

燃煤电厂节水新技术 与废水综合利用

中国能源建设集团规划设计有限公司

2018年7月11日 内蒙古包头

主要内容

- 燃煤电厂节水的必要性
- 燃煤电厂用/排水现状
- 燃煤电厂节水的主要途径与技术发展
- 节水新技术
- 废水达标排放 V. S. 回收利用
- 结论与建议

燃煤电厂节水的必要性

- 背景

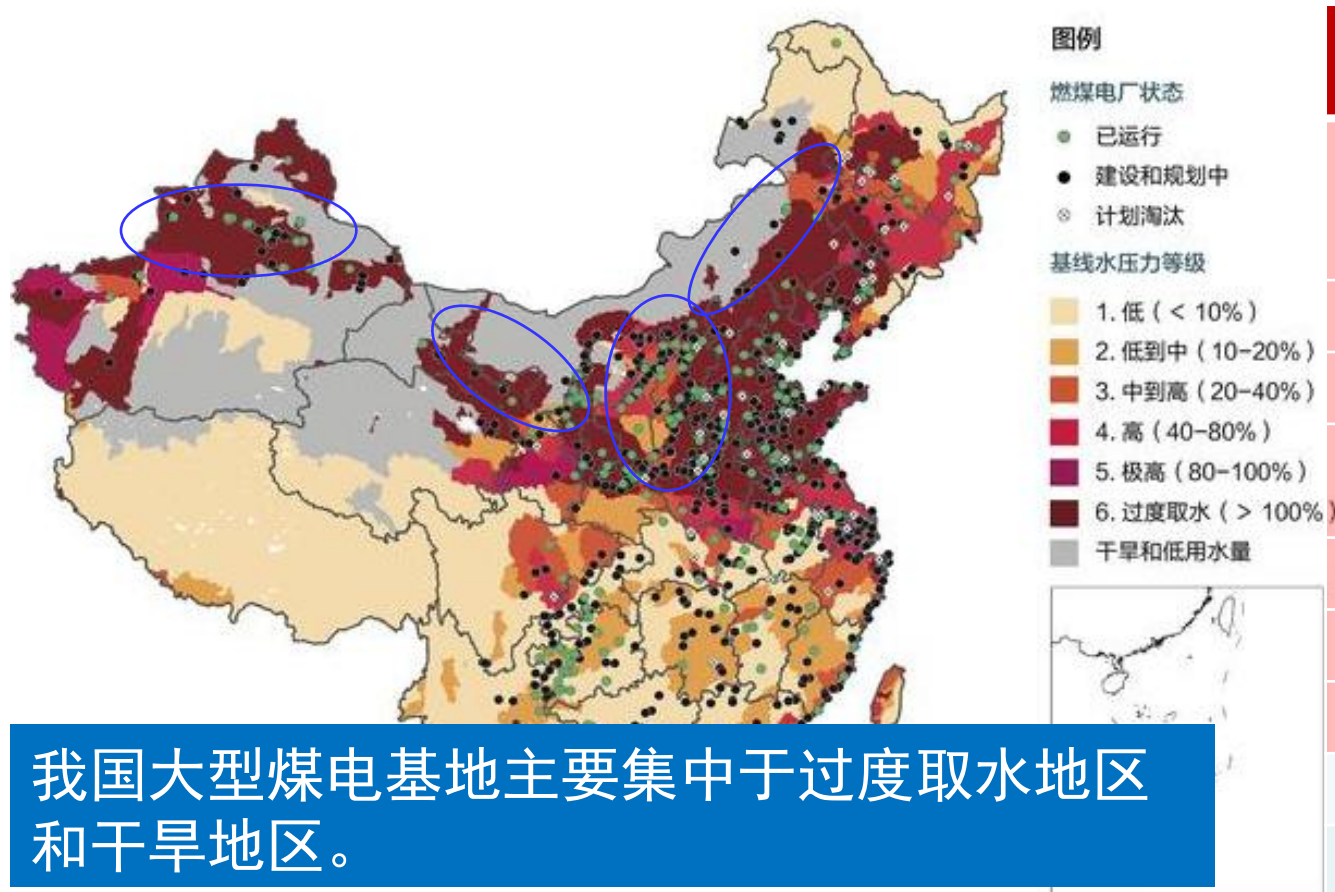
- 中国缺水，缺**洁净**的水
- 呈现北方水量型缺水与南方水质型缺水突出并存的特点

2015年4月发布《水污染防治行动计划》（简称“水十条”），提出“强化源头控制，实行最严格环保制度”。以下为“电力”相关摘抄：

- 严格控制缺水地区、水污染严重地区和敏感区域高耗水、高污染行业发展，新建、改建、扩建重点行业建设项目**实行主要污染物排放减量置换**。
- **具备使用再生水条件**但未充分利用的钢铁、火电、化工、制浆造纸、印染等项目，**不得批准其新增取水许可**。
- 在沿海地区电力、化工、石化等行业，**推行直接利用海水作为循环冷却等工业用水**。
- **控制用水总量**。严控地下水超采。到2020年，电力、钢铁、纺织、造纸、石油石化、化工、食品发酵等**高耗水行业达到先进定额标准**。

燃煤电厂节水的必要性

• 2020年中国预计运行燃煤电厂与基线水压力分布图



省份	国家级大型煤电基地（十二五规划）
内蒙古	准格尔、鄂尔多斯、锡林郭勒、呼伦贝尔、霍林河
黑龙江	宝清
宁夏	宁东
山西	晋东南、晋中、晋北
陕西	陕北、彬长
甘肃	陇东
新疆	准东、哈密、伊利
安徽	淮南
贵州	贵州

燃煤电厂节水的必要性

- 2020年中国预计运行燃煤电厂基线水压力类别分布图



注：煤电装机量排除了使用海水或咸淡水作为冷却水的燃煤电厂

超过50%的燃煤火电机组位于过度取水地区，装机容量高达 4.5×10^5 MW（4500万千瓦）。



数据摘自：《中国煤电产能过剩与水资源压力研究报告》by绿色和平，2017年
中国能源建设集团规划设计有限公司

燃煤电厂节水的必要性

- 水资源短缺
- 环境污染超负荷
- 生态功能退化

限制/制约

能源生产与
工业发展

电力工业

- 缓解用水与水资源短缺的矛盾
- 减少工业废水污染负荷
- 建设清洁电力能源（火电）

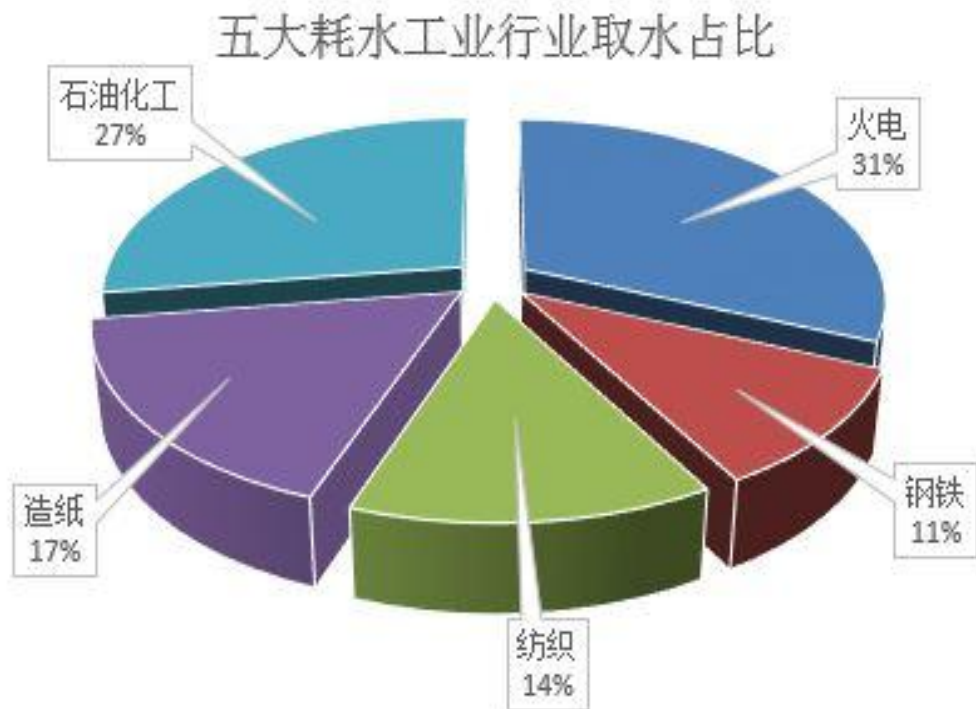
高效用水和深度节水型火力发电机组是未来十年燃煤火电机组设计、运行优化的重点之一。

主要内容

- 燃煤电厂节水的必要性
- 燃煤电厂用/排水现状
- 燃煤电厂节水的主要途径与技术发展
- 节水新技术
- 废水达标排放 V. S. 回收利用
- 结论与建议

燃煤电厂用/排水现状

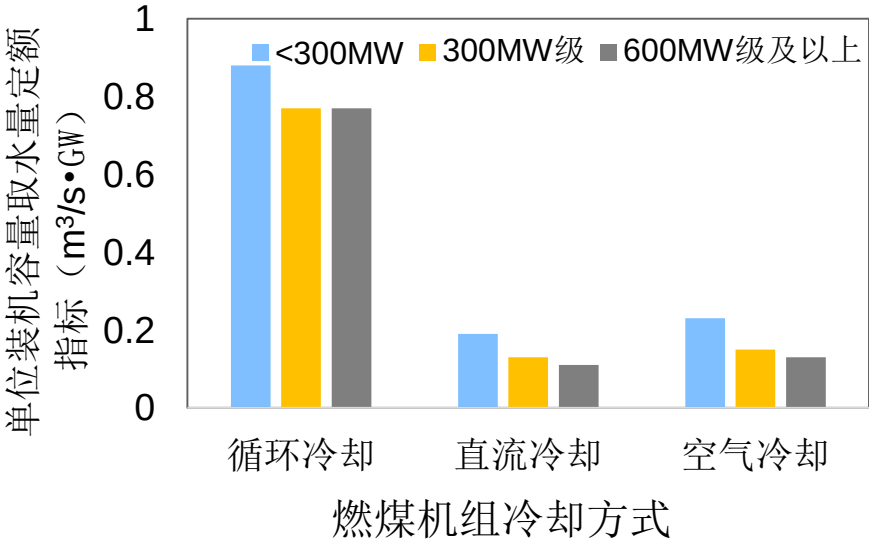
- 火电是高耗水工业，主要体现在取水总量大。



燃煤电厂用/排水现状

• 燃煤电厂取水定额与设计耗水指标

取水定额（2012）



- 注：
- 1. 热电联产增加对外供汽、供热而增加的取水量
 - 2. 当采用再生水等非常规水资源时，取水量可适当增加
 - 3. 直流冷却用水未计入取水定额

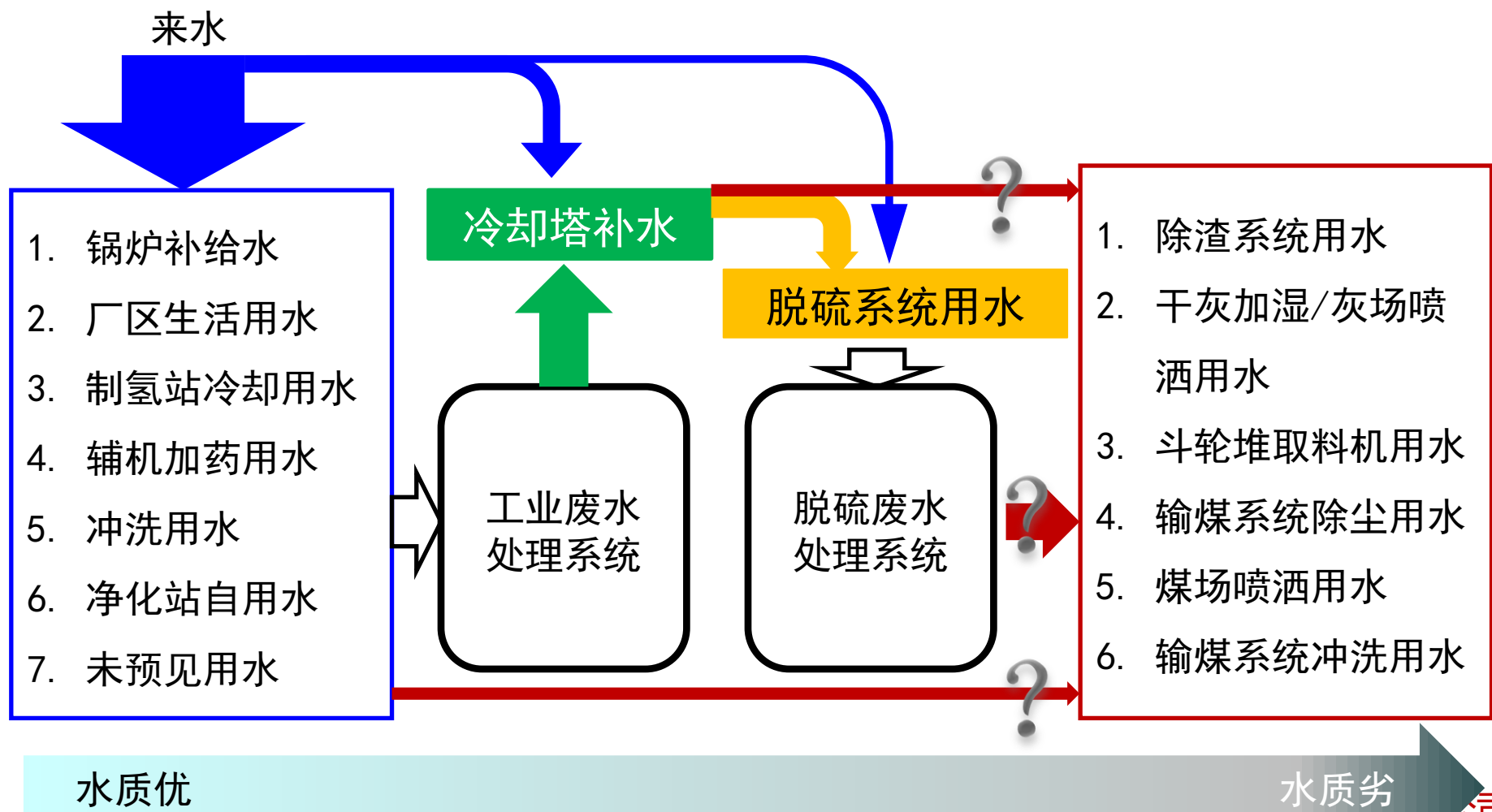
设计耗水指标 (m³/s · GW)

机组	<300MW	300MW级	≥600MW级
淡水循环	0.55~0.80	0.50~0.70	0.40~0.65
淡水直流	0.08~0.12	0.07~0.10	0.04~0.09
海水直流/循环	0.08~0.12	0.07~0.10	0.04~0.08
空冷机组 ¹	0.11~0.15	0.08~0.12	0.05~0.11
空冷机组 ²	0.09~0.12	0.07~0.10	0.04~0.09
空冷机组 ³	——	0.04~0.06	0.03~0.05

- 1: 湿法脱硫、干式除灰、干式除渣、电动给水泵或汽动给水泵排汽空冷、辅机冷却水湿冷
- 2: 湿法脱硫、干式除灰、干式除渣、电动给水泵或汽动给水泵排汽空冷、**辅机冷却水空冷**
- 3: **干法脱硫**、干式除灰、干式除渣、电动给水泵或汽动给水泵排汽空冷、辅机冷却水空冷

燃煤电厂用/排水现状

• 燃煤电厂分质梯度用水概念图



燃煤电厂用/排水现状

成绩

- 燃煤电厂水的重复/循环利用率高，且高于其他工业。
- 燃煤电厂以城市中水、矿井疏干水等非常规水源替代地表水、地下水为工业节水做出了贡献。

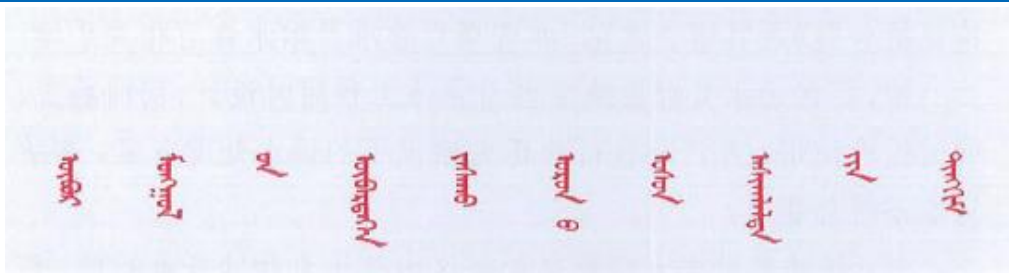
反思

- 冷却水排污水、脱硫废水中的主要污染物为磷、氮、盐类及难降解有机物。
- 以再生水为水源的循环排污水中存在总磷、难降解有机物、总氮超标， COD_{Cr} 及TN浓度高达70~100 mg/L及40~60 mg/L。
- （暴雨初期）雨水并未纳入电厂水管理范畴。

燃煤电厂用/排水现状

- 取水指标

$< 0.1 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{GW}$



缺水地区燃煤机组运行面临取水指标低和取水价格高的问题，倒逼机组进一步减少用水

- 取水价格

黄河流域地表水
取水价格在7-10元/吨

考虑输水及净化损失，核定工程生产取水量热季为 $171.9 \text{ m}^3/\text{h}$ ，冷季为 $181.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ，机组生产年用水量按 6500 h 计算，生产取水量 $115.2 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ ；生活取水量为 $3.3 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ ，总取水量 $118.5 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。工程水的重复利用率为 97.75% 。

考虑褐煤提水单位装机取水指标为热季 $0.035 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$ （冷季 $0.036 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$ ），不考虑褐煤提水单位装机取水指标为热季 $0.050 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$ （冷季 $0.051 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$ ），

项目取用水符合自治区行业用水定额标准、区域水资源配置及“三条红线”指标要求。

主要内容

- 燃煤电厂节水的必要性
- 燃煤电厂用/排水现状
- 燃煤电厂节水的主要途径与技术发展
- 节水新技术
- 废水达标排放 V. S. 回收利用
- 结论与建议

节水的主要途径与技术发展

- 空冷机组用水工艺与节点
 - 辅机冷却水
 - 石灰石-石膏烟气湿法脱硫
 - 锅炉补给水
 - 生活用水等
- 节水的方式
 - 耗水工艺的替代
 - 污废水处理与再生利用
 - 非常规水资源的再生利用
 - 解决跑、冒、滴、漏（运行管理）

节水的主要途径与技术发展

• 现有的节水技术与措施

序号	节水技术和措施	单位	耗水指标
1	主机空冷、湿法脱硫、电动给水泵或汽动给水泵排汽空冷、干式除灰/渣、辅机冷却水湿冷	m ³ /s. GW	0.12
2	主机空冷、湿法脱硫、电动给水泵或汽动给水泵排汽空冷、干式除灰、干式除渣、真空清扫、辅机冷却水湿冷	m ³ /s. GW	0.10
3	主机空冷、湿法脱硫、电动给水泵或汽动给水泵排汽空冷、干式除灰、干式除渣、真空清扫、辅机冷却水空冷	m ³ /s. GW	0.08

主要内容

- 燃煤电厂节水的必要性
- 燃煤电厂用/排水现状
- 燃煤电厂节水的主要途径与技术发展
- 节水新技术
- 废水达标排放 V. S. 回收利用
- 结论与建议

节水新技术

新的代表性的节水技术

	烟气水回收	脱硫废水零排放	干法活性焦脱硫工艺
节水量（以石灰石-石膏烟气湿法脱硫工艺耗水计）	$80\% \times 30\% = 24\%$	$20\% \times 75\% = 15\%$	100%（除吸收二氧化硫的水外）
设备工艺造价	22-214元/kW	38-100元/kW	700元/kW
运行费用（能耗）	回收部分潜热	40-80元/吨水	
技术成熟度	国外有相关工程	国内已有相关工程	国外已有相关工程
其他优缺点	减少白烟，减少烟气量，降低烟气腐蚀性	回收工业盐，减少废水排放	脱硫适用范围窄，但能协同脱汞、脱三氧化硫等，回收硫酸

节水新技术

间接接触式冷凝水回收主要设备——管式换热器

- 氟塑料：设备成本较高，设备接口处安装要求高，换热效率相对较低
- 改性塑料：设备成本低，设备接口处安装要求高，换热效率相对较低
- 搪瓷管：设备成本相对低，设备接口处易腐蚀，换热效率较高
- 钛钢：设备成本较高，设备接口焊接要求高，长期运行可能存在腐蚀，换热效率高

氟塑料HDS换热器



搪瓷管换热器



钛钢换热器



水回收实际安装图



节水新技术

- 研究成果四：完成了2 × 660MW燃煤机组烟气冷凝水回收方案设计、设备选型与布置优化等。

(1) 根据机组水平衡，确定冷凝水回收量

不采取
烟气冷凝水回收



电厂夏季纯凝工况补水率 ($\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$)	0.047
机组夏季最大耗水量 (m^3/h)	222.2
电厂夏季最大补水量 (m^3/h)	217.2 (再生水) +5 (自来水)



满足脱硫工艺用水，夏季烟气冷凝水回收量92.2 m^3/h ，烟气冷却器应按夏季纯凝工况下进行配置

采取烟
气冷凝水回收



电厂夏季纯凝工况补水率 ($\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$)	0.0275
机组夏季最大耗水量 (m^3/h)	222.2
电厂夏季最大补水量 (m^3/h)	125 (再生水) +5 (自来水)

节水新技术

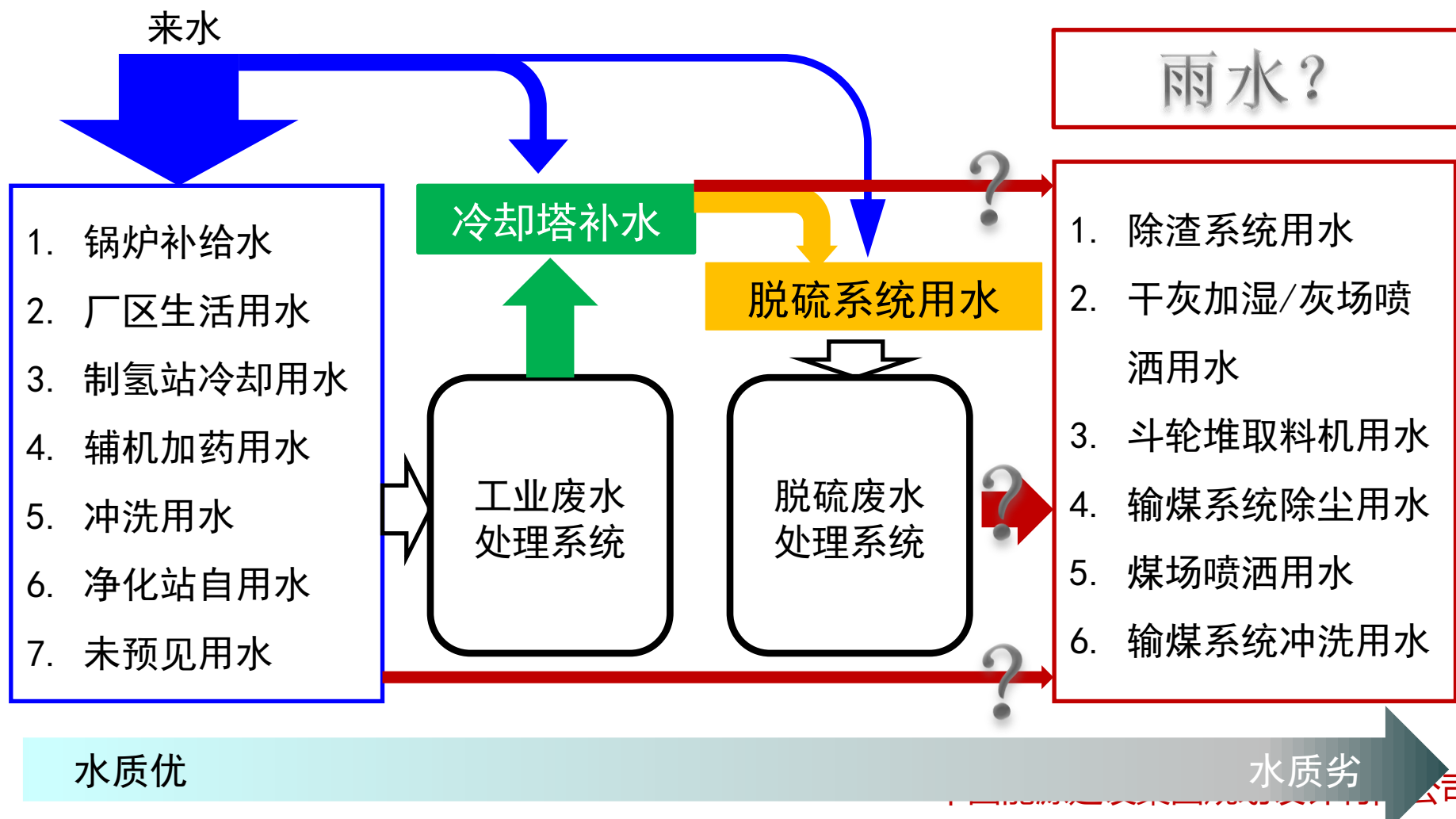
(1) 烟气冷凝水回收技术对烟气要求低，冷源选择多样，在现阶段烟气冷凝水回收技术是技术可行、设备可选、经济适宜的烟气水回收技术。

(2) 间接冷凝水回收技术对我国燃煤机组尤其是北方缺水地区的空冷机组更为适宜，当冷却水为非限制性因素时，直接冷凝与间接冷凝应根据设备固定资产投资、占地、运行维护成本等进行综合技术经济分析确定。

(3) 烟气水回收技术应用前景广阔，针对缺水地区，可有效降低燃煤电厂的耗水指标，实现燃煤机组的深度节水；同时，烟气中细颗粒烟尘能够进一步降低60%， SO_3 降低70%以上，有效减少了烟气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放。

废水达标排放 V. S. 回收利用

• 燃煤电厂分质梯度用水概念图



废水达标排放 V. S. 回收利用

- 燃煤电厂废水达标排放应满足GB8978-1996 《污水综合排放标准》。
- 没有对含盐量给出相应规定，氮、磷、有机物等指标较松。
- 冷却水排污水为清洁下水。

水环境保护标准

水环境质量标准

■ 水污染物排放标准

相关标准

水污染物排放标准

- | | |
|---|------------|
| · 船舶水污染物排放控制标准 --GB 3552-2018代替GB 3552-83 | 2018/07/01 |
| · 石油炼制工业污染物排放标准 --GB 31570-2015 | 2015/07/01 |
| · 再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准 --GB 31574—2015 | 2015/07/01 |
| · 合成树脂工业污染物排放标准 --GB 31572-2015 | 2015/07/01 |
| · 无机化学工业污染物排放标准 --GB 31573-2015 | 2015/07/01 |

废水达标排放 V. S. 回收利用

- 含盐量

- 北京：TDS（单位废水总排放口）不超过1600mg/L，氯化物不超过500mg/L，硫酸盐不超过400mg/L
- 山东：TDS不超过1600mg/L的；以中水或循环水为主要水源的企业，TDS不超过2000mg/L。
- 城市再生污水利用于农田灌溉（GB20922）要求：非盐碱地区TDS不超过1000mg/L，盐碱地区不超过2000mg/L。
- 水源地电厂执行地表水环境质量标准（GB3838）。

注：山东针对特定的流域给出的标准

废水达标排放 V. S. 回收利用

- 氮、磷、有机物

II、III类水体

IV、V类水体

污染物或项目名称	A 排放限值	B 排放限值
北京 (2013)	6.5~8.5	6~9
	35	35
色度/倍	10	30
悬浮物 (SS)	5	10
五日生化需氧量 (BOD ₅)	4	6
化学需氧量 (COD _{Cr})	20	30
总有机碳 (TOC)	8	12
氨氮 ^①	1.0 (1.5)	1.5 (2.5)
总氮	10	15
总磷 (以 P 计)	0.2	0.3

废水达标排放 V. S. 回收利用

• 氮、磷、有机物

IV类水体/二
、三类海域

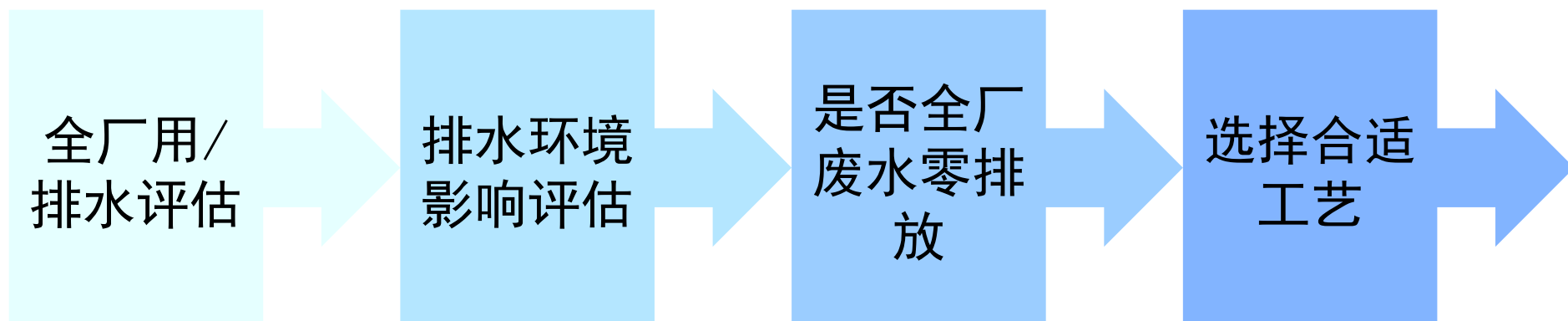
V类水体/四
类海域

污染物	直接排放	
	一级标准	二级标准
pH	6~9	6~9
色度	20	30
悬浮物 (SS)	10	10
五日生化需氧量 (BOD ₅)	6	10
化学需氧量 (COD _{Cr})	30	40
石油类	0.5	1.0
动植物油类	10	15
挥发酚	0.01	0.1
总氰化物 (以 CN ⁻ 计)	0.2	0.2
硫化物	0.5	1.0
氨氮 (以 N 计) *	1.5 (3.0)	2.0 (3.5)
总氮	10	15
氟化物	1.5	1.5
总磷 (以 P 计)	0.3	0.4

天津 (2018新标)

废水达标排放 V. S. 回收利用

- 冷却方式不同、用水管理、降水差异导致终排口排水量和排水水质有所差别；
- 排水排入环境水体的差异、地区标准与环境容量的差别，导致燃煤电厂废水达标排放或零排放要求不同；



废水达标排放 V. S. 回收利用

1. 脱硫废水处理达标排放与零排放

- 已建成项目情况（零排放）

电厂	机组 (MW)	出力 (t/h)	工艺	总投资 (¥)	吨水运行费 用 (¥)
河源	2×600	15~16	深度预处理+四效蒸发MED+盐干燥系统	12000	70-80
三水恒益	2×600	20	常规预处理+两级MVC蒸发器+两效MED 蒸发结晶+盐干燥系统	4600*	45
长兴	2×660	22	深度预处理+过滤+离子交换+反渗海水透 +正渗透+结晶+盐干燥系统	8500	40

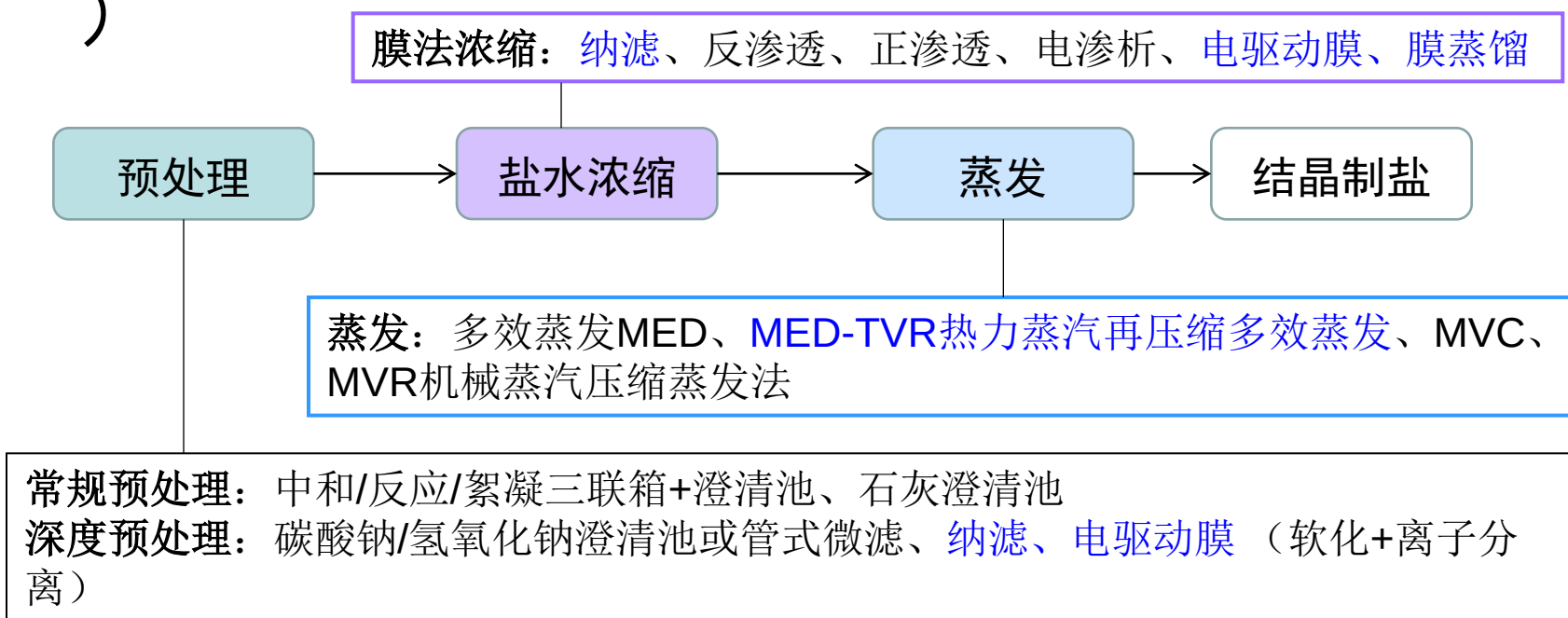
* 不包括预处理系统、土建和安装费用

- 零排放招标或立项阶段项目：**天津北疆、神华永州、国电汉川、鄂州电厂、国华广西鹿寨、华能巢湖、京能涿州、国电云南宣威、浙能兰溪、神华三河、华电安康、山西王曲、国电蚌埠、广西北海、国电宿迁、华电河西、大唐洛河（华东院统计）

废水达标排放 V. S. 回收利用

1. 脱硫废水处理达标排放与零排放

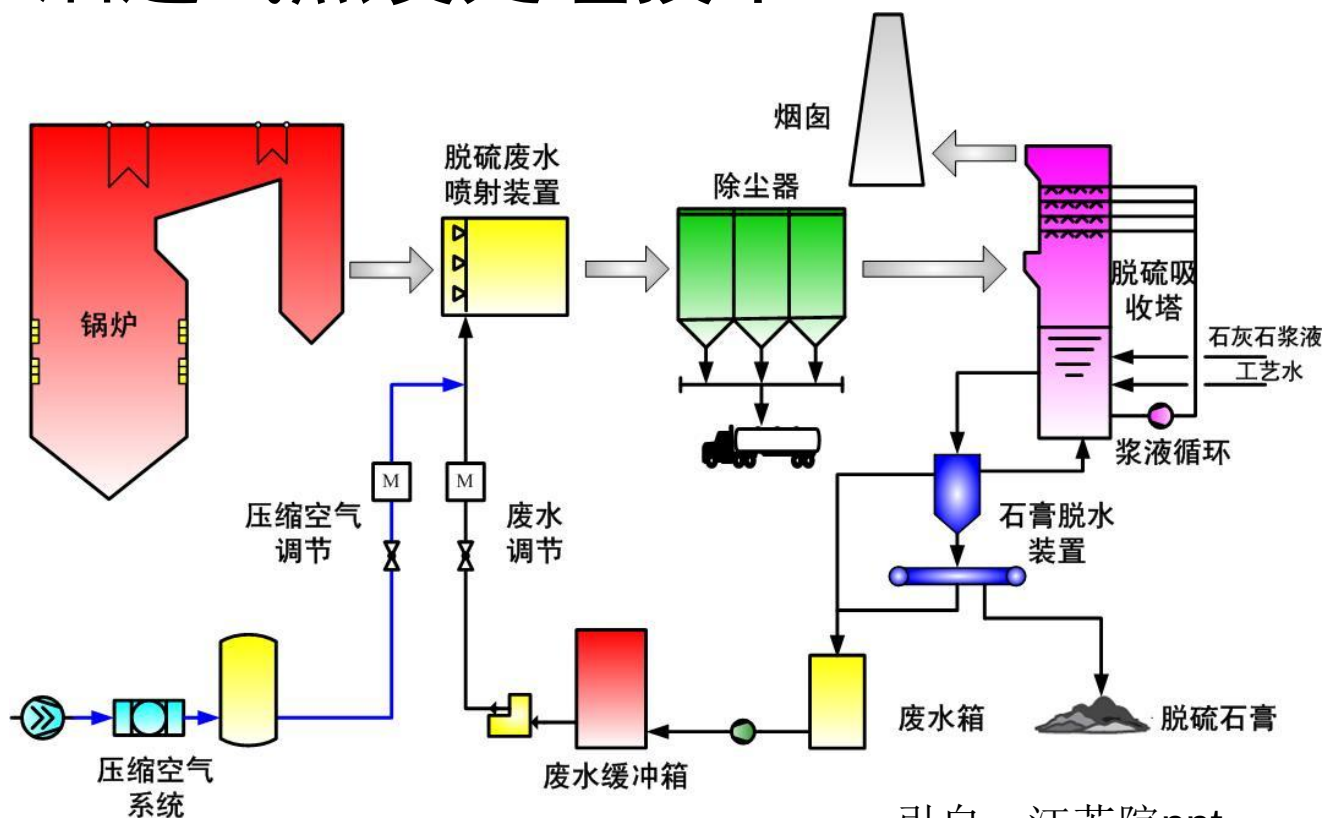
- 典型工艺与组合工艺（达标排放与零排放）



废水达标排放 V. S. 回收利用

1. 脱硫废水处理达标排放与零排放

• 烟道气蒸发处理技术



考虑以下因素：

- (1) 烟气温度与温降
- (2) 下游设备的腐蚀
- (3) 废水量与烟气量匹配

引自：江苏院ppt

中国能源建设集团规划设计有限公司

废水达标排放 V. S. 回收利用

2. 城市再生水用于电厂生产用水、冷却水等带来的一系列问题

- 再生水水质特点

- 有机物成分复杂，矿化程度低
- 与自然水体相比，含盐量高
- 氨氮、总氮、总磷较高
- 异养菌浓度高（悬浮物）

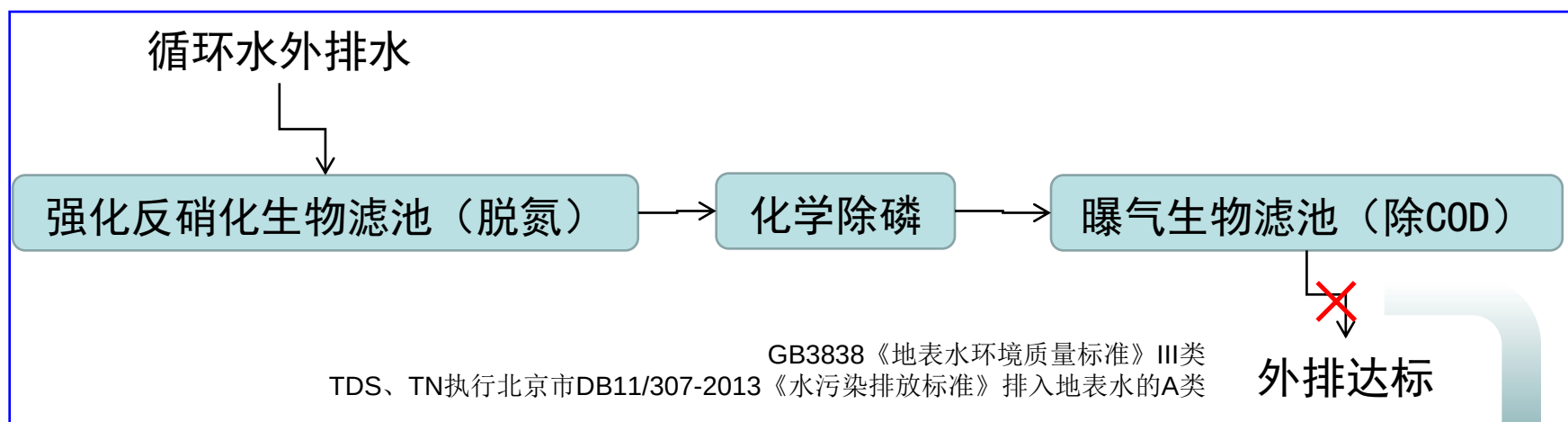
- 带来什么问题？

- 如何根据再生水水质状况选择生产用水的深度处理工艺
- 导致冷却水浓缩后的外排水水质更为复杂

废水达标排放 V. S. 回收利用

2. 城市再生水用于电厂生产用水、冷却水等带来的一系列问题

- 循环水外排水处理



原因：设计水质与实际水质偏差大，如可生化性差等。

结论与建议

- 进一步推广燃煤电厂以城市中水为主要水源，将城市中水利用落到实处。
- 加强燃煤电厂外排水对环境的影响评估，合理、有序推进燃煤电厂的节水降耗，有针对性地开展全厂废水零排放工作。
- 重视电厂非计划性用/排水，重视暴雨初期雨水的排放管理。

结论与建议

- 燃煤电厂终排口排水具有含盐量高的特点，以再生水为水源的电厂排水还存在有机物浓度高、可生化性差等特点，应根据排水水量、水质特点选择合适的工艺路线。
- 进一步开发低能耗、低成本、短流程、简设备的节水与水处理工艺。

节水工作永远在路上！

谢谢 Thanks !

黄晶晶

Jjhuang@cpecc.net

010-58388389

中国能源建设集团规划设计有限公司

东北电力设计院

华东电力设计院

中南电力设计院

西北电力设计院

西南电力设计院

华北电力设计院

黑龙江省电力设计院

辽宁电力勘测设计院

天津电力设计院

山西省电力勘测设计院

江苏省电力设计院

浙江省电力设计院

安徽省电力设计院

湖南省电力设计院

陕西省电力设计院

甘肃省电力设计院

广西电力设计研究院

新疆电力设计院

广东省电力设计研究院

云南省电力设计院