

GONGCHENG JIEGOU ZAINAN
SHILIAO XUANBIAN JI YANJIU

工程结构灾难 史料选编及研究

◎常连芳 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

工程结构灾难 史料选编及研究

常连芳 编著



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

内容提要

本书内容包括两大部分:一部分介绍国外工程结构一些著名灾难发生的原因、过程、善后和经验教训,涉及桥梁、房屋及挡水坝等建筑;另一部分介绍笔者对工程结构灾难研究的著述,议题有:论原因、论倒塌、论轻柔建筑的推广应用、既存建筑物的加固及进一步开展结构灾难研究的建议等。

全书内容侧重对结构灾难发生原因的力学解读,涉及定性力学、倒塌力学及加固力学等多方面的内容。本书对史料及力学命题采用简约讲法,注重定性概念而不过多引申,但附有必要的参考文献,这样,可节约篇幅且能适应有不同需求的读者。

本书是一本反面教材,其警示作用有利于吸取教训、少犯错误。它也是一本科普读物,简明易懂,史事纪实和科学知识兼容,广泛适宜于建筑行业工作人员阅读,也可供“灾难学”、“失败学”研究人员参考。学校教师若在课程中适量引进一点工程结构发展及灾难史,将有利于教学质量的提高。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构灾难史料选编及研究/常连芳编著. —武汉:中国地质大学出版社,2009.1

ISBN 978-7-5625-2322-2

I. 工… II. 常… III. 工程结构-灾害-史料-世界 IV. X4
TU712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 211634 号

工程结构灾难史料选编及研究

常连芳 编著

责任编辑:谌福兴

责任校对:戴莹

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮政编码:430074

电话:(027)67883511 传真:67883580

E-mail: cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cn

开本:850 毫米×1168 毫米 1/32

字数:100 千字 印张:3.375

版次:2009 年 1 月第 1 版

印次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印刷:武汉教文印刷厂

印数:1—2 000 册

ISBN 978-7-5625-2322-2

定价:10.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

在国内,讲解如何设计和建造工程结构的著述很多,但系统分析事故教训,特别是倒塌灾难的著述则很少。笔者认为,对工程技术人员而言,若只有正面知识而无反面知识就不能算有完整的知识,对学生而言,若只受正面的教育而不受反面的教育就不能算受到了全面的教育。有鉴于此,笔者将多年来收集到的有关建筑结构灾难事故的资料编写成这本小册子,意欲作为反面教材,供土木建筑专业工程人员和学生以及“失败学”、“灾难学”研究人员参考。对于教师,若在课堂上适量引进一点工程史料,对教学质量的提高将有裨益。

本书的史料素材主要取自 Levy M. and Salvadori M.; Henry Petroski; Ross S. S. 的著作,同时也从 Judith Dupre; S. P. Timoshenko; Bolt B. A.; 金尼克; Den Hartog J. P.; Norbert Delatte 等多人的著作中吸取了不少宝贵的内容。

在本书的最后,笔者归纳了工程结构事故或灾难可能发生的原因,给出了常见工程结构失事的力学因素及进一步开展研究结构灾难的建议。

引用史料中的计量单位多为英制,本书不作改动,但在附录中给出有关单位的换算公式。

常连芳

2008 年 3 月

序 1

常连芳教授新著《工程结构灾难史料选编及研究》出版在即,可喜可贺!作者嘱我写几句话,我诚惶诚恐。常先生多年致力于结构力学的教学和研究,造诣深厚,著作颇丰;教书育人,桃李芬芳。我忝列同辈学友,粗读老友新著,更是心有戚戚,感慨良多。

人类文明的进步和跃升,主要是在已有的文明成就基础上,不断传承,不断总结,不断完善,不断创新。如果说人类比其他生命体高明一些,总结自己的失败的教训,从而避免悲剧的第二次上演,可能是最重要的方面。就动物界而言,在非洲大草原,大型猫科食肉动物对于数量远远大于它们的食草动物的各个击破的围歼,固然是生物界自然规律使然;数量优势明显的食草动物并没有学习能力来改变其同族不断被吞食的命运,也可以说是它们(食草动物)不会从失败的教训中学会保护自己。人类的幸福当然不是唯一源于灾难,但是,不可否认,因祸得福的辩证法的确是人类文明进步的一大法则。随着世界产业革命时代的到来,工业文明极大地张扬了人类的外部征服欲望,各种建筑物应运而生。高楼林立,桥梁纵横,场馆奢华,水坝宏伟……现代工业文明的森林般的耸立,使得古希腊、古罗马的巨型建筑,中国的万里长城、都江堰,古埃及的金字塔显得形单影只,甚或相形见绌。尤其是19世纪以来,摩天大楼、巨型大坝在世界各地竞相崛起,整个地球不折不扣地成了一个“建筑工地”。于是乎,以工程结构为内核的建筑物坍塌、倾斜、变形、毁坏事件层出不穷。笔者从重大的国外工程结构灾难中加以专业化选择,进行专业化和社会化两个方面的分析,给人以良好的专业启发和深刻的社会思考。

全书包括17个话题,从“工程结构灾难——一个永恒的话题”入手,引人入胜地分析了近代发达国家建筑物工程结构灾难的典型事

件:命运坎坷的加拿大魁北克大桥倒塌灾难、灾难各异的多起国外桥梁坍塌事件、摩天大楼和公共场馆的坍塌、水电站大坝的决堤及诱发地质灾难……。本书的第17章总括全书,强调开展工程结构灾难研究的理论意义和实践价值。全书的结构谨严,图文并茂,资料丰富,分析深入浅出,故事栩栩如生。常先生以结构力学专家的深厚功力分析工程结构灾难的案例,却又不限于单一的结构工程专业,分析了与之相关社会的法律、政治、经济、文化诸多领域,反映出作者高明的学术视角和严肃的社会思考。力学门外汉如我者捧读已觉兴趣盎然,想来内行品读,更会爱不释手吧!

工程结构灾难问题首先是建筑物工程的一个基本的专业问题。能否避免工程结构灾难,基本依据无非是设计的科学性、施工的合理性、材料的可靠性、使用的适当性。第一个问题往往不是孤立的,涉及专业领域之外的众多问题,如造价和成本、时间进度要求、无法预知和不可控制的外部环境、利益集团的介入、公众的关注……,一个成功建筑物工程的实现,就是工程专业技术与其他因素的有机平衡和协调。单一的工程结构技术决定论在现实生活中往往是很难行得通的。然而,不以科学性为指导,屈服于长官意志或者利益集团的要求,或者基于牟利的种种偷工减料、以次充好行为,或者迎合公众某种特殊偏好的工程结构设计,或者醉心于设计者以往的经验而无视工程设计中复杂的现实问题,等等,常常是灾难的祸根。魁北克大桥的坍塌源于设计者的盲目自信,以及官僚主义主宰下的责任缺位。事故固然使得设计师的一世英名毁于一旦,更使75人无辜丧生!美国堪萨斯城 Hyatt 旅馆人行天桥1981年7月17日晚上轰然倒塌,114人惨死、200多人受伤。事故竟然源于建筑承包商的无知修改建议和设计师的轻率接受!可见,工程结构灾难的问题,更多的是社会相关因素的综合作用,而设计师坚守科学的立场又是何等的重要!书中关于水坝漫堤决堤事故的案例分析,以及大型水利工程对于诱发地质灾难的分析,亦是发人深省的。

掩卷深思,连芳学长的新著是不能不令人联想到当今中国的如火如荼的建设事业,特别是规模巨大的工程建筑。比方说,改革开放

以来,特别是20世纪90年代中后期以来,北京市每一年的建筑工程规模超过了欧洲的当年建筑规模的总和。近年来,中国的水泥消费量、钢铁消费量都是稳居世界第一,这样的“头把交椅”显然是由建筑工程决定的。一方面,大型工程的上马建设投资浩繁、成就巨大;另一方面,工程结构灾难屡见不鲜、触目惊心。所以说,这本书与其说是总结过去,批评国外,毋宁说是警示当今,告诫世人:触目惊心的建筑悲剧在当今中国依然屡屡出现。我们应当行动起来,以应有的社会良知,防止“豆腐渣工程”的乔装打扮、公然上演!

本书的另一个重要启示是,我们如何学习国外的保护古代建筑文化遗产的经验。与生命界一样,所有的建筑物都不可避免地经历“从摇篮到坟墓”的过程。其“死亡”的方式可以是“寿终正寝”——被正常拆除、定向爆破;可以是“死有余‘骨’”——作为建筑文化遗产被保护供人类观赏;最坏的就是“死于非命”——就是各种建筑灾难,特别是来自内部的种种堂皇借口强行拆除,从而出现的工程结构灾难。当今中国在建筑工程的“寿终正寝”方面可谓进步非凡,在建筑工程的“死于非命”方面悲剧多多,而在建筑工程的“死有余‘骨’”方面却是乏善可陈。君不见多少数百年甚或上千年古建筑毁于当代!北京市的四合院几乎绝迹,许多古城的老城墙早已湮没无痕,偶尔发现的山区古城镇保存尚好的明代清代街道、聚落,一经曝光就成为旅游破坏的首选,或者开发破坏的目标。看一看意大利是如何保护比萨斜塔,并且有效地进行旅游开发(本书第12章),我们将有所反思和启迪。

读一本好书,就如同交一个好友,连芳学友是我的武汉大学同学,也是在武汉水利电力学院的老同事,前后垂50余载,诚然是我一直尊敬的益友。读好友新著,更是老境雅乐!他的新著嘱我新闻,且谬以作序之托。愚不得已略抒一二陋见,以就教于连芳学友,见笑于方家!

燕赵布衣 李育

2008年4月22日(戊子年三月十七日)于珞珈山

序 2

多年来,常连芳教授撰写的文稿总嘱我提意见,现在又嘱我为其新作写序言,个人水平有限,实在不敢担当,但面对老同事和好友之托,实在不好推辞,但不知如何下手,于是我将文稿认真拜读了两遍,深感文稿结构严谨、图文并茂、资料丰富、论述清晰、深入浅出,逐章阅读,受益良多,真有些爱不释手了。又深感文稿立意深远,值得向大家推荐。

从古至今,以结构倒塌为代表的灾难性事故永远和人类的活动相伴随,不仅在科学落后的古代,就是在今日的高科技发展时代,结构工程灾难倒塌案例仍然时有发生,特别是当我们经历了2008年初的特大雪灾和2008年夏的特大震灾之后,更加强烈地感到研究结构倒塌失事的原因和对策,是广大科技工作者应肩负的迫切任务和责任。

为了借鉴,作者博览群书,广泛收集结构倒塌的国内外资料,归纳总结,编写了这本书。依据中国古训“失败乃成功之母”的哲理思想,作者强调“坏事向好事转化”的观点,并运用辩证方法,从外因、内因等诸多方面归纳了结构倒塌的种种根源,为今后的建设工作提供借鉴。文稿中,“灾难发生规律性探讨”一节的观点,对防治自然灾害和工程结构倒塌事故有启迪和警示作用,文中称“虽然有许多灾难的发生都是有突发性,但它们的发生似乎也存在着一一定的规律性,如自然灾害发生周期的倍九数假说、著名桥梁倒塌周期的三十年假说,等等”,这些警示性假说,特别在今天全球化楼高大比拼、桥长大竞赛中应引起人们高度的重视和警惕。即令这种假说成立,人们应研究破解之策。

本文稿内容并不局限于一般历史性事故史料的简介,而且是一

本具有多方面丰富科学知识的专著。在第十六章“工程结构灾难泛论”和第十七章“略论工程结构灾难的研究”，都是作者多年的研究成果。

在第十六章文中提到，工程结构失事往往不是单一因素造成，而是诸多（含外因、内因、力学、勘测和设计、不可预测的偶然原因，等等）因素的最不利组合造成的，这一论点非常重要，它告诉我们当分析工程事故时，要力求避免片面性（当然，也不能主次不分）。第十七章提出了一个重要课题，建议开展“失事模式”的研究，应引起同行的重视。正如有人所说：“正确的设计工作就是做两件事：一是罗列出一切可能失败的模式；二是逐个地加以排除。”

作者依靠深厚的力学功底，对倒塌工程结构存在的力学问题进行了归纳分析，揭示出导致工程结构倒塌的力学根源，例如美国一个旅馆人行天桥吊杆断裂，造成人员死伤的惨剧，就是由于不重视力学分析随意修改原设计，把整根吊杆改为两段架设，改变了原设计的力学模型，终于酿成了大祸。文中在解释这一问题时，用两个人爬绳为例，采用两种不同方式，一种是两人分别抓住绳子向上爬，另一种是下边人抓住上边人的腿向上爬。显然第二种方式中，上边那个人手中的握绳力为用第一种方式时的两倍。这就说明，施工中应保证实现原设计计算用的力学模型。力学方面的内容文稿中还有很多，读后就会感受到设计中考虑弹性稳定问题、悬索桥风振问题、大面积屋顶的积水问题等力学问题的重要性。然而，不幸的是，这些内容在一般教科书和一般著作中往往很难看到。

文稿中介绍的历史上工程结构倒塌灾难事故的诸多事例，都是有血的教训的，设计施工稍有不慎，就会酿成大祸。例如震惊世界的两座著名大桥倒塌事例，史事发人深省，一座为加拿大的魁北克大桥，另一座为美国的塔可马海峡悬索桥，它们都是由当时世界级桥梁专家主持设计和建造的。两位工程师中，一位盲目自大，不肯听取别人意见，另一位盲目追求桥的长度和纤细，结果造成两座大桥倒塌破坏，死伤惨重，损失巨大。他们两人都终生遗憾不久谢世而去。这些惨痛历史我们应该记取。当今我国的建筑行业正在高速迅猛向前发

展,“政绩工程”和“形象工程”层出不穷,“求高、求新、求洋”盲目攀比,若不强调科学态度,谨慎行事,可能潜在着失败和隐患。

文稿中提出在课堂上适当引入反面典型内容的建议很好,正如在前言中所说“对学生而言,若只受正面教育而不受反面的教育就不能算受到了全面教育”,又说,若教师能在课堂上适当补充一点工程失事史料,对教学质量的提高将大有裨益。我认为,这是一项具有战略眼光的建议,如果这一建议能得到实施,将有助于教学质量和学生素质的提高。

文稿中介绍的关于国外对灾难事故处理和研究的公开化乃至使学科得到突破性发展的事例不少,它给人们留下深刻的印象,这和国内不少单位隐瞒事故真相,讳疾忌医,对待事故不了了之,痛失发展科学契机的现象形成极大的反差,不禁令人叹息。失败和灾难是坏事,失败和灾难也是老师,我们要善于从失败中学习,在学习历史上经验教训的同时,也要从现实的失败中学习和发现新的东西。

最后还要顺便指出,本人对文稿作者知之甚深,他一生勤奋好学,真是活到老,学到老,现虽年过八旬,但仍勇于探索。自退休后,一直致力于工程力学定性、工程结构灾难及工程结构加固力学三个相关领域的研究,从未停息,而且卓有成效,这种精神,值得敬佩。

段克让
2008年6月

目 录

1. 工程结构灾难——一个永恒的话题	(1)
2. 命运坎坷的魁北克大桥	(6)
3. 塔可马海峡悬索桥的失事	(12)
4. Point Pleasant 桥的坍塌	(21)
5. Mianus 桥的塌落	(24)
6. Hyatt 旅馆人行天桥的灾难	(27)
7. 几座球面屋顶壳的坍塌	(31)
8. 几座体育馆屋顶的坍塌	(36)
9. 飞机穿透了一座摩天大厦	(42)
10. 一座卡片式房屋在升板装配过程中倒塌	(46)
11. Hancock 大厦的烦恼	(49)
12. 称奇的建筑物沉浮	(51)
13. 一座变成废墟的金字塔	(56)
14. 几座挡水坝的失事	(58)
15. 蓄水诱发地震史话及一着驭震险棋	(62)
16. 工程结构灾难泛论	(66)
17. 略论工程结构灾难的研究	(80)
参考文献	(87)
后 记	(89)
附录一 火灾和爆炸	(90)
附录二 与本书有关单位的换算公式	(93)

1. 工程结构灾难——一个永恒的话题

自古以来,人类为了各种需要不断修建各种工程。这些结构若不幸破坏或倒塌,总会造成生命或财产的损失。因而,灾难的发生及对灾难的防范就成为人类一个永恒的话题。这不仅反映在人类的实践活动中,而且也反映在小说、电影乃至传奇故事中。1912年泰坦尼克号客轮在大西洋与冰山相撞导致船体破裂,沉没海底的惊心动魄的情景,在事过90年之后又在电影银幕上重现。远古时代巴比楼倒塌的故事,说的是,地球上的先民们由于过度贪婪,要修造一座高楼,直通天堂和上帝平起平坐。这就激怒了上帝,当大楼修得相当高的时候,上帝就把它推倒了。这座尚未通天即被推倒的高楼建于古巴比伦的巴比城。对于现代的工程师而言,当然不会相信该楼的倒塌是由于上帝的发怒,而且自然会作出令人信服的解释。即令使用最结实的石料去建筑,当越垒越高时,在重力作用下,其下部石料也可能被压碎,即令这座楼的高度尚未达到压碎下部的程度,地震或风力也会使它倒塌。大家知道,地震力和建筑物的自重成正比,并大约和建筑物高度的平方成正比。风速随高度增大,而风压力又和风速的平方成正比。

为了保证建筑物的安全,在历史上,处理结构破坏最早的法规要回溯到距今四千年前的巴比伦王朝六世。那时,制定了海姆比(Hammurabi)法典。其中关于建筑物安全事故的规定有:如果房子不牢固因而倒塌并致房主死亡,则建筑者本人应处死;如果死者是房主的儿子,则建筑者的儿子应处死;如果死者是房主的奴隶,则应赔偿房主以同样价值的奴隶;如果损坏了东西,则建筑者应负责修复……。显然,这个法规对建筑者是太苛刻太严厉了,而且也多不合情

理。

在桥梁建筑方面,古代长期使用石料和木材,由于这种桥的规模很小,万一倒塌影响不大,再加上信息闭塞,所以那时的灾难不太被广大的世人注意。但到后来,特别是工业革命以后,随着工程材料的发展及公路铁路交通的需求,逐渐用金属材料代替传统的木材和石料去建造大跨度的桥梁。由于早期的金属桥使用的是生铁或熟铁,其力学可靠性较差,所以发生过不少的倒塌事故。可以说 19 世纪是欧美一些国家桥梁灾难的高峰期,它引起各界人士的广泛关注,甚至在社会上产生一定程度的灾难恐惧症。1847 年,英国女皇维多利亚任命一个委员会,专门调查铁在桥梁上的应用情况,并要求研究为什么多起桥梁当列车过桥时,在无任何警告的情况下突然倒塌。1851 年在伦敦海德公园建成了水晶宫,占地面积近 19 英亩,工期仅用 17 周,效率之高,主要得益于技术创新,如标准化设计等。但是,人们因受桥梁灾难影响而心有余悸,提出了这座用铁材和玻璃做成的建筑物是否安全的问题。因而在女皇维多利亚及其随员来视察之前,调集了一些士兵在结构上跑步,作为动荷载以考验建筑物的强度,如图 1-1 所示。

19 世纪 40 年代,在美国也修建了相当数量的铁桥,发生了不少倒塌事故,也有些是在列车经过时突然断裂。当 1850 年位于宾州的一座桥在列车通过时突然倒塌后,有些州的当局曾指令将铁桥换成木桥。当伊利诺斯州戴杭地区(Dixon)的一座桥倒塌后,全美土木工程学会成立了一个委员会,专门研究避免这种灾难的对策。1876 年,在俄亥俄州阿士塔堡(Ashtabala)地区一座构架式铁桥倒塌,死亡上百人。这时哈珀(Harper)周刊发表文章无奈地问道:难道没有办法使铁桥安全吗?

从石桥到铁桥,中间经过了漫长的岁月。从铁桥到钢桥的兴起,大约经历了上百年。钢材的力学性能远优于铁材,特别在抗拉强度方面远非铁材可比。此后桥梁的倒塌事件理应减少甚至消失,然而,

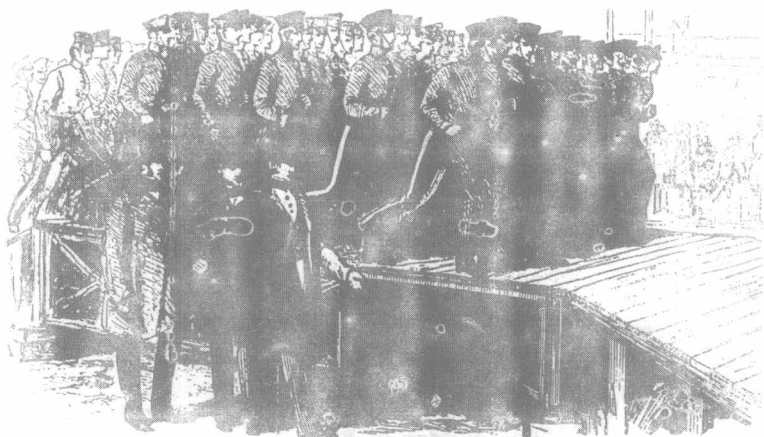


图 1-1 用人群动荷载考验建筑物的强度^[1]

事实并非如此。从 19 世纪后期一直到 20 世纪,仍然有不少钢桥倒塌。事实上,桥梁失事的原因并不仅仅是由于铁材的脆性和抗拉能力太低,还有其他多种原因。在桥的尺度不断加大的情况下,风的动力作用、长薄元件的弹性稳定性等因素更加突出。在那个年代,工程师罗耶伯林(Roebling)父子接受了以前一些悬索桥失事的经验教训,于 1883 年建成了布卢克林(Brooklyn)大跨度悬索钢桥,解决了纽约西南部工业区和曼哈顿之间的交通。桥很坚固,其强度和刚度可承受满载客人的火车。尽管如此,桥梁开放一周后的一天,突然传来了桥要倒塌的谣言,数以千计被频发的桥梁事故灾难吓怕了的人群,惊慌地在狭道区里拥挤逃命,如图 1-2 所示。

有人问 19 世纪以来,桥梁倒塌的数目到底有多少? 各种说法不一,但都没有真切的依据。《结构灾难》(*Construction of disasters*)^[2]一书的作者估计,在灾难高发期仅在美国每年大约有 150 座桥梁倒塌。这就强迫人们去研究对策。围绕一些重大事故,常会提



图 1-2 被桥梁灾难吓怕了的群众听到桥垮的谣言后争相下桥逃命^[1]

出一系列调查报告、试验报告、理论分析等论文。特别值得一提的是期刊《工程新闻记录》(Engineering News Record),它长期刊登失败和成功的事例,目的在于给读者提供有用的信息,仿效成功或以免重复失败。另外,研究结构灾难的专著也不断出版。最早的一批中包括有 1887 年出版的 Vose, George L. 的《美国桥梁灾难与对策》等著作。较近代的名著有 1984 年出版的 Steven S. Ross 的《结构灾难》,1992 年出版的 M. G. Salvadori 的《结构为何倒塌》,以及 1994 年初版 1998 年第四次重印的 Henry Petroski 的《工程中的失误案例及评论》等。根据媒体报道,日本科技厅成立了“活用失败知识研究会”,其任务是构筑《失败学》,其中也包括建筑物的坍塌。总之,工程结构灾难的研究和对策,的确是一个永恒的话题,它具有广阔而艰巨的研究任务。

2. 命运坎坷的魁北克大桥

在材料力学教材里,当讲到压杆弹性稳定性的欧拉公式时,几乎没有例外地都提到魁北克大桥的失事作为实例。事件的原委是这样的:20 世纪初,加拿大计划在魁北克修建一座跨越劳伦斯河的大桥。魁北克桥梁公司聘请 Cooper 为总工程师,他在诸多方案中选中了伸臂构架式结构,认为它是在所提方案中最好且最省钱的。这种桥型的构思如图 2-1 所示。这个图形是 Baker 工程师为创建 Farth 伸臂式大桥时在 1887 年间和他的同事们一起用身体构成的示意模型。

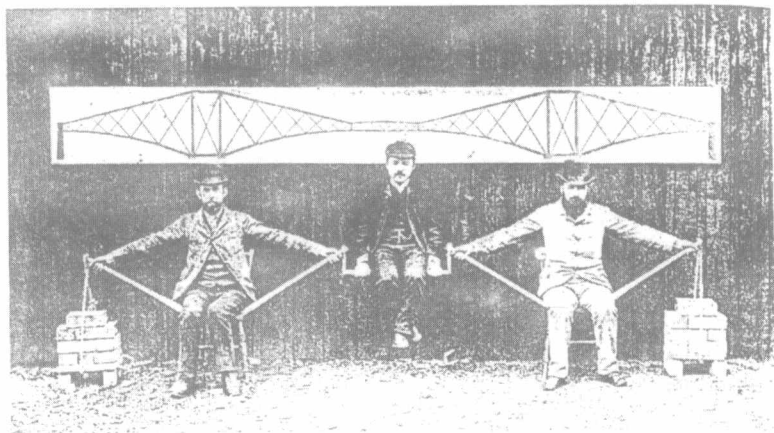


图 2-1 Baker 和他的同事们一起用身体构成的伸臂桥示意模型^[3]

Cooper 选中的设计方案中拟定的主跨两支墩间距为 1 600 英尺。后来他认为河床中部水深流急,若将两支墩分别向岸边移动一下,水位浅些,修桥墩的费用会省许多。于是,他决定将主跨长度从