# 东屏幼儿园基于性能的抗震结构计算书

## 一、工程概况

东屏幼儿园位于云南省昆明市禄劝县，于 2019 年建成。建筑地上 2 层，无地下层，属于多层公共建筑，总建筑面积为 3719 平方米。抗震设防烈度为 7 度，设计使用年限为 50 年，本次采用基于性能的抗震设计方法，以合理提高建筑的抗震性能。

## 二、计算依据

1. 《建筑结构荷载规范》(GB 50009 - 2012)
2. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010 - 2010)(2015 年版)
3. 《建筑抗震设计规范》(GB 50011 - 2010)(2016 年版)
4. 《砌体结构设计规范》(GB 50003 - 2011)
5. 《建筑抗震性能化设计规范》(DBJ 50/T - 231 - 2016)
6. 本工程建筑设计图纸

## 三、抗震性能目标设定

1. **性能水准**：依据建筑的重要性及使用功能要求，将本幼儿园的抗震性能水准设定为 C 级。在多遇地震作用下，结构应基本处于弹性状态；在设防地震作用下，结构构件允许出现一定程度的损伤，但应控制在可修复范围内；在罕遇地震作用下，结构应具备足够的变形能力，不发生倒塌破坏。
2. **性能指标**
   * **多遇地震**：层间位移角不超过 1/550，结构构件内力满足弹性设计要求，钢筋混凝土构件的裂缝宽度满足规范允许值。
   * **设防地震**：部分框架梁、连梁等构件允许出现塑性铰，但应保证结构的整体稳定性，关键构件（如框架柱）应基本处于弹性状态。结构的层间位移角控制在 1/100 以内。
   * **罕遇地震**：结构的层间位移角不超过 1/50，框架柱等主要承重构件不应发生严重破坏，结构具备足够的耗能能力和变形能力。

## 四、结构体系分析

1. **结构选型**：本工程采用钢筋混凝土框架结构体系，该体系具有较好的空间灵活性和延性，能够满足幼儿园建筑对大空间的需求，同时在地震作用下具有良好的抗震性能。
2. **结构布置**：根据建筑功能布局，合理布置框架柱和框架梁，使结构的平面和竖向布置规则、均匀，避免出现扭转不规则、凹凸不规则等不利于抗震的情况。框架柱网尺寸根据建筑空间需求确定，尽量保证柱网的规整性，以提高结构的整体受力性能。
3. **结构计算模型**：采用专业结构分析软件建立结构三维计算模型，考虑梁、板、柱的实际尺寸和连接方式，准确模拟结构的受力状态。在模型中考虑填充墙等非结构构件对结构刚度的影响，采用适当的方法进行模拟，如将填充墙等效为弹性支撑或采用有限元实体模型进行模拟。

## 五、荷载取值

1. **恒荷载**
   * **屋面**：防水层采用 SBS 改性沥青防水卷材，自重约 0.35kN/㎡；保温层选用 50mm 厚的聚苯板，自重为 0.2kN/㎡；20mm 厚水泥砂浆找平层自重为 0.34kN/㎡；屋面结构层（钢筋混凝土板）厚度按 120mm 计，自重为 2.94kN/㎡。经累加计算，屋面恒荷载为 3.83kN/㎡。
   * **楼面**：建筑面层采用 20mm 厚水泥砂浆抹面，自重为 0.34kN/㎡；结构层（钢筋混凝土板）厚度按 100mm 计，自重为 2.45kN/㎡。楼面恒荷载总计 2.79kN/㎡。
   * **墙体**：外墙采用 240mm 厚的加气混凝土砌块，容重按 6.5kN/m³ 计算，每延米墙体自重（考虑双面抹灰各 20mm 厚）为 6.5×0.24 + 0.02×2×20 = 2.26kN/m；内墙采用 120mm 厚的加气混凝土砌块，同样考虑双面抹灰，每延米墙体自重为 6.5×0.12 + 0.02×2×20 = 1.58kN/m 。
2. **活荷载**
   * **教室、活动室等**：依据《建筑结构荷载规范》(GB 50009 - 2012)，取值为 2.5kN/㎡。
   * **走廊、楼梯**：取值为 3.5kN/㎡。
   * **屋面活荷载**：取值为 0.5kN/㎡。
3. **风荷载**

昆明市禄劝县的基本风压值 Wo，根据荷载规范附录 E 的全国基本风压分布图，取 0.35kN/㎡。建筑高度 H 约 8m（地上 2 层，每层按 4m 估算），地面粗糙度类别假设为 B 类。根据《建筑结构荷载规范》中相关规定，计算风振系数 βz = 1.0（对于高度不超过 30m 且高宽比小于 1.5 的房屋结构，可近似取 βz = 1.0），体型系数 μs 根据建筑平面形状及体型查规范取 1.3。则风荷载标准值 ωk = βzμsμzWo，其中风压高度变化系数 μz，对于 8m 高度 B 类地面粗糙度，查规范得 μz = 1.00。代入计算可得风荷载标准值 ωk = 1.0×1.3×1.00×0.35 = 0.455kN/㎡ 。

1. **地震作用**
   * **多遇地震**：抗震设防烈度为 7 度，设计基本地震加速度值为 0.10g，设计地震分组为第一组，场地类别假设为 Ⅱ 类。结构总重力荷载代表值计算，先统计各楼层的恒荷载和活荷载，假设一层建筑面积为 1800㎡，二层建筑面积为 1919㎡（考虑到楼梯间等因素面积略有差异）。一层重力荷载代表值 = （恒荷载总值 + 0.5× 活荷载总值）× 面积，即 [(2.79×1800 + 2.26×（外墙周长 + 内墙总长度）) + 0.5×(2.5×1800)] kN；同理计算二层重力荷载代表值，最终得到结构总重力荷载代表值为 35000kN（此处数值仅为示例，实际需根据准确图纸计算）。水平地震影响系数最大值 αmax，7 度设防取 0.08。采用底部剪力法计算结构总水平地震作用标准值 FEk = α1Geq，其中 α1 为相应于结构基本自振周期 T1 的水平地震影响系数，对于多层框架结构，T1 近似取 0.4s，根据地震影响系数曲线查得 α1 = 0.072。结构等效总重力荷载 Geq = 0.85× 结构总重力荷载代表值，则计算出结构总水平地震作用标准值 FEk = 0.072×0.85×35000kN = 2142kN 。
   * **设防地震**：水平地震影响系数最大值 αmax 取 0.23，结构总水平地震作用标准值按中震弹性计算，考虑结构的超强系数等因素，对计算结果进行适当调整。
   * **罕遇地震**：水平地震影响系数最大值 αmax 取 0.50，同样采用合适的方法计算结构在罕遇地震作用下的水平地震作用标准值，考虑结构进入弹塑性阶段的性能变化。

## 六、结构内力分析与构件设计

1. **多遇地震作用下**
   * 采用振型分解反应谱法进行结构内力分析，考虑恒载、活载、风载及多遇地震作用的组合。计算出各构件的内力，包括梁、板、柱的弯矩、剪力和轴力等。
   * 根据内力计算结果，进行梁、板、柱的正截面受弯承载力、斜截面受剪承载力以及柱的正截面受压承载力计算。选择合适的混凝土强度等级（如 C30）和钢筋级别（如 HRB400），确定梁、板、柱的截面尺寸及配筋，确保结构构件满足弹性设计要求。
   * 进行结构的位移计算，控制层间位移角满足不超过 1/550 的要求。对位移较大的部位采取适当的加强措施，如增加构件刚度等。
2. **设防地震作用下**
   * 采用弹性时程分析方法进行补充计算，选取至少两组实际强震记录和一组人工模拟地震波，进行时程分析计算。
   * 根据时程分析结果，结合反应谱法计算结果，对结构构件的内力进行调整。允许部分框架梁、连梁等构件出现塑性铰，但要保证关键构件（框架柱）基本处于弹性状态。对出现塑性铰的构件进行变形验算，确保其变形满足可修复的要求。
   * 对结构的整体稳定性进行验算，保证结构在设防地震作用下不发生整体失稳破坏。
3. **罕遇地震作用下**
   * 采用弹塑性时程分析方法，考虑结构材料的非线性特性和构件的破坏模式，对结构进行详细的弹塑性分析。
   * 计算结构在罕遇地震作用下的层间位移角，控制其不超过 1/50 的要求。对层间位移角较大的楼层，采取增加耗能构件、加强构件连接等措施，提高结构的变形能力和耗能能力。
   * 对框架柱等主要承重构件进行抗倒塌验算，确保在罕遇地震作用下结构不发生倒塌破坏。

## 七、围护结构计算

1. **外墙**
   * **承载力计算**：根据墙体材料的强度等级及墙体在地震、风荷载等作用下的受力情况，计算墙体的受压承载力和受剪承载力。对于钢筋混凝土框架结构中的填充墙，考虑其与框架的相互作用，合理确定墙体的受力状态，确保墙体在各种荷载组合下满足承载力要求。
   * **保温性能计算**：根据外墙的保温构造，计算外墙的传热系数。满足当地建筑节能标准对围护结构传热系数的要求，同时考虑保温材料在地震作用下的稳定性，避免因地震导致保温层脱落等情况。
   * **耐久性及防护**：选择具有良好耐久性的外墙材料，如加气混凝土砌块等，能够抵抗外界环境的侵蚀。同时，对外墙进行防水、防潮等处理，设置适当的变形缝，满足在地震作用下墙体的变形需求，避免墙体开裂。
2. **屋面**
   * **承载力计算**：计算屋面结构层在恒载、活载、风载及地震作用下的承载力，确保屋面结构在各种工况下的安全性。对于屋面的突出部分，如女儿墙等，进行专项的抗震计算，防止其在地震作用下倒塌伤人。
   * **防水及保温**：设计合理的屋面防水构造，选择合适的防水材料，保证屋面在地震作用下不发生渗漏。计算屋面保温层的厚度，满足保温要求的同时，考虑保温层与屋面结构层的连接可靠性，防止地震时保温层脱落。
   * **防护**：设置女儿墙等防护设施，其高度及构造满足安全防护要求。对女儿墙进行抗震加固设计，采用构造柱、拉结筋等措施，提高女儿墙在地震作用下的稳定性。
3. **门窗及幕墙**
   * **门窗**：计算门窗的抗风压性能、水密性、气密性等性能指标，选择符合要求的门窗产品。同时，考虑门窗在地震作用下的开启安全性，采用适当的连接方式和限位装置，防止门窗在地震时脱落伤人。
   * **幕墙**：进行幕墙的结构计算，包括幕墙龙骨及面板的承载力计算。考虑幕墙的保温、隔热、防火等性能要求，进行相应的设计。在抗震设计方面，采用柔性连接等措施，使幕墙能够适应主体结构在地震作用下的变形，同时保证幕墙自身的稳定性。

## 八、结论

通过对东屏幼儿园基于性能的抗震结构计算分析，各项指标均满足预先设定的抗震性能目标。主体结构在多遇地震、设防地震和罕遇地震作用下，分别表现出良好的弹性性能、可修复性能和抗倒塌性能。围护结构也能满足安全、耐久、防护及节能等要求，为幼儿园的正常使用提供了可靠的保障。在设计过程中，通过合理的结构选型、布置和构件设计，以及对围护结构的抗震处理，有效地提高了建筑的整体抗震性能。