

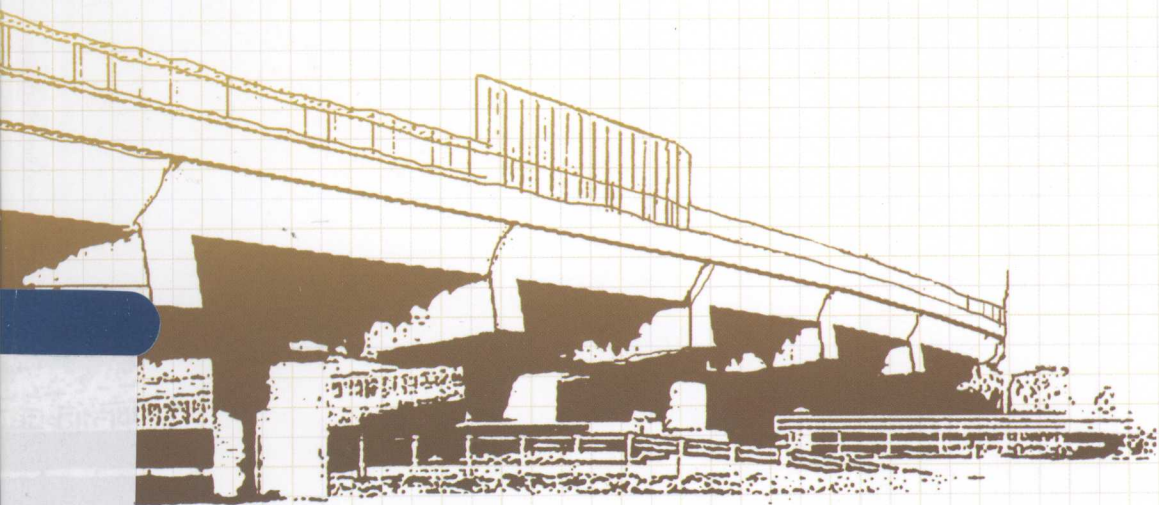


可持续与创新桥梁系列丛书

无伸缩缝桥梁

JOINTLESS BRIDGES

陈宝春 庄一舟 Bruno Briseghella 著



人民交通出版社
China Communications Press

014012846

U44
25

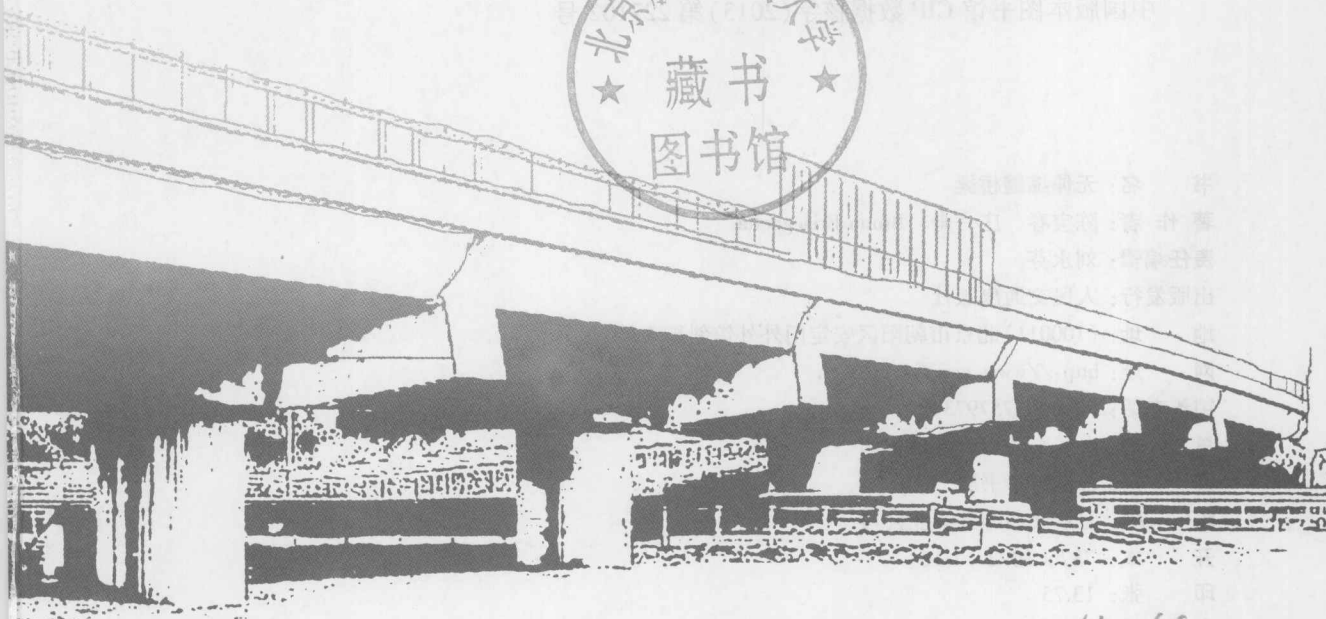


可持续与创新桥梁系列丛书

无伸缩缝桥梁

JOINTLESS BRIDGES

陈宝春 庄一舟 Bruno Briseghella 著



U44
25



人民交通出版社
China Communications Press



北航

C1699660

内 容 提 要

本书从桥梁结构的温度变形与伸缩缝、伸缩装置设计入手,介绍了整体桥、半整体桥、延伸桥面板桥等各种无伸缩缝桥梁的基本概念、结构与构造、受力计算和设计施工。

本书内容充实、条理清楚、桥例丰富、图文并茂;既具有很强的实用性,又具有系统的理论性;既论述无伸缩缝桥梁,也对有缝桥梁的伸缩缝设计提出独到的见解;既介绍了国外的经验,又结合我国的工程实际,融入作者的理解,有些资料属首次公开发表。

本书可供桥梁设计、施工、管理和科研人员参考,也可作为高等学校桥梁专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无伸缩缝桥梁/陈宝春,庄一舟著. —北京:人民交通出版社,2013. 12

ISBN 978-7-114-10909-6

I. ①无… II. ①陈…②庄… III. ①桥梁工程

IV. ①U448. 29

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 227102 号

书 名: 无伸缩缝桥梁

著 作 者: 陈宝春 庄一舟 Bruno Briseghella

责任编辑: 刘永芬

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.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 13.75

字 数: 311千

版 次: 2013年12月 第1版

印 次: 2013年12月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10909-6

定 价: 38.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

作者简介



陈宝春,现为福州大学土木工程学院院长、教授、博士生导师,享受国务院政府特殊津贴专家。长期从事桥梁工程的教学、科研与工程技术服务工作,在拱桥、组合结构尤其是钢管混凝土拱桥方面,取得了系列的研究成果。目前,正负责主编国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》。长期关注桥梁无缝化技术的发展,近年来开始了理论与应用的研究,并负责了多个无缝桥梁的新桥设计和既有桥梁改造项目的研究。



庄一舟,加拿大籍华人,福州大学特聘教授。1996年在大连理工大学结构工程专业获得博士学位后,进入浙江大学土木工程博士后流动站工作,随后留校工作,一年后被评为副教授。2003~2007年在美国 Wayne State University 桥梁研究中心攻读桥梁结构工程博士学位。毕业后相继在美国 GACE,加拿大 ALPA 和 AAR 等著名公司任工程师和高级工程师。现为美国密西根州的 EIT 和加拿大安大略省的注册工程师 P. Eng。曾参加数座整体桥的设计与尔后的性能跟踪监测,对美国和加拿大的整体式桥梁的应用具有较丰富的经验。



Bruno Briseghella,2005年获意大利 Trento 大学结构工程博士学位。先后任教于意大利威尼斯建筑大学、米兰理工大学、意大利帕多瓦大学,2008年起任福州大学兼职教授、讲座教授和特聘教授并于2012年获国家第七批“千人计划”(首批外国专家千人计划)。在组合结构、桥梁抗震、整体桥等方面取得了丰硕的成果。2005年获得 IABSE(国际桥协)的年轻工程师最佳论文奖。曾主持意大利道路总公司“整体式桥台桥梁”项目的研究,主持设计了多座整体式桥台桥梁和旧桥无伸缩缝化改造工程,其中2005年设计的维罗纳 Isola della Scala 桥,总长度414m,为世界上最长的整体式桥台桥梁。

序

我国幅员辽阔,地形复杂,水系发达,桥梁在交通工程中具有极其重要的地位。从古到今,我国桥梁建设取得了很高的技术成就,为中华民族的发展繁荣提供了重要的基础条件,成为中华灿烂文明的重要组成部分,也为世界桥梁的发展做出了重要的贡献。新中国成立以来,桥梁建设日新月异。改革开放以来,更是成就辉煌。中国已成为世界桥梁大国,并正从桥梁大国向桥梁强国迈进。这些桥梁的建设基本上由中国的工程技术力量完成,充分体现了中国人的聪明才智,闪耀着自力更生、奋发图强的光芒和屹立于世界民族之林的伟大精神。

我国目前仍处于现代化建设的重要时期。在今后相当长的时间内,基础设施建设任务还很艰巨,仍然有大量的新建桥梁,同时还有大量既有桥梁的维修加固和更新换代。随着有限的交通空间的建设和先易后难的规律,今后的桥梁建设自然条件将更加复杂与困难,发展模式也将从粗放型到精细化发展,工程造价将急剧上升,资源、能源耗费与对环境的影响可能更大。因此,应该以新材料、新结构、新技术的研发的创新活动,强调节能、环保与低碳等可持续发展的理念。

同时,随着越来越多桥梁投入使用,并伴随着桥龄的增长,在气候、环境等自然因素的作用以及一些不可预测的自然破坏力作用下,不少桥梁的老化和功能退化已呈现加速的趋势;且随着社会对交通运输能力和质量要求的不断提高,荷载等级、交通流量、行车速度和舒适度等也必然提高,再加上我国超载车辆的问题长期没有得到解决,如何保证现有桥梁的安全、耐久、全寿命服务品质也是摆在我们面前的重要问题。

可持续与创新是当今国际土木工程领域的发展趋势,越来越受到关注与重视。欧盟在 Erasmus Mundus 计划中推出了“*Innovation in Design, Rehabilitation and Control of Structures*”(结构设计、修复与控制的创新)联合培养硕士的项目;葡萄牙的 Minho 大学与 Coimbra 大学联合成立了“*Institute for the Sustainability and Innovation of Structural Engineering*”(结构工程可持续与创新学院);以可持续与创新为主题的国际会议不断举办,如 *International Symposium on Innovation and Sustainability of Structures in Civil Engineering*(土木工程结构创新与可持续国际学术研讨会)的系列会议。在桥梁工程方面,国际桥梁与结构工程协会(IABSE)分别于 1996 年和

2002 年颁布了两份重要的文件,即《国际桥梁与结构协会可持续发展宣言》和《结构工程实践中的道德准则》。2004 年国际桥协还在其会刊《国际结构工程》上刊登了题为《可持续工程——付诸实践》的系列文章。

随着国际交往的不断增多和经济社会发展的要求,在我国的桥梁工程等领域,可持续与创新理念已引起了关注,然而由于大规模建设时间紧、任务重、人才缺乏,大量的技术人员的时间与精力主要在于完成现有的任务为主,对可持续与创新的研究与实践还没有深入地展开,还没有专门以此为主题的研发机构,远不能满足我国我省的桥梁建设与使用管理的要求,也落后于发达国家的水平。

福州大学以桥梁工程研究所为基础,以国家“外专千人计划”专家 Bruno Briseghella 教授为负责人,以陈宝春、吴庆雄领导的省级科研创新团队“大跨度拱桥新技术”为主要力量,成立了“可持续与创新桥梁福建省高校工程研究中心”(Sustainable and Innovative Bridges—Engineering Research Center,简称 SIBERC)。中心通过引进国外的知名专家学者研究团队,进行国外人才与国内科研骨干的融合和交流;以国际上“可持续与创新”的新理念,联合国内外企业实体,建立协同创新体制与机制,结合我国的实际情况,开展桥梁工程新技术、新结构、新材料的创新研发与应用推广。中心目前主要的研究方向有桥梁概念设计,无伸缩缝桥梁,拱桥与组合桥梁,超高性能混凝土在桥梁中的应用,桥梁防震减灾,中小跨径桥梁合理构造形式,既有桥梁的评估、养护、维修与加固等。

中心计划将相应的研究成果和相关的学术交流与教材,以“可持续与创新桥梁丛书”的形式,在人民交通出版社出版,力图形成品牌图书,为提升我国桥梁工程可持续发展与创新水平做出贡献。

可持续与创新桥梁福建省高校工程研究中心(SIBERC)

2013 年 6 月 18 日

前 言

桥梁结构在日照、气温等环境因素影响下会发生胀缩变形以及其他变形,为消除这种变形对结构的影响,常在结构中设置伸缩缝。对于道路桥梁,为使车辆平稳通过桥面并满足桥面变形的需要,在桥面的伸缩缝处就需要设置伸缩装置。然而,在车辆、环境等因素作用下,伸缩装置病害频发,甚至失效,降低了桥梁的服务质量,影响了桥梁结构的安全性及耐久性。维修、更换伸缩装置的费用成为桥梁养护中的重要组成部分,且随着桥梁使用年限的增长而不断增加。目前,普遍认识到取消伸缩缝采用无缝桥梁是解决问题的最佳途径。

无缝桥梁自20世纪20年代在美国出现以来,在多数发达国家得到了较为广泛的应用;目前应用最多的是整体桥、半整体桥和伸缩桥面板无缝桥。在新建的桥梁中尽可能采用无缝桥的同时,对既有的有缝桥梁也开展了大量的无缝化改造。

我国自20世纪80年代起开始取消伸缩装置和无缝桥的研究与应用,无缝桥梁起步较晚,发展较缓慢。目前已建和在建的各种无缝桥仅20多座,没有在近30年修建的大量桥梁中大面积的推广应用,也给今后的养护维修带来极大的问题。我国在今后相当一段时间内,仍有大量的桥梁修建,应当抓紧时间,加大无缝桥梁的研究与推广力度。同时,要重视既有桥梁无缝化改造的研究与应用,为桥梁的可持续发展提供技术支撑。为此,我们收集了国内外无缝桥的资料,进行分析总结,并结合自己的研究成果与工程经验,编写了本书。

作者所在的单位福州大学是我国较早开展无缝桥梁研究与应用的单位之一。负责设计了国内最长的整体桥——永春上坂大桥,并取得了系列的研究成果,获2005年福建省科技进步三等奖。近几年,在福建省重点引智项目、国家自然科学基金、外国专家千人计划项目的资助下,强化了研究力量,在无缝桥梁长期受力性能、半整体桥抗震性能、带微型桩体系的半整体新桥型、简支空心板桥的无缝整体化改造等方面开展了系列的研究。目前有四座整体或半整体新建项目和既有桥梁改造项目正在实施之中,部分研究成果已在书中有所反映。

在本书编写过程中,得到福州大学土木工程学院的大力支持,得到了人民交通出版社的领导和编辑们的关心和通力合作,在此表示衷心的感谢!

在本书编写过程中,福州大学薛俊青博士,博士生付磊、董桔灿和硕士生樊争辉、黄炎准、陈云、傅珠梅、陈欣一和赖焕林等在资料整理、绘图、翻译和校对等方面做了大量的工作。此外,作者们还大量地引用了有关无缝桥梁科研、设计和施工等

专业技术人员发表的文献资料。谨在此一并表示由衷的敬意和感谢!

本书得到国家自然科学基金项目(51278126)和福建省自然科学基金(2013J01187)的资助。特此鸣谢!

由于本书编著时间较紧,加上水平有限,书中难免出现各种缺点和错误。敬请同行专家和读者批评指正。我们愿继续修改和完善本书。来信请寄:福州市大学新区学园路2号福州大学土木工程学院(邮编350108),陈宝春,庄一舟, Bruno Briseghella 收,或通过电子邮件:baochunchen@fzu.edu.cn, yizhouzhuang@gmail.com, bruno@fzu.edu.cn 联系。

作者

2013 年于福州大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.2 有缝桥、无伸缩装置桥和无缝桥简介	5
1.3 无缝桥发展概述	9
1.4 本书的主要目的与内容	19
参考文献	20
第2章 伸缩缝、伸缩装置与桥梁的少缝化	22
2.1 伸缩缝与支座的设计	22
2.2 伸缩装置	37
2.3 伸缩装置病害与防治对策	42
2.4 少缝化	49
参考文献	58
第3章 无缝桥的结构体系与受力计算	60
3.1 主要结构形式	60
3.2 受力特点与简化计算	67
3.3 简化计算方法	74
3.4 有限元计算方法	78
参考文献	88
第4章 无缝桥设计与施工	91
4.1 无缝桥的特点与适用范围	91
4.2 桥梁系统设计	97
4.3 接线系统及附属工程设计	111
4.4 无缝桥的施工	121
4.5 应用实例	127
参考文献	138
第5章 既有桥梁的无缝化改造	141
5.1 概述	141
5.2 桥台处无缝化改造	142
5.3 墩上无缝化改造	148
5.4 改造实例	152
参考文献	164



第6章 无缝桥特殊问题.....	166
6.1 弯、斜无缝桥.....	166
6.2 钢—混凝土组合梁无缝桥	176
6.3 特殊材料无缝桥	181
6.4 无缝桥的抗震问题	184
6.5 无缝桥台后搭板的变形	190
6.6 整体桥极限长度分析	194
6.7 无缝桥存在的主要问题与发展方向	199
参考文献.....	204

第1章 绪 论

本章首先对书中要用到的一些主要名词与概念进行解释,如伸缩缝与伸缩装置;然后对古代的无缝桥梁和现代的有缝桥梁、少缝桥梁和无缝桥梁的种类、发展等进行介绍,重点是无缝桥梁中应用最多的整体式桥台桥梁(整体桥)和半整体式桥台桥梁(半整体桥)的发展概况。最后,对本书的内容进行概述。

1.1 基本概念

1.1.1 构件的温度胀缩变形

桥梁暴露于大气环境中,在日照、气温变化等环境因素影响下,桥梁结构的温度场也随之变化。因材料、尺寸、外形、颜色、所处位置与朝向等因素的影响,同一座桥梁的不同结构或构件的温度场不尽相同;对于同一结构,由于热传导的滞后效应,截面上的温度场也并非均匀的。因此,桥梁结构的温度场,在空间上呈现非线性分布、在时间上处于不断变化之中。对于细长的桥梁结构,沿长度方向的温度分布较为均匀,空间上的非线性分布主要体现在截面的温度场上。截面的非线性温度场可分解为“等效的非线性温度场”和“等效的线性温度场”。

“等效的非线性温度场”引起截面上各纤维的变形不同,纤维之间对变形的相互约束,在截面上产生自相平衡的约束力,称为温度自应力。大量的工程实践发现,温度自应力是桥梁受力中一个不容忽视的问题,是构成许多混凝土箱梁开裂的一个重要因素。对此,各国均进行了大量的研究,并在相应的规范中提出了截面非线性温差曲线。然而,“等效的非线性温度场”对整个结构不产生内力和变形,与本书涉及的伸缩缝及其装置的关系不大,因此不再赘述。

“等效的线性温度场”引起结构线性的胀缩(或伸缩)变形,特别当截面的温度场为均匀温度场时尤其如此。对于细长结构则表现为沿杆长方向的均匀胀缩变形,以 Δl 表示,可按式(1-1)计算。

$$\Delta l = \alpha_e l_t \Delta t \quad (1-1)$$

式中: Δl ——杆件(因温度变化引起的)胀缩变形;

α_e ——材料线膨胀系数;

l_t ——温度变形覆盖区域的梁体长度;

Δt ——有效温度变化值。

《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)(以下简称《公路桥规》)中对材料线膨胀系数^[1]的规定见表1-1。



材料线膨胀系数

表 1-1

材 料	线膨胀系数 α_e (以摄氏度计)
钢结构	0.000 012
混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土结构	0.000 010
混凝土预制块砌体	0.000 009
石砌体	0.000 008

有效温度变化值 Δt ,按式(1-2)计算。

$$\Delta t = t - t_0 \tag{1-2}$$

式中: t ——构件截面有效温度;

t_0 ——构件截面基准温度。

截面有效温度 t 指引起构件长度胀缩时的截面平均温度,它与构件的材料、截面尺寸等有关,还与温度变化历史有关,最主要的是之前一段时间的环境温度。

对于梁体结构,公路桥规^[1]按钢桥面板钢桥、混凝土桥面板钢桥、混凝土和石桥三种结构分类,严寒地区、寒冷地区和温热地区三个区域划分,给出了最高和最低有效温度标准值,见表 1-2。表中的气温划分可参见《公路桥规》的附录 B,括号内数值适用于昆明、南宁、广州、福州地区。

公路桥梁结构的有效温度标准值(℃)

表 1-2

气温分区	钢桥面板钢桥		混凝土桥面板钢桥		混凝土、石桥	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低
严寒地区	46	-43	39	-32	34	-23
寒冷地区	46	-21	39	-15	34	-10
温热地区	46	-9(-3)	39	-6(-1)	34	-3(0)

原《公路桥规》(JTG 021—89)^[2]对最高与最低有效温度,钢桥取当地最高和最低气温,圬工和钢筋混凝土桥取最高和最低月平均温度。《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB10002.3—99)^[3]规定钢桥取当地最高和最低气温,圬工和钢筋混凝土桥则在其附

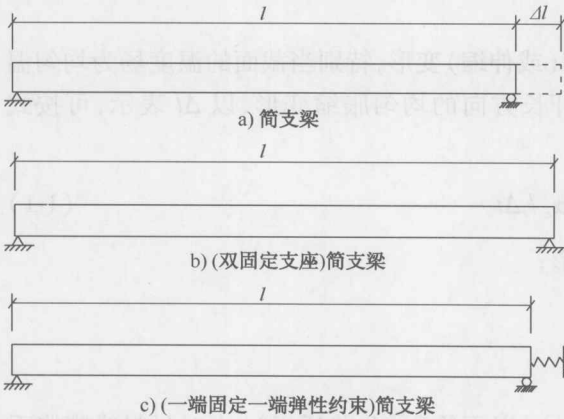


图 1-1 简支梁的温度伸缩变形与内力计算示意图

录 E 中给出了考虑杆件厚度、边界条件和外界温度的有效计算温度图。

在计算桥面伸缩装置的伸缩量时,考虑的构件主要是桥面板,因其较薄,可取当地的极值温度。

基准温度与构件施工时的环境温度、结构的材料与截面尺寸等有关,还与计算内容有关。如图 1-1a)所示。计算杆件自由变形时,基准温度 t_0 指结构达到设计刚度时(如混凝土结构形成强度时)的截面平均温度;计算桥面伸缩装置时,则以安装伸缩装置时的温度为基准温度。如图 1-1b)所示。当计算杆



件受到约束变形产生的附加内力时,则基准温度 t_0 取结构受约束时的截面平均温度。

图 1-1 中的三根简支梁,从竖向受力来说,都是静定结构。但对于温度变形来说,图 1-1a) 仍为静定结构,而图 1-1b) 和图 1-1c) 为超静定结构,前者为完全约束的具有双固定支座的简支梁,后者为纵向受到弹性约束的具有水平弹性约束的简支梁。

根据材料力学,图 1-1b) 双固定支座简支梁因温度变形受到约束会在梁体内产生附加纵向力;当梁为等截面梁时,可按式(1-3)计算。

$$\Delta N = \frac{\Delta l}{l} EA \quad (1-3)$$

式中: ΔN ——温度附加内力;

E ——梁体材料的弹性模量;

A ——梁体的截面积。

应该指出的是,温度变形计算与温度零点有关,但温度附加内力计算结果是相同的。在图 1-1a) 中,温度变形零点在左端,右端的温度变形值为 $\Delta l = \alpha_c l \Delta t$ 。如果两端采用的是板式橡胶支座,两端对水平位移的约束相同,则温度零点在跨中,左右端都有温度变形且相等,其值为上述变形的一半。但采用固端支座时,由式(1-3)可知,所产生的温度附加内力是相同的(因为温度约束应变相同)。

对于图 1-1c) 的弹性约束梁,温度自由变形量 Δl 由两部分组成。

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 \quad (1-4)$$

式中: Δl_1 ——主梁轴向弹性变形;

Δl_2 ——桥台在主梁轴线处的水平变形(即水平弹簧变形)。

由材料力学可知:

$$\Delta l_1 = \int \varepsilon dl = \int \frac{\Delta N}{EA} dl$$

对于等截面构件 $\Delta l_1 = (\Delta N/EA)/l$,记 EA/l 为梁的线刚度 k_1 ,则有

$$\Delta l_1 = \Delta N/k_1 \quad (1-5)$$

假定梁体水平约束弹簧刚度为 k_2 ,则

$$\Delta l_2 = \Delta N/k_2 \quad (1-6)$$

联立解式(1-4)~式(1-6),就可求得主梁附加的轴向力 ΔN

$$\Delta N = \frac{k_1 k_2 \Delta l}{k_1 + k_2} \quad (1-7)$$

式(1-7)中当 k_2 等于零时,为静定简支梁,温度变化不产生附加内力 ΔN ; k_2 等于无穷大时,为双固定支座简支梁,温度变化产生附加内力 ΔN 最大,按式(1-3)计算。

【例 1-1】 某单跨钢筋混凝土桥,主梁为 $l = 20\text{m}$ 的简支梁,位于我国南方的温热地区。设结构的安装温度为 15°C 。由表 1-1 可知,材料线膨胀系数 α_c 为 10^{-5} ,由表 1-2 可知,结构的有效最高与最低温度分别为 -3°C 和 $+46^\circ\text{C}$ 。

由式(1-1)和式(1-2)可得,温度升高引起的梁体总伸长量为

$$\Delta l_t^+ = 10^{-5} \times (46 - 15) \times 20 \times 10^3 = 6.20\text{mm}$$

温度降低引起的梁体总缩短量为



$$\Delta l_t^- = 10^{-5} \times [15 - (-3)] \times 20 \times 10^3 = 3.60 \text{ mm}$$

如果梁体为双固定支座简支梁,假定单根梁体的面积 A 为 $390.2 \times 10^3 \text{ mm}^2$, 材料的弹性模量 E 为 $3.25 \times 10^4 \text{ MPa}$, 忽略支座对梁体温度变形长度与固结长度的影响, 仍以 $l = 20 \text{ m}$ 计算。

由式(1-3)可得, 温度升高时梁体内产生的压力为

$$\Delta N^+ = \frac{6.20}{20 \times 10^3} \times 3.25 \times 10^4 \times 390.2 \times 10^3 = 393.13 \times 10^4 \text{ N} = 3.93 \times 10^3 \text{ kN}$$

梁体内产生的压应力为

$$\Delta \sigma^+ = \frac{\Delta N^+}{A} = \frac{393.13 \times 10^4}{390.2 \times 10^{-3}} = 1.01 \times 10^7 \text{ Pa} = 10.1 \text{ MPa}$$

$$(\text{或 } \Delta \sigma^+ = \frac{\Delta l_t^+}{l} E = \frac{6.20}{20 \times 10^3} \times 3.25 \times 10^4 = 10.1 \text{ MPa})$$

同理可得, 温度下降时梁体内产生的拉力 $\Delta N^- = 2.28 \times 10^3 \text{ kN}$, 拉应力 $\Delta \sigma^- = 5.86 \text{ MPa}$ 。

1.1.2 伸缩缝与伸缩装置

从例 1-1 的计算可知, 受约束的梁体由于温度引起的变形不能自由伸缩时, 在梁体内产生的内力与应力都是很大的, 特别是拉应力, 例 1-1 达到了 5.86 MPa , 远大于普通混凝土的抗拉强度, 主梁将因此而开裂。同时, 这个拉力也将在桥台中产生很大的弯矩, 导致圯工桥台的开裂破坏。

为了不约束温度变化引起的桥梁结构的胀缩变形, 以避免由此在梁体中产生温度附加内力, 桥梁可以设置伸缩缝, 以适应温度变形的需要。在道路桥梁中, 为了使车辆平稳通过桥面并满足桥面变形的需要, 就需要在桥面伸缩缝处设置一种装置, 将此装置称为桥面伸缩装置, 简称伸缩装置。

伸缩缝与伸缩装置是本书涉及的两个重要名词。我国《道路工程术语标准》(GBJ 124—88)^[4]中的定义如下:

伸缩缝: 为适应材料胀缩变形对结构的影响而在结构中设置的间隙。

桥面伸缩装置: 为使车辆平稳通过桥面并满足桥面变形的需要, 在桥面伸缩缝处设置的各种装置的总称, 简称伸缩装置。

这里需要强调指出的是, 现代的桥梁上部结构, 一般由主要受力结构(简称主结构)与桥面结构组成, 相应的就有主结构伸缩缝和桥面伸缩缝, 而伸缩装置在这里仅指桥面伸缩装置。显然只有当桥面结构有伸缩缝时, 才有伸缩装置。目前, 我国桥梁工程中通常将“伸缩缝”与“伸缩缝装置”混同使用, 一般用伸缩缝指代伸缩装置, 虽然在实际工作中一般不会产生太大的问题, 但本书为了叙述严密起见, 还是尽可能地采用规范的说法。

1.1.3 有缝桥、无缝桥以及无伸缩装置桥

桥梁分类的方法很多, 本书按照上部结构是否有伸缩缝和伸缩装置, 将桥梁划分为以下三类:

(1) 有伸缩缝桥(简称有缝桥): 主梁、桥面均有伸缩缝, 有桥面伸缩装置。

在有缝桥中, 通过结构与构造措施减少伸缩装置数量的桥, 可称之为少缝桥, 常见的有先简支后连续的桥梁、结构简支桥面连续(国外也称之为部分连续)的桥梁以及单缝长联跨大中



型桥梁等。

(2) 无伸缩缝桥(简称无缝桥):主结构、桥面结构均无伸缩缝,无桥面伸缩装置。

(3) 有伸缩缝无伸缩装置桥(简称无伸缩装置桥):主梁有伸缩缝,但桥面无伸缩缝,也无伸缩装置。这类桥从结构是否有缝看,也可属于广义上的有缝桥。但从桥面是否有伸缩装置看,也可归到广义的无缝桥中。它是介于有缝桥与无缝桥中的一种,本书将其另列为一类。

在人行桥中和小跨径桥中,有时主结构有伸缩缝,但不设置伸缩装置,也是一种无伸缩装置桥。

1.2 有缝桥、无伸缩装置桥和无缝桥简介

1.2.1 有缝桥

现代通行车辆的桥梁,当结构设置有为适应温度变形的伸缩缝时,就需要在伸缩缝处设置伸缩装置,以满足高速行驶的要求,这类桥梁系有缝桥。有缝桥中数量最大、影响最大的当属应用最多的中小跨径简支梁(图 1-2)。

桥面伸缩装置长期暴露在大气中,使用环境恶劣。它一方面承受着来自活载的磨损和冲击作用,另一方面承受着因热胀冷缩、收缩徐变或基础沉降和土压力引起的连续变位作用,极易造成破损并引起桥面和梁板的破坏。尘埃、垃圾也会逐渐填满伸缩装置的空隙,从而导致伸缩松动、失效。而伸缩装置的破坏,反过来又引起很大的车辆冲击荷载,进一步恶化行车状况,加剧桥头跳车,不仅对行车舒适性带来不利影响,而且对行车安全埋下隐患。伸缩装置所在位置往往是桥梁结构中最难修补的部位,成为直接影响桥梁使用性、耐久性和整体性的薄弱环节。桥梁管理养护部门为此投入的维修费用十分惊人,因桥梁修理而造成交通中断等带来的间接损失更大。

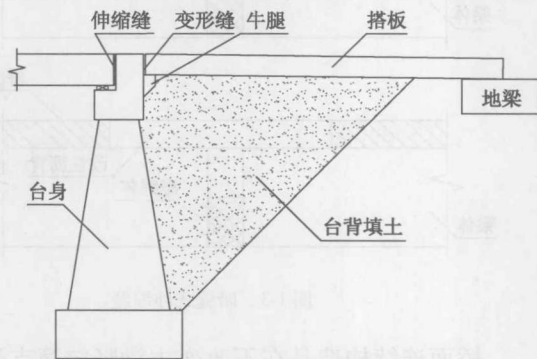


图 1-2 有缝梁桥台示意图

人们对伸缩缝的应用研究持续不断地进行着。然而直到今天,仍然没有理想的伸缩装置出现。因此,人们通过采用连续梁等连续结构来减少结构的伸缩缝数量,或通过桥面连续等构造来减少桥面伸缩装置数量。对于多跨桥,最理想的情况是取消所有桥墩处的伸缩装置(又称内伸缩缝),只在一个或两个桥台处留有伸缩缝,这类桥可称之为少缝桥。

人们对伸缩缝的应用研究持续不断地进行着。然而直到今天,仍然没有理想的伸缩装置出现。因此,人们通过采用连续梁等连续结构来减少结构的伸缩缝数量,或通过桥面连续等构造来减少桥面伸缩装置数量。对于多跨桥,最理想的情况是取消所有桥墩处的伸缩装置(又称内伸缩缝),只在一个或两个桥台处留有伸缩缝,这类桥可称之为少缝桥。

1.2.2 无伸缩装置桥

当结构伸缩缝要求的伸缩量较小时,桥面可不设伸缩装置。对于伸缩量小于 5mm 的,桥面铺装可以连续,在伸缩缝处布置锯缝,如图 1-3a) 所示。

锯缝是为防止桥面铺装因梁板伸缩产生不规则的裂缝而设置的。正常锯缝宽度为 5mm 左右,深度在 30~50mm,在锯缝内浇灌 5~7mm 的接缝材料。该材料必须柔软,符合规定的性能指标,且不会使沥青路面发生化学变化,比如使用掺有橡胶的沥青,或用由橡胶、塑料、沥青混合而成的 TST 弹塑性材料。对伸缩量稍大的,可以将改性沥青材料直接平铺在桥梁接缝处,与前后的桥面铺装形成连续体,如图 1-3b) 所示。这种伸缩缝可称之为充填式暗缝伸



缩缝。

充填式暗缝伸缩缝构造简单,施工快速。对于小跨径的旧桥的伸缩缝维修,可最大限度地减少对交通的中断和干扰。但它只能适应于伸缩量小的桥梁,且易于损坏,应严格限制其使用范围,不能随意推广使用,以免带来不良的使用效果^[5]。这种技术的应用多局限于中小跨径的旧桥改造及加固,伸缩缝结构都位于桥面层,并没有形成真正的无缝桥面,由于弹塑体结构与其他桥面结构存在性能差异,所以对行车舒适性有一定的影响,且色泽上的差别对外观也有一定的影响。

结构简支桥面连续曾经是少缝桥的一种主要形式,包括我国在内的世界许多地方都曾大量应用,如图 1-4 所示,本书将在第 2 章中给以详细的介绍。

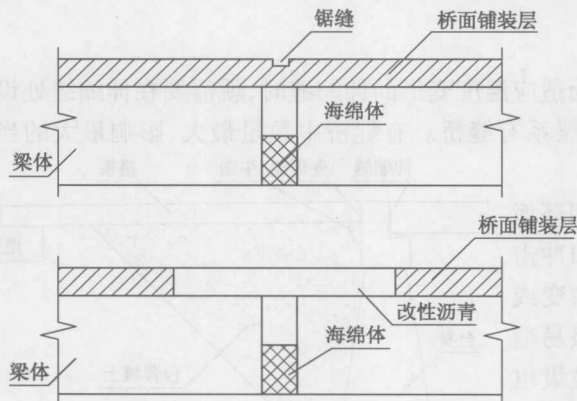


图 1-3 暗缝式伸缩缝

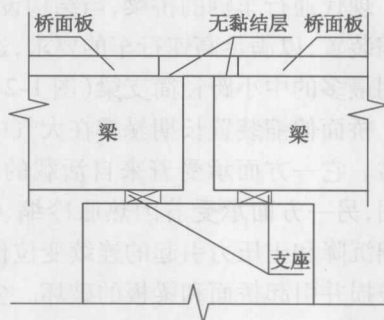


图 1-4 简支梁桥面连续示意图

桥面连续构造是在不改变主梁竖向简支受力的情况下取消伸缩装置的一种无缝化做法。由于简支梁梁端(固定端)不仅有纵桥向的变形,而且还有转角变形,这就使得桥面连续构造的受力异常的复杂。这种复杂受力状况并没有在设计中得到充分的考虑,没有相应的构造措施去应对,加上施工质量难以保证等因素,已建成的简支梁桥面连续结构,出现了大量的病害。



图 1-5 某桥桥面连续处破损照片

许多桥在投入使用后不久桥面连续部分就出现铺装层开裂、主梁梁端边缘混凝土产生剥落等早期损坏现象,并随着使用时间的增长,这些早期损坏部位的混凝土会逐渐发展成碎裂、坑洞等病害,加大了行车对桥梁的冲击,病害进一步扩大,严重地影响桥梁的使用性能,以致危及桥梁结构与行车安全。特别是高速公路桥梁上的连续桥面产生上述损害后,对高速度的行车危害程度更大。图 1-5 所示的是一座简支梁桥,它的桥面连续处混凝土出现开裂、压碎的病害,屡修屡坏,难以根治。

Zuk^[6]提出了一种滑动桥面板无伸缩装置桥的概念,如图 1-6 所示。这种桥的主梁为简支梁,有伸缩缝,桥面板支承于主梁之上,在跨中正弯矩较大的区域,通过剪力键将桥面板与主梁



连接成组合截面,以增大结构的抗弯能力。其他部位桥面板与主梁之间设置可滑动层,以减小梁体温度变形对桥面板受力的影响。

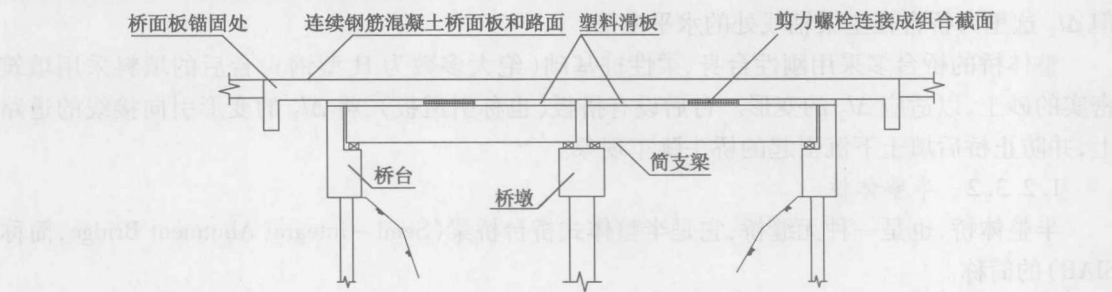


图 1-6 滑动桥面板无伸缩装置桥

20 世纪五六十年代美国得克萨斯州的一些桥梁上曾做过类似细部设计,但是因桥台处的桥面板以及桥台本身开裂严重等原因而停止使用。20 世纪 50 年代,在伊拉克的 Qurnah 桥中也用了类似的设计,以适应伊拉克地区的大温差^[7]。

1.2.3 无缝桥

对于单跨桥,桥台处无伸缩缝和无伸缩装置的桥梁就成为无缝桥。对于多跨桥,如果主梁为连续结构,则墩上无伸缩缝与伸缩装置,只有取消了桥台处的伸缩缝与伸缩装置,才能成为无缝桥。今天,多跨梁桥主梁采用连续结构的技术已相当成熟,所以无缝桥的关键在于取消桥台处的伸缩缝与伸缩装置。

1.2.3.1 整体桥

整体式桥台 (Integral Abutment), 桥台与上部结构是一个整体,梁与桥台之间不设伸缩缝也无伸缩装置,也没有支座。

采用整体式桥台的桥梁称为整体式桥台桥梁 (Integral Abutment Bridge, 简称 IAB), 简称整体桥。对于单跨桥来说,它是无缝桥。对于多跨连续梁、连续刚构桥,它也是无缝桥。此类整体桥,也即整体无缝桥。只有极个别多跨长桥,桥台处无伸缩缝与伸缩装置,而上部结构分为几联,在联与联之间设置了伸缩缝与伸缩装置。严格意义上说,这种整体式桥台桥梁并不是全无缝桥,而属于少缝桥。但这类桥很少,因此本书为简洁起见,无特别说明时,整体桥即指整体无缝桥。

图 1-7 是典型的整体桥的结构示意图。由于主梁在桥台处取消了伸缩缝,因此温度变化引起的梁体伸缩受到约束,但这种约束刚度不是无穷大,因此,其受力介于图 1-1a) 的静定简

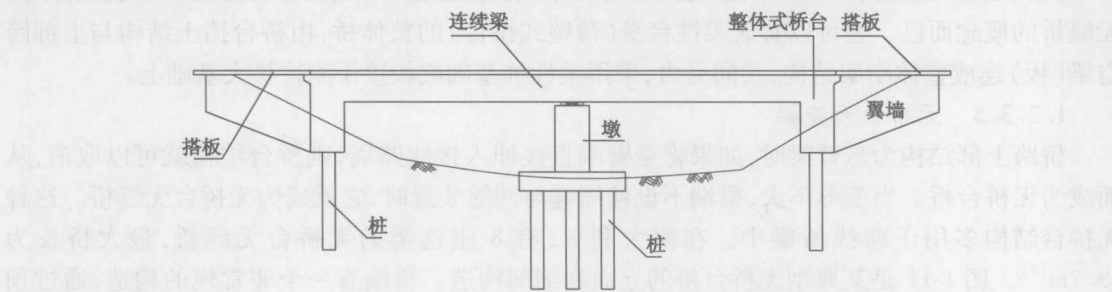


图 1-7 整体桥示意图