

朱择权

著

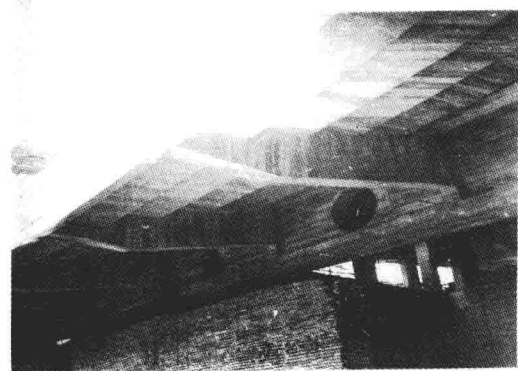
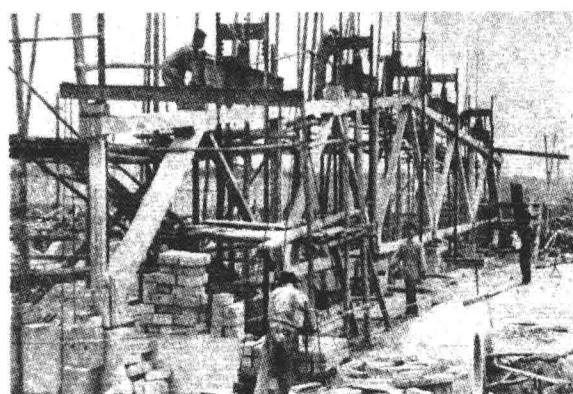
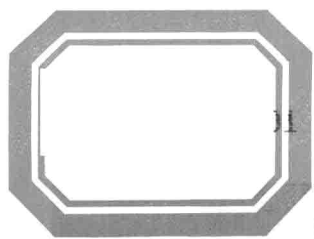
湖南大学出版社

朱择权建筑科技文集

——预应力工程实践四十年

刘正题





朱梓权建筑科技文集

预应力工程实践四十年

刘

江苏工业学院图书馆藏章



图书在版编目(CIP)数据

朱择权建筑科技文集——预应力工程实践四十年/朱择权著.
——长沙:湖南大学出版社,2004.8

ISBN 7-81053-822-5

I.朱… II.朱… III.①预应力结构—结构设计—文集

②预应力结构—工程施工—文集 IV.TU378-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 079016 号

朱择权建筑科技文集

——预应力工程实践四十年

Zhuzequan Jianzhu Keji Wenji

——Yuyingli Gongcheng Shijian 40 nian

著 者:朱择权

责任编辑:卢 宇

特约编辑:何哲辉

封面设计:张 毅

出版发行:湖南大学出版社

社 址:湖南·长沙·岳麓山 邮 编:410082

电 话:0731-8821691(发行部),8821315(编辑部),8821006(出版部)

传 真:0731-8649312(发行部),8822264(总编室)

电子邮箱:press@hnu.net.cn

网 址:<http://press.hnu.net.cn>

印 装:湖南大学印刷厂

总 经 销:湖南省新华书店

开本:787×1092 16开 印张:15.25 字数:390千

版次:2004年8月第1版 印数:2004年8月第1次印刷

书号:ISBN 7-81053-822-5/TU·24

定价:25.00元

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与本社发行部联系

序 言

朱择权先生系湖南省著名的预应力混凝土技术专家，在全国预应力工程技术界亦具有很高的知名度。40多年来，他对预应力技术进行了长期的试验研究与工程实践，不断有所创新，有所突破，对我国的预应力混凝土工程技术事业作出了重大贡献。在20世纪50年代中期，我国刚开始发展预应力混凝土阶段，他就结合武汉钢铁公司建设工程的实践，开展了对预应力混凝土双坡梯形组合桁架的试验研究，在他的文章《24 m 预应力钢筋混凝土双坡梯形组合桁架的试验》中，详细介绍了对该桁架的试验研究情况。获得成功后，设计部门已采用了这种桁架用于武钢工程的铸铁车间。

他不满足于这一成果，发现这种桁架还有值得改进的地方，如桁架端斜拉杆由于是非预应力杆件，裂缝出现过早过宽，桁架现场拼装张拉施工较繁，以及桁架自重较大等。翌年，他针对上述不足，设计了一种新的跨度30 m的装配——整体式预应力混凝土桁架，其特点是：桁架下弦及端斜拉杆均采用先张法分段制作成预应力单一杆件，然后焊接拼装成整体桁架。通过试验，在使用荷载下，这种桁架端斜拉杆及下弦均未出现裂缝，工作正常，而且自重很轻，一榀桁架仅8.7 t，比当时使用较多的30 m预应力拱形桁架轻40%多，受到建筑工程界的重视。他应邀参加了1958年在北京召开的第二届全国预应力混凝土会议，并在大会上发言。在他撰写的《30 m 装配——整体式预应力混凝土桁架》一文中，对该桁架作了详尽的阐述。

我国自20世纪50年代开展对预应力混凝土工程实践来，大都应用在一些中小型的单一的静定结构构件中，而超静定结构构件却很少用到。1967年，他在参加酒泉钢铁公司工程建设中，为该公司铸造车间设计了一种新的预应力混凝土连续吊车梁试制图。通过试制、静荷试验及400万次疲劳试验证明：该梁的强度、刚度、抗裂性等都满足了设计要求，工作性能良好。设计部门将这一成果应用在酒钢铸造车间，1969年建成了我国首例两条全长84 m的预应力混凝土连续吊车梁。对此，在他的论文《预应力钢筋混凝土连续吊车梁的设计、试制、试验及施工》中有系统的介绍，文后附有该吊车梁完整的计算书和试制图，为初学者提供了设计类似吊车梁的系统知识。

他在预应力混凝土实践中潜心研究，勇于开拓。1980年，在他主持长沙市银星电影院的结构设计中，为该电影院成功地设计了一座预应力混凝土螺旋楼梯，将我国的预应力混凝土技术由用于平面体系结构开创应用到螺旋体空间结构。详见他写的《长沙市银星电影院预应力混凝土螺旋楼梯》一文。在工程设计之前，他还详尽地研究推导了这种空间结构的内力计算问题，写出了《带直线段的螺旋楼梯内力计算》一文。他亲自领导施工并主持现场实物荷载试验，为这一工程的胜利建成作出了重大贡献。

在工作中，他不墨守成规或拘泥于设计规范中的某一条文。他在为长沙市银星电影院设计楼座大梁中，突破了当时规范(TJ10—1974)的规定：采用碳素钢丝的预应力混凝土构件正截面的抗裂设计安全系数 $K_f = 1.25$ ，而是按部分预应力混凝土概念进行设计；即控制在

准永久荷载作用下正截面混凝土不出现拉应力；在全部使用荷载下正截面混凝土拉应力不超过 $\Gamma \cdot R_{ft}$ 。这就使建成后的长沙市银星电影院楼座大梁成为了我国首批采用部分预应力混凝土理论，成功设计的大跨度重荷载的部分预应力混凝土构件之一。他的论著《长沙市银星电影院 24 m 部分预应力混凝土楼座大梁》对此有着详尽叙述，文中亦附有完整的计算书，可供读者掌握这种结构的全套设计计算方法。

在 20 世纪 80 年代初期，只有北京等少数几个城市开始应用无粘结技术的时候，他就率先将这一新技术引入湖南省。在他设计湖南省老干部活动中心——金秋堂屋盖工程中，成功地设计了 21 m 跨无粘结部分预应力混凝土屋面梁，填补了湖南省无粘结技术的空白。1987 年在大同召开的全国预应力会议上，该项目获得全国优秀预应力工程奖。他写的《21 m 跨无粘结高强钢丝束部分预应力混凝土屋面梁》及《湖南省老干部活动中心屋盖承重结构预应力工程实例应用》等文章中都有详尽介绍，亦附有完整的计算书和施工图。

他为推广预应力混凝土不遗余力，先后撰写了多篇论文：《部分预应力混凝土在我国工业与民用建筑中的应用》、《国内外预应力混凝土现代应用简况——1991 年 9 月北京国际预应力混凝土现代应用学术讨论会介绍》、《我国的预应力技术暨对湖南省推广高效预应力混凝土的几点建议》等，他将这些论文或发表于省、市技术刊物上，或在专业培训班上讲课，或在专业学术会议上作报告。他还在 1991 年主持召开了“湖南省无粘结预应力混凝土实用新技术研讨班”，在 1992 年主持召开了“湖南省高效预应力混凝土结构推广及工程应用学术交流研讨会”；每次会议都有来自省内、外的设计、施工、科研及教学等几十个单位，100 多位专家、教授及工程技术人员参加，受到与会者的一致好评。

他的英语论文《Modern Application of Prestressed Concrete in Changsha Region》，应邀参加了 1991 年在北京举行的北京国际预应力混凝土现代应用学术讨论会，他在大会上用英语发言，走上了国际学术讲坛。他的又一篇英语论文《Design of 2-storey Frame of 35.7 m Long-Span Using Unbonded Prestressed Concrete》，应邀参加了 1993 年在新加坡举行的第 18 届世界混凝土结构学术讨论会，走出了国门，他用英语在大会上进行了宣讲。

他不仅在预应力混凝土技术领域内造诣很深，成就颇大，40 多年来，他还在建筑工程的施工、设计及试验研究的长期实践中，撰写了多方面的科技论文：《大型装配式钢筋混凝土柱子的现场就地制作》、《少挖 1/3 的冻土》等，就是他在参加我国第一个五年计划 156 项工程中两项具体工程的技术总结。在《中国工商银行湖南省分行营业办公大楼结构设计概要与效果》一文中，他及时介绍了高层建筑结构设计施工中的一些具体问题：如基础设计与沉降观测、上部结构设计、主楼与裙房的连接设计及措施以及结构设计与其他专业设计的配合协作问题等等。为 20 世纪 80 年代湖南刚兴起的高层建筑结构设计提供了一些有益的借鉴，在今天也仍有所裨益。

冶金工业生产中侵蚀介质的跑、冒、滴、漏造成冶金建筑的腐蚀既严重又广泛，历来为冶金建筑研究中的重大课题之一。解决问题必须先从调查研究入手，他在冶金部系统工作的较长期间内，先后调查走访了云南、甘肃、湖南、上海等许多冶金厂车间的腐蚀情况，撰写了以下一些调查报告：《云南地区有色冶金系统木屋架使用情况调查》、《捣制钢筋混凝土屋面板腐蚀调查》、《锌、铜、镍、铅电解精炼车间建筑结构的腐蚀与防腐调查》等。他还主持进行这方面专题试验研究，写出了《铜、镍电解车间钢筋混凝土结构裂缝与钢筋锈蚀关系试验研究》一文，为正确设计建造冶金建筑提供了一些宝贵技术资料。

他热心科普创作，注重将科学知识普及到广大群众中去。他发表在《长沙晚报》1984

年3月16日上的《你身边的预应力!》就是用人们日常生活亲身感受,亲眼所见的事例来阐明预应力的基本概念。20世纪80年代初期,当高层建筑在我国刚蓬勃兴起的时候,他又及时发表了《高层建筑的三大结构体系》一文,他以李白的诗句“危楼高百尺,手可摘星辰。不敢高声语,恐惊天上人”为引线,深入浅出地介绍了高层建筑设计控制因素及三大结构体系的形象概念等,融科学性与文学性于一篇短文,颇具新意,值得一读。该文发表不久,就被评为长沙市首届优秀科普作品二等奖。

朱择权先生40多年如一日,孜孜不倦,与时俱进,在预应力混凝土技术领域内,取得了一个又一个成果。时至今日,他已73岁高龄,仍笔耕不止。读完这本《文集》,使人感到一位老工程技术人员几十年来的心血和精神已跃然纸上。《文集》可供从事建筑工程设计、施工与研究的工程技术人员参考之用,亦可作为高等工科院校土建类专业师生的教学辅助材料。

成文山

2003年12月12日

(序作者为湖南大学原校长、结构工程教授、博士生导师)

目 次

大型装配式钢筋混凝土柱子的现场就地制作·····	(1)
少挖 1/3 的冻土·····	(5)
24 m 预应力钢筋混凝土双坡梯形组合桁架的试验·····	(7)
30 m 装配——整体式预应力混凝土桁架·····	(14)
云南地区有色冶金系统木屋架使用情况调查·····	(26)
捣制钢筋混凝土屋面板腐蚀调查·····	(34)
预应力钢筋混凝土连续吊车梁的设计、试制、试验及施工·····	(40)
铜、镍电解车间钢筋混凝土结构裂缝与钢筋锈蚀关系试验研究·····	(61)
锌、铜、镍、铅电解精炼车间建筑结构的腐蚀与防腐调查·····	(74)
长沙市银星电影院 24 m 部分预应力混凝土楼座大梁·····	(89)
长沙市银星电影院预应力混凝土螺旋楼梯·····	(109)
带直线段的螺旋楼梯内力计算·····	(117)
你身边的预应力!·····	(142)
高层建筑的三大结构体系·····	(143)
21 m 跨无粘结高强钢丝束部分预应力混凝土屋面梁·····	(144)
部分预应力混凝土在我国工业与民用建筑中的应用·····	(165)
中国工商银行湖南省分行营业办公大楼结构设计概要与效果·····	(179)
Modern Application of Prestressed Concrete in Changsha Region·····	(183)
在北京举行的“国际预应力混凝土现代应用学术讨论会”上的发言·····	(191)
国内外预应力混凝土现代应用简况——1991 年 9 月北京“国际预应力混凝土现代应用学术讨论会”介绍·····	(194)
湖南省高效预应力混凝土结构推广暨工程应用学术交流研讨会召开·····	(203)
我国的预应力技术暨对湖南省推广高效预应力混凝土的几点建议 ——在“湖南省高效预应力混凝土结构推广暨工程应用学术交流研讨会”上的报告 ·····	(204)
Design of 2-storey Frame of 35.7m Long-Span Using Unbonded Prestressed Concrete ·····	(212)
在新加坡举行的“第 18 届世界混凝土结构学术讨论会”上的发言·····	(215)
长沙市银星电影院预应力工程实例应用·····	(217)
湖南省老干部活动中心屋盖承重结构预应力工程实例应用·····	(222)
后 记·····	(225)

大型装配式钢筋混凝土柱子的现场就地制作

1955年我公司承包了某厂三个主要车间的大型装配式钢筋混凝土柱子的制作和安装任务。共计239根,56种型号,混凝土数量约1247 m³。最重的柱达17.2 t,最长的柱子达14.56 m。由于受到运输条件的限制,全部柱子都在安装现场就地制作。柱子的吊装采用玛西玛牌(Macsim)20 t履带式起重机,并采用斜吊法。在郭增运同志《大型装配式钢筋混凝土柱的吊装》一文中介绍了吊装方法。这里仅讨论一下制作上的问题。显然,就地制作的工作如果做得不好,对安装的速度、构件的质量及工程成本都有极大的影响。这个问题是值得注意的。

一、平面布置

装配式钢筋混凝土构件现场就地制作时的平面布置的好坏,对安装速度和安装时起重机的运行路线有密切关系,同时直接影响到构件制作时模板、钢筋及混凝土的运输工作。第二车间有一根柱子制作的位置放得不合理,结果安装时不得不用起重机将它来回搬运,到安装完竟花了5个小时,而一般安装一根柱子只需25分钟。可见合理布置平面非常重要。

利用履带式起重机进行安装,根据我们的经验,选择平面布置时应该考虑到下面几点:

(1) 最主要的,应使柱子的千斤索绑扎处、柱子底部和杯形基础中心三点同在以起重机为中心、以吊臂水平投影长为半径的圆弧上。或者至少使柱子上的千斤索绑扎处和杯形基础中心两点同在这个圆弧上。因为只有这样,才能保证起重机最便利地利用旋转法或滑行法一次即将柱子吊装到基础柱杯中去,避免做不必要的来回搬运。

(2) 安装时,起重机的中心位置应该在所要安装柱子的杯形基础的横向轴线上。因为柱子的吊装采用斜吊法,如果起重机不停在柱基的横向轴线上,就增加了一次校正的困难。如图1所示:当起重机停在A点时,吊钩将沿着1—1弧线旋转,安装就很方便;如果停在B点,吊钩将沿着2—2弧线旋转,2—2弧线与基础的纵横中心线成一斜交的角度,吊装时就很难使柱子纵横中心线与基础纵横中心线吻合,增加了工作的难度。

(3) 应该使起重机运行路线最短及吊装时的停站位置最少,避免起重机来回行驶。

(4) 保证制作柱子时,材料运输及施工操作最便利。

(5) 力求柱子制作时所占的面积及吊装时起重机所占的面积最小。

应该了解施工现场的情况,如周围空余面积多大,有无障碍物等,根据具体情况作出合理的平面布置。

由于开始时缺乏经验,在施工组织设计及施工中,平面布置采用过以下几种形式:

(1) 柱子和基础纵向轴线斜交:拟制作的柱子与基础纵向轴

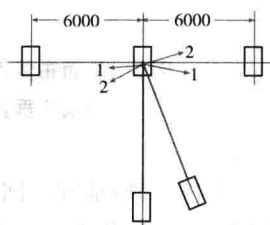


图1 吊装时起重机停站的位置

线成一锐角,如图2。这种布置方法最好,因为能满足起重机吊装柱子时所要求的条件,起重机运行路线短,制造时占地面积较小,模板、钢筋、混凝土的运输也甚方便。后来实践证明,这样的布置方式,都能达到25分钟安装一根柱子。选择这种平面布置时,该排基础附近应该没有任何其他结构物或障碍物。

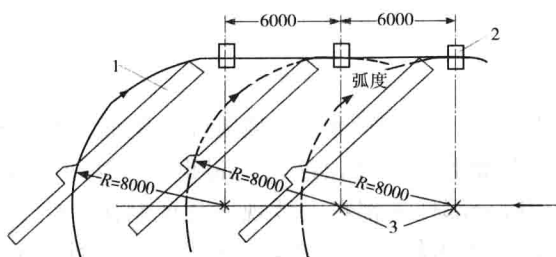


图2 平面布置之一:柱子与基础纵向轴线斜交

1. 装配式钢筋混凝土柱;2. 基础柱杯;3. 履带式起重机

停站点箭头表示履带式起重机运行路线

(2) 柱子和基础纵向轴线垂直:拟制作的柱子与基础纵向轴线成直交排列,如图3所示。这种方法也比较好,因为满足了吊装所要求的第一个条件。实践证明,用这种方法排列,吊装时也基本上可以达到25分钟一根。但是这种布置方法未能满足起重机中心线与柱杯的横向中心线在一条直线上的要求,吊装时起重机不得不紧靠柱子,采用滑行法进行吊装,从而加大了起重机的负荷,同时给一次校正也带来了一些困难,制作时的占地面积也比较大。

所以采用这种布置方法,是因为基础附近有许多结构物,无法按照斜交法布置。今后如采用这种方法,可稍作改进,如图4所示,这样就能满足起重机中心线与柱杯横向中心线在一直线上的要求。

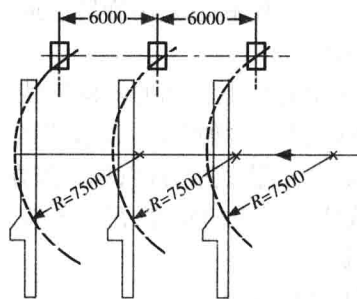


图3 平面布置之二:柱子与基础纵向轴线垂直

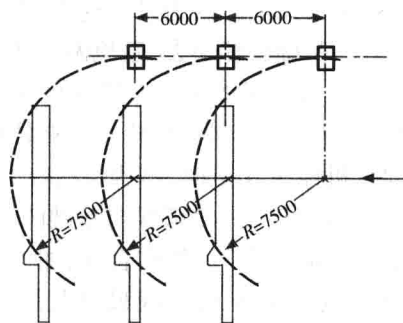


图4 第二种平面布置的改进意见

(3) 柱子和基础纵向轴线平行:拟制作的柱子平行于基础的纵向轴线排列,如图5所示。这种形式较差,因为不能满足吊装时所要求的条件。吊装时不能不都采用滑行法,以致将加大起重机的起重量。同时起重机的位置也不适当,因为不在基础横向中心线上。在吊装过程中,这种形式布置的柱子,竟要花上40~45分钟才吊装一根。另外,当柱子的长度大于两个基础之间的纵向间距的2倍时,就很难采用这种平面布置方法,因为如此排列将容纳不下。我们对

某排柱子之所以采用这种方法布置,是因为受到场地的限制,不能采用前两种方法。因此,虽然这种方法具有占地面积小、混凝土浇灌时运输方便等优点,但除非不得已,最好不采用它。

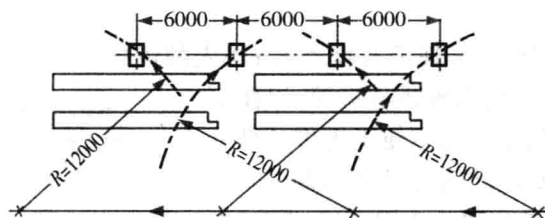


图5 平面布置之三:柱子与基础纵向轴线平行

二、在回填土上制造

装配式钢筋混凝土柱的就地制作,实际上是在基础做好以后在基础附近的回填土上进行的。10多吨重的钢筋混凝土柱放在刚回填的土上,怎样才能保证柱子的各部不发生沉陷或不均匀沉陷,是一个重大的问题。它将直接影响到钢筋混凝土柱子的质量。

我们对于解决这个问题,一方面是将回填土逐层夯压密实,最上一层用12 t压路机碾压;另一方面,对柱底模的构造,采用了以下几种方法:

(1) 跳板方木式:与地面接触部分顺柱长铺以跳板(断面50 mm×200 mm或50 mm×300 mm),其上横向置以50 mm×100 mm扁方,间距500~800 mm,再上又纵向置以100 mm×100 mm方木,最上则是底模的木楞及底模。如图6A。

(2) 定型板方木式:将上一种方法中的跳板改为定型板(1000 mm×600 mm),其余相同。如图6B。

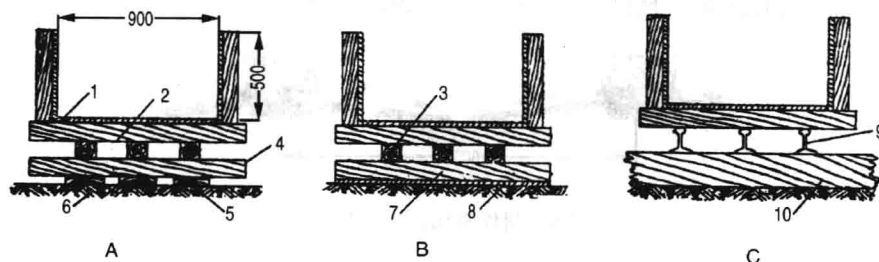


图6 柱底模的构造

A. 跳板方木式 B. 定型板方木式 C. 道木钢轨式

1. 柱底模; 2. 楞木; 3. 方木; 4. 扁方; 5. 跳板; 6. 夯实土壤;
7. 定型模板之楞木; 8. 定型模板; 9. 钢轨; 10. 道木

(3) 道木钢轨式:与地面接触部分横向铺以道木(断面200 mm×300 mm),间距为800~1000 mm,其上放置钢轨,间距200~300 mm,再上即底模之木楞及底模。如图6C。

以上三种形式相比,前面两种比较方便。一则材料都是工地现有的,二则材料轻,搬运和施工都方便。这三种底模板构造,混凝土浇灌完后,基本上均未发生沉陷。因此我们认为采用前两种方法就够了,不必采用道木钢轨,且在施工进度上和成本上前两者都优于后者。

三、活动模板

因为柱子的吊装采用斜吊法,柱子吊起之前并不先翻转 90° 。因此,需要在柱子起吊之前,将绑千斤索和缆风绳部位的底部模板先拆掉,以便绑好千斤索和缆风绳,准备起吊。为了便于先将这部分模板拆除,故要制成活动模板,与整个底模板断开。

活动模板的楞木必须垫以对头木楔,以利拆除,如图 7 所示。

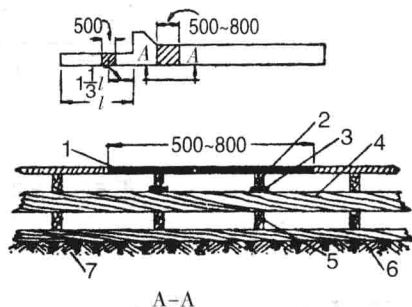


图 7 活动模板

1. 活动模板; 2. 木楞; 3. 对头木楔;
4. 方木; 5. 扁方; 6. 跳板; 7. 夯实土壤

四、排水工作

我们在制作大批大型装配式钢筋混凝土柱的时候,正是雨季,混凝土养生也需要浇水,而柱子制作地点却正在回填土上,因此必须充分重视排水工作,不使柱子发生下沉现象。

第二车间曾有一根柱子的牛腿一角下沉达 4 cm,原因是排水不良。由此足见排水工作的重要性。

排水工作最重要之点,就是要保证水分不致浸入柱底模板下的土壤中,或者积聚在制造现场的附近。

在另一车间中,我们采取了做排水坡的方法(图 8)。即当柱底模下的方木铺好后,暂不先铺底模,取土填至与方木顶部齐,并加夯实。柱的两边沿方木顶起做成斜坡,两柱之间挖一排水沟,并将其导至现场总排水沟。这种做法,雨水及混凝土养生的水能顺利地通过排水坡和排水沟排出场外,有力地保证了构件不发生沉陷和移动的现象。

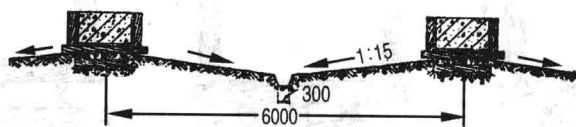


图 8 制作现场的排水处理

(本文曾发表于由冶金工业出版社出版的《装配式钢筋混凝土结构及构件的制作及吊装》一书中)

少挖 1/3 的冻土

本年我们工地承担如图 1 的带有地下室的多层混合结构的建筑工程。

土方量约 4500 m³, 其中冻土约 2100 m³, 地下室冻土占全部冻土量的 1/3 左右。1956 年 1 月 16 日开工, 就是说土方工程要冬季施工。因此考虑如何减少挖冻土量, 寻求一个较完善的施工方案, 以加速工程进度, 降低工程成本, 是单位工程施工方案的首要问题。

在工地组织讨论了公司技术科编制的施工方案: 采用大开口方式, 带形基础及地下室的土方全部同时开挖。地下室部分挖至 -3.3 m, 待以后做地下室地坪时, 再挖深 0.2 m 到 -3.5 m。带形基础地槽则挖至 -4.2 m (包括带形基础下之 10 cm 垫层), 如图 2。

这一方案存在的缺点是: 地下室及带形基

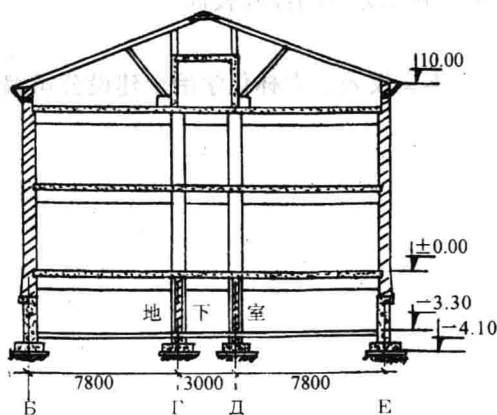


图 1

础的土方同时开挖, 对工期及降低工程成本并无什么意义。因为, 带形基础比地下室深, 当带形基础未做好, 没有回填土前, 地下室地坪是很难施工的。就一般施工程序来说, 地下室地坪也并不要求与带形基础同时施工。那么, 同时挖土并无益处, 反而增加冬季施工费用, 延缓工程进度。

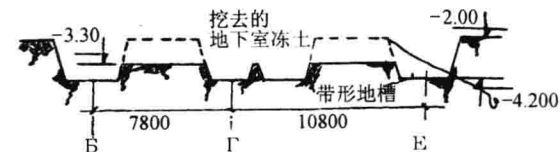


图 2

因此, 经讨论, 我们提出了第二方案: 不采取大开口, 仅先挖带形地槽, 待带形基础做好, 土壤化冻后, 再挖地下室土方, 将一部分土方用作回填带形基础, 多余土方通过地下室四周窗洞用皮带运输机或人工运出, 如图 3。

这一方案优点如下:

①少挖冻土 1/3 (约 600 m³), 这些土待化冻后挖, 一部分回填基础, 少部分运出。这样由于冻土及非冻土的价差, 及省掉回填土的运距, 可节省人民币 700 元左右。

②因少挖 1/3 的冻土, 使冬季施工土方工程提前 5.7 天完成 (按每天出勤 100 名力工, 每工挖 1.4 m³ 冻土计算)。

③由于地下室土方未挖, 则支第一层楼层的模板时, 下面立柱减短, 可用短材替长材, 可节省木材 7 m³, 合人民币 910 元。

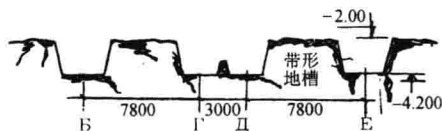


图 3

④可省去挖开地下室后地基的保温材料。

⑤浇筑基础混凝土时,可省掉一些搭设的马道及平台的立杆。

比较两个方案,公司已批准了第二方案,技术科也同意了。

现正按这个方案施工。由施工的实践,也充分地证明了第二方案的优越性。

原编者按:

工程的施工方案,需组织群众(有关工作人员)讨论。经过讨论就会充实原有的方案,使方案更近于完善。这篇报道就正是说明了这个问题。希望同志们多报道些这方面的材料,以交流编制施工方案的经验教训。

(本文发表于吉林化学冶金建设公司编的《施工技术》1956年第2期)

24 m 预应力钢筋混凝土双坡梯形组合桁架的试验

一、桁架概况

武汉冶金建筑总公司试制了跨度 24 m 的预应力混凝土双坡梯形组合桁架。桁架由两种编号的四个块体组成,其几何图形如图 1。桁架上面将覆盖 3 m × 6 m 的大型屋面板。跨中有天窗,宽 6 m;两侧有挡风板,宽 3 m。桁架的计算荷重简图也画在图 1 上。

桁架是黑色冶金设计总院设计的,试制中曾根据现场实际情况作了修改。下弦采用应力配筋,预应力杆件依据前苏联《预加应力钢筋混凝土结构设计规范》(И—148—52)设计,预应力损失值根据前苏联《应力配筋钢筋混凝土结构设计规范》(И—148—56)计算。上弦及全部腹杆均为非预应力杆件,按前苏联《混凝土及钢筋混凝土结构设计标准及技术规范》(ИИТy123—55)设计。桁架主要杆件的特征列于表 1。

表 1 桁架主要杆件的特征

杆件编号	杆件内力 (t)	断面积 (cm × cm)	预应力筋		非预应力筋	
			数量直径	钢 号	数量直径	钢 号
10、11	+ 61.15	35 × 14	1φ32 2φ28	25ГC	4φ8	CT.3
19、24	+ 26.5	15 × 15		$\sigma_T = 55$	8φ12	25TC
3、4、5、6	- 58.85	35 × 18		kg/mm ²	4φ12	CT.3
18、25	- 41.4	35 × 15		(冷强后)	4φ12	CT.3

注:1. 杆件编号见图 1;
2. 混凝土设计标号为 400 号,因施工时要求早强,提高到 450 号。

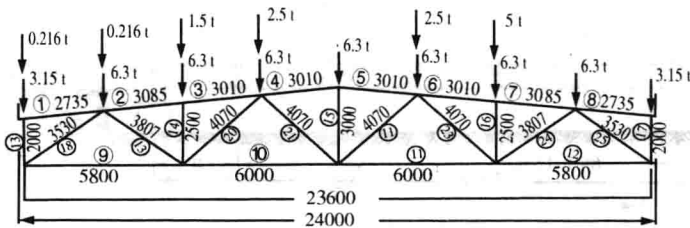


图 1 桁架的几何图形及计算荷重简图

写在杆件旁边的数字为杆件的轴线长度,单位 mm;圆圈里的数字为杆件的编号。

下弦杆(编号 10 和 11)的强度安全系数 $K = 1.78$,预应力筋的控制应力 $\sigma_{ak} = 3800 \text{ kg/cm}^2$,抗裂安全系数 $K_{TP} = 1.46$,若试验时不计混凝土收缩及徐变对钢筋预应力的损失,则 $K_{TP} = 1.78$ 。斜拉杆(编号 19 和 24)在使用荷重下的裂缝宽度,依据 HИТy123—55 所给的公式计算,仅

为 0.0475 mm。下弦节点在使用荷重下的挠度,计算为跨中 1.72 cm、两侧 1.34 cm,其中未考虑预加应力时所产生的反拱影响。

桁架的各杆件,设计采用焊接钢筋骨架,因施工困难,改为绑扎。钢箍原设计 $\phi 5$ mm 的冷拔钢丝,改为 C_T.3 的 $\phi 6$ mm 及 $\phi 6.5$ mm。斜拉杆的受力钢筋埋入上弦和下弦的方式如图 2 所示。

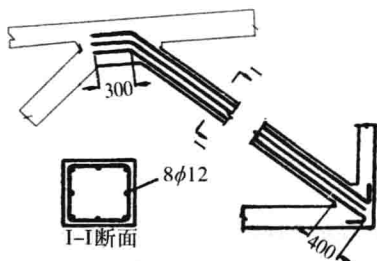


图 2 斜拉杆(编号 19 和 24)受力钢筋埋入上弦及下弦的情形

二、试验目的

1. 检查桁架能否满足设计要求:了解桁架的承载能力及破坏情况,下弦杆的强度安全系数与设计的差别,最大斜拉杆(编号 19 和 24)在使用荷重下裂缝开展的宽度,下弦杆的预应力效果及其抗裂安全系数能否满足设计要求,桁架的实际挠度与计算挠度的差别,等等。

2. 检查材料及施工的质量:了解 25 σ_c 钢筋在混凝土构件中的工作性能,检查混凝土的标号、预应力筋的张拉及锚固方法、孔道灌浆的质量等对桁架的强度及抗裂性的影响。

3. 对设计及施工提出改进意见:对桁架的大批生产和正式使用作技术鉴定。

三、试验方法

1. 设备

荷重试验时,桁架放在相距为 23.6 m 的两根钢筋混凝土基础梁上,基础梁放在 4 个混凝土基础上(图 3)。用 7 个油压千斤顶在桁架上弦节点加荷。千斤顶的反力通过拉力架传递给混凝土平衡体,借混凝土平衡体的巨大自重,使千斤顶不断给桁架加荷。

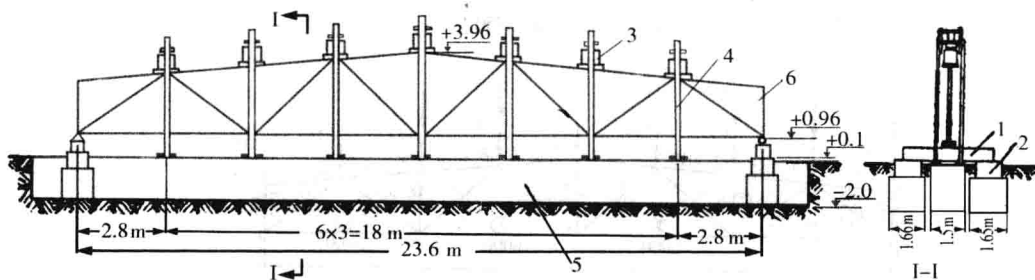


图 3 桁架荷重试验简图

1. 钢筋混凝土基础梁; 2. 混凝土基础; 3. 千斤顶; 4. 拉力架; 5. 混凝土平衡体; 6. 桁架

2. 仪表

试验时使用 6 个放大率为 1000 倍的引伸仪、6 个百分表、2 个放大率为 10 倍的刻度显微镜及一个水准仪(图 4)。

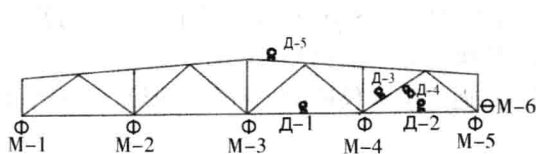


图4 引伸仪和百分表的布置

ϕ —百分表； R —引伸仪

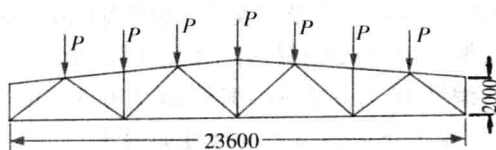


图5 试验荷重简图

3. 荷重

试验时在桁架上弦 7 个节点加荷,而实际工作是上弦 9 个节点同时有荷重作用。考虑到两边节点的荷重仅影响到两边竖杆的受压及支座下沉量的加大,对其他杆件没有影响,因此把这两个节点的加荷削掉了。

为了使加荷时方便和准确,将上弦 7 个加荷点均换算为相等的荷重 P (图 5)。换算方法是分别以下弦杆和斜拉杆在实际荷重下所产生的内力为已知,再以截面法求出相等的加荷数值。当然这和桁架的实际荷重是有些出入的,例如分别以下弦和斜拉杆在实际使用荷重下的内力换算出的上弦各节点相等荷重为 $P = 7.74 \text{ t}$ 及 $P = 8.04 \text{ t}$,两者相差 0.3 t 。但这个差数较小,实际上也不会发生影响。如果在使用荷重下主要是观察斜拉杆的裂缝宽度,则可将加荷数值保持为 8.04 t 。这样,既经过 7.74 t ,满足下弦在实际使用荷重下的要求,也满足斜拉杆在实际使用荷重下的要求。

4. 加荷方法

加荷步骤分四个阶段:

第一阶段: $0 \rightarrow$ 约使用荷重的 $28\% \rightarrow 0$;

第二阶段: $0 \rightarrow$ 使用荷重 $\rightarrow$ 保持 $\rightarrow 0 \rightarrow$ 停;

第三阶段: $0 \rightarrow$ 下弦出现裂缝时的荷重 $\rightarrow$ 保持 $\rightarrow 0 \rightarrow$ 停;

第四阶段: $0 \rightarrow$ 破坏荷重。

第一阶段是给桁架以预压,检验桁架上各仪表有无移动。第二阶段了解桁架在使用荷重下的工作性能。第三阶段了解下弦出现裂缝时的荷重,以求桁架下弦的实际抗裂安全系数。第四阶段了解桁架的破坏情况,确定桁架的实际强度安全系数。保持荷重及停的时间的长短,以各仪表的读数是否趋于稳定而定。若读数基本上已经稳定,则可将时间缩短,但要求保持荷重时间不小于 12 小时。

每两次(紧接的)加荷的相隔时间为 15 分钟,加荷 5 分钟后统一测读各仪表的数值。卸荷数值要求跟加荷相等数值逐步卸下,但考虑千斤顶不便于控制微小数值卸荷,故定每次卸荷 2 t 左右。每两次卸荷相隔时间 20 分钟,开始卸荷后的第 10 分钟统一测读各仪表的数值。

四、荷重试验

桁架正常地经过第一个阶段后,便进入第二个阶段,正式荷重试验。当桁架上弦每个节点的实际作用荷重为 2.76 t 时,编号 24 的斜拉杆在与下弦交接处出现第一条裂缝,宽度为 0.08 mm 。这与计算出现裂缝时的荷重值相等。荷重继续增加至 4.2 t 时,编号 19 的斜拉杆出现第

一条裂缝,也在与下弦相交处,宽度为 0.05 mm。继续加荷到 8.04 t,即相当于斜拉杆的使用荷重时,编号 19 和 24 斜拉杆上的裂键已全杆分布,开展均匀,间距 15~20 cm。裂缝开展的最大宽度:编号 19 为 0.2 mm,编号 24 为 0.3 mm。此时,通过引伸仪所测的杆件变形而计算的杆件内力如表 2,下弦各节点的挠度如表 3。

表 2 在使用荷重下杆件的实际内力和计算内力

杆件 编号	引伸仪 编 号	在使用荷重下引伸仪所 测的杆件应变		实际应力 (kg/cm ²)	实际内力 (t)	计算应力 (kg/cm ²)	计算内力 (t)	实际的 计算的 (%)	备 注
		初加荷重时	保持荷重 13 小时后						
11	Ⅱ-1	+0.000205	+0.000218	+95.7		+104		92.0	测混凝土拉伸
12	Ⅱ-2	+0.000122	+0.000127	+55.8		+52.4		106.5	测混凝土拉伸
24	Ⅱ-3	+0.000705	+0.00154	+3240	+28.8		+26.5	108.7	测钢筋拉伸
5	Ⅱ-5	+0.000109	+0.000098		-31.2		-58.85	53.0	测混凝土拉伸

注:1.表中的应变已考虑了外界大气的影响;

2.Ⅱ-5 引伸仪读数的过大偏差,据分析是该仪器本身误差所致。

表 3 桁架在使用荷重下跨中各节点的实际挠度和计算挠度

百分表编号	实际挠度(mm)		计算挠度(mm)	实际的 计算的 (%)
	初加荷重时	保持荷重 13 小时后		
M-2	11.8	12.78	13.4	95.0
M-3	15.13	16.13	17.2	93.5
M-4	12.65	13.32	13.4	99.0

注:① 实际挠度已减掉桁架两支点下沉的影响,但未包括桁架自重及千斤顶自重所产生的下挠数值。

② 实际挠度与计算挠度,均未考虑桁架在制作过程中所产生的反拱影响。

使用荷重保持 13 小时后,各仪表基本上趋于稳定,斜拉杆的裂缝宽度亦稍有改变:编号 19 的为 0.18 mm,编号 24 的仍为 0.3 mm。

卸荷分三次卸到零:第一次自 6.84 t 到 5.0 t,第二次自 5.0 t 到 2.5 t,第三次自 2.5 t 到 0。在卸荷过程中发现千斤顶不容易一下子控制到要求的卸荷数值,且各个千斤顶不能同时都达到要求的卸荷数值,影响了仪表读数的准确性。这是用油压千斤顶加荷的一个缺点。

在零荷重下停止 3.5 小时,开始第三阶段加荷。当上弦节点的实际作用荷重为 11.3 t,相当于 $K_p = 1.46$ 的荷重时,下弦没有发现任何裂缝。荷重加至 12.8 t,下弦仍未发现任何裂缝。但这时编号 Ⅱ-3 引伸仪读数有很大增高,所测钢筋应变由初加荷重时的 0.00194,增加到保持 2 小时后的 0.00241。若以钢筋的弹性模数 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 计,这时钢筋的应力已达到 5050 kg/cm²,超过了流限。

由于下弦没有发现任何裂缝,接着又继续加荷。加荷至 14.7 t 时,下弦编号 10 和 11 杆件开始出现裂缝。这时相应的抗裂安全系数 $K_p^p = 1.9$,跟计算的 $K_p^p = 1.78$ 相比,提高近 7%;跟计算的 $K_p^p = 1.46$ 相比,提高约 30%。

加荷至 14.7 t 时,已超过计算的破坏荷重(计算破坏值为 13.8 t)。故临时决定继续加荷至桁架破坏为止。荷重增至 16.2 t 时,编号 18 与 25 两根斜压杆在上弦节点处的混凝土首先被压碎剥落下来。紧接着,当荷重增至 16.7 t 时,编号 18 的杆件在跟上弦节点交接处发生断裂。这时桁架已失去继续承载的能力。