



兰州交通大学  
LANZHOU JIAOTONG UNIVERSITY

# 基于数据驱动的低碳化轨道 交通智能运维

Intelligent Operation and Maintenance of Low-carbon Rail Transit Based on Data Driven

报告人：林海香

2022年5月21日

# 目录 content

1

背景  
Background

2

城市轨道交通绿色运维  
Greening operation and maintenance of urban rail

3

基于数据驱动的低碳化智能运维  
Intelligent Operation and Maintenance of Low-carbon  
Based on Data Driven

4

结束语  
conclusion

第

1

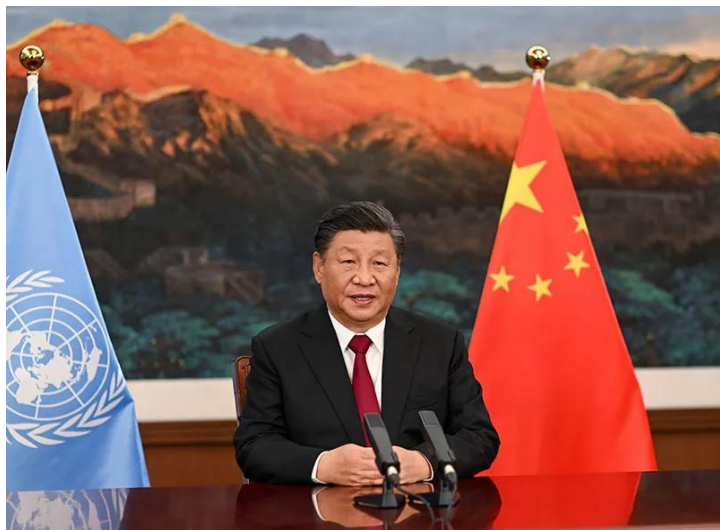
部分

背景  
Background



# 习近平总书记：把碳巅峰（carbon peaking）、碳中和（carbon neutrality）纳入生态文明建设整体布局

在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话



中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。



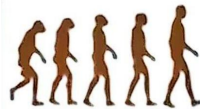
生态文明



工业文明



农业文明



原始文明

畏惧自然

依靠自然

征服自然  
高耗能  
低产出  
污染严重

仿效自然  
高效率  
高科技  
低消耗  
低污染  
整体协调  
循环再生  
健康持续

不同时代的不同文明形态

# 双碳战略下绿色轨道交通发展

(Development of green rail transit under the double-carbon strategy)

2030年前实现碳达峰，争取2060年前实现碳中和，是党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策，“十四五”时期是碳达峰的关键期、窗口期。2021年9月22日，中共中央、国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，要求加快推进低碳交通运输体系建设，明确推广节能低碳型交通工具和积极引导低碳出行。紧随其后公布的顶层设计《2030年前碳达峰行动方案》中，将“交通运输绿色低碳行动”列入“碳达峰十大行动”，明确要求构建绿色高效交通运输体系，打造高效衔接、快捷舒适的公共交通服务体系，积极引导公众选择绿色低碳交通方式。两份文件都将交通行业作为重要的目标调整产业之一，势必将对绿色发展有更进一步的推进。

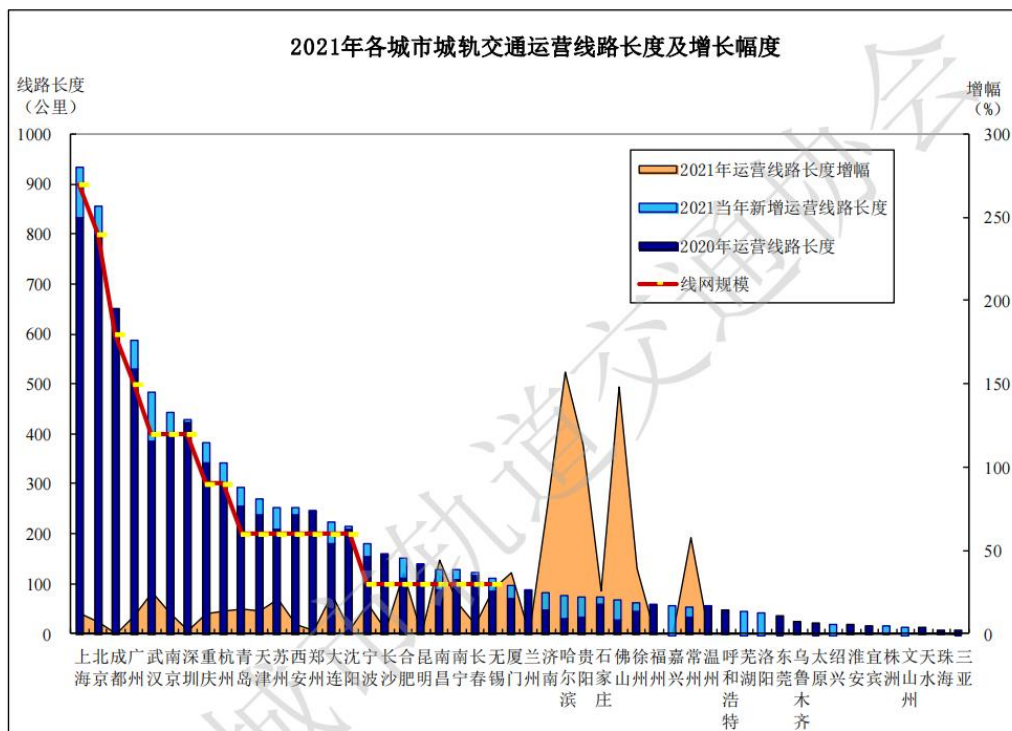




## 轨道交通发展现状及问题——城轨发展迅速

### Development status and problems of rail transit—Rapid development of urban rail

截至 2021 年底，共有 50 个城市开通城轨交通运营线路 283 条，运营线路总长度达 9206.8 公里。近三年来，累计新增运营线路长度为 3445.4 公里，年均新增运营线路长度 1148.5 公里。



数据来自  
《城市轨道交通  
2021年  
度统计和  
分析报告》

2021年全年累计完成客运量236.9亿人次，同比增长34.7%，总进站量为146.3亿人次，同比增长33.7%，总客运周转量为1981.8人次公里，同比增长33.3%。



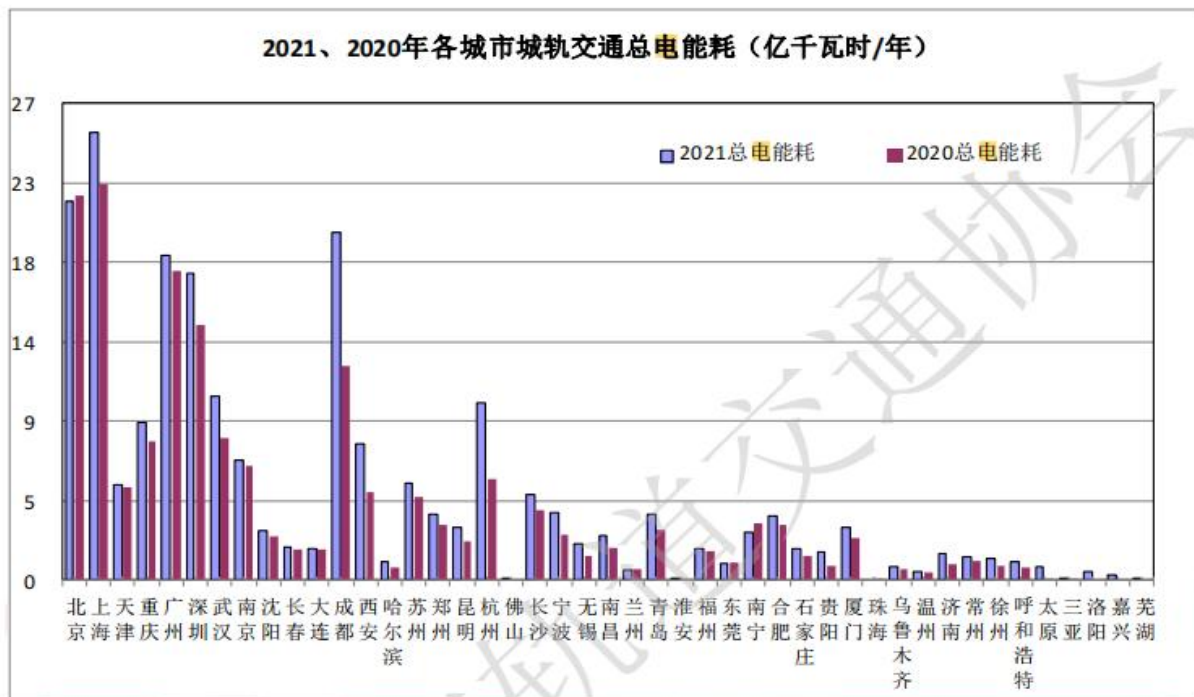
城市轨道交通正处于飞速发展的阶段，是城市公共交通的重要组成部分



# 轨道交通发展现状及问题——城轨能源消耗较大

## Development status and problems of rail transit—Large urban rail energy consumption

2021年，全国城轨交通总电能耗213.1亿千瓦时，同比增长23.6%，与2019年相比增长39.6%。



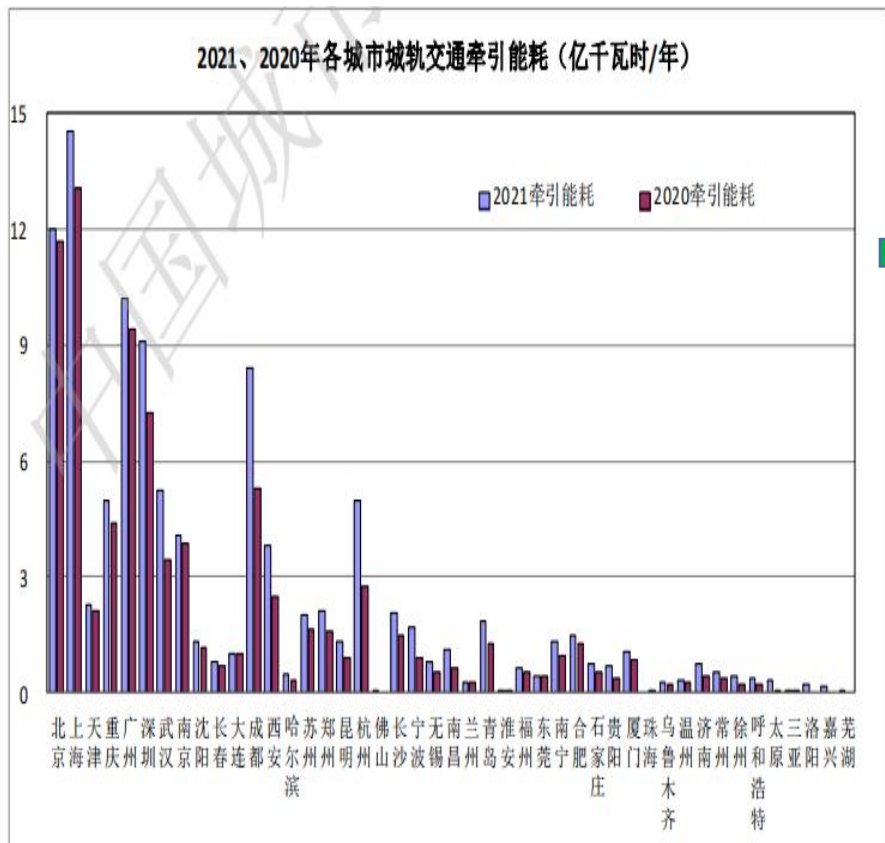
数据来自  
《城市轨道交  
通2021年  
度统计和  
分析报告》

作为城市公共交通的骨干，轨道交通是低能耗低排放的环保型产业，基本上多采用电能作为主要能源供给，属于**间接碳排放**。虽然轨道交通采用“购电”本身比较环保，但由于我国轨道交通运营体量巨大、发展迅速，线网规模、客流量不断增加，根据中国城市轨道交通协会有关数据，2020、2021年城市轨道交通行业年用电总量分别高达172.4与213.1亿千瓦时，**整体用电量巨大**。



## 轨道交通发展现状及问题—城轨能源消耗较大

Development status and problems of rail transit—Large urban rail energy consumption



2021年牵引系统能耗106.2亿千瓦时，同比增长26.4%，与2019年相比增长34.4%。牵引能耗占总电能耗的比为49.8%。随着新投运线路的不断增加，总体能耗指标不断增长，总电能耗和牵引能耗均达历史最高。

但现有数据只是历年大致统计数据，缺少单项、单线、单体能耗数据，还不能满足双碳下的精准节能减排需求。





# 轨道交通发展现状及问题—城轨粗犷式运维

Development status and problems of rail transit—Urban rail rough operation and maintenance

1 机组设备能耗水平缺少相关要求及调研数据



设备本身耗能基数大，难以通过调试降低能耗

2 多依靠人工进行设备设施的运维调试



缺少合理的反馈、调试机制缺少智慧化运行维护管理手段



设备设施维护成本高、效率低能源管理水平低



城轨运维过程中存在着较大的节能空间

第

2

部分

## 城市轨道交通绿色运维

Greening operation and maintenance of urban rail  
transit



# 城轨交通低碳化发展的问题

## Problems of low-carbon development of urban rail transit

低碳化城市轨道交通运维是生态环保落实到城市轨道交通中的重要一环

1. 缺少设备设施节能等级要求  
Lack of energy-saving grade requirements for equipment and facilities

能源系统高效化  
Efficient energy system

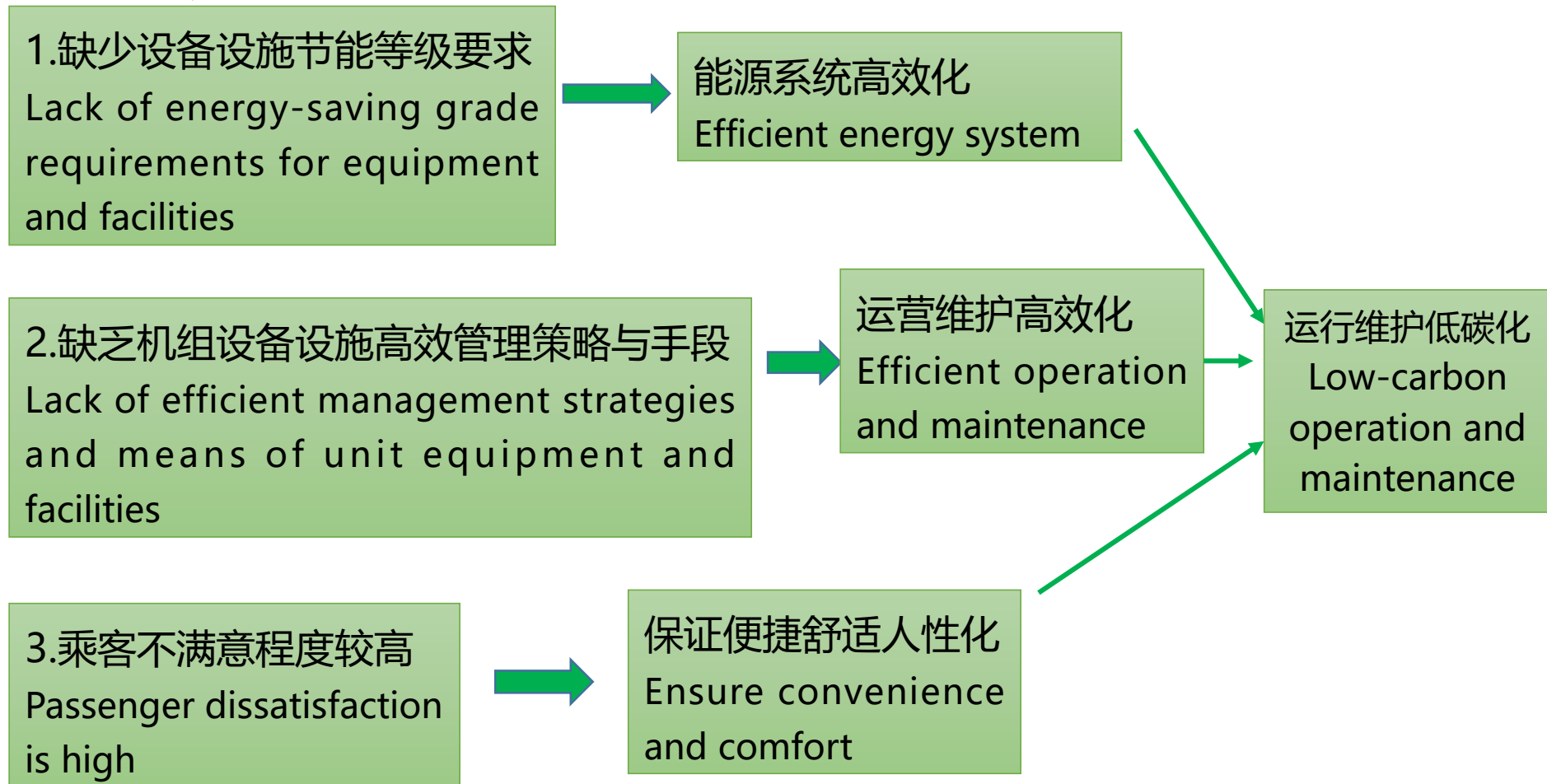
2. 缺乏机组设备设施高效管理策略与手段  
Lack of efficient management strategies and means of unit equipment and facilities

运营维护高效化  
Efficient operation and maintenance

运行维护低碳化  
Low-carbon operation and maintenance

3. 乘客不满意程度较高  
Passenger dissatisfaction is high

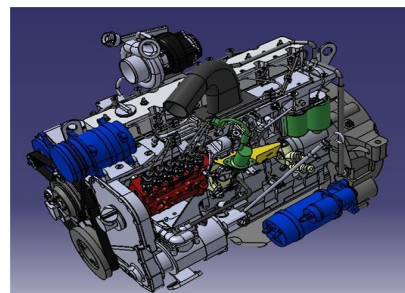
保证便捷舒适人性化  
Ensure convenience and comfort





## 城轨交通低碳化发展要点

### Key points of low-carbon development of urban rail transit



开展调研，了解城轨交通  
现有**机电设备**的能耗水平

**机电设备更新与发展**  
**绿色行业相关要求**

**制定城轨机电设备能效等级及能效水平相关标准**

能源系统  
高效化

供电系统、照明系统、暖通空调系统、自动扶梯与电梯、站台门系统

弱电系统自身的设置与整合，保证运行维护过程中的计量、监控的准确有效性

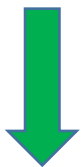
提升城市轨道交通中涉及到的设备能效水平，从源头降低能源消耗



# 城轨交通低碳化发展要点

## Key points of low-carbon development of urban rail transit

运营维护高效化



能源节约  
环境舒适  
健康安全  
方便敏捷

### 能耗与环境

计量、控制、分析

建立健全能耗分项计量设施，针对室内环境参数实时控制机电设备开启程度，并对能耗数据进行分析



### 车辆、设备

设备维护、故障维修、自动分析

自动分析采集车辆、路线状态、设备状态，提前预警，避免安全事故的发生，提升车辆安全水平与智能化水平



### 行车组织

与客流量相关

实时收集客流量数据信息，结合客流量变化制定相应的行车组织方式，并及时调整，以减少拥堵，保证乘车舒适便捷



第

3

部分

# 基于数据驱动的低碳化智能运维

Intelligent Operation and Maintenance of Low-carbon Based on Data Driven



## 基于数据驱动的低碳化智能运维— 设备维护 ( Equipment maintenance )

基于数据驱动的低碳化智能运维是指利用已产生的故障数据、维护数据，以数据驱动的故障定位和智能维保策略推荐代替传统的资源高耗、环境负效、维时过长的维保模式，促进运维节能，间接提高运输效率，避免安全事故的发生，提升车辆安全水平与维保智能化水平。

### 数据类型 type of data

**结构化数据 (structured data)** : 结构化数据也被称为定量数据，是能够用数据或统一的结构加以表示的信息，如数字、字符。

**非结构化数据 (unstructured data)** : 非结构化数据本质上是结构化数据之外的一切数据。它可能是文本的或非文本的，也可能是人为的或机器生成的。简单的说，非结构化数据就是字段可变的数据。



以非结构化数据为例，下图为某城市轨道交通地面信号设备故障日志。

编号	故障现象	故障致因	编号	故障现象	故障致因
1	ZCL 站下行 1DG 红光带(共出现 3 次)	发送盘故障	5	列车在 LSQ 站—HY 站上行区间 20DG 收不到速度码	发送盘故障
2	LSQ 站 10G 红色光带,LSQ 站—HY 站下行改按站间自动闭塞法办理行车,影响加开回空 1 列	轨道继电器故障	6	列车在 DZM 站 2-4DG 未收到目标速度码	LFU 故障
3	XRQ 站 1G 闪红,影响停运 1 列,到晚 7 列(均 2 分以上),中途清人 1 列,通过 1 列,调表 9 个	TU 盒故障	7	WJX 站上下行发车倒计时器显示黑屏,延时 53 min	TDT 显示板卡死机
4	BY 站下行 3DG 无列车速度码	LFU 故障	8	DZS 站下行 TDT 无显示	故障自复

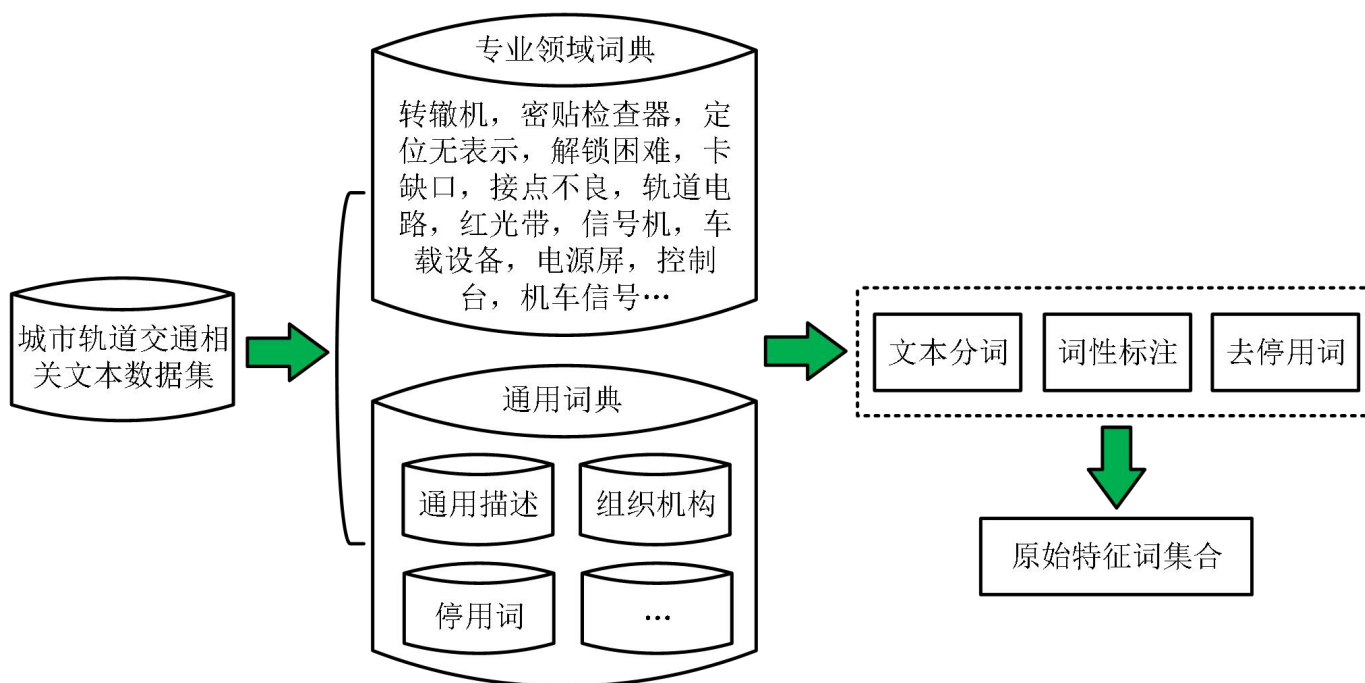
观察故障日志，从非结构化的文本数据中发现了一些现象和问题。语义含义相同的故障现象的描述记录措辞**不规范、不统一**，存在**多词同义**的现象，并且**描述简短，语义单一**、均为高层的系统级故障表现、没有细节化的故障表象。例如，故障记录 1 ~ 3 对于轨道电路红光带的描述不统一，有记载为“红光带”、“红色光带”、“轨道电路闪红”等，其实质均为轨道电路红光带故障，即为多词同义现象、描述不规范、不统一等等。并且非结构化数据**计算机无法直接识别**，需要对故障文本数据进行**特征提取**。





# 文本数据预处理 text data preprocessing

- 对城市轨道交通文本数据结构化处理需对文本进行中文分词和去停用词处理。
- 在通用词典的基础上构建专业领域词典，利用分词工具，生成能够表征文本信息的特征词集合。





# 文本数据特征表示及特征提取

## Text Data Feature Representation and Feature Extraction

该部分主要实现对分词后的文本集合的数值向量化表示，向量化后才可被计算机识别与计算。特征表示与提取的优劣性，直接影响到最后的设备智能维护准确率和效率，间接的影响了运维的节能。现阶段文本特征表示及表示的方法主要有以下几种。

### 文本特征表示及提取方法

独热编码 (One-hot)

向量空间模型 ( Vector Space Model, VSM)

N元模型 (N-gram Model)

词频-逆文档频率 (Term Frequency-Inverse Document Frequency, TF-IDF)

LDA主题模型(LDA Topic Model)

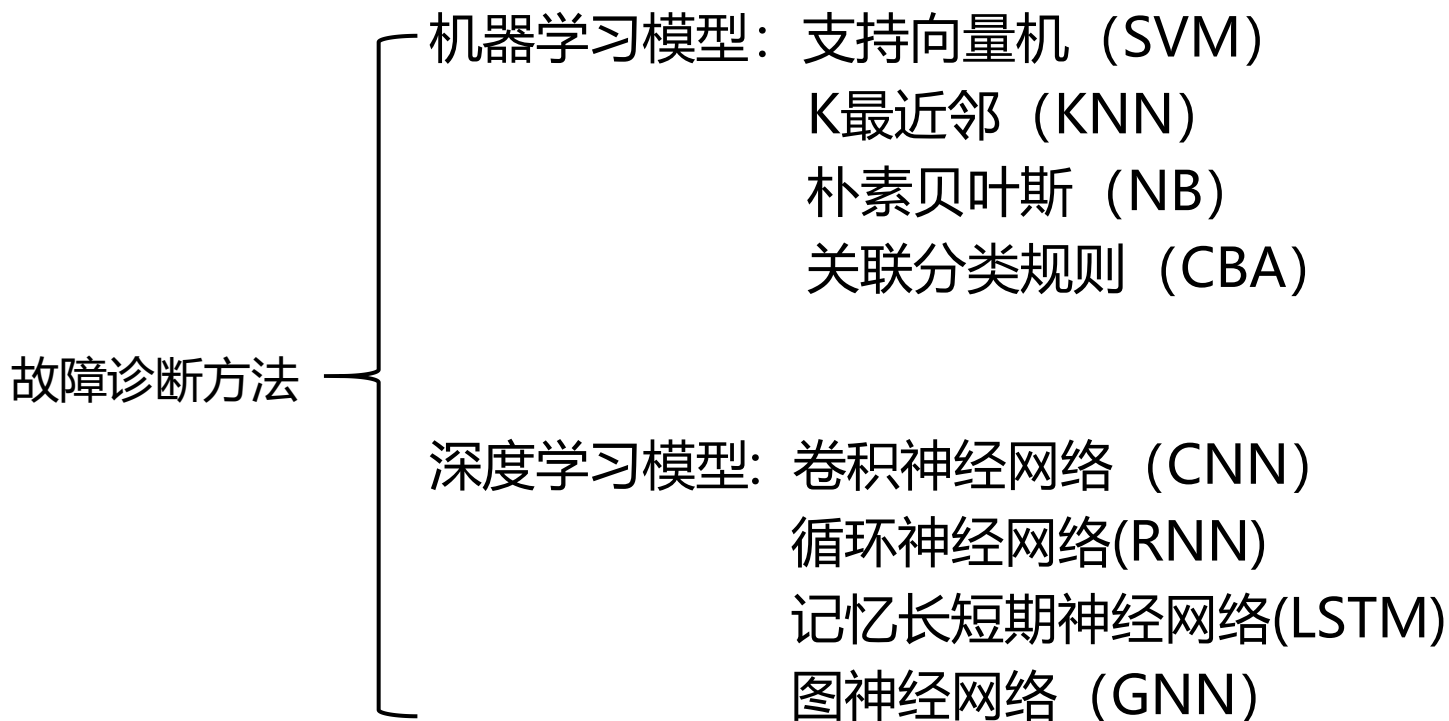
BERT模型 (基于Transformer的双向编码器表示模型)



## 城轨设备高效智能运维

### Efficient and intelligent operation and maintenance of urban rail equipment

低碳化城市轨道交通已成为我国交通运输的前沿发展方向，以**数据为驱动**，综合运用**智能分析、故障诊断、设备健康状态评估**等技术，使城轨设备时刻处于可监督、可管控状态下，从而实现城市交通运输的智能运维，也是顺应了这一发展方向。以故障诊断任务为例，将文本特征表示及特征提取的数值向量输入至故障诊断模型，可实现故障智能分类。现阶段故障诊断的方法主要有以下几种：

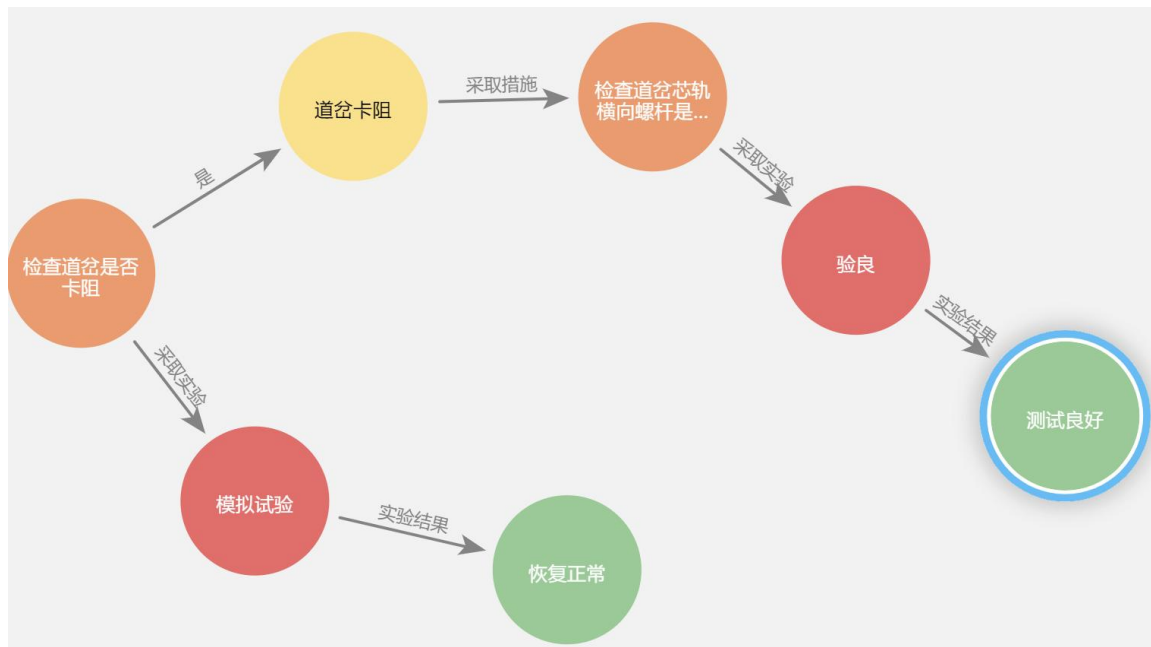


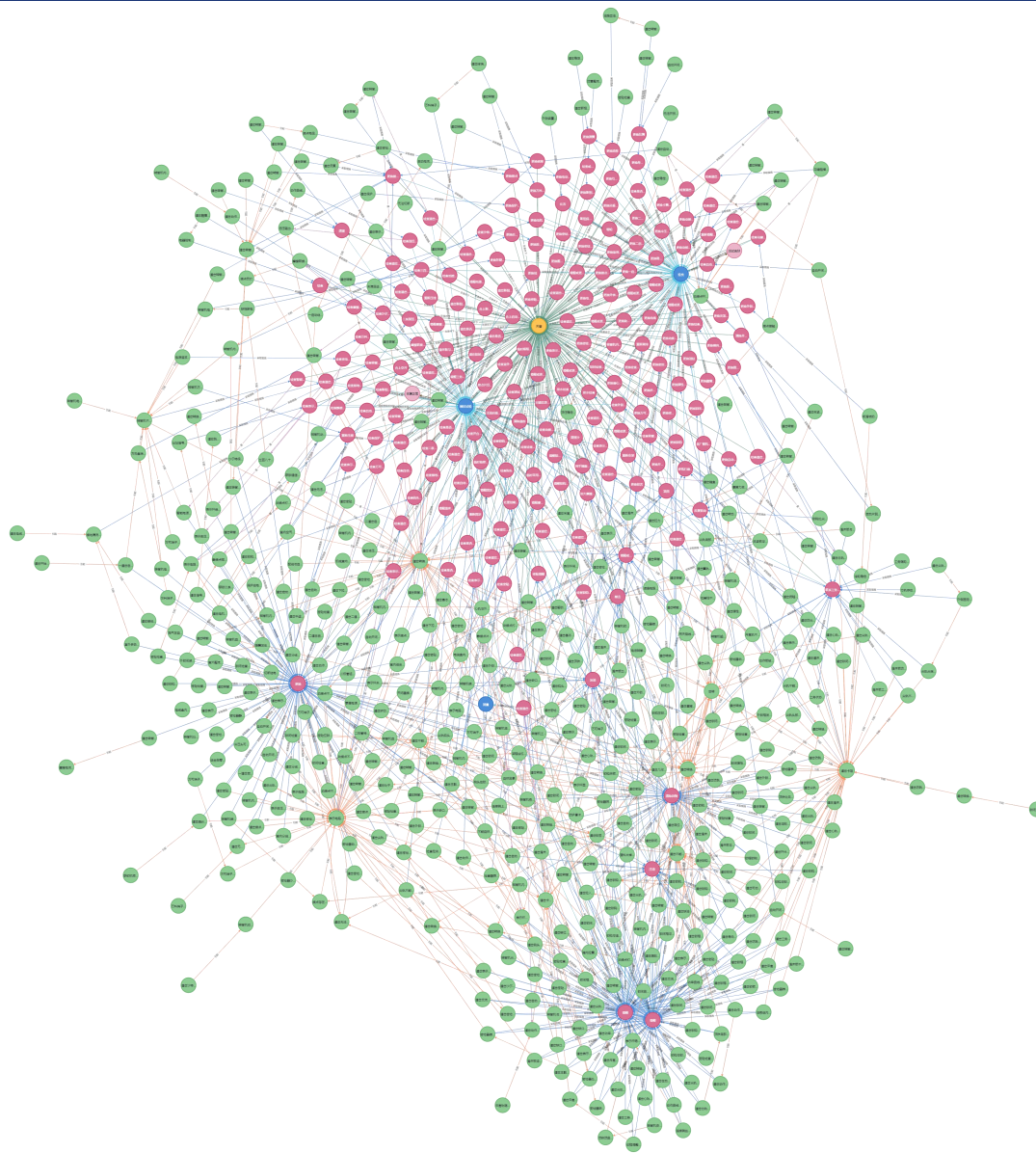


## 城轨设备高效智能运维—知识图谱的应用 The application of knowledge graph

为进一步实现基于数据驱动的城市轨道智能运维，将知识图谱的技术应用到城轨交通运维中，可以实现城轨运维策略的直观可视化与高效推理，从而减少维保时间，促进运维节能，间接提高交通效率。

下图是以道岔设备类的道岔卡阻现象为例，构建了一条信号设备运维知识链。





某城轨设备运维知识图谱库



# 从知识图谱中实现推理

## Inference from knowledge graphs

下图以道岔设备为例进行知识推理的实现。

用户：道岔转辙机自动开闭器动接点花键轴卡簧挡圈脱落该怎么解决

机器人：道岔转辙机自动开闭器动接点花键轴卡簧挡圈脱落会引起花键轴横向移动

用户：花键轴横向移动怎么解决

机器人：花键轴横向移动应采取的措施是检查道岔转辙机自动开闭器动接点花键轴卡簧挡圈是否脱落

用户：检查道岔转辙机自动开闭器动接点花键轴卡簧挡圈是否脱落该怎么解决

机器人：检查如果是，则采取无对应的解决办法

检查道岔转辙机自动开闭器动接点花键轴卡簧挡圈是否脱落如果是，则采取道岔转辙机自动开闭器动接点花键轴卡簧挡圈脱落对应的解决办法

用户：道岔转辙机自动开闭器动接点花键轴卡簧挡圈脱落该怎么解决

机器人：道岔转辙机自动开闭器动接点花键轴卡簧挡圈脱落应采取的措施是更换卡簧挡圈

用户：更换卡簧挡圈的条件

机器人：更换应在天窗条件下进行

更换卡簧挡圈应在天窗条件下进行

用户：更换卡簧挡圈后怎么验证效果

机器人：更换完成后应采取验良来验证措施效果

更换卡簧挡圈完成后应采取验良来验证措施效果

用户：验良的结果

机器人：验良的结果是测试良好

用户：再见

机器人：再见，希望您的问题得到了回答

可以看出，利用设备运维知识推理，就像一个有经验的现场维护人员，更有针对性推荐维修策略，可有效减少故障延时，节约维保时间，提升智能化水平。

第

4

部分

# 结束语

## Conclusion



## 结束语 Conclusion

低碳化轨道交通智能运维已成为目前轨道交通前沿发展方向。随着城轨运营里程的不断增长，城轨运行控制技术不断升级，新设备增多，维保技术难度更大。因此，实现城轨设备的智能运维已成为设备维护人员的迫切需要。

相信随着研究深入，针对设备维保部门积累的大量设备检测数据、故障维护数据等，以数据为驱动，深入挖掘数据的价值，发现数据内在规律，发挥数据的综合效能，运用智能分析、故障诊断、设备健康状态评估等技术，减少设备故障对轨道运营的影响，可以促进运维节能，提高城市轨道交通运营效率，将更好地实现**基于数据驱动的低碳化轨道交通智能运维**。





蘭州交通大學  
LANZHOU JIAOTONG UNIVERSITY

**Thanks for  
watching!**