

水利电力 科学与技术

Water Conservancy and Electric Power
Science and Technology



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



编委 Editorial board member

付金泽 国网冀北电力有限公司唐山市丰润区供电分公司

Fu Jinze State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Tangshan Fengrun District
Power Supply Branch

张世元 景德镇市水利规划设计院

Zhang Shiyuan Jingdezhen Water Conservancy Planning and Design Institute

詹 丽 景德镇市水利规划设计院

Zhan Li Jingdezhen Water Conservancy Planning and Design Institute

李 岩 辽宁红沿河核电有限公司

Li Yan Liaoning Hongyanhe Nuclear Power Co., LTD.

目录CONTENTS

水利电力科学与技术

Water Conservancy and Electric Power
Science and Technology

第2卷 第7期 2024年7月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《水利电力科学与技术》编辑部

ISSN(O): 2995-438X

ISSN(P): 2995-4371

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignnp.com>

本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、
翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著
作权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。

- | | | |
|-----|---|--|
| 001 | 峡江水文站岸沙分析报告
Analysis Report on Bank Sand at Xiajiang
Hydrological Station | 杨雄, 刘秋芳, 刘志勇
Yang Xiong, Liu Qiufang, Liu Zhiyong |
| 006 | 配网工程标准化施工的探究
Exploration of Standardized Construction of Distribution
Network Engineering | 胡金宝, 王龙
Hu Jinbao, Wang Long |
| 009 | 新能源场区接地新技术、新材料展望与分析
Prospects and Analysis of New Grounding Technologies and Materials in
New Energy Fields | 高鹏
Gao Peng |
| 012 | 电力系统安全风险评估与管理策略研究
Study on Security Risk Assessment and Management Strategy
of Power System | 文博
Wen Bo |
| 015 | 新时期水利技术标准体系的构建分析
Analysis of the Construction of Water Conservancy Technology
Standard System in the New Era | 董林卫, 郭庆
Dong Linwei, Guo Qing |
| 018 | 建筑电气防火规范中电缆阻燃等级实证分析
Experimental Analysis of Cable Flame Retardant Grade in Building
Electrical Fire Protection Code | 陈赞
Chen Yun |
| 021 | 新形势下电力监管管理工程风险识别、评估与动态防控体系优化
Risk Identification, Evaluation, and Optimization of Dynamic Prevention
and Control Systems for Electric Power Regulatory Management
Engineering in the New Situation | 钱忠
Qian Zhong |
| 024 | 盐碱地暗管排盐与节水灌溉协同优化探讨
Study on the Synergistic Optimization of Salt Discharge and
Water-Saving Irrigation in Saline-Alkali Land By Dark Pipe | 唐福林, 唐健
Tang Fulin, Tang Jian |
| 027 | 新能源发电侧储能配置对电网稳定性的影响研究
Study on the Influence of Energy Storage Configuration on Power Grid
Stability in New Energy Generation | 王晓剑
Wang Xiaojian |
| 030 | 新型电力系统下电网企业市场拓展路径研究
Study on Market Expansion Path of Power Grid Enterprises under
New Power System | 王骋宇
Wang Chengyu |
| 033 | 水利工程混凝土施工质量通病成因及防控措施研究
Research on the Causes and Preventive Measures of Common Quality
Problems in Concrete Construction of Water Conservancy Projects | 李奕霖
Li Yilin |

峡江水文站岸沙分析报告

杨雄, 刘秋芳, 刘志勇

赣江中游水文水资源监测中心, 江西 吉安 343000

摘要： 峡江水文站位于赣江中游，受自然条件和水利工程影响，常规泥沙测验面临挑战。本报告通过比测分析，建立了岸沙与断面单沙的关系模型，以便在特殊情况下（如超标洪水、特殊水情、恶劣天气或仪器设备故障）采用岸边取沙替代常规泥沙测验。比测时间为2024年4月4日至6月21日，共获取有效数据53次。结果表明，当岸边单沙在 0.100 kg/m^3 以下时， $C_{\text{单}} = 0.9455 \times C_{\text{岸}}$ ；在 0.100 kg/m^3 以上时， $C_{\text{单}} = 0.9838 \times C_{\text{岸}} - 0.0238$ 。误差分析显示，岸沙与人工实测泥沙值的累计数据与平均数据误差均不超过3%，满足测验规范要求。建议每年至少监测岸沙10次，以检测率定成果的稳定性 and 准确性。

关键词： 峡江水文站；岸沙分析；泥沙测验；比测分析；误差分析；水利工程

Analysis Report on Bank Sand at Xiajiang Hydrological Station

Yang Xiong, Liu Qiufang, Liu Zhiyong

Hydrology and Water Resources Monitoring Center in the Middle Reaches of Ganjiang River, Ji'an, Jiangxi 343000

Abstract： Xiajiang Hydrological Station is located in the middle reaches of the Ganjiang River. Due to natural conditions and the influence of hydraulic engineering, conventional sediment testing faces challenges. This report establishes a relationship model between bank sand and single sand in the section through comparative analysis, allowing the use of bank sand sampling as a substitute for conventional sediment testing under special circumstances such as excessive floods, special water conditions, severe weather, or equipment failures. The comparison period was from April 4, 2024, to June 21, 2024, with a total of 53 valid data points obtained. The results indicate that when the single sand concentration at the bank is below 0.100 kg/m^3 , $C_{\text{single}} = 0.9455 \times C_{\text{bank}}$, and when it is above 0.100 kg/m^3 , $C_{\text{single}} = 0.9838 \times C_{\text{bank}} - 0.0238$. Error analysis shows that the cumulative and average errors between bank sand and manually measured sediment values do not exceed 3%, meeting the testing specifications. It is suggested to monitor bank sand at least 10 times per year to assess the stability and accuracy of the calibration results.

Keywords： Xiajiang hydrological station; bank sand analysis; sediment testing; comparative analysis; error analysis; hydraulic engineering

一、背景概况

峡江水文站地处赣江中游峡江县巴邱镇南门，江面狭窄，经常出现风大浪急，每次单沙取样需开船至相应的垂线进行作业，遇到超标洪水、特殊水情、天气或仪器设备运行不良时，须采用岸边取沙来进行泥沙测验。

二、基本情况

（一）测站概况

峡江水文站是长江流域赣江中游的主要控制站，位于峡江县巴邱镇，东经 $115^{\circ}09'$ ，北纬 $27^{\circ}33'$ ，流域面积 62724 km^2 ，距河口 174 km ，属国家重要水文站。1957年1月设站，1976年1月基本水尺断面下迁 1076 m ，更名为峡江（二）水文站。赣江峡江段河谷较窄，水面宽约 400 m ，枯水平均水深约 7.5 m 。本站流量测验精度为一类站，泥沙测验精度为二类。主要

测验项目有：水位、流量、悬移质泥沙、水温、降水量、水质。

水位、降水量观测均采用自记记录，流量测验采用缆道和船测、在线ADCP、走航式ADCP及流速仪施测，泥沙测验采用船测、横式采样器取样，水温采用人工观测。泥沙处理采用过滤烘干法。

（二）水流沙特性

本站高程系统为吴淞基面。

本站测流取沙断面位于基本水尺断面处，测验河段上游较顺直约 1300 m ，下游稍有扩散。右岸为峡江水利枢纽公路护坡斜岸；左岸为民房，砖渣等填料较陡；岸边河床稳定，无坍塌现象。河槽河床组成：左岸（起点距 $30\text{ m} \sim 230\text{ m}$ ）为粗、细沙，稍有冲淤，河底高程起伏较小，水流较平稳；右岸（起点距 240 m 至右岸）为岩石，乱石较多不易冲淤，河底高程起伏较大，水流较紊乱、旋涡多。

历年年来年均沙峰在5场左右分布在3到7月份，沙峰持续时间3个小时，影响本站水位流量变化的主要因素是暴雨、万安电站泄

洪、石虎塘航电枢纽及附近支流洪水，水位流量关系主要受洪水涨落和断面冲淤影响。2010年以来，本站上游约4km处的峡江水利工程建设施工，对本站流量测验影响较大，受其蓄放水调试发电影响，水位涨落变化急剧，水位过程经常出现锯齿状，在此过程中流量测验点据明显出现偏离。

历年泥沙变化主要受水位涨落、河道冲淤、强暴雨影响。因峡江水利枢纽工程控制面积大，2014年蓄水后上游来沙在枢纽进行了沉淀和拦沙和下游新干航电枢纽顶托流速变小等因素，峡江站含沙量总体偏少，在无降雨、水位平稳时期含沙量在0.01 kg/m³以下，暴雨、高水期间受水利工程影响也相对往年含沙量明显减少。受峡江水利枢纽施工影响，本站2011年至2013年单断沙关系非常混乱，无法建立单断沙关系，采用比例系数法整编。2014年采用单断沙关系整编。

本站现有观测项目为水位、流量、悬移质输沙、水温、降水量。历年最高水位44.57m（1962年6月29日，原断面水位44.93m，现断面最高水位是经换算后的），历年最低水位为33.17m（2023年1月8日），历年最大流量19900m³/s（1963年6月26日），历年最小流量122m³/s（2013年11月13日），历年实测最大含沙量1.86 kg/m³（1985年），2014年蓄水后实测最大含沙量为0.638 kg/m³（2022年6月15日）。

三、比测目的和内容

（一）比测目的

通过比测分析，建立岸沙与断面相应单沙关系，遇到超标洪水、特殊水情、天气或仪器设备运行不良时，进行岸沙取样，根据两者间关系，从而得到断面相应单沙。

（二）比测内容

1.岸沙含沙量数据获取。在本站测船（挂机赣水文19）船头左侧0.5m处利用横式采样器（拉绳式）进行水面0.2法采样。利用横式采样器（拉绳式）进行采样，采用过滤法测量含沙量，以单样含沙量数据代表断面平均含沙量数据。

2.率定相关关系曲线。分析岸边人工测得的含沙量与断面上人工实测的含沙量数据,建立符合水文相关要求的监测结果，从而率定两者之间的关系。

四、仪器设备情况

横式采样器结构简单、工作可靠、操作方便能在短时间采集到泥沙水样，提高采样速度，但也因采样时间短，不能克服泥沙脉动影响，所以代表性差。

横式采样器结构由：水筒、筒盖、弹簧、橡皮圈、钩形装置和夹板组成。

横式采样器取样方法：仪器悬吊在绞车上，取样时打开筒盖状态，提放是匀速，到达测点位置人工拉绳关闭采样器，提起倒出水样，取样结束，一次取样容积为1000mL。

五、率定方案

（一）断面相应单沙测验方法

断面相应单沙测验方法为固定二线0.2一点混合，水样处理采用过滤法；取样位置在100m、275m。

（二）岸沙测验方法

岸沙测验方法为拉绳式横式采样器，在本站测船（挂机赣水文19）船头左侧0.5m处利用横式采样器（拉绳式）进行水面0.2法采样。

（三）率定技术要求

取样位置：岸沙每次取样位置应为测船（挂机赣水文19）船头左侧0.5m处；

取样时间：断面相应单沙及岸沙应同步进行取样；

比测次数：断面相应单沙及岸沙对比次数30次以上，水样分布代表含沙量的变化过程。

六、适用技术规范

- 1.《水文基础设施及技术装备标准》(SL-276-2002)；
- 2.《河流悬移质泥沙测验规范》(GBT50159-2015)；
- 3.《水文资料整编规范》（SL247-2020）；

七、比测率定分析

（一）比测的情况介绍

1.比测特征值综合统计

（1）比测时间：2024年4月4日～2024年6月21日。

（2）比测率定有效数据共53次。

（3）比测期水位变幅：36.39m～41.94m。

（4）比测期断面人工含沙量变幅：0.008kg/m³～0.445kg/m³。

人工取样时间2024年4月4日至2024年6月21日，采样53份。期间取沙水位变幅5.55m，期间特征值对比如下表7.1。

表7.1 特征值对照表

项 目	时 间	含沙量 (kg/m ³)	同时刻断面 / 岸边 泥沙 (kg/m ³)
断面最小含沙量	2024年5月22日 09:46	0.008	0.011
断面最大含沙量	2024年4月5日12:05	0.445	0.442
岸边最小含沙量	2024年5月28日 10:03	0.010	0.011
岸边最大含沙量	2024年4月5日12:05	0.442	0.445

因峡江水利枢纽工程控制面积大，2014年蓄水后上游来沙在枢纽进行了沉淀和拦沙加上下游新干航电枢纽顶托流速变小等因素，峡江站含沙量总体偏少，峡江水文站2024年4月4到2024年6月21日比测期间共搜集54组样本数据，人工实测含沙量变化范围为0.008～0.445kg/m³，占历年（峡江水利枢纽建成后）含沙量变幅的69.7%，可以代表本站含沙量的变化规律。

结合测站历年特性，上述数据可以代表峡江水文站泥沙变化过程，比测样本系列代表性良好。

2.资料评价

本断面比测率定仪器的选型、比测位置均合理，操作方法得当，比测期间严格按照操作规程进行比测资料的搜集，因此资料准确可靠，满足各项精度要求。

(二) 技术要求

1.要求控制高、中、低含沙量的变化；有效比测资料原则上不少于30份。

2.根据目前取得的实测数据，含沙量太小，无法采用常规误差分析方法进行分析。借鉴《河流悬移质泥沙测验规范》(GB50159-2015)第8.1.6条规定，当泥沙含量较小时，可采用样本累计的方法进行误差分析；当泥沙含量大于0.100kg/m³时，新的测验方法与传统方法相关性要较好，且需进行关系检验。

3.本次分析采用样本累计数据分析法，分析累计数据与平均数据是否能够达到测验规范要求。同时借鉴《水文资料整编规范》(SL247-2020)提到的：如果新的测验方法与传统测验方法累计误差不超过3%，则可以采用新方法测验。

(三) 误差分析

1.稳定性分析

统计分析2024年4月4日~2024年6月21日岸边实测含沙量、断面相应单沙、水位之间变化趋势一致，相应性较高，说明系统含沙量示值数据稳定可靠。峡江水文站岸沙、断面相应单沙、水位过程线对比见图7.1。

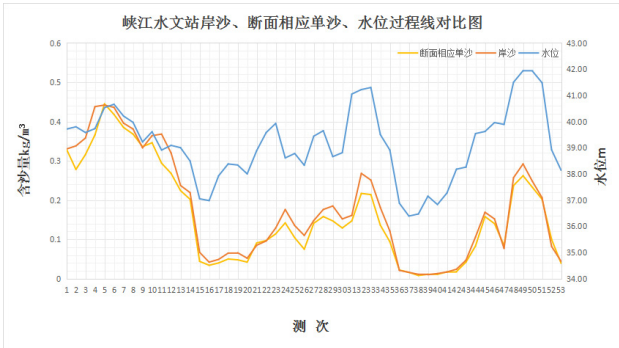


图7.1 峡江水文站岸沙、断面相应单沙、水位过程线对比图

2.误差计算

因峡江水利枢纽工程2014年蓄水后上游来沙在枢纽进行了沉淀和拦沙和下游新干航电枢纽顶托流速变小等因素，峡江站含沙量总体偏少，在无降雨、水位平稳时期含沙量在0.010kg/m³以下，暴雨、高水期间受水利工程影响也相对往年含沙量明显减少。根据目前取得的实测数据，当含沙量太小，无法采用常规误差分析方法进行分析；当含沙量大于0.100kg/m³，可分析两者间相关性，并进行对其关系线进行检验。

①当泥沙含量小于0.100kg/m³

通过对岸沙与断面实测相应含沙量进行分析可知，两者关系为 $y_{\text{断面相应含沙量}} = 0.9455x_{\text{岸沙}}$ ，相关性较好 ($R^2=0.8961$)。借鉴《河流悬移质泥沙测验规范》(GB50159-2015)第8.1.6条规定，当泥沙含量较小时，可采用样本累计的方法进行误差分析。本次分

析采用样本累计数据分析法，具体误差计算见下表7.3、表7.4；两者对比分析图，见图7.2。

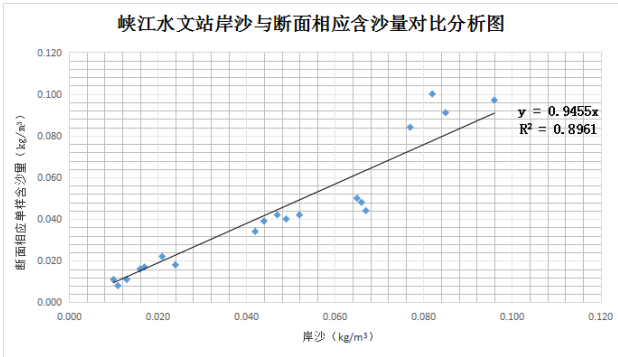


图7.2 峡江水文站岸沙与断面相应单沙含沙量对比分析图1

表7.3岸边实测单沙与断面相应单沙累计值误差计算表

时间	岸边实测单沙累计数值 (kg/m³)	换算后单沙累计数值 (kg/m³)	断面相应单沙累计数值 (kg/m³)	绝对误差 (kg/m³)	相对误差 (%)
20240404-20240621	0.884	0.834	0.814	-0.020	-2.5

表7.4岸边实测单沙与断面相应单沙平均值误差计算表

时间	岸边实测单沙平均值 (kg/m³)	换算后单沙平均值 (kg/m³)	断面相应单沙平均值 (kg/m³)	绝对误差 (kg/m³)	相对误差 (%)
20240404-20240621	0.0465	0.0439	0.0428	-0.0011	-2.5

根据《水文资料整编规范》(SL247-2020)提到的：如果新的测验方法与传统测验方法累计误差不超过3%，则可以采用新方法测验。经分析：岸沙与人工实测泥沙值的累计数据与平均数据误差均不超过3%，满足测验规范要求。故本次分析采用样本累计数据分析法可行。

②当泥沙含量大于0.100kg/m³

通过对岸沙与断面实测相应含沙量进行分析可知，两者关系为 $y_{\text{断面相应含沙量}} = 0.9838x_{\text{岸沙}} - 0.0238$ ，相关性较好 ($R^2=0.9637$)，两者对比分析图，见图7.3。

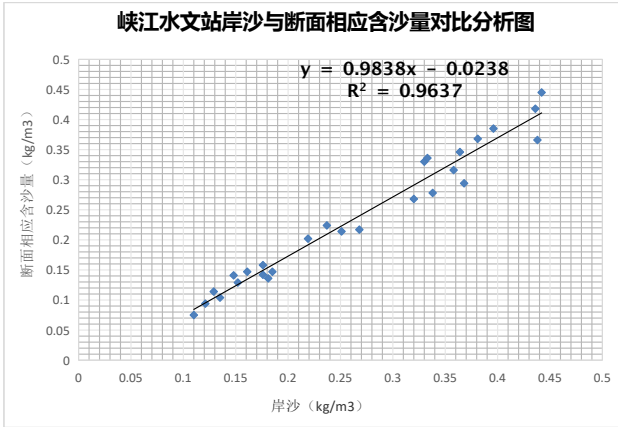


图7.3 峡江水文站岸沙与断面相应含沙量对比分析图2

将实测断面相应含沙量与线上查算数据进行系统误差、标准差、随机不确定度及三个检验，三检计算表见表7.5。计算公式如下：

①系统误差： $P = \frac{1}{n} \sum P_i$ ；

③随机不确定度： $2 \cdot X'_Q = 2S_e$

②标准差： $s_e = \left[\frac{1}{n-2} \sum \left(\frac{Q_i - Q_{ei}}{Q_{ei}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ ；

表 7.5 峡江水文站岸边取样误差及三检计算表

表 7.5 峡江水文站岸边取样误差及三检计算表														
误差分析						关系线三检								
序号	测次	岸边单沙 $C_{岸}$	相应单沙 $C_{单}$	换算后单沙 $C_{线}$	绝对误差 $C_{单} - C_{线}$	相对误差 $P_i = (C_{单} - C_{线}) / C_{线}$	P_i^2	$(P_i - P_i)^2$	序号	测次	排序	相对误差	符号	符号变换
1	1	0.330	0.330	0.301	-0.029	9.7	93.9	67.8	1	44	0.106	3.1	+	1
2	2	0.338	0.278	0.309	0.031	-10.0	99.0	130.1	2	26	0.110	-11.2	-	0
3	3	0.358	0.316	0.328	0.012	-3.8	14.3	27.3	3	35	0.121	-1.3	-	0
4	4	0.438	0.366	0.407	0.041	-10.1	101.9	133.4	4	23	0.129	10.6	+	1
5	5	0.442	0.445	0.411	-0.034	8.3	68.3	46.4	5	25	0.135	-4.6	-	1
6	6	0.436	0.418	0.405	-0.013	3.2	10.1	3.0	6	27	0.148	15.8	+	0
7	7	0.396	0.385	0.366	-0.019	5.3	27.6	14.4	7	30	0.152	2.6	+	0
8	8	0.381	0.368	0.351	-0.017	4.8	23.4	11.4	8	46	0.152	11.3	+	0
9	9	0.333	0.336	0.304	-0.032	10.6	112.3	83.6	9	31	0.161	9.2	+	0
10	10	0.364	0.346	0.334	-0.012	3.5	12.2	4.2	10	45	0.169	10.9	+	1
11	11	0.368	0.294	0.338	0.044	-13.1	171.1	211.1	11	24	0.176	-4.9	-	1
12	12	0.320	0.268	0.291	0.023	-7.9	62.5	87.6	12	28	0.176	5.8	+	1
13	13	0.237	0.224	0.209	-0.015	7.0	48.9	30.7	13	34	0.181	-11.8	-	0
14	14	0.219	0.202	0.192	-0.010	5.4	29.2	15.6	14	29	0.185	-7.1	-	1
15	23	0.129	0.114	0.103	-0.011	10.6	111.5	83.0	15	51	0.206	12.9	+	0
16	24	0.176	0.142	0.149	0.007	-4.9	24.2	40.6	16	14	0.219	5.4	+	0
17	25	0.135	0.104	0.109	0.005	-4.6	21.1	36.6	17	13	0.237	7.0	+	0
18	26	0.110	0.075	0.084	0.009	-11.2	124.5	159.0	18	50	0.247	5.8	+	1
19	27	0.148	0.141	0.122	-0.019	15.8	248.4	204.8	19	33	0.251	-4.1	-	1
20	28	0.176	0.158	0.149	-0.009	5.8	33.6	18.8	20	48	0.257	3.5	+	1
21	29	0.185	0.147	0.158	0.011	-7.1	50.1	72.8	21	32	0.268	-9.5	-	1
22	30	0.152	0.129	0.126	-0.003	2.6	6.7	1.3	22	49	0.292	-0.6	-	1
23	31	0.161	0.147	0.135	-0.012	9.2	85.0	60.3	23	12	0.32	-7.9	-	1
24	32	0.268	0.217	0.240	0.023	-9.5	90.8	120.6	24	1	0.33	9.7	+	0
25	33	0.251	0.214	0.223	0.009	-4.1	16.8	30.8	25	9	0.333	10.6	+	1
26	34	0.181	0.136	0.154	0.018	-11.8	140.2	176.7	26	2	0.338	-10.0	-	0
27	35	0.121	0.094	0.095	0.001	-1.3	1.7	7.6	27	3	0.358	-3.8	-	1
28	44	0.106	0.083	0.080	-0.003	3.1	9.8	2.8	28	10	0.364	3.5	+	1
29	45	0.169	0.158	0.142	-0.016	10.9	119.0	89.4	29	11	0.368	-13.1	-	1
30	46	0.152	0.140	0.126	-0.014	11.3	128.7	97.8	30	8	0.381	4.8	+	0
31	48	0.257	0.237	0.229	-0.008	3.5	12.1	4.1	31	7	0.396	5.3	+	0
32	49	0.292	0.262	0.263	0.001	-0.6	0.3	4.0	32	6	0.436	3.2	+	1
33	50	0.247	0.232	0.219	-0.013	5.8	34.1	19.3	33	4	0.438	-10.1	-	1

34	51	0.206	0.202	0.179	-0.023	12.9	167.3	131.9	34	5	0.442	8.3	+	
求 和						49.4	2300.6	2228.9	计数				20	19
一、岸边单沙换算关系： 1、岸边单沙在0.100以上： $C_{\text{单}}=0.9838 \times C_{\text{岸}}-0.0238$ ； 2、岸边单沙在0.100以下： $C_{\text{单}}=0.9455 \times C_{\text{岸}}$ 。 标准差 8.5 随机不确定度 17.0<20% 符号检验 0.86 1.15 适线检验 <01.28 偏离数值检验 1.03 1.30						系统误差		1.5		<3%	合理			
						合理								
						合理								
						合理								
						合理								

通过以上公式计算，系统误差为：1.5%；标准差 %（Se）为 :8.5%;随机不确定度为 :17.0%。

根据《水文资料整编规范》（SL247-2020）规定，泥沙站单一线三检的系统误差在 ±3%，总随机不确定度 ±20%内。本次岸沙比测当含沙量大于0.100kg/m³，三检均能满足要求，且比测关系稳定，故本次分析比测成果能满足规范要求。

八、结论

当本站遇到超标洪水、特殊水情、天气或仪器设备运行不良时，可以在基本水尺断面水流处，采用岸边取沙来进行泥沙

测验。岸沙换算关系采用：当岸边单沙在0.100kg/m³以下： $C_{\text{单}}=0.9455 \times C_{\text{岸}}$ ；岸边单沙在0.100kg/m³以上： $C_{\text{单}}=0.9838 \times C_{\text{岸}}-0.0238$ 。

九、建议

按大中小含沙量均匀分布原则，每年至少监测岸沙10次，对率定成果的稳定性和准确性进行检测。

参考文献

[1] 《水文基础设施及技术装备标准》（SL-276-2002）.
[2] 《河流悬移质泥沙测验规范》（GBT50159-2015）.
[3] 《水文资料整编规范》（SL247-2020）.

配网工程标准化施工的探究

胡金宝¹, 王龙²

1.日照市光明电力服务有限责任公司莒县分公司, 山东 日照 276500

2.日照市光明电力服务有限责任公司, 山东 日照 276800

摘 要： 配网工程是电力工程建设的重要内容，随着电网发展，社会各个行业领域的用电量持续增加，加之很多先进技术和设备应用，对于新时期的配网工程标准化建设提出了更高的要求。配网在电网系统中占据着较大的比例，运行安全与否，关系到电网整体运行安全。因此，文章围绕配网工程标准化施工内容展开论述，在分析了标准化施工重要性基础上，剖析具体的标准化施工要点，期待为相类似工程提供参考。

关 键 词： 标准化施工；配网工程；网络结构；电缆敷设

Exploration of Standardized Construction of Distribution Network Engineering

Hu Jinbao¹, Wang Long²

1.Rizhao City Guangming Electric Power Service Co., Ltd. Juxian Branch Rizhao, Shandong 276500

2.Rizhao City Bright Electric Power Service Co., Ltd. Rizhao, Shandong 276500

Abstract： Distribution network project is the key content of power engineering construction. With the development of power grid and the continuous increase of electricity consumption in various fields of, and the application of many advanced technologies and equipment, higher requirements are put forward for the standardized construction of distribution network projects in the new era. Distribution network occupies a large in the power grid system, and whether it operates safely or not is related to the overall operation safety of the power grid. Therefore, this paper focuses on the content of standardized construction distribution network projects. On the basis of analyzing the importance of standardized construction, this paper analyzes the key points of specific standardized construction, hoping to provide reference for similar projects

Keywords： standardized construction; distribution network project; network structure; cable laying

配网承担着电力输送的重要职能，包含了配电变压器、隔离开关、线路以及杆塔等设施，配网工程建设质量高低，直接影响到供电稳定性。即便我国电网持续发展，配网工程建设规模大幅度扩大，已经基本上实现了自动化，但在具体施工中却暴露出诸多问题，导致设备受到破坏，影响到供电稳定性。故此，为了提升配网工程施工质量，应制定统一、合理的标准，引入标准化施工技术，为工程质量和安全提供保障。

一、配网工程标准化建设的重要性

社会生产力水平提升，对电能需求度与日俱增，保证配网工程质量和稳定，有助于提升供电质量，为社会生产生活提供坚实保障。为了建造高质量的配网工程，需要因地制宜选择适宜的施工技术，遵循统一标准进行施工。即便当前国内配电工程并未出现十分严重的电网事故，但很多小规模电网事故却频频出现，为社会生产生活带来了一定的干扰影响。究其根本，国内配网工程施工技术并不完善，缺乏严格、有效的管理，以至于其中的问题累积恶化，产生极度恶劣的社会影响^[1]。

因此，推动配网工程标准化建设已经成为大势所趋，有助于保障电能安全稳定输送，推动社会主义现代化建设进程。随着配

网工程规模扩大，工程复杂性随之在增加，大力推行标准化建设十分重要，具体表现在以下几点。一是提高施工效率和质量。标准化施工需要制定统一、合理的施工规范和质量标准，并遵循标准化工艺流程进行作业，能够有效减少施工过程中的操作偏差和损失，提高施工效率。标准化施工对于设备、材料的质量要求明确，不仅可以提升工程总体质量，还可以降低设备故障几率，对于延长设备使用性能和使用寿命具有重要意义。二是电网安全运行。加强配网工程高质量建设，同用户端直接连接，保障工程安全、稳定，带给用户优质的用电体验，保障电力系统整体安全。标准化施工过程中严格遵循质量和安全规范，并选择有效控制措施贯彻落实到施工全过程，不仅可以消除潜在安全风险和电网故障，还可以有效保障电网安全稳定。三是加快产业升级^[2]。实行

标准化施工技术，致力于围绕工程总体目标要求，实现各类资源合理化配置利用，降低施工成本，提高整体施工效率和质量。而且提高配网工程质量，还可以减少停电频次和损失，提升电能质量，满足社会各领域日益增长的电能需求。

二、配网工程标准化施工的要点分析

以某配网工程为例，拆卸原有 A12 轧钢厂台架、配电箱，建设新的 J05 电房，将拆卸台架的 500kVA 变压器转移到新建电房中。电放上配备一台 630kVA 配变；原有工业线 2 号电缆分支箱到 A12 轧钢厂台架之间的进线电缆材料，摒弃传统的 V22-8.7/15kV-3X70，替换成 ZRYJV22-8.7/15kV-3X120。新建三回路低压架空线，按照 50m 设计回路，连接原有低压出线。该工程已经纳入到城市规划范围，实行全过程管理，加强配网工程标准化施工，致力于实现环保、低耗的建设目标。配网工程标准化施工，强调规划设计标准化、施工技术标准化、设备使用标准化等。根据工程项目特性制定统一标准，各环节围绕统一标准进行施工^[3]。

（一）合理规划网络结构

配网工程标准化施工中，做好网络结构的合理规划设计至关重要。因此，无论是前期方案规划，或是设计审查环节，均需要遵循统一标准开展工作。规划方案是否合理，很大程度上决定了工程建设质量^[4]。供电单位要明确配网工程建设范围、规格配置等内容，将台区建设以及线路绝缘等作为重点进行施工。例如，线路绝缘化不仅要考虑到线路敷设，也要考虑到台架、引线架、开关等装置的配置要求。将标准化设计应贯彻落实到设计和施工各个环节，做好设计图纸的标准和审核，避免方案中内容重复。目前国内多是 10kV 配电网，要充分调查施工区域实际情况和用户分布情况等因素，合理规划配电网络结构。变电站规划中，要确定变电站供电范围，提高各个供电站独立性，提高配电工程可靠性，最大程度上缩短停电时间，更好的满足社会生产生活需求。

（二）合理选择材料设备

配网工程施工中，传统标准下使得工程所选用的材料设备类型不尽相同。绝缘导线就达到了 20 多种，如，HKLGJYJ-10-35-240 等。裸导线和电缆类型多样，如果忽视了材料设备按照统一标准采购，可能会出现物资供应不连贯或是物资短缺等问题。基于信息技术建立标准化的设备材料资源库，统一设备材料选型，并明确限制具体材料设备的等级、性能和数量。根据配网工程特性，全方位分析设备电流、额定电压、功率因数等参数，以及材料防腐性、耐候性以及使用寿命等参数要求。设备选型中，优先选择性能成熟、可靠以及智能化水平较高的设备，持续提高配电网的自动化水平^[5]。综合考量设备和其他系统兼容性，保证各类设备之间无缝对接，并提前预留扩展空间，促进电网升级扩展。

施工前依据材料设备采购标准进行质量检验，尤其要加强导线、金具、绝缘子等关键材料质量检验，质量符合要求后方可投入施工现场。与供应商建立稳定合作关系，加强供应商资质审核

与评估，保证材料来源稳定。对于各类材料设备，依据标准化制度分类、编码与存储，保证材料设备存储安全，避免材料受损，后期便于查找。定期检修和保养设备运行状态，及时维护，消除设备潜在隐患，维护设备稳定运行。

（三）精准核算电力设施结构承载力

配网工程标准化施工中，加强电力设施结构承载力精准核算，有助于提升 10kV 配网工程施工质量，保障电力系统运行安全。工作人员要整合地质勘探资料、结构材料力学性能参数以及环境负荷数据等资料，依据力学和结构工程学原理，使用专门的计算软件综合评估^[6]。这个过程中，尤其要考虑非常规负荷下的安全系数，确保各种情况下结构始终保持稳定，避免有破坏或变形问题，提升电力设施运行稳定性。

（四）电缆敷设施工

1. 电缆敷设施工

电缆敷设施工中，应遵循标准化工艺流程进行。使用专门起重吊装电缆盘达到指定位置，由专人负责指挥现场电缆装卸。吊车装卸电缆时，电缆盘空有盘轴，将钢丝绳连接在盘轴两侧，避免直接横穿盘孔直接吊装。如果是人工运输电缆盘到制定位置，运输前仔细检查线盘牢固程度，固定两端和线盘，允许电缆盘在小范围内滚动，按照线盘剪头指示方向进行滚动。依据电缆截面、长度指标，牵引绳长度要适当的超出电缆长度 30m 到 50m 左右，为了保证牵引绳连接牢固，可以使用防捻器。设置电缆滑轮，间距 2.5m、3m 的位置上设置直线滑轮，使得滑轮保持直线布置，避免电缆装卸过程中接触地面产生磨损。对于管口、转弯位以及交叉区域等关键位置，需要设置专人负责监管^[7]。

具体敷设电缆时，避免损坏电缆井、隧道等位置的防水层，接头位置留出一定备用长度。对于并联电力电缆，没有过于复杂的要求，机械敷设电缆过程中控制速度在 15m/min 左右，并监测电缆敷设的拉力和侧压力大小变化。电缆切断后，为了避免受潮出现短路，应做好端头防潮密封；电缆沟中需要多条电缆并列敷设，则要错开中间接头位置，距离不小于 0.5m，垂直敷设的电缆在支架间隔 2m 的区域；对于电缆敷设间距要求较高情况下，则控制间距在 5m ~ 10m 左右，并做好电缆固定处理，如图 1。

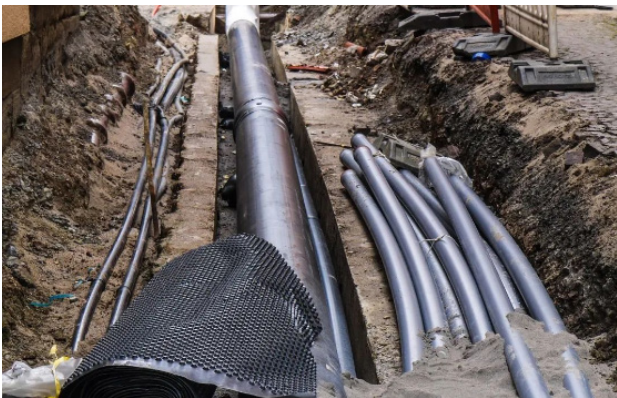


图 1 电缆沟敷设

2. 电缆接头制作施工

（1）电缆剥切。在基本点得到明确后，根据相关尺寸规格将电缆外护层以及铠装层剥切；内衬层以及填料被剥切，到铠装

层5m左右位置。接地线安装环节，将接地铜线缠绕在三相屏蔽层上，牢固绑扎下，将其在各相铜带屏蔽上锡焊固定^[8]。如果是铠装电缆，则使用镀锡铜线焊接接地线到钢铠上，然后引入地下。对于一些非铠装的电缆，只需要将接地线引入地下后即可。

(2) 填充胶。三相接地点上，采用绕包PVC带的方式，全方位包裹住衬垫层，第一层防水胶带绕包后，才可以进行第二层防水胶带绕包，两层中间则是接地线，能够有效避免土壤中水分侵蚀线路。

(3) 使用三叉手套。充分清洁干净三芯支套外表面后，将其置入到三相电缆分叉区域，将逆时针抽插下册内部塑料螺旋跳，然后将三个指管中塑料螺旋条纷纷抽出，并收缩压紧交叉区域，将电缆牢牢固定在支架上。分别测量三相与设备接线孔间距，大概在50mm区域，将多余的线芯切断。在此基础上，在三相电缆芯上分别套入绝缘套管，覆盖指管15mm左右，然后逆时针抽调套管内部饲料螺旋跳，在三相电缆芯上收缩压紧^[9]。

(4) 电缆外层剥切。根据标准要求，将电缆外部的铜屏蔽、半导体以及绝缘层剥切，在剥切过程中避免绝缘层受损。使用细纱布充分打磨半导体层表面，从高压朝着接地方向打磨，避免循环往复进行，否则可能会出现导电粉末进入到高电位。主绝缘和半导体层之间的缝隙，使用半导体带填充，使得二者之间的过渡平滑、顺利。

(5) 接线端子压接处理。在核对电缆导体和端子尺寸规格后，使用与截面尺寸相匹配的接线端子，并且将内壁的污垢、氧化层去除干净，保持搭接位置平整顺利压接。根据标准要求，电缆的导体压接面宽度是压接管壁厚2.75到5.5倍左右。

(6) 绝缘件安装。线芯绝缘要清理干净，在半导体带和周围绝缘表层上涂抹一层硅脂，从高压位置单向涂抹到接地方向，并根据说明书将冷收缩绝缘件套入到适宜位置。最后在接线端子和绝缘位置使用绝缘橡胶带包绕，外层则使用绝缘胶带绕包一层。绕包后进行电缆耐压试验，检查合格后即可将电缆和设备连接，并保证接地安全、可靠。

(五) 配电房和台架标准化施工

配电房标准化施工，应进行标准化设计，分层设计竣工三视图，做好各个环节设计，对于一些关键位置则要提供数据和图表解释。遵循精细化原则对材料加工，依据设计图纸来提供材料加工图^[10]。土建作为配网工程的基础环节，施工前要充分实地勘察，了解当地地形地貌和周围基础设施建设等情况，标准化土建施工，满足配电室内部构造和设备投放需求。根据高效、安全原则配置接地设备、照明等设备。施工中需要涉及到很多材料和设备，所使用的设别和工具等均要满足配电房技术标准。在台架标准化施工中，主要围绕高低压模块、变压器、接地模块和安健环几个部分施工，明确材料规格，尤其是要明确关键位置组装，为台架标准化施工奠定基础。

三、结论

综上所述，配网工程建设质量关系到电网运行质量和安全，面对新时期电网发展要求，大力推行工程标准化施工，各步骤按部就班作业，有助于建造高质量的配网工程，为社会生产生活提供优质电力服务，助力电力事业稳定发展。

参考文献

- [1] 庄良文, 潘本仁, 张妍, 等. 配电网工程现场管控掌上终端系统总体构架设计 [J]. 电测与仪表, 2022, 59(2): 189-195.
- [2] 胡睿昕. 城市配电网工程建设实施全过程安全管理研究 [J]. 工程建设与设计, 2024(17): 257-259.
- [3] 吴建军, 刘京. 10 kV 电力配网工程标准化施工技术研究 [J]. 自动化应用, 2017(12): 138-139.
- [4] 王家俊. 配网工程标准化施工及管理的实践探究 [J]. 电脑校园, 2020(12): 4541-4542.
- [5] 杨嘉兴. 新时期 10 kV 配网电力工程的标准化施工研究 [J]. 电工技术, 2024(z1): 200-202.
- [6] 李德远. 输配电及用电工程的标准化现状与发展分析 [J]. 文渊 (高中版), 2023(9): 217-219.
- [7] 汪德洋, 万海朝. 高压输电线路工程现代化施工技术研究 [J]. 模型世界, 2023(32): 146-148.
- [8] 梁家耀, 邓凯. 新时期 10 kV 配网电力工程的标准化施工分析 [J]. 电工技术, 2024(z1): 149-151.
- [9] 杜挺, 申涛. 配网建设工程的技术质量与施工过程管理思考 [J]. 电力设备管理, 2022(10): 162-164.
- [10] 张勇. 配网工程施工转型升级主要做法和面临的挑战及对策研究 [J]. 农电管理, 2024(5): 41-42.

新能源场区接地新技术、新材料展望与分析

高鹏

云南龙源新能源有限公司, 云南 昆明 650228

摘 要： 新能源场区接地新技术与新材料应用的过程中，其关注点主要集中在风电、光伏等可再生能源方面，对发电厂进行设计，所构建的电流泄放与电位均衡系统。新能源场区接地技术与材料的核心是开展材料革新，并进行拓扑优化，从而达到更高可靠性、更低阻抗的接地防护效果。在新能源场区接地新材料应用中，包括但不限于石墨烯涂层材料、碳化硅基复合材料等。其中，可同时聚焦耐腐蚀性的提升与导电率的提升，以此来实现传统模式下金属接地体性能瓶颈的突破。同时，在新能源场区接地新技术应用的过程中，也能够同步整合光储充协同控制技术、动态阻抗调节技术，构建智能化手段，以此来建立起具有更好环境适应性的接地网络。对此，文章主要分析新能源场区接地新技术与新材料展望与分析需要解决的问题，并阐述问题成因。在此基础上，同步聚焦多个方面，提出可行性策略，助力新能源场区接地新技术与新材料展望与分析实现理想目标。

关 键 词： 新能源场区；接地新技术；新材料；展望与分析

Prospects and Analysis of New Grounding Technologies and Materials in New Energy Fields

Gao Peng

Yunnan Longyuan Renewable Energy Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650228

Abstract： In the application process of new grounding technologies and materials in new energy fields, the focus is primarily on renewable energy sources such as wind power and photovoltaics. The design of power plants involves the construction of current discharge and potential equalization systems. The core of grounding technology and materials in new energy fields lies in material innovation and topological optimization, aiming to achieve higher reliability and lower impedance for grounding protection. The application of new grounding materials in new energy fields includes, but is not limited to, graphene coating materials and silicon carbide-based composites. These materials can simultaneously focus on improving corrosion resistance and conductivity, thereby breaking through the performance bottlenecks of traditional metal grounding bodies. Meanwhile, in the application process of new grounding technologies in new energy fields, it is possible to integrate collaborative control technologies for optical storage and charging, as well as dynamic impedance adjustment technologies, to establish intelligent means and create a grounding network with better environmental adaptability. This article mainly analyzes the problems that need to be solved in the prospects and analysis of new grounding technologies and materials in new energy fields, and explains the causes of these problems. Based on this, the article focuses on multiple aspects simultaneously and proposes feasible strategies to help achieve the desired goals in the prospects and analysis of new grounding technologies and materials in new energy fields.

Keywords： new energy fields; new grounding technologies; new materials; prospects and analysis

引言

在现代发展背景下，做好新能源场区接地新技术与新材料的展望与分析是十分重要，能够提升雷击防护的效能。具体而言，新能源场区的建设多处于开阔地带，这表示新能源场区中的雷击风险要远远高于传统电网。对此，通过对新能源场区接地新材料进行应用，则能够通过释放导电离子的方式实现土壤电阻率的降低，从而雷电流的快速泄放，也能够减少设备的损毁概率。同时，通过动态调节技术的应用同样能够实现雷暴天气自动增强接地能力的整体提升，针对地电位抬升所引导二次事故问题的抑制。另外，新能源场区接地新技术与新材料的展望与分析同样能够为高比例新能源并网提供必要的支持与保障。其中，能够针对智能接地系统与储能装置之间达到协同运行的效果，能够对闲置接地电容存储无功功率进行利用，从而实现电网应用中对风光波动性电源消纳能力的提升。因此，当前还需要切实做好新能源场区接地新技术与新材料的展望与分析。

一、新能源场区接地新技术与新材料展望与分析需要解决的问题

其一，碳化硅基接地材料应用拓展问题。在新能源场区接地新技术与新材料展望分析中，需要针对高压环境下碳化硅材料的热稳定性与导线效率进行优化与提升。但从当前实际情况来看，仍存在晶格缺陷问题，从而连带出了载流子迁移率的负面影响。同时，在组织开展材料制备工作的过程中，其本身的工艺也比较复杂，这导致其中成本支出比较高，限制了新能源场区接地中的规模化应用。同时，从界面接触电阻来看，也会受到土壤成分的影响，未能够做好普适性表面处理方案的建设。其二，动态自适应接地网络构建问题。在当前新能源场区接地新技术与新材料展望分析中，未能够保障多参数传感系统的环境适应性，这导致在极端天气下多容易出现监测数据失真的问题。同时，对拓扑重构算法进行应用，其本身的实效性也比较差，难以满足雷击瞬态响应的要求。另外，从电子调节装置来看，其本身与现有的继保系统之间也存在着彼此兼容性的冲突问题。其三，复合纳米涂层防腐技术升级问题。从多层涂层界面的角度来看，其本身的强度会受到温度因素的影响，出现明显的循环衰减问题。在对自修复微胶囊进行应用的过程中，在实际触发方面则会表现出长效性与灵敏度不平衡的问题。另外，从涂层导电性能来看，性能的优化也存在着与防腐需求之间的固有矛盾。其四，光储充协同智能接地系统问题。在新能源场区接地新技术与新材料展望分析中，接地-储能耦合电路中也存在着环流干扰风险。其中，从建立起的雷电先导模型来看，其本身伴随着较好的虚警率问题，并在区块链架构中同样也造成了边缘节点算力负担的加剧^[1]。

二、新能源场区接地新技术与新材料展望与分析的问题成因分析

其一，碳化硅基接地材料应用拓展问题成因分析。从造成这一问题的原因来看，主要是在当前宽禁带半导体材料应用中，其中的掺杂工艺应用未能够做好有效的突破，未能够做好精确的调控。同时，在对气相沉淀设备进行应用时，其本身更多依赖于进口，从而加剧了生产成本的升高。在对土壤电解液进行应用中，其本身的成本构成也会受到较大地域差异的影响，并且从当前材料体系来看，同样存在着自身适应特性不足的问题。其二，动态自适应接地网络构建问题成因分析。从造成这一问题的原因来看，主要是在对土壤参数传感技术进行应用的过程中，其本身更多会受到多物理场耦合测量精度的影响。其中，在对传统继电保护规程进行应用的过程中，未能够做好智能接地系统动态特性的分析与考量。同时，从无线传输协议来看，其本身在受到强电磁干扰环境的影响后，也很容易表现出可靠性不足的问题。其三，复合纳米涂层防腐技术升级问题成因分析。从造成这一问题的原因来看，主要是在分子接枝技术应用中，往往会表现出对表面洁净度较高的要求。同时，同样未能够针对腐蚀速率与缓蚀剂释放动力学之间的匹配机制进行深入研究，以及在对涂层性能进行评

价时，未能够做好明确的标准建设，以及缺乏多场耦合加速试验规范支持。其四，光储充协同智能接地系统问题成因分析。从造成这一问题的原因来看，主要是在接地网与功率变换器之间未能够做好阻抗匹配设计理论的健全与完善。同时，从雷击概率与大气电场监测数据来看，二者的映射关系建模同样存在粗糙的问题^[2]。

三、新能源场区接地新技术与新材料展望与分析的策略

（一）碳化硅基接地材料应用拓展策略

其一，做好材料性能优化与结构设计。在新能源场区接地新技术与新材料展望分析中，碳化硅是主要的宽禁带半导体材料，通过对碳化硅所拥有的高热导率特性以及高击穿电场强度特性进行应用，更有利于实现接地装置中散热能力的提升与导电效率的提升。其中，可针对SiC晶格掺杂浓度进行调控，做好载流子迁移率的优化，实现接地电阻率的整体降低。同时，针对多孔SiC陶瓷结构进行设计，以此来实现有效表面积的增加，以及实现土壤接触导电性的增强，在高电阻率地区中能够更好的满足其中的接地需求。其二，做好耐腐蚀与抗氧化强化。在新能源场区接地新技术与新材料展望分析中，SiC材料的应用具有更优异的化学惰性，但是处于强酸、强碱与盐雾环境中时，则是需要针对材料的表面做好改性处理。其中，主要对气相沉积法进行应用，从而在SiC表面实现碳化硅纳米线阵列的生长，构建起微观粗糙结构，以此来实现与防腐涂层结合力的提升。同时，可针对高温养护工艺进行应用，实现致密SiO₂纯化层的生成，实现对电解液渗透路径的有效阻断，以及同时达到双重防护的效果。其三，做好复合材料体系的开发。在SiC材料应用中，可通过粉末冶金工艺针对SiC颗粒与铜基、路基材料复合，对梯度功能材料进行制备。其中，针对表层可通过高SiC含量确保其良好的耐腐蚀性，在内层则对金属相比例进行增加，从而实现导电性的提升。同时，对加热等静压技术进行合理应用，针对界面孔隙进行有效消除。在此基础上，更有利于保障材料在温差压力导向下仍能够保障自身结构的稳定性。此外，做好全生命周期评估体系的构建，在失效物理模型的导向下对寿命预测方法进行构建，综合分析考量多种耦合作用，包括但不限于电化学腐蚀作用、机械应力作用、热循环作用等^[3]。

（二）动态自适应接地网络构建策略

其一，做好多参数智能感知系统建设。在新能源场区接地新技术与新材料展望分析中，采取动态自适应接地网络构建策略，可针对分布式土壤传感器网络进行部署，以此来把握好其中多个方面的关键性参数，包括但不限于含水率参数、电阻率参数、温度参数等，做好对多项关键性参数的实时动态化监测。其中，可对边缘计算技术进行应用，开展数据信息的就地处理。而后，通过LoRa无线组网的应用到中央控制器完成上传，有效消除传统测量方法所连带出的时间滞后性问题，也能够为开展接地模式的切换提供精准的环境画像支持。其二，做好拓扑重构控制策略的建

设。具体把握好模糊逻辑算法，以此来针对决策模型进行构架。其中，具体分析把握雷暴预警等级，做好与土壤状态的结合，针对接地拓扑进行动态化调整。其中，在晴天状态下可对多点分散式接地模式进行应用，实现跨步电压的降低。在雷雨季节中则需要做好自动切换，采取网状互联结构，以此来建立低阻抗的泄流通道。其中，可通过电力载波技术在完成对控制指令的传输，并达到更理想的响应速度。另外，一并做好数字孪生运维平台的建设，对接地系统的三维电磁场仿真模型进行构建，对监测数据进行实时接入，有效驱动虚拟系统的同步运行^[4]。

（三）复合纳米涂层防腐技术升级策略

其一，做好自修复微胶囊技术的应用。在新能源场区接地新技术与新材料展望分析中，针对涂层中进行 pH 响应型微胶囊的嵌入。其中，重点关注腐蚀反应所连带出的局部 pH 数值变化，便能够通过胶囊破裂的方式实现缓蚀剂的释放，以及成膜剂的释放，实现对划伤区域的自动修复。同时，对微胶囊进行应用，也需要采取层层自组装工艺植被方式，确保壁厚可精准调控释放速率。其二，做好多场耦合加速测试方法的应用。在复合纳米涂层防腐技术升级中，针对多场耦合老化试验平台进行建设，同时整合电、热、机械、化学等多个方面，实现对接地极实际工况的模拟。同时，一并做好扫描开尔文探针与电化学阻抗谱的联用。其中，量化涂层能够在不同应力的导向下，针对失效进程为开展配方的优化提供必要的信息数据支撑。其三，做好涂层状态的在线监测。在复合纳米涂层防腐技术升级中，可在涂层内部进行光纤布拉格光栅传感器的集成处理。其中，可通过波长偏移的方式针对应变变化与温度变化进行监测。同时，一并做好电化学噪声技术的合理应用，针对局部腐蚀起蚀信号进行捕捉。其中，重点关注出现的特征频率异常情况，能够及时触发预警，以此来开展针对性检修^[5]。

（四）光储充协同智能接地系统策略

其一，做好分布式接地能量管理。在光储充协同智能接地系统中做好光伏阵列区域多个接地—储能一体化节点的部署。其中，主要整合共识算法实现对功率的自治分配。同时，具体把握

好其中各个节点情况，具体分析把握负荷需求与本地光照强度，针对接地电阻值进行动态化调整，一方面确保故障电流能够得到有效的分流，另一方面也能够对光伏系统的电能质量进行显著提升。其二，做好雷电先导预判系统的建设。具体分析把握好大气电场的强度，以及对雷达回波数据进行把握，通过 LSTM 神经网络的方式完成雷击概率与落点的预测。其中，需要对周边接地节点的增强模式进行提前激活，以此来防止出现增大泄流面积的问题。在系统应用中，可对脉冲电流检测模块进行集成，以此来开展雷电流与操作过电压的区分，防止出现误动作。其三，做好宽频阻抗调控技术的合理应用。在光储充协同智能接地系统中，可针对可变电容与铁氧体磁珠的复合阻抗网络进行开发。在此基础上，切实把握好其中不同频率的雷电流的成分，做好差异化泄放路径的提供。同时，一并开展矢量阻抗分析仪的定期校准处理，以此来保障其中的频响特性能够与 IEEE 标准要求相互契合。另外，针对数字证书安全架构进行构建，通过对区块链技术进行合理应用，实现新能源场区接地系统运维记录的存储，并针对其中的各个节点操作，均需要做好数字签名验证^[6]。

四、结束语

综上所述，在现代社会经济发展背景下，做好新能源场区接地新技术与新材料的展望与分析是十分重要的，有着极为关键的意义，包括但不限于提升雷击防护效能、延长系统服役寿命、支持高比例新能源并网、推动行业标准升级。在新能源场区接地新技术与新材料展望与分析的过程中，需要同时把握好材料端、结构端与算法端。但同时，在开展新能源场区接地新技术与新材料展望与分析的过程中也伴随着较大的系统性和复杂性，还需要做好其中问题与问题成因分析，以此来针对性制定可行性策略。对此，文章主要从碳化硅基接地材料应用拓展策略、动态自适应接地网络构建策略等方面切入，助力新能源场区接地新技术与新材料展望与分析可取得理想效果，并为后续工作开展提供参考和借鉴。

参考文献

- [1] 靳子仪. 基于新能源技术的建筑材料更新对历下文化广场景观设施的设计研究 [J]. 浙江工艺美术, 2024, (04): 130-132.
- [2] 孙建. 新能源材料与器件的开发及应用发展研究——评《新能源材料与器件》[J]. 有色金属 (冶炼部分), 2021, (12): 138.
- [3] 李艳坤, 孙水生. 新能源材料开发与化学工程分析研究——评《新能源技术与应用概论》[J]. 化学工程, 2021, 49 (08): 2.
- [4] 刘安仓, 陈川, 陈建忠, 等. 催化反应技术在滨海电厂的 CO₂ 资源化利用和海洋防污领域的应用 [J]. 化工进展, 2021, 40 (09): 5145-5155.
- [5] 陈杰, 孙本双, 徐建伟. 科技快速发展下新能源材料课程教学改革探索 [J]. 广东化工, 2020, 47 (22): 184-185.
- [6] 王利霞, 张林森, 方华, 等. 浅谈新能源材料与器件专业思政进课堂的改革 [J]. 河南化工, 2020, 37 (10): 65-66.

电力系统安全风险评估与管理策略研究

文博

身份证号码：1310021993****4213

摘 要： 随着现代社会对电力供应的依赖程度不断加深，电力系统的安全稳定运行成为保障社会经济发展和人民生活质量的关键因素。本文深入研究电力系统安全风险评估与管理策略，通过分析风险评估的理论基础，探讨电力系统风险识别、量化方法，提出预防性、应急性和持续性管理策略，旨在为提升电力系统安全水平提供理论支持与实践指导，同时对未来电力系统安全风险评估与管理的发展方向进行展望，以适应电力行业不断变革的需求。

关 键 词： 电力系统；安全风险评估；管理策略

Study on Security Risk Assessment and Management Strategy of Power System

Wen Bo

ID : 1310021993****4213

Abstract : As modern society's reliance on power supply continues to deepen, the safe and stable operation of power systems has become a critical factor in ensuring socioeconomic development and improving people's quality of life. This paper delves into the assessment and management strategies for power system safety risks. By analyzing the theoretical foundations of risk assessment, it explores methods for identifying and quantifying power system risks, and proposes preventive, emergency, and continuous management strategies. The aim is to provide theoretical support and practical guidance for enhancing the safety level of power systems, while also looking ahead to the future direction of power system safety risk assessment and management to meet the evolving needs of the power industry.

Keywords : power system; safety risk assessment; management strategy

引言

电力系统作为一个庞大而复杂的网络，涵盖发电、输电、变电、配电和用电等多个环节，其运行状态受到众多因素的影响，如设备老化、自然灾害、人为操作失误、网络攻击等^[1]。

一、电力系统安全风险评估

（一）风险评估的理论基础

电力系统安全风险评估以概率论、运筹学、可靠性理论等为基础，旨在对电力系统运行过程中可能面临的风险进行全面、系统的分析和评价。概率论用于描述风险事件发生的可能性，通过对历史数据的统计分析，计算各类风险事件发生的概率。运筹学则侧重于优化风险评估过程中的资源配置和决策制定，以实现风险评估的高效性和准确性。可靠性理论主要研究电力系统各组成部分的可靠性指标，如设备的故障率、修复时间等，通过建立系统可靠性模型，评估系统整体的可靠性水平。

（二）电力系统风险识别

电力系统风险识别是安全风险评估的首要环节，旨在找出可能影响电力系统安全运行的各类潜在风险因素^[2-4]。从设备层面来

看，发电设备故障、输电线路老化、变压器损坏等都可能导导致电力供应中断；在外部环境方面，雷击、暴雨、地震等自然灾害，以及电磁干扰、网络攻击等人为因素，都会对电力系统的安全构成威胁。

为了全面、准确地识别风险，通常采用专家经验法、故障模式与影响分析（FMEA）、风险矩阵法等多种方法相结合的方式。专家经验法依靠领域专家的专业知识和实践经验，对潜在风险进行判断和识别；FMEA 则通过对系统各组成部分的故障模式进行分析，评估其对系统整体的影响；风险矩阵法根据风险发生的可能性和后果严重程度，对风险进行分类和排序，以便于重点关注高风险因素。通过这些方法的综合运用，能够有效提高风险识别的全面性和准确性。表 1 展示了常见电力系统风险识别结果分类。

风险类别	具体风险因素
设备风险	发电设备故障、输电线路老化、变压器损坏、开关设备故障
环境风险	雷击、暴雨、地震、大风、高温、冰冻
人为风险	操作失误、管理漏洞、网络攻击、非法用电

（三）电力系统风险量化

在完成风险识别后，需要对识别出的风险进行量化，以确定风险的严重程度，为后续的风险管理决策提供依据。风险量化主要涉及风险发生概率的计算和风险后果的评估。

对于风险发生概率，可以利用历史数据统计、故障树分析（FTA）等方法进行估算。历史数据统计通过对过去一段时间内同类风险事件发生的频率进行分析，预测未来风险发生的可能性；故障树分析则从系统故障结果出发，逐层分析导致故障的各种原因，构建故障树模型，通过计算基本事件的发生概率，推导出系统故障的概率^[5-6]。

在风险后果评估方面，主要考虑停电范围、经济损失、社会影响等因素。例如，通过建立经济损失评估模型，计算因电力中断导致的工业生产停滞、商业活动受损等直接和间接经济损失；通过评估对居民生活、公共服务等方面的影响，衡量风险事件的社会后果。将风险发生概率和风险后果相结合，通常采用风险值计算公式（风险值 = 风险发生概率 × 风险后果）来量化风险程度，从而为风险等级划分和管理决策提供直观的数值依据。表 2 为电力系统风险量化等级划分标准。

风险等级	风险值范围	风险描述	应对措施
高风险	≥ 7	发生可能性高且后果严重	立即采取措施降低风险
中风险	4 - 6	有一定发生可能性，后果较严重	制定计划逐步处理
低风险	1 - 3	发生可能性低，后果轻微	持续监测

图 1 展示了电力系统安全风险评估与管理的整体流程，从风险识别、量化到制定相应管理策略，形成完整闭环，为风险管理提供清晰的逻辑框架。

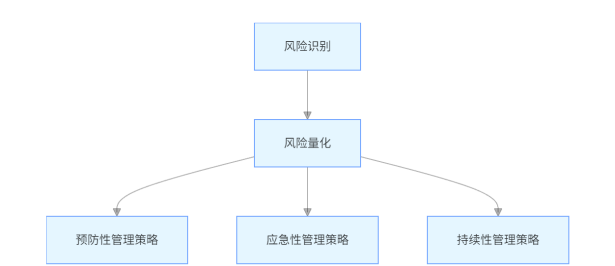


图 1 电力系统安全风险评估与管理流程图

二、电力系统安全管理策略

（一）预防性管理策略

预防性管理策略旨在通过采取一系列措施，提前消除或降低电力系统潜在风险，预防风险事件的发生。在设备管理方面，加强设备的日常维护和检修，建立设备状态监测系统，实时掌握设

备运行状况，及时发现设备隐患并进行处理，延长设备使用寿命，提高设备可靠性^[7-8]。例如，利用在线监测技术对变压器的油温、油色谱、局部放电等参数进行实时监测，一旦发现异常，及时安排检修。在人员管理方面，加强员工培训，提高员工的专业技能和安全意识，规范操作流程，减少人为操作失误。定期组织安全知识培训和技能考核，确保员工熟悉电力系统操作规程和安

（二）应急性管理策略

尽管采取了预防性管理措施，但仍无法完全避免风险事件的发生。因此，制定科学合理的应急性管理策略至关重要。应急性管理策略主要包括应急预案的制定与演练、应急资源的储备与调配、应急响应机制的建立等方面。应急预案应针对不同类型的风险事件，明确应急处置流程、责任分工和资源需求，确保在事故发生时能够迅速、有序地开展救援工作。定期对应急预案进行演练，检验预案的可行性和有效性，及时发现问题并进行修订完善。应急资源的储备与调配是保障应急救援工作顺利开展的关键，应储备充足的应急物资，如发电设备、抢修工具、通讯设备等，并建立应急物资管理系统，确保物资能够及时调配到事故现场。

（三）持续性管理策略

持续性管理策略强调对电力系统安全风险进行长期、动态的管理，通过不断总结经验教训，改进管理方法和技术手段，持续提升电力系统的安全水平。建立健全安全风险管理体系，将风险评估和管理的工作纳入日常管理流程，实现全过程、全方位的风险管理。定期对电力系统的安全风险状况进行评估和总结，分析风险管理过程中存在的问题和不足，及时调整管理策略和措施^[9-10]。加强新技术、新设备的研发和应用，利用大数据、人工智能、物联网等先进技术，提高风险监测、评估和管理的智能化水平。例如，利用大数据分析技术对电力系统运行数据进行深度挖掘，预测潜在风险；通过人工智能算法优化风险评估模型，提高评估准确性。

三、电力系统安全风险评估与管理的展望

随着电力行业的不断发展和技术进步，电力系统安全风险评估与管理面临着新的机遇和挑战。未来，电力系统将更加智能化、信息化，分布式电源、微电网、电动汽车等新型电力设施的大量接入，使得电力系统结构和运行方式更加复杂，风险因素也更加多样化。因此，需要进一步完善风险评估理论和方法，开发适应新型电力系统特点的风险评估模型，提高风险评估的准确性和时效性。在管理策略方面，应加强智能化管理手段的应用，实现对电力系统风险的实时监测、智能预警和自动处置。同时，随着全球能源互联网的发展，电力系统安全风险评估与管理需要加强国际合作，共同应对跨国、跨区域的电力安全风险问题。此

外，还应注重培养专业的风险管理人才，提高整个行业的风险管理水平，为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

四、结语

电力系统安全风险评估与管理是保障电力稳定供应的关键。

本文系统探讨评估方法与管理策略，展望未来发展方向。在实际应用中，需因地制宜综合施策，持续完善风险管理体系，从而提升电力系统安全水平，推动电力行业稳健前行。

参考文献

[1]王肖晷,冯晰,周立维,等.基于电力系统安全风险管理框架的系统安全评估模型[J].网络安全和信息化,2024,(05):54-56.

[2]鲁文格.电力系统亚区间安全风险评估及其预防策略研究[D].湖南大学,2021.

[3]陈其,陈铁,姚林,等.电力系统信息安全风险评估策略研究[J].计算机安全,2007,(06):40-42.

[4]刘正博.电力系统配网自动化通信网络安全管理分析[J].中国科技投资.2020,(33).

[5]曾奕辉.电力系统配网自动化通信网络安全管理[J].中国新技术新产品.2020,(16).

[6]张楠,杨友良.配网自动化在电力系统中的应用[J].南方农机.2019,(8).DOI:10.3969/j.issn.1672-3872.2019.08.167.

[7]薛磊.电力系统配网自动化通信网络安全管理[J].山东工业技术.2019,(8).DOI:10.16640/j.cnki.37-1222/t.2019.08.162.

[8]陈灼光.电力系统配网自动化通信的网络安全管理问题探讨[J].通信电源技术.2019,(10).DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2019.10.103.

[9]刘啸,蒋斌.电力系统配网自动化通信的网络安全管理问题探讨[J].信息与电脑.2022,34(8).DOI:10.3969/j.issn.1003-9767.2022.08.063.

[10]叶剑.关于电力系统配网自动化通信的网络安全管理问题探究[J].科学技术创新.2019,(36).99-100.

新时期水利技术标准体系的构建分析

董林卫, 郭庆

长江上游水文水资源勘测局, 重庆 400000

摘 要 : 水利技术标准是水利工程的技术支撑和保障。加快水利技术标准提档升级, 对推进水利高质量发展以及提高中国水利技术标准国际地位和影响力具有积极意义。笔者作为一名相关研究人员, 对水利技术标准体系的发展历程、制定意义、存在问题及解决方式进行了较为详尽的分析, 希望可以为未来的研究人员带来更多帮助。

关 键 词 : 水利技术标准; 标准体系; 高质量发展

Analysis of the Construction of Water Conservancy Technology Standard System in the New Era

Dong Linwei, Guo Qing

Hydrological and Water Resources Survey Bureau of the Upper Yangtze River, Chongqing 400000

Abstract : Water conservancy technical standards are the technical support and guarantee for water conservancy engineering. Accelerating the upgrading of water conservancy technology standards is of positive significance for promoting high-quality development of water conservancy and enhancing the international status and influence of China's water conservancy technology standards. As a relevant researcher, the author has conducted a detailed analysis of the development process, significance, existing problems, and solutions of the water conservancy technology standard system, hoping to bring more help to future researchers.

Keywords : water conservancy technology standards; standard system; high quality development

引言

水利技术标准体系的发展历程是中国水利事业从传统经验积累向现代化、科学化、国际化迈进的重要缩影, 其演变过程深刻反映了国家治理能力提升、科技进步与社会需求的动态互动。自古代水利工程的经验传承, 到现代标准化体系的系统构建, 水利技术标准经历了从零散到系统、从单一到多元、从封闭到开放的跨越式发展, 逐步成为保障水安全、支撑生态文明建设、推动高质量发展的核心工具^[1]。

一、水利技术标准体系的发展历程

(一) 建国后水利技术标准体系构建

1949年后, 新中国面临大规模水利建设的迫切需求, 技术标准体系建设进入奠基阶段。国家通过整合苏联技术援助与本土实践经验, 颁布了《水利水电工程设计规范》《土石坝施工技术规范》等首批行业标准, 初步建立了涵盖工程设计、施工、管理的标准化框架。这一时期的标准以“指令性”为特征, 强调统一性和安全性, 为三门峡、葛洲坝等大型工程提供了技术保障, 但受计划经济体制影响, 标准体系层级单一、更新缓慢, 且侧重于工程硬件, 对生态保护、资源管理等软性指标关注不足^[2]。1978年改革开放后, 水利建设向市场化转型, 原有标准难以满足多元化投资与技术迭代需求, 1988年《中华人民共和国标准化法》的颁

布标志着标准化工作进入法制化轨道, 水利部成立专门机构统筹标准制定, 逐步构建了涵盖国家标准、行业标准、地方标准的三级体系^[3]。

(二) 新世纪水利技术标准体系构建

进入21世纪, 全球气候变化、水资源短缺与生态文明建设对水利技术标准提出更高要求。2002年《水法》修订首次将水资源可持续利用纳入法律框架, 推动标准体系向“质量与效益并重”转型。水利部发布《水利技术标准体系表》, 系统划分了防洪、水资源、水土保持等8大类标准, 并引入ISO国际标准转化机制, 推动《混凝土重力坝设计规范》等核心标准与国际接轨^[4]。2012年后, 随着“智慧水利”“河长制”等战略实施, 标准体系加速向数字化、绿色化延伸, 先后出台《水资源监控设备技术标准》《河湖生态修复技术导则》等创新性文件, 填补了智能监测、生态流

量管控等领域空白。与此同时，中国积极参与全球水治理，主导制定《小水电国际标准》等文件，推动“一带一路”沿线国家采用中国标准，实现了从“跟跑”到“并跑”的突破^[5]。

二、新时期水利技术标准体系构建

当前，水利技术标准体系正经历以高质量发展为导向的深度变革。面对气候变化引发的极端灾害风险，新修订的《防洪标准》《抗旱应急预案编制规程》强化了韧性设计理念；为响应“双碳”目标，《节水型社会评价标准》《水电工程碳排放核算规范》将绿色低碳技术嵌入全生命周期管理；数字化转型则催生了《数字孪生流域建设技术指南》《水利大数据共享安全标准》等前瞻性规范，推动 BIM、物联网技术与传统水利深度融合^[6]。2021年《国家标准化发展纲要》明确提出构建“全域覆盖、层级分明”的新型标准体系，水利部启动动态修订机制，设立“标准云平台”实现全流程在线管理，并通过“政产学研用”协同创新，鼓励企业、科研院所参与标准制定，形成了开放包容的生态化标准治理模式。

（一）水利技术标准体系制定的意义

1. 保障水安全与灾害防御能力：水利技术标准体系通过科学界定工程设计参数、施工工艺与运维规范，为防洪抗旱、供水保障等关键领域构筑了技术防线。在防洪减灾方面，标准明确堤防抗渗等级、水库调洪库容计算方法和应急监测技术要求，确保工程设施在极端天气下的稳定运行，例如《防洪标准》中针对不同流域特征设定的设防标准，显著提升了长江、黄河等大江大河的防洪能力。在供水安全领域，水质监测标准、管网漏损控制技术规范等文件，从水源地保护到终端用户水质达标形成全流程管控，2021年修订的《生活饮用水卫生标准》新增多项污染物限值指标，直接推动全国城市供水合格率提升至97%以上。特别是在气候变化导致旱涝灾害频发的背景下，《抗旱应急预案编制规程》《山洪灾害预警技术导则》等标准通过量化风险阈值、规范响应流程，有效降低了灾害损失，2022年长江流域特大干旱期间，基于标准的精细化调度方案保障了6000万亩农田灌溉和2000万人口饮水安全^[7]。

2. 促进水资源节约集约利用：标准体系通过设定用水效率红线、推广节水技术，成为破解水资源短缺矛盾的关键抓手。《节水型社会评价标准》将万元 GDP 用水量、灌溉水利用系数等指标纳入考核体系，倒逼地方政府和企业优化用水结构，京津冀地区通过执行严于国家标准的工业用水定额，近十年用水总量下降12%而经济总量增长68%。在非常规水资源开发领域，《再生水利用工程技术规范》《海水淡化能耗限额》等标准推动废水回用率从2010年的不足10%提升至2022年的25%，年替代淡水量超过100亿立方米。农业节水方面，《高标准农田建设标准》明确高效节水灌溉覆盖率指标，配套滴灌设备技术规范使每亩农田年均节水达30%-50%，新疆棉花产区通过标准化改造实现节水40亿立方米。这种以标准引领的节水革命，不仅缓解了水资源供需矛盾，更通过用水权交易等市场化机制创新，为水资源价值转化开辟了新路

径^[8]。

3. 支撑生态文明与生态修复：水利技术标准体系重构了人水关系的价值导向，将生态保护置于技术决策的核心位置。《河湖生态保护与修复技术导则》首创生态流量分区分管控标准，在长江十年禁渔政策实施中，通过量化鱼类洄游通道的水文条件要求，助力四大家鱼资源量恢复至禁渔前的1.5倍。水土保持领域，《生产建设项目水土流失防治标准》强制规定扰动土地整治率、植被恢复率等指标，使黄土高原重点治理区入黄泥沙量减少逾5亿吨^[9]。湿地修复方面，《滨海湿地生态修复技术规范》细化盐沼植被盖度、底栖生物多样性等监测标准，支撑渤海湾、杭州湾等区域湿地生态功能显著恢复。这些标准将生态价值量化嵌入工程全生命周期，推动水利工程从单一防洪灌溉功能向“水利+生态”复合功能转型，仅南水北调中线工程通过生态补水标准实施，已累计向北方河流补水超90亿立方米，复苏河湖生态成效显著。

4. 驱动水利科技创新与产业升级：标准体系既是技术成果的固化载体，也是创新方向的战略指引。在智慧水利领域，《数字孪生流域建设技术指南》统一数据采集、模型构建和平台接口标准，推动北斗导航、物联网、人工智能等技术集成应用，珠江水利委员会基于标准建设的智慧西江系统，实现洪水预报预见期从24小时延长至72小时，预报精度提升至95%。新材料应用方面，《生态护岸工程技术规范》将植生混凝土、生态袋等新型材料性能指标标准化，带动相关产业年产值突破200亿元。标准与专利的联动机制更催生技术创新，如《大坝安全监测仪器技术标准》推动国产传感器测量精度达到0.01毫米级，打破国外技术垄断。这种“标准先行—技术突破—产业壮大”的良性循环，使水利装备制造制造业高端化率从2010年的35%提升至2022年的60%，成为新质生产力的重要增长极。

三、新时期水利技术标准体系构建存在的问题及对策

（一）问题剖析

1. 标准覆盖存在结构性盲区：新兴技术领域标准供给滞后，智慧水利、数字孪生流域等领域尚未形成统一规范。数据采集标准缺失导致全国87%的水利物联网设备协议不兼容，省级智慧平台间数据共享率不足35%。气候变化适应性标准空白明显，现有防洪标准仍以1950-2000年水文序列为基础，对极端气候情景模拟不足，2022年长江流域干旱中传统调度方案失效率高达42%。绿色低碳标准体系尚未健全，仅有23%的水利工程开展全生命周期碳排放核算，生态流量管控、新型污染物监测等领域标准亟待完善^[10]。

2. 体系协同性与弹性不足：纵向标准层级衔接失调，国家标准与地方标准重复率超过30%，如海绵城市透水铺装标准存在12项冲突条款，导致项目返工率增加18%。跨行业标准协同困难，水电生态调度标准与电网调峰需求矛盾，2023年西南地区水电弃水损失超50亿千瓦时。国际标准转化机制僵化，ISO水利相关标准转化率仅为41%，且存在“简单翻译”问题，导致国际项目执行中技术摩擦频发。刚性标准占比过高（达75%），缺乏针对高

原、滨海等特殊地域的弹性条款，青藏高原水利工程维护成本因此增加40%。

3.动态更新机制严重滞后：标准平均修订周期长达7.5年，与3.2年的技术迭代周期形成尖锐矛盾。BIM技术应用条款仍停留在2014年水平，无法满足数字孪生流域建设需求。市场主体参与度不足，企业参与标准制定比例仅12%，高校科研成果转化为标准的比率不足8%，导致节水型社会评价标准未能及时纳入虚拟水交易等创新机制。标准废止机制缺失，现行有效标准中15%已超过15年未修订，部分条款与现行法律冲突。

4.实施监管与保障体系薄弱：标准宣贯效能低下，基层技术人员对新版《河湖健康评估标准》核心指标知晓率不足45%，2023年抽查显示31%的县区河湖长仍在使用已废止的评估方法。监管技术手段落后，仅28%的质量检测机构应用区块链溯源技术，传统抽检方式漏检率达22%，某跨流域调水工程因未按标准实施防渗处理导致年渗漏量达3000万立方米。奖惩机制不健全，违规成本仅为守规收益的60%，形成“劣币驱逐良币”效应。

5.国际话语权与适应性短板：中国主导制定的国际水利标准仅占ISO相关领域的8.7%，关键领域如大坝安全监测仪器标准仍被欧美垄断。海外项目标准“本土化”适配不足，非洲项目直接套用国内标准导致32%的设备因湿热环境失效。标准外交能力欠缺，未能将澜湄合作、中非水伙伴关系转化为标准互认成果，跨境河流联合监测标准覆盖率不足20%。

（二）解决方案

1.构建前瞻性标准供给体系：设立“智慧水利标准攻坚计划”，2025年前出台《数字孪生流域数据交互规范》《水利AI伦理指南》等25项关键标准，建立覆盖“感知-传输-决策-控制”的全链条标准簇。研发气候变化适应性标准工具箱，基于CMIP6气候模式数据，按RCP4.5、RCP8.5情景修订《防洪标准》，建立动态风险阈值调整机制。完善绿色标准体系，2024年完成《水利工程碳足迹核算规范》《新型污染物监测技术标准》编制，将生态服务价值纳入工程评价模型。

2.强化体系协同与弹性设计：建立“三级联动”协调机制，2024年底前完成长江经济带、黄河流域地方标准兼容性改造，清理重复标准条款300项以上。组建跨部门标准联合工作组，出台《水电生态调度与电网调峰协同技术导则》，破解行业标准冲突。实施国际标准“精准转化”工程，建立“翻译-适配-验证”三级转化流程，三年内将ISO标准转化率提升至75%。推行标准弹性分级管理，制定《特殊地域水利标准适用指南》，建立高原、滨海等6类地域标准适配库。

3.创新动态更新机制：构建“技术成熟度-标准响应度”匹配模型，对人工智能、遥感监测等快变领域实施“两年一评估、三年一修订”机制。推行“标准创新联合体”模式，将企业参与标准制定比例提升至40%，设立10亿元标准研发基金支持高校成果转化。建立标准生命周期管理制度，对超10年未修订标准启动自动废止程序，2025年前完成200项滞后标准更新。

4.构建数字化监管体系：打造全国水利标准实施监测平台，集成卫星遥感、物联网设备实现95%以上工程关键指标实时监测，违规行为自动触发“红黄牌”预警。实施“标准能力提升工程”，将标准培训纳入水利工程师继续教育学分体系，三年内实现市县水利局长轮训全覆盖。建立标准实施信用档案，对违规企业实施市场准入限制，设立“标准领跑者”认证，给予税收减免、招标加分等激励。

四、结论

新时期水利技术标准体系的优化升级，需以治理现代化为导向，通过填补空白、破除壁垒、激活机制、数字赋能、全球布局的“多维突破”，构建起具有适应性、引领性、开放性的新型标准生态。这不仅需要技术层面的精准施策，更需深层次推动从“标准制定”到“标准治理”的范式变革，使水利标准真正成为统筹安全与发展、平衡保护与利用、链接本土与全球的核心治理工具，为水利现代化注入持久动能。

参考文献

[1]雷兴顺.加强水利水电勘测设计标准化工作提高水利工程勘测设计水平[J].水利技术监督,2003,11(4):8-10.
[2]齐莹.水利技术标准体系问题及对策研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2013,11(4):291-296.
[3]王晓平.熟悉标准进入水利市场第一关[N].中国水利报,2002-01-03(E02).
[4]钟杰宽,黄晓倩,杨场,邹晨曦.水利工程对桂林漓江风景名胜区景观及生态影响评价研究[J].绿色科技,2024,26(15):23-27+34.
[5]于光林,郭梦娇,刘阔.水利工程建设对区域生态环境的影响及建设策略研究[J].棉花科学,2024,46(04):83-85.
[6]闫志鸿.水利工程建设对水生态环境系统影响分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(08):208-210.
[7]梁风建.生态环境受小型农田水利工程建设的影响及措施研究[J].数字农业与智能农机,2023,(09):58-61.
[8]白丹.新形势下水利工程建设对生态环境的影响综述[J].农业灾害研究,2023,13(09):264-266.
[9]宋欣欣,赵吉睿.基于遗传算法的水利工程生态环境影响分析[J].节能,2023,42(07):63-65.
[10]艾子贞.水利水电工程对生态环境的影响及保护对策[J].资源节约与环保,2022,(10):13-16.

建筑电气防火规范中电缆阻燃等级实证分析

陈赟

江苏长城电缆有限公司, 江苏 扬州 225652

摘 要： 本文探讨了建筑电气防火规范中电缆阻燃等级的实证分析，重点分析了相关规范要求、电缆阻燃等级的实际应用及其优化设计策略。通过对典型案例和阻燃性能测试的研究，揭示了电缆阻燃等级选型中的问题与不足，并提出改进和优化的设计建议。研究表明，通过完善技术标准和优化设计，可在提高安全性与经济性之间取得平衡，为建筑电气防火提供更科学的指导。

关 键 词： 建筑电气；防火规范；电缆阻燃等级；实证分析；优化设计

Experimental Analysis of Cable Flame Retardant Grade in Building Electrical Fire Protection Code

Chen Yun

Jiangsu Changcheng Cable Co., LTD. Yangzhou, Jiangsu 225652

Abstract： This paper conducts an empirical analysis of cable flame retardant grades in building electrical fire protection specifications, focusing on the requirements, practical applications, and optimization strategies for cable flame retardant design. Through case studies and flame-retardant performance testing, issues and shortcomings in cable selection are identified, and suggestions for improvement are proposed. The study reveals that by refining technical standards and optimizing designs, a balance between safety and cost-effectiveness can be achieved, providing more scientific guidance for building electrical fire protection.

Keywords： Building electrical systems; fire protection specifications; cable flame retardant grade; empirical analysis; design optimization

引言

建筑电气系统是现代建筑的重要组成部分，其安全性关系到建筑的整体防火性能。在火灾中，电气系统中使用的电缆往往会成为火势蔓延的通道，尤其是不具备良好阻燃性能的电缆材料可能导致火灾迅速扩展、毒性气体释放，威胁人员生命安全并造成重大经济损失。为了预防火灾风险，《建筑电气防火技术规范》等相关标准对建筑电缆的阻燃性能提出了明确要求，这为建筑电气设计和施工提供了重要指导，但实际执行过程中仍存在诸多问题，这些问题可能直接影响建筑的电气防火能力。

一、建筑电气防火规范对电缆阻燃等级的相关要求

（一）阻燃等级概述

电缆阻燃等级是衡量电缆在火灾条件下阻燃能力的重要指标，根据不同的风险控制需求和技术标准，国内外对阻燃等级的划分存在一定差异。在中国，电缆阻燃等级通常分为 A 类、B 类、C 类等多个级别。

各阻燃等级的分类依据主要是电缆在燃烧实验中的性能差异，例如氧指数、烟密度、卤酸释放量等技术指标。氧指数（LOI）是指维持材料在实验室环境下自持燃烧所需的最低氧气浓度，数值越高，材料的阻燃性能越好；烟密度反映了燃烧过程中

产生烟雾的浓度，数值越低，电缆的低烟特性越明显；卤酸释放量是衡量电缆燃烧时释放出有毒和腐蚀性气体的程度，低卤或无卤电缆更符合环保和安全要求。

从具体技术参数的角度出发，A 类电缆通常具有更严格的指标要求，包括更高的氧指数、更低的烟密度以及更少的卤酸释放。而 B 类与 C 类电缆在这些方面的性能要求则逐步降低，适用于风险系数不同的建筑环境。

（二）规范要求解析

在中国，《建筑电气防火技术规范》（GB 51348）明确对不同建筑类型的电缆阻燃性能提出了要求。这些要求不仅依据电缆的燃烧特性，还结合了建筑本身的防火分区和火灾风险等级。

例如：

住宅建筑：由于火灾危险性相对较低，规范通常允许使用阻燃性能较低的电缆（如 B 类或 C 类）。

商业建筑：人群密集且火灾危害性更大，规范通常推荐使用 A 类阻燃电缆。

地下空间和高层建筑：这些场景中，一旦发生火灾，灾害控制更具挑战性，因此规范要求电缆必须满足更高标准的阻燃性能，如使用 A 类低烟无卤电缆，以减少燃烧过程中有毒烟雾和腐蚀性气体对人体与设备的危害。

通过对规范内容的分析可以看出，《建筑电气防火技术规范》不仅注重了电缆阻燃性能的分级管理，还充分考虑了建筑使用场景的风险防控需求，从而实现电缆阻燃等级与建筑消防设计的科学匹配。

（三）与国际标准的比较

国内外对电缆阻燃等级的规定存在一定差异。例如，**国际电工委员会（IEC）相关标准和国际标准化组织（ISO）**标准，对电缆的阻燃性也提出了一系列划分标准，如 IEC 60332 系列、IEC 61034（烟雾密度）以及 IEC 60754（卤酸释放）。相比之下，中国的《建筑电气防火技术规范》和 GB/T 19666 等标准更加注重具体场景的应用要求。

在技术参数对比上，国内标准对氧指数、烟密度等核心指标有着明确而细致的要求，而国际标准则更偏向于通过测试方法与分级体系进行概括性定义。例如，IEC 标准对于低烟无卤电缆的要求更多体现在通用指标上，而中国国标针对建筑高火灾风险区域的场景，进一步对性能提出了更高要求。

总结来看，虽然国内和国际标准在测试方法和分级体系上有所差异，但两者目标一致，都旨在提高电缆在建筑防火中的应用安全性，并推动阻燃、低烟、无卤等环保技术的发展。

二、电缆阻燃等级的选型及应用实证分析

（一）典型建筑案例分析

在现代建筑电气设计中，不同阻燃等级电缆的选择直接关系到建筑物的防火安全。在实际案例中，不同类型建筑对电缆阻燃等级的要求差异显著。以高层住宅楼、商业综合体及工业厂房为例，其电气系统对阻燃电缆的选型各有侧重。

首先，以一栋高层住宅楼为例，该建筑的供配电电缆主要分布在垂直电井和水平桥架中，通过分析发现，设计方案选用了符合国家标准的 B1 级阻燃电缆。现场调查显示，较低阻燃等级的线缆偶尔被错误安装，这是施工单位在材料应用中疏忽或成本压力下替代导致的。

其次，在某大型商业综合体的电气配电系统中，由于人员流动性大、火灾风险高，电缆均选用 B1 级阻燃电缆，并严格按照规范进行施工。实地检查发现，该项目能够较好地落实阻燃电缆的选材要求，满足了消防验收标准。然而，在桥架的防火填料处偶见未安装到位的现象，反映出施工质量的部分瑕疵。

最后，某钢铁厂的厂房电力设备用电缆选择了阻燃 A 级电

缆，以应对高温作业环境带来的火灾隐患。从工程经验来看，这种高标准阻燃电缆的选用有效保障了生产安全，尽管采购和安装成本相对较高，但其带来的长期安全性价值显而易见。通过分析这些典型案例，可以看出实际中的电缆选型有必要因地制宜，并在施工和验收环节加强监督。

（二）阻燃性能测试实证

为了更加直观地评估不同阻燃等级电缆在实际应用中的表现，本文进行了阻燃性能测试，对比分析了市场上常见的 A、B1、B2 级阻燃电缆在特定条件下的性能差异。

测试方法包括着火点温度测定、烟雾释放量评估，以及耐火性能的时间测试。实验结果表明：

A 级阻燃电缆：在直接暴露于 1000℃ 高温火焰环境下，A 级电缆表现出优越的阻燃性能，能够在 90 分钟内保持基本的电气稳定性，烟雾产生量极低且无有毒气体排放。

B1 级阻燃电缆：在相同条件下，B1 级电缆的燃烧特性较为稳定，耐火时间约为 60 分钟，烟雾释放量明显高于 A 级，但仍符合建筑防火规范的严格要求。

B2 级阻燃电缆：B2 级电缆耐火时间较短，仅为 30 分钟，且燃烧时的烟雾含量较大，有毒气体检出率较高。

实验结果明确指出，不同阻燃等级电缆在性能上存在显著差异，A 级电缆适用于火灾风险较高的建筑环境，而 B1 级电缆则更适合住宅及中小型公共建筑。当电缆阻燃等级较低时，其对火灾防控的作用明显减弱，应在低阻燃等级电缆的使用上严格限制。

（三）存在问题与不足

通过对上述案例及实验数据的分析，可以发现当前建筑电气中电缆阻燃等级的选型与应用存在以下问题：

1. 规范执行中的偏差

尽管建筑电气防火规范对阻燃电缆的选型和安装做出了明确规定，但在实际工程中，因施工质量控制不足、监督力度不够等原因，常出现电缆等级与设计不符的问题。同时，在部分地区，施工单位受限于成本压力，会选择阻燃性能较低甚至无阻燃性能的电缆，带来严重的安全隐患。

2. 成本与安全的权衡

阻燃等级越高的电缆，其成本也相应增加。在建筑工程预算受限的情况下，建设单位和设计方常需在成本与安全之间进行权衡。一些中小型项目为了节约成本，往往优先考虑短期经济效益，而忽视了阻燃等级较低的电缆可能在火灾中引发的生命和财产损失。

3. 缺乏统一的认知与培训

从业人员特别是一线施工及监理人员对阻燃等级的认知存在差异，加上部分企业缺乏专业培训，使得电缆选型和安装过程中容易出错。此外，电缆制造行业的产品质量良莠不齐，也对阻燃性能的实际应用效果产生了影响。

针对以上问题，应从政策制定、技术研发和市场监管层面加强改进：进一步完善建筑电气防火规范，加大施工环节的监管力度；通过财税优惠政策，降低高阻燃等级电缆的使用成本；并提升建筑从业人员的专业水平，确保阻燃电缆的合理选型和规范

应用。

总的来说，只有通过各方协同努力，才能从根本上解决阻燃电缆应用中的问题，使防火安全得到更高层次的保障。

三、优化建筑电气防火的电缆阻燃设计策略

1. 完善规范及技术标准

当前的建筑电气防火规范已经为电缆阻燃设计提供了重要的依据，但仍然存在改进空间。首先，应加强对现行规范中相关条款的细化。例如，对于不同建筑环境下电缆阻燃等级的适用性和必要性，规范中尚未明确具体指引，导致实际工程中可能出现标准混淆或执行不当的问题。因此，建议对电缆阻燃等级的适用范围进行更加清晰的界定，并补充相关条款的技术要求，使规范更具操作性。

此外，随着建筑材料与电气设备技术的不断更新，电缆阻燃性能的检测与评估方法也需要与时俱进。可以借鉴国际先进标准，引入更多科学合理的新指标，例如加入对电缆燃烧时烟密度和有毒气体释放量的严格限制，以全面提升防火性能。同时，鼓励规范制订过程中吸纳来自行业专家、科研机构以及施工单位的意见，提高标准的前瞻性与实用性。

2. 阻燃电缆的经济性与安全性权衡

在实际设计和施工中，电缆产品的阻燃性能越高，其成本通常也会相应增加，这对工程预算构成了一定压力。因此，在优化电缆阻燃设计时，需要仔细平衡安全性与经济性之间的关系。一方面，可以通过技术优化与市场竞争降低高性能阻燃电缆的制造成本，例如采用新型环保材料替代传统阻燃剂，以达到更优的性能与成本比。另一方面，可针对建筑功能、规模及风险等级，合理选择阻燃电缆等级。例如，在高层建筑、人员密集场所及易燃易爆区域，应优先使用高阻燃等级电缆，而在低风险建筑中，则可结合实际需求选择性价比更高的产品，以避免资源浪费。

同时，还应充分考虑阻燃电缆在实际应用中的长期经济效益。例如，高品质的阻燃电缆不仅可以减少火灾风险，还能显著降低维修和更换成本，从而在全生命周期中体现出良好的性价比。通过构建安全性与经济性双赢的解决方案，可以进一步推动

阻燃电缆在工程实践中的广泛应用。

3. 实践中的优化设计措施

针对当前建筑电气防火需求，采取优化设计措施是提升整体阻燃水平的重要途径。首先，需要开发和推广更高效的阻燃电缆产品。在科研层面，可通过深入研究新型材料和工艺，提升阻燃电缆的机械性能、热稳定性和环保性能；在推广层面，应推动优质阻燃电缆的产业化应用，加快传统产品升级换代。

其次，根据不同建筑类型和用途的特殊需求，制定阻燃电缆使用标准和选型指南。例如，对于医院和数据中心等关键性场所，可优先推荐低烟无卤阻燃电缆，以减少火灾隐患及二次伤害；对人口密集的公共场所，可重点采用高阻燃等级的电缆产品，以最大程度减少火灾蔓延的风险。同时，可借助案例分析、工程设计规范及相关培训，让建筑设计师、施工单位和运维人员更加熟悉阻燃电缆的技术要求和选型标准，为优化实践提供全方位支持。

最后，推动多方协同创新，实现建筑电气防火整体水平的提升。通过政府部门制定政策激励、企业研发投入和行业协会发布技术指南三位一体的方式，有助于在全国范围内推广最先进的阻燃技术和产品，实现建筑电气防火设计与实际防火性能的最佳结合。

四、结语

通过本文的研究分析，我们清楚地认识到电缆阻燃等级在保障建筑电气防火安全方面的重要作用。阻燃等级的高低直接关系到火灾发生时电缆是否会助燃，以及火灾能否得到有效控制。因此，在建筑工程领域中，严格执行建筑电气防火规范显得尤为重要。通过对电缆阻燃性能进行规范性要求，可以大幅降低潜在火灾造成的风险，从而为建筑环境提供更高水平的安全保障。同时，这一研究还表明，将电缆阻燃性作为工程设计和施工的重要管理要点，是实现建筑电气安全管理不可或缺的一部分。只有在规范的指导下科学合理地选择和使用高阻燃电缆，才能更好地保护建筑结构免受火灾危害，并为使用者提供放心的居住和办公环境。

参考文献

[1]熊晓泉,彭立沙,邱湘伟.柔性耐火电缆的耐火安全性能研究[J].电线电缆,2024,67(05):27-30+35.
[2]王志辉.耐火电缆耐火性能的研究分析[J].质量与市场,2022,(S1):68-72.
[3]《耐火电缆设计与采购手册》首发暨赠阅仪式在南京隆重举行.本刊编辑部.电气时代,2023(09).
[4]康慧,管新元,任虹光,等.中压智能预警耐火电缆的研制[J].光纤与电缆及其应用技术,2020(2):45-46.
[5]唐勇,张秉浩,冯军,等.耐火电缆分级方法的可行性研究[J].消防科学与技术,2018,37(06):819-822.
[6]王名,王笠赞,刘威,等.中压耐火电缆前景及应用浅析[J].电器工业,2016,(12):77-78.
[7]杨永新,邹勤,曾令果,等.钻玻璃对陶瓷化硅橡胶耐火电缆陶瓷化性的影响[J].电线电缆,2017,(05):39-41.
[8]刘玉恒,陈泽民.对我国耐火电缆现状的分析[J].消防科学与技术,2000,(03):46-47.
[9]张德全.耐火电缆的制造与使用[J].电线电缆,1996(04).
[10]唐爱华.飞机用耐火电缆的开发设计[J].机械制造,2024(03).

新形势下电力监管管理工程风险识别、评估与动态防控体系优化

钱忠

华电和祥工程咨询有限公司, 山西 太原 030006

摘 要 : 在全球能源转型与数字化浪潮下, 火电新能源建设监管风险复杂。本研究基于电力监管风险理论, 系统识别火电、新能源及共性监管在政策、市场、技术方面的风险。通过构建量化模型、运用动态评估机制实现科学风险评估, 并从协同监管框架构建、技术体系数字化转型、全周期闭环管控三方面优化防控体系, 为行业高质量发展提供决策依据与实践路径。

关 键 词 : 电力监管; 风险识别; 风险评估; 动态防控

Risk Identification, Evaluation, and Optimization of Dynamic Prevention and Control Systems for Electric Power Regulatory Management Engineering in the New Situation

Qian Zhong

Huadian Hexiang Engineering Consulting Co., Ltd. Taiyuan, Shanxi 030006

Abstract : Under the global energy transformation and digitization trend, the regulatory risks of thermal power and new energy construction are complex. Based on the theory of electric power regulatory risk, this study systematically identifies the risks of thermal power, new energy, and common regulatory aspects in terms of policy, market, and technology. Through the construction of quantitative models and the application of dynamic evaluation mechanisms, scientific risk assessments are achieved, and the prevention and control system is optimized from three aspects: the construction of a collaborative regulatory framework, the digital transformation of the technical system, and full-cycle closed-loop management and control. This provides a decision-making basis and practical path for the high-quality development of the industry.

Keywords : electric power regulation; risk identification; risk assessment; dynamic prevention and control

引言

随着“双碳”战略深入推进与数字技术蓬勃发展, 电力行业变革步伐加快, 可再生能源占比不断提高, 火电加速向清洁低碳转型, 电力监管的重要性愈发显著。火电新能源建设监管挑战与机遇并存, 火电企业面临环保、竞争压力及设备老化难题, 新能源存在发电不稳定、土地环境等问题。而数字化技术带来新契机, 在此背景下, 优化火电新能源建设监管的风险识别、评估与防控体系刻不容缓。

一、相关概述

(一) 电力监管管理工程风险相关理论

在电力监管管理工程的风险管理中, 风险识别、评估与防控是紧密相连的重要环节。电网运行安全风险识别是防控系统设计的首要环节。通过对电网运行过程中可能出现的风险因素进行全面分析, 可以有效预防和控制电网事故的发生^[1]。风险评估则基于识别结果, 运用概率风险评估、层次分析法等方法, 通过数学模型或专家经验, 对风险发生概率及影响程度进行量化或定性分

析, 为决策提供科学依据。风险防控针对已识别风险, 采取事前预防、事中控制、事后补救等措施, 综合运用技术、管理手段及应急预案, 以最小成本实现电力系统安全保障的最大化。

(二) 火电新能源建设监管风险研究现状

近年来, 国内外学者针对火电新能源建设监管风险开展了诸多研究。在设备风险方面, 部分研究聚焦于火电机组关键设备的故障模式与影响分析, 通过对大量历史故障数据的挖掘, 总结出了各类设备常见故障的发生规律及影响程度。对于新能源发电设备, 研究重点在于其受自然条件影响产生的性能衰退及故障间

题，如风力发电机组的叶片损坏、光伏组件的效率衰减等。然而，现有研究在能源波动风险方面，虽已认识到新能源出力波动对电网调度的影响，但对于如何精准预测波动并优化调度策略，仍缺乏深入研究^[3]。在政策与市场风险研究上，多集中于政策解读及对市场趋势的宏观分析，对于政策与市场因素如何具体作用于火电新能源建设监管项目，以及如何量化其影响，尚存在不足。

二、火电新能源建设监管风险识别

（一）火电项目监管风险识别

在严格的政策监管环境下，火电新能源建设面临多重风险挑战。首先，环保与碳排放政策方面，“十四五”规划、《排污许可管理条例》等文件明确要求火电行业减污降碳，2023年重点区域更是实施了超低排放标准。在此背景下，老旧机组技术升级成本高昂，单台改造成本达1亿-2亿元，若未达标将面临停运或罚款；不仅如此，全国碳市场配额持续收紧，2023年火电行业基准线下降5%，企业不得不高价购买配额，这直接压缩了项目收益^[3]。

不仅如此，能源政策调整也带来了新风险。当前，煤电新增规模受限，电力现货市场试点不断扩大，致使电价波动剧烈；此外，灵活性改造矛盾日益凸显，如西北某机组就因调峰能力不足，年利用小时数大幅下降，进而导致投资回报率降低；同时，煤电联营政策的波动，也让部分项目的前期投入化为泡影。与此同时，技术标准与安全监管也在持续加码。应急管理部要求淘汰运行满30年的机组，这使得超1.2亿千瓦机组面临关停；而安全生产评审不达标者，将被限制参与电力市场交易，企业运营面临巨大压力。

（二）新能源项目监管风险识别

新能源项目在监管过程中面临多维度风险挑战。政策补贴退坡风险首当其冲，风电、光伏国补取消，地方补贴执行滞后，绿证交易收益难以确定，直接影响项目投资回报率。而并网与消纳环节同样暗藏风险，电网接入审批延迟阻碍项目落地，消纳指标分配缺乏透明度，部分地区强制要求超20%的配储比例，进一步增加项目建设成本与运营难度。除此之外，用地与生态保护冲突也日益凸显，光伏项目占用林地、草地的审批愈发严格，风电项目易与鸟类保护区重叠，生态修复保证金制度更给企业带来资金压力。值得注意的是，技术合规性风险不容忽视，部分省份对设备国产化率设限，限制进口组件使用，储能系统安全标准不断升级，企业需投入更多成本满足技术要求。另外，电力市场交易环节也存在风险，参与现货市场后电价波动频繁，可再生能源配额制考核压力巨大，企业不得不在复杂市场环境中谋求生存与发展。

（三）共性监管风险

新能源项目监管存在诸多共性风险。一方面，审批流程的复杂性成为项目推进的一大阻碍，项目核准、环评、能评、社评等环节涉及多部门管理，协调难度极大，常导致审批周期延长、成

本增加。另一方面，地方政府执行差异显著，在新能源配储比例、火电关停时间表等关键事项上，地方政策与国家政策存在不一致的情况，这种差异不仅给企业规划带来困扰，也影响了行业监管的统一性与权威性^[4]。与此同时，数据与信息披露要求日益严格，碳排放数据的精准监测与及时上报，以及ESG信息披露的合规性都成为企业必须重视的要点，一旦出现环境违法记录，企业融资等经营活动将受到严重影响。

三、火电新能源建设监管风险评估方法论

（一）风险量化模型

风险量化模型通过构建多维指标体系与场景模拟工具，将抽象的定性风险转化为可量化、可比较的数值，为科学决策提供依据。在指标体系构建方面，从政策、技术、市场三大维度设计核心指标，政策风险指数通过政策调整频率（统计年度内中央和地方电力政策文件发布数量变化率）和地方执行偏离度（政策条款匹配率）衡量；技术成熟度评分聚焦储能成本下降速率与火电调峰深度；市场敏感度模型则依据电价波动率、绿电溢价空间评估。指标权重采用层次分析法确定，如政策风险占30%、技术风险占40%、市场风险占30%，并每两年根据行业趋势动态校准。

场景模拟工具通过设定不同转型情景，如高转型情景下2030年非化石能源占比达40%、储能成本年均下降15%，中、低转型情景逐级降低指标参数，输入新能源装机增速、储能配置比例等参数，输出弃风弃光率、火电亏损比例等风险暴露值。例如，在低转型情景下，若西北地区2030年新能源装机达5亿千瓦但储能配置不足10%，模拟显示弃电率将从5%升至12%，超出安全阈值。模型工具涵盖电力系统优化模型（如PLEXOS、TIMES）用于模拟电源结构，以及蒙特卡洛模拟评估极端事件冲击，全面覆盖不同风险场景的量化分析需求^[5]。

（二）动态评估机制

基于实时数据与智能算法搭建的风险动态监测预警体系，通过数据驱动与AI技术深度融合，实现对火电新能源建设运营风险的精准把控。在数据驱动体系层面，整合国家级平台、企业侧及外部多元数据，涵盖全国新能源消纳监测、发电企业运行数据、气象与宏观经济指标等。依托API接口每15分钟实时采集电力核心数据，经异常值剔除等清洗处理后，以区域风险热力图等可视化看板呈现，如当某区域弃风率超8%且储能利用率低于50%时标红预警。2024年Q2，某省光伏消纳率持续低于85%，系统即触发黄色预警，引导电网优先调度储能^[6]。

AI预警系统则采用LSTM、Prophet等时序预测模型预判弃风弃光趋势，借助孤立森林、聚类分析识别消纳异常，并建立分级预警规则库。当弃风率超10%且储能利用率不足40%时触发红色预警，采取暂停新项目审批等措施；绿电溢价与电价波动异常则触发黄色预警，调整合约策略。2023年，东部某省虚拟电厂响应延迟率异常上升时，AI模型提前预警电网调频容量不足，成功规避区域性停电事故，充分展现智能算法在风险预判与应急响应中的关键作用^[7]。

四、风险监管动态防控体系优化

（一）构建协同监管框架

为优化火电新能源建设监管，需构建“政策－市场－技术”协同监管框架。在政策层面，通过设立政策沙盒试点，于青海、宁夏等新能源高渗透率地区打造监管创新试验区，允许对虚拟电厂聚合商准入规则等新型调度机制先行先试；同时推行弹性合规标准，针对火电灵活性改造与新能源配储要求，建立“基础标准+动态调整因子”体系，让储能配比与区域消纳能力紧密挂钩。在市场方面，创新风险对冲工具，积极推广“绿电交易+碳金融”组合合约，支持风光项目与高耗能企业签订10年期固定电价PPA，并嵌入碳配额远期交割条款，实现跨周期价格锁定；借鉴山西试点经验，搭建火电备用容量市场化交易平台，构建容量补偿机制，有效提升调峰机组15%～20%的收益^[6]。在技术路线上，注重兼容性设计，强制要求新建火电项目预留新能源接口，推行多能耦合规划，如燃煤机组配套50MW光伏制氢系统，江苏某电厂借此模式成功降低8%的煤耗，促进火电与新能源的深度融合。

（二）技术支撑体系数字化转型

为实现火电新能源建设监管的精准防控，技术支撑体系的数字化转型至关重要。在全链条监测预警方面，通过搭建智能监测网络，火电领域安装CO₂浓度、颗粒物在线监测设备，并实现数据与省级生态云平台直连，例如浙江已达成100%火电机组实时联网；新能源领域则部署光伏组件隐裂AI识别系统，有效预警设备失效风险，某企业应用后运维成本显著下降30%。

在风险评估环节，依托大数据构建的风险画像系统，整合项目审批、环境违法、市场交易等200多项指标，形成精准的风险评分模型，某央企的模型甚至能提前6个月预警合规风险，准确率超85%；同时，情景推演工具可模拟极端政策场景对项目NPV的影响，助力企业动态调整投资决策。而区块链技术的应用，为监管注入新动能^[9]。基于区块链的绿电溯源系统，实现绿色电力证书全生命周期管理，内蒙试点项目确保发电、交易、消纳数据

不可篡改；审批链上存证功能，将环评、用地等审批流程上链，大幅缩短跨部门核验时间，某项目审批周期从18个月压缩至12个月，显著提升监管效率与透明度。

（三）全周期风险闭环管控

为强化火电新能源建设监管效能，管理机制创新聚焦全周期风险闭环管控。事前预防环节，通过技术与制度双管齐下，一方面运用高精度GIS系统（误差<10米）进行生态红线智能避让，像安徽某光伏项目就借此成功规避3000万元林地占用罚款；另一方面建立省级“能源预算账户”，对火电项目严格实施“新增一瓦、淘汰一瓦”的用能预算管理，从源头把控风险。

事中控制阶段，采用分级分类动态监管模式，以红黄蓝三色预警精准施策。针对未完成超低排放改造且碳配额缺口超20%的高风险火电企业，实施限产限排的红色预警措施；对配储不达标的中风险储能项目，执行暂停电力市场交易资格的黄色预警；而合规的低风险新能源项目，则给予优先纳入可再生能源补贴清单的蓝色预警优待，实现差异化精准监管^[10]。

事后处置过程中，构建起风险熔断与修复机制。参照欧盟《可持续金融分类法案》，对连续两年碳排放超标的火电项目，强制要求加装CCUS装置或直接关停；同时推行生态修复保险制度，要求新能源项目依据用地类型投保生态修复责任险，草原项目保费费率比荒漠项目高出2倍，以此保障环境损害后的有效修复，形成完整的风险管控闭环。

五、结束语

本研究深入探讨火电新能源建设监管风险，系统梳理政策、市场、技术等层面风险因素，构建创新实用的风险评估方法论，并提出优化后的动态防控体系。研究成果助力电力行业精准识别、评估与防控风险，对保障电力系统稳定、优化能源配置、促进市场公平竞争意义重大。随着能源转型与技术发展，未来需持续关注新风险，完善评估模型与防控机制，推进监管技术与管理模式融合，为火电新能源建设监管提供长效支持。

参考文献

[1] 陈雨霏. 电网运行安全风险识别与防控系统设计应用 [J]. 产业创新研究, 2024, (24): 62-64.
[2] 周浩, 丁羽, 魏旭, 等. 基于 ESS 演化博弈的电力市场风险监管防范策略研究 [J]. 电气传动, 2024, 54(04): 75-84.DOI: 10.19457/j.1001-2095.dqed24696.
[3] 姚维强, 李梦娇, 陈艳, 等. 基于新形势下电力监管的合规评价指标体系 [J]. 创新世界周刊, 2023, (10): 62-69.
[4] 张师源. 新电力监管体系下电网企业经营风险研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.DOI: 10.27140/d.cnki.ghbbu.2023.000813.
[5] 谢敬东, 张蕾. 电力市场价格风险动态监管机理研究 [J]. 价格理论与实践, 2023, (08): 71-75.DOI: 10.19851/j.cnki.CN11-1010/F.2023.08.218.
[6] 张蕾琼, 胡宝祥, 金亮亮. 电力系统的安全管理对策分析 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(05): 234-235.DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.05.104.
[7] 谢敬东, 黄溪澄, 卢浩哲, 等. 电力市场中市场力风险防范方法的研究 [J]. 价格理论与实践, 2020, (12): 49-53+162.DOI: 10.19851/j.cnki.cn11-1010/f.2020.12.511.
[8] 方媛, 孙勇. 作业安全风险管控系统在电力安全监管中的有效运用 [J]. 电子世界, 2019, (16): 208-209.DOI: 10.19353/j.cnki.dzsj.2019.16.119.
[9] 李海英. 电力安全监管工作优化途径探究 [J]. 通讯世界, 2019, 26(01): 176-177.
[10] 郑伟, 田琳, 黄远明, 等. 基于柔性监管策略的电力市场履约风险改进 COPOD 识别方法 [J]. 价格理论与实践, 2023, (05): 59-64+208.DOI: 10.19851/j.cnki.CN11-1010/F.2023.05.256.

盐碱地暗管排盐与节水灌溉协同优化探讨

唐福林¹, 唐健^{2*}

1. 巩留县农业综合开发服务中心, 新疆 伊犁 835400

2. 新疆泽霖建设工程有限公司, 新疆 伊犁 835400

摘 要 : 本研究聚焦于盐碱地改良领域, 针对盐碱地土壤盐分和水管理难题, 深入探讨了暗管排盐与节水灌溉技术的协同优化。本研究通过在新疆克拉玛依国家现代农业示范区等典型盐碱地区开展试验, 综合运用暗管排盐技术和节水灌溉技术, 有效降低了土壤盐分含量, 改善了土壤水分状况, 显著提高了农作物产量。研究结果表明, 暗管排盐与节水灌溉技术的协同应用, 为盐碱地改良提供了高效、可行的技术方案, 对于推动盐碱地农业可持续发展具有重要价值。

关 键 词 : 盐碱地改良; 暗管排盐; 节水灌溉; 土壤盐分

Study on the Synergistic Optimization of Salt Discharge and Water-Saving Irrigation in Saline-Alkali Land By Dark Pipe

Tang Fulin¹, Tang Jian^{2*}

1. Agricultural Comprehensive Development Service Center of Gongliu County, Yili, Xinjiang 835400

2. Xinjiang Zelin Construction Engineering Co., Ltd. Yili, Xinjiang 835400

Abstract : This study focuses on the field of saline-alkali land improvement, addressing the challenges of soil salinity and water management in saline-alkali areas. It delves into the synergistic optimization of subsurface drainage for salt removal and water-saving irrigation techniques. Through experiments conducted in typical saline-alkali regions such as the Karamay National Modern Agriculture Demonstration Zone in Xinjiang, this study comprehensively applies subsurface drainage technology and water-saving irrigation techniques. These methods effectively reduce soil salinity, improve soil moisture conditions, and significantly increase crop yields. The research findings indicate that the combined application of subsurface drainage for salt removal and water-saving irrigation provides an efficient and feasible technical solution for saline-alkali land improvement, which is of great value for promoting sustainable agricultural development in saline-alkali areas.

Keywords : saline-alkali land improvement; salt drainage by dark pipe; water-saving irrigation; soil salinity

引言

在全球范围内, 盐碱地分布广泛, 涵盖了各大洲的干旱、半干旱以及部分半湿润地区。据统计, 全球盐碱地面积约为9.54亿公顷, 约占陆地总面积的7%。我国盐碱地面积也相当可观, 约为9913万公顷, 广泛分布于东北、华北、西北内陆地区以及东部滨海地带。这种土壤条件对农作物的生长构成了严峻挑战, 严重影响着农业生产的稳定性和可持续性。而节水灌溉技术则通过精准控制灌溉水量和时间, 减少水分蒸发和浪费, 提高水资源利用效率。

一、研究区域与方法

(一) 研究区域概况

本研究选择新疆克拉玛依国家现代农业示范区作为试验区域。该区域位于新疆北部, 属于干旱和半干旱气候区, 土壤盐碱化程度较高。常年降水量稀少, 蒸发量大, 气候干燥, 年平均降水量仅为108.9毫米, 而年平均蒸发量却高达2818.8毫米。试验田

块面积为1200亩, 其中200亩作为核心示范区。试验田块土壤类型为盐碱土, 土壤含盐量在0.3%—0.6%之间, 地下水位较浅, 约在1—2米之间。在植被方面, 该区域原生植被主要以耐旱、耐盐碱的植物为主, 如盐爪爪、碱蓬等。由于土壤盐碱化的影响, 该地区的农业生产长期受到制约, 主要种植的农作物品种有限, 产量和品质也相对较低。

作者简介: 唐福林 (1971.05—), 男, 汉族, 四川人, 大专, 专业技术岗八级, 研究方向: 农田水利工程。

通讯作者: 唐健 (1997.05—), 男, 汉族, 四川人, 大专, 研究方向: 农田水利工程。

（二）研究方法

根据土壤实际情况和地下水位深度，选择将暗管铺设在1.8米深度的位置。暗管间距根据土壤盐碱化程度进行调整，本试验中选择了间距20米和间距40米两种铺设方式，暗管材料选用耐腐蚀、耐磨损的PVC管，管壁上设有透水孔，以便于盐分的排出^[1]。

在试验田块内设置了排盐井和监测井。排盐井用于收集暗管排出的盐水，并通过水泵加压的方式将其排入沙漠中。监测井则用于监测地下水位和土壤盐分含量的变化。

在试验田块内建设了滴灌系统，通过滴头将水分精准地输送到作物根部。滴灌系统能够节水30%—50%，同时也有助于抑制盐分在土壤表层的积累。在试验期间，定期采集土壤样品进行盐分含量测定。采用电导率仪等仪器对土壤盐分含量进行快速测定，以评估改良措施的实施效果。

二、暗管排盐与节水灌溉技术的协同作用机制

（一）暗管排盐技术的作用机制

暗管排盐技术是一种有效的盐碱地改良方法，其核心在于利用灌溉水和雨水对土壤进行自然的冲洗脱盐。当灌溉水或雨水缓缓渗入土壤时，它们不仅滋润着土壤，还溶解了土壤中的盐分，并携带着这些盐分向下渗透。暗管，作为这一过程中的关键组件，其上的透水孔设计巧妙地允许水分和盐分进入管内，随后通过管道系统被有序地排出农田^[4]。

这一过程的持续进行，使得土壤中的盐分含量逐渐降低，土壤环境得以显著改善。暗管排盐技术的另一大优势在于其能够精准控制地下水位。通过科学合理地设置暗管的铺设深度和间距，可以有效地调节土壤中的水分分布，防止因地下水位过高而导致的土壤向上返盐现象。这不仅有助于维护土壤的稳定结构，还为作物的健康生长提供了有力保障。暗管排盐技术的长期应用，对于盐碱地的持续改良和可持续利用具有深远意义。它不仅能够逐步降低土壤盐分，还能够改善土壤的物理和化学性质，提高土壤的肥力和生产力。同时，通过有效控制地下水位，还可以防止土壤盐碱化的进一步发展，为农业的可持续发展奠定坚实基础。综上所述，暗管排盐技术以其独特的作用机制，在盐碱地改良中发挥着不可替代的作用^[7]。

（二）节水灌溉技术的作用机制

节水灌溉技术是一种高效的水资源管理策略，其核心在于精准控制灌溉的水量和时间，以最大限度地减少水分的蒸发和浪费，进而提升水资源的利用效率。在这一技术体系中，滴灌系统凭借其独特的优势，成为了节水灌溉的重要实现形式。

滴灌系统通过一系列精心设计的管道和滴头，能够将水分以滴状的形式精准地输送到作物的根部区域。这种灌溉方式不仅满足了作物生长对水分的实际需求，还避免了传统灌溉方式中因水分过多而造成的土壤板结和养分流失问题。同时，由于水分直接作用于作物根部，减少了土壤表层的湿润面积，从而有效降低了水分的蒸发速度，节水灌溉技术还对盐碱地的改良和利用具有显

著作用^[2]。在传统的灌溉方式下，由于灌溉水量难以精准控制，土壤表层的水分蒸发量较大，容易导致盐分在土壤表层积累，加剧盐碱化程度。而节水灌溉技术通过精准控制灌溉水量，有效减少了土壤表层的水分蒸发，进而抑制了盐分在土壤表层的积累。这有助于改善土壤结构，提高土壤肥力，为作物的生长创造更加有利的环境条件。

（三）协同作用机制

暗管排盐与节水灌溉技术的协同作用机制，主要体现在以下三个方面，共同推动着农业生产的高效与可持续发展。

第一，暗管排盐技术与节水灌溉技术在降低土壤盐分含量上形成协同。暗管排盐技术通过有效的排水系统，将土壤中的多余盐分排出，从根本上降低了土壤的盐分含量。而节水灌溉技术则通过精准控制灌溉的水量和时间，减少了灌溉过程中的水分蒸发，进而减少了盐分在土壤表层的积累。两者相辅相成，共同为作物提供了一个低盐分的土壤环境。在实际应用中，当采用滴灌系统进行灌溉时，由于灌溉水量精准控制，土壤中的盐分不会因过多的水分蒸发而在表层积累，同时暗管排盐系统又能及时将深层土壤中的盐分排出，进一步降低土壤盐分含量，为作物生长创造良好的土壤条件。

第二，节水灌溉技术通过精确的水量控制，大大提高了水资源的利用效率。而暗管排盐技术则通过排出土壤中的多余水分和盐分，避免了水资源的无效浪费。在盐碱地中，土壤中往往含有大量的多余水分和盐分，如果不及时排出，这些水分不仅无法被作物利用，加剧土壤盐碱化。

第三，暗管排盐技术改善了土壤环境，为作物生长创造了有利条件。而节水灌溉技术则根据作物的实际生长需求，提供精准的水分供给。两者协同作用，不仅促进了作物的健康生长，还提高了作物的产量和品质，为农民带来了实实在在的经济效益。在改良后的土壤环境中，作物根系能够更好地生长和吸收养分，而精准的水分供给则满足了作物不同生长阶段的需求，促进了作物的光合作用和新陈代谢，从而提高了作物的产量和品质^[9]。

三、土壤盐分和水分管管理的具体标准

（一）土壤盐分管理标准

土壤盐分含量是影响作物生长的重要因素之一。轻度盐碱地，土壤含盐量在0.1%—0.3%之间，作物生长基本不受影响，但需要进行适当的土壤改良措施以防止盐分积累。中度盐碱地，土壤含盐量在0.3%—0.6%之间，作物生长受到一定影响，需要采取积极的土壤改良措施以降低盐分含量。重度盐碱地，土壤含盐量在0.6%以上，作物生长受到严重抑制甚至无法生长，需要采取综合性的土壤改良措施进行治理^[3]。在本研究中，试验田块的土壤含盐量在0.3%—0.6%之间，属于中度盐碱地。通过暗管排盐与节水灌溉技术的协同应用，土壤盐分含量得到了有效降低，达到了作物生长所需的适宜范围。

（二）土壤水分管理标准

土壤水分状况也是影响作物生长的重要因素之一。根据作物

需水规律和土壤水分状况，播种期的土壤相对含水量应保持在60%—70%之间，以确保种子能够顺利发芽和出苗。生长期的土壤相对含水量应保持在70%—80%之间，以满足作物生长所需的水分需求。成熟期的土壤相对含水量应适当降低至60%—70%之间，以促进作物的成熟和收获^[6]。

在本研究中，通过滴灌系统的精准控制，实现了对土壤水分的精准管理。根据作物生长阶段和土壤水分状况的变化，及时调整灌溉量、灌溉频率和灌溉时间等参数，确保了作物生长所需的水分得到及时补充。

四、改良措施的实施效果评估

（一）土壤盐分含量变化

在试验期间，我们对试验田块的土壤进行了定期的盐分含量测定。通过对比分析，结果清晰地展示了暗管排盐与节水灌溉技术协同应用的显著成效。

试验前，该田块土壤含盐量平均在0.3%—0.6%之间，被划分为中度盐碱地。经过一年的协同处理，土壤含盐量平均下降了约0.2个百分点，部分区域甚至已降低至0.3%以下。这一变化表明，暗管排盐与节水灌溉技术正在有效发挥作用。

持续两年的改良措施后，土壤含盐量进一步下降，平均含盐量已接近或低于0.3%。这一显著的数据变化，充分证明了暗管排盐与节水灌溉技术协同应用对降低土壤盐分含量的高效性。土壤环境的改善，为作物生长提供了更加适宜的条件，也为后续的农业生产奠定了坚实的基础。

（二）土壤水分状况改善

节水灌溉技术的实施，为试验田块的土壤水分状况带来了显著改善。滴灌系统作为节水灌溉的核心，其精准控制功能使得土壤水分能够始终保持在作物生长所需的适宜范围内。

与常规灌溉方式相比，节水灌溉技术显著提高了水分利用率，提升幅度达到30%—50%，有效减少了水分的浪费。滴灌系统通过精细的设计，能够将水分精准地输送到作物根部，确保了土壤水分的均匀分布，避免了局部区域出现过湿或过干的现象。

同时，通过实时监测土壤水分状况，并据此调整灌溉制度，

我们成功地将土壤水分保持在了一个相对稳定的范围内。这种稳定的水分供应，为作物的健康生长提供了有力保障，也进一步证明了节水灌溉技术在改善土壤水分状况方面的显著效果。

（三）作物生长状况与产量提升

随着土壤盐分含量的降低和土壤水分状况的改善，作物生长状况得到了显著改善，产量和品质也有所提升。改良后的土壤环境为作物生长提供了更加适宜的条件，作物生长旺盛，株高、叶面积等生长指标均有所提高。与改良前相比，试验田块的作物产量平均提高了20%—30%，部分作物产量甚至提高了50%以上。改良后的土壤环境不仅提高了作物产量，还改善了作物品质。作物的口感、色泽、营养价值等指标均有所提升^[8]。

（四）经济效益与社会效益

暗管排盐与节水灌溉技术的协同应用不仅带来了显著的生态效益，还产生了可观的经济效益和社会效益。改良后的土壤环境提高了作物产量和品质，增加了农民的收入。同时，节水灌溉技术的实施减少了水资源的浪费，降低了灌溉成本。盐碱地的改良和利用增加了耕地面积，提高了土地资源利用率，为保障国家粮食安全做出了贡献。此外，改良措施的实施还带动了相关产业的发展，提供了就业机会。暗管排盐技术的实施减少了盐分对土壤和地下水的污染，改善了生态环境。节水灌溉技术的实施减少了水资源的浪费，有利于水资源的可持续利用^[9]。

五、结论

总的来说，暗管排盐与节水灌溉技术的协同应用能够有效降低土壤盐分含量，改善土壤水分状况，显著提高农作物产量和品质。同时，该技术方案还带来了显著的经济效益、社会效益和生态效益^[10]。未来的研究还可进一步研究不同土壤条件和作物类型下的暗管铺设参数（如铺设深度、间距等），以找到最优的铺设方案。结合物联网、大数据等先进技术，开发智能灌溉系统，实现灌溉量的精准控制和自动化管理。加大暗管排盐与节水灌溉技术的推广力度，将其应用到更多的盐碱地改良项目中，为农业可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 章宏. 园林绿化施工中盐碱地改良技术的应用研究 [J]. 低碳世界, 2024, 14(12): 49–51.
- [2] 张晶, 杨树青, 郑彦, 等. 生物措施显著提高农牧交错区盐渍土的暗管排盐效果 [J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(12): 2299–2309.
- [3] 龙立军, 郑国王, 李朝阳, 等. 焉耆盆地农田排盐暗管布设参数研究 [J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(8): 103–112.
- [4] 张晶, 杨树青, 郑彦, et al. 生物措施显著提高农牧交错区盐渍土的暗管排盐效果 [J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(12): 2299–2309.
- [5] 郭圣浩. 盐碱地改良技术研究现状与新发展 [J]. 山西水土保持科技, 2019, (04): 4–6.
- [6] 王本龙. 西辽河平原盐碱地土壤改良策略研究 [D]. 内蒙古财经大学, 2024.
- [7] 宋恩泽, 张颖, 徐丹, 等. 不同滴灌流量对盐碱土种植下棉花纤维品质, 产量的影响 [J]. 节水灌溉, 2023(1): 1–9.
- [8] 郭圣浩. 盐碱地改良技术研究现状与新发展 [J]. 山西水土保持科技, 2019, (04): 4–6.
- [9] 陈旭. 库尔勒某垦区暗管改良盐碱地方案探析 [J]. 黑龙江水利科技, 2024(002): 052.
- [10] 辛宇伦. 黄河南岸灌区中重度盐碱地暗管排水控盐关键技术研究 [D]. 内蒙古农业大学, 2024.

新能源发电侧储能配置对电网稳定性的影响研究

王晓剑

内蒙古鲁电蒙源电力工程有限公司，内蒙古 呼和浩特 010020

摘 要： 随着新能源发电在电力系统中的占比不断提高，其出力的间歇性、波动性给电网稳定性带来了巨大挑战。新能源发电侧储能配置作为一种有效的解决方案，受到广泛关注。本文深入研究了新能源发电侧储能配置对电网稳定性的影响。首先分析了新能源发电特性及其对电网稳定性的影响，接着阐述了储能系统的类型与特性，然后从频率稳定性、电压稳定性、暂态稳定性等多个维度探讨了储能配置对电网稳定性的具体影响机制，并分析了储能配置的关键参数对电网稳定性的影响规律。最后提出了优化储能配置以提升电网稳定性的策略，旨在为新能源发电侧储能系统的合理规划与运行提供理论依据和技术支持。

关 键 词： 新能源发电；储能配置；电网稳定性

Study on the Influence of Energy Storage Configuration on Power Grid Stability in New Energy Generation

Wang Xiaojian

Inner Mongolia Lude Mengyuan Electric Power Engineering Co., LTD. Hohhot, Inner Mongolia 010020

Abstract： As the proportion of new energy generation in power systems continues to increase, its intermittent and fluctuating output poses significant challenges to grid stability. Energy storage configuration on the new energy generation side is an effective solution that has garnered considerable attention. This paper delves into the impact of energy storage configuration on grid stability. It first analyzes the characteristics of new energy generation and their effects on grid stability, then describes the types and properties of energy storage systems. Next, it explores the specific mechanisms by which energy storage configuration affects grid stability from multiple dimensions such as frequency stability, voltage stability, and transient stability. The paper also examines the influence patterns of key parameters of energy storage configuration on grid stability. Finally, it proposes strategies for optimizing energy storage configuration to enhance grid stability, aiming to provide theoretical basis and technical support for the rational planning and operation of energy storage systems on the new energy generation side.

Keywords： new energy power generation; energy storage configuration; power grid stability

在全球能源危机和环境污染问题日益严峻的背景下，新能源发电技术得到了迅猛发展。太阳能、风能等新能源以其清洁、可再生的优势，成为未来能源发展的重要方向。然而，新能源发电具有明显的间歇性、波动性和随机性，其大规模并网给电力系统的规划、运行和控制带来了诸多难题，尤其是对电网稳定性产生了显著影响。储能技术作为一种灵活的电力调节手段，能够有效平抑新能源发电的波动，提高新能源的消纳能力，增强电网的稳定性。因此，研究新能源发电侧储能配置对电网稳定性的影响具有重要的理论意义和现实意义。=

一、新能源发电特性及其对电网稳定性的影响

（一）新能源发电特性

新能源发电主要包括太阳能光伏发电和风力发电。太阳能光伏发电的出力主要取决于光照强度、环境温度和光伏电池的特性。光照强度受天气、季节和地理位置等因素的影响，具有明显的日变化和季节变化规律^[1]。风力发电的出力则与风速的大小和方向密切相关，风速的不确定性和间歇性导致风力发电出力波动

较大。

（二）新能源发电对电网稳定性的影响

新能源发电对电网稳定性有着多方面影响。在频率稳定性方面，其间歇性与波动性会破坏电网功率平衡，当出力骤增或骤减时，电网有功功率供需失衡，进而引发频率波动。若波动超出允许范围，会干扰电力设备正常运行，甚至诱发电网事故。电压稳定性上，新能源发电接入改变了电网潮流分布，使部分节点电压改变，出力不稳定还会造成电压频繁波动与越限。而且，其通过

电力电子装置接入电网，这些装置产生的谐波和无功功率，会进一步损害电压质量^[2]。暂态稳定性层面，电网发生故障时，新能源发电动态响应特性异于传统电源，像风力发电机组在故障期间可能脱网，这会使电网功率缺额增大，加剧系统暂态失稳风险，给电网安全稳定运行带来挑战。

二、储能系统的类型与特性

（一）储能系统的类型

储能系统依据能量存储原理，常见类型可分为物理储能、化学储能以及电磁储能。物理储能凭借物理过程实现能量存储与释放，其中抽水蓄能技术成熟、储能容量大，但受地理条件限制；压缩空气储能可大规模储能，不过效率有待提升；飞轮储能响应速度快、循环寿命长，但能量密度相对较低。化学储能通过化学反应完成能量转化，铅酸电池成本低、技术成熟；锂离子电池能量密度高、充放电效率高；液流电池安全性高、可深度充放电。电磁储能则基于电磁场原理，超级电容器储能功率密度大、充放电迅速；超导储能响应极快、损耗低。

（二）储能系统的特性

储能系统因类型差异而特性各异。抽水蓄能优势明显，其储能容量可观，能为电网提供大规模的能量存储；使用寿命长，可长期稳定运行；充放电效率也处于较高水平。不过，它受地理条件制约严重，需具备合适的地形和水源条件，且建设周期漫长，涉及诸多复杂工程。锂离子电池能量密度高，能在有限空间存储更多能量；充放电效率佳，能量损耗小；响应速度迅猛，可快速适应电网功率变化，但成本居高不下。超级电容器储能功率密度大，能瞬间释放或吸收大量电能；充放电速度极快；循环寿命长，可频繁充放电，只是能量密度偏低。

三、新能源发电侧储能配置对电网稳定性的影响机制

（一）对频率稳定性的影响

储能系统对电网频率稳定性起着关键作用。凭借其快速充放电特性，它能够灵活调节电网的有功功率平衡，进而有效抑制频率波动。在新能源发电出力超出电网需求时，储能系统可迅速吸收多余电能，避免功率过剩引发频率上升；而当新能源发电出力无法满足电网负荷时，储能系统又能及时释放所储存的电能，填补功率缺口，防止频率下降^[3]。通过科学合理地配置储能系统的容量与功率，使其与电网运行需求相匹配，能够显著增强电网应对功率波动的能力，大幅提升电网的频率稳定性。

（二）对电压稳定性的影响

储能系统对电网电压稳定性有着积极影响。从无功功率角度看，它能提供必要的无功功率支持，精准调节电网电压水平。在新能源发电接入点周边部署储能系统，可发挥关键作用。由于新能源发电出力具有波动性，接入电网后易引发电压波动，甚至出现电压越限情况，而储能系统能迅速响应，及时补偿电压变化，将电压稳定在合理范围内。同时，储能系统还可借助有功功率调

节来优化电网潮流分布。电网潮流分布不合理会影响电压质量，储能系统通过合理充放电，改变有功功率流向，使潮流分布更加均衡，进而改善电压质量^[4]。通过合理规划储能系统的布局与运行策略，能充分发挥其在电压调节方面的优势，增强电网应对新能源发电波动的能力，保障电网电压稳定可靠运行。

（三）对暂态稳定性的影响

储能系统对电网暂态稳定性有着积极且关键的影响。电网故障往往具有突发性，会导致功率失衡、频率和电压剧烈波动，威胁电网稳定运行。此时，储能系统凭借其快速响应特性，能迅速介入并提供必要的有功功率支撑。以风力发电场为例，当电网突发故障，风力发电机组因机械惯性等因素，转速会急剧下降。若机组转速低于临界值，将无法维持并网运行而脱网，进一步加剧电网的不稳定。而配置储能系统后，它能在短时间内释放电能，为风力发电机组补充能量，维持机组转速稳定，确保机组持续并网^[5]。这不仅增强了电网应对故障的能力，还保障了新能源发电的连续性，从整体上提高了电网在故障情况下的暂态稳定性。

四、储能配置关键参数对电网稳定性的影响规律

（一）储能容量对电网稳定性的影响

储能容量作为关键参数，深刻影响着电网稳定性。当储能容量逐步增大时，储能系统对新能源发电出力波动的“消纳”与“熨平”能力显著提升。新能源发电间歇性与波动性大，出力不稳易致电网频率、电压波动，而大容量储能可及时吸收多余电能或释放储备能量，填补功率缺口、削减功率盈余，从而增强电网频率稳定性，使频率波动幅度减小、恢复速度加快；也能改善电压稳定性，减少电压骤升骤降、越限等情况发生，保障电压处于合理区间。不过，储能容量并非越大越好。其增加意味着建设、运维等投资成本水涨船高，若盲目追求大容量，可能造成资源浪费，降低项目经济性^[6]。因此，需权衡利弊，结合电网实际需求、新能源发电特性、负荷波动情况等多方面因素，开展综合评估与优化分析，确定既能有效提升电网稳定性，又兼顾经济性的合理储能容量，实现电网安全与经济效益双赢。

（二）储能功率对电网稳定性的影响

储能功率在电网稳定性中扮演着重要角色，它直接关乎储能系统充放电的速度与响应能力。当储能功率较大时，储能系统能够迅速对电网的功率变化做出反应。在电网突发故障或负荷急剧波动等暂态过程中，大功率储能系统可快速释放或吸收电能，及时填补功率缺口或削减功率盈余，有效抑制频率和电压的剧烈波动，从而显著提高电网的暂态稳定性，降低系统失稳风险。然而，储能功率并非越高越好。若功率设置过高，在日常电网平稳运行时，储能设备可能长期处于低负荷状态，导致设备利用率大幅降低，造成资源闲置与浪费。同时，高功率储能系统往往伴随着更高的建设与运维成本^[7]。因此，在实际应用中，需全面考量电网的实际运行需求、负荷特性、新能源发电出力波动情况以及储能系统自身特性等多方面因素，通过科学分析与评估，合理确定储能功率，以实现电网稳定性与经济性的平衡。

（三）储能充放电策略对电网稳定性的影响

储能充放电策略是影响电网稳定性的关键因素，不同策略带来不同效果。恒功率充放电策略，设定固定功率值进行充放电操作，其优势在于控制简单，但在应对电网复杂波动时，灵活性欠佳，可能无法精准匹配电网实时需求，影响调节效果。恒电流充放电策略，以恒定电流值运行，在特定场景下能实现稳定充放电，但难以适应电网负荷和新能源发电出力的快速变化，对电网稳定性提升有限。而基于电网状态的智能充放电策略，优势显著。它借助先进传感器与算法，实时监测电网频率、电压、功率等关键参数，根据电网实际运行状态，动态调整储能系统的充放电功率与速率^[9]。在电网负荷高峰时释放电能，低谷时吸收电能，还能平抑新能源发电波动。通过这种精准调节，充分发挥储能系统的调节能力，有效提升电网频率稳定性、电压稳定性与暂态稳定性，保障电网安全可靠运行。

五、优化储能配置以提升电网稳定性的策略

（一）基于多目标优化的储能配置方法

在储能系统配置中，为平衡电网稳定性、经济性与环保性等多方面需求，可采用基于多目标优化的配置方法。首先，综合考虑电网稳定性目标，如频率稳定性、电压稳定性等，确保储能系统能在电网波动时发挥有效调节作用；经济性目标则涵盖储能系统的投资成本、运维成本以及全生命周期成本等；环保性目标聚焦于储能系统对环境的影响，如碳排放量等。以此为基础，构建多目标优化模型，将各目标量化并纳入统一框架。接着，选用智能优化算法求解该模型，例如遗传算法、粒子群算法等，通过迭代计算不断逼近最优解，得到储能系统的最佳配置参数，包括容量、功率、充放电策略等^[9]。通过多目标优化，在保障电网稳定运行的同时，有效降低储能系统的投资与运行成本，减少对环境的负面影响，实现综合效益最大化，为储能系统的科学配置提供有力支撑。

（二）储能与新能源发电的协同规划

在新能源发电蓬勃发展的当下，储能与新能源发电的协同规划至关重要。于新能源发电项目规划初期，就需将储能系统的配置需求纳入核心考量范畴。合理的选址是协同规划的关键一步。

要结合新能源发电场的地理位置、气候条件、电网接入点分布等因素，选择既能高效接收新能源电能，又便于向电网输送能量的位置部署储能系统。而定容同样不容忽视，需精准评估新能源发电的波动特性、出力规模以及电网的消纳能力，确定储能系统的最佳容量^[10]。通过科学选址与合理定容，储能系统能够充分发挥其“削峰填谷”的独特作用。在新能源发电过剩时储存电能，在发电不足时释放电能，有效平抑新能源发电的间歇性与波动性，显著提升电网的功率平衡能力与电压、频率稳定性，保障电网安全、稳定、高效运行，推动新能源产业可持续发展。

（三）储能系统的分层分区控制策略

储能系统的分层分区控制策略是提升电网运行效能与稳定性的重要手段。基于电网复杂的拓扑结构和独特的运行特点，对储能系统实施分层分区控制。分层控制方面，依据电网的电压等级、控制功能等划分不同层级，如上层负责全局协调与策略制定，中层进行区域内的功率分配与调度，下层则直接控制储能设备的充放电。分区控制则是根据地理位置、负荷特性、新能源分布等因素，将电网划分为若干区域，每个区域配置相应的储能系统。通过分层分区控制，不同层级和区域间能够实现信息的实时共享与协调联动。上层指令可快速传达至下层执行，各区域储能系统也能根据自身及相邻区域情况灵活调整运行状态。这种控制方式大幅提高了储能系统的响应速度和调节效率，使其能更精准地应对电网功率波动、频率变化等问题，有效增强电网的稳定性。

六、结论

新能源发电侧储能配置对于提高电网稳定性具有重要意义。本文深入分析了新能源发电特性及其对电网稳定性的影响，阐述了储能系统的类型与特性，探讨了储能配置对电网稳定性的影响机制，并研究了储能配置关键参数对电网稳定性的影响规律。在此基础上，提出了优化储能配置以提升电网稳定性的策略。未来的研究可以进一步考虑储能技术的新发展和电网运行的新需求，不断完善储能配置方法和控制策略，推动新能源发电与储能技术的深度融合，实现电力系统的安全、稳定、高效运行。

参考文献

- [1] 熊寅韬, 贺志斌. 面向新能源发电接入的电网调度运行技术 [J]. 城市情报, 2024(18): 33-34.
- [2] 刘瑞平, 袁亮, 胡铭欣, 等. 含构网型新能源发电单元的孤立电网暂态稳定性提升策略 [J]. 电力科学与技术学报, 2024, 39 (06): 152-161.
- [3] 刘哲睿, 王儒科, 曹宝丹. 基于频率响应模型新能源接入对电网运维的影响研究 [J]. 电力设备管理, 2024, (17): 20-22.
- [4] 张兴, 战祥对, 吴孟泽, 等. 高渗透率新能源发电并网逆变器跟网/构网混合模式控制综述 [J]. 电力系统自动化, 2024, 48 (21): 1-15.
- [5] 王璐. 新能源发电侧储能技术及应用探究 [J]. 科技视界, 2024, 14 (16): 48-51.
- [6] 翟晓敏, 夏昊. 新能源接入电网稳定性控制策略研究 [J]. 光源与照明, 2023, (11): 150-152.
- [7] 郑军铭, 冯丽, 蔡志远, 等. 提高短时中断故障期间新能源微电网稳定性的惯性储能永磁发电机组 [J]. 电工技术学报, 2022, 37 (23): 6000-6010.
- [8] 刘家源. 新能源并网逆变器的阻抗测量方法与装备研制 [D]. 湖南大学, 2019.
- [9] 我国面向新能源发电的超导储能-限流技术取得重要进展 [J]. 科学咨询 (科技·管理), 2018, (14): 6.
- [10] 许国瑞, 尹忠东, 刘鹏, 等. 提升电力系统稳定性的新能源发电场同步电机对并网技术 [J]. 中国电力, 2018, 51 (01): 44-50.

新型电力系统下电网企业市场拓展路径研究

王骋宇

国网河南省电力公司郑州航空港经济综合实验区供电公司, 河南 郑州 451100

摘 要 : 随着全球能源转型的加速推进, 构建新型电力系统已成为实现“双碳”目标的关键举措。新型电力系统是以确保能源电力安全为基本前提, 以满足经济社会发展的电力需求为首要目标, 以坚强智能电网为枢纽平台, 以源网荷储互动与多能协同为支撑, 具有清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动基本特征的电力系统。在此背景下, 深入研究新型电力系统下电网企业的市场拓展路径具有重要的现实意义。通过合理的市场拓展, 电网企业能够更好地适应能源转型的趋势, 提升自身的市场竞争力, 实现可持续发展; 同时, 也有助于优化能源资源配置, 提高电力系统的运行效率, 为经济社会的绿色低碳发展提供有力支撑。

关 键 词 : 新型电力系统; 源网荷储互动; 市场拓展

Study on Market Expansion Path of Power Grid Enterprises under New Power System

Wang Chengyu

State Grid Henan Electric Power Company Zhengzhou Aviation Port Economic Comprehensive Experimental Zone
Power Supply Company, Zhengzhou, Henan 451100

Abstract : As the global energy transition accelerates, building a new type of power system has become a key measure to achieve the "dual carbon" goals. The new power system is based on ensuring energy and power security, with the primary goal of meeting the electricity demands of economic and social development. It uses a robust and intelligent grid as its hub platform, supported by interactive source-grid-load-storage and multi-energy coordination. This system is characterized by being clean and low-carbon, safe and controllable, flexible and efficient, intelligent and user-friendly, and open and interactive. In this context, in-depth research on market expansion strategies for power grid companies under the new power system is of significant practical importance. Through reasonable market expansion, power grid companies can better adapt to the trend of energy transition, enhance their market competitiveness, and achieve sustainable development; at the same time, it helps optimize energy resource allocation, improve the operational efficiency of the power system, and provide strong support for the green and low-carbon development of the economy and society.

Keywords : new power system; source network load storage interaction; market expansion

一、新型电力系统下电网企业面临的机遇与挑战

(一) 面临的挑战

在新型电力系统的构建进程中, 电网企业遭遇了诸多棘手的挑战。新能源接入带来的技术难题首当其冲, 风电^[1]、太阳能等新能源发电具有显著的间歇性和波动性特点。风力会因风速的不稳定而时大时小, 太阳能则会受昼夜更替、天气变化的影响, 导致发电功率难以保持稳定。这就使得电网的功率平衡调节变得极为困难, 传统电网在应对这种不稳定的电源时, 难以确保电力的可靠供应; 市场竞争的加剧也让电网企业倍感压力。售电侧改革的推进, 使得更多的市场主体参与到售电业务中来, 电网企业不再拥有绝对的市场垄断地位。这些新进入的售电公司通过提供多样化的套餐、个性化的服务等方式, 吸引用户, 分割市场份额; 技术升级与创新的需求也迫在眉睫。新型电力系统对电网的智能

化、自动化水平提出了更高的要求, 需要电网企业加大在技术研发方面的投入, 引入先进的信息技术、通信技术、控制技术等, 实现电网的智能感知、智能决策和智能控制。然而, 技术研发需要大量的资金、人力和时间投入, 且存在一定的风险^[2]。对于电网企业来说, 如何在保证现有业务稳定运行的前提下, 合理安排资源进行技术创新。同时, 技术的快速发展也使得设备更新换代的速度加快, 电网企业需要不断淘汰旧设备, 购置新设备, 这进一步增加了企业的运营成本。

(二) 机遇涌现

尽管挑战重重, 但新型电力系统也为电网企业带来了许多难得的机遇。随着新型电力系统建设的推进, 电网建设投资大幅增加。为了满足新能源接入和电力传输的需求, 需要加强电网基础设施建设, 包括特高压输电线路、智能变电站、配电网升级改造等。这为电网企业提供了广阔的市场空间, 企业可以通过参与电

作者简介: 王骋宇 (1988.12-), 男, 汉族, 河南郑州人, 本科, 工程师, 研究方向: 电力营销。

网建设项目，获取更多的业务收入。新技术的应用也为电网企业带来了发展契机。大数据、云计算、物联网、人工智能等新技术与电力系统的深度融合^[3]，为电网企业提供了更高效的运营管理手段。通过大数据分析，电网企业可以深入了解用户的用电行为和需求^[4]，实现精准营销和个性化服务；借助云计算技术，能够快速处理海量的电力数据，提高电网运行的分析和决策效率；物联网技术则实现了电网设备的互联互通，实时监测设备的运行状态，及时发现并解决故障^[5]；人工智能技术可用于电网的智能调度、故障诊断和预测性维护等，提升电网的运行可靠性和安全性。综合能源服务需求的增长也是一个重要机遇。随着能源消费结构的调整 and 用户对能源服务需求的多样化，综合能源服务市场逐渐兴起。电网企业凭借其在电力领域的资源和技术优势，可以拓展业务范围，向用户提供涵盖电力、燃气、热力等多种能源的综合服务。例如，为用户提供能源规划、能源管理、节能改造等一站式解决方案，帮助用户降低能源消耗和成本，提高能源利用效率^[6]。这不仅能够增加电网企业的收入来源，还能增强用户对企业的粘性和信任度。

二、市场拓展的可行路径

（一）加强电网建设与升级

在新型电力系统下，加强电网建设与升级是电网企业市场拓展的重要基础。特高压输电技术的发展对于优化能源资源配置具有关键作用。特高压输电线路能够实现大容量、远距离的电力传输，将西部、北部的清洁能源高效地输送到东部、南部负荷中心，有效解决能源供需分布不均衡的问题。例如，“西电东送”工程中的多条特高压输电线路，将云南、贵州等地的水电以及内蒙古、新疆等地的风电、太阳能电输送到广东、浙江等经济发达地区，极大地提高了能源输送效率，促进了清洁能源的消纳。

提升电网智能化水平是适应新型电力系统发展的必然趋势。利用物联网、大数据、云计算等技术，实现电网设备的智能化监测和控制，提高电网运行的智能化水平。通过安装智能电表，能够实时采集用户的用电数据，为电网企业提供精准的用户用电信息，以便开展精准营销和需求响应等业务。借助电网智能化调度系统，能够根据电力供需情况和电网运行状态，实现电力的优化调配，提高电网运行的安全性和经济性。

（二）开拓综合能源服务市场

开拓综合能源服务市场是电网企业实现多元化发展的重要途径。电网企业可以充分发挥自身的资源和技术优势，为用户提供全方位的能源服务。在能源规划方面，根据用户的用能需求和特点，为其制定个性化的能源解决方案，帮助用户优化能源结构，降低能源成本。例如，为大型商业综合体设计冷热电三联供系统，实现能源的梯级利用，提高能源利用效率；节能改造服务也是综合能源服务的重要内容。通过对用户的用能设备和系统进行节能诊断，提出节能改造方案，并实施改造工程，帮助用户降低能源消耗。比如，为工业企业更换高效节能的电机、变压器等设备，对建筑物进行保温隔热改造，安装智能照明系统等，有效减

少了能源浪费，实现了节能减排的目标；与能源企业、设备制造商等合作，共同开发综合能源项目，能够整合各方资源，实现优势互补。电网企业与太阳能设备制造商合作，在工业园区、居民小区等建设分布式光伏发电项目，既满足了用户的部分用电需求，又促进了清洁能源的利用。与储能企业合作，建设储能电站，提高电网的调节能力和稳定性，应对新能源发电的间歇性和波动性问题。通过这些合作，电网企业能够拓展业务领域，提高市场竞争力，同时推动综合能源服务市场的发展。

（三）推进数字化转型

推进数字化转型是电网企业提升运营效率和服务质量的关键举措。利用大数据技术，电网企业可以对电力生产、传输、分配和消费等各个环节产生的数据进行深度分析。通过分析用户的用电行为数据，了解用户的用电习惯和需求变化趋势，从而实现精准营销，为用户提供更加个性化的电力套餐和服务。根据不同用户的用电峰谷情况，制定差异化的电价套餐，鼓励用户合理调整用电时间，降低用电成本的同时，也有助于电网的削峰填谷，提高电力系统的稳定性。

人工智能技术在电网企业中的应用也日益广泛。在电网故障诊断方面，利用人工智能算法对电网运行数据进行实时监测和分析，能够快速准确地判断故障类型和位置，及时采取措施进行修复，减少停电时间，提高供电可靠性。通过对电网历史故障数据的学习和分析，人工智能系统可以预测潜在的故障风险，提前进行预警，以便电网企业进行预防性维护，降低设备故障率。在电力调度方面，人工智能技术能够根据电网实时运行状态和负荷预测结果，实现智能优化调度，提高电力资源的配置效率，降低电网运行成本^[7]。

（四）参与电力市场交易

参与电力市场交易是电网企业适应电力体制改革、拓展市场空间的重要手段。在电能量市场交易中，电网企业需要充分发挥自身的资源优势，优化购电策略。通过与发电企业签订长期稳定的购电合同，确保电力供应的稳定性和可靠性。密切关注电力市场价格波动，合理安排购电时机和电量，降低购电成本。在电力需求高峰时期，适当增加购电量，满足用户的用电需求；在电力需求低谷时期，减少购电量，避免不必要的成本支出。

创新交易模式对于电网企业在电力市场中取得竞争优势至关重要^[8]。探索开展电力期货、期权等金融衍生产品交易，为发电企业和用户提供风险管理工具，同时也为电网企业自身的风险管理提供支持。通过电力期货交易，发电企业可以锁定未来的电力价格，降低价格波动风险；用户可以提前锁定用电成本，避免因电力价格上涨带来的经济损失。电网企业则可以通过参与期货交易，优化自身的电力采购和销售策略，降低市场风险，提高经济效益。

三、策略与建议

（一）制定科学的市场拓展战略

电网企业应深入分析自身在资源、技术、品牌等方面的优

势，以及新型电力系统下市场需求的变化趋势，制定科学合理的市场拓展战略。明确市场定位，确定目标客户群体和业务领域，如针对大型工业企业、商业综合体、居民小区等不同客户群体，提供差异化的能源服务。制定详细的市场拓展计划，包括市场调研、业务推广、客户关系维护等方面的内容，确保战略的有效实施。同时，要密切关注市场动态和政策变化，及时调整战略，以适应市场的发展需求^[9]。

（二）加强人才培养与引进

人才是电网企业发展的核心竞争力^[10]。在新型电力系统下，电网企业需要大量既懂电力技术又懂市场运营的复合型人才。因此，要加强人才培养体系建设，通过内部培训、在线学习、实践锻炼等多种方式，提升员工的专业技能和综合素质。开展新能源接入技术、电力市场交易、综合能源服务等方面的培训课程，使员工能够掌握新型电力系统下的业务知识和技能。积极引进外部优秀人才，特别是具有跨领域知识和经验的高端人才，为企业的发展注入新的活力。与高校、科研机构建立合作关系，吸引优秀毕业生加入企业，同时引进具有丰富市场经验的专业人才，充实企业的人才队伍。

（三）强化合作与联盟

在新型电力系统的建设过程中，强化合作与联盟对于电网企业共同开拓市场具有重要意义。电网企业应积极与发电企业建立紧密合作关系，实现资源共享与优势互补。与新能源发电企业合作，共同开发新能源项目，促进新能源的消纳和利用。通过合作，电网企业可以获取更多的电力资源，保障电力供应的稳定性；发电企业则可以借助电网企业的输电网络和市场渠道，提高电力销售的效率和效益。

与能源服务企业、设备制造商等开展合作，共同拓展综合能源服务市场。能源服务企业在能源管理、节能技术等方面具有专业优势，设备制造商则能够提供先进的能源设备和技术支持。电网企业与它们合作，可以整合各方资源，为用户提供更加全面、

优质的综合能源服务。共同开展能源规划、节能改造、分布式能源开发等项目，满足用户多样化的能源需求，提升用户的能源利用效率。

参与行业联盟和标准化组织，加强与同行的交流与合作，共同推动行业的发展。在行业联盟中，电网企业可以与其他企业共同探讨新型电力系统建设中的技术难题和市场问题，分享经验和成果，共同制定行业标准和规范。这不仅有助于提升企业自身的技术水平和市场竞争力，还能够促进行业的健康发展，为电网企业的市场拓展创造良好的环境。通过参与标准化组织，电网企业可以在标准制定过程中发挥积极作用，将自身的技术优势 and 市场需求融入标准中，提高企业在行业中的话语权和影响力，为市场拓展奠定坚实的基础。

四、总结

在新型电力系统的时代浪潮下，电网企业的市场拓展路径呈现出多元化和创新性的特点。通过加强电网建设与升级，提高电网的智能化水平和供电可靠性，为新能源的接入和消纳提供坚实的支撑；开拓综合能源服务市场，满足用户多样化的能源需求，实现能源的高效利用和优化配置；推进数字化转型，利用大数据、人工智能等技术，提升企业的运营效率和服务质量；参与电力市场交易，优化购电策略，创新交易模式，在市场竞争中获取更大的发展空间。

电网企业应积极把握机遇，勇敢面对挑战，不断探索创新市场拓展路径。持续加大在技术研发、人才培养、合作联盟等方面的投入，提升自身的综合实力和市场竞争力。加强与政府、企业、科研机构等各方的合作，共同推动新型电力系统的建设和发展，为实现“双碳”目标和能源的可持续发展做出更大的贡献。相信在各方的共同努力下，电网企业在新型电力系统下必将迎来更加辉煌的发展前景。

参考文献

[1] 辛保安, 单葆国, 李琼慧, 等. “双碳”目标下“能源三要素”再思考 [J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(09).

[2] 徐润亨. Y 银行 S 分行柜面营销业务改进研究 [D]. 大连理工大学, 2018.

[3] 李影, 洪浪, 刘雨亭. 碳中和目标下, 晋能控股全产业链提效减排 [N]. 山西经济日报, 2021-04-06(002).

[4] 马旭, 张子昂. 反窃电检查在电力营销大数据应用探索 [J]. 电工技术, 2024, (S1): 43-45.

[5] 何雄军, 杨帆. 电网营销与配电一体化信息通信技术平台研究 [C]//中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集 (六). 国网十堰供电公司, 2024: 185-187.

[6] 宋婧楷. 电力市场化背景下电网竞争战略研究 [J]. 财讯, 2023, (23): 89-91.

[7] 何雄军, 杨帆. 电网营销与配电一体化信息通信技术平台研究 [C]//中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集 (六). 国网十堰供电公司, 2024: 185-187.

[8] 谢开, 刘敦楠, 李竹, 等. 适应新型电力系统的多维协同电力市场体系 [J]. 电力系统自动化, 2024, 48(04): 2-12.

[9] 刘中建. 考虑新能源电力系统惯量需求的容量市场研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2022.

[10] 刘斌, 李晓, 刘少华, 等. 电网企业适应转型发展的“两维一体”人才培养体系构建与实施 [C]//中国电力企业管理创新实践 (2022 年). 国网安徽省电力有限公司, 2024: 246-248.

水利工程混凝土施工质量通病成因及防控措施研究

李奕霖

第五师水利工程质量安全中心，新疆 双河 833408

摘 要： 水利工程作为国家基础设施建设的关键组成部分，在防洪、灌溉、供水、发电以及航运等多个领域发挥着不可替代的重要作用，与国家经济发展、社会稳定以及生态环境保护紧密相连。我国作为水资源分布不均且水旱灾害频发的国家，水利工程建设更是具有举足轻重的战略意义。诸如三峡大坝、南水北调等大型水利工程的成功建设，不仅极大地推动了经济的发展，显著提高了人民的生活水平，还在水资源的合理调配与高效利用、生态环境的有效保护等方面发挥了关键作用。深入研究水利工程混凝土施工质量通病的成因，并探寻切实有效的防控措施，具有极其重要的现实意义。

关 键 词： 水利工程；混凝土施工；质量通病；成因分析；防控措施

Research on the Causes and Preventive Measures of Common Quality Problems in Concrete Construction of Water Conservancy Projects

Li Yilin

Water Conservancy Project Quality and Safety Center of the Fifth Division, Shuanghe, Xinjiang 833408

Abstract： As a key component of national infrastructure, water conservancy projects play an irreplaceable role in various fields such as flood control, irrigation, water supply, power generation, and shipping, closely linked to national economic development, social stability, and ecological environmental protection. In China, where water resources are unevenly distributed and floods and droughts occur frequently, the construction of water conservancy projects has strategic significance. The successful construction of large-scale water conservancy projects such as the Three Gorges Dam and the South-to-North Water Diversion Project has not only greatly promoted economic development and significantly improved people's living standards but also played a key role in the rational allocation and efficient use of water resources, as well as the effective protection of the ecological environment. It is extremely important to conduct in-depth research on the causes of common quality problems in concrete construction of water conservancy projects and explore practical and effective preventive measures.

Keywords： water conservancy projects; concrete construction; common quality problems; cause analysis; preventive measures

一、水利工程混凝土施工质量通病概述

（一）蜂窝麻面

蜂窝麻面是水利工程混凝土施工中较为常见的质量通病之一。蜂窝通常表现为混凝土结构局部出现疏松，砂浆少、石子多，石子之间形成类似蜂窝状的空隙，这些空隙深度一般未达到钢筋位置，但会严重影响混凝土的外观和内部结构的密实性。在大坝、水闸等水利工程的混凝土浇筑中，若振捣不密实，就容易出现蜂窝现象，使得混凝土表面呈现出凹凸不平、石子外露的状态。麻面则是指混凝土表面局部出现缺浆和许多小凹坑、麻点，形成粗糙面。这种缺陷主要是由于模板表面粗糙或粘附杂物未清理干净，拆模时混凝土表面被粘坏；木模板未充分浇水湿润，构件表面混凝土水分被吸去；模板拼缝不严，局部漏浆；模板隔离剂涂刷不均或失效，混凝土表面与模板粘结等原因造成的。^[1]

（二）孔洞露筋

孔洞和露筋对水利工程的危害极大。孔洞的存在减小了混凝土结构物的有效截面尺寸，直接降低了其承载能力，使其难以承

受设计荷载。对于储水类水利构件，如水池、水箱等，孔洞会严重破坏其抗渗性能，导致漏水，影响工程的正常使用。露筋则会使钢筋直接暴露在外界环境中，加速钢筋的锈蚀。^[2]钢筋锈蚀后体积膨胀，会进一步挤压周围的混凝土，造成混凝土开裂、剥落，形成恶性循环，严重削弱结构的耐久性和安全性，缩短水利工程的使用寿命。若不及时处理，可能引发结构坍塌等严重事故，给人民生命财产安全带来巨大威胁。

（三）裂缝

不同类型的裂缝对水利工程的危害程度各不相同。表层裂缝虽然对结构的承载能力影响相对较小，但会削弱混凝土的耐久性，为外界侵蚀性介质提供入侵通道，加速混凝土的碳化和钢筋的锈蚀。贯通裂缝则严重破坏了混凝土结构的整体性和抗渗性，极大地降低了结构的承载能力和稳定性，对水利工程的安全运行构成严重威胁。横向、纵向和斜向裂缝也会不同程度地降低混凝土结构的强度和稳定性，影响工程的正常使用，若不及时处理，裂缝可能会进一步发展，导致结构损坏甚至坍塌。

（四）错台

错台是指在混凝土墩墙分层浇筑处，上下层在垂直面上错开一定的位置，形成台阶状；或者不同分块的墩墙垂直分缝处明显不在同一平面，导致相邻面错开的现象。在一些水利工程的挡土墙施工中，由于模板安装和固定的问题，就容易出现这种错台现象。其产生原因较为复杂，后浇筑结构模板与先浇筑结构已拆模的混凝土接触不严密，支撑、固定不牢靠是常见原因之一。在实际施工中，若模板安装时未能与已浇筑混凝土紧密贴合，在混凝土浇筑过程中，受到混凝土侧压力和振捣的影响，模板容易发生位移，从而导致错台。^[3,4] 模板拼缝经反复拆装，企口变形严重或支模时模板垂直度控制不好，相邻两块模板错缝，也会引发错台。长期使用的模板，其企口部位容易磨损变形，在重新拼装时难以保证精度，致使相邻模板之间出现错缝，进而形成错台。

二、质量通病成因分析

（一）原材料因素

1. 水泥质量问题

水泥作为混凝土中关键的胶凝材料，其质量优劣直接关乎混凝土的性能与质量。水泥的安定性是一项极为重要的质量指标，它反映了水泥在硬化过程中体积变化的均匀性。若水泥安定性不良，在混凝土硬化后，会因水泥中某些成分的化学反应而产生不均匀的体积膨胀，进而导致混凝土开裂、变形，严重影响混凝土结构的稳定性与耐久性。例如，当水泥中游离氧化钙（f-CaO）含量过高时，f-CaO 在水泥硬化后会缓慢水化，生成氢氧化钙，体积膨胀约 98%，产生巨大的内应力，使混凝土结构出现裂缝，降低结构的承载能力。

2. 骨料问题

骨料作为混凝土的主要组成部分，约占混凝土体积的 70% - 80%，其质量对混凝土的和易性、强度以及耐久性等性能有着至关重要的影响。骨料的含泥量是一个关键指标，当骨料含泥量过高时，泥土会吸附大量的水泥浆，降低水泥浆与骨料之间的粘结力，从而削弱混凝土的强度。同时，含泥量过高还会增加混凝土的需水量，导致混凝土的和易性变差，容易出现泌水、离析等现象。^[5]

（二）施工工艺因素

1. 混凝土搅拌不均匀

混凝土搅拌是混凝土生产过程中的关键环节，搅拌效果直接影响混凝土的质量。搅拌时间不足是导致混凝土搅拌不均匀的常见原因之一。当搅拌时间过短时，水泥、骨料、外加剂等原材料无法充分混合，水泥浆不能均匀地包裹骨料表面，使得混凝土各组分之间的粘结力不足，从而影响混凝土的和易性。在一些小型水利工程的混凝土搅拌中，由于搅拌机容量较小，为了提高生产效率，缩短了搅拌时间，导致混凝土出现泌水、离析现象，浇筑后表面出现蜂窝麻面，严重影响混凝土的外观质量和内部结构的密实性。

2. 浇筑方法不当

混凝土浇筑是将混凝土拌合物浇筑到设计位置并使其成型的过程，浇筑方法是否得当对混凝土质量有着重要影响。在水利工

程中，当混凝土浇筑高度过大时，若未设置串筒、溜槽等辅助设施，混凝土在自由下落过程中，由于受到重力作用，粗骨料与砂浆会发生分离，导致混凝土离析。

3. 振捣不充分

振捣是保证混凝土密实性的关键工序，振捣不充分会导致混凝土内部存在大量气泡和空隙，严重影响混凝土的质量。振捣时间不足是导致振捣不充分的常见原因之一。当振捣时间过短时，混凝土中的气泡无法充分排出，水泥浆不能充分包裹骨料，使得混凝土内部结构疏松，强度降低。

三、防控措施研究

（一）原材料质量控制

1. 严格原材料进场检验

为确保水利工程混凝土施工质量，必须建立完善的原材料进场检验制度，对每一批进场的原材料进行严格细致的检验，从源头上把控质量关。

对于水泥，应依据《通用硅酸盐水泥》（GB 175 - 2007）等相关标准，对其品种、级别、包装、出厂日期等进行全面检查。同时，按照规定的抽样频率和方法，对水泥的强度、安定性等关键指标进行复检。同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的水泥，袋装不超过 200t 为一批，散装不超过 500t 为一批，每批必须抽样不少于一次。

2. 合理选择原材料

水泥品种的选择应结合工程的具体需求。普通硅酸盐水泥应用广泛，适用于一般的水利工程；对于大体积混凝土工程，如大坝等，为降低水泥水化热，防止混凝土因温度应力产生裂缝，宜选用中热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥。在三峡大坝的建设中，选用了低热水泥，并通过优化配合比和施工工艺，有效控制了混凝土的水化热温升，减少了裂缝的产生，确保了大坝的安全稳定运行。

骨料级配的合理性对混凝土性能至关重要。良好的骨料级配能够使骨料在混凝土中相互填充，形成紧密的堆积结构，减少空隙率，提高混凝土的密实度和强度。在选择骨料时，应根据工程结构的特点和施工条件，确定合适的骨料粒径和级配。对于水工结构物，如闸墩、挡土墙等，宜选用粒径较大、级配良好的骨料，以提高混凝土的抗渗性和耐久性。同时，要严格控制骨料的含泥量和针片状含量，避免其对混凝土性能产生不利影响。

（二）优化施工工艺

1. 规范混凝土搅拌工艺

混凝土搅拌工艺对混凝土质量起着决定性作用，明确并严格遵循科学合理的搅拌工艺参数至关重要。搅拌时间是搅拌工艺中的关键参数之一，不同类型的混凝土由于其配合比和原材料特性的差异，所需的搅拌时间也各不相同。一般而言，普通混凝土的搅拌时间应控制在 90 - 120 秒之间，以确保水泥、骨料、外加剂等原材料能够充分混合，水泥浆均匀地包裹骨料表面，使混凝土各组分之间形成良好的粘结力，保证混凝土的和易性。^[6,7]

2.改进混凝土浇筑方法

根据水利工程不同部位和结构特点,选择合适的浇筑方法是保证混凝土浇筑质量的关键。对于大体积混凝土结构,如大坝、基础底板等,由于混凝土浇筑量大、施工时间长,宜采用分层分段浇筑法。这种方法可以将混凝土浇筑区域划分为若干个分层和分段,按照一定的顺序依次进行浇筑,使混凝土在浇筑过程中能够充分散热,避免因水化热积聚导致混凝土内部温度过高,产生温度裂缝。在三峡大坝的混凝土浇筑中,采用了通仓薄层浇筑法,每层浇筑厚度控制在 1.5 – 3.0 米之间,通过合理安排浇筑顺序和时间间隔,有效地控制了混凝土的水化热温升,确保了大坝的施工质量和安全。

3.加强混凝土振捣

合理的振捣是保证混凝土密实度的关键,确定并严格控制振捣时间、振捣点间距等振捣参数至关重要。振捣时间应根据混凝土的坍落度、骨料粒径等因素进行调整,一般以混凝土表面不再出现气泡、不再显著下沉、表面泛浆为准。振捣点间距应根据振捣设备的作用半径进行合理确定,一般不宜大于振捣器作用半径的 1.5 倍。^[8]

(三)模板施工质量控制

1.保证模板质量

模板及其支架作为混凝土浇筑过程中的重要支撑结构,必须具备足够的承载能力、刚度和稳定性,以确保在混凝土浇筑过程中能够承受混凝土的自重、侧压力以及施工荷载等各种作用力,不发生变形、倾斜或倒塌等情况,从而保证混凝土结构的尺寸精度和外观质量。在模板制作过程中,应严格按照设计图纸和相关标准进行加工。模板的平整度、垂直度、尺寸精度等指标必须符合要求,以保证混凝土结构的成型质量。木模板的制作应选用质地坚硬、无腐朽、无裂缝的木材,模板的拼接应严密,采用硬拼缝,避免漏浆。钢模板的制作应采用优质钢材,经过精确的切割、焊接和打磨等工艺,确保模板表面平整光滑,拼接缝严密。^[9,10]

2.控制模板拆除时间

混凝土的强度增长是一个渐进的过程,受到水泥品种、配合

比、养护条件等多种因素的影响。在混凝土浇筑初期,水泥水化反应逐渐进行,混凝土内部结构逐渐形成,强度也随之增长。一般来说,普通硅酸盐水泥配制的混凝土,在标准养护条件下(温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度 95% 以上),1 天强度可达设计强度的 5% – 10%,3 天强度可达设计强度的 25% – 40%,7 天强度可达设计强度的 60% – 75%,28 天强度可达到设计强度的 100%。在实际工程中,由于养护条件的差异,混凝土的强度增长速度会有所不同。在高温干燥的环境下,混凝土水分蒸发过快,强度增长可能会受到抑制;而在低温潮湿的环境下,水泥水化反应速度减慢,混凝土强度增长也会变慢。

为了确保混凝土结构在拆除模板后能够承受自身重量和施工荷载,必须根据混凝土的强度增长规律,制定科学合理的模板拆除时间标准。对于底模及其支架,当构件跨度不大于 2m 时,混凝土强度应达到设计强度的 50%;当构件跨度大于 2m 且不大于 8m 时,混凝土强度应达到设计强度的 75%;当构件跨度大于 8m 时,混凝土强度应达到设计强度的 100%。

四、结束语

本文深入研究了水利工程混凝土施工质量通病的成因及防控措施,通过对常见质量通病的类型、成因进行详细分析,提出了一系列针对性的防控措施,旨在提高水利工程混凝土施工质量,确保水利工程的安全稳定运行。通过严格控制原材料质量,能够从源头上保障混凝土的性能;优化施工工艺可以确保混凝土在搅拌、浇筑和振捣过程中达到最佳状态,提高混凝土的密实性和强度;加强模板施工质量控制能够保证混凝土结构的尺寸精度和外观质量;强化施工管理可以提高施工人员的素质和责任心,确保各项施工规范和质量要求得到有效执行。只有综合运用这些防控措施,才能有效预防和减少水利工程混凝土施工质量通病的发生,提高水利工程建设质量和运行效益,为国家的经济发展和社会稳定提供坚实的水利保障。

参考文献

- [1] 陈鹏. 水利工程施工质量控制问题及应对措施分析 [J]. 水上安全, 2023, (07): 22–24.
- [2] 慕跃飞. 水利工程混凝土施工技术及其质量控制策略 [J]. 工程与建设, 2024, 38(02): 412–413+439.
- [3] 张剑. 水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术研究 [J]. 工程与建设, 2023, 37(06): 1775–1777.
- [4] 房广云. 水利工程施工混凝土裂缝的产生原因及防治措施 [J]. 水上安全, 2023, (13): 188–190.
- [5] 房广云. 水利工程施工混凝土裂缝的产生原因及防治措施 [J]. 水上安全, 2023, (13): 188–190.
- [6] 杨正平. 水利工程施工中的混凝土裂缝的防治技术 [J]. 石材, 2023, (11): 92–94.DOI: 10.14030/j.cnki.scaa.2023.0488.
- [7] 聂培, 周娟. 水利工程混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术 [J]. 水上安全, 2024, (04): 187–189.
- [8] 周秋露. 水利工程施工中混凝土裂缝控制策略探讨 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(01): 103–105.DOI: 10.19537/j.cnki.2096–2789.2024.01.033.
- [9] 蒋宜英. 水利工程施工中混凝土裂缝的防治策略研讨 [J]. 水上安全, 2023, (16): 169–171.
- [10] 李汉林. 水利施工的大体积混凝土抗裂技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (36): 178–180.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202336059.

