

『鸟巢』

焊接攻关纪实

戴为志 著



化学工业出版社

TU758.11
D139

鸟巢 焊接攻关纪实

戴为志
著



化学工业出版社

·北京·

TU758.11
D139

中国国家体育场“鸟巢”，矗立在中国大地上的建筑奇迹，地地道道的中国制造。本书记叙了“鸟巢”建设过程中不断攻克一个又一个难关最终完美收官的过程，语言引人入胜，故事真实感人，照片形象生动，使读者可以领略过程的艰苦和成果的卓著，受到“鸟巢”精神的鼓舞。“鸟巢”建设是在解决了很多高端技术问题的基础上一步一步走向成功的，建筑钢结构专业技术人员可以从本书中探寻技术问题的解决方案，从而使技术的进步得到推广。

本书可供科普爱好者阅读，也可供建筑钢结构专业人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

“鸟巢”焊接攻关纪实/戴为志著. —北京: 化学工业出版社, 2010.2

ISBN 978-7-122-07553-6

I. 鸟… II. 戴… III. 体育场-建筑结构: 钢结构-焊接工艺-北京市 IV. TG457.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 002746 号

责任编辑: 马燕珠 郭乃铎 李玉晖
责任校对: 宋 夏

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
720mm×1000mm 1/16 印张 12 字数 344 千字 彩插 4
2010 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

自序

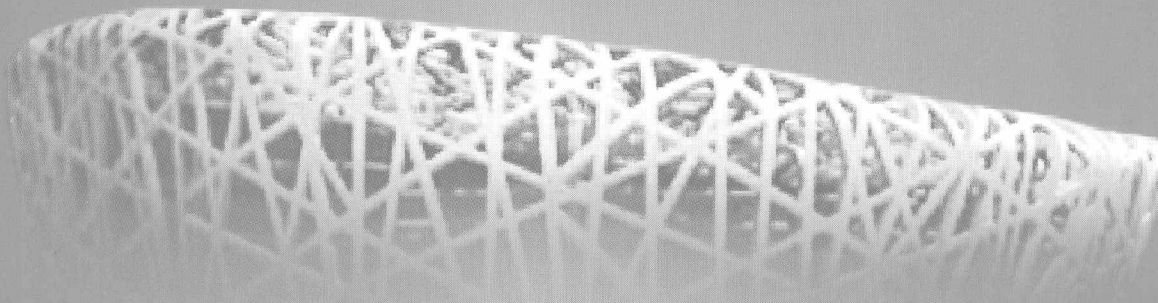
2008年，被称为“鸟巢”的中国国家体育场逐渐揭开面纱，终于在8月8日晚惊艳亮相。这个入选美国《时代》周刊2007年全世界十大建筑，被英国《泰晤士报》评为全球“最强悍”工程，凝聚着中华民族百年梦想，举世瞩目的第29届奥林匹克运动会主体育场，可以毫不夸大地说，“鸟巢”的钢结构焊接工程是目前世界上最难的工程，是“空前和基本绝后的”工程。

“鸟巢”独特的建筑结构，除同瑞典合作建筑设计外，从结构设计、深化设计、制作、安装、焊接全部由中国人自行完成，所有钢材全部国产。

“鸟巢”，是地地道道的中国制造！

“鸟巢”钢结构旋转对称、看似无序的超大跨度编织显得分外复杂，具有十分强烈的挑战性和视觉冲击；“鸟巢”独到的弯扭构件、全世界首次使用厚度为110mm的Q460E-Z35高强钢的重型钢构、高空大跨度马鞍形造型设计，不仅结构变得十分复杂，而且带来难以控制的应力应变状态；“鸟巢”全焊钢结构，整个系统没有一颗螺丝和铆钉，钢结构所有作用力全部由31万米焊缝承担，作为影响结构体系安全运营的焊接工序质量要求之高是显而易见的；其建筑过程按专业排序为“一焊、二吊、三卸载”，由此确立了焊接在钢结构工程中各专业的统帅地位，决定了“鸟巢”钢结构焊接工程是一场攻坚战，真可谓“成也焊接、败也焊接”。

众所周知，一开始，对国家体育场“鸟巢”的设计褒贬不一。钢结构设计过分复杂，质量指标要求很高，造成了“三难”的局面——“设计难、画图难、制作施工更难”。以至于有人看笑话，预言中国人建不起“鸟巢”。





曾几何时，中国人秉承了 5000 年的文化内涵，应用现代科技手段，进行了艰苦卓绝的攻关，克服了目前建筑钢结构难以想象的困难，开展全面质量管理，集我国工程界智慧之大成，谱写了一曲众志成城拼搏奋战的千古绝唱！可谓

运筹帷幄迎难而上，
悉心策划焊绣鸟巢；
众志成城攻关夺隘，
苦干巧焊决胜千里。

而今，带着中国人难以割舍情感和诸多希望的“鸟巢”就站在我们面前；作为建设者对“鸟巢”既有超出常人的情感，又有无穷无尽的自豪。

“鸟巢”是战场，还是考场？“鸟巢”的地位、“鸟巢”的作用最好让历史来作评价！

建筑是凝固的音乐，是人类文明的结晶。中国的万里长城和故宫、埃及的金字塔、法国的埃菲尔铁塔……许多建筑奇迹令人类引以为荣，可是，遗憾得很，当初的施工并没有留下可供查考的文字资料，我们不得不从考古的角度，花大量的精力，在蛛丝马迹中去破译它们的施工技术，去研究工程背后的人和事，去发掘人类进步的轨迹。而今，“鸟巢”钢结构焊接工程绝不能留下遗憾。“鸟巢”钢结构焊接工程的焊接技术、管理思想在工程界目前处于领先地位，应当得到大规模的推广应用。

作为工程的参加者，亲历“鸟巢”工程的全过程，亲眼目睹我国的钢铁事业为“鸟巢”做出贡献而自身得到长足发展；亲身感受到我国的施工技术不断提高；亲身经历和感受到焊工队伍日益正规、日益强大的全过程；同时，我们也深刻体会到：我国建筑钢结构技术领域内因“鸟巢”的出现使焊接技术发展突飞猛进，日益丰富多彩的局面。所有这一切，充分印证了国家体育场“鸟巢”钢结构焊接工程形成的“鸟巢”文化以及给中国钢铁企业、工程界带来了巨大的影响！

不可否认，这一切让我产生了写作的冲动，这也应当是本书写作的宗旨。



休言身近老，
赤子意深深；
切望中华强，
巍巍立世林。

本书要赞美的是——中国人成功圆满兑现了对国际奥委会的庄严承诺，“三大理念”（科技奥运、人文奥运、绿色奥运）办奥运；

本书要记叙的是——中国的工程技术人员、专家敢冒“天下之大不讳”，敢于做前人没有做过的事，“明知山有虎、偏向虎山行”的无私无畏的科学钻研精神；

本书要歌颂的是——年轻有为的“鸟巢”焊工不畏艰辛刻苦学习焊接技艺，像军人一样令行禁止，不折不扣地执行焊接方案，拿着微薄的工资吃苦拼命的奉献精神；

本书更要宣扬的是——“给我十六天，还你五千年”气壮山河的承诺。

中国已经通过奥运会向世界展示中华民族五千年的历史内涵，展示科学技术突飞猛进所取得的辉煌成果；同时告诉世人中华民族自立于世界民族之林的时代已经到来了。中华民族的儿女为此感到万分的骄傲和自豪！

历史资料重如泰山，真实地反映历史，责任重大。一个反映中国建筑钢结构焊接工程尖端技术，象征中国工业发展水平的“鸟巢”建设过程，为中国人民赢得了荣誉，为世人所赞叹！

本书记叙了“鸟巢”钢结构焊接工程的全过程，以钢结构焊接工序为线索，尽量通俗易懂地，把鸟巢钢结构焊接技术路线、思想和反映“鸟巢”人自强不息精神风貌的事迹和盘托出；从焊接应用技术的角度记载破解“鸟巢”焊接难关的艰苦经历。

本书用大量的第一手资料，通过故事和照片来阐述与表现“鸟巢”焊接攻关，言简意赅，图文并茂；把复杂的“鸟巢”钢结构焊接工程尽量简单化、大众化，让更多的人了解“鸟巢”，认识“鸟巢”，使人们在阅读的过程中有所收获，从中得到启迪，吸取前进的能量，在各自的工作岗位上举一反三，百尺竿头，更进一步。

目录

Contents

第一章 紫气东来“鸟巢”兴 /001

- 一、“鸟巢”的来历 /002
- 二、“鸟巢”建设思路是怎样形成的? /007
- 三、钢铁“鸟巢”和真正的鸟巢 /009
- 四、“一焊、二吊、三卸载”的技术内涵 /015

第二章 “鸟巢”焊接是技术和管 理有机结合的典范 /025

- 一、逆向思维,确定管理思想和技术路线 /028
- 二、建立钢结构焊接质量保证体系 /030
- 三、10个管理要点 /032
- 四、10个关键技术管理点 /049

第三章 组建“鸟巢”焊接铁军 /061

- 一、不得已而为之 /062
- 二、艰难的组建之路 /063
- 三、开班和“魔鬼训练” /065
- 四、小试牛刀 /072
- 五、新时代的“田忌赛马” /075
- 六、走向成熟 /078

目录

Contents

第四章 Q460E-Z35 钢焊接性试验 攻关 /087

- 一、Q460E-Z35 钢的技术特点 / 089
- 二、Q460E-Z35 钢的国产化历程 / 091
- 三、复杂艰难的 Q460E-Z35 钢焊接性试验 /093
- 四、Q460E-Z35 焊接性试验结果 / 096

第五章 攻克复杂钢结构应力应变 控制难关 /101

- 一、特殊钢结构的第一难关 /102
- 二、控制“鸟巢”钢结构焊接应力应变的
有效途径 /109

第六章 攻克焊接工艺评定难关 /121

- 一、合理与合法的博弈 /122
- 二、“鸟巢”钢结构焊接工艺评定 /125

目录

Contents

第七章 攻克钢结构低温焊接 难关 /131

- 一、“五花八门”的低温焊接规定 /133
- 二、正确认识客观规律 /133
- 三、“鸟巢”钢结构低温焊接的理由 /135
- 四、进军哈尔滨 /136
- 五、夺取“鸟巢”低温焊接的胜利 /140

第八章 攻克大面积仰焊技术 难关 /145

- 一、“鸟巢”应用仰焊技术的原因 /146
- 二、统一思想认识，采用仰焊技术 /148
- 三、正确实施仰焊技术 /149
- 四、仰焊技术“鸟巢”逞威 /152

第九章 攻克钢结构焊接工程合拢 难关 /157

- 一、“鸟巢”钢结构合拢简介 /159

目录

Contents

二、“鸟巢”钢结构合拢六大要素 /160

三、七分准备、三分合拢 /164

四、难忘的合拢历程 /165

五、卸载成功是合拢的最后胜利 /171

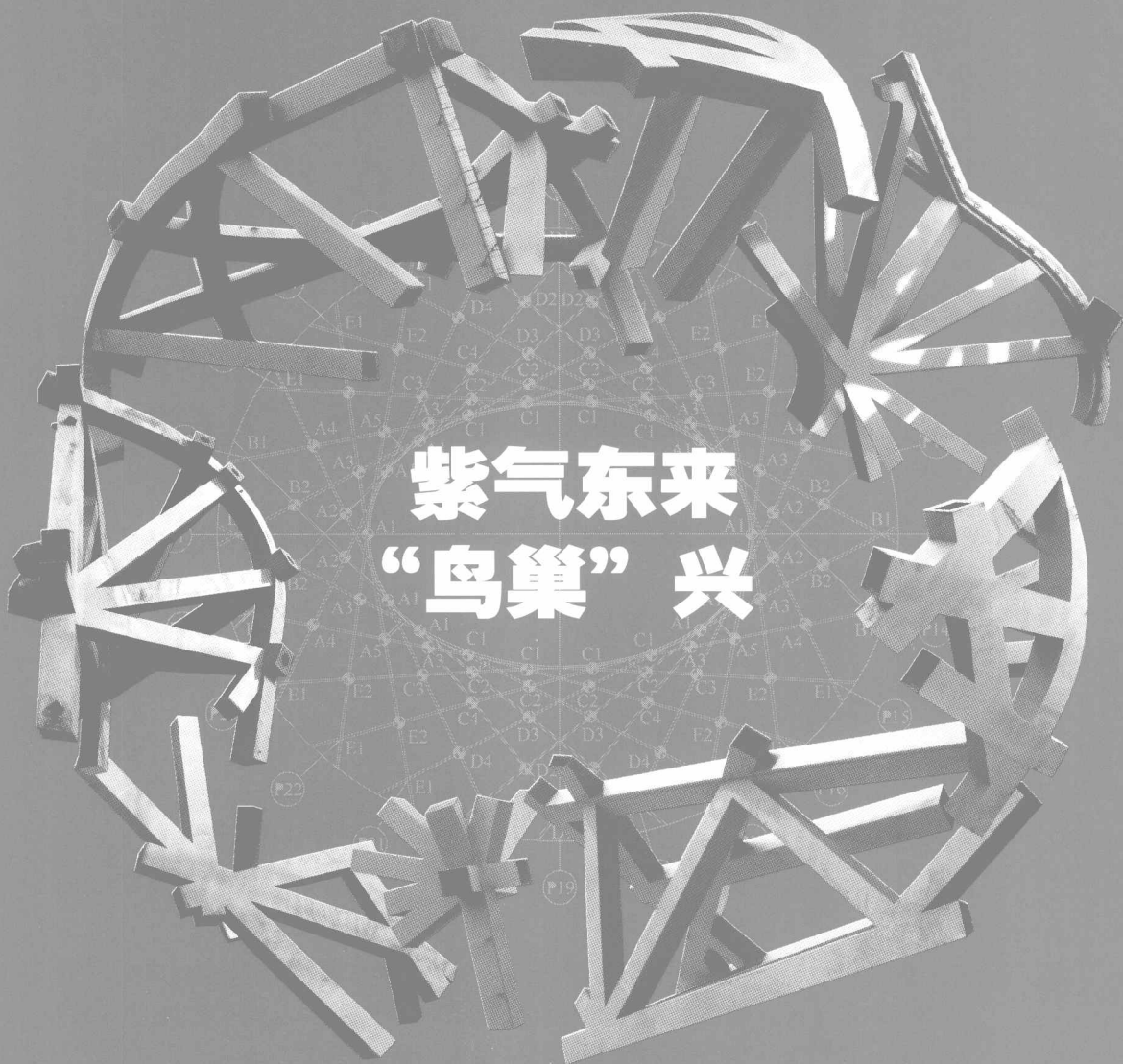
附录 /173

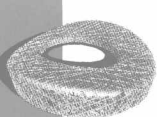
后记 /181

参考文献 /182

第一章

紫气东来 “鸟巢”兴





在 2008 年 8 月 8 日举世瞩目的奥运会开幕式上，“鸟巢” 的独特建筑大放异彩，为国人增光，让世界惊叹！



▲ 2008 年 8 月 8 日 “鸟巢” 节日之夜



一、“鸟巢” 的来历

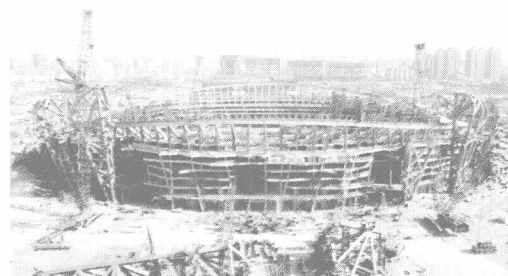
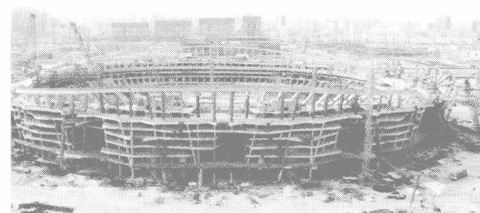
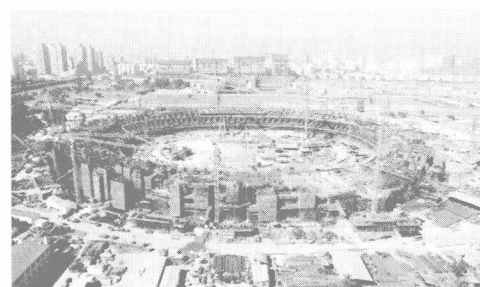
如果没有 2008 北京奥运会，也许“鸟巢”所指的永远只是一个普普通通的鸟窝。但是，今天“鸟巢”有了特殊的含义，那就是座落在中国首都北京紫禁城中轴线东侧、一个同故宫遥相呼应的著名标志性、用钢铁编织的巨型建筑——中国国家体育场。

也许有一天，会有后人像我们今天感叹埃及金字塔、感叹故宫、感叹埃菲尔铁塔一样，感叹北京“鸟巢”的成就，称赞当年自强不息的“鸟巢”人，感慨我们这一群普通的华夏子孙给后人创造了奇迹。

“鸟巢”举世无双的编织钢结构，不仅仅有强烈的视觉冲击和挑战性，而且，她的成长过程还给人们带来无穷无尽的好奇和思考。

“鸟巢”从设计创意来说，看台设计东西高、南北低。为了贴合看台设





▲ 2004.2~2006.2 “鸟巢”成长图示（何康明摄）

计，外表的钢结构造型也成了东西高、南北低。远远望去，像个大鸟巢。整个“鸟巢”建筑通过巨型网状结构联系，内部没有一根立柱，看台也是一个完整的没有任何遮挡的碗状造型，赋予体育场无与伦比的震撼力。鸟巢是鸟儿衔来一根又一根树枝搭建而成，北京奥运“鸟巢”亦是如此。先进的设计理念背后，需要强大技术和工程来支撑，需要数以千计的建筑工人们夜以继日地工作才完成了这一个浩大的工程。种种迹象证明，“鸟巢”所占的22公顷土地绝对是一块福地，承受“龙脉”的滋润，紫气东来，肯定造福于中国人。

2003年，当中国国家体育场设计模型首次与世人见面，几乎所有人脑子里同时闪出“鸟巢”两个字。从此，这个用钢铁编织的巨型建筑被赋予了一个亲昵而又形象的称号——“鸟巢”。

国家体育场为什么叫“鸟巢”？《北京青年报》著名记者杨菊芳在报道“鸟巢”的通讯中这样描述：

鸟巢的外方设计师，国际知名的建筑师赫尔左格和德梅隆，当他们在他们的故乡，瑞士的巴塞尔挂满中国文物造型的图片的工作室里，在图纸上画下第一根线条的时候，并没有考虑这个建筑的造型和建造技术上的可能性。

他们只想抓住这个机会，实践一把自己的设计理念，设计一个回归本质的体育场。什么是体育场的本质呢？就是竞赛和观赛。换一句话说，什么是体育场呢？就是为竞赛和观赛提供的场地和空间。

难道不是所有体育场都是为了竞赛和观赛？

鸟巢的设计者，和其他体育场设计者不同的地方，在于他的设计起点，是看台和赛场，以及看台和赛场两者之间关系的推敲。

于是首先出现在两位建筑大师的图纸上的，是一个椭圆形的竞赛场，这是运动员的舞台。

接着是一个环绕赛场的碗形看台。这个碗形看台的特征是东西两面高，南北两面低，这样东西两面就可以比南北面布置更多的座椅。这是一个符合功能逻辑的一个设计。鸟巢的设计者认为，人在东西方面的视线和视野，比南北方向要更好一些。

鸟巢的中方总设计师，中国建筑设计研究院年轻的副总建筑师李兴钢，用陶醉的语言，描绘了鸟巢看台的美妙：“这样一个环国的碗形看台，对运动员来讲，当他站在看台中间时，会感觉到自己是九万多观众环绕的演员，是所有视线的焦点。环国的形状特别能强化这一效果。运动员在这样一种状态下，运动技能可以最好的被激发出来。而对坐在台上的观众来说，则

能感到和运动员的距离特别近，激发出最佳的欣赏状态。同时这样的看台，又容易在观众和运动员之间激起互动，营造出一个热烈的赛场氛围”。

奥运会圣火交接的地方，希腊的泛雅典体育场，构成的要素只有两个：看台和赛场。随着现代建筑技术的发展，需要体育场能为观众遮风挡雨，人员集散的大厅也需要遮蔽。鸟巢的设计者选择一个和看台形状基本吻合——也是东西高南北低的马鞍形，看上去很简单很质朴的“外罩”。实际上，那是一个巨大的钢结构。需要找到一个结构体系把钢柱、钢梁和钢架支撑起来。设计者们最后找到了，是一个编织结构。它是由主结构和次结构组成。主结构由交叉、相切的规则编织而成。可当主、次结构，以同样的构件尺寸叠加在一起，就构成了一种不规则的视觉效果，具有强烈冲击力的视觉效果。

在北京举行的面向全球的奥运场馆设计方案招标活动中，鸟巢的模型就是以它的这种强大的视觉冲击力，击败了其他12个入围的设计方案，成为2008年北京奥运会主会场的中标设计。

对这个造型奇异的模型，人们用了大自然中一个为人类所熟悉的事物来形容，“鸟巢”这个名字就出现了。

瑞中联合设计体给出的造价概算是38.9亿元人民币，用钢量13.6万吨。

……这的确是一个昂贵的造价。即便按9万个设计座位计算，每个座位的造价，也要超过4万元。要知道，在国外的人工和管理费用高得多的情况下，悉尼的8万观众体育场，造价折合成人民币也不过3万元。而建于2001年的广东奥林匹克体育场，那也是一个极其现代化的大型体育建筑，每座只有1.87万元。2003年11月，在鸟巢还没有开工的时候，中央曾派出过一个专家组，对鸟巢的设计方案做可行性分析，重新评估鸟巢的造价，评估的结果是22.67亿元即可完成。

这的确是一个惊世的用钢量。参加讨论的专家们一致认为，过于沉重的钢的外壳，不仅给鸟巢带来结构安全的风险，也是造价如此昂贵的重要原因。

最激进的反对者，提出把国家体育场的设计方案推倒重来。更多的专家学者，即便在激烈的争论中也保持着客观和理性，他们认为可以修改。

一个由清华大学土木系教授、钢结构专家董聪牵头的课题小组，受北京市政府有关部门的委托，负责对鸟巢进行结构优化。课题小组也承担了对与鸟巢相邻的国家游泳中心水立方进行结构优化。水立方和鸟巢同一天举行开工典礼。

2004年7月4日，中国工程院土木、水利、建筑工程学部再次召开奥运建筑专题研讨会。院士们在讨论中认为，如果鸟巢的外形不改变，要减



少结构安全风险，主要办法在取消移动屋顶。这样做还可以减少 1 万多吨用钢量，节约 4 亿~6 亿元。

可这个移动屋顶，正是 21 世纪的中国国家体育场一个独具的特色，也曾是当初设计招标的前置条件。

世界上许多事物都难以两全。最终，北京市政府接受了鸟巢去顶的方案。通过课题小组细致的工作——优化结构构件的截面厚度，采取局部构造性增强，提高主结构钢材等级，扩大开口等一系列措施，鸟巢的结构用钢量减少到 4.2 万吨。加上其他方面的“瘦身”，鸟巢当时的总体造价概算接近 23 亿元。

这或许是当时的情境下，北京可做的唯一选择：鸟巢的结构安全性得到了保障，造价也降下来。不过中国也失去了拥有一个世界上独一无二的活动屋顶的国家体育场的机会。

这段历史留在李兴钢的安全帽上。在他的办公室的书柜上，存放着两顶安全帽，一顶上的图案是有活动屋顶的鸟巢，另一顶上的图案，鸟巢去掉了屋顶，就是我们今天在北四环的天空下看到的鸟巢。

在这场长长的对图案上的鸟巢争议中，鸟巢设计的主角赫尔佐格和德梅隆倒是洒脱的。赫尔佐格在接受中国媒体采访时说：对一个设计有各种不同的意见，是正常不过的事情。赫尔佐格坚定地告诉中国的记者：“有西方媒体认为，鸟巢将像埃菲尔铁塔一样被列入世界遗产。”对他们来说，最重要的是设计方案已经和北京履行完了所有法律经济方面的手续，这样一个无可更改的事实。这个奇妙的结果，也许原本就超出了他们的预期。

只有改革开放的中国，才选择了这个方案。即使在经济发达的西方国家，也很难通过这个方案。

在停工近半年的日子里，鸟巢的建设者没有让时间白白渡过。他们已经开始了解到，这个外形看上去很简单、很质朴的建筑，其实有着非常复杂的结构形式。施工的难度超出预计。图纸的深度不够，有许多问题要研究。他们就利用这段时间一个问题一个问题认真研究了。失去一个年度的黄金施工季节，却在战略和战术上有了更充分的准备。2004 年底，瘦身后的鸟巢接到复工的指令，以及到后来工程的全面展开，建设者们的技术方案和技术保障能够全面到位了。世界上的事物都有两面性，在一定的条件下，好事可以变成坏事，坏事也可以变成好事^①。

^① 摘自杨菊芳长篇通讯《筑巢》，见《让历史记住今天——“鸟巢”焊接工程实践》（北京城建集团有限公司编），后同。