

崔建文、王曦、樊荣等, 2012, 燃气管道地震紧急处置装置设计和示范应用, 中国地震, 28(4), 425 ~ 433。

燃气管道地震紧急处置装置设计和示范应用

崔建文¹⁾ 王曦²⁾ 樊荣³⁾ 高东¹⁾ 徐硕¹⁾ 张潜¹⁾ 段建新¹⁾

1) 云南省地震局, 昆明市北市区北辰大道 650224

2) 成都高新减灾研究所, 成都 610000

3) 昆明中油昆仑燃气有限公司, 昆明 650204

摘要 震后火灾是破坏性地震发生后城市面对的主要危害之一。对于城市中燃气管网, 建立地震紧急处置系统尤为重要。在日本、美国和我国的台湾地区, 均因城市天然气管网建立了紧急处置系统而取得了减轻地震次生火灾的实效。我国是多地震的国家, 随着管道燃气的日益普及, 地震紧急处置设施非常重要。本文采用美国 Northridge2000 小型地震燃气阀, 结合所设计的一种燃气管道地震紧急处置装置, 在昆明市区, 分别用于 4 户民居小管径燃气管道和一个大管径燃气管道, 开展燃气管道的地震紧急处置示范应用。进行的人工触发试验显示, 紧急处置装置响应与预期的一致, 但还需实际地震的检验。本文介绍了燃气管道地震紧急处置的设计和示范应用情况, 并对我国开展相关工作需要解决的问题进行了讨论。

关键词: 地震紧急处置 地震动检测 燃气管道 地震燃气阀 燃气紧急切断阀

[文章编号] 1001-4683(2012)04-0425-09

[中图分类号] P315

[文献标识码] A

0 引言

破坏性地震引发城市火灾产生的后果, 有时较地震本身所产生的灾害更为严重, 如 1906 年旧金山大地震 (Jones, 1906; Kurzman, 2001)、1923 年日本关东大地震引发的大火, 给两个城市带来了巨大灾难 (James, 2002)。现代社会有较为完善的防火措施, 地震次生火灾对城市的威胁已得到了有效控制, 但其致灾作用仍不可低估, 1995 年阪神地震 (Anderson, 1998)、2011 年日本东北部近海大地震引发的大火, 均造成生命和财产重大损失。

燃气的大量使用给现代社会城市生活和生产带来了非常大的便利, 但也隐含着地震导致燃气管线破裂而引发火灾的威胁。因此, 经济发达而破坏性地震频发的日本和台湾极为重视燃气管线的地震紧急处置 (Shimizu et al, 2000a、2000b), 日本东京煤气公司在 1994 年建成了东京煤气管网地震紧急处置系统, 系统由 331 个谱烈度计等地震监测设施以及控制煤气高压、中压、低压和入户管线紧急关闭的设备构成。阪神地震后, 进一步对该系统加强改造, 在原系统基础上, 再新增 3800 个谱烈度计 (Shimizu et al, 2004)。由于紧急关闭燃气

[收稿日期] 2012-01-05

[项目类别] 云南省科技计划社会事业发展专项“城市地震安全关键技术应用与示范研究”(2007CA002) 和国家科技支撑计划“地震预警与烈度速报系统的研究与示范应用”(2009BAK55B05) 联合资助

[作者简介] 崔建文, 男, 生于 1967 年, 研究员, 博士, 主要从事强震动观测与研究

主干管网可能存在未知风险(如导致一些正在运行设备的损坏),因此,有些国家和地区对城市燃气管网没有建立地震紧急处置系统,仅开发了一些用户端机械式燃气地震阀门(ASCE-25 Task Committee,2002; Pacific Gas and Electric Company, 1994; Honegger,1991),供用户根据自己的需要选择。我国是地震灾害多发国家,以往地震引发火灾的情况不多,但随着燃气管网系统在城市的逐渐普及,受地震冲击后发生火灾的可能性也将逐渐增大,燃气管网地震紧急处置也逐渐受到人们的重视。但相比于日本等发达国家和地区而言,中国大陆有关这方面的工作还仅限于酝酿,从技术措施、法律法规、实施方式到相关的设备研发生产,基本还处于尝试阶段(杨学山等,2009; 孟于飞等,2010; 郭恩栋等,2005),未见实际应用的报道。建立实际运行的燃气紧急处置系统,发现可能存在的问题,积累经验,为今后大规模实际应用奠定基础,无疑具有重要的意义。我们用地震监测设备和防爆燃气紧急切断电磁阀,设计了一个大管径燃气管线地震紧急处置装置,用本文设计的大管径燃气管线地震紧急处置装置,同时采用美国公司生产的小管径燃气地震阀门,在昆明市燃气管线的5个位置上分别安装了大管径燃气管线地震紧急处置装置和燃气地震阀门,进行了示范应用。本文介绍了该地震紧急处置装置的设备构成和示范应用的情况。

1 燃气管线紧急处置装置的构成

要实现燃气管线的地震紧急处置,涉及到3方面:地震动的检测、紧急处置的决策及紧急处置的执行(管道的紧急关闭)。对应地,燃气管线地震紧急处置装置的构成在原理上应包括3个部分:地震动检测装置、振动强度判别和管道紧急自动关闭管线的装置。

对于大中型城市,其城市燃气供应系统一般由高压、中压和低压管网组成。高压管道管径一般为500mm以上,是大城市燃气输配管网的外环网,是供气的主动脉。中压管道承担了大型工业企业、大型建筑物、居民小区的供气,其供气对象复杂、燃气压力范围大,针对不同的供气对象和燃气压力,管径一般为20~500mm。低压管道用于为居民和小型公共建筑供气,管径一般为15~50mm。大管径管道一般都用于为较大范围或者重要的设施供气,其重要性远高于为居民用户供气的小管径管道。因此,在进行燃气管道的地震紧急处置中,需要为大管径管道提供更可靠的紧急处置装置。针对不同可靠性的要求,本文针对管径的大小采用两种方案来实现地震紧急处置。

1.1 小管径燃气管道的地震紧急处置

小管径管道用于局部范围和单个家庭的燃气输送。管线的故障影响小,也易于处理,可靠性要求不高。因此,其地震检测、震动强度判定和紧急处置可采用机械方式实现,图1是小管径管道地震紧急处置一种机械实现方式的工作原理示意图。图中,钢球放置于平衡架上,当发生的振动破坏了钢球的平衡时,钢球则偏离平衡架,滚入燃气管道口,关闭燃气管道。

1.2 用于大管径燃气管道的地震紧急处置装置

与小管径管道供气的对象不同,大管径管道负责供气的区域或者较大,或者较重要,管道一旦出现问题,影响较大,面较广。因此,大管径燃气管道的地震紧急处置,无论是对地震动的检测还是阀门关闭的决策,都必须具有较高的可靠性,不能出现误判。为避免单点非地震事件振动的误触发,应采用相隔一定距离的多点地震动检测,仅在多点地震动强度均超过预设的阈值时,才关闭阀门。装置由地震动强度检测和燃气管道阀两个功能模块组成。地震动强度检

测功能模块实现对地震动强度的监测,燃气管道阀门实现对燃气管道的自动关闭。当监测模块检测到的振动超过管道的强度时,则该装置会向阀门发送关闭管道的信号,管道阀关闭,切断燃气。

2 示范应用

2.1 小管径燃气管道紧急处置

2.1.1 设备

小管径燃气管道紧急处置设备采用的是美国加州地震安全产品公司 (Seismic Safety Products Inc.) 生产的 Northridge2000 M75 型地震燃气阀, (图 2, 其结构原理如图 1)。该产品得到洛杉矶市和加利福尼亚州技术认证,其技术指标见表 1,当当地发生 5.2 级以上的地震时,钢球将滚动至燃气通道,关闭阀门。

5.2 级以上地震可以触发阀门。对于加州,其地震动加速度峰值衰减关系 (Boore et al, 1997) 为

$$\ln A = -0.313 + 0.527(M - 6) - 0.389 \ln(r + 5.57) \quad (1)$$

式中 A 为加速度峰值, r 为震中距。在震中区,地面运动的加速度峰值为 245gal。即导致 M75 地震阀关闭的地震加速度峰值为 245gal。

在美国加州,有两个关于地震燃气阀的标准,一个是美国土木工程学会颁布的全国性标准 (ASCE 25-97),另一个是加州的地方标准 12-16-1。ASCE 25-97 规定在受到水平向谐波振动,当振动峰值加速度满足表 2 的条件时,燃气阀将在 5.0 秒内自动关闭。可以看到, Northridge 地震阀门与 ASCE 25-97 标准的 1.0 秒时的振动条件相吻合。

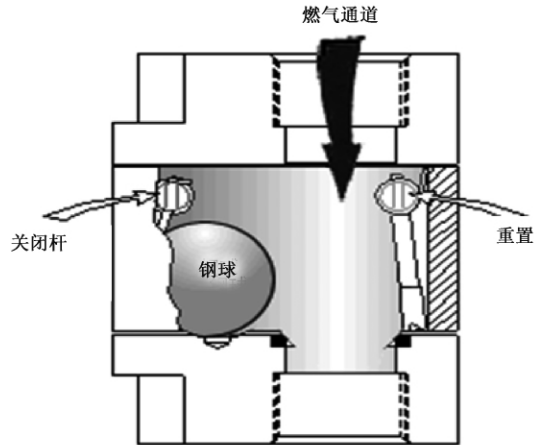


图 1 机械式燃气管道紧急处置装置原理结构图
(引自: <http://gasvalvedoctor.com/valve.htm>)

表 1 Northridge2000 M75 阀门技术指标

管径 (英寸)	压力 (psi)	流量系数 C_v	触发震级
0.75	2	21	≥ 5.2



图 2 机械式地震燃气阀
(引自: <http://www.seismic-safety.com/>)

表 2 ASCE 25-97 地震燃气阀门关闭条件

振动周期 (s)	0.13	0.20	0.40	1.00
峰值加速度 (gal)	700	400	300	250

2.1.2 示范应用

在昆明市选择 4 户居民,由昆明市昆仑燃气公司安装了 Northridge 地震阀门,如图 3 所示。该设备不需要动力,占用空间小,安装简便且美观。该设备一旦被触发关闭,重置打开也非常方便。因此,误触发导致燃气管道关闭也不会引起使用者的不便。



图 3 安装于 4 户居民燃气管线上的 Northridge 2000M75 地震燃气阀门

2.2 大管径燃气管道紧急处置

2.2.1 设备构成

大管径燃气管道的紧急处置系统由地震动检测仪、燃气紧急切断阀和远程信息通信设备构成,如图 4 所示。

(1)地震动检测系统 所用的地震动检测仪是成都美幻公司的产品。该仪器集成了传感器、数据采集和无线数据通信系统,并具有地震动强度判别和输出处置信号的功能。其中传感器采用低频、低噪声的三轴 MEMS 加速度传感器,能很好地反映地震动的主要特征。检测仪模数转换为 12 位,由于以强信号为对象,12 位模数转换已能满足需要。

所用两个地震动检测设备中,一个为主检测仪,另一个为辅检测仪。主检测仪与辅检测仪通过无线短波连接,并通过导线与电磁阀相连接。主检测仪除完成地震动检测、判别外,还具有汇集其它检测仪判别信号并进行判断的功能,当所有检测仪的信号均满足关闭阀门

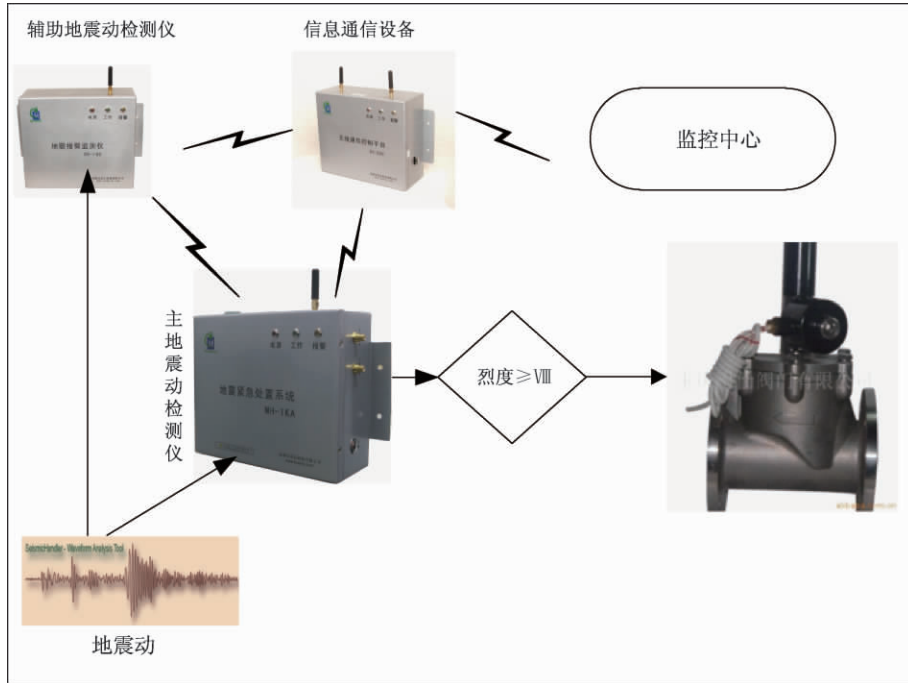


图 4 地震燃气安全紧急处置技术系统构成图

条件时,主检测仪向电磁阀输出一可引起电磁阀关闭的电脉冲。

地震动强度检测的是地震动的加速度值,并将其转换为地震烈度,地震烈度值直接采用地震烈度表(中国地震局,2008)中加速度峰值与烈度的对应关系计算,当计算的烈度大于Ⅷ度时就发出管道阀关闭信号。

(2) 燃气紧急切断阀 燃气紧急切断阀目前已广泛应用于燃气管道。本项目采用重庆耐仕阀门有限公司生产的 HSF 型煤气紧急切断阀,阀门管径 150mm,其主要技术指标见表 3。燃气紧急切断阀结构为直动导向活塞式,如图 5 所示,属于常开型脉冲触发式电磁阀,具有事故自锁及手动复位功能。切断阀在日常工作中处于常开状态,电磁阀线圈处于断电状态,不消耗电能。需要关闭时只需给切断阀线圈瞬间通电,触发紧急切断阀快速关闭,并进入自锁状态,此时即使撤去

表 3 HSF 燃气紧急切断阀技术指标

结构	分步直动导向活塞式
线圈工作温度(℃)	<50、<85
控制方式	常开(通电关闭,人工手动打开)
关阀电压(V)	DC12、AC220(可选)
流通流体介质	天然气、石油液化气、瓦斯、沼气、煤气等
流通流体温度(℃)	<-40、<60、<+120
流通流体压力(bar)	0.5、1.0、2.0、6.0、10.0、16.0
阀体材质	不锈钢(304、316)、铸铁体 HT250 (内部结构为不锈钢制造)
线圈连接方式	三芯
密封材质性能	双护套电缆(引线式、封闭式)防爆铁罩 耐高温、耐压、耐磨、防腐
连接方式	法兰、螺纹
密封结构	圆弧锥线与平面密封
泄漏量	零
关闭时间(s)	1~3
性能特点	通用性广、灵敏性高、严密性强、安全性高、寿命性长

注:① 流体中若含有杂质,电磁阀进端必须安装过滤阀(30~80目/寸),且无凝固及结晶现象。② 电磁阀安装方位无限制(S-水平安装、C-垂直安装)

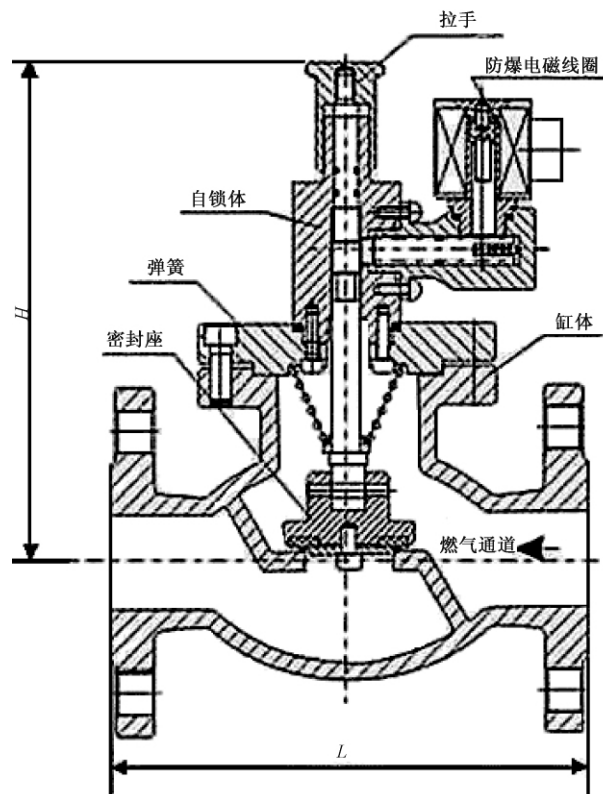


图5 燃气紧急切断阀结构图(引自:http://www.afzhan.com/st37502/Article_37233.htm)

电源, 阀门仍处于自锁关闭状态, 不会自动打开, 需要人工手动开启。该阀门在电源接通后可在 1~3 秒内关闭阀门。

(3) 信息通信设备 除地震动检测仪、燃气紧急切断阀外, 还配置了系统与外界的信息通信设备, 该设备配置了与地震动检测仪的无线通信和与监控中心的移动远程通信, 并且可以通过 USB 接口与计算机直连。通过该设备, 可实现对紧急处置设备的远程监控。

2.2.2 示范应用

考虑到安全、成本及现场观察和故障处理的需要, 我们把大管径燃气管道紧急处置系统的示范应用选择在云南省地震局职工食堂的燃气管道上进行。燃气紧急处置阀的安装由昆明市昆仑燃气公司实施, 图 6 是大管径燃气管道紧急处置系统的安装情况。两个地震动检测器相距约 50 m, 都位于职工食堂所在的云南省地震局 B 栋大楼。设备架设完成后, 对系统进行了多次触发试验, 结果表明, 仅当两个地震动检测仪均给出满足关闭阀门的条件时, 才产生相应的阀门关闭事件, 与预期的系统响应一致。

3 讨论与结论

本文针对不同的燃气管道管径给出了两种燃气管道的紧急处置方案, 并进行了实际应用示范。相应的设备安装于 2010 年 9 月完成, 至今已运行 1 年多时间。在这一段时间里,

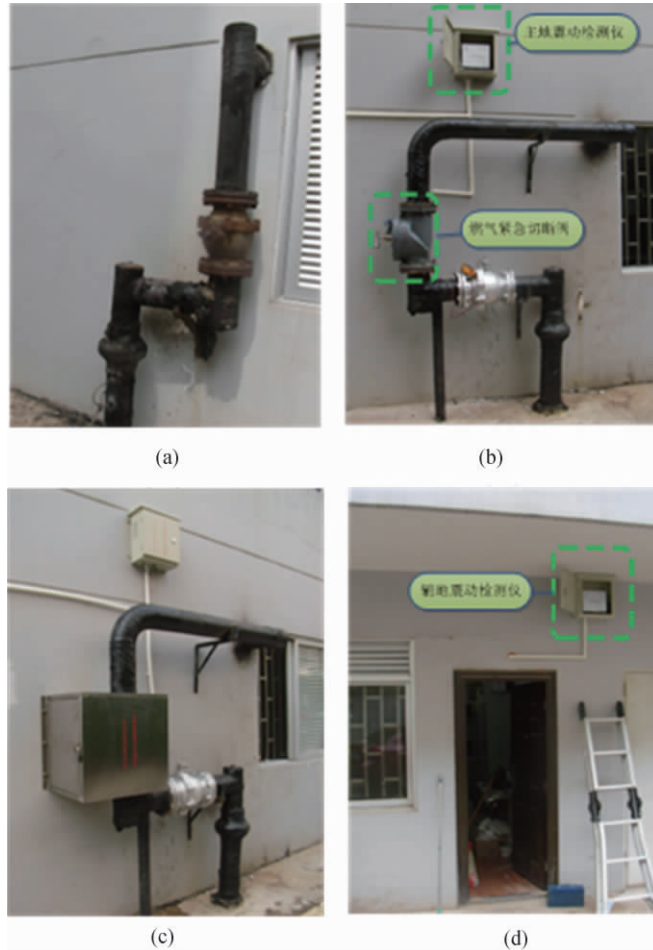


图6 大管径燃气管道地震紧急处置的应用安装情况

- (a) 未安装燃气紧急断阀的管道;(b) 安装了紧急切断阀及主地震动检测仪后的情况;
(c) 辅地震动检测仪的安装位置;(d) 系统安装完成后的情况(紧急切断阀加装了保护罩)

昆明地区未发生满足阀门关闭条件的强烈地震动事件,而相应的紧急处置设施也没有发生误触发关闭事件。由于还未经历实际地震的检验,故紧急处置系统实际的效果尚无从知晓,但从人工触发试验的结果看只要地震中地震动强度达到紧急处置的条件,是可以达到关闭燃气管道的目的的。

小管径的 Northridge2000M75 地震阀门关闭的条件是按照美国的情况设计的,由于入户管道采用的材料、安装的方式等存在差异,可能会导致管道抗震性能存在差异,直接在我国应用是否适当,还有待实践的检验。对于大管径燃气管道地震紧急处置装置,本文的方案仅是简单地将地震动峰值依照地震烈度表转换为烈度,当转换的烈度达到Ⅷ度时,实施紧急处置。实际上,大管径管道也存在着材料、架设方式等因素而导致的管道抗震性能差异,不考虑管道抗震性能的这种差异,建立的紧急处置系统就可能达不到期望的效果。再有,仅仅将地震烈度与加速度峰值相关联,由于两者之间的关系离散性很大,因此,简单换算得到的结

果可靠性并不高,燃气阀门切断指标是否有效,也直接影响紧急处置系统的可靠性。

经济的高速发展,使燃气的应用被迅速推广,燃气管道的地震紧急处置的全面应用,将有助于在未来可能发生破坏性强烈地震时减轻可能的灾害损失,因此,值得大力推进。就民居燃气管线的紧急处置,美国和日本采取的方法不同,美国加州采用的是前文述及的专门的机械式地震燃气阀,而日本则将地震燃气阀融合到燃气表中,应该说各有优点,前者给使用者以选择的权利,后者则更易于推广。但两者的工作机理均不复杂,也易于生产,在我国均可实现。大管径燃气管道的地震紧急处置以日本开展的最广泛,形成了一套体系。相比而言,本文所进行的工作简单得多,仅是初步尝试,许多方面都未作深入考虑。但笔者认为,日本的系统过于庞大,仅东京就要布设 3000 多个谱烈度计,再加上其它大量的控制、监控、管理设施,要在我国推广应用,至少在一段较长的时期难以实现。但对一些重要的节点,采用本文的方式实现燃气管道的地震紧急处置是可行的,当然这种方式还有待进一步完善。

由于管道的材料和架设环境与美日等国家有一定差异,在设计燃气管道地震紧急处置装置时,需要针对我国管道的特定条件解决诸如装置启动指标等问题,这隐含着需要研究了解各种燃气管道在地震作用下的破坏条件、如何从地震动观测记录中确定管道的破坏指标等诸多问题,并进而形成燃气地震紧急处置装置的相关标准,为紧急处置装置的生产 and 安全标准提供依据。

参考文献

- 郭恩栋、李山有、赵振东等,2005. 燃气供应网络地震紧急处置系统初探,世界地震工程,21(2),44~47。
- 孟子飞、郭恩栋、刘红丽,2010. 城市燃气管网的地震紧急处置系统研究,灾害学,25(增刊),223~226,235。
- 杨学山、刘华泰、杨立志,2009. 一种自动地震煤气关闭阀门的设计,灾害学,24(3),121~123。
- 中国地震局,2008. 中国地震烈度表(GB/T17742—2008),北京:标准出版社。
- Anderson S J, 1998, The kobe earthquake of 1995. http://warnercn.colostate.edu/avprojects/98proj/world_volc/web_docs/kobe.html.
- ASCE-25 Task Committee on Earthquake Safety Issues for Gas Systems, 2002, Improving natural gas safety in earthquakes, published by California Seismic Safety Commission, Report SSC-02-03.
- Boore D M, Joyner W B, Fumal T E, 1997, Equations for estimating horizontal response spectra and peak accelerations from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work, Seism Res Lett, 68, 128~153.
- Kurzman D, 2001, Disaster! The great San Francisco earthquake and fire of 1906. New York: William Morrow.
- Honegger, D G, 1991, Evaluation of automatic earthquake shutoff valve performance and recommendations for future U. S. Standards. 3rd U. S. National Conference on Lifeline Earthquake Engineering, August, 22~23.
- James C D, 2002, The 1923 great Kanto earthquake and fire. <http://nisee.berkeley.edu/kanto/tokyo1923.pdf>.
- Jones E C, 1906, The story of the restoration of the gas supply in San Francisco after the fire, in Proceedings of the Fourteenth Annual Convention of the Pacific Coast Gas Association, San Francisco, 350~364.
- Pacific Gas and Electric Company, 1994, Capabilities of gas valves for seismic safety, in minutes of the workshop on seismic safety of natural gas systems, California Seismic Safety Commission and the Public Utilities Commission's Utilities Safety Branch, Los Angeles.
- Shimizu Y, Koganemaru K, Yamazaki F, et al, 2000a, Seismic motion observed in taipei basin by New SI sensors and Its Implication to seismic zoning. Proceedings of the 6th International Conference on Seismic Zonation, 497~502.
- Shimizu Y, Watanabe A, Koganemaru K, et al, 2000b, Super high-density realtime disaster mitigation system, 12th World Conference on Earthquake Engineering.
- Shimizu Y, Yamazaki F, Isoyama R, et al, 2004, Development of realtime disaster mitigation system for urban gas supply

network. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 157. 2.

Design and application demonstration of seismic emergency handling device for gas pipelines

*Cui Jianwen*¹⁾ *Wang Tun*²⁾ *Fan Rong*³⁾ *Gao Dong*¹⁾ *Xu Shuo*¹⁾ *Zhang Qian*¹⁾
*Duan Jianxin*¹⁾

1) Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, China

2) Institute of Care-Life, Chengdu 610000, China

3) Kunming Zhongyou Kunlun Gas Co., Ltd, Kunming 650204, China

Abstract Post-earthquake fire is one of the major hazards faced by a city after the devastating earthquake. For the city gas pipeline network, it is especially important to establish an earthquake emergency handling system. Emergency handling systems for urban gas pipe network in Japan, the United States and China's Taiwan region have reduced the effectiveness of the earthquake fire. With the growing popularity of the gas pipeline, it is also very important to apply the earthquake emergency handling facilities in China that is also an earthquake prone zone. In this article, the Northridge2000, a small earthquake gas valves made in U. S. A, and a gas pipeline earthquake emergency handling device designed by us are applied, respectively, on small diameter gas pipeline of the four houses and a large diameter gas pipeline in Kunming to demonstrate earthquake emergency handling of gas pipeline. Some artificial triggering tests have been carried out and showed that the response of the emergency handling device is consistent with the expectation, but the inspection of the actual earthquake is needed to confirm the performance of devices. This article describes the design and demonstration application of a gas pipeline earthquake emergency handling, and discusses some problems needed to be resolved in China to carry out related work.

Key words: Seismic emergency handling Strong motion detecting Gas-line Earthquake gas valve Gas emergency shut-off valve