

Chengya Shebei Anquan Jianyan Yu Shigu Fenxi Jishu

承压设备安全检验 与事故分析技术

沈功田 吴 荣 王宝轩 主编
林树青 主审



 中国质检出版社
中国标准出版社

承压设备安全检验与事故分析技术

沈功田 吴 茉 王宝轩 主编
林树青 主审

中国质检出版社
中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

承压设备安全检验与事故分析技术/沈功田等主编.
—北京:中国标准出版社,2017.1
ISBN 978-7-5066-8485-9

I. ①承… II. ①沈… III. ①压力容器安全-检验②压力容器-事故分析 IV. ①TH49②X928.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 275397 号

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 889×1194 1/16 印张 22.75 字数 521 千字
2017 年 1 月第一版 2017 年 1 月第一次印刷

*

定价 128.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

序

特种设备是指对人身和财产安全有较大危险的锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机械、游乐设施、客运索道、场(厂)内机动车辆等设备设施,是国民经济和人民生活的重要基础设施。其中,锅炉、压力容器(含气瓶)、压力管道属于承压类特种设备。

特种设备安全是国家公共安全的重要组成部分。尤其是承压设备,有的在高温、高压、强腐蚀环境下工作,有的盛装或者输送易燃、易爆、有毒介质,一旦发生爆炸或者泄漏事故,往往会导致爆炸、中毒并发生火灾等灾难性事故,导致人员伤亡、财产损失、环境污染等恶性后果,造成无法挽回的巨大损失。因此,承压设备运行和使用直接关系到人民群众的生命、健康和财产安全,在国家安全生产和公共安全中占有重要位置。

为促进承压设备检验检测人员经验交流,提升承压设备检验检测水平,2015年11月25日~27日,特种设备科技协作平台在广西省北海市举办了2015承压类特种设备检验检测技术研讨会。本次研讨会是平台首次举办的案例研讨会,通过交流研讨来自一线检验人员的检验案例和事故案例,总结和分析实际检验实践中出现的问题,对提升承压设备检验检测水平有积极的促进作用。

本次研讨会共有来自全国50多个特种设备检验检测机构的100多名承压设备一线检验人员参加,研讨会分压力容器、锅炉和管道及综合3个分会场进行,同时开展了优秀论文评选活动。对参与评选的近40篇论文进行了交流并最终评出一等奖2篇,二等奖4篇,三等奖7篇。会议共收到论文短摘要108篇,会议现场实际收到论文全文65篇。经同行专家评审、编审人员审核、出版社校核和作者修改,共收录论文58篇。

本次研讨会的成功召开和本书的顺利出版得到了国家质检总局科技司、特种设备安全监察局和特种设备科技协作平台领导的大力支持,论文评审专家付出了很多辛勤工作,在此,一并表示衷心的感谢。同时,感谢参与会务和论文编

辑工作的柯卫杰研究生以及沈永娜和刘渊博士。最后,对中国质检出版社的领导 and 编辑表示感谢,他们严谨的工作态度保证了本书的顺利出版。

为鼓励更多承压设备相关检验检测技术人员积极参与学术交流,本书收录的论文水平高低不一。由于在论文征集、评审和编辑出版过程中时间较紧迫,书中的疏漏或不妥之处在所难免,敬请专家和广大读者批评指正。

编 者

2016 年 11 月于北京

目 录

检 验 案 例

管 道

12Cr1MoV 钢高温过热器检验案例分析	付坤 王丽娜 王长才 薛峰 宋金华 周书昌(3)
地震灾害对天然气管道的危害和影响	付建川 王涛全 张平(7)
火炬回收气管线弯头失效分析	夏艳光 刘伟平(14)
某高酸气田天然气汇管检验案例分析	王洁璐 杨博 黄奕昶(21)
某化工厂不锈钢管式换热器换热管失效原因分析	王瑜 夏锋社(28)

锅 炉

超超临界锅炉螺旋管圈水冷壁鳍片焊缝检测技术研究	严祯荣 侯怀书(35)
超临界循环流化床锅炉应用现状及定期检验案例	刘光奎 梁奎(42)
一台管架式燃煤有机热载体锅炉检验案例分析	戴恩贤 舒龙军(49)
基于 ANSYS workbench 的 WNS 型蒸汽锅炉烟管管端开裂分析	余昶 柳长富(54)
基于在线监测系统对某工业锅炉的大数据分析研究	赵博 徐鹤 刘昭岩(61)
实施工业锅炉在线监测掌握锅炉安全经济运行	孙彬彬(67)
WGZ65/39-12 型煤粉炉检验案例分析	梁亚飞 王启钧(73)

容 器

烷基化装置烷油冷却器筒体氢鼓包原因分析	郑连学(80)
“低温低应力工况”压力容器的有关问题探讨	吴开斌(83)
07MnNiCrMoVDR 球罐定期检验硬度异常偏低检验案例分析	贺小刚(88)
2 000 m ³ 丙烯球罐检验案例	王锋淮 徐峰 蔡鹏武 蔡刚毅 叶凌伟 吕文超(97)
3 000 m ³ 丙烯球罐内、外表面裂纹检验案例分析	赵盈国 邵冬冬 尹建斌(109)
BFe10-1-1、BFe30-1-1 与异种金属焊接工艺及裂纹分析	曹志明(117)
LPG 球罐焊接裂纹分析	谭伟 田丽芳 闫琪 艾婵(124)
变压吸附(PSA)装置吸附塔泄漏原因分析	范楠子 郝伟(132)
不锈钢液态氯化氢储罐封头开裂失效分析	宋雪 张冰 宋明大 李彦桦(136)
承压设备典型缺陷的低频电磁检测技术研究	陆新元 李光海(143)
在役尿素合成塔检验案例分析	杜卫东 邹石磊 王春茂 王海龙 姚东峰 孟祥海 于茜(155)
对一套加氢裂化装置压力容器湿硫化氢损伤检验的几点总结	邹斌 王杜(160)



多层包扎尿素合成塔外层板开裂检验案例分析	王春茂 邹石磊 韩明 王淑杰(168)
钢制闸阀关闭件强度试验案例分析	符明海(174)
国储大型油罐群优先首检方案及典型案例分析 ...	徐彦廷 许皆乐 王翔 郑建勇 赖中腾(179)
精制四氯化硅贮槽检验案例分析	陈小宁 赵荣(186)
炼油设备复合板复层焊缝开裂成因	陈明(188)
实验室气体钢瓶安全使用与管理	李勇(191)
某硫化罐失效原因及有限元分析	刘延雷 汪宏 李伟忠 杨象岳 陈涛 余兵(194)
非重复充装钢瓶安全附件设计选型分析	袁奕雯 严雅君(200)
酸性水汽提装置富氨气系统鼓包原因分析及对策 ...	朱君君 傅如闻 李绪丰 胡华胜(204)
天津市 2014 年压力容器定期检验状况综述	司永宏 段瑞 苏哲 刘子方(210)
天然气球罐检验案例分析	刘祚平(215)
三甘醇吸收塔塔盘支撑圈角焊缝开裂原因分析	支泽林 梁鑫亮 乌永祥(219)
氧化锌脱硫反应器返修监检案例	杨博 黄奕昶 钱耀洲(224)
液化气球罐内表面鼓包原因分析	李刚(228)
液化石油气钢瓶热处理技术分析 ...	徐维普 李昱 符明海 袁骥千 袁奕雯 李前 罗晓明(232)
液化石油气球罐检验案例分析	吕锋杰 夏会芳(235)
液化天然气汽车箱式橇装加注装置符合性检查案例分析	刘晗 陈克(242)
一起脉动真空灭菌器内腔开裂案例分析	李卫星 刘子方 司永宏(249)
在役加氢反应器不锈钢堆焊层铁素体含量检测 结果分析	傅如闻 胡华胜 朱君君 王磊 郑俊辉 李绪丰(253)

事故案例

8·7 上海液化气钢瓶泄漏事故案例分析	李前(259)
29 MW 水管蒸汽锅炉频繁爆管原因分析及改进建议	王勇 马天榜 申麦茹 刘洋(263)
8 000 L 硅酸钠反应釜爆炸事故案例分析	叶宇峰 夏立(272)
环己烷氧化管道爆燃事故原因技术分析	童良怀 周文 余志勇 陈仙凤(278)
换热器换热管氯离子应力腐蚀开裂事故案例分析	丁顺利(283)
立式燃煤蒸汽锅炉事故分析及预防措施	栾泉(291)
某热水锅炉结垢堵管事故的原因分析及处理对策	郭浩 赵博(295)
某液化石油气瓶组爆炸事故案例分析	王绍敏(300)
卧式锅壳蒸汽锅炉事故案例分析	王涛全 蒲昭勇(304)
满载 LPG 罐车隧道内侧翻事故的现场处置	黄天 郭凯 黄更平(316)
低温液氧储罐泄漏事故分析	信世超(323)
氧化铝溶出管事故案例分析	袁涛 李彦桦(336)
一例在役钢瓶氢致延滞断裂脆性爆炸事故案例分析	孙振国 陆建华 费宏伟(340)
一起硫酸余热锅炉过热器爆管事故分析	张文斌 鲍颖群 晏荣华(347)
一起蒸汽管道爆炸事故原因分析	刘应平 陈忠(352)

检 验 案 例

管道

12Cr1MoV 钢高温过热器检验案例分析

付坤,王丽娜,王长才,薛峰,宋金华,周书昌

河北省锅炉压力容器监督检验院,石家庄 050061

摘 要:本文对电站锅炉 12Cr1MoV 钢高温过热器进行检验,通过现场外观检验发现在高温过热器迎火侧存在鼓包,将钢管截取,进行化学成分检测、微观组织分析、氧化皮厚度测量、硬度及拉伸性能测试,结果显示,合金元素含量符合标准要求,珠光体球化严重,有轻微氧化,布氏硬度小于 179 HB,抗拉强度低于 GB 5310 要求。因此,管子损伤严重,不能满足使用要求,对高温过热器管子进行了更换处理。

关键词:高温过热器;珠光体球化;微观组织;力学性能

1 高温过热器基本情况

该台设备为某电站厂由 12Cr1MoV 耐热钢管制造的高温过热器,高温过热器管的运行时间是 150 000 h,原始组织是铁素体+珠光体,管的尺寸是 $\phi 51\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ 。管内压为 3.82 MPa,运行温度为 450 $^{\circ}\text{C}$ 。上次定期检验中存在的主要问题是 12Cr1MoV 珠光体耐热钢的球化问题,球化等级为 3 级,力学性能有所下降,但仍能满足标准及使用要求。

2 高温过热器检验方案及发现的问题

对高温过热器进行外观检验。首先,通过外观检验,发现在少量过热器管的迎火侧局部位出现了鼓包现象,如图 1 所示。鼓包出现的原因比较复杂,主要取决于运行工况、材料的老化状态、氧化层的厚度及材料力学性能等。为了准确获得产生原因,进而制定应对措施,截取出现鼓包的钢管进行深入分析,检验项目包括化学成分分析、微观组织分析、氧化皮厚度测量、布氏硬度检测及拉伸性能测试。

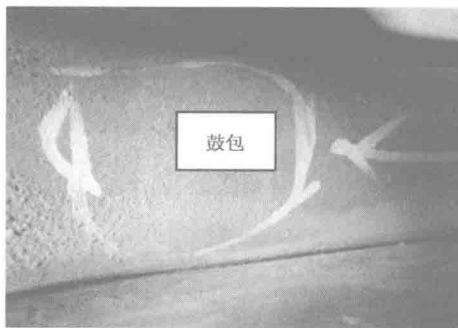


图 1 12Cr1MoV 过热器钢管

3 检验发现问题的成因分析

3.1 化学成分分析

为了验证管材的材质为 12Cr1MoV,采用元素分析设备对所取样的管材进行了成分测试,测试 3 次取平均值,结果如表 1 所示。可以看出,所取试样管的合金元素含量满足

GB 5310—2008 中 12Cr1MoV 的要求^[1]。

表 1 12Cr1MoV 钢管的化学成分

样品编号及标准	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1#	0.121	0.264	0.557	1.03	0.302	0.212
2#	0.134	0.258	0.615	1.12	0.296	0.231
3#	0.128	0.271	0.586	1.07	0.287	0.227
GB 5310	0.08~0.15	0.17~0.37	0.40~0.70	0.90~1.20	0.25~0.35	0.15~0.30

3.2 微观组织分析

将截取的钢管制备成金相试样,用 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀,采用显微镜观察试样的显微组织,如图 2 所示,分别为 12Cr1MoV 钢管的迎火侧和背火侧的显微组织,除了在背火侧局部区域存在极少量的珠光体,聚集形态的珠光体区域形态已基本消失,碳化物明显分散,组织出现了严重球化状态,在晶内分布着少量细小的粒状碳化物,大部分碳化物粒子扩散到晶界,形成链状分布,降低晶界的强度,对力学性能有严重影响。根据电力行业标准 DL/T 884—2004,评定材料已发生严重球化,球化级别为 5 级^[2]。

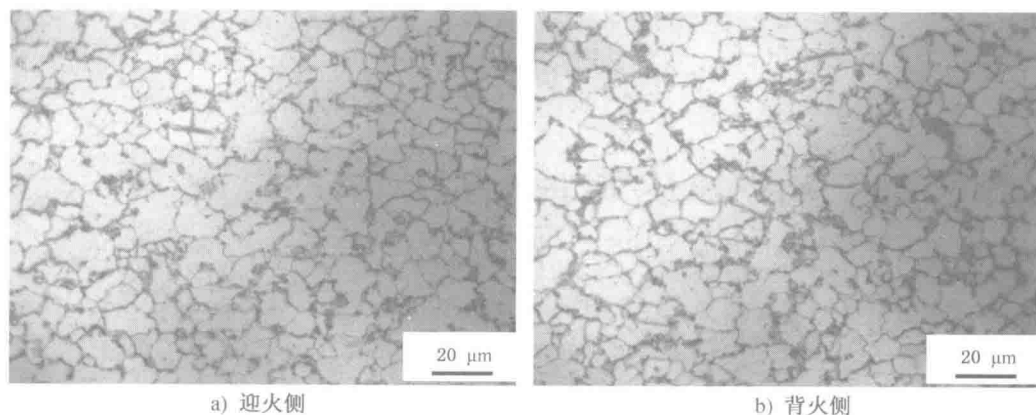
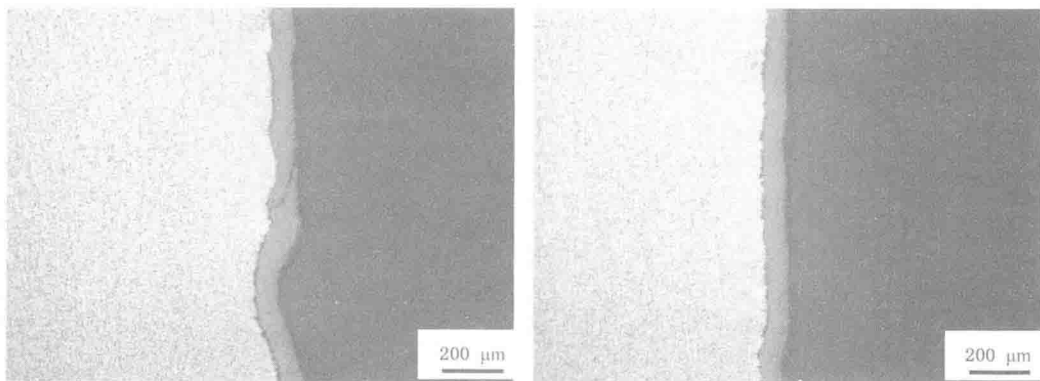


图 2 12Cr1MoV 钢管的显微组织

3.3 氧化皮厚度测量

氧化层的存在,一方面减薄了管的有效壁厚,使管的承载能力下降,另一方面,由于氧化物的传热能力比金属差,氧化层会引起管壁温度升高,从而导致管的强度下降。对 12Cr1MoV 过热器管的氧化皮厚度(如图 3 所示)在显微镜下进行测量,迎火侧氧化皮平均厚度为 95 μm ,背火侧氧化皮平均厚度为 89 μm ,存在一定程度的氧化,仍符合 DL/T 438—2009^[3] 的要求。



a) 迎火侧

b) 背火侧

图 3 12Cr1MoV 钢管的氧化皮厚度

3.4 硬度测试

采用布氏硬度计测试迎火侧和背火侧的硬度, 每侧选取 5 个不同的位置, 测试结果见表 2, 可以看出, 迎火侧平均硬度值为 149 HB, 背火侧平均硬度值为 154 HB, 符合 DL/T 438—2009 使用要求。

表 2 12Cr1MoV 布氏硬度

取样位置及标准	布氏硬度值/HB					
	1	2	3	4	5	平均值
迎火侧	148	151	148	147	151	149
背火侧	154	152	153	156	155	154
DL/T 438—2009	≤179					

3.5 拉伸性能测试

根据 GB/T 228.1—2010 制备钢管拉伸试样, 采用 MTS 万能材料试验机测定屈服强度、抗拉强度和伸长率等力学性能指标, 加载速率为 2 mm/min。表 3 为 12Cr1MoV 拉伸性能测试结果, 图 4 为拉伸试验曲线。可以看出, 背火侧屈服强度和抗拉强度比迎火侧稍大, 背火侧延伸率小于迎火侧延伸率, 然而两者抗拉强度都低于 GB 5310—2008 的标准, 不能满足使用要求, 说明材料由于组织老化, 性能下降^[1]。

表 3 12Cr1MoV 拉伸力学性能

取样位置及标准	屈服强度 R_{p} /MPa	抗拉强度 R_{m} /MPa	延伸率 A /%
迎火侧	307	446	28
背火侧	339	450	27
GB 5310—2008	≥255	470~640	≥21

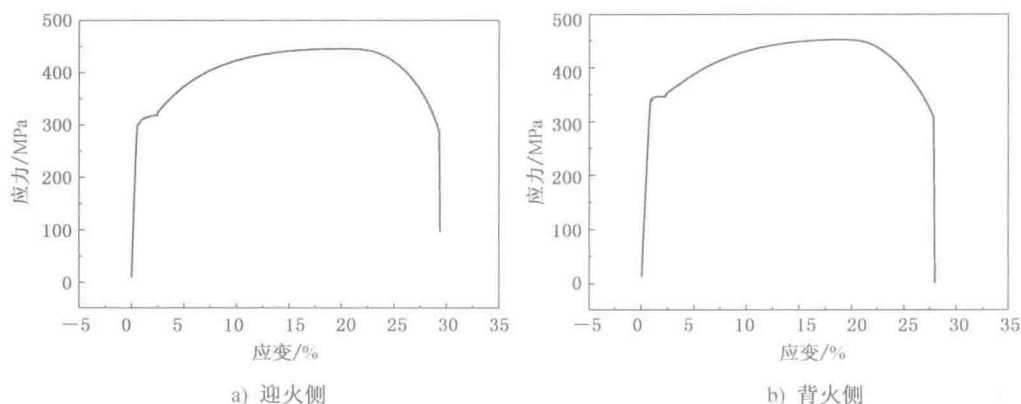


图4 12Cr1MoV钢管的拉伸曲线

4 检验发现问题的处理

12Cr1MoV 高温过热器在经过长期高温运行后出现:

- (1) 12Cr1MoV 耐热钢的聚集形态的珠光体区域形态已基本消失,碳化物分布在晶界形成链状,组织发生严重球化。
- (2) 12Cr1MoV 耐热钢的迎火侧氧化皮厚度大于背火侧氧化皮厚度,氧化程度较轻。
- (3) 12Cr1MoV 耐热钢迎火侧屈服强度和抗拉强度低于背火侧,延伸率高于背火侧,但是两者抗拉强度均小于 GB 5310—2008 规定的要求。

5 结论

由于高温过热器管子出现了鼓包,经过检测,球化等级为 5 级,抗拉强度低于标准要求,存在一定程度的氧化,说明管子损伤比较严重,因此对高温过热器管子进行了更换处理。

参考文献

- [1] GB 5310—2008 高压锅炉用无缝钢管.
- [2] DL/T 884—2004 火电厂金相检验与评定技术导则.
- [3] DL/T 438—2009 火力发电厂金属技术监督规程.
- [4] GB/T 228.1—2010 金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法.

地震灾害对天然气管道的危害和影响

付建川,王涛全,张平

四川省绵阳市特种设备监督检验所,绵阳 621000

摘要:5.12汶川大地震对处于断裂带的江平天然气管道造成了严重的损害,主要地震危害形式有山体滑坡、塌方、山洪和泥石流冲刷等。对天然气管线造成的影响有断裂、深埋、大移位、大悬空、保护装置、护坡损坏等。绵阳特检所按相关设计、检验标准的要求对受损天然气管道进行了专项检验,对各个危害点进行了逐一排查,并提出整改建议。

关键词:压力管道;地震灾害;定期检验;问题分析

1 基本情况

管道基本情况:管道起点为江油市,终点为平武县,全线水平长度 122.8 km,中途有 8 个分支配气站。管道型号规格为 $\phi 108 \text{ mm} \times 5.0 \text{ mm}$,设计压力为 1.6 MPa,设计温度为常温,材质为 20 钢(GB/T 8163—2008),输送介质为天然气。由四川石油输气设计院设计,西南石油局油建公司施工建设,1999 年 7 月开工,2000 年 4 月 30 日竣工。管道主要沿公路两旁埋地铺设,过丛林地段是地面铺设。有穿越大公路 5 处,37.2 m,穿越机耕道 62 处,310 m,穿跨越河流 3 处,280 m,桥梁 4 处,以及多处水沟、水渠、农田、坡地、山峰、丛林、涵洞等,管道铺设地带处于龙门山地震带上,地质状态活跃。

2 使用过程中经常出现的处置

- (1) 由于处于地质活跃地带,经常出现塌方、泥石流等地质灾害损坏管道。
- (2) 公路两旁的建筑开挖损坏管道。
- (3) 交通事故对管道的损坏。

3 地震对管道造成的危害类型及原因分析

3.1 地震对管道造成的危害类型

5.12 汶川大地震,该天然气管道正好处于地震的断裂带上,对管线在地震中受到的危害进行归类总结主要有以下几种:

- (1) 类型 1:沿途遭受山体滑坡产生的大量砂石滑到山下,对管道产生大的推力,使管道断裂,如图 1 所示。



图 1 类型 1

(2) 类型 2:大量塌方下来的石块、泥土和砂石把原有的管道深埋地下,如图 2 所示。



图 2 类型 2

◇ (3) 类型 3: 管道随着山体整体滑坡偏离原来铺设路线, 产生较大移位; 最大的偏离 100 多米, 如图 3 所示。



图 3 类型 3

(4) 类型 4: 塌方造成管道长距离悬空(最长的 180 多米), 塌方造成管墩损坏、垮塌、掩埋, 如图 4 所示。



图 4 类型 4



(5) 类型 5: 塌方造成山体移位, 引起管道上方山体重压, 如图 5 所示。



图 5 类型 5

(6) 类型 6: 地震后暴雨引发山洪和泥石流灾害, 造成二次地质灾害, 如图 6 所示。

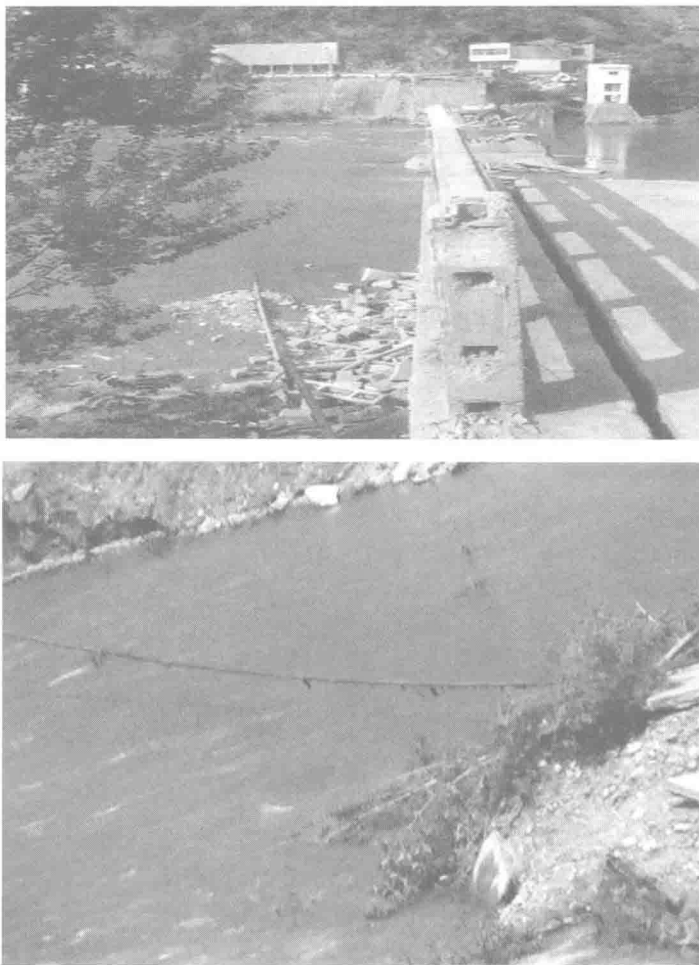


图 6 类型 6