

钢管混凝土超宽提篮拱桥 施工控制关键技术

主 编 ○ 籍建云 邬晓光

副主编 ○ 黄朝合 赵庆权 孙志伟



人民交通出版社
China Communications Press

014013251

U448. 22

08

要 要 容 内

钢管混凝土超宽提篮拱桥
 施工控制关键技术

钢管混凝土超宽提篮拱桥 施工控制关键技术

Construction Control of CFST Arch Bridge

主 编 籍建云 郭晓光

副主编 黄朝合 赵庆权 孙志伟



U448.22/08



人民交通出版社
 China Communications Press



北航

C1700556

014013521

内 容 提 要

本书系统介绍了钢管混凝土超宽提篮拱桥施工控制关键技术,主要包括:钢管混凝土提篮拱桥施工方案优选,提篮拱桥主拱肋竖转施工控制,主拱肋竖转施工预拱度仿真计算,提篮拱桥灌注混凝土施工控制,提篮拱桥施工吊杆应力及横梁挠度分析,提篮拱桥施工监测与分析,提篮拱桥施工温度非线性研究,提篮拱管内混凝土防脱空技术研究等。

本书可供公路桥梁工程专业领域的施工监控、业主、设计、监理及施工单位的技术人员参考使用,亦可作为从事土木工程的相关专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢管混凝土超宽提篮拱桥施工控制关键技术 / 籍建云, 郭晓光主编. —北京: 人民交通出版社, 2013. 12
ISBN 978-7-114-10948-5

I. ①钢… II. ①籍…②郭… III. ①钢管混凝土拱桥—桥梁施工—工程技术 IV. ①U448.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 245196 号

书 名: 钢管混凝土超宽提篮拱桥施工控制关键技术

著 作 者: 籍建云 郭晓光

责任编辑: 高 培 温鹏飞

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)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 11.5

字 数: 231 千

版 次: 2013 年 12 月 第 1 版

印 次: 2013 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10948-5

定 价: 35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

钢管混凝土(CFST)是指在钢管中填充混凝土而形成的且钢管及其核心混凝土能共同承受外荷载作用的结构构件,按截面形式不同,可分为圆钢管混凝土,方形、矩形钢管混凝土和多边形钢管混凝土等。这样的截面形式可以借助钢管对混凝土的套箍作用,三向约束管内混凝土使其处于三向受压状态,从而提高了核心混凝土的抗压强度及变形能力;在空钢管内浇筑混凝土,又可以提高其结构稳定性。这种组合材料充分利用了钢材和混凝土的各自优点,具有抗压强度大、塑性和韧性好、施工方便等特点,在建筑及土木工程中得到了广泛应用。

近年来,我国大力加强交通基础设施建设,需修建大量的桥梁,使我国桥梁技术迅速接近或者有些方面已达到国际先进水平。钢管混凝土拱桥在我国的发展则更加迅猛,20世纪50年代后,我国便对钢管—混凝土组合材料进行了系统的研究,并将这种材料应用于地铁车站及工业厂房的柱系结构中。1990年,我国第一座钢管混凝土拱桥——四川旺苍东河大桥建成通车,其跨径达115m。据统计,从1990年至今,国内已经建成的或正在建设中的钢管混凝土拱桥就达到了230座以上,跨径200m以上的特大桥有30多座,如跨径200m的广东南海三山西大桥,跨径420m的重庆万县长江大桥,跨径460m(世界最大跨径)的重庆巫山长江大桥等。

内倾提篮拱也在钢管混凝土拱桥中得到广泛应用,提篮拱桥与其他类型拱桥相比具有更好的横向稳定性,其横向稳定性可比平行拱提高1.2~2.0倍。同时提篮拱线形优美,是一种经济美观的桥型。我国钢管混凝土拱桥中也出现了提篮拱,提篮拱随着倾角的增大,会使下部结构工程数量也相应增大。尽管钢管混凝土拱桥发展很快,其计算理论却在不断的研究之中,且在理论、计算方法、规范制定等一些方面还不完善,许多问题有待于进一步深入研究,其中提篮拱桥横向受力与变形问题、灌注混凝土施工控制、吊杆施工应力及横梁挠度、提篮

拱桥施工高精度监测、施工温度非线性及提篮拱管内混凝土防脱空技术等诸多问题一直是桥梁关注的重要课题。

据此石家庄市京昆高速公路京石管理处与长安大学公路学院联合成立课题组,专项攻关研究超宽大跨钢管混凝土提篮拱桥施工监控关键技术,该课题被河北省交通运输厅列为2011年度重点科技项目攻关课题。本项目重点研究超宽大跨钢管混凝土提篮拱桥施工控制关键技术,其主要研究内容包括:钢管混凝土提篮拱桥施工方案优选,提篮拱桥主拱肋竖转施工控制,提篮拱桥灌注混凝土施工控制,提篮拱桥施工吊杆应力及横梁挠度分析,提篮拱桥施工现场监测与分析,提篮拱桥施工温度非线性研究,提篮拱管内混凝土防脱空技术研究等。

本书是根据超宽大跨钢管混凝土提篮拱桥施工监控关键技术研究课题主要内容编写的,由石家庄市京昆高速公路京石管理处籍建云、黄朝合,长安大学公路学院邬晓光,内蒙古自治区通辽市交通工程局赵庆权及长安大学孙志伟博士共同编写。其中籍建云编写第一、第二、第三章,邬晓光编写第八、第九章,黄朝合编写第六、第七章,赵庆权编写第五章,孙志伟编写第四章。书中有关结构的仿真计算由长安大学公路学院孙志伟博士和顾箭峰博士完成,相关的绘图与数据录入工作则是由长安大学公路学院硕士研究生郭聚坤、杨兴涛、张闯、刘丘晨、刘恒及孔祥亮完成的。在本书编写的过程中得到了石家庄市京昆高速公路京石管理处李磊、牛振辉等专家的热情指导,还得到了人民交通出版社的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

邬晓光

2013年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 钢管混凝土及应用	1
第二节 钢管混凝土提篮拱桥的特点及应用	2
第三节 超宽钢管混凝土提篮拱施工控制	4
第二章 依托工程及施工方案优选	9
第一节 依托工程	9
第二节 施工方案比选	11
第三节 竖转施工方案优化	13
第三章 提篮拱桥主拱肋竖转施工控制	14
第一节 竖转仿真有限元模拟	14
第二节 主拱肋竖转施工仿真分析	16
第三节 吊耳施工控制仿真计算	35
第四节 两主拱肋横向同步仿真计算	42
第四章 主拱肋预拱度仿真计算	51
第一节 计算工况及结构计算	51
第二节 用 Midas 计算的主拱肋预拱度	53
第三节 用 SAP2000 计算的主拱肋预拱度	57
第五章 提篮拱桥灌注混凝土施工控制	67
第一节 灌注混凝土施工控制	67
第二节 选择混凝土最佳灌注方案	69
第六章 吊杆施工应力及横梁挠度计算	92
第一节 用 Midas 计算吊杆应力及横梁挠度	92
第二节 用 SAP2000 计算吊杆应力及横梁挠度	97
第七章 提篮拱桥施工现场监测与分析	104
第一节 应变计的埋设及布置	104
第二节 应变计数据的分析	112

第八章 提篮拱桥施工温度非线性研究	126
第一节 非线性温度场的数值模拟及现场试验	126
第二节 温度应力计算	129
第三节 混凝土水化热计算模型	134
第四节 现场试验方案	138
第五节 试验监测数据及数值模拟	141
第九章 提篮拱管内混凝土防脱空技术研究	145
第一节 钢管混凝土拱桥非线性屈曲 ANSYS 分析	145
第二节 钢管混凝土拱桥脱空极限承载力的 ANSYS 分析	147
第三节 桥梁设计时脱空极限承载力折减系数	156
第四节 桥梁设计脱空预防措施	158
第五节 桥梁施工过程中的防脱空措施	165
参考文献	168

到大量的应用,据不完全统计,已建和在建的钢管混凝土系杆拱桥已达 200 余座。

由于钢管混凝土结构在桥梁上的应用,同时解决了拱桥高强度材料应用和轻型化施工两大难题,能够获得较佳的综合效益,适合我国国情;又恰逢我国近年来大力发展交通基础设施,需要修建大量的桥梁,加之我国在钢管混凝土方面的理论研究和拱桥施工技术均处于世界前列。因此,钢管混凝土拱桥在我国得到迅速发展,并处于世界领先水平。

近几年来,设计者对拱肋结构进行了进一步研究,拱肋截面形式有了进一步的发展,如:单圆形、哑铃形、多肢析式、横哑铃析式和箱肋式等;施工方法也逐步成熟,主要有支架法、一般吊装法、转体吊装法、转体施工法和斜拉扣挂法。

第二节 钢管混凝土提篮拱桥的特点及应用

钢管混凝土提篮拱桥越来越多的出现在桥梁施工当中,受到越来越多的青睐,它本身具有以下突出的优点:

1. 稳定性好

具有比常见的上承式拱大得多的面外稳定性:下承式拱的横向稳定承载力通常是上承式拱的 9~60 倍。计入非保向力的影响,结论基本相同。而提篮拱的临界荷载又比相同情况下的平行肋拱的临界荷载高 20%~200%。此外,提篮拱保留有一般平行肋拱的特点,既可以做成对下部无推力的中、下承式系杆拱,适用于软土地基,也可以做成有推力的中承式拱,应用于山岩地区。

2. 放松了对拱桥的宽跨比的要求

现在建设施工中桥梁的横向稳定性是通过桥梁规范规定的宽跨比来实现的,但是针对大跨度的提篮拱桥,按照规范中宽跨比的规定,结构的设计就会出现不合理的构造,另外桥梁规范中对于宽跨比的规定并不能保证桥梁的横向稳定性能,因此提篮拱桥的设计中放宽了对桥梁宽跨比的要求。

3. 良好的施工稳定性及抗震性能

在抗震性能和施工稳定性方面 X 型肋拱桥要优于平行肋拱桥,这是因为桥梁的横向稳定性决定了结构的抗震性能和横向稳定性;另外,通过实际的桥梁实例分析和地震灾害调查研究分析也表明,X 型肋拱桥的受力方式要优于平行肋拱桥,X 型肋拱桥的抗震性能得到了很大的提高。同时,理论分析和实际震害调查都表明,由于提篮拱的静力计算图式的改进,其抗震性能也得到了很大的提高。

提篮拱和平行拱相比对拱桥横向稳定的影响主要有两个方面:一方面提篮拱的肋距变化,或者拱脚肋距加大,或者拱顶肋距缩小,对中、下承拱一般情况下两者均有变化,前者显然使平均的宽跨比加大,后者使横向联系长度缩短、刚度加大,对横向稳定都是有利的;另一方面,桥面系恒载及活载传递给拱肋时不是垂直的,而是带有倾角的,有水平分力产生。对上承式,立柱所产生的水平分力有加强侧倾的作用;而对于中、下承式,吊杆所产生的水平分力对拱肋的侧倾产生约束作用。

通过对钢管混凝土提篮拱桥特点的分析,能够更好地指导我们的实践,最大限度的发挥提篮拱桥的优势,避免不利因素的影响。

近年来,我国大力加强交通基础设施建设,需修建大量的桥梁,使得我国桥梁技术迅速接近国际先进水平,有些方面已达到国际先进水平。桥梁美学日益受到重视,拱桥是一种极具美学价值的桥梁形式,在我国又有深厚的文化基础。钢管混凝土拱桥在我国的兴建方兴未艾,跨径在不断突破,形式在不断创新,技术在日益提高。

内倾提篮拱也在钢管混凝土拱桥中得到广泛应用。提篮拱桥是将通常的中(下)承式拱桥的拱肋向桥轴线方向倾斜而形成的一种空间拱式结构。和其他类型的拱桥相比,提篮拱桥在横向稳定性方面有独到的优势。提篮拱显然能提高拱的横向稳定性,其横向稳定性可比平行拱提高 1.2~2.0 倍,同时也会降低拱肋的面内极限承载力。同时提篮拱的形式极富美学价值,在宽跨比较小的钢管混凝土拱桥设计中应用较多,是一种经济美观的桥型。

提篮拱随着倾角的增大,会使下部结构工程数量也相应增大。近几年来,我国也有多座提篮拱出现,且在钢管混凝土拱桥中也出现了提篮拱。表 1-1 列出我国部分已建成的钢管混凝土提篮拱桥。

我国部分已建的钢管混凝土提篮拱桥

表 1-1

序 号	桥 名	跨径(m)	结 构 形 式	倾角(°)
1	安徽太平湖大桥	336	中承式	10
2	丹东月亮湾大桥	202	下承式	5.787
3	河北滦陀河大桥	200	中承式	10
4	北盘江大桥	236	上承式	6.5
5	四川绵阳涪江大桥	202	中承式	8
6	浙江三门口跨海大桥	270	中承式	8
7	连续京杭运河特大桥	235	中承式	10

第三节 超宽钢管混凝土提篮拱施工控制

一、超宽提篮拱施工控制目的

随着钢管拱桥跨径和数量的日益增长,我国钢管混凝土拱桥施工技术已达到世界领先水平。然而理论研究相对滞后,目前国内尚未颁布较统一完善的钢管混凝土拱桥施工技术规范,导致该类桥梁施工往往无章可循。而超宽大跨钢管混凝土提篮拱桥更是由于横向宽度大、跨度大等特点,其施工过程更难控制。

随着社会经济与技术水平的日益提高,支架法、缆索吊装、转体施工法等多种工艺已运用到大跨钢管混凝土拱桥的施工中,而该类桥梁竖向转体施工过程仿真分析、施工过程钢管拱非线性温度影响、灌注混凝土仿真模拟分析、管内混凝土脱空预防控制技术、索力优化及标高控制等方面研究甚少,导致该类桥梁的施工往往难以控制。而宽幅大跨提篮拱桥横向同步提升控制、温度非线性影响和灌注混凝土技术要求更加严格,控制不严往往会导致桥梁结构成桥质量无法达到设计要求,甚至在施工过程中发生失稳破坏及垮塌。

因此,研究宽幅大跨钢管混凝土提篮拱桥施工监控关键技术,不仅是钢管混凝土拱桥理论发展的需要,也是工程界的迫切要求。只有通过对竖转过程仿真分析,才能了解该类桥梁拱肋该阶段的受力性能和变形状况,提出监控的关键点,保证竖转安全;对安装和混凝土养护阶段拱肋非线性温度影响进行研究,掌握日照、环境、水化热等温度对钢管拱肋和混凝土拱肋的不利影响,得到可指导施工控制相应的温度控制指标;对管内混凝土灌注过程进行研究,确保拱肋的施工稳定性和该关键施工阶段中拱肋结构的安全;对管内混凝土脱空预防控制技术进行研究,可保障成桥后拱肋的密实度,防止该类桥梁的极限承载力降低;索力优化及标高控制研究不仅可防止该类桥梁施工反复调索的发生,而且可指导其线形的控制。因此为保障超宽钢管混凝土提篮拱桥的施工安全和成桥质量,且为今后同类桥梁的施工控制和设计提供一定的参考和指导,必须要进行施工控制研究。

二、超宽提篮拱施工控制内容

根据各施工阶段,对超宽提篮拱桥施工控制的内容如下:

(1)竖转施工阶段:主拱肋竖向转体施工监控就是要确保主拱肋在竖向转体过程中的应力和变形符合设计要求,严格做到双控。施工监控内容包括:

①主墩拱座处临时转动铰的监控;②主墩拱座的位移监控;③提升塔架的应力与变形监控;④主拱肋的同步提升监控;⑤主拱肋的应力与变形监控。

(2)管内混凝土灌注阶段:温度、线形及应力控制是管内混凝土灌注阶段施工控制的关键,其决定了成桥后拱肋的受力状况。监控内容包括:①拱肋温度监控;②拱肋钢管应力监控;③拱肋管内混凝土应力监控;④拱肋线形监控。

(3)吊杆张拉转施工阶段:该阶段吊杆应力、拱肋和桥面系线形控制为施工监控的关键,影响了成桥拱肋和桥面系的受力性能及行车舒适度。施工监控内容主要包括:①吊杆索力监控;②钢横梁线形监控;③桥面系标高监控;④拱肋线形监控。

三、超宽提篮拱施工控制关键技术

采用有限元仿真模拟、理论计算、实桥监控及对比分析等手段对宽幅大跨钢管混凝土拱桥竖向转体施工过程仿真分析、施工过程钢管拱非线性温度影响、灌注混凝土仿真模拟分析、管内混凝土脱空预防控制技术、索力优化及标高控制等施工关键技术进行研究。具体施工控制关键技术研究如下:

1. 竖向转体施工过程仿真分析研究

应用有限元仿真模拟依托桥梁竖转过程,计算分析提升结构构造及上下游拱肋横向高差等因素对钢拱肋、提升塔架等竖转结构的受力性能及稳定性的影响,且与现场实测结果进行对比分析,提出宽幅大跨钢管混凝土拱桥竖转施工的关键控制点及提升塔架的合理构造,对大跨度钢管混凝土拱桥施工控制的仿真模拟的研究具有重要的理论意义和工程价值。具体研究内容如下:

(1)运用有限元软件 Midas Civil 对拱肋、提升塔架等转体结构进行仿真模拟,分析竖转各角度及合拢时转体结构的受力状况及纵向、横向变形,且对比分析计算值与实测值,验证了有限元分析的可靠性;进行结构稳定性分析,确定了竖转结构最不利受力状况及其最易失稳状况,得到竖转施工结构监控关键点及提升结构合理构造。

(2)利用有限元仿真分析竖转各角度时上、下游两主拱肋同步提升横向高差对结构的受力性能和变形的影响,得到超宽钢管混凝土提篮拱桥竖转施工的横高高差的限值。

2. 施工阶段钢管拱非线性温度影响研究

采用现场实测、理论分析及有限元仿真计算相结合的手段,研究钢管混凝土拱肋在日照、环境及管内混凝土水化热等温度作用下的截面温度场及温度效应,

并计算分析钢管混凝土拱肋冬季养护的各因素对结构的影响。研究结果不仅可为相关规范标准的进一步完善提供合理性意见,以推进钢管混凝土拱桥温度效应理论的发展,而且为今后钢管混凝土拱桥设计中温度效应分析提供一定的理论依据和技术参考。具体研究内容如下:

(1)理论分析钢管混凝土拱肋的温度作用原理,进行日照边界条件及太阳辐射作用的简化研究;现场实测日照作用下的钢管混凝土试件截面温度场,分析钢管混凝土拱肋截面的日照非线性温度场的特点,提出符合钢管混凝土拱桥拱肋沿截面直径方向的日照温度梯度模式。利用大型有限元分析软件 ANSYS 进行钢管混凝土拱肋日照温度场仿真分析,且对比分析理论温度场特征和温度梯度与实测数据,验证了提出的日照温度梯度模式的适用性及非线性温度场的准确性。

(2)理论分析在大跨度钢管混凝土拱桥的钢拱肋安装过程中环境温度和日照作用对结构线形与应力控制的影响,依托溁沱河特大桥,利用 ANSYS 软件有限元仿真分析钢管拱在安装过程中日照非线性温度场对结构的影响,给拱肋安装控制提供参考。

(3)在大量文献分析的基础上,总结出混凝土的水化热放热规律,并通过现场实测值对比验证,提出钢管混凝土浇筑前三天截面温度场;仿真计算依托桥梁的混凝土硬化过程,分析钢管混凝土结构的应力分布和发展规律。

(4)分析研究钢管混凝土冬季施工蓄热法养护问题。依据《建筑工程冬期施工规程》(JGJ/T 104—2011)中规定的混凝土工程养护规定及计算公式,对钢管混凝土冬季施工养护进行热工计算,分析养护过程中管内混凝土在各种条件下的温度变化及强度发展规律,并总结风速、保护层厚度、气温平均温度和入管混凝土温度等因素对混凝土养护温度及强度的影响。

3. 钢管拱灌注混凝土仿真模拟分析

研究钢管混凝土拱桥灌注管内混凝土阶段的仿真模拟方法和灌注顺序对结构影响,通过评价两种拱肋模拟方法的可行性,为今后该类桥梁灌注混凝土施工仿真分析提供理论依据和参考;而且分析灌注顺序对结构的影响,为将来四肢桁式钢管混凝土拱桥灌注混凝土施工设计和过程监控提供有益帮助和积累经验。具体研究内容如下:

(1)采用共线双单元法和联合截面法模拟拱肋来进行灌注管内混凝土仿真分析,且对比分析计算理论值和现场施工监测值,验证了双单元模型和换算单元模型仿真模拟钢管混凝土拱桥灌注混凝土施工均是可行的。

(2)采用联合截面模拟拱肋,建立 24 种管内混凝土灌注顺序模型,分析研究

灌注顺序对该类四肢桁式钢管混凝土拱桥应力、变形和稳定性的影响。验证了依托工程按设计灌注顺序施工较合理,且得到拱脚处拱肋应力和拱顶变形为灌注顺序评价指标,灌注上弦杆为改施工阶段最易失稳工序。

4. 管内混凝土脱空预防控制技术研究

系统归纳总结现有防脱空的措施,分析各措施的优缺点及适用范围,为各措施应用提供有益的参考。在有限元仿真分析的基础上,提出通过在钢管混凝土强度计算公式中考虑脱空折减系数来考虑脱空对拱肋承载力的影响的方法,探究出一种在设计中预防脱空影响的方法。提出全过程脱空防治技术的概念,且通过依托工程验证其预防和控制脱空的有效性,为今后钢管混凝土拱桥的防脱空提供技术指导。具体研究内容如下:

(1)从设计、施工、养护三大方面归纳和对比分析现有钢管混凝土脱空预防控制的措施,总结出各措施的优缺点及适用范围。提出建立脱空预防控制技术数据库及全过程预防控制的概念,得到一套钢管混凝土脱空预防控制的各阶段的详细方案,使得所采用的脱空预防控制措施效果更有效。

(2)建立依托桥梁 ANSYS 仿真模型,且考虑了核心混凝土的材料非线性和拱肋的几何非线性,计算分析脱空后钢管混凝土拱桥的承载力折减系数,提出了钢管混凝土拱桥设计时考虑脱空影响的新概念,即在承载力验算中将极限承载力折减系数乘到强度验算公式中。

5. 索力优化及标高控制研究

通过有限元仿真分析,研究竖转过程中钢管混凝土提篮拱桥扣索索力优化及拱肋线形控制和吊索索力优化及成桥拱肋线形控制,确定竖向转体角度不同时的最优索力和对拱肋线形影响最小吊杆索力优化方法。研究钢管混凝土提篮拱桥的钢横梁线形控制,提出的预拱度修正系数法来计算钢横梁的预拱度,并得到钢横梁预拱度修正计算式及预拱度方程。

(1)基于线性影响矩阵及多目标因素的优化理论,运用 Midas Civil 有限软件,对多个竖转角度时塔架、扣索、钢管混凝土拱桥拱肋共同工作下的施工阶段索力优化进行调整,并分析了考虑背拉索、稳定索与不考虑背拉索及稳定索对拱肋线形的影响。最终确定一组索力使竖向转体过程中的拱肋线形达到最优化。

(2)钢管混凝土提篮拱桥吊索索力确定对拱肋线形控制研究。运用有限元软件建立钢管混凝土提篮拱桥的施工阶段仿真计算模型,分别运用刚性吊杆法、刚性支承连续梁法、未知荷载系数法、直接吊装吊杆进行吊杆索力的优化,对比

分析各个计算结果对施工阶段拱肋的线形造成的影响,提出直接吊装吊杆的方法对拱肋的线形影响最小。

(3)有限元仿真计算横梁受力及预拱度,分析钢横梁的受力性能,计算在恒载下的位移、移动荷载下的变形,按规范规定方法、简化计算法、预拱度修正系数法计算的钢横梁预拱度,对比分析各法计算结果,提出可用于控制横向线形的钢横梁预拱度修正计算式。

第二章 依托工程及施工方案优选

第一节 依托工程

一、依托工程概述

滹沱河特大桥为张石高速公路石家庄北出口支线工程的一座特大桥,该项目位于石家庄市北部和正定县西部,路线总体呈南北走向,跨滹沱河流域。滹沱河特大桥起点里程为 K4+371.5,终点里程为 K6+942.5,全长 2.571km。该桥与线路方向呈 110° 角,由主桥与引桥组成。主桥采用 $40\text{m}+200\text{m}+40\text{m}$ 中承式提篮拱桥结构,主拱肋采用钢管混凝土桁架,边拱肋为混凝土箱形截面。主跨跨中与吊杆连接横梁采用钢横梁,其余为预应力混凝土横梁,横梁之间设置 2 根纵梁,见图 2-1。引桥采用 40m 组合 T 梁,先简支后连续结构,桥跨组合南岸: $20\times 40+30+16+40+30=1\,500\text{m}$,北岸: $30+19\times 40=790\text{m}$ 。全桥下部结构采用柱式墩、台,钻孔灌注桩基础。



图 2-1 滹沱河大桥主桥

1. 主要技术指标

(1) 道路等级: 高速公路。

(2) 设计时速: 100km/h 。

(3) 设计荷载: 公路-I 级。

(4)最大纵坡:4%。最小坡长 210m。

(5)桥面横坡:2%单向坡。

(6)地震作用:地震动峰值加速度为 0.10g,按Ⅶ度设防。

2. 水文、地质、气象

大桥所处地区平均降雨量 518mm,年内分配不均,年际变化较大。全年降水量集中在 6 到 9 月份,降水量约为 362mm,占全年降水量的 70%,这导致境内的河流具有汛期洪水暴涨暴落,枯水季节径流很小甚至断流的特点。

大桥所处地区出露岩性是第四系砂砾土、粉土、黏性土和黄土状土。5m 以下深度范围内均为第四系洪积、冲积形成的黏土、粉质黏性土、粉土、粉砂土、粉砂以及卵石土等,一般呈可塑、疏松—中密状态,工程地质条件简单。本项目所经区域无软弱夹层及其他不良地质条件存在,具有良好的路基工程地质条件。

气象。历年各月份最高气温(6 月份):40.2℃;历年各月份最低气温(1 月份):-9.0℃。

二、主桥结构及材料

1. 拱肋

主桥桥型为三跨中承式提篮系杆拱桥,主拱肋为钢管混凝土桁架。拱肋向桥中心线倾斜,倾角为 $78^{\circ}34'3''$,为空间曲线形式,两主肋顶端在主桥中心处为 20m,拱脚处两拱肋中心距离为 40.99m,以增强结构本身的稳定性和抗震性。拱圈的矢跨比为 1/4。主拱拱轴为悬链线,拱轴系数 $m=1.347$ 。横断面全宽 51.6m,横向在侧分带内布置两榀拱肋,每榀拱肋为 4- ϕ 1 200mm,钢管壁厚 24mm。四根钢管组成平行四边形断面,用缀板(每弦间),腹杆(每弦间)连接,平联缀板厚度 16mm,腹杆钢管直径为 610mm,壁厚均为 16mm。主钢管和缀板内灌注 C50 微膨胀混凝土;在第一根吊杆至拱脚段的主拱肋及边拱肋均为混凝土截面,采用 C50 混凝土,主拱肋为高 5m、宽 2.8m 的平行四边形截面,边拱肋为高 3.5m、宽 3.232m 的平行四边形截面。

2. 横向联系

两道拱肋之间设有 7 道 H 形横撑,每道横撑为空钢管构成的格构桁式梁。横撑中心尺寸为 3.5m $\times$ 3.8m;混凝土拱肋之间采用预应力混凝土横撑。

3. 立柱、横梁、纵梁

拱上立柱采用钢筋混凝土结构,立柱断面为 1.5m(横桥向) $\times$ 1.2m(纵桥向)。主桥跨中与吊杆连接横梁采用钢横梁,最大梁高 2.2m,顶面与桥面横坡相