风电场雷击理赔系列 · 之三

雷击之后的 72 小时：把同期记录变成制度

—— 风机叶片雷击损失的证据保全

北京中科九章软件有限公司 | 2026 年 11 月 | 供风电场场站、运维单位及安全生产管理部门参考 **征求意见稿 V1.1**

核心观点

1. 雷击损失能否举证，关键在于事发当时有没有记录和响应，而不是事后能否买到数据。风机运行数据留存期有限，叶片隐伤往往数月后才暴露，很多证据过了时间就无法补救。

2. 《保险法》第二十一条规定了及时通知义务。因故意或重大过失未及时通知，致使事故性质、原因、损失程度难以确定的，保险人对无法确定的部分不承担赔偿责任。

3. 建议把“雷电告警 → 数据封存 → 限时巡检 → 事件建档 → 报案判断”写进场站管理制度，并注意检查方法：日本男鹿风电场事故中，一次 18.3 kA 的雷击未触发停机，风机转动状态下的地面目视又漏掉了穿透痕迹，最终导致叶片断裂。日本已把“雷击即停、查后再开”写入风电技术基准，2026 年又进一步强化了持续监测要求。

一、一个真实案例

2026 年 10 月 21 日，某风电场在秋季定检中发现 48# 机组叶片受损。该机组的春季定检在 4 月 12 日完成。业主准备向保险公司报案，委托我们检索两次定检之间该机组周边的雷电数据。

我们以机组为中心、3 km 为半径，检索了 4 月 12 日至 10 月 21 日的雷电定位数据。结果如下：

- 原始导出共有地闪回击记录 21 条、云闪脉冲 4 条；按样例规则归并后，得到地闪接地点（GSP）17 个，分属 11 次地闪（基于秒级样例数据的近似归并）。
- 距机组最近的接地点出现在 8 月 27 日 17:48:12，距离约 399 m，峰值约 −28 kA。该次闪电在周边形成了 6 个接地点。
- 第二近的接地点出现在 4 月 16 日 21:25:08，距离约 809 m，在春检完成后第四天。

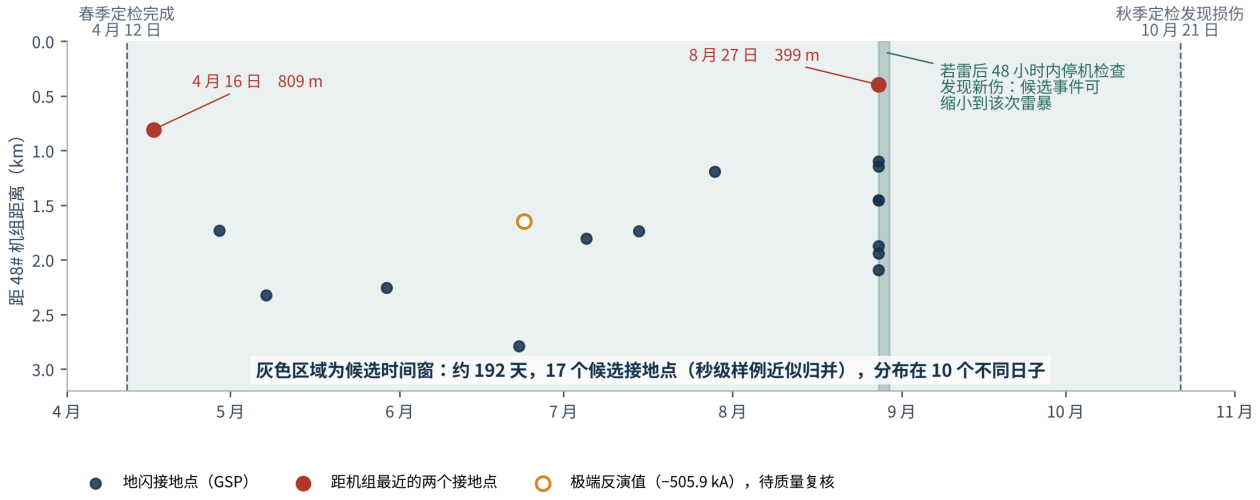

图 1　48# 机组周边 3 km 内地闪接地点的时间—距离分布

数据本身并不复杂，但要把它变成有说服力的证据，遇到了三个问题。

第一，时间窗太长。 两次定检相隔约半年，其间没有任何针对雷击的检查记录。窗内有 17 个候选接地点，分布在 10 个不同的日子。叶片究竟在哪一次雷暴中受损，仅凭雷电数据无法确定，必须结合风机运行记录。

第二，目标坐标影响距离结论。 此前提供的分布图使用的中心点，与业主提供的 48# 机组实测坐标相差约 65 m，最近接地点的距离也因此从 456 m 变为 399 m。坐标从哪里来、精度如何，必须写进报告。

第三，个别数值需要复核。 6 月 23 日有一个距机组约 1.65 km 的接地点，定位系统反演的峰值为 −505.9 kA。这是一个极端反演值，需要做质量复核：一是峰值本身是否可靠，二是这条记录的时间和位置能否使用。如果不加说明直接出现在材料中，它既会削弱整份数据的可信度，也可能被引用来主张“超过 200 kA”。按本系列第一篇的口径，这类数值不应作为任何方向的判定依据。

在此基础上，下一步需要调取 8 月 27 日等关键时段的风机运行数据（SCADA）、状态监测数据（CMS）和故障录波，查找对应时刻的告警、停机或参数异常。截至本文定稿，相关数据的调取与比对仍在进行中。也就是说，现有雷电数据给出的是一份待核查的候选事件清单；要把其中某一次雷击与这台机组的损伤联系起来，还需要单机运行记录和现场查勘证据。

这个案例的问题并不特殊。我们可以设想另一种情形：如果在 8 月 27 日雷暴过后，场站收到风机级的雷电提示，24 小时内封存了该时段的运行数据，48 小时内在停机状态下对周边机组做了检查，并发现了新的损伤，而此前又有可比的检查记录作为基线，那么候选事件就可以缩小到这一次雷暴，第一个问题也就基本不存在了。反过来，如果那次检查未见损伤，它说明的是当时检查范围和方法下的状态，并不能单独锁定日后发现的内部损伤发生在哪一天。

二、为什么很多证据过了时间就补不回来

风机运行数据有留存期限。 风电行业长期保存的，通常是 10 分钟平均数据，原因是存储和传输成本。一项基于英国风电场 1 Hz 数据的研究指出，业内通常只存储部分传感器数据，并且“typically

aggregated as 10-min average values”（通常聚合为 10 分钟平均值）。〔6〕一家风电数据服务商的估算更直观：“one month of 1-second data is equal to 50 years of 10-minute data”（一个月的 1 秒数据，相当于 50 年的 10 分钟数据）。〔7〕

更高分辨率的数据，一般只在机组控制器或场站系统中短时缓存。一项与风电企业合作的研究描述，边缘节点“use a ring buffer, so old data is deleted when new data arrives”（使用环形缓冲区，新数据到达时旧数据即被删除）。〔8〕故障录波和事件文件，一般只在保护动作或告警触发时，才保存事件前后的片段。

缓存能保留多久，取决于机型和系统配置，公开资料中没有统一的数据。作为数量级参考，国内一份风电场自动监测系统团体标准的征求意见稿，要求场站子站“存储时间应不少于 7 d”。〔9〕据我们与客户的沟通，不少场站的高分辨率数据保存期很短。

问题在于，雷击未必触发保护动作。没有触发，就可能没有事件文件；短时缓存的数据，又可能在较短时间内被覆盖。等到秋检发现损伤再调阅，往往只剩 10 分钟平均数据。有研究表明，在已知雷击背景下，运行数据中的异常可以帮助识别叶片损伤。〔1〕但平均数据会把短时的异常跳变抹平，这类旁证也就随之消失。

证据灭失的后果可能是决定性的。 在一起风机倒塌引发的保险代位求偿案中，保险人主张零部件存在质量缺陷，但涉案部件后来无法找到，司法鉴定因此无法进行。法院认为，涉案部件“已无法通过司法鉴定来判断其原始状态是否存在质量缺陷”，最终驳回了保险人的请求。〔10〕这起案件与雷击无关，但道理相通：关键证据一旦灭失，事后很难补救。

叶片隐伤常常滞后暴露。 雷击未必当场造成可见的严重损伤。层合板内部的分层、粘接线的细小开裂、接闪器周边的烧蚀，可能在之后数周甚至数月的运行中逐步扩展，直到定期巡检才被发现。此时距离雷击已经很久，现场痕迹也可能因风雨和持续运行而改变。

时间窗越长，归因越难。 在雷暴多发的场址，两次定检之间可能有几十次邻近雷击。没有同期记录，就只能在大量候选事件中做推断，证据强度自然下降。

三、法律上的及时通知义务

《保险法》第二十一条规定：“投保人、被保险人或者受益人知道保险事故发生后，应当及时通知保险人。故意或者因重大过失未及时通知，致使保险事故的性质、原因、损失程度等难以确定的，保险人对无法确定的部分，不承担赔偿或者给付保险金的责任，但保险人通过其他途径已经及时知道或者应当知道保险事故发生的除外。”〔2〕

这一条对风电场有两层含义。其一，发现损伤后应当按保单约定及时报案，不宜等到材料齐全再报。其二，“难以确定”的后果由被保险人承担。如果由于证据缺失，事故原因和损失程度无法确定，不利后果首先落在业主一方。

第二十二条还规定，被保险人应当向保险人提供“其所能提供的与确认保险事故的性质、原因、损失程度等有关的证明和资料”。〔2〕同期记录做得越完整，“所能提供”的范围就越大。

此外，第二十六条规定，人寿保险以外的其他保险，被保险人向保险人请求赔偿的诉讼时效期间为二年，自其知道或者应当知道保险事故发生之日起计算。〔2〕这也是确定雷电事件档案保存期限的参考。

四、建议的管理动作：告警触发的四步

我们建议，场站把以下四步写进管理制度，由雷电告警自动触发，而不是依赖个人经验。各步时限为建议值，可结合场站条件调整（图 2）。

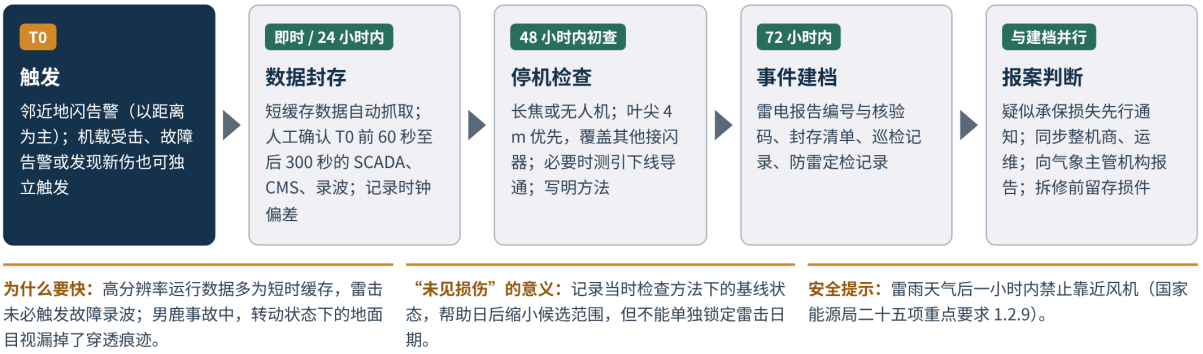

图 2　告警触发的证据保全四步

第一步：数据封存（建议 24 小时内）

邻近地闪告警可以触发自动保存和远程复核；机载雷击检测装置报警、同期出现故障或告警、发现新的损伤，也应当能够独立触发这一步。收到告警后，导出并封存受影响机组在雷击时刻（T0）前后的 SCADA、CMS 和故障录波数据，建议范围为 T0 前 60 秒至 T0 后 300 秒。如果场站只保存 1 分钟或 10 分钟统计数据，应导出包含 T0 的统计周期及其前后各一个周期。同时记录风机各系统时钟与北京时间的偏差。雷电定位系统采用卫星授时，只有知道风机侧的时钟偏差，两类数据才能精确对时。24 小时可作为人工确认导出完整性的目标；对于缓存周期更短的高频数据，应按实际覆盖周期提前自动抓取。

第二步：检查（建议 48 小时内初查）

邻近地闪先作筛查。疑似直击、出现保护动作或发现新伤的，再按场站和整机商的规程决定是否停机、近距检查、检测引雷通道或做内部检查。48 小时可作为安全条件允许时的初查目标。

检查应在停机状态下进行，使用长焦相机或无人机，必要时测量引下线导通。男鹿事故的教训是，风机转动状态下的地面目视很容易漏掉穿透痕迹（见本节“国际参照”）。重点检查叶尖区域，同时按机型覆盖其他接闪器（receptor）及可疑部位。对美国风电场 304 起叶片雷击损伤的统计显示，约 90% 位于距叶尖 4 m 以内。〔3〕

检查结果用带时间和机位编号的照片记录，并写明检查方法和范围。**未见损伤，也要记录“未见可见损伤”**。这条记录是一条基线：它说明了该时点、该检查方法下的外观状态。日后发现损伤时，它与雷电事件清单一起，可以帮助缩小候选范围；但外观检查发现不了内部损伤，不能单凭它锁定雷击日期。

技术咨询机构 Natural Power 与富国银行可再生能源投资团队 2021 年的报告也建议，雷后定向巡检应在事件发生后两天内完成。〔4〕

巡检须遵守安全要求。国家能源局《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2023 版）》第 1.2.9 条规定：“发生雷雨天气后一小时内禁止靠近风力发电机组。”〔11〕

第三步：事件建档（建议 72 小时内）

为每次告警事件建立档案。档案内容包括：雷电数据报告编号及核验码、数据封存清单、巡检记录与照片、该机组最近一次防雷系统定检记录。

防雷定检记录包括接闪器烧蚀情况、引下线导通电阻、接地电阻等。上述二十五项重点要求第 2.11.5 条要求：每季度检查机组防雷接地回路的电涌保护器、接地引下线、旋转导电单元等部件；每年测量一次防雷系统接地电阻，单机工频接地电阻不大于 4 Ω；每年检测接闪器至塔筒底部接地扁钢引雷通道的电气连接性能，每一连接点的过渡电阻不大于 0.24 Ω。〔11〕这些定检记录表明检查当时所检项目的状态，在原因认定中分量很重。

档案的保存期限，可参考保险期间加上前述二年诉讼时效，并覆盖整机质保期；已报案、存在质保争议或涉及追偿的，宜保存至相关事项处理完毕。

第四步：报案判断（与建档并行）

出现疑似承保损失的，可以按保单约定先行通知保险人、后补材料，并同步通知整机商或运维单位。拆修前，宜安排联合查勘，留存损件和样品，同时及时采取必要的减损措施。依据《防雷减灾管理办法》第十九条，遭受雷电灾害的组织和个人还应及时向当地气象主管机构报告。〔14〕未发现损伤的，档案归档备查；如果后续发现损伤，即可调出对应的事件档案。

关于告警的触发条件

触发条件建议以**雷击距机组的距离**为主，并考虑定位误差。例如，地闪接地点落在机组周边一定半径内即触发。具体半径应结合场址的定位精度确定。

不建议只在大电流雷击时触发。本系列第一篇已说明，接闪失败更多发生在峰值较小的雷击中，伴随长连续电流的危险雷击也往往峰值不大。峰值电流本身又是反演估计值。只看大电流，恰恰会漏掉最需要检查的事件。作为参考，Natural Power 的报告除距离条件外，还把持续时间超过 10 ms 的雷击列为触发条件。〔4〕

如果机组装有符合 IEC 61400-24 附录 L 要求的叶片雷电测量系统（lightning measurement system），其记录的电流、电荷和持续时间数据应一并纳入事件档案。这些参数是定位系统无法提供的。〔5〕

国际参照：日本的技术基准与男鹿事故

日本是冬季雷导致风机损伤最严重的国家之一。经济产业省（METI）的《発電用風力設備の技術基準の解釈》（发电用风力设备技术基准的解释）第 7 条第 6 项，对冬季雷高发的 A 区域风机提出了专门要求。其中，运行中遭受雷击时能够立即停机的要求此前就已存在；2026 年 8 月的修订（据行业媒体报道，8 月 6 日起施行）进一步强化了持续监测。〔12〕〔13〕修订后的要求可以概括为三点：

- 应采取“落雷検出装置等の施設、監視カメラの施設、気象情報の利用その他の措置”（设置雷击检测装置、设置监视摄像头、利用气象信息等措施），“常に把握”（始终掌握）风机是否遭受雷击。经济产业省在意见公募答复中明确，风机停机期间和停电期间也须掌握；
- 通过上述措施无法确认是否遭受雷击的，应通过叶片内部内窥镜检查等方式，确认有无雷击损伤；
- 风机运行中，应设置雷击检测装置等，以便“風車への雷撃があった場合に直ちに風車を停止できる”（风机遭受雷击时能够立即停机）。〔12〕

答复还说明了几点执行口径：“立即停机”指由雷击检测装置等自动停机；自动停机的阈值不作统一规定，设置者可以按雷击规模设定，只要依据合理、能保障设备安全；“始终掌握”的手段不限于特定措施，气象信息是可选手段之一，需要的由设置者自行获取；确认遭受雷击或无法确认的，应进行检查，停机后应在适当检查之后再恢复运行。〔12〕

男鹿事故说明了这些要求的分量。据行业媒体对事故调查最终报告（2026 年 9 月 25 日公布）的报道，秋田县男鹿市一座风电场的主要致损事件，是 3 月 20 日的一次雷击：电流 18.3 kA，电荷量 129 C，雷电附着在接闪器以外的部位，电流很可能穿透了叶片壳体。这次雷击被记录了下来，但低于当时设定的自动停机阈值（±100 kA 或 300 C），风机没有停机，也没有做详细检查。4 月 4 日的月度巡视是在风机转动状态下从地面目视进行的，没有发现穿透痕迹。4 月 12 日，叶片在设计范围内的风况下断裂。〔15〕

事故后，业主把自动停机阈值下调到 ±1 kA 或 1 C，并要求月度巡视和雷后检查一律在停机状态下用长焦相机或无人机进行，同时测量引下线导通。经济产业省也计划要求全国风机设置者重新审视保安规程：重设自动停机阈值；没有自动停机装置的，利用气象信息在雷电接近时预先停机；确立雷击停机后的检查程序；月度巡视停机检查并保存记录。〔15〕另据报道，该机组曾因场站停电约五个月没有雷击记录，但最终调查指向的是 3 月 20 日的这次雷击，报道并未显示两者有直接关系。

这些规定和教训对国内有三点参考价值。其一，“雷击后检查、确认无损后再运行”已经是有监管强制力的做法。其二，停机阈值和检查方法同样关键：阈值定得过高、在转动状态下目视，都可能让真正有害的雷击漏过去。其三，规定把“利用气象信息”列为掌握雷击情况的可选手段，经济产业省也计划让没有自动停机装置的风机利用气象信息预先停机。独立的雷电监测数据可以与机载检测装置相互补位。

五、谁来做，怎么落地

四步动作涉及三方：雷电监测服务方负责告警和数据报告，场站或运维单位负责数据封存和巡检，业主的资产或保险管理部门负责建档和报案判断。

建议在运维合同中写明告警后的巡检和数据封存义务及时限，具体条款建议见本系列第四篇。对运维单位而言，这些记录同样是保护：一旦发生争议，完整的巡检记录可以证明运维义务已经履行。

六、九章雷电网能做什么

九章雷电网面向风电场提供雷电临近预警、集电线路雷击故障诊断定位和风机雷击风险评价。在证据保全方面，九章雷电网可以在雷击发生后近实时推送风机级雷电事件提示，给出第一步所需的建议核对时间窗。事后可以出具《雷电定位数据查询报告》，报告要素按本系列第二篇所述的国际通行做法设计，在线核验等功能随取证工具箱上线提供。

需要说明的是，雷电数据只回答何时、何处发生了雷电，不对损伤原因和保险责任作出结论，也不保证理赔结果。它的价值在于，让后续的认定建立在可核验的事实之上。

本系列最后一篇将讨论：如何把上述义务写进质保、运维与保险合同。

附：雷电事件证据保全清单

表 1　雷电事件证据保全清单

时限	动作	记录要求
告警后即时 / 24 小时内	邻近地闪、机载受击、故障告警或发现新伤均可触发；自动抓取短缓存数据，24 小时内人工确认 T0 前 60 秒至后 300 秒的 SCADA、CMS、故障录波已完整导出	导出文件清单；风机各系统时钟偏差
安全条件允许时，48 小时内初查	停机状态下检查，重点为叶尖 4 m 以内，并覆盖其他接闪器及可疑部位；必要时测量引下线导通	带时间、机位编号的照片；检查方法与范围；“未见可见损伤”也要记录
告警后 72 小时内	建立事件档案	雷电报告编号与核验码；封存清单；巡检记录；最近一次防雷定检记录；叶片雷电测量系统数据（如有）
与建档并行	疑似承保损失先行通知保险人；同步通知整机商或运维单位；按规定向当地气象主管机构报告；拆修前联合查勘、留存损件	通知时间、方式和对象；损件留存记录
事前	向整机商和集控确认各类数据（10 分钟、秒级、高频、故障录波）的实际保存时长	形成书面清单，作为封存时限的依据
长期	档案保存	参考保险期间加二年并覆盖质保期；有争议或追偿的，保存至事项处理完毕

关于本系列

风电场雷击理赔系列共四篇，各篇可独立阅读，合起来回答一个问题：风机遭受雷击后，损失怎样得到公正的认定。

之一 《200 kA 不是理赔线》：峰值电流为什么不能作为理赔门槛

之二 《雷击损失怎么举证：国际上的通行做法》：第三方雷电数据的角色与公信力来源

之三 《雷击之后的 72 小时：把同期记录变成制度》：雷击发生后的证据保全 ◀ 本篇

之四 《把雷击写进合同：质保、运维与保单的条款建议》：在签约时解决雷击争议

主要参考资料

〔1〕Matsui T, Yamamoto K, Ogata J. Study on Improvement of Lightning Damage Detection Model for Wind Turbine Blade. Machines, 2022, 10(1): 9.

〔2〕《中华人民共和国保险法》（2015 年修正），第二十一条、第二十二条、第二十六条.

〔3〕Candela Garolera A, Madsen S F, Nissim M, Myers J D, Holbøll J. Lightning Damage to Wind Turbine Blades From Wind Farms in the U.S. IEEE Transactions on Power Delivery, 2016, 31(3): 1043–1049.

〔4〕Natural Power, Wells Fargo Renewable Energy & Environmental Finance. Assessing and Mitigating Lightning Risk, ACP CLEANPOWER, 2021-06-07.

〔5〕IEC 61400-24:2019/AMD1:2024, Annex L: Lightning detection and measurement systems.

〔6〕Beretta M, Pelka K, Cusidó J, Lichtenstein T. Quantification of the Information Loss Resulting from Temporal Aggregation of Wind Turbine Operating Data. Applied Sciences, 2021, 11(17): 8065.

〔7〕Clir Renewables. Demystifying CleanTech: High-frequency SCADA（企业博客）.

〔8〕Abduvakhobov et al. Scalable Model-Based Management of Massive High Frequency Wind Turbine Data. Proceedings of the VLDB Endowment, 2024, 17.

〔9〕中国电子节能技术协会.《风电场自动监测系统技术规范》（征求意见稿）, 2024, 7.5.5.

〔10〕上海金融法院（2022）沪74民终98号民事判决，据 iCourt 案例摘要.

〔11〕国家能源局.《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2023 版）》, 第 1.2.9 条、第 2.11.5 条.

〔12〕経済産業省 産業保安・安全グループ 電力安全課.「発電用風力設備の技術基準の解釈」の一部改正案に対する意見公募の結果について, 令和 8 年（2026 年）8 月 12 日.

〔13〕ウインドジャーナル. 風力発電設備の落雷対策を厳格化、技術基準と定期自主検査の一部改正を施行, 2026-08-14.

〔14〕《防雷减灾管理办法》（中国气象局令第 44 号，2026-09-11 修改），第十九条.

〔15〕ウインドジャーナル. 男鹿風力発電所ブレード破損事故の最終報告に関する報道, 2026 年 9 月（事故调查最终报告于 2026-09-25 公布）.

说明

文中案例为真实案例，已隐去风电场名称和业主信息。案例中的雷电数据取自九章雷电网的样例导出，时间精度为秒，接地点归并为近似结果；正式报告以系统毫秒级数据为准。

关于风机运行数据的留存，公开资料只给出行业通行做法和结构性特征，没有统一时长；文中关于“保存期很短”的判断，依据的是我们与部分客户的沟通。日本技术基准的施行日期和男鹿事故的情况，依据的是行业媒体对官方文件和事故调查最终报告的报道，未取得报告原件；条文内容和执行口径依据的是经济产业省意见公募结果文件。各步时限为建议值，不构成强制性标准。

本文对《保险法》条文的分析为一般性讨论，不构成法律意见。具体义务以保单约定为准。《保险法》修订草案已于 2026 年 9 月公开征求意见，截至本文定稿尚未通过，本文以现行 2015 年修正版为准。