

Lasa Najin Daqiao Shigong Jishu

拉萨纳金大桥 施工技术

编著 / 彭正勇 吴云 等 主审 / 刘元泉



人民交通出版社
China Communications Press

拉萨纳金大桥施工技术

彭正勇 吴云 等 编著
刘元泉 主审



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书分设计与探讨、试验与应用、施工技术与监控三篇,对拉萨市第一大桥——纳金大桥施工技术进行总结,涵盖从设计到主桥合龙的一系列新技术、新工艺,并收录了相关课题研究成果,包括工法、专利、方案以及合理化建议等,对每项技术工艺的技术要点进行了详细的描述、分析和总结,对西藏高原地区公路桥梁建设有一定的指导意义。

本书可供从事桥梁施工、科研、教学人员参考使用。

本书配有拉萨纳金大桥施工动画视频,请扫封底二维码下载。

图书在版编目(CIP)数据

拉萨纳金大桥施工技术/彭正勇等编著. —北京:
人民交通出版社,2013.7

ISBN 978 - 7 - 114 - 10765 - 8

I. ①拉… II. ①彭… III. ①公路桥 - 斜拉桥 - 桥梁
施工 - 工程技术 - 拉萨市 IV. ①U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 151229 号

Lasa Najin Daqiao Shigong Jishu

书 名:拉萨纳金大桥施工技术

著 作 者:彭正勇 吴云 等

责任编辑:刘倩 王文华

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:787×1092 1/16

印 张:13.75

字 数:320千

版 次:2013年7月 第1版

印 次:2013年7月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10765-8

定 价:78.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

本书编写委员会及编写单位

主 编:彭正勇 吴 云

副 主 编:赵成升 周桃玉 刘 阳 鞠加元 李 响

参编人员:刘英俊 杨 军 沈东平 邓巧林 张具文

张千旺 陈金顺 高红军 戴继涛 颜小强

山 桐 宋顺兵 齐 浩 杨 华 杜元林

(排名不分先后)

审 核:周 兵 田克平 曹玉新 朱金坤

主 审:刘元泉

编写单位:

中交一公局第二工程有限公司

拉萨市住房和城乡建设局

江苏省交通规划设计院股份有限公司

四川天接工程咨询监理有限公司

上海同济建设工程质量检测站

柳州欧维姆机械股份有限公司

前言

拉萨纳金大桥是西藏自治区“十一五”重点建设项目,也是规划的“拉萨市第一大桥”,工程投资规模大,施工工艺流程复杂,施工技术要求高。

为了进一步总结和提炼在高原高海拔地区大型结构工程施工经验、提高科技含量、拓宽中交一公局知识产权领域、打造核心竞争力,并为以后在西藏地区大型桥梁施工提供借鉴和指导,根据纳金大桥施工技术经验总结和部分成果,编著《拉萨纳金大桥施工技术》一书。

全书分“设计与探讨、试验与应用、施工技术与监控”三方面内容对拉萨纳金大桥施工技术进行总结,涵盖自桥梁设计到主桥顺利合龙的一系列新技术、新工艺,并收录了相关课题研究成果,包括工法、发明专利、优秀方案以及合理化建议等,对每项技术工艺措施关键之处进行了详细的分析、研究和总结。本书对西藏高原地区公路桥梁建设有一定的指导意义。

本书各部分编著分工:第一篇由彭正勇、吴云编著;第二篇由吴云、李响、张千旺编著;第三篇由赵成升、吴云、李响、刘阳、宋顺兵、邓巧林、杨军等编著。

本书经中交第一公路工程局有限公司相关专家审阅,并得到多位专家的指导,全书由中交第一公路工程局有限公司总工程师刘元泉先生主审,在此一并表示感谢!

由于作者学识浅薄,水平有限,加之时间仓促,书中可能存在需要商讨和完善甚至错误的地方,恳请读者给予批评指正。

编者

2013.5

目 录

绪论	1
----------	---

第 1 篇 设计与探讨

拉萨纳金大桥锚索索鞍模型设计及受力分析探讨	7
拉萨纳金大桥锚索索鞍抗滑抗摩阻设计过程分析与总结	13
拉萨纳金大桥抗震设计中的减隔震及防落梁措施探讨	19
拉萨纳金大桥箱梁 33m 宽幅轻型同步行走挂篮探讨	22

第 2 篇 试验与应用

拉萨纳金大桥卵石层旋挖桩施工新型复合型泥浆试验与应用	31
拉萨纳金大桥主桥 C50 高性能混凝土试验与应用	36
拉萨纳金大桥主桥高性能混凝土强度回弹检测试验	47
拉萨纳金大桥主梁高性能混凝土应用	53

第 3 篇 施工技术与监控

拉萨纳金大桥拉萨河卵石地层旋挖钻桩基施工技术	65
拉萨纳金大桥拉萨河卵石地层深水基坑施工技术	74
拉萨纳金大桥主桥 33m 宽幅大断面箱梁挂篮施工技术	82
拉萨纳金大桥索塔及斜拉索安装施工技术	144
拉萨纳金大桥施工监控技术	157
拉萨纳金大桥混凝土温度应力控制及裂缝防治技术	189

参考文献	199
工程掠影	201

绪 论

西藏自治区拉萨市纳金大桥是西藏自治区“十一五”重点建设项目,也是规划的“拉萨市第一大桥”。大桥位于拉萨市的东郊,沟通拉萨河两岸,是城市向东发展并连接新规划的百淀区的重要纽带,也是市规划的拉萨市东北绕城公路的组成部分。该桥将国道 318 线和北绕城公路连接,一起形成了拉萨市环城公路,优化了拉萨市对外交通的总体格局,形成一个城市外围的快速通道,对现有的过境交通和城市交通有效地分流,缩短了过境交通的绕行里程,缓解了市区过境交通压力。

拉萨纳金大桥全长 1.28km,道路设计等级为:城市主干道 I 级,双向六车道,设计车速 60km/h,桥梁设计荷载采用公路—I 级,抗震设防类别为 B 类,桥梁抗震设防措施等级为 9 级。主桥为三塔四跨单索面预应力混凝土斜拉桥,塔梁固结、墩塔分离,在墩顶设置支座,桥跨结构为 70m+117m+117m+70m,总长 374.64m,主塔为横向单塔,塔高 23.70m。索塔采用 C50 混凝土实心断面,顺桥向宽度为 3.243~5.50m,横桥向宽度为 2.5m。拉索在塔上采用扇形布置,每个索塔共锚固 7 对拉索,拉索与塔柱中心交点间距按 1m 的等距布置。边中跨的索对称于主塔布置。塔上拉索采用鞍座形式通过,每根索对应 1 个鞍座,鞍座的设计考虑换索的需要。在塔两侧拉索出口处设置锚固装置,克服运营阶段索的不平衡拉力。

斜拉索参照 OVM250AT 系列矮塔斜拉索体系设计,采用 OVM250AT-43、OVM250AT-37 两种型号,该拉索分别由 43 根、37 根 7 ϕ 5 的钢绞线组成。OVM250AT-43 拉索由锚固段、过渡段、自由段、抗滑锚固段和塔柱内索鞍段构成。鞍座采用分丝管,索鞍分散、均匀传递荷载作用。索体采用 $\phi^s15.2$ 环氧树脂涂层预应力钢绞线,具有多层防护结构。在拉索和梁段、塔端的连接处采用全防水结构装置。斜拉索从塔上鞍座中连续穿过,两端锚固在梁体内,所有索鞍半径均为 2.5m,为目前已建工程中采用的最小半径值。施工时,在梁内对称一次性张拉到位。

主梁箱梁主体结构采用 C50 混凝土,采用单箱五室断面,桥宽为 33m。箱梁高度从跨中无索区 2.5m 至距主墩中心 2m 处按圆弧线变化为 4.0m,主桥箱梁采用纵、横、竖向预应力体系。主桥连续箱梁各单“T”箱梁除 0 号块采用在支架上现浇外,其余分 11 个梁段,采用对称平衡悬臂逐段浇筑法施工。

拉萨纳金大桥在设计上采用了大量的新技术,如斜拉索采用目前先进的预应力拉索体系,主塔采用最小半径 2.5m 的抗滑索鞍,主墩采用 6 000t 大型减震支座。

在施工过程中,技术组通过开展技术攻关活动,先后重点开发应用了三项关键性施工技术,这三项技术在整个西藏高原地区公路桥梁建设中均属首次应用,并取得了较好的经济效益和社会效益。

1. 拉萨河卵石地层钻孔灌注桩旋挖钻孔施工技术

拉萨河汛期 5 月底 6 月初来临,主河道洪水比降 2.6‰,水流湍急。大桥主墩设在开阔

的河床中,主墩设 17 根桩基,承台顶设在常水位以下。下部结构桩基施工的成功之处是采用旋挖机成孔,为在拉萨河汛期前完成主墩施工计划提供了有力保障,同时也为拉萨纳金大桥后期顺利建设打下了坚实的基础。该施工技术的应用创下了在海拔最高地区、卵石层厚度最深地质、拉萨地区直径最大、同类桩成桩最快等新纪录,同时开创了在拉萨河卵石地层中成功地采用旋挖钻成孔的先河。

旋挖法成孔成功之处在于优质泥浆的发明和应用。普通黏土和纤维素配制的泥浆性能差,黏度小、含沙量大,因在松散和小颗粒地层中高速钻进,不易很快在孔壁形成致密泥皮,而难以保证槽孔稳定;浆液本身浓度高、相对密度大、摩阻力高,净化和泵送困难,钻孔困难。采用旋挖钻机成孔,由于钻进速度的提高,钻具运动排渣方式的变化,加之拉萨河地质的特殊性,对泥浆的固壁、悬浮、输送等功能提出了更高的要求,因此需要配制一种旋挖桩用施工泥浆,尤其要适合全卵石层、漂石层、地下水活动旺盛等地质地层旋挖钻施工。

旋挖桩用施工泥浆的发明是从传统的固相泥浆到新型的低固相泥浆研究发展过程的重要环节,是工程用泥浆结构稳定理论和流体力学理论知识的丰富和完善,其在卵石、漂石地质地层旋挖桩成孔法施工中的应用具有典型性、普遍性和适用性,同时也拓宽了旋挖钻施工领域和范围,对传统循环钻、冲击钻桩基成孔施工是一次巨大的变革。

2. 青藏高原地区高性能混凝土施工技术

拉萨纳金大桥桥位区属高原温带半干旱大陆性气候,具有高原干湿季节气候分明的大陆性气候特点。全年多晴朗天气,降雨稀少,常年气温偏低,日温差大,日照充分,风力较大,季节性冻土冻深小于 50cm。桥位区地下水水质和土样分析资料表明场地地下水化学类型为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型水,对混凝土具微腐蚀性,对钢结构具弱腐蚀性,粉土及卵石对混凝土结构具微腐蚀性。

为确保混凝土结构的耐久性,保证结构有足够的使用寿命,纳金大桥从设计到施工整个建造过程中,都针对耐久性基本要求采取有效措施,可对西藏地区同类型桥梁混凝土结构抗冻技术、防腐蚀性、温度控制等耐久性研究提供理论依据和实践参考。其措施包括:①耐久性基本措施,如采用环氧涂层钢绞线斜拉索体系、钢筋阻锈剂、高性能混凝土、设计合理的钢筋保护层等。②耐久性附加措施,如采用外加电流阴极保护、渗透性控制模板、混凝土养护膜、混凝土表面防腐涂料。其中,混凝土表面防腐涂料耐久性附加措施具有经济、有效、施工便捷的优点,是目前得到广泛应用的混凝土结构防腐措施。混凝土表面防腐涂料的特点是能有效隔绝氯离子、酸性气体等有害物质在混凝土内的渗透与扩散,尤其适用于以干燥、紫外线强为特征的高原环境下混凝土的保护,是针对高原环境混凝土结构的表面防护技术之一。

体积较大的混凝土浇筑后,水泥在水化过程中产生大量水化热,使混凝土温度上升,由于混凝土表面散热快,内部散热慢,形成混凝土中心温度高,表面温度低,使混凝土内部产生压应力,表面产生拉应力,这种由于温度的升降变化而引起的应力就称为温度应力。混凝土结构温度应力变化规律与其他结构相比有一定的差别,产生这些差别的主要原因有两个方面:一是混凝土的弹性模量随着龄期的变化而变化,二是混凝土徐变的影响。工程实际中,混凝土的温度应力又受结构形式、气候条件、施工工艺、材料特性以及使用条件等多种因素的影响。由于西藏高原地区特殊的地理气候和环境,而目前关于这种特殊高原干燥高温差

地区混凝土的研究尚未全面开展,因此,基于拉萨纳金大桥斜拉桥而开展的关于高原干燥高温差地区大跨径混凝土桥梁高性能混凝土技术研究和应用具有重要的理论价值和现实意义。

3. 33m 宽幅轻型大断面箱梁整体挂篮施工技术

目前挂篮悬浇箱梁施工中,所用的挂篮多为三角、菱形或者贝雷挂篮,但是普遍存在挂篮自重大、无法自行前移、构件成本高、施工不便等问题。这些问题在一般挂篮施工中产生的弊端不会太影响施工,但是,在大断面箱梁整幅挂篮施工时,却大大影响到现场施工,甚至会影响桥梁自身的受力情况。纳金大桥采用用途广泛的三角桁梁作为挂篮主梁,工厂加工各个部件,现场组装,采用多种组合型钢焊接而成,通过体内预应力增强了梁的刚度,减小了施工挠度,其刚度和强度满足施工要求。此外,整套挂篮成本降低,同时自重下降到梁段重量的 26% 左右,并在主梁上设置了行走系统,通过行走系统实现主梁自动前移,从而带动整套挂篮自行前移,施工极其方便。

普通挂篮结构一般为三角挂篮或菱形挂篮,结构高度一般在 5 ~ 8m,挂篮用钢量大、自重大、迎风面积也大。拉萨地区四季多风,最大风速可达 25m/s 以上,多年平均大于或等于 17m/s 的大风日数达 32.3d;此外,拉萨地区地震场地类别为 II 类。这对挂篮结构稳定性非常不利,因此必须选择横向稳定性好、结构建筑高度低、相对轻型的挂篮结构形式。纳金大桥挂篮结构高度为 2.6m,而且横向由 6 榀三角桁架组成,这对抵御强风和地震非常有利。

按照《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011),一般挂篮设计,挂篮与悬浇梁段混凝土的重量比不宜大于 0.5,且挂篮的总重量应控制在规定的限重之内。纳金大桥所用挂篮最大重量 1 450kN,节段混凝土重量 5 475.6kN,挂篮与悬浇梁段混凝土的重量比为 0.265,是一种轻型结构挂篮。随着社会和科技的发展,工程中新材料、新设备、新结构和新施工工艺的运用,结构向高(深)、轻、大这三个方向发展,结构形式也由原来的刚性结构转变为柔性结构。所谓柔性结构,形式上表现为宽幅、大跨结构等,几何学上的柔性结构是指其几何非线性因素在分析中影响较大而不可忽略的结构;在数学模型上表现为结构的刚度小,柔性大,几何非线性不能忽略;在计算方法上柔性结构的问题与刚性结构也不相同,需要将结构简化成非线性的柔性结构系统进行计算。

与此同时,为确保技术工作深入开展,拉萨纳金大桥项目特成立了两个课题小组,并申报中交一公局科研课题“高海拔地区矮塔斜拉桥施工技术研究”和“高原干燥高温差地区高性能混凝土技术研究”。结合这两个课题,技术组结合现场施工,不断深化研究,其研究成果直接用于工程施工,取得了明显的效果。为了确保拉萨市纳金大桥全寿命与耐久性,针对拉萨纳金大桥的结构特性、桥区气候地理特征以及地下水和土质的弱腐蚀性等特点,为大桥耐久性措施和防护技术提供了新的研究对象,如:高原干燥高温差地区桥梁工程中的抗冻和防腐措施以及索、塔、梁等的防腐涂层技术,高原干燥高温差地区混凝土抗冻技术指标及材料配比试验研究,高原干燥高温差地区混凝土结构温度应力场分析以及混凝土水化热温度、应力影响因素分析,高原干燥高温差地区大体积混凝土施工温控技术指标及施工工艺与施工监控措施,对高原干燥高温差地区混凝土中钢筋腐蚀量及腐蚀特征时间进行预测,对桥梁结构的耐久性进行评价等也进行专题立项研究和观测。

相关技术研究和应用也及时总结形成成果,从 2010 年进场到主体工程完工共申报局级课题成果 2 项,2012 年 12 月,两个课题成功通过局专家组验收;申请局级工法 1 个,已通过验收,正推荐省部级工法;授权实用新型专利 3 项、发明专利 2 项;《拉萨河卵石地层钻孔灌注桩旋挖钻成孔施工技术》获中交第一公路工程局有限公司 2011 年合理化建议特等奖;在不同技术期刊上发表专业技术论文 8 篇等。

第1篇

设计与探讨

拉萨纳金大桥锚索索鞍模型设计 及受力分析探讨

1 概述

拉萨纳金大桥工程主桥为跨径 $70\text{m} + 117\text{m} + 117\text{m} + 70\text{m}$ 的三塔矮塔斜拉桥,如图 1.1 所示,桥宽 33m 。该桥按城市主干道 I 级进行设计,设计速度采用 60km/h ,设计汽车荷载标准采用公路—I 级。

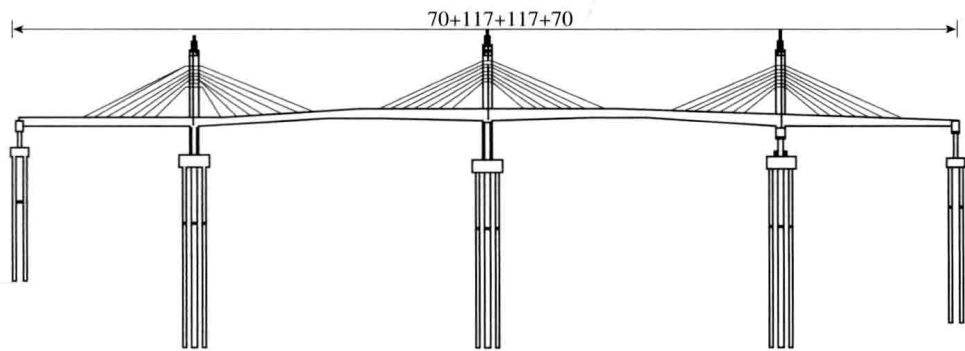


图 1.1 纳金大桥立面布置图(尺寸单位:m)

主桥横向单塔,布置在中分带,索塔顺桥向采用变截面,塔形由两道圆弧相切形成,横桥向为 2.5m 等宽截面。主塔从桥面以上塔高为 17.7m ,桥面以上受力部位塔高为 15.7m 。索塔采用 C50 混凝土实心断面,顺桥向宽度为 $3.243 \sim 5.50\text{m}$ 。拉索在塔上采用扇形布置,每个索塔共锚固 7 对拉索,拉索与塔柱中心交点间距按 1m 的等距布置。边中跨的索对称于主塔布置。塔上拉索采用鞍座形式通过,每根索对应 1 个鞍座,鞍座的设计考虑换索的需要,位于塔两侧拉索出口处设置锚固装置,克服运营阶段索的不平衡拉力。

斜拉索参照 OVM250AT 系列矮塔斜拉索体系设计,采用 OVM250AT-43、OVM250AT-37 两种型号。该拉索分别由 43 根、37 根 $7\phi 5$ 的钢绞线组成。OVM250AT-43 拉索由锚固段+过渡段+自由段+抗滑锚固段+塔柱内索鞍段构成。鞍座采用分丝管,索鞍分散、均匀传递荷载作用。索体采用 $\phi^{s}15.2$ 环氧树脂涂层预应力钢绞线,具有多层防护结构。在拉索和梁段、塔端的连接处采用了全防水结构装置。斜拉索从塔上鞍座中连续穿过,两端锚固在梁体内,所有索鞍半径均为 2.5m ,施工时,在梁内对称一次性张拉到位。

由于本桥分丝管鞍座采用圆锥半径 2.5m ,目前已建工程中采用的最小半径为 2.8m ,为进一步加以研究改进,需要对索鞍受力进行精确分析,对鞍座进行足尺模型试验。

2.2 加载台座设计

由于实桥斜拉索锚固在主梁上,而模型仅截取主塔高度 2m,因此试验需设计专门反力台座,将模型支撑在反力台座上。模型台座采用倒梯形梁,梁高 3.67m,纵向长 10.6m,宽 3m。试验加载采用的千斤顶最大张拉吨位需满足试验荷载要求,安装在台座两侧下部,千斤顶后面安装高精度传感器,试验前在试验机上对传感器进行标定,整个体系可使加载索力值准确可靠,试验过程中索力值稳定性得到很好控制。

2.3 加载台座 ANSYS 分析受力计算结果

根据台座的设计,采用 ANSYS 中的实体单元构造反力台座模型,斜拉索索力采用外力的方式施加到模型及台座上,在台座每个锚垫板上施加压力 7 100kN(约设计荷载的 1.2 倍),模拟模型内部斜拉索对模型的径向压力。

分析对象主要包括:(1)先对素混凝土台座斜拉索张拉过程进行分析,根据台座应力情况配置预应力钢束及普通钢筋;(2)试验过程包括台座浇筑完成后张拉预应力钢束及张拉斜拉索两个过程,因此需对台座上张拉预应力及张拉斜拉索这两个工况分别进行模拟计算。

(1)工况 1:台座上张拉预应力

对台座浇筑完成后张拉预应力过程进行模拟计算,预应力用节点集中力代替。加载台座水平、竖直及主拉应力方向应力如图 2.2 所示。

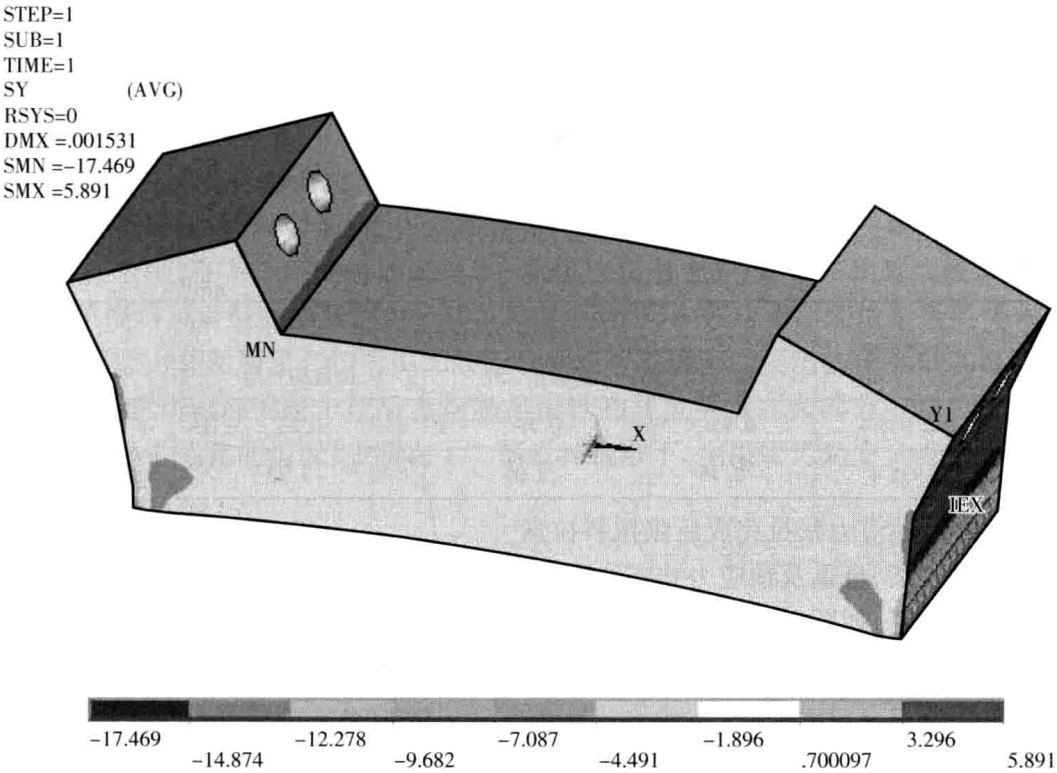


图 2.2 加载台座水平、竖直及主拉应力方向应力图

注:单位为 MPa,拉应力为正,压应力为负

结果表明,①台座梁顶水平向最大正应力出现在尖角处,值为 2.463 6MPa,梁底水平向最小压应力为 -5.951 5MPa。②台座竖向最大拉应力分布在侧面,最大值为 5.891MPa。③台座梁顶最大主拉应力为 3.220 7MPa,出现在尖角应力集中处,多数应力值范围在 0.8 ~ 1.5MPa;除底部约束处出现的应力之外(最大主拉应力为 7.88MPa),主拉应力多小于 0.2MPa。

(2) 工况 2:预应力张拉完成后张拉斜拉索

台座底部预应力张拉完成后,张拉斜拉索并锚固。在这个阶段,加载台座水平、竖直及主拉应力方向应力也可以由图 2.2 明确显示。

结果表明,①台座梁底水平向最大正应力为 1.335MPa。②台座竖向较大正应力分布在锚垫板下方,最大值为 11.797MPa。③主拉应力出现在锚垫板下方,应力范围在 9 ~ 13MPa,锚垫板上方处存在应力集中,最大值为 22.63MPa;台座底部的最大主拉应力值为 1.335MPa。

2.4 模型加载台座受力简化计算

对台座上张拉预应力和预应力张拉完成后张拉斜拉索这两个工况分别进行模拟计算,验算截面均取 1-1 截面,如图 2.1a)所示。

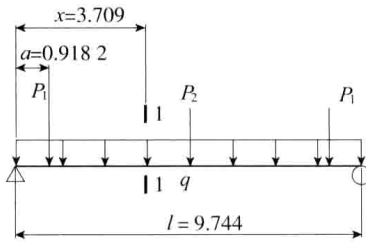


图 2.3 工况 1 台座受力计算简化图示
(尺寸单位:m)

(1) 工况 1:台座上张拉预应力

张拉台座底部预应力钢束时,在台座自重力及预应力共同作用下台座会轻微上拱,可以用简支梁简化计算模型来模拟张拉预应力过程。

台座底部矩形块自重力用均布荷载 q 模拟,塔及斜拉索锚固块混凝土自重力分别用集中力 P_2 、 P_1 模拟,简支梁跨度取台座长度 $l=9.744\text{m}$,如图 2.3 所示。工况 1 布置预应力后应力效应值见表 2.1。

工况 1 布置预应力后应力效应值(单位:MPa) 表 2.1

部位	自重引起	预应力引起			合计
		底层	倒数第二层	倒数第三层	
上缘	-0.935 4	0.95	0.59	0.23	0.834 6
下缘	0.935 4	-2.45	-2.09	-1.73	-5.334 6

(2) 工况 2:预应力张拉完成后张拉斜拉索

台座在斜拉索、自重及预应力共同作用下会轻微翘起。此时,台座受力可简化为一端固定的悬臂梁来计算,如图 2.4 所示。工况 2 布置预应力后应力效应值见表 2.2。

工况 2 布置预应力后应力效应值(单位:MPa) 表 2.2

部位	拉索引起	自重引起	预应力引起			合计
			底层	倒数第二层	倒数第三层	
上缘	-13.015	0.571 3	0.95	0.59	0.23	-10.673 7
下缘	9.389	-0.571 3	-2.45	-2.09	-1.73	2.547 7

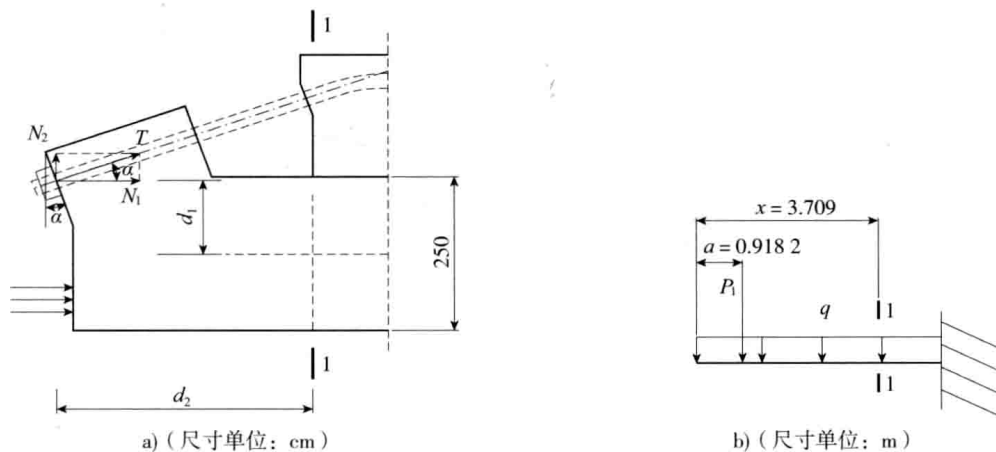


图 2.4 工况 2 台座受力计算简化图示

3 结论

(1) 依据相似理论对主塔鞍座处节段设计试验模型,根据节段模型设计了加载台座。先通过 ANSYS 模型对加载台座进行力学分析,再结合手算为台座进行纵向预应力设计,最后决定在台座梁底部沿纵向增加 3 层共 42 根 $\phi 32$ 预应力粗钢筋,以抵抗试验模型斜拉索张拉时台座梁底部可能出现的拉应力。

(2) 建立 ANSYS 实体模型进行力学计算, 通过应力云图考察某个管道拉索竖向分力对相邻管道横向应力的影响以及某一节段受到上部传来的最大竖向力的影响, 由于相邻管道间的影响较小, 故试验时可以选取单个节段考察横向劈裂应力。

(3) 纳金大桥桥塔鞍座单根斜拉索最大加载值为设计荷载 5 930kN 时,对每级荷载下各点应变进行分析比较,荷载增量与应变变化基本呈线性关系,表明结构在设计荷载下各点处于线弹性工作范围;在 1.2 倍的设计荷载下,鞍座主塔混凝土表面没有出现裂纹。

(4) 在单根斜拉索最大加载值为 7 100kN 时,最大竖向压应力叠加增量后约为 4.8MPa,最大横向劈裂应力叠加增量后约为 1.5MPa,分别小于混凝土的极限抗压强度和极限抗拉强度,说明鞍座下索塔内部混凝土拉应力均满足设计和规范要求。大部分应变片读数均没有出现突出或者异常变化的情况,表明在 1.2 倍设计荷载下,主塔受力是安全可靠的。

4 探讨

(1) 预应力钢筋布置: 对于在斜拉索锚下的较大拉应力, 需要配置锚下抗裂钢筋, 预防混凝土开裂。建议通过计算, 在梁底部沿纵向增加 3 层共 42 根 $\phi 32$ 预应力粗钢筋, 每根张拉 400kN 预应力, 以抵抗斜拉索张拉时梁底部可能出现的拉应力。预应力锚固端头布置见图 4.1。

(2) 钢筋布置: 钢筋外侧竖向主筋采用 $\phi 32$, 内侧竖

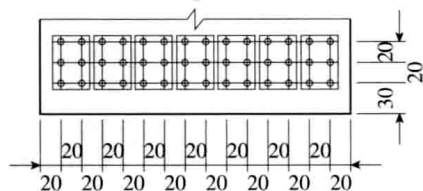


图 4.1 预应力锚固端头布置图
(尺寸单位:cm)