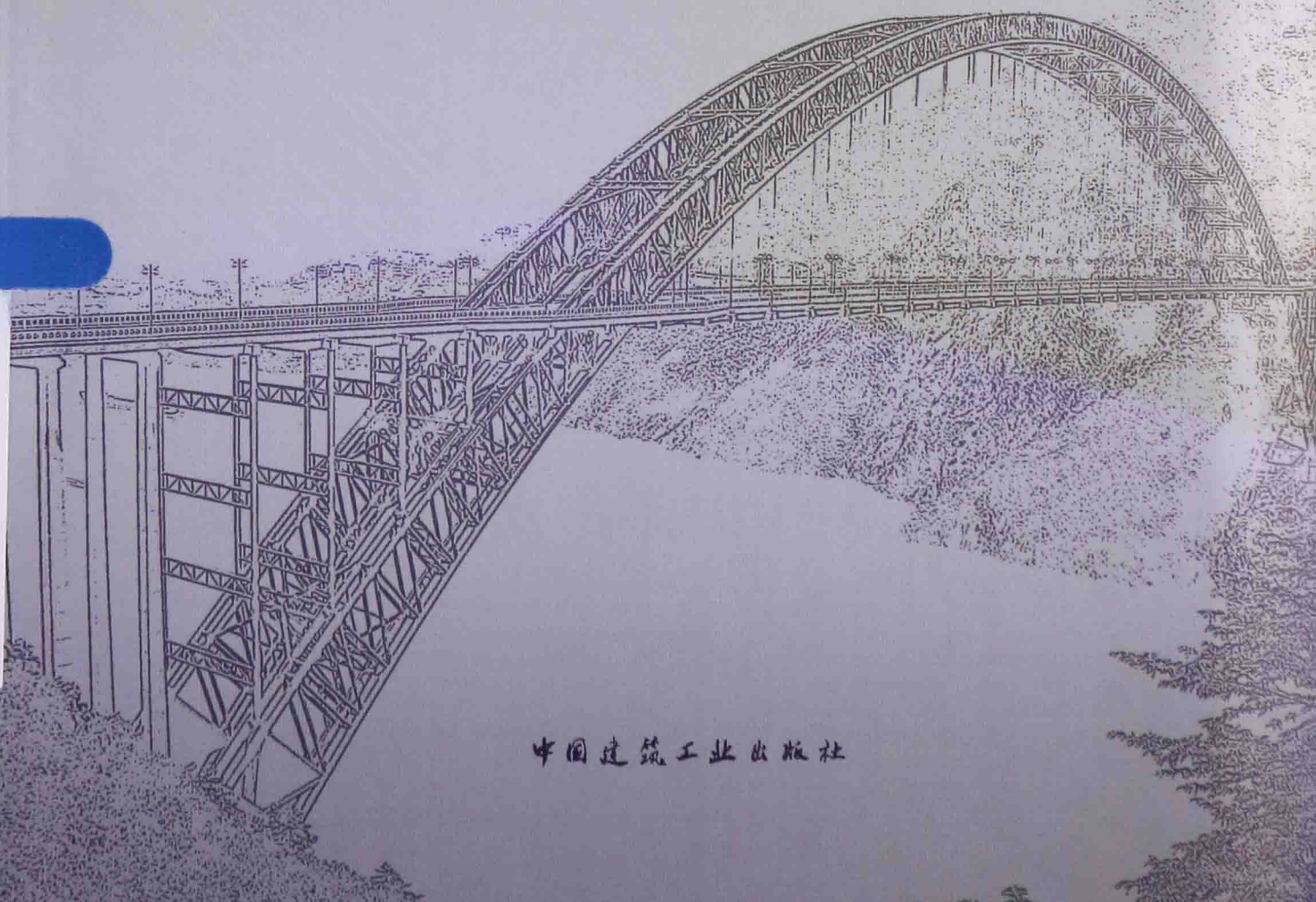


DESIGN CALCULATION METHOD AND APPLICATION
FOR CONCRETE — FILLED STEEL TUBE ARCH BRIDGES

钢管混凝土拱桥 设计计算方法与应用

陈宝春 韦建刚 吴庆雄 著

——《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923-2013 配套用书——



中国建筑工业出版社

钢管混凝土拱桥 设计计算方法与应用

陈宝春 韦建刚 吴庆雄 著

——《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923—2013 配套用书——

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢管混凝土拱桥设计计算方法与应用/陈宝春等
著. —北京:中国建筑业出版社, 2014. 6
ISBN 978-7-112-16723-4

I. ①钢… II. ①陈… III. ①钢管混凝土拱桥-桥
梁设计-计算方法 IV. ①U448. 222. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 072855 号

钢管混凝土拱桥在我国的应用与研究已 20 多年, 积累了丰富的设计、施工及养护经验, 初步形成了技术体系。本书以新编国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923—2013 编制过程中的专题研究为基础, 对该规范中的设计计算方法的编制情况与具体应用进行了详细介绍, 供应用参考。

本书可供桥梁专业设计、施工与管理养护人员参考, 亦可作为高等院校土木工程专业高年级本科生、桥隧专业和结构工程专业研究生的教材, 也可供组合结构、桥梁结构研究人员参考。

责任编辑: 刘婷婷

责任设计: 张 虹

责任校对: 陈晶晶 关 健

钢管混凝土拱桥设计计算方法与应用

陈宝春 韦建刚 吴庆雄 著

*

中国建筑业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京建筑业出版社印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13¹/₄ 字数: 330 千字

2014 年 7 月第一版 2014 年 7 月第一次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-16723-4

(25547)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

钢管混凝土拱桥的应用在我国已走过了 20 年的历程。在长期研究与应用的基础上，通过大量的调查研究和充分吸收国内外研究成果与工程实践经验，并参考了相关标准规范，在广泛征求意见并进行相应修改后，国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》于 2013 年 11 月 1 日获住房和城乡建设部（[2013] 第 210 号公告）批准（标准编号为 GB 50923—2013），规范由住房和城乡建设部和国家质量监督检验检疫总局联合发布，于 2014 年 6 月 1 日起在全国实施。

该技术规范包括了钢管混凝土拱桥的设计、施工与养护的内容，其中设计部分的内容最多、理论性最强，设计也是一座新桥全寿命过程中最为关键的阶段，因此，为便于对该规范设计计算方法的理解与实施，本书对该规范中主要的设计计算方法、编制过程中有关计算方法的专题研究情况进行了介绍，以供应用参考。

本书第 1 章由陈宝春、韦建刚撰写；第 2 章由吴庆雄撰写；第 3 章由陈宝春、陈津凯撰写；第 4 章由韦建刚撰写；第 5 章由陈宝春、尧国煌、薛俊青撰写；第 6 章由陈宝春撰写；第 7 章由陈宝春、欧智菁撰写；第 8 章由陈宝春撰写；第 9 章由黄福云、陈宝春撰写；第 10 章由陈宝春、赖秀英撰写。全书由陈宝春统稿。

国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923—2013 是在住房和城乡建设部标准定额司的直接领导下，由福州大学和中建海峡建设发展有限公司会同有关单位编制的，在编写过程中得到了国内外同行的大力支持。在此对给予支持与帮助的相关单位与人士表示衷心的感谢。硕士研究生聂尚杰、张培权、王锋、李海敏、吕银花、孙晓博、周宗源、李佩元、陈奕林、黄蕾、陈云、赖焕林、俞冠等参加了文稿的整理工作，在此表示衷心的感谢。责任编辑刘婷婷为本书的编辑出版付出了大量的心血，同样表示衷心的感谢。

作者虽然长期从事钢管混凝土拱桥的工程应用与科研工作，但限于水平和知识面的局限，难免有疏漏和不足之处，恳切希望读者在本书参阅过程中，能够随时将意见和建议反馈给作者（福州大学土木工程学院，地址：福州市闽侯学园路 2 号，邮编：350108），以供本书今后修订时参考，同时也可供国家工程建设规范《钢管混凝土拱桥技术规范》修订时参考。

作 者

2014 年 3 月 18 日

本书符号

荷载和荷载效应

- N ——截面轴向力设计值；
 N_1, N_2 ——分配到哑铃形拱肋两个肢管上的轴向力值；
 M ——截面弯矩设计值；
 M_1, M_2 ——分配到哑铃形拱肋两个肢管上的弯矩值；
 N_s ——轴向压力组合设计值；
 S ——荷载效应的组合设计值；
 R ——构件承载力设计值；
 $R(\cdot)$ ——构件的承载力函数；
 V_1 ——腹杆所受轴力设计值。

材料指标

- $(EA)_{sc}$ ——钢管混凝土拱肋截面整体压缩设计刚度；
 $(EI)_{sc}$ ——钢管混凝土拱肋截面整体弯曲设计刚度；
 $(EA)_{sc1}$ ——钢管混凝土毛截面压缩设计刚度；
 $(EI)_{sc1}$ ——钢管混凝土毛截面弯曲设计刚度；
 $(EA)_{sc2}$ ——单肢钢管混凝土毛截面压缩设计刚度；
 $(EI)_{sc2}$ ——单肢钢管混凝土毛截面弯曲设计刚度；
 E_c ——混凝土弹性模量；
 E_s ——钢材弹性模量；
 f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值；
 f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值；
 f_d ——材料强度设计值；
 f_{vd} ——钢材抗剪强度设计值；
 f_s ——钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
 f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度设计值；
 f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；
 f_y ——钢材强度标准值；
 G_c ——混凝土剪切变形模量；
 G_s ——钢材剪切变形模量；
 N_0 ——钢管混凝土单圆管截面轴心抗压强度设计值；
 N'_0 ——考虑脱粘影响的钢管混凝土单圆管截面轴心抗压强度设计值；
 N_0^i ——拱肋截面各肢钢管混凝土截面轴心抗压强度设计值；
 N_{0i} ——桁式拱肋第 i 根弦杆轴心抗压强度设计值；

- N_{01} ——钢管混凝土单圆管截面偏心抗压强度设计值；
 N_{02} ——钢管混凝土单圆管偏心受压构件稳定承载力设计值；
 N_D ——钢管混凝土哑铃形和格构柱构件截面轴心抗压强度设计值；
 N_{D1} ——钢管混凝土哑铃形构件和格构柱偏心抗压强度设计值；
 N_{D2} ——钢管混凝土哑铃形构件和格构柱偏心受压稳定承载力设计值；
 N_f^i ——与钢管混凝土主肢共同承担荷载的连接钢板的抗压强度设计值；
 f_{tpk} ——吊索或系杆索的抗拉强度标准值；
 α ——钢管混凝土拱肋受截面均匀温度作用时轴线方向的线膨胀系数；
 α_s ——钢材线膨胀系数；
 α_c ——混凝土材料线膨胀系数；
 ρ_s ——钢材的密度；
 μ_c ——混凝土的泊松比；
 μ_s ——钢材的泊松比；
 σ ——吊索或系杆索的应力；
 σ_0 ——钢管初应力。

几何参数

- a_d ——几何参数设计值；
 A_b ——一个节间内各平腹杆面积之和；
 A_c ——钢管内混凝土的截面面积；
 A_d ——一个节间内各斜腹杆面积之和；
 A_{fs} ——连接钢板的截面面积；
 A_s ——钢管的截面面积；
 A_{sc} ——钢管混凝土构件的组合截面面积；
 A_{sl} ——拱肋截面钢材面积；
 A_{cl} ——拱肋截面混凝土面积；
 a_i ——钢管混凝土格构柱单根柱肢中心到虚轴 $y-y$ 的距离；
 b_i ——钢管混凝土格构柱单根柱肢中心到虚轴 $x-x$ 的距离；
 D ——钢管外径；
 d ——拉索直径；
 e_0 ——截面偏心距；
 f ——拱的矢高；
 f_1 ——桥面系以上拱肋的矢高；
 h_1 ——哑铃形截面、格构柱截面受弯面内两肢中心距离；
 h_2 ——哑铃形截面腹板高度；
 H ——拱肋截面高度；
 r ——截面计算半径；
 i ——截面回转半径；
 I_c ——混凝土截面惯性矩；
 I_s ——钢管截面惯性矩；

- I_{sc} ——钢管混凝土组合截面惯性矩；
 I_{sl} ——钢材截面惯性矩；
 I_{cl} ——混凝土截面惯性矩；
 l ——构件长度；
 L ——拱桥计算跨径；
 l_0 ——构件的计算长度；
 l_{01} ——拱肋净跨径；
 L_0 ——拱肋的等效计算长度；
 L_d ——吊索长度；
 L_z ——拱肋节段的直线段长；
 l_{0x} ——构件对 X 轴的计算长度；
 l_{0y} ——构件对 Y 轴的计算长度；
 l_1 ——格构柱柱肢节间距离；
 l_2 ——哑铃形截面腹板加劲构造间沿拱肋方向的距离；
 r_c ——钢管内混凝土横截面的半径；
 S_g ——拱轴线长度；
 t ——钢管壁厚或混凝土初凝时间；
 T ——计算合龙温度；
 T_0 ——附加升温值；
 T_{28} ——钢管内混凝土浇筑后 28d 内的平均气温；
 ϵ_b ——界限偏心率；
 θ ——拱肋两节段间折角；
 Δ ——支管间隙。

计算系数及其他

- β ——钢管初应力度；
 ξ_0 、 ξ ——钢管混凝土约束效应系数设计值、标准值；
 ρ ——构件偏心率；
 ρ_c ——钢管混凝土截面含钢率；
 χ ——计算系数；
 μ ——柔度系数；
 μ_0 ——钢管混凝土拱肋汽车荷载冲击系数；
 γ_0 ——桥梁结构重要性系数；
 η_1 ——单肢钢管混凝土和整个构件截面抗弯刚度之比；
 φ ——稳定系数；
 φ_e ——偏心率折减系数；
 λ ——钢管混凝土构件的名义长细比；
 λ_n ——相对长细比；
 λ^* ——钢管混凝土格构柱的换算长细比；
 λ_1 ——钢管混凝土格构柱单肢名义长细比；

- λ_x, λ_y ——钢管混凝土格构柱对 X 轴、对 Y 轴的名义长细比；
- α ——有初应力的钢管混凝土极限承载力计算时，考虑长细比影响的系数；
- f_0 ——钢管混凝土拱桥的一阶竖向频率；
- k_c ——钢管混凝土承载力徐变折减系数；
- K_p ——考虑初应力度对钢管混凝土承载力的折减系数；
- k_1 ——荷载系数；
- k_2 ——行车道系数；
- k_3 ——轴心抗压强度设计值换算系数；
- K_t ——钢管混凝土承载力脱粘折减系数；
- K ——换算长细比系数；
- K' ——换算长细比修正系数；
- m ——有初应力的钢管混凝土极限承载力计算时，考虑偏心率影响的系数；
- n ——桁式拱肋弦杆数；
- V ——输送泵的额定速度；
- Q ——管内混凝土浇筑方量。

目 录

本书符号

第 1 章 概述	1
1.1 钢管混凝土拱桥应用概况	1
1.2 钢管混凝土拱桥技术标准发展简介	4
1.3 国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》编制概况	5
1.4 本书主要内容	7
第 1 章参考文献	8
第 2 章 钢管混凝土拱肋汽车荷载冲击系数计算	9
2.1 计算内容与方法	9
2.2 钢管混凝土拱肋冲击系数	10
2.3 钢管混凝土拱桥一阶竖向频率估算公式	15
第 2 章参考文献	18
第 3 章 钢管混凝土拱温度作用计算	20
3.1 计算内容与方法	20
3.2 前期研究与 DBJ/T 13-136—2011 的规定	23
3.3 国标中温度取值的研究	30
第 3 章参考文献	36
第 4 章 钢管混凝土拱肋截面刚度计算	38
4.1 计算内容与方法	38
4.2 钢管混凝土（单圆管）构件刚度	43
4.3 钢管混凝土拱的设计刚度取值研究	46
第 4 章参考文献	50
第 5 章 钢管混凝土单圆管构件截面承载力计算	52
5.1 计算内容与方法	52
5.2 轴心受压承载力计算	54
5.3 偏心受压承载力计算	58
5.4 钢管混凝土拱肋脱粘问题研究	61
第 5 章参考文献	70
第 6 章 钢管混凝土拱肋强度计算	72
6.1 计算内容与方法	72
6.2 组成构件强度计算	75
6.3 哑铃形短柱承载力计算	81
6.4 格构短柱（桁式截面）承载力计算	88

第 6 章参考文献	94
第 7 章 钢管混凝土柱稳定承载力计算	95
7.1 计算内容与方法	95
7.2 哑铃形柱稳定承载力研究	101
7.3 格构柱稳定计算方法研究	116
7.4 钢管混凝土柱稳定系数统一计算方法	136
第 7 章参考文献	147
第 8 章 钢管混凝土拱整体稳定性计算	150
8.1 计算内容与方法	150
8.2 空间稳定计算方法研究	150
8.3 面内稳定承载力计算方法	156
第 8 章参考文献	161
第 9 章 考虑初应力的钢管混凝土拱极限承载力计算方法	163
9.1 计算内容与方法	163
9.2 钢管混凝土拱桥初应力度调查与分析	168
9.3 考虑初应力影响的承载力折减系数计算方法研究	172
第 9 章参考文献	178
第 10 章 钢管混凝土拱收缩、徐变计算	180
10.1 计算内容与方法	180
10.2 钢管混凝土拱收缩次内力计算	181
10.3 钢管混凝土徐变问题研究	190
第 10 章参考文献	201

第 1 章 概 述

1.1 钢管混凝土拱桥应用概况

最早将钢管混凝土应用于拱桥结构之中的是前苏联。1937 年，前苏联在列宁格勒用集束小直径钢管混凝土做拱肋建造了跨径为 110m 的跨越涅瓦河的拱梁组合桥；1939 年，前苏联又建造了位于西伯利亚 NceTb 跨度达 140m 的上承式钢管混凝土桁肋铁路二铰拱。然而，从现有资料看，此后的相当长时间内，世界范围内没有再修建这种桥梁。

1.1.1 总体趋势

1990 年，中国第一座钢管混凝土拱桥在四川建成。它是四川的旺苍东河大桥，为跨径 110m 的下承式钢管混凝土系杆拱桥。

由于钢管混凝土拱桥具有材料强度高、施工方便、造型美观等优点，又适逢我国大规模的交通基础设施建设时期，它一经出现便在我国得到迅速的发展。截至 2010 年 6 月，共搜集到已建成的跨径 50m 以上的钢管混凝土拱桥有 327 座^[1]。

图 1.1-1 给出了我国钢管混凝土拱桥随时间增长的修建总数曲线。由图 1.1-1 可知，大幅增长始于 1993 年，每年新建成的平均数量为 18 座。一种新桥型在一个国家，以如此高的速度持续增长 20 年，达到如此之多的数量，这在世界桥梁史上是极其少见的。它充分说明了这种桥型自身所具有的优势和强大的生命力。

1.1.2 行业分布

按行业（用途）可将我国钢管混凝土拱桥分为四类：公路桥梁、市政桥梁、铁路桥梁及其他桥梁（人行桥、码头栈桥等）。图 1.1-2、图 1.1-3 分别给出了这种分类（统计桥例 307 座）随时间增长的曲线和比例份额。

钢管混凝土拱桥最早出现于公路桥梁之中，随后在市政桥梁中也得到大量的应用。由图 1.1-2、图 1.1-3 可知，钢管混凝土拱桥主要应用于公路和市政桥梁，占总数的 87.9%，二者的总量与增长速度相当，基本上代表了钢管混凝土拱桥的总体发展趋势。

钢管混凝土拱桥在相当长时间内没有被铁路行业认可，至 2001 年铁路上才出现第一座钢管混凝土拱桥，此后建设数量呈缓慢但呈增长的趋势。这一方面得益于钢管混凝土拱桥技术的不断成熟，另一方面也因为铁路（特别是山区铁路）建设的需要，钢管混凝土拱桥因较之索结构具有更大的刚度，较

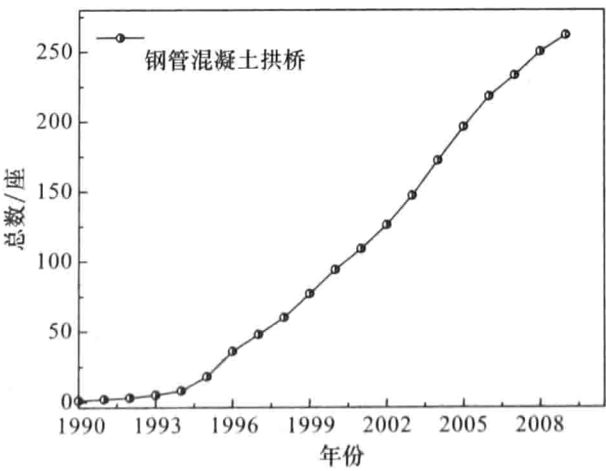


图 1.1-1 钢管混凝土拱桥数量增长趋势图

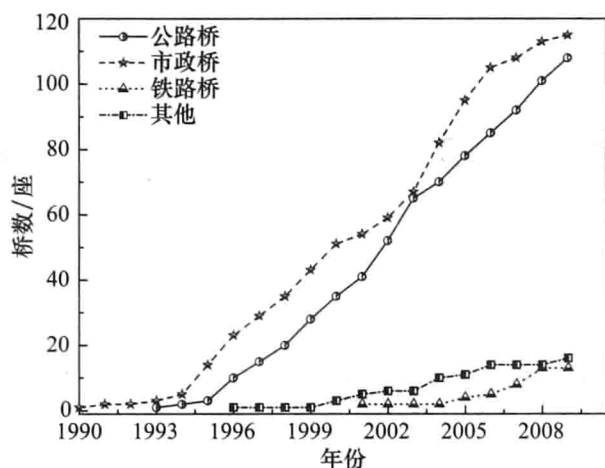


图 1.1-2 钢管混凝土拱桥行业分类增长曲线

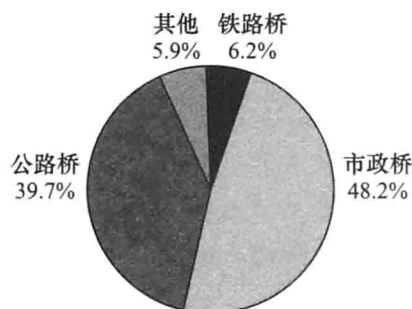


图 1.1-3 钢管混凝土拱桥行业分布图

之钢筋混凝土拱桥在施工方面、较之钢拱桥在经济方面有更大的优势，而受到青睐。

至于其他用途桥梁，如人行桥，修建的主要是小跨径的桥梁，跨径在 50m 以上的相对较少。

1.1.3 地域分布

按照地理区域可将我国大陆地区分为华东（江苏、安徽、江西、浙江、福建、上海）、华南（广东、广西、海南）、华中（湖北、湖南、河南）、华北（北京、天津、河北、山西、山东、内蒙古部分）、西北（宁夏、新疆、青海、陕西、甘肃、内蒙古部分）、西南（四川、重庆、云南、贵州、西藏）、东北（辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古部分）七大区域，这七个地区钢管混凝土拱桥数目随时间变化趋势如图 1.1-4 所示（统计桥例 327 座）。从图中可以看出，各个地区的钢管混凝土拱桥的数目呈现均匀增长的趋势，其中以华东地区修建的数量最多（占到总数的 43.6%），增长也最快，这可能与这一地区的经济建设最为迅速有关。其余各地区分布较均匀，差别不大，东北地区的钢管混凝土拱桥的修建数量最少，到目前为止仅统计到 11 座。

钢管混凝土拱桥区域的分布比较广泛，这得益于钢管混凝土拱桥丰富的结构形式。文献 [2] 统计表明钢筋混凝土拱桥 60% 以上分布在西南等多山地地区，这主要是由于钢筋混凝土拱桥自重较大，水平推力较大，不适合于软弱地基；另一方面，上承式拱桥在平原地区

的修建存在着通航和两头接线两方面的问题。而钢管混凝土拱桥中大量应用的中下承式则能够很好地解决上述问题。

1.1.4 结构形式

对钢管混凝土拱桥的结构形式以车承形式和有无推力进行组合，分为上承式、（有推力）中承式、飞鸟式、下承式拱梁组合、下承式刚架系杆以及其他六种结构形式。对主要的五种结构形式进行分析，见表 1.1-1（统计桥例 318 座）。

从结构形式来看，中承式和下承式拱

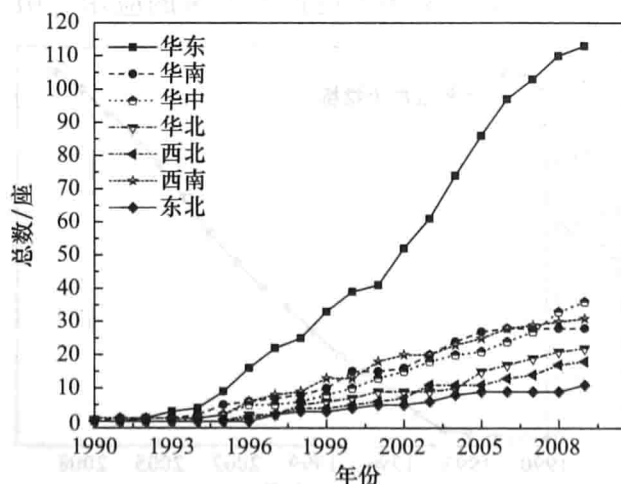


图 1.1-4 各区域钢管混凝土拱桥数目的增长曲线

梁组合所占的比例较大，两者分别为总数的 29.2%和 38.1%；其次为飞鸟式，占到总数的 14.8%；其余结构形式占比例较小。

各种结构形式钢管混凝土拱桥数量及跨径的范围 表 1.1-1

跨径 结构形式		50~100 (m)	100~200 (m)	200~300 (m)	300 以上 (m)	总数 (座)	百分比
上承式		6	7	5	2	20	6.3%
中承式		25	50	14	4	93	29.2%
飞鸟式		11	27	7	2	47	14.8%
下承式拱梁组合		82	38	1	0	121	38.1%
下承式刚架系杆		13	14	1	0	28	8.8%
其他		2	5	1	1	9	2.8%
总数	(座)	139	141	29	9	318	100%
	百分比	43.7%	44.4%	9.1%	2.8%		

从跨径方面分析，钢管混凝土拱桥的跨径范围主要应用在 200m 以内，已建成的桥梁中，仅有 9 座桥的跨径超过了 300m。上承式、中承式和飞鸟式拱桥的应用范围较广，在 300m 以下分布相对均匀，并且在 300m 以上也有应用；下承式拱梁组合与下承式刚架系杆主要应用范围在 200m 以内。

截至 2010 年 6 月，已建成的钢管混凝土拱桥各类结构形式最大跨径桥例如表 1.1-2 所示。

各种结构形式钢管混凝土拱桥最大跨径 表 1.1-2

结构形式	桥梁名称	跨径 (m)	建成时间
上承式	湖北支井河大桥	430	2009
中承式	巫山长江大桥	460	2005
飞鸟式	湖南茅草街大桥	368	2006
下承式拱梁组合	河南蒲山大桥	225	2009
下承式刚架系杆	湖北武汉江汉三桥	280	2000
其他	湖南湘潭湘江四桥	400	2007

图 1.1-5 为各类型钢管混凝土拱桥最大跨径随时间增长的曲线。从中可以看出，随着桥梁结构的轻型化以及理论研究、施工技术的不断发展，各种结构形式的钢管混凝土拱桥跨径也在不断地增加。

2013 年建成的四川合江大桥为中承式钢管混凝土拱桥，跨径达到 530m，从而使钢管混凝土拱桥的跨越能力达到了与钢拱桥同一级别的水平。

1.1.5 施工方法

钢管混凝土拱桥的施工方法形式多样，将其分为悬臂拼装、转体施工、支架施工三种主要的施工方法以及“其他方法”，得到图 1.1-6 的统计结果（统计桥例 195 座）。

从图 1.1-6 可以看出，对于上承式，悬臂拼装和转体施工是主要的施工方法，只有两座小跨径的跨高速路桥采用了支架施工；拱梁组合桥型中，则主要采用悬臂拼装与支架施工这两种施工方法；其他桥型均以悬臂拼装为主。

拱桥施工方法的选择与桥梁的跨径有一定的联系。图 1.1-7 为施工方法与桥跨径的关系图。从图中可以看出悬臂拼装和转体施工应用范围较广，并且较多应用于跨径大于 100m 的桥梁。而支架施工和其他施工方法（主要为整体吊装、整体拖拉等施工方法）多

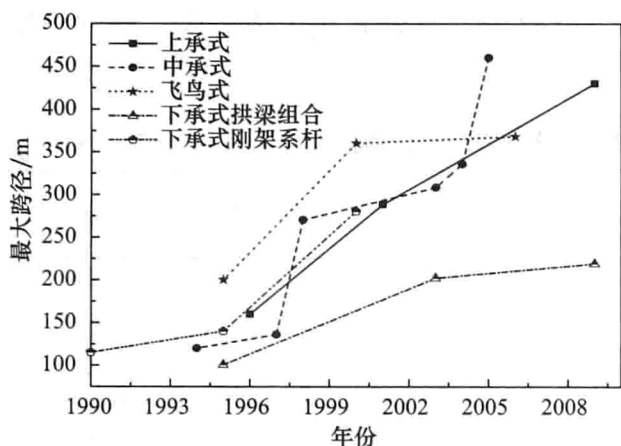


图 1.1-5 钢管混凝土拱桥最大跨径增长趋势

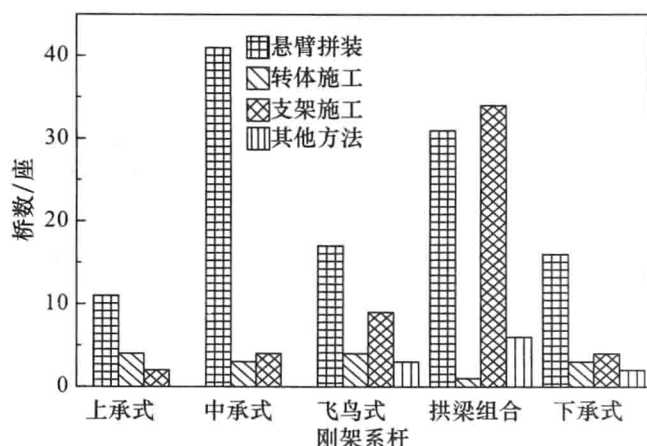


图 1.1-6 施工方法与结构形式的关系

应用于跨径小于 200m 的桥梁。

图 1.1-8 为各种钢管混凝土拱桥桥型在不同行业中的应用情况。在公路桥梁中，中承式和下承式拱梁组合结构数量较多，占总数的 71.4%，其次是上承式和飞鸟式分别占到 12.6%和 10.9%；在市政桥梁中，下承式拱梁组合数量最多，占总数的 40.6%，中承式、飞鸟式、下承式刚架系杆拱桥的数量相当，因为桥面标高和地质条件较难满足，未见上承式在市政桥中应用的桥例。铁路桥和其他结构类型的桥梁中，则主要以下承式拱梁组合结构为主。

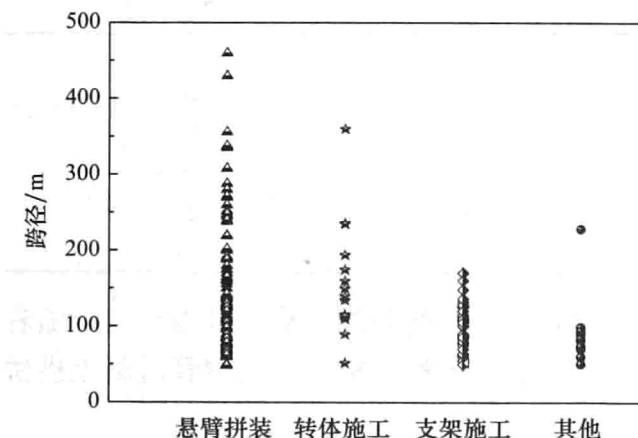


图 1.1-7 施工方法与跨径的关系

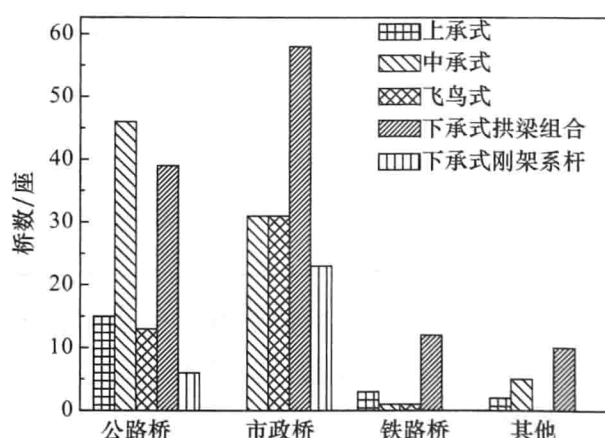


图 1.1-8 桥型的行业分布图

1.2 钢管混凝土拱桥技术标准发展简介

在工程经验大量积累的同时，对钢管混凝土拱桥的理论与应用研究也在持续不断地开展之中。1998 年，交通部（现交通运输部）下达了行业标准《钢管混凝土拱桥设计规范》、《钢管混凝土拱桥施工技术规范》的编制任务，由重庆交通科研所（现招商局重庆交通科研设计有限公司）主编，于 2004 年完成了送审稿。同年，西部交通科技项目资助了《钢管混凝土拱桥设计、施工与养护关键技术研究》。为此，交通部决定延迟行业标准的审批准布，待西部交通科技项目研究结束后，根据所取得的研究成果，制订钢管混凝土拱桥

的相关行业标准。

2007年西部交通科技项目结束后,交通运输部下达了行业标准《钢管混凝土拱桥设计规范》的编制任务,由四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院主编,目前已完成了送审稿^[3]。

在标准方面最早出现钢管混凝土拱桥内容的是《公路工程质量检验评定标准》JTJ 071—94^[4]中,随后在JTJ 071—97^[5]中对有关钢管混凝土拱桥的内容进行了修订。

《公路桥涵施工技术规范》JTJ 41—2000^[6]中也增加了钢管混凝土拱桥的内容,2011年在新版的规范JTJ/T F50—2011^[7]中又对相关内容进行了修订。

第一本钢管混凝土拱桥的专门技术标准是福建省工程建设地方标准《钢管混凝土拱桥技术规程》DBJ/T 13-136—2011^[8](住房和城乡建设部备案号:J11 833—2011),由福州大学与中建七局三公司主编,2008年开始编制,2011年4月发布,2011年7月15日正式实施。该规程以公路与城市钢管混凝土拱桥为对象,包括了设计、施工与养护等内容。

2011年7月重庆市交通委员会发布重庆市公路工程行业标准《公路钢管混凝土拱桥设计规范》CQJTG/T D 66—2011^[9],2011年11月1日正式实施。

2011年3月,《钢管混凝土拱桥技术规范》列入国家建设标准的制定任务,由福州大学与中建海峡建设发展有限公司(原中建七局三公司)主编,适用范围为公路与城市钢管混凝土拱桥的设计、施工与养护等。在所有参编单位的共同努力下,于2012年形成了报批稿。2013年11月1日发布,2014年6月1日正式实施,标准号为GB 50923—2013^[10]。

1.3 国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》编制概况

1.3.1 编制指导思想

国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923—2013(为简洁起见,本书中未明确规范名时,用国标或规范指本规范)适用于我国市政工程与各级公路钢管混凝土拱桥的设计、施工与养护。规范中的钢管混凝土拱桥是指以圆形钢管混凝土拱肋为主要承重结构的桥梁。

就一座桥梁而言,其生命周期(life cycle)可分为规划建设期、使用与回收期两大阶段。规划建设期又可分为规划、设计与施工三个阶段,使用与回收期又可分为使用养护期和拆除回收期两个阶段,因此桥梁生命周期又可细分为五个阶段。就桥梁结构来说,设计、施工与养护是其生命周期中最重要的三个阶段。因此,将这三个阶段在同一本规范中考虑,有利于以生命周期的角度,全面、一致、协调地提出各个阶段的技术要求。为此,编制组的构成中包括了在钢管混凝土拱桥研究、设计、施工和养护等各个方面具有丰富经验的单位与人员。

从1.1节可知,我国钢管混凝土拱桥应用于公路和市政桥梁的占总数的87.9%。从现有的桥梁标准体系来看,虽然分为公路桥梁与城市桥梁两大体系,但二者相差不大且以公路桥梁的规范更为齐全,因此,将公路和城市钢管混凝土拱桥技术规范置于同一本规范中是可行的,也是合适的。为此,在规范编制单位构成时,公路部门和市政部门单位都有,这也有利于集中我国钢管混凝土拱桥的技术力量,来编好这本规范。

作为以钢管混凝土拱桥为主要对象的技术规范,其内容以这种桥型与其他桥型有特殊

性的钢管混凝土拱肋、吊索、系杆索的内容为主,对于桥梁上部结构的桥面系、下部结构、基础以及桥梁附属结构等,已有成熟的行业规范,则要求根据工程性质,分别满足公路或城市桥梁相关规范的要求。

对于具体的桥梁对象,本规范适用的对象为以圆形钢管混凝土拱肋为主要承重结构的桥梁。钢管混凝土有圆形截面、方形截面和其他形式截面。圆形钢管混凝土由于平面形状为轴对称,受力性能好,钢管加工容易,因而在钢管混凝土拱桥中应用最广泛,理论与工程应用较为成熟。

1.3.2 规范的主要内容

本规范主要技术内容包括:总则、术语和符号、材料、基本规定、持久状况承载能力极限状态计算、持久状况正常使用极限状态计算、结构与构造、钢管拱肋制造、焊接施工、防腐涂装施工、钢管拱肋架设、管内混凝土的浇注、其他构造施工、养护等,共14章。这14章大致可分为通用部分、设计、施工和养护四大部分。

第1章至第3章,分别为总则、术语和符号、材料,可归入通用部分中。

第4章至第7章,分别为基本规定、持久状况承载能力极限状态计算、持久状况正常使用极限状态计算、施工阶段计算、结构与构造,以钢管混凝土拱桥设计为主。其中,第4章的基本规定,不仅与设计有关,也将施工与养护的一些基本规定纳入其中。

第8章至第13章,分别为钢管拱肋制造、焊接施工、防腐涂装施工、钢管拱肋架设、管内混凝土的浇筑和其他构造施工,以钢管混凝土拱桥的施工为主。

第14章为钢管混凝土拱桥养护。

从具体内容来看,规范主要针对的是钢管混凝土拱桥中的钢管混凝土拱肋等特殊结构,其他结构,如桥面系、墩台与基础等钢结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构的设计计算与验算,应符合公路或城市桥梁的相应的设计、施工与养护规范标准的要求,如《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》JTJ 025、《公路圬工桥涵设计规范》JTJ D61、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJ D62和《公路桥涵地基与基础设计规范》JTJ D63等。材料和施工质量验收应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《公路工程质量检验评定标准》JTJ F80/1和《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2等的要求。

本规范的内容均是基于近20年来国内外钢管混凝土拱桥理论研究成果和工程实践经验所提出的较为成熟的设计方法和最基本的施工、养护技术要求。当实际工程中钢管混凝土拱桥的受力状况、材料性能、施工、养护方法等基本技术条件与本规范的编制依据有出入时,则需根据具体情况通过试验分析或专项科研等方式加以解决。

1.3.3 关于强制性条文

国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923—2013中强制性条文有两条,分别为第7.4.1条和第7.5.1条,即:

7.4.1 钢管混凝土拱桥的吊索与系杆索必须具有可检查、可更换的构造与措施。

7.5.1 中承式和下承式拱桥的悬吊桥面系应采用整体性结构,以横梁受力为主的悬吊桥面系必须设置加劲纵梁,并应具有一根横梁两端相对应的吊索失效后不落梁的能力。

这两条强制性条文是根据我国钢管混凝土拱桥的工程实践经验总结出来的。我国中、下承式拱桥过去多采用以横梁受力为主且无加劲纵梁的桥道系,已发生了多起吊索破坏后

车辆、横梁和桥面板坠落的严重后果。造成这种严重事故的主要原因，一是索的破断，二是桥面系强健性不足。

吊索与系杆索的使用寿命小于主结构且为易损构件，因此，除了在设计中应采取防水、防腐构造与措施外，必须具有可检修性与可更换性。因此，提出第 7.4.1 条的强制性规定。

第 7.5.1 条则是基于结构强健性的要求而提出的，它是为防止偶然作用下或因局部构件破坏而产生严重破坏后果的重要保证。

1.4 本书主要内容

本书主要涉及《钢管混凝土拱桥技术规范》中的设计计算部分，后述共有九章，以规范编制过程中所进行的有关专题研究内容为主。

每章先介绍计算方法，除了规范中给出的公式与算法外，有些还给出了更加具体的计算公式；随后介绍规范对这一计算方法采用的理由，这部分以规范编制时的专题研究资料为主，当有多种计算方法时还进行了一定的比较分析。当介绍《规范》中的公式时，公式号为《规范》中的公式号，以【】表示。对于非《规范》中的公式，则采用本书连续统一的公式号，以（）表示。

本书共分 10 章。

第 1 章“概述”，主要介绍钢管混凝土拱桥应用、钢管混凝土拱桥技术标准发展和国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》的主要构成，为钢管混凝土拱桥的设计计算应用打下基础。

第 2 章至第 10 章，主要针对钢管混凝土拱桥设计计算中的拱肋部分，介绍的顺序以国家规范的章节顺序为主。其中，第 2 章至第 4 章，主要介绍国标第 4 章中的几个关键问题。

第 2 章和第 3 章对国标 4.2 节钢管混凝土拱桥有别于其他桥梁的作用计算中的冲击系数和温度作用进行介绍。第 2 章介绍了冲击系数的研究情况和可供估算的钢管混凝土拱桥一阶竖向频率公式及其来源。第 3 章则介绍了钢管混凝土拱肋的计算合龙温度与有效温度的研究。

第 4 章主要介绍在设计计算中要用到的钢管混凝土拱肋的设计计算刚度和毛截面刚度，它是国标 4.3 节的重要内容之一。

第 5 章至第 9 章，主要介绍国标第 5 章有关钢管混凝土拱肋的“持久状况承载能力极限状态计算”的内容。

第 5 章介绍钢管混凝土单圆管截面承载力计算。圆形钢管混凝土构件是钢管混凝土拱肋的基本单元。为保证结构的安全，无论是在单管截面，还是哑铃形和桁式截面中，均要对圆钢管混凝土构件进行承载力验算。因此，它是国标承载力计算方法的基础内容，也是本书后面章节介绍的基础内容。此外，对于工程中常见的钢管与管内混凝土脱粘现象，国标中对其承载力进行了折减，本章对这一问题的研究也进行了介绍。

第 6 章介绍钢管混凝土哑铃形、格构短柱极限承载力计算，它包括轴压短柱和偏压短柱。与房屋建筑中以单圆管截面为主不同，钢管混凝土拱桥，特别是大跨度桥梁中，常用