

YUYINGLI HUNNINGTU LIANGSHI QIAOLIANG
SHEJI SHIGONG JISHU ZHINAN

预应力混凝土 梁式桥梁设计施工 技术指南

鲍卫刚 周泳涛 等编著



人民交通出版社
China Communications Press

Yuyingli Hunningtu Liangshi Qiaoliang Sheji Shigong Jishu Zhinan

预应力混凝土梁式桥梁设计施工技术指南

鲍卫刚 周咏涛 等编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本指南共分三篇,第一篇为预应力混凝土梁式桥梁设计技术指南,第二篇为预应力混凝土梁式桥梁施工技术指南,第三篇为预应力混凝土梁式桥梁裂缝成因及其对策研究。

本指南可供桥梁设计、施工人员使用,也可供相关专业人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

预应力混凝土梁式桥梁设计施工技术指南 / 鲍卫刚等编著. —北京:人民交通出版社, 2009. 11

ISBN 978-7-114-07773-9

I. 预… II. 鲍… III. ①预应力混凝土桥: 梁桥—设计—指南②预应力混凝土桥: 梁桥—工程施工—指南 IV. U448.21—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084462 号

书 名: 预应力混凝土梁式桥梁设计施工技术指南

著 作 者: 鲍卫刚 周泳涛 等

责任编辑: 沈鸿雁 韩亚楠

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: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 22.25

字 数: 482 千

版 次: 2009 年 11 月第 1 版

印 次: 2009 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07773-9

印 数: 0001~3000 册

定 价: 55.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

混凝土材料是一种既非弹性又非完全塑性的建筑材料,相对而言,其抗压强度高而抗拉性能偏弱,与抗拉强度高的钢筋结合后的普通钢筋混凝土或预应力混凝土桥梁成为我国几十年来公路桥梁的主要结构形式,在建设得到了广泛的应用。

随着高强、高性能混凝土和高强钢丝、钢绞线的应用,施工方法和工艺的不断改进,预应力混凝土桥梁的跨越能力不断增长,广东虎门大桥的辅航道桥,采用了 $150\text{m} + 270\text{m} + 150\text{m}$ 的预应力混凝土连续刚构桥,为国内同类桥梁之最,国外有挪威的 Stolma 桥,其跨径组合为 $94\text{m} + 301\text{m} + 72\text{m}$ 。此类桥梁国内大多采用悬臂浇筑法施工。

近年来,国内外混凝土梁式桥梁出现病害的报告数量在持续增长,突出的问题是跨中结构的持续下挠和混凝土箱体的开裂,加上混凝土结构的耐久性问题和汽车超载等现象直接影响到混凝土结构的安全性能和耐久性能。为彻底了解混凝土梁式桥梁出现病害的真正原因,中交路桥技术有限公司依据自行设计的十多座预应力混凝土连续梁式桥梁的设计以及实际施工情况,结合在国内承担的百余座类似桥梁的检测评估、加固设计及加固施工成果,在此方面立项并开展有针对性的技术研发,旨在期望总结相关的经验教训,为业内同行提供技术参考。

研究期间,有幸与重庆高速公路发展有限公司等单位联合开展《连续刚构桥梁设计、施工、养护关键技术研究》中的《预应力混凝土连续刚构桥梁施工技术规范》的编制工作,并得到了重庆公路行业众多设计、施工、养护单位对本项目研究工作的大力支持和帮助。

本指南由三部分组成:预应力混凝土梁式桥梁设计技术指南、预应力混凝土梁式桥梁施工技术指南、预应力混凝土梁式桥梁裂缝开裂成因及对策研究。《设计技术指南》由中交路桥技术有限公司鲍卫刚、周泳涛、赵慧、贾界峰、赵井卫、涂金平起草,重点对《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)应用于大跨径预应力混凝土梁式桥设计时需要予以重点关注的规定和内容予以适当的提示,并对规范进行了适应性补充和完善;《施工技术指南》由重庆高速公路发展有限公司、重庆高速公路发展有限公司渝东分公司、中交路桥技术有限公司、重庆市交通规划勘察设计的李海鹰、杜国平、钟宁、曾德云、杜小平、李丹、黄龙显、胡礼忠、刘亮、周泳涛、贾界峰、赵井卫、陈客贤、钟明全、谭国荣起草,重点对《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)中第 15 部分“钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥”的规定作了一定的补充和完善;《裂缝开裂成因及对策研究》由中交路桥技术有限公司组织完成,其中的第 1 章由鲍卫刚撰写,第 2 章由赵进锋撰写,第 3 章由贾界峰撰写,第 4 章由贾界峰、赵井卫撰写,第 5 章由周泳涛、鲍卫刚撰写,第 6 章由赵慧撰写,第 7 章由鲍卫刚、周泳涛、翟辉起草,附录由周泳涛、赵井卫、贾界峰、翟辉、涂金平、鲍卫刚承担完成。全书由鲍卫刚、

周泳涛汇总、统稿。

在本指南的形成和编写过程中,得到了行业内外许多专家的指导和帮助,特别得到了交通部公路科学研究院楼庄鸿研究员的指导和帮助,在此一并表示诚挚的感谢!

为提高本指南的质量、提高本指南的实用性,请有关单位在参考使用本指南的过程中,随时将问题和建议函告中交路桥技术有限公司(北京市朝阳区惠新里甲 240 号通联大厦八层,邮编:100029,联系电话:010 - 64789464,13801170396,邮箱:baowg@263.net),以便再版时参考。

鲍卫刚、周泳涛

2009 年 8 月

目 录

第一篇 预应力混凝土梁式桥梁设计技术指南

1 总则	3
2 作用	4
2.1 作用及其组合	4
2.2 设计中必须重点考虑的几个作用	4
3 持久状况承载能力极限状态计算	6
3.1 主梁正截面承载能力极限状态计算	6
3.2 主梁斜截面承载能力极限状态计算	6
3.3 箱梁抗剪设计建议	7
4 持久状况正常使用极限状态计算	8
4.1 抗裂验算	8
4.2 挠度的计算与控制	9
4.3 计算参数的取用	10
5 持久状况和短暂状况构件的应力计算	11
5.1 正截面应力计算与控制	11
5.2 主拉应力计算与控制	12
5.3 箱梁横向计算	12
5.4 必要时进行有效预应力不足的敏感性分析	12
6 构造及施工措施	13
6.1 箱梁一般构造	13
6.2 墩身一般构造	13
6.3 普通钢筋的构造要求	14
6.4 预应力钢束的构造要求	15
6.5 施工措施	16
6.6 其他方面	17
附件 预应力混凝土梁式桥梁设计技术指南条文说明	19

第二篇 预应力混凝土梁式桥梁施工技术指南

1 总则	49
1.1 编制目的	49

1.2	适用范围	49
2	建筑材料	50
2.1	水泥	50
2.2	粗集料	50
2.3	细集料	50
2.4	优化配合比设计	50
2.5	普通钢筋	51
2.6	预应力钢绞线	51
2.7	外加剂	51
2.8	混合材料	51
2.9	钢筋阻锈剂	51
2.10	防护涂料	52
2.11	拌和用水	52
2.12	水泥与矿物质掺量	52
2.13	高性能混凝土	52
2.14	配制耐久性混凝土的一般原则	52
3	承台浇筑	54
3.1	裂缝类型	54
3.2	裂缝控制的主要措施	54
3.3	混凝土早期温控防裂措施	54
3.4	承台浇筑	55
3.5	保温保湿养护	55
3.6	混凝土拆模时间控制	55
4	墩身浇筑	56
5	箱梁零号块段的浇筑	57
5.1	浇筑龄期	57
5.2	浇筑次数	57
5.3	防裂措施	57
5.4	强度和龄期要求	57
5.5	预应力张拉	57
5.6	高温时浇筑注意事项	58
5.7	掺加网状树脂纤维	58
6	合龙段的浇筑	59
6.1	基本原则	59
6.2	合龙段压重	59
6.3	合龙温度	59
6.4	合龙段混凝土	59

6.5	预拱度	59
6.6	边跨现浇段	60
6.7	边跨合龙段	60
6.8	跨中下挠控制	60
7	箱梁混凝土浇筑质量控制	61
7.1	箱梁浇筑要求	61
7.2	混凝土拌和和质量控制	62
7.3	混凝土运输中的质量控制	62
7.4	混凝土浇筑质量控制	63
7.5	混凝土养生质量控制	64
7.6	混凝土试块的质量控制	65
7.7	管养制度	65
8	施工工艺	67
8.1	箱梁节段施工顺序	67
8.2	预拱度设置	67
8.3	混凝土浇筑顺序	67
8.4	模板安装	67
8.5	管道连接与定位	68
8.6	高程测定	68
8.7	箱梁混凝土浇筑	68
8.8	连续梁桥边跨现浇及合龙方式	68
8.9	接缝质量控制	70
8.10	浇筑完毕后的工作	70
8.11	预应力施工	70
8.12	控制结构和桥面铺装超方	71
8.13	控制桥面铺装超方量	72
8.14	施工机械	72
8.15	早期养护	72
8.16	拆模	72
8.17	施工监控	73
8.18	桥梁在使用过程中的养护	73
9	施工注意事项	74
9.1	支架(挂篮)预压	74
9.2	模板施工要点	74
9.3	混凝土浇筑及沉降裂纹控制	74
9.4	搅拌	75
9.5	投料	75

9.6	振捣	75
9.7	混凝土养生	75
9.8	抗风	76
附录 1	预应力孔道真空辅助压浆技术	77
附录 2	二次张拉工艺	80
附录 3	施工监控	83
附录 4	高性能混凝土	88
附件	预应力混凝土梁式桥梁施工技术指南条文说明	93

第三篇 预应力混凝土梁式桥梁裂缝成因及其对策研究

1	混凝土梁式桥的发展	125
1.1	建桥材料的变革	125
1.2	混凝土梁式桥结构形式的演变	126
1.3	混凝土梁式桥施工方法的发展	128
1.4	混凝土梁式桥的建设成就	131
2	材料基本性能	149
2.1	混凝土强度理论及设计指标	149
2.2	钢材的基本力学特性及设计指标	154
2.3	混凝土外加剂的应用	159
3	混凝土梁式桥常见病害及成因分析	162
3.1	病害分类	162
3.2	裂缝成因分析	163
4	重庆地区混凝土连续刚构桥施工现状调查	167
4.1	调查结果	167
4.2	结果分析	167
4.3	结论与建议	182
5	徐变对混凝土结构长期挠度的影响	185
5.1	概述	185
5.2	混凝土徐变估算	186
5.3	混凝土徐变的计算方法	191
5.4	混凝土徐变对长期挠度的影响分析	200
6	温度应力与温度裂缝	201
6.1	概述	201
6.2	温度分布与规律	204
6.3	温度效应计算	211
6.4	控制温度应力的方法	217
7	预应力混凝土梁式桥梁的设计	221

7.1 裂缝特征	221
7.2 裂缝成因分析	223
7.3 设计因素分析	230
7.4 预应力混凝土梁式桥梁设计要点	238
7.5 混凝土结构的耐久性	264
附录 工程案例分析	288
1 珠海大桥	288
2 泸州长江二桥	296
3 三门峡黄河公路大桥	302
4 江津长江公路大桥	306
5 綦江大桥	309
6 风陵渡黄河公路大桥	314
参考文献	333

第一篇

预应力混凝土梁式桥梁设计技术指南

1 总则

1.0.1 为减少或避免预应力混凝土连续梁式桥梁在正常使用状态下结构出现跨中下挠、腹板斜裂缝、底板裂缝等病害,贯彻技术先进、安全可靠、耐久适用、经济合理、有利于环境保护的基本设计原则,特制定本指南。本指南补充提出预应力混凝土连续梁式桥梁结构设计的一些应力控制指标及改进缺陷的经验措施等,作为《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)的补充。

1.0.2 本指南适用于预应力混凝土连续梁式桥梁的设计和维护。

1.0.3 处于复杂、恶劣使用环境下的预应力混凝土连续梁式桥梁,需要时,可进行特定使用条件和环境下的寿命评估和风险评估,并采取有针对性的技术和构造措施提高结构的使用寿命和耐久性。

1.0.4 预应力混凝土连续梁式桥梁的结构,应同时进行持久状况、短暂状况和偶然状况下承载能力极限状态和正常使用极限状态设计计算,各控制截面的极限承载能力、受压区高度界限值规定、正截面拉应力或压应力、主拉应力和结构或构件的变形或挠度(刚度)要求、裂缝宽度限值,以及特定条件(临时特殊作用的荷载、地震作用、船舶或汽车撞击等)下的承载能力要求,均应满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)的规定。

1.0.5 预应力混凝土连续梁和连续刚构桥的上部梁体混凝土的强度等级,不应低于C40,墩体钢筋混凝土的强度等级不应低于C30。有条件时,应使用HRB400、KL400钢筋。

1.0.6 混凝土的强度和耐久性,可通过提高混凝土的自密性和改善混凝土的级配设计予以提高,应慎用混凝土掺加剂。

1.0.7 预应力混凝土连续梁式桥梁的设计分阶段实行管理和控制;严格施工工艺和过程质量管理以实现设计意图;桥梁结构的使用应符合设计给定的使用条件,禁止或控制超载超限车辆的通行;使用过程中必须进行定期检查、检测和维护。

1.0.8 预应力混凝土连续梁式桥梁的设计,应符合国家和行业现行的强制性标准规范的规定。

2 作用

2.1 作用及其组合

2.1.1 预应力混凝土连续梁式桥梁设计所采用的设计荷载及其效应组合的计算,应按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中的相关规定执行。

2.1.2 公路桥涵结构设计,应考虑结构上可能同时出现的作用,按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合,取其最不利效应组合进行设计。

(1)只有在结构上可能同时出现的作用,才进行其效应的组合。当结构或结构构件需作不同受力方向的验算时,则应以不同方向的最不利作用效应进行组合。

(2)可变作用当它的出现反而对结构或结构构件产生有利影响时,该作用不应参与组合。实际不可能同时出现的作用或不同时参与组合的作用,不考虑其参与作用效应的组合。

2.2 设计中必须重点考虑的几个作用

2.2.1 结构自重和预应力

考虑结构自重和预应力时,宜计入《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)容许范围内的偏差对结构内力的影响,同时应考虑此部分偏差引起的收缩徐变内力的变化。

设计计算应体现结构形成的过程和状态。对于悬臂施工的桥梁,应按施工顺序逐个步骤地计算结构因各个荷载(作用)产生的内力效应并予以累加,计入混凝土收缩徐变的影响,形成永久作用效应。不应按桥梁总体形成时的整体落架图式一次性地计算内力效应,以避免计算得到的根部负弯矩效应与实际情况偏小现象的产生。

2.2.2 车辆荷载

车辆荷载应按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的规定取用。在作结构的整体纵向计算时,宜考虑偏载的影响;在进行局部计算时,除了考虑冲击作用外,可根据业主要求,计入适当的车辆荷载的超载系数。

2.2.3 温度

纵向计算时,温度作用值宜按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)取用,并计算结构的均匀升温或降温效应,以及温度梯度引起的内力;横向计算时,宜按箱室内外 $\pm 8 \sim \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的梯度温差计算局部节段构件的温度效应,必要时可进行结构的空

2.2.4 徐变

应充分估计混凝土收缩徐变对结构的影响。在有条件时,原则上宜进行混凝土的徐变试验,按照试验得出的徐变系数和终极值进行徐变计算;没有试验数据时,可按相关规范的规定计算混凝土的徐变系数和徐变终极值。建议使用徐变增量逐步迭代法计算混凝土的徐变效应。如使用弹性徐变理论计算徐变效应时,可按照以下三种计算结果中的较大徐变效应作为徐变对结构的设计值,前两种徐变计算方法是分别采用不同的徐变系数和徐变终极值,第一种取徐变发展系数 $\beta = 0.0021$,终极值 $\psi_k = 2.5$,第二种取徐变系数 $\beta = 0.0021$,终极值 $\psi_k = 2.0$,第三种徐变计算方法采用现行相关规范中的相对潮湿度。

2.2.5 构件调整力

构件调整力通常包括以下两种:

(1)连续刚构在主跨合龙前,根据需要在两悬臂端用水平千斤顶互施水平顶推力,以调整主跨及双壁墩身的内力,设计时宜计入调整力对结构的影响。

(2)连续刚构在边跨梁处于悬臂状态时,在悬臂端施加竖直荷载,于边跨合龙后卸除,以调整双壁墩身内力,设计时也宜计入其影响。

2.2.6 漂流物的撞击力

漂流物横桥向撞击力标准值可按下式计算

$$P = \frac{Wv}{gT} \quad (1-2-1)$$

式中: W ——漂流物重力,kN,应根据河流中漂流物情况,按实际调查确定;

v ——水流速度,m/s;

T ——撞击时间,s;应根据实际资料估计,在无实际资料时,可用1s;

g ——重力加速度, $g = 9.81\text{m/s}^2$ 。

3 持久状况承载能力极限状态计算

3.1 主梁正截面承载能力极限状态计算

3.1.1 主梁的正截面承载能力计算按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中的相关条款进行。

3.1.2 对于预应力混凝土连续梁和连续刚构桥,其安全等级宜按照一级来控制,即结构的重要性系数取 1.1。

3.1.3 主梁的承载能力计算,应考虑施加预应力产生的次内力的影响。

3.1.4 对于简支或结构连续的预应力混凝土梁式结构,计算由预加力偏心引起的弯矩所产生的应力时,应取用 T 形截面梁或箱形截面梁翼缘的有效宽度,翼缘有效宽度的计算可按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中第 4.2.2 条和第 4.2.3 条的规定执行。结构整体内力效应的计算,结构截面承载能力计算,以及预应力混凝土梁中预加力作为轴向力所产生的混凝土应力的计算应取用 T 形截面梁或箱形截面梁实际的翼缘宽度。

3.2 主梁斜截面承载能力极限状态计算

3.2.1 主梁的斜截面抗剪承载能力按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中的相关条款进行计算。

3.2.2 矩形、T 形、I 形和箱形截面的受弯构件,其抗剪截面应符合下列要求

$$\gamma_0 V_d \leq 0.51 \times 10^{-3} \sqrt{f_{cu,k}} b h_0 \quad (\text{kN}) \quad (1-3-1)$$

式中: V_d ——验算截面处由作用(或荷载)产生的剪力组合设计值, kN;

b ——相应于剪力组合设计值处的截面(腹板)宽度, mm;

$f_{cu,k}$ ——边长为 150mm 的混凝土立方体抗压强度标准值, MPa;

h_0 ——相应于剪力组合设计值处的截面有效高度,即自纵向受拉钢筋合力点至受压边缘的距离, mm。

对变高度(承托)连续梁或连续刚构,除验算近边支点梁段的截面尺寸外,尚应验算截面急剧变化处的截面尺寸。

3.2.3 矩形、T 形、I 形和箱形截面的受弯构件,当符合下列条件时

$$\gamma_0 V_d \leq 0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0 \quad (\text{kN}) \quad (1-3-2)$$

式中: f_{td} ——混凝土抗拉强度设计值, MPa。

可不进行斜截面抗剪承载力的验算,仅需按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中的有关规定配置箍筋。

对于板式受弯构件,公式(1-3-2)右边计算值可乘以 1.25 提高系数。

3.3 箱梁抗剪设计建议

3.3.1 剪跨比较小时,可采用增加竖向预应力筋的方法提高箱梁截面的抗剪承载力;而剪跨比较大时,竖向预应力的增大对承载力提高的影响有限。

3.3.2 无论剪跨比为何值,均可采用增设竖向预应力筋或纵向预应力筋的方法提高箱梁截面的开裂荷载。

3.3.3 应适度调整下弯预应力筋的下弯角度以充分发挥腹板的抗剪作用。

3.3.4 箍筋发挥抗剪作用并不仅仅由箍筋的配筋率决定,应综合考虑纵向预应力筋、普通钢筋及竖向预应力筋的作用。

3.3.5 应利用腹板纵向普通钢筋对抗剪性能提高作用和纵向预应力作用下初始压应力对截面开裂荷载的提高作用,纵向普通钢筋的配筋量宜与箍筋相当。