



WTC2023特别兴趣会议——交通低碳化与韧性化

# 气候变化对道路工程的影响及适应对策

中国武汉, 2023.6.17

**苗英豪**

博士、教授、博士生导师  
世界道路协会气候适应性技术委员会委员

北京科技大学国家材料服役安全科学中心  
miaoyinghao@ustb.edu.cn, 18601253595



## Outline

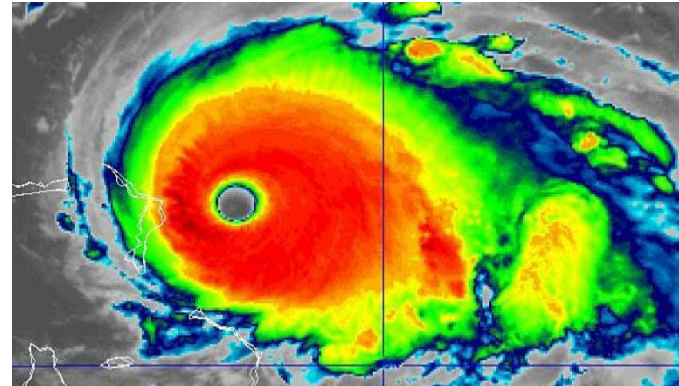
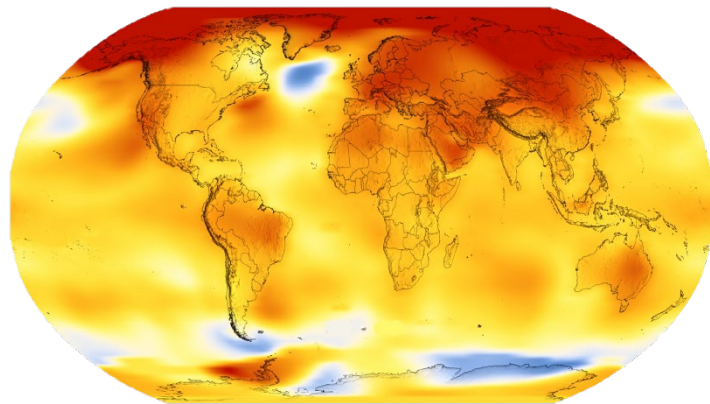
1 气候变化背景

2 气候变化对道路工程的影响

3 面临的挑战及适应对策

4 结束语

# 1 气候变化背景-直接表现

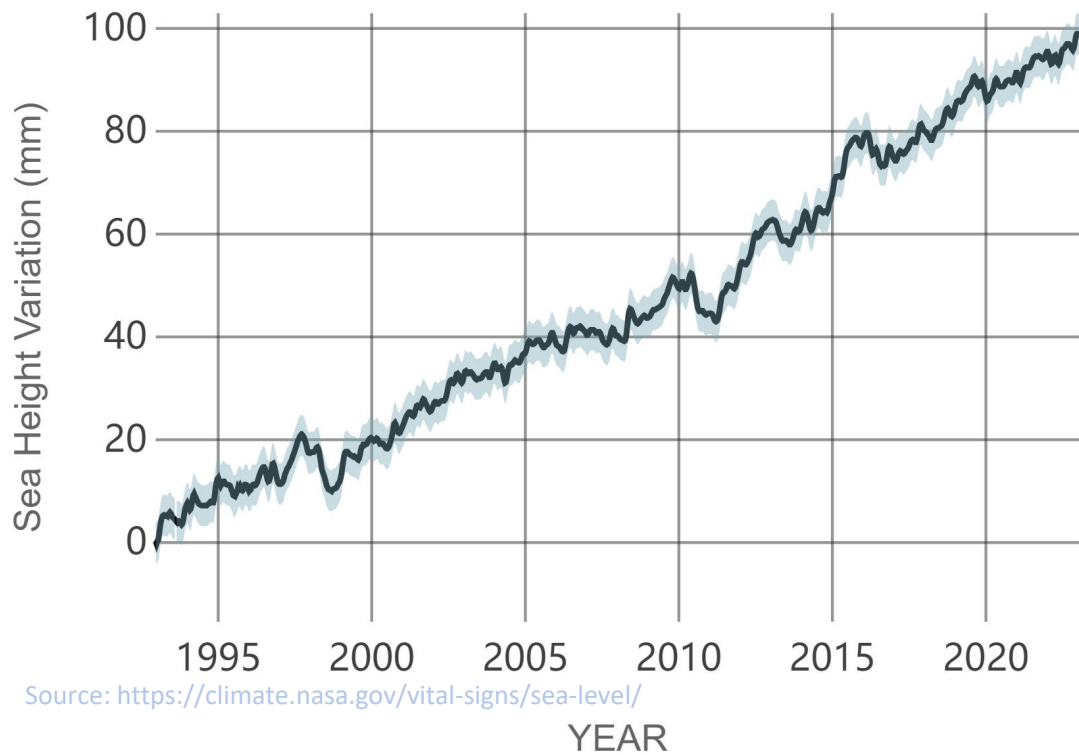




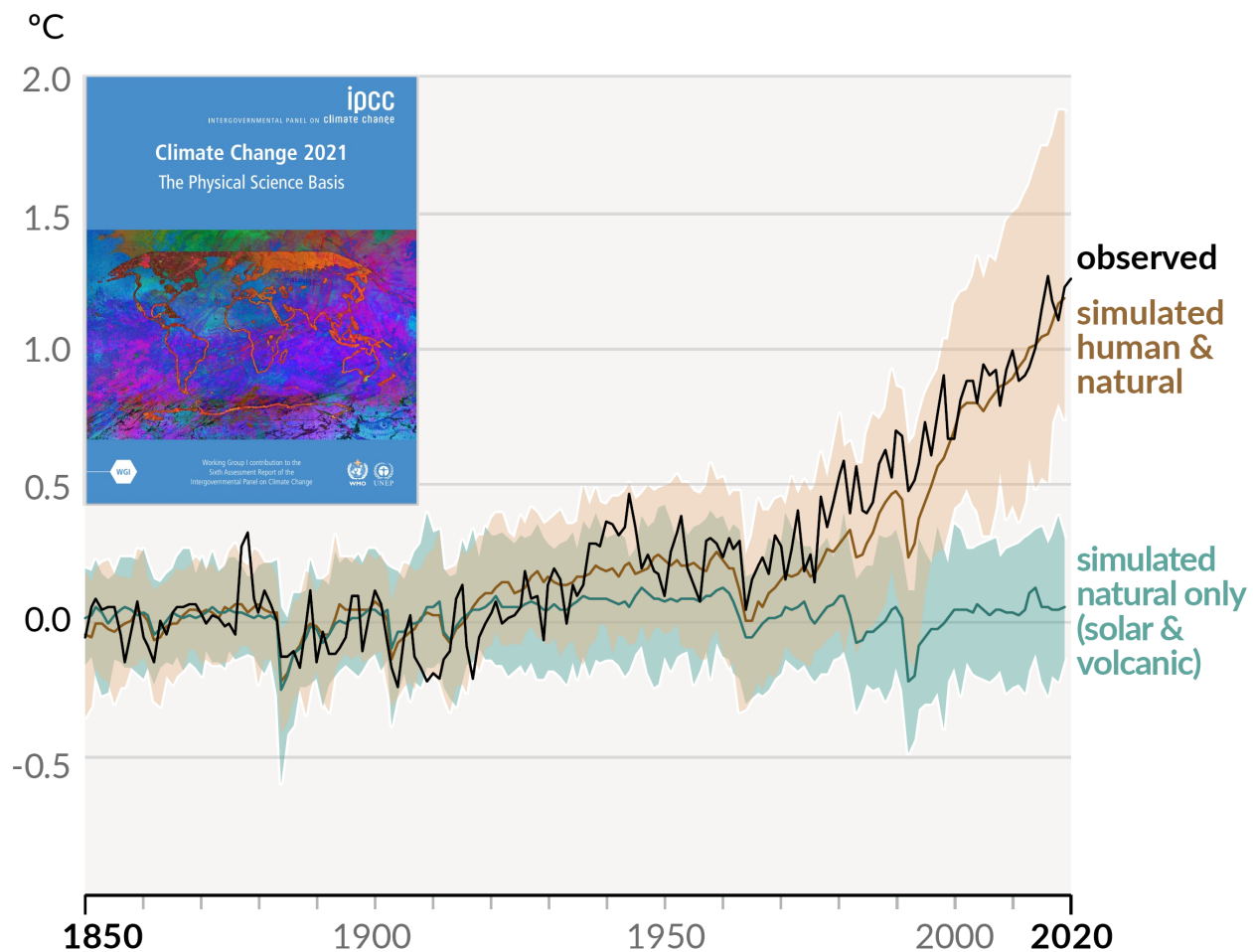
# 1 气候变化背景-客观数据



- > 2010年-2019年间，受人类活动影响产生的全球温升达到了高于工业化前（1850-1900）水平 约1.07 °C。
- > 1993年以来海平面平均升高了99mm

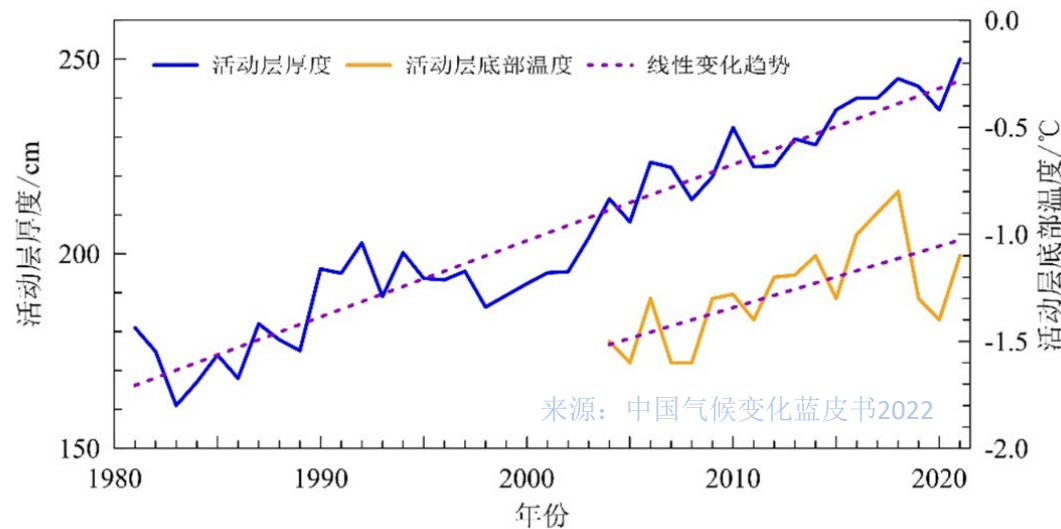
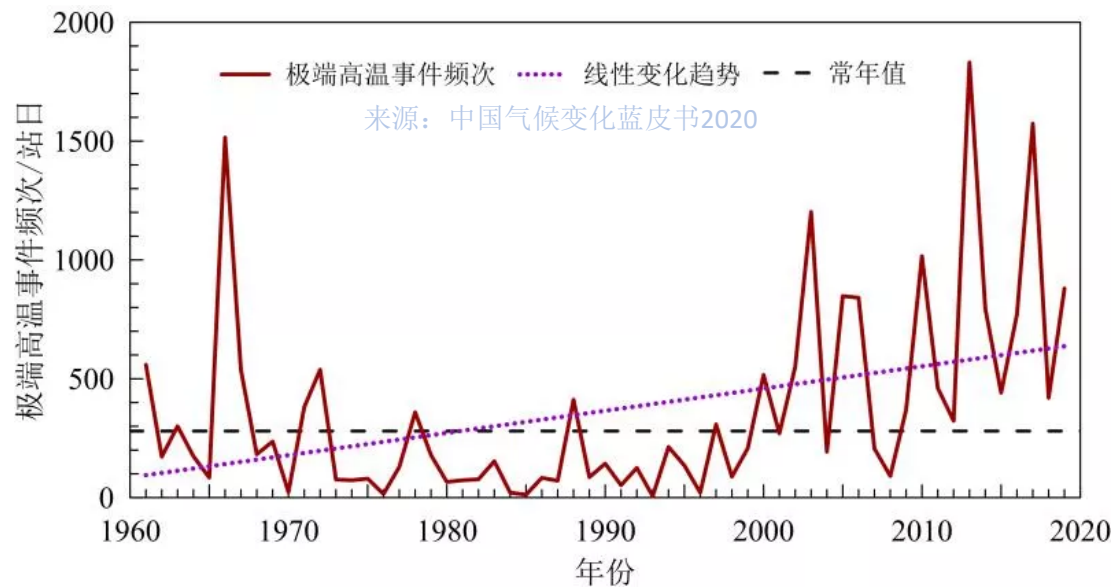
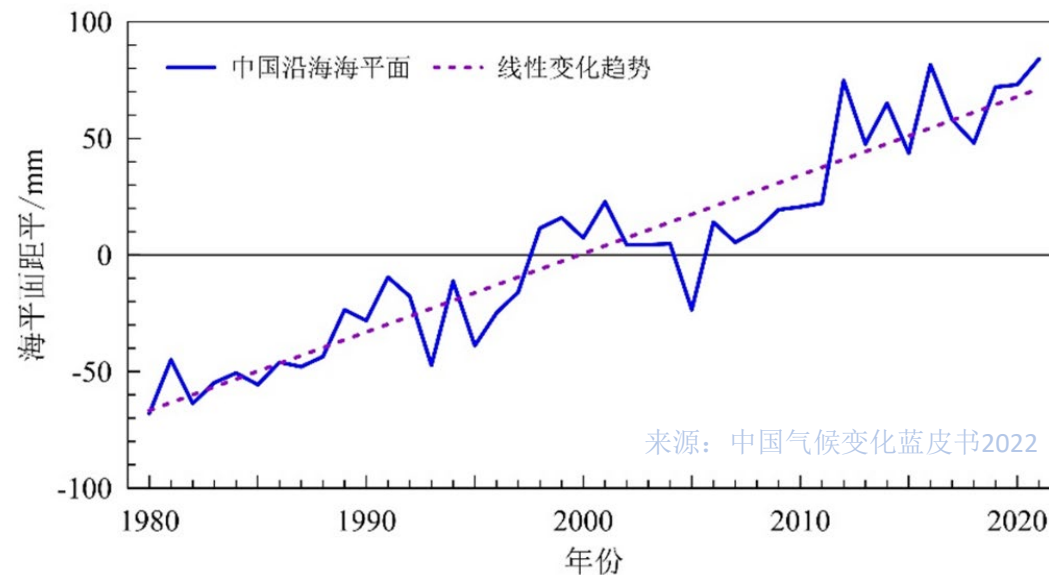
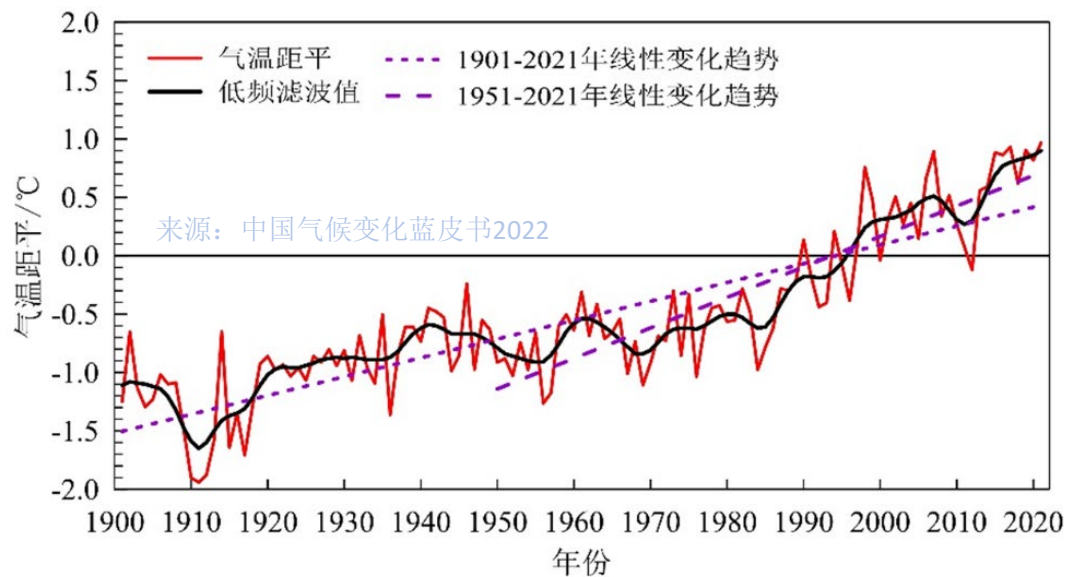


b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850-2020)



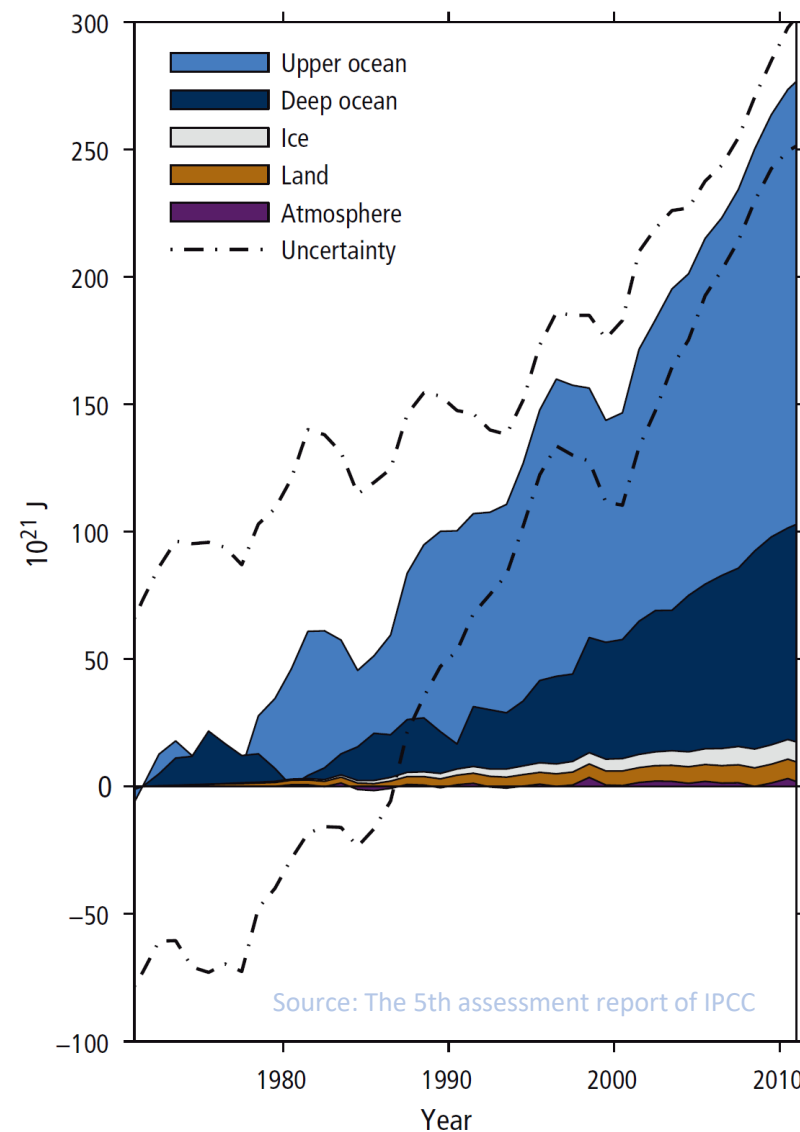


# 1 气候变化背景-客观数据



- > 地球表面平均温度是一个平均化、概括性的指标，这一指标的变化背后是高度复杂的气候系统、自然系统。
- > 理解地球表面平均温度的变化应当注意空间尺度的问题。
- > 地球表面平均温度的上升意味着地球气候系统累积更多的能量以及更为不均衡的能量分布。
  - ↗ 温度波动幅度的增大
  - ↗ 更强、更频繁的风暴
  - ↗ 更多的地表侵蚀和地质灾害
  - ↗ 极端天气的增多（干旱、洪水）
  - ↗ .....

Energy accumulation within the Earth's climate system

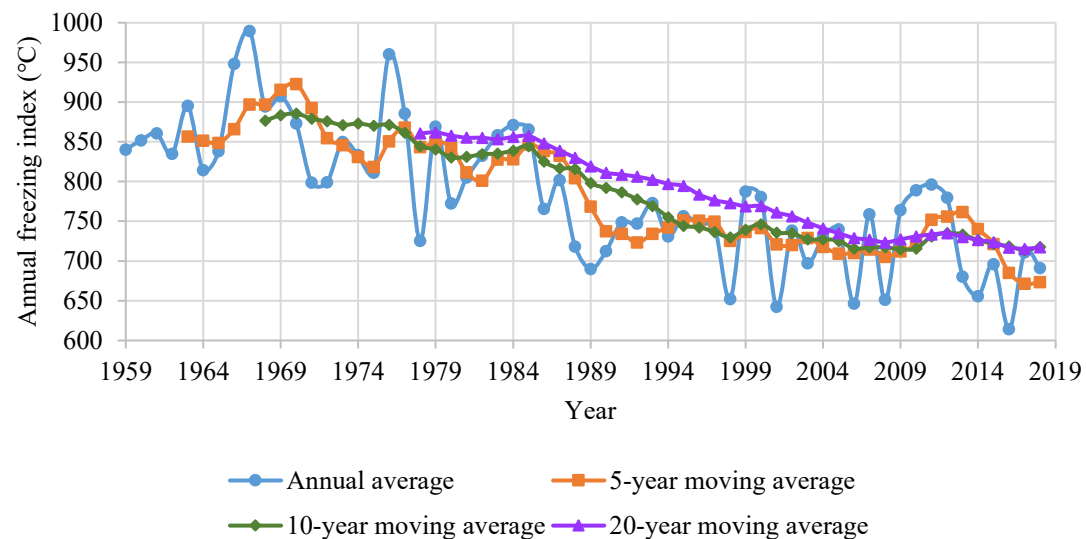
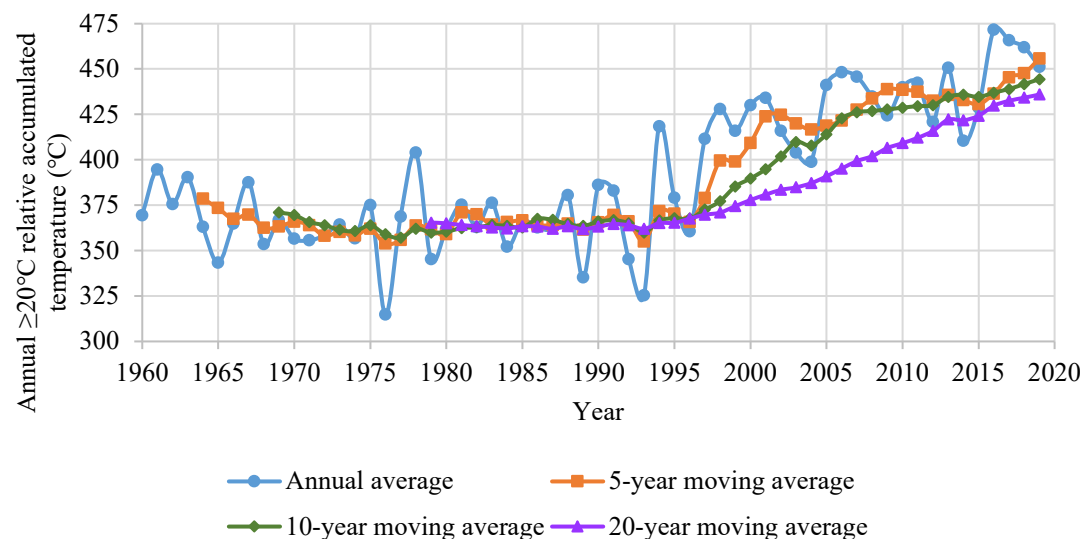
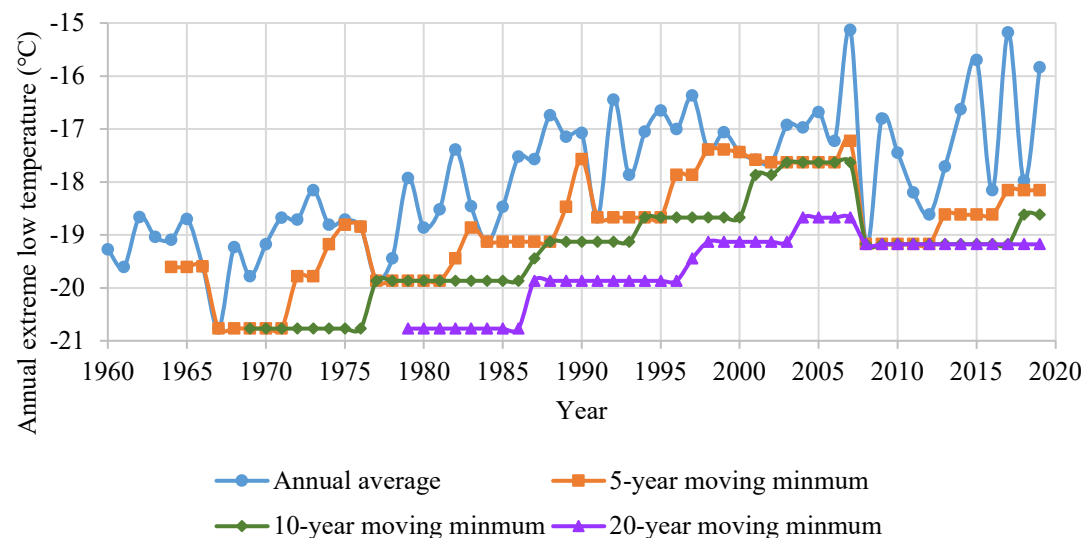
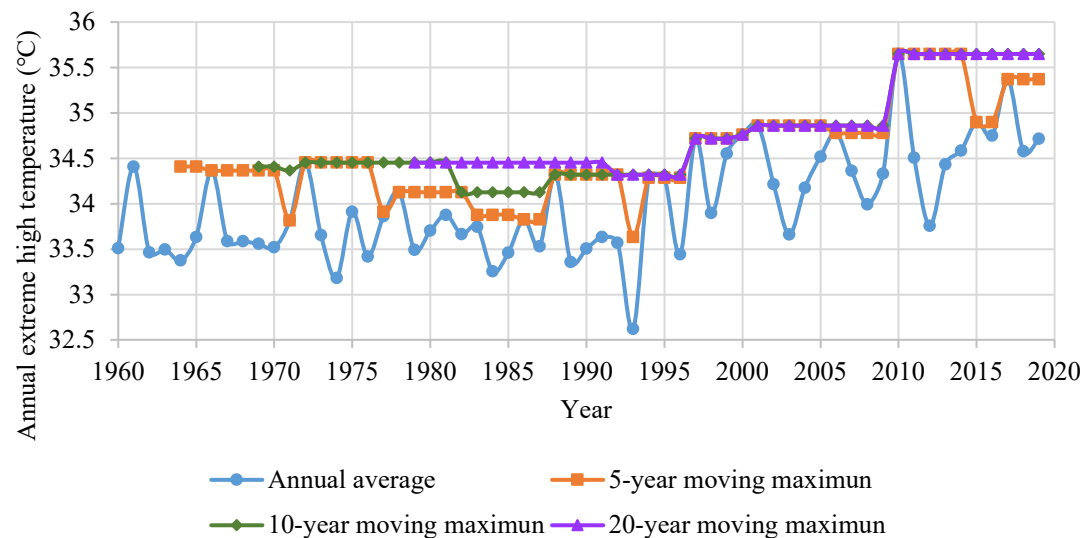


> 气候变化背景下，极端高温天气出现的频率不断增加、高温持续时间不断增长，极端高温记录不断刷新。

- ↗ 高温持续时间增长、极端高温升高，导致沥青路面车辙、泛油等病害加剧；
- ↗ 极端高温的升高，导致水泥混凝土过量膨胀，增大结构附加温度应力、导致水泥混凝土路面、桥梁产生拱起破坏；
- ↗ 高温持续时间增长，导致水泥混凝土碳化速度和氯离子渗透速度加快；
- ↗ 冬季温度的升高，会导致一些区域冻融循环次数增加，影响路面、结构物的耐久性；
- ↗ 总体温度的升高，导致多年冻土退化，影响多年冻土地区路基及基础稳定。



# 2 气候变化对道路工程的影响-温度条件的影响







年  
 $\geq 20$   
 $^{\circ}\text{C}$   
相对积温  
变化情况





年冰冻指数变化情况

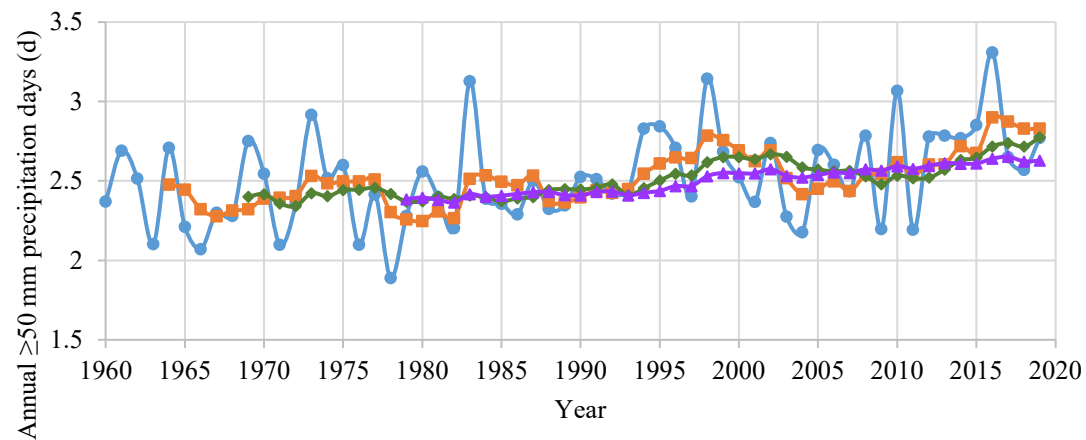
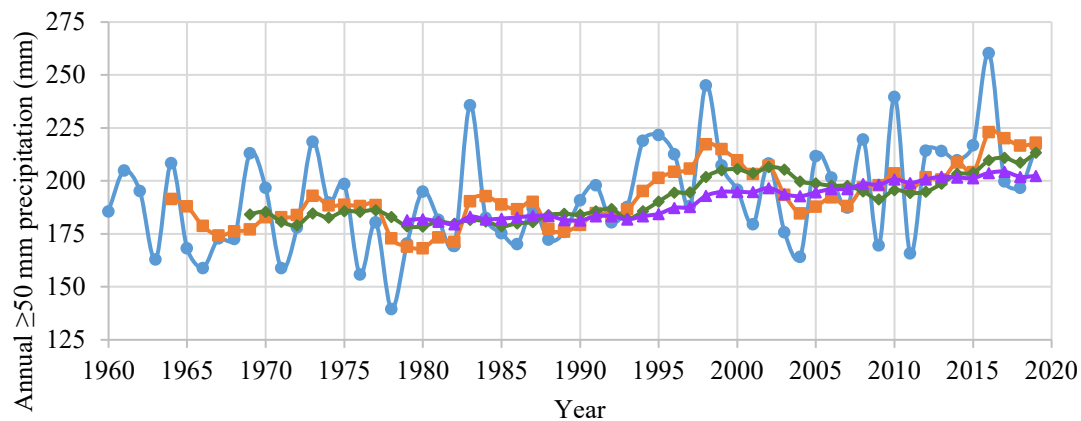
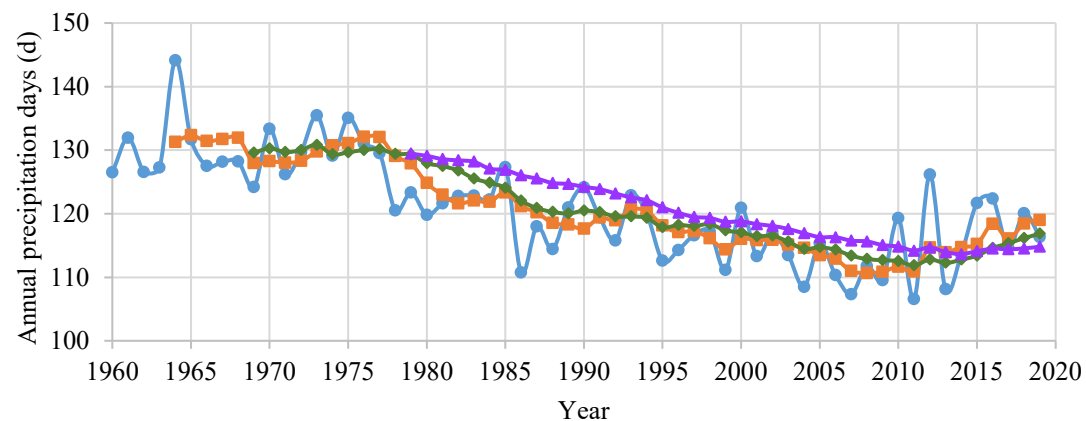
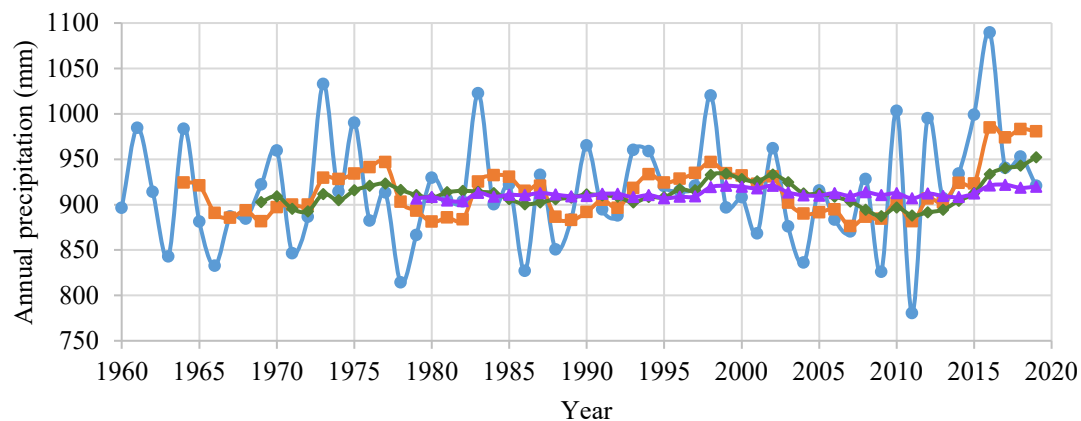


> 气候变化背景下，降水分布形态发生明显改变，极端降水事件频率升高，洪水和干旱频发，由此导致河流流态、地下水位发生改变。

- 降水量、单次降水时长增加，可能加剧沥青路面水损害和坑槽病害，低等级道路尤为突出；
- 极端降水事件、洪水频率的增加，将加剧边坡、路基的冲刷，增大滑坡、水毁风险；
- 河流流态的改变，将改变河流冲刷特性，可能威胁桥梁基础；
- 降水减少导致地下水位下降，导致地基固结沉降增大，给道路、桥梁带来附加沉降。



## 2 气候变化对道路工程的影响-水分条件的影响



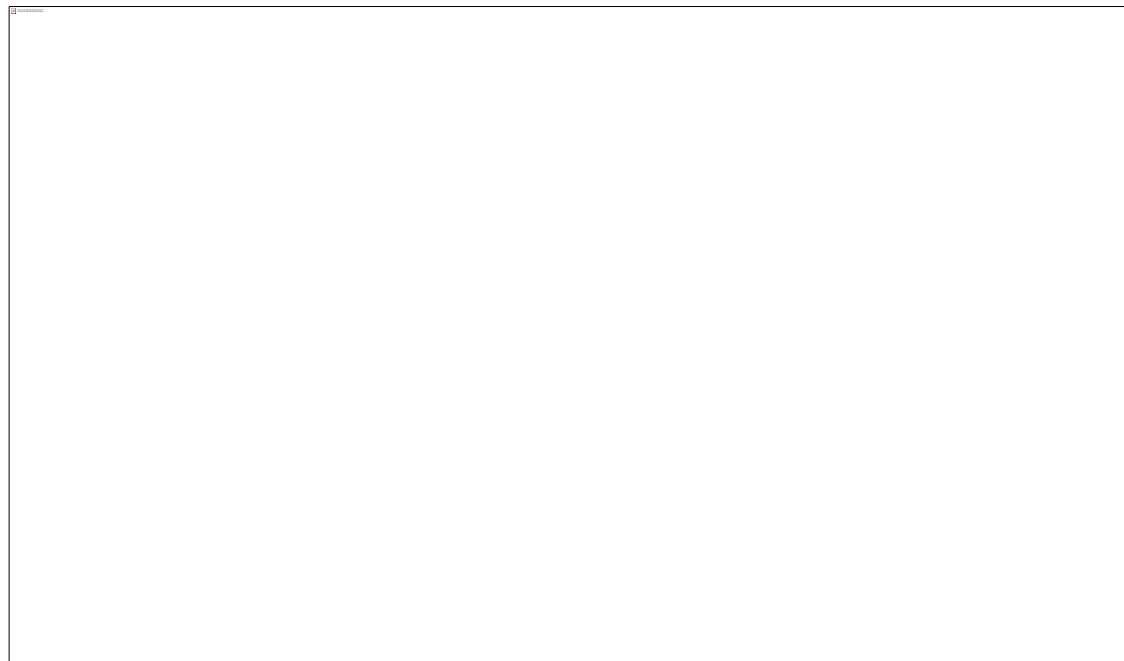


年非冰冻期降水变化情况



年冰冻指数变化情况

- > 气候变化背景下，海平面不断上升，将增加沿海地区的洪灾频次和海岸的侵蚀；
- > 大气二氧化碳浓度的升高，是气候变化的重要影响因素，同时也会加速水泥混凝土碳化，影响钢筋混凝土结构的耐久性。

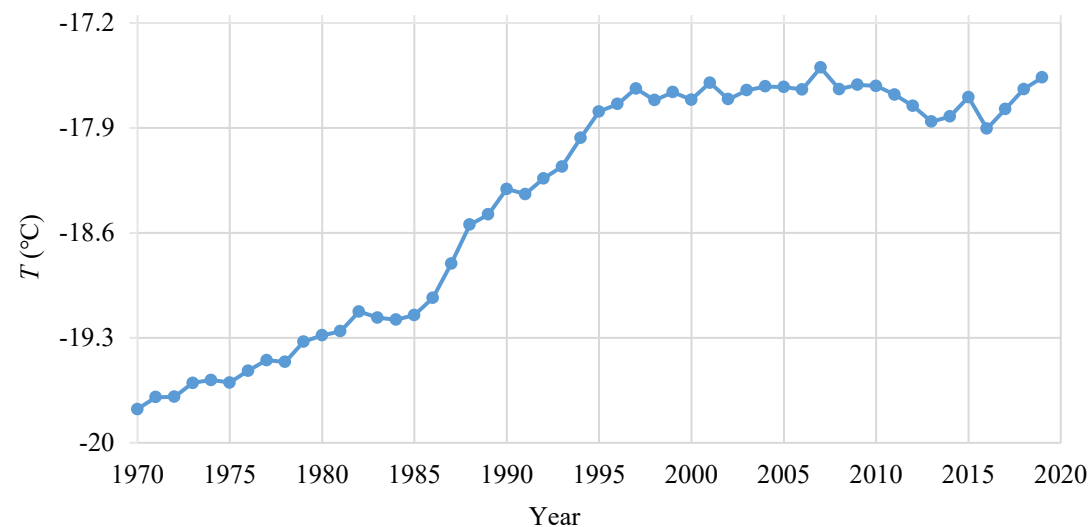
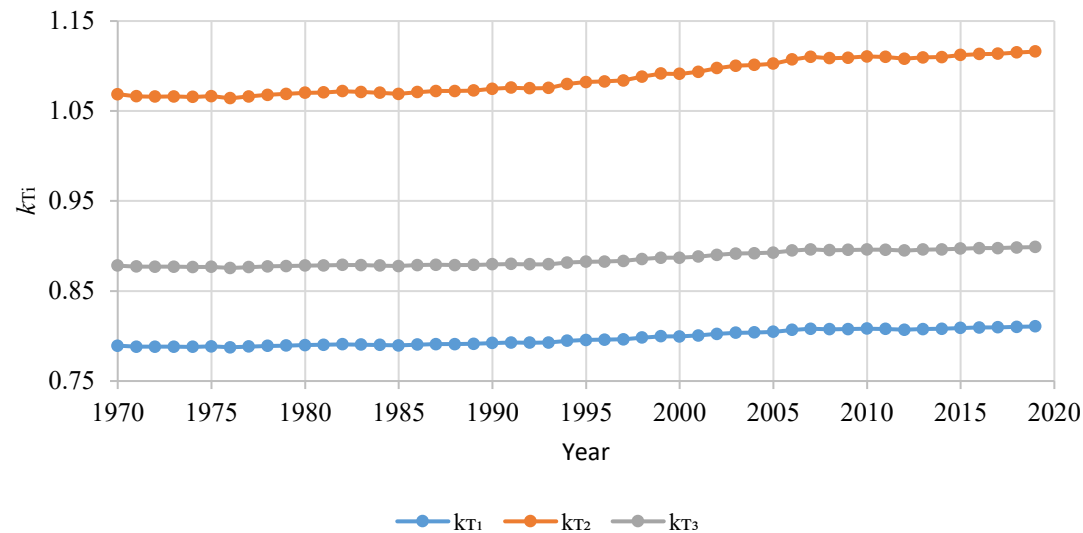
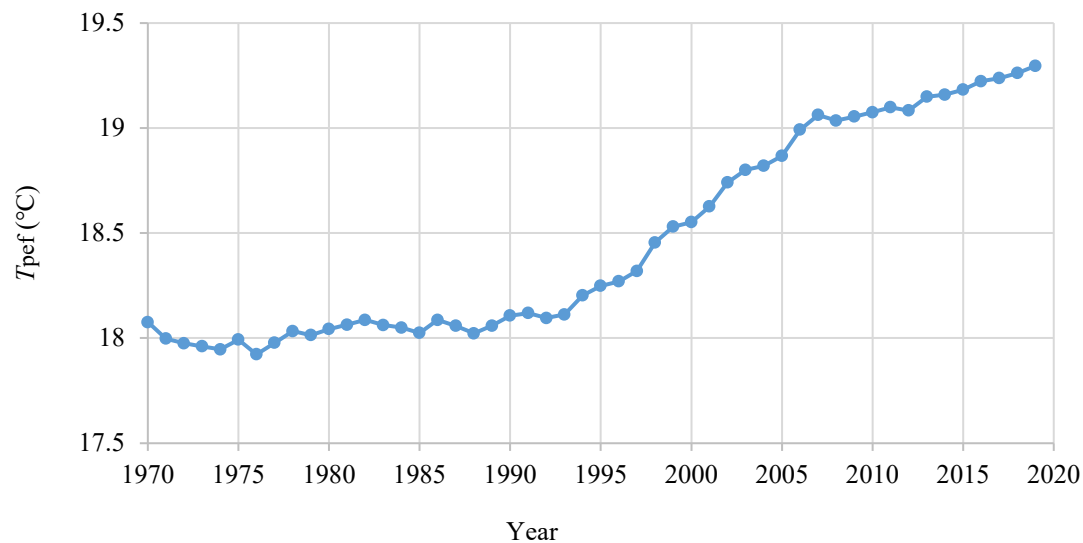


- > 气候变化问题具有典型的多尺度特性，目前的估算主要集中在宏观概括性指标上，如何建立宏观概括性指标与微观特征指标间的联系是当前面临的挑战。
  - ↗空间多尺度：全球->全国->全省->某地或某一工程。分析的空间尺度不同，结果完全不同。
  - ↗时间多尺度：地质年代->千年尺度->百年尺度->十年尺度。应选择适应工程生命周期的尺度。
  - ↗统计尺度：累年值->年值->月值->日值->分时数据。应结合工程响应选用适当尺度的数据。
- > 气候数据的概括分析表明，许多影响道路工程的气候指标发生了显著变化，但量化分析气候条件的改变对道路工程的影响仍十分困难。
  - ↗气候条件的预测的不确定性
  - ↗实践中工程破坏的气候变化归因的不确定性
  - ↗气候变化背景下传统性能分析方法和模型的不确定性
    - ✓ 不断恶化的极端天气记录，远远超出了传统材料和结构设计方法以及性能分析模型中所考虑的正常气候条件范围，这意味着在当前气候变化背景下，继续使用传统方法和模型将导致巨大的不确定性和风险。
  - ↗气候条件对道路工程一些方面性能的影响还没有定量评估方法
  - ↗气候条件的影响具有高度非线性特性，一些灾难性的性能突变无法通过传统方法和模型进行预测



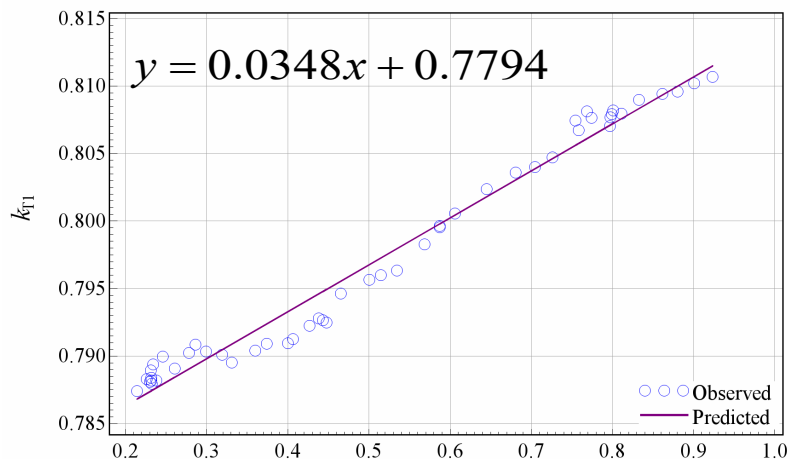
### 3 面临的挑战及适应对策

- > 1992年-2019年，由于全国平均  $T_{pef}$  的增大，沥青层永久变形全国平均增加了20.70%
- > 1970年-1997年，由于全国平均  $T$  的升高，低温开裂指数全国平均减小了20.99%，1997年之后全国平均  $T$  值基本保持不变。

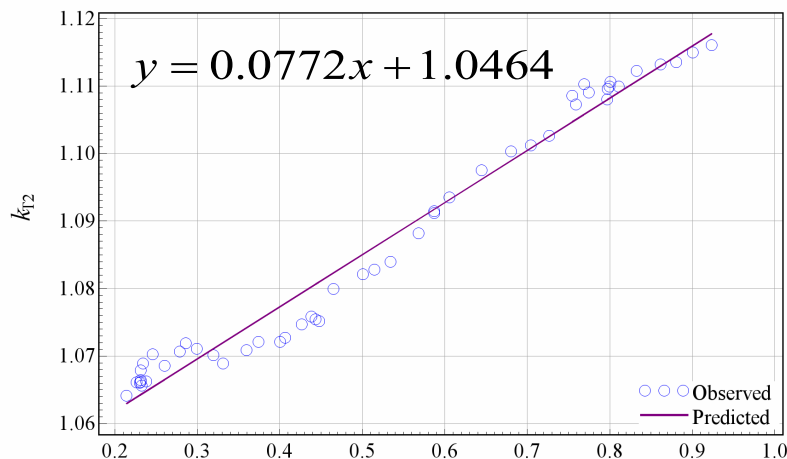




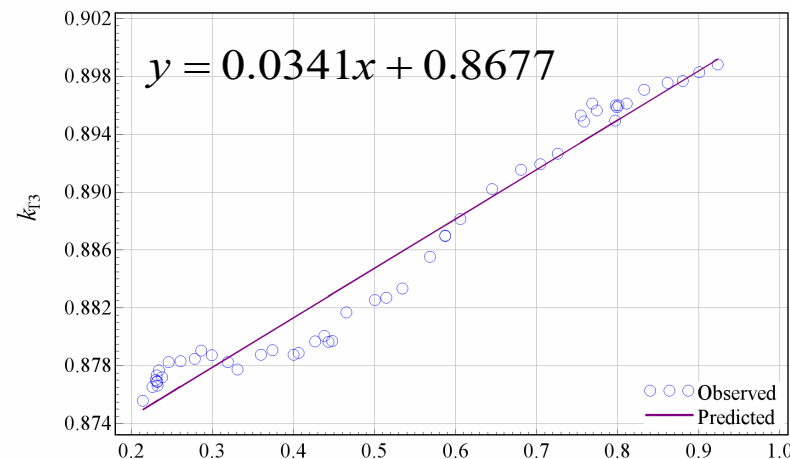
# 3 面临的挑战及适应对策



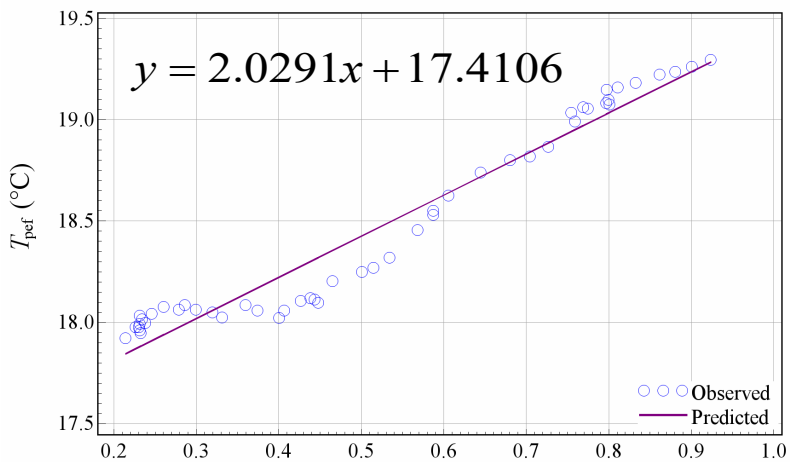
Annual anomalies of global mean surface temperature to the mean of 1850-1900 (°C)



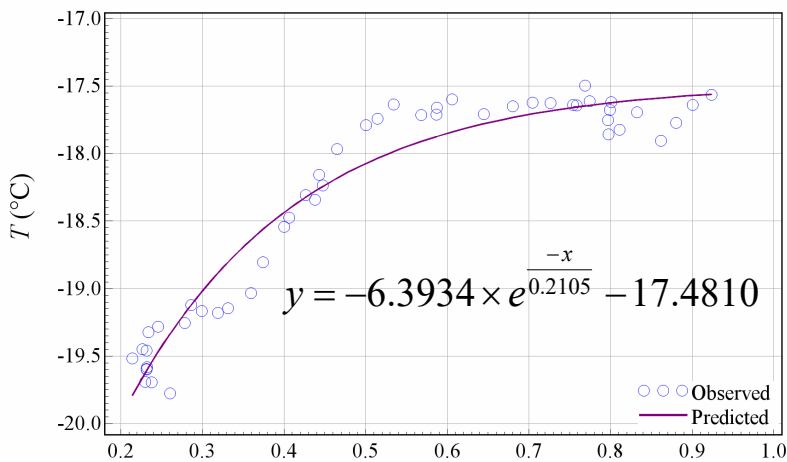
Annual anomalies of global mean surface temperature to the mean of 1850-1900 (°C)



Annual anomalies of global mean surface temperature to the mean of 1850-1900 (°C)



Annual anomalies of global mean surface temperature to the mean of 1850-1900 (°C)

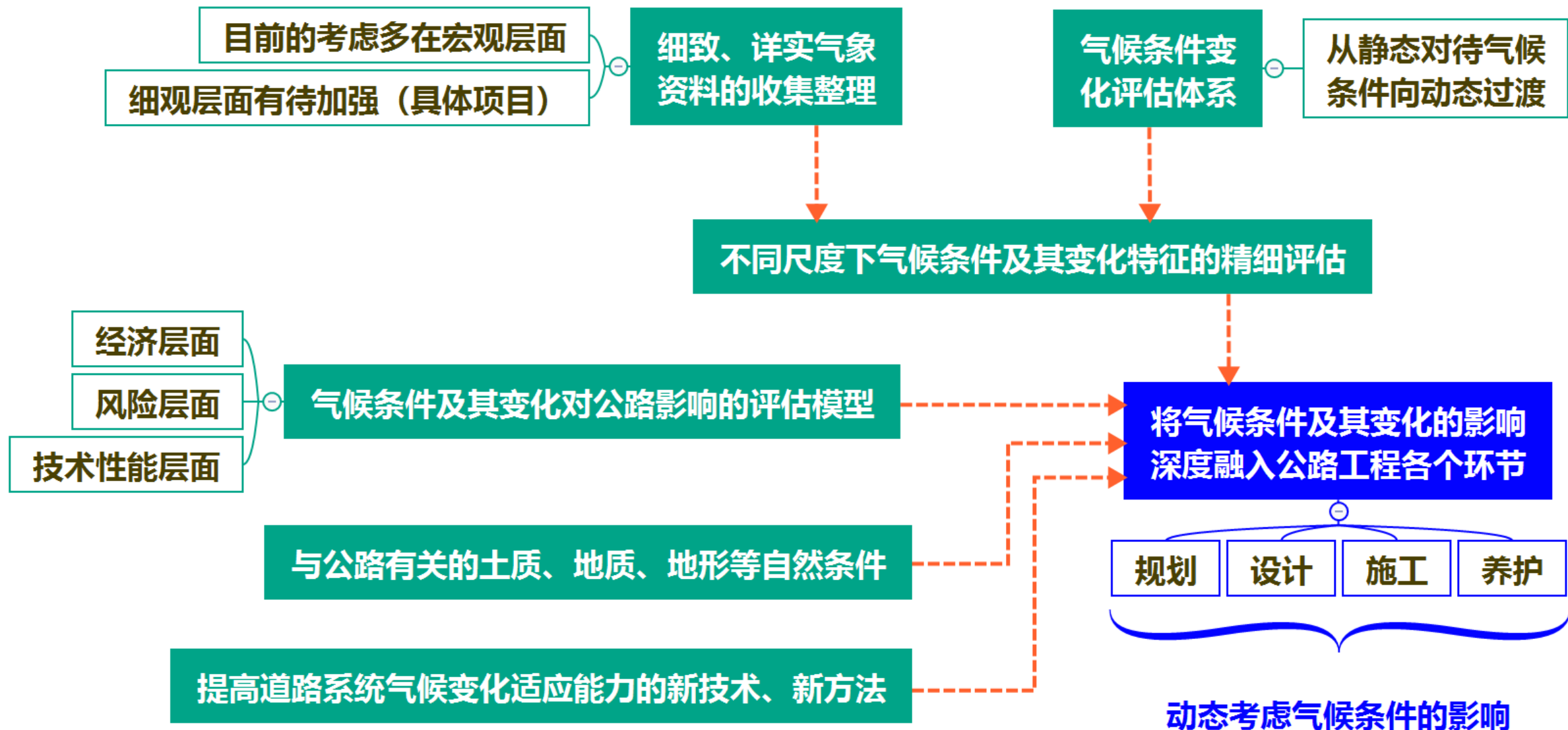


Annual anomalies of global mean surface temperature to the mean of 1850-1900 (°C)

设计指标	全球温升 1.5 °C	全球温升 2.0 °C
$N_{f1}$	-2.52%	-4.51%
$N_{f2}$	-3.98%	-7.06%
$[\epsilon_z]$	-0.46%	-0.85%
$R_a$	18.63%	36.71%
$CI$	-0.97%	-1.03%



### 3 面临的挑战及适应对策



- > 在气候变化的背景下，不断变化的天气模式和日益增多的极端天气事件给道路工程带来了严峻的挑战。低等级道路可能面临更为严峻的挑战，主要是低等级道路的设计建造标准及安全冗余低于高等级道路。
- > 在政策层面，推动气候变化影响进行系统的研究，以改进传统的方法和模型是非常必要的。只有这样，道路的设计、施工和维护才能适应气候变化。
- > 在投资决策中，必须考虑适应气候变化的成本，这样才能保障道路的预期功能和寿命。
- > 在项目层面，应详细分析道路穿越地区的气候条件。应进行与道路工程生命周期相匹配的气候条件预测。预测结果应嵌入设计、养护等分析决策过程中。
- > 各地均需全面梳理气候条件的变化特性，找到各自需要重点关注的问题，从而有针对性的制定适应对策。



感谢聆听!

欢迎访问国家材料服役安全科学中心

[miaoyinghao@ustb.edu.cn](mailto:miaoyinghao@ustb.edu.cn), 18601253595