

大跨径预应力混凝土梁桥 设计施工技术指南

Guide for Design and Construction
of Long Span Prestressed Concrete Highway Bridges

张喜刚 等编著



人民交通出版社
China Communications Press

Guide for Design and Construction of Long Span
Prestressed Concrete Highway Bridges

大跨径预应力混凝土梁桥 设计施工技术指南

张喜刚 等编著

人民交通出版社

图书在版编目(CIP)数据

大跨径预应力混凝土梁桥设计施工技术指南/张喜刚等编著. —北京:人民交通出版社,2012.6

ISBN 978-7-114-09811-6

I. ①大… II. ①张… III. ①长跨桥—预应力混凝土桥—桥梁设计—指南②长跨桥—预应力混凝土桥—桥梁施工—指南 IV. ①U448.35-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 108229 号

**大跨径预应力混凝土梁桥
设计施工技术指南**

张喜刚 等编著

人民交通出版社出版发行

(100011 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号)

各地新华书店经销

北京密东印刷有限公司印刷

开本:880×1230 1/16 印张:9.25 字数:200千

2012年6月 第1版

2012年6月 第1次印刷

定价:50.00元

ISBN 978-7-114-09811-6

前 言

预应力混凝土梁桥是世界上应用最为广泛的一种桥梁类型,随着高强混凝土和高强钢材的不断发展,大跨径预应力混凝土连续梁桥和连续刚构桥也得到了长足的进步,在跨越大多数水道和山区的桥梁建设中发挥了重要的作用。我本人和所在单位从 20 世纪 80 年代开始设计大跨径预应力混凝土梁桥。所设计的多座桥梁成为当时该类桥梁的代表。近年来的工程实践和调查表明,大跨径预应力混凝土连续梁桥和连续刚构桥随着使用的范围越来越广、跨径越来越大、运营环境越来越复杂(交通量越来越大、汽车荷载越来越重、极端气候现象常有出现),也出现了一些普遍且突出的病害问题,如结构开裂、跨中下挠等。其中,部分桥梁开始加固,部分桥梁限制使用,还有部分桥梁面临拆除或突然垮塌的风险。

2008 年建成的苏通大桥辅航道桥也采用了主跨 268m 的预应力混凝土连续刚构桥。为了有效、合理地解决大跨径梁桥开裂、下挠等主要病害,在设计和建设期间,开展了一系列针对性的专题研究,并以国家和行业标准规范为基础,参考国内外相关行业、相关专业的标准规范和科研成果,编写了《苏通长江公路大桥跨江大桥工程设计指南》,经审查后,作为指导苏通大桥设计的主要文件之一。

交通部在 2007 年下达了《大跨径预应力混凝土梁桥设计施工技术指南》的编制任务,旨在总结行业多年的工程实践经验、苏通大桥科研项目和建设实践的成果,针对大跨径预应力混凝土梁桥开裂、下挠等主要病害,提出有效的构造和控制措施,从设计和施工两大方面提高工程质量,解决桥梁开裂、下挠等病害早发问题,延长桥梁使用寿命。

由中交公路规划设计院有限公司负责,联合中交第二航务工程局有限公司、同济大学、交通运输部公路科学研究院、长安大学、中交第二公路工程局有限公司、苏通大桥建设指挥部等共同参加完成了此指南的编写工作。在编写过程中,以苏通大桥辅航道桥的工程经验和科研成果为基础,吸取了近年来国内公路大跨径预应力混凝土梁桥设计和施工中的研究成果与经验,参考、借鉴了国际先进的标准规范,与国内相关规范作了比较和协调,并通过多种方式广泛征求了设计、施工、建设、管理等有关单位和专家的意见,经过反复讨论、修改,形成定稿。

本指南共 21 章和 8 个附录,对大跨径预应力混凝土梁桥设计、施工中的有关技术要求进行了规定。本指南采用了和标准规范一样的编写体例,附有条文说明,以方便设计人员和工程人员阅读和理解。本指南可看作是大跨径预应力混凝土梁桥设计施工的指导手册。

在本指南编写过程中,赵君黎、孔海霞、冯良平、刘高、徐栋、王国亮、翟世鸿、任回兴、

吴寿昌、冯芑、许航、谢俊、贺茂生、黎立新、王春生、张朝贵、翟慧娜、刘晓娣、李扬海、郑绍珪、刘泽英等也参加了部分内容的编写、审阅和统稿工作。

本指南的编写得到了行业内外许多专家、学者的指导和帮助,指南编写按照交通运输部标准规范的管理模式进行管理,并经交通运输部公路局同意后按照指南专著出版,在此一并感谢!

为提高本指南的质量和适用性,请有关单位在使用过程中,随时将问题和建议告知主编单位(地址:北京市德胜门外大街85号德胜国际中心A座305室,邮编:100088,电话:010-82017041,邮箱:sssohpd@163.com),以便再版时参考。

张喜刚
2012年4月

目 录

1 总则 1

2 术语和符号 3

 2.1 术语 3

 2.2 符号 5

3 设计原则 8

4 设计规范和主要技术标准 9

 4.1 设计规范 9

 4.2 主要技术标准 10

5 设计作用与作用效应组合 11

 5.1 作用及取值 11

 5.2 作用效应组合 13

6 主要材料 14

7 桥梁平纵横设计 17

 7.1 设计原则 17

 7.2 平纵横断面设计 17

8 结构设计 19

 8.1 桥跨布置 19

 8.2 结构体系选择 19

 8.3 主梁 19

 8.4 桥墩 21

 8.5 桥墩及基础防撞 22

 8.6 基础 22

9 结构计算分析 24

 9.1 总体计算 24

 9.2 主梁 25

 9.3 桥墩 27

 9.4 基础 27

10 耐久性设计 29

 10.1 一般规定 29

 10.2 构造措施 30

10.3	附加防腐蚀措施	31
10.4	设计对检测、养护、维修的要求	34
11	箱梁抗裂设计	35
11.1	一般规定	35
11.2	预应力设计	36
11.3	结构计算	36
11.4	构造与抗裂措施	38
12	箱梁下挠控制	40
13	抗震设计	42
13.1	一般规定	42
13.2	地震作用	43
13.3	地震反应分析	43
13.4	地震作用和效应组合	44
13.5	钢筋混凝土墩柱延性设计	44
13.6	桥梁减隔震设计	45
13.7	抗震措施	46
14	抗风设计	47
14.1	风速计算	47
14.2	风荷载计算	48
14.3	风的动力效应	49
15	墩身施工	50
15.1	一般规定	50
15.2	钢筋施工	50
15.3	模板施工	51
15.4	混凝土施工	52
16	墩顶 0 号梁段施工	54
16.1	一般规定	54
16.2	施工支架及模板	54
16.3	0 号梁段临时固结	55
16.4	钢筋施工	56
16.5	混凝土施工	56
16.6	预应力施工	58
17	悬浇梁段施工	61
17.1	一般规定	61
17.2	挂篮施工	61
17.3	模板施工	64
17.4	混凝土施工	64

17.5 悬浇段接缝处理	65
18 边跨现浇段施工	66
18.1 一般规定	66
18.2 边跨现浇段支架	66
18.3 现浇段施工缝设置要求	67
19 合龙段施工	68
19.1 一般规定	68
19.2 边跨合龙段施工	68
19.3 中跨合龙段施工	69
19.4 合龙段混凝土施工	69
19.5 预应力施工	69
20 体系转换	71
21 施工控制	72
21.1 一般规定	72
21.2 施工监控实施	73
21.3 控制标准	75
附录 A 大跨径预应力混凝土梁桥主要开裂形式	76
附录 B 大跨径预应力混凝土梁桥主要参数表	78
附录 C 混凝土抗裂性试验方法	79
附录 D 混凝土抗渗性快速测定方法	82
附录 E 混凝土施工试件耐久性能检验要求	88
附录 F 实体混凝土质量检验要求	89
附录 G 成桥荷载试验	92
附录 H 运营期桥梁结构安全监测	94
附件 《大跨径预应力混凝土梁桥设计施工技术指南》条文说明	95
1 总则	97
4 设计规范和主要技术标准	99
8 结构设计	100
9 结构计算分析	104
10 耐久性设计	105
11 箱梁抗裂设计	111
12 箱梁下挠控制	116
13 抗震设计	118
15 墩身施工	123
16 墩顶 0 号梁段施工	124
17 悬浇梁段施工	128
18 边跨现浇段施工	131

19	合龙段施工	133
21	施工控制	135
附录 A	大跨径预应力混凝土梁桥主要开裂形式	136
附录 C	混凝土抗裂性试验方法	137
附录 D	混凝土抗渗性快速测定方法	138
附录 H	运营期桥梁结构安全监测	139

1 总 则

1.0.1 为使公路大跨径预应力混凝土梁桥的设计和施工符合安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、环保节能的要求,在《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)的基础上,制定本指南。

1.0.2 本指南适用于跨径 100m 及以上的公路预应力混凝土连续梁桥及连续刚构桥的设计和施工。上部结构采用悬臂浇筑法施工。连续刚构桥主跨大于 270m 时,仅供参考;更大跨径的桥梁宜开展专题研究。

1.0.3 本指南按照《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)规定的设计原则编制。

1.0.4 公路大跨径预应力混凝土梁桥应根据其所处环境条件进行耐久性设计,主体结构的设计使用年限应为 100 年。

1.0.5 公路大跨径预应力混凝土梁桥应按以下两类极限状态进行设计:

- 1 承载能力极限状态:对应于桥梁及其构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位的状态。
- 2 正常使用极限状态:对应于桥梁及其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态。

1.0.6 公路大跨径预应力混凝土梁桥应考虑以下三种设计状况及其相应的极限状态设计:

- 1 持久状况:桥梁建成后承受自重、车辆荷载等持续时间很长的状况。该状况桥梁应作承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。
- 2 短暂状况:桥梁施工过程中承受临时性作用(或荷载)的状况。该状况桥梁应作承载能力极限状态设计,必要时才作正常使用极限状态设计。
- 3 偶然状况:在桥梁使用过程中偶然出现的如罕遇地震的状况。该状况桥梁仅作承载能力极限状态设计。

1.0.7 大跨径梁桥宜根据桥位交通网布局、规划及运输车辆和货物特点,在调研、分

析、预测的基础上,提出适合大桥自身需求的设计汽车荷载模型。

1.0.8 桥梁结构的设计和施工质量应分阶段实行严格管理和控制;桥梁的使用应符合设计给定的使用条件,禁止超载、超限车辆通行;使用过程中必须进行定期检查和维护。

1.0.9 大跨径梁桥应按照相关要求开展风险评估和运营期桥梁结构安全监测。

1.0.10 悬浇法施工应进行施工期风险分析并制订专项安全预案。

1.0.11 悬浇施工过程中,必须对悬浇梁段内力及线形进行监控,可通过逐节段调整挂篮立模高程等方法来实现。

1.0.12 按本指南进行设计时,有关作用(或荷载)及其组合应符合现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)的规定;材料和工程质量应符合现行《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80)、《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的要求。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 极限状态 limit states

整体结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求时,此特定状态为该功能的极限状态。

2.1.2 可靠度 degree of reliability

结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。

2.1.3 设计基准期 design reference period

在进行结构可靠性分析时,考虑持久设计状况下各项基本变量与时间关系所采用的基准时间参数。

2.1.4 设计状况 design situation

结构从施工到使用的全过程中,代表一定时段的一组物理条件,设计时必须做到使结构在该时段内不超越有关的极限状态。

2.1.5 材料强度标准值 characteristic value of material strength

设计结构构件时采用的材料强度的基本代表值。该值可根据符合规定标准的材料,取其强度概率分布的0.05分位值确定。

2.1.6 材料强度设计值 design value of material strength

材料强度标准值除以材料强度分项系数后的值。

2.1.7 作用 action

施加在结构上的集中力或分布力,如汽车、结构自重等,称为直接作用,也称为荷载;引起结构外加变形或约束变形的原因,如地震、基础不均匀沉降、温度变化等,称为间接作用(不宜称为荷载)。两者统称为作用。

2.1.8 作用效应 effects of actions

结构对所受作用的反应,称为作用效应。如由作用产生的结构或构件的轴向力、弯矩、剪力、应力、裂缝和变形等。

2.1.9 作用标准值 characteristic value of an action

作用的主要代表值。其值可根据设计基准期内最大值概率分布的某一分位值确定。

2.1.10 作用设计值 design value of an action

作用标准值乘以作用分项系数后的值。

2.1.11 作用频遇值 frequent value of an action

结构或构件按正常使用极限状态短期效应组合设计时,采用的一种可变作用代表值,其值可根据任意时点(截面)作用概率分布的0.95分位值确定。

2.1.12 作用效应组合 combination for action effects

结构上几种作用分别产生的效应的随机叠加。

2.1.13 安全等级 safety class

为使桥涵具有合理的安全性,根据桥涵结构破坏所产生后果的严重程度而划分的设计等级。

2.1.14 结构重要性系数 coefficient for importance of a structure

对不同安全等级的结构,为使其具有规定的可靠度而采用的作用效应附加的分项系数。

2.1.15 分项系数 partial safety factor

为保证所设计的结构或构件具有规定的可靠度,在结构极限状态设计表达式中采用的系数。分为作用分项系数和材料分项系数等。

2.1.16 作用短期效应组合 combination for short-term action effects

正常使用极限状态设计时,永久作用标准值与可变作用频遇值效应的组合。其中可变作用频遇值为可变作用标准值与频遇值系数的乘积。

2.1.17 作用长期效应组合 combination for long-term action effects

正常使用极限状态设计时,永久作用标准值与可变作用准永久值效应的组合。其中可变作用准永久值为可变作用标准值与准永久值系数的乘积。

2.1.18 高性能混凝土 high performance concrete

用混凝土的常规材料、常规工艺,在常温下,以低水胶比、大掺量优质掺和料和较严格的质量控制制作的高耐久性、高尺寸稳定性、良好工作性及较高强度的混凝土。

2.1.19 悬浇施工 cast-in-place cantilever construction

从墩顶已经浇筑混凝土的块件两侧开始,使用挂篮在悬臂状态下对称地逐段进行梁段混凝土浇筑,待混凝土达到一定强度后,张拉预应力钢筋,然后前移挂篮、模板等,进行新的梁段施工,使梁体不断伸出接长的一种施工方法。

2.1.20 0 号梁段 start element

位于墩顶的一个起始梁段常被称为 0 号梁段,其长度往往比墩顶顺桥向长度为大,一般采用支架现场浇筑来完成。

2.1.21 挂篮 movable suspended scaffolding

与已成梁段牢固连接并悬出已成梁段的施工操作平台。在挂篮上可以进行模板支、拆,钢筋绑扎,混凝土浇筑和预应力张拉等作业。梁段施工完毕后,挂篮能够前移,开始下一梁段的施工。

2.1.22 托架 corbel

墩顶梁段及附近位置梁段施工,浇筑悬浇部分时利用墩身预埋件与型钢或万能杆件拼制联结而成的支架。

2.1.23 合龙段 closure segment

两悬浇梁段或支架现浇梁段与悬浇梁段在同一跨内最后浇筑,从而使一个桥跨成为整体的梁段。

2.1.24 体系转换 system transition

施工中对双悬臂梁受力体系状态在确保设计线形的前提下转化为连续梁或连续刚构受力体系的过程。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能有关符号

- C30——表示立方体抗压强度标准值为 30MPa 的混凝土强度等级;
- f_{ck} f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值;
- f_{tk} f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值;
- f_{sk} f_{sd} ——普通钢筋抗拉强度标准值、设计值;
- f_{pk} f_{pd} ——预应力钢筋抗拉强度标准值、设计值;

f'_{sd} f'_{pd} ——普通钢筋、预应力钢筋抗压强度设计值；
 f_d ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
 f_{vd} ——钢材的抗剪强度设计值；
 f_{cd} ——钢材的端面承压强度设计值；
 E ——计算采用的钢绞线弹性模量，或钢材的弹性模量；
 E' ——实测的钢绞线弹性模量；
 E_c ——混凝土弹性模量；
 E_s ——普通钢筋的弹性模量；
 E_p ——预应力钢筋的弹性模量；
 G_c ——混凝土剪变模量；
 G ——钢材的剪切模量；
 ν_c ——泊松比。

2.2.2 作用效应或作用力有关符号

F ——单位长度上每根预应力束产生的径向力；
 F_j ——第 j 根曲线束的有效预应力；
 v_d ——构件高度处的设计基准风速；
 v_{10} ——桥位处基本风速；
 v_{s10} ——桥位处设计风速；
 σ_l ——作用(或荷载)短期效应组合下的主拉应力。

2.2.3 几何参数有关符号

b ——径向力沿桥纵向的平均分布宽度；
 d ——静水面到河床顶面的高度；
 d_1 ——静水面到基床顶面的高度；
 i ——弯曲平面内截面的回转半径；
 l ——构件支点间长度或计算跨径；
 l_0 ——构件计算长度；
 t ——板厚度；
 A_g ——使用或极限阶段抗剪钢筋面积；
 A_{gmin} ——最小抗剪钢筋面积；
 A' ——实测的钢绞线截面面积；
 A ——计算采用的钢绞线截面面积；
 H ——净水面以上波压力为零时的高度或梯度风高度；
 L ——波长；
 P ——单位长度上的总波浪力或结构所受的各种作用；
 Z ——构件的基准高度。

2.2.4 计算系数及其他有关符号

g ——重力加速度；

k ——地理、地形条件系数；

B ——抗弯刚度；

$\bar{T}$ ——平均周期；

α ——梁段之间的相对转角、线性膨胀系数或地表粗糙度系数；

ρ ——密度；

γ ——水的重度；

r_j ——第 j 根曲线束的曲率半径；

μ ——配筋率；

Δ ——预应力实际伸长量或计算引伸量；

Δ' ——修正预应力计算引伸量。

3 设计原则

3.0.1 认真遵守工程建设基本原则,在满足使用功能的前提下,设计力求“安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、环保节能”,富有时代风貌,要充分体现当今世界现代桥梁建设的新理念、新技术、新水平,并力争技术创新。

3.0.2 注意引进、消化、吸收国内外大跨径预应力混凝土梁桥建设的先进技术和宝贵经验,并有所创新,力争建成技术先进、安全可靠、经久耐用、水平一流的现代化桥梁。

3.0.3 根据桥梁建设条件特点和难点,有针对性地深入开展相应的建设条件专题工作,包括必要的试验研究工作,保证设计基础资料真实、可靠、实用。

3.0.4 始终抓紧、抓好科研工作,紧密结合设计工作需要,合理规划、安排科研项目。选择强有力的科研队伍和先进可靠的设备,对重要的项目必要时应进行校核,为正确决策提供科学依据。

3.0.5 在全面、深入分析建设条件、设计基础资料的基础上,根据各阶段的工作任务和重点,采取多种途径,收集国内外的相关资料,积极学习、借鉴国内外先进经验,结合科研,对重要结构部位,深入研究、全面比选、精心设计。应采用先进的结构分析计算软件,并进行两个及两个以上不同计算程序的同精度校核。

3.0.6 综合考虑铁路、航运、水利等要求,处理好工程效益和社会效益、工程建设投资和运营管理投资等的关系。