

核电在建机组建造事件综合分析

报告单位：苏州热工研究院有限公司

2022年7月·浙江宁波





CONTENTS

01 数量统计与对比

02 事件分析与统计

03 共性问题分析

04 经验教训总结



01

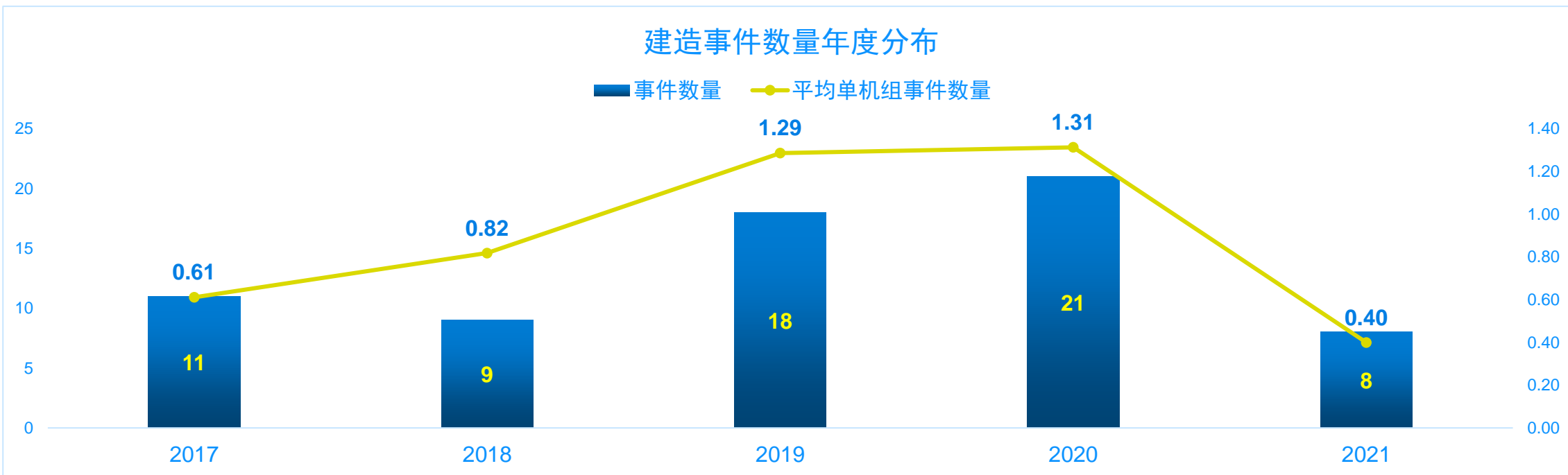
数量统计与对比



1.1 事件数量分布

2017年-2021年五年期间，各在建核电项目共上报79起建造事件，年度分布如下图所示：

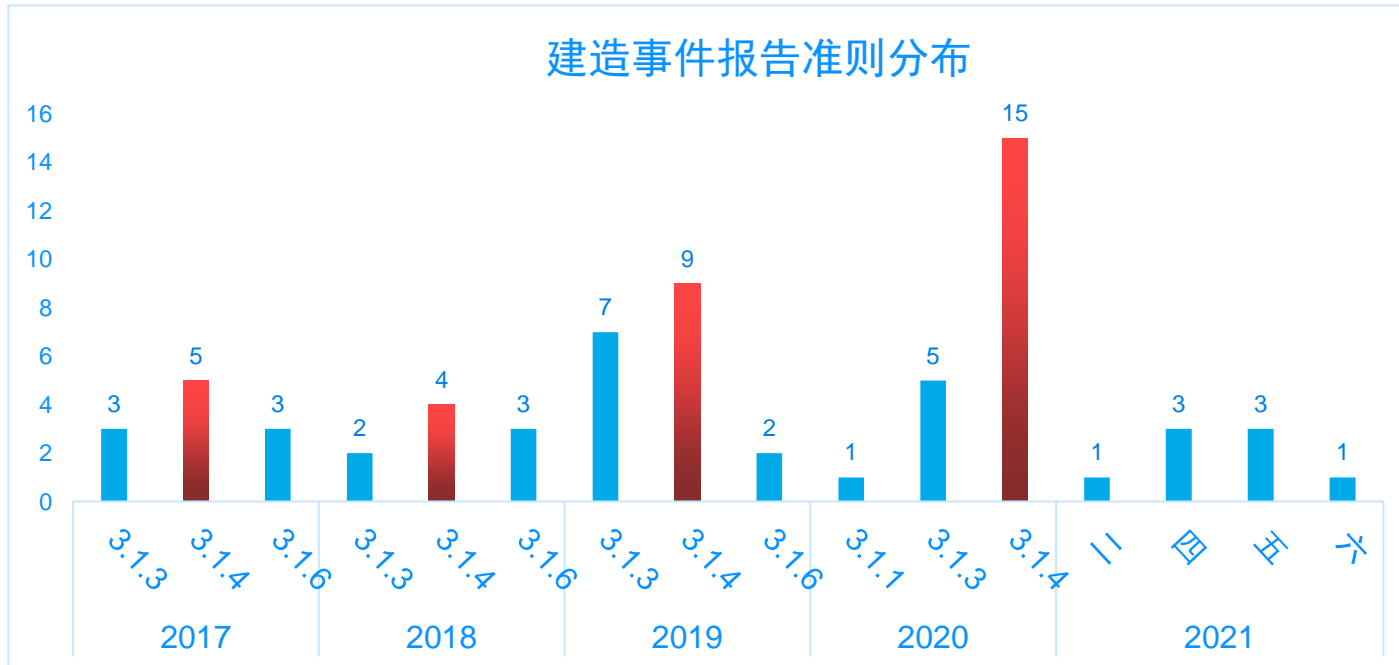
- 2019年和2020年建造事件数量和平均单机组事件数量均最多。
- 2021年建造事件总数量和平均单机组事件数量为**近五年以来最小值**。



1.2 事件报告准则分布

2017年-2021年五年期间，建造事件报告准则（2020年底进行了更新）中：

- 2019年和2020年建造事件主要集中在**准则3.1.4**，该类事件数量每年数量均最多，2020年数量最多为15起；其次是准则3.1.3相关事件数量分别为7起和5起。
- 2021年建设事件中准则四和准则五相关事件数量均为3起。



旧版准则

- 3.1.1:** 违反认可的质保大纲的要求；
- 3.1.3:** 不符合法规、标准、技术条件或其他设计要求的建造活动或物项；
- 3.1.4:** 建造或施工中的重大偏差、缺陷、故障或损坏、可能导致不满足预期使用要求和安全功能的物项或者需要重新评价验证的物项或活动；
- 3.1.6:** 国家核安全局或营运单位认为需要报告的其他事件。

新版准则

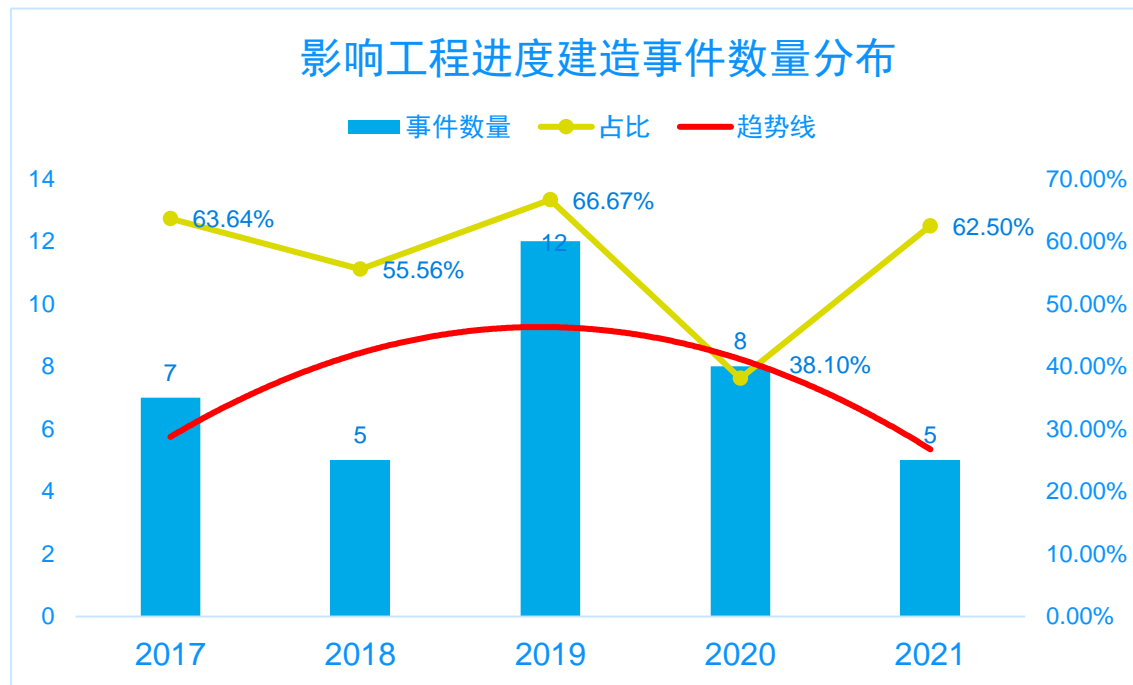
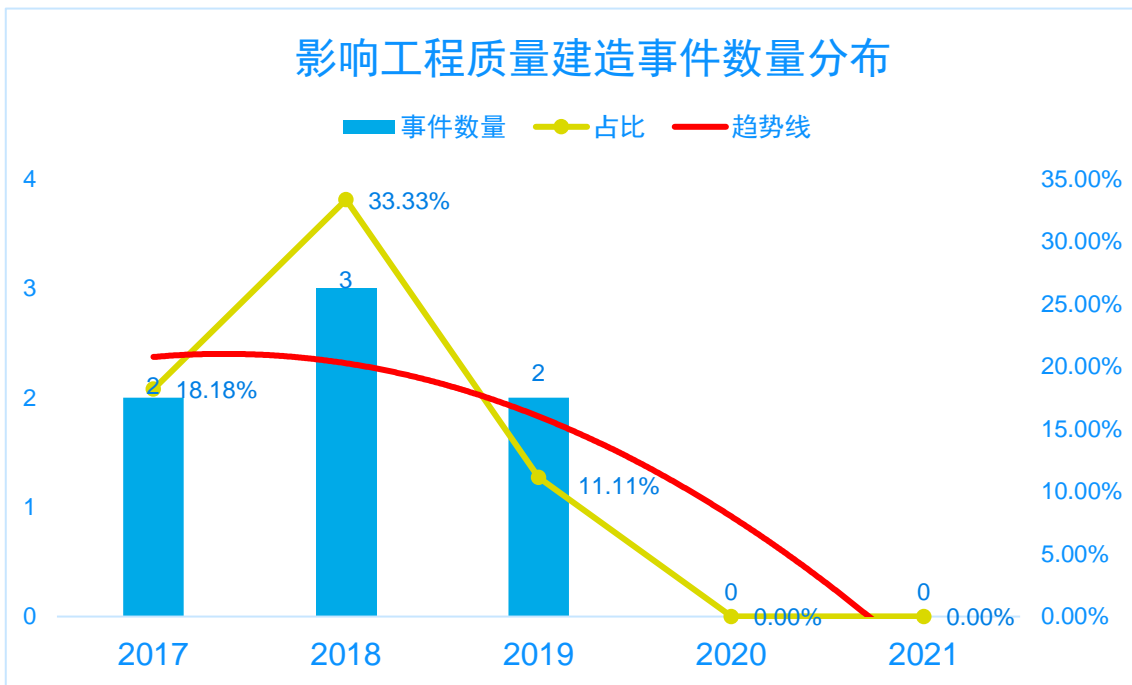
- 准则二:** 核电机组安全重要构筑物、系统和设备以及与其有关的土建、安装和调试等活动，与核动力厂建造许可文件中认可的初步安全分析报告不一致，导致核电机组安全重要构筑物、系统和设备的安全功能不能满足或者不能确定满足要求的；
- 准则四:** 核电机组安全重要构筑物、系统和设备以及与其有关的土建、安装和调试等活动，与核动力厂营运单位在建造许可文件中承诺遵守的规范、标准或者技术条件要求不一致，导致核电机组安全重要构筑物、系统和设备的安全功能不能满足或者不能确定满足要求的；
- 准则五:** 核电机组安全重要构筑物、系统和设备发生共因事件或者故障；
- 准则六:** 构成核动力厂安全屏障的重要设备或者构筑物受到严重损伤，导致其安全功能不能满足或者不能确定满足要求的。



1.3 事件对工程影响分布

根据建造事件报告中对工程质量和工程进度影响分析结果进行统计：

- 影响工程质量建造事件**数量和占比**整体呈现明显**下降趋势**，2020年和2021年**均未发生**直接影响工程质量的建造事件。
- 近三年影响工程进度建造事件数量呈现**下降趋势**，2021年建造事件占比相比2020年有所增加。



1.4 小结

通过数据统计对比可以看出：

- 2021年事件总数量和平均单机组事件数量为**近五年以来最小值，相比前两年数量下降明显**；
- 事件报告准则均集中在**建造和施工活动不满足要求**，包括建造许可文件中认可的及承诺遵守的要求（旧准则3.1.4、新准则四）；
- 2021年核电机组安全重要构筑物、系统和设备发生**共因事件或者故障**相关事件也较多（新准则五）；
- 事件直接后果主要是**影响工程进度**，近三年该类事件数量呈现**下降趋势**。



02

事件分析与统计

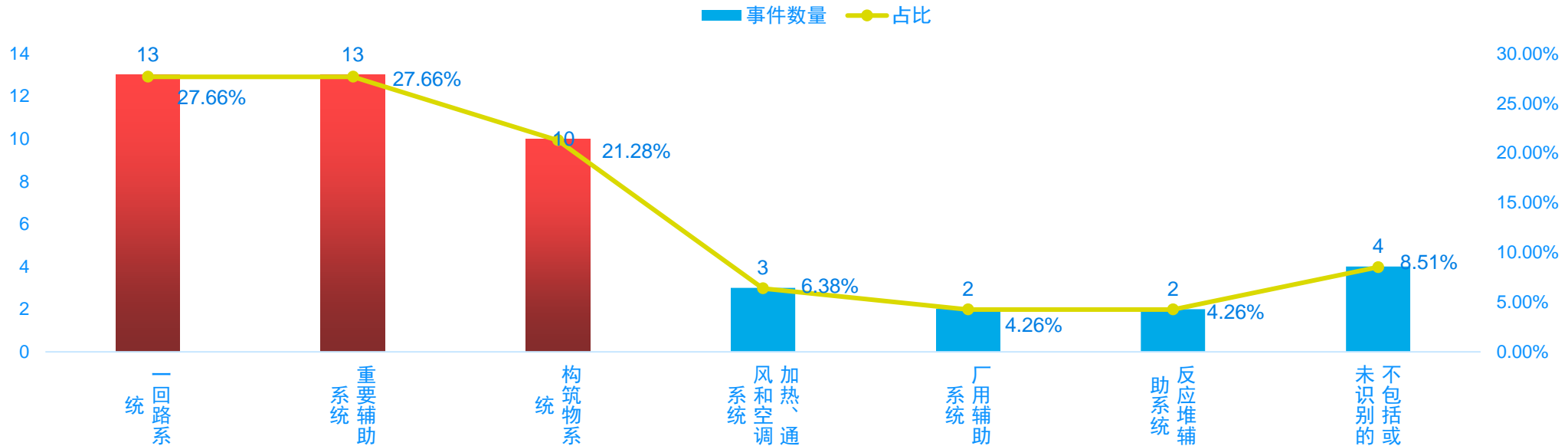


2.1.事件相关系统分布

2019年-2021年共47起建造事件，结合WANO编码对涉及到的系统进行统计，分布如下图所示：

- ▶ **一回路系统和重要辅助系统**相关建造事件数量最多，均为13起，数量占比27.66%，主要是**机械部件**安装制作质量问题；
- ▶ 构筑物系统相关建造事件10起，数量占比21.28%，主要是各类**厂房墙体和插筋质量**问题。

建造事件相关系统分布

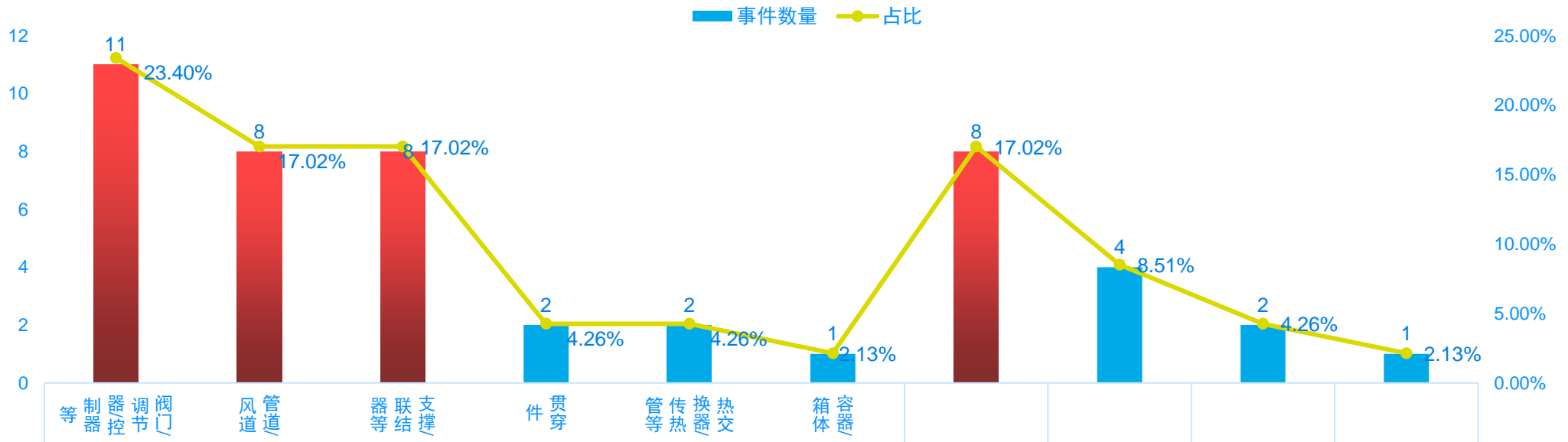


2.2.事件相关部件分布

2019年-2021年共47起建造事件，结合WANO编码对涉及到的部件进行统计，分布如下图所示：

- 其他机械部件相关建造事件数量最多，共32起，总数量占比**68.09%**，其中阀门/调节器/控制器等部件相关事件11起，管道/风道、支撑/联结器等相关事件各为8起，数量占比分别为23.40%和17.02%；
- 土建相关建造事件8起，数量占比17.02%，主要是建筑物系统相关的墙体和插筋质量问题。

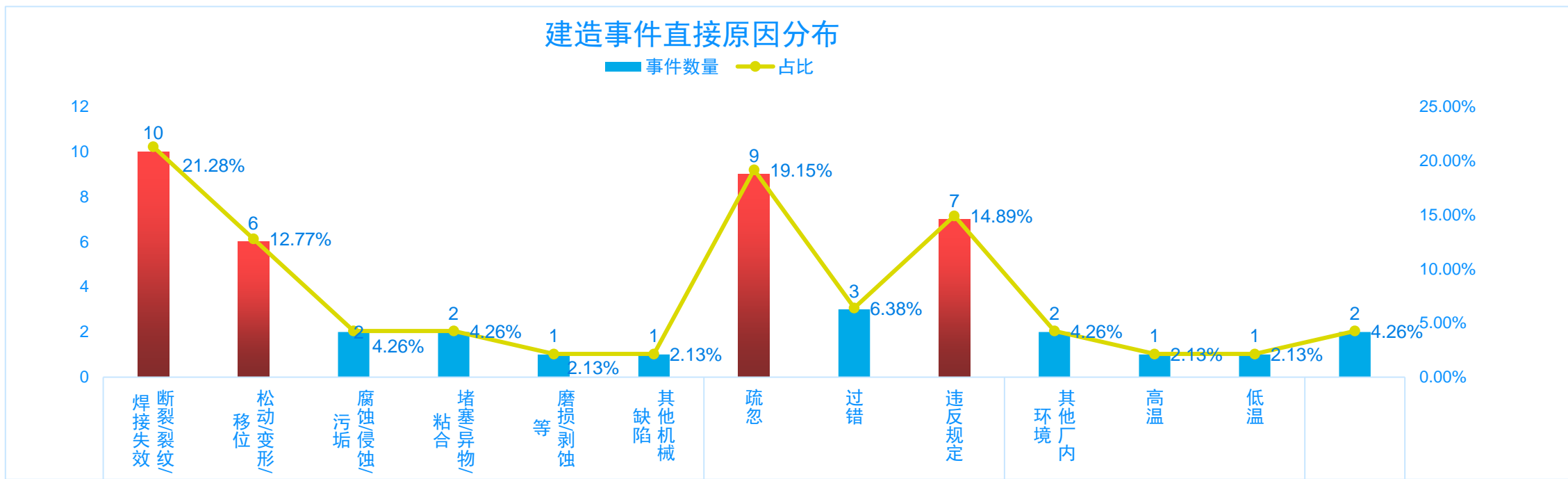
建造事件相关部件分布



2.3.事件直接原因分布

2019年-2021年共47起建造事件，结合WANO编码对直接原因进行统计，分布如下图所示：

- 机械缺陷相关事件共22起，数量最多，总数量占比46.81%；主要是机械部件**断裂及裂纹、焊缝质量**等问题，相关事件数量10起，占比21.28%；其次是机械部件**松动、安装错位**等相关事件6起；
- 人因相关事件共19起，总数量占比40.43%，主要是人员**疏忽和违反规定**，相关事件数量分别为9起和7起。

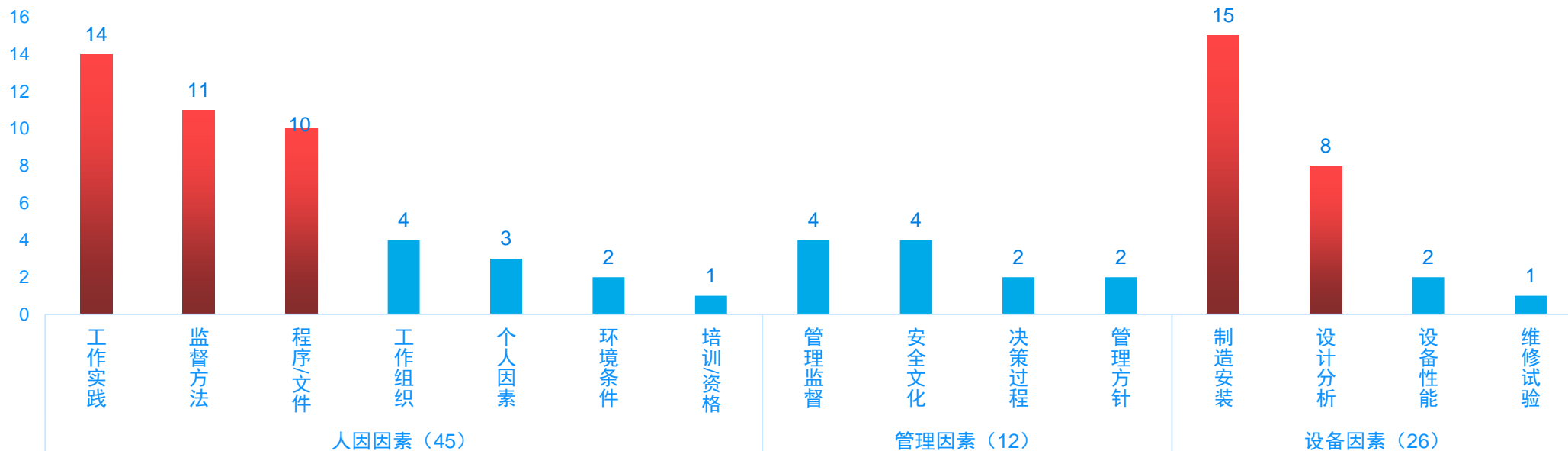


2.4.事件根本原因分布

2019年-2021年共47起建造事件，结合WANO编码对根本原因进行统计，分布如下图所示：

- 人因因素相关事件共45起，数量最多，主要集中在个人工作实践、监督方法和程序文件三个因素；
- 管理因素相关事件共12起，主要是管理监督和安全文化两个因素；
- 设备因素相关事件共26起，主要制造安装和设计分析两个因素。

建造事件根本原因分布

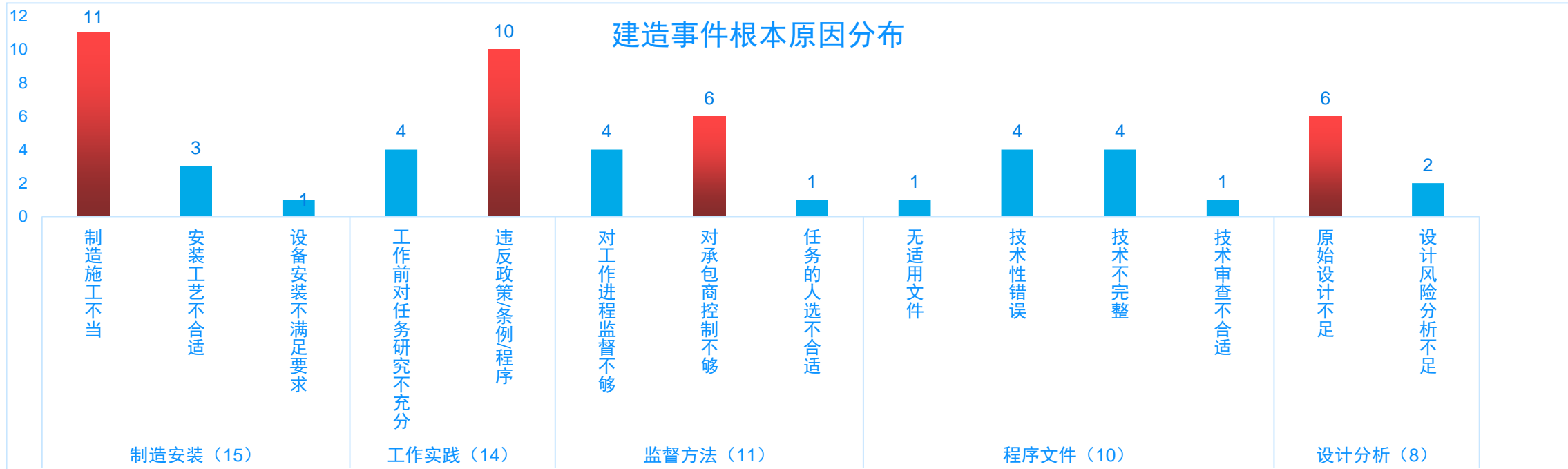


注：每起事件涉及多个根本原因

2.4.事件根本原因分布（续）

针对建造事件根本原因中五项主要因素进一步统计，分布如下图所示：

- 设备因素中，制造安装因素主要是设备制造施工不当，主要涉及环吊、设备焊缝、封头等；设计分析因素主要是原始设计不足，主要涉及控制棒驱动机构、蒸发器承重支承等；
- 人因因素中，工作实践因素主要是现场工作人员未按程序执行相关操作，工程方和电厂对现场施工过程监督不够，对承包商控制不足，另外质保体系、资质文件等管理程序不完整或错误。



2.5 小结

通过近三年事件分析统计可以看出：

- 建造事件主要集中在阀门、管道、支撑等**机械部件制造、安装质量**问题，以及构筑物（厂房墙体和插筋）**混凝土浇筑质量**问题；
- 直接原因主要在于机械部件**裂纹、焊接缺陷**，制造厂家和施工人员**疏忽和违规**导致的施工质量问题；
- 根本原因主要设备**制造/安装**不当、**设计分析**不足，以及现场人员未**执行程序**，工程方和电厂**现场监督**不足，以及**管理程序**不完善。



03

共性问题分析



3.1 混凝土质量缺陷

缺陷1：混凝土在凝结硬化过程中温度变形及收缩变形导致产生非荷载裂缝

原因：混凝土裂缝控制措施有效性不足

缺陷2：部分振捣点欠振，导致混凝土浇筑不密实，形成蜂窝/起砂/孔洞缺陷

原因：作业风险识别不足，未制定应对性措施

缺陷3：混凝土部分试块不规范，试块容重和表面平面度存在偏差

原因：缺少工艺规程/指导书，现场试块制作不规范

缺陷4：部分插筋直径与设计不符、部分筏基段露筋

原因：施工过程和质量控制环境管理不足，文件受控管理存在缺陷

提醒：在混凝土浇筑作业前应结合现场实际情况提前进行风险识别，同时加强对混凝土浇筑施工程序文件审查，在施工方案中明确影响浇筑质量的重要因素、关键技术点和应对措施。



3.2 设备焊接质量缺陷

缺陷1：点焊过程中形成表面裂纹
原因：安装承包商对焊接技术管控存在不足

缺陷5：管道焊接见证件焊缝冲击试验不合格
技术人员经验不足，程序规定执行不到位

缺陷2：焊接速度未控制好且填丝不足导致焊缝未焊透
原因：制造厂人员质疑的工作态度不足

提醒：
细化设备焊接过程管控措施，对于重要设备的焊接工作设置见证点，做好质量控制；管理程序中明确作业管理内容、方法以及监督检查要求，并落实和细化到作业文件及质量控制文件中。

缺陷6：流量板固定螺栓点焊不到位，焊缝表面存在裂纹
原因：工作准备不足、焊接过程中操作控制不当、工序检查时未严格执行检查要求

缺陷3：焊缝根部局部成型不良
原因：对重要设备焊接重视程度不足，焊接时操作不稳定

缺陷7：盖板筋板焊缝端部未焊满未焊透
原因：未进行充分的风险识别和澄清，焊接工艺文件中取消了焊缝背面清根要求。

缺陷4：母材焊缝根部裂纹
原因：焊缝结构设计考虑不充分，焊接过程不规范

缺陷8：控制棒驱动机构密封壳焊缝宽度超标
原因：ESAB 电焊机存在故障

3.3 承包商管控监督不足

液压弹簧式阻尼器违规打开外包装箱：总承包单位采购中心未执行程序要求、总承包单位物资管理部对核检物项缺乏有效管理机制。

阀门旁通管承插焊缝未做RT：工程公司监造人员在放行检查时未识别出焊缝未做首层PT、未梳理调配设备是否存在E类（制造类）NCR。

超许可证范围进行无损检验活动：未将核安全监管文件要求内容落实进程序中、工作中未对承包商单位资质相关信息进行充分的审查和验证。

焊工资质覆盖范围不符合文件要求：工程机械、管理人员对标准文件理解不深入不透彻、质量控制人员对焊工资质的使用前审核不到位。

部分核级管件违规分包：质保检查频次不够；对全过程全工艺流程过程管控及违规问题缺少防控手段；对于防违规工作重视程度不够。

环吊抗震设计不满足环吊技术规格书要求：对环吊供应商的监督管理过程存在薄弱环节，质保监查和培训不到位；对抗震设计计算控制存在不足。

墙体部分插筋直径与设计不符：各级质量控制人员履职不到位，在施工过程和质量控制环节管理不足，验收放行时未严格按照程序规定逐项进行核查。

加强相关监管文件重视程度和学习力度，保持严谨的工作作风和质疑的态度

明确工作流程要求、管理方法以及监督检查要求，并细化落实到作业文件及质量控制文件

充分审查承包商的资质以及人员资质的匹配性，严禁超许可证范围的作业



04

经验教训总结



4.1.加强核安全文化意识培养，提高核安全文化素养

01

加强核安全相关法规、程序培训宣贯工作，提升相关人员核安全文化意识

02

提高全员核安全文化素养，保持严谨的工作作风、质疑的工作态度和勤于沟通习惯

03

工作中应推广防人因失误工具的运用，强化人员的核安全文化意识，营造良好的核安全文化氛围

04

加强对供应商和承包商的监督管理工作，全面开展质保监查和培训工作，督促和指导承包商全面开展核安全文化建设

4.2.完善混凝土浇筑管理和程序体系，加强混凝土巡查和养护

- ① 加强对混凝土养护情况的巡视，发现问题及时督促整改。
- ② 混凝土浇筑作业前应结合现场实际情况在编制施工方案时提前进行风险识别。
- ③ 督促混凝土施工单位在施工前应对相关标准、规范理解透彻，编制施工程序/作业指导书并明确施工规范。
- ④ 加强对混凝土施工文件的审查工作，施工前仔细研究技术指标要求及潜在风险。
- ⑤ 梳理混凝土浇筑管理相关程序体系，编制混凝土施工人员的考核授权实施细则。
- ⑥ 加强施工过程中的管理力度，提升施工人员质量意识，发现问题时及时有效处理。

4.3. 细化设备制造过程管控，加强设备制造质量风险识别

1

- ① 要求设备制造单位细化设备制造过程管控措施，对于重要设备的制造过程，电厂可以考虑驻厂监造，梳理设备制造工序，制定针对性防范措施并设置必要的质量控制点。

2

- ① 进一步完善相应检验规程和检查记录，并对质量检验员进行质量意识及核安全文化的再教育、再培训。

3

- ① 组织相关人员开展经验反馈，充分消化设备制造技术要求，加强设备制造质量风险识别与分析，提升设备监造人员业务能力，最大限度地预防和提前发现问题。

4

- ① 在设备制造和完工检验过程中应保持质疑和谨慎的态度，识别其中可能存在的风险点，制定针对性的处理措施，并开展相应的安全评价工作

④ 4.4.对承包商进行核安全法规宣贯和培训，加强监管力度

习、对造假的经验反馈，提高监造人员的责任心及对违规造假问题的敏感性。

② 加强相关监管文件的重视程度、宣贯与学习力度，在合同谈判、工作实施过程中对承包商单位资质相关信息进行充分的审查和验证，同时在承包商采购流程中，充分审查承包商的合同工作范围与其单位资质以及人员资质的匹配性。

③ 加大对国外主承包商监管力度，加强对原材料分包商的监督管理，推动、监督国外供应商加强对上游技术文件的消化和落实，提前识别风险、预防质量问题。

④ 对国外监造人员进行法规相关规定的培训，加强专业技术文件（英文）检查技能培训，以应对制造厂技术文件描述不规范，及英文文件容易造成监造人员的理解歧义和混淆问题。

谢谢

THANK YOU

