



蓝皮书系列 · 2021

执行摘要

# 零碳中国·零碳校园

以实现碳中和为目标的校园转型发展路径

中国投资协会能源投资专业委员会，中国可再生能源学会太阳能建筑专委会，国家住宅与居住环境工程技术研究中心



# 作者与鸣谢

## 作者

本报告的主要作者包括：姜艺、孙耀唯、张杰、张玮、郑冬冬（中国投资协会）；陈滨、房涛、鞠晓磊、刘叶瑞、刘煜、孟祥兆、彭晋卿、王崇杰、徐燊、曾雁、张磊、张星儿、郑晶茹（中国可再生能源学会太阳能建筑专业委员会）

\* 按姓氏首字母顺序排列。

## 联系方式

郑冬冬：ccei\_zd@163.com

张星儿：zhangxe077@cadg.cn

## 鸣谢

我们向为本研究提供意见和建议的来自高校、企业和研究机构的专家们表示诚挚的感谢。

\* 封面、封底及文中部分图片来源于 pixabay、pexels。

\* 本蓝皮书用纸属于中国森林认证产品。

# 关于我们



## 中国投资协会 (The Investment Association of China, IAC)

中国投资协会 (The Investment Association of China, IAC) 是经中华人民共和国民政部登记注册, 具有社团法人资格的全国性社会团体, 是中国投资建设领域权威性、综合性社团组织, 其政策和业务指导部门为国家发展和改革委员会。中国投资协会下设 16 个投资委员会, 拥有超过 1000 家大中型投资企业会员单位。本报告由中国投资协会能源投资专业委员会执行。2020 年, 中国投资协会能源投资专业委员会牵头联合 50 多家国内外机构发起“零碳中国”倡议, 将以实现“碳中和”为目标, 为推进国家能源转型和绿色发展做出应有的贡献。



## 中国可再生能源学会太阳能建筑专业委员会 (Technical Committee of Solar Building, CRES)

太阳能建筑专业委员会成立于 2004 年 8 月, 是在可持续发展框架下, 以满足建筑对清洁能源需求为目标, 为太阳能建筑应用, 构架学术和技术交流平台, 是中国可再生能源学会设立的二级专业分支机构。专委会涉及太阳能建筑光伏、光热、建筑节能等领域, 是目前太阳能建筑领域最具影响力的专业机构之一。专委会与国内外科研机构, 建筑院校以及相关建筑设计、科研院所、建设管理、地产开发机构开展广泛的合作。专委会始终致力于提升太阳能在建筑领域的应用, 与专家、企业和关心可再生能源建筑事业的各界人士一起为解决人类共同面临的建筑节能与健康环境问题做出贡献。



国家住宅与居住环境工程技术研究中心  
China National Engineering Research Center For  
Human Settlement

## 国家住宅与居住环境工程技术研究中心 (China National Engineering Research Center For Human Settlement)

国家住宅与居住环境工程技术研究中心是经国家科技部及住房和城乡建设部正式批准组建的行业技术研发中心, 是国家在住宅与居住环境领域科技攻关的主要技术支撑单位, 其主要任务是承担国家重点科研项目, 组织集成国内外先进技术和产品的研发与推广, 并通过建设示范工程推进住宅科技成果的转化。中心具有一批长期从事住宅研究设计的专家学者, 有着广泛的国内外合作基础, 曾承担过多项国家重大科技攻关项目的研究开发、合作咨询和推广应用, 完成了部级重点国际合作项目的研究以及国家和行业重要规范、标准的编制, 同时通过大量住宅与居住环境示范工程的规划设计, 创出一批城乡精品居住区和住宅小区, 得到了行业 and 市场的认同。

# 前言

---

实现碳达峰、碳中和，是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局做出的重大战略决策，是着力解决资源环境约束突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择，是构建人类命运共同体的庄严承诺。做好碳达峰、碳中和工作，需要从社会、经济、资源、产业、空间格局、生产生活等各个方面统筹规划，加快推进绿色转型。2020年1月11日，中国投资协会联合多家行业组织和机构共同发起《零碳中国倡议》，倡议以“零碳中国，绿色投资，推动中国能源革命，实现中国能源转型”为宗旨，围绕能源及主要耗能产业领域，向社会普及“零碳”理念，把握全球低碳发展新机遇，培育经济发展新动能，以绿色投资为手段，推动零碳项目的落地，探索和开创符合中国国情的绿色、低碳、循环发展道路。以校园、社区、医院、工厂等为代表的能源消费相对集中的场景和区域是打造零碳示范项目、推广零碳技术应用和探索零碳解决方案的重要领域。

校园作为一个特殊的社会机构，具备人口密度大、流动性大、社会影响较大等特殊鲜明的特点。零碳校园的建设是一项复杂的系统工程，需要从能源系统、生态环境、人文景观设计、建筑和空间设计等多个领域统筹规划和建设实施。

基于此，中国投资协会能源投资专业委员会、中国可再生能源学会太阳能建筑专业委员会联合中国建筑设计研究院有限公司、国家住宅与居住环境工程技术研究中心以及华中科技大学、山东建筑大学、湖南大学、大连理工大学、西北工业大学、西安交通大学、浙江大学等多所高校，共同编制《零碳中国·零碳校园》蓝皮书，旨在通过研究我国高校用能情况和碳排放特点等，结合国内外低碳校园建设经验，从能源、建筑、交通等各排放领域提出建设零碳校园的实施路径，并提出零碳校园的评价体系构建思路，供校园管理者、政策制定者、相关产业的从业者和投资者参考和借鉴。

# 执行摘要



# 一、建设零碳校园的意义与目标



## 一、建设零碳校园的意义与目标

零碳校园是指在“双碳目标”的指导下，贯彻可持续发展的战略思想，遵循生态学原理和人与自然协调的原则，通过合理规划设计和建设实施，形成体现校园特色和文化内涵的校园生态系统，旨在把低碳的生活理念深入到当代大学生的思想中去，对我国大学建设低碳校园提供参考，从而将低碳的理念和模式推广至其它高校乃至整个社会。

根据 2019 年教育部公布的最新统计数据，我国高等学校共计 2956 所，预估在校大学生人数超过 3700 万。伴随着高校的建设规模、学生人数及资源消耗急剧增加，我国高校能耗消费开支逐年上升。

2006 年我国教育部印发了《关于建设节约型学校的通知》，文件中提到：高校一定要把节约能源，节约水电放到一个相对重要的位置，建设节约型的高

等教育学校。高等院校建设节约型校园有助于积极构建科学、低碳、高效的资源配置模式，进一步推动生态文明建设。高等院校作为用能大户，自身担负着科技创新和推行可持续发展理念的责任。同时，学校作为能源使用密集型公共单位，零碳校园和低碳课程的建立有利于培养学生低碳消费意识，传播绿色生活理念，推动整个社会的绿色低碳发展。

零碳校园的总体目标是建设零碳智慧校园能源体系，未来校园的零碳智慧能源体系应实现“安全可靠、零碳智慧”两个目标，需具备“零碳能源供应、多能互补协同、能效综合最优、数字全面赋能、跨界模式创新”五大特征，应提升“零碳转型、能源转型、数字化转型”三元转型核心能力，通过“能源流、碳流、信息流与价值流”四流融合推动零碳校园的智慧能源体系建设的发展路径。



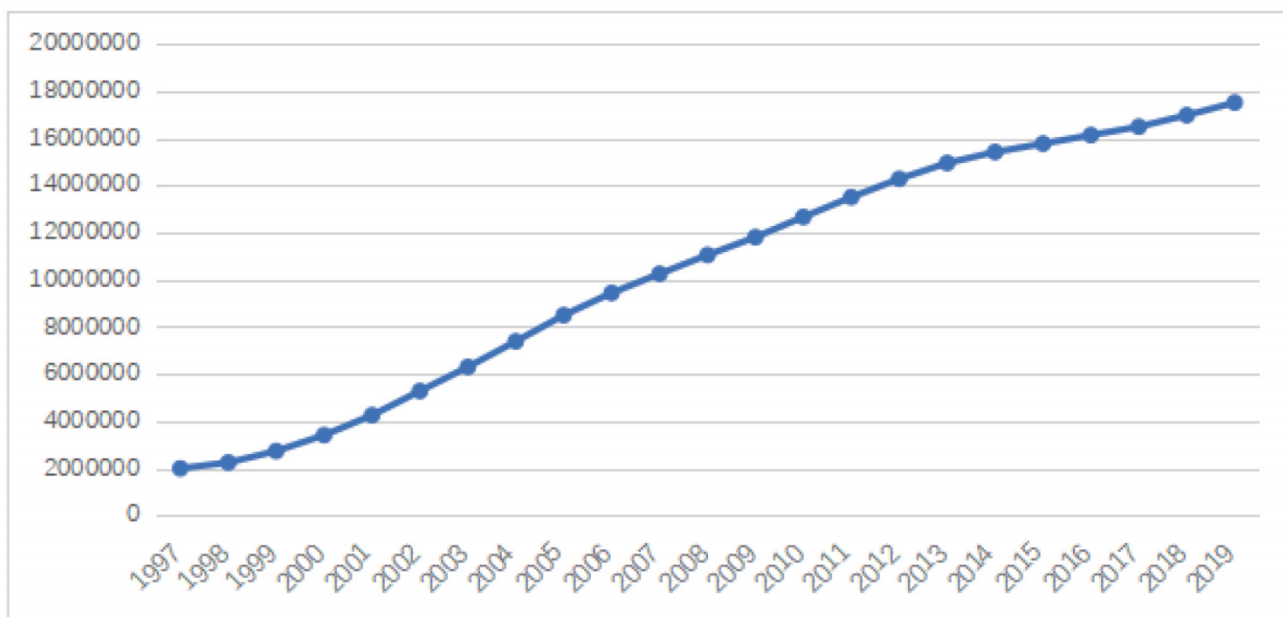
## 二、我国高校校园碳排放现状





图 1

1997年-2019年我国高校本科在校生人数变化趋势图



## 二、我国高校校园碳排放现状

### （一）我国高校校园的发展概况

改革开放以来，我国高等教育事业得到长足发展，高校开始了长达 13 年的扩张过程。我国高校在校人数不断增多（如图 1），我国高校建筑数量与建筑面积快速增长，能源和资源消耗显著增长。高校校园能耗约占社会总能耗的 8%，高校生均能耗指标高于居民人均能耗指标。在 2008 年全国高校人均用能就已是全国人均生活用能的 4 倍。在高校能耗中，建筑能耗占据重要比例。

大学是城市内空间规模较大、人口高密度聚集的区域也是城市中的一个小社会。大学校园是社会活动的重要载体和组成部分，校园低碳化建设是实现社会可持续发展的目标之一。党的十九大报告明确提出“要推进绿色发展，开展创建节约型机关、绿色家庭、绿色学校、绿色社区和绿色出行等行动。”

绿色发展已经成为新时代的必然要求，在教育领域，体现绿色发展理念的途径之一就是绿色学校建设。因此，降低校园建筑能耗，提高能源利用效率，将成为高校节能减排的工作重点。

随着可持续发展、绿色发展等理念的兴起，以及建设节约型社会的迫切要求，我国的许多高校相继开始了绿色大学的建设历程。目前我国高校对于低碳校园的建设大力支持，并积极开展相关工作。

低碳校园建设主要从以下两个方面考虑：校园软环境也就是说校园物质条件以外的诸如政策、文化、制度和思想观念等因素和条件的总和。校园硬环境指由看得见摸得着的校园物质因素构成的环境，其中了解校园内主要用能情况并提出相应减排的手段是我们的当务之急。

## （二）校园主要能耗、碳排放情况及特点

### 1、校园建筑能耗特点

高校校园建筑能耗主要存在以下特点：

- ①由于高校校园建筑面积逐年增加，校园建筑总能耗也呈增长趋势；
- ②由于高校校园规模的增大，校园的科研教学设备种类与规模也逐年增大；
- ③由于高校校园人口密度比较大，教学生活区域也比较集中，故耗电率比全国人均水平高；
- ④由于高校用电特殊性，不同建筑类型的用电强度不同；
- ⑤高校校园建筑耗电量在冬夏季与春秋季节有明显的波动，冬夏季耗电量较大。
- ⑥校园建筑功能多样性。校园不仅有教学楼、实验楼、行政办公楼等公共建筑，也有宿舍楼等居住型的建筑，还存在食堂、浴室、医疗、商店等生活辅助建筑。校园设施的多样性决定了高校用能种类的多样化，以及能耗波动的多样化。

### 2. 水资源使用量和垃圾产生量

我国高校自 1999 年扩招以来，用水量骤增，水资源浪费情况严重。“仅以冲厕和淋浴为例，据估算，全国高校用水量每年至少 1.62 亿吨（含洗、浴、冲厕、炊事等）的排水未加以回收，按全国平均水平降雨水量 800mm、平均校园占地 1500 亩计，全国 1500 所高校所承受的年降雨量约为 1.2 亿吨未加以收集利用，若将雨水和排水两项均加以收集利用，全国高校每年约有 2.82 亿吨的水可供收集利用。”

从不同气候区看，我国高校的生均耗水量呈现出了北方低、南方高的态势。总体上，严寒（寒冷）地区、夏热冬冷和夏热冬暖地区的用水量差距并不大，学生年均耗水量依次分别为 52.1m<sup>3</sup>/人、66.5 m<sup>3</sup>/人和 61.9 m<sup>3</sup>/人，各高校用水量趋于相对稳定的状态。

从高校看其耗水量参差不齐，但基本上多数高校水耗在全国平均水平左右，个别高校耗水量略高，这与各高校所采用不同的节水技术程度有着紧密的联系，也从侧面反映了目前我国多数高校节水措施较为得当。

高校校园内除了那些不可再生能源产生的污染外，就是高校校园日常生活所产生的垃圾以及实验室有害物体产生的污染。由于高校人口相对的集中，一所高校所产生的污染也是不容忽视的。但是，目前我国几乎所有的高校对本身产生的垃圾并未做任何的处理，就连最为简单的垃圾分类处理也基本没有做到，而只是做到了表面上有可以回收利用的垃圾桶，至于在实际行动中是否落实，并没有人深究，也没有专门的机构来管理，而是作为城市垃圾的一部分加以排放。这种情形加剧了全国垃圾污染的严重性，并且浪费了不少的资源和能源。据部分高校垃圾年排放量调查，粗估高校每日垃圾量为 2.5kg/人次，全国高校按 600 万人粗估，每天垃圾排放总量约 15000 吨，每年垃圾排放总量约 450 万吨，其中有机垃圾约 225 万吨。这些垃圾并未被有效利用。



### （三）校园用能管理专门机构及模式

#### 1. 用能管理机构

当前大部分高校均没有对校园建筑节能管理足够重视。校园节能管理通常没有主管机构牵头和主管领导负责，仅仅是后勤集团或水电中心的工作和责任。其他相关行政部积极性不高，难以形成合力。还有少数高校对校园节能有一定重视，成立了两型校园建设领导小组、水电改革小组等机构，但很难真正发挥作用。

#### 2. 校园用能监管平台

校园建筑节能管理是一个涉及到设备采购、建筑运

行、能耗统计、审计及公示、建筑节能改造等各个环节的系统工程，同时也需要合理的组织架构和行之有效的管理制度来保障。基于校园建筑能源监管平台的高校建筑能耗统计是节能管理的基础数据来源，在此基础上进行能源审计，可全面深入分析高校建筑能耗状况，发现问题，挖掘建筑节能潜力。能源统计和审计共同为高校建筑能耗定额管理和能耗公示提供数据支持，为能耗管理制度的制定提供依据。高校用能定额能有效推动校园建筑节能运行管理，并结合有针对性的建筑节能改造工作，从而全面推动校园建筑节能管理工作。



### 三、零碳校园实施路径



### 三、零碳校园实施路径

#### （一）低碳规划策略

近年来，绿色或低碳校园的建设已经逐渐从重视“量”到重视“质”的改变。想要更好的实现高校低碳目标，首要工作就是应该做好科学的系统性规划，需要涵盖校园整体形态设计、结构布局，各项硬件设施建设与管理等诸多方面，而不是多种低碳技术的简单堆叠。根据《绿色校园评价标准》，绿色校园建设包括规划与生态、能源与资源、环境与健康、运行与管理与教育推广五大类。

#### （二）建筑运行碳减排路径

在建筑建造和使用运行的全生命周期内要减少建筑的耗能、节约资源和提高能源使用效率。根据最新的国家标准《绿色校园评价标准》对生态与规划、能源与资源、环境与健康、运行与管理、教育推广等参数的权重分布，建筑的运行与管理项权重占比较少，但相比美国的 LEED 标准和英国的 BEEAM 标准，我国的标准对于建筑系统的运行与管理还是更重视的。这也说明我国越来越强调校园建筑各类技术和措施运行管理的重要性。

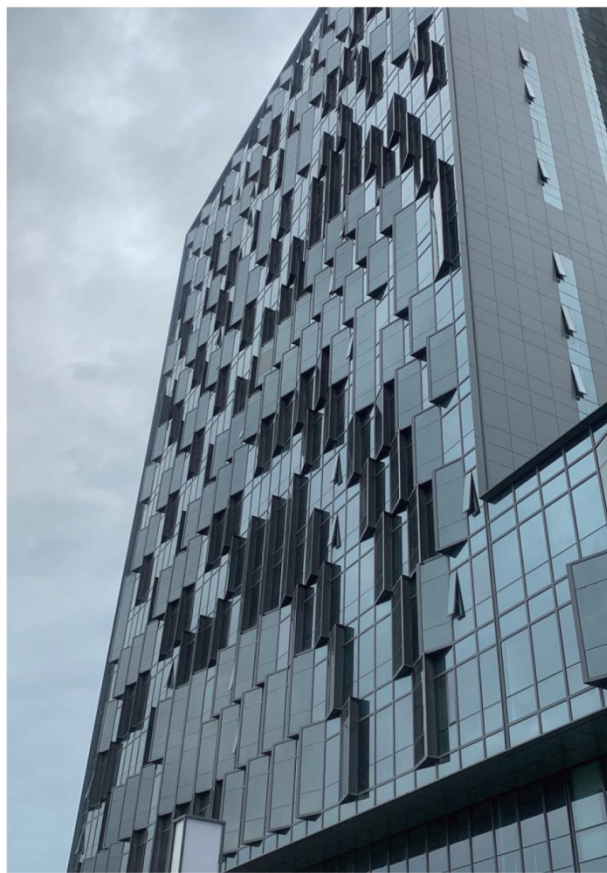
建筑运行中实现更好的减碳就需要对其过时的、低效的各类设备系统进行了不同程度的优化。在用能端有对原有设备的更新改造，有对先进设备的补充引进；在供能端有与区域能源的融合，亦有对可再生能源的整合应用。既考虑产能、输配、供暖、通风、照明等直接工作设备的能效提升优化，又配备精准、高效的监测与控制工具，同时充分利用互联网、物联网等信息技术搭建灵活、便捷的人员服务平台，保障了调试更新工作的实际效果，创造了可观的节能与减排收益。

对于我国高校的整体发展情况而言，设备系统的节能调试与更新已经成为国内众多高校的节能减排主

要建设路径之一。区域能源、热电联产、光伏发电、地源热泵、余热废热回收、高效空调、高效新风、节能照明、分项计量、智能监测与控制、智慧信息服务平台等一系列主流的高能效、低碳排设备系统在高校中的应用已成雨后春笋之势，展现出建设低碳校园在整个社会层面的良好势头。

#### （三）水资源使用减排路径

废水的再生综合利用和节约用水是实现水资源使用减排的主要路径。其中，雨水回收，污水处理，市政管网改造是高校实现水资源碳减排的主要手段。国内外多个高校的案例在水资源减碳上采用的方式相近，但是根据不同高校不同需求在侧重上会有不同。对推进绿色校园实现用水减碳的发展发挥了先锋示范和引领作用。



#### （四）集中供暖减碳路径

学校的教学类建筑和宿舍楼是占比较大的两类建筑，同时也是学生经常出入的场所。教学类建筑白天有学生上课，建筑负荷较大。学生宿舍楼与教学类建筑的使用情况正好相反，晚上的负荷较大。学校类建筑与其它公共建筑的特殊之处还表现在学校有寒暑假，假期间除部分建筑正常使用外，大部分处于闲置状态，负荷相对较小。因此，高校供暖系统由于供暖季外界气候变化较大、学期和寒假供暖需求负荷差别大，不同类型建筑供暖需求不一致等特点，其供暖系统容易出现较大浪费的现象。高校集中供暖减碳的路径主要是通过设备升级、引进先进设备和引入新能源，并利用好高校供暖的周期性、差异性。

#### （五）道路交通减碳路径

高校道路交通减少碳排放主要是采用尽量减少机动车需求，配套良好的公共交通体系，倡导其他便利的交通方式以代替汽车出行，加之对路灯采取节能改造等方式。

#### （六）可再生能源利用

碳减排的目标任务使可再生能源的替代性应用将变得越来越重要。使用风能和太阳能以实现可持续发电将成为趋势。但是不同地区的适应的可再生能源利用技术是不相同的，学校要因地制宜选用适宜技术，尽量达到人们生理需求和节约能源二者之间的平衡。我国大学校园存在能耗居高不下、依赖化石能源、能源浪费严重等问题，且学界在校园建筑节能、可再生能源替代等方面的研究还不够深入，研究水平地域差别大。非常有必要进行全面盘查摸底，建立高校校园建设与维护中学校园建筑能耗数据库，分析高效筑能消耗存在的问题、与绿色低碳校园标准的差距以及可再生能源替代的潜力和发展方向，从而制定切实可行的高校建筑能耗节约及可再生能源替代方案。

#### （七）激励、宣传教育、校园低碳社区

鉴于《联合国环境宣言》自1972年就把重点放在高等教育的可持续性概念上，可持续校园的制定已日益引起国际社会关注。《斯德哥尔摩宣言》、《塔乐礼宣言》、《哈利法克斯宣言》、《大学领袖促进可持续未来协会》和《斯旺西宣言》等都涵盖了校园运营到社区参与的广泛议题，以促进校园可持续发展为目标，世界上有越来越多的大学签署了这些国际宣言，并进行可持续议题的倡导与发展可持续教育，提升在校师生的绿色环保意识。就目前来说，国内很多学校尚未形成一个非常良好的绿色校园生态系统，学生们尚未完全将绿色生活理念践行在日常生活中。在建设中国低碳校园的实践过程中，我们在借鉴国外经验的同时，也需充分考虑当前中国的国情和高校情况，针对自身的实际情况作出适当的调整。对于如何将社会和生态的可持续发展融入到大学的教学和各部门的实际业务中，如何在学校的日常生活中体现可持续性等一系列问题仍然值得我们深思。在强调目标达成的同时，也要注意过程的持续改进，走出一条真正符合中国国情的高校低碳可持续发展之路。



## 四、零碳校园碳排放测算方法





## 四、零碳校园碳排放测算方法

### （一）高校校园用能碳排放核算方法

针对高校校园内有关的碳排放源头，建立高校校园用能碳排放评估框架。高校校园用能的主要碳排放板块包括建筑、交通、水资源、废弃物、道路设施；碳消除板块为绿色空间。

高校校园用能净碳排放量为各板块碳排放总量与碳消除量的差值，计算公式如下：

$$C_{\text{总}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 - B_1$$

式中：

$A_1$ 表示建筑板块碳排放量， $A_1 = a_1 \cdot k_1$ 。a1 表示建筑板块能源消耗量，k1 为建筑运营消耗能源排放因子。

$A_2$ 表示交通板块碳排放量， $A_2 = a_2 \cdot k_2$ 。a2 表示交通板块能源消耗量，k2 为车辆出行消耗能源排放因子。

$A_3$ 表示水资源板块碳排放量， $A_3 = a_3 \cdot k_3$ 。a3 表示给排水过程中能源消耗量，k3 为不同给排水方式排放因子。

$A_4$ 表示废弃物板块碳排放量， $A_4 = a_4 \cdot k_4$ 。a4 表示废弃物处理过程中能源消耗量，k4 为废弃物不同处理方式排放因子。

$A_5$ 表示道路设施板块碳排放量， $A_5 = a_5 \cdot k_5$ 。a5 表示道路设施能源消耗量，k5 为道路设施耗能排放因子。

$B_1$ 表示绿色空间板块碳消除量， $B_1 = b_1 \cdot p_1$ 。b1 表示绿色空间乔木覆盖面积，p1 为乔木碳消除因子。



## 1. 建筑板块

建筑板块碳排放评估包括建筑面积、单位面积能耗、能源类型与占比以及能源碳排放因子四个指标：

**建筑面积：**建筑面积信息获取途径有两种，其一是基于学校规划设计文本与图则说明的地块面积、容积率、用地与建筑分类等相关信息，进而计算各用地类型建筑面积。高校校园存在多种建筑类型，需根据不同类型进行分类统计，进而获得各用地类型的建筑面积。其二，是通过调研获取建筑基底与建筑高度信息，进而获取不同类型建筑面积。

**单位面积能耗：**单位面积能耗数据视不同建筑而定，若建筑有节能设计方案，各建筑类型的单位面积能耗按照节能设计要求进行评估；若建筑没有建筑节能设计方案，单位面积能耗按照地方同类型建筑能耗统计的平均值进行评估或者参考已经发表的文献与建筑能耗研究报告。

**能源类型与占比：**单位面积能耗反映的是消费端的总能源消耗，为准确计算建筑运营的碳排放量，需要掌握建筑运营阶段不同能源结构类型与占比分配，以便确定不同能源类型的碳排放因子，进而计算碳排放总量。建筑能源结构类型与占比确定方案：

若建筑存在节能设计方案，按照方案进行确定；若无建筑节能设计方案，参考地方同类型建筑运营阶段能源消耗调研结果进行确定。按照相同比例确定用电耗能、燃气耗能、制冷能耗、采暖能耗，进而确定各类能源消费量。

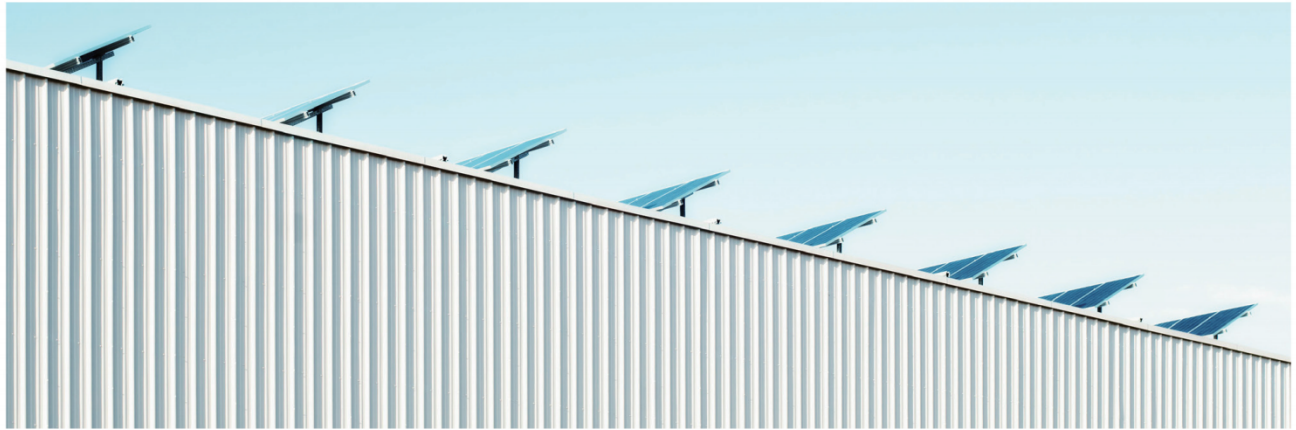
**能源排放因子：**基于能源结构类型结果，确定不同能源的碳排放因子。电力碳排放因子采用国家电网相关地区最新发布公示的碳排放因子，进而计算用电耗能的碳排放量。燃气、热力的消耗，可参考省级温室气体清单排放指南进行确定，若无法确定其相应的碳排放因子可折算为标煤碳排放因子进行计算，标煤碳排放因子参考值依据国家发改委能源研究所进行确认。校园建筑板块碳排放量依据建筑面积、单位面积能耗、能源类型与占比进行计算。

校园建筑碳排放评估包括民用建筑与公共建筑两种类型。民用建筑包括居住建筑、集体宿舍等。公共建筑包括办公建筑、教学建筑、医疗设施、食堂、体育馆等建筑类型，采用分类型能耗、碳排放因子的方法进行评估。建筑运营阶段的碳排放量评估方法与流程见图 2。

图 2

绿地空间碳消除评估流程





## 2. 交通板块

交通板块碳排放评估包括道路长度、单位出行距离能耗、车流频率以及能源碳排放因子四个指标：

**道路长度：**道路长度是决定交通碳排放的重要因素之一，道路长度数据信息获取有两种方式，其一是根据学校控制性详细规划设计文本与图则说明的道路长度信息进行确定；其二是根据商业地图进行调研获取校园内道路长度信息。

**单位出行距离能耗：**单位出行距离能耗视不同车辆类型而定，小汽车、校车、电动车等不同类型其耗能方式不同，故每种类型车辆的单位出行距离能耗亦不相同。单位出行距离能耗数值依据公开发表文献进行确定。

**车流频率：**此指标指的是校园道路上不同类型车辆的单位时间出行频次，指标值通过实地调研进行获取，通过多次调研取平均值来确定指标的准确性与可靠度。

**碳排放因子：**基于不同耗能方式车辆确定不同的能源排放因子。电力碳排放因子采用国家电网相关地区最新发布公示的碳排放因子，进而计算用电耗能的碳排放量。单位出行距离耗油量依据文献参考值进行确定，进而计算耗油小汽车碳排放。

碳排放量依据道路长度、单位出行距离能耗、车流频率与能源排放因子进行计算，评估方法与流程见图 3。

图 3

交通板块碳排放评估流程



### 3. 水资源板块

水资源板块碳排放评估包括居住建筑用水量与公共建筑用水量两个方面。居住建筑用水量通过居住人口数与人均综合用水量进行测算；公共建筑用水量通过不同类型用地面积和单位面积用水量进行测算。除此之外，评估指标还包括给水排放因子与排水排放因子两个指标：

**居住人口数：**校园内居住人口数包括教职工公寓以及学生集体宿舍两方面，集体宿舍居住人口数通过部门调研进行获取，教职工公寓居住人口数通过抽样调查进行获取。

**人均综合用水量：**人均综合用水量通过相关规范、标准参考值进行确定。

**不同类型用地面积：**基于学校规划设计文本与图则说明的地块面积与用地等相关信息，进而计算各用地类型用地面积。高校校园存在多种建筑类型，需根据不同类型进行分类统计，进而获得各用地类型的面积。

**单位面积用水量：**单位面积用水量通过相关规范、标准参考值进行确定。



**给排水碳排放因子：**自来水供应排放因子、中水供应排放因子、污水排放因子参考值参考相关文献、标准等进行确定。

**污水处理量：**通过相关文献、标准中的污水处理系数进行确定。

校园水资源板块碳排放量依据居住建筑用水量、公共建筑用水量、给水排放因子、排水排放因子进行计算，其评估包括评估包括自来水给水、市政中水给水与污水处理三种给排水处理方式。采用分类型建筑、不同给排水方式碳排放因子的方法进行评估。评估方法与流程见图 4。

图 4

水资源板块碳排放评估流程



#### 4. 废弃物板块

废弃物板块碳排放评估包括校园总人口数、人均生活垃圾产量与不同处理方式三个指标进行测算。除此之外，评估指标还包括给水排放因子与排水排放因子两个指标：

校园总人口数：此指标包括校园居住人口数与就业人口数两个指标。居住人口数包括集体宿舍住宿学生、教师公寓住宿人群等，就业人口数包括在学校就业的行政人员、教师、后勤人员等。居住人口数指标值与就业人口数指标值通过部门调研进行获取。

人均生活垃圾产量：此指标通过相关规划文件进行整理计算获取，或者通过相关文献参考值进行获取。

不同处理方式碳排放因子：生活垃圾处理方式包括以下四种：标准卫生填埋、垃圾焚烧、焚烧发电、生物堆肥四个方面。每种处理方式对应不同的碳排放因子，碳排放因子指标参考值来源于部门调研、相关文献等。

碳排放量依据校园人口总数、人均生活垃圾量、废弃物不同处理方式排放因子进行计算。评估方法与流程见图 5。

图 5  
废弃物碳排放评估流程



#### 5. 道路设施板块

道路设施板块主要考虑道路照明与指示信号灯两个方面，包括道路长度和等级、设备布置密度、设备功率、能源排放因子四个指标：

道路长度和等级：此指标可通过两种方式进行获取，其一基于学校规划设计文本与图则说明的道路等相关信息，进而计算不同等级道路长度。其二，通过实地调研获取校园内不同等级道路长度。

设备布置密度：此指标的评估目标是获取道路两侧路灯与指示信号灯的数量。通过校园规划设计文本与图则说明可以获取不同等级道路设备布置密度指标值，除此之外还可以根据实地调研获取不同等级道路上路灯与信号指示灯的设备布置密度。

设备功率：此指标可通过校园相关部门获取，或者基于校园规划设计文本与图则说明可以获取不同等级道路设备功率指标值。此指标的评估目标是获取不同等级道路上照明设施与指示信号灯的能源消耗量。

能源排放因子：基于能源结构类型结果，确定不同能源的碳排放因子。电力碳排放因子采用国家电网相关地区最新发布公示的碳排放因子，进而计算用电耗能的碳排放量。

碳排放量依据校园道路长度与等级、设备布置密度、设备功率、能源排放因子进行计算。评估方法与流程见图 6。

图 6  
道路设施碳排放评估流程





## 6. 绿色空间板块

绿色空间通过绿地中的乔木覆盖率衡量绿地空间中的碳清除量，绿色空间中的乔木等植被的碳清除量大于碳排放量时，即具备固碳能力，称为碳清除。绿色空间板块碳清除主要包括各类绿地空间面积、各类绿地空间乔木覆盖率与碳清除因子三个指标：  
 各类绿地空间面积：此指标通过校园规划设计文本与图则说明的用地面积等相关信息，进而计算各类绿地空间面积。

各类绿地空间乔木覆盖率：此指标的评估目标是获取乔木覆盖面积，乔木覆盖率大小通过校园规划设

计文本进行确定或者通过相关部门调研进行确定。

碳清除因子：乔木碳清除因子通过相关文献、部门调研等相关指标值进行确定。

碳消除量依据绿地空间面积、不同绿地植乔率、绿地碳清除因子进行计算。评估方法与流程见图。

图 7

绿地空间碳清除评估流程



## （二）零碳校园现有相关标准分析

国内外的绿色校园评价标准、绿色建筑评价标准等相关标准对零碳校园建设具有借鉴意义。除此之外，国外高校绿色校园规划可为我国零碳校园建设提供指导作用。中国绿色校园评价标准、美国 LEED-ND 评估体系、英国 Breeam 评价体系的二级指标与碳排放二级指标存在相关关系，可通过三个评价标准中的二级指标对碳排放二级指标进行管控。

绿色校园评价标准中：

能源与资源板块中新建建筑设计能耗、改造方案设计能耗、设备实施能效优化三个指标会影响建筑的单位面积能耗；规划与生态与道路长度有相关关系，规划与生态大类中的机动车停车场影响道路长度，公共交通网络影响不同出行方式频率；能源与资源板块与人均用水量有相关关系，能源与资源板块中人均用水量影响人均用水量。运行与管理板块与人均生活垃圾产量有相关关系。

美国 LEED-ND 评估体系中

“绿色基础设施与建筑”指标与单位面积能耗有相关关系，绿色基础设施与建筑大类中的最低建筑能耗要求、建筑耗能效率两个二级指标会影响建筑的单位面积能耗。“最低建筑能耗要求”是先决条件指标之一，“建筑耗能效率”是核心指标之一。社区空间设计指标与不同出行方式频率有相关关系，社区空间设计大类中的路网形式、公共交通设施、私家车交通需求量管理、适合步行的街道四个指标会影响不同出行方式频率。“适宜步行的街道”是先决条件指标之一，亦是核心指标之一。绿色基础设施与建筑指标与单位面积用水量以及人均用水量有相关关系，绿色基础设施与建筑大类中的最低建

筑水耗要求、建筑用水效率和污水管理与单位面积用水量、人均用水量存在相关关系。“最低建筑水耗要求”是先决条件指标之一，“雨水管理”是核心指标之一，“建筑用水效率”、“污水管理”是两个评分项指标。绿色基础设施与建筑指标与人均生活垃圾产生量有相关关系，绿色基础设施与建筑大类中的固体垃圾管理与人均生活垃圾量存在相关关系。“固体垃圾管理”是评分项指标之一。社区空间设计与道路长度和等级有相关关系，社区空间设计大类中的路网形式影响道路长度和等级。



英国 Breeam 评价体系中：

能源指标与单位面积能耗有相关关系，能源大类中的 CO2 减排、节能电器、低碳技术三个二级指标会影响建筑的单位面积能耗。“CO2 减排”评价目的是为了计算能量耗能比率，“节能电器”评价目的是计算电器设备耗能，“低碳技术”主要包括可再生能源、分布式热电联产、废热利用、免费供冷等。交通指标与不同出行方式频率有相关关系，交通大类中的公共交通、机动车停车位、出行规划三个指标会影响不同出行方式频率。

“公共交通”采用的可达性指标，既考虑了公交站点的距离远近，又考虑了公交路线数量和发车频率。“机动车停车位”是通过设置车位数量上限来限制私家车出行。

“出行规划”则包括从设施和行为两方面增加出行方式选择，减少对私家车出行的依赖，例如人行道的位位置、路灯和景致，大厅内公布的交通信息等。水指标与单位面积用水量以及人均用水量有相关关

系，水大类中的用水量与单位面积用水量存在相关关系，用水计量、节水灌溉与人均用水量有相关关系。

“用水量”主要是从节水器具和非传统水源利用两方面降低市政自来水用量，“用水计量”通过对生活用水的监测减少用水量，“节水灌溉”通过节水设备实现灌溉用水量。废弃物指标与人均生活垃圾产量有相关关系，废弃物大类中的生活垃圾处理、废弃物回收利用与人均生活垃圾量存在相关关系。

“生活垃圾处理”包括生活垃圾的源头减量、清扫、分类收集、储存、运输、处理、处置及相关管理活动。“废弃物回收利用”将废弃物进行回收利用，减少垃圾产量。能源指标、污染指标与设备功率有相关关系，能源大类中的室外照明。“室外照明”设备不同会影响设备功率，进而影响能耗大小。





中国投资协会能源投资专业委员会、中国可再生能源学会太阳能建筑专委会、国家住宅与居住环境工程技术研究中心版权所有