



水科学博士文库

*Forward and Back Analysis Methods and
Optimal Control of Safety Monitoring
in Dams*

大坝安全监控正反分析方法 与优化调控

黄耀英 著

预测

控制

高效

优化



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水科学博士文库

*Forward and Back Analysis Methods and
Optimal Control of Safety Monitoring
in Dams*

大坝安全监控正反分析方法 与优化调控

黄耀英 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统阐述了已建大坝中水荷载问题和在建大坝中温度控制问题的正反分析与优化调控理论、模型和方法,并列举了相应的实例。全书共8章,包括:绪论,大坝变形分析中的水荷载,大坝稳定分析中的水荷载,运行期混凝土坝分析中的不确定性反馈方法,施工期混凝土坝不确定性的反馈方法,施工期混凝土坝特殊监控指标拟定,施工期通水冷却的控制论法,施工期混凝土坝测温辅助决策支持系统等内容。

本书可供从事水利水电工程、土木和建筑工程等领域的科研、教学和工程技术人员参考,也可作为大专院校相关专业的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

大坝安全监控正反分析方法与优化调控 / 黄耀英著

— 北京:中国水利水电出版社,2016.6

(水科学博士文库)

ISBN 978-7-5170-4487-1

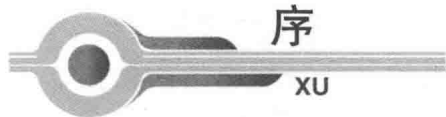
I. ①大… II. ①黄… III. ①大坝—安全监控—研究
IV. ①TV698.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第145208号

书 名	水科学博士文库 大坝安全监控正反分析方法与优化调控
作 者	黄耀英 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	170mm×240mm 16开本 15.25印张 290千字
版 次	2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	65.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



序

XU

黄耀英教授主撰的《大坝安全监控正反分析方法与优化调控》一书，即将由中国水利水电出版社出版，我有机会事先阅读原稿，实感荣幸。著者嘱我写篇序言，我也欣然同意。

在大坝安全监控领域，运行期大坝中水荷载问题和施工期大坝中的温度控制问题是大坝建设和运行管理中的两个重要问题。众所周知，水荷载是运行期大坝应力变形分析和稳定分析中的一项基本荷载，暂且不谈水对大坝、地基的化学作用、物理作用和力学作用的复杂耦合，在当前坝工界，关于地基水荷载到底如何施加？库盘水荷载作用引起的大坝位移到底多大？建立大坝-地基数值计算模型时，地基到底截取多大范围？采用有限元等数值计算方法进行大坝变形稳定分析时，扬压力如何施加？诸如此类的问题至今仍未取得一致的看法。此外，在施工期，因温度控制不当导致混凝土出现裂缝至今仍然困扰着坝工界，到底是由于现有温度控制理论存在不足，还是设计温控措施和施工温控措施存在脱节，坝工界也存在不同的解释。

针对上述问题，青年教授黄耀英自从跟我读研究生以来，陆续对运行期大坝中水荷载问题和施工期大坝中的温度控制问题进行了较全面地分析和反分析，并在这些研究成果的基础上，撰写成《大坝安全监控正反分析方法与优化调控》。粗读之余，我认为本书有以下一些特点：①拓展了反分析方法。例如，提出了利用运行期大坝原位监测资料反演不确定性地基水荷载和地基几何尺寸的方法，完善了施工期混凝土坝热学参数的反演方法，解析了高拱坝已灌区温度回升现象，提出了基于矩法的高拱坝实际温度荷载反馈方法，以及提出了准大体积混凝土温控措施优选的方法。②发展了施工期特殊监控指标拟定的方法，提出了用于控制混凝土浇筑仓最高温度的

温度双控指标法及预警机制，以及提出了利用小概率事件法或最大熵法结合实测应力估计大坝混凝土实际抗拉强度的方法。③提出了施工期混凝土坝通水冷却的控制论法，踏实推进了“规划设计-施工建设-安全监控”这一“闭路系统”在温控防裂中的应用。因此，本书不仅具有较高的学术水平，更具有重要的实际意义。

当然，大坝安全监控研究是一个复杂的课题，作者试图拓展已有的分析方法，以及尝试将现代控制理论引入混凝土温控防裂，目前尚未做到都如人意的程度，但作者无疑已迈出了重要的一步，我期待着作者将现代控制理论深入推展到大坝安全监控领域并应用于实际工程。

欣喜之余，写了个人感受，谨以为序。

中国工程院院士



2016年5月



前言

QIANYAN

由于法国的马尔帕赛 (Malpasset) 拱坝、美国的 Teton 坝以及我国的板桥、石漫滩等大坝失事引发了下游地区严重的灾难, 大坝安全监控逐渐得到重视。近些年来, 随着西部大开发和“西电东送”工程的大力开展, 突破现行规范适用范围的高坝大库建得越来越多, 这些大坝一旦发生破坏, 后果难以估计, 大坝安全监控更显重要。大坝需要安全, 大坝需要监控。

在大坝安全监控领域, 已建大坝中水荷载问题和在建大坝中的温度控制问题是大坝建设和运行管理中的两个重要问题。本书分两部分介绍相关内容。

本书第 1 部分介绍了已建大坝中水荷载问题。

大坝变形监测正分析和反馈分析中的水荷载问题是一个十分传统的问题。这个大家习以为常的问题一直困扰着笔者, 以致笔者对坝工数值计算结果的可信度持怀疑的态度。笔者尝试着与一些熟悉的同行讨论这个传统的问题, 发现大家分歧很大, 大家在讨论时经常出现一些自相矛盾的观点和结论。笔者惊诧地发现一些专家早已在这些含糊不清的传统水荷载问题的基础上, 开始着手研究更复杂的问题和现象。这些状况进一步加重了笔者的困扰。

近些年, 笔者陆续关注和研究这个传统的水荷载问题。例如, 地基水荷载到底如何施加? 地基水荷载作为面荷载或体荷载存在什么关系? 库盘水荷载作用引起的大坝位移到底多大? 建立大坝-地基数值计算模型时, 地基到底截取多大范围? 采用有限元等数值计算方法进行大坝变形稳定分析时, 扬压力如何施加? 倒垂线在基岩深处的锚固点确实是固定不动的吗? 目前的反演反馈分析, 往往是假设本构模型、计算荷载、几何尺寸、边界初始条件等完全确定, 然后进行计算参数 (坝体混凝土弹性模量或基岩变形模量等) 的反演,

该反演参数对应于所建立大坝-地基数值计算模型的参数，它和实际参数关系如何？等等。这些传统的水荷载问题至今仍困扰着笔者。虽然关于这些传统的水荷载问题至今笔者尚未理清楚，但基于“积跬步，才能至千里”的原则，笔者整理了以往的一些工作，这些工作主要是针对重力坝而言，但有些结论或许对拱坝或边坡的变形和渗流监测也有一定的参考作用。

本书第2部分介绍了在建大坝中的温度控制问题，其又分为混凝土坝不确定性的反馈、监控指标拟定以及温控措施的优选和调控。

对于混凝土坝不确定性的反馈，一般工程领域内的力学问题基本上采用偏微分方程及相应的初始边界条件来描述，然后借助于计算机和数值算法来进行求解。这种分析模式的计算精度往往受限于计算参数和计算模型等的合理性和准确性。混凝土坝不确定性的反馈，尤其是计算参数的反分析是一个十分传统的问题，说简单也不简单。由于已有现成的分析套路，即基于室内或现场监测值，采用常规、优化或仿生算法进行计算参数反演，所以略微有一点数学基础的人都能开展这项研究，但由于反分析不适定性问题尚未解决，要获得合理准确的计算参数又不简单，它需要对反演参数的工程有着比较深入的认识。

针对现有大坝安全监控中计算参数反演主要局限于运行期的参数反演，本书首先完善了一些施工期的计算参数反演。例如：基于施工期混凝土实测温度的热扩散率和太阳辐射热反馈；针对施工期高拱坝已灌区温度回升的现象，结合建设中的溪洛渡特高拱坝已灌区温度回升值进行统计分析，从理论上对已灌区温度回升的现象进行了解析，笔者认为这些解析有“四两拨千斤”的作用。然后针对现有拱坝温度荷载是线性等效温度，忽略了非线性温度，为此对重力拱坝温度荷载进行了改进，以考虑非线性温度的影响，进而说明采用不同的等效方式，虽然温度变化引起全截面的力学作用接近相等，对坝体的变形影响较小，但截面上的应力分布不同。最后提出基于矩法对高拱坝温度荷载进行反馈。

对于监控指标拟定，众所周知，在进行体检时，借助于医学仪

器或设备可以获得人体各个检查项目的体检值，然后与健康指标参考值进行对比，以此判断健康与否。效仿健康体检思想，借助于监测或检测仪器可以获得大坝各个物理量的实测值，然后与监控指标进行对比，以此判断大坝正常与否。目前健康体检思想在工程上使用广泛。由于健康体检思想简单，所以对工程单位有着很大的诱惑性，但合理监控指标的拟定是一件十分复杂的事情。

混凝土坝是人工构造建筑物，各个混凝土浇筑仓的温度变化规律较好，这为拟定温度监控指标提供了一个相对理想的状态，很幸运，笔者发现并提出了温度双控指标法。与此同时，笔者提出结合实测应力应变，基于小概率法估计大坝混凝土实际抗拉强度这一特殊强度监控指标。

对于温控措施优选和调控，将通水冷却阶段的混凝土坝作为控制系统（受控对象），由于混凝土坝的温度场可以采用热传导方程及相应的初始边界条件来描述，那么在进行温度控制时，可以从热传导偏微分方程和边界初始条件角度着手进行调控，当然，要进行温度控制（调控）必须事先要有温度预测（受控对象数学状态模型）。笔者试着采用朱伯芳提出的理论和方法进行大体积混凝土温度场及应力场仿真分析，遇到如下问题：由于温控防裂是一个与温控措施和混凝土热力学参数相关的复杂多因素问题，必须进行细致分析及多方案比选，严格来说，对不同（可行域内的）温控措施，应采用优化算法来寻找最优解，但在寻优的过程中存在计算工作量很大的问题，即：要进行有效地温控措施寻优，必须要采用一种计算工作量小的先验性模型进行快速的温度预测。

由于施工期的混凝土坝的通水冷却相对比较明确和理想，以致可以获得一些温度理论解析解（有热源水管冷却实用方程，无热源水管冷却实用方程，等），受隧洞衬砌支护中“新奥法”的启示——实时监测、动态调控、寻找最优支护时机，基于“实时监测、动态调控、寻找最优的措施”的思路，笔者探讨了施工期混凝土坝通水冷却的动态调控，即结合实测温度（由观测器输出），以及通水阶段的一些温度理论解析解，进行预测，通过采用实测温度动态更新温

度理论解析解中的重要输入项（校正状态变量的初始值），来达到修正温度理论解析解预测中的误差，从而达到提高预测精度的目的。快速可靠的温度预测（受控对象数学状态模型）的建立是温度控制（调控）必要前提。接下来就可以基于设计温控措施拟定控制变量和状态变量的完备约束条件，进而建立混凝土坝通水冷却最优调控模型（受控系统最优调控模型），最后软硬件结合，研发控制器，引入优化算法，实时动态调控通水措施，使调控温度过程线按设计温度过程线变化，温控防裂目的自然解决。

笔者认为，无论大体积混凝土还是准大体积混凝土的温控防裂问题都是一个复杂多因素系统优选问题。从某种意义上来说，这些问题都应采用优化理论和优化方法来解决，略微有一点数学基础和工程常识的人都能开展这项研究，但至今仍然“无坝不裂”！看似简单的问题，具体实施时，难度实在太太大，以致控制论和协同论等理论往往流于形式。而当前很多的研究是一个静态预测，没有和实测资料进行有机结合，以达到动态预测-调控；虽然有些研究开始着手进行动态预测，但存在计算工作量很大，以致难以达到优化调控的目的。相对于进行温度场数值仿真分析来说，笔者提出的受控系统最优调控模型，由于和实测资料进行了有机结合，能保证一定的预测精度，且计算工作量小，可以达到快速可靠的调控的目的，从而踏实推进了“规划设计-施工建设-安全监测”这一“闭路系统”（吴中如，1989）在温控防裂中的应用。

本书部分内容来自笔者的博士学位论文，部分研究成果得到国家自然科学基金（批准号：51209124）和湖北省教育厅重点项目（批准号：D20101207）等的资助，工程应用研究主要来自溪洛渡、龙羊峡、涔天河水库扩建工程等科研项目研究成果，在此谨表感谢！在研究期间，河海大学吴中如院士、沈振中教授等，中国科学院武汉岩土力学研究所郑宏教授等给予笔者许多指导和有益的建议，三峡大学谭超博士在最优调控系统的研发中给予了大力帮助，三峡大学周宜红教授在溪洛渡项目的研究中提供了支持，在此谨表谢忱。

笔者的研究生程中凯硕士、陈勋辉硕士、魏晓斌硕士和陈义涛

硕士分别参与了本书第 2.6 节、第 3.6 节、第 5.6 节和第 8 章部分初稿的撰写。对这些内容，笔者进行了必要的增、删、改。

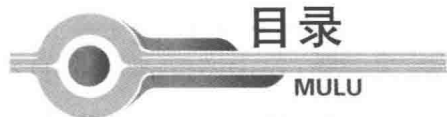
本书承蒙中国工程院院士吴中如教授在百忙中审读并撰写序，对此表示衷心感谢！

由于大坝安全监控是一门综合性很强的学科，而且是一个正在迅速发展的研究方向，在理论和实践上都有很大的拓展和完善空间，每年有大量的文献发表，笔者无意将本书写成一本教科书类的专著，而是试图以自身研究及应用成果为主干进行写作。

本书写作目的主要是与同行交流心得体会，限于水平，书中难免存在不妥之处，期待同行们的批评指正。

作者

2016 年 3 月



目录

MULU

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 大坝安全监控的意义及其定义	1
1.2 本书内容概述	2
第 2 章 大坝变形分析中的水荷载	6
2.1 概述	6
2.2 水荷载对均质地基上重力坝位移数值分析	6
2.3 水荷载对均质地基上重力坝位移理论分析	11
2.4 水荷载对非均质地基上重力坝位移数值分析	17
2.5 水荷载对均质地基上拱坝位移数值分析	26
2.6 变化水位下的温度荷载对拱坝工作性态数值分析	32
第 3 章 大坝稳定分析中的水荷载	40
3.1 概述	40
3.2 重力坝应力分析的规范法改进	40
3.3 重力坝深层抗滑稳定分析的扬压力施加方法	46
3.4 水平拱圈坝肩稳定分析的扬压力施加方法	55
3.5 圆弧滑动土坡稳定分析的水荷载施加方法	59
3.6 库岸边坡稳定分析的水荷载施加方法	65
第 4 章 运行期混凝土坝分析中的不确定性反馈方法	71
4.1 概述	71
4.2 不确定地基水荷载的智能确定性识别方法	72
4.3 不确定地基几何尺寸的智能确定性识别方法	78
4.4 不确定大坝时变参数的优化确定性反演方法	82
4.5 不确定大坝计算参数的优化区间反演方法	89
第 5 章 施工期混凝土坝不确定性的反馈方法	96
5.1 概述	96

5.2	施工期混凝土热扩散率反演方法	96
5.3	施工期太阳辐射热反馈方法	102
5.4	施工期拱坝已灌区温度回升反馈	108
5.5	重力拱坝温度荷载的局部等效反馈	113
5.6	高拱坝实际温度荷载的矩法反馈	120
第6章	施工期混凝土坝特殊监控指标拟定	126
6.1	概述	126
6.2	混凝土浇筑仓温度双控指标拟定的概率事件法	126
6.3	混凝土浇筑仓温度双控指标拟定的最大熵法	134
6.4	混凝土抗拉强度估计的小概率法和最大熵法	140
第7章	施工期通水冷却的控制论法	150
7.1	概述	150
7.2	施工期通水冷却热传导计算模型认识	150
7.3	施工期准大体积混凝土结构温控防裂措施优选方法	159
7.4	施工期混凝土坝通水冷却控制论法	164
7.5	受控对象通水冷却数学状态模型研究	169
7.6	受控对象观测器的优化布置	179
7.7	受控对象通水措施最优调控模型	185
7.8	受控对象最优调控系统	190
第8章	施工期混凝土坝测温辅助决策支持系统	192
8.1	概述	192
8.2	施工期混凝土坝测温辅助决策支持系统总体设计	192
8.3	施工期混凝土坝测温辅助决策支持系统知识工程设计	196
8.4	施工期混凝土坝测温辅助决策支持系统	208
参考文献		221

第 1 章 绪 论

1.1 大坝安全监控的意义及其定义

当前我国已建大坝 9.8 万余座,其中,高度 15m 以上的大坝约 1.9 万余座,但这些工程大多建于 20 世纪 50—70 年代,普遍存在防洪标准低、工程质量差等安全隐患,加上管理维护不善、工程老化等不利因素的影响,造成大量病险工程。与此同时,随着西部大开发和“西电东送”工程的大力开展,突破现行规范适用范围的高坝大库越来越多。这些大坝一旦发生破坏,后果难以估计。因此,对大坝及坝基进行安全监控具有重大的意义。

大坝需要安全,大坝需要监控。法国的马尔帕赛 (Malpasset) 拱坝由于不重视大坝安全监测,从而导致大坝失事。该坝最大坝高 66.5m,没有埋设任何内部观测仪器。1959 年 12 月 2 日 9 时,管理人员进行了外观检查认为大坝一切正常,但是就在管理人员离开半小时后突然垮坝,死伤 400 多人,损失 6800 万美元。事后调查分析认为,事故的酝酿和发展已有相当长时间,因为没有监测仪器,以致未能察觉。这一事件给人们非常深刻的教训。安徽省淮河流域佛子岭连拱坝,最大坝高 75.9m,河海大学 (吴中如等,2000) 利用 1984 年以前的变形监测资料,反演了坝体和坝基的实际物理力学参数,进而进行结构计算和数学模型分析,拟定了关键坝垛 13 号垛的坝顶水平位移的位移监控指标为 5.29mm,并提出低温高水位控制运行水位为 122.00m。1993 年 11 月下旬,佛子岭水库水位上升至 125.60m,又遇强寒流影响,13 号坝垛坝顶水平位移达到 5.81mm,超过监控指标 5.29mm,其他坝垛坝顶水平位移也超过历史最大值 20%~54%;坝基沉陷也超过历史最大值;运行单位及时上报原电力工业部,立即降低库水位至 122.00m 运行,避免了不利运行工况对坝体结构的危害和可能导致的运行事故。

大坝安全监控系指通过仪器观测和巡视检查对大坝坝体、坝基、坝肩、近坝区库坡及坝周围环境所做的测量和观察。然后基于观测资料正分析、反演分析和反馈分析,对大坝的安全状态进行评判和控制。大坝安全监控 (吴中如,2003) 是一门综合性很强的学科,其包含正分析、反演分析和反馈分析等重要组成部分。其中,正分析的主要任务是由实测资料建立数学监控模型 (如统计模型、确定性模型、混合模型等);应用这些模型监控大坝将来的运行状态,



同时对模型中的各个分量（特别是时效分量）进行物理解释，借以分析大坝的工作性态。仿效系统辨识理论，将正分析的成果作为依据，通过相应的理论分析，借以反求大坝和地基的材料参数、本构模型、计算荷载、几何尺寸、边界初始条件等，则称之为反演分析。反馈分析是综合应用正分析与反演分析的成果，并通过相应的理论分析，从中寻找某些规律和信息，及时反馈到设计、施工和运行中去，达到优化设计、施工和运行的目的，并补充和完善现行水工设计和施工规范。

随着计算技术的快速发展，大坝安全监控信息化、数值化、智能化逐渐得到重视。信息管理系统、信息分析系统、辅助决策支持系统甚至综合评价专家系统逐渐在实际大坝工程中得到推广应用。

1.2 本书内容概述

本书内容主要分为两部分，第 1 部分为已建大坝中水荷载问题，包括第 2~4 章内容；第 2 部分为在建大坝中的温度控制问题，包括第 5~8 章内容。前者包括大坝变形分析中的水荷载、大坝稳定分析中的水荷载、运行期混凝土坝分析中的不确定性反馈方法；后者包括施工期混凝土坝不确定性的反馈方法、施工期混凝土坝特殊监控指标拟定、施工期通水冷却的控制论法、施工期混凝土坝测温辅助决策支持系统。

(1) 第 1 章为绪论。

(2) 第 2 章介绍大坝变形分析中的水荷载。

1) 水荷载作为体荷载和面荷载之间的定量关系仍感到迷惑，为此从数值计算角度对上游库水荷载作为体荷载或面荷载之间的关系进行研究。

2) 渗流体荷载作用下的地基位移理论解答是一个重要的工程科技问题，基于多孔连续介质模型，从理论上探讨作用在地基上的水荷载作为渗流体荷载时引起混凝土重力坝的应力解答和位移解答。

3) 《混凝土坝安全监测技术规范》(DL/T 5178—2003) 规定“倒垂线钻孔深入基岩深度应参照坝工设计计算结果，达到变形可忽略处。缺少该项计算结果时，可取坝高的 $1/4 \sim 1/2$ ”。倒垂线在基岩深处的锚固点是否固定不动？为此，对地基变形模量随深度逐渐增加、渗透系数随深度逐渐减小、坝基渗透系数各向异性、坝踵设置帷幕和排水以及考虑渗流场和应力场耦合等对混凝土坝位移分量的影响进行分析评价。

4) 目前，大部分的拱坝三维有限元模型向上游截取 1 倍或 2 倍坝高，如此建立的拱坝三维有限元模型，在施加相应的水荷载进行大坝变形分析时，是否能合理反映地基水荷载作用使地基面转动所引起的位移？为此，结合典型高



拱坝进行对比分析。

5) 现有混凝土拱坝设计规范中温度荷载是假定上游库水位固定为正常蓄水位来计算温度荷载, 水库实际运行时上游水位不断变化, 导致固定水位与变化水位条件下的温度荷载存在较大的差异性。在朱伯芳研究的基础上, 分别计算固定水位下和水位变化条件下的温度荷载, 讨论两种温度荷载的差异及对拱坝应力变形的影响。

(3) 第3章介绍大坝稳定分析中的水荷载。

1) 现有规范上的材料力学法和传统材料力学方法不完全一致, 采用传统材料力学方法进行了重力坝应力分析及改进, 然后对分析中涉及的应力正负号、剪应力积分和剪力合力之间的关系以及如何考虑扬压力等几个容易混淆的问题进行讨论。

2) 针对采用有限单元法对扬压力进行计算时, 常容易发生疑惑而导致错误的问题, 首先对比分析双斜面深层抗滑稳定分析时两种不同扬压力的作用方式, 然后研究采用有限元法分析重力坝沿坝基面或深层双斜面抗滑稳定时扬压力的施加方式。

3) 研究作用在水平拱圈坝肩滑面上的扬压力和作用在滑块上的渗流体积力之间的关系。同时, 对比分析扬压力作为面力作用在坝肩滑面上, 以及作为渗流体积力作用在坝肩滑块上对坝肩应力的影响。

4) 研究作用在圆弧滑动土坡上的水荷载作为孔隙水压力和作为渗流体积荷载之间的关系, 然后基于作用在滑块上的水荷载分别作为面荷载和作为体荷载的等效关系, 给出一种较简洁的基于代替法的稳定渗流对圆弧滑动土坡稳定影响的改进分析方法。

5) 由于实际工程问题的复杂性, 水库蓄水后的地下水位具有不确定性, 水库蓄水后, 基于不同假设获得的地下水位对边坡的安全影响很大。基于极限平衡理论, 对线性插值地下水位和水平延伸地下水位对边坡稳定影响进行对比分析。

(4) 第4章介绍运行期混凝土坝分析中的不确定性反馈方法。

1) 实际地基水荷载存在不确定性, 地基水荷载作用方式不同, 引起的效应量差异较大, 如果人为地将地基水荷载作为面荷载或作为稳定渗流体积荷载进行数值计算, 参与优化反分析, 反演获得的参数值得商榷。为此, 基于实测位移对地基水荷载进行智能识别。

2) 用有限元方法作渗流和应力分析时, 计算域应取多大, 边界条件如何确定, 这些看似简单的问题, 却是常被忽略的重要问题。针对大坝地基几何尺寸的截取范围本质上是一个不确定的问题, 结合实测位移反馈大坝地基几何尺寸。

3) 现有报道文献主要利用大坝变形监测资料反演大坝和坝基的弹性模量, 为此, 基于变形监测资料提出了混凝土坝与基岩时变参数反演三步法, 利用变



形观测值分离出的时效分量反演大坝黏弹性参数。

4) 目前工程上采用的反分析法一般都是确定性反分析方法。不确定性反分析可采用区间分析方法, 由于它只需要较少的数据信息(上下界)就可以描述参数或量测信息的不确定性, 比较符合客观实际, 可以为实际工程提供合理可行的区间反演分析模型。据此, 研究区间参数摄动法和区间参数优化反分析法, 并将区间参数优化反分析法应用于水利工程。

(5) 第5章介绍施工期混凝土坝不确定性的反馈方法。

1) 现有热扩散率的反演公式是基于准稳定温度场的假设, 而施工期的大坝混凝土除受环境气温影响外, 还存在水泥水化热温升和冷却水管通水降温等影响, 为此研究基于施工期实测温度的热扩散率反演。

2) 混凝土建筑物的温度场受太阳辐射热的影响很大, 尤其是高温季节, 为此基于混凝土建筑物现场实测温度进行太阳辐射热反馈。

3) 针对施工期高拱坝已灌区温度回升的现象, 结合建设中的溪洛渡特高拱坝已灌区温度回升值进行统计分析, 从理论上对已灌区温度回升的现象进行解析。

4) 针对目前拱坝规范中温度荷载不能较好地考虑坝体内部温度的非线性变化, 对年变化温度荷载的计算进行改进, 以考虑坝体内部温度的非线性变化。

5) 由于矩法采用多项式拟合表示等效温度, 根据等效温度的各阶矩与实测温度相应的矩相等, 确定多项式系数, 进而得到等效温度分布。在矩等效的框架下, 当前拱坝设计温度荷载的线性化等效温度法仅是一次矩等效的特例。为此, 采用矩法探讨高拱坝实际温度荷载的反馈。

(6) 第6章介绍施工期混凝土坝特殊监控指标拟定。

1) 对大坝混凝土的施工过程进行实时跟踪反馈无疑是控制混凝土浇筑仓最高温度的一条途径。由于该温控途径的实施存在计算工作量大、计算边界条件理想化等缺点, 这导致工程单位在具体实施温控措施时, 仍然存在一定的盲目性。为了控制混凝土浇筑仓最高温度, 以及使工程单位对最高温度的控制具有针对性和可操作性, 建议拟定温度双控指标来进行温度预警。

2) 采用小概率法拟定监控指标时, 一般需要假设温度监测效应量的概率分布函数, 这一定程度影响其计算精度。而最大熵法不需要事先假设样本分布类型, 直接根据各基本随机变量的数字特征值进行计算, 就可以得到精度较高的概率分布密度函数, 为此, 采用最大熵法拟定温度双控指标。

3) 依据应变计组和无应力计的实测值真实反映了大坝混凝土实际性态, 根据混凝土坝体已经抵御经历过拉应力的能力, 来评估和预测抵御可能发生抗拉强度的能力, 提出利用小概率事件法和最大熵法估计大坝混凝土实际抗拉强度的方法。

(7) 第7章介绍施工期通水冷却的控制论法。



1) 水管冷却等效热传导法中混凝土初温是采用该混凝土浇筑仓通水时刻的浇筑仓平均温度, 还是采用通水冷却期间的浇筑仓单元高斯点温度, 或是采用每个时间步都变化的浇筑仓平均温度等, 看法不一。另外, 基于水管冷却有限元法和水管冷却等效热传导法计算的温度场和徐变应力场的关系如何, 也存在一些疑惑, 为此, 对这些问题进行甄别。

2) 针对准大体积混凝土温控防裂是一个与温控措施和材料参数相关的复杂多因素系统优选问题, 由于因素过多, 进行联合优选难度很大, 尝试已知混凝土热力学材料参数情况下的温控措施优选。

3) 介绍施工期混凝土坝通水冷却控制论法的研究总体思路, 并分别介绍受控对象数学状态模型、受控对象能观性研究及观测器的优化布置、通水措施最优调控模型建立、通水措施最优调控模型求解及能控性研究、通水措施最优调控系统及控制器的研究思路。

4) 具体介绍受控对象通水冷却数学状态模型(初期通水冷却和中后期通水冷却)的建立、受控对象观测器的优化布置方法、受控对象通水措施最优调控模型建立的方法、受控对象最优调控系统等, 并结合实际工程展示这些方法的应用。

(8) 第8章介绍施工期混凝土坝测温辅助决策支持系统。

对施工期混凝土坝测温辅助决策支持系统框架进行总体设计, 重点对知识工程中的温度异常值识别准则进行设计, 与此同时, 初步探讨温度异常值推理类知识和决策建议。

本书内容框图见图 1.2.1。

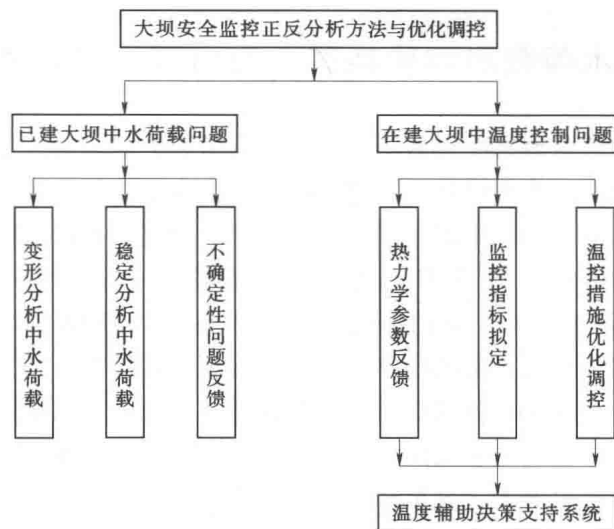


图 1.2.1 本书内容框图