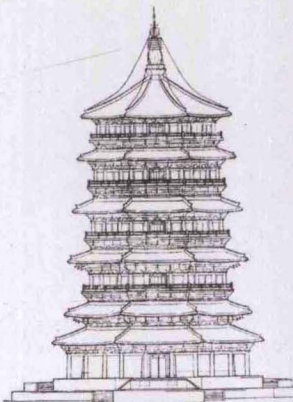


INGCHENG JIEGOU
CIGUOLIANQUAN
WENTI DE SIKAO



土木工程结构受力安全 问题的思考



朱汉华 周智辉 等 著

U
311



人民交通出版社
China Communications Press

Tumu Gongcheng Jiegou Shouli Anquan

土木工程结构受力安全

Wenti de Sikao

问题的思考

朱汉华 周智辉 等 著

人民交通出版社

内 容 提 要

土木工程结构安全的关键是把握物理概念与全过程力学状态正确性和措施有效到位,越是复杂的问题,把握物理概念与全过程力学状态正确性和措施有效到位越重要。本书从工程结构受力安全问题内涵、典型工程的安全问题思考、地震中不同地区工程结构的启示、不合理工程结构失效的相似性四个方面,揭示了土木工程结构安全问题存在的实质性关系及其具体表现、安全合理的工程结构必须满足的条件等内容。

本书适合土木工程施工技术人员、监理技术人员以及相关专业从事土木工程技术工作人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程结构受力安全问题的思考/朱汉华等著.

—北京:人民交通出版社,2012.8

ISBN 978-7-114-09937-3

I. ①土… II. ①朱… III. ①土木工程—工程结构—
受力性能—研究 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 161514 号

书 名: 土木工程结构受力安全问题的思考

著 者: 朱汉华 周智辉 等

责任编辑: 曲乐 周宇

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市凯鑫彩色印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 7.75

字 数: 135千

版 次: 2012年8月 第1版

印 次: 2012年8月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09937-3

定 价: 30.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

哲学家用不同的方式解释复杂世界的各种事物及其相互关系；工程师则善于针对具体问题，通过不断地改变某些事物及其关系而达到改变世界的目的。对于复杂的地下工程问题，科技工作人员既要用哲学家的思维方式，合理解释地下工程和各种物质作用及其相互关系，又要用工程师对技术的把握能力，通过科学地改变某些物质作用及其相互关系，达到地下工程全过程稳定、平衡的目的。

正如国家安全的关键是战略和军事实力，而经济和科技实力等是支撑一样；工程结构安全的关键是把握物理概念与全过程力学状态正确性和措施有效到位，而数值分析和模型试验等是支撑。越是复杂的问题，把握物理概念与全过程力学状态正确性和措施有效到位越重要。

实现工程结构安全首先要确保整体周边环境(地基、围岩、水)的稳定平衡，其次要确保局部环境与结构的相互作用不但要满足艺术上的形似平衡，更要从“力、变形、能量”等方面确保系统始终处于稳定平衡状态。“力和能量要有相应物质载体，并具有相应传递或转换途径”，结构“稳定平衡与变形协调”和“外力做功有效转换为结构弹性应变能”是统一的，变形协调又是能量法和力法结构分析的必要条件。确保“力、变形、能量”按设计路径传递及方式转化是结构稳定、安全、合理的基本要求，也是保证设计形式不产生有害影响的基础。确保结构的“稳定平衡与变形协调”，不仅需要目标控制，更需要围绕目标实现结构安全合理的过程控制，否则结构就会不稳定或破坏。随着材料性能、设备性能、分析方法、计算手段、工艺工法等进步和结构大型化与外部条件复杂化等情况的出现，虽然结构“力、变形、能量”三要素的内涵、属性、过程是不变的，但把握物理概念与过程力学状态的复杂性与难度增加。因此，根据实际情况，分别运用“力、变形、能量”中的一个或几个要素便可更好地控制地下工程结构行为，一般来说用“力、能量”定性或定量分析结构行为，用“变形”控制结构行为。在工程实践中，科技人员必须经过反复模拟与试验，做到理念和手段先进、到位，保证结构全过程稳定平衡和安全合理，才能推进大型复杂结构建设进程。

土木工程结构安全问题存在三个实质性关系：①力学稳定平衡；②力与变形关系；③变形协调。在工程实践过程中具体表现为如下四个层面。

第一层面:(1)牛顿力学、有限元等理论:解决了结构稳定平衡问题;(2)虎克定律、本构关系等理论:建立了材料力与变形之间的关系;(3)变形协调问题认定解决或自然满足:对于简单结构,基于成熟的构造措施以及经实践验证合理的变形假定一般能够解决变形协调问题,对应类似“苹果落地点预测”等相对简单成熟工程问题。

第二层面:(1)牛顿力学、有限元等理论;(2)虎克定律、本构关系等理论;(3)变形协调不满足或难于解决:对于复杂结构而言,合理工法与构造创新虽然克服了大部分连接可靠性问题,但是对构件之间或非均匀构件内部或组合变形协调问题往往重视不够,有时导致结构开裂或不利变形甚至破坏,对应类似“树叶落地点预测”等相对复杂新型工程问题。

第三层面:构件之间或非均匀构件内部或组合变形不协调问题可能会产生两方面现象:功能不能有效转换、力不能有效传递;导致两种结果:在重复荷载作用下会加速公路桥梁结构或构件材料积累损伤过程,甚至引起公路桥梁结构或构件破坏;软弱不良地质环境地下工程全过程存在安全隐患,甚至引起地下工程结构或构件破坏。

第四层面:解决问题的方法有如下两类:(1)传统解决办法:关系①+关系②(认定关系③自然满足,只适用于类似“苹果落地点预测”等相对简单成熟工程问题);(2)基于传统思路的综合解决办法:关系①+关系②+关系③(采用整体控制与细节把握和围绕目标的过程控制方法解决结构变形协调问题后,把类似“树叶落地点预测”等相对复杂新型工程问题转变为类似“苹果落地点预测”的相对简单成熟工程问题,才能简单有效地利用传统解决思路,解决类似“树叶落地点预测”的相对复杂新型工程问题)。

参照仿生学,安全合理的工程结构必须满足四个条件:(1)工程结构平衡必须稳定;(2)工程结构变形必须稳定与协调;(3)工程结构功能能够有效转换;(4)工程结构敏感构件或连接件可以被检测、维护、替换。以上条件正好符合经典与现代安全合理的工程结构所具备的条件(见第1章)。对照这些条件,分析古今中外工程结构出现的各种问题可知:目前公路桥梁工程存在的问题可以简明概括为功能不能有效转换和力不能有效传递。这样在重复荷载作用下会加速公路桥梁结构或构件材料积累损伤过程,甚至引起公路桥梁结构或构件破坏。从实际工程的具体表现来看,存在的主要不足为:(1)建设前期认识不足或标准与工艺欠缺;(2)荷载管理不到位或超负荷;(3)建设质量局部缺陷或存在问题;(4)维护水平不高或不到位等。针对以上存在的问题,工程结构新建、改造、维护、拆除、使用荷载水平等问题既要遵循规章制度,又要从力学规律上把握工程结构稳定平衡与变形协调规

律(包含结构相互作用或伸缩缝隙等),以及外力做功有效转换为弹性应变能规律,落实定期单位和个人责任考核,才能真正到位。本书仅介绍整体认识而不做详细分析,供读者参考。对书中存在的错误认识,敬请批评指正。部分图片选自网络或其他媒体,特此申明,敬请谅解!

安全兴趣小组组成人员:朱汉华、周智辉、刘俊珂、高珊、陈孟冲、文颖、袁迎捷、潘明军、吴明、叶剑锋、陈亮、田浩、王润建、王国良等。

作者
2012年3月

目 录

1 工程结构受力安全问题内涵

1.1 工程结构受力安全的基本要求	1
1.1.1 疲劳引起的结构积累损伤	1
1.1.2 结构受力与变形产生突变	5
1.1.3 全过程稳定平衡与变形协调	6
1.2 结构受力安全问题的层次关系	8
1.2.1 总体思路	8
1.2.2 恰当的概念创新有利于阐述理论	10
1.2.3 基于传统思路的综合解决办法	10
1.3 经典木结构工程处于稳定平衡与变形协调状态的 现实意义	11
1.3.1 经典木结构工程	11
1.3.2 廊桥结构形式的发展	12
1.4 经典地下工程围岩稳定平衡案例	19
1.5 工程结构的稳健性(鲁棒性)	22
1.5.1 结构稳健性(鲁棒性)的提出及含义	22
1.5.2 提高结构稳健性(鲁棒性)的措施	23
1.6 仿生工程学的借鉴	26
1.7 变形协调概念及其在结构设计中的应用	29
1.8 构造措施对结构受力性能的影响	39

2 典型工程的安全问题思考

2.1 概述	41
2.2 某建设领域安全事故的特点分析	42
2.3 某省近两年国省道危桥改造项目分析	42
2.3.1 某省近两年国省道危桥改造项目情况	42
2.3.2 某省国省道危桥产生宏观原因分析	43

2.3.3	对桥梁管理的建议	45
2.4	世界百年十大最严重塌桥事故的警示	47
2.4.1	事故 1:加拿大魁北克大桥二度坍塌	47
2.4.2	事故 2:美国连接西佛罗里达州波因特普莱森特与俄亥俄州的 Kanauga 吊桥发生坍塌	48
2.4.3	事故 3:美国堪萨斯州海厄特·雷根西饭店的高架人行桥突然断裂	49
2.4.4	事故 4:美国康涅狄格州格林尼治镇米勒斯大桥坍塌	49
2.4.5	事故 5:韩国首尔桑苏大桥坍塌	50
2.4.6	事故 6:綦江彩虹桥坍塌	50
2.4.7	事故 7:葡萄牙北部的 Hintze-Ribeiro 大桥坍塌	51
2.4.8	事故 8:印度达曼西部沿海区域一座大桥坍塌	52
2.4.9	事故 9:西班牙格兰纳达 Almuecar 地区的高速公路桥坍塌	52
2.4.10	事故 10:印度比哈尔邦帕戈尔布尔火车站附近一座 150 年桥龄的旧桥坍塌,地面一列火车被压	53
2.5	桥梁坍塌事故分析和借鉴	53
2.5.1	四类桥梁安全事故	53
2.5.2	偶然事件容易引发大灾害	61
2.6	结构水毁与结构船撞问题及防治方法	64
2.6.1	结构水毁事故	64
2.6.2	水毁防治方法的思考	66
2.6.3	桥梁结构防撞思考	68
2.7	隧道坍塌事故的教训	70
2.8	隧道建设中的平衡稳定问题	73
2.9	预应力混凝土连续箱梁桥裂缝分析与防治	75

3 地震中不同地区工程结构的启示

3.1	地震中不同地区工程结构的比较	81
3.2	汶川地震工程结构的抗震思考	82
3.3	日本工程结构抗震设计的启示及借鉴	85
3.3.1	严格的抗震建筑法作保障	85
3.3.2	采用合理的建筑结构形式	85

3.3.3	刚性结构提高建筑物的抗震性能	86
3.3.4	使用橡胶提高建筑物的抗震性能	86
3.3.5	采用“地基地震隔绝”技术	87
3.3.6	日本桥梁结构抗震及防落梁设计	87

4 不合理工程结构失效的相似性

4.1	桥梁整体垮塌的相似性	89
4.1.1	拱桥整体垮塌	89
4.1.2	某地公路拱桥在水毁中整体垮塌	93
4.1.3	公路桥梁在超载中整体垮塌	95
4.1.4	独柱墩箱梁桥的整体垮塌及工程改造方案	95
4.2	基坑或基础塌陷的相似性	104
4.2.1	地下车库施工中导致附近房屋倒塌	104
4.2.2	印度杰塞梅尔沙堡被废水冲毁	106
4.2.3	山洪冲毁有 800 年历史的廊桥	106
4.2.4	地基掏空导致高楼倒塌	107
4.3	路面桥面由于竖向变形偏大容易损坏的相似性	108
4.4	工程结构失效相似性的一些认识	111

参考文献

1.1 工程结构受力安全的基本要求

自然创造了曲线,人类创造了直线。如果没有特殊情况,偶然出现直线的概率要比出现曲线的概率小。从遵循最简单规则的意义来说,人类选择直线是最经济、最便于应用的方法。例如,自然创造的人类身体外表是由复杂微妙的曲线构成,但人类在探求自身奥秘时,反而发现在曲线的外貌下潜藏着直线骨骼;又如,名山大川虽然“横看成岭侧成峰”,但都可简化成金字塔形。从某种意义上说,人类总是透过“曲线形”自然现象,发现隐藏在现象背后的“直线形”自然法则,并运用这些法则进一步指导生产实践,而数学微积分、力学有限元则成为人们用直线逼近曲线的有效工具和途径。人们研究自然规律时追求完善,但改造自然时应该把握主要规律,尽可能简单化,做到经济、实用、可靠。

参照“大气涡旋运动与大海洋流运动和光的传播规律”分析理念,重新认识结构“力、变形、能量”三要素分析方法,“力和能量要有相应物质载体,并具有相应传递或转换路径”,“光和能量在均质体与非均质体中传播路径完全不同,效果也不一样”。外力做功转换为弹性应变能和其他形式的能量是平衡体系受到外部作用必然发生的物理过程,变形协调是力和能量按设计路径传递或转换的重要条件,具体表现在以下几个方面。

1.1.1 疲劳引起的结构积累损伤

(1)在重复荷载作用下非弹性体(例如高应力、应力集中、大变形构件、变形不协调构件组合等情况)外力做功除有效转换为弹性应变能外还产生其他形式的能量(例如热能:受拉杆件断裂而发热),就会由疲劳引起结构积累损伤,最后造成强度破坏,影响结构使用寿命。例如:①中承式钢筋混凝土拱拱桥的部分桥面系是漂浮体系,其中短吊杆不仅承受拉力(计算中包含),而且承受弯剪力(计

算中不包含),以及长短吊杆变形不同造成受力不均,还有拱桥吊杆的防腐措施是否到位直接影响到桥梁的运营安全;②20m及以上跨度小铰缝钢筋混凝土板梁刚度较小,在超载车辆长期作用下发生突然垮塌现象。两者均容易产生疲劳引起的积累损伤,因此单纯用静力分析很难说明为什么许多中小跨度桥梁在超载车辆作用下会突然垮塌,而用静力分析和疲劳引起的积累损伤共同分析就能说明许多中小跨度桥梁在超载车辆作用下突然垮塌的原因。事实上只有理想的弹性体存在外力做功等于结构弹性应变能关系,而非弹性体除产生弹性应变能外还会产生结构积累损伤能量引起材料劣化。按建筑与交通规范设计的结构物考虑了结构工作到弹塑性状态,在反复荷载作用下容易产生累积损伤,而按铁路规范设计的结构物仅容许结构处于弹性工作状态,在反复荷载作用下产生累积损伤相对较少(图1-1)。另外,按建筑规范计算“不直接承受动荷载”(后改为“需要计算疲劳”)的钢梁抗弯承载力时,可以考虑截面部分进入塑性状态,即按弹塑性理论设计,但是当直接承受动荷载作用时,规范规定只能按弹性理论进行抗弯承载力设计。对此,国际标准化组织(ISO)作了两条规定:①塑性设计不能用于出现拉压交替塑化的构件,即不能出现受拉屈服和受压屈服情况;②对承受动荷载的结构,设计荷载不能超过安定荷载,即构件不会由于塑性变形的逐渐积累而破坏,也不会由于交替发生受拉屈服和受压屈服使材料产生低周疲劳破坏。世界范围内偶有公路桥梁垮塌事故,而不是铁路桥梁。另外,同一段公路仅有个别桥梁运营一段时间后发生垮塌事故,而所有的桥梁均处于超载状态,正如生活中折断铁丝只需要很少几个来回,原因在于每个来回的作用都达到了弹塑性状态。以上两种情况说明公路桥梁结构处于弹性工作状态的重要性。

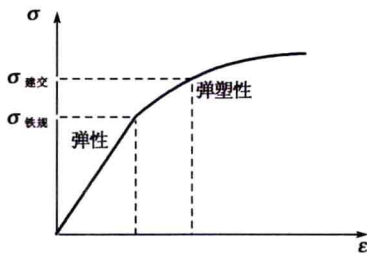


图 1-1 静载、重复荷载作用下
非弹性体积累损伤比较

(2)当结构变形不协调时,结构实际受力和能量转换不会按设计路径传递或转换进行,这样结构可能处于不稳定平衡状态;若外力或外力做功较小时,结构变形协调,那么结构处于稳定平衡状态,但是在重复荷载作用下也会产生疲劳引起的结构积累损伤,最后造成强度破坏,影响结构使用寿命。

以上两种情况属于结构积累损伤现象,虽然实际结构受力与变形没有产生突变,但在重复荷载作用下的积累损伤效应为结构受力或变形产生突变埋下隐患,结构实际受力或变形处于渐变转化为突变前的不稳定平衡状态,最后造成强度破坏,因此应加以防范;特别在材质不良、大交通流、超载、荷载分布差异等情

况下,上述两种问题会更加突出。

【实例 1-1】 中承式钢筋混凝土肋拱桥的部分桥面系是漂浮体系。目前国内部分拱桥倒塌主要是因为吊杆断裂。因该类桥梁的桥面系是漂浮体系并由单吊杆支撑,其中短吊杆不仅承受拉力(计算中包含),而且承受弯剪力(计算中不包含),以及长短吊杆变形不同造成受力不均,造成功能转换产生应变能不能有效耗散,就会产生结构积累损伤。另外桥面系吊杆锚固端部锈蚀严重,两者都影响结构使用寿命。图 1-2、图 1-3 是某桥更换吊杆钢索中的钢丝扫描试验结果,图 1-2 为未损伤端的切片扫描照片,图 1-3 为损伤端的切片扫描照片,对比两组照片可以发现,一些钢筋内部已经存在部分损伤。

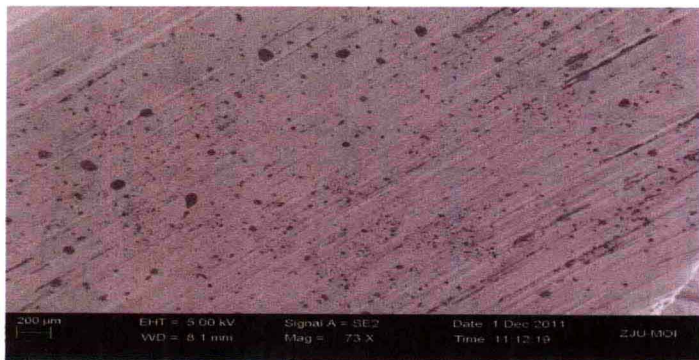


图 1-2 未损伤端的切片扫描照片

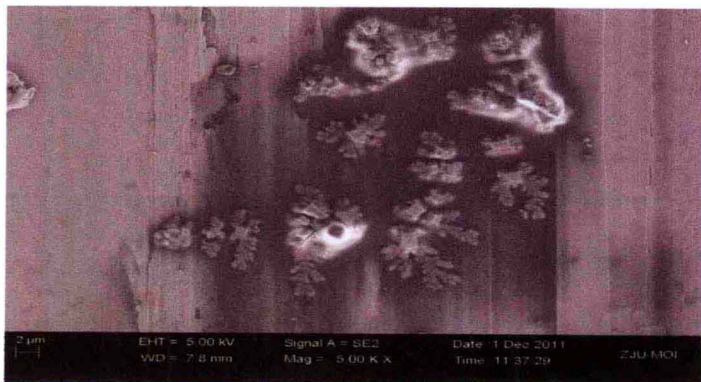


图 1-3 损伤端的切片扫描照片

【实例 1-2】 某公铁立交桥优化宽幅空心板结构破坏性试验结果分析
(1) 积累损伤情况。空心板横断面如图 1-4 所示,裂缝宽度监测结果见表 1-1。

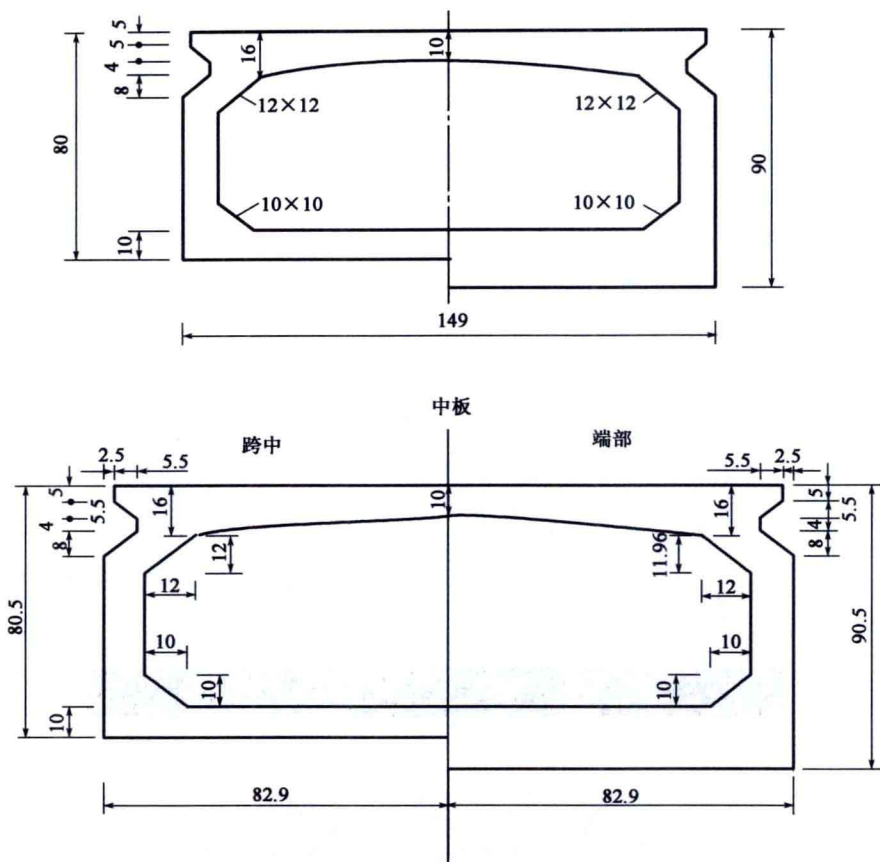


图 1-4 20m 跨空心板横断面图(尺寸单位:cm)

裂缝宽度监测结果统计

表 1-1

桥跨 编号	裂缝位置	裂缝宽度 (mm)			裂缝变化情况	
		加载前①	加载后②	卸载后③	加载后②/ 加载前①	卸载后③/ 加载前①
左幅第 三跨	3号板底板纵缝	0.150	0.171	0.158	1.14	1.05
	5号板底板纵缝	0.160	0.179	0.160	1.12	1.00

由表 1-1 可以看出,加载后与加载前纵向裂缝宽度比值介于 1.12 ~ 1.14 之间,卸载后与加载前裂缝宽度比值介于 1.00 ~ 1.05 之间,纵向裂缝基本恢复。

加载过程中空心板的刚度发展情况如图 1-5 所示。

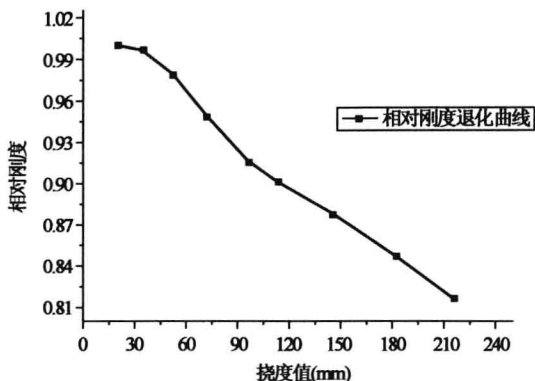


图 1-5 加载过程刚度发展图

从图 1-5 可以看出,在加载初期,结构的刚度较大,随着荷载的增大,裂缝的开展,刚度下降较快;继续增加荷载,结构由弹性工作状态转变为弹塑性工作状态,使得结构刚度退化程度略有减慢;在加载后期,刚度退化逐渐变缓,在达到极限承载之前,刚度的退化和变形几乎成线性关系。

从优化宽幅空心板结构破坏性试验结果可以看出,优化宽幅空心板结构由于刚度偏小,在荷载较大时,结构由弹性工作状态转变为弹塑性工作状态,容易产生积累损伤。如通信领域中频率都对应一定的功率,若要达到谐振点,必须频率相同,同时功率也应相应达到;若仅频率相同,功率不足,不能谐振;同样若仅功率满足,频率不同,也不能谐振。因此,中小跨度、刚度较小、存在局部缺陷的桥梁容易产生积累损伤。

(2) 五片梁拼接小桥横向加固试验情况。将从原桥拆除的 20m 梁板运至试验场地,选择相邻的五片梁按原设计要求重新拼接成小桥,通过静载试验,检验空心板位移横向分布及各梁铰缝横向传力性能。试验主要包括以下两部分内容:空心板间铰缝传力性能;空心板间位移横向分布,如图 1-6 所示。

由图 1-6 可以看出,钢横梁和体外预应力钢丝绳网片横向加固对空心板的整体性均有所增强。空心板间位移横向分布工况,即荷载较大时(四辆车加载)体外预应力钢丝绳网片加固效果相对较好;铰缝传力性能工况,即荷载较小时(两辆车加载)钢横梁加固效果相对较好。

1.1.2 结构受力与变形产生突变

(1) 当结构变形不协调时,在重复荷载作用下结构外力做功除有效转换为

弹性应变能外还产生其他能量(例如:结构坍塌产生的重力势能);结构受力与变形会产生突变,使得结构开裂、不稳定甚至破坏(例如:①2008年汶川地震中板墙结构或接头不良的框架结构;②构造或刚度不利组合程度较高的桥梁结构;两者均容易发生外力做功不能有效转换为弹性应变能而造成开裂甚至破坏等)。

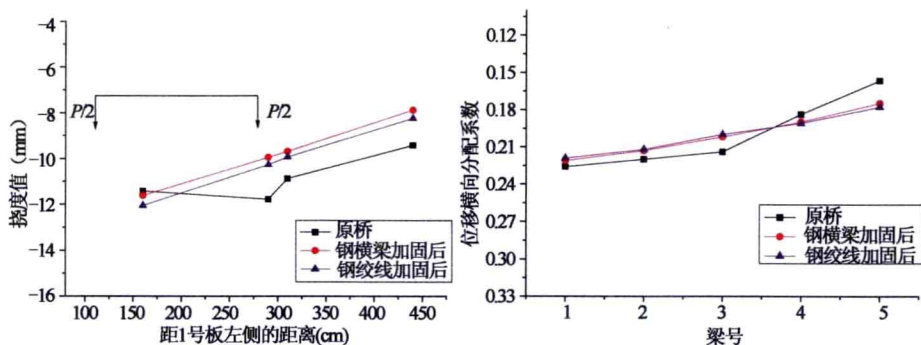


图 1-6 空心板间铰缝传力性能和位移横向分布图

(2)当结构变形不协调时,若外力或外力做功又较大(例如:拉吊索桥梁因钢丝锈蚀而产生脆断破坏),结构受力与变形会产生突变,那么结构处于不稳定平衡状态。

(3)当结构变形不协调时,结构虽然平衡但状态不同(即结构质点加速度 $a=0$,而结构质点速度、位移可以是 $v=0, s=0$;也可以是 $v=v_1, s=s_1$ …或是 $v=v_n, s=s_n$),这样复杂结构可能会产生较大的附加内力甚至超过荷重内力,那么结构可能出现开裂或破坏,而处于不稳定平衡状态。

以上三种情况属于结构受力与变形产生突变阶段,结构处于不稳定平衡状态,应该提前加以防范;特别在材质不良,大交通流,超载、荷载分布差异等情况下,上述三种问题会非常突出。

1.1.3 全过程稳定平衡与变形协调

只有当结构变形协调和材料质量稳定时,结构实际受力和能量转换会按设计路径传递或转换进行,结构才处于稳定平衡状态。

综上所述,平衡体系要实现平稳的外力做功有效转换为弹性应变能的过程,必须具备足够的能量转换空间或路径;对于工程结构来说就是具备足够的变形空间或路径(即满足变形协调要求),使得结构能够通过变形能接受外力所做的功,从而达到结构实际受力和能量转换按设计路径传递或转换,实现稳定平衡的

目的。外力做功有效转换为弹性应变能或其他形式的能量是必然的物理过程,变形协调是实现稳定平衡的必要条件,稳定平衡是要实现的目标。变形协调是指结构必须具备必要的变形空间与恰当的刚度匹配;必要的变形空间保证力有合适的传递路径以及能量有适当的转换途径;恰当的刚度匹配保证结构各部件协调工作,最大限度地发挥结构体系的抵抗能力。结构“稳定平衡与变形协调”和“外力做功有效转换为结构弹性应变能”是统一的,变形协调又是能量法和力法结构分析的必要条件。确保“力、变形、能量”按设计路径传递及方式转化是结构稳定、安全、合理的基本要求,也是维持设计形式不产生有害过程的基础。而确保结构的“稳定平衡与变形协调”,不仅需要目标控制,更需要围绕目标实现结构安全合理的过程控制,否则结构就会不稳定或破坏。随着材料性能、设备性能、分析方法、计算手段、工艺工法等进步和结构大型复杂化与外部条件复杂化等,虽然结构“力、变形、能量”三要素内涵、属性、过程是不变的,但把握复杂与难度增加。根据实际情况,分别运用“力、变形、能量”中的一个或几个要素便可更好地控制工程结构行为,经过反复模拟与试验,做到理念和手段先进并到位,保证结构全过程稳定平衡和安全合理,才能推进大型复杂结构建设进程。因此,从结构“力、变形、能量”三要素和过程控制均应满足变形协调角度,重点阐述结构全过程稳定平衡的内涵。从“力、变形、能量”三要素出发,根据实际情况,分别以一个或几个要素控制不同结构行为。例如控制应力对地面连续结构较容易;控制变形对地面砌体结构和伸缩装置、临时结构、地下结构等较容易;控制能量并辅助工程手段对结构碰撞问题、边坡、地下工程等较容易。便于更好地回答在重复荷载作用和许可条件下桥梁结构使用寿命问题的核心是工程结构要求受力简单、明确、可靠、经济、地基稳定、结构构造合理、合理刚度、安全度有富余、材料质量稳定、基本处于弹性工作状态,就可避免重复荷载作用下功能不有效转换和变形不协调问题。特别是在复杂环境条件下(复杂地质、复杂风载、复杂因素耦合作用等),采用受力简单明确的简单结构组合,可以使复杂结构受力分析相对容易,部分节点或构造受力分析复杂可采用试验确定,则复杂结构受力就相对容易把握,实际应用中就不容易出问题,从而实现复杂问题简单化。

工程结构设计、施工及养护全过程必须与周围相关环境共同作用并符合力学规律。合理结构构造和合理施工养护工艺是保障工程结构强度、刚度、稳定等的基础。施工与养护过程中每步骤或使用过程中每时段,工程结构(含临时结构或隧道围岩与支护系统)都必须满足力学稳定平衡力与变形关系和变形协调以及外力做功能够有效转换为结构弹性应变能。其核心是工程结构要符合物理概念,重点是保持结构稳定性,历史上许多不良大型(如大跨、高耸等)工程结

构、地下工程开挖与初期支护不匹配、边坡开挖与支护顺序不当等都是因丧失结构稳定而破坏。因此,除受拉结构外,工程结构整体或施工过程稳定性至关重要。

研究工程结构设计、施工、养护方案,比选或筛选特别关键部位和环节的过程安全控制时,可以采用概率或风险评估办法来测定结构安全度,而具体工程结构安全问题必须结合实际情况(结构、地质、环境、人力、材料、机械等),从系统和细节或过程来全面控制,细化到每个环节或过程并强化责任和落实到位。土木工程结构的实质就是:设计+施工+养护=百年大计。设计包括地基稳定性、结构构造合理性,施工包括技术与工艺合理性,养护包括缺陷修复和维持动态平衡稳定。

对比传统工程结构与现代工程结构特点,正像轮子、勺子这类传统东西,除了理念和用途、计算手段、材料、设备现代化之外,其余基本特性几乎没有发生变化,那么在继承和集成创新的基础上,现代工程结构如何吸收传统工程结构的精华,借助于计算机、新的材料和设备,更好地提升现代工程结构的稳定安全水平,就像读史是为了现实与未来,应该立足现代与未来工程结构特性,结合实际情况(地质、环境、人力、材料、机械等),实事求是地从整体和细节或过程上全面研究工程结构设计、施工、养护的合理性。也就是说,现代土木工程应该在传统土木工程的基础上,遵循复杂问题简单化理念,复杂结构最好是简单结构组合,采用新理念、新技术、新工艺、新材料、新设备、新机制进行改造和创新,不断解决现实资源环境约束与满足人们增长需求的矛盾。

总之,目前公路桥梁工程存在的问题可以简明概括为:功能不能有效转换问题和力不能有效传递问题。这样在重复荷载作用下,会加速公路桥梁结构或构件材料积累损伤过程,甚至引起公路桥梁结构或构件破坏,应该引起公路部门重视。

1.2 结构受力安全问题的层次关系

1.2.1 总体思路

结构设计的基本要求是确保结构设计基准期的安全性、适用性与耐久性(统称为可靠性问题)。尽管在结构可靠性方面相关人员做了大量工作,取得了丰富的研究成果,但是结构安全性的基本力学问题并未完全解决,尤其是新型复杂结构体系,如何在结构设计施工使用全过程中准确把握结构的受力行为并未