述评与讨论

“5. 12”地震灾区供水系统受损及恢复调研与分析

王绍伟[1], 王 永[1], 钱正华[2], 刘遂庆[1], 袁文麒[1], 郑小明[2]
(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 中国城镇供水排水协会 管道技术部, 上海 200092)

摘 要: 供水系统是一个地区的生命线工程之一。在汶川地震中,供水系统遭受到了巨大破坏。通过实地考察,总结了供水系统破坏的形式,分析了供水管线破坏的主要原因,并提出了加强供水系统抗震性能的建议。

关键词: 供水系统; 供水管网; 管线破坏
中图分类号: TU991 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2009)20-0001-06

Investigation and Analysis about Damage and Recovery of Water Supply System in 5. 12 Earthquake Areas

WANG Shao-wei[1], WANG Yong[1], QIAN Zheng-hua[2], LIU Sui-qing[1], YUAN Wen-qi[1], ZHENG Xiao-ming[2]
(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Pipeline Department, China Urban Water Association, Shanghai 200092, China)

Abstract Water supply system is one of lifeline engineerings spread over an area. In Wenchuan earthquake, the water supply system was exposed to serious damage. Through investigation, the damaged modes of water supply system are summarized. The reasons of pipeline damage are analyzed, and some advices about improving the seismic performance of water supply system are brought forward.

Key words: water supply system; water supply network; pipeline damage

2008年 5月 12日的特大地震对四川省及其周边地区的供水系统造成了极大破坏,水厂建筑物倒塌,爆管、漏水等事故瞬时大量发生,部分地区的供水管网系统完全瘫痪,供水系统的全面恢复面临着巨大挑战。经过灾区供水单位的全力奋战,以及全国供水行业兄弟单位的无私援助,供水系统得到了初步控制与恢复。供水系统的损失之所以如此巨大,除了自然灾害的破坏力外,供水行业本身也存在一定问题。为了总结经验、教训,推广抗震救灾的成果,中国城镇供水排水协会组织了这次地震灾区供水系统震灾损失和抗灾恢复调研。

1 调查内容

汶川地震对供水系统造成了巨大的破坏,某些地区的供水管网甚至遭到了毁灭性的破坏。为了更加全面地评价汶川大地震对供水系统的破坏,此次调研按照以下两条主线开展: ①按照地震的传播方向,调查不同地震烈度下供水系统的受损情况; ②按照市、县、镇逐级调查不同行政级别供水单位供水系统的受损情况。因此,本次调研的地点选定在四川省广元市及其下辖的青川县城和木鱼镇、陕西省汉中市及其下辖的宁强县城和青木川镇,主要调查不同级别供水单位的供水水平、供水系统的受损情况,以及基层单位在抗震救灾中的经验教训。

2 地震对供水系统造成的损失状况

2.1 地震对水厂的破坏

调查发现,地震对自来水公司的办公楼、水厂内

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

建筑造成了一定破坏,尤其是化验室的倒塌造成常规的水质检验不能在水厂完成,需由上级卫生部门取样化验,影响了恢复供水的工作效率。

地震对水处理工艺设施造成的影响不太大,多为斜管沉淀池的斜管错位、一些池体出现轻微裂缝等。但供水机泵、加药设备受损较严重,如广元市给排水公司各水厂有不同型号供水机泵 20余台(套)受损、4台(套)二氧化氯消毒机损坏;地震造成木鱼镇供水站的 ClO_2 发生器上的塑料管损坏。

总体来说,地震对自来水厂的破坏较轻,震后通过抢修可以及时恢复供水。

2.2 地震对供水管网的破坏

地震对供水管网的破坏在整个供水系统损失中最为严重。供水管网分为小区管网和市政管网两部分,从数量上看,各灾区的小区内部管网受损最多,建筑物的入户管多为小口径丝扣接口的镀锌管、热熔接口的塑料管,地震造成的管身折断、接口拔脱、水表损坏不计其数。由于入户管与建筑物的刚性结构相连,地震对其破坏几乎不可避免,但小区内部受损坏管网的修复方便,对震后的应急供水影响不大。由于基层供水单位在震后抢修中人力、物力短缺,通常直接将漏水严重的小区进水总阀门关闭,日后慢慢维修。因此,此次调研未对小区管网受损情况进行系统统计。

市政供水管网的抗震性能强于小区管网,但由于其埋地铺设,一旦发生破裂则查找、抢修、恢复都比较困难。地震对各灾区的市政供水管网造成了不同程度的破坏,出现了爆管、漏水、阀门损坏等事故,据调查发现:

① 截至 2008年 7月 7日,广元市给排水公司共发现并抢修主管闸阀漏水 120处,维修 DN50~DN600的供水主管 200余处。有少量的弯头、三通、伸缩器等附件遭到破坏,消火栓未受损,管网漏损率由原来的 21.5%上升为 40%。

② 距离震中较远的汉中市市政供水管网受损程度相对较轻,只有个别位置发生破坏。管网漏损率由原来的 22.5%上升为 23.5%。

③ 广元市青川县城已探明并修复的漏点有 16处(工作人员回忆),管径为 DN200~DN315,其中管身破坏的有 4处,刚性接口破坏的有 3处,柔性接口(PE管)破坏的有 4处,消火栓破坏的有 5处。管网漏损率由原来的 10%上升为 50%。

④ 广元市木鱼镇供水管网多达几十处爆管,致使整个供水管网全面瘫痪。由于管网铺设时间较早而修复的力量有限,因此原有供水管网已经废弃,铺设临时管网供水。

⑤ 汉中市宁强县的管网漏点修复总数为 75处,其中管身破坏的有 9处,刚性接口破坏的有 21处,柔性接口(PE管)破坏的有 5处,配件破坏的有 40处。管网漏损率由原来的 20%上升为 25%。

⑥ 汉中市青木川镇是“5.12”地震后几次余震的震中,管网受损情况在余震发生后才暴露出来。地震造成管网中闸阀全部损坏,闸阀与管道的连接处以及钢管丝扣接口处渗漏严重。

由于县镇级别的水厂规模小,管理水平有限,在管网抢修时并未对受损情况进行统计。因此对县镇级别水厂的调查是凭工作人员的回忆给出的定性统计。

从青木川镇的情况可以看出,地震对供水管网的破坏具有延续性和滞后性。地震在造成大量管道瞬时破坏的同时,也使供水管网出现大量的暗伤及薄弱点,这些暗伤及薄弱点是日后发生管网事故的隐患。例如“5.12”地震后的余震使青木川镇管网薄弱处发生破坏或者暗漏变为明漏,震后的天气变化使绵阳市供水管网事故发生率高于往年同期,汉中市地震后的管网维修次数是去年同期的 3倍。

地震对管网的破坏主要有各种接口及附件的破坏、管身折断和纵裂等形式。通过对几个地区震后第一时间抢修情况的调查,发现地震对管网的破坏具有一定的统计性规律。

各调查区供水管网破坏形式见表 1,受损的主要管材、管径见表 2。

表 1 川北、陕南地区供水管网地震损失形式统计

Tab.1 Investigation about modes of damaged pipes in northern Sichuan and southern Shaanxi 处

项 目		广元市	青川县城	宁强县城
接口	接口拔脱	18	4	
	承口开裂		3	5
管身	折断	14	1	2
	纵裂	4	2	6
附件	弯头	1		1
	三通			
	四通			
	阀门	1		
	消火栓		5	

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2　川北、陕南地区供水管网地震受损管材、管径调查结果

Tab.2　Investigation about diameters and materials of damaged pipes in northern Sichuan and southern Shaanxi

项目	广元市	汉中市	青川县城	宁强县城	木鱼镇	青木川镇
主要受损管径	DN100	DN100	DN300	DN100	完全报废	DN63
主要受损管材	灰口铸铁管、PE管	灰口铸铁管	灰口铸铁管、PE管	灰口铸铁管、球墨管	完全报废	钢管

由表1、2可看出:

①　广元市的球墨铸铁管、水泥管在此次地震中受损程度较轻,PVC、PE管次之,灰口铸铁管破坏最为严重。PVC、PE管多为管口拔开,或在阀门处的法兰破坏;灰口铸铁管的破坏多为管身的切向折断。

②　青川县管网破坏多为管身、承口折断,管体错位的情况很少。

③　木鱼镇的管网存在铸铁管拉断、钢管弯曲成拱形的破坏。

④　汉中市管网破坏多为环向断裂,尤其是DN200以下的灰口铸铁管容易折断;管道由高处向低处发生位移造成球墨铸铁管接口出现严重的局部渗漏等。

⑤　青木川镇的非金属管破坏多为管身环向断裂或接口扭裂。

2.3　地震对供水的影响

震后供水系统存在许多不确定因素,使自来水公司对管网的状态难以评估,供水与日常情况差别较大。首先反映在自来水公司的供水量有较大变化,其原因主要有以下几个方面:①震后大部分企业、事业单位关闭,停止用水;②地震造成管网大量爆管、漏水,水量损失巨大;③自来水公司铺设临时管线向灾民集中点免费供水;④自来水公司向板房区供水,但水费难以收取。

由于灾区震后的正常用水量减少,因此自来水公司的实际供水量与管网漏损紧密相关。管网受损不严重的地区,供水量会比震前有所下降;而管网破坏严重的地区,供水量会比震前有所上升。如广元市地震前、后供水量分别为4×10^4、$2.5\times10^4\ m^3/d$;汉中市地震前、后供水量分别为5.3×10^4、$5\times10^4\ m^3/d$;而青川县城地震前、后供水量分别为380和$450\ m^3/h$。

此外,震后供水管网的漏损率变化也能体现出一个地区供水管网受损的总体情况,间接反映了一个地区的供水水平和经济发展水平。地震对调研地区供水情况的影响见表3。

表3　地震对供水的影响

Tab.3　Influence of Wenchuan earthquake on water supply

项　目	广元市	汉中市	青川县	宁强县	木鱼镇	青木川镇
与震中的距离/km	260	370	230	300	250	10
停水时间/h	7	0	43	0	72	36
正常供水时间	5月13日16:00		5月14日9:00		5月19日	至今未正常
水压变化/kPa	450→0→450	变化不大	580→10→500	无影响	临时管网	200→120
水质变化	没有影响	变化不大	溶洞水,水质浑浊	影响不大	氯味过重	无太大影响
漏损率变化/%	21.5→40→24	22.5→23.5	10→50→25/30	20→25	全面渗漏	渗漏严重

注:①青木川镇是按照受到余震的影响来评价的。②停水时间是指地震后到恢复应急供水之间的时间,正常供水时间是指抢修管网后输送至用户。③木鱼镇供水管网全面报废,青木川镇供水管网经常出现故障。

从表3可知,落后的、行政级别低的地区其供水管网受损更为严重,木鱼镇、青木川镇的管网破坏非常严重;青川县城和宁强县城稍好一些;广元市、汉中市受损较轻。从恢复供水的时间可以看出,城市地区供水系统的恢复比县镇供水系统恢复得快。

地震后各个地区的供水管网普遍存在管网失压的问题。管网水压基本都经历了一个“V”字形的变化,水压减小后再回升。对于受损稍小的管网,水压还能回升到原来水平(如广元);但受损严重的管网,其水压一般无法回升到原来水平(如管网漏损严重的青川县城),甚至有的地区水压下降后根本无法上升(如青木川镇)。离震中较远的汉中和宁强则水压变化不大。这种管网水压的瞬时变化对管网破坏的影响应予以重视。

此次调研地区多采用地下水,因此水质未受太大影响,只有青川县城和木鱼镇出现浑水或者过量投氯而导致嗅味太浓。

3　地震灾区供水系统受损原因分析

3.1　地震破坏

“5.12”地震的震中位于四川省的映秀地区,地震波主要沿龙门山地震带向东北方向的陕南传播,同时破坏烈度逐渐降低,在陕甘遇到秦岭的阻拦,对

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

秦岭以北地区的破坏较轻。因此,川北、陕南一带的地震破坏具有明显的空间性分布。表 3中的停水时间、水压变化、漏损率变化数据都反映了管网受损程度与距震中距离的关系,距震中较远的汉中市、宁强县受损较轻。供水管网受破坏严重的地区,如青川县城、木鱼镇、青木川镇都位于山区,当地的土壤多由颗粒较大的卵石、碎石组成,对地下管线的保护作用较差,这也是供水管网受损严重的因素之一。

3.2 供水水平

同一地区不同级别供水单位的管网受损情况不同,地级市的供水管网抗震能力强于县镇级别的供水管网。由表 3可知,广元地区的广元市、青川县、木鱼镇,级别越低,其供水系统受损越严重。这从宏观上反映出供水水平对供水系统抗震能力具有决定性作用。表 4的数据大致反映了川北、陕南地区的供水水平。

表 4 川北、陕南一带的供水水平调查情况

Tab. 4 Investigation about water supply systems in norther Sichuan and southern Shaanxi

项 目	广元市	汉中市	青川县城	宁强县城	木鱼镇	青木川镇
供水规模 /(10^4 m^3· d^{-1})	10	11	1.2	1.5	1	0.12
平均用水量 /(10^4 m^3· d^{-1})	5	5.3	0.4	0.5	0.15	0.08
供水人口 /万人	25	33.8	3.5	3.5	0.7	0.26
供水面积 /km^2	20	33	2.3	4.88	3.732	1.08
水源类型	地下水(5口大口井)	地下水(51口管井)	地表水(乔庄河) 地下水(溶洞水)	地表水(西流河、云书溪)	地表水(龙潭子河)	地表水(姥姥沟、金溪河)
供水方式	压力	压力	压力	重力 /压力	压力	重力 /压力
输电配置	未知	双路市电	自备柴油发电机	未知	单电源	单电源
水厂数目 /座	3	2	1	2	1	2
建厂时间	1977年	1973年	1973年	1969年	1969年	2004年
新 /扩建时间	1988年、1989年、2001年、2009年	1992年	1993年	2009年	1980s	—
管网长度 /km	160(≥DN100)	195(≥DN75)	21.5(≥DN75)	42.1(≥DN75)	6(≥DN100)	4(≥DN63)
最大管径	DN800	DN800	DN500	DN450	DN200	DN90
主要管径	DN100	DN500	DN100	DN400/450	DN200	DN63
主要管材	灰口铸铁管、PE管	灰口铸铁管、PE管	灰口铸铁管、钢管	UPVC管、PE管	灰口铸铁管	UPVC管、钢管

“5.12”地震对该地区供水系统造成了严重破坏,尤其是对供水水平较低的县镇自来水公司,这暴露出当地供水行业的一些问题:

① 基层供水单位规模小,人力、物力、财力缺乏。首先,技术人员严重不足。据调查,都江堰自来水公司 5年内没有引进大学毕业生,木鱼镇供水站员工只有 3人,青川县自来水公司管网技术人员只有 2人。其次,管网备件不足。管材、配件往往难以及时购得,检漏设备、抢修设备短缺。第三,管网陈旧,近 20年没有进行过更新改造。多数地区灰口铸铁管使用率超过 50%,而球墨铸铁管的使用率不足 20%。

② 自来水公司管理水平低,无完善的管理体系。救灾体制、机制不健全,对突发事故的准备不足,未建立相应的应急预案,导致救灾恢复效率低。

③ 工程施工不规范。例如,对管道铺设的施工、PE管的连接等没有按照规范施工造成管网的抗震能力差。

④ 上级主管部门缺乏必要的领导。例如,日常的水质检测不能按规定进行,许多地方每年检测一次。此外,抗震期间也缺乏上级部门的直接指导。

3.3 管线设计

① 管材选择

调研地区不同管材受地震损坏情况见表 5。可知,以每公里损坏数来评价各种管材的抗震性能,球墨铸铁管、钢管的抗震性能较好。PE管作为一种新型管材,本身的性能是优良的。然而在调查地区,新铺设的 PE管其抗震性能较差,这可能是由于该地区管网铺设场地土质(多为卵石、砾石)较差,加之管道铺设施工不规范所致。另外,灰口铸铁管一般

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

已经使用了二三十年,普遍老化,损坏情况严重。

表5　不同管材地震损坏情况

Tab.5　Performance of different pipes in Wenchuan earthquake　　处·km^{-1}

项　目		广元市	青川县城	宁强县城
损坏数量	PE管	0.51	1.67	0.48
	灰口铸铁管	0.48	0.24	0.38
	球墨铸铁管	0	0	0.38
	水泥管	0	—	—
	钢管	0	0	0

②　接口破坏

由管网的具体损坏形式分析可知,接口破坏是管道主要的破坏形式之一。对于接口破坏而言,以接口拔脱为主,即受到轴向拉应力导致的破坏;其次是承口开裂,即受到轴向压应力导致的破坏。产生这种现象的原因是管道接口的抗压能力强于抗拉能力,同时管道在接头处挤压一般很少导致漏水,而拉脱接口很容易导致严重渗漏乃至爆管[1]。

PE管接口破坏的形式主要为热熔接口拔脱,其原因主要是PE管接口施工工艺不当。铸铁管接口破坏形式主要为承插接口折断,其主要原因是刚性接口的抗压、抗剪能力较差。灰口铸铁管多为石棉水泥刚性接口,而球墨铸铁管多为柔性接口,这也是球墨铸铁管抗震性能优异的原因之一。

③　管身破坏

管身破坏也是管网破坏的主要形式之一,管身破坏又分为折断和纵裂。折断多发生在刚性接口连接的管道上,纵裂则是管道内压过高加之管材老化导致的管道纵向裂纹。调查结果表明管身的折断破坏比例高于纵裂,这是因为地震发生时应力变化对管道的破坏强于管网内压的变化,这也验证了在研究管道受地震破坏的初级阶段为了简化分析而忽略管内水动力特性在一定范围内的可行性。

PE管管身破坏的形式主要是由于覆土荷载过大而致管身裂纹,甚至爆管。灰口铸铁管的管身破坏多为折断,另外还有少量的裂纹、拉断的现象。钢管管身的破坏多为弯曲成拱形。

④　附件破坏

各种附件中,受破坏最为严重的是弯头和闸阀,其次为消火栓,而三通、四通基本未出现破坏。出现这种情况的原因是地下管线弯头处通常是应力集中点,在此受到不同方向的土体运动影响,同时水的动压力也会对弯头产生较大影响;阀门一般在法兰连接处因土体运动的不均匀而容易折断;三通、四通在结构上比较稳定,所以受影响程度小;消火栓的破坏大多是受附近建筑物倒塌等破坏所致。

4　加强供水系统抗震性能的建议

虽然强烈的地震对供水系统的破坏不可避免,但采取适当的措施可以将这种损失降至最小[2]。

①　水厂重要构筑物、建筑物的抗震级别应高于普通建筑物的标准,同时要保证规范施工。尤其应提高水厂化验室的抗震能力,以保证震后供水的应急水质检验。化验室内各种药品、仪器应妥善放置,最大程度地减少在地震中的损坏。水厂内的机泵通常与其构筑物的墙体相连,地震时,由于墙体和机泵之间不均匀的应变,很容易造成机泵损坏。因此,应对机泵穿越墙体处、基座采取抗震措施(如变刚性连接为柔性连接等)。对于ClO_2发生器,应加强基座的固定,保护其脆弱的加药管。

②　以地下水为水源有利于保证地震期间的供水水质,采用重力供水方式可以保证地震期间供水水压。有条件的地区可以适当考虑准备地下水源,采用部分重力供水方式。

③　清水池内的储水可作为恢复供水之前的应急供水。因此,地震高发区的自来水厂有必要扩充清水池的容积。

④　电厂应为自来水水厂单线供电,以保证震后自来水厂及时恢复供水。另外,规模较小的水厂还应自备发电机。

⑤　应大力推广新型、抗震性能好的管材。由于球墨铸铁管具有良好的抗震性能,可以作为城市输水干管,逐步取代市政管网中原有的大量灰口铸铁管。PE管等塑料管由于使用方便,价格便宜,也可推广使用。但其抗震性能不好,而且一旦发生爆管、漏损,用听音法检漏比较困难,不适合作为输配水干管,因此PVC、PE等塑料管的使用不应涉及供水生命线,可以作为建筑内部给排水管。同时也要严把管材质量关,以免给供水公司以及社会带来巨大损失。

⑥　管段的连接应推广使用柔性接口。管道连接处采用柔性接口,闸阀两端设置柔性连接。

⑦　供水工程应规范施工。对于管道埋设场地的覆土、管道接口都应严格遵照施工规范,尽量避免

(下转第11页)

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.5　新增污水处理设施建设规模分布

从建设规模来看,新增设施的处理规模大多集中在 10×10^4 m^3/d以下(约占 89.0%)。其中处理规模为(0.5~2)$\times10^4$ m^3/d的污水处理设施建设需求最高,约占 31%。另外,处理规模 $\geqslant50\times10^4$ m^3/d的新增污水处理设施建设需求占 3%,处理规模为(20~50)$\times10^4$、(10~20)$\times10^4$、(5~10)$\times10^4$、(2~5)$\times10^4$ m^3/d的新增污水处理设施建设需求分别占 3%、5%、11%和 22%。处理规模<5 000 m^3/d的新增污水处理设施建设需求占 25%。

分析可知,新增设施规模在(2~5)$\times10^4$ m^3/d的城市数量占 1/3以上的省份为浙江、山东、广东、陕西;新增处理规模在(0.5~2)$\times10^4$ m^3/d的城市数量占 1/3以上的省份有黑龙江、江苏、福建、湖北、广西、海南、四川、贵州和云南;新增处理规模<5 000 m^3/d的城市数量占 1/3以上的省份有山西、内蒙古、吉林、安徽、湖南和甘肃。

3　结论与建议

①　“十二五”时期我国城市污水处理设施建设仍有较大的投资需求,省会城市和地级市的建设资金需求较大,应作为重点关注对象。

②　“十二五”时期我国六大区域中的东北地区和西南地区污水处理设施建设资金需求量较大。就地级市而言,中部地区和东北地区地级市的污水处理设施建设资金需求量较大;就县级市而言,中部地区和东南地区县级市的污水处理设施建设资金需求量占该地区资金需求总量的比例较大。

③　“十二五”期间城市污水处理设施建设资金需求主要分布在人口规模为 3 000~5 000万人的省份,GDP为 10 000~20 000、6 000~7 000、4 000~5 000亿元的省份,以及省财政收入在1 000亿元以上和 100~300亿元的省份。

④　“十二五”时期新增污水处理设施的规模大多集中在 10×10^4 m^3/d以下,其中处理规模为(0.5~2)$\times10^4$ m^3/d的污水处理建设资金的需求量最高,约占 31%。

分析可知,“十二五”时期我国新增污水处理设施以中、小规模为主,不宜形成规模效益,如何整合各地区的污水设施建设资源、提高建设项目的融资能力成为下一阶段政策研究的重点。建议一方面积极引导政策性资金扩大对中、小规模项目的支持力度,同时通过地区间的合作,在区域层面整合污水资源,提高污水项目的建设和融资效率。

参考文献:

[1]　葛察忠,杨冬华,Grzegorz Peszko,等. 城市污水处理设施建设和运营资金缺口分析[J]. 环境科学研究,2005,18(5):83-87.

[2]　常庆. 污水处理设施投资情况调查[J]. 中国投资,2003,(10):54-56.

[3]　建设部综合财务司. 建设部统计年鉴[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.

E-mail:changmiao@tsinghua.edu.cn

收稿日期:2009-05-19

(上接第 5页)

因施工不规范造成的管线隐患。

⑧　重视供水管网的运行调度。地震引起的管网失压会诱发管网爆管事故,应利用管网调度使震后管网压力缓慢下降。据成都自来水公司的经验,“5.12”地震后,正是调度部门的正确操作,使得成都供水管网受损较小。

致谢:此次调研活动得到了中国城镇供水排水协会管道技术部的大力支持,灾区各自来水公司为此次调研提供了积极的配合,并提供了大量宝贵的手资料。在此向绵阳市水务集团、江油市自来水公司、绵竹市自来水公司、都江堰市自来水公司、广元市供排水公司、青川县自来水公司、木鱼镇供水站、汉中市国中自来水公司、宁强县自来水公司、青木川集镇抽水站表示衷心的感谢。

参考文献:

[1]　Dash S R, Jain S K. An overview of seismic considerations of buried pipelines[J]. J Struct Eng,2008,34(5):349-359.

[2]　胡晓娜,王亮. 地下供水管线的震害分析[J]. 甘肃科技,2007,23(12):183-185.

电话:(021)65985869

E-mail:wangshaowei_1985@163.com

收稿日期:2009-05-11

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net