

气候变化风险下中国建筑和土木工程设计参数分析

贺静¹, 姜彤², 房小怡³, 李明财⁴, 宋婕¹, 孙楠¹, 陈佳玉⁵

1. 中国建筑标准设计研究院有限公司, 北京 100048
2. 南京信息工程大学地理科学学院, 灾害风险管理研究院, 南京 210044
3. 中国气象科学研究院, 北京 100081
4. 天津市气象科学研究所, 天津 300074
5. 宁波诺丁汉大学建筑与建造环境学院, 宁波 315100

摘要 通过气象、建筑和土木工程领域的学科交叉, 梳理了目前中国建筑及土木工程设计标准中的部分设计用气象参数, 并与几种相关的典型气候变化风险下的预估数据进行对比, 表明为了更好地应对未来变化, 上述部分参数需要进行相应调整。提出了对这些参数进行历史数据更新、增加未来气候变化风险维度的框架建议。构建了针对单个建设项目应对未来气候变化风险专项设计用气象参数预估的设想。

关键词 气候变化风险; 建筑; 土木工程; 设计用气象参数; 设计寿命

目前, 在全球气候变化(climate change)背景下, 除风、温、湿、压等气候要素(climate element)的时空分布发生变化外, 暴雨、大风、高温等气象灾害(meteorological disaster)的发生频率和强度也有所改变, 且变率呈现继续增加趋势。中国作为一个每年新建建筑量高达几十亿 m^2 的国家, 且因城镇化发展将持续一段时间, 未来可能还将有上百亿 m^2 新建建筑产生, 加之还需要维护现有的600多亿 m^2 既有建筑, 面对这样大量的建筑资产, 需要提前思

考提高建筑适应(adaption)气候变化风险(climate change risk)的能力。若将上述因素放在中国正大力发展的“建筑长寿化”现实要求中思考, 需求则更为明显。一栋建筑的服务寿命动辄几十年、上百年, 即今天设计的建筑, 其全寿命期可延至本世纪末甚至下世纪初。如果我们仅据过去几十年的数据来计算设计用气象参数(meteorological parameter for design), 并据此来决定未来100年的建筑性能, 可能会影响建筑应对变化的能力和使用者的安

收稿日期: 2019-12-06; 修回日期: 2020-04-09

作者简介: 贺静, 高级建筑师, 研究方向为建筑弹性、建筑可持续, 电子信箱: hejingcbs@126.com

引用格式: 贺静, 姜彤, 房小怡, 等. 气候变化风险下中国建筑和土木工程设计参数分析[J]. 科技导报, 2020, 38(8): 51-56; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.08.006

全。如果放在更长的时间尺度考虑和调整我们目前正在做的事情,可以未雨绸缪、范防于未然。

结合气象、建筑和土木工程领域的交叉学科知识,梳理目前中国建筑及土木工程设计标准中的部分设计用气象参数,并与几种相关典型气候变化风险的预估数据进行对比,形成初步分析和建议,为相关标准编制和建设项目前期设计提供参考。

1 中国建筑和土木工程设计标准中的设计用气象参数

整理了中国现行建筑和土木工程标准中的部分设计用气象参数,并列出相应的气候要素,以及以这些参数为依据的设计要求(表1)。

在现行建筑设计标准中,场地设计主要考虑洪

表1 中国建筑和土木工程设计标准中的部分设计用气象参数、设计要求

设计要素	设计要求、设计用气象参数、所在标准		气候要素					
			高温	低温	湿度	风	雨	雪
场地	要求	场地设计标高						
	参数	城市的设计洪水位、内涝水位						●
	标准	《民用建筑设计统一标准》GB50352-2019/5.3.1						
	要求	年径流总量控制率						
基本	参数	多年日降雨量						●
	标准	《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》GB50400-2016/3.1.2、附录A						
	要求	建筑气候区划对建筑基本要求						
	参数	建筑气候区划	●	●	●			
热工	标准	《民用建筑设计统一标准》GB50352-2019/3.3.1						
	要求	热工设计						
	参数	室外气象参数	●	●	●			
	标准	《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016/3.1、附录A						
荷载	要求	雪荷载标准值/风荷载标准值						
	参数	雪压、风压					●	●
	标准	《建筑结构荷载规范》GB50009-2012/7、8						
	要求	混凝土结构耐久性设计/时间相关的预应力损失						
建筑	参数	严寒和寒冷地区的划分/年平均湿度		●	●			
	标准	《混凝土结构设计规范》GB50010-2010(2015年版)/3.5、附录K						
	要求	防水防潮						
	参数	年降雨量			●		●	
材料	标准	《木结构设计标准》GB50005-2017/11.2						
	要求	防水卷材和涂料的选择						
	参数	当地历年最高气温、最低气温/当地年温差、日温差	●	●				
	标准	《屋面工程技术规范》GB50345-2012/4.5						
设备	要求	抗风压性能/幕墙用石材面板的抗冻系数/人造板材幕墙的吸水率						
	参数	风压/气候分区		●		●		
	标准	《建筑幕墙》GB/T21086-2007/5.1.1、7.2.1、9.2.1						
	要求	供暖/通风/空气调节设计要求						
设备	参数	室外空气计算参数	●	●	●			
	标准	《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012/4.1、附录A						

表1 中国建筑和土木工程设计标准中的部分设计用气象参数、设计要求(续)

设计要素	设计要求、设计用气象参数、所在标准		气候要素					
			高温	低温	湿度	风	雨	雪
桥梁	要求	设计风速						
	参数	参证气象站基础风速						●
	标准	《桥梁设计风速计算规范》QX/T438-2018/5.2						
土木工程	要求	城市桥梁设计						
	参数	洪水频率						●
	标准	《城市桥梁设计规范》CJJ11-2011/3.0.3						
堤坝	要求	堤防工程的级别						
	参数	防洪标准	●	●			● ●	
	标准	《堤防工程设计规范》GB50286-2013/3.1、4.1						
道路	要求	高温稳定性/水稳定性/低温抗裂性能/路面排水						
	参数	年极端最低气温/最热月平均最高气温/年降雨量	●	●				●
	标准	《城镇道路路面设计规范》CJJ169-2012/5.2						

涝和降水等,依据城市设计洪水位、内涝水位、多年日降雨量等参数;热工设计主要考虑温度、湿度等,依据气候区划、室外气象参数等;荷载设计主要考虑雪、风等,依据雪压、风压等参数;材料选用主要考虑温度、风等,依据当地历年最高和最低气温、风压等参数;暖通空调设计主要考虑温度、湿度,依据室外空气计算参数等。

在现行土木工程设计标准中,桥梁设计主要考虑洪水、风等,依据洪水频率、参证气象站基础风速等参数;堤坝设计主要考虑洪水,依据防洪标准等;道路设计主要考虑温度、雨等,依据年极端最低气温、最热月平均最高气温、年降雨量等参数。

其中,一些参数依据了较早一段时间的历史数据。例如,《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012选取的室外空气计算参数为1971—2000年数据。同时,一些材料部品标准尚缺乏对某类气候要素的考虑。例如,相关工程技术标准尚缺乏对外墙保温抗风性能的要求。而近年来,一些地区已出现建筑外墙保温被大风吹掉的现象。

2 未来中国建筑和土木工程相关的气候变化风险预估

根据政府间气候变化专门委员会(The Inter-

governmental Panel on Climate Change, IPCC)第5次评估报告^[1]的结论,在未来多种温室气体排放情景下,到21世纪末,全球地表平均温度将可能比1986—2005年升高0.3~4.8℃,高温、热浪、强降水等极端事件的发生频率将增加。中国《第三次气候变化国家评估报告》^[2]中相关研究数据表明,到2081—2100年,中国地表平均气温将比1986—2005年增加1.3~5.0℃,极端天气气候事件将总体增加。

根据相关研究资料,梳理了未来中国建筑和土木工程相关气候变化风险的预估情况(表2^[2-3]),包括高温、强风、强降雨、干旱和海平面上升。数据取中等排放情景(RCP4.5)下的预测,高排放情景(RCP8.5)下的增幅将更大。

对比表2和表1可以看出,21世纪中期和末期中国几种典型气候变化风险对建筑和土木工程的建造、使用等将产生一定的影响。为更好地应对未来变化,其部分设计用气象参数可能需要进行相应调整。

1) 部分地区的高温日数明显增多,提示建筑保温和防水材料、道路路面材料等选用时,需加强对其温度耐受性的考虑;对于建筑热工、暖通空调设计,由于室外温度、湿度状况的改变,其选用的气象参数和相应设计要求也需相应调整。

2) 暴雨频次和强度的增加,将对场地设计标

表2 未来中国建筑和土木工程相关气候变化风险预测的数据梳理(相比于1986—2005年)

	21世纪中期(2046—2065年)	21世纪末期(2080—2099年)
高温	部分地区的高温日数增加约30天	部分地区的高温日数增加约50天
台风	频次减少12%,台风引起的降水量增加0.8%,风速增加30%	频次减少10%~30%,但强台风数及强度增加
强降雨	暴雨频次增加30%以上、强度增加20%以上	暴雨频次增加50%以上、强度增加40%以上
干旱	全国干旱持续时间为8~13个月,东南地区干旱强度较高	干旱持续时间约为21个月,全国范围内干旱强度都有所上升
海平面	上升0.12~0.20 m,平均上升0.16 m	上升0.28~0.64 m,平均上升0.42 m

高和径流控制、屋面排水等设计的前提和策略,产生一定影响。

3) 由于强台风数及强度的增加,需要相应调整桥梁的设计风速;幕墙、门窗、外保温、外挂设施(如空调室外机位、栏杆等)等建筑部件,也需要考虑和提高其抗风压性能。

4) 海平面上升,对桥梁、堤坝设计提出新的挑战;对新建建筑的场地标高、功能布局设计等将有明显的影响;对于既有建筑,其室内外高差将缩小,对建筑的功能、材料、设备等,都将是很大的考验。

3 增加设计用气象参数的气候变化风险维度

考虑到气候变化和国家社会经济发展需要,适时调整现行标准中的相关设计用气象参数,将是提高中国建筑和土木工程适应未来气候变化的一个必要途径。考虑到预估数据完善和过程不确定性等因素,建议分为“递进”的2个步骤:(1) 将设计用气象参数从较早时间的历史数据,更新为近期数据;(2) 在设计用气象参数中加入未来气候变化风险维度。即将参数从过去某一时刻起的过去几十年,更新到近期某一时刻起的过去几十年;更近一

步,增加针对未来的预估参数,以供设计决策(图1)。

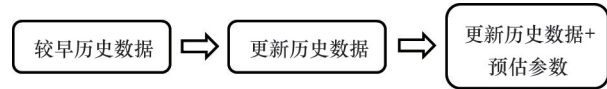


图1 设计用气象参数调整的“递进”设想

预估参数的选取,可根据不同温室气体排放情境下的不同情况。建议根据IPCC报告中低、中、高3个排放情境,即RCP2.6/RCP4.5/RCP8.5进行取值。对于国计民生影响较大的参数,建议统一选用高排放情境下的取值;对于影响相对较小的参数,可考虑不同选项,具体项目根据其需求特点、经济状况等因素进行综合判断。

同时,预估参数的选取还需要与建筑和土木工程各要素的设计寿命建立关联。例如,对于设计寿命较短的要素,例如建筑的外保温、幕墙等,按国家现行标准其设计寿命最低为25年,即如果建筑于2020年建成,这些要素的预估参数至少要考虑到2045年的气候变化情况;对于设计寿命较长的要素,例如建筑主体结构、建筑空间等,在建筑全寿命期中较难改变,其相应预估参数则至少按建筑的设计寿命考虑,即2020年建成使用年限设计为100年的建筑,其相应预估参数应至少考虑到2120年(图2)。

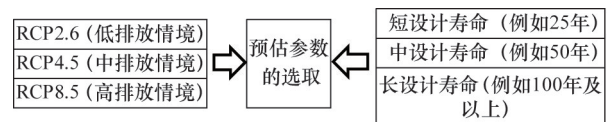


图2 预估参数选取的“排放情境”和“设计年限”维度

由于建筑和土木工程的实际使用时间可能超过其设计寿命,作为主体结构设计依据的预估参数的选取,时间上可能会更远。目前,中国保温、防水、门窗、幕墙等建筑部件的设计寿命要求相对较低,随经济发展还有增加的可能,其设计用气象参数的调整,也可能考虑更远时间的气候变化。

2018—2019年,天津市市场和质量管理委员会、北京市市场监督管理局先后发布了《民用建筑节能设计气象参数与算法》^[4]和《民用建筑供暖通风与空气调节用气象参数》^[5]两部标准,将天津市、北京市各区的室外气象参数从1971—2000年

更新到了1986—2015年和1985—2014年,为民用建筑设计、建筑节能设计评估等提供了更新的历史数据。相应数据分析显示,这两个城市的设计温度已有明显上升,热岛对参数也有明显影响,整个城市用1~2台站数据进行设计,难以满足精细化节能设计的要求。这些数据和参数的调整,对暖通空调设计、建筑节能设计和评估等,有重要的提示意义。

近年来,加拿大、美国等国家已开始这方面的研究和行动计划。自2016年起,加拿大启动了“耐气候建筑和核心公共基础设施计划(Climate Resilient Buildings and Core Public Infrastructure Initiative, CRBCPI)”^[6],其中包括更新加拿大国家建筑规范(NBC)、加拿大高速公路和桥梁设计规范(CHBDC)中过时的历史气候设计数据,生成涵盖加拿大650多个地点的预计气候设计数据等。美国LEED标准近年增加的3个弹性相关得分点(Pilot-Credits IPc98/99 /100)^[7-9],引导建筑设计增加对未来极端高温、洪水、飓风等气候相关风险的考虑。

4 构建建设项目应对未来气候变化风险的专项设计用气象参数预估

在相关设计标准逐项调整的过程中,针对某一具体建筑或土木工程建设项目,也可进行应对未来

气候变化风险的专项设计用气象参数预估。综合上文分析,建议这个预估依据建设项目各要素(例如建筑的场地、热工、荷载、材料、设备等)的设计寿命,考虑相应预估时间段和不同排放情境下的气候变化风险。其中,预估时间建议考虑21世纪中期(2046—2065年)、21世纪末期(2080—2099年)2个时间段;排放情境建议考虑RCP2.6/4.5/8.5 3种情景;其预估参数的选取可根据未来气候变化的时空分布特点和建设项目自身情况判断;气候变化风险考虑高温、低温、湿度、强降雨、强风和海平面上升等。

以某一栋建筑的预估为例,搭建框架并显示取值(表3)。其中,预估时间段的选择,根据建筑要素的设计寿命确定。结构的设计寿命按CECS-CREA 513-2018《百年住宅建筑设计评价标准》中4.3.1条规定,取值100年,则预估时间段取21世纪末期;幕墙、防水等主要可更换部件的设计寿命,按ISO/15686-10(Buildings and constructed assets-Service life planning-Part 1: General principles and framework)标准附录中表B.1“部件的建议最小设计年限”,取值40年,则预估时间段取21世纪中期;暖通空调设备系统的设计寿命,按上表相关要求,取值25年,预估时间段取21世纪中期。

表3 应对未来气候变化风险的专项设计用气象参数预估框架

要素	设计寿命/年	设计用气象参数	气候变化风险	预估时间段		排放情景		
				21世纪中期 (2046—2065年)	21世纪末期 (2080-2099年)	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
场地	标高	100	城市的设计洪水位、内涝水位		●			○
	排水	100	多年日降雨量		●			○
热工	围护结构	40	建筑气候区划	●			○	
	空间	100	室外气象参数		●			○
荷载	结构	100	风压		●			○
材料	结构 (混凝土)	100	严寒和寒冷地区的划分/年平均湿度		●			○
	防水	40	当地历年最高气温、最低气温/当地年温差、日温差	●			○	
设备	幕墙	40	风压	●				○
	暖通空调	25	室外空气计算参数	●			○	

5 结论

更新设计用气象参数的历史数据,并增加其考虑未来气候变化的维度,是提高建筑和土木工程适应未来气候变化风险的一个可能有效途径。由于基于科学预测数据,其发展和推进过程可能存在一些不确定性。对预估参数的选取,也需要更多环境性、经济性等综合测算来帮助判断,并考虑工程技术创新等未来因素。

同时,大量既有建筑同样要面对未来气候变化风险。在其主体结构、建筑空间等长年限要素相对固定的情况下,如何因地制宜地调整、更新,增加其适应气候变化风险能力,是另一需要考虑的维度。

参考文献(References)

[1] Pachauri R K, Meyer L A. Climate change 2014: Synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Pan-

- el on Climate Change[R]. Geneva: IPCC, 2014: 1-151.
- [2] 《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告[M]. 北京:科学出版社, 2015.
- [3] 秦大河. 中国极端天气气候事件和灾害风险管理与适应国家评估报告[M]. 北京:科学出版社, 2015.
- [4] 民用建筑节能设计气象参数与算法: DB12/T 814-2018[S]. 天津:天津市市场和质量管理委员会, 2018.
- [5] 民用建筑供暖通风与空气调节用气象参数: DB11/T 1643-2019[S]. 北京:北京市市场监督管理局, 2019.
- [6] CRBCPI. Climate resilient buildings and core public infrastructure initiative (CRBCPI) [EB/OL]. (2019- 12- 01) [2019- 12- 30]. <https://www.infrastructure.gc.ca/plan/crbcp-i-irccipb-eng.html>.
- [7] LEED. LEED BD+C: New Constructionlv4[EB/OL]. (2019- 12- 1) [2019- 12- 30]. <https://leeduser.buildinggreen.com/credit/Pilot-Credits/IPpc98>.
- [8] LEED. LEED BD+C: New Constructionlv4[EB/OL]. (2019- 12- 1) [2019- 12- 30]. <https://leeduser.buildinggreen.com/credit/Pilot-Credits/IPpc99>.
- [9] LEED. LEED BD+C: New Constructionlv4[EB/OL]. (2019- 12- 1) [2019- 12- 30]. <https://leeduser.buildinggreen.com/credit/Pilot-Credits/IPpc100>.

Meteorological parameters in the design of China's buildings and civil engineering works in consideration of the future climate changes

HE Jing¹, JIANG Tong², FANG Xiaoyi³, LI Mingcai⁴, SONG Jie¹, SUN Nan¹, CHEN Jiayu⁵

1. China Institute of Building Standard Design & Research Co., Ltd., Beijing 100048, China

2. School of Geographical Sciences, Institute of Disaster Risk Management, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

3. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

4. Meteorological Science Research Institute of Tianjin, Tianjin 300074, China

5. School of Architecture and Construction Environment, University of Nottingham, Ningbo 315100, China

Abstract The climate change, the building and the civil engineering are interconnected fields. This paper considers some of the meteorological parameters in the current Chinese building and civil engineering design standards, and compares them with the estimated data of several related typical climate change risks. It is concluded that in order to better cope with future climate changes, some of the parameters need to be adjusted accordingly. Based on this consideration, the framework recommendations for updating the historical data and the expansion of the dimension of the future climate change related with these parameters are put forward. At the same time, it is proposed to establish special estimates of meteorological parameters in the design to deal with future climate change risks.

Keywords climate change risk; building; civil engineering work; meteorological parameters for design; design life ●



(责任编辑 卫夏雯)