

西南交通大学

庆祝建校 95 周年

学术报告会文集

土木工程类



西南交通大学出版社

1991.5

西南交通大学建校 95 周年学术报告会文集

土 木 工 程 类

主 编	李 克 钊
副主编	万 复 光
	李 秉 生

西南交通大学出版社

学术报告会文集
土木工程类

*

西南交通大学出版社出版发行
(四川 成都)

西南交通大学出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.875
字数: 326 千字 印数: 1—1650 册
1991年5月第1版 1991年5月第1次印刷

ISBN 7—81022—249—X/Z 016

定价: 6.10 元

前 言

在欢庆西南交通大学建校九十五周年的日子里，呈献在读者面前的这套《学术报告会文集》，反映了我校在教育、科研和思想政治工作等方面所取得的成就、经验和学术领域的新进展。“七五”期间，在铁道部党组和省、市的领导下，我校的工作紧紧扣住坚持社会主义办学方向、培养造就社会主义现代化建设的合格人材这一根本，坚定不移地把德育放在首位，大力加强思想政治工作，进一步调动全校师生员工的积极性和创造性；比较平稳地实现了由峨眉到成都的过渡，改善办学条件；不断深化教育改革，提高教学质量，开拓科研工作新局面，努力建设教学、科研两个中心，各方面工作全面进展，一个主动适应经济建设的办学机制正在逐步形成。可以得出这样的结论：我们已经基本实现了“七五”规划的奋斗目标，学校规模和各项工作比以往任何时期都有较大的发展，学校进入了一个新的、上升的、关键的时期。

“八五”规划的第一年，欣逢建校九十五周年。九五老校生气勃。为了迎接校庆，一直关心、爱护、支持母校的海内外校友及全校同志以“爱校、兴校、为校争光”的校庆意识，积极参加与庆祝活动有关的各项筹备工作。校庆学术报告会的征文得到大家热烈响应，在较短的时间内报告会筹备组收到大量应征论文，内容涉及思想政治工作研究、教育研究、科学研究与高校管理等各个领域，绝大部分都是为校庆九十五周年所撰写的新作，已经公开发表的不再收入。这些文章具有广泛的代表性，所论述的问题比较深入，既紧密结合实践，又有基础理论的探索，不少论文涉及本学科、本专业或本专题当前的发展动向，一些科技论文为国家重大攻关科技项目最新研究或试验的总结。特别值得提出的是，青年同志和研究生撰写的文章占了一定比例，显示出我校年轻人在各项研究工作中成为一支生气蓬勃的生力军。限于篇幅，本《文集》收集的600多篇论文是从近千篇应征文章中评选出来的。由于文字数量较大，各篇论文要求限制在3000字以内。

《学术报告会文集》按照学科分类，共分成“社会科学及思想政治工作研究”、“教育科学研究与教育管理”、“土木工程”、“材料与机械工程”、“电气工程与计算机科学”、“交通运输与管理科学”、“应用理科”、“人文学科”及“研究生专集”等九个分册，以利于更有效地开展交流和专题研讨。由于出版时间紧迫，海内外校友的学术论文与研究成果来不及编入文集，准备在校庆报告会期间付印与交流，望广大校友与来宾踊跃参加，进行指导，为学校的学术繁荣与振兴升位献计献策。

为了做好应征论文评审工作，学校聘请了有各学科教授、专家80余人参加的论文评审组及有30余人参加的《文集》编委会，在较短的时间内对提交的各类论文进行逐篇评审，最后将评选出的文稿加工编目，交付西南交通大学出版社出版。本《文集》能如期和读者见面，要特别地对在组织征文、评审及编辑、出版等方面付出辛勤劳动的同志们致以谢意，通过他们的艰苦细致工作和无私奉献才得以向读者呈献这一套校庆文集。我们期望通过这次校庆报告会，广泛开展学术交流，学习来自各条战线的校友和朋友们的先进经验，加强与海内

外同行之间的联系与合作。这无疑对提高我校学术水平，促进教育与科技发展将起到积极、重要的作用。

回顾过去，使我们精神振奋；瞻望未来，更感到任重而道远。七届人大四次会议通过的国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划的纲要，规划了未来十年中国发展的宏伟蓝图。“八五”是我校历史上又一个至关重要的发展阶段。全校师生员工都要有一种强烈的紧迫感和责任感，要按照党的十三届七中全会的精神，从我校的实际出发，本着“坚持方向，控制规模，调整结构，深化改革，改善条件，提高质量”的指导思想，通过艰苦扎实的工作，使整个学校的工作能上一个新的台阶，达到一个新的水平，从而进入全国重点院校的先进行列。全校师生员工更加紧密地团结起来，同心同德，艰苦奋斗，为培养社会主义事业的建设者和接班人，为发展科学文化而努力奋斗！

沈元

1991年5月

目 录

桥梁与隧道工程

论 PC 梁桥斜截面的疲劳可靠性	何广汉等	1
疲劳荷载作用下 PPC 箱形约束梁抗剪强度及抗裂性能试验研究	车惠民等	3
部分预应力混凝土约束箱梁斜截面抗剪强度的研究	张开敬 马忠国	5
PPC 简支梁斜截面抗裂性能的研究	张开敬	7
分段灌注的 PC、PPC 梁接缝抗裂性的试验研究	钟明全等	9
斜拉桥的自振特性分析	何曙明 李富文	11
混凝土破坏理论及本构关系研究进展	赵人达	13
计算机辅助工程设计	陈国藩	15
桥梁专家系统和数据库系统一体化设计与实现	郑凯锋等	17
桥梁等级评估启发性知识的研究	郑凯锋 强士中	19
箱形及拱形涵洞水力特征试验研究	尚久驹等	21
卫河行洪区内京广线桥渡扩孔工程水工模型试验研究	任宝良等	23
长隧道养护基准的研究	谭玉兰	25
落石冲击计算方法的试验研究	杨其新 关宝树	27
格栅支撑的实用设计方法	仇文革 何 川	29
关于隧道仰拱几个问题的探讨	熊火耀	31
按可靠度理论修改隧道规范的可行性初探	肖中平	33
隧道工程计算机信息化设计与施工管理系统	翁汉民 范平志	35
特长隧道施工通风的研究	黄儒钦等	37
漏风管管流的解析解和近似解	黄宽渊	39
间隔串联风机的工况及风管中性点的求解	陈春光 蔡小平	41
驼峰堰流的数值模拟	禹华谦	43
支持 EGA、VGA 的通用汉字自动制表软件 OFFICE 的移植技术	孟 刚 张 播	45

铁 道 工 程

地形等级划分的数学方法	马 炜	47
运输成本估算方法初探	郝 瀛 李远富	49

借助计算机图形技术进行链式纵断面整饰	易思蓉	51
铁路定线 CAD 几个问题的探讨	章力 邓域才	53
建议研制四支点式 2+2—2+2 轴车	邓午天	55
曲线钢轨侧面磨耗的研究	万复光等	57
成昆线曲线钢轨伤损研究	孙国琰等	59
攀钢超重载铁路道岔设备的技术改造	陆银根等	61
波磨轨打磨效果的研究 ——轨道动态响应的试验及分析	波磨轨打磨专题组	63
低轮轨作用系统铁路技术是高速铁路得以实现的基础和根本	王其昌	65
高速、重载条件下路基基床动态响应的几个问题	蔡英	67
路基临界滑面圆心轨迹探讨	池淑兰	69
考虑墙体位移影响的土压力计算方法	张建经	71

结构工程与建筑学

风工程的现状与发展	黄懋锡	73
预应力马鞍形壳板受力特性的试验研究	赵慧娟 程超	75
边节点抗裂度及垂直筋的作用	欧阳林	77
桁架几何尺寸和杆件截面的同时优化	吴培明	79
网络计划的优化及其应用	符永波	81
斜交多孔箱形地道桥有限元分析	杜正国等	83
大型空间网架—平板组合结构分析与优化设计	印洪 杜正国	85
杆系结构内力影响线的计算机分析方法	彭俊生	87
拟板法分析平板网架的一种有效解法	杨国先	89
空间正则曲线正投影的尖点和拐点	李睿谟	91
预应力钢丝耐火性能研究	王春华	93
高温(火灾)后混凝土应力应变分析	杨彦克	95
混凝土坍落度损失及 BI 控制剂研究	叶跃忠	97
新型环氧液在××糖厂混凝土梁修补中的应用	潘绍伟 叶跃忠	99
把握环境在约束中找出路 ——谈峨眉山博物馆的总体设计	陈大乾	101
小议现代高层灵活空间	杨小波	103
一个不应被冷落的研究领域 ——商品化生产建筑体系概述	邱建	105

岩土工程

干燥和饱水岩石的蠕变性质	周德培	107
选择确定相似材料的综合评判法	袁文忠	109
地表沉陷纵向曲线方程的推求	高波	111
采用机械预切槽法修建软土中的地铁隧道	曹彦国 张铨	113

加筋土支挡结构工作机理的研究	西南交大加筋土课题组	115
地震荷载下加筋土的似摩擦作用	陈禄生等	117
砂土的应变相关广义 Coulomb 准则	郭培军 李克钊	119
用循环应变三轴试验测定饱和砂的初始液化势	罗书学 李克钊	121
摩擦型轴力桩的几个界限深度	赵善锐	123
用混合法精确求解高承台桩基础	汤康民	125
桩基的计算机自动设计	吴兴序	127
卵石土地基基床系数的研究	李莘君 周京华	129

地 质 工 程

铁路岩石边坡稳定坡角的确定	蒋爵光等	131
大瑶山隧道围岩稳定性的模型试验研究	蒋爵光等	133
边界元法在探测黄土洞穴方面的应用	段 锐等	135
硬质岩坡崩塌发生概率的计算机模拟	胡厚田 吕小平	137
扫描电镜下岩石变形过程的连续观察及岩石破坏机制的分析	谢 强等	139
锦屏水电站雅砻江河湾区的构造应力场特征	徐文龙	141
成昆铁路小河子、老虎嘴隧道接长棚洞地基加固检测	李忠孝等	143
弹性波测试技术在检测桥墩质量中的应用	王建珍等	145
论深化四川盆地地下卤水资源评价研究的必要性	杨立中	147
CaO—SiO ₂ 和 CaO—SiO ₂ —H ₂ O 系列化合物热力学数据的结构特征	罗 健	149
散体位移场的激光全息测量法	霍朋祥	151
岩体结构面网络的计算机模拟	魏 安等	153
酸性环境水中混凝土腐蚀物的研究	罗 健等	155
论鲁姆依达沟泥石流流物质的逐级搬运	白志勇	157
崩塌稳定度及其抗降雨能力的预测	胡厚田 吕小平	159
MSS 及 TM 卫星遥感图象在西安—安康新线秦岭隧道地质选线 的应用	关建哲	161
成都粘土的矿物成份及微结构的探讨	朱永林等	163
用压力机承压板测定岩石劈裂强度的研究	曹复思	165
海南岛玄武岩红色风化壳特征	周群建 李乘生	167
南昆线 DK 50+370—+530 段红粘土改性试验研究	李潼桂等	169
膨胀土边坡坍塌预测	韩会增等	171

测量工程和遥感

GPS 数据后处理软件的开发研制与试验	黄丁发	173
顾及原始数据误差的多级控制网参数协方差阵的递推公式	岑敬仪	175
植物反射光谱中若干问题的研究	应松宝 徐 弘	177

原始数据误差对城市多级水准网精度的影响	张惠珍 孟秉珍	179
利用遥感数据建立铁路勘测和运营信息系统的初步设想	谢 葳	181
地貌表示的精确度和正确度	刘其舒	183
GPS 在铁路工程测量应用中的若干思考	路伯祥	185
不同时相遥感图象数字镶嵌时的彩色匹配研究	秦 军	187
近景摄影测量在旋转体建筑物倾斜测定中应注意的几个问题	吴世棋	189
误差椭球和误差椭圆的内在联系分析	路伯祥 岑敏仪	191

CONTENTS

BRIDGE ENGINEERING AND TUNNEL ENGINEERING

A Study on the Fatigue Reliability of Inclined Sections of PC Girder Bridges	<i>He Guanghan et al.</i>	1
Research on Shear Strength and Cracking Behavior of PPC Box Beams with Point of Contraflexure Under Fatigue Loading.....	<i>Che Huimin et al.</i>	3
Experimental Investigation of Shear Strength of Restrained PPC Box Girder	<i>Zhang Kaijing Ma Zhongguo</i>	5
Study on Diagonal Cracking Behavior of Partially Prestressed Concrete Simply Supported Beams	<i>Zhang Kaijing</i>	7
Experimental Investigation of Cracking-Resistance of PC and PPC Beams with Cast-in-Place Joints	<i>Zhong Mingquan et al.</i>	9
Analysis of Free Vibration Characteristics of Cable-Stayed Bridges	<i>He Shuming Li Fuwen</i>	11
Developments in Research of Failure Criterion and Constitutive Relation for Concrete.....	<i>Zhao Renda</i>	13
Computer Aided Engineering Design.....	<i>Chen Guofan</i>	15
Design and Implementation of Integrating Expert System and Database System of Bridges	<i>Zheng Kaifeng et al.</i>	17
Research on Heuristic Knowledge about Rating Degree of Bridges	<i>Zheng Kaifeng Qiang Shizhong</i>	19
Experimental Study on Hydraulic Characteristics of Box and Arch Culverts.....	<i>Shang Jiushi et al.</i>	21
Hydraulic Model Test on Extension of Railway Bridge Opening in Wei River	<i>Ren Baoliang et al.</i>	23
The Maintenance Standard of Long Tunnel	<i>Tan Yulan</i>	25
Experimental Study of Impact Load of Falling Rock	<i>Yang Qixin Guan Baoshu</i>	27
The Practical Design Method for Lattice Girders	<i>Qiu Wenge He Chuan</i>	29
The Study of Tunnel Inverted Arch	<i>Xiong Huoyao</i>	31

A Primary Investigation on the Feasibility of Revising the Tunnel Specification by Theory of Reliability	Xiao Zhongping	33
Computer Aided System for Informational Design and Constructional Administration of Tunnel Engineering.....	Weng Hanmin Fan Pingzhi	35
Research for Construction Ventilation of a Long Railway Tunnel	Huang Ruqin et al.	37
Analytical and Approximate Solution of Joint Leakage Pipe Flow.....	Huang Kuanyuan	39
Solution of Working Point of Cascading Fans and Zero-Pressure Point in Pipe.....	Chen Chunguang Qi Xiaoping	41
Numerical Simulation of Flow Over Hump Weirs	Yu Huaqian	43
The Transport Technique of Office Supporting EGA and VGB.....	Meng Gang Zhang Bo	45

RAILWAY ENGINEERING

Mathematic Method of Classification of Terrain.....	Ma Wei	47
Preliminary Research of the Method of Evaluating Railway Operating Costs.....	Hao Ying Li Yuanfu	49
Smoothing the Chain-like Profile by Means of Computer Graphics Technique.....	Yi Sirong	51
Several Problems on Railway Location CAD	Zhang Li Deng Yucui	53
Suggestion on 2+2—2+2 Axle Car of Four Bearings	Deng Wutian	55
Investigation on Side Wear of Rail in Curves.....	Wan Fuguang et al.	57
A Research into Shelling Defects of Curve Rails on Chengdu—Kunming Railroad	Sun Guoying et al.	59
Reconstruction of the Railway Turnouts in Slow Speed Under Super-Heavy Loads in Panzhihua Metal Works.....	Lu Yingen	61
Study on Effect of Grinding Corrugation Rail.....	Huang Shishou et al.	63
The Technology of Low Wheel-Rail Action System is the Basis and Key to Realization of High-Speed Railway Transportation.....	Wang Qichang	65
The Dynamic Response of Railway Subgrade to High-Speed and Heavy-Haul Passing Trains	Cai Ying	67
Research in the Track of Critical Circle for Circular Slip Surface of Multilayered Embankment	Chi Shulan	69
Calculating Method of Earth Pressure Considering Displacements of Retaining Wall	Zhang Jianjing	71

STRUCTURAL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Current Situation and Development of Wind Engineering	<i>Huang Maoxi</i>	73
Experimental Research on Mechanical Properties of Prestressed Concrete Hyperbolic Paraboloid Shell with Negative Gaussian Curvature.....	<i>Zhao Huijuan Cheng Chao</i>	75
Experimental Study of Cracking Behaviour for Exterior Joints of Reinforced Concrete Frames.....	<i>Ouyang Lin</i>	77
Simultaneous Optimization on Truss Geometry and Member Cross-Section	<i>Wu Peiming</i>	79
An Optimum Method to Resource Scheduling in Construction Management.....	<i>Fu Yongbo</i>	81
The Analysis of Multispan Box Tunnel-Bridge with Slant Ends by Finite Element Method.....	<i>Du Zhengguo et al.</i>	83
The Finite Element Method and Optimization Design for Analyzing Long Span Composite Structure with Space Truss and Plate.....	<i>Yin Hong Du Zhengguo</i>	85
A Computer Analysis Method for the Influence Line of Interior Force of the Structures of Bar System	<i>Peng Junsheng</i>	87
An Effective Solution of Analysing Spatial Grid Structure as Equivalent Plate.....	<i>Yang Guoxian</i>	89
Tap and Point of Inflection on the Orthogonal Projection of a Regular Curve in Space	<i>Li Ruimo</i>	91
Study of Fire-Resistant Characteristic of Prestressing Steel.....	<i>Wang Chunhua</i>	93
Analysis of Stress-Strain Relationship for Concrete after High Temperature (fire).....	<i>Yang Yanke</i>	95
Concrete Slump Loss and the Study of BI-Type Admixture	<i>Ye Yuezhong</i>	97
Application of the New-Type Epoxy Liquid for Concrete Beam Repair in a Sugar Refinery	<i>Pan Shaowei Ye Yuezhong</i>	99
Making Good Use of and Finding Ways out from Surroundings	<i>Chen Daqian</i>	101
A Brief Comment on the Flexible Space of Modern Skyscraper.....	<i>Yang Xiaobo</i>	103
Do Not Leave the Research Field out in the Cold —An Introduction to Commercialized Production Building System.....	<i>Qiu Jian</i>	105

GEOTECHNICAL ENGINEERING

The Creep Behaviour of Dry and Water-Immersed Rocks.....	Zhou Depci	107
The Method of Comprehensive Judgment on Choice and Determination of Simulating Materials	Yuan Wenzhong	109
Inquiring into Longitudinal Subsidence Equation	Gao Bo	111
Construction of the Subway Running Tunnel in the Soft Ground by the Mechanical Precutting Method	Cao Yanguo Zhang Zhen	113
A Study of Working Mechanism of Reinforced-Earth Retaining Structure	Reinforced Earth Research Group of SWJU	115
The Apparent Friction Effect of Reinforced Earth under Seismic Loading	Chen Lusheng et al.	117
The General Strain-Relevant Coulomb Criterion for Sands,	Guo Peijun Li Kechuan	119
Determination of Initial Liquefaction Potential of Saturated by Cyclic Strain-Controlled Triaxial Test.....	Luo Shuxue Li Kechuan	121
Some Limit Depths of the Axial Friction Pile	Zhao Shanrui	123
Accurate Solution of Pile Foundation with High-Rise Pile Cap by Mixed Method.....	Tang Kangmin	125
AUTO-Design of Pile Foundation with Computer.....	Wu Xingxu	127
A Study of Subgrade Coefficient of Cobble Soil	Li Pingjun Zhou Jinghua	129

GEOLOGICAL ENGINEERING

Determination of the Stability Slope Angle of the Railway Rock Slope	Jiang Jueguang et al.	131
Study on Model Test of the Stability of Surrounding Rock of Tunnel of Mt. Da Yao Shan.....	Jiang Jueguang et al.	133
Application of BEM in Exploration of the Loess Caves.....	Duan Rui et al.	135
Computer Simulation on Probability of Rock Slope Landfall	Hu Houtian Lü Xiaoping	137
Observation on Rock Deformation Process and Analysis of Rock Failure Mechanism in SEM	Xie Qiang et al.	139
The Characteristic of the Tectonic Stress Field in the Region of the Jinping Hydropower Station on Yalong River.....	Xu Wenlong	141
Monitor of the Consolidation for the Foundation of Xiaohezi and Laohuzui Tunnels Open Arch	Li Zhongxiao et al.	143

Application of Elastic wave Measuring Technique to Detect the Quality of Pier	<i>Wang Jianzhen et al.</i>	145
On the Necessity of a Further Research into the Evaluation of the Underground Brine Resource of the Sichuan Basin	<i>Yang Lizhong</i>	147
The Structure Character of the Thermodynamic Data Concerning Chemical Compounds of CaO-SiO ₂ and CaO-SiO ₂ -H ₂ O System	<i>Luo Jian</i>	149
The Determination of the Deformation Field of the Loose Substance by Laser-Holography Method	<i>Huo Pengxiang</i>	151
A Computer Simulation of Structure Surface Network in Rock Masses	<i>Wei An et al.</i>	153
A Research into Products of Concrete Erosion in Acid-Environment Water	<i>Luo Jian et al.</i>	155
The Carrying of Debris Flow Substances Step by Step in the Lumuyida Groove	<i>Bai Zhiyong</i>	157
The Prediction of Landfall Stability and its Resistance Capacity to Rainfall	<i>Hu Houtian Lü Xiaoping</i>	159
The Application of MSS and TM Image to Geological Investigation and Surveying about Qinling Tunnel	<i>Guan Jianzhe</i>	161
The Analysis of Mineral Contents and Some Discussion of the Microstructure of Chengdu Clay	<i>Zhu Yonglin et al.</i>	163
Determination of the Split Strength of Rock by Plate Bearing Test	<i>Cao Fuen</i>	165
Engineering Geological Property of Basalt Weathering Zone in Hainan	<i>Zhou Qunjian Li Bingsheng</i>	167
Test Study for Improving Character of Red Clay on Nanning-Kunming Railway	<i>Li Tonggui et al.</i>	169
Collape Forecase of Expansive Soil Slopes	<i>Han Huizeng et al.</i>	171

SURVEYING ENGINEERING AND REMOTE SENSING

Development of GPS Data Postprocessing Software Package and Some Results with TI—4100	<i>Huang Dingfa</i>	173
Having Taken into Account Initial Data Errors, The Recurrence Formula of Multi-Order Control Network Parameter Covariance Matrix	<i>Cen Minyi</i>	175
Some Problems on Research of the Reflected Spectrum of Plant	<i>Ying Songbao Xu Hong</i>	177

The Influence of Errors of Initial Data on the Accuracy of Multi-Order Urban Level Net-Works	<i>Zhang Huizhen</i>	<i>Mong Bingzhen</i>	179
Creating an Information System to Intergrate Remote Sensing Data with GIS Data for Railway Design.....	<i>Xie Wei</i>		181
Accuracy and Correctness of Landform Depiction	<i>Liu Qishu</i>		183
Some Thinking on the Application of GPS in Railway Surveying.....	<i>Lu Boxiang</i>		185
Exploration of the Color Match Using Different Times Remote Sensing Images	<i>Qin Jun</i>		187
Determination of Deformation on the Rotational Type Architecture by Close Photogrammetry	<i>Wu Shiqi</i>		189
Analysis of Internal Relation of the Error Ellipses and Error Ellipsoid.....	<i>Lu Boxiang</i>	<i>Cen Minyi</i>	191

论 PC 梁桥斜截面的疲劳可靠性

何广汉 杨德滋 陈金罗

本文在调查研究的基础上,将我国目前运营列车归纳成三类(混合、装煤货车及旅客列车)和轻、中、重三个编组级别,并运用 Monte Carlo 法模拟出适用于中国西南地区和年运量低于 1500 万吨的线路的 5 种典型列车模型,据此得出了 PC 梁桥的混凝土主拉应力谱,同时,还提出了 PC 梁桥斜截面疲劳验算的建议公式,并对其疲劳寿命和可靠度进行了分析。

作者曾就各线路运营列车的编组总节数、车辆构成和载重量分别进行了统计分析,从而得出统计量的频率分布,并在此基础上,用 Monte Carlo 法模拟出各型车辆及其载重量的随机排列组合情况,进而得出 5 种典型列车模型。作者还在津浦线井亭大桥上行第一孔 23.8 m 跨度的 PC 简支梁桥上实测了实际运营列车荷载谱所产生的结构效应谱,并以其与其相应的计算值进行了比较与验证。根据等损伤理论和 P—M 线性积伤法则,求得该桥主拉应力脉的结构系数(即等效应力脉实测值与理论值之比) $K = 0.85$ 。可见,用典型列车模型推算主拉应力脉谱的方法是可行的。

1 PC 梁桥斜截面疲劳抗裂性的验算方法

变幅荷载下 PC 梁斜截面疲劳抗裂性的验算需知道下列两个条件。

1.1 强度条件

即构件细节的常幅主拉应力脉 σ_R 与导致其疲劳开裂所需循环次数 N 间的关系。

$$N(\sigma_R/f_{tk})^{11.63} = 573.23 \quad (1)$$

1.2 荷载条件

即构件细节在指定寿命期内所经历的主拉应力脉及其相应的循环次数。

$$\sigma_{Rn} = [\sum n_i (\sigma_{Ri})^m / n]^{1/m} \quad (2)$$

在得知上述强度、荷载条件后,即可求出规定设计寿命(100 年)期内的最大主拉应力脉,并可按式(3)进行斜截面疲劳抗裂性的验算。

$$\sigma_{Rmax} \leq \sigma_T = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \sigma_0 \quad (3)$$

式中, σ_T 为容许疲劳主拉应力脉; σ_0 为常幅疲劳试验定出的不发生裂缝扩展的主拉应力脉。

2 PC 梁桥斜截面疲劳抗裂性的可靠性分析

作者曾以结构可靠性理论对 PC 梁桥斜截面的疲劳抗裂性进行了以下的可靠性分析。

2.1 典型列车作用下 PC 梁桥主拉应力脉分布函数的确定

根据典型列车模型计算出的 31.7 m PC 简支梁桥在 1/4 跨换算截面重心轴处的混凝土主拉应力脉直方图有两个特点:(1) 应力脉呈左偏;(2) 有明确的上、下限(上限为 σ_{max} , 下限为 0)。因此,宜用 β 函数模拟主拉应力脉的概率密度函数 $f(\sigma_R)$ 。根据计算,并经 χ^2 检验,(4)式是可以接受的。

$$f(\sigma_R) = (0.6 - \sigma_R)^{2.5409} / 187 \sigma_R^{0.4634} \quad (4)$$

2.2 斜截面疲劳开裂寿命的计算

设 $\bar{N}(\sigma_{Ri})$ 为常幅应力脉 σ_{Ri} 下的斜截面疲劳开裂的平均寿命, 则经历 n_i 次作用所产生的损伤度为 $n_i/\bar{N}(\sigma_{Ri})$ 。当累计损伤期望值 $E(D)=1$, 即发生疲劳开裂。故当主拉应力脉 σ_R 的概率密度函数为 $f(\sigma_R)$ 时, 该破坏条件则为

$$E(D) = \int_0^{\infty} [\bar{n} f(\sigma_R) / \bar{N}(\sigma_R)] d\sigma_R = 1.0 \quad (5)$$

由此, 可得出
$$\bar{n} = C_0 / \int_0^{\infty} \sigma_R^m f(\sigma_R) d\sigma_R = C_0 / E[\sigma_R^m] \quad (6)$$

对于 31.7 m 的 PC 梁桥, 经计算其斜截面混凝土疲劳开裂的平均寿命

$$\bar{n} = 1.793 \times 10^{13} \text{ (次)}$$

2.3 斜截面疲劳开裂的可靠性分析

设梁在 $t=0$ 时开始工作, 在变幅重复荷载作用下一直继续到 $t=T$ 时产生疲劳斜裂缝, 则梁的随机疲劳寿命 T 可用概率密度函数 $f_T(\tau)$, $\tau>0$ 描述, 其累积分布函数 $F_T(t)$ 则为 $(0, t)$ 时段内发生疲劳开裂的概率。

$$F_T(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f_T(\tau) d\tau \quad (7)$$

在 $(0, t)$ 时段内不发生疲劳开裂的概率则为

$$L(t) = P(T > t) = 1 - F_T(t) = \exp\left[-\int_0^t h(\tau) d\tau\right] \quad (8)$$

疲劳损伤破坏是一种不可逆的累积损伤过程, 其风险函数的一次导数 $dh(t)/dt > 0$, 且随机疲劳寿命 $T > 0$, 故宜用 Weibull 分布来描述这一过程, 即

$$h(t) = f_T(t) / [1 - F_T(t)] \\ = [k / (w - t_0)] \cdot [(t - t_0) / (w - t_0)]^{(k-1)}, \quad k > 1 \quad (9)$$

式中, t 为疲劳寿命, 以循环次数表示; w 为寿命分布的众值; k 为形状系数; t_0 为最小寿命。

偏于安全地取 $t_0 = 0$, 并根据有关文献, 可得

$$L(n) = \exp\left\{-[n\Gamma(1 + V_n^{-1.08}) / \bar{n}]^{V_n^{-1.08}}\right\} \quad (10)$$

由式(10)可见, 可靠度函数 $L(n)$ 取决于 \bar{n} 与变异系数 V_n 。而后者则表示疲劳开裂寿命估计值 N 的全部不定性, 即疲劳模式的误差; 平均应力脉的不定性和 $\sigma_R - N$ 回归方程曲线截距平均值的不定性以及工艺、施工质量方面的变异等。经过分析与计算, $V_n = 1.1934$; 31.7 m PC 简支梁桥运营年限 100 年的主拉应力脉循环次数 $n = 1.04609 \times 10^8$, 平均寿命 $\bar{n} = 1.793 \times 10^{13}$; 斜截面疲劳开裂可靠度函数 $L(n) = 99.99484\%$; 失效概率 $P_f = 1 - L(n) = 5.16 \times 10^{-5}$; 与其相应的可靠指标 $\beta = 3.92$ 。

3 结论

(1) 用典型列车模型建立列车荷载谱及桥梁结构效应谱的方法既切实可行又可推广用于公路桥梁。

(2) 从本文算得的可靠指标 β 值可以看出, 跨度 31.7 m 的 PC 简支梁桥具有较好的疲劳抗裂性。

(3) 需逐步完善 $\sigma_R - N$ 曲线和对变异性分析以提高斜截面疲劳开裂可靠性分析精度。