

• 计算机技术 •

基于 ANSYS 和 EPANET 的供水管网抗震预测模型研究

王 永¹ 刘遂庆² 郑小明³ 赵 萍¹

(1 浙江省城乡规划设计研究院, 杭州 310007; 2 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 3 中国城镇供水排水协会管道技术部, 上海 201400)

摘要 为了对管网中的抗震脆弱点(区域)进行分析以便有的放矢地开展抗震设防工作,建立了基于 ANSYS 与 EPANET 的供水管网抗震预测模型。通过 ANSYS 环境下建立的微观模型进行模拟试验,可以获取各种典型接头在地震波影响下的位移和应力值,并改变参数进行平行试验而得到多组数据,在 EPANET 环境下建立宏观管网拓扑模型,计算各个节点的“位移危险值”指标和“应力危险值”指标;然后以四川省江油市供水管网实际地震受损调研资料进行了预测方法的验证。

关键词 地震 供水管网 损失评估 预测模型 ANSYS EPANET

0 引言

地震威胁着人类社会的发展和进步,对城市造成了巨大损坏,同时这些地区的供水管网也遭受了严重损失,故有必要展开供水管网的抗震预测理论研究。无小不成大,微观组成要素对于宏观效果表现具有极其重要的影响;知微见著,从一件事的苗头即可判断其发展的趋势,可见找出诱发事件的原因与兆头之重要性。本文研究即着眼于供水管网损坏的主要诱因——地震波冲击造成的管网危险性,由微观模拟试验到宏观模型预测,建立了一个完整的供水管网抗震预测模型,阐述了建模的流程、预测的步骤,并结合实际地震资料予以验证,做到了理论联系实际,研究成果可以预测管网地震相对危险点亦即抗震相对脆弱点(区域),进行针对性的抗震加固设防,既可减少管网损坏的可能性,又可防止对设防平均用力造成资金浪费,经济、高效地保障地震期间的用水安全。

1 预测方法流程

1.1 预测方法

ANSYS 为一基于有限元分析的功能强大的计算软件。EPANET 软件是由美国环保总署主持开发研究的水力计算软件,主要用于压力管网水力计算、管网平差、水质模拟^[1]。相关文献^[2~4]和汶川地震调查均表明:管道在地震中损坏的主要原因多为

接头的位移过大和应力集中,所以可考虑用有限元分析的方法计算出某一管道在特定条件(地震波、土质等)下的位移和应力分布以判断损坏情况。目前学术界对于单根管和两根连接管的抗震性能已有不少研究^[2~7],但是对于地震造成的供水管网全面损坏若使用有限元工具(例如 ANSYS)进行模拟分析从速度、精度方面均不现实。故考虑按照从部分到整体,微观到宏观的思路,从 1 根管道推广到 2 根管、4 根管、12 根管、16 根管,其中考虑了接头形式(弯头、三通、四通)、环状网、末端的水源点和用水节点、输水管、用户管等形成微观模型。

对微观管网模型抗震性能研究后,进行多组模型的平行模拟以积累基本数据,将试验结果推广到实际城镇的供水管网中进行宏观管网模型预测,按此步骤形成预测模型结构如图 1 所示。

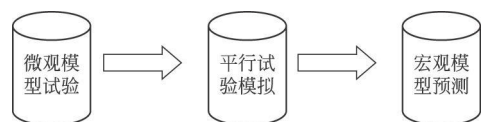


图 1 预测模型结构模块

1.2 预测流程

整个预测的流程首先进行若干平行试验(模拟),每个试验中包括几何建模、单元定义和网格划分、土体约束施加,并加载地震波得到各接头的位移应力数值,然后将试验数据进行处理加工,再建立城镇供水管网宏观模型,将试验数据应用到宏观模型中对供水管网的地震危险值分布作出计算从而完成

“十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAJ51B07)。

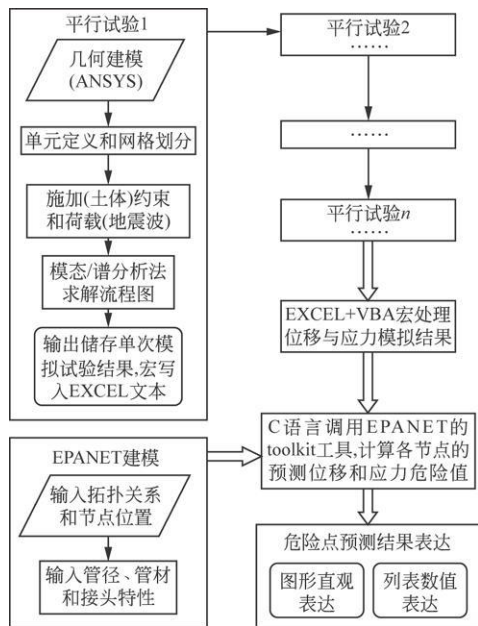


图2 预测模型流程

预测。预测详细流程见图2。

2 预测步骤实例

2.1 收集基础资料

微观、宏观模型所需资料结构及其推求关系如图3、图4所示。

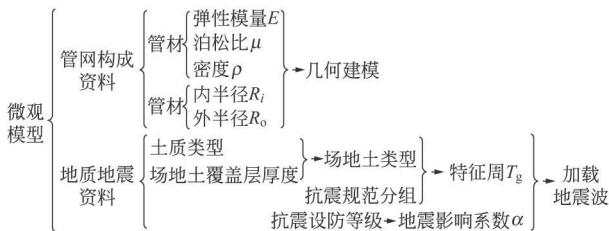


图3 微观模型所需资料结构推求关系

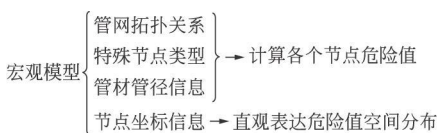


图4 宏观模型所需资料结构推求关系

2.2 微观模拟试验

用ANSYS建立一田字形微观管网,如图5所示:假设各管段管长、管径、管材都相等;田字形包含四通、三通、弯头等典型接头形式,伸出的两端分别代表水源端和用户端。

管体选用梁单元类型 beam188, 截面设置为圆管 ctube, 输入外半径 R_o 、内半径 R_i 以及管材密度

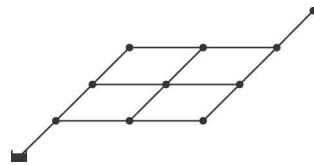


图5 田字形微观模拟实验模型

ρ_p 、弹性模量 E 等。水体质量考虑并入管壁中, 则计算等效密度为:

$$\rho_e = \rho_p + \frac{R_i^2}{R_o^2 - R_i^2} \rho_w \quad (1)$$

式中 ρ ——管段模型等效密度, kg/m^3 ;

ρ_p ——管材密度, kg/m^3 ;

ρ_w ——水密度, kg/m^3 ;

R_i ——管段内半径(Radius inside), m;

R_o ——管段外半径(Radius outside), m。

土对于管体的作用,参考王汝樑等人的研究^[2], 用土弹簧来模拟,在ANSYS的建模中借助弹簧单元 combin14 来实现。

网格划分采用规则形式均匀划分:管段轴向以 0.1 m 为一单元长度;横截面按径向等分 8 片。

加载采用地震反应谱法,谱类型为“频率-加速度”单点响应谱,水平方向。谱分析的地震波参数包括地震影响系数、地震特征周期、阻尼比,按照《建筑抗震规范》^[8]查找计算。如得到四川省江油市水平地震影响系数最大值为 1.20, II 类场地土;地震特征周期 T_g 为 0.4 s;阻尼比取 $\zeta = 0.05$ 。

求解过程应用 ANSYS 软件来自动实现,如图6所示。

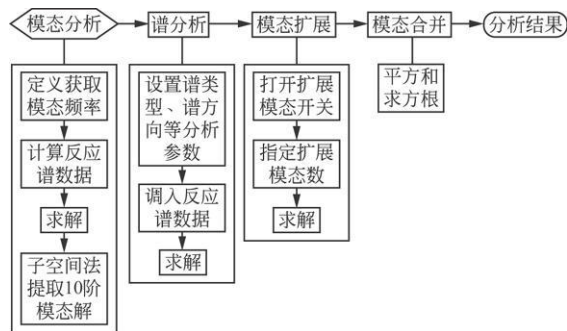


图6 模型求解流程

应力按 Von Mises 原则、位移按 sum 原则提取。通过宏命令将计算结果数值输出为 EXCEL 的格式。常采用 * get 命令将数值存储到数组,创建宏,利用 * vwrite 命令将其写入 EXCEL 表格中,关

表 1 江 油 市 供 水 管 网 构 成

管径/mm	管材	壁厚/mm	长度/m	内径/mm	外径/mm	弹性模量/Pa	泊松比	密度/kg/m ³
150	聚乙烯管	4.9	6	150.2	160	0.008 1×10 ¹¹	0.45	0.965×10 ³
200	聚乙烯管	6.2	6	187.6	200	0.008 1×10 ¹¹	0.45	0.965×10 ³
300	自应力混凝土管	40	4	300	380	0.221×10 ¹¹	0.15	2.38×10 ³
400	自应力混凝土管	45	4	400	490	0.221×10 ¹¹	0.15	2.38×10 ³
600	自应力混凝土管	60	4	600	720	0.221×10 ¹¹	0.15	2.38×10 ³

闭宏,即可完成数据传输与存储。

2.3 平行试验处理

在模拟试验中改变管径、管材等参数可形成若干组平行试验,得到丰富的损坏基础试验数据,为进一步预测评价提供基本资料,如表 1 所示。

对于各个试验计算出的位移值、应力值分别按照按式(2)、(3)计算,进行模拟处理的流程如图 7 所示。

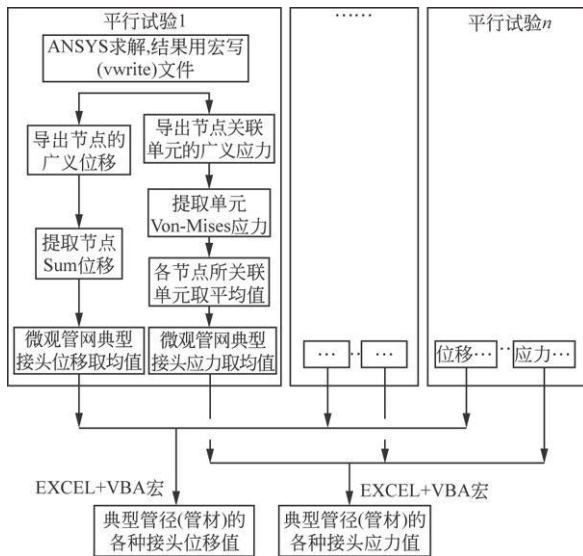


图 7 平行试验模拟结果数据处理流程

$$disp_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_j} u_{ijk}}{n_j}$$

$$i=1, 2, \dots, p; j=1, 2, \dots, q \quad (2)$$

式中 $disp_{ij}$ ——第 i 种管径(管材)第 j 种接头的位移综合值(displacement), m;

u_{ijk} ——第 i 种管径(管材)第 j 种的第 k 个接头 sum 位移模拟值, m;

n_j ——微观管网中第 j 种接头的总数。

对于本研究中 14 根管构成的田字形管网: $n_1=1$, 即 1 个四通; $n_2=6$, 即 6 个三通; $n_3=2$, 即 2 个弯头; $n_4=1$, 即 1 个自由端; $n_5=1$, 即 1 个固定端。

p 为微观管网典型管径(管材)数, 例如对于江油管网为 5 种管径(管材), 则 $p=5$ 。

q 为微观管网典型接头数, 本研究中共 5 种接头, 则 $q=5$ 。

$$stre_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_j} \sum_{l=1}^{m_j} \sigma_{ijkl}}{n_j}$$

$$i=1, 2, \dots, p; j=1, 2, \dots, q \quad (3)$$

式中 $stre_{ij}$ ——第 i 种管径(管材)第 j 种接头的应力综合值(stress), Pa;

σ_{ijkl} ——第 i 种管径(管材)第 j 种的第 k 个接头第 l 个单元 Von-Mises 应力模拟值, Pa;

m_j ——微观管网中第 j 种接头关联单元数。

对于本研究中 14 根管构成的田字形管网: $m_1=4$, 即四通 4 个单元; $m_2=3$, 即三通 3 个单元; $m_3=2$, 即弯头 2 个单元; $m_4=1$, 即自由端 1 个单元; $m_5=1$, 即固定端 1 个单元。

经过处理即可得到位移应力综合结果, 对江油市管网微观模型, 可得到如表 2、表 3 所示的位移结果和应力结果。

微观模拟试验和平行试验模拟的程序见图 7, 流程借助 ANSYS 的 APDL (ANSYS Parametric Design Language) 命令流来实现, 采用 APDL 语言代替 GUI 的实现方式。

表2 江油市微观模拟试验位移值

项目	DN150	DN200	DN300	DN400	DN600
4通/m	3.14×10^{-24}	7.05×10^{-24}	3.91×10^{-6}	1.75×10^{-5}	1.26×10^{-11}
3通/m	1.46×10^{-23}	1.39×10^{-22}	4.65×10^{-6}	1.88×10^{-5}	2.42×10^{-11}
弯头/m	1.58×10^{-24}	8.49×10^{-23}	5.54×10^{-6}	2.07×10^{-5}	5.36×10^{-12}
自由端/m	9.81×10^{-10}	1.3×10^{-9}	1.9×10^{-6}	1.36×10^{-9}	2.74×10^{-6}
固定端/m	0	0	0	0	0

表3 江油市微观模拟试验应力值

项目	DN150	DN200	DN300	DN400	DN600
4通/Pa	5.21×10^{-13}	8.26×10^{-12}	41 532.15	66 597.66	0.080 61
3通/Pa	1.05×10^{-12}	6.74×10^{-12}	56 024 ^{0.5}	110 639.8	0.113 873
弯头/Pa	4.75×10^{-5}	5.95×10^{-5}	40 941.14	49 686.09	0.064 311
自由端/Pa	0	0	0	0	0
固定端/Pa	0.028 67	0.018 721	230.000 5	0.064 28	57.891 55

2.4 宏观模型预测

利用 EPANET 建立要研究的供水管网宏观拓扑模型,如图8所示由江油市城区供水管网CAD图建立 EPANET 模型,共计节点61个,水源3个,管段87根。

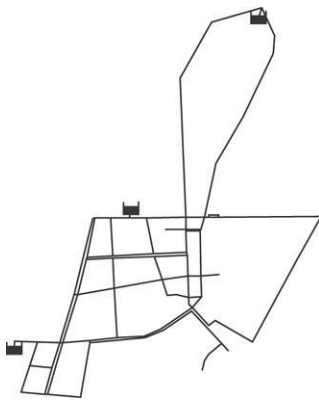


图8 江油市城区供水管网 EPANET 模型^[9]

定义节点预测地震位移危险指标值和节点预测地震应力危险指标值,简称位移危险值和应力危险值。设节点用 N_g 表示, $g=1, 2, \dots, TN$; TN 为管网总节点数目。又设节点 N_g 的关联管段用 P_{gh} 表示,表示与节点 N_g 关联的第 h 个管段, $h=1, 2, \dots, JN_g$; JN_g 为 N_g 的节点度,即其关联管段的数目;关联管段集用 S_g 表示。则节点的位移危险值和应力危险值分别按式(4)、(5)计算,其中节点 N_g 的关联管段 P_{gh} 属于第 i 种管径(管材),该节点属于第 j

种接头形式。

$$DDI_g = \frac{\sum_{h=1}^{JN_g} disp_{ij}}{JN_g} \quad (4)$$

$$SDI_g = \frac{\sum_{h=1}^{JN_g} stre_{ij}}{JN_g} \quad (5)$$

式中 DDI_g ——节点 N_g 处的位移危险指标值(Displacement Danger Index), m;

SDI_g ——节点 N_g 处的应力危险指标值 (Stress Danger Index), Pa。

利用 C 语言调用 EPANET 的 toolkit, 导入微观模拟试验数据和管网拓扑关系及管段、节点属性, 计算管网中各节点的危险值。预测计算的流程如图9所示。

2.5 预测结果表达

通过 EPANET 的图示功能可显示危险值的分布, 尤其是利用其 Query 功能可查询高于某一危险值的节点, 以显示出相应程度的危险点分布情况。如对江油市城区供水管网最终的预测结果用 EPANET 表达如图10所示, 选取10个节点标识为地震时的危险点亦即最容易发生损坏的脆弱点。同时可将排列前10位的危险节点值用列表的方式输出如表4所示(注意其中有排序相同的节点, 故总数可能超过10个, 表中数值为经过处理后的相对值, 从上

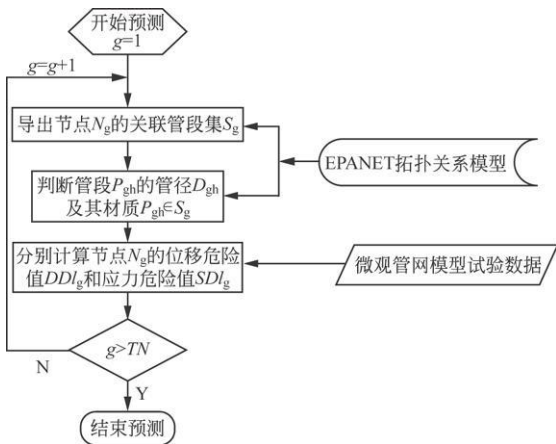


图9 各节点预测危险值计算流程(TN 为管网节点总数)

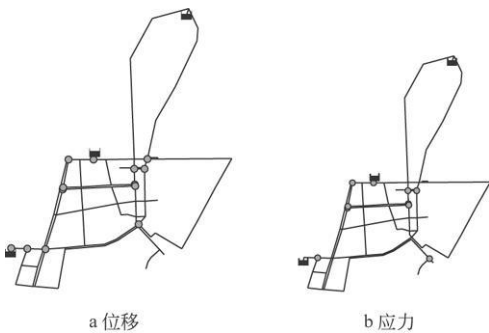


图10 预测江油市供水管网地震危险点

到下危险值越来越高)。

而实际通过将图11和图10及表4比较,综合位移和应力两种角度的预测比较结果,本研究的抗震预测模型预测地震损坏的准确率在60%以上,如表4所示,该结果还是比较令人满意的。

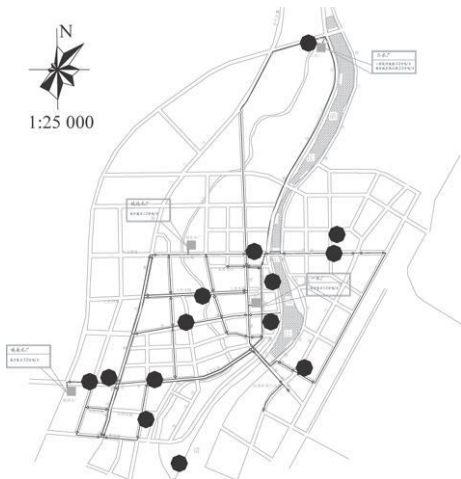


图11 江油市实际管网地震损坏点分布

表4 江油市供水管网地震危险点分布

位移法		应力法	
节点编号	相对危险值	节点编号	相对危险值
Jun c 33	44.090 7	Jun c 16	11.214 91 ^②
Jun c 2	44.090 7 ^①	Jun c 34	11.434 26
Jun c 40	44.090 7 ^①	Jun c 33	11.434 26
Jun c 34	44.090 7	Jun c 39	11.434 26 ^①
Jun c 39	44.090 7 ^①	Jun c 2	11.434 26 ^①
Jun c 15	44.090 8 ^②	Jun c 40	11.434 26 ^①
Jun c 52	44.090 8 ^②	Jun c 44	11.614 04
Jun c 9	44.306 5	Jun c 42	11.614 04
Jun c 44	44.379 5	Jun c 50	11.614 04 ^①
Jun c 42	44.379 5	Jun c 49	11.614 04 ^①
Jun c 50	44.379 5 ^①		
Jun c 49	44.379 5 ^①		
Jun c 1	44.474 7 ^②		
准确率	61.54%	准确率	60%

注: ①表示两种方法均预测到且符合实际的节点; ②表示有一种方法预测到且符合实际的节点。

3 结论

本文研究的管网抗震预测模型虽然取得了一些令人满意的结果,但仍存在一些不足,主要包括以下三方面:

(1) 所建立的微观模拟试验的假设条件极为理想,未考虑不同管径组合后的工况和管长的影响,仅获取了相同管径管段构成的田字格微观管网的试验结果数值。

(2) 微观试验的数值未按照一定的规则(类似于水力学试验中的模型比尺)映射至实际管网,而直接应用于宏观管网,因此本研究无法得出假设地震的管网节点危险绝对值结果,只能得到相对值结果,因此不能判断管网中某一点是否会损坏。

(3) 进行宏观模型预测时仅考虑了地震波的影响,而未考虑各个点的场地土因素以及其他的场地破坏(例如砂土液化、场地不均匀沉降、滑坡等)影响,而这些因素通常也决定着管网损坏的严重程度。

虽然如(2)所述,本研究的抗震预测模型不能判断管网中某一点是否会被损坏,但却可以判断该点是否更容易被损坏,所以本研究可从相对值的角度

• 标准规范交流园地 •

《建筑给水排水设计规范》局部修订及最大设计排水能力问题解析

《建筑给水排水设计规范》国家标准管理组

摘要 介绍了国家标准《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003)局部修订工作依据及步骤,总结了 2003 版规范生活排水设计秒流量计算存在的问题及规范局部修订进行的科研测试工作。最后对生活排水立管最大设计排水能力问题进行探讨。

关键词 国家规范 局部修订 最大设计排水能力 生活排水设计秒流量

1 GB 50015—2003 规范局部修订工作依据及步骤

国家标准《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003)局部修订工作是根据原建设部建标标函[2006]第 31 号“关于请组织开展《建筑给水排水设计规范》等三项国家标准局部修订的函”和“关于印发《2007 年工程建设标准规范制订、修订计划(第一批)》的通知”建标标函[2007]第 125 号要求,由上海市城乡建设和交通委员会主管,上海现代建筑设计(集团)有限公司主编,会同中国建筑设计研究院开展了下列步骤的局部修订工作:

(1) 2006 年 6 月,向全国设计、科研、教育等近百个单位征求《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003,以下简称“原规范”)修订意见,收到意

见近 300 条,并组建了规范局部修订编制组,进行章节起草分工。

(2) 2006 年 9 月底,完成了规范局部修订讨论稿。经编制组内部协调讨论,于 2007 年 4 月完成《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003)局部修订(征求意见稿),以下简称“规范”(征求意见稿)。

(3) 2007 年 6 月,通过电子邮件向全国 31 个省市 100 多位“两委会”委员及所在单位广泛征求意见,陆续收到意见 789 条。

(4) 2008 年 1 月 19~22 日,编制组集中对意见进行分析处理,经编制组内部反复多次协调,并在“规范”(征求意见稿)基础上草拟“规范”(送审稿)。

(5) 2008 年 4 月,完成《建筑给水排水设计规

为抗震设防提供较好的参考,以便更有针对性地对管网中的地震危险点亦即抗震脆弱区进行加固或者设置柔性接头等抗震设防处理,从而提高管网抗震水平。而对于(3)所述的仅考虑地震波的缺陷,由于地震波是管道损坏的主要诱因,而其他的场地破坏又难以进行量化处理,同时调查发现在地震波破坏严重的地区也更容易发生其他场地破坏,所以本研究的管网抗震预测模型方法仍然可以为抗震设计提供一定价值的参考。对于(1)提出的不足,需要在进一步的研究中加以完善,以促进更好地发展管网抗震预测模型理论方法。

参考文献

- 1 Rossman L A. EPANET 2 Users Manual. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 2000

- 2 王汝楦著. 地下管线的震害、抗震验算、设计与措施. 王珞珈, 王前信, 王田介纯等译. 北京: 地震出版社, 2007
- 3 侯忠良. 地下管线抗震. 北京: 学术书刊出版社, 1990
- 4 赵成刚, 冯启民. 生命线地震工程. 北京: 地震出版社, 1994
- 5 李杰. 生命线工程抗震: 基础理论与应用. 北京: 科学出版社, 2005
- 6 (苏) A. C. 格赫曼, (苏) X. X. 扎伊涅特季诺夫著. 管道的抗震设计施工与监护. 刘昆, 张宗理译. 北京: 地震出版社, 1992
- 7 谢志平, 谢宇. 给水工程抗震和震后给水. 北京: 地震出版社, 1996
- 8 GB 50011—2001 建筑抗震设计规范(附条文说明含 08 局部修订)
- 9 江油市城市给水管网现状图. 成都市供水工程设计院, 2006

✉ 通讯处: 310007 浙江省杭州市保俶路 238 号浙江省城乡规划设计研究院南 5 楼

电话: (0571) 85119295

E-mail: binxianyongle@163.com

收稿日期: 2011-03-11