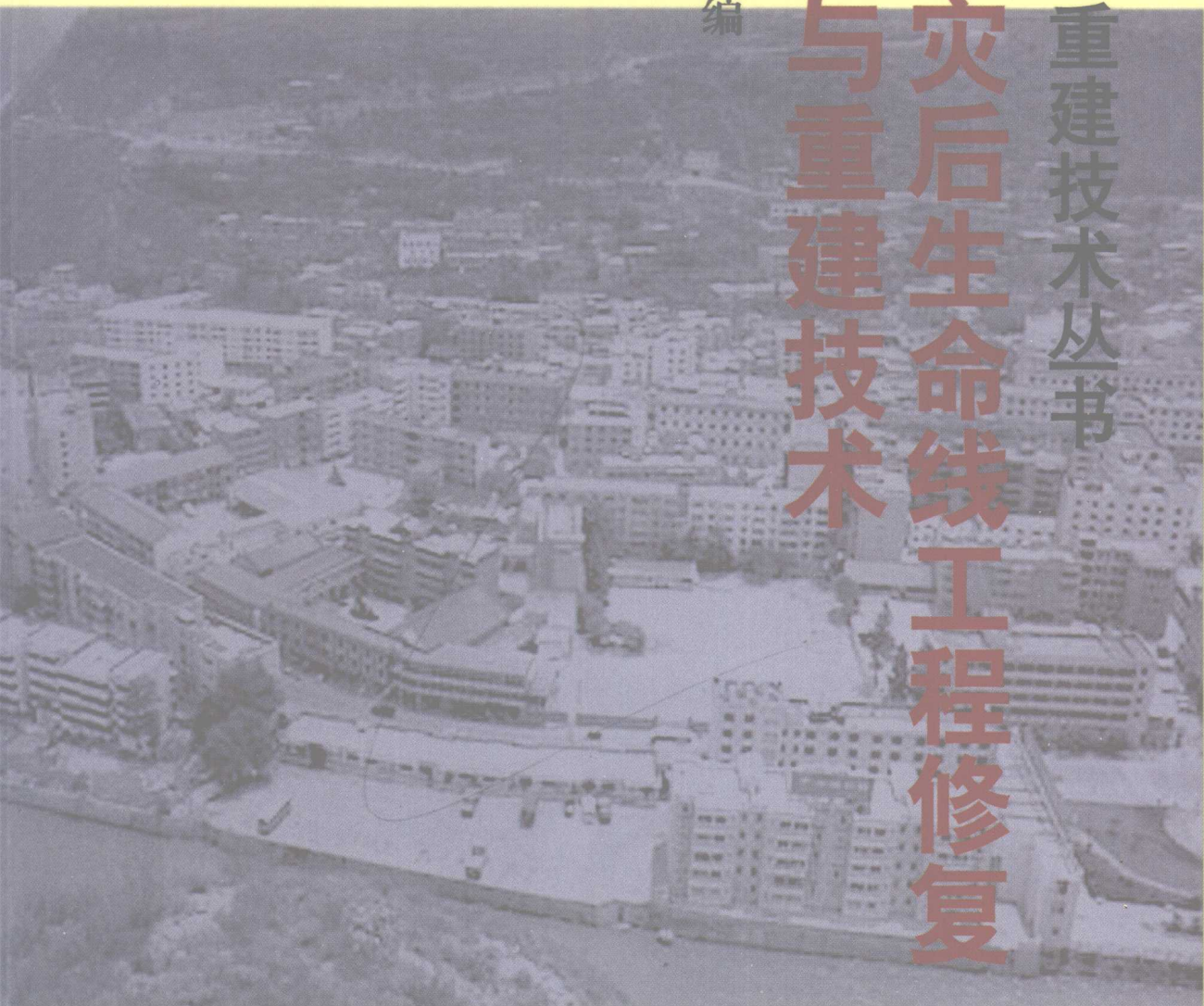


地震后重建技术丛书

地震灾后生命线工程修复
加固与重建技术

仇保兴 主编



中国建筑工业出版社

TU984.11-62/1

2008

地震后重建技术丛书

地震灾后生命线工程修复加固 与重建技术

仇保兴 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

地震灾后生命线工程修复加固与重建技术 / 仇保兴主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

(地震后重建技术丛书)

ISBN 978-7-112-10288-4

I. 地… II. 仇… III. ①生命线系统工程: 地震工程-修复加固-技术
②生命线系统工程: 地震工程-重建-技术 IV. TU984.11-62 P315.9-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 125578 号

责任编辑: 姚荣华 刘江 田启铭 蔡华民 石枫华 俞辉群

责任设计: 赵明霞

责任校对: 陈晶晶 王爽

地震后重建技术丛书

地震灾后生命线工程修复加固与重建技术

仇保兴 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 $\frac{1}{4}$ 字数: 306 千字

2008 年 8 月第一版 2009 年 3 月第二次印刷

定价: 29.00 元

ISBN 978-7-112-10288-4

(17091)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《地震灾后生命线工程修复加固与重建技术》

编委会

主 编：仇保兴

编委会成员：

武 涌 熊易华 刘桂生 包琦玮 张 益 徐文龙
李 杰 陈 新

编写组成员：

中国市政工程西南设计研究院：	罗万申	徐 容	赵远清
	周继辉	薛书达	万玉成
	邬耐之	郭天木	丁顺琼
北京市市政工程设计研究总院：	顾启英	倪 伟	刘庆仁
	张慧敏	张 恺	
同济大学：	谢 强	刘 威	
重庆大学：	蒋 阳	柴宏祥	胡致远
中国移动通信集团公司：	孔少楠	李 静	
城市建设研究院：	徐海云	翟力新	杨宏毅
	王丽莉		
上海市环境工程设计科学研究院：	王 雷	冯 蒂	张雪梅
中国城市规划设计研究院：	贾建中	刘冬梅	唐进群
哈尔滨工业大学：	汤爱平	李 惠	

灾后城乡重建规划的问题、方针和策略

(代序)

住房和城乡建设部 仇保兴

当前是灾后城乡重建规划编制的重要时刻，编制怎样的规划，不仅对灾区域镇和乡村的重建起到决定性的作用，也对川西以及甘肃、陕西相关地区将来的可持续发展具有决定性作用。从目前的情况来看，灾后重建规划工作是非常顺利的，表现在五个方面：一是进度快。外国人看了都很惊讶。二是热情高。部队官兵、对口支援省份以及当地的领导干部和群众的工作热情都非常高。三是保障充足。党中央、国务院决定要举全国之力，除了中央财政大力支持，社会各界纷纷捐款之外，还以每个省市对口支援一个灾区县的重建工作。我们可以这样认为，我国历史上所有的大灾发生之后，没有一次是如此有系统地组织全国对灾区进行支援，国内如此，国际上许多非政府组织和政府机构也都伸出了援助之手。四是力量强。领导的力量、规划界的力量都集中到了灾区，优秀的规划师、建筑师、技术人员，都纷纷来到灾区，奉献他们的聪明才智。五是规划先行，强调了要精心编制灾区重建总体规划和各类专项规划，体现了重建工作的科学理性。可以说，灾后重建规划编制工作的开局非常好。但是，除了要充分肯定成绩之外，要摆一摆少数干部和规划师思想上存在的偏差，进一步明确城乡规划编制的一些原则，更进一步阐明今后的重建策略。概言之，就是问题、方针、策略三个方面。

一、问题

与党中央国务院的要求相比，与国内外人民群众的期望相比，与灾区人民群众的愿望相比，灾后城乡重建规划工作还存在这样那样的问题，尤其是灾区的少数基层干部和规划工作人员，由于知识缺乏、经验不足，理性不足，认识上还存在一些偏差：

1. 过分强调通过制定和实施规划实现一步到位的“高标准”或希望借重建之机“一步脱贫”，忽视了当地资源、产业、环境、生态的承载力、发展的可持续性和重建目标落实的阶段性与渐进性。一些城镇重建规划的第一稿中，几乎都提出灾后重建要与推进城镇化、工业化和社会主义新农村建设相结合。这些都没有错，但是不能本末倒置。城镇化、工业化和新农村建设是一个长期的渐进的过程，不能期望靠灾后重建规划作为主导力量在短时间内实现。近远期规划和发展目标不能混淆，灾区三年重建总体规划就是为可持续发展和长远发展、新农村建设奠定基础，而不是其本身。

2. 过分依赖上级政府财政支持和对口援助，忽视农民自力更生重建家园、自主创业的积极性和主动性。尤其是在现代传媒日益发达的今天，更要防止某些片面的舆论宣传过分“吊高”灾区基层干部群众对灾后援助建设的心理预期和依赖思想。通过城乡重建规划的编制与公示也将起到强调自力更生、艰苦奋斗，用自己的双手重建家园的激励作用。此

外，通过创新创业、重建家园先进事迹的宣传来激发士气，切实防止将灾后重建变成规模巨大的“输血工程”。

3. 过分注重短期内重建形象和易于管理，过分强调农民住宅和村庄的异地集中安置，忽视了农业、农村的产业特点。有些基层干部，平时就喜欢把村庄合并在一起，按照城市的模式来进行新农村的建设，这是非常忌讳的事情。特别是在山区，合并村庄和乡镇会带来农民生产和生活上的不便利。事实证明，在农村，生产空间、生态空间和生活空间是难以分离的，农民居住点附近就是耕作的土地，而其周边是生态用地，三者相互是不能分离的。历史上形成的农村居民点分布往往对农业生产而言也是最有效率的。此外，村庄、乡、镇、县城这四个层次是相互依托、相互服务、相互支撑的。乡村的大合并、大搬迁、大疏散，都不利于灾后的乡村重建和持续发展。县城和建制镇的主要功能是为周边村庄和农户发展农业生产服务的，盲目移址重建会因农民办事不方便而损害这种服务功能。山区乡政府所在地的分布也具有同样的功能，应尊重历史，尊重自然地形环境，方便服务“三农”。除了少数山区村庄因为存在严重次生灾害威胁需要搬迁安置之外，对山区群众普遍实施下山集中过渡安置是不现实的。

4. 过分强调由政府按照统一标准和规格，统一建设农村“抗震房”、“抗震村”，忽视地方文化传统和特色。事实上，经过少数民族世代持续的努力，有着“神禹故里”、“千年美城”美誉的北川县城，以及被誉为“川西钥匙”、“西羌门户”和“成都后花园”的汶川，旅游业在灾前已成为增长最快的绿色产业，在短短三五年时间内，当地数千农户依靠“农家乐”而迅速致富，形成了当地独特的风土人情、地形地貌相互协调的建筑风格，走出了一条快速致富的可持续发展的路子。如果灾后重建盲目求新、求现代化、求一律化的农房设计，村庄集中，风格更新，不仅会毁坏旅游业发展的资源，也会浪费山区宝贵的耕地，消耗大量的建筑材料，也扼杀了人民群众用双手建设家园的积极性。尤其是在少数民族地区，如果错误的灾后重建规划使得羌族和其他少数民族特色的建筑风格遭到破坏，那对当地民族文化和今后的可持续发展来说都将是一场灾难。

5. 过分强调等待地质和地震部门拿出精准的地质基础资料和地震设防区划图纸后再编制规划。既然精确的地震预报目前尚不可能，精确的地震区划几乎也是难以企及的。城乡规划编制人员应主动会同工程地质勘察和建筑抗震专家进行现场分析评估和钻探，划分出建筑的地质环境适宜区、基本适宜区、适宜性较差区及不适宜区，并积极利用前三类区，主动避让第四类区，从而科学确定规划区内的房屋建筑、市政工程、公用事业、教育卫生及其他公共设施的平面布置。

环境承载力的判断，要基于历史的现实，要让理论来逼近实践，而不能让原有的实践来服从于人为的推论。川西地区有些村镇有几百上千年的历史，当地民众以自己独特的文化与这块土地相处了上千年，如果有人现在突然说生态承载力有问题了。人们不禁会问：到底是引用的理论模型有问题，还是当地民众千百年的实践有问题？所以，我们要有理性的思考和清醒的态度。对于村镇是原址还是移址重建，应当依据两个标准，即 2001 年编

制的建筑抗震设计规范(GB 50011—2001)和 2007 年编制的城市抗震防灾规划标准(GB 50413—2007)。从对灾区建筑现状的调查可以得出:尽管经历了前所未有的大地震,尽管原来当地的地震设防标准较低,但凡是严格按照 2001 年版建筑抗震设计规范建设的建筑基本完好,至少是没有倒塌。

6. 过分强调对震损建筑推倒重来,希望全部以新建筑来取而代之,忽视受灾城镇既有可用建筑和可修复建筑的巨大潜力。有少数基层领导认为,反正有发达省份对口支援,干脆把震毁建筑全部拆除,建设全新的、现代化的城镇和农村。但据中国建筑科学研究院专家对灾区城镇检测评估的 800 万 m^2 建筑中,轻微损坏的约占 50%,中等损坏可修复的占 40%,严重损坏的仅占 10%。由此可见,如推行“一推重建”的办法,会造成巨大的浪费。

7. 过分强调政府包揽灾后重建工作,忽视市场机制配置资源和企业法人单位参与重建的巨大潜力。本次重建工作与 30 年前唐山地震重建的一个巨大区别在于,改革开放后的今天,已经建立了市场经济体制,绝大多数灾区人民都已拥有私人房产,绝大多数农民都有了自己 30 年不变的宅基地和责任田。而且市民群众一旦购买了具有 70 年土地使用权的房产,等于与政府签署了为期 70 年的公共服务合同(地方政府收取的土地出让金大部分用于城市公用设施建设)。尊重这些财产权利,保护产权人的利益,不仅能充分调动财产拥有者积极投身重建工作的积极性和创造性,而且还能迅速恢复灾区社会诚信和政府的公信力,让市场机制配置资源的作用得以发挥。尊重与保护个人财产,不以“不可抗力”来随意剥夺民众的财产权,不仅是一种社会良知,更是号召全体民众自力更生,以自己的双手重建家园的基础性工作。只有当尊重灾区人民的财产所有权,促使他们成为成熟的灾后重建主人时,重建工作才能高效率地开展,重建规划才能有效落实,才能在重建过程中避免巨大浪费。从这一意义上看,那种无视公民财产权,希望借助政府的大投入,以“公有制、大锅饭”的形式来重建家园的动机,有可能会酿成“人为的灾害”和巨大的腐败浪费。

二、方针

1. 尊重自然。这是科学发展观的体现。要求灾区城乡重建规划和建筑设计对自然环境做到“低冲击、低索取、强适应”。所谓低冲击,就是要求重建规划要依据城镇和村庄原来的历史文脉,依山就势、分散安置、小型组团、就地重建。正如美国生态建筑学的创始人赖特教授所说的那样:让建筑和城镇从自然环境中“生长”出来那样,与自然相融合,强调城镇、村庄与河流、森林、山脉的和谐相处;低索取,就是要尊重山区农民生产、生活、生态地理空间的同一性,尊重农业生产循环利用资源的模式,尽可能修复可修复的建筑物和构筑物,循环利用一切可以利用的资源,多采用本地建筑材料和技艺,结合现代的抗震技术来建造富有本地传统文化特色的建筑和住宅,尽可能地采用各种形式的可再生能源;强适应,就是要求城镇和乡村生命线工程要有很强的适应性,如柔性化管网、双线制的对外交通通道、高抗震的建筑、多样化的避灾场所和高保障度的消防、通讯广播

系统等等。

2. 尊重当地文化。要尊重城镇的历史性风貌、建筑风格、社会资本、地方习俗。从国内外灾后重建的历史教训来看，对地方可持续发展影响最大的是城镇空间布局、风貌、建筑风貌。历史上受援建的城镇通常会出现四种风格：一是外地风格加一律化，这是最糟糕的；二是外地风格加多样化，这是我国大江南北“千城一面”的缩影；三是本地风格加一律化，城镇有特色，但街道和居民区的景观也很呆板；四是本地风格加多样化，这是我们所希望的。因此，对口援建城市的规划设计人员一定要尊重灾区当地的文化，努力给当地留下可持续发展的资源。规划师和建筑师要有高度责任心和创新能力。1996年云南省丽江市发生大地震，该市90%的房屋被震毁。当时的灾后重建规划就要求所有的历史建筑一律保留，新建建筑都应该是纳西族风格，所有不是当地风格的建筑都要进行改造。结果仅仅半年多的时间，一个能与风光秀丽的玉龙雪山相协调的历史文化名城就留给了世人，并成为世界文化遗产。丽江灾后重建的经验充分说明：只要充分尊重当地建筑的历史风格和原有的城镇文脉格局，灾后经济的可持续发展才能实现。农村、城市都有社会资本，这是历史积淀而成的人与人、人与社会、人与政府、人与企业之间的多渠道的对话沟通机制和人们熟知的种种社会场景与文化习俗，利用和保护这一资源有助于灾后重建和可持续发展。因此，城市规划师和建筑师应在灾后重建过程中注重保护自然资源和社会资本。

3. 尊重普通百姓的利益。一要尊重普通百姓的愿望，不能简便地以基层干部的愿望来取而代之，更不能强制要求灾区民众服从领导干部的个人偏好。二要尊重基本产权。尊重房产权、宅基地的使用权、农田承包权，才能充分调动产权人重建家园的积极性。三要尊重群众重建工作的自主性和创造性。如羌族传统的建筑形式和风格是当地该民族群众长期在这一地震多发地带与自然抗争并实践和谐相处的智慧的结晶。四要尊重已经形成良性的就业和产业发展的模式。较普遍的农家乐就是一种促进当地可持续发展的重要模式。建筑、规划、基础设施建设都要有助于这种模式持久稳定的发展。重建的城镇要杜绝城市大马路、大广场、大草坪、大房子，杜绝少数官员偏爱的形象工程、标志性建筑，杜绝奢侈浪费。

三、策略

1. 明确城镇和农村灾后原址重建与异地重建的程序和方针。城乡灾后重建规划的编制应积极倡导以就地重建为主策略。1949年至2007年我国一共发生15次破坏性地震，其中13次是就地重建，只有唐山和新疆乌恰是异地重建。事实证明，唐山异地重建的目标也没有实现，老百姓还是愿意搬回来。就地重建的优势是场景熟悉、文化的联系、自然资源的利用、基础设施的低成本恢复，还有老百姓的心理情结等等。日本是地震多发国家，但是近一千年来，日本对受灾城镇都没有实施异地重建。因为异地重建造成大量人口流出，地区经济活力下降，而且也很难得到当地全体百姓的同意。依据我国的相关标准规范和震后重建的实践，就地重建完全可以通过现代的抗震技术克服地震次生灾害造成的困难。我国地震烈度6~9度的地区占国土面积的60%，23个省会城市，人口在百万以上的城市三分之二分布在地震烈度在7度以上的高危险区域。同时，要明确什么是断裂带，什

么样的断裂带需要避让一定的距离才能规划建筑物。8级以上地震灾区的地表通常会形成纵横交叉的裂缝，但这些裂缝并不属于发震断裂带，只要利用建筑抗震技术处理后就可建造建筑。相对于地震学、地质学，建筑抗震是成熟的科学。

只有符合下列条件的少数村镇才可异地重建：一是地震所造成的次生灾害直接威胁某一块建设用地，依照标准，将这一块建设用地列为不适宜建设用地，还可改为公园绿化用地；二是在地震中受到严重破坏、而且位于风景名胜区或自然保护区的核心保护区内本来就应该搬迁的村庄；三是原来并未规划、沿着主干公路和城郊主干道两侧违章建设的“夹路村”，既存在严重交通隐患，本应搬迁的村庄；四是在地震中确实所有的农田和林地被泥石流冲毁，没有任何生产资料可以利用，以后也不可能恢复农业生产的村庄才考虑移民搬迁。

2. 尽快编制三类规划。一是要组织规划、工程地质、建筑抗震专家，在一周之内解决影响城镇体系规划编制的7个镇15个乡是原址重建还是移址重建以及合并的问题；二是要在两个星期内完成县市或村镇规划，要确定交通、能源、水利、通信、教科文卫等公用设施的空间布局等内容。规划必须要有充分的依据，有可持续发展的判断，对搬迁存在的巨大障碍和资金要有足够的心理准备；三是城市和村镇总体规划的回顾和修编，对口扶持城市规划部门要尽快评估灾区域镇原有规划，找出抗震、节能减排、污水、垃圾、防灾设施、地方风格等方面的问题和缺陷，在评估的基础上，建立项目库。但是，现在的情况是，城镇重建规划还没有着手编制，就有了投资总额达一百多亿的项目群。这不仅不符合《城乡规划法》和《灾后重建规划条例》（条例明确要求重建规划要与城乡规划相衔接），而且还将会造成重建资金的浪费。

3. 三年重建规划与二十年城镇总体规划要在时间和内容上有机衔接，明确重建次序上的优先。先农村重建后城镇重建；就地重建先行；交通便利的城镇先行；先生命线工程，一般建筑后行；容易修复的建筑先修复，重建建筑后行。重建的时序是否准确关系到能否顺利实现三年规划的目标。只有少数符合前述四种类型情况的村庄应有所避让，其他都应当原地重建。

4. 明确组织协调方式，防止无序混乱。一是四川、陕西、甘肃三省建设厅要按照三个规划和项目库落实实施力量，主动开展协调工作。二要防止政府大包大揽重建工作，扼杀市场主体的积极作用。政府不能包揽所有的建设项目。理想的状态是产权所有者联合起来，采用招投标的形式寻找施工和监理企业，政府负责规划和指导，并编制一个合同样本，便于供需双方明确各自的法律职责。三要注意重建资金安排的优先次序，防止财政资金排挤民间资金。上级财政要让下级财政，上级财政应当用于最基本的生命线基础设施的建设和地质灾害治理的“抄底”；对口支援资金要让社会认捐资金，对口支援不能抢建那些社会认捐资金愿意捐献的项目，如学校、医院等；认捐资金让认建资金，因为后者不仅能携带重建资金包建、包质量，更能彰显重建资金和人力资源援助渠道的广泛性。

5. 要建立信息发布公开制度，防止后勤支持不力。一是各相关省建设厅要建立专门网站，及时发布灾区建材、器材等各类建设物资和工程技术人员需要。建设厅要成立城

乡重建规划总指挥部，住房和城乡建设部将派员长期驻扎四川，帮助协调城乡重建工作。二是积极与相关部门沟通联系，组织协调，做好上下左右的衔接。及时组织全国的规划建设的人力资源进入灾区现场，及时发布需求信息，及时组织国内外的对口援助。最艰难的，是要做好对口支援单位与当地党政干部之间的协调。要把工作做实做细。三是灾后重建工作必须充分依靠基层党组织和村委会或基层组织，并调动他们工作的积极性和有效性，防止“直接插手、包办代替”而浪费宝贵的组织资源。

(仇保兴副部长在灾后重建规划对口支援工作会议上的讲话)

2008年7月3日

目 录

第 1 章 总论	1
1.1 生命线工程系统构成	1
1.2 生命线工程系统历史震害特征	1
1.3 汶川地震生命线工程系统震害与特点	11
1.4 生命线工程灾后恢复与重建原则	22
第 2 章 电力设施	23
2.1 电力设施修复与重建技术总则	23
2.2 电力设施建(构)筑物鉴定、修复和加固技术	23
2.3 电力设施建(构)筑物重建技术	26
2.4 输电线路修复、加固与重建技术	26
2.5 变电站设备修复与重建技术	27
2.6 电力设施的防灾对策	29
2.7 国外电力设施震后恢复重建技术	31
第 3 章 给水工程	33
3.1 一般规定	33
3.2 应急阶段基本技术措施	35
3.3 水源地	37
3.4 给水处理厂及给水泵站	40
3.5 给水管网	47
3.6 水塔	51
3.7 日本阪神—淡路地震中供水系统震后恢复实例	53
第 4 章 排水工程	55
4.1 一般规定	55
4.2 应急阶段基本技术措施	57
4.3 排水管渠系统	58
4.4 污水处理厂(站)及排水泵站	62
4.5 排放口	69
4.6 日本阪神—淡路地震中排水系统震后恢复实例	71
第 5 章 城市燃气工程	74
5.1 震时(强余震)燃气系统紧急控制技术措施	74

5.2	燃气系统震后快速修复应急供气	76
5.3	燃气系统修复重建基本技术	83
5.4	用户端灾后供气	91
5.5	燃气系统地震灾害的主要预防措施	93
5.6	修复重建工程遵循的规范标准	94
5.7	日本阪神—淡路地震中供燃气系统震后恢复实例	95
第 6 章	交通系统	96
6.1	道路工程	96
6.2	桥梁工程	110
第 7 章	通信系统	130
7.1	通信系统建(构)筑物修复与重建技术	130
7.2	通信系统建(构)筑物及主要通信设备的隔震改造修复技术	134
7.3	有线通信系统设备的修复与重建技术	136
7.4	无线通信系统设备的修复与重建技术	138
7.5	地震时保障关键机构通信畅通的相关技术	138
第 8 章	环卫系统修复加固与重建技术	141
8.1	概述	141
8.2	地震灾区环卫系统评估与鉴定	143
8.3	建筑垃圾收运、处理技术	152
8.4	生活垃圾收运、处理系统修复加固与重建技术	160
第 9 章	避灾场所与避灾绿地	168
9.1	汶川地震避灾场所概况	168
9.2	城市避灾场所用地分析	169
9.3	避灾绿地建设实践	171
9.4	避灾场所与避灾绿地建设措施建议	175
附录 A	178
附录 B	通信机房选址原则	180
参考文献	181

第 1 章 总 论

1.1 生命线工程系统构成

城市生命线系统是维系现代城市功能与区域经济功能的基础性工程设施系统,包括:电力设施,给水排水及其管网系统,燃气及管网系统,交通系统,通信系统,环卫系统,避灾场所等。这样一些系统在地震作用下的破坏往往会导致城市功能的丧失,严重者会导致整个城市处于瘫痪状态,如:停电、停水、燃气供应停止、交通瘫痪和通信中断等。

生命线工程系统都是由一批工程结构构成的,工程结构是生命线系统的客观载体。例如:在电力系统中,存在电厂主厂房、高压输电塔、各类变电站建筑等,即使是高压输电设备(如各类电容互感器、绝缘子、断路器等),也可以视为是一类工程结构;在城市供水系统中,存在供水泵房、水处理水池、输水管线等各类工程设施;其他如交通系统中的道路与桥梁、通信系统中的枢纽建筑与通信设备,无一不具有工程结构的基本特征。生命线工程系统的另外一个特性是它们大多以一种网络系统的形式存在且在空间上覆盖一个很大的区域范围。如高压输电网络、区域交通网络、城市供水管网等。网络系统的功能不仅与组成系统的各个单元的功能密切相关,而且与各个单元之间的联系方式(主要表现在网络拓扑特征)密切相关。

因此对生命线工程系统的灾后恢复重建不仅仅要从结构、设备上考虑,同时还要从系统整体上来考虑,以保证生命线系统整体的抗震性能。

1.2 生命线工程系统历史震害特征

生命线系统往往穿越不同的地质单元,其系统结构形式又具有网络特征,并且不同的生命线系统单元物理结构形式多样、抗震设计方法差异大,所以与建筑物相比,生命线系统和单元有更大的地震易损性,抗震设计理论和方法更为复杂,这也是生命线地震工程正迅速发展为一门独立学科的动力。历史地震资料表明,生命线系统的震害特征可以概括为系统单元的自身物理破坏和功能的中断两大类,其震害产生的原因除地震动的直接作用外,更多是地震导致的地质灾害事件或其他次生灾害的作用。下面以近 20 年来部分典型地震中生命线工程系统的破坏为例,说明生命线系统的震害特征和减轻生命线系统震害程度的主要措施。

1.2.1 生命线系统的单元结构震害特征

生命线系统结构类型可以概括为埋地生命线和地上生命线两大类。埋地生命线系统可

划分为地下管网结构和隧道结构两种类型，其破坏的主要原因在于岩土体的大位移(PGD)和地震动强度。一般而言，在地层岩性或结构发生变化的地方、软弱的地层、各种地质构造结构面附近，埋地生命线系统破坏最为严重。

埋地管网的在地震中破坏特征受诸多方面的影响，其中地震动强度、场地岩土性质、管道通过地区的地质环境、地理环境、管道自身的特征(材质、接口方式、敷设方式、几何尺寸、腐蚀情况)对其影响最大。不同管道在不同条件下表现出不同的震害特点。震害资料表明埋地管网的破坏类型主要包括以下几种：管身的折断、纵向开裂、环向裂缝、剪裂、穿孔、拱起、弯曲、拔出、蛇曲、扭转变形。接口处的破坏形式有：承接口的开裂、压扁、拉开、剪开。这些破坏形式反映了轴向的受压、受拉，横向的挤压和剪切，竖向的挤压、扭转的力学性质。下面是一些埋地管线在地震中的震害实例。

(1) 1923年9月1日日本关东8.3级地震，东京供水管道在982km的铸铁管中有227处破坏，震害率为0.23处/km。管道接口破坏率81%，横滨市配水管(100~900mm)管道破坏10%。东京管道的破坏特点是出现裂缝和折断，小口径管道破坏数量最多(尤以石棉水泥管为主)，口径200mm以下的管道占总破坏管道的93.55%。破坏基本集中在丘陵向平原的过渡区，此处岩性由密实土向软土变化。土体出现明显的竖向位移、横向位移，地形和岩性突变是管道破坏的直接原因。钢筋混凝土质的供水管网损坏统计表明了管道埋深与破坏的关系，当埋深小于2.4m时，随埋深增大，破坏逐渐加剧，超过2.4m后破坏明显下降。在没有断裂存在的环境中，随埋深的增大，土对管的约束大，土管变形一致，两者变形都比浅部小。同时，在分析管线走向与地震波传播方向之间的关系中也发现了如下的规律：地震波传播方向与管道走向一致时，震害比两者相垂直时大近1倍。

(2) 1964年新泻地震中(7.5级)中，新泻市68%的输水管破坏，以三通、弯头损坏，接口拔出和松动为主要的破坏形式，也有部分小口径($\phi=100\text{mm}$ 以下)的石棉管折断的多，破坏主要是管径为 $\phi 200\text{mm}$ 以下铸铁和石棉管。破坏的煤气管道材质分析得出了钢制煤气管道抗震性明显高于铸铁管(钢管每公里破坏数量0.88，铸铁管2.39)，造成破坏的主要原因是土层中明显的变形、地表裂缝、不均匀沉降和砂土液化。在不同岩性土中表现出不同的管道损坏原因：硬密度土区，与地震波方向平行埋设的管道损坏严重(三通、弯管、支管部位)。硬土区及由硬土—软土的过渡区破坏的原因都是管周围土未均匀变形(位移)所致。冲积软土区(管道破坏最重，占总破坏数量的54%)，破坏形式为因竖向地震力作用而引起的环形截面断裂，不均匀沉降引起的屈曲、砂土液化导致的管地基不均匀沉降而导致的人孔隆起、接口松动和地震波作用下的拉伸作用导致的接口拔出和松动。

(3) 1971圣费尔南多地震(6.7级)中，横向扩展及造成的地表断裂和液化导致的滑坡、永久地面变形和地震动波动效应是管道破坏的主要原因。管道破坏的主要三种形式：弯管弯扭变形、焊接伸缩接头反复碰撞、压缩褶皱变形、机械式偶联管冲击压缩下变形。横向扩展的方向与管线走向垂直。管道大多埋在冲积砂和砾石层内，埋深0.75~1.5m。

(4) 1975年的海城地震(7.3级)和1976年的唐山地震(7.8级)中，地下管道震害表明了地震烈度、场地类型、地理环境、地质环境和管道自身特征(材质、口径、埋深、接头

形式等)是决定震害轻重的主要因素。震中区管道震害大,且有大口径($\phi > 400\text{mm}$)管道的破坏;离震中相同距离处,Ⅳ类场地震害比Ⅲ场地明显加剧,唐山市路南区(覆盖层达100m以上)比路北区(覆盖层5~6m)地下管线震害大得多;地形、地貌对震害的影响主要表现在当地形起伏大,沉积物新的地区震害加大。地形不仅影响着地震波的传播,也影响着其他次生地质灾害的分布。沉积物新的河谷地貌、岩性不均质的平原、三角洲地貌的地区地下管线震害明显加重。管线的走向与断裂平行(非发震构造)时管道震害轻。柔性接口的管道破坏形式主要是拉开和松动。刚性接头管道在接口处出现承口掰裂、接头剪裂、管道拉断、松裂,折断,纵向裂开,环向裂开,剪切裂开。延性、强度均高的管材震害轻。小口径管道比大口径管道震害明显重。

(5) 1976和1984年发生的加兹拉地震(7.3和7.2级),地下管道震害表现出如下的震害特点:管网走向(SN)与地震波传播方向相垂直时震害轻;竖向地震作用占优势,且多发生大口径管道支墩裂缝而使管道位移和转动;小口径(100~300mm)钢管折断,铸铁管和石棉水泥管体裂缝(接口附近),铸铁管接口附近起鼓;竖向地震作用下,柔性管震害轻。

(6) 1994年北岭地震($M_w = 6.7$)中,洛杉矶市的供水管网破坏严重(破坏最重的地区位于圣费尔南多峡谷中)。三条主干输水管道遭受了破坏,原因是地震波和永久地面变形的作用。震中附近许多直径为 $\phi 1020$ 和 1370mm 铆接和焊接钢管遭到破坏。铺设在冲积土层中的钢管干线,在接口处均表现出压缩屈服和张拉的破坏性质,管身有环形裂缝,另外在管道与其他配套设施的接口处也出现拉开、拉裂的破坏,钢管、混凝土水管管身发生破裂和渗漏。这次地震中供水管网的配水网络破坏主要是铸铁管的破坏,其次为钢管,两者分别占总破坏的72%和21%,而主干管网则以钢管破坏为主(66%),混凝土管(15%)和铆合钢管(14%)次之。主干管道的破坏主要集中在管径大于 $\phi 890\text{mm} = 35\text{in}$ 的管道,配水管破坏主要发生在管径在 $\phi 100 \sim \phi 200\text{mm}$ 的管道(88%)。

(7) 日本阪神地震(7.2级)中,埋地供水管线的破坏与活动断层相关,岩土性质和地貌特征也是致灾因素之一。在离断层1km范围内,供水管震害严重,其中尤以断层0.4~0.8km处为重。供水管线的破坏主要发生在延性较小的螺纹接口处(33%的螺纹接口破坏),而延性接头和滑动接头基本无损(图1-1~图1-3)。

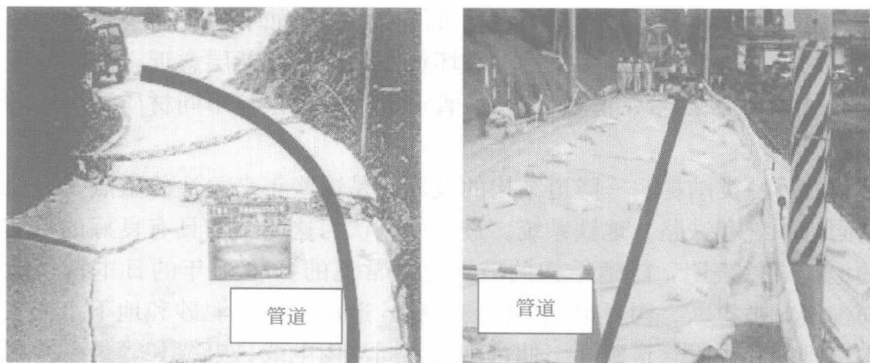


图 1-1 神戸地震中由于土体大变形导致的管道破坏(蓝线为管道位置)



图 1-2 地震中管道系统被拉开和发生屈曲

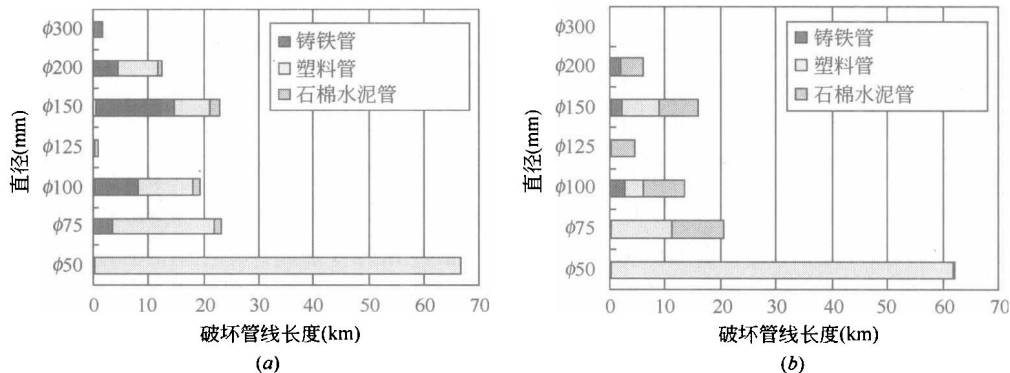


图 1-3 日本两次地震中不同材质、口径的管线破坏程度(震级分别为 7.1、8.3)

(a)浦川地震(1982); (b)十胜地震(2003)

从上述震害事例可以看出,埋地管道系统的破坏具有如下的规律:1)在地质单元、地理单元交界处震害严重;2)离震中愈近,破坏愈重,离发震断层愈近,破坏愈重;3)永久地面大变形(液化层、断层带、滑坡带等)区管道破坏严重;4)不同材质、口径的管道破坏程度不一样。

地下结构的另一类结构——隧道结构的破坏也是近些年来关注的重点,埋地的隧道结构主要有共同沟系统和铁路、地铁系统。过去一直认为这类结构具有良好的抗震能力,但近些年来地震事件表明,隧道结构的破坏也是常见的。1971年的日本宫城地震中,仙台市一共同沟接口被拉断、沟身出现纵横向裂缝,造成大量的泥砂和地下水涌入,使共同沟内的供水、排水和供气管道破坏。仙台市的共同沟内电线、电缆和管道系统因固定支架或支座折断而发生了横向或纵向的位移而破坏。1978年伊豆尾岛地震中因断层作用使稻

取铁路隧道严重破坏。

1993年的能登半岛地震更是造成一隧道拱顶冒水、坍塌、涌水等破坏。1995年的神户地震中，一共同沟内的供水系统破坏导致水流入到同一沟内的工期系统中，导致供气系统的功能下降。在美国，1964年的阿拉斯加地震中，一共同沟由于液化导致的地面大位移作用下被拉断。1971年的圣费尔南多地震中，一共同沟由于土体的横向大位移而错断。1989年的Loma Prieta和1994年的Northridge地震中，也有共同沟的破坏现象。共同沟的地震破坏现象表现为沟身开裂和借口断开、衬砌破坏、以及沟内收容的生命线系统在地震作用或沟身破坏下引发次生灾害而破坏(管道断裂、支架折断、固定装置的破坏和电缆、电线拉断)、人孔沉降和压扁等现象。1995年的神户地震中，神户市地铁破坏严重，神户高速铁路的东西线和神户市营山手线上的18座地铁车站中有5座车站遭到明显破坏，破坏的形式是中柱破坏(钢筋被压弯鼓外露，许多箍筋也完全破坏，破坏位置为柱脚和柱-顶板连接处)、侧墙出现了水平裂缝和斜裂缝、衬砌开裂与塌落等。1999年的台湾地震中也发生了隧道的破坏。

地上生命线系统的破坏则主要表现在地面交通系统、地面管道系统、供电系统等破坏。地面交通系统中，桥涵的破坏、道路和铁路轨道系统的破坏最为常见(图1-4)。1994年1月17日美国Northridge的6.8级地震中，出现桥梁的严重破坏，7座桥梁(包括1座立交枢纽)坍塌、部分倒毁，导致交通系统部分处于瘫痪状态。与Loma Prieta地震类似，电力系统的230kV和500kV的高压变电站同样破坏严重，一批高压输电塔因砂土液化而倾倒或损坏，110万用户失去供电。1995年日本阪神7.2级大地震中，交通系统遭到大面积破坏。地震区6条铁路线均遭到严重破坏，许多高架桥倒塌或部分倒塌。阪神高速公路神户线共有1192个桥墩，其中611个在地震中遭到破坏，破坏率达52%，在这些破坏的桥墩中，约150个已不可修复。神户地铁大开车站，震时车站的立柱遭剪切破坏使隧道洞顶塌落，震后地震面出现120m长的陷落，最大沉陷处深达3m。同时，神户港受到毁灭性打击，堤岸有80%遭到破坏，部分地段堤岸产生的裂缝达3m之深。地震后，100万用户断电，修复工作持续6d，电力系统破坏主要集中在275kV变电站和77kV变电站(共48处)，直接经济损失达550亿日元，配电线路损坏446个回路，损失额达960亿日元，火力发电厂亦有10处破坏，损失额达350亿日元。地震区的神户市、西宫市等9市共有136万户全供水家庭，地震后，由于主干供水管网发生1610处破坏，迫使110万用户断水(断水率达80%)。一周后，供水系统仅修复1/3，全部修复工作持续了两个半月。由于缺水，严重阻碍了救火。供气系统同样在地震中遭受严重破坏。据震后统计，主干供气线路破坏了5190处，其中，中压线路破坏109处。85.78万户用户被中断供气，修复工作持续了3个月。地震使神户地区3170条专用通信线路遭到破坏，以神户市为中心的兵库县南部地区19.7%的通信线路因交换机发生异常和通信线路破坏而中断，一批通信设施遭到破坏，其中一些通信大楼因处于危险状态而被迫停止业务。1999年台湾集集7.3级大地震造成台中地区交通中断，名竹大桥等一批桥梁坍塌，台中火车站、集集火车站等严重破坏，铁路路轨弯曲、电车线断落。由于电力系统的破坏，造成台湾中北部地区大面积停电，累计停