

不确定性地基水荷载的智能识别初探

黄耀英^{1,2}, 郑 宏², 向 衍³

(1. 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071; 3. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 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. 将监测点相对位移作为输入, 坝体混凝土、岩基材料参数和坝基面一定深度测点水头作为输出, 建立了不确定性地基水荷载识别神经网络模型, 采用均匀设计原理进行材料参数组合, 采用饱和地基非稳定渗流分析获得不同渗流体荷载分布, 获得样本进行学习, 以此训练好的网络模型描述大坝混凝土、岩基材料参数及地基水荷载和坝体变形的非线性关系. 将大坝实测位移分离出的水压分量输入训练好的网络模型, 可自动识别出大坝混凝土和岩基的材料参数以及地基水荷载. 算例分析表明, 本文建立的不确定性地基水荷载识别神经网络模型是可行的.

关 键 词: 混凝土坝; 地基水荷载; 不确定性; 智能识别

中图分类号: TV698

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2013)01-0022-06

混凝土坝虽然透水, 当因其渗透系数很小, 水力梯度很大, 通常近似按不透水介质处理, 因此, 目前实际大坝工程上, 常在坝体上下游面作用水压力(面荷载), 坝基面作用扬压力(面荷载), 而作用在地基上的水荷载一般按渗流体荷载考虑^[1].

由于实际裂隙地基工作条件复杂, 虽然采用等效连续介质模型、离散裂隙网络模型、裂隙-孔隙双重介质模型、离散介质-连续介质耦合模型、多场耦合模型等数学模型可以较好地模拟裂隙地基渗流^[1], 然而采用不同的数学模型进行分析, 获得的裂隙地基水头分布不一样, 由此获得的裂隙渗流体荷载分布也不一样. 另外, 即使采用同一种裂隙渗流数学模型, 考虑不同影响因素(如应力场和渗流场耦合)或考虑渗流水存在时间过程等, 在不同的时刻, 裂隙地基水头分布也不一样. 当然, 由此获得的裂隙渗流体荷载分布也不一样, 即地基水荷载具有不确定性. 文献[2-3]基于等效连续介质模型分析表明, 虽然作用在地基上的水荷载作为面荷载和作为渗流体荷载存在等效关系, 但作用在地基上的水荷载总的作用力等效, 如果作用力分布方式不一样, 并不一定引起相近的效应量(位移、应力等). 例如, 文献[2]基于多孔连续介质模型, 从理论上探讨并对比分析了作用在地基上的水荷载分别作为渗流体荷载和作为面荷载时引起混凝土重力坝的位移, 分析表明, 作用在地基上的水荷载按面荷载分析的位移大于按渗流体荷载分析的位移. 文献[4]分析表明, 作用在地基上的水荷载按面荷载分析的应力与按渗流体荷载分析的应力差异也较大.

由于大坝和岩基工作条件复杂, 难以准确给定荷载及计算参数. 目前实际大坝工程上, 常采用大坝实测位移分量分离出的水压分量, 联合大坝-地基有限元正分析, 采用优化反分析方法进行参数反演^[5], 而由于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荷载进行数值计算, 参与优化反分析, 显然, 反演获得的参数值得商榷. 由此可见, 裂隙地基水荷载属于计算

收稿日期: 2012-07-01

基金项目: 国家杰出青年基金(50925933); 国家自然科学基金(50909066, 51209124); 湖北省教育厅科学技术项目(D20101207)

作者简介: 黄耀英(1977-), 男, 湖南郴州人, 副教授, 博士, 主要从事大坝安全监控和结构数值计算方面的研究工作.

E-mail: huangyaoying@sohu.com

荷载不确定性问题,但该计算荷载不确定性问题至今尚未见有关文献报道,为此,本文假设裂隙地基为等效连续介质模型,考虑渗流水存在时间过程,初步探讨基于均匀设计的神经网络模型识别地基水荷载。

1 基本原理

1.1 饱和地基非稳定渗流及渗流体积力

考虑介质和水体压缩性的饱和地基非稳定渗流微分方程式为^[6]

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{ij}^s \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - Q = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

式中: h 为总水头; k_{ij}^s 为饱和渗透系数张量; Q 为源汇项; S_s 为单位贮存量。

应用 Galerkin 加权余量法,由式(1)可推导出饱和地基非稳定渗流场有限元矩阵方程为^[6]

$$\mathbf{A}' \mathbf{h} + \mathbf{B}' \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial t} = \mathbf{P}' \quad (2)$$

式中: $\mathbf{A}' = \sum_{e=1}^{NE} \iiint_{\Omega^e} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 k_{ij}^s \frac{\partial N_n}{\partial x_i} \frac{\partial N_m}{\partial x_j} d\Omega^e$, $\mathbf{B}' = \sum_{e=1}^{NE} \iiint_{\Omega^e} S_s N_n N_m d\Omega^e$, $\mathbf{P}' = - \sum_{e=1}^{NE} \left[\iiint_{\Omega^e} N_n Q d\Omega + \oint_{\Gamma_2} q_n N_n dS \right]$. 其中, NE 为单元总数; N_n, N_m 为单元形函数; q_n 为流量边界 Γ_2 上的单宽流量。

设通过上述非稳定渗流分析已得到各时刻结点的水头值,则单元水头函数 $H(x, y, z, t)$ 便已知. 坝基内各时刻的地基水荷载为^[1,4]

$$f_x = -\gamma \frac{\partial H}{\partial x}, \quad f_y = -\gamma \frac{\partial H}{\partial y}, \quad f_z = -\gamma \frac{\partial H}{\partial z} + \gamma \quad (3)$$

式中: γ 为水的重度. 本文在进行地基水荷载分析时未考虑浮力项。

由于饱和地基内的水头随时间而变化,在初始时刻,地基水荷载以面荷载作用在地基表面,随后发生渗流,地基水荷载以不同体积力方式作用在地基内部,导致地基内的水荷载存在不确定性。

1.2 基于均匀设计的神经网络模型识别地基水荷载

关于均匀设计和神经网络模型的基本原理在文献[7]和文献[8-9]等有较详细的阐述,本文不再赘述. 以下介绍基于均匀设计的神经网络模型识别不确定性地基水荷载的思路,主要分以下4个步骤:

(1) 假设地基为等效连续介质模型,采用数值方法进行饱和地基非稳定渗流场分析,获得 m 个不同时刻 $t = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 的结点水头值,并计算 m 个不同时刻对应的地基水荷载。

(2) 利用数值方法产生神经网络的学习样本,即首先设置待反演坝体和地基参数的取值水平,利用均匀设计方法在待反演参数 $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 的可能取值空间中构造参数取值组合,形成待反演参数若干个取值集合. 然后,建立大坝-地基联合模型,在坝体上下游面施加水压力(面荷载),在地基内施加不同时刻的地基水荷载(初始时刻为面荷载,其余时刻为渗流体积力),以及在坝基面施加相对应的扬压力(面荷载),把每一个待反演参数的取值集合输入大坝-地基联合模型,进行数值计算,获得坝体关键监测点的计算位移值. 最后,将坝体关键监测点的计算位移作为输入,待反演参数 $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 可能的取值,以及坝基面一定深度的节点水头 $\mathbf{H} = \{H_1, H_2, \dots, H_l\}$ 作为输出,组成学习样本。

(3) 利用该样本集对神经网络进行训练,获得较为合理的神经网络模型。

(4) 对大坝关键监测点的实测位移建立变形统计模型^[5],分离出水压分量、温度分量和时效分量,然后,将大坝关键监测点分离出的水压实测位移分量输入训练好的神经网络模型,即能自动反演出坝体和坝基的材料参数,以及识别出地基内的水荷载。

1.3 智能识别说明

在基于均匀设计的神经网络模型识别地基水荷载时,有如下几个问题需要注意。

(1) 由于大坝实测位移为相对值(观测日相对位移起测日的值),为此在准备学习样本时,关键监测点的计算位移应采用相对位移. 设起测日对应的水位为 h_a ,观测日对应的水位为 h_b ,考虑到大坝位移起测日一般

尚未蓄水或处于蓄水初期,此时为渗流初期,作用在地基上的水荷载可作为面荷载考虑,计算得到关键监测点的位移为 δ_{ia} ;而在大坝位移观测日,地基已经形成渗流场,由于渗流存在时间过程,作用在地基上的水荷载为不同时刻下的渗流体荷载,此时计算得到关键监测点的位移为 δ_{ib} ,相对位移为 $\delta_i = \delta_{ib} - \delta_{ia}$. 为保证智能识别精度,选取离坝基面 2/3 倍坝高以上的监测点顺河向位移参与反馈分析.

(2) 对于坝基面一定深度的节点水头,可选取混凝土坝基横向扬压力监测断面的测点值^[10].

(3) 由于地基截取范围对大坝计算位移有较大影响^[5],参考文献[11],对于重力坝而言,建立大坝-地基有限元模型时,向上游取 5 倍坝高,下游取 5 倍坝高,地基深部取 6 倍坝高,地基底部施加完全位移约束,在上下游地基施加顺河向连杆约束.

(4) 一般混凝土大坝在竣工后才安装正倒垂线^[5],因此,坝体自重所引起的变形,一般在正倒垂线变形测值中不能反映. 为此,在计算坝体变形时,不考虑自重荷载.

2 算例分析

以某混凝土重力坝典型坝段为例,该坝段高 100 m,坝踵处设有帷幕,帷幕深 30 m,幕厚 6 m,在帷幕后设有排水幕,孔深 12 m,孔距 6 m.

按上文要求截取计算范围,并设定边界条件,为了较好地反应不同时刻的坝基扬压力,在坝基面设置了厚度为 0.1 m 的夹层单元. 通过进行饱和地基非稳定渗流来获得不同状态下的节点水头及渗流体积力分布,在进行渗流场分析时,地基渗透系数为 5×10^{-6} m/s,单位贮存量为 5×10^{-5} m⁻¹,帷幕渗透系数为 5×10^{-8} m/s.

通过分析大坝原有的地质资料和混凝土试验资料,选定坝基综合变形模量 E_R 取值范围为 12 ~ 21 GPa,混凝土综合弹性模量 E_c 取值范围为 17 ~ 26 GPa,混凝土和基岩泊松比分别为 0.20 和 0.25;采用均匀设计方法对坝基变形模量和混凝土弹性模量进行组合,材料参数水平数均取 4,即坝基变形模量 E_R 取 12, 15, 18, 21 GPa,混凝土弹性模量 E_c 取 17, 20, 23, 26 GPa;依据均匀设计原理,给出了 12 组不同组合.

选取距离坝基面约 50 m 深度处的水头作为节点水头;位移采用相对值,大坝位移起测日对应的上游水深为 50 m. 考虑到在位移开始监测时(起测日),岩基渗流刚开始,因此假设起测日的地基水荷载为面力作用在地基表面,且此时尚没有坝基扬压力. 由饱和地基非稳定渗流计算不同时刻下的节点水头获得渗流体荷载和坝基扬压力,并结合均匀设计方法组合的材料参数,计算获得关键监测点的相对位移作为学习样本. 选取了 8 个不同时刻,联合材料参数取值组合,共获得 96 个学习样本. 部分学习样本见表 1.

表 1 部分学习样本

Tab. 1 Part of learning samples

序 号	$E_c /$ GPa	$E_R /$ GPa	节点水头 $h_1 /$ m	节点水头 $h_2 /$ m	节点水头 $h_3 /$ m	节点水头 $h_4 /$ m	节点水头 $h_5 /$ m	相对位移 $u_1 /$ cm	相对位移 $u_2 /$ cm	相对位移 $u_3 /$ cm
1	17	12	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	2.108	2.319	2.425
2	20	12	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.948	2.134	2.229
3	26	12	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.736	1.891	1.969
4	20	15	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.740	1.916	2.006
5	23	15	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.622	1.780	1.861
6	26	15	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.530	1.675	1.749
7	17	18	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.757	1.950	2.048
8	20	18	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.600	1.769	1.855
9	23	18	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.483	1.634	1.711
10	17	21	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.655	1.844	1.939
11	23	21	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.382	1.529	1.604
12	26	21	19.871	13.503	9.314	6.528	4.607	1.292	1.426	1.493
13	17	12	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	2.245	2.460	2.568
14	20	12	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	2.085	2.275	2.371

(续表)

序 号	$E_c/$ GPa	$E_R/$ GPa	节点水头 $h_1/$ m	节点水头 $h_2/$ m	节点水头 $h_3/$ m	节点水头 $h_4/$ m	节点水头 $h_5/$ m	相对位移 $u_1/$ cm	相对位移 $u_2/$ cm	相对位移 $u_3/$ cm
15	26	12	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.872	2.031	2.112
16	20	15	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.849	2.029	2.120
17	23	15	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.731	1.893	1.975
18	26	15	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.640	1.788	1.863
19	17	18	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.848	2.044	2.143
20	20	18	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.691	1.863	1.950
21	23	18	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.574	1.728	1.806
22	17	21	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.734	1.924	2.020
23	23	21	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.460	1.610	1.685
24	26	21	25.425	18.133	13.186	9.755	7.267	1.370	1.506	1.575
25	17	12	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	2.714	2.941	3.056
26	20	12	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	2.554	2.757	2.859
27	26	12	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	2.342	2.513	2.600
28	20	15	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	2.225	2.414	2.510
29	23	15	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	2.106	2.278	2.365
30	26	15	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	2.015	2.173	2.253
31	17	18	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	2.161	2.365	2.469
32	20	18	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	2.004	2.184	2.275
33	23	18	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	1.887	2.049	2.132
34	17	21	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	2.002	2.199	2.299
35	23	21	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	1.729	1.885	1.964
36	26	21	38.648	29.923	23.705	19.102	15.484	1.639	1.781	1.854
37	17	12	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.893	3.124	3.241
38	20	12	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.732	2.940	3.045
39	26	12	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.520	2.696	2.785
40	20	15	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.367	2.561	2.658
41	23	15	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.249	2.425	2.513
42	26	15	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.158	2.320	2.401
43	17	18	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.280	2.487	2.592
44	20	18	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.123	2.306	2.399
45	23	18	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.006	2.171	2.255
46	17	21	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	2.104	2.304	2.405
47	23	21	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	1.831	1.989	2.070
48	26	21	41.102	32.325	26.039	21.354	17.634	1.741	1.886	1.959

将表1中相对位移 u_1, u_2, u_3 作为输入,混凝土弹性模量、岩基变形模量和坝基面一定深度的5个节点水头作为输出,建立神经网络模型.为防止计算过程出现“过拟合”等现象,在进行网络训练前,对数据进行了归一化处理.采用3层BP神经网络进行训练,其中隐含层神经元数目采用6个,经过2000次学习训练后,自动结束并获得网络模型.

对大坝水平位移监测资料建立统计模型,采用逐步回归分析法^[5]分离出水压分量、温度分量和时效分量,选取上游水深90 m时的水压分量进行材料参数和地基水荷载识别.上游水深90 m时分离出的3个关键监测点,相对于起测日的水压分量分别为2.224, 2.403和2.493 cm,将其代入训练好的网络模型,识别出的材料参数和节点水头“反归一化”处理后分别为22.260, 16.767 GPa和43.623, 34.486, 27.945, 23.074, 19.204 m.进行稳定渗流场分析对应的节点水头为45.699, 36.937, 30.626, 25.888, 22.073 m,本次识别出的节点水头与稳定渗流下的节点水头相差分别为2.076, 2.451, 2.681, 2.814和2.869 m.

3 结 语

(1) 由于实际地基水荷载存在不确定性,将监测点相对位移作为输入,坝体混凝土、岩基材料参数和坝基面一定深度测点水头作为输出,建立了不确定性地基水荷载识别神经网络模型,给出了基于均匀设计的神经网络模型识别地基水荷载的步骤和注意事项。

(2) 结合某混凝土重力坝工程,介绍了本文建立的不确定性地基水荷载识别神经网络模型,将大坝实测位移分离出的水压分量输入训练好的网络,可自动识别出大坝混凝土和岩基的材料参数及地基水荷载。

(3) 本文采用距离坝基一定深度的测点水头来描述不确定性地基水荷载,该问题有待进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] 张有天. 岩石水力学与工程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005. (ZHANG You-tian. Rock hydraulics and engineering [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005. (in Chinese))
- [2] 黄耀英, 沈振中, 王润富, 等. 水荷载引起混凝土重力坝位移的理论研究[J]. 力学与实践, 2010, 32(1): 33-36. (HUANG Yao-ying, SHEN Zhen-zhong, WANG Run-fu, et al. Theoretical study on concrete gravity dam's displacement with water load[J]. Mechanics in Engineering, 2010, 32(1): 33-36. (in Chinese))
- [3] 黄耀英, 沈振中, 田斌, 等. 地基水荷载对混凝土坝位移影响研究[J]. 水利水运工程学报, 2010(1): 42-49. (HUANG Yao-ying, SHEN Zhen-zhong, TIAN Bin, et al. Study of concrete dam displacement with foundation water load[J]. Hydro-Science and Engineering, 2010(1): 42-49. (in Chinese))
- [4] 朱伯芳, 张超然. 高拱坝结构安全关键技术研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010. (ZHU Bo-fang, ZHANG Chao-ran. The high arch dam structure security key technology research[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2010. (in Chinese))
- [5] 吴中如. 水工建筑物安全监控及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. (WU Zhong-ru. Safety monitoring theory & its application of hydraulic structure[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003. (in Chinese))
- [6] 陈建余. 非稳定饱和-非饱和渗流数值计算关键技术及其应用研究[D]. 南京: 河海大学, 2003. (CHEN Jian-yu. Study on key techniques in numerical computation of unsteady saturated-unsaturated seepage field and its application[D]. Nanjing: Hohai University, 2003. (in Chinese))
- [7] 方开泰, 马长兴. 正交与均匀试验设计[M]. 北京: 科学出版社, 2001. (FANG Kai-tai, MA Chang-xing. Orthogonal and uniform experimental design[M]. Beijing: Science Press, 2001. (in Chinese))
- [8] 冯夏庭, 周辉, 李邵军, 等. 岩石力学与工程综合集成智能反馈分析方法及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(9): 1737-1744. (FENG Xia-ting, ZHOU Hui, LI Shao-jun, et al. Integrated intelligent feedback analysis of rock mechanics and engineering programs and its applications[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(9): 1737-1744. (in Chinese))
- [9] 冯夏庭. 智能岩石力学[M]. 北京: 科学出版社, 2000. (FENG Xia-ting. Intelligent rock mechanics[M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese))
- [10] DL/T 5178-2003, 混凝土坝安全监测技术规范[S]. (DL/T 5178-2003, Concrete dam's safety monitoring code[S]. (in Chinese))
- [11] 黄耀英, 沈振中, 吴中如, 等. 混凝土坝及坝基分析中截取边界的影响[J]. 水利水运工程学报, 2007(4): 9-13. (HUANG Yao-ying, SHEN Zhen-zhong, WU Zhong-ru, et al. Intercepting boundary influence in analysis concrete dam and its rock foundation size[J]. Hydro-Science and Engineering, 2007(4): 9-13. (in Chinese))

Intelligent identification inquiry into uncertainty foundation water load

HUANG Yao-ying^{1,2}, ZHENG Hong², XIANG Yan³

(1. College of Hydraulic & Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: There is a great difference in effects caused by uncertainties in the actual foundation water load and in different ways. If the foundation water load is put artificially as a surface load or as a stable seepage body load through numerical calculation in the optimization back analysis, the parameters obtained from inversion are debatable. In this paper, a relative displacement of monitoring stations is taken as an input, and the dam concrete, batholith material parameters and the water head of the face of the dam foundation at a certain depth point are used as an output, thus the identification neural network model for the uncertainty of foundation water load is established. By adopting the uniform design principle of material parameters combination, the saturated foundation non-stationary seepage analysis is made to get different seepage body load distributions, and samples to learn, so as to train a good network in describing the nonlinear relationships of the concrete dam, material parameters, ground water load and dam deformation. The water pressure component separated out from the measured displacements is put into the trained network, which can automatically recognize the dam concrete and batholith material parameters as well as the foundation water load. The calculation examples show that the establishment of a neural network model for the identification of the uncertainty of the foundation water load is feasible.

Key words: concrete dam; foundation water load; uncertainty; intelligent identification

南京水利科学研究院荣获 2011—2012 年度中国水利优质工程(大禹)奖

南京水利科学研究院参与建设的河南省燕山水库工程荣获 2011—2012 年度中国水利工程优质(大禹)奖,马福恒、蔡正银两位教高作为科研主要贡献人获得荣誉证书。

燕山水库位于河南省叶县沙颍河流域干江河上,是新中国成立以来河南省投资规模最大的水利枢纽工程,被列为 2007 年以前完成的 19 项治淮骨干工程之一。

我院大坝所、土工所和河港所先后完成了燕山水库大坝原型观测设施及综合自动化系统安装调试、大坝安全监测技术与预警系统研究、大坝协调变形关键技术研究、大坝护坡技术及实施研究等科研课题,多项成果达到国际先进或领先水平,先后获得大禹科技进步二等奖、河南省科学技术进步二等奖、河南省水利科技一等奖、河南省重点工程优质奖。上述成果和荣誉的获得彰显了我院科技优势,多次受到水利部、河南省人民政府、淮河流域委员会、河南省水利厅的高度评价和肯定。通过研究成果的转化应用,提高了工程建设与管理的科技水平。

摘自南京水利科学研究院网站