

钢结构工程实例 ——设计及分析

王燕 著

中国建筑工业出版社

钢结构工程实例——设计及分析

王燕 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构工程实例——设计与分析/王燕著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 7
ISBN 978-7-112-16742-5

I. ①钢… II. ①王… III. ①钢结构-建筑工程-设计-高等学校-教材②钢结构-建筑工程-结构分析-高等学校-教材
IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 074304 号

本书主要内容为钢结构工程实例及分析。包括体育场看台钢结构雨篷、异形屋面空间钢网架有限元建模、既有建筑轻钢增层结构分析及节点构造、既有建筑屋面平改坡结构设计、建筑工程施工现场安全防护设施、轻钢结构临建房屋的结构、给水、配电设计详图、工业及民用钢结构大跨度运输通廊结构设计、工业厂区钢结构管道支架及高炉转运站设计等。

本书可作为高等院校相关专业本科生、研究生以及从事钢结构专业设计的工程技术人员参考用书, 亦可供建筑施工安全防护、临建房屋设计、施工及安装专业人员参考及应用。

* * *

责任编辑: 王 梅 辛海丽

责任设计: 张 虹

责任校对: 陈晶晶 刘梦然

钢结构工程实例——设计与分析

王燕 著

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

环球印刷(北京)有限公司印刷



*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11½ 字数: 286 千字

2014 年 7 月第一版 2014 年 7 月第一次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-16742-5
(25554)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

钢结构具有强度高、重量轻、造型美观、施工速度快、抗震性能突出、绿色节能、材料可再生等特点,被广泛应用于土木工程各个领域。建筑钢结构具有很强的艺术表现力和美学特征,根据使用功能,建筑造型与结构力学可以相互融合,其外观造型或气势恢宏,或轻盈灵巧,或复杂多变,现代标新立异的建筑设计理念可以通过钢结构的形式得以淋漓尽致的展现。工业建筑中的钢结构亦能很好地发挥钢材所具有的高承载力、高延性等特点,并具有良好的抗冲击、抗动力、耐疲劳等优良特性。建筑钢结构的全部构件可实现工业化制作,施工现场安装及连接简便。用于建筑施工现场的装配式轻钢结构临建房屋可以实现多次周转循环使用,改善和提高施工作业人员的工作和生活条件,消除施工现场采用砌体结构搭建的临建房屋拆除时所产生的大量建筑垃圾以及对周围环境所造成的污染,有助于提升和改善城市建设过程中的整体风貌。

本书全部内容是作者多年来从事钢结构工程项目设计以及创新性研究工作的总结。内容主要涉及体育场看台钢结构雨篷、异形屋面空间钢网架有限元建模方法、既有建筑轻钢增层结构分析及节点构造、既有建筑屋面平改坡结构设计、建筑工程施工现场安全防护设施、工业及民用钢结构大跨度运输通廊结构设计、工业厂区钢结构管道支架及高炉转运站设计、轻钢结构临建房屋结构设计详图以及给水和配电工程设计详图等。

本书在写作过程中,我指导的研究生郁有升、赵长伟、朱丙虎、冯双、高翔、王健、张莉雅、王薇、牛作革、张百悦、王培、董立婷等在本课题研究工作中出色地完成了大量的绘图、数值模拟等工作。没有他们的辛勤付出,本书不可能最终成稿。这些扎实的研究工作和成果同时也推动和促进了钢结构技术的不断发展和进步,在此谨向他们表示诚挚的感谢!研究生李美红、李庆刚为本书的编辑和出版做了大量工作,在此表示衷心的感谢!

感谢中冶京诚工程技术有限公司工业建筑设计院为我校钢结构方向的研究生提供了大量参与钢结构工程实践的机会,期间得到了马天鹏总工等多位工程技术专家的悉心指导,在此谨向他们表示衷心的感谢。还要特别感谢山东省蓝色经济区工程建设与安全协同创新中心、青岛市建筑施工安全监督站、青岛市科保安防护设备有限公司对本书在出版过程中给予的大力支持和帮助。

限于作者水平,错误和不足之处在所难免,均需要在今后的研究工作中不断完善和改进,同时诚恳欢迎有关专家和读者对发现的错误和不妥之处给予批评和指正。

目 录

第 1 章 体育场钢结构飘雨篷	1
1.1 拱形飘雨篷设计实例	1
1.1.1 工程概况	1
1.1.2 结构及节点设计	1
1.1.3 结构及静力计算	4
1.1.4 结构动力响应计算	5
1.1.5 设计小结	6
1.2 空间管桁架膜结构飘雨篷设计实例	6
1.2.1 工程概况	6
1.2.2 结构设计	7
1.2.3 节点设计	8
1.2.4 膜材选用	9
1.2.5 荷载及工况组合	9
1.2.6 结构静力计算	10
1.2.7 结构动力响应计算	10
第 2 章 异形屋面空间钢网架	12
2.1 工程概况	12
2.2 结构计算模型	13
2.2.1 网格尺寸及划分	13
2.3 荷载及组合	15
2.4 支座节点设计	16
2.5 小结	17
第 3 章 轻钢增层结构	18
3.1 轻钢增层结构方案	18
3.1.1 铰接连接	18
3.1.2 刚接连接	19
3.2 轻钢增层结构地震反应影响分析	19
3.2.1 考虑高振型影响计算实例	20
3.2.2 动力放大系数取值	22
3.3 轻钢增层后房屋的总高度及层数限制	23
3.4 轻钢增层工程实例	23
3.4.1 结构布置	23
3.4.2 节点设计	25

3.5 动力响应分析	26
第4章 冷弯薄壁型钢临建房屋及安全防护设施	27
4.1 国内外发展现状	27
4.2 临建房屋结构设计	29
4.3 临建房屋结构承载力	31
4.4 临建房屋钢桁架的次应力分析	32
4.5 临建房屋经济效益分析实例	38
4.6 临建房屋的保温、防腐与防火性能	42
4.7 装配式轻钢结构在建筑安全防护工程中的应用	42
4.7.1 可伸缩式安全通道防护棚	42
4.7.2 可伸缩式物料加工带悬挑防护棚	44
4.7.3 物料提升机、搅拌机、小型机械及配电箱防护棚	45
4.7.4 防护棚静力及冲击荷载计算	49
4.8 临边防护	51
4.8.1 楼梯、楼板临边防护	51
4.8.2 基坑临边防护	52
4.8.3 坡(平)屋面临边防护	54
第5章 建筑屋面平改坡及冷弯薄壁型钢组合墙体	56
5.1 平改坡的屋面构造	57
5.2 平改坡的结构方案	57
5.2.1 外圈新增钢筋混凝土圈梁	57
5.2.2 新增钢筋混凝土圈(卧)梁	58
5.2.3 新增钢筋混凝土纵横圈(卧)梁	58
5.3 新增轻型钢架结构形式	59
5.4 地基承载力影响分析	61
5.5 平改坡动力性能分析	61
5.6 冷弯薄壁型钢结构住宅组合墙体承载力计算	63
5.6.1 龙骨柱承载力计算	64
5.6.2 仅考虑裸龙骨柱承载力计算	64
5.6.3 考虑罩面板支撑的龙骨柱承载力计算	64
5.6.4 工程实例	66
第6章 工业及民用钢结构运输通廊	68
6.1 供料系统运输通廊设计实例	68
6.1.1 结构形式	68
6.1.2 荷载计算	69
6.1.3 内力计算	71
6.1.4 节点设计	72
6.1.5 动力响应分析	72
6.2 胶带机运输通廊设计实例	73

6.2.1	桁架内力分析	73
6.2.2	桁架水平支撑	75
6.2.3	节点设计	75
6.2.4	动力特性分析	76
6.3	焦煤转运站运输通廊设计实例	77
6.3.1	荷载	77
6.3.2	内力分析	78
6.3.3	动力特性分析	80
6.4	大跨度人行通道运输通廊设计实例	82
6.4.1	结构设计	82
6.4.2	中转门厅钢结构设计	83
6.4.3	围护结构	83
第7章	工业厂区钢结构管道支架	85
7.1	热力燃气管道支架设计实例	85
7.1.1	管网管道支架布置	85
7.1.2	节点设计	86
7.1.3	管道支架结构动力特性	87
7.2	除尘系统管道支架设计实例	88
7.2.1	结构布置	89
7.2.2	结构刚度	89
7.2.3	柔性支架结构内力分析	90
7.2.4	荷载及内力计算	91
7.2.5	管道支架支座	92
7.2.6	管道支架托架	93
7.3	外网管道支架设计实例	94
7.3.1	固定管道支架柱肢设计	94
7.3.2	固定管道支架荷载	95
7.3.3	固定管道支架内力分析	96
7.3.4	固定管道支架动力特性分析	97
7.3.5	固定管道支架管道支座	98
第8章	工业厂区钢结构高炉转运站	99
8.1	结构设计	99
8.2	节点设计	101
8.3	动力特性分析	102
第9章	钢结构通信三管塔	104
9.1	结构设计	104
9.1.1	荷载	105
9.1.2	荷载组合	105
9.1.3	计算结果	106

9.2 动力特性分析	107
9.3 节点设计	108
9.4 设计小结	108
附录：装配式轻钢结构临建房屋设计安装通用图	109
参考文献	176

第 1 章 体育场钢结构飘雨篷

体育场看台的飘雨篷跨度较大，造型及形状不规则，采用钢结构结构形式具有结构受力合理，外观造型轻巧、美观等特点。结合青岛市高校两所新建体育场钢结构飘雨篷工程实例，介绍了钢结构飘雨篷的结构设计。

1.1 拱形飘雨篷设计实例

1.1.1 工程概况

青岛理工大学黄岛嘉陵江路新校区新建体育场西看台挑篷的建筑设计采用了波浪式拱形造型，悬挑部分为空间管桁架结构体系，结构表面覆盖 PVC 彩色膜材，整体造型简洁、优美，与新校区内建筑风格和谐一致。如图 1-1 所示。飘雨篷屋面采用钢结构承重，总长度为 74.4m，覆盖面积为 811m²，飘雨篷平面整体上仰角度为 5°，主梁采用变截面 H 型钢悬挑梁，次梁(拱梁)采用弧形冷弯薄壁型钢方钢管，雨篷遮雨板采用 0.8mm 厚高波压型彩涂钢板。雨篷整体效果图如图 1-1 所示，整体结构布置及平面布置如图 1-2 和图 1-3 所示。

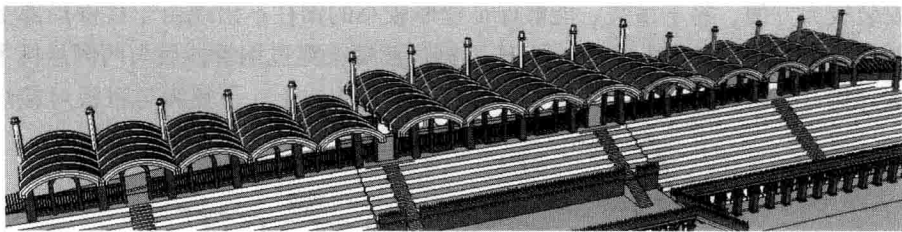


图 1-1 体育场钢结构飘雨篷看台

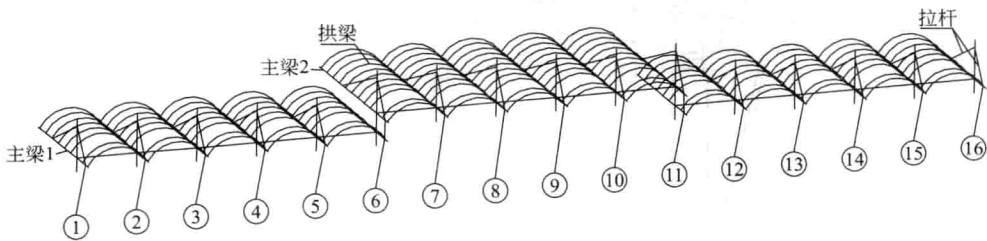


图 1-2 雨篷整体结构

1.1.2 结构及节点设计

1. 结构设计

如图 1-4 所示，雨篷上、下立柱分别采用圆钢管和钢筋混凝土结构，钢柱两侧采用变

间隔 50mm。为安装和施焊方便,在施工梁柱节点时先在圆钢管柱标定位置开设洞口,洞口周边尺寸比过渡梁截面尺寸大 5mm,待 H 型钢过渡短梁穿过钢柱定位后,将过渡短梁与钢柱沿洞口周边采用塞焊缝焊接连接。

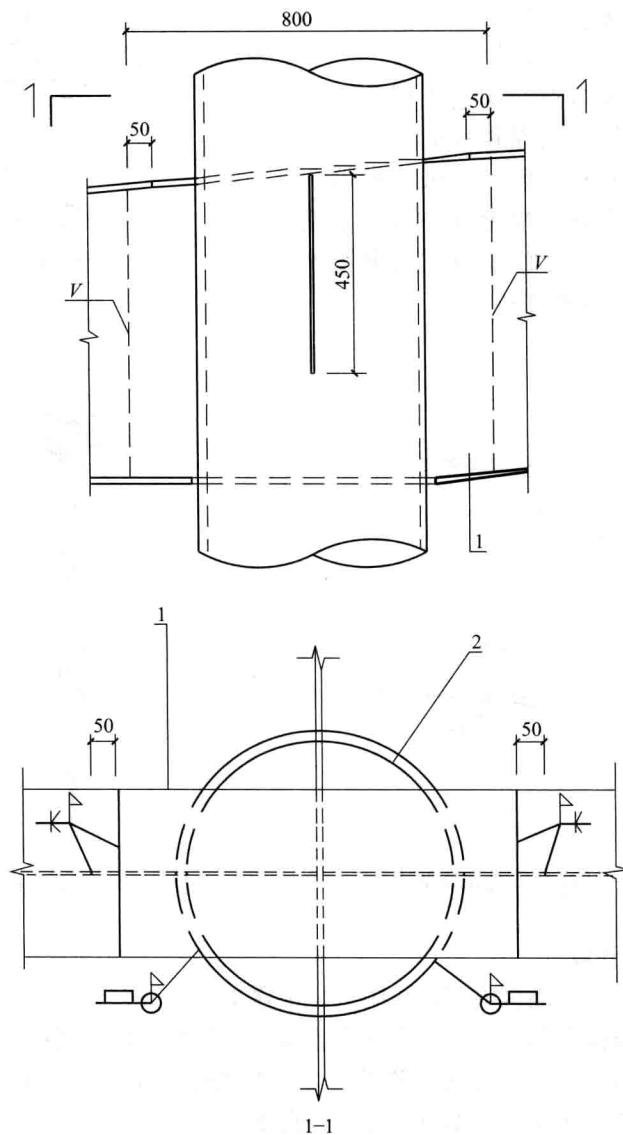


图 1-5 梁柱节点

1—H 型钢过渡短梁 HN(670-740)×300×10×12 2— $\phi 508 \times 16$

(2) 拱梁与主梁连接节点

图 1-3 中所示的拱梁间距为 1.2m,采用弧形冷弯薄壁型方钢管。拱梁与主梁之间采用两块竖向钢板连接,如图 1-6 所示,由拱梁产生的水平反力通过竖向钢板与主梁之间的水平焊缝传递。施工时,先将钢板焊接在主梁上翼缘标定位置,然后通过对拉螺栓将拱梁

夹紧固定。为保证节点安全可靠,在主梁与拱梁连接位置设置了横向加劲肋以增加腹板的局部刚度。该节点传力路径明确、便于安装,并且可保证现场焊接质量。

(3) 拉杆与主梁连接节点

拉杆与主梁连接节点的构造如图 1-7 和图 1-8 所示。为了便于锚固耳板的定位与安装,在拉杆端部设置了长度为 180mm 的可调节螺栓。施工时,先将两块钢板焊接在主梁上翼缘标定位置处,然后通过 M30 抗剪螺栓将其与定位好的锚固耳板连接。

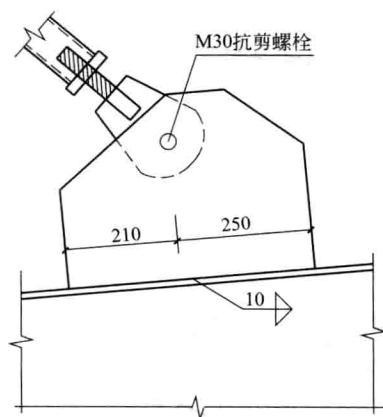


图 1-7 拉杆与主梁连接节点

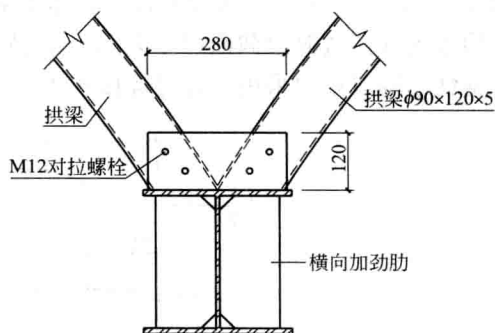


图 1-6 拱梁与主梁节点立面

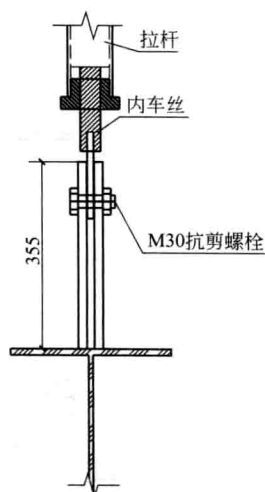


图 1-8 拉杆与主梁节点侧立面

1.1.3 结构及静力计算

该工程位于青岛市黄岛区安子码头附近,雨篷主梁的最大悬挑长度为 11.0m,考虑到悬挑钢结构雨篷对风荷载的敏感性,设计荷载组合中考虑了各种风荷载作用工况。本结构安全等级为二级,地面粗糙度类别为 B 类,场地类别属于 II 类,各种荷载工况取值如下:

永久荷载:主梁、次梁、压型钢板等构件自重。

可变荷载:1)屋面均布活荷载(屋面施工荷载)取 0.5kN/m^2 ; 2)基本雪压:基本雪压取 0.2kN/m^2 ; 3)基本风压取 0.6kN/m^2 ,由于悬挑钢结构雨篷对风荷载的敏感性,风荷载须考虑吸力影响。

偶然荷载:主要考虑地震作用,该地区抗震设防烈度为 6 度,设计地震分组为第二组。

荷载计算时主要考虑以下 8 种荷载工况组合:

- (1) $1.2 \times \text{恒荷载} + 1.4 \times \text{活荷载}$;
- (2) $1.2 \times \text{恒荷载} + 1.4 \times \text{风荷载(压力)}$;

- (3) $1.2 \times \text{恒荷载} + 1.4 \times \text{风荷载(吸力)}$;
 (4) $1.2 \times \text{恒荷载} + 1.4 \times \text{活荷载} + 1.4 \times 0.6 \times \text{风荷载(压力)}$;
 (5) $1.2 \times \text{恒荷载} + 1.4 \times \text{活荷载} + 1.4 \times 0.6 \times \text{风荷载(吸力)}$;
 (6) $1.2 \times \text{恒荷载} + 1.4 \times 0.7 \times \text{活荷载} + 1.4 \times \text{风荷载(压力)}$;
 (7) $1.2 \times \text{恒荷载} + 1.4 \times 0.7 \times \text{活荷载} + 1.4 \times \text{风荷载(吸力)}$;
 (8) $1.2 \times (\text{恒荷载} + 0.5 \times \text{活荷载}) + 1.3 \times \text{地震荷载}$ 。

利用 SAP2000 结构设计软件, 根据以上荷载 8 种荷载组合进行分析, 表 1-1 所示为 8 种荷载组合下主要构件最大应力比, 表 1-2 所示为 8 种荷载组合下主梁悬挑端的竖向挠度值。

结构主要构件最大应力比

表 1-1

荷载工况	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
主梁 1	0.197	0.174	0.192	0.188	0.208	0.179	0.216	0.186
主梁 2	0.401	0.259	0.392	0.387	0.413	0.341	0.419	0.352
钢柱	0.636	0.112	0.560	0.481	0.790	0.301	0.810	0.411
拉杆 1	0.634	0.124	0.557	0.483	0.784	0.307	0.803	0.411
拉杆 2	0.023	0.017	0.019	0.021	0.024	0.019	0.025	0.019
拉杆 3	0.127	0.108	0.120	0.112	0.130	0.110	0.132	0.111

主梁悬挑端竖向挠度值(mm)

表 1-2

荷载工况	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	最大值	容许值
主梁 1	17.4	3.0	15.3	13.1	21.6	8.2	22.2	14.0	22.2	29.6
主梁 2	25.8	4.5	22.7	19.5	32.1	12.1	32.9	20.8	32.9	44.0

由表 1-1 和表 1-2 的计算结果可以看出, 钢结构雨篷所有杆件均满足材料强度和稳定要求, 最大应力比均控制在 0.9 以下。起控制作用的为第(7)组荷载组合, 此时主梁 1、主梁 2 悬挑端最大竖向挠度分别为 22.2mm 和 32.9mm, 均小于《钢结构设计规范》规定的挠度容许值($\Delta = l/250$), 满足设计要求。

1.1.4 结构动力响应计算

该工程抗震设防类别为丙类, 抗震设防烈度为 6 度, 设计基本地震加速度值为 $0.05g$, 地震分组为第二组, 属于 II 类场地, 其特征周期为 $T=0.40s$ 。利用 SAP2000 结构设计软件对雨篷整体结构的动力特性进行了分析, 以整体模型为分析对象, 计算结构的前十阶振型的自振周期。其中, 第 1 振型为结构基本振型, 即沿纵向的平动振型, 第 2 振型为结构沿横向的平动振型, 第 3 振型为结构扭转振型。前 3 阶振型如图 1-9 所示, 结构自振周期和自振频率的计算结果见表 1-3。

结构自振周期和自振频率

表 1-3

振型	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
周期(s)	1.661	0.778	0.778	0.369	0.369	0.349	0.346	0.343	0.340	0.268
频率(Hz)	0.602	1.285	1.285	2.708	2.708	2.859	2.885	2.915	2.937	3.734

由表 1-3 的计算结果可以看出, 结构自振周期与该地区场地土的特征周期不重合, 因此雨篷结构不会出现共振现象。

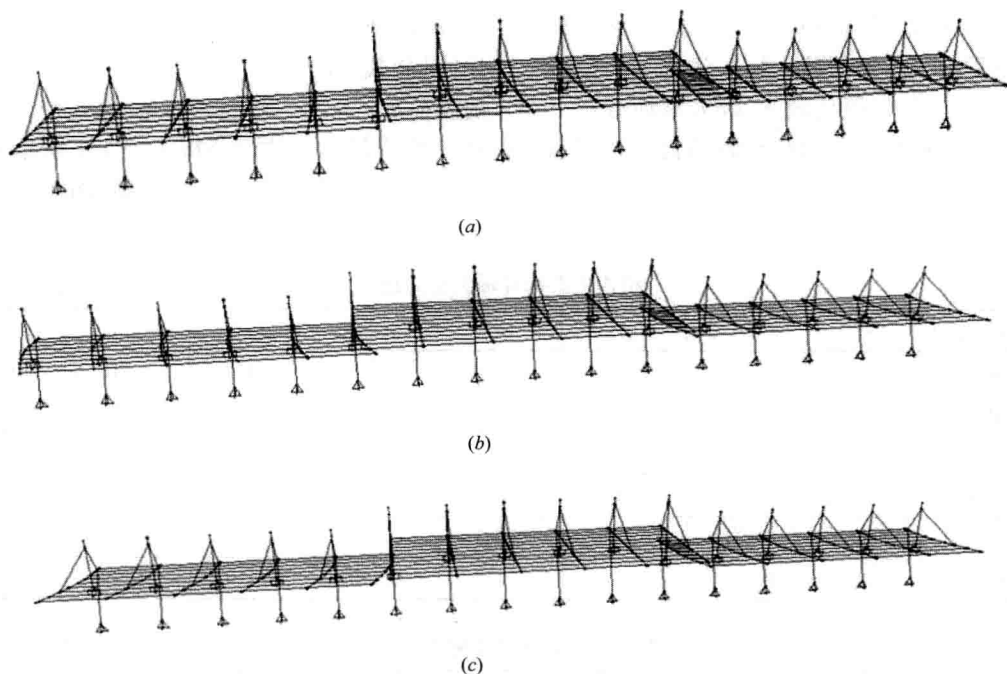


图 1-9 前三阶结构振型

(a)第一振型; (b)第二振型; (c)第三振型

1.1.5 设计小结

雨篷的梁柱节点采用过渡短梁贯穿钢柱与两侧悬挑梁连接的形式, 这种节点施工方便、易于吊装, 能够保证壁厚较小的钢柱不出现由于柱壁局部受力集中而凹陷的现象。拱梁与主梁连接节点、拉杆与主梁连接节点均通过连接钢板的构造形式, 节点传力明确、便于安装, 具有良好的安全、可靠性能。

采用 SAP2000 结构设计软件对雨篷结构的材料强度、稳定性以及主梁悬挑端最大竖向挠度进行了计算, 均满足设计要求。

采用 SAP2000 结构设计软件对雨篷结构动力响应进行了分析, 结构的自振周期在 $0.268 \sim 1.661\text{s}$ 之间, 与场地土特征周期 0.40s 不重合, 不会发生共振现象。

1.2 空间管桁架膜结构飘雨篷设计实例

1.2.1 工程概况

青岛市某高校新建校区体育场看台飘雨篷空间采用管桁架挑篷外罩 PVC 白色膜材, 鸟瞰飘雨篷宛如飘浮在空中的一片白云(图 1-10)。钢结构挑篷由横向布置的 13 片树叶形状的钢桁架单元组成, 纵、横两向对称, 长轴 58.5m , 短轴 14.9m , 总覆盖面积为 770m^2 。从中部往两端由长变短, 长度由 14.9m 渐变到 11m , 宽度为 4.5m 。树叶上仰角

度为 6° ，悬挑水平长度由 11.96m 渐变为 7.0m，如图 1-11 所示。钢结构承重构件全部采用圆钢管，表面覆盖 PVC 白色膜材，形成白色曲面挑篷，膜材具有透光率高、耐久性好的优点，预期寿命可达到 25 年以上，表面摩擦系数低，防火性能优良、不易污染，可通过雨水实现自洁。

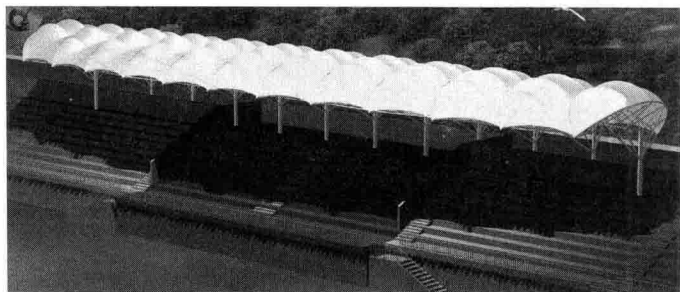


图 1-10 管桁架挑雨篷

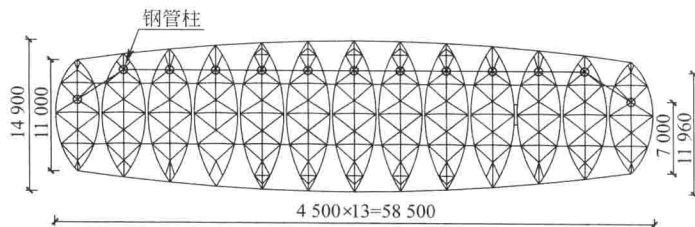


图 1-11 管桁架挑篷平面

挑篷结构体系运用了树叶的仿生形状，自然界中的树叶由纵向布置的主脉和横向布置的支脉构成，主脉和支脉作为树叶的骨架起到很好的支撑作用，力学结构合理。每片树叶两侧的弧形叶边钢管向上扬起 45° ，横剖面呈 V 形，之间由钢管拱连接。图 1-12 为树叶单元立面图，图 1-13 为树叶单元平面图。

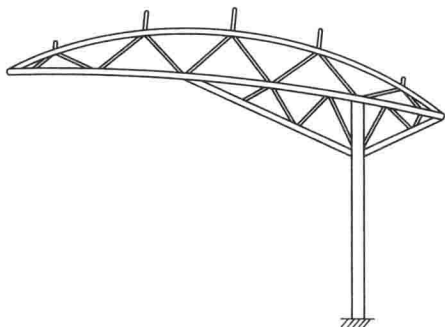


图 1-12 树叶单元立面



图 1-13 树叶单元平面

1.2.2 结构设计

图 1-14 所示的整体结构可分为上、下两部分。图 1-15(a)所示的上部结构为并列排放的树叶结构单元，相邻叶边弦管之间用短杆加强纵向连接，在各榀竖向支撑桁架之间起到

纵向连系的作用。下部结构由柱子、竖向桁架及多道柱间系杆构成(图 1-15b), 其中竖向支撑桁架为主要受力单元。所有构件均为圆钢管。管桁架不但具有建筑美学的良好效果, 还因其拥有较大的截面惯性半径, 从而可提供优良的截面特性且减轻结构重量。钢管表面光滑、无突缘、易于清理, 对于风荷载起控制作用的体育场悬挑结构, 受力更加合理。挑篷结构构件截面规格如表 1-4 所示。

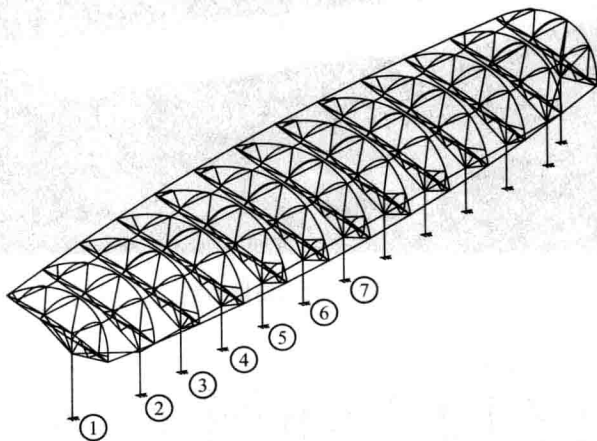


图 1-14 树叶单元编号

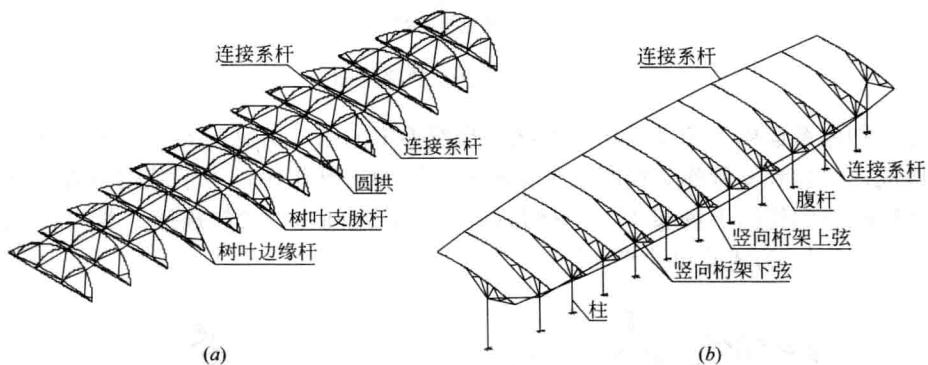


图 1-15 管桁架挑篷的上部及下部结构
(a)上部结构; (b)下部结构

挑篷构件截面规格

表 1-4

构件类别	截面规格	构件类别	截面规格
竖向桁架上弦	$\phi 219 \times 6$	杆	$\phi 95 \times 5$
竖向桁架下弦	$\phi 219 \times 6$	连接系杆	$\phi 140 \times 5$
叶边缘杆	$\phi 203 \times 6$	圆拱	$\phi 114 \times 5$
叶支脉杆	$\phi 95 \times 5$	柱	$\phi 426 \times 10$

1.2.3 节点设计

本工程采用圆钢管直接相贯焊接的节点连接形式, 采用这种节点连接形式可以体现圆钢

管节点轻巧美观的特性。主要节点形式为 KTT 形、KKK 形、K 形的空间节点, 如图 1-16 所示, 图 1-17 所示为树叶边缘杆相切连接形式。

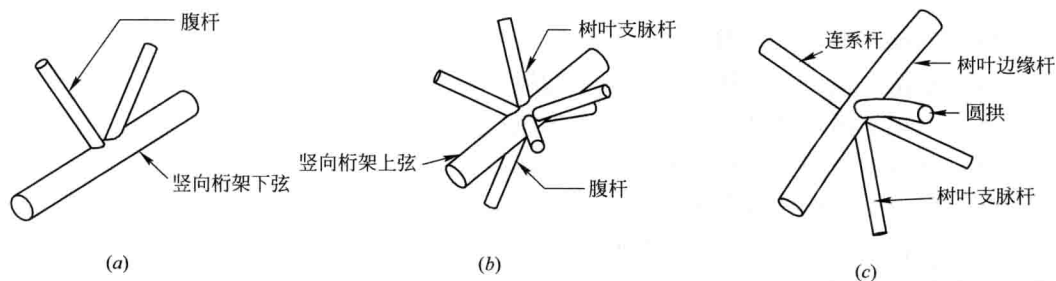


图 1-16 相贯节点

(a)K 形节点; (b)KKK 形节点; (c)KTT 形节点;

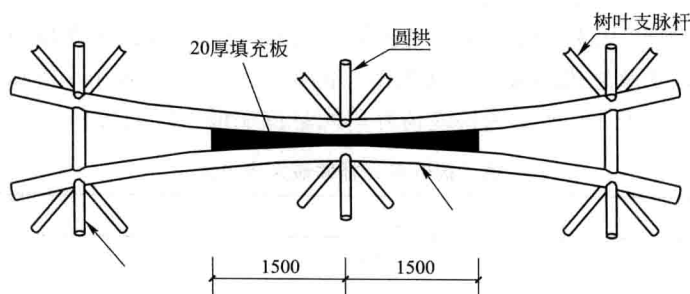


图 1-17 树叶边缘杆相切连接形式

1.2.4 膜材选用

膜面铺设施工时, 对膜面施加的初始预张力为 4.0kN/m 荷载组合中膜材承受的最大应力为 18kN/m , 选用含 PVDF 面层的 PVC(B 级)白色膜材, 自重为 0.8kg/m^2 , 厚度约为 1.0mm , 径向抗拉强度可以达到 84kN/m , 纬向抗拉强度为 80kN/m , 可以满足设计及使用要求。膜材材料表面涂覆 100% 聚偏氟乙酸(PVDF)惰性涂层, 其反射率为 78%, 吸收率为 16%, 透射率为 6%, 透光率为 8%, 具有轻质、高强、自洁、耐火、防水等性能。

1.2.5 荷载及工况组合

(1) 荷载取值

永久荷载;

可变荷载为 0.5kN/m^2 ;

基本雪压 0.2kN/m^2 ;

基本风压 0.6kN/m^2 , 风荷载标准值 $w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0$, 其中风振系数 β_z 取 1.5; 风压高度变化系数 μ_z 取 1.17; 体型系数 μ_s : 迎风面 -1.9, 背风面 -0.5。考虑迎风、背风、侧风三种工况;

地震作用: 抗震设防烈度为 6 度, 地震分组为第二组;

膜预张力: 4.0kN/m 。

(2) 荷载组合

整体结构计算模型中, 根据结构实际受力情况和当地的地震烈度, 主要考虑以下 8 种