

近期中国桥梁水毁事故回顾与分析

秦泗凤

(大连大学 建筑工程学院, 辽宁 大连 116622)

摘要:对中国近 19 年发生的桥梁水毁事故进行回顾与分析。收集了 2000—2019 年中国 151 座桥梁水毁事故情况,首先阐述了中国 5 个典型桥梁水毁案例,之后分析了 151 座水毁桥梁的地理分布特征、桥龄分布特征、桥梁类型分布特征、时间分布特征。分析发现:桥梁水毁故障主要发生在南方,一共有 122 座桥梁水毁事故发生在南方,特别是四川省发生了 65 座。151 座水毁桥梁的平均使用寿命为 28.9 年,绝大部分水毁桥梁的寿命集中在 30~40 年。97 座梁桥发生水毁事故,占比 64.24%。水毁事故主要发生在 2009—2014 年,与汶川地震的影响有关。水毁事故的主要原因包括超预期洪水、旧桥、过度采砂等,既有自然因素,也有人为因素。为了减少桥梁水毁事故,在设计时应选择合适的桥型,注意超预期洪水,并且保护好河床。

关键词:桥梁;水毁;成因分析

1 前言

21 世纪以来,桥梁工程发展突飞猛进,中国的桥梁技术进步巨大,目前中国公路桥梁总数达到 80 万座,铁路桥梁总数超过 20 万座,被称为桥梁大国,目前中国近 10 万座桥梁存在潜在的危机^[1-2]。一旦桥梁发生坍塌,将直接危害出行者的生命安全,同时将给国家造成不可估量的经济损失,造成恶劣的社会影响。

概括来说,造成桥梁倒塌的原因包括先天失误、自然灾害和人为灾害,见表 1^[2-4]。其中因为洪水造成的桥梁塌陷往往是整体性的,危害性巨大,具有突发性,一般难以靠监测来避免。另外,近年来全球变暖引起极端天气现象频发,桥梁工程面临洪水破坏的风险也日益增加^[5]。据调查 1951—1988 年美国垮塌的 79 座桥梁,有 29 座是因洪水和基底冲刷引起的,占比 36.7%^[6-7]。1989—2000 年美国运营桥梁垮塌事故

中,其中 52.88% 的桥梁垮塌与水毁有关,洪水冲垮的比例为 32.80%,水流掏空基础的比例为 15.51%^[3,5]。

该文搜集 2000—2019 年中国桥梁水毁情况,列举水毁桥梁发生的地点、桥型、使用年限、伤亡情况、事故概要以及原因分析。利用统计分析方法对搜集到的数据全面的处理。此外,着重介绍 5 个典型案例,并说明相应的原因,最后给出一些建议和措施。

2 典型水毁案例分析

2.1 台湾高屏大桥

2000 年 8 月 27 日,受到台风碧利斯降雨影响,台湾高屏大桥的部分桥墩被溪水冲毁,使大桥桥面塌陷 100 m,造成行驶其上的 17 辆汽车坠落,22 人轻重伤。事故现场如图 1 所示。

造成事故的主要原因是正在施工的河床固床工程设计错误。高屏溪除了自然河床改道外,设计单位在固床工程中,把原来的高屏溪主流引到第 21 和 22 号桥墩,造成第 22 号桥墩被洪水淘空。其次,砂石的过度开采,导致河床下降。强台风过后,湍急的河水冲刷桥梁基础,基础裸露严重,致使第 22 号桥墩被冲毁。

表 1 桥梁倒塌原因

分类	内容
先天失误	规划、设计、施工、试验的认知缺失和过失
自然灾害	风灾、水灾、地震和材料老化等
人为灾害	车祸、船撞、超载和蓄意破坏

收稿日期:2021-09-07(修改稿)

基金项目:辽宁省自然科学基金资助项目(编号:2019-ZD-0006)

作者简介:秦泗凤,女,博士,副教授。E-mail:qsifeng@163.com



图 1 台湾高屏大桥事故现场

2.2 四川 G318 线渠江二桥

2010 年 7 月 18 日,四川渠县遭受特大暴雨洪灾,致使修建中的 G318 线渠县段渠江二桥严重损毁,该桥主体工程已经完成的 2/3,如图 2 所示。



图 2 四川 G318 线渠江二桥被冲毁留下的支架

渠江二桥设计为多跨连拱桥,此种桥型在施工过程中稳定性差,任何一个拱脚产生变位,都易发生整桥垮塌。而超预期的洪水冲刷施工支架基础,支架产生沉降。因此,渠江二桥发生桥体毁坏。

2.3 河南省洛阳市栾川汤营大桥

2010 年 7 月 24 日,洛阳市由于暴雨引发的洪水,造成栾川汤营大桥整体垮塌,如图 3、4 所示,这次事故也被称为“栾川 7·24 事件”。

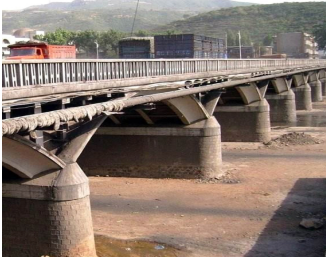


图 3 栾川汤营大桥塌陷前

汤营大桥是 20 世纪 80 年代修建的空腹式 5 跨石拱桥,净跨 40 m,全长 233.7 m。其原料以石块和砂浆为主,没有用钢筋。这种结构体系容易发生整体垮塌,洪水对基础的冲刷引起基础变位,产生整体垮塌。

2.4 宝成铁路石亭江大桥

2010 年 8 月 19 日,宝成铁路德阳至广汉间石亭江大桥下行线因特大洪灾冲击严重毁损。洪水在冲毁

大桥东南侧的河堤后,大桥中段两个桥墩相继倾斜,造成西安开往昆明的 K165 次列车两节车厢掉入江中,宝成铁路中断(图 5)。经分析,造成事故的原因是桥墩被冲刷再加上超预期洪水。



图 4 栾川汤营大桥塌陷现场



图 5 石亭江大桥塌陷

2.5 石亭江一号桥

2012 年 8 月 20 日,洪水冲毁石亭江一号桥基础拦河防冲坝,导致桥梁桩基外露,大桥两根桩基础被洪水冲走,如图 6 中虚线所示。事后分析主要原因是,非法采砂造成河床下切,桩基外露。再加上暴雨洪水冲刷,致使桩基部分损毁。



图 6 石亭江一号桥被冲毁

2.6 其他

表 2 为具有代表性的桥梁水毁事故,由于水毁事故一般是由多种因素共同作用引起,该文只给出了主要原因^[8-13]。

3 分析与讨论

3.1 南北方地区分布特征

统计分析了 19 年间北方地区和南方地区发生桥

梁水毁的桥梁,统计情况见表 3。统计了 151 座典型桥梁水毁事故,其中发生在南方的有 122 起,发生在北方的有 29 起,造成至少 67 人死亡,138 人受伤。发现桥梁水毁事故的发生率南方地区比北方地区要高,但是人员伤亡情况较北方却有所降低。原因如下:① 南方地区河道多,而且降雨量大,发生洪水的概率大,容

易发生桥梁水毁事故;② 南方的桥梁总数多于北方,基数大,所以发生水毁的桥梁数量多;③ 北方地区发生水毁的桥梁往往是人流量和车流量都很大,这也是北方地区伤亡情况严重的一个重要原因;④ 大多数人缺乏危机意识,尤其是北方地区,对于桥梁水毁的防范意识差。

表 2 典型桥梁水毁案例

桥梁	所在省份	桥型	毁坏时间	原因
台湾高屏大桥	台湾省	梁桥	2000.08.27	过度采砂,在“碧利斯”台风后强降雨,基础被冲刷裸露太严重
界河村罗连溪大桥	湖北省	拱桥	2002.04.19	地段地质状况差
陇海铁路灞河铁路大桥	陕西省	梁桥	2002.06.09	过度采砂,基础不稳
灞桥(老)公路大桥	陕西省	梁桥	2002.06.09	受洪水冲击受损,桥墩不稳
巴河铁路特大桥	湖北省	梁桥	2003.02.23	挖砂造成的河势转变,桥墩被水淘空
成都市三渡水大桥	四川省	拱桥	2004.09.07	过度采砂,洪水冲刷,两个承重桥墩的基础被淘蚀
泉州顺济桥	福建省	梁桥	2006.07.23	“碧利斯”台风
聚兴村短命大桥	广东省	梁桥	2006.07.26	桥整体倒塌,没验收即被洪水冲毁
熊岳大桥	辽宁省	梁桥	2006.08.01	桥墩被冲垮塌
华干路大桥	甘肃省	梁桥	2006.08.12	桥墩被洪水冲击导致倾斜
浙江海盐县常缘桥	浙江省	梁桥	2007.11.04	河道排洪冲击桥墩
珠江大桥	广东省	悬索桥	2008.01.17	广州地铁施工突然发生涌水
从江县恰里二桥	贵州省	梁桥	2009.04.11	雨水侵蚀和超限车辆超负荷碾压
铁力市西大桥	黑龙江省	拱桥	2009.06.19	墩基底局部被水冲刷脱空,承载力不足,加上超载货车
四川宣汉县鲢鱼桥	四川省	悬索桥	2009.07.13	洪水将桥面冲断
四川汶川彻底关大桥	四川省	梁桥	2009.07.25	大雨引发 200 t 巨石滚下,造成彻底关大桥桥墩被垮塌的巨石砸断
西苕溪乌象坝石拱大桥	浙江省	拱桥	2009.08.11	“莫拉克”台风
宜阳赵保乡南车线鬼沟桥	河南省	梁桥	2009.08.16	建成次日突降 3 h 暴雨,基础冲刷掏空近两米而下沉,桥台断裂
重庆彭水县 G319 红泥石拱桥	四川省	拱桥	2010.05.26	连续降雨导致大量雨水下渗,桥墩地基长期水浸红粘土夹层软化
四川 G318 线渠江二桥	四川省	拱桥	2010.07.20	在建桥梁遇洪水垮塌,引桥与大桥主体分离,工程报废
河南栾川县汤营大桥	河南省	拱桥	2010.07.24	特大洪水受因树木阻塞桥孔,致全部上部构造垮塌
安昌河黄土大桥	四川省	拱桥	2010.08.02	大桥 200 m 整体垮塌
场镇老定江桥	四川省	梁桥	2010.08.19	遇洪水垮塌,造成桥基悬空桥面垮塌
花菱先林大桥	四川省	拱桥	2010.08.19	桥墩冲空部分桥面坍塌
宝成铁路石亭江大桥	四川省	梁桥	2010.08.19	洪水冲击,桥墩垮塌
蒲江馭虹桥	四川省	拱桥	2010.08.19	桥墩冲空部分桥面坍塌
崇州怀远大桥	四川省	梁桥	2010.10	洪水冲击,路基掏空
郭家滩大桥	江西省	梁桥	2010.12.25	桥墩“用土填充”,桥墩后被水掏空
万宁市礼纪镇太阳河桥	海南省	梁桥	2010.10	洪水冲击
万家河大桥	辽宁省	梁桥	2012.08.03	“达维”过后,桥头路基掏空
缙云船埠头大桥	浙江省	梁桥	2012.08.14	台风“海葵”后洪水冲刷桥墩,造成松动泥土流失
徐岸大桥	浙江省	梁桥	2012.09.10	洪水冲击

续表 2

桥梁	所在省份	桥型	毁坏时间	原因
石亭江一号桥	四川省	梁桥	2012.10	洪水冲击
青岛栈桥	山东省	梁桥	2013.05.26	风暴潮
青莲大桥	四川省	拱桥	2013.07.09	持续暴雨引发洪水
广汉鸭子河桥	四川省	梁桥	2013.09.10	洪水导致坍塌
106 省道德什段石亭江大桥	四川省	梁桥	2013.10	洪水冲击,桥体塌陷
赤岸镇下富村桥	江西省	拱桥	2014.05.09	被水冲垮塌
南京长江一桥	江苏省	梁桥	2014.12.31	护坡冲刷
石亭江大桥	四川省	梁桥	2017.08.21	洪水猛涨,冲毁河床,冲毁桥墩
金沙江竹巴笼大桥	四川省	悬索桥	2018.11.14	白格堰塞湖泄洪洪水冲毁
溪东乡桥	福建省	梁桥	2019.07.05	洪水冲击
麻坂桥	福建省	梁桥	2019.07.06	洪水冲击
木平廊桥	福建省	梁桥	2019.07.06	暴雨引发洪水
下村廊桥	福建省	梁桥	2019.07.07	暴雨引发洪水
莫高窟窟前大桥	甘肃省	梁桥	2019.07.07	暴雨引发洪水
秀江临时便桥	江西省	梁桥	2019.07.09	暴雨引发洪水
公园人行桥	江西省	梁桥	2019.07.09	暴雨引发洪水
板果桥	广西自治区	梁桥	2019.07.09	暴雨引发洪水
走沙港桥	湖南省	拱桥	2019.07.13	冲刷和车辆重载双重作用,桥面开裂
某铁路桥	黑龙江省	梁桥	2019.07.16	桥梁护锥被冲毁
沙河铁桥	黑龙江省	梁桥	2019.07.18	暴雨引发洪水
瓦子桥	四川省	梁桥	2019.07.29	暴雨引发洪水
凉红桥	四川省	梁桥	2019.07.29	泥石流
西关旧桥	陕西省	梁桥	2019.09.13	大雨引起的河水暴涨冲刷,桥台出现沉降裂缝
灞河桥	陕西省	梁桥	2019.09.15	暴雨引发洪水

表 3 水毁桥梁统计

项目	桥梁水毁 数量/座	年平均发 生量/座	伤亡人数/ 人
南方地区	122	6.42	29(伤)/48(亡)
北方地区	29	1.53	38(伤)/90(亡)
总计	151	7.94	67(伤)/138(亡)

经统计数据发现:桥梁水毁事故发生在四川省(65起)、广东省(12起)、江西省(11起)、浙江省(9起)、陕西省(9起)、福建省(6起)、湖北省(6起)、黑龙江省(5起)、贵州省(4起)、辽宁省(4起)、河南省(3起)、甘肃省(3起)、湖南省(2起)、山东省(2起)、台湾(2起)、河北省(1起)、吉林省(1起)、江苏省(1起)、安徽省(1起)、海南省(1起)、广西自治区(1起)、新疆自治区(1起)、西藏自治区(1起)。不难看出桥梁水毁事故的发生

主要集中在南方,以四川省最多。原因主要有:①南方地区台风现象频繁,降雨量多,容易产生泥石流、滑坡;②汶川地震后,河流含砂量增大,加剧了对基础的冲刷,加上超预期的洪水导致四川地区的桥梁容易发生水毁事故。

3.2 使用寿命分析

调查的 151 座桥梁的生命周期见图 7。调查的桥梁的平均使用寿命为 28.9 年,绝大部分水毁桥梁的寿命集中在 30~40 年。此外,不同的桥梁差异很大,其中河南省南车线鬼沟桥通车次日突降 3 h 暴雨,基础冲刷掏空近 2 m 而下沉,桥台断裂桥梁垮塌,两车坠毁,使用寿命仅 1 d,是最短寿命公路桥。而广东省的增城东门桥使用寿命为 82 年,山东省的青岛栈桥使用寿命 121 年。大多数桥梁的使用寿命低于 40 年,远远短于设计寿命 50 年或 100 年。

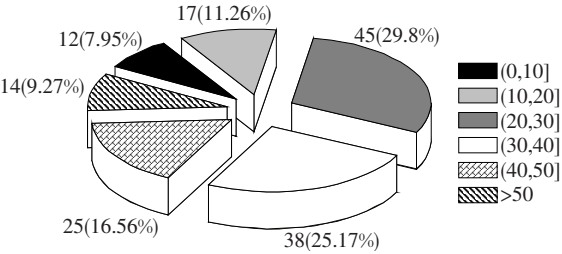


图7 水毁桥梁使用寿命统计图(单位:年)

3.3 桥梁水毁事故发生的时间分析

图8统计了桥梁水毁事故发生的时间。桥梁水毁事故主要集中发生在2009—2014年,分析原因如下:①2009—2014年间毁坏的桥梁主要发生在四川地区,这与四川的天气条件和地形条件有关系。2008年汶川地区发生地震,多座桥梁发生不同程度的损伤,有些桥梁没有及时修复或者完全修复,加上超预期的洪水导致桥梁坍塌;②2009年之前的资料可能不够完整,某些桥梁没有记载。

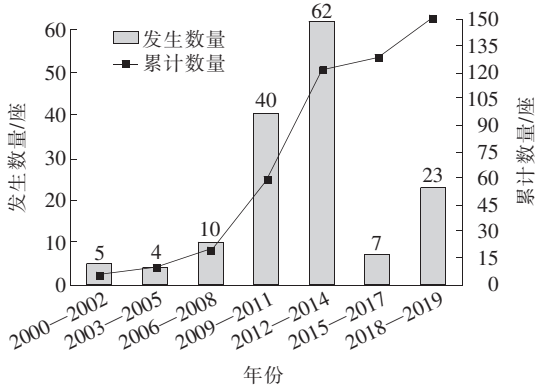


图8 不同年份水毁桥梁数量统计图

3.4 水毁桥梁类型分析

调查的151座桥梁中,梁桥水毁发生97起(64.24%),拱桥发生21起(13.91%),悬索桥发生3起(1.99%),有30座桥梁的桥型无法分类或者缺乏资料,将其归为未知。梁桥由桥墩支撑,桥墩较多,易受水流冲刷而倒塌。拱桥一般建在山区,在洪水或泥石流中容易坍塌。对于悬索桥和斜拉桥,索是主要的承重结构,比梁桥的跨度大,适合在水深处建造,不容易被水破坏。

此外,对151座桥梁的坍塌原因进行分析,直接由洪水和台风造成的事故有93起,因为过度采砂造成基底被掏空,桥墩被冲空进而坍塌的有39起,由于桥面开裂造成坍塌的有10起,因为地质问题有5起,因为护坡被冲刷造成坍塌的有4起。

桥梁水毁事故的发生是自然因素和人为因素共同

作用的结果。洪水冲毁桥梁原因有^[12, 14-17]:

(1) 对预期洪水估计不足,桥梁设计标准低。尤其是地基与基础方面,大多数桥梁采用扩大基础,并且基础埋深不足,洪水冲刷掉桥墩基础周围岩土,使基础暴露于水中,减小了基础承载能力。

(2) 洪水中夹杂的异物阻塞、碰撞,造成梁体移位和完全脱离。

(3) 对于旧桥和危桥的维修加固不及时,缺乏危机意识。一般认为,旧桥的承载力有所下降,如果遭遇洪水,那么旧桥就更容易发生倒塌。

4 结论

通过对近19年中国151座桥梁水毁事故分析发现:桥梁水毁主要发生在南方,四川省数量最多。这些桥梁的平均使用寿命为28.9年,绝大部分水毁桥梁的寿命集中在30~40年。桥梁水毁事故主要发生在2009—2014年,梁桥占比最大。桥梁水毁的主要原因有自然因素和人为因素,如超预期洪水、旧桥、过度采砂等。为了减少桥梁水毁事故,给出以下建议:

(1) 大多数水毁桥梁都是旧桥。一方面,旧桥往往不满足现有的洪水设计标准;另一方面,旧桥的承载力有所下降。因此,需要对旧桥进行防洪加固改造。

(2) 建造新桥,为了避免水毁事故,应选择桥墩少的桥梁类型,如斜拉桥和悬索桥。

(3) 要注意河床的防护设计,杜绝过度采砂。

参考文献:

[1] Zhou X, Zhang X. Thoughts on the Development of Bridge Technology in China[J]. Engineering, 2019, 5(6): 1120-1130.

[2] 郑元勋, 郭慧吉, 谢宁. 基于统计分析的桥梁坍塌事故原因剖析及预防措施研究[J]. 中外公路, 2017, 37(6): 125-133.

[3] Cook WJBP, Halling MW. Bridge Failure Rate[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2015, 29(3): 1-8.

[4] Xu FY, Zhang MJ, Wang L, et al. Recent Highway Bridge Collapses in China: Review and Discussion[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2016, 30(5): 1-8.

[5] Montalvo C, Cook W, Keeney T. Retrospective Analysis of Hydraulic Bridge Collapse[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2020, 34(1): 1-8.

[6] Wardhana K, Hadipriono FC. Analysis of Recent Bridge Failures in the United States[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2003, 17(3): 144-150.