

YUYINGLI HUNNINGTU LIANXU XIANGLIANGQIAO LIEFENG FENXI YU FANGZHI

预应力混凝土 连续箱梁桥 裂缝分析与防治

YUYINGLI HUNNINGTU
LIANXU XIANGLIANGQIAO
LIEFENG FENXI YU FANGZHI

朱汉华 陈孟冲 袁迎捷 编著



人民交通出版社

China Communications Press

预应力混凝土 连续箱梁桥 裂缝分析与防治

朱汉华 陈孟冲 袁迎捷 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书结合工程实例,针对目前预应力混凝土连续箱梁桥出现结构裂缝比较普遍的现状,通过现场调查与观测,分析了裂缝的主要形式及其成因,探讨了箱梁开裂的敏感性因素,并提出了相应的防治措施。

本书读者对象为从事桥梁工程设计、施工、养护、管理的工程技术人员,也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

预应力混凝土连续箱梁桥裂缝分析与防治/朱汉华等
编著. —北京:人民交通出版社,2006.3

ISBN 7-114-05926-4

I.预... II.朱... III.预应力混凝土桥:箱梁桥
- 防裂 IV.U448.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第005580号

书 名: 预应力混凝土连续箱梁桥裂缝分析与防治

著 作 者: 朱汉华 陈孟冲 袁迎捷

责任编辑: 赵 蓬

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)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×980 1/16

印 张: 11

插 页: 1

字 数: 155 千

版 次: 2006年3月 第1版

印 次: 2006年3月 第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-05926-4

印 数: 0001—4000 册

定 价: 28.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

随着国家基础设施建设的快速发展,预应力混凝土连续箱梁桥以其结构刚度大、行车平顺性好、伸缩缝少和养护简单等特点,已成为公路建设中最主要的桥型之一。但随着预应力混凝土连续梁式桥(包括连续梁、连续刚构、刚构—连续组合体系),特别是大跨度连续梁式桥的大量修建,亦暴露了一些问题。其中混凝土结构开裂问题较为突出,引起工程界的怀疑并导致对预应力连续箱梁桥应用的不放心,进而影响其在公路工程建设中的进一步推广。为了探明箱梁桥结构裂缝产生的规律和形成机理,从设计、施工和养护等方面综合考察和研究,以确定裂缝的产生是由于箱梁桥结构本身固有的缺陷还是设计、施工和养护不当所致,从而对箱梁桥裂缝能够有全面和深刻的认识,本书作者会同有关单位对该类桥梁裂缝问题做了大量调查、分析、研究和总结工作。这些结论和做法在数座新桥设计和施工实践中初步应用后,被证明是可行和有效的,并与2004年颁布的新的公路桥梁规范基本一致。

针对预应力混凝土箱梁桥的开裂问题,本书作者及其合作者们借鉴全国同类桥梁的建设经验与教训,并以浙江省近年来蓬勃开展的公路桥梁建设事业为背景,结合很多工程实例,撰写专著《预应力混凝土连续箱梁桥裂缝分析与防治》,内容包括现场裂缝调查、裂缝分类及成因,箱梁桥开裂的敏感性因素分析,箱梁桥设计方法与构造改进,箱梁桥施工与养护措施改进,工程应用实例等。这些内容科学合理,与现行公路桥梁设计与施工规范有机结合,既继承了以往预应力混凝土连续箱梁桥在设计 and 施工方面的

成功理论和经验,又对这些理论和方法进行了创造性的总结和发展,具有较高的应用价值,可供同行参考。

本书作者及其合作者们具有很高的理论水平和丰富的工程实践经验,专著反映了他们长期从事预应力混凝土连续箱梁桥建设的经验和理论水平。我衷心祝贺本书的出版,它将使公路预应力混凝土连续箱梁桥结构设计和施工技术跃上一个新的台阶,为我国公路桥梁建设事业作出更大的贡献。

中国工程院院士

中南大学教授

2005 年 9 月

曾庆元

前言

最近,人民日报刊登的一个关于“木床治病”的故事令人颇感震动。在青海,由于牧民的毡房都扎在低湿的草滩上,导致85%的牧民患有关节炎。为了让牧民养成睡床的习惯,医生田青春设计出一种方便拆装、适合于游牧生活的木床。经过几个关节炎重症者十几天的试用,睡木床的牧民发现关节炎不发作了。于是,睡木床很快在草原上流行起来。如果在大城市,大多数医生遇到这样的情况,恐怕第一个念头就是做人工关节置换手术,而这样的手术往往需要花费几万甚至十几万元。看来木床虽小,其价值却无法估量。

一名医生不是用手术刀,而是用木床治好了牧民的关节炎,此举发人深思。我国是一个发展中国家,除了要面对资金紧张外,与世界发达国家一样,也面临资源、能源日益短缺的威胁,因此在很长一个时期,我们需要用最经济的医疗药方,保障最大多数人的健康;需要用最经济的方案,保障国民经济的健康持续发展,而“预防为主”就是最好的“药方”。

20世纪80~90年代,在预应力混凝土连续箱梁设计中普遍应用优化理论,以大大节省预应力混凝土结构中的钢筋和混凝土数量,但十几年的实践表明,如果优化违背了自然法则,其结果比不优化还糟糕。正像大禹治水一样,只有遵循自然规律,变堵为疏,才能制服洪灾。因此,一方面本书遵循基本力学原理和节约原则,对上述不当做法进行了纠正修改。另一方面本书针对目前预应力混凝土连续箱梁桥出现结构裂缝比较普遍的现状,通过现场裂缝调查和观测,分析了结构的主要裂缝形式及其成因,探讨了箱梁桥开裂的敏感性因素,提出应用钢桁梁桥空间抗剪和箱梁桥裂缝加固比拟法及相应改进措施,并应用多室多箱变截面混凝土箱梁桥的空腹桁架有限元分析模型进行校核,以期综合反映箱梁桥的弯曲、扭转、畸变翘曲、横向弯曲、剪力滞后和多向预应力等结构受力状态。

在本书中,通过对实桥进行平面计算分析和空间计算分析的比较,得出

了平面分析仍适用于结构设计计算,但在使用阶段须采用空间分析验算的结论。通过对两座实桥进行理论裂缝分布规律和实测裂缝分布规律的比较,结果表明提出的有限元计算模型能较好地反映预应力箱梁桥的应力应变状态。进一步计算分析得出了:纵向预应力束布置和竖向预应力的大小对箱梁桥腹板斜裂缝的控制等起着主要的作用。这些结论与比拟法得出的结论相一致,这也说明了比拟法思想的正确性。在此基础上,对预应力混凝土连续箱梁桥的结构分析方法、预应力束和非预应力筋设计以及箱梁桥的构造设计(特别是腹板厚度)提出了具体改进措施,并对容易导致箱梁桥裂缝的施工环节提出了具体要求。这些思想和方法在实桥设计和施工中得到了验证,证明是可行而有效的,与2004年新颁布的《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)的思路也是一致的。

本书中,人员分工及贡献简述如下(顺序不分先后):

朱汉华:提出工程类比拟法和配筋方法,负责本书校核工作等。

钟新谷:提出空腹桁架有限元分析模型并分析箱梁桥的空间效应等。

彭卫:运用ANSYS软件开展箱梁桥平面与空间分析及敏感性因素分析等。

潘明军:协助项目主持并论证和改进了纵向配索方法等。

陈孟冲:负责海盐大桥等工程实例设计。

施颖:国内外有关规范的比较和总结。

邢鸿燕、张新军:运用ANSYS软件进行了箱形梁平面与空间的计算。

邹中权、袁帅华:运用梁段有限元法进行了箱形梁平面与空间的计算。

李飞泉、秦顺飞:对部分内容进行了分析并协助资料整理。

袁迎捷:负责本书的统稿工作。

在本书编写工作中,朱汉华同志分别征求原研究工作负责人钟新谷、彭卫两同志意见,他们另编著相应理论书籍,不参加本书编写工作,特此说明。

作者

2005年11月

目录

第1章 绪论	1
1.1 预应力混凝土箱梁桥的发展概况	1
1.2 预应力混凝土箱梁桥的特点	3
1.3 预应力混凝土箱梁桥裂缝问题	5
第2章 裂缝分类与成因	8
2.1 按裂缝产生的外因分类	8
2.2 按裂缝的力学特性分类	15
2.3 按裂缝发生的部位分类	19
第3章 箱梁桥开裂的敏感性因素分析	27
3.1 平面计算和空间计算的分析比较	27
3.2 竖向预应力	28
3.3 纵向预应力	31
3.4 温度梯度模式	33
3.5 容许主拉应力	40
3.6 收缩徐变效应	41
第4章 箱梁桥设计方法与构造改进	44
4.1 设计方法	44
4.2 纵向预应力束设计	47
4.3 比拟法的应用	52
4.4 箱梁桥尺寸设计	54
4.5 配筋设计及合理布置	62
4.6 验算与控制	70
第5章 施工、养护及其改进措施	80
5.1 施工控制	80
5.2 养护策略	99

第 6 章 工程实例	109
6.1 实例 I	109
6.2 实例 II	116
6.3 实例 III	123
6.4 实例 IV	128
6.5 实例 V	145
6.6 国外同类桥梁的设计计算思路简介	147
第 7 章 结论与建议	149
7.1 总体布置	149
7.2 计算与设计	152
7.3 裂缝控制措施	158
参考文献	160
致谢	167

第1章 绪论

1.1 预应力混凝土箱梁桥的发展概况

桥梁是道路的重要组成部分,桥梁的发展与人类社会各时期的生产与生活需要、当时的物质条件和人对客观事物的认识水平是分不开的。

欧洲工业革命后,钢桥、混凝土桥和预应力混凝土桥兴起并蓬勃发展。至20世纪30年代,由于高强钢丝和高强度水泥的使用,预应力混凝土结构最终以自重轻、刚度大、抗震、抗裂性能好等优点而独占鳌头,广泛应用于各类工程中,被称为混凝土技术革命。在预应力混凝土桥梁方面,出现了很多新的桥梁形式和新的桥梁设计理论,施工工艺也日趋完善,从而提高了质量、降低了造价,甚至在大跨径桥梁方面可与钢桥相媲美。

国际上,20世纪30年代法国与德国首先采用预应力混凝土修建了桥梁,1937年曾建成跨径33m的预应力钢筋混凝土简支梁桥和跨径69m的外露配筋悬臂梁桥。第二次世界大战以后,欧洲要修建被战争破坏的桥梁,但苦于缺少木材与钢材,于是跨径在30m以下的大部分中、小桥梁也采用了预应力混凝土。首先采用的是结构简单的简支梁桥,如法国里那简支梁桥跨径为66m,奥地利的AI简支梁桥跨径则达76m。1953年原联邦德国采用悬臂法进行桥梁施工获得成功,建成悬臂浇筑式T型刚构渥尔姆斯(Worms)桥,T型刚构桥从此以惊人的速度发展起来,范围也从欧洲扩大到全球。现已建成的200m以上跨径的预应力混凝土桥梁有多座,如日本浦户、彦岛、滨名诸桥,美国的科罗—巴伯尔图阿普(Koror-Babelthuap)桥,阿根廷的巴拉圭桥等等。

1960 年中国最早建成的钢筋混凝土箱形薄壁梁桥——山东济宁跃进桥,是我国第一座混凝土箱梁桥,跨径为 $37\text{m} + 53\text{m} + 37\text{m}$; 1964 年又建成广西邕江悬臂箱梁桥,主跨 55m 。由于钢筋混凝土结构存在用钢多、自重大、易开裂等缺点,因此,为满足大跨径桥梁发展的需要,使用预应力混凝土是必由之路。1973 年建成的北京复兴门立交桥,为 $8.25\text{m} + 25\text{m} + 8.25\text{m}$ 三跨连续梁桥,桥宽 51.64m ,分三段预制,先形成双悬臂静定体系,然后连续,横向由变截面实腹宽翼缘梁组成。1974 年设计了 $65\text{m} \times 4$ 包头三联连续梁桥,悬臂法施工完成跨径为 $37\text{m} + 70\text{m} \times 3 + 37\text{m}$ 的兰州黄河连续梁桥。1976 年兴建了 $30\text{m} + 45\text{m} \times 2 + 30\text{m}$ 的河北洛河四跨箱形连续梁试验桥。此后,于 1978 ~ 1981 年相继建成了用悬臂法施工的兰州黄河桥,顶推法施工的广东东莞、湖南沅江等桥。

此后,随着高速公路和市政工程等基础设施建设的快速发展,预应力混凝土连续梁桥开始迅速发展和广泛应用,如表 1-1 所示。目前我国已建和在建的很大一部分桥梁为预应力混凝土连续梁桥,其中尤以预应力混凝土连续箱梁桥的发展和应用最引人注目。预应力混凝土连续箱梁桥以其结构刚度大、行车平顺性好、伸缩缝少和养护简单等一系列优点,备受业主和设计、施工单位的欢迎。目前在 $40 \sim 150\text{m}$ 跨度范围内,预应力混凝土连续箱梁桥已成为最主要的桥型之一。

我国已建成的部分大跨径预应力混凝土连续梁桥 表 1-1

序号	桥 名	主跨跨径(m)	桥址	建成年份
1	南京长江二桥北汊桥	$90 + 165 \times 3 + 90$	江苏	2000
2	六库怒江大桥	$85 + 154 + 85$	云南	1995
3	黄浦江奉浦大桥	$85 + 125 \times 3 + 85$	上海	1995
4	常德沅水大桥	$84 + 120 \times 3 + 84$	湖南	1986
5	东明黄河公路大桥	$75 + 120 \times 7 + 75$	山东	1993
6	风陵渡黄河大桥	$87 \times 5 + 87 + 114 \times 7 + 87$	山西	1994
7	沙洋汉江大桥	$63 + 111 \times 6 + 63$	湖北	1985
8	珠江三桥	$80 + 110 + 80$	广东	1983
9	宜城汉江公路大桥	$55 + 100 \times 4 + 55$	湖北	1990
10	松花江大桥	$59 + 90 \times 7 + 59$	黑龙江	1986

1.2 预应力混凝土箱梁桥的特点

1.2.1 预应力混凝土结构的特点

预应力混凝土结构在国内外的、大、中跨桥梁中得到普遍应用,究其原因,主要是由于预应力混凝土结构具有如下几个特点:

(1) 预应力混凝土能充分发挥高强度材料的作用。在预应力混凝土结构中,若采用强度等级较低的钢筋,钢筋中的低值预拉应力有可能会由于混凝土的收缩徐变而完全消失,所以原则上要求所用钢筋的强度等级越高越好;同时由于预应力传给混凝土以高压应力,也要求所用的混凝土强度等级高于普通钢筋混凝土结构。因此,高强度的钢筋和混凝土材料只有在预应力混凝土结构中才能充分地发挥作用,进而可以节省材料,降低造价。

(2) 采用预应力混凝土结构能提高构件的抗裂度和刚度。对构件施加了预应力,在构件受拉区储备了预压应力,并从一开始就引起结构向上反拱,所以在使用荷载作用下,构件的变形较小,一般不会出现裂缝,甚至在超载时出现的裂缝在卸载后亦会闭合,从而大大提高了构件的抗裂性能和刚度。这既改善了结构的使用性能,又增加了结构的耐久性。

(3) 采用预应力混凝土能建成大跨度的桥梁结构。预应力混凝土结构自重相对较轻,这是由于使用了高强度材料后截面尺寸有所减小,同时由于混凝土的预压曲线力筋的向上反力使得结构内垂直剪力减小,荷载作用下的主拉应力也会相应减小,这些都使得腹板的厚度可以适当减薄,结构的自重大大减轻,跨度也就可以相应增大,特别对结构自重控制设计的大跨径桥梁更显示出它的优越性。

(4) 使用预应力混凝土能够保证结构质量,适用耐久。在施加预应力过程中,钢筋和混凝土都已承受了很高的应力,经受了一次强度检验,如结构在这一阶段表现出良好的性能,那么在一定程度上可以认为使用时也是安全可靠的。

(5) 使用预应力混凝土结构能够促进桥梁新体系的发展。利用预应力工艺作为连接构件的手段已经成为现代先进的施工工艺之

一,它可以将大跨径的结构分成节段预制,然后通过预应力筋连成整体,既可以把结构拼装成整体后进行架设,也可以不用脚手架而利用预应力进行悬臂拼接或悬臂浇筑。随着这种预应力混凝土结构现代化施工方法的不断发展,促进了新体系桥梁,如预应力混凝土 T 型刚构桥、预应力混凝土连续梁桥、预应力混凝土桁架拱桥、预应力混凝土桁架梁桥和预应力混凝土斜拉桥等的发展。

(6) 预应力混凝土的施工工艺相对较复杂,质量要求比较高。采用预应力混凝土后,混凝土的强度等级要求提高了,这就不仅需要相应提高水泥强度等级或增加水泥用量,而且对混凝土的级配、浇筑以及预应力工艺提出了更高的要求,因而要求具有一定的技术熟练程度和专业的施工队伍。

(7) 预应力混凝土结构的施工费用一般较高。预应力混凝土结构的施工需要配备必要的张拉钢筋的机具设备,如先张法需要设置张拉台座,而对于后张法,则需要耗用数量较多并有一定加工精度的锚具。对于构件少的工程而言,相应的核算成本也较高。

(8) 预应力混凝土结构设计的要求也比较精细。因结构本身强度高、截面又较小,而且还要施加预应力,所以要求慎重、全面考虑温度、材料和施工工艺等方面的影响,设计涉及的内容也较多。

1.2.2 箱形截面的优点

箱形截面具有良好的结构性能,因而在现代各种桥梁中得到广泛应用,其主要优点是:

(1) 截面抗扭刚度大,结构在施工与使用过程中都具有良好的稳定性。

(2) 顶板和底板都具有较大的混凝土面积,能有效抵抗正负弯矩,并满足配筋的要求,适应只有正负弯矩的结构,如连续梁等。

(3) 适应现代化施工方法如悬臂施工法、顶推法等的要求。这些施工方法要求截面必须具备较厚的底板。

(4) 承重结构与传力结构相结合,使各部件共同受力,同时截面效率高,并适合预应力混凝土结构空间布束,经济效果更加显著。

(5) 对于宽桥,由于抗扭刚度大,能够获得较为满意的荷载横向分布。

- (6) 对于曲线桥, 同样具有较强的适应性。
 (7) 能很好满足管线等公共设施的布设要求。

1.3 预应力混凝土箱梁桥裂缝问题

随着预应力混凝土连续梁式桥(包括连续梁、连续刚构、刚构—连续组合体系), 特别是大跨度连续梁式桥的大量修建, 出现或大或小问题的桥梁也越来越多。由于混凝土为一种弹塑性材料, 如果在设计、施工中对混凝土本身的材料力学特性不甚了解或了解甚少的话, 修建的桥梁存在问题的可能性就很大。中交公路规划设计院曾对建成的部分大跨径预应力混凝土连续梁、连续刚构、刚构—连续组合体系等连续梁式桥(详见表 1-2)进行了调查, 结果表明预应力混凝土连续梁式桥存在的突出问题是混凝土结构的开裂。

调查的部分预应力混凝土连续梁式桥 表 1-2

省	桥 名	结构型式	孔径组成(m)
湖北	沙洋汉江大桥	连续梁	63 + 111 × 6 + 63
	宜城汉江公路大桥	连续梁	55 + 100 × 4 + 55
	黄石长江公路大桥	连续刚构	162.5 + 254 × 3 + 162.5
湖南	益阳资江二桥	连续梁	50 + 80 × 6 + 50
	湘潭二桥	连续梁	50 + 90 × 5 + 50
	常德沅水大桥	连续梁	84 + 120 × 3 + 84
	衡阳湘江二桥	连续梁	55 + 85 × 3 + 55
贵州	思南大桥	连续梁	100 × 3
山东	台儿庄大桥	连续刚构	46 + 80 + 46
	东明黄河大桥	刚构—连续	75 + 120 × 7 + 75
云南	六库怒江大桥	连续梁	85 + 154 + 85
浙江	杭州钱塘江三桥	连续梁	72 + 80(仅连续梁部分)
山西	风陵渡黄河大桥	连续梁	87 × 5 + 87 + 114 × 7 + 87
福建	丘墩大桥	连续梁	60 + 76 + 60
广东	中山神湾大桥	连续梁	55 + 90 + 55

裂缝主要表现为纵向裂缝、弯曲裂缝、弯曲剪应力裂缝和主拉应力裂缝,具体表现为预应力筋没有“覆盖”而截面又未经校验处的裂缝、支承处箱梁桥隔板(如悬臂浇筑法施工的零号块和边跨端部)和腹板中的裂缝、温度收缩裂缝以及强大预加力在结构中引起的裂缝(如锚下开裂)等等。

更为严重的是,近几年来少数预应力混凝土连续梁式桥相继出现了可能会影响结构正常使用或结构耐久性的主拉应力裂缝,裂缝主要出现在连续梁式桥的边孔现浇段、 $L/4$ 截面附近或梁腹厚度变化区段。如某大桥主桥预应力混凝土箱梁在 $L/4$ 截面附近梁腹表面出现的与顶板大致呈 $20^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 夹角的斜向裂缝,大多由顶板与腹板交界处开始,向下延伸至 $1/3 \sim 1/2$ 梁高处,方向基本与主拉应力方向垂直。从裂缝的总体分布特征来看,南半桥多于北半桥,西侧梁腹多于东侧梁腹,箱内多于箱外,在结构上呈现出一定的对称性,且与理论计算的梁腹主拉应力云图具有较好的相关性。现场情况表明,主桥箱梁梁腹的斜向裂缝基本上属于主拉应力裂缝。但是从验算结果来看,桥梁处于设计理想状态下。根据规范验算在最不利荷载组合效应下箱梁桥控制截面处的混凝土主拉应力值,虽然与规范规定的控制值较接近,但与混凝土的开裂强度还有一定的差距(根据规范的说明,混凝土的开裂强度大于混凝土的标准抗拉强度,一般等于混凝土的极限抗拉强度)。因此,从理论上讲,箱梁桥梁腹应该不会出现裂缝。这一问题令人茫然,诱人深思。

超出设计许可的结构裂缝对箱梁桥的耐久性和营运的安全性构成了很大的威胁,同时,由于箱梁桥结构裂缝的存在具有一定的普遍性,使得工程界对箱梁桥的应用开始产生不安,甚至怀疑,因而影响了其在公路工程建设中的进一步推广和应用。为了探明箱梁桥结构裂缝产生的规律和形成机理,从设计、施工和养护等方面综合考察和调查,以确定裂缝的产生是由于箱梁桥结构本身固有的缺陷还是设计、施工和养护不当所致,从而使工程界对箱梁桥裂缝能够有全面和深刻的认识,浙江省公路局会同有关单位对该类桥梁裂缝问题做了大量调查工作^[1]。在此基础上,作者继续做了许多有益的研究工作,并对所发现的问题进行了分析,总结得出若干结论。

如通过对实桥进行平面计算分析和空间计算分析的比较,提出

了平面分析仍适用于结构设计计算但在使用阶段须采用空间分析验算的结论。通过对两座实桥进行理论裂缝分布规律和实测裂缝分布规律的比较,提出有限元计算模型能较好地反映预应力箱梁桥的应力应变状态。进一步计算分析得出:纵向预应力束布置和竖向预应力的大小对箱梁桥腹板斜裂缝的控制等起着主要的作用。这些结论与比拟法得出的结论相一致,这也说明了比拟法思想的正确性。在此基础上,对预应力混凝土连续箱梁桥的结构分析方法、预应力束和非预应力筋设计以及箱梁桥的构造设计(特别是腹板厚度)提出了具体改进措施,并对容易导致箱梁桥裂缝的施工环节提出了具体要求。这些思想和方法与2004年新颁布的《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)的思路是一致的,在实桥设计和施工中也得到了验证,证明是可行而有效的。

由于标准的不同,裂缝的分类方法有多种。根据裂缝的出现时间,可以分为施工阶段的裂缝和使用阶段的裂缝;根据裂缝的性质,可以分为结构型裂缝和材料型裂缝;根据裂缝产生的部位,可以分为腹板裂缝、顶板裂缝和底板裂缝;根据裂缝产生外因,可以分为荷载型裂缝和温度型裂缝;还可以根据裂缝产生的力学破坏形式,分为弯曲裂缝、剪切裂缝和扭曲裂缝等等。每一种分类方法都有不同的出发点,而实际裂缝产生后,往往可以根据不同的划分原则将其列入不同的裂缝类型。

2.1 按裂缝产生的外因分类

2.1.1 荷载裂缝

混凝土桥梁在常规静、动荷载及次应力下产生的裂缝称荷载裂缝,归纳起来主要有直接应力裂缝、次应力裂缝两种。

(1) 直接应力裂缝

直接应力裂缝是指外荷载引起的直接应力产生的裂缝。裂缝产生的原因有:

①设计计算阶段,结构计算时不计算或部分漏算,计算模型不合理,结构受力假设与实际受力不符,荷载少算或漏算,内力与配筋计算错误,结构安全系数不够;结构设计时不考虑施工的可能性,设计断面不足,钢筋设置偏少或布置错误,结构刚度不足,构造处理不当,设计图纸交代不清等。

②施工阶段,不加限制地堆放施工机具、材料;不了解预制结构