

轨道交通给排水系统应急供水保障方案设计与实践

赵 岩

中国铁路通信信号上海工程局集团有限公司 上海 200436

摘 要：轨道交通网络在城市运行体系中处于关键位置，其给排水系统在日常运营稳定性与突发事件处置能力之间形成紧密关联，应急供水的可靠性因而成为影响整体安全的重要环节。随着线路规模不断扩展、地下与半地下空间愈加复杂，传统依赖单一水源与固定管网的供水方式暴露出响应迟缓、冗余不足与监测滞后的问题，各类事故场景下的需求差异与风险耦合亦使保障难度显著增加。本文围绕轨道交通给排水系统的结构特征、供水需求及主要风险展开分析，提出以多源化、分区化、智能化和可恢复性为核心的应急供水保障方案，并在工程实践中完成验证。结果显示，该体系能够有效提升供水连续性与调度效率，为复杂环境下的安全运营奠定更稳固的技术基础。

关键词：轨道交通；给排水系统；应急供水；安全保障；系统设计

引言

城市轨道交通在高密度客流、地下空间拓展以及设施一体化程度不断提升的背景下，其给排水系统在站区运行、设备冷却、消防补水与环境维持等方面形成了相互牵引的结构关系，水源稳定性的轻微波动往往即可牵连至运营秩序的整体安全。突发事故引发的供水中断、管线破裂造成的压力失衡、泵房故障导致的排水滞后等情形时常交织出现，既考验系统的冗余与调度能力，也暴露对实时监测与快速切换机制的更高需求。在大体量线路部署与多站点联动的情况下，应急供水不再是对既有系统的临时补丁，而是必须融入规划、建设与运维全周期的基础性要素，其设计必须立足工程实际，面向风险源头，对供水路径、设备状态与场景转换进行整体把握，使系统在平稳运行与应急状态之间形成可预期、可切换、可恢复的能力链条。

一、轨道交通给排水系统应急供水需求与风险特征分析

（一）轨道交通给排水系统功能结构与供水需求特性分析

轨道交通给排水系统构成较为复杂，站厅、站台、区间及车辆段被水泵房、加压装置、生活水管网、消防供水链路和设备冷却补水系统串联为一体，各类设施之间并非孤立运作，而是因空间布局、客流密度与设备负荷的变化持续影响水量与水压的分配模式。生活供水需

要稳定而洁净的水源以维持车站的日常秩序，消防供水需要在压力骤升与瞬时高流量的条件下保持可靠性，冷却用水对连续性与水头波动更为敏感，而污水的及时排放又关系到整体环境安全与设备运转的稳定性^[1]。随着轨道交通线路向更深的地下空间延展，管网长度增长、节点设备增多，供水路径变得更加曲折而易受扰动，需求本身也呈现出峰谷差异与场景差别并存的状态，使应急供水必须具备快速响应与弹性调节的能力，这种结构与需求的耦合关系决定了系统一旦失衡便可能引发连锁反应，其重要性因而更加凸显。

（二）轨道交通应急供水场景与关键风险点分析

应急供水场景呈现多样化趋势，市政水源短时中断导致车站生活供水和设备补水骤降，管线破裂让局部区域出现压力骤失与倒灌风险，泵房故障造成排水滞缓并影响冷却系统的水循环，消防需求突发增长亦可能在短时间内挤占常规供水资源，从而形成多类负荷交叠并对系统形成冲击。在这些情境中，风险点并不只集中于设备层面，而更多体现在系统冗余不足、供水路径依赖性强、监测响应滞后等结构性问题上，部分线路因采用单一水源而在事故发生后难以在短时间内恢复供水能力，部分站点因阀门切换链路不够顺畅而难以完成分区隔离，调度体系若缺乏跨站联动能力，也会让局部故障迅速扩散至更大范围。随着轨道交通在规模、深度与运行强度上不断提升，应急供水所面临的风险呈现更加紧密的链式特征，唯有在需求侧与风险侧形成一致性的认识基础，

后续方案的构建才能具备针对性与可落地性^[2]。

二、轨道交通应急供水保障方案设计原则与系统构建路径

(一) 应急供水保障总体设计原则与系统架构

轨道交通的应急供水体系要真正具有韧性，设计理念必须从单一设施的被动保护转向系统整体的主动防御，其核心在于将多源化供给、分区化运行、智能化监测与可恢复性能力相互交织，使整个系统在稳定工况中保持效率，在异常情境下保持弹性。多源供水设计扩展了应急条件下的可选择路径，市政水源、独立水池、应急驳接线形成结构性的资源组合，既能在水压骤降时提供补偿，也能在外部中断时保持站区基本运行；分区化则借助阀组切换与双回路布置，使系统在局部受损的情况下维持其他区域的独立供水能力，局部故障不再必然演化为全线风险^[3]。随着监测手段不断成熟，传感器网络、泵站数据链路与阀门执行状态的实时感知能力增强，系统对水量波动、水压变化和和设备响应的捕捉变得更为精细，系统架构中因此融入了可视化调控平台，使运行者能够在更短时间内判断水源稳定性、供水路径与设备状态，让应急调度具备更高的时效性。

系统架构的整体搭建需要在源、储、输、控四个维度形成衔接紧密的功能链路。源端负责提供稳定的多渠道水源；储端承担削峰填谷与事故备用的功能，储量不仅是应急容量的体现，更是应急时机能力的基础；输配水系统的管网、提升装置与快速切换阀门是承接各环节的骨架，其布局越顺畅、冗余越合理，系统的抗扰能力越强；智能监控与调度系统则是整个架构的神经中枢，其集成度与响应速度直接决定应急方案的可执行性。由此形成的系统框架，不仅强调安全边界的拓展，也强调运行效率的提升，使应急供水不再依赖个别设备的单点能力，而是依托整体架构的分工协作达成高可靠性。

(二) 关键技术措施与应急调度方案设计路径

关键技术措施的构建，是让总体架构具备可落地性的关键环节。备用水源接入技术在事故情境中发挥着直接支撑作用，站区若能在水源切换期间保持基本水量，供水链便不会因短时中断而崩断；双回路供水设计以其结构对称性与路径冗余，使水压波动降低，供水可在负荷突增或局部异常时依旧保持稳定，并能借阀门组的协同调控完成路径切换。储备用水池的体量优化与布置位置的精算是另一个核心要素，储量不足难以支撑应急持续性，而储量过大又会影响空间利用与运行维护成本，

因此在多站点条件下往往采用分布式储备模式，以提升系统调度的灵活性。泵房设备的冗余度提升亦不可忽视，当提升泵组、稳压设施与软启—变频系统具备更高的可靠性时，应急运行的连续性更易保持，尤其是在高负荷阶段。

应急调度体系的构建关乎系统能否在复杂情境中形成快速且科学的响应。调度路径的构思需以联动逻辑为中心，站区之间构建互备关系，使水源可跨区调配；泵房集控平台将数据整合为动态水力模型，让调度人员可依水压梯度、水量分布与设备温升变化判断最优策略；现场指挥机制则承担着人机协同的任务，在平台指令与现场状况之间形成双向反馈，确保应急供水既具备速度，也具备精度。在试验性演练与工程实际中，可见该体系让应急响应的节奏更紧凑、链路更稳定，调度决策的准确性与执行效率显著提升，体现出工程技术与管理机制耦合后的积极效益^[4]。

三、轨道交通给排水系统应急供水保障方案的工程实践与效果评估

(一) 方案在实际工程中的应用实施与运行验证

在某轨道交通新建线路的综合改造项目中，应急供水方案在规划阶段便被纳入关键专业，与站区结构、泵房布置及管网走向同步协调，使整体系统的冗余逻辑能够更自然地嵌入工程框架。主水源与备用水源依据地理条件和接入半径进行统筹，蓄水池容量依照分区需求进行校准，泵组冗余等级按运行负荷进行重新分级，使系统在结构上显现出更强的可恢复性。阀门组的布设也在多轮推演中得到调整，快速切换单元被安置在更能影响流态的节点，分区逻辑因而更加清晰，而压力调节设备与泄压组件的同步升级，使水压在复杂路径中不易出现突升或骤降。

施工阶段的验证意味着方案要从图纸走向现场，在有限空间内布置大量管线与设备时，需对安装顺序、水力工况、排气排泥及调试节奏进行精细推敲。泵房试运行期间，调试团队依托传感器网络持续监测流量、压力、水质与设备负荷，多种模拟工况被纳入测试，如市政供水短时削减、单泵退出运行、区间消防需求提升等，系统在多次扰动条件下仍保持稳定，这种稳定性不是偶然，而是设计逻辑、设备能力与调度体系互相咬合的结果。随着项目推进，各站点逐步建立自身的应急切换清单，区间泵房与车辆段泵站之间形成联动，监控中心能够在模拟演练中获得清晰的状态图谱，使应急能力在实践中

不断被强化。

（二）应用效果评价与运行表现的量化分析

应急供水体系的有效性，往往需要依托量化指标进行呈现，性能的稳定与否由数据能够最直观地揭示。为了评估应急供水在实际运行过程中的表现，工程团队对连续六个月的运行数据进行了归集，包括水源切换成功率、压力恢复时间、泵组负荷变化曲线以及应急演练响应速度等指标，这些数据在综合分析后被整理为表1，可见多个关键指标均表现出明显改善。

表1 应急供水系统关键性能指标变化情况

指标项目	改造前平均水平	改造后平均水平	改善幅度
水源切换成功率	82%	97%	+15%
系统压力恢复时间（秒）	95	48	-49%
泵组运行稳定区间占比	71%	89%	+18%
消防工况下供水波动幅度	± 18%	± 7%	-11%
应急指令响应时间（秒）	63	29	-54%

数据呈现出较为一致的趋势，即系统在冗余度、稳定性、快速反应能力与跨区协调方面均取得显著提升。水源切换成功率的显著提高，意味着系统在突发停水或上游压力骤降时具备了更可靠的替补能力；压力恢复时间的大幅缩短，反映出压力调节逻辑更加精准，管网结构更加顺畅；泵组运行稳定区间的扩大，使设备磨损减轻并延长使用寿命；消防工况下供水波动的降低，则说明双回路逻辑在高负荷状态下具备更优的负荷消纳能力；应急响应时间的改善，使事故处置窗口明显缩短，也让系统在面对冲击时更具有韧性。

评价体系的建立并不只是为了呈现数据本身，而是为了让系统行为被看见，让运行与管理能够由经验走向知识，使优化路径得以更加明确。由此，工程团队形成了稳定运行基线，并据此持续追踪变化趋势，使应急供水体系具有可持续评估与可持续优化的结构基础。

（三）体系运行后的综合效益与优化拓展方向

随着应急供水方案在工程中的长期运行，其综合效益逐渐呈现出跨层级、跨场景的联动格局，安全效益、管理效益与社会效益交织出现，使该体系的价值不再局限于应急场景，而是在常态运行中不断释放积极影响。安全层面的提升最为直观，事故状态下的供水连续性增强，压力波动减少，使站区设施在火灾、设备故障、突发停水等情况下保持更稳定的物理环境；管理层的效益

则体现在监测数据的透明度提高，调度行为不再依赖经验判断，跨站联动也更具可执行性，运行组织的规范化程度不断提高；社会层面，轨道交通的整体韧性提升为城市运行带来更强保障，使公众在乘坐环境中获得更稳定的体验，其意义远超设备本身。

工程团队在运行过程中亦逐步意识到，应急供水体系仍存在进一步升级的空间，尤其在数据智能化、模型精细化与联动范围扩展方面。监测系统若能够与数字孪生技术对接，轨道交通的供水管网将拥有虚实对应的结构，使风险预测能够从状态识别迈向行为模拟；若能引入区域级的统一调度平台，站点之间的供水能力可按需分配，使局部压力更均衡、冗余更灵活；若能在设备层设置更多可视化参数，泵组与阀门的健康状态可被纳入全生命周期管理体系，使维护工作从被动修复转向主动养护。

结语

轨道交通给排水系统的应急供水能力正是支撑城市深层次运行安全的重要力量，它所包含的韧性结构、动态调节能力与工程可塑性，使复杂地下空间在突发情境下仍能保持基本秩序，系统由此展现出超越单一专业的协同价值。随着监测技术的精细化、调度模式的智能化以及设施冗余的合理配置不断推进，应急供水体系已不再是被动防御的工具，而是一套能够孕育稳定性、引导运行节奏并推动城市基础设施性能持续提升的支撑框架。未来随着城市扩展与轨道交通网络深化，这一体系在安全保障、风险化解与综合运行管理中的作用将愈加凸显，而其内在的自我进化能力也将使城市运营环境在更长周期内保持坚实而富有弹性的结构底盘。

参考文献

- [1] 张浩杰.城市轨道交通给排水及消防系统设计要点探究[J].绿色建筑, 2024, (05): 124-128.
- [2] 牛宇锟.城市轨道交通给排水系统节水节能措施[J].现代城市轨道交通, 2022, (08): 49-51.
- [3] 柯忱.宁句城际句容车辆段给排水及消防系统设计及思考[J].中国科技投资, 2021, (34): 121-124.
- [4] 郭欢, 徐平平, 赵月琴.城市轨道交通给排水系统问题分析和解决对策[J].城市轨道交通研究, 2021, 24(08): 265.