

汶川 8.0 级地震都江堰市天然气系统震害分析及救灾过程*

高乃辉¹, 赵 鸣¹, 李素贞¹, 王洋玲¹, 黄建儒², 戴 质², 廖 彬², 莫宣树²

(1. 同济大学 土木工程学院建工系, 上海 200092; 2. 都江堰市集能燃气有限公司, 四川 都江堰 611830)

摘 要: 四川都江堰市地处龙门山主山前边界大断裂上, 在汶川 8.0 级地震烈度分布图中属于Ⅸ度区, 是地震受灾最严重的城市之一。作为城市生命线的天然气供应链在本次地震中遭遇了一定的破坏。通过对都江堰市天然气系统的基本构成、震害情况以及应急救灾过程等的调查与整理, 对都江堰燃气系统中门站、CNG 加气站、中压配气管网及低压配气支管各组成部分在地震中的震害情况进行了分析, 对震后的应急处置措施、供气恢复策略及灾后重建工作进行了综述, 总结了汶川地震中都江堰天然气系统的应灾经验及救灾环节中的不足之处, 并就如何提高燃气系统的抗震应灾能力提出建议。

关键词: 汶川 8.0 级地震; 天然气系统; 震害; 应急处置; 灾后恢复; 四川都江堰市

中图分类号: TU996; P315.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2010)03-0071-06

0 引言

都江堰市地处四川省成都平原西北部, 东南距成都市 48 km, 在地质构造体系上, 属华夏构造体系, 地跨成都平原和龙门山地区两个不同自然地理区, 地貌单元属岷江冲积扇一级阶地。由于坐落在龙门山主山前边界大断裂上(图 1), 都江堰市在汶川 8.0 级地震烈度分布图中属于Ⅸ度区, 是地震受灾最严重的城市之一。

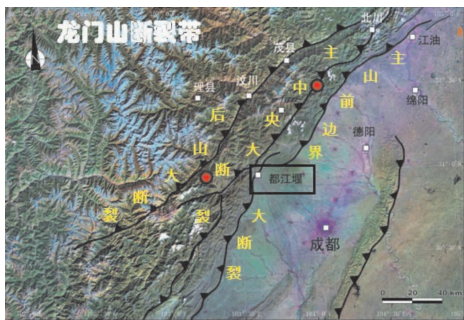


图 1 都江堰地理位置

作为城市生命线的天然气供应链在这次地震中遭遇了前所未有的考验, 同济大学建筑工程系生命线工程研究课题组于汶川地震一周年之际前往都江堰市进行调研, 在了解都江堰市天然气系

统的基本组成和运营管理机制的基础上, 对汶川地震造成的燃气系统的震害情况进行调查统计和原因分析, 通过对震后的应急处置措施、供气恢复策略及灾后重建工作的系统整理, 总结了本次汶川地震中都江堰天然气系统的应灾经验及救灾环节中的不足之处, 并就今后工作中如何提高燃气系统的抗震应灾能力提出建议。

1 都江堰市天然气系统概况

都江堰市自 1995 年 6 月起供应天然气, 现有工商用户约 1 400 户, 民用户 8 万余户。如图 2 所示, 都江堰市天然气系统的基本构成包括(统计数据截至 2009 年 7 月): 1 座门站(配气站), 3 个压缩天然气(CNG)加气站, 从彭州分输站到都江堰门站的 38 km 次高压管线(钢管), 门站到用户终端之间的 450 km 中压配气管线, 65 台大型调压柜, 约 2 200 个小型调压器, 368 个阀门。其中中压配气管网包括 150 km ERW 钢管管线和 300 km PE 管管线, 钢管管径从 $\Phi 25$ 到 $\Phi 325$ 共 11 种, 环线及连接门站的主干管径主要是 $\Phi 159$ 和 $\Phi 219$, 城区内小管径配气支管多采用 $\Phi 76$ 和 $\Phi 57$; PE 管管径从 $\Phi 40$ 到 $\Phi 160$ 共 6 种, 配气干管多采用

* 收稿日期: 2010-01-23

基金项目: 上海市城乡建设和交通委员会燃气系统地震紧急自动处置系统项目(2008-021); 燃气系统地震紧急自动处置系统项目(2008-021); 上海市浦江人才计划 A 类课题(0210236080)

作者简介: 高乃辉(1987-), 男, 江苏扬州人, 硕士研究生, 主要从事生命线工程安全监测、结构健康监测的研究。

E-mail: gaonaihui@gmail.com

Φ160、Φ110，支管多为 Φ63 和 Φ50。中压配气管道中绝大多数为埋地管道，桥管 21 处。管身的接口主要有焊接、电熔焊、对接和钢塑接头四种形式。阀门有钢阀和 PE 阀两种，钢阀主要采用闸阀和蝶阀，PE 阀主要采用球阀。

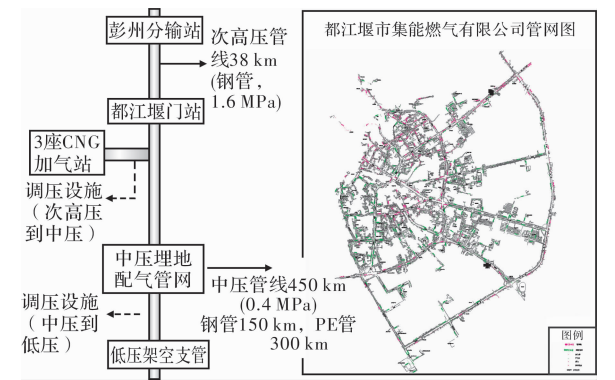


图2 都江堰燃气系统基本构成

都江堰市集能燃气有限公司自 2004 年后采用地理信息系统 (GIS) 软件系列的 Mapinfo 平台对城市中压埋地配气管网进行数字化统一管理。通过 Mapinfo 平台，可以快速地查阅管线、接口、阀门等设施的准确地理位置以及管径、管材、埋深、服役年限等相关属性。

2 震害调查与原因分析

汶川地震中，作为都江堰市生命线的天然气供应链遭遇了严重破坏，据不完全统计，截至 2009 年 7 月都江堰市天然气系统中中压配气管道、管间连接，以及支管连接、阀门、调压设施等附件的震害情况统计如表 1 所示。

表 1 都江堰市燃气系统的震害统计				
项目	分类	总长/总数	破坏长度/数目	破坏百分比
中压配气管道	钢管	150 km	0.1 km	0.14%
	PE 管	300 km	0.01 km	约等于 0
管间连接	对接	40 000 个	0	0
	电熔焊	10 000 个	0	0
	钢塑接头	3 000 个	0	0
	焊接	20 000 个	0	0
支管连接	弯头	25 000 个	0	0
	三通	10 000 个	1 个	约等于 0
其它附件	钢阀	134 个	8 个	5.97%
	PE 阀	227 个	31 个	13.66%
调压设施	调压(柜)站	65 台	0	0
	调压(箱)器	2 200 台	300 台	13.64%

2.1 门站和 CNG 加气站破坏情况

门站输气管道在地震时发生扭曲震动，地

震后管道未发现有破坏并且基本恢复震前状态，但部分管道支撑与下部的混凝土台座发生一定的错动。CNG 加气站储蓄罐底部支座混凝土被压碎，高压储气罐阀门和输气管焊接处断开，震时燃气发生外泄，储蓄罐和输气管的破坏如图 3 所示。



图3 储蓄罐和输气管的破坏



图4 低压配气支管和户外表箱的破坏

2.2 中压配气管道和低压配气管破坏情况

在这次地震后管道恢复供气的过程中, 截止到 2009 年 1 月 4 日已停止使用管道 392 处, 停止使用管道大部分是由于地震后该区域房屋无法使用导致, 而配气管道本身的破坏并不严重, 破坏管道中 PE 管的破坏程度小于钢管。在震后抢修过程中已明确发现的钢管破坏主要有 4 处: 青城山青青园的宝塔垮塌砸坏钢管; 太平街养路段有钢管三通被破坏; 太平街林业中心医院有一处明跨钢管因建筑物倒塌被砸坏; 观景路金叶宾馆有一处桥管因大桥在地震中垮塌造成管道破坏。此外, 对于震后快速修复时气密性测试中存在问题的中压埋地管道, 由于当时抢险工作时间有限, 为了确保在最短的时间内恢复供气, 多数没有对其进行开挖检查, 而是采取埋设新管道的措施, 以尽快实现供气, 故不能确定管道产生漏气的具体原因。在地震中燃气管网的地面设施受损严重, 主要是由于地震中建筑物的变形、破损、垮塌导致大量的地面低压配气管道和调压设备(主要是调压器)的损坏(图 4)。

2.3 阀门破坏情况

在恢复供气过程中检测出的阀门破坏状况主要有阀门与管道连接处断裂, 由地震引起的阀门的内泄, 不能启动, 其中内泄占阀门损坏的大多数。目前在已安装的 134 台钢阀中共损坏 8 台, 已安装 227 台的 PE 阀中, 共损坏 33 台。钢阀和 PE 阀的具体破坏情况统计详见表 2 和表 3。

阀门破坏主要有三方面原因: ①产品本身质量问题是阀门发生破坏的原因之一, 已将 2000 年之前安装使用的 PE 球阀破坏样品送回北京进行扭曲试验和落锤试验, 内泄原因待定; 2000 - 2005 年 9 月安装使用的 PE 阀, 由于球阀扳手帽材质较软且未加注销子, 可能致使扳手帽打滑、变形, 导致阀门关闭不严, 致使阀门内泄; 2005 年 9 月 - 2008 年 6 月安装使用的 PE 阀, 由于安装使用时间短, 并且厂家已经对原 PE 阀自身存在的缺陷作了相应改进, 故尚未发现问题。②施工时安装过程的不规范可能导致阀门的破坏, 由于在安装时阀门未作水平和垂直校验, 启闭阀门时由于受力不平衡造成阀门的损伤, 导致内泄现象发生。③维护不当也可能导致阀门的破坏, 部分阀门在运行维护管理中由于启闭阀门时未全开全闭, 可能造成管道内灰尘进入密封圈, 从而导致阀门关闭不严而出现内泄现象^[1-2]。

表 2 都江堰市燃气管网钢阀破坏情况统计

型号	数量/台	运行情况	更换情况
DN50	9	良好	无更换
DN80	38	3 台内泄	已更换 3 台
DN100	51	3 台内泄	已更换 3 台
DN150	29	1 台无法启闭、1 台内泄、3 台启闭困难	已更换一台内泄阀门
DN200	6	1 台内泄、2 台启闭困难	已更换一台内泄阀门
DN300	1	良好	无更换
合计	134	8 台内泄、1 台无法启闭、5 台启闭困难	已更换 8 台内泄阀门

表 3 都江堰市燃气管网 PE 球阀破坏情况统计

安装时间	安装总数/台	破坏情况
2000 年之前	47	内泄/台 14
		无法启闭/台 1
		启闭困难/台 0
2000 年 - 2005 年 9 月	39	内泄/台 11
		无法启闭/台 3
		启闭困难/台 1
2005 年 9 月 - 2008 年 6 月	52	内泄/台 1
		无法启闭/台 1
		启闭困难/台 1
2008 年 6 月至今	89	内泄/台 0
		无法启闭/台 0
		启闭困难/台 0

3 应急处置及灾后恢复

3.1 应急处置

地震发生后都江堰集能燃气公司迅速启动应急预案, 将应急抢险车辆和抢险器材设备从办公大楼车库中转移到安全地带, 成立了天然气应急抢险指挥领导小组, 对天然气系统事故的应急抢险工作进行了安排布置^[1-2], 应急处置过程如图 5 所示, 主要包括门站应急处置、CNG 加气站应急处置和管网泄漏的应急处置, 具体内容如下:

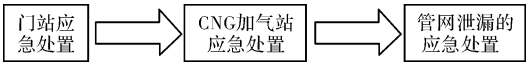


图 5 震后应急处置流程图

(1)门站内值班人员在震后第一时间关闭了流程区内城区、乡镇出站安全切断阀, 停止了向全市的天然气输送, 关闭了进、出站阀门, 彻底切断上游气源, 对场站流程内的天然气进行放空^[1-2]。

(2)CNG 加气站震后立即停止压缩机运行, 关

闭储气库阀门,切断进站气源和电源,对管道内压缩天然气进行放空,迅速疏散站内加气车辆,由于地震后现场比较混乱,场站周边集聚人员很多,故未对站内储气罐中的天然气进行放空^[1-2]。

(3)城区管网泄漏应急处置主要采取在接到用户报警后,派抢险队赶到现场切断气源、疏散人群并设置警戒线。乡镇管网发现泄漏时,乡镇天然气协管员便关闭乡镇管网的主控制阀门,在天然气管道断裂并发生泄漏的地段,当地乡镇党委政府组织人员对泄漏现场进行疏散和警戒,并通知抢险队赶往现场进行处理^[1-2]。

3.2 灾后恢复

为统一指挥,震后都江堰集能燃气公司迅速成立了抗震救灾指挥中心,以“以最快的速度、最短的时间,确保安全供气,确保万无一失”为目标^[2]展开灾后恢复工作,恢复过程如图6所示,主要包括长输管线恢复运行、配气站恢复运行、CNG加气站恢复运行、主干线恢复运行、城乡支线管网恢复运行以及用户户内恢复运行6个环节。

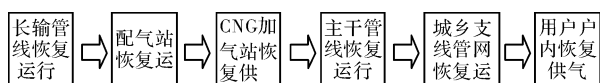


图6 震后恢复流程图

(1)长输管线恢复过程中首先对地震发生后彭州至都江堰长输管线进行气密性检测,对天然气压力进行监测,同时派出巡线人员对彭州至都江堰长输管线受损情况进行徒步检查^[1-2],从各方汇总的检测信息显示彭州至都江堰天然气长输管道在此次地震中未受到明显损坏,具备通气运行条件。

(2)配气站恢复运行时对配气站站内流程设施进行检查检修,确保在配气站具备恢复供气条件后,对整个流程区内的管道进行了严密性检查,经检查管道严密性良好,配气站内整个流程运行状况正常。在电力抢修部门的配合下,恢复了站内供电系统,配气站做好了随时向城区恢复供气的准备^[1-2]。

(3)CNG加气站在地震中有部分设施造成损坏,在恢复工作开展前组织站内技术人员对两座加气站的设备设施进行了检查,对检查发现的问题及时予以了处理,并对压缩机地脚螺栓、高压管道的接头和卡套进行了紧固;并邀请相关设备生产厂家技术人员到站对压缩机、脱水装置、储气罐、充装棚进行全面的检查并对存在的问题进行处理;也约请设备安装公司技术人员以及政府相关管理部门和监理公司会同加气站技术人员对两个加气站站内的各种设备、压力容器和压力管

道进行检查,对受损的设备配件、阀门和天然气管道进行修复和更换,并利用储气罐内的天然气对高压管道进行严密性试压和强度试压;由于第三加气站高压储气罐与安全阀连接的大小头接管处断裂,短期内无法修复,确定了先恢复第三加气站日常运行,待材料和手续等条件具备后,再对受损高压储气罐进行维修的方案;第三加气站在汶川震中周围围墙全部倒塌,为了确保运行安全,及时将储气罐侧加装彩条布,防止无关人员进入;另两座加气站实行站内管理人员24 h值班制,负责组织遇突发事件的处置和安排工作。

(4)主干管线恢复运行采取对城乡主干管线分段进行严密性试压,试压介质采用空气,稳压时间为4 h。经检查绝大部分管线在稳压4 h后无压降,严密性试压合格,对于个别有明显的压力下降的管线,采取缩小分段范围等措施查找漏点,分析进一步检测的结果后判定管线试压合格,分析表明导致压力明显下降的原因是管线沿线的支线阀门内泄造成^[1-2]。

(5)城乡支线管网恢复运行时对支线管网采用天然气作为试压介质进行试压,对支线阀门后端受损严重的片区,先暂时在支线阀后端实施封堵。具体试压方案为:首先关闭试压管段后端所有楼栋中压力管截断阀,对受损严重和垮塌的楼栋在楼前埋地中压管道上实施封堵,在其中一个调压箱前安装0.4级压力表,准备就绪后开启支线阀门,待管道内天然气压力升至0.2 MPa时,关闭支线阀门稳压1 h,无压降为试压合格。同时在试压过程中重点对支线阀门运行状况进行检测,对检测中发现的存在内泄和无法启闭的阀门及时进行更换^[1-2]。检测结果表明,地震未对都江堰市埋地天然气管道造成明显破坏,其中绝大部分管线运行状况良好,个别管线存在不同程度的损坏,同时有相当分部埋地阀门存在内泄和无法启闭的现象。

(6)用户户内恢复供气则根据各地区的具体情况,组织人员对具备恢复通气条件的楼栋分别进行燃气管道的检查维修。具体的检查项目包括:对用户户内低压燃气管道的丝接点进行泄漏检查,并采用U型压力计对用户户内低压燃气管道进行严密性检测,10 min无压降为合格^[2]。

3.3 救灾成效

由于各项应急处置措施及时有效的实施,都江堰市在这次地震中并未发生一起燃气事故,高效的应急处理同时为震后恢复供气工作的顺利开

展提供了强有力的保障,确保抢险及时率达100%^[1-2]。

4 救灾经验总结

汶川地震都江堰市燃气系统的抗震救灾工作,取得了较好的应急处置和灾后恢复效果,并在天然气系统的地震应急和震后恢复方面积累了宝贵的经验,同时也发现一些环节中存在着不足之处。

4.1 应灾经验总结

(1)加强管理部门内部的交流非常重要。各部门之间及时进行工作对接,迅速了解并掌握各施工点恢复运行的工作进度,便于研究解决工作中存在的问题,并对下一步的工作统一安排部署,从而确保了地震后恢复运行工作有序、高效地开展^[2]。

(2)注重工程质量是关键。在燃气工程设计、施工、验收等环节上,要严格执行国家行业相关规范和标准,坚持工程质量一票否决制^[1-2],燃气工程的质量是经受住了此次特大地震考验的重要保证。

(3)日常工作的细致是震后迅速恢复供气的重要条件。强化对管道薄弱环节的巡线测漏工作,地理环境较为复杂地段和人群较密集地点的埋地管道要增加测漏频率,穿跨越化粪池、污水沟、河流等地段的地下管道要进行锈蚀监控。加强对老片区埋地管道的测漏工作,制定老片区定期试压时间,确保老片区管网的安全平稳运行^[3]。同时加强巡线管理工作,巡线人员进行定期的换片区巡线工作,做到每个巡线人员对所有管线都熟悉。

(4)利用地理信息系统对管网进行数字化管理,可以方便查阅各段管道的情况,在抗震救灾和恢复过程中发挥了重要作用^[3]。

4.2 存在问题

(1)盲目封堵。对个别支线进行封堵试压过程中存在盲目封堵的情况,在对整条支线后端用户情况没有充分了解的情况下,盲目进行封堵,给后期恢复工作造成较大困难。由于工作对接不到位,个别存在内泄的埋地阀门未能及时被更换,导致管网恢复运行后,因阀门不能实施有效切断,影响了后期恢复运行工作的有效开展。埋地管网的地理信息数字地图存在个别线路与现场实际情况不符、部分区域的管线未能在数字地图上准确反映等情况。缺乏有效的通讯保障手段,震后通讯不畅,严重影响了各项指令的传达和信息传递。

(2)应急准备不足。巡线人员储备不足,且只熟悉自己负责片区的埋地管网情况,对总管网的

信息掌握不足。各岗位职责精细化管理和部门内部工作细则有待进一步完善。对早期安装的埋地钢质管道的测漏工作和腐蚀检测不够细化,抢修抢险机具设备配置不够且维护管理不到位,应急准备不充分^[2]。

(3)资料不完备。平时埋地管线(隐蔽工程)竣工资料的收集和整理不完整、不准确,部分管线位置在原竣工资料上未能充分体现,部分管线的存档资料与实际状况存在差异。在恢复运行工作初期,未能将抢修工作中涉及的管线封堵和增设阀门情况、现场管线位置与数字地图不符的情况及时进行处理并归档。

(4)管网设计不合理。存在同一个片区有2条甚至更多进气管线的情况。很多小区埋地管道安装在狭窄的通道内。支线阀门设置过少,支线片区过大。这些都不符合燃气管网设计的基本原则,也不便于管网的运行维护管理^[2]。

4.3 建议

(1)对多数在气密性试压实验中发现泄漏的埋地管道,由于当时时间紧迫,只是采取埋设新管道的措施,以尽快实现供气,没有对其进行开挖检查,故无法确定管道泄漏的具体情况。建议在燃气管网恢复重建的过程中,对破坏处中压埋地管道进行开挖检查,以彻底查明各处管道产生泄漏的部位,破损情况及原因等,从而确定管道的薄弱环节。在以后的工作中,加强对管道薄弱环节的维护,以确保管道的安全运行。

(2)钢管的锈蚀是一个待解决的问题,在此次地震管道受损统计中可以发现钢管的损坏程度远大于PE管,而钢管的损坏多是由钢管的腐蚀造成的,建议对后期新埋设的钢管管道和已埋设的钢管管道应采取适当保护措施,以提高钢管的防腐能力,延长钢管的使用寿命^[4-7]。

(3)抗灾过程中绝大部分管线在稳压4h后无压降时即认为严密性试压合格,并恢复供气,多数埋地管道受地震影响的实际情况不明,如是否能确保已通气管道完全无泄漏,除泄漏外地震是否对管道造成其它损伤,采取什么有效手段能在不大面积开挖管道的前提下判断管道损伤的位置和程度,如何评估管道的剩余寿命等,都需要进一步探讨,找到合适的解决问题途径。此外,地震中桥管受到了不同程度的影响,怎样判断地震是否带来地质条件变化并因此造成桥管入土端的差异沉降,怎样评价这种沉降对桥管的影响,怎样设置补偿器以克服这种不利影响等等,也都是

需要解决的问题^[3-6]。

(4)对埋管进行全面探测，及时补充和更新燃气管网数字化管理的地理信息平台，完善埋地管道的信息，方便震后的抢修和恢复供气。

(5)建立地震应急处置系统和日常健康监测系统。日常健康监测系统对正常工作条件下的管网的安全性能进行实时监测，可增强日常运营的稳定性；当突发状况发生时，根据健康监测系统的监测结果，判定整个系统的可靠性，地震应急处置系统将自行启动应急处置，可减少管网的破坏和一些次生灾害的发生^[8-10]。

参考文献：

[1] 戴质, 谢飞, 黄建儒. “5.12”汶川大地震天然气应急处置、灾后抢险恢复供气及我们的思考[J]. 城市燃气, 2009(5): 3-6.

[2] 都江堰市集能燃气有限公司. “5.12”汶川大地震天然气应急处置及灾后恢复供气工作总结[R]. 2008.

[3] 刘晓艳, 姚安林, 毛建, 等. 汶川大地震后反思城市燃气生命线工程[J]. 上海煤气, 2009(1): 19-21, 43.

[4] 王可仁, 廖复中. 关于燃气管道严密性试验的讨论[J]. 上海煤气, 2009(3): 37-40.

[5] 王敬凡. 燃气管道的腐蚀和检测技术[J]. 上海煤气, 2008(3): 15-17.

[6] 张鲁冰, 张同, 颜伟. 燃气输配管道抗震措施初探[J]. 城市燃气, 1999(2): 12-14.

[7] 王智熙, 阮吉斐. PE 燃气管道应用技术研究[J]. 城市燃气, 2004(8): 16-18.

[8] 翟玉文, 艾学忠, 张振轩. 城市地下燃气管道泄漏监测报警系统设计[J]. 吉林化工学院学报, 2009, 26(2): 60-61, 78.

[9] 杜晓燕, 黄发樑. 地震灾害风险要素及汶川震后次生灾害防治与管理的探讨[J]. 灾害学, 2008, 23(S0): 82-87.

[10] 杨学山, 刘华泰, 杨志立. 一种自动地震煤气关闭阀门的设计[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 121-123.

Seismic Damage Investigation and Relief Procedures of Natural Gas System in Dujiangyan City in M8.0 Wenchuan Earthquake

Gao Naihui¹, Zhao Ming¹, Li Suzhen¹, Wang Yangling¹,
Huang Jianru², Dai Zhi², Liao Bin² and Mo Xuanshu²
(1. *Department of Building Engineering of Tongji University, Shanghai 200092, China;*
2. *Dujiangyan Jineng Nature Gas Corporation, Dujiangyan 611830, China*)

Abstract: The city of Dujiangyan is located on the frontal part of Longmenshan fault zone, which belongs to IX area in the seismic intensity distribution of M8.0 Wenchuan earthquake and it is one of the most seriously damaged cities. As an urban lifeline, the natural gas supply chain of the city has suffered a certain amount of damage. Based on investigation and analysis of collected data of basic composition of the natural gas system, state of earthquake damage as well as emergency disaster relief in the city, seismic damages in the earthquake to the gas distribution stations, compressed natural gas (CNG) filling stations, middle-pressure distribution pipelines, and low-pressure pipelines are analyzed. The post-earthquake emergency measures, the gas recovery strategy, and the post-disaster reconstructions are reviewed. As a result, experience in the disaster response and lessons learned from the disaster relief are summarized and some suggestions to improve the earthquake-resistance abilities of natural gas system are given as well.

Key words: Wenchuan M8.0 earthquake; natural gas system; earthquake damage; earthquake emergency; disaster relief