

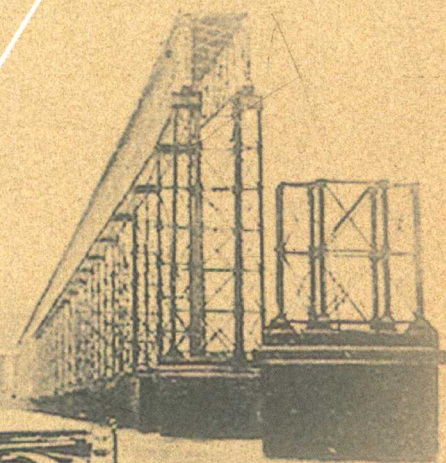
桥

殇

环球桥难启示录

The Revelation for
Bridge Disasters in the World

中铁武汉大桥工程咨询监理有限公司
艾国柱 张自荣 编著



QIAOSHANG

桥殇

——环球桥难启示录

1831—2012

艾国柱 张自荣 编著

张自荣 夏华晞 核



西南交通大学出版社
2013·成都

图书在版编目 (C I P) 数据

桥殇 : 环球桥难启示录 / 艾国柱, 张自荣编著. —
成都 : 西南交通大学出版社, 2013.4
ISBN 978-7-5643-2254-0

I. ①桥… II. ①艾… ②张… III. ①桥—坍塌—事
故—案例—世界 IV. ①U447

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 056233 号

桥 殇

——环球桥难启示录

艾国柱 张自荣 编著

责任编辑	杨 勇
封面设计	鼎封设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川省印刷制版中心有限公司
成品尺寸	250 mm × 250 mm
印 张	26
字 数	365 千字
版 次	2013 年 4 月第 1 版
印 次	2013 年 4 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2254-0
定 价	188.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

顿足当化额手庆

(序言)

所谓“天有不测风云”，人类生活中常会遭逢不形一色的灾难，譬如洪水泛滥，冰雪压城，台风飓风肆虐，地震海啸横行，等等；再如人为因素的车难、海难、空难，以及火灾、战乱，等等，不一而足。而危害极大的桥梁灾难，则是常常与上述灾害相依伏的另一种祸祟！“桥难”导致标志性建筑物毁灭，骤然中断交通，堵塞河流，导致车毁人亡，留下不可磨灭的历史性创伤。

桥梁建设是与人类生活息息相关的实用科学。桥难的发生，除了战乱因素外，不可抗拒的某些自然因素当然是重要导因；但更多的则是与桥梁设计、施工及其运营管理的内因有关，跟桥梁必须与之打交道的各种人为因素有关。我们查阅大量国内外文献记载，分析相关的资料、报告，撰写出这部《桥殇——环球桥难启示录》，为的是“悟已往之不谏，知来者之可追”。世界上各类桥难的发生，莫不蕴涵着极其深厚的科学原理、人文哲学和错综复杂的社会元素。国内外许多桥梁科学家呼吁“从失败中学习（Learning from the Failures）”，因为失败是成功之母，吸取教训才能够避免重蹈覆辙。防止桥难发生，是所有土木科学工作者、桥梁事业管理者的崇高职责，也是所有社会人士的义务和愿望。

毋庸讳言，历史悠久的桥梁科学也是渐进的，早期曾有过因设计理论片面、对自然客观规律认识不足而导致发生的桥难，例如1831年英国的布洛顿悬索桥倒塌和1850年的法国昂热梅恩河桥难，设计者和使用者原来都没有认识到队伍正步过桥会诱发桥梁共振，钢铁巨无霸的桥梁竟会在“一、二、一”的士兵脚步声下毁灭！又如，美国1854年的威灵悬索桥桥难和1940年的

塔科马悬索桥桥难，都是被当时尚未认识到的风动力引致的振动毁掉的。尤其深刻的是，尽管塔科马桥较威灵桥晚建了近百年，却又在尝试变革中重蹈覆辙。这些桥在彼时历史条件下所能认识或考虑到的学识范围内，设计或施工曾被认为“没有问题”，而这些认识上的局限导致的教训极其久远的桥难，正是桥梁科学家必须牢记和予以彻底解决的永恒课题——不仅是事后的分析总结，尤其要举一反三，在理论和实践上加强和提高预见性。

不获原谅的是设计者和施工者疏忽大意、玩忽职守，造成桥梁灭顶之灾——一个中尤以1879年的英国邓迪泰河桥难和1907年的加拿大魁北克桥难为最，它使得原本是“一代天骄”的桥梁权威身败名裂，郁郁而终。而帕劳国的K.B桥，由外国人设计、施工，甫交付使用便危机迭现，虽经添加体外索并变更体系，却旋即“莫名”倒塌，构成“悬案”，更是设计施工中的恶劣个例。所以，设计错误和施工错误，是桥难缘由的最大要害。当年澳大利亚的墨尔本西门桥桥难、德国科布伦茨莱茵河南桥桥难等，作为钢箱梁的先驱，付出了非常惨痛的代价，才警醒世人并开拓出如今气势磅礴的大跨度桥梁新天地。

近年来，大量的事实证明，桥梁管理上的亵渎职守、姑息隐患，也是产生毁灭性桥难的祸源。美国骇人听闻的“银桥桥难”、使布什总统夫妇劳碌奔波的明尼阿波利斯密西西比河桥桥难，都是维修中得过且过的侥幸心理导致的悲剧。对于正在使用中的桥梁，经常和定期进行必不可少的监测、检查，及时消除结构病害，是全世界桥梁界的当务之急。

一座正常使用着的桥梁非自身原因而发生了灾难，例如船舶撞击使桥

梁倒塌了，肇事的船舶当然难脱其咎；不过，在那些容易出现此类问题的地方加强预见性，把桥梁修建得足够牢固和安全，绝对是规划者、设计者义不容辞的崇高责任。那些被洪水冲垮，被冰凌挤垮（例如尼亚加拉瀑布的蜜月桥），被地震震垮，被车船撞垮等种种原因造成的桥难，现在看来绝大部分是可以从规划设计和施工阶段着手而加以避免的。

在中国，近些年来发生桥难的频率之高、影响之巨令人战栗。采取坚决措施防止桥难发生，是科学，更是使命。它是人类同大自然之间的战争，也是同人类自身的劣根性长期斗争之必然。桥梁建设者和政府职能部门任重而道远。

国外已有专门讲述土木工程失败历史及原因的科学讲座。往事不忘，后事之师。希望这部《桥殇——环球桥难启示录》的出版，所起影响不至于仅停留在故事的范畴。

本书经数年翻译浩瀚国外文献，及时查阅中外最新媒体资料而写作，所采用的各类精美图片饱蕴着原作者的辛勤劳动和卓越匠心。鉴于无法一一查究作者名讳，特在此向所有有关专家致最热忱敬意。

热诚盼望各界读者和专家学者教正。

张自荣 艾国柱 夏华晔

2012年于

中铁武汉大桥工程咨询监理有限公司

目 录

1/ 第一章

闹市行军遭意外 打靶归来荡“秋千”

1831年4月12日，英国曼彻斯特布洛顿悬索桥倒塌

8/ 第二章

士兵正步过桥 吊桥共振落江

1850年4月16日，法国昂热梅恩河桥难

14/ 第三章

大河狂飙起 桥魁飞扬坠

1854年5月17日，美国西弗吉尼亚州俄亥俄河威灵桥桥难

18/ 第四章

桥小灾情巨 质差后患多

1876年12月29日，美国俄亥俄阿西塔布拉桥桥难

24/ 第五章

只缘急功利 乐极终生悲

1879年12月28日，苏格兰邓迪泰河桥（Tay Bridge）桥难

30/ 第六章

印费里跟踵泰河桥难 诺伍德警醒政府当局

1882—1891年，英国铁路桥系列事故

36/ 第七章

骑兵队纠纠缠踏过铁链桥 彼得堡漠漠惜待埃及人

1905年1月，俄罗斯埃及人桥（Egyptian Bridge）事故

41/ 第八章

张之洞心有余而力不足 狡沙多计不妥致祸无端

1906—1961年，厄运不断的郑州老黄河铁路桥

50/ 第九章

轻率铸千古恨 铁龙遭两折腰

1907和1916年，加拿大魁北克桥桁架垮塌惨剧

56/ 第十章

人字一桥死亡舞 华工八百不归魂

1908年12月，竣工的滇越铁路保姑人字桥施工桥难

64/ 第十一章

钱塘怒潮声悲壮 抗日烽火影动摇

1937年12月23日，世界最悲壮的桥难——钱塘江大桥之难

71/ 第十二章

伊利湖上冰雹狂雨 蜜月桥下凌汛生灾

1938年，尼亚加拉瀑布下蜜月桥（Honeymoon Bridge）倒塌

75/ 第十三章

拱桥建在三都 倒塌先于二战

1939年8月31日，瑞典三都桥（Sandö Bridge）事故

78/ 第十四章

风魔百年两逞凶 塔科马桥又翻坠

1940年11月7日，美国旧塔科马桥（Tacoma Narrows Bridge）桥难

86/ 第十五章

海峡桥先有铁后续公 事故祸前因船再缘错

1958年，加拿大第二海峡公路桥桥难兼及1930年升降桥倒塌

92/ 第十六章

铁桥饮恨十年祸已启 残桩暗潜一垒灾难消

1960年，英国塞文铁路桥（Severn Railway Bridge）损毁事件

96/ 第十七章

旅游列车高空翻跟斗 劲吹狂风铁桥逢违章

1986年12月，日本兵库县余部铁路桥灾难

101/ 第十八章

苦难耶稣不耐寂寞 喜迎圣诞偏起祸灾

1967年12月15日，美国银桥（Silver Bridge）倒塌

105/ 第十九章

设计施工掉以轻心 英伦墨本重蹈覆辙

1970年，威尔士密尔福德桥和澳大利亚西门桥桥难

111/ 第二十章

科布伦茨桥 莱茵河折腰

1971年11月，德国科布伦茨钢箱梁桥桥难

116/ 第二十一章

散装矿石船猛撞双主墩 整块混凝土横砸肇事船

1975年1月5日，澳大利亚塔斯曼桥船撞事故

119/ 第二十二章

火车撞桥实罕见 弯道出轨最惊心

1977年1月18日，澳大利亚悉尼波尔德街桥（Bold Street Bridge）桥难

121/ 第廿三章

本是阳关道 忽成鬼门关

1980年5月9日，美国佛罗里达旧阳光高架桥桥难

126/ 第廿四章

本是消闲娱乐窝 翻作恐怖大炼狱

1981年7月17日，美国凯悦酒店走道桥倒塌

131/ 第廿五章

伏尔加铁桥利剑缺刀 旅游船大舱哀歌破竹

1983年6月，苏联乌里扬诺夫斯克铁路桥（Ulyanovsk Railway Bridge）船难

134/ 第廿六章

桥跨突然倒塌岂无先兆 人员虽少伤亡犹有后惊

1983年6月28日，美国曼奴斯河(Mianus River)桥难

137/ 第廿七章

本属创意新结构 不意罹祸大悲情

1986年，中国四川达县洲河斜拉桥桥难

139/ 第廿八章

麻痹撞大祸 骄功败垂成

1988年8月，德国阿莎芬堡桥顶推施工灾难

142/ 第廿九章

地震灾害无法避免 桥梁设防应有先着

1989年，美国奥克兰柏树街高架桥(Cypress Street Viaduct)倒塌

146/ 第三十章

驾驶员不识船用雷达 拖驳轮竟撞惊天大祸

1993年9月22日，美国铁路旋转桥（Big Bayou Canot）事故

150/ 第卅一章

圣水桥步魁北克后尘 汉江水泛哀怨声巨浪

1994年10月21日，韩国首尔（旧译汉城）圣水大桥（Seongsu Bridge）桥难

156/ 第卅二章

天涯离岛桥小跨大 记录骄虹玉殒香消

1996年9月，帕劳国科罗尔-巴伯尔图普桥倒塌

160/ 第卅三章

顶推一朝违原理 巨灾七载悬疑案

1998年7月6日，南非印佳卡桥(Injaka Bridge)施工中倒塌

164/ 第卅四章

彩虹忽化波潏碎 噩耗惊传豆渣名

1999年1月4日，中国重庆綦江彩虹桥桥难

172/ 第卅五章

错误导流冲刷浅基础 非法采沙加剧深沉降

2000年8月27日, 中国台湾高屏溪旧大桥倒塌

176/ 第卅六章

葡萄牙亨特兹桥倒塌 新世纪欧罗巴洲震惊

2001年3月4日, 葡萄牙亨特兹河桥 (Hintze Ribeiro Bridge) 桥难

179/ 第卅七章

海滩烟花节 “朝雾” 蒙难日

2001年7月21日, 日本明石朝雾人行桥烟花节桥难

181/ 第卅八章

船撞桥墩惹祸 梁塌公路生悲

2002年5月26日, 美国俄克拉何马I-40公路桥桥难

185/ 第卅九章

豪华快车化齑粉 纷纭原因成谜团

2002年9月10日, 印度拉菲甘奇桥难(Rafiganj Rail Bridge)

189/ 第四十章

肆虐龙卷风摧枯拉朽 十纪金爪桥立传树碑

2003年7月21日, 美国宾夕法尼亚州立公园金爪桥倒塌

197/ 第四十一章

伊凡飓风狂吹 海湾长桥遭难

2004年9月18日, 美国佛罗里达州伊斯坎帕海湾桥倒塌

202/ 第四十二章

小河铁桥山洪 香客列车冤魂

2005年10月, 印度费里贡达列车灾难(Veligonda Train Disaster)

205/ 第四十三章

西班牙高架桥灾情突发 巨无霸八十米高空沉坠

2005年11月7日, 西班牙艾尔姆列卡公路高架桥倒塌

208/ 第四十四章

灾发二零零七 魂断密西西比

2007年8月, 美国I-35W密西西比河桥桥难

213/ 第四十五章

旧桥失修亡羊应补牢 新构造成塞翁当驰马

2008年12月, 美国I-35W桥桥难善后及新桥建造

219/ 第四十六章

扶桑贷款日人承建 越南桥梁芹苴逢灾

2007年9月, 越南芹苴桥 (Can Tho Bridge) 倒塌

224/ 第四十七章

流急航道险 船葬薄墩虚

2007年6月15日，中国广东南海九江大桥船撞灾难

233/ 第四十八章

在建石拱轰然坠地 腾飞凤凰痛兮折翅

2007年8月13日，中国湖南凤凰县沱江大桥坍塌事故

241/ 第四十九章

峡谷吊桥月久年深 山村儿童命苦运舛

2009年4月12日，秘鲁山城科拉科拉吊桥桥难

246/ 第五十章

底特律油罐车大爆炸 高速路跨线桥惨坠落

2009年7月，美国底特律九里路桥桥难

249/ 第五十一章

斜拉桥成印度难题 昌巴尔张鳄鱼大口

2009年12月24日，印度寇塔斜拉桥施工桥难

257/ 第五十二章

脚手架落江溺民工 女英雄飞身救难人

2010年5月6日，中国四川绵阳南山大桥脚手架倒塌事件

259/ 第五十三章

世纪新桥十年倒塌 千岛海角一片震惊

2011年9月26日，印尼卡坦尼加拉悬索桥倒塌事故

268/ 第五十四章

不是九一一 胜似九一一

2012年1月27日，美国肯塔基湖桥船撞桥难

271/ 附录（一）

桥难资料库（Bridge Failure Database）

289/ 附录（二）

世界结构灾害统计表（140-2008）

第一章

闹市行军遭意外 打靶归来荡“秋千”

(1831年4月12日，英国曼彻斯特布洛顿悬索桥倒塌)



美国明尼阿波利斯桥倒塌 (Minneapolis Bridge Collapse)

楔子 建桥警惕隐患 失败转化成功

桥难如同洪水、暴风雨雪、火山、地震、海啸等自然灾害，抑或人为因素的车难、海难、空难、战乱等一样，是危害极大的祸祟之一！它导致标志性建筑物毁灭，破坏人类的正常生活，留下不可磨灭的历史性创伤。

桥难的发生，随着桥梁建造的过程而隐伏潜在。从古至今人类不知已修建了多少桥梁，大部分都已在“桥难”的背景中消失，能保存下来的桥梁，那是人类的瑰宝，是人类智慧和科学发展的结晶。而那些消失了的桥梁，它的灾难是怎样形成的？它又给我们留下了怎样的教训？桥梁工作



桥断了，车悬一线！



桥塌了，摔下河的汽车燃起大火！



世界第一座现代悬索桥——英国门雷桥

者的责任中不可或缺的一项就是要“从失败中学习”，变失败为成功之母，化顿足为额手庆。

时代太久远的“桥难”很多已无从详考，它们的建造条件和灾难成因对于我们多半也已失却了借鉴意义。本书开宗明义讲的是1831年发生在英国的一桩现代桥桥难，甚为经典，极富传奇。

现代吊桥首推门雷 私家创举且看豪斯

1831年4月2日，英国大曼彻斯特的布洛顿悬索桥倒塌，开创了现代桥梁“桥难”的先河！

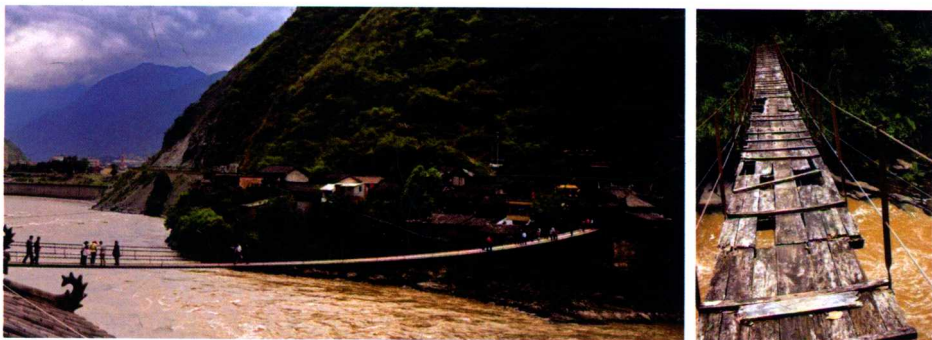
19世纪初，英国已经进入工业化阶段，桥梁建造也呈现出规模宏大、体系创新的好形势。其中，经过改进的现代悬索桥在欧洲大陆诞生，迅速形成如火如荼飞跃发展的局面。以1826年建成的门雷悬索桥（Menai Suspension Bridge）为代表，这种桥型成百上千地在欧洲大陆遍地开花。门雷悬索桥由托马斯·泰尔福（Thomas Telford）设计并于1819年开工。它是世界上公认的第一座

现代悬索桥。而本章所叙述的曼彻斯特布洛顿悬索桥，正是英国首批建造的现代悬索桥之一。

也许读者会说，悬索桥不就是吊桥吗？它的历史久远得很啊，怎么到那时才出现在英国呀？我们需要花点篇幅，针对下面两帧吊桥的照片简单向读者做个介绍：

早期的吊桥，是将缆索（绳、铁链等）的两头锚固在两岸，木板直接铺在缆索上承载行人车马。这种也可称为“悬带桥”的早期吊桥，主缆内力的分配不均衡，特别是稳定性差，极易被风吹翻。

在悬带桥基础上改进的“吊板桥”，把主缆分成平行的上下两层：下层主缆索托住桥面系统；又从上层的两根辅助绳缆上垂下立柱吊杆和吊索（兼起栏杆作用），帮助抬住桥面横梁。横梁上设纵向分配梁，然后铺桥面板，结实而富有刚性。由于总体形心上移，桥梁的稳定性就好了许多。这种吊板桥是一种过渡型，与“现代悬索



早期悬索桥，只由地锚、铁链主缆和桥面板组成
(左图新泸定桥、右图Five Fun悬索桥)



改进的吊板桥，平行的上层辅缆加强了桥面体系稳定性

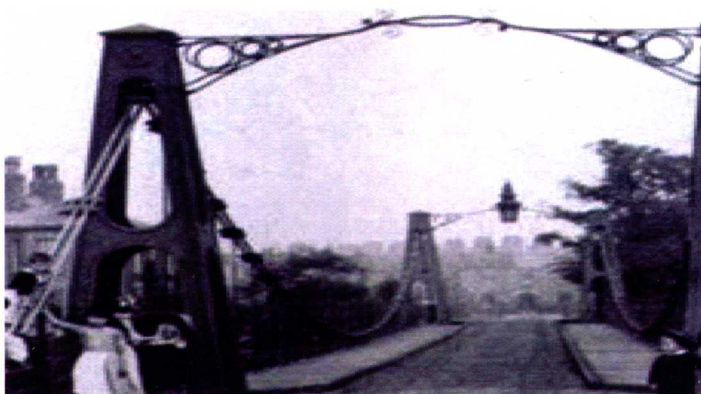


1831—1864年间建的克利夫顿眼杆链吊桥

桥”相比，只是少了主塔。实际上，早在印加时代，把绳索制的主缆分成上下两层锚固在两侧山岩上的这种原始型吊桥就已出现了，山岩起到了主塔作用。只是太粗犷了，没成气候。

以门雷海峡桥为代表的现代吊桥则比早期悬索桥多了抬高主缆的主塔，它分为主缆和锚碇（原有），桥面系统（原有，但经过加强而成为独立的梁、板），主塔（新增的纯受压结构，把全部荷载传至地下）和吊杆（新增）。主塔把主缆位置抬高，充分发挥了主缆的受拉性能优越性，锚碇的重力作用则大大增加了吊桥的稳定性。布洛顿桥倒塌那年奠基的克利夫顿眼杆链悬索桥（Clifton Suspension Bridge）就是成功的一例。

本章讲述的曼彻斯特布洛顿悬索桥，是一座桥面体系纤柔的“吊板式悬索桥”（Suspended-deck Suspension Bridge）——桥面板直接铺在横梁上。该桥是欧洲所建的第一批现代悬索桥之一，它的建造和所有人是豪斯城堡的主人约翰·菲茨杰拉德。



豪斯城堡的主人老菲茨杰拉德自费建造的曼彻斯特布洛顿悬索桥是座人行桥

老子建桥儿炫耀 百姓惊奇兵遭灾

筹划曼彻斯特布洛顿悬索桥的建设者约翰·菲茨杰拉德（John Fitzgerald），是埃尔维尔·豪斯城堡（后成为曼彻斯特赛马场）的主人。此人广有财富又热心公益事业，在门雷海峡悬索桥的激励下，他自费于1826年建造了这座跨度144英尺的悬索桥，将埃尔维尔河（River Irwell）两岸的布洛顿和本德里顿连了起来。该桥距门雷悬索桥的开通才只一年，由于建造的特殊性和实用性，立即成为地方引以为骄傲自豪的标志。值悬索桥已在欧洲备受推崇的背景下，该桥被誉为“时代的新奇迹”。

该桥的设计师普遍认为是塞缪尔·布朗（Samuel Brown），一位海军出身的土木工程师。他是锻铁链的发明人，在悬索桥方面有较多业绩，下面示出的皇家码头就是他的主要作品之一。不过他的设计其总体刚度较差，多遭风毁。我们以后还会讲到他的故事。不过有的资料显示，此桥的施工建造人可能是曼彻斯特的托马斯·彻克·胡斯

（Thomas Cheek Hewes），一位极具天才的水车木匠和纺织机械制作匠。

现在该回头来讲布洛顿（注意不要与布赖顿码头混淆）悬索桥的传奇遭遇了，事故发生在1831年4月12日。

4月中旬的英格兰，天气还算早春吧，第60志愿步枪队（60th Rifle Corps）在陆军上尉P.S.菲茨杰拉德指挥下，完成了在可萨尔荒原上进行的一次训练，正迎着和煦的春风打靶归来。这位陆军上尉就是建造这座桥的城堡主约翰·菲茨杰拉德的儿子。当老子的建了这座造福一方的桥梁，儿子比一般百姓更觉风光。他和他的士兵都对这座桥怀有深厚的感情。此刻，这支由74人组成的特别分队正在返回兵营的途中，他们排成4列纵队，精神抖擞、步履整齐地行经在心爱的大桥上！不知缘何，这些士兵感觉到脚下的桥面正在随他们的步伐开始一起波动。这种振动很有规律，仿佛在对他们发布“一二一”的指挥一样。他们在桥面的晃动下，甚至有种回到了童年的乐趣，感到舒适和逍遥。一些士兵兴奋地吹起了进行曲口哨，大家开始有意识地



塞缪尔·布朗1829年设计建造的悬索桥皇家码头（已毁）

用他们的步伐来“调谐”这种振动，使得桥梁的摇晃越加强烈。那振动使得整座吊桥像荡秋千似地越浪越高，就在队伍的领头差不多立马要上岸时，

“一阵类似于乱枪射击”的声音噼噼啪啪响了起来！紧接着，布洛顿一岸的一根锚定悬链的铁支柱（相当于主塔）朝桥的方向倒下，连带着将桥台上的一块大石板掀了个底朝天！那石板是由一根粗螺栓与桥台连在一起的。锚碇出了问题的桥梁在即将倾覆的危急状态下勉强拖延了一刹那，随即出现了千人惊呼的可怕景象——

一段长16英尺~18英尺（约5米）的桥面轰隆隆掉进了河里！全桥坍了下来，大约40来个士兵随着桥面一起坠落。他们中有的直接被抛入冰凉的河水，有的则狠狠地撞上了铁链。两岸成百上千原本兴致勃勃观看步兵表演的市民，此时不约而同地发出阵阵惊呼！然后这些市民便飞快跑下河岸，动手抢救溺水的士兵。

万幸的是当时桥下的河水只有2英尺多深，所以没有淹死人；但是有20人受伤，其中6名重伤是被折损的枪械或桥体木头砸伤头部所致。



可萨尔荒原仍保持着当年模样

查原因行军是导火索 探结构锚栓成主根源

桥断了，众目睽睽之下，谁都看见是大队的士兵在行军过桥时，引起桥梁摇晃而垮塌了。进一步的调查发现，悬链端头的一根螺栓在连接处断裂，这根螺栓是与地锚的圬工砌体相连的。批评认为，在建造方法上，地锚结构仅依靠一颗螺栓与锚链相连，不如两颗螺栓来得保险；同时还发现，这颗螺栓的锻造质量不好。锚链上的其他一些螺栓也发生了弯曲，只是没有断裂。

调查揭示出，在三年以前，曼彻斯特著名的工程师伊顿·霍奇金孙（Eaton Hodgkinson）曾对锚链的强度表达了某些怀疑，将其与主缆悬链进行了比较。他力主对其进行严格的测试，但是建议未被采纳。调查还揭发出事故前一段时间里，曾经发现一根连接螺栓有了弯曲和裂纹——虽然那颗螺栓在事故发生前已被更换了，可是并没有解决根本问题。调查结论认为，虽然是士兵行军引起桥梁振动而引发了螺栓断裂，但这种断裂迟早都会发生。

当初的这个结论，也许对于布洛顿桥来说是“适中”的，因为结构上和制作细节上的毛病的确存在，即使没有士兵过桥摇晃它，假以时日，迟早是会从结构缺陷和薄弱处发作而崩溃的。但是士兵正步过桥引起的振动问题，调查报告并未充分认识到，更没有提高到“共振”角度上来。一直到1850年法国的昂热桥发生相似的灾难以后，这个问题被重新揭开，源于整齐的步伐导致的机械共振（Mechanical Resonance）才被警觉起来。

布洛顿桥从1826年初次建成，到1831年垮塌，运行了大约5年。桥难后，地方当局和豪斯城堡堡主立即行动起来，很快重新将布洛顿桥修复，并对原来认为薄弱的环节进行了加固。

不过，根据英国和威尔士的皇家地名索引（1870—1872），它是由一个临时砌体支承维系的，桥上总是拥挤着大量的人群。重建的布洛顿悬索桥仍因设计上的毛病于1883年再度重建。该桥三



布洛顿桥垮塌后被立即重建并予加固



1914年修建而取代老悬索桥的布洛顿桁架桥

度重建加固后，一直用到1914年，才被一座普纳特构架（Pratt Truss）人行天桥所取代。后者至今仍在使用中。

为保桥英军走便步 因忘训欧洲禁悬索

布洛顿桥的倒塌导致产生一系列事情和后果：

（1）它使得人们对悬索桥的信心有所丧失。一段时间里，报章杂志异口同声地评论悬索桥是否可靠。有一则评论说：“从事故发生的时刻起，我们将怀疑大门雷桥（Great Menai Bridge）的稳定——尽管它的建造师令人无比钦佩——如果一千人正步走过那端部的塔柱，并且保持规律性的步伐走向桥的另一头的话。以它那样长大的跨度，振动将是十分剧烈的，从而极有可能发生某种十分巨大的灾祸。”

这当然是因噎废食的错误论点。但是，他们的担心不是多余的，尽管当时尚未认识到“共振”引起的诸如扭曲振动等力学问题，但振动导致桥梁倒塌的现象却是被注意到了。包括门雷桥在内的一些悬索桥后来都进行了加固。

（2）布洛顿桥的倒塌，使军方受到舆论压力。英国军队为防止类似情况，后来发布了“便步走（Break Step）”的过桥准则。这是十分明智的规定。伦敦著名的艾百特桥（Albert Bridge）接受教训，专门在桥头嵌上了警告标牌，上面刻着“便步走”准则：“All troops must break step when marching over this bridge（所有军队行军经过本桥时必须便步走）。”