

文章编号: 1000-7598-(2008)02-370-05

岩土工程可靠度分析的改进响应面法研究

黄 靓¹, 易伟建¹, 汪 优²

(1 湖南大学 土木工程学院, 长沙 410082; 2 中南大学 土木建筑学院, 长沙 410075)

摘 要: 为了提高响应面法的计算效率和精度, 对现有的全局响应面法进行了改进。采用径向基函数(RBF)神经网络, 代替目前常用的 BP 网络, 迭代过程中在超锥体的范围内构造响应面, 逼近隐式的非线性功能函数。数值算例分析表明, 与通常的响应面法相比, 改进全局响应面法的迭代次数和有限元分析次数均大幅减少, 节省机时, 有利于提高计算精度。同时, 以浅基础和挡土墙为工程背景进行可靠度分析, 表明该方法能以较快的收敛速度和较少的有限元分析次数, 获得较高精度的可靠度指标, 适用于岩土工程的可靠度分析。

关 键 词: 可靠度分析; 响应面; RBF 神经网络; 隐式功能函数; 岩土工程

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Improvement study on response surface method for reliability analysis in geotechnical engineering

HUANG Liang¹, YI Wei-jian¹, WANG You²

(1. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: In order to enhance computational efficiency and precision of response surface methods, the global response surface method is improved. Using RBF neural network substitutes BP network as the approximation of implicit performance function, and the response surface is formed in the sphere of hyper-pyramid at iteration step. Compared with other response surface methods, numerical case studies show that the proposed method not only markedly reduces the times of iterations and finite element analysis to shorten the processing time, but also benefits to better accuracy. Moreover, the engineering examples of shallow foundation and retaining wall are analyzed on their structural reliability. The calculation results show that the proposed method may gain reliability index satisfyingly by quicker convergence rate and less machine time, and to be suitable for reliability analysis in geotechnical engineering.

Key words: reliability analysis; response surface; RBF neural network; implicit performance function; geotechnical engineering

1 引 言

由于岩土自身错综复杂的变异性质, 使得岩土工程不确定性的特点在土木工程中尤为突出, 因此, 必须全面考虑各种不确定性因素(如岩土的物理性质、荷载、抗力等变量), 以确保工程安全可靠。是由于岩土工程受力变形的机制复杂, 难以采用解析的方法获得作用效应的显式解, 且功能函数隐式且非线性程度高。可靠度分析中的常用方法如一次二阶矩和二次二阶矩^[1]以及优化方法^[2]等, 只适用于显式的功能函数。针对这一问题, 可以采用

蒙特卡罗有限元法、随机有限元法或响应面法进行可靠度分析。蒙特卡罗有限元法结果准确, 但计算量太大, 特别是对于非线性问题。随机有限元法概念明确, 计算量小, 但不易编程实现, 对非线性问题和基本变量变异系数大的情况, 会产生较大的误差。响应面法的计算量小, 且适用于线性、非线性问题, 得到日益广泛的应用, 如 F.S.Wong^[3]构造出原功能函数的响应面, 进行边坡可靠度计算。张弥采用有限元与响应面法分析隧道结构荷载效应^[4]。苏永华^[5]利用响应面法和数值模拟分析地下岩体空间的可靠性。徐军^[6]结合响应面方程、优化方法和

收稿日期: 2006-07-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No.50378034); 高校博士点专项基金资助项目(No.20030532020)

作者简介: 黄靓, 男, 1978 年生, 博士研究生, 工程师, 主要从事工程结构可靠度和损伤诊断的研究。E-mail: lhuang1178@hnu.cn

蒙特卡罗技术, 对围岩参数进行了随机反分析。

响应面法是通过若干次有限元分析, 逼近原来的隐式功能函数, 然而岩土工程中非线性问题较多, 每一次有限元分析都要耗费大量的机时。因此, 在保证响应面法计算精度的前提下, 应尽量减少有限元分析的次数, 提高计算效率。达到此目标的途径有两个: (1) 采用逼近能力更强的响应面函数来代替原功能函数, 以减少可靠度分析中迭代的次数; (2) 在每次迭代过程中, 通过尽可能少的有限元分析来构造响应面。

本文从以上两点出发, 对现有的响应面法进行了改进研究: 采用具有较强非线性映射能力的径向基函数 (RBF) 神经网络代替原来的隐式功能函数; 每次迭代过程中在超锥体的范围内构造 RBF 神经网络响应面。算例分析表明, 本文提出的改进方法可以明显加快收敛速度, 减少每次迭代过程所需有限元分析的次数, 有利于提高计算精度。

2 响应面法的基本原理

响应面法是统计学中的一种综合试验技术, 用于处理复杂系统的输入 (基本变量) 和输出 (系统响应) 的映射关系问题。该方法用于隐式功能函数的可靠度计算时, 先设计一系列变量值, 每一组变量值构成一个试验点, 然后逐点进行结构分析, 获得相应的一系列功能函数值。通过这些变量值和功能函数值来构造一个明确的函数关系, 以近似替代难以直接表达的真实功能函数, 从而进行可靠度分析。响应面函数常用的形式有二次多项式、有理多项式、BP 神经网络等。采用 BP 神经网络作为响应面近似函数可以从理论上解决响应面的精度问题, 其具体步骤如下:

①假定初始点 $\mathbf{X}^1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$, 一般取均值点;

②利用有限元等数值方法计算功能函数 $g(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$ 和 $g(x_1^1, \dots, x_i^1 \pm f\sigma_i, \dots, x_n^1)$, 得到 $2n+1$ 个样本点, 其中系数 f 一般第一步取 3, 以后各步取 1;

③利用步骤②获得的 $2n+1$ 个样本点训练 BP 网络, 得到近似功能函数;

④用最优化方法^[7]求解验算点 $\mathbf{X}^{*k}$ 及相应的可靠指标 β^k ;

⑤计算 $|\beta^k - \beta^{k-1}| < \varepsilon$ 是否满足, 若条件满足, 则输出 β 和 $\mathbf{X}^*$, 否则返回步骤②, 以本步计算的验算点作为进行下一步迭代最优化求解的初始点, 直到收敛为止。

文献[7]将上述方法称为局部响应面法, 设基本随机变量个数为 n , 则局部响应面法每一步迭代需进行 $2n+1$ 次有限元分析, 若经 k 步迭代收敛, 则共需 $k(2n+1)$ 次有限元分析。为了充分利用每步迭代的有限元分析结果, 文献[7]将局部响应面的步骤③修改为, 用以上 k 步所得 $k(2n+1)$ 个样本点训练 BP 网络, 并称其为全局响应面。文献[7]进一步改进了全局响应面, 即在进行第②步以后的迭代时, 不增加 $2n+1$ 个样本点, 只增加本步所得验算点, 也就是将局部响应面的步骤③改为利用以上 k 步所得 $2n+k$ 个样本点训练 BP 网络。

3 响应面法的改进研究

3.1 RBF 神经网络

虽然采用 BP 网络逼近响应面函数可以从理论上解决响应面的精度问题, 但 BP 网络存在收敛速度慢和局部极小等固有缺陷。已经证明, RBF 网络和 BP 网络都能够以任意精度逼近任意连续函数, 但 RBF 网络在函数逼近能力、学习速度等方面均优于 BP 网络, 且具有较好的泛化能力, 故本文采用 RBF 网络逼近非线性程度较高的隐式功能函数。

RBF 网络^[8]是由输入层、隐含层和输出层构成的 3 层前向型神经网络, 如图 1 所示。隐含层采用径向基函数作为激励函数, 输出层的激励函数为纯线性函数。径向基函数一般为高斯函数:

$$R_j(\mathbf{x}) = \exp \left[-\frac{(\mathbf{x} - \mathbf{c}_j)^T (\mathbf{x} - \mathbf{c}_j)}{2\sigma_j^2} \right], \quad j=1, 2, \dots, p \quad (1)$$

式中: $\mathbf{x}$ 为 m 维输入向量; $\mathbf{c}_j$ 和 σ_j 为隐含层第 j 个单元的径向基函数的中心和宽度; p 为隐含层神经元个数。

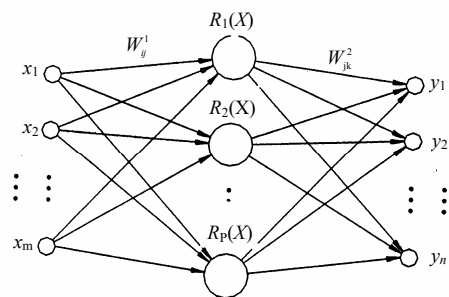


图 1 RBF 神经网络
Fig.1 RBF neural network

从图 1 可以看出, 输入层实现从 $\mathbf{x}$ 到 $R_j(\mathbf{x})$ 的非线性映射, 输出层实现从 $R_j(\mathbf{x})$ 到 y_k 的线性映射, 即

$$y_k = \sum_{j=1}^p w_{jk} R_j(\mathbf{x}), \quad k=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中: y_k 为第 k 个输出神经元的输出; n 为输出节点数。

RBF 网络的训练过程分为两步: 第一步为无教师式学习, 根据所有的输入样本决定隐含层各神经元的参数 c_j 和 σ_j , 确定输入层和隐含层间的权值 w_{ij}^1 。第二步为有教师式学习, 利用样本和最小二乘原则, 确定隐含层与输出层间的权值 w_{jk}^2 。

3.2 样本点的选择

改进全局响应面的第 1 步迭代需要 $2n+1$ 个样本点, 以后每步迭代都新增样本点 1 个。事实上, 若初始迭代点选为均值点, 改进全局响应面的第一步迭代并不需要在包含均值点的一个完整超棱体范围内构造响应面, 这是因为最终的验算点只是位于某一个方向上, 响应面方法是通过迭代计算, 逐步逼近正确的验算点直到最终收敛, 所以, 在迭代的第 1 步只需要在均值点周围用一个超锥体构造响应面, 就能够覆盖存在验算点的所有可能方向, 并使迭代点朝验算点收敛。本文取如下 $n+2$ 个样本点, 构造超锥体范围内的响应面: $(Mu_1^1, \dots, Mu_i^1 - f\sigma_i, \dots, Mu_n^1)$, 以及 $(Mu_1^1 + f\sigma_1, Mu_2^1 + f\sigma_2, \dots, Mu_n^1 + f\sigma_n)$ 和 $(Mu_1^1, Mu_2^1, \dots, Mu_n^1)$, Mu_i 为随机变量 x_i 的均值。

3.3 改进方法

改进方法的基本过程仍遵循文献[7]的改进全局响应面, 不同之处在于用 RBF 网络替换 BP 网络构造响应面, 第一步迭代时用超锥体替换超棱体的样本点布置构造响应面, 其计算步骤只需将局部响应面的步骤②改为计算功能函数 $g(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$ 以及 $g(x_1^1, \dots, x_i^1 - f\sigma_i, \dots, x_n^1)$ 和 $g(x_1^1 + f\sigma_1, x_2^1 + f\sigma_2, \dots, x_n^1 + f\sigma_n)$ 得到 $n+2$ 个样本点, f 在第一步取 3, 以后各步取 1; 将局部响应面的步骤③改为, 利用以上 k 步所得的 $n+k+1$ 个样本点训练 RBF 网络。本文改进方法的第一步迭代需 $n+2$ 次有限元分析, 其后每步只需 1 次有限元分析, 若 k 步收敛共需 $n+k+1$ 次有限元分析, 收敛条件为 $|\beta^k - \beta^{k-1}| < 0.001$ 。

4 算例分析

为验证本文改进方法的应用效果, 并与其他方法的计算结果进行比较, 选用具有明确解析式的功能函数进行可靠度分析, 省去繁杂的有限元分析。

计算中, BP 网络采用一个隐含层, 隐含层神经元的个数为 $\sqrt{p+q}+5$, 其中 p 为输入层神经元个数 (即输入向量维数); q 为输出层神经元个数 (本文 $q=1$)。BP 网络隐含层和输出层的传递函数分别采用 S 型正切函数和对数函数。BP 网络的训练采用反向传播算法, 目标误差为 0.001, 学习速率为 0.01。RBF 网络隐含层的神经元个数与训练样本点的个数相同, RBF 网络的无教师学习阶段采用 k —均聚类算法, 有教师学习阶段采用最小二乘算法。神经网络的构造通过 Matlab 神经网络工具箱完成。

4.1 数值算例

算例 1 和算例 2 引自文献[7], 试求解其验算点以及可靠度指标 β 、 g 为功能函数。

算例 1 中,

$$g=1+x_1x_2-x_2 \quad (3)$$

式中: $x_1 \sim LN(\mu_{x1}, \sigma_{x1}) = LN(2, 0.4)$; $x_2 \sim LN(\mu_{x2}, \sigma_{x2}) = LN(4, 0.8)$ 。

算例 2 中,

$$g = 0.567x_1x_2 - 0.0005x_3^2, \quad (4)$$

式中: $x_1 \sim N(\mu_{x1}, \sigma_{x1}) = N(0.6, 0.0786)$; $x_2 \sim N(\mu_{x2}, \sigma_{x2}) = N(2.18, 0.0654)$; $x_3 \sim LN(\mu_{x3}, \sigma_{x3}) = LN(32.8, 0.984)$ 。

表 1 列出了算例 1 和算例 2 采用不同方法的计算结果。从表中可看到, 本文提出的改进响应面法的迭代次数是所列响应面法中最少的, 有限元分析次数也是最少的, 达到了提高计算效率的目标。这两例中, 本文方法的计算精度与其他响应面法相当。

表 1 可靠度计算结果
Table 1 Reliability calculation results of Case 1 and Case 2

算例	计算项目	一次二阶矩法	文献[7]			本文方法
			局部响应面法	全局响应面法	改进全局响应面法	
算例 1	可靠指标	4.690	4.690	4.690	4.691	4.690
	验算点	(0.797, 4.933)	(0.794, 4.837)	(0.797, 4.932)	(0.800, 5.00)	(0.797, 4.932)
	迭代次数		5	5	6	2
	有限元分析次数		25	25	15	5
算例 2	可靠指标	1.965	1.965	1.963	1.965	1.965
	验算点	(0.456, 2.159, 33.418)	(0.456, 2.160, 33.419)	(0.457, 2.159, 33.429)	(0.456, 2.159, 33.428)	(0.456, 2.158, 33.419)
	迭代次数		5	4	6	4
	有限元分析次数		35	28	12	8

4.2 工程实例

算例3和算例4引自文献[9]的例9.3和例5.21:
算例3: 某正方形钢筋混凝土浅基础, 位于地表以下5 m粉土上, 凝聚力 kPa $c \sim N(\mu_c, \sigma_c) = N(90, 30)$, 内摩擦角 $\varphi \sim N(\mu_\varphi, \sigma_\varphi) = N(30^\circ, 3^\circ)$, 重度 kN/m^3 $\gamma \sim N(\mu_\gamma, \sigma_\gamma) = N(19, 0.5)$, 荷载效应(kN) $P \sim N(\mu_P, \sigma_P) = N(25\ 000, 250\ 0)$ 。对浅基的承载力系数处理后得到功能函数为

$$g=117.2c-64.8\gamma+(21.87c+83.18\gamma)N_q-P-114.7 \quad (3)$$

式中: N_q 为浅基承载力系数之一, 是 φ 的函数, 依误差传递公式和 φ 的统计参数可以推知 $N_q \sim N(\mu_{N_q}, \sigma_{N_q}) = N(18.4, 6.45)$ 。试确定此基础极限承载力的可靠度指标。

算例4: 某一重度为 $20\ kN/m^3$ 的毛石挡土墙, 墙后填土水平, 上面作用均布超载 $W_s(kPa)$, $W_s \sim N(\mu_{W_s}, \sigma_{W_s}) = N(15, 2.5)$ (kPa), 被挡黏性土的 $\varphi_1 \sim N(\mu_{\varphi_1}, \sigma_{\varphi_1}) = N(40^\circ, 1.5^\circ)$, $\gamma \sim N(\mu_\gamma, \sigma_\gamma) = N(20, 1.5)$, 地基土是粒状土的 $\varphi_2 \sim N(\mu_{\varphi_2}, \sigma_{\varphi_2}) = N(40^\circ, 3^\circ)$, 令墙基与地基土的摩擦系数 $U = \tan(\varphi_2)$ 。确定此挡土墙抗滑的可靠度指标, 其功能函数为

$$g=180U-6K_a W_s-18\gamma K_a \quad (6)$$

式中: K_a 为主动土压力系数, 采用朗肯表达式计算 $K_a = (1 - \sin\varphi_1)/(1 + \sin\varphi_1)$ 。

分别采用文献[7]改进全局响应面法和本文改进方法计算例3和例4的可靠度指标, 见表2。

本文将文献[10]采用优化方法计算的可靠度指标当作精确解。与改进全局响应面法比较可知, 本文方法的计算结果更接近精确解, 且迭代次数和有限元分析次数均明显减少, 算例3和算例4分别减少了31%和41%的有限元计算量。可见, 本文方法能够使迭代次数和有限元分析次数大幅减少, 极大地节省机时, 并且具有更好的计算精度。本文方法求得算例3的验算点($c^*, N_q^*, \gamma^*, P^*$)为(67.797, 6.164, 18.986, 25472.74), 算例4的验算点($W_s^*, \gamma^*, \varphi_1^*, \varphi_2^*$)为(16.557, 21.721, 37.986, 32.960)。

表2 算例3和算例4可靠度计算结果

Table 2 Reliability calculation results of Case3 and Case 4

算例	方法	计算项目		
		可靠指标	迭代次数	有限元分析次数
算例3	文献[10]	2.045		
	改进全局响应面法	2.066	8	16
	本文方法	2.047	5	10
算例4	文献[10]	3.001		
	改进全局响应面法	2.987	14	22
	本文方法	3.003	8	13

5 结 论

(1) RBF 神经网络具有较强的非线性映射能力, 其性能优于目前常用的 BP 神经网络, 非常适合在响应面法中真实可靠地逼近隐式的非线性功能函数, 加快收敛速度, 减少迭代次数, 有利于提高计算精度。

(2) 在超锥体的范围而不是超棱体的范围内构造响应面, 可以明显减少有限元分析的次数, 而且不会降低计算精度。

(3) 算例分析表明, 本文提出的改进全局响应面法通过采用 RBF 神经网络在超锥体的范围内逼近隐式功能函数, 能以较快的收敛速度和较少的有限元分析次数, 获得精度较好的可靠度指标, 显著提高计算效率。

参 考 文 献

- [1] 吴世伟. 结构可靠度分析[M]. 北京:人民交通出版社, 1990.
- [2] LIU Pei-ling, KIUREGHIAN A D. Optimization algorithms for structural reliability[J]. *Structural Safety*, 1991, 9(3): 161-177.
- [3] WONG F S. SLOPE reliability and response method[J]. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1985, 111(1): 32-53.
- [4] 张弥, 沈永青. 用响应面方法分析铁路明洞结构荷载效应[J]. *土木工程学报*, 1993, 26(2):58-65.
ZHANG Mi, SHEN Yong-qing. Analysis of loading effect on railway cut-and-cover tunnel structure by numerical response surface method [J]. *China Civil Engineering Journal*, 1993, 26(2):58-65.
- [5] 苏永华, 方祖烈, 高谦. 用响应面方法分析特殊地下岩体空间的可靠性[J]. *岩石力学与工程学报*, 2000, 19(1): 55-58.
SU Yong-hua, FANG Zu-lie, GAO Qian. Reliability analysis of special underground rockmass space by response surface method [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2000, 19(1):55-58.
- [6] 徐军, 郑颖人. 基于响应面方法的围岩参数随机反分析[J]. *岩土力学*, 2001, 22(2):167-170.
XU Jun, ZHENG Ying-ren. Random back analysis of field geotechnical parameter by response surface method [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2001, 22(2):167-170.
- [7] 桂劲松, 康海贵. 结构可靠度分析的全局响应面法研究[J]. *建筑结构学报*, 2004, 25(4):100-105.
GUI Jing-song, KANG Hai-gui. The study of the whole

- response surface method for structural reliability analysis [J]. *Journal of Building Structures*, 2004, 25(4):100—105.
- [8] 姜绍飞. 基于神经网络的结构优化与损伤检测[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [9] SMITH GN. Probability and Statistics in Civil Engineering [M]. London: Collins, 1986.
- [10] 冷伍明, 赵善悦. 用不求导数的最优化计算可靠度指标[J]. 西南交通大学学报, 1993, 20(2): 58—63.
- LENG Wu-ming, ZHAO Shan-yue. Applying the optimization method to compute the geotechnical reliability index without derivation [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 1993, 20(2):58—63.

第十次全国岩石力学与工程学术大会

第二号通知(2008年7月28—30日 山东 威海)

主办单位 中国岩石力学与工程学会

承办单位 中国岩石力学与工程学会地下工程分会、山东大学、中国科学院武汉岩土力学研究所

协办单位 山东科技大学

会议邀请及主题: 近年来随着经济建设飞速发展, 各类基础设施工程和资源开发工程都处于空前发展时期。在水利水电开发、矿山及石油开采、地面和地下交通建设以及许多涉及岩土开挖的工程领域中不断涌现出新的挑战难题。南水北调、西电东送、西气东输和西部大开发的一系列相关工程中提出了许多新的岩石力学课题, 并涌现出了众多新的研究成果。这次学术大会将提供一次全国性岩石力学研究成果和岩石工程实践经验的交流机会。会议的主题为“新世纪岩石工程难题的学术及技术创新”。

会议将在山东省海滨城市威海市召开, 威海市近年被联合国授予“最适合人类居住城市”称号。那里自然环境得天独厚, 附近有丰富的旅游资源。七月盛夏更是人们避暑和在海滨游泳度假的天然圣地。这里将为会议的交流提供一个令人惬意的优美环境。

会议专题: 我国重大岩土工程出现的难题及对策; 水利水电工程和矿山工程深部开挖的灾害及其效应和防治方法; 近地表开挖和自然坡体的失稳研究; 岩土体稳定性和风险问题; 岩土工程围岩力学效应的监测技术和方法; 岩土工程加固的新原理、新方法和新技术; 岩土力学新的理论方法和数值分析新技术; 岩土力学实验研究方法及其与岩土工程稳定研究的相关性; 其他岩石力学与岩土工程问题;

会议论文与出版: 会议论文将由正式出版社出版论文集。并将挑选部分优秀论文安排在《岩石力学与工程学报》专集上正式刊登。论文版面一般不超过6页。格式参照《岩石力学与工程学报》投稿要求(登陆《学报》网站: <http://www.rockmech.org>, 点击“投稿须知”一栏, 下载论文模板), 文稿暂不分栏。

重要日期: 2007年11月1日前提供一个500字左右的论文提要或全文(电子版); 2007年12月31日前提供论文全文(限于论文提要被采用者); 2008年1月31日发出论文采用通知和修改意见; 2008年2月28日前作者提交修改后的全文。

大会组织机构: **大会主席** 钱七虎 **大会顾问委员会** 主任: 孙 钧 王思敬

委 员: (按拼音字母顺序排列) 陈祖煜 程良奎 傅冰骏 葛修润 顾金才 李焯芬 梁炯鋈 钱鸣高 宋胜武 王梦恕 谢和平 徐小荷 杨林德 袁 亮 展 涛 张超然 章梦涛 郑颖人 周丰峻 朱耀仲

三、大会组织委员会

主 席: 李术才 副主席: 李海波

委 员: (按拼音字母顺序排列) 陈五一 曹传林 陈 勉 陈卫忠 陈志龙 戴会超 邓建辉 范秋雁 樊启祥 冯树荣 郭熙灵 郭衍敬 韩风险 韩来聚 黄理兴 蒋树屏 景海河 李夕兵 李新平 刘元雪 刘泉声 刘新荣 孙振波 刘汉东 吕 明 梅志荣 潘一山 孙 凯 谭云亮 王在泉 王金安 王金华 王卫军 汪小刚 伍法权 肖国清 徐 平 杨更社 杨启贵 杨 强 杨天鸿 张顶立 张强勇 张永兴 赵 文 郑炳绪 郑双良 周国庆 周火明 周书明 朱本珍 朱珍德

四、大会学术委员会 主 席: 宋振骐 副主席: 冯夏庭 唐春安 朱维申

委 员: (按拼音字母顺序排列) 白 云 蔡美峰 陈 勉 邓金根 杜修力 方祖烈 何满潮 黄宏伟 黄润秋 金丰年 靖洪文 缪协兴 康红普 李 宁 李永盛 李仲奎 李最雄 李建林 李世海 刘汉龙 吕爱钟 余诗刚 盛 谦 施 斌 王明洋 王 驹 王 媛 魏 群 邬爱清 夏才初 岳中琦 杨春和 赵 显 赵阳升 卓家寿 周创兵 朱大勇 朱合华 朱永全 朱万成

五、大会秘书处 李树忱 焦玉勇 林春金 安 妮 董 慧

六、会后考察线路 (1) 刘公岛、韩国服装城一日游 (2) 成山头一日游 (3) 蓬莱长岛二日游 (4) 蓬莱、青岛四日游

(信息来源: 环境岩土工程在线, 编辑部编辑)