

谨以本书献给

伟大的中华人民共和国

成立五十周年

钱冬生

铁路科技图书出版基金资助出版

# 钱冬生桥梁与教育文选

钱冬生 著

中国铁道出版社

1998年·北京

(京)新登字 063 号

### 内 容 简 介

本文选收录了我国著名桥梁专家、工程教育家钱冬生教授的论述 42 篇。

内容反映作者几十年来对国内外桥梁科学技术问题的研究与见解,对我国工程教育事业倾注的心血与贡献。

值得科技界、工程界、教育界的领导人员、管理人员、研究人员、教学人员、设计人员、施工人员研读与参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

钱冬生桥梁与教育文选/钱冬生著.-北京:中国铁道出版社,1998.9  
ISBN 7-113-03093-9

. 钱... . 钱... . 桥梁工程-文集 工程-教育-文集 .U44-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 23621 号

书 名:钱冬生桥梁与教育文选

著作责任者:钱冬生 著

出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:刘启山

责任编辑:刘启山

封面设计:

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:20.75 插页:2 字数:800 千

版 本:1998 年 月第 1 版 1998 年 月第 1 次印刷

印 数:1— 册

书 号:ISBN7-113-03093-9/TU·585

定 价:65.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

钱冬生教授与夫人李绮云女士  
在校园茅以升老师铜像前的留影

# 序

值此钱冬生教授八十大寿的喜庆日子临近,《钱冬生桥梁与教育文选》出版了,我从内心里感到高兴,谨表示祝贺。与此同时,我也要向中国铁道出版社的诸位编辑、特别是责任编辑刘启山学长表示感激,感谢他们为我们做了一件大好事。

钱冬生教授是我的老师,作为他的学生、助教、助手,我一直对老师十分钦佩。四十余年,我和老师的联系从未间断过,即使在我去苏州工作的六年中,那也是常有联络,常有来往的。

钱冬生老师,作为一名学者、教授,他从严治学,无私奉献。在做学问上,他一丝不苟,学生们都对他深感佩服。冬生老师作为一名专家,他热爱桥梁工程超越所有。武汉长江大桥、南京长江大桥、大跨度悬索桥、桥梁钢材、桥梁规范,无不倾注了他的心血,受到广大桥梁工作者的瞩目。冬生老师作为一名长者,他风范照人,艰苦朴素,作风严谨,诚以待人,胸怀坦荡,直言陈词,表里如一,从而受到与他接触过的朋友的尊敬。

钱冬生教授的人品、学问、作风都为我们树立了极好的榜样。他是西南(唐山)交大 102 年历史中许多优秀的老教师中的一员,而学校也就是因为有了这些老教师而不断地发展,不断地前进的。

这次问世的《文选》,收录了钱冬生教授 1963 年以后,而主要是“文化大革命”之后的论述。在这 42 篇论述中既有有关教学方面的,也有桥梁工程技术业务方面的,还有做人、做事、需要大学生加强素质修养方面的。文章精辟,内容丰富。我认为,这些论述反映了我西南交大桥梁专业成长和发展的经验。对于我们继续搞好学科建设是极其珍贵的。还望桥梁专业的后继者知道重视。

作序,我是万万不敢担当的。作为学生,祝贺老师八十大寿,祝贺老师《文选》的出版,写些我得以想说的话,那倒是我极为愿意而且也是应该的。现在,权且写上这几句话作为介绍。

中共西南交通大学委员会书记 胡正民

一九九八年一月二十八日

戊寅年春节

# 自叙

(1998)

一、西南(唐山)交通大学的优良传统和茅师(以升)的身教,激励着我笔耕不辍

1996年,既是西南(唐山)交通大学建校100周年,又是老师茅以升先生诞辰100周年。在1995年5月,西南交大土木工程学院成立《西南(唐山)交通大学土木学科发展一百年纪念册》编写组,我是组员。而在1994年10月,在北京,茅以升科技教育基金(管委会)为筹编《茅以升科技文选》成立一编委会,邀我为编委。

回忆我1938年3月至1940年8月在母校读书(在湖南湘潭、杨家滩及贵州福泉),亲炙于罗忠忱、茅以升、顾宜孙等老师的门下。毕业之后,在工程界颇受校友照拂。1949年3月返校执教,到1995年,又是47年。耳濡目染,所感受于母校的影响至深。在《纪念册》编写过程中,感到我校在历史上规模不大;全国解放之前,本科毕业生总计只1930人,其中土木工程者为1331人。可是,其影响却不小。这显然是同教育质量有关;而教育质量又是同其优良传统不可分。挖掘优良传统,以告后人,似乎是编写者的责任。于是,根据史实,试按人生理想、工作态度、治学方法、治学目标四个方面,对我校历史上有代表性的师生员工、校友的言行稍事归纳,得到四句:爱国爱校(人生理想)、敬业尽职(工作态度)、勤学深思(治学方法)、务实求索(治学目标),(见本文选第29篇。)另外,应《茅以升科技文选》编辑刘启山之约,将茅老的博士论文译为中文。译后颇有感受,乃草成《试谈继承和发扬茅老的身教》一文(本文选第30篇),并将茅师的身教归结为“以桥梁为专业,学习并传播实用工程知识,一心一意建设祖国”。

自量平生对于工作、对于学习,尚能保持母校优良传统,不忘茅师身教。在工作和学习之中,多少有其一得,乃不免笔之于书。可以认为:这是母校的优良传统和茅师的身教,在激励着我笔耕不辍。

二、爱国爱校、敬业尽职的优良传统,使我教书育人、永无止息

教书育人,目的在教导新一代人如何做人、如何做事(包含治学)。这都要有正确的世界观、人生观、价值观作指导(见本文选第5篇、第23篇、第36篇及第40篇),也要从日常一件件小事入手。对教师讲,每一堂课都应认真准备,认真讲授,及时总结并且改进;这既是我西南交大的传统,也是对教师的一个起码要求。更进一步,为适应拓宽专业面需要,每一门课如何反映当代科技的先进水平,如何联系生产的最新成就,如何适应人的认识规律,由浅入深,由表及里,循序渐进,则了解教育方针、熟悉教学计划和教学大纲、编写及修订教材,又是十分必要的(见本文选第37篇)。随着时代前进,新一代人各有其时代特点,并且不断涌现。如何因材施教,工作确是永无止息。

从80年代开始,培养研究生的任务被正式纳入高等学校。在指导博士生方面,一则是引导他们沿着不同的发展方向前进,不受指导教师业务专长的限制,再则是重视爱国主义思想教育。今录吾所曾指导的博士姓名、论文题目及现况如下:

强士中,1985年得学位,论文为《动态松弛法和板件承载力》。在西南交大,他是得到本校授予工学博士学位的第一人。现为教授,西南交大土木工程学院院长。

尹德兰(女),1988年得学位,论文为《加劲板在面内荷载下的弹塑性大挠度分析》。1995年起,到美国,在得克萨斯州从事工程设计工作。

郑凯锋,1991年得学位,论文为《桥梁损伤评估及对策专家系统的研究》。现为教授,西南交大科研处副处长。

鄂国康,1991年得学位,论文为《算子方程(组)数值求解问题的拓扑理论》。现为西南交大副教授,借调于澳门大学科技学院。

李亚东,1992年得学位,论文为《结构可靠性理论及其在铁路桥梁结构中的应用》。现为西南交大副教授。

孙林夫,1993年得学位,论文为《桥梁工程智能CAD技术研究》。现为教授,西南交大CAD中心负责人。

陈仁福,1994年得学位,论文为《大跨悬索桥理论研究》。现在广东省伶仃洋大桥建设指挥部工作(在珠海市)。

唐继舜,1997年得学位,论文为《板钢结构桥梁计算及仿真分析技术研究》,现为西南交大副教授。

谢尚英,1997年得学位,论文为《大跨度拱桥的理论和实践研究》,现为西南交大讲师。

### 三、勤学深思、务实求索的传统,使我治学处世、奋进不已

世界极其广袤、复杂,而且在不断发展。为了认识、适应并改造世界,除参加实践外,还应求教于前人,不断地深入思考,直至逐步形成自己的思想体系。勤学深思,这是学者的品质;务实求索,这是杰出工程人员的特点。这都是西南交大的优良传统。

凭借这一传统,我曾对钢结构疲劳问题(见本文选第1篇、第2篇、第3篇、第8篇、第13篇、第33篇)、钢压杆稳定问题(见第4篇及第6篇)、桥涵设计规范问题(见第9篇、第11篇、第15篇、第16篇、第17篇、第18篇、第32篇、第38篇)、桥梁史问题(见第10篇、第35篇、第41篇及第42篇)、桥式及大跨悬索桥问题(见第20篇、第21篇、第22篇、第24篇、第25篇、第26篇、第27篇、第31篇、第35篇、第39篇)进行了一些学习和传播。人生苦短,收获有限。留下札记,无非是记其爪痕,使后来者可以借鉴痕而已。

### 四、事业无穷,甚盼后来者持续努力

教育工作,桥梁事业,这都是人类持续存在着的大事。作为一个参与者,阅历受到限制,只能就其认识所及而抒发拙见,实冀抛砖引玉,取得共识,共襄盛举。现所不能实现者,甚盼后来者给予订正,持续努力,不断地取得新的成果。

行将八秩,爰择其有代表性的著述,共42篇,辑成这一文选,请就正于高明。另将本人简历列为附录,以备查考;伏祈指教为荷。

钱冬生谨识

1998年1月

# 作者简历

1918年12月23日,生于江苏省镇江市市区。

1930年夏,毕业于镇江私立润商学校(小学)。

1933年夏,毕业于江苏省立镇江师范学校初中部。

1936年夏,毕业于江苏省立扬州中学高中部。

1936年至1937年,在国立交通大学(上海)机械工程学院读书。

1938年3月至1940年8月,在国立交通大学唐山工程学院土木工程学系读书,得工学学士学位(院址当时是在湖南湘潭、湘乡杨家滩及贵州福泉)。

1940年9月至1942年3月,在华北水利委员会任练习工程师及助理工程师,会址重庆南岸放牛坪。

1942年5月至1945年5月,在宝天铁路工程局任工务员,局址甘肃天水。

1945年6月至1946年7月,通过美国对华《租借法案》的安排,在美国伊利铁路公司(公司设在俄亥俄州克利夫兰市)实习,并曾在林肯电气公司(也在克利夫兰市)学习焊接工程。

1946年9月至1948年12月,在南京国民政府交通部路政司工务科,任技士。

1949年3月至1951年夏,在国立唐山工学院、中国交通大学唐山工学院,任副教授(注:1949年3月至6月,工学院处在暂迁上海状态,6月乃返回唐山)。

1951年8月至1971年,在北方交通大学唐山工学院、唐山铁道学院,任教授。

1972年至今,在西南交通大学(1989年之前,在峨眉;其后,在成都)任教授。1993年,退休。

行政职务、学会及咨询工作:

1956至1971年,唐山铁道学院桥梁教研室主任。

1972至1986年,西南交通大学桥梁教研室主任。

1978至1982年,西南交通大学铁道工程系副主任。

1981至1985年,任中国大百科全书土木工程卷编委会委员,桥梁分支主编。

1983至1988年,任中国铁路桥梁史编委会委员。

1985至1988年,西南交通大学出版社社务委员会主任,名誉社长。

1986年,铁道部铁路桥梁工程科技情报中心,聘为顾问。

1978至1993年,中国铁道学会第一至第三届铁道工程学会(1988年之前为委员会)委员。

1978至1995年,铁道工程学会桥梁工程委员会(1988年之前为学组)第一至第三届副主任委员(1988年之前为副组长)。

1979至1995年,中国土木工程学会桥梁及结构工程学会,第一届(1985年之前)为副理事长,第二届(1990年之前)为理事,第三届(1995年之前)为名誉理事。

1984至1989年,中国钢结构协会第一届理事。1985年至今,中国钢结构协会结构稳定与疲劳协会第一届副理事长,第三届(1996年起)聘为荣誉理事,并被接纳为协会会员(1997年4

月)。

1985年6月,广东省交通厅聘为洛溪大桥建设技术顾问组长(该桥于1988年建成)。

1990年和1994年,中国国际工程咨询公司两次聘为公司专家委员会委员(每次聘期3年)。

1991年,中国土木工程学会桥梁及结构工程学会聘为广东汕头海湾大桥技术顾问组副组长(该桥于1995年建成)。

1992年,中国土木工程学会桥梁及结构工程学会聘为广东虎门大桥技术顾问组顾问(该桥于1997年建成)。

1992年,江苏省人民政府聘为江阴长江公路大桥顾问(该桥将于1999年建成)。

1997年,广东省交通厅、珠海市人民政府、广东省伶仃洋大桥建设指挥部聘为广东伶仃洋大桥工程顾问委员会顾问。

党派关系,社会工作:

1956年起,中国民主同盟盟员(在唐山铁道学院支部入盟,1983年后转至四川);1983年至1992年,盟西南交大支部主委;1984至1993年,盟四川省委第五及第六届委员;1988至1993年,盟四川省第六届委员会常委;1993年至今,盟四川省第七、第八届委员会顾问。

1981年起,中国共产党正式党员。

1977至1993年,政协四川省委第四至第六届委员;1983至1993年,政协四川省委第五和第六届常委。

# 目 录

1	低碳钢焊接桥的耐劳强度问题(1964)	1
2	对于苏联杜钦斯基所进行的钢结构疲劳研究工作的评价(1973)	15
3	怎样对待钢结构疲劳试验所提供的三条经验律(1973)	17
4	钢压杆承载力问题简介(1978)	26
5	热烈欢呼铁路工程委员会在峨眉胜利成立(1978)	31
6	《钢压杆的承载力》前言(1979)	32
7	从大学的特点谈她的选址和建设(1980)	33
8	关于铁路钢桥的疲劳检算(1984)	36
9	继续修订《铁路桥涵设计规范》刍议(1985)	41
10	桥梁工程发展史(1985)	44
11	钢桥材料和制造工艺的当代水平(1986)	51
12	桥梁基础工程(1986)	58
13	《钢桥疲劳设计》简介(1986)	69
14	关于《桥梁施工简编》的出版说明(1987及1988)	70
15	关于编写基于可靠性理论的《铁路桥涵设计规范》的几点看法(1988)	71
16	英国桥规(BS5400)为钢桥所取的抗力项安全系数是怎样制订的(1988)	79
17	钢板梁(1989)	86
18	关于美国正在修订的以极限状态和概率论为特征的公路新桥规(1990)	161
19	在桥史、桥式和桥涵设计规范方面,我们有哪些特色(1991)	165
20	在长江下游的大桥建设中,大型沉井基础的现实可行性不容忽视(1993)	170
21	悬索桥加劲扁平钢箱梁制造问题答客问(1993)	172
22	从满足21世纪社会对运输的需要出发,要综合利用各种交通,在伶仃洋大桥的中央要预留轻轨铁路(1993)	177
23	不忘古训,以四事自励(1993)	180
24	关于丹麦小贝耳特海峡悬索桥的工程特色和重要细节(1994)	181
25	关于三藩市海湾悬索桥的大缆架设(1994)	203
26	在江阴长江公路大桥上部结构设计技术评议咨询会上的发言(1994)	213
27	关于大跨悬索桥的上水平和上台阶(1994)	220
28	《大跨悬索桥理论》序(1994)	222
29	西南(唐山)交通大学土木学科的优良传统(1995)	225
30	试谈继承和发扬茅老的身教(1995)	229
31	将道理搞清楚、达成共识,本着独立自主原则作决定,可以使我国的大跨悬索桥稳步发展(1995)	232

32	广搜信息, 摸准当代水平, 形成新观点, 取得共识, 这是搞好铁路桥涵设计规范 修订工作的前提(1996) .....	240
33	关于正交异性钢桥面板的疲劳——对英国在加固其塞文桥渡时所作研究的评介 (1996) .....	250
34	我国钢桥建设的主要成就和所需的跨世纪人才(1996) .....	259
35	桥梁絮语(包含: 桥史、桥式、设规、结构钢、疲劳、高强度螺栓)(1996) .....	766
36	关于素质教育的几点看法(1997) .....	287
37	关于交通土建专业新编《工程结构》教材(初稿)的一些说明(1997) .....	291
38	对于《铁路桥涵设计规范·上册》(送审稿)的一些意见(1997) .....	295
39	试从本质和发展两方面, 论述悬索桥和斜拉桥对于大跨的适应性(1997) .....	303
40	关于认识和责任(1997) .....	307
41	试论科教兴桥(1997) .....	311
42	缅怀茅老业绩, 对桥梁的社会性和技术性加深认识, 让桥梁事业的发展更加健康, 更加扎实(1997) .....	315

# 1 低碳钢焊接桥的耐劳强度问题

(1964)

【摘要】本文综合论述了苏联、联邦德国和美国在制订焊接桥设计规范时,提出各种焊接构造的疲劳验算公式的经过以及作为其根据的具体试验成果和经验规律。在综合比较和分析研究的基础上,作者提出了一个用应力集中程度不同来解释各种构造疲劳强度所以有低高的建议。经用这一建议对国外试验成果逐个鉴别,找出利用它们的途径,同时,还提出一种更为合理的焊接构造在疲劳验算方面的分类。

## 前 言

本文是作者参加铁道部关于“铁路焊接桥设计及制造规范(初稿)”起草工作以来,进行资料收集、整理和分析的一项成果。

在资料的整理过程中,对苏联、联邦德国和美国的现行铁路焊接桥规范中关于耐劳强度容许值的制订方法,进行了分析和比较。总结出以下两点:

1. 影响耐劳强度的因素虽多,但从制订焊接桥规范的需要来看,有些因素暂时可以不计。焊接残余应力就是可以不计的一例。这是由于对残余应力的数值目前还没有实用的计算方法,而且残余应力对耐劳强度的影响既可能使其降低,也可能使其提高,有时还表现为没多大影响。因此,在规范中只要从构造及工艺上规定采取一定的措施,防止产生较为严重的残余应力,就不会因忽略了该因素的影响而发生很大的问题。在上述各国规范中就是这样处理的。

2. 在钢种及应力循环次数均已确定的条件下,每一个焊接构造的耐劳强度容许值均是其应力变化率 的函数。在上述各国规范中也是这样提的。

鉴于耐劳试验成果是制订耐劳强度容许值的主要依据,而过去有不少学者认为,在不同时期、不同国家所作的耐劳试验,因为试件制作及试验的方法不同,不能相互引用,故每人只能引用自己所作的有限的试验成果来进行工作。作者认为这种作法未必恰当。经过对收集到的耐劳试验资料逐个分析,作者认为同型试件在耐劳强度值上之所以有差别,是与试件各种缺陷(包括工艺缺陷)引起的应力集中程度不同有关。在此基础上,提出了以应力集中性质作为焊接构造分类标准的建议。这种建议是否恰当,欢迎指正。

## 一、名词符号解释

$\sigma_{\max}$  和  $\sigma_{\min}$  脉冲或反复应力最大和最小的应力值(按绝对值的大小计)。

应力变化率,它等于  $\sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ , 该  $\sigma_{\min}$  及  $\sigma_{\max}$  应连同正负号代入。

$r_k$  和  $r$  焊接构造在  $\sigma = r$  和应力循环次数  $N = 2 \times 10^6$  时的耐劳强度用  $r_k$  表示, 其值等于此时的  $\sigma_{max}$ ; 脚注  $r$  表示应在该处将  $\sigma$  的具体数值连同正负号代入;  $k$  则表示是有应力集中的构造; 对于不受焊接影响的基材, 应舍去脚注  $k$  而写作  $r$ ; 但当所指的构造受焊接影响而又不致被误作基材时, 也可舍去脚注  $k$ 。

[ $r_k$ ] 焊接构造在  $\sigma = r$  和  $N = 2 \times 10^6$  时的容许耐劳应力; 若指不受焊接影响的基材, 同样地应将  $k$  舍去。

焊接构造的应力集中有效系数; 它等于基材的  $\sigma_{-1}$  除以所指的焊接构造的  $\sigma_{-1,k}$  所得的商。

$m$  脉冲或反复应力的平均值, 即

$$m = \frac{1}{2}(\sigma_{max} + \sigma_{min}) = \frac{1}{2} r_k(1 + \psi).$$

$v_k$  脉冲或反复应力的振动值, 即

$$v_k = \frac{1}{2}(\sigma_{max} - \sigma_{min}) = \frac{1}{2} r_k(1 - \psi).$$

$\sigma_{max, rk}$  和  $\sigma_{max, vk}$  在有超载阶段的不稳定应力循环, 其  $m$  及  $N$  和相应的稳定应力循环一致时 (看图 1—1), 其超载阶段的  $r_k$  和  $v_k$  值将分别用  $\sigma_{max, rk}$  和  $\sigma_{max, vk}$  表示 (如图 1—1b), 以区别于相应稳定应力循环的  $r_k$  和  $v_k$  (如图 1—1a)。

$\psi$  用振动值  $v_k$  的比率来表示的不稳定应力循环的荷载系数, 即  $\psi = \sigma_{max, vk} / v_k$ ; 在苏联铁路焊接桥规范的制订过程中, 曾做过一些不稳定应力循环的疲劳试验<sup>[2], [5]</sup>, 并根据试验成果规定  $\psi = 1.42$ 。

$n_1$  制订 [ $r_k$ ] 时所用的安全系数; 在苏联,  $n_1 = \sigma_{max, rk} / [r_k]$ , 其值取 1.4; 其他国家则  $n_1 = r_k / [r_k]$ , 其值相应较低。

$R_0$  铁路桥涵设计规范内为三号桥梁钢规定的基本容许应力, 苏联是用  $R_0 = 14 \text{kgf/mm}^2$ 。

图 1—1 稳定及不稳定应力循环特征值示意图

## 二、对于本文所用研究方法的说明

### (一) 本文所要解决的问题

在制订焊接桥规范之前, 一般需要用本国通行的焊接制造工艺, 以本国材料制成若干有代

表性焊接构造的疲劳试件,做大量疲劳试验,利用这些试验成果,作为规定耐劳容许应力的依据。由于单纯依靠试验数据为某一种试件决定其  $r_k$  (和应力循环次数  $N = 2 \times 10^6$  次相当者)至少需要精心进行 5 至 6 个试验,而每个试验一般需历时 2 至 3 昼夜(按脉冲每分钟 500 次计算),要为若干有代表性焊接构造在不同  $m$  值下分别决定  $r_k$  所需的纯试验时间就需 2 至 3 年。若将必要的准备工作、分析研究及在试验进行中对于计划的局部修订(包括某些试验可能要重做)等工作计在一起,总计历时 3 至 5 年也并不是宽裕的。为了压缩所述的试验工作量,各国的研究者早就着手研究  $r_k$  和其他参数(例如  $\sigma$  或  $m$ )间的经验关系,以便利用。在走了不少弯路之后,具有实用价值的经验规律可以认为业已找出,因在耐劳强度方面,具有一定特点而需要研究的焊接桥的各种具体构造也已逐步明确地挑选出来。综合地整理并利用他们的资料和经验,提出自己的看法,给我国为制订焊接桥规范所需做的疲劳试验在理论上做一些准备工作,这就是本文所要解决的问题。

## (二)从整理试验资料得到规范容许值算式的方法

在对各国资料作具体分析之前,先须将试验资料和规范所需算式及数值之间的关系作一简单交代。

1. 规范所需要的,就是几种有代表性焊接构造的各个  $[r_k]-m$  关系式(或其代替物)。
2. 上项关系可由  $r_k-m$  关系导出,而由于

$$m = \frac{1}{2} r_k (1 + \dots),$$

故  $r_k-m$  关系又可从  $r_k-m$  关系式导出。

3.  $r_k-m$  关系和直线相近,在从试验数据来确定所需的经验规律时可以先求该线,再化成  $r_k-m$  线(若规范要采用后一关系的话)。

4. 苏联的某些研究者认为  $r_k-m$  经验关系是直线关系<sup>[1]</sup>:各直线左端和纵坐标的交点,其纵距值是  $\sigma_{-1,k}$ ;各直线右端和通过原点的 45 线的交点,当试件是用三号焊接桥梁钢或 M16C(16 桥钢)制成时,其坐标是  $(+40, +40)$ ,且该点系与静力加载到拉毁极限强度  $\sigma_B$  而拉断的平均情况相当。由于各直线右端点的坐标值可以按常数考虑,当某种构造只从疲劳试验获得一个  $\sigma = r$  时的  $r_k$  值时,只要将该  $r_k$  值点绘于图,并将它和右端点  $(+40, +40)$  连成直线,实用所需的  $r_k-m$  线就得到了;而该线左端的  $\sigma_{-1,k}$  值则可从其仅有的那个试验值  $r_k$  按下式来求:

$$\sigma_{-1,k} = r_k \frac{40(1 - \dots)}{80 - r_k(1 + \dots)}, \quad (1-1)$$

得知  $\sigma_{-1,k}$  后,可用下式再将该构造在耐劳强度方面的特征值  $\sigma$  (应力集中有效系数)求出:

$$\sigma = \frac{\sigma_{-1,k}}{\dots} j^{\alpha} \quad (1-2)$$

不难看出,由于  $r_k-m$  线右端点是一固定点,只要将  $\sigma_{-1,k}$  或  $\sigma$  值肯定下来,整个  $r_k-m$  就决定了,这便是将  $\sigma$  值称作各具体焊接构造的特征值的道理。由于苏联规范所用的  $r_k-m$  经验关系线简便明确,在实用精确度上不逊于其他建议,且适用于仅有一个  $r_k$  试验值的情况,本文将利用式(1-1)推算  $\sigma_{-1,k}$ ,以便将按不同  $m$  值所做的耐劳强度试验值  $r_k$  加以比较。

5. 图 1—2 是苏联规范获得上述经验关系的主要依据:图中 1、2、3、4 各点代表基材在 4 个不同  $m$  值(或  $\sigma$  值)时的  $r_k$  试验值,由各该点所决定的经验直线的左端点的纵距值是  $\sigma_{-1,k}$

13.5kgf/mm<sup>2</sup>, 本文以后用式(1—2)决定  $\sigma_{-1}$  值时就总是使用该值; 图中还绘有按奥金克( . . . )的线型而作的曲线, 其适线情况则远不如直线, 所以对三号焊接桥梁钢不宜采用它; 图中 5, 6 两点表示用侧边角焊的搭接接头(图 1—6b 表示其试件形状)的  $r_{rk}$  试验值(具体值见表 1—6 序号 7 至 8); 由图可见, 5, 6 点所决定的经验直线和 1、2、3、4 点所决定的经验直线将交汇于(+ 40, + 40)。

6. 联邦德国的某些研究者按疲劳试验为基材及对焊试件所得的  $r_{rk}-\sigma_m$  线呈折线状<sup>[20]</sup>。但若将联邦德国现行规范所列的各个  $[r_{rk}]-\sigma_m$  关系转化成  $[r_{rk}]-\sigma_m$  关系以后, 可看出  $[r_{rk}]-\sigma_m$  关系的绝大多数均是直线; 又若将美国现行规范所列各耐劳容许值算式略加演变, 也可以证实其  $[r_{rk}]-\sigma_m$  关系全是直线。由此可见, 既然上述各国的设计规范已将  $[r_{rk}]-\sigma_m$  关系全部地或绝大部分地当作直线, 那么将  $r_{rk}-\sigma_m$  关系当作直线自然也可以认为是已经得到这些国家默认的事了; 因此, 本文对资料的分析也以  $r_{rk}-\sigma_m$  的直线关系为基础。同时, 还采用了苏联规范关于这些直线右端点位于(+ 40, + 40)的决定。

7. 图 1—3a 表示苏联规范从  $r_{rk}-\sigma_m$  线求  $[r_{rk}]-\sigma_m$  线的情况, 其特点在于考虑不稳定应力循环荷载系数  $\psi$ 。这样, 各焊接构造在列车荷载下的耐劳强度  $\sigma_{max, rk}$  就比在脉冲或疲劳试验机内所表现的耐劳强度  $r_{rk}$  提高, 如图中以  $A S$  代替  $AS$  所示; 耐劳容许值  $[r_{rk}]$  应等于  $\sigma_{max, rk}$  除以安全系数  $n_1$ , 于是  $[r_{rk}]-\sigma_m$  关系又可转化成  $[r_{rk}]-\sigma_m$  关系(推导从略):

图 1—2 三号桥梁钢的  $r_{rk}-\sigma_m$  和  $[r_{rk}]-\sigma_m$  线举例

$$[r_{rk}] = \frac{\sigma_{max, rk}}{n_1} = \frac{R_0}{(A + B) - (\sigma_m - B)}, \quad (1-3)$$

$$A = \frac{n_1 R_0}{2 - \psi} = \frac{1.4 \times 14}{2 \times 13.5 \times 1.42} = 0.511 \quad 0.60,$$

$$B = \frac{n_1 R_0}{2 - \psi} = \frac{1.4 \times 14}{2 \times 40} = 0.245 \quad 0.20.$$

将 A、B 的化整值 0.60、0.20 代入式(1—3), 就得到苏联规范内的  $[r_{rk}]-\sigma_m$  关系式。若维持  $n_1 = 1.4, R_0 = 14, \psi = 1.42$  不变, 按  $A = 0.60$  及  $B = 0.20$  反求  $\sigma_{-1}$  及  $\sigma_B$ , 则  $\sigma_{-1} = 11.5$ , 而右端点坐标为(+ 49, + 49); 这是因为化整而使  $r_{rk}-\sigma_m$  线发生的变更, 图 1—3(a) 内所注数值即标明此变更后的  $r_{rk}-\sigma_m$  线位置。

8. 图 1—3(b) 表示不考虑  $\psi$  而从  $r_{rk}-\sigma_m$  线求  $[r_{rk}]-\sigma_m$  线的情况。这时,  $[r_{rk}]$  将等于  $r_{rk}$  除以一安全系数  $n_1$ 。比较图 1—3(a) 和 (b), 既可以看到该两者安全系数含义的不同, 又可以看到前者能在  $\sigma$  值小时(特别是在负值范围时)提高  $[r_{rk}]$ , 也许可比后者得到更好的经济效果。

### (三) 关于本文在分类整理和分析资料时所用方法的说明

在将规范所需的各  $[r_{rk}]-\sigma_m$  线总的求法作了分析之后, 还应该研究焊接桥具体构造在耐劳

图 1—3  $[\sigma_{rk}]$  值的决定法

$$\text{注: } \sigma_{-1,k} = \frac{11.5}{13.5} \sigma_{-1,k}^{\max}, \sigma_{-1,k}^{\max} = 1.42 \sigma_{-1,k} \quad [\sigma_{-1,k}] = \frac{\sigma_{-1,k}^{\max}}{1.4}$$

强度方面的分类,才能明确规范相应各式的适用范围,并按分类来整理试验资料。在这方面,美国规范所列构造种类过少,对焊接质量要求不具体;西德规范则采用列举法,并按耐劳强度容许值的高低分为几级,将构造相同但焊接质量不同者分列于各级,这使分类标准模糊不清;苏联规范按焊接的细节构造进行分类,对焊接质量也提出一定要求,看来比较合理。本文作者在对同型试验的不同成果进行比较的基础上,肯定认为在钢种相同的情况下,影响焊接构造耐劳强度的主要因素是应力集力。构件截面沿传力途径的变化,使得应力流在各个“缺口”处的密度过大,则是形成应力集中的原因。按“缺口”成因的不同,它们又可分成下列三种:

1. 由于轧制上的原因。钢材的轧制表皮往往不够平整,局部细小起伏总是经常可见的。内部夹渣、褶纹、分层等细微缺陷,一般也无法避免。随着钢材表皮及内部各种缺陷轻重的不同,其耐劳强度也有所不同。磨光圆试件的  $\sigma_{-1}$  经常比带轧制表皮试件的  $\sigma_{-1}$  为高(若只有  $\sigma_r$  的  $\sigma_{rk}$  试验值,可用式 1—1 来换算  $\sigma_{-1}$  以资比较),已为大家所熟知。表 1—1 内序号 8 至 11 所示西德试验值,比序号 1 至 4 所示苏联试验值为高,则主要是由于西德做试件的钢材是专为做试验而特殊供应的(经过热处理,且  $\sigma_B$  比验收值  $37\text{kg}/\text{mm}^2$  高得多)而苏联试件则是用钢厂平常大量供应的钢材来做的。

2. 由于构造上的原因。在这方面,等宽等厚构件的对接焊接头不引起任何应力集中,能使接头耐劳强度不逊于基材;搭接接头和十字接头则处于颇为不利的地位;这是在本世纪 40 年代就为人们所明确了的。可是,对于因有焊连部件而受影响的基材,其焊连部件毋需承受计算应力者,其耐劳强度往往随应力集中程度(由部件形状及焊接、加工诸因素决定)而变化颇大,这类构造的特殊性似尚未得到应有的阐明。苏联规范虽已注意到这点了,可惜还不曾分清界限。鉴于这类构造的耐劳强度和基材截面设计直接有关,而其耐劳强度又可以通过综合措施来大为提高,本文特建议将这一类明确列出(对其特点在后文有分析)。

3. 由于焊接上的原因。焊缝本身的形状及其外部和内部缺陷对于应力集中的影响很大。就焊缝形状来讲,对接焊缝能够不产生应力集中;搭接接头的横向贴角焊焊根则因应力流在那儿有急转弯而密度很大,应力集中加剧,若该焊根再不熔透,情形就更加严重;若要从焊接构造上采取措施解决这个问题,可以斜向贴角焊缝代替横向贴角焊,使应力流的集中在该处有所改善;试验资料已证明了这点,而具有多层盖板的钣梁在外层盖板中止处,其所以应切成斜边,就

是以上述的试验为根据的。就焊缝缺陷来讲,外部缺陷以烧蚀(咬肉)最为严重,不论对于那种焊接构造,烧蚀若深达 1~1.5mm 且不加修整者,基材耐劳强度均有极大的降低;但若烧蚀深度不到 0.3 至 0.5mm 并稍加修整,使表面匀顺(与轧制表面相当),基材在该处的耐劳强度也可以不逊于不受影响的基材。内部缺陷以焊根不透及大粒夹渣最为严重,它对耐劳强度的影响将在本文三、对于各具体资料的逐个分析中加以说明。

还应指出,随着焊接桥技术的不断发展,耐劳强度过低的不合理构造现已很少被采用。有较大焊接缺陷的构造也因对制造工艺建立了严格的控制,目前在实际运营的桥上已很少发现。因此,在整理资料时,对于该二情况的试验值,似应放弃。

### 三、对于耐劳试验成果的分类整理和分析

按所建议的应力集中性质进行焊接构造分类,则一般焊接桥内的代表性构造主要是以下四类:不受影响的基材;受焊连部件影响的基材;对接焊接头;搭接接头。现将所收集到的外国资料按类汇编,并进行整理和分析如后。

#### (一) 位于不受焊接或截面变化影响处的基材

表 1—1 表示基材(不加焊接并具有轧制表皮者)的耐劳强度试验值。

序号 1 至 6 均是苏联试验值。图 1—2 就是根据序号 1 至 4 的试验值绘制,它们是苏联规范相应值及算式在制订时的依据。序号 5 因试件材料有较大缺陷,故其值偏低。序号 6 试验值则能落在序号 1 至 4 号值的分散区内。

表 1—1 基材的耐劳强度试验成果

序号	钢种	试验成果	说明	国别	资料来源
1 至 4	三号焊接桥梁钢	$\sigma_{-1} = 13.5 \pm 0.9$ $\sigma_{-0.5} = 16.6 \pm 1.3$ $\sigma_{-0.1} = 19.1 \pm 1.5$ $\sigma_{+0.143} = 21.6 \pm 1.6$	1952~1953 年试验成果	苏	[4]114~116 页
5		$\sigma_{+0.143} = 20.3 \pm 0.7$	1950 年试验成果	苏	[6]152 页
6		$\sigma_{+0.143} = 22.6$	1949 年试验成果	苏	
7	MSt37b	$\sigma_{-1} = 16$ 至 17	弯曲试验	民主德国	[16]149 页
8 至 11	St37	$\sigma_{-1} = 16.5$ $\sigma_{-0.5} = 21.0$ $\sigma_{-0} = 26.5$ $\sigma_{+0.5} = 40$	钢料 $B = 43$	联邦德国	[16]109 页
12	St37	$\sigma_{-0} = 21$		捷克	[16]113 页
13 至 14	St37	$\sigma_{-1} = 13.0$ $\sigma_{-0} = 21.0$		联邦德国	[16]141 页
15	St37	$\sigma_{-0} = 24.0$	1944 年发表	奥	[16]141 页
16 至 17	StN	$\sigma_{-1} = 15$ $\sigma_{-0} = 24$	1948 年及 1950 年发表	瑞士	[16]142 页
18	A-7	$\sigma_{-0} = 21.3$	1938 年发表于伊利诺大学学报	美	[21]103 页

序号 7 试件厚仅 10mm,因采用弯曲试验,应力梯度大,试验值较高。

序号 8 至 11 是西德试验值,其所以比苏联值较高的原因已在本文二、解释过。

其余各序号的值不是和 1 至 4 号的相近,就是介于 1 至 4 号和 8 至 11 号之间(曾折算为  $\sigma_{-1}$  相比)。

总的看来,让基材的  $\sigma_{-1}$  达到苏联试验值  $13.5 \text{kgf/mm}^2$ ,对于钢铁冶制部门讲,经过一定