

大跨度钢结构屋面 风雪荷载

张延年 著



科学出版社

大跨度钢结构屋面风雪荷载

张延年 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是一部关于大跨度钢结构屋面风雪荷载的专著,系统地总结和阐述了作者在大跨度钢结构风雪灾害方面的主要研究成果。本书内容共分6章。第1章论述大跨度钢结构的发展现状和存在问题。第2章论述大跨度钢结构风雪灾害调查分析。第3章论述基本雪压的计算与分析。第4章论述基本风压的计算与分析。第5章论述屋面积雪分布系数。第6章论述大跨度钢结构风雪荷载组合。

本书可供从事土木工程、力学等相关专业的广大科技人员以及各设计院与施工企业参考,也可作为上述专业研究生和高年级本科生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大跨度钢结构屋面风雪荷载 / 张延年著. —北京: 科学出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-03-037673-2

I. ①大… II. ①张… III. ①建筑结构-钢结构-大跨度结构-风载荷-研究②建筑结构-钢结构-大跨度结构-雪载荷-研究 IV. ①TU312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 117002 号

责任编辑:陈 婕 / 责任校对:郑金红
责任印制:张 倩 / 封面设计:科地亚盟

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 6 月第一次印刷 印张:16 1/2

字数:320 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 问题的提出	2
1.2.1 大跨度钢结构风雪灾害调查分析	2
1.2.2 基本雪压研究	2
1.2.3 基本风压研究	3
1.2.4 屋面积雪分布系数研究	4
1.2.5 风、雪荷载组合研究	4
第 2 章 风雪灾害调查分析	5
2.1 引言	5
2.2 风雪灾害概况	5
2.3 事故原因分析	7
2.3.1 荷载原因	7
2.3.2 设计原因	10
2.3.3 施工原因	19
2.3.4 不正规的设计与施工	22
2.3.5 使用及维护方面	23
2.4 小结	25
第 3 章 基本雪压的计算与分析	28
3.1 引言	28
3.2 结构作用类型及数学模型	30
3.2.1 作用及作用效应的一般概念	30
3.2.2 作用类型	30
3.2.3 两种概率模型	32
3.2.4 设计基准期内最大荷载的概率分布函数	35
3.2.5 极值 I 型分布	36
3.2.6 极值 I 型分布的常用参数估计方法	37
3.2.7 样本序列出现特大值时参数的修改方法	38
3.2.8 利用柯尔莫哥洛夫检验法对分布函数进行检验	39

3.3 建立雪荷载统计模型及确定模型参数·····	39
3.3.1 雪荷载调查概况与方法·····	39
3.3.2 利用直方图确定雪荷载分布·····	40
3.3.3 非参数检验·····	56
3.4 计算结果与分析·····	67
3.4.1 计算结果的比较·····	67
3.4.2 矩法估计和 Gumbel 法估计的比较·····	67
3.5 小结·····	71
第4章 基本风压的计算与分析 ·····	72
4.1 引言·····	72
4.2 风速资料数据及处理·····	73
4.2.1 地面粗糙度等级的规定·····	74
4.2.2 风速的高度换算·····	74
4.2.3 观测资料时次订正·····	74
4.3 基本风压的计算·····	75
4.3.1 空气密度的计算·····	75
4.3.2 最大风速的统计计算·····	75
4.3.3 极值Ⅰ型分布及参数估计·····	76
4.3.4 极值Ⅲ型分布及参数估计·····	77
4.4 计算结果优良性指标检验·····	79
4.5 计算结果与分析·····	81
4.5.1 用极值Ⅰ型分布统计数值的计算结果分析·····	81
4.5.2 用极值Ⅲ型分布统计数值的计算结果分析·····	97
4.5.3 极值Ⅰ型分布和极值Ⅲ型分布的对比分析·····	112
4.5.4 极值Ⅲ型分布与规范的对比分析·····	118
4.6 小结·····	125
第5章 屋面积雪分布系数 ·····	126
5.1 引言·····	126
5.2 风致积雪分析模型的建立·····	127
5.2.1 流体的力学性质·····	127
5.2.2 FLUENT 软件·····	129
5.2.3 风雪效应湍流模型的建立·····	131
5.2.4 风雪效应多相流模型的建立·····	133
5.2.5 FLUENT 模型的各项参数设定·····	135
5.3 单跨单坡屋面积雪分布系数研究·····	136

5.3.1 单跨单坡屋面积雪调查分析	136
5.3.2 单跨单坡屋面风致积雪模拟分析	138
5.3.3 单跨单坡屋面积雪分布系数的确定	146
5.4 单跨双坡屋面积雪分布系数研究	152
5.4.1 调查分析	152
5.4.2 单跨双坡屋面风致积雪模拟分析	154
5.4.3 单跨双坡屋面积雪分布系数的确定	155
5.5 拱形屋面积雪分布系数研究	157
5.5.1 调查分析	157
5.5.2 拱形屋面风致积雪模拟分析	158
5.5.3 拱形屋面积雪分布系数的确定	162
5.6 带天窗屋面积雪分布系数研究	164
5.6.1 调查分析	164
5.6.2 带天窗屋面风致积雪模拟分析	165
5.6.3 带天窗屋面积雪分布系数的确定	167
5.7 带天窗有挡风板屋面积雪分布系数研究	169
5.7.1 调查分析	169
5.7.2 带天窗有挡风板屋面风致积雪模拟分析	171
5.7.3 带天窗有挡风板屋面积雪分布系数的确定	173
5.8 多跨单坡屋面积雪分布系数研究	175
5.8.1 调查分析	175
5.8.2 多跨单坡屋面风致积雪模拟分析	176
5.8.3 多跨单坡屋面积雪分布系数的确定	178
5.9 双跨双坡屋面积雪分布系数研究	180
5.9.1 调查分析	180
5.9.2 双跨双坡屋面风致积雪模拟分析	181
5.9.3 双跨双坡屋面积雪分布系数的确定	185
5.10 双跨拱形屋面积雪分布系数研究	188
5.10.1 调查分析	188
5.10.2 双跨拱形屋面风致积雪模拟分析	189
5.10.3 双跨拱形屋面积雪分布系数的确定	190
5.11 高、低屋面积雪分布系数研究	192
5.11.1 调查分析	192
5.11.2 高、低屋面风致积雪模拟分析	193

5.11.3 高、低屋面积雪分布系数的确定	195
5.12 小结	197
第6章 大跨度钢结构风雪荷载组合	198
6.1 引言	198
6.2 荷载和抗力的统计分析	198
6.2.1 荷载的统计分析	199
6.2.2 荷载效应组合	201
6.2.3 抗力的统计分析	211
6.3 门式刚架轻钢结构构件可靠指标的计算	214
6.3.1 极限状态方程	214
6.3.2 可靠度计算	216
6.3.3 计算方法	221
6.3.4 计算结果	227
6.3.5 永久荷载+雪荷载($G+S$)组合时可靠指标的分析	235
6.3.6 平均可靠指标的分析	242
6.4 小结	250
参考文献	251

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

大跨度钢结构是目前国内外发展速度最快的结构形式之一。与混凝土结构相比,它具有强度高、自重小、塑性和韧性好、装配化程度高、施工周期短、建筑垃圾少、环境污染小等优点。在半个多世纪的发展中,大跨度钢结构的应用越来越广泛,在体育馆、厂房、住宅、办公楼、旅馆等建筑中已经得到了广泛应用,而且形成了工业化的生产体系^[1]。

然而,在风雪灾害作用下,国内外发生许多大跨度钢结构倒塌、破坏事故,造成巨大的经济损失和人员伤亡^[2,3]。在风雪灾害中,经常出现风雪荷载远远超过设计荷载的情况而造成大跨度钢结构的破坏与倒塌。1963 年日本遭遇特大暴雪,积雪造成石川县 1631 栋建筑物毁坏,其中的体育中心是由美军活动式飞机库按积雪荷载加固补强改建而成,该建筑是跨度 45m、高 12m 的钢拱结构,由于实际雪荷载远远超过设计值而导致结构倒塌。1978 年美国东部下了一场暴风雪,康涅狄格州哈特福特市体育馆用四根钢筋混凝土柱支撑的空间网架屋顶全部被大雪压塌。经过事故调查分析,主要原因是屋顶荷载设计值仅为实际荷载的三分之一。另外,体育馆空间网架和承载屋面材料的檩条采用立柱连系,在构造上不稳定,同时,结构计算假定斜杆是在上弦杆的结点上,而实际斜杆施工详图与设计假定位置不一致,整个屋顶在没有外加荷载时已接近安全极限,在雪压作用下,一些杆件压曲破坏,引起连锁反应,导致整个屋顶坍塌。

近年来,我国连年发生严重风雪灾害而引起大跨度钢结构破坏、倒塌事故,造成了巨大的经济损失和人员伤亡。2005 年 12 月 3~17 日,威海市连续遭受大雪袭击,累计降雪量 105.6mm,最深积雪处超过 2m。据统计,全市共倒塌各类蔬菜、中药等大棚 2416 个,鱼、海参等养殖车间受灾面积达 292000m²,倒塌、损害各类工业企业用房 260000m²,倒塌民房 117 间,直接经济损失 4.1 亿元。2007 年 3 月 3~5 日,一场 56 年来最大的暴风雪横扫辽宁全境,24h 最大降水量达到 49mm,平均风力 6~7 级,最大阵风达到 9~10 级,最大积雪深度达到 1.5~2m,雪的含水量较高,荷载达到 0.9kN/m²;据统计,共造成 13 人死亡,0.6 万间房屋倒塌,1.6 万间房屋损坏,总经济损失达 145.9 亿元。2008 年 1 月中旬到 2 月上旬,我国南方大部分地区 and 西北地区东部出现了持续大范围低温、雨雪和冰冻天气,造成 129 人死亡,48.5 万间房屋倒塌,直接经济损失达 1516.5 亿元。2009 年 11 月,北方 8 省遭

受雪灾,造成 32 人死亡,约 1.5 万间房屋倒塌,直接经济损失达 69.6 亿元。

专家、学者已经意识到对风雪荷载敏感的大跨度钢结构除严格遵循相应的建筑设计规范、施工监理严格细致外,还需要对大跨度钢结构抗风雪灾害的安全性进行评定,以提高大跨度钢结构的综合安全能力,促进大跨度钢结构的发展。目前,我国大量大跨度钢结构面临着抗风雪灾害的安全性评定与加固改造的艰巨任务,而大跨度钢结构抗风雪灾害的安全性评定的相关理论与技术远不能满足发展的要求,急需开展相关研究予以支撑。

1.2 问题的提出

1.2.1 大跨度钢结构风雪灾害调查分析

近年来,许多研究者都对大跨度钢结构的风雪灾害事故进行了调查分析,如王元清等对门式刚架的雪灾事故进行了分析^[2];蓝声宁和钟新谷对湘潭轻型钢结构厂房雪灾进行了分析^[3];张延年等对某网架结构厂房雪灾后的安全性检测进行了分析^[4];张望喜和易伟建对某钢结构单层工业厂房进行了雪灾倒塌分析^[5];胡习兵对某轻钢门式刚架结构事故进行了分析^[6];吴长等对暴风雪作用下轻型钢结构房屋的损伤特征进行了分析^[7]。通过对大跨度钢结构风雪灾害的调查分析,能够明确灾害发生的原因,对于防止灾害的再次发生具有重要作用。对于风雪灾害的调查工作已经开展较多,但多数调查主要针对某一个或某一类建筑结构,对于大跨度钢结构的全面系统分析仍然缺乏。事故发生的原因是多方面的,大雪是偶然性的诱发因素,也是事故的直接原因,而设计、施工、安装及使用等过程所留下的隐患是事故发生的内在原因。因此,需要全面细致地调查分析,进而掌握各类结构的破坏原因,为有效防止灾害提供基础信息。

1.2.2 基本雪压研究

根据国家荷载规范,威海地区建筑物屋面的基本雪压为 0.45kN/m^2 ,积雪折算成的厚度大约为 0.35m 。2005 年 12 月的持续降雪使得很多区域雪深达到 0.80m ,局部地区甚至超过 1m ,屋面承受的雪荷载实际超过了 1.0kN/m^2 。2007 年 3 月的降雪使辽宁省一些地区建筑物屋面承受的雪荷载实际达到了 0.9kN/m^2 。2008 年 1 月的持续降雪使一些地区建筑物屋面承受的雪荷载实际超过了 0.8kN/m^2 ,局部地区达到 0.9kN/m^2 。从 2009 年 11 月 10 日开始,中国北方地区大范围遭遇罕见暴雪,河北、山西、河南等地的暴雪过程整体已达 60 年一遇标准,局部地区突破百年一遇。通过调查分析,大量结构破坏和坍塌的首要原因是雪荷载超载。荷载取值是一个重要的结构设计指标,直接影响结构设计,如取值不当将会造成严重后果^[8]。近年来,全球气候不断恶化,而我国现行荷载规范的基本雪压值是由 1951

年至1995年调查的降雪情况所计算得出的,不能真实反映当前雪荷载的实际情况。不同的参数估计方法得到的分布参数存在差异,而造成基本雪压也有一定差异^[9]。同时实际样本容量有限,而统计分析多是小样本容量情况,导致参数估计精度在样本容量较少时大大降低。因此,为保证结果更为合理、准确,选用适当的参数估计方法非常重要。

1.2.3 基本风压研究

孟庆珍和唐谟智应用极值Ⅰ型分布函数对成都地面年最大风速进行了概率计算,采用矩法和Gumbel法进行参数估计,其结果表明Gumbel法效果较好^[10];黄浩辉等应用极值Ⅰ型分布函数对广东省各站的年极值风速进行了概率计算,分别采用了三种参数估计方法,即矩法、Gumbel法和极大似然法,结果表明,大多数情况下采用Gumbel法时的拟合效果最好,即使在矩法或极大似然法为优的情况下,其拟合优良性指标与Gumbel法也较为接近^[11]。李宏男等综述了国内外极值风速的研究进展,对比研究了近年来最新的极值风速概率模型,包括三种极值分布(Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ)以及POT方法、MIS法、R-LOS法和相应的改进方法,并在比较各种方法优、缺点和适用条件的同时,针对不同的概率分布模型,分别给出了具体所采用的合理的参数估计方法,如最小二乘法、最大似然函数法、概率加权矩法和矩法^[12]。侯兆滨对黑龙江省四大城市(哈尔滨、齐齐哈尔、牡丹江、佳木斯)进行了风压计算和分析,指出国家规范中给定的风压小于黑龙江省实际产生的最大风压^[13]。田启明和王正对设计最大风速、风压计算中密度订正问题进行讨论,指出对于高海拔地区,应根据工程地点、风仪种类,分别对最大风速、风压资料系列进行空气密度订正;并建议对最大风速、风压资料分别进行频率计算^[14]。孟庆珍等利用重庆1951~1990年地面最高气温和1956~1990年地面最大风速年极值的记录,采用Weibull分布和Gumbel分布分别对其渐近分布进行拟合,提出重庆地面最高气温和地面最大风速年极值遵循的最佳渐近分布,即Weibull分布^[15]。段忠东等把风速过程作为平稳高斯随机过程,风速母体服从指数型分布,基于时段最大取样和跨阈取样法,研究了Weibull分布、Gumbel分布和广义Pareto分布等概率模型的尾部特性及对极值风速的估计精度,得出Weibull分布为年最大风速普遍最优概率模型,极值Ⅰ型分布次之^[16]。周暄毅和顾明对一个大跨度非悬挑屋盖结构进行了风洞模拟试验,说明了大跨度屋盖表面风压的复杂性,并分析了风速变化对大跨度屋盖表面平均风压系数的影响,得出风速变化对平均风压系数影响很小的结论^[17]。风压是建筑结构设计中的基本的设计依据之一。风压数值的大小密切关系着各种建筑物、构筑物、架空线路、架设广播、电视高塔以及各种桥梁等工程的经济与安全。风荷载设防水平的确定是抗风结构设计的战略性决策,定得太高会造成不必要的浪费,定得太低就有可能遇到风险,造成重大损失,这里存在一个最

优的设防荷载水平^[18,19]。因此,正确地计算和确定各地不同重现期的风压值,对各项建筑工程的抗风安全和建设资金的合理使用都有着重要的现实意义。多年来关于基本风压的研究相对较少,缺少计算模型的相关研究。另外,多年来我国各地区最大风速的相关资料不断积累,对其进行统计分析能够更真实地反映我国的基本风压情况。

1.2.4 屋面积雪分布系数研究

对于建筑结构屋面积雪分布系数的研究,无论国内还是国外,都长期处于一种停滞状态。国外由于近年来结构形式多样化的发展,对个别新型建筑屋面的积雪类型进行了研究,但并未对相关屋面积雪分布的规定有实质性修改^[20,21]。我国屋面积雪分布的相关规定主要根据我国积雪及建筑类型的具体情况和实际经验并借鉴美国规范给出。近年来由于雪灾对钢结构建筑造成的多方面影响,国内一些学者开始注意到积雪分布系数取值问题。由于大跨度钢结构的跨度大、形式多样、结构体系复杂,雪荷载的不均匀分布对结构的影响较大。对于雪荷载不均匀分布系数,国内外规范均加以考虑,但各国的雪荷载不均匀分布系数取值差异较大。我国的雪荷载不均匀分布系数取值明显低于国外一些国家。雪荷载的不均匀分布往往造成大跨度钢结构的某些局部破坏,从而产生连锁反应致使结构倒塌。

1.2.5 风、雪荷载组合研究

荷载组合问题是工程结构可靠度分析和结构设计中非常重要的问题。国内外对荷载组合理论和方法进行了大量的研究,并取得了重要成果,建立了考虑荷载模型的随机发生时间、随机持续时间和随机强度的 LC(load coincidence)方法^[22],适用于平稳、独立荷载随机过程线性组合的点跨率法^[23],基于 FBC(Ferry-Borgesand Castanheta)模型的组合方法^[24],基于经验的 Turkstra 组合方法^[25],国际结构可靠度联合委员会(JCSS)推荐的 JCSS 组合方法以及组合过程极值随机变量概率组合方法^[26]等。一般认为荷载之间是相互独立的,然而在实际工程中,有些荷载由于受同一种随机源的影响,荷载之间是相关的,具体表现为荷载相遇的概率增大,荷载的量值有同时增大或减小的趋势^[27,28]。对风、雪荷载组合系数的考虑也存在一定的欠缺,在历次的风雪灾害中,往往风、雪荷载同时达到最大值,由此造成了大量大跨度钢结构的破坏和倒塌。

第 2 章 风雪灾害调查分析

2.1 引言

大跨度钢结构是目前国内外应用和发展速度最快的结构形式之一^[29,30],然而,国内外因风雪灾害引起大跨度钢结构的破坏、倒塌事故经常发生,造成了巨大的经济损失和人员伤亡^[31]。全球气候的恶化,灾害天气的频繁发生,尤其是我国近些年的雪灾不断,造成大跨度钢结构事故接连发生,因此,对大跨度钢结构抗风雪灾害能力的研究刻不容缓,应对大跨度钢结构建筑的风雪灾害事故进行调查分析,总结出相应的预防措施及解决办法。

2.2 风雪灾害概况

2005 年 12 月 3~17 日,威海市遭受连续大雪袭击(图 2.1),累计降水量 105.6mm,最深积雪处超过 2m。据统计,全市共倒塌各类蔬菜、中药等大棚 2416 个,鱼、海参等养殖车间受灾面积达 292000m²,倒塌、损害各类工业企业用房 260000m²,倒塌民房 117 间,直接经济损失 4.1 亿元。

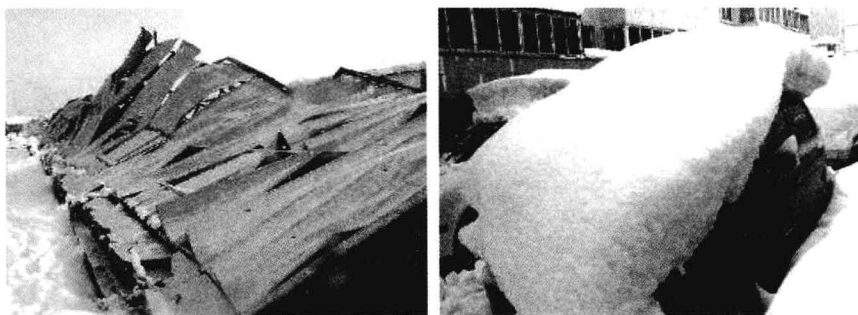


图 2.1 威海市雪灾情况

2007 年 3 月 3~5 日,一场 56 年来最大的暴风雪横扫辽宁全境(图 2.2),24h 最大降水量达到 49mm,平均风力 6~7 级,最大阵风达到 9~10 级,最大积雪深度达到 1.5~2m,雪的含水量较高,荷载达到 0.9kN/m²。据统计,共造成 13 人死亡,倒塌房屋 0.6 万间,损坏房屋 1.6 万间,总经济损失达 145.9 亿元。

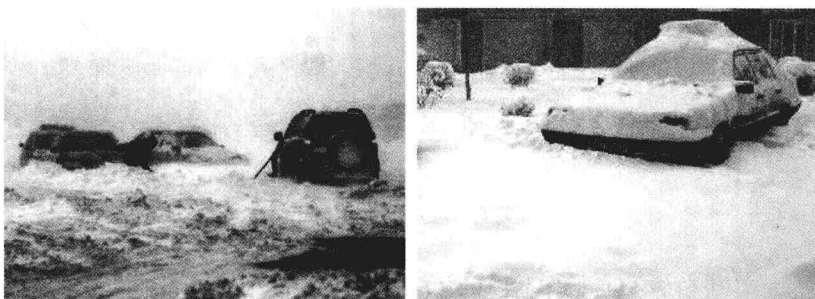


图 2.2 辽宁地区雪灾情况

2008 年 1 月中旬到 2 月上旬,我国南方大部分地区 and 西北地区东部出现了持续大范围低温、雨雪和冰冻天气(图 2.3),造成 129 人死亡,4 人失踪,倒塌房屋 48.5 万间,直接经济损失 1516.5 亿元。

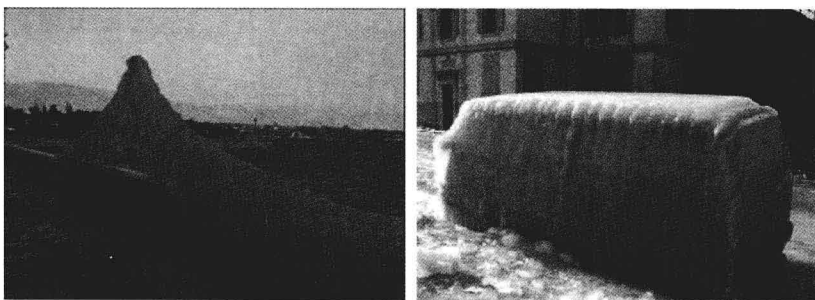


图 2.3 中国南方雪灾情况

2009 年 11 月,北方 8 省遭受雪灾(图 2.4),造成 32 人死亡,倒塌房屋 1.5 万余间,直接经济损失 69.6 亿元。

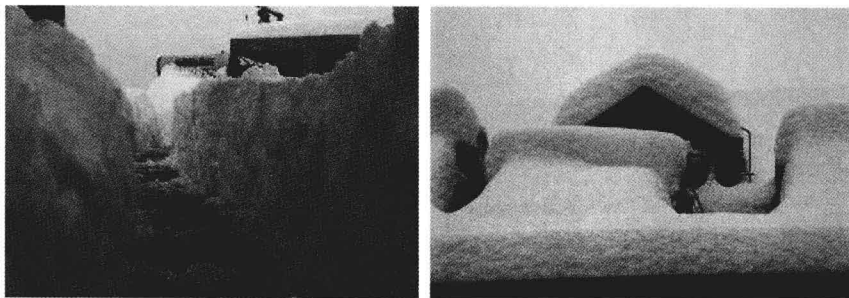


图 2.4 北方 8 省遭受雪灾情况

2.3 事故原因分析

事故发生的原因是多方面的,大雪是偶然性的诱发因素,也是事故的直接原因,然而设计、施工、安装及使用等过程所留下的隐患是事故发生的内在原因。下面结合工程实例,对威海、辽宁和我国南方部分大跨度钢结构的原因进行调查分析。

2.3.1 荷载原因

1. 雪荷载过大

通过调查分析,大量大跨度钢结构破坏和坍塌的首要原因是雪荷载超载(图2.5)。全球气候恶化,我国连年发生风雪灾害,而屋面承受的实际雪荷载均超过了国家荷载规范的取值,这是大量大跨度钢结构破坏与倒塌的最主要原因之一。

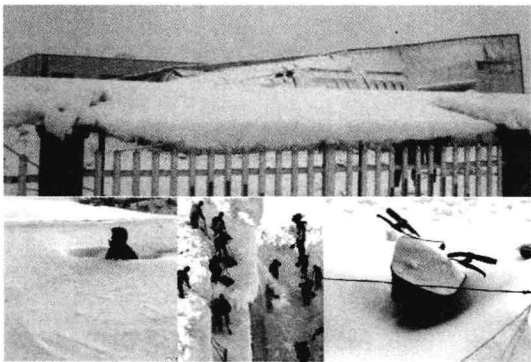


图 2.5 积雪过厚

2. 积雪密度大

在这些大的风雪灾害中,受灾地区往往温度相对较高,雪在降雪过程中就会融化为水渗入积雪中,显著加大积雪的密度;而当气温降低时,水结成冰,形成密度远远大于一般降雪的冰雪积累。例如,沈阳建筑大学实测的冰雪密度达到 1.8kN/m^3 ;常州所下的湿雪,其密度达到 2.0kN/m^3 ;上海市直接降下的冰雪,其密度达到 6.0kN/m^3 ,均大于一般的降雪。因此,积雪密度过大也是事故发生的原因之一。

3. 间接雪荷载大

气温波动较大造成积雪冻融交替,高处的积雪化成水后向低处流动,在低处再

次融入雪中,使该处的密度增大。当气温降低时,水结成冰,间接造成雪荷载过大(图 2.6)。这两种情况下的积雪都超出了规范原本考虑的积雪情况,因此就这一点而言,间接雪荷载过大也是事故发生的主要原因之一。

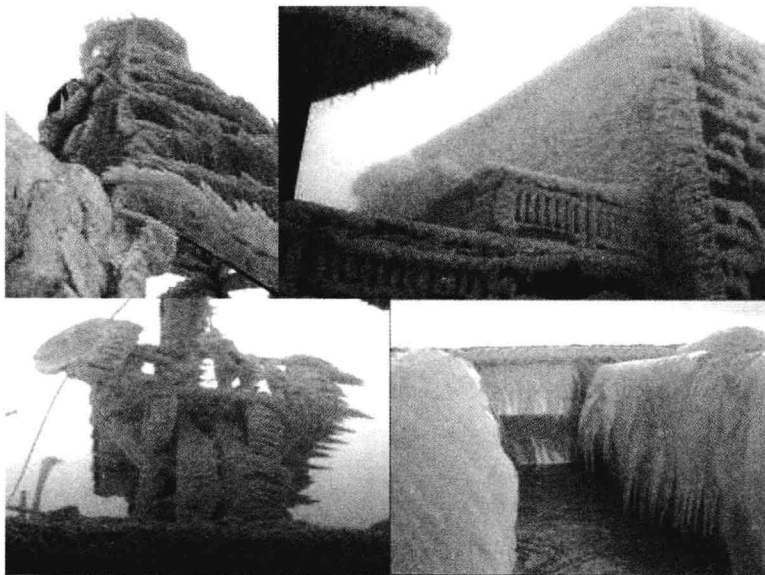


图 2.6 间接雪荷载作用大

4. 局部雪荷载大

在强风的作用下,积雪被风刮到房屋一侧大量积聚,在女儿墙、高低跨、连续跨、雨棚等部位大量堆积,导致局部雪荷载大大超过设计值。

1) 女儿墙局部积雪

当大跨度钢结构建筑四周设有女儿墙时,由于强风作用,女儿墙内侧局部雪荷载会过大从而会造成结构破坏和倒塌。例如,鞍山某厂房屋面为双坡屋面,坡度为 5%,四周设女儿墙,南山墙及侧边的女儿墙高 3.6m,强风从西北方向将暴雪吹到东南角女儿墙处堆积(图 2.7),造成屋面严重超载,致使该厂房从东南角开始大面积坍塌和损坏,坍塌及受损面积达 20000m² 以上。

鞍山某不锈钢厂的整个屋面为双坡屋面,屋面坡度为 5%,屋面四周女儿墙高 2m。暴风雪使得厂房屋东南角女儿墙处大量积雪,造成端跨一半屋面板及檩条坍塌,其余屋面严重变形。

沈阳某机械厂仓库为双坡屋面,女儿墙高 1.5m,暴风将雪吹向南坡,积雪深度超过女儿墙高度,致使南坡沿女儿墙处大面积坍塌,人工除雪时屋面又继续倒塌,

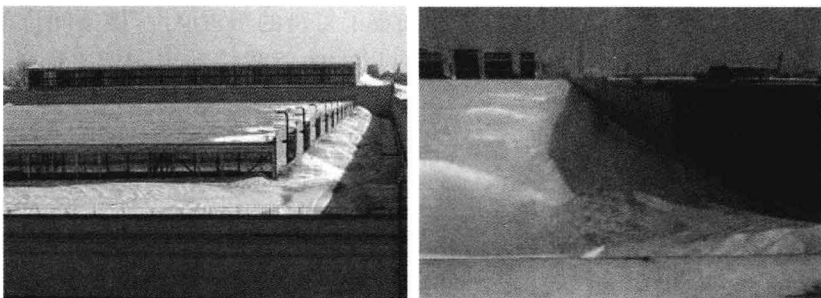


图 2.7 女儿墙局部积雪

屋面板及保温材料掉落,檩条失稳,刚架梁被拉坏。

沈阳某厂房为双坡屋面,厂房纵向设内天沟女儿墙,西北风将雪吹至东南角堆积,女儿墙阻挡造成屋面严重超载,整个屋面压垮,刚架梁严重变形或断裂,柱及幕墙只有一栋南侧墙未倒塌。

2) 局部突出建筑物局部积雪

局部突出建筑物的存在会造成屋面局部积雪过大,因此会造成屋面变形或破坏。沈阳某厂车间为双坡屋面,厂房端部南山墙处与 6m 宽采光长廊连接,采光廊顶比屋面高 0.9m,强风将雪吹至东南角屋面高差处,积雪厚度达到 1~1.2m,将屋面压型钢板压折,檩条局部失稳,室内压型钢板底板压折,搭接处拉开。

沈阳某厂房屋面积雪分布不均匀,在屋面南侧采光天窗西侧积雪较深,雪深达 800mm,南侧部分的 2880m²屋面变形明显(图 2.8)。

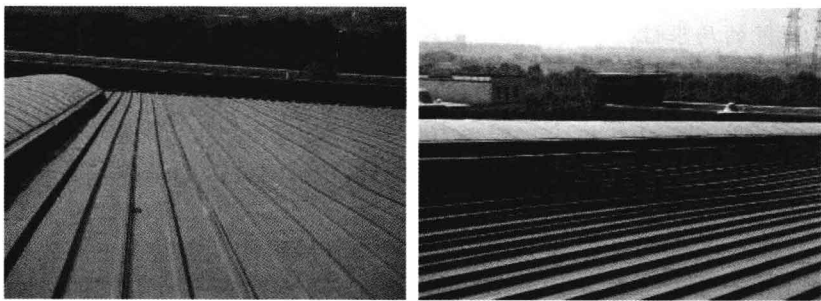


图 2.8 屋面变形

3) 高低屋面局部积雪

当建筑存在高低屋面时,会造成局部积雪荷载过大。沈阳某厂房在高低跨处最大积雪深度达到 950mm(图 2.9),其积雪荷载远远超过规范取值。

4) 连续跨内局部积雪

连续跨屋面的谷底处会存在局部积雪。某多跨单坡屋面单层车间连续跨屋面

的谷底处积雪过厚,檩条变形过大,进而加重了每跨的积雪厚度,檩条间拉条断裂,檩条结点螺栓破坏,檩条平面外失稳倒塌,巨大的荷载拉动主刚架平面外失稳破坏,致使连续倒塌(图 2.10)^[32]。



图 2.9 高低屋面局部积雪



图 2.10 连续跨局部积雪

5. 风雪荷载组合效应

2005 年 12 月威海市发生雪灾,雪荷载达 1.0kN/m^2 以上,平均风力 6~7 级。2007 年 3 月辽宁发生雪灾,雪荷载达 0.9kN/m^2 ,平均风力 6~7 级,最大阵风达到 9~10 级。2008 年 1 月我国南方发生雪灾,雪荷载达 0.9kN/m^2 以上,平均风力 5~7 级。这几次风雪灾害中,风雪荷载同时超过了国家荷载规范取值,致使风雪荷载组合效应更加明显,对风雪荷载比较敏感的大跨度钢结构更加不利。

2.3.2 设计原因

1. 规范的局限性

《建筑结构荷载规范(GB 50009—2001)》中规定 50 年一遇的基本雪压北方一般多为 $0.5\sim 0.6\text{kN/m}^2$,南方一般多为 $0.2\sim 0.4\text{kN/m}^2$ ^[8]。而连续三年的雪灾调查表明,实际雪荷载均已超出这一标准。因此,应该对我国的基本雪压进行深入统计分析研究,个别地区应进行适当调整。

规范 GB 50009—2001 在一定程度上存在着局限性。根据雪灾事故调查分析可知,规范的规定在某种程度上显得不够全面,偏于不安全,女儿墙的影响考虑不充分。规范规定单跨单坡屋面积雪分布系数分别取值为 1.0、0.8、0.6、0.4、0.2、0 (图 2.11)^[8]。灾害调查表明,当有女儿墙时,大部分雪都堆积在女儿墙内侧造成局部雪压过大,不均匀分布系数能达到 4 以上。规范分布系数的取值明显存在问题,并且没有考虑女儿墙存在的影响,因此当有女儿墙时,尤其女儿墙比较高时,分布系数不应取值过小,并且应该考虑不均匀分布系数。

单跨双坡屋面积雪不均匀分布系数在单跨单坡屋面积雪分布系数的基础上分别取值为 0.75 和 1.25(图 2.12)。与单跨单坡屋面一样,当有女儿墙时,尤其女儿