

HI-13 串列加速器电阻分压系统研制

张桂莲 秦久昌 侯德义 隗永学 张秋红

(中国原子能科学研究院核物理研究所, 北京, 102413)

文章介绍了新研制的 HI-13 串列加速器电阻分压系统, 给出了电阻器性能及其屏蔽组件的新设计。自 1992 年以来, 已有 200 多个电阻器在 HI-13 串列加速器上运行考验, 无一损坏, 其性能令人满意。

关键词 串列加速器 分压电阻 电阻屏蔽

中国原子能科学研究院从美国高压工程公司(HVEC)引进一台 HI-13 串列加速器^[1], 1983 年 11 月开始安装调试, 1987 年 8 月通过国家验收。加速器投入运行至今累计供束 2 万多小时, 在低能核物理基础研究和核技术应用研究工作中, 取得了许多重要成果。

大型串列加速器主体由高压电极、加速管、绝缘支柱、充电装置及分压系统组成。分压系统有两个主要作用, 其一是, 将高压电极上的几千万伏高压沿加速器主体平滑地逐渐降至地电位, 避免在加速器主体上产生电场畸变而引起打火; 其二是, 将高压均匀地分布在加速管的加速电极之间, 使离子得到加速。因此, 高压分压系统的性能直接影响加速器的额定高压和束流传输效率。大型串列加速器有两种分压方式, 即电晕针分压和电阻分压。HI-13 串列加速器采用了电阻分压方式。电阻分压系统由电阻链和屏蔽件组成, 要求电阻耐高压, 阻值稳定, 要求屏蔽组件在加速器打火时, 有效地保护电阻不被损坏。

1 HI-13 串列加速器电阻分压系统

1.1 分压系统简介

HI-13 串列加速器额定高压为 13 MV。高压电极两侧即低能端和高能端各有四段加速管及相应的四段绝缘支柱。每段加速管和相应的绝缘支柱, 有 72 个加速间隙, 间距 25.4 mm, 每间隙之间跨接一个 1200 M Ω 电阻。由于束流传输要求, 在第一号加速管和相应的绝缘支柱的前 18 个间隙上跨接 600 M Ω 电阻。加速管和绝缘支柱的分压电阻链分别由 588 个 1200 M Ω 和 18 个 600 M Ω 电阻串联组成, 两个电阻链共有 1152 个分压电阻。

HVEC 公司研制的兰电阻, 是由 20 个 60 M Ω 的小电阻串连而成, 并被封在环氧树脂中, 每个小电阻间有放电间隙保护, 整个电阻又有一个放电间隙保护, 其电阻示意图和实物照片, 如图 1 和 2 所示。

收稿日期: 1995-03-23 收到修改稿日期: 1995-04-10

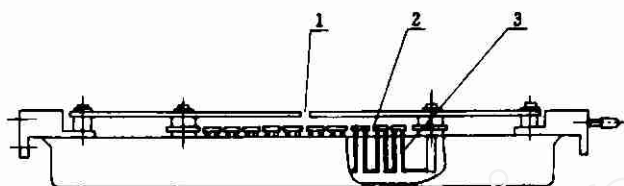


图1 HVEC电阻示意图

Fig.1 Configuration of the HVEC blue resistor assembly

1——泄体电阻保护间隙;2——小电阻保护间隙;3——60 MΩ小电阻

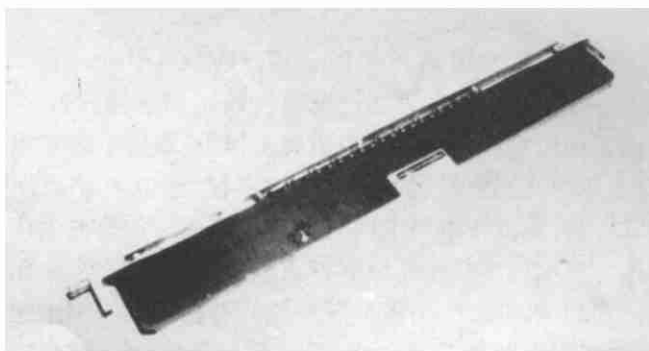


图2 HVEC电阻

Fig.2 Photo of the HVEC blue resistor assembly

HI-13 串列加速器在 13 MV 下运行时, 贮能 35 kJ。当高压打火时, 会严重损坏加速器部件。为了防止加速器高压打火时分压电阻被击穿损坏, 除了分压电阻自身气隙保护外, 在电阻间安装了铝屏蔽板, 即采用平板电容式屏蔽来保护电阻。

为了防止加速器径向打火而耦合到加速管分压电阻链中后损坏加速管, 采用了绝缘支柱和加速管独立分压。

1.2 分压系统存在的问题

HI-13 串列加速器调试期间发现, 由于分压电阻的铝屏蔽板安装孔不合适、板薄, 易变形及安装空间小, 造成屏蔽板和电阻之间严重打火, 加速器无法建立起稳定的高压, 被迫拆除分压系统的全部铝屏蔽板。

HVEC 公司兰电阻在加速器高压打火时, 易被损坏(电阻完全被击穿或阻值超过允许范围 $1200(1 \pm 15\%) \text{ M}\Omega$), 加速器难于稳定运行在额定高压下, 经常被迫开钢筒检修。表 1 列出了历年来, 分压电阻损坏的数量。从表 1 看出分压电阻损坏数量在逐年增加, 这说明 HVEC 的兰电阻还存在较严重的老化问题。

表 1 分压电阻损坏情况统计

Table 1 Statistical data of the damaged resistors

时 间	1984-1989	1990	1991	1992	1993	1994	总 计
损坏数量	105	10	19	128	153	186	599

HVEC公司的兰电阻体积大、笨重(每个电阻长 580 mm, 宽 12 mm, 高 30 mm, 重 1.36 kg), 安装困难。此电阻价格昂贵, 现在每个电阻 450 美元, 仅 1994 年一年就损坏 186 个分压电阻, 价值约 69 万元人民币。

鉴于 HVEC 公司的电阻分压系统存在的问题, 引进 HVEC 公司大型串行加速器的许多实验室开展了电阻分压系统的研究和实验工作^[2-4]。我们于 1989 年开始了此方面的工作。

2 新型电阻分压系统设计和研制

为了提高 HI-13 串行加速器电阻分压系统性能, 针对 HVEC 公司兰电阻分压系统存在的问题, 在设计和研制新型电阻分压系统时, 考虑了如下几方面问题:

原系统中, 一个 1200 M Ω 电阻跨接在两个电极之间, 为了便于安装和电极间的电连接, 采用 2 个 600 M Ω 电阻串联后跨接在电极之间。

原系统电阻值稳定范围 1200 (1 \pm 15%) M Ω , 为了确保分压均匀性, 提高电压稳定性和束流传输效率, 要求电阻值稳定范围 600 (1 \pm 10%) M Ω , 使用时挑选具有正负误差的 2 个电阻串联, 使电阻值稳定范围为 (600 + 600) (1 \pm 10%) M Ω 。

原系统中, 要求电阻额定耐压 25 kV, 新系统中要求电阻耐压 30 kV。

原系统中, 电阻仅有自身间隙保护, 新系统中电阻不仅自身有保护, 而整个电阻链要有屏蔽保护。

为了模拟分压电阻在 HI-13 串行加速器中工作条件 (0.65 MPa, 纯度 99.9% SF₆, 露点低于 -50 $^{\circ}$ C, 温度 25 $^{\circ}$ C), 以便在实验室内对电阻性能进行测试, 设计加工了高气压压力罐, 建立了一套电阻高压实验装置, 如图 3 所示。并试验了两种电阻分压系统。

2.1 同轴管式电阻分压系统

借鉴国外大型串行加速器实验室^[5-7]关于高压分压系统研制的先进技术, 设计加工了同轴管式分压电阻器, 如图 4 所示。它的优点是电阻被全封闭在不锈钢管内, 有效地屏蔽高压冲击波。

由于电阻分压器的安装位置限制, 不锈钢管外径要小于 16 mm, 因此电阻直径要小于 6

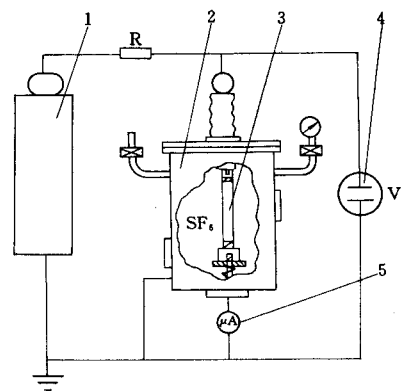


图 3 电阻高压实验装置

Fig. 3 The high voltage test device of the resistor

1——100 kV 高压电源; 2——压力罐;
3——被测试电阻; 4——静电电压表; 5——微安表

mm。我们提出对研制电阻的技术要求是:600 MΩ±10%,耐压30 kV,功率3 W,在SF₆工作环境中电阻表面不脱落,尺寸长100 mm,直径6 mm。研制出几批电阻样品,在实验台上分别在0.1、0.3、0.5、0.65 MPa的SF₆气体中,进行耐压实验,以其中一个电阻在0.65 MPa的SF₆中实验结果列于表2。

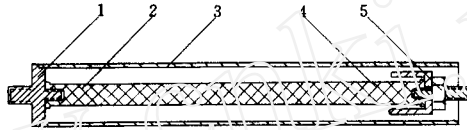


图4 同轴管式全封闭电阻分压器

Fig.4 Coaxial shielding resistor assembly

1——不锈钢屏蔽管座;2——电阻;3——不锈钢屏蔽管;4——钛合金屏蔽帽;5——螺栓

表2 小尺寸高压电阻耐压实验

Table 2 Test data of the resistor with $\phi 6 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ under high voltage

电压/kV	电流/ μA	计算阻值 $R / \text{M}\Omega$
5	12	417
10	24	417
15	45	333
20	70	285
25	92	217
30	130	230

注:电阻为 $\phi 6 \times 100 \text{ mm}$,额定阻值600 MΩ;实验条件:0.65 MPa, SF₆纯度99.9%,露点-40℃,温度<25℃

所研制的几批小尺寸高压电阻的耐压性能差,满足不了工作要求,因此,中断了同轴管式电阻器的研制工作。

2.2 框架式电阻分压系统

国外在一些大型串行加速器上^[2,3],采用了VIVIRAD/D型结构电阻分压系统。两个电阻安装在一个框架内,单独一个D型结构的电阻没有完全被屏蔽,但当所有电阻器串联起来时,电阻链就被封闭在一个框架组成的长形“笼子”内,不仅整个电阻链被屏蔽,而且两个框架之间形成了放电保护间隙,保护每个电阻不至于在加速器打火时被击穿。

我们设计的屏蔽框架外形不同于国外实验室,而且体积小、重量轻、加工容易、造价低。框架式电阻分压器如图5所示,图6表示了安装在HI-13串行加速器上的框架式电阻分压系统。

框架式电阻分压器要求的电阻技术指标为:阻值600(1±10%)MΩ,耐压35 kV,尺寸 $\phi 10 \times 140 \text{ mm}$ 。多次对电阻进行高压实验和改进,最后研制出RHY-35型高压电阻,满足了

工作要求。对国产的 RHY-35 型电阻、美国 HVEC 的兰电阻和法国 VIVIRAD 电阻,进行高压性能测试,其结果列于表 3 中。国产和国外的电阻性能是很接近的。

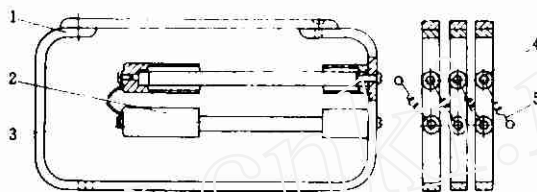


图 5 框架式电阻分压器

Fig. 5 Resistor assembly with the frame shielding

1——铝板框架;2——不锈钢保护帽;3——电阻;4——螺钉;5——连接导线

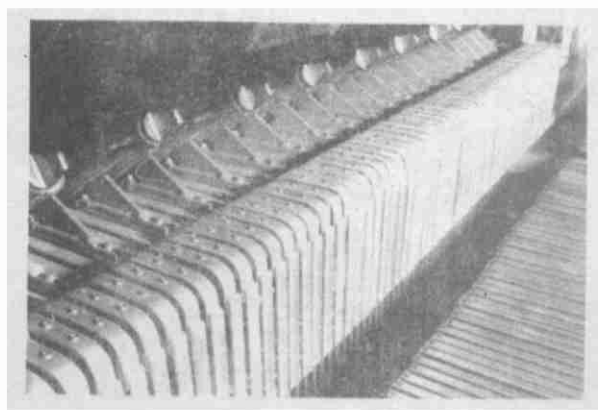


图 6 HI-13 串列加速器绝缘支柱上的框架式电阻分压系统

Fig. 6 Resistor assemblies installed on the column of the HI-13 tandem accelerator

表 3 不同电压下几种电阻阻值变化情况 (%)

Table 3 Relative change of resistance value of RHY-35, Vivirad and HVEC resistor under different high voltage

电压/kV	5	10	15	20	25	30
RHY-35	-5	-2	-1	-2	-2	-2
电 阻 ¹⁾	-2	-2	-0.9	-2	-2	-3
	+2.7	0	+2.7	0	-1.5	-1
HVEC 兰电阻 ¹⁾	-5	+1.3	+1.3	+1.5	+2.4	+2
	-1.5	+1.4	+2.4	+3	+3.8	+3.4
	+1.4	+1.4	+1.4	+2.9	+3.8	+3.4
Vivirad 电阻	-1	+0.1	-1	+0.1	+0.4	+1.2

注:1)测试了 3 个电阻

3 框架式电阻分压系统在加速器上的实验结果

在1992年11月,将36个框架式电阻分压器,安装在8#绝缘支柱前半段上,经近两年多的运行(7000多小时)和数百次加速器高压打火的考验,电阻无一损坏。1993年8月,又将36个框架式电阻分压器,安装在8#绝缘支柱后半段上。1994年10月,将72个框架式电阻分压器安装在1#绝缘支柱全段上,将72个框架式电阻分压器,分别安装在4#和5#绝缘支柱的靠近高压电极的半段上,加速器高压已达12.62 MV。加速器高压打火,HVEC公司兰电阻的阻值变化大,损坏数量剧增,而框架式RHY电阻阻值稳定,无一损坏。

4 结论

新型框架式电阻分压器安装在HI-13串列加速器上,通过长期运行和高压考验的结果表明RHY电阻阻值稳定,高压性能良好,用框架式屏蔽来保护电阻,安全可靠。新型框架式电阻分压系统性能优于HVEC的兰电阻分压系统。计划1997年HI-13串列加速器分压系统将完全由新型框架式电阻分压系统所代替。可节省人民币约432万元。

在工作中,天津无线电元件九厂,上海无线电元件一厂,北京大学巩玲华教授给予很大帮助,在此谨表谢意。

参 考 文 献

- 1 秦久昌,关遐龄,杨丙凡,等. HI-13串列加速器的改进. 核技术, 1992, 15(6):329-334.
- 2 Thieberger P. Summary Report on Large HVEC Accelerators. Proc of the Third International Conference on Electrostatic Accelerator Technology. Oak Ridge, Tennessee: IEEE, 1981. 35.
- 3 John WN. New Developments in Voltage-grading Resistors for Tandem Accelerators. Symp of North Eastern Accelerator Personnel World Scientific. Singapore, 1986. 168.
- 4 Signorini C, Cervellera F, Bezzon GP, et al. Upgrading of the KTU Tandem. Nucl Instrum Methods, 1988, A268:302.
- 5 Purser KH, Gove HE, Lund TS, et al. The University of Rochester MP Tandem Upgrading Program. Nucl Instrum Methods, 1974, 122:159.
- 6 Aitken TW, Thorn R. Shielding Methods for Insulators and Other Components. Revue de Physique Appliquee, 1977, 12:1517.
- 7 Weisser DC. Resistor Assemblies for NEC Accelerators. Nucl Instrum Methods, 1990, A287:113.

THE NEW VOLTAGE DIVIDER SYSTEM OF THE HI-13 TANDEM ACCELERATOR

Zhang Guilian Qin Jiuchang Hou Deyi Wei Yongxue Zhang Qihong

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-62, Beijing, 102413)

ABSTRACT

The new voltage divider system of the HI-13 tandem accelerator is described. The resistor performances and a new design of the resistor protection assembly are given. More than 200 new resistor assemblies were tested in the HI-13 tandem accelerator since 1992 with no failures. Their performances are satisfactory.

Key words Tandem accelerator Voltage divider system Resistance shielding

《核电厂应急运行规程指南》通过部级鉴定

由反应堆工程研究设计所反应堆热工水力研究室承担的“八五”重点科技攻关课题“核电厂应急运行规程指南研制”通过了部级鉴定。

鉴定委员会由中核总科技局、核电局、北京核安全中心、北京核工程研究设计院、中原公司等单位的专家组成,两院院士赵仁恺先生担任主任。

课题组在对核发达国家应急运行规程特点进行分析、比较基础上,提出了编制适合我国核电厂的应急运行规程的方法和技术准则,对规程的覆盖面、编写、验证和论证、审查与评价、培训、执行、质量保证等的基本原则与要求进行了研究,并应用所开发的计算机程序对规程中一些准则进行了定量分析,其系统性、完整性及先进性均达到了国际水平,填补了我国核电厂运行安全研究在该领域内的空白。它为国家安全局制定有关政策提供了重要参考依据。

中国原子能科学研究院反应堆工程研究设计所供稿