

适合灌区交通的一种新型桥梁设计

张笑天

(江苏省泗阳县水利局,江苏 泗阳 223700)

摘要 空腹变截面刚架桥是根据灌区工程特点研制的桥型,桥体采用多跨空腹变截面整体刚架,主肋腹部充分挖空,截面刚度大,用材少,结构轻,工作效率高,整体性和抗震性比各类梁式桥和拱式桥好,抗冲击和抗超载能力强,桥头接线短,造型美观,适用于各类地基。自 1988 年起在江苏省众程、运南大型灌区应用,比一般梁式桥、拱式桥降低造价 30%~40%,经过多年运行考验,各项性能良好,普遍适用于灌区交通桥。

关键词 桥型设计,空腹变截面刚架桥,形常数,载常数,灌区交通

中图分类号:U442.5

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)08-0045-03

江苏省众程、运南大型灌区始建于 20 世纪六七十年代,工程设计标准普遍较低,经过 40 年运行,老化严重,急需续建配套改造。由于国家和地方财力有限,为节约资金,我们根据变截面刚构理论,设计了空腹变截面刚架桥,此桥型桥体为多跨空腹变截面整体刚架,桥跨主肋腹部充分挖空,采用空箱和桁架两种构造型式。空箱式可与渡槽结合,桁架式适合预制吊装施工,可通过施工手段改善内力分布,减少桥跨中的无效材料,提高结构工作效能。空腹变截面刚架桥无桥台,全桥力学关系清楚,结构性能可靠,用材少,自重轻,截面刚度大,承载力强,桥面矮,桥下净空大,桥头接线短,施工方便,工期短,造价省,尤其适用灌排、通航河道及软土地基。经过 10 多年来的运行和最不利荷载考验,完好率达 100%,与同期建成的同等规模梁式桥、拱式桥相比造价低 30%~50%,完好率高出 50%~60%,因此在当前灌区续建改造工程中具有普遍的推广价值。

1 工程设计

1.1 设计要点

空腹变截面刚架桥的设计要求做到以下三点:

- ①总体布置要求造价省,外型美观,符合使用要求;
- ②稳定性好,整体布置工作效率高,抗震和抗超载的机动能力强,结构中各部位材料作用得到充分发挥;
- ③施工方便。

为达到上述要求,可采取以下方法:

a. 合理选择梁跨度。一般桥梁 3~5 孔,如果通

航允许,尽可能减少桥梁高度和桥梁跨度。桥梁中间孔称为主孔,主副孔跨比根据桥梁端点的支承方式决定,如用弹性支承,跨比为 10:9,若为铰支承,跨比为 10:7.5~10:8。跨比的选择原则是:在恒载作用下,中间节点固端弯矩基本平衡。在综合荷载作用下,各跨(包括边跨)最大跨中弯矩接近相等。端支承有三种做法:①肋板排架,与桥跨整连,形成共面刚架系统,排架承担挡土任务,代替桥台,直接与路基接触。要求排架的挡土高度不少于边跨跨度的 1/4,排架上的土抗力能够确保与桥跨重量维持平衡。②一般排架,只起承重作用,不承担挡土任务,与桥跨分开,桥头另设桥台与路基连接,或使桥跨伸过排架,桥头悬挂挡土板代替桥台。采用后一种做法,要求伸过排架的桥跨悬臂弯矩不大于边跨跨中弯矩,不对主体刚架内力合理分布增加不利条件。③直接对桥跨承重的常规桥台。三种做法根据经济比较加以选择。

b. 合理选择构件截面及刚比系数。一般主肋的等截面高度为主跨跨度的 1/25~1/30,加腋高度为主跨跨度的 1/12~1/16,中间排架柱的直径为主肋等截面高度的 1.0~1.1 倍,边排架柱的截面惯性矩大致相等。边节点肋的刚比系数 0.2~0.8,中间节点肋的刚比系数 0.35~0.43,柱的刚比系数 0.16~0.24。截面和刚比系数的选择,都要服从构造要求。

c. 合理利用地基承载力。如果桥梁采用条形基础,掌握最大地基应力不超过地基许可承载力的 80%。如果是其它基础,要求能够保证桥梁稳定,不

产生桥梁不能允许的不均匀沉降.空腹变截面刚架桥的结构计算,要考虑施工过程和温度影响,按以下步骤进行:①形常数、载常数计算;②杆端削平弯矩计算;③跨中弯矩、桁架计算;④钢筋计算.

1.2 工程构造

空腹变截面刚架桥中间跨主肋(纵肋)截面高度沿轴线方向按二次抛物线对称变化,边跨主肋(纵肋)靠近中间支座的一段截面形状和尺寸与中间跨相同,靠近边支座的一段为等截面,可以是矩形或工字形截面.刚架与基础之间,采取半铰接.上部中间节点全部弹性连接,边节点可以弹性连接,也可以铰接.刚架柱全部是等截面,中间柱为圆形,边柱为矩形或T形.主肋的构造有空箱式和桁架式两种.

a. 空箱式.截面为工字形.上、下翼缘板封闭,与腹板成空箱,腹板厚度 20~30 cm,腹板间距离为腹板厚度的 10 倍左右.上翼缘板和桥面板结合,一般为变截面连续板,下翼缘板截面采取和上翼缘板等面积,其形心到主肋轴的距离与上翼缘板截面形心到主肋中性轴的距离保持相等(图 1).此种形式主肋刚度大、承载力强,桥腹可以渡水,适合较大跨度及有多功能要求的桥梁.

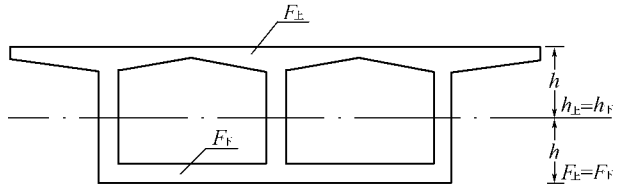


图 1 空箱式构造

b. 桁架式.主肋和变截面段为桁架.桁架有直角三角形桁架和普通三角形桁架两种,直角三角形桁架由上弦杆、下弦杆、竖杆和斜杆组成(图 2),抗剪力强,适合跨度大、荷载等级较高的桥梁.普通三角形桁架由上弦杆、下弦杆和斜杆组成(图 3),适合跨度较小、荷载等级较轻的桥梁.桁架的节间距离为相应节点处肋高的 1.5~2.5 倍,上、下弦杆采取相同截面,高 40~60 cm,宽 25~30 cm,竖杆和斜杆统称腹杆,截面高 25~35 cm,宽高可与弦杆相同也可以略小于弦杆.直角三角形桁架和普通三角形桁架的主肋都适合分段预制拼接施工.

1.3 形常数和载常数计算

空腹变截面刚架桥的架柱形常数和载常数在通常的工具书中查取,主肋的形常数和载常数单独计算.

根据空腹变截面刚架桥主肋和上、下翼缘板或上、下弦杆截面相等,其形心到主肋中性轴的距离相等,以及截面高度沿主肋轴线方向的变化规律,应用结构力学中的力法原理,可导出空腹变截面主肋的形常数和载常数计算式,结果如下:

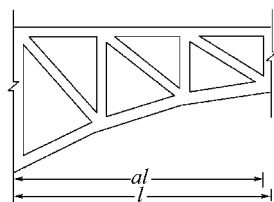


图 2 直角三角形桁架

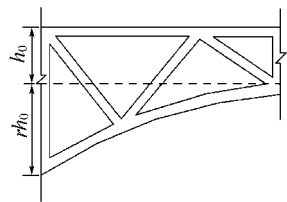


图 3 普通三角形桁架

1.3.1 中跨肋(对称加腋肋)

a. 形常数:

$$X_a = X_b = \int_0^l \frac{(1 - x/l)^2}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx$$

$$B = \int_0^l \frac{(1 - x/l)(x/l)}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx$$

b. 载常数.对均布荷载:

$$X_{ap} = X_{bp} = \int_0^l \frac{\frac{1}{2} q x (l - x) (1 - x/l)}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx$$

对集中荷载:

$$X_{ap} = \int_0^{kl} \frac{p x (1 - k) (1 - x/l)}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx + \int_{kl}^l \frac{k p (l - x) (1 - x/l)}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx$$

$$X_{bp} = \int_0^{kl} \frac{(1 - k) p x^2 / l}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx + \int_{kl}^l \frac{k p (l - x) x / l}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx$$

1.3.2 边跨肋(一端加腋肋)

a. 形常数:

$$X_a = \int_0^a \frac{(1 - x/l)^2}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx + \int_a^l \frac{(1 - x/l)^2}{J_0} dx$$

$$X_b = \int_0^a \frac{(x/l)^2}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx + \int_a^l \frac{(x/l)^2}{J_0} dx$$

$$B = \int_0^a \frac{(1 - x/l)(x/l)}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx + \int_a^l \frac{(1 - x/l)(x/l)}{J_0} dx$$

b. 载常数.对均布荷载:

$$X_{ap} = \int_0^a \frac{\frac{1}{2} q x (1 - x/l) (l - x)}{J_0 [1 + \alpha(1 - x/a)^2]} dx + \int_a^l \frac{\frac{1}{2} q x (1 - x/l) (l - x)}{J_0} dx$$

$$X_{bp} = \int_0^a \frac{\frac{1}{2} q x (l - x) (x/l)}{J_0 [1 + r(1 - x/a)^2]} dx + \int_a^l \frac{\frac{1}{2} q x (l - x) (x/l)}{J_0} dx$$

对集中荷载,荷载集中在变截面段时:

$$X_{ap} = \int_0^{kl} \frac{(1-k) p x (1-x/l)}{J_0 [1 + r(1-x/a)^2]} dx + \int_{kl}^a \frac{k p (l-x) (1-x/l)}{J_0 [1 + r(1-x/a)^2]} dx + \int_a^l \frac{k p (l-x) (1-x/l)}{J_0} dx$$

$$X_{bp} = \int_0^{kl} \frac{(1-k) p x^2/l}{J_0 [1 + r(1-x/a)^2]} dx + \int_{kl}^a \frac{k p (l-x) (x/l)}{J_0 [1 + r(1-x/a)^2]} dx + \int_a^l \frac{k p (l-x) (x/l)}{J_0} dx$$

荷载集中在等截面段时:

$$X_{ap} = \int_0^a \frac{(1-k) p x (1-x/l)}{J_0 [1 + r(1-x/a)^2]} dx + \int_a^{kl} \frac{(l-k) p x (1-x/l)}{J_0} dx + \int_{kl}^l \frac{k p (l-x) (1-x/l)}{J_0} dx$$

$$X_{bp} = \int_0^a \frac{(1-k) p x^2/l}{J_0 [1 + r(1-x/a)^2]} dx + \int_a^{kl} \frac{(l-k) p x^2/l}{J_0} dx + \int_{kl}^l \frac{k p (l-x) (x/l)}{J_0} dx$$

式中: X_a, X_b 为简梁两端分别在单位力作用下于近端截面发生的转角; B 为简梁一端受到单位力作用在远端截面发生的转角; X_{ap}, X_{bp} 为简梁两端截面在外荷载作用下发生的转角; J_0 为等截面段截面惯性矩; p 为均布荷载强度, kN/m; q 为集中力, kN; x 为梁轴向坐标; a 为肋的加腋长度; r 为肋的加腋高度; k 为集中力作用位置。

因上述积分式不便应用,我们通过积分,推出 14 个公式,可以直接算出空腹变截面主肋的形常数和载常数。为了应用方便,我们算出 360 个数据,按照加腋高度 $r = (1.0 \sim 0.8) h_0$, 加腋长度 $a = 0.5l$ 的对称加腋梁和加腋长度 $a = (0.5 \sim 0.9)l$ 的一端加腋梁以及均布荷载、集中荷载作用位置 $k = 0.1 \sim 0.9$ 分别编制成表,可供设计时直接查用。

2 施工方法

空腹变截面刚架分空箱式和桁架式两类。空箱式一般采用现浇筑,有两种施工方法:

a. 一次浇筑。底部工程完成后,桥跨部位一次浇筑成功,主肋外模采取碎拼,内模采用气囊,要求有良好的施工设备和施工技术。

b. 分批浇筑。底部工程完成后桥跨部位分 2~3 次浇筑完成,可以先腹板,后底板,再桥面板,或先底板,后腹板,再桥面板。我们所建的 12 座空腹变截面刚架桥,6 座是空箱式,都采取现场分批浇筑施工,6 座是桁架式,其中 4 座采取分段预制拼接施工,2 座现场浇筑施工。

空腹变截面刚架桥施工中要特别注意以下问题:

a. 防止施工排架下沉。施工排架下沉,影响桥体美观,可能破坏结构上力的平衡,施工时要特别注意排架底部与土接触的面积不能过小,要确保排架稳定,防止下沉。

b. 控制施工应力,使其不超过设计许可范围,施工方法和施工程序安排要服从设计要求。

c. 严格掌握钢筋和混凝土施工质量。

3 结 语

a. 灌区改造中如何将有限的资金做好水利工程配套工作,是每一个工程技术人员都会遇到的问题。我们在灌区工程续建改造中对交通桥桥型设计进行探讨,经过 10 多年的实践,先后建成 10 多座空腹变截面刚架桥,完好率达 100%。该桥型具有结构轻、刚度大、整体工作效率高、抗震和抗超载能力强,桥头接线短,桥下净空大,造型美观,造价低等优点,适合在灌区交通桥配套中应用。该设计获淮阴市科学技术进步二等奖。

b. 工程造价比一般桥梁降低 30%~40%。

c. 在设计空腹变截面刚架桥中,我们推导出 14 个形常数和载常数计算式,供设计使用,为空腹变截面刚架桥设计提供了手段和工具,并计算出 360 个数据,可供设计时查用。10 多年工程实践表明,该桥型在灌区续建改造配套桥中具有普遍的实用价值和推广价值。

参考文献:

- [1] 蔡方荫. 变截面刚构分析 [M]. 北京: 中国科学图书仪器公司出版社, 1960.
- [2] 清华大学结构教研组. 结构力学 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1987.

(收稿日期 2001-11-12 编辑 熊水斌)