

# 天津西站拱顶设计

## Arch Roof Design of Tianjin West Station

撰文 姜琳琳 德国gmp建筑师事务所  
效果图及图纸提供 gmp, christian\_gahl

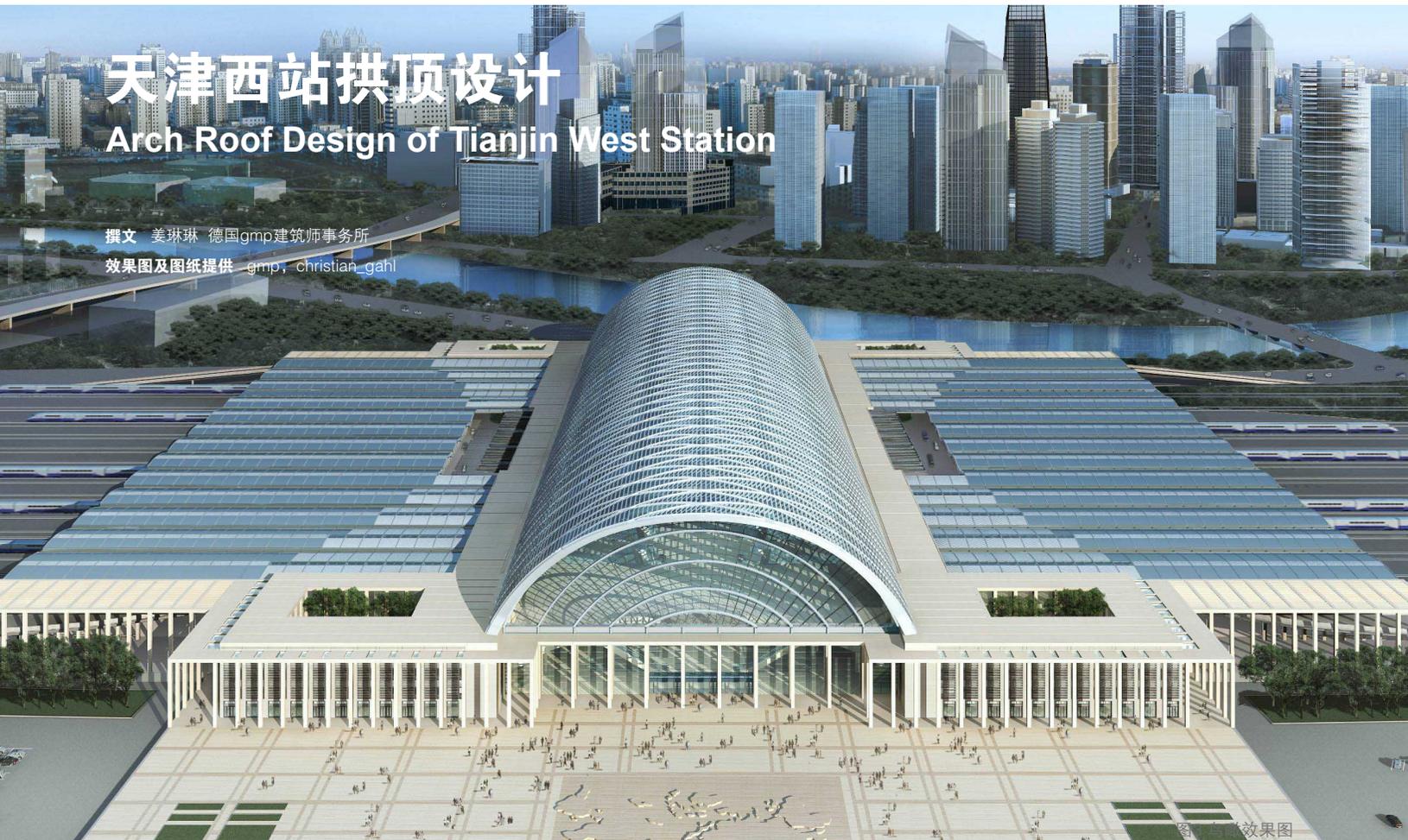


图1 鸟瞰效果图

**摘要** 总结了天津西站拱顶的设计理念、设计过程和实施过程，通过结构形式研究、空间环境分析、材料选用、细部设计、色彩设计，力图在独特的火车站空间中实现建筑多样性的统一。

**关键词** 技术 艺术 多样性 统一

天津西站是京沪高速铁路线上五大始发站之一，属于特大型火车站。项目位于天津市红桥区，建筑面积18万 $m^2$ ，车场总规模24台26线，于2011年6月30日正式通车，已成为天津市最大的综合交通枢纽（图1~4）。

新的天津西站是一座连接新老城区的桥梁。一个高37m，长400m，跨度114m的钢结构编织拱顶坐落在两栋对称的20m高C形裙房上，将北部的CBD与天津的老城联系在一起，创造了南北两个城市部分的连接，在城市规划方面具有重要意义。

超大的拱顶形式被喻为是一座大尺度的城市大门，内部则容纳了站房最重要的候车大厅（图5），通透的钢结构引导自然光线进入到大厅，47m高的无柱空间使旅客对站内各部分功能一览无余，同时也有着清晰的方向感。

### 1 技术和艺术的统一

由钢结构和玻璃组成的拱形屋顶是天津西站建筑中最具标志性的一个部分，其结构形式为双向编织拱结构（图6）。拱顶的钢结构真实外露，表达了建筑技术和艺术的统一。拱顶结构造型优雅

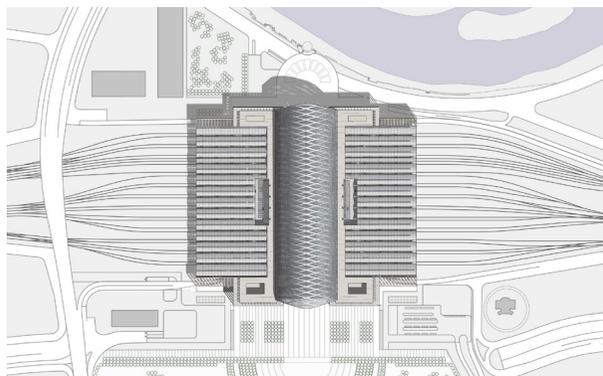


图1 总平面图



图2 南公交站方向建筑外观(摄影christian\_gahl)

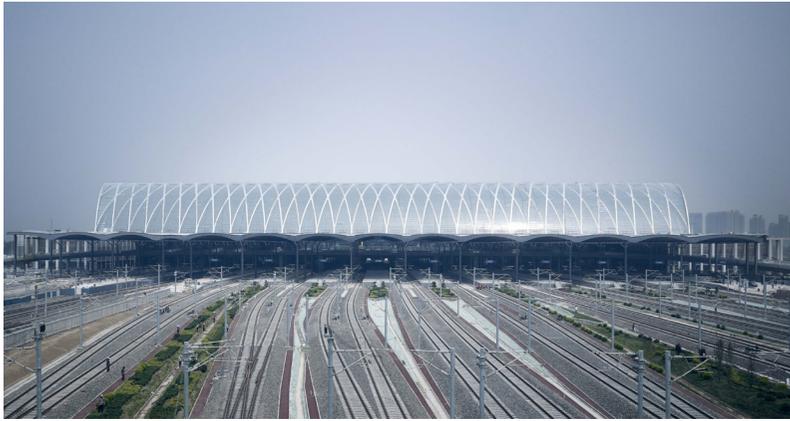


图4 高架路方向建筑外观(摄影christian\_gahl)



图5 候车大厅(摄影christian\_gahl)

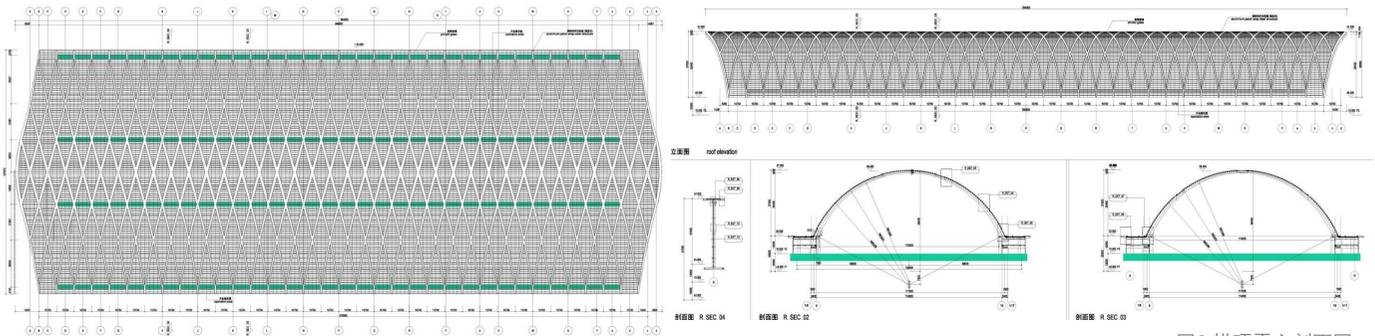


图6 拱顶平立剖面图



图7 拱顶钢结构室内效果

并极富动感：每根钢梁均为空心箱型变截面梁，顶部较宽较薄（高2m，宽1m），底部则窄而高（结构梁高0.8m，宽3m），形成下部较为通透、上部相对具有遮阳效果独特结构形式。

双向编织拱结构可以拆分为间距为10.75m的70根变截面钢梁，这些梁分别从两个方向斜跨过114m的空间上空，进深方向跨度 $10.75\text{m} \times 3\text{m}$ ，每根梁的上下两面为单曲面，两侧为垂直地面的平面，相当于对水平放置的壁厚不等的圆柱筒体部分进行垂直方向的裁切，从而避免结构双曲面的产生，简化了钢结构制作和施工过程的难度，保证了梁体精确度。

每根梁交叉处的弧形交角处理是钢结构施工工艺的要求，同时使拱顶更加优美而富有细节。钢梁拱脚处最小宽度为1m，这是通过与施工方沟通后提出的能进行内部施工的最小尺度。拱脚根部

稍做扩大，使拱顶看上去可以坚实地落在基座上（图7）。

拱顶钢结构的施工采取分段组装和分组提升的步骤，减少高空作业，同时加快施工进度。天津西站的施工条件复杂，为保证位于站场中间的两条铁路线的正常运行，整个施工场地被分为三区实现，铁路线要进行两次调整，在施工周期短的情况下，分段组装和分组提升成为解决施工组织问题的有效办法（图8~11）。

箱型钢梁分多段在工厂加工，钢梁交叉处作为一个“X”形构件加工，最大构件的尺寸为 $8.9\text{m} \times 3.3\text{m} \times 4\text{m}$ 。这样可以保证钢结构在交叉处的强度，减少高空焊接难度，也很好地实现了钢结构完成后转角处光滑的效果。拱顶钢结构的设计考虑到现场施工误差和钢结构沉降两方面的因素，钢结构加工的精确度和施工误差基本在可控范围之内。



图8 拱顶钢结构构件



图9 拱顶钢结构分段提升



图10 拱顶钢结构施工阶段内部效果



图11 拱顶钢结构施工阶段外观

钢结构之间的焊缝处理也非常重要，要求有很好的焊接工艺，同时对不合格的焊缝进行打磨。为了保证箱形梁外观的平整效果，结构钢板厚度不低于18mm，否则可能明显地看出箱梁内加肋板焊接的痕迹。

拱顶设计的关键一点是使钢结构外露，体现建筑的结构美，这种美是粗犷的也是细腻的，能带来极具震撼力的空间效果。

## 2 独特性和实用性的统一

为了凸显拱顶与众不同的结构美，在围护结构和装修面的设计上尽量简洁。拱顶构造层次由玻璃采光顶、三角形铝格栅组成：玻璃采光顶由固定和开启扇组成，为中空钢化夹胶，隐框构造。典型分格尺寸为4 800mm × 1 050mm。开启扇采用电动开启，三角形铝格栅采用穿孔铝板。拱顶总面积共计55 900m<sup>2</sup>，其中：钢结构面积共12 840 m<sup>2</sup>，透明玻璃屋顶面积共30 120 m<sup>2</sup>，三角形檩条共12 940 m<sup>2</sup>。

通透的拱顶设计给候车大厅室内环境的控制带来巨大挑战。对此我们请专业公司进行了拱顶空间室内自然采光节能研究，比较了不同遮阳措施的室内效果、人体舒适度和对能耗的影响；建立了建筑能耗计算分析模型，提出满足节能设计标准的围护结构性能参数和构造做法，包括对围护结构传热系数、遮阳系数的建议。最终得到的透明玻璃的综合热工参数为：可见光投射率

0.18~0.21，室外反射率0.21，室内反射率0.17，遮阳系数0.25。

### 2.1 建筑光环境

采用室内采光模拟软件Desktop Radiance对三维空间进行分析（图12，13）得出：候车大厅中间大部分区域自然采光系数最大值为8.8%（图14），整体采光均匀度达到0.79（图15），满足自然采光系数最大值低于10%和采光均匀度不易小于0.7的要求。在夏至日12时这一最不利条件下，地面最大亮度比8.69：1，接近8：1的亮度比要求，不会对室内人员造成视觉不舒适感。

### 2.2 人体舒适度

太阳辐射量（含直射及散射）最大时刻出现在8月12日的13时，此时太阳总辐射量为1 165W/m<sup>2</sup>，太阳直射辐射量为872W/m<sup>2</sup>。太阳散射辐射量为293W/m<sup>2</sup>。通过采用Ecotect软件计算天窗的遮阳系数为0.25时，候车大厅地面的太阳辐射最不利值为158W/m<sup>2</sup>，太阳散辐射量为74W/m<sup>2</sup>，建立有效实干温度AT值分析模型（图16），舒适区的AT值为15~28℃。结论是当空调设计温度为26℃，候车大厅的有效实干温度AT值为27.45℃，可以满足舒适度要求。天津西站建成使用后，实际感受明亮舒适，完全达到了设计要求。

### 2.3 室内自然通风

大拱顶部和两侧结合消防排烟设置四排电动通风排烟窗，

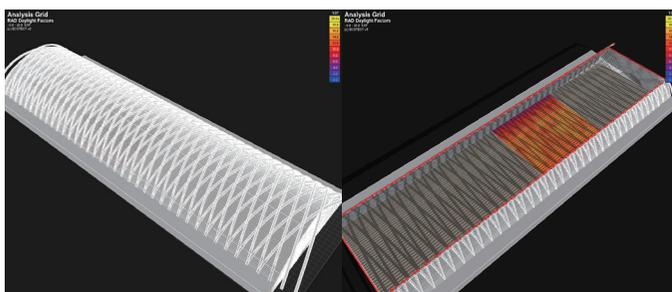


图12 环境分析模型(深圳建科院)

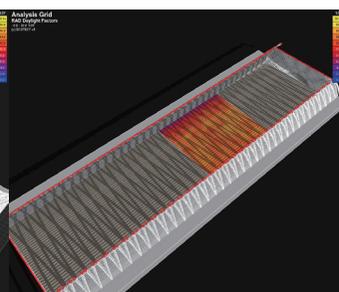


图13 候车大厅自然采光系数分析  
(深圳建科院)

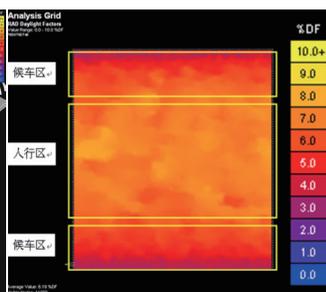


图14 候车大厅自然采光系数  
(深圳建科院)

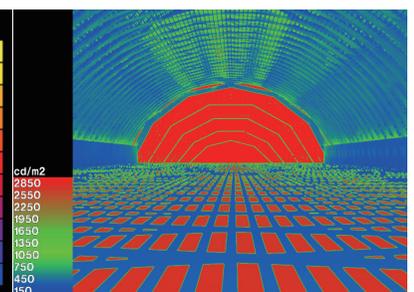


图15 室内自然采光均匀度分析(深圳建科院)

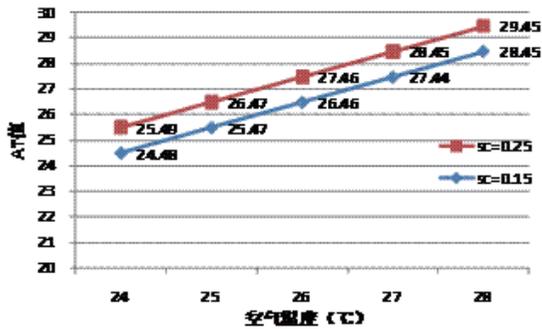


图16 有效实干温度AT值分析(深圳建科院)

通过对室外风环境的模拟分析可知，候车大厅南北山墙最大压差4Pa，具有良好的室内自然通风先决条件；穹顶最大压差为1~2Pa，室内利用风压通风效果一般，但高差达20m，可以利用热压形成自然通风。通过自然通风，能够在室外温度适宜时引入室外新风进行降温，减少空调运行时间，从而实现节能减排。在6~9月空调季节中，约80%的夜间（0~6点）可采用自然通风达到室内温度的需求。约节省100万kW·h冷量（约占夏季总冷负荷的13%），每年节省用电35万kW·h。

### 2.4 彩釉玻璃

为了达到透明部分遮阳系数0.25的设计要求，我们研究了彩釉玻璃和遮阳卷帘两个方向，考虑到卷帘外观效果不简洁、造价高、维修困难的问题，决定选用彩釉玻璃。玻璃的配置是：无色高透双银中空玻璃8mm钢化+12mm空气层+2×6mm钢化夹胶，

Low-E膜位于中空玻璃第三面，覆盖率为40%的银灰色彩釉条位于中空玻璃的第二面，彩釉条宽度为87mm，间隔87mm，这样设置的目的是在满足遮阳系数的同时，尽量降低彩釉条密度，保证玻璃穹顶的通透性（图17）。

### 2.5 三角形檩条

作为支撑玻璃板块的构件，用统一的构件形式解决了从拱顶到拱脚三角形檩条不同受力方向的问题，檩条间距1.4m左右，也很好地起到了遮阳的作用。从视觉感受上三角形檩条显得纤细，屋顶更为通透。三角形檩条内为三角形截面钢构，外包穿孔铝板，钢构和穿孔铝板之间填充玻璃丝棉，兼具吸声功能（图18，19）。

### 3 材料和色彩的统一

可见钢结构表面处理为金属光泽银灰色氟碳喷涂。与白色相比，银灰色更能体现钢结构材料的金属质感，银灰色略带反光效果，能随周围材料颜色的变化而有所改变，更好地与其他材料色彩相匹配。三角形铝格栅与玻璃共同组成拱顶的第二个层面，成为建筑屋顶围护结构，位于主体钢结构的上方，三角形铝格栅表面处理为金属光泽深灰色氟碳喷涂，是与通透的玻璃相统一的颜色，使之有别于银灰色主体钢结构，构造层次是清晰和明确的。在拱顶的室外一侧，位于钢结构上方的围护结构设计成U形，起着排水天沟的作用（图20）；采用金属光泽银灰色氟碳喷涂的铝板覆盖，体现内部结构体系（图21）；玻璃上的彩釉条的颜色为银灰色，从室内和室外看都更接近玻璃的颜色。

从室外看，拱顶有77%的表面被玻璃所覆盖，玻璃的选择非



图17 拱顶玻璃彩釉条

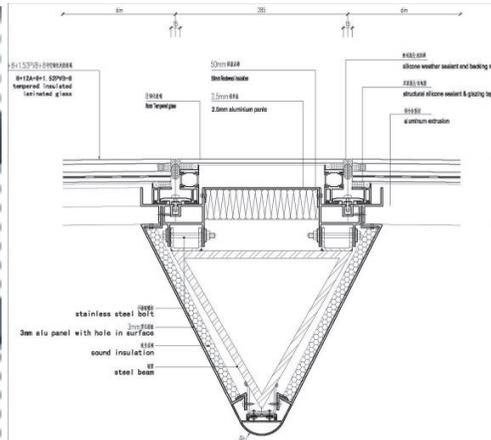


图18 拱顶三角形檩条处构造层次示意

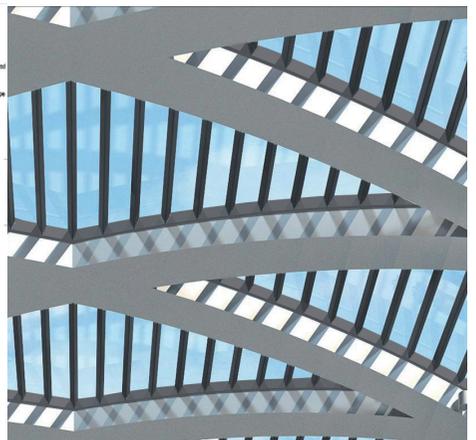


图19 拱顶室内局部效果图

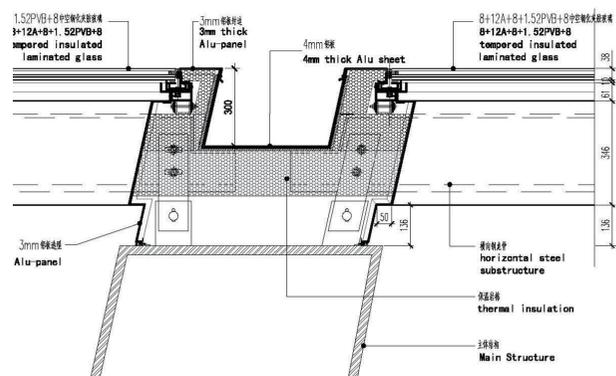


图20 拱顶钢结构处构造层次示意



图21 拱顶室外局部效果图



图22 拱顶顶部玻璃



图23 拱顶侧面玻璃安装



图24 拱顶玻璃

常重要。理想的玻璃是无色透明，可真实反射周围的颜色，普通玻璃会由于玻璃内部的材料而带一点自然的绿色。但由于节能要求以及对室内舒适度的考虑，必须选用Low-E玻璃，玻璃的透过色和反射色都会受膜层颜色的影响。经过大量的选择和比较，最终不得不请生产厂家根据样片要求在工厂进行了膜层配方的调整。过程虽然艰难，但拱顶玻璃达到了预期的效果。

在拱顶透明材料的选用上我们也进行了一些比较和尝试。比选材料之一是聚碳酸酯实体板，这是一种轻而高透、不易碎的材料，在国内外的一些大型公共建筑中有所采用，但无法满足天津西站项目对保温遮阳的要求，防水构造做法也不适用于拱顶设计的需要。

玻璃虽然从建筑外观效果和工艺上讲是最佳选择，但玻璃在

施工维护上也存在问题。玻璃自重带来的荷载会使钢结构用量增加，玻璃自重大，易碎，对安装要求高，尤其对于如此巨大的拱顶空间而言，施工难度很高。另外，业主担心玻璃自爆问题会使玻璃的更换非常困难，也会影响火车站的正常使用。对于玻璃自爆问题，德国规范里明确规定，建筑玻璃在出厂之前，必须做均质处理。玻璃自爆是因为原材料中含有的极少量的杂质会使玻璃在温度变化的情况下产生内应力，均质处理就是为了使含有杂质的玻璃板块在出厂之前就自爆，从而大大降低已安装完成玻璃板块的自爆率。

#### 4 单一性和多样性的平衡

天津西站大拱是简洁而纯粹的建筑形体，对于为满足使用功



图25 南广场灯光效果(摄影christian\_gahl)

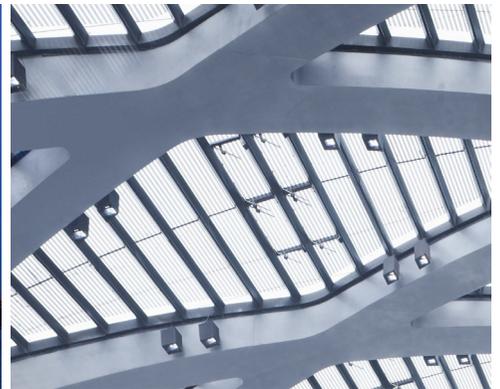


图26 灯具安装及拱顶细部



图27 候车大厅灯光效果(摄影christian\_gahl)

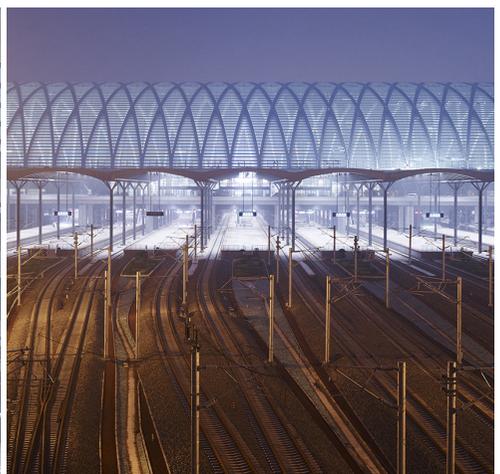


图28 拱顶侧面灯光效果(摄影christian\_gahl)



图29 蜘蛛车的使用

能而在拱顶上可能设置的各种构件和设备，我们做了整合与取舍，通过建筑手法寻求单一性和多样性的平衡。

人工照明所选用的灯具完全是定制的，灯具反射器的设计是根据每盏所处的空间位置通过几何分析设计出来的，灯光所能照设到的范围有非常明确的界定，严格控制照射角度，完全体现建筑空间效果，建筑材料质感、灯光设计与建筑设计浑然一体（图26）。拱顶总共有496盏灯，5种配光。拱脚下还设有上照灯，照亮钢梁下表面，突显结构，透过玻璃照设到室外（图27），使大拱在夜间成为自发光玻璃体，不需要额外设置外部的泛光照明（图28）。灯壳的形式也是根据灯具所处的位置特别设计的，位于拱顶的灯具外观是角度与大拱钢结构方向相吻合的平行四边形六面体，灯壳中包含有应急照明，实现了灯具一体化设计。拱顶需要的少量管线也位于钢结构和天沟之间。

在设计中，为了尽可能使拱顶简洁，我们舍弃了在拱顶安装轨道等构件，拱顶的清洁维护以及灯具的更换通过蜘蛛车来解决。

我们选用的是到达高度52的高蜘蛛车（图29），平时放在候车大厅储藏室。在拱顶室外一侧顶部设有两道金属杆，从拱脚处的平台起，有两处天沟内也设有突出构件，供人攀爬，可以解决玻璃室外清洁问题。

钢结构在加工和施工中的误差不可避免，拱顶钢结构围合成的菱形单元并不一样，由于工期紧，做不到先测量现场尺寸再生产玻璃板块和型材下料的常规程序。玻璃组成的菱形单元是统一尺寸，与钢结构菱形单元的错位通过两个构造层次间的缝的设置得到化解（图26）。

## 5 结语

gmp坚持将理性主义设计原则贯彻于建筑设计和建筑施工始终，严格的项目质量控制体系使建筑最终拥有了高完成度。我们不仅在寻找着建筑设计本身的统一和平衡，也在寻找着与建筑相关的各方面因素之间的统一和平衡，过程是艰辛的，但结果是令人欣慰的。AT

建筑设计：德国gmp建筑师事务所

设计人：Meinhard von Gerkan and Stephan Schütz with Stephan Rewolle

项目负责人：Stephan Rewolle, 姜琳琳

设计小组成员：Mulyanto, 郑珊珊, Sebastian Linack, 刑九州, 刘一笑, 杨莉, Jenny Thia, 董淑英, Thomas Schubert, Jochen Sueltrup, 李峥, 周斌

业主：铁道部北京铁路局

国内合作院：铁道部第三勘测设计集团有限公司

结构设计：TSDI, SBP Schlaich Bergmann & Partner GmbH, CABR

灯光设计：conceptlicht GmbH, GDIL

幕墙顾问：SuP Ingenieure GmbH

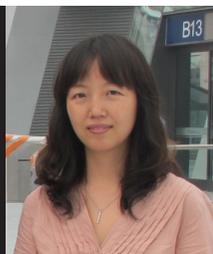
声学设计：中广电设计院

环境分析：深圳市建筑科学研究院

建筑面积：18万m<sup>2</sup>

建筑时间：2009~2011年

图片来源：除特别注明外，图片均由gmp提供。



### 作者简介

**姜琳琳**，德国gmp建筑师事务所主任建筑师，工程硕士。参与和负责的主要项目有北京东方文化艺术中心、北京汇佳国际学校、国家博物馆、天津西站。