T/CECS   -2024

中国工程建设标准化协会标准

建筑工程混凝土屋面防水耐久性评定方法标准

Durability planning and assessment for concrete roof waterproofing

2024年11月

前  言

根据中国工程建设标准化协会《2022年第二批协会标准制订、修订计划》（建标协字〔2022〕40号）的要求，编制组经广泛的调查研究，认证总结实践经验，考察有关国内外标准和先进经验，并在广泛征求意见的基础上，共同编制了本标准。

本标准共分为5章和1个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、耐久性规划、耐久性评定等。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程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防水防护与修复专业委员会归口管理，由中国中建科创集团有限公司负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中，如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送至中国中建科创集团有限公司（地址：上海市黄浦区中华路869号，邮编：200011）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 主编单位： | 中国中建科创集团有限公司  中建工程产业技术研究院有限公司 | | | | |
| 参编单位： |  | | | | |
| 主要起草人员： |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 主要审查人员： |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

目  次

**1** 总则 1

**2** 术语和符号 2

**2.1** 术语 2

**2.2** 符号 4

**3** 基本规定 6

**4** 耐久性规划 7

**4.1** 一般规定 7

**4.2** 渗漏风险 7

**4.3** 防水设计工作年限 8

**5** 耐久性评定 11

**5.1** 一般规定 11

**5.2** 预期工作年限 11

**5.3** 参照工作年限 21

**5.4** 专家判断方法 25

附录A 确定参照工作年限的通用方法 27

本标准用词说明 34

引用标准名录 35

附：条文说明 39

**1** 总则 40

**2** 术语和符号 45

**2.1** 术语 45

**2.2** 符号 45

**3** 基本规定 46

**4** 耐久性规划 50

**4.1** 一般规定 50

**4.2** 渗漏风险 52

**4.3** 防水设计工作年限 56

**5** 耐久性评定 63

**5.1** 一般规定 63

**5.2** 预期工作年限 66

**5.3** 参照工作年限 88

**5.4** 专家判断方法 99

附录A 确定参照工作年限的通用方法 103

Contents

1 General provisions 1

2 Terms and symbols 2

2.1 Terms 2

2.2 Symbols 4

3 Basic requirements 6

4 Durability planning 7

4.1 General requirements 7

4.2 Leakage risk 7

4.3 Waterproofing design working life 8

5  Durability assessment 11

5.1 General requirements 11

5.2 Estimated working life 11

5.3 Reference working life 21

5.4 Expert judgment method 25

Appendix A General method for determining reference working life 27

Explanation of wording in this standard 34

List of quoted standards 35

Addition: Explanetion of Provision 39

1. 总则
   * 1. 为规范混凝土屋面工程防水耐久性规划与评定，做到科学合理、可靠适用，制定本标准。
     2. 本标准适用于混凝土屋面工程防水耐久性规划与评定。
     3. 混凝土屋面工程耐久性的规划与评定除参照本标准规定执行外，尚应符合国家现行有关标准的规定。
2. 术语和符号
   1. 术语
      1. 耐久性规划  durability planning

为确保工程全生命周期中功能、成本、环境影响等具备合理性，以风险、经济分析等方法确定设计工作年限的过程。

* + 1. 耐久性评定  durability assessment

为确保工程实际工作年限不低于其设计工作年限，采用试验、数据分析、推断模型等确定预期工作年限的过程。

* + 1. 防水材料  water proofing material

具备阻止或减缓水分渗透功能的材料。

* + 1. 防水系统  water proofing kits

采用多类材料集成，具有防水和其他功能的关联性整体。

* + 1. 防水工程  water proofing engineering

采用相关科学知识和技术措施，将材料、系统通过有组织的建造活动，转化为具有防水功能人造物的过程和结果。

* + 1. 防水有效性  water proofing effectiveness

材料、工程维持允许渗漏量的状态。

* + 1. 防水耐久性  water proofing durability

在可能的影响因素作用下，工程的整体或局部在特定时间内保持防水有效性的能力。

* + 1. 防水功能  water proofing function

材料、工程具备防水有效性和耐久性的效能。

* + 1. 工作年限  working life

材料、系统、工程在没有大修的前台下，满足使用性能和有效性要求的时间。

* + 1. 设计工作年限  design working life

材料、系统、工程计划达到的工作年限。

* + 1. 预期工作年限  estimated working life

基于材料、系统、工程在特定使用条件下的使用或耐久性试验数据，通过修正或计算模型推断得出的工作年限。

* + 1. 参照工作年限  reference working life

在一定的实际使用条件下，通过试验、统计等方法得出材料、系统、工程的工作年限，以之作为计算基准值，对照特定的使用条件，采用因子计算方法对之进行修正，从而可得出预期工作年限。

* + 1. 参照工作年限数据集  reference working life data

用于推断参照工作年限的有用信息，包括试验、统计等方法得到的耐久性数据，以及与之相关的定性或定量信息。

* + 1. 剩余工作年限  residual working life

材料、系统、工程经过一段时间使用后，基于使用条件下的实际或耐久性试验表现，通过修正或计算模型推断得出的工作年限。

* + 1. 使用条件  in-use conditions

工程因内在性质、建造、使用、环境影响所形成的状态。

* + 1. 参照条件  reference in-use conditions

用于描述参照工作年限的使用条件，如试验、实际服役等条件。

* + 1. 预期条件  estimated in-use conditions

用于描述预期工作年限的使用条件，一般为目标条件的实际服役条件。

* + 1. 修正因子  factors

按照工程内在性质、建造、使用、环境影响等因素进行分级，对参照值进行修正以得出预期值的系数。

* + 1. 因子计算方法  factor method

基于参照工作年限，依据被参照对象与目标对象使用条件的差异，采用修正因子对参照值进行修正以得出预期值的方法。

* + 1. 性能衰减  degradation

材料及其微观结构等受影响因素作用产生的性能下降。

* + 1. 影响因素  agent

对材料、工程的性能产生衰减的人为或自然作用。

* + 1. 老化  aging

材料、工程因影响因素作用而导致的性能衰减。

* + 1. 长期老化  long-term exposure

影响因素与实际使用条件一致条件下，材料、系统的长时间性能衰减。

* + 1. 实际使用老化  in-use exposure

将材料、系统置于实际建筑或应用场景中，影响因素与实际使用条件一致条件下的性能衰减。

* + 1. 短期老化  short-term exposure

影响因素与实际使用条件一致的条件下，短时间的性能衰减。

* + 1. 短期加速老化  accelerated short-term exposure

将影响因素作用等级设置成较高于正常使用的状态，在一定时间内进行老化以实现性能快速衰减。

* + 1. 临界状态  critical state

性能衰减到不适合使用或不能满足特定性能的表象与特征。

* 1. 符号
     1. 工作年限：

|  |  |
| --- | --- |
| —— | 修正因子； |
| —— | 材料质量修正因子； |
| —— | 建造质量修正因子； |
| —— | 使用环境修正因子； |
| —— | 服役过程修正因子； |
| —— | 设计工作年限； |
| —— | 预期工作年限； |
| —— | 参照工作年限； |
| —— | 渗漏风险指标； |
| —— | 渗漏风险社会因子； |
| —— | 渗漏风险经济因子； |
| —— | 渗漏风险环境因子； |

* + 1. 屋面类型与影响因素：

|  |  |
| --- | --- |
| —— | 影响因素 |
| —— | 材料质量； |
| —— | 建造质量； |
| —— | 使用环境； |
| —— | 服役过程； |
| —— | 屋面构造。 |

* + 1. 概率计算：

|  |  |
| --- | --- |
| —— | 置信区间； |
| —— | 标准差； |
| —— | 保守度系数； |
| —— | 估计值； |
| —— | 估计值权重系数； |

1. 基本规定
   * 1. 耐久性规划与评定宜按全生命周期划分成制造、设计、施工、服役等阶段。
     2. 耐久性规划、评定应分别以设计工作年限、预期工作年限表征，数值应为整数，单位应为y。
     3. 防水工程耐久性影响因素宜分成材料质量、建造质量、使用环境和服役过程四类。
     4. 制造阶段耐久性相关事项宜包括：
        1. 依据影响因素确定材料类型和系统构成。
        2. 验证材料、系统的预期工作年限。
        3. 提出建造、维护相关要求。
     5. 设计阶段耐久性相关事项宜包括：
        1. 依据技术、社会、经济、环境等条件，设定材料、系统、工程的设计工作年限。
        2. 确认材料、系统、工程性能是否满足相关标准或协议要求。
        3. 提出建造、维护相关要求。
     6. 施工阶段耐久性相关事项宜包括：
        1. 对材料、工艺进行质量控制，以实现预期工作年限。
        2. 考虑不可避免的错误或误差，采取加强、防护措施。
        3. 记录施工状况、构造、细节等，作为服役阶段备用资料。
     7. 服役阶段耐久性相关事项宜包括：
        1. 依据影响因素、使用条件、建筑功能和设计工作年限、预期工作年限制定维护制度。
        2. 维护制度应包括使用、维修、翻新的计划与措施。
2. 耐久性规划
   1. 一般规定
      1. 耐久性规划宜遵循因地制宜、经济合理、技术可靠的原则。
      2. 耐久性规划应包括防水性能要求、渗漏风险和设计工作年限。
      3. 混凝土屋面工程防水性能要求应为无渗漏，且结构背水面无湿渍。
      4. 预期工作年限应大于设计工作年限。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | （4.1.4） |
| 式中： | —— | | 预期工作年限（y）； |  |
|  | —— | | 设计工作年限（y）。 |  |

* 1. 渗漏风险
     1. 渗漏风险分析应包括下列内容。
        1. 渗漏导致的建筑功能、技术和经济影响。
        2. 渗漏时需采取的维护、替换、废弃措施。
        3. 渗漏风险所对应的工程防水类别。
     2. 渗漏风险指标的计算宜按下式计算。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | （4.2.2） |
| 式中： | ——  ——  ——  —— | | 渗漏风险指标；  渗漏风险社会因子，宜按表4.2.2规定取值；  渗漏风险经济因子，宜按表4.2.2规定取值；  渗漏风险环境因子，宜按表4.2.2规定取值。 | |

表4.2.2 风险分解因子取值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 准则层 | 指标层 | 影响严重程度 | | | | |
| Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅴ |
| 社会风险 | 对建筑结构可靠性的影响 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| 对建筑外观的影响 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| 对生产作业或使用人员生活品质的影响 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| 对使用人员健康卫生的影响 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| 经济风险 | 渗漏后对材料进行维修、替换的成本 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| 渗漏后传热系数增加导致的能耗成本 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| 渗漏导致建筑使用中断、闲置的成本 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| 渗漏导致存储物品损坏的成本 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| 环境风险 | 渗漏对环境的直接或间接污染 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |

注：Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ分别代表很高、高、中、低、很低。

* + 1. 工程防水类别宜按渗漏风险指标分级，并符合表4.2.3的规定。

表4.2.3 工程防水类别分级依据

|  |  |
| --- | --- |
| 工程防水类别 | 渗漏风险指标 |
| 甲 |  |
| 乙 |  |
| 丙 |  |

* + 1. 渗漏风险指标可作为渗漏风险管理的依据。
    2. 工程防水类别所对应的防水性能要求应符合现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030的规定。
  1. 防水设计工作年限
     1. 防水设计工作年限应依据材料、工程的替换难度和功能设置。
     2. 材料、工程的替换难度等级宜符合表4.3.2的规定。

表4.3.2 材料、工程的替换难度等级

| 级别 | 定义 | 材料 | 工程 |
| --- | --- | --- | --- |
| Ⅰ | 可替换，短期使用 | 抵抗疲劳作用，需定期替换的材料，如覆盖材料、密封材料等，伸缩部位密封件等 | 临时设施等 |
| Ⅱ | 可维修，可轻易替换 | 外露密封胶、水落口、天沟、女儿墙盖板、外露排水设施、天窗等 | 简易屋面、单层柔性卷材防水屋面等 |
| Ⅲ | 可维修，需要较大难度 | 屋面内部密封、防水材料、隐蔽排水设置、装配式屋面等 | 常规混凝土屋面工程，存在大量设施的屋面等 |
| Ⅳ | 替换难度极大或不能替换 | — | 重型种植屋面工程，混凝土结构自防水工程等 |

* + 1. 混凝土屋面工程防水设计工作年限应与建筑设计工作年限相匹配，取值宜符合表4.3.3的规定。

表4.3.3 防水设计工作年限推荐值（y）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 建筑或结构类别 | 建筑或结构设计工作年限 | 替换难度等级 | | | |
| Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ |
| 临时性建筑结构 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 易于替换的结构构件 | 25 | 10 | 25 | 25 | 25 |
| 普通房屋和构筑物 | 50 | 10 | 25 | 25 | 50 |
| 标志性或特别重要建筑 | 100 | 10 | 25 | 50 | 100 |

* + 1. 材料、系统、工程设计工作年限宜按表4.3.4的规定取值。

表4.3.4 材料、系统、工程的设计工作年限推荐值（y）

| 类别 | 类型 | 替换难度等级 | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ |
| 材料 | 外露防水卷材、涂料、水泥基防水材料 | 10 | 25 | 50 | — |
| 非外露防水卷材、涂料、水泥基防水材料 | — | 25 | 50 | — |
| 抵抗疲劳、冻融作用的密封材料 | 5 | 10/25 | — | — |
| 非抵抗疲劳作用的密封材料 | 10 | 25 | 50 | — |
| 采光窗、屋顶窗、导光管、采光瓦 | 10 | 25 | — | — |
| 金属、塑料类盖板、压顶、遮挡材料 | 10 | 25 | — | — |
| 薄板间封闭弹性密封材料，衬垫材料 | 10 | 25 | — | — |
| 混凝土类盖板、压顶、遮挡材料 | — | 25 | 50 | — |
| 防水材料收口部位固定、封边材料 | 10 | 25 | — | — |
| 保温材料 | — | 25 | 50 | — |
| 隔汽层、排汽管、排汽设施 | — | 25 | 50 | — |
| 块状保护层、隔离材料 | — | 25 | 50 | — |
| 薄层保护层 | 10 | 25 | — | — |
| 水落口、天沟、檐沟、排水管道 | 10 | 25 | 50 | — |
| 卷材或防水材料紧固件 | 10 | 25 | 50 | — |
| 泡沫填充材料 | — | 25 | 50 | — |
| 架空层 | — | 25 | 50 | — |
| 屋顶出入口盖板 | 10 | 25 | — | — |
| 系统 | 防水层非外露卷材、涂膜防水系统 | — | 25 | 50 | — |
| 防水层外露卷材、涂膜防水系统 | 10 | 25 | — | — |
| 重型种植屋面防水系统 | — | 25 | 50 | — |
| 工程 | 防水层非外露卷材、涂膜防水屋面 | 5 | — | 50 | 100 |
| 防水层外露卷材、涂膜防水屋面 | 5 | — | 50 | 100 |
| 重型种植屋面 | — | — | 50 | 100 |
| 架空屋面、停车屋面、蓄水屋面 | — | — | 50 | 100 |

1. 耐久性评定
   1. 一般规定
      1. 耐久性评定应遵循试验科学、数据可靠、推断严谨、评定稳健的原则，宜以多种方式相互校验。
      2. 耐久性评定应包括方法、数据和推断，结果应以预期工作年限表征。
      3. 预期工作年限评定方法宜符合下列规定。
         1. 宜采用因子计算方法。
         2. 因子计算方法应基于参照工作年限，结合材料质量、建造质量、使用环境和服役过程等因素采用修正因子进行调整。
         3. 当数据不充分时，可采用专家判断方法。
      4. 参照工作年限宜依据试验或实际服役数据确定，并采用实际服役与实验室试验相互对照，或以长期与短期老化试验进行对照。
   2. 预期工作年限
      1. 预期工作年限应按下式计算。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | （5.2.1） |
| 式中： | ——  ——  ——  ——  ——  —— | | 预期工作年限（y）；  参照工作年限（y）；  材料质量修正因子；  建造质量修正因子；  使用环境修正因子；  服役过程修正因子。 |  |

* + 1. 参照工作年限的取值应符合下列规定。
       1. 应包含材料质量、建造质量、使用环境和服役过程信息。
       2. 参照条件与预期条件宜尽量一致。
       3. 可基于实际应用、试验数据、经验判断、研究文献等获取。
    2. 修正因子的分级及取值应符合下列规定。
       1. 宜按表5.2.3进行分级。

表5.2.3 预期条件与参照条件的分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 级别 | 等级 | 说明 |
| 1 | 极高 | 最高等级，较强和极强次级影响因素叠加，对耐久性产生极强的影响 |
| 2 | 高 | 次高等级，中间和较强次级影响因素叠加，对耐久性产生较强的影响 |
| 3 | 中 | 中度等级，较低和中等次级影响因素叠加，对耐久性产生明显的影响 |
| 4 | 低 | 较弱等级，极低和较低次级影响因素叠加，对耐久性产生适当的影响 |
| 5 | 极低 | 最弱等级，较低次级影响因素叠加，对耐久性产生一般的影响 |

* + - 1. 累积修正值应与实际应用进行对照分析。
      2. 应减少修正因子的累积计算。
      3. 当参照条件已包含预期条件的影响因素时，不得重复修正。
      4. 可采用单一值、置信区间、概率分布函数等表达。
      5. 当条件不足时，可采用专家判断方法确定。
    1. 材料质量修正因子的分级宜符合下列规定。
       1. 次级因素宜分为基层材料、保温材料、防水材料、保护隔离材料、接缝密封材料、排水组件6类，次级因素分级宜符合表5.2.4-1~表5.2.4-6的规定。

表5.2.4-1 基层材料质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 防水层施工时，基层强度未达到设计指标要求 | 防水层之下的找平、找坡层因工期、天气等原因，强度未达到设计值要求 |
|  | 2 | 基层强度达到设计指标要求，但存在0.3 mm以上的贯通裂缝 | 防水层之下的找平、找坡层强度合格，但因构造、养护等原因，存在大于0.3 mm的贯通裂缝 |
|  | 3 | 基层强度、抗开裂满足要求 | 防水层之下的找平、找坡层强度合格，无贯通裂缝 |

表5.2.4-2 保温材料质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 材料质量满足产品标准规定，低于75%置信水平，或长期蠕变不满足第5.3.5条的要求 | 材料因制造质量控制原因导致品质偏低，搬运、存储时破损或破坏，或材料在长期荷载作用下产生较大的压缩蠕变 |
|  | 2 | 材料质量满足产品标准规定，达到75%置信水平 | 材料制造、存储、运输过程中，因不利因素影响材料质量 |
|  | 3 | 材料质量满足产品标准规定，达到95%置信水平 | 材料制造、存储、运输管控良好 |

表5.2.4-3 防水材料质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 材料质量满足产品标准规定，低于75%置信水平 | 材料制造、存储、运输过程中，存在严重影响材料质量的因素，如质量稳定性控制、运输破损、材料过期等 |
|  | 2 | 材料质量满足产品标准规定，达到75%置信水平 | 材料制造、存储、运输过程中，因不利因素影响材料质量 |
|  | 3 | 材料质量满足产品标准规定，达到95%置信水平 | 材料制造、存储、运输管控良好 |

表5.2.4-4 保护隔离材料质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 保护隔离材料质量较差 | 块状、片状、粒状等保护隔离材料耐久性低，服役5y内出现破坏、脱离等现象，或失去保护、隔离功能 |
|  | 2 | 保护隔离材料存在轻微缺陷 | 块状、片状、粒状等保护隔离材料在使用过程中出现轻微的开裂、脱离等现象，具备适当的保护、隔离功能 |
|  | 3 | 保护隔离材料质量良好 | 保护隔离材料在防水系统的全生命周期中均具备保护、隔离功能 |

表5.2.4-5 接缝密封材料质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 材料质量满足产品标准规定，低于75%置信水平，耐久性不能实现第4.3.4条的要求 | 材料制造、存储、运输的过程中，存在严重影响材料质量的因素，如质量稳定性控制、不合规存放、材料过期等 |
|  | 2 | 材料质量满足产品标准规定，达到75%置信水平 | 材料制造、存储、运输过程中对质量产生的影响 |
|  | 3 | 材料质量满足产品标准规定，达到95%置信水平 | 材料制造、存储过程管控良好 |

表5.2.4-6 排水组件质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 排水组件质量满足产品标准规定，低于75%置信水平，耐久性不能实现第4.3.4条的要求 | 组件制造、存储、运输的过程中，存在严重影响材料质量的因素，如质量稳定性控制、运输破损等 |
|  | 2 | 排水组件质量满足产品标准规定，达到75%置信水平 | 组件制造、存储、运输的过程中，因运输、搬运、存储的影响质量 |
|  | 3 | 排水组件质量满足产品标准规定，达到95%置信水平 | 组件制造、存储、运输的过程管控良好 |

* + - 1. 材料质量修正因子分级宜符合表5.2.4-7的规定。

表5.2.4-7 材料质量修正因子分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 判定准则 |
|  | 极强 | 存在1项或多项“1级”次级因素 |
|  | 较强 | 存在3项“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 中等 | 存在2项“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 较弱 | 存在1项“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 极弱 | 6项均为“3级”次级因素 |

* + 1. 建造质量修正因子的分级宜符合下列规定。
       1. 建造质量宜分为基层、保温层、防水层、保护隔离层、细部构造、排水措施次级因素，次级因素分级宜符合表5.2.5-1~表5.2.5-6的规定。

表5.2.5-1 基层质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在设计或施工隐患 | 基层的坡度、材质、表面、增强、分隔、变形控制等存在质量隐患 |
|  | 2 | 存在设计或施工缺陷 | 基层的坡度、材质、表面、增强、分隔、变形控制等存在缺陷，但满足使用要求 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 设计合理且经过技术细化，按规程施工，验收合格 |

表5.2.5-2 保温层质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在设计或施工隐患 | 材料选择、隔汽、排气、保温、隔热等的设计或施工存在质量隐患 |
|  | 2 | 存在设计或施工缺陷 | 隔汽、排气、保温、隔热等的设计或施工存在缺陷，但能满足使用要求 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 设计合理且经过技术细化，按规程施工，验收合格 |

表5.2.5-3 防水层质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在设计或施工隐患 | 材料选择、增强、搭接、基层处理、铺贴、现场涂膜、密封材料等的设计或施工存在质量隐患 |
|  | 2 | 存在设计或施工缺陷 | 防水层增强、搭接、基层处理、铺贴、现场涂膜、密封材料等的设计或施工存在缺陷，但能满足使用要求 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 设计合理，且经过技术细化，按规程施工，验收合格 |

表5.2.5-4 保护隔离层质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在设计或施工隐患 | 分隔、遮挡、缓冲、面层处理、接缝处理等的设计或施工存在质量隐患 |
|  | 2 | 存在设计或施工缺陷 | 分隔、遮挡、缓冲、面层处理、接缝处理等的设计或施工存在缺陷，但能满足使用要求 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 设计合理，且经过技术细化，按规程施工，验收合格 |

表5.2.5-5 细部构造质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在设计或施工隐患 | 接缝、檐口、天沟、女儿墙、水落口、突出物、出入口、屋顶窗、滴水等的设计或施工存在质量隐患 |
|  | 2 | 存在设计或施工缺陷 | 接缝、檐口、天沟、女儿墙、水落口、突出物、出入口、屋顶窗、滴水等的设计或施工存在缺陷，但能满足使用要求 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 设计合理，且经过技术细化和优化，按规程施工，验收合格 |

表5.2.5-6 排水措施质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在设计或施工隐患 | 排水参数、汇水、排水设施、排水线路等的设计或施工存在质量隐患 |
|  | 2 | 存在设计或施工缺陷 | 排水参数、汇水、排水设施、排水线路等的设计或施工存在缺陷，但能满足使用要求 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 设计合理，且经过技术细化和优化，按规程施工，验收合格 |

* + - 1. 建造质量修正因子分级宜符合表5.2.5-7的规定。

表5.2.5-7 建造质量修正因子分级

| 代号 | 分级 | 判定准则 |
| --- | --- | --- |
|  | 极强 | 存在1项或多项“1级”次级因素 |
|  | 较强 | 存在3项“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 中等 | 存在2项“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 较弱 | 存在1项“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 极弱 | 6项均为“3级”次级因素 |

* + 1. 使用环境修正因子的分级宜符合下列规定。
       1. 使用环境宜分为室内温度、室内湿度、室外温度、辐照量、降水量、腐蚀性次级因素，次级因素分级宜符合表5.2.6-1~表5.2.6-6的规定。

表5.2.6-1 室内温度分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 高低温循环幅度大于 | 高低温循环，如高温生产车间 |
|  | 2 | 低温极值低于 | 低温极值，如恒温条件的冷库 |
|  | 3 | 室内温度为 | 常规温度，如生活、工作类建筑 |

表5.2.6-2 室内湿度分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 空气含湿量大于 | 极高湿度，如洗衣、屠宰、酿酒、游泳池、高湿度仓库等 |
|  | 2 | 空气含湿量为6 | 高湿度，体育场馆、厨房、餐厅等 |
|  | 3 | 空气含湿量低于6 | 常规湿度，人员生活、工作类等建筑、存储干燥物品的仓库等 |

表5.2.6-3 室外温度分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 最冷月平均温度低于 | 严寒、寒冷地区，存在冻融循环和极低温 |
|  | 2 | 最冷月平均温度为  最热月平均温度为 | 夏热冬冷地区和温和地区，可能存在轻微冻融，温度较高 |
|  | 3 | 最冷月平均温度大于  最热月平均温度为 | 夏热冬暖地区，不存在冻融循环，温度较高 |

表5.2.6-4 辐照量分级

| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 全年辐照量大于6700 | UV极强，屋面存在高温 |
|  | 2 | 全年辐照量为5400～6700 | UV较强，屋面温度较高 |
|  | 3 | 全年辐照量小于5400 | UV适中，屋面温度较高 |

表5.2.6-5 降水量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 年均降水量大于 | 强降水量，东南近海区 |
|  | 2 | 年均降水量为 | 季风区 |
|  | 3 | 年均降水量小于 | 干旱、半干旱区 |

表5.2.6-6 腐蚀性分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 污染物日均浓度 | 说明 |
|  | 1 |  | 高度污染地区，如海岸1 km以内，  工业排放氮氧化物、造纸、畜牧业等、煤炭、石油生产等高污染工业区，光氧化合物高污染地区 |
|  | 2 |  | 高度污染地区，如海岸5 km以内，  工业排放氮氧化物、造纸、畜牧业等、煤炭、石油生产等中度污染工业区，酸雨地区 |
|  | 3 |  | 常规生产生活地区，无污染的偏远地区 |

注：表中指标要求为“或”关系。

* + - 1. 使用环境修正因子分级宜符合表5.2.6-7的规定。

表5.2.6-7 使用环境修正因子分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 判定准则 |
|  | 极强 | 存在1项或多项“1级”次级因素 |
|  | 较强 | 存在和，且存或，无“1级”次级因素 |
|  | 中等 | 存在和，且无其他“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 较弱 | 存在，且无其他“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 极弱 | 存在6项“3级”次级因素 |

* + 1. 服役过程修正因子的分级宜符合下列规定。
       1. 服役过程宜分为基层、保温层、防水层、保护隔离层、细部构造、排水措施次级因素，次级因素分级宜符合表5.2.7-1~表5.2.7-6的规定。

表5.2.7-1 基层质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在隐患 | 工程接管后，使用中缺乏管理，基层材料因变形、破损等而影响防水性能 |
|  | 2 | 存在缺陷 | 工程接管后，使用中基层材料存在一定的破损、破裂、变形缺陷 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 工程接管后，通过常规、季节、年度等频次的运维管理，基层材料性能符合工程质量标准和图纸要求 |

表5.2.7-2 保温层质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在隐患 | 工程接管后，使用中缺乏管理，保温层出现变形、破损、蠕变、吸水等而影响屋面系统防水性能 |
|  | 2 | 存在缺陷 | 工程接管后，使用中存在破损缺陷 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 工程接管后，通过年度频次运维管理维持性能 |

表5.2.7-3 防水层质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在隐患 | 工程接管后，使用中缺乏管理，防水材料出现翘曲、起鼓、变形、破损、接缝开裂等现象，导致水分进入屋面系统内 |
|  | 2 | 存在缺陷 | 工程接管后，使用中存在翘曲、起鼓、变形等缺陷 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 工程接管后，通过季节、年度等频次的运维管理，维持屋面防水功能 |

表5.2.7-4 保护隔离层质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在隐患 | 工程接管后，使用中缺乏管理，导致遮挡、缓存、接缝失去功能，明显影响屋面防水工程的耐久性 |
|  | 2 | 存在缺陷 | 工程接管后，使用中存在遮挡、缓存、接缝部分失去功能，影响屋面防水工程的耐久性 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 工程接管后，通过常规、季节、年度等频次的运维管理，保护隔离功能维持正常 |

表5.2.7-5 细部构造质量分级

| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 存在隐患 | 工程接管后，使用中缺乏管理，接缝、檐口、天沟、女儿墙、水落口、突出物、出入口、屋顶窗、滴水等细节部位破坏，明显影响耐久性 |
|  | 2 | 存在缺陷 | 工程接管后，使用中接缝、檐口、天沟、女儿墙、水落口、突出物、出入口、屋顶窗、滴水等细节部位存在缺陷，影响耐久性 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 工程接管后，通过常规、应急、季节、年度等频次的运维管理，细部构造功能维持正常 |

表5.2.7-6 排水措施质量分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 指标要求 | 说明 |
|  | 1 | 存在隐患 | 工程接管后，使用中缺乏管理，因老化、堵塞、破损等严重影响屋面防水性能 |
|  | 2 | 存在缺陷 | 工程接管后，使用中因排水设施缺陷影响屋面防水性能 |
|  | 3 | 无缺陷或隐患 | 工程接管后，通过常规、应急、季节、年度等频次的运维管理，排水功能维持正常 |

* + - 1. 服役过程修正因子分级宜符合表5.2.7-7的规定。

表5.2.7-7 服役过程修正因子分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 判定准则 |
|  | 极强 | 存在1项或多项“1级”次级因素 |
|  | 较强 | 存在3项“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 中等 | 存在2项“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 较弱 | 存在1项“2级”次级因素，无“1级”次级因素 |
|  | 极弱 | 6项均为“3级”次级因素 |

* + 1. 修正因子应依据预期条件与参照条件的差异确定，、、、取值宜符合表5.2.8-1~表5.2.8-4的规定。

表5.2.8-1 材料质量修正因子取值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 预期条件 | | | | |
|  |  |  |  |  |
| 参照条件 |  | 1.00 | 1.10 | 1.06 | 1.10 | 1.15 |
|  | 0.91 | 1.00 | 0.97 | 1.00 | 1.05 |
|  | 0.94 | 1.03 | 1.00 | 1.03 | 1.08 |
|  | 0.91 | 1.00 | 0.97 | 1.00 | 1.05 |
|  | 0.87 | 0.95 | 0.93 | 0.95 | 1.00 |

表5.2.8-2 建造质量修正因子取值

|  | | 预期条件 | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 参照条件 |  | 1.00 | 1.13 | 1.23 | 1.29 | 1.35 |
|  | 0.89 | 1.00 | 1.09 | 1.14 | 1.20 |
|  | 0.81 | 0.92 | 1.00 | 1.05 | 1.10 |
|  | 0.78 | 0.88 | 0.95 | 1.00 | 1.05 |
|  | 0.74 | 0.83 | 0.91 | 0.95 | 1.00 |

表5.2.8-3 使用环境修正因子取值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 预期条件 | | | | |
|  |  |  |  |  |
| 参照条件 |  | 1.00 | 1.09 | 1.14 | 1.19 | 1.25 |
|  | 0.92 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.15 |
|  | 0.88 | 0.96 | 1.00 | 1.05 | 1.10 |
|  | 0.84 | 0.91 | 0.95 | 1.00 | 1.05 |
|  | 0.80 | 0.87 | 0.91 | 0.95 | 1.00 |

表5.2.8-4 服役过程修正因子取值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 预期条件 | | | | |
|  |  |  |  |  |
| 参照条件 |  | 1.00 | 1.10 | 1.06 | 1.10 | 1.15 |
|  | 0.91 | 1.00 | 0.97 | 1.00 | 1.05 |
|  | 0.94 | 1.03 | 1.00 | 1.03 | 1.08 |
|  | 0.91 | 1.00 | 0.97 | 1.00 | 1.05 |
|  | 0.87 | 0.95 | 0.93 | 0.95 | 1.00 |

* + 1. 预期工作年限的表达应符合下列规定。
       1. 可采用单一值表达。
       2. 宜采用置信区间表达，计算宜符合下式规定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | （5.2.9-1） |
|  | |  | | （5.2.9-2） |
| 式中： | ——  ——  ——  ——  ——  ——  —— | | 预期工作年限（y）；  预期工作年限中位值（y）；  预期工作年限置信区间（y）；  参照工作年限置信区间（y）；  参照工作年限（y）；  修正因子置信区间；  修正因子。 |  |

* + - 1. 可采用分布特征和显著水平表达。
      2. 应对结论的不确定性、限定性条件进行解释。
  1. 参照工作年限
     1. 确定参照工作年限的内容应包括屋面构造、影响因素、性能衰减机理与特征、试验方法与判定条件、数据、推断等，流程宜符合附录A的规定。
     2. 屋面构造的分类或分级应符合下列规定。
        1. 坡度分级应符合表5.3.2-1的规定。

表5.3.2-1 屋面坡度分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 指标 | 相关影响 |
|  | 陡坡屋面，坡度大于30% | 滑移，UV，使用荷载 |
|  | 缓坡屋面，坡度为5%~30% | 滑移，结冰，UV，使用荷载，屋顶绿化荷载 |
|  | 平屋面，坡度小于5% | 结冰，UV，积水，使用荷载，屋顶绿化荷载 |

* + - 1. 防水材料被防护类型应符合表5.3.2-2的规定。

表5.3.2-2 防水材料被防护分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 材料层位置 | 相关影响 |
|  | 材料外露 | 直接受外界条件影响，如冻融，高低温循环，温度极值，UV，积水，荷载，污染物等 |
|  | 材料非外露，位于保温层之上，或无保温层热防护 | 冻融，高低温循环，临近材料变形，积水，使用荷载，污染物等 |
|  | 材料非外露，受保温层或厚重种植层防护 | 积水、植物根系与微生物、材料变形等 |

* + 1. 影响因素的分类或分级宜符合下列规定。
       1. 物理类影响因素分级宜符合表5.3.3-1~表5.3.3-5的规定。

表5.3.3-1 防水材料处高温分类

| 代号 | 指标 | 材料表面的覆盖状态 | 气候区 |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 90 | 防水材料外露，且极端高温条件 | 极端气候区 |
|  | 80 | 防水材料外露 | 所有气候区 |
|  | 60 | 有防护层屋面、无保温层屋面 | 所有气候区 |
|  | 30 | 有防护层、种植、倒置式屋面 | 所有气候区 |

表5.3.3-2 防水材料处低温分类

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 代号 | 指标 | 材料表面的覆盖状态 | 气候区 |
|  | -30 | 防水材料外露，防水层位于保温层之上 | 严寒 |
|  | -20 | 防水层外露，防水层位于保温层之上 | 寒冷 |
|  | -10 | 防水材料外露 | 夏热冬冷 |
|  | 5 | 有防护层、种植、倒置式屋面 | 严寒、寒冷、夏热冬冷 |

表5.3.3-3 屋面水平面辐照量分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 指标 | 说明 |
|  | 全年辐照量大于6700 | UV极强，屋面存在高温 |
|  | 全年辐照量为5400~6700 | UV较强，屋面温度较高 |
|  | 全年辐照量小于5400 | UV适中，屋面温度较高 |

表5.3.3-4 防水层承受的机械荷载分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 指标 | 屋面类型和表面覆盖状态 |
|  | 静态荷载：；动态荷载：210 | 种植屋面、防水层外露 |
|  | 静态荷载：；动态荷载： | 常规上人屋面 |
|  | 静态荷载：；动态荷载： | 非上人屋面，防水层非外露 |

表5.3.3-5 材料疲劳变形分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 指标 | 屋面类型和表面覆盖状态 |
|  | 疲劳循环可达1000次 | 与基层满粘的防水层 |
|  | 疲劳循环可达500次 | 与基层满粘的防水层 |
|  | 疲劳循环可达250次 | 与基层满粘的防水层 |

表5.3.3-6 屋面内部极端相对湿度分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 指标 | 屋面典型部位 |
|  | 95% | 带保护层的屋面：面层大多数时间，保温层之上找平层冬季大部分时间，保温层上部夏季部分时间。  防水层外露屋面：保温层之上找平层、保温层上部全年1/2时间 |
|  | 90% | 带保护层的屋面：保温层上部夏季大部分时间。  防水层外露屋面：保温层下部全年1/3时间 |
|  | 80% | 带保护层的屋面：保温层下部夏季大部分时间，基层夏季大部分时间。  防水层外露屋面：基层夏季大部分时间 |

* + - 1. 化学类影响因素分级宜符合表5.3.3-7、表5.3.3-8的规定。

表5.3.3-7 材料遇水频次分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 指标 | 屋面典型部位 |
|  | 长期浸水 | 平屋面内部存水材料或间隙 |
|  | 间歇浸水 | 屋面防水层之上的大部分外露和非外露材料 |
|  | 无水状态 | 防水层之下的大部分材料 |

表5.3.3-8 材料氧化条件分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 指标 | 屋面典型部位 |
|  | 暴露在大气中 | 面层防护层、外露防水层等 |
|  | 非密封保护 | 带有遮挡的防水、密封材料等 |
|  | 密封保护 | 密闭状态良好的材料，如多道防水卷材、密闭的保温层等 |

* + - 1. 生物类影响因素应包含植物根系穿刺。
    1. 典型性能衰减机理宜按表5.3.4-1中屋面构成和影响因素识别，主要类别不宜少于2类。性能衰减特征可按表5.3.4-2选取。

表5.3.4-1 性能衰减机理关联矩阵

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 屋面构成 | | 影响因素 | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 热氧老化  循环变形 | 高低温  循环变形 | UV老化  热-UV | 机械冲击 | 循环变形  定伸压缩  协同变形 | — | 冻融循环  化学腐蚀 | 热氧老化 | — |
|  | 热氧老化  循环变形 | 高低温  循环变形 | — | 静态压缩  剪切作用  滑移变形 | 循环变形  定伸压缩  协同变形 | 热湿循环  热湿老化 | 浸水老化  冻融循环  化学腐蚀 | 热氧老化 | — |
|  | — | — | — | 静态压缩  剪切作用  滑移变形 | — | 热湿老化 | 浸水老化 | — | — |
|  |  | 热氧老化  循环变形 | 高低温  循环变形 | UV老化  热-UV | 机械冲击 | 循环变形  定伸压缩  协同变形 | — | 水-热老化  水-UV  冻融循环  化学腐蚀 | 热氧老化 | — |
|  | 热氧老化  循环变形 | 高低温环  循环变形 | — | 机械冲击  静态压缩 | 循环变形  定伸压缩  协同变形 | 热湿循环  热湿老化 | 水-热老化  浸水老化  冻融循环  化学腐蚀 | 热氧老化 | — |
|  | — | — | — | 静态压缩 | — | 热湿老化 | 浸水老化 | — | 根系穿刺 |

表5.3.4-2 材料、系统性能衰减特征

| 类别 | 机理 | 材料性能衰减特征 | 系统性能衰减特征 |
| --- | --- | --- | --- |
| 物理 | 循环变形 | 疲劳破坏，断裂，失去弹性等 | 连接件疲劳破坏等 |
| 动态荷载 | 局部受冲击变形、破裂等 | 局部或多层材料受冲击变形、破裂等 |
| 冻融循环 | 冻融后开裂、粉化、强度下降等 | 冻融后层间破坏，失去完整性等 |
| 静态荷载 | 变形，蠕变，破坏等 | 局部或整体变形，层间破坏，失稳等 |
| 化学 | 热氧老化 | 失去弹性，断裂，开裂，变形等 | — |
| 高低温循环 | 变形，开裂，断裂，硬化等 | 变形，层间开裂，失去完整性或强度 |
| UV老化 | 失去弹性，断裂，开裂，外观变化等 | — |
| 化学腐蚀 | 尺寸、外观、材性变化等 | 外观变化，失去完整性等 |
| 热湿老化 | 尺寸、外观、材性变化等 | 整体变形，开裂，层间开裂等 |
| 浸水老化 | 强度、弹性、热物理性能下降等 | 整体变形，层间结合失效等 |
| 生物 | 根系穿刺 | 失去阻根功能 | — |

* + 1. 耐久性试验方法及判定条件宜符合下列规定。
       1. 试验方法应依据性能衰减机理和特征确定，宜依据使用条件取多类影响因素耦合，试样应包含材料本体和薄弱部位。
       2. 防水材料耐久性试验方法宜符合表5.3.5-1的规定。

表5.3.5-1 防水材料耐久性试验方法

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 材料类型 | 老化条件 | 老化时长 | 判定试验 | 判定指标 |
| 非外露沥青类卷材 | 热氧老化80℃，70℃，60℃ | 见附录A第A.0.5条 | 低温柔性 | — |
| 非外露热塑性聚烯烃卷材 | 热氧老化135℃，115℃，90℃ | 见附录A第A.0.5条 | 质量损失率  裂纹  拉伸性能保持率 | — |
| 非外露聚氨酯防水涂料 | 热氧老化80℃，70℃，60℃ | 见附录A第A.0.5条 | 表观  拉伸性能保持率 | — |
| 浸水老化40℃，50℃，60℃ | 见附录A第A.0.5条 | 表观  拉伸性能保持率 | — |
| 外露沥青类卷材 | 人工气候加速老化 | 见附录A第A.0.5条 | 低温柔性  接缝剥离强度  接缝不透水性 | — |
| 外露热塑性聚烯烃卷材 | 人工气候加速老化 | 见附录A第A.0.5条 | 质量损失率  裂纹  拉伸性能保持率 | — |

* + - 1. 保温材料耐久性试验方法宜符合表5.3.5-3的规定。

表5.3.5-3 保温材料耐久性试验方法

| 性能 | 老化条件 | 老化时长 | 临界状态判定 | 判定指标 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 绝热性能 | 70℃，相对湿度95%，28d | — | 导热系数 | 衰减不大于10% |
| 蠕变 | 70℃，相对湿度95%，28d | 参照ISO 20392: 2007 | 压缩蠕变 | — |
| 强度 | 70℃，相对湿度95%，28d | — | 抗压强度  点荷载 | 衰减不大于20% |

* + 1. 试验数据应包含修正因子、、、相关信息，剔除不相干数据后形成参照工作年限数据集。
    2. 参照工作年限推断应符合下列规定。
       1. 可结合试验方式采用“影响因素等级与反应”函数、“时间与性能变化”函数、“通过\失效”判断等方式。
       2. 结果可采用单一值或置信区间表达。
       3. 结论应包含修正因子、、、的相关信息，并对不确定性和限定条件进行解释。
  1. 专家判断方法
     1. 修正因子、预期工作年限可采用专家判断方法确定。
     2. 专家组不宜少于5人，应来自被预测对象相关知识领域。
     3. 征询表应包括背景、目标、参考资料、问题等。
     4. 征询过程不宜少于3次循环，直至数据收敛，期间应避免专家相互影响。
     5. 预测值计算宜符合下列规定。
        1. 预测值应按下式计算。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | （5.4.5-1） |
| 式中： | ——  ——  ——  ——  ——  ——  —— | | 专家估计值；  专家悲观估计值；  专家中性估计值；  专家乐观估计值；  悲观估计权重系数，按表5.4.5-1取值；  中性估计权重系数，按表5.4.5-1取值；  乐观估计权重系数，按表5.4.5-1取值。 |  |

表5.4.5-1估计权重系数取值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分布特征 | 右侧分布 | 近正态分布 | 左侧分布 |
|  | 3 | 2 | 1 |
|  | 1 | 4 | 1 |
|  | 1 | 2 | 3 |

* + - 1. 预测值标准差应按下式计算。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | （5.4.5-2） |
| 式中： | ——  —— | | 预测值标准差；  保守度系数，按表5.4.5-2取值。 |  |

表5.4.5-2保守度系数取值

| 保守度系数 | 范围 | 估计保守度概率（%） |
| --- | --- | --- |
| 1 | （-0.5，0.5） | 38.29 |
| 2 | （-1，1） | 68.27 |
| 3 | （-1.5，1.5） | 86.64 |
| 4 | （-2，2） | 95.45 |
| 5 | （-2.5，2.5） | 98.76 |
| 6 | （-3，3） | 99.73 |

1. 确定参照工作年限的通用方法
   * 1. 确定参照工作年限的流程宜包含定义问题、准备工作、预试验、试验与评判、数据分析、推断、结论等。
     2. 定义问题细则宜符合表A.0.2的规定。

表A.0.2 定义问题细则

| 编号 | 类型 | 细则 | 说明 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 研究范围 | 1）被研究对象。  2）耐久性相关因素。  3）性能衰减敏感性关系 | 1）工程、系统、材料的类型、构成、构造、特征等进行分类或定义。  2）强度、浓度、频率、极值等的分类和量化分级等。  3）在特定条件下“影响因素等级与反应”“时间与性能变化”关系，如生产、运输、存储、安装、环境、使用和维护等 |
| 2 | 性能与特征 | 1）有效性特征。  2）量化指标 | 1）定义代表耐久性有效的特征，如强度、刚度、变形率等。  2）定义代表耐久性有效的可量化临界值，可采用直接或间接指标 |
| 3 | 使用环境 | 1）使用环境类型  2）使用环境分级 | 参考第5.3.3条 |
| 4 | 影响因素 | 1）影响因素类型。  2）影响因素指标或等级 | 参考第5.2.4条~第5.2.7条 |
| 5 | 合规性 | 1）审查专家。  2）审查内容。  3）结论批准 | 1）审查专家应熟悉耐久性相关标准规定，具有该领域专业知识，来自于研究组外部，以保持客观性。  2）审查内容包括试验的正确性，数据来源的合理性，预测方法的科学性，结论的严谨性，以及结论是否适于实际使用。  3）审查形式一般不作具体限定，但需明确审查原因、审查内容、详细程度以及需要参与的人员，报告由研究人员编制，专家负责审查 |

* + 1. 准备工作细则宜符合表A.0.3的规定。

表A.0.3-1准备工作细则

| 编号 | 类型 | 细则 | 说明 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 影响因素类型和等级 | 1）识别影响因素。  2）影响因素量化分级 | 1）识别影响因素类型，参考表A.0.3-2。  2）对强度、浓度、等级、频率、极值等影响因素进行量化分级，以代表一定的作用强度 |
| 2 | 性能衰减机理 | 1）依据实际应用、影响因素确定性能衰减机理  2）设置影响因素耦合作用 | 1）依据组成、构造、材料等与耐久性关系确定，可参考表A.0.3-2。  2）合理设置影响因素的作用，选择耦合作用同步或按先后次序进行 |
| 3 | 性能衰减特征与指标 | 1）确定性能衰减特征。  2）确定性能衰减指标 | 1）确定物理、化学、生物等作用后的材料、系统性能衰减特征。  2）确定表征性能衰减的关键性能 |
| 4 | 性能判定条件 | 1）提出有效性指标。  2）提出试验方案。  3）提出耐久性临界指标。  4）合理性解释 | 1）依据材料、系统性能衰减特征，以直接或间接指标代表耐久性失效。  2）按影响因素与关键性能变化的敏感关系，确定影响因素等级与性能变化量或变化率的关系，设置老化条件、试验、性能测量或监控方案。  3）量化定义耐久性直接或间接指标，提出临界指标。  4）对性能判定条件与防水有效性之间的关联性、有效性进行解释 |
| 5 | 数据获取 | 1）制定试验数据获取计划。  2）制定调研数据获取计划 | — |
| 6 | 相关信息 | 1）已有研究收集。  2）已有研究分析 | 1）收集类似的耐久性原理、方法、研究成果等。  2）研究相关的试验方法、数据、推断模型等 |

表A.0.3-2 影响因素分类

| 特征 | 类别 | 示例 |
| --- | --- | --- |
| 材料 | 材料质量 | 材料固有质量的波动，。 |
| 系统质量 | 材料间的兼容性、物理作用、化学反应等 |
| 环境 | 室外 | 温度、辐照、水分、荷载等 |
| 室内 | 温度、湿度等 |
| 微气候 | 材料间热、湿、协同变形等 |
| 过程 | 设计 | 构造、细节等 |
| 施工 | 施工质量，保护效果等 |
| 服役 | 使用、维护、功能恢复等 |

表A.0.3-3 性能衰减机理分类

| 特征 | 类别 | 示例 |
| --- | --- | --- |
| 机械作用 | 重力 | 包括雪荷载、降雨荷载、风荷载、其他材料的重力作用等 |
| 应力 | 材料及临近材料的膨胀、移动、变形或开裂等 |
| 动能 | 重物、冰雹或使用过程中使用者可能产生的冲击荷载等 |
| 震动和噪音 | 使用中来自于设备、交通设施的噪音震动等 |
| 电磁作用 | 辐射 | 来自于阳光和UV等辐射源等 |
| 热作用 | 温度 | 高温，低温，温度循环、火灾等 |
| 化学作用 | 水和溶剂 | 空气湿度、降水、溶剂等 |
| 氧化 | 消毒、漂白等 |
| 还原反应 | 硫化物等 |
| 酸 | 酸雨、酸性腐蚀气体、酸性氧化物等 |
| 碱 | 水泥，石灰，碱性氧化物等 |
| 盐 | 硝酸盐、磷酸盐等 |
| 中和 | 油脂、石灰岩等 |
| 生物作用 | 微生物 | 霉菌、细菌，植物根系、土壤的菌类等 |
| 动植物 | 啮齿类，白蚁，蠕虫，植物根系等 |

* + 1. 预试验细则宜符合表A.0.4的规定。

表A.0.4 预试验细则

| 编号 | 类型 | 细则 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 校核合理性 | 1）观察试验实施的可行性。  2）观察预试验结果是否与表A.0.3-1的细则和期望一致。  3）分析预试验性能衰减机理与期望机理的差异，形成结果 |
| 2 | 确定方案 | 1）依据分析结果，优化试验方案，确定初步试验方案。  2）确定性能判定准则 |

* + 1. 试验与评判应包括试验方法、数据规划、评价准则，并符合下列规定。
       1. 试验方法宜采用长期和短期两类相互对照，细则宜符合表A.0.5-1和表A.0.5-2的规定。

表A.0.5-1 长期老化试验类型及细则

| 编号 | 类型 | 特点及适用性 | 实施细则 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 实地老化试验 | 接近实际应用状态。  大多数材料、中型试验 | 1）分析可实施的、适宜的老化措施并实施。  2）记录测试中的实际条件及性能衰减数据或特征。  3）设置合适的记录间隔时间。  4）分析试验结果在其他地区、时段的适用性 |
| 2 | 实际服役监测 | 与实际使用条件一致。  材料耐久性需通过建筑性能才可评估 | 1）确定满足抽样样本数量的工程。  2）收集材料、系统、工程的历史数据。  3）确定性能监测数据样本的概率分布特征。  4）记录测试中的实际条件。  5）设置合适的记录间隔时间 |
| 3 | 实验建筑 | 与实际使用条件一致。  大尺寸或实际尺度材料、构件的耐久性 | 1）分析可实施的、适宜的老化、监测或取样方案并实施。  2）记录测试中的实际条件。  3）设置合适的记录间隔时间 |
| 4 | 实际使用老化 | 与实际使用条件一致。  与使用条件、使用者行为直接相关的场景，或性能衰减机理不明确的场景 | 1）确定试验方案。  2）记录测试中的实际条件。  3）设置合适的记录间隔时间 |

表A.0.5-2 短期老化试验类型及细则

| 编号 | 类型 | 特点及适用性 | 要求细则 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 实际使用老化 | 与实际使用条件接近。  性能衰减在早期阶段可通过高灵敏度分析仪器检测到 | 1）调查早期阶段的性能衰减是否可通过仪器检测。  2）确定短期性能变化趋势是否可用于推断。  3）结合使用中的老化条件，测量同等老化条件下的早期衰减规律。  4）其他要求参照表A.0.5-1 |
| 2 | 实验室加速老化 | 需模拟实际条件，并采取加速措施以利于操作。  中小型试验 | 1）依据预试验结果判断实验室加速老化试验的适用性。  2）设置可反映老化规律且可相互对照的试验组。  3）老化条件应可代表实际使用状况，且包含主要影响因素，可依据影响因素等级与性能衰减规律进行估计和调整。  4）可依据预试验结果对老化作用强度进行调整，以反映实际性能衰减速率，宜适度偏弱。  5）材料老化机理不得偏离实际。  6）应确保被试验对象至少有一个关键性能与实际使用关键性能对应。  7）设置性能判定要求。  8）宜增加额外的关键性能测试。  9）其他要求参照表A.0.5-1 |

* + - 1. 数据要求细则宜符合表A.0.5-3的规定。

表A.0.5-3 数据要求细则

| 编号 | 类型 | 要求细则 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 数据类型 | 1）分析参照条件与预期条件下耐久性的关联性。  2）依据试验类型选择合适的推断函数，如“影响因素等级与反应”函数、“时间与性能变化”函数、“通过\失效”试验判断等。  3）基准时间不宜超过1y。  4）影响因素级别宜按基准时间内达到耐久性临界状态确定 |
| 2 | 试样或试验数量 | 1）试样或试验数量应满足统计处理要求，试样数量不应少于3个。  2）因大型试验导致试样数量有限时，宜参照相关信息估计数据分布特征或范围 |
| 3 | 试验记录间隔 | 1）试验数据记录应连续。  2）试验记录间隔时长应足够短，且能显示性能的衰减。  3）加速老化试验间隔可为等距或等比，时间宜为h、d或w，参考下式进行计算。  式中：为加速老化时间段；为自然序列数；为加速老化基准时间；为时间间隔系数，可取1、1.382、、1.5、1.618、2等 |
| 4 | 数据记录 | 1）历史数据，当地的气象条件、污染状况等。  2）老化条件，试样在试验室、实地老化的条件。  3）老化特征，实际使用中材料出现的现象、维护记录等。  4）可靠度，数据与耐久性的相关性、可靠性 |

* + - 1. 数据评价要求细则应符合表A.0.5-4的规定。

表A.0.5-4 数据评价细则

| 编号 | 类型 | 要求细则 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 有效性 | 1）确定试验数据的变化趋势与第A.0.3条的要求一致。  2）确定老化后的性能可代表实际和预期条件要求。  3）评价数据的相关性和可靠性 |
| 2 | 合理性 | 1）对照实际使用条件与老化试验条件下的性能衰减机理的一致性。  2）如性能衰减机理一致，则评估加速老化试验的合理性。  3）如性能衰减机理不一致，则应重新评估、改进试验方案 |

* + 1. 数据分析细则宜符合表A.0.6的规定。

表A.0.6 数据分析细则

| 编号 | 类型 | 细则 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 数据筛选 | 1）对试验与实际使用条件的数据进行类似性分析，如主要性能衰减因性能衰减机理等。  2）剔除与被研究对象耐久性不相关的数据 |
| 2 | 形成数据集 | 1）数据格式、单位、记录方式等应统一和标准化。  2）应包括数据、信息来源、使用条件、关键性能、性能要求和附加信息，特别是与修正因子（、、、）相关的信息 |

* + 1. 推断应由专业人员负责，细则宜符合表A.0.7的规定。

表A.0.7 参照工作年限推断细则

| 编号 | 类型 | 细则 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 前提条件 | 1）解读数据，如不同老化条件、相似材料在不同环境下的性能变化等。  2）理解数据，如试验条件下，老化作用的循环、强度和频率与被评估使用环境条件的一致性。  3）假定条件，如采用回归推断模型，应明确其假定条件。  4）适度保守，如数据分布特征，材料在使用中可能遇到的情况。  5）数据说明，如使用环境条件差异，数据不全对可靠度的影响 |
| 2 | 推断模型 | 1）性能衰减临界值应依据实际使用条件、性能进行确定。  2）以性能衰减比例或最低可接受程度为判定条件，建立推断函数。  3）宜采取多类函数相互对照，以最早达到临界条件的试验为准。  4）宜明确性能衰减的概率分布特征 |
| 3 | 授权 | 1）专业人士的授权。  2）专业机构的授权 |

* + 1. 参照工作年限文件细则应符合表A.0.8的规定。

表A.0.8 参照工作年限文件内容要求与细则

| 编号 | 类型 | 要求细则 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 基本信息 | 1）用于保存或归档的唯一编号或代码。  2）评定或汇编日期。  3）评定人员或机构信息 |
| 2 | 范围 | 1）评定总体概述。  2）不适用的情况。  3）委托进行评定的机构。  4）数据评定的目的。  5）研究对象描述，如材料、构造、构成等 |
| 3 | 评定方法 | 1）说明用于判定的方法。  2）如果使用了不止一种方法，则应声明：基础研究；老化试验；实际工程、材料的反馈信息；试验室条件下的老化条件；使用中的老化条件；基于专家经验的判断；制造商、设计师、施工人员、使用者等基于经验的判断；其他已知或未知的条件 |
| 4 | 参照条件 | 1）按修正因子（、、、）分类，参照条件信息定量描述。  2）对于修正因子、、，可依据使用条件的定量或定性描述。  3）对于修正因子，可采用模型或公式描述参照工作年限值表达式，如采用影响因素作用强度的函数，或直接采用简化的描述，如气候带、特定地点或区域对性能衰减的特征分级等 |
| 5 | 影响因素 | 1）性能衰减因素的显著性特征。  2）性能衰减的例外情况。  3）性能衰减因素的非显著性特征 |
| 6 | 关键性能要求 | 1）参照条件下所有的关键性能；  2）例外情况；  3）包含在参照条件下的非关键性能 |
| 7 | 参照工作年限 | 1）参照工作年限值，包括：统计分布特征，标准差，置信区间。  2）关键特性信息。  3）数据质量，包括：系统性流程和第三方审批；系统性流程，但没有第三方审批；分散信息和第三方审批；分散信息，无第三方审批 |
| 8 | 数据可靠性 | 1）数据源可靠性的信息，包括：高可靠性的独立来源，如经认证的试验室、国家标准、经专业委员会或技术评估机构审查并公示的研究文献；非独立来源，如制造商或商业组织提供，经认证机构审核的文件；中度可靠的独立来源，如未经审查的公开研究文件；非独立来源，如制造商或商业组织提供，但未经认可机构审查的文件。  2）数据的可靠性，如数据类型、数量、分布特征等。  3）可作为证据的相关信息，包括产品文献、测试协议副本、照片、图纸、文件引用来源等 |
| 9 | 澄清或声明 | 1）与数据质量有关的问题，如与理想状态存在偏差、数据缺陷等。  2）免责条款 |

本标准用词说明

**1** 为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，非要求这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示很严格，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”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

* + - 1. 《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030
      2. 《坡屋面工程技术规范》GB 50693
      3. 《屋面工程技术规范》GB 50345
      4. 《屋面工程质量验收规范》GB 50207
      5. 《民用建筑通用规范》GB 55031
      6. 《混凝土结构设计规范》GB 50010
      7. 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019
      8. 《冷库设计标准》GB 50072
      9. 《水泥工厂设计规范》GB 50295
      10. 《平板玻璃工厂设计规范》GB 50435
      11. 《炼钢工程设计规范》GB 50439
      12. 《水泥工厂节能设计规范》GB 50443
      13. 《烧结砖瓦工厂设计规范》GB 50701
      14. 《建筑环境通用规范》GB 55016
      15. 《建筑热工设计规范》GB 50176
      16. 《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 26
      17. 《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》JGJ 75
      18. 《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 134
      19. 《温和地区居住建筑节能设计标准》JGJ 475
      20. 《民用建筑太阳能热水系统应用技术标准》GB 50364
      21. 《太阳能供热采暖工程技术标准》GB 50495
      22. 《建筑气候区划标准》GB 50178
      23. 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046
      24. 《建筑防水材料老化试验方法》GB/T 18244
      25. 《建筑防水涂料试验方法》GB/T 16777
      26. 《建筑防水材料试验方法 第3部分 高分子防水卷材 外观》GB/T 382.3
      27. 《建筑防水材料试验方法 第5部分 高分子防水卷材 厚度、单位面积质量》GB/T 382.5
      28. 《建筑防水材料试验方法 第9部分 高分子防水卷材 拉伸性能》GB/T 382.9
      29. 《建筑防水材料试验方法 第10部分 沥青和高分子防水卷材 不透水性》GB/T 382.10
      30. 《建筑防水材料试验方法 第14部分 沥青防水卷材 低温柔性》GB/T 382.14
      31. 《建筑防水材料试验方法 第16部分 高分子防水卷材 耐化学液体（包括水）》GB/T 328.16
      32. 《建筑防水材料试验方法 第20部分 沥青防水卷材 接缝剥离性能》GB/T 382.20
      33. 《建筑用绝热制品 湿热条件下垂直于表面的抗拉强度保留率的测定》GB/T 30808
      34. 《建筑用绝热制品压缩性能的测定》GB/T 13480
      35. 《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法》GB/T10294
      36. 《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法》GB/T 100295
      37. 《建筑用绝热制品 点载荷性能的测定》GB/T 30802
      38. 《硫化橡胶或热塑性橡胶应用阿累尼乌斯图推算寿命和最高使用温度》GB/T 20028
      39. ISO 14044: 2006, Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines
      40. ISO 15686-1:2011, Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework
      41. ISO 15686-2:2012, Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 2: Service life prediction procedures
      42. ISO 15686-7:2017, Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice
      43. ISO 15686-8:2008, Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 8: Reference service life and service-life estimation
      44. ISO 15686-11:2014, Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 11: Terminology
      45. ISO 13788: 2012, Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods
      46. ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation
      47. ISO 20392: 2007 Thermal insulation materials – Determination of compressive creep
      48. EAD 030350-00-0402, Guideline for European technical approval of liquid applied roof waterproofing kits
      49. EAD 040083-00-0404, External thermal insulation composite systems (ETICS) with renderings
      50. EN 1990: 2002 Basis of structural design
      51. EOTA TR006 Determination of the resistance to dynamic indentation
      52. EOTA TR007 Determination of impact resistance of panels and panel assemblies
      53. BS 7543: 2015 Guide to durability of buildings and building elements, products and components
      54. ASTM E632-82 Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials

附：条文说明

1. 总则
   * 1. 工程的规划、评定为目标和结果的体现，规划与成本、风险相关，评定则需系统、科学的方法，参考ISO 14044: 2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines，混凝土屋面工程全生命周期可划分为制造、建造、服役、终止四个典型阶段，可进一步细分为材料制造、设计、施工、使用、维修、翻新、改建、拆除、回收、废弃等阶段。在设计和使用阶段，需规划材料、工程的设计工作年限；在材料制造、施工、交付等阶段，需评定材料、工程的预期工作年限以满足设计要求；在维护、拆除、回收或废弃等阶段，可判定剩余工作年限作为翻新的依据。全生命周期中的规划、评定相关要素见图1。

防水材料、系统、工程的设计工作年限系工程建设成本合理化开支的基础，有助于开发商、设计方等科学选择材料、系统，制定可行的维护与维修制度，降低风险。预期工作年限系工程可靠性实现的基础，是材料制造商、系统供应商或承包商等对质量承诺、实现设计目标的依据，亦有助于材料、工程质量甄别，实施合理的维护与维修措施，提升建筑的可靠性与适应性。



1. 耐久性规划与评定的相关要素
   * 1. 防水有效性关键指标可以从状态、时间维度定义成渗漏量、耐久性，均具有目标和结果属性，可对应规划和评定。

工程由相互作用、联系的要素组成，具有整体性、关联性、功能性、动态性和目标性，按层次可分为内在和外在。防水系统（Water Proofing Kits）可理解成材料、技术等在工程中的集成，防水工程（Water Proofing Engineering）包括材料、系统通过组织活动以实施、成物、使用等一系列过程，此属内在要素。外在要素则为客观存在的应用场景、环境条件等，应用场景包含建筑部位、使用、维护状况等，环境条件包括物理、化学和生物的综合作用。由于工程具有目标、过程和结果三重属性，表征目标的指标可用允许渗漏量、设计工作年限表达，表征结果的指标可用允许渗漏量、预期工作年限表达，全生命周期每一阶段过程均需目标、结果相对应，各要素和属性的系统关系见图2。

为使耐久性规划与评定具备可操作性，在目标与结果之间需有联系两者的方法，此即本标准的适用范围。耐久性规划适用于工程建设早期阶段或运营阶段，依据技术可行性、经济合理性制定设计年限值，为材料、系统、工程需实现的目标，一般由工程建设、设计、咨询、运营等相关方参照相关依据提出。耐久性评定用于材料、系统、工程的质量保证，需依据科学方法，通过试验、推断等步骤得出预期年限值，一般由制造商、系统商、检测认证等相关方参照相关方法得出。



1. 防水工程耐久性要素和属性系统关系
   * 1. 本标准以耐久性为主线，包含材料研发、材料制造、建筑设计、工程施工、物业运维等内容，涉及屋面工程耐久性影响因素、老化机理、常用材料耐久性试验方法等，标准对相关要素进行关联，形成一套相对科学、直观、量化的耐久性规划与判定方法。目前耐久性的研究还在不断发展，标准中的指标、方法均为推荐性要求，在产品开发、咨询、设计、施工、交付、服役等过程中引用或采用本标准内容时，如涉及与耐久性相关的性能、试验、设计、施工或运维要求，尚应符合国家现行有关标准规定，或在合约中指定。
2. 术语和符号
   1. 术语

术语主要参考了ISO 15686-11:2014 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 11: Terminology，BS 7543: 2015 Guide to durability of buildings and building elements, products and components等标准。

“防水系统”是我国防水行业的通俗用语，表示一系列材料的集成，在英语中为kits。

“工程”一词在中文语境中的涵义较“engineering”更广，“engineering”强调主观能动性，“工程”侧重于人造物的过程和结果，本标准中的“工程”更接近“engineering”。

“工作年限”一词沿用现行全文强制通用规范的表述，“工作”一词在ISO标准中对应于“service”。

服役过程中的材料、工程耐久性一般以“剩余工作年限”表征，以表征其性能降低到不可接受程度的预期时间，为简化和统一，本标准统一用“预期工作年限”表征。

* 1. 符号

本标准中代号释义：A（agent），B（body），C（construction），E（environment和estimate），F（formation），L（life），R（risk），S（service）。

1. 基本规定
   * 1. 参考第1.0.1条说明，只有从全生命周期对混凝土屋面工程防水耐久性进行规划，才可实现材料、系统、工程的经济合理性和可靠适用性，为便于规划、评定工作归类，将其简化为四个阶段。

1）制造。包括材料生产与系统集成，该阶段会客观存在不确定因素导致内在缺陷，制造商需对商品提供担保，采取一定措施验证产品性能，以满足标准、合约对耐久性的要求。

2）设计。建设方、设计方需要基于经济性、标准规定或合约设定材料、系统、工程的耐久性期望值，确定材料类型和构造。

3）施工。承包商、材料供应商为实现工程性能，满足标准或合约要求，需采取正确的安装方式以实现耐久性目标并对之担保。

4）服役。包括正常使用、维修、翻新等活动，建筑运维、使用方需考虑环境、使用、维护条件等因素，预测工程性能，制定维护、维修、翻新计划与措施。当工程终止时，某些材料或还可继续使用或回收再利用，需对剩余工作年限进行预测。

各阶段与耐久性相关的规划或评定内容可参考表1。

1. 全生命周期耐久性规划与评定主要内容

| 主要阶段 | 细分阶段 | 材料 | 系统 | 工程 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 制造 | 材料制造 | 材料性能参数  耐久性验证及证明 | — | — |
| 系统集成 | 材料性能参数  耐久性验证及证明 | 构造、细节与性能  耐久性验证及证明  建造、运维指引 | — |
| 设计 | — | 分析可用数据  材料性能参数 | 分析可用数据  构造、细节与性能 | 耐久性参数  构造与细节设计 |
| 施工 | — | 材料性能参数  施工记录  运维资料 | 构造、细节与性能  施工记录  运维资料 | 耐久性参数  施工记录  运维资料 |
| 服役 | 使用 | 运维指引 | 运维指引 | 使用指引 |
| 维修 | 维修计划 | 维修计划 | 维修计划 |
| 翻新 | — | — | 分析可用数据  耐久性参数 |

* + 1. 建筑材料、系统、工程使用时间一般较长，在研究或试验中单位可以设定成h、d或m，为便于使用并与相关标准保持一致，采用y为单位。耐久性数值一般为某一区间，不存在绝对精确值，采用整数相对合理。
    2. 影响防水工程耐久性的因素是决定预期工作年限的基础条件，为便于进行全生命周期耐久性规划与评定，将影响因素分成材料质量、建造质量、使用环境和服役过程四类，分类原则可参考第1.0.2条说明。材料质量包括材料性能和系统性能，建造质量包括设计水平和施工水平，使用环境包括室内、室外环境以及微环境（Micro-environments）的影响，服役过程包括使用条件和维护水平。
    3. 材料类型和系统构造是决定耐久性的根本条件，首先需进行防水系统设计和材料选择，验证其耐久性，并制定建造、维护要求，相关事项见表2。

1. 制造阶段耐久性相关事项

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 规划、评定内容解释 | 相关方 |
| 材料选择 | 1）材料对影响因素的反应可能相差较大，需考虑材料在实际使用中的性能衰减特征，选择适用材料。  2）确定需对哪些材料进行耐久性评定 | 制造商 |
| 系统构成 | 1）确定防水系统耐久性评定方法。  2）设计构造与细节，在关键部位或界面处通过保护或防护措施降低衰减因素的影响 | 供应商 |
| 耐久性分析 | 1）获取与防水系统相关的设计工作年限数据，核查是否需要对之进行调整。  2）获取参照工作年限数据，计算参照工作年限。  3）确定修正因子和取值，计算预期工作年限。  4）核查预期工作年限是否大于设计工作年限 | 供应商 |
| 建造、维护要求 | 1）提出耐久性维护要求，包括但不限于：面层、保护层、隔离层、局部材料的可替换性；排水设施、防水层的可替换性；预期工作年限的假定条件。  2）将耐久性相关文件通知、交予建筑使用、运维方 | 供应商  运维方 |

* + 1. 设计阶段是影响屋面工程防水耐久性的关键时期，需从全生命周期角度选择材料、设计构造、制定维修替换措施等，相关事项见表3。

1. 设计阶段耐久性相关事项

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 规划、评定内容解释 | 相关方 |
| 设定设计工作年限 | 1）确定不可替换、可替换材料的种类。  2）参考标准、协议或要求，依据成本、进度、性能、维修与翻新等条件，设置合理的防水设计工作年限 | 设计师  咨询机构  建设单位 |
| 工程设计 | 1）确定主要材料的关键性能要求，定义使用条件和环境特征，包括材料、连接或结合方式、微环境。相邻材料间、材料间结合产生的微气候是关键部分，需明确进行定义。  2）确定构造和设计细节，提出参数要求 | 设计师  供应商 |
| 一致性检验 | 1）衡量材料、系统的耐久性与相关标准、规定、协议的一致性，制定相应措施，或对协议进行修正。  2）核查预期工作年限实现条件的合理性，如不合理，对设计、细节、现场条件进行复核，或对设计工作年限进行复核，直到满足要求。  3）核查预期工作年限是否有足够的冗余度，考虑安装工艺水平，维护、维修、替换或翻新过程中可能导致建筑使用中断，设置一定的冗余量以维持使用功能。  4）评价失效后可能出现的后果 | 设计师  咨询机构  供应商 |
| 建造、维护要求 | 1）对维护相关事项进行规划，包括但不限于：面层、保护层、隔离层、局部材料的可替换性；排水设施、防水层的可替换性；结构承重单元的可替换性；设计工作年限的假定条件；维护翻新措施建议等。  2）将工程防水耐久性的设计要求等文件通知、交予建筑的使用、运维相关方 | 设计师  运维方  建设单位 |

* + 1. 按照Michael T. Kubal所提“90%的渗漏发生在1%的部位，99%渗漏非材料原因”原则，施工阶段非常关键，相关事项见表4。

1. 施工阶段耐久性相关事项

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 规划、评定内容解释 | 相关方 |
| 校核优化 | 1）核查施工条件，确保施工条件和假设条件一致，核查现场存储和施工假设条件是否一致，审核方案的合理性和可行性。如施工质量水平和工艺和要求存在的差距，是否会导致材料实际性能和预期相差很大。  2）进行方案优化和施工设计 | 承包商  分包商  设计单位  建设单位 |
| 施工 | 1）任何条件下，需理解实际施工与理想条件存在的差距，采取以下措施规避隐患：对于手工操作的关键部位，如搭接、连接、端部等部位采取加强措施，可采用机械化施工；尽量将现场工作转移到工厂装配，以避免人工操作导致的缺陷；使用较成熟的材料与工艺；在可能破坏的区域加强施工防护或采取增强措施；设置一定的安全边际以规避不可避免的错误。  2）如施工时替换材料，则可能之前的预期工作年限可能不成立。  3）如有需要，可依据材料、系统的预期工作年限，基于实际材料质量、施工质量提出保证或承诺 | 承包商  分包商  设计单位  建设单位 |
| 建造、维护要求 | 1）对施工细节进行记录，包括但不限于：面层、保护层、隔离层、保温层、防水层类型、构造和细节等。  2）将记录文件交予建筑的使用、运维相关方 | 承包商  运维方  建设单位 |

* + 1. 使用与维护阶段是施工阶段的延续，良好的维护、维修可保持屋面正常运行，从而保证预期工作年限实现，相关事项见表5。

1. 服役阶段耐久性相关事项

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 规划、评定内容解释 | 相关方 |
| 准备 | 1）收集与耐久性相关的信息作为维护、维修参考资料，包括预期工作年限实现的假定条件、维护周期、细节等。  2）前置参与到设计、施工过程中，以让维护人员知晓维护的限制条件、成本、限制因素等，如密封材料、屋顶压顶等材料被替换的时间和条件 | 承包商  分包商  设计单位  建设单位  运维方 |
| 分析 | 1）环境影响包括室内外条件，体现为影响因素作用强度，如浓度、级别、循环（如干燥和潮湿、冻融循环、高低温循环、盐雾浓度）等，每个建筑的外部环境都不相同，故需对之独立评估。  2）微环境影响，包括：特定位置的微环境，如水分、污染物、风驱雨等，渗漏后的水分会加剧屋面工程性能衰减；易产生冷凝的部位，如楼板缝隙、热桥、屋顶的排气通道等部位；功能区域，如走道、上人踩踏等；不能维修的区域，如人员不能到达的区域或限制进入的区域等；循环疲劳区域，如冻融。  3）采取分级的方式评价影响因素，包括：环境作用强度、浓度、级别、循环、微环境等；特定位置的使用强度、特殊生产作业、冷凝、维护频次、不能到达或限制进入的区域等 | 运维方  供应商 |
| 制定制度 | 1）制定可规避、降低影响因素作用的措施。  2）制定材料、工程周期性检查、监测方案，针对缺陷的维护、维修、翻新计划和措施，并形成制度 | 运维方  供应商  分包商 |

1. 耐久性规划
   1. 一般规定
      1. 防水工程耐久性规划需考虑建筑所处的客观环境条件及其影响，要求材料、系统应能适应环境，做到因地制宜。

材料、工程废弃的原因可能与功能、技术或经济性相关，也可能是用户偏好，但关键原因一般为经济性，如功能不适用，更好的可替换技术与工艺，建筑功能变化，效率低下等。废弃一般因维护成本已变得高度不合理所致，常采用翻新恢复。故耐久性规划的核心之一是工程经济，即在一定时间内，实现防水有效性所需要的短期和长期成本，以及渗漏后可能造成的损失，两者均需做到经济合理。建筑系长期资本投资，为了降低材料、工程废弃的可能性，或使其资源价值最大化，设计阶段可能存在预见局限性，设计方案应具备适应性，预留安全边际，以减少被废弃的可能。针对屋面工程，需预见功能改变、防水系统变更等，故防水系统的可拆除性、结构冗余度等需重点关注，如需再利用拆除后材料，以降低浪费，可采用拆分的材料，保证材料间不被污染、便于分类回收。

耐久性规划需可靠的数据、判定方法作为基础，所选材料、系统也需技术可靠。

* + 1. 本条规定了耐久性规划的范围。耐久性指维持防水有效性的潜力，系在规划、设计、合约中对时间参数进行约定时，各方认可的预期值，如设计文件、图纸、合同、标准等。耐久性规划属于制定目标，需依据一定条件提出，以状态、量值表征，分别为性能、风险、时间要求。

1）防水性能要求为屋面的防水有效性指标，进而可对材料、系统性能进行直接或间接检验、评判。防水性能要求也是预期工作年限临界状态的判定指标，据此对相关材料、系统性能试验方法、指标提出要求。

2）渗漏风险可对应于工程防水类别，其源于现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030，表征渗漏对工程的影响程度，按工程重要程度和渗漏产生风险判断，分为甲、乙、丙三类。

3）防水设计工作年限源于现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030，同时参考了现行国家标准《坡屋面工程技术规范》GB 50693和《屋面工程技术规范》GB 50345的规定，作为耐久性规划的目标值。

* + 1. 防水性能要求源于现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030中防水工程渗漏检验合格判定指标，同时参考现行国家标准《屋面工程质量验收规范》GB 50207的要求：甲、乙、丙三类工程防水类别的防水性能要求均为无渗漏，且结构背水面无湿渍。为简化表达，标准不再按照甲、乙、丙分类，将其统一成一条。
    2. 参考第1.0.2条说明，工程具有目标和结果属性，对应目标值和结果值。

依据新建、改建、扩建屋面工程功能需求，耐久性目标值以设计工作年限表征，系考虑了经济水平、技术水平、实际工程状态、使用环境等因素的预期值，适用于设计文件、图纸、合同引用或约定。设计工作年限的规划有助于工程人员选择合适的材料，设置科学的构造，制定合理的维护计划，使建筑可靠性和适应性提高，降低废弃风险。

按屋面工程需具备的性能，材料、系统耐久性估计值以预期工作年限表征，按照工程目标和结果相统一的关系，结果应能实现目标，且包含一定冗余度，故预期工作年限大于设计工作年限。

* 1. 渗漏风险
     1. 耐久性规划一般依据建筑重要级别和防水材料、系统的替换难度确定，某些材料、系统性能衰减后可不必替换，除非性能不能满足使用要求，某些性能衰减后，其替换、维修会产生较大成本或安全问题，故耐久性规划的第一要素是风险，可从功能、技术和经济三方面分析，见表6。

1. 渗漏风险分析细则

|  |  |
| --- | --- |
| 类别 | 判定要素 |
| 功能 | 1）安全事件：渗漏后可能导致的安全事件。  2）法规、标准要求：实际性能与要求不一致或随时间变化后产生的不一致。  3）结构安全：渗漏后对结构稳定性的影响。  4）防护功能：内部使用人员、结构和存储物品的防护或保护。  5）舒适、卫生与环境：如室内温湿度、受潮、霉变，室内清洁等。  6）外观：使用者或公众的审美与视觉感受。  7）运营：如水分导致的腐蚀。  8）使用者感觉：对生活品质、使用感受的影响 |
| 技术 | 1）法规、标准要求：防水材料、系统性能的要求。  2）适用性：工程属性、功能改变导致技术条件变化。  3）性能：建筑性能提升的要求 |
| 经济 | 1）维修成本：如防水、密封材料的定期替换等。  2）使用成本：如渗漏后保温失效，能源损耗与舒适度降低等。  3）闲置成本：使用中断导致的经济损失 |

当防水工程性能不满足使用要求，或由于不可避免缺陷导致渗漏时，在制定风险应对措施时，需要考虑下列关键问题：

1）在性能不能满足使用要求之前进行替换或废弃。

2）有效维护可抵消性能衰减，如替换、修复及重新规划等。

3）防水材料、系统的缺陷具有不可避免性。

4）充分考虑可预见的性能衰减，尽可能减少不可预期的替换，如因非防水原因导致的防水材料替换。

耐久性依靠材料性能、做法、维护实现，在渗漏风险分析后，需通过防水工程实施措施以规避，故可将渗漏风险与工程防水类别进行关联，工程防水类别可参考现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030的规定。

* + 1. 渗漏风险可分解成社会、经济、环境三类，分类见表7。

1. 渗漏风险分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 一级 | 次级 | 说明 |
| 社会 | 直接影响 | 结构安全、外观、生产生活环境、健康卫生、生命安全等 |
| 间接影响 | 渗漏可能引起的社会纠纷、舆论等 |
| 经济 | 直接成本 | 渗漏导致的材料的维修、替换、建筑资产等 |
| 间接成本 | 渗漏导致热工性能下降，由此导致的能耗成本，建筑因使用功能丧失导致的中断、闲置经济损失，渗漏导致存储物品损坏等 |
| 环境 | 直接影响 | 渗漏水分对环境的直接污染 |
| 间接影响 | 渗漏水分导致其他物质变质、反应产生的间接污染 |

渗漏风险与影响类型存在并列或从属关系，经济成本可定量分析，但社会和环境影响很难量化，为便于分析而简化分级，参考表8~表10规定。风险分解修正因子取值级别分别为0.8、0.4、0.2、0.1、0.05、0，参考了项目管理协会PMI（Project Management Institute）《项目管理知识体系指南》中规划风险管理的“概率和影响矩阵”。

1. 社会风险分级依据

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分级代号 | 分级 | 损失或影响说明 |
| Ⅰ | 很高 | 导致建筑不能使用或失去使用功能，引起强烈纠纷或舆论 |
| Ⅱ | 高 | 严重影响建筑使用，关键性能下降，引起纠纷或舆论 |
| Ⅲ | 中 | 影响建筑使用，关键性能下降 |
| Ⅳ | 低 | 建筑可使用，导致部分性能下降，简易的维修可复原 |
| Ⅴ | 很低 | 建筑可使用，影响轻微 |

1. 经济风险分级依据

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分级代号 | 分级 | 损失或影响说明 |
| Ⅰ | 很高 | 直接或间接经济损失超过100万元 |
| Ⅱ | 高 | 直接或间接经济损失超过10万元 |
| Ⅲ | 中 | 直接或间接经济损失超过1万元 |
| Ⅳ | 低 | 直接或间接经济损失超过0.1万元 |
| Ⅴ | 很低 | 直接或间接经济损失低于0.1万元 |

1. 环境风险分级依据

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分级代号 | 分级 | 损失或影响说明 |
| Ⅰ | 很高 | 因水分与其他物质反应导致环境污染，出现人员疏散、转移事件 |
| Ⅱ | 高 | 因水分导致直接或间接污染，导致生产、生活中断 |
| Ⅲ | 中 | 渗漏导致轻微污染，导致使用者出现卫生、健康问题 |
| Ⅳ | 低 | 渗漏导致轻微污染，导致使用者感官不舒适 |
| Ⅴ | 很低 | 渗漏导致轻微污染，不影响使用 |

此外，也可自行设计风险分解层次和细则，采用层次分析法计算，建筑分类可参考现行国家标准《民用建筑通用规范》GB 55031及其他相关标准。

* + 1. 为与现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030中的工程防水类别建立联系，并支撑其量化分级，制定第4.2.2条、第4.2.3条。考虑实际工程的多样性及标准适用性，在确定“工程防水类别”时，规避直接按建筑类型进行规定，而是按风险相对量化等级进行分级，可起指导功能并便于与其他标准协调。按照表4.2.2和表4.2.3的规定，工程防水类别量化分级原则解释如下：

1）甲类。当表4.2.2中9类风险分解因子影响严重程度达到Ⅳ级，若出现1项达到Ⅲ级，则判定为甲类，即表8~表10中出现1类风险分级为“中”状态。对应于现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030中“民用建筑和对渗漏敏感的工业建筑屋面”，采用量化指标诠释“渗漏敏感”。

2）乙类。当表4.2.2中的9类风险分解因子影响严重程度为Ⅴ级，若出现1项达到Ⅳ级，则判定为乙类，即表8~表10中出现1类风险分级为“低”状态。对应于现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030中“除甲类和丙类以外的建筑屋面”，采用量化指标合理诠释。

3）丙类。当表4.2.2中的9类风险分解因子影响严重程度均为Ⅴ级时，则判定为丙类，即表8~表10中风险分级均为“很低”状态。对应于现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030中“对渗漏不敏感的工业建筑屋面”，以此诠释“渗漏不敏感”。

* + 1. 第4.2.2条计算得出渗漏风险指标后，可按渗漏概率对风险任务分解的每一细则计算出“风险概率和影响系数”，见表11。

1. 风险概率和影响系数

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | 渗漏风险指标 | | | | |
| 很高 | 高 | 中 | 低 | 很低 |
| 0.80 | 0.40 | 0.20 | 0.10 | 0.05 |
| 渗漏概率 | 很高 | 90% | 0.72 | 0.36 | 0.18 | 0.09 | 0.05 |
| 高 | 70% | 0.56 | 0.28 | 0.14 | 0.07 | 0.04 |
| 中 | 50% | 0.40 | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.03 |
| 低 | 30% | 0.24 | 0.12 | 0.06 | 0.03 | 0.02 |
| 很低 | 10% | 0.08 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |

表11参考PMI《项目管理知识体系指南》中的规划风险管理“风险概率和影响系数”，可以将其分成三个级别，见表中的三类颜色，据此在每个组别中排列单个风险的相对优先级。渗漏风险管理可参照下列要点制定：

1）防水工程的维护、维修、翻新和废弃措施可建立在防水设计工作年限、渗漏风险后果和渗漏风险概率的基础上，依据“风险概率和影响系数”确定相对优先级。

2）因不可规避的概率事件导致渗漏时，渗漏风险管理的内容应至少包括以下内容：识别（渗漏监控与预警）、风险分析（定量和定性）、应对措施（人员与设备转移、临时防护、维修方案）、实施风险应对（执行应对措施、诊断、治理）。

3）因防水工程性能衰减到性能不满足使用要求，渗漏风险管理应至少包括以下内容：识别（渗漏监控与预警）、风险分析（继续使用可能带来的定量和定性风险）、应对措施（临时防护、维修方案）、实施风险应对（执行应对维修或替换）。

4）渗漏风险管理体系可参照PMI《项目管理知识体系指南》制定，与运行维护相关的内容可参照现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030中的相关规定。

* + 1. 工程防水类别划分的依据为渗漏风险，防水有效性、渗漏风险、设计与预期工作年限构成了耐久性规划的主要内容。渗漏风险分析后，在第4.2.4条规定了“渗漏风险管理”。按防水工程定义，其包括防水系统与建造方法：防水系统的基本特征为构成，体现为防水层道数和构造；建造方法体现为工艺、质量控制等措施，在相关标准中均有规定。本节将本标准与现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030形成了关联。
  1. 防水设计工作年限
     1. 替换难度指材料、工程在使用、废弃等阶段，对之进行维护、维修、替换的可行性和经济性。确定防水设计工作年限的首要因素是替换难度，防水失效导致的经济、社会与环境影响可通过替换解决，其决定可行性和成本，故为防水设计工作年限设置的基准，与此相关的可行性、经济性建议如下：

1）结构构件通常最难替换，如基础、结构或组装的连接件，这些结构构件替换时可能导致建筑失去使用功能。

2）对于临时建筑，可依据设计工作年限对材料、构件进行性能定义，较方便的拆除更利于回收或再利用。

3）如建筑的设计工作年限非常长，可能需要多次替换或替换材料、构件以保持性能，因此，更易于拆除或重新组装的方式更利于保留建筑结构，避免维修对各种设施的破坏，此亦设计工作年限规划的目标和理念。

4）设计工作年限的规划必须考虑经济性，如某些材料的工作年限需达50年，可能会使制造和建造成本急剧增加。

混凝土屋面防水功能在第4.1.3条进行了规定，在规划防水设计工作年限时，需考虑如下因素：

1）材料、系统的性能可参考相应的法规或标准进行限定，当性能不能满足时就可进行维修或替换。但非外露防水材料老化后性能很难监控，在服役达到设计工作年限后，可酌情鉴定其性能。

2）在工程规划、设计等早期阶段，应确定材料、系统重要部位防水性能的最低可接受程度，一旦服役到性能不满足使用要求时，可对之进行替换。

3）并非所有的材料服役时间超过设计工作年限后都不能满足要求，需依据实际应用区分对待。

4）明确与防水工程相关的其他建筑关键性能要求，如屋面外观劣化导致防水系统被拆除，保温性能不能满足节能标准规定时需要拆除整个防水系统等。

5）设计工作年限仅能用于处理可预见的变化。

* + 1. 参考ISO 15686-1:2011 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework中对“永久性、可替换和可维修的建筑结构”使用年限（service life）的建议和基准，以及BS 7543: 2015 Guide to durability of buildings and building elements, products and components中对建筑构件设计工作年限（Components or assemblies design life）的分级，本条对防水材料、系统替换难度进行分级规定：

1）可替换，短期使用。可通过较小成本对材料、系统、工程等进行替换，该类不要求很长的使用时间，如易消耗、宜老化的材料，临时设施等。

2）可维修，可轻易替换。与第1类相似，但需要适当成本对之进行替换。

3）可维修，需一定难度进行替换。替换时需较高的拆除、运输、安装成本，但是材料、构件均可进行替换。

4）替换难度极大或不能替换。替换时需要付出极大的拆除、运输、安装成本，或者不能替换，如永久性结构，厚重屋面等。

* + 1. 防水设计工作年限取值参考了EOTA（European Organization for Technical Approvals）、EN（European Standards）、ISO（International Organization for Standards）、BS（British Standards Institution）系列标准，并以现行国家标准《民用建筑通用规范》GB 55031为参照进行统一，见表12~表14。

1. 《民用建筑通用规范》对设计工作年限的分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 设计工作年限（y） | 示例 |
| 1 | 5 | 临时性建筑 |
| 2 | 25 | 易于替换的结构构件 |
| 3 | 50 | 普通房屋和构筑物 |
| 4 | 100 | 纪念性建筑和特别重要的建筑 |

1. EN 1990关于建筑设计工作年限的分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | design life（y） | 示例 |
| 1 | 10 | 临时性建筑结构 |
| 2 | 10~25 | 易于替换的结构 |
| 3 | 15~30 | 农业或相关的结构 |
| 4 | 50 | 普通房屋和构筑物 |
| 5 | 100 | 标志性建筑、桥梁或其他同等重要的建筑 |

1. EOTA Guidance Document 002对建筑产品工作年限的分级

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程的假定工作年限（y） | | ETAGs、ETAs和hENs中建筑产品的假定工作年限（y） | | | |
| 类别 | 设计使用年限 | 可维修或轻易可替换1 | 可维修或需要一定难度进行替换 | 长期使用2 | 类别 |
| Short | 10 | 10 | 10 | 10 | Short |
| Medium | 25 | 10 | 25 | 25 | Medium |
| Normal | 50 | 10 | 25 | 50 | Normal |
| Long | 100 | 10 | 25 | 100 | Long |

注：1 在理由充足或例外场景，如某些需要维修的产品，工作年限可设计成3 y ~6 y。

  2 表示不能或很难替换之外的情况。

在ISO 15686-1:2011 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework中给出了“永久性、可替换和可维修的结构（Construction）”的设计工作年限建议和基准，同时需要考虑经济性，见表15。

1. ISO 15686-1建议的建筑构件最小设计工作年限（y）

| 建筑 design life | 难以进入维修的建筑构件或结构 | 构件的替换或维修极困难且成本高昂 | 主要的可替换建筑构件 | 辅助性建筑 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 无限制 | 无限制 | 100 | 40 | 25 |
| 150 | 150 | 100 | 40 | 25 |
| 100 | 100 | 100 | 40 | 25 |
| 60 | 60 | 60 | 40 | 25 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

注：对于易于替换的建筑构件设计工作年限可为3~6年。

BS 7543: 2015 Guide to durability of buildings and building elements, products and components更多考虑采用替换难度进行“工作年限”划分。在1992版本中，专门针对建筑、材料与构件分别制定了不同的设计工作年限，见表16~表18。

1. BS 7543: 1992对建筑设计工作年限的分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 定义 | design life（y） | 示例 |
| 1 | 临时 | ≤10 | 临时性建筑 |
| 2 | 短期 | ≥10 | 短时间使用的工业建筑，临售、临时仓库等 |
| 3 | 中期 | ≥30 | 常规工业建筑，房屋翻新 |
| 4 | 常规 | ≥60 | 健康、教育，新建房屋，公共建筑翻新 |
| 5 | 长期 | ≥120 | 标志性建筑和特别重要的建筑、市政建筑 |

1. BS 7543: 1992对建筑构件设计工作年限的分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 定义 | design life（y） | 示例 |
| 1 | 可替换 | 低于建筑设计使用年限，可替换 | 室内地面、装饰等 |
| 2 | 可维护 | 通过维修与建筑的使用年限一致 | 室外装饰、门窗等 |
| 3 | 长期 | 与建筑的使用年限一致 | 基础和主要的结构单元 |

1. BS 7543: 2015对建筑构件设计工作年限的分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 定义 | design life（y） | 示例 |
| 1 | 短期 | 低于建筑设计使用年限，可轻易替换 | 门窗五金件等 |
| 2 | 可替换 | 低于建筑设计使用年限，可替换 | 室内地面、装饰等 |
| 3 | 可维护 | 通过维修与建筑的使用年限一致 | 室外装饰、门窗等 |
| 4 | 长期 | 与建筑的使用年限一致 | 基础和主要的结构单元 |

BS 7543: 2015版本取消了建筑设计工作年限的要求，仅对建筑构件设计工作年限进行规定，增加对功能失效风险评估，见表19。

1. BS 7543: 2015对建筑构件设计工作年限的分级

| 类别 | 定义 | 示例 |
| --- | --- | --- |
| A | 危及生命 | 结构坍塌、失效 |
| B | 导致人员受伤 | 建筑局部的损坏，导致人员使用的风险 |
| C | 危及健康 | 受潮 |
| D | 维修成本消耗 | 维修时需要较大的成本，如外墙的翻新 |
| E | 重复消耗成本 | 门窗五金件替换 |
| F | 中断使用 | 暖通空调，或渗漏导致使用中断 |
| G | 安全防卫 | 门窗的防卫 |
| H | 无特殊情况 | 配件的替换 |

BS 7543: 2015关于设计工作年限需要考虑的因素包括：

1）时间因素，评估耐久性时，使用或周期性替换的时间。

2）使用因素，使用中需具备的性能，如环境、使用要求等。

3）性能因素，维持耐久性需要保持的性能指标，如性能要求、可靠度等。

从世界主要标准对设计工作年限的规定可看出：标准在逐渐弱化具体的规定，更强调需要遵循的原则。本标准为兼顾我国建筑、防水行业标准体系，对设计工作年限进行了推荐性规定。

* + 1. 为便于引用防水材料、系统、工程的设计工作年限，本条依据主要材料、系统的固有耐久性特征，结合第4.3.3条耐久性规划推荐值，对之进行了规定，防水工程则直接对应第4.3.3条的推荐值。相关规定说明见表20。

1. 防水材料、系统、工程设计工作年限推荐值说明

| 类别 | 类型 | 分级说明 |
| --- | --- | --- |
| 材料 | 外露防水卷材、涂料、水泥基防水材料 | 外露防水材料一般较容易进行维修和替换，大部分材料耐久性可达到10y，少部分可达到50y，某些易替换材料不必要求达50y |
| 非外露防水卷材、涂料、水泥基防水材料 | 非外露防水材料相对难于维修和替换，大部分材料耐久性可达到25y，少部分可达到50y，某些易替换材料不必要求达50y |
| 抵抗疲劳作用的密封材料 | 疲劳、冻融作用会严重降低材料耐久性，这类材料应可维修或替换，所以仅对Ⅰ、Ⅱ类进行了规定，第Ⅰ类取值相对较低，第Ⅱ类可选10y或25y |
| 非抵抗疲劳作用的密封材料 | 按照维修和替换的难度进行规定 |
| 采光窗、屋顶窗、导光管、采光瓦 | 一般而言，采光窗、屋顶窗、导光管、采光瓦均作为部件安装，要实现50y的耐久性难度较大，所以仅对Ⅰ、Ⅱ类进行了规定 |
| 金属、塑料类盖板、压顶、遮挡材料 | 金属、塑料类盖板、压顶、遮挡材料一般位于接缝、端部、女儿墙等部位，且易于替换，所以对Ⅰ、Ⅱ类进行了规定 |
| 薄板间封闭弹性密封材料，衬垫材料 | 在金属、塑料类盖板、压顶、遮挡材料间一般需设置密封材料，原则上可与这些材料同步替换 |
| 混凝土类盖板、压顶、遮挡材料 | 混凝土类盖板、压顶、遮挡材料一般较厚重，在替换时难度相对更大，由于其耐久性相对更好，故对Ⅱ、Ⅲ类进行了规定 |
| 防水材料收口部位固定、封边材料 | 与金属、塑料类盖板类似，一般用于端部的封边，这些材料需定期进行检查、替换，故对Ⅰ、Ⅱ类进行了规定 |
| 保温材料 | 保温材料与非外露防水材料类似，相对难于维修和替换，大部分材料耐久性可达到25y，少部分可达到50y |
| 隔汽层、排汽管、排汽设施 | 排汽材料可与保温层同步替换，参照保温材料规定 |
| 块状保护层、隔离材料 | 块状保护层包括面砖、混凝土、预制构件等，一般具有较好的耐久性，面层替换有一定难度，故对Ⅱ、Ⅲ类进行了规定，隔离材料与保护层一致 |
| 薄层保护层 | 与块状保护层不同，薄层保护层易于替换，如砂岩、金属、涂层、金属等，故对Ⅰ、Ⅱ类进行规定 |
| 水落口、天沟、檐沟、排水管道 | 水落口、天沟、檐沟、排水管道取决于屋面类型和材料，可灵活选择，对Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类进行了规定 |
| 卷材或防水材料紧固件 | 与“防水材料收口部位固定、封边材料”类似 |
| 泡沫填充材料 | 填充材料不一定容易替换，某些可能很难替换，对Ⅱ、Ⅲ类进行了规定 |
| 架空层 | 与“块状保护层”类似 |
| 屋顶出入口盖板 | 与“薄层保护层”类似 |
| 系统 | 防水层非外露卷材、涂膜防水系统 | 参考EOTA Guidance Document 002对防水系统假定工作年限的规定，大部分可达25y，部分可达50y |
| 防水层外露卷材、涂膜防水系统 | 参考EOTA Guidance Document 002对防水系统的假定工作年限的规定，大部分可达25y，10y为简易构造 |
| 重型种植屋面防水系统 | 参考EOTA Guidance Document 002对防水系统的假定工作年限的规定，大部分可达25y，部分可达50y |
| 工程 | 防水层非外露卷材、涂膜防水屋面 | 5y为临时建筑屋面，虽然绝大多数防水材料耐久性可超过5y，为了与规定统一，取5y。  普通房屋耐久性需要达到50y，对于标志性或特别重要建筑为100y，可用耐久性为10y\25y\50y的防水材料、系统以多次替换方式实现 |
| 防水层外露卷材、涂膜防水屋面 | 同上 |
| 重型种植屋面 | 同上 |
| 架空屋面、停车屋面、蓄水屋面 | 同上 |

1. 耐久性评定
   1. 一般规定
      1. 本条对耐久性评定过程中的试验方法、耐久性数据获取，推断方法，结果评定与校验原则进行了规定。

耐久性试验是取得数据的基础，可采用实际使用条件老化或实验室加速老化，试验方法需与被测主体实际性能衰减机理一致，所采取老化作用强度能体现影响因素的作用。试验方案需要结合原理、经验进行探索，找出最合理的方式，同时采用长期、短期、多种影响因素组合等方式进行预试验，相互校验，以体现科学性。

用于评定的数据来源需可靠、明确、有据可循，包含防水工程中材料、系统、影响因素等信息，数据一般来自于试验、建筑服役监测、研究报告或文献等，为保证数据真实可靠，对干扰数据应予以清洗。此外，因数据具有离散型，较多的样本数据更利于分析其分布特征，故进行试验时，宜综合经济、时间成本，尽量取得满足统计需求的数据量。

耐久性一般采用回归模型推断，也可设置耐久性临界判定条件，采用“通过\不通过”试验进行判定，无论哪种方法，其技术路线与逻辑均需严谨。

耐久性评定应采取适当保守、稳健的原则。因耐久性系工程指标，非特定、精确的单一值，适当保守的取值可降低服役期间防水失效概率；用于评定的数据一般属于某类分布区间，但工程防水耐久性受材料质量、建造质量、使用环境和服役过程影响，真实的分布特征很难确定，适当保守的推断和计算结论更可行；在进行试验或监测时，材料间的拼装、结合部位因微环境影响，可能比实验室或理论条件下的假定条件更苛刻，适当保守的数据会更可靠；对于不可替换或很难替换的结构构件，适当保守可为建筑后续使用、改造提供更大的冗余度，增加其适应性。

预期工作年限或参照工作年限的评定方法均可能存在误差或不足，采用多类数据、不同的推断模型相互参照、校验，可以得出更可靠、趋近真实的结论。

* + 1. 耐久性系维持功能的可持续时间潜力，表征时间的预期工作年限为材料、系统性能降低到不可接受程度的时间分布范围。本条提出了耐久性评定的总体范围，方法、推断方法对应第5.2节的因子计算方法和第5.4节的专家判断方法，数据的获取、处理、分析和推断对应第5.3节。
    2. 本条规定了两类预期工作年限的评定方法选用原则和总体要求。材料、系统、工程耐久性的常用预测方法见表21，回归推断、随机模型预测、仿真模拟等方法较适用于研究工作，是经典的预测方法，这些方法需针对特定的材料和使用条件，数据相对精确，但灵活性略显不足，即便如此，标准第5.3.7条仍采用了回归推断方法。因防水工程的材料、构造、影响因素多样，因子计算方法可将复杂问题简单化、清晰化，同时修正因子可结合概率使用，操作灵活，较适合工程人员使用，故本标准以此为主。当采用新材料、新工艺时，可能性能衰减机理不完全清晰，试验数据不充分，数据有效性不足，若亟需耐久性数据时，可使用专家判断方法。

1. 耐久性常用预测方法

| 类型 | 适用条件 | 说明 |
| --- | --- | --- |
| 数学回归推断 | 材料性能衰变规律 | 预测出由自变量导致的因变量，基于各种经典数学模型，对性能衰减到不能满足使用要求时的时间进行推断 |
| 随机模型预测 | 对既有、服役建筑中材料进行耐久性预测。  因子计算方法中影响因子的取值 | 采用0\1二元对立分析处理“失效\有效”，以随机模型对每个衰减因素变量的正确率进行预测，并定义一个等量的概率模型。  也可以描述每一个衰减因素导致另一个因素变化的可能性，将衰减因素数据通过概率分析转换成统计分布公式，通过随机模型计算，从逻辑回归中得到耐久性预测值 |
| 仿真模拟 | 数据样本足够，耐久性相关因素明确。  处理模糊、随机、非线性数据时较有优势 | 人工神经网络模拟基于过往信息对材料性能进行预测，通过对已知信息的反复学习与训练，达到处理信息、模拟“输入-输出”间关系 |
| 因子修正计算 | 适用于有耐久性参照依据的条件，在工程中被广泛使用 | 基于参照工作年限，使用一系列因子进行组合修正，各种参数基于研究或经验，属于半概率半经验分析方法 |
| 专家判断方法 | 相关研究、经验、数据不足时 | 基于专家的经验和感知进行判断 |

* + 1. 参照工作年限是计算预期工作年限的基础，其来源可为试验数据、实际服役记录等。常用的老化试验分类见表22，也可参考第A.0.5条，若实际服役状况没有周期性试验数据，但存在“失效/非失效”记录，当样本量足够时，也可作为参照工作年限取值依据。

1. 常用老化试验分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类型 | 时间 | 老化条件 |
| 实验室试验 | 短期性 | 加速老化 |
| 无加速老化 |
| 长期性 | 无加速老化 |
| 实验建筑试验 | 短期性 | 实际服役性能监测（持续性记录） |
| 长期性 | 样品实地老化 |
| 实际服役性能监测（持续性记录） |
| 实验建筑 |
| 实际使用老化 |

因参照工作年限系耐久性评定中最重要的部分，对老化机理、试验方法、数据等进行相互对照，可验证工作的合理性，发现偏离实际的数据。观察或测量性能衰减时多采用实际服役与实验室加速老化试验对照，使用条件下的长期性能观测可核实加速老化试验性能衰变的真实性，且可察觉邻近材料的反应，如过高的温度可能造成材料分子结构变化，导致性能衰减机理与实际不一致等。

* 1. 预期工作年限
     1. 预期工作年限评定采用因子计算方法，该方法以概率和经验结合，简洁，清晰，易用，系国际上通行的工程预测方法。

参照工作年限一般源于制造商提供的数据、产品在相似使用条件下的监测数据记录、经认证的结果、经验值、研究资料、标准等。

修正因子代表参照条件和目标条件间的偏差，取值需建立在大量统计数据基础上，或参考专家经验，其定义和说明见表23。

1. 修正因子说明

| 影响条件 | 相关条件 | 分类 | 示例或说明 |
| --- | --- | --- | --- |
| 材料质量 | 材料质量 | 固有特征 | 材料制造质量波动、缺陷、不合格品，不同批次原料、工艺波动等 |
| 存储、运输、再加工导致质量下降 | 材料在存储、存放、保存中的破损、破坏、老化等导致的质量下降 |
| 系统质量 | 设计、集成缺陷 | 构造、细节不合理，材料选择或搭配不合理等 |
| 材料质量下降 | 存储、存放、保存中的质量下降 |
| 建造质量 | 设计水平 | 设计合理性 | 材料选择、系统选型的正确性和合适性；  构造、细节设计的合理性；  材料间连接、防护的合理性等，如防水层防护 |
| 施工水平 | 施工可靠性 | 现场的施工管理和施工质量，包括存储、防护、搬运、安装、细部处理（接缝、表面等）、施工气候干扰等 |
| 使用环境 | 室内环境 | 室内温湿度 | 潮湿区域的水分、湿气、内部冷凝等；  室内高温、腐蚀性环境影响等 |
| 室外环境 | 室外条件和微环境 | 本地环境条件，如气温、降水、辐照、污染、风向、风压、盐雾、建筑朝向等；  建筑局部、材料间的微环境影响 |
| 服役过程 | 使用条件 | 使用中的物理或化学作用 | 使用中的使用强度、磨损、撕裂、可能的机械冲击，生产生活中产生的腐蚀性物质作用 |
| 维护水平 | 维护水平高低导致性能下降缓解或加剧 | 按照维护计划进行实施的情况，维护周期与质量、维修的方便程度、清洗介质的腐蚀性等 |

因子计算方法不仅可用于计算，也可作为材料制造、系统集成、耐久性规划、建筑运维的检查、参考工具：

1）具有概率思想。其涵盖对耐久性产生影响的所有变量或因素，可将设计施工经验、实际性能监测、制造商承诺、试验数据等综合在一个系统框架内。

2）体现失效风险。使用者在用该方法评定耐久性时会倾向于考虑失效后果，如渗漏后的经济、社会、环境影响等，可作为评估材料使用的指南，亦可为规避失效风险的指引，据此制定针对措施。该方法本身虽不显示失效后果，但结果的解读可对失效风险程度提出建议，如提升性能、及时监控等措施，或谨慎地评估系数取值。

3）涵盖叠加效应。因子计算方法可将每一类独立或共同对耐久性产生影响的因素重要程度反映出来。单一影响因素对材料、工程性能的衰减规律较容易确定，但多因素共存时，性能衰减速度可能远大于或小于单因素影响。如较差的建造质量与较差的材料质量叠加时，较好的材料质量也不会缓解工程耐久性，但有时不良的施工水平也会加速性能衰减。所以，多类因素共同作用时，宜进行充分的分析和论证。

在使用因子计算方法时需理解其局限性和适用范围：

1）半经验半概率。因子计算结果非绝对精确值，而是一种基于合理数据、经验、概率的估计值，因子取值具有较强主观性，使用时需明确其“尽量趋近”真实值的思想。

2）无时间参数。因子计算方法不能对性能衰减的时间进程进行分析计算，因材料实际性能的衰减程度与时间并非呈线性关系，大部分材料在初始阶段性能衰减较快，某些材料则在特定季节衰减较快，这些特征在该方法中均不能体现。

3）避免修正失真。较小的因子组合相乘可能会对整体产生显著影响，需系统、谨慎地考虑评估整体结果与实际的吻合度。

4）宜进行敏感性分析。由于修正因子之间会相互影响，因子计算方法允许同时检查可能导致工作年限变化的所有因素，可对每个因素敏感性进行分析。

* + 1. 本条对参照工作年限取值原则和要求进行了规定：

1）因子计算方法需对参照条件与预期条件进行比较、修正，参照工作年限源于参照案例，包含特定使用条件，故使用时需具备相应信息，可参考第3.0.3条的说明。

2）当被评定的材料、系统、工程所处使用条件与参照案例一致时，则可直接采用参照案例数据，使用条件相差越大，则最终评定值误差越大，故参照条件、预期条件应尽量一致，以将不确定性降到最低，亦可参照第5.2.3条第4款。

3）参照工作年限数据的获取途径见表24。

1. 参照工作年限数据获取途径

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类型 | 适用性 | 说明 |
| 实际应用 | 若材料、系统或工程已普及多年且具备完整生命周期案例，基于实际应用获取的数据最客观真实，应尽可能采用此类 | 材料单纯老化具有渐进特征，但工程中90%的渗漏发生在1%的区域，该区域的渗漏可能与耐久性非直接相关，如设计、构造缺陷，施工、使用中的局部破坏等，在调研、收集、整理实际案例数据时需有充分认识 |
| 试验数据 | 新材料、新应用等耐久性数据不充分时 | 最常用的方式，针对材料最适用，系统次之 |
| 实际应用与试验数据结合 | 相互印证数据的有效性，最合理的方式 | 若材料、系统、工程具备应用案例，但因取样、调研、数据归属等原因不易获取时，可采用试验和工程实际数据相结合印证的方式，使数据可信度得以保证。目前我国防水工程耐久性案例极多，但因无前期规划和持续性研究，有效数据有限 |
| 制造商数据 | 来源于实际应用或试验，但具有独特性 | 因制造商需对产品耐久性负责，可依据实际应用或试验数据进行推断 |
| 经验判断 | 相似材料或相似使用条件下的推断 | 某些新材料、新应用等耐久性数据非常不充分，或很难获取耐久性数据时 |
| 研究文献 | 研究或参考 | 耐久性数据记录、资料、文献；  相关标准给出的耐久性取值；  专业机构的研究 |

* + 1. 本条对修正因子的分级和取值要求进行了规定。

1）修正因子为预期条件与参照条件间差异性的无量纲指标，预期条件系预期工作年限的拟定使用条件，参照条件系参照工作年限的使用条件。因影响因素间差异很难用完全定量数据表达，往往具有定量、定性综合的性质，为快捷、清晰、准确确定两者间差异，采用5个等级划分，对应量化修正系数。在参照工作年限数据收集时，如参照条件中缺乏相关影响因素信息，可将级别标示为“0”，表示相关信息缺失。某些条件下可能无需分级，如不需维护的材料不必包含服役过程因素，此时可标示“N/A”，表示某类影响因素不存在。

2）由于系数叠加乘积后可能导致乖离，且修正因子间一般存在内在联系，修正值存在一定的不确定性，故需对照实际应用，从总体上对修正值进行控制，避免偏离过大而失真。

3）修正计算越简单越好，因子间往往相互关联，关系复杂，最好的状态是“参照条件”与“预期条件”足够接近，参考第5.2.2条第2款的规定和说明。

4）为避免重复修正，次级因素不得在不同类因子中重复出现，如防水材料接缝部位的搭接，材料搭接的粘结可归成材料性能，从工艺控制也可归于施工水平。若参照工作年限中已包含了某项修正因子，在预期工作年限计算时也不能重复修正，如参照条件数据中已经包含第3.0.2条所规定的某些类修正因子。

5）单一值经修正计算后结论亦为单一值，不能体现分布特征。实际工程的使用年限服从一定分布，可将修正因子采用置信区间、概率分布函数表达，并采用不同的拟合检验方法检验偏差，如Anderson-Darling test，Kolmogorov-Smirnov test和卡方检验Chi-square test。计算方法见第5.2.9条的说明。

6）当条件不成熟，或被评定对象与本标准范围相差较大时，如新型屋面应用，特殊场景等，此时可依据专家经验判断，一般采用德尔非法（Delphi method），参考第5.4节的规定。

* + 1. 修正因子的分级方法为：首先将修正因子分解成6类次级因子，按照“1~3”级定义每类次级因子，然后按次级因素叠加得出修正因子分级。次级因子的代号缩写示意：sub（substrate），ins（insulation），mem（membrane），shi（shielding），det（detail），dra（drainage）。

材料质量次级因子分类参考现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345编排内容，分别从防水材料质量、基层质量、保温层质量、保护隔离层质量、接缝密封材料质量、排水性能6项次级因素进行分级，每类次级因素分3个等级。

材料质量均应满足相关标准要求。材料制造到施工过程中存在制造离散性，存储、运输的破损、破坏导致性能下降。材料质量概率分布可以假定服从标准正态或对数正态分布，参考图3：质量参数可以使用平均值和标准差表达，产品质量应保证性能达到设计要求的正常水平，即设计要求，由于不正常原因导致的质量下降，不得低于设计允许的下限水平，如位于“不允许质量区”时，则为不合格产品。工程中可使用近似的直线方程式表达，令直线与横坐标（平均值）的交点为材料性能的标准值，方程为，其中，为斜率。对于随机分布的材料性能，可规定标准值作为材料的特征，同时给出一个偏低概率与设计要求质量对应。一般工程材料标准值定义在与设计限定值相应概率的分位数值上，如=5%，此值大概相当于材料质量下限水平。在实际生产中，应依据设计要求，保证材料从生产到工程使用阶段都能在预计质量范围内。

|  |
| --- |
| 正常质量  质量下限  不允许质量区  正常质量区  临界质量区 |

1. 质量等级与概率表达示意

统计时，信度一般可取50%、25%、10%、5%或1%，即置信水平为50%、75%、90%、95%或99%，建筑材料质量控制的置信水平一般取值75%，90%和95%，有时也取99%。为便于分级，按照95%、75%规定材料的质量等级。我国工程现场一般需对材料复检，从现场材料某些关键性能检测值中可推测质量置信水平。

基层指防水层之下的找平、找坡层，一般为混凝土，基层材料对防水层的影响主要体现在施工后的尺寸稳定性，以强度和裂缝进行评判。混凝土裂缝控制等级参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定，裂缝质量可用观察的方式判断，强度可依据现场砂浆取样记录判断。

保温层材料在满足质量的基础上，主要考虑变形的影响，包括形状弯曲、几何尺寸收缩、压缩蠕变等。由于保温层几何尺寸一般较小（不大于1200 mm），初始阶段发生的尺寸收缩会导致防水层协同变形，但其影响较有限，可不计其影响。压缩蠕变可能导致保温层之上的防水层、保护层与垂直面材料（女儿墙、墙体等）发生剪切变形，致使材料在局部受拉或破坏，故以压缩蠕变为主。若混凝土屋面保温层之上无较重的覆盖层，需考虑保温材料形状、几何尺寸变化的影响。

防水层质量需符合材料质量标准要求，在此基础上对材料等级按照质量控制水平进行分级。

保护层可为混凝土、面砖、碎石、岩片以及其他覆盖物，混凝土、面砖一般因温度循环、冻融导致变形、开裂、粘结固定破坏等，岩片的老化一般为高低温、UV作用后与防水基材脱落，可依据现场条件、材料性能判断。

接缝密封材料一般包括密封胶、嵌缝油膏、丁基密封胶条等，以阻隔外部水分进入屋面。据现场调研数据，实际使用中该类材料容易老化，且无维修措施。可依据第4.3.4条关于设计工作年限的规定对材料性能进行评价。

排水组件包括水落口、排水管道等，据现场调研，排水口部位与防水层的连接较容易破坏，很多渗漏源位于此处。虽然排水组件质量较稳定，但一旦出问题会产生较严重影响，故需考虑其耐久性。排水组件的质量分级可据其质量及与防水层的连接可靠度判断。

材料质量修正因子采用保守原则按叠加效应分级，见表25。

1. 材料质量修正因子分级原则解释

| 代号 | 分级 | 次级因素组合 | | | 说明 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1级 | 2级 | 3级 |
|  | 极强 | 出现1项 | — | — | 1项次级因素为1级，存在不合格或不合规的隐患，不能通过邻近材料缓冲或措施弥补 |
|  | 较强 | 无 | 出现3项 | — | 3项次级因素为2级，邻近材料缓冲能力或弥补措施或无效，对质量产生显著影响 |
|  | 中等 | 无 | 出现2项 | — | 2项次级因素为2级，邻近材料缓冲能力或弥补措施效果减弱，对质量产生一定影响 |
|  | 较弱 | 无 | 出现1项 | — | 1项次级因素为2级，可通过邻近材料缓冲或控制措施弥补，对质量有影响但可控 |
|  | 极弱 | 无 | 无 | 出现6项 | 所有次级因素均为3级，质量趋近最佳状态 |

* + 1. 建造一般包括设计和施工，设计阶段确定构造、选材、细节处理后，在工程现场可能存在之前没有预期的问题，还需细化设计，很多细节有赖于现场工程人员处理，两者为系统性优化、迭代的整体，故将设计和施工统一成建造阶段，以强调系统性。

设计水平通常体现为人为主动降低防水系统受影响因素作用的程度，如降低气候、微气候的影响，包括构造、选材、局部等处理，设计水平对防水工程耐久性有决定性影响。施工水平通常体现为实现设计意图所采取的组织活动和措施，如施工组织、细节处理、工艺水平、监管和验收等。

次级修正因子细则主要参考现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345及相关节能、给水排水标准的规定，见表26，实际的设计与施工阶段可按表中各细则进行检查。

1. 建造质量次级因子分级细则

| 类别 | 设计细则 | 施工细则 |
| --- | --- | --- |
| 基层 | 1）找坡层、找平层包括坡度、材质、厚度、增强措施、分隔缝等。  2）女儿墙、屋面结构层在温湿度循环条件下可能存在变形，女儿墙一般需采用混凝土整体浇筑，或采用构造柱加强稳定性。  3）结构层因尺寸过大，温湿度会导致局部开裂等 | 1）针对基层、找坡的施工技术方案。  2）基层表面平整度、坚实度、洁净度、干燥度、界面处理。  3）找平、找坡层的坡度、强度。  4）基层突出部位、转角处的平直度、圆弧角。  5）按工序操作、检查验收合格、对成品的保护措施。  6）施工环境要求 |
| 保温层 | 1）保温材料的适用、适宜性。  2）隔汽、排气措施、种植、架空、蓄水的设计要求 | 1）材料的存储、存放、搬运。  2）隔汽层的连续性，局部的密封处理。  3）排汽通道、排汽孔的组织与优化，保证排汽通道疏通的措施。  4）保温层的拼接，与邻近材料的贴合，热桥处理，保温层的固定。  5）隔热层位置的平整度、稳定度、对防水层的保护。  6）施工环境要求 |
| 防水层 | 1）材料与当地环境（温度、辐照、降水等）、屋面特点（坡度、变形量、循环变形、种植、材料间相容性、基层湿度等）和使用功能（人员使用、设备等）相适应。  2）卷材防水层易拉裂部位，宜选用空铺、点粘、条粘或机械固定。  3）结构易发生较大变形、易渗漏和损坏的部位应设置卷材或涂膜附加层，交接部位设置附加层，如檐沟、天沟与屋面交接处、屋面平面与立面交接处，以及水落口、伸出屋面管道根部、找平层分格缝等。  4）接缝宽度及工艺 | 1）防水层的专项施工方案。  2）材料的存储、存放、搬运。  3）基层处理剂。  4）卷材防水层铺贴顺序和方向，与基层的粘结、固定。卷材接缝方向、接缝宽度、接缝错开间距、卷材与天沟、水落口的交接处理。  5）涂膜防水层施工的均匀度、涂膜总厚度，增强材料，细部处理与大面积涂布，转角及立面多遍涂布，施工工艺。  6）密封材料嵌填的合规性、密实度、连续度、饱满度，防止裹入空气；依据接缝宽度选用合适的施工机具，密封材料施工方向，表面修整。  7）防水层的蓄水试验或细部防水检测。检查验收合格，成品的保护措施。  8）施工环境要求 |
| 保护隔离层 | 1）保护层的分格缝、与女儿墙或山墙之间的变形缝、人行道、保护层与防水层之间的隔离材料类型、隔离材料技术指标。  2）为避免防水、密封材料暴露于UV、高低温、水分、机械作用条件下导致的加速老化，所采用的遮挡、保护措施。  3）在可能存在变形的位置，为缓解材料受变形影响而采取的隔离、缓冲措施 | 1）材料的存储、存放、搬运  2）防水层或保温层的表面应平整、干净，对防水层的保护。  3）保护层的接缝处理、伸缩缝留置、隔离材料的使用，涂料保护层与防水层的相容性。  4）隔离材料的搭接尺寸。  5）验收合格，进行淋水、蓄水试验观察，表面积水状况。  6）施工环境要求 |
| 细部构造 | 1）接缝密封：位移接缝和非位移接缝的材料类型选择合理，密封材料能适应温度、变形缝尺寸和位移，具备相容性和耐老化性能，背衬材料使用正确。  2）檐口、檐沟和天沟：防水材料满粘或加强措施、排水挑出尺寸、防水材料的端部处理等。  3）女儿墙和山墙：压顶排水方向与坡度、防水材料附加层、防水材料端部处理、泛水高度、泛水板的尺寸与选材等。  4）水落口：水落口固定方式、集水坡度、防水层与水落口的衔接等。  5）变形缝：防水层加强措施、盖板、泛水尺寸、固定措施等。  6）伸出屋面管道：防水层加强措施、端部处理、端部的耐老化措施、泛水高度、固定件等。  7）屋面出入口、设施基座：防水层加强措施、端部处理、端部的耐老化措施、泛水高度、固定件等、保护层等。  8）屋顶窗：屋顶窗与防水层的衔接、防水层的加强、防水材料与屋顶窗的相容性、连接措施、端部处理、固定件等。  9）滴水：檐口、檐沟外侧下端及女儿墙压顶内侧下端等部位的滴水处理 | 1）针对细部构造优化和专项施工方案。  2）考虑材料尺寸稳定性，使用相容的防水材料层进行增强。  3）考虑施工与使用的沉降或位移，使用隔离层、增强等措施。  4）细部施工同设计要求。  5）细部验收 |
| 排水措施 | 1）排水设计参数（雨水流量、暴雨强度、降雨历时、屋面汇水面积、排水口数量等）。  2）排水路线合理（排水区域、排水路线、受雨水冲刷部位、汇水区域）。  3）排水设施（檐沟、天沟、水落口、水落管等）能力 | 1）排水路线的优化。  2）防止杂物堵塞排水系统 |

表26为次级修正因子的分级判断参考，在进行防水系统设计时，可参考表27对影响因素进行核查，表中1为相关，0为不相关。

1. 屋面防水材料、系统设计要点

| 因素 | 设计要点 | 材料 | 系统 |
| --- | --- | --- | --- |
| 内部湿度 | 材料的水蒸气渗透性能 | 1 | 0 |
| 系统内部湿度和水蒸气压力，考虑材料类型，设置排汽 | 0 | 1 |
| 室内水分 | 材料的水蒸气渗透性能，评价内部冷凝和表面冷凝与霉变；  设置水蒸气阻隔层，控制水蒸气出入 | 1 | 1 |
| 防水性能 | 1 | 0 |
| 有害物质 | 防水材料化学特征 | 1 | 0 |
| 使用中释放危险物质 | 1 | 0 |
| 使用中析出的危险物质 | 1 | 0 |
| 耐久性 | 抵抗风荷载，参考固定方式进行分类试验或验证；  考虑风荷载作用下系统连接件的疲劳 | 1 | 1 |
| 抵抗机械损坏，参考荷载级别的分级进行动态和静态荷载试验 | 1 | 1 |
| 抵抗疲劳运动，参考荷载级别的分级进行疲劳试验；  当温度波动较大时，对接缝、连接点进行疲劳老化验证；  在系统设计时应考虑通过构造缓解疲劳的影响 | 1 | 1 |
| 抵抗温度影响，材料的动态或静态荷载、强度、柔韧性、抗开裂性能试验和验证；  考虑温度变形的影响，设置缓冲层、变形缝等构造措施 | 1 | 0 |
| 进行热、UV、热水等老化试验和验证，选择合适的材料 | 1 | 0 |
| 抵抗生物（根）的作用，针对种植屋面的耐根刺试验；  评价极端情况下屋顶偶然出现的植物根刺 | 1 | 0 |
| 抵抗荷载 | 评价系统抵抗风荷载作用的强度和变形量，变形影响 | 0 | 1 |
| 评价系统在荷载作用下的变形 | 0 | 1 |
| 系统材料老化后强度的下降，进行热水老化试验和验证 | 1 | 0 |
| 材料 | 评价材料的变形或尺寸稳定性 | 1 | 0 |

建造质量修正因子分级原则参考第5.2.4条说明及表25。

* + 1. 使用环境可分为建筑室内外环境和微环境，由于微环境与建筑的构造、遮挡等条件相关，可人为改变，所以仅对室内外环境进行分级。室内环境的影响会存在于特殊建筑中，如室内高温、高低温循环、高湿环境等，故将室内环境也纳入影响因素类别。次级因子的代号缩写示意：int（interior temperature），inh（interior humidity），ext（exterior temperature），rad（solar radiation），pre（precipitation），cor（corrosion）。

使用环境次级因子分类参考了各类热工、环境规范。

1）室内温度分级。特殊类型建筑室内温度条件主要参考现行国家标准《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019、《冷库设计标准》GB 50072、《水泥工厂设计规范》GB 50295、《平板玻璃工厂设计规范》GB 50435、《炼钢工程设计规范》GB 50439、《水泥工厂节能设计规范》GB 50443、《烧结砖瓦工厂设计规范》GB 50701等。高低温循环会导致材料变形，同时伴随着屋面系统内相对湿度变化，所以将其定义成较高等级。当室内存在长期低温条件时，虽然为稳定状态，但低温容易导致屋面系统内部冷凝，进而导致材料吸水，加速老化或其他问题，相对而言，工程中冷凝的控制较之温度循环更容易，所以定义成中等级别。对于常规生产、生活使用的建筑，其室内条件相对稳定，定义成较弱级别。

2）室内湿度分级。围护结构内部受潮的因素包含三方面：湿源、驱动力和迁移途径，只有三者同时存在时湿迁移才可能产生并在围护结构内部扩散、传递或存留。湿源包括液态和气态水，如初始阶段的水分、降水、外表冷凝和室内外水蒸气等。驱动力一般为外在条件，如室内外温湿度、辐射、气压等。迁移途径包括材料微观结构和缝隙。虽然防水材料不直接受室内湿度影响，但将屋面作为整体看待时，室内湿度会导致围护结构内部受潮，进而对其耐久性产生影响。

室内湿度的控制条件可采用相对湿度和绝对湿度表征，标准采用常温条件下（20℃）绝对湿度值（空气体积含湿量）。湿度分级参考ISO 13788: 2012 Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods，该标准关于室内湿度分级的方法在围护结构内部冷凝计算软件或标准中广泛被引用和使用，见表28。

1. ISO 13788室内常温条件下湿度分级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 级别 | 水蒸气含量  (g/m3) | 水蒸气分压  (Pa) | 说明 |
| 1 | 0~2 | 0~270 | 存储仓库建筑 |
| 2 | 2~4 | 270~540 | 商店和办公室 |
| 3 | 4~6 | 540~810 | 人员较少的居室 |
| 4 | 6~8 | 810~1080 | 人员较多的居室，运动馆，餐厅、厨房等 |
| 5 | 大于8 | 大于1080 | 高湿度建筑，如洗衣房，浴场，酒厂，游泳池等 |

为便于操作，将表28中的1~3级合并，作为常规条件看待，将4、5级分别作为高湿度、极高湿度。

3）室外温度分级。对面层材料、防水、密封材料产生直接影响的是温度，高温会导致热老化，低温会使材料物理性能改变，同时吸水后低温条件下会产生冻融，进而导致防护层、防水层破坏。温度与室外空气温度和太阳辐照强度相关，分级参考热工和气候区划标准，包括现行国家标准《建筑环境通用规范》GB 55016、《建筑热工设计规范》GB 50176、现行行业标准《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 26、《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》JGJ 75、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 134、《温和地区居住建筑节能设计标准》JGJ 475。

相比较于低温、冻融，最高温在全国各气候区相差不大，所以将室外温度简化成3个级别，最苛刻级别为低温和冻融，包括严寒、寒冷地区，温度波动是导致各类循环的主因，如干燥和潮湿、冻融循环等，大多数条件下，稳定态较之循环态的老化效应甚微；其次为夏热冬冷地区和温和地区，其最低温相对高一些，但可能存在冻融；夏热冬暖地区常年气候温差波动校对较小，且无低温，定义成常规级别。

在使用环境因子修正计算时，也可以依据工程所在地条件，按严寒A、严寒B、严寒C、寒冷A、寒冷B、夏热冬冷、温和、夏热冬暖进行分级和记录。

4）辐照量分级。辐照量取决于地形和纬度，参考现行国家标准《民用建筑太阳能热水系统应用技术标准》GB 50364、《太阳能供热采暖工程技术标准》GB 50495、《建筑气候区划标准》GB 50178的相关规定进行分级，见表29。

1. 我国太阳辐照量分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 级别 | 辐照量 | 地区 |
| 一类地区 | 全年辐照量6700~8370 MJ/m2  (约1861～2325 kwh/m2) | 青藏高原、甘肃北部、宁夏北部、新疆南部、河北西北部、山西北部、内蒙古南部、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部等地 |
| 二类地区 | 全年辐照量5400～6700 MJ/m2  (约1500～1860 kwh/m2) | 山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、江苏中北部和安徽北部等地 |
| 三类地区 | 全年辐照量4200～5400 MJ/m2  (约1167～1500 kwh/m2) | 长江中下游、福建、浙江和广东的一部分地区，春夏多阴雨，秋冬季太阳能资源适中 |
| 四类地区 | 全年辐照量在4200 MJ/m2以下  (约1167 kwh/m2) | 四川、贵州两省，我国太阳能资源最少的地区 |

UV老化适用于暴露于大气的材料，在EAD 030350-00-0402 Guideline for European technical approval of liquid applied roof waterproofing kits（类似ETAG 005）中关于辐照量分级见表30。

1. EAD 030350-00-0402辐照分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分区指标类型 | 分级指标要求 | 说明 |
| 高辐照量 | 水平面辐照量 | UV较强，屋面存在极高温 |
| 常规辐照量 | 水平面辐照量 | UV适中 |

为便于实施，将辐照等级分为3级，一类为苛刻条件，主要为高原地区，第2、3级指标参考欧洲标准。

辐照与海拔直接相关，会导致昼夜温差、温度极值、风荷载、降水、气压变化。由于与海拔相关的细分因素在其他因素中已有体现，为了避免重复计算，故不设该类分级。如需之，可参考ISO 15686-7:2017 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice的相关规定，见表31。

1. ISO 15686-7海拔分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分区指标类型 | 分级指标要求 | 说明 |
| 高原或山区 | 海拔高度大于 | 存在极端温度，温差极大 |
| 山区或高原 | 海拔高度 | 温差较大 |
| 平原或高原 | 海拔高度小于 | 常规居住地区 |

5）降水量分级。降水量是确定排水区域面积和排水系统的主要设计参数，同时降水量可反映了该地的干湿程度，降水也会给施工带来影响。排水工程一般以暴雨强度为设计指标，即10 min和1 h的最大降水量指标，考虑10 min和1 h最大降水量与年降水量地理分布规律相近，故以年均降水量为指标分级。分级指标参考现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030、ISO 15686-7:2017 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice，我国年均降水量划分特点见表32。

1. 我国年均降水量划分

|  |  |
| --- | --- |
| 年均降水量线 | 说明 |
| 1600 mm | 位于东南沿海地区，如台、闽、粤、琼大部，浙、赣、湘、桂局部，青藏高原东南部 |
| 800 mm | 800mm降水量线通过秦岭、淮河附近至青藏高原高原东南边缘，与一月份的0℃等温线大体是一致 |
| 400 mm | 400毫米等降水量线大致通过大兴安岭、张家口市、兰州市、拉萨市至喜马拉雅山脉东缘，为季风可达地区 |

世界上通行的气候区干湿程度一般分成4个等级，见表33。参考我国降水量特征和国际规定，以干燥、湿润、高湿三个等级区分。

1. ISO 15686-7干湿等级划分

|  |  |
| --- | --- |
| 分类 | 指标 |
| 干燥 | 年降水量小于400 mm，或者年均早上9:00 am的湿度低于50% |
| 半湿润 | 年降水量400 mm~800 mm，或者年均早上9:00 am的湿度介于50%~70% |
| 湿润 | 年降水量800 mm~1300 mm，或者年均早上9:00 am的湿度介于70%~80% |
| 高湿 | 年降水量大于1300 mm，或者年均早上9:00 am的湿度大于80% |

6）腐蚀条件分级。很多防水材料自身可以抵抗腐蚀性作用，但屋面系统中的金属、水泥基材料、密封胶等会受化学腐蚀作用。腐蚀条件分级指标为大气中的污染物日均浓度，参考现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046、ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation、ISO 15686-7:2017 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice的规定。我国标准和国际标准的污染物单位存在差异，表5.2.6-6综合了两者的指标。实际使用中如较难获取污染物量化指标，可依据说明中的场景划分。

使用环境修正因子采用保守原则按叠加效应分级，见表34。

1. 使用环境修正因子分级原则解释

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 代号 | 分级 | 次级因素组合说明 |
|  | 极强 | 当存在“1级”次级因素时，避免不了还存在其他级别的次级因素，此时会对耐久性产生显著影响 |
|  | 较强 | 当存在和时，表示热、水为主要影响因素，此时若出现其他“2级”次级因素，如、，都会对耐久性产生明显影响 |
|  | 中等 | 当存在和时，表示热、水为主要影响因素，会对耐久性产生影响 |
|  | 较弱 | 存在，且无其他“2级”或“1级”次级因素，表示仅有高低温循环，会对耐久性产生一定影响 |
|  | 极弱 | 次级因素级别均为“3级”，即、、、、、同时出现，从我国地形和气候分布特征看，此种条件很少见 |

环境影响虽易于进行量化分级，但在使用中需要注意：

1）不同类型材料、构造（外露和非外露）耐久性对使用环境的敏感度，实际中如果已确定了屋面构造和材料类型，宜以对性能衰减起主导作用的影响因素进行对照。

2）当多类影响因素耦合作用时，如热-水、辐照-水、高低温循环-水、腐蚀气体-水等，由于介质的耦合作用，可能比单因素更复杂，且老化作用更明显。严格意义上，即便建筑所处环境相同，不同部位的微环境也会存在差异，对每一类应用进行独立评估非常必要。

3）非常规条件区域或条件的影响见表35。

1. 非常规环境及说明

|  |  |
| --- | --- |
| 类型 | 说明 |
| 特定位置的微环境 | 围护结构中潮湿、污染物、热、光、风驱雨、荷载等耦合影响 |
| 多功能区 | 如走道、上人踩踏、除冰等 |
| 化学物品 | 如油、化学原料、酸碱、工业化合物（如氮氧化合物、硫氧化合物等） |
| 可能冷凝的部位 | 如楼板缝隙、女儿墙、屋顶排气通道、保温层之下等部位 |
| 积水或存水 | 如天沟，保护层、倒置式屋面保温层之下，种植屋面排水板等 |
| 人员不能进入区域 | 存在对材料更换、检修的限制 |

* + 1. 服役过程包含竣工交付后的使用、维护（功能维持）、维修（功能恢复）、翻新（功能重构）、废弃（功能终止）等活动，是工程全生命周期中时间最长的阶段。屋面工程运维管理要点也可按部位分类，包括：面层、保护层、隔离层、局部、防水层、排水设施、结构承重单元等，次级修正因子分类、分级与第5.2.5条原则一致。

本条参考了我国典型城市的《住宅物业管理规定》、《物业工程设施设备管理与维修》等文献，按屋面工程运维管理过程分类：

1）前期介入。指与开发商签订物业服务合同后，在用户入住前的设计、施工、销售阶段介入管理，此时可知晓耐久性目的、限制条件、成本等，从运维管理角度提出建设性意见，使屋面防水与运维工作相适应，并制订运维管理方案。此外，前期介入还可理解设计的假定条件，以此与实际服役条件对照，可解释实际性能别于预期的差异。具体内容见表36。

1. 与屋面防水相关的运维管理前期介入内容

| 阶段 | 需了解的内容 | 需实施的事项 |
| --- | --- | --- |
| 设计 | 了解选材、构造、排水要求 | 对屋面防水提出建议，利于运维 |
| 施工 | 掌握屋面防水、保温施工工艺 | 记录或接收资料 |
| 竣工 | 了解保温、防水、排水、面层状况 | 记录或接收资料 |

2）工程接管。接管验收包括工程是否合格、是否符合使用要求，按相关工程验收和质量标准、合同、协议、图纸等执行。包括：屋面无渗漏，细部接口严密，排水畅通，无积水，出水口、檐沟、雨水管安装牢固，无垃圾和堆放物，屋面无损坏。

3）运维管理。屋面防水应有记录渗漏状况、维修记录等的台账，运维管理的检查、监控、维护、维修、翻新等可按表37分类。

1. 屋面防水运维管理事项分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 级别 | 要求 | 说明 |
| 1 | 排除问题 | 定期检查、清洁、发现和排除问题，做好记录，如排水通畅、局部破损等 |
| 2 | 应急检修 | 在极端气候条件发生前后，对屋面问题、隐患进行排除 |
| 3 | 局部维修 | 定期对易于替换的材料、故障进行处理，如局部防水层破坏、易于替换的密封材料、保护材料、排水管道替换等 |
| 4 | 全面检修 | 屋面出现渗漏，防水材料已经不符合使用要求，需全面检修，或者屋面节能性能达不到使用要求，对屋面工程进行全面替换 |

屋面防水运维计划与细则可参考表38，在此基础上制定检查、维护、维修的频次和计划。

1. 屋面防水运维管理频次分类

|  |  |
| --- | --- |
| 频次 | 细则 |
| 常规 | 1）积水状况，天窗、隔热层破损状况，面层状况。  2）天沟、檐沟、雨水管和雨水口的检查。  3）对屋面清理，保证排水通畅 |
| 应急 | 1）屋面雨水喉管水道、雨水喉出口、雨水喉检查，屋面垃圾是否阻挡排水。  2）应急之后的大面积状况、细部构造、排水工作状况 |
| 季度 | 1）隔热层、面层材料的破损状况。  2）细部构造，外露防水密封材料完整性，金属件腐蚀情况，连接固定件牢固性 |
| 年度 | 1）隔热层、面层、密封材料、防水端部等固定方式的维修。  2）防水材料裂缝、破损、起鼓和粘接不牢等缺陷的维修 |

服役过程次级修正因子说明见表39。

1. 服役过程次级因子分级细则

| 类别 | 运维管理方式 | 细则 |
| --- | --- | --- |
| 基层 | 1）介入阶段：设计、竣工。  2）检修方式：全面检修。  3）运维频次：年度 | 1）找坡层、找平层的构造、材质、分隔缝等。  2）女儿墙、屋面结构层在材料类型、构造。  3）基层隐蔽信息记录。  4）服役过程中的变形、破损等状况 |
| 保温层 | 1）介入阶段：设计、竣工。  2）检修方式：全面检修。  3）运维频次：年度 | 1）隔汽、排气措施、种植、架空、蓄水的设计要求。隔汽层、排汽通道、排汽孔的布置。保温层类型、热桥处理、固定。  2）节能设计要求。  3）隔汽、排气、保温层隐蔽信息记录。  4）服役过程中的变形、破损、蠕变、吸水等状况 |
| 防水层 | 1）介入阶段：设计、施工、竣工。  2）检修方式：局部维修或全面检修。  3）运维频次：季度 | 1）防水材料类型、固定方式、使用注意事项。密封材料类型，使用注意事项。  2）基层处理，卷材附加层、交接、接缝、铺贴等工艺。涂膜均匀度、厚度，增强材料，细部处理等工艺。  3）验收记录。  4）服役过程中的变形、起鼓、破损、开裂等状况 |
| 保护隔离层 | 1）介入阶段：设计、竣工。  2）检修方式：排除问题，应急检修，局部维修。  3）运维频次：季度、常规 | 1）分格缝、变形缝、人行道、隔离材料类型设计指标。  2）遮挡、缓冲、隔离、保护措施的功能和原理。  3）隐蔽及蓄水试验记录。  4）服役过程中的老化、脱落、破损等状况 |
| 细部构造 | 1）介入阶段：设计、施工、竣工。  2）检修方式：排除问题，应急检修，局部维修。  3）运维频次：季度、应急 | 1）接缝密封材料、檐口、檐沟、天沟、女儿墙、山墙、水落口、变形缝、伸出屋面管道、屋面出入口、设施基座、屋顶窗、滴水等的细部设计构造、施工工艺。  2）细部构造的原理和效用。  3）验收记录。  4）服役过程中的老化、脱落、破损等状况。 |
| 排水措施 | 1）介入阶段：设计、施工、竣工。  2）检修方式：排除问题，应急检修，局部维修。  3）运维频次：常规、应急 | 1）排水材料、设计参数、排水口数量、排水路线的设计要求。  2）排水基本原理和运维要求。  3）验收资料。  4）服役过程中的老化、松动、脱落、破损、堵塞等状况 |

服役过程修正因子分级原则参考第5.2.4条说明及表25。

* + 1. 修正因子的理论取值可以从0至无穷大，但为避免乘积累积失真，参考ISO 15686-1:2011 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework的规定，取值范围限定为1.5倍，对于常规条件，取值可限定在为1.2倍，为便于分级取值，可采用0.05的幅值。修正因子取值取决于影响因素对材料、系统、工程的作用，标准中的取值采用实际工程调研数据分析得出。

绝对准确、客观定义修正因子的取值不可能实现，这其中包含了影响因素叠加效应、调研数据的客观性、实际工程服役条件的复杂性、修正因子分类的合理性等原因。但在一定程度上，目前调研的数据的确可反映出各种影响因素之间存在一定的相关性，所以，修正因子的取值是基于客观数据，同时也带有一定的经验和主观性，仅作为推荐使用。

调研数据针对混凝土结构建筑屋面，选取了2000年~2015年左右竣工的建筑。样本覆盖我国5大类气候区，包括严寒（沈阳），寒冷（大连、青岛、太原、北京、天津、济南），夏热冬冷（上海、南京、杭州、成都），夏热冬暖（广州、深圳），温和（昆明），每个典型城市选取4~5个居住建筑和2个以上的商业建筑。居住建筑以顶层户为单位划分，商业建筑按“座”划分。调研居住建筑样本共2376个，商业建筑样本共43个。调研内容涵盖：所在城市、竣工年度、竣工月份、屋面长度、屋面宽度、是否上人、屋面类型、面层类型、防水层位置、防水层道数、防水层类型、保温层类型、屋面坡度、找坡方式、排水方式，同时还包括依据物业记录的材料质量分级、设计质量分级、施工质量分级、物业管理质量分级，样本耐久性数据包括：是否渗漏、渗漏部位及数量、渗漏程度、首次渗漏时间、原因、维修及维修后状况。

收集样本后，清除无效调研数据，分别分析修正因子。

材料质量修正因子。选取屋面构造、材料类型、气候区、建造质量级别、服役过程级别一致的样本。对样本数据的渗漏率、耐久性分布进行分析，比较得出修正因子取值范围。

建造质量修正因子。选取屋面构造、材料类型、气候区、材料质量级别、服役过程级别一致的样本，对样本渗漏率进、耐久性分布进行统计，比较得出修正因子取值范围。

使用环境修正因子。按气候区汇总所有样本，对渗漏率、耐久性进行对比分析得出修正因子；按气候区分类，选取构造相同的样本，对耐久性分布进行统计，分析修正因子取值范围。

服役过程修正因子。选取屋面构造、材料类型、气候区、材料质量级别、建造质量级别一致的样本，进行耐久性分布统计，比较得出修正因子取值范围。

得到修正因子取值范围后，设定其分布特征，考虑综合叠加因素，对取值适当减少以抵消相互影响，得出对应的4类修正因子比值见表40，据此得出修正因子取值。

1. 修正因子比值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 假定分布特征 | 级别 | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 材料质量修正因子 | 右侧分布 | 1.15 | 1.05 | 1.08 | 1.05 | 1.00 |
| 建造质量修正因子 | 非连续分布 | 1.35 | 1.20 | 1.10 | 1.05 | 1.00 |
| 使用环境修正因子 | 低温、冻融影响，非连续分布 | 1.25 | 1.15 | 1.10 | 1.05 | 1.00 |
| 服役过程修正因子 | 右侧分布 | 1.15 | 1.05 | 1.08 | 1.05 | 1.00 |

* + 1. 预期工作年限可采用多种方式表达：单一值简单清晰，但其信息量有限；客观的预期工作年限一般为某一范围值，可用置信区间体现，其更接近工程使用要求；分布特征可完全体现预期工作年限的范围、显著水平等信息，但计算相对繁琐。

预期工作年限采用单一值表达时，参照工作年限与修正因子取值均为单一值。

置信区间不仅表现用于预测数据可信度，还可表达预测过程中的内在不确定性。参照工作年限与修正因子采用中位值和置信区间表达，体现了中位值，表示预期值的变动范围，置信区间可表示修正因子导致预期工作年限发生变化的区间量，更利于实际使用。计算时，可假定每个因子的置信区间，估计可能的范围，一般取5%、10%、25%。预测值在实际置信区间内的置信度称置信水平，置信水平可依据工程可靠度的需要选取，一般而言，可维护、可替换的材料可设置较低的置信水平；较难替换的材料应设置较高的置信水平；对于不可替换的材料，在设计时应设置一定的安全系数。

预期工作年限采用分布特征和显著水平表达时，需首先确定预期工作年限、修正因子的概率分布特征，采用随机模拟运算，如“卷积运算”的蒙特卡罗方法，简要流程为：

1）将单个因子通过分布特征虚拟出一系列单个值，然后将每一类虚拟的单个值按公式计算，得出一组计算值，运算次数不宜小于104，最好达到106。

2）对计算值的分布特征进行分析，形成预期工作年限的分布函数。

3）设定不同的显著水平计算预期工作年限值，一般可设定75%，90%或95%。

模拟计算时的概率分布函数选取可参考如下原则：常规材料制造的质量波动，一般满足正态分布特征。荷载、环境因素对性能的影响一般趋向于偏态对数分布，可参照EN 1990: 2002 Basis of structural design Section 4 Basic Variables的规定。与人相关的活动，如经济、社会及生物现象时，大多数时候符合正态分布或对数正态分布，结合Michael T. Kubal提出的防水90%/99%规律，与施工、维护活动相关时建议采用偏量更苛刻的对数正态分布。常用的概率分布密度函数可参照表41。

1. 常用概率分布密度函数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 概率密度函数 | 适用条件 |
| 正态分布 | ：均值，：方差， | 材料质量 |
| 对数正态分布 | ，  均值，方差， | 使用环境 |
| 对数正态分布 | ，  均值，方差， | 建造质量  服役过程 |

以下以典型案例示例计算。

示例一：预期工作年限采用置信区间表达。

某屋面防水工程，参照工程的=25y±5y，参照值和预期值的使用条件见表42，每一类因子的置信区间为10%。

1. 参照工程与被评定工程修正因子取值

| 因子类别 | 预期条件 | 参照条件 | 因子取值 |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 中 | 中 | 1.0 |
|  | 中 | 中 | 1.0 |
|  | 中 | 中 | 1.0 |
|  | 较差 | 中 | 0.8 |

计算：

计算：

取，则

示例二：基于分布特征计算预期工作年限。

参照条件：已知某厂商材料在某城市的参照工作年限的分布见图4，材料质量修正因子为，建造质量修正因子为，该城市位于温和地区，使用环境修正因子为，服役过程修正因子为。

预期条件：同厂家产品，材料质量、建造质量、服役过程质量等级相同，使用环境为寒冷地区，修正因子为。

1. 参照工作年限统计数据

图4中的实线为参照工作年限的累积分布函数，统计数据具有一定的左偏特征。该曲线描述了在左Y轴值给出的某个时间点之前，耐久性低于规定性能要求的样本总量，如30y后约有85%的可能会失效。柱状线为参照工作年限的概率密度函数，大部分样本在18~30y时间段失效，在23y~26y区间为最大值。实际调研显示，导致样本耐久性降低的主要原因系温度条件和辐照。

计算步骤如下：

1）为保守确定参照工作年限，选择保证率为75%，即只有25%的样本出现耐久性失效的时间点，显著水平为25%。从图4可以得出，参照工作年限可以从图中左Y轴25%处向右画直线，与累积分布函数曲线相交。交叉点的参照工作年限为21y。

2）对参照条件与预期条件进行对比，仅使用环境存在差异，确定修正因子，见表43，建造质量修正因子为，该城市位于温和地区，使用环境修正因子为，服役过程修正因子为。

1. 参照工程与被评定工程修正因子取值

| 类别 | 参照条件 | 预期条件 | 分析 | 因子取值 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 材料质量 |  |  | 与参照条件一致 | 1.0 |
| 建造质量 |  |  | 与参照条件一致 | 1.0 |
| 使用环境 |  |  | 苛刻的使用环境 | 0.8 |
| 服役过程 |  |  | 与参照条件一致 | 1.0 |

计算：

=×1.0×1.0×0.8×1.0

=21×0.8

=16 y

为了合规、正确地使用预期工作年限，需要对结论、限定条件等进行解释和说明，包括：数据来源、数据取得的条件、计算依据、适用条件等。预期工作年限作为结论性文件，需由专业人员完成，并得到专业人士或单位的授权。

* 1. 参照工作年限
     1. 本条列出了确定屋面防水工程参照工作年限的关键步骤。

1）屋面构造系确定防水层性能衰减机理的基础，包括屋面材料、构造、防水层位置、防水层类型等。

2）影响因素系耐久性的外因，见第5.2.4节~第5.2.7节说明。

3）性能衰减机理系导致工程薄弱部位、材料失去功能的物理、化学性能衰减的内因。性能衰减特征系材料、系统在性能衰减后，评定防水有效性的表征，结合老化机理和性能衰减特征，可设计出老化试验和判定准则。

4）试验方法一般包括方案、预试验、试验改进方案，同时需制定性能衰减特征的判定指标。标准通过典型材料的研究和验证试验，形成了推荐性方法。

5）数据包括实际应用数据、通过试验得到“时间与性能衰减”“作用强度与性能衰减”数据及现象，经对比、筛选后形成数据集。

6）推断系基于数据集推测参照工作年限。

关键步骤、内容的关联见图5。



1. 参照工作年限关键步骤及关系

附录A中规定了确定参照工作年限的通用性方法，适用于绝大多数的材料或系统，也可拓展到其他领域。

* + 1. 屋面构造直接决定防水层及各类材料受外界和微气候影响的程度，是确定影响因素和性能衰减机理的基础，屋面坡度和材料层的位置是其基本特征，据此可全面审视屋面耐久性影响因素。

次级因子代号缩写示意：slo（slope），loc（location）。

坡度是屋面的最基本特征，其决定排水和渗漏驱动力，参考EAD 030350-00-0402 guideline for European technical approval of liquid applied roof waterproofing kits进行分类，见表44，同时结合我国坡屋面标准分类方式进行简化，分成平屋面、缓坡和陡坡。

1. EAD 030350-00-0402屋面坡度与影响因素的规定

|  |  |
| --- | --- |
| 坡度 | 影响因素 |
| 坡度小于5% | 结冰（冰层的厚度），UV/积水，使用荷载，积水影响，屋顶绿化 |
| 坡度为5~10% | 结冰（冰层的厚度），UV，使用荷载，屋顶绿化 |
| 坡度为10%~30% | 滑移，霜冻（冻结的雪），UV，使用荷载，屋顶绿化 |
| 坡度大于30% | 滑移，UV，使用荷载 |

2）防水层在屋面的位置决定其受影响因素作用的类型和等级。外露材料层直接受外界条件影响，包括各种物理和化学作用；当上部存在防护层时，可以缓冲温度、太阳辐照、荷载、水分的影响，也可能会存在更多水分；位于保温层之下的材料，如倒置式屋面、种植屋面、需要长期承受较大荷载和水分作用。

此外，还存在保温层上下均设置防水层的构造，保温层之上防水层可对保温层形成防护，但渗漏后保温性能会受影响，且屋面内部会存储水分，除非等同于倒置式屋面，否则此时屋面防水应视为失效。保温层之下防水层可抵挡水分进入混凝土屋面板，阻止水分向室内渗漏，在屋面防水失效后维修过程中，可维持室内使用功能。故此类屋面构造防水有效性取决于保温层之上的防水层。

* + 1. 次级因子的代号缩写示意：hot（hot），col（cold），rad（radiation），mec（mechanical），fat（fatigue），hum（humidity），imm（immersion），oxi（oxidation），roo（root）。影响因素往往会耦合作用，如热与湿耦合后加速化学反应速率，影响因素按特征分为物理、化学、生物三类。

1）物理类主要包括热、湿、光、荷载。

极端温度一般会对材料性能产生明显影响，可按实际使用的极端温度条件分类，设计老化条件、试验方法和临界性能判定条件。一般而言，低温对柔韧性和抗动态变化性能会产生明显影响，高温则显著影响静态荷载作用后的性能。针对防水层，极端温度参考EAD 030350-00-0402 guideline for European technical approval of liquid applied roof waterproofing kits、现行国家标准《建筑环境通用规范》GB55016的规定和热工模拟，相关试验组合可参考表45。

1. 极端温度老化与性能判断试验

|  |  |
| --- | --- |
| 老化试验 | 性能判定试验 |
| 高温分级试验 | 1）使用抗拉强度进行试验并进行评判，试验温度可为常温。  2）使用静态压力、剪切试验等。  3）当防水层与基层满粘时，对防水层于基层协同变形进行评价 |
| 低温分级试验 | 1）低温条件下，可结合动态或静态机械合荷载试验。  2）极端低温条件下材料可能变脆，可使用断裂与开裂试验评价 |

辐照量分级同第5.2.6条规定，可在人工老化箱中模拟一定温度、湿度条件下辐照量分级老化强度，见表46。

1. 辐照量分级

|  |  |
| --- | --- |
| 辐照量等级（） | 性能判定试验 |
| 300~400 nm，1000 | 疲劳，低温柔性，接缝剥离强度，质量损失率，裂纹，拉伸性能保持率等 |
| 300~400 nm，500 | 同上 |
| 300~400 nm，250 | 同上 |

相对于极端条件，反复循环或疲劳作用的老化效应更明显，当防水层与基层满粘时，由于温度或位移的周期变化，其他材料变形会作用于防水层，可在一定的使用温度条件（如-10℃）下进行疲劳试验，然后采用外观、防水有效性、强度、柔韧性等判定，见表47。

1. 循环变形分级

|  |  |
| --- | --- |
| 疲劳等级 | 疲劳试验 |
|  | 4倍基准次数，置于一定的低温条件下，设置一定位移变形 |
|  | 2倍基准次数，置于一定的低温条件下，设置一定位移变形 |
|  | 基准次数，置于一定的低温条件下，设置一定位移变形 |

注：EAD030350-00-0402中，。

机械荷载包括静态和动态两类，参考EAD030350-00-0402 Liquid Applied Roof Waterproofing Kits的分类以及EOTA TR006 Determination of the resistance to dynamic indentation，EOTA TR007 Determination of impact resistance of panels and panel assemblies，见表48，采用分级荷载作用于防水层，导致其厚度变化或破坏后进行水密试验。因非上人和上人屋面荷载较难区分，将之简化成3类。

1. 屋面荷载分级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 荷载描述 | 动态荷载分级试验 | 静态荷载分级试验 |
| 较低级别 | 使用，圆形接触面冲击，然后检测破坏或变形，进行水密试验 | 使用，圆形接触面加载，代表使用中的典型荷载和一定的安全边际，如非上人屋面 |
| 适中级别 | 使用，圆形接触面冲击，然后检测破坏或变形，进行水密试验 | 使用，圆形接触面加载，代表使用中的典型荷载和一定的安全边际，如上人维修屋面 |
| 较高级别 | 使用，圆形接触面冲击，然后检测破坏或变形，进行水密试验 | 使用，圆形接触面加载，代表使用中的典型荷载和一定的安全边际，如上人屋面 |
| 苛刻级别 | 使用，圆形接触面冲击，然后检测破坏或变形，进行水密试验 | 使用，圆形接触面加载，代表使用中的典型荷载和一定的安全边际，如设备、种植屋面等 |

通过实际工程调研、屋面内材料层相对湿度相关研究文献、各气候区屋面系统热湿模拟分析的汇总，给出了屋面系统典型部位极端相对湿度条件，作为耐久性影响因素条件分级的依据。

2）化学类溶剂与气体。

防水层一般会直接受水分与氧气影响，当多道设防时，正常条件下最下层防水层不会浸水，若上层防水材料破坏，该层材料也会浸水。另外，防水层一般具有较大的水蒸气渗透阻，该部位湿度一般较大，或易产生冷凝。

热水老化试验可模拟防水材料的老化状态，对于种植屋面或倒置式屋面，防水层会长期浸水，需依实际条件定义试验时间，可参考EAD 030350-00-0402 guideline for European technical approval of liquid applied roof waterproofing kits的规定，见表49。热水老化试验后，依据相应温度级别进行静态荷载或其他试验。

1. EAD 030350-00-0402热水老化试验时间（d）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 应用场景 | 设计工作年限级别 | | |
| WL1（5） | WL1（10） | WL1（25） |
| 平屋面 | 15 | 30 | 60 |
| 承受较强机械荷载作用的屋面 | — | 90 | 180 |
| 倒置式屋面、种植屋面等 | — | 90~180 | 180~270 |

腐蚀性气体和臭氧对外露防水层影响较明显，本款中没有作为重点列出。

3）生物类影响因素仅考虑植物根系作用。防水卷材耐植物根系穿刺可作为耐久性指标之一，其原理不在于卷材材质，而是阻根剂的有效性，较难采用“根系作用强度与时间”建立联系，而可看作是阻根剂的耐久性，即阻根剂在使用环境中保持性能的时间。

* + 1. 影响因素分析是确定耐久性试验的基础。表5.3.4-1结合表A.0.3-2影响因素分类，以屋面构成（内在）、影响因素（外在）建立二维矩阵，从“内在与外在”特征关联得出老化机理，系关联分析方法，可以全面、系统地展示各类相关要素。表5.3.4-1中并没有列出所有的性能衰减机理，如屋面变形、各类细分的腐蚀性、臭氧氧化、动物噬啮等，而是强调最具代表性、已经有大量研究的机理。因耐久性试验老化条件、判定试验、性能要求设计时，需多类试验相互参照，故典型性能衰减机理的主要类别不应少于2类。

材料、系统性能衰减特征与机理属于材料或工程学科，宜由专业人员判断。表50结合第5.3.3条影响因素、表5.3.4-1选取典型性能衰减特征，可作为老化条件和判定性试验的基础。

1. 材料、系统性能衰减原理与特征

| 类别 | 机理 | 材料性能衰减 | 系统性能衰减 |
| --- | --- | --- | --- |
| 物理 | 循环变形 | 原理：应力、表面应力集中导致材料变形、定伸、破坏。  特征：材料疲劳破坏，如断裂、失去弹性等 | 原理：同材料。  特征：关键连接件疲劳，失去完整性、稳定性等 |
| 动态荷载 | 原理：局部塑性变形或破坏。  特征：材料局部变形、破裂等 | 原理：同材料。  特征：面层或多层材料变形、破裂，失去完整性等 |
| 冻融循环 | 原理：吸水、结冰、冻胀。  特征：材料开裂、粉化、破坏等 | 原理：同材料。  特征：材料失去强度，层间破坏，失去完整性等 |
| 静态荷载 | 原理：塑性变形或破坏。  特征：材料变形，蠕变，破坏等 | 原理：荷载作用下整体变形  特征：局部或整体变形，层间破坏，失去稳定性等 |
| 化学 | 热氧老化 | 原理：分子迁移、分子结构破坏。  特征：硬化，失去弹性，断裂，开裂，变形等 | — |
| 高低温循环 | 原理：分子迁移、分子结构破坏，产生循环变形或应力。  特征：变形，开裂，断裂，硬化等 | 原理：循环变形或应力。  特征：整体变形，层间开裂，局部断裂等，失去完整性或强度 |
| UV老化  热-UV老化 | 原理：分子结构破坏。  特征：硬化，失去弹性，断裂，开裂，外观变化等 | — |
| 化学腐蚀 | 原理：化学反应或离子交换。  特征：尺寸、外观、材料性质变化等 | 原理：同材料。  特征：外观变化，失去完整性等 |
| 热湿循环  热湿老化 | 原理：水解，氧化，分子迁移、分子结构破坏等。  特征：尺寸、外观、材料性质变化等 | 原理：材料分解，循环变形或应力。  特征：整体变形，开裂，层间开裂等 |
| 浸水老化 | 原理：水解，溶解，分子迁移、分子结构破坏等。  特征：外观、材料性质变化等 | 原理：同材料。  特征：整体变形，层间结合失效等 |
| 水-热老化  水-UV老化 | 原理：分解，分子迁移、分子结构破坏等。  特征：外观、材料性质变化等 | 原理：同材料。  特征：材料间结合力下降、失效等 |
| 生物 | 根系穿刺 | 原理：材料分解或分子迁移。  特征：失去阻根功能 | — |

* + 1. 本条为经验证的耐久性试验方法及判定条件，附录A对试验类别、细节进行了详细的规定，在设计老化试验时，可参照第A.0.5的规定及条文说明。

1）试验方法。

了解材料、系统的性能衰减机理、预期效应有助于正确设计试验，并正确使用试验结果。导致性能衰减的影响因素一般都会共同作用，特别在建筑微环境中，所以需要考虑直接和相关因素。耐久性试验一般可在现有试验方法基础上改进，如耦合作用、作用强度，循环强度等，可参考附录A。材料、系统最显著的性能衰减一般发生在非连续部位，如搭接、接缝、转折、伸缩位、端部等。材料本体研究可揭示性能衰减规律，薄弱部位经老化后，可采用关键性能试验判定，易于得出直观结论，两者可相互解释、印证。试验方法需结合最终试验数据推断方式进行设计，常用推断方式见表64。对于材料老化后临界性能的判定，本次标准编制过程中还没有形成一致结论，所以标准中部分内容存在缺失。

2）材料耐久性试验。

《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030-2022对于防水等级的规定，按防水主体的功能分类，屋面可能的构造见表51。

1. 混凝土平屋面不同防水等级构造

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 防水层位置 | 防水主体 | 防水等级与防水系统主要材料层（从上至下） | | |
| 一级 | 二级 | 三级 |
| 非外露 | 1层卷材 | 面层 卷材（1道） 保温层 卷材+涂料（2道） | 面层 卷材（1道） 保温层 涂料（1道） | 面层 卷材（1道） 保温层 |
| 2层卷材 | 面层 卷材+卷材（2道） 保温层 涂料or卷材（1道） | 面层 卷材+卷材（2道） 保温层 | — |
| 1层涂料 | 面层 防水层（2道） 保温层 涂料（1道） | 面层 防水层（1道） 保温层 涂料（1道） | — |
| 涂料+卷材 | 面层 卷材+涂料（2道） 保温层 涂料（1道） | 面层 卷材+涂料（2道） 保温层 | — |
| 外露 | 1层卷材 | — | 卷材（1道） 保温层 涂料（1道） | 卷材（1道） 保温层 |
| 2层卷材 | 卷材+卷材（2道） 保温层 涂料（1道） | 卷材+卷材（2道） 保温层 | — |

参考第5.3.3条影响因素分类、第5.3.4条衰减机理和特征，制定防水材料耐久性试验方法和判定指标，说明见表52~表56。

1. 非外露沥青类卷材耐久性试验方法说明

| 项目 | 说明 |
| --- | --- |
| 性能衰减机理 | 热氧老化导致低温硬化、接缝失效 |
| 老化条件设置 | 1）热空气老化试验方法：参考现行国家标准《建筑防水材料老化试验方法》GB/T 18244，热氧是最显著老化机理。  2）热空气老化条件：80℃，70℃，60℃温度，温度超过80℃会引起材料形态、尺寸产生较大变化 |
| 老化时长设置 | 参考附录A第A.0.5条，可设定成24、28、56、112d… |
| 性能判定试验 | 1）低温柔性：参考现行国家标准《建筑防水材料试验方法 第14部分 沥青防水卷材 低温柔性》GB/T 382.14，该试验方法可直接反映材料在规定温度条件下弯曲无裂缝的能力，间接反映防水有效性。  2）接缝不透水性：参考现行国家标准《建筑防水材料试验方法 第10部分 沥青和高分子防水卷材 不透水性》GB/T 382.10，在现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030中对该类试验进行了明确规定，该试验方法可直接反映材料的在一定水压条件下的防水有效性。  3）接缝剥离强度：参考现行国家标准《建筑防水材料试验方法 第20部分 沥青防水卷材 接缝剥离性能》GB/T 382.20，在现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030中对该类试验进行了明确规定，该试验方法直接反映材料老化后本体之间的黏合性能，可间接反映防水有效性 |
| 性能判定指标 | 目前未能提出确切指标 |

1. 非外露热塑性聚烯烃卷材耐久性试验方法说明

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 说明 |
| 性能衰减机理 | 热氧老化导致接缝失效、低温硬化 |
| 老化条件设置 | 1）热空气老化试验方法：参考现行国家标准《建筑防水材料老化试验方法》GB/T 18244。  2）热空气老化条件：135℃，115℃，90℃温度，采用了较高的温度进行加速老化处理 |
| 老化时长设置 | 参考附录A第A.0.5条，可设定成24、28、56、112d… |
| 性能判定试验 | 1）质量损失率：参考现行国家标准《建筑防水材料试验方法 第5部分 高分子防水卷材 厚度、单位面积质量》GB/T 382.5，该试验方法可直接反映材料老化后分子的分解速率。  2）裂纹：参考现行国家标准《建筑防水材料试验方法 第3部分 高分子防水卷材 外观》GB/T 382.3，该试验方法可直接反映材料老化后表面变化，可间接反映防水有效性。  3）拉伸性能保持率：参考现行国家标准《建筑防水材料试验方法 第9部分 高分子防水卷材 拉伸性能》GB/T 382.9，相比较于材料本体，接缝性能的衰减不明显，拉伸性能保持率可反映材料老化后的机械性能，通过可量化的材性变化评价老化程度 |
| 性能判定指标 | 目前未能提出确切指标 |

1. 非外露聚氨酯涂料耐久性试验方法说明

| 项目 | 说明 |
| --- | --- |
| 性能衰减机理 | 1）热氧导致分解、柔性下降。  2）浸水导致分解 |
| 老化条件设置 | 1）热空气老化试验方法：参考现行国家标准《建筑防水材料老化试验方法》GB/T 18244，热空气老化条件为80℃，70℃，60℃，采用了较高的温度进行加速老化。  2）浸水老化试验方法：参考现行国家标准《建筑防水材料试验方法 第16部分 高分子防水卷材 耐化学液体（包括水）》GB/T 328.16，浸水老化条件为40℃，50℃，60℃热水，采用了较高的温度进行加速老化 |
| 老化时长设置 | 参考附录A第A.0.5条，可设定成24、28、56、112d… |
| 性能判定试验 | 1）不透水性：参考现行国家标准《建筑防水涂料试验方法》GB/T 16777，该试验方法可直接反映涂料防水有效性。  2）表观、质量损失率：参考现行国家标准《建筑防水材料试验方法 第16部分 高分子防水卷材 耐化学液体（包括水）》GB/T 328.16，该试验方法直接反映涂料分解、溶解速率，可间接反映防水有效性。  3）拉伸强度保持率：参考现行国家标准《建筑防水涂料试验方法》GB/T 16777，该试验方法反映材料本体强度衰减，间接反映防水有效性。  4）粘接强度保持率：参考现行国家标准《建筑防水涂料试验方法》GB/T 16777，该试验方法反映材料粘结性能衰减，间接反映防水有效性 |
| 性能判定指标 | 目前未能提出确切指标 |

1. 外露沥青类卷材耐久性试验方法说明

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 说明 |
| 性能衰减机理 | 热氧或外露气候老化导致接缝失效、低温硬化 |
| 老化条件设置 | 1）外露气候老化可与非外露沥青类卷材耐久性试验进行对照。  2）人工气候加速老化试验方法：参考现行国家标准《建筑防水材料老化试验方法》GB/T 18244，102min干燥，18min喷淋，辐照度：窄带（340 nm）0.51W/(m2‧nm)，宽带（300 nm ~ 400 nm）60W/m2 |
| 老化时长设置 | 参考附录A第A.0.5条，可设定成24、28、56、112d… |
| 性能判定试验 | 同表54 |
| 性能判定指标 | 目前未能提出确切指标 |

1. 外露热塑性聚烯烃卷材耐久性试验方法说明

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 说明 |
| 性能衰减机理 | 热氧或外露气候老化导致低温硬化、接缝失效、力学性能下降 |
| 老化条件设置 | 1）外露气候老化可与非外露沥青类卷材耐久性试验进行对照。  2）人工气候加速老化试验方法：参考现行国家标准《建筑防水材料老化试验方法》GB/T 18244，102min干燥，18min喷淋，辐照度：窄带（340 nm）0.51W/(m2‧nm)，宽带（300 nm ~ 400 nm）60W/m2 |
| 老化时长设置 | 参考附录A第A.0.5条，可设定成24、28、56、112d… |
| 性能判定试验 | 同表54 |
| 性能判定指标 | 目前未能提出确切指标 |

保温材料耐久性试验方法和判定指标说明见表57~表59。

1. 保温材料绝热性能耐久性试验方法说明

| 项目 | 说明 |
| --- | --- |
| 性能衰减机理 | 在高温、高湿度条件下绝热腔体或孔隙被破坏，绝热性能衰减 |
| 老化条件设置 | 参照现行国家标准《建筑用绝热制品 湿热条件下垂直于表面的抗拉强度保留率的测定》GB/T 30808 |
| 老化时长设置 | 28d，参照European Assessment Document EAD 040083-00-0404, External thermal insulation composite systems (ETICS) with renderings（原ETAG 004）外保温材料耐久性试验方法，模拟长期老化后的状态 |
| 性能判定试验 | 按现行国家标准《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法》GB/T10294或《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法》GB/T 100295进行试验 |
| 性能判定指标 | 衰减不大于10% |

1. 保温材料蠕变耐久性试验方法说明

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 说明 |
| 性能衰减机理 | 在高温、高湿度条件下老化后，在恒荷载作用下产生压缩蠕变 |
| 老化条件设置 | 参照现行国家标准《建筑用绝热制品 湿热条件下垂直于表面的抗拉强度保留率的测定》GB/T 30808 |
| 老化时长设置 | 28d，参照European Assessment Document EAD 040083-00-0404, External thermal insulation composite systems (ETICS) with renderings（原ETAG 004）外保温材料耐久性试验方法，模拟长期老化后的状态 |
| 性能判定试验 | 参照ISO 20392: 2007 Thermal insulation materials – Determination of compressive creep或现行国家标准《保温材料 压缩蠕变的测定》，该试验方法判定保温材料在不同荷载作用下的蠕变特征 |
| 性能判定指标 | 进行推断 |

1. 保温材料强度耐久性试验方法说明

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 说明 |
| 性能衰减机理 | 在高温、高湿度条件下老化后，在恒均布或集中荷载作用下的强度保留率 |
| 老化条件设置 | 参照现行国家标准《建筑用绝热制品 湿热条件下垂直于表面的抗拉强度保留率的测定》GB/T 30808 |
| 老化时长设置 | 28d，参照European Assessment Document EAD 040083-00-0404, External thermal insulation composite systems (ETICS) with renderings（原ETAG 004）外保温材料耐久性试验方法，模拟长期老化后的状态 |
| 性能判定试验 | 参照现行国家标准《建筑用绝热制品压缩性能的测定》GB/T 13480，《建筑用绝热制品 点载荷性能的测定》GB/T 30802-2014 |
| 性能判定指标 | 衰减不大于20% |

* + 1. 、、、4类修正因子信息是进行预期工作年限计算的基础，对应第5.2.1条。如果耐久性数据来源于实验室或实验建筑，应与实际应用状况进行对照分析，排除无效数据，确保数据的有效性。实验室中得到的耐久性数据一般不包含、信息，可以视为最优理想状态。数据集的形成可参照第5.1.4条、第A.0.6条的规定及说明。
    2. 参照工作年限推断方式在准备、试验设计阶段已确定，即试验方式需对应于推断方法，见第5.3.5条、第A.0.5条的说明。

参照工作年限的表达方式与预期工作年限类似。函数推断的误差可设置一定置信区间，能体现结论的分布特征。“通过\失效”判断方式可得到单一值，不能体现可能的概率分布区间，实际使用时不利于风险评估。

参照工作年限数据一般包括：数据、使用条件、关键性能及要求、数据可靠度等，需包含、、、修正因子相关信息。统一、规范的数据结构、文档格式利于使用者读取、使用或转换，对不确定性和限定条件进行解释，可避免数据被误用。

* 1. 专家判断方法
     1. 标准引入了德尔菲法作为判定耐久性的备用方案，其按一定流程，成立专家组，采用“背对背”的反复函询方式，征询专家组成员的意见，进行整理、归纳、统计，再匿名反馈给各专家，经反复征询和反馈，使不同意见渐趋一致，经汇总和数理统计确认数据收敛，此过程至少需3次循环，最后得出较为可靠的建议或预测结果。

耐久性试验具有较强专业性，如试验方案、失效判定条件、数据处理等，该类工作需依靠经验，采用定量和定性结合判断结果。专业判断往往和试验可相互印证，专业经验在特定条件下不失为一种较好的预测手段，如：多因素导致材料老化，在实验室很难模拟现实条件下的性能衰减；不可能采用试验或模拟得出的参数；需求紧急，试验时间、空间、资源均不具备时。

* + 1. 德尔菲法是反馈匿名函询法，需组织者成立预测小组，其中包括若干专家，专家人数的多少可根据预测对象的规模和涉及知识面的宽窄而定。专家可来自于与“预测对象”直接相关的领域，某些条件下也可来自某领域内不同细分专业的专家，如防水耐久性相关专家可来自于制造商、研究单位、检测单位、工程师、使用者等。专家的选择会直接决定最终结果，故专家需对预测目标充分了解，有丰富的实践经验或理论水平，具备判断力，所以在选择时需注意专家的水平、专家群体知识结构、专家人数等。
    2. 征询表是组织者与专家间交流信息的媒介，专家根据征询表的要求发表自己的意见，做出评价和预测。征询表的设计质量直接关系到评价、预测的成败和质量，组织者应围绕主题，从不同角度提出若干与“被评测对象”相关、有针对性的问题咨询。

征询表需包含背景、目标、参考资料、问题、专家评价等内容。背景说明与调研相关的事项起源、意义、作用，让专家了解调研工作的必要性和重要性。目标可让专家了解调研需要实现的效果、产生的效用，保证专家能提供明确回复。参考资料可为相关介绍、文献、研究、试验数据等，为专家判断提供依据或参考。征询问题需清晰，数量适当，尽可能表格化、符号化、数字化、规范化，可采用量化打分方式，使专家易于理解、表达、回复，规范得答案利于后续分析反馈。

* + 1. 征询意见是信息反馈循环与收敛的过程。

第1次循环。向专家提问的要求见第5.4.3条，同时请专家提出还需要补充的资料。专家根据问题和资料提出自己的意见，并说明理由。将专家第1次的意见汇总，列成图表，进行对比分析，再展示给各位专家，让专家比较自己同他人的不同意见，也可把各位专家的意见整理后或请身份更高的其他专家加以评论，然后把评论再反馈给各位专家，以自我修正。

第次循环。将所有专家的修正意见再次收集、汇总、分析，再次分发给各专家，逐轮收集、反馈信息是德尔菲法的主要环节。在向专家反馈时，只给出反馈意见，不得说明发表意见者，以免出现权威或利益影响，组织者也不得在征询表中掺入自己的意见或见解。信息反馈一般需3次循环以上，直至每位专家不再修正自己的意见为止，某些条件下可能少于3次。每次循环和反馈时，专家都吸收了新的信息，并对预测对象有了更深刻、更全面的认识，预测结果精确性也逐渐提高。

如果组织者自己也不知道影响因素或其他信息，可在常规问询循环之前加入一个开放式调研，以确定、聚焦调研内容，见表60。

1. 改进的德尔菲法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 征询循环 | 组织者发起 | 专家处理 | 组织者处理 |
| 确定调研内容 | 组织者向专家提出开放式的调查表，不带任何附加条件 | 专家围绕预测“主题”提出相关事件 | 组织者整理回复，归并同类事件，排除次要因素，形成正式征询表 |
| 第1次 | 将征询表发给专家 | 专家对征询表的问题进行预测，并说明理由 | 组织者统计、分析专家的反馈信息，得出统计结果和新的征询表 |
| 第次 | 将统计结果连同征询表发给专家，征询意见 | 专家经权衡后作出新的预测，并解释不一致的理解，陈述理由 | 组织者统计、分析，得出收敛程度较高的意见，进行预测 |

* + 1. 在完成征询意见后，最终的预测值不一定能完全统一，分歧代表了不同专家依据自己专业意见的判断，都有其存在的意义和参考价值，不能简单地舍弃。专家判断的统计值可以中值、最小值和最大值体现，代表不同意见，符合一定的概率分布特征，即答案有50%的可能低于中值，或存在5%和95%的区间分别低于最小值和最大值。结合专家意见的量化数据，通过最大值、中值和最小值，可假定其服从一定的概率分布特征，即从期望变量的可接受范围抽取服从均匀分布的随机数字，将代入期望分布的概率密度函数，得到所代入数值的密度，随后定义一个极限区间计算最终值。

为便于计算，可假定专家意见服从一定的分布，其以0和1为区间，有两个参数，函数为：

其中，，均值为，标准差为。

分布概率密度函数涵盖了从高度右偏分布、均匀分布、近正态分布再到高度左偏，分布的形状取决于参数的取值：当时近似正态分布，当差异较大时，其不对称性会较显著。对于近正态分布，期望值两边一个标准方差的范围内曲线下面积约占总面积的68%；两个标准方差范围内曲线下面积约占总面积的95%；三个标准差范围内曲线下面积约占总面积的99%。对于单侧偏离的分布，可将一个标准方差的范围内曲线下面积简化为33%，而单侧偏离侧占50%，简化计算值见表5.4.5-1。

在设计征询表时，每个专家对问题的回复可定义成以“中值”、“最小值”和“最大值”，得到的结果会较精确。

最后，需要整理预测结果和预测报告，对限定性条件进行说明。

计算示例。针对某新产品，按第5.4节的方法，经过专家德尔菲法判断后，收敛的预期工作年限数据见表61。

1. 某样本专家判断值

| 专家 | 悲观估计值 | 中性估计值 | 乐观估计值 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 10 | 15 | 20 |
| 2 | 11 | 14 | 19 |
| 3 | 13 | 15 | 18 |
| 4 | 11 | 13 | 16 |
| 5 | 10 | 14 | 17 |
| 6 | 8 | 12 | 16 |
| 7 | 10 | 14 | 18 |

计算：确定可能的分布特征，依据调研结果以及假定的概率分布形态，设定悲观估计值、中性估计值、乐观估计值的保守度系数分别为2，对每位专家的判断值进行计算，最后取平均值得出预期工作年限，对不同专家计算结果进行标准差计算，结果见表62。

1. 某样本专家判断值计算的预期工作年限

|  | 悲观估计值 | 中性估计值 | 乐观估计值 |
| --- | --- | --- | --- |
| 预期工作年限 | 13 | 14 | 15 |
| 预测值标准差 | 3.67 | 2.51 | 2.78 |

1. 确定参照工作年限的通用方法
   * 1. 确定参照工作年限可作为研究项目，在得出结论的过程中可能需多次改善，流程图见图6。

1）定义问题属研究确立阶段，需明确研究范围，定义表征耐久性的性能需求与特征、被研究对象所处使用环境与相关信息、性能衰减因素类型与范围。

2）准备工作系研究信息收集、分析和确定初步研究方案的过程，需确定性能衰减因素的作用机理和影响，老化后的性能特征和评价条件，收集、调研已有研究和成果可避免重复工作。

3）预试验系对试验方案可行性进行验证与改进的必要阶段，因耐久性试验量一般较大，初始方案可能存在不足，预试验可校核性能衰减机理与实际是否一致，以完善试验方案和性能判定条件。

4）试验和评判系试验实施阶段，一般采用短期和长期老化试验相结合，以验证其有效性，分类见第A.0.5条，如果试验数据无效，则需要重新设计、优化试验。

5）数据分析与推断系得出结论的过程，对试验数据进行分析，确定“影响因素”与“性能衰减”的关系，采用回归等方式进行推断，或建立“老化时间”“作用强度”与“性能衰减”的模型进行推断，此时需参照准备阶段的“性能衰减因素、机理和影响”以判断数据是否有效，如数据无效，则需要重新对“性能衰减的因素、机理和影响、性能衰减特征”等进行研究，然后优化试验方案。

6）结论系正式表述，需研究过程、结论、限定条件和解释，如文件为第三方机构出具，需要经过审核、批准。

本部分主要参考ISO 15686-1:2011 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework；ISO 15686-2:2012 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 2: Service life prediction procedures；ISO 15686-8:2008 Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 8: Reference service life and service-life estimation；BS 7543: 2015 Guide to durability of buildings and building elements, products and components；ASTM E632-82 Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials。



1. 研究参照工作年限的总体流程
   * 1. 研究范围需对“被研究对象”在“特定使用环境”中的性能进行定义，据此确定与耐久性相关的各要素敏感性关系。表征“被研究对象”在特定条件下耐久性特征与指标、使用环境、影响因素均为准备工作基础。耐久性结果一般用于支持设计、合约等，为避免错误，需在研究初始阶段确定其合规性。
     2. 准备工作系定义问题之后的进一步细化，为数据获取的基础。

1）影响因素类型和等级需专业人员判断，表A.0.3-2对典型影响因素进行了分类，识别时需考虑实际构造可能形成的微环境中的影响因素耦合作用，如材料界面和表面遇水、浸水、温差导致的应力等。此外，还需要考虑材料之间的协同性、不相容性，如外界环境的直接和间接作用，不同金属之间的电化腐蚀等。与材料、系统直接相关的大部分影响因素来自于温度的波动与极值、冻融、荷载、电磁辐射（太阳辐照）、降水量，大气成分，气体、气溶胶、污染物等。对于与安装、使用和维护相关的影响因素，可采用监控、计量的方式确定影响程度。实际维护水平不宜被过分夸大，否则会导致预期值和实际相差很远。此外，需要合理评估这些类别影响因素，避免导致与实际存在较大差异。分级可参考第5.2.4条~第5.2.7条的规定。

2）性能衰减机理的研究、识别是关键步骤之一，性能衰减机理应反映实际服役状况。影响因素的作用或耦合作用是获取耐久性数据的关键，如温度变化的同时可能存在冻融循环，水分（化学介质）、温度（热介质）与化学反应可能同时存在等。

3）性能衰减特征是材料、系统受影响因素作用后，性能变化后的状态，确定性能衰减特征的关键在于性能衰减与耐久性之间的敏感性关系，即影响因素如何对耐久性产生影响。

4）性能衰减程度的判定条件，应有合适的试验和/或判定方法，可自行设计或参考现有文献、标准等。性能衰减程度的判定取决于临界值的选取，进而决定与时间、影响因素作用强度相关的指标，临界值的选取是推断参照工作年限的基础，会直接影响最终值的合理性。在确定性能判定要求时，可以尝试多种导致性能衰减的试验方法，对影响因素作用效应进行评估。材料性能衰减与耐久性相关特征的有效性之间存在关联，但并非直接关系，需要对之进行合理性解释。对于新型材料，可参考现有相似应用设计加速老化试验，确定与耐久性相关的关键性能。

5）数据获取主要通过试验、实际案例统计等方式得到。

6）准备阶段需注重文献研究，关注同业人员正在进行的研究和成果，参考信息可以是类似材料、应用的基础知识，也可以是与待研究案例密切相关的试验方法、数据、“时间与性能变化”函数等。有价值的文献、数据可有效减少工作量，提高准确率。

* + 1. 预试验是为了校核试验方案能否得出可靠结果，然后优化试验方案，如改变老化条件类型，提高或降低老化条件等级，调整性能衰减后试验频次等，从而确保影响因素作用与效果之间可呈现出直观、可用的变化关联，最终形成完善的试验方案。如果是实地老化试验，也可参考实际环境条件、使用强度等监测频次等进行调整。
    2. 试验方案需结合方法、数据、判定准则等进行系统设计。

老化试验是为了获得材料在使用中随着时间推移的性能反馈数据，一般采取观察或测量性能特征的衰减。为核实加速老化试验的真实性，实地和实验室加速老化两类方式一般结合使用，校核性能衰减机理、范围、临近材料反应等：如两者具备一致性，则表明具有合理性，可用试验数据进行耐久性推断；如不一致，则应重新评估之前的步骤，对不一致的原因进行解释，修正试验方案。

长期老化试验可获得随时间推移的材料、系统、工程性能反馈信息，因周期长、成本高、规模大，可采用多类试验方案同步进行。

1）实地老化试验。现场环境条件可采用实时监测，或使用附近气象站数据；实地老化过程、结果与特定地点相关，在使用数据时，需要理解环境的差异，以便于对其他位置或时段进行关联、转换和推断；如果短时间老化性能衰减明显，需合理设计间隔时间；如果老化时间较短，需留意结论在其他地区、季节是否适用；实地老化所采取的加强措施可视为加速老化，如调整屋面倾斜角度曝晒。

2）实际服役监测。当监测方案设计合理时，材料性能、老化环境和建筑用途之间形成了有效关联，研究的优势显著。但所监测材料的历史数据可能较难得到，如原始性能数据、安装和维护水平、环境变量不可控、监测困难等。正因如此，所监测的建筑数量应尽可能多，以满足统计样本量要求。

3）实验建筑。真实场景研究时可采用，数据和结论相对更可靠，一般在专用的实验性建筑中进行。

4）实际使用老化。一般采用全尺寸或大尺寸构件评估耐久性。实际使用老化和实际服役监测方法的区别在于，前者的性能可直接测量，后者的性能需要通过建筑性能才可测量，两者均需创造可控制、可监测的条件。

短期老化试验耗时短、成本低、可重复，故常被采用，较适合性能缓慢衰减的材料，影响因素一般为机械作用、热、静力或周期循环作用等。

1）实际使用老化。试验细则与长期老化方法类似。

2）实验室加速老化。可参考预试验的规律，或与实际使用老化进行对比，获取在不同老化条件下早期阶段的性能衰减规律、老化速率等信息，据此判断是否适合采用实验室加速老化试验，进而设计试验；设置对照试验组的目的是为了得出衰减规律，可设置不同老化强度级别或多个影响因素综合作用；老化条件可通过影响因素和性能衰减的相对强度进行估计，通常取有代表性的条件；可尝试增加影响因素级别以致被测试对象出现敏感变化，建议使用较小的加速老化条件，以降低与实际复杂条件作用的差异，这类老化条件一般需专业人员设计；试验时，规避实际应用中不可能出现的老化机理，如温度过高、试验时间过长导致材料物性变化等；关键性能的测量指标可直接或间接反应耐久性；老化前后均需对性能进行测量，以表征性能衰减，在试验设计阶段就可粗略地估计耐久性；更多的性能测试不仅可相互验证试验的科学性，亦将性能衰减水平与一定量的试验数据分布特征进行比较，判别其有效性。表63列出来较有代表性的耐久性试验方法，以供参考。

1. 耐久性相关的ISO标准

| 类型 | 相关耐久性标准 |
| --- | --- |
| 塑料 | ISO 4611:2010 Plastics — Determination of the effects of exposure to damp heat, water spray and salt mist；  ISO 877 Plastics — Methods of exposure to solar radiation；  ISO 4892 Plastics — Methods of exposure to laboratory light sources；  ISO 291:2008 Plastics — Standard atmospheres for conditioning and testing；  ISO 9370:2017 Plastics — Instrumental determination of radiant exposure in weathering tests — General guidance and basic test method；  ISO 4582:2017 Plastics — Determination of changes in colour and variations in properties after exposure to glass-filtered solar radiation, natural weathering or laboratory radiation sources |
| 涂料 | ISO 3668:2017 Paints and varnishes — Visual comparison of colour of paints；  ISO 11341:2004 Paints and varnishes — Artificial weathering and exposure to artificial radiation — Exposure to filtered xenon-arc radiation；  ISO 11507:2007 Paints and varnishes — Exposure of coatings to artificial weathering — Exposure to fluorescent UV lamps and water |
| 橡胶 | ISO 4665:2016 Rubber, vulcanized or thermoplastic — Resistance to weathering；  ISO 30013:2011 Rubber and plastics hoses — Methods of exposure to laboratory light sources — Determination of changes in colour, appearance and other physical properties |
| 密封材料 | ISO 11431:2002 Building construction — Jointing products — Determination of adhesion/cohesion properties of sealants after exposure to heat, water and artificial light through glass；  ISO 13638:2021 Building and civil engineering sealants — Determination of resistance to prolonged exposure to water；  ISO 14615:1997 Adhesives — Durability of structural adhesive joints — Exposure to humidity and temperature under load |
| 金属 | ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation；  ISO 9224:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Guiding values for the corrosivity categories；  ISO 9225:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres；  ISO 9226:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity；  ISO 2135:2017 Anodizing of aluminium and its alloys — Accelerated test of light fastness of coloured anodic oxidation coatings using artificial light；  ISO 11782 Corrosion of metals and alloys — Corrosion fatigue testing |

数据涉及试验方案、试验过程、推断等。

1）数据类型。数据需能代表实际老化过程，或表征参照条件与预期条件下耐久性的关联，常用的推断数据分类及说明见表64。设计数据类型时，需在试验方案中系统考虑，影响因素作用后性能的衰减规律需有明显的规律，试验可清晰体现“影响因素等级与反应”“时间与性能变化”等函数关系，以用于推断；为保证试验成本，试验时间不宜太长，故以时间反向确定老化作用强度，基准时间可理解成短期加速老化试验持续的时间，一般不超过1y，试验观测记录一般以24h、7d等为基本单元，以利于工作日实施；在确定了影响因素后，便可确定在一定基准时间内试验所需要的影响因素作用强度，一般可依据实的应用场景确定极大值、极小值的频率，对于大多数建筑材料，可采用偶尔或规律性的最大强度。

1. 常用数据推断函数类型

| 函数类型 | 适用范围 | 说明 |
| --- | --- | --- |
| “影响因素等级与反应”函数 | 阿累尼乌斯图较适用于温度梯度条件下不同的化学反应速率进行推断。  拉森-米勒参数变化对数图较适合不同温度条件下疲劳衰减的推断 | 利用有机类材料在某一温度条件下活化能是常数，在不同温度条件下化学反应速率的差异，以时间对数与热力学温度倒数的曲线关系，外推求特定温度下性能达到指定老化程度时的时间，如现行国家标准《硫化橡胶或热塑性橡胶应用阿累尼乌斯图推算寿命和最高使用温度》GB/T 20028。  采用较强作用，在短时间内外推到实际使用条件，得出耐久性，如“拉森-米勒参数变化对数图”，。  可作为“通过\失效”耐久性等级分级的研究方法 |
| “时间与性能变化”函数 | 适用于化学反应类导致的性能衰减推断 | 如短时间内可观测到性能衰减，可通过数据回归得出函数进行推断。  如材料化学反应速率与作用强度之间存在明显比例关系，可采用短期加速老化试验得到性能衰减数据，得出回归函数推断。  可作为“通过\失效”耐久性等级分级的研究方法 |
| “通过\失效”试验判断 | 便于实际使用，便于标准化 | 如热老化后再采用低温、动态荷载试验进行老化后性能的评判。  设定材料、系统可达的不同级别工作年限，设置一系列老化试验，如不同老化时间、作用强度分级试验等，采用“通过\失效”试验判定，参考第5.3.5条说明。  EAD 030350-00-0402将耐久性设定3档：5y(W1)、10y(W2)、25y(W3)，以一系列试验条件、方法和判定条件，采用“通过/不通过”判定，技术路线见图7 |



1. EAD 030350-00-0402耐久性认证技术路线

2）由于材料性能和环境特征是随机变量，大多数具备统计分布特征，因此，在设计老化试验时，应测试较多的试样或多类试验，从而能对试验数据进行统计处理；当采用实验建筑、实际使用老化、大型试验等时，为控制成本，根据相关信息估计分布特征或范围可得出更科学的结论。

3）连续、合适的间隔时间可用于建立“影响因素等级与反应”“时间与性能变化”函数。

4）实地、实验室老化条件的位置、时间、使用等具有独特性，属于典型情况，以作为其他条件下耐久性推测的基础信息。

探索性试验还未标准化时，需反复“试错”，故数据评价的目的是为了确保试验的有效性和合理性，系对之前准备、预试验和试验工作的检查和评价，为下一步推断工作提供可靠数据，属必要步骤。有效性需参第5.3.5条、第A.0.3条等要求，确保被试验对象至少有一个关键性能与实际使用关键性能相对应。数据的相关性和可靠性评价是为了排除某些不适用的数据：传闻或者证据不足的数据，由于商业或其他目的对数据进行粉饰，掩盖负面结果或过分强调老化条件等。该状况的改善需要数据累积、规范化评价。合理性是为了对试验方案进行“循环、渐进”地改善。

* + 1. 数据分析为参照工作年限推断前的准备与基础，也是参照工作年限推断的一部分，见图8。



1. 数据分析与参照、预期工作年限推断

1）数据选择的核心是数据质量，所有的数据均可能与实际存在偏离，最优的数据可以通过比较得出，参考第A.0.5条合理性和合适性进行判断。对于以下几类数据需谨慎使用：数据不包含特定条件下性能衰减信息，操作失误导致的不相关数据等。

2）数据格式的统一和标准化有助于参照工作年限推断的一致性，便于文件结构保持统一性，利于其他人员使用，在将来进行修订时更易于使用，特别是与可替代数据进行比较时，统一的数据格式也可为第三方数据库奠定基础。用于参照工作年限推断的数据本身可能不包含修正因子、、、信息，但参照工作年限应明确包含这些信息。如不能精确获得时，可依据相似材料、类似使用环境的数据进行插值计算或推算。

* + 1. 参照工作年限推断可分为前提条件、推断模型和授权。

1）前提条件是对第A.0.5条、第A.0.6条要点的回顾与理解。

2）依据第A.0.5条的数据类建立函数进行推测。一般而言，物理作用导致的性能衰减，如力、热等的作用，可采用经验或半经验方法修正、评价，对于化学作用导致的性能衰减，采用模型推断更合适。“影响因素等级与反应”函数可采用线性关系，如果为非线性关系，性能衰减指标可采用概括性的方式表述。“影响因素等级与反应”函数的影响因素等级如可对应于具体时间，也可得到明确的工作年限。“时间与性能衰减”函数曲线一般为非线性，与施加的衰减因素强度、组合等相关，如果需要简化，可取近似函数关系，以线性关系表达。

3）参照工作年限需要专业人士对数据进行解释、解读、评估、推断，专业机构的授权可保证其公正性。

* + 1. 为确保参照工作年限推断工作的一致性、文件结构统一性，第三方使用的便利性，对内容进行规定。