

文章编号:1671-2579(2007)01-0078-05

网拱应用综述

董桔灿, 陈宝春, 高 婧 编译

(福州大学, 福建 福州 350002)

摘 要: 网拱是指采用斜吊杆且斜吊杆至少交叉两次的系杆拱。该文介绍了网拱在国外的应用发展概况, 桥型特点, 拱肋、系梁、吊杆以及吊杆与拱肋和系梁的联结等主要构造, 给出了两个典型桥例。以供我国网拱应用参考。

关键词: 桥梁工程; 网拱; 桥型; 构造

1 概述

无推力的拱梁组合结构根据拱肋和系杆的刚度大小及吊杆的布置形式可以分为柔性系杆刚性拱(系杆拱, Tied Arch)、刚性系杆柔性拱(兰格尔拱或兰格尔梁, Langer Girder)、刚性系杆刚性拱(洛泽拱或洛泽梁, Lohse Girder)。以上3种拱, 当采用斜吊杆来代替竖直吊杆时, 称为尼尔森(Nielsen)拱。系杆拱桥起源于19世纪末的欧洲, 1858年奥地利人兰格尔申报了刚性系杆柔性拱的系杆拱桥专利, 强调拱肋与吊杆之间的铰接构造, 拱肋只承受轴向力, 不承受弯矩, 这就是现代系杆拱桥的早期形式。用斜吊杆代替兰格尔梁的竖吊杆(图1), 可以大幅度地提高结构刚度, 这一设想最早由尼尔森提出, 1929年在瑞典获得专利权。二战以后, 德、日、美等国对这些桥型进行了一定的研究与实践。

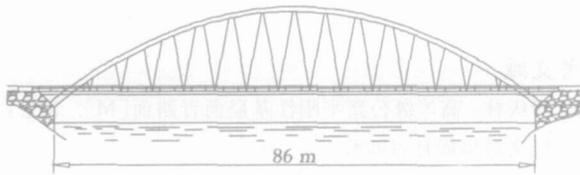


图1 尼尔森拱桥结构示意图

在国外, 尼尔森拱与竖吊杆组合拱一样受到重视与研究, 并主要被应用于跨度及荷载较大的桥梁结构

中。1963年竣工的德国费马恩桥和1991年建成的日本大阪府高速公路上的新寺桥, 均为尼尔森拱, 反映了系杆拱桥发展的当时的水平。前者主跨248.4 m, 矢高43 m, 桥面宽21 m, 单线铁路与三车道公路并行。后者主跨254.0 m, 矢高36 m, 桥面宽25 m。

1955年, 挪威的Per Tveit在特隆赫姆技术学院做毕业论文时提出了网拱这个概念, 于1955年申请了此项专利。网拱是建立在尼尔森拱桥的基础上, 一般而言, 尼尔森拱桥中的斜吊杆不存在交叉或一般仅交叉一次, 而网拱中部分斜吊杆至少交叉两次。同一般的尼尔森拱相比, 网拱中吊杆数量的增多, 使得拱肋和系梁的受力合理, 上下弦杆(拱肋和系梁)的截面更纤细, 因而可以建成非常轻盈的拱桥。同时网拱自重小, 下部结构的工程量也随之减少, 从而使工程总造价降低。

此后, Masao Naruoka教授将此桥型引入日本并得到迅速推广。目前此类桥梁的建设已超过了50座。其中一半采用平行拱肋, 另一半采用提篮式拱肋。表1给出了国内外已建的部分网拱的简况。

2000年2月和5月, 退休后的Per Tveit教授在12个欧洲国家做了21场关于网拱的讲座, 并于2005年在我国做了多场关于网拱的讲座。但是由于计算复杂、实际经验不足以及关注程度不够等各种原因, 我国还没有该类型桥梁的工程实例。本文对该桥型的发展概况、构造要点以及结构特点进行介绍, 希望能引起桥梁工作者的关注, 促进该桥型在我国桥梁建设中的

收稿日期: 2006-06-10

应用。

表 1 部分网拱桥一览表

桥名	跨径/m	桥宽/m	建成年份
日本东京 Arakawa 拱桥	144	-	1996
菲律宾 Bamban 拱桥	174	12.44	-
捷克 Bechyn 拱桥	41	7.3	2003
德国 Beneckeallee 拱桥	63	21	1995
挪威 Boldstadstraumen	84	-	1963
德国 Fehmarnsund 桥	248	-	1963
日本 Goshiki Zakura 桥	142	-	2002
台湾 Hualien Liwu 桥	150	-	-
日本 Kishiwada 桥	445	-	1994
日本 Lake Fuchu 桥	-	-	-
台湾麦克阿瑟二号桥	-	-	-
日本 Mizuho 桥	148.8	28	1986
日本 Nada 桥	190	18	1983
日本 Nagara	153	-	1980
日本 Nakanoseto 桥	251	-	1998
日本 New Fukuzaki 桥	58	18.5	1966
日本 New Hamadera 桥	254	-	1991
日本 New Kizu-gawa	495	11.25	1994
德国 New Main 桥	150	7	-
日本 Nishinomiyako 桥	252	31.2	1994
德国 Nordring 桥	135	-	2002
日本 Okamura 桥	228	-	1995
日本 Osaka Monorail Yodogawa 桥	5 × 106	-	1997
日本 Ounoura 桥	195	-	1972
美国普罗维登斯河桥	121	47	2008
日本 Sesoko 桥	139	-	1984
日本 Shibichari 第五桥	144	8	-
挪威 Steinkjer 桥	80	-	1963
日本 Tashirogahae 桥	-	-	-
日本 Terashima 桥	160	-	1988
日本 Uchu 桥	180	9.25	-
日本 Utsumi 桥	220	-	1990

注：“-”表示相关资料暂缺

2 桥型特点

网拱是由拱肋、系杆、斜吊杆和桥面系梁板等协同工作的组合结构体系,以系杆、斜吊杆的水平分力承受拱脚的水平推力为主要特征。具体的结构构造见图 2。

这种体系与桁架结构相似,拱肋、系杆相当于桁架的上下弦杆,斜吊杆不仅承受节点荷载,而且参与承重结构工作,故能减少拱肋和系杆中的弯矩,因而拱肋和系杆主要以轴力为设计控制内力。

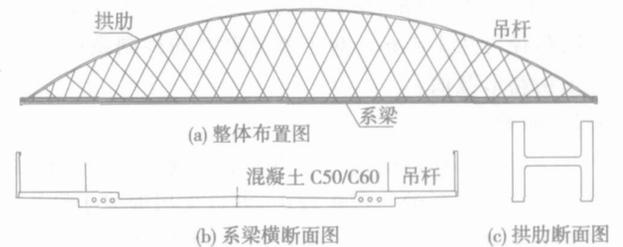


图 2 网拱结构示意图

网拱与竖吊杆拱桥相比,主要有以下优点:

(1) 由于吊杆数量的增加,修建的桥体积更小、更轻盈,自重降低,抗震性能好。其桥梁自重与一般的竖吊杆拱桥相比大为减轻,地震激励作用效果显著降低,抗震性能获得一定的提高。

(2) 同一般竖吊杆拱桥相比,系梁截面小,因此节约建筑材料,改善经济指标。大幅度减轻了上部结构的自重,增大了桥梁的跨径并使下部结构的工程量获得减少,可以节约总造价的 35% ~ 45%,从而降低了工程总造价。

(3) 由于采用斜吊杆,因此吊杆轴力分解出的水平推力可抵消很大一部分系梁的水平力,同时系梁的弯矩值也大大降低,从而钢筋用量减少。

(4) 所有吊杆断面相同,能同时对抗拉做出贡献。部分吊杆松弛对系梁、拱肋的弯矩值变化不大。

(5) 由于施工主要采用预制拼装,可以减少大量的模板、支架和混凝土浇注工程,从而加快了施工进度。

(6) 造型美观。可使桥梁获得较强的美感,是山区、风景区较好的桥型选择。

3 构造特点

通过优化研究发现,拱肋、系梁、吊杆按如下要求布置,可以使网拱的受力性能达到最好的效果。

3.1 拱肋

拱肋拱轴线由两种半径不等的圆弧线组成,两端圆弧半径较小。两半径比值以 0.8 为宜,这样设计的原则,就是尽可能使拱肋各截面的轴力值大小相等。

网拱拱肋弯矩小,同时风撑给拱肋提供良好的侧向支撑,因此没有必要加大拱肋截面来获得更大的抗弯承载力,而且纤细的拱肋产生的风载效应也更小。

采用 H 形或者倒 U 形截面拱肋对于公路桥很有竞争性,对于一般公路桥,跨径可达 160 m。对于双轨铁路桥则跨径可达 100 m。对于跨径更大的桥则系梁更适宜采用箱形截面。

3.2 系梁

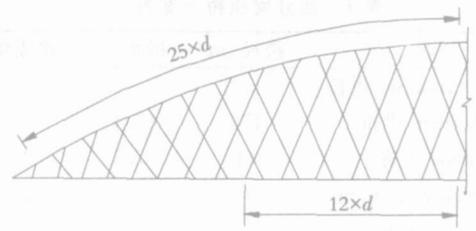
一般的系杆钢拱或尼尔森钢拱的系梁也为钢梁,对于网拱由于系梁的弯矩较小,可以采用混凝土结构。混凝土系梁增加了恒载,使得吊杆内力增大、刚度增加。推荐采用混凝土板全截面受力,并在系梁设置预应力索抵消拱的大部分水平推力,延缓混凝土构件的开裂,提高系梁的抗裂度和刚度。对于全截面参与受拉的桥面系,其横向受力问题较为突出。当桥宽超过 12 m,应考虑横向预应力,从而降低截面高度,使桥面系更轻盈。若采用高强混凝土,桥宽可达 16 m。

3.3 吊杆

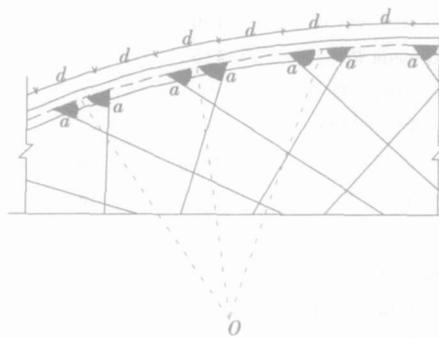
吊杆由圆金属丝构成的镀锌金属索组成,直径通常不超过 100 mm,其长度可以调整。假如吊杆的长度不需要调整,那么可以采用钢筋束。在吊杆相交的地方,两吊杆均套上塑料管并绑住,这样吊杆就不会相互碰撞。

吊杆的布置形式是网拱的核心,是网拱与竖吊杆拱桥的主要区别。吊杆的具体布置通常采用以下两种方式:第一种为固定模式吊杆布置,如图 3(a)所示,吊杆上节点沿着拱肋等距离分布,吊杆下节点从跨中到 $L/4$ 跨也等间距分布,从拱脚到 $L/4$ 跨,吊杆间距应根据具体设计略有变化,同时增大拱脚与系梁拱端吊杆节点间距;第二种为径向吊杆布置,如图 3(b)所示,吊杆上节点也沿着拱肋等距离分布,所有吊杆与拱肋的交角均相等,这样任何相连两吊杆节点中心与吊杆交叉点的所有连线[如图 3(b)虚线所示]交于同一圆心 O 。

在拱脚处,由于拱肋与系梁的连接处刚度的影响,拱脚对网拱的结构特性形成一个干扰范围,因而拱脚处附近的吊杆内力值有的较大,有的则较小,所以在干扰范围内的吊杆节点位置应偏离它的理论位置,其位移值大小取决于多个参数,很难根据理论决定,应根据实践经验调整。如图 4 所示,拱脚处的拱肋挠曲线中有一段为凸挠曲线,在此范围的节点吊杆内力值会更大,因而在这凸曲线范围的吊杆上端应布置密些,使吊杆的内力值减小;或者对于内力值大的吊杆其倾角布置可大些,反之则小些;甚至可以改变拱脚处第一根吊杆的倾斜方向。一般地,为获得最优的吊杆布置形式,应该反复进行以上的调整。



(a) 固定模式吊杆布置



(b) 径向吊杆布置

图 3 吊杆的两种布置方式

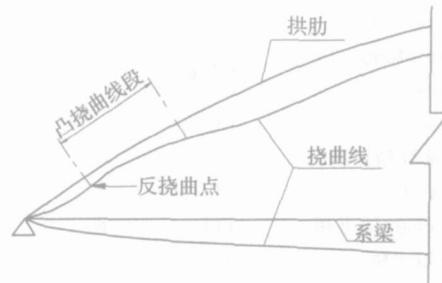


图 4 网拱的部分挠曲线

优化设计的网拱,所有吊杆的内力值大小相等,拱的抗弯曲能力变大,桥梁构件更加纤细。网拱的内力以及内力变化值取决于很多参数,例如:跨径、矢高、吊杆数量、荷载以及拱弯曲等。优化的吊杆布置形式为网拱设计提供一种简便方法,使弦杆的弯矩和吊杆的轴力均更小。

3.4 吊杆与拱肋连接

由于国外一些网拱其拱肋形式主要采用 H 形,所以通常采用节点板作为中间构件将它们相连接。对于光滑的圆状吊杆与节点板连接适宜采用搭板对焊,采用单个节点板,将吊杆插入节点板中,焊缝采用连续角焊缝,连续角焊缝受力性能良好,吊杆与节点板接触变换平稳,并且从节点板到吊杆之间的过渡采用圆弧形

式以降低应力集中。如图 5(a) 所示。同时节点板与拱肋的连接也相当关键,通常在 H 形拱肋上再焊接或者用螺栓固定一个节点板,最后将吊杆上的节点板与拱肋上的节点板用螺栓固定,如图 5(b) 所示。

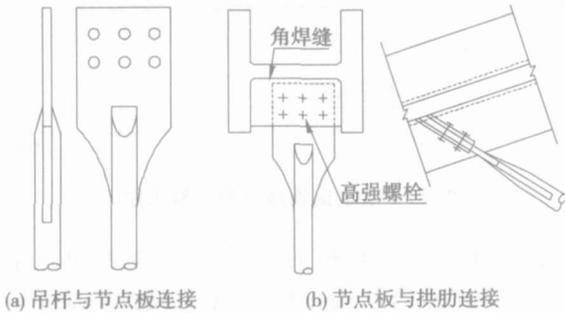


图 5 吊杆与拱肋连接构造图

3.5 吊杆与系梁连接

由于施工时采用临时下弦杆施工,拱肋、吊杆、风撑、临时下弦杆构成钢筋骨架并用吊机吊至就位,最后浇注混凝土系梁,待施工完后再移去临时下弦杆。如图 6 所示,先将吊杆与临时下弦杆用螺栓连接,同时在吊杆下端预留两个孔洞让横向预应力筋穿过。这种方法提高了吊杆的抗疲劳和抗震动破坏能力。

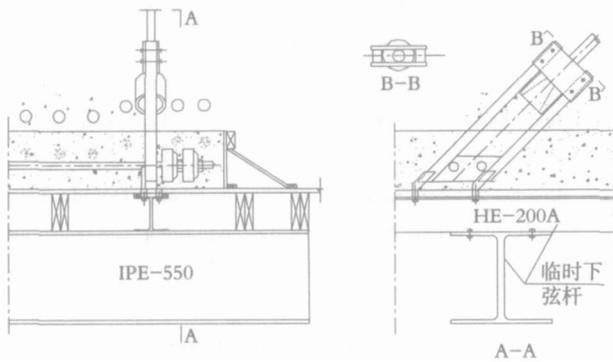


图 6 吊杆与系梁连接构造图

3.6 拱肋与风撑、拱肋与拱肋连接

两者均可采用焊接或者法兰连接。网拱在使用过程中,在荷载作用下,拱肋全截面均受压。图 7 为采用这两种连接的构造图。

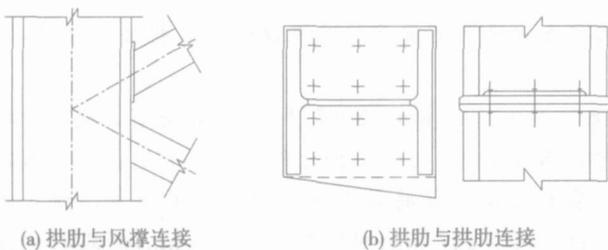


图 7 拱肋间连接构造图

4 桥例介绍

4.1 Bechyn 桥

Bechyn 桥位于捷克南部Luznice 河的山谷之上,于 2003 年建成,跨径 41 m。由于它位于历史古镇,因此所选桥型必须与其环境相一致,而采用网拱形式正好与它的环境相融合。为了照明和表现了网状吊杆的显著特征,在桥的两端灯柱共设置了 36 盏夜间照明灯。建成后的 Bechyn 桥见图 8。

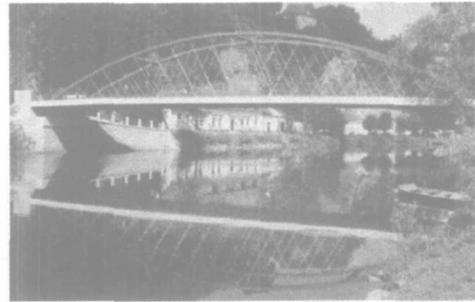


图 8 Bechyn 桥

该桥拱高 6.05 m,拱肋为钢拱,断面形式为倒 U 形式,采用双拱肋形式,拱肋连接采用焊接;吊杆采用不锈钢束;系梁为预应力混凝土板,车行道下方混凝土板厚度从 250 ~ 300 mm 不等,人行道下方混凝土板厚度 180 mm,吊杆下方混凝土板厚 500 mm。该桥结构轻盈,拱肋和系梁的弯矩均很小,其横断面图见图 9。

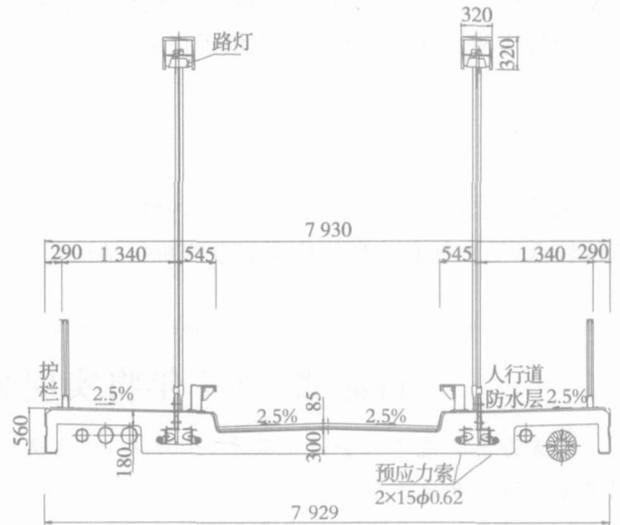


图 9 Bechyn 桥横断面图(单位:mm)

该桥拱肋、吊杆、风撑、临时下弦杆采用预制拼装,系梁采用现浇,混凝土系梁浇注后养护 7 d,等到混凝土达到一定强度后再张拉吊杆,并用 4 束预应力索给

系梁施加预应力,待结构能承受荷载后再移去脚手架。施工时应随时注意调整吊杆控制应力。

4.2 挪威卑尔根双轨道铁路桥

挪威卑尔根双轨道铁路桥跨径 100 m,位于挪威卑尔根的东北部,见图 10。拱的矢高为 17 m,两拱肋间距为 10.15 m。设计采用欧洲规范,设计时速高达 160 km/h。拱肋由 6 个部分组成,它们之间连接采用对接焊形式,靠近两拱脚的两个圆弧半径为 66.86 m,弧长 17.44 m。其他 4 个部分圆弧半径为 83.58 m,弧长 18.06 m。系梁采用 C50/60 混凝土板,每侧拱肋采用 48 根吊杆,吊杆间距为 10.15 m,桥横向设置预应力,保证在正常使用极限状态下不产生裂缝,提高了系梁的刚度,同时使截面更小更轻盈。



图 10 挪威卑尔根双轨道铁路桥

施工采用临时下弦杆,拱肋、吊杆、风撑、临时下弦杆构成钢筋骨架并用吊机吊至就位(图 11),最后浇注混凝土系梁,待施工完后再移去临时下弦杆。此桥的设计为其他网拱铁路桥的设计提供了很大帮助。

5 结语

国外的工程实践与研究分析表明,网拱结构合理,造价较低,是一种有着良好应用前景的桥梁结构型式。

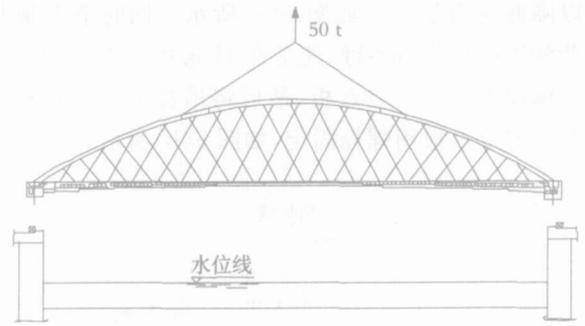


图 11 双轨道铁路桥吊装施工图

目前我国正进行大规模的桥梁建设,虽然出现了各种各样的拱桥组合结构,但迄今未见网拱的应用。这些众多的桥梁中,必定有些桥梁适合于采用网拱结构。希望本文的介绍,有助于推广网拱结构在我国的应用。

参考文献:

- [1] 刘 钊, 吕志涛. 竖吊杆与斜吊杆系杆拱结构的桥式研究[J]. 土木工程学报, 2000(5).
- [2] Tveit. P.. The Network Arch. Bits of Manuscript after Lectures in 42 Countries. Internet Edition, March 2006.
- [3] Tveit. P.. The Network Arch. An Extended Manuscript from 21 Lectures in 12 Countries, 2000.
- [4] Tveit. P.. An Introduction to the Optimal Network Arches. Docent Emeritus Agder University College, N - 4876 Grimstad, Norway, 2004.
- [5] Brunn. B., Schanack. F.. Calculation of a Double Track Railway Network Arch Bridge Applying the European Standards. Graduation Thesis at TU - Dresden, August 2003.
- [6] Tveit. P.. Preliminary Design of Network Arch Road Bridges - Examples with Spans of 135 and 160 Meters. Grimstad, Norway, March 2003.

青海省 2007 年将实现公路通车总里程 49 000 km

从青海省交通工作会议上获悉,2007 年,全省交通部门将重点推进国省道干线升级改造和农村公路建设,实现全省公路通车总里程 49 000 km。

2006 年,青海省新增公路通车里程 2 742 km,使通车总里程达 47 726 km。2007 年,在加大全省交通固定资产投资额的同时,也加大了农村公路的投资额,计划完成农村公路投资 20 亿元。据介绍,2007 年是农村公路建设的实质性阶段,作为推进社会主义新农村建设的重要内容,农村公路建设将是今年交通工作的重中之重。为此,全省将建设县乡油路 2 472 km,县乡等级沙路 378 km,通村沙路 3 247 km,村道硬化 3 790 km,新农村建设试点村配套道路硬化 1 108 km,乡村便民桥梁 423 km。

摘自:《中国公路网》2007.01.31