体外预应力预制节段桥设计简介
——泰国曼谷第二期快速路工程

李晨光　李晓光　李洪泉编译

[摘　要] 本文简要介绍了泰国曼谷第二期快速路桥梁工程的体外预应力和预制节段干接缝桥梁的设计和应用,对体外预应力结构设计有一定的参考价值。

[关键词] 体外预应力;干接缝;设计

[中图分类号] TU378　　[文献标识码] B　　[文章编号] 10012523X(2004)1020044203

1　概要

1988 年泰国曼谷快速路公司获得了泰国曼谷第二期快速路工程的 BOT(建造 —运营 —移交)特许经营权,并委托熊谷组负责项目管理,Acer 咨询公司负责细化设计。该工程包括 80 万 m^2 采用"企口浇筑(match2cast)"和干接缝(dry joints)的预制节段体外预应力箱梁。高架桥布置如图 1。

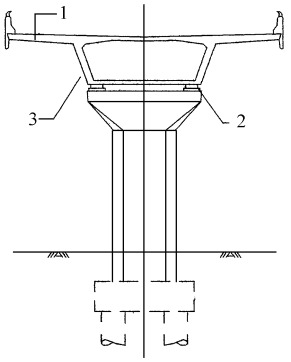


图 1　高架桥布置示意

1 —面层;2 —弹性橡胶支座;3 —腹板

2　初步设计和布置

初步设计考虑了如下几个重要因素:

a) 各桥墩之间的沉降差达 50 mm。

b) 必须在已施工完的桥面上移动预制节段。

c) 要求快速安装施工。

d) 要求较宽的主车道和较窄弯道。

e) 桥梁水平弯曲半径仅为 84 m。

f) 桥面的排水坡度达 10 %。

g) 要跨越障碍的平均跨度达 45 m。

设计阶段特别强调了简化桥梁布置和细节设计,以便实现快速施工和减少将来的维护。上部结构采用简支梁方案克服了各桥墩间的沉降差问题,而且简化了预制和安装施工。采用体外预应力允许节段间为干接缝,进一步简化了施工过程。

收稿日期:2004 - 05 - 10

快速路的线型决定了采用二种标准单箱箱梁(如图 2),较宽的 D3 箱梁用于主车道,较窄的 D2 箱梁用于弯道。二种箱梁的顶板均采用体内横向预应力筋,预制箱梁节段在短台座上使用"企口浇筑"方法制做。节段箱梁运至现场后,采用架桥机械或支撑大梁整跨拼装施工。

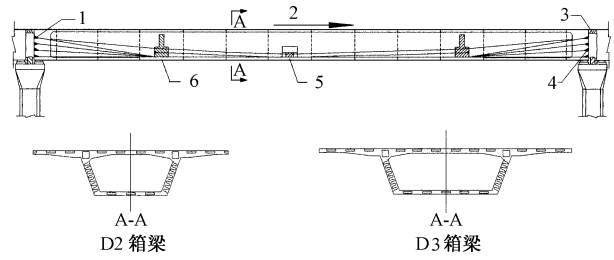


图 2　体外预应力束形及箱梁剖面

1 —固定端;2 —施工方向;3 —干接缝;4 —张拉端;5 —d1 转向块;6 —d2 转向块

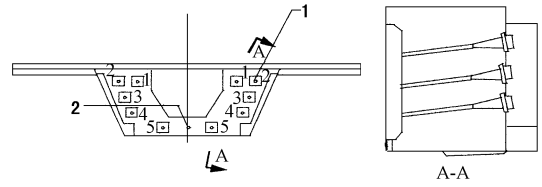


图 3　端隔梁布置

1 —19K15 锚具;2 —预留备用预应力孔道

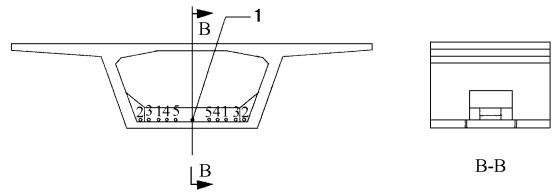


图 4　d1 转向块布置

1 —预留备用预应力孔道

典型跨度为 45125 m,由 14 个节段组成(如图 2)。图 3 为体外束端锚固横隔梁。图 4 为 d1 型转向块;图 5 为 d2 型转向

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.

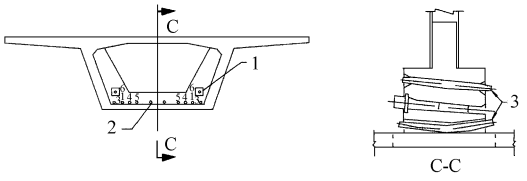


图 5　d2 转向块布置

1 —转向块预留孔;2 —预留备用预应力孔道;
3 —通过转向块的 HDPE 管

块并锚固附加体外束。通过减少 d1 或 d2 转向块节段之间的标准预制节段可改变桥梁的跨度。上部结构支撑于橡胶支座且设置混凝土缓冲装置防止地震作用下上部结构移位。

为减少伸缩缝的数量,在每四跨共计 180 m 长度内,相邻两跨桥面板采用现浇筑混凝土相连,连系板 1 m 长,200 mm厚,连系板在跨中设计为绞接以减小相邻跨之间变形产生的弯矩。

3　体外预应力束的特征

体外预应力束采用 19K15 或 12K15 两种锚固单元,预应力束的曲线如图 2。预应力束孔道管采用 HDPE 管,体外预应力束在两端锚固点之间的 HDPE 管通长保持连续,张拉后孔道内灌入水泥浆体。图 6 为体外预应力锚固端及转向块处结点详图。转角点处采用尼龙胶管形成喇叭口形孔道,待混凝土硬化后将尼龙管抽出。

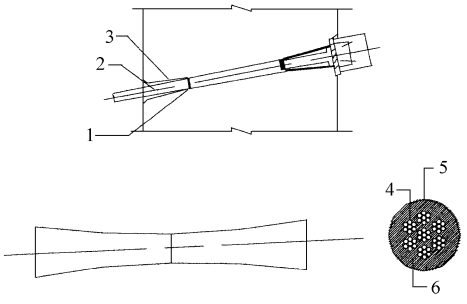


图 6　体外预应力束节点

1 —橡胶密封环;2 —张拉端直线段 HDPE 管;3 —喇叭形预留孔;
4 —K15 预应力钢绞线;5 —HDPE 管;6 —水泥浆

设计时在隔梁和转向块处预留了部分附加孔道,以备必要时增加预应力束数量。

预应力张拉力为 78 %U. T. S. (极限抗拉强度),锚固回缩后建立 70 %U. T. S. 的预应力。设计取 $\kappa = 0.002$,$\mu = 0.15$,κ 值仅计算隔梁和转向块处的接触长度。现场实测 $\kappa =$ 01001,$\mu = 0.10$。

4　设计特点分析

4.1　干接缝的特点

在结构全寿命期内各阶段,干接缝的剪力键均发挥传递接缝间剪力的作用。箱梁顶板和底板的全长范围内设置了剪力键,以保证相邻节段共同工作,每肢腹板内设置两个附加剪力键以弥补吊装过程中的损坏。节段吊装前,接缝表面用铁刷清理除掉疏松表面。为防止水渗入接缝,采用环氧树脂浆体灌入顶板形成密封。

4.2　纵向弯曲

试验表明当荷载作用下弯曲应力导致拉应力并使节段接缝处张开前,体外预应力预制节段干接缝结构的受力与现浇或环氧接缝节段结构受力特征相似,荷载超过上述作用点后,跨中挠度增加很快,接缝进一步张开直到受压区混凝土压碎(图 7)。

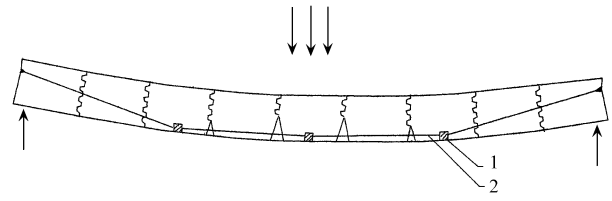


图 7　体外预应力节段箱梁弯曲特性

1 —转向块;2 —体外束

在使用荷载阶段(即在正常荷载情况下,包括温度及其它次效应作用下),沿纵向施加了足够的预应力,保证接缝处存在残余压应力,干接缝保持闭合良好状态。

在极限荷载条件下,与现浇结构相同,校核截面极限弯矩。但体外预应力筋的应力增量有限制。体外预应力筋的应力增量在自由段内各点均相同,而不是如体内预应力的应力增量最大值在破坏截面处。AASHTO 规范取极限状态应力增量 103 N/ mm^2,但是对简支梁破坏机理的研究,包括足尺寸 3D 有限元模型分析表明应力增量可达 250 N/ mm^2。因此实际设计取预应力筋极限应力增量 250 N/ mm^2。预制场 45125 m 足尺 D2 箱梁加载至破坏荷载的试验表明设计取值合理。

由于纵向预应力筋数量由极限弯矩控制,所以导致 45.25 m跨度箱梁在传力阶段的截面形心轴平均压应力达 8 N/ mm^2,扣除长期损失后为 7 N/ mm^2。

4.3　纵向剪切

在剪切作用下,"干接缝"可采用剪切摩阻概念设计。干接缝处剪切破坏始于剪力克服了 1/ 2 摩阻力后接缝的初始滑移。初始滑移后,剪力键啮合紧密,剪力增加至剪力键的摩阻力或承载力极限,至此阶段由于压碎或剪切破坏使剪力键失效。

为了防止使用荷载下接缝过早滑移,施加了充分的预压应力,保证在腹板内产生足够的摩阻力,即满足如下公式条件:

$$0.5 f_{pa} P 1.25 > (\text{腹板中的剪切或扭转应力}) - 0.8 V_{pa} P A_w$$

式中:A_w ——腹板面积;

f_{pa} ——腹板平均压应力;

V_{pa} ——预应力的垂直分力;

0.8 ——预应力垂直分力的安全系数;

1.25 ——接缝摩阻安全系数。

上述校核公式忽略了剪力键的强度。

在极限状态下,通过提供充分的预应力避免剪力键产生剪力破坏,对于每肢腹板:

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

$$V_u \leq \leqslant_s V_j$$

式中:V_u = 腹板的极限剪力 - V_{pa};

$V_j = 1.4 f_{pa} \times$剪力键面积 + 016f_{pa}(A_w —剪力键面积)

(混凝土抗剪力 $V_j \leq 5.52$ NPmm^2 或 $0.2 f_c'$)

f_c'——混凝土的 28 d 圆柱体强度;

$\leqslant_s = 0.65$

0.6 ——整体混凝土的摩阻系数;

1.4 ——凸出部分混凝土的摩阻系数。

为了防止极限状态下,剪力键压碎,剪力键承载面积应能承担:

$$0.7 \times f_c' \times \text{剪力键承载面积} > V_u$$

5　采用外预力和干接缝的优缺点分析

5.1　优点

a) 简化节段浇筑,由于省去腹板内预应力孔道管、模板,钢筋绑扎固定及浇筑混凝土均较容易。

b) 减少腹板厚度,减轻结构重量,减少了吊装支架和永久性下部结构荷载。

c) 不需使用环氧树脂,消除了材料聚合中的不确定因素。

d) 安装过程中不需采用临时预应力(环氧接缝时需要)。

e) 与体内预应力和环氧接缝施工相比,吊装简化、快捷。

f) 预力束安装简单,不存在堵孔等问题。

g) 体外预力束灌浆工艺简化。

h) 与体内预应力相比,摩阻损失减小,有效预应力提高。

i) 施工期与使用期的检测和维修容易。

j) 如果需要,可更换预应力筋。

5.2　缺点

a) 体外预力束孔道采用 HDPE 管,全部用水泥灌浆,因此预应力体系的初始材料费用比体内预应力高。

b) 体外预力束布置于底板顶面,减小了体外预力束的偏心距,增加了预力筋用量。

c) 与体内预力相比,在极限弯曲状态下,需配置更多预应力筋以产生极限抵抗弯矩。

d) 体外预力束锚固点与转向块承受集中力作用,需要与结构连结为整体。

e) 顶板处干接缝顶面必须密封防止水分渗入。

6　小结

与体内预力方案比较,体外预力束用量增加了 8 %,但节省了环氧树脂,减少了腹板厚度,简化并加快了节段制作与吊装施工。在未来的使用中,体外预力束易于检测和维修,而且如果需要,可更换预应力束。

(编译自 FIP Symposium '93, Kyoto, Japan Oct. 17220, 1993)

(上接第 24 页)

T 型梁浇筑前,先将变频仪安放在电源较近的地方,用电缆线连接主控制柜并将主控制柜安放在模板的中部,混凝土震动器安放在模板两侧。混凝土入模后立刻启动钢模板两侧的附着式振捣器,并对混凝土灌料过程中连续振动,待该部位混凝土上升至孔道顶面时,即可关闭。每次振捣时间不超过 15 s,并在下一次振捣前复振一次,更有利用于混凝土的密实;振捣时注意"对称",以免由于钢筋过密形成"假"密实,造成 T 型梁梁身出现"空洞"等影响质量的现象。每一梁段混凝土浇灌完成超过 60 min 后,不再开动该部位两侧的附着式振捣器,以免造成混凝土初凝后受振动而离析泛水起沙等问题。

插入式振捣器选用直径 Φ50 和 Φ25 配合使用,以直径为 Φ50 为主。Φ50 振捣器作用半径为 30～40 cm,施工时每次移动距离为 50～60 cm,Φ25 振捣器用于孔道下部振捣,移动距离相应减少。使用时采取快插慢拔手法,做到不漏振也不过振(过振混凝土表面会出现白斑印),振捣时间以混凝土翻浆不再下沉和表面无气泡泛起为止。

4.6　混凝土浇灌控制

a) 浇注混凝土采用分层阶梯滚动式的浇灌方法,自梁体的一端分层向前推进,每层厚度不大于 30 cm,待浇至离另一端约 1/5 梁长时,掉头转向浇灌,对无法使用插入式振捣器和难以灌料的部位,混凝土改用 10 cm～12 cm 坍落度,并由梁端渐变段灌料让混凝土流动至该部位。其它部位混凝土仍采用 6～7 cm 的坍落度,尽量减少混凝土的泌水。

b) 混凝土从拌和站到浇灌现场 15 min 内完成浇注并振捣密实,混凝土浇注时分层以 45 °倾斜面逐渐向前推进。相邻两层,混凝土浇注间歇时间在温度高于 30 ℃时不得超过 1 h,当温度低于 30 ℃时,不得超过 115 h。

c) 浇灌同一片梁的混凝土所用水泥必须用同一批水泥,尽量用同种粗骨料和细骨料,防止产生裂缝和色差现象。

4.7　拆模及养护控制

一般混凝土构件侧模在混凝土强度达到 C215 时即可拆除,而 T 型梁考虑翼板要有一定的抗弯强度,并防止构件缺棱掉角,本工程的 T 型梁拆模时间控制在混凝土强度不小于 C1215。对浇灌混凝土时气温在 10 ℃～30 ℃的梁体,浇灌后 10～12 h 便可拆模;而对气温超过 30 ℃时浇灌的梁体,拆模为浇灌后 9～10 h。

本工程在现场建一水塔,安装自动喷洒系统进行混凝土养护,另设水龙头进行人工配合喷洒,梁面用麻袋覆盖,使梁面能长时间处于湿润状态,对于梁侧辅以人工淋水,养护工作由专人负责,保持梁体表面湿润,养护时间按 7 d 控制。

5　结束语

通过对施工环节的控制,T 型梁的外观质量明显提高,交付验收的 T 型梁在质量评定中为优良,榕江南河大桥是揭普高速公路第六合同段,该工程已评为优良工程。

参考文献

1　朱建华. 预拌混凝土和预制构件生产质量控制. 北京:中国建筑工业出版社,2001

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.