

Structure

Architecture

『2013建筑、结构巅峰对话：结构成就建筑之美』  
2<sup>ND</sup> DIALOGUE OF ARCHITECTURE AND STRUCTURE

# Nanjing LuKou International Airport Phase II

## 空间与结构的契合 ——南京禄口国际机场二期工程



郭建祥

Guo Jianxiang / Vice President, Vice Chief Architect / ECADI

上海现代建筑设计（集团）有限公司华东建筑设计研究总院副院长、院副总建筑师

代表作品：浦东机场一、二期工程、虹桥交通枢纽工程、南京禄口机场二期工程、杭州萧山机场三期工程、苏中机场、温州机场、烟台机场航站楼等。



扫描二维码  
可进入报告视频

看到本次论坛的命题，有种莫名的激动。回想工程设计中，建筑师与结构工程师紧密配合，为实现建筑理想共同努力，有许多值得回味的心得与体会。首先通过一些已经完成的交通机场的案例，谈谈建筑与结构的关系、建筑师和结构工程师如何合作互动把设计完成，与大家分享自己的三点感想，然后重点讲解即将完成的南京禄口机场的相关内容。其中最大的感受就是建筑师的设计是空间的创造，空间的创造需通过结构的表达来实现。

### 建筑与结构之于我

#### 感动——结构对建筑表达的支持

建筑的生动表现需要通过结构体系的支持、结构构件的形态来实现。建筑效果的表达经常是通过暴露的结构杆件、节点来实现的。结构已经不仅仅是建筑的支撑骨架，而是与建筑融为一体，成为建筑表达的一部分。

##### （1）结构是空间实现的框架基础

不同尺度的空间需要匹配合理的结构体系。结构对建筑支撑的第一步是结构选型，同时要兼顾到建筑室内空间效果表达的要求。

##### （2）结构表现为建筑表达的逻辑演绎

结构体系展现出完整的受力状态，表现出结构的逻辑性、合理性。结构杆件的比例尺度推敲、构造节点的细节处理成为建筑化的表达。

##### （3）结构工程师是建筑师创意的强力支持

精彩的建筑作品一定有合理的结构体系的表达，优秀的建筑师需要有出色的结构工程师的技术支撑。

#### 感悟——建筑师与结构工程师的合作与互动

建筑师与结构工程师的合作建立在相互信任的基础上，其合作方式是紧密无缝的，不分主次的，也是不断相互碰撞、交流、磨合的过程，最终达到建筑与结构的完美融合。

##### （1）相互信任的合作

优秀的建筑师具备全面的结构概念，出色的结构工程师具有良好的建筑修养。紧密的合作关系建立在相互信任的基础上，要能够站在对方的角度考虑问题。

##### （2）不分主次的合作

建筑师与结构工程师的合作关系是不分主次与先后的互动的合作关系。建筑师在初步完成创意后，结构工程师同步参与，提出结构方案的多种可能性。双方共同进行评判，最终设计出既能表达结构自身的逻辑性，又能符合建筑形态表达要求的结构方案。

##### （3）相互碰撞的合作

建筑师与结构工程师的合作，也是相互碰撞的过程。建筑师有其对空间、形象表达的要求；结构工程师对结构受力有逻辑性要求。双方相互磨合，殊途同归，最终实现的建筑作品应是建筑与结构的“综合体”，同时表达出建筑和结构的逻辑性。



扬州泰州国际机场航站楼室内



虹桥综合交通枢纽室内





浦东国际机场T2航站楼车道边大雨棚



浦东国际机场T2航站楼长廊室内



浦东国际机场T2航站楼结构构件节点

## 感受——结构在空间中的建筑表现

建筑师与结构工程师在设计把控过程中，使结构在建筑空间中能够合理地表达。结构表现的最高境界是建筑、结构的一体化表现，即结构体系的建筑化表达。结构与建筑的一体化，不仅表现建筑的形式美，且起到强化建筑功能的作用。

### （1）结构体系的逻辑性

优美的结构是简单清晰的，即看得见、看得懂、看得顺。直接暴露出来的结构需能够简洁、清晰地表达出受力的平衡性，表现出结构体系的逻辑性。同时，使用者能够轻易地解读出结构的合理性，即使结构体系被吊顶等饰面材料包裹，结构自身的形态也能反映出受力的状态，让人能够清楚地理解。

### （2）结构构件的独特性

结构杆件的组合方式、比例关系、尺度大小都经过建筑化的推敲，或形成图案化的视觉形式，或形成空间中的视觉焦点，成为建筑表现的重点。构造细节是将杆件交接处的受力传递进一步清晰表达的关键，经过仔细推敲的节点做法不仅符合结构受力的要求，也符合建筑表达的要求。

### （3）结构体系的功能配合

结构体系的导向性体现在结构杆件的方向、天窗暴露钢结构的指向等等，都与人流组织相互配合，强化交通建筑的方向引导性。结构体系的通透性体现在大跨结构减少室内立柱数量，室内形成大面积的连续无遮挡空间，使标示系统更加清晰，便于旅客找寻目的地。

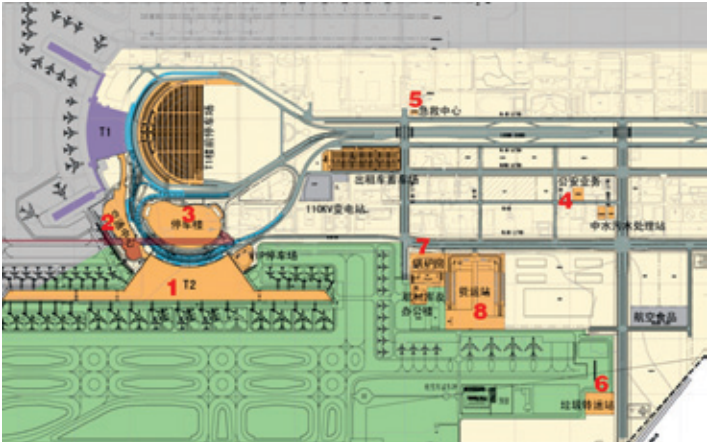


南京禄口国际机场二期工程鸟瞰（效果图，在建）

南京禄口国际机场二期工程

南京禄口国际机场二期工程为江苏省重点一号工程。新建 T2 旅客航站楼，面积为 26 万 m<sup>2</sup>，满足年处理旅客 1 800 万人次规模；与原有 T1 航站楼共同承担 3 000 万人次吞吐量，工程计划 2014 年青奥会前投入使用，全面满足青奥会的运营需求，同时打造江苏省及南京市全新的门户形象。

二期工程陆侧航站区的建筑设施主要包括：2 号航站楼、交通中心、停车楼、公安业务用房、急救中心配套用房扩建、垃圾转运站、供热工程（锅炉房）、国内货运站。南京禄口机场二期工程，机场核心区交通类建筑包括三个子项：T2 航站楼、交通中心、停车楼。三个子项都由华东院原创设计，同时承担设计总承包工作。



南京禄口国际机场二期工程总平面图

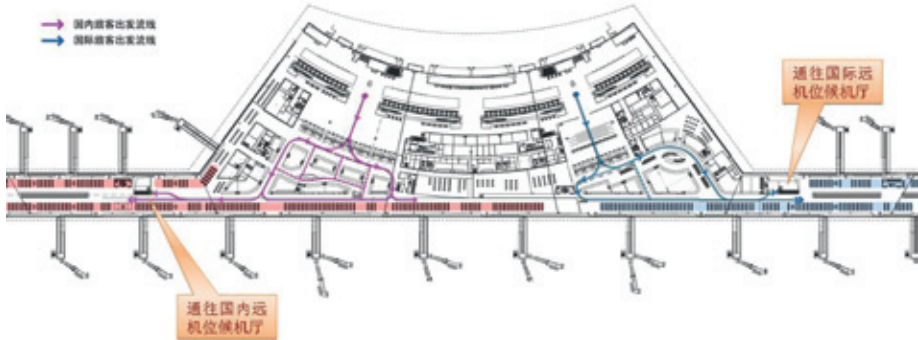
T2 航站楼

1 基本概况

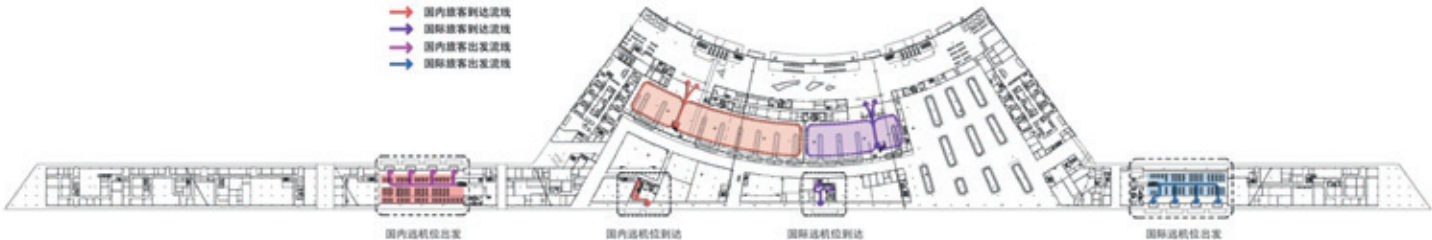
T2 航站楼方案按照年旅客吞吐量 1 800 万人次( 国际 390 万人次, 国内 1 410 万人次, 高峰小时旅客 6 347 人次 ) 的使用要求设计，建筑面积 26.3 万 m<sup>2</sup>；采用主楼加直线指廊构型，地下一层，地上三层，高度 39m；功能合理、流程简洁、空间舒适，具备以旅客为导向的人性化设施及服务；建筑造型充满张力，体现博大开放、科学发展的江苏门户形象。

2 功能合理、流程简洁

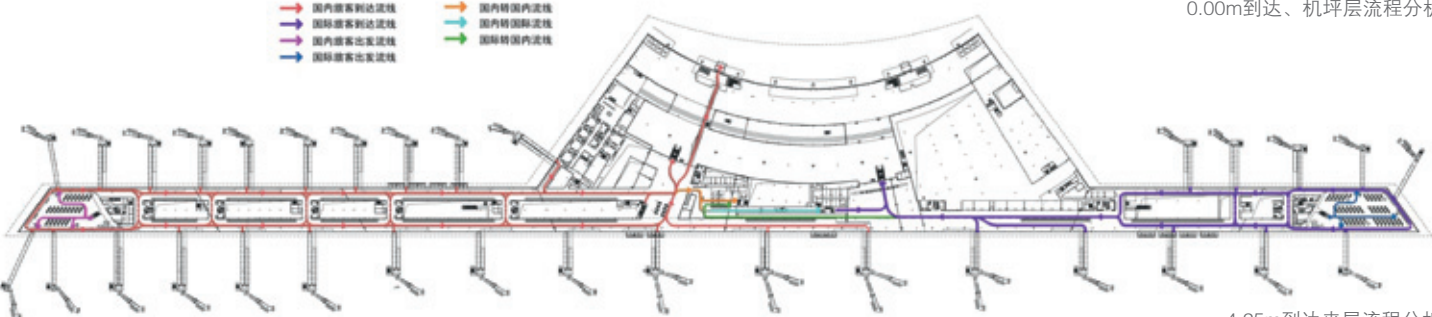
主楼面宽约 315m，进深约 120m，指廊长约 1 200m，廊宽度 38m，设有 32 座登机桥。陆侧与交通中心、车库设廊道连接。采用“两层式”旅客流程，出发层在上，到达层在下。航站楼地下 1 层，地上 3 层，自上而下分别是：



9.00m出发层流程

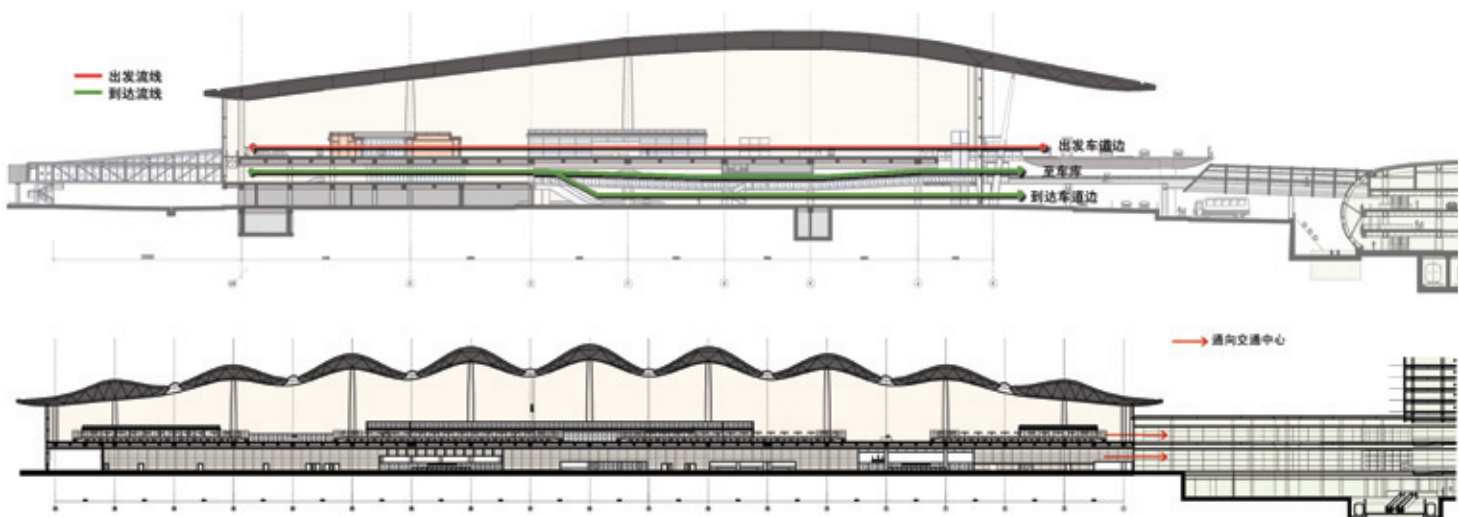
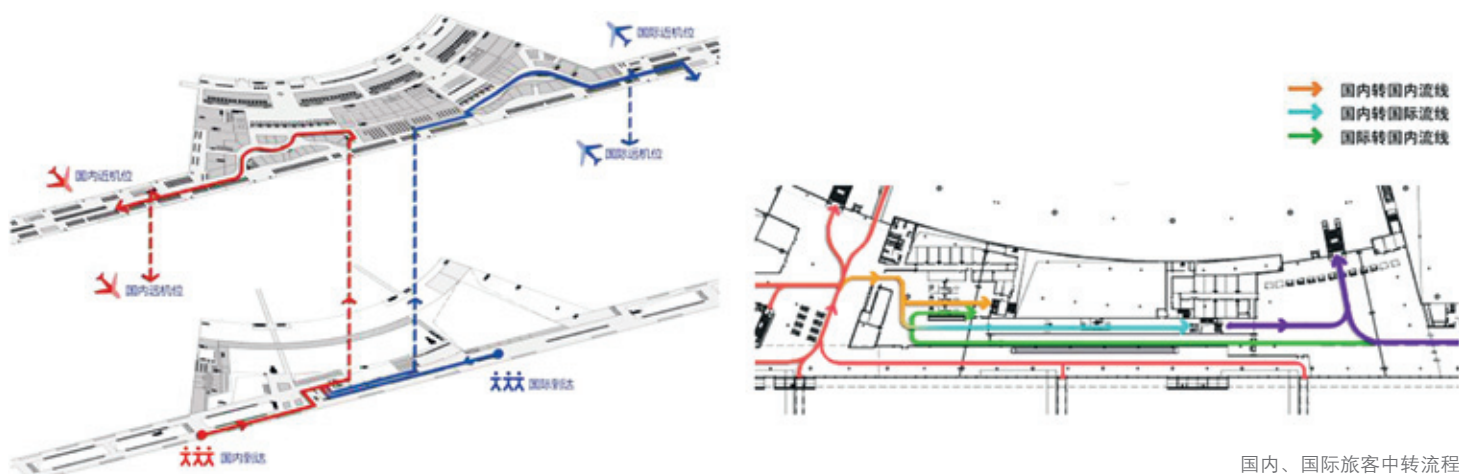


0.00m到达、机坪层流程分析



4.25m到达夹层流程分析





出发层 9.00m 标高，到达夹层 4.25m 标高，到达、机坪层 0.00/-0.15m 标高，地下室 -6.00/-5.20m 标高。航站楼三层为出发层，标高 9.00m，主要功能是让旅客在其中完成由陆侧到空侧的一系列流程，主要包括出发大厅、国内安检大厅、国际联检大厅、候机厅等。到达夹层主要位于空侧 4.25m 标高，主要功能为连接登机桥和首层行李提取厅的通道、中转厅、无行李廊桥、指廊端部候机厅、行李设备夹层。到达、机坪层位于 0.00 标高，主要功能空间为行李提取大厅和迎客大厅、远机位出发厅、到达厅、行李处理用房。国内、国际旅客中转区设在空侧到达夹层中部。

### 3 造型特点

南京是六朝古都、十朝都会，素有“虎踞龙盘”之称。“风从虎，云从龙”——新航站楼形体轻盈通透。充满张力、飘逸舒展的三维曲面顶盖，如行云流水，气势非凡。屋面造型连续整体，一气呵成。主楼和长廊从外部形态到室内空间都融为一体。柔和的屋面曲线与原有 T1 航站楼的屋面形态相似，保证整个航站区风格统一。



T2航站楼大挑檐实景图（施工阶段）



禄口国际机场T2航站楼空侧鸟瞰图（效果图，在建）

出发旅客车辆从 9m 层高架靠近新航站楼，可以感受到连续的建筑景观界面和航站楼车道边雨篷出檐深远及高低起伏的微妙变化。屋檐最大覆盖距离达到 37.5m，最小覆盖距离达到 12m，能够将第一条和第二条车道边覆盖起来。大吊顶呈渐变波浪形三维曲面形态，与室外建筑形态相呼应，形成统一完整的曲面吊顶，表现出空间高度变化的韵律感，形态极具表现力。吊顶采用宽度渐变的修长水滴形天窗，且天窗方向与旅客流程方向一致。

#### 4 绿色节能

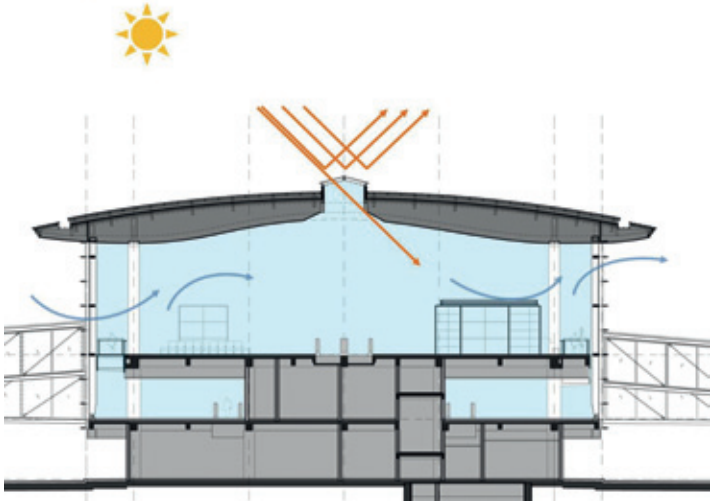
T2 航站楼达到绿色三星标准，采用 36 项绿色措施，注重被动式绿色策略。2 号航站楼充分显示了超大型交通建筑“大体量、大空间、大客流”的特征，在设计中体现“绿色、节能、环保”理念具有重要的现实意义。注重航站楼的自然通风设计，通过合理的通风组织，在过渡季节实现航站楼的自然通风，降低运营成本，提升室内舒适度。充分利用自然光，减少建筑照明能耗。室外遮阳与室内遮阳相结合，考虑对直射阳光进行过滤与打散，增加室内采光均匀度，避免眩光与室内过热。

划分绿色建筑阶段等级的项数要求（公共建筑）

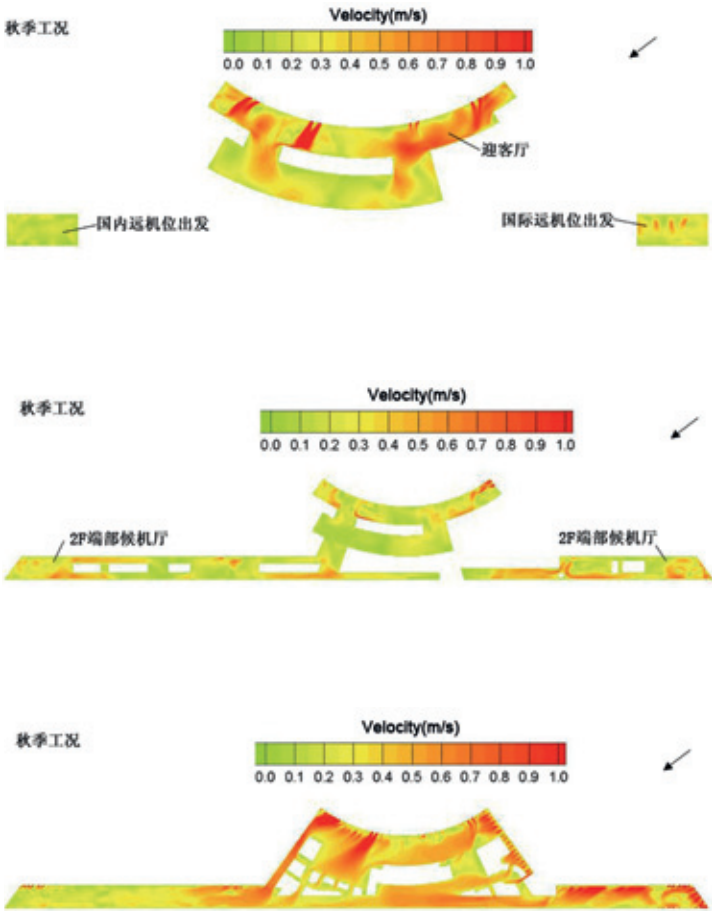
| 等级  | 一般项数（共36项）     |                 |                 |                  |               |             | 优选项数 |
|-----|----------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------|-------------|------|
|     | 节地与室外环境<br>共6项 | 节能与能源利用<br>共10项 | 节水与水资源利用<br>共6项 | 节材与材料资源利用<br>共5项 | 室内环境质量<br>共6项 | 运营管理<br>共3项 |      |
| ★   | 3              | 4               | 3               | 3                | 3             | 1           | 0    |
| ★★  | 4              | 6               | 4               | 3                | 4             | 2           | 5    |
| ★★★ | 5              | 8               | 5               | 4                | 5             | 2           | 8    |

禄口国际机场T2航站楼各项绿色措施项目

|         | 一般项数（共36项）     |                 |                 |                  |               |             | 优选项数 |
|---------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------|-------------|------|
|         | 节地与室外环境<br>共6项 | 节能与能源利用<br>共10项 | 节水与水资源利用<br>共6项 | 节材与材料资源利用<br>共5项 | 室内环境质量<br>共6项 | 运营管理<br>共3项 |      |
| 达标项     | 4              | 7               | 4               | 3                | 5             | 3           | 5    |
| 不达标项    | 0              | 1               | 1               | 0                | 0             | 0           | 3    |
| 较难达标项   | —              | —               | —               | —                | —             | —           | 0    |
| 不参评项    | —              | —               | 1               | 2                | 1             | —           | 1    |
| 预计达到的星级 | ★★★            | ★★★             | ★★★             | ★★★              | ★★★           | ★★★         | ★★★  |



自然通风示意图



自然通风模拟分析



5 屋面设计

(1) 结构选型考虑因素

室内空间通透,结构柱网跨度较大,最大跨度达到68m,为结构带来了一定的挑战;航站楼屋顶和室内吊顶形态一致,呈连续、整体、复杂的渐变波浪形,而室内呈现干净、简洁的效果;室内天窗处,需暴露出单层结构,表达出清晰、简单的结构受力状态,并且结构构件的尺寸应小巧精致。

(2) 结构选型初步方案

建筑师和结构工程师针对以上三点考虑,共同进行结构形式的概念方案设计。方案一:厚度变化的桁架结构(局部单层结构),受力状态简单,结构厚度变化,与建筑形态匹配,室内效果简洁,在天窗处暴露单层结构杆件;方案二:双拱张弦+单层壳体系,结构体系比较轻巧,室内杆件较多,与建筑形态不太匹配。最终选择方案一作为基础方案,继续深化设计。

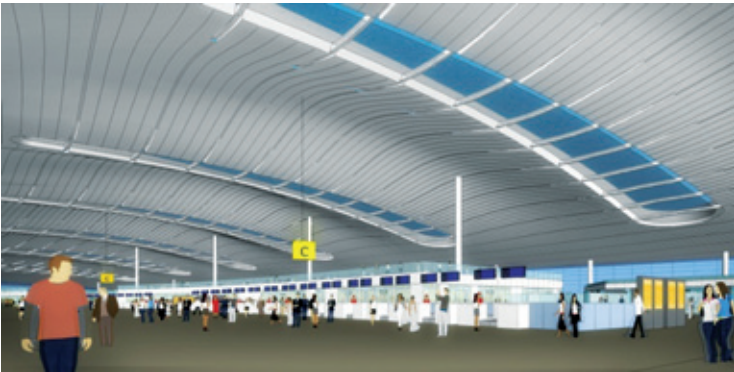
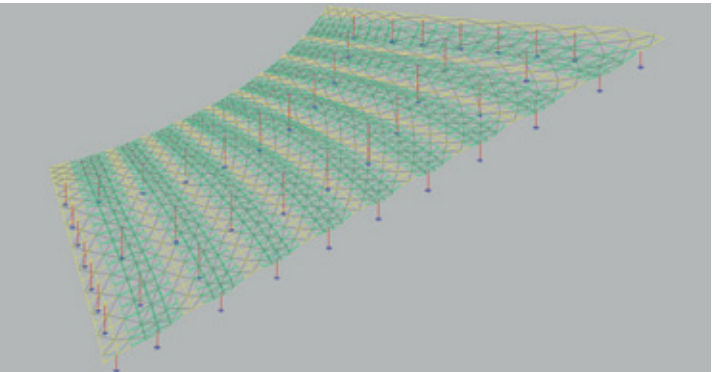
(3) 结构形态的优化设计

钢屋架标高变化非常复杂,建筑师建立三维模型,在模型中控制上下两层表皮,控制结构形态。结构工程师根据结构形态,分析结构尺寸的合理性,推动结构形态的优化。建筑师与结构工程师共同推进屋架结构的优化工作。

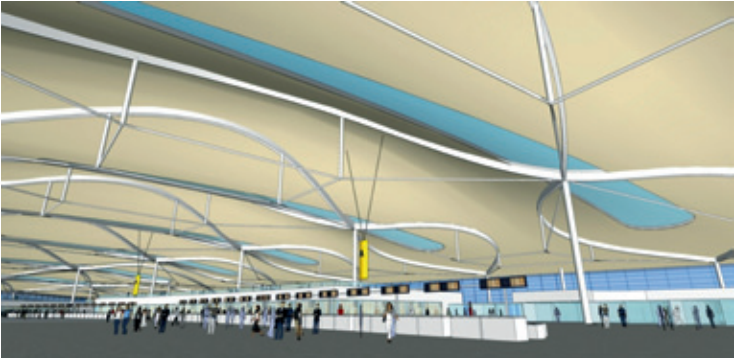
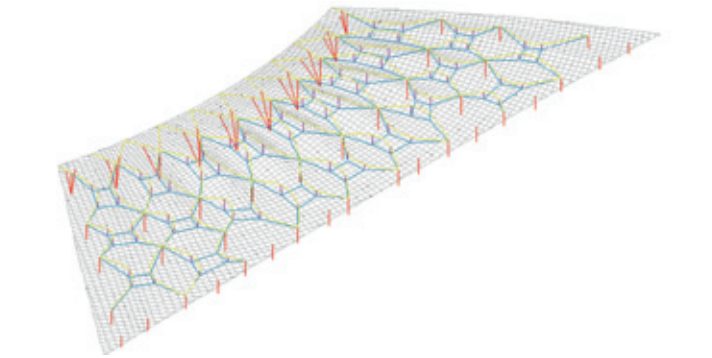
目前,航站楼屋面的进度是钢结构屋架完成,金属屋面基本完成,室内吊顶刚刚开始。尽管大部分的钢桁架杆件是不暴露出来的,但是也设计得非常规整。业主一度提出是否能够将这部分杆件也直接暴露出来。

(4) 天窗部位暴露结构的重点表达

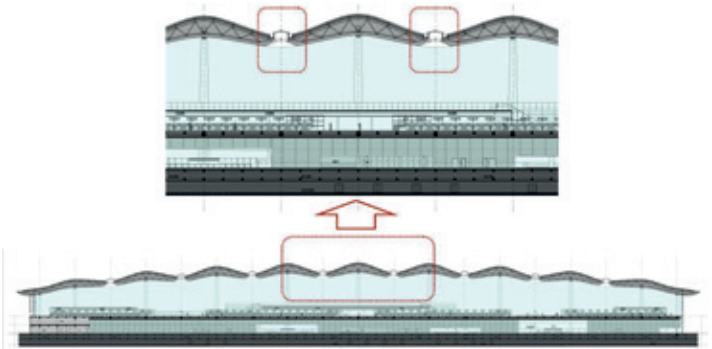
天窗处暴露出来的单层钢结构是室内空间表达的重要元素。主楼天窗,通过结构体系的优化设计,在波峰处结构厚度最大;在天窗处形成“弱连接”,减小结构的断面尺寸。长廊天窗通过结构体系受力状态的变换,实现天窗处结构断面尺寸最小,表现出屋盖轻盈漂浮的感觉。



T2航站楼屋面结构选型方案一



T2航站楼屋面结构选型方案二



T2航站楼屋面结构剖面



T2航站楼室内实景照片(钢屋架完成、吊顶未施工)



无行李通道吊桥效果图

## 6 无行李通道吊桥设计

航站楼行李提取厅和迎客大厅内部，设计了一条无行李通道，方便无行李的到达旅客前往车库。无行李通道处空间高度有限，因此通道的结构应尽量轻巧。通道采用钢结构连桥形式，在方案设计过程中，与结构专业紧密配合，尝试了多种结构支撑形式：斜拉索形式、直拉索形式、斜拉杆形式、直拉索与挑梁相结合。最终，从结构的表现力、吊顶高度、连桥形式、空间的秩序感等各方面考虑，选择了直拉索与挑梁相结合的方案。

## 7 登机桥设计

登机桥跨度较大，最大的跨度达到 40m，共振问题比较明显。采用减震器有效降低了旅客行走时的振动感，提高了建筑舒适性。

## 交通中心

### 1 基本概况

交通中心位于 T1、T2 航站楼之间，是集交通、服务、运营等八项功能为一体的建筑综合体；充分结合地铁、公交等设施，联系通畅、换乘便捷；以带状造型成为 T1、T2 航站楼的视觉过渡，形成统一完整的航站区景观界面。

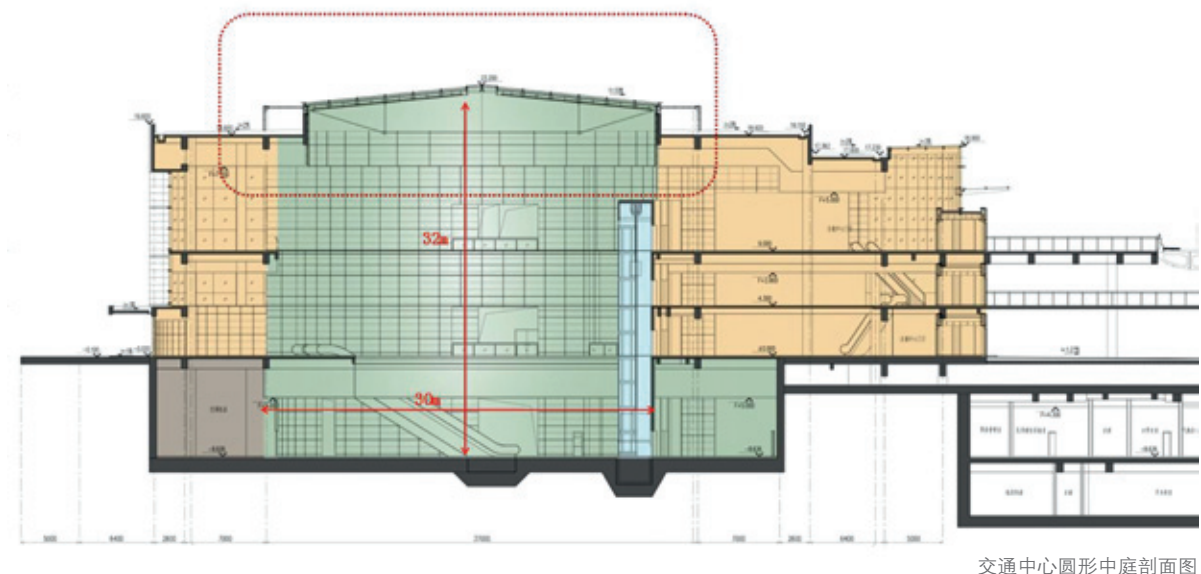
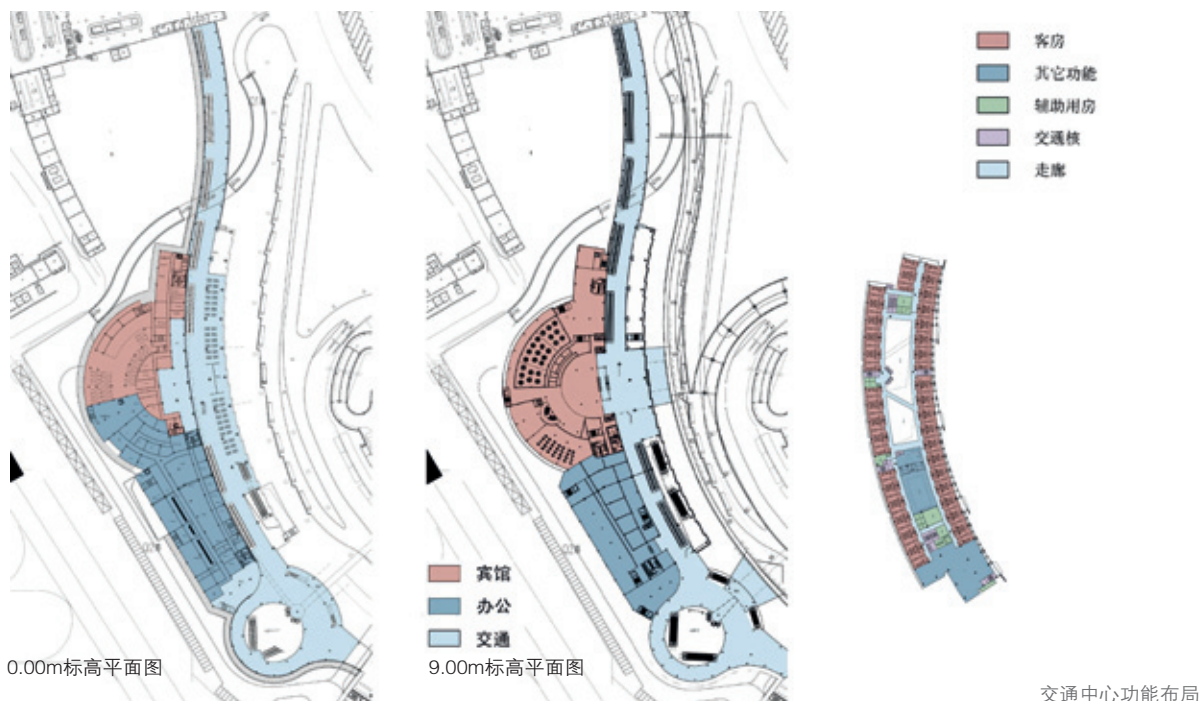
### 2 功能布局

交通中心功能非常复杂，主要包括：交通设施（地铁车站、公交车站、航站楼之间换乘大通道）、服务设施（旅客商业、旅客过夜用房（五星级宾馆））、机场用房（机场办公、机场控制中心（AOC）、职工餐厅）。



交通中心透视图（效果图，在建）



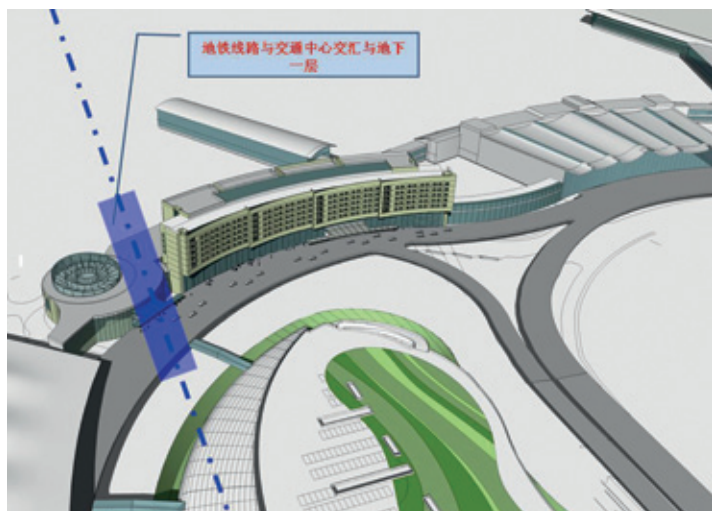


### 3 造型特点

交通中心位于1号、2号航站楼之间，是联系二者的纽带。航站区应突出1号、2号航站楼主体建筑造型，交通中心造型起到过渡和联系的作用。从航站区整体来看，交通中心造型不应追求夸张、奇特，而应以简洁、内敛和典雅为主。采用现代建筑简洁、明快的设计手法，通过强调形体的虚实对比与穿插，塑造内敛和典雅的造型。

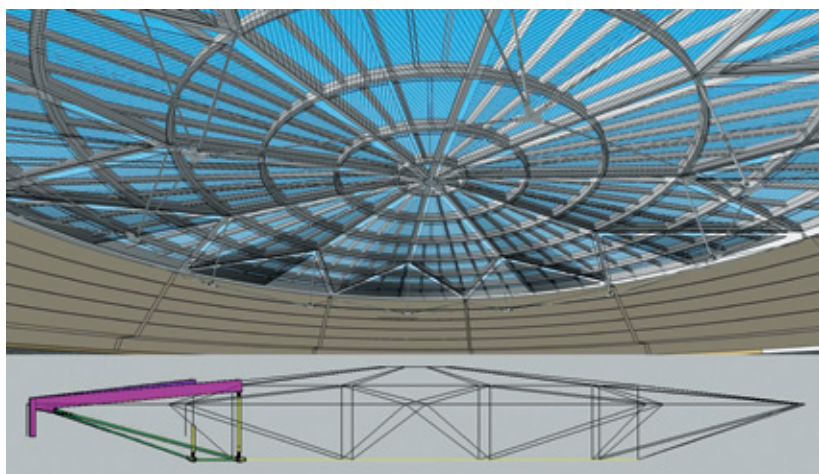
### 4 圆形中庭天窗

圆形中庭结合地铁、长途汽车站、旅客大通道等功能空间设置，成为旅客换乘空间中的标志性节点。圆形中庭的空间高度为32m，直径30m。中庭天窗采用圆形弦支穹顶结构，其富有表现力的细部和优美的光影图案成为中庭空间设计的亮点，铸件节点的细致设计，使天窗结构更具有技术美的表现力。中庭天窗的钢结构为张弦结构，向心的图案形式极富表现力，同时与结构受力要求相匹配。目前交通中心的土建已经基本完成，正在幕墙施工阶段，室内装修还未开始。



交通中心模型分析





交通中心天窗结构分析



交通中心圆形中庭及天窗（效果图，在建）

## 停车楼

### 1 基本概况

停车楼地上一层，地下三层，建筑面积 11.09 万  $\text{m}^2$ ，设 2 414 个停车位，是一个高效、顺畅、安全、人车分流的大型立体停车库。具备与航站楼出发、到达相衔接的步行系统，以及人性化的旅客候车区及服务设施；满足自然采光、通风的绿色室内环境；其“雨花石”的造型特点，与地域文化及航站区立面的整体风格相协调。

### 2 平面功能布局

停车楼设有 4 个层面，停车楼主要出入口均位于 0.00m 标高地面层，北面为停车楼入口，东南面为停车楼出口。在停车楼顶层有 3 条步行廊道分别连接航站楼和交通中心。靠近步行廊道处设置集中的商业区，设有专卖店、超市，并可结合不同层次需求布置成开放席座区的便捷简餐，或带有包间的高档餐饮。作为航站区的商业配套，提高服务品质。

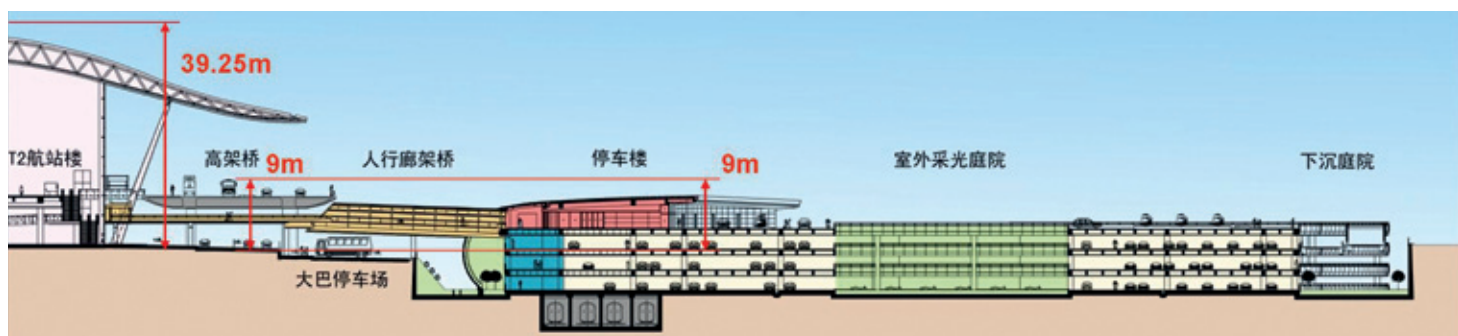
### 3 造型特点

位于航站区中心地位的停车楼体现出“曲波灵动”的构型特点，与航站楼的弧形大挑檐形成向心统一性，凸显南京的城市风格，引入了“雨花石”的构图元素，来烘托南京特定的地域特色。在停车楼南面朝向 T2 航站楼一侧，结合其顶层的商业带，设计了一条横贯东西的“月牙”造型的弧形立面。在航站区，航站楼无疑是视觉中心，其最佳观赏方式是沿进场高架逐渐靠近，欣赏其在动态行进过程中的造型变化。

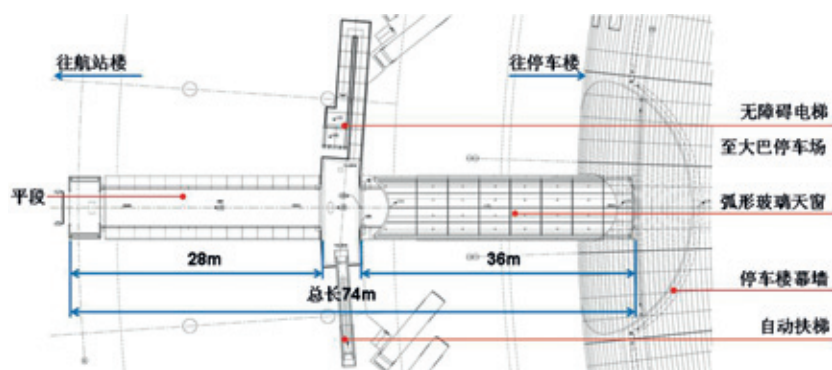


停车楼透视图（效果图，在建）

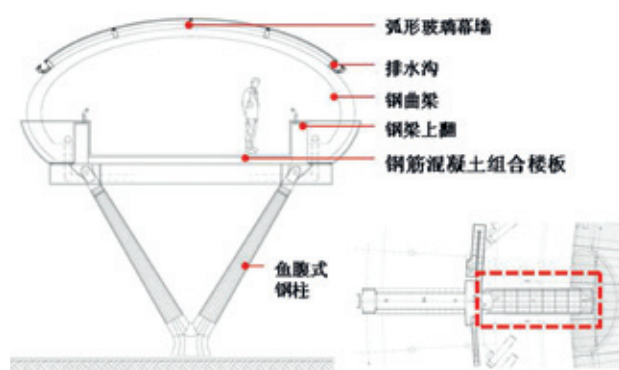




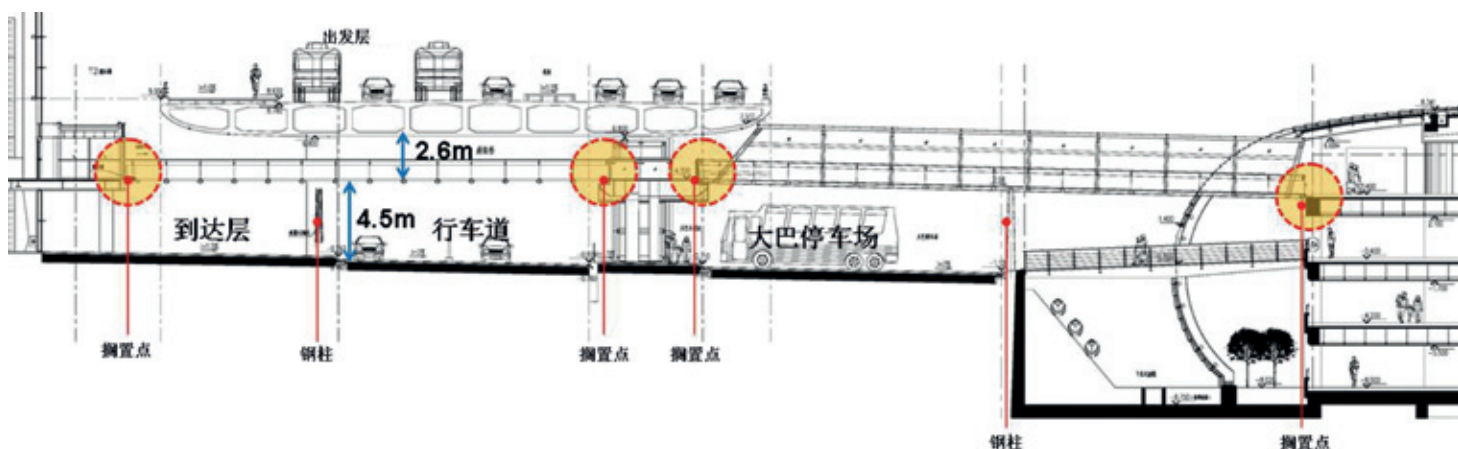
停车楼剖面图



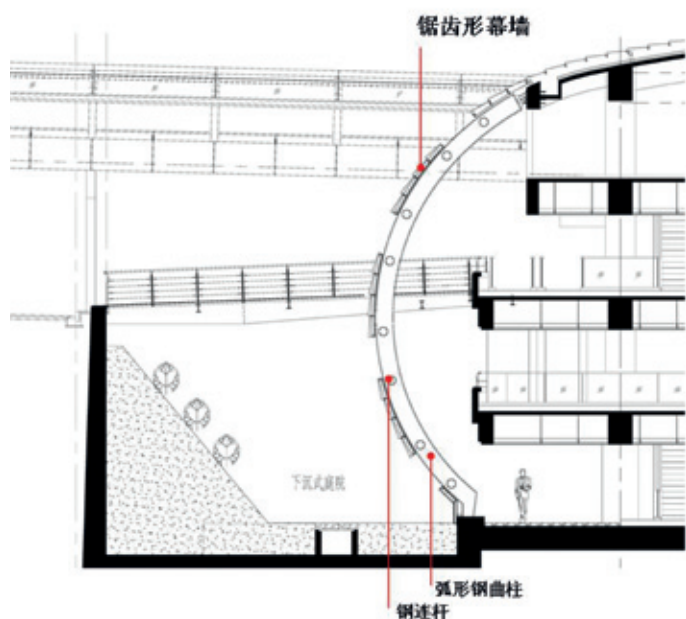
停车楼钢连桥平面图



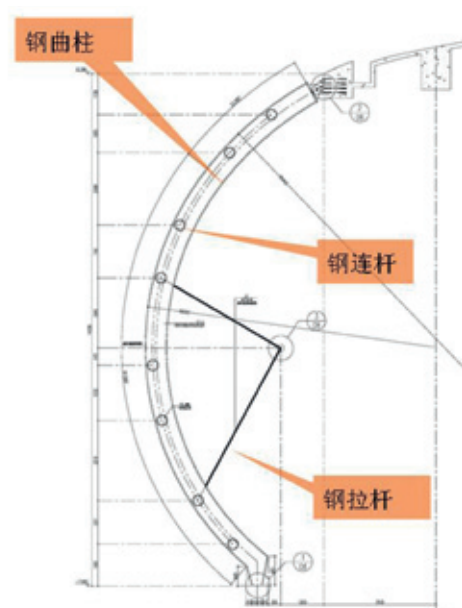
停车楼钢连桥纵向剖面图



停车楼钢连桥横向剖面图



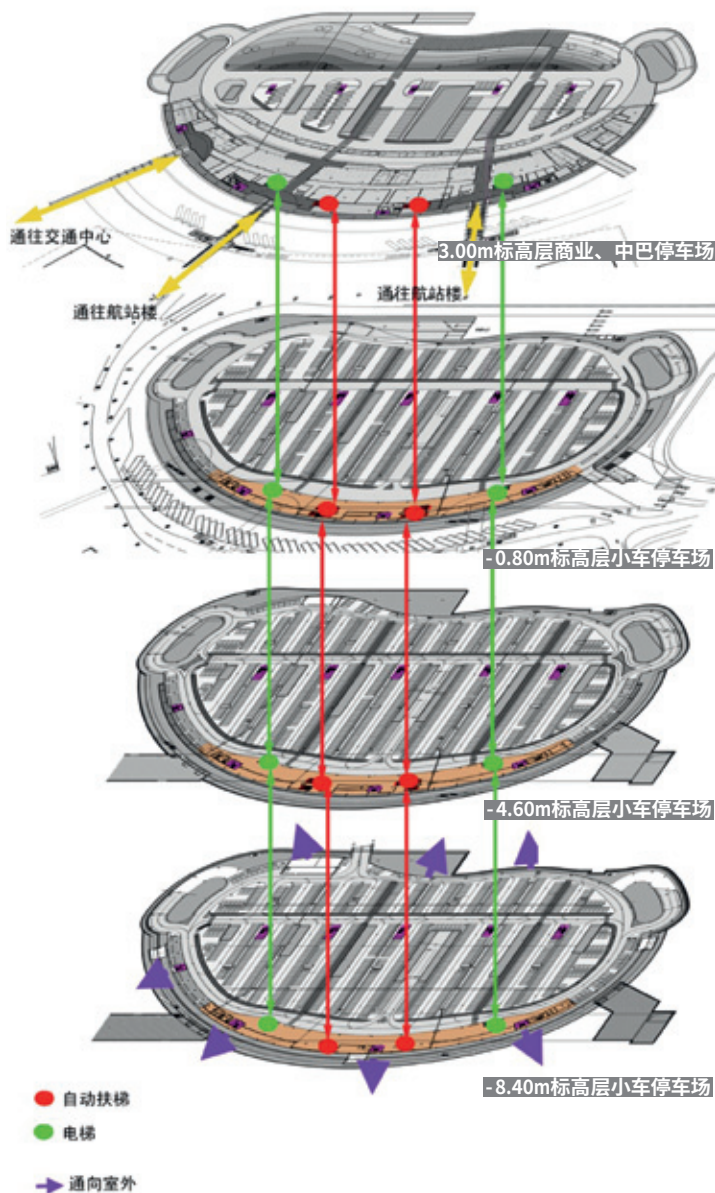
停车楼弧形外墙剖面示意



钢曲柱标准断面



停车楼弧形外墙（在建）



停车楼平面功能布局

为了使这种观赏方式更为纯粹，对停车楼的最高高度有着严格的控制，即停车楼最高点不得突破高架桥的楼前路标高 9m。停车楼“下沉”后，为了满足其地下部分通风、采光的要求，在其周边形成了一个“阳光绿谷”，利用停车楼的外界面变化，或做直坡，或做斜坡，配以整齐的大面积植被表皮，使这颗“雨花石”成为了镶嵌于绿色锦缎上的宝石。为了使“绿谷”效应更为凸显，在停车楼内部也开设了一系列的室外绿化庭院，共同为其送去清新、绿色、自然的环境。

#### 4 营造功能与结构相契合的空间效果

##### （1）停车楼内部结构布置

18m 跨度结构柱距使车库空间视野开阔、一览无余。每层停泊 800 辆车的大型停车楼，其室内应开敞通透，便于旅客寻找车辆停泊位置。所以设计上以大尺度的 18m 开间作为控制柱网模数，并减少室内的物理隔断以保证旅客视线的通畅。

环形大车道以连续密肋梁作为导向性标识指引。为了更好地引导旅客，其主车道的顶部设计与泊车区又有不同，即在暴露的结构密肋梁之间设置四周留槽缝的金属吊顶板，内嵌荧光灯带，由此形成的连续而规律的顶面布置和环状车行大通道相呼应。

室内空间部分以暴露的井格梁结构为特色。从经济性角度出发，大面积停车区的顶部往往是暴露结构梁本色的部位。设计力图通过结构梁自身有规律的布置体现空间的美感。在 18m 轴网模数中，以 3m 间距布置成单元井格梁形式，使人联想起古建筑的藻井风格；同时，每个单元精心布置，所有管线穿梁或暗埋，梁下没有一根管线，使视觉上干净明快，每个“藻井”有规律地布局灯具，将藻井内局部打亮，产生丰富的明暗变化。

##### （2）弧形立面

由结构曲柱作为主龙骨的弧形幕墙立面造型，具有曲波灵动的特点，与航站楼大挑檐形成向心统一。

##### （3）空中钢连廊

停车楼在 3m 层设置了通往航站楼及交通中心的步道连廊，方便旅客进出停车楼，并可穿越 3m 标高层商业区直接到达中巴上客车道边。此外，旅客也可通过空中连廊上的垂直交通直接到达地面大巴停车场车道边。钢连桥总长 74m，共分 3 段，中间是通往到达层车道边的交通平台，两边跨度分别为 28m 和 36m 的钢结构廊桥横跨 0.00m 标高的车道与停车场，均采用两端牛腿搁置、中间设钢柱支撑的结构形式。

为保证旅客通行高度 2.6m 及下部车行高度 4.5m，将钢结构梁上翻作为结构主梁搁置在两端牛腿上，结构板面为钢筋混凝土组合楼板。此段钢连桥上部需设置雨篷，下部为行车道。同时设置钢曲梁并结合弧形玻璃幕墙，形成椭圆形筒状造型。鱼腹式钢柱呈 V 字形支撑，与连桥两侧钢梁铰接，更为轻巧。

#### 结语

通过介绍南京禄口国际机场二期工程的项目概况和设计要点，我们可以清晰而直观地感受到结构对建筑的表达作用。目前，该工程已全面进入装修阶段，将于 2014 年青奥会前完成，让我们期待其空间与结构的完美呈现。