

震后供水系统破坏状态模拟及功能分析

柳春光^{*1}, 何双华²

(1. 大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024;

2. 华北水利水电学院 土木与交通学院, 河南 郑州 450011)

摘要: 供水管网地震过程中往往会遭到不同程度的破坏, 以震后管线破坏状态模拟为基础, 对带渗漏管网进行水力分析, 进而评价其服务性能. 在渗漏管网流分析时, 引入节点配水量和节点压力的函数关系, 结合中国点式渗漏模型, 通过求解非线性方程组, 得到震后管网节点的供水量和节点压力. 该方法在传统的管网水力计算基础上, 考虑节点流量随水压的动态变化, 避免了负的压力计算值的产生. 以一实际管网为例, 介绍了震后供水管网功能分析的应用方法.

关键词: 供水管网; 破坏状态; 水力分析; 渗漏模型

中图分类号: TU991.32 **文献标志码:** A

0 引言

城市供水系统担负着维护居民生活和工业生产的繁重任务, 它是城市生命线系统的重要组成部分. 历史震害表明, 供水管网在地震中极易遭受破坏, 造成系统故障和中断, 并有可能产生各种次生灾害, 给人民生活、生命和财产带来严重危害. 因此, 震后供水系统的破坏状态模拟及功能分析对城市震后救灾恢复具有重要的意义, 也是进行管网抗震设计、提高管网抗震性能所需解决的重要问题.

供水管网的抗震性能是指供水管网在地震作用下能够满足震后城市特殊用水需求(需水量和水压)的能力^[1]. 它包括两个层面的内容: 震后管网破坏状态的模拟和系统服务性能分析. 前者即为供水管网的震害预测, 已有很多文献对这方面的工作进行了论述, 而对管网震后服务性能的研究却较少. 震后供水管网的功能分析主要是针对带渗漏管网的水力分析, 有些学者^[2,3]采用点式渗漏模型对管网进行功能失效分析, 但震后管网系统处于低压供水状态, 导致管网部分节点的实际配水量小于需水量, 他们在进行管网水力分析时并没有考虑节点水压对节点流量的影响. 本文首先根据管段在地震波作用下的轴向变形计算管

道失效概率从而判断其破坏状态, 进而将管网渗漏模型与考虑节点水压影响的水力分析方法相结合, 对管网震后服务性能进行分析.

1 震后供水管网的破坏状态模拟

正确评价震后供水管网的工作状态和服务性能, 首先要对管线的破坏状态进行合理的模拟. 基于震害预测结果得到各类管线的破坏率, 在此基础上得到两个节点间管线的失效概率.

1.1 管道震害状况等级划分

以管线应变作为控制变量, 按应变值分布范围将供水管道的破坏状态划分为三类, 它们相应的变形指标如下^[4].

基本完好: 管体结构基本无损, 刚性接头相对变形小于允许开裂变形极限 R_1 , 接头可能有少量微细裂纹, 轻微渗洩.

中等破坏: 刚性接头相对变形超过允许开裂变形极限 R_1 , 柔性接头的胶圈与管子间产生滑动, 多数接头产生裂纹, 有渗水现象, 并可能使管道压力下降.

严重破坏: 接头相对变形超出渗漏允许变形极限 R_2 , 填料松动, 胶圈接口拉出, 渗漏严重.

其中 R_1 、 R_2 由试验统计得出。

1.2 管道震害的概率预测模型

若地震效应为 S , 结构抗力为 R , 且它们均为随机变量, 则破坏极限状态功能函数为

$$Z = R - S \tag{1}$$

结构失效概率为

$$P_f = P(Z < 0) \tag{2}$$

假定 R 和 S 均服从正态分布, 则 Z 亦服从正态分布, 这样管道各种破坏状态的概率表达式分别为^[5]

管道基本完好的概率

$$P_{f1} = \Phi\left(\frac{\bar{R}_1 - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_{R_1}^2 + \sigma_S^2}}\right) \tag{3}$$

管道严重破坏的概率

$$P_{f3} = \Phi\left(-\frac{\bar{R}_2 - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_{R_2}^2 + \sigma_S^2}}\right) \tag{4}$$

管道中等破坏的概率

$$P_{f2} = 1 - P_{f1} - P_{f3} \tag{5}$$

对于极限状态方程中包含非正态随机变量的, 可采用把非正态的随机变量当量正态化, 进而求管段失效概率。

当 $P_{f1} \geq 0.5$ 时, 管线处于基本完好或轻微损坏状态; $P_{f1} < 0.5$ 且 $P_{f3} < 0.25$ 时, 管线处于中等破坏状态; $P_{f3} \geq 0.25$ 时, 管线处于严重破坏或毁坏状态。

2 震后供水管网的功能分析

供水管网的功能分析又称为管网的水力分析或者流分析, 它是在已知管网拓扑结构、管段属性、管网各节点期望用水量、水源点出水压力等参数条件下, 计算管网中各管段的传输流量、节点水压的过程, 从而确定管网的供水失效范围, 并计算其经济损失, 综合评价供水系统的破坏程度及服务能力^[6]。供水管网的分析有 3 种方法: 环路法、链路法和节点法, 在大型管网水力分析中一般采用节点法。

2.1 震后供水管网的流分析原理

震后供水管网的功能分析是针对带渗漏管网的分析。假设渗漏发生时处于管线的中心位置, 可在中心位置增设一个虚拟漏水节点, 模拟渗漏情况。经过对震后管网的破坏状态模拟, 形成一个包括实际节点和虚拟节点在内的网络^[7]。管网节点

满足质量平衡方程

$$Q_i + \sum_{j=1}^m q_{ij} = 0; i = 1, 2, \dots, N \text{ (实际节点)} \tag{6}$$

$$Q_{li} + \sum_{j=1}^m q_{ij} = 0; i = 1, 2, \dots, N_l \text{ (虚拟节点)} \tag{7}$$

环路能量方程

$$\sum_{i \in loop} \Delta H_i = 0 \tag{8}$$

管段压降方程(本文采用 Hazen-Williams 方程^[8])

$$q_{ij} = 0.278\ 53 C_{ij} D_{ij}^{2.63} (H_i - H_j)^{0.54} / L_{ij}^{0.54} \tag{9}$$

式中: q_{ij} 为管段 ij 的流量 (m^3/s); Q_i 为实际节点 i 的流量 (m^3/s); Q_{li} 为虚拟渗漏节点 i 的渗漏流量 (m^3/s); H_i 为节点 i 的水压; m 为管段数; N 为实际节点数; N_l 为虚拟渗漏节点数; C_{ij} 为管段 ij 的 Hazen-Williams 系数; D_{ij} 为管段 ij 的直径 (m); L_{ij} 为管段 ij 的长度 (m)。

2.2 节点配水量与节点水压的关系

传统的供水管网流分析是在假定节点配水量已知的情况下, 通过求解一系列拟线性方程得到节点压力和管段流量。但当渗漏发生时, 节点压力受到影响, 当节点压力低于某一水平(称之为参考压力)时, 节点将不能提供期望的需求流量^[9]。此时节点的实际配水量依赖于相应的节点压力, 即管网节点的配水量与水压之间存在一定的函数关系。本文采用的节点配水量-节点压力关系式为^[10]

$$Q_i(H_i) = Q_i^{\text{req}} \frac{\exp(a_i + b_i H_i)}{1 + \exp(a_i + b_i H_i)} \tag{10}$$

式中: Q_i 和 H_i 分别是节点 i 的实际配水量和实际水压, Q_i^{req} 是节点需求供水量; 参数 a_i 和 b_i 的数值可以通过管网节点相关领域的的数据得到。当节点压力较低时, 它或许只能提供需求流量的一小部分水量, 相反, 如果能达到足够高的压力, 流出量便能满足理想的需求流量, 式(10)可以近似描述正常和低压情况下的管网工作状态。

参数 a_i 和 b_i 可以采用下面的表达式计算:

$$a_i = \frac{-4.594\ 8 H_i^{\text{req}} - 6.907\ 3 H_i^{\min}}{H_i^{\text{req}} - H_i^{\min}} \tag{11}$$

$$b_i = \frac{11.501\ 9}{H_i^{\text{req}} - H_i^{\min}} \tag{12}$$

式中: H_i^{req} 是节点 i 能完全满足需水量所需的水压, $H_i^{\min}$ 是节点 i 可获得流量的最低水压。为了简

化计算, $H_i^{\min}$ 常被取做节点处的地面标高 E_i , 也可以用 一个稍高些的合适值代替它。

式(10)最大的优势就是它仅用单一式子就可把节点配水量-节点压力关系表达清楚, 不需要多 余的条件, 有着较好的计算特性, 可以较容易地被 应用到给水管网的特征方程中去。

2.3 震后管网的渗漏模型

基本的渗漏模型有点式渗漏模型和一致渗漏 模型两类。点式渗漏模型反映渗漏处渗漏流量与渗 漏面积及水压之间的关系; 一致渗漏模型假定管网 各部分渗漏水平一致, 给出管段渗漏流量与管网总 体渗漏水平之间的经验关系。研究表明, 点式渗漏 模型较为适用于震后带渗漏管网的功能分析。

本文采用中国城镇供水协会给出的正常使用 状态下渗漏管网的渗漏量计算公式^[1,11]:

$$Q_i = 0.421A_i \sqrt{H_i}$$

(13)

$$A_i = \sum_{j=1}^n A_{ij}$$

(14)

$$A_{ij} = \pi D_{ij}(s_i - u_{ai}); s_i \leq 2[u_{fi}]$$

(15)

式中: A_i 为渗漏面积(m^2); A_{ij} 为单个接头的渗漏 面积(m^2); H_i 为渗漏点水压(m); D_{ij} 为渗漏管 线直径(m); s_i 为管线接头变形(m); u_{ai} 为管线开 裂位移极限(m); u_{fi} 为管线渗漏位移极限(m)。

2.4 震后供水管网的控制分析

地震发生后, 供水管线出现不同程度的破坏, 对于在地震中受到严重破坏的管段, 通常认为不 能再继续承担输水、供水功能, 必须在震后尽快关 闭其两端阀门; 而对于在地震中轻微破坏乃至中 等破坏的管段, 则一般认为仍然可以承担输水与 供水的功能, 但处于带渗漏工作状态^[6]。对于正 常使用状态下供水管网的渗漏问题, 是在传统的水 力分析模型中加入渗漏项, 从管网设计和管网控 制两个角度, 通过改变管网中水压的分布, 达到减 少管网渗漏的目的^[12]。本文中, 通过关闭震后破 坏严重的管段, 减少整个管网的渗漏量, 确保节点 压力和节点流量的适度提高。

震后管网控制的流分析步骤如下:

(1)判断震后管线的破坏状态, 对于发生严重 破坏的管段关闭其两端阀门, 对于中等破坏的管 段, 在其中心位置增设虚拟节点, 形成一个包括实 际节点和虚拟节点在内的网络。

(2)给定节点压力初始值, 得到各管段流量、

节点流量和渗漏点流量。

(3)解水力方程组, 得到新的节点压力。根据 新的节点压力重新计算管段流量和节点流量, 代 入节点流量平衡方程, 当节点流量不平衡量达到 规定精度时结束, 进而计算新的节点压力; 否则, 重新进行计算, 直到达到规定精度。

3 实例分析

将上文震后管线破坏状态模拟及功能分析应 用于某一供水管网(见图 1)。管网的已知信息见 表 1、2。

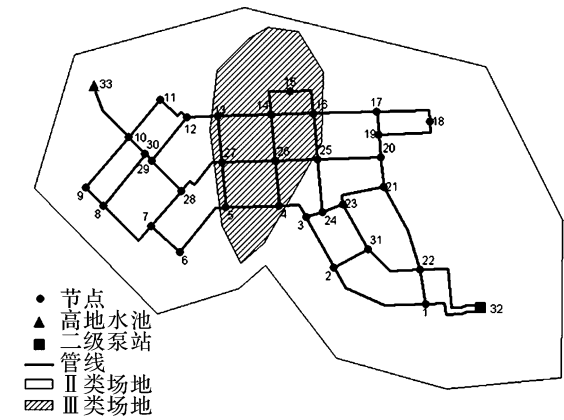


图 1 场地条件和管网布置平面图

Fig. 1 The plane figure of the ground condition and pipe network

表 1 节点已知信息

Tab. 1 Known data of the nodes

节点号	节点高程/m	节点需求/ ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$)	节点号	节点高程/m	节点需求/ ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	109.0	18.7	18	106.0	18.0
2	114.3	29.8	19	112.4	16.2
3	116.3	58.1	20	112.4	18.3
4	116.4	24.8	21	112.8	24.0
5	117.5	28.7	22	112.0	24.0
6	120.4	17.0	23	114.4	18.4
7	121.2	23.6	24	115.3	18.0
8	123.6	25.2	25	114.2	35.3
9	124.0	19.0	26	115.8	34.5
10	127.5	24.9	27	117.1	34.7
11	122.9	18.0	28	118.9	21.7
12	118.7	12.9	29	120.5	4.0
13	117.4	43.5	30	123.1	12.3
14	116.0	38.8	31	114.0	19.6
15	115.0	23.2	32	103.0	-654.8 ¹⁾
16	114.2	38.0	33	153.8	-115.7 ¹⁾
17	112.6	23.3			

注: 1) “-”表示节点供水量

表 2 管段已知信息
Tab.2 Known data of the pipes

管段号	始节点	终节点	管长/m	管径/m	CHW	管段号	始节点	终节点	管长/m	管径/m	CHW
1	1	2	1 100	0.50	130	26	23	24	430	0.50	130
2	2	3	850	0.50	130	27	23	31	520	0.50	130
3	3	4	550	0.40	130	28	2	31	680	0.25	130
4	4	5	980	0.35	130	29	22	31	530	0.50	130
5	5	27	600	0.15	130	30	21	22	1 050	0.50	130
6	13	27	530	0.15	130	31	1	22	550	0.50	130
7	13	14	950	0.30	130	32	5	6	960	0.30	130
8	14	15	1 030	0.20	130	33	6	7	550	0.30	130
9	15	16	1 020	0.20	130	34	7	8	960	0.30	130
10	16	25	600	0.25	130	35	8	9	780	0.25	130
11	24	25	780	0.40	130	36	9	10	900	0.30	130
12	3	24	380	0.25	130	37	8	30	970	0.20	130
13	4	26	670	0.25	130	38	7	28	580	0.15	130
14	26	27	960	0.35	130	39	27	28	980	0.35	130
15	14	26	600	0.25	130	40	28	29	360	0.30	130
16	25	26	820	0.40	130	41	29	30	250	0.30	130
17	14	16	820	0.30	130	42	10	30	600	0.30	130
18	16	17	930	0.35	130	43	10	11	700	0.25	130
19	17	18	800	0.15	130	44	12	29	750	0.20	130
20	18	19	800	0.20	130	45	11	12	895	0.25	130
21	17	19	330	0.40	130	46	12	13	600	0.30	130
22	19	20	300	0.40	130	47	10	33	1 150	0.45	130
23	20	25	920	0.30	130	48	22	32	2 400	0.60	130
24	20	21	400	0.50	130	49	1	32	2 050	0.60	130
25	21	23	680	0.25	130						

模拟供水管网在七、八、九度地震作用下管线的破坏状态,结果见表 3、4。分析可知,同一地震水平作用下,处于Ⅲ类场地的管线比Ⅱ类场地的破坏严重,相同场地类别下,管径较小的管线破坏比较严重。

震后管网流分析结果(图 2、3)表明,在管网发生渗漏后,节点压力和节点流量均有所降低,且随着烈度的增大它们的变化幅度也相应变大。渗漏造成流量流失和节点压力下降,但对二者的影响不太一致。Ⅲ类场地节点(4、5、13、14、15、16、25、26、27)的压力受渗漏影响变化幅度较大,同时Ⅲ类场地节点邻近的上游节点(3、17、18、24)以及远离水源点节点(6、7、8、11、12、28、29、30)的压力下降幅度也比较大,其中 15 节点的下降值最大,

这是因为连接 15 节点的管段破坏较为严重。同时可以看出离水源点近的节点压力下降较小,这是由于渗漏均发生在离水源点较远的管线上,对上游节点的压力影响不大。而节点流量变化幅度较大的为部分处于Ⅲ类场地和远离水源点的节点(5、6、7、8、13、14、15、26、27、28),其中 13、14 节点流量减少最多。

图 2、3 给出了对于破坏严重的管段关闭其两端阀门和未关闭阀门得到的节点压力和流量,结果表明,同一地震水平下,关闭严重破坏管段两端阀门后,管网的节点压力和节点流量均有不同程度的提高。这也说明震后及时发现破坏严重的管线并采取关阀等控制措施,对提高震后管网的服务性能有重要的意义。

表 3 不同地震烈度下管线的破坏状态
Tab.3 Damage states of the pipe under different earthquake intensity

破坏状态	七度	八度	九度
因中等破坏处于渗漏状态	5,6,8,9,10,13,15	4,7,10,13,14,15,16,17,19,45	4,7,10,12,13,14,15,16,17,19,20,25,28,35,37,43,44,45
因严重破坏而退出工作	无	5,6,8,9,38	5,6,8,9,38

表 4 不同地震烈度下管线的破坏概率

Tab. 4 Failure probability of the pipe under different earthquake intensity

管段号	七度			八度			九度		
	P_{f1}	P_{f2}	P_{f3}	P_{f1}	P_{f2}	P_{f3}	P_{f1}	P_{f2}	P_{f3}
1	0.601	0.209	0.190	0.563	0.245	0.193	0.482	0.319	0.199
2	0.774	0.158	0.068	0.747	0.183	0.069	0.687	0.240	0.072
3	0.674	0.194	0.132	0.631	0.235	0.134	0.538	0.322	0.140
4	0.600	0.324	0.076	0.350	0.563	0.086	0.038	0.852	0.111
5	0.259	0.649	0.091	0.009	0.869	0.122	0	0.795	0.205
6	0.259	0.649	0.091	0.009	0.869	0.122	0	0.795	0.205
7	0.548	0.373	0.078	0.250	0.658	0.092	0.008	0.869	0.123
8	0.227	0.613	0.160	0.010	0.794	0.196	0	0.715	0.285
9	0.227	0.613	0.160	0.010	0.794	0.196	0	0.715	0.285
10	0.474	0.444	0.082	0.139	0.762	0.099	0	0.857	0.142
11	0.766	0.165	0.069	0.730	0.199	0.070	0.648	0.278	0.074
12	0.748	0.183	0.069	0.688	0.239	0.072	0.549	0.372	0.078
13	0.488	0.431	0.081	0.158	0.744	0.097	0.001	0.862	0.137
14	0.580	0.342	0.077	0.309	0.602	0.089	0.021	0.863	0.116
15	0.474	0.444	0.082	0.139	0.762	0.099	0	0.857	0.142
16	0.612	0.312	0.076	0.374	0.540	0.086	0.050	0.841	0.109
17	0.537	0.384	0.079	0.230	0.677	0.093	0.005	0.868	0.127
18	0.761	0.170	0.069	0.719	0.210	0.071	0.623	0.302	0.075
19	0.591	0.272	0.137	0.447	0.407	0.145	0.177	0.660	0.164
20	0.621	0.244	0.135	0.514	0.344	0.142	0.289	0.556	0.155
21	0.767	0.164	0.068	0.733	0.197	0.070	0.655	0.271	0.074
22	0.767	0.164	0.068	0.733	0.197	0.070	0.655	0.271	0.074
23	0.755	0.176	0.069	0.705	0.224	0.072	0.588	0.336	0.077
24	0.774	0.158	0.068	0.747	0.183	0.069	0.687	0.240	0.072
25	0.649	0.218	0.133	0.577	0.285	0.138	0.420	0.433	0.147
26	0.774	0.158	0.068	0.747	0.183	0.069	0.687	0.240	0.072
27	0.774	0.158	0.068	0.747	0.183	0.069	0.687	0.240	0.072
28	0.748	0.183	0.069	0.688	0.239	0.072	0.549	0.372	0.078
29	0.681	0.188	0.131	0.647	0.220	0.133	0.571	0.290	0.138
30	0.681	0.188	0.131	0.647	0.220	0.133	0.571	0.290	0.138
31	0.773	0.159	0.068	0.745	0.185	0.070	0.682	0.245	0.073
32	0.662	0.175	0.162	0.606	0.228	0.166	0.483	0.342	0.174
33	0.759	0.140	0.101	0.714	0.182	0.104	0.611	0.280	0.109
34	0.660	0.207	0.133	0.601	0.263	0.136	0.472	0.384	0.144
35	0.751	0.148	0.102	0.695	0.200	0.105	0.567	0.322	0.111
36	0.757	0.142	0.101	0.710	0.186	0.104	0.601	0.289	0.110
37	0.734	0.196	0.070	0.657	0.270	0.074	0.475	0.444	0.081
38	0.710	0.219	0.071	0.601	0.323	0.076	0.353	0.561	0.086
39	0.511	0.242	0.246	0.451	0.298	0.251	0.329	0.410	0.262
40	0.756	0.175	0.069	0.709	0.220	0.071	0.598	0.326	0.076
41	0.756	0.175	0.069	0.709	0.220	0.071	0.598	0.326	0.076
42	0.755	0.176	0.069	0.705	0.224	0.072	0.588	0.336	0.077
43	0.748	0.150	0.102	0.690	0.205	0.105	0.554	0.334	0.112
44	0.734	0.196	0.070	0.657	0.270	0.074	0.475	0.444	0.081
45	0.566	0.214	0.221	0.488	0.285	0.227	0.331	0.430	0.239
46	0.756	0.175	0.069	0.709	0.220	0.071	0.598	0.326	0.076
47	0.674	0.194	0.132	0.631	0.234	0.135	0.536	0.323	0.140
48	0.605	0.206	0.190	0.570	0.238	0.192	0.496	0.306	0.198
49	0.605	0.205	0.190	0.571	0.237	0.192	0.499	0.304	0.198

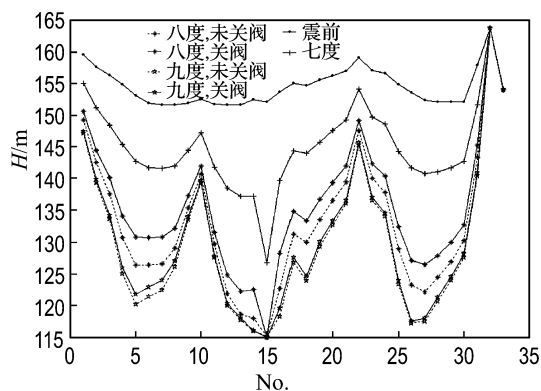


图2 不同地震烈度下节点压力的变化

Fig. 2 The changes of nodal water pressure under different earthquake intensity

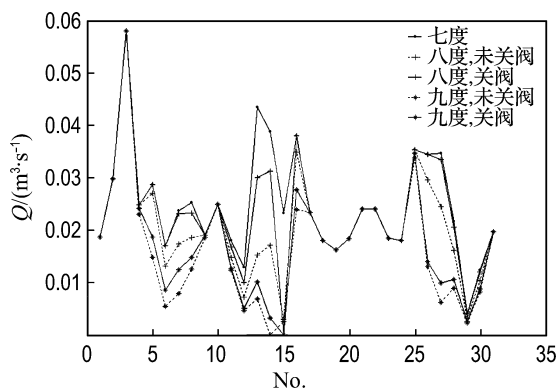


图3 不同地震烈度下节点流量的变化

Fig. 3 The changes of nodal flow under different earthquake intensity

4 结 论

本文对供水管网的抗震功能分析方法做了改进,在模拟震后管线破坏状态的基础上,删除严重破坏管线和无流节点,通过对带渗漏状态下管网的水力分析评价整个系统的服务性能.在对管网进行流分析时,引进节点配水量与水压的函数关

系,结合典型的点式渗漏模型,计算震后管网各用户节点的输出流量和节点压力.震后供水管网的水力分析对于管网抗震设计、预测城市供水系统的抗震能力、震后供水管网系统的检修具有重要的指导意义.

参考文献:

- [1] 李 杰. 生命线工程抗震基础理论与应用[M]. 北京:科学出版社, 2005
- [2] 李 杰, 卫书麟. 城市供水管网抗震功能可靠度分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2005, 25(4):353-358
- [3] 符圣聪, 江静贝, 黄世敏. 地震时供水管网的可靠性和功能分析(下)[J]. 工程抗震与加固改造, 2007, 29(2):95-99
- [4] 刘学杰, 侯忠良. 地下管网震害预测与抗震对策[C] // 地下管线抗震——计算方法与工程应用. 北京:冶金工业部建筑研究总院防震抗震工程研究所, 1991: 87-93
- [5] 朱美珍. 给水管网的震害预测及可靠性评价[J]. 同济大学学报, 1994, 22(4):463-468
- [6] 柳春光, 林 泉, 李宏男, 等. 生命线地震工程导论[M]. 大连:大连理工大学出版社, 2005
- [7] 李 昕. 供水系统地震可靠性分析[D]. 大连:大连理工大学, 2000
- [8] 严熙世, 赵洪宾. 给水管网理论和计算[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1986
- [9] WU Z Y, WALSKI T M. Pressure dependent hydraulic modelling for water distribution systems under abnormal conditions [C] // **Proceeding of IWA World Water Congress**. Amsterdam: Bentley Systems, Inc., 2006
- [10] 刘丽霞. 城市给水管网系统的可靠性分析与研究[D]. 重庆:重庆大学, 2007
- [11] 陈玲俐, 李 杰. 供水管网渗漏分析研究[J]. 地震工程与工程振动, 2003, 23(1):115-121
- [12] ALMANDOZ J, CABRERA E, ARREGUI F, et al. Leakage assessment through water distribution network simulation [J]. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 2005, 131(6):458-466

Failure state simulation and functional analysis of water supply system in post-earthquake

LIU Chun-guang^{*1}, HE Shuang-hua²

(1. State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. School of Civil Engineering and Communication, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: The water supply network is often damaged to some extent in earthquake, so the hydraulic analysis of the water supply network with leakage is performed and then its seismic performance is evaluated based on the failure state simulation of the pipelines. The relationship of nodal flow and nodal pressure is adopted during the hydraulic analysis of the network combined with Chinese leakage model, and the nodal flows and its pressure are obtained by solving a set of nonlinear equations. Since nodal flows are considered to vary with nodal pressures in this model based on traditional hydraulic calculation method of the network, negative pressures are avoided during the hydraulic calculations. The functional analysis approach is applied to an example of water supply network after an earthquake.

Key words: water supply network; failure state; hydraulic analysis; leakage model