

亥姆霍兹的科学生涯和他对音乐物理学的开创性贡献

——纪念亥姆霍兹诞辰 170 周年

张 欣

(佳木斯师专物理系, 佳木斯 154007)

1991年3月27日至29日,全国首届音乐物理与音乐心理研讨会在北京大学北京现代物理研究中心召开。著名物理学家、北京现代物理研究中心主任李政道教授为此会欣然题辞:“物理与音乐共鸣,声波为科学交响”。全国许多著名物理学家、音乐家、心理学家和生理学家济济一堂,热烈商讨音乐物理与音乐心理问题。许多代表在讲演中都谈到了对音乐物理学做出开创性贡献的德国物理学家和生理学家亥姆霍兹。

1991年8月31日是亥姆霍兹诞辰170周年。笔者谨以此文纪念这位伟大的科学家。

一、亥姆霍兹的科学生涯

赫尔曼·路德维希·弗迪南德·亥姆霍兹(Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz) 1821年8月31日生于波茨坦。儿时体弱多病,这使他的早期教育受到影响。50年后,他自己回忆说^[1],少儿时的记忆力受病体的影响,语法和词汇特别使他烦恼。最困难的课是历史。更古怪的是,他当时连区分左和右都感到困难。但是当他九岁进入波茨坦中学时,智力突飞猛进,甚至跳级,以后逐渐成熟起来。

他在中学时代就酷爱物理学。但是,他父亲要抚养五个孩子,没能力供他上大学。为此,他考入能申请到奖学金的柏林弗里德里希·维廉医学院。这使他在学习正规的医学课程同时能学习一些物理学知识。学院规定被授予奖学金的学生在毕业后必须当几年军医。于是从1838年到1842年,他成为柏林弗里德里希·维廉医学院的皇家外科军医的实习生。这期间,他每周工作48小时。他在这受到导师 Jo

hannes Müller 的影响,导师的教诲和模范作用对他的一生起了决定性的作用,使他把物理学与生理学联系在一起,导致他后来成为伟大的物理学家和生理学家。

1842年,21岁的亥姆霍兹获得博士学位,博士论文阐述了神经纤维源于神经节细胞的解剖学基础。

1843年至1848年,这位年轻的博士当上了波茨坦皇家禁卫军的外科医生^[2]。

1842年至1847年,在物理学史上,是能量守恒定律的发现时期。1842年,迈耶发现能量守恒定律,并测了热功当量;焦耳于1843年,亥姆霍兹于1847年也各自独立地发现能量守恒定律。亥姆霍兹研究了肌肉作用的热现象,1845年发表论文《论肌肉作用中物质的消耗》,1847年他连续发表几篇论文,并于1847年7月23日在柏林物理学会演讲《论力的守恒》。他不仅从实验上而且从理论上表述了能量守恒定律,给出了守恒定律的有说服力的证明,还扩大了这条定律的应用范围。他不仅考虑了机械能和热能,还考虑了其他形式的能量,并且指出守恒律的普适性:力的、热的、电的、生理的和其他过程都遵守这条定律。他介绍了“张力”的概念,并把其能量形式推广称为“势”。

这一年(1847),他还研究了电学,指出莱顿瓶放电的振荡特性,并于后来的1869年证明了这种振荡是在与电容器极板连接的感应线圈中发生的。换句话说,他研制出由电感和电容组成的振荡电路^[2]。

1847年,由于他的重大发现,他得到极高的声誉。1848年,他成为柏林美术学院解剖学教师。1849年至1855年,他到柯尼斯堡大学

任生理学教授。有了固定职位后，他与一个物理学家的女儿 Olga von Velten 结了婚。

在柯尼斯堡大学，他用青蛙做实验，最先测量了神经刺激的传播速度。在视觉生理学方面他提出调节理论和色视觉学说，提出生理学研究的定量方法，发明一系列测量仪器，发明检查眼镜和眼膜曲率计。

1852年，他发现了 Challis 发表的论文中的数学错误，并予以纠正，从而激起了他对声学的兴趣。1855年，他在玻恩应聘为解剖学和生理学教授。他发现“结合音”。他提出听觉的共振理论，建立了耳朵的模型。此间他发表了许多阐述谐和乐音的物理原因的基础著作。1858年至1871年，他成为海德堡大学的生理学教授。这期间，他主要研究声学、电动力学和流体动力学。1858年发表重要论文《对应涡流运动的流体动力学方程的积分》，奠定了流体涡动理论的基础。在气体动力学方面，他关于非连续运动理论的研究结果有重大意义。他所创立的“力学相似性原理”，能够说明一系列气象学现象和海浪的形成机制^[1,2]。

1859年，他受到两次严重的精神上的打击。6月他父亲病故，11月他的爱妻病逝。在身心受到严重伤害的情况下，他几个月没能从事研究工作。

两年后(1861)，这位两个孩子的父亲为照顾好这个家，幸运地与一位年轻漂亮的夫人 Anna von Mohl 结了婚，一直到他终年。这婚姻使他开始了更加活跃的科学研究工作。他的声学、电动力学和音乐物理学研究达到了顶峰。他发表了一大批音乐物理学论文和著作，论述了“拍音”与谐和音程的关系和管弦乐器振动的数学物理理论及音质与泛音之间的关系^[3,4]。1870年，他发展了不规则导体中电动力学过程的理论。他所显示的多方面的才华受到科学界的普遍称赞和尊敬。他成为海德堡大学副校长，请他演讲的邀请信如雪片般飞来。1871年，他来到柏林大学任物理学教授。此后的几年，他的主要成就是在电动力学方面。他的贡献与安培、麦克斯韦和赫兹一起载入史册。

1871年发表《电动作用的传播速度》，1873年发表《电动力学理论》，研究了电磁波的传播特性，提出一定频率下电磁波的基本方程——亥姆霍兹方程 $\nabla^2 \mathbf{E} + K^2 \mathbf{E} = 0$ ^[4]。与此同时，他还进行光学、天体力学、声学和热力学的研究。1874年，他根据光的“弹性”理论，发展了反常色散的理论。

1877年，他任柏林大学校长兼物理学教授。

1881年他提出关于电的原子性结构的概念。

1882年至1883年，他研究了化学过程的热力学理论，引入了广泛使用的自由能和束缚能概念。为纪念这一伟大贡献，至今我们在热力学中还广泛使用“亥姆霍兹自由能”概念^[5,6]。

1888年，帝国物理技术研究所成立，他就任第一任所长。此期间，他主要研究电动力学，每年都有许多论著发表。

1893年，72岁的亥姆霍兹受德国政府委托，作为芝加哥电学会议代表前去美国访问和讲学。

1894年7月12日，亥姆霍兹患脑溢血，处于昏迷状态。直到9月8日，这位才华出众的科学伟人的心脏停止了跳动，享年73岁^[1]。

二、亥姆霍兹与音乐物理

著名音乐家贝多芬说：“只有艺术和科学才能把人提高到神明的境界。”伟大的物理学家爱因斯坦说：“真正的科学和真正的音乐需要同样的思维过程。”

亥姆霍兹为研究真正的科学和真正的音乐，为把艺术与科学统一起来，为实现科学真与艺术美的结合作出了重大的贡献。

1856年，亥姆霍兹发表论文《论结合音》，他认为结合音来源于耳膜或其它探听器的非线性响应^[4]。所谓结合音(Combination tones)，是指在音乐音响现象中，当两个声音大的音同时发声，所听到的与此两音的音高不同的音。此音的频率为两音(或其倍数)的差(分音)或和(和音)。亥姆霍兹认为，结合音虽然是音响学现象，实际上却是生理学现象。当1200Hz与700Hz的振动产生时，500Hz和1900Hz的振

动等并没有实际存在，它只是内耳的非线性响应造成了一种听觉，相当于各高低频率的结合音^[7,3]。

1858年，亥姆霍兹发表《论谐和音程与不谐和音程的物理原因》，它与后来发表的名著《论乐音的感觉》(1863)，都阐述了决定音程是否谐和的“拍音理论”和“音响关系理论”。在拍音理论中，他指出若两个音或其泛音不产生骚扰性的拍音，则为谐和音程；否则为不谐和音程。拍频33Hz最扰人，而少于6Hz或多于132Hz最不扰人。(对这一理论尚有很多争论。)他的“音响关系理论”认为，两个音，如果它们的泛音(到八度音程为止，但七度音程除外)有一个或一个以上相同，则此两音为谐和音。例如，八度音程中有三个共同泛音，五度与四度中有两个共同音，三度和六度中只有一个共同音，大小调皆然。二度与七度中则没有这样的共同音，因此二度和七度为不谐和音程。这个理论(即两个音的泛音中共同音越多越谐和)，比其它任何理论都更能令人满意^[9]。

1859年，他发表《论元音的音质》和《论开口管的空气振动》。前者发展了音质与泛音结构之间的关系；后者阐述了开口管乐器中空气的振动方程，并详细给出了其傅里叶级数解，这对当时的数学物理方程理论也做出了贡献。接着于第二年(1860)，他发表《论小提琴的弦振动》等几篇论文，具体讨论了弦振动方程及其在不同初始条件和边界条件下的解，讨论了提琴、钢琴及弹拨乐器的发声机理和音响效果^[3]。

1863年，亥姆霍兹的名著《论乐音的感觉——音乐理论的生理学基础》，进一步论述了拍音理论和音响关系理论，系统阐述了音乐与物理学、生理学和心理学的关系。他指出：音乐理论的发展，必然要经历物理学、生理学和心理学三个阶段。作为一位物理学家和生理学家，他认为心理学不外是生理的，而生理学不外是物理的。他用严格的实验技术和数学物理方法深入分析了音乐理论中的心理、生理和物理因素，讨论了乐音感觉的生理和物理机制，指明他的研究是物理声学、数学物理方法、生理声

物理

学、心理美学和音乐科学结合的产物，科学地说明了音乐与自然，音乐与人的关系^[9]。可以说，亥姆霍兹对音乐心理学、音乐生理学和音乐物理学都做出了开创性的贡献。

亥姆霍兹用科学家的头脑和艺术家的心灵真正把艺术与科学、音乐与物理紧密地、有机地结合起来，融为一体。还是李政道先生说得好：“物理与音乐共鸣，声波为科学交响”。

亥姆霍兹的一生是勤奋的一生，从1842年的博士论文起，每年都有许多论文或著作发表，直至临终前的1894年7月还发表了最后一篇论文^[10]。

亥姆霍兹一生从事医学、生理学和物理学的研究，在物理学领域内又广泛研究了电动力学、光学、天体力学、热力学、声学 and 流体力学。在众多方面作出了重大贡献。现在各种物理教科书上广泛采用“亥姆霍兹线圈”、“亥姆霍兹方程”和“亥姆霍兹自由能”等概念，以纪念这位伟大的学者。

亥姆霍兹开创了音乐物理学的研究。如今我国首届音乐物理与音乐心理研讨会已经召开，以后必定还会有第二届、第三届……。

在纪念亥姆霍兹诞辰170周年之际，我们相信，中国的物理学及其与其他各科学之间的联系和在各领域中的应用上必将取得更加可喜的成果和进步。

- [1] Helmholtz, *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*, Dover Publications, INC., New York, (1954), «Introduction by Henry Margenau».
- [2] Ю. А. 赫拉莫夫著, 梁宝洪编译, *世界物理学家词典*, 湖南教育出版社, (1988), 136.
- [3] 同[1], 374, 380, 384, 418.
- [4] 郭硕鸿, *电动力学*, 人民教育出版社, (1979), 122, 137.
- [5] L. E. Reichl, *A Modern Course in Statistical Physics*, University of Texas Press, (1980), 37.
- [6] 马本敏等, *热力学与统计物理学*, 高等教育出版社, (1981), 60.
- [7] 康 馥等, *大陆音乐辞典*, 台北大陆书店, (1981), 252.
- [8] 同[7], 273.
- [9] 同[1], 1, 159, 179, 197.
- [10] Helmholtz, *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, 7(1894), 345.