



国家电网
STATE GRID

国家电网公司运行分公司

GRID OPERATION BRANCH OF
STATE GRID CORPORATION OF CHINA

特高压直流换流站检修标准化作业指导书

特高压直流换流站 设备检修 例行试验工艺和质量标准

国家电网公司运行分公司 组编

(例行试验)



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网
STATE GRID

国家电网公司运行分公司

GRID OPERATION BRANCH OF
STATE GRID CORPORATION OF CHINA

特高压直流换流站检修标准化作业指导书

特高压直流换流站 设备检修 例行试验工艺和质量标准

国家电网公司运行分公司 组编

(例行试验)

图书在版编目 (CIP) 数据

特高压直流换流站检修标准化作业指导书. 特高压直流换流站设备检修、例行试验工艺和质量标准. 例行试验/国家电网公司运行分公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2014.6

ISBN 978-7-5123-6093-8

I. ①特… II. ①国… III. ①特高压输电—直流换流站—设备检修—标准化管理—中国 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 137898 号

特高压直流换流站检修标准化作业指导书. 特高压直流换流站设备检修、例行试验工艺和质量标准. 例行试验

中国电力出版社出版、发行

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

2014 年 6 月第一版

2014 年 6 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 横 16 开本 17 印张

559 千字

定价 596.00 元 (1 套)

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

编 委 会

主 任 叶廷路

副 主 任 熊幼京 余克武

编写人员 陕华平 廖卉莲 胡锦根 常 勇 张 豪 曹力潭 靳海路 李腾亮 何露芽 许 杨

廖文锋 阮思烨 喻春雷 马永斌 张一坤 鲁 阳 朱云华 李锋锋 徐 兵 魏华兵

杨世贵 吴 宁 刘之奎 郝跃东 欧阳震 张 勇 程 锦 焦晨骅 桂传林 李跃婷

审核人员 张 平 李建建 彭广才 殷俊新 汤晓峥 李继辉 仝培理 衣福全 张 民 孙 杨

李 辉 程 炯 凌 云 郭 涛 张海滨 沈志刚 钟 义 曾喜闻 李华兵 屈万一



序

特高压直流输电工程具有输送容量大、送电距离远、功率损耗低等特点，在促进能源资源大规模、大范围优化配置，推进实施“一特四大”战略，推动能源发展方式转变，破解当前雾霾困局方面具有重要的基础性作用。作为特高压直流输电工程的核心组成部分，换流站的运维检修水平的高低在很大程度上决定了整个直流输电工程能否安全可靠运行。国家电网公司运行分公司是从事直流输电工程换流站运维检修业务的专业公司，主要负责±800kV及以上换流站的运维检修管理，并为属地化管理的换流站提供运维检修技术支持和运维检修技能培训等专业化服务。

特高压直流换流站设备检修是国家电网公司运行分公司核心业务之一，是发现设备隐患、消除设备缺陷、提高设备性能、提升直流输电系统可用率的有效方法。与常规换流站相比，特高压直流换流站检修有设备多、工作量大、技术复杂和创新点多等特点。为做好特高压直流换流站设备检修工作，国家电网公司运行分公司按照“标准统一、纵向贯通、横向协同、管控有力、运转高效”的原则，在充分总结多年换流站检修经验的基础上，组织多名长期从事换流站检修工作的专业技术人员，经过前后长达五年的时间编写完成了《特高压直流换流站检修标准化作业指导书》，用以指导特高压直流换流站现场检修标准化作业的开展，实现特高压直流换流站检修工作规范、高效、经济的目的。

期望这套指导书的出版发行，能对推动特高压直流换流站的检修标准化作业起到积极作用，为直流输电事业健康发展作出贡献。

叶廷路

2014年5月



前 言

检修标准化作业是将检修工作以安全、质量、效益为目标，对检修的安全、质量、技术、工艺和流程要求，以制度标准的形式发布，现场按标准的工艺、流程进行实施的作业。

为规范特高压换流站检修工作，国家电网公司运行分公司全面总结 20 年来直流换流站运维检修经验，组织公司系统多名长期从事直流换流站检修工作的专业技术人员编制了本套标准化作业指导书。本指导书是基于国家电网公司相关检修试验标准、设备结构原理、厂家运维说明及换流站故障抢修实际事例编制而成的，编制目的是为了进一步规范检修现场作业，实现检修流程、工艺、质量标准化管理。

特高压直流换流站按照检修方式分为例行检修和特殊性检修；按照检修对象可分为换流阀、直流控保、阀水冷等核心设备检修及交直流一二次电气设备、辅助设备设施检修。本指导书分为六册，包括《特高压直流换流站设备检修、例行试验工艺和质量标准（一次设备、二次设备、例行试验共三册）》《特高压直流换流站换流变压器特殊性检修工艺》《特高压直流换流站大型设备更换标准化作业指导书》《特高压直流换流站自验收标准化作业指导书》，适用于直流输电工程运维检修和生产管理人员。

本书在编写过程中得到了国家电网公司、有关省公司、技术监督单位、检修施工单位以及设备制造厂家的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢！限于编者水平和经验，书中难免存在缺点和不足之处，欢迎批评指正。

编 者

2014 年 5 月



目 录

序

前言

第一章 换流阀	1	3 验收记录	75
第一节 电触发换流阀	1	4 原始记录	75
1 试验前准备工作	1	第二节 干式平波电抗器	78
2 试验工艺及质量标准	2	1 试验前准备工作	78
3 验收记录	33	2 试验工艺及质量标准	79
4 原始记录	33	3 验收记录	82
第二节 光触发换流阀	46	4 原始记录	83
1 试验前准备工作	46	第四章 交、直流滤波器及并联电容器组、中性线母线电容器	85
2 试验工艺及质量标准	48	1 试验前准备工作	85
3 验收记录	51	2 试验工艺及质量标准	86
4 原始记录	52	3 验收记录	89
第二章 换流变压器	53	4 原始记录	90
1 试验前准备工作	53	第五章 载波装置、噪声滤波器及耦合电容器	93
2 试验工艺及质量标准	54	1 试验前准备工作	93
3 验收记录	63	2 试验工艺及质量标准	94
4 原始记录	63	3 验收记录	98
第三章 平波电抗器	69	4 原始记录	98
第一节 油浸式平波电抗器	69	第六章 电压互感器	102
1 试验前准备工作	69	第一节 直流分压器	102
2 试验工艺及质量标准	70	1 试验前准备工作	102

2 试验工艺及质量标准	104
3 验收记录	107
4 原始记录	107
第二节 电容式电压互感器	109
1 试验前准备工作	109
2 试验工艺及质量标准	110
3 验收记录	114
4 原始记录	115
第七章 电流互感器	118
第一节 直流电流互感器	118
1 试验前准备工作	118
2 试验工艺及质量标准	119
3 验收记录	122
4 原始记录	123
第二节 交流电流互感器	124
1 试验前准备工作	124
2 试验工艺及质量标准	126
3 验收记录	130
4 原始记录	130
第八章 交、直流氧化锌避雷器	133
1 试验前准备工作	133
2 试验工艺及质量标准	134
3 验收记录	137
4 原始记录	137
第九章 直流穿墙套管	141
1 试验前准备工作	141
2 试验工艺及质量标准	142
3 验收记录	145
4 原始记录	145

第十章 交、直流隔离开关及接地开关	148
1 试验前准备工作	148
2 试验工艺及质量标准	149
3 验收记录	151
4 原始记录	151
第十一章 交流 SF ₆ 断路器	153
1 试验前准备工作	153
2 试验工艺及质量标准	154
3 验收记录	161
4 原始记录	162
第十二章 GIS 组合电器	170
1 试验前准备工作	170
2 试验工艺及质量标准	171
3 验收记录	177
4 原始记录	177
第十三章 直流 SF ₆ 断路器及成套装置	183
1 试验前准备工作	183
2 试验工艺及质量标准	184
3 验收记录	190
4 原始记录	191
第十四章 油浸式电力变压器及电抗器	195
1 试验前准备工作	195
2 试验工艺及质量标准	196
3 验收记录	205
4 原始记录	205
第十五章 电力电缆	210
1 试验前准备工作	210
2 试验工艺及质量标准	211
3 验收记录	213

4 原始记录	213
第十六章 高压开关柜	215
1 试验前准备工作	215
2 试验工艺及质量标准	216
3 验收记录	220
4 原始记录	221
第十七章 站内接地网及接地装置	224
1 试验前准备工作	224
2 试验工艺及质量标准	225
3 验收记录	227
4 原始记录	228
第十八章 绝缘油	229
1 试验前准备工作	229
2 试验工艺及质量标准	231

3 验收记录	237
4 原始记录	237
5 资料性附录	240
第十九章 SF₆ 气体	243
1 试验前准备工作	243
2 试验工艺及质量标准	244
3 验收记录	248
4 原始记录 (断路器或 GIS)	249
第二十章 换流阀冷却系统	252
1 试验前准备工作	252
2 试验工艺及质量标准	253
3 验收记录	258
4 原始记录	258

第一章

换 流 阀

第一节 电 触 发 换 流 阀

1 试验前准备工作

1.1 试验工作安排及准备

序号	内 容	标 准	负责人	备 注
1	根据试验性质，确定试验项目，组织作业人员学习作业指导书，使全体作业人员熟悉作业内容、作业标准、安全注意事项	试验项目不缺项，不漏项		
2	准备所需的试验仪器仪表、工器具、试验线	确保试验工器具和试验线满足试验要求		
3	查找被试设备的上一次试验数据和出厂（交接）验数据	相关历史数据应能代表设备历史试验真实状况		
4	开工前确定有无工作票，详细了解工作票的内容、时间及要求。需配合的各类人员之间要协调好	各类作业人员之间应相互协调，特别要做好与换流变压器作业的协调工作，做到先后、主次之分，确保时间的合理安排，确保检修期间的安全		
5	工作负责人对工作班成员做好安全交底和技术交底，并做好被试设备安全措施的检查	核实安全措施正确，并做好交底的签字和确认		
6	检查确认换流阀应断的引线已断开，接好试验接线并核对，做好阀厅环境温度、湿度的记录	引线断开的距离应符合《国家电网公司电力安全工作规程 变电部分》（Q/GDW 1799.1—2013）的有关规定，试验接线正确；加压试验时工作人员应离开阀塔，并与阀塔外壁保持 0.5m 的安全距离；阀厅温度和湿度符合试验要求（温度不低于+5℃，湿度不大于 60%）		

1.2 试验人员要求

序号	内 容	负责人	备 注
1	试验人员的精神状态良好，每年经《国家电网公司电力安全工作规程 变电部分》（Q/GDW 1799.1—2013）考试合格者		



续表

序号	内 容	负责人	备 注
2	一般试验工作负责人应工作 2 年以上，重要试验工作负责人应工作 3 年以上		
3	试验人员需 2 人及以上		
4	具备必要的电气知识和高压试验技能，能正确操作试验设备，主要试验负责人还应了解被试设备有关技术标准要求，能正确分析试验结果		

1.3 仪器仪表、常用工具

序号	名 称	型 号	单位	数量	备 注
1	阀测试仪	LTUD022/011/Reduced Weight VTE	台	1	换流阀低压试验
2	阀测试仪	LTTA15/TLP687/VTE	台	1	换流阀高、低压试验
3	电源盘	/	个	1	带剩余电流动作保护器
4	试验接地线	/	m	10	大于 6mm ²
5	万用表	/	台	1	
6	成套工具	/	套	1	
7	高压绝缘垫	/	个	1	定期试验合格
8	温、湿度计	/	块	1	
9	电容表	/	个	1	
10	作业平台车	/	台	1	工作高度应达到阀厅顶部
11	笔记本电脑	/	台	1	带串口

2 试验工艺及质量标准

2.1 ABB 换流阀

2.1.1 试验项目及标准

序号	试 验 项 目	试 验 方 法	试 验 标 准	注 意 事 项
1	晶闸管试验	使用阀测试仪给冷却器之间的晶闸管加压，测试仪自动完成短路电流、晶闸管耐压及单个晶闸管级电容电阻的测量，检查检测晶闸管工作是否正常，TCU工作是否正常	采用 LTUD022/011 测试仪（仅能做导通和阻抗检查）：单个晶闸管级的状态通过测试仪上的 LED 灯显示，其中包括两盏绿灯，分别代表晶闸管元件和阻尼元件。但任意一盏熄灭时，代表该元件参数不符合试验要求。 采用 LTTA15 测试仪（可完成全套高低压顺序试验）：红灯亮起表示试验正在进行，红灯熄灭后，试验结果会在 LED 显示屏上显示出来，未通过的试验项目会显示 failed。 晶闸管级短路试验：加大约 465V 低压检查晶闸管的阻断能力，未通过表示晶闸管短路，需更换。 阻抗试验：求晶闸管两端的各种频率阻抗（12000Hz、6000Hz、1100Hz），检查分压器的电容、电阻是否发生短路或开路；未通过表示电容、电阻回路存在短路或断路。 正常触发试验：晶闸管有触发脉冲时，检查晶闸管应在承受约 31V 的正向电压时可靠导通；未通过表示晶闸管门极、光纤或 VCU 屏柜内 PS906 板卡有问题。 恢复性触发（高）：TCU 单元内置保护功能，未通过需更换 TCU。 恢复性触发（低）：TCU 单元内置保护功能，未通过需更换 TCU。 保护性触发：TCU 单元内置保护功能，未通过需更换 TCU。 反向电压测试：施加厂家规定的电压，检查晶闸管反向耐压水平；未通过表示晶闸管反向阻断能力下降，需更换晶闸管	1. 试验中当有元件测量不合格时，测试仪通过连接笔记本电脑可读取试验各项参数及测量值，用以判断具体的故障元件。 2. 晶闸管组件中任何一个元件被更换，都应用晶闸管试验装置对整个组件重新进行电气检查。 3. 如果 VCU 单元中的一块 PS906 板被更换，应用晶闸管试验装置对所有与其相连的晶闸管组件进行电气检查
2	晶闸管级组件电容测量	使用电容表对晶闸管级内的组件电容进行测量	与同一阀组内电容器进行横向对比，不超过 $\pm 5\%$	测量电容时不必断开回路，试验后检查电容接线有无松动
3	晶闸管级均压电阻值测量	使用万用表对晶闸管级内的均压电阻进行测量	与同一阀组内均压电阻进行横向对比，不超过 $\pm 3\%$	测量电阻时不必断开回路，试验后检查电阻接线有无松动。 如果 R41/R42 其中一个损坏，为保证两电阻串联后误差小于 2%，这两个电阻都需要更换。所以更换时应检查这两个电阻上是否有相同的编号
4	漏水检测装置试验	将漏水检测装置光纤探头放入盛有水的杯中，以测试装置的好坏	将漏水检测装置光纤探头放入盛有水的杯中，漏水检测装置应发出报警，并在 OWS 后台中找到相应的报文	试验后应将光纤探头擦干，并复归装置报警
5	阀本体金属连接主通流回路直阻测试	使用直阻仪分段测量	主通流回路直阻小于 $50\mu\Omega$	注意检查底屏蔽罩与主通流回路是否构成分流回路，避免运行中分流回路电阻过大而发热



2.1.2 试验步骤

2.1.2.1 晶闸管试验

序号	内 容
1	核实工作票及工作票的内容、安全措施、地点等
2	试验前工作交代工作地点、工作内容、人员分工、安全措施、安全注意事项
3	检查所有试验人员是否到位
4	设置 PCP 主机为 Active+test 试验状态或设置 VCU 为试验状态，保证触发脉冲下发
5	将作业平台车摆放至阀塔一侧合适的地方，注意移动中不要误碰设备
6	将作业车及阀试验仪外壳可靠接地，检查 Interlock 已安装，确认仪器正常可用
7	用 RS232 串口线连接试验仪器和笔记本电脑，使用超级终端获取试验数据。波特率 19200，数据位 8，奇偶校验无，停止
8	查看阀塔内无工作人员，所有试验人员与阀塔保持足够的安全距离
9	打开试验仪开关，将试验把手固定至单个晶闸管两侧的冷却器上
10	扭动试验钮，待试验仪工作完成后松开试验钮
11	待试验钮松开后，移动试验把手至下一个晶闸管
12	重复以上试验步骤至完成所有晶闸管，发现试验异常时进行单项试验
13	试验结束后，用笔记本电脑记录试验数据。拆除与 THM 相连笔记本电脑，将 PCP 修改为试验前 TEST 状态
14	拆除所有接线，清理作业现场

2.1.2.2 晶闸管级组件电容及均压电容测量

序号	内 容
1	核实工作票及工作票的内容、安全措施、地点等
2	试验前交代工作地点、工作内容、人员分工、安全措施、安全注意事项
3	检查人员是否到位
4	将作业平台车摆放至阀塔下合适的地方，注意移动中不要误碰设备
5	工作人员穿连体服进入阀塔，进入前检查身上无多余物品
6	检查带入阀塔内的物品，并做好记录

续表

序号	内 容
7	使用电容表测量晶闸管级内的组件电容及均压电容
8	记录测量数据
9	出阀塔后清点物品，确认所有物品已带出
10	将作业车开出阀厅

2.1.2.3 晶闸管级均压电阻值测量

序号	内 容
1	核实工作票及工作票的内容、安全措施、地点等
2	试验前交代工作地点、工作内容、人员分工、安全措施、安全注意事项
3	检查人员是否到位
4	将作业平台车摆放至阀塔下合适的地方，注意移动中不要误碰设备
5	工作人员穿连体服进入阀塔，进入前检查身上无多余物品
6	检查带入阀塔内的物品，并做好记录
7	使用万用表测量晶闸管级内的均压电阻
8	记录测量数据
9	出阀塔后清点物品，确认所有物品已带出
10	将作业车开出阀厅

2.1.2.4 阀冷却水管静压力试验

序号	内 容
1	核实工作票及工作票的内容、安全措施、地点等
2	试验前交代工作地点、工作内容、人员分工、安全措施、安全注意事项
3	检查人员是否到位
4	关闭所有自动排气阀并断开与膨胀水箱的连接
5	通过补水泵向内冷水主水管道施加水压至 1.1 倍~1.2 倍额定静态压力 15min



续表

序号	内 容
6	检查阀塔上水管、阀塔底部无漏水现象
7	泄压至补水前静态压力
8	打开所有自动排气阀
9	恢复膨胀水箱连接
10	启动补水泵补水至膨胀罐运行液位（一般约为 60%）
11	试验完成后应对系统进行排气
12	重复上述步骤至完成所有阀冷却水管静压力试验

2.1.2.5 漏水检测装置试验

序号	内 容
1	核实工作票及工作票的内容、安全措施、地点等
2	试验前交代工作地点、工作内容、人员分工、安全措施、安全注意事项
3	检查人员是否到位
4	将作业平台车摆放至阀塔下合适的地方，注意移动中不要误碰设备
5	工作人员穿连体服进入阀塔，进入前检查身上无多余物品
6	检查带入阀塔内的物品，并做好记录
7	进入阀塔的人员将阀塔底部的光纤探头放入盛有水的杯中
8	一名工作人员在对应的 VCU 盘内观察漏水检测装置是否红色报警灯亮
9	报警灯正常点亮后，检查 OWS 后台是否有对应的报文
10	试验结束后应将光纤探头擦干
11	工作人员复归 VCU 盘里的装置报警，并检查 OWS 报警是否复位
12	出阀塔后清点物品，确认所有物品已带出
13	在监护下将作业车移至下一个阀塔，重复以上步骤

2.1.2.6 阀本体金属连接主通流回路直阻测试

序号	内 容
1	核实工作票及工作票的内容、安全措施、地点等
2	试验前交代工作地点、工作内容、人员分工、安全措施、安全注意事项
3	检查人员是否到位
4	将作业平台车摆放至阀塔下合适的地方，注意移动中不要误碰设备
5	工作人员穿连体服进入阀塔，进入前检查身上无多余物品
6	检查带入阀塔内的物品，并做好记录
7	使用直阻仪测分别接至阀体金属连接通流回路两端，加电测量
8	记录测量数据
9	出阀塔后清点物品，确认所有物品已带出
10	将作业车开出阀厅

2.1.3 试验接线图

2.1.3.1 晶闸管试验（见图 1-1～图 1-3）

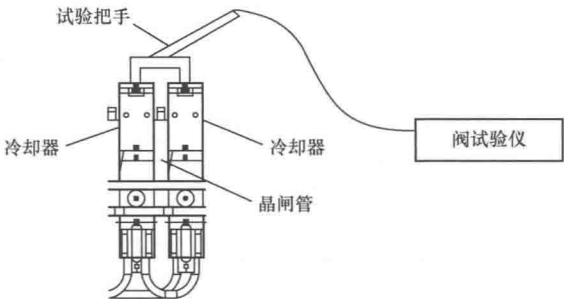


图 1-1 晶闸管试验接线



图 1-2 阀试验仪器 LTTA15 操作面板

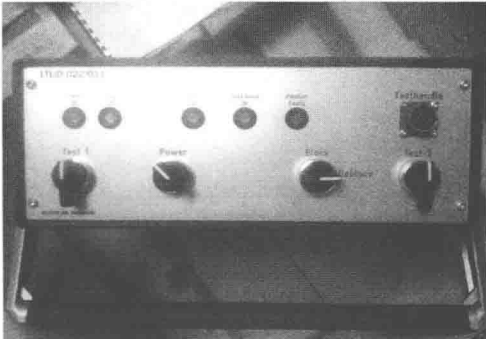


图 1-3 阀试验仪器 LTUD022/011 操作面板

2.1.3.2 晶闸管级组件电容及均压电容测量

晶闸管组件回路图见图 1-4。

C₁ 电容测量：如图 1-5 所示，测量图 1-5 中 1 点和 2 点，所测 C₁ 数值应在下面要求的范围内：C'_{1MAX}=1.598μF；C'_{1MIN}=1.502μF。

C₃ 电容测量：测量图 1-6 中的 2 点和 5 点，所测数值应在下面要求的范围内：C'_{3MAX}=0.655μF；C'_{3MIN}=0.592μF。

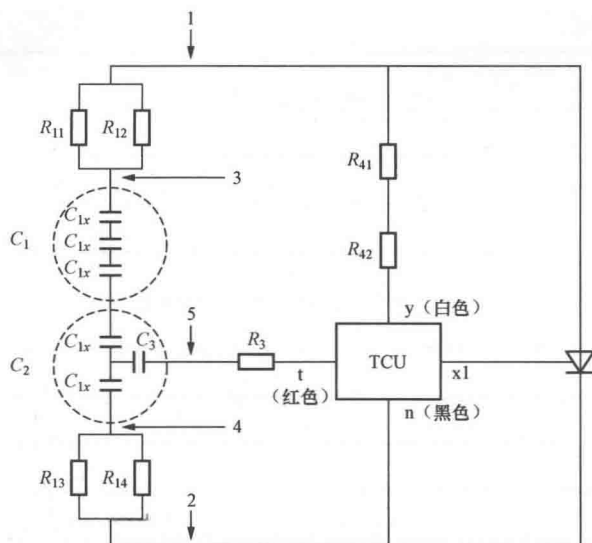


图 1-4 晶闸管组件回路图

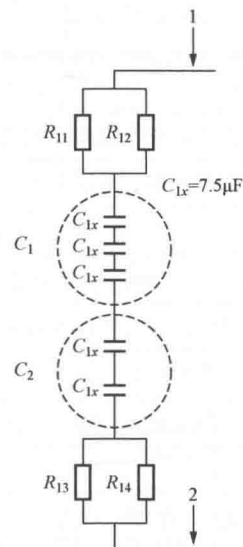


图 1-5 C_1' 测量图

2.1.3.3 晶闸管级均压电阻值测量

测量图 1-7 中 1 点和 2 点, 测量时应短接 3 点和 4 点, 所测数值应在下面要求的范围内: $R'_{\text{MAX}}=40.8\Omega$, $R'_{\text{MIN}}=39.2\Omega$ 。

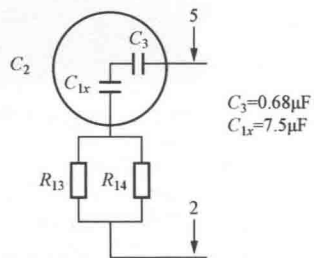


图 1-6 C'_3 测量图

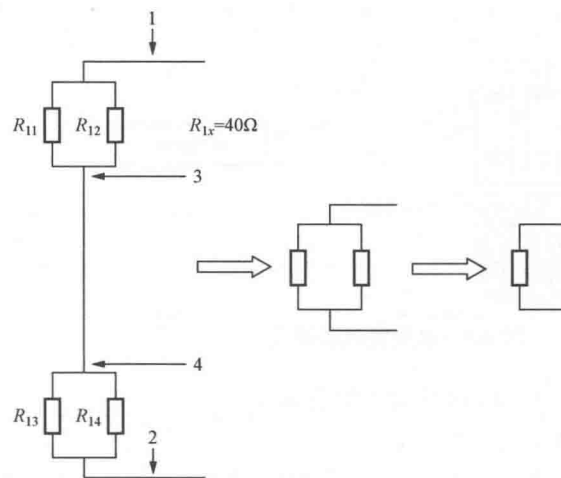


图 1-7 晶闸管级均压电阻值测量