

中国核工业勘察设计协会文件

核设协[2024]181号

关于中国核工业勘察设计协会立项的团体标准《压水堆核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程》公开征求意见的通知

中国核工业勘察设计协会立项的团体标准《压水堆核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程》已经完成草案编制工作。依照《中国核工业勘察设计协会团体标准管理办法》的相关规定，现面向会员单位和社会广泛征求意见。

烦请相关领域的专家查收《压水堆核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程》团体标准编写说明（详见附件1）和《压水堆核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程（征求意见稿）》（详见附件2），并于2024年12月5日前将《征求意见表》（详见附件3）发送至联系人邮箱。

联系人：蹇宏伟，15010255873，qianhongwei@spic.com.cn

感谢对中国核工业勘察设计协会团体标准工作的大力支持！

附件：

1. 《压水堆核电站除氧器碟式喷嘴性能试验规程》团体标准编写说明
2. 《压水堆核电站除氧器碟式喷嘴性能试验规程》（征求意见稿）
3. 征求意见表



抄 送：理事长、副理事长、秘书长、副秘书长

中国核工业勘察设计协会秘书处 2024 年 11 月 5 日印发

中国核工业勘察设计协会
《核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程》团体标准编
制说明

一、 工作简况

本试验规程为中国核工业勘察设计协会 2023 年 12 月立项团体标准制定任务，由国核电力规划设计研究院有限公司主编，武汉大方机电有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、黔西南州元豪投资有限公司和国家电投莱阳核能有限公司参编。规程主要起草人：蹇宏伟、王凯、魏承君、王艳萍、陈汉荣、张勇、丁后亮、江号叶、张元强、宿伟成、郑钢。

2024 年 1~6 月，编制组各单位分别编制并提出规程建议方案，并组织针对“大容量内置式除氧器喷嘴国产化研究”研发过程中的经验反馈进行总结。在上述工作基础上编制了规程大纲和草案。

2024 年 7 月，中国核工业勘察设计协会组织召开了规程大纲专家评审会。

2024 年 7~10 月，编制组根据规程大纲专家评审会专家意见修订规程大纲，并组织编制了《核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程》，经过参编单位内部讨论、审查，最终形成了《核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程》征求意见稿。

二、 标准编制原则和主要内容

本标准“大容量内置式除氧器喷嘴国产化研究”成果转化，该研究以国家十三五科技重大专项大型先进压水堆示范工程为依托，研究开发了自主化除氧器碟式喷嘴，解决了核电站除氧器喷嘴使用进口产品的“卡脖子”问题。所研发的除氧器碟式喷嘴样机通过了行业鉴定，经鉴定具有自主知识产权，填补了国内空白，

主要技术指标达到国外同类产品先进水平，其中全流量范围压损和低流量雾化效果优于国外同类产品，可在工程中推广应用。

1. 适用范围

本规程规定了压水堆核电厂除氧器碟式喷嘴出厂前性能测试的试验内容、方法和验收准则等。

本规程适用于压水堆核电除氧器碟式喷嘴性能检测的出厂试验和型式试验，其它电站除氧器碟式喷嘴性能试验可参照执行。

2. 试验装置要求说明

对于试验装置水箱直径，按照当前除氧器碟式喷嘴通用流量规格进行划分，当使用矩形水箱时可通过内切圆直径进行控制。

表 1 试验装置水箱最小直径

序号	试验喷嘴额定流量 t/h	水箱最小直径 m
1	450	1.8
2	700	2.4
3	1200	2.8

3. 试验内容及验收准则设置说明

3.1 外观检查

根据产品出厂检验行业通用检查项目设置。

3.2 流量-压降性能试验

试验内容：测试喷嘴在 10~110%额定流量范围流动阻力特性和在额定流量下的压损。

验收准则设置说明：该性能可以体现喷嘴在除氧器滑压运行过程中的性能，在额定流量下压损是喷嘴采购时的重要考核性能指标。

3.3 雾化试验

试验内容：测试喷嘴在 10~110%额定流量范围区间的雾化效果。

验收准则设置说明：雾化效果直接影响除氧器的预除氧能力，通过图像采集可对不同喷嘴的性能进行直观比较。

3.4 水锤模拟试验

试验内容：喷嘴在瞬时通过 110%额定流量进行水锤模拟试验。

验收准则设置说明：可以验证喷嘴在核电常规岛系统瞬态工况下的安全性能。

3.5 喷嘴碟片疲劳寿命试验

试验内容：喷嘴碟片进行 10 万次固定加载疲劳寿命试验。

验收准则设置说明：可以测试喷嘴核心部件的耐久性，喷嘴疲劳寿命是采购时的重要考核性能指标。

三、主要试验（或验证）情况

本标准为“大容量内置式除氧器喷嘴国产化研究”成果转化，在研发过程中制造 1:1 样机，并搭建试验台架对样机进行型式试验，试验项目包括：外观检查、流量-压降性能试验、雾化试验、水锤模拟试验和喷嘴碟片疲劳寿命试验。试验过程邀请独立第三方进行现场见证。此外，在相同试验台架、试验参数和试验环境条件下，按照全流量范围，进行性自主化样机与进口知名品牌碟式喷嘴的流量-压降性能试验和雾化试验对比。经实践检验本规程

中规定的试验项目和试验方法具备可实施性，制定的验收标准合理，指标符合先进产品性能要求。

四、 标准中涉及专利的情况

本标准中未涉及专利。

五、 预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

核电是清洁能源，在保证安全的前提下，积极推进核电建设，是我国重要的能源战略。除氧器是核电机组的关键设备之一，我国大型电站 95%以上配置一体化内置式除氧器。除氧器喷嘴作为内置式除氧器的核心技术之一，还掌握在少数国外企业手中。我国核电机组除氧器几乎全部采用进口品牌的喷嘴，大型火电机组内置式除氧器配置的喷嘴中，进口品牌也占据了九成以上的市场份额。作为除氧器核心技术之一的除氧器喷嘴设计和制造，一直被外国大公司垄断，喷嘴作为除氧器设备的关键部件完全依赖进口。

除氧器碟式喷嘴是大容量核电、火电机组除氧器广泛采用的喷嘴形式，当前国内、外均尚无针对嘴除氧器碟式喷嘴检验或鉴定的规程、规范，编制本标准可以填补国内、外该领域的规程空白。制定适用于压水堆核电机组除氧器碟式喷嘴的试验规程，为大型先进压水堆除氧器碟式喷嘴的试验内容、方法和验收标准等提供依据。

进一步提高核电机组国产化率是后续核电项目的重要优化目标之一，本标准的编制有助于推动国产除氧器碟式喷嘴突破技术瓶颈，为后续压水堆核电项目使用优质国产化除氧器碟式喷嘴提供技术判定依据和质量保障措施，摆脱核电站除氧器核心技术受制于人的不利局面。

本标准的编制符合我国核电产业自主化、走出去的总体方针，有助于推动解决进口设备“卡脖子”风险，防止中美贸易摩擦及美国对其他国外公司采取长臂管辖措施对中国核电装备可能的禁运，保障后续工程的顺利实施。

六、 与国际、国外标准对比情况

当前国内、外均尚无针对嘴除氧器碟式喷嘴检验或鉴定的规程、规范，编制本标准可以填补国内、外该领域的规程空白。

本标准依托的“大容量内置式除氧器喷嘴国产化研究”所研发的除氧器碟式喷嘴样机，主要技术指标达到国外同类产品先进水平，其中全流量范围压损和低流量雾化效果优于国外同类产品。

七、 与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准均协调。

八、 重大分歧意见的处理经过和依据

无

九、 标准性质的建议说明

本标准自愿性标准，规定了压水堆核电厂除氧器碟式喷嘴出厂前性能测试的试验内容、方法和验收准则等。

十、 贯彻标准的要求和措施建议

本标准由中国核工业勘察设计协会归口管理，建议 2025 年 1 月 1 日起实施。

十一、 废止现行相关标准的建议

无

十二、 必要专利信息披露情况说明

无

十三、 其他应予说明的事项

本团体标准立项阶段名称为《压水堆核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程》，按照大纲评审会专家和协会意见，将标准名称调整为《核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程》。

《核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程》编写组

2024 年 10 月 30 日

ICS 点击此处添加 ICS 号

点击此处添加中国标准文献分类号

备案号：

中国核工业勘察设计协会标准

XX/X XXXXX—XXXX

核电厂除氧器碟式喷嘴性能 试验规程 (征求意见稿)

Performance test code for deaerator Disc-type nozzle of
pressurized water reactor nuclear power station

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

目 次

前 言 II

1. 范围 1

2. 规范性引用文件 1

3. 术语和定义 1

4. 试验装置及要求 1

5. 试验要求及验收准则 2

5.1 外观检查 2

5.2 流量-压降性能试验 3

5.3 雾化试验 3

5.4 水锤模拟试验 4

5.5 喷嘴碟片疲劳寿命试验 4

6. 检验规则 5

附录 A 试验总结报告内容 6

附录 B：喷嘴流量-压降曲线图 11

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国核工业勘察设计协会提出。

本文件由中国核工业勘察设计协会 XXX 技术委员会归口。

本文件起草单位：国核电力规划设计研究院有限公司、武汉大方机电有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、黔西南州元豪投资有限公司、国家电投莱阳核能有限公司。

主要起草人：蹇宏伟、王凯、魏承君、王艳萍、陈汉荣、张勇、丁后亮、江号叶、张元强、宿伟成、郑钢

压水堆核电厂除氧器碟式喷嘴性能试验规程

1. 范围

本文件规定了压水堆核电厂除氧器碟式喷嘴出厂前性能测试的试验内容、方法和验收准则等。

本文件适用于压水堆核电除氧器碟式喷嘴性能检测的出厂试验和型式试验，其它电站除氧器碟式喷嘴性能试验可参照执行。

2. 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3. 术语和定义

- 3.1 碟式喷嘴：利用过流介质压力产生的碟片间隙，实现过流介质雾化的装置。
- 3.2 额定流量：当喷嘴达到的最佳性能时，通过喷嘴的设计流量，一般由喷嘴厂家给定。
- 3.3 最大出力：当通过的流量超过额定流量时，喷嘴仍能保持雾化效果的所对应的最大流量，一般取喷嘴额定流量的110%。
- 3.4 最大压力损失：喷嘴的流量达到设计最大出力时，介质流过喷嘴产生的压力损失。
- 3.5 雾化直径：介质经喷嘴雾化后，所形成的有效水膜裙直径。

4. 试验装置及要求

- 4.1 试验装置（详见图1）应能满足喷嘴性能试验技术要求，并能在确保试验安全条件下完成各项性能测试。试验装置包括：喷嘴、水泵、流量计、调节阀、快速启闭隔离阀、压力变送器、就地压力表、温度计、放水及排空阀、水箱、系统管路、观察平台、自动化控制柜、曲线打印仪等。
- 4.2 所有仪表应按照国家有关校准或检定规程进行校准或检定，并在校准或检定有效期内使用。
- 4.3 试验装置仪表精度符合以下标准：
 - a) 流量测量仪表精度应不低于0.5级；
 - b) 压力变送器精度应不低于0.075级；
 - b) 就地压力测量仪表精度应不低于1.0级。
- 4.4 装置参数要求
 - a) 水箱：根据喷嘴的额定流量确定其直径（对于矩形水箱为内切圆直径），详见表1。

表 1 试验装置水箱最小直径

序号	试验喷嘴额定流量 t/h	水箱最小直径 m
1	450	1.8
2	700	2.4
3	1200	2.8

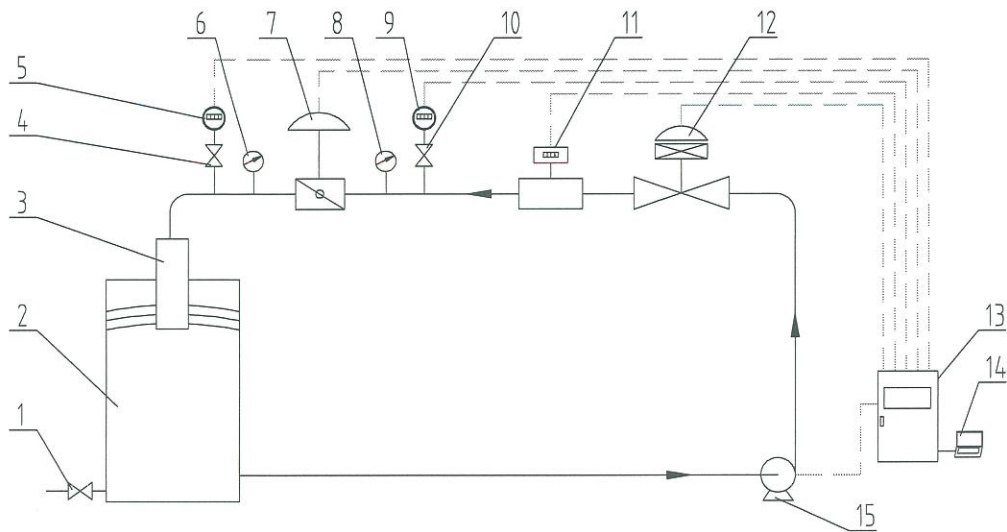
b) 水泵：水泵扬程及额定流量等要求应符合表2的要求。

表 2 试验装置水泵选型要求

名称	型式	额定流量 m ³ /h	扬程 m
水泵	不限	$\geq 1.2 \times G$ 注1	≥ 10

注 1: G 为进行性能试验的喷嘴的额定流量，单位 m³/h。

4.5 进行性能试验的装置需通过专业机构鉴定，并出具鉴定报告。



1 - 放水阀；2-水箱；3-喷嘴；4, 10-仪表阀；5, 9-压力变送器；6, 8 -就地压力表；
7-气动蝶阀；11-流量计；12-调节阀；13-自动化控制柜；14-计算机；15-水泵

图 1 试验装置流程图

5. 试验要求及验收准则

5.1 外观检查

喷嘴表面应光洁完整，不得有裂纹、疤痕、凹坑、穿透气孔、缺损等缺陷。紧固件不得有松动、损伤等现象。

5.2 流量-压降性能试验

5.2.1 试验内容

- a) 喷嘴应在10~110%额定流量 G 范围区间内进行流量-压降试验, 每间隔10%额定流量测量喷嘴压降。
- b) 各试验检测点对应的流量及偏差允许值见表3。
- c) 流量-压降测量应连续完成, 不得分阶段进行。
- d) 各试验检测点压降数值读取前应, 流量需达到规定数值并保持不少于1分钟。

表3 流量-压降试验检测点设置

检测点	流量值 m^3/h	允许偏差 m^3/h
1	$10\% \times G$	± 3
2	$20\% \times G$	
3	$30\% \times G$	
4	$40\% \times G$	
5	$50\% \times G$	
6	$60\% \times G$	± 5
7	$70\% \times G$	± 5
8	$80\% \times G$	
9	$90\% \times G$	
10	$100\% \times G$	
11	$110\% \times G$	

5.2.2 试验方法

试验介质应为5~40℃的清洁水, 水中氯离子含量不应超过100mg/L。

喷嘴逐步提升通过流量, 当流量达到10%额定流量后保持不少于1分钟, 读取并记录喷嘴压降。连续提升喷嘴通过流量, 每增加10%额定流量, 重复前步操作, 直至喷嘴通过流量达到110%额定流量。

喷嘴流量-压降每次全流量范围试验应连续不间断完成, 当测试过程中断, 需重新进行测试。

5.2.3 验收准则

- a) 按照试验数据绘制喷嘴流量-压降性能曲线。
- b) 喷嘴在额定流量下压损低于 $\leq 0.045\text{MPa}$ 。
- c) 喷嘴在110%额定流量下压损低于 $\leq 0.05\text{MPa}$ 。

5.3 雾化试验

5.3.1 试验内容

喷嘴应在10~110%额定流量范围区间内进行喷嘴雾化效果试验, 每间隔10%额定流量记录雾化效果。

5.3.2 试验方法

试验介质应为5~40℃的清洁水, 水中氯离子含量不应超过100mg/L。

喷嘴逐步提升通过流量，当流量达到10%额定流量后保持不少于1分钟，通过照片记录喷嘴雾化效果。连续提升喷嘴通过流量，每增加10%额定流量，重复前步操作，直至喷嘴通过流量达到110%额定流量。

喷嘴雾化效果试验每次全流量范围试验应连续不间断完成，当测试过程中断，需重新进行测试。

5.3.3 验收准则

- a) 喷嘴应雾化均匀，无散射、漫射现象。
- b) 各测试流量点均需记录不少于1张雾化效果实测照片，单张照片记录范围不应低于喷嘴环向300°喷射范围，照片分辨率应为300DPI至600DPI之间。
- c) 喷嘴在60%额定流量以上雾化喷射时，按照表1规定的水箱最小直径范围内无肉眼可见间隙。

5.4 水锤模拟试验

5.4.1 试验内容

喷嘴应按照瞬时通过110%额定流量工况，进行2次水锤模拟试验。

5.4.2 试验方法

试验介质应为5~40℃的清洁水，水中氯离子含量不应超过100mg/L。

水锤模拟试验过程如下：

- a) 关闭气动蝶阀，试验装置气动蝶阀下游至喷嘴应处于排空状态。
- b) 电动调节阀调整至喷嘴110%额定流量所对应的开度，启动水泵。
- c) 水泵出口压力达到0.1 MPa或泵电机达到最大功率后，快速打开气动蝶阀。

5.4.3 验收准则

经过2次水锤模拟试验后，检查喷嘴无任何塑性变形、裂纹、缺口、破损。

5.5 喷嘴碟片疲劳寿命试验

5.5.1 试验内容

喷嘴碟片应进行100000次固定加载疲劳寿命试验。

5.5.2 试验方法

使用固定机械装置对喷嘴碟片进行整体圆周均匀加载，加载应点为碟片外缘齿根处，加载压力不低于900N。碟片加载变形且碟片间隙最小位置接触后，完全卸载并恢复至原状的整个过程1次加载，每次加载时间为3~5s。

试验共分为五组加载周期，每20000次加载为一组加载周期，每组加载周期需记录此加载周期的典型力和时间曲线。

沿碟片圆周等角度选取不少于20个典型测试点，每组加载周期完成后，应测量碟片间隙，并按照5.5.3节要求进行碟片检验评判。

5.5.3 验收准则

- a) 记录试验前，以及各组加载周期后的各典型测试点碟片间隙。
- b) 单碟片塑性变形量不应超过0.3mm。
- c) 碟片间的间隙变化量不应超过10%。

d) 碟片内外表面无肉眼可见的变形、裂纹、缺口、破损。

6. 检验规则

喷嘴装置的出厂检验和型式检验应按表4规定的项目进行。

表4 检验项目

序号	项 目	出厂检验	型式检验	备注
1	外观检查	√	√	
2	流量-压降性能试验	—	√	
3	雾化效果试验	—	√	
4	水锤模拟试验	—	√	
5	喷嘴碟片疲劳寿命试验	—	√	

注：“√”为检验项目，“—”为不检验项目。

符合下述任一情况，喷嘴应进行型式检验：

- 新产品和老产品转场生产的试制定型鉴定；
- 正式生产后如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- 产品长期停产后，恢复生产时；
- 用户提出要求（有偿）进行型式检验时；
- 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求时。

附录 A 试验总结报告内容

1. 试验地点、试验单位名称、试验日期
2. 试验目的
3. 试验产品型号
4. 主要记录参数
5. 试验数据汇总表
6. 流量-压降曲线
7. 对试验结果的分析与评价
8. 结论

试验总结报告 表一

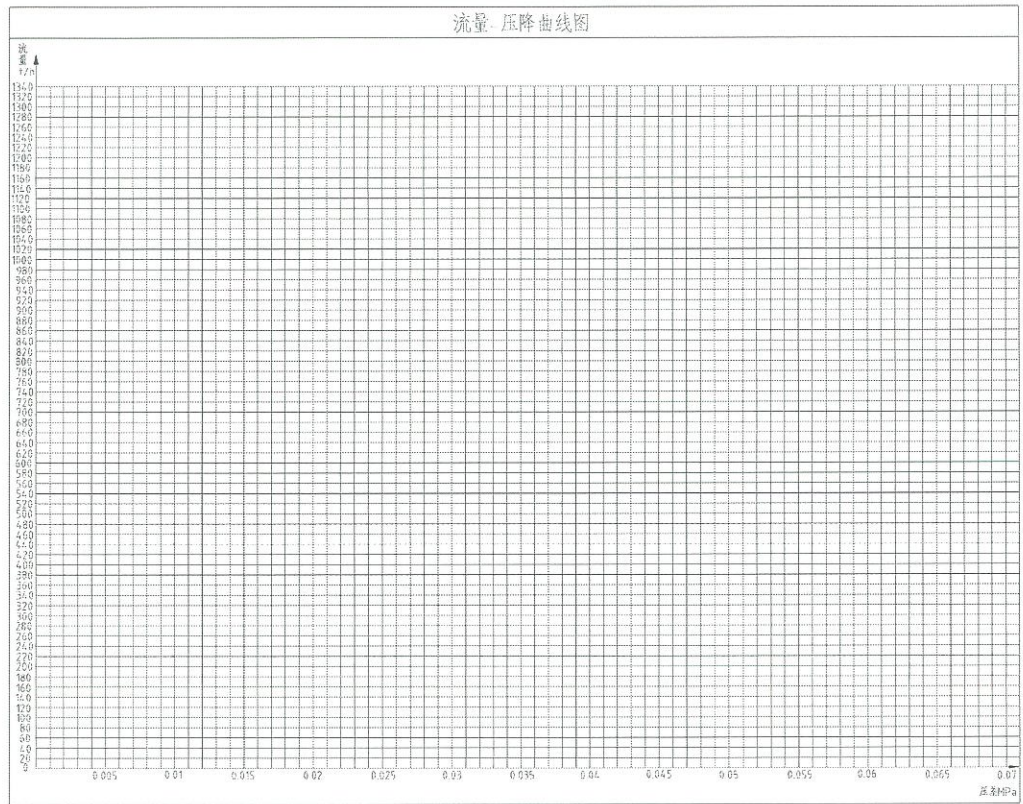
碟式喷嘴试验记录表		试验单位名称:	
喷嘴类型		产品型号	
额定流量 m³/h		最大流量 m³/h	
雾化效果		雾化直径 m	
最大压力损失MPa		产品编号	
试验环境条件		试验日期	
环境温度 ℃		相对湿度	%
试验目的: ☒ 流量-压降性能试验 ☐ 检验喷嘴雾化试验			

试验数据汇总 表一						
试验次数：第1次 升流量试验						
试验 序号	相对比例	试验流量 m ³ /h	允许偏差 m ³ /h	流量计读 数 m ³ /h	压力变送 器读数 MPa	雾化效果
1	10%		±3			
2	20%		±3			
3	30%		±3			
4	40%		±3			
5	50%		±3			
6	60%		±3			
7	70%		±3			
8	80%		±3			
9	90%		±3			
10	100%		±3			
11	110%		±3			

试验数据汇总 表二						
试验次数：第2次 降流量试验						
试验 序号	相对比例	试验流量 m ³ /h	允许偏差 m ³ /h	流量计读 数 m ³ /h	压力变送 器读数 MPa	雾化效果
1	110%		±3			
2	100%		±3			
3	90%		±3			
4	80%		±3			
5	70%		±3			
6	60%		±3			
7	50%		±3			
8	40%		±3			
9	30%		±3			
10	20%		±3			
11	10%		±3			

试验结论表	
合格标准	1. 各阶段流量达到设定流量 $\pm 3\text{m}^3/\text{h}$; 2. 额定流量压损 $\leq 0.045\text{MPa}$; 110%额定流量压损 $\leq 0.05\text{MPa}$; 3. 雾化均匀, 60%额定流量以上雾化喷射时, 按照表1规定直径范围内无肉眼可见间隙; 4. 水锤模拟试验后, 无塑性变形、裂纹、缺口、破损。
试验结果	☐1 ☐2 ☐3 ☐4
试验结论	☐ 合格 ☐ 不合格
不合格原因分析	☐ 1、喷嘴本身质量问题 ☐ 2、测量数据存在严重偏差或不一致
试验人员签字/日期	
见证人员签字/日期	

附录 B：喷组流量-压降曲线图



注：试验人员根据试验数据汇总表编制喷组流量-压降曲线

附件 3

中国核工业勘察设计协会
团体标准编写大纲/标准征求意见表

大纲/标准名称				
意见提出人			所在单位	
联系电话			邮箱	
意见反馈内容				
序号	所在 页次	大纲/标准章 条编号	大纲/原标准内容	建议修改及依据

中国核工业勘察设计协会
团体标准征求意见表（续页）

意见反馈内容				
序号	所在页次	标准章条编号	原标准内容	建议修改及依据