

文章编号: 1004-4574(2007)04-0086-05

地下管线工程地震破坏等级划分标准

郭恩栋, 刘如山, 孙柏涛

(中国地震局工程力学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 简要介绍了地下管线工程的地震破坏特点及类型, 搜集整理了国内外地下管线工程地震破坏等级划分标准方面的有关标准、规定, 对不同标准、规定进行了评述, 在此基础上, 以整个管网系统为评定对象, 主要考虑管段破坏程度和单位长度管线破坏处数两个因素, 将管网系统地震破坏细划为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏及毁坏 5 个等级, 给出了一套新的地下管线工程地震破坏等级划分标准。

关键词: 地下管线工程; 地震破坏; 等级划分标准

中图分类号: P315.9 **文献标识码:** A

Gradation criterion of earthquake damage to buried pipeline engineering

GUO En-dong, LIU Ru-shan, SUN Bai-tao

(Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China)

Abstract The earthquake damage characteristics and behavior of buried pipeline engineering were introduced briefly, some criteria and provisions related to the gradation of earthquake damage for buried pipeline engineering were collected and studied. Then, taking the whole pipeline system as assessed object, considering the damage state of pipe sections and the amount of pipe damage in unit length as two key factors, a new gradation criterion of earthquake damage for buried pipeline engineering is presented.

Keywords buried pipeline engineering; earthquake damage; gradation criterion

埋地管线是城市和区域供(排)水、供气、热力、输油等生命线工程系统的基本组成部分, 埋地管线种类很多, 从使用的材料可分为钢管、铸铁管、混凝土管、聚乙烯管等; 从管线连接方式上可分为刚性连接管线、柔性连接管线以及半刚半柔性连接管线; 从管线输送介质上可分为供水管线、输油管线、输气管线、供热管线、排水管线等; 另外, 根据工作压力不同还可划分为高压管线、中压管线以及低压管线。大量震害经验表明, 埋地管线在地震中易于遭受破坏, 造成相应的生命线工程系统功能降低乃至整个系统的瘫痪, 并有可能引发各种地震次生灾害。最早对埋地管线的震害调查可以追溯到 1923 年, 在日本关东大地震发生后, 曾对东京市给水铸铁管道的震害情况进行了详细的调查, 但直到 1971 年圣费尔南多地震发生后, 大量地下管线工程的破坏才引起了人们的广泛关注, 将埋地管线形象地称为生命线工程。经过几十年的发展, 地下管线抗震已经成为地震工程学研究的重要领域, 无论是地下管线地震破坏特征和机理、功能失效影响, 还是管线工程地震

收稿日期: 2007-04-10 修订日期: 2007-06-11

基金项目: 国家科技基础条件平台工作项目 (2004DEA70940)

作者简介: 郭恩栋 (1966-), 研究员, 硕士, 主要从事生命线工程抗震研究. E-mail: iemgex@263.net

反应分析方法、抗震设计方法和措施等方面,均取得了长足的进步。为服务于地下管线工程震害科学考察、损失评估以及震害预测等工作,也给出了多个地下管线工程地震破坏等级划分方法或标准。在这些划分方法或标准中,一般是将管道破坏状态划分为数个等级,各个破坏等级对应不同的破坏状态指标或宏观描述,如有的是以管道截面应力应变状态作为管道破坏等级划分的控制指标,而对于接口式管道,一般是以接口变形量作为衡量标准;另外,一些方法是从单个管段出发评定破坏等级,而有的方法是从整个管线系统的综合反应状态出发划分破坏等级。由此可见,目前管线工程地震破坏等级划分方法和标准不统一,导致与管线工程地震破坏等级相关的一些工作缺乏可比性,尤其是对于震害调查、损失评估以及科学考察等工作,更是需要尽快建立一个科学、合理、实用、可操作性强的管线工程地震破坏等级划分标准。

在国家科技基础条件平台工作项目“地震现场工作技术标准制定”(项目编号:2004DEA70940)的资助下,开展了管线工程地震破坏等级划分方法和标准研究,根据管线工程地震破坏特点和表现,在对国内外有关标准和规定进行深入剖析的基础上,给出了一套新的地下管线工程地震破坏等级划分标准。

1 管线工程地震破坏类型

管线工程通常以线状或网络系统的形式分布在较广大的区域,系统性是管线工程的一个重要特点。管线系统中的各个管段协同工作,完成所担负的功能。当管线系统中的一个或多个管段发生破坏后,就会导致传输物料的泄漏,使系统功能下降,严重时会使系统功能局部或全部瘫痪。尤为需要指出的是,对于输油、输气管线工程,还可能由于地震破坏引发火灾、爆炸等次生灾害,而供水管线工程的破坏,会使正常的消防能力受到影响。因此,管线工程地震破坏表征主要为两个方面,一个是破坏处管段传输物料泄漏,有时会导致次生灾害事件;另一个是整个系统功能的变化,通常是部分或全部用户的正常使用功能受到影响,这是由于管线工程修复过程中需要对破坏管段所在区域进行隔离。

大量事例表明地下管线的破坏形式主要有以下3种基本类型:

(1)接口破坏:如承插式接口填料松动、插头脱出或承口破坏;连续焊接管道的焊缝开裂,法兰连接管道的法兰螺栓松动、断裂等;

(2)管体破坏:管段本身的弯折、断裂或屈曲破坏;

(3)连接破坏:发生在管道三通、阀门或管道与地下构筑物连接部位的破坏。

在上述基本破坏形式中,管线接口破坏最为常见,如在日本十胜冲地震中,接头拔出破坏占破坏总数的75%,而在唐山大地震中,接头拔出破坏也占破坏总数的79%;对于连续焊接管道,当穿越液化区或断层地表破裂带时,发生管体破坏的事例也比较多;第三种连接破坏形式常见于管道与附属建(构)筑物连接部位的场地产生不均匀沉降的情形。

在得到了大量地下管线工程地震破坏现象的基础上,经过多年的研究和实践,对管线破坏程度给出了不同等级的宏观描述或划分依据,这样就可以比较客观、准确地记录管线的破坏状态,下文将对一些比较有代表性的标准进行简要评述。

2 管线工程地震破坏等级划分标准评述

2.1 专著标准

在李树桢(1995)编著的《地震灾害评估》一书中,给出了输水管线破坏等级划分标准(输气管线破坏等级划分标准参照供水系统管线破坏等级划分标准执行),该标准(简称专著标准)以处为单位评定管线的震害程度,将管道破坏划分为基本完好、轻微破坏、中等破坏以及严重破坏4个等级。

基本完好:管线无宏观震害,正常供水。

轻微破坏:管线接头处松动,稍有渗漏。

中等破坏:管道接头处松脱,发生渗漏,但管段本身未出现破坏,经处理即可正常输送供水。

严重破坏:管线接头破损或管段断裂,必须更换管段方可正常输送供水。

可以发现,专著标准从管道破坏状态及功能表现以及修复工作难易程度几个方面出发,对破坏处管线的状态进行了界定,适用于对局部管段的地震破坏状态的评定,而无法进行整个管线系统破坏状态的评定,也

无法由此推断整个管线系统的功能状态。

2 2 规范附录标准

在 2000年发布实施的《地震现场工作: 第三部分 调查规范》(GB/T 18208 3- 2000)附录中, 分别给出了供、排水管道和供气管道破坏等级划分标准 (简称规范附录标准)。

供、排水管道破坏状态划分为 3个等级:

基本完好: 管道无变形或只有轻度变形, 无渗漏发生。

中等破坏: 管道发生较大变形或屈曲, 有轻度破裂或接口拉脱, 出现渗漏。

严重破坏: 管道破裂或接口拉脱, 大量渗漏。

供气管道破坏状态也划分为 3个等级:

基本完好: 管道无破损, 或只发生轻微变形。

中等破坏: 管道发生明显变形或屈曲, 但无破裂、漏气现象。

严重破坏: 管道破裂、漏气严重。

规范附录标准分别对供、排水管道和供气管道的破坏等级划分方法进行了界定, 且采用 3个破坏等级, 同专著标准一样, 也是针对管线工程一处破坏的状态进行评定, 主要从管道变形、破裂状态以及泄漏严重程度等方面对管段破坏状态进行评定。该标准也是无法进行整个管线系统破坏状态的评定, 不能由此推断整个管线系统的功能状态。

2 3 震害预测标准

在进行地下管线工程震害预测工作中, 中国地震局工程力学研究所也给出了管线工程地震破坏等级划分标准 (简称震害预测标准), 对于供水和供气管道工程, 震害状况可划分为 3级:

基本完好: 管道可能有轻度变形, 但无破损, 无渗漏, 无须修复即可正常运行。

中等破坏: 管道将发生较大变形或屈曲, 或有轻度破损、有渗漏、须采取修理措施才能正常运行。

破坏: 管道破裂、泄漏, 必须更换管道。

连续焊接管道破坏状况判断标准为:

$\sigma < [\sigma_r]$	基本完好
$[\sigma_r] \leq \sigma \leq [\sigma_b]$	中等破坏
$\sigma > [\sigma_b]$	破坏

式中: $[\sigma_r] = \alpha_1[\sigma_1]$;

$[\sigma_b] = \alpha_2[\sigma_2]$;

σ ——管道截面的组合应力;

$[\sigma_1]$ ——管道材料的屈服极限应力;

$[\sigma_2]$ ——管道材料的强度极限应力;

α_1, α_2 ——准则调整系数。

震害预测标准主要通过计算管道在地震等动、静力荷载作用下的管道截面组合应力值的大小来对管道破坏状态进行预测, 各个破坏等级管道破坏状态及功能表现以及修复工作难易程度的描述与专著标准相近, 但是只划分了 3个破坏等级。该标准适用于对局部管段的地震破坏状态的预测。对于接口式管道, 则比接口变形量进行判别。

以上是国内采用较多的管道破坏等级划分标准, 被广泛应用于地震现场工作和管线工程抗震鉴定和震害预测等工作中, 对各项工作的开展起到了重要的作用, 同时也促进了相关领域研究的发展进步。

2 4 美国标准

国外关于地下管线工程地震破坏等级划分方面的资料比较少, 仅收集到了美国建筑科学研究所地震损失评估方法中的有关规定 (简称美国标准), 美国标准对输配水管网、排水管网、输油管道及天然气管线系统均分别给出了破坏等级划分标准。

输配水管网的破坏划分为 4个等级:

轻微破坏: 局部出现小的泄漏点, 管段连接失效概率小于 0. 1(或每 km 破坏处数大约 0. 11), 管网系统功能正常, 供水量下降幅度小于 10%。

中等破坏: 出现接口断裂等明显泄漏现象, 管段连接失效概率小于 0. 25(或每 km 破坏处数大约 0. 29),

震后破损管段可能需要通过关闭阀门减少水的流失, 管网系统功能继续保持, 供水量下降幅度大约 30%。

严重破坏: 由于管道断裂发生严重泄漏, 管段连接失效概率小于 0.5(或每 km 破坏处数大约 0.69), 管网功能丧失。

毁坏: 主干管道破裂, 管段连接失效概率大于 0.7(或每 km 破坏处数大于 1.2)。

排水管网的破坏等级划分标准与输水管网相同, 只是不考虑河道的损坏程度。

输油管道的破坏等级划分标准如下:

轻微破坏: 局部出现小的泄漏点, 管段连接失效概率小于 0.1(或每 km 破坏处数大约 0.11), 管网系统功能几乎正常。

中等破坏: 管线破裂泄漏, 管段连接失效概率小于 0.25(或每 km 破坏处数大约 0.29), 管网系统功能几乎丧失。

严重破坏: 由于管道断裂发生严重泄漏, 管段连接失效概率小于 0.5(或每 km 破坏处数大约 0.69), 管网功能丧失。

毁坏: 主干管道破裂, 管段连接失效概率大于 0.7(或每 km 破坏处数大于 1.2)。

天然气系统中的管线系统的破坏等级划分标准为:

轻微破坏: 局部出现小的漏气点, 管段连接失效概率小于 0.1(或每 km 破坏处数小于 0.11), 管网系统功能几乎正常。

中等破坏: 管线破裂漏气, 管段连接失效概率小于 0.25(或每 km 破坏处数大约为 0.29), 管网系统功能几乎丧失。

严重破坏: 由于管道断裂发生严重泄漏, 管段连接失效概率小于 0.5(或每 km 破坏处数大约为 0.69), 管网功能丧失。

毁坏: 主干管道破裂, 管段连接失效概率大于 0.7(或每 km 破坏处数大于 1.2)。

可见, 美国标准将管线的地震破坏状态划分为 4 个等级, 分别为轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏, 而不包含基本完好这一等级。该标准的突出特点是以整个管线系统为评估对象进行破坏等级的评定, 这点与国内标准完全不同。另外, 各个破坏等级的评定依据既包括管道破裂、泄漏状态及管网功能的宏观描述, 更主要的是以管段连接失效概率或单位长度管道破坏处数为定量评价指标, 其中单位长度管道破坏处数这个指标使得标准具有较好的可操作性, 且易于直接得到管线系统地震破坏及功能失效状态评定结果, 可为震后应急救援提供决策依据。

以上四个关于地下管线工程地震破坏等级的划分标准可以作为编制国家标准的重要参考资料。

3 建议标准

在对上文所述地下管线工程地震破坏等级划分标准进行对比研究的基础上, 给出了一套新的建议标准, 具体内容如下。

对于供(排)水管网, 其破坏程度以整个网络为单位进行评定。

基本完好: 管道基本无震损, 管网功能正常。

轻微破坏: 管道局部出现小的泄漏点, 每 10 km 泄漏点数小于 2, 管网系统功能基本正常, 供水量下降幅度小于 10%。需进行管网维护。

中等破坏: 管道出现接口断裂等破坏现象, 导致明显泄漏, 每 10 km 泄漏点数介于 2 和 5 之间, 震后破损的管段需要通过关闭阀门等手段减少水的流失。管网功能大部分保持, 但供水量下降幅度可达 30%。需进行管网维修。

严重破坏: 管道断裂泄漏, 每 10 km 泄漏点数介于 5 和 12 之间, 管网功能大部分丧失, 无法正常运行, 需经抢修方能恢复部分功能, 必须经大修方能恢复正常功能。

毁坏: 包括主干管道在内的管道均发生破裂、泄漏, 每 10 km 泄漏点数超过 12, 须重建。

输油管道的地震破坏以整条管道为单位进行评定。

基本完好: 管道基本无震损, 功能正常。

轻微破坏: 管道局部出现小的泄漏点, 每 10 km 泄漏点数小于 2, 输油功能基本正常。需进行管网维修。

中等破坏: 管道出现大的破裂、泄漏, 每 10 km 泄漏点数介于 2 和 5 之间, 输油功能基本丧失, 需进行抢修。

严重破坏: 管道断裂, 严重泄漏, 每 10 km 泄漏点数介于 5 和 12 之间, 输油功能丧失。必须经大修方能正常使用。

毁坏: 输油管道 10 km 泄漏点数大于 12, 须重建。

输气管线的地震破坏以整个管网为单位进行评定。

基本完好: 管道基本无震损, 功能正常。

轻微破坏: 管道局部出现小的漏气点, 每 10 km 泄漏点数小于 2, 输气功能基本正常。需进行管网维修。

中等破坏: 管道破裂、漏气, 每 10 km 泄漏点数介于 2 和 5 之间, 输气功能基本丧失, 需进行抢修。

严重破坏: 管道断裂并严重泄漏, 每 10 km 泄漏点数介于 5 和 12 之间, 输气功能丧失。必须经大修方能正常使用。

毁坏: 输气管道每 10 km 泄漏点数大于 12, 须重建。

该标准以整个管网系统为评定对象, 将管网系统地震破坏细划为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏及毁坏 5 个等级。考虑到给(排)水、供气和输油管线工程破坏导致物料泄漏引发灾害的特点存在一些差异, 如燃气泄漏的速度较其它物料泄漏速度快, 燃气和成品油的泄漏次生灾害危险性大等, 分别给出了给(排)水管线、供气管线和输油管线的地震破坏等级划分标准。从各个破坏状态等级的宏观描述和评价指标来看, 所建议的标准还重点考虑了管线工程地震破坏的如下两个基本事实: (1) 轻度泄漏的破坏点, 一般不会对整个系统的功能产生严重影响, 次生灾害危险性也相对较小, 而断裂并严重泄漏的破坏点对管线工程的影响程度及次生灾害危险性均较大; (2) 破坏点数量的多寡既决定了系统震后功能状态水平, 同时也和修复难易程度息息相关。

4 结语

地下管线系统是维系城市和区域社会经济功能的重要基础设施工程, 制订科学、合理、可操作性强的地下管线地震破坏等级划分标准对促进相关领域研究的发展以及规范地震现场科学考察、损失评估和震害预测等工作均具有现实意义。在对国内外地下管线工程地震破坏等级划分标准进行归纳、总结、对比研究的基础上, 给出了一套集多家之长的地下管线系统地震破坏等级划分标准, 可为相关领域的研究工作参考、应用。

参考文献:

- [1] 尹之潜, 等. GB/T 18208.3-2000 中华人民共和国国家标准[S]. 北京: 国家质量技术监督局, 2000
- [2] 中国石化天津石油化工公司. SH 3050-94 中华人民共和国行业标准[S]. 北京: 中国石油化工总公司, 1994.
- [3] 李树桢. 地震灾害评估[M]. 北京: 地震出版社, 1996
- [4] 中国赴日地震考察团. 日本阪神大地震考察[M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- [5] Risk Management Solutions Development of a Standardized Earthquake Loss Estimation Methodology, Volume II [R]. Prepared for National Institute of Building Sciences, 1994