B类振源下汽车构架的参数摄动与被动控制	304
5.6.2 A类振源下高层结构的剩余模态摄动与TMD控制	309
5.6.3 TMD的自振频率的修正设计	314
本章结语	318
主要参考文献	318
第6章 结构混合控制技术的综合研究	320
6.1 结构控制技术的应用开发及其意义	320
6.1.1 对已有应用基础研究成果的基本评价	320
6.1.2 应用开发研究概况	322
6.1.3 对现有结构控制方法的基本评价	323
6.1.4 多目标开发的可能性与积极意义	326
本节结语	328
6.2 结构抗震主动性控制的可行性问题	328
6.2.1 问题的提出	328
6.2.2 主动控制力的数量级	329
6.2.3 主动控制力的产生问题	330
6.2.4 主动控制的能源可靠供应问题	330
6.2.5 被控结构的时滞响应问题	331
6.2.6 主动控制的经济效益问题	332
6.2.7 结构控制的可靠性问题	333
综合性结论	333
6.3 结构振动自动液压蓄能混合控制研究	334
6.3.1 基本阀-缸控制系统的一般性质	334
6.3.2 自动蓄能控制系统的特点	336
6.3.3 传力机构类型及其分析	339
6.3.4 “蓄能-伺服”控制单元系统的运动方程	343
6.3.5 实际结构设备性控制的实现途径	347
本节结论	350
6.4 抗震在线主动-被动控制算法与误差仿真	350
6.4.1 在线微机主动控制震动的原理	351
6.4.2 闭环主动-被动控制的预报控制在线算法	353
6.4.3 误差综合分析与仿真模型	356
6.4.4 结构抗震混合控制的实现条件	359
6.5 主动性控制隔震	359
6.5.1 被动隔震的频率匹配问题	360
6.5.2 有拉力约束装置的被动隔震	363

6.5.3 主动控制隔震的构想·····	363
6.5.4 带隔震层的 MDOF 系统的频率重分布 ·····	366
本节提示·····	367
本章结语·····	368
主要参考文献·····	368
第 7 章 工程环境控制应用导论·····	371
7.1 工程结构减振降荷控制的应用模式 ·····	372
7.2 蓄能-伺服控制利用的应用模式 ·····	373
7.3 参数控制应用模式 ·····	374
7.4 微观环境理论及其应用模式 ·····	375
本书结语·····	377

第 1 章 绪 论

无论从实际工程还是理论研究的需要,以及从当代工科大学交叉学科建设的需要来说,都有必要建立一种局部环境控制理论,称之为“工程环境控制论”。它是现有的宏观环境理论和“环境工程”必要的补充和延伸。本章归纳提出“工程环境”的概念,以及相应的“工程生态观”和“工程环境控制观”,并提出这种理论的研究任务、研究方法和发展概况;后两节用近代的典型工程应用实例来说明这种理论建立的客观根据和应用前景。

1.1 工程环境问题的提出

“工程”和“环境”两词在各个领域得到广泛的应用。“工程”广义是指人类为了改善客观世界,在科学理论指导下采取一定技术手段进行的具体实验或活动过程,或取得实际效果的工程主体,它离不开具体的输入条件和输出的一定范围的影响——输入一般是大环境,输出是小环境效应,这里是特指“工程环境”。我们更感兴趣的对象是数量众多的一般民用、工业用工程系统,例如建筑工程、道路桥梁与市政工程、水利工程以及其他非专门的环境工程等。这涉及广泛的建筑物或结构物、实质类同的动力机械或交通工具的实体工程结构体系,并包括装设于其中的有关控制设备系统。还可拓展到非实物或非技术性的广义工程系统和环境去,包括所谓知识环境与“软环境”,例如工程投资环境等。

本节首先对提出工程环境问题的背景具体加以讨论。

1.1.1 实际工程的需要

实际工程的需要主要是基于下面的客观事实:一是具体的“人”总是生活或工作在一定的场所即局部环境中;二是对许多工程来说,其输出的局部环境要求日益严格。不管是从工程方面还是从环境方面看,工程问题与环境问题总是密不可分、客观存在。

1. 从环境角度看工程建设问题

任何工程的建设主要是为了改善某种环境或开发某种资源,但其结果也必然影响宏观环境,既可以是良性循环,也可能是恶性循环。近代经济和城市的发展,使环境问题与工程建设之间的矛盾日益突出。主要问题是增加了环境的污染,使大环境恶化。工业污染不用说,生活污染也不可忽视,其次是带来能源危机。例如,大型水利工程,既带来各种水利资源综合利用等效益,但同时也可能带来一系列生态环境和工程环境问题。工程环境不限于一般污染问题,甚至可能带来灾难,核电站发生大事故会造成大范围、长时间的核辐射等。

因此,各国在现代环境管理中,皆建立了对大型基本建设等工程项目需进行“环境影响评价”的制度。这是传统的大环境观指导下的一种环境(法律)管理手段。

2. 从工程角度看环境问题

概括来说,传统的大环境观和上述的环境影响评价,一般地说,存在三点局限:

- 仅注意宏观公共环境,忽视了局部(微观)环境;
- 仅考虑生态(生物)环境,忽视了对工程(事物)的环境;
- 环境治理没有和众多的一般工程联系起来考虑。

——事实上,环境对人类的影响总是或绝大部分时间是通过人类生活或工作的场所、交通工具等才能体现。“建筑环境”一词在建筑学和建筑设计中已司空见惯,这包括建筑空间环境、室内物理环境、景观环境等。当代建筑的一个指导原则是“以人为本”,建筑环境对人的影响正是通过建筑这种艺术和人性化的工程实体才能体现。

——公认的“六大环境公害”(大气污染、水污染、土壤污染、噪声、振动和恶臭或固体废物),严格来说,它们都直接或间接地经过工程系统的“过滤”或传递才起作用。河流水质污染和空气污染源的污染及治理措施,与一系列工程有关。例如,专门的环境污染处理工程,离不开液体池、水塔等特殊结构物,需占用一定建筑面积;具有开发价值的工业和生活污水处理回用技术,必须联系具体的工程或建筑的规划设计或营运情况来评价;即使是基本建设中提高土地利用率和避免植被和绿化的破坏等问题,也都与具体的工程直接或间接有关。

——局部环境既可能改善也可能恶化。在相同的外部宏观环境条件下,工程系统输出的局部环境,当工程设计不合理,或施工管理不当时,皆可能使局部环境不理想甚至变差。这方面有许多失败教训。有些普遍性问题很值得重视,诸如:建筑节能方面注意不够,室内热环境设备能耗过大;建筑噪声特别是防止室内噪声固体传播的有效方法常被忽视;高层建筑的室内装饰虽很讲究,但某些建筑材料和装饰材料会排放有害气体,并常在消防方面不达标;没有认真考虑清楚河流的泥沙特性而采用不恰当的水库-水电站方案;等等。当然,也有许多成功的例子。

——工程设计中环境输入的不确定性。在工程建设中,虽然对环境效应问题也进行必要的考虑,但常规设计中通常是假设输入的环境作用为已知,设计一旦定案,参数即固定,建成前对工程结构参数无法识别,建设后多无实测核校。实际上未来的环境都是未知的和非确定性的,有些是目前还难以准确预测的动态过程,例如强烈地震,本质上结构抗震设计响应分析一定程度上是建立在假设的基础上。因而工程系统的设计参数实质上也是随机的,结果或偏保守,或偏冒进。所以对重要的环境输入需要专门的研究,必要时施以结构在线抗震控制。

——建筑节能、防灾与工程技术。建筑耗能常占一个国家总耗能的20%~40%,其中主要是用于改善室内热环境的舒适性。改善室内的热环境或空气质量时,必须研究建筑物的围护结构和构造的合理隔热性能。而自然资源的合理利用更是以工程为开发目标,典型的如水电站。自然灾害造成的损失非常值得重视,防灾工程技术措施是主要的:防洪缺少不了堤坝工程;消防问题主要是针对建筑物;地震灾害必须研究房屋结构的抗震性能和地基情况;核辐射往往由于核电站工程技术存在隐患而出现事故,等等。

这些例子说明,工程系统是主角,只研究宏观生态环境而不研究局部环境是不够的,至少是不全面的。传统的宏观生态“环境影响评价”只当“检察员”的角色,对具体治理环境往往提不出确切和更有效的方案。实际工程设计和环境管理都需要更具体更实际的微观环境

理论指导。

3. 从经济角度提出的问题

社会环境因素特别是经济和法律因素对所有的工程建设都有制约作用。例如环境法、建设方针政策等,对工程特别是公共环境治理工程及城市的基本设施系统的发展往往具有决定性意义。现行的公共环境工程,仅限于专门领域,没有和众多的一般工程直接和有机地联系起来,并仅作为公共环境事业来处理。其最大问题是资金缺乏。根本原因是对“环境”的价值不明确,结果没有也无法将环境效益与投资者的经济利益挂钩。值得注意的一个问题是,在基本建设中工程规模和设计标准须与环境效应和资源利用等方面协调发展。阻碍城市持续发展的往往是城市的基本设施系统(infrastructural system),这牵涉到城市规划设计供能、供水、供电体系时,工程的设计容量裕度和先进水平的合理选择问题,显然与众多的用户环境状态有关,但归根到底这决定于可投入的资金多少。

综合来说,上述各种工程与环境问题虽然在各自工程领域已得到不同程度的研究,但许多问题从单纯的工程观点、环境观点或经济观点去解决,都有一定局限性,必须从三方面甚至更多方面进行科学论证和决策,才能较合理地解决。对同一项大型工程项目,从传统的大环境角度和从工程角度看,常常是见仁见智,甚至相互矛盾,即使统一,往往也主要是靠环境法律手段或行政手段。近年来已得到各国公认的“可持续发展战略原则”似乎已经明确了这个问题的解决方向,然而它在工程方面的含义是什么,更重要的是在工程技术方面如何去实现,则还需要进一步研究。

1.1.2 理论上的需要

于是可归纳提出这样的共同性问题:

- 众多的一般工程如何在设计时结合考虑改善其输出的局部环境;
- 土建工程系统是否可以自动控制以适应未来环境的变化;
- 环保工程如何更好地解决其所需资金的困难等。

现有的学科还不能独立完善解决上述课题,因此,要求建立某种共同的基础理论。

1. 建立小环境理论的需要

在现有的环境科学中,“环境是指人类赖以生存并以人为中心、围绕着人的物质世界”,或者说,“是指影响人类生存和发展的各种天然的经过人工改造的自然因素的总体”。现有的环境科学主要是研究宏观环境规律及宏观环境现象,其系统模型为“人类-环境”。这种宏观环境本书称为“大环境”,相应的研究学科称为“大环境理论”。

就笔者的理解,现有的环境科学的主导思想,自从德国生物学家海克尔(E. H. Haeckel, 1869)提出生态学的概念,英国植物生态学家坦斯莱(A. G. Tansley, 1935)提出生态系统的概念,美国的经济学家沃德(B. Ward)和医学家杜波斯(R. Dubos)主编的《只有一个地球》(1972)一书问世后,以宏观生态学(生态环境)为主导的思想一直占统治地位。即使是最注重实际的“环境工程学”学科分支,其研究任务也没有超出这一范畴。在这一指导思想下,作为一门跨学科的综合性的科学,环境科学研究的空间越来越大,时域越来越长,环境治

理工程越搞越集中；它无所不包却又似乎无所指，主张改造环境却又强调保持平衡，既承认生物的进化论却又要维持现有的生态现状……总之，其中充满矛盾却又要辩证统一。它是一门自然科学但却又似哲学。作为一种追求真理的科学体系，或作为一种理想追求，这是无可厚非的，也的确反映了环境问题的复杂性。

然而，作为一门工程学科，则必须考虑它的应用价值和可操作性。长期以来，似乎还没有人从工程的角度对这种传统的大环境提出过质疑。

从工程设计和环境管理的实际工作需要的角度出发，上文指出了这种宏观生态环境观的三点局限。注意这里是指按这种思想观点去指导实际操作来说的，当然不是从根本上否定宏观生态环境的概念和科学体系。

事实上，环境总是相对于某一中心（主体）来说。这一观点可以用一个具体的例子来说明。笔者在参加我国某大城市的地下铁道规划方案的环境评价专家会议时，对振动方面曾提出这样的问题：当地下铁道振动时，是否会对距离约 10 m 以外的一幢 48 层已建大厦的桩基细砂、粉砂层地基引起液化？地下铁道振动对地面建筑的影响范围和效应有多大和应如何评估？然而，有的专家从传统的大环境观出发，简单地认为“环境是对‘人’来说不是对‘物’，因此这个问题不属于环境的评价内容”。无疑，在环境科学中已对大环境进行了系统的研究，这些研究成果为工程输入环境提供了科学根据，但它不考虑类似本例的客观存在的具体工程环境问题，那么，这类问题应该由什么学科来解决呢？

因此必须同时考虑工程主体、人与工程环境这三个元素之间的关系，建立更一般的“工程环境”的基本概念和设计计算模型和方法。如同用“后现代主义”这一名词的文化内涵来理解“后现代建筑”和“后工业社会”一样，人类对现代环境的观念是否也应该进入“后现代环境”时期？其主要特征是更强调功能性、环境的价值（价格）和先进科技的作用。

2. 跨学科工程技术理论的需要

熟知，环境科学是跨学科的。工程环境问题一定也遇到不同工程技术领域（专业）间的跨学科问题，首先是学科间的交叉关系，其次是跨学科的研究方法。

在近代工程技术理论中，“机-电一体化”已取得显著的成绩，但至今似乎还没有人提出“工程结构”与“机-电”一体化问题。其实，在水电站、汽车、飞机、航天技术中，这是当然的事实。在这些领域，环境具有决定性意义。但传统的工程结构、环境、设备这三门学科各自独立，设计运行方式是“三套马车”，常常发生矛盾，理论上要求有一种将三者协调的设计方法。

这种在学科体系上必要的分割，理论研究的局限使研究得不到同步发展，设计标准与精度不一，在传统学科分界点处问题多多，给实际工作带来困难。举例来说，按现行学科划分，结构大振动归结构工程学体系，而室内建筑物理环境中，热、光、声环境归建筑学研究，结果使建筑内部噪声与结构的微振动问题，至今仍是一个薄弱环节。

不同领域（行业）之间的工程技术规范不统一或不明确时怎么办？这里存在一个突破常规规范问题。此外，高新技术还不断提出新的环境问题。它们的环境指标如何去发现和创立？同样存在工程技术主体与环境的一般关系问题。

总之，各式各样的学科分界点处的问题，理论上要求有一种能协调和综合各学科（系统功能）的方法论。现代的系统工程学、环境学、控制论和信息论中的一些思想和方法，为这种方法论提供了共同的基础，其中自动控制方法最适用于使单项工程系统适应环境的变化。

3. 工程环境控制理论发展的需要

自动控制论,在航天、工业和机电工程等领域已得到广泛应用,一般适用于已知环境作用下自动控制方式方法的分析和综合问题,但在土建工程领域总的来说尚有待开发研究,不仅在一般建筑物中对室内环境有控制的要求,而且对某些工程结构振动也要求有控制的机制,特别是工程结构抗震安全控制问题。对特殊建筑还要求精确控制。近代一些精密性生产(如电子元件工厂)对室内的空气质量与热环境等要求更高,出现所谓“精密性建筑”。

与工程环境有关的自动控制技术水平要求日益提高。在自动控制计算模型中,把环境当作主要作用还是视作“干扰”因素,结果是不一样的;而有无控制设备和自动控制方式不同,其环境效应以及系统设计和结构选型原则也很不一样。这就需要建立适用于各种工程系统并结合其环境特点的工程环境控制理论。近代已得到一定发展的下列有关学科可视为是它的分支:

——近代发展起来的主要是对高层(高耸)和大跨度结构的“结构控制理论” 目前还多限于结构振动安全性控制,关键问题是如何结合考虑工程环境来建模,装设于振动状态下的工程结构中的自动控制设备,它与结构、环境三者之间的相互作用,在自动控制理论中还没有现成的答案。

——20世纪50年代发展起来的“人机工程学” 它是从“人-机器-环境”三者之间的关系来研究如何提高人类生产(工作)的效率问题,所以又称为“人类工效学”。显然这里的“环境”与工程环境有关。

——近年发展起来的“防灾学” 这已成为一门独立的学科分支,它主要是研究各种自然灾害现象形成、发展的规律,以寻求预防灾害的措施,包括各种工程措施。在近代控制技术的条件下,有可能使防灾与兴利这两种性质截然不同的功能结合起来,典型实例是近代高层建筑中将结构抗震控制设施与建筑的空调蓄冷设备结合起来。又如,合理规划设计的水库,使防洪与发电等效益结合。

——近年来正在形成的“环境水利学科” 它是研究水利和环境两者之间的相互关系的科学。传统“水利工程学”中强调水库既可防洪,又可收发电、灌溉等效益。“环境水利学”主要是研究水利工程对水质和生态环境的影响,亦研究由于环境变化对水利工程提出的新任务和新要求。例如特别提出可增建以改善水质为主的综合利用水库,以提高河流的稀释自净能力和通航能力,并主张“既考虑工程的经济效益和社会效益,也考虑生态效益和环境效益”^①。或者更全面地说,效益中应包括“负效益”。

显然,从这些学科中可以看出,其功能虽然不同,但“工程”、“机器”、“环境”和“控制”是系统研究中的要素。

4. 建立“工程-环境-经济”新机制的理论需要

在研究工程环境问题时,不研究环境效益特别是其经济效益问题,是不完全的,也是不可能根本解决问题的。

在传统的大环境理论观念指导下,环保工程的效益属于社会效益,其治理常被视为公益

^① 方正云. 水利水电技术. 1984, 第9期

事业,一般是按大型环保工程考虑。它虽然具有技术效率较高等优点,但资金缺乏一直是阻碍其发展的关键问题。在市场经济的条件下,一般工程若同时考虑环境的经济效益,像其他产业一样运作,按具体单位工程进行经济核算,综合考虑投资方和收益方的成本和由于局部环境的改善带来的各项直接与间接的经济效益,则可以使众多的一般工程具有发展环保产业的直接动力。因而需要建立一种“工程-环境-经济”新机制的理论。

因此,无论从实际工程需要还是从理论体系上看,问题的本质相同,即工程、环境、经济三方面的矛盾统一。这类问题单纯从工程观点、环境观点或经济观点,都不可能合理解决。

1.1.3 工科大学交叉学科建设的需要

根据笔者对交叉学科及其在工科大学的学科发展、建设(包括老专业的改造)中的地位和作用的研究^[1,1],建立这门“工程环境控制论”的学科也是需要的。

1. 现代科学的横向发展趋势

自从15世纪对自然科学分门别类地进行研究以来,分析方法一直占统治地位,学科不断地分化。据统计,现在已形成了4000多个分支学科。一般认为,每一种科学从纵向可分为三个层次:工程技术、技术科学、基础科学。这种分化说明了科学技术的已有进步。然而,正如一位著名近代物理学家所说:“整体结构被分解为单体不取决于事物的本质,而是取决于人类的认识能力的局限性。”应该说,近代科学技术能取得目前这样的发展和成就,培养了一代英才,是分析的胜利,并且将来还要发展。没有分析就没有综合。

第二次世界大战以来,科学发展出现了综合、横向和交叉的趋势。物理学发展上这叫做前峰受阻,科学家的智力横向转移,结果一系列综合性很强的交叉学科出现。有的学者甚至预言:21世纪初,将是一个交叉科学的时代。广义地说,“交叉”包括自然科学和社会科学之间以及自然科学、社会科学体系内部各学科之间的相互渗透。交叉学科的形成、发展和应用,往往需要跨学科的研究,比较艰巨,但是一旦形成,其威力往往很大,就像生物学上所说的,存在一种“杂交优势”。系统论、控制论、信息论的发展和广泛应用,是上述科学发展趋势的突出代表和成就。计算机的出现,促进了更多新兴学科的相继出现和发展,如系统仿真、有限元法等应用性很强的学科应运而生。近代知识工程和人工智能技术的出现,使拉普拉斯确定论和微积分的经典分析的统治地位正受到挑战。

工程师更多的是从自己的经验中去体会综合性、工作适应性和工作“后劲”的重要。实际生产和工程都是综合性的。一座水电站,它是水文、地质、结构、电力系统等的综合;一幢高层建筑,它是建筑、结构、“水、电、气、暖”系统的综合。庞大的阿波罗登月工程,历时10年,动员了几万家公司和几十万名科技人员,所用的技术都是现成的,关键在于综合。工程中往往在综合、交叉的地方问题最多,也最容易出问题,对有经验的工程师来说是有这种体会的。

2. 工科大学的学科建设

与现代科学技术横向发展的趋势相应,高等工科大学的发展就其内涵来说,也有一种基础化和综合化的趋向。

所谓基础化,是指在校教育主要是打下比较系统的和较宽厚的学科基础,而专业教育则较侧重能力培养和方法论方面的教育;综合化包含拓宽专业口径,恰当地确定作为培养未来的高级工程技术人员为目标的知识结构。例如,本科在校教育过分集中于本专业的内容,片面地认为这方面的知识越加强、越多、越具体,就越好,毕业后就顶用。于是,只好“削枝强干”、“以邻为壑”,专业越分越细,结果是“隔行如隔山”,造成社会上各专业供求关系的更不平衡。在知识结构上,知识面过窄已不能适应现代化生产的需要;亦有人认为,也不是越“博”越好,应在专的基础上求“博”。当代工程师必须树立经济观念、效率观念和环境可持续发展观念。

环境问题不仅是环境类专业的事,事实上环境工程专业不能代替其他各类专业本身所必需的环境观念和知识。那么,对工科大学有哪些具体的有关学科或课程可考虑作为发展和建设的对象呢?例如:

- 价值工程学。任何工程活动都可以说是在一定约束条件下寻求价值(功能)目标最佳的一种活动。
- 预测科学。对未来环境的影响是和预测不可分的。20世纪70年代以来,国际上发展形成各种预测方法,较著名的如德尔菲(Delphi)预测法等。一种称为“交叉影响分析”的预测方法,主要用于技术发展或社会发展的长期预期。
- 仿真实验与技术。系统,包括连续的或离散化的各种系统的数字化模型,用计算机进行仿真,以代替常常是不可能进行的试验,对工程系统、社会经济具有较普遍的意义。

据报道,美国的工程学院在1993年以前,除土木与环境工程外,还没有一位工程学院学生在他们的学科中接触到环境问题。但到了1998年以后,环境问题与各种工程设计和制造课程融为一体,学生也可以进修“环境意识设计与制造”以及“可持续发展”方面的专门化课程。

工程环境控制论的建立,就是企图在这方面作一高度概括。

综上所述,无论从实际工程需要和理论需要来看,还是从更根本的工科教育来说,按照笔者的见解,有必要建立一种新的工程环境控制理论,其基本任务为:

从各种工程中客观存在的实际问题和理论上的需要出发,归纳提出所谓“工程环境”概念,用交叉学科的方法建立工程环境控制学的理论体系。以“工程-人或设备-环境”三元系统为对象,结合不同领域的具体工程技术系统并以它为核心,从它本身的功能需要出发,根据外部环境的变化研究广义的局部(微观)工程环境效应的控制原理和方式方法,以满足不同工程系统在结构性、抗灾性、环保、节能、舒适性或知识性等方面的要求。

1.2 工程环境概念与工程生态观

工程环境概念和工程环境观是在各种工程的具体环境问题的基础上概括出来的。对工程来说,工程系统的设计、施工和运行,都和输入与输出的环境因素密切相关。输入的环境因素可分为自然环境和人工环境。自然环境主要是地基圈、大气圈、水圈等因素;人工环境因素主要是人类活动造成的工程环境因素与社会环境——政治、经济、文化等因素。由此产