

⑥

30-35

城市. 给水管. 道. 爆破. 防护.

第15卷第4期
Vol. 15 No. 4 1994青岛建筑工程学院学报
Journal of Qingdao Institute
of Architecture and Engineering城市输配水管道爆破机理
与防护技术分析

丁峰

姜性义

(环境工程系)

Tu PP1.36

摘 要 综合分析了引起城市输配水系统管道爆破的各种原因及其破坏机理,提出了相应的防护技术对策。

关键词 爆破,机理,防护技术

中图分类号 TU991.38

引 言

城市输配水系统管道经常因供水需要穿越各种沟壑、河谷、公路、铁路等,并要承受各种气象、自然条件及地面静、动荷载的影响,如果各种作用超过管道的变形极限,管道爆破将不可避免。爆破事故不仅损坏给水设备,中断供水,而且往往出现泄漏水淹没生产、生活区域,冲毁公路、铁路,中断交通等次生灾害。因而研究、分析管道爆破的机理,开发经济、有效的修复、防护技术,具有重大的经济、环境和社会效益。

1 管道爆破机理分析

造成管道爆破的内、外因素错综复杂,各种爆管的机理分别阐述如下。

1.1 管道水锤撞击破坏

由于事故停电及误操作而突然关闭、停泵产生的水锤振荡,是引起半数以上输配水管道爆破的主要内因^[1]。在管道长,高差大,地形复杂的地区,管内局部降压常至该温度水的饱和蒸气压之下,出现水体冷沸、空化;并在升压时空腔溃灭,水体瞬时弥合,这种断流弥合型水锤撞击,冲击压力可达工作压力的2~3倍,并且有时在管线

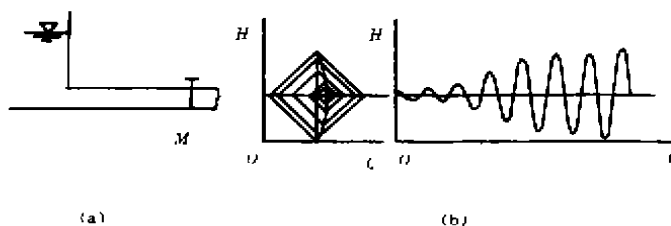


图1 输水管道系统中两处断面弥合型水锤压力过程线

收稿日期:1993-12-13

几处同时产生.图1为某实验取得的A,B两处同时发生断流弥合型.水锤的管道内压力过程线.从图1中可见,在管路首端A处:正常工作压力为0.21MPa,瞬变过程中暂态水锤压力最大为0.38MPa;管路拐点B的情况是,稳态压力为0.14MPa,而暂态冲击压力高达0.28MPa.并且分别出现多次(以后逐渐衰减),对管道A,B处及其附近管段造成极大的破坏作用.

配水管中各种水锤撞击除由输水管道的传波引起外,还会在给水调度及调阀不当时产生.为此,俄国的儒可夫斯基,列夫·莫斯科宁,美国的E·B·怀利,V·L·斯特里特^[2],J·帕马金,日本的秋元德三,我国的龙期泰,刘竹溪,金锥,栾鸿儒等都先后为探讨以上输配水管道爆破机理进行了大量观察、研究工作,从不同角度建立起了比较系统的水锤机理探讨方法.

1.2 管内积聚气体的压缩与膨胀

压力输配水管道中积聚气体的来源有:空管充水时排气阀失灵;管内出现负压时由管道漏缝处或由空气阀吸入,随水流向他处积存;高压水中溶气在低压时析出等.这些积气90%以上为空气,常常积留在管路凸处内顶层,若不及时排出管道,会在水力暂态过程中引起状态变化.研究表明:^[3]其状态变化方程为:

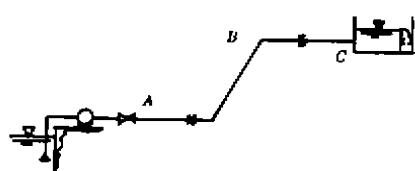
$$P \cdot V_p^{1.2} = mRT \quad (1)$$

式中: P ——某瞬态气体压力; V_p ——某瞬态气体体积; m ——气体质量数, $m = \frac{M}{\mu}$; R ——气体常数; T ——气体温度

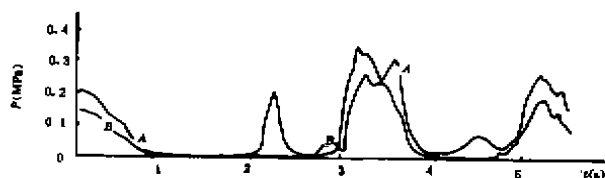
积聚气体在状态变化中不断的压缩时吸收能量,膨胀时释放能量,对气液边界,特别是管道壁面碰撞做功,形成“气锤”,并与水锤协同破坏管道.

1.3 流体与阀门结构物的相互作用

在输水管道水流瞬变过程中,阀门的水头——流量关系是阀门开启度固定时的流量特性,但在阀门设计存在问题或工作不正常时,阀门变形会从本质上改变阀门的流量特性,致使管中水流与阀门相互作用产生自激振动^[4].该现象在过去很长时间内,作为爆管的又一内因,人们对其机理一直缺少了解.



(a)实验系统简图



(b)实验压力过程线

图2 简单输水管—阀系统及其自激振荡的产生和发展

如图2(a)所示的简单输水系统,管道中阀门的流量特性为 $Q = f(H)$,取:基本参数: $AB = 120\text{m}$; $BC = 90\text{m}$;正常压力: $P_A = 0.21\text{MPa}$; $P_B = 0.14\text{MPa}$;稳态初速 $V = 2.3\text{m/s}$;关阀速度: $v \cdot c \cdot s = 1.2\text{s}$

$$\frac{dH}{dQ} = K_r \quad (2)$$

则在 M 点阀门压力及流量特性表述为

$$\sigma = \frac{C'}{2L} \ln \left| \frac{1 - g \cdot A' K_r / C'}{1 + g \cdot A' K_r / C'} \right| \quad (3)$$

$$\omega = 2m \cdot \frac{2\pi}{T'} + \frac{\varphi}{2} \cdot \frac{C'}{L} \quad (m \text{ 为整数}; \varphi = 0 \text{ 或 } \pi) \quad (4)$$

以上各式中: Q ——阀门流量; H ——阀门处压力; C' ——管道阀门常数; A' ——管道截面积; L ——管道长度; σ ——拉氏变换参数, $T' = \frac{4L}{C}$ 周期

由式(2),(3)和(4)可知:当 $K_r > 0$ 时,阀门的流量特性在工作点具有正斜率, $\sigma < 0$, 系统对微小扰动是稳定的,不会发生自激振动;当 $K_r < 0$ 时,阀门流量特性在工作点具有负斜率,这时 $\delta > 0$, 系统对微小扰动不稳定,一有轻微扰动就会发生自激振动. 图 2(b)表示自激振动的产生和发展过程.

对于管径不变的输水系统,自激振动引起的最大水压力为两倍静水头 ($2H_0$),而在变径输水管道系统中的最大振动压力超过 $2H_0$,这是因为在变径点处存在压力波的反射和透射,透射的压力波在水池端被反射,引起压力波在管中某些部位叠加所致. 同理,对于有分支管的配水管道,特别是有支管末端流量为零的情况,系统振动最大压力有时会超过 $3H_0$, 对配水管道产生更大的振动破坏.

1.4 管道(内,外)壁腐蚀

1.4.1 微生物腐蚀 城市输配水金属管道和装置长期与水、土壤等接触,会受到铁细菌、硫细菌、嫌气性硫酸盐还原菌以及各种藻类、硬、软体生物的侵蚀. 铁细菌腐蚀区通常是一些褪色点块,严重时会在管道内壁积成“突瘤”,据金相分析,这类腐蚀通常发生在金属的表层及次表层,并沿金属界面扩展,是一种金属微观结构的晶间腐蚀;而嫌气性硫酸盐还原菌会加剧其它类型(如还原的硫化氢与铁作用)的金属腐蚀.

1.4.2 化学腐蚀 这是金属直接和环境介质(如大气中 O_2 , SO_2 , CO_2 , H_2S , H_2O 以及各种酸、碱、盐雾)起化学反应而引起的腐蚀现象. 输配水管道中化学腐蚀总是与其他腐蚀过程交织在一起发生作用.

1.4.3 电化学腐蚀 输配水管道由于本身化学成份不同,晶格组织差异以及表面状况的不均匀性,常出现双金属电池腐蚀及浓差电池腐蚀. 此外,以各种方式泄漏于土壤、地下的杂散电流,有时高达数百安培,会形成大面积宏观电化学腐蚀. 并且温度越高,腐蚀速度越快.

在输配水管道中,以上各种腐蚀作用的结果表现为凹蚀,并在凹蚀面上出现沉积,沉积物(成份有铁的氢氧化物, FeS , Si , Ca , Mg , Na 的化合物以及铁细菌及硫酸盐还原菌)中各成份继续进行腐蚀作用,不仅会导致管道的口径减小以致阻塞,严重时会出现穿孔,越是年久的管道,其腐蚀危害越严重.

1.5 管道质量问题

目前我国用于输配水管道系统的管材绝大部分为铸铁管(约占 90% 以上),并且多为普通灰铁连续浇铸铸铁管,这种管在制造拉管脱模过程中管壁内外表面急剧水冷却凝固,无退火工序,导致表面粹硬而形成过冷石墨冷脆层,不耐冲击,震动(如水泥砂浆涂衬震跳)及施工土质扰动,抗弯、抗拉强度降低.

再者,国产连续铸铁管壁厚度(1964 年冶金部颁布 YB427-64)是根据日本 KUBOTA 铁工

株式会社铸铁管标准制订的,比其他各国的灰铸铁管均偏薄。如1982年颁布的GB3422-82国家标准,将壁厚分为LA、A及B级,也只相当于美国标准最低的1~4级。并且选管依据单一,不可能同时满足各种地质状况、埋深、内水压力、负载及施工等输配水条件。

此外,许多城市大跃进时代铺设的输配水管道,高硫高磷,质差性冷脆,多年使用后不耐冲击负荷,也是旧管道破裂的主要原因。

1.6 管道铺设技术、动、静荷载及其他影响因素

输配水管道以刚性连接,会使较长距离的管路(网)连成一体,在回填土不实、不均,受到侧向推力时,管道通常承口受拉,插口受压,结果往往导致管身折断($\varnothing \leq 300\text{mm}$),或插口豁裂($\varnothing > 300\text{mm}$)。

再者,管道埋设的深浅及载重动荷载碾压作用,也是爆管的重要原因。管道埋深和土荷载,地面车辆活荷载对管道的影响见图3,可以看出:管道埋深 $\leq 1.0\text{m}$ 时,车辆活荷载随埋深减小而迅速增大;埋深为 $1.0 \sim 1.2\text{m}$ 左右为合成荷载转折区; $1.2 \sim 1.5\text{m}$ 为压力最低区;而当埋深 $> 1.5\text{m}$ 时,管道承受的合成荷载又急剧上升。土压力过大经常出现在输水管道上面,配水支管接头处发生破裂现象。

另外,输配水管道埋设区周围因市政施工(如井点排水,打桩,开沟,推土,振动)导致管侧实土,基础流失;管道沉陷,位移,也会引起周围管道的破坏。

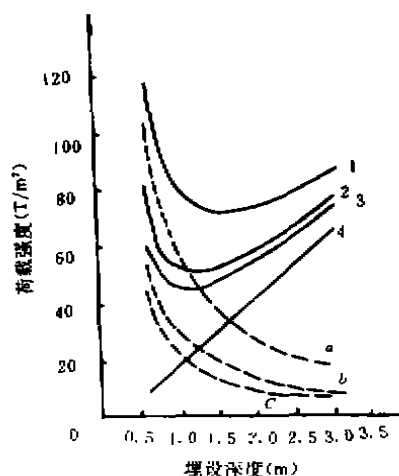


图3 管道外荷载曲线

图中:a——汽-20级重车双列时曲线;
b——汽-15级重车双列时曲线;
c——汽-10级重车双列时曲线;
1——汽-20级重车双列与填土 1.85T/m 的合成荷载线;
2——汽-15级重车双列与填土 1.85T/m 的合成荷载线;
3——汽-10级重车双列与填土 1.85T/m 的合成荷载线;
4——填土 1.85T/m 曲线

2 防护技术方法

由各种水锤引起的输配水管道破坏情况,可分两种类型分别设防,具体采用的措施见表

1.

表1 防护管道水锤破坏技术选择的方法

管 道 类 型 内 护 水 锤 类 别	输 水 管	配 水 管
防止 水锤升压过高	水锤消除器 旁通管路 缓闭止回阀 ^①	安全阀 ^② (快开缓闭式)
防止 水锤降压过低	旁通管路 单向调压水箱 空气阀 ^③	空气阀 ^③

注:①缓闭止回阀分两阶段关闭,第一阶段历时2~4s,关闭65%,第二阶段15~20s,关闭余下的35%;

② 由设计控制压力调节开阀程序;

③ 空气阀口径取管道直径的20%~30%。

在压力输配水管道积聚气体的地点设置单向空气阀是消除管道气爆的最捷方法,单向空气阀口径可取管道直径的25%~35%。

管道的防腐蚀技术在工程实际中以涂料防腐蚀技术应用最为广泛,管道外防腐的传统涂料为石油沥青,它的绝缘电阻的时间依存性差,在严酷腐蚀环境内(强盐碱区,潮湿区)防腐蚀效果不好,采用玻璃布增强的厚膜型环氧煤焦油沥青作为管道长效外防腐蚀涂层,具有电绝缘性好,坚韧性好,耐蚀,耐磨,耐水,硬度大,抗冲击等优点,是一种宜于广泛推广应用的新涂料,管道内防腐多以水泥砂浆衬里的方法,该工艺简单,造价低,性质稳定,不污染水体。

改进城市输配水管道(主要为铸铁管)性能的主要途径为:采用球墨铸铁管材;以离心浇注工艺代替传统的连续浇注法;增加壁厚以提高管道的内外质量。

为防管道施工和其它动、静荷载的破坏,应严格管道设计和施工技术,宜采用滑入式柔性接口取代刚性连接,对已埋入地下而质量欠佳的水管要严格管理和养护,及时检查、发现和处理其爆管隐患。

3 结 论

(1)引起城市输配水管道爆破的内、外因素繁多,必须具体问题具体分析。

(2)管道爆破防护措施应由单一防护向综合防护技术发展。

(3)输配水管道破坏经常是几种原因同时作用的结果,这种多因素协同作用机理及其防护技术有待于进一步研究探讨。

参 考 文 献

- 1 刘竹溪,刘光临.泵站水锤及其防护.北京:水利电力出版社,1989.98
- 2 Wylie E B,Streeter V L. Fluid Transients. Washington USA: McGRAW HILL Inc, 1978. 210~260
- 3 丁峰,金锥.用注气法消减两处断流弥合水锤问题的研究.太原工业大学学报,1992,(1):58~63

- 4 张绍春.管道中流体与阀门结构物相互作用产生的振动.见:中国科学院水利电力部水利水电科学研究院主编.水科学青年学术论文集:第 2 集.北京:水利电力出版社,1990.20~26

An Analysis of Mechanism and Protection of Demolition in City Water—supply Pipeline

Ding Feng

Lou Xingyi

(Department of Environmental Engineering,QIAE)

Abstract The paper gives a systematic analysis of various factors and their mechanisms of demolition caused in city water—supply system. It puts forward protective technology countmoves.

Key Words demolition, mechanism, protective technology.

作者简介 丁峰,男,28岁,讲师