

《第三次气候变化国家评估报告》特别报告

气候变化对我国重大工程的影响与对策研究

丁一汇 杜祥琬/主编



科学出版社

《第三次气候变化国家评估报告》特别报告

气候变化对我国重大工程的影响与对策研究

丁一汇 杜祥琬/主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

作为《第三次气候变化国家评估报告》特别报告,本报告基于中国过去 50 年的气候演变及未来气候变化的预估,以青藏铁路(公路)工程、高速铁路工程、重大水利水电工程、电网工程、生态安全工程、沿海城市及工程为主要重大工程,评估了气候变化对其影响,并指出气候变化对重大工程的影响涉及国家安全,需要加强气候变化与重大工程的相关科学研究,做好重大工程应对气候变化的前期规划与设计,开展气候变化对重大工程影响的专项评估,加强重大工程应对气候变化的综合管理等相关建议。

本报告可供气候变化研究、社会发展战略研究、经济、水利、能源、交通、电力、城市规划、城市管理等领域的人员研究参考,也可供大中专院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化对我国重大工程的影响与对策研究:《第三次气候变化国家评估报告》特别报告 / 丁一汇, 杜祥琬主编. —北京: 科学出版社, 2016
ISBN 978-7-03-046831-4

I. ①气… II. ①丁… ②杜… III. ①气候变化-影响-重大建设项目-研究-中国 IV. ①F282

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 308460 号

责任编辑: 李 敏 王 倩 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 无极书装

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016 年 1 月第一次印刷 印张: 8 插页: 2

字数: 200 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

气候变化是当前国际社会普遍关注的全球性重大问题。地球正在经历以全球气候变暖和极端气候事件频率、强度增加为主要特征的气候变化，气候变化和极端天气气候事件正严重影响着世界各国的经济社会发展，阻碍了全球可持续发展战略目标的实现。

政府间气候变化专门委员会（IPCC）第五次评估报告中指出，气候变化对许多国家关键基础设施的影响将影响国家的安全策略。受气候变化影响，气温升高，降水强度反常，冰川融化，海平面上升，气候变化还导致更多的极端天气气候事件发生甚至引发灾害，这些变化相应增大了我国重大工程未来安全运行的风险。

近几十年来，我国重大工程建设数量和规模不断增加。气候变化，特别是气温升高、降水强度反常以及极端天气气候事件频发，会通过影响重大工程的设施本身、重要辅助设备以及重大工程所依托的环境，从而进一步影响工程的安全性、稳定性、可靠性和耐久性，并对重大工程的运行效率和经济效益产生一定影响，气候变化还对重大工程的技术标准和工程措施产生影响。过去几十年来，气候变化对重大工程的影响在运行中已经显现出来，其在未来气候变化背景下对工程可能会有进一步影响，进而会影响到经济可持续发展、社会安全、

基础设施安全，需要引起重视和足够认识。

本报告从我国气候变化的事实和未来气候变化情景预估出发，对我国水工程和水安全、道路工程、能源工程和安全、沿海工程安全、生态工程、电网安全六个领域中已建和在建的重大工程进行气候变化影响评估并提出了对策建议，是一项非常有意义的事情，希望以此工作作为新的起点，进一步认识气候变化对我国重大工程带来的可能风险，并开展相应的研究和评估。

杜祥琬

2015年11月

前 言

气候变化问题是各国政府和公众关心的一个重大问题，关系到人类生存的地球环境的变化和经济社会的可持续发展。近百年来全球变暖趋势在持续，同时中国的高温、强降水、干旱、台风、低温等极端天气气候事件的频率和强度也在全球变暖背景下发生着变化。

许多重大工程的建设，包括从勘察、设计、施工到建成后运行管理，都离不开气候因素。交通大动脉建设与其所经过地区的温度、降水有密切关系。铁路建设尤其是骨干线路建设长达数千公里，穿越不同类型的气候区，气候类型不同，对铁路影响也不同。已建和在建工程中的有些工程由于事前设计人员对气候和环境生态缺乏足够的重视，因而带来了严重的环境后果与交通事故。水利水电工程建设特别是水库的建设在充分利用和合理调配水资源、抗干旱防洪涝、保障人民生活、发展国民经济等方面发挥着重大的作用。水库的建设和运行，在很大程度上受到气候及其变化的影响。现在越来越认识到，任何一项重大工程在建设和运行期，都要充分考虑气候的可能影响。

因此，不但要研究影响我国经济发展的区域性重大工程所面临的气候变化风险，而且要研究面临气候变化形势下，承受的由极端天气气候事件产生的新的风险，及其对重大工程的安全运行可能存在的影

响,并提出在工程设计和运行管理上适应气候变化的新的措施。本项目的研究不仅是一个科学问题,更是环境问题、能源问题、经济问题、安全问题、社会问题,对于提高重大工程应对气候变化和极端天气气候事件的防御及其应对决策能力,促进我国经济社会持续、健康、快速发展,增强综合防灾减灾的安全保障能力,实现全面建设小康社会的宏伟目标,具有重要的战略和现实意义。

本报告是在科技部主持的《第三次气候变化国家评估报告》总体设计下,由中国工程院负责组织和完成的一个专题部分。在编写过程中得到了各有关部门和专家的大力支持。陈鲜艳研究员对本报告的综合做了不少工作,中国工程院的环境与轻纺工程学部办公室也做了大量的组织工作,特此表示感谢。

丁一汇

2015年11月

目 录

序

前言

摘要 (1)

第1章 引言 (11)

第2章 中国气候变化观测事实 (13)

2.1 中国气温的变化 (13)

2.2 中国降水的变化 (14)

2.3 海平面的变化 (15)

2.4 地表水资源的变化 (16)

2.5 极端天气气候事件 (17)

第3章 中国未来10~50年气候变化预估 (20)

3.1 21世纪中国地区平均温度变化预估 (22)

3.2 21世纪中国地区平均降水变化预估 (24)

3.3 不同升温阈值下中国地区极端气候事件变化预估 (26)

第4章 气候变化对重大工程的影响 (34)

4.1 气候变化对重大工程的可能影响 (34)

4.2 气候变化对青藏铁路(公路)的影响 (37)

4.3 气候变化对高速铁路的影响 (42)

4.4 气候变化对水利水电工程的影响 (46)

4.5	气候变化对电网安全的影响	(61)
4.6	气候变化对生态工程的影响	(66)
4.7	气候变化对沿海城市及工程安全的影响	(72)
4.8	气候变化对能源工程安全的影响	(77)
第5章	气候变化对重大工程的综合影响和对策	(84)
5.1	气候变化对冻土工程影响的应对措施及建议	(84)
5.2	气候变化对高速铁路影响的应对措施及建议	(87)
5.3	气候变化对水利水电工程影响的应对措施及建议	(90)
5.4	气候变化对电网安全的应对措施及建议	(93)
5.5	气候变化对生态工程影响的应对措施及建议	(95)
5.6	气候变化对沿海城市及工程影响的应对措施及建议	(96)
5.7	气候变化对能源工程影响的应对措施及建议	(101)
第6章	气候变化对重大工程影响的适应对策的综合意见	(104)
参考文献		(108)
附录	课题组成员名单	(119)

摘 要

本报告研究了气候变化对我国重大工程的影响,并提出了对策建议。

一、气候变化的观测事实及其未来变化

全球变暖趋势在持续。近百年来,中国地表年平均气温呈显著上升趋势,平均增幅为 $0.09^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,并伴随明显的年代际变化特征。20 世纪 50 年代以来中国的增温幅度为 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,特别是 1997 年以来,中国年平均气温持续偏高。在实际的气温变化中具有明显的季节性和区域差异,中国不同气候区升温幅度差异明显,青藏地区增温速率最大,西南地区升温相对较缓。近百年中国平均年降水量表现出显著的年际和年代际变化特征,无明显线性变化趋势。中国不同气候区年降水量均表现出明显差异,东北地区、华北及黄淮平原、华中地区、西南地区降水量减少,华南、东南、西北和长江下游地区降水量呈增加趋势。中国平均年雨日数呈显著减少趋势,而暴雨日数呈增多趋势。近 50 年来中国十大流域中松花江、珠江、东南诸河、西南诸河和西北内陆河流域地表水资源总量总体表现为增加趋势,辽河、海河、黄河、淮河和长江流域则表现为减少趋势。中国的高温、强降水、干旱、台风、低温等极端天气气候事件的频率和强度存在变化趋势,特别是 21 世纪以来,伴随全球气候变暖,极端天气气候事件出现的频率增加、强度增大。

在全球气候变暖的大背景下,全球平均海平面持续上升。自 1961 年以来,全球海平面上升的平均速率为每年 1.8mm ,而从 1993 年以来平均速率

为每年 3.1mm。1980 ~ 2013 年, 中国沿海海平面平均上升速率为 2.9mm/a, 高于全球平均水平。

未来 10 ~ 50 年, 在三种典型浓度路径 (RCPs) 情景下中国区域平均温度将持续上升, 2030 年前增温幅度、变化趋势差异较小, 2030 年以后不同 RCPs 情景表现出不同的变化特征。2011 ~ 2100 年在 RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 情景下的增温趋势分别为 0.08℃/10a、0.26℃/10a、0.61℃/10a。我国年均温度增幅总体上从东南向西北逐渐变大, 北方地区增温幅度大于南方地区, 青藏高原地区、新疆北部及东北部分地区增温较为明显。

RCPs 情景下中国区域平均年降水将持续增加, 21 世纪的前 30 年, 三种排放情景下, 降水将会增加 2.5% 左右, 在 2060 年前三三种情景下的增加幅度、变化趋势差异也较小, 2060 年以后不同 RCP 情景则表现出不同的变化特征。2011 ~ 2100 年在 RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 情景下增加趋势分别为 0.6%/10a、1.1%/10a、1.6%/10a。中国大部分地区降水都表现为增加, 西北地区、华北地区、东北地区降水增加幅度相对较大。但在 21 世纪以来的 30 年中国南方地区降水可能会减少。21 世纪的中期和后期, 我国华北地区的降水将会增加 25% 左右, 东北和西北地区会增加 20%。

本报告基于以上气候演变及未来变化的预估, 提出了气候变化对重大工程的可能影响及其对策。

二、气候变化对重大工程的影响及其对策

1. 气候变化对重大工程的综合影响

全球气候变化, 特别是升温、降水增多以及极端天气气候事件频发, 普遍会通过影响重大工程的设施本身、重要辅助设备以及所依托的环境, 来进一步影响工程的安全性、稳定性、可靠性和耐久性。

全球气候变暖情景下温度、降水的季节变化, 海平面上升, 极端气候事

件频发等现象对绝大多数重大工程的运行效率和经济效益都有一定影响,包括工程本身的运行效率、作用意义、工程成本、经济效益等。

目前重大工程的设计与施工已经根据相关技术标准考虑了多种风险要素,但是随着全球气候变化、极端气候事件突发,以及工程的设计建造年代逐渐久远,气象灾害给这些重大工程的工程技术标准等带来了新的挑战。

2. 气候变化对青藏铁路(公路)的影响与对策

青藏铁路沿线多年冻土含冰量高、地温变化复杂,尤其是高温极不稳定冻土区范围广,高含冰量冻土段落长,对气候变化更为敏感和复杂。自2006年开通运营以来,冻土区线路基本稳定,保证了多年冻土区旅客列车100km/h安全运行。但高原多年冻土环境极为脆弱,多年冻土的热平衡极易打破,气候变化和人类工程活动都将直接影响多年冻土的生存环境。

受气温升高和人类活动影响,多年冻土出现退化,主要表现为多年冻土南北界退缩,融区面积增加。多年冻土厚度减小,活动层厚度增大,不连续多年冻土出现。多年冻土退化将引起地下冰融化、融区数量增加、季节融化层厚度增大和土地沙漠化加剧,对多年冻土区铁路工程产生不利影响。多年冻土退化造成地基融沉变形、地基承载力降低,引发沿线风沙危害和不良冻土现象发育,影响冻土工程的安全稳定。

为减轻气候变化对青藏铁路多年冻土工程的影响,铁路部门在建设之初,就确立了“主动降温、冷却地基、保护冻土”的设计原则,努力保护多年冻土工程环境。合理确定铁路线位方案,采取以片石气冷、碎石护坡、通风管、热棒为主体的主动降温措施,对厚层地下冰地段发育等高含冰量冻土地段采取桥梁跨越,提高了气候变化条件下工程的安全可靠性。随着全球气候变化加剧,应进一步加强青藏高原多年冻土区气象及工程的综合监测,加强气象信息及工程监测数据的共享,积极研发保护多年冻土新技术,及时采取工程措施防止冻土退化,适应气候变化的影响。

3. 气候变化对高速铁路工程的影响与对策

2013年,我国高速铁路总营业里程达到11 028km,在建高速铁路规模1.2万km,成为世界上高速铁路投产运营里程最长、在建规模最大的国家。高速铁路分布在不同地域,气候条件相差悬殊,气候变化对高速铁路建设和运营有很大影响。表现为气候变化导致极端天气增加,极端天气增加对列车运行安全造成的危害增大,同时频繁发生的各种气象灾害对高速铁路行车秩序的影响将更趋严重,高速铁路建设和运营中必须积极应对气候变化带来的不利影响。

我国气象灾害种类多、分布广,对铁路运行安全危害较大的气象灾害主要包括大风、暴雨、积雪、雾霾、低温冰冻等。沿海地区及西北部分山口地段的高速铁路受大风影响较为严重,秦岭—淮河以北内陆地区高速铁路受大风影响次之,秦岭—淮河以南内陆地区高速铁路受大风影响最小;沿海地区和长江流域高速铁路受暴雨影响较为严重,并有由东南沿海向西北内陆逐渐减弱的趋势;受低温冰雪影响的高速铁路主要分布在东北地区 and 长江以南的内陆地区;长江以南至东南和南部沿海地区的高速铁路受雷暴影响较为严重,并有自北向南由弱到强的趋势;由于雾霾天气主要出现在工业和经济发达的中东部地区,我国运营的高速铁路大多受到雾霾影响,影响较重的主要集中在我国东部和西南地区。长期以来,我国铁路沿线因气候变化引起的灾害事故频繁,严重影响高速铁路的安全运营,减轻气候变化对高速铁路工程影响具有重大的现实意义。

随着高速铁路建设快速发展和路网规模迅速扩大,特别是高速铁路建设向西部地区推进,铁路“走出去”战略的实施,将面临更加复杂的气候环境,最大限度地预防和减少各类气象灾害对高速铁路运行的危害,是必须长期重视的重大课题。为应对气象灾害,建立高速铁路综合防灾监测预警系统,及时发出预警信息控制列车运行。加强暴风雨雪雾等恶劣天气应急预

案,避免气象灾害的发生或降低灾害的影响。针对沿线大风、强降雨、冰雪和雷害等自然灾害采取有针对性的防灾工程措施,大风集中高发区段修建挡风墙和风/声屏障等防风设施,修建挡土墙、抗滑桩等支挡结构,排水沟、导水坝等导流设施,边坡加固、拦石网等防护工程提高线路防洪能力。研发适应高寒环境的动车组,道岔和接触网设置融雪装置,加强雷电灾害风险评估,采取综合防雷措施等。为加强高速铁路抵御气候变化能力,应积极推进高速铁路沿线气象信息共享,提高气象灾害预警水平,加强高速铁路气象灾害评估研究,提前采取预防措施,完善高速铁路防灾技术标准,深化高速铁路防灾减灾技术研究。

4. 气候变化对水利水电工程的影响与对策

气候变化引起了我国水资源分布的变化。1960~2010年特别是1980年以来我国各大江河的实测径流量多呈下降趋势,水资源时空分布不均问题更加明显,局部地区的强降雨、高温干旱以及超强台风等极端天气灾害出现的频率和强度显著上升。气候变化及其导致的水旱灾害风险增加,给水利水电工程及水资源管理带来了新的挑战,对我国的供水安全、防洪安全、水生态环境安全造成了多方面的影响。

在国际上,重大水利水电工程应对气候变化主要包括三个方面:引入应对气候变化的流域水资源适应性管理;研究气候变化对水利水电工程调度和管理的影响方式及影响程度,加强水利水电工程适应性调度与管理;研究梯级水库群优化调度,加强应对气候变化的流域水库群适应性管理。

我国在气候变化对水利水电工程影响的对策方面,主要采用建设现代化水资源管理体系,强化水资源统一规划与管理,实现水资源优化配置;加强水利基础设施建设,增强防洪抗旱能力;治理水环境,改善用水结构,加强区域水资源保护;开发空中水资源等,提高水资源利用效率,建设节水防污型社会。另外,还需加强水库运行对下游水量影响的研究和干旱化引发的河

流断流问题及其预警措施研究。

5. 气候变化对电网安全的影响与对策

电力系统网络是迄今世界上最大的人造工程之一。经过多年的建设,我国的电网目前已发展成为世界上电压等级最高、输送容量最大的电网。为了有效地实现电能的变换、传输和分配,电网系统不仅需要大量的一次电力设备,还同时拥有大量的用于控制、保护和调度的二次设备和系统。气候变化可以通过以下两个层面对电网安全造成影响:一是气候变化引起的各种灾害直接干扰、损坏电网基础设施及其重要辅助设备,造成电网部分功能或全部功能的丧失。例如,持续高温引起电网供电不足、电能质量降低以及电网极限运行带来的设备故障增加;雷击损坏线路绝缘子,引起线路跳闸;大雾导致雾闪,引起线路跳闸;太阳风暴引发的磁暴干扰电气设备正常工作甚至损坏设备;沙尘暴引发污闪,损坏输电走廊的电力设备;覆冰造成绝缘子串冰闪、倒塔;台风造成电网基础设施损坏;山火导致线路跳闸,引发停电事故;洪涝造成变电站、输电线路和电厂等设备严重损坏;且某些设备自身损坏或大面积损坏可能带来电网大面积停电事故,如覆冰、台风等。二是气候变化引起电源和用电负荷的变化,加大了对整个电网系统的扰动,从而对电网运行的稳定性和安全性造成影响。例如,持续高温天气会造成用电负荷急剧增加,如电网已处于临界状态,极易因某个局部事故引发连锁故障,造成电网大面积停电。

需要强调的是,由于能源资源与电力负荷分布的不均衡,我国建设了一系列的西电东送输电通道。这些输电通道通常跨越多地理条件和多气候复杂环境的地域,且输电距离远、容量大,因而气候变化引起的各种灾害更容易对这些长距离西电东送工程尤其是超远距离、超大容量的特高压输电工程造成不利影响。

为防范气候变化对电网安全的不利影响,可以从以下几个方面采取措施

或开展研究：建立广义智能能源网，深度融合气象信息、电源信息与电网运行维护信息和技术，形成电网的气象灾害预测、电网安全预警一体化防护系统，同时完善应急管理机制；加强设计规划、优化路径，改进抗风防雨防冰能力设计，适当提高电网设计和建设标准，并根据极端气候发生区域因地制宜；科学安排电网运行，实行多网联合调度，避免集中负荷区采用单一方式或单一来源供电；开展气候变化趋势下电网系统、电源系统抵御未来灾害能力的基础理论研究，包括灾害连锁传导、动态扰动对电网系统稳定性影响、新型材料、新标准等。

6. 气候变化对生态安全的影响与对策

在生态环境建设过程中必须充分认识气候变化的可能影响，以趋利避害、巩固生态建设成果和合理规避建设工程风险。过往的三北防护林建设中未考虑气候适应性的影响，部分地区频繁发生的高温干旱及病虫鼠害导致防护林退化、老化问题严重就是典型例证。

未来 30 ~ 60 年我国北方地区气候呈现暖湿化趋势，利于巩固和扩大三北防护林和草原生态建设成果。对于三北防护林地区，气候暖湿化、生长季延长及 CO_2 的持续增加会促进植被生产力和碳汇的增加，植被类型趋于向高级类型更替，植被对气候变化的敏感性将会减弱，利于形成气候和生态环境的正反馈效应；对于我国大部分草原地区，气候暖湿化利于生态保护工程的实施，扭转生态恶化的态势，缩短生态恢复的时间；但气候增暖会增加森林和草原火灾及病虫害的发生范围和频率，需要加以重视。在对策上，应充分利用北方气候暖湿化的正效应，加快三北防护林建设和北方草原生态恢复；同时加强防护林和草原适应气候变化和防灾减灾的科学研究。

未来气候变化造成我国降水和温度时空分布异常，主要体现在暴雨事件增多、局部干旱程度加重、冻土融化面积增大、冰川消融面积扩大等。其中，北方降水增多导致地质灾害发生的风险加大，华东和华南台风暴雨诱发

地质灾害的频率和规模呈上升趋势；强降水、干旱等极端气候事件以及冻融作用加剧诱发地质灾害的威胁将进一步加大。在对策上，必须正确认识我国在地质灾害应对和适应气候变化方面的不足差距，加强气候变化下局地气象条件的可能改变状况评估。

7. 气候变化对沿海城市及工程安全的影响与对策

在全球气候变化的大背景下，全球变暖与海平面上升，将会破坏海岸带生态系统，威胁沿海设施安全，对我国沿海城市及工程造成明显的影响。全球变暖除导致海平面上升外，还会引发或加剧风暴潮、海岸侵蚀、咸潮入侵和海水入侵等海洋灾害。中国沿海地区的三大主要脆弱区将面临沿海低地淹没的风险。沿海地区发生城市内涝的可能性将加大。沿海核电工程的设计、防护与安全运行，以及港口的适航性都将受到重要影响。

沿海地区应重点加强气候变化和海平面上升的影响评估和脆弱性区划，采取海岸防护、生态保育与适度开发并重策略。对于已开发利用区域，根据经济社会发展程度，采取防护、后退和顺应等适应策略，并应以防护为主。对于未开发利用区域，应在风险评估的基础上，进行适度的开发与合理的避让。应在宏观层面进行部门间协调，加强海岸带的统一规划与管理，强化规划对海岸带开发活动的空间管控，控制向海洋发展的合理规模，避免“过度临海化”和“过度工程化”的倾向，实现科学、有序的发展。

沿海城市应完善和提高海岸防护工程标准，加强海岸防护体系建设、地面沉降防治和城市洪涝防治。完善海平面上升监测网络，完善海洋灾害监测预警系统，强化应急响应服务能力。核电站和港口等重点沿海工程，应进行脆弱性分析和风险评估，在选址上避开脆弱区和高风险区，提高安全防护的设计标准，并按标准进行加固。