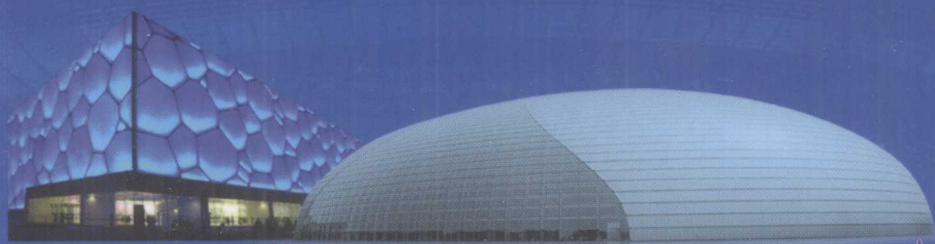




邢民 著

邢民结构设计实鉴

跋涉之旅



大连理工大学出版社



跋涉之旅

邢民结构设计实鉴

邢 民 著

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

跋涉之旅：邢民结构设计实鉴 / 邢民著. — 大连：大连理工大学出版社，2008.9
ISBN 978-7-5611-4384-1

I. 跋… II. 邢… III. 建筑结构—结构设计 IV. TU318

中国版本图书馆CIP数据核字（2008）第137504号

出版发行：大连理工大学出版社
（地址：大连市软件园路80号 邮编：116023）

印刷：利丰雅高印刷（深圳）有限公司

幅面尺寸：185mm × 260mm

印 张：16.25

出版时间：2008年9月第1版

印刷时间：2008年9月第1次印刷

责任编辑：袁 斌 艺 寒

责任校对：李 刚 邢 林

封面设计：温广强

ISBN 978-7-5611-4384-1

定 价：108.00元

电 话：0411-84708842

传 真：0411-84701466

邮 购：0411-84703636

E-mail: dutp@dutp.cn

URL: <http://www.dutp.cn>

致 谢

想写一本书的念头，始于笔者参加的2006年6月在北京召开的“首届全国建筑结构技术交流会”。

那次会议上，当中国的结构工程师们依次介绍完“鸟巢”、“水立方”、“CCTV新办公楼”、“首都机场T3航站楼”、“广州西塔”这些当今中国重点工程的结构设计“经验”之后，奥雅纳（ARUP）的结构专家何伟明先生登台，但他娓娓地向我们道来的却是形成这些结构的“原始创意”从何而来，我们结构工程师们应该如何在“九点之外”找到串起九点的连线……

因此，感谢何伟明先生！是他，激发了笔者要写下一本书的“冲动”。

还有我的夫人和儿子，他们在知道了我的这种愿望的时候，一直以来都非常坚定地支持我。即便是在我工作最艰难的时刻，他们也始终给予我最大的鼓励和信任。

因此，感谢我的家人们！

感谢十八年来与笔者在一起工作过的北京市建筑设计研究院的同行们、中建国际（深圳）设计顾问有限公司体育事业部的同行们。为了作品的完整性，作者在本书中引用了一些同事们绘制的部分设计图纸（书中已一一注明绘者），在一个接一个的工程设计实践中，仅仅是为了追求“地球局部面貌改变成功”的那一刻的喜悦和欣慰，我们在一起画横道画竖道，在一起导荷载算效应，在一起办洽商下工地……笔者这些年来所积累的对这个行业的、这个专业的全部感受都受惠于与你们的合作。

因此，感谢所有曾经的同事们！

我还要感谢这样的一些工程师们，笔者从他们在结构工程设计中所提出的一些不同的观点

出发，回溯并不断寻迹结构技术的基本原理，直到有所发现并将其记录在本书中。

因此，也要感谢这些启发作者思考的结构工程师们。

最后，笔者要告诉各位读者的是：本书不是一本揭示结构设计普遍原则的教科书，而仅是作者从自己十八年的结构设计实践中撷取的几个典型工程的结构工程设计实录（间或也有几道算例），还有作者对于“结构设计”这个专业所涉及的一些命题的思考。如果书中的内容能够使你们得到了一些收益，进而激发了你们继续思考的热情，那正是笔者所期望看到的。

所以，无论如何，谢谢你们的选择！

邢 民

2008年4月于北京

目 录

导 言 跋涉之旅	1
01 多哥共和国洛美体育场	7
1.1 工程概况	7
1.2 结构设计	8
1.2.1 平面轴网确定	8
1.2.2 结构单元划分	9
1.2.3 结构平面设计	10
1.2.4 结构剖面设计	13
1.2.5 结构详图设计	15
1.3 总结与思考——“设计”与“结构设计”	19
02 全总职工之家扩建配套工程	23
2.1 工程概况	23
2.2 结构设计	24
2.2.1 结构设计标准	24
2.2.2 基础结构设计	25
2.2.3 结构平面设计	28
2.2.4 详图设计示例	33
2.2.5 构件计算算例	35
2.3 总结与思考——结构设计的表达技术	37
03 河南省体育中心体育场	41
3.1 工程概况	41
3.2 结构设计	42
3.2.1 结构设计标准	43

3.2.2 结构单元划分	43
3.2.3 基础结构设计	45
3.2.4 结构平面设计	49
3.2.5 结构剖面设计	52
3.2.6 记分牌结构设计	54
3.2.7 罩棚钢网架结构设计	55
3.2.8 构件计算算例	59
3.3 总结与思考——规范原则的辩证认识	64
04 中国国家大剧院	71
4.1 工程概况	71
4.2 结构设计历程	73
4.3 结构方案与初步设计	74
4.4 结构施工图设计 (201&203区)	84
4.4.1 结构设计标准	84
4.4.2 201区基础结构	84
4.4.3 203区基础结构	87
4.4.4 201区地下结构	91
4.4.5 203区地下结构	100
4.4.6 景观水池结构	105
4.4.7 构件计算算例	119
4.5 结构施工简述	124
4.5.1 混凝土结构施工	124
4.5.2 钢壳体结构施工	131
4.6 总结与思考——一个不可复制的结构	136
05 中国国家游泳中心 (水立方)	141
5.1 工程概况	141
5.2 结构设计历程	144
5.3 钢框架结构方案创意与设计	144
5.4 结构设计	148
5.4.1 结构设计标准	148
5.4.2 基础结构	148
5.4.3 混凝土结构	153
5.4.4 游泳池、跳水池及跳塔结构	162

5.4.5 临时座椅及平台结构	170
5.4.6 室外护城河结构	176
5.4.7 多面体空间钢框架结构简述	178
5.4.8 ETFE气枕结构简述	182
5.5 结构施工简述	185
5.5.1 混凝土结构施工	185
5.5.2 钢框架与气枕结构施工	192
5.6 总结与思考——结构设计的未来	216
06 2008北京奥运会曲棍球、射箭及沙滩排球赛场工程	221
6.1 工程概况	221
6.2 结构设计	224
6.2.1 结构设计标准	224
6.2.2 基础结构设计	224
6.2.3 钢管架结构设计	227
6.3 总结与思考——也谈结构设计的话语权	230
结语 纵论当代结构	233
作者主要工程设计一览表	247
参考文献	249

珍视自己的每一步脚印，勤于记录、乐于重温、敢于自嘲、善于修正。

余秋雨

导言 跋涉之旅

入行——管笔加刀片的年代

十八年前，从七岁开始的连续十七年的学习生涯结束了，靠着在毕业前夕手捧北京市电话号码簿发出的三十多封自荐信赢得的机会，我非常幸运地进入了北京市建筑设计研究院第三设计所从事结构设计工作。

当时，北京院三所七室作为北京市建筑设计研究院的援外设计室，结构专业室里可谓人才济济——郭柏年（当时的室主任）、柯长华（当时的主任工程师）、刘季康、孙跃先、周振源、胡经纶……室里指定周振源前辈（《七八》版国家地基规范的编委）做我的指导老师。

至今依然记得刚到设计院时对“结构设计”这一职业留下来的最初的感受。

报到后的第一件事，就是到院里的行政处领图板、丁字尺、三角尺、计算器、管笔和刀片，到资料室领《规范》。然后在较早入行的同事们的引领下，认识到哪里可以领硫酸纸，到哪里去扎图边，到哪里去晒图……

接下来就是学《规范》（初接触规范条文，对具体内容也是似懂非懂），看既往工程设计图纸，一件至今令我难忘的尴尬的事是：

一日，看某工程的结构平面图，但见图中门洞处有两条“实线”通过——每日过门数次，怎不见此两实线所示之物件？百思不得其解矣，无奈之下只好手捧图纸请师傅明示。师傅看罢，说：“请随我来。”

在众目睽睽之下被师傅引至办公室门前，师傅说：“请抬头看，是否看见了图中的那两条实线？”，遂抬头，果然，两条“实线”所示之“门洞过梁”赫然在头顶之上通过。

师傅随后点破迷津：“注意，北京市院的结构平面图画法为“镜面反射法”，剖切之后要抬起头来向上看，不要低头看脚下”。

惑遂解之。

那时，设计室最典型的景象就是大家趴在图板上，丁字尺、三角板上下翻飞，如果管笔犯毛病不出水了，就需要有节奏地前后摇动（这也是个技术活），图画错了就用刀片刮，刚开

始时由于刮擦的技术不好，不是挂漏了硫酸纸（靠胶带纸粘贴补救），就是怎么刮也刮不干净（手执刀片的角度、力度有问题），那时，每每看到老前辈们轻松自如地操纵刀片的精湛技术总是羡慕不已。

今天，手握鼠标的我依然会常常回想起那段岁月，耳边也还会想起前后摇动管笔和刀片刮擦硫酸纸的有节奏的声音……

学步六年间——从制图人到负责人

第一次正式开始设计“工程”是一个近三百平方米的怀柔水库太阳观测站配套工程，师傅说：“麻雀虽小，五脏俱全”，做工程都是要从“小”做起的。于是，导荷载、查规范、算基础、算楼板、画图、归档、交底、验槽、验收。这些无论多大工程都要一丝不苟地去完成的专业技能就随着一个个“小”的工程设计实践而逐渐积累起来了。

从业的最初六年（1989年到1995年），所参与设计的大部分工程都是规模较小的个体项目，或者是较大项目单项图纸的绘制工作（如基础图、梁详图、楼梯详图等），其中，获得国家级优秀设计一等奖的吉林雾凇宾馆项目（1992年9月完成设计——黄薇为工程主持人，陈杰为结构负责人），我负责完成了全部基础结构图的计算和绘图工作，在预制桩基础的设计计算中，自己还编制了FORTRAN计算程序用来验算桩群受力。

从京北大世界（1992年12月完成设计——王志云、杨洲为主持人，邢民、孙跃先为结构负责人）这个项目开始，随后如1993年的大连日本电产工程新建工程（与日本小野建筑事务所合作，中方工程主持人为潘子凌）、1994年设计完成的航天部七一一医院门诊楼（杨洲为工程主持人）等项目，我就逐渐担负起结构专业负责人的责任。

从设计制图人到专业负责人的这个过程是一个很重要的转变，结构设计是一项需要担负一定风险的专业，在结构专业负责人的这个角色上，专业设计团队需要你对某些重要的技术决策作出正确的决定，并且指导设计和制图人去完成全部的结构设计工作，因此，这一角色没有几年的工作积累是很难胜任的。

因此，与其说结构专业负责人是一项荣誉，倒不如说其更是一份责任，而愿意去承担这样一份责任，则正是一个结构工程师趋于成熟的标志。

我是第一名——走在换笔潮流的最前沿

一九九八年，北京市建筑设计院举行了两年一度的青年CAD优秀施工图竞赛，这次竞赛的优胜名次是采取图纸公开展示、观众自发投票的方式进行的。在这次竞赛中，笔者绘制的“全总职工之家扩建配套工程”结构设计系列图纸赢得全院结构专业的第一名。

从管笔加刀片到CAD制图，中国建筑设计的表达手段在20世纪90年代后期经历了一次剧烈的变革，当时有一个口号，叫做“要早日甩掉图板”。几年之间，设计从业者面对的就不再是一面面图板了，取而代之的是一台台电脑（从286、386，到奔腾I、奔腾II、奔腾III……）；

制图软件的变化更是令人眼花缭乱。北京院早期引进的Micstation 并在其基础上自主研发了Hicad, 后来, 随着大家更加青睐于世界上主流的建筑制图软件Autocad, 建筑设计的数据交换更加方便、制图效率也就更加提高了。

如何才能走在这个换笔潮流的最前沿, 是那个时候笔者常常思考的问题。记得那时常常去的一个地方就是位于北京公主坟旁边的科技档案馆地下一层的书店, 那里有大量的最新的建筑CAD制图方面的书籍, 电子工业出版社出版的《AUTOCAD RX 从入门到精通》是笔者每版必买的案头参考书, 从R10版到2004版, 紧紧跟随其最新功能的变化和发展, 并且探索如何在结构表达方面有新的突破。

所以说, 取得这次制图竞赛第一名并不是偶然的, 是自己长期以来跟踪世界最先进的图纸表达技术的结果。当时, 建筑专业有一个叫陶雳的设计师(后来他去了美国)在建筑的立面表达中首先采用了区域灰度控制技术, 我即将此种技术用在了结构平面图中用来表达区域板块标高的变化, 省却了传统的边界折倒剖面的方式, 使结构的平面表达更加清晰, 又例如采用不同的灰度表达墙柱、洞口等技术都是笔者率先采用并在北京院三所推广至全院的。

及至后来的东方广场西回迁楼、河南省体育中心体育场工程, 笔者都在结构的设计表达方面进行着新的、渐进的探索, 尤其是到了国家大剧院工程, 203区基础地面标高变化复杂, 分布有十三个标高, 结构GF层景观水池结构板面标高也有较多变化, 笔者都是利用区域灰度控制技术对结构全平面进行了清晰表达。

矢志不移——走上体育建筑结构设计之路

毕业的时候, 正赶上北京九零年亚运建筑的建设, 北京市建筑设计院在马国馨的统领下承担了其中大部分亚运场馆建筑的设计工作。因为自己刚入院, 所以还只能是个旁观者, 看着单可民、刘季康等前辈们画就的奥体中心田径场的大气而精致的图纸, 真的是非常地羡慕。

下面这张照片我一直珍藏着, 那时亚运建筑建设已近尾声, 设计院团委组织青年团员们以义务劳动的方式为新建成的亚运建筑清扫建筑垃圾, 这张照片就是当时劳动之余我和室里几位年轻的设计师们在田径场平台上的合影。那时, 自己对体育建筑结构设计的钟爱就植根于心, 立志要在自己几十年的职业生涯中做几个像样的体育建筑。

有机会自己亲自操刀设计第一个体育建筑已经是毕业六年以后的事了, 经过多年的技术准备, 一九九五年底, 承蒙当时北京院三所韦佳福所长的信任,



指定我担任多哥共和国洛美体育场（秦中和、杨洲为工程主持人）工程的结构负责人。这个项目在1992年做过了一版初步设计，这次重新开始设计，在规模和结构布置方面都没有太大变化，只是在重新核定原设计的四心圆环向轴网的过程中，发现按原设计标定的圆心在电脑中放样后，四段圆弧不能准确交切，后来经过自己的几何导算后，重新确定了圆心位置（见本书该工程设计专题部分）。

由此之后，体育建筑结构设计就成了自己重要的设计实践方向，这一方面的原因是自己对体育建筑结构设计情有独钟，另一方面的原因，也是随着体育建筑结构设计实践的积累，在把握这类建筑结构设计的原则，在体育建筑结构图纸表达技术上逐渐形成了自己的风格并被大家所认可。

十多年来笔者所设计完成的主要体育建筑结构如下：

- 多哥共和国洛美体育场（1996年完成，结构负责人）
- 马里共和国3.26体育场（1997年完成，主要设计人）
- 烟台市体育中心射击馆（2000年完成，结构负责人）
- 河南省体育中心体育场（2000年完成，结构负责人）
- 国家游泳中心（水立方）（2004年完成，结构负责人）
- 天津奥林匹克水上中心（第一版初设）（2004年完成，结构负责人）
- 广州大学城广州大学体育馆（2005年完成，结构负责人）
- 内蒙古呼和浩特体育场（2005年完成，结构审定人）
- 2008北京奥运会曲棍球、射箭及沙滩排球赛场（2006年完成，结构负责人）
- 济南奥林匹克体育中心体育场（第一版初设）（2006年完成，结构负责人）

八年青春献给谁？——国家大剧院与国家游泳中心

2000年，国家大剧院项目经过历时近两年（自1998年4月第一轮竞赛始）的前期竞赛、评选、争论，最终决定采用法国ADP公司（巴黎机场建设公司）安德鲁先生的方案。同时，经过在国内几家大设计院之间进行的后期施工图配合单位的竞争，北京市建筑设计研究院被确定为国内施工图设计配合单位。三月份，在韦佳福所长率领下，以三所为骨干、由近三十人组成的以配合法方完善初步设计为目的的中方设计团队浩浩荡荡赶奔巴黎，在那里与法方设计人员共同工作了两周。

以此为开始，长达三年半的国家大剧院国内施工图设计工作正式展开。

应当说，这是一个充满艰辛和挑战的过程。在这个过程中，我们和ADP及SETEC（安德鲁聘用的一家法国工程顾问公司）的设计师们一起工作，经历了方案修改、深化，初步设计审查、修改以及施工图分区分版提交、修改等非常艰辛的过程，到了2003年9月份，除钢壳体部分的施工图外，国家大剧院全部施工图纸的设计工作基本上完成了。

在离开北京院来陪伴“水立方”成长的这四年多来，自己经历了很多彷徨和无助的日子，每当这时候，我都要去大剧院工地上去看看，而在每次看到大剧院结构设计总负责人刘季康先

生四年如一日地盯在工地上时，一方面感到心里歉疚（四年前没有留下来帮他），一方面也看到了一个真正的职业工程师的高尚的品质。

因此，在此书付梓之际，特别向刘季康前辈表达我由衷的敬意！

2001年7月13日，那是一个令所有中国人难忘的日子！

那天，因为河南省体育中心体育场钢结构施工招标的事，我正和杨洲先生等当时的北京院的同事们出差杭州，我们一直就守候在杭州萧山宾馆大堂里看电视直播，等待结果。午夜时分，当国际奥委会主席萨马兰奇先生打开投票结果，清晰地说出把第二十九届奥林匹克运动会的举办权授予“北京”的那一刻，我们一跃而起，击掌相庆，也激动得彻夜难眠！同时，觉得自己多年来的体育建筑结构设计的技術准备终于等到了机会，可以有所作为了。

2003年初，北京2008奥运会场馆工程单体招标开始了。

3月份，国家体育场设计招标结果揭晓，由瑞士赫尔佐格和德梅隆建筑师事务所与中国建筑设计研究院组成的设计联合体中标；

7月份，国家游泳中心设计招标结果揭晓，由中建设计联合体（中建总公司+中建国际（深圳）设计顾问有限公司+澳大利亚PTW建筑师事务所+奥雅纳工程顾问有限公司）中标。

于是，就有了下面一封情真意切的请调申请：

尊敬的设计院领导：

本人邢民，1989年来设计院参加工作，一直在三所从事结构设计工作。

十四年来共参与和负责各种功能的建筑结构设计二十余项，对每一项工程，自认为都尽心竭力，承蒙各位领导和诸专业同仁的大力辅教，在结构设计方面也算是积累了一些心得。

三年来，我一直参与国家大剧院项目的结构设计工作，担任其中201、203区的中方结构负责人，在此项目行将完成的这段时间里，我一直在想这样一个问题：下一个挑战会是什么呢？

日前，有机会结识了2008年奥运会“国家游泳中心”项目设计组负责人，他诚邀本人参加该项目的结构设计工作，共同迎接“水立方”的挑战，思虑再三，我准备接受这一挑战。由于国家游泳中心项目土建施工年底就要开始，设计时间很紧，所以对方希望我在十月初即到项目组参与工作。

为此，特向尊敬的设计院领导提出此请调报告，请求调往：“中建国际（深圳）设计顾问有限公司北京分公司”，并期待着两级领导的批准。

所请之事，如蒙批准，不胜感激！

非常感谢北京市建筑设计研究院各级领导的理解和支持，2003年9月末，我即加盟了中建设计联合体国家游泳中心设计团队，并全身心地投入了工程的结构设计工作。

这更是一个充满艰辛和挑战的四年！！

四年多来，作为该项目的结构负责人，从导荷载到画剖面、从写SPEC到出洽商、从挖下第一锹土到结构验收……在陪伴“水立方”成长的一千五百多个日日夜夜里，与我的中建设计

联合体的同事们、与参建各方的同志们一道为之付出了巨大的努力……

因为奋斗过，所以就会留下很多的故事——

有桩头防水第十四次会议的故事；

有泰山石的故事；

有巴黎机场倒塌事故波及水立方设计的故事；

有尘卷风扫荡工地的惊险的故事。

……

终于，我们可以在2008年的这个春天，把“她”呈现在全国人民面前了！

多哥共和国洛美体育场

1.1 工程概况

可容纳3万人的多哥体育场是中、多两国政府最大的合作项目，位于多哥共和国首都洛美市区东北方向约10公里的“洛美II区”西侧，东临佳布莱大道。占地面积为14.5公顷，建筑面积36105平方米。项目于1997年10月11日开工，2000年1月11日建成移交。体育场主要运动设施有1个标准足球场、8条400米塑胶跑道、投掷场地、跳远跳高场地，可供进行足球比赛和田径比赛。此外，体育场还是多哥国家田径队、足球队和乒联的训练场地。

体育场平面为椭圆形，内圈长轴201.645米，短轴150米；外圈长轴217.654米，短轴202米。立面造型为东西高、南北低的马鞍形建筑。二层为开敞式休息平台，空间通透、平面宽阔，适合非洲湿热气候特点。



图1-1 多哥共和国洛美体育场预应力罩棚



图1-2 比赛中的体育场

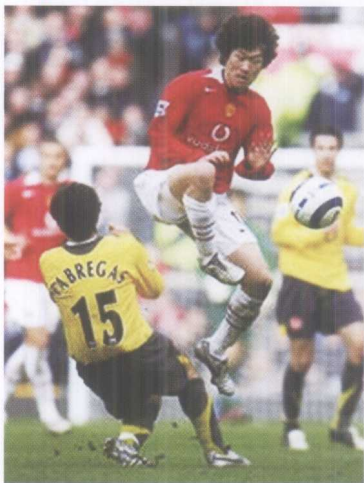


图1-3 多哥国家队在06年法国世界杯上

图1-3为2006年法国世界杯上，多哥国家队与韩国国家队在比赛中。

“多哥第一次闯入世界杯决赛，中国援建的体育场功不可没。”2006年6月14日，正在北京参加一个研修班的多哥总理府顾问培·森费伊谢乌谈起本国足球队在本届世界杯决赛中的第一粒入球颇为兴奋。培说，近年来中国在多哥实施了很多援建项目。中国援建的体育场为当地老百姓提供了举办足球比赛和从事其他体育运动的一流场地，促进了多哥足球运动的快速发展。

1.2 结构设计

1.2.1 平面轴网确定

体育场建筑的平面轴网布放是建筑方案设计首先要考虑的问题，其形式也是多种多样的，这要由建筑设计师在综合考虑体育场的观众规模、观众观赛的视线、视距等因素后确定。多哥共和国洛美体育场平面轴网采用的是我们熟悉的几何教科书上的“四心扁圆”（又称近似橢

圆)，其几何构建方式如图1-4所示。

其圆心的位置作者当时也导出了相应的计算公式如下：

$$\begin{cases} x = \frac{a-b}{2a} \left[\sqrt{a^2 + b^2} + (a+b) \right] \\ y = \frac{a-b}{2} \left(1 + \frac{x}{b+x-a} \right) \end{cases}$$

已知：长半轴为 a ，短半轴为 b 。

求：四心扁圆的圆心位置并构建扁圆。

解：用几何做图的方式构建如下：

1、连接 AB ，以 O 为圆心， OA 为半径作弧交于 OB 延长线之 C 点；

2、以 B 为圆心， BC 为半径作弧，交 AB 连线之 D 点；

3、作 AD 线段的垂直平分线，交长轴于1点，交短轴延长线于2点；

4、1点及2点即为两圆心点，对称取另外两圆心点，则四心确定；

5、以1为圆心， $1A$ 为半径作弧，以2为圆心， $2B$ 为半径作弧，两弧均止于与垂直平分线的交点 E ，于是完成 $\frac{1}{4}$ 扁圆；

6、对称拷贝后，即完成全扁圆。

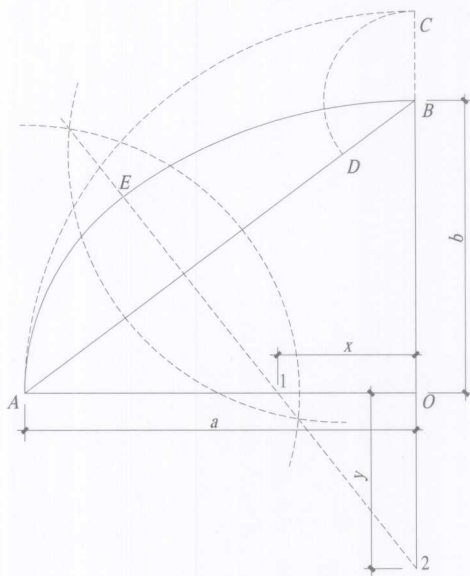


图1-4 四心扁圆的几何做法

由上述方式分别确定体育场的环向内外轴之后，环向内轴及径向轴线依建筑要求确定后，则整个体育场的轴网设计即告完成。

1.2.2 结构单元划分

体育场采用全现浇钢筋混凝土框架结构，由于环向（外弧）总长达660米，按照混凝土结构设计规范的有关要求，结构设计将整个体育场沿环向划分为20个独立的结构单元，单元间留伸缩缝。结构单元划分如下图：