



T / CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

体育建筑低碳技术规程

Low-Carbon Design Standard for Sports Building

(征求意见稿)

XXXX出版社

中国工程建设标准化协会标准

体育建筑低碳技术规程

Standard for Low-Carbon Technology of Sports Building

(征求意见稿)

T/CECS XXX—202X

主编单位： 同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司
北京北建大建筑设计研究院有限公司

批准单位： 中国工程建设标准化协会

施行日期： XXXX 年 x 月 x 日

XXXX 出版社

202X 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2022〕040号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分11章，主要内容包括：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.低碳策划；5.规划设计；6.建筑设计；7.结构设计；8.机电设计；9.施工管理；10.运维后评估；11.信息化模型应用。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会建筑设计分会归口管理，由同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司（地址：上海市四平路1230号，邮编：200092，邮箱：XXXXXXXXXX）。

主 编 单 位： 同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司
北京北建大建筑设计研究院有限公司

参 编 单 位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

前 言	3
1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	4
4 低碳策划	5
4.1 一般规定	5
4.2 建筑环境评估	7
4.3 能源供给评估	9
4.4 建筑耗能评估	11
4.5 新技术及新材料的应用评估	13
4.6 综合效益评估	15
5 规划设计	17
5.1 一般规定	17
5.2 交通设计	17
5.3 绿化与场地设计	20
5.4 管线综合	21
6 建筑设计	22
6.1 一般规定	22
6.2 围护结构热工性能	22
6.3 室内外风环境	24
6.4 室内光环境	25
6.5 低碳建筑材料	26
7 结构设计	28
7.1 一般规定	28
7.2 结构体系选型	28
7.3 低碳结构材料	30
7.4 细部设计	30
8 机电设计	32
8.1 一般规定	32
8.2 通风及空调设计	32
8.3 给排水设计	33
8.4 电气设计	34

9	施工管理.....	37
9.1	施工方案设计.....	37
9.2	施工过程管理.....	38
9.3	施工废弃物管理.....	40
10	运维后评估.....	42
10.1	一般规定.....	42
10.2	运维数据监测.....	43
10.3	评估及优化.....	44
10.4	废弃物管理.....	47
11	信息化模型应用.....	49
11.1	模型信息.....	49
11.2	模型利用.....	51
	用词说明.....	53
	引用标准名录.....	54
	附：条文说明	

Contents

1	General provisions	1
2	Terms.....	2
3	Basic requirements	4
4	Low-Carbon planning	5
4.1	General requirements	5
4.2	Building Environmental Assessment	7
4.3	Energy Supply Assessment	9
4.4	Building Energy Consumption Assessment.....	11
4.5	Application of New Technologies and Materials.....	13
4.6	Comprehensive Benefit Balance	15
5	Urban Planning and Design	17
5.1	General requirements	17
5.2	Transportation Design	17
5.3	Landscape and Site Design	20
5.4	Outdoor Utility Integration	20
6	Architectural Design	22
6.1	General requirements	22
6.2	Thermal Performance of Building Envelope	22
6.3	Indoor and Outdoor Wind Environment	24
6.4	Natural Daylighting.....	25
6.5	Low-Carbon Building Materials	26
7	Structural Design.....	28
7.1	General requirements	28
7.2	Selection of Structural Systems	28
7.3	Low-Carbon Structural Materials	30
7.4	Detail Design.....	30
8	MEP Design	31
8.1	General requirements	31
8.2	HVAC Design	31
8.3	PLUM Design	32
8.4	EIEC & COMM Design	33
9	Construction Management	36
9.1	Construction Plan Design.....	36
9.2	Construction Process Management	37
9.3	Construction Waste Management	39
10	Operation and Maintenance Post-Assessment	41

10.1	General requirements	41
10.2	Operation and Maintenance Data Monitoring.....	42
10.3	Assessment and Optimization	43
10.4	Waste Management	46
11	Application of BIM Models	48
11.1	Model Information	48
11.2	Model Utilization	50
	Explannation of wording in this standard	52
	List of quoted standards	53
	Addition: Explanation of provisions	53

1 总 则

1.0.1 为贯彻落实绿色低碳发展理念，推进体育建筑低碳发展，规范体育建筑低碳技术要求，提高能源利用效率，降低能源消耗，推动可再生能源利用，减少建筑碳排放，规范相关的技术要求，制定本规程。

1.0.2 体育建筑的低碳设计、施工及运行应满足安全、环境保护和资源节约的要求，并应充分考虑使用者的舒适度和健康需求，做到以人为本、技术成熟、经济适用。

1.0.3 本标准适用于新建、改建、扩建的体育建筑低碳技术应用。

1.0.4 体育建筑低碳技术要求除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准协会有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 低碳建筑 low carbon building

适应气候特征与场地条件，在满足室内环境参数的基础上，通过优化建筑设计降低建筑用能需求，提高能源设备与系统效率，充分利用可再生能源和建筑蓄能的建筑。

2.0.2 建筑建筑碳排放 building carbon emission

建筑物在与其有关的建材生产及运输、建造、建筑运行、维护及拆除等阶段产生的温室气体排放的总和，可分为建筑隐含碳排放和运行碳，以二氧化碳当量表示。

2.0.3 建筑隐含建筑碳排放 building embodied carbon emission

在建筑全寿命期内，与建材生产、运输、建造、维护以及拆除等相关的温室气体排放的总和，以二氧化碳当量表示。

2.0.4 建筑运行建筑碳排放 building in-use carbon emission

建筑运行阶段使用能源产生的建筑碳排放，包括直接消耗化石能源产生的直接排放和外购电力、热力产生的间接排放，以二氧化碳当量表示。

2.0.5 建筑碳排放因子 carbon emission factor

表征各种能源、资源消耗与温室气体排放的关系，用二氧化碳当量与相关的活动单位表示。

2.0.6 光储直柔 photovoltaics, energy storage, direct current and flexibility

配置建筑光伏和建筑储能，采用直流配电系统，且用电设备具备功率主动响应功能的新型建筑能源系统。

2.0.7 光伏建筑一体化 building integrated photovoltaic (BIPV)

光伏发电设备作为建筑材料或构件，在建筑上应用的形式，也称“建筑集成光伏发电系统”。

2.0.8 固碳建材 carbon curing building material

在生长、制造或使用过程中，能够吸附并固化二氧化碳的建筑材料。

2.0.9 可再生能源替代率 renewable energy replacement rate

建筑使用自身或项目周边可再生能源占建筑全部能源用量的比例。

2.0.10 绿容率 green volume ratio

场地内各类植被叶面积总量与场地面积的比值，亦称为绿量容积率。

2.0.11 碳抵消 carbon offset

用于减少温室气体排放源和增加温室气体吸收，用来实现补偿或抵消其他排放源产生温室气体排放的活动。建筑或区域碳抵消可通过绿色电力交易、建筑碳排放权交易等非技术措施实现。

2.0.12 年径流总量控制率 **volume capture ratio of annual rainfall**

规划范围内通过自然和人工强化的渗透、滞蓄、净化等方式控制的雨水量占多年平均降雨量的百分比。

2.0.13 空间采光自主率 **Spatial Daylight Autonomy**

指在分析区域内，满足最低照度要求的时间超过指定占用时间（例如50%）的面积所占的百分比（sDA_{300/50%}）。

2.0.14 绿色出行分担率 **Spatial Daylight Autonomy**

使用公共交通（轨道交通、公共汽车）、自行车（包括电动自行车）和步行等绿色交通方式到达体育建筑的观众及工作人员总数占到达场馆的观众及工作人员总数的比例。

3 基本规定

3.0.1 体育建筑的低碳技术应根据所在地区、建筑位置、交通条件、气候、可再生能源条件、项目特点、建筑性质、建筑材料供应条件、施工条件、服务对象、使用要求及管理方式等合理确定低碳技术的选择及应用方式。

3.0.2 体育建筑的低碳技术应用应结合周边环境、能源供给、建筑耗能以及预测的建筑使用情况、人员数量等因素进行低碳策划。

3.0.3 设计阶段应结合采用的低碳技术、低碳材料等进行系统的建筑碳排放计算。

3.0.4 施工阶段应制定专项的低碳施工方案，加强施工过程管理及施工废弃物处理。

3.0.5 运行阶段应结合运行数据进行使用后评估，并采取建筑诊断等方式，进行能源系统及设备调试、优化。

4 低碳策划

4.1 一般规定

4.1.1 应确保低碳策划与国家及地方的各项规划法规紧密衔接。

【条文解释】设计方案应严格遵守并深化落实上位法定规划及相关专项规划中提出的绿色发展要求，如城市总体规划、区域能源规划、绿色建筑行动方案等。对于位于低碳示范区或有特殊政策要求的项目，更需严格执行相关规定。

4.1.2 应在项目设计开始之前明确具体的低碳目标和指标。结合项目实际情况，制定可量化的低碳发展规划或计划。包括确定项目拟达成的绿色建筑等级、单位面积建筑碳排放限值、可再生能源利用比例等关键绩效指标，并以此指导后续所有设计决策。应符合下列要求：

- 1 不低于绿色建筑二星；
- 2 单位面积年建筑碳排放限值较基准值下调 15%；
- 3 新建大型体育建筑可再生能源替代率 $\geq 50\%$ ，改建项目 $\geq 35\%$ ；
- 4 赛时人均小时建筑碳排放量 $\leq 0.8\text{kgCO}_2\text{e}$ ；
- 5 预算增长控制在 0%-5%。

4.1.3 应进行全生命周期策划。应全面评估从原材料采购、建材生产与运输、施工建造、运行维护直至拆除回收的全过程中的建筑碳排放和环境影响。

【条文解释】设计不仅要关注眼前的建造成本和初期的运营能耗，更要考虑长期的维护成本、建筑寿命以及最终的资源化利用。这种贯穿始终的考量是实现建筑领域深度脱碳的关键。

4.1.4 应在项目策划阶段明确建筑碳排放核算的范围和边界。应包含下列内容：

- 1 建筑隐含碳排放核算需包含建材生产（A1-A3）、运输（A4）、施工（A5）阶段，并优先采用 EPD 数据；
- 2 运行碳核算需区分赛时与非赛时模式，采用动态建筑碳排放因子。

【条文解释】清晰界定建筑碳排放的计算阶段（如建材生产运输、施工、运行、拆除）和领域范畴（如直接建筑碳排放、间接建筑碳排放）是后续进行准确碳评估和有效减碳的基础。例如，是否包含观众交通建筑碳排放、建材隐含碳排放的计算方法等，均需在早期明确。

4.1.5 应将“被动优先、主动优化”作为核心技术原则。

【条文解释】在进行建筑方案设计时，应首先通过合理的建筑布局、朝向、体型、围护结构设计以及自然采光、自然通风等被动式技术手段，最大限度地降

低建筑本体的能源需求。在此基础上，再通过高效的主动式系统（如空调、照明）进行优化补充，从而实现能源利用效率的最大化。这一原则的贯彻，是从源头上减少建筑碳排放的根本途径，在设计的最初阶段将环境因素置于核心地位，使建筑形态与构造本身具备优良的环境调节能力，而非仅仅依赖后续的技术设备来弥补设计的不足。

4.1.6 应开展针对体育建筑特点的低碳策略专项前期研究与可行性论证。

【条文解释】体育建筑功能复杂、体量巨大、人流量集中，其低碳策略有其特殊性。设计人员需在策划阶段就识别出主要的建筑碳排放源，研究适用于项目类型、规模和地域气候特点的低碳技术路径和解决方案，评估其技术经济可行性。

4.1.7 应充分考虑体育建筑非赛时运营和功能转换需求，确保设计的韧性。

【条文解释】大型体育赛事建筑往往投入巨大，赛后的可持续利用是其生命周期价值的关键。设计人员应在策划阶段就预设多种运营模式，设计易于改造和功能转换的空间与设施，以满足不同时期、不同规模的活动需求，延长建筑的使用寿命，避免闲置浪费。

4.1.8 应确保设计在实现低碳目标的同时，提升使用者的舒适度、健康和安全。

【条文解释】低碳建筑不应以牺牲人的体验为代价。应关注室内空气质量、光环境、声环境、热湿环境以及无障碍设计等，创造健康、舒适、便捷的体育运动和观赛环境。

4.1.9 应优先使用本地化、本土化的建材和资源。

【条文解释】在满足性能要求的前提下，选用当地生产的建筑材料，利用当地的气候资源和可再生能源，不仅可以减少材料运输过程中的建筑碳排放，支持地方经济，还能使建筑更好地融入地域文化与生态环境。

4.1.10 应在策划阶段遵循减量化、再利用、资源化的原则。

【条文解释】这不仅包括施工阶段的废弃物管理，更重要的是在设计阶段就考虑材料的优化使用，减少不必要的装饰和浪费，并为建筑构件未来的再利用和回收创造条件。这种“为拆解而设计”的思路，是建筑迈向循环经济的关键一步，要求设计师在选择材料和构造节点时，就预想到建筑拆除时的情景，选择易于分离、易于回收或可生物降解的材料，采用便于拆卸的连接方式，从而将建筑从“消耗品”转变为未来的“材料库”。

4.1.11 应进行全专业一体化设计。

【条文解释】低碳设计是一个复杂的系统工程，涉及建筑、结构、暖通、电气、景观、经济等多个专业。只有通过早期介入和深度融合的协同工作模式，才能

统筹多维度要素，避免设计冲突，发掘创新的低碳解决方案。例如，体育建筑的屋顶设计，其形态不仅影响建筑美学，更直接关系到结构效率、自然采光效果、太阳能板的铺设潜力以及自然通风的组织，这些都需要各专业从一开始就共同参与决策。

4.1.12 应编制专项低碳设计策划文件或低碳专篇。

【条文解释】该文件应系统记录项目的低碳目标、技术路径、主要措施、责任分工以及预期的碳减排效益，作为整个项目设计、施工、运营阶段的指导性文件和评价依据。

4.1.13 既有体育建筑改造，应进行建筑现状建筑碳排放评估和改造潜力分析。

4.1.14 应对初期投资、运营成本、回收期等方面进行低碳策划的经济性评估。

4.2 建筑环境评估

4.2.1 应进行详尽的场地地质条件调查与评估。

【条文解释】需查明场地的地质构造、岩土特性、水文地质条件，并特别关注是否存在滑坡、泥石流、地面沉降、断裂带等地质灾害风险。对于体育建筑，其结构安全和地基稳定性至关重要，应确保场地选择和工程设计能够有效规避或抵御这些风险。

4.2.2 应对场地土壤和地下水环境质量进行评估。

【条文解释】尤其当场地曾为工业用地、垃圾填埋场或存在其他潜在污染源时，应进行土壤化学污染检测和地下水水质分析，评估其对人体健康和生态环境的潜在危害，并制定必要的修复或隔离措施。

4.2.3 应进行用地微气候分析。需收集和分析场地在不同季节的太阳辐射、日照时数、主导风向与风速、气温、湿度等数据。

【条文解释】。这些数据是进行建筑被动式设计（如自然通风、天然采光、建筑遮阳）的基础。例如，通过风环境模拟，可以优化建筑群的布局以形成有效的通风廊道，或避免在重要活动区域产生不舒适的强风或涡流。

4.2.4 应对场地及其周边的声环境进行评估。

【条文解释】识别主要的噪声源（如交通干道、商业活动、设备运行等），分析其对体育建筑内外的影响。设计中应合理布局功能区，选用低噪声设备，并采用隔声、吸声、消声等技术措施，确保建筑内部达到各项体育赛事和活动对声环境的要求，同时避免建筑自身活动对周边环境造成噪声干扰。

4.2.5 应进行场地水文条件评估与雨洪管理规划。

【条文解释】调查地表径流模式、汇水区域、排水系统现状以及潜在的内涝风险。设计应结合海绵城市理念，优先采用绿色雨水基础设施，如透水铺装、下

凹式绿地、雨水花园、植草沟、调蓄水体等，实现雨水的滞留、渗透、净化和再利用，有效控制场地雨水径流总量和峰值流量。

4.2.6 应开展场地生态背景调查与生物多样性评估。

【条文解释】识别场地内原有的植被类型、动物栖息地、古树名木以及重要的生态敏感区。设计应以最小化生态扰动为原则，保护和恢复有价值的生境，合理选择乡土植物进行绿化，并考虑构建生态廊道，提升场地的整体生态价值。体育建筑的景观设计不应仅追求视觉效果，更应承担生态修复和生境营造的责任。

4.2.7 应评估场地与城市公共交通系统的衔接便利性。

【条文解释】体育建筑作为重要的公共设施，其可达性直接影响观众的出行方式和交通建筑碳排放。设计人员应分析场地周边的公交线路、站点、轨道交通接驳条件以及步行和自行车系统的完善程度，并在总图设计中优先保障绿色交通的便捷性和安全性。

4.2.8 应评估场地热岛效应的潜在风险并采取缓解措施。

【条文解释】为了保证瞬时的大量人流疏散和避险，体育建筑周边通常设置有大面积的硬质铺装，同时，深色屋面和外墙、大空间的空调室外机散热等都可能加剧城市热岛效应。设计应通过增加绿化覆盖率、采用高反射率材料、设置水体、优化场地通风等手段，降低场地及其周边的环境温度。

4.2.9 应进行场地土石方工程的平衡与优化设计。

【条文解释】在满足功能和安全的前提下，应最大限度地减少土方开挖和回填量，力求场内土方平衡，避免或减少余土外运和客土回填。对于场地内的表层土，应进行剥离和保护，并优先用于场地绿化和景观塑造，减少运输能耗和建筑碳排放，也保护土壤资源。

4.2.10 应运用数字化模拟工具辅助建筑环境评估与设计优化。

【条文解释】利用专业的建筑物理模拟软件（如 CFD 进行风环境模拟，日照分析软件进行光环境模拟，能耗模拟软件进行热环境分析等），对不同的设计方案进行多维度、可视化的性能预测和比较，从而指导建筑朝向、体量、开窗、遮阳、景观配置等的优化，确保评估结果能够有效地转化为具体的设计策略。

4.2.11 应将建筑环境评估的范围扩展至场地红线以外，分析项目对周边区域的综合影响。

【条文解释】大型体育建筑的建设和运营，可能会对邻近社区的日照、通风、交通、景观等方面产生影响。设计人员有责任识别这些潜在的外部性影响，并通过合理的设计予以规避或补偿，例如，优化建筑高度和布局以减少对周边住宅的日照遮挡，设置绿化缓冲带以降低视觉和噪声影响等。这种超越地块边界

的整体考量，体现了设计的社会责任感，有助于实现体育建筑与城市环境的和谐共生。

4.2.12 应按照表 4.2.13 的要求建立场地环境评估清单。

【条文解释】对各项评估结果进行综合权衡，寻求多目标协同优化的解决方案，实现场地环境效益的最大化。

表 4.2.13 场地环境评估清单

评估领域	关键评估参数	设计应执行的任务
地质安全	场地稳定性、地质灾害风险（滑坡、泥石流、地震等）	进行工程地质勘察，评估地质灾害风险，采取规避或防治措施。
土壤与地下水环境	污染物类型与浓度、环境风险	对疑似污染场地进行土壤及地下水检测与评估，必要时进行修复。
微气候-太阳辐射与光照	日照时数、太阳辐射强度、阴影分布	分析场地日照条件，模拟太阳轨迹，优化建筑布局与开窗，控制眩光。
微气候-风环境	主导风向、风速、风压分布、涡流区	进行风环境模拟分析，优化建筑布局与形态，组织自然通风，避免不利风环境。
微气候-热环境	气温、湿度、热岛效应	分析场地热环境特征，评估热岛风险，采取降温增湿措施（绿化、水体、高反射材料）。
声环境	背景噪声级、主要噪声源、噪声传播特性	进行场地声环境调查与评估，合理布局噪声敏感区，采取隔声降噪措施。
水文与雨洪管理	地表径流、排水系统、内涝风险、地下水位	评估场地水文条件，规划雨水径流组织，设计绿色雨水基础设施。
生态环境与生物多样性	植被、动物栖息地、生态敏感区	进行生态现状调查与评估，保护现有生态资源，采取生态补偿与提升措施。
交通可达性	公共交通覆盖、步行与自行车系统	评估与城市交通系统的接驳条件，优化内外交通组织，鼓励绿色出行。
土石方平衡	地形地貌、土方开挖与回填量	测算土石方量，制定减量化和综合利用方案，力求场内平衡，保护表土。
周边环境影响	对邻近建筑的日照、通风、视觉等影响	评估项目对周边环境的潜在影响，采取缓解措施，促进和谐共融。

4.3 能源供给评估

4.3.1 应对项目所在地可获取的各类可再生能源资源进行全面普查与潜力评估。

【条文解释】能源供给是体育建筑建筑碳排放的关键环节，对其进行科学评估

和优化配置，是实现低碳目标的核心任务。设计应全面审视各类能源的供应潜力、效率、碳强度及经济性，优先利用可再生能源，并结合建筑的实际需求，制定安全、可靠、经济、低碳的综合能源解决方案。

可再生能源需要系统调研当地的太阳能（光伏发电和光热利用的辐照条件）、浅层及中深层地热能（地质条件、地温梯度、岩土热物性）、风能（风速、风能密度、可利用场地）、生物质能（资源种类、数量及可持续供应能力）等资源的禀赋情况。

4.3.2 应对各种可再生能源技术的适用性、技术经济性及减碳效益进行综合评估。

【条文解释】在资源潜力评估的基础上，设计需结合体育建筑的特点（如大面积屋顶、开阔场地、能源需求特性等），分析不同可再生能源系统（如光伏阵列、太阳能集热器、地源热泵、风力发电机等）的技术成熟度、初投资、运行维护成本、能量转换效率、预期发电、供热量以及全生命周期的碳减排贡献。

4.3.3 应优先最大化利用场地内及周边的可再生能源。

【条文解释】设计应以尽可能高的比例利用可再生能源满足建筑的电力、供暖、制冷和热水需求，特别是对于新建建筑，应力争实现可再生能源利用的普及化。例如，大型体育建筑的屋顶和停车场顶棚是部署光伏发电系统的理想场所。

4.3.4 应针对地源热泵系统、太阳能光伏发电系统、太阳能光热系统的应用进行专项场地勘察和详细论证。

【条文解释】若考虑采用地源热泵，设计应组织进行详细的工程地质和水文地质勘察，并通过现场热响应试验精确测定土壤或岩体的导热系数、比热容等关键热物性参数，为地埋管换热器的设计、系统规模的确定以及长期运行性能的预测提供可靠依据。同时，还需评估地下水资源保护政策、钻孔空间、土壤回灌条件等限制性因素。

设计需仔细分析体育建筑屋顶的可用面积、朝向、倾角、结构承载能力以及周边建筑或构筑物的遮挡情况，以确定最佳的光伏组件排布方案和装机容量。同时，应积极采用建筑光伏一体化（BIPV）设计，使光伏组件兼具建材功能，提升建筑美学和整体性。

体育建筑通常有大量的热水需求（如运动员淋浴、游泳池水加热等），设计人员应分析利用太阳能集热系统提供生活热水或辅助供暖的可行性，并合理配置集热器面积和储热装置容量。

4.3.5 应考察项目接入区域集中供能系统（供暖、供冷）的可行性。

【条文解释】如果项目所在地或邻近区域已建有或规划建设基于余热废热利用、可再生能源或高效热电联产的区域能源站，设计应评估接入该系统的技术经济

性和环境效益，并确保建筑内部系统与区域管网的良好匹配。

4.3.6 应对常规能源的供应特性进行评估。

【条文解释】需了解当地电网的供电可靠性、电压等级、峰谷电价政策以及电力来源的建筑碳排放因子。对于天然气，需评估其供应的稳定性和管网压力等。这些信息对于制定备用能源策略、优化用能行为以及准确计算运营建筑碳排放至关重要。

4.3.7 应考虑整合多元化的能源供应方式和储能技术。

【条文解释】针对体育建筑复杂的能源需求和可再生能源的间歇性特点，设计应研究多种能源（如光伏+储能、地源热泵+太阳能辅助等）耦合互补的供应方案，并评估储电、储热等储能技术的应用，以提高能源系统的整体效率、可靠性和经济性，并提升对电网的友好互动能力。

4.3.8 应规划智能化的能源监控、计量与管理系统。

【条文解释】应在能源供给方案策划阶段就明确能源计量点位的设置原则，确保对各类能源消耗、可再生能源产出以及主要用能设备（系统）的能效进行精细化监测和数据采集。这是后续进行能源审计、能效优化和智慧运维的基础。

4.3.9 应对能源系统的安全性、可靠性及应急保障能力进行充分评估。

【条文解释】体育建筑，特别是举办大型赛事的建筑，对能源供应的连续性和可靠性要求极高。设计人员应制定周密的应急预案，考虑备用电源（如柴油发电机、不间断电源 UPS）的配置，并确保能源系统在各种工况下的安全稳定运行。

4.3.10 应进行能源供给方案的全生命周期建筑碳排放评估。

【条文解释】对比不同能源供给方案（包括可再生能源比例、能源类型组合等）在建设、运行、维护及报废阶段的综合建筑碳排放影响，选择总体碳足迹最低的方案。

4.4 建筑耗能评估

4.4.1 应建立体育建筑能耗评估的基准线。

【条文解释】准确评估体育建筑在全生命周期内的能源消耗，是制定有效节能措施和实现低碳目标的前提。设计人员应采用科学的方法和工具，对建筑的各项能耗进行精细化分析和预测，识别主要的耗能环节，并以此为依据优化设计方案。

设计应根据项目所在地区的气候条件、建筑类型、规模、功能特点以及相关的建筑节能设计标准，设定一个合理的能耗基准。此基准作为衡量设计方案节能效益的参照点。

4.4.2 应采用动态能耗模拟软件对建筑的运行能耗进行详细预测。

【条文解释】需利用专业的建筑能耗模拟工具（如 EnergyPlus, DeST, DOE-2 等），对体育建筑在全年不同季节、不同使用模式下的供暖、通风、空调、照明、生活热水以及附属设备（如电梯、水泵）的能耗进行逐时或逐月模拟计算。

4.4.3 应准确定义和输入能耗模拟所需的各项参数。

【条文解释】模拟结果的准确性高度依赖于输入数据的质量。设计人员应仔细确定并记录建筑的几何信息、围护结构热工参数（如墙体、屋顶、门窗的传热系数、气密性）、室内设计参数（温度、湿度、新风量设定值）、人员及设备的发热量、各功能区域的运行时间表、照明及设备功率密度、暖通空调系统类型及能效参数、以及当地的逐时气象数据等。

4.4.4 应重点分析和优化建筑围护结构的保温隔热性能。

【条文解释】围护结构是影响建筑能耗，特别是供暖和空调能耗的关键因素。设计应通过计算和模拟，评估外墙、屋面、地面、门窗等各部分的热工性能，确保其满足甚至优于国家和地方现行节能设计标准的要求，并特别关注热桥处理、气密性设计等细节。

4.4.5 应对暖通空调系统的类型选择和能效水平进行评估。

【条文解释】体育建筑的暖通空调系统能耗占比通常较高。设计需对比不同系统方案（如集中式、分散式、全空气、水系统等）的能源效率、控制灵活性和初投资，并选用高效的冷热源设备（如高效冷水机组、锅炉、热泵）、输配系统（如低阻力风管、变频水泵）和末端装置。

4.4.6 应评估照明系统的能源消耗，并推广高效照明技术。

【条文解释】体育场馆对照明质量要求高，但照明能耗也十分可观。设计需根据不同区域（比赛场地、观众席、辅助用房、室外场地）的照度标准和使用特点，选用高光效光源、高效灯具，并结合天然采光利用，设计智能化的照明控制系统（如分区控制、感应控制、恒照度控制）。

4.4.7 应将体育工艺设备和特殊用能纳入能耗评估范围。

【条文解释】许多体育场馆包含特殊的工艺系统，如游泳池水处理与加热、滑冰场制冰与维护、大型电子显示屏、赛事转播设备等，这些系统的能耗不容忽视。设计人员应对其能耗特性进行专项分析，并纳入建筑总能耗评估。

4.4.8 应通过能耗模拟量化被动式设计策略的节能贡献。

【条文解释】设计应利用模拟工具评估自然通风、天然采光、建筑遮阳、围护结构蓄热等被动式措施对降低主动式系统（空调、照明）运行负荷和能耗的实际效果，从而为优化被动式设计提供数据支持。

4.4.9 应进行参数敏感性分析，识别影响建筑能耗的关键因素。

【条文解释】通过改变某些设计参数或运行参数（如窗墙比、围护结构保温水平、设备能效、人员密度等），分析其对总能耗的影响程度，从而找到最有效的节能切入点和优化方向。

4.4.10 应将预测能耗与低碳目标或绿色建筑评价标准进行对比。

【条文解释】设计应将模拟得到的建筑能耗结果与项目初期设定的低碳目标（如单位面积能耗限值、节能率）或相关绿色建筑评价标准（如《绿色建筑评价标准》GB/T 50378）中的要求进行比较，评估设计方案的达标情况。

4.4.11 应编制详细的建筑能耗评估报告。

【条文解释】报告应清晰阐述能耗模拟的方法、采用的软件、主要的输入参数和假定条件、模拟结果（包括总能耗及各分项能耗）、与基准的比较、敏感性分析结论以及据此提出的设计优化建议。

4.4.12 应在全生命周期评估的框架下考虑建材的隐含能源。

【条文解释】除了运行能耗，建材在生产、运输过程中消耗的能源（即隐含能源或物化能源）也是建筑全生命周期能耗的重要组成部分。设计人员应在材料选择阶段关注其隐含能源属性，优先选用低隐含能耗的材料。

4.5 新技术及新材料的应用评估

4.5.1 应主动跟踪和评估适用于体育建筑的低碳创新技术。

【条文解释】在体育建筑的低碳策划中，积极、审慎地应用新技术和新材料是提升建筑性能、降低环境负荷的重要途径。设计应以全生命周期的视角，对各类创新技术和绿色建材进行深入研究和综合评估，确保其在满足功能、安全、耐久的前提下，真正实现节能减碳和可持续发展的目标。

应持续关注建筑节能、可再生能源利用、智能控制等领域的技术进展，如高效集成冷热源系统、智能通风系统、余热回收技术、先进储能技术、直流配电技术等，并结合项目具体需求和条件，评估其技术成熟度、经济可行性和减碳潜力。

4.5.2 确保所选用的新技术和新材料在安全性、耐久性和健康性方面符合国家及行业标准。

【条文解释】低碳不应以牺牲建筑的基本性能为代价。设计在引入任何新技术或新材料前，都应严格审查其是否满足相关的防火、结构安全、防水、防腐、抗老化以及室内空气质量等标准要求。

4.5.3 应全面评估新技术和新材料的长期性能、维护需求及更换周期。

【条文解释】一些新兴技术或材料可能在初期表现优异，但其长期可靠性、维护的复杂性和成本、以及预期的使用寿命都是设计决策中不可忽视的因素。应

避免因追求短期效应而导致后期运维困难或过早失效。

新技术的应用评估宜

4.5.4 新材料的应用评估应符合下列要求：

- 1** 应将建材的隐含碳排放作为选材的重要衡量标准；
- 2** 推广使用可再生材料、再利用材料和本地化材料。

【条文解释】在满足结构安全和使用功能的前提下，设计应优先选用在原材料获取、生产加工、运输等环节碳排放较低的建筑材料。这需要对不同材料的生命周期碳足迹进行分析和比较。

设计应研究并指定在其项目中提高可持续认证木材、竹材等可再生材料的利用比例；提高废弃混凝土、废旧钢材、回收玻璃等再利用材料在同类建材中的占比；并优先选用本地生产的建材，以减少运输距离和相关建筑碳排放。

4.6 综合效益评估

4.6.1 应全面评估低碳策略的协同效益、环境效益，关注社会效益，积极吸纳多方利益相关者的意见。

【条文解释】除了直接的碳减排效果，低碳设计往往能带来多方面的积极影响。设计需要识别并尽可能量化这些协同效益，例如，通过改善室内空气质量、光环境和热舒适度，提升运动员的竞技状态和观众的观赛体验；通过采用绿色建材减少有害物质排放，保障使用者健康；通过优化景观设计和雨水管理，提升场地的生态价值和环境品质。

这不仅包括温室气体排放的减少量，还应涵盖对其他环境要素的积极影响，如节约水资源、减少大气污染物（SO₂, NO_x, PM_{2.5} 等）排放、降低固体废弃物产生量、保护生物多样性等。这些环境效益应尽可能进行量化或定性描述。

体育建筑作为重要的城市公共设施，其低碳化转型可以产生广泛的社会影响。设计应考虑项目在提升城市形象、促进公众健康意识、提供环境教育机会、带动绿色产业发展、创造就业岗位以及增强社区凝聚力等方面的积极作用。

体育建筑的投资方、运营方、运动员、观众、周边社区居民等都是重要的利益相关者。设计人员应通过有效的沟通和参与机制，了解他们对低碳方案的期望和顾虑，并在效益平衡的过程中充分考虑其诉求，以达成共识，确保方案的可接受性和可持续性。

4.6.2 应确保低碳目标的实现不以牺牲建筑的核心功能和安全性能为代价。

【条文解释】在追求低碳的过程中，设计应始终将满足体育竞赛、训练、观赛等基本功能需求以及保障结构安全、消防安全、人身安全置于首位。任何低碳技术或措施的选择，都不能对这些根本要求产生负面影响。

4.6.3 应开展全生命周期成本分析，识别和量化实现低碳目标的增量成本，并与预期效益进行权衡。

【条文解释】体育建筑的低碳策划不仅要关注环境效益，还应综合考量经济可行性、社会效益以及全生命周期的可持续性。设计应运用科学的评估方法，对不同低碳方案的投入与产出进行全面权衡，确保项目在实现碳减排目标的同时，能够创造更广泛的综合价值。

应采用全生命周期成本分析，系统评估不同低碳设计方案在建筑整个生命周期内的总成本，包括初期投资（设计、建材、设备、施工）、运营成本（能源、水、维护、维修、更换）以及最终的拆除和处置成本或残值，选择最具长期经济效益的低碳路径。

采用更高级别的绿色建筑标准、更高效的节能技术或可再生能源系统，通

常会带来一定的初始投资增加。设计应清晰计算这些增量成本，并将其与运营阶段的节能节水效益、碳减排带来的潜在收益（如碳交易、政策补贴）、以及建筑品质提升带来的价值增长等进行综合比较和评估。

4.6.4 应制定可持续的赛后运营和管理策略，并对综合效益评估的分析过程和结论进行清晰记录和呈现。

【条文解释】大型体育场馆的赛后利用是全球性难题。设计人员应在策划阶段就与业主和运营方共同研究场馆的长期运营模式，考虑功能的灵活性和多样性，促进场馆向社会开放，融入社区生活，并建立完善的能源与建筑碳排放监测管理体系，确保其在整个运营期内保持低碳高效运行，避免“赛时辉煌、赛后闲置”的局面。

应将全生命周期成本分析、增量成本计算、协同效益评估等内容整理成专题报告，明确各项假设条件、计算方法、数据来源和分析结果，为业主决策提供科学依据，并向社会公众展示项目的综合价值。

4.6.5 应将建筑对未来气候变化的适应性和韧性为一项重要的长期综合效益进行规划。

【条文解释】气候变化带来的极端天气事件（如高温、暴雨、台风等）对建筑的正常运营和安全构成威胁。设计人员在进行效益平衡时，应评估低碳措施（如绿色屋顶、雨水调蓄系统、自然通风）在提升建筑气候韧性方面的贡献，并将其作为一项重要的长期效益。

在项目策划之初，就应充分考虑建筑在未来进行功能转换或空间重组的可能性。通过模块化设计、采用灵活的结构体系和可拆卸的内部隔断等方式，可以显著提升建筑的适应性，延长其有效使用寿命，从而在全生命周期内分摊初始投入，最大化其经济、社会和环境价值。这要求设计在前期就进行深入的背景调研，包括建筑的历史文化价值（如果是改造项目）、结构状况评估，并平衡商业可行性与建筑原有特征的保留。

4.6.6 应评估项目对实现更广泛的可持续发展目标及地方、国家低碳转型战略的贡献。

【条文解释】低碳体育建筑的建设应被视为城市可持续发展系统工程的一部分，设计应阐明其在能源转型、资源节约、环境保护、健康福祉等方面的积极意义。

5 规划设计

5.1 一般规定

5.1.1 应建立多维度的场址选择比选评价体系。评价体系中应包含如下内容：

- 1 评估公共交通可达性，尤其是地铁、公交站点等的步行距离；
- 2 评估周边现有市政给排水、电力、热力、通信管网的容量是否足以支持项目需求，避免大规模新建或扩容；
- 3 优先选择棕地（如旧工业区、废弃货场）进行更新改造，或与周边商业、办公、居住区功能互补的地块，为赛后综合利用和设施共享（如共享停车、能源中心）创造条件；
- 4 应避开生态保护红线、自然保护区、饮用水水源保护区等敏感区域，不应在具有高生态价值的区域建设体育建筑。

【条文解释】本条是体育建筑规划设计的纲领性、强制性要求，旨在从项目生命周期的最前端——选址与总体规划阶段，奠定其低碳发展的基础。体育建筑作为超大型城市公共设施，其选址、规模和总体布局对全生命周期的资源消耗与建筑碳排放具有决定性影响，一旦确定，后期通过技术手段优化的空间将极为有限。本条提出的各项原则，是对《绿色建筑评价标准》GB/T 50378 中关于“节地与室外环境”原则的继承和强化。

5.1.2 宜结合轨道交通站点和公交枢纽，采用公共交通导向的规划模式。

5.1.3 宜结合商业、办公、酒店、住宅等进行综合开发。

5.1.4 应与地方规划、发改、交通、能源、水务等主管部门进行充分协调，获取相关规划文件，确保项目的交通开口、管线接入、建筑高度、密度分区等指标，与上位规划和专项规划的要求保持高度一致。

5.2 交通设计

5.2.1 应对建设项目进行交通影响评价，评价范围和时段应充分考虑赛事期间的瞬时高峰交通需求特征，并符合下列要求：

- 1 评价时段应包含赛前 1-2 小时的入场高峰和赛后 1-1.5 小时的散场高峰；
- 2 评价范围应覆盖主要集散通道、关键交通节点（如高速公路出入口、主要路口）以及接驳的轨道交通和公交枢纽站；
- 3 应选择对交通系统最不利的日期作为评价日，通常是举办重大赛事的工作日晚高峰或周末。

【条文解释】观众和工作人员的交通出行是体育建筑全生命周期中，尤其是在运营阶段，一个至关重要的间接建筑碳排放源。据测算，在大型赛事期间，交通产生的建筑碳排放可占到总排放量的相当大比例。体育建筑的交通需求具有

“瞬时性、海量性、潮汐性、方向性高度集中”的独有特征，即在赛前入场和赛后散场的人流车流集中到达和离开，对周边交通系统产生巨大的冲击。常规的交通影响评价方法和参数往往难以准确评估这种极端峰值影响。因此，本条要求进行针对体育建筑特征的专项交通影响评价，其目的是规划设计从源头采取措施，减少对小汽车出行的依赖，优化交通组织，从而降低交通拥堵和建筑碳排放。

5.2.2 应依据交通影响评价报告，制定项目交通规划与运营的方案，并包含以下内容：

- 1 基于票务数据、观众来源地分析和类似赛事经验，对不同出行方式（公共交通、小汽车、出租车、自行车、步行）的生成量、到达和离开时间分布进行精细化建模；
- 2 利用交通仿真软件，对不同情景下的路网服务水平、交叉口延误、公交站点拥挤度、行人排队长度等关键指标进行模拟和对比分析；
- 3 应制定包含信息诱导、停车管理、道路资源优化、运营组织协同等内容的专项方案。

5.2.3 应明确赛事期间观众出行的绿色交通分担率目标，且不应低于表 5.2.3 的要求：

表 5.2.3 体育建筑绿色出行分担率最低要求

建筑等级	所在城市规模	绿色出行分担率目标值
特大型体育建筑	超大、特大城市	≥ 80%
	大城市	≥ 75%
大型体育建筑	超大、特大城市	≥ 75%
	大城市	≥ 70%
	中小城市	≥ 65%
中型体育建筑	所有城市	≥ 60%

注：

1. 城市规模划分依据国务院最新发布标准。
2. 绿色交通方式包括公共交通（轨道交通、公共汽车）、自行车和步行。

【条文解释】本条是本规程在交通减碳方面的核心量化指标，其目的在于引导体育建筑规划设计的导向，将公共交通的可达性和服务能力作为项目选址和总图布局的决定性因素，是实现从源头控制交通建筑碳排放的关键步骤。

5.2.4 绿色出行分担率应按以下公式计算：

$$P_{\text{green}} = \frac{N_{\text{transit}} + N_{\text{bike}} + N_{\text{walk}}}{N_{\text{total}}} \times 100\%$$

式中：P_{green}——绿色出行分担率；

N_{transit}——通过公共交通到达场馆的观众及工作人员总数；

N_{bike}——通过自行车到达场馆的观众及工作人员总数；

N_{walk}——通过步行到达场馆的观众及工作人员总数；

N_{total}——到达场馆的观众及工作人员总数。

5.2.5 场地主要出入口与公共交通站点的步行距离不应大于 500m，与轨道交通站点的步行距离不应大于 800m。步行路径应满足下列要求：

- 1 实现人车分离，具有足够的宽度以容纳高峰时段人流，避免拥挤和踩踏风险；
- 2 全程设置缘石坡道、盲道等无障碍设施，满足所有人群的需求；
- 3 具备良好的照明、清晰的导向标识，宜设置遮阳、避雨设施；
- 4 步行路径应直接、连贯，避免不必要的绕行和交叉口等待。

【条文解释】本条规定的 500m（对应常规公交站点）和 800m（对应轨道交通站点）的步行距离限值，与现行国家标准《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019 中的“生活便利”章节的评分项要求保持一致。

5.2.6 场地内应设置导引或接驳系统，保证观众从场地出入口至坐席区的便利到达。

5.2.7 停车设施规划应结合赛时与非赛时运营模式，采用分区、分时、共享等管理策略，并按国家及地方相关规定配置新能源汽车充电设施，适当预留未来增设更多充电设施预留充足的电力容量和管线路由。

5.2.8 停车设施配置及管理宜符合下列要求：

- 1 在满足绿色出行分担率目标的前提下，停车位数量应根据剩余的小汽车出行需求进行核算，严格控制普通观众的停车位数量；
- 2 宜利用场馆周边 1-1.5km 步行范围内的现有停车资源，通过智慧停车诱导和收费系统等方式整合到赛时交通组织体系中；
- 3 停车位应进行分区管理，优先保障运营、转播、安保、贵宾、残障人士等必要车辆的停放；
- 4 非赛事期间，场馆的停车设施宜向周边社区和公众开放；
- 5 宜设置智慧停车管理系统，采用在线预约、动态诱导、无感支付等技术。

5.3 绿化与场地设计

5.3.1 场地设计应遵循海绵城市建设要求，年径流总量控制率应满足表 5.3.1 的规定。

表 5.3.1 体育建筑场地年径流总量控制率要求

所在气候分区	年径流总量控制率最低值
I 区	85%
II 区	80%
III 区	75%
IV 区	70%
V 区	60%

5.3.2 应充分利用绿化屋面、雨水断接、下凹式绿地、透水铺装、生物滞留、雨水回收利用等技术措施。

5.3.3 室外广场、停车场、人行道等硬质铺装地面，其透水铺装面积比例不应低于表 5.3.3 规定。

表 5.3.3 不同地区透水铺装比例要求

气候特点	最小透水铺装比例
湿热地区	≥30%
干旱地区	≥50%

【条文解释】本条是实现 5.3.1 条“年径流总量控制率”目标的最重要、最直接的技术保障措施之一。体育场馆周边的集散广场和停车场面积巨大，是径流和热岛效应的主要贡献者。传统的硬质铺装（如不透水混凝土、沥青）阻断了自然水文循环。本条通过最大限度地采用透水材料，从源头减少径流产生，补充地下水，并有效缓解城市热岛效应。

5.3.4 应根据不同场地的功能需求（如荷载、人流量、美观要求）选择合适的透水铺装材料。

5.3.5 应优先选用乡土、低维护、高固碳效益的植物，场地绿地率和绿容率应符合相关规定。

5.3.6 植物选择宜符合下列要求：

- 1 宜采用乔木、灌木、地被相结合的复层绿化群落；
- 2 宜将高大乔木组成的林带或树阵，优先布置在夏季主导风的下风向，

以及停车场、集散广场等大面积硬质铺装区域；

3 在建筑的西向、南向外墙附近种植落叶乔木；

4 通过屋顶绿化、垂直绿化等方式，提高场地的立体绿化覆盖率。

5.4 管线综合

5.4.1 场地内各类市政管线的设计应进行综合规划，合理确定管线路由和竖向。

5.4.2 宜设置综合管廊或综合管沟。

5.4.3 宜设置地源热泵系统。

5.4.4 应设置光伏发电系统、中水回用、雨水收集系统。

5.4.5 应规划覆盖全场的弱电管网和数据机房空间，为能源管理、设备监控、环境监测、结构健康监测等各类传感器和控制器预留充足的敷设路由和安装点位，为构建智慧场馆和数字孪生平台提供物理基础。

【条文解释】通过前瞻性的规划，体育建筑才能真正实现系统间的协同增效。

6 建筑设计

6.1 一般规定

- 6.1.1** 建筑设计应遵循“被动优先、主动优化”的技术原则。
- 6.1.2** 应优先使用既有设施和临时、可拆卸的体育建筑。
- 6.1.3** 应通过对建筑体形、空间布局、朝向、围护结构、遮阳、自然通风与天然采光的一体化设计，最大限度降低建筑供暖、通风、空调和照明的能源需求。
- 6.1.4** 建筑体形与朝向应有利于组织自然通风和天然采光。
- 6.1.5** 宜将附属功能空间布置在能充分利用自然通风和采光的区域，并可独立运行。
- 6.1.6** 应利用参数化设计平台及其环境性能分析插件，建立包含建筑体形、朝向、窗墙比、遮阳形式等关键变量的参数化模型，对建筑能耗、采光和通风等性能进行模拟与评估。

6.2 围护结构热工性能

- 6.2.1** 建筑外墙、屋面等非透明围护结构的传热系数 K 值，以及外窗、玻璃幕墙等透明围护结构的传热系数 K 值、太阳得热系数 $SHGC$ ，不应高于《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015-2021 的限值要求。

【条文解释】本条文为体育建筑围护结构的热工性能设定了强制性的最低要求，是建筑节能设计的基础和合规性底线。

体育建筑的围护结构面积巨大，通常远超普通公共建筑，是建筑与外界进行热量交换的主要途径。在冬季，通过围护结构的热量损失是供暖能耗的主要部分；在夏季，通过围护结构的太阳辐射得热和传导得热是空调冷负荷的主要来源。因此，严格控制围护结构的热工性能，对于降低体育建筑全生命周期的运行建筑碳排放至关重要。

- 6.2.2** 对于大面积金属屋面、膜结构屋面、玻璃幕墙和采光顶，宜采取高于通用规范要求的措施，其具体限值应通过全年能耗模拟进行权衡判断，且建筑总能耗不应高于参照建筑。并应满足下列要求：

- 1 金属屋面宜采用高反射率的屋面材料；

2 膜结构屋面应充分利用多层充气、表面印刷、低辐射涂层、动态调节等技术。

【条文解释】本条文旨在引入性能化的设计方法，以应对体育建筑在围护结构形式上的特殊性和多样性。大型体育场馆常采用大跨度金属屋面、张拉膜结构、大面积玻璃幕墙及采光顶等特殊形式，其热工性能复杂，难以用统一的规定性指标进行有效约束。简单的限值规定可能限制创新或无法适应这些特殊材料的性能特点。因此，本条文鼓励采用更优的性能化设计路径，通过全年动态能耗模拟软件进行权衡计算，在确保建筑总体能耗达标甚至更优的前提下，给予设计更大的灵活性。

6.2.3 应避免围护结构内部结露，并应对热桥部位进行保温处理。并应满足下列要求：

- 1 防结露验算：必须包含围护结构内表面温度的计算，确保在冬季室外最冷月平均温度和室内设计温、湿度条件下，所有内表面的温度均高于空气的露点温度；
- 2 热桥部位专项设计：对于结构性热桥，必须进行专项的细部热工设计和二维或三维数值模拟；
- 3 钢结构与主体结构连接处：在钢柱脚、钢梁端部与混凝土结构连接处，应设置高强度、低导热的垫片（如聚四氟乙烯板、高密度聚乙烯垫块等）作为热桥阻断件；
- 4 幕墙系统必须选用带有高效热桥阻断材料（如聚酰胺尼龙条）的断桥铝合金型材或钢型材作为立挺和横梁。幕墙与主体结构之间的连接件也应进行保温处理；
- 5 金属屋面系统：连接金属屋面板与下部檩条的螺栓、紧固件等应采用带热桥阻断功能的专用产品；
- 6 构造图示：设计图纸中应包含清晰的热桥部位节点构造大样图，明确标注保温材料的类型、厚度及安装方式，确保施工单位能够准确理解和实施。

【条文解释】本条文旨在保证建筑的耐久性、室内环境健康和围护结构的整体热工性能。围护结构内部结露会严重降低保温材料性能，腐蚀建筑构件，并可能引发霉菌滋生，危害使用者健康。热桥是指围护结构中传热能力显著增强的局部区域，是能量损失的“短路”，会导致额外的能源消耗和局部内表面温度过低。本条是建筑热工设计的基本要求，在《民用建筑热工设计规范》GB 50176 和《绿色建筑评价标准》GB/T 50378 中均有相关规定。

通过精细化的热桥设计，可以显著提升围护结构的整体保温性能，避免结露风

险，是实现体育建筑低碳和高品质的关键环节。

6.2.4 既有体育建筑改造，应进行既有围护结构热工性能的评估。

6.3 室内外风环境

6.3.1 应对场地及建筑的室外风环境进行计算流体力学（CFD）模拟分析，优化建筑布局与形态，避免在人员主要活动区域（如入口广场、室外平台）产生强风或涡旋。流体动力学（CFD）模拟分析应符合下列要求：

- 1** 模型建立：CFD 模拟的计算域应足够大，以避免边界效应对计算结果的干扰。模型应包含目标建筑以及周边对风环境有显著影响的其他建筑和地形；
- 2** 气象数据：模拟的边界条件应基于当地至少 10 年以上的全年气象统计数据（风玫瑰图），重点分析夏季主导风向（用于评估通风潜力与舒适性）和冬季主导风向（用于评估风寒效应与安全性）；
- 3** 模拟应重点分析风速放大效应、涡旋与无风区、行人高度风速；
- 4** 行人区 1.5m 高处的风速应小于等于 5m/s。

【条文解释】本条文旨在保障体育建筑室外公共空间的人员舒适性与安全性。体育建筑体量巨大，会显著改变其周边的微气候，特别是风环境。不合理的建筑形态和布局可能在建筑周围形成风速过高的“风口”或令人不适的“涡旋区”，尤其是在人流密集的入口广场、疏散平台等区域，可能对行人（特别是老人和儿童）构成安全隐患，并影响室外活动的舒适度。通过强制要求进行 CFD 模拟，旨在将风环境设计从定性判断提升到定量分析的层面，以科学数据指导和优化设计方案。

6.3.2 应对比赛大厅、观众厅等高大空间进行室内自然通风模拟，分析其在过渡季的通风换气效果与室内风速分布，并应保证人员活动区风速不大于 0.5m/s。自然通风模拟应符合下列要求：

- 1** 模拟应能直观展示过渡季节典型气象条件下（如平均风速、风向、温度），不同通风策略下的室内气流组织形态（速度矢量图）、温度场分布（温度云图）和污染物浓度分布；
- 2** 模拟应重点评估换气次数、室内风速分布、空气龄等性能指标。

【条文解释】本条文旨在充分利用体育建筑高大空间的形态优势，在气候适宜的过渡季节（春、秋季）最大限度地采用自然通风，以替代或减少机械通风系统的运行时间，从而实现显著的节能降碳效益。

6.3.3 建筑主要功能空间的可开启外窗或通风开口面积不应小于该空间地面面积的 5%。宜采取如下措施加强自然通风：

- 1 可开启屋盖；
- 2 大面积电动开启立面；
- 3 智能通风器：与建筑自动化系统（BAS）联动，根据室内外温差、风压、CO₂ 浓度等参数自动调节开启角度的通风设备。

【条文解释】对于体育建筑，本条所指的“主要功能空间”包括比赛大厅、训练馆、观众休息厅、运动员休息室、媒体工作室、行政办公等有人员长期停留或人员密集的房间。不包括走廊、楼梯间、设备机房、储藏室等辅助空间。此处的面积指的是“有效通风面积”，根据《居住建筑自然通风技术标准》JGJ/T 440 的定义，有效通风面积应取门窗开启扇的几何面积与门窗开启后形成的空气实际流通界面面积中的较小值。如果开口处设有防虫网、百叶、格栅等，其面积应扣除遮挡部分。

6.4 室内光环境

6.4.1 在满足体育工艺和电视转播要求的前提下，应最大限度利用天然采光。

【条文解释】本条文旨在确立体育建筑天然采光设计的核心原则：在降低照明能耗的同时，必须以不损害体育赛事的核心功能为前提。天然采光是降低建筑运行建筑碳排放的重要被动式手段，尤其对于体育建筑在非赛时白天的日常训练、维护和全民健身活动中，良好的天然采光可以完全或大部分替代人工照明，节能潜力巨大。

在进行体育建筑采光设计时，必须将控制眩光作为首要任务。应在方案初期对场馆朝向、采光口位置与形式、玻璃材料性能等进行综合考虑，并通过采光模拟进行严格的眩光分析，确保满足体育工艺和转播的苛刻要求。

6.4.2 比赛大厅、训练馆、观众集散厅等主要空间的采光系数或动态采光指标应满足《建筑采光设计标准》GB 50033 的要求，且主要功能区域满足采光要求的面积比例不应低于 75%。动态采光指标评估宜符合表 6.4.2 要求。

表 6.4.2 体育建筑主要空间动态采光性能推荐指标

空间类型	传统指标（最低要求）	动态指标 ($sDA_{300/50\%}$)
比赛大厅、训练馆	参照 GB 50033 中“体育馆”要求	≥55%
观众集散厅	参照 GB 50033 中“展览馆”要求	≥75%
行政办公、媒体工作室	参照 GB 50033 中“办公室”要求	≥75%

注：表中动态指标值为推荐值，当采用动态指标进行评估时，可替代传统的采光系数评估。

【条文解释】本条文为体育建筑的天然采光效果设定了可量化、可评估的性能

指标，为设计提供了明确的目标。

6.4.3 应对比赛大厅、训练馆、观众集散厅等主要空间进行采光模拟分析，评估采光均匀度和无眩光小时数。模拟分析报告应包含采光系数和动态采光指标图、采光均匀度、眩光分析等内容。

【条文解释】本条文强制要求采用计算机模拟作为采光设计的必要技术手段，其目的有三：一是验证设计方案是否满足 **6.4.2** 条规定的量化指标；二是评估采光质量，特别是均匀度和眩光这两个关键维度；三是为优化采光口设计、玻璃选型和遮阳措施提供科学依据。

6.4.4 东西向外窗和玻璃幕墙应设置活动式外遮阳。南向外窗和玻璃幕墙宜设置水平向外遮阳。采光顶应设置活动式遮阳。

6.5 低碳建筑材料

6.5.1 应核算并控制主要建筑材料（钢材、混凝土、铝材、玻璃等）的隐含建筑碳排放。主要建筑材料建筑碳排放因子参考值见表 6.5.1。

表 6.5.1 主要建筑材料建筑碳排放因子参考值

材料名称	建筑碳排放因子	单位
预拌混凝土（C30）	0.353	tCO ₂ e/m ³
再生骨料混凝土（取代率 30%）	0.280	tCO ₂ e /m ³
热轧带肋钢筋	1.851	tCO ₂ e /t
型钢（电炉法）	0.750	tCO ₂ e /t
铝型材（再生铝）	2.500	tCO ₂ e /t
平板玻璃	1.100	tCO ₂ e /t

注：本表为参考值，实际应用时应优先采用 EPD 数据。建筑碳排放因子会因生产工艺、能源结构等因素变化，应采用最新的权威数据。

【条文解释】本条文是本规程在“双碳”目标下的一项规定，旨在将碳减排的关注点从建筑的运行阶段前移至建材生产和建造阶段。

6.5.2 在满足性能要求的前提下，应优先选用 500km 范围内生产的本地建材。

【条文解释】本条文旨在减少建筑材料在运输环节产生的能源消耗和建筑碳排放。建材运输，特别是对于混凝土、钢材、石材等重型材料，其碳足迹不容忽视。优先采用本地材料，不仅能有效降低建筑隐含碳排放，还能促进地方经济

发展，降低运输成本和时间，并使建筑更好地融入地域文脉。

6.5.3 可再利用材料和可循环材料的使用重量占同类建材总重量的比例宜不低于 10%。

【条文解释】本条文旨在推动建筑领域的循环经济发展，通过提高可再利用与可循环材料的应用比例，减少对原生资源的开采消耗，降低建材生产过程中的能源消耗和建筑碳排放，并减少建筑废弃物的产生。

该比例应按重量进行计算，即所使用的各类可再利用和可循环材料的总重量，与建筑中使用的所有同类新材料（原生材料+循环材料）总重量的比值。设计人员应在材料表中明确标注所用循环材料的种类、来源和掺量，并要求供应商提供相应的证明文件。

6.5.4 赛事期间所需的临时设施应采用模块化、可租赁、可重复利用的设计。应优先选用可租赁的设备和家具，减少一次性投入。

6.5.5 新材料应进行材料耐久性和维护成本评估。

6.5.6 应在设计文件中明确绿色建材具体要求。

【条文解释】设计有责任清晰、准确地列出所选用绿色建材的性能指标、认证要求、环保标准以及相关低碳技术的施工安装规范，为后续的材料采购、施工建造和竣工验收提供明确依据，并压实设计方在绿色建材应用中的主体责任。

7 结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 结构设计应贯彻全生命周期低碳理念，在保证结构安全、适用、耐久及可再利用的前提下，实现资源节约和环境影响最小化。

7.1.2 结构设计应与策划、建筑、机电等专业及运维系统协同，将建筑隐含碳排放、材料效率等低碳量化指标的分析与评价作为结构方案比选和优化的核心技术指标之一。

【条文解释】本条文强调了低碳结构设计的协同性。体育建筑是一个复杂的系统工程，结构设计并非孤立存在，它与建筑功能布局、美学形态、围护结构热工性能、自然采光通风策略以及机电设备管线布置等紧密相关。传统的专业壁垒和线性的设计流程，常常导致“系统拼凑”和局部优化，难以实现建筑整体的低碳目标。

将低碳目标作为结构方案比选的核心技术指标，意味着除了传统的造价、工期、用钢量等指标外，还必须引入建筑隐含碳排放、材料效率等量化指标。

7.1.3 应在结构设计中贯彻材料节约和高效利用的原则。

【条文解释】针对体育建筑的大跨度、大空间特点，设计人员应通过优化结构选型（如张弦梁、索穹顶、网壳等）、精确计算和细化设计，力求在保证结构安全和满足使用功能的前提下，最大限度地减少钢材、混凝土等主要结构材料的用量。

7.1.4 对于大型体育场馆，应在方案设计和初步设计阶段，对不同结构方案的建筑隐含碳排放（建材生产、运输、建造阶段）和运行碳维护、拆除阶段）进行量化分析与对比比较。

7.1.5 屋盖结构应预留光伏发电系统、储能设备等荷载。

7.1.6 既有体育建筑改造，应进行既有结构体系的评估和检测，制定针对性的加固和改造措施。

7.2 结构体系选型

7.2.1 大跨度屋盖的结构体系应结合建筑功能、跨度、形态、赛后利用、维护和拆除及低碳目标等因素，充分发挥不同材料的各自优势，通过多方案技术经济比较确定。方案比较应包含下列内容：

- 1 材料利用效率；

- 2 全生命周期建筑碳排放；
- 3 赛后利用与改造潜力；
- 4 可拆解与再利用潜力；
- 5 进行“屋盖-主体-基础”一体化的建筑碳排放估算。

【条文解释】体育建筑屋盖是结构设计的核心和难点，其选型直接决定了建筑的形态、空间品质、材料用量和建筑隐含碳排放。常见的屋盖结构体系包括平面桁架、空间网格（网架、网壳）、拱结构、索穹顶、张弦梁、索膜结构以及开合屋盖等。

7.2.2 应优先选用材料效率高、传力路径清晰的结构体系。在同等条件下，宜优先采用空间网格结构及索穹顶、张弦梁、索膜等预应力结构。

7.2.3 典型体育场馆屋盖结构体系的低碳性能参考指标见表 7.2.3。

表 7.2.3 典型体育场馆屋盖结构体系低碳性能指标

结构体系类型	适宜跨度(m)	单位面积材料用量参考值	单位面积建筑隐含碳排放参考值(kgCO ₂ e、m ²)	可拆卸、再利用潜力	改造灵活性
空间网格结构	40 - 100	钢材: 30 - 60 kg/m ²	45-100	中	中
平面、空间桁架	30 - 120	钢材: 40 - 120 kg/m ²	60-135	中	高
张弦梁、桁架	50 - 150	钢材: 25 - 50 kg/m ²	35-85	中-高	中
索穹顶	80 - 200+	钢材: 20 - 40 kg/m ²	30-70	高	低
张拉索+膜结构	50 - 200+	钢索、膜材为主，用钢量低	18-45	高	低
钢-胶合木混合结构	30 - 100	木材: 0.1 - 0.25 m ³ /m ²	-140 - (-45)	高	中
模块化结构	< 60	钢材: 50 - 90 kg/m ²	75 - 150	极高	极高

注:

1. 单位面积建筑隐含碳排放参考值基于 A1-A5 阶段估算，采用钢材建筑碳排放因子

2.0kgCO₂e/kg 进行估算，未考虑连接件、涂层等。实际值应根据具体设计和材料来源进行计算。

2. 胶合木结构的建筑隐含碳排放为负值，表示其固碳量大于生产和施工阶段的排放量。该值已扣除生产阶段建筑碳排放（约 250kgCO₂e/m³），并计入固碳效益（约 1100kgCO₂e/m³）。

3. 模块化结构的初始建筑隐含碳排放较高，但其全生命周期建筑碳排放因其极高的再利用潜力而显著降低。

7.2.4 宜采用标准化设计、工厂化生产、装配化施工的结构体系。装配式结构装配率应 $\geq 76\%$ 。

7.2.5 临时性或具有明确赛后改造需求的体育建筑，应采用可拆卸设计。优先选用标准化、模块化的构件及螺栓连接，便于拆卸、运输和再利用。

7.2.6 看台结构宜采用现浇与预制相结合的装配式体系，悬挑看台悬臂长度 $> 8\text{m}$ 时，应按照《建筑结构振动控制规范》GB 50209 等相关要求进行入致振动分析。

7.2.7 选择结构体系时，应对结构体系灵活性和可拆卸性进行评估，以应对未来功能转换的需求

7.3 低碳结构材料

7.3.1 结构材料的选用应建立材料的隐含建筑碳排放清单。

7.3.2 在满足结构性能要求的前提下，应优先采用高强钢、高性能混凝土等高强高效材料，高强钢筋应用比例不小于 80%。大跨度钢结构中，宜采用 Q355 及以上强度等级的钢材。

7.3.3 宜采用木材、竹材等可再生生物质固碳建材。在适宜的条件下，体育场馆的屋盖、看台等可采用胶合木结构、胶合竹结构、正交胶合木等现代木结构，符合《木结构设计标准》GB 50005 等相关要求。

7.3.4 应提高再生材料的利用水平。结构用钢材中再生钢材的利用率不应低于国家相关政策要求。在基础、非承重构件及次要结构构件中，宜使用再生骨料混凝土，取代率应 $\geq 30\%$ ，并满足《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 等相关标准。

7.3.5 既有体育建筑改造时，应进行既有结构材料的再利用评估，制定回收措施

7.4 细部设计

7.4.1 基础设计应结合上部结构选型和场地地质条件，采用安全可靠、经济合理且隐含建筑碳排放低的基础形式。

- 7.4.2 采用优化上部结构传力路径、减轻结构自重等方式，减小基础荷载。
- 7.4.3 临时性体育建筑或场地，宜采用可拆卸的基础形式。
- 7.4.4 结构连接节点的设计应兼顾传力可靠、施工便捷和低碳高效。
- 7.4.5 可拆卸和再利用的钢结构应优先采用螺栓连接，减少现场焊接量，符合《钢结构设计标准》GB 50017等相关要求。
- 7.4.6 结构细部设计应有利于减少材料损耗和边角料的产生。
- 7.4.7 暴露于室外环境的钢结构防腐涂层寿命 ≥ 20 年，混凝土结构保护层厚度增加10%，满足《钢结构防腐涂料应用技术规范》GB 50154等相关标准。
- 7.4.8 广泛应用预制混凝土看台板，并采用模数化设计，减少构件类型，工厂预制率应 $\geq 80\%$ ，符合《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1-2014等相关要求。

8 机电设计

8.1 一般规定

8.1.1 机电设计应以满足赛时、非赛时两种主要运行模式下的功能需求为前提，通过系统优化和智能控制，实现全生命周期、全工况下的高效低碳运行。

【条文解释】本条文确立了体育建筑机电系统设计的根本原则。体育建筑具有“瞬时负荷高、年使用时间短、功能要求复杂、赛后模式多变”的独有特征。其能源消耗曲线呈现极端的峰谷差异，赛时负荷可能是非赛时负荷的数倍甚至数十倍。传统设计方法往往为满足短暂的赛事高峰负荷而配置大型设备，导致系统在占全年绝大多数时间的非赛时低负荷工况下，运行效率低下，能源浪费严重。这种“大马拉小车”的现象是许多大型体育场馆赛后运营成本高昂、难以持续的重要原因之一，直接影响其赛后遗产价值。

本条文强调“全工况”高效，旨在引导设计者将关注点从设备的满负荷额定效率，转移到覆盖从 10%到 100%整个运行区间的综合、全年性能。这要求设计必须具备高度的弹性和适应性。机电各专业（暖通、给排水、电气）应在项目策划和方案设计初期即深度介入，与建筑专业协同，使系统方案与建筑功能布局、运营模式（如赛后全民健身、商业演出、专业训练等）高度匹配，避免设计与运营脱节。

8.1.2 机电系统设计应在项目策划和方案设计阶段与建筑、结构等专业进行一体化协同，充分利用被动式设计成果，为主动式系统的高效运行和创新技术的应用预留条件。

8.2 通风及空调设计

8.2.1 冷、热源设备的选择应进行全年负荷动态模拟分析，其综合部分负荷性能系数（IPLV）应满足表 8.2.1 的规定。对于全年大部分时间处于低负荷运行的系统，宜选用在 25%~75%负荷区间内效率高的设备。

表 8.2.1 电机驱动蒸汽压缩循环冷水（热泵）机组综合部分负荷性能系数（IPLV）限值

机组类型	制冷量范围 CC(kW)	综合部分负荷性能系数 IPLV (W、W)
水冷离心式	CC≤500	≥5.60
	500<CC≤1000	≥5.90
	1000<CC≤2000	≥6.20
	CC>2000	≥6.50
水冷螺杆式	CC≤500	≥5.20
	CC>500	≥5.60

风冷螺杆式	CC≤150	≥3.80
	CC>150	≥4.00
风冷涡旋式	CC≤150	≥3.80
	CC>150	≥4.00

注：本表数据依据《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015-2021 制定。对于变频机组，其 IPLV 限值应在同类型定频机组限值的基础上乘以相应的提高系数，具体要求参照 GB 55015-2021 执行。

8.2.2 空调冷热源系统应采用模块化设计。观众席、比赛场地、附属功能用房（如办公、商业、媒体区）的空调系统应分区设置，并能独立运行和独立计量。

8.2.3 比赛大厅、观众厅等高大空间，应根据建筑形态和体育项目的特定温湿度及气流速度要求，采用分层空调、置换通风、座椅送风或复合式送风等高效气流组织形式。方案设计必须通过计算流体动力学（CFD）模拟进行验证。

【条文解释】体育场馆的比赛大厅和观众厅通常是极其高大的空间，若采用传统的全空间混合通风空调方式，需要处理的空气体积巨大，导致能耗巨大。本条文旨在强制推广仅对人员活动区进行精确温湿度控制的高效气流组织形式，从而实现显著的节能。

8.2.4 所有新风系统均应设置全热回收装置。装置的全热回收效率在设计工况下不应低于 65%。热回收装置应与楼宇自控系统（BMS）集成，设置旁通功能。

8.2.5 设有游泳池或滑冰场的体育建筑，应设计能源综合利用系统，优先回收利用制冷系统产生的废热。

8.3 给排水设计

8.3.1 场馆内所有卫生器具和用水配件均采用节水型产品，其用水效率等级不应低于表 8.3.1 中的 2 级要求。

表 8.3.1 主要节水器具用水效率等级及技术要求

用水器具类型	评价指标	用水效率等级	技术要求	依据标准
坐便器	平均用水量	2 级	≤5.0 L	GB 25502
小便器	平均用水量	2 级	≤3.0 L	GB 28377
洗面器、厨房水嘴	流量 (在 0.1MPa 动压下)	2 级	≤0.100 L/s (≤6.0 L/min)	GB 25501
淋浴器	流量 (在 0.1MPa 动压下)	2 级	0.100<流量≤0.125 L/s	GB 28378

注：表中数据为节选，具体应符合相应产品最新的国家标准。鼓励在有条件的区域或 VIP 区域采用 1 级用水效率产品。

8.3.2 应设置雨水收集回用系统。汇水区域应包括建筑屋面，并宜包括硬质表面场地和硬质铺装。收集的雨水经处理后应优先用于绿化灌溉、道路冲洗和冷却塔补水。雨水收集应符合下列要求：

- 1 自动弃除降雨初期的污染物浓度较高的雨水；
- 2 处理系统应包括物理过滤和消毒。

8.3.3 建筑面积大于 20000m²的新建体育建筑及设置公共浴室、游泳池的体育建筑，均应设置中水回用系统。中水水源应优先选用淋浴排水和盥洗排水、泳池反冲洗废水、池岸冲洗废水等优质杂排水。中水系统设计应符合下列要求：

- 1 中水系统必须是完全独立的管网系统，严禁与生活饮用水管道有任何直接或间接的连接；
- 2 中水管道应采用浅绿色等明显区别于给水管的颜色，并在管道外壁设置清晰、耐久的“中水”或“非饮用”标识；
- 3 中水取水口应有明确标识，公共区域的取水口应采用带锁装置，防止误用、误饮；
- 4 硅藻土的反冲洗排水宜将硅藻土回收后的排水作为中水原水予以回收利用。

8.3.4 非传统水源利用率（包括中水和雨水）不应低于表 8.3.4 规定的目标值。

表 8.3.4 非传统水源利用率目标值

建筑类型	非传统水源利用率要求
一般体育建筑（无游泳池、大面积绿地）	≥15%
设有游泳池或大面积天然草坪的体育建筑	≥25%

8.3.5 非传统水源利用率计算公式如下：

$$R_{nw} = \frac{W_{rec} + W_{rain}}{W_{total}} \times 100\%$$

式中：R_{nw}——非传统水源年利用率 (%)

W_{rec}——建筑中水年回用量 (m³/a)

W_{rain}——雨水年回用量 (m³/a)

W_{total}——建筑年总用水量 (m³/a)

8.4 电气设计

8.4.1 体育建筑内各功能场所的照明功率密度（LPD）值不应高于表 8.4.1 规定的目标值。所有场所均应采用高效 LED 光源及灯具。

表 8.4.1 体育建筑主要功能空间照明功率密度（LPD）目标值

空间名称	照明标准（照度等级）	LPD 目标值 (W/m²)
比赛场地	高清电视转播（HDTV）	根据 JGJ 153-2016 中不同运动项目和转播级别要求计算确定
	业余比赛、专业训练	≤20
	全民健身、一般训练	≤10
观众席	正常使用	≤8
	应急、安全照明	≤1.5
公共大厅、走廊	-	≤7
办公室	-	≤8
运动员、裁判员用房	-	≤9

注：本表数据为示例，具体限值应严格遵从《建筑照明设计标准》GB 50034 和《体育场馆照明设计及检测标准》JGJ 153-2016 的最新规定。高清转播照明的 LPD 值需根据具体照度要求、布灯方式和灯具性能进行专项计算，但仍需以节能为导向进行优化。

8.4.2 主要功能场所均应采用智能照明控制系统。系统应具备与建筑设备管理系统（BMS）集成的能力，并应实现场景控制、定时控制、恒照度控制和移动终端控制功能。具体设计应符合下列要求：

- 1 场景控制应包含高清转播、专业训练、全民健身、非赛时运营、清扫、安保等模式；
- 2 对办公区、后勤区等有规律使用的场所，设置定时开关；
- 3 在有天然采光的区域（如带采光天窗的比赛大厅、环廊、办公室），安装照度感应器；
- 4 授权管理人员可通过平板电脑或手机 APP 对各区域照明进行实时监控和控制；
- 5 照明控制系统应与建筑设备管理系统（BMS）或智慧场馆平台无缝对接，实现数据的互通和策略的联动。

【条文解释】高效的灯具硬件必须与智能的控制策略相结合，才能实现最大化的节能。对于功能模式复杂多变的体育建筑而言，智能控制系统是实现深度节能、精细化管理的必要手段，而非可选配置。

8.4.3 应按用能系统和功能分区设置分项计量装置，计量数据必须接入建筑能效监管系统。分项计量装置的设置应满足表 8.4.3 的要求。

表 8.4.3 主要用能系统分项计量装置设置要求

一级分类	二级分类	计量要求
暖通空调系统	冷（热）源机组（逐台）	独立计量
	冷冻、冷却、热水循环泵（按组）	独立计量

	空调末端（按功能分区，如观众席、比赛场、办公区）	分区计量
照明插座系统	照明（按功能分区或楼层）	分区计量
	插座（按功能分区或楼层）	分区计量
动力系统	电梯	独立计量
	生活水泵、排水泵、风机	独立计量
特殊用电	比赛场地专用设备（如制冰机组、大型显示屏）	独立计量
	厨房设备	独立计量
	IT 机房	独立计量
	电动汽车充电桩	独立计量

注：所有计量数据应以标准协议接入建筑能效监管系统或 BMS，实现数据的自动采集、存储和分析。

8.4.4 新建体育建筑应进行光伏系统专项设计。屋顶光伏系统宜优先采用与屋面一体化的建筑光伏一体化（BIPV）产品。可利用屋顶面积的光伏覆盖率不宜低于 40%。

8.4.5 宜结合光伏系统、储能系统（电储能、热储能）和柔性用电负荷，构建“光储直柔”微网系统，提升建筑能源自给率、运行经济性和供电可靠性，采用全电气化设计。应符合下列规定：

- 1 BIPV 组件光电转换效率 $\geq 20\%$ （晶硅）或 15% （薄膜），且防火等级不低于 A2 级；
- 2 储能系统容量需满足赛时 2 小时应急供电。（参考 IEC 62933-2 标准）
国际能源署《体育场馆光储系统设计指南》（2022）建议储能时长 $\geq 2\text{h}$ 。

8.4.6 应规划和设计先进的建筑能源管理系统或建筑设备监控系统。

【条文解释】对于功能复杂、能耗较高的体育建筑，设计人员应考虑集成化的智能管控平台，实现对建筑内暖通空调、照明、给排水、可再生能源系统等的实时监测、数据分析、故障诊断、策略优化和远程控制，从而达到精细化管理和持续节能降碳的目的。

9 施工管理

9.1 施工方案设计

9.1.1 施工单位应依据体育建筑的低碳设计专篇、相关设计文件及本规程要求，编制低碳施工专项方案。方案需针对体育建筑大跨度结构、赛时、非赛时系统切换等特性，明确节能措施与量化目标（如建筑碳排放强度降低率、废弃物回收利用率），并作为施工组织设计核心内容。

【条文解释】方案的编制应参考国家现行标准《建筑工程绿色施工评价标准》GB/T 50640 和《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905 的基本原则，但其核心内容必须超越通用要求，聚焦于本项目特性。

9.1.2 方案应针对体育建筑的特殊性，包含针对性内容，应包括以下内容：

- 1 针对体育建筑特有的大跨度屋盖、悬挑看台等复杂结构，方案应明确其安装、吊装过程中的节能措施，对跨度 $\geq 40\text{m}$ 的钢屋盖，应采用 BIM 模拟安装路径，减少起重设备移动能耗 30%以上；
- 2 赛时和非赛时双模运行系统的安装与调试：包含设备安装精度要求、管线敷设优化以及系统联合调试的具体步骤，确保系统能按设计要求高效切换与运行，赛时模式切换测试不少于 3 次完整演练，确保 30 分钟内完成全部系统转换；
- 3 可拆卸构件施工：应详细阐述可拆卸构件（如模块化看台、可重复利用的钢构件）的进场验收、堆放保护、专用吊具、精密安装以及连接节点（特别是螺栓等机械连接）的施工工艺和质量控制要求，确保构件未来拆解损耗率 $\leq 5\%$ 。

【条文解释】该专项方案是指导施工全过程的纲领性文件，其科学性和可行性至关重要。因此，方案在项目主要部分开工前，必须通过建设单位、监理单位和设计单位的联合审查和书面批准，并将其作为施工过程监督和竣工验收的重要依据。

9.1.3 应建立低碳施工管理体系，明确在环境保护、节材、节水、节能及废弃物管理等方面的工作。管理体系应涵盖以下方面：

- 1 环境保护：制定扬尘、噪声、光污染等控制措施；
- 2 节材：优化材料采购、存储和使用流程；
- 3 节水：合理规划用水，优先使用非传统水源；
- 4 节能：优化施工设备选型，推广节能设备和工艺；
- 5 废弃物管理：制定废弃物分类、回收和处置方案。

9.1.4 既有体育建筑改造，应进行既有建筑施工条件的评估和施工方案的优

化。

9.2 施工过程管理

9.2.1 施工现场应采取封闭围挡、道路硬化、出入车辆冲洗、土方覆盖、洒水降尘等综合措施，并宜在场界布设扬尘在线监测设备，有效控制颗粒物排放。扬尘排放应符合《大气污染物综合排放标准》GB 16297 等相关要求。

9.2.2 临时办公区使用模块化集装箱房屋。（装配率 100%，建筑碳排放较传统临建降低 60%）

9.2.3 应充分利用施工现场的空地和屋面，设置光伏发电及储能装置，设置雨水收集回用系统等措施，降低施工阶段建筑碳排放。所有临时设施在施工前必须制定拆除与回收计划，明确各组成材料和设备的回收路径和责任方，拆除阶段应实施“拆解-分类-再生”三级管理，非破坏性拆除比例≥60%。临时设施的材料回收利用率宜符合表 9.2.3 的规定。

表 9.2.3 临时设施材料回收利用率目标值

材料、设备类别	回收利用率目标（%）	主要回收利用途径
结构构件（钢、铝）	≥ 98	租赁归还；拆卸后重复使用；回收再生
围护板材、膜材	≥ 90	租赁归还；拆卸后重复使用；回收再生
家具与设备	≥ 95	租赁归还；捐赠；二手市场出售
赛事景观与标识	≥ 85	改造后用于其他活动；回收再生
废旧座椅	≥ 90	
综合回收利用率	≥ 95	

注：本表目标值参考巴黎 2024 年奥运会等国际赛事的循环经济目标制定，鼓励以租赁和重复使用为主要手段。

9.2.4 应选用低噪声施工设备和工艺，合理安排高噪声作业时间。施工场界噪声排放应符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523 的规定，且夜间（22:00 至次日 6:00）高噪声作业应有相应的许可和公告。对有特殊要求的体育建筑项目，其噪声限值应满足表 9.2.2 的规定。

表 9.2.4 施工场界环境噪声排放限值（单位：dB(A)）

时段	现有标准（GB 12523）	建议值	主要噪声源
昼间 (06:00 - 22:00)	≤70 dB	≤70 dB	土石方、结构施工、装修
夜间 (22:00 - 06:00)	≤55 dB	≤50 dB	混凝土浇筑、少量运输
高噪声作业（特定时段）	-	禁止夜间作业（经许可除外）	打桩、破拆、高空钢结构安装
夜间钢结构吊装	≤55dB	≤48dB	采用液压同步提升技术

注：本表建议值为指导性要求，旨在为环境敏感区域的项目提供更高的管理目标。

9.2.5 夜间施工时，应采取有效的照明控制措施。照明灯具应采用全截光型，并合理布置和调节角度，避免光线直接射向施工场地外和天空，减少对周边社区和生态环境的光侵扰。夜间施工照明应符合下列要求：

- 1 应制定夜间照明管控方案；
- 2 应选用具有明确配光曲线的全截光型或截光型灯具，确保光线被严格控制作业区域内，最大限度减少向上方的逸散光和向场外的眩光；
- 3 灯具的安装高度、位置和投射角度应经过专门设计，以满足作业面照度要求为目标，应避免将大功率泛光灯直接对准场界外的居民楼或敏感建筑；
- 4 在非核心作业区、材料堆放区和生活区的照明，宜采用分区、分时控制。

9.2.6 施工现场的废水、泥浆水应经沉淀、过滤等有效处理，优先回用于场地降尘、车辆冲洗、绿化浇灌等，剩余部分应在达到国家和地方相关排放标准后方可排入市政管网。应符合下列规定：

- 1 根据规模和废水产生量，设置足够容量的沉淀池、隔油池、过滤池等组合式处理设施。对于大型项目，宜采用自动化的泥水分离设备，提高处理效率和水质；
- 2 建立回用管网系统，优先满足施工现场的非结构用水需求；
- 3 外排废水应保证水质符合《污水综合排放标准》GB 8978 及地方的更严格要求后，方可排放。排放口应设立监测点，并定期取样检测。

【条文解释】体育建筑项目基坑开挖深、混凝土用量大，施工过程中产生的工程废水和泥浆水量巨大，若直接排放，不仅浪费水资源，还会堵塞市政管网，污染水体。

9.2.7 应对钢筋、型钢、金属板材等主要材料进行深化设计和优化下料，其

损耗率应符合表 9.3.2 的控制目标值。

表 9.2.7 主要材料损耗率控制目标值

材料种类	传统施工损耗率参考值(%)	本规程控制目标值(%)
钢筋	3~5	≤ 2.5
型钢	2~3	≤ 1.5
金属幕墙板	5~8	≤ 4.0
模板	2~4 (周转摊销)	≤ 2.0 (周转摊销)
膜结构材料	12~15%	≤ 8
预制混凝土构件	2-4%	≤1.5%

注：本表控制目标值要求在施工深化设计阶段采用 BIM 等信息化技术进行优化下料。看台、楼梯、外墙板、设备模块等宜采用预制构件。预制构件的应用比例应满足设计要求，施工单位应编制专项的预制构件吊装、连接和质量控制方案。

9.2.8 场地道路基层、垫层、广场砖、非承重墙体等部位，应优先采用再生骨料混凝土、再生砖等再生建材。再生骨料在混凝土中的取代率应符合设计及相关专项技术规程的要求。

9.2.9 模块化看台安装误差应控制在±2mm 内。（国际奥委会《可持续赛事指南》2021 版要求）

9.2.10 临时道路应采用可拆卸钢制路基板，重复使用率≥95%。《北京 2022 冬奥会可持续发展报告》

9.2.11 应进行施工阶段建筑碳排放监测，制定控制管理措施。

9.3 施工废弃物管理

9.3.1 应在低碳施工专项方案中制定施工废弃物管理计划，明确源头减量措施。废弃物管理计划应涵盖以下内容：

- 1** 废弃物分类：施工现场必须设置独立的、有清晰标识的废弃物分类存放区，应分为：惰性材料（混凝土、砖石）、金属、木材、塑料、危险废弃物和混合废弃物；
- 2** 应在施工现场设置密闭式垃圾站，对无机非金属类、混合类等易产生扬尘的建筑垃圾进行分类存放，垃圾站内配备喷淋降尘系统，清运等过程

中开启降尘，垃圾站外设置建筑垃圾分类标识、负责人标识牌。严禁将建筑垃圾与生活垃圾进行混放；

3 计量与记录：应对各类废弃物的产生量、回收量、处理方式和去向进行详细计量和记录；

4 回收利用：可回收利用的施工废弃物应优先就地回用或由有资质的单位进行资源化利用。

9.3.2 施工废弃物综合回收利用率不应低于 80%，具体各类废弃物回收利用率目标值应符合表 9.3.2 的规定。

表 9.3.2 主要施工废弃物回收利用率目标值

废弃物种类	回收利用率目标（%）	主要回收利用途径
废混凝土、砌块、砂浆	≥ 70	破碎后制成再生骨料，用于路基、垫层、非承重混凝土等
废钢材、金属	≥ 98	回炉再生
废木材	≥ 95	加工成木屑板、生物质燃料，或作为模板、支撑重复使用
废玻璃	≥ 60	回收制成再生玻璃制品或作为建材骨料
废塑料	≥ 80	回收再生为塑料制品、油品或用于发电
废弃包装物（纸、塑料膜等）	≥ 85	分类回收，再生造纸、再生塑料等
其他（如废保温材料等）	≥ 50	根据材料性质进行回收或无害化处理
综合回收利用率	≥ 80%	

注：数据来源参考卡塔尔 2022 世界杯可持续发展报告及国内相关标准，设定具有先进性和可达性的目标值。

10 运维后评估

10.1 一般规定

10.1.1 应在建筑投入使用后 1 年内，建立覆盖能源、水、室内环境、废弃物及设施资产的数字化运维管理平台。数字化运维管理平台应符合下列要求：

- 1 能够整合来自不同系统（如能耗监测、环境传感器、设备自控、安防监控、票务系统等）的数据；
- 2 实现对能源、水资源、环境质量、废弃物等的分类、分项、分区域、分时管理，为精准诊断和优化提供基础；
- 3 应集成数字孪生系统，实时映射建筑能耗、设备运行与空间使用状态，实现赛时、非赛时模式的动态模拟与策略优化；
- 4 利用大数据分析、人工智能算法（如负荷预测、故障诊断）等技术，为运营决策提供科学依据，实现从“被动响应”到“主动预判”的转变。

10.1.2 应在建筑投入使用后 1 年内完成首次运行后评估，此后应以不超过 2 年为一个周期，定期开展运行后评估。

【条文解释】首次评估定于投用后 1 年内完成，参考 FIFA 要求大型场馆赛后 1 年完成性能验证的要求，同时考虑到建筑系统运行和使用模式需要一段时间才能稳定下来。此后以不超过 2 年为一个周期进行定期评估，对标欧盟《能源绩效指令》（EPBD）的建筑能效定期审查制度，旨在形成持续的监督和优化机制。这一周期要求借鉴了国内外绿色建筑运行评价的相关实践。

10.1.3 运维后评估报告应包含对体育建筑在赛时和非赛时两种或多种主要运行模式下的性能评估。评估内容应包括下列内容：

- 1 空间功能转换的有效性：评估场馆从赛时模式转换到赛后模式的便捷性、成本和时间；
- 2 系统调适的灵活性：评估机电系统（特别是暖通空调和照明）能否根据空间功能的变化进行分区、分时控制；
- 3 能效和环境质量水平：分别量化不同模式下的单位面积能耗、人均能耗和室内环境质量（如温湿度、CO₂ 浓度）等关键指标。为持续调适提供基础数据；
- 4 评估应量化赛时瞬时负荷建筑碳排放强度（如人均小时建筑碳排放量）与非赛时常态运行碳效率（如单位面积年建筑碳排放量）。

【条文解释】本条文旨在解决体育建筑最核心的运营特征——“瞬时高负荷、长期低利用率”所带来的挑战。大型体育建筑的生命周期价值，不仅取决于其在短暂赛期内的辉煌，更取决于其在漫长赛后能否可持续地服务于社会，即“遗产利用”（Legacy Use）的成功与否。国际奥委会（IOC）和国际足联（FIFA）的可持

续发展战略均将“遗产规划”置于核心地位，强调奥运会和世界杯场馆必须在申办之初就明确其长期用途，避免造成巨大的资源浪费和社会负担。本条文将这一国际先进理念转化为可量化、可评估的强制性要求，确保赛后利用从设计蓝图真正走向高效运营的现实。

10.1.4 既有体育建筑改造，应进行改造后的性能评估。

10.2 运维数据监测

10.2.1 智慧化运维管理体系应具备对建筑能耗、水耗、可再生能源系统性能、室内环境关键参数和主要设备运行状态的分类、分项、分区域的持续监测、数据记录与存储功能。监测系统的设置应符合表 10.2.1 的最低要求。

表 10.2.1 体育建筑运维核心数据最低监测要求

类别	监测参数	分项、分区示例	最低记录频率	备注
能源	总用电量	-	15 分钟	计费级电表
	照明插座用电	比赛场地、观众席、功能用房、室外泛光	逐时	用于区分赛时与非赛时负荷
	暖通空调系统用电	冷热源机组、水泵、风机、末端	逐时	持续调适和故障诊断的基础
	特殊工艺系统用电	泳池水处理、加热、制冰系统	逐时	针对体育场馆特有高耗能环节
	可再生能源	光伏发电量、光伏发电量消纳量、太阳能集热量	逐时	评估可再生能源贡献率
水资源	总用水量	-	每日	计费级水表
	分项用水	绿化灌溉、泳池补水、中水回用	每日	评估节水措施效果
室内环境	温度、湿度、	主要比赛空	逐时	关联能耗与舒

	CO2 浓度	间、典型观众区、主要功能用房		适度，评估通风有效性
可再生能源贡献率	光伏、地热能实际供能占比	——	逐月	
碳汇系统效能	绿地固碳量、雨水回用减碳量	——	逐月	
观众交通建筑碳排放强度	人均往返碳足迹	——	赛事	

10.2.2 应建立数据质量保证规程，对监测数据的完整性、准确性和一致性进行定期校验。所有监测数据应存储在开放、可访问的数据库中，并至少保存 5 年，以支持多周期的评估对比。规程应包含下列内容：

- 1 定期检查是否存在数据缺失、断点等问题，并分析原因（如传感器故障、网络中断）；
- 2 定期将关键计量表（如总电表、总水表）的读数与公用事业单位的账单进行比对，核查误差。对环境传感器等设备，应制定定期校准计划；
- 3 检查是否存在逻辑矛盾，例如，所有分项能耗之和是否与总能耗大致相符。

【条文解释】本条文旨在确保所采集数据的可靠性和可用性，防止“垃圾数据进，垃圾结论出”的现象。数据质量是数据价值的生命线。在以数据驱动的智慧运维体系中，错误或缺失的数据不仅会误导性能评估和优化决策，甚至可能导致系统控制失灵，造成能源浪费或安全风险。因此，建立一套完整的数据质量保证机制至关重要。

10.2.3 应采用区块链技术存证关键数据（如能耗、废弃物量），确保不可篡改。欧盟《通用数据保护条例》（GDPR）

10.3 评估及优化

10.3.1 应将年度、月度、特定比赛周期、特定颜艺周期的单位面积能耗、人均能耗、单位面积水耗等实际运行数据，与设计预测值和表 10.3.1 中的行业基准值进行对比分析，识别性能差距，并以书面形式记录偏差原因。

表 10.3.1 中国各气候区体育建筑能耗与水耗强度基准值

建筑类型	气候区	能耗强度基准值 EUI (kWh/m ² ·a)	水耗强度基 准 值 WUI (m ³ /m ² ·a)	数据来源与说明
体育场（露天、半露天）	严寒、寒冷	40 - 70	0.5 - 1.0	主要为非赛时供暖及赛时瞬时负荷。
	夏热冬冷	30 - 60	0.8 - 1.5	
	夏热冬暖	25 - 50	1.0 - 1.8	
体育馆（室内）	严寒、寒冷	80 - 140	0.6 - 1.2	全年均有较高空调与照明负荷。
	夏热冬冷	90 - 160	0.9 - 1.6	
	夏热冬暖	100 - 180	1.2 - 2.0	
游泳馆	所有区域	180 - 300+	5.0 - 10.0+	池水加热和除湿是主要能耗。WUI 指标较高，与泳池工艺密切相关。

注：本表数值是基于现有公开研究、地方标准和工程实践经验提出的指导性基准值，旨在为对标分析提供参考标尺。实际应用中应结合建筑的具体功能、规模和运行模式进行综合判断。随着国家层面体育建筑能耗数据监测体系的完善，本基准值应定期更新。

10.3.2 应基于监测数据和评估结果，对暖通空调、照明等主要用能系统的运行策略和控制参数进行持续调适，以主动、系统的方式优化系统能效，并记录调适措施与节能效果。

【条文解释】本条文旨在推广持续调适这种主动式运维技术。传统的运维模式多为“被动响应”或“坏了再修”，而持续调适是一种以数据为驱动、以系统优化为目标的持续性过程。它通过深入分析长期运行数据，找出系统在实际运行中存在的控制缺陷、参数漂移、效率低下等问题，并在不进行大规模硬件改造的前提下，通过优化控制策略和参数设定来挖掘节能潜力。研究和实践表明，持续调适通常可以实现 5%-15% 的节能效益，是成本效益最高的低碳运维手段之一。

10.3.3 非赛时应关闭赛时专用设备，仅维持基础运营

10.3.4 应基于历史数据和活动日程，为不同的运行模式（如大型赛事、日常训练、全民健身、空置期）建立独立的、最优化的系统运行参数库。

10.3.5 应在每次运行后评估周期内，至少开展一次覆盖不同使用人群（如观众、运动员、工作人员）的使用者满意度调查。调查结果应作为调适运维策略、改善服务质量的依据，并对使用者进行反馈。使用者满意度调查宜符合表 10.3.5 的规定。

表 10.3.5 使用者满意度调查表

调查对象	观众： 关注观赛体验、公共区域舒适度和便利性
	运动员、健身者： 关注比赛或训练场地的专业环境条件（如风速、温度、照明对比赛的影响）
	工作人员、志愿者： 关注后台办公和服务区域的环境与功能
调查内容	热舒适度： 对温度、湿度、风速的感受（如“过冷”、“过热”、“有吹风感”）
	室内空气质量： 对空气新鲜程度、有无异味的感受
	光环境： 对照度水平、眩光控制、视野景观的评价
	声环境： 对噪声干扰、语音清晰度的评价（对冰壶等需要清晰指令的运动尤为重要）
	功能适用性： 对空间布局、标识引导、设施便捷性、交通可达性等的评价

【条文解释】建筑的最终目的是为人服务。低碳建筑不应以牺牲使用者的健康、舒适和功能需求为代价。本条文强调了“以人为本”的原则，将使用者满意度作为衡量建筑综合性能的关键维度之一。这与《奥林匹克 2020 议程》中提出的“人文关怀”理念相契合，也与国际奥委会（IOC）强调的为社区和民众创造积极体验的遗产目标一致。通过定期的满意度调查，可以获取关于建筑性能最直接的主观反馈，弥补纯物理参数监测的不足。

10.3.6 当体育建筑的赛后利用模式发生重大变化，或运行后评估发现现有系统无法经济、高效地满足新需求时，应启动适应性低碳改造。改造方案的制定应优先利用在设计阶段预留的灵活性和可拆改性，并进行全生命周期碳评估。

【条文解释】本条文为体育建筑应对其生命周期中必然会遇到的功能转换和设

施更新提供了规范性指导，是实现其长期可持续发展的关键条款。它将“赛后遗产利用”从一个静态的设计概念，转变为一个动态的、持续的适应过程。当建筑的实际使用需求与初始设计发生显著偏离时，必须通过适应性改造来重新匹配，以避免建筑功能失效或陷入高能耗、低效率的运行困境。

10.3.7 大型赛事场馆宜在赛事结束后 6 个月内向社区开放，年开放天数应≥200 天，非赛时收入占比≥40%。

10.3.8 既有体育建筑改造后，应进行建筑碳排放变化的详细评估。

10.4 废弃物管理

10.4.1 运营单位应制定并实施运营期废弃物管理计划。该计划应包含源头减量、分类收集、计量记录和宣传引导等措施。

10.4.2 在观众区、餐饮区、办公区等关键区域应设置清晰、统一的废弃物分类回收设施。

10.4.3 应对各类废弃物的产生量、回收及处理量进行计量，并设定符合表 10.4.3 要求的管理目标。

表 10.4.3 体育建筑运营期废弃物管理最低目标

废弃物流	源头减量措施示例	最低总转移率（从填埋）	优先处理路径
食品废弃物	精准备餐、未售出食品捐赠	80%	1. 捐赠 2. 1 小时内冷链暂存 + 集中厌氧发酵制沼气 3. 堆肥
PET 塑料	推广可重复使用水杯、设置直饮水点	90%	闭环回收（瓶到瓶）
纸、纸板	推广电子票务和无纸化办公	90%	高价值回收
玻璃、金属	-	95%	回收
赛场临时设施、物料	租赁代替购买、模块化设计	95%	1. 再利用 2. 回收

注：“总转移率”指通过源头减量、再利用、回收、堆肥、能量回收等方式，未进入垃圾填埋场的废弃物占总产生量的百分比。

【条文解释】体育建筑在举办大型赛事或活动时，会在极短时间内产生巨量的运营期废弃物（如食品包装、饮料瓶、宣传品等），对城市环境和管理系统构成巨大压力。本条文借鉴了卡塔尔 2022 年世界杯和巴黎 2024 年奥运会等国际大型赛事在可持续发展方面的先进经验，旨在将废弃物管理从被动的“清运处理”转变为主动的、系统化的“源头-过程-末端”全链条管理。一个完善的废弃物管理计划是衡量体育建筑运营可持续性水平的重要标志。

10.4.4 应采用高价值的废弃物资源化利用路径，推动运营期废弃物进入循环经济体系。对于大型临时活动产生的标语、织物等废弃物，宜进行创意性再利用或升级改造。

11 信息化模型应用

11.1 模型信息

11.1.1 特大型、大型体育建筑，应在设计、施工和运维全生命周期内应用建筑信息模型（BIM）技术。对于特大型体育建筑，宜建立与实体建筑同步运行的数字孪生系统。应符合下列规定：

- 1 数字孪生系统需实时集成能耗、结构健康、人流密度数据，支持碳流模拟；
- 2 模型数据需符合 ISO 19650 标准，并开放 API 接口。

【条文解释】制定本条的目的是为体育建筑的精细化设计、集约化施工和智慧化运维提供基础的技术支撑。体育建筑具有投资巨大、结构系统复杂、机电管线繁多、公共安全要求高、赛时与非赛时运营模式差异巨大等特点。传统的二维设计和分散管理的方式已难以应对这些挑战，常常导致设计、施工、运维环节严重脱节，造成信息孤岛，最终引发投资超概、工期延误、运营能耗高企等问题，与低碳发展的目标背道而驰。新加坡《建筑智慧化规范》（2023）要求公共建筑数字孪生覆盖率 100%。欧盟《数字孪生建筑数据标准》（EN 17412-2022）

11.1.2 应在项目启动阶段，制定项目的 BIM 实施方案，并应明确各阶段的模型精细度、信息交付要求、低碳分析目标及数据交付责任方。BIM 实施方案应符合表 11.1.2 的要求。

表 11.1.2 体育建筑 BIM 实施方案核心内容

章节	核心条目	具体要求与说明
1. 项目信息 与目标	项目基本信息	项目名称、编号、地址、规模、等级等。
	低碳与智慧化目标	明确项目需达成的具体低碳指标（如：单位面积年建筑碳排放强度、可再生能源利用比例等）和智慧化运营目标。
2. BIM 应用 场景与交付成果	BIM 应用场景	应明确勾选并详述本项目将采用的 BIM 应用，特别是与低碳相关的应用，如：场地分析、能耗模拟、自然采光分析、全生命周期建筑碳排放评估（LCA）、施工废弃物管理、运维资产管理等。
	各阶段模型精细度（LOD）	依据《建筑信息模型设计交付标准》GB、T 51310 等，定义设计、施工、竣工各阶段主要构件的模型几何精细度（LOG）和信息精细度（LOI）。

3. 角色、职责与协同	项目参与方与 BIM 职责矩阵	明确建设、设计、施工、监理、运维等各方的 BIM 经理和协调员，并以矩阵形式清晰定义其在各 BIM 应用场景中的具体职责（RACI 矩阵）。
	协同工作流程	规定模型创建、更新、审查、发布的流程；基于通用数据环境（CDE）的协同工作方法；碰撞检查与问题解决流程。
4. 技术方案	软件平台	明确各专业使用的 BIM 建模软件及版本（如 Revit, ArchiCAD, Tekla 等），以及 LCA 分析软件（如 OneClick LCA, GaBi 等）和协同平台（如 BIM 360, Trimble Connect 等）。
	坐标系与文件命名	规定统一的项目基点、坐标系和文件命名规则，确保各专业模型能够正确整合。
	数据交付标准	明确信息交付格式（如 RVT, IFC, DWG 等）和数据交换标准（如 COBie）。
5. 质量保证	模型质量控制	规定模型自检、互检、专业检查的流程和标准，确保模型的几何准确性和信息完备性。
	会议计划	制定 BIM 启动会、周度协调会、月度审查会等会议计划。

11.1.3 BIM 模型应集成建筑、结构、机电等各专业信息，并应结构化地嵌入用于低碳分析和智慧运维所需的非几何信息。信息内容至少应包括：

- 1 建材与构件：**材料类型、密度、导热系数、回收或再利用属性、以及源自环境产品声明（EPD）或权威数据库的建筑碳排放因子；
- 2 机电设备：**设备型号、额定功率、能效等级或性能系数（COP）、部分负荷性能曲线（PLV）、设计寿命、维护周期及供应商信息。

【条文解释】为了让软件能够自动识别和提取这些非几何信息，建模时必须遵循一定的规范。例如，对于墙体、楼板、屋面等复合构件，应采用分层建模的方式，为每一个构造层赋予独立的材料及其属性（厚度、导热系数、建筑碳排放因子等），而不是将其建为一个单一的实体。对于材料和构件的命名，应采用清晰、一致的规则，避免使用“默认材料”、“材质”等模糊名称，以确保 LCA 软件能够准确匹配建筑碳排放因子数据库。如表 11.1.3 所示，一个简单的构件也应包含多维度的信息。

表 11.1.3 面向低碳分析的 BIM 构件信息表示例（以某玻璃幕墙单元为例）

参数类别	参数名称	示例值	数据来源、备注
几何信息	尺寸（宽 x 高 x 厚）	1500×3000×50 mm	设计图纸
物理性能	传热系数（U 值）	1.1 W/(m ² ·K)	性能计算书
	太阳得热系数（SHGC）	0.25	产品说明书
建筑碳排放信息	材料生产阶段建筑碳排放因子（A1-A3）	2.5 kgCO ₂ e/kg	厂商提供的 EPD 报告
	EPD 注册号	EPD-CN-2024-00123	EPD China 平台 ¹⁶
运维与寿命周期信息	设计使用年限	25 年	厂商质保文件
	维护周期	每年 1 次清洁，每 5 年 1 次密封胶检查	运维手册
	寿命终期处置方式	玻璃 90%回收，铝框 95%回收	行业数据或 EPD 报告

11.1.4 应建立统一的建筑信息分类和编码体系，并应用于所有模型构件。交付运维阶段的 BIM 模型应符合《建筑工程施工信息模型交付标准》（COBie）或等效的数据交换格式要求。

11.1.5 对于设计指定的可拆解、可再利用的关键构件和部品（如钢梁、预制看台板、模块化设备单元），宜在构件上附加包含唯一身份信息的数字化标签（如二维码或 RFID 芯片），并将标签信息与 BIM 模型关联。

11.1.6 既有体育建筑改造，应建立既有建筑 BIM 模型。

11.2 模型利用

11.2.1 设计阶段，应基于 BIM 模型开展一体化协同设计，并进行性能化模拟分析。对于特大型、大型体育建筑，应进行全生命周期建筑碳排放（LCA）分析，并以此指导和优化建筑、结构、机电等专业的低碳设计。

【条文解释】本条的核心思想是将 BIM 从一个三维可视化工具，转变为一个驱动设计的性能化分析与优化平台。在设计阶段，尤其是早期概念和方案阶段，所做的决策对建筑最终的建筑碳排放水平具有决定性影响。基于 BIM 模型的性

能化分析，能够为这些决策提供科学、量化的依据。

11.2.2 施工阶段，应利用 BIM 模型进行深化设计、三维碰撞检查、施工方案模拟（4D），并宜用于指导预制构件的数字化加工和施工废弃物的量化管理。

11.2.3 运维阶段，应基于竣工 BIM 模型建立可视化资产管理平台。

11.2.4 对于特大型体育建筑，宜集成物联网（IoT）、建筑设备监控系统（BMS）等实时数据，构建数字孪生系统，实现空间管理、设备监控、应急演练和运行策略的模拟与优化。数字孪生在体育建筑低碳运维中的核心应用包括：

- 1** 智能能源监控与管理：通过 AI 算法进行分析和预测，动态调整暖通空调（HVAC）系统的送风量、温度设定值以及照明系统的开关和亮度；
- 2** 预测性维护：通过在关键设备（如大型冷水机组、可伸缩屋盖的驱动装置）上安装振动、温度等传感器，实时监测其运行状态，并通过机器学习算法分析数据趋势，预测设备可能发生的故障。在故障实际发生前发出预警，指导运维人员进行针对性维护，避免重大故障导致的赛事中断和高昂的维修成本；
- 3** 应急事件模拟与演练：通过模拟火灾、设备故障、人员过度拥挤等突发事件，测试不同疏散路径和引导策略的效果，找出最优应急预案。结合实时监控到的人流和障碍物信息，动态生成最优疏散路径，并通过场馆内的显示屏和手机 APP 推送给被困人员，提升场馆的安全韧性。
- 4** 数据驱动的决策支持与闭环反馈：将实际运行数据反馈至设计和策划阶段，用于验证和修正设计参数、优化设计方案，从而为未来新建或改建的体育建筑提供基于实证的指导，形成持续改进的知识闭环，实现全生命周期的一体化。

【条文解释】本条旨在将 BIM 模型的价值从建成交付延伸至长达数十年的运营期，这是体育建筑实现全生命周期低碳目标的关键所在。运营阶段的建筑碳排放是体育建筑总建筑碳排放的主要组成部分，通过数字化手段实现智慧化运营，是节能降碳潜力最大的环节。

用词说明

为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

- 《污水综合排放标准》 GB 8978
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》 GB 12523
- 《大气污染物综合排放标准》 GB 16297
- 《木结构设计标准》 GB 50005
- 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 《建筑采光设计标准》 GB 50033
- 《建筑照明设计标准》 GB 50034
- 《钢结构防腐涂料应用技术规范》 GB 50154
- 《建筑结构振动控制规范》 GB 50209
- 《民用建筑热工设计规范》 GB 50176
- 《建筑工程绿色施工规范》 GB/T 50905
- 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》 GB 55015
- 《绿色建筑评价标准》 GB/T 50378
- 《建筑碳排放计算标准》 GB/T 51366
- 《装配式建筑评价标准》 GB/T 51129
- 《建筑与市政工程施工现场水污染防治技术规范》 GB/T 51306
- 《建筑能耗实时监测系统技术标准》 GB/T 28847
- 《建筑信息模型设计交付标准》 GB/T 51310
- 《建筑工程绿色施工评价标准》 GB/T 50640
- 《大型体育场馆运营管理规范》 GB/T 28869
- 《建筑能耗实时监测系统技术标准》 GB/T 28847
- 《建筑数据安全技术要求》 GB/T 38622
- 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ 1
- 《体育场馆照明设计及检测标准》 JGJ 153

《再生骨料应用技术规程》 JGJ/T 240

《建筑工程废弃物减量化技术标准》 JGJ/T 402

《餐饮废弃物处理技术规范》 CJJ 184