

# 地下管线震害预测初探\*

王东炜

(郑州工学院土建系)

**摘 要:** 本文对现有地下管线震害预测中存在的一些问题作了探索性的研究, 提出了作者解决问题的观点和方法。

**关键词:** 地下管线, 灾害预测

**中国图书分类号:** TU315.6

地下管线是生命线工程的重要组成部分, 其纵横交错, 形成了若干个大区域复盖的网络系统。城市越为发达, 网络系统就越庞大、越复杂。一旦网络在强烈地震下遭到严重破坏, 若不能及时修复, 除了会给生产、生活带来极大困难, 还将造成巨大的次生灾害。地下管线震害预测研究工作涉及到地震工程学、网络分析技术、系统可靠性及组合数学等各个领域, 有很多问题。本文对其中一些问题作了探索性的研究, 提出了解决问题的思路和方法。

## 1 管线的震害统计

了解地下管线的地震实际破坏状态是各种分析方法重要的先决条件。其中管线震害破坏率(平均每公里破坏处)是管线失效概率的重要检验指标, 应有一定的可信度。但现有统计分项仅包括管径、管性和破坏部位等因素, 而忽略了一些影响破坏率的重在因素。实际上, 地下管线的震害包括两大类型, 即环境破坏和反应破坏。环境破坏是指由断层破裂、砂土液化、滑坡、地陷、建(构)筑物破坏等所引起的管线震害。其特点是管线的失效概率取决于环境发生破坏的概率, 且一般远高于相应烈度和场地土下的通常情况, 形成管线的破坏异常区。反应破坏是指由地震波直接造成的管线应变值大于其极限值所引起的震害。其特点是管线的破坏率依赖于地表层的变形程度, 且其失效概率取决于管体应变与极值应变间的联合概率密度函数。有一定的规律性可循。在震害资料的统计中, 应将管线的环境破坏率和反应破坏率分别统计, 而且应把反应破坏率的统计放在首位。还应将管线的埋深、管线与地震波向的夹角列入统计分项, 以有助于弄清体波与面波对管线的影响方式。

---

\* 收稿日期: 1990.12.02

## 2 管线失效概率的确定

某一地下管线系统(如供水系统、供气系统、排水系统等)可视为一个巨大的网络或赋权图。长度短于一个地震波长的点式结构(如水厂、煤气发生站、用户住宅等)及管线上的三通等处为图的顶点,结构间的供给线路为图的边(当地质状况、管性无大变化时)或路(串联的边),管线的失效概率为边的权。对赋权图进行计算分析,要确定边的权;作地下管线的震害预测,即应先确定管线的失效概率。

一条管线由众多根管子串联而成。从理论上讲,需要先求每根管子的失效概率,或管接头的失效概率,再由该概率求得串联系统的失效概率。但这样做是很困难的。首先,从历史震害统计资料看,管接头破坏率一般是比较小的。以唐山资料为例,在Ⅺ度烈度下,唐山铸铁管的破坏率平均每公里不到4处(排除局部液化、滑坡等数据),设平均每6米一个管接头,则接头的破坏率仅2%左右。因此,对一般Ⅷ度、Ⅸ度烈度下,用允许应变的方法确定管接头的破坏程度是不合适的。但短期疲劳破坏机制又很难建立,故管接头的失效概率尚不易确定。其次,即使管接头的失效概率是已知的,不了解各接头间联合概率密度函数,仍然求不出串联管线的失效概率,用其简单的上、下限值,会得出范围非常宽的失效概率界限。例如,一条串联管线由50根管子组成,管接头失效概率都设为 $P_c=0.01$ 。如果各管接头失效概率是完全统计相关的,则管线的失效概率 $P_L=0.01$ 。若是统计相互独立的,则管线的失效概率 $P_L=1-(1-P_c)^{50}=0.39$ 。两者相差是极大的。考虑到上述背景条件,本文建议按下述方案确定管线失效概率:

①一般埋设管线的反应破坏为Poisson分布或指数分布形式,失效概率为:

$$P_L = 1 - e^{-\lambda L} \quad (1)$$

式中:  $L$  为管线长度(公里);  $\lambda$  为平均每公里破坏数目,即破坏率,在没有充分资料的情况下建议取表1所述相应值。

②对严重锈蚀的管子,  $\lambda$  加一级(即取表1中相应数据的右侧值)。延性接头的管子,  $\lambda$  减一级(即取表1中相应数据的左侧值)。

③对可能发生断层、砂土液化区域上的管线失效概率,取发生断层、砂土液化的概率值。公式参阅文献[1]、[2]。

表1  $\lambda$  数值表

场 地	管径(mm)	烈 度				
		Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	X
Ⅱ 类	> 500	$10^{-4}$	0.001	0.01	0.1	0.5
	200~500	0.001	0.01	0.1	0.7	0.6
	75~150	0.003	0.02	0.2	1.5	3.0
Ⅲ 类 (液化概率 很小地区)	> 500	0.005	0.05	0.2	0.6	0.8
	200~500	0.01	0.15	0.8	1.8	3.0
	75~150	0.02	0.3	1.6	3.0	5.0

表1是对中国、日本、美国、墨西哥各国震害资料平差得到的,并注意尽量排除环境破坏、严重腐蚀等因素造成的 $\lambda$ 值的离散性,具有一定的可信度。

### 3 网络的可靠度计算

将地下管网等效化为一个赋权图以后,就可用图论中的算法,进行地下管网的可靠度计算。Panoussis 和 Taleb-Agha 的 SSP 算法就是图论中的求最小路问题; PSS 算法就是求最小割的过程; Noda 等人的分解法是求强连通子图和其余图的方法; 刘锡荟等的模糊图算法利用的是求传递闭包的概念,但是,上述各地下管线的可靠度计算方法都是在图的权相互独立的条件下实现的,其可靠度应该说是实际网络可靠度的上限值。现有考虑了相关性的网络可靠性分析的近似方法是 H-S.Ang 的 PNET(Probabilistic Network Evaluator Technique)方法,但其网络系统的可靠性依赖于临界相关系数  $P_c$  的人为选取,  $P_c$  的取值问题尚是一个需要理论研究和实际效果加以验证的问题。地下管线网络不同于一般网络的另一个特点是,后者仅边有权,而前者的顶点也有权! 因为顶点代替的一些建筑物、管线的三通、不同场地土的结合部,恰恰是一些失效概率比较高的部位,这些失效概率值作为顶点的权是不能忽视的。对以上在地下管线震害预测中必定要遇到的问题,本文建议按以下原则进行处理。

3.1 对于产生环境破坏概率值较大的地区内的管线,按完全统计相关处理。

3.2 对反应破坏区域内的管子,按管性、地质条件和地震烈度判断其相关性。①管性和地质条件非常相似区域内的管线按完全统计相关处理。②IX度及其以上烈度区内的管线按完全统计相关处理。③其余情况按统计独立处理。

3.3 对线度等于2的带权顶点,将其权和各边的权按串联可靠度计算。对线度等于3,正线度等于2,负线度等于1的带权顶点,将其权和负线度方向边的权串联。对线度等于3,正线度等于1,负线度等于2的带权顶点,将其权和正线度方向边的权串联。

因为地下管线网络中很少线度大于3的顶点,故上述各原则即可用图论算法对地下管线的可靠度进行计算,具体算法可参阅有关资料[3]。

### 4 结 语

4.1 管线网络的计算,各个步骤都应考虑将管线的环境破坏和反应破坏区分开来。

4.2 反应破坏造成的管线节点失效具有稀疏性,一根管线上节点的破坏可考虑为指数分布或 Poisson 分布。系统中各线段之间可近似为失效统计独立(当烈度不很高时)。

4.3 环境破坏造成的管线节点失效形成异常区,区域内管接头间、各管线间的失效具统计相关性。

4.4 在将地下管线用图的算法进行计算时,应注意区别其和一般图的差别,并在计算中进行处理。

### 参 考 文 献

- (1) H-S.Ang, A.et al. Probability Concepts in Engineering Planning and Design. John Wiley and Sons, 1984
- (2) Haldar, A.et al. Probabilistic Evaluation of Liquefaction Potential. J.ASCE, GT2 1979
- (3) Swamy, M.N.S, et al. 图、网络与算法. 高等教育出版社, 1988

## A Preliminary Research on the Damage Prediction of the Buried Line

Wang Dongwei

(Zhengzhou Institute of Technology)

**Abstract:** Some issues, on the damage evaluation of the buried pipeline, are studied in this study. And it is put forward some principles and calculating methods relevantly by the author.

**Keywords:** underground pipeline, disaster predictions